

非構造格子系熱流体解析システム

**SCRYU/Tetra<sup>®</sup>**  
**Version 12**

**ユーザーズガイド**  
**例題編**

株式会社ソフトウェアクリエイドル

2015年6月  
(2016年2月修正)

---

---

SCRYU/Tetra®は、株式会社ソフトウェアクリエイドルの商品名です。本書の一部または全部を無断で複製・転載・改編することを禁じます。

---

**CRADLE** 株式会社ソフトウェアクリエイドル  
Software Cradle Co., Ltd.

本社 : 大阪市北区梅田3丁目4番5号  
毎日インテシオ  
TEL : 06-6343-5641 FAX : 06-6343-5580

東京支社 : 東京都品川区大崎1-11-1  
ゲートシティ大崎ウエストタワー  
TEL : 03-5435-5641 FAX : 03-5435-5645

SCRYU/Tetra©2015 Software Cradle

本文で使用するシステム名・製品名は、それぞれの各社の商標、または登録商標です。

---

## 修正履歴

---

本書の修正履歴は下記のとおりです。

修正年月	ページ	修正内容
2015年6月		初版
2015年8月	1-640	例題29.1 流れなし凝固融解 解析手順 文章を削除しました。
2015年11月	3-85	応用例5 自動車空力 - 条件設定 文章を修正しました。
2016年2月	1-484	例題22.4 液滴の蒸発 解析モデル 図を修正しました。

# 目 次

## 第 1 部 機能例

機能 1 乱流解析 .....	1-1
機能 2 拡散 ( 単純な拡散物質 ) .....	1-21
機能 3 拡散 ( 混合ガス ) .....	1-32
機能 4 拡散 ( 湿度 ) .....	1-46
機能 5 輻射 ( VF 法 ) .....	1-64
機能 6 輻射 ( 日射 ) .....	1-119
機能 7 輻射 ( フラックス法 ) .....	1-132
機能 8 圧縮性解析 .....	1-145
機能 9 自然対流解析 .....	1-180
機能 10 ユーザー関数 .....	1-197
機能 11 変数テーブル .....	1-208
機能 12 周期境界条件 .....	1-219
機能 13 圧力損失 .....	1-236
機能 14 多孔質体 .....	1-246
機能 15 ファンモデル .....	1-277
機能 16 伝熱パネル .....	1-295
機能 17 空力解析 .....	1-310
機能 18 定常 ALE .....	1-321
機能 19 不連続接合を用いた要素移動解析 .....	1-331
機能 20 重合格子を用いた要素移動解析 .....	1-344
機能 21 要素移動自動計算 ( ダイナミカル機能 ) .....	1-367
機能 22 粒子追跡 .....	1-442
機能 23 自由表面解析 ( 改良 MAC 法 ) .....	1-510
機能 24 自由表面解析 ( VOF 法 ) .....	1-522

---

機能 25 ズーミング .....	1-561
機能 26 LES/VLES/DES .....	1-589
機能 27 空力騒音解析(分離解法) .....	1-607
機能 28 空力騒音解析(弱圧縮解法) .....	1-621
機能 29 凝固融解解析 .....	1-635
機能 30 キャビテーション .....	1-657
機能 31 電流解析 .....	1-675
機能 32 温熱環境人体熱モデル JOS .....	1-699
機能 33 CVD 解析 .....	1-712
機能 34 化学反応 .....	1-728
機能 35 分散混相流解析 .....	1-752
機能 36 形状最適化 .....	1-762
機能 37 Mixing Plane .....	1-775

## 第2部 検証例

検証 1 非線形乱流モデルによる矩形ダクト内解析 .....	2-1
検証 2 強制対流下の円柱表面における熱伝達 .....	2-8
検証 3 強制対流下の円柱表面における熱伝達2(粗い格子) .....	2-17
検証 4 粗い面の乱流熱伝達係数 .....	2-26
検証 5 正方キャビティ一流れ .....	2-31
検証 6 擬要素中心壁条件 .....	2-38
検証 7 平板境界層流れと移流項精度 .....	2-46
検証 8 軸対称衝突噴流における乱流熱伝達 .....	2-52
検証 9 時間項の精度検証 .....	2-59
検証 10 包括型壁関数を用いた軸対称バックステップ流れの熱伝達 .....	2-67
検証 11 三次元円柱周り流れの Detached Eddy Simulation .....	2-74
検証 12 混相流モデルを用いたバブルジェットの解析 .....	2-81
検証 13 混相流モデルを用いた曝気槽の解析 .....	2-90
検証 14 平板境界層の乱流遷移 .....	2-103

---

検証 15 衝撃波の回折 .....	2-110
検証 16 2 次元翼周りの衝撃波を伴う流れ解析 .....	2-117

## 第3部 応用例

応用例 1 燃料電池 .....	3-1
応用例 2 触媒コンバータ .....	3-20
応用例 3 電子機器 .....	3-36
応用例 4 オイルスロッシング .....	3-55
応用例 5 自動車空力 .....	3-70
応用例 6 制御カップリング .....	3-98
応用例 7 トルクコンバータ .....	3-123
応用例 8 流体軸受 .....	3-152

---

## マニュアルの構成について

---

**SCRYU/Tetra**のマニュアルは、下記の13分冊構成となっております。

- **基礎編**

熱流体解析の基本的な考え方だけでなく、**SCRYU/Tetra**の各機能の詳細説明を含んだ総合解説書です。熱流体に初めて触れられる方から、各機能の理論的背景を確認されたい方まで、**SCRYU/Tetra**を使用される全ての方々を対象としています。

- **操作編**

**SCRYU/Tetra**の基本的な操作を基本例題を通して学ぶことができるチュートリアルです。実際に**SCRYU/Tetra**の操作を始める際には、まずこのガイドを紐解いてください。基本例題で基礎体力が付いたら、例題編もお試しください。

- **リファレンス(プリ)編**

**SCRYU/Tetra**のプリプロセッサ(プリ)の詳細解説書です。

- **リファレンス(ソルバー)編**

**SCRYU/Tetra**のソルバーの詳細解説書です。ソルバーコマンドとユーザー関数のリファレンスを含みます。

- **リファレンス(ポスト)編**

**SCRYU/Tetra**のポストプロセッサ(ポスト)の詳細解説書です。

- **リファレンス(VBインターフェース)編**

**SCRYU/Tetra**のプリプロセッサ、ソルバー、ポストプロセッサに用意されているVBインターフェースのメソッドリファレンスです。

- **リファレンス(ツール)編**

**SCRYU/Tetra**に付随した各種ツールについての操作説明書です。

- **例題編(本書)**

**SCRYU/Tetra**の解析機能とその利用法を学ぶための例題編です。解析機能特有の考え方を学んだり条件設定のしかたを調べたりと、解析機能を使いこなす際の足がかりとして最適です。実際的な工業製品を模した解析事例も紹介しています。

- **構造解析編(オプション)**

**SCRYU/Tetra**のオプションである構造解析機能の詳細解説書です。プリプロセッサ(プリ)とソルバーのリファレンス、また、操作を学ぶための例題を含みます。

- **流体構造連成(Abaqus<sup>®</sup>)編(オプション)**

**SCRYU/Tetra**のオプションであるSCRYU/Tetra I/F Option for Abaqus<sup>®</sup>の詳細解説書です。プリプロセッサ(プリ)とソルバーのリファレンス、また、操作を学ぶための例題を含みます。

- **最適化編(オプション)**

**SCRYU/Tetra**のオプションである最適化機能の詳細解説書です。最適化についての概要、操作説明、また、**SCRYU/Tetra**と連携した例題を含みます。

- **1D/3Dカップリング(GT-SUITE)編 (オプション)**

**SCRYU/Tetra**のオプションであるSCRYU/Tetra I/F Option for GT-SUITEの詳細解説書です。

- **ファンモデリング・解析ツール(SmartBlades<sup>®</sup>)編(オプション)**

SmartBlades<sup>®</sup>についての操作説明書です。

---

## 本書をお読みになるまえに

---

### 1. 本書が対応しているソフトウェアのバージョン

- **SCRYU/Tetra V12**

リリースにより、本書とは計算時間、終了サイクル、結果などが異なることがあります。また、本書の計算は倍精度版で行っています。

### 2. 本書で使用するサンプルデータの利用方法については、**ユーザーズガイドリファレンス(ツール)編 第1部 アプリケーション起動ツール 1.5.2 ユーザーフォルダ・ユーザーデータの設定**をご参照ください。

3. 本書は、**ユーザーズガイド操作編**に記載されている基本操作を既に習得している読者を対象としています。そのため、一部の基本的な操作については説明を省略しています。第1部の "機能例" では、機能ごとにその概要を紹介し、それぞれの機能を利用した基本的な例題を用いて条件設定の仕方を説明します。第2部の "検証例" では、理論解や実験値があり、結果の比較・検証を行うことができる問題を紹介します。

4. 登録する領域の場所が分からぬ場合、既に用意してあるPREファイルを用いて、以下のように確認する事ができます。

各例題のフォルダ(exXX¥Org)のPREファイル(exXX.pre)をSCTpreに読み込み、[表示] - [登録領域]を選択します。このダイアログで、場所を確認したい領域名(例:[inlet])をダブルクリックすると、その領域に登録されている面が選択され、グレーで塗りつぶし表示されます。

5. [条件ウィザード]で項目を選択すると、そこで設定を行わなくても、Sファイルにその項目に関するコマンド及び入力変数が出力される場合があります。

例えば、[条件ウィザード] - [出力条件]を選択すると、[出力条件]の設定を行わなくても、AVGF, GWLN, WPUT, ZGWW等のコマンドとそれらの入力変数がSファイルに出力されます。この時、Sファイルに出力される入力変数はデフォルト値なので、当然出力されない場合と同じ設定になります。

上記の理由で、同じ設定を行っても、[条件ウィザード]での設定手順によっては、各例題フォルダ(exXX¥Org)のSファイル(exXX.s)と内容が一部異なる場合がありますので、ご注意ください。

6. SCTpreでは[e]を使用して、数値を指数形式で入力することができます。

例えば  $1.1 \times 10^5$  は[1.1e+5]と入力します。同様に  $2.2 \times 10^{-5}$  は[2.2e-5]と入力します。

7. Samplesフォルダにインストールされているデータは英語OS環境でも正常に動作するように、領域名、物性値名などが英語表記(英語版のデータ)になっています。

8. 本書に出てくるソルバーコマンドの詳細については、**ユーザーズガイドリファレンス(ソルバー)編 1.3 コマンドデータ**をご参照ください。

9. 第3部 応用例は、定期説明会受講、またはユーザーズガイド操作編に記載されている基本操作の練習を終えられているお客様を対象としております。また、扱っている解析機能については、**第1部 機能例**で当該機能を予習頂くと理解しやすくなります。

No.	タイトル	要素数	計算時間*
例題1.1	バックステップ流れ	6,230	30秒
例題1.2	SST乱流モデルによる剥離のある流れ	47,254	7分30秒
例題2.1	拡散	1,866	5秒
例題3.1	3成分混合ガス	175,621	14分
例題4.1	結露	9,748	14秒
例題5.1	形態係数による輻射	529,246	5分
例題5.2	輻射率の波長依存性をもつ材質と輻射熱源(ランプ)	69,971	1分
例題5.3	輻射の屈折と吸収係数	165,783	28分
例題5.4	紫外線照射量	53,247	8分
例題6.1	日射機能を用いた自然対流	481,254	20分
例題7.1	高温ガス輻射	41,253	2分
例題8.1	衝撃波管	8,709	30秒
例題8.2	くさび翼周りの流れ	32,186	4分
例題8.3	空気の音速の見積もり	5,000	27分
例題8.4	二重円管の熱交換	537,955	15分
例題9.1	高温物体周りの自然対流	6,782	10秒
例題9.2	キャビティー内の自然対流	5,238	1分
例題10.1	非ニュートン流体	22,431	2分
例題11.1	空気の輸送係数の温度依存	18,988	1分
例題12.1	翼列	4,260	3秒
例題13.1	圧力損失	48,614	30秒
例題14.1	多孔質体	70,834	1分10秒
例題14.2	多孔質体によるフィンの模擬	210,450	1分40秒
例題15.1	簡易風洞	85,800	1分
例題15.2	旋回成分を考慮したファンモデル	202,166	3分
例題16.1	伝熱パネルを用いた放熱フィンの冷却解析	220,368	5分
例題17.1	空力解析	164,213	3分
例題18.1	定常ALE機能によるファン周りの流れ解析	250,375	1分40秒
例題19.1	変数テーブルによる攪拌槽攪拌機の回転数制御	147,455	4分30秒
例題20.1	重合格子	699,581	5分40秒
例題20.2	重合格子を用いたピストン解析	43,404	2分
例題21.1	ストローク自動計算(要素移動のダイナミカル機能)	74,114	1分20秒
例題21.2	回転自動計算(要素移動のダイナミカル機能)	131,320	7分
例題21.3	自由落下シミュレーション	31,664	30秒
例題21.4	球の浮遊シミュレーション	593,661	3時間30分
例題21.5	バルブ(弁)の開閉シミュレーション(回転1自由度のダイナミカル機能)	111,471	28分
例題21.6	立方体の衝突シミュレーション(6自由度のダイナミカル機能)	41,950	17分
例題22.1	粒子追跡機能	212,027	7分
例題22.2	噴霧モデル	342,619	25分
例題22.3	粒子から湿度への変換例	77,242	1分10秒
例題22.4	液滴の蒸発	166,134	6時間20分
例題22.5	斜め円管内への水滴の噴霧と液膜解析	110,448	10分
例題23.1	ダムの崩壊	49,955	4分20秒
例題24.1	有限振幅波(造波・消波機能)	24,078	19分
例題24.2	水面への物体落下	288,629	1時間30分
例題24.3	水平伝熱管内の相変化	309,299	15時間40分
例題25.1	ズーミング機能利用例	488,922	5分40秒
例題25.2	ズーミング機能応用例	760,820	6分30秒
例題26.1	三次元円柱周りの非定常乱流解析(空力特性の評価)	844,063	5日
例題27.1	分離解法による空力騒音の予測	844,121	75時間
例題28.1	弱圧縮性解析法によるウインドスロップ現象	4,540,991	15日
例題29.1	流れなし凝固融解	864	8秒
例題29.2	密閉空間内の氷結(凝固)をともなう自然対流	5,326	5分
例題30.1	キャビテーション	8,153	40秒
例題30.2	2次元翼まわりのキャビテーション解析	43,168	40分
例題31.1	ジュール熱	868,502	40秒
例題31.2	伝熱パネルを用いた電流解析	188,828	20秒
例題32.1	スポット空調解析(温熱環境人体熱モデル)	563,043	30分
例題33.1	熱CVD法による表面反応解析	170,680	25分
例題34.1	簡単な化学反応	7,489	40秒
例題34.2	渦消散モデルによる水素一空気拡散火炎の計算	15,588	12分
例題35.1	簡単な2相流	6,230	20分
例題36.1	二次元円柱の抗力低減	11,252	3分20秒
例題37.1	ディフューザポンプの定常流体解析	230,191	9分

\* Intel Xeon X5680 3.33GHz(2並列)に換算した大よその時間で記載しています。本文中も同様です。

---

No.	タイトル	要素数	計算時間*
検証1	非線形乱流モデルによる矩形ダクト内解析	144,920	40分
検証2	強制対流下の円柱表面における熱伝達	11,315	26分
検証3	強制対流下の円柱表面における熱伝達2(粗い格子)	7,199	13分
検証4	粗い面の乱流熱伝達係数	7,845	5秒
検証5	正方キャビティー流れ	20,096	30秒
検証6	擬要素中心壁条件	10,286	数秒
検証7	平板境界層流れと移流項精度	18,366	1分
検証8	軸対称衝突噴流における乱流熱伝達	22,367	4分30秒
検証9	時間項の精度検証	9,702	45分
検証10	包括壁型関数を用いた軸対称バックステップ流れの熱伝達	14,044	2分
検証11	三次元円柱周り流れのDetached Eddy Simulation	455,640	6時間
検証12	混相流モデルを用いたバブルジェットの解析	23,860	20分
検証13	混相流モデルを用いた曝気槽	16,115	25分
検証14	平板境界層の乱流遷移	42,078	15分
検証15	衝撃波の回折	313,187	1時間
検証16	2次元翼周りの衝撃波を伴う流れ解析	41,146	9分30秒
応用例1	燃料電池	486,817	5分
応用例2	触媒コンバータ	51,221	25秒
応用例3	電子機器	1,958,196	50分30秒
応用例4	オイルスロッシング	415,512	28分28秒
応用例5	自動車空力	4,089,098	2時間13分24秒
応用例6	制御カップリング	1,562,627	17分4秒
応用例7	トルクコンバータ	3,262,379	14時間
応用例8.1	動圧ラジアル気体軸受	211,200	12分12秒
応用例8.2	動圧スラスト気体軸受	138,240	9分25秒

\* Intel Xeon X5680 3.33GHz(2並列)に換算した大よその時間で記載しています。本文中も同様です。

No.	乱流解析	拡散物質 / 結露	輻射	日射	圧縮性	ユーザー関数	変数テーブル	多孔質体	ファン / 圧損モデル	伝熱パネル	ALE	不連続接合	重合格子	粒子追跡	自由表面	ズーミング	LES / VLES / DES	空力騒音	凝固融解	キヤビテーション	ジユール熱	温熱環境人体熱モデル	化学反応	CVD	混相流	ヒートパスビューア	形状最適化	
例題1.1	●																											
例題1.2	●																											
例題2.1	●	●																										
例題3.1	●	●			●																							
例題4.1	●	●																										
例題5.1			●																									
例題5.2	●		●															●										
例題5.3			●															●										
例題5.4	●	●																										
例題6.1	●		●	●	●																							
例題7.1	●		●															●										
例題8.1					●																							
例題8.2					●													●										
例題8.3					●														●									
例題8.4	●																											
例題9.1	●																											
例題9.2					●													●										
例題10.1						●																						
例題11.1							●																					
例題12.1	●					●												●										
例題13.1	●																	●										
例題14.1	●																	●										
例題14.2	●																	●										
例題15.1	●																	●										
例題15.2	●																	●										
例題16.1	●																	●										
例題17.1	●																											
例題18.1	●																		●									
例題19.1	●																		●									
例題20.1	●																		●									
例題20.2	●								●										●									
例題21.1	●																		●									
例題21.2	●								●										●									
例題21.3	●																		●									
例題21.4	●																		●									
例題21.5																		●										
例題21.6																		●										
例題22.1	●																			●								
例題22.2	●																			●								
例題22.3	●	●																		●								
例題22.4	●	●																		●								
例題22.5	●																			●								
例題23.1																				●								
例題24.1																				●								
例題24.2																			●									
例題24.3	●																				●							
例題25.1	●																				●							
例題25.2	●																				●							
例題26.1	●																				●							
例題27.1	●																				●							
例題28.1	●																				●							

No.	乱流解析	拡散物質 / 結露	輻射	日射	圧縮性	変数テザーアクション	周期境界	多孔質体	ファン / 圧損モデル	伝熱パネル	ALE	不連続接合	重合格子	粒子追跡	自由表面	ズーミング	LES / VLES / DES	空力騒音	凝固融解	キヤビテーション	ジユール熱	温熱環境人体熱モデル	化学反応	CVD	ヒートパスビューア	混相流	形状最適化		
例題29.1																													
例題29.2						●														●	●								
例題30.1	●	●			●																●								
例題30.2	●	●			●															●	●								
例題31.1																					●								
例題31.2																	●												
例題32.1	●	●																				●							
例題33.1	●	●			●	●																●							
例題34.1																							●						
例題34.2	●	●			●	●																●							
例題35.1	●																												
例題36.1																												●	
例題37.1	●																●	●											
検証1	●																												
検証2	●																		●										
検証3	●					●																							
検証4	●																												
検証5																													
検証6	●																												
検証7																													
検証8	●																												
検証9																													
検証10	●																												
検証11	●																				●								
検証12	●																												
検証13	●	●				●																							
検証14	●																												
検証15						●																							
検証16	●					●																							
応用例1	●																												
応用例2	●																●												
応用例3	●																												
応用例4	●																												
応用例5	●																●	●											
応用例6																													
応用例7	●																●	●											
応用例8.1						●																							
応用例8.2						●																							

---

## UNICODE化について

本製品では、V12より、多言語対応を目的として、UNICODE化がなされております。その一環として、全てのファイル入出力をUTF-8にて行う形式に、動作仕様が変更されました。以下の点にご注意ください。

- V12では、V11のプログラムが output した全てのファイル群の入力に対応しております。
- V12のプログラムで output されたファイル群は、原則として、V11以前の製品では使用できません。
- 本書における「文字数」もしくは文字列の「バイト数」という記述は、UTF-8ではASCII文字（半角英数記号）は1文字=1バイト、それ以外は1文字=2～4バイトを意味しております。



---

# 第1部 機能例

---

# 機能1 亂流解析

---

---

## 機能説明

- 工学的な目的において乱流状態の流れを計算によって得るためには、ナビエ-ストークス方程式をそのまま使用するのではなく、レイノルズ平均と呼ばれるモデル化を施した方程式と各種の乱流モデルを併せて使用します。
- SCRYU/Tetra**では、標準k-εモデルを始めとする各種の乱流モデルを使用して、乱流状態の流れの様子を計算することができます。詳しくは、[ユーザーズガイド 基礎編 第2部 1.1 \(1\) 層流と乱流](#)を参照してください。

## 注意事項

- レイノルズ数が小さく、流れが層流状態であると想定される場合には、乱流モデルを使用する必要はありません。例えば円管内流れの場合、レイノルズ数が2,000以下であれば、乱流は発生しないと言われています。
- 乱流モデルには高レイノルズ数型と低レイノルズ数型があります。低レイノルズ数型では壁近傍領域の流れの再現性に重点が置かれます。この名称は流れ全体のレイノルズ数とは関係が無いので注意が必要です。
- 乱流現象の解析では、乱流モデルを使用する方法の他にラージエディシミュレーション(LES)を用いる方法などもあります。[機能26](#)を参照してください。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [乱流エネルギー(TURK)] : 乱流エネルギー
- [乱流消失率(TEPS)] : 乱流消失率
- [渦粘性係数(EVIS)] : 渦粘性係数
- [壁面からの無次元距離(YPLS)] :  $y^+$

### - 計算時メッセージ

- 壁からの無次元距離に関する情報が出力されます。詳しくは、[ユーザーズガイド リファレンス\(ソルバー\)編 3.1 \(5\) 壁からの無次元距離](#)を参照してください。

## 関連コマンド

- TBTY : 乱流モデルの選択
- WLTY : 壁関数の設定

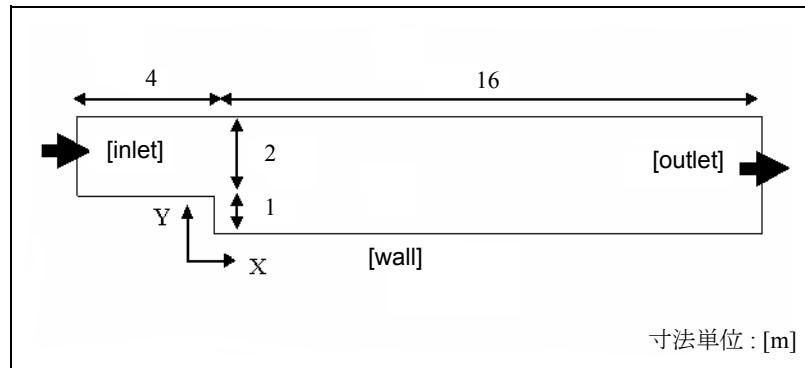
## 例題1.1 バックステップ流れ

バックステップ流れにおける再付着距離は乱流モデルによって差異が生じます。再付着距離は実験による測定が容易なことから、しばしば乱流モデルの評価に用いられています。この例題では、次の4種類の乱流モデルの違いを比較します。

1. 標準  $k-\varepsilon$  モデル
2. RNG  $k-\varepsilon$  モデル
3. MP  $k-\varepsilon$  モデル
4. Realizable  $k-\varepsilon$  モデル

これらは、壁での境界条件として対数則を用いることから、高レイノルズ数  $k-\varepsilon$  モデルと呼ばれるものです。

### 解析モデル



疑似2次元非圧縮性乱流

流体は左側から流入し、バックステップ(下がり段流路)を過ぎて右側の流出境界に向かって流れます。流れがバックステップを過ぎるとき、壁に沿って流れていた流体は壁に沿うことができなくなり壁から離れます(剥離と言います)。そのあと、一旦壁から離れた流体は、バックステップからしばらくの距離をおいて再び流路の下壁にあたり、壁に沿って流れるようになります(これを再付着と呼びます)。

奥行き方向に1要素のメッシュ(疑似2次元メッシュ)を作成し、疑似的な2次元解析を行います。本例題では、4つの乱流モデルを用いて、4ケースの解析を行います。メッシュのデータ(preファイル)は全てのケースで同じものを使います。

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 密度 1.0 [kg/m<sup>3</sup>]  
粘性係数  $2.1739 \times 10^{-5}$  [Pa•s]

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 1.0[m/s]
- 出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

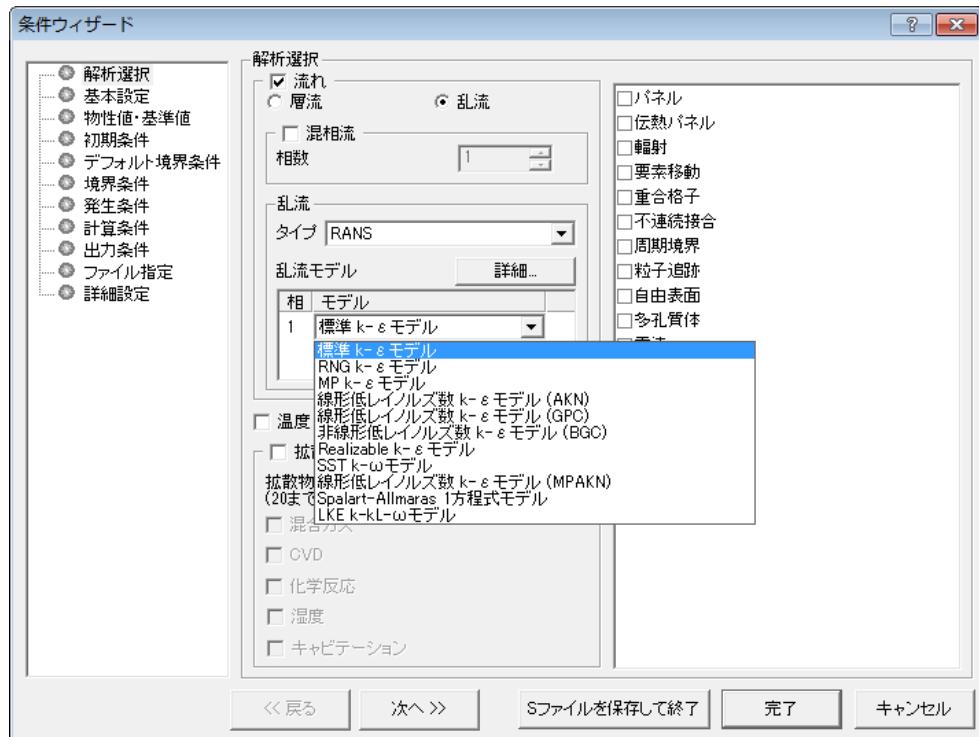
### - その他

- 乱流モデル  
標準  $k-\varepsilon$  モデル, RNG  $k-\varepsilon$  モデル, MP  $k-\varepsilon$  モデル, Realizable  $k-\varepsilon$  モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 700[サイクル]  
定常判定値 : 流速X成分  $10^{-5}$   
その他 デフォルト

## 特記事項

### - 乱流解析の設定方法

- 乱流解析を行うには、まず[条件ウィザード] - [解析選択]で[流れ]をONにして、[乱流]を選択します。[タイプ]は[RANS]とします。
- [乱流モデル]の[モデル]からプルダウンメニューよりなどのそれぞれのケースで用いる乱流モデル([標準 k-ε モデル]など)を選択します。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA01-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- 特記事項を参照してください。

#### 2. [基本設定]

- [終了サイクル]を[700]に設定します。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブで新規作成をクリックして、[物性値]ダイアログを開きます。以下の物性を設定後、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

[密度] : [1 kg/m<sup>3</sup>]

[粘性係数] : [2.1739e-5 Pa·s]

温度を解かないので[定圧比熱]と[熱伝導率]の指定は不要です。

- MAT[1]と作成した物性を選択して、適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]を[1 m/s]とします。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[wall]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。

#### 5. [計算条件]

- [定常判定]で、次の設定を行って登録をクリックします。

[方程式] : [U]

[判定値] : [1e-5]

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、選択した乱流モデルに応じて次のようにします。

標準 k-εモデル : exA01-1\_std

RNG k-εモデル : exA01-1\_RNG

MP k-εモデル : exA01-1\_MP

Realizable k-εモデル : exA01-1\_real

- 次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA01-1.pre]とします。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA01-1.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.03]	[1]	[3]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

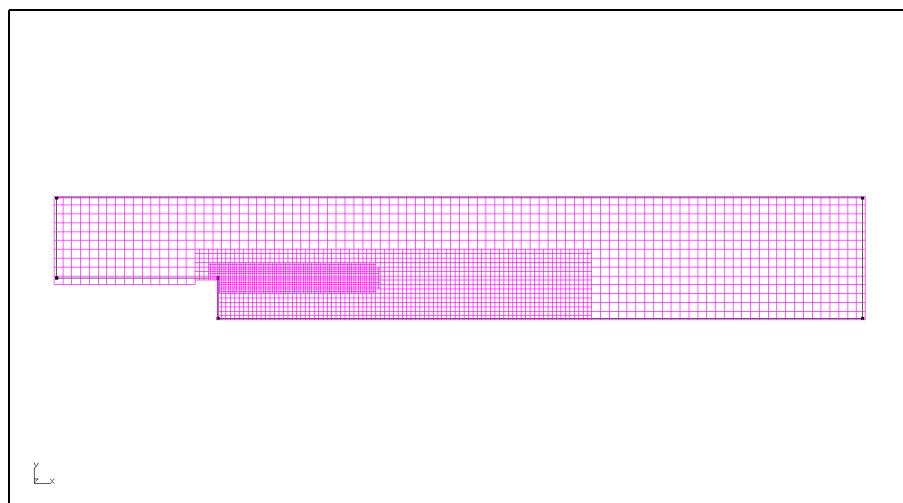
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
1ケースあたり約30秒
- 計算サイクル数  
1ケースあたり約400サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz )

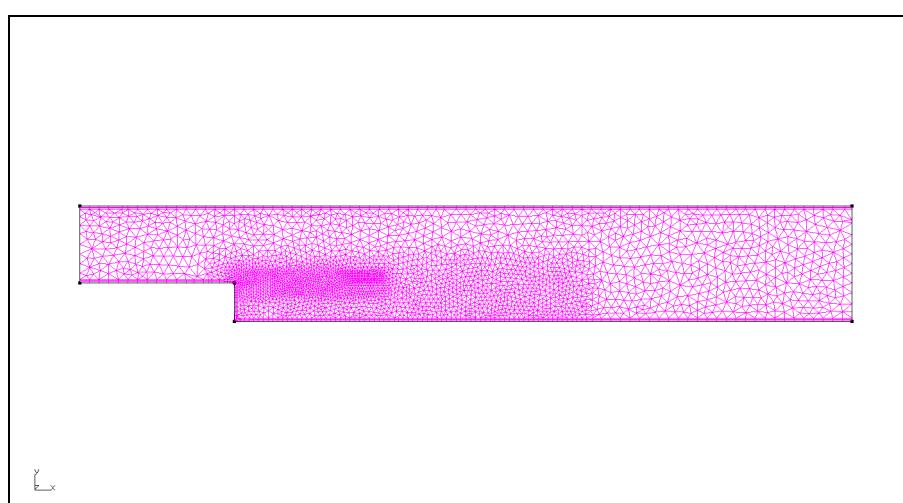
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.05[m]~0.20[m]

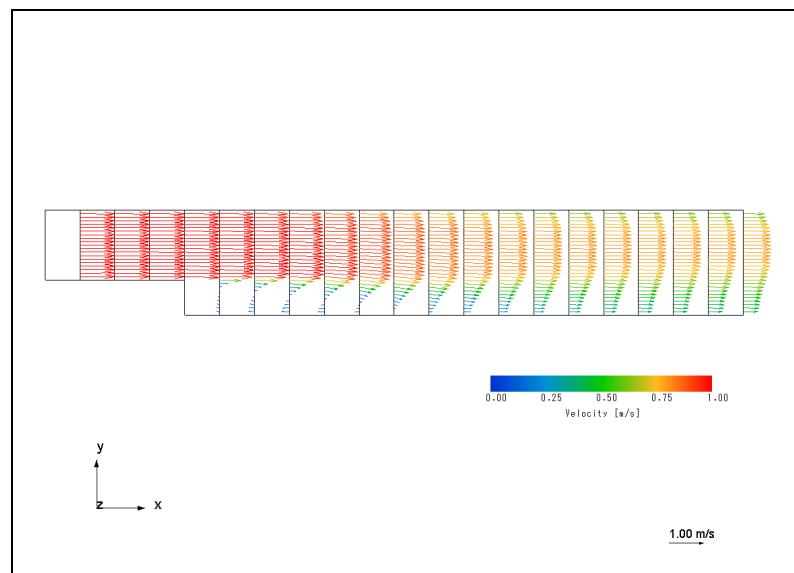
- メッシュ図



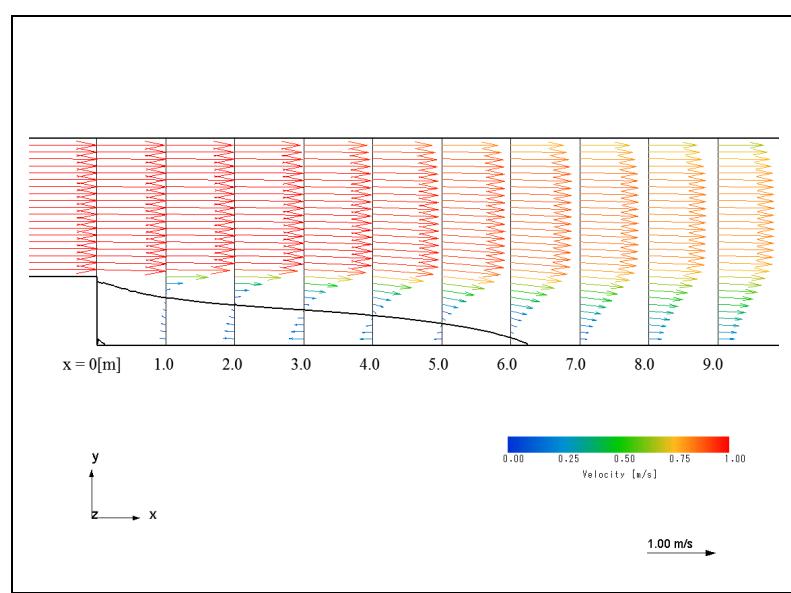
要素数 : 6,230

## 解析結果

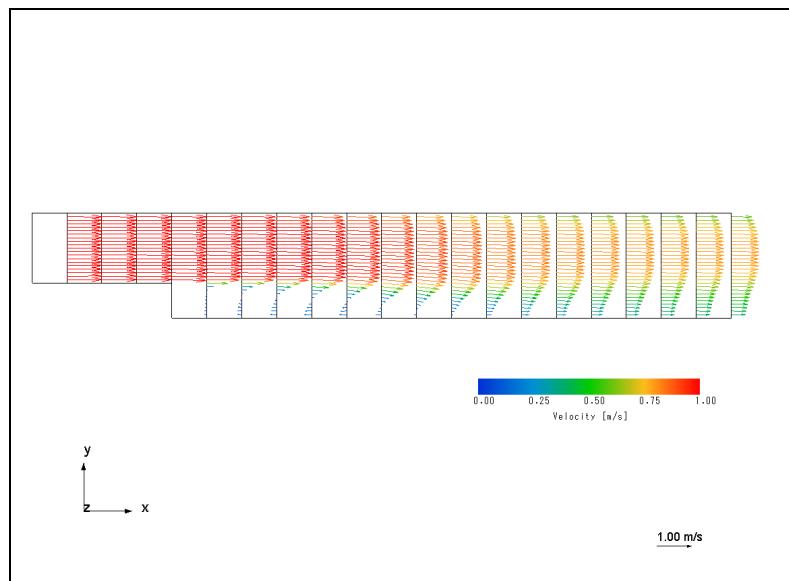
- 標準 k- $\epsilon$ モデル ベクトル図



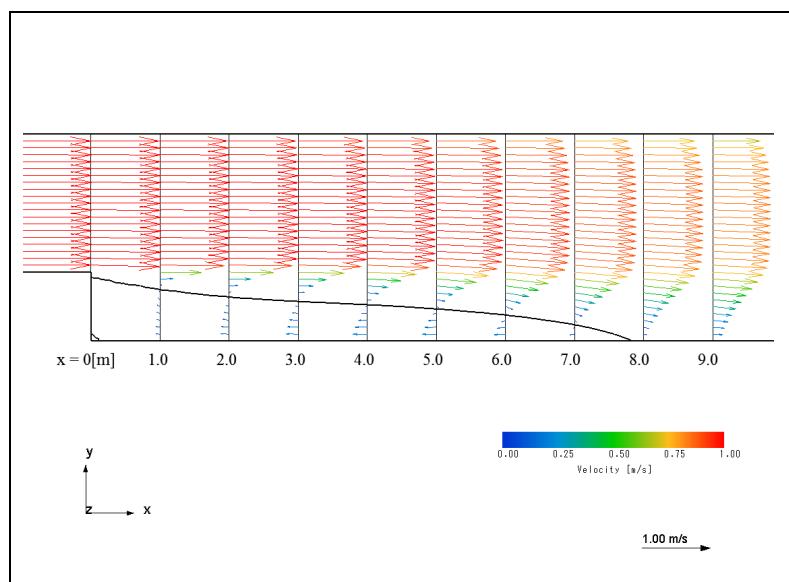
- 標準 k- $\epsilon$ モデル 再付着点付近のベクトルと  $u=0.0$ [m/s] のライン図



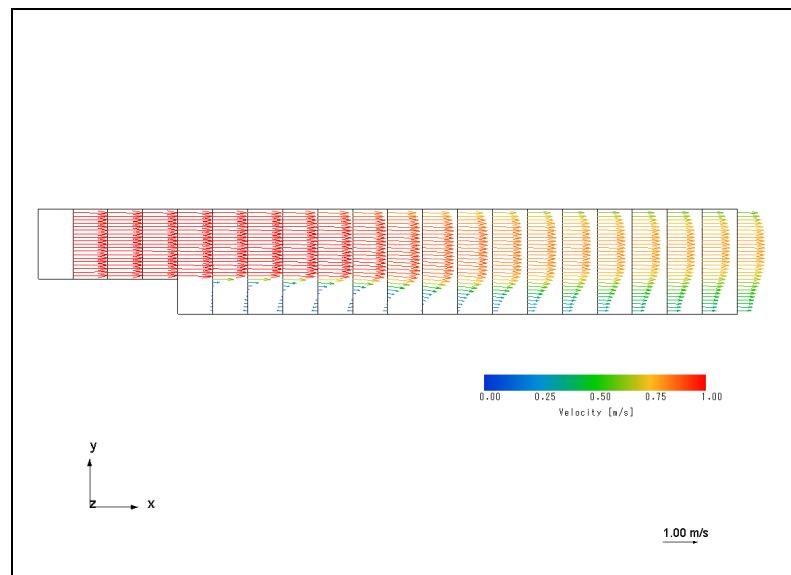
- RNG k- $\varepsilon$ モデル ベクトル図



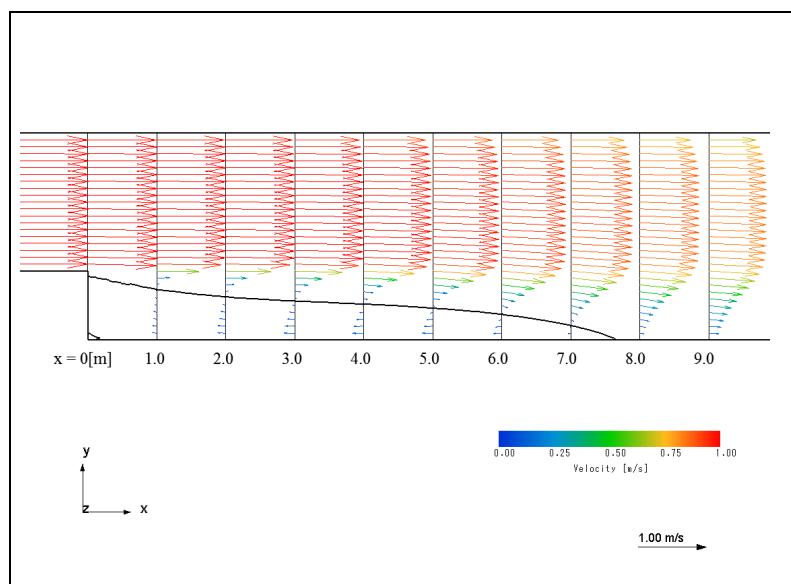
- RNG k- $\varepsilon$ モデル 再付着点付近のベクトルと  $u=0.0$  [m/s] のライン図



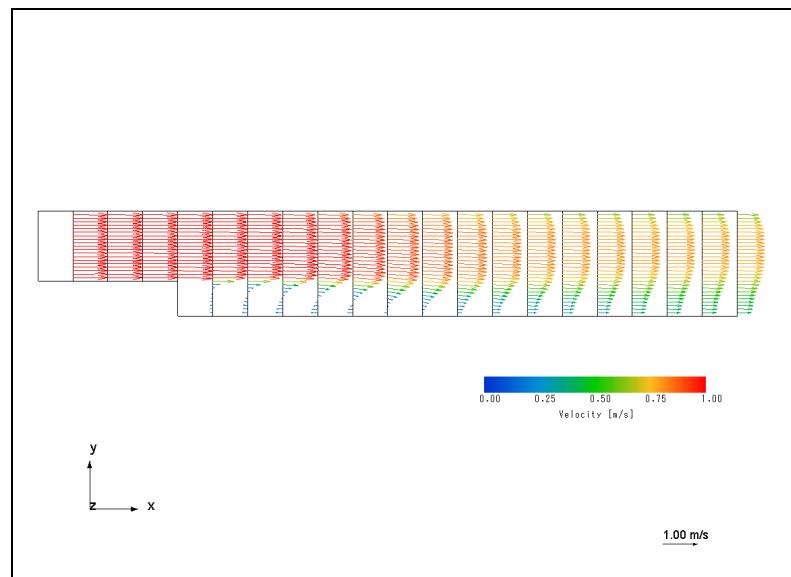
- MP k- $\epsilon$ モデル ベクトル図



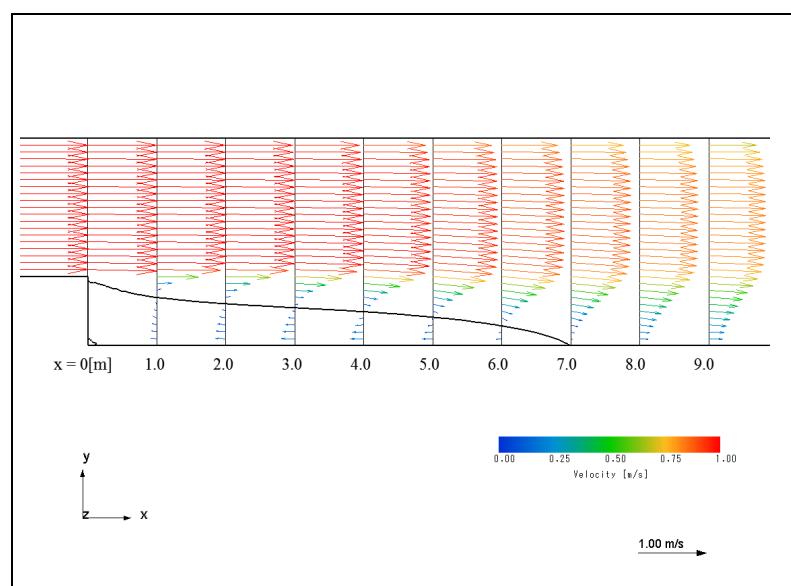
- MP k- $\epsilon$ モデル 再付着点付近のベクトルと  $u=0.0$  [m/s] のライン図



- Realizable k- $\epsilon$ モデル ベクトル図



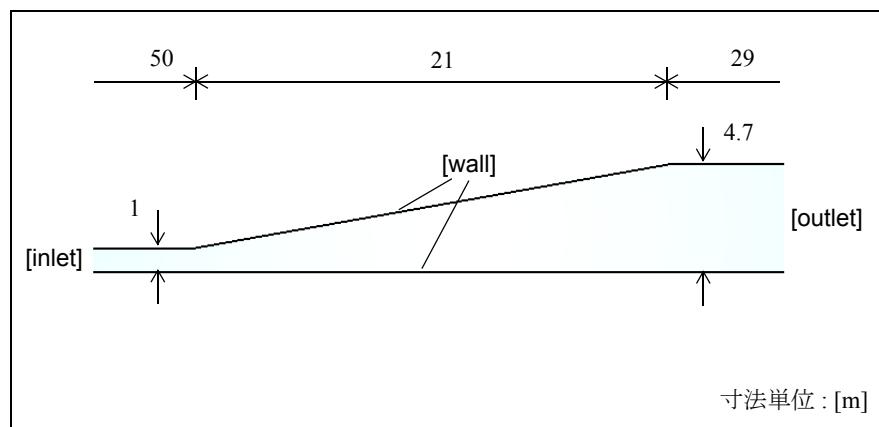
- Realizable k- $\epsilon$ モデル 再付着点付近のベクトルと  $u=0.0\text{[m/s]}$  のライン図



## 例題1.2 SST乱流モデルによる剥離のある流れ

SST(Shear-Stress Transport)モデルはk- $\varepsilon$ 方程式の代わりにk- $\omega$ 方程式を扱い、k- $\varepsilon$ モデルでは捉えることの難しい、逆圧力勾配下での剥離現象を精度良く解析できるという長所を持つ乱流モデルです。ここでは、ディフューザ内の流れを用いて逆圧力勾配を再現し、境界層が自然剥離・再付着する様子を解析します。

### 解析モデル



解析モデル及び条件は、Obiら[文献1]の実験に基づいています。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k- $\omega$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。

### 解析条件

#### - 物性値

- MAT=1 : 密度 :  $1.0[\text{kg}/\text{m}^3]$   
粘性係数 :  $5.0 \times 10^{-5}[\text{Pa}\cdot\text{s}]$

**- 境界条件**

- 流入口 [inlet] : 流速規定 1.0[m/s]  
流入k 0.01[m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]  
流入ε 0.01[m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁

**注意事項**

流入乱流量は従来通りkとεで与えます。 $\varepsilon = C_t k \omega$ ( $C_t = 0.09$ )の関係を用いてSCTsolver内でkとωに変換されます。

**- 初期条件**

- デフォルト(設定不要)

**- その他**

- 乱流モデル  
SST k-ωモデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
定常判定値 : 流速及び乱流量  $10^{-5}$   
その他 デフォルト

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA01-2.mdlを読み込みます。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA01-2.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[2e-003]	[1.2]	[10]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

### 注意事項

SSTモデルは低レイノルズ数型なので、壁面隣の境界層要素幅を $y^+$ が1のオーダーになる程度に設定します。

以上の設定後、一度メッシュを作成します。

ディフューザ拡大部流入部分において十分発達した乱流量を与えるために、助走区間として流入部流路50[m]をメッシュの掃引機能を用い作成します。

1. SCTpreで[選択] - [モデルモード]を選択し、モデルモードに変更します。
2. [選択] - [マウスピック(面)] - [マウスピック&スプレッド&移動]を選択し、X軸負方向の端面を選択します。名前の似た機能で[マウスピック&スプレッド]がありますが、[マウスピック&スプレッド]ではメッシュを編集することはできません。ここでは[マウスピック&スプレッド&移動]を用います。
3. [編集] - [選択面を掃引して要素を生成]を選択し、[MAT/体積領域の削除]ダイアログが開いたら、OKをクリックして次に進みます。ダイアログのnrmをクリックした上で、以下の設定で面を掃引してメッシュを作成します。

[全体の厚み]	:	[50 m]
[厚みの変化率]	:	[1.1]
[層数]	:	[50]

4. [選択] - [モデルモード]を選択し、モデルモードに変更します。
5. [選択] - [マウスピック(面)] - [マウスピック&スプレッド]を選択し、X軸負方向の端面を選択します。[編集] - [領域の登録(モデル)]から[モデルの閉空間・領域]ダイアログを開き、選択面を[inlet]として登録します。[選択] - [マウスピック(面)] - [マウスピック&スプレッド]を選択し、流入面、流出面を除くz軸に平行な面をすべて選択します。

[編集] - [領域の登録(モデル)]から[モデルの閉空間・領域]ダイアログを開き、選択面を改めて[wall]として登録します。[領域の登録]ダイアログが出てきたら、[既存の領域と置き換える]を選択します。

6. [ファイル] - [保存]から現在のメッシュをexA01-2.preとして保存します。  
[メッシュに登録してから保存しますか?]というダイアログが出たら、「はい」を押します。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

1. [解析選択]
  - [乱流モデル]で[SST k-ωモデル]を選択します。
2. [基本設定]
  - [終了サイクル]を[1000]に設定します。
3. [物性値・基準値]
  - [物性値]タブで新規作成をクリックして、[物性値]ダイアログを開きます。以下の物性を設定後、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
 

[密度]	:	[1 kg/m <sup>3</sup> ]
[粘性係数]	:	[5e-5 Pa·s]
  - MAT[1]と作成した物性を選択して、適用をクリックします。
4. [境界条件]
  - [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]を[1 m/s]を設定します。また、[流入乱流量]をONにして[K]と[ε]に[0.01]を設定します。
  - [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
  - [領域]から[wall]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。
5. [計算条件]
  - [定常判定]にて、[方程式]に[U]を選択し、[判定値]を[1e-5]として、登録をクリックします。同様に、[V], [K], [EPS]に[判定値]を[1e-5]として登録します。
6. [ファイル指定]
  - [デフォルト名]をONにして、[exA01-2]と入力します。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

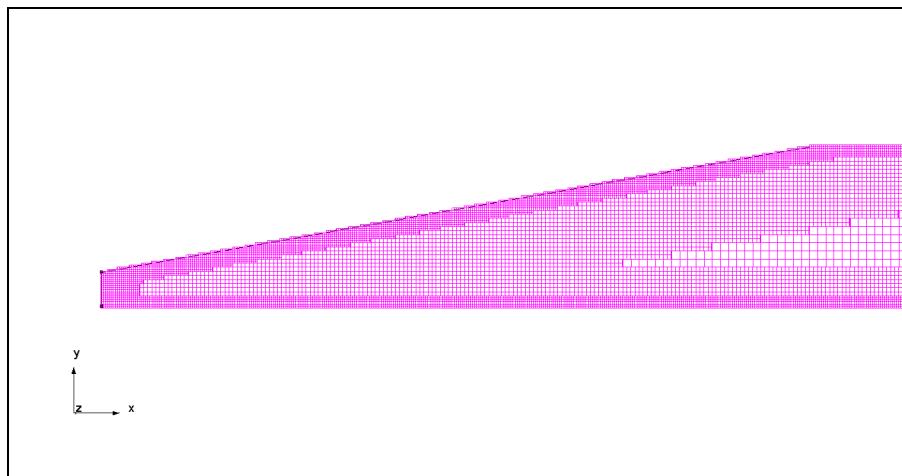
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約7分30秒
- 計算サイクル数  
約760サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

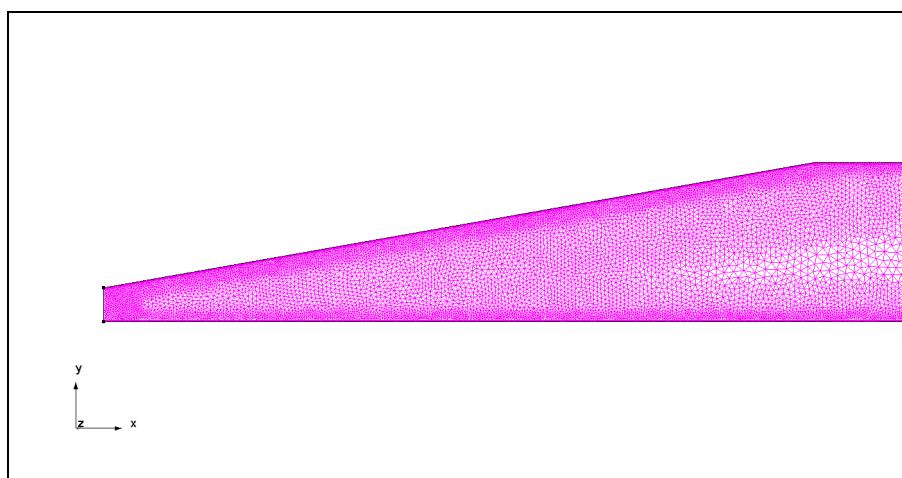
## 解析メッシュ

- ディフューザ部八分木図

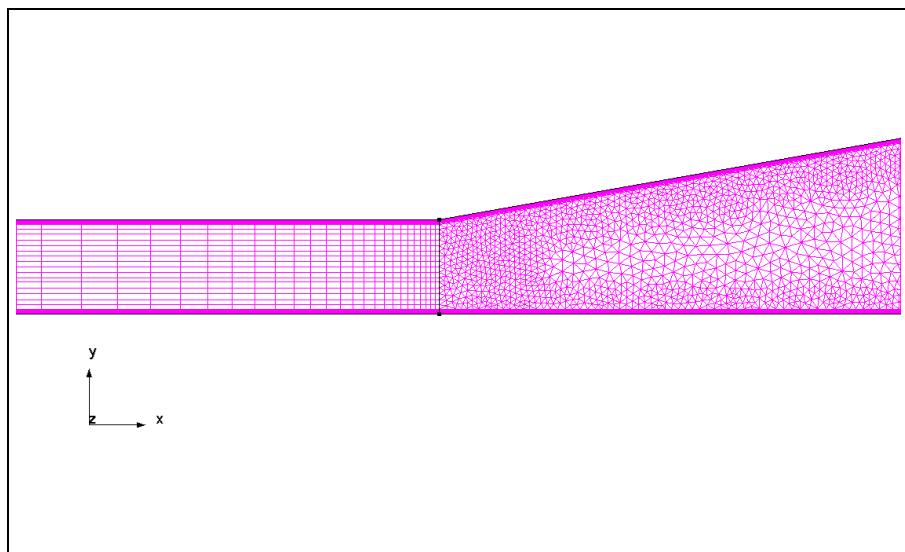


オクタントサイズ : 0.06[m]~0.24[m]

- ディフューザ部メッシュ図



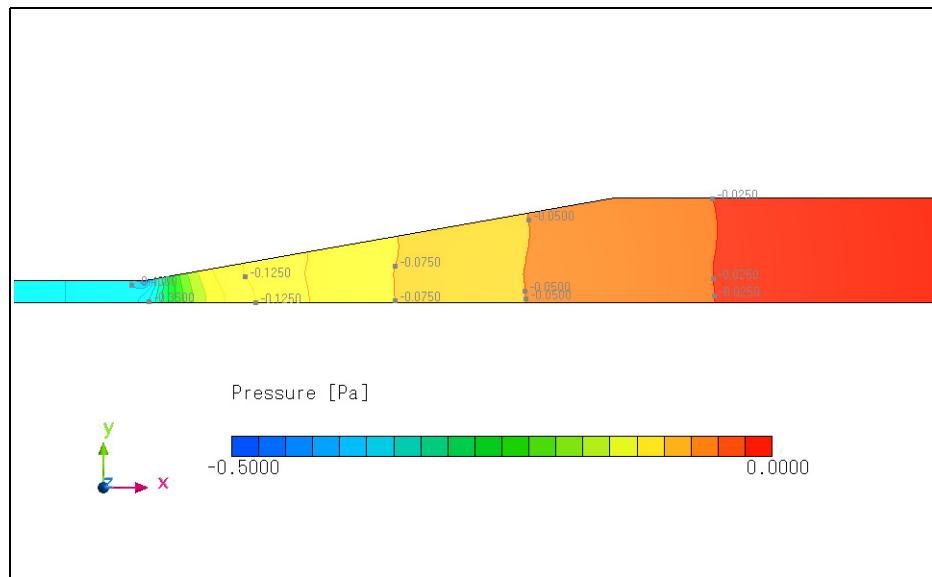
- 掃引部メッシュ図



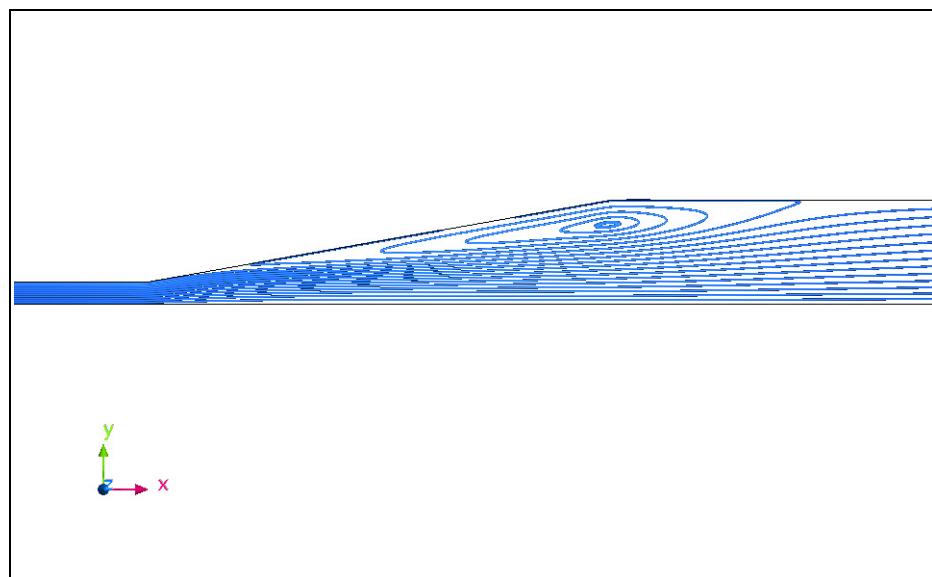
要素数 : 45,454

## 解析結果

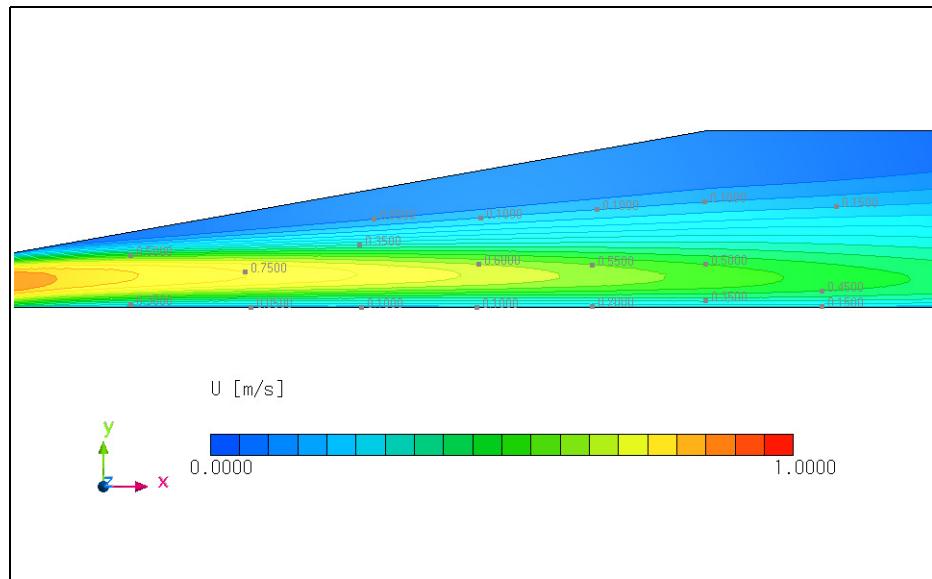
- 圧力コンター図



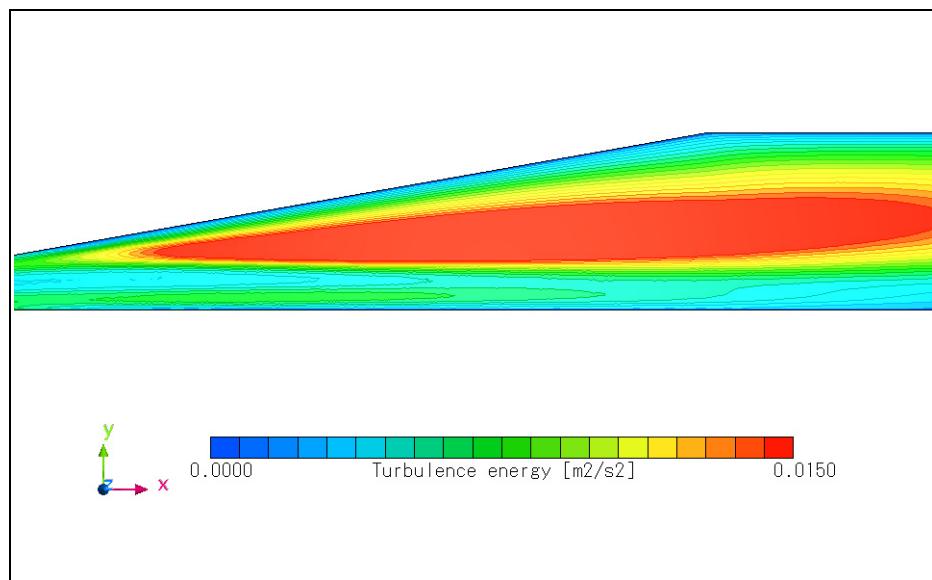
- 流線



- X方向速度Uコンター図



- 乱流エネルギーコンター図



## 参考文献

1. Obi, S. et al., Experimental and Computational Study of Turbulent Separating Flow in an Asymmetric Plane Diffuser, 9th Symposium on Turbulent Shear Flows, Kyoto, Japan, (1993).

---

## 機能2 拠散(単純な拠散物質)

---

---

## 機能説明

- 拡散とは、物質が濃度(質量分率)の高い方から低い方に移動し、最終的には混ざり合って均一になってゆく現象です。このように拡散するものを拡散物質と呼びます。
- 拡散の速さは拡散係数より決まります。乱流の場合は、乱流渦によってさらに拡散が促進されます。この乱流渦による拡散は、拡散係数でパラメタライズされる分子レベルの拡散に比べて拡散効果が非常に高いので、特にレイノルズ数が大きな乱流では拡散係数の大小による結果の差異は小さくなります。乱流解析の場合、乱流渦による拡散効果はSCTsolverで自動的に求められます。

## 注意事項

- 非圧縮性流体解析では、拡散物質濃度が主流に影響をあたえることはありません。
- 層流解析の場合に拡散係数を0とすると、拡散物質は流れに沿って移流します。
- 拡散機能は、以下の機能との併用はできません。

自由表面解析(改良MAC法<sup>\*</sup>), LES, 密度ベースソルバー,  
Mixing Plane

\* 自由表面(VOF法)は可

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [CN01 (CN01)] : 第1拡散物質濃度
- [CN02 (CN02)] : 第2拡散物質濃度
- : :

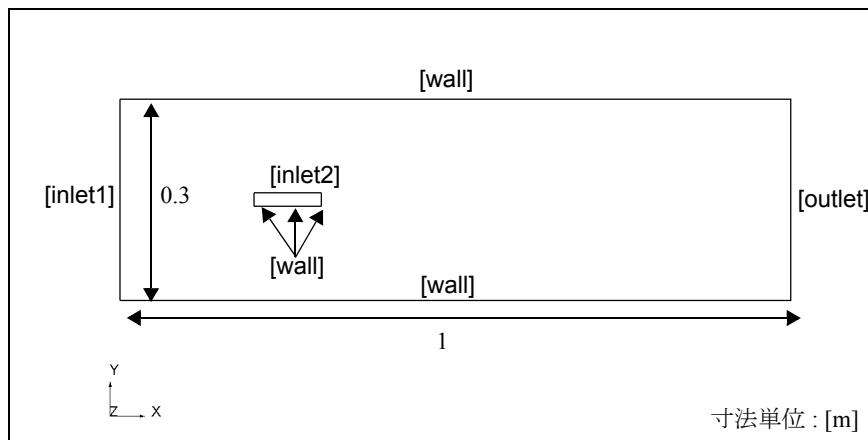
## 関連コマンド

- PROP : 拡散物質の物性値を指定

## 例題2.1 拡散

幅1[m]、高さ0.3[m]の矩形領域の左[inlet1]から右[outlet]に向かって、主流の澄んだ空気が流れています。中央の矩形の上面[inlet2]より汚染物質が発生しています。この例で、拡散物質解析の設定を説明します。

### 解析モデル



疑似2次元非圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式
- 拡散物質保存式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 拡散 : 汚染物質の分布を調べるため拡散解析を行います。
- 周期境界 : 周期境界を使用して、疑似2次元解析を行います。

### 解析条件

#### - 物性値

- MAT=1 : 空気( $20^{\circ}\text{C}$ )  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮 $20^{\circ}\text{C}$ )]を使用します。
- 拡散物質1 : 汚染物質  
拡散係数  $0.0001 \text{ [m}^2/\text{s]}$

### - 境界条件

• 流入口	[inlet1]	:	質量流量規定 流入拡散物質濃度	0.003[kg/s] 0.0[-]
	[inlet2]	:	質量流量規定 流入拡散物質濃度	0.0001[kg/s] 1.0[-]
• 流出口	[outlet]	:	表面圧力規定	0.0[Pa]
• 壁面	[wall]	:	静止壁	
• 周期境界面	[perb-a], [perb-b]	:	周期境界面のタイプ 平行移動	平面に投影可能 Z=0.02[m]

### その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 時系列データ  
(X, Y, Z)=(0.95, 0.15, 0.01)での拡散物質濃度

## 特記事項

### - 拡散解析を計算する場合の設定

- 拡散解析の設定は、[条件ウィザード] - [解析選択]にて、[拡散]をONにし、[拡散物質の数]を[1]に設定します。



### - 拡散物質の物性値の設定

- [条件ウィザード] - [拡散]の[拡散物質]タブで、拡散物質の物性値を設定します。  
[拡散係数]に[0.0001 m<sup>2</sup>/s]を入力して、適用をクリックします。



### - 流入濃度の設定

- ・ [条件ウィザード] - [境界条件]で流入条件を設定する際に、流入拡散物質の設定も行います。例えば、[inlet1]に対しては[流量規定]ダイアログにて、以下のように設定します。

[流入質量流量] : [0.003 kg/s]

[流入拡散物質濃度] : ON

[C1] : [0]



- ・ [inlet2]に対しても同様に流入濃度の設定を行いますが、詳細は[解析手順](#)をご参照ください。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA02-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [拡散], [周期境界]をONにします。[拡散]の設定については、**特記事項 拡散解析を計算する場合の設定**を参照してください。

#### 2. [拡散]

- **特記事項 拡散物質の物性値の設定**を参照してください。

#### 3. [境界条件]

- [領域]から[inlet1]を選択し、**流量規定**をクリックします。設定の詳細については、**特記事項 流入濃度の設定**を参照してください。
- [領域]から[inlet2]を選択し、**流量規定**をクリックします。[流量規定]ダイアログにて、以下のように設定します。

[流入質量流量] : [0.0001 kg/s]

[流入拡散物質濃度] : ON

[C1] : [1]

- [領域]から[outlet]を選択し、**表面圧力規定**をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]が[0 Pa]となっていることを確認し、OKをクリックします。
- [領域]から[wall]を選択し、**壁面**をクリックします。[壁面]ダイアログにて、**[フリースリップ壁]**をOFFにし、[壁面の速度]として**[静止壁]**が選択されていることを確認し、OKをクリックします。

#### 4. [周期境界]

- [周期境界条件]タブにて、下記の設定を行い、**登録**をクリックします。

[領域1] : [perb-a]

[領域2] : [perb-b]

[周期境界面のタイプ] : [平面に投影可能]

[平行移動(X,Y,Z)] : [(0, 0, 0.02) m]

#### 5. [出力条件]

- [時系列]で新規をクリックします。[時系列アイテム]ダイアログにて、以下のように設定し、OKをクリックします。

[変数リスト] : [拡散物質濃度(1)]

[(X, Y, Z)] : [(0.95, 0.15, 0.01) m]

[サイクル毎に対応する要素を求める直す] : OFF

- [指定サイクル毎に出力]をONにします。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA02-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA02-1.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.005]	[1.1]	[2]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定し、OKをクリックします。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

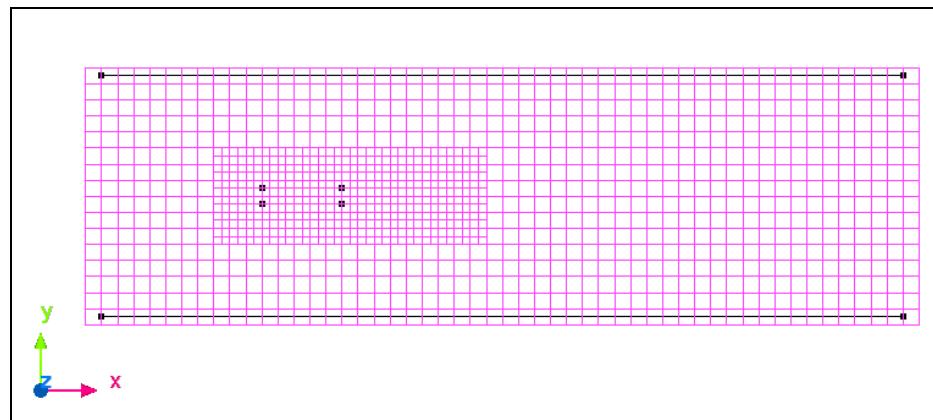
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約5秒
- 計算サイクル数  
約50サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

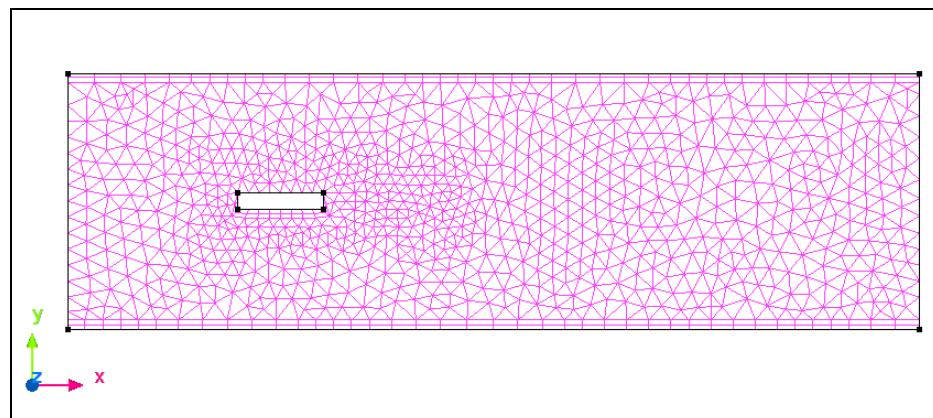
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.01[m]~0.02[m]

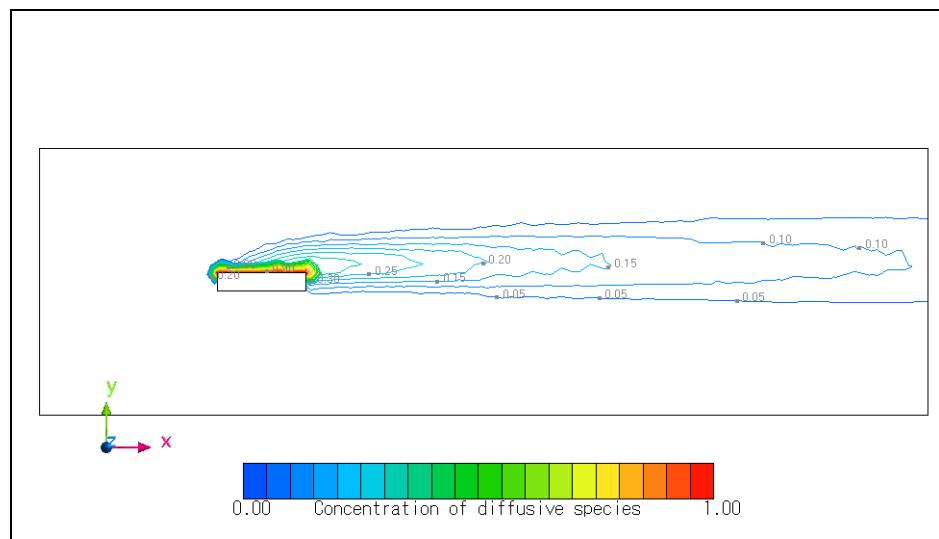
- メッシュ図



要素数 : 1,866

## 解析結果

- SCTpostの設定  
拡散物質の濃度コンター図は、カット面の[コンター]タブにて、[変数]に[CN01 (CN01)]を選択することで表示しています。
- 拡散物質の濃度コンター図



---

## 機能3 拡散(混合ガス)

---

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**では、多成分混合ガスの流体解析を行うことができます。流速、圧力、温度に加えて、混合ガスを構成する物質の質量分率やモル分率を求めることができます。
- 混合ガスの拡散係数には、Chapman-Enskog理論またはFullerの式を用います。これらのモデルの詳細については、**ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 SDIFコマンド**を参照してください。

## 注意事項

- 拡散(混合ガス)機能は、以下の機能と併用できません。

自由表面, LES, 凝固融解解析, 密度ベースソルバー

- 混合ガス解析では領域内の初期ガス濃度を指定する必要があります。**ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 INITコマンド**を参照してください。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [拡散物質1 (CN01)] : 第1拡散物質濃度
- [拡散物質2 (CN02)] : 第2拡散物質濃度
- ⋮
- [第1拡散物質のモル分率 (ML01)] : 第1拡散物質モル分率
- [第2拡散物質のモル分率 (ML02)] : 第2拡散物質モル分率
- ⋮

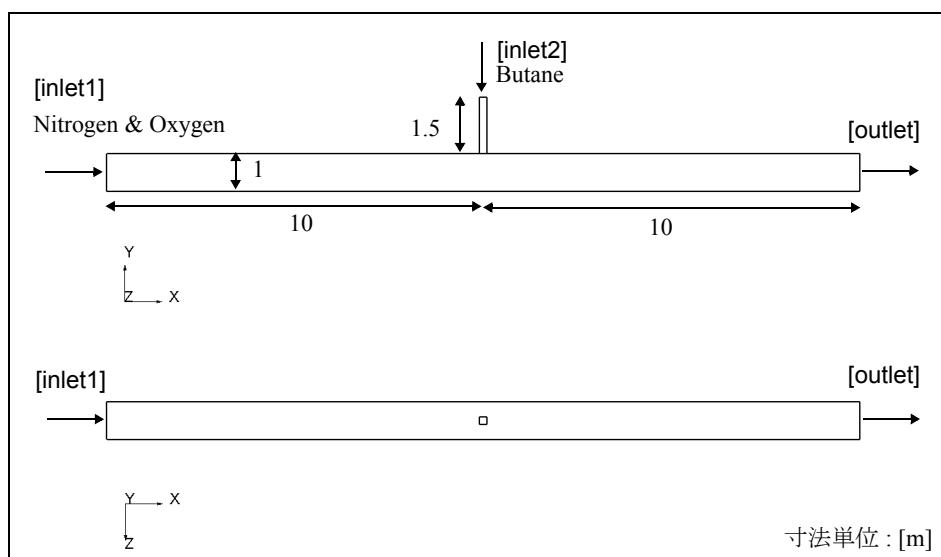
## 関連コマンド

- CNRM : 質量分率の規格化
- DFCR : 各拡散物質の拡散速度に質量分率をかけたものの総和をゼロにする。
- SDIF : 多成分混合ガスの拡散係数の指定

## 例題3.1 3成分混合ガス拡散

一方の流入口から窒素(nitrogen)と酸素(oxygen)を流入させ、もう一方の流入口から、ブタン(butane)を流入させます。

### 解析モデル



3次元圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k-\varepsilon$ 方程式
- 拡散物質保存式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 拡散(混合ガス) : 3成分の混合ガスについて拡散解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

• MAT=1 :	圧縮性流体	混合ガス
	普遍ガス定数	8.31451 [J/(mol•K)]
物性値ライブラリより[流体(混合ガス・圧縮性)] - [混合ガス]を使用します。		
• 拡散物質1 :	n-ブタン	
	標準生成熱	0 [J/kg]
	モル質量	0.058 [kg/mol]
	粘性係数	$7.52 \times 10^{-6}$ [Pa•s]
	定圧比熱	1,712 [J/(kg•K)]
	熱伝導率	0.0163 [W/(m•K)]
	SIGM	4.687 [\AA]
	TKOE	531.4 [K]
	DELT	0 [-]
• 拡散物質2 :	酸素	
	標準生成熱	0 [J/kg]
	モル質量	0.032 [kg/mol]
	粘性係数	$2.057 \times 10^{-5}$ [Pa•s]
	定圧比熱	919 [J/(kg•K)]
	熱伝導率	0.0266 [W/(m•K)]
	SIGM	3.467 [\AA]
	TKOE	106.7 [K]
	DELT	0 [-]
• 拡散物質3 :	窒素	
	標準生成熱	0 [J/kg]
	モル質量	0.028 [kg/mol]
	粘性係数	$1.777 \times 10^{-5}$ [Pa•s]
	定圧比熱	1,040 [J/(kg•K)]
	熱伝導率	0.0258 [W/(m•K)]
	SIGM	3.798 [\AA]
	TKOE	71.4 [K]
	DELT	0 [-]

(メモ) SIGM, TKOE, DELTは、拡散係数を求めるために使用します。

SIGM : Lennard-Jonesポテンシャルの特性長さ

TKOE : Lennard-Jonesポテンシャルの特性エネルギー/ボルツマン定数

DELT : 分子極性を表す無次元定数

粘性係数、熱伝導率、定圧比熱は、101,325 [Pa]、25[°C]の値です。

これらの値は[\[文献1\]](#)を参照しています。

Lennard-Jonesポテンシャルの定数は、[\[文献2\]](#)を参照しています。

### - 基準値

- 基準圧力(MAT=1) : 101,325[Pa]
- 基準密度(MAT=1) : 0[kg/m<sup>3</sup>]

### - 境界条件

• 流入口 [inlet1]	:	流量規定	平均流速	1 [m/s]
		流入温度		25 [°C]
		流入拡散物質濃度		
		C1		0 [-]
		C2		0.2 [-]
		C3		0.8 [-]
[inlet2]	:	流量規定	平均流速	1 [m/s]
		流入温度		25 [°C]
		流入拡散物質濃度		
		C1		1 [-]
		C2		0 [-]
		C3		0 [-]
• 流出口 [outlet]	:	表面圧力規定		0 [Pa]
• 壁面 [wall]	:	静止壁, 断熱		

(メモ) 圧力は基準値からの差です。拡散物質濃度の種類は質量分率です。

### 初期条件

• 温度(MAT=1)	:	25 [°C]
• 拡散物質濃度1(MAT=1)	:	0 [-]
• 拡散物質濃度2(MAT=1)	:	0 [-]
• 拡散物質濃度3(MAT=1)	:	1 [-]

### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : 拡散物質  $10^{-5}$   
                  温度 収束判定なし  
                  その他 デフォルト
- 拡散物質に関する補正  
全ての拡散物質の質量流束を補正します。
- 出力条件  
バタンの質量分率の質量流量平均値 : [inlet1], [inlet2], [outlet]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 最終サイクルの結果を出力  
変数 : 拡散物質の質量分率とモル分率

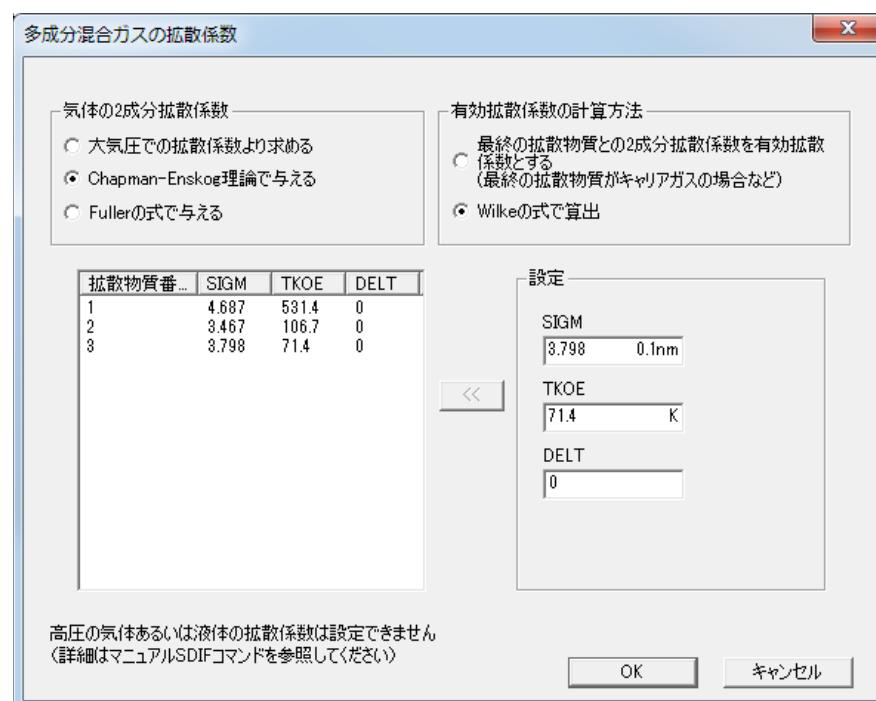
## 特記事項

### - 混合ガスを計算するための条件設定方法

- ・ [条件ウィザード] - [解析選択]で[拡散]をONにして、[拡散物質の数]を[3]として、[混合ガス]をONにします。

### - 多成分混合ガスの設定方法

- ・ [条件ウィザード] - [拡散]の[拡散物質]タブにて、混合ガスを構成する各拡散物質の物性を設定します。
- ・ [多成分混合ガスの拡散係数]で[多成分混合ガスの拡散係数を使用]をONにして、設定をクリックします。表示されたダイアログにて、多成分混合ガスの拡散係数を設定します。[気体の2成分拡散係数]に[Chapman-Enskog理論で与える]を選択します。拡散物質番号に対して、[SIGM], [TKOE], [DELT]を次のように設定して、OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- [条件ウィザード] - [拡散]の[拡散物質]タブにて、各拡散物質番号に対して次のように物性を設定します。

拡散物質番号 No.1

[モル質量] : [0.058 kg/mol]  
[粘性係数] : [7.52e-6 Pa•s]  
[定圧比熱] : [1712 J/(kg•K)]  
[熱伝導率] : [0.0163 W/(m•K)]

拡散物質番号 No.2

[モル質量] : [0.032 kg/mol]  
[粘性係数] : [2.057e-5 Pa•s]  
[定圧比熱] : [919 J/(kg•K)]  
[熱伝導率] : [0.0266 W/(m•K)]

拡散物質番号 No.3

[モル質量] : [0.028 kg/mol]  
[粘性係数] : [1.777e-5 Pa•s]  
[定圧比熱] : [1040 J/(kg•K)]  
[熱伝導率] : [0.0258 W/(m•K)]

- 拡散物質の補正を行うため、**拡散物質の補正**をクリックします。[拡散物質に関する補正]ダイアログの[質量流束]で、[SW=2 すべての拡散物質の質量流束を補正する]を選択し、<< をクリックします。OKをクリックし、ダイアログを閉じます。

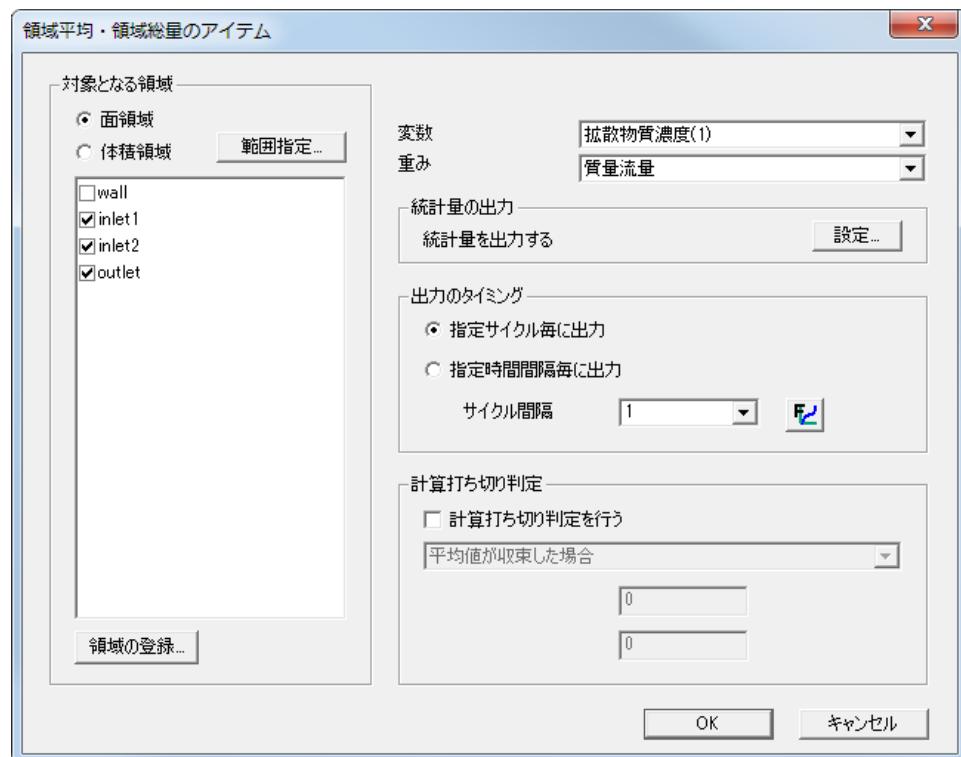
### - 流入流出面でのブタン濃度のLファイル出力方法

- [条件ウィザード] - [出力条件]の[領域平均・総量]で新規をクリックします。[領域平均・領域総量のアイテム]ダイアログで、以下のように設定し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

[対象となる領域] : [inlet1], [inlet2], [outlet]をON

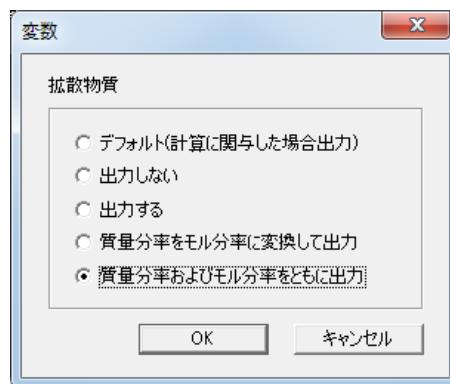
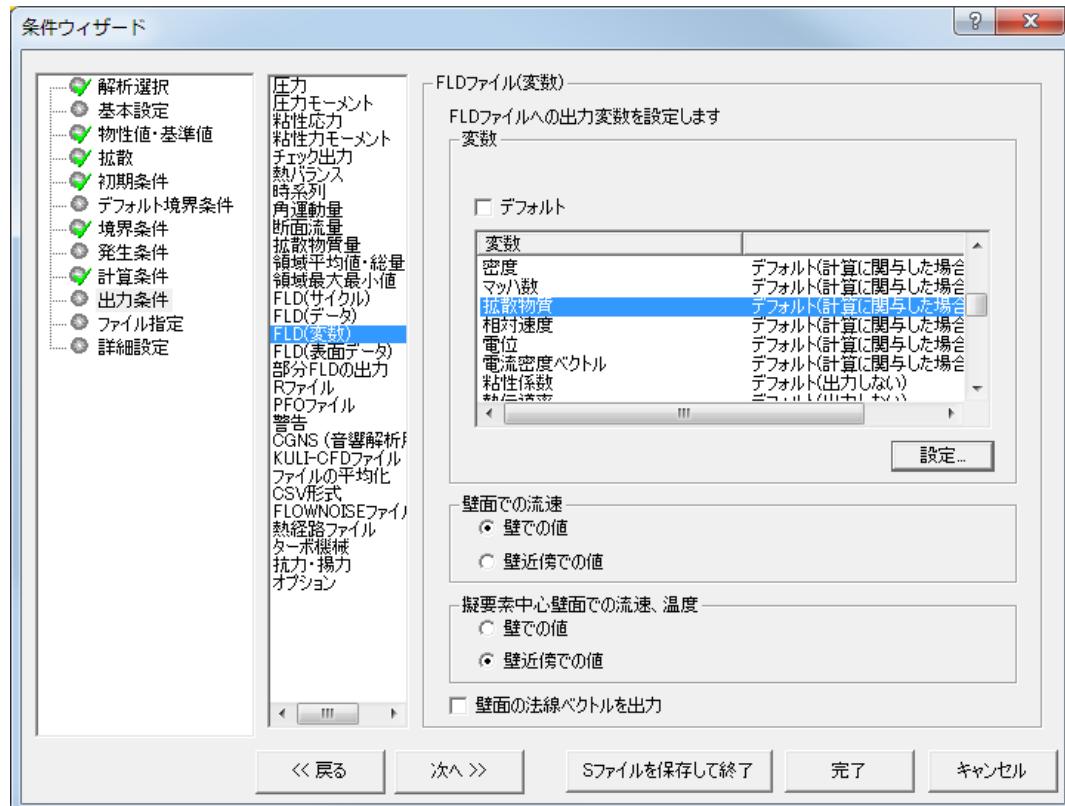
[変数] : [拡散物質濃度(1)]

[重み] : [質量流量]



### - 拡散物質のモル分率の図化ファイル出力方法

- [条件ウィザード] - [出力条件]の[FLD(変数)]で[デフォルト]をOFFにします。変数の中から、[拡散物質]を選択し、設定をクリックします。表示された[変数]ダイアログで、[質量分率およびモル分率をともに出力]を選択し、OKをクリックし、ダイアログを閉じます。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA03-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [温度]、[拡散]をONにします。[拡散]の設定については、特記事項 混合ガスを計算するための条件設定方法を参照してください。

#### 2. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。  
物性値ライブラリから、[流体(混合ガス・圧縮性)] - [混合ガス]を選択し、適用をクリックします。

#### 3. [拡散]

- ・ 特記事項 多成分混合ガスの設定方法を参照してください。

#### 4. [初期条件]

- ・ 新規をクリックして、[初期値]ダイアログを開きます。[変数]を[温度]として、[値]を[25°C]とします。[対象]は[MAT番号]を[1]として、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- ・ 同様にして、新規をクリックして、各拡散物質の初期濃度を指定します。[変数]が[拡散物質濃度(1)]については[値]を[0]、[拡散物質濃度(2)]は[0]、[拡散物質濃度(3)]は[1]をそれぞれ設定します。なお、いずれも[対象]は[MAT番号]を[1]とします。

#### 5. [境界条件]

- ・ [領域]から[inlet1]を選択し、流量規定をクリックします。[流量規定]ダイアログにて、[境界面に垂直な平均流速を指定]を選択し、以下のように設定します。

[流入平均流速]	:	[1 m/s]
[流入温度]	:	ON
[温度指定 T]	:	[25 °C]
[流入拡散物質濃度]	:	ON
[C1]	:	[0]
[C2]	:	[0.2]
[C3]	:	[0.8]

- ・ [領域]から[inlet2]を選択し、流量規定をクリックします。[流量規定]ダイアログにて、[境界面に垂直な平均流速を指定]を選択し、以下のように設定します。

[流入平均流速]	:	[1 m/s]
[流入温度]	:	ON
[温度指定 T]	:	[25 °C]
[流入拡散物質濃度]	:	ON
[C1]	:	[1]
[C2]	:	[0]
[C3]	:	[0]

- ・ [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[圧力指定]に[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。

- ・ [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[フリースリップ壁]をOFFにし、[静止壁]が選択されていることを確認し、OKをクリックします。

#### 6. [計算条件]

- [定常判定]にて、[方程式]を[T]として[行わない]を選択して、登録をクリックします。次に、[方程式]を[CN01]として、[平均変動値で判定]を選択します。[サイクル間隔]と[判定値]をそれぞれ[1]と[1e-5]として、登録をクリックします。続けて、[CN02]と[CN03]についても登録をクリックして、[CN01]と同じ設定を登録します。

#### 7. [出力条件]

- [領域平均値・総量]で拡散物質濃度(1)の平均値と総量の出力設定を行います。詳細は、**特記事項 流入流出面でのブタン濃度のLファイル出力方法**を参照してください。
- [FLD(変数)]で図化ファイルの出力設定を行います。詳細は、**特記事項 拡散物質のモル分率の図化ファイル出力方法**を参照してください。

#### 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA03-1]と入力します。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA03-1.oct を読み込みます。

#### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.02]	[1.1]	[2]

#### - 解析実行

SCTsolver で解析を実行します。

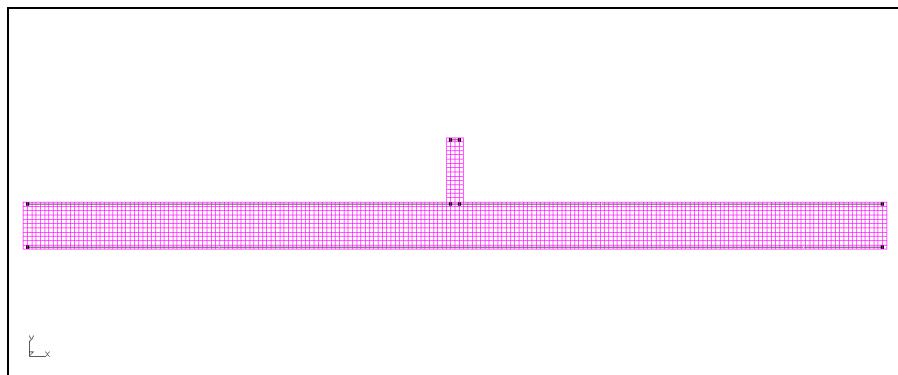
#### - 計算コストの目安

- SCTsolver の実行時間  
約14分
- 計算サイクル数  
約175サイクル

\* 2core 使用時( Intel Xeon X5680 3.33GHz)

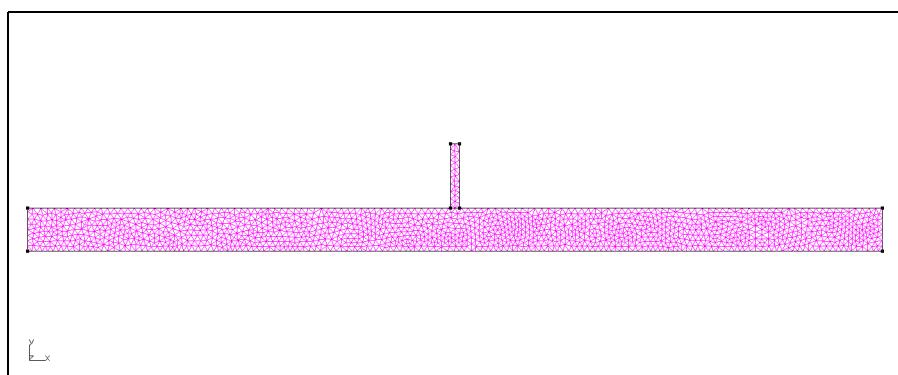
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.1[m]

- メッシュ図



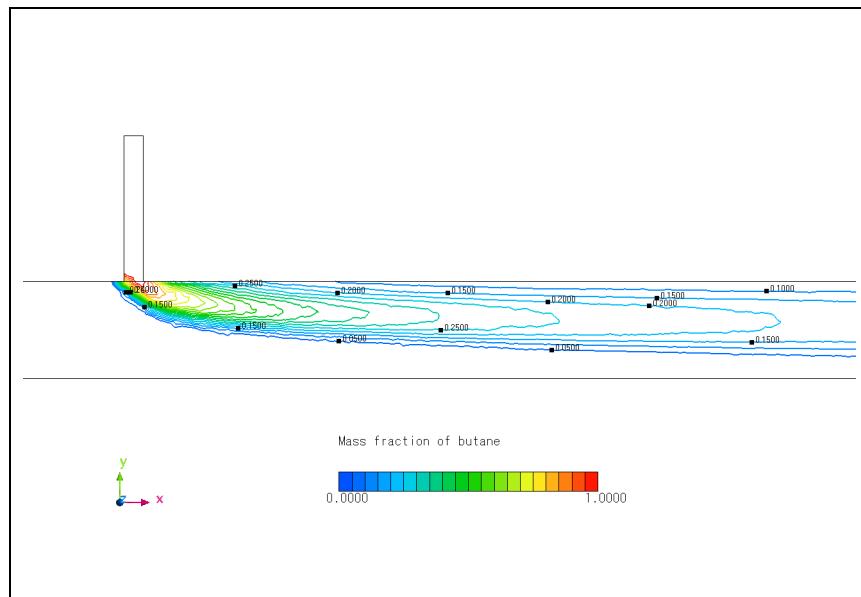
要素数 : 175,621

## 解析結果

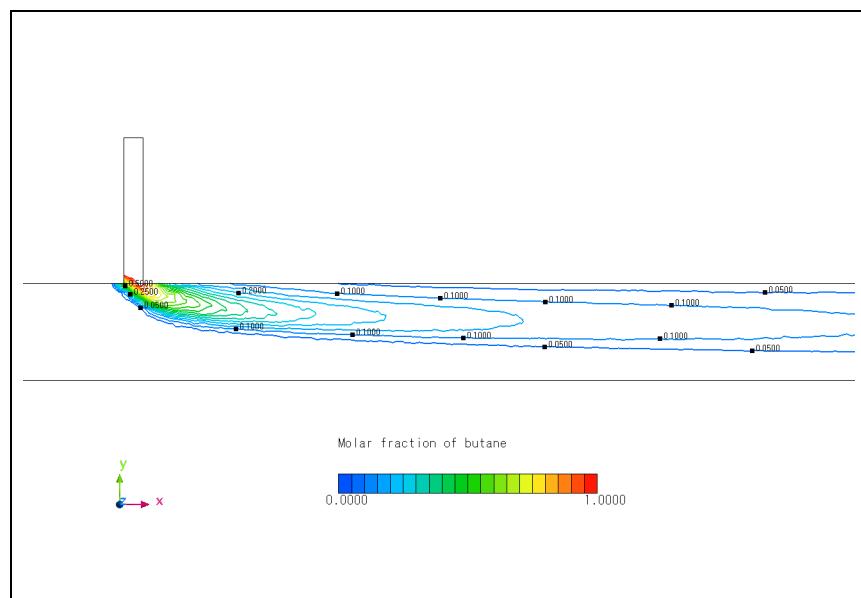
- SCTpostの設定

ブタンの質量分率は、[カット面]オブジェクトの[コンター]タブにて、[変数]を[拡散物質1 (CN01)]とすることで、表示できます。ブタンのモル分率は、[変数]を[第1拡散物質のモル分率 (ML01)]とすることで表示できます。

- ブタンの質量分率コンター



- ブタンのモル分率コンター



- 流入、流出面でのブタンの濃度(Lファイル出力)

```
== FIELD VALUE OUTPUT ==
CYCL= 176
-CN01-
[REGN-NAME]      [VOL(AREA)]      [TOTAL]      [AVR]      (WEIGHT: MASS FLOW RATE)
inlet1          1.00000     0.000000     0.000000
inlet2          0.040000    0.0948275    1.00000
outlet          1.00000    -0.0948098    0.0747334
( SUM )         2.04000   1.77615e-005   0.0747402
```

1行目のCYCLの右の数値はサイクル数で、ここでは176サイクル目を示しています。

2行目のCN01は、1番目の拡散物質の質量分率を意味します。

3行目の(WEIGHT: MASS FLOW RATE)は、平均を計算するときの重みが質量流量であることを意味します。

4行目は[inlet1]の情報です。左から、面積、総量、平均値を示しています。

5行目は[inlet2]、6行目は[outlet]の情報です。

7行目はすべての領域([inlet1], [inlet2], [outlet])に対する情報です。

## 参考文献

- 流体の熱物性値集、(社)日本機会学会、丸善、pp.8-29、(1983)
- R.C.Reid, J.M. Praunitz and B. E. Poling, The properties of Gases and Liquids, Fourth Edition, McGraw-Hill, pp.733-734, (1987)

---

## 機能4 拡散(湿度)

---

---

## 機能説明

- 私たちの身の回りの空気中には水蒸気が含まれています。SCRYU/Tetraでは、これらを湿度として解析することができます。
- 湿度解析では、固体表面で発生する結露や蒸発も取り扱うことができます。

## 注意事項

- 湿度解析は、以下の機能との併用はできません。

自由表面, LES, 凝固融解, 分散混相流, 密度ベースソルバー

- 湿度解析では、空气中で蒸気が凝縮して液滴になる様子をシミュレーションすることはできません。
- 湿度解析における潜熱は常に一定としてモデル化しています。
- SCRYU/Tetraでは、相対湿度は0~1で表します。結露解析や霜取り解析の詳細については、[ユーザーズガイド 基礎編 第2部 2.4.1 結露解析・霜取り解析](#)をご参照ください。
- 拡散係数, 热伝導率に温度依存がある場合に、拡散係数のみ温度依存とし、変化させると、ルイス数の見積もりが不正確となります。このような場合には、直接、ルイス数を入力することをおすすめします。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [CN01(CN01)] : 第1拡散物質濃度
- [CN02(CN02)] : 第2拡散物質濃度
- :
- [相対湿度(RHUM)] : 相対湿度
- [絶対湿度(AHUM)] : 絶対湿度
- [結露速度(HUMC)] : 結露速度
- [結露量(HUMA)] : 結露量

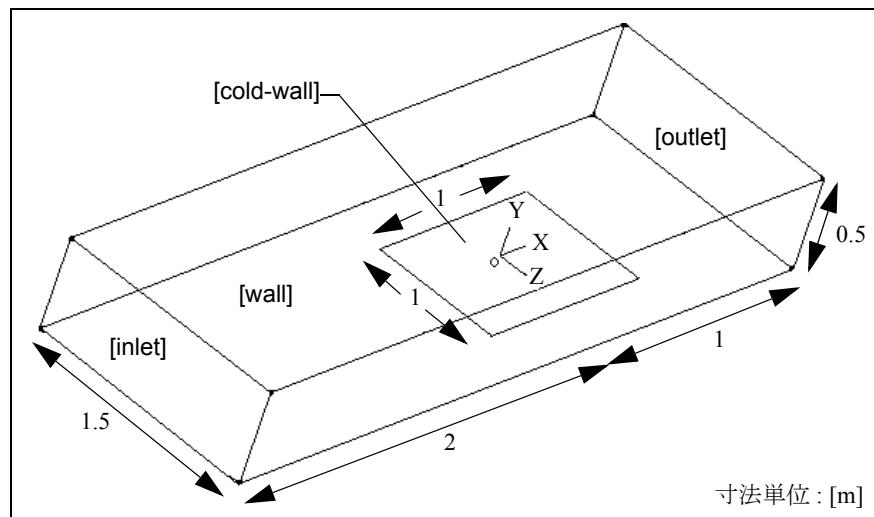
## 関連コマンド

- HUFX : FLUX条件で指定する湿度の種類
- HUGP : 図化ファイルに出力する湿度の種類
- HUIN : 湿度の初期条件
- HULE : 湿度解析のルイス数を指定
- HULH : 潜熱を考慮する
- HULP : 結露解析におけるイタレーション回数
- HUMD : 結露解析の一般設定
- HURM : 蒸気の分子量を設定
- HUST : 結露解析の安定化
- HUVF : 結露解析の蒸気圧を設定
- HUWL : 結露解析を行う面領域の指定および初期結露量を指定

## 例題4.1 結露

暖かい湿った空気が冷たい壁に接すると、結露が起こります(CASE1)。  
 しかし、壁の温度を上げると、一旦壁についた水は蒸発し始めます(CASE2)。  
 本例題では、CASE1の結露やCASE2の蒸発を考慮した解析を行います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

CASE1は、結露の例です。入り口から、温度20[°C]、相対湿度70%の空気を入れます。領域[cold-wall]を-30[°C]に保ち、結露させます。

CASE2では結露に加え、蒸発も考慮します。CASE2では、CASE1の流れ場を用いるので、改めて流れ場を解きなおすことはしません。時間とともに領域[cold-wall]の壁温を-30[°C]から40[°C]まで上昇させていきます。

## 解くべき方程式

### CASE1

- ・ 運動量保存式
- ・ 質量保存式(圧力補正式)
- ・ エネルギー保存式
- ・  $k-\epsilon$ 方程式
- ・ 拡散物質保存式

### CASE2

- ・ エネルギー保存式
- ・ 拡散物質保存式

## 解析選択

### CASE1

- ・ 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- ・ 温度 : 温度の解析を行います。
- ・ 拡散(湿度) : 水蒸気の結露を考慮した解析を行います。

### CASE2

- ・ 温度 : 温度の解析を行います。
- ・ 拡散(湿度) : 水蒸気の結露, 蒸発を考慮した解析を行います。

### 注意事項

CASE2では、[流れ]をOFFにします。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)
  - 密度 : 1.206 [kg/m<sup>3</sup>]
  - 粘性係数 :  $1.83 \times 10^{-5}$  [Pa·s]
  - 比熱 : 1007 [J/(kg·K)]
  - 熱伝導率 : 変数テーブルファイルの"kap.vt"参照  
 $0.0256(T_{ab}/273.15)^{0.5}$  [W/(m·K)]
  - $T_{ab}$  : 絶対温度
- 拡散物質1 : 水蒸気
  - 拡散係数 : 変数テーブルファイルの"d.vt"参照  
 $2.2 \times 10^{-5}(T_{ab}/273.15)^{1.75}$  [m<sup>2</sup>/s]
  - $T_{ab}$  : 絶対温度

(メモ) 変数テーブルファイルの設定方法については、特記事項 変数テーブルによる熱伝導率の設定方法を参照してください。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 1[m/s]
  - 流入温度 20 [°C]
  - 流入拡散物質濃度 C1 0.7 [-]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0 [Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁
  - 壁面温度を外部温度に固定 20 [°C]
  - [cold-wall] : 静止壁
    - 壁面温度を外部温度に固定
    - CASE1 -30[°C]
    - CASE2 変数テーブルファイルの"temp.vt"参照
 

サイクル	温度[°C]
101	-30
300	40

### - その他

#### CASE1

- 乱流モデル  
標準 k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 100[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 湿度の設定  
湿度の種類 相対湿度 (MAT=1)  
結露面 [cold-wall] 蒸発を考慮しません。  
計算 ルイス数を0.958165に指定します。

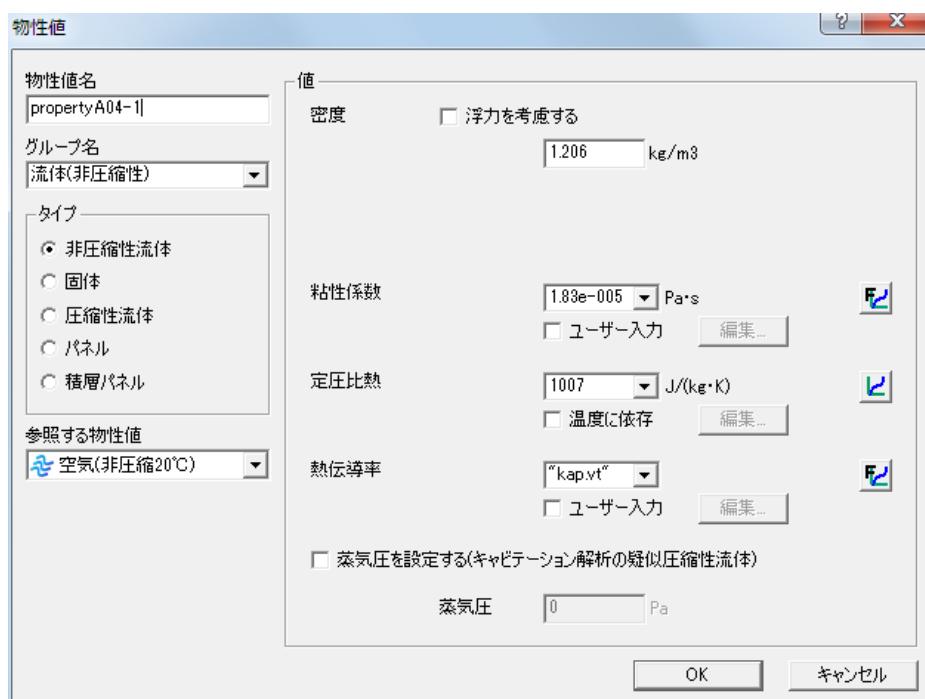
#### CASE2

- 乱流モデル  
標準 k- $\epsilon$ モデル
  - 解析の種類  
非定常解析
  - 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル : 200[サイクル](101[サイクル]～300[サイクル])  
固定時間間隔 : 20 [s]
  - 湿度の設定  
湿度の種類 相対湿度 (MAT=1)  
結露面 [cold-wall] 蒸発を考慮します。  
計算 ルイス数を0.958165に指定します。
  - 計算条件の設定  
サイクル内ループ 繰り返し回数 : 5  
代表値 方程式 : CN01を選択  
スイッチ : SW=0をON  
許容誤差 :  $1.0 \times 10^{-5}$
  - 結露量のLファイル出力  
対象となる領域 面領域[cold-wall]  
変数 結露量  
重み 面積  
出力サイクル間隔 1
- (メモ) [条件ウィザード] - [計算条件]の[代表値]を設定することで、規格化された変動値で定常判定を行なうことができます。規格化とは、変数の変動値を代表値(デフォルトでは、変数の最大-変数の最小)で割ることです。本例題では、ゼロ割りを防ぐために、拡散物質の代表値の下限を $1.0 \times 10^{-5}$ と設定します。詳しくはユーザーズガイドリファレンス(ソルバー)編 RVALコマンドをご参照ください。

## 特記事項

### - 変数テーブルによる熱伝導率の設定方法

- 空気の熱伝導率は変数テーブルにより考慮します。[条件ウィザード] - [物性値・基準値]の[物性値]から、新規作成をクリックします。表示された[物性値]ダイアログで、[参照する物性値]に[空気(非圧縮20°C)]を選択します。また、[熱伝導率]に変数テーブルを指定するため、["kap.vt" W/(m·K)]と入力します。このように変数テーブルファイル名をダブルクオーテーションで囲んで指定することで、そのファイルを参照できます。
- 入力が完了したらOKをクリックして[物性値]ダイアログを閉じます。MAT[1]を選択して、作成した物性値を適用します。

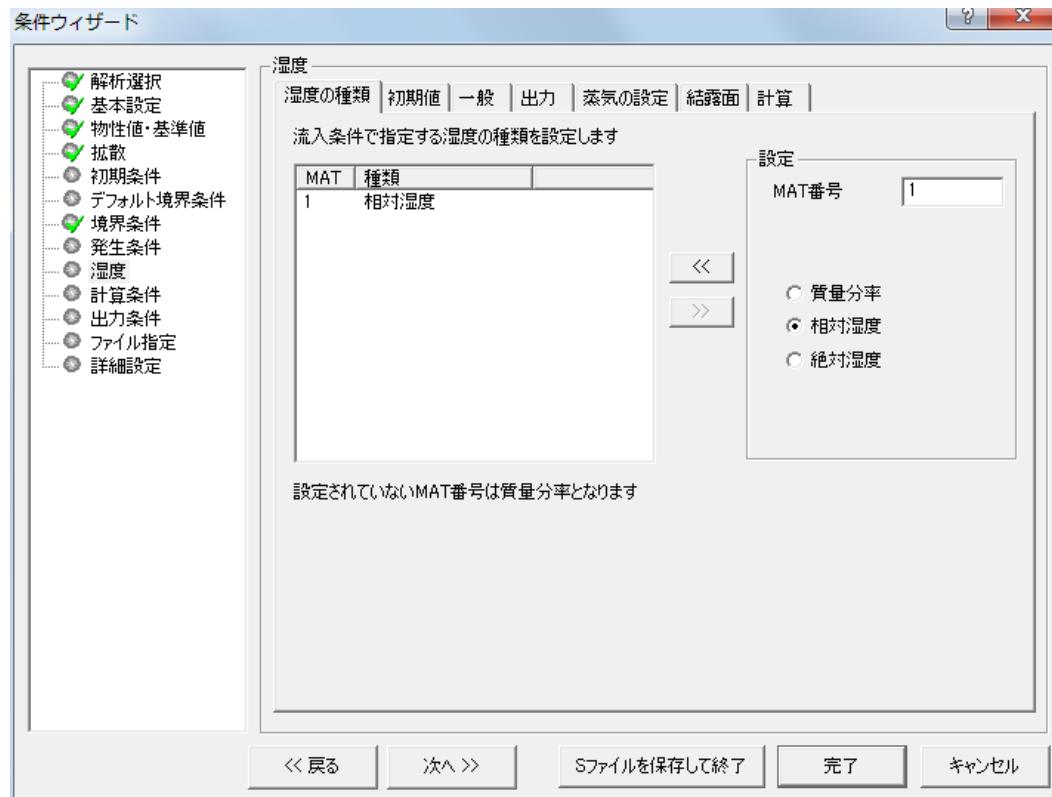


(メモ1) CASE2では上記の熱伝導率の他に、[拡散] - [拡散係数], [境界条件] - [cold-wall]の壁面熱伝達条件における[外部温度]に変数テーブルファイルを使用します。

(メモ2) 本例題ではあらかじめ用意した変数テーブルファイル(kap.vt, d.vt, temp.vt)を使用して、変数テーブルの設定を行う方法を記載しておりますが、変数テーブルをSCTpreのダイアログ上で直接設定する方法もあります。変数テーブル機能については、機能11を参照してください。

### - 湿度の条件設定方法

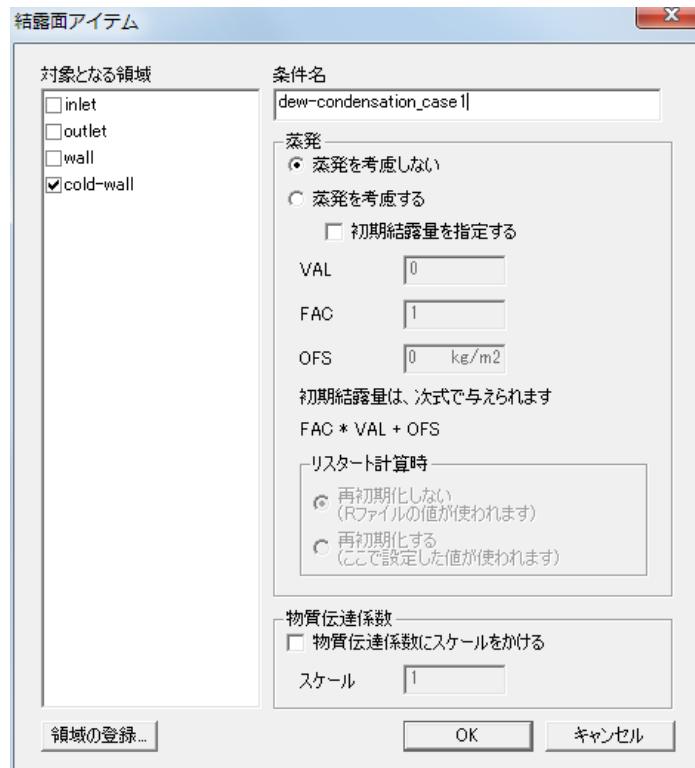
- [条件ウィザード] - [湿度]の[湿度の種類]タブにて、[MAT番号]を[1], [相対湿度]を選択し、<<をクリックします。



- ・ [結露面]タブにて、新規をクリックします。表示された[結露面アイテム]ダイアログで以下のように設定します。

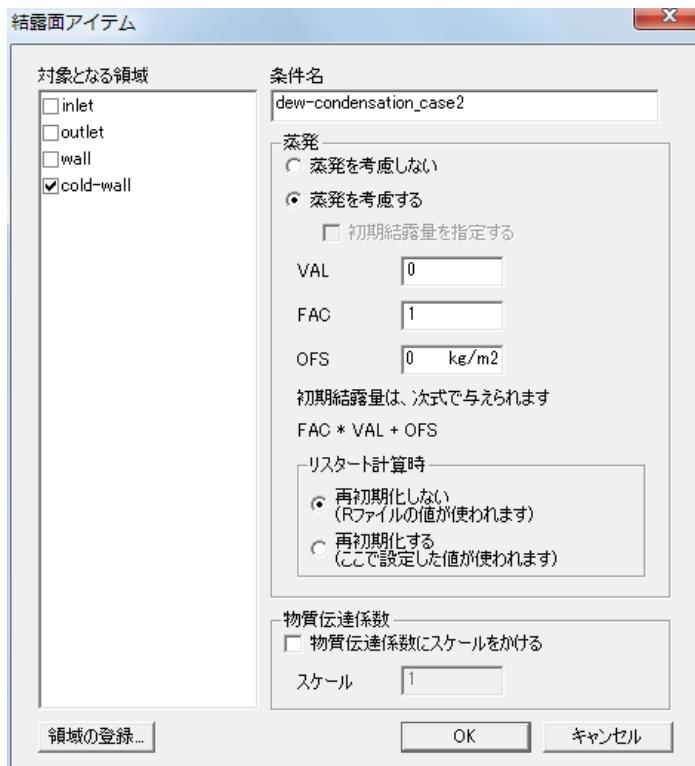
CASE1

[対象となる領域] : [cold-wall]



## CASE 2

- [対象となる領域] : [cold-wall]  
 [設定] : [蒸発を考慮する]



(メモ) SCRYU/Tetraでは初期結露量[kg/m<sup>2</sup>]は、次式のようになります。

- 1) 初期計算またはリスタート計算時(再初期化あり)の場合

$$\text{初期結露量}[\text{kg}/\text{m}^2] = \text{FAC} \times \text{VAL} + \text{OFS}$$

- 2) リスタート計算(再初期化なし)の場合

$$\text{初期結露量}[\text{kg}/\text{m}^2] = \text{FAC} \times V + \text{OFS}$$

(Vはリスタートファイル内の前サイクルの結露量)

CASE2ではCASE1の結露量を初期条件として計算を進めますので、2)の場合に対応します。そのため、FAC=1, OFS=0を設定しています。

詳細は、ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー編)HUWLコマンドをご参照ください。

- [計算]タブで[ルイス数を指定する]をONにし、[ルイス数]に[0.958165]を入力します。

### - 変数テーブルファイル

- "kap.vt"

```
TTYP  
TEMP  
OUTP  
1  
FUNC  
1 0.00366092 1.0  
VTBL  
0.0256 0.5  
/  
ENDT
```

- "d.vt"

```
TTYP  
TEMP  
OUTP  
1  
FUNC  
1 0.00366092 1.0  
VTBL  
2.2e-5 1.75  
/  
ENDT
```

- "temp.vt"

```
TTYP  
CYCL  
OUTP  
1  
VTBL  
101 -30  
300 40  
/  
ENDT
```

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA04-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定(CASE1)

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、CASE1のSファイル(exA04-1\_CASE1.s)を保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [温度], [拡散]をONにし、[拡散物質の数]を[1], [湿度]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[定常解析]を選択し、[終了サイクル]を[100]にします。

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]の設定については、**特記事項 変数テーブルによる熱伝導率の設定方法**を参照してください。

#### 4. [拡散]

- ・ [拡散物質]タブにて、[拡散係数]に["d.vt"]を入力して、適用をクリックします。

#### 5. [境界条件]

- ・ [領域]から[inlet]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、以下のように設定します。

[流入流速]	:	[1 m/s]
[流入温度]	:	ON
[温度指定 T]	:	[20°C]
[流入拡散物質濃度]	:	ON
[C1]	:	[0.7]

- ・ [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[P]が[0 Pa]となっていることを確認して、OKをクリックします。

- ・ [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に、[壁面熱伝達条件]タブで[断熱]をOFFにし、[壁面温度を外部温度に固定]が選択されていることを確認します。[条件値]の[外部温度]には[20 °C]と入力します。

- ・ [領域]から[cold-wall]を選択し、壁面をクリックします。[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に、[壁面熱伝達条件]タブを選択し、以下のように設定します。

[断熱]	:	OFF
[外部温度]	:	[-30°C]

#### 6. [湿度]

- ・ [湿度]の設定については、**特記事項 湿度の条件設定方法**を参照してください。

#### 7. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA04-1]と入力します。その後、[デフォルト名]をOFFにします。[R(出力)]の[ファイル名]を[exA04-1\_CASE1.r]へと変更します。

### - 条件設定(CASE2)

CASE1の設定をもとにCASE2の条件設定を行います。CASE1の条件設定を行っていない場合は、[ファイル] - [開く]からexA04-1\_CASE1.sを読み込みます。その後、以下のように設定変更を行い、Sファイルの名前をexA04-1\_CASE2.sとして保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]のチェックをOFFにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択し、[開始サイクル]を[101], [終了サイクル]を[300]にします。
- [非定常解析]では、[時間間隔の設定]に[数値入力による]を選択し、[時間間隔]に[20s]を入力します。

#### 3. [境界条件]

- [領域]から[cold-wall]を選択し、ダブルクリックします。表示された[壁面]ダイアログの[壁面熱伝達条件]タブで、以下のように設定変更します。

[外部温度] : ["temp.vt" °C]

#### 4. [湿度]

- [湿度]の設定については、[特記事項 湿度の条件設定方法](#)を参照してください。

#### 5. [計算条件]

- [ループ]の[サイクル内ループの繰り返し回数]にて、[デフォルト]をOFFにし、[サイクル]に[5]を入力します。
- [代表値]の[設定]にて[方程式]から[CN01]を選択後、[許容誤差]に[1e-005]を設定し、[登録](#)をクリックします。

#### 6. [出力条件]

- [領域平均値・総量]で、新規をクリックします。表示された[領域平均・領域総量のアイテム]ダイアログで、以下のように設定し、OKをクリックします。
  - [対象となる領域] : [面領域], [cold-wall]
  - [変数] : [結露量]
- [FLD(サイクル)]で、[出力のタイミング]として[指定時間間隔毎に出力]を選択し、[時間間隔]を[1000s]とします。

#### 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]がOFFの状態で、[R(入力)]のチェックをONにし、その[ファイル名]に[exA04-1\_CASE1.r]とします。また、[R(出力)]の[ファイル名]を[exA04-1\_CASE2.r]へと変更します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA04-1.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall] [cold-wall]	[0.05]	[1.1]	[2]

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。CASE2ではCASE1のRファイルを用いるので、CASE1を解析した後にCASE2の解析を行います。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間
 

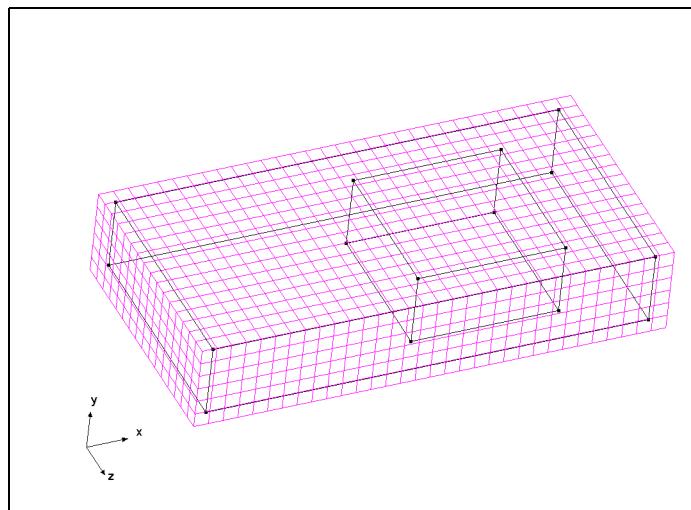
CASE1	: 約4秒
CASE2	: 約14秒
- 計算サイクル数
 

CASE1	: 50サイクル
CASE2	: 200サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

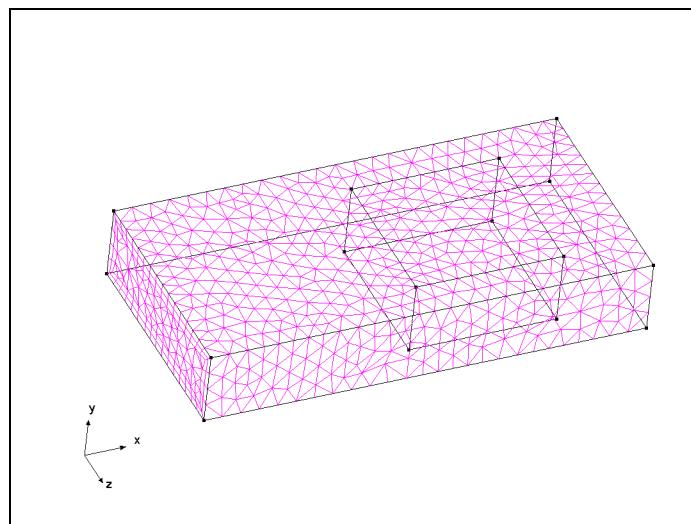
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.1[m]~0.2[m]

- メッシュ図



要素数 : 9,748

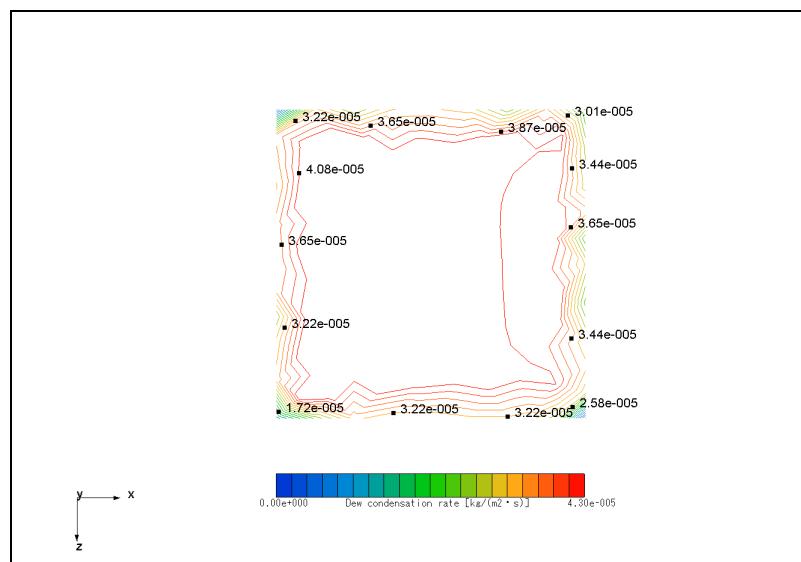
## 解析結果

- SCTpostの設定

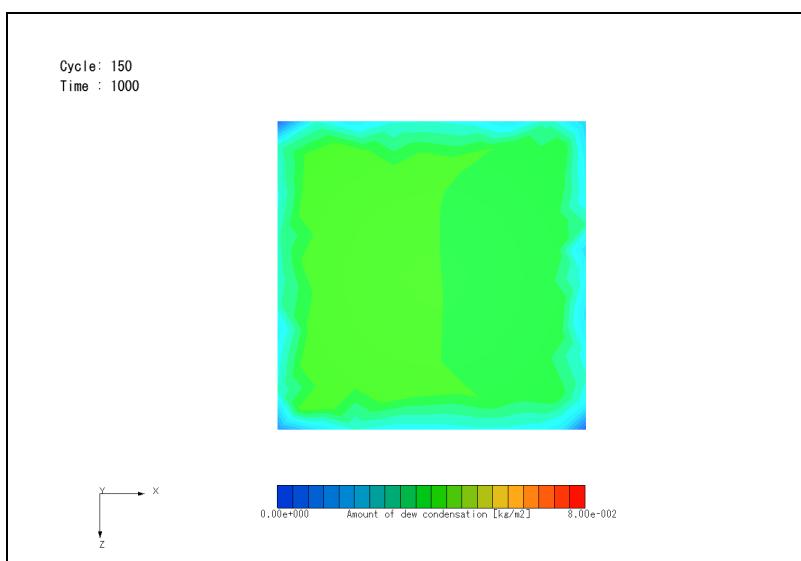
結露速度は、[表面]オブジェクトの[コンター]タブにて、[変数]を[結露速度(HUMC)]とすることで確認しています。

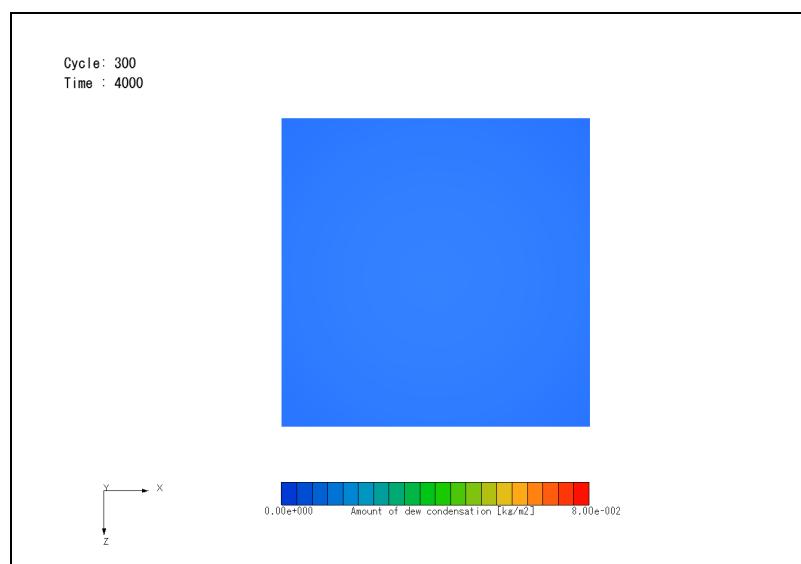
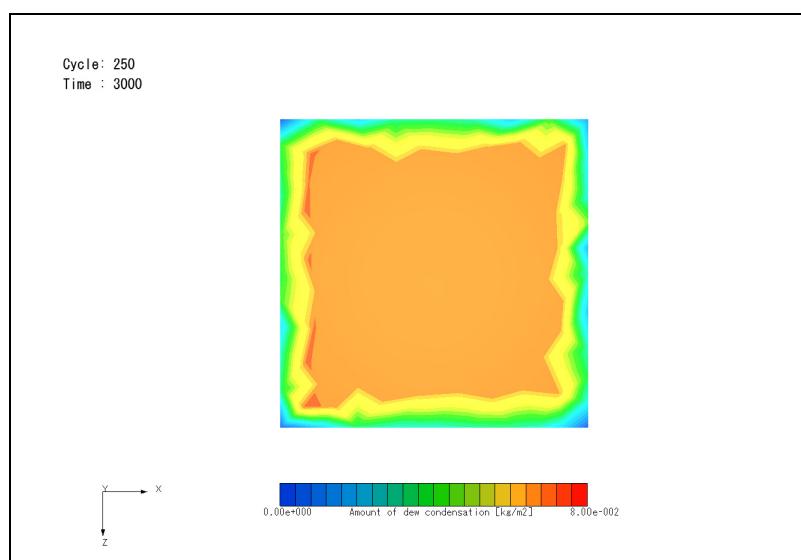
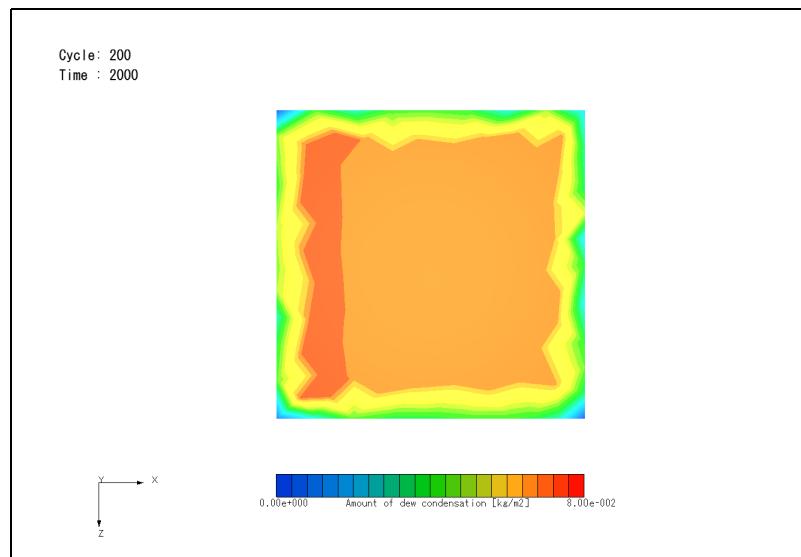
また、累積結露量は、[表面]オブジェクトの[コンター]タブにて、[変数]を[結露量(HUMA)]として表示しています。なお、累積結露量は[結露量(HUMA)]と等しいですが、詳しくはユーザーズガイド基礎編 第2部 2.4.1 結露解析・霜取り解析 (3) 累積結露量をご参照ください。全結露量の時間変化は、Lファイルに出力された結露量の変数(HUMA)をCSV形式で保存し、Excelでグラフ化しています。

- 結露速度(CASE1)

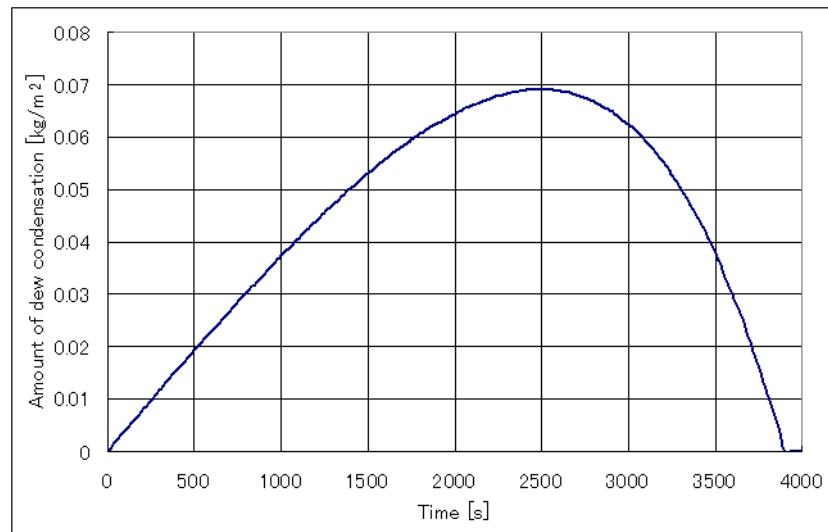


- 累積結露量(CASE2)





- 全結露量の時間変化(CASE2)



---

## 機能5 輻射(VF法)

---

---

## 機能説明

- 輻射とは電磁波が空間を無数の方向に飛びかいエネルギーを運ぶ現象です。熱伝導、熱伝達とは熱を伝える媒質を必要としない点が異なります。輻射の影響を考慮するには輻射解析機能を使用します。
- SCRYU/Tetra**の輻射解析にはVF法とフラックス法の2つの解法があります。
- VF法は物体表面から多数の粒子を飛ばし、その到達面がどの面になるかを追跡することにより、形態係数を求めます。粒子の数は限られているため、実現象とは若干の誤差が生じる可能性はありますが、フラックス法と比べるとその誤差は小さいと考えられます。また、これによりエネルギーの相互関係が近似的に求まりますので、それをより正確に相互関係を補正して計算を行います。  
VF法には、次のような特徴があります。
  - 放射方向の分解能が高く、放射の指向性はほとんどあらわれません。
  - エネルギーバランスを考慮できます。
  - 温度差の小さい解析でも精度が期待できます。
- SCRYU/Tetra**では材質の輻射率に波長依存性を持たせることができます。また、波長ごとに輻射率だけでなく、透過率、反射率(拡散/鏡面)にくわえ、透過媒体に対する屈折率や吸収係数も指定することができます。

## 注意事項

- 輻射解析(VF法)は、以下の機能との併用はできません。

自由表面(改良MAC法、VOF法)、空力騒音解析、凝固融解解析、 Mixing Plane
--

- 輻射場に接する物体表面(対称面以外の固体面、解析領域面)に輻射率を設定する必要があります。
- 輻射場と接していない固体面または障害物面には、輻射率を設定する必要はありません。
- 輻射率の波長依存性の機能はVF法でのみ利用可能で、フラックス法では利用できません。
- VF法では形態係数が一対の面ごとに決定される為、メッシュ要素の各面で定義すると計算が膨大になります。そのために複数の要素を1つにまとめて計算を行うグルーピングの作業が必要になります。
- VF法では通常の熱流体計算を行う前に形態係数を計算します。形態係数の計算結果はVFファイルに出力され、本計算(熱流体解析)ではVFファイルから読み込まれます。リスタート計算のときなど同じ形態係数での解析であれば、VFファイルを作成し直す必要はありませんので、既存のVFファイルを読み込み本計算(熱流体解析)を実行します。
- マルチバンドの輻射解析を行う場合、輻射の条件を設定する面領域は、固体側片面登録である必要があります。ただし解析領域外と接する面の場合は両面登録とします。

---

## 結果として出力されるもの

### - 計算時メッセージ

- グルーピングに関する情報、形態係数に関する情報が output されます。詳しくは、[ユーザーズガイド リファレンス\(ソルバー\)編 3.1 \(13\) 輻射](#)を参照してください。
- VFHTコマンドを使用することで、輻射による放熱量と受熱量に関する情報が output されます。設定はSCTpreの、[条件ウィザード] - [輻射] - [放熱・受熱量出力]で行います。詳しくは、[ユーザーズガイド リファレンス\(ソルバー\)編 3.1 \(32\) 輻射熱輸送量の詳細出力\(VFHTコマンド\)](#)を参照してください。

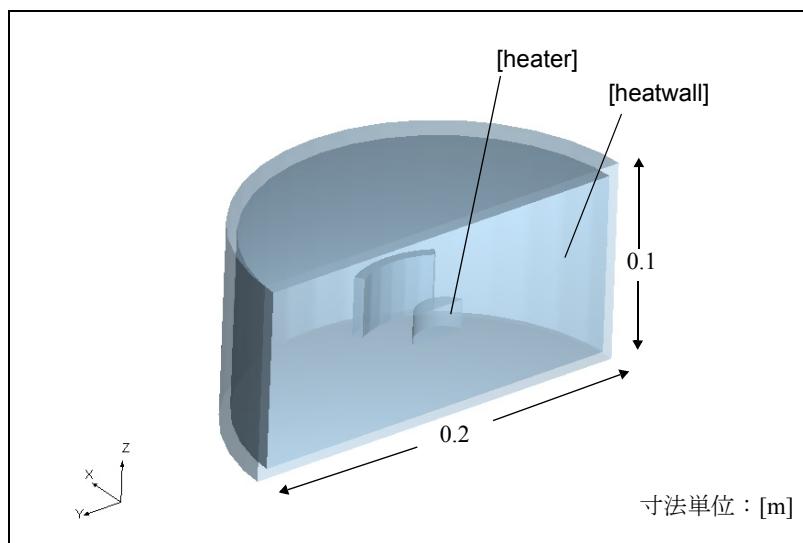
## 関連コマンド

- VFBM : グループ面数、輻射率等の定義(MATごと)(多波長解析専用)
- VFBW : グループ面数、輻射率等の定義(面領域ごと)(多波長解析専用)
- VFDF : 輻射関連パラメータの設定
- VFED : 形態係数の出力
- VFHT : VF法による輻射の熱移動量の詳細出力
- VFMA : グループ面数、輻射率等の定義(MATごと)
- VFLP : 輻射熱源(ランプ)の指定
- VFWL : グループ面数、輻射率等の定義(面領域ごと)
- VFRS : 平均輻射温度の空間分布の図化出力
- UVSD : 輻射強度(紫外線強度)の空間分布の図化出力
- UVLP : 紫外線源(ランプ)の指定
- UVMA : 紫外線の吸収係数の指定

## 例題5.1 VF法による輻射解析

円筒容器の中心部に熱源がある場合、輻射によって熱が伝わる様子を解析します。熱源は、固体の表面の壁を一定温度(1,000[K])で固定して、非定常解析で温度解析のみを行います。

### 解析モデル



### 解くべき方程式

- エネルギー保存式

### 解析選択

- 温度 : 温度の解析を行います。
- 輻射 : 輻射の解析を行います。

### 解析条件

#### - 基本設定

- 温度の単位 : 絶対温度(K)

### - 物性値

- MAT=1 : 流体  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を選択後、編集から熱伝導率を[0.0]に変更します。
- MAT=2 : 固体  
物性値ライブラリより[純金属] - [アルミニウム(Al)]を選択後、編集から熱伝導率を[0.0023672]に変更します。

(メモ) 本例題では、熱伝導を無視して、輻射による熱の伝わりのみを考えます。そのため、本例題では物性値の熱伝導率を小さく設定します。

### - 境界条件

- 壁面 [heater] : 壁面熱伝達条件  
外部温度との間に熱伝達係数を設定する  
熱伝達係数 1,000[W/(m<sup>2</sup>•K)]  
外部温度 1,000[K]

(メモ) 上記の[heater]に対する壁面熱伝達条件は、SCTpostで[heater]の表面温度を表示するためのものです。輻射解析には、壁面熱伝達条件は不要です。

### - 初期条件

- 温度(全てのMAT) : 273[K]

### - その他

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 100[サイクル]  
時間間隔 : 10.0[s]
- 輻射  
全グループ面数 : 3,050  
領域に対する条件 [heater] : 輻射率 1.0  
グローブ面数 50  
仮想面等価温度 1,000[K]  
[heatwall] : 輻射率 0.5  
グローブ面数 3,000

## 特記事項

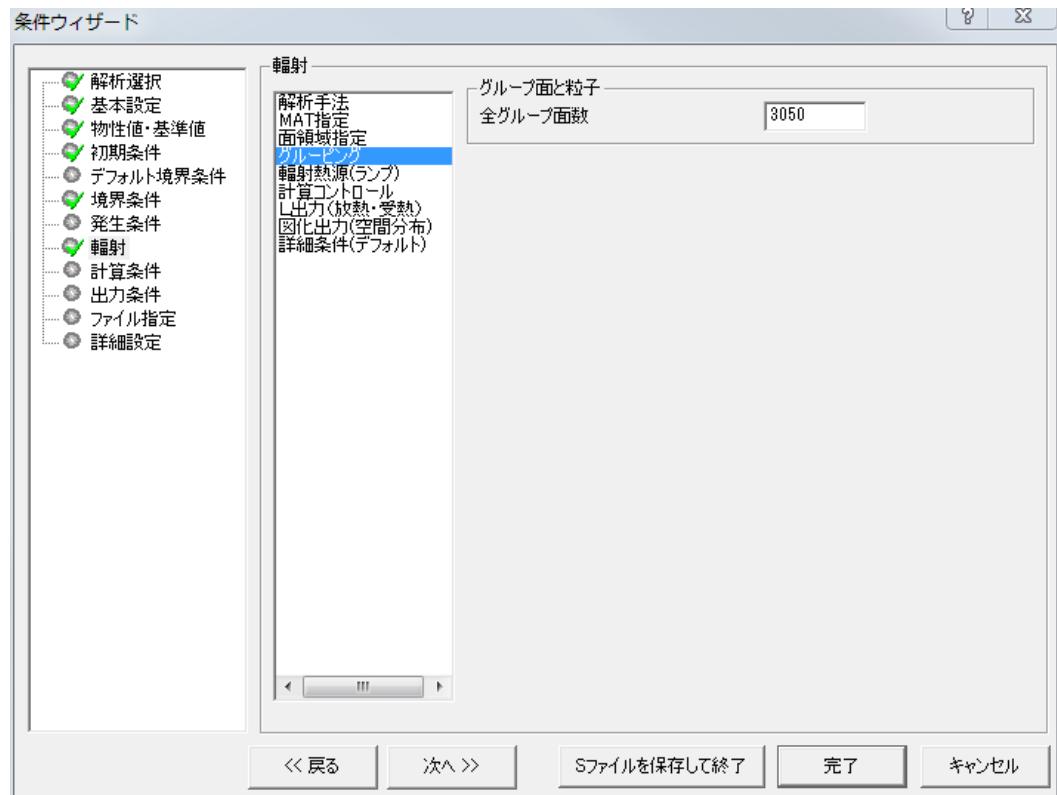
### - 輻射解析をするための条件設定

- [条件ウィザード] - [解析選択]で[流れ]をOFFにします。[温度]をONにして、さらに[輻射]もONにします。



### - 輻射解析の条件設定

- ・ [条件ウィザード] - [輻射] - [解析手法]の設定では、[輻射計算の手法]の[VF法]をONにします。[グループピング]の設定では、[全グループ面数]を[3050]に設定します。



- [面領域指定]を選択して、新規をクリックします。[領域に対する条件]ダイアログで、[対象となる領域]の[heater]をONにします。[グループ面数]の[自動]をOFFにして、[50]を設定します。[輻射率]は[1]に設定します。[仮想面]をONにし、[外部境界の輻射温度(等価温度)]を[1000 K]に設定して、OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- 同様に新規をクリックして、[領域に対する条件]ダイアログで、[対象となる領域]の[heatwall]をONにします。[グループ面数]の[自動]をOFFにして、[3000]を設定します。[輻射率]を[0.5]に設定し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA05-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- 特記事項 輻射解析をするための条件設定を参照してください。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [100]

- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]に[10s]を設定します。

- [温度の単位]を[絶対温度(K)]を選択します。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]に設定されている[空気(非圧縮20°C)]をダブルクリックし、[熱伝導率]を[0 W/(m•K)]に変更します。
- MAT[2]について、[純金属] - [アルミニウム(Al)]を選択して適用をクリックします。適用された物性値をダブルクリックし、[熱伝導率(X, Y, Z)]を[0.0023672 W/(m•K)]に変更します。

#### 4. [初期条件]

- 新規をクリックします。[初期値]ダイアログにて、[値]に[273 K]を入力します。

[対象]から[全てのMAT番号に適用]をONにし、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 5. [境界条件]

- [領域]から[heater]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログで、[断熱]をOFFにし、[条件値]で[外部温度との間に熱伝達係数を設定する]を選択します。[熱伝達係数]に[1000 W/(m<sup>2</sup>•K)]、外部温度に[1000 K]を入力し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 6. [輻射]

- 特記事項 輻射解析の条件設定を参照してください。

#### 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA05-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA05-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[heater] [heatwall]	[6.25e-4]	[1.1]	[2]

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

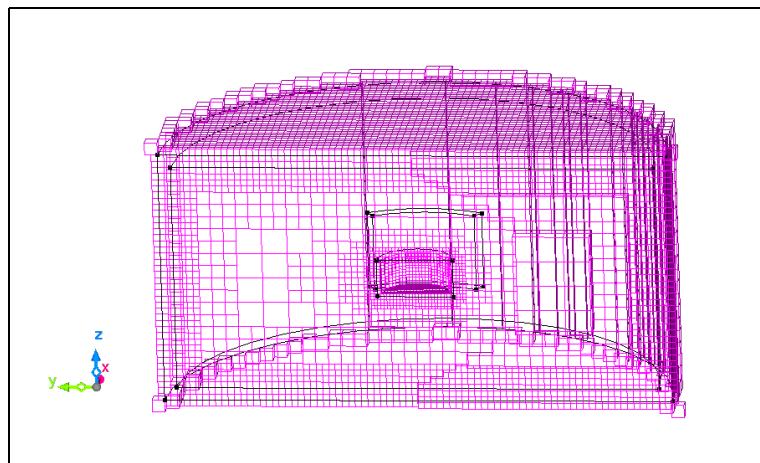
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約5分
- 計算サイクル数  
100サイクル

\* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

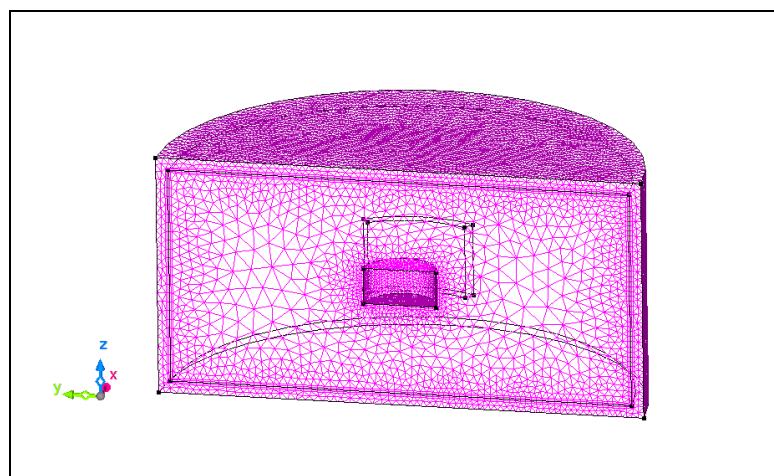
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.00125[m]~0.01[m]

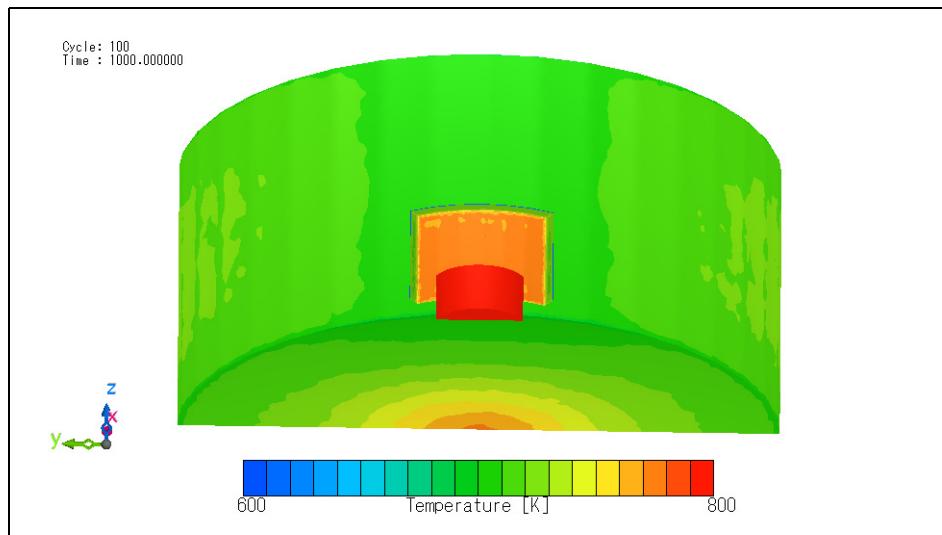
- メッシュ図



要素数 : 529,246

## 解析結果

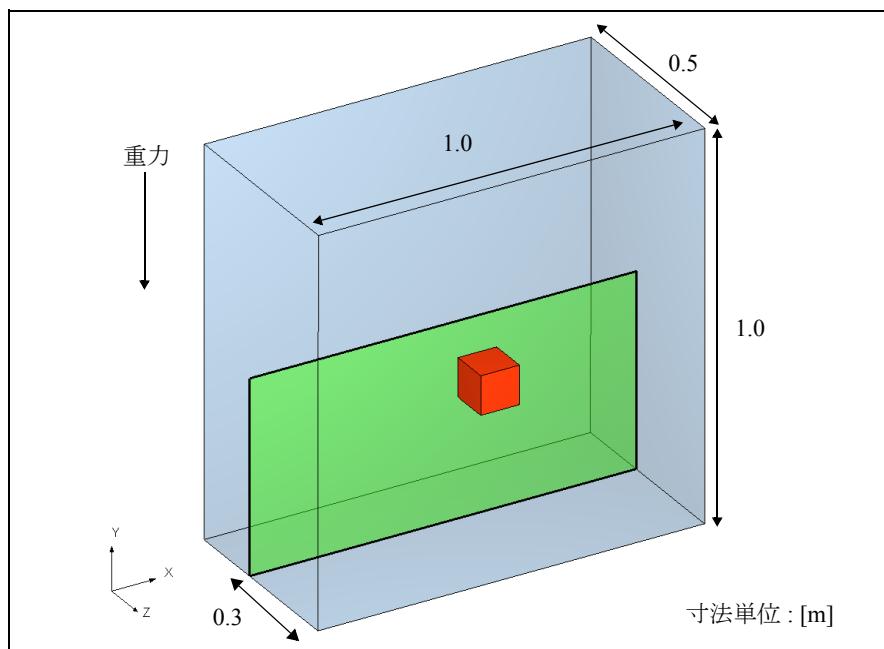
- 容器内部壁の温度コンター図



## 例題5.2 輻射率の波長依存性をもつ材質と輻射熱源(ランプ)

材質の輻射率に波長依存性を持たせます。また、波長ごとに輻射率だけでなく、透過率、拡散反射率、鏡面反射率の指定も行います。なお熱源には、輻射熱源(ランプ)を用います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

直方体の容器の中に輻射熱源(ランプ)とシートを配置します。輻射熱源は体積領域、シートは面領域として登録し、伝熱パネルとします。また、容器の上面(Ymax)と下面(Ymin)は開口部、側面は静止壁として、伝熱パネルのシートや側壁が、輻射熱源から放射された輻射に当たり、温度が上昇する様子を解析します。なおシートには、波長依存の輻射率と透過率を以下のように指定します。

短波長(バンド1)	:	透過率	TAU=1.0
長波長(バンド2)	:	輻射率	EPS=0.9
		拡散反射率	DIF=0.1

また短波長と長波長の境界波長には  $\lambda = 10 \text{ } [\mu\text{m}]$  を設定します。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k-ε方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 亂流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 輻射 : 輻射を考慮します。
- 伝熱パネル : 遮蔽シートを伝熱パネルとして扱います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)
 

物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。ただし浮力を考慮するため、基準温度0[°C]における体膨張率を設定します。  
体膨張率(0[°C]) 3.41 × 10<sup>-3</sup>[1/K]
- MAT=2 : 遮蔽シート
 

密度	1,850 [kg/m <sup>3</sup> ]
定圧比熱	1,100 [J/kg•K]
熱伝導率	0.3 [W/(m•K)]

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 0.1[m/s]
- 流出口 [outlet] : 全圧境界 0[Pa]
- 壁面 未定義(壁) : 静止壁  
未定義(熱: 流体との境界) : ギャップ要素に熱抵抗なし

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

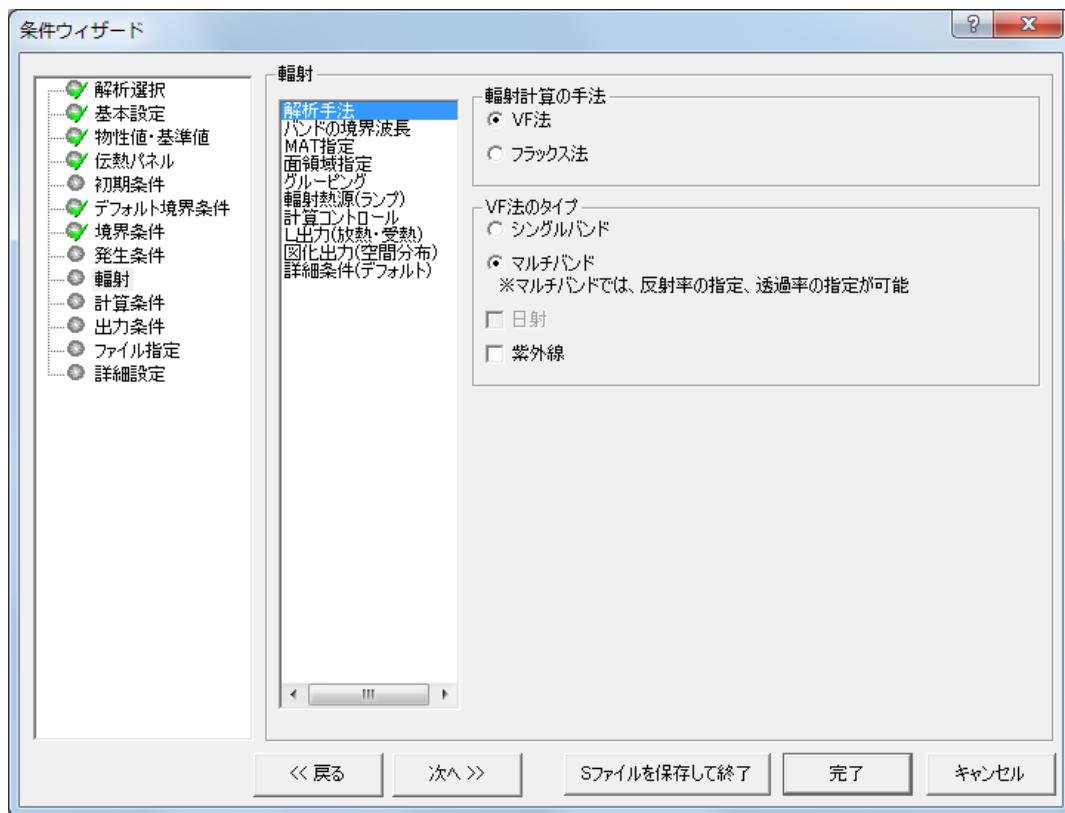
### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-εモデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 伝熱パネル条件  
遮蔽シート[blind-sheet]を伝熱パネルに設定します。  
[blind-body] : MAT=2, 厚み=0.01[m]
- 輻射(※設定の詳細については、特記事項を参照して下さい。)  
計算手法 : VF法  
タイプ : マルチバンド(波長依存性を考慮)  
輻射源の放射熱 : 総放射熱量100[W]  
放射温度(ケースA) 0[°C]  
(ケースB) 1,000[°C]  
放射方向 Z軸負方向に対してのみ放射

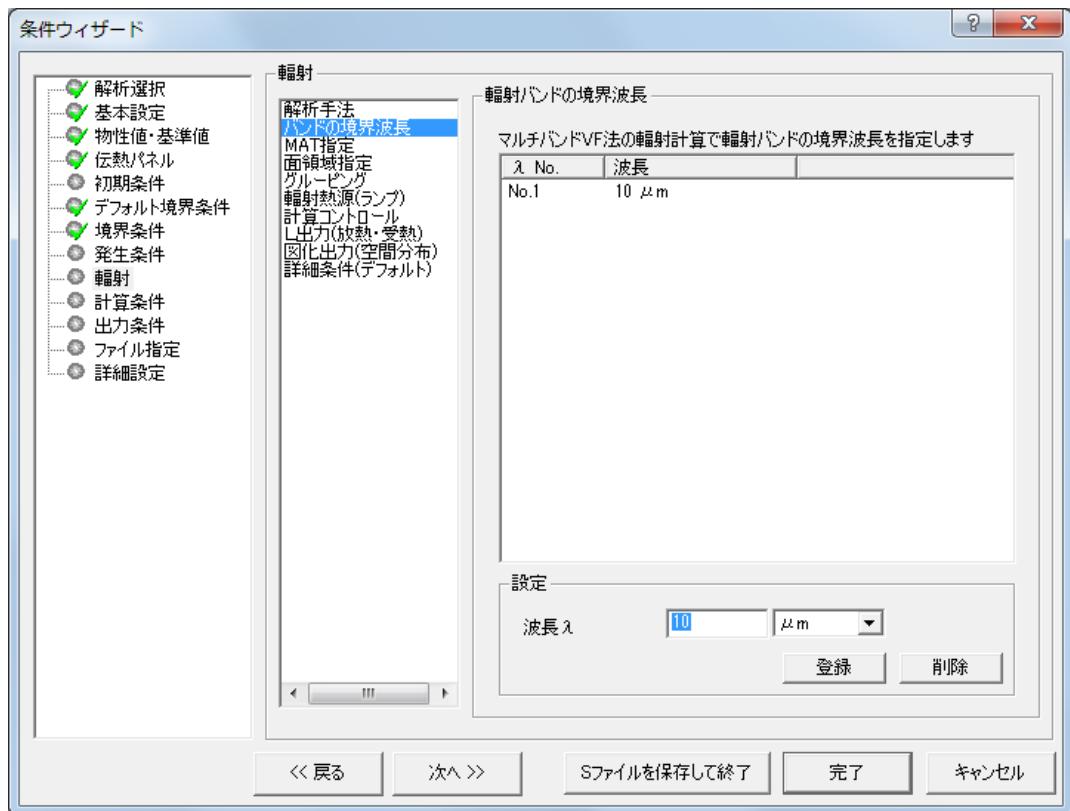
## 特記事項

### - 輻射解析の条件設定

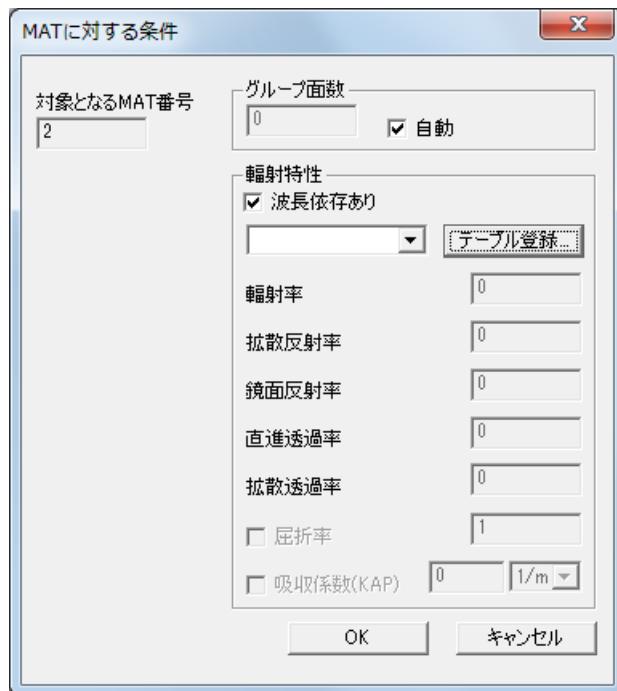
- [条件ウィザード]-[輻射]で、以下の設定を行います。
    1. [解析手法]でVF法マルチバンドの選択
    2. [バンドの境界波長]の入力
    3. [MAT指定]で、伝熱パネルのシート[blind-body]に波長依存の輻射率を指定
    4. [面領域指定]で解析領域外との境界面に輻射率を指定
    5. [輻射熱源(ランプ)]で輻射熱源(ランプ)を設定
1. まず[解析手法]の[輻射計算の手法]で[VF法]を選択し、[VF法のタイプ]に[マルチバンド]を選択します。



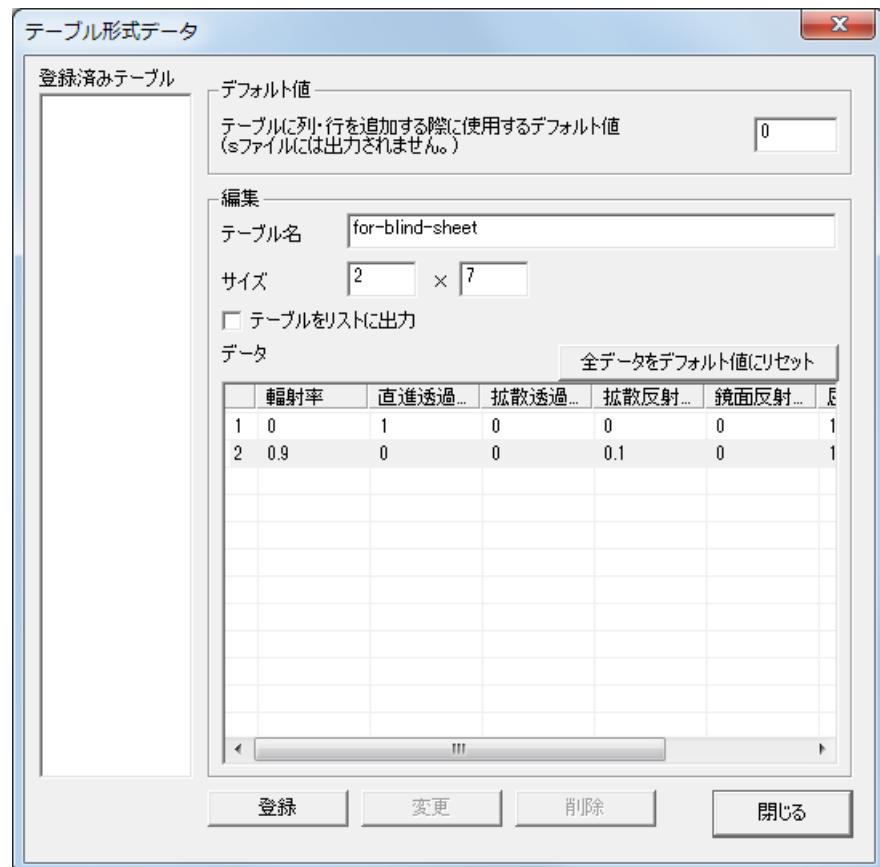
2. 次に、[バンドの境界波長]を選択し、[波長  $\lambda$ ]に[10]を入力して、登録をクリックします。



3.1 [MAT指定]の[MAT2]を選択して、**編集**をクリックします。下の図のように**[輻射特性]**の**[波長依存あり]**をONにし、**テーブル登録**をクリックしてテーブルを入力します。

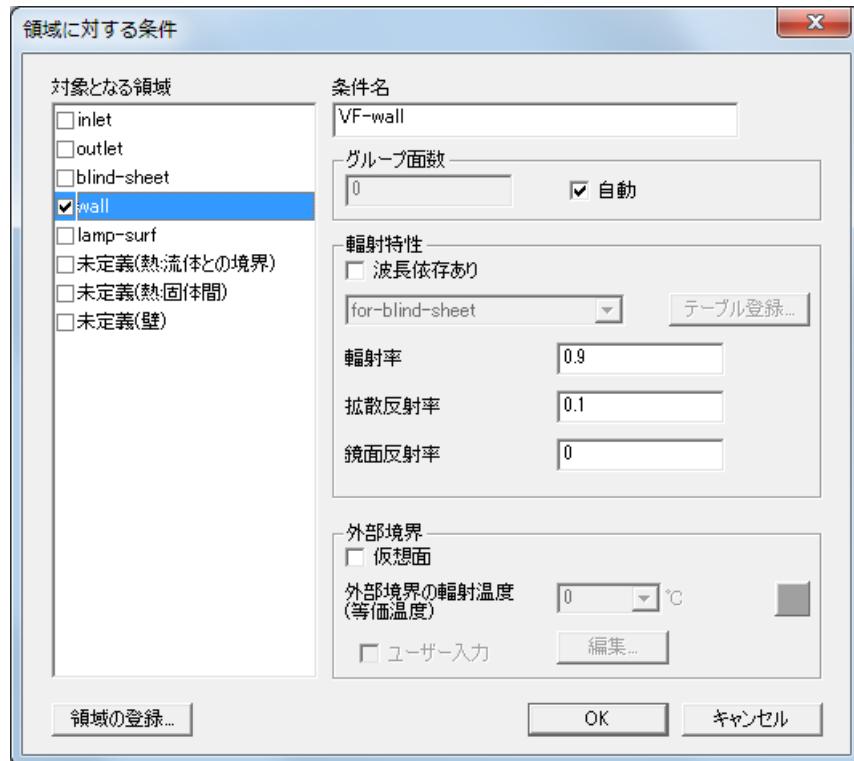


3.2 テーブル形式データを次のように入力し、**登録**をクリックします。閉じるをクリックしてダイアログを閉じます。続けて[MAT指定]ダイアログもOKをクリックします。

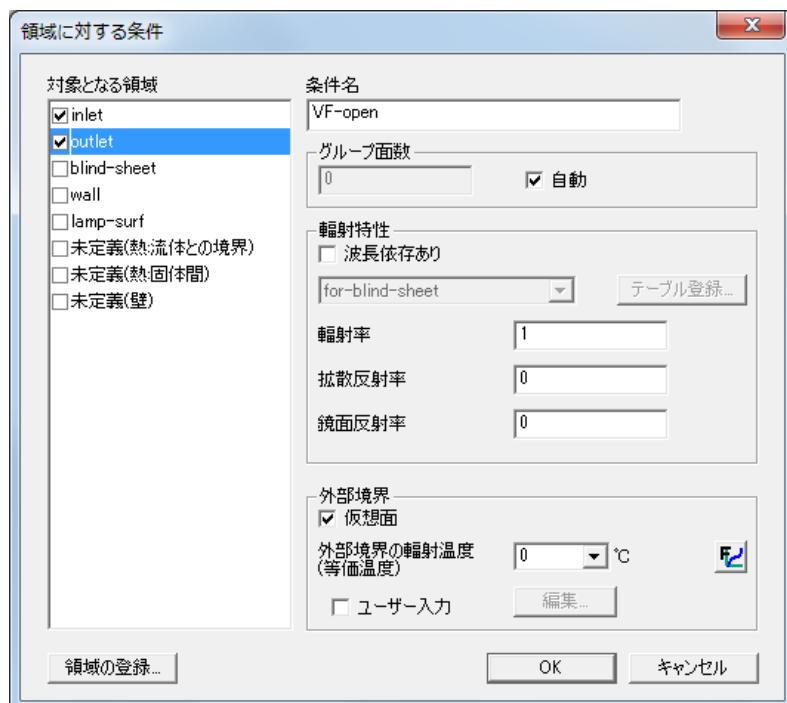


	輻射率	直進透過	拡散透過	拡散反射	鏡面反射	屈折率	吸収係数
1	0	1	0	0	0	1	0
2	0.9	0	0	0.1	0	1	0

4.1 [面領域指定]を選択し、新規をクリックします。[領域に対する条件]ダイアログが開くので、以下の図のように[wall]に対して設定してOKをクリックします。

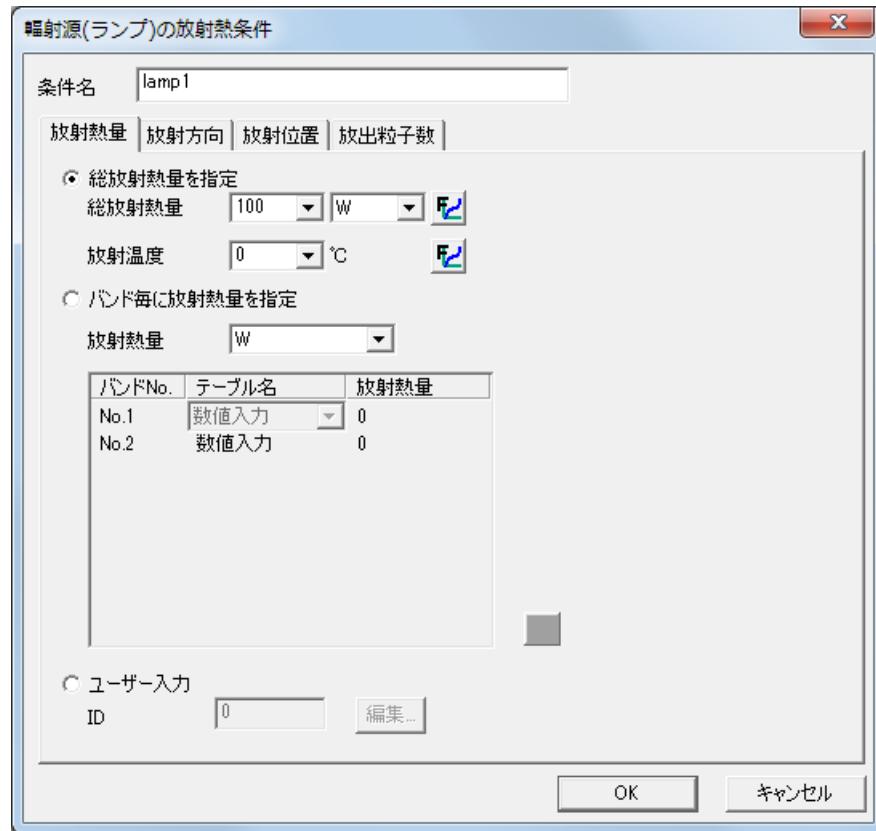


4.2 再び新規をクリックします。次は下の図のように開口部の[inlet]と[outlet]に対して設定してOKをクリックします。



5.1 [輻射熱源(ランプ)]を選択し、新規をクリックします。まず、[放射熱量]タブで次のように設定します。

[総放射熱量] : [100W]  
 [放射温度] : [0°C] (ケースA)  
 [1000°C] (ケースB)



#### 注意事項

放射温度は各々の波長で放射される輻射エネルギーの割合を指定するために必要であり、放射されるエネルギー(熱量)とは無関係です。各波長の輻射エネルギーは黒体輻射の輻射スペクトルを基に算出され、低温であれば長波長(低振動数)、高温であれば短波長(高振動数)で放射される輻射の割合が多くなります。温度と波長の関係につきましては、下記ユーザーズガイドをご参照下さい。

- ユーザーズガイド 基礎編 4.7 輻射

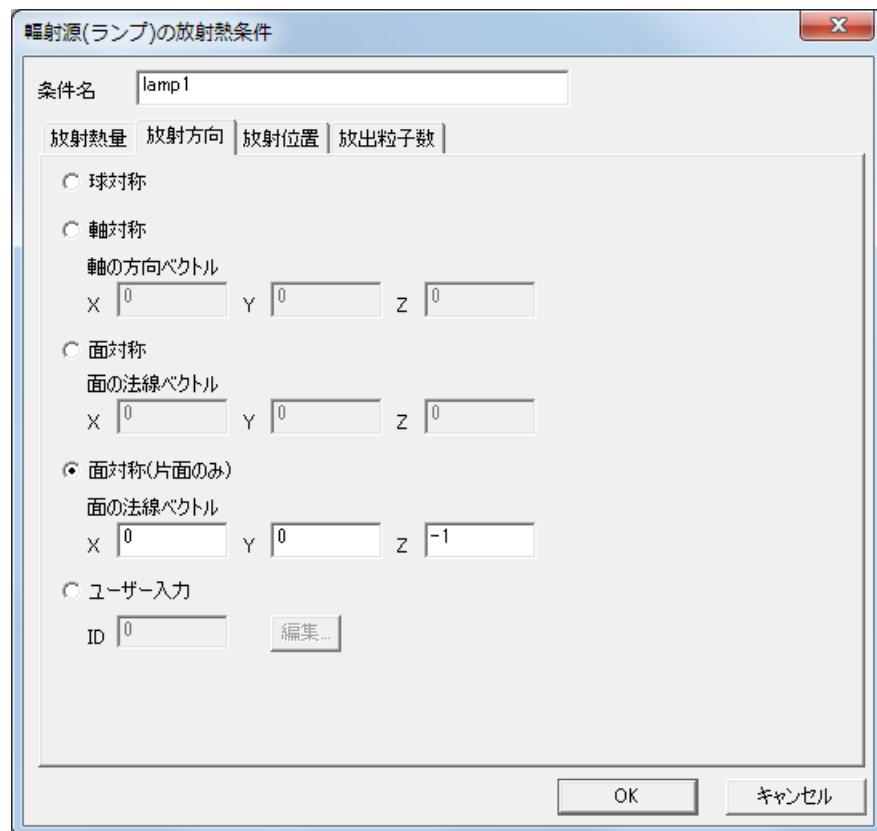
5.2 [放射方向]タブを選択し、放射面の法線方向を下の図のように設定します。[面対象(片面のみ)]を選択した場合、各方向の放射強度は下式により算出されます。

$$\text{輻射強度 } I = I_0 \times \cos \theta$$

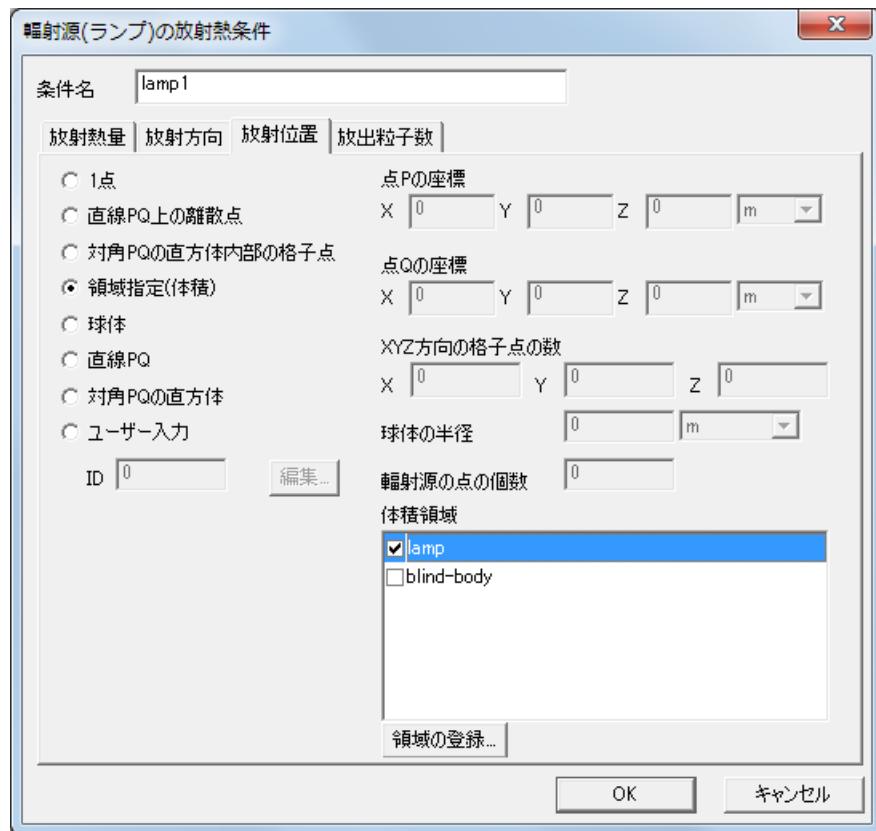
ここに、

$I_0$  : 放射面法線方向の放射強度

$\theta$  : 放射面法線方向となす角度



5.3 [放射位置]タブをクリックして、下の図のように設定します。[領域指定(体積)]を選択し、体積領域で[lamp]をONにします。



5.4 [放出粒子数]タブでの設定は不要です(デフォルトで $20,000 \times 100 = 2,000,000$ 個の粒子を放出し輻射源の放射エネルギーを算出します)。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA05-2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [温度]をONにします。
- ・ [伝熱パネル]をONにします。
- ・ [輻射]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- ・ [重力]の[考慮する]をONにします。  
[(X, Y, Z)] : [(0, -9.8, 0) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにてMAT[1]に設定されている[空気(非圧縮20°C)]をダブルクリックし、[浮力を考慮する]をONにし、[体膨張率]に[0.00341 1/K]と入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 4. [伝熱パネル]

- ・ [パネル領域]で新規をクリックします。
- ・ [対象となる領域]で[blind-sheet]をONにして、[パネル領域名]に[blind-body]を入力します。[MAT]に[2]、[厚み]に[0.01 m]と入力して、物性値をクリックします。[物性値]ダイアログで以下のように入力を行い、OKをクリックしてダイアログを閉じます。[パネル領域条件]ダイアログもOKをクリックして閉じます。

[密度] : [1850 kg/m<sup>3</sup>]  
 [比熱] : [1100 J/(kg·K)]  
 [熱伝導率]([面直熱伝導率], [接触熱伝導率], [副次熱伝導率])  
 : [0.3 W/(m·K)]

#### 5. [デフォルト境界条件]

- ・ [デフォルト境界条件]で以下のように設定します。
 

[未定義(壁)]	: [静止壁]
[未定義(熱: 解析領域外との境界)]	: [条件なし(断熱)](デフォルト)
[未定義(熱: 流体との境界)]	: [ギャップ要素に熱抵抗なし(乱流熱伝達を考慮する)]
[未定義(熱: 固体間)]	: [ギャップ要素に熱抵抗なし(熱伝導)]

#### 6. [境界条件]

- ・ [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]で[0.1 m/s]と入力し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- ・ [領域]から[outlet]を選択して、全圧規定をクリックします。[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[wall]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認します。続いて[壁面熱伝達条件]タブで[断熱]をOFFにし、[条件値]で[外部温度との間に熱伝達係数を設定する]を選択します。[熱伝達係数]に[1 W/(m<sup>2</sup>·K)]を設定し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

## 7. [輻射]

- 特記事項を参照してください。

## 8. [出力条件]

- [熱バランス]で[指定サイクル毎に出力]を選択、[サイクル間隔]～[1]と入力します。

## 9. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、CaseAでは[exA05-2-A]、CaseBでは[exA05-2-B]と入力します。
- 次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA05-2.pre]とします。

## - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA05-2.oct を読み込みます。

## - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[blind-sheet]	[0.01]	[1]	[2]
[wall]			

- [テトラメッシュパラメータ]をクリック、[体積メッシュ作成の詳細]ダイアログにて、[パネル]の[面の両側が同じ閉空間であってもつながりを保持する面領域]で、[blind-sheet]をONにして、OKをクリックします。

## - 解析実行

SCTsolver で解析を実行します。

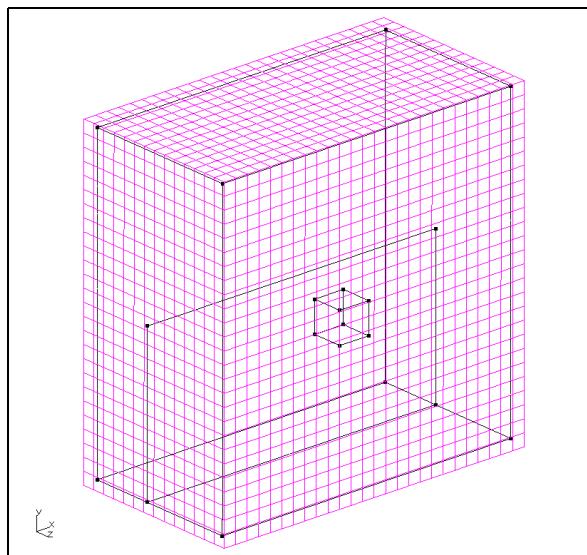
## - 計算コストの目安

- SCTsolver の実行時間  
1ケースあたり約1分
- 計算サイクル数  
1ケースあたり約40サイクル

\* 2core 使用時( Intel Xeon X5680 3.33GHz )

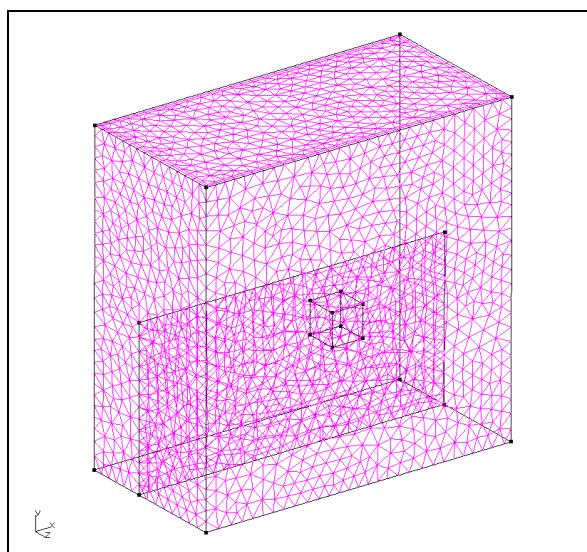
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.04[m]

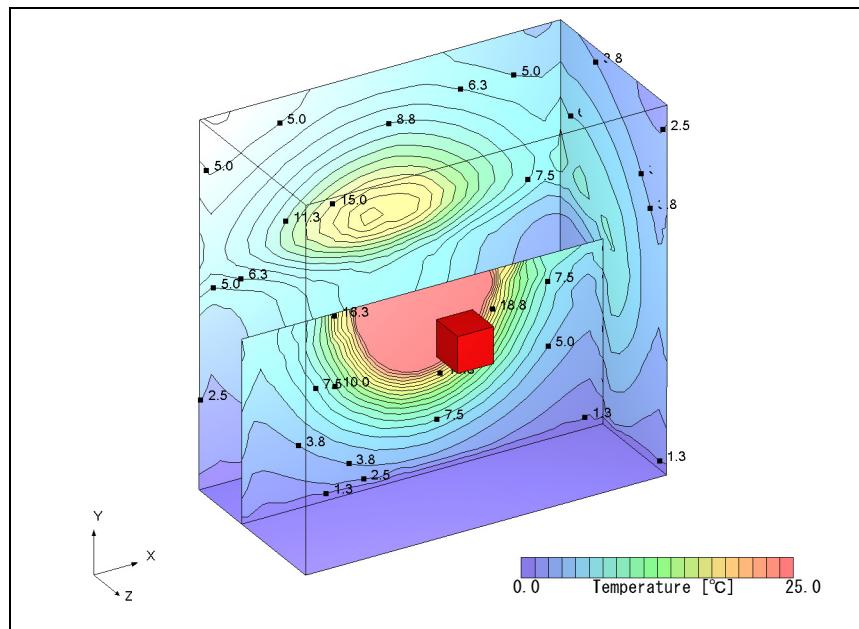
- メッシュ図



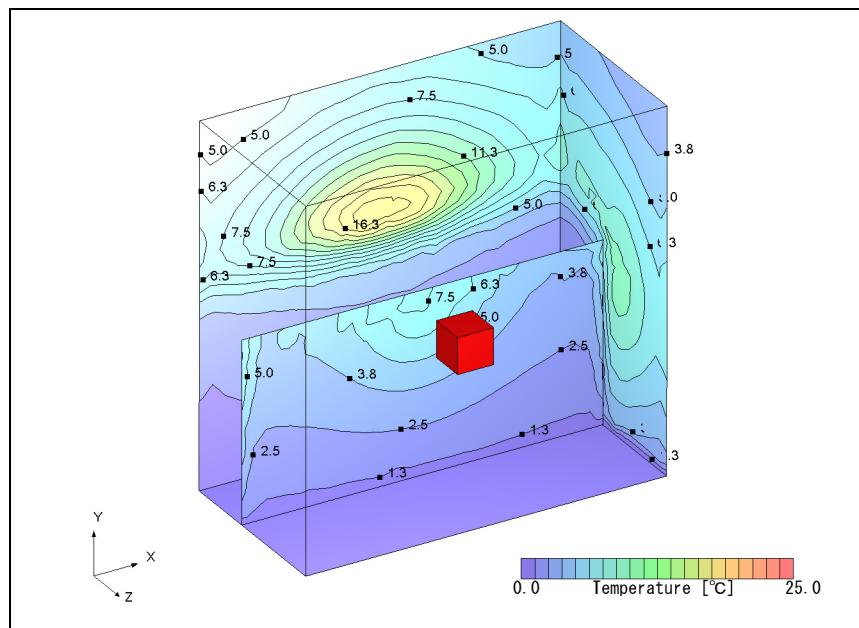
要素数 : 69,971

## 解析結果

- 温度コンター図(ケースA)



- 温度コンター図(ケースB)

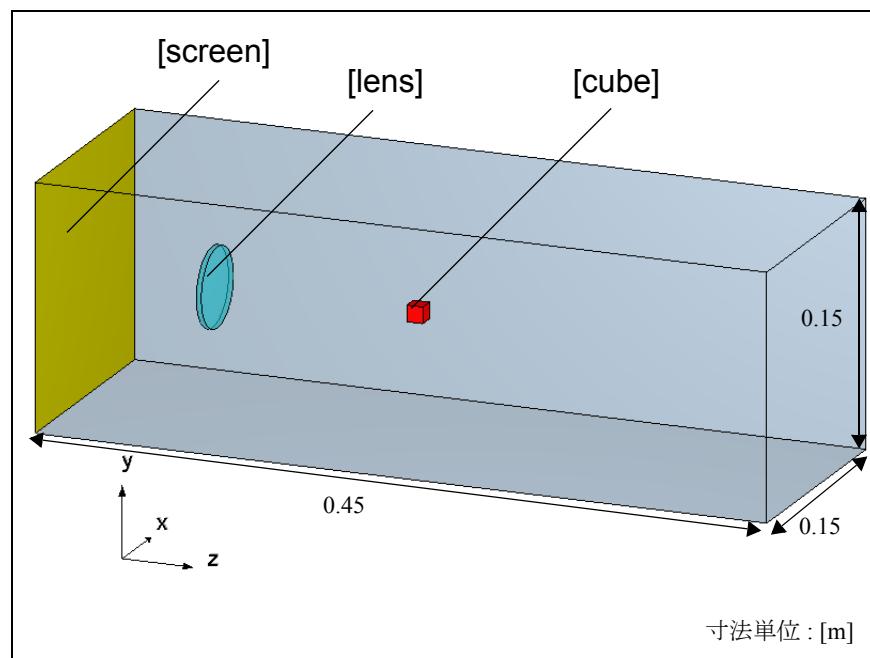


この例題で使用している遮蔽シート(伝熱パネル)には、短波長帯では輻射を透過し、長波長帯では遮蔽するように極端な波長依存性のある輻射特性を設定しています。ケースAでは放射温度を低温( $0^{\circ}\text{C}$ )にして、輻射熱源から放射される長波長の輻射の割合を大きく設定しています。一方、ケースBでは放射温度を高温( $1,000^{\circ}\text{C}$ )にして、短波長の輻射の割合を多く設定しています。どちらも放射エネルギーの総量は同じ $100[\text{W}]$ ですが、放射された輻射が遮蔽シートを透過するかしないかで結果に違いが出ています。

## 例題5.3 輻射の屈折と吸収係数

希薄なガスを除き、輻射による電磁波が透過する媒体は、一般的にその波を屈折させ、光学的厚みに応じた吸収を行います。VF法では面対面に対する輻射伝熱を主に扱いますが、それに加えて透過媒体に対する屈折率と吸収係数を設定し、解析することが可能になりました。この場合、透過媒体に対する形態係数も追加で算出し透過媒体中での吸収や放射も考慮されます。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

直方体の容器の中に発熱源[cube]と光学レンズ[lens]が置かれています。発熱源の表面は断熱状態にし、Z軸負の向きの面だけに輻射率1.0が与えられ、発熱量をすべてZ軸負の方向に輻射で放射します。その先には光学レンズとスクリーン[screen]があり、光学レンズを通して輻射による電磁波が当たるようになっています。

### 解くべき方程式

- 運動量方程式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー方程式
- k- $\epsilon$ 方程式

## 解析選択

- 温度 : 热を解析します。
- 輻射 (VF法) : 屈折率の扱えるVF法の輻射解析を選択します。
- 伝熱パネル : スクリーンに利用します。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(非圧縮 20°C)  
デフォルトのまま[空気(非圧縮20°C)]を使用します。ただし、浮力を考慮するため、基準温度0[°C]における体積膨張率を設定します。  
体積膨張率  $3.41 \times 10^{-3}$  [1/K]
- MAT=2 : 石英ガラス(300K)  
物性値ライブラリより[ガラス] - [石英ガラス(300K)]を選択します。
- MAT=3 : 銅(Cu)  
物性値ライブラリより[純金属] - [銅(Cu)]を選択します。
- MAT=4 : 鉄(Fe)  
物性値ライブラリより[純金属] - [鉄(Fe)]を伝熱パネルに対して使用します。

### - デフォルト境界条件

- 未定義(壁) : 静止壁
- 未定義(熱:解析領域外との境界) : 外部温度(0.0°C)に固定
- 未定義(熱:流体との境界) : ギャップ要素の熱抵抗なし

### - 境界条件

- 壁面[cube\_surf] : 静止壁  
断熱  
(メモ) 発熱源表面を断熱にすることで、熱伝達を遮断します。発熱源からは[cube\_surf\_Zmin]の面から輻射のみで熱が放射されます。

### - その他

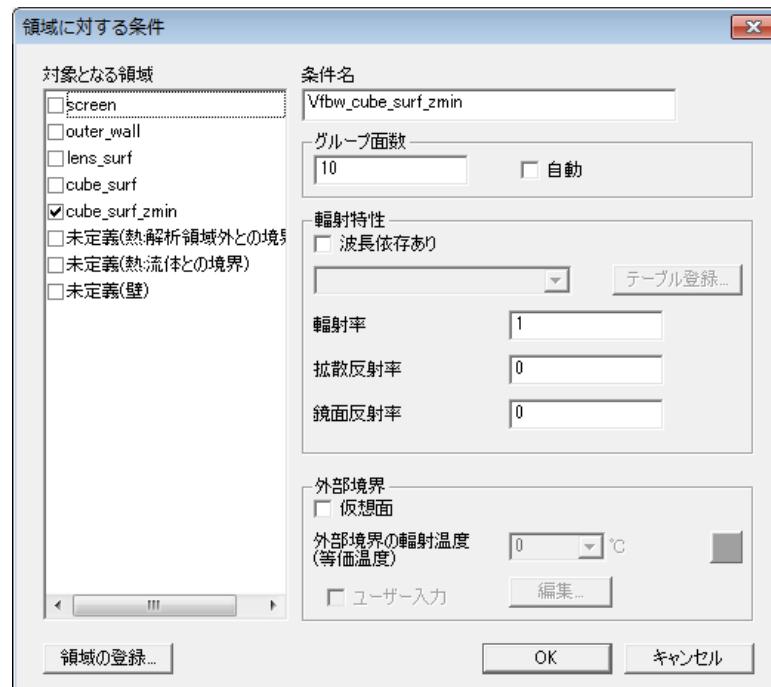
- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 伝熱パネル条件  
スクリーン[screen]を伝熱パネルに設定します。
- 発熱条件  
発熱源([cube])で体積発熱条件 500[W]

- 輻射
  - 面領域指定 [cube\_surf\_zmin] : 輻射率 1  
: グループ面数 10
  - [outer\_wall] : 輻射率 1  
: グループ面数 5
- MAT指定 MAT2 : 屈折率 1.6  
: 吸收係数 10 [1/m]
- MAT4 : 輻射率 1  
: グループ面数 1000
- マトリックス解法  
方程式T(温度)に対し、MILUCG-STAB法を選択します。  
(メモ) 発熱量の大きな高温の輻射解析を行うため、デフォルトのマトリックス解法では不安定になります。やや収束速度は劣りますが流速U, V, Wで用いられているマトリックス解法に変更します。
- 圧力固定  
 $(X, Y, Z) = (0.0075, 0.04, 0.4)$  : 圧力値0[Pa]
- 出力条件  
FLD(表面データ) : 照射熱量

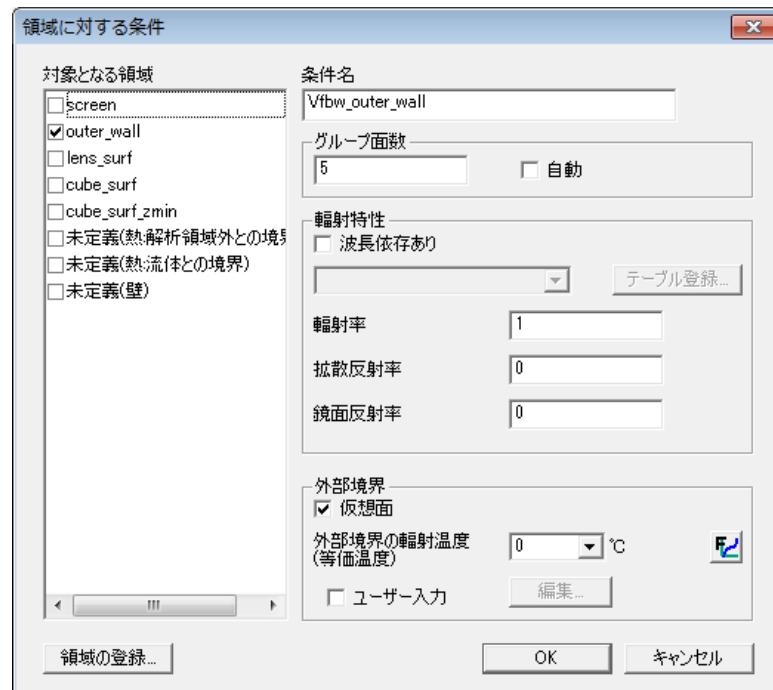
## 特記事項

### - 輻射解析の条件設定

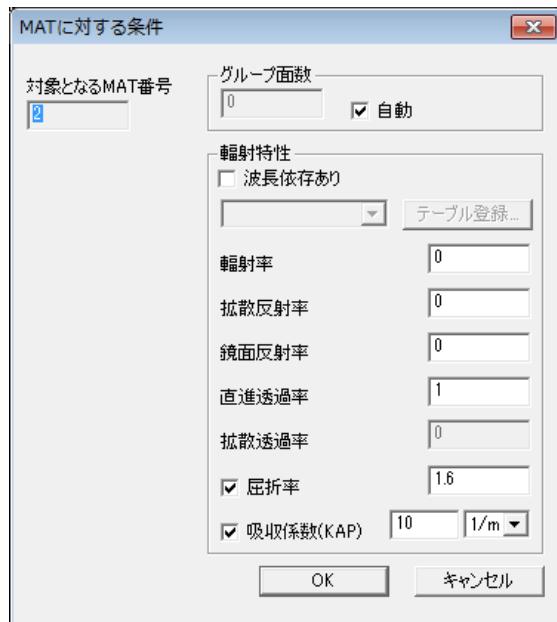
- [VF法]で[マルチバンド]を選択します。(波長帯は1バンドだけ使用します。)
- [面領域指定]を選択して、新規をクリックします。[対象となる領域]の[cube\_surf\_zmin]をONにします。[グループ面数]の[自動]をOFFにして、[10]を設定します。[輻射率]は[1]に設定します。OKをクリックします。



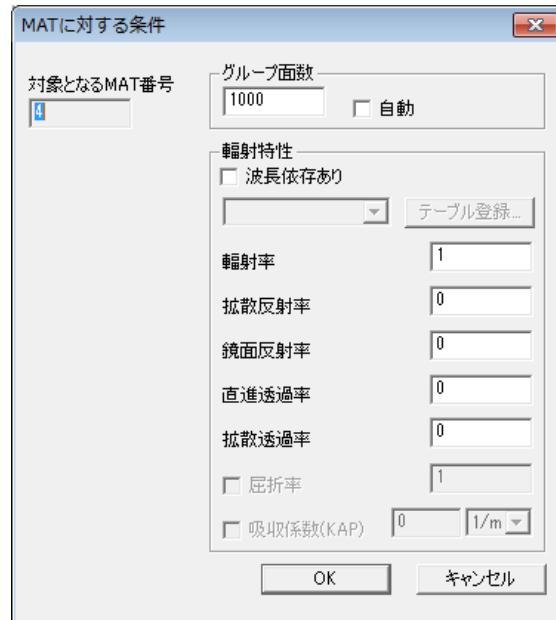
- 再び新規をクリックします。[対象となる領域]の[outer\_wall]をONにします。[グループ面数]の[自動]をOFFにして、[5]を設定します。[輻射率]は[1]に設定します。[外部境界]の枠内の[仮想面]にチェックを入れ、[外部境界の輻射温度]に[0.0 °C]を入力します。OKをクリックします。



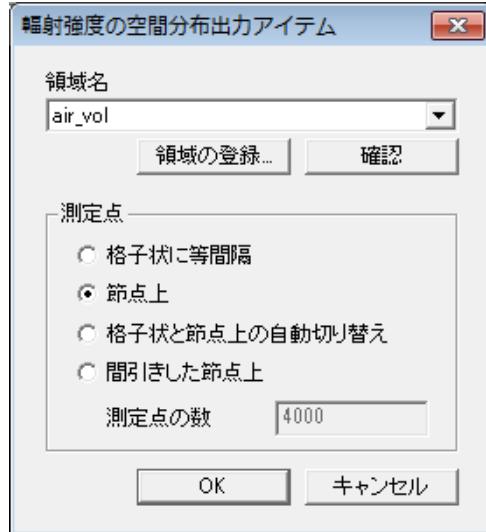
- [MAT指定]を選択して[MATに対する条件]でMAT2を選択し、[編集]を押します。[直進透過率]に[1]を入力してから[屈折率]にチェックを入れ[1.6]、[吸収係数(KAP)]には[10 1/m]を設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- 再び[MATに対する条件]でMAT4(パネル領域)を選択し、[編集]を押します。[グループ面数]の[自動]をOFFにして、[1000]を設定します。[輻射率]を[1]に設定し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。スクリーンは輻射が照射されるため、グループ数を多くして輻射熱の精度(解像度)を上げるようにします。



- [図化出力(空間分布)]を選択すると、[輻射強度(UVSD)]が選択されています。新規をクリックしてダイアログを開き、[領域名]で[air\_vol]を選択します。デフォルトで[間引きした節点上]が選ばれ、[測定点の数]に[4000]が入力されていますが、[節点上]を選択します。そのままOKをクリックしてダイアログを閉じます。



(メモ) 輻射強度を図化データに出力するための設定です。輻射場[air\_vol]に対して設定しますが、解析には必要ありません。吸収係数を扱う光学レンズ(MAT=2)には吸収熱を算出するために輻射強度が必要ですが、吸収係数が設定されているため、輻射強度が自動で算出されるようになっています。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA05-3.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [温度]をONにし、[伝熱パネル]と[輻射]もONにします。

#### 2. [基本設定]

- ・ [重力]の[考慮する]をONにします。  
[(X, Y, Z)] : [(0, -9.8, 0) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにてMAT[1]に設定されている[空気(非圧縮20°C)]をダブルクリックし、[浮力を考慮する]をONにし、[体膨張率]に[0.00341 1/K]と入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- ・ MAT[2]を選択し、[物性値]から[ガラス]-[石英ガラス(300K)]を選択して適用をクリックします。
- ・ MAT[3]を選択し、[物性値]から[純金属]-[銅(Cu)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [伝熱パネル]

- ・ [パネル領域]が選択された状態で、[パネル領域一覧]の枠の中の新規をクリックします。[対象となる領域]で[screen]をONにして、[パネル領域名]に[screen\_pnl]を、[厚み]に[0.01 m]を入力します。[物性値]をクリックし、[グループ名]で[純金属]、[参照する物性値]で[鉄(Fe)]を選択して[物性値名]に[iron(Fe)\_pnl]を入力します。

#### 5. [デフォルト境界条件]

以下のとおり設定します。

- ・ 未定義(壁) : 静止壁に設定
- ・ 未定義(熱:解析領域外との境界) : 外部温度に固定(0°C)
- ・ 未定義(熱:流体との境界) : ギャップ要素に熱抵抗なし

#### 6. [境界条件]

- ・ [領域]から[cube\_surf]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 7. [発生条件]

- ・ [領域]で[cube\_vol]を選択した状態で、[発熱・発煙・乱流・質量]の新規ボタンをクリックします。開いたダイアログの中で[総発熱量]に[500 W]を入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 8. [輻射]

- ・ 特記事項 輻射解析の条件設定を参照してください。

## 9. [計算条件]

- [マトリックス解法]を選択します。[設定]の枠内で[方程式]に[T]を選びます。デフォルトをクリックすると[粗格子補正CG-STAB法]が選ばれ、[最大反復回数]に[100]、[相対誤差]に[0.0001]が設定されます。その後、[MILUCG-STAB法]を選択し、登録をクリックします。
- [圧力]を選択します。[圧力固定]の枠内で、[圧力]に[0 Pa]、[場所(X,Y,Z)]に[0.075 m], [0.04 m], [0.4 m]を入力し、登録をクリックします。

## 10. [出力条件]

- [FLD(表面データ)]を選択します。表面データのリストから[照射熱量]を選択し、設定をクリックします。[出力する]を選んでOKをクリックします。

## - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA05-3.octを読み込みます。

## - メッシュ作成

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[screen]	自動		
[outer_wall]			
[lens_surf]	[厚みをオクタントサイズから自動で求める] にチェックを入れる。	1.1	
[cube_surf]			2

## - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

## - 計算コストの目安

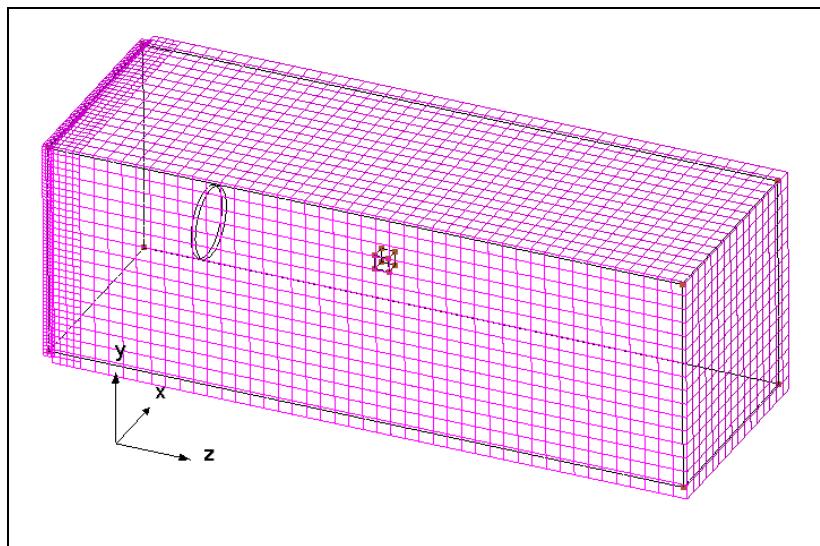
- SCTsolverの実行時間  
約28分

- 計算サイクル数  
約115サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

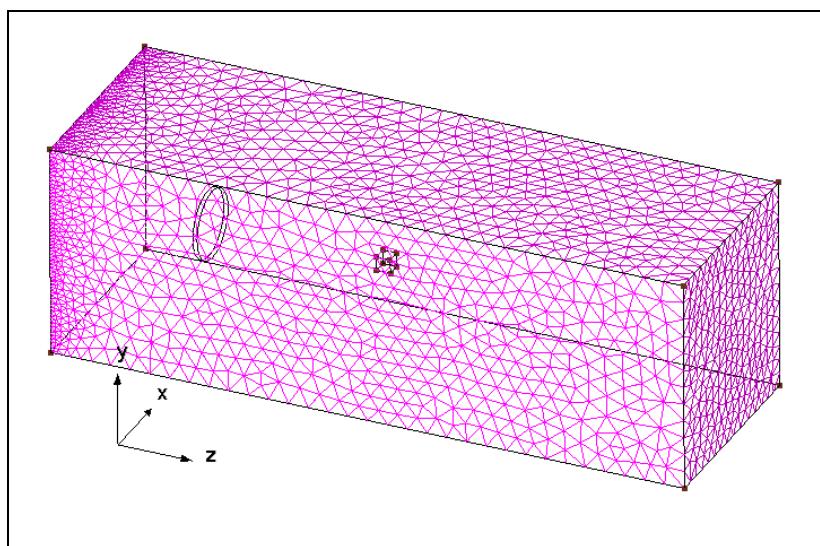
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.002[m]~0.01[m]

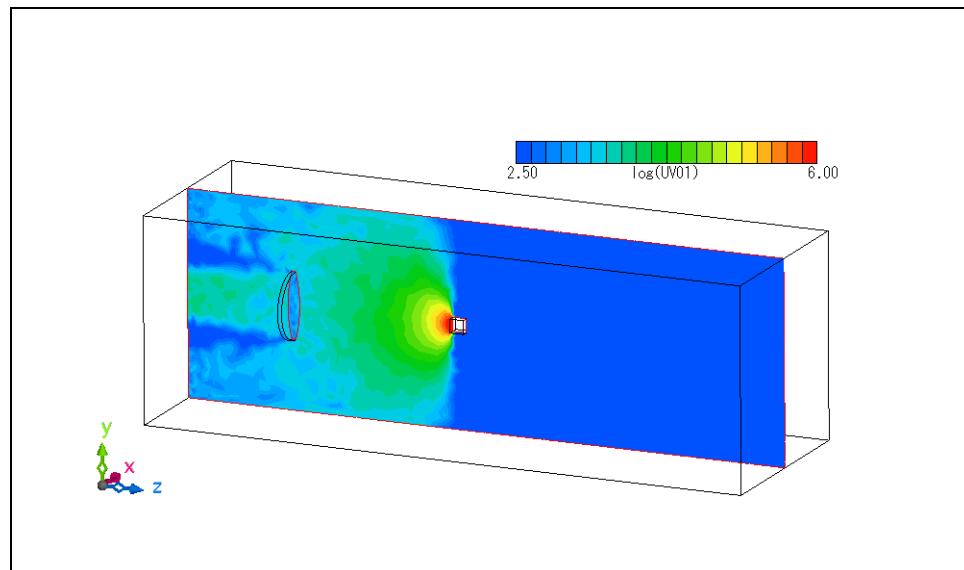
- メッシュ図



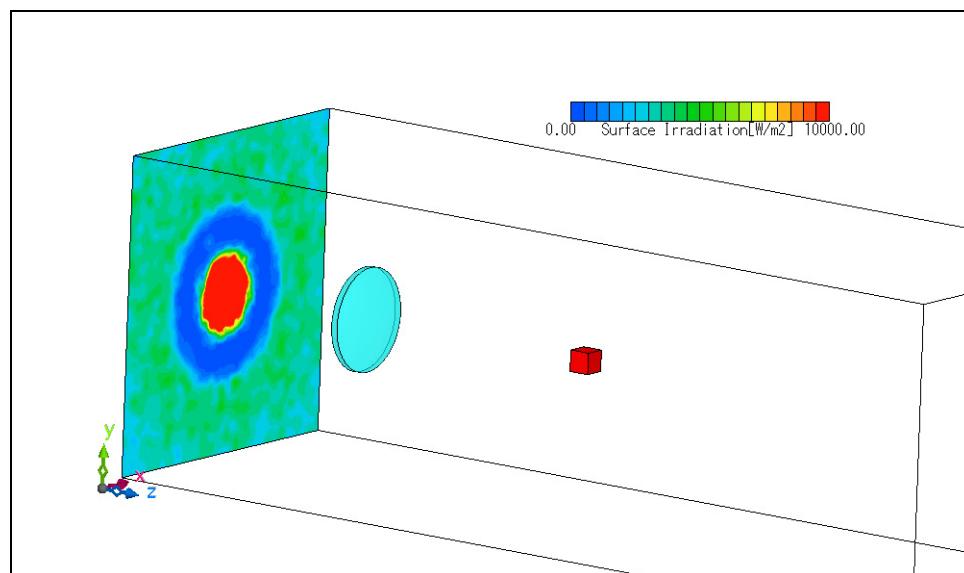
要素数 : 165,782

## 解析結果

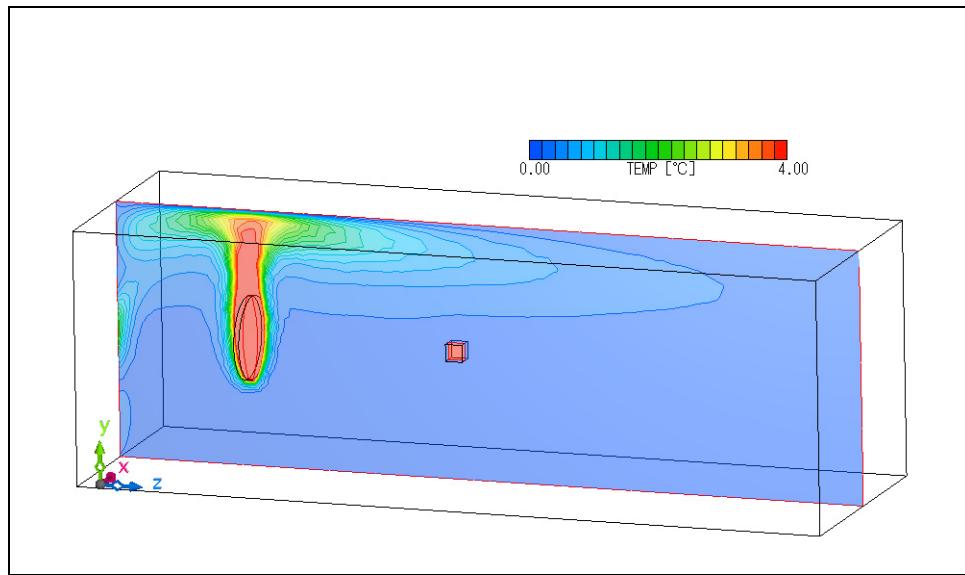
- 輻射強度の空間分布コンター図(常用対数指標)  
紫外線強度(UV)を変数登録したものを表示  
 $\log(\text{UV}01)=\ln(\text{UV}01)/2.30258509$



- スクリーンへの輻射の照射強度コンター図



- 断面の温度コンター図

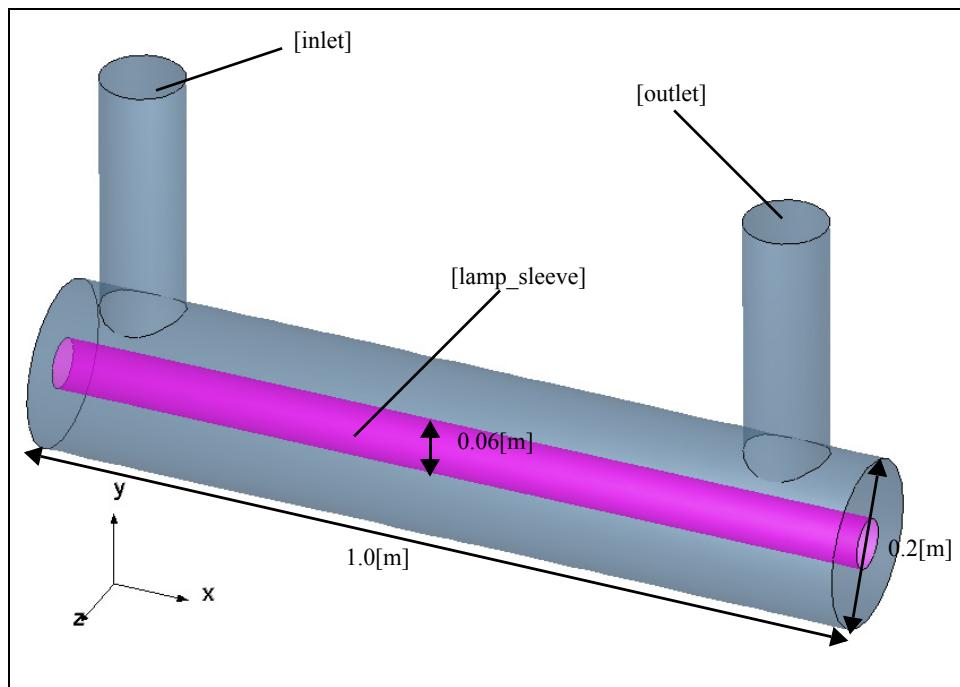


(メモ) 光学レンズには屈折率と吸収係数が与えられています。スクリーンへの輻射の照射強度コンター図では、光学レンズの屈折による集光効果でスクリーン中央に照射が集中しています。また吸収係数があるため、光学レンズは輻射を一部吸収し、発熱して温度が周囲より高くなっています。

## 例題5.4 紫外線照射量

輻射解析の機能を応用して、紫外線の照射量を算出することができます。それに流れと拡散解析を組み合わせることにより、流路を流れる媒体の紫外線の被照射量を積算させ、流出口での積算照射量の結果を見ることができます。通常の輻射解析では熱解析を補強するものとして輻射解析を行いますが、この解析では紫外線強度を求めることが目的であるため、熱解析を行いません。また、紫外線が媒体に吸収される吸収係数も考慮することができます。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

直径 $0.2[\text{m}]$ 、長さ $1.0[\text{m}]$ の円筒形のダクトがあり、円筒の芯には直径 $0.06[\text{m}]$ の[lamp\_sleeve]があります。[lamp\_sleeve]からはダクト内に紫外線を照射し、[inlet]から[outlet]へ流体を流します。流路において、紫外線強度に応じた拡散物質の発生を行わせることで、紫外線の被照射量を積算させます。

### 解くべき方程式

- 運動量方程式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\epsilon$ 方程式
- 拡散方程式

## 解析選択

- 輻射(VF法) : 輻射の解析を行います。
- 拡散 : 紫外線の非照射量を積算します。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 水(非圧縮20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)][水(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 拡散

- 拡散物質を一つ設定します。

### - 境界条件

- 流入口[inlet] : 流速規定 0.1[m/s]
- 流出口[outlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面[wall\_duct],[lamp\_sleeve] : 静止壁

### - 発生条件

- 流路全体[water\_vol]に拡散物質番号1で放射線強度による発生を行います。  
特記事項 放射線強度による発生の条件設定を参照してください。

### - 輻射

- 特記事項 紫外線強度算出(輻射)の条件設定を参照してください。

### - 出力条件

- 領域平均値・総量  
[inlet], [outlet]での[拡散物質濃度(1)]を出力指定します。

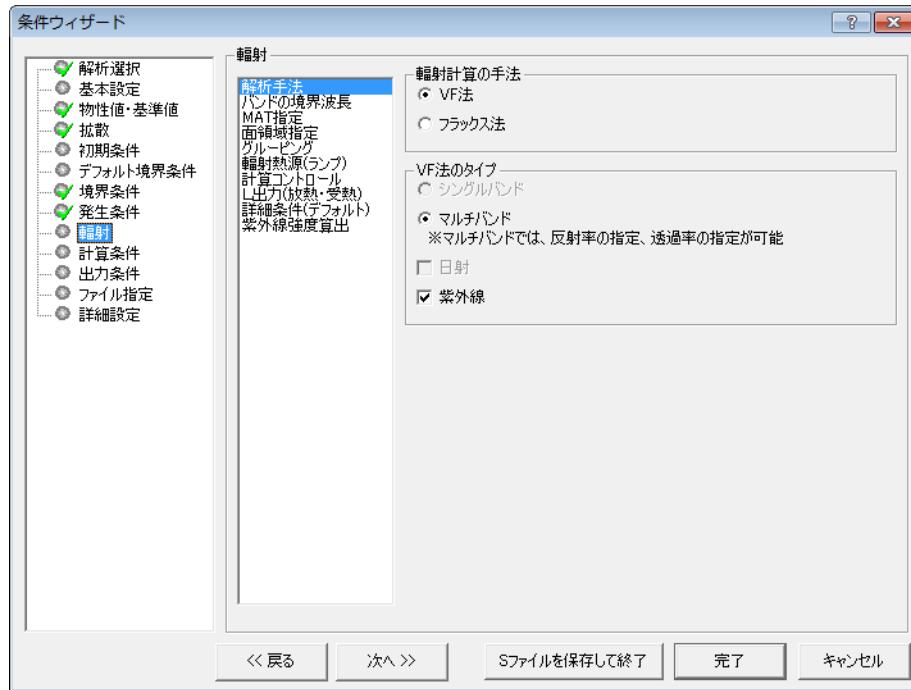
### - その他

- 乱流モデル  
標準k-εモデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

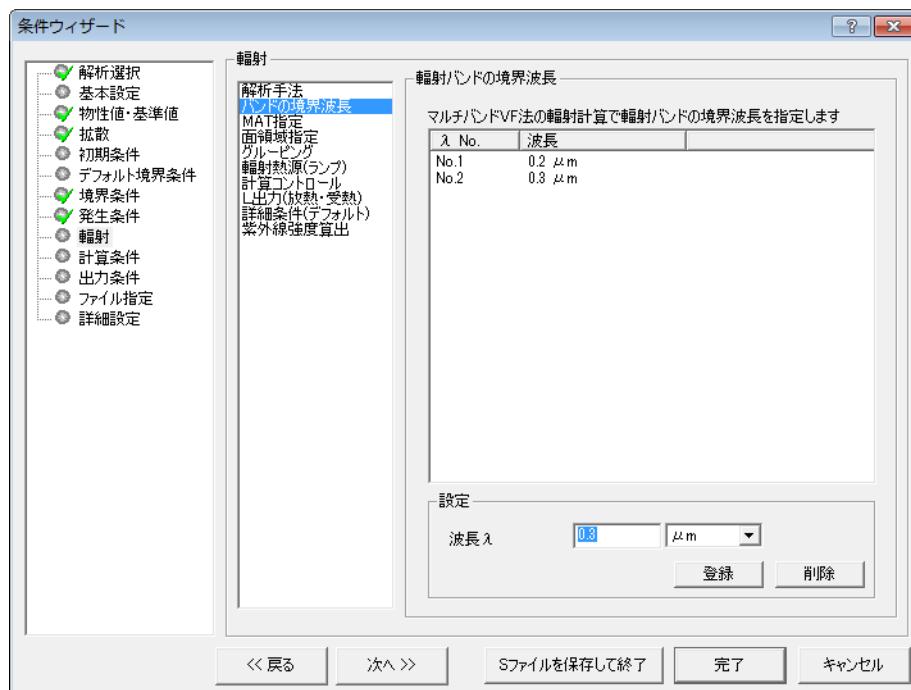
## 特記事項

### - 紫外線強度算出(輻射)の条件設定

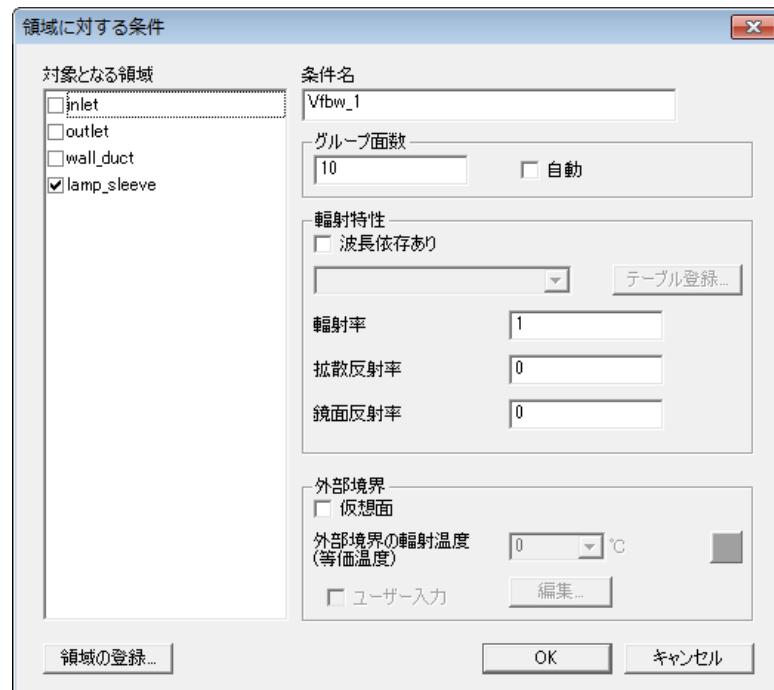
- [VF法]で[マルチバンド]を選択し、[紫外線]をONにします。



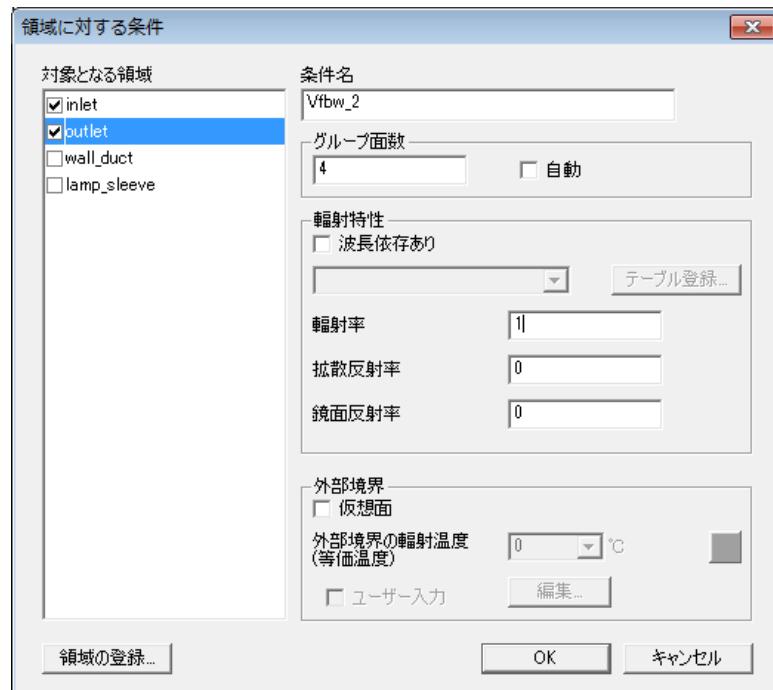
- [バンドの境界波長]を選択します。[設定]の[波長  $\lambda$ ]に[0.2  $\mu\text{m}$ ]を入力し登録をクリックします。続いて[0.3  $\mu\text{m}$ ]を入力し、もう一度登録をクリックします。すると、[輻射バンドの境界波長]にNo.1とNo.2が登録されます。



- [面領域指定]を選択し、新規をクリックします。[対象となる領域]の[lamp\_sleeve]をONにします。[グループ面数]の[自動]をOFFにして、[10]を設定します。[輻射率]は[1]に設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

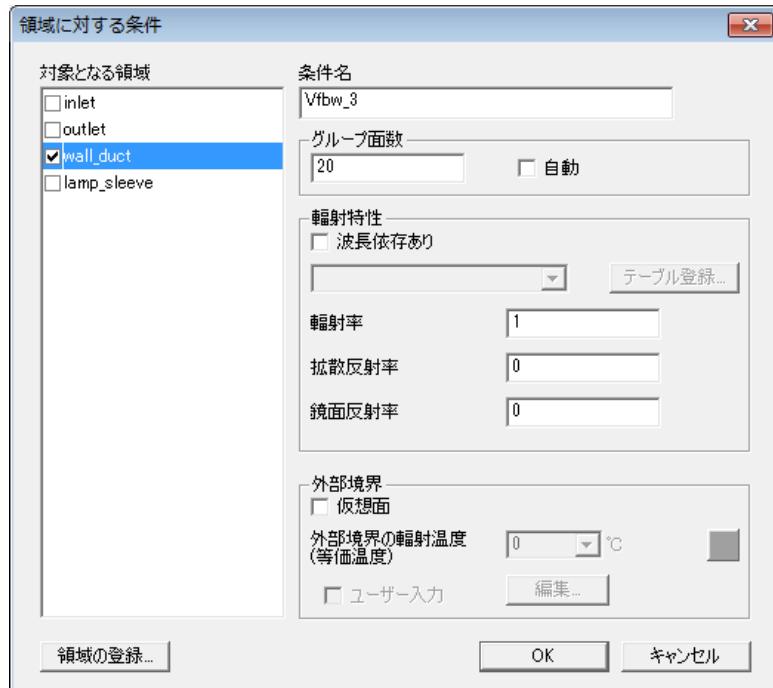


- 再び新規をクリックします。[対象となる領域]の[inlet],[outlet]をONにします。[グループ面数]の[自動]をOFFにして、[4]を設定します。[輻射率]は[1]に設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

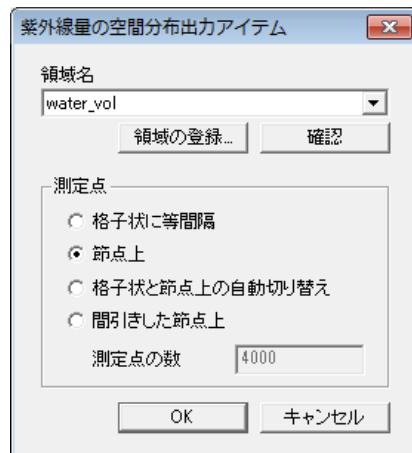
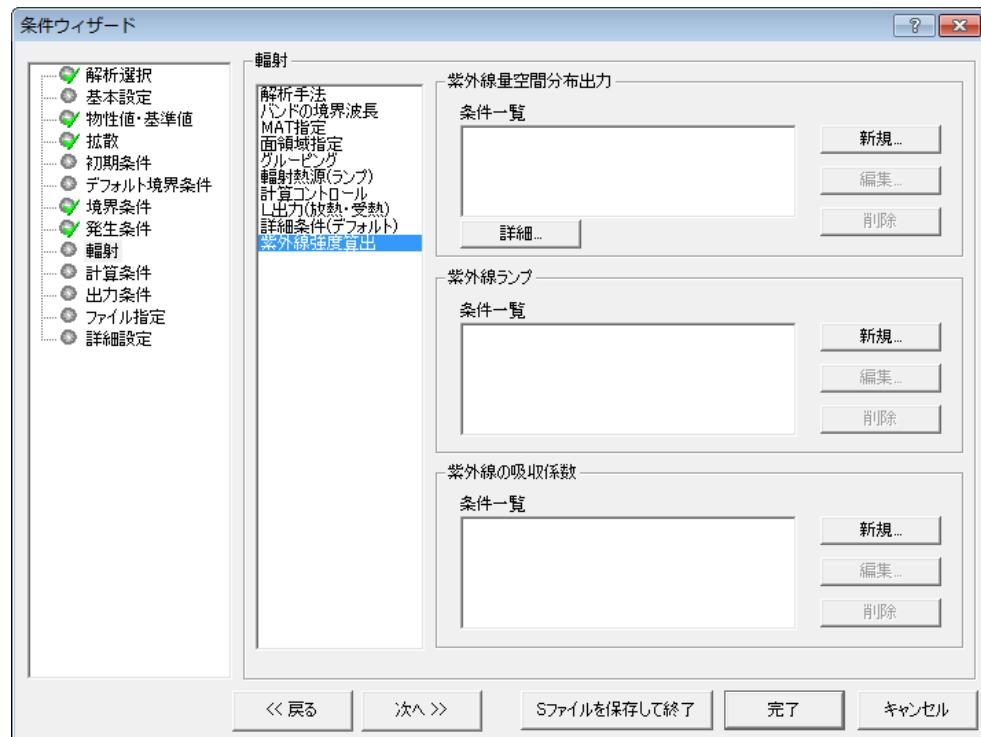


(メモ) 輻射のグループ面数は少なく設定しています。熱解析を行わないため、グループ面数を多くして、輻射熱の計算精度を向上させる必要はありません。

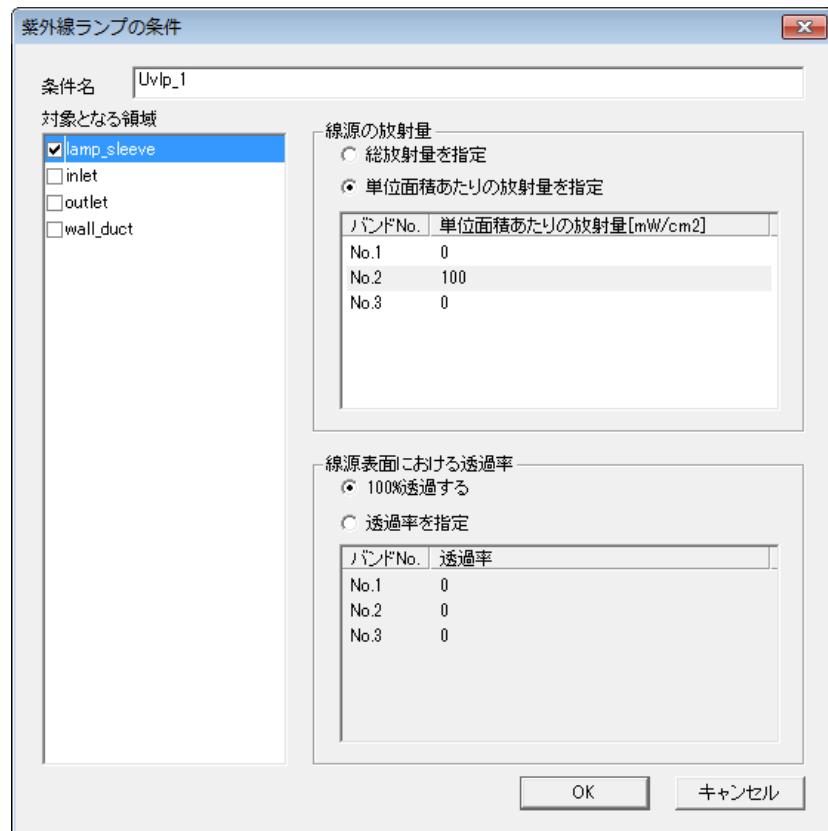
- 再び新規をクリックします。[対象となる領域]の[wall\_duct]をONにします。[グループ面数]の[自動]をOFFにして、[20]を設定します。[輻射率]は[1]に設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



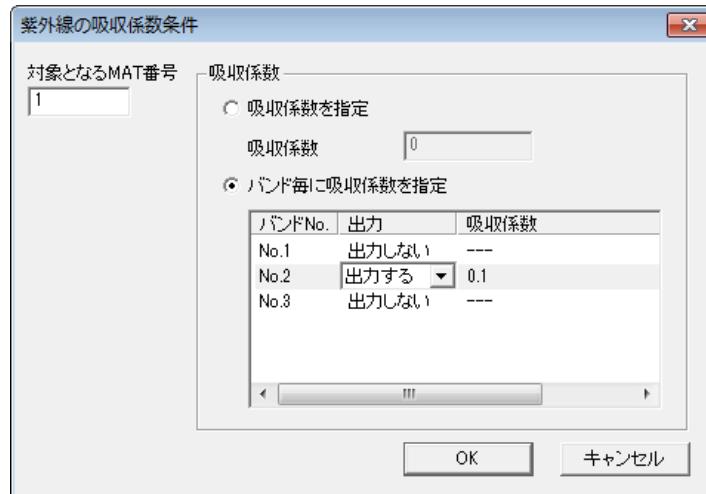
- [紫外線強度算出]を選択し、[紫外線量空間分布出力]の新規をクリックします。開いたダイアログで[領域名]に[water\_vol]を設定し、[測定点]の[節点上]を選択します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- [紫外線ランプ]の新規をクリックします。開いたダイアログの[対象となる領域]で、[lamp\_sleeve]をONにします。[線源の放射量]で[単位面積あたりの放射量を指定]を選択し、バンドNo.の[No.1],[No.2],[No.3]に対してそれぞれ[0],[100],[0]を設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- ・ [紫外線の吸収係数]の新規をクリックします。開いたダイアログの[吸収係数]で[バンド毎に吸収係数を指定]を選択します。バンドNo.の[No.1],[No.3]で[出力しない]に変更し、[No.2]の吸収係数に[0.1]を設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



### - 放射線強度による発生の条件設定

- ツリーの[発生条件]をクリックし、[water\_vol]を選択します。[新規]の枠内で[発熱・発煙・乱流生成・質量発生条件]をクリックします。開いたダイアログの[発生]の欄で[発煙]を選択し、[発煙量の指定方法]の欄で[放射線強度による発生]を選択します。[発煙量]の欄で[値指定]を選び、[係数]に[1]を、[バンド番号]に[2]を設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA05-4.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [拡散]をONにし、[輻射]もONにします。ただし、[温度]はOFFのままです。

#### 2. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにて物性値ライブラリから[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選び、適用をクリックします。

#### 3. [拡散]

- ・ 特に何も入力せず、適用をクリックします。[拡散係数], [標準生成熱], [モル質量]の値はすべて[0]で拡散物質が設定されます。

#### 4. [境界条件]

- ・ [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]を[0.1 m/s]とします。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- ・ [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[wall\_duct], [lamp\_sleeve]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 5. [発生条件]

- ・ 特記事項 放射線強度による発生の条件設定を参照してください。

#### 6. [輻射]

- ・ 特記事項 輻射解析の条件設定を参照してください。

#### 7. [出力条件]

- ・ [領域平均値・総量]を選択します。新規をクリックしてダイアログを開き、[対象となる領域]で[面領域]を選択します。[inlet],[outlet]をONにして、[変数]には[拡散物質濃度(1)]を、[重み]には[体積流量]を選択します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA05-4.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall_duct] [lamp_sleeve]	自動 [厚みをオクタントサイズから自動で求める] にチェックを入れる。	1.1	2

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

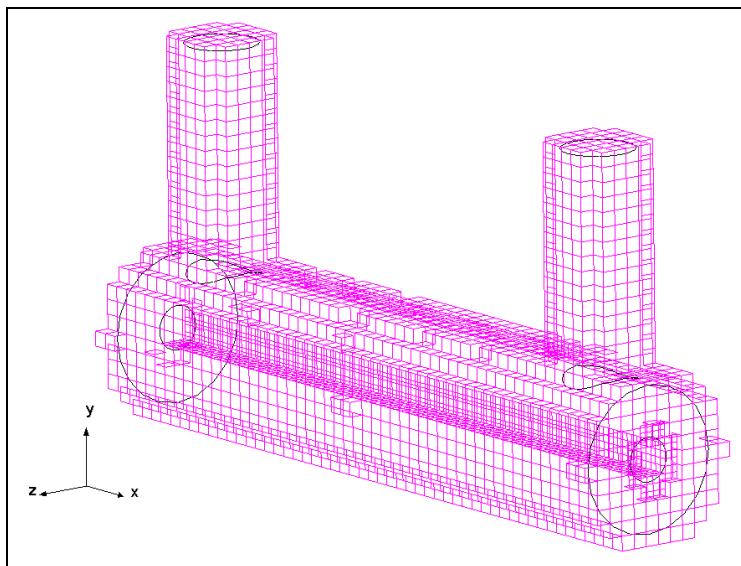
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約8分
- 計算サイクル数  
約110サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

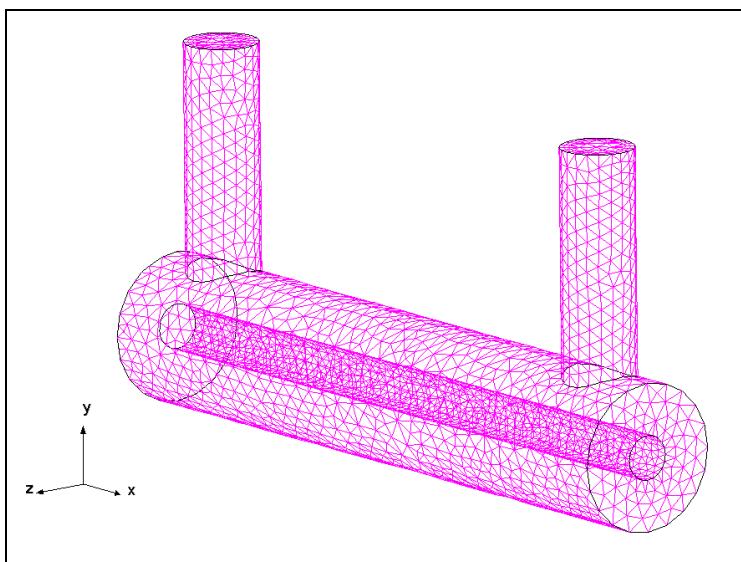
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.01[m]~0.02[m]

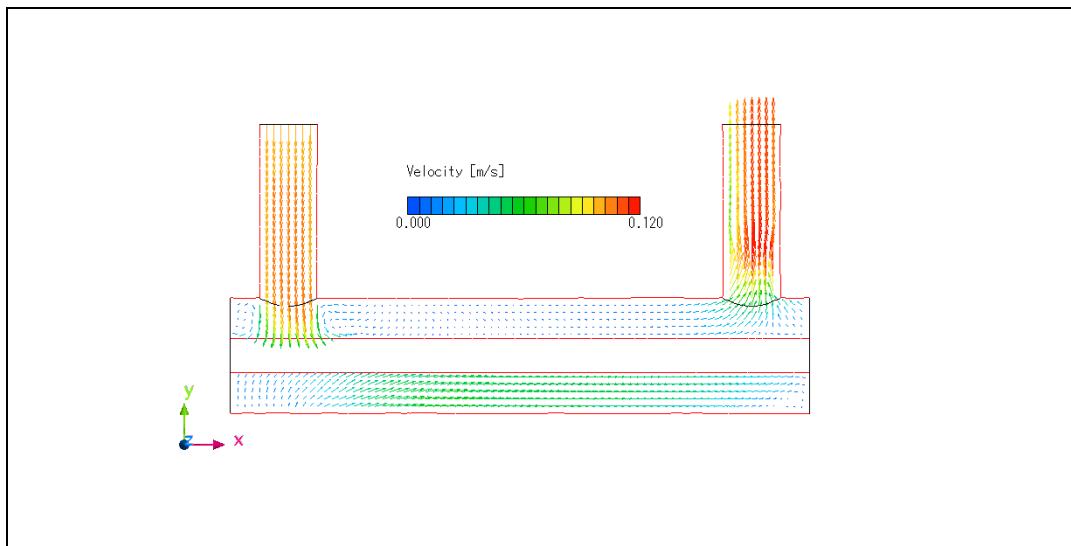
- メッシュ図



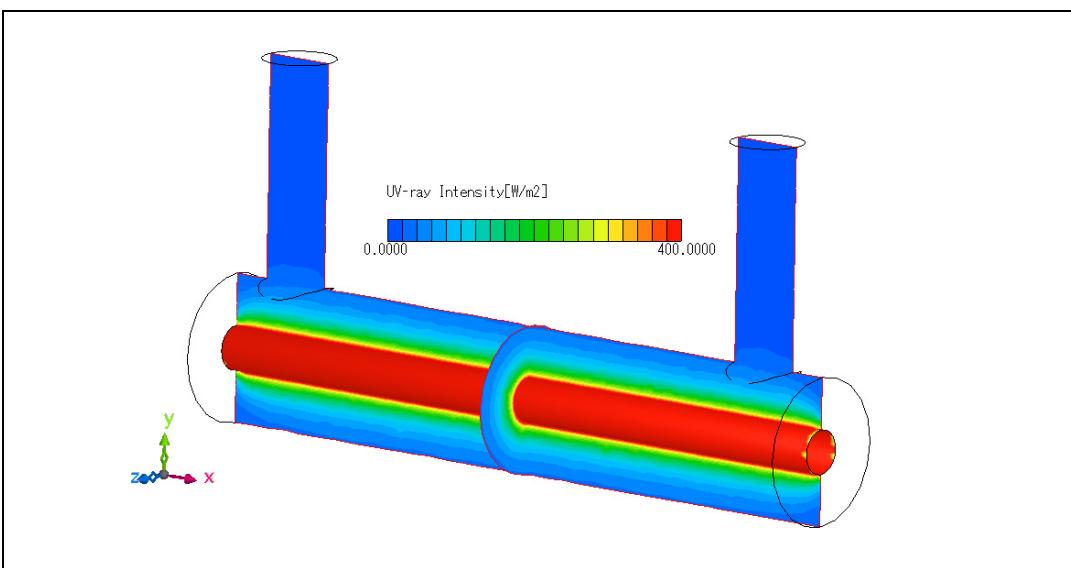
要素数 : 53,246

## 解析結果

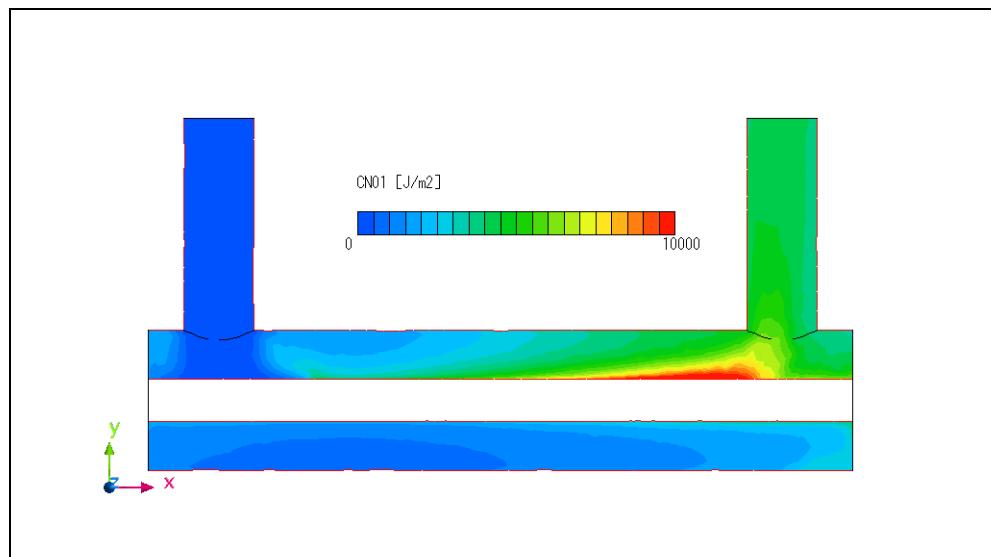
- 流速ベクトル図



- 紫外線の照射強度センター図



- 紫外線の積算照射量センター図(拡散物質濃度)



(メモ) 拡散物質濃度(CN01)を流出口で平均すると、通過した媒体の紫外線照射量の積算値の平均が得られます。outletにおける拡散物質濃度の平均値を出力する設定を行っており、その値は約400[mJ/cm<sup>2</sup>]となっています。

---

## 機能6 輻射(日射)

---

---

## 機能説明

- 太陽光により地表面に到達する日射の量は、日中には温度分布に大きな影響を及ぼします。日射の機能は、太陽位置と日射を受ける物体との相互関係から日射の影響を受ける部分を特定し、日射による影響をエネルギー方程式に対する発熱項として考慮します。
- 太陽からの日射量は、日射を受ける物体に対する太陽光の入射角で変化するので、解析地点での各季節、各時刻より太陽位置を知る必要があります。太陽の位置は、太陽高度と方位角によって決定されますが、これらの値を求めるためには解析地点での緯度、経度、建物の方位、計算開始時の日中時刻等が必要となります。

## 注意事項

- 輻射解析(日射)は、以下の機能との併用はできません。

重合格子、自由表面、空力騒音解析、密度ベースソルバー

- 一般的に非定常解析で使用します。定常解析でも使用できますが、太陽位置は計算開始時刻から移動しません。そのため、ある時刻の日射量を無限時間受け続ける計算を行うことになりますので、受ける日射量は現実的に意味の無いものとなります。
- 日射解析を行う時は、日射による発熱の単位に[W(=J/s)]が使用されるため、SI単位系を用いる必要があります。
- 日射解析は機能制約上、VF法を必ず使用する必要があります。ブラックス法を用いての日射解析は行えません。
- SCRYU/Tetraでは、日射は形態係数を用いた輻射と共に計算されます。そのため、日射を考慮する境界面は、"輻射面"として登録する必要があります。
- 日射が入る面(=日射面)に与える日射透過率は、輻射面として定義する際に与える日射吸収率と以下の関係となります。  
$$(日射透過率) + (日射吸収率) + (日射反射率) = 1$$

## 結果として出力されるもの

### - 計算時メッセージ

- 太陽位置を計算するごとに太陽位置や直達日射量などの日射情報が出力されます。詳しくは、[ユーザーズガイド リファレンス\(ソルバー\)編 3.1 \(14\) 日射](#)を参照してください。

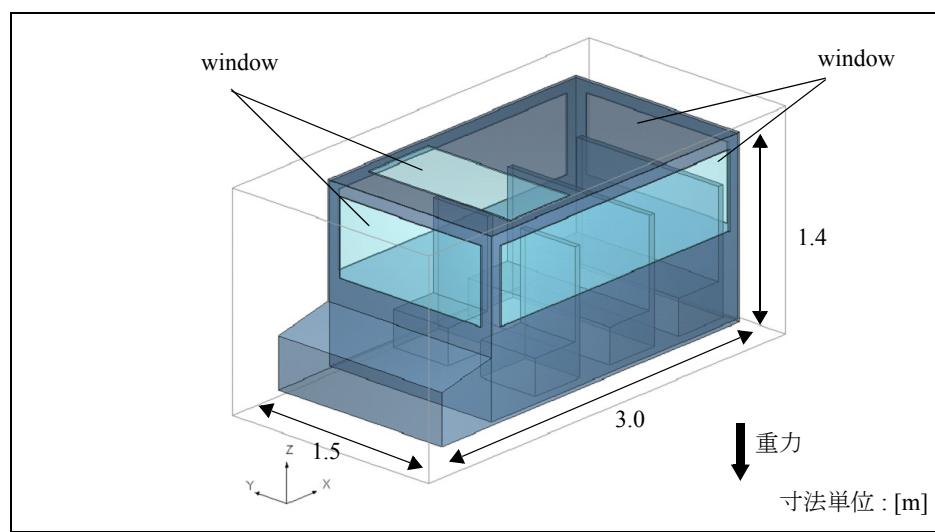
## 関連コマンド

- FOUT : SUNS (日射の照射熱量 [W/m<sup>2</sup>])  
HTRD (輻射、日射の表面熱流束(入熱が正) [W/m<sup>2</sup>])
- INSO : 日射面の定義
- SOLA : 日射量の定義
- VFMA : 日射吸収面の定義(MATごと)
- VFWL : 日射吸収面の定義(面領域ごと)

## 例題6.1 日射機能を用いた自然対流の解析

**SCRYU/Tetra**では、形態係数を用いた輻射解析機能を使って日射解析を行います。ここでは、自動車を模した空間内の自然対流を解析する例題を通して、日射解析の設定方法を学びます。

### 解析モデル



上図のような、上面と側面に日射を透過する窓を備えた空間内の自然対流を解析します。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k- $\varepsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 自然対流の解析を行います。
- 温度(輻射) : 輻射を考慮した温度解析を行います。

### 解析条件

#### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(自然対流20°C)  
物性値ライブラリより[流体(自然対流)] - [空気(自然対流20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 鉄(Fe)  
物性値ライブラリより[純金属] - [鉄(Fe)]を使用します。
- MAT=3 : 石英ガラス(300K)  
物性値ライブラリより[ガラス] - [石英ガラス(300K)]を使用します。

### - 境界条件

- 壁面 [mat1vs2], [mat1vs3] : 静止壁  
ギャップ要素に熱抵抗なし  
乱流熱伝達考慮
- [mat1vs2], [mat1vs3] : フリースリップ  
外部温度に固定 20[°C]  
乱流熱伝達考慮

### - 初期条件

- 溫度(全てのMAT) : 20[°C]

### - その他

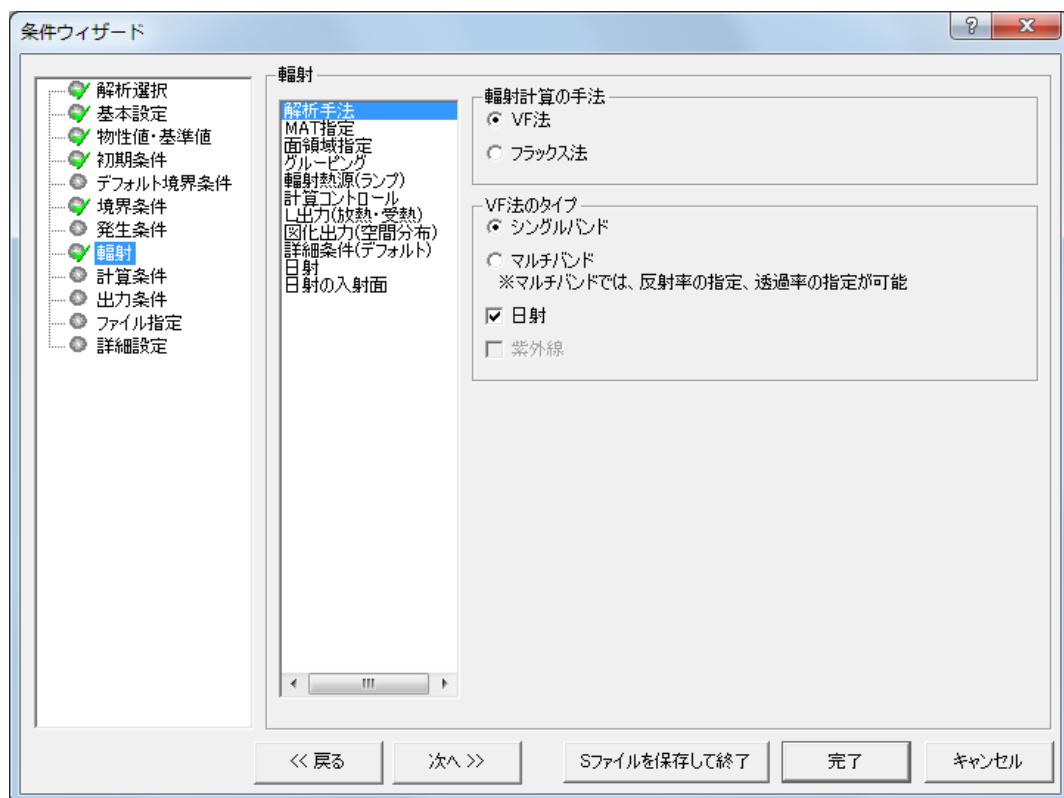
- 乱流モデル  
標準 k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 600[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.5[s]  
ラジオシティ計算間隔 : 10[s]
- 日射解析  
デフォルト値の地理情報・時期(東京・9月)を用いて、午後2:00の太陽位置から日射解析を開始します。X軸正方向を北東とし、解析外領域と各窓が接する面から日射があるとします。各境界面での日射・輻射の条件設定は以下の通りです。

輻射面 [mat1vs2] : 輻射率0.9 日射吸収率0.9  
 [mat1vs3] : 輻射率0.9 日射吸収率0  
 日射面 [mat1vs3] : 日射透過率0.9  
 天空日射量に乗ずる係数1.0

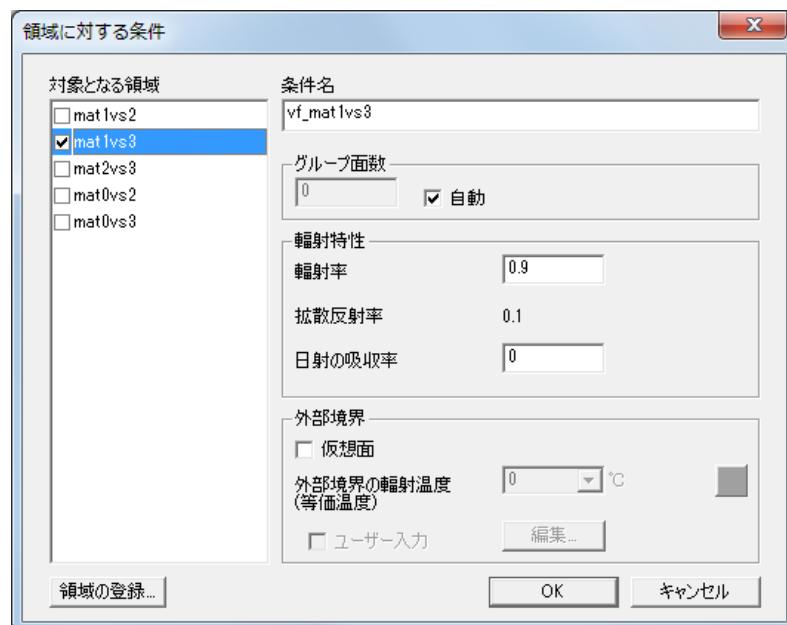
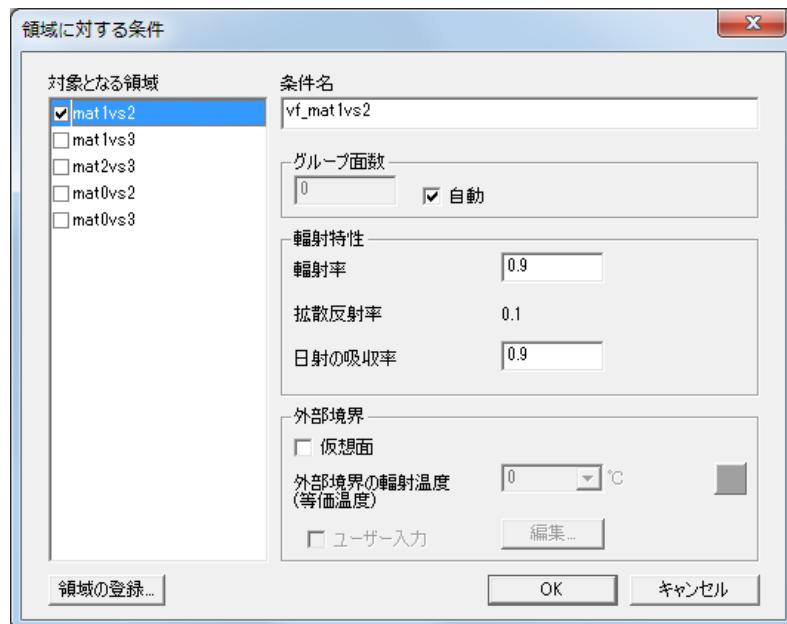
## 特記事項

### - 日射解析条件設定の手順

- ・ [条件ウィザード] - [解析選択]で[温度], [輻射]をONにします。
- ・ [条件ウィザード] - [輻射]において[解析手法]を以下のように設定します。  
 [輻射計算の手法] : [VF法]を選択  
 [VF法のタイプ] : [シングルバンド]を選択、[日射]をON  
 [解析手法]の設定が完了しましたら、続いて[面領域指定]を選択します。



- [面領域指定]では面に対する輻射条件を新規作成します。新規をクリックすると、[領域に対する条件]ダイアログが開きます。以下の設定画面にしたがって、例題に必要な条件の設定を行います。



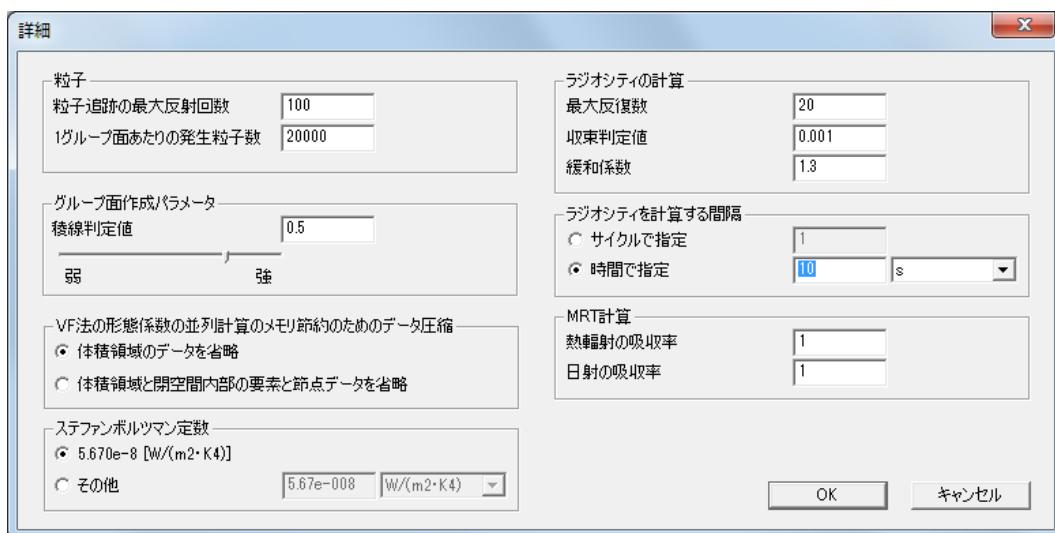
- 以上で[面領域指定]の設定は終わりです。続いて[詳細条件(デフォルト)]を選択します。

(メモ) [面領域指定]は[MAT指定]よりも優先されます。つまり[MAT指定]は[面領域指定]にもれた物体表面に対して有効となります。

- 詳細をクリックして[ラジオシティを計算する間隔]を以下のように設定します。

[時間で指定] : [10 s]

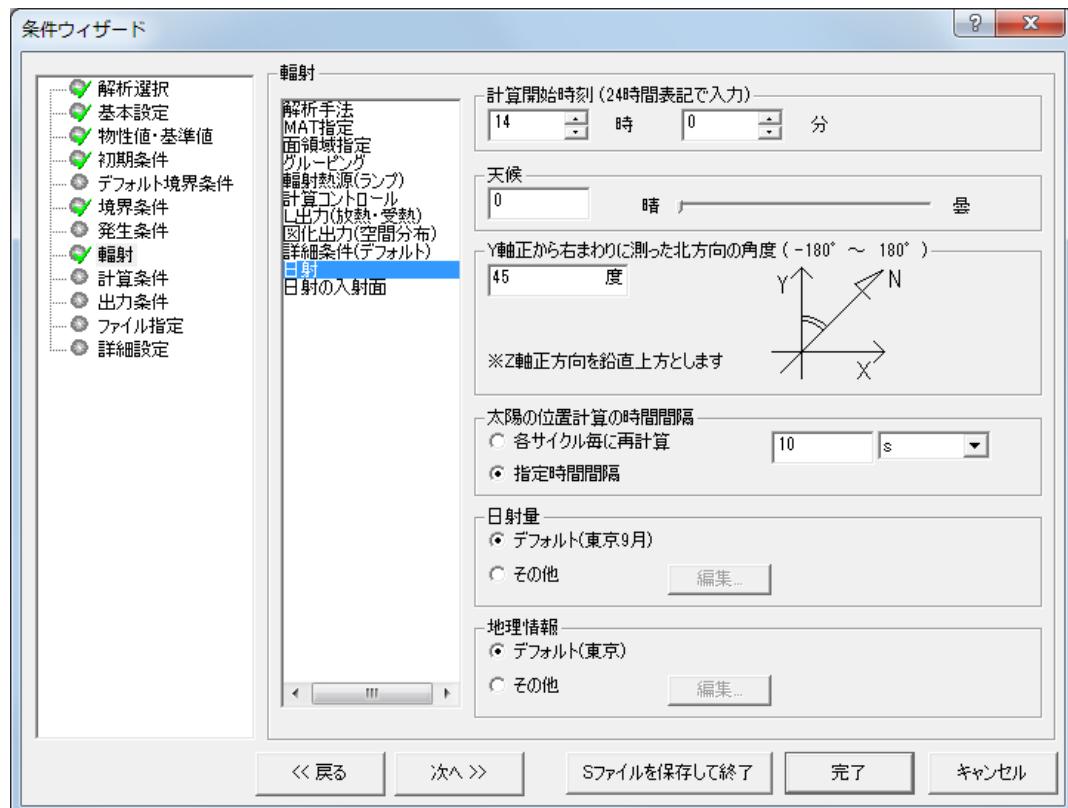
そのほかの設定はデフォルトのままとします。



- 本例題では[MAT指定], [グルーピング]～[図化出力(空間分布)]の設定は不要ですので、通常の輻射に関する設定は以上で完了となります。続いては[日射]に関する設定を行います。

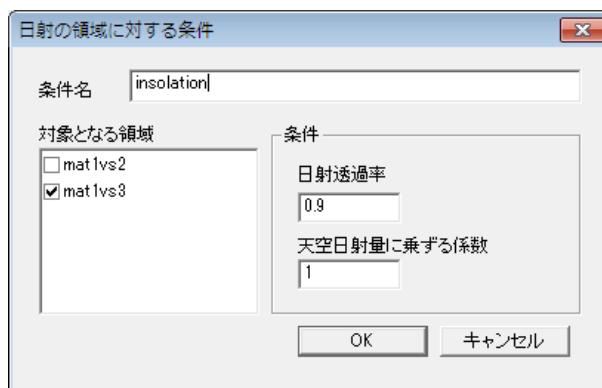
- [日射]で日射量を計算するための条件を設定します。

[計算開始時刻] : [14時0分]  
 [Y軸正から右回りに測った北方向の角度] : [45度]  
 [指定時間間隔] : [10s]



こちらのページに記載されている詳しい設定については、**ユーザーズガイドリファレンス(ソルバー)編 SOLAコマンド**をご参照ください。以上の設定が完了したら、[日射の入射面]に進みます。

- [日射の入射面]では日射面の登録をします。新規をクリックし、[日射の領域に対する条件]ダイアログを開きます。[mat1vs3]をONにし、[日射透過率]に[0.9]、[天空日射量に乗ずる係数]に[1]を入力します。[条件名]を設定後、OKをクリックします。



### 注意事項

日射面として登録する面は[面領域指定]で予め設定されている必要があります。

- 以上で日射計算に必要な設定は終了です。次へをクリックし、その他の必要な解析条件の設定が完了したら、Sファイルを保存し、解析を実行します。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA06-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [温度], [輻射]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [600]

- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。

[時間間隔] : [0.5 s]

- [重力]の[考慮する]をONにします。

[(X, Y, Z)] : [(0, 0, -9.8) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて、[流体(自然対流)] - [空気(自然対流20°C)]を選択して適用をクリックします。
- [物性値]タブにて、MAT[2]を選択します。続けて、[純金属] - [鉄(Fe)]を選択して適用をクリックします。
- [物性値]タブにて、MAT[3]を選択します。続けて、[ガラス] - [石英ガラス(300K)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [初期条件]

- 新規をクリックして、[初期値]ダイアログを起動します。
- [初期値]ダイアログにて、[変数]に[温度]を選択して、[値]に[20°C]を入力します。[対象の設定]で[MATで指定する]を選択し、[全てのMAT番号に適用]をONにします。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 5. [境界条件]

- [領域]から[mat1vs2], [mat1vs3]を複数選択して、壁面をクリックします。[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。続いて[壁面熱伝達条件]タブで[断熱]をOFFにします。OKをクリックし[壁面]ダイアログを閉じます。
- [領域]から[mat0vs2], [mat0vs3]を複数選択して、壁面をクリックします。[壁面熱伝達条件]タブで[断熱]をOFFにし、[外部温度]に[20°C]を入力します。OKをクリックし[壁面]ダイアログを閉じます。

#### 6. [輻射]

- 特記事項 日射解析条件設定の手順を参照してください。

## 7. [計算条件]

- [圧力]にて (X,Y,Z) = (2.375 , 0.75 , 0.16) の位置に0 [Pa]の圧力固定点を設定します。

## 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA06-1]と入力します。

## - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA06-1.octを読み込みます。

## - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[mat1vs2]	[0.01]	[1.1]	
[mat1vs3]			[2]

## - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

## - 計算コストの目安

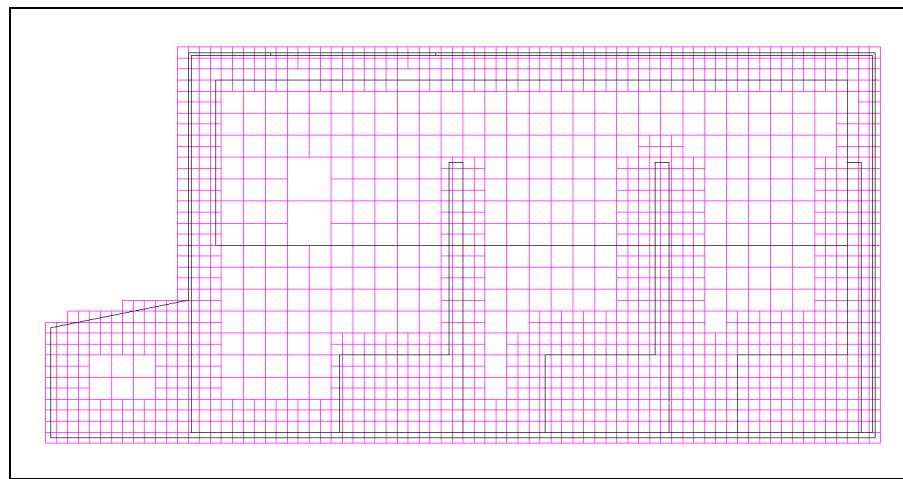
- SCTsolverの実行時間  
約20分

- 計算サイクル数  
600サイクル

\* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

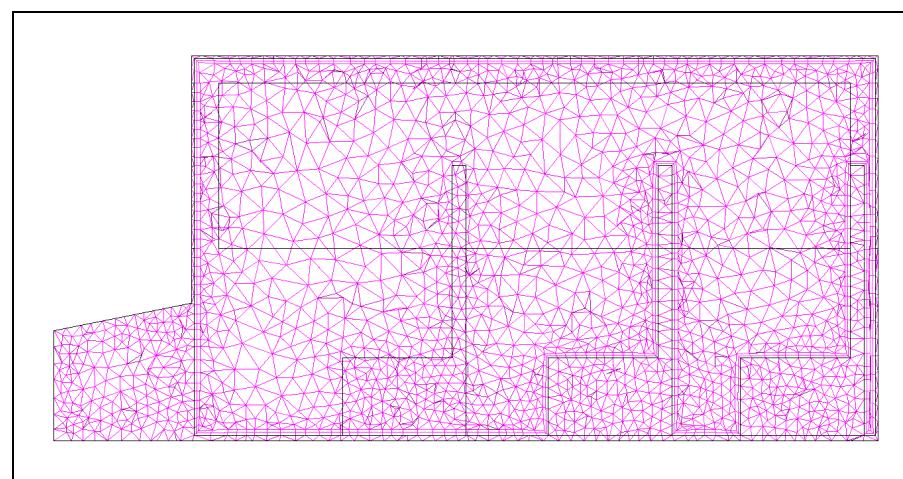
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.04[m]~0.16[m]

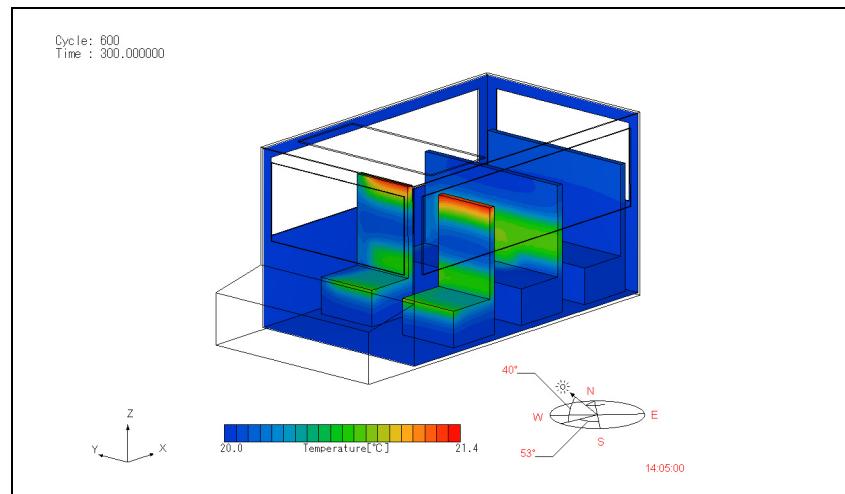
- メッシュ図



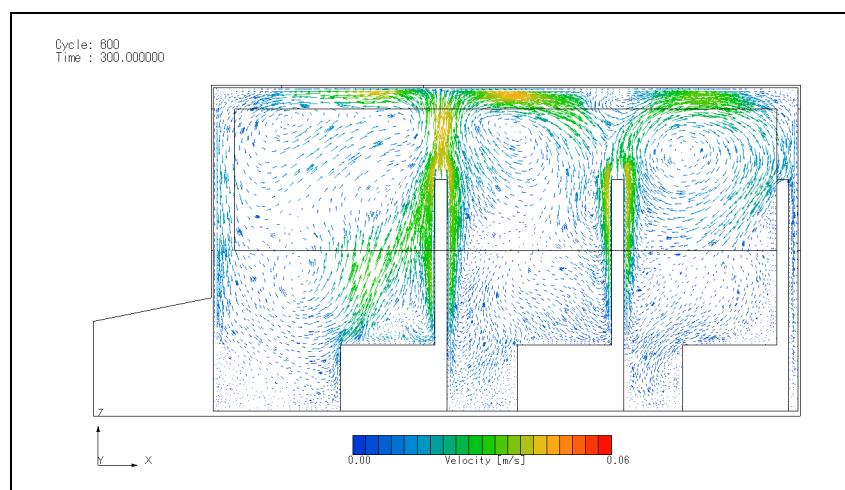
要素数 : 481,254

## 解析結果

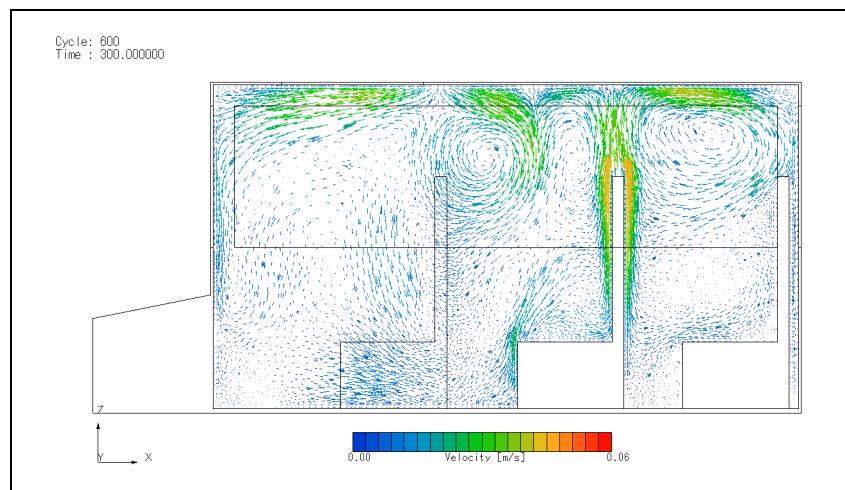
- [mat1vs2]の表面温度分布



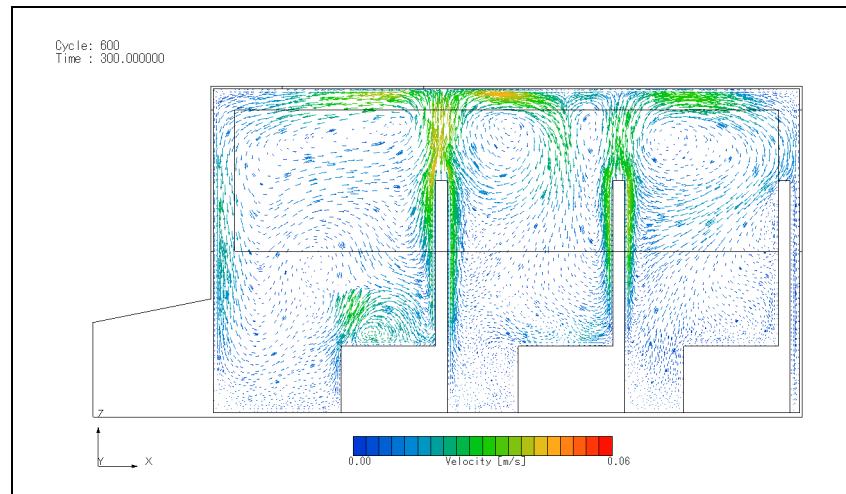
- 速度ベクトル図(Y=0.35[m])



- 速度ベクトル図(Y=0.75[m])



- 速度ベクトル図(Y=1.15[m])



---

## 機能7 輻射(フラックス法)

---

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**の輻射解析にはVF法とフラックス法の2つの解法があります。
- フラックス法は、輻射エネルギーの輻射線方向(各要素から8・24・48・32・72・128方向)への輸送を解きます。機能5の輻射(VF法)のように形態係数を算出しません。本来、輻射エネルギーはあらゆる方向へ広がるものですが、数値解析であらゆる方向を考慮することはできませんので、その中からいくつかを選んで、単位立体角あたりのエネルギーを求めます。この輻射線方向の選び方により、実際の現象では輻射の影響が及ぶはずの場所に、計算上では輻射エネルギーが到達しないという現象が生じます。また、輻射エネルギーの相互関係も考慮していません。ただし、空間を通過する際に生じる散乱・吸収を考慮することができます。  
  フラックス法には、次のような特徴があります。
  - ◆ 結果に指向性が現れる場合があります。
  - ◆ エネルギーバランスが合いにくい場合があります。
  - ◆ 温度差の大きい(70~80度以上)ケースの場合、VF法では不安定になる傾向がありますが、FLUX法では不安定になる傾向はありません。
  - ◆ 空間を通過する際の散乱・吸収を考慮することができます。

## 注意事項

- 輻射解析(フラックス法)は、以下の機能との併用はできません。

日射、周期境界、自由表面(改良MAC法、VOF法)、空力騒音解析、密度ベースソルバー
- 全ての物体表面(対称面以外の固体面、障害物表面、解析領域面)に輻射率を設定する必要があります。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [輻射熱流束 (RADF)] : 輻射熱流束

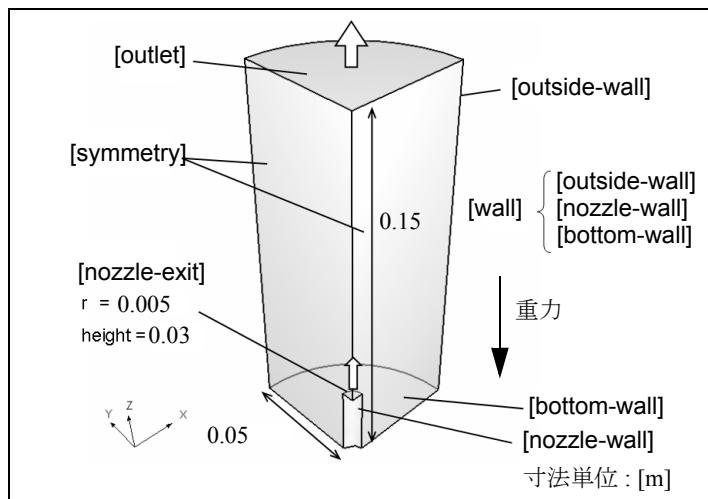
## 関連コマンド

- RADB : フラックス法による輻射計算での輻射率、温度の設定
- RADC : フラックス法による輻射計算での輻射率、吸収係数、散乱係数の設定
- RADD : フラックス法による輻射計算での様々な既定値の変更

## 例題7.1 高温ガスの輻射解析

バーナーの燃焼をノズルから出る高温の二酸化炭素で仮定し高温ガスの輻射熱を求めます。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k-ε方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 輻射 : 輻射解析を行います。

### 解析条件

#### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 絶対温度(K)

### - 物性値

• MAT=1	: CO2(550K)([物性値]ダイアログで登録します。)
	体膨張率 0.003361[1/K]
	基準密度 0.6614[kg/m <sup>3</sup> ]
	基準温度 800[K]
	熱伝導率 テーブル入力
	粘性係数 テーブル入力
	定圧比熱 温度に関する4次式

### - 境界条件

• 流入口	[nozzle-exit]	:	流速規定 1[m/s]
		:	流入温度 2,000[K]
		:	流入乱流エネルギー(k) 0.01[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
		:	流入乱流消失率(ε) 0.2347[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]
• 流出口	[outlet]	:	表面圧力規定 0[Pa]
		:	流入温度 300[K]
		:	流入乱流エネルギー(k) 0.0001[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
		:	流入乱流消失率(ε) 0.0001[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]
• 壁面	[wall]	:	静止壁
		:	温度固定 300[K]
	[symmetry]	:	フリースリップ
		:	断熱

### - 初期条件

• 温度(全てのMAT)	:	300[K]
--------------	---	--------

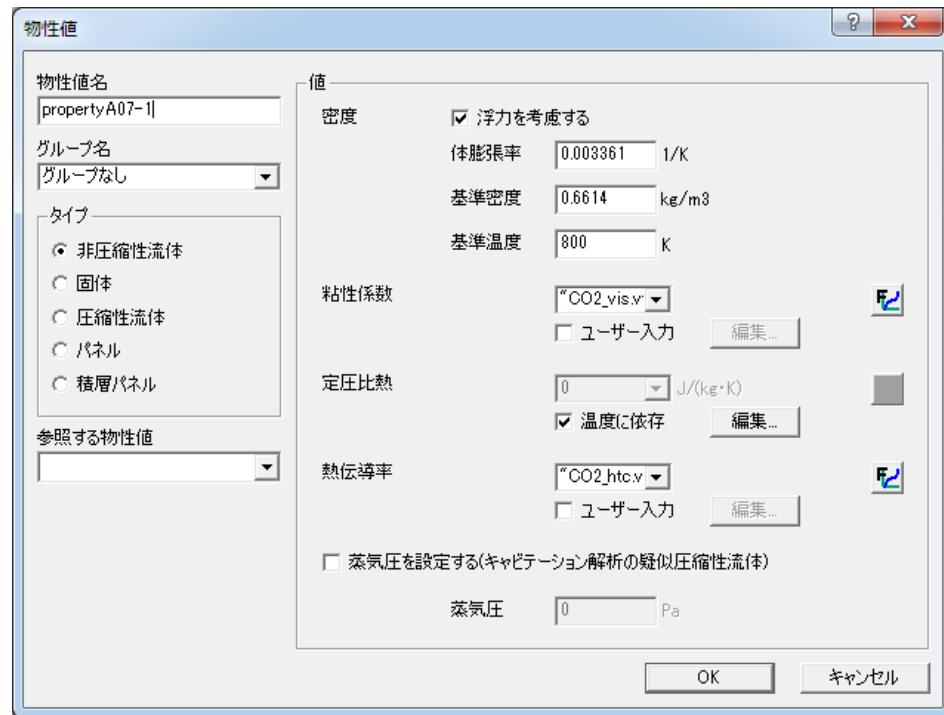
### - その他

• 乱流モデル	線形低レイノルズ数 k-εモデル(AKN)
• 解析の種類	定常解析
• 計算サイクル及び定常判定値	計算サイクル : 200[サイクル] 定常判定値 : デフォルト
• 輻射条件	MAT指定
	MAT MAT1 (CO2) : 輻射率-1(輻射場), 吸収係数0.5, 散乱係数0.0
面領域指定	
ノズル出口	[nozzle-exit] : 輻射率 $1.0 \times 10^{-5}$ , 2,000[K]の仮想面
流出口	[outlet] : 輻射率 $1.0 \times 10^{-5}$ , 300[K]の仮想面
壁面	[bottom-wall] : 輻射率 $1.0 \times 10^{-5}$
r = 0.05mの壁面	[outside-wall] : 輻射率1.0

## 特記事項

### - 温度依存性の考慮

- 熱伝導率、粘性係数は変数テーブルにより、定圧比熱は4次式により温度依存性が考慮できます。変数テーブルを指定するには次の図のように物性値の設定ダイアログにおいて変数テーブルのファイル名をダブルクオーテーションで囲んで指定します。



- 解析では300から2,000[K]の間に温度が分布すると予想されますので、その温度範囲を十分に含む250から2,100[K]までのテーブルを次のように作成します。これらのテーブルはSファイルと同じフォルダに保存します。
- 熱伝導率を設定する変数テーブルファイルCO2\_htc.vt の内容は次の通りです。

TTYP	
TEMP	
VTBL	
0	1.520E-02
250	1.520E-02
300	1.655E-02
400	2.430E-02
500	3.250E-02
600	4.070E-02
700	4.810E-02
800	5.510E-02
900	6.180E-02
1000	6.810E-02
1100	7.440E-02
1200	8.030E-02
1300	8.620E-02
1400	9.210E-02
1600	1.029E-01
1800	1.135E-01
2100	1.293E-01
/	
ENDT	

- 粘性係数を設定する変数テーブルファイルCO2\_vis.vt の内容は次の通りです

```

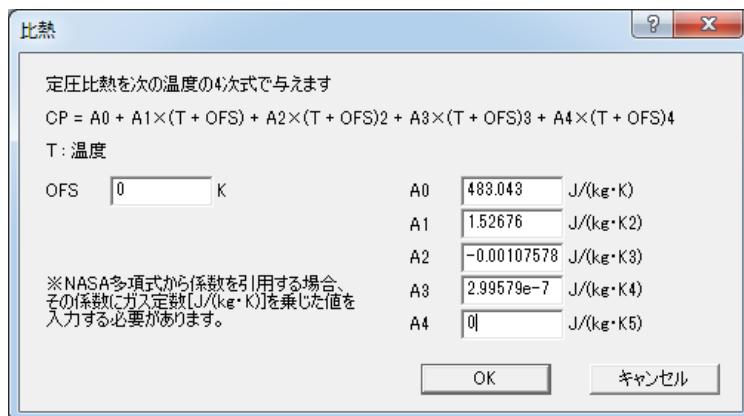
TTYP
TEMP
VTBL
    0      1.397E-05
   250    1.397E-05
   300    1.491E-05
   400    1.939E-05
   500    2.340E-05
   600    2.710E-05
   700    3.050E-05
   800    3.370E-05
   900    3.620E-05
  1000   3.940E-05
  1100   4.320E-05
  1200   4.520E-05
  1400   4.990E-05
  1600   5.388E-05
  1800   5.714E-05
  2100   6.068E-05
/
ENDT

```

(メモ) 本例題ではあらかじめ用意した変数テーブルファイル(CO2\_htc.vt, CO2\_vis.vt)を使用して、変数テーブルの設定を行う方法を記載しておりますが、変数テーブルをSCTpreのダイアログ上で直接設定する方法もあります。変数テーブル機能については、機能11を参照してください。

- 定圧比熱の温度依存性を指定するには[物性値]ダイアログで[温度に依存]にチェックを入れ、編集をクリックします。値を次のように入力して、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

[OFS]	:	[0 K]
[A0]	:	[483.043 J/(kg·K)]
[A1]	:	[1.52676 J/(kg·K <sup>2</sup> )]
[A2]	:	[-0.00107578 J/(kg·K <sup>3</sup> )]
[A3]	:	[2.99579e-7 J/(kg·K <sup>4</sup> )]
[A4]	:	[0 J/(kg·K)]



### - 輻射条件の設定方法

- ・ [解析手法]は、[フラックス法]とします。
- ・ [MAT指定]を選択し、リストからMAT1を選び編集をクリックして[MATに対する条件]ダイアログにて、[輻射率]を[-1]、[吸収係数]を[0.5 1/m]として、OKをクリックします。
- ・ [面領域指定]を選択し、新規をクリックして[領域に対する条件]ダイアログで各領域について、次の設定をします。

[nozzle-exit]	: [輻射率]に[1e-5]を設定します。 [仮想面]をONにし、[等価温度]を[2000 K]とします。
[outlet]	: [輻射率]に[1e-5]を設定します。 [仮想面]をONにし、[等価温度]を[300 K]とします。
[bottom-wall]	: [輻射率]に[1e-5]を設定します。
[outside-wall]	: [輻射率]に[1.0]を設定します。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA07-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [乱流モデル]で[線形低レイノルズ数 k-εモデル(AKN)]を選択します。
- ・ [温度]、[輻射]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- ・ [重力]の[考慮する]をONにします。
- ・ [温度の単位]の[絶対温度(K)]のチェックボックスをONにします。

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ 新規作成をクリックして、[物性値]ダイアログを起動します。[浮力を考慮する]をONにして物性値を入力します。入力は特記事項 温度依存性の考慮を参照してください。入力が完了したら、OKをクリックしてダイアログを閉じます。MAT[1]を選択して、[物性値]の項目から新規作成で作成した物性値を選択し、適用をクリックします。

#### 4. [初期条件]

- ・ 新規をクリックして、[初期値]ダイアログを起動します。[変数]を[温度]、[値]を[300 K]とし、[全てのMAT番号に適用]をONにします。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 5. [境界条件]

- ・ [領域]から[nozzle-exit]を選択して、[流入流速]を[1 m/s]とし、[流入温度]をONにして[2000 K]を設定します。[流入乱流量]をONにして、[K]に[0.01 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]、[ε]に[0.2347 m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>]を入力します。OKをクリックし、ダイアログを閉じます。
- ・ [領域]から[outlet]を選択して、[表面圧力規定]をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[P]を[0 Pa]とし、[流入温度]をONにして[300 K]を入力します。[流入乱流量]をONにして、[K]に[0.0001 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]、[ε]に[0.0001 m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>]を入力します。OKをクリックし、ダイアログを閉じます。
- ・ [領域]から[wall]を選択して、[壁面]をクリックします。[壁面]ダイアログにてフリースリップ壁をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。[壁面熱伝達条件]タブで[断熱]をOFFにして、[壁面温度を外部温度に固定]が選択されていることを確認し、[外部温度]に[300 K]を入力します。OKをクリックし、ダイアログを閉じます。

#### 6. [輻射]

- ・ 特記事項 輻射条件の設定方法を参照してください。

#### 7. [出力条件]

- ・ [FLD(表面データ)]で、[乱流熱伝達係数]、[壁面熱流速]、[輻射、日射の表面熱流速]のそれぞれについて、選択状態で設定をクリックし、現れた[表面データ]ダイアログで[出力する]を選択し、OKをクリックします。

#### 8. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA07-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル]-[開く]より exA07-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[bottom-wall]	[1e-3]	[1.1]	[2]
[outside-wall]	[2e-3]	[1.1]	[2]
[nozzle-wall]	[5e-4]	[1.1]	[2]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

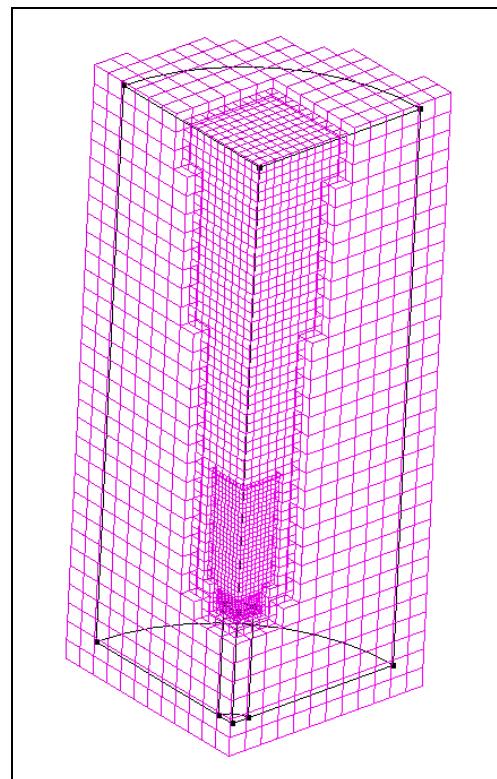
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約2分
- 計算サイクル数  
約145サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

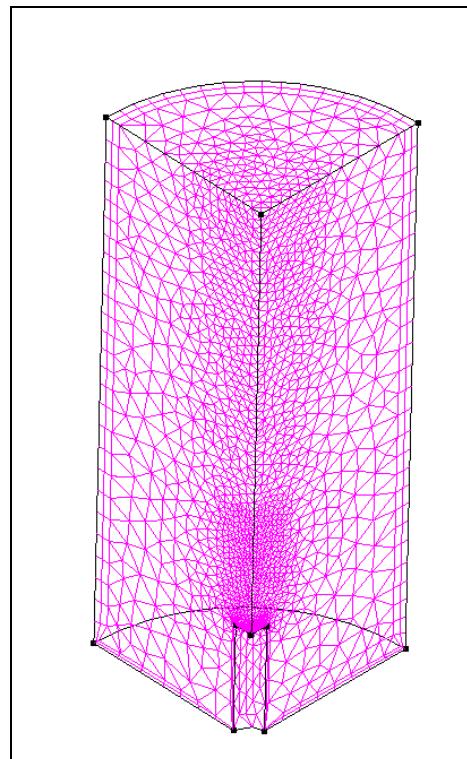
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.000625[m]~0.005[m]

• メッシュ図

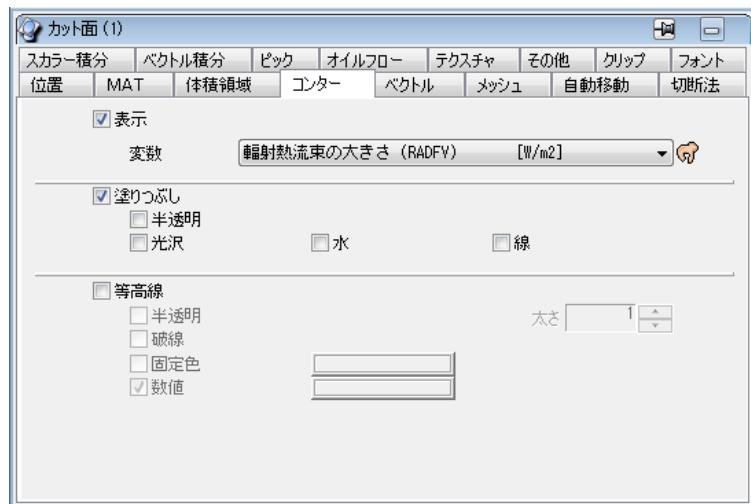


要素数 : 41,253

## 解析結果

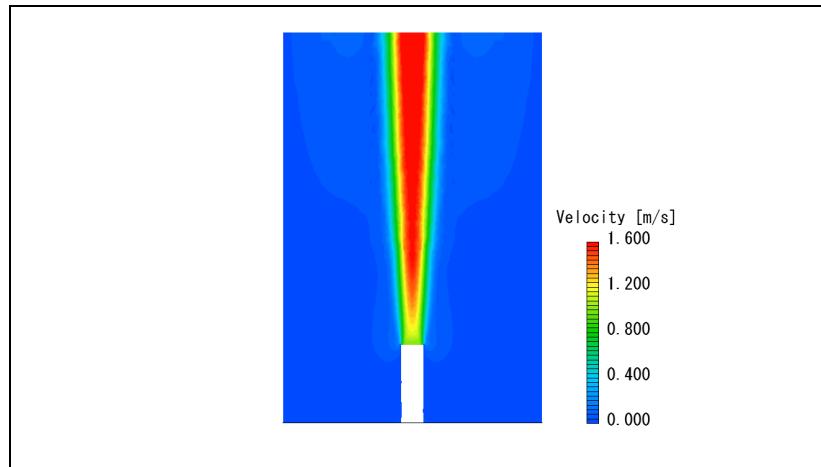
- SCTpostの設定

ブラックス法の解析では、輻射線強度を表示できます。[カット面]オブジェクトの[コンター]タブで[変数]から[輻射熱流束の大きさ (RADFV)]を選択します。

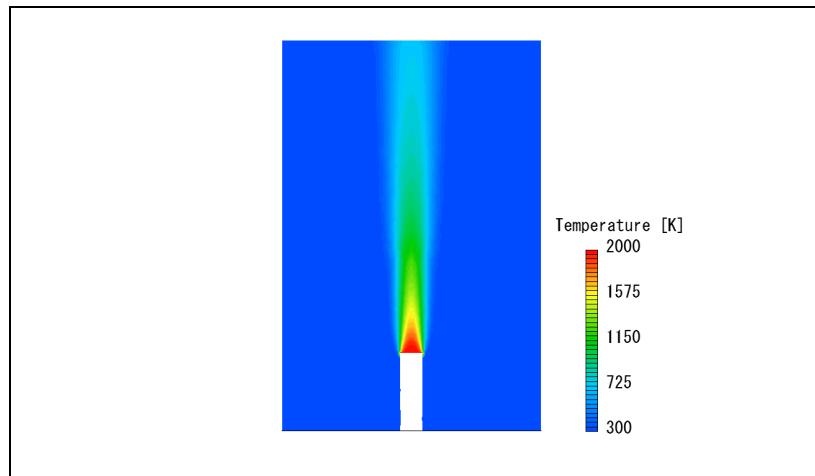


変数テーブルを用いて解析した結果を鏡面コピーを用いて表示します。

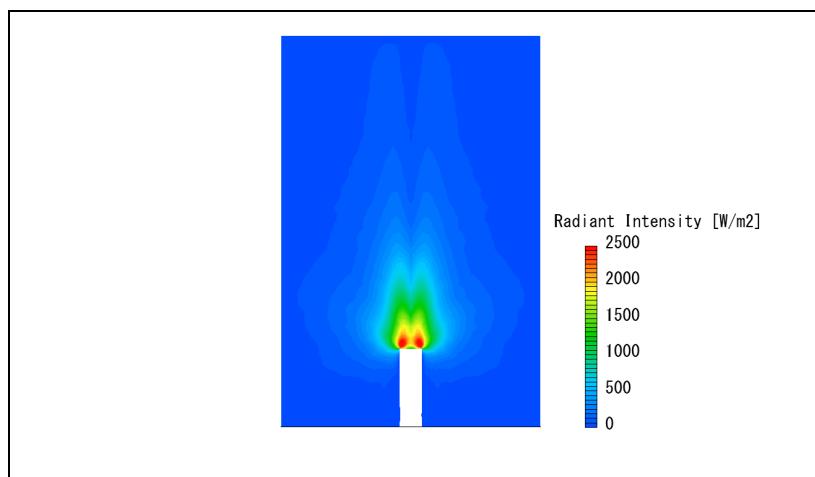
- 流速コンター図



- 温度コンター図



- 輻射線強度コンター図



---

## 機能8 圧縮性解析

---

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**の圧縮性解析は、解析領域内での密度変化が無視できない気体を扱うために使用します。ここで気体は理想気体の状態方程式に従うものとします。状態方程式から、気体の密度変化が生じる原因としては、圧力変化によるもの、温度変化によるもの、そして組成変化によるものの3つが考えられます。温度や圧力が変化する流れ場は非常にありふれたものですが、その結果生じる密度変化が小さければ、非圧縮性流体として扱っても十分精度のよい解析ができます。圧縮性流体として扱う必要があるのは密度変化が特に大きい場合です。およその目安として、解析領域内で密度変化が5%以上生じる場合、または生じると想定される場合には、圧縮性解析を推奨します。
- このような大きな密度変化は、解析領域内で非常に大きな温度差がある場合や、またよく生じる例としては流速が音速に近づくとき顕著に現れます。およその目安として、音速の1/3以上の流速が生じる場合、また生じると想定される場合は圧縮性解析を推奨します。このような高速な流れ場では、しばしば圧力が局所的に急変する衝撃波が形成されます。本例題では、このような音速付近の流れや衝撃波を扱います。化学反応や燃焼のような組成変化をともなう圧縮性解析の例は、[機能34](#)をご参照ください。
- SCRYU/Tetraには、2つの圧縮性解析手法が用意されています。圧力ベースソルバーと密度ベースソルバーです。前者は亜音速から遷音速流れ、後者は遷音速から超音速流れに適しているソルバーです。両ソルバーの詳細については、[ユーザーズガイド基礎編 2.7 圧縮性解析](#) を参照してください。

## 注意事項

- 圧縮性解析(圧力ベースソルバー)は、以下の機能との併用はできません。

自由表面, LES, 空力騒音, 凝固融解

  
(密度ベースソルバーと併用できない機能については、[ユーザーズガイド基礎編 2.7 \(4\) 密度ベースソルバー](#) を参照してください。)
- 物性としてガス定数の入力が必要です。ガス定数は定圧比熱と定積比熱の差として与えられます。
- 非圧縮性解析と異なり、圧縮性解析のエネルギー保存式は圧力を陽に含む形となるため、流速・流量規定境界にも適切な圧力の値を設定する必要があります。
- 圧縮性解析では絶対圧力の考慮が必要になります。非圧縮性解析では、圧力は基準圧からの差圧(相対圧)として計算することができますが、圧縮性解析では必ず絶対圧力を計算しなければなりません。
- 定常解析では、デフォルトでポアソン方程式から解析領域内で滑らかな変化をするような初期条件(場)を求めます。ただし、流入口や流出口がない解析を行う場合は、INITコマンドで設定されている初期圧力および初期温度を状態方程式に代入して初期密度を求めます。そのため、必ず0でない初期圧力と絶対零度でない初期温度を設定しておく必要があります。
- 圧力基準値を設定すると、初期条件や境界条件で与えた圧力値は圧力基準値からの相対値とみなされます。計算時には条件として与えられた圧力+圧力基準値を絶対圧力としてみなして計算を行っています。また、温度基準値を設定した場合も同様となります。
- 圧縮性解析の詳細については[ユーザーズガイド基礎編 2.7 圧縮性解析](#)を参照してください。

---

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [密度(DENS)] : 流体の密度
- [マッハ数(MACH)] : 流体のマッハ数
- [エンタルピー(ENTL)] : 流体のエンタルピー

## 関連コマンド

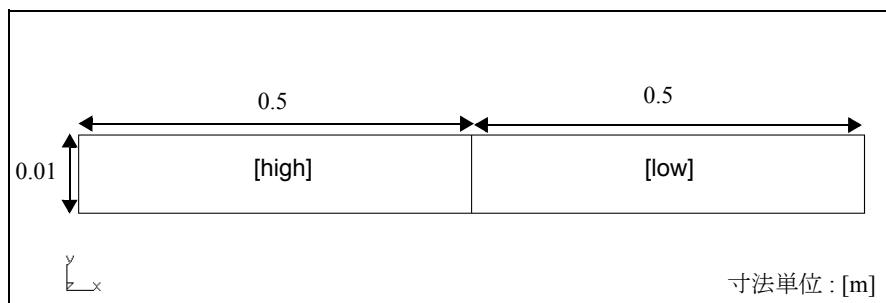
- BASI : 基準となる温度,圧力の設定
- IPRS : 圧力, 温度および速度の初期分布をポアソン方程式で計算
- PROP : 物性値の設定

(密度ベースソルバーの関連コマンドは、ユーザーズガイド基礎編 2.7 (4) 密度ベースソルバー を参照してください。)

## 例題8.1 衝撃波管

衝撃波管は閉じた管であり、高圧の気体(圧力 $P_h$ )、低圧の気体(圧力 $P_l$ )および隔膜から構成されます。ここで、隔膜は高圧の気体と低圧の気体を分ける膜です。この隔膜が破れると、低圧側に衝撃波が発生します。衝撃波は低圧側に向かって伝播します。衝撃波が通過すると、密度が増加します。逆に、高圧側には、膨張波が発生します。膨張波は高圧側に向かって伝播します。膨張波が通過すると密度は小さくなります。衝撃波は厚さが薄いのに対し、膨張波の厚さは時間とともに大きくなります。

### 解析モデル



3次元圧縮性粘性層流

$x=0$ を境に左側を高圧 $P_h=1.0 \times 10^7 [\text{Pa}]$ 、右側を低圧 $P_l=5.0 \times 10^6 [\text{Pa}]$ にします。解析領域は、 $x$ 方向に-0.5から0.5[m]です。衝撃波管の断面は長さ0.01[m]の正方形とし、壁はフリースリップとします。CASE1は圧力ベースソルバー、CASE2は密度ベースソルバーで解きます。

(メモ1) 衝撃波の伝播を精度良く捉えるには、クーラン数を1以下にすることが推奨されます。

(メモ2) 密度ベースソルバーの時間進行法には、陽解法と二重時間刻み法の2種類があります。

陽解法では、クーラン数が1を大きく超えるような時間間隔で計算することが出来ません。

二重時間刻み法は、時間間隔を大きく設定しても計算が可能です。ただし、1サイクルの中に繰り返し計算を行うため、1サイクルあたりの計算時間は陽解法に比べて長くなります。

この例題の時間間隔はクーラン数1より小さいため、より計算時間が短い陽解法を用います。

詳しくは、ユーザーズガイド 基礎編 第2部 2.7 圧縮性流体 (4) 密度ベースソルバーをご参照ください。

### 解くべき方程式

#### CASE1

- 運動量方程式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー方程式

#### CASE2

- 運動量方程式
- 質量保存式

- 
- エネルギー方程式

## 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 絶対温度(K)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を使用します。

### - 基準値

- 基準温度 : 0[K]
- 基準圧力(MAT=1) : 0[Pa]

### - 境界条件

- なし

### - 初期条件

- 圧力  
低圧側[low] :  $5.0 \times 10^6$ [Pa]  
高圧側[high] :  $1.0 \times 10^7$ [Pa]
- 温度  
MAT=1 : 400[K]

### - その他

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
固定時間間隔 :  $1.0 \times 10^{-6}$ [s]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル間隔毎に出力  
(サイクル間隔 200[サイクル])

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA08-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定(CASE1)

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [温度]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]  
 [終了サイクル] : [1000]

- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。

[時間間隔] : [1e-6 s]

- [温度の単位]で[絶対温度(K)]を選択します。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて、[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

- 次に[基準値]タブを選択します。[基準圧力]が[0Pa]になっていることを確認します。最後に、登録をクリックします。

#### 4. [初期条件]

- 新規をクリックして、[変数]から[圧力]を選択し、[値]に[1e7 Pa]と入力します。続けて、[対象]で[領域で指定する]を選択し、[high]をONにしてOKをクリックします。
- 同様に新規をクリック後、[変数]から[圧力]を選択し、[値]に[5e6 Pa]と入力します。続けて、[対象]で[領域で指定する]を選択し、[low]をONにしてOKをクリックします。
- 新規をクリックします。[変数]から[温度]を選択し、[値]に[400 K]と入力してOKをクリックします。

#### 5. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]にて、[出力のタイミング]で[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に[200]と入力します。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA08-1\_p]と入力します。その後、[デフォルト名]をOFFにして[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA08-1.pre]と変更します。

### - 条件設定(CASE2)

CASE1の設定をもとにCASE2の設定を行います。CASE1の条件設定を行っていない場合には、[exA08-1\_p.s]を読み込みます。その後、以下のように設定変更を行い、Sファイルの名前を[exA08-1\_d.s]として保存します。

#### 1. [解析選択]

- [解析選択]で密度ベースをONにします。

#### 2. [ファイル指定]

- デフォルト名がOFFの状態で、[R(出力)]の[ファイル名]を[exA08-1\_d.r]、[図化ファイル]の[ファイル名]を[exA08-1\_d]へと変更します。

### - 八分木

[ファイル]-[開く]よりexA08-1.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログからメッシュを作成します。なお、本解析では境界層要素の挿入を行いません。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

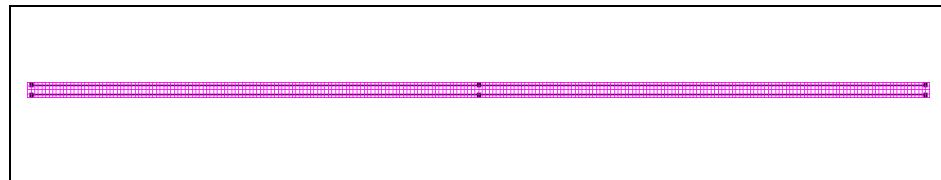
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
1ケースあたり約30秒
- 計算サイクル数  
1,000サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

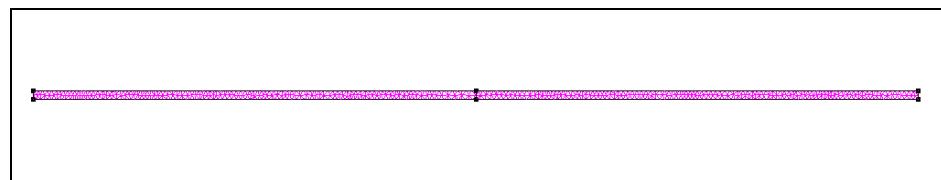
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.004[m]

- メッシュ図



要素数 : 8,709

## 解析結果

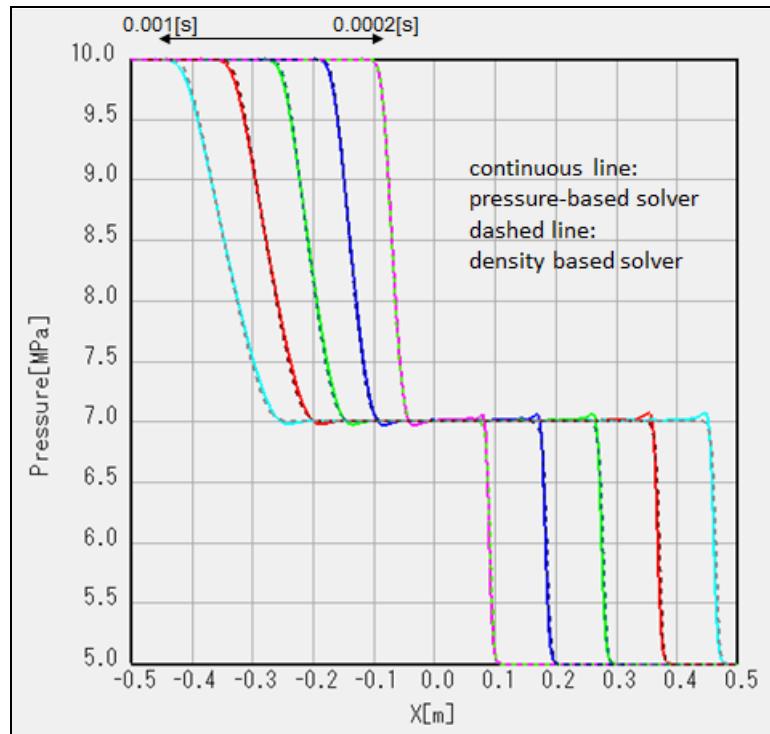
- SCTpostの設定

衝撃波の位置を確認するために、変数グラフで圧力や密度の分布を表示させます。

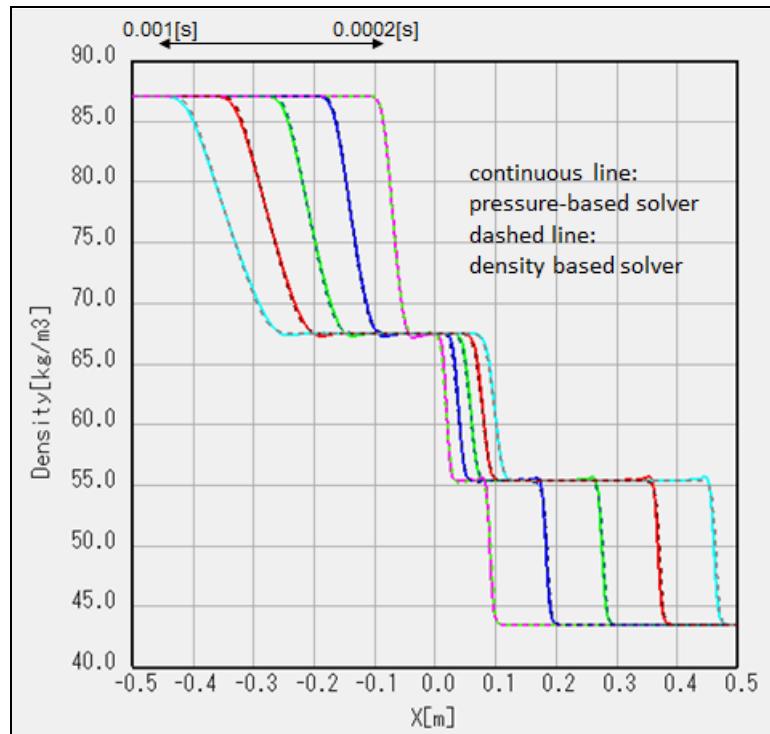
[作成] - [変数グラフ]を選択します。作成された[曲線]オブジェクトの[変数]タブにて、[変数]から[圧力(PRES)]または[密度(DENS)]を選択します。次に、[通過点]タブにて、2点ドローウィンドウをピックした後、点の座標を以下のように変更します。

- (1) : (-0.5, 0.0, 0.0)
- (2) : ( 0.5, 0.0, 0.0)

- 圧力分布図(CASE1:圧力ベースと CASE2:密度ベース)



- 密度分布図(CASE1:圧力ベースと CASE2:密度ベース)

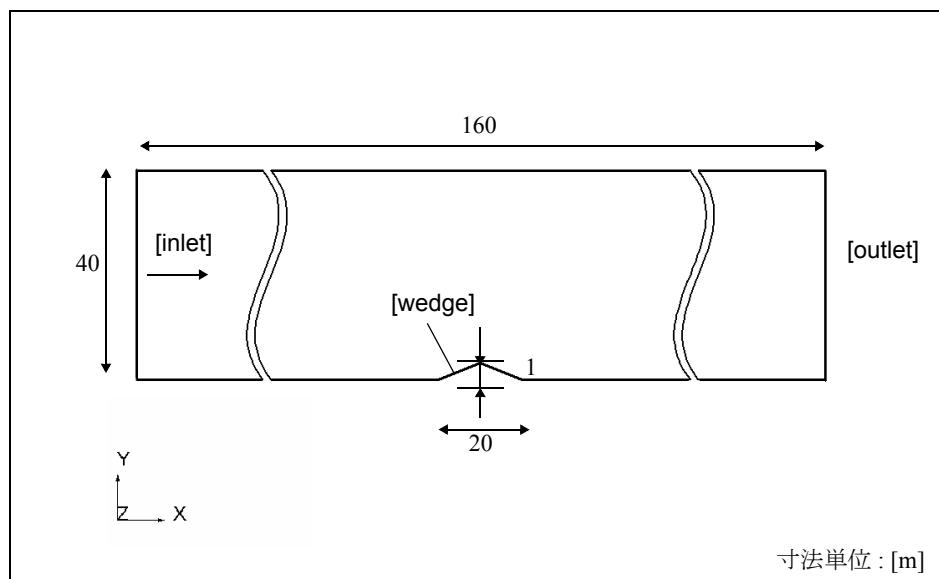


## 例題8.2 くさび翼周りの流れ

対称くさび翼周りの流れの解析を行います。解析は翼上半分の領域を対象とし、疑似2次元的に解析します。結果として、翼面にかかる抵抗力を評価します。また、この例題では以下の2ケースについて解析を行います。

- CASE1 : 圧力ベースソルバー
- CASE2 : 密度ベースソルバー

### 解析モデル



疑似2次元圧縮性粘性層流

流れが、静止している物体に当たると、物体は力を受けます。逆に見れば、これは静止している流体の中を物体が動くとき、流体から抵抗力を受けている様子を示しています。ここでは様々な流速の中で、くさび形の物体が受ける抵抗力を解析から見積もってみます。

特に流速が音速を超えるとき、抵抗力は急激に大きくなります。音速を超えると物体前方に衝撃波が発生します。衝撃波と物体の間の流体は強く押し縮められ、物体は摩擦力のほかにこの圧縮された流体の力も受けるため、抵抗力が大きく増します。これは造波抵抗と呼ばれます。このような現象も捉えられるかどうか見てみましょう。

## 解くべき方程式

### CASE1

- 運動量方程式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー方程式(温度方程式)

### CASE2

- 運動量方程式
- 質量保存式
- エネルギー方程式(温度方程式)

## 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 絶対温度(K)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を使用します。  
(メモ) 圧縮性解析を行うため、ガス定数の指定と、温度の解析が必要です。

### - 基準値

- 基準温度 : 220[K]
- 基準圧力(MAT=1) : 80,000[Pa]
- 基準密度(MAT=1) : 0[kg/m<sup>3</sup>]

### - 境界条件

- |       |          |        |             |
|-------|----------|--------|-------------|
| • 流入口 | [inlet]  | 流速規定   | 50-650[m/s] |
|       |          | 流入温度   | 0[K]        |
|       |          | 流入圧力   | 0[Pa]       |
| • 流出口 | [outlet] | 表面圧力規定 | 0[Pa]       |
| • 壁面  | [wedge]  | 静止壁    |             |
|       |          | 断熱     |             |

(メモ) 温度、圧力は基準値からの差です。

### - 初期条件

- 圧力、温度および速度の初期分布はポアソン方程式を用いて求めます。

### - その他

- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA08-2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定(CASE1)

[条件ウィザード]で以下のように設定を行い、流入流速が50[m/s]の場合、Sファイルの名前を exA08-2\_CASE1\_50.sとして保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [温度]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [1000]
- [温度の単位]で[絶対温度(K)]を選択します。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて、[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。
- [基準値]タブにて [基準温度]に[220 K]と入力します。また、[基準圧力]に[80000 Pa]と入力します。最後に、登録をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。
- [流速規定]ダイアログにて、[流入流速]に[50 m/s]と入力し、[流入圧力]をONにして、[P]が[0 Pa]となっていることを確認します。[流入温度]をONにして、[温度指定]の[T]に[0 K]と入力し、OKをクリックします。
- 同様に、[領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。
- [表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]が[0 Pa]となっていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[wedge]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 注意事項

本例題では、流入流速を50[m/s]から650[m/s]まで50[m/s]ずつ変化させて、結果を比較します。

#### 5. [出力条件]

- [圧力]にて[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に[1]と入力します。[登録領域一覧(面の領域)]から[wedge]を選択して、追加をクリックします。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA08-2]と入力します。その後[デフォルト名]をOFFにして、リストから[R(出力)]の[ファイル名]を選択し、流入流速が50[m/s]の場合、[exA08-2\_CASE1\_50.r]と入力します。また、リストから[図化ファイル]の[ファイル名]を選択し、[exA08-2\_CASE1\_50]と入力します。

#### - 条件設定(CASE2)

CASE1の設定をもとにCASE2の設定を行います。CASE1の条件設定を行っていない場合には、[ファイル]-[開く]からexA08-2\_CASE1\_50.sを読み込みます。その後、以下のように設定変更を行い、流入流速が50[m/s]の場合、Sファイルの名前をexA08-2\_CASE2\_50.sとして保存します。

#### 1. [解析選択]

- [解析選択]で[密度ベース]をONにします。

#### 2. [ファイル指定]

- [デフォルト名]がOFFの状態で、リストから[R(出力)]の[ファイル名]を選択し、流入流速が50[m/s]の場合、[exA08-2\_CASE2\_50.r]と入力します。また、リストから[図化ファイル]のファイル名を選択し、[exA08-2\_CASE2\_50]と入力します。

#### - 八分木

[ファイル]-[開く]よりexA08-2.octを読み込みます。

#### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wedge]	[0.1]	[1.1]	[2]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで[詳細設定]をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

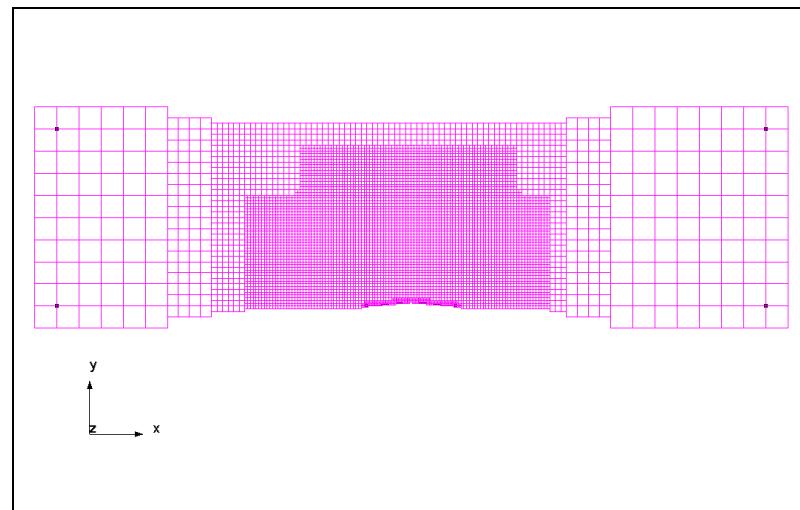
- SCTsolverの実行時間
 

CASE1 :	1ケースあたり約4分
CASE2 :	1ケースあたり約1分
- 計算サイクル数  
1ケースあたり約100サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

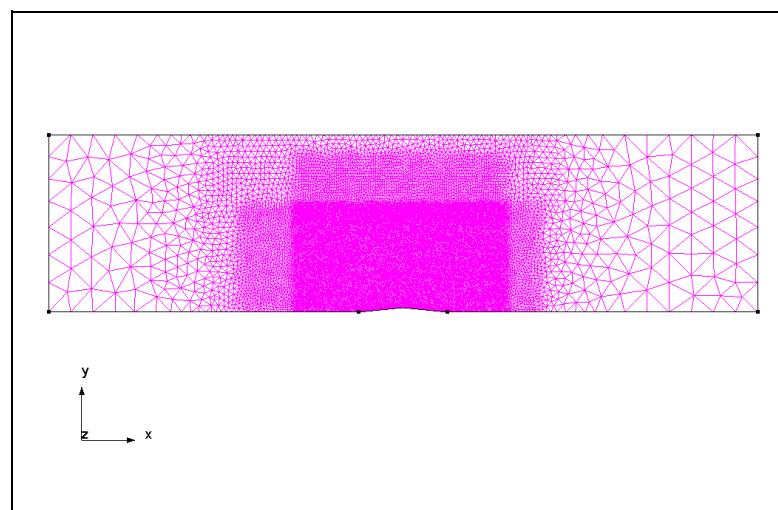
## 解析メッシュ

- 八分木図

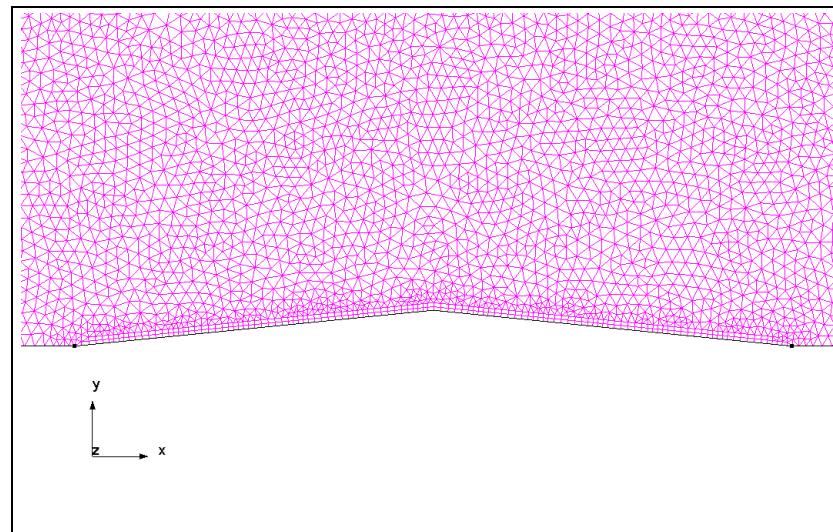


オクタントサイズ : 0.15625[m]~5.0[m]

- メッシュ図



- くさび部拡大



要素数 : 32,186

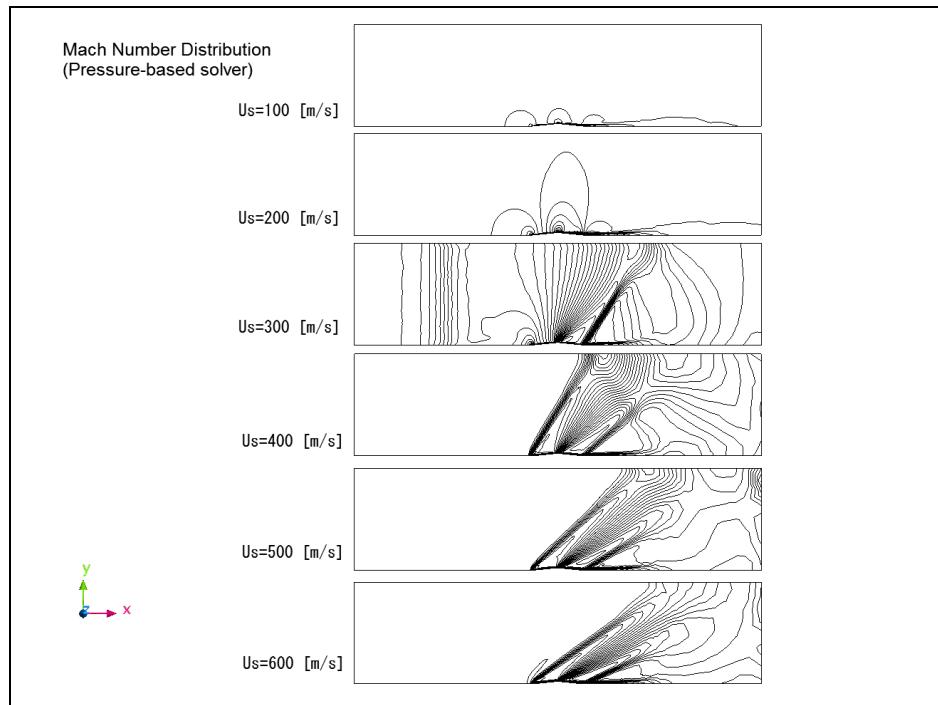
## 解析結果

- **SCTpostの設定**

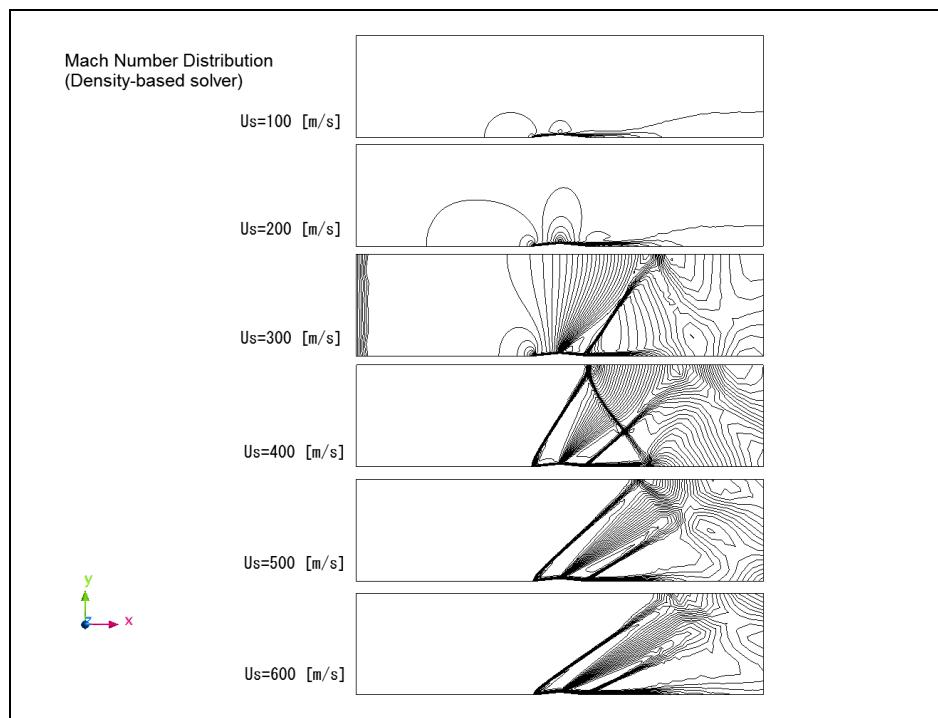
マッハ数の等値線図を表示するには、[カット面]オブジェクトの[コンター]タブにて、[表示]をONにして、[変数]から[マッハ数(MACH)]を選択します。[塗りつぶし]をOFFにして、[等高線]をONにし、[固定色]をONにします。

音速線分布図を表示するには、[カット面]オブジェクトの[コンター]タブにて、[表示]をONにして、[変数]から[マッハ数(MACH)]を選択します。[塗りつぶし]をONにして、[等高線]をONにし、[固定色]をONにします。次に、[カラーバー(マッハ数用)]オブジェクトを選択して、[変数の範囲]の[最大値]に[1.0001], [最小値]に[0.9999], [分割数]に[2]と入力します。マッハ数が1より大きい範囲を白色に、1より小さい範囲を黒色に設定しています。

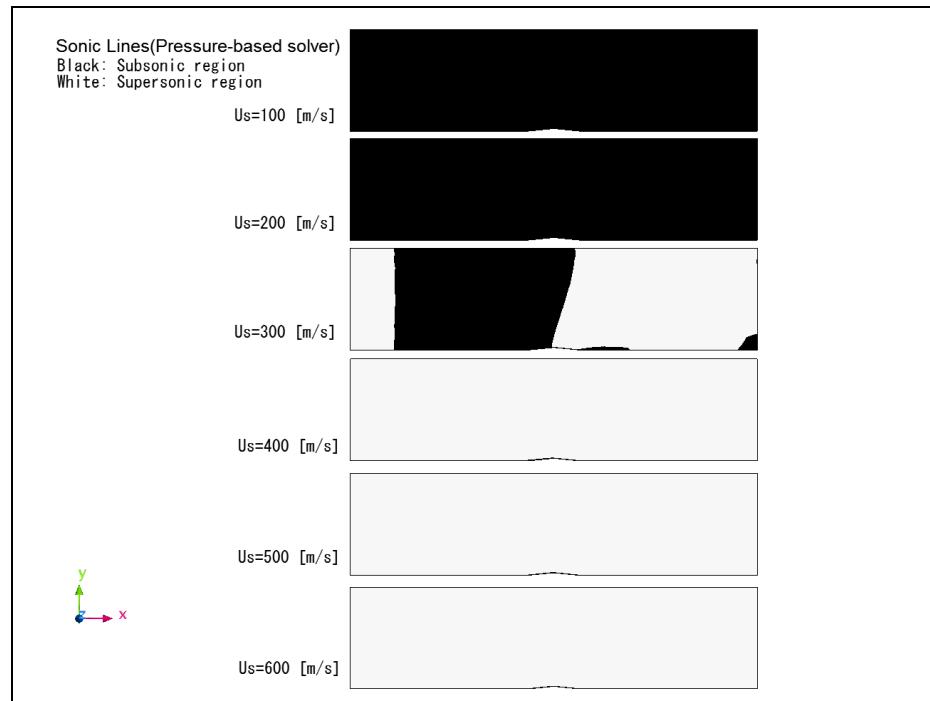
- 等マッハ数線図(CASE1)



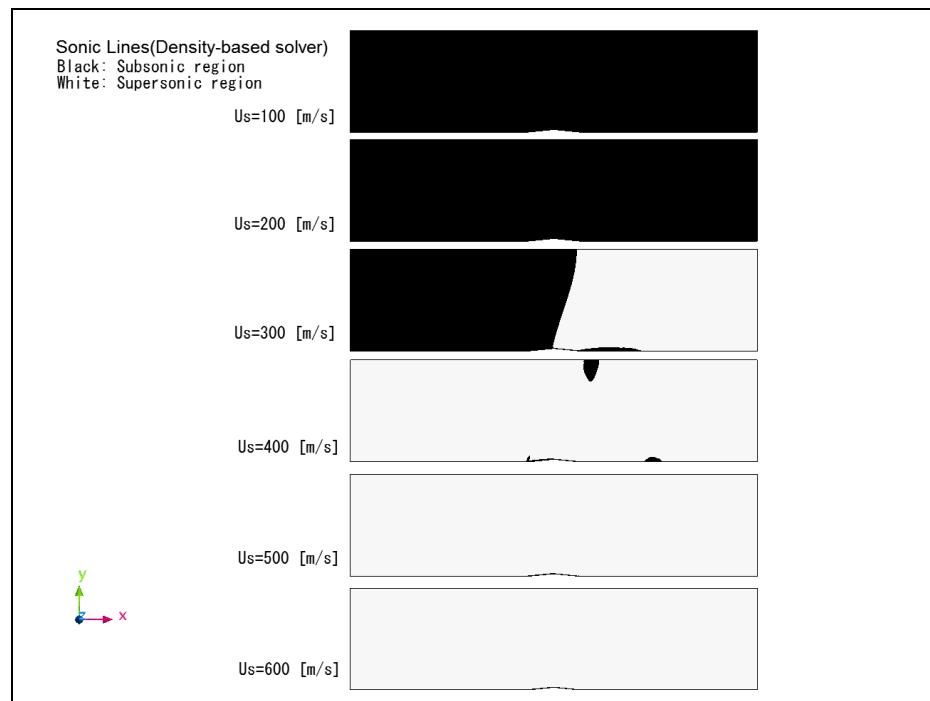
- 等マッハ数線図(CASE2)



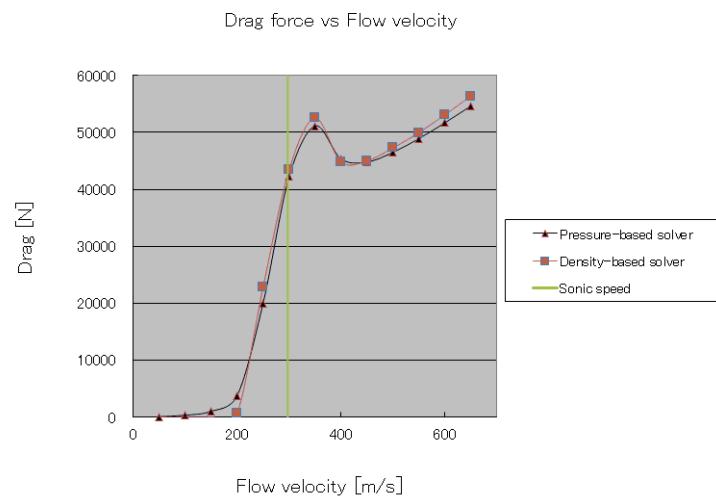
- 音速線分布図(CASE1)



- 音速線分布図(CASE2)



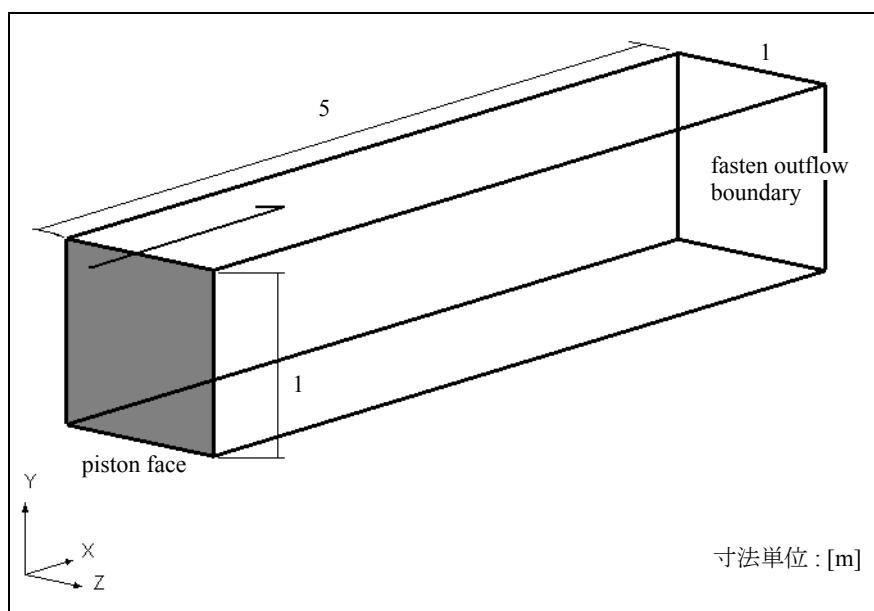
- 流入マッハ数に対するくさび翼抗力の推移



## 例題8.3 空気の音速の見積もり

疑似1次元メッシュを時間とともに縮めることで、移動するピストン内での空気の流れを模擬し、内部に伝播する圧力波の速度から空気の音速を見積もります。

### 解析モデル



疑似1次元圧縮性非粘性流

疑似1次元メッシュを用いた解析により、移動するピストン内の流れを模擬します。壁面摩擦によるエネルギー散逸は無視します。また、微小平行振動メッシュの条件を用いて、移動ピストンを模擬します。

#### 注意事項

図中の各面は、preファイルに以下の名前で登録されています。

piston face	: [face]
fasten outflow boundary	: [out]

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式

## 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 要素移動 : メッシュの微小振動を用いてピストンの動きを模擬します。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 絶対温度(K)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)

物性値ライブラリより[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を参照し、各物性値を以下のように指定します。

粘性係数 : 0 [Pa•s]  
 定圧比熱 : 1,007 [J/(kg•K)]  
 熱伝導率 : 0 [W/(m•K)]  
 ガス定数 : 287.06 [J/(kg•K)]

(メモ) 圧縮性解析を行うため、ガス定数の指定と温度の解析が必要です。

### - 基準値

- 基準温度 : 293.15[K]
- 基準圧力(MAT=1) : 101,325[Pa]
- 基準密度(MAT=1) : 0[kg/m<sup>3</sup>]

### - 境界条件

- 流出口 [out] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [face] : 伸縮移動壁

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

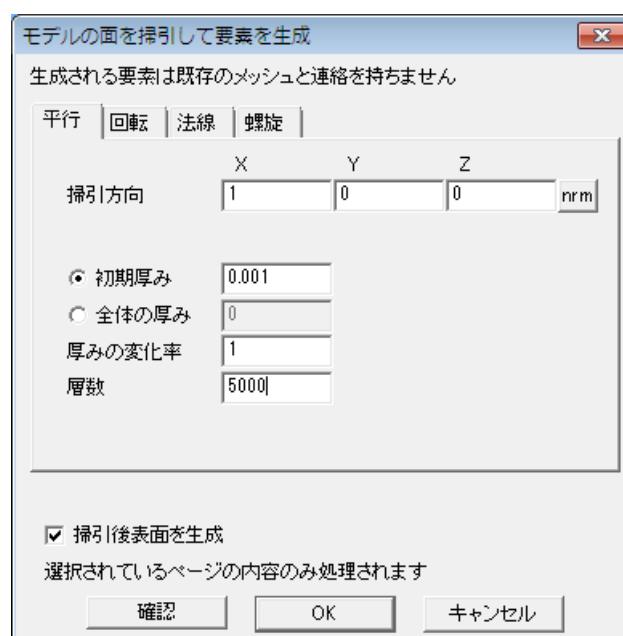
### - その他

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル : 20,000[サイクル]  
固定時間間隔 :  $1 \times 10^{-6}$ [s]
- 図化ファイルの出力間隔  
100サイクル(初期場も出力)

## 特記事項

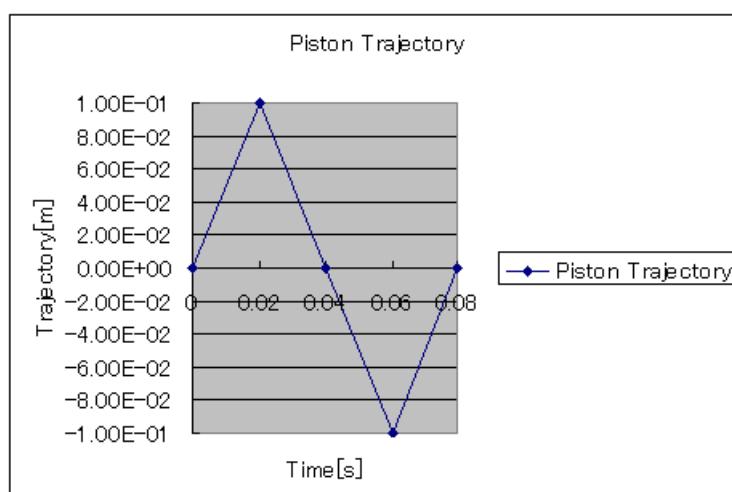
### - メッシュ作成について

- 本例題では矩形面モデルを挿引することで、六面体メッシュを作成し、疑似的な1次元流れの解析用メッシュとして利用します。
- 面領域[w1]を選択状態とし、メニューから[編集] - [選択面を挿引して要素を生成]を選択します。
- [モデルの面を挿引して要素を生成]ダイアログにて[平行]タブを選択し、[挿引方向(X, Y, Z)]に $(1, 0, 0)$ をそれぞれ入力します。[初期厚み]に $0.001$ と入力し、[厚みの変化率]を $1$ として、[層数]に $5000$ と入力します。最後に、OKをクリックしてメッシュを作成します。



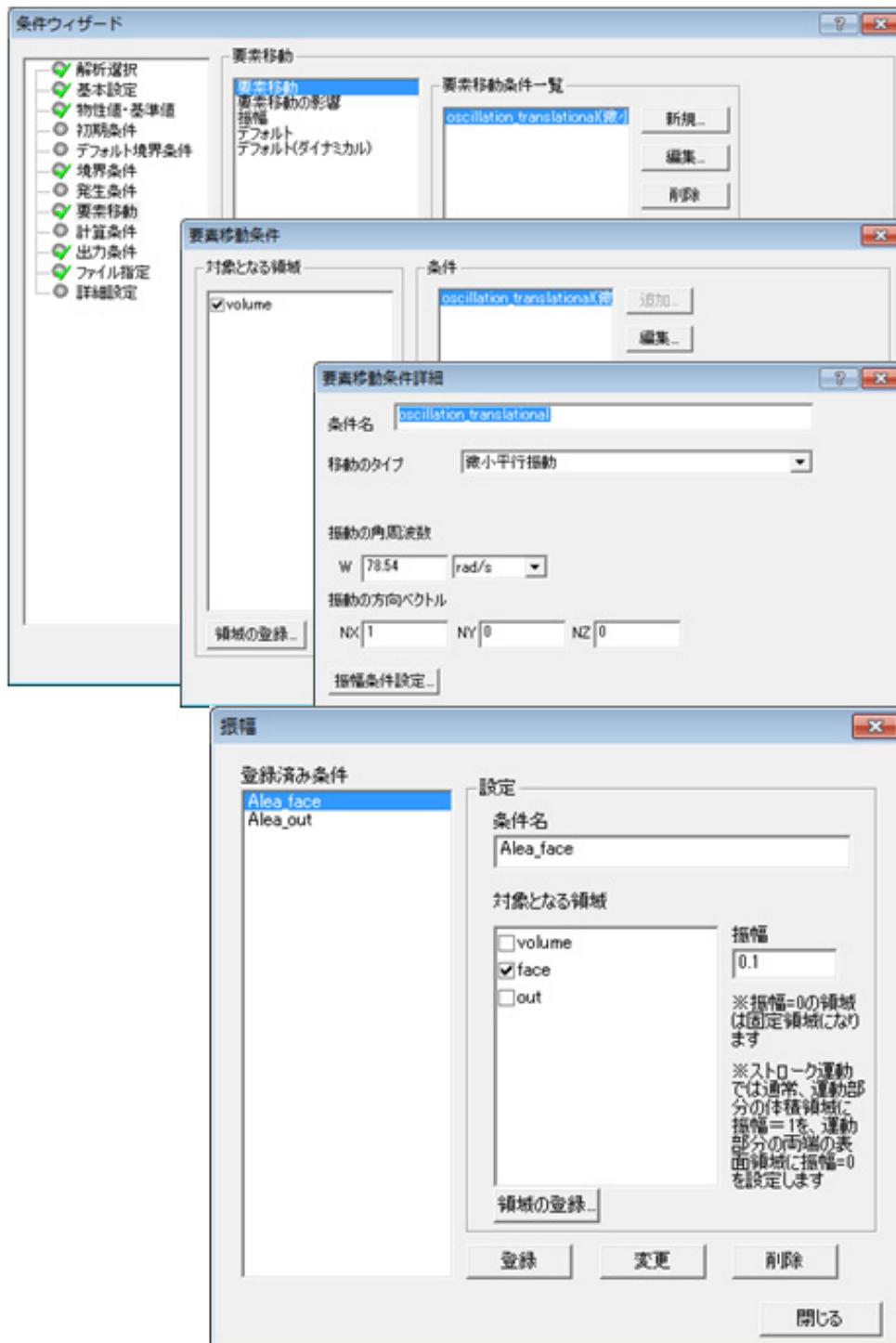
### - 微小振動条件

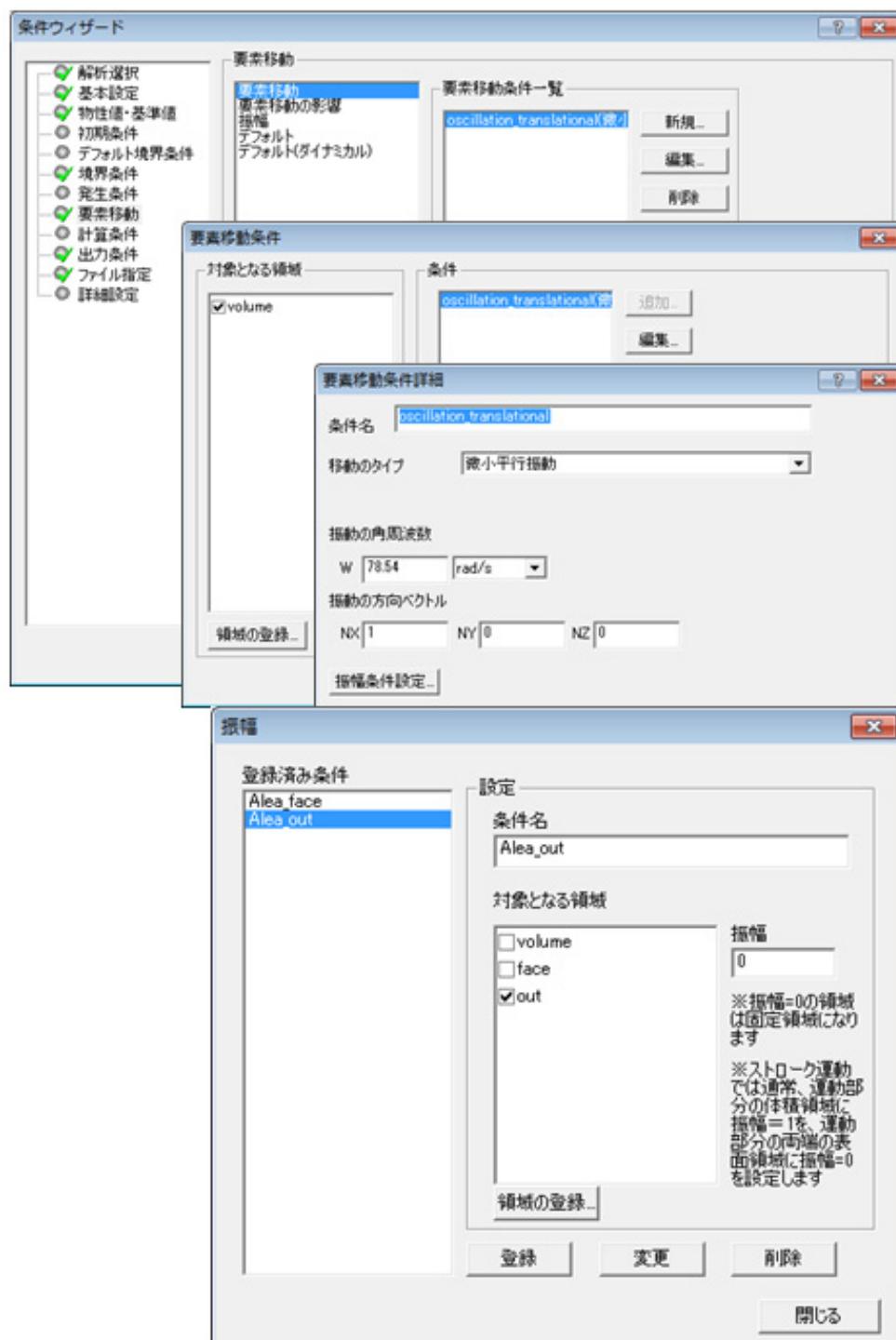
- この例題では、ピストンの動きを微小振動メッシュの条件を与えることで模擬します。ここでは次図のようなサイン状の振動をピストン面に設定します。



設定は以下の手順で行います。

- ・ [要素移動条件一覧]の新規をクリックします。
- ・ [要素移動条件]ダイアログにて、[対象となる領域]から[volume]をONにし、[条件]の新規をクリックします。
- ・ [移動のタイプ]で[微小平行振動]を選択し、[振動の角周波数]に[78.54 rad/s]を入力します。[振動の方向ベクトル(NX, NY, NZ)]に[(1, 0, 0)]をそれぞれ入力します。
- ・ 振幅条件設定をクリックします。[振幅]ダイアログにて[対象となる領域]で[face]を選択し、[振幅]に[0.1]と入力して、登録をクリックします。同様に、[対象となる領域]で[out]を選択し、[振幅]に[0]と入力して、登録をクリックします。





## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA08-3.mdlを読み込みます。

本例題では、条件設定の前にmdlより直接メッシュを作成します。

設定方法は、[特記事項 メッシュ作成について](#)を参照してください。

メッシュ作成後、Xmin面を[face]、Xmax面を[out]という名前で面領域に登録します。また、MAT1を[volume]という名前で体積領域に登録します。

最後に、[ファイル] - [保存]より exA08-3.preを保存します。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [温度]をONにします。
- [要素移動]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。  
 [開始サイクル] : [1]  
 [終了サイクル] : [20000]
- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。  
 [時間間隔] : [1e-6 s]
- [温度の単位]で[絶対温度(K)]を選択します。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて新規作成をクリックします。[物性値]ダイアログにて、[参照する物性値]から[空気(圧縮20°C)]を選択し、[物性値名]を異なる物性値名に変更します。続けて、[粘性係数]と[熱伝導率]に[0]と入力し、OKをクリックします。
- MAT[1]を選択して、[物性値]から上で作成した物性を選択し、適用をクリックします。
- [基準値]タブにて[基準温度]に[293.15 K]と入力します。[基準圧力]に[101325 Pa]を入力し、登録をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[out]を選択して、表面圧力規定をクリックします。
- [表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]が[0 Pa]となっていることを確認して、OKをクリックします。

#### 5. [要素移動]

- メッシュの微小振動の設定を行います。[特記事項 微小振動条件](#)を参照してください。

#### 6. [出力条件]

- リストから[時系列]を選択し、[指定サイクル毎に出力]をONにし、新規をクリックします。  
 [変数リスト]から[圧力]をONにして、[サイクル毎に対応する要素を求め直す]をONにし、[場所]の[(X, Y, Z)]に[(3, 0, 0) m]をそれぞれ入力して、OKをクリックします。同様に、[場所]の[(X, Y, Z)]に[(4, 0, 0) m]をそれぞれ入力して、OKをクリックします。
- リストから[FLD(サイクル)]を選択します。[出力のタイミング]で[指定サイクル毎に出力]を選択して、[サイクル間隔]を[100]とします。また、[初期場] - [出力する]をONにします。

7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA08-3]と入力します。

- 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

- 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約27分

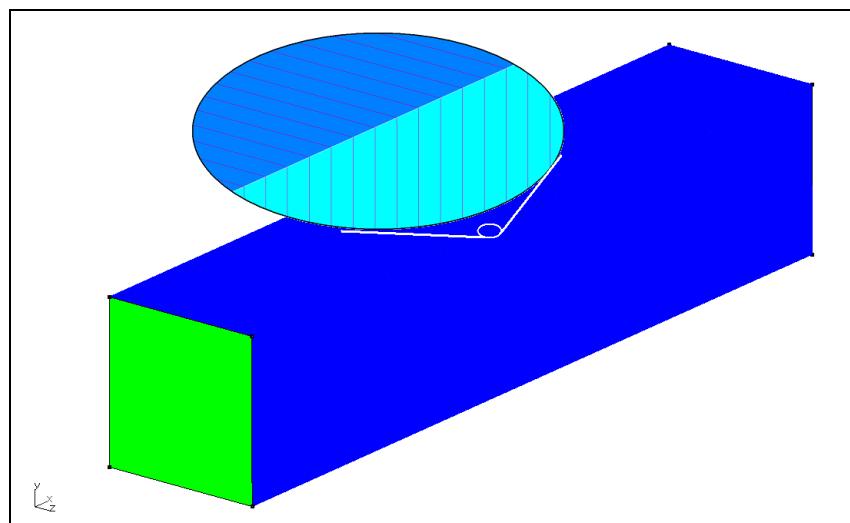
- 計算サイクル数

20000サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析メッシュ

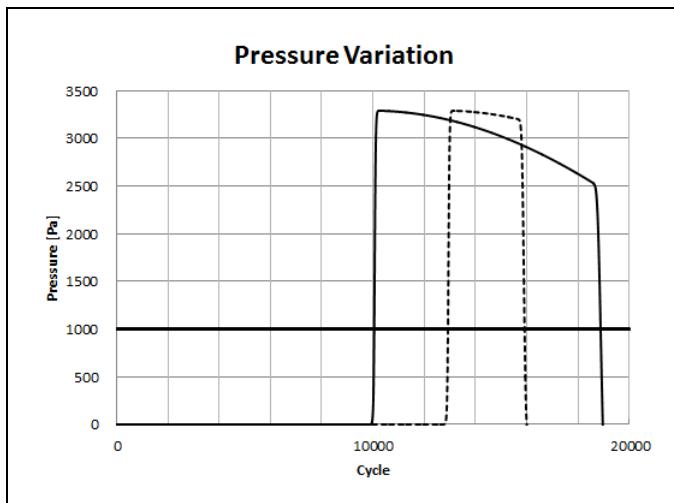
- メッシュ図



要素数 : 5,000

## 解析結果

- 圧力波伝播履歴グラフ音速の見積もり



このグラフは  $x=3.0[m]$  より  $x=4.0[m]$  での圧力の時間履歴です。ピストンが押されたことで生じる圧力の変化は非常に短い時間に大きな変化が起きるステップ波状の変化をしており、これは圧力波などと呼ばれます。この圧力波の進む速度は、媒質の音速に相当します。大雑把ではありますが、今、 $x=3.0[m]$ ,  $4.0[m]$  の位置の圧力が  $1,000[Pa]$  になる間の時間を圧力波が  $1[m]$  移動する時間として、グラフから圧力波の速度を見積ります。

圧力波が  $x=3.0[m]$  から  $x=4.0[m]$  間の  $1[m]$  進むサイクルはおよそ  $10,047 \sim 12,922$  サイクルの  $2,875$  サイクルです。解析時の時間刻み幅が  $1e-6[s]$  なので、圧力波は  $1[m]$  を  $0.0029[s]$  で進みます。逆数を取ると  $344.828[m/s]$  となります。

一方、断熱変化を仮定した場合の気体の音速は次の式で与えられます。

$$c^2 = \gamma R T$$

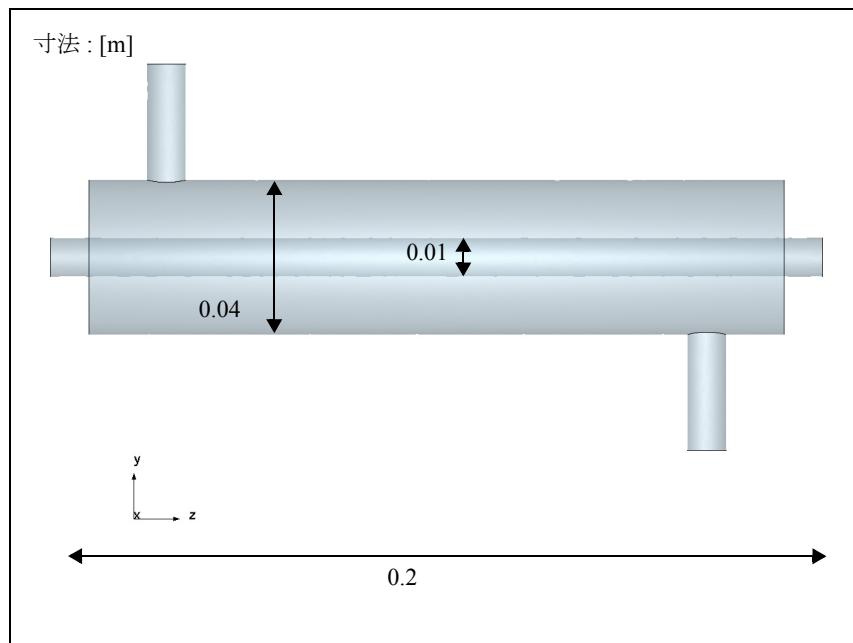
ここで  $c$  は音速、 $\gamma$  は比熱比、 $R$  はガス定数、 $T$  は温度[K]です。

空気の場合、 $\gamma=1.4$ 、ガス定数は  $287.06[J/(kg \cdot K)]$ 、また室温  $293.15[K]$  を仮定した場合、 $c=343.238[m/s]$  となり、本例題で見積もった圧力波の速度とほぼ一致します。

## 例題8.4 二重円管の熱交換

二重円管の熱交換の解析を行います。円管内部の流体はREFPROPにより物性値を設定します。

### 解析モデル



3次元圧縮性乱流

直径0.01[m], 長さ0.2[m]の内管と直径0.04[m], 長さ0.18[m]の外管で熱交換を行います。外管は常温の水が流れるものとし、内管は高温高压のR134Aが流れていると仮定します。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k-\varepsilon$  方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : R134A  
REFPROPを利用してR134Aの物性値を参照します。

### - 基準値

- 基準温度 : 273.15 [K]
- 基準圧力(MAT=1,2) : 101,325 [Pa]

### - 境界条件

- 流入口(MAT1) [Inlet\_1] : 流速規定
  - 流入速度 0.5 [m/s]
  - 流入温度 20 [°C]
  - 流入乱流量(乱流強度指定)
  - $T_u$  10 [%]
  - $\mu/\mu$  10
- 流出口(MAT1) [Outlet\_1] : 表面圧力規定
  - 表面圧力 0 [Pa]
  - 流入温度 20 [°C]
- 流入口(MAT2) [Inlet\_2] : 流速規定
  - 流入速度 0.5 [m/s]
  - 流入温度 80 [°C]
  - 流入乱流量(乱流強度指定)
  - $T_u$  10 [%]
  - $\mu/\mu$  10
- 流出口(MAT2) [Outlet\_2] : 表面圧力規定
  - 表面圧力 100,000 [Pa]
  - 流入温度 80 [°C]
- 壁面 [Wall\_1vs2] : 静止壁  
ギャップ要素に熱抵抗なし
- 壁面 [Wall\_1] : 静止壁  
断熱
- 壁面 [Wall\_2] : 静止壁  
断熱

### - 初期条件

- 温度(MAT1) : 20 [°C]
- 流速Y成分(MAT1) : -0.5 [m/s]
- 温度(MAT2) : 80 [°C]
- 圧力(MAT2) : 100,000 [Pa]
- 流速Z成分(MAT2) : -0.1 [m/s]

### - その他

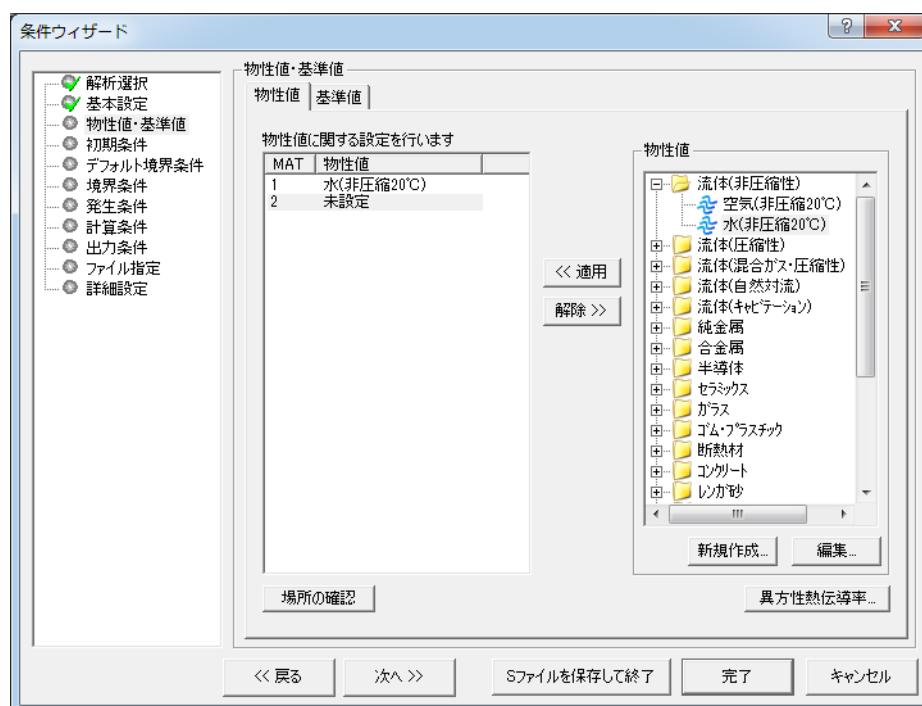
- 乱流モデル  
標準  $k-\epsilon$  モデル
- 解析の種類  
定常解析

- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 500[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 調和関数による初期化を行いません。

## 特記事項

### - 物性値の設定方法

- [条件ウィザード] - [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。



- [条件ウィザード] - [物性値]タブにてMAT[2]を選択します。右クリックして[REFPROPで指定]を選択します。[REFPROP]ダイアログにて[参照する流体ファイル名]の[...]をクリックして[REFPROPファイル]にて[R134A.FLD]を選択して[開く]をクリックします。[比熱・エンタルピを求める際の圧力]に[100000 Pa]、[比熱・エンタルピのテーブル]にて、[区間の最大温度]に[100 °C]、[区間の最小温度]に[0 °C]、[区間分割数]に[100]と入力してOKをクリックします。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA08-4.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [温度]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [500]

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ 物性値の設定を行います。特記物性値の設定方法を参照してください。

#### 4. [初期条件]

- ・ [条件ウィザード] - [初期条件]の[初期値]タブにて新規をクリックします。[初期値]ダイアログにて、[変数]を[温度]、[値]を[20 °C]、対象をMATで指定するにして[MAT番号]を[1]として、OKをクリックします。

[変数] : [温度]

[値] : [20 °C]

[MAT] : [1]

[変数] : [流速Y成分]

[値] : [-0.5 m/s]

[MAT] : [1]

[変数] : [温度]

[値] : [80 °C]

[MAT] : [2]

[変数] : [圧力]

[値] : [100000 Pa]

[MAT] : [2]

[変数] : [流速Z成分]

[値] : [-0.1 m/s]

[MAT] : [2]

- ・ 次に[調和関数]タブを開きMATの[2]をクリックして[調和関数による初期化]ダイアログにて[圧力]を[初期化しない]、[温度]を[初期化しない]、[速度]を[初期化しない]として、OKをクリックします。

## 5. [境界条件]

- [領域]から[Inlet\_1]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[境界に垂直な流速を指定]を選択し、以下のように設定します。

[流入速度] : [0.5 m/s]  
 [流入温度] : ON  
 [温度指定 T] : [20 °C]  
 [流入乱流量] : ON  
 [乱流強度指定] [T<sub>u</sub>] : [10 %]  
 [ $\mu/\mu$ ] : [10]

- [領域]から[Outlet\_1]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、以下のように設定します。

[圧力] : [0 Pa]  
 [流入温度] : ON  
 [温度指定 T] : [20 °C]

- [領域]から[Inlet\_2]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[境界に垂直な流速を指定]を選択し、以下のように設定します。

[流入速度] : [0.5 m/s]  
 [流入温度] : ON  
 [温度指定 T] : [80 °C]  
 [流入乱流量] : ON  
 [乱流強度指定] [T<sub>u</sub>] : [10 %]  
 [ $\mu/\mu$ ] : [10]

- [領域]から[Outlet\_2]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、以下のように設定します。

[圧力] : [100000 Pa]  
 [流入温度] : ON  
 [温度指定 T] : [80 °C]

- [領域]から[Wall\_1vs2]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにします。次に[壁面熱伝達条件]タブにて[断熱]をOFF、OKをクリックしてダイアログを開じます。
- [領域]から[Wall\_1]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにして、OKをクリックします。
- [領域]から[Wall\_2]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにして、OKをクリックします。

## 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA08-4]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA08-4.oct を読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[Wall_1vs2]	自動	[1.1]	[3]
[Wall_1]	自動	[1.1]	[3]
[Wall_2]	自動	[1.1]	[3]

詳細設定をクリックし、[厚み]タブを選択します。[狭い空間での境界層の厚みを制限する]をONにし、[空間の広さに対する厚みの比の上限]に[0.2]を入力して、OKをクリックします。

#### - 解析実行

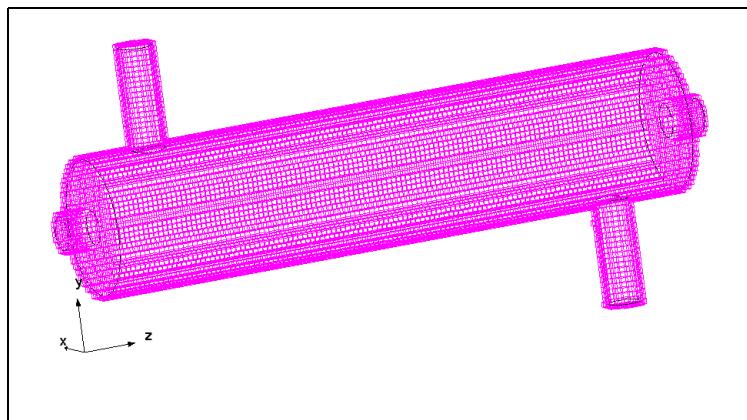
SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約15分
- 計算サイクル数  
298サイクル
- \* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

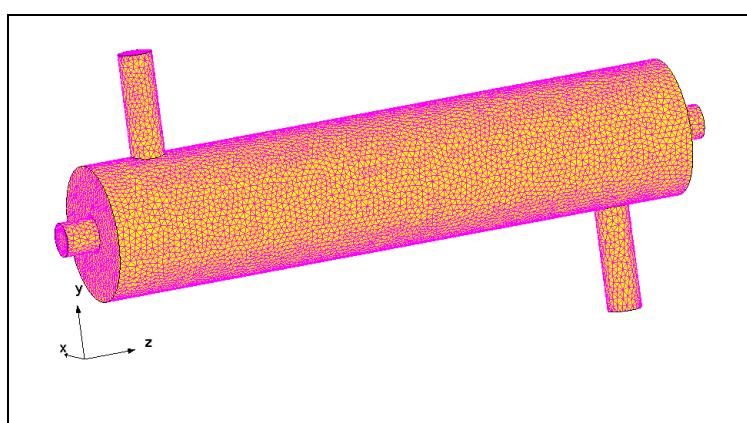
#### 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.0015[m]

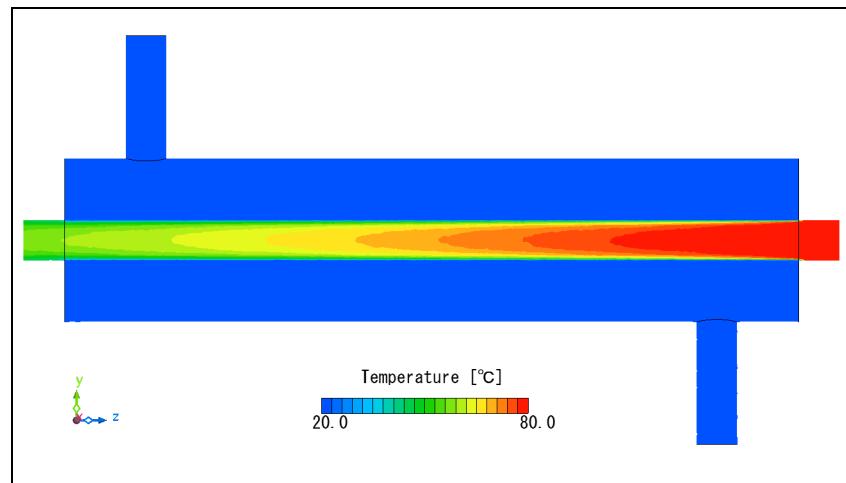
- メッシュ図



要素数 : 537,955

## 解析結果

- 温度コンター図(X=0)



---

## 機能9 自然対流解析

---

---

## 機能説明

- 流体の密度差と重力によって駆動される流れを自然対流といいます。一般に温度の高い流体は低い流体よりも密度が小さいため、浮力により温度の高い流体が上昇し、低い流体が下降することで対流が発生します。
- 非圧縮性解析で自然対流を扱う場合には、ある基準温度からの温度差に比例した浮力をブシネスク近似式によって与えます。一方、圧縮性解析の場合は、密度の変化を解いて浮力を与えます。

## 注意事項

- ブシネスク近似を用いた非圧縮性解析を行う場合、PROPコマンドの体膨張率と基準温度が必要です。
- 分散混相流解析(初期設定データIPHASEが2以上)では、BASIコマンドの基準密度からの差が浮力として考慮されます。

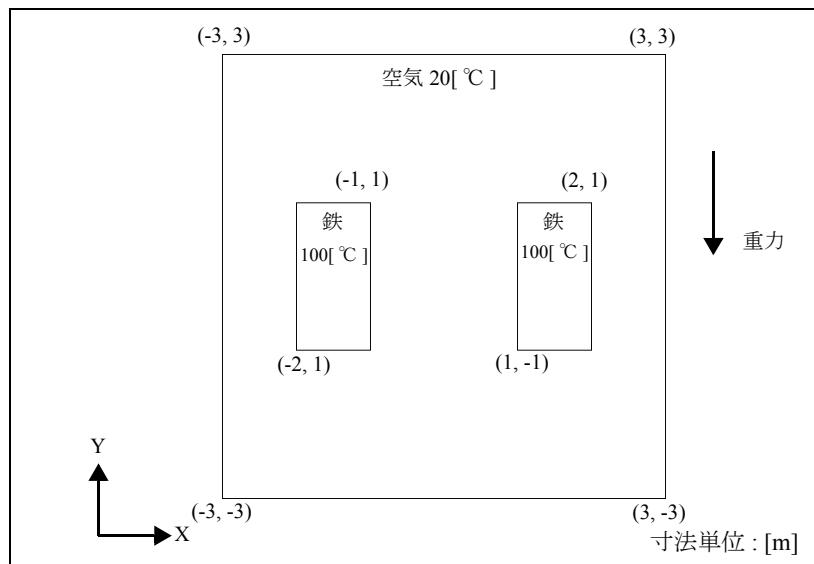
## 関連コマンド

- GRAV : 重力加速度の設定
- PROP : 浮力を考慮する際の基準温度や体膨張率の設定

## 例題9.1 高温物体周りの自然対流

20[°C]の空気の中に100[°C]の鉄を置いたときに発生する自然対流を解析します。

### 解析モデル



疑似2次元非圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k-ε方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 亂流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。

### 解析条件

#### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向:-9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

**- 物性値**

- MAT=1 : 空気(自然対流20°C)  
物性値ライブラリより[流体(自然対流)] - [空気(自然対流20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 鉄(Fe)  
物性値ライブラリより[純金属] - [鉄(Fe)]を使用します。

**- 境界条件**

- 壁面      [fe-wall] : 静止壁  
ギャップ要素に熱抵抗なし
- [outside-wall] : 静止壁  
断熱

**- 初期条件**

- 温度(MAT=1) : 20[°C]
- 温度(MAT=2) : 100[°C]

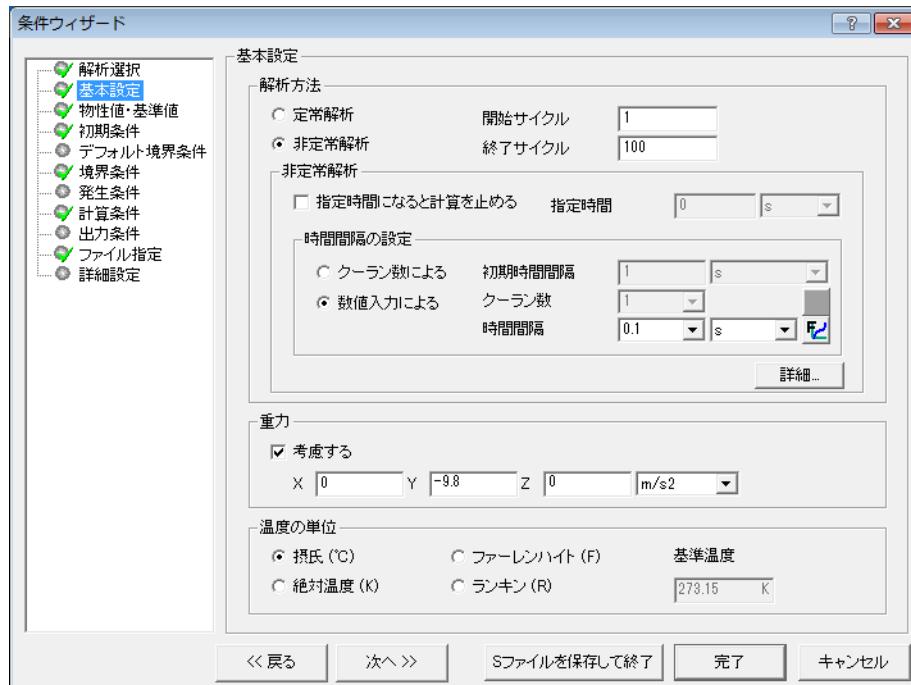
**- その他**

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル : 100[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.1[s]
- 圧力固定  
 $(X, Y, Z) = (0, 0, 0.1)$  : 圧力値0[Pa]

## 特記事項

### - 重力の設定

- 自然対流を計算するためには浮力を考慮する必要があります。[条件ウィザード] - [基本設定]を開き、[重力]の[考慮する]をONにします。
- 重力加速度のデフォルトの方向はZ軸負方向ですが、今回のモデルではY軸負方向です。よって下図のように変更します。



### - 圧力固定の設定

- 流入流出境界の無い非圧縮計算なので、圧力が不安定になる恐れがあります。このような場合、圧力固定点を設けることで圧力をより安定化させることができます。圧力固定点の設定は、[条件ウィザード] - [計算条件] - [圧力]の[圧力固定]で、[圧力]に[0 Pa]、[場所(X, Y, Z)]のそれぞれに[(0, 0, 0.1) m]を入力し、登録をクリックして行います。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA09-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [温度]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [100]

- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。

[時間間隔] : [0.1 s]

- 自然対流を計算するために重力を考慮します。特記事項 重力の設定をご参照ください。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて物性値リストで[流体(自然対流)] - [空気(自然対流20°C)]を選択し適用をクリックします。同様にMAT[2]を選択、物性値リストで[純金属] - [鉄(Fe)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [初期条件]

- 新規をクリックします。[変数]から[温度]を選択し、[値]に[20 °C]と入力します。また[対象]から[MATで指定する]を選択し、[MAT番号]に[1]を入力し、最後にOKをクリックします。
- 再度新規をクリックします。[変数]から[温度]を選択し、[値]に[100 °C]と入力します。また[対象]から[MATで指定する]を選択し、[MAT番号]に[2]を入力し、最後にOKをクリックします。

#### 5. [境界条件]

- [領域]から[fe-wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認します。次に[壁面熱伝達条件]タブにて[断熱]をOFF、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- 同様に[領域]から[outside-wall]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。

#### 6. [計算条件]

- 圧力固定の設定を行います。特記事項 圧力固定の設定をご参照ください。

#### 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA09-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA09-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行います。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[fe-wall] [outside-wall]	[0.05]	[1.1]	[2]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。 [詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]の詳細をクリックして、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにします。 [層数]に[1]を入力し、OKをクリックします。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

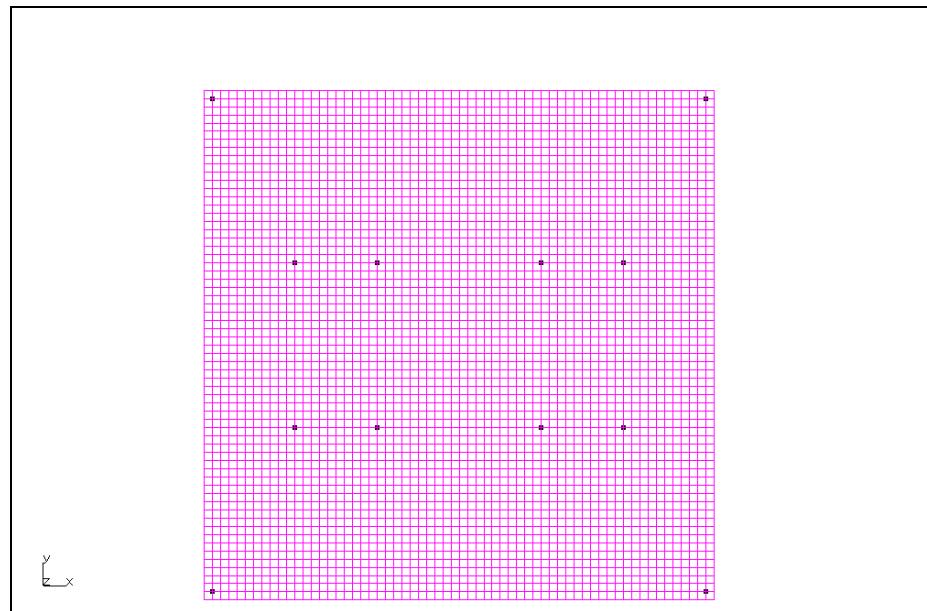
- SCTsolverの実行時間  
約10秒

- 計算サイクル数  
100サイクル

\* 2core 使用時( Intel Xeon X5680 3.33GHz )

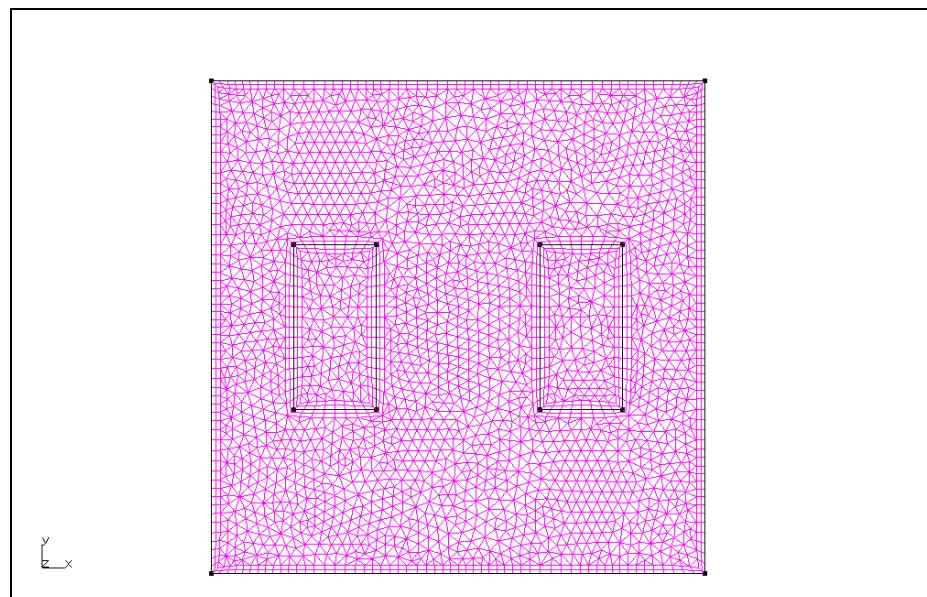
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.1[m]

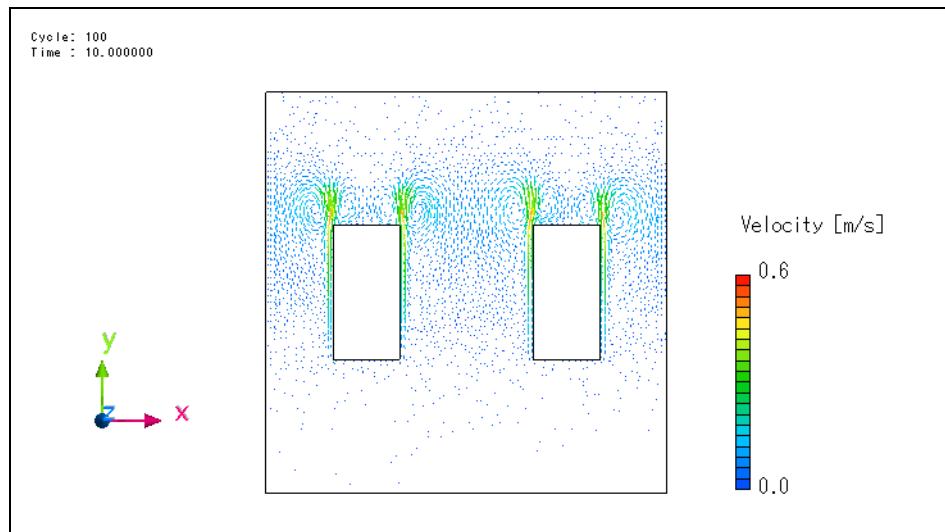
- メッシュ図



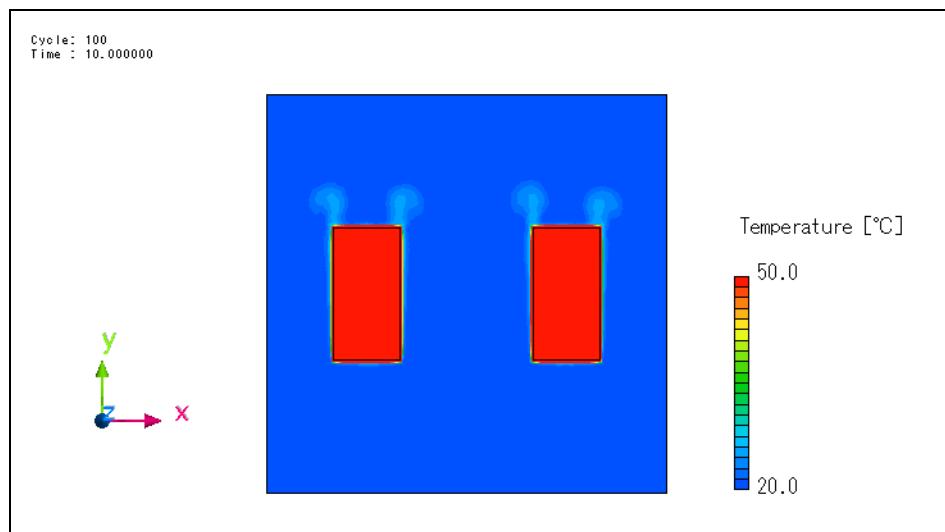
要素数 : 6,782

## 解析結果

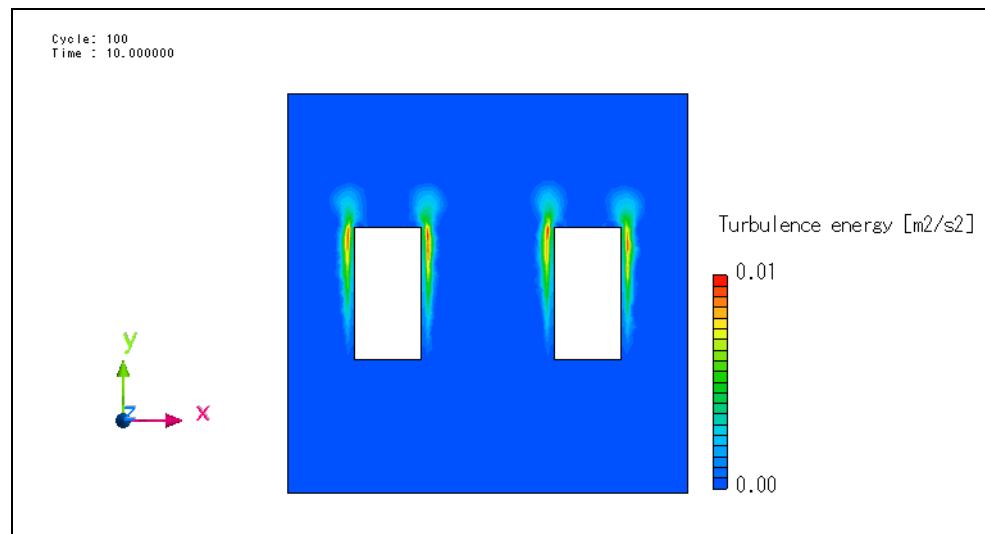
- 流速ベクトル図



- 温度コンター図



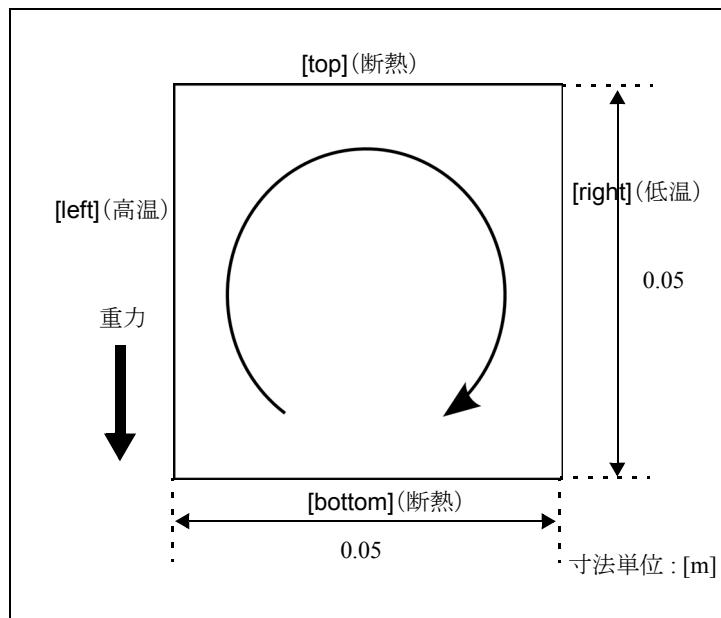
- 乱流強度コンター図



## 例題9.2 キャビティ内の自然対流

本例題では、圧縮性解析により正方キャビティ内の自然対流現象を解析します。正方領域内の左壁を高温、右壁を低温に設定すると、自然対流により内部の流れは循環し、左壁の熱は右壁へと伝わりやすくなります。

### 解析モデル



### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式

### 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向:-9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 絶対温度(K)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を使用します。

### - 基準値

- 基準温度 : 300[K]
- 基準圧力(MAT=1) : 101,325[Pa]

### - 境界条件

- 壁面 [left] : 静止壁  
温度固定 25+基準温度[K]
- [right] : 静止壁  
温度固定 -25+基準温度[K]
- [top], [bottom] : 静止壁  
断熱

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

### - その他

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.005[s]

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA09-2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [温度]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]  
 [終了サイクル] : [1000]

- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。

[時間間隔] : [0.005 s]

- [重力]の[考慮する]をONにします。

[(X, Y, Z)] : [(0, -9.8, 0) m/s<sup>2</sup>]

- [温度の単位]で[絶対温度(K)]を選択します。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて、[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。
- [基準値]タブにて[基準温度]に[300 K]と入力します。また、[基準圧力]に[101325 Pa]と入力します。最後に、登録をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[left]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に、[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにし、[条件値]を[壁面温度を外部温度に固定]とし、[外部温度]に[25 K]と入力します。最後にOKをクリックしてダイアログを閉じます。
- 同様に、[領域]から[right]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に、[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにして、[条件値]を[壁面温度を外部温度に固定]とし、[外部温度]に[-25 K]と入力します。最後にOKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[top]と[bottom]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 5. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA09-2]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA09-2.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[top]			
[bottom]			
[left]			
[right]			
	[0.00025]	[1]	[2]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

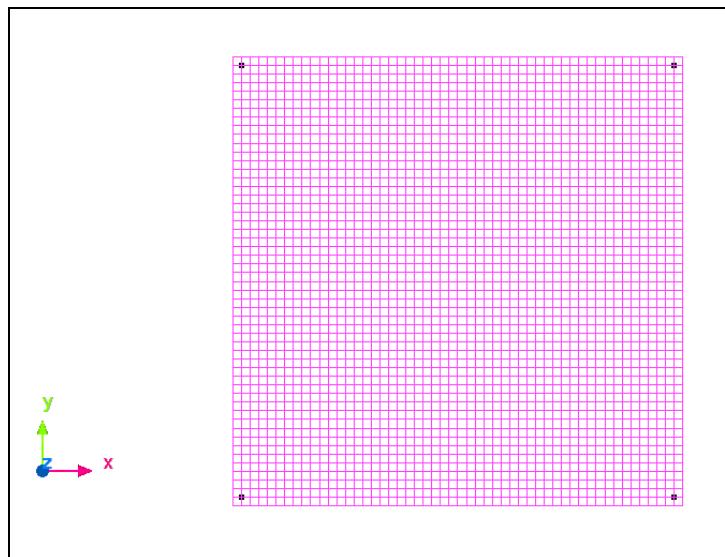
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約1分
- 計算サイクル数  
1,000サイクル

\* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

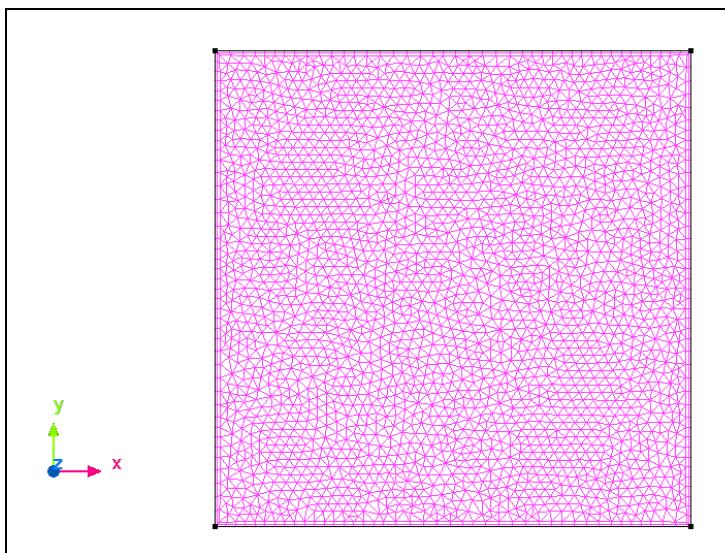
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ :  $5 \times 10^{-4}[\text{m}]$

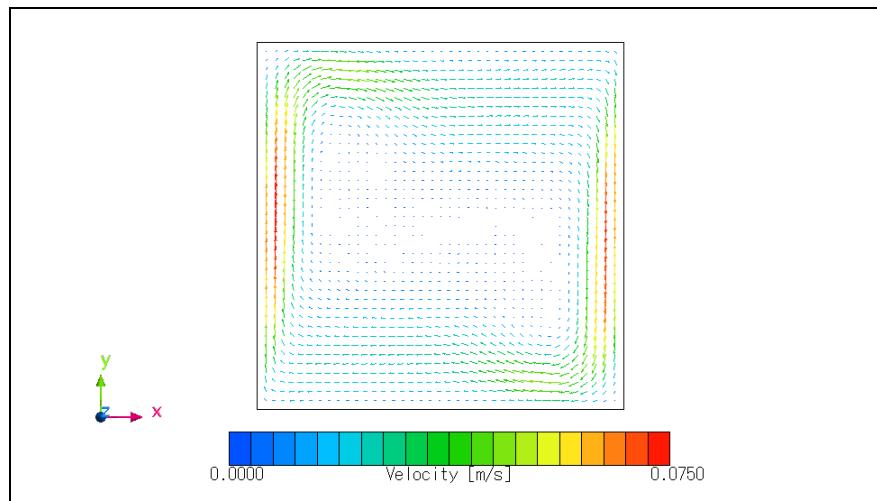
- メッシュ図



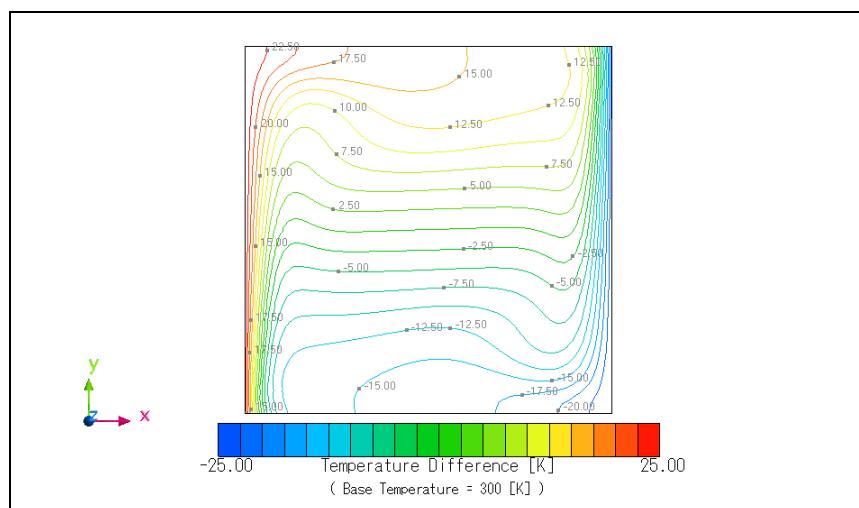
要素数 : 5,238

## 解析結果

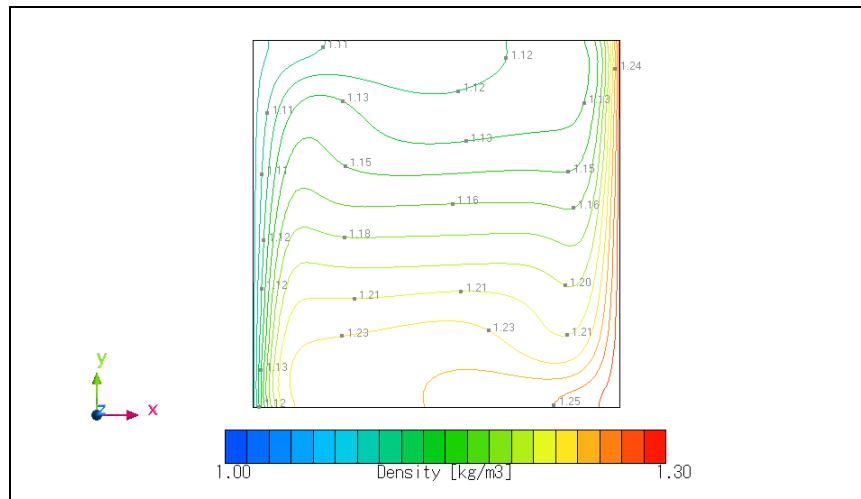
- 流速ベクトル図



- 基準温度からの温度差コンター図



- 密度コンター図



---

## 機能10 ユーザー関数

---

---

## 機能説明

- ユーザー関数を使用することによって、標準の設定では対応できない条件を設定し解析を行うことができます。ユーザー関数の種類やユーザー関数作成の詳細に関しては、[ユーザーズガイド リファレンス\(ソルバー\)編 第2章](#)をご参照ください。

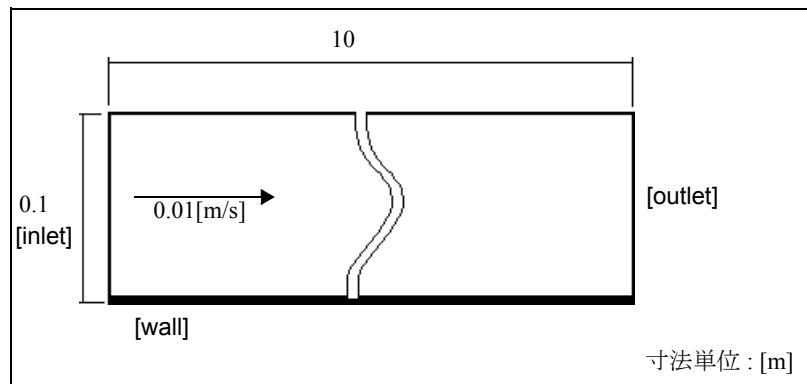
## 注意事項

- ユーザー関数を使用した計算がうまくいかない場合は、ユーザー関数の設定以外の設定に問題がある可能性を除外するため、まずはユーザー関数を使用しない解析が問題なく実行できるかどうかを確認してから、ユーザー関数についての検討を行うようにして下さい。

## 例題10.1 非ニュートン流体

2次元的な平行平板間を流れる非ニュートン流体の解析を行います。

### 解析モデル



疑似2次元非圧縮性粘性層流

一般に流体は粘り(粘性)を持っています。この粘りは、流体が流れ、変形しようとする力に対して抵抗力を生み出します。ある流れがあり、抵抗力が流速の場所に対する変化(せん断速度)に比例するとき、この流体はニュートン流体と呼ばれます。粘性係数は、このときの比例定数に相当します。水、空気などは代表的なニュートン流体です。一方、水飴やインク、グリースなど、ニュートン流体の性質を持たない流体も多くあります。このような流体は非ニュートン流体と呼ばれています。

この例題ではユーザー関数機能を用い、粘性係数を流速(の変化)の関数として、非ニュートン流体の流れの解析を行います。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)

### 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

• MAT=1	: 密度	1,000[kg/m <sup>3</sup> ]
	: 粘性係数	ユーザー関数、変数テーブルにより与えます。
	: 定圧比熱	4,000[J/(kg•K)]
	: 热伝導率	0.6[W/(m•K)]

### 注意事項

ただし、解析では定圧比熱と熱伝導率は使いません。

### - 境界条件

• 流入口	[inlet]	: 流速規定	0.01[m/s]
• 流出口	[outlet]	: 表面圧力規定	0[Pa]
• 壁面	[wall]	: 静止壁	

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

### - その他

- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 粘性係数モデル

$$\mu = \mu_0 + c \left( \frac{\Delta : \Delta}{2} \right)^{\frac{n}{2}}$$

$\frac{\Delta : \Delta}{2}$  はせん断ひずみ速度の直積を意味しています(ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編の第2章 ユーザー関数 2.6 ユーティリティー関数の使用方法を参照)。

ニュートン流体

$$\mu_0 = 0.001, c = 0.0, n = 0.0$$

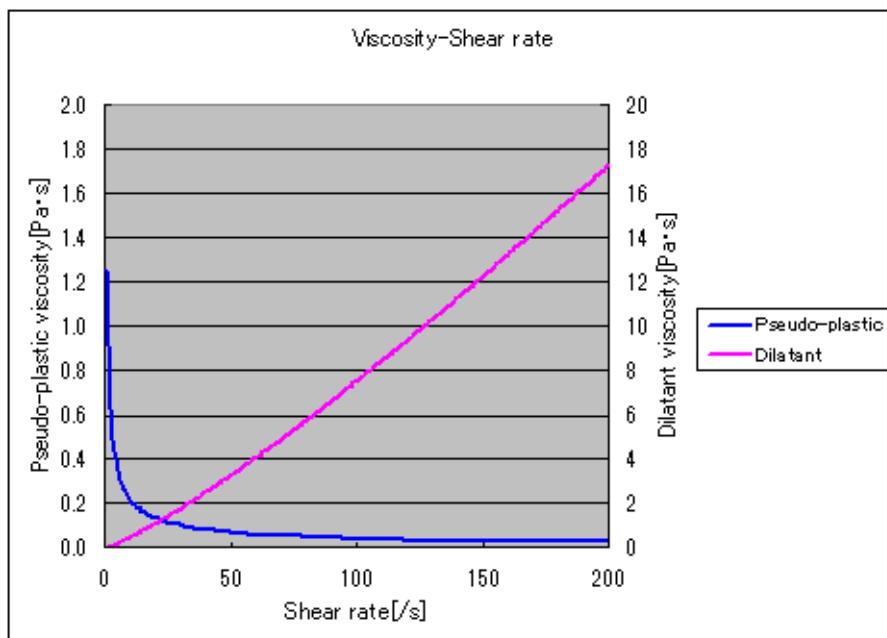
擬塑性流体

$$\mu_0 = 0.001, c = 1.25, n = -0.75$$

ダイラタント流体

$$\mu_0 = 0.001, c = 0.03, n = 1.2$$

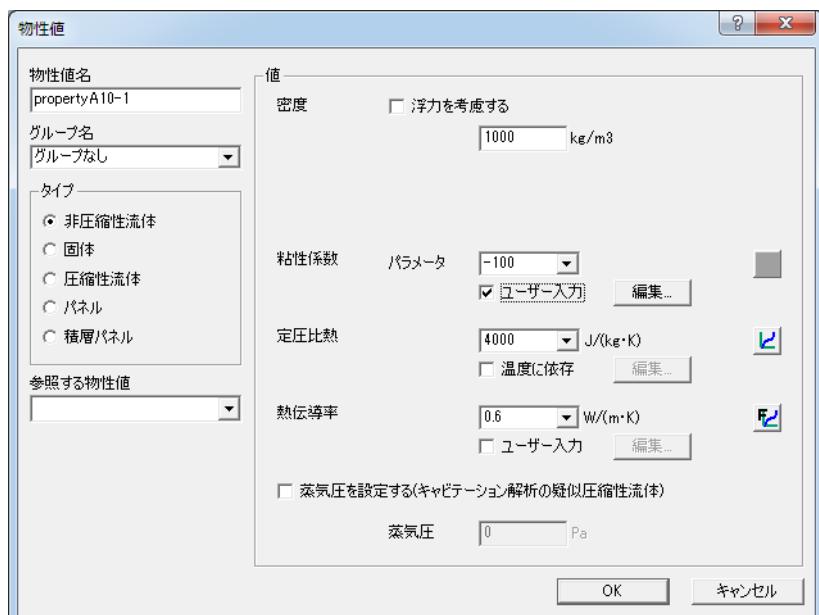
以上の条件で、実際に計算される粘性係数は次に示すとおりです。



## 特記事項

### - ユーザー関数の設定について

- 本解析の設定で物性条件にユーザー関数を用いる場合、以下のように行います(これは参考例です)。



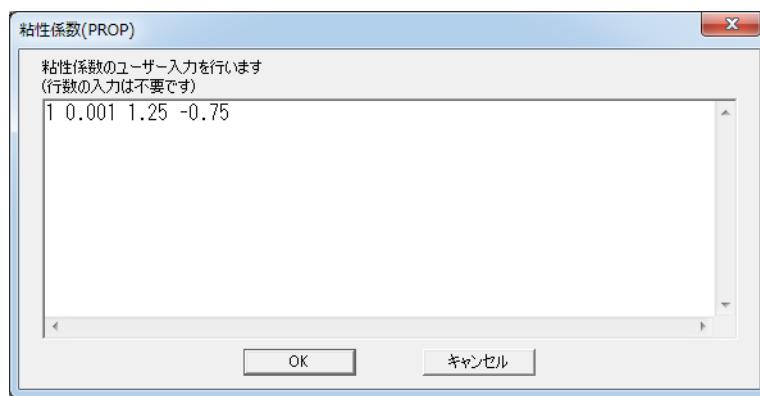
上図のように、[ユーザー入力]をONにし、[粘性係数]には[-100]を入力しておきます。

### 注意事項

粘性係数についてのユーザー関数を使用するためには、上記のように粘性係数に-100以下の値を入力する必要があります。なお、ここで指定した-100以下の値は、ユーザー関数の引数としても利用できますので、ユーザー関数内部でこの引数によって条件分岐などを行うことも可能です。但し、今回はユーザー関数内部でこの引数を用いませんので、この[-100]という値は特別な意味を持ちません。

(メモ) 次項目で例示している擬塑性流体の解析例について、ユーザー関数での設定を変数テーブル機能で代替している例をexA10-1\_2\_ft.s, viscosity.txtとして本例題フォルダに同梱します。viscosity.txtが変数テーブルファイルです。ユーザー関数で与えられる一部の例は変数テーブル機能で与えることも可能です。変数テーブル機能については、**機能11**を参照してください。

- ユーザー関数に値を渡すため、**編集**をクリックして、次の図のように入力します。



ここで入力された情報は、ユーザー関数から参照されます。今回作成するユーザー関数によって、これらの数字は左からニュートン/非ニュートン流体のフラグ(0:ニュートン流体、1:非ニュートン流体), 定義式の $\mu_0, c, n$ として扱われます。

上図は擬塑性流体を解析するときの設定です。

ニュートン流体の解析のときは、[0 0.001 0.0 0.0], ダイラタント流体の解析のときは、[1 0.001 0.03 1.2]と入力します。

- ユーザー関数(sct10\_us.c)の内容

#### 注意事項

ユーザー関数のDLLファイルの作成手順については、**ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 第2章 ユーザー関数**を参照してください。

この例題では、粘性係数をユーザー関数で与えますので、sct10\_us.cの以下の部分を変更し、ユーザー関数のDLLファイルを作成する必要があります。

```
fprec mu_0, coef_v, expo_v;
int ftype;
void usr_visc(int isw, int nlines)
{
    char msg[500];
    double tmp[3];

    usf_getline(msg, 500);
    sscanf(msg, "%d%lg%lg%lg", &ftype, &tmp[0], &tmp[1], &tmp[2]);
    mu_0 = (fprec)tmp[0];
    coef_v = (fprec)tmp[1];
    expo_v = (fprec)tmp[2];

    usf_sout(" --- User-defined viscosity was recognized. ---\n");
    if (ftype == 0) {
        usf_sout("Newtonian fluid.\n");
        sprintf(msg, "Constant viscosity = %g\n", mu_0);
    } else if (ftype == 1) {
        usf_sout("Non-Newtonian fluid.\n");
        sprintf(msg, "Viscosity is assumed as mu = %g + %g * eij^%g.\n", mu_0, coef_v, expo_v);
    }
    usf_sout(msg);
}
fprec use_visc(int ie)
{
    fprec mu, limit = 1.0e-06;
    fprec shr_vel;

    shr_vel = (fprec)sqrt( usf_uvwsshear(ie) );

    if (ftype == 0) {
        mu = mu_0;
    } else if (ftype == 1) {
        if(expo_v < 0.0 && shr_vel < limit) {
            shr_vel = limit;
        }
        mu = mu_0 + coef_v * (fprec)pow(shr_vel, expo_v);
    }

    if (mu <= 0.0)
    {
        if (usf_ncyc() > 1) {
            usf_sout(" ---User-defined function warning: Viscosity is less than 0.0.\n");
        }
        mu = mu_0;
    }
    return mu;
}
```

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA10-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [終了サイクル]を[1000]に設定します。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブで新規作成をクリックします。表示された[物性値]ダイアログで物性値を入力します。設定の詳細については特記事項 ユーザー関数の設定についてを参照してください。設定が終了したらOKをクリックしてダイアログを閉じます。MAT[1]と新しく作成した物性値を選択して、適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]を[0.01 m/s]と入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]が[0 Pa]となっていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[wall]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認し、OKをクリックします。

#### 5. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、解析に応じた指定を行います。

ニュートン流体 : [exA10-1\_1]

擬塑性流体 : [exA10-1\_2]

ダイラタント流体 : [exA10-1\_3]

- 次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA10-1.pre]に変更します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA10-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[5e-004]	[1.4]	[5]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで[詳細設定]をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

### - 解析実行

作成したユーザー関数のDLLファイルを、Sファイルと同じフォルダに置いた上で、SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

ニュートン流体	： 約 30秒
擬塑性流体	： 約 2分
ダイラタント流体	： 約 20秒

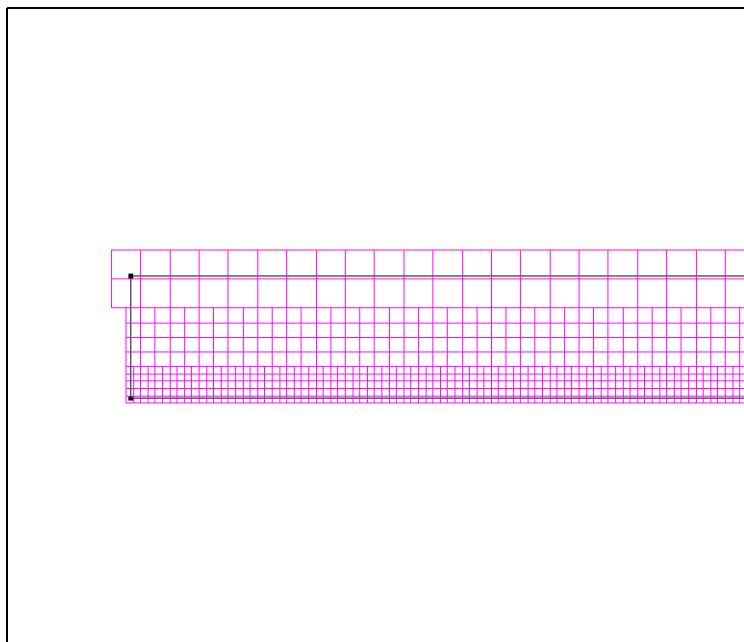
- 計算サイクル数

ニュートン流体	： 約 145サイクル
擬塑性流体	： 約 900サイクル
ダイラタント流体	： 約 75サイクル

\* 2core 使用時 ( Intel Xeon X5680 3.33GHz )

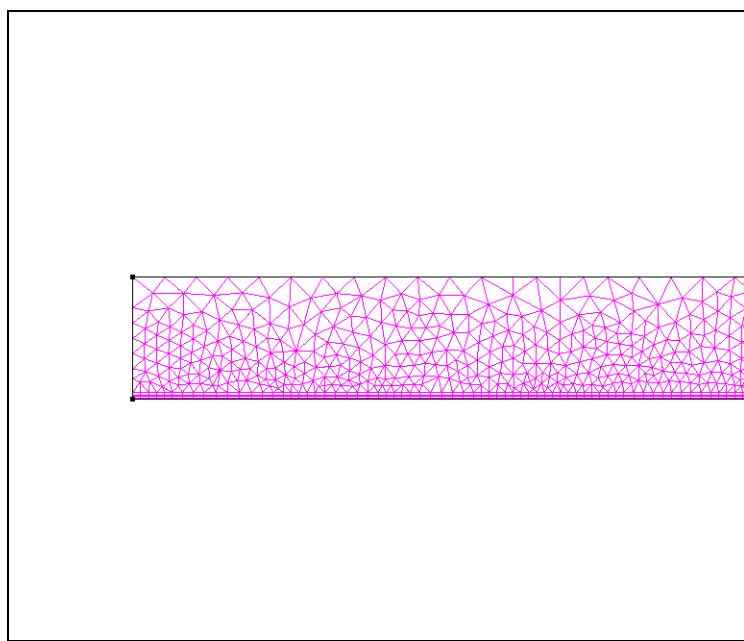
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.006[m]~0.024[m]

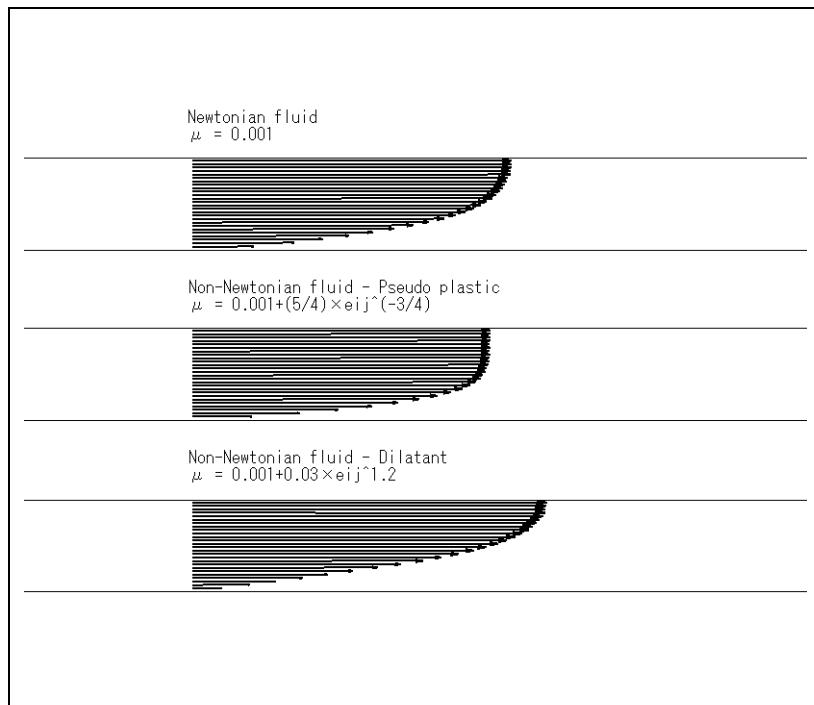
- メッシュ図



要素数 : 22,431

## 解析結果

- 流速ベクトル図



---

## 機能11 変数テーブル

---

---

## 機能説明

- 境界条件や物性値などの入力値を一定値に固定するのではなく、参照値の変化に応じてコントロールしたい場合には変数テーブルを用いることができます。例えば、流入流速を時間的に変化させたり、熱伝導率を温度によって変化させたりすることができます。変数テーブルは、入力値と参照値の対応を表(テーブル)として入力します。
- 一方、粘性係数が温度のべき乗関数で与えられているなど、入力値と参照値の関係が関数で与えられる場合、既知の関数から変数テーブルを作成するのはわざらわしいことです。そこで、簡単な関数については、直接関数形を入力できる関数機能が用意されています。
- 変数テーブルの設定は、変数テーブルファイルを用いる方法と、SCTpreのダイアログで設定し、Sファイル中に記述する方法があります。SCTpreでの設定方法については、[ユーザーズガイド リファレンス\(プリ\)編 第2章 \[解析条件\] - \[条件ウィザード\] - \[基本設定\]](#)の変数テーブル以下を参照してください。変数テーブルファイルの書式については[ユーザーズガイド リファレンス\(ソルバー\)編 1.4 変数テーブル](#)を参照してください。

## 注意事項

- 値が変数テーブルの定義範囲を超えると、エラー(FE165)になります。

## 結果として出力されるもの

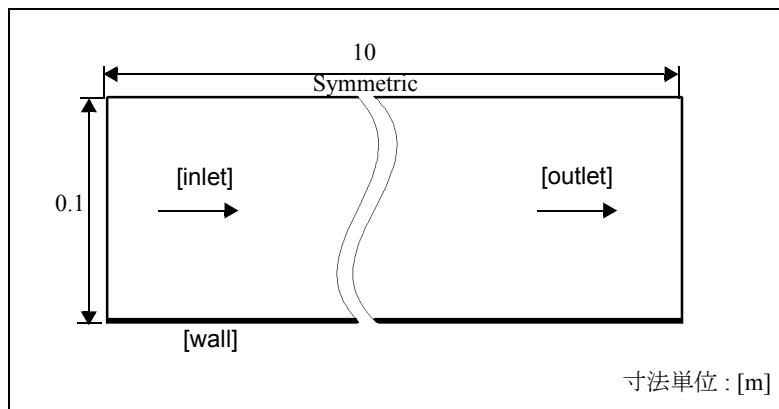
### - 計算時メッセージ

- [テーブルの詳細設定]ダイアログにて、[値のLファイルへの出力]が指定されると(変数テーブルファイルのOUTP)、テーブルで決定された値がLファイルへ出力されます。

## 例題11.1 空気の輸送係数の温度依存

空気の粘性係数・熱伝導率を温度の関数として定義して、加熱された平行平板間の気流解析を行います。

### 解析モデル



疑似2次元非圧縮層流

粘性係数、熱伝導率とは、それぞれ流体の"運動量(エネルギー)の伝わりやすさ(粘り)"と"熱の伝わりやすさ"の指標として熱流体解析では必須物性値として与えられるなじみ深い量です。これらは交換係数や輸送係数と呼ばれています。輸送係数の値はほとんどの場合、一定値として扱ってもさしつかえないことが多いのですが、実際には温度が変化するにつれてこれらの値もその多少はあれ、変化しています(輸送係数の温度依存性といいます)。私たちの身近な流体である空気についても、輸送係数の温度依存性はよく調べられており1つの著名な数値モデルとしてSutherland(サザランド)の式は比較的よく参照されています。本例題では粘性係数、熱伝導率をSutherlandの式から与えます。今まで物性値を(計算している)任意の量の関数として定義するために機能10のようにユーザー関数を使ってきました。ここでは"変数テーブル"機能を使用して物性値を設定します。最後に粘性係数と熱伝導率が温度依存している様子を確認し、物性値の温度依存を考慮しなかった場合との温度分布の比較を行います。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式

### 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 絶対温度(K)

### - 物性値

#### CASE1

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

#### CASE2

- MAT=1 : 粘性係数を変数テーブルにより与えます(s-visc.txt)  
熱伝導率を変数テーブルにより与えます(s-tcon.txt)  
変数テーブルはSutherlandの式([文献1])から求めたものです。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 1.0[m/s]  
流入温度 273.15[K]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁  
断熱 OFF  
壁面温度を外部温度に固定 1,000[K]

### - 初期条件

- 温度(MAT=1) : 273.15[K]

### - その他

- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 300[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 粘性係数モデル  
Sutherlandの式  

$$\mu = \mu(T) = 1.4584 \times 10^{-6} \times (T^{1.5} / (T + 110.33))$$
 [Pa·s] の4次関数近似  

$$\mu = -5.0 \times 10^{-18} T^4 + 3.0 \times 10^{-14} T^3 - 6.0 \times 10^{-11} T^2 + 8.0 \times 10^{-8} T - 7.0 \times 10^{-8}$$
- 熱伝導率モデル  
Sutherlandの式  

$$\lambda = \lambda(T) = 2.5022 \times 10^{-3} \times (T^{1.5} / (T + 194.40))$$
 [W/(m·K)] の4次関数近似  

$$\lambda = -4.0 \times 10^{-15} T^4 + 2.0 \times 10^{-11} T^3 - 6.0 \times 10^{-8} T^2 + 1.0 \times 10^{-4} T - 1.3 \times 10^{-3}$$
- 出力条件  
FLD(変数): 粘性係数, 熱伝導率

## 特記事項

### - 変数テーブル(テーブルファイルによる設定)

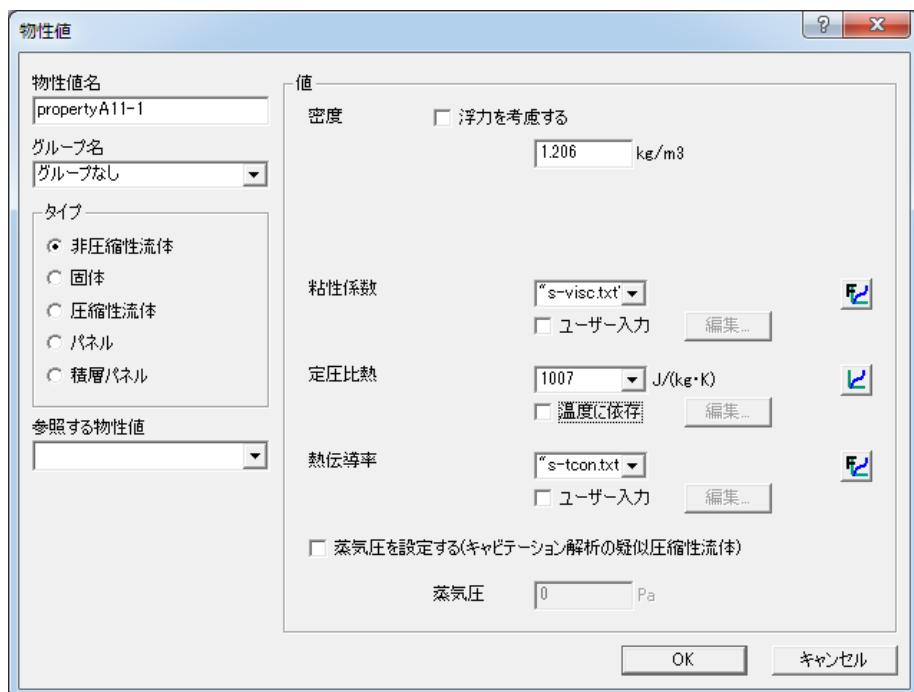
- 本解析ではSutherlandの式を4次の近似多項式に書き換え、この多項式を変数テーブル機能を使って与えます。例として粘性係数の関数テーブル"s-visc.txt"を以下に示します。

```

TTYP
TEMP
FUNC
1
VTBL
-5.0e-18 4.0
3.0e-14 3.0
-6.0e-11 2.0
8.0e-08 1.0
-7.0e-08 0.0
/
ENDT

```

- この粘性係数の関数テーブルを解析に反映させるには、sCTpre上で粘性係数の数値を入力する位置にダブルクオーテーション("")で囲んだ関数テーブルファイル名を入力します。この例では"s-visc.txt"と入力します。
- [条件ウィザード] - [物性値・基準値]で新規作成をクリックして、[物性値]ダイアログを開きます。以下の物性を設定後、OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- MAT[1]と作成した物性を選択して、適用をクリックします。

### - 変数テーブル(ダイアログでの設定)

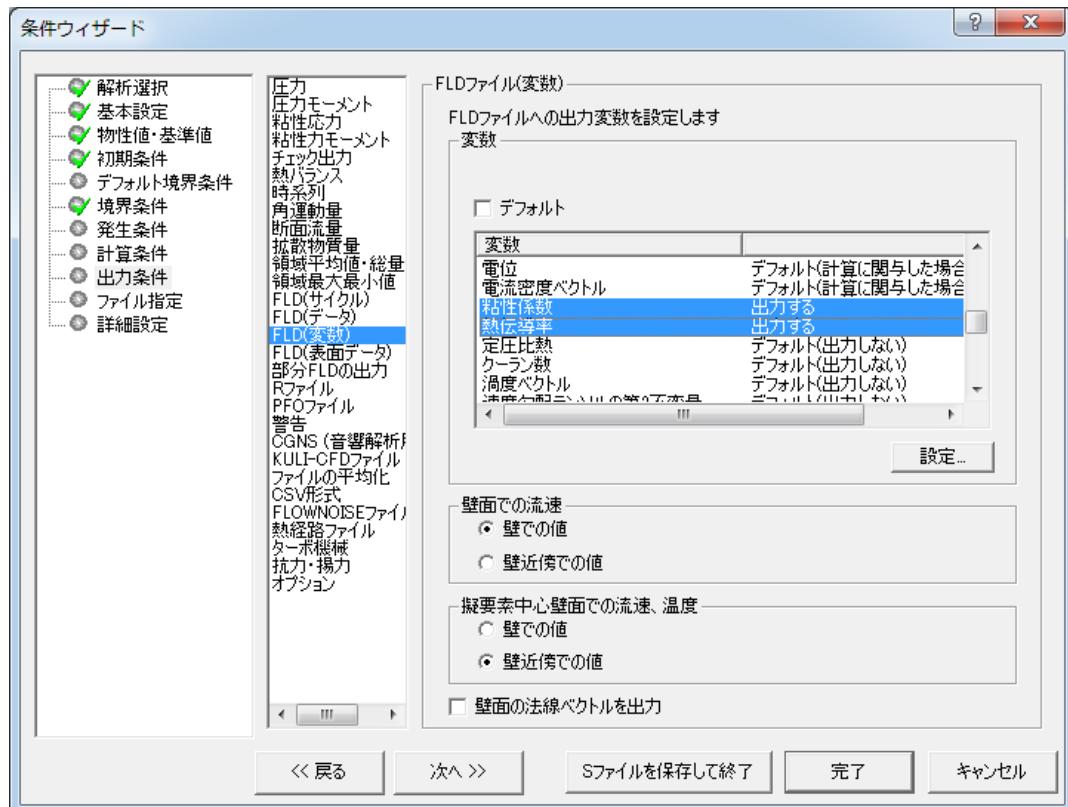
- 変数テーブルの設定方法には、テーブルファイルを用いる方法の他に、SCTpreのダイアログ上で直接設定する方法もあります。ここでは、例として粘性係数の関数テーブルファイル"s-visc.txt"の内容をダイアログ上で設定する方法を紹介します。
- 前述の[物性値]ダイアログにて、[粘性係数]の ボタンをクリックして、変数テーブルの設定を行います。[テーブル一覧]ダイアログで登録をクリックすると [テーブル登録]ダイアログが表示されます。[種類]に[関数テーブル]、[タイプ]に[温度]を選択し、下図のように設定します。



- 以上の設定でOKをクリックすると、[テーブル一覧]ダイアログに作成した変数テーブルが登録されます。
- 閉じるをクリックして[粘性係数]に登録した変数テーブルが選択されていることを確認します。

### - 物性値のFLDファイルへの出力

- ポストで物性値が温度に依存している様子を確認するため、FLDファイルに物性値情報を出力します。
- [条件ウィザード]-[出力条件]-[FLD(変数)]で[デフォルト]をOFFにします。変数のリストから[粘性係数]が選択された状態で右下の設定をクリックします。変数ダイアログにて[出力する]を選択し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。同様の方法で[熱伝導率]もFLDファイルに出力する設定を行います。
- 出力された物性値はポストを使ってコンター表示することにより確認することができます。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA11-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [温度]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [300]

- [温度の単位]で[絶対温度(K)]を設定します。

#### 3. [物性値・基準値]

- CASE1ではデフォルトで設定されている[空気(非圧縮20°C)]を用います。CASE2の場合は、  
特記事項 変数テーブル(テーブルファイルによる設定)を参照してください。

#### 4. [初期条件]

- 新規をクリックします。[初期値]ダイアログにて、[値]に[273.15 K]を入力して、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 5. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]を[1 m/s]とします。[流入温度]をONにして、[温度指定]を[273.15 K]と設定し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択し表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[wall]を選択し壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。[壁面熱伝達条件]タブにて[断熱]をOFFにし、[外部温度]に[1000 K]を入力して、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 6. [出力条件]

- 特記事項 物性値のFLDファイルへの出力を参照してください。

#### 7. [ファイル指定]

- CASE1の場合、[デフォルト名]をONにして、[exA11-1\_const]と入力します。次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA11-1.pre]とします。
- CASE2の場合、[デフォルト名]をONにして、[exA11-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA11-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[5e-4]	[1.4]	[5]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

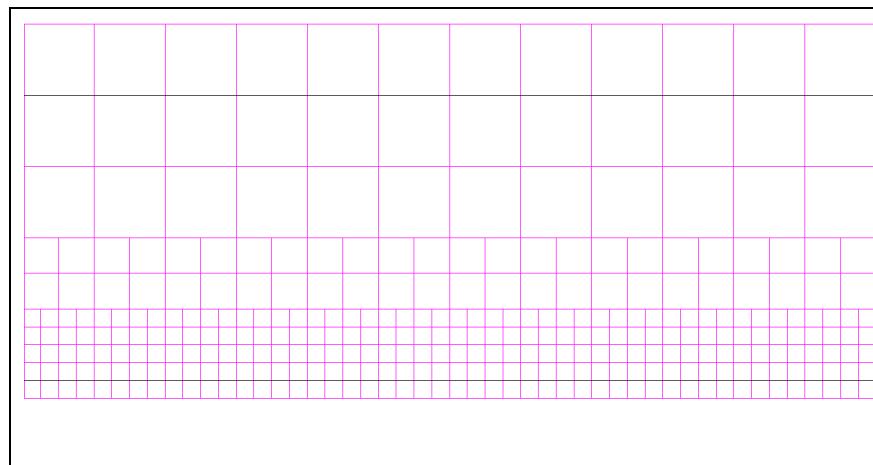
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
1ケース当たり約1分
- 計算サイクル数  
約150～300サイクル

\* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

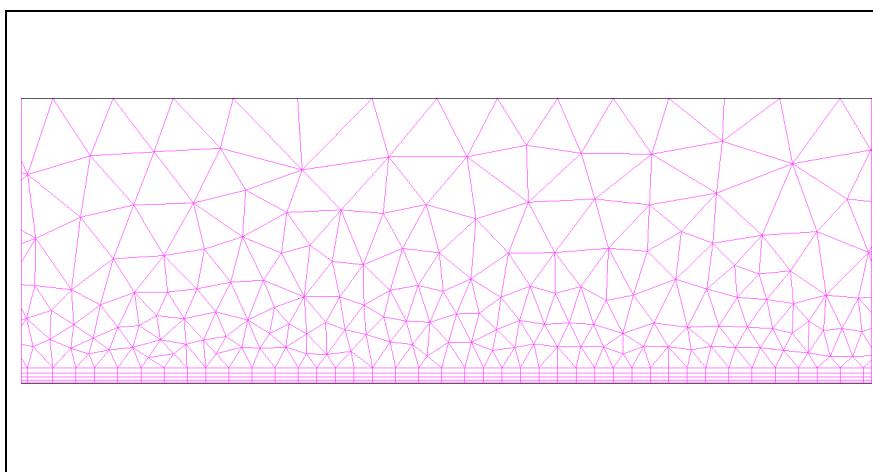
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.00625[m]~0.025[m]

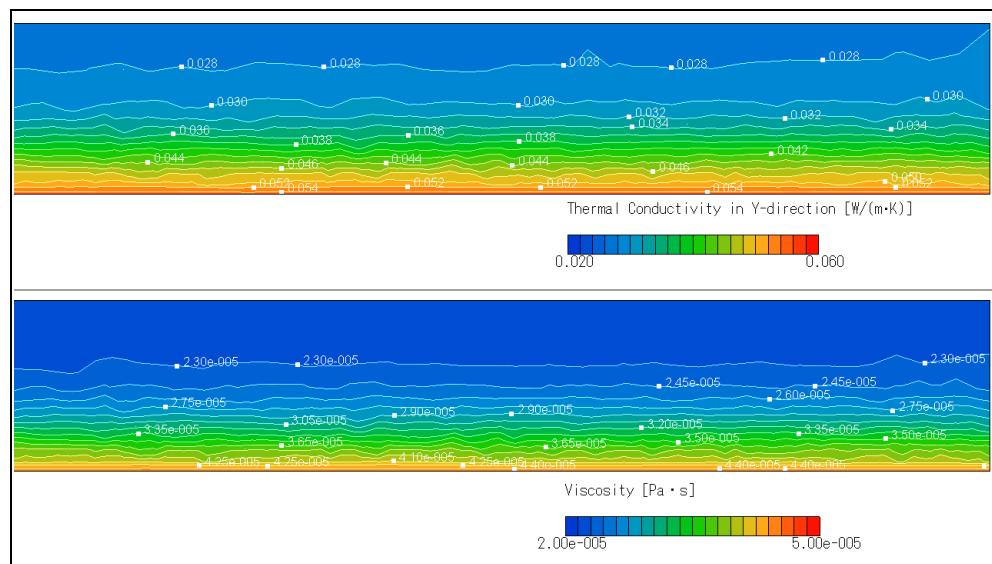
- メッシュ図



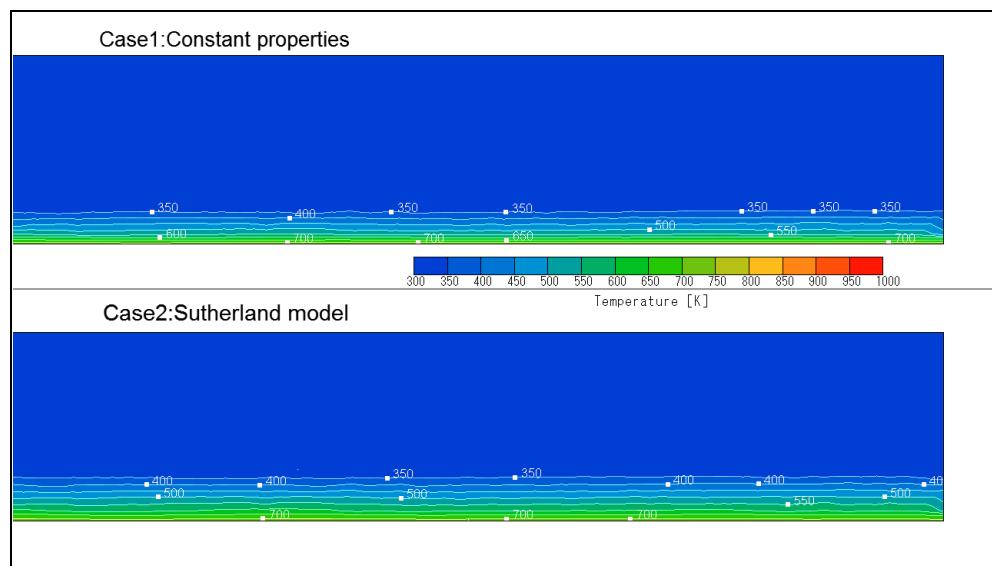
要素数 : 18,988

## 解析結果

- 熱伝導率と粘性係数の分布図(CASE2)



- スパン断面の空気温度分布図



図は管中央断面での温度等値線図を描いています。上図は20[°C]での空気の粘性係数と熱伝導率を用いて計算した結果を、下図はSutherlandの式を用いた結果をそれぞれ示しています。  
壁で暖められた空気の温度は上昇し、Sutherlandの式の結果では熱伝導率も大きくなっています。その効果は壁面からある距離離れた空気の温度がSutherlandの式の結果の方が大きくなっていることから伺えます。

## 参考文献

- Chapman S. and Cowling T.G., "The Mathematical Theory of Non-Uniform Gases," Cambridge at University Press,(1952,2nd edition), pp:223-227.

---

## 機能12 周期境界条件

---

---

## 機能説明

- 翼列の様な同じ形状が繰り返し現れる場合を考えます。形状、境界条件など全てが周期的に繰り返す問題では計算結果も周期的になります。そこで、もし全体から1周期分を切り取りその部分だけを解析できれば効率的です。これを可能にするのが一対の切り口に設定された周期境界条件で、周期境界ではあたかも一方の境界が回転(平行)移動してもう片方の境界と繋がっているかの様な扱いをします。その為、境界から流出した流体はそのまま反対側の境界から流入する事になります。

## 注意事項

- 周期境界は、以下の機能との併用はできません。

輻射(ブラックス法), 自由表面(改良MAC法<sup>\*</sup>)

\* 自由表面(VOF法)は可

- 重合格子と周期境界条件や不連続接合と併用する場合、周期境界面や不連続接合面を従属領域が横切ることはできません。
- 流量一定周期境界条件はLES専用で、発達した流入場を形成する為に使用します。
- 周期境界面を通じて両側の物性番号は同じでなければなりません。
- 周期面間の圧力差を指定する場合は不連続接合面と周期境界面を同時に構成する要素があってはいけません。

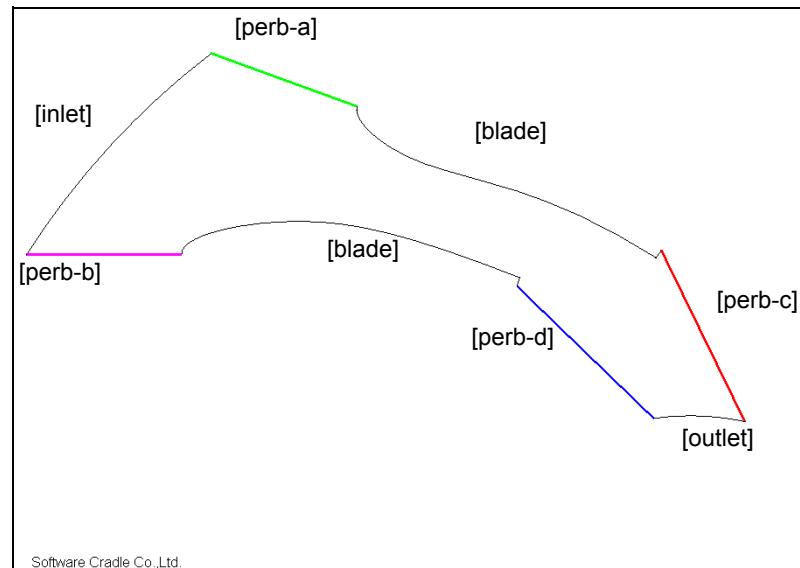
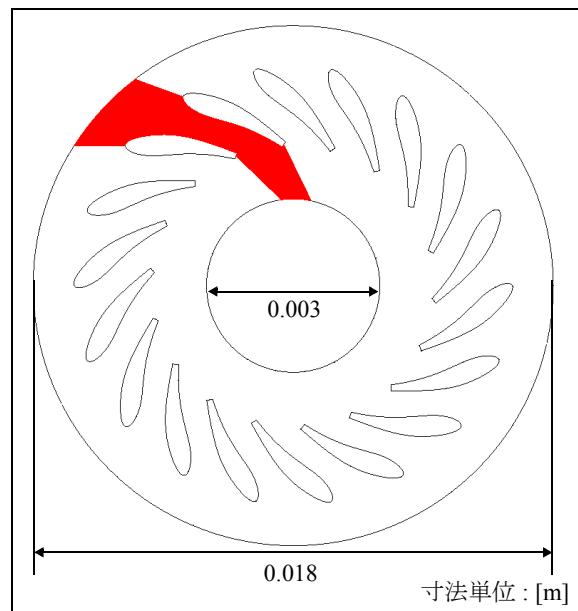
## 関連コマンド

- PBFL : 流量一定周期境界条件の設定
- PERB : 周期境界条件の指定
- PBFX : 流量一定周期境界条件の設定

## 例題12.1 翼列の解析

図のような翼列を通過する流れを、周期境界条件を用いて1ピッチ分だけ解析を行います。

### 解析モデル



疑似2次元非圧縮性乱流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k- $\varepsilon$ 方程式

## 解析選択

- 周期境界 : 周期境界を使用して、疑似2次元解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定(円筒座標系で流速成分を指定)
- 出口 [outlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [blade] : 静止壁
- 周期境界面 [perb-a], [perb-b]  
[perb-c], [perb-d]  
: 周期境界面のタイプ 平面  
回転移動回転角度 20[度](PZ=1)

### - 初期条件

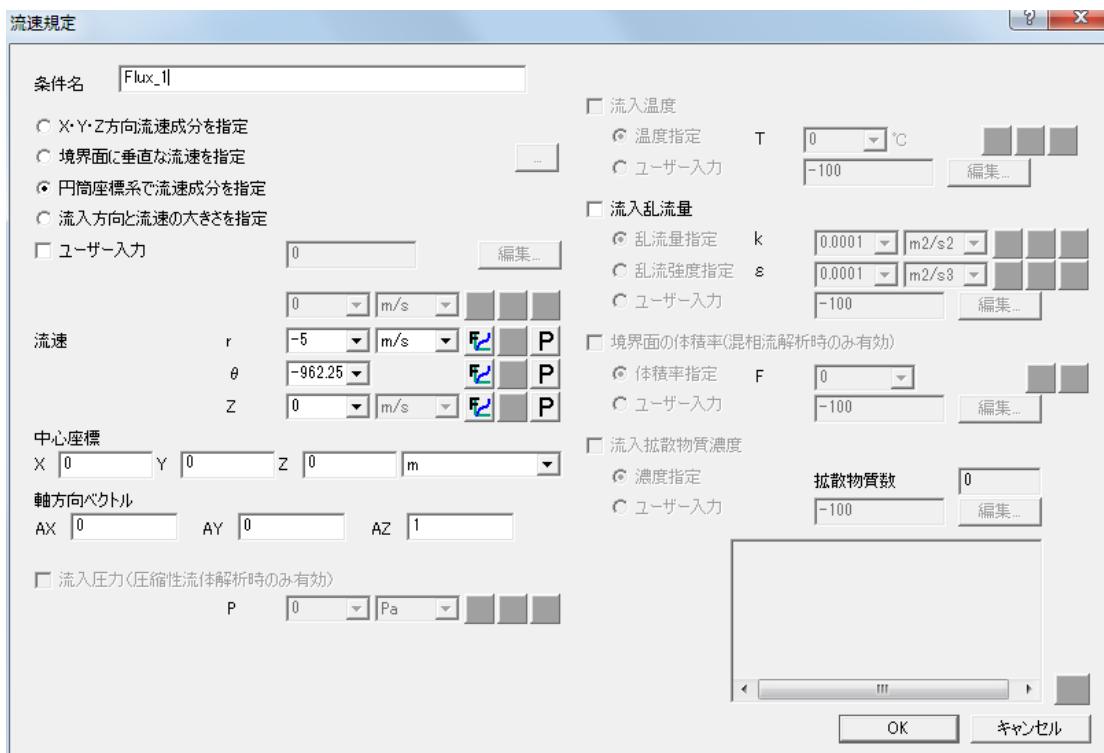
- デフォルト(設定不要)

### - その他

- 乱流モデル  
標準 k- $\varepsilon$ モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 定常判定値  
 $k, \varepsilon$   $3.0 \times 10^{-4}$   
その他 デフォルト

## 特記事項

### - 円筒座標系流速成分の入力方法



[条件設定ウィザード] - [境界条件]の[流速規定]で、領域[inlet]に対し、以下の設定を行います。

#### [円筒座標系で流速成分を指定]

[流速(r, θ, z)] : [(-5.0, -962.25, 0.0)]

単位は[r], [z]が[m/s], θは[rad/s]です。

[中心座標(XO, YO, ZO)] : [(0, 0, 0)m]

[軸方向ベクトル(AX, AY, AZ)] : [(0, 0, 1)]

(メモ) 流れは面の法線方向から60度傾いて、10[m/s]で流入します。

#### 注意事項

r, θは、次のように求めます。

円筒面の法線方向からの傾きがα[度]で、v[m/s]で流入する場合、下のようになります。

$$V_r = V \cos \alpha$$

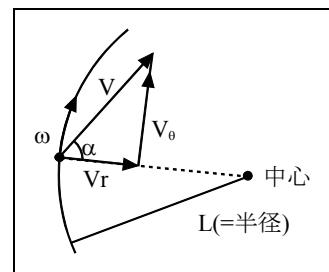
$$\omega = \frac{V_\theta}{L} = \frac{V \sin \alpha}{L}$$

ここで、各変数の意味は以下の通りです

$V_r$  : 入力値 r

$\omega$  : 入力値 θ

L : 中心軸から流入境界面の距離



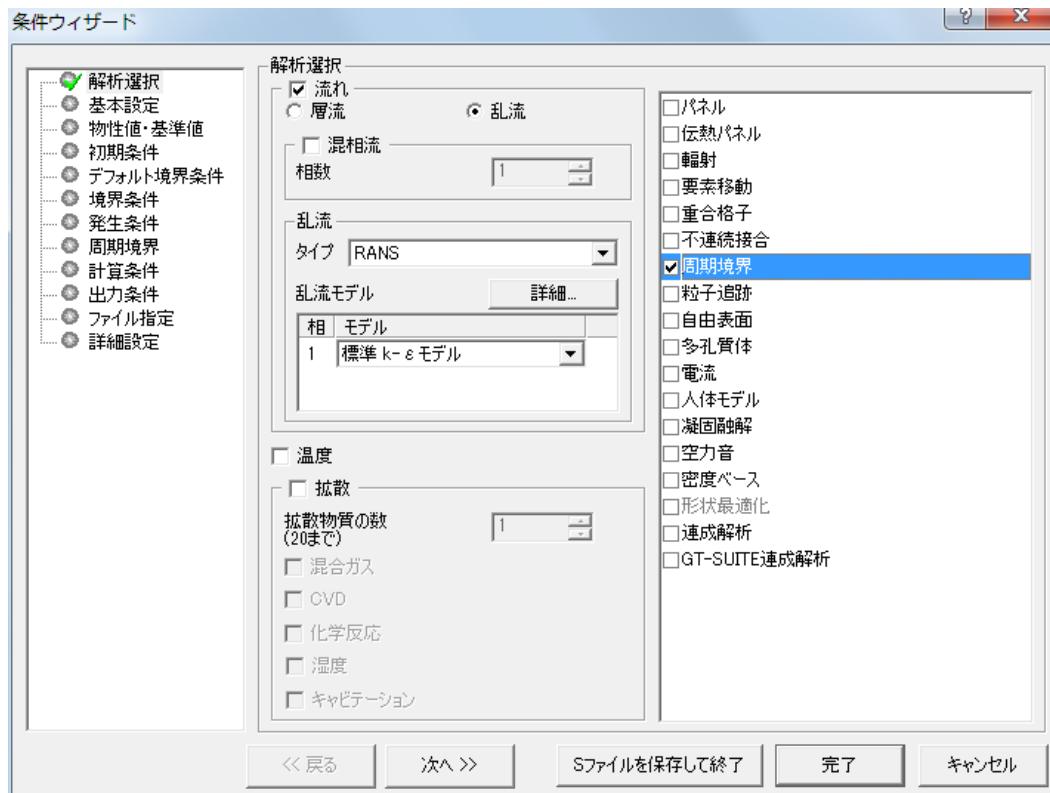
ここで、 $r, \theta$ の正負は下のように決まります。

$r$  : 中心軸から境界面に向かう方向が正、その逆が負

$\theta$  : [軸方向ベクトル]の向きに右ねじが進むとき、右ねじが回転する方向が正、その逆が負

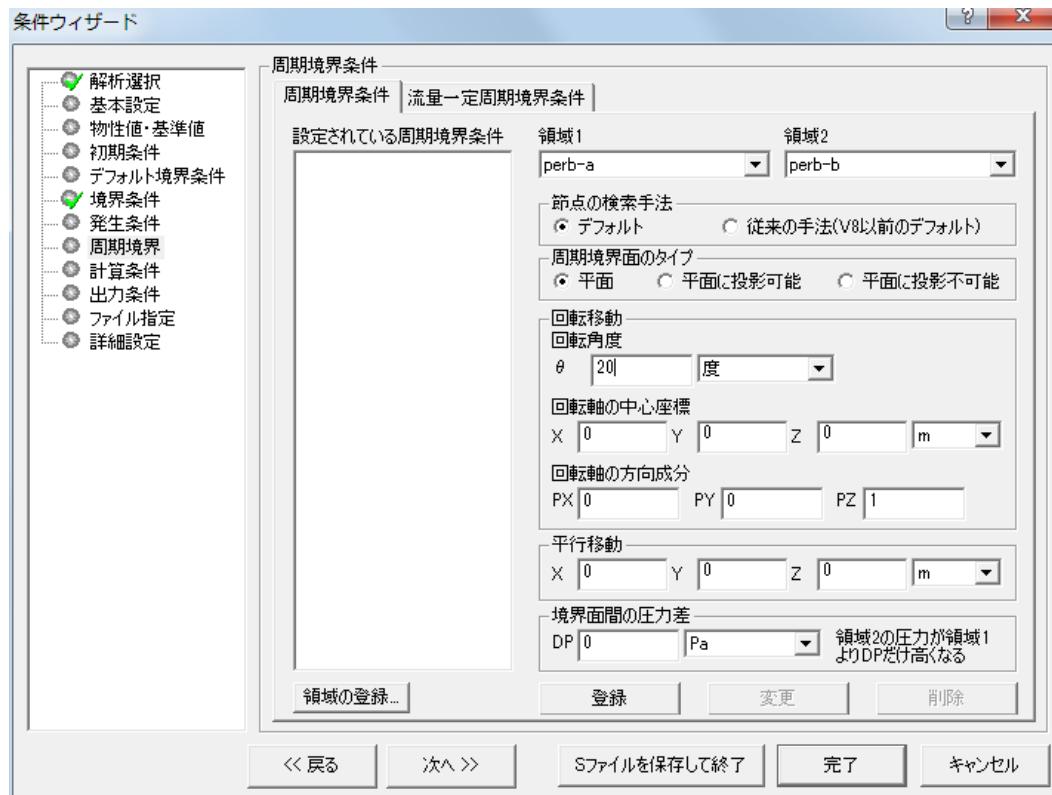
### - 周期境界使用時の解析選択の設定

- ・ [条件ウィザード] - [解析選択]で[周期境界]をONにします。



### - 周期境界の条件設定

- [条件ウィザード] - [周期境界]の[周期境界条件]タブで以下のように設定します。入力が終わったら登録をクリックします。

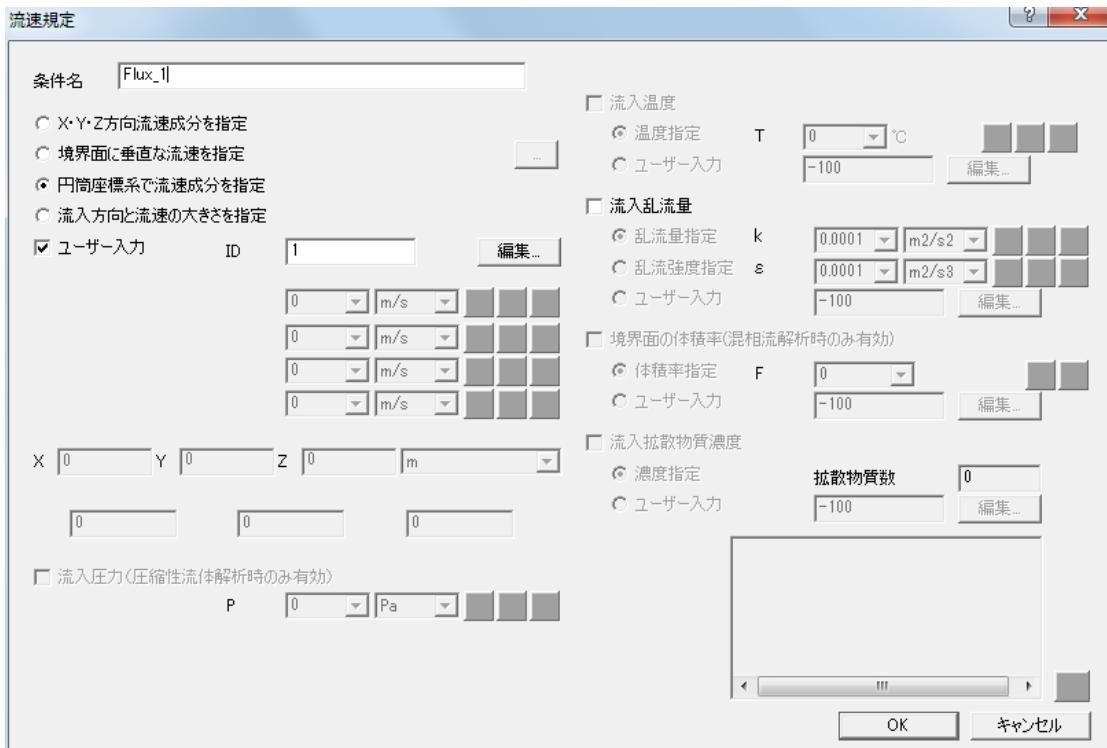


[領域1] : [perb-a]  
 [領域2] : [perb-b]  
 [周期境界面のタイプ] : [平面]  
 [回転角度θ] : [20][度]  
 [回転軸の方向成分 (PX, PY, PZ)] : [(0, 0, 1)]

- [perb-c]と[perb-d]についても、[領域1]を[perb-c], [領域2]を[perb-d]にして同様に登録します。

### - ユーザー関数

- [円筒座標系で流速成分を指定]の設定では、 $v_r$ ,  $\theta$ ,  $z$ を入力データとして与えました。ここでは、 $v$ ,  $\alpha$ ,  $L$ 即ち、流入流速の大きさ[m/s], 流入面の法線からの傾き[度], 中心座標から流入面までの半径[m]を入力値として、同じ計算を行うユーザー関数の例を示します。ユーザー関数を作成するときの考え方、注意点などを説明します。ユーザー関数作成の流れは、**ユーザーズガイドリファレンス(ソルバー)編 第2章**をご参照ください。



上図のように、[ユーザー入力]をONにし、[ID]には[1]を入力しておきます。

#### 注意事項1 IDとは?

IDは、ユーザー関数に引数として渡されます。具体的には、ユーザーズガイドリファレンス(ソルバー)編 第2章 2.3節のusr\_veloc, use\_velocがSCTsolver実行中に呼ばれるとき、int型の変数 id に渡されます。このIDは、次のような場合に意味を持ちます。例えば流入口が複数ある形状で、それぞれの流入口にユーザー関数を用いるとします。ここで、それぞれの流入口で異なる関数を用いる場合、ID の値による分岐をプログラム中に組み込むことでそれを実現します。なお、この例では1つの流入口でしかユーザー関数を使いませんので、IDの値に特別な意味はありません。

#### 注意事項2 [ユーザー入力] - [編集]の役割

編集は、次のような場合に使用します。

ユーザー関数で設定する数値を変数として、複数の値を入力して解析を実行したい場合があります。ソースファイル(sct11\_us.c)の中の数値をその都度変更し、DLLファイルを再作成するのは手間ですので、Sファイルから変更したい数値だけを読み込めれば便利です。具体的に、ユーザー関数の中でSファイルから数値を読み込む方法は後ほど説明します。この編集は、ユーザー関数に数値や文字列等を渡したいときにクリックし、次に現れるダイアログで入力を行います。例えば、この例題では $v$ ,  $\alpha$ ,  $L$ の3つの値を変数とし、複数の値で解析を実行したいとします。次の図のように、ダイアログで $v$ ,  $\alpha$ ,  $L$ の値を入力し、OKをクリックします。



このように入力すると、Sファイルの流入条件の部分は以下のようになります。

```

FLUX
%CNAM Flux_1
 0 -3 0 0 1 0          ←LVEL=-3なので、円筒座標系流速成分をユーザー関数で与える
 1                         ←ID=1
 1                         ←ユーザー関数に渡す入力値は、下の1行である
10.0 60 0.009           ←左から、流速[m/s], 傾き[度], 半径[m]
                         0.0001
inlet
/

```

上の囲い中の4行目の1は、SCTpreでは入力しなくともSファイルに出力されます。これは、上の図のダイアログで、何行分の入力を行ったかが自動で出力されるようになっています。この値は、各ユーザー関数の引数nlinesに渡され、参照する事が可能です。ただし、本例題では、ユーザー関数でこれを参照しておりませんので、特別な意味はありません。

これら編集をクリックして現れるダイアログで入力した値は、前述のIDとは異なり自動でユーザー関数には渡されませんので、例えば、次のようにソースファイルでSファイルから読み込むというプログラムを組む必要があります。

```

fprec VELV, DEG, LENGTH, PAI, ALPHA;           ←値を入力する変数を宣言
void usr_veloc(int lvel,int id,int nlines)
{
    char line[256];
    int ret = 0;

    usf_getline(line, 256);                      ←Sファイルから1行読み込む
    ret = sscanf(line, "%lf%lf%lf", &VELV, &DEG, &LENGTH); ←値を各変数に格納
    (省略)
}

```

これにより、Sファイルから3つの数字を読み込むという処理を、ユーザー関数で実現できます。これら3つの数値を他の値に変更して解析を行いたい場合は、Sファイルを作成し直せば良いことになります。なお、このようなパラメータとなる変数が不要な場合、直接ソースコードの中で値を入れておけば、SCTpreで編集をクリックして入力する必要はありません。

- ユーザー関数(sct11\_us.c)の内容

sct11\_us.cの以下の部分を変更し、sctusr\_Di32.dll/sctusr\_Dx64.dllを作成します。SCTsolverはSファイルと同じディレクトリにあるsctusr\_Di32.dll/sctusr\_Dx64.dllを使用しますので、作成したDLLファイルを、Sファイルと同じディレクトリに置いてSCTsolverを実行します。

```
fprec VELV, DEG, LENGTH, PAI, ALPHA;
void usr_veloc(int lvel,int id,int nlines)
{
    char line[256];
    int ret = 0;
    usf_getline(line, 256);
    ret = sscanf(line, "%lf%lf%lf", &VELV, &DEG, &LENGTH);
    PAI = atan(1)*4;
    ALPHA = PAI/180 * DEG; /* [degree] -> [rad] */
}
void use_veloc(int lvel,int id,int nnd,fprec *normal,fprec *data)
{
    char msg[256];

    if (nnd == -1)
    {
        data[0] = 0; /* X0 */
        data[1] = 0; /* Y0 */
        data[2] = 0; /* Z0 */
        data[3] = 0; /* AX */
        data[4] = 0; /* AY */
        data[5] = 1; /* AZ */
    }
    else
    {
        data[0] = -VELV * cos(ALPHA); /* r */
        data[1] = (-VELV * sin(ALPHA)) / LENGTH; /* theta */
        data[2] = 0; /* z */
    }
/*usf_stop("use_veloc is not initialized");*/
}
```

#### 注意事項

sctusr\_Di32.dll/sctusr\_Dx64.dllの作成手順については、ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 第2章 ユーザー関数を参照してください。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA12-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。ここではユーザ関数を使用しないケースの設定について記述します。

#### 1. [解析選択]

- 特記事項 周期境界使用時の解析選択の設定をご参照ください。

#### 2. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。
- [流速規定]ダイアログにて、[円筒座標系で流速成分を指定]を選択して、以下のように入力し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

##### [流速]

[r]	:	[-5 m/s]
[θ]	:	[-962.25 rad/s]
[z]	:	[0 m/s]
[軸方向ベクトル(AX, AY, AZ)]	:	[(0, 0, 1)]

(メモ) ユーザー関数を使用する場合は、特記事項 ユーザー関数を参照して[流速規定]ダイアログの設定を行います。

- [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログで、[圧力指定]の[P]に[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックしてダイアログを閉じます。[領域]から[blade]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログで[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 3. [周期境界]

- 特記事項 周期境界の条件設定を参照してください。

#### 4. [計算条件]

- [定常判定]で[方程式]から[k]を選択し、[サイクル間隔]に[1]、[判定値]に[0.0003]を入力し、登録をクリックします。[方程式]の[EPS]も同様の設定を行います。

#### 5. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA12-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA12-1.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[blade]	[1e-005]	[1.1]	[3]

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで[詳細設定]をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- ・ [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

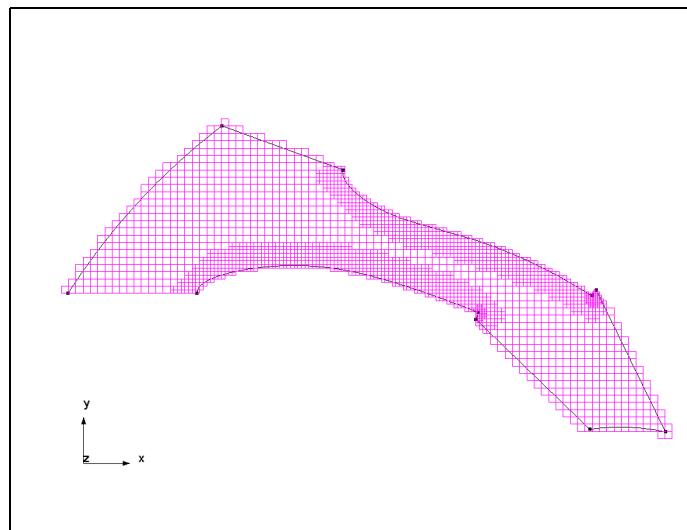
- ・ SCTsolverの実行時間  
約3秒

- ・ 計算サイクル数  
約60サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz )

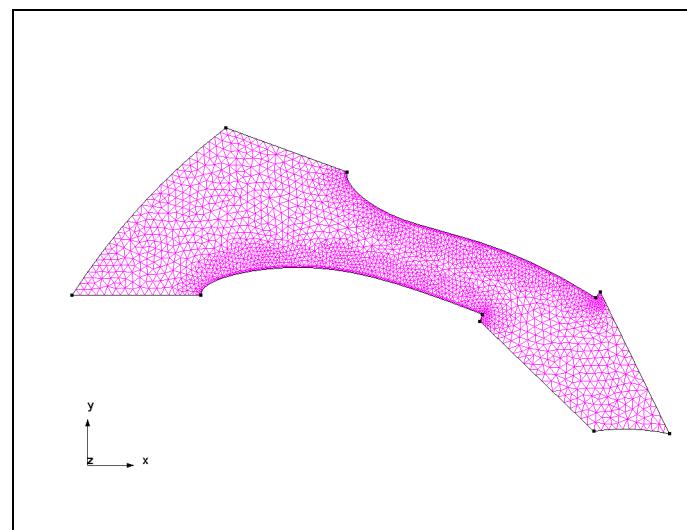
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ :  $2.5\text{e-}05[\text{m}] \sim 0.0001[\text{m}]$

- メッシュ図



要素数 : 4,260

## 解析結果

- SCTpostの設定

本解析では周期境界条件を用いており、解析に使用した領域は翼の1区間のみです。SCTpostには、この様な結果を周期的にコピーして図化する機能があります。

まず、[作成] - [周期コピー]を選択し、[周期コピー]オブジェクトを作成します。

以下のようなタブが現れますので、それぞれの項目について設定します。



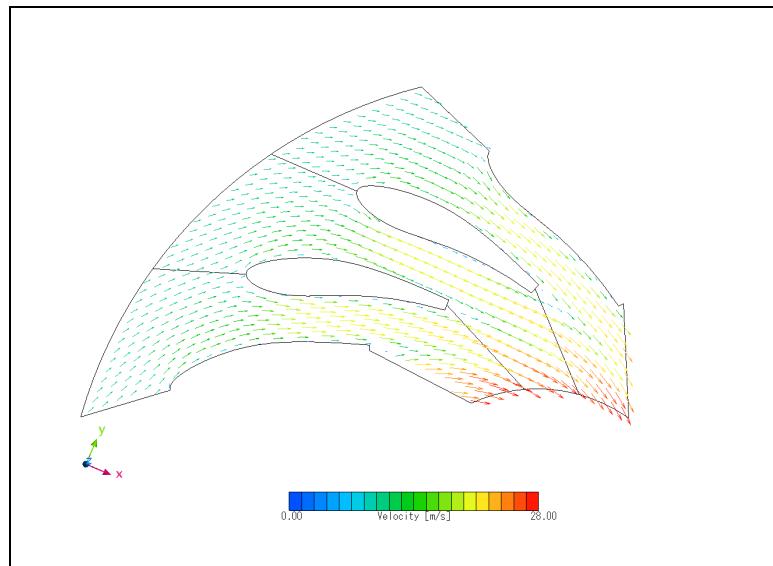
SCTpre, SCTsolverの周期境界条件の角度は[rad]で設定しますが、SCTpostでは[度]で設定します。

次頁より、解析結果を表示します。CASE 1はユーザー関数を用いないもの、CASE 2はユーザー関数を用いたものの結果を示します。いずれの図も、表面上でのベクトル、コンターを表示しています。

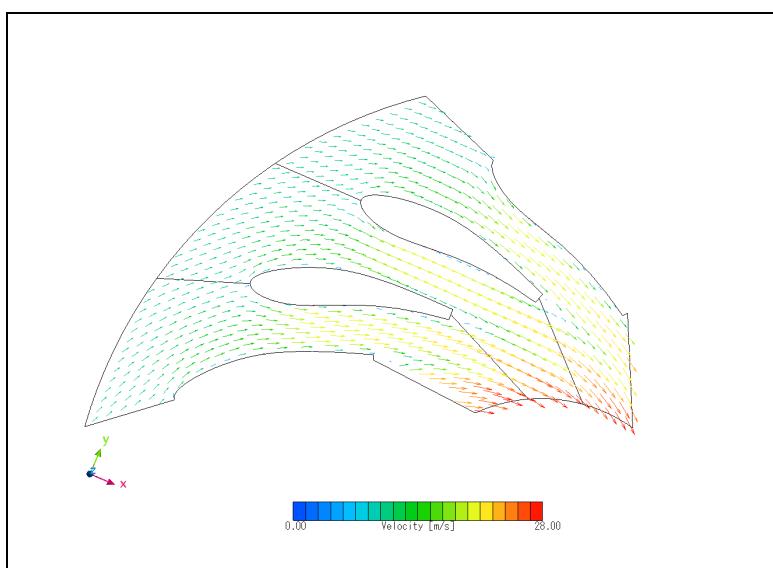
### 注意事項

図中に、周期境界条件を用いた部分で線が表示されていますが、[表面]オブジェクトの[切断法]タブで、登録面[perb-a], [perb-b], [perb-c], [perb-d]のチェックを入れると、非表示にする事が可能です。

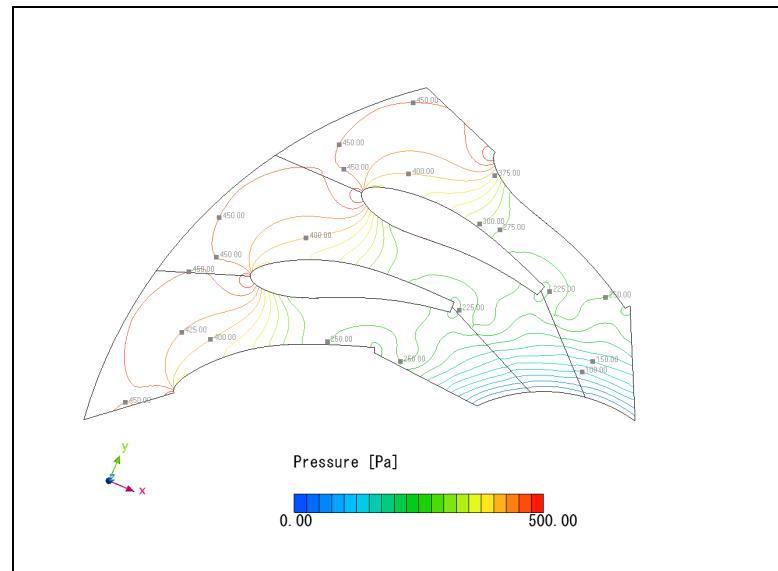
CASE 1 流速ベクトル図



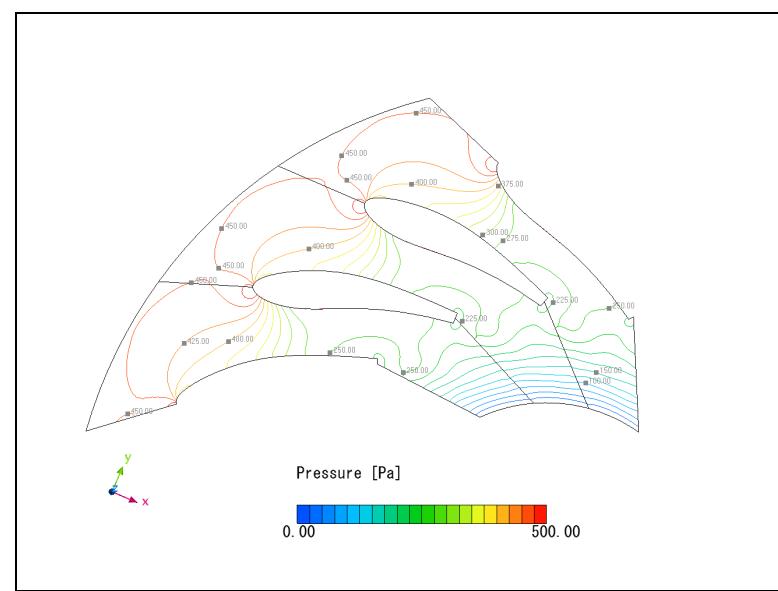
CASE 2 流速ベクトル図



CASE 1 壓力コンター図



CASE 2 壓力コンター図



---

## 機能13 圧力損失

---

---

## 機能説明

- 流路の中にスリットやパンチ穴が開いた板のような流れを妨げるものがある場合を考えます。そのような部分を通過する流れを正確に解析するには、1つ1つのスリットやパンチ穴を表現できるだけの細かいメッシュ作成を行うのが理想的ですが、計算コストの制約からそれができないこともあります。そのような場合にはスリットやパンチ穴の部分を1つの大きな開口部でモデル化してメッシュを節約します。実際のスリットやパンチ穴ではモデル化した開口部よりも流体が流れにくくなるはずですから、スリットなどの流路抵抗（圧力差）を再現するための外力を開口部に与えます。この圧力差を圧力損失と言い、**SCRYU/Tetra**では体積力を用いてこれを模擬することで可能です。

## 注意事項

- **SCRYU/Tetra**では、流体域に圧力損失を設定します。圧力損失を設定するための体積領域が必要です。
- 圧力損失(圧力の差)を計算するので、解析領域に圧力の基準が設定されていないと計算が不安定になります。つまり、流入流出条件で表面圧力または全圧規定が設定されているか、もしくは圧力固定点を設定する必要があります。
- 圧力勾配が急激に大きくなつて精度が悪化することを防ぐため、圧力損失を設定する領域の前後にプリズム層を挿入することをお勧めします。詳しくは**ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 FORCコマンドの技術メモ**を参照してください。

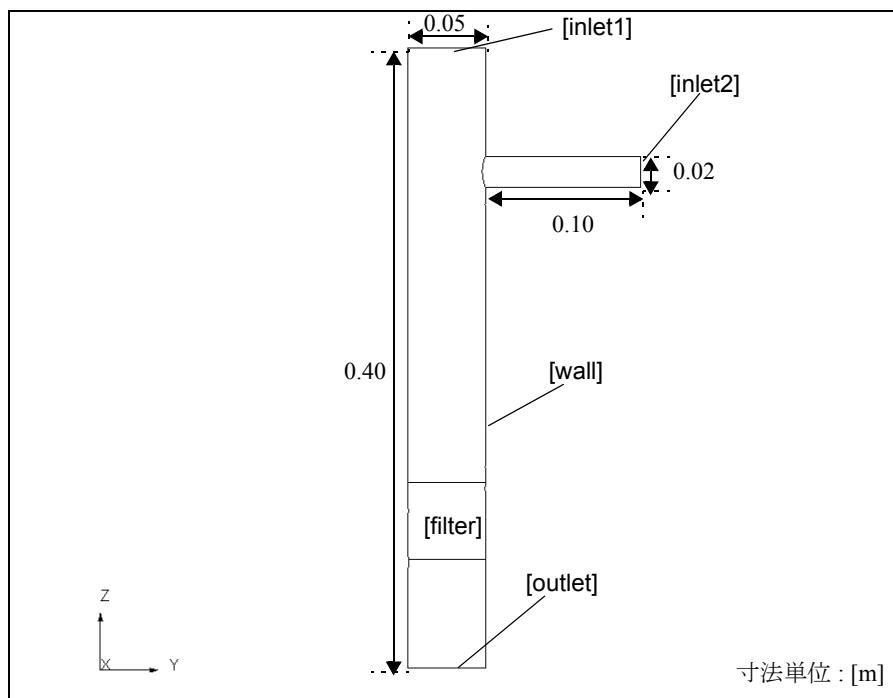
## 関連コマンド

- FORC : 面積力、体積力の設定

## 例題13.1 圧力損失

2つの入り口(inlet1, inlet2)があるダクトで、流路の途中にフィルター領域が存在する場合の流れを解析します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 亂流解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet1] : 流量規定 0.025[kg/s]  
[inlet2] : 流量規定 0.025[kg/s]
- 出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁

### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 圧損領域  
[filter] : 体積力条件

## 特記事項

### - 体積力の定義

- 圧力損失を設定する領域([filter])は、体積領域として領域名の登録が可能となるように、閉空間としてモデル化する必要があります。
- このモデルでは、管の流れの方向(Z軸方向)以外は流れないというフィルター効果を与えるために、X軸方向、Y軸方向には大きな力が働く設定になっています。
- 圧力損失は、次式のように流速に依存して働きます。

$$F = -\text{sign}(\phi)C|\phi|^B(SCL)$$

$$\phi = v - V \quad (V=0)$$

- 力が働く方向は、次のように座標軸と同じ方向で指定します。
 

第1方向ベクトル	:	(1.0, 0.0, 0.0)
第2方向ベクトル	:	(0.0, 1.0, 0.0)
第3方向ベクトル	:	(0.0, 0.0, 1.0)
- それぞれの方向に対する係数の値は、次の通りです。

式にかかる係数	指数
C1 = 100000.0	B1 = 2.0
C2 = 100000.0	B2 = 2.0
C3 = 100.0	B3 = 2.0

- 上記のように、流れの方向のみが規定の強さで抵抗を受け、その他の方向には強い力を設定して流れが通過できないように設定します。

### - 体積力の設定ダイアログ

- ・ [条件ウィザード] - [発生条件]を選択します。[領域]より[filter]を選択して、[新規]で体積力をクリックすると、[体積力条件]ダイアログが開きます。



- [体積力条件]ダイアログで、以下のように設定を行ってからOKをクリックします。すると、体積領域の[filter]に、体積力条件が設定されます。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA13-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [境界条件]

- ・ [領域]から[inlet1]を選択し、流量規定をクリックします。[流量規定]ダイアログにて、[流入質量流量]を[0.025 kg/s]に設定し、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[inlet2]を選択し、同じ設定を行います。
- ・ [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 2. [発生条件]

- ・ 特記事項を参照してください。

#### 3. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA13-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA13-1.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.000625]	[1.1]	
[filterBD]			[2]

\* 圧損体流入出口部分にもプリズム層を入れます。詳しくはソルバー編のFOECコマンドの「技術メモ：圧損体の取り扱い」をご覧ください。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

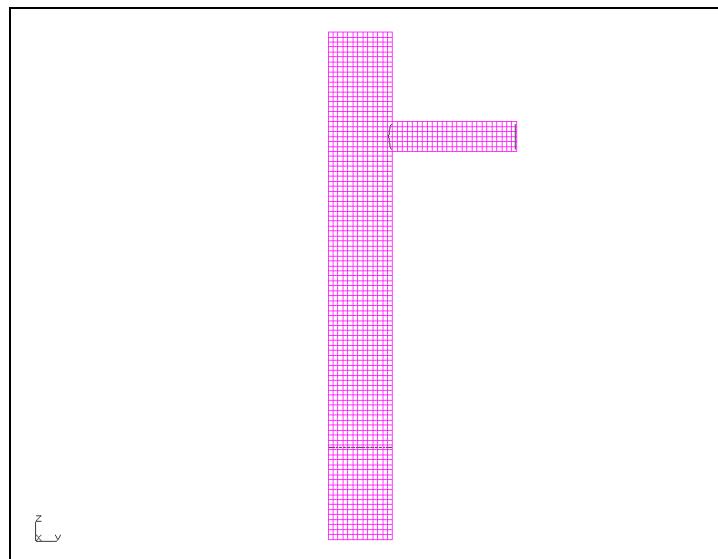
### - 計算コストの目安

- ・ SCTsolverの実行時間  
約30秒
- ・ 計算サイクル数  
約140サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

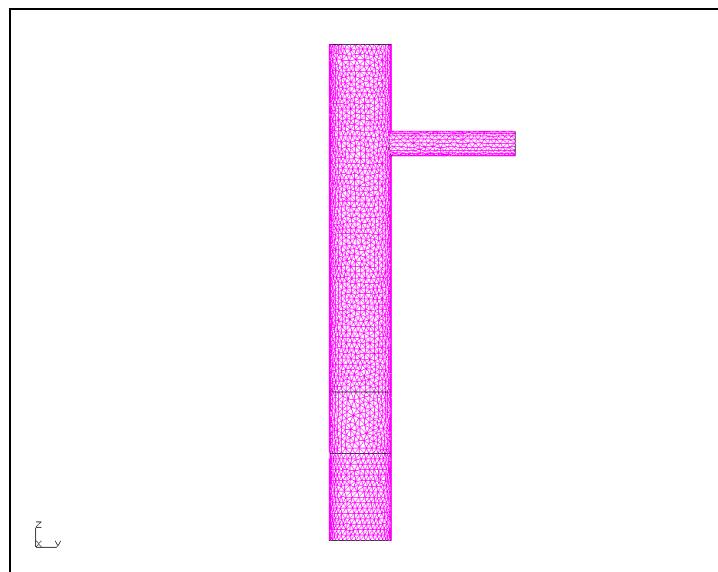
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.004[m]~0.008[m]

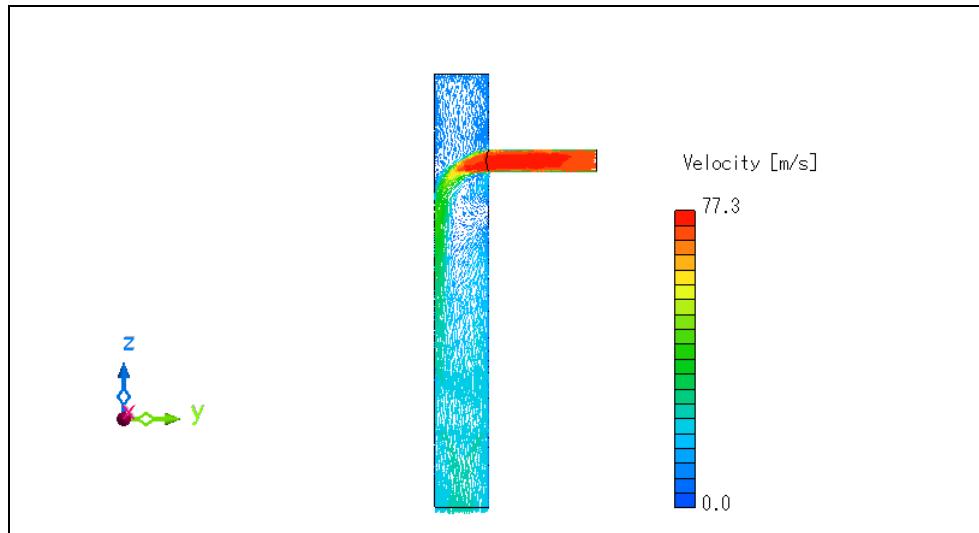
- メッシュ図



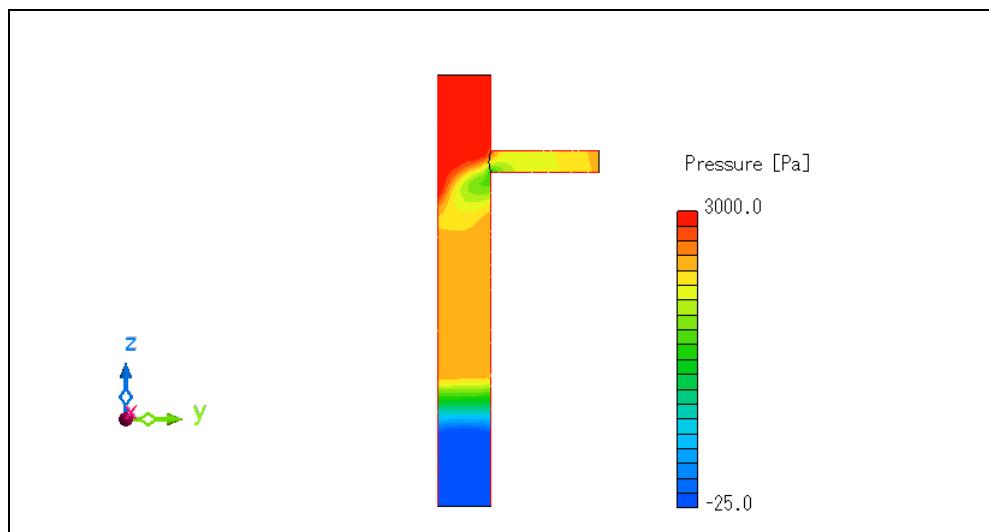
要素数 : 50,253

## 解析結果

- 流速ベクトル図



- 圧力コンター図



---

## 機能14 多孔質体

---

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**は基本的に流体と固体を異なる領域に分けて計算します。しかし、無数の粒子が充填された場所を流体が通るような場合、非常に細かいメッシュ区分をすれば、固体と流体とを異なる領域に分けることができますが、実際には不可能です。**SCRYU/Tetra**の多孔質モデルではこれを次のように簡略化して扱います。
- 多孔質体内を流体が通過するとき発生する抵抗は、圧力損失の形で考慮されます。
- 多孔質体内の流体部と固体部とは別々の温度、物性値をもち、互いに熱移動します。
- **SCRYU/Tetra**では、一般的な等方性、異方性の多孔質体の他に、粒子、プレートフィン、及びハニカムの多孔質体モデルが用意されています。

## 注意事項

- 多孔質体は、以下の機能との併用はできません。

密度ベースソルバー

- 同じ領域に2つ以上の多孔質体を設定することはできません。
- 温度解析の場合でも、多孔質体の熱物性値が指定されない場合、多孔質体温度は解かれません。
- 圧力損失(圧力の差)を計算するので、解析領域に圧力の基準が設定されていないと計算が不安定になります。つまり、流入流出条件で表面圧力または全圧規定が設定されているか、もしくは圧力固定点を設定する必要があります。
- 圧力勾配が急激に大きくなつて精度が悪化することを防ぐため、多孔質体を設定する領域の前後にプリズム層を挿入することをお勧めします。詳しくは**ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 FORCコマンドの技術メモ**を参照してください。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [多孔質体温度(TPOR)] : 多孔質体温度

### - 計算時メッセージ

- 流れ解析時に、多孔質体により流体に加えられた外力が出力されます。また、熱解析時で熱バランス出力が指定された場合、多孔質体についての熱バランスも出力されます。詳しくは、**ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 3.1 (23) 多孔質体解析**を参照してください。

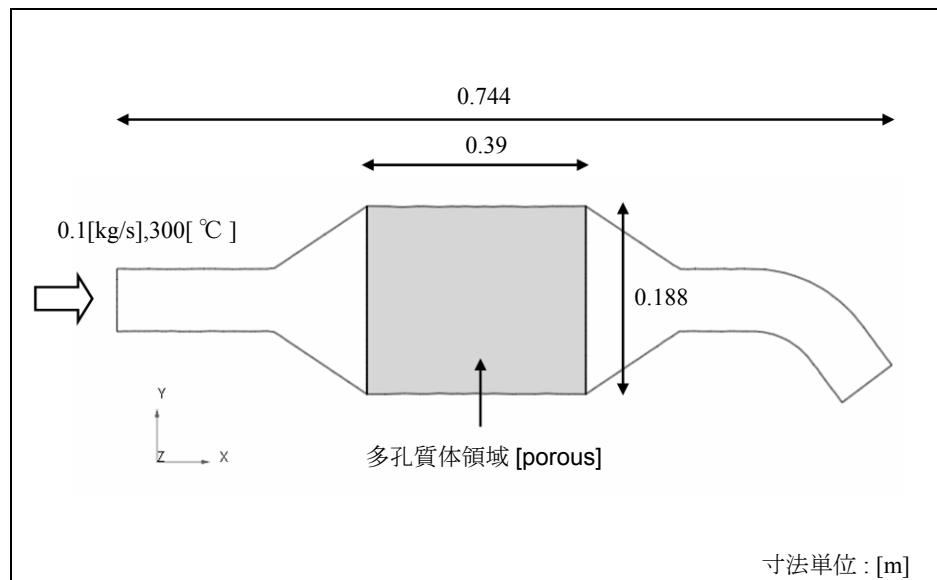
## 関連コマンド

- PORM : 多孔質体の設定
- PORD : 多孔質体の規定値の変更
- POWT : 多孔質体と壁との熱伝達の設定

## 例題14.1 多孔質体

ハニカムや粒子を多孔質体としてモデル化して、多孔質体温度の非定常変化を調べます。

### 解析モデル



3次元非圧縮性粘性乱流

中央部には多孔質体領域[porous]があり、左から流入した空気はこの多孔質体を通過して右へ流出します。流入する空気は高温であり、多孔質体領域に到達すると多孔質体の温度も上昇します。このとき多孔質体温度の上昇速度が周囲の空気より遅くなることを確認します。解析を簡単にするため初めに速度場のみ計算しておき、この速度場を用いて温度解析を行います。

なお多孔質体の構造としては、ハニカム状の場合(CASE1)と、また、粒子で充填されている場合(CASE2)の2ケースを考えます。粒子で充填されている多孔質体は、等方性多孔質体モデルに抵抗係数や熱伝達係数を指定しても模擬することができ、その確認も併せて行います(CASE3)。なお本例題では計算時間短縮のため、3ケース全てでまず流れのみの定常解析を行います。その後、リスタート計算では初期計算で得られた流れ場を用い、温度のみの非定常解析を行います。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k-\varepsilon$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 亂流解析を行います。
- 温度 : 流れ解析の後、温度の解析を行います。
- 多孔質体 : ハニカム・粒子・等方性の多孔質体を使用します。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。
- 多孔質体 : アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)(300K)  
物性値ライブラリより[セラミックス] - [アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (300K)]を使用します。

### - 境界条件

- |                  |              |          |           |
|------------------|--------------|----------|-----------|
| • 流入口            | [inlet]      | : 流量規定   | 0.1[kg/s] |
|                  |              | : 流入温度   | 300[°C]   |
| • 流出口            | [outer]      | : 表面圧力規定 | 0.0[Pa]   |
| • 壁面             | [wall_outer] | : 静止壁    |           |
| • 壁面(多孔質体の熱伝達条件) | [wall_inner] | : 熱伝達条件  | 熱伝導       |
|                  |              | : 外部温度   | 20[°C]    |

### - 初期条件

#### 流れ解析

- デフォルト(設定不要)

#### 温度解析

- 温度(MAT=1) : 20[°C]
- 多孔質体温度(MAT=1) : 20[°C]

### - その他

#### 流れ解析

- 乱流モデル  
標準k-εモデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

温度解析

- 解析の種類

非定常解析

- 計算サイクル及び時間間隔

計算サイクル : 100[サイクル] (101~200)

時間間隔 : 0.1 [s]

- 出力条件

熱バランス

温度と多孔質体温度の最大最小値 : [porous]

- 図化ファイル

出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔 25[サイクル])

## 特記事項

### - 多孔質体の設定

- [条件ウィザード] - [多孔質体]の[基本設定]にて、新規をクリックして[多孔質体]ダイアログを開きます。[対象となる領域]は[porous]を選択します。
- CASE1の場合、[タイプ・圧損]タブにて、[多孔質体のタイプ]から[ハニカム]を選び、下図のように入力します。



- CASE2の場合、[タイプ・圧損]タブにて、[多孔質体のタイプ]から[粒子]を選び、下図のように入力します。



- CASE3の場合、[タイプ・圧損]タブにて、[多孔質体のタイプ]から[等方性]を選び、下図のように入力します。

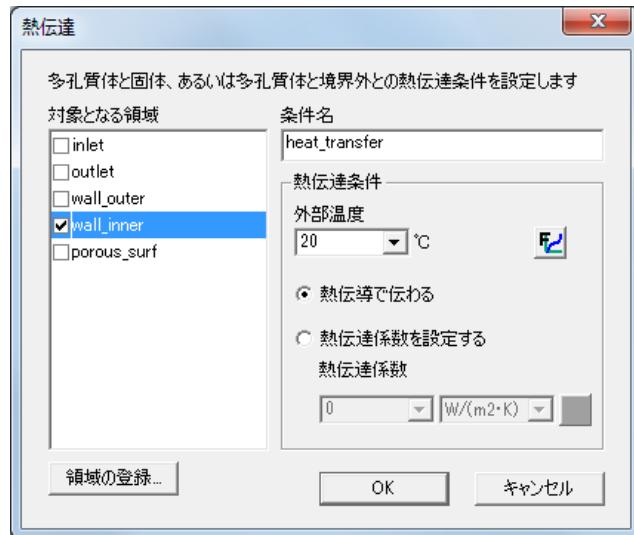


- [物性値・熱伝達条件]タブを選択して、[多孔質体の熱物性値を入力する]をONにします。...をクリックすると[物性値参照]ダイアログが開きます。[参照する物性値]から[アルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (300K)]を選び、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- 下図はCASE1の場合です。CASE1とCASE2では、[熱伝達係数を実験式より算出する]はONにします。CASE3の場合は[熱伝達係数]に[200 W/(m<sup>2</sup>·K)]を設定します。
- いずれのケースも[固体に覆われている]はONにします。以上で[多孔質体]ダイアログでの設定は完了です。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



### - 多孔質体の壁面熱伝達条件

- [条件ウィザード] - [多孔質体]の[熱伝達条件]にて、新規をクリックして[熱伝達]ダイアログを開きます。[対象となる領域]で[wall\_inner]を選択し、[熱伝導で伝わる]が選択されていることを確認して[外部温度]に[20 °C]を設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA14-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

まず、流れ解析の設定を行います。[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [多孔質体]をONにします。

#### 2. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択し、流量規定をクリックします。[流量規定]ダイアログにて、[流入質量流量]を[0.1 kg/s]として、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[wall\_outer]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。

#### 3. [多孔質体]

- CASE1, CASE2, CASE3の各多孔質体モデルの設定について、**特記事項 多孔質体の設定**を参照してください。

#### 4. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、CASE1では[exA14-1\_1v], CASE2では[exA14-1\_2v], CASE3では[exA14-1\_3v]と入力します。
- [デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA14-1.pre]とします。

続いて、温度解析の設定を行います。[ファイル] - [開く]より上記で設定した流れ解析のSファイルを読み込みます。[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]をOFFにして、[温度]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択して、[開始サイクル]に[101]を設定します。
- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]に[0.1 s]を設定します。

#### 3. [初期条件]

- [リストアート計算]の[有効]を選択します。
- 新規をクリックして、[初期値]ダイアログを開きます。[変数]を[温度]とし、[値]を[20 °C]としてOKをクリックします。
- 新規をクリックして、[初期値]ダイアログを開きます。[変数]を[多孔質体の温度]とし、[値]を[20 °C]としてOKをクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]の[inlet]をダブルクリックして、[流量規定]ダイアログを開きます。[流入温度]をONにし、[流入温度]に[300 °C]を設定してOKをクリックしてダイアログを閉じます。

## 5. [多孔質体]

- 特記事項 多孔質体の壁面熱伝達条件を参照してください。

## 6. [出力条件]

- [熱バランス]にて[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に[1]を入力します。
- [領域最大最小値]を選択します。新規をクリックして、[領域の最大/最小のアイテム]ダイアログを開きます。[対象となる領域]から[porous]を選択し、[変数]に[温度]を選択します。また、その下の[指定サイクル毎に出力]を選択、[サイクル間隔]に[1]を入力し、OKをクリックします。続いて、同様の設定を変数[多孔質体の温度]についても行います。
- [FLD(サイクル)]にて[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に[25]を入力します。

## 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、CASE1では[exA14-1\_1t], CASE2では[exA14-1\_2t], CASE3では[exA14-1\_3t]と入力します。
- [デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA14-1.pre]とします。[R(入力)]には流れ解析で出力される各ケースのリストアートファイル名を指定します。[ファイル名]にCASE1では[exA14-1\_1v], CASE2では[exA14-1\_2v], CASE3では[exA14-1\_3v]と入力します。

## - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA14-1.oct を読み込みます。

## - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall_outer]			
[wall_inner]	[2e-3]	[1]	
[porous_surf]			[2]

## - 解析実行

SCTsolver で解析を実行します。

## - 計算コストの目安

- SCTsolver の実行時間(流れ解析 / 温度解析)

CASE1 : 約40秒/約10秒

CASE2 : 約50秒/約10秒

CASE3 : 約50秒/約10秒

- 計算サイクル数

100サイクル(流れ解析 / 温度解析)

CASE1 : 約170サイクル/100サイクル

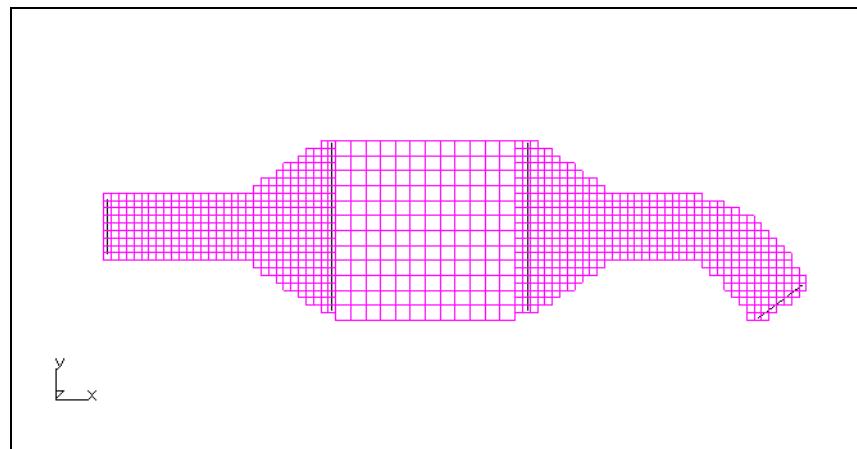
CASE2 : 約180サイクル/100サイクル

CASE3 : 約180サイクル/100サイクル

\* 2core 使用時( Intel Xeon X5680 3.33GHz )

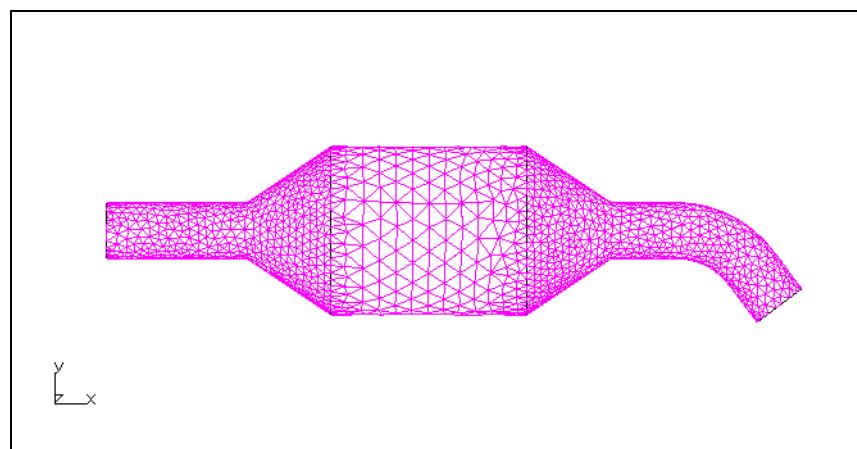
## 解析メッシュ

- ・ 八分木図



オクタントサイズ : 0.008[m]~0.016[m]

- ・ メッシュ図

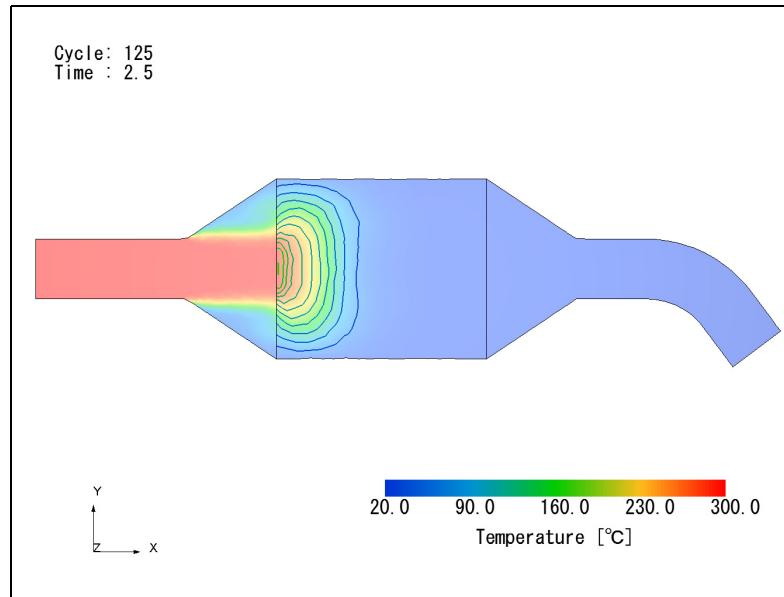


要素数 : 70,834

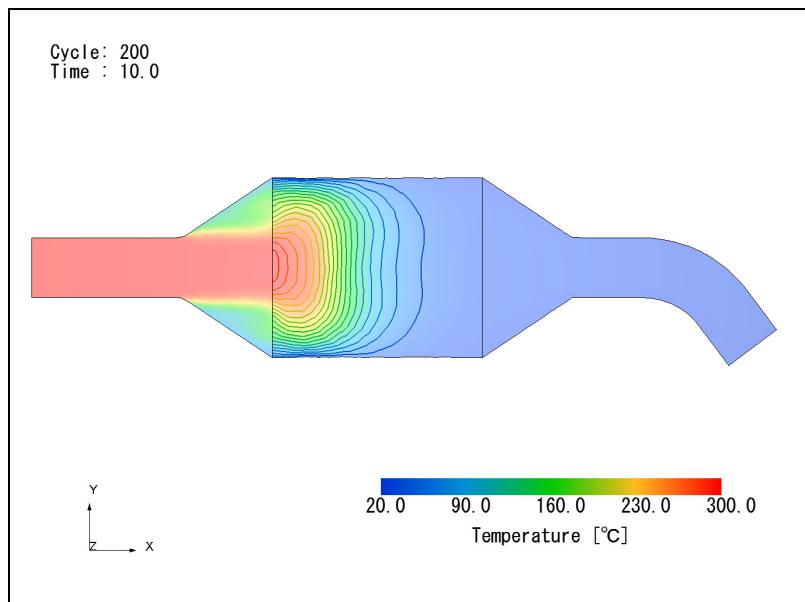
## 解析結果

- SCTpostの設定  
多孔質体の温度を描画するには、[表面]オブジェクトや[カット面]オブジェクトで[変数]に[多孔質体温度(TPOR)]を選択します。
- 多孔質体および空気の温度分布図  
多孔質体の温度は等高線で描画しています。

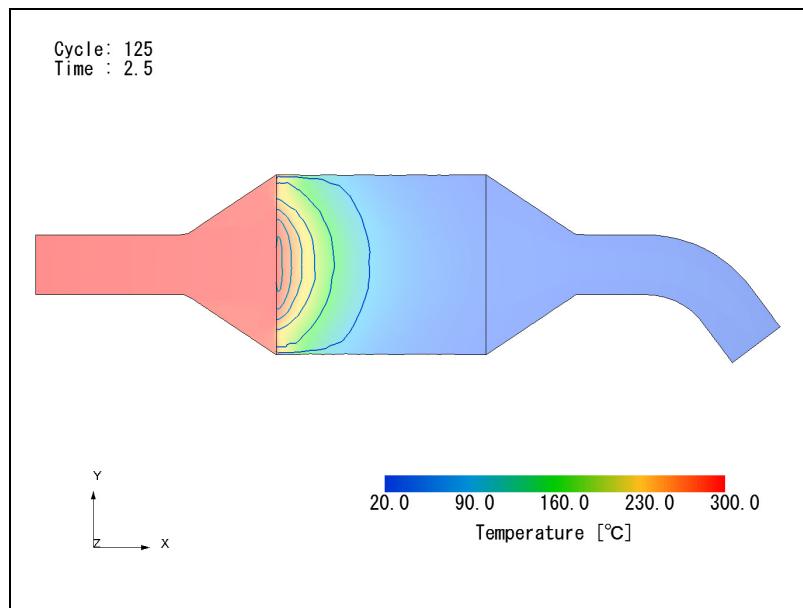
CASE1 : t=2.5[s]



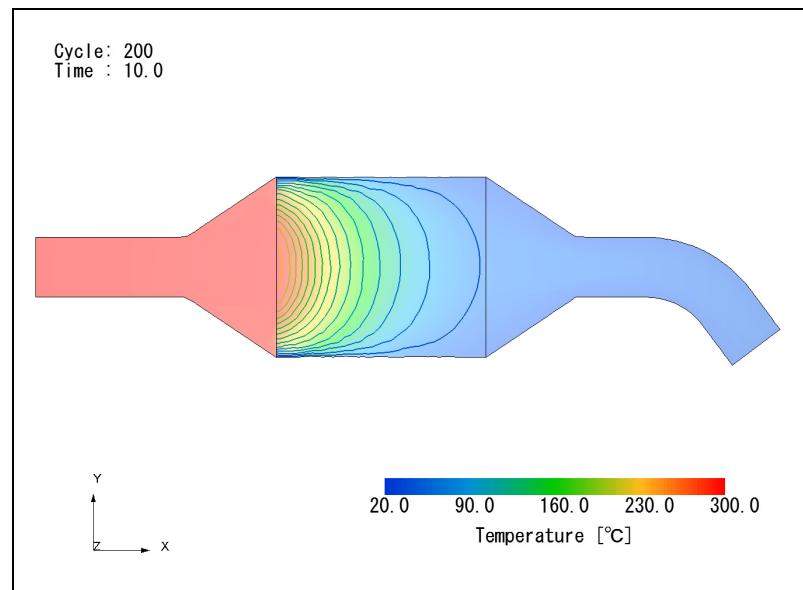
CASE1 : t=10[s]



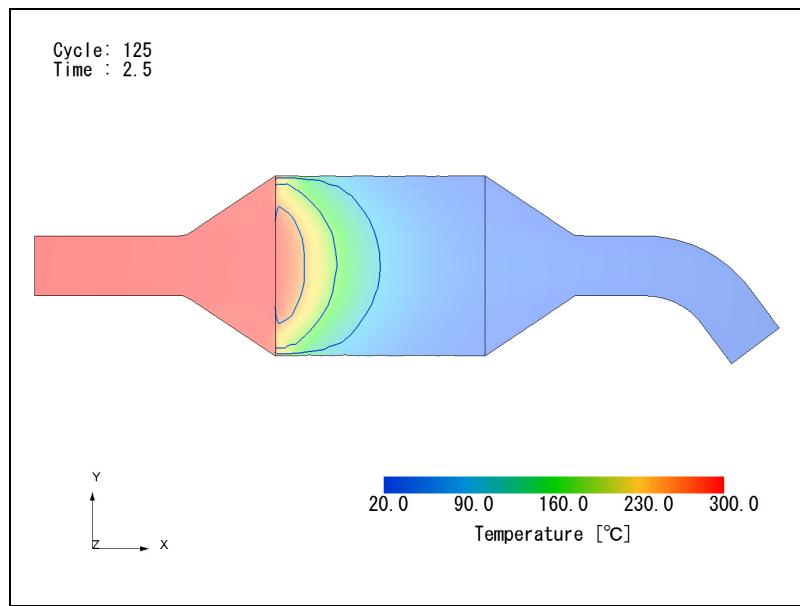
CASE2 : t=2.5[s]



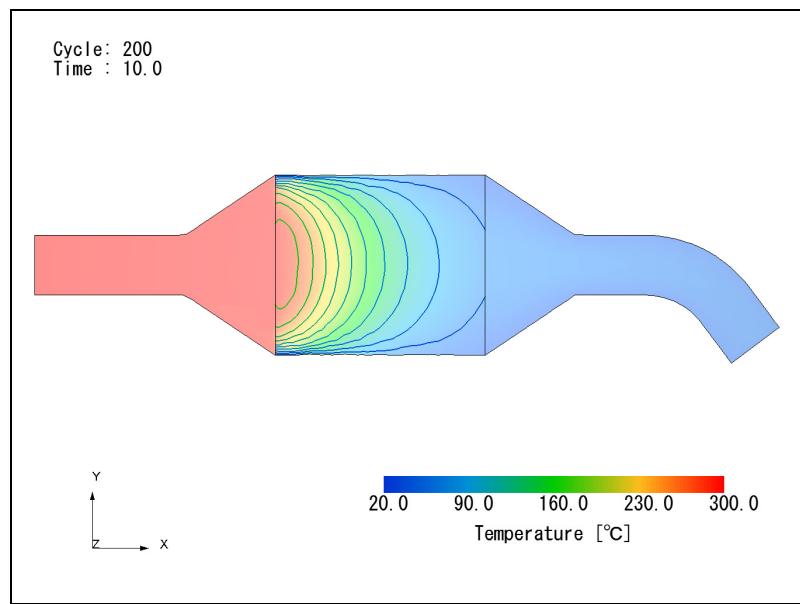
CASE2 : t=10[s]



CASE3 : t=2.5[s]



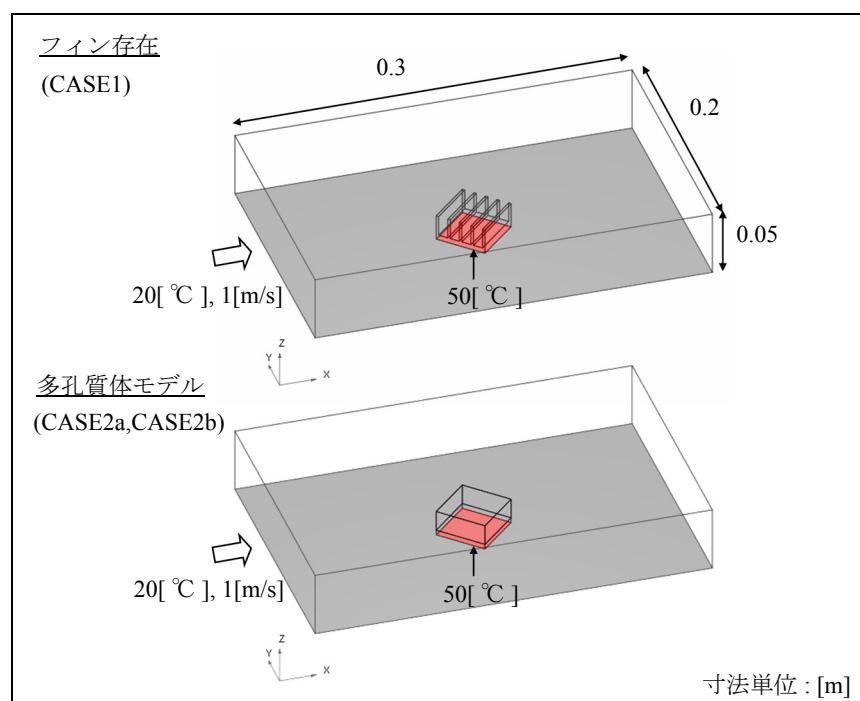
CASE3 : t=10[s]



## 例題14.2 多孔質体によるフィンの模擬

発熱する半導体を冷却するために、半導体に放熱フィンを取り付ける場合があります。このような例で、フィンが多数あるとき、個々のフィンを解像したメッシュを用いると、要素数が多くなりすぎて実際には計算ができない場合が出てきます。多孔質体を用いると、要素の節約ができます。もちろん、モデル化のため、フィンについての情報か、または圧力損失の情報と熱伝達係数の情報を追加する必要があります。フィンを解像した場合との比較をします。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

まず、フィンをメッシュで解像して解析します(CASE1)。次に、フィンの領域を多孔質体のプレートフィンモデルで模擬して解析します(CASE2a)。また、フィンは、異方性多孔質体モデルにて、抵抗係数や熱伝達係数を指定することで模擬することもできます(CASE2b)。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k-\varepsilon$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 多孔質体 : CASE2a, CASE2bではフィンを多孔質体で模擬します。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 6/4黄銅(300K)  
物性値ライブラリより[合金属] - [6/4黄銅(300K)]を使用します。

(メモ) CASE2a, CASE2bの場合に、多孔質体の物性値はMAT=2と同じです。

### - 境界条件

#### CASE1, CASE2a, CASE2b

- 流入口 [inlet] : 流速規定 1[m/s]  
流入温度 20[°C]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁  
断熱  
[wall\_heat] : 外部温度に固定 50[°C]  
[wall\_fin] : 静止壁  
ギャップ要素に熱抵抗なし

#### CASE2a, CASE2b

- 壁面(多孔質体の熱伝達条件)  
[wall\_fin] : 热伝達条件 热伝導

### - 初期条件

#### CASE1, CASE2a, CASE2b

- 温度(全てのMAT) : 20[°C]

#### CASE2a, CASE2b

- 多孔質体温度(MAT=1) : 20[°C]

- その他

- 乱流モデル  
標準 k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 出力条件  
熱バランス

## 特記事項

### - プレートフィンモデル

- [条件ウィザード]-[多孔質体]の[基本条件]にて、新規をクリックして[多孔質体]ダイアログを開きます。[対象となる領域]は[porous]を選択します。
- [タイプ・圧損]タブにて、[多孔質体のタイプ]から[フィン]を選び、下図のように入力します。[整流効果]は[面整流を考慮する]を選択して、[整流を考慮する際に使用する係数]は[1e5]と入力します。



- [物性値・熱伝達条件]タブを選択して、[多孔質体の熱物性値を入力する]をONにします。...をクリックすると[物性値参照]ダイアログが開きます。[参照する物性値]から[6／4黄銅(300K)]を選び、OKをクリックしてダイアログを閉じます。[熱伝達係数を実験式より算出する]はONにします。



- 以上で[多孔質体]ダイアログでの設定は完了です。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

### - 異方性多孔質体モデル

- [条件ウィザード]-[多孔質体]の[基本設定]にて、新規をクリックして[多孔質体]ダイアログを開きます。[対象となる領域]は[porous]を選択します。
- [タイプ・圧損]タブにて、[多孔質体のタイプ]から[異方性]を選び、下図のように入力します。[整流効果]は[面整流を考慮する]を選択して、[整流を考慮する際に使用する係数]は[1e5]と入力します。



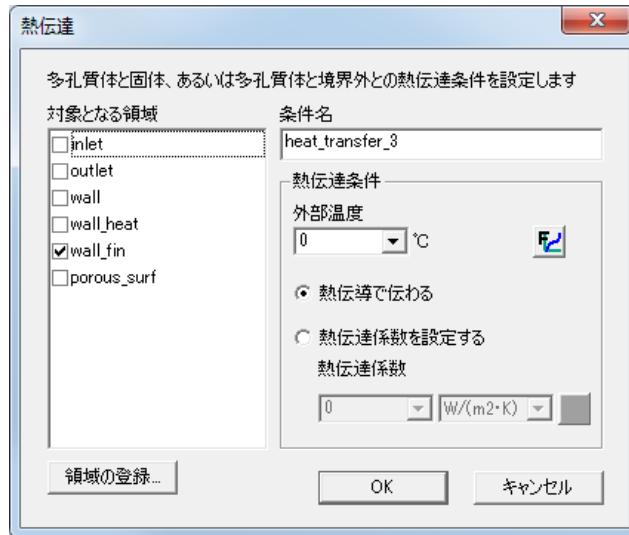
- [物性値・熱伝達条件]タブを選択します。[多孔質体の熱物性値を入力する]をONにします。...をクリックすると[物性値参照]ダイアログが開きます。[参照する物性値]から[6／4黄銅(300K)]を選び、OKをクリックしてダイアログを閉じます。[熱伝達係数]には[10 W/(m<sup>2</sup>·K)]を設定します。



- 以上で[多孔質体]ダイアログでの設定は完了です。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

### - 多孔質体の壁面熱伝達条件

- [条件ウィザード] - [多孔質体]の[熱伝達条件]にて、新規をクリックして[熱伝達]ダイアログを開きます。[対象となる領域]で[wall\_fin]を選択して、[熱伝導で伝わる]が選択されていることを確認して、OKをクリックしてダイアログを閉じます。



## 解析手順

### - モデル

CASE1では、SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]よりexA14-2\_1.mdlを読み込みます。CASE2a, CASE2bの場合は、exA14-2\_2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [温度]をONにします。
- CASE2a, CASE2bの場合は、[多孔質体]をONにします。

#### 2. [物性値・基準値]

- MAT[1]はデフォルトの[空気(非圧縮20°C)]とします。
- MAT[2]と[合金属] - [6/4黄銅(300K)]を選択して適用をクリックします。

#### 3. [初期条件]

- 新規をクリックして、[初期値]ダイアログを開きます。[変数]を[温度]として、[値]を[20 °C]とします。[全てのMAT番号に適用]をONにし、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- CASE2a, CASE2bの場合は、多孔質体温度の初期値を設定します。新規をクリックして、[初期値]ダイアログを開きます。[変数]を[多孔質体の温度]として、[値]を[20 °C]とします。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]を[1 m/s]とします。[流入温度]をONにして、[温度指定]を[20 °C]と設定し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログの[圧力指定]に[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。
- [領域]から[wall\_heat]を選択し、壁面をクリックします。[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにし、[外部温度]を[50 °C]としてOKをクリックします。
- [領域]から[wall\_fin]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにし、[条件値]として[ギャップ要素に熱抵抗なし]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 5. [多孔質体]

- CASE2aの場合、特記事項 プレートフィンモデルを参照してください。CASE2bの場合、特記事項 異方性多孔質体モデルを参照してください。
- CASE2a, CASE2bの場合の多孔質体の熱伝達条件の設定については、特記事項 多孔質体の壁面熱伝達条件を参照してください。

#### 6. [出力条件]

- [熱バランス]にて、[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に[1]を入力します。

### 7. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、CASE1では[exA14-2\_1], CASE2aでは[exA14-2\_2a], CASE2bでは[exA14-2\_2b]と入力します。
- ・ CASE2a, CASE2bの場合、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA14-2\_2.pre]とします。

#### - 八分木

CASE1では、[ファイル]-[開く]より exA14-2\_1.octを読み込みます。CASE2a, CASE2bの場合は、exA14-2\_2.octを読み込みます。

#### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

#### CASE1

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[1e-3]	[1]	[2]
[wall_fin]	[5e-4]	[1]	[2]

#### CASE2a, CASE2b

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[1e-3]	[1]	[2]
[wall_fin] [porous_surf]	[5e-4]	[1]	[2]

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

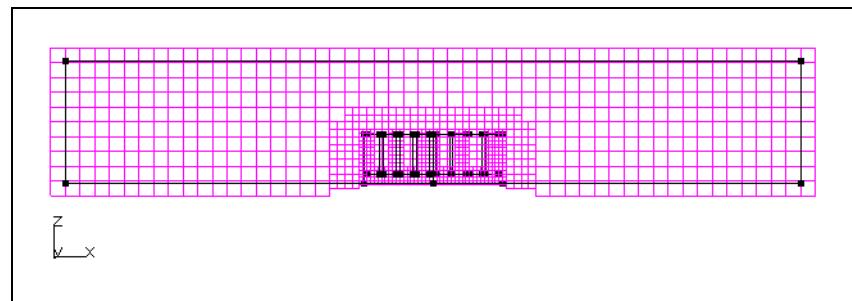
#### - 計算コストの目安

- ・ SCTsolverの実行時間  
CASE1 : 約1分40秒  
CASE2a : 約1分  
CASE2b : 約1分
  - ・ 計算サイクル数  
CASE1 : 約100サイクル  
CASE2a : 約80サイクル  
CASE2b : 約80サイクル
- \* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz )

## 解析メッシュ

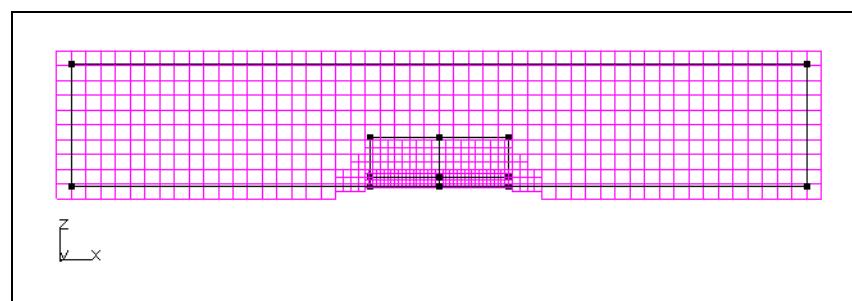
- 八分木図

CASE1



オクタントサイズ : 0.0015[m]~0.006[m]

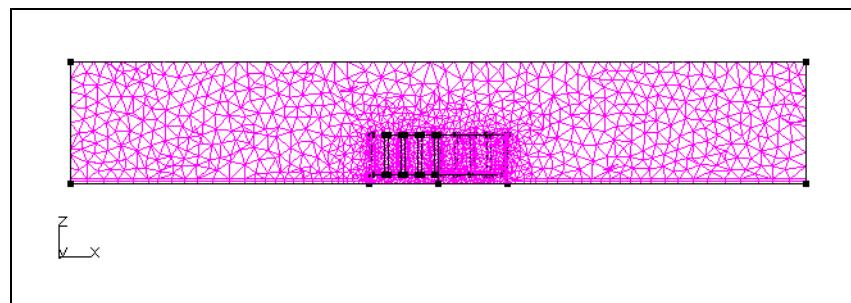
CASE2a, CASE2b



オクタントサイズ : 0.0015[m]~0.006[m]

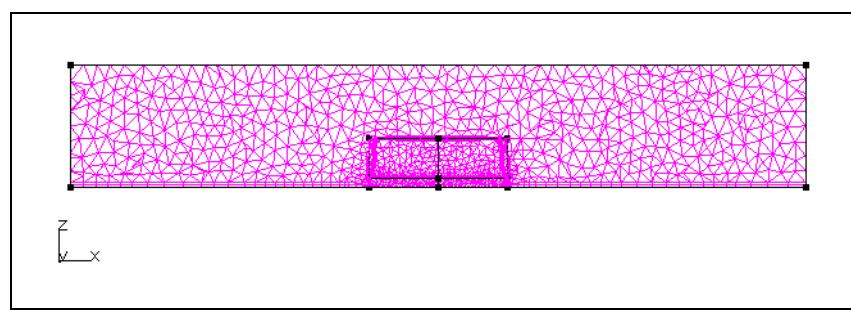
- ・ メッシュ図

#### CASE1



要素数 : 210,450

#### CASE2a, CASE2b



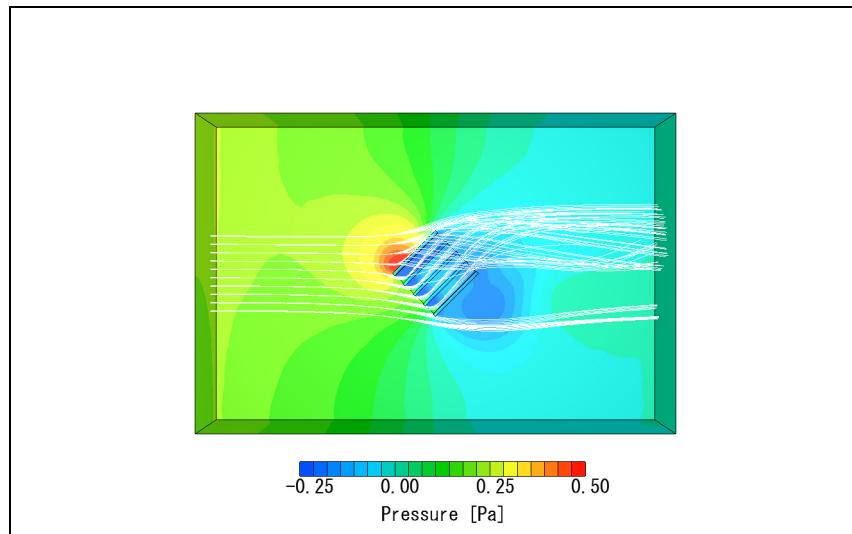
要素数 : 155,996

## 解析結果

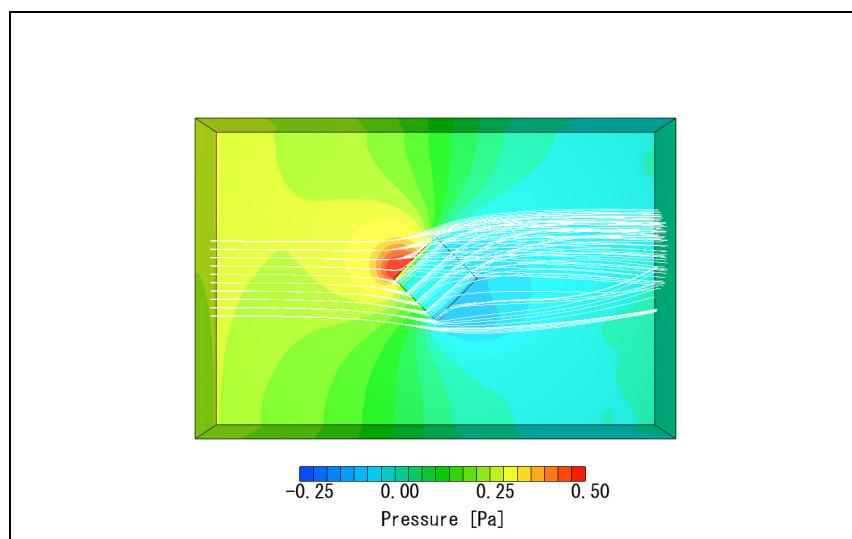
- ・ SCTpostの設定  
多孔質体の温度を描画するには、[表面]オブジェクトや[カット面]オブジェクトで [変数]に[多孔質体温度(TPOR)]を選択します。

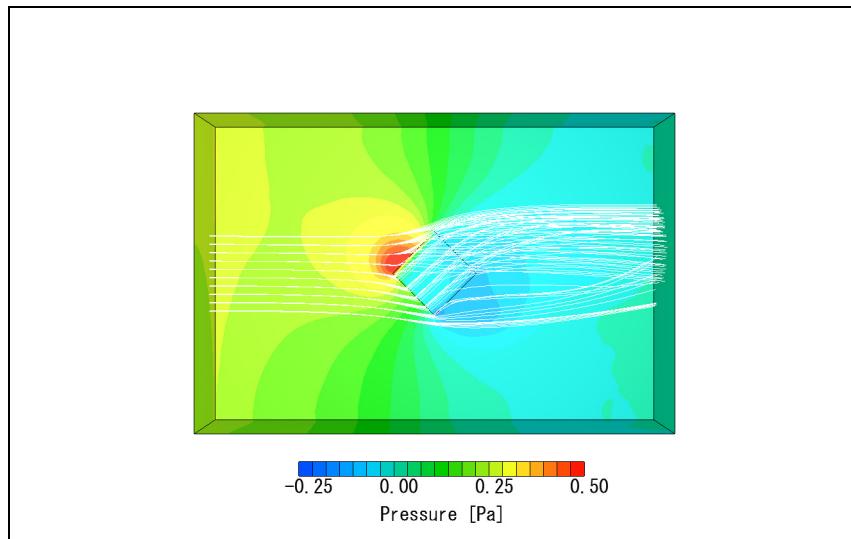
- 流線と表面圧力コンター図

CASE1



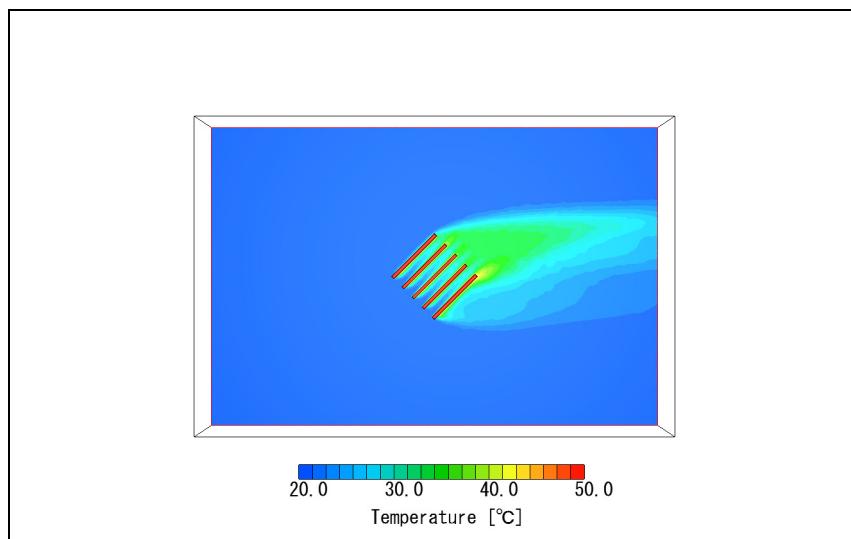
CASE2a



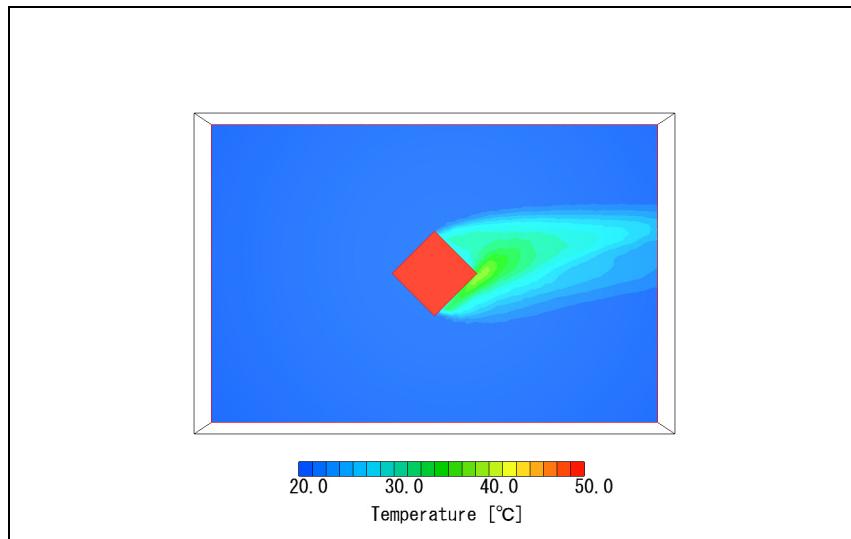
CASE2b

- 温度コンター図( $Z=0.01[m]$ )

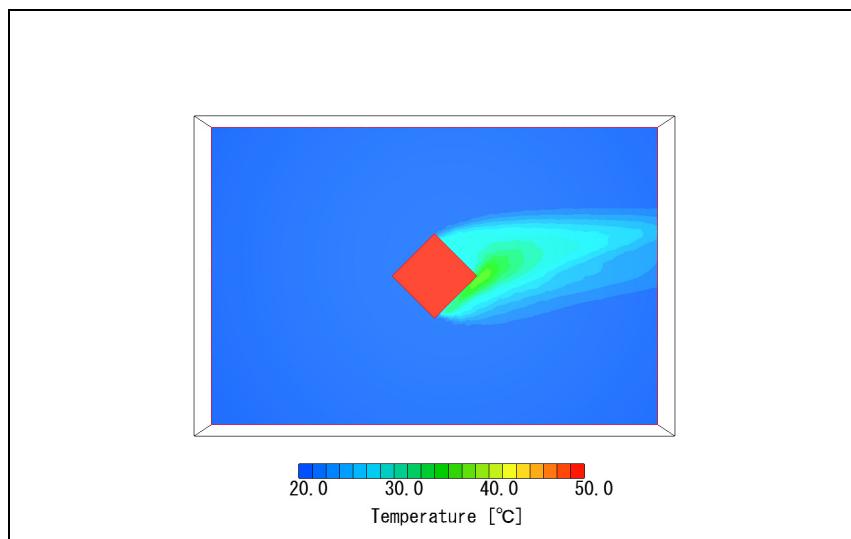
CASE2a, CASE2bの多孔質体領域では多孔質体温度を描画しています。

CASE1

CASE2a



CASE2b



---

## 機能15 ファンモデル

---

---

## 機能説明

- ファンを使用して強制的に流れを作り出すような場合の解析を考えます。ファン自体は要素移動機能を使えば羽根近傍の流れ、前後の圧力差などを計算で求めることができます。しかしこの計算にはそれ相応の計算時間が必要となるため、ファン自体の特性を調べるわけではない場合には現実的ではない場合があります。
- ファンの性能指標としてP-Q特性があります。P-Q特性はファンの前後圧力差Pと流量Qの関係を表すものです。この圧力差Pはファンの下流側の圧力から上流側の圧力を引いたものです。一般的にファンの下流側の圧力は上流側の圧力よりも高いため、この圧力差Pは正となります。ファンはこの圧力差Pに抗して、流量Qを発生させており、ある圧力差Pに対して、どの程度の流量Qを生み出せるかを示すP-Q特性は、ファンの性能を評価する重要な指針となります。このP-Q特性を指定することで、ファン自体を解析することなく、モデル化によってファンの効果を解析に取り込むことができます。
- **SCRYU/Tetra**では、P-Q特性を指定するファンモデルの他に、体積流量一定ファン、軸方向流速一定ファンが使用できます。

## 注意事項

- 圧力は流体要素のみで計算されるので、ファンモデルは流体要素に挟まれる体積領域に設定します。
- P-Qテーブルの値は、Pに対してQが単調減少となるよう設定する必要があります。
- ファンモデルの側面には、フリースリップ壁の設定をお勧めします。
- 圧力の差から流量を計算するので、解析領域に圧力の基準が設定されていないと計算が不安定になります。従って、流入流出条件で表面圧力または全圧規定が設定するか、もしくは圧力固定点を設定する必要があります。
- 圧力勾配が急激に大きくなつて精度が悪化することを防ぐため、ファンを設定する領域の前後にプリズム層を挿入することをお勧めします。詳しくは**ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 FORCコマンドの技術メモ**を参照してください。

## 結果として出力されるもの

### - 計算時メッセージ

- 計算で求めた差圧や使用した流量、及び流量のずれが出力されます。詳しくは、**ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 3.1 (16) FANモデル**を参照してください。

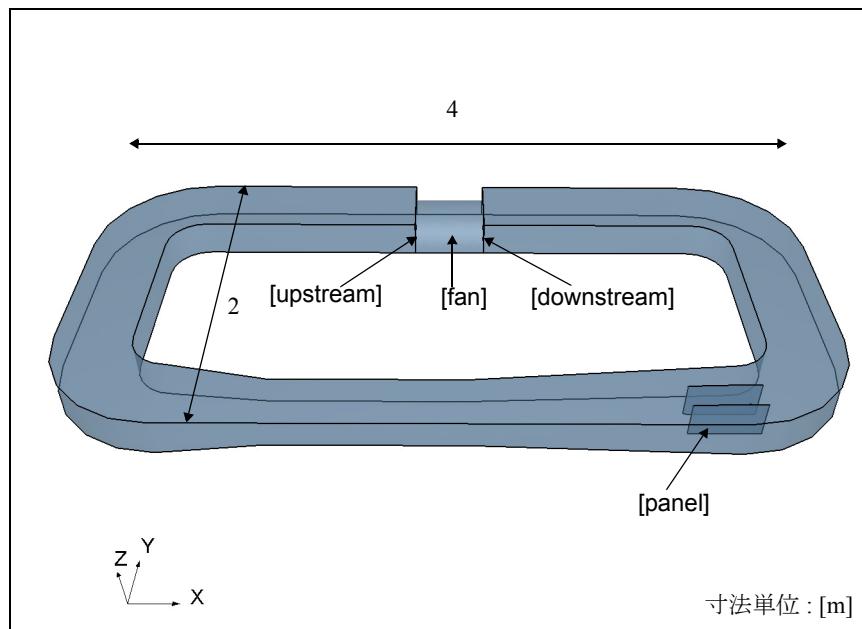
## 関連コマンド

- **FANM** : ファン条件の設定

## 例題15.1 簡易風洞

軸流ファンを動力とする低速風洞の流れを解析します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。

### 解析条件

#### - 物性値

- MAT=1 : 空気( $20^{\circ}\text{C}$ )  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮 $20^{\circ}\text{C}$ )]を使用します。

- 境界条件

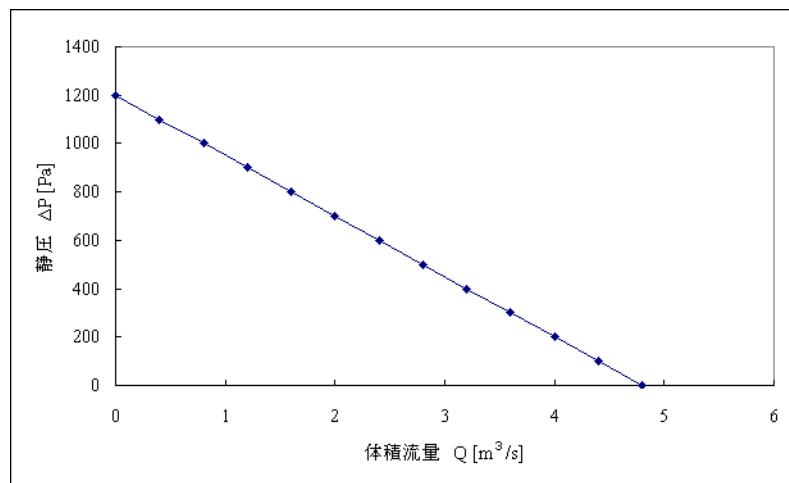
- 壁面 [wall], [panel] : 静止壁

- 初期条件

- デフォルト(設定不要)

- その他

- 乱流モデル  
標準 k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 圧力固定  
 $(X, Y, Z)=(0, 0.8, 0)$  : 圧力値0[Pa]
- ファン  
ファン上流側の面 : [upstream]  
ファン下流側の面 : [downstream]  
ファンの体積領域 : [fan]  
P-Q特性 : 次のP-Q特性を用います。圧力は上流側の面と下流側の面の平均圧力の差です。またファン上流から下流に向かう単位ベクトルは $[1, 0, 0]$ とします。



- 出力条件

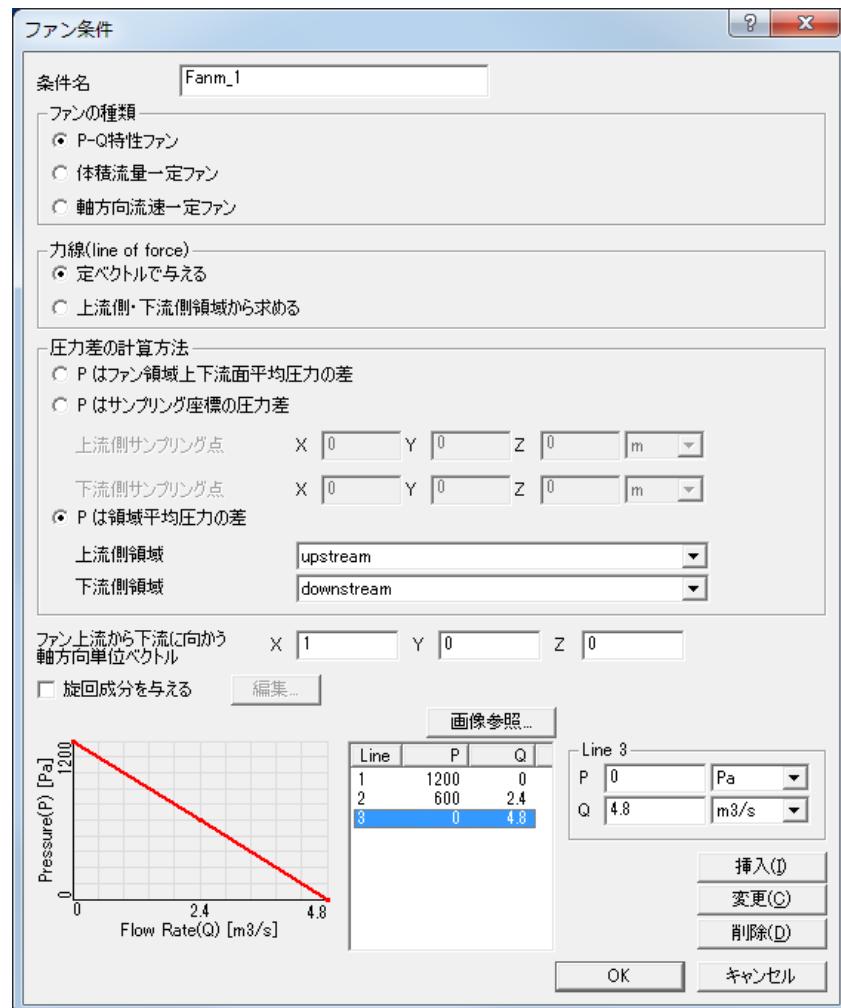
圧力の総和 : [upstream], [downstream]

## 特記事項

### - ファンの設定

- [条件ウィザード] - [発生条件]にて、[領域]から[fan]を選択し、ファンをクリックします。[ファン条件]ダイアログにて、ファンの設定を行います。
- まず、[圧力差の計算方法]で[Pは領域平均圧力の差]を選択して、[上流側領域]に[upstream]、[下流側領域]に[downstream]を選択します。
- [ファン上流から下流に向かう軸方向単位ベクトル(X,Y,Z)]に、[(1, 0, 0)]をそれぞれ入力します。
- 次に、[P]と[Q]に以下のように入力して、P-Q特性を設定します。挿入をクリックすると、値が設定されます。

[Line]	[P]	[Q]
1	1200	0
2	600	2.4
3	0	4.8



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA15-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [境界条件]

- [領域]から[wall]と[panel]を選択し、壁面をクリックします。(Ctrlキーを押しながらクリックすることで複数の領域を同時に選択することが可能です。)[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認し、OKをクリックします。

#### 2. [発生条件]

- ファンの設定を行います。**特記事項 ファンの設定**を参照してください。

#### 3. [計算条件]

- [圧力]を選択します。[圧力]に[0 Pa]が設定されていることを確認し、[場所 (X,Y,Z)]に、[(0, 0.8, 0)]をそれぞれ入力して、登録をクリックします。

#### 4. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA15-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA15-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[4e-3]	[1.1]	[3]
[panel]	[4e-3]	[1.1]	[2]
[upstream]	[4e-3]	[1.1]	[3]
[downstream]	[4e-3]	[1.1]	[3]

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約1分

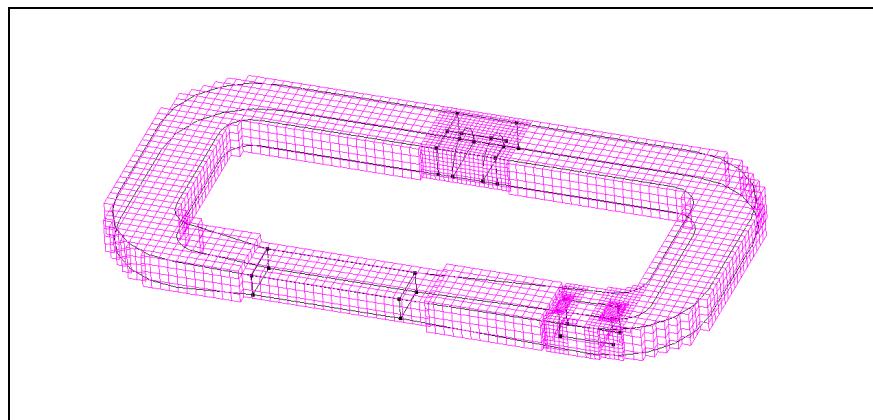
- 計算サイクル数

約 200 サイクル

\* 2core 使用時( Intel Xeon X5680 3.33GHz )

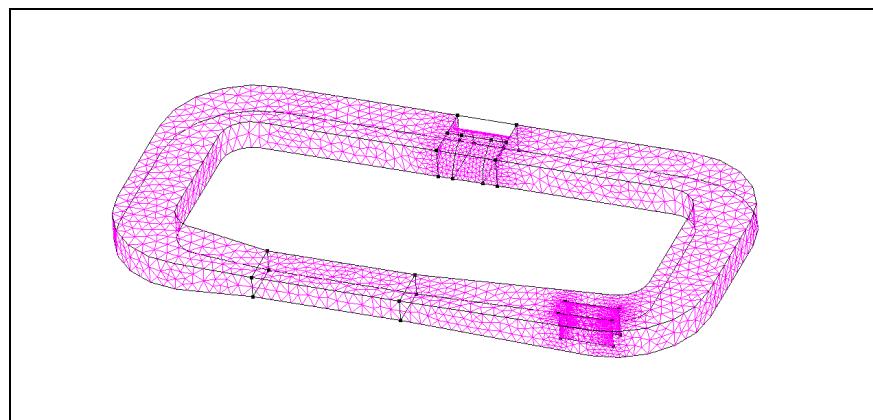
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.0075[m]~0.06[m]

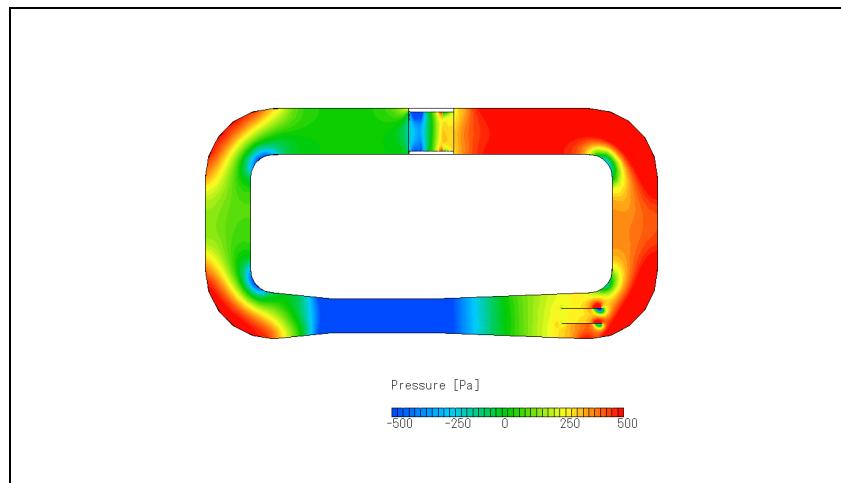
- メッシュ図



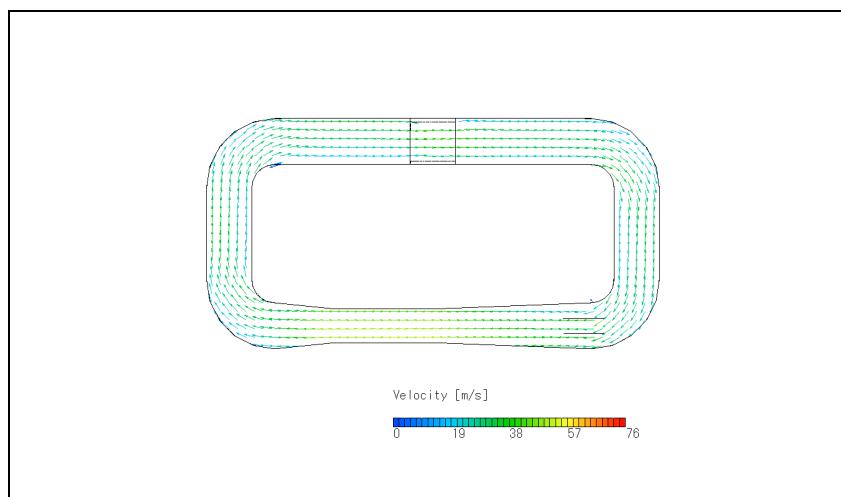
総要素数 : 85,800

## 解析結果

- 圧力コンター図



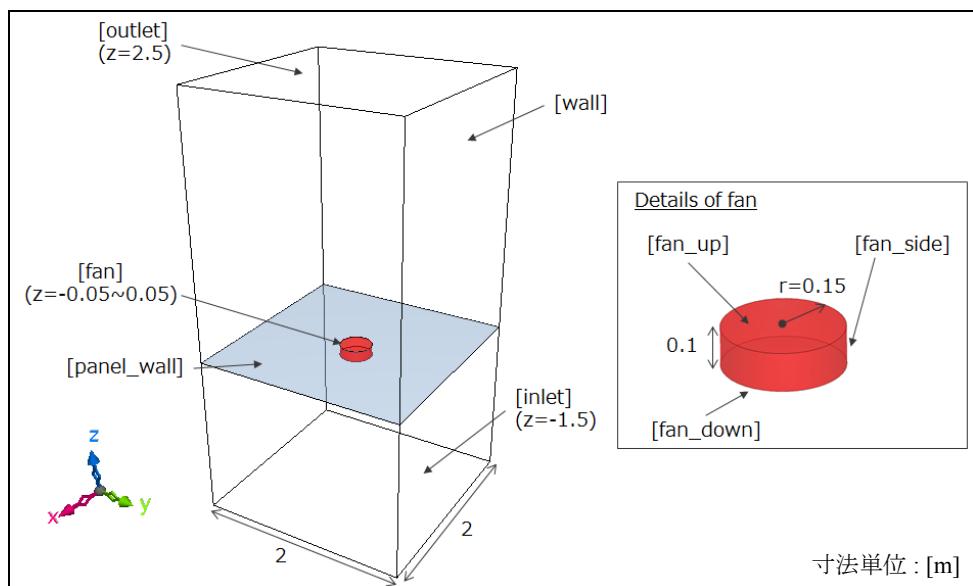
- 流速ベクトル図



## 例題15.2 旋回成分を考慮したファンモデル

実際のファン形状はモデル化せずに、ファンモデルを用いてP-Q特性により流れを駆動した解析を行います。また流体旋回運動を無視したケースと考慮したケースを比較します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

2[m]×2[m]の矩形ダクトの中で、半径0.15[m]のファンが回っています。入口圧力([inlet])は基準圧力0[Pa]です。出口圧力([outlet])は15[Pa]です。ファンの特性をP-Q特性で与えます。このとき旋回成分を与えない場合と角速度-30[rad/s]で与えた場合の流れの違いを比較します。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- パネル : ファンの側面と仕切り壁にパネルを使用します。

## 解析条件

### - 物性値

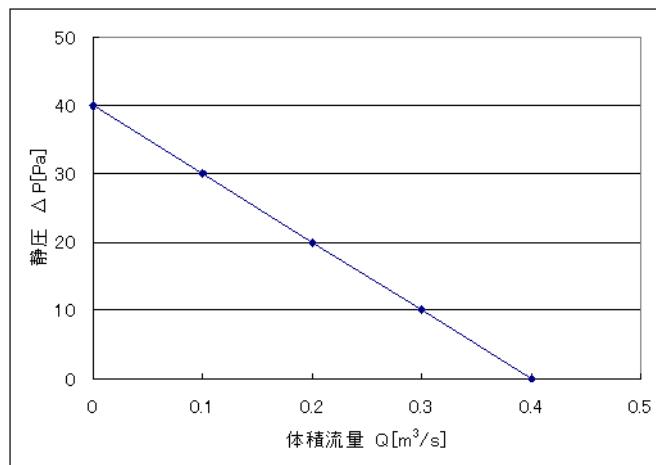
- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 表面圧力規定 0.0 [Pa]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 15.0 [Pa]
- 壁面 [fan\_side\_out],[panel\_wall],[wall] : 静止壁

### - その他

- 乱流モデル  
標準k-εモデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- パネル  
パネルとして扱う領域 : [fan\_side], [panel\_wall]
- ファン  
力線 : 定ベクトルで与える  
圧力差の計算方法 :  $\Delta P$ はファン領域上下流面平均圧力の差  
ファン上流から下流に向かう軸方向単位ベクトル : [0, 0, 1]  
P-Q特性 : 次のP-Q特性を用います。

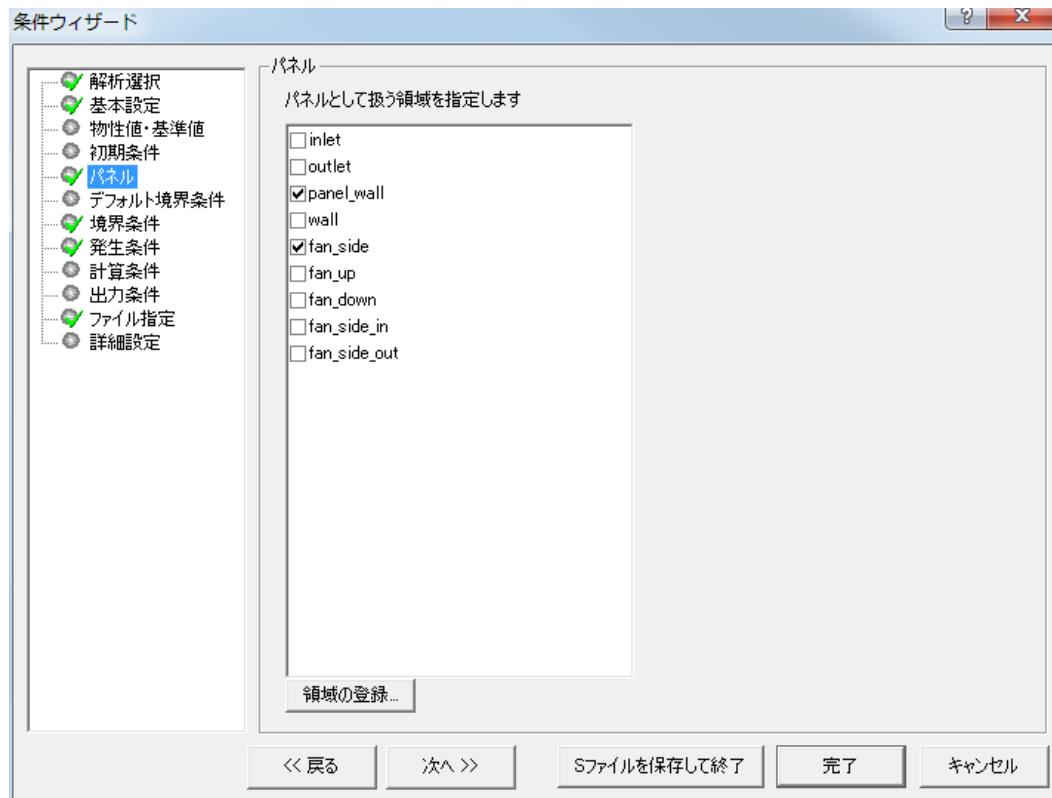


- 旋回成分 : CASE1 旋回成分は与えない  
CASE2 旋回成分を与える  
旋回成分パラメータ  $\Omega$  : -30[rad/s]

## 特記事項

### - パネルの設定

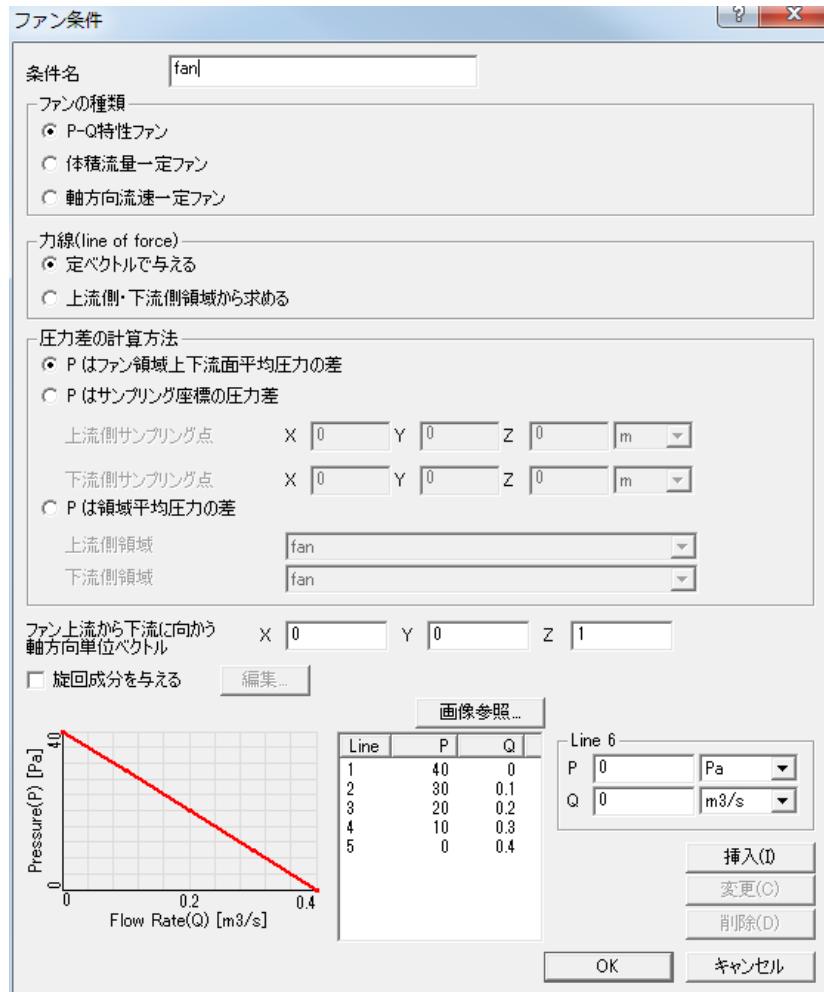
- ・ [条件ウィザード] - [解析選択]で[パネル]をONにします。
- ・ [条件ウィザード] - [パネル]で[fan\_side], [panel\_wall]をONにします。



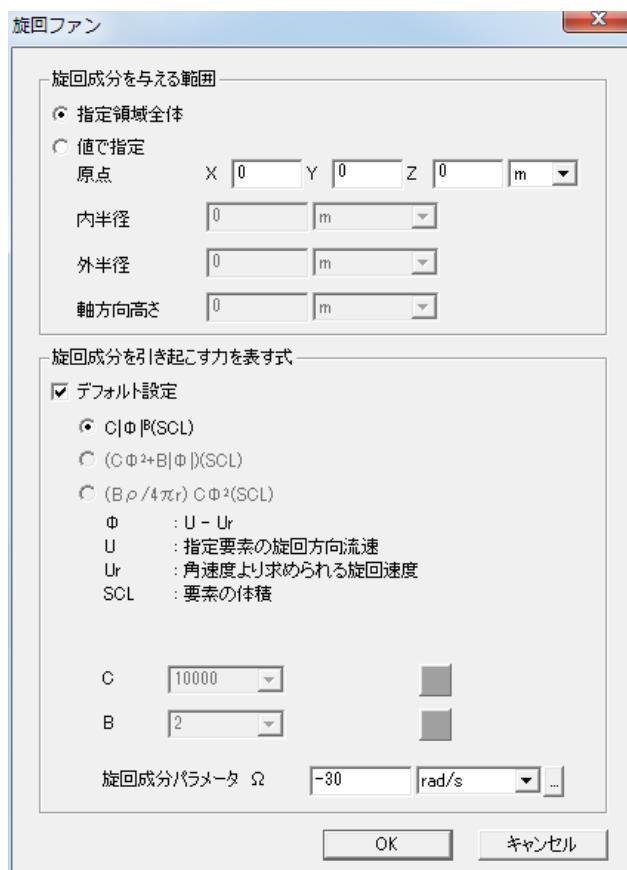
(メモ) ファンの側面[fan\_side]と仕切り壁[panel\_wall]に壁を作るために、パネル条件を与えます。ファン側面のパネルの設定は、ファンの半径方向より流れが出て行かないようにするための設定です。

### - ファンの設定

- [条件ウィザード] - [発生条件]にて、[領域]から[fan]を選択し、ファンをクリックします。[ファン条件]ダイアログにて、ファンの設定を行います。
- [P]と[Q]に以下のように入力して、P-Q特性を設定します。挿入をクリックすると、値が設定されます。



- [ファン条件]ダイアログで[旋回成分を与える]にチェックを入れ、[編集]をクリックします。クリック後、[旋回ファン]ダイアログが表示されます。なおCASE1の場合には旋回成分の設定は行わないため、チェックは不要です。
- [旋回ファン]ダイアログで[旋回成分パラメータ  $\Omega$ ]に[-30 rad/s]を設定し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- 以上の設定が完了したら、OKをクリックして[ファン条件]ダイアログを閉じます。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA15-2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定(CASE1)

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [パネル]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [終了サイクル]を[1000]に設定します。

#### 3. [パネル]

- 特記事項 パネルの設定を参照してください。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[P]に[15 Pa]を設定し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[fan\_side\_out], [panel\_wall], [wall]を選択し壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 5. [発生条件]

- ファンの設定を行います。特記事項 ファンの設定を参照してください。なお旋回成分の設定はCASE2の場合にのみ行います。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、次のように設定します。

CASE1 : exA15-2\_1

CASE2 : exA15-2\_2

- 次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA15-2.pre]とします。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA15-2.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[fan_up]			
[fan_down]			
[fan_side]			
[panel_wall]			
[wall]			

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

CASE1 : 約2分

CASE2 : 約3分

- 計算サイクル数

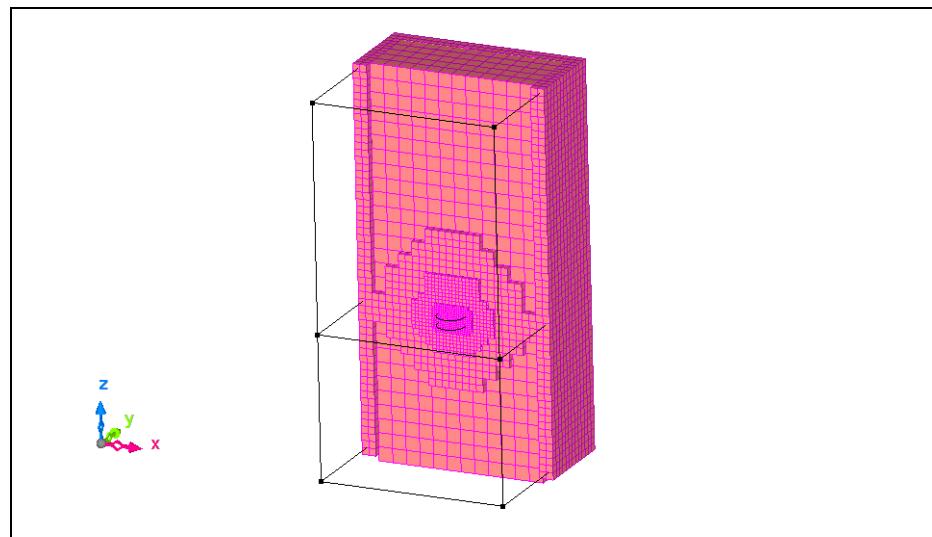
CASE1 : 約150サイクル

CASE2 : 約250サイクル

\* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

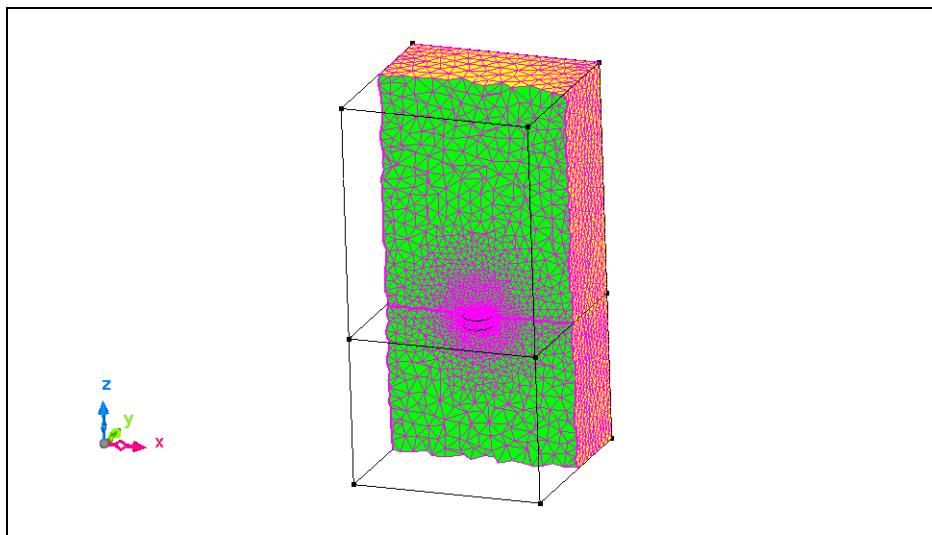
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.025[m]~0.10[m]

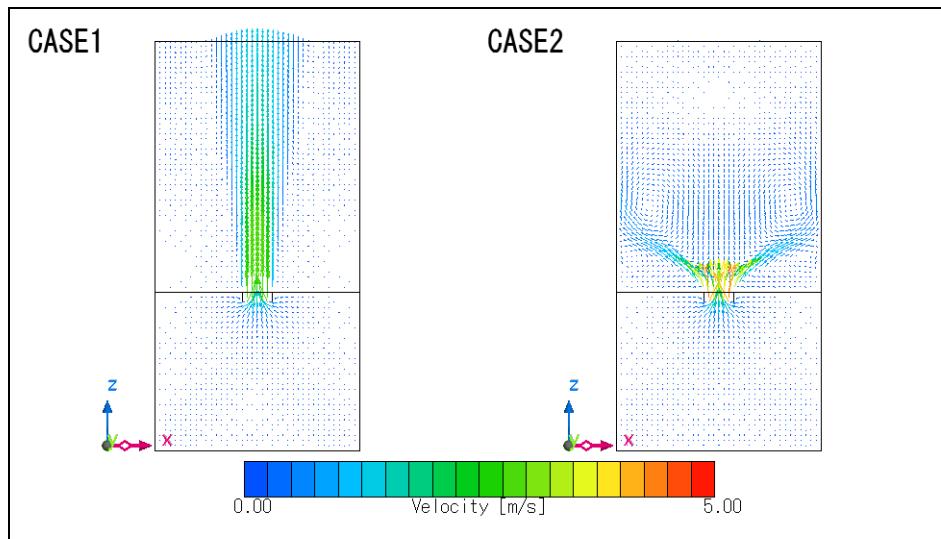
- メッシュ図



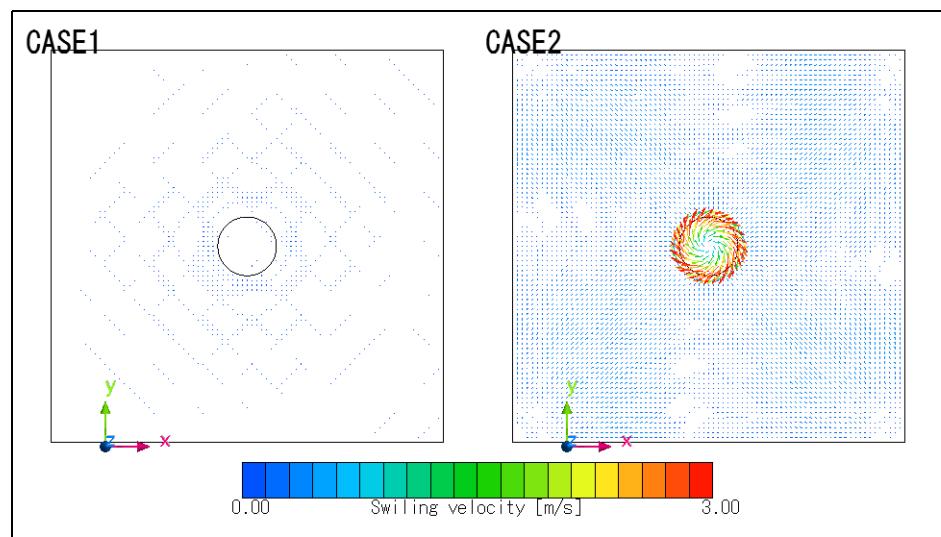
要素数 : 202,166

## 解析結果

- 流速ベクトル図( $y=0$ )



- 流速旋回成分ベクトル図( $z=0.1$ )



上図の流速の旋回成分は( $VELX, VELY, 0$ )をSCTpostで変数登録して、軸に垂直な速度成分のみを抽出した流速(旋回成分速度)を示しています。

---

## 機能16 伝熱パネル

---

---

## 機能説明

- 解析領域内に薄くて、しかし熱移動に関して重要な部品がある場合、その厚みを考慮した要素分割が必要になります。しかし、そのためには要素サイズが小さくなり、必要以上の要素数を使用することになります。もし、その部品の厚み方向の温度分布を無視できる場合、その部品を厚みの無いパネルで表現し、そのパネルの熱に関する性質として仮想的な厚みと物性値を与える、パネルの温度を求めるすることができます。これが伝熱パネルです。

## 注意事項

- 伝熱パネルは、以下の機能との併用はできません。

密度ベースソルバー

- ギャップ要素が挿入されていないPREファイルを用いる必要があります。SCTsolverで解析する際に仮想厚みを持った伝熱パネルの要素が作成されます。
- 線状に接触する伝熱パネル同士あるいは伝熱パネルと固体の間に熱伝達条件を与えるにはPNLCコマンドによる条件設定が必要です。設定がない場合には伝熱パネル同士の間は断熱となります。
- 仮想厚みを持った伝熱パネルの要素はSCTpreで生成されるメッシュデータには存在しません。SCTsolverでメッシュデータを読み込んだ直後に作成されます。伝熱パネルの表面の面発熱や、伝熱パネルの要素側にWL04コマンドによる熱伝達を指定する時には、メッシュデータにある面領域は用いられません。SCTsolverのPNLFコマンドで伝熱パネル表面を面領域として定義して、そちらに設定する必要があります。

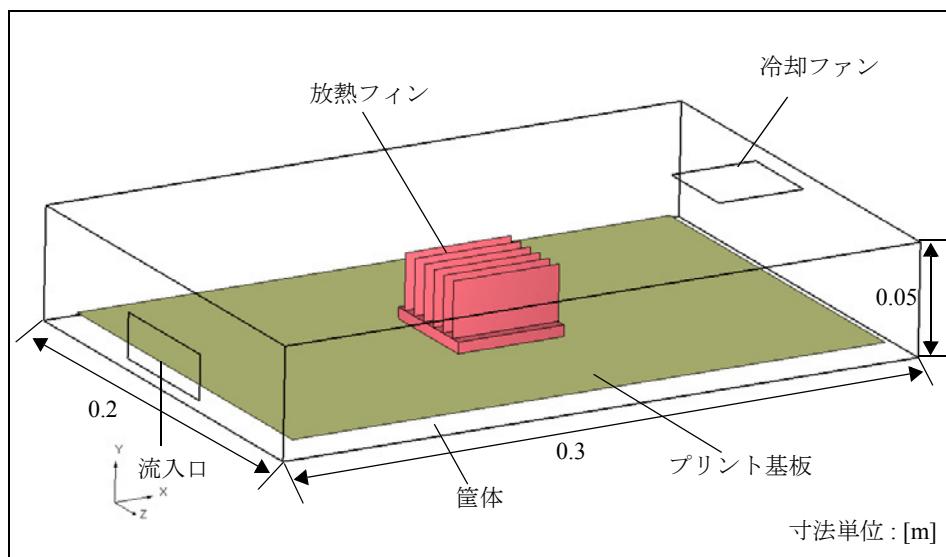
## 関連コマンド

- PNLC : 線接触する伝熱パネルの熱伝達境界条件を指定
- PNLF : 伝熱パネル表面を面領域として定義
- PNLH : 物性を備え熱伝導を行う伝熱パネル領域の設定
- PNLM : 線接触熱伝達の規定値を物性番号に対して定義

## 例題16.1 伝熱パネルを用いた放熱フィンの冷却解析

放熱フィンのように薄板を含むモデルは、テトラ要素による3次元メッシュ分割が困難な場合が多くあり、伝熱パネルを用いたモデル化が推奨されます。簡単な電子筐体の熱解析を例に取り、伝熱パネルの設定方法を学びます。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k- $\varepsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 伝熱パネル : フィン・プリント基板・筐体を伝熱パネルとして扱います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(自然対流)] - [空気(自然対流20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 放熱フィン・ベース部 銅(固体)  
物性値ライブラリより[純金属] - [銅(Cu)]を使用します。
- MAT=3 : 放熱フィン 銅(パネル)  
物性値ライブラリより[純金属] - [銅(Cu)]を使用します。
- MAT=4 : プリント基板(新規作成)  
1層目(厚み0.018[mm])  
物性値ライブラリより[純金属] - [銅(Cu)]を使用します。  
2層目(厚み1.6[mm])  
密度1,800 [kg/m<sup>3</sup>]  
定圧比熱 $1.1 \times 10^3$  [J/(kg•K)]  
熱伝導率0.27 [W/(m•K)]  
3層目(厚み0.018[mm])  
物性値ライブラリより[純金属] - [銅(Cu)]を使用します。  
(メモ)銅箔-ガラスエポキシ樹脂-銅箔のプリント基板を想定しています。
- MAT=5 : 箍体(新規作成)  
密度 1,200 [kg/m<sup>3</sup>]  
定圧比熱  $1.0 \times 10^3$  [J/(kg•K)]  
熱伝導率 0.23 [W/(m•K)]  
(メモ)ポリカーボネイトを想定しています。

### - 境界条件

- 流出口 [fan] : 流速規定 -1[m/s]
- 流入口 [inlet] : 表面圧力規定 0[Pa]  
流入温度 20[°C]
- 管体外表面 [wall\_outer] : 外部温度 20[°C]  
熱伝達係数 20[W/(m<sup>2</sup>•K)]
- 壁面 [wall\_chas], [wall\_fin] : 静止壁  
[wall\_PCB], [wall\_base] : ギャップ要素に熱抵抗なし  
乱流熱伝達考慮
- 異なるMAT間の熱伝達条件 : 热抵抗なし

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

### - その他

- 乱流モデル  
標準k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析

- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 300サイクル  
定常判定値 : デフォルト
- 伝熱パネル条件  
放熱フィン[panel\_fin], プリント基板[panel\_PCB]・筐体[panel\_chas]を伝熱パネルに設定します。  

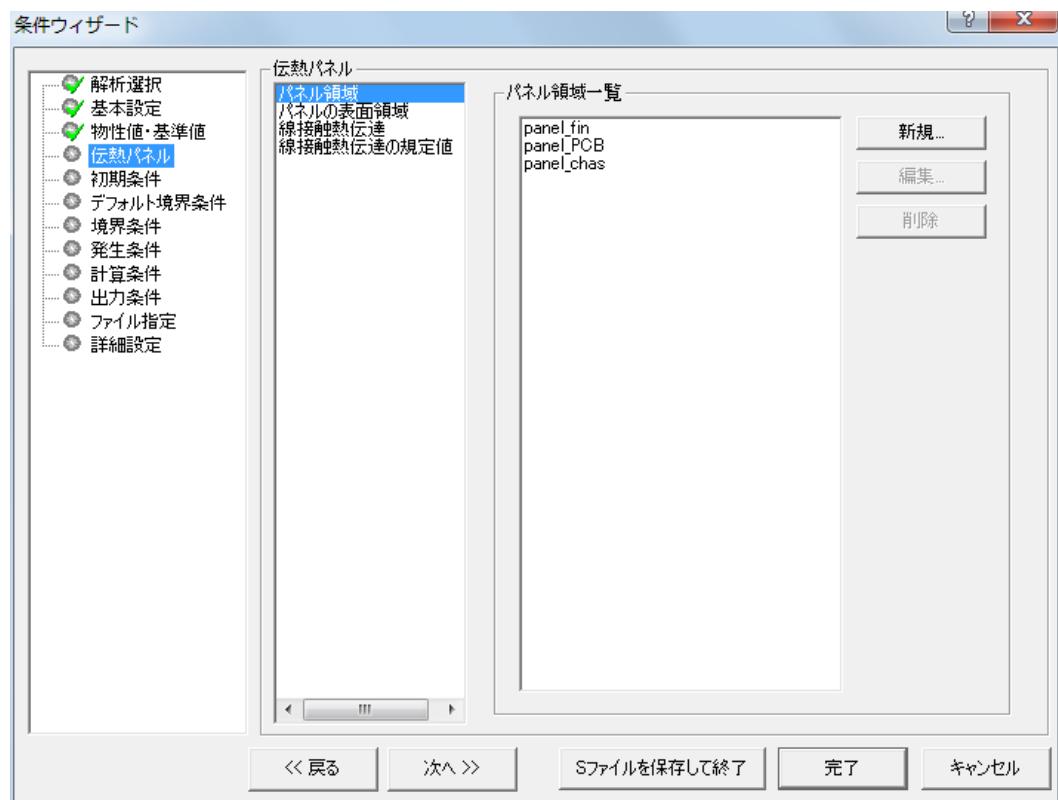
[panel_fin]	MAT=3 厚み0.5[mm]	定義面 : [wall_fin]
[panel_PCB]	MAT=4 厚み1.636[mm]	定義面 : [wall_PCB]
[panel_chas]	MAT=5 厚み1.0[mm]	定義面 : [wall_chas]
- 発熱条件  
放熱フィン・ベース部の底面([wall\_heat])で面発熱条件 25[W]  
プリント基板([panel\_PCB])で体積発熱条件 10[W]

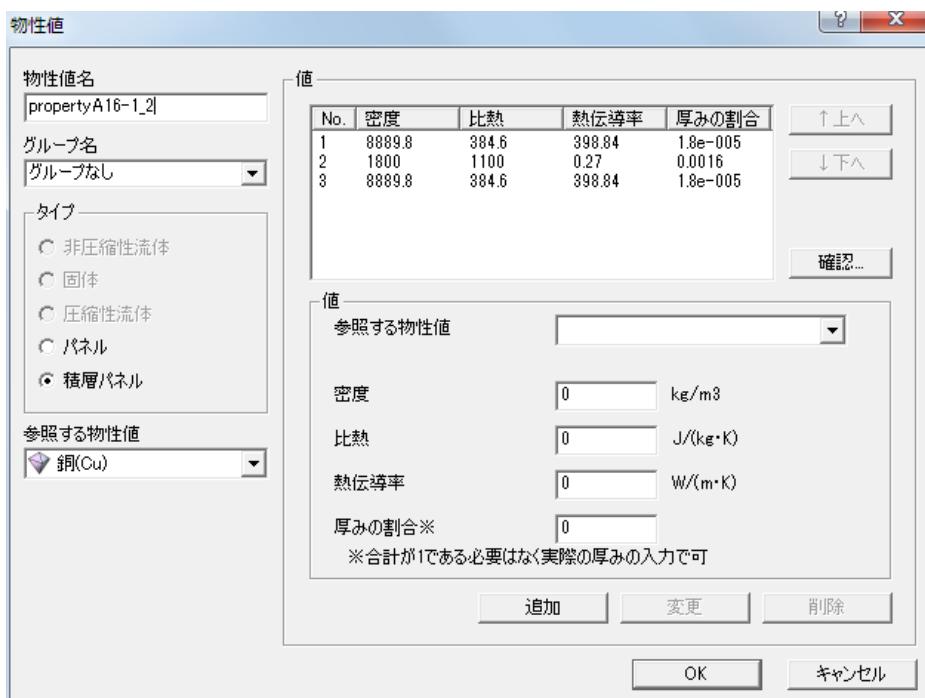
## 特記事項

### - 伝熱パネル機能について

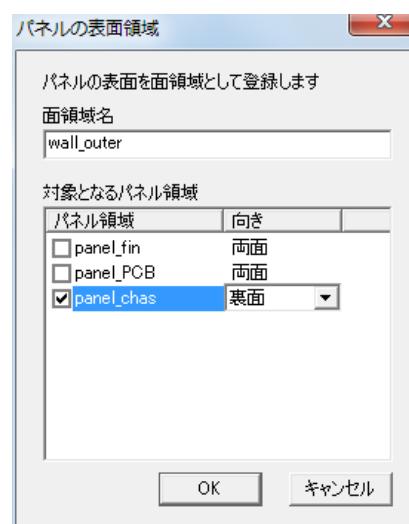
- 伝熱パネルは、厚み0のプリズム又はヘキサ要素から構成され、表面と裏面にそれぞれ節点(=温度の値)を持ちます。SCTpreから出力されるPREファイルには存在しませんが、異なるMAT間に挿入されるギャップ要素と同様に、伝熱パネルはSCTSsolver内で生成されます。計算上の厚みは条件入力により与えられる値がSCTSsolverで考慮されます。
- パネルに与える物性には、面法線方向と接線方向の熱伝導率をそれぞれ指定することができ、接線方向の熱伝導非等方性も考慮することができます。また、多種の材質からなる積層材の等価物性値を算出することもできます。
- 伝熱パネル設定の手順
  - リストから[パネル領域]を選択し、伝熱パネルを定義する領域の設定をします。新規をクリックし、[パネル領域条件]ダイアログにて、伝熱パネル定義面を登録済みの面領域から選択します。また、物性値をクリックすると、[物性値]ダイアログが現れ、そこで物性値の設定を行うことができます。これらの面領域はSCTSsolverによるパネル要素生成後、それぞれのパネル領域隣りに接する面になります。

具体的な作業手順としては、[対象となる領域]から[wall\_fin]を選択して、[パネル領域名]に[panel\_fin]と入力します。[厚み]に[0.0005 m]と入力し、物性値をクリックします。[物性値]ダイアログにて、[参照する物性値]から[銅(Cu)]を選択し、OKをクリックします。同様に、[wall\_PCB]に対して[パネル領域名]に[panel\_PCB]と入力し、[厚み]を[0.001636 m]として物性値をクリックします。[物性値]ダイアログにて、[タイプ]に[積層パネル]を選択し、積層材各層の物性値を設定します。1層目は[値]-[参照する物性値]から[銅(Cu)]を選択し、[厚みの割合]に[1.8e-005]と入力し追加をクリックします。ここで[厚みの割合]は、合計が1である必要はなく実際の厚みの入力でかまいません。2層目は解析条件 物性値に記載の値を直接入力し、[厚みの割合]に0.0016と入力し追加をクリックします。3層目は1層目と同様に、[参照する物性値]から[銅(Cu)]を選択し、[厚みの割合]に[1.8e-005]と入力し追加をクリックします。確認ボタンをクリックすると積層材の等価物性値を確認できます。閉じるをクリックし[等価物性値の確認]ダイアログを閉じ、OKをクリックします。[wall\_chas]に対して[panel\_chas]を定義し、[厚み]は解析条件 その他 伝熱パネル条件の値を入力し、物性値は解析条件 物性値に記載の値を直接入力します。





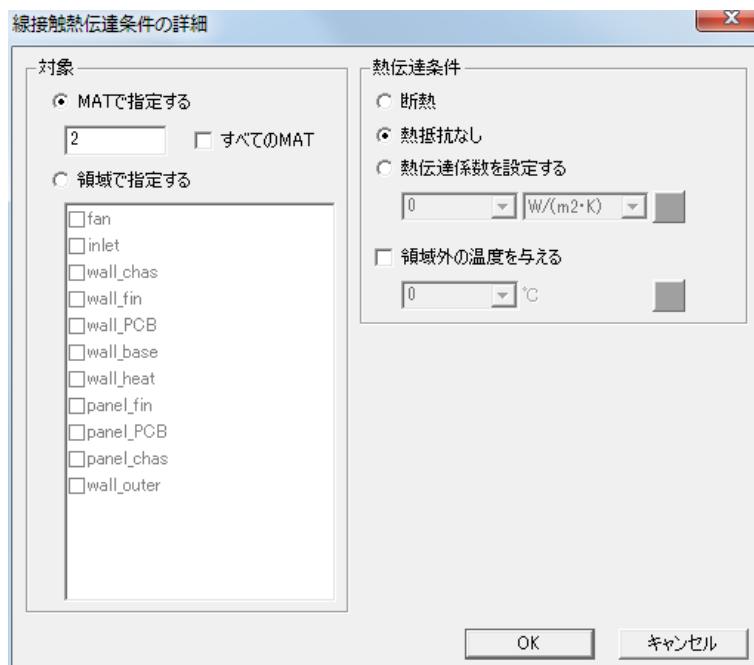
2. 解析領域外に接するパネル領域[panel\_chas]の表面を領域登録します。SCTsolverに読み込まれる前のメッシュでは[wall\_chas]は解析領域外に接する面ですが、パネル生成後は筐体内側に接する面になります。解析領域外との壁面熱伝達条件を設定するために、伝熱パネル表面に面領域を登録する必要があります。[伝熱パネル]ダイアログ上のリストから[パネルの表面領域]を選択し、**新規**をクリックします。[面領域名]に[wall\_outer]と入力し、[panel\_chas]の[裏面]を選択します。ここで、[表面]はパネル領域の定義面、[wall\_chas]に向かい合う側の面を指します(詳細はユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 PNLFコマンドを参照ください)。



3. 放熱フィンとベース部との線接触熱伝達を設定します。リストから[線接触熱伝達]を選択し、新規をクリックします。まず線接触するエッジの指定を行います。エッジは2つの面領域のペアが共有する辺で定義されます。ここでは [面領域のペア]として、放熱フィンの定義面[wall\_fin]と、ベース部の表面[wall\_base]とが接する辺を追加します。



[熱伝達条件]として、ベース部の[MAT2]と、フィンの[MAT3]に対して、それぞれ[熱抵抗なし]を指定します。[熱伝達条件]で新規をクリックして設定を行います。次図はMAT[2]の設定ですが、MAT[3]についても同様に設定します。



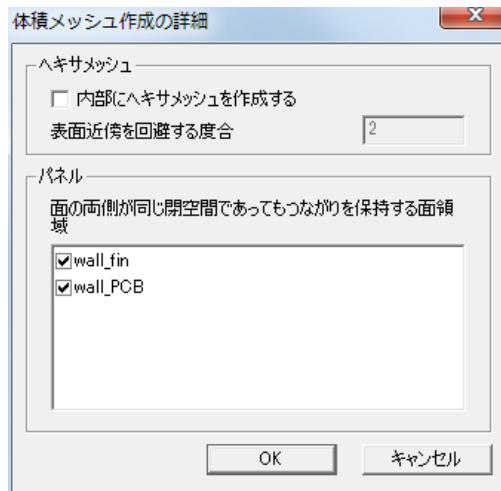
4. プリント基板(MAT=4)はMAT=1とMAT=2の境界面に接するため、そのエッジでは線境界ギャップ要素が挿入されています(詳細はユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 PNLHコマンドを参照ください)。デフォルトでは伝熱パネルの同一MAT内でも断熱になるため、線接触熱伝達の設定が必要です。先ほどと同様にエッジ指定の設定を行うことも可能ですが、ここでは、[伝熱パネル]ダイアログ上のリストから[線接触熱伝達の規定値]による設定を行います。[線接触熱伝達の規定値]ダイアログから[対象となるMAT番号]に[4]を入力して[熱抵抗なし]と設定します。これにより、MAT=4同士が線接触するエッジでは熱伝達が行われます。



5. 以上で伝熱パネルに必要な設定は終了です。その他の必要な解析条件(上で登録した [wall\_outer] の壁面熱伝達条件や [panel\_PCB] の発熱条件など)を設定し終えたら S ファイルを保存し、解析を実行します。

### - 体積メッシュ作成時の注意点

- [wall\_fin]や[wall\_PCB]などの面領域は、同一閉空間中にパネルとして存在するため、デフォルトでは体積メッシュ作成時に面を挟んでメッシュの繋がりが絶たれてしまいます。伝熱パネルでは繋がりを保つことが必要なので、Jファイル保存時又は連続実行時にその指定を行います。[連続実行]ダイアログにおいて、[テトラメッシュパラメータ]の詳細をクリックします。次頁の図に示すように、[パネル]の項目で[wall\_fin]と[wall\_PCB]の両方をONにしてOKをクリックし、Jファイルを保存します。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]よりexA16-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [温度]をONにします。
- [伝熱パネル]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [300]
- [重力]の[考慮する]をONにします。  
[(X, Y, Z)] : [(0, -9.8, 0) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて、[流体(自然対流)]-[空気(自然対流20°C)]を選択して適用をクリックします。
- MAT[2]を選択して、[純金属]-[銅(Cu)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [伝熱パネル]

- 伝熱パネルの設定を行います。特記事項 伝熱パネル機能についてを参照してください。

### 5. [境界条件]

- ・ [領域]から[fan]を選択して、流速規定をクリックします。
- ・ [流速規定]ダイアログにて、[流入流速]に[-1m/s]と入力し、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[inlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。
- ・ [表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]が[0 Pa]となっていることを確認します。次に、[流入温度]をONにして、[T]に[20 °C]と入力し、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[wall\_outer]を選択して、壁面をクリックします。
- ・ [壁面]ダイアログの[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにして、[条件値]を[外部温度との間に熱伝達係数を設定する]とします。[熱伝達係数]に[20 W/(m<sup>2</sup>·K)], [外部温度]に[20 °C]を入力し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- ・ 同様に、[領域]から[wall\_chas], [wall\_fin], [wall\_PCB], [wall\_base]をすべて選択状態とし、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に、[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにして、[条件値]に[ギャップ要素に熱抵抗なし], [乱流熱伝達]に[考慮する]となっていることを確認します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

### 6. [発生条件]

- ・ [領域]から[wall\_heat]を選択して、熱・煙・乱流・質量をクリックします。[発熱・発煙・乱流生成・質量発生条件]ダイアログにて、[総発熱量]に[25 W]と入力し、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[panel\_PCB]を選択して、熱・煙・乱流・質量をクリックします。[発熱・発煙・乱流生成・質量発生条件]ダイアログにて、[総発熱量]に[10 W]と入力し、OKをクリックします。

### 7. [出力条件]

- ・ リストから[チェック出力]を選択します。[MAT番号ごとの温度]にて[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に[1]を入力します。

### 8. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA16-1]と入力します。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA16-1.oct を読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[inlet] [wall_chas]	[0.0009]	[1.1]	[2]
[wall_fin] [wall_PCB] [wall_base]	[0.0005]	[1.1]	[2]

- ・ [wall\_fin]と[wall\_PCB]はつながりを保持する面領域として設定します。詳しくは特記事項 体積メッシュ作成時の注意点をご参照ください。

- 解析実行

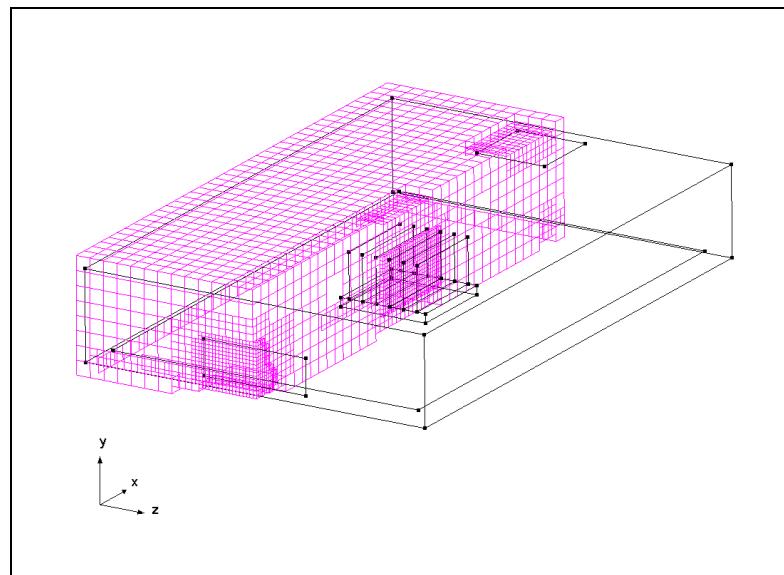
SCTsolverで解析を実行します。

- 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約5分
  - 計算サイクル数  
約230サイクル
- \* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz )

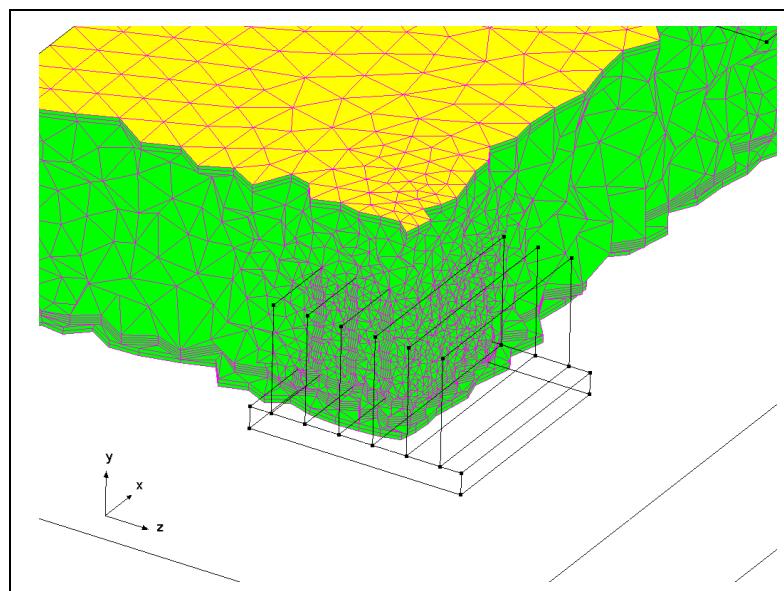
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.001[m] ~ 0.008[m]

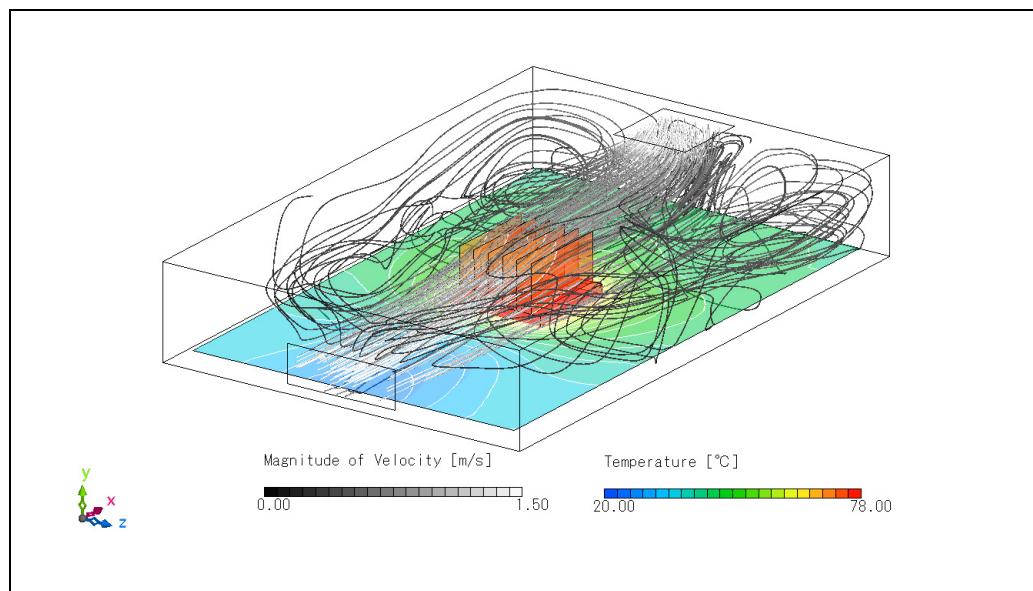
- メッシュ図



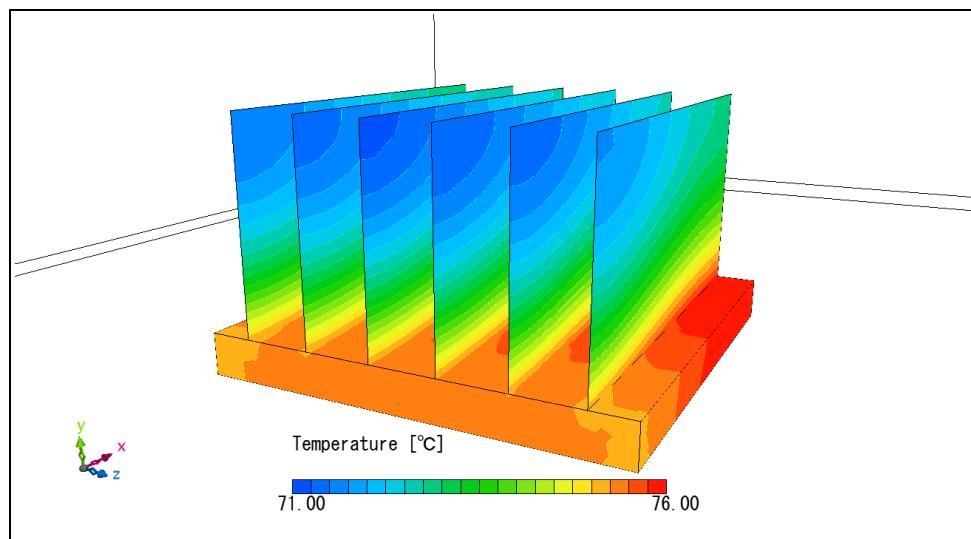
要素数 : 220,368

## 解析結果

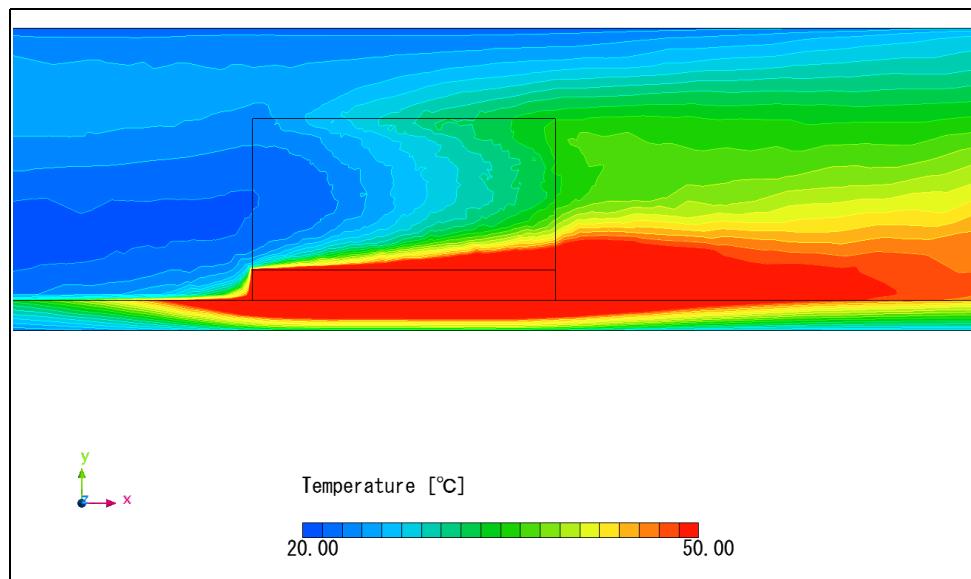
- 筐体内的表面温度分布と流れの様子



- 放熱フィン表面温度分布



- 空気温度コンター図( $Z=0$ )



---

## 機能17 空力解析

---

---

## 機能説明

- 物体周りの流れを解析することにより、物体の抗力係数( $C_D$ 値)や揚力係数( $C_L$ 値)、表面圧力係数( $C_p$ )分布などの情報(空力特性)を得ることができます。

## 注意事項

- 精度の良い結果を得るためにには、乱流モデルや解析領域の広さ、境界条件、計算格子の大きさを適切に選択する必要があります。
- 流れの中にある物体の抗力係数と揚力係数を得るには、Lファイルへの出力指定が必要です。

## 結果として出力されるもの

### - 計算時メッセージ

- SCTpreにて、[条件ウィザード]-[出力条件]-[抗力・揚力]で出力指定した場合、面領域の $C_D$ 値や $C_L$ 値がOutputされます。詳しくは、ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 3.1 (37)抗力・揚力を参照してください。

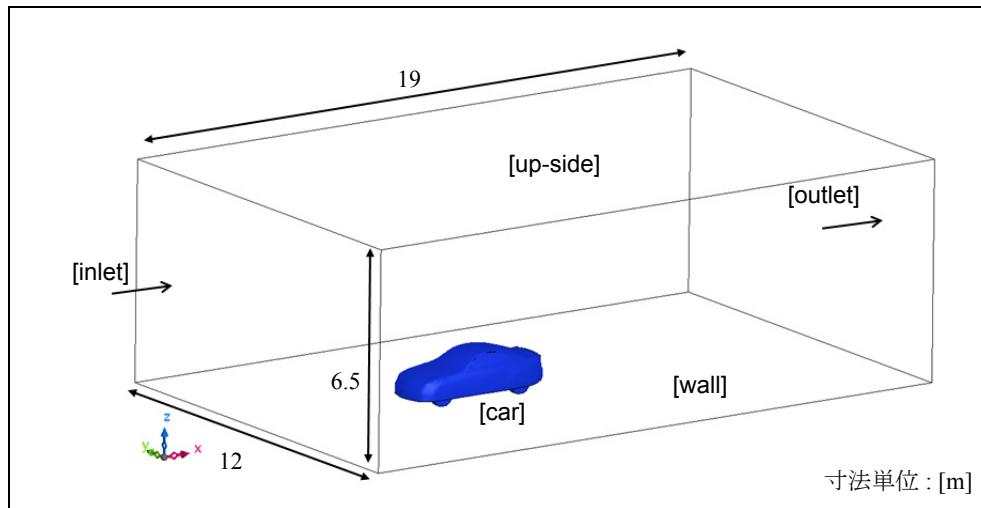
## 関連コマンド

- CDCL : 面の抗力係数・揚力係数の出力

## 例題17.1 空力解析

簡単な車体モデルを使用して、抗力係数( $C_D$ 値)、揚力係数( $C_L$ 値)の算出法を紹介します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

空気が左より、速度 $10[\text{m/s}]$ で流入します。この流入方向にX軸をとります。車体はボディーとタイヤからできています。右端の境界は基準圧力 $0[\text{Pa}]$ とします。鉛直方向にZ軸方向をとります。車体の $C_D$ 値、 $C_L$ 値をLファイルに出力します。この例題では、定常解への緩和係数依存を排除した修正SIMPLEC法を用います。

#### 注意事項

上面、側面の境界は解放空間を模擬する場合はフリースリップのほかに、自然流入流出や圧力規定、風洞試験の場合はノースリップも考えられます。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 10[m/s]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [car] [wall] : 静止壁

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

### - その他

- 乱流モデル  
標準 k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 500[サイクル]  
定常判定値 :  $10^{-5}$

## 特記事項

### - 抗力係数と揚力係数の出力設定

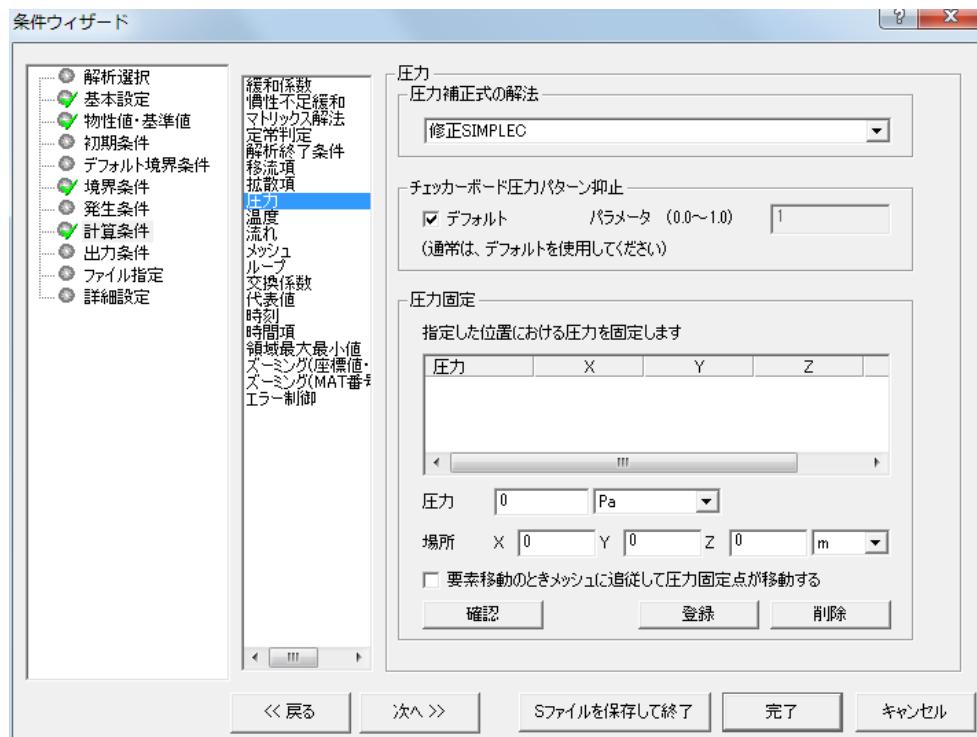
- [car]の抗力係数と揚力係数をLファイルに出力します。
- [条件ウィザード] - [出力条件] - [抗力・揚力]で新規をクリックし、[抗力・揚力出力条件のアイテム]ダイアログへ以下の条件を入力します。
  - [対象となる領域] : [car]
  - [出力座標] : [X軸]
  - [開始座標] : [0 m]
  - [終了座標] : [4.5 m]
  - [区間間隔] : [5.0 m]
  - [軸方向] - [抗力] : [1,0,0]  
[揚力] : [0,0,1]
  - [代表流速] : [10 m/s]
  - [前面投影面積] : [1.87871433998269 m<sup>2</sup>/s]



- 一定区間毎の $C_D$ 値・ $C_L$ 値を出力する事も可能ですが、本例題では[car]全体の値のみを出力するため、[区間間隔]には出力区間[4.5 m]よりも大きな値を入力します。
- 前面投影面積は [...] ボタンをクリックして算出できます。

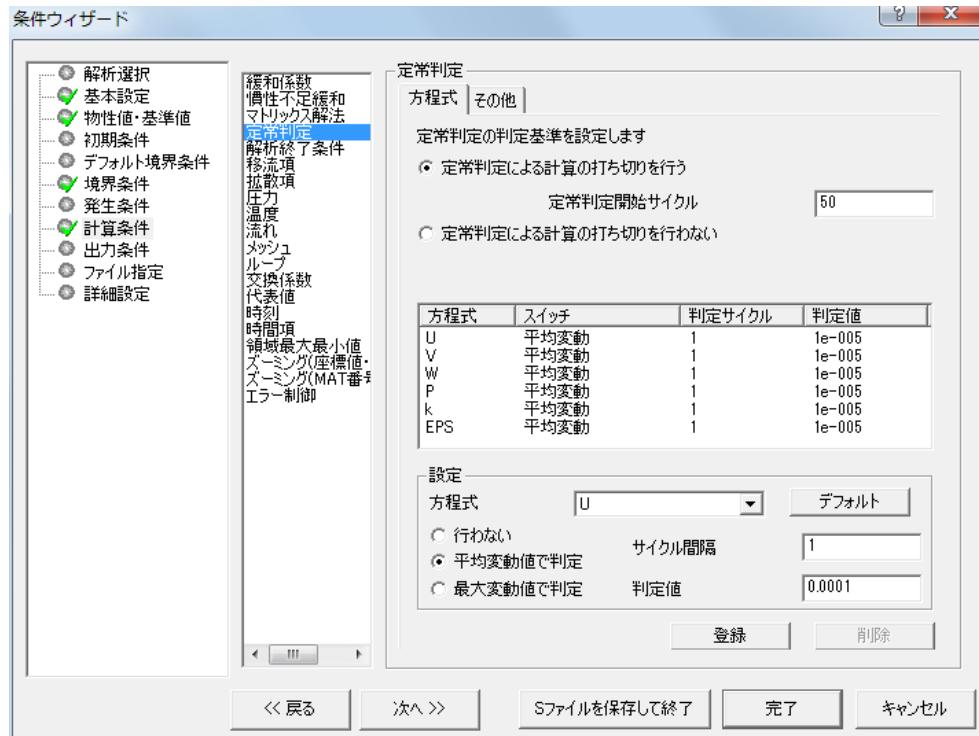
### - 圧力補正法の選択

- ここでは、圧力補正法として修正SIMPLECを選択します。
- [条件ウィザード] - [計算条件] - [圧力]の[圧力補正式の解法]で、[修正SIMPLEC]を選択します。



### - 定常判定値の設定

- ここでは定常判定値をデフォルトの $10^{-4}$ から $10^{-5}$ に変更します。
- [条件ウィザード] - [計算条件] - [定常判定]の[方程式]タブにて[方程式]に[U]を選択し、[判定値]に[1e-005]と入力して登録をクリックします。
- 同様の手順で[V],[W],[P],[k],[EPS]全ての[判定値]に[1e-005]を登録します。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA17-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [500]

#### 2. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]に[10 m/s]と入力して、OKをクリックします。
- [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[car],[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 3. [計算条件]

- 特記事項 圧力補正法の選択を参照してください。
- 特記事項 定常判定値の設定を参照してください

#### 4. [出力条件]

- 特記事項 抗力係数と揚力係数の出力設定を参照してください。

#### 5. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA17-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA17-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[car]	[0.005]	[1.1]	[3]
[wall]	自動※	[1.1]	[3]

※[厚みをオクタントサイズから自動で求める]をON

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

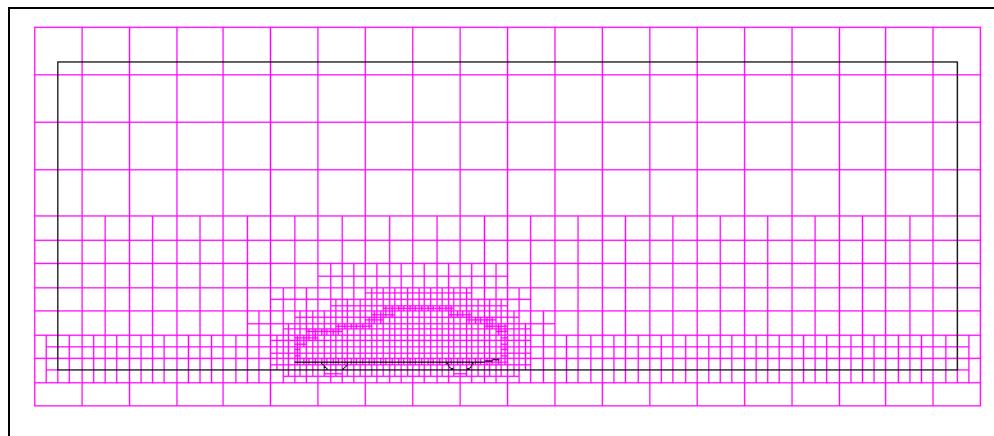
- SCTsolverの実行時間  
約3分

- 計算サイクル数  
約260サイクル

\* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

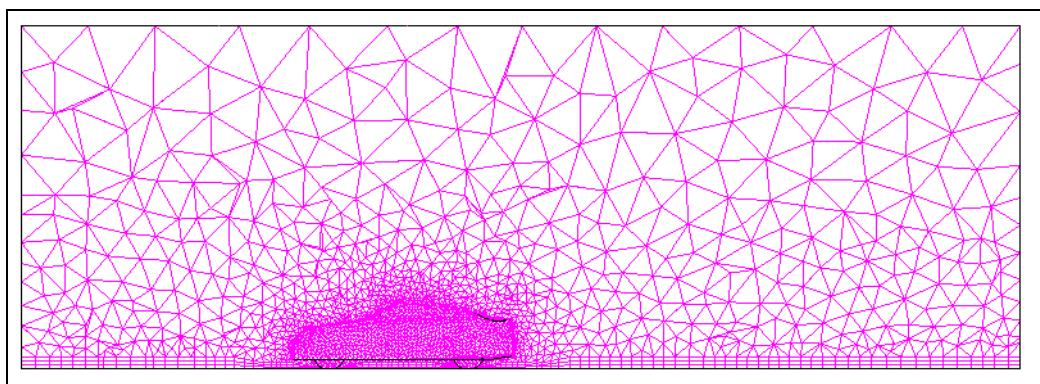
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.0625[m]~1[m]

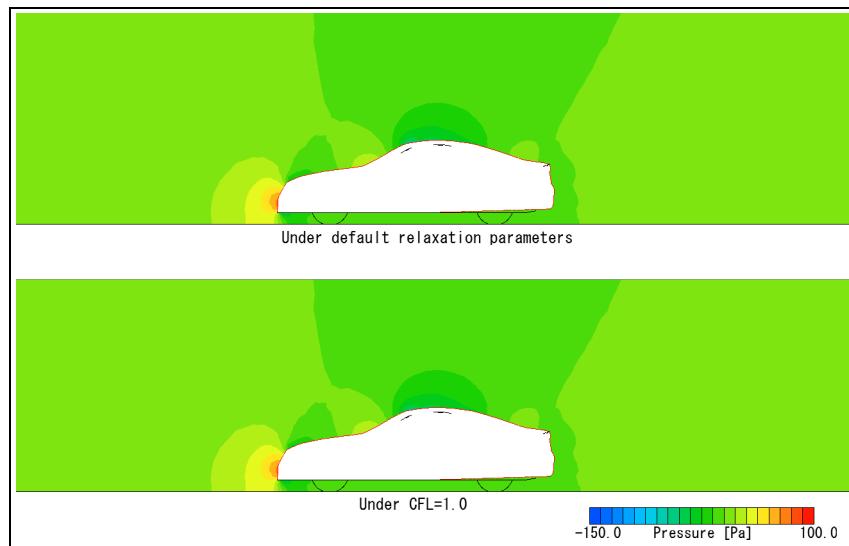
- メッシュ図



要素数 : 137,563

## 解析結果

- 圧力分布図



上図のうち上に示す図がデフォルトの緩和係数を使用した結果です。ここで、U, V, Wの緩和係数は0.9、kおよび $\varepsilon$ は0.6です。U, V, Wの慣性不足緩和はクーラン数で15.0、k,  $\varepsilon$ は0.0です。下に示す図が全ての変数の緩和係数を1.0、慣性不足緩和係数をクーラン数で1.0と変更した結果です(この設定ファイルは、exA17-1a.sにあります)。圧力分布が緩和係数に依存していないことがわかります。

- $C_D$ 値,  $C_L$ 値  
 $F_x$ を、車体に働く力のX方向成分、 $F_z$ をZ方向成分とします。このとき、 $C_D$ 値,  $C_L$ 値は次式で定義されます。  

$$C_D = (F_x) / (0.5 \rho u^2 A)$$

$$C_L = (F_z) / (0.5 \rho u^2 A)$$
 ここで、 $\rho$ は密度、 $u$ は主流速度です。Aは車体のYZ平面への投影断面積を表します。  
 $C_D$ 値,  $C_L$ 値はLファイルに出力されています。最終サイクルでの結果は次のようになります。  
 $C_D = 0.31, C_L = 0.23$ となります。

==== CDCL ON SURFACES ===							
LRGN [car]							
START	END	AREA	....	DRAG	LIFT	CD	CL
0	4.5	22.3156	....	35.4015	26.2642	0.31249	0.231839

---

## 機能18 定常ALE

---

---

## 機能説明

- 移動物体の解析ではALEでメッシュを動かすのが一般的ですが、一定の角速度 $\omega$ で回転するファンなどではメッシュを固定したままの解析が可能です。解析領域を回転領域とその周囲の静止領域に分け、回転領域では回転座標系で表現した式を解けばメッシュの移動は不要です。その場合、回転系の速度( $u, v, w$ )に $\omega \times r$ (=角速度ベクトル×節点の動径ベクトル)を足して静止系の速度( $U, V, W$ )に接続します。また、静止系へ変換する代りに最初から回転座標系の式を静止系の速度( $U, V, W$ )で表して( $U, V, W$ )のまま計算する事も可能です。この場合、変換した式はALEに似た形になりますが、通常のALEとは見かけの力を考慮する点が違います。**SCRYU/Tetra**では( $u, v, w$ )を解く代りにこの項を追加したALEを用いてメッシュ固定のまま回転場を求めます。

## 注意事項

- 定常解析のため、要素は移動しません。
- 設定方法は回転移動のALEを設定して定常計算するだけです。
- 静止領域は軸対称にします。例えば静止領域に邪魔板があると回転領域の羽根と邪魔板の位置関係で結果が変わります。また、静止領域を無くして全体を回転させる事も可能ですが、この場合は外壁付近の大きな数値粘性が精度を悪化させます。この数値粘性は回転速度によるものです。

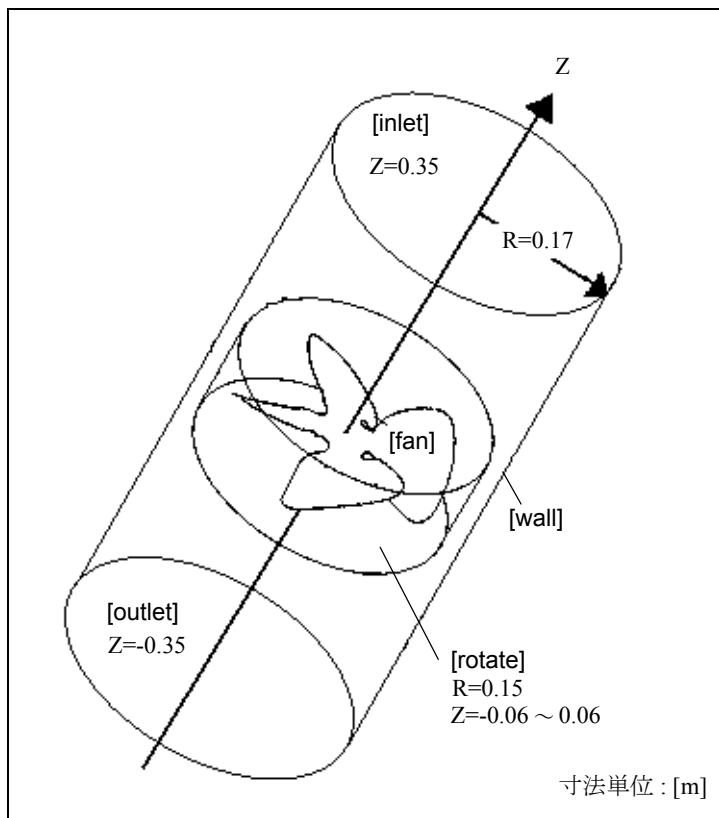
## 関連コマンド

- ALE0 : 要素の移動速度を定義する

## 例題18.1 定常ALE機能によるファン周りの流体解析

定常解析で要素移動を用いることを定常ALEと呼びます。この機能では、メッシュは移動させず、方程式に移動の効果を与えることで移動の様子を再現します。  
定常ALEは、回転体の軸について流れ場が軸対称となる解析に利用することができます。  
本例題では、円筒の中でファンが回っていると仮定した解析を行います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性粘性乱流

半径0.17[m]の筒の中でファンが回っています。入口[inlet]は基準圧力0[Pa]です。一方、出口では、一定流量を仮定します。ファンの回転数が1,500[rpm]となる場合の、ファン周囲の流れを解析します。解析を簡単にするため、回転座標系で定常であるとする仮定から導かれる外力を体積領域[rotate]に与え、メッシュの移動は行いません。(定常ALE機能)。定常ALE機能を使用する場合、全領域で連続な格子を用いますので、[rotate]の外表面に、不連続接合を使用する必要はありません。

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k-ε方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 要素移動 : 体積領域[rotate]の回転を考慮します。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 流出口 [outlet] : 流量規定 -0.4[kg/s]
- 壁面 [wall] : 静止壁
- [fan] : メッシュの速度を壁面の速度とする

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

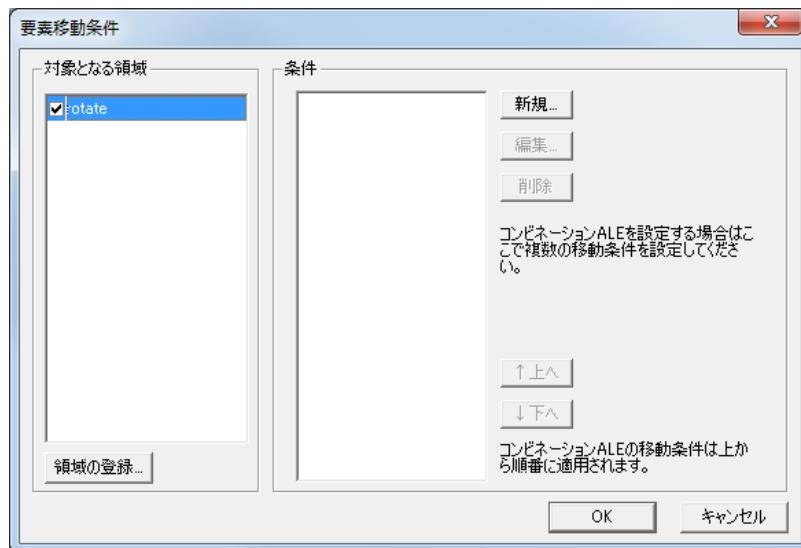
### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 要素移動  
[rotate] : 移動のタイプ 回転移動  
角速度 1500[rpm](157.08[rad/s])

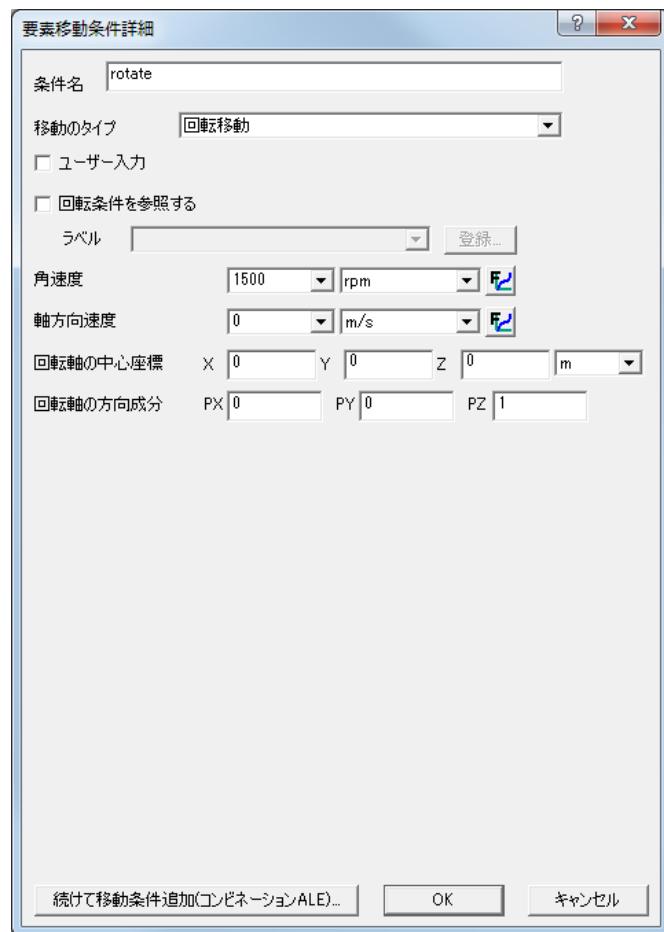
## 特記事項

### - 要素移動条件の設定方法

- ・ [条件ウィザード] - [要素移動]において[要素移動]の項目から新規をクリックします。
- ・ [対象となる領域]で[rotate]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。



- ・ [要素移動条件詳細]ダイアログにて、[移動タイプ]で[回転移動]を選択し、[角速度]に[1500][rpm](157.08[rad/s])、[回転軸の方向成分(PX, PY, PZ)]に[(0, 0, 1)]と入力します。最後にOKをクリックします。また、[要素移動条件]ダイアログも閉じます。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA18-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [要素移動]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [1000]

#### 3. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]に[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[outlet]を選択し、流量規定をクリックします。[流量規定]ダイアログにて、[流入質量流量]に[-0.4 kg/s]と入力し、OKをクリックします。
- [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[fan]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]で[メッシュの速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。

#### 4. [要素移動]

- 特記事項 要素移動条件の設定方法を参照してください。

#### 5. [出力条件]

- [領域平均値・総量]を選択し、新規をクリックします。[領域平均・領域総量のアイテム]ダイアログで[対象となる領域]に[面領域]を選択し、[outlet]をONにします。続いて、[変数]に[圧力]、[重み]に[面積]を選択し、OKをクリックします。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA18-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA18-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[fan]	[0.0008]	[1]	[2]
[wall]	[0.003]	[1]	[2]

- 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

- 計算コストの目安

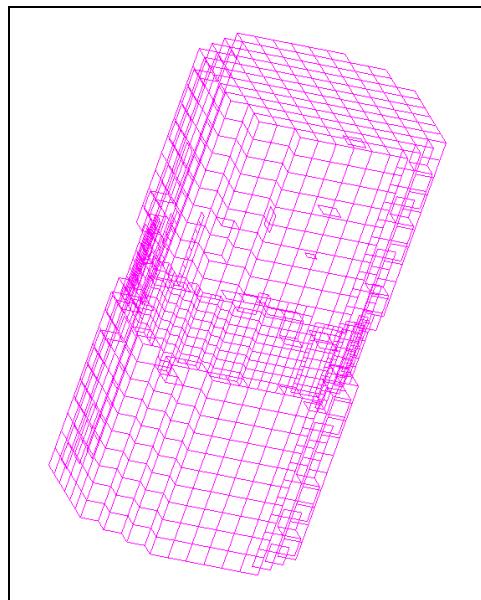
- SCTsolverの実行時間  
約1分40秒

- 計算サイクル数  
約100サイクル

\* 2core 使用時( Intel Xeon X5680 3.33GHz )

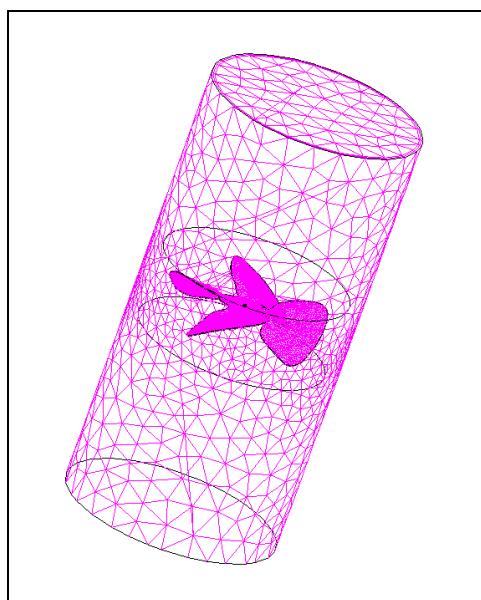
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.00375[m]~0.03[m]

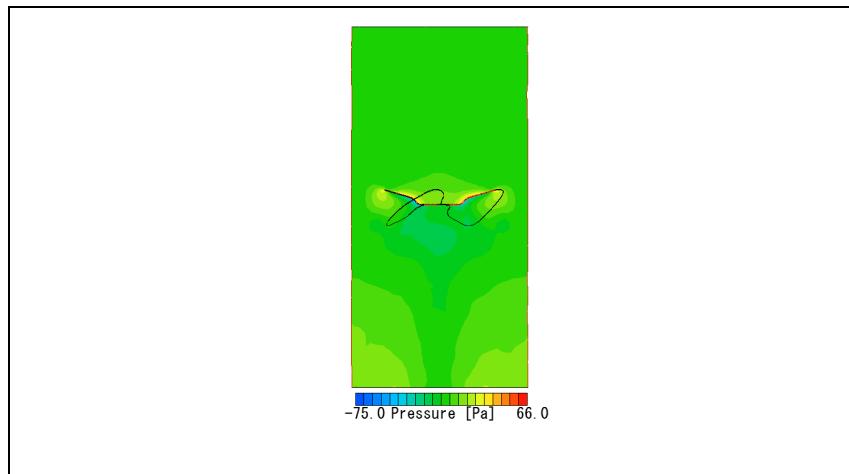
- メッシュ図



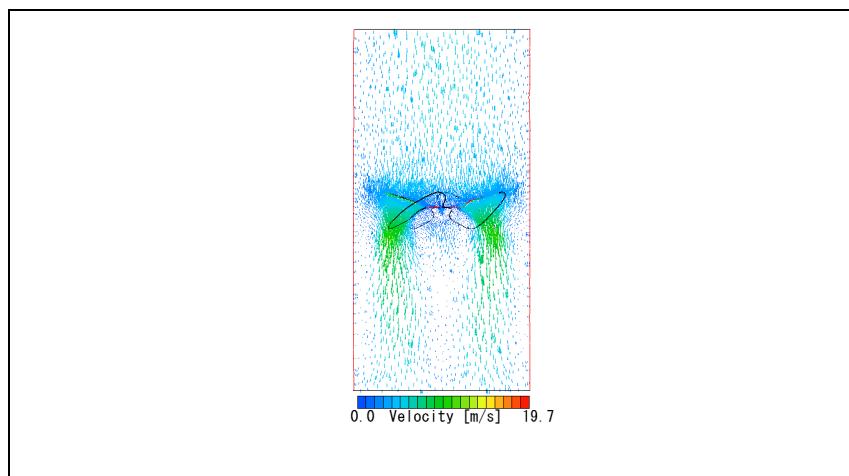
要素数 : 250,368

## 解析結果

- 圧力分布図



- 速度分布図



---

## 機能19 不連續接合を用いた要素移動解析

---

---

## 機能説明

- 不連続接合機能は、要素が不連続に結合している状態で計算を行う機能です。
- この機能を用いると、要素移動を行う場合に移動領域と静止領域の要素を接合することができます。そのため、ファンや攪拌槽などの問題を取り扱うことができます。
- その他の使い方としては以下のようないがあります。変化の激しい物体近傍メッシュを細かく区分し、そうでないところは荒く区分し、その間を不連続接合するという方法です。

## 注意事項

- 不連続接合機能は、以下の機能との併用はできません。

自由表面(改良MAC法\*), 凝固融解解析

\* 自由表面(VOF法)は可

- 不連続面に二重点の様な重なる節点(多重点)があると計算が出来ません。多重点はギャップ要素やパネルの挿入で発生します。例えば異なるMATの表面を纏めてひとつの領域にした場合、MAT間に挿入されるギャップ要素が面領域に二重点を生成するのでこの領域は不可です。反対に敷き詰めた伝熱パネルの表面から成る面領域は多重点を持たないので問題ありません。
- 原則としては、不連続面にプリズム要素を挿入する必要はありません。
- 不連続面にて従属側と独立側でメッシュサイズが大きく異なることが推奨されます。

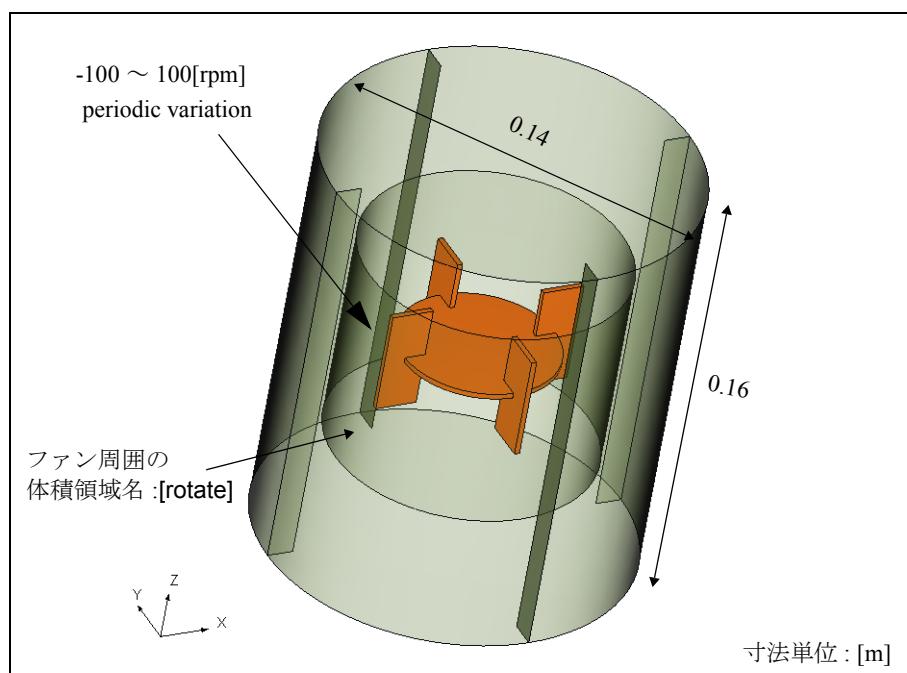
## 関連コマンド

- TECO : 不連続接合面の定義

## 例題19.1 変数テーブルによる攪拌槽攪拌機の回転数制御

攪拌槽の回転数を変数テーブルで指定し、正転、反転が周期的に切り替わるような回転を模擬します。解析するモデルはユーザーズガイド操作編で用いられているモデルを使います。

### 解析モデル



### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k-ε方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 要素移動 : [rotate]の回転移動を考慮します。
- 不連続接合 : [rotate]の要素結合を不連続に扱います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 壁面 [outer\_wall] : 静止壁  
[fan] : メッシュの速度を壁面の速度とする

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

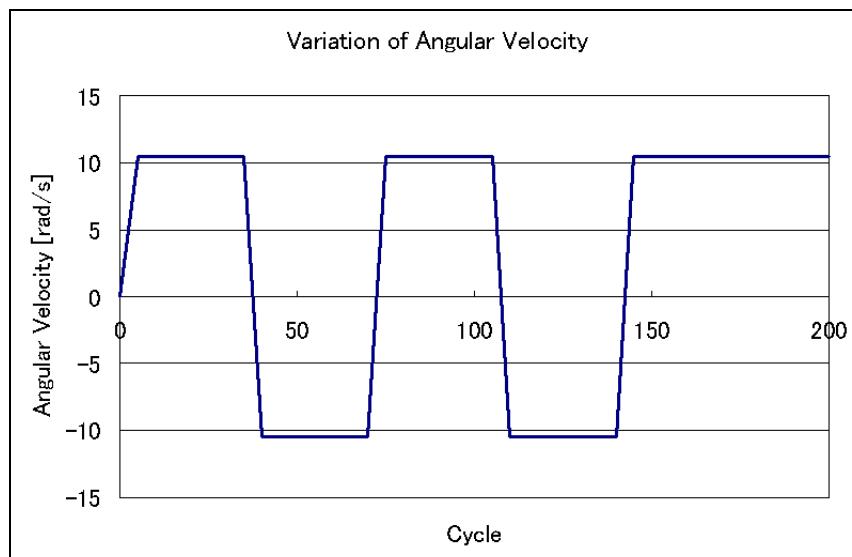
### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-εモデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル 200[サイクル]  
時間間隔 0.005[s]
- 要素移動  
[rotate] : 移動のタイプ 回転移動  
              角速度 变数テーブルで指定  
              回転軸の中心座標 (X, Y, Z)=(0, 0, 0)[m]  
              回転軸の方向成分 (PX, PY, PZ)=(0, 0, 1)
- 不連続接合  
[out\_up], [inner\_up] : 平面タイプ  
[out\_down], [inner\_down] : 平面タイプ  
[out\_side], [inner\_side] : 円筒面タイプ  
                          円筒面の軸中心座標 (X, Y, Z)=(0, 0, 0)[m]  
                          円筒面の軸の方向 (DX, DY, DZ)=(0, 0, 1)
- 圧力固定  
(X, Y, Z)=(0, 0, 0.079)[m] : 圧力値0.0[Pa]
- 時間項  
2次精度の陰解法
- 出力条件  
圧力モーメント : [fan]  
粘性応力モーメント : [fan]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔 1[サイクル])

## 特記事項

### - 変数テーブル

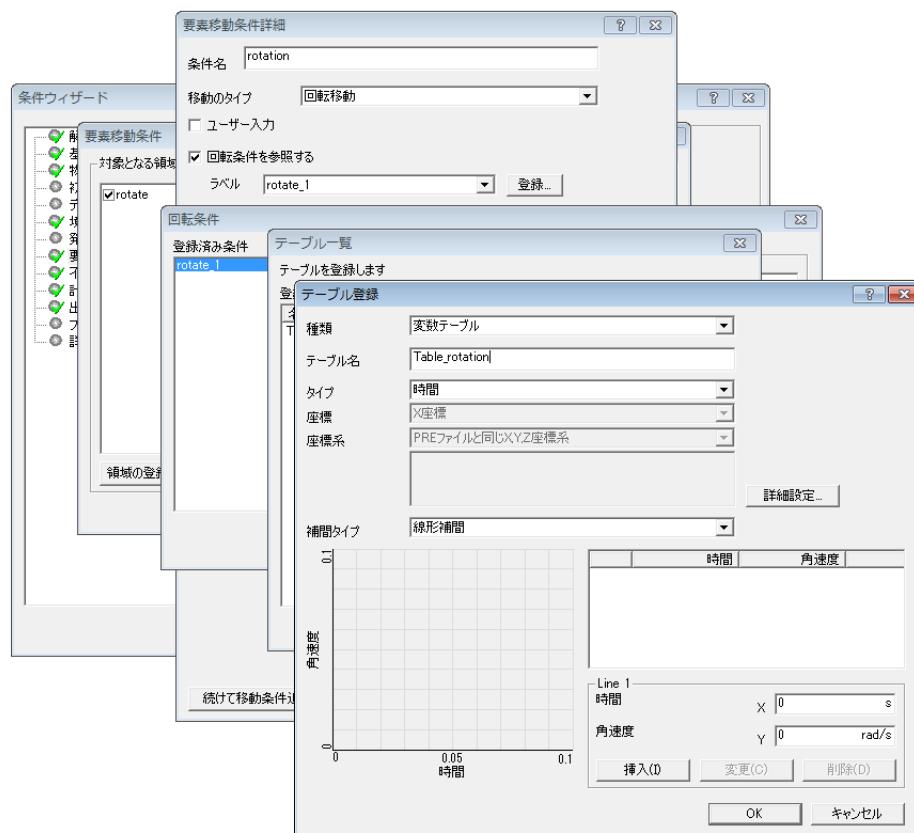
- 本解析では要素移動条件の角速度を変数テーブル機能を用いて設定します。変数テーブル機能は、解析サイクルまたは解析時間に沿って変化させたい変数(流入流速や、ここで扱うように回転体の角速度など)の変化をあらかじめ変数テーブルとして登録しておき、解析時にその変化を解析に反映させる機能です。変数テーブルの設定方法には、変数テーブルファイル(vtファイル)という外部ファイルを使用する方法と、SCTpreのダイアログで直接作成する方法の二種類があります。本例題ではSCTpreのダイアログで直接作成する方法を使用して変数テーブルを作成し、角速度にサイクルによって変化する下図のような変化を与えます。



横軸が解析サイクル、縦軸が角速度[rad/s]です。回転数の正負は正転、反転を示しています(なお、変数テーブルが必要となる解析は非定常解析となります)。

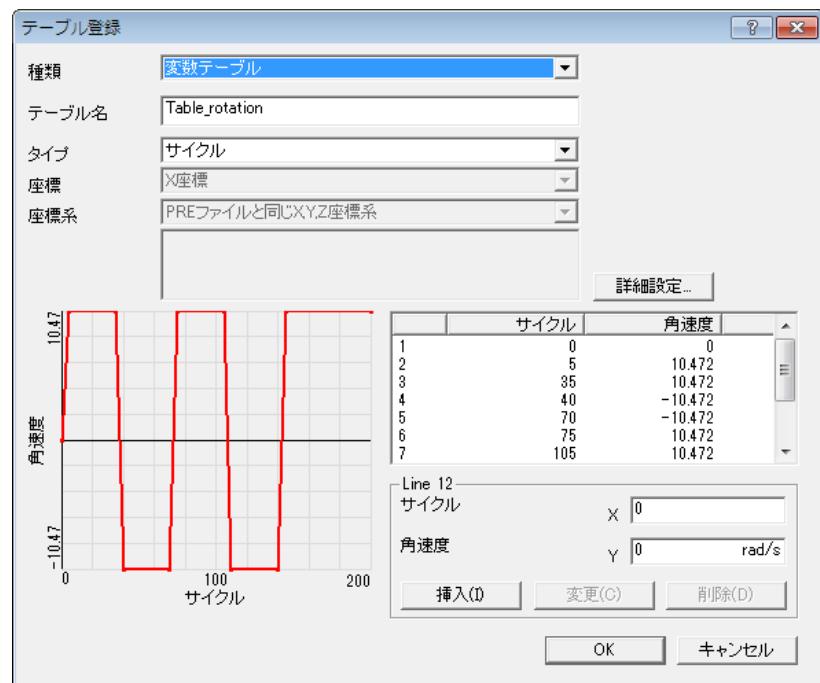
### - 変数テーブルを用いた要素移動条件の設定方法

- ・ [条件ウィザード] - [要素移動]において新規をクリックして、条件を新規作成します。
  - ・ [対象となる領域]で[rotate]をONにして新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。
  - ・ [要素移動条件詳細]ダイアログにて、[移動のタイプ]で[回転移動]を選択します。[回転条件を参照する]にチェックを入れ、[登録]ボタンを押し、[回転条件]ダイアログを開きます。[回転軸の中心座標]に[0,0,0m]、[回転軸の方向成分]に[0,0,1]と入力します。
  - ・ 続いて、[角速度]のボタンをクリックして変数テーブルの設定を行います。
- [テーブル一覧]ダイアログで登録をクリックすると[テーブル登録]ダイアログが表示されます。

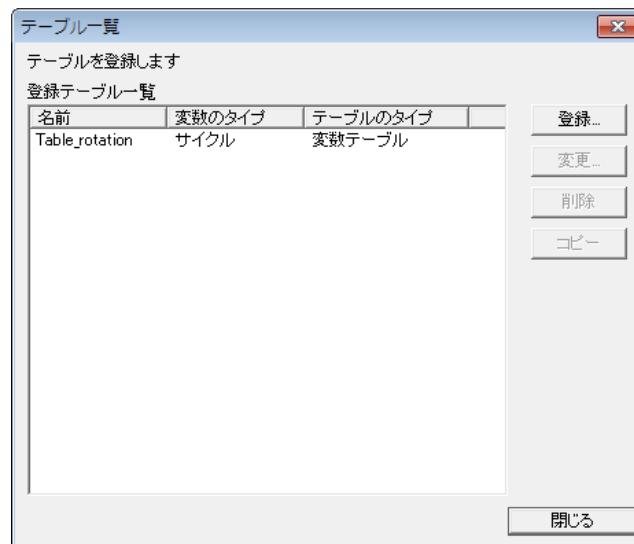


- ・ [種類]に[変数テーブル]、[タイプ]に[サイクル]を選択し、[サイクル]と[角速度]にそれぞれ以下の内容を入力して挿入をクリックし、変数テーブルを作成します。

	サイクル	角速度
1	0	0
2	5	10.472
3	35	10.472
4	40	-10.472
5	70	-10.472
6	75	10.472
7	105	10.472
8	110	-10.472
9	140	-10.472
10	145	10.472
11	200	10.472



- さらに、[詳細設定]をクリックして、[値のLファイルへの出力]を[出力する]に設定し、[最大出力回数]に[1]を入力して、OKをクリックします。
- 以上の設定でOKをクリックすると、[テーブル一覧]ダイアログに作成した変数テーブルが登録されます。



- 閉じるをクリックして[角速度]に登録した変数テーブルが選択されていることを確認します。変数テーブルによる[角速度]の設定は完了となり、[要素移動条件詳細]ダイアログは次のようになります。



- 以上の設定が完了したら、OKをクリックして、[要素移動条件詳細]ダイアログを閉じます。続けて、[要素移動条件]ダイアログもOKをクリックして閉じます。

- Sファイル

Sファイルの回転数定義条件の部分は以下のようになります。回転数を示す数値の代わりに設定した変数テーブル名が記されています。

```
ALE0
%CNAM rotation
2
"@S:Table_rotation" 0 0 0
0 0 0 1
rotate
/
/
```

また、登録した変数テーブルの内容は、Sファイルに以下のように記されます。

```
CMDS
Table_rotation
TTYP
CYCL
OUTP
1
VTBL
    0      0
    5   10.472
   35   10.472
   40  -10.472
   70  -10.472
   75   10.472
  105   10.472
  110  -10.472
  140  -10.472
  145   10.472
  200   10.472
/
ENDT
CMDE
```

## 解析手順

### ・ 従属領域([inner])

#### - モデル

まず、従属領域のメッシュを作成します。SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA19-1\_inner.mdlを読み込みます。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA19-1\_inner.octを読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、従属領域のメッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[fan]	[0.001]	[1]	[2]

### ・ 独立領域([outer])

#### - モデル

続けて、独立領域のメッシュを作成します。[ファイル] - [新規]をクリックし、[確認]ダイアログで「はい」をクリックします。次に、[ファイル] - [開く]より exA19-1\_outer.mdlを読み込みます。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA19-1\_outer.octを読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、独立領域のメッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[outer_wall]	[0.002]	[1]	[2]

次に、exA19-1\_outer.preが読み込まれた状態で、[ファイル] - [開く]より 従属領域のメッシュ exA19-1\_inner.preを読み込みます。[選択したファイルとマージ]を選択してOKをクリックします。

以上でメッシュの作成は完了です。マージしたファイルを[ファイル] - [保存]より exA19-1.preとして保存します。

#### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

##### 1. [解析選択]

- ・ [要素移動], [不連続接合]を選択します。

##### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[非定常解析]を選択します。
- ・ [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]を[0.005 s]とします。

### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

### 4. [境界条件]

- [領域]から[outer\_wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにして、[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。
- [領域]から[fan]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[メッシュの速度を壁面の速度とする]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

### 5. [要素移動]

- 特記事項 変数テーブルを用いた要素移動条件の設定方法を参照してください。
- [要素移動の影響]を選択して、[要素移動の影響を排除する領域]で[inner\_side]をONにします。

### 6. [不連続接合]

- [領域(独立)]に[outer\_up], [領域(従属)]に[inner\_up]を選択し、[不連続面のタイプ]として[平面]を選択して、登録をクリックします。
- [領域(独立)]に[outer\_down], [領域(従属)]に[inner\_down]を選択し、[不連続面のタイプ]として[平面]を選択して、登録をクリックします。
- [領域(独立)]に[outer\_side], [領域(従属)]に[inner\_side]を選択し、[不連続面のタイプ]として[円筒面]を選択して、[回転条件を参照する]にチェックを入れ、[ラベル]から特記事項で登録した回転条件を選択します。そして登録をクリックします。

### 7. [計算条件]

- [圧力]を選択します。[圧力]に[0 Pa]が設定されていることを確認し、[場所]の[Z]に[0.079 m]を入力して、登録をクリックします。
- [時間項]を選択し、デフォルトのチェックを外して[2次精度の陰解法]を選択します。

### 8. [出力条件]

- [圧力モーメント]を選択し、新規をクリックして[圧力モーメント]ダイアログを開きます。[出力する領域群]で[fan]を選択して追加をクリックした後、OKでダイアログを閉じます。
- 同様に、[粘性応力モーメント]を選択し、新規をクリックして[粘性応力モーメント]ダイアログを開きます。[出力する領域群]で[fan]を選択して追加をクリックした後、OKでダイアログを閉じます。
- [FLD(サイクル)]で[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。[サイクル間隔]を[1]とします。

### 9. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA19-1]と入力します。

#### - 解析実行

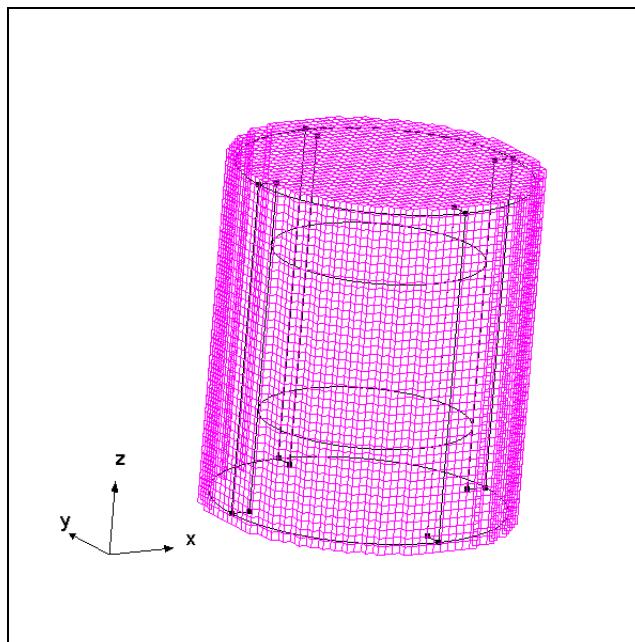
SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

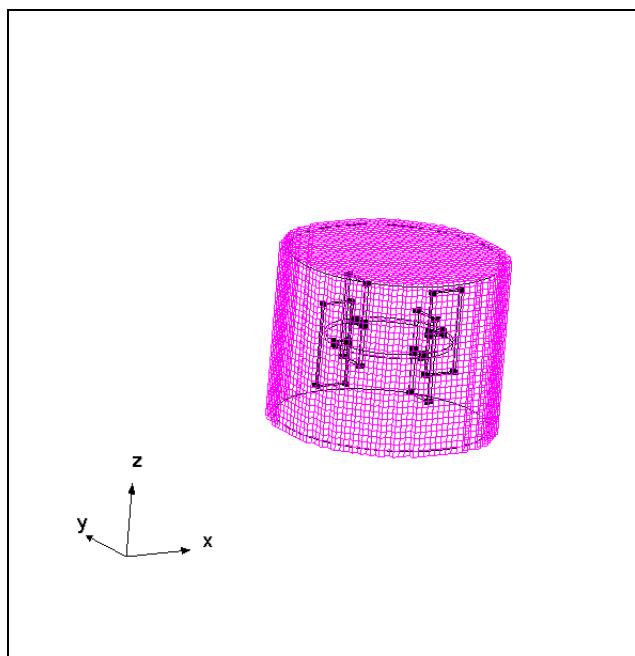
- SCTsolverの実行時間  
約4分30秒
  - 計算サイクル数  
200サイクル
- \* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析メッシュ

- 八分木図

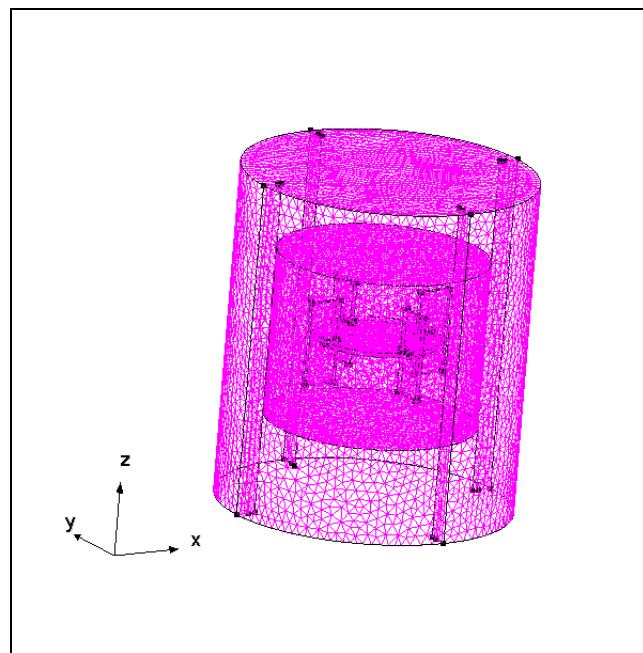


オクタントサイズ : 0.004[m]~0.008[m]



オクタントサイズ : 0.003[m]~0.006[m]

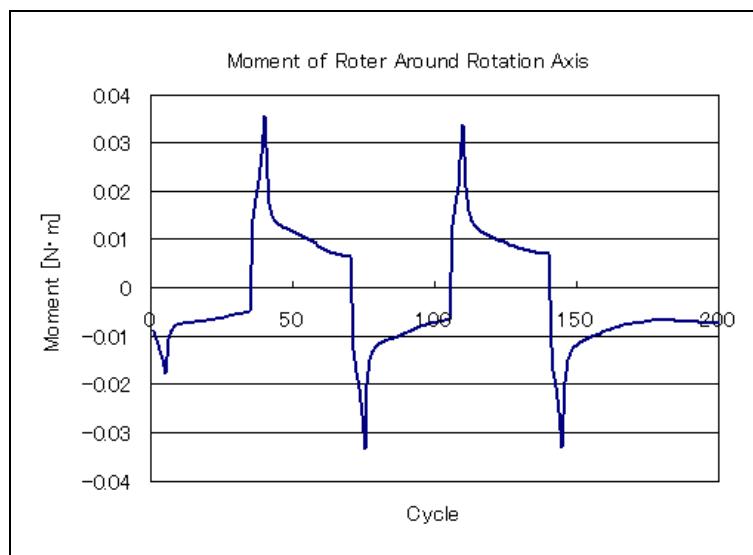
- メッシュ図



要素数 : 147,817

## 解析結果

- 攪拌翼にかかる回転軸周りのモーメント変移



---

## 機能20 重合格子を用いた要素移動解析

---

---

## 機能説明

- 重合格子機能は、不連続接合では扱うことができない複雑な物体移動や、伸縮メッシュでは扱う事のできない物体同士の接触を伴う解析を行うことができます。重合格子では、独立領域と従属領域のメッシュを重ねて計算を行います。従属領域には移動メッシュの条件を設定することができますが、独立領域は常に静止している必要があります。

## 注意事項

- 計算が行われるのは独立領域に含まれる範囲です。独立領域の範囲に含まれない従属領域は解析領域外となります。
- 解析中、以下の部分は一時的に要素の物性番号(MAT番号)をゼロにして、解析領域外として扱います。
  - 独立領域のうち、従属領域と重なる部分
  - 従属領域のうち、独立領域と重ならない部分
  - 従属領域のうち、独立領域の固体要素と重なる部分
- 従属領域は内部に空洞(解析領域外)を持てません。従属領域に含まれる物体全てのMAT番号にはゼロ以外を指定し、適当な固体物性を与えることで、メッシュを作成する必要があります。
- 従属領域の外側境界と周囲の独立領域の要素は、補間により情報の受け渡しを行います。このため、従属領域の外側境界と周囲の独立領域のメッシュサイズは同等か、もしくは独立領域側をより密とすることを推奨します。
- 重合格子機能は、以下の機能との併用ができません。

自由表面(改良MAC法\*), 分散混相流, 密度ベースソルバー

\* 自由表面(VOF法)は可能

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [接続節点(重合格子) (@BNODE)] : 重合格子の境界領域

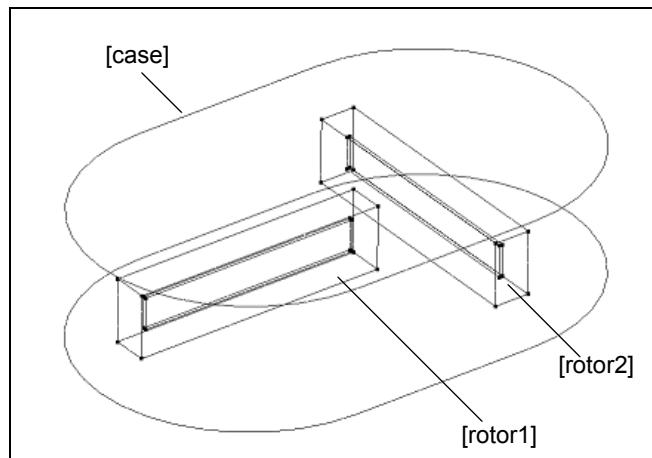
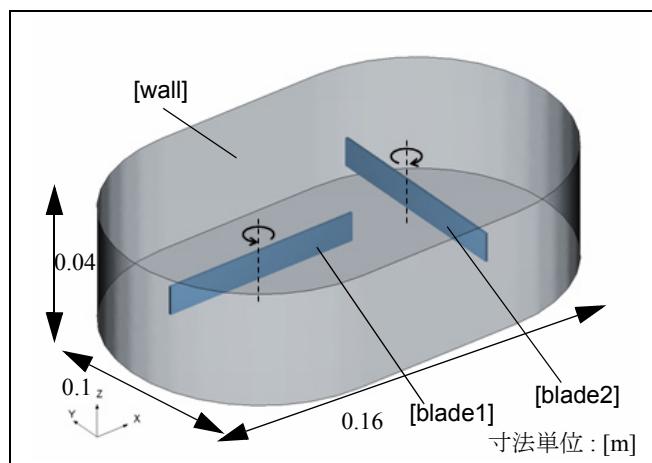
## 関連コマンド

- ALE0 : 要素移動速度の定義
- OSET : 重合格子の重合領域の対を定義
- OSTD : 重合格子の様々な既定値を変更

## 例題20.1 重合格子

逆向きに回転する2枚の板の周りの流れを解析します。それぞれの板の初期位置は90°ずれています。それぞれの板の回転範囲が一部重なります。それぞれの板の回転範囲が重なるために不連続接合では扱うことができませんが、重合格子を用いると解析することができます。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 要素移動 : 板の回転移動を考慮します。
- 重合格子 : 従属領域[rotor1], [rotor2]と独立領域[case]のメッシュを重ねて計算を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 鉄(Fe)  
物性値ライブラリより[純金属] - [鉄(Fe)]を使用します。

### - 境界条件

- 壁面 [wall] : 静止壁  
[blade1], [blade2] : メッシュの速度を壁面の速度とする

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

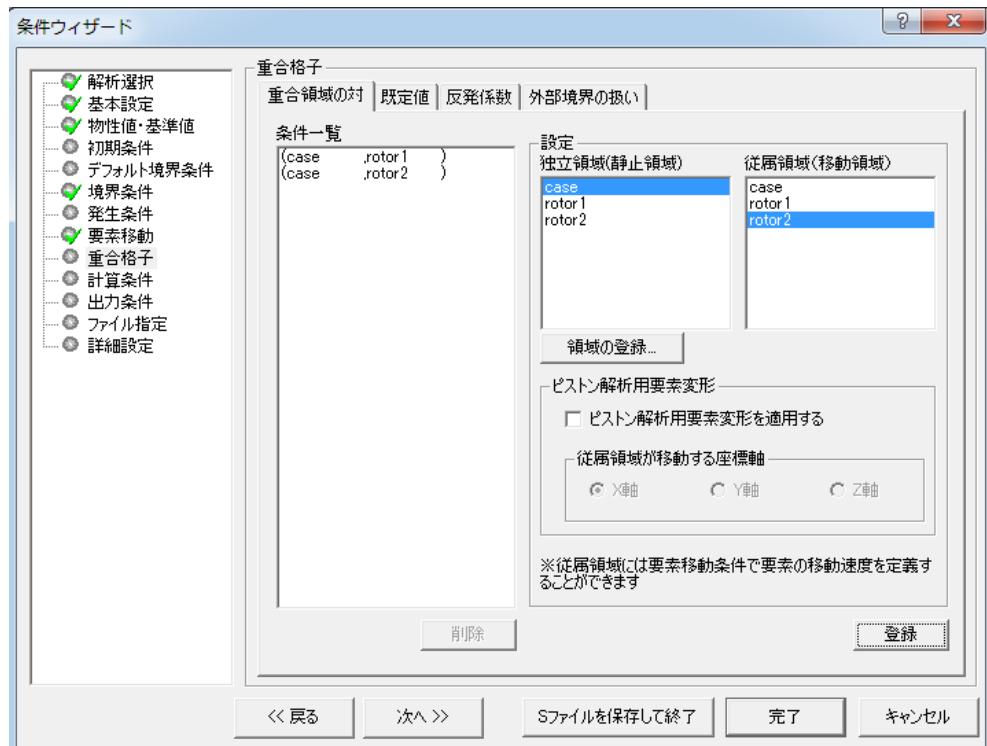
### - その他

- 乱流モデル  
標準k-εモデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル 60[サイクル]  
時間間隔 0.0025[s]
- 重合格子  
独立領域 従属領域  
[case] [rotor1]  
[case] [rotor2]
- 要素移動  
  - [rotor1] : 移動のタイプ 回転移動  
角速度 400[rpm]  
回転軸の中心座標 (X, Y, Z)=(-0.03, 0, 0)[m]  
回転軸の方向成分 (PX, PY, PZ)=(0, 0, 1)
  - [rotor2] : 移動のタイプ 回転移動  
角速度 -400[rpm]  
回転軸の中心座標 (X, Y, Z)=(0.03, 0, 0)[m]  
回転軸の方向成分 (PX, PY, PZ)=(0, 0, 1)
- 圧力固定 : 場所 (X, Y, Z)=(0, 0, 0.001)[m]  
圧力値 0[Pa]
- 時間項に対する精度 : 2次精度の陰解法
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔20[サイクル])  
初期場を出力する

## 特記事項

### - 重合格子の条件設定方法

- ・ [条件ウィザード] - [重合格子]にて独立領域(静止領域)と従属領域(移動領域)の対を登録する必要があります。
- ・ [条件ウィザード] - [重合格子]で[独立領域(静止領域)]に[case], [従属領域(移動領域)]に[rotor1]を選択し、登録をクリックします。
- ・ 続いて、[独立領域(静止領域)]に[case], [従属領域(移動領域)]に[rotor2]を選択し、登録をクリックします。



## 解析手順

### ・ 従属領域([rotor1], [rotor2])

#### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA20-1\_rotor1.mdlを読み込みます。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA20-1\_rotor1.octを読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、従属領域のメッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[blade1]	[0.0002]	[1]	[1]

exA20-1\_rotor2.preは、exA20-1\_rotor1.preをコピーし、座標変換(平行・回転移動)と登録領域名を変更して作成します。

- ・ [ファイル] - [開く]より exA20-1\_rotor1.preを読み込み、[編集] - [変換] - [座標変換]をクリックします。
- ・ [座標変換]ダイアログで[回転(角度)]タブを開き、[固定点1]の[(X, Y, Z)]に[(-0.03, 0, 0.015)], [固定点2]の[(X, Y, Z)]に[(-0.03, 0, 0.025)], [角度]に[90]を入力して、[対象]に[両方]を選択し、OKをクリックします。
- ・ 再度、[座標変換]ダイアログを立ち上げ、[平行移動]タブで[移動量]の[(X, Y, Z)]に[(0.06, 0, 0)]と入力し、[対象]に[両方]を選択し、OKをクリックします。
- ・ 次に、[選択] - [モデルモード]を選択し、[編集] - [領域の登録(モデル)]で[面領域]タブを開きます。[登録済み領域]で[rotor1]を選択し、名前の変更をクリックして [新しい領域名]に[rotor2]と入力し、OKをクリックします。同様に[面領域]タブの [登録済み領域]で[blade1]を選択し、名前の変更をクリックして [新しい領域名]に[blade2]と入力し、OKをクリックした後、[モデルの閉空間・領域]ダイアログを閉じます。
- ・ ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、上記の変更を行ったPREファイルを exA20-1\_rotor2.preとして保存します。

### ・ 独立領域([case])

#### - モデル

[ファイル] - [開く]より exA20-1\_case.mdlを読み込みます。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA20-1\_case.octを読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.0005]	[1]	[1]

- ・ [テトラメッシュパラメータ]の詳細をクリックし、[内部にヘキサメッシュを作成する]をONにしてください。
- ・ 次に、exA20-1\_case.preが読み込まれた状態で、[ファイル]-[開く]よりexA20-1\_rotor1.preを読み込み、[選択したファイルとマージ]を選択してOKをクリックします。続けて、同様にexA20-1\_rotor2.preも読み込んで、マージします。
- ・ ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、マージしたPREファイルをexA20-1.preとして保存します。

#### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

##### 1. [解析選択]

- ・ [要素移動], [重合格子]を選択します。

##### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [60]

- ・ [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]を[0.0025 s]とします。

##### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。
- ・ [物性値]タブにて、MAT[2]を選択します。続けて、[純金属] - [鉄(Fe)]を選択して適用をクリックします。

##### 4. [境界条件]

- ・ [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認し、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[blade1], [blade2]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]で[メッシュ速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。

##### 5. [要素移動]

- ・ [要素移動]を選択し、新規をクリックして、[要素移動条件]ダイアログを開きます。[対象となる領域]で[rotor1]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。
- ・ [要素移動条件詳細]ダイアログにて、[移動タイプ]に[回転移動]を選択し、[回転条件を参照する]をONにして登録をクリックします。
- ・ [回転条件]ダイアログにて、[角速度]に[400] [ rpm], [回転軸の中心座標(X, Y, Z)]に[(-0.03, 0, 0)m], [回転の方向成分(PX, PY, PZ)]に[(0, 0, 1)]を入力して登録をクリックし、閉じるでダイアログを閉じます。  
さらに[要素移動条件詳細]ダイアログと[要素移動条件]ダイアログもOKをクリックして閉じます。
- ・ 続いて、[要素移動]が選択された状態で、再度新規をクリックして、[要素移動条件]ダイアログを開きます。[対象となる領域]で[rotor2]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。
- ・ [要素移動条件詳細]ダイアログにて、[移動タイプ]に[回転移動]を選択し、[回転条件を参照する]をONにして登録をクリックします。

- [回転条件]ダイアログにて、[角速度]に[-400] [ rpm], [回転軸の中心座標(X, Y, Z)]に[(0.03, 0, 0)m], [回転の方向成分(PX, PY, PZ)]に[(0, 0, 1)]を入力して登録をクリックし、閉じるでダイアログを閉じます。  
さらに[要素移動条件詳細]ダイアログと[要素移動条件]ダイアログもOKをクリックして閉じます。

#### 6. [重合格子]

- 特記事項 重合格子の条件設定方法を参照してください。

#### 7. [計算条件]

- [圧力]を選択し、[圧力固定]にて[圧力]に[0 Pa], [場所]に[(0, 0, 0.001) m]と入力して、登録をクリックします。
- [時間項]を選択し、[デフォルト]をOFFにして[時間項に対する精度]で[2次精度の陰解法]を選択します。

#### 8. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]で[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。[サイクル間隔]を[20]とし、[初期場]について[出力する]をONにします。

#### 9. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA20-1]と入力します。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

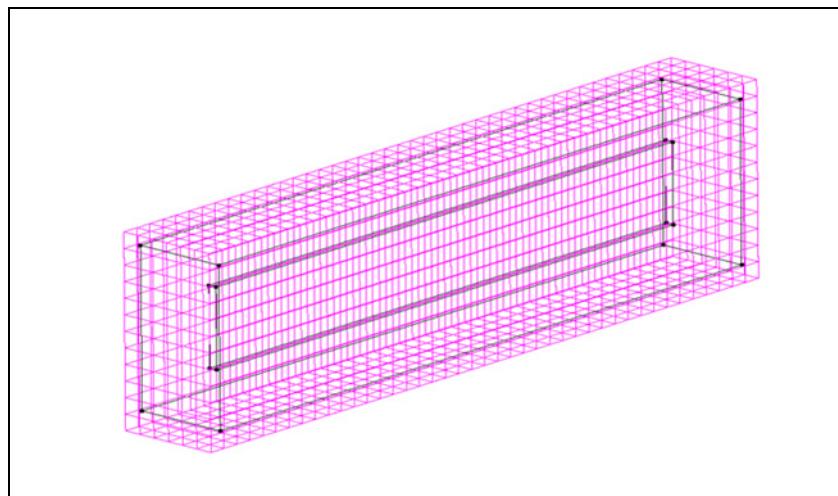
### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約5分40秒
- 計算サイクル数  
60サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

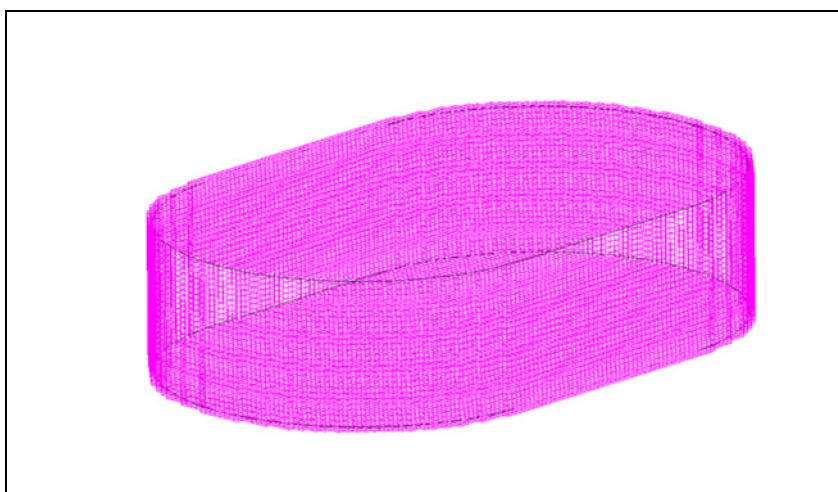
## 解析メッシュ

- 八分木図



從属領域[rotor1]

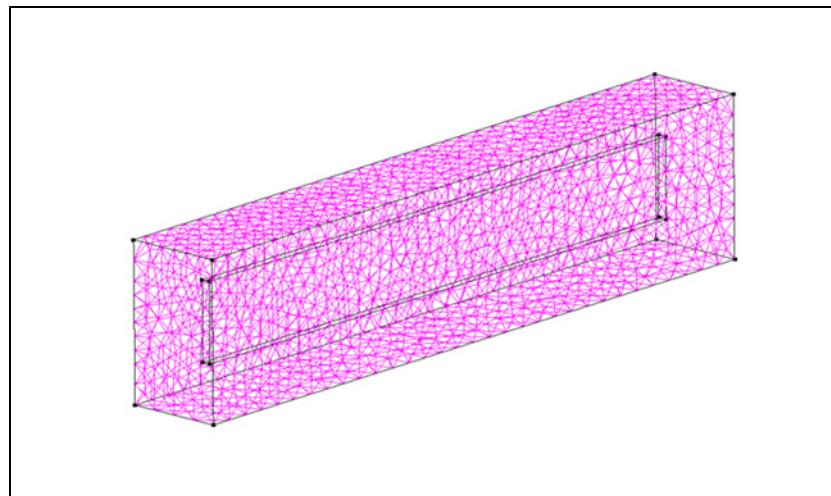
オクタントサイズ : 0.001[m]~0.002[m]



独立領域[case]

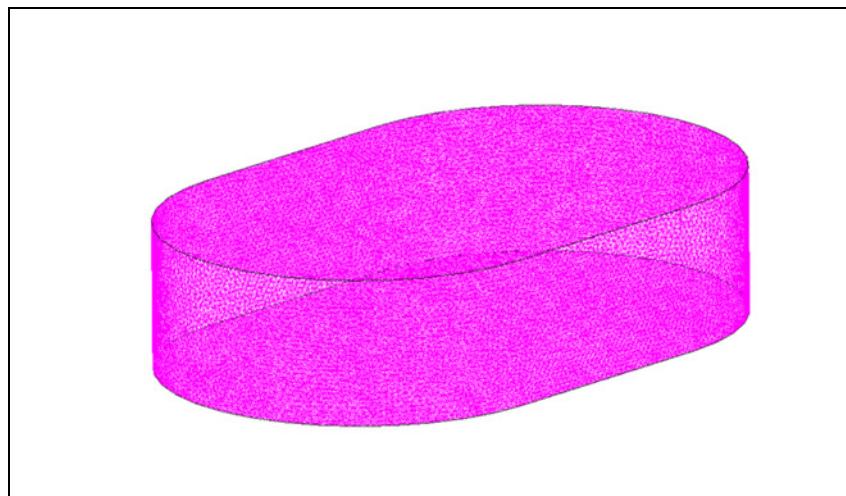
オクタントサイズ : 0.0015[m]

• メッシュ図



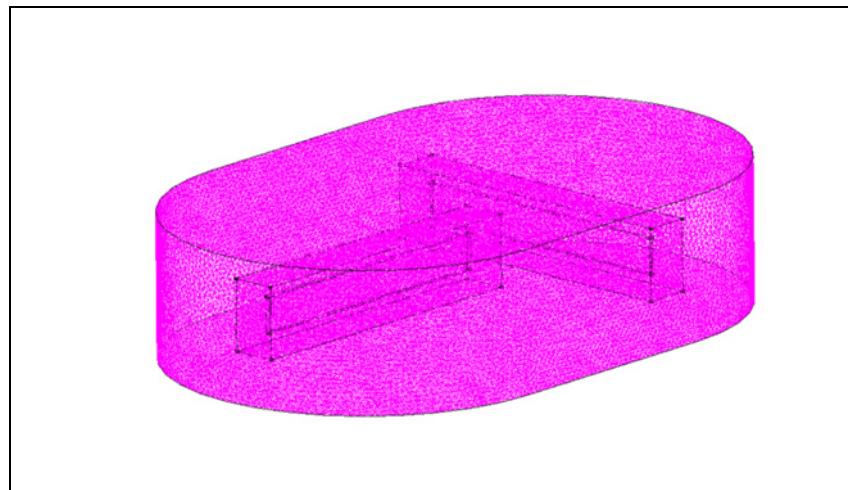
從属領域[rotor1]

要素数 : 60,103



独立領域[case]

要素数 : 579,375

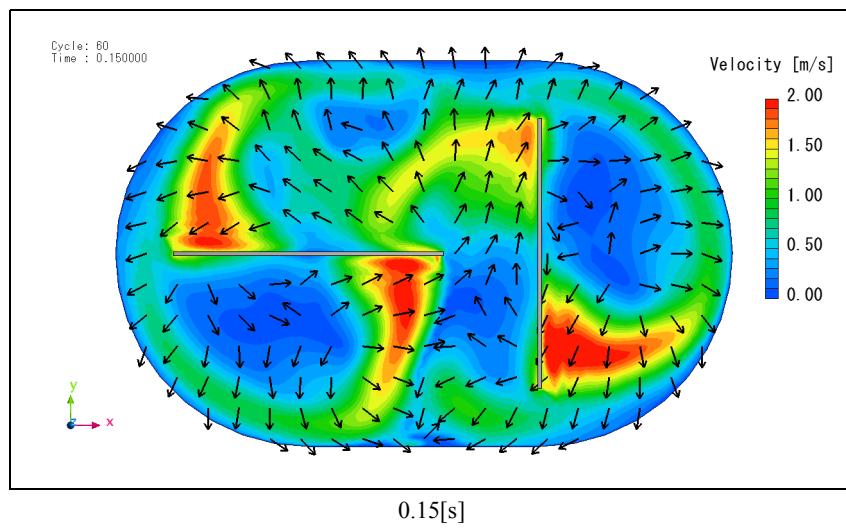
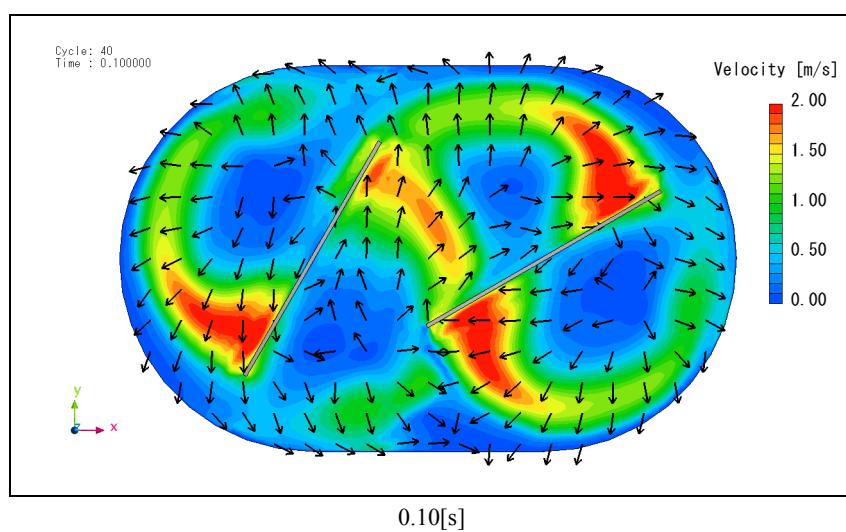
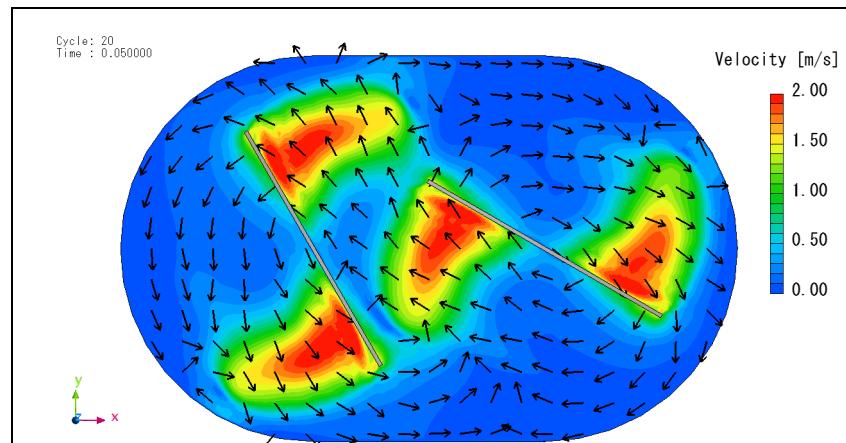


全体([case], [rotor1], [rotor2]をマージしたもの)

要素数 : 699,581

## 解析結果

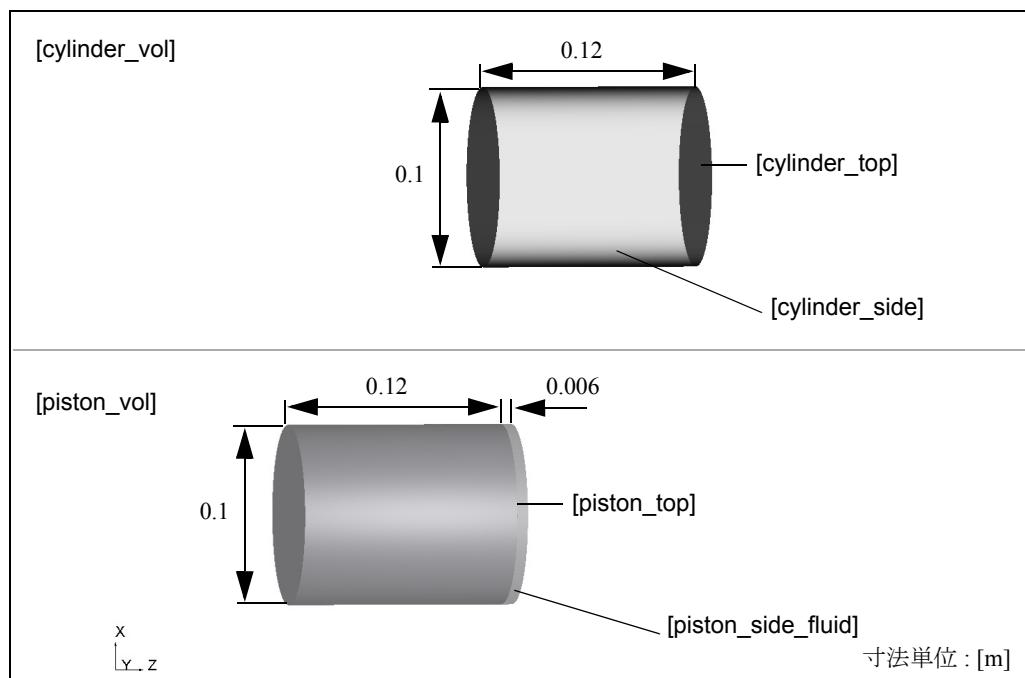
- 流速分布図



## 例題20.2 重合格子を用いたピストン解析

重合格子のピストン解析用要素変形機能を用いることにより、重合格子を用いた場合にもピストン筒内の体積変化をより正確に扱うことができます。

### 解析モデル



3次元圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式（圧力補正式）
- エネルギー保存式
- k-  $\varepsilon$  方程式

### 解析選択

- 流れ（乱流） : 乱流解析を行います。
- 要素移動 : ピストンの往復運動を設定します。
- 重合格子 : 従属領域[piston\_vol]と独立領域[cylinder\_vol]のメッシュを重ねて計算を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気 (圧縮20°C)  
物性値ライブラリより[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : アルミニウム(Al)  
物性値ライブラリより[純金属] - [アルミニウム(Al)]を使用します。  
注)この例題では流体と固体の間の熱移動は考慮しないため、固体部分の物性値は何を入力しても結果に影響しません。

### - 境界条件

- 壁面 [cylinder\_side], [cylinder\_top], [piston\_side\_fluid] : 静止壁  
断熱
- [piston\_top] : メッシュの速度を壁面の速度とする  
断熱

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

### - その他

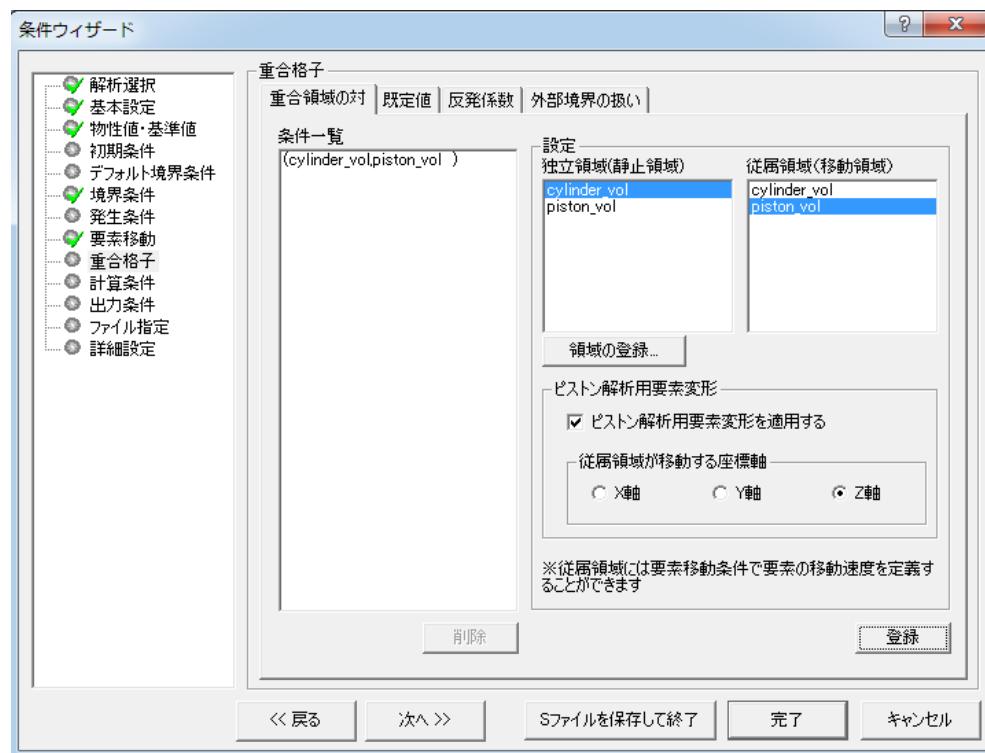
- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル 200[サイクル]  
時間間隔 0.0001[s]
- 重合格子  
独立領域 従属領域  
[cylinder\_vol] [piston\_vol]  
ピストン解析用要素変形を適用する 従属領域が移動する座標軸 : Z軸  
外部境界の扱い (独立領域の外部境界面と接触している従属領域の外部境界面に設定された境界条件を有効にする面領域を設定します)  
独立領域の面領域 従属領域の面領域  
[cylinder\_side] [piston\_side\_fluid]
- 要素移動  
[piston\_vol] : 移動のタイプ 伸縮移動  
移動方向ベクトル (NX, NY, NZ)=(0, 0, 1)  
基準点1の座標 (X, Y, Z)=(0, 0, 0)  
基準点1の係数 V1=0[m/s]  
A1=0.05[m]  
W1=314.16[rad/s]  
P1=-1.5708[rad]  
基準点2の座標 (X, Y, Z)=(0, 0, -0.1)  
基準点2の係数 V2=0[m/s]  
A2=0.05[m]  
W2=314.16[rad/s]  
P2=-1.5708[rad]

- ・ 領域平均値・総量  
 [cylinder\_vol] : 変数 壓力、温度、密度  
 重み 体積  
 出力サイクル 1サイクル
- ・ 図化ファイル  
 出力のタイミング: 指定サイクル毎に出力 (サイクル間隔10[サイクル])  
 初期場を出力する

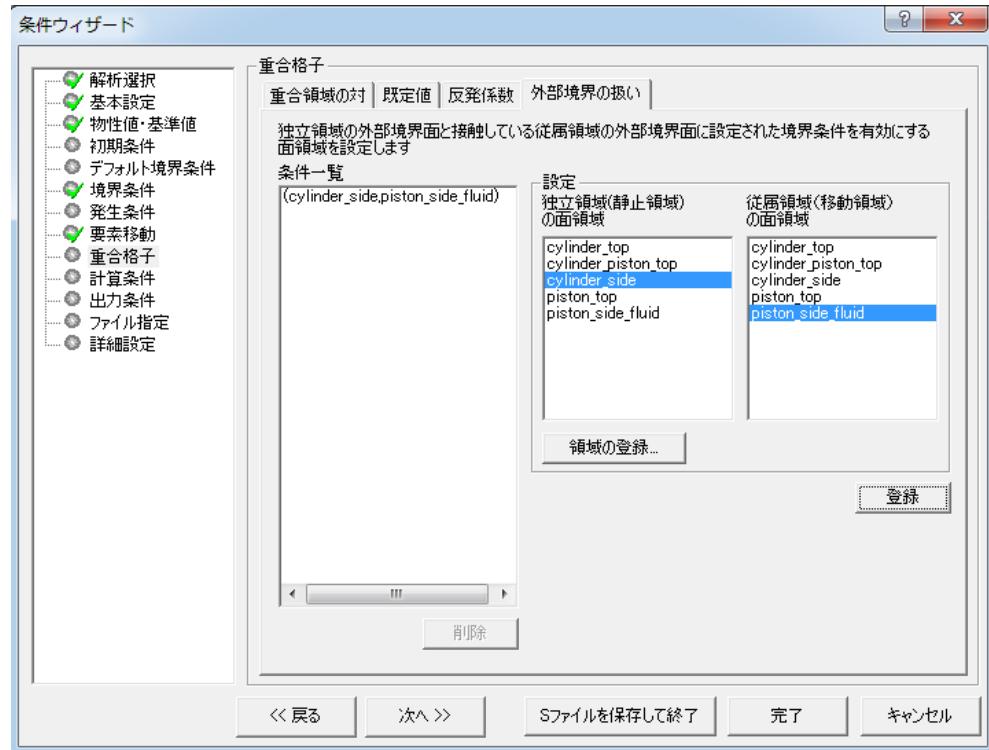
## 特記事項

### - 重合格子（ピストン解析用要素変形）の条件設定方法

- ・ [条件ウィザード]-[重合格子]にて独立領域と従属領域の対を登録します。
- ・ 続いて[ピストン解析用要素変形を適用する]をONにし、従属領域が移動する座標軸の[Z軸]をONにします。



- [外部境界の扱い]タブを開き、シリンダの側面領域([cylinder\_side])とピストンの流体部分の側面領域 ([piston\_side\_fluid]) の対を登録します。



## 解析手順

### ・ 従属領域([piston\_vol])

#### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA20-2\_piston.mdlを読み込みます。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA20-2\_piston.octを読み込みます。

#### - メッシュ作成

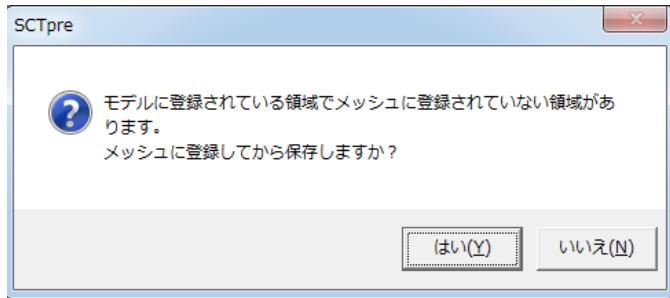
[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、従属領域のメッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[piston_side_fluid]	[0.001]	[1]	[1]

- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[3]と設定し、OKをクリックします。
- [連続実行]ダイアログでOKをクリックし、preファイルを作成します。
- ツリーで領域[piston\_top]をダブルクリックし、[編集]-[選択面を掃引して要素を生成…]を選択、[メッシュの面を掃引して要素を生成]ダイアログの[平行]タブにて、[掃引方向]に(0, 0, -1)、[初期厚み]に0.005、[層数]に24を入力して[OK]をクリックします。
- ツリーの[閉空間 2]を右クリックして[MAT番号の変更]を選択し、MAT番号を2に変更します。

- ツリーの[領域]を右クリックし、[領域の登録...]を選択して、[体積領域]タブで閉空間1,2を領域名[piston\_vol]として登録します。
- ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、上記の変更を行ったPREファイルをpiston.preとして保存します。このとき、次のダイアログが表示されるのではいをクリックします。



#### ・独立領域([cylinder\_vol])

##### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA20-2\_cylinder.mdlを読み込みます。

##### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA20-2\_cylinder.octを読み込みます。

##### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、独立領域のメッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[cylinder_side]	[0.001]	[1]	[1]

- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[2]と設定し、OKをクリックします。
- [連続実行]ダイアログでOKをクリックし、preファイルを作成します。
- 領域[cylinder\_piston\_top]をダブルクリックして[編集]-[選択面を掃引して要素を生成…]を選択、[メッシュの面を掃引して要素を生成]ダイアログの[平行]タブにて、[掃引方向]に(0, 0, -1)、[初期厚み]に0.005、[層数]に22を入力して[OK]をクリックします。
- [選択]-[モデルモード]を選択し、ツールバーの[マウスピック&スプレッド]をONにして、ドローウィンドウで円筒の側面をすべて選択します。
- ドローウィンドウ上で右クリックし、[領域の登録 (モデル) …]を選択して[面領域]タブにて[領域名]を[cylinder\_side]、[登録の対象]を[選択されている面]として[登録]をクリックします。このとき、[領域の登録]ダイアログで[既存の領域と置き換える]を選択し、登録をクリックします。
- ツリーの[領域]を右クリックし、[領域の登録...]を選択して、[体積領域]タブで閉空間1,2を[領域名]を[cylinder\_vol]として登録をクリックします。このとき、[領域の登録]ダイアログで[既存の領域と置き換える]を選択し、登録をクリックします。
- [選択]-[メッシュモード]を選択し、[編集]-[モデルの領域からメッシュの領域へ]を選択します。
- [ファイル]-[開く]より piston.preを読み込み、[選択したファイルとマージ]を選択して[OK]をクリックします。

- ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、マージしたPREファイルをexA20-2.preとして保存します。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

- [解析選択]**
  - [温度]をONにします。
  - [要素移動], [重合格子]を選択します。
- [基本設定]**
  - [解析方法]で[非定常解析]を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [200]
  - [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]を[0.0001 s]とします。
- [物性値・基準値]**
  - [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。
  - [物性値]タブにて、MAT[2]を選択します。続けて、[純金属] - [アルミニウム(Al)]を選択して適用をクリックします。
- [境界条件]**
  - [領域]から[cylinder\_top][cylinder\_side][piston\_side\_fluid]を選択し、壁面をクリックします。  
[壁面] ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることと[壁面熱伝達条件]タブにて[断熱]がONになっていることを確認し、OKをクリックします。
  - [領域]から[piston\_top]を選択し、壁面をクリックします。  
[壁面] ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[メッシュの速度を壁面の速度とする]が選択されていることと[壁面熱伝達条件]タブにて[断熱]がONになっていることを確認し、OKをクリックします。
- [要素移動]**
  - [要素移動]を選択し、新規をクリックして、[要素移動条件]ダイアログを開きます。  
[対象となる領域]で[piston\_vol]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。
  - [要素移動条件詳細]ダイアログにて[移動タイプ]に[伸縮移動]を選択し、解析条件の要素移動の項に記載した数値を入力し、OKをクリックします。
- [重合格子]**
  - 特記事項を参照してください。
- [出力条件]**
  - [領域平均値・総量]を選択し、[新規]をクリックします。
  - [体積領域]を選択して[cylinder\_vol]をONにし、[変数]に[圧力]、[重み]に[体積]、[出力のタイミング]を[指定サイクル毎に出力]、[サイクル間隔]を[1]としてOKをクリックします。
  - 同様に[cylinder\_vol]に対して[温度]、[密度]も出力する設定を行います。
- [出力条件]**
  - [FLD(サイクル)]で[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。  
[サイクル間隔]を[10]とし、[初期場]について[出力する]をONにします。

9. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA20-2]と入力します。

- 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

- 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約2分

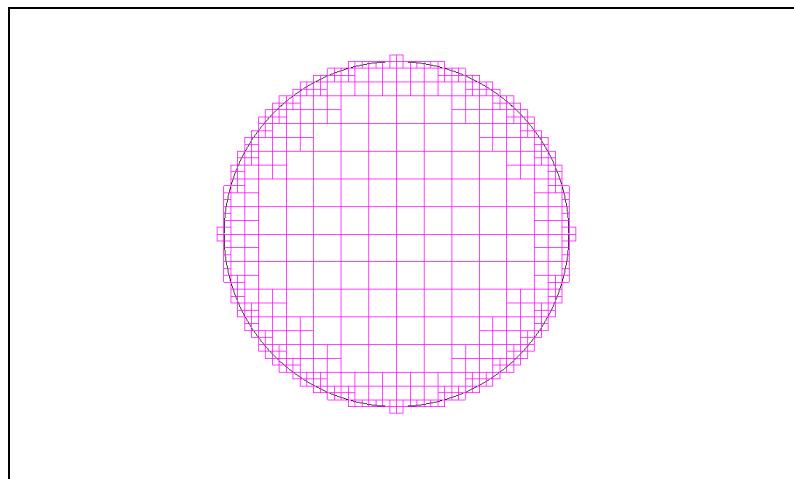
- 計算サイクル数

200サイクル

\* 2core使用時 (Intel Xeon X5482 3.2GHz)

## 解析メッシュ

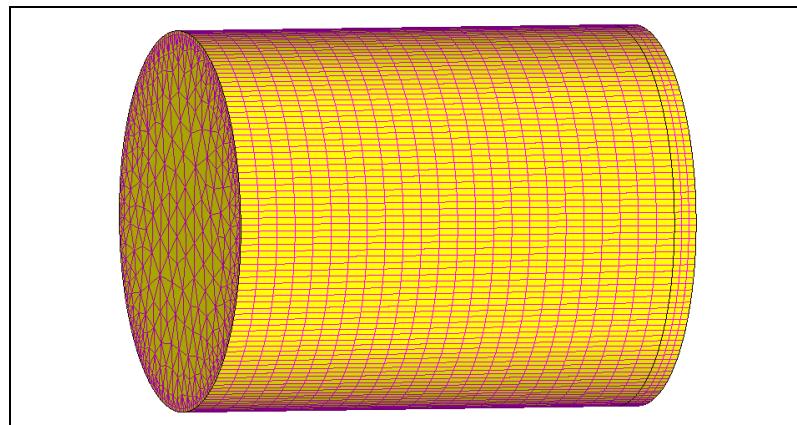
- 八分木図



従属領域[piston\_vol], 独立領域[cylinder\_vol]共通

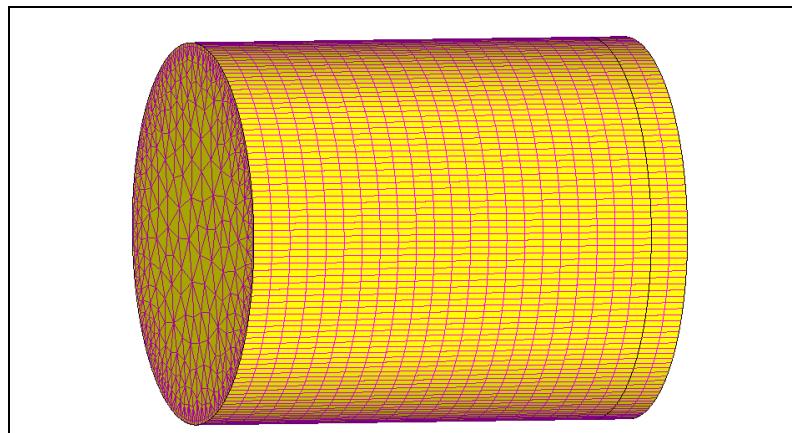
オクタントサイズ : 0.002[m]~0.008[m]

- メッシュ図



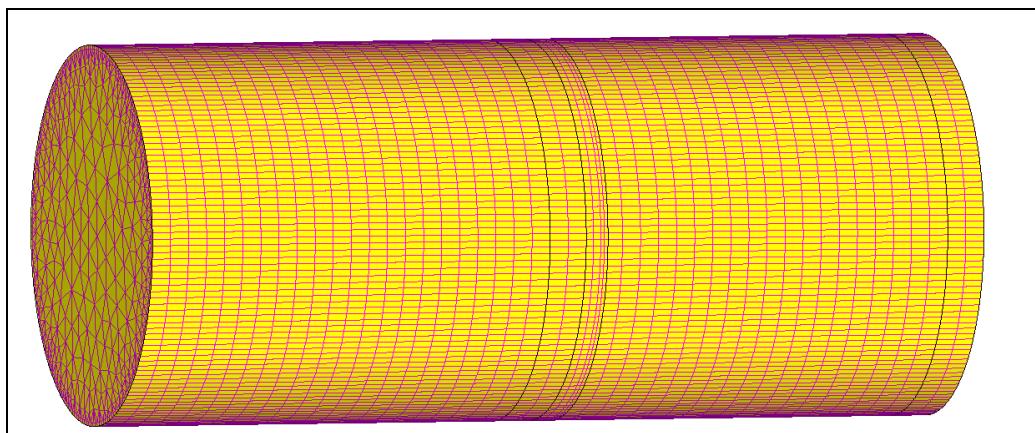
従属領域[piston\_vol]

要素数 : 23,004



独立領域[cylinder\_vol]

要素数 : 20,400

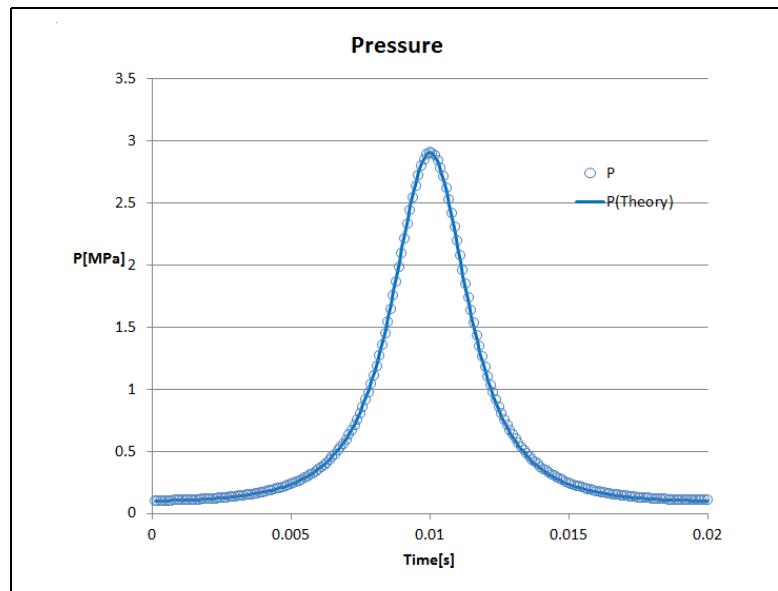


全体 ([cylinder\_vol], [piston\_vol]をマージしたもの)

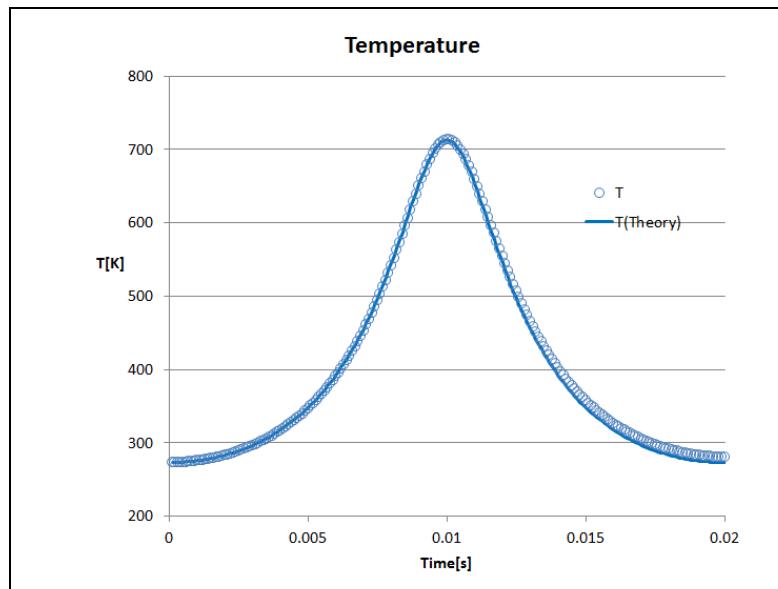
要素数 : 43,404

## 解析結果

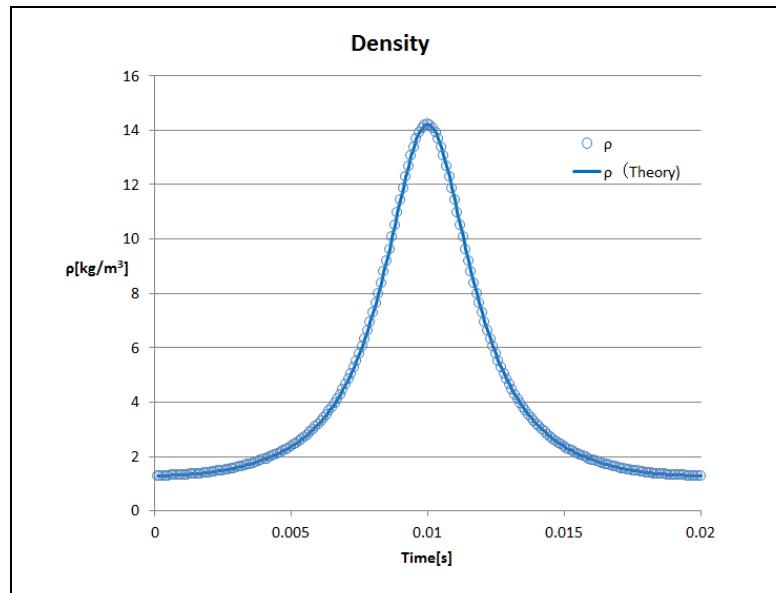
- 平均圧力の時間変化



- 平均温度の時間変化



- 平均密度の時間変化



理論値(Theory)は断熱圧縮の式 ( $PV^\gamma=$ 一定,  $TV^{\gamma-1}=$ 一定.) および質量一定 ( $\rho V=$ 一定) の式より導出しています。

---

## 機能21 要素移動自動計算(ダイナミカル 機能)

---

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**のダイナミカル機能では、力学(dynamics)の運動方程式に基づいて物体の運動を算出し、それに従って要素移動の移動速度を自動設定します。物体は剛体であるとみなし、6自由度までの運動を解くことができます(物体の弾性は取り扱いません)。
- 標準入力により設定可能な要素移動の条件は、並進移動や回転移動、伸縮の単純な動きに限られていますが、これらを複合することにより、より複雑な動きも設定することができます。
- ダイナミカル機能を重合格子と併用した場合には、静止した壁面と移動物体との衝突や反発を模擬する機能も備えています。反発係数が指定可能です。

## 注意事項

- 要素移動機能は、以下の機能との併用はできません。

凝固融解機能\*

\* VOS値が0でない領域が要素移動領域に入らなければ可

- 並進移動と回転移動を組み合わせの場合、入力順に注意が必要です。
- 要素に移動領域と静止領域が存在する場合、両者を接合するために、不連続接合機能19または重合格子機能20の設定が必要です。

## 結果として出力されるもの

### - 計算時メッセージ

- 流体からの力(圧力+粘性力)や物体の移動速度、変位などが出力されます。詳しくは、**ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 3.1 (26) 運動物体の自動計算時の情報出力**を参照してください。

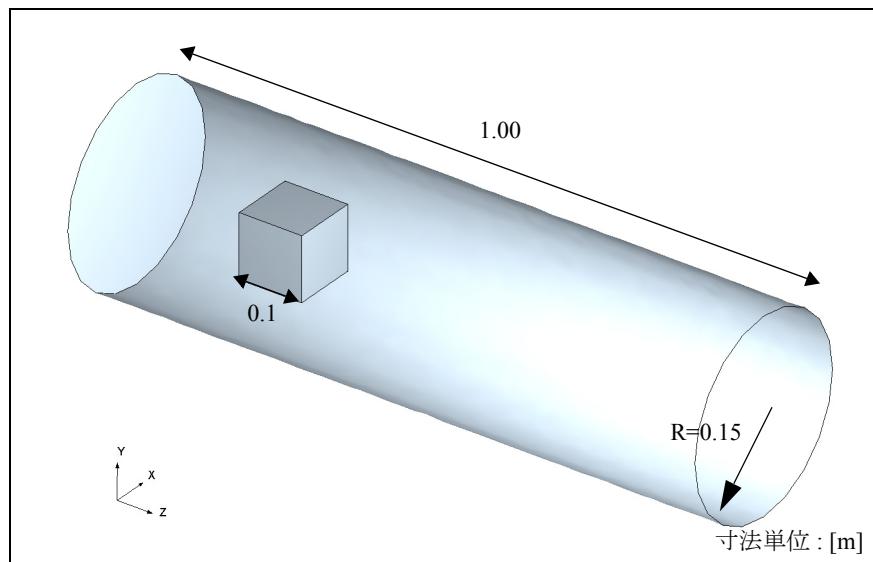
## 関連コマンド

- ALE0 : 要素移動速度の定義
- DYNA : 要素の移動速度の自動算出(ダイナミカル機能)
- DYND : ダイナミカル機能の規定値の設定
- ODRE : 重合格子を用いた解析での壁面衝突時の反発係数の設定
- ODRD : ODREコマンドでの規定値の設定

## 例題21.1 ストローク自動計算(要素移動のダイナミカル機能)

周りの流体から受ける力をもとに、物体をストローク運動させる場合には、ストロークの自動計算機能(ダイナミカル機能)を用います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

半径 0.15[m], 長さ 1[m] の円筒の中に立方体を置きます。立方体にバネの力を働かせて単振動させると同時に、円筒内部を満たしている流体からの力で単振動が減衰する様子を解析します。解析領域全体のメッシュを移動させるため、不連続接合の設定は行いません。要素移動の条件とともに、ストローク運動の自動計算も設定します。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k- $\epsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 亂流解析を行います。
- 要素移動 : 立方体の移動を考慮します。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 銅(Cu)  
物性値ライブラリより[純金属] - [銅(Cu)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口[inlet] : 全圧規定 0[Pa]
- 流出口[outlet] : 全圧規定 0[Pa]
- 壁面 [wall-side]  
[box-surf] : 静止壁  
メッシュの速度を壁面の速度とする

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

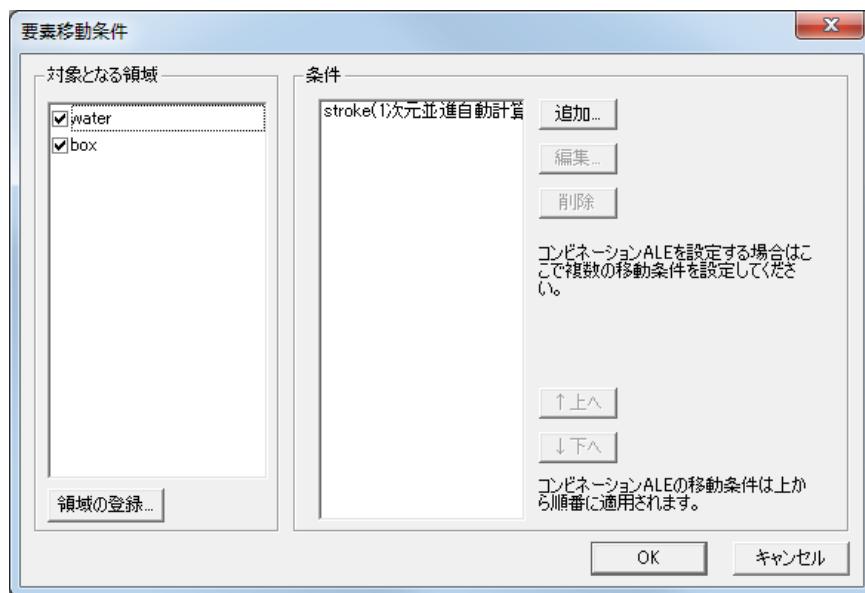
### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-εモデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル 200[サイクル]  
時間間隔 0.25[s]
- 要素移動  
[water], [box] : 移動のタイプ 1次元並進自動計算(ダイナミカル)  
バネの弾性係数 K 10 [N/m]  
L0 0.25 [m]  
流体から力を受けける面領域 [box-surf]
- 出力条件  
圧力 : [box-surf]  
粘性応力 : [box-surf]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔50[サイクル])  
初期場を出力する

## 特記事項

### - 要素移動条件の設定方法

- ・ [条件ウィザード] - [要素移動]で、新規をクリックすると、[要素移動条件]ダイアログが開きます。



- ・ [対象となる領域]で[water], [box]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。

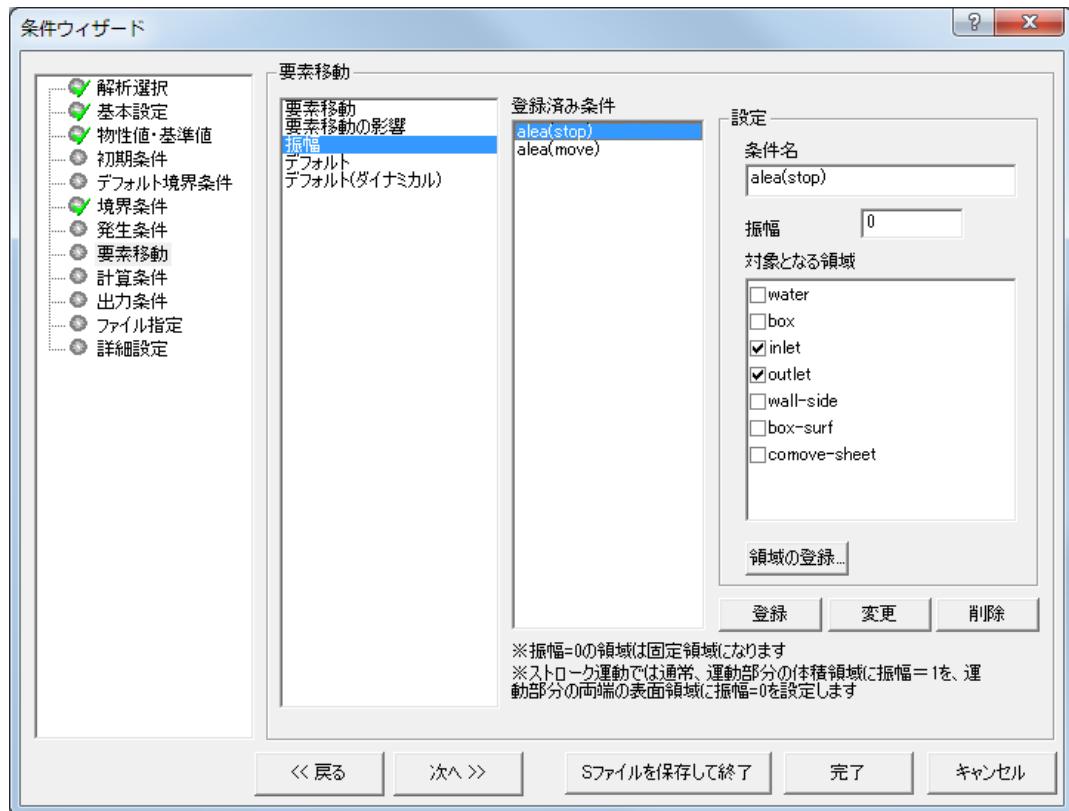
- [移動のタイプ]で[1次元並進自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて以下の設定を行います。

[伸縮方向の単位ベクトルの成分] : [NZ] = [1]  
 [移動物体質量] : [自動計算]を選択して、[質量の積分領域]で[box]を選択  
 [バネ弾性力] : [K] = [10 N/m], [L<sub>0</sub>] = [0.25 m]  
 [流体から力を受ける面領域] : [box-surf]を選択



- 以上の設定が完了したら、OKをクリックし、[要素移動条件詳細]ダイアログを閉じます。続けて、[要素移動条件]ダイアログもOKをクリックして閉じます。

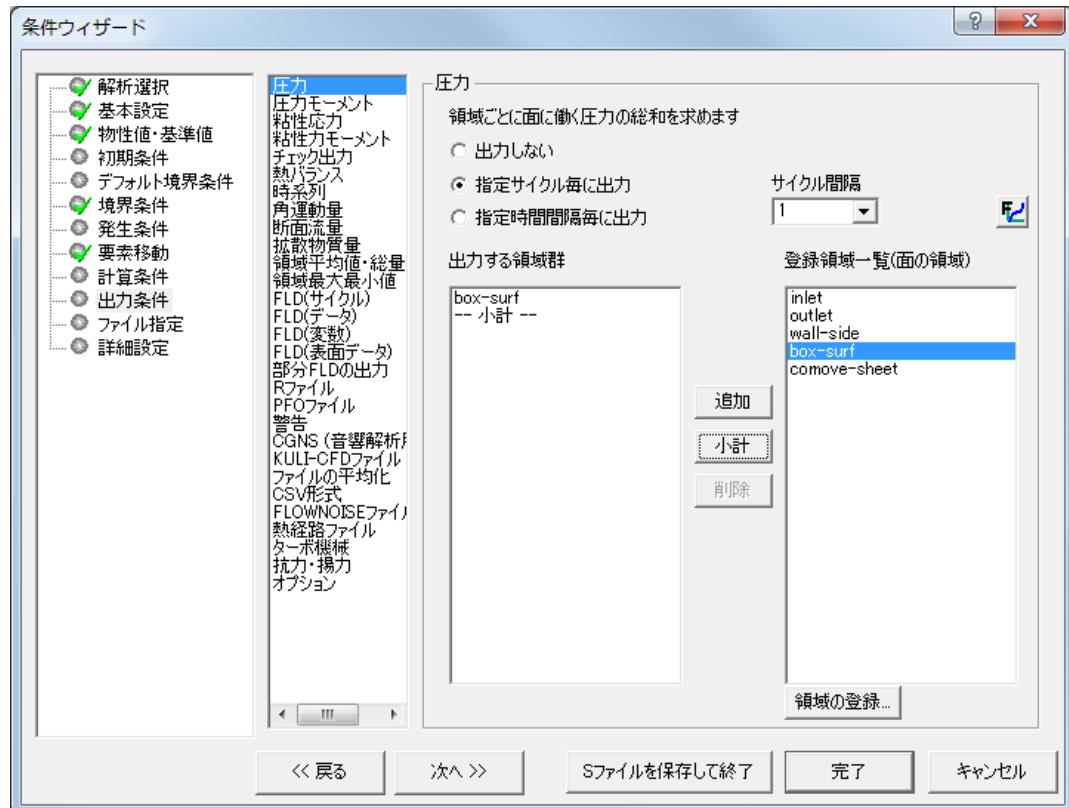
- 次に、[振幅]を設定します。まず、[対象となる領域]から[inlet]と[outlet]を選択し、[振幅]を[0]として登録をクリックします。続けて、[対象となる領域]に[box], [box-surf], [comove-sheet]を選択して、[振幅]を[1]として登録をクリックします。



(メモ) 円筒の外部境界([inlet], [outlet])は静止しており、固体([box], [box-surf])は運動しています。そのため、ここではメッシュが歪まないように[comove-sheet]の[振幅]を[1]と設定し、[comove-sheet]で挟まれた領域のメッシュを並進運動させ、残りの部分を伸縮運動させます。

### - 圧力と粘性応力の出力方法

- [条件ウィザード] - [出力条件]から[圧力], [粘性応力]の出力設定を行います。どちらも[指定サイクル毎に出力]を選択した後、[登録領域一覧(面領域)]の[box-surf]を選択して追加をクリックし、[出力する領域群]に設定します。[サイクル間隔]は[1]とします。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA21-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [要素移動]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。
- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択し、[時間間隔]を[0.25 s]とします。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。
- [物性値]タブにて、MAT[2]を選択します。続けて、[純金属] - [銅(Cu)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[inlet], [outlet]を選択し、全圧規定をクリックします。[全圧規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[wall-side]を選択し、壁面をクリックします。[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。
- [領域]から[box-surf]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]で[メッシュの速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。

#### 5. [要素移動]

- 特記事項 要素移動条件の設定方法を参照してください。

#### 6. [出力条件]

- 特記事項 圧力と粘性応力の出力方法を参照してください。
- [FLD(サイクル)]で[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。  
[サイクル間隔]を[50]として、[初期場]-[出力する]をONにします。

#### 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA21-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA21-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率 ]	[層数]
[wall-side]	[0.005]	[1.1]	
[box-surf]			[2]

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約1分20秒

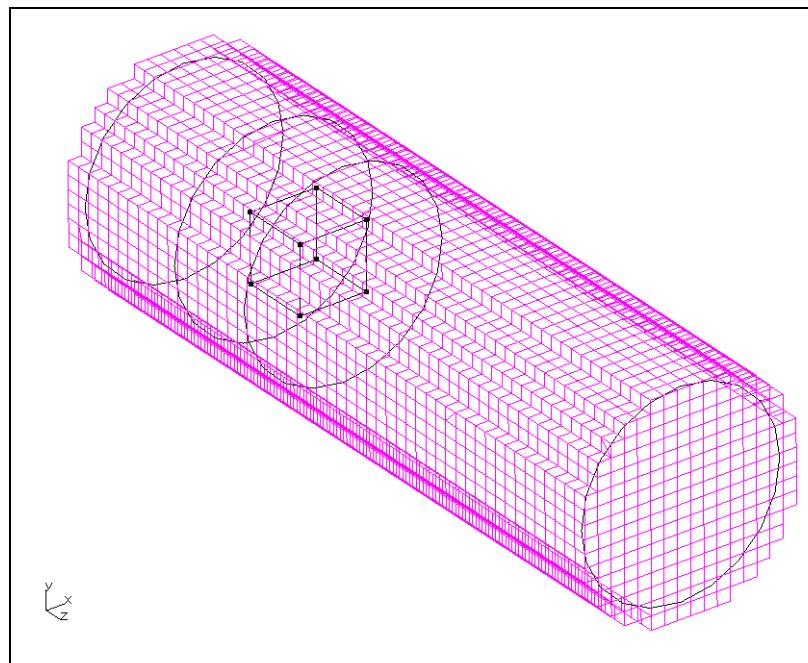
- 計算サイクル数

200サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

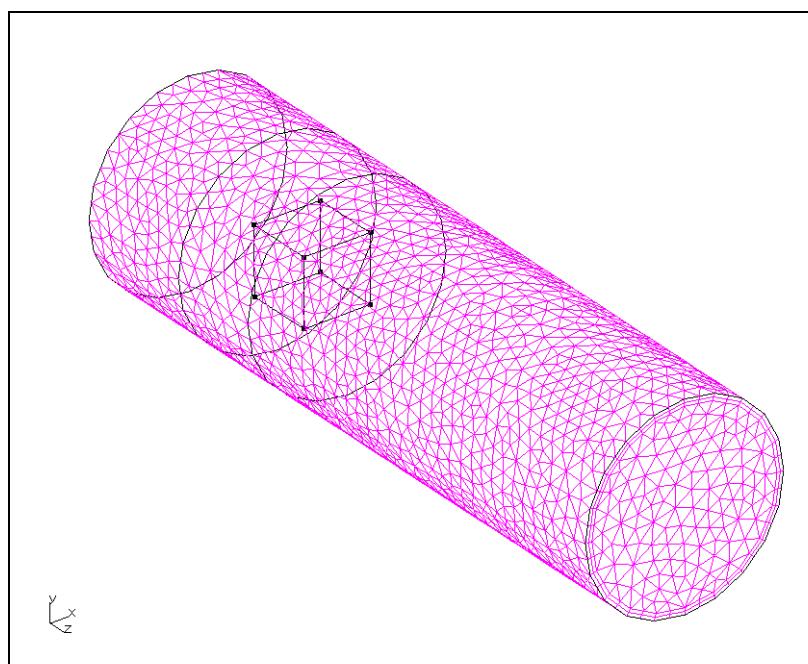
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.02[m]

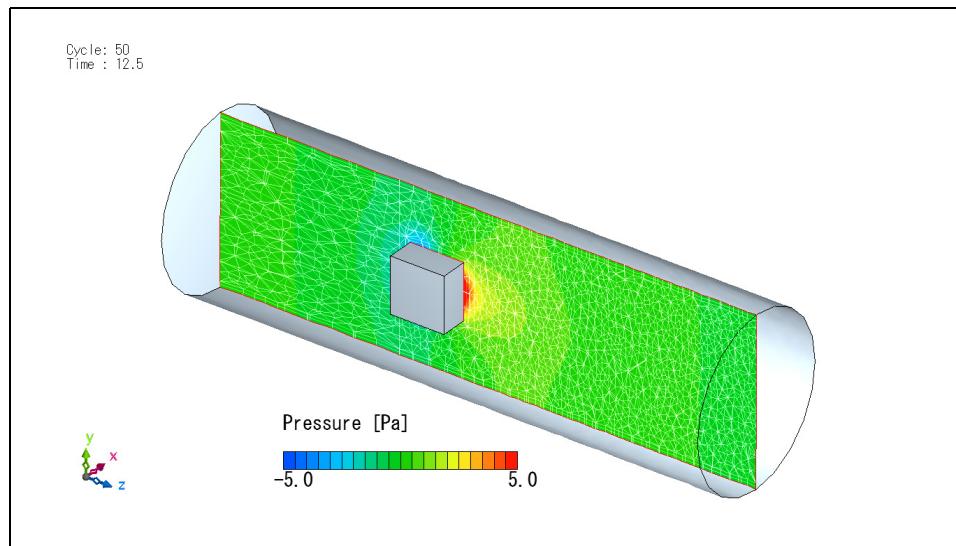
- メッシュ図



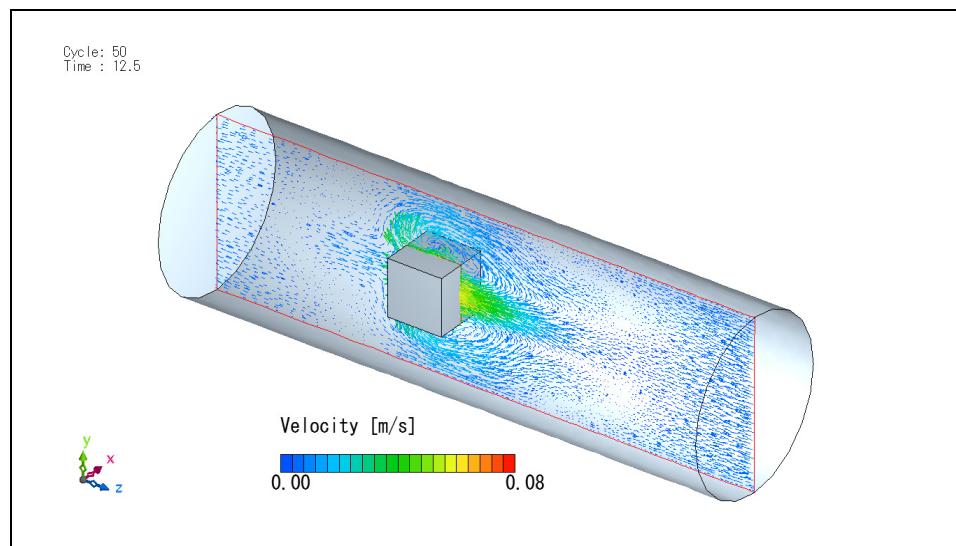
要素数 : 74,114

## 解析結果

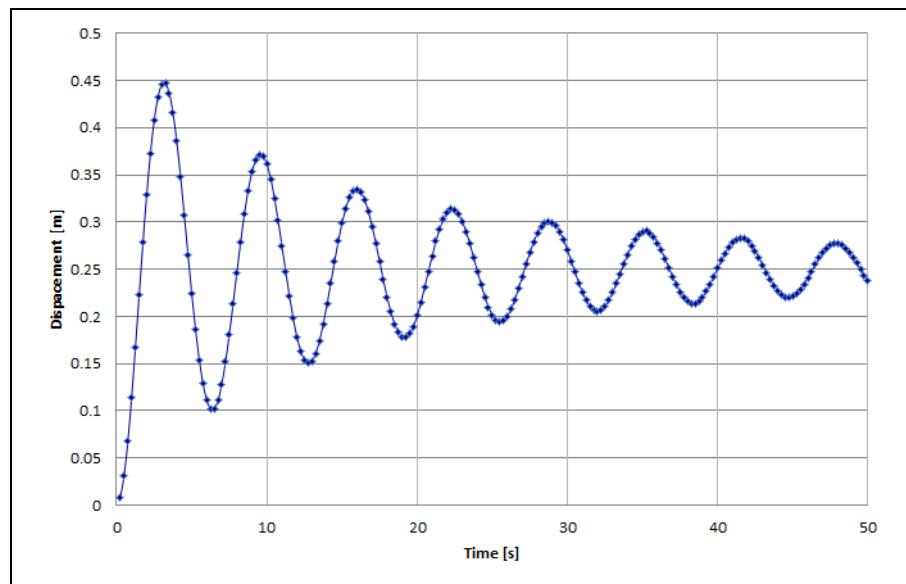
- 圧力コンター図(50サイクル/12.5秒)



- 流速ベクトル図(50サイクル/12.5秒)



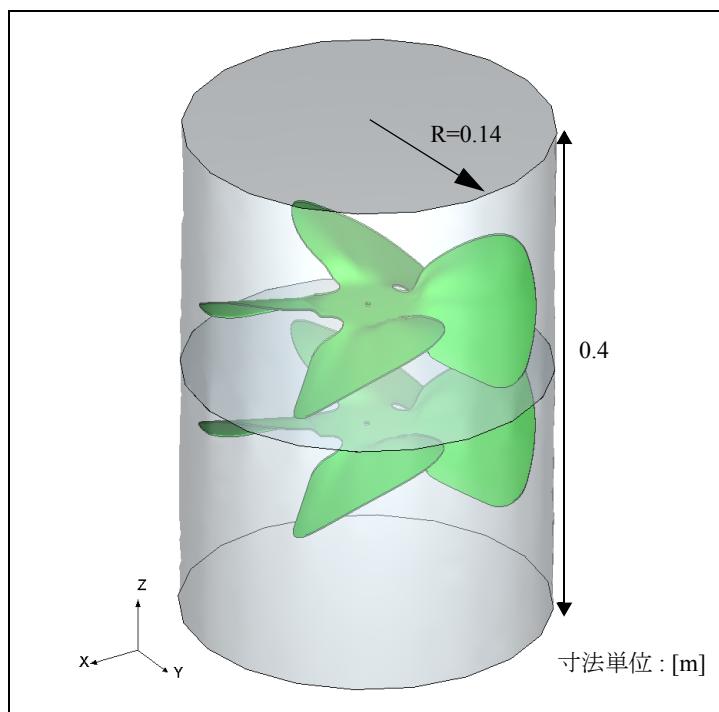
- 移動量(変位)の時間変化



## 例題21.2 回転自動計算(要素移動のダイナミカル機能)

周りの流体から受けける力をもとに、物体を回転運動させたい場合には、回転の自動計算機能(ダイナミカル機能)を用います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

半径0.14[m], 長さ0.4[m]の円筒の中にファンが2個、上下に配置されています。円筒内には流体を満たしておき、側面は壁、上面と下面是開口部とします。そして、下のファンには駆動力を与え、上のファンは自由にして、これら上下2つのファンが流体中で回転する様子を解析します。

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k-ε方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 要素移動 : 上下のファンの移動を考慮します。
- 不連続接合 : 上下のファンの要素結合を不連続に扱います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入流出口 [flux-lower] : 全圧規定 0.0[Pa]  
[flux-upper]
- 壁面 [wall-side-lower] : 静止壁  
[wall-side-upper]  
[fan-surf-lower] : メッシュの速度を壁面の速度とする  
[fan-surf-upper]

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

### - その他

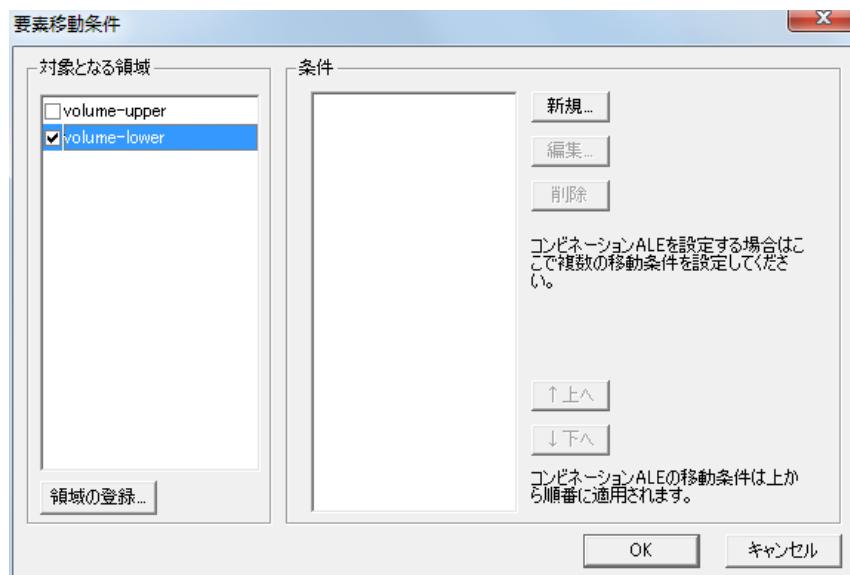
- 乱流モデル  
標準k-ε モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル 500[サイクル]  
時間間隔 0.1[s]
- 要素移動  
[volume-lower] : 移動のタイプ 1次元回転自動計算(ダイナミカル)  
推進トルク 変数テーブルで指定  
流体からのトルクを受ける面領域名[fan-surf-lower]  
[volume-upper] : 移動のタイプ 1次元回転自動計算(ダイナミカル)  
流体からのトルクを受ける面領域名[fan-surf-upper]
- 不連続接合  
[teco-lower], [teco-uper] : 平面タイプ
- 出力条件  
圧力モーメント : [fan-surf-lower], [fan-surf-upper]  
粘性力モーメント : [fan-surf-lower], [fan-surf-upper]

- ・ 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔 50[サイクル])  
初期場を出力する

## 特記事項

### - 要素移動条件の設定方法

- ・ 下側のファンの駆動力に変数テーブル機能を用います。
- ・ 上側のファンと下側のファンは別々に回転するため、それぞれ独立したモデルを作成しマージします。要素移動条件の設定もそれぞれ行います。
- ・ [条件ウィザード] - [要素移動]において新規をクリックし、[要素移動条件]ダイアログを開きます。
- ・ [対象となる領域]で[volume-lower]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。まず、下側のファンの回転条件を設定します。



- [移動のタイプ]で[1次元回転自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて、以下の設定を行います。

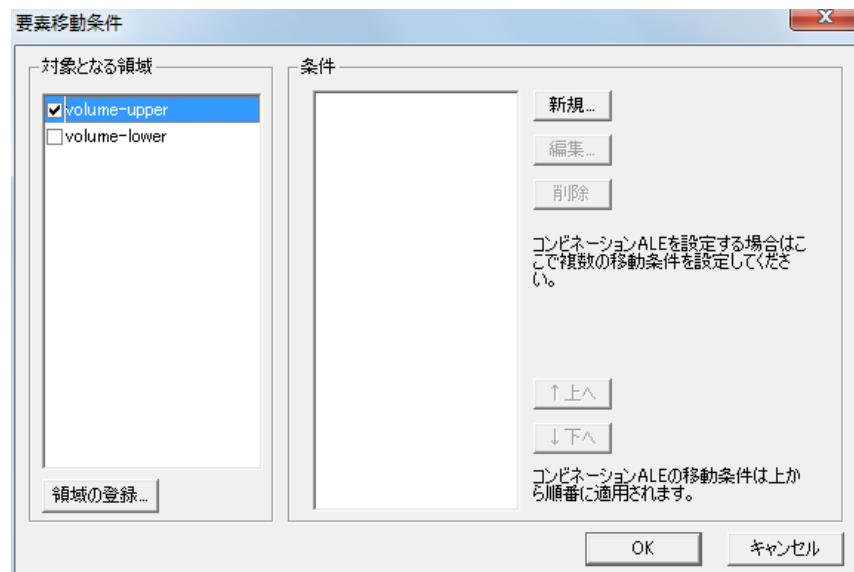
[回転軸の方向成分]	:	[PZ]=[1]
[物体の慣性モーメント]	:	[数値入力] [0.05 kg•m <sup>2</sup> ]
[推進トルク]	:	[C3]=[“drive-torque.vt”]
[流体からのトルクを受ける面領域名]	:	[fan-surf-lower]を選択



(メモ) [推進トルク][C3]は変数テーブルによる入力を行います。変数テーブルは、数値を入力する位置に変数テーブルのファイル名をダブルクオーテーションで囲んで行います。変数テーブルについての詳細は、特記事項 変数テーブルファイルの作成方法を参照してください。

- 以上の設定が完了したら、OKをクリックして、[要素移動条件詳細]ダイアログを閉じます。続けて、[要素移動条件]ダイアログもOKをクリックして閉じます。

- 次に、上側のファンの回転条件の設定を行います。新規をクリックし、[要素移動条件]ダイアログで[volume-upper]をONにして、新規をクリックします。



- [移動のタイプ]で[1次元回転自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて、以下の設定を行います。

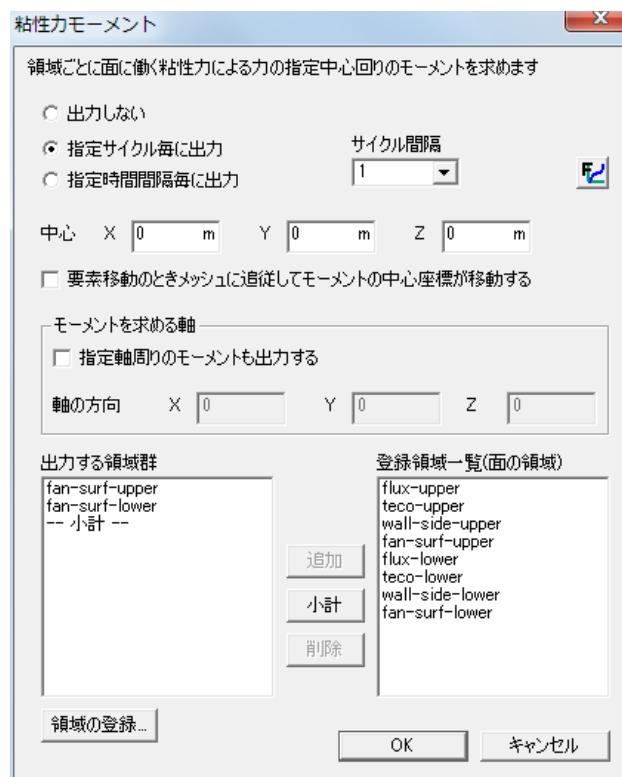
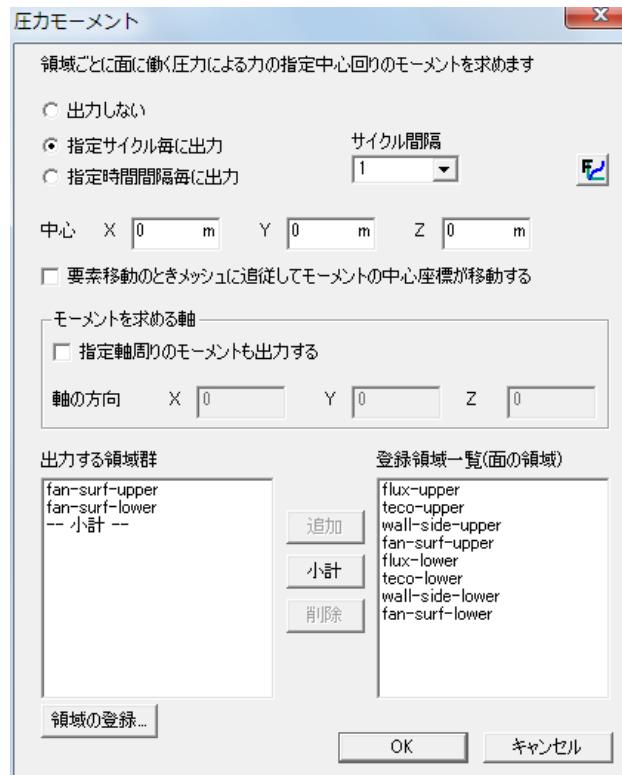
[回転軸の方向成分] : [PZ]=[1]  
 [物体の慣性モーメント] : [数値入力] [0.05 kg•m<sup>2</sup>]  
 [流体からのトルクを受ける面領域名] : [fan-surf-upper]を選択



- 以上の設定が完了したら、OKをクリックし、[要素移動条件詳細]ダイアログを閉じます。続けて、[要素移動条件]ダイアログもOKをクリックして閉じます。
- [条件ウィザード] - [要素移動]の[要素移動条件一覧]に、これまでに設定した2つの条件が記載されています。

### - 圧力モーメントと粘性応力モーメントの出力方法

- 圧力モーメントと粘性応力モーメントの出力は、[条件ウィザード] - [出力条件]の[圧力モーメント]と[粘性応力モーメント]でそれぞれ設定します。どちらも、新規をクリックして、[登録領域一覧(面の領域)]から[fan-surf-lower]と[fan-surf-upper]を選択して、追加をクリックします。[中心]の座標[0, 0, 0]を確認して、OKをクリックします。

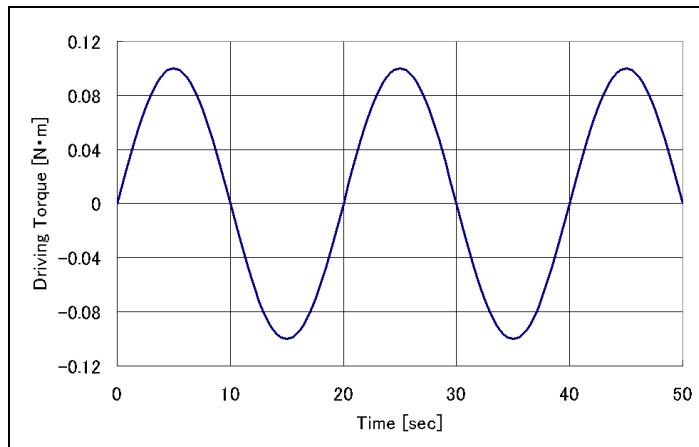


### - 変数テーブルファイルの作成方法

- 本例題では下側のファンに与える駆動力(トルク)を変数テーブル機能を用いて指定します。変数テーブル機能は、あらかじめ計算サイクルや解析時間に沿って値を変化させたい変数の変化を変数テーブルファイルという外部ファイルに記入しておき、解析時にそのファイルを読み込んで、変数の変化を入力値に反映させる機能です。本例題ではsin関数を用いて下側のファンに与える駆動トルクを変化させます。

駆動トルク  $TDR = 0.1 \times \sin(0.3141592 \times t)[N \cdot m]$

$t$  : 時刻[sec]



- 周期が20秒のsin関数で、10秒おきに駆動トルクの向きが反転します。この変数テーブルファイル(drive-torque.vt)は次のようにテキストで作成します。詳細な書式についてはユーザーズガイド(ソルバー)編 1.4 変数テーブルを参照してください。

```
TTYP
TIME
FUNC
2
VTBL
0.1  0.3141592
/
ENDT
```

(メモ) 本例題では変数テーブルファイル(drive-torque.vt)を使用して、変数テーブルの設定を行う方法を紹介しておりますが、変数テーブルをSCTpreのダイアログ上で直接設定する方法もあります。変数テーブル機能については、機能11を参照してください。

## 解析手順

### ・ 従属領域

### - モデル

まず、従属領域のメッシュを作成します。SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]よりexA21-2\_lower-fan.mdlを読み込みます。

### - 八分木

[ファイル]-[開く]よりexA21-2\_lower-fan.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、従属領域のメッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall-side-lower]	[0.005]	[1]	[2]
[fan-surf-lower]	[0.001]	[1]	[2]

### ・ 独立領域

### - モデル

続けて、独立領域のメッシュを作成します。[ファイル] - [新規]をクリックし、[確認]ダイアログで「はい」をクリックします。次に、[ファイル] - [開く]より exA21-2\_upper-fan.mdl を読み込みます。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA21-2\_upper-fan.oct を読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、独立領域のメッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall-side-upper]	[0.005]	[1]	[2]
[fan-surf-upper]	[0.001]	[1]	[2]

次に、exA21-2\_upper-fan.pre が読み込まれた状態で、[ファイル] - [開く] より 従属領域のメッシュ exA21-2\_lower-fan.pre を読み込みます。[選択したファイルとマージ] を選択して OK をクリックします。

以上でメッシュの作成は完了です。ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、マージしたPREファイルをexA21-2.preとして保存します。

### - 条件設定

[条件 ウィザード] で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [要素移動], [不連続接合] を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法] で [非定常解析] を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [500]

- [時間間隔の設定] で [数値入力による] を選択して、[時間間隔] を [0.1 s] とします。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値] タブにて、MAT[1] を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)] を選択して [適用] をクリックします。

## 4. [境界条件]

- [領域]から[flux-lower], [flux-upper]を選択し、全圧規定をクリックします。[全圧規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[wall-side-lower], [wall-side-upper]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。
- [領域]から[fan-surf-lower], [fan-surf-upper]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]で[メッシュの速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。

## 5. [要素移動]

- 特記事項 要素移動条件の設定方法を参照してください。

## 6. [不連続接合]

- [領域(独立)]に[teco-lower]、[領域(従属)]に[teco-upper]を選択し、[不連続面のタイプ]として[平面]を選択して、登録をクリックします。

## 7. [出力条件]

- 特記事項 圧力と粘性応力の出力方法を参照してください。
- [FLD(サイクル)]で[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。[サイクル間隔]を[50]として、[初期場]で[出力する]を選択します。

## 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA21-2]と入力します。

## - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

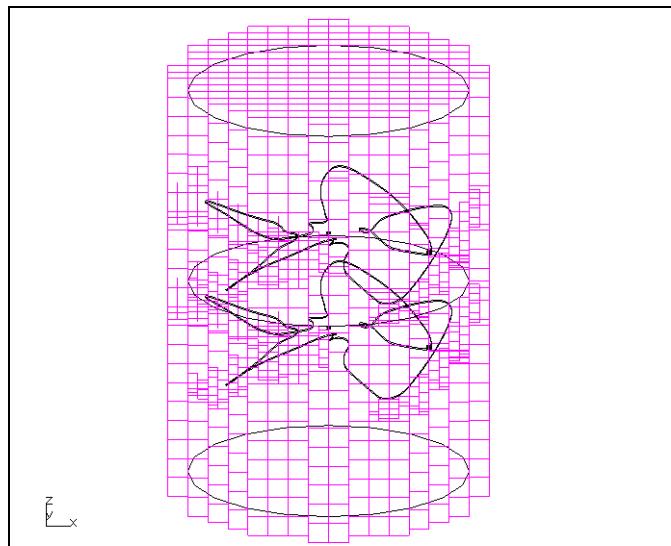
## - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約7分
- 計算サイクル数  
500サイクル

\* 2core 使用時( Intel Xeon X5680 3.33GHz )

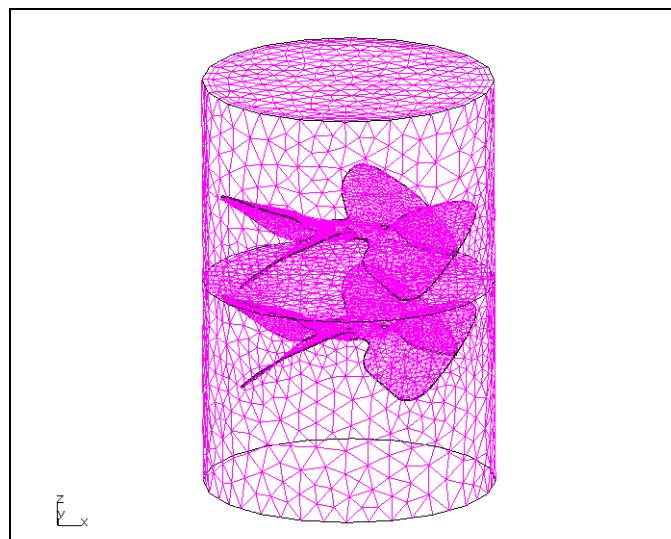
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.005[m]~0.02[m]

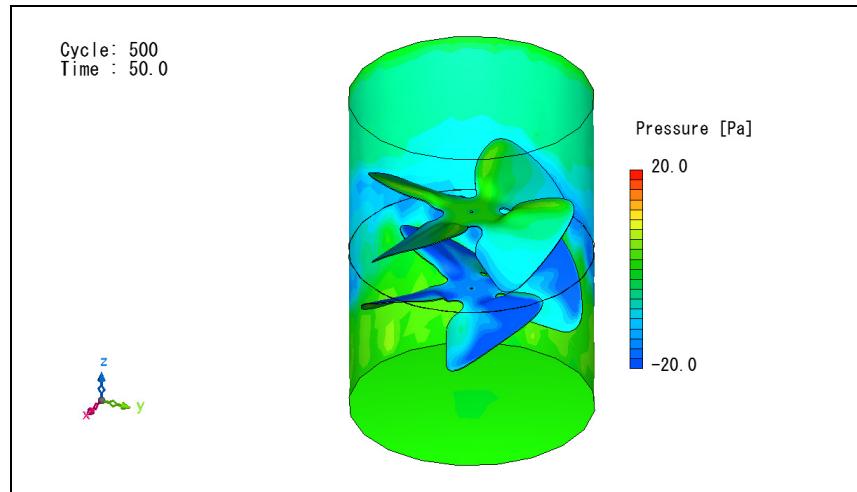
- メッシュ図



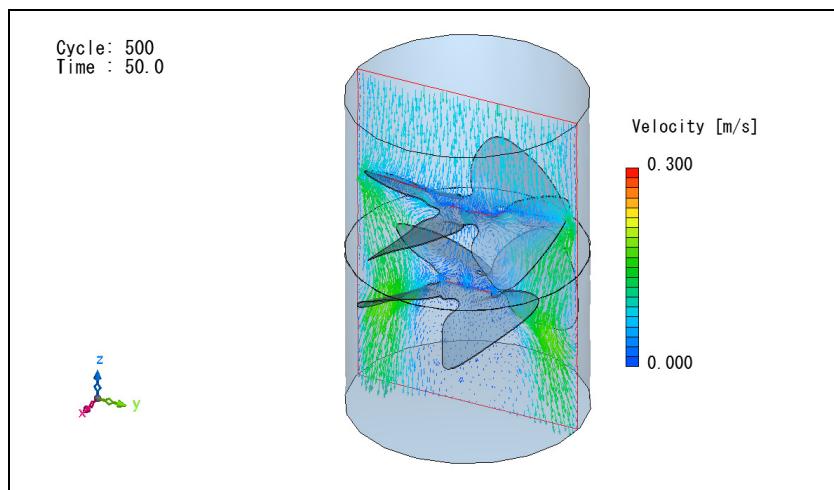
要素数 : 131,320

## 解析結果

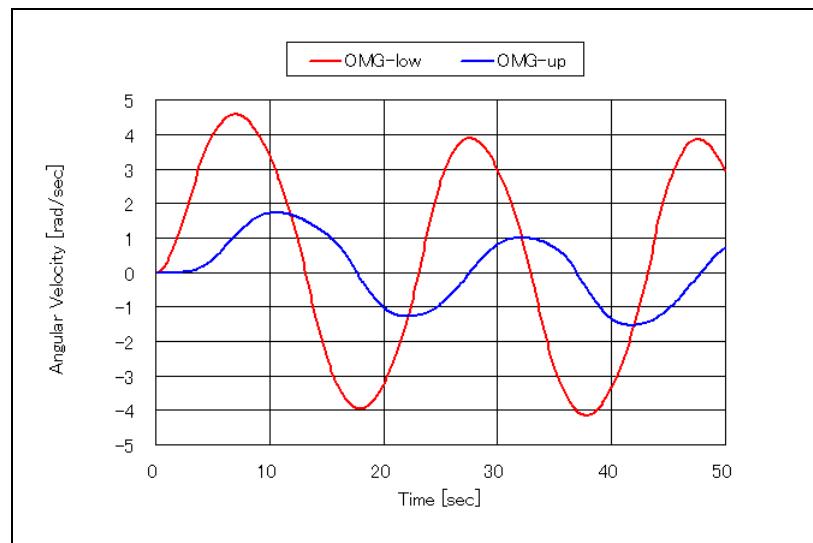
- 圧力コンター図



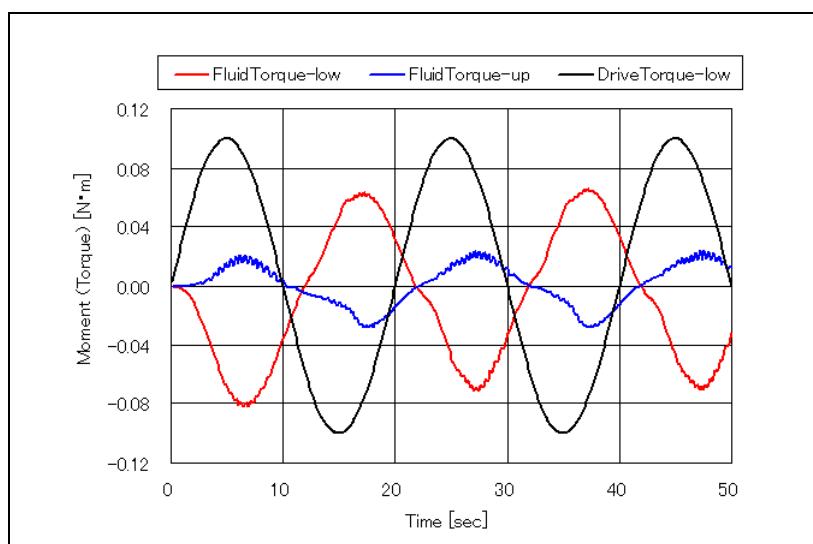
- 流速ベクトル図



- 回転速度(回転数)の時間変化



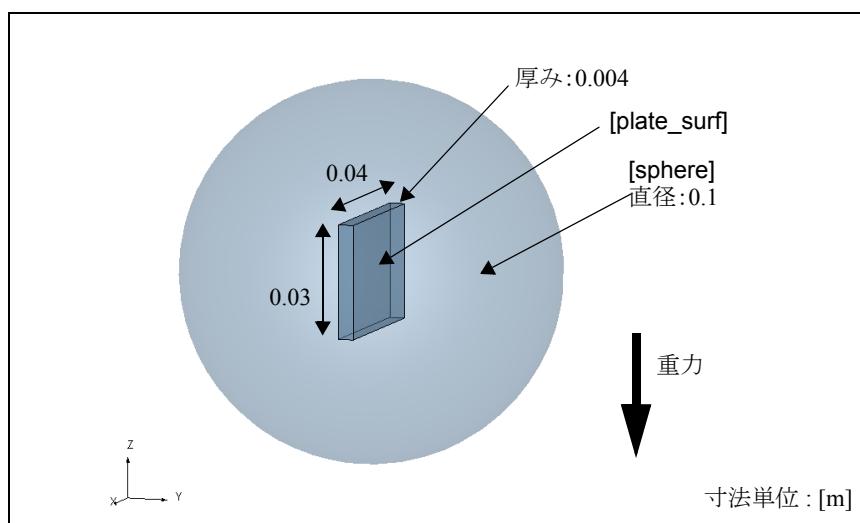
- 回転ファンにかかる軸周りのモーメント(トルク)



## 例題21.3 自由落下シミュレーション

物体が自由落下する現象を解析します。本例題では、3次元的に任意の方向に回転、並進することができるダイナミカル機能を用います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

落下させる物体は、 $0.04[\text{m}] \times 0.03[\text{m}]$ 、厚さ $0.004[\text{m}]$ の直方体(板)です。Z軸負方向に重力が働いている状況で自由落下させます。物体の周囲には直径 $0.1[\text{m}]$ の球面を作成し、その内側を解析領域とします。

解析領域全体を自由落下物体と同期して回転・並進移動させます。

#### 注意事項

本例題では、不連続接合、重合格子を用いません。

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k-ε方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 亂流解析を行います。
- 要素移動 : 直方体の移動を考慮します。

## 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向:-9.8[m/s<sup>2</sup>])

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : アルミニウム(AI)  
物性値ライブラリより[純金属] - [アルミニウム(AI)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入流出 [sphere] : 表面圧力規定 0.0 [Pa]
- 壁面 [plate\_surf] : メッシュの速度を壁面の速度とする

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

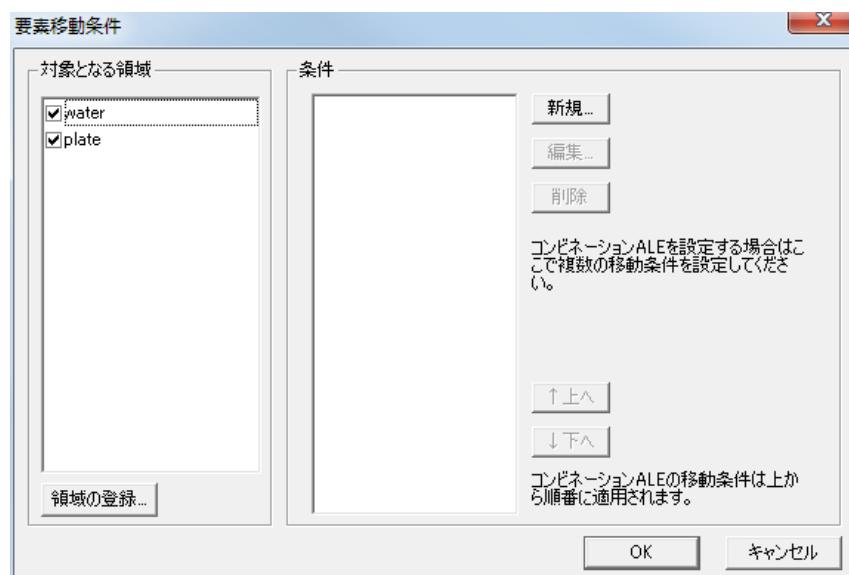
### - その他

- 乱流モデル  
標準 k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 200[サイクル]  
時間間隔 : 0.01[s]
- 要素移動  
[water], [plate] : 移動のタイプ 3次元回転自動計算(ダイナミカル)  
回転の中心 回転物体の重心、毎サイクル求め直す  
物体の慣性テンソル 每サイクル求め直す [plate]  
流体からのトルクを受ける面領域名 [plate\_surf]
- [water], [plate] : 移動のタイプ 3次元並進自動計算(ダイナミカル)  
移動物体質量 自動計算 [plate]  
外力のベクトル (FX, FY, FZ)=(0, 0, 0.0469553)[N]  
流体から力を受ける面領域名 [plate\_surf]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔 10[サイクル])  
初期場を出力する

## 特記事項

### - 要素移動条件の設定方法

- 3次元回転と3次元並進を同一領域に適用し、6自由度の運動を実現します。このとき、回転中心が物体の重心とずれないように回転移動を先行させるため、回転移動の設定を先に登録する必要があります。
- [条件ウィザード] - [要素移動]において新規をクリックし、[要素移動条件]ダイアログを開きます。
- [対象となる領域]で[water], [plate]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。このダイアログで、回転移動の条件を設定します。



- [移動のタイプ]で[3次元回転自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて、以下の設定を行います。

[回転中心] : [回転物体の重心]を選択して、[毎サイクル求め直す]をON  
 [物体の慣性テンソル] : [毎サイクル求め直す]をONにして、[体積領域]で[plate]を選択  
 [流体からのトルクを受ける面領域名] : [plate\_surf]を選択



- 以上の設定が完了したら、**続けて移動条件追加(コンビネーションALE)**をクリックします。

- ここでは、並進移動の条件を設定します。[移動のタイプ]で[3次元並進自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて以下の設定を行います。

[移動物体質量] : [自動計算]を選択して、[質量の積分領域]で[plate]を選択  
 [外力のベクトル] : [FZ]=[0.0469553 N]  
 [流体からの力を受ける面領域名] : [plate\_surf]を選択

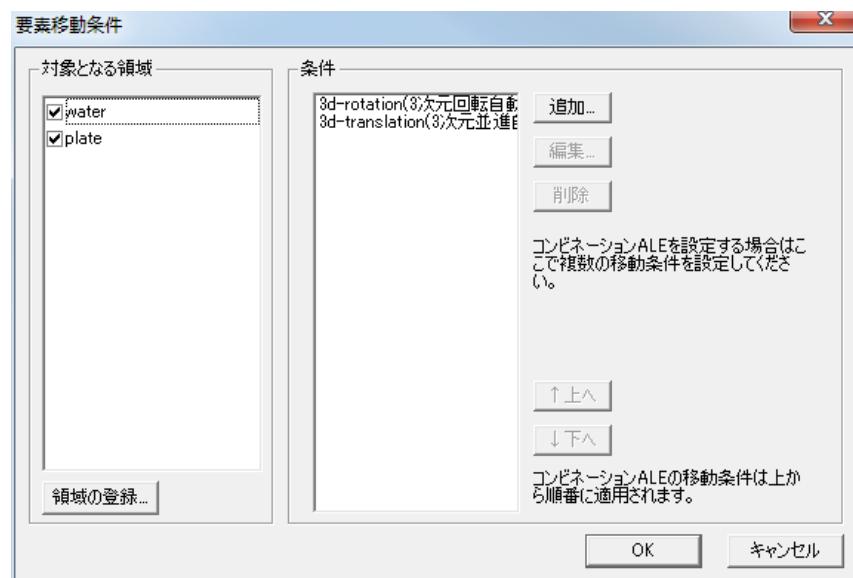


- 以上の設定が完了したら、OKをクリックし、[要素移動条件詳細]ダイアログを閉じます。

(メモ) [外力のベクトル]のZ方向に与えている外力(FZ=0.0469553)は、物体にはたらく水の浮力を示しています。

$$\begin{array}{lcl}
 (\text{物体の体積}) & \times (\text{水の密度}) & \times (\text{重力加速度}) = (\text{浮力}) \\
 4.8 \times 10^{-6} [\text{m}^3] & \times 998.2 [\text{kg/m}^3] & \times 9.8 [\text{N/kg}] = 0.0469553 [\text{N}]
 \end{array}$$

- 以上の2つの要素移動条件を設定した後、[要素移動条件]ダイアログには以下のように設定された2つの条件が登録されます。このように同一物体に対して複数の移動条件が適用されることをコンビネーション機能といいます。



- OKをクリックし、[要素移動条件]ダイアログを閉じます。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA21-3.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [要素移動]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。
- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]を[0.01 s]とします。
- [重力]で[考慮する]をONにします。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。
- [物性値]タブにて、MAT[2]を選択します。続けて、[純金属] - [アルミニウム(Al)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[sphere]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[plate\_surf]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]で[メッシュ速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。

#### 5. [要素移動]

- 特記事項 要素移動条件の設定方法を参照してください。

#### 6. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]で[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。[サイクル間隔]を[10]として、[初期場を出力する]をONにします。

#### 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA21-3]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA21-3.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。  
[固体側にはプリズムを挿入しない]をONにします。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[plate_surf]	[0.001]	[1]	[2]

- 解析実行

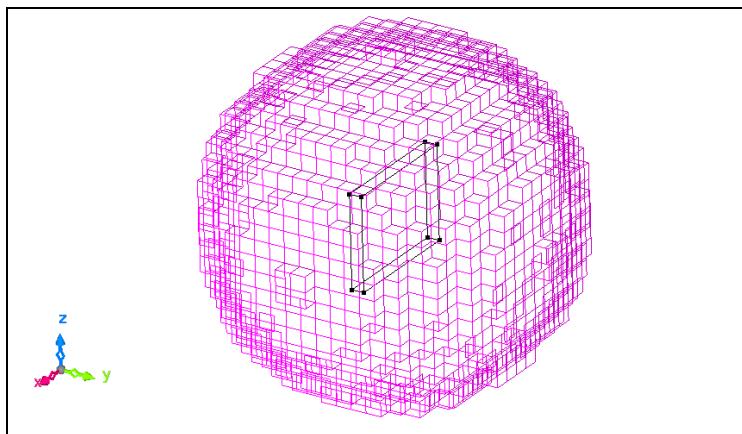
SCTsolverで解析を実行します。

- 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約30秒
  - 計算サイクル数  
200サイクル
- \* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

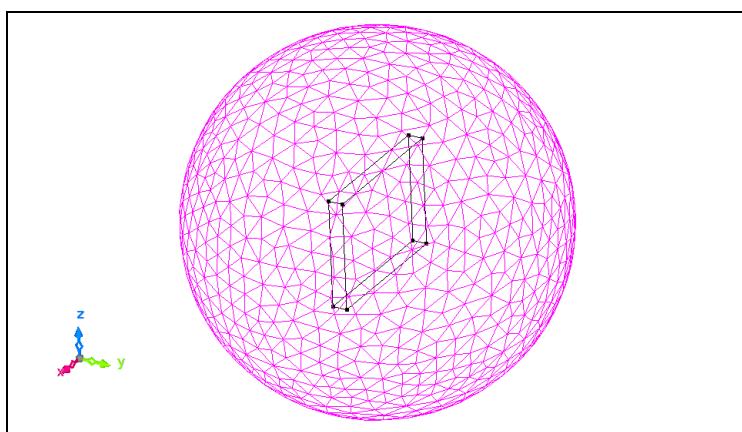
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.05[m]

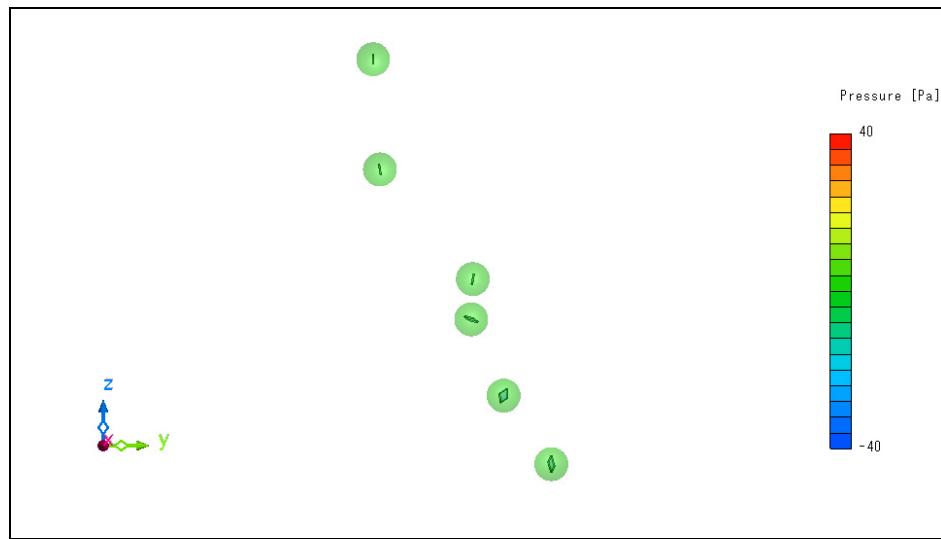
- メッシュ図



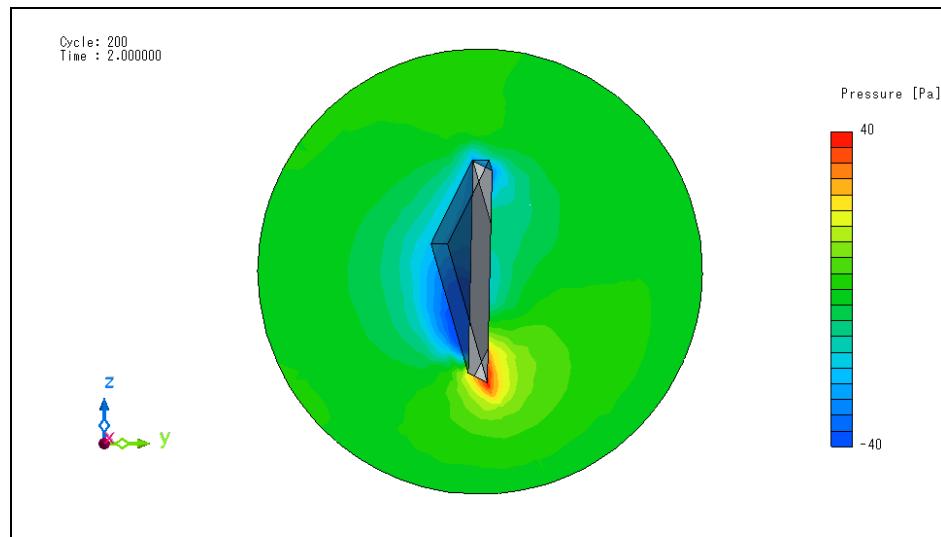
要素数 : 31,664

## 解析結果

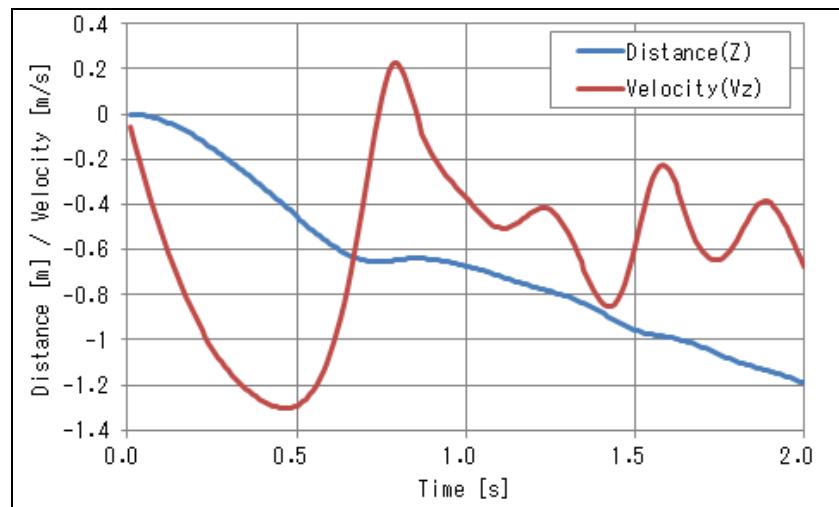
- 圧力コンター図(0, 40, 80, 120, 160, 200サイクル)



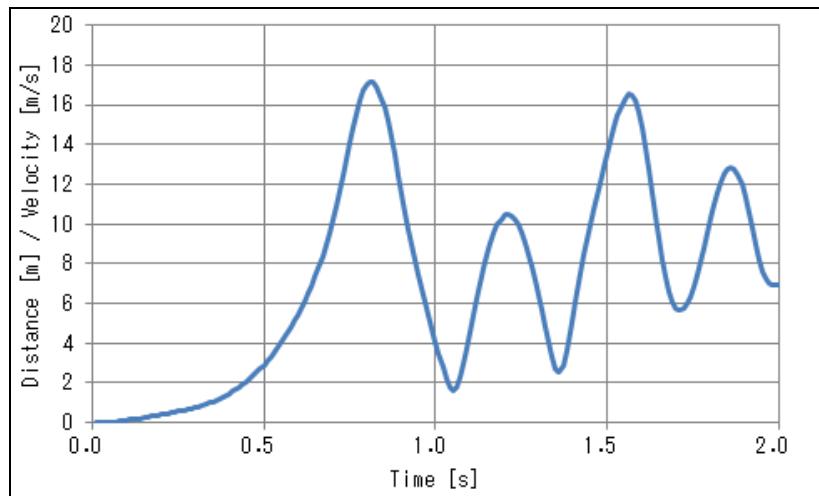
- 圧力コンター図(200サイクル)



- 落下距離と落下速度(Z軸方向成分)



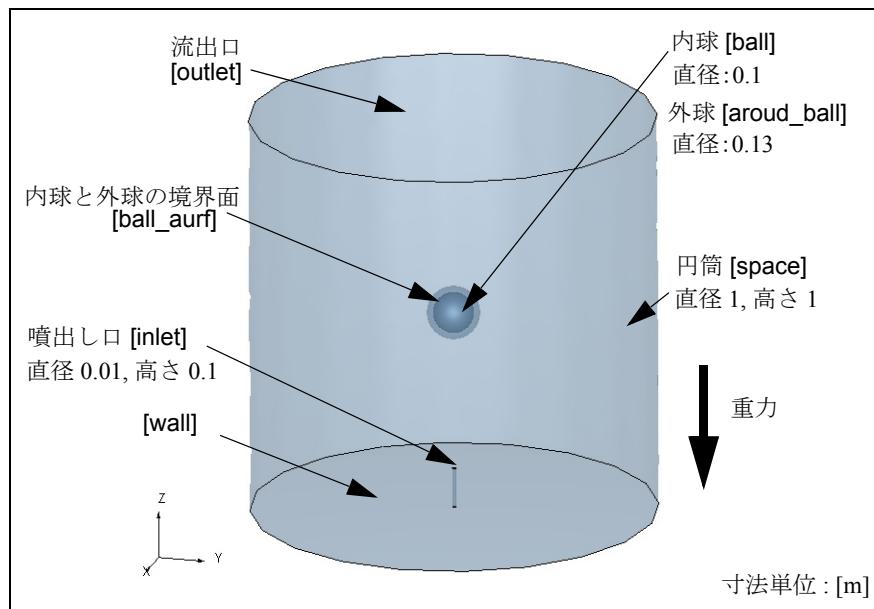
- 回転速度の大きさ



## 例題21.4 球の浮遊シミュレーション

物体(球)を浮遊させる現象を解析します。本例題では、3次元的に任意の方向へ回転・並進することができるダイナミカル機能を用います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

浮遊させる物体は直径0.1[m]の球体です。球体の周囲に直径0.13[m]の球面を作成し、球体との間の空間を流体領域とします。この流体領域が移動する領域となりますので、重合格子の従属領域(移動領域)に設定します。また、重合格子の独立領域(静止領域)となる空間は直径1.0[m]、高さ1.0[m]の円筒として作成し、上面を開口面とした噴出しき(直径0.01[m]、高さ0.1[m])を底面中央に取り付けます。この吹出し口から風速100[m/s]で空気を吹き出させ、空気圧により球体を浮遊させます。

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k-ε方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 要素移動 : 球体(内球)と球面(外球)の移動を同時に考慮します。
- 重合格子 : 従属領域(球体, 球面)と独立領域(円筒)のメッシュを重ねて計算を行います。

## 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向:-9.8[m/s<sup>2</sup>])

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 固体  
密度 14[kg/m<sup>3</sup>]

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 100.0[m/s]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁  
[ball\_surf] : メッシュの速度を壁面の速度とする

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

### - その他

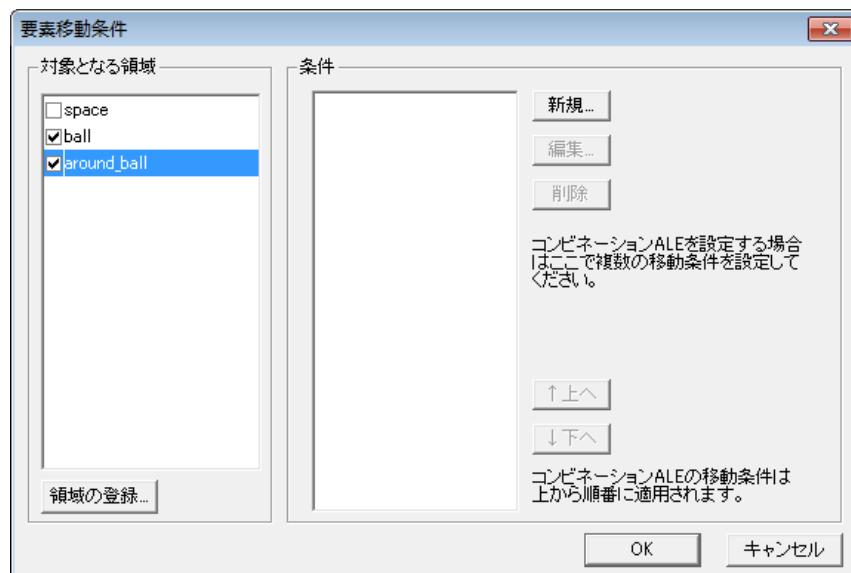
- 乱流モデル  
標準 k-εモデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル： 4,000[サイクル]  
固定時間間隔： 0.001[s]

- 重合格子  
独立領域 従属領域  
[space] [ball]  
[space] [around\_ball]
- 要素移動  
[ball], [around\_ball] : 移動のタイプ 3次元回転自動計算(ダイナミカル)  
物体の慣性テンソル 每サイクル求め直す (体積領域[ball])  
流体からのトルクを受ける面領域名 [ball\_surf]  
[ball], [around\_ball] : 移動のタイプ 3次元並進自動計算(ダイナミカル)  
移動物体質量 自動計算 (質量の積分領域[ball])  
流体から力を受ける面領域名 [ball\_surf]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔100[サイクル])  
初期場を出力する

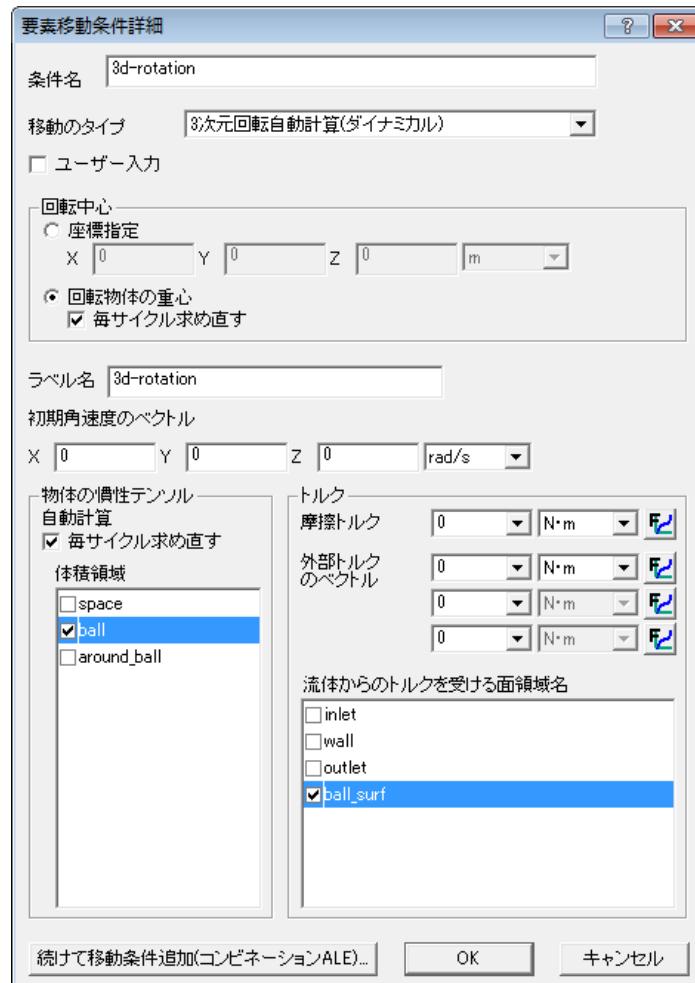
## 特記事項

### - 要素移動条件の設定方法

- 3次元回転と3次元並進を同一領域に適用し、6自由度の運動を実現します。（コンビネーションALE機能）。コンビネーションALE機能では、先に入力された移動条件の回転軸中心や軸方向は、後に入力された移動条件の影響を受けて自動的に修正されます。よって並進移動条件の前にまず、回転移動条件を設定する必要があります。
- [条件ウィザード] - [要素移動]において新規をクリックし、[要素移動条件]ダイアログを開きます。
- [対象となる領域]で[ball], [around\_ball]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。このダイアログで、回転移動の条件を設定します。



- [移動のタイプ]で[3次元回転自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて以下の設定を行います。
  - [回転中心] : [回転物体の重心]を選択して、[毎サイクル求め直す]をON
  - [物体の慣性テンソル] : [毎サイクル求め直す]をONにして、[体積領域]の[ball]を選択
  - [トルク] : [摩擦トルク]に[0 N•m]を入力
  - [流体からのトルクを受ける面領域名] : [ball\_surf]を選択



- 以上の設定が完了しましたら、次に[続けて移動条件追加(コンビネーションALE)]をクリックし、並進移動条件の設定を行います。

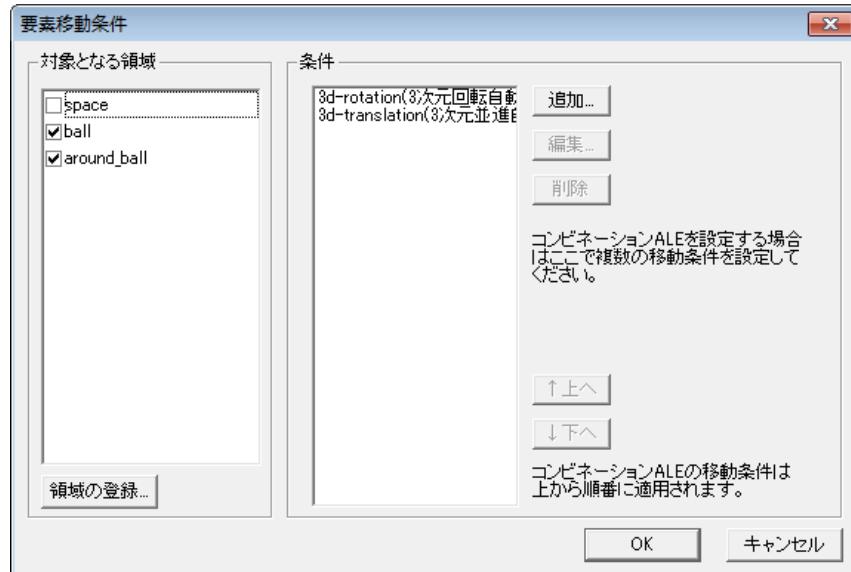
- [移動のタイプ]で[3次元並進自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて以下の設定を行います。

[移動物体質量] : [自動計算]を選択、[質量の積分領域]で[ball]を選択  
 [流体からの力を受ける面領域名] : [ball\_surf]を選択



- 以上の設定が完了したら、OKをクリックし、[要素移動条件詳細]ダイアログを閉じます。

- 以上の2つの要素移動条件を設定した後、[要素移動条件]ダイアログには以下のように設定された2つの条件が登録されます。このように、コンビネーション機能の設定は同一物体に対し、複数の移動条件を設定して行います。



- OKをクリックし、[要素移動条件]ダイアログを閉じます。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動し、[ファイル]-[開く]より exA21-4\_master.mdl、exA21-4\_slave.mdl ([選択したファイルとマージ]) を続けて読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

- [解析選択]
  - [要素移動], [重合格子]をONにします。
- [基本設定]
  - [解析方法]で[非定常解析]を選択します。
 

[開始サイクル]	:	[1]
[終了サイクル]	:	[4000]
  - [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]を[0.001 s]とします。
  - [重力]で[考慮する]をONにします。
- [物性値・基準値]
  - MAT[1]はデフォルトの[空気(非圧縮20°C)]とします。
  - 新規作成をクリックします。[物性値]ダイアログにて[タイプ]を[固体]を選択し、[密度]に[14 kg/m<sup>3</sup>]と入力して、OKをクリックします。次に、MAT[2]を選択し、新規作成した物性値を選択して適用をクリックします。

## 4. [境界条件]

- ・ [領域]から[inlet]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]に[100 m/s]と入力し、[流入乱流量]をONにして、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[ball\_surf]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]で[メッシュ速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。

## 5. [要素移動]

- ・ 特記事項 要素移動条件の設定方法を参照してください。

## 6. [重合格子]

- ・ [独立領域(静止領域)]に[space]、[従属領域(移動領域)]に[ball]を選択し、登録をクリックします。
- ・ [独立領域(静止領域)]に[space]、[従属領域(移動領域)]に[around\_ball]を選択し、登録をクリックします。

## 7. [出力条件]

- ・ [FLD(サイクル)]で[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。  
[サイクル間隔]を[100]として、[初期場を出力する]を選択します。

## 8. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA21-4]と入力します。

## - メッシュ作成（従属領域；[ball], [around\_ball]）

- ・ まず、従属領域のメッシュを作成します。SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]よりexA21-4\_slave.mdl, exA21-4.s, exA21-4\_slave.octを読み込みます。
- ・ [境界層要素挿入パラメータ]（[連続実行]ダイアログ）にて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

[固体側にはプリズムを挿入しない] : ON

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[ball-surf]	自動※	[1]	[2]

※[厚みをオクタントサイズから自動で求める]をON

## - メッシュ作成（独立領域；[space]）

- ・ 続いて独立領域のメッシュを作成します。[ファイル]-[新規作成]をクリックし、[確認]ダイアログではいをクリックします。次に、[ファイル]-[開く]よりexA21-4\_master.mdl, exA21-4.s, exA21-4\_master.octを読み込みます。
- ・ [境界層要素挿入パラメータ]（[連続実行]ダイアログ）にて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

[固体側にはプリズムを挿入しない] : ON

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	自動※	[1]	[2]

※[厚みをオクタントサイズから自動で求める]をON

次に、exA21-4\_master.preが読み込まれた状態で、[ファイル]-[開く]より従属領域のメッシュ exA21-4\_slave.preを読み込みます。[選択したファイルとマージ]を選択してOKをクリックします。以上でメッシュの作成は完了です。ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、マージしたPREファイルをexA21-4.preとして保存します。

#### - 解析実行

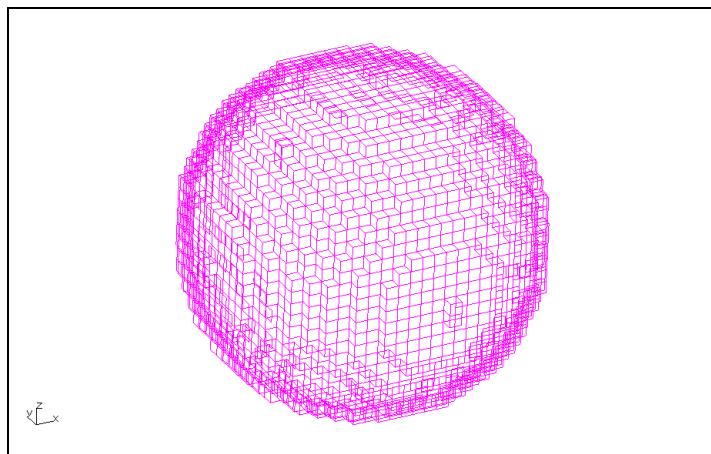
SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約3時間30分
  - 計算サイクル数  
4,000サイクル
- \* 2core 使用時( Intel Xeon X5680 3.33GHz )

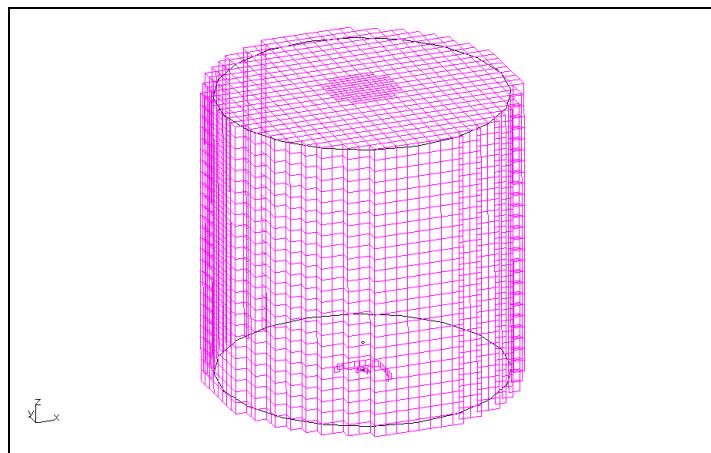
## 解析メッシュ

- 八分木図



従属領域[ball], [around\_ball]

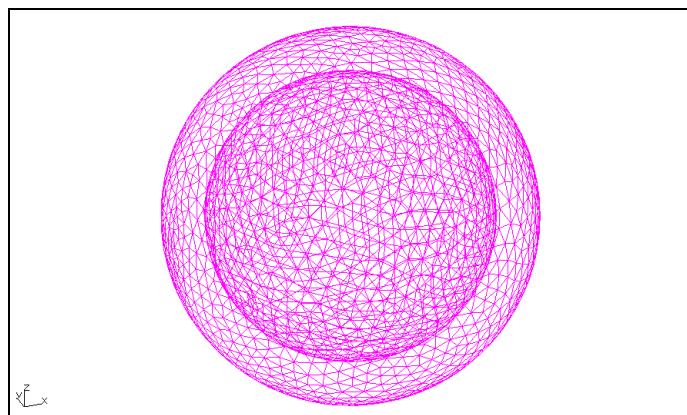
オクタントサイズ : 0.005[m]~0.01[m]



独立領域[space]

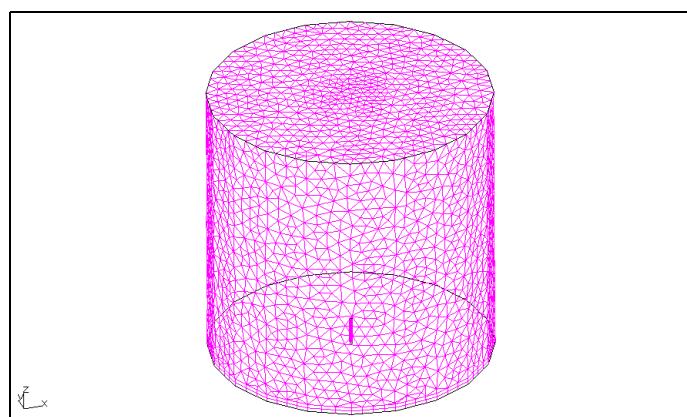
オクタントサイズ : 0.0025[m]~0.04[m]

- メッシュ図



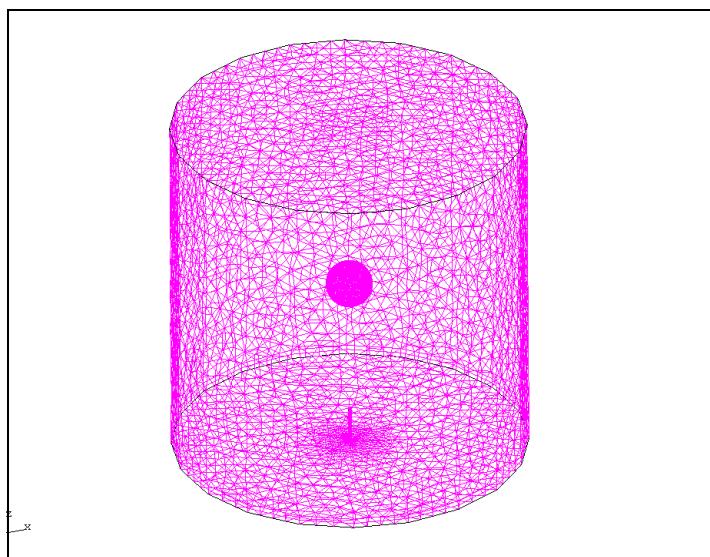
従属領域[ball], [around\_ball]

要素数 : 48,364



独立領域[space]

要素数 : 545,297

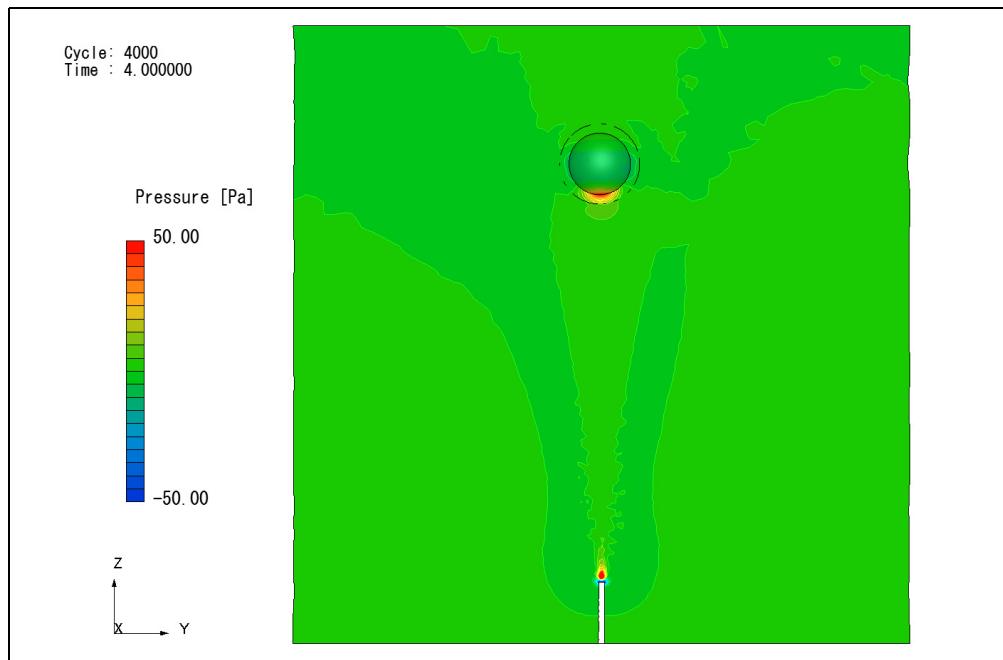


全体 ([space]に[ball]および[around\_ball]をマージ)

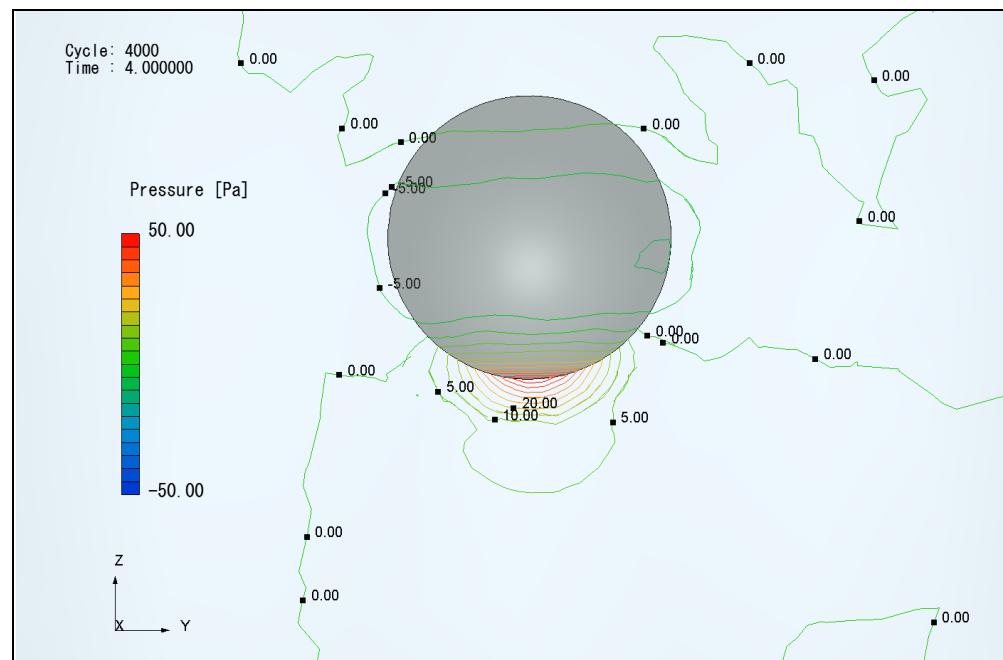
要素数 : 593,661

## 解析結果

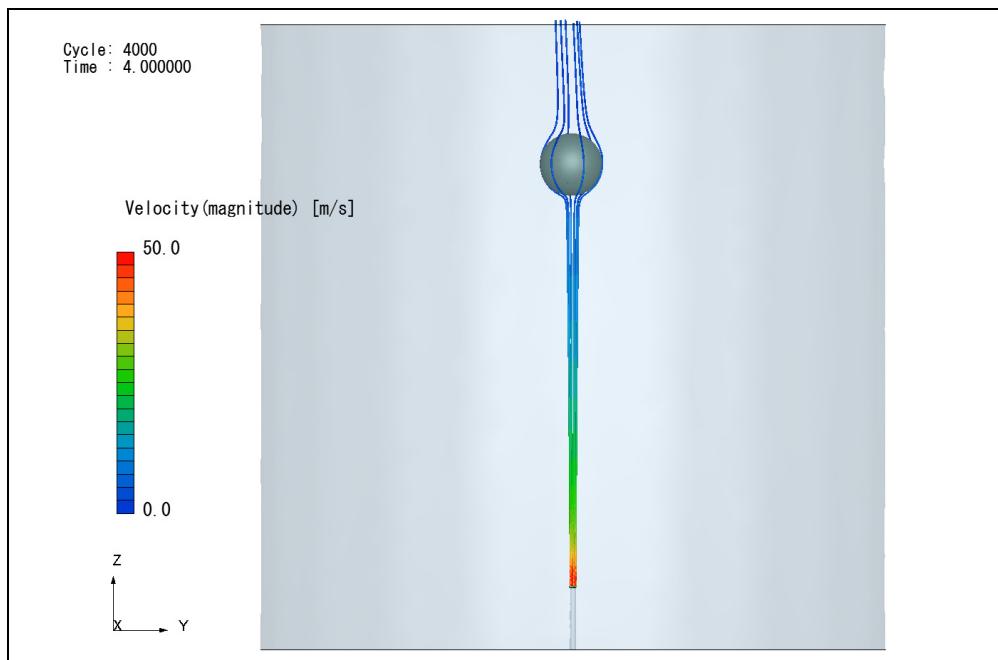
- 圧力コンター図(4,000サイクル)



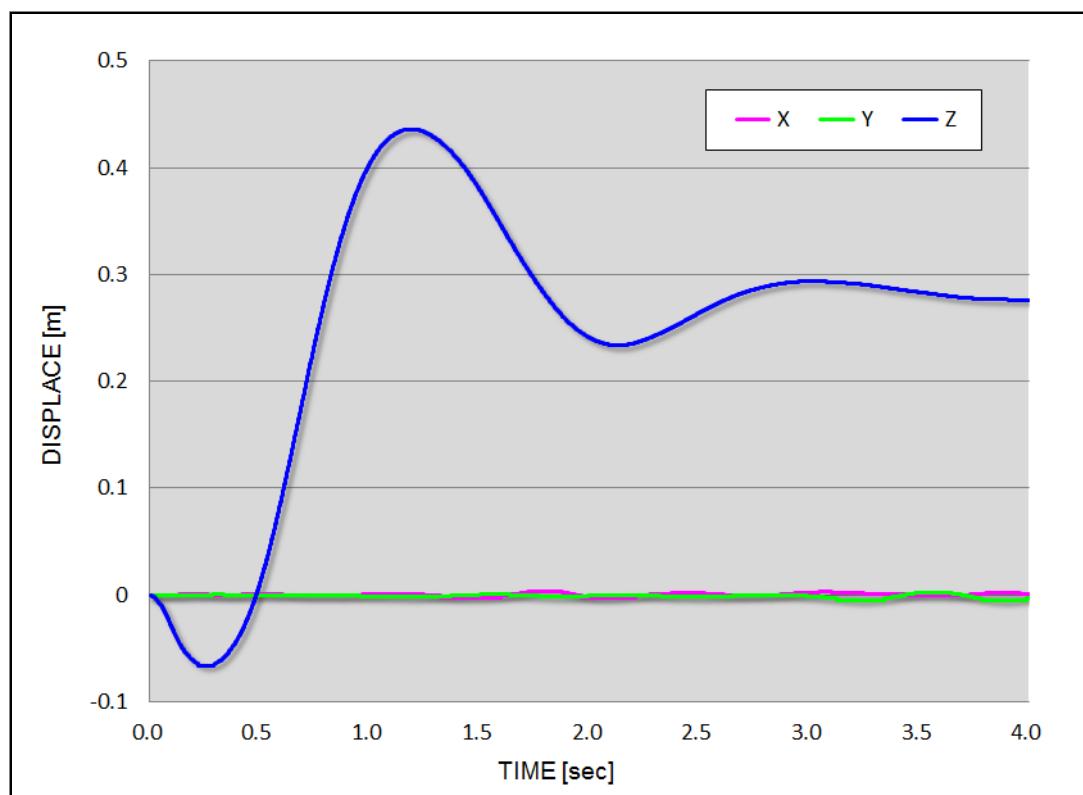
- 圧力等高線(拡大図/4,000サイクル)



- 流線(4,000サイクル)



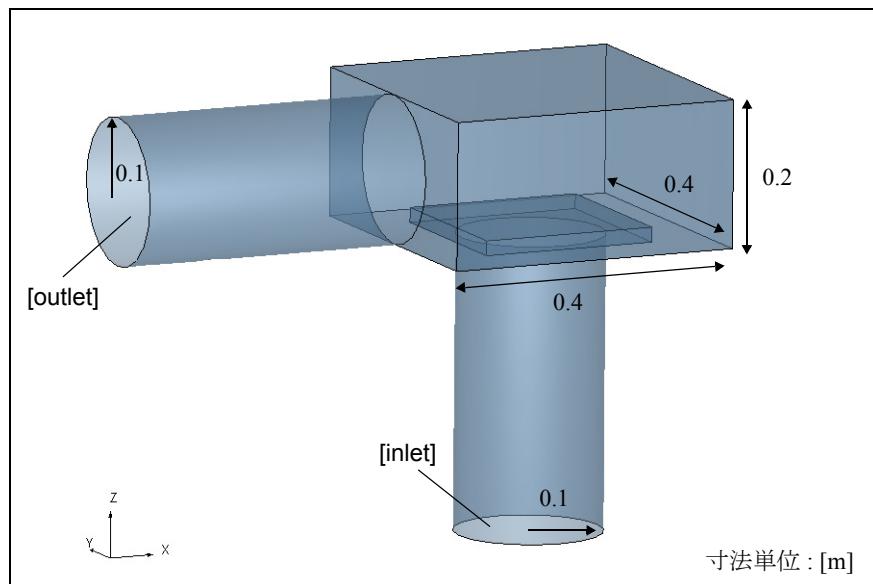
- 浮遊物体(球)の変位



## 例題21.5 バルブ(弁)の開閉シミュレーション(回転1自由度のダイナミカル機能)

ダイナミカル機能と重合格子の併用において、壁面との衝突を行います。このモデルでは流路に開閉弁を設けて、回転1自由度のダイナミカル機能で弁を動かします。衝突する壁面には反発係数を設定します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

流路は半径0.1[m]の円筒です。開閉弁は縦横0.24[m]、厚み0.02[m]の板で、Y軸方向を回転軸にして開閉します。流入面となる[inlet]側の圧力を変化させて流入と流出を行いますが、弁のはたらきにより正味量では[outlet]側に流出していきます。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k- $\epsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 亂流解析を行います。
- 要素移動 : 開閉弁の開閉を考慮します。
- 重合格子 : 従属領域(開閉弁)と独立領域(円筒)のメッシュを重ねて計算を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 鉄(Fe)  
物性値ライブラリより[純金属] - [鉄(Fe)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 表面圧力規定 -10.0～+10.0[Pa]  
(時間変化テーブル)
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [duct\_wall] : 静止壁
- [flap\_surf] : メッシュの速度を壁面の速度とする

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

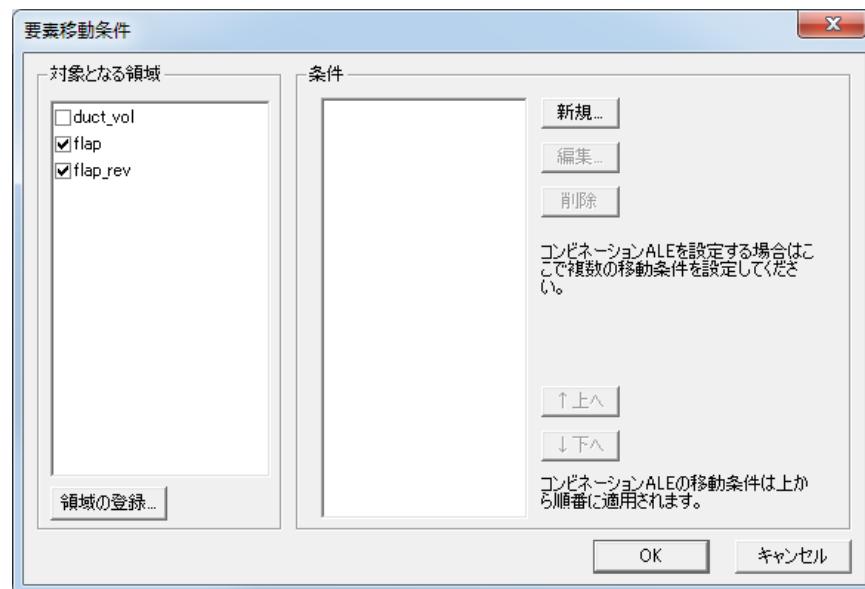
### - その他

- 乱流モデル  
標準 k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 2,000[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.02[s]
- 重合格子  
独立領域 従属領域  
[duct\_vol] [flap]  
[duct\_rev] [flap\_rev]  
反発係数 : [ceiling] 1.0  
[hit\_wall] 0.3
- 要素移動  
[flap], [flap\_rev] : 移動のタイプ 1次元回転自動計算(ダイナミカル)  
物体の慣性モーメント 自動計算 [flap]  
流体からのトルクを受ける面領域名 [flap\_surf]
- 図化ファイル  
出力のタイミング: 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔100[サイクル])  
初期場を出力する

## 特記事項

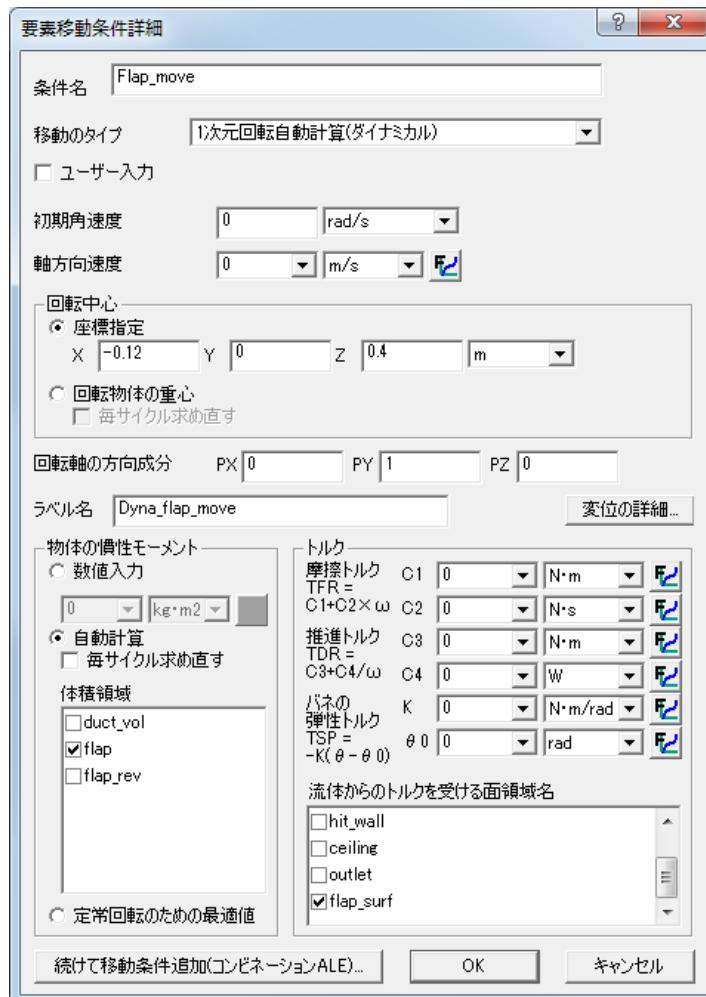
### - 要素移動条件の設定方法

- 1次元回転自動計算(ダイナミカル)を従属領域[flap], [flap\_rev]に設定します。
- [条件ウィザード] - [要素移動]において新規をクリックし、[要素移動条件]ダイアログを開きます。
- [対象となる領域]で[flap], [flap\_rev]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。このダイアログで、回転移動の条件を設定します。



- [移動のタイプ]で[1次元回転自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて以下の設定を行います。

[座標指定] : [(-0.12, 0, 0.4)m]  
 [回転軸の方向成分] : [PY]=[1]  
 [物体の慣性モーメント] : [自動計算]を選択して、[体積領域]の[flap]を選択  
 [流体からのトルクを受ける面領域名] : [flap\_surf]を選択



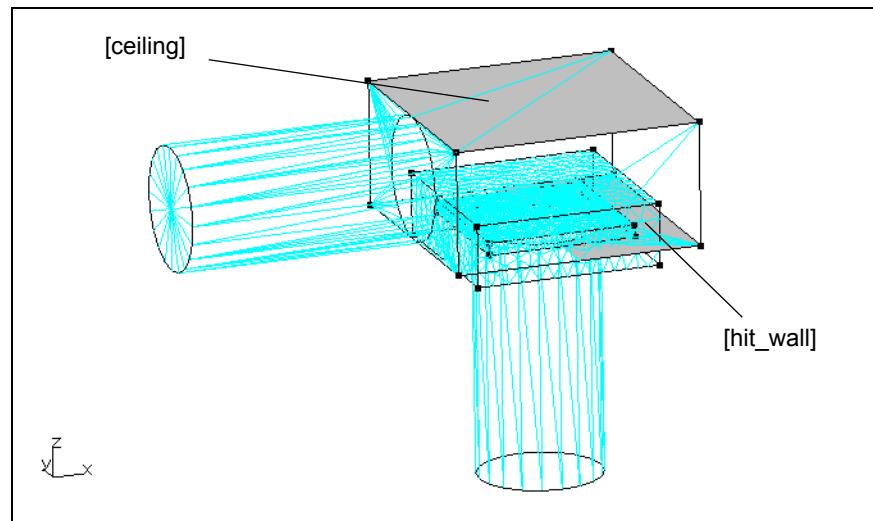
- 以上の設定が完了したら、OKをクリックし、[要素移動条件詳細]ダイアログを閉じます。続けて、[要素移動条件]ダイアログもOKをクリックして閉じます。

#### - 重合格子の条件設定方法

- 重合格子の独立領域と従属領域を設定し、さらに重合格子とダイナミカル機能の併用において衝突と反発を行うため、反発係数を入力します。
- [条件ウィザード] - [重合格子]で、[独立領域(静止領域)]に[duct\_vol], [従属領域(移動領域)]に[flap]を選択し、登録をクリックします。
- 続いて、[独立領域(静止領域)]に[duct\_rev], [従属領域(移動領域)]に[flap\_rev]を選択し、登録をクリックします。
- 次に[反発係数]タブをクリックすると、以下に示される反発係数の設定ダイアログに切り替わります。



- [ceiling]を選択し、[条件]の[設定対象のタイプ]で[壁面(独立領域)]を選択して[反発係数]に[1.0]を入力し適用をクリックします。
- [hit\_wall]を選択し、[設定対象のタイプ]で[壁面(独立領域)]を選択して[反発係数]に[0.3]を入力し適用をクリックします。従属領域側の開閉弁は設定しません。



#### 注意事項

反発係数は独立領域側か従属領域側のどちらかの壁面に設定すれば有効になり、その部分で衝突と反発が行われます(両方設定された場合は、独立領域側の反発係数が優先)。この解析例では独立領域側のみに設定しています。ここで、下壁では一部だけ[hit\_wall]を面登録して反発係数を設定しています。これは開閉弁の支点(回転軸)が流路の壁面と常に接触しており、仮にその部分にも反発係数を設定してしまうと開閉弁は常に下壁と衝突しているとみなされて動きが止まってしまうという誤作動を回避しています。不必要な部分での衝突判定を避けるため、また計算効率の上でも反発係数を設定する部分は絞っておくのが有効です。そのほか、反発係数を設定する場所は壁条件(WL02, WL00)が設定されて

いる必要があります。フリースリップ壁や流入流出口には設定できません(重合格子による壁面の接触判定と同じ仕様)。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動し、[ファイル] - [開く]より exA21-5\_master.mdl、exA21-5\_slave.mdl ([選択したファイルとマージ]) を続けて読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [要素移動], [重合格子]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [2000]

- ・ [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]を[0.02 s]とします。

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ MAT[1]はデフォルトの[空気(非圧縮20°C)]とします。
- ・ MAT[2]を選択し、[純金属] - [鉄(Fe)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- ・ [領域]から[inlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の をクリックします。[テーブル一覧]ダイアログで登録をクリックし、[テーブル登録]ダイアログの[種類]に[関数テーブル], [関数のタイプ]に[sin]を選択します。続いて、[Item1]の[A]に[10], [B]に[0.314159]を入力し、挿入をクリックして、OKでダイアログを閉じます。続けて、[テーブル一覧]ダイアログと[表面圧力規定]ダイアログも閉じます。
- ・ [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログの[圧力指定]に[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[duct\_wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。
- ・ [領域]から[flap\_surf]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]で[メッシュ速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。

#### 5. [要素移動]

- ・ [重合格子]の前に[要素移動]を設定します。特記事項 要素移動条件の設定方法を参照してください。

#### 6. [重合格子]

- ・ 特記事項 重合格子の条件設定方法を参照してください。

#### 7. [出力条件]

- ・ [断面流量]で、[指定サイクル毎に出力]を選択して[サイクル間隔]に[1]を入力します。[登録領域・ポリゴン一覧]で[inlet]を選択して、追加をクリックします。

- [FLD(サイクル)]で[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。  
[サイクル間隔]を[100]として、[初期場]で[出力する]をONにします。

#### 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA21-5]と入力します。

#### ・従属領域([flap], [flap\_rev])

##### - モデル

まず、従属領域のメッシュを作成します。[ファイル]-[新規作成]をクリックし、[確認]ダイアログではいをクリックします。[ファイル]-[開く]より exA21-5\_slave.mdl, exA21-5.s を読み込みます。

##### - 八分木

[ファイル]-[開く]より exA21-5\_slave.oct を読み込みます。

##### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。[固体側にはプリズムを挿入しない]をONにします。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[flap_surf]	[0.002]	[1]	[3]

#### ・独立領域([duct\_vol])

##### - モデル

続けて、独立領域のメッシュを作成します。[ファイル]-[新規作成]をクリックし、[確認]ダイアログではいをクリックします。次に、[ファイル]-[開く]より exA21-5\_master.mdl を読み込みます。

##### - 八分木

[ファイル]-[開く]より exA21-5\_master.oct を読み込みます。

##### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[duct_wall]	[0.004]	[1]	[2]

次に、exA21-5\_master.preが読み込まれた状態で、[ファイル]-[開く]より 従属領域のメッシュ exA21-5\_slave.pre を読み込みます。[選択したファイルとマージ]を選択してOKをクリックします。以上でメッシュの作成は完了です。ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、マージしたPREファイルをexA21-5.preとして保存します。

##### - 解析実行

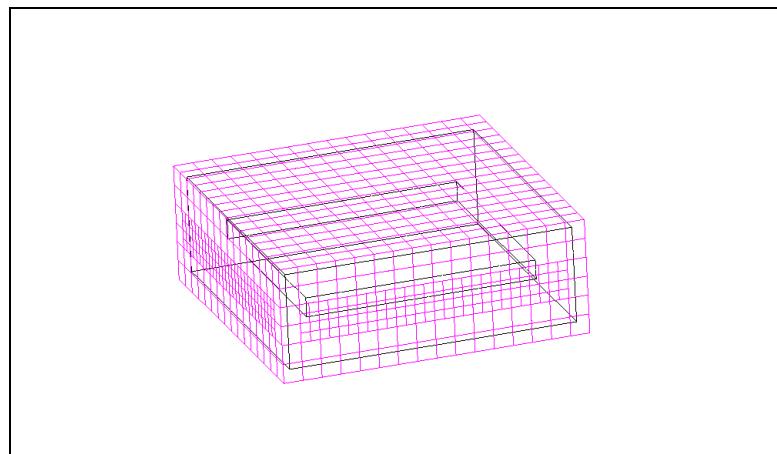
SCTsolverで解析を実行します。

- 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約28分
  - 計算サイクル数  
2000サイクル
- \* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

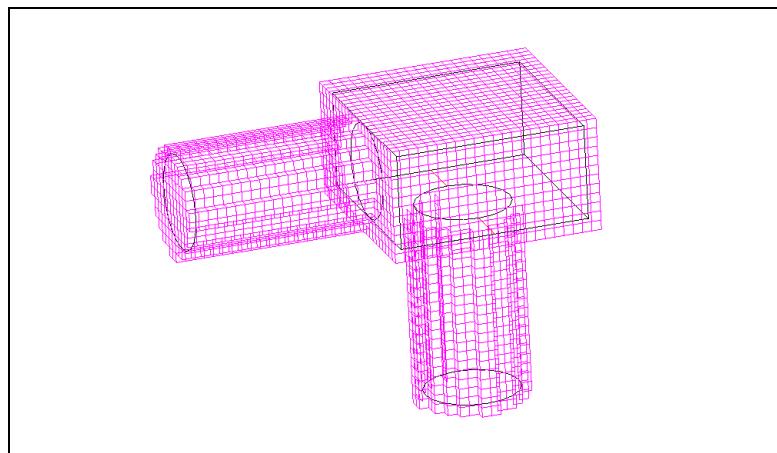
## 解析メッシュ

- 八分木図



従属領域[flap], [flap\_rev]

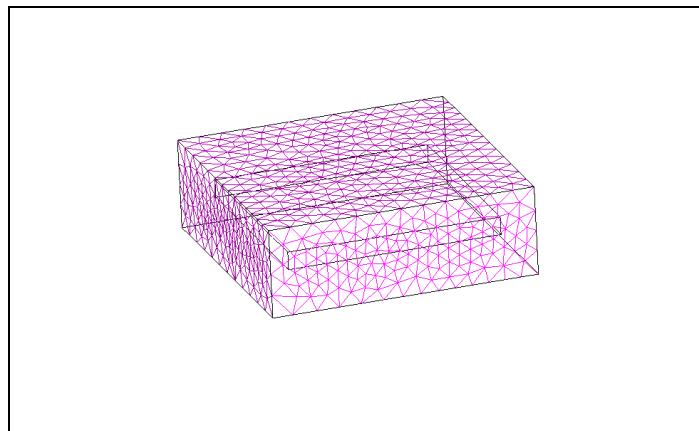
オクタントサイズ : 0.01[m]~0.02[m]



独立領域[duct\_vol]

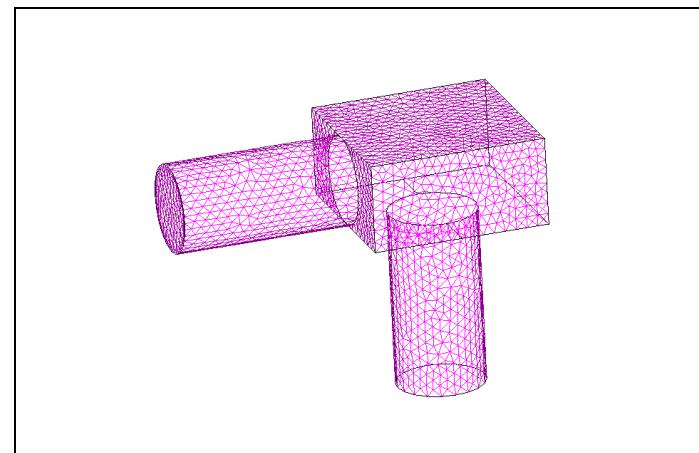
オクタントサイズ : 0.02[m]

• メッシュ図



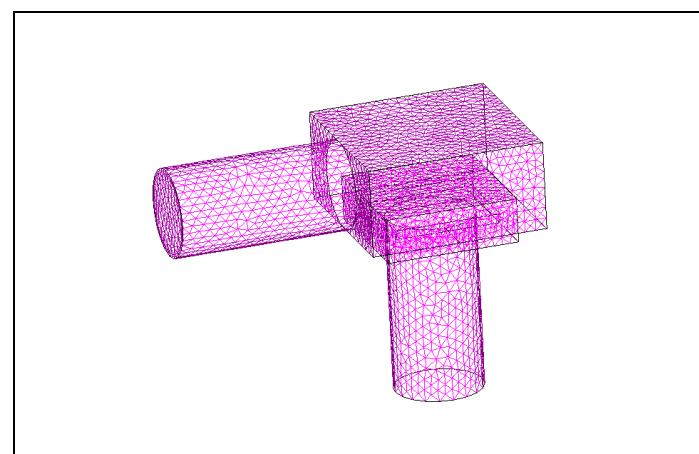
従属領域[flap], [flap\_rev]

要素数 : 46,804



要素数 : 64,667

独立領域[duct\_vol]

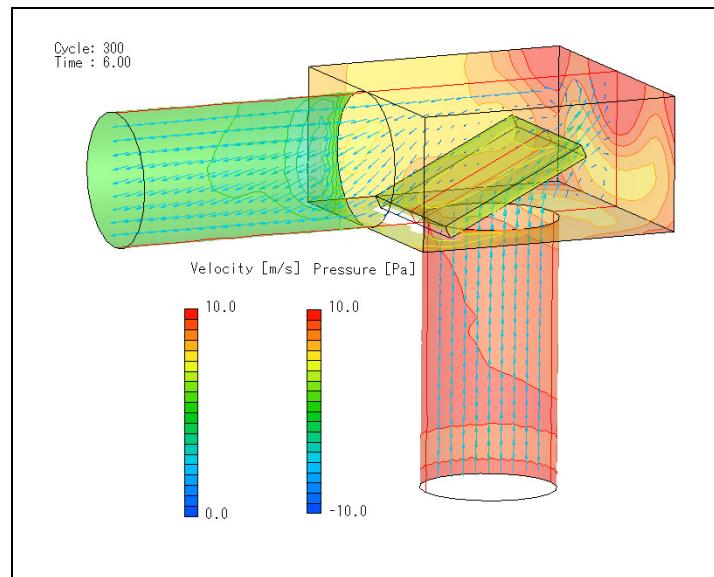


全体([duct\_vol], [flap], [flap\_rev]をマージしたものの)

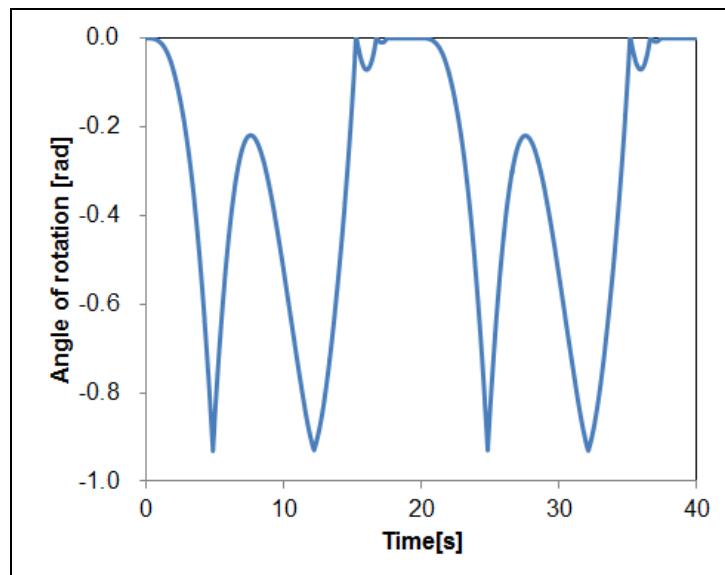
要素数 : 111,471

## 解析結果

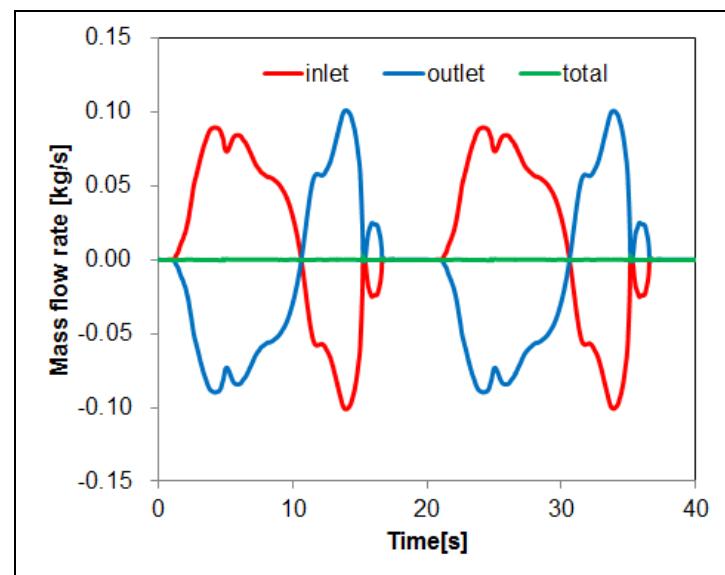
- 圧力センター、流速ベクトル図 (300サイクル/6.0秒)



- 弁の開閉 (回転角度[rad])



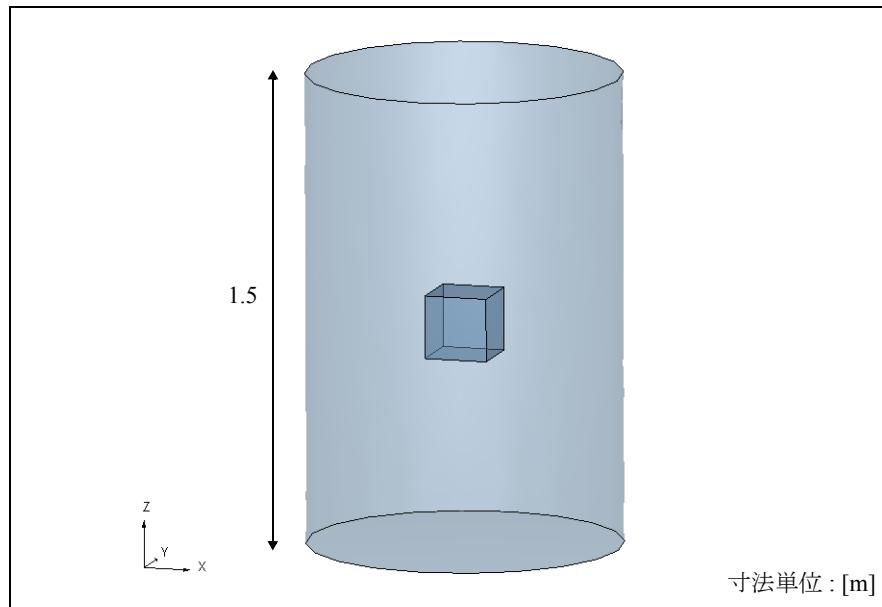
- 質量流量



## 例題21.6 立方体の衝突シミュレーション(6自由度のダイナミカル機能)

容器の中に立方体を配置し、重力で自由落下させて底面との衝突のシミュレーションを行います。重合格子とダイナミカル機能を併用し、立方体は6自由度で運動させます。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

円筒容器は直径1.0[m]、高さ1.5[m]です。立方体は縦×横×高さがそれぞれ0.2[m]で、自由に回転・並進移動します(6自由度)。-Z方向に重力が作用している状況で、わずかな初期回転速度を与えて立方体を自由落下させます。ダイナミカル機能と重合格子の併用における壁面衝突を行い、容器の底面に衝突・反発を繰り返します(反発係数は1.0)。立方体の初期位置は高さ0.6[m]で、初期回転速度(ベクトル) $\omega = (0.5, 0.2, 0.0)[\text{rad/s}]$ を与えています。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\epsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 亂流解析を行います。
- 要素移動 : 立方体の移動を考慮します。
- 重合格子 : 従属領域(立方体)と独立領域(円筒)のメッシュを重ねて計算を行います。

## 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向:-9.8[m/s<sup>2</sup>])

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 杉(300K)  
物性値ライブラリより[木材] - [杉(300K)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入流出口 [up] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [side\_wall], [bottom] : 静止壁  
[cub\_surf] : メッシュの速度を壁面の速度とする

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

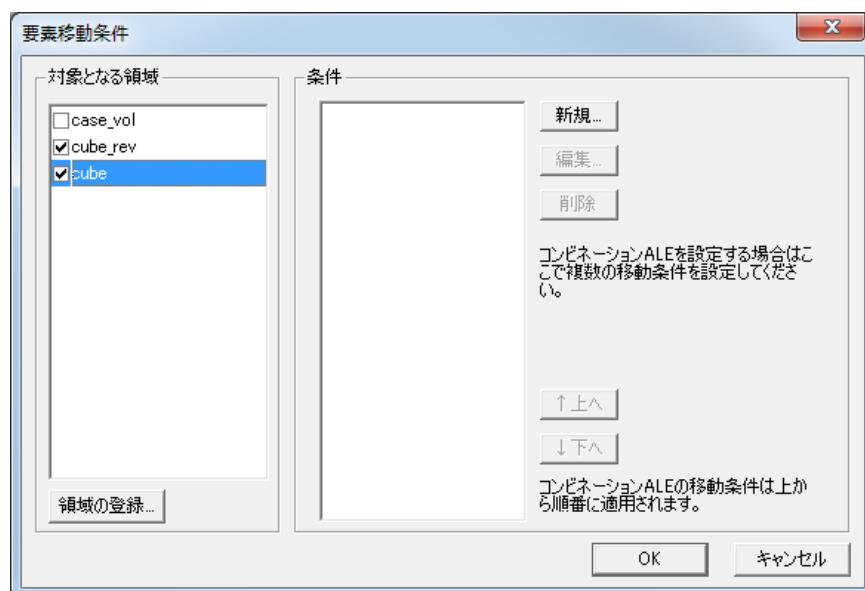
### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 4,000[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.0025[s]
- 重合格子  
独立領域 : [case\_vol]  
従属領域 : [cube], [cube\_rev]  
反発係数 : [cube\_surf] 1.0
- 要素移動  
[cube], [cube\_rev] : 移動のタイプ 3次元回転自動計算(ダイナミカル)  
物体の慣性テンソル 每サイクル求め直す [cube]  
流体からのトルクを受ける面領域名 [cube\_surf]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔 500[サイクル])  
初期場を出力する

## 特記事項

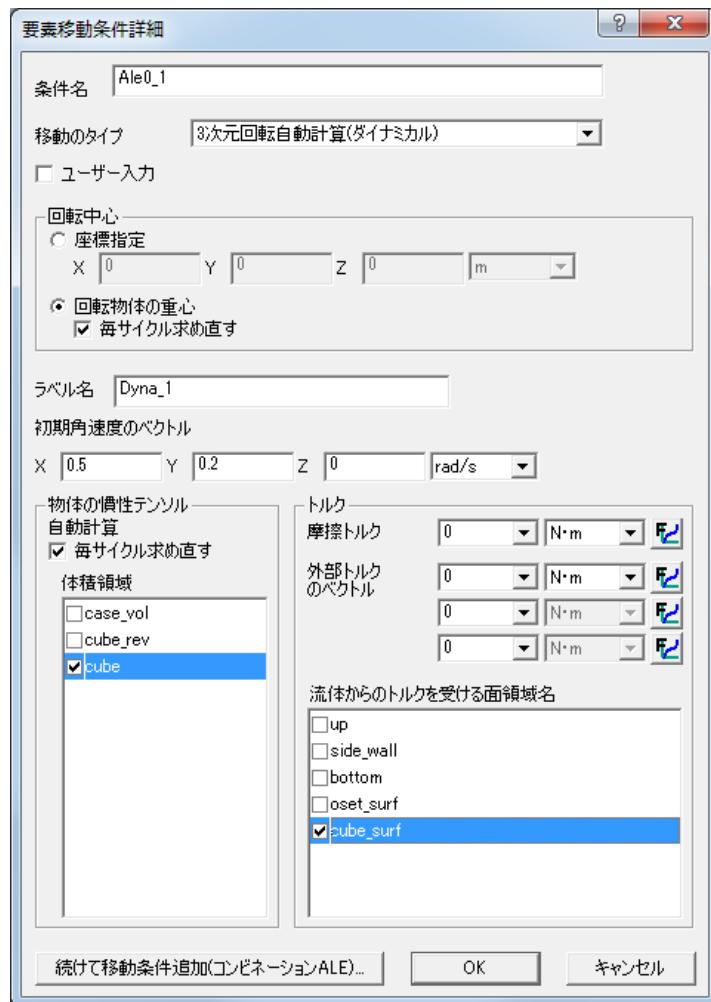
### - 要素移動条件の設定方法

- 3次元回転と3次元並進を同一領域に適用し、6自由度の運動を実現します。このとき、回転中心が物体の重心からずれないように、回転移動の設定を並進移動の設定よりも先に行います(設定後、[要素移動条件]ダイアログで設定の順番を入れ替えることも可能です)。
- [条件ウィザード]-[要素移動]において新規をクリックし、[要素移動条件]ダイアログを開きます。
- [対象となる領域]で[cube], [cube\_rev]をONにし、新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。このダイアログで、回転移動の条件を設定します。



- [移動のタイプ]で[3次元回転自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて、以下の設定を行います。

[回転中心] : [回転物体の重心]を選択して、  
 [初期角速度のベクトル] : [(0.5, 0.2, 0) rad/s]  
 [物体の慣性テンソル] : [每サイクル求め直す]をONにして、[体積領域]の[cube]を選択  
 [流体からのトルクを受ける面領域名] : [cube\_surf]をON



- 以上の設定が完了したら、**続けて移動条件追加(コンビネーションALE)**をクリックします。

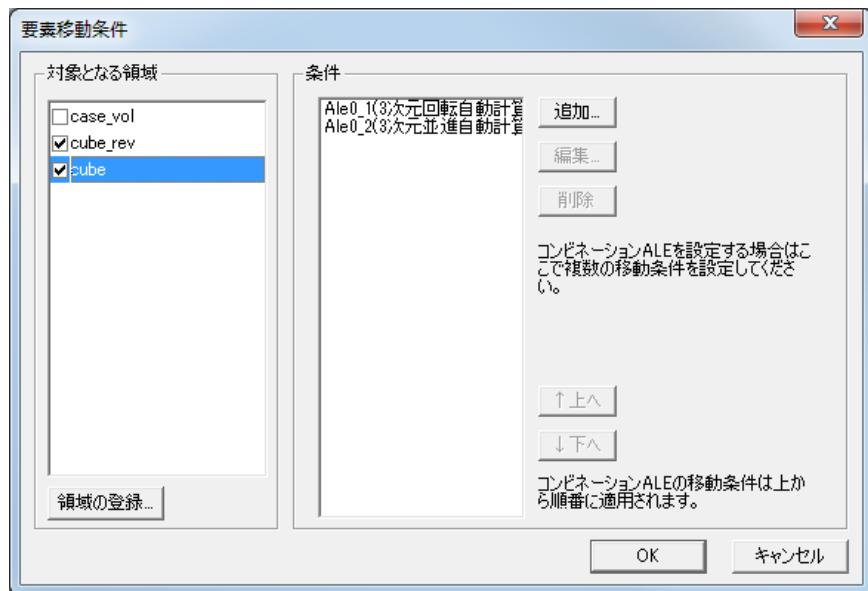
- ここでは、並進移動の条件を設定します。[移動のタイプ]で[3次元並進自動計算(ダイナミカル)]を選択します。続いて、以下の設定を行います。

[移動物体质量] : [自動計算]を選択して、[質量の積分領域]で[cube]をON  
 [流体からの力を受ける面領域名] : [cube\_surf]をON

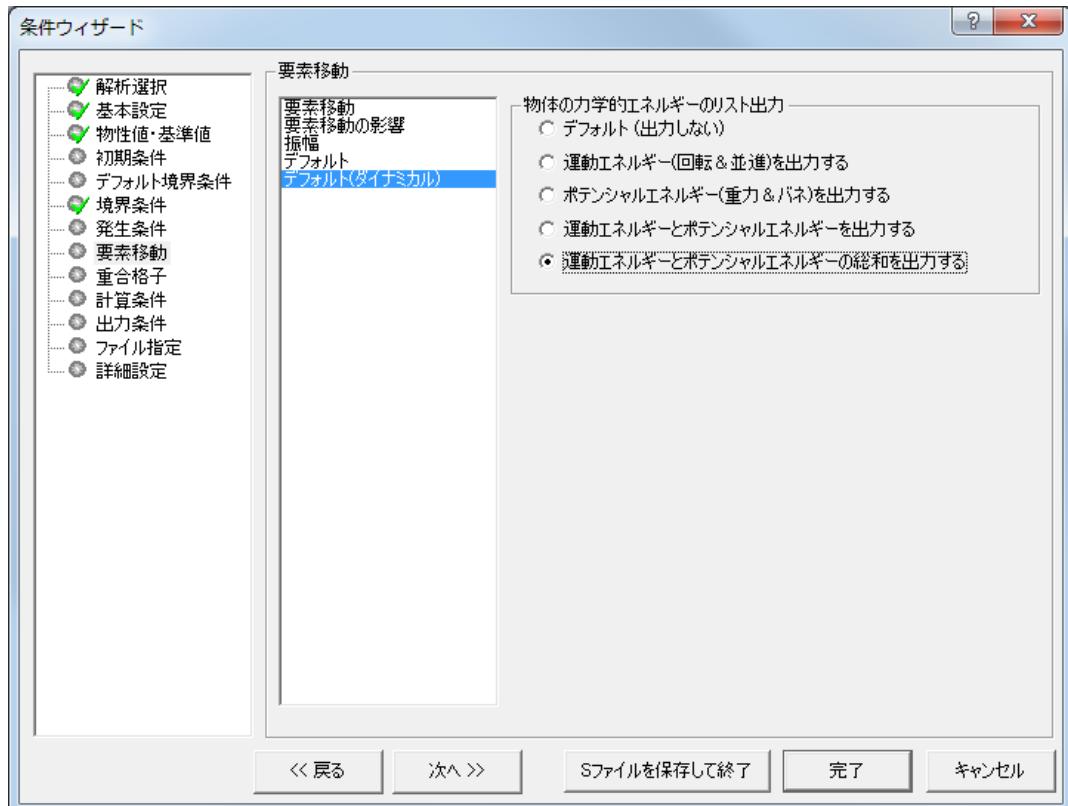


- 以上の設定が完了したら、OKをクリックし、[要素移動条件詳細(コンビネーションALE)]ダイアログを閉じます。

- これで6自由度のダイナミカル機能の設定が完了し、[要素移動条件]ダイアログは以下のようになります。

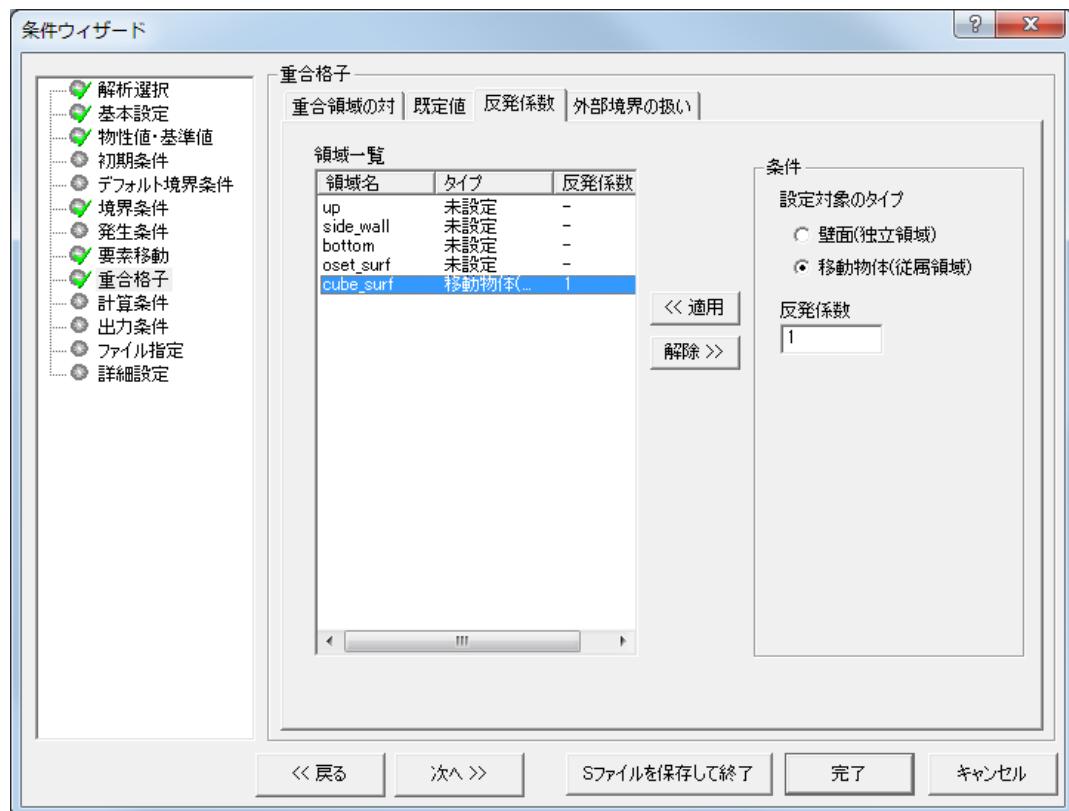


- OKをクリックし、[要素移動条件]ダイアログを閉じます。
- [条件ウィザード]-[要素移動]の[デフォルト(ダイナミカル)]で[運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの総和を出力する]を選択します。



### - 重合格子の条件設定方法

- 重合格子の独立領域と従属領域を設定し、さらに重合格子とダイナミカル機能の併用において衝突と反発を行うため、反発係数を入力します。
- [条件ウィザード]-[重合格子]で、[独立領域(静止領域)]に[case\_vol], [従属領域(移動領域)]に[cube]を選択し、登録をクリックします。
- 続いて、[独立領域(静止領域)]に[case\_vol], [従属領域(移動領域)]に[cube\_rev]を選択し、登録をクリックします。
- 次に[反発係数]タブをクリックすると、以下に示される反発係数の設定ダイアログに切り替わります。



- [cube\_surf]を選択し、[条件]の[設定対象のタイプ]で[移動物体(従属領域)]を選択して[反発係数]に[1]を入力し適用をクリックします。

## 解析手順

### ・ 従属領域([cube], [cube\_rev])

#### - モデル

まず、従属領域のメッシュを作成します。SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]より exA21-6\_slave.mdlを読み込みます。

#### - 八分木

[ファイル]-[開く]より exA21-6\_slave.octを読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。[厚みをオクタントサイズから自動で求める]をONにして設定します。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[cube_surf]	自動	[1]	[2]

### ・ 独立領域([case\_vol])

#### - モデル

続けて独立領域のメッシュを作成します。[ファイル]-[新規作成]をクリックし、[確認]ダイアログではいをクリックします。次に、[ファイル]-[開く]より exA21-6\_master.mdlを読み込みます。

#### - 八分木

[ファイル]-[開く]より exA21-6\_master.octを読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。[厚みをオクタントサイズから自動で求める]をONにして設定します。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[side_wall]	自動	[1]	[2]
[bottom]			

次に、exA21-6\_master.preが読み込まれた状態で、[ファイル]-[開く]より 従属領域のメッシュ exA21-6\_slave.preを読み込みます。[選択したファイルとマージ]を選択してOKをクリックします。以上でメッシュの作成は完了です。ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、マージしたPREファイルをexA21-6.preとして保存します。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [要素移動], [重合格子]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [4000]

- ・ [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]を[0.0025 s]とします。

- ・ [重力]で[考慮する]をONにします。

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ MAT[1]はデフォルトの[空気(非圧縮20°C)]とします。

- ・ MAT[2]を選択し、[木材] - [杉(300K)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- ・ [領域]から[up]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。

- ・ [領域]から[side\_wall], [bottom]を選択し、壁面をクリックします。

[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

- ・ [領域]から[cube\_surf]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]で[メッシュ速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。

#### 5. [要素移動]

- ・ 特記事項 要素移動条件の設定方法を参照してください。

#### 6. [重合格子]

- ・ 特記事項 重合格子の条件設定方法を参照してください。

#### 7. [出力条件]

- ・ [FLD(サイクル)]で[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。

[サイクル間隔]を[500]として、[初期場]について[出力する]をONにします。

#### 8. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA21-6]と入力します。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- ・ SCTsolverの実行時間

約20分

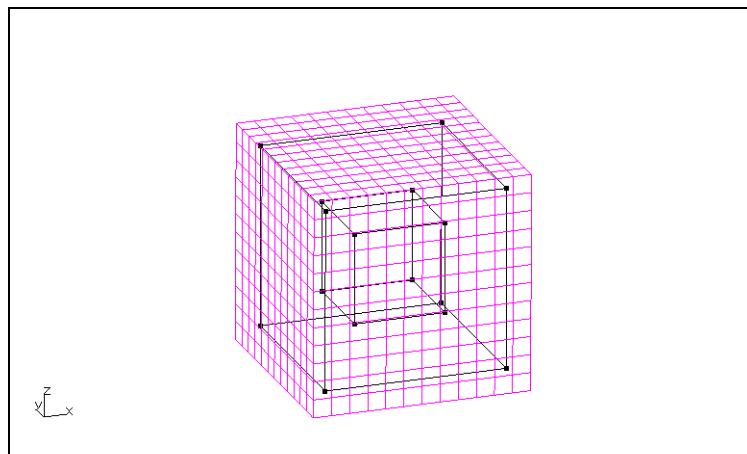
- ・ 計算サイクル数

4,000サイクル

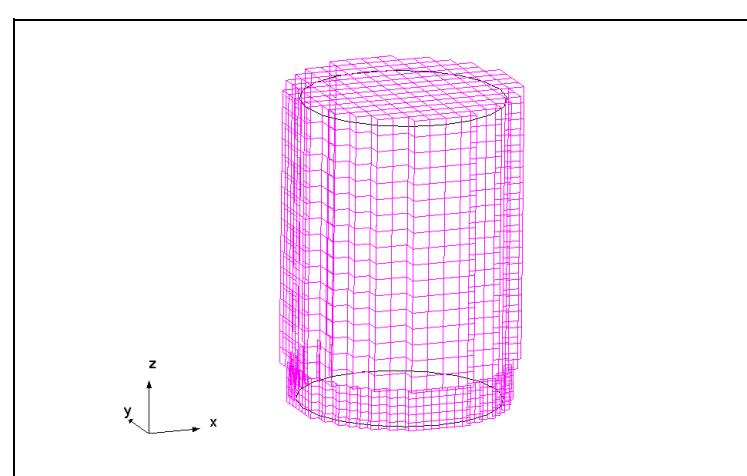
\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析メッシュ

- 八分木図

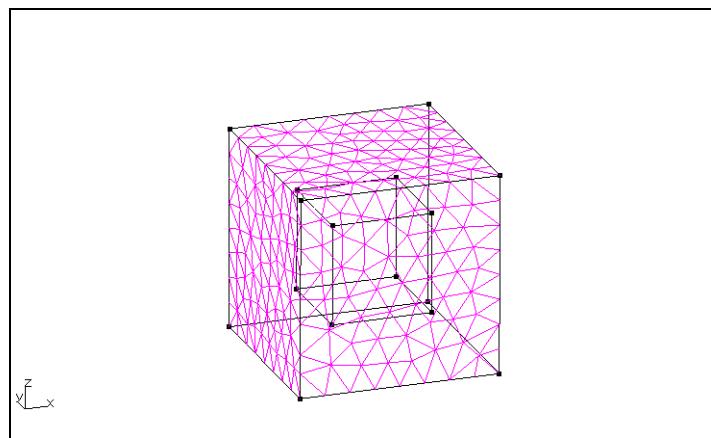


オクタントサイズ : 0.04[m]



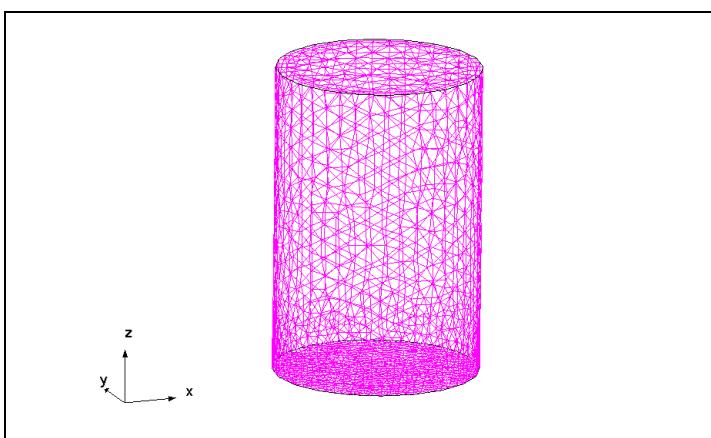
オクタントサイズ : 0.04[m]~0.08[m]

• メッシュ図



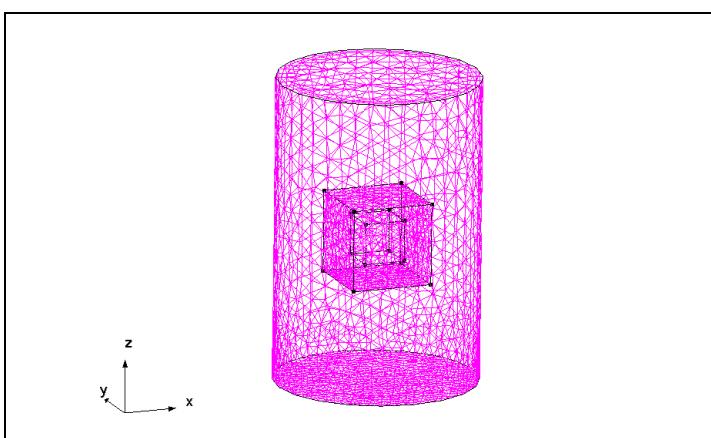
従属領域[cube], [cube\_rev]

要素数 : 7,894



独立領域[case\_vol]

要素数 : 34,056

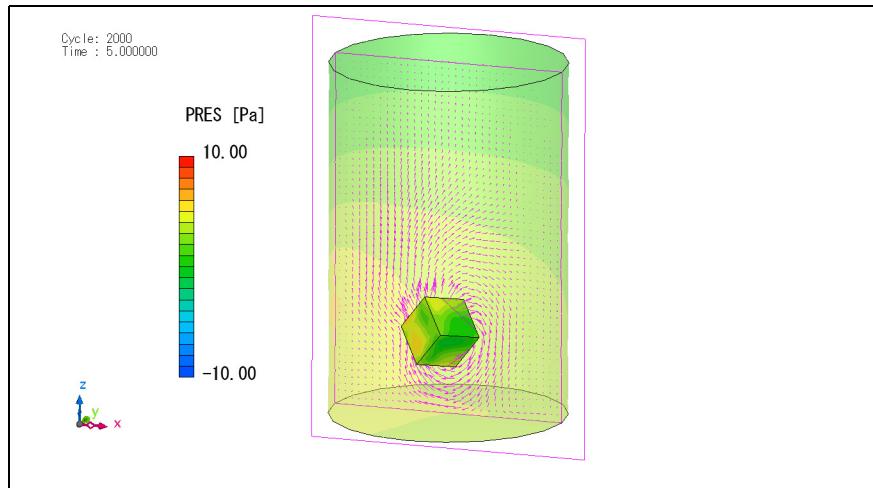


全体([case\_vol], [cube], [cube\_rev]をマージしたもの)

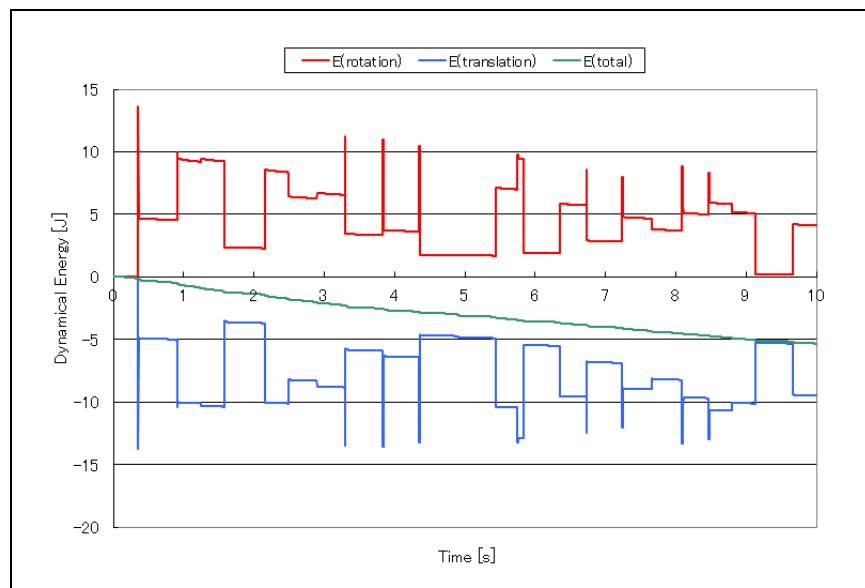
要素数 : 41,950

## 解析結果

- 圧力コンター、流速ベクトル図(2,000サイクル/5.0秒)



- 力学的エネルギーの推移



反発係数を1.0に設定しているため、物体と壁面の衝突時には物体の力学的エネルギーの損失はありません。回転の運動エネルギー( $E(\text{rotation})$ )と並進の運動エネルギー( $E(\text{translation})$ )は衝突のたびに変化していますが、それらの和( $E(\text{total})$ )は衝突の前後で変化しないことが確認できます。しかし、物体の運動には空気抵抗がはたらくため、力学的エネルギーは徐々に減少します。

---

## 機能22 粒子追跡

---

---

## 機能説明

- 流体内に粒子が存在すると、その粒子は流体の動きに引きずられます。逆に、粒子が移動するとその周りの流体も影響を受けます。粒子追跡とは、このような粒子と流体との相互作用を解析する機能です。
- 粒子追跡機能で使用できる粒子のタイプには、マーカー粒子と質量粒子の2種類があります。マーカー粒子は粒子の径を無限小と仮定したものです。マーカー粒子は流体に対して影響を与える流体の動きに追随します。また、流体との密度差は沈降速度により考慮できます。質量粒子は周囲の流体との相互作用を考慮するための粒子タイプで、粒子の密度や直径、抵抗係数を設定することができます。重力を設定することで、質量粒子と周囲の流体との間に発生する浮力を考慮できます。
- 無数の粒子が存在する場合には計算時間、使用メモリの観点から解析が難しくなります。その場合、近くに存在する粒子の塊はほぼ同じ動きをすると考えて、1つの粒子で代表させることができます。その場合、代表させる粒子の個数を決定するために有効個数を入力する必要があります。
- 粒子追跡機能を使用することで、スプレーから噴出するのような現象(噴霧モデル)や空気中の液滴を模倣することができます。

## 注意事項

- 粒子追跡は以下の機能とは併用できません。

自由表面(改良MAC法\*), 分散混相流, 密度ベースソルバー

\* 自由表面(VOF法)は可

- 粒子は大きさのない点として扱います。例えば、粒子が堆積し流路を狭めるような流体領域に影響を与える解析はできません。
- 面領域から粒子を生成するとき、生成位置は適当な面要素の中心に採られます。従って面要素数より多くの粒子は生成できません。
- リスタート計算の場合、PCLCコマンド, PCLEコマンド, SPRYコマンドでのデータの入力順を変更しないでください。ただし、末尾へのデータの追加は可能です。詳細については、[ユーザーズガイド リファレンス\(ソルバー\)編](#) PCLCコマンド, PCLEコマンド, SPRYコマンドを参照してください。
- 噴霧モデルにて、粒子の分裂を考慮する場合には、温度解析を行う必要があります。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

#### [粒子]オブジェクト

- [密度(LROP)] : 粒子の密度
- [抵抗係数(LCDP)] : 粒子と流体の抵抗係数
- [VELP] : 粒子の速度
- [直径(LDDP)] : 粒子の直径
- [属性番号(ATRB)] : 粒子の属性番号
- [有効個数(LSCP)] : 粒子の有効個数
- [温度(LTTP)] : 粒子の温度
- [WENO (WENO)] : ウエーバー数

---

[直径(LDDP)], [属性番号(ATRB)], [有効個数(LSCP)], [温度(LTTP)], [WENO(WENO)]を出力するには  
PCLDコマンドで設定が必要です。

#### - 計算時メッセージ

- 粒子の生成情報が出力されます。詳細は、[ユーザーズガイド リファレンス\(ソルバー\)編 3.1 \(15\) 粒子追跡](#)を参照してください。また、PCLCコマンド, PCLDコマンド, PCLTコマンドで各種粒子情報の出力が設定できます。

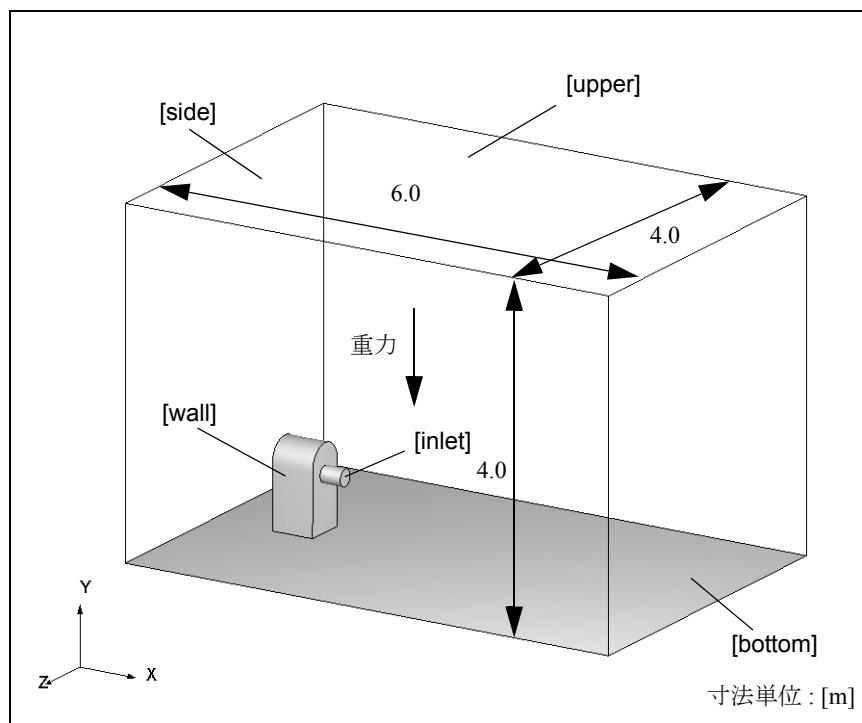
## 関連コマンド

- PCLB : 粒子追跡で粒子の消滅境界を定義
- PCLC : 粒子追跡で通過粒子カウンターを設定
- PCLD : 粒子追跡での様々な既定値を変更
- PCLE : 粒子追跡で粒子を生成
- PCLT : 粒子追跡でカウンタ一面における分布表を出力
- PCLW : 粒子追跡で面領域における反発係数を指定
- SPRY : 噴霧モデルの粒子を生成

## 例題22.1 粒子追跡機能

粒子追跡機能は非定常解析の流れの可視化手段として用いられる他に、密度・大きさ・温度等の物性を与えることで、流体と相互作用を持つ粒子のシミュレーションを行うこともできます。ここでは高温流体の吹き出しに伴って拡散する粒子の様子を、粒子追跡機能を用いて解析します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

CASE1は、粒子をマーカー粒子として取り扱います。マーカー粒子として、粒子を取り扱った場合、粒子の影響は流れに現れません。また、CASE1では粒子に乱流拡散の影響は与えません。CASE2では、粒子を質量粒子として取り扱います。質量粒子として取り扱うと、流れにはその粒子の影響が現れます。また、CASE2では乱流拡散の影響も考慮した解析を行います。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k-\varepsilon$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 粒子追跡 : 粒子追跡機能を使用して粒子の挙動を調べます。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(自然対流20°C)  
物性値ライブラリより[流体(自然対流)] - [空気(自然対流20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 1.5 [m/s]  
流入温度 50 [°C]  
流入乱流量 k 0.02[m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]  
ε 0.04[m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>]
- 流出口 [upper] : 表面圧力規定 0.0 [Pa]  
流入温度 20 [°C]
- 壁面 [bottom], [side], [wall] : 静止壁

### - 初期条件

- 温度(MAT=1) : 20 [°C]

### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 500[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.02[s]
- 粒子追跡  
[inlet]より流入と共に毎サイクル10個ずつ粒子が発生

## 特記事項

### - 粒子追跡機能について

- 粒子追跡機能で扱う粒子は、流れの可視化に使われるマーカー粒子と、物性を与えることができる質量粒子とに大別されます。マーカー粒子の場合、流れに粒子の影響は現れません。また、乱流拡散を考慮することで、 $k-\epsilon$ 方程式を解いて得られる流れの局所的な乱れ速度を、ランダムな粒子の移動として表すことができます。この例題では、以下の2ケースについて解析します。

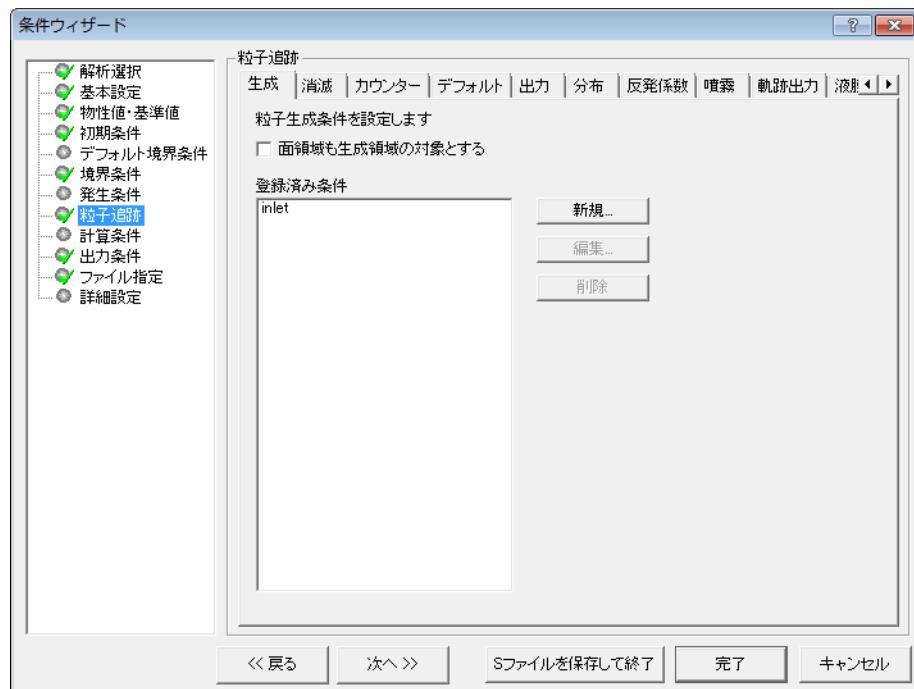
CASE1 : 乱流拡散なし・マーカー粒子

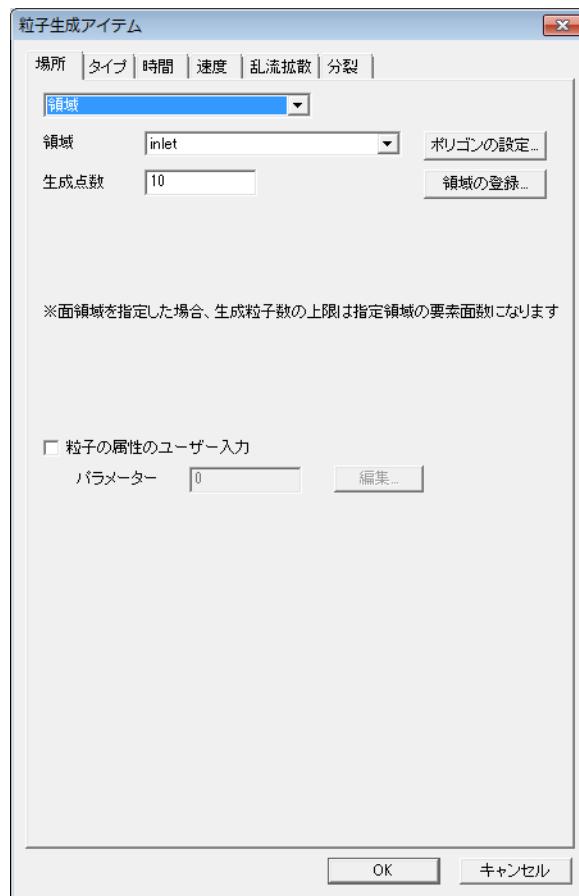
CASE2 : 乱流拡散あり・質量粒子・温度あり

### - 粒子追跡の条件設定方法

粒子追跡の設定手順 CASE1

- [条件ウィザード] - [粒子追跡]で、[生成]タブを選び、生成条件を次のように設定していきます。
  - [面領域も生成領域の対象とする]をONにし、[新規]ボタンをクリックします。[粒子生成アイテム]ダイアログの[場所]タブの[領域]からinletを選び、[生成点数]に10を入力します。





(メモ) 粒子追跡を行う際には粒子が生成・消滅する領域を指定します。この際に、ポリゴン設定によって登録されたポリゴンから指定することができますが、面領域として登録された領域を使うこともできます。この例題では、面領域[inlet]から粒子が生成するよう設定しています。

生成された粒子は、FLUX型境界において流出と共に消滅します。この例題では領域上面の出口[upper]が表面圧力規定境界であるため、浮力による上昇流と共に移動する粒子は[upper]にて消滅します。そのため、その他の境界に粒子消滅のための領域を指定する必要はありません。

2. [時間]タブにて、[サイクルで指定]を選択し、[生成開始サイクル]に[1]を入力します。また、毎サイクル粒子を発生させるため、[一度だけ生成]をOFFにし、[生成サイクル間隔]に[1]を入力します。



3. 以下のタブの設定を確認し、OKを押します。

[タイプ]タブ : [マーカー粒子]  
 [乱流拡散]タブ : [乱流拡散を考慮しない]

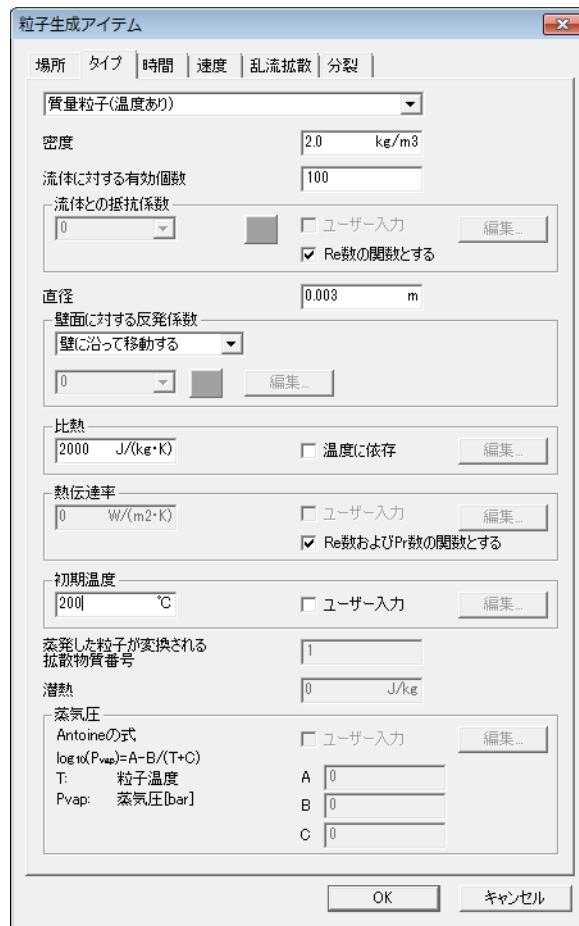
- ・ [条件ウィザード]-[粒子追跡]で、[軌跡出力]タブを選び、[粒子の年齢]をONにします。

#### 粒子追跡の設定手順 CASE2

- ・ CASE1の設定から、次のように変更します。

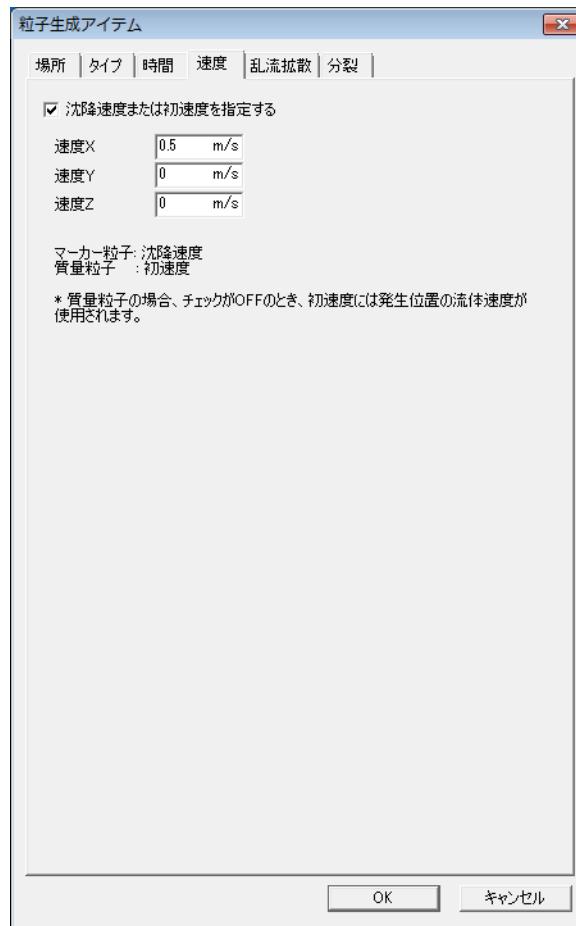
1. CASE1と同様に[粒子追跡]の[生成]タブにて[登録済み条件]から[inlet]を選択し、[タイプ]タブにて[質量粒子(温度あり)]を選びます。そして、以下のように設定します。

[密度]	: [2.0 kg/m <sup>3</sup> ]
[流体に対する有効個数]	: [100]
[流体との抵抗係数]	: [Re数の関数とする]
[直径]	: [0.003 m]
[壁面に対する反発係数]	: [壁に沿って移動する]
[比熱]	: [2000 J/(kg•K)]
[熱伝達率]	: [Re数およびPr数の関数とする]
[初期温度]	: [200°C]



(メモ) 流体から粒子に作用する力を決定するのが、粒子の[流体との抵抗係数]と [直径]です。粒子は球状と仮定し、[流体との抵抗係数]に[Re数の関数とする]を選んだ場合、一様流中の球の抵抗係数の経験式が適用されます。[流体に対する有効個数]は、1個の追跡粒子が実際には何個の粒子を代表しているかを表し、粒子が流体に及ぼす力を決めるパラメータとなります。上の設定は、解析中の1粒子に作用する力の100倍の力が反作用として流体に働くことを示しています(これらの設定の詳細は、ユーザーズガイドリファレンス(ソルバー)編 PCLEコマンドをご参照ください)。

2. [乱流拡散]タブにて[乱流拡散を考慮する]を選択します。
3. CASE2では、粒子の初速度を流体の流入速度と別に設定し、流れによる粒子の加速の影響を見ます。[速度]タブを選び、[沈降速度または初速度を指定する]をONにします。[速度X]に[0.5 m/s], その他には[0 m/s]を入力します。
4. [条件ウィザード] - [粒子追跡]で、[軌跡出力]タブを選び、[粒子の年齢]をONにします。これで、粒子追跡の設定は終わりになります。



#### - 流入乱流量について

- この例題のCASE2において、粒子の乱流拡散の様子を見るために、[inlet]からの流入がある時点で乱流が十分発達していると仮定して適当な乱流量を与えます。乱流量の見積もりに以下の経験式を用います。

$$\text{乱流エネルギー } k = U^2 / 100$$

$$\text{乱流消失率 } \epsilon = 0.09^{(3/4)} \cdot k^{(3/2)} / 0.07 D$$

ここで、Uは流入速度、Dは流入口直径です。例題に使われているモデルではD=0.2[m]、またU=1.5[m/s]としていますので、k=0.02[m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]、ε=0.04[m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>]を流入乱流量に指定します。ユーザーズガイド 基礎編 第1部 2.2 解析手順の具体例 a. 流入条件もご参照ください。

#### - メッシュ作成に関して

- 面領域[bottom]と[wall], [side]に静止壁条件が与えられていますが、境界層要素は使用しません。静止流体中への[inlet]からの吹き出しを見るのが主な目的であり、静止壁近傍での流れに注目する必要がないためです。静止壁の流れへの影響を考慮する場合には、適宜、境界層要素を使用してください。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA22-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定(CASE1)

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、CASE1のSファイル(exA22-1\_CASE1.s)を保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [温度], [粒子追跡]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [500]

- ・ [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]を[0.02 s]とします。

- ・ [重力]にて[考慮する]をONにします。

[(X, Y, Z)] : [(0, -9.8, 0) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。その状態で、[物性値]ライブラリの中から[流体(自然対流)] - [空気(自然対流20°C)]を選択し、適用をクリックします。

#### 4. [初期条件]

- ・ 新規をクリックして、[変数]から[温度]を選択し、[値]を[20 °C]と入力してOKをクリックします。

#### 5. [境界条件]

- ・ [領域]から[upper]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログで、[圧力指定]の[P]が[0 Pa]となっていることを確認します。また、[流入温度]をONにして[温度指定 T]を[20 °C]としてOKをクリックします。
- ・ キーボードのCtrlキーを押した状態で、[領域]から[bottom], [side], [wall]を選択し、壁面をクリックします。[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。
- ・ [領域]から[inlet]を選択し、流速規定をクリックします。表示された[流速規定]ダイアログにて、[境界面に垂直な流速を指定]を選択し、以下のように設定してOKをクリックし、ダイアログを閉じます。

[流入流速] : [1.5 m/s]

[流入温度] : ON

[温度指定 T] : [50 °C]

[流入乱流量] : ON

[k] : [0.02 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]

[ε] : [0.04 m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>]

#### 6. [粒子追跡]

- ・ [粒子追跡]の設定については、特記事項 粒子追跡の条件設定方法を参照してください。

#### 7. [出力条件]

- ・ [FLD(サイクル)]の[出力のタイミング]にて[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]を[100]とします。

### 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA22-1]と入力します。その後、[デフォルト名]をOFFにします。[R(出力)]の[ファイル名]を[exA22-1\_CASE1.r], [図化ファイル]の[ファイル名]を[exA22-1\_CASE1], [PCL]の[ファイル名]を[exA22-1\_CASE1]と変更します。

#### - 条件設定(CASE2)

CASE1の設定をもとにCASE2の条件設定を行います。CASE1の条件設定を行っていない場合には、[ファイル]-[開く]からexA22-1\_CASE1.sを読み込みます。その後、以下のように設定変更を行い、Sファイルの名前をexA22-1\_CASE2.sとして保存します。

#### 1. [粒子追跡]

- [粒子追跡]の設定を変更します。詳細は、[特記事項 粒子追跡の条件設定方法](#)を参照してください。

#### 2. [ファイル指定]

- [デフォルト名]がOFFの状態で、[R(出力)]の[ファイル名]を[exA22-1\_CASE2.r], [図化ファイル]の[ファイル名]を[exA22-1\_CASE2], [PCL]の[ファイル名]を[exA22-1\_CASE2]へと変更します。

#### - 八分木

[ファイル]-[開く]よりexA22-1.octを読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにてメッシュを作成します。この例題では、境界層要素の挿入は行いません。詳細は、[特記事項 メッシュ作成](#)に関してをご参照ください。

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

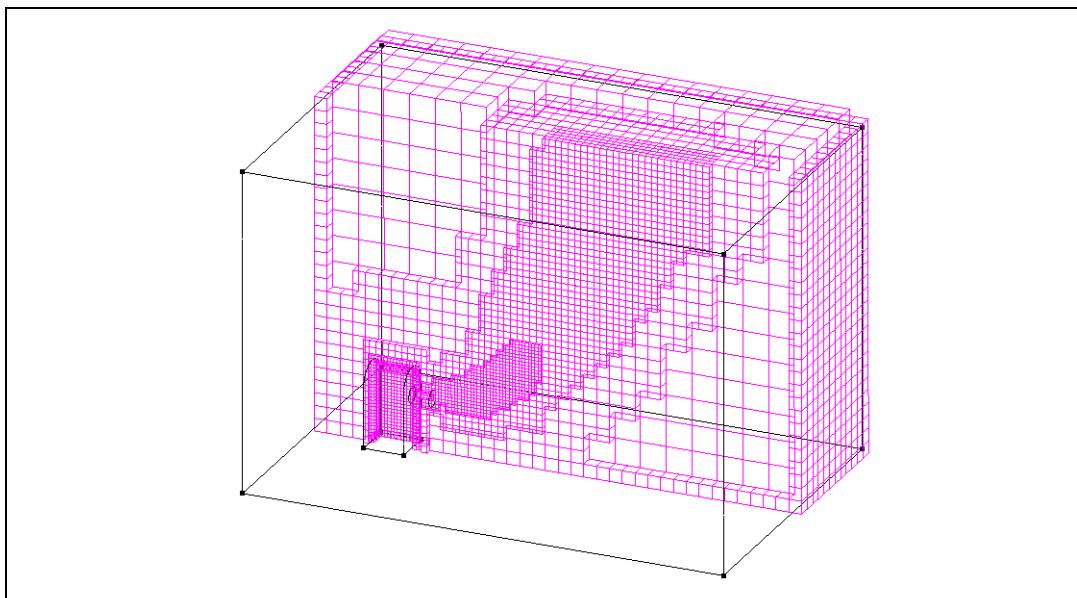
#### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
1ケースあたり約7分
- 計算サイクル数  
1ケースあたり500サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

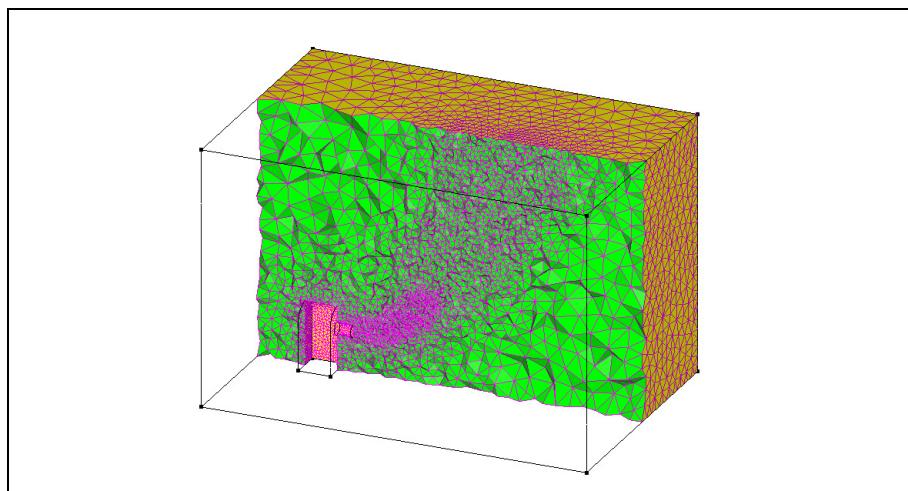
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.04[m]~0.32[m]

- メッシュ図



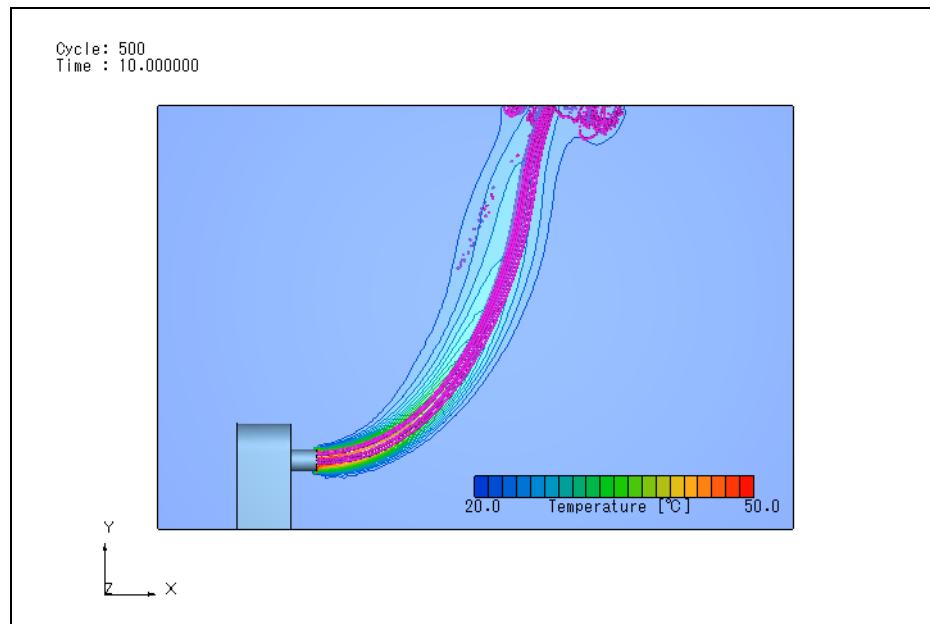
要素数 : 212,027

## 解析結果

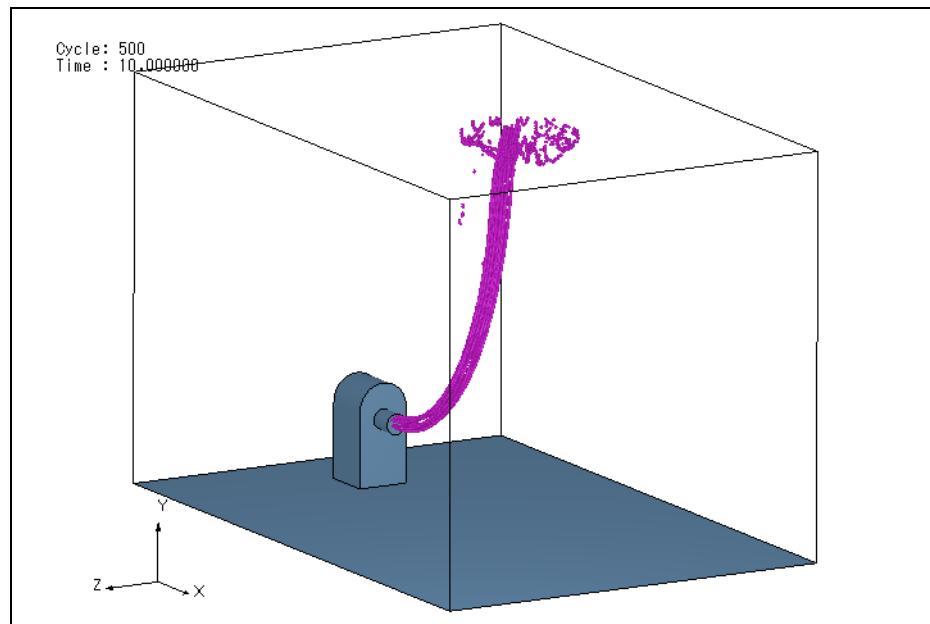
- SCTpostの設定

粒子追跡機能を利用している場合、SCTpostでFLDファイルを読み込むと、自動でツリーに、[粒子]オブジェクトが作成されます。また、PCLファイルを読み込むと、ツリーに[流跡線]オブジェクトが作成されます。

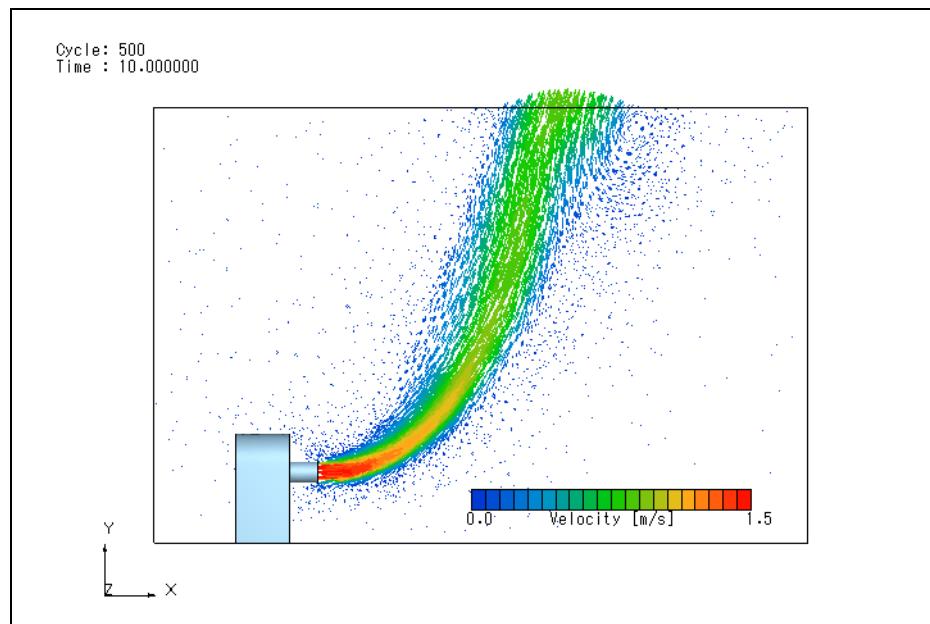
- CASE1 粒子+温度コンター図



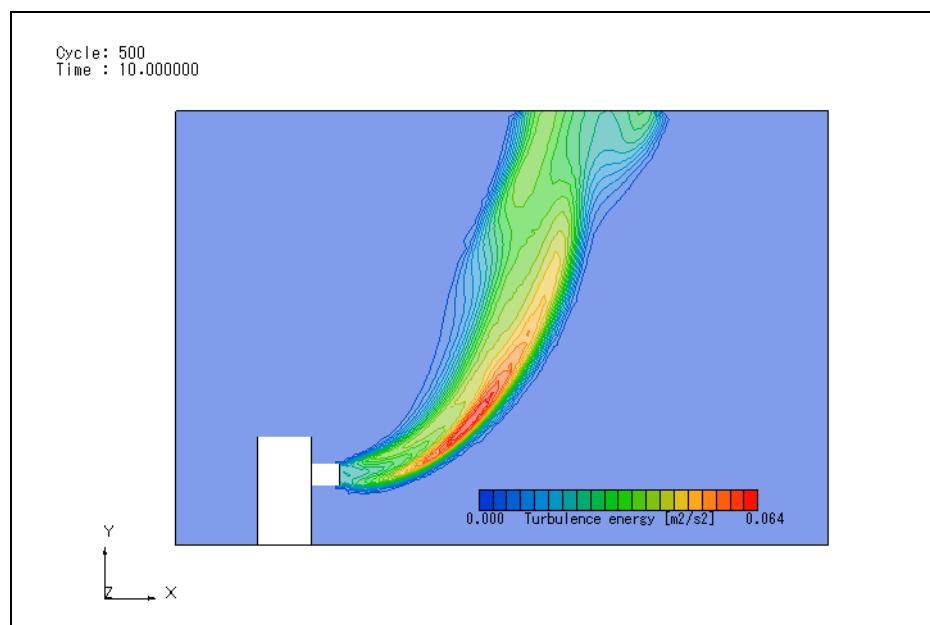
- CASE1 粒子3D図



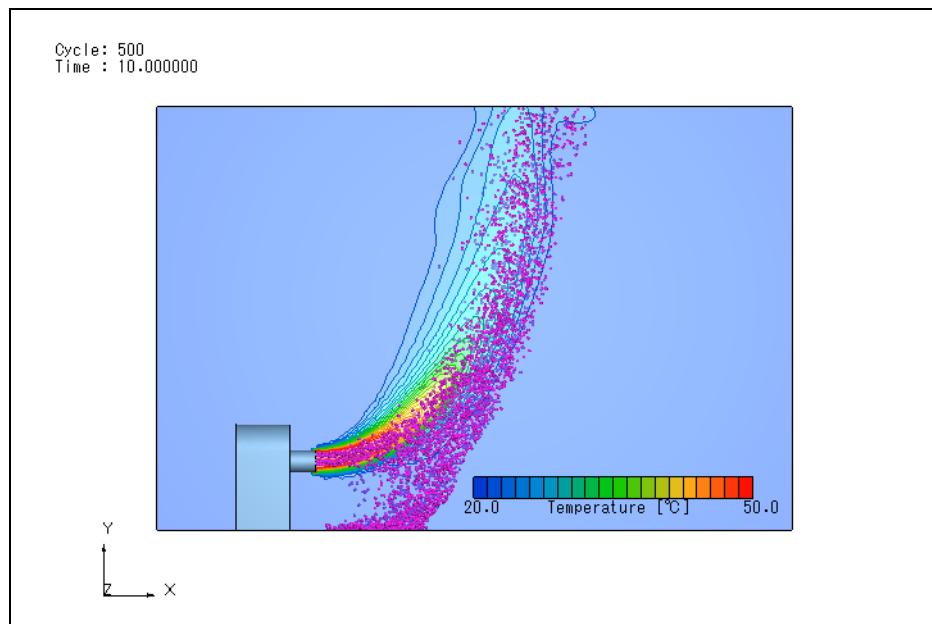
- CASE1 速度ベクトル図



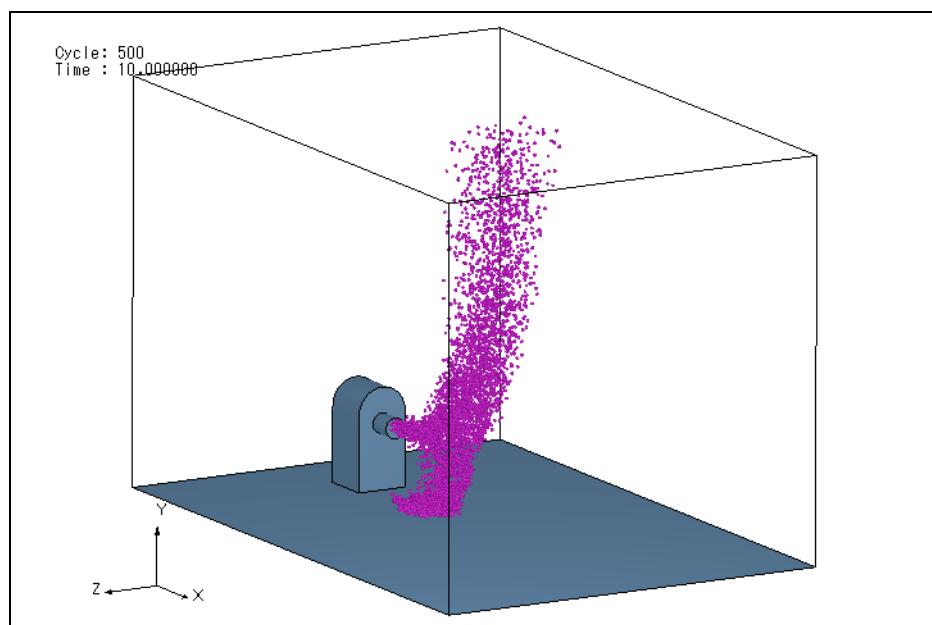
- CASE1 乱流エネルギー図



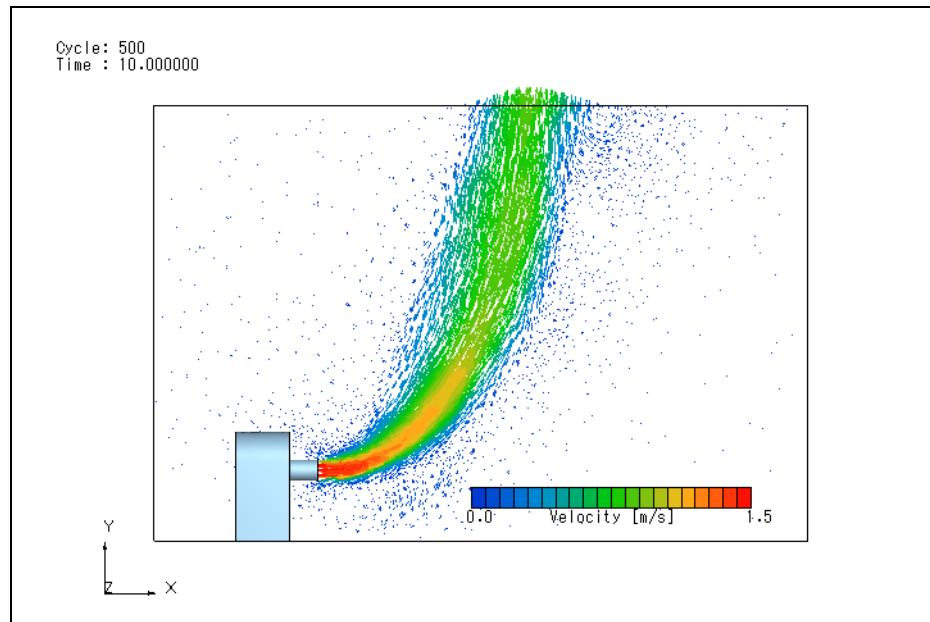
- CASE2 粒子+温度コンター図



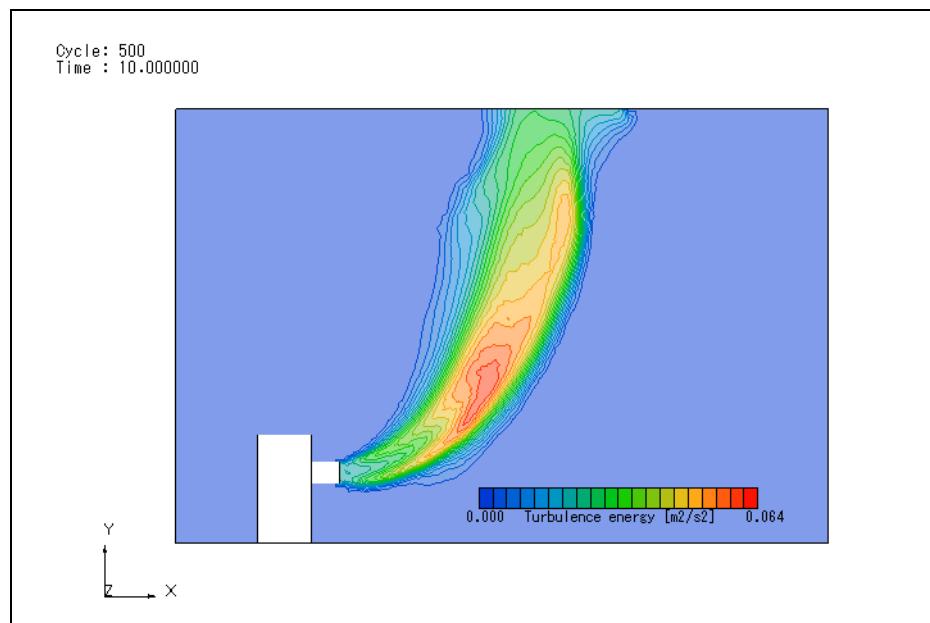
- CASE2 粒子3D図



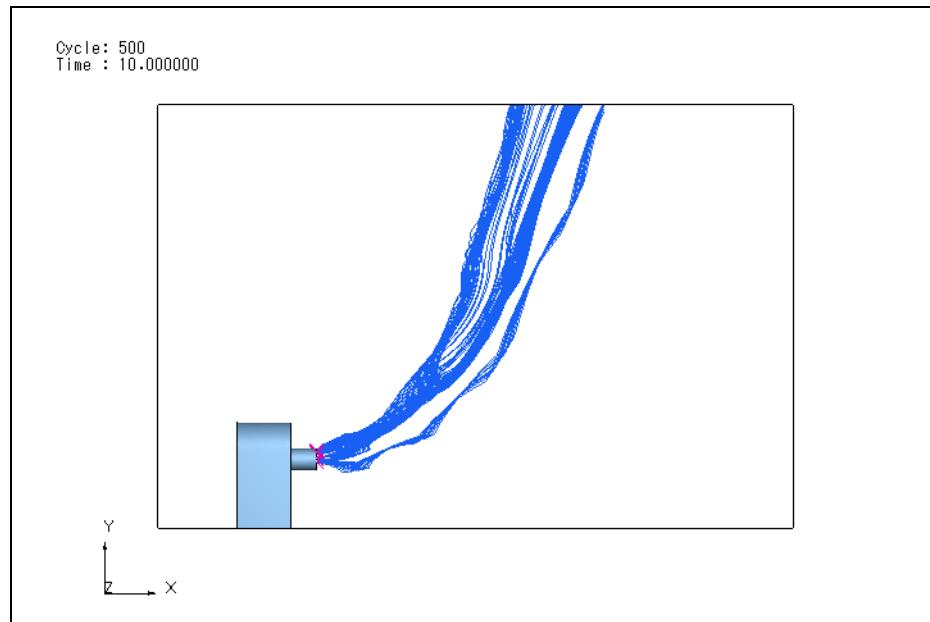
- CASE2 速度ベクトル図



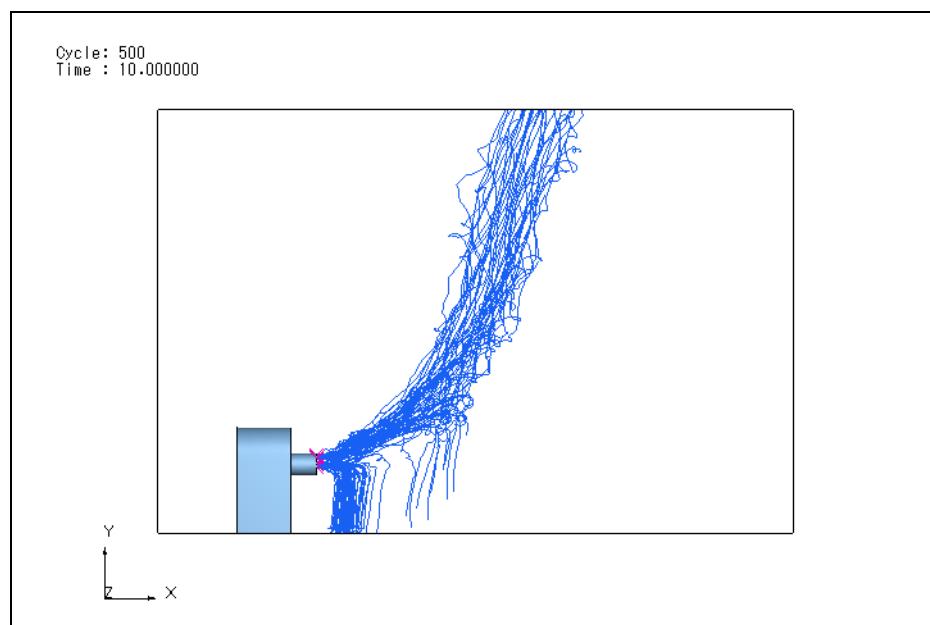
- CASE2 乱流エネルギー図



- CASE1 粒跡線図



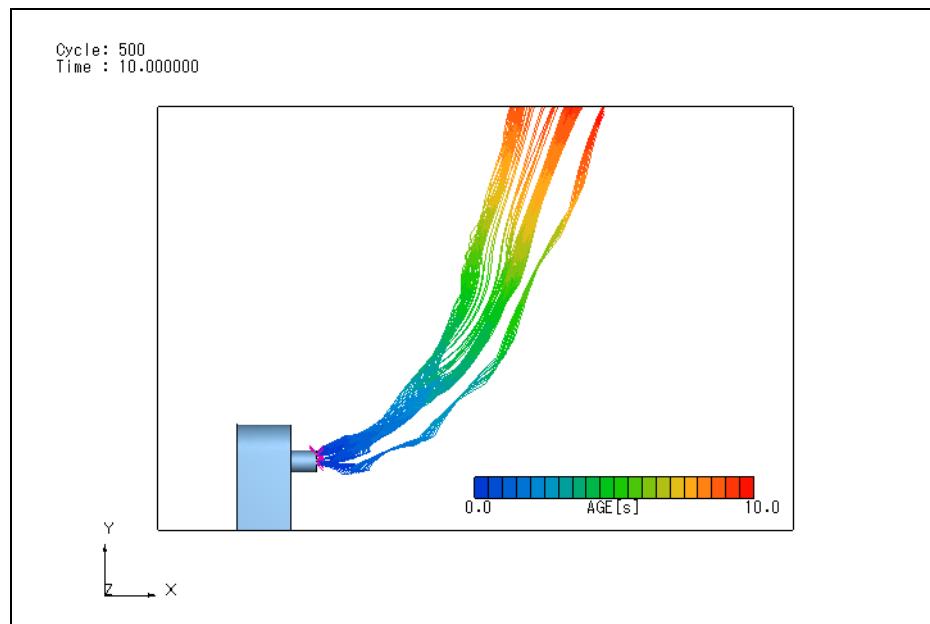
- CASE2 流跡線図



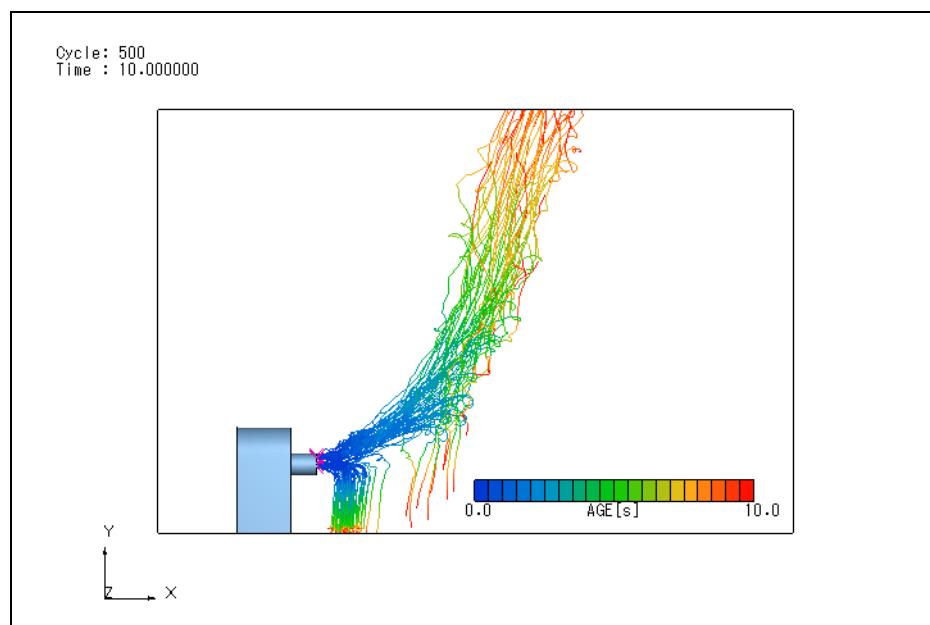
- 流跡線オブジェクト

[範囲]タブでの指定は、表示する時間0 - 10秒、発生時刻は0 - 0.2秒です。

- CASE1 粒子の年齢



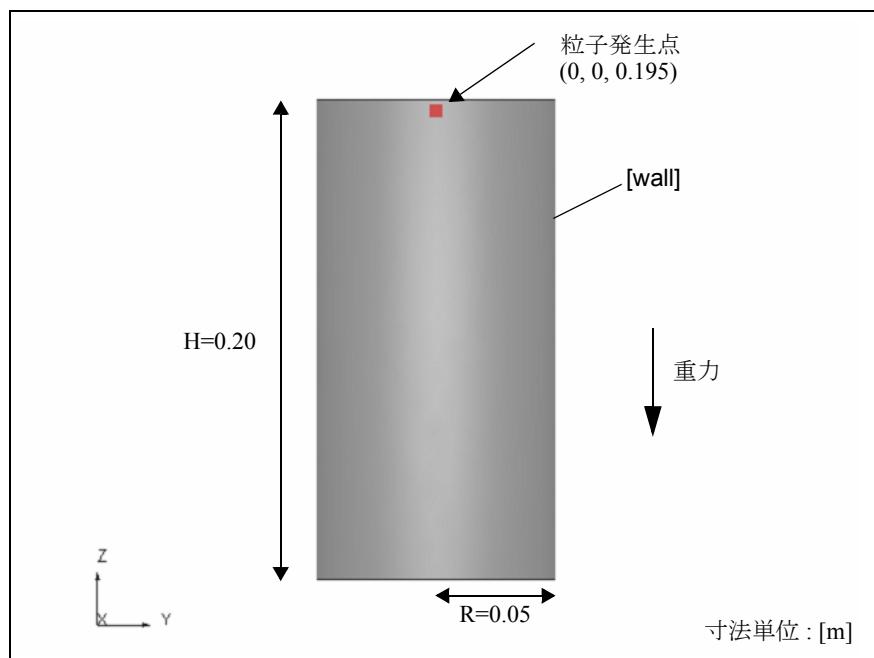
- CASE2 粒子の年齢



## 例題22.2 噴霧モデル

スプレー形状を模擬した粒子発生を行います。また液滴の分裂を考慮します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

半径0.05[m]、高さ0.20[m]の円筒の中に粒子を噴出します。  
粒子噴出位置は、0.195[m]の位置から-Z方向に向かって噴出します。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k-\varepsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 粒子追跡 : 粒子追跡機能を使用して液滴の挙動を解析します。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 壁面 [wall] : 静止壁  
断熱

### - 初期条件

- 温度(MAT=1) : 20 [°C]

### - その他

- 乱流モデル  
標準k-εモデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
固定時間間隔 :  $1 \times 10^{-5}$ [s]
- 粒子追跡  
カウンター 粒子の数をカウントする  
デフォルト 粒子追跡の詳細設定を行う  
出力 [粒子分布]を全て出力  
粒子の直径、粒子の属性番号、粒子の有効個数を出力する  
噴霧モデル 粒子 : 壁に付着する、温度を考慮する  
スプレー形状 : スプレーコーンモデル  
分裂 : TABモデル

(メモ) 粒子追跡(噴霧モデル)の詳しい設定は、特記事項 粒子追跡(噴霧モデル)の条件設定方法をご参照ください。

- 圧力固定  
 $(X, Y, Z) = (0.045, 0, 0.195)$ : 圧力値 0[Pa]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔 50[サイクル])

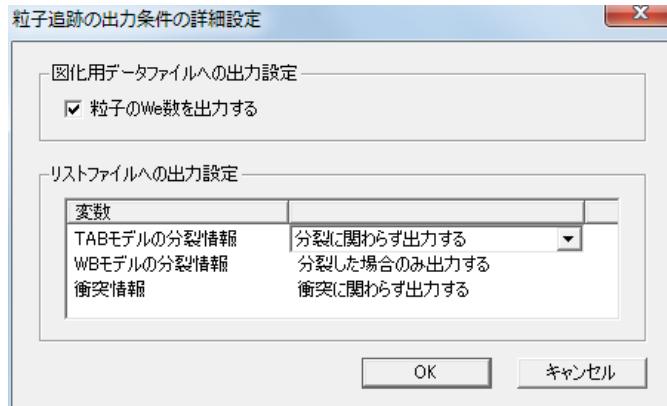
## 特記事項

### - 粒子追跡(噴霧モデル)の条件設定方法

- [条件ウィザード] - [粒子追跡]で[カウンター]タブを選びます。以下のように粒子をカウントする設定を行います。
 

[カウントする領域]	:	[wall]
[最終サイクルのみ出力する]	:	OFF
[出力時間]	:	[サイクルで指定する]
[出力開始サイクル]	:	[1]
[一度だけ出力]	:	OFF
[出力サイクル間隔]	:	[1]
- [出力]タブを選び、以下の条件を入力します。
 

[[粒子分布]の出力設定]	:	[全て出力]
[図化用データファイルへの出力設定]		
[粒子の直径を出力する]	:	ON
[粒子の属性番号を出力する]	:	ON
[粒子の有効個数を出力する]	:	ON
- 詳細設定をクリックします。[粒子追跡の出力条件の詳細設定]ダイアログの[図化用データファイルへの出力設定]にて、[We数を出力する]をONにします。次に、[リストファイルへの出力設定]にて、[TABモデルの分裂情報]を[分裂に関わらず出力する], [衝突情報]を[衝突に関わらず出力する]とします。なお、[リストファイルへの出力設定]の設定変更は、変更したい項目をクリックして行います。



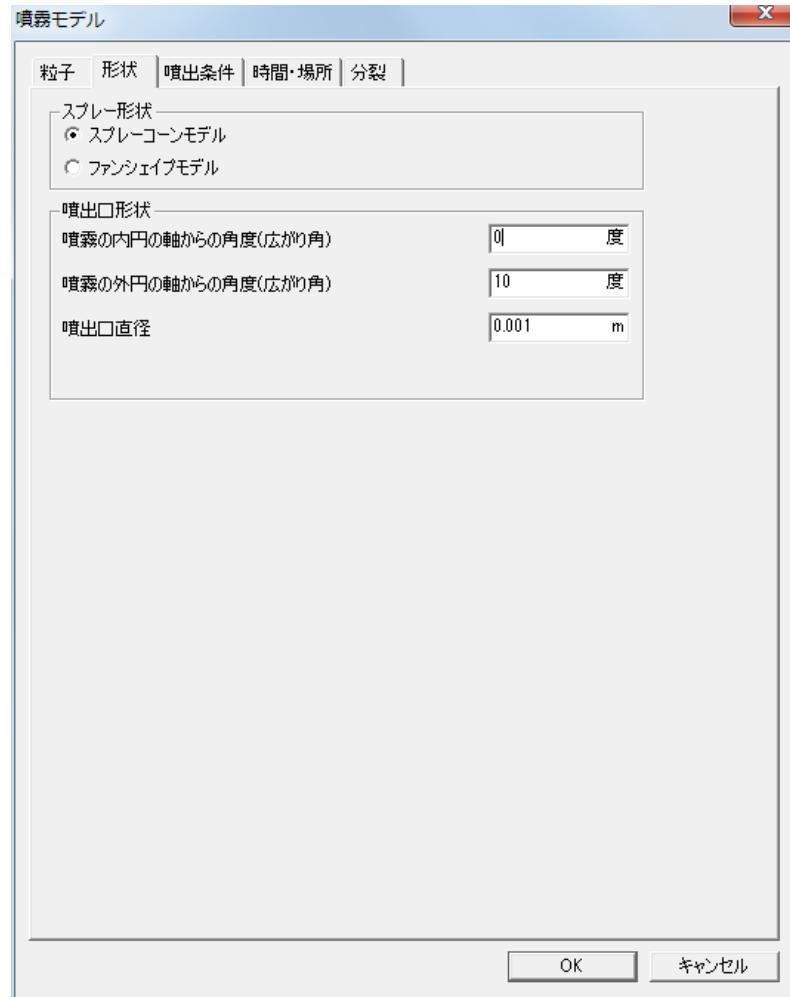
- [噴霧]タブを選び、噴霧モデルの設定を行います。新規をクリックします。[噴霧モデル]ダイアログの[粒子]タブにて、粒子のパラメータを以下の通りに設定します。

[粒子の密度]	:	[688 kg/m3]
[粒子の直径]	:	[0.001 m]
[粒子の壁面に対する反発係数]	:	[反発係数を指定する], [0.3]
[粒子の温度]	:	[温度を考慮する]
[比熱]	:	[2088 J/(kg·K)]
[初期温度]	:	[20 °C]



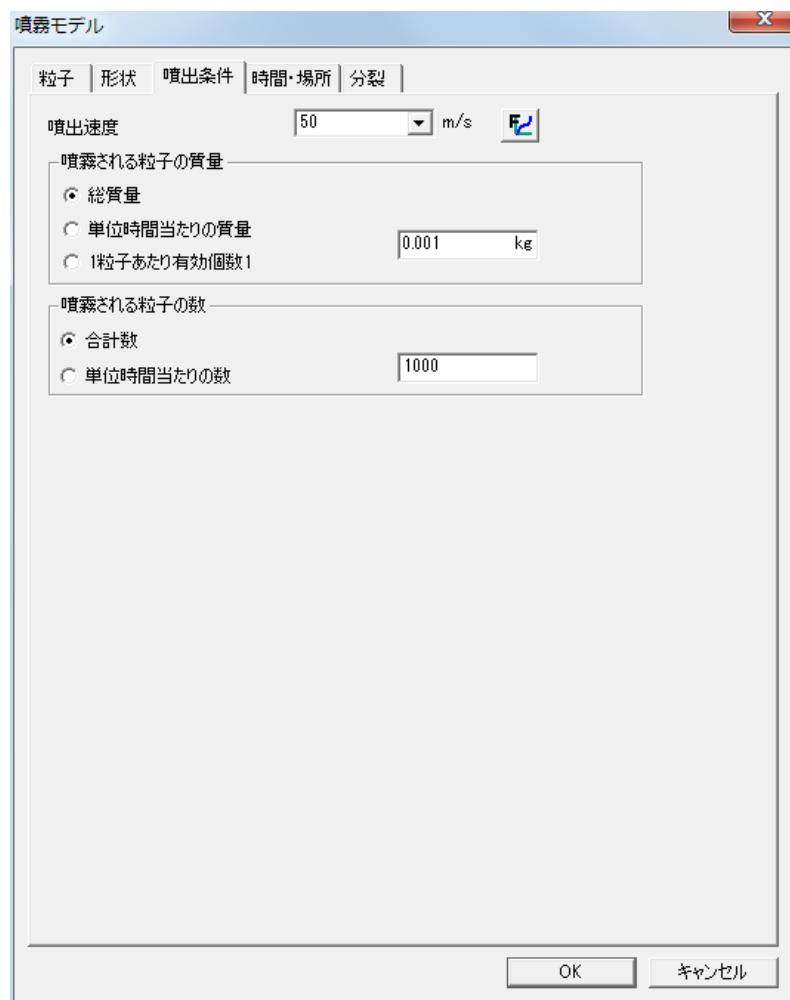
- ・ [形状]タブを選択し、以下の条件を入力します。

[スプレー形状] : [スプレーコーンモデル]  
[噴霧の内円の軸からの角度(広がり角)] : [0 度]  
[噴霧の外円の軸からの角度(広がり角)] : [10 度]  
[噴出口直徑] : [0.001 m]



- ・ [噴出条件]タブを選び、以下の設定を行います。

[噴出速度] : [50 m/s]  
[噴霧される粒子の質量] :  
[総質量] : [0.001 kg]  
[噴霧される粒子の数] :  
[合計数] : [1000]



- [時間・場所]タブを選び、以下の条件を設定します。

[時間・場所]

[生成開始時間] : [0 s]

[生成終了時間] : [0.005 s]

- [噴霧の中心座標], [噴霧の中心軸], [噴霧の中心軸と直行する軸]は下表の通りに入力します。

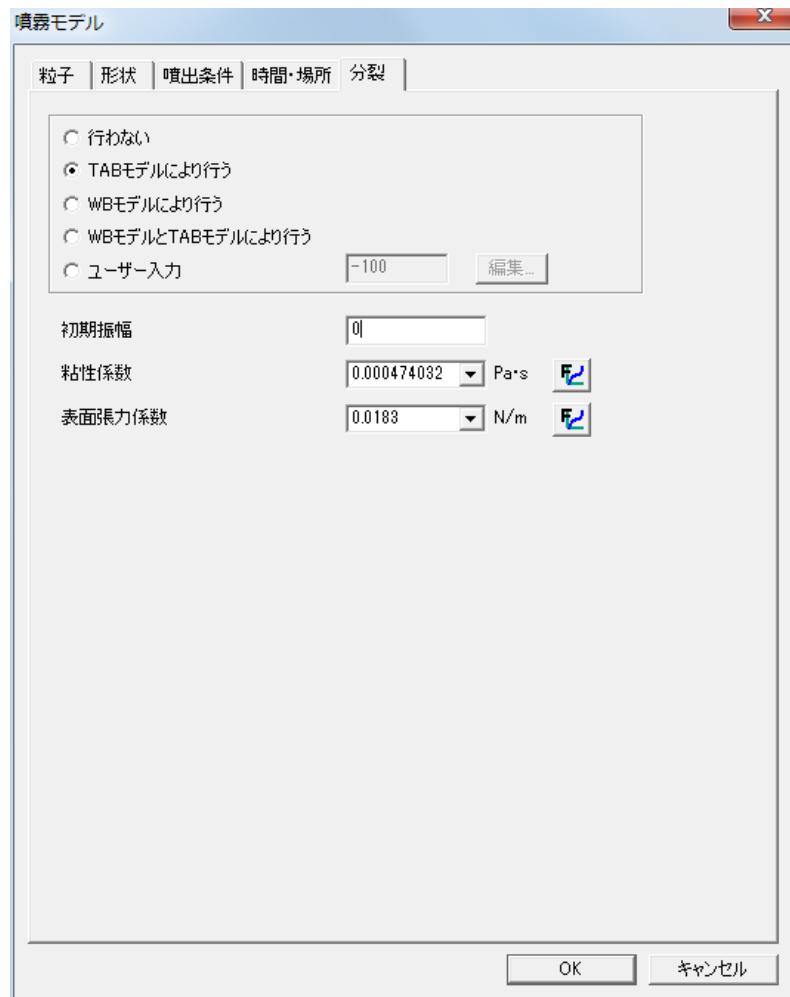
	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0 m	0 m	0.195 m
[噴霧の中心軸]	0	0	-1
[噴霧の中心軸と直交する軸]	1	0	0

- 以上の設定を行いましたら、登録をクリックします。



- [分裂]タブを選び、以下の条件を設定し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

[TABモデルにより行う] : ON  
[初期振幅] : [0]  
[粘性係数] : [0.000474032 Pa\*s]  
[表面張力係数] : [0.0183 N/m]



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA22-2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [条件ウィザード] - [解析選択]で[粒子追跡], [温度]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [1000]
- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択して、[時間間隔]を[1e-005 s]とします。
- [重力]の[考慮する]をONにします。  
[(X, Y, Z)] : [(0, 0, -9.8) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [初期条件]

新規をクリックします。[初期値]ダイアログにて、[変数]を[温度], [値]を[20 °C]と入力したらOKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。表示された[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 5. [粒子追跡]

- [粒子追跡]の設定については、特記事項 粒子追跡(噴霧モデル)の条件設定方法を参照してください。

#### 6. [計算条件]

- [圧力]にて、以下のように[圧力固定]の設定をして登録をクリックします。

[圧力] : [0 Pa]  
[(X, Y, Z)] : [(0.045, 0, 0.195) m]

#### 7. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]で、[出力のタイミング]を[指定サイクル毎に出力], [サイクル間隔]を[50]とします。

#### 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA22-2]と入力します。その後、[Sファイルを保存して終了]を選択して保存を行います。なお、このとき、「重力を考慮する設定になっていますが、物性値では浮力を考慮する設定になってしまふ。物性値を変更しますか?」という確認ダイアログが表示されますが、いいえをクリックします。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA22-2.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.0005]	[1.1]	[3]

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約20分

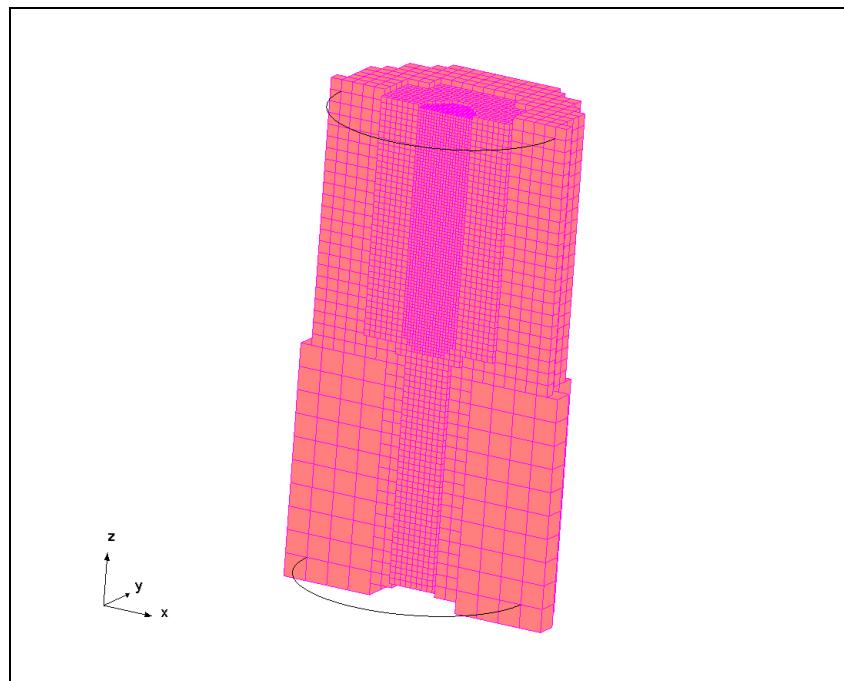
- 計算サイクル数

1,000サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

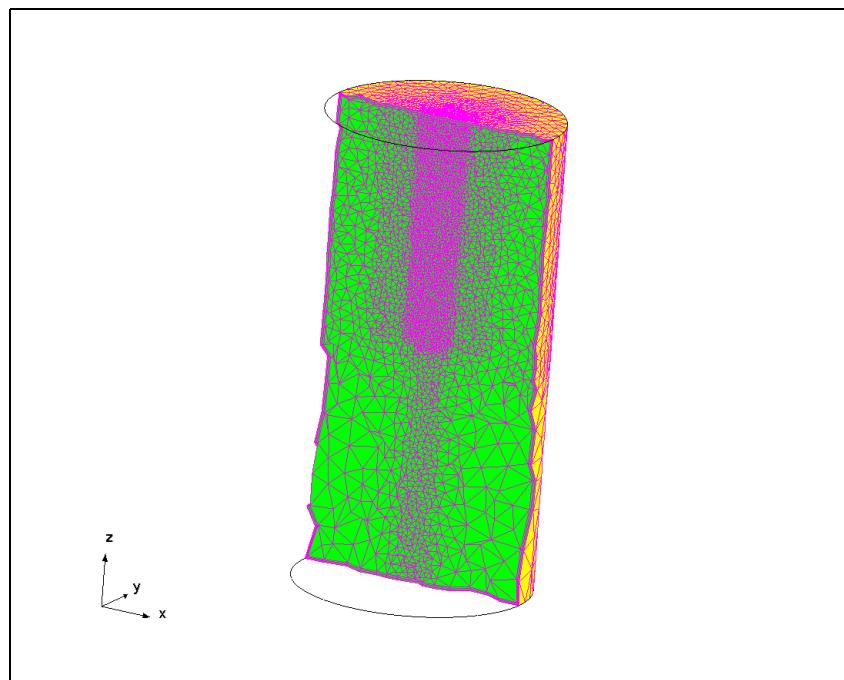
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.00125[m]~0.01[m]

- メッシュ図



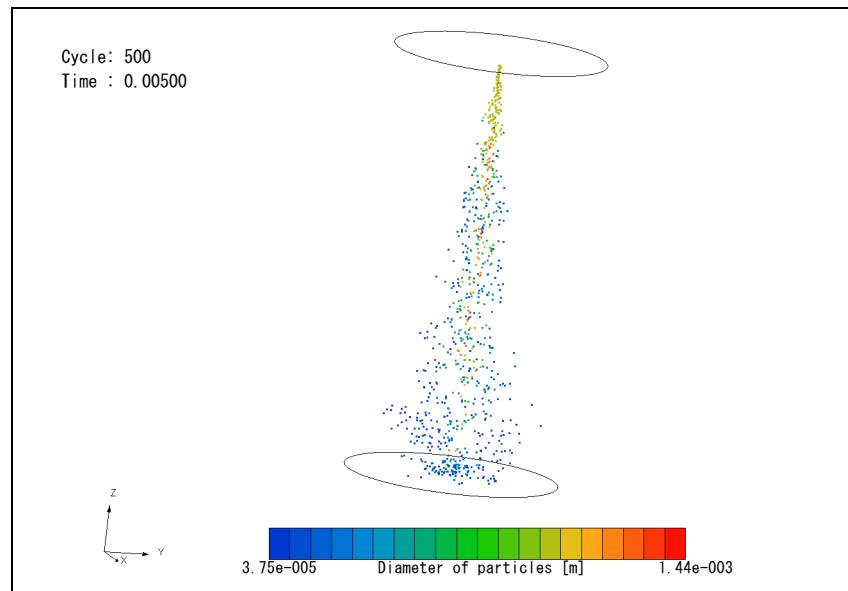
要素数 : 342,615

## 解析結果

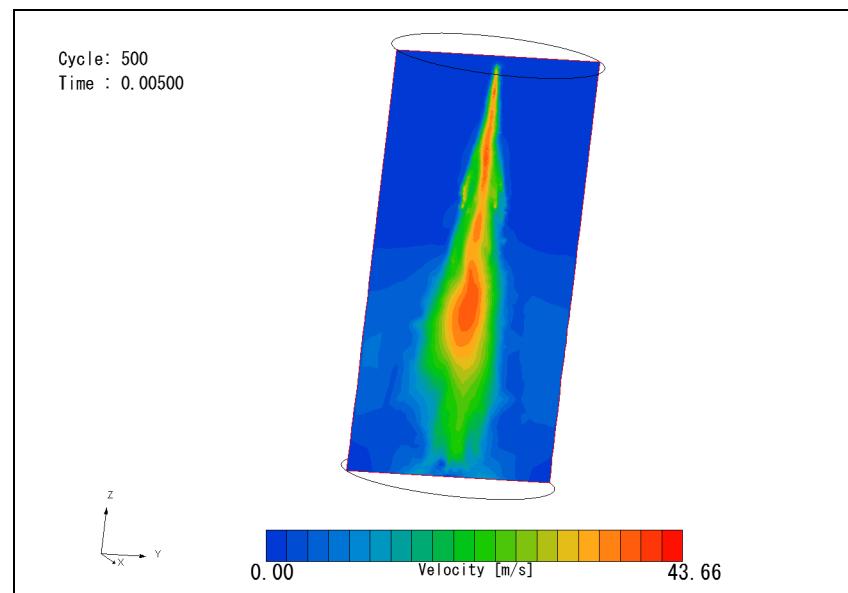
- SCTpostの設定

粒子の直径分布図を表示するには、[粒子]オブジェクトの[スカラー]タブにて、[変数]を[直径(LDDP)]とします。

- 粒子直径分布図( $t=0.005$ )



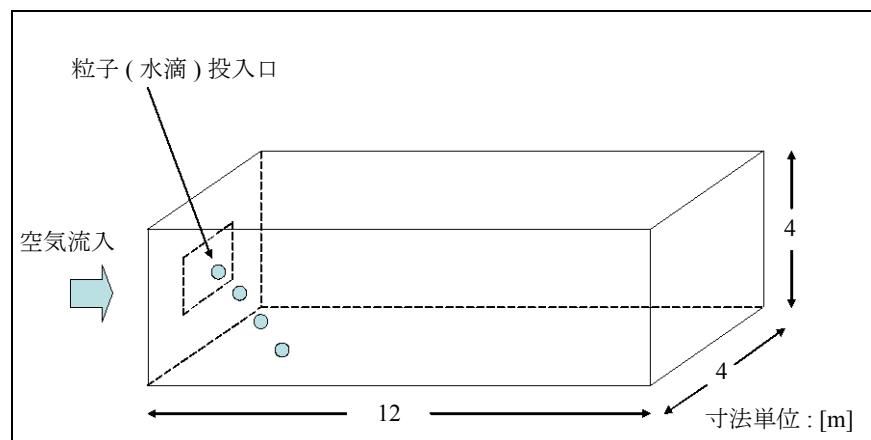
- 流速コンター図( $t=0.005, x=0$ )



## 例題22.3 粒子から湿度への変換例

水滴を模擬した粒子が壁に衝突して累積湿度量となり、その後、蒸発により空気が加湿される計算例を行います。ちょうど熱せられたアスファルトに打ち水をしてアスファルトから湯気が立ち上るような解析です。

### 解析モデル



### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k-\epsilon$  方程式
- 拡散物質保存式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 拡散(湿度) : 水蒸気の結露解析を行います。
- 粒子追跡 : 水滴の挙動を粒子追跡機能を用いて解析します。

### 解析条件

#### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向 :  $-9.8[m/s^2]$ )
- 温度の単位 : 摂氏( $^{\circ}\text{C}$ ) (デフォルト)

**- 物性値**

- MAT=1 : 空気(30°C)  
体膨張率と基準温度以外は、物性値ライブラリの[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮 20°C)]を参照します。  
体膨張率 0.00333 [1/K]  
基準温度 30 [°C]

(メモ) 体膨張率と基準温度の設定をするためには、[浮力を考慮する]をONにします。

- 拡散物質1 : 水滴  
拡散係数  $2.2 \times 10^{-5}$  [m<sup>2</sup>/s]

**- 境界条件**

- 流入口 [inlet] : 流速規定  
境界面に垂直な流速を指定  
流入流速 5 [m/s]  
流入温度 30 [°C]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0 [Pa]
- 壁面 [ground] : 静止壁  
壁面温度を外部温度に固定 60 [°C]

**- 初期条件**

- 温度 : 30 [°C]
- 拡散物質濃度(1) : 0 [-]

**- その他**

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 200[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.1 [s]
- 粒子追跡  
最初のサイクルのみ、流入口の中心部から100個発生させます。

## 特記事項

### - 粒子追跡の条件設定方法

- 発生させる粒子について設定します。最初のサイクルにおいて、流入口の中心部から100個発生させます。[条件ウィザード] - [粒子追跡]の項目で、以下のように [生成]タブで入力を行います。[面領域も生成領域の対象とする]をONにした後、新規をクリックします。

#### [生成] - [場所]

[領域]	:	[pcl]
[生成点数]	:	[100]

#### [生成] - [タイプ]

[粒子のタイプ]	:	[質量粒子(温度なし)]
[密度]	:	[1000 kg/m <sup>3</sup> ]
[流体に対する有効個数]	:	[1000]
[流体との抵抗係数]	:	[Re数の関数とする]
[直径]	:	[0.002 m]
[壁面に対する反発係数]	:	[-100]
[ユーザー入力]	:	ON

(メモ) [壁面に対する反発係数]に[-100]を設定している時、ユーザー関数use\_pc1rfpが呼ばれます。

#### [生成] - [時間]

[サイクルで指定]	:	ON
[生成開始サイクル]	:	[1]
[生成サイクル間隔]	:	[一度だけ生成]

#### [生成] - [速度]

[速度X]	:	[1 m/s]
-------	---	---------

- [カウンター], [デフォルト]タブを選択し、以下のように設定します。

#### [カウンター]

[カウントする領域]	:	[ground]
[最終サイクルのみ出力する]	:	OFF
[出力時間]	:	[サイクルで指定する]
[1度だけ出力]	:	OFF
[出力サイクル]	:	[1]
[出力サイクル間隔]	:	[1]

#### [デフォルト]

[生存可能な粒子数]	:	[1000]
[最大通過要素数]	:	[1000]

(メモ) 本例題の設定では、水滴の総流入質量は、 $\pi/6 \times D^3 \times \rho \times N \times \alpha = 0.419[\text{kg}]$ となります。

D : 粒子の直径

$\rho$  : 粒子の密度

N : 生成点数(粒子の発生個数)

$\alpha$  : 流体に対する有効個数

### - 解析結果の確認のための設定

- 粒子の付着量と湯気の排出量をLファイルで確認するため、[条件ウィザード] - [出力条件] - [領域平均値・総量]で新規を選択します。[領域平均・領域総量のアイテム]ダイアログにて、[対象となる領域]から、[面領域]を選択し、[ground]をONにします。  
[変数]を[結露量], [重み]を[面積]として、OKをクリックしてダイアログを閉じます。  
[登録済み条件]に[条件No.1]が表示されます。
- [条件No.1]と同様にして、[条件No.2], [条件No.3]を設定します。
 

**[条件No.2]**

[対象となる領域]	:	[面領域], [outlet]
[変数]	:	[拡散物質濃度(1)]
[重み]	:	[質量流量]

**[条件No.3]**

[対象となる領域]	:	[面領域], [outlet]
[変数]	:	[温度]
[重み]	:	[体積流量]
- 粒子の付着量をSCTpostで確認するために、[条件ウィザード] - [出力条件] - [FLD(表面データ)]で[結露量]が[出力する]になっている必要があります。[出力する]になっていない場合は、設定変更をしたい表面データを選択し、設定をクリックして、[出力する]を設定します。

### - 壁面に衝突(付着)した粒子に対するユーザー関数について

- 壁に衝突(付着)した粒子の取り扱いについて、use\_pclrfpで以下の設定を行います。
  - 衝突した面を含む要素構成する節点番号を取得します。  
ピラミッドやプリズム要素などはテトラ要素に分割されています。
  - それぞれのZ座標を取得します。Z座標の値で床かどうかを判断しています。
  - 粒子の付着量[kg]を計算します。
  - 各頂点について、[ground]上にあることを(念のため)確認し、その面の累積付着量[kg/m<sup>2</sup>]を付加します。付加する量は、粒子の質量w[kg]が3つの頂点に等分されると仮定し、 $(w/3)/A$   
となります。Aは各結露アドレスが代表する面の面積[m<sup>2</sup>]です。これは、usf\_huarで取得できます。
  - 衝突した粒子を削除します。

以上により粒子が累積結露量に変換されました。変換された累積結露量は標準の結露計算機能により空気中に湿度として漂います。

```

void usr_pclrfp(int isw,int nlines) {
}

static fprec wt=0.;

fprec use_pclrfp(int isw,int *pidata,fprec *pfdata,int *idata,fprec *fdata,char *cdata)
{
    fprec scp, rop, ddp, w;
    fprec totald = 0;

    /* The node number of element where the particle is included */
    int add1 = pidata[20];
    int add2 = pidata[21];
    int add3 = pidata[22];
    int add4 = pidata[23];

    /* Z coordinates */
    fprec cdn1 = usf_z(add1);
    fprec cdn2 = usf_z(add2);
    fprec cdn3 = usf_z(add3);
    fprec cdn4 = usf_z(add4);

    /* Calculating mass of the particle */
    ddp = pfdata[0];
    rop = pfdata[1];
    scp = pfdata[3];
    w = (fprec)3.14/6*rop*ddp*ddp*ddp*scp;

    wt += w;

    if(cdn1 == 0) {
        /* Converting node number to dew address number */
        int stb1 = usf_huad(add1);
        fprec area = usf_huar(stb1);

        /* Getting current accumulated dew condensation */
        fprec ham1 = usf_huam(stb1);

        /* Adding */
        fprec hamnew1 = ham1 + w/3/area;

        /* Applying new value */
        usf_set_huam(stb1, hamnew1);
        pidata[1] = -1;
    }
    if(cdn2 == 0) {
        int stb2 = usf_huad(add2);
        fprec area = usf_huar(stb2);
        fprec ham2 = usf_huam(stb2);
        fprec hamnew2 = ham2 + w/3/area;
        usf_set_huam(stb2, hamnew2);
        pidata[1] = -1;
    }
    if(cdn3 == 0) {
        int stb3 = usf_huad(add3);
        fprec area = usf_huar(stb3);
        fprec ham3 = usf_huam(stb3);
        fprec hamnew3 = ham3 + w/3/area;
        usf_set_huam(stb3, hamnew3);
        pidata[1] = -1;
    }
    if(cdn4 == 0) {
        int stb4 = usf_huad(add4);
        fprec area = usf_huar(stb4);
        fprec ham4 = usf_huam(stb4);
        fprec hamnew4 = ham4 + w/3/area;
        usf_set_huam(stb4, hamnew4);
        pidata[1] = -1;
    }
    return 0.0;
}

```

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA22-3.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [温度], [拡散], [粒子追跡]をONにします。[拡散]では、[拡散物質の数]を[1]とし、[湿度]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [200]

[時間間隔の設定] : [数値入力による]

[時間間隔] : [0.1 s]

- ・ [重力]の[考慮する]をONにします。

[(X, Y, Z)] : [(0, 0, -9.8) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにて、新規作成をクリックします。[物性値]ダイアログで、[参照する物性値]から[空気(非圧縮20°C)]を選択し、[浮力を考慮する]をONとします。続いて、以下のように変更してOKをクリックします。

[体膨張率] : [0.00333 1/K]

[基準温度] : [30 °C]

- ・ MAT[1]を選択し、[物性値]から新しく作成した物性値を適用します。

#### 4. [拡散]

- ・ [拡散物質]タブにて、[拡散係数]に[2.2e-5 m<sup>2</sup>/s]を入力して適用をクリックします。

#### 5. [初期条件]

- ・ 新規をクリックします。[初期値]ダイアログで、[変数]を[温度]とし、[値]を[30 °C]とします。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

- ・ 同様にして、新規をクリックして、拡散物質の初期値を以下のように設定をします。

[変数] : [拡散物質濃度(1)]

[値] : [0]

#### 6. [境界条件]

- ・ [領域]から[inlet]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、以下のように設定してOKをクリックし、ダイアログを閉じます。

[流入流速] : [5 m/s]

[流入温度] : ON

[温度指定 T] : [30 °C]

- ・ [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。表示された[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]が[0 Pa]となっていることを確認して、OKをクリックします。

- ・ [領域]から[ground]を選択し、壁面をクリックします。表示された[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認し

ます。次に、[壁面熱伝達条件]タブにおいて、[断熱]をOFFにした後、[外部温度]に[60°C]を入力し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 7. [湿度]

- [結露面]タブを選択して新規をクリックします。[結露面アイテム]ダイアログにて、[対象となる領域]にて[ground]をONにします。[設定]にて[蒸発を考慮する]を選択し、[FAC]を[0]とします。

- [計算]タブにて、以下のように設定します。

[ルイス数を指定する]	:	ON
[ルイス数]	:	[0.95]
[潜熱を考慮する]	:	ON
[1atm 0°Cにおける水の蒸発熱]	:	ON

#### 8. [粒子追跡]

- 特記事項 粒子追跡の条件設定方法を参照してください。

#### 9. [出力条件]

- 特記事項 解析結果の確認のための設定を参照してください。
- [FLD(サイクル)]で、[出力のタイミング]を[指定サイクル毎に出力]、[サイクル間隔]を[1]とします。

#### 10. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA22-3]と入力します。

#### - 八分木

[ファイル]-[開く]より exA22-3.oct を読み込みます。

#### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[ground]	[0.08]	[1]	[2]
[wall]			

#### - 解析実行

作成したユーザー関数のDLLファイルを、Sファイルと同じフォルダに置いた(コピーした)上で、SCTsolverで解析を実行します。

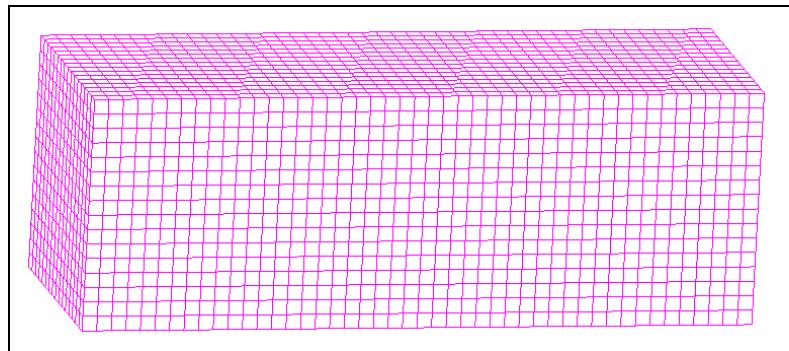
#### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約1分10秒
- 計算サイクル数  
200サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

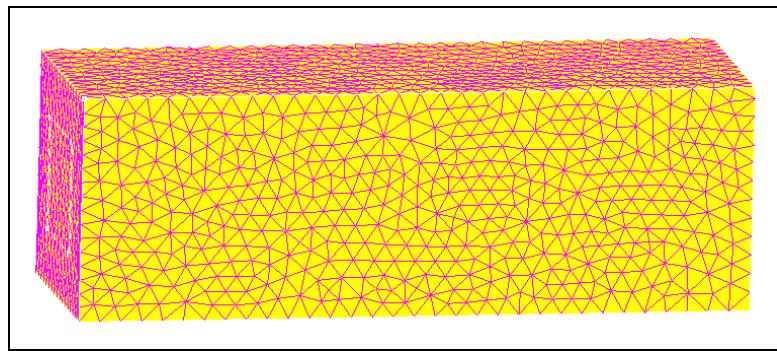
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.2625[m]

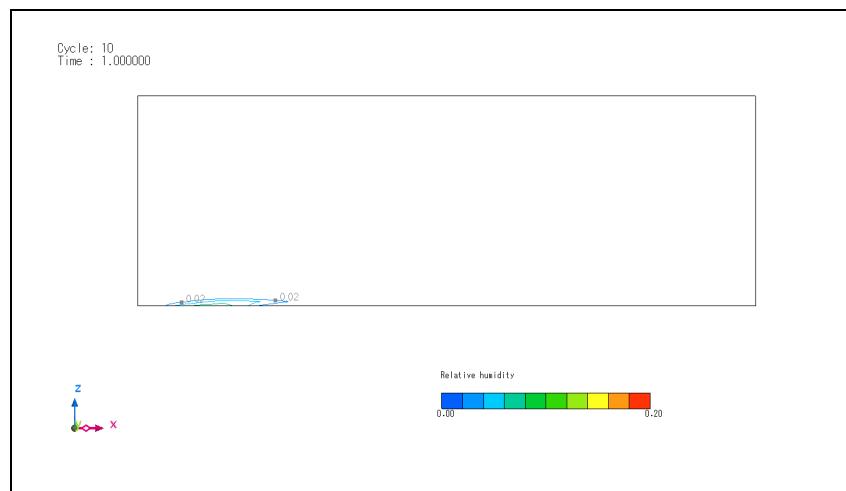
- メッシュ図



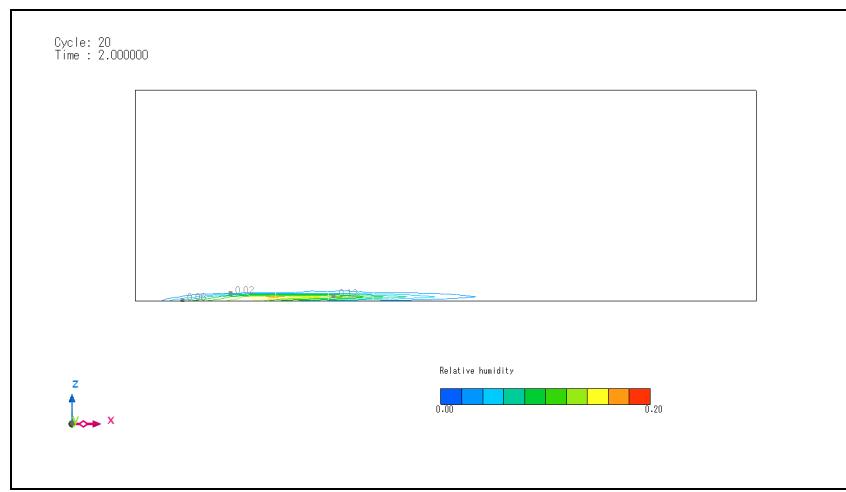
要素数 : 77,242

## 解析結果

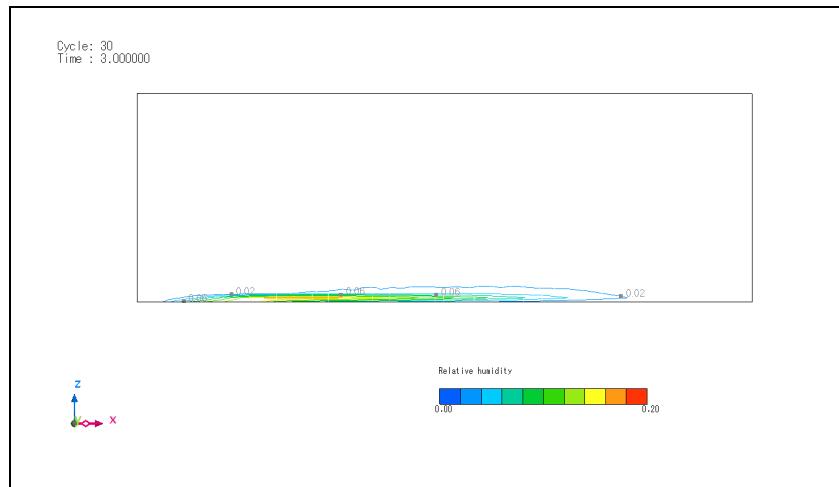
- SCTpostの設定  
湿度分布は[カット面]オブジェクトの[コンター]タブにて、[表示]をONにし、[変数]を[相対湿度(0~1) (RHUM)]として表示しています。
- 湿度分布(1秒後)



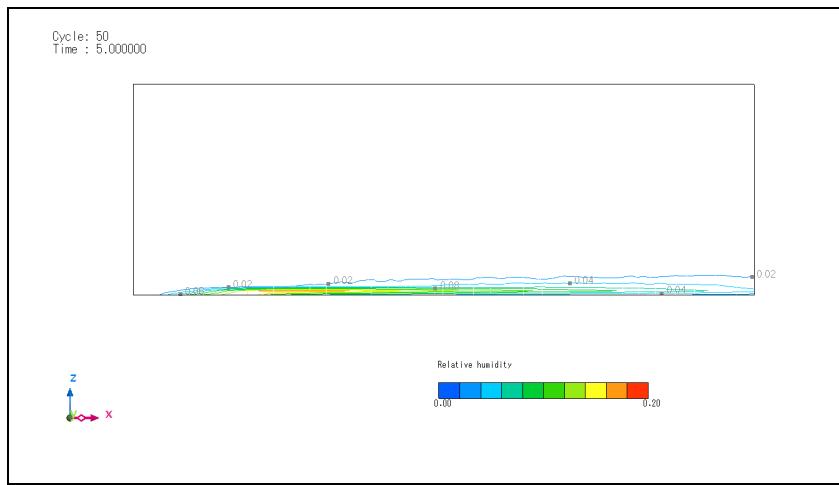
- 湿度分布(2秒後)



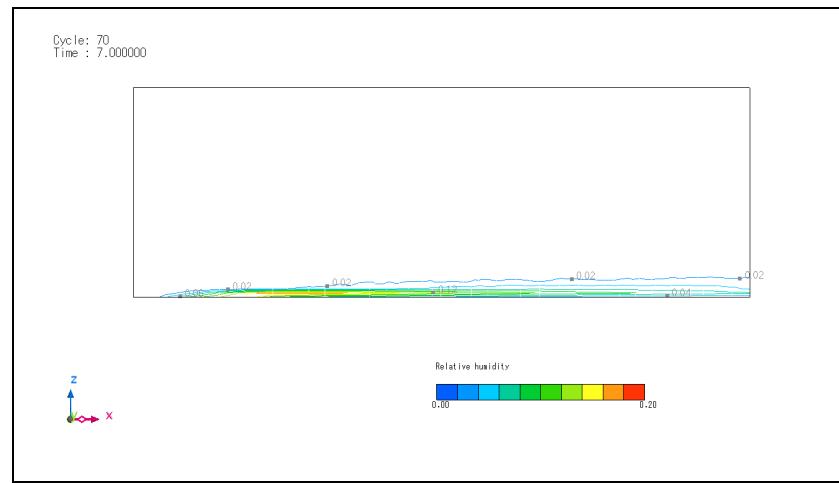
- 湿度分布(3秒後)



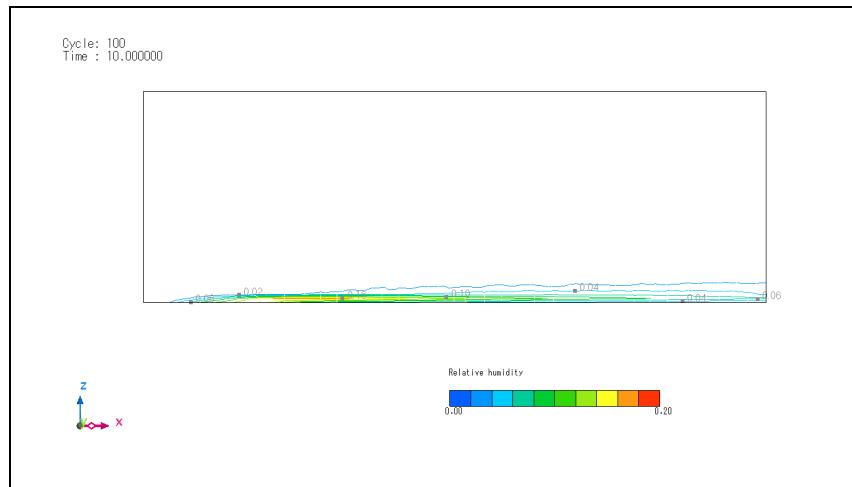
- 湿度分布(5秒後)



- 湿度分布(7秒後)



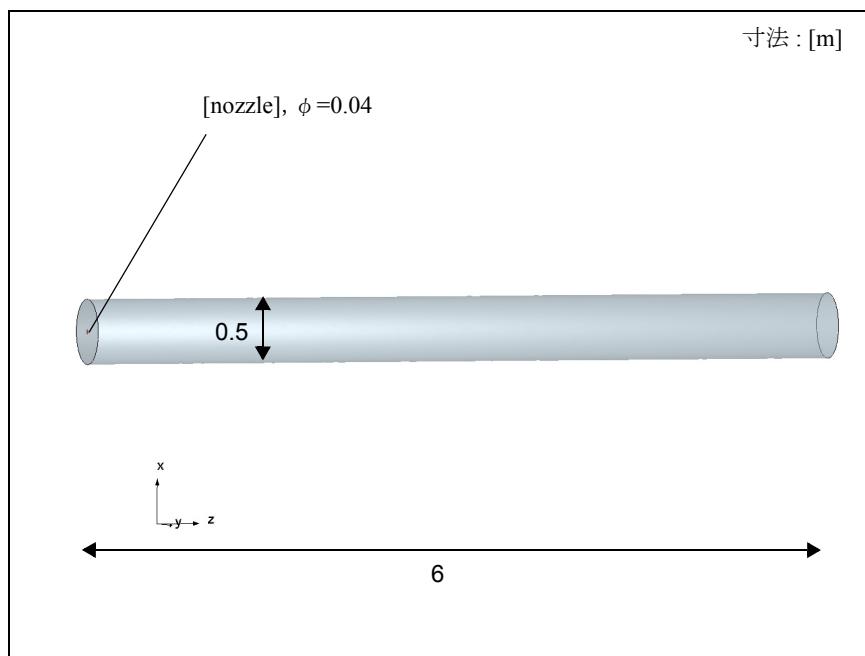
- 湿度分布(10秒後)



## 例題22.4 液滴の蒸発

粒子の蒸発機能を用いて粒子から混合ガス成分への変換を行います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

直径0.5[m], 高さ6[m]の完全に乾いた空気の円筒領域に対して粒子の水滴を噴霧します。また、[nozzle]より乾いた空気を流入させることにより継続的に水滴粒子を蒸発させます。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k-\bar{\omega}$  方程式
- 拡散物質保存式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 拡散(混合ガス) : 3成分の混合ガスについて拡散解析を行います。
- 粒子追跡 : 粒子追跡機能を使用して液滴の挙動を解析します。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 圧縮性流体 混合ガス  
普遍ガス定数 8.31451 [J/(mol·K)]  
物性値ライブラリより[流体(混合ガス・圧縮性)] - [混合ガス]を使用します。
- 拡散物質1: 水  
標準生成熱 0 [J/kg]  
モル質量 0.018 [kg/mol]  
粘性係数  $2.423 \times 10^{-5}$  [Pa·s]  
定圧比熱 2088 [J/(kg·K)]  
熱伝導率 0.05447 [W/(m·K)]
- 拡散物質2: 酸素  
標準生成熱 0 [J/kg]  
モル質量 0.032 [kg/mol]  
粘性係数  $2.057 \times 10^{-5}$  [Pa·s]  
定圧比熱 919 [J/(kg·K)]  
熱伝導率 0.0266 [W/(m·K)]
- 拡散物質3: 窒素  
標準生成熱 0 [J/kg]  
モル質量 0.028 [kg/mol]  
粘性係数  $1.777 \times 10^{-5}$  [Pa·s]  
定圧比熱 1,399 [J/(kg·K)]  
熱伝導率 0.0258 [W/(m·K)]

### - 基準値

- 基準温度 : 273.15 [K]
- 基準圧力(MAT=1) : 101,325 [Pa]
- 基準密度(MAT=1) : 0 [kg/m<sup>3</sup>]

### - 境界条件

- 流入口 [nozzle] : 流速規定  
流入速度 43.871 [m/s]  
流入温度 50 [°C]  
流入拡散物質濃度  
C1(水質量分率) 0 [-]  
C2(酸素質量分率) 0.23184 [-]  
C3(窒素質量分率) 0.76816 [-]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定  
表面圧力 0 [Pa]  
流入温度 50 [°C]  
流入拡散物質濃度  
C1(水質量分率) 0 [-]  
C2(酸素質量分率) 0.23184 [-]  
C3(窒素質量分率) 0.76816 [-]
- 壁面 [wall] : 静止壁  
断熱

### - 初期条件

- 温度 : 50 [°C]
- 圧力 : 0 [Pa]
- 拡散物質濃度  
C1(水質量分率) : 0 [-]  
C2(酸素質量分率) : 0.23184 [-]  
C3(窒素質量分率) : 0.76816 [-]

### - その他

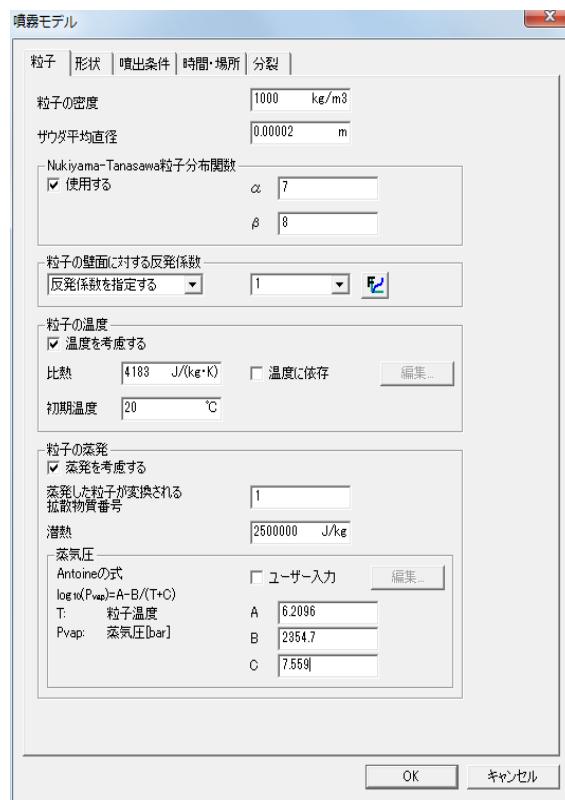
- 乱流モデル  
SST k- $\omega$ モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル : 10,000[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.01[s]
- 粒子追跡  
出力 : 粒子の直径、粒子の属性番号、粒子の有効個数を出力する  
噴霧モデル : 粒子 : 反発係数を指定する 1 [-]  
: 温度を考慮する  
: 蒸発を考慮する  
スプレー形状 : スプレー一コーンモデル  
分裂 : 行わない
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル間隔毎に出力  
(サイクル間隔 500[サイクル])

## 特記事項

### - 粒子追跡(噴霧モデル)の条件設定方法

- [カウンター]タブを選び、以下のように粒子をカウントする設定を行います。  
[カウントする領域] : [outlet]  
[最終サイクルのみ出力する] : ON
- [出力]タブを選び、以下の条件を入力します。  
[図化用データファイルへの出力設定]  
[粒子の直径を出力する] : ON  
[粒子の属性番号を出力する] : ON  
[粒子の有効個数を出力する] : ON
- [噴霧]タブを選び、噴霧モデルの設定を行います。新規をクリックします。[噴霧モデル]ダイアログの[粒子]タブにて、粒子のパラメータを以下の通りに設定します。  
[粒子の密度] : [1000 kg/m<sup>3</sup>]  
[粒子の直径] : [0.00002 m]  
[Nukiyama-Tanasawa粒子分布関数] : [使用する]  
[ $\alpha$ ] : [7]  
[ $\beta$ ] : [8]  
[粒子の壁面に対する反発係数] : [反発係数を指定する], [1]  
[粒子の温度] : [温度を考慮する]  
[比熱] : [4183 J/(kg·K)]  
[初期温度] : [20 °C]

[粒子の蒸発]	:	[蒸発を考慮する]
[蒸発した粒子が変換される拡散物質番号]	:	[1]
[潜熱]	:	[2500000 J/kg]
[蒸気圧][Antoineの式] [A]	:	[6.2096]
[B]	:	[2354.7]
[C]	:	[7.559]



- ・ [形状]タブを選択し、以下の条件を入力します。

[スプレー形状] : [スプレーコーンモデル]  
[噴霧の内円の軸からの角度(広がり角)] : [0 度]  
[噴霧の外円の軸からの角度(広がり角)] : [17.45 度]  
[噴出口直径] : [0.04 m]



- ・ [噴出条件]タブを選び、以下の設定を行います。

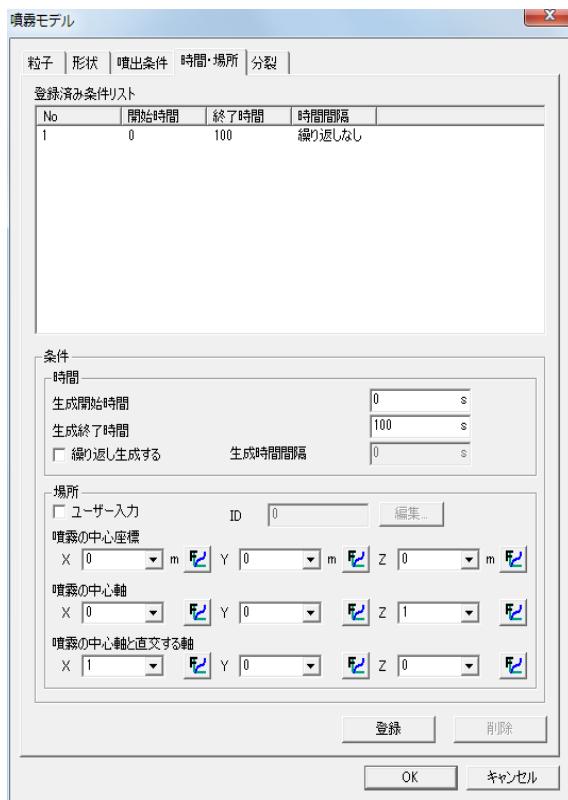
[噴出速度] : [15.8 m/s]  
[噴霧される粒子の質量]  
[単位時間当たりの質量] : [0.0006 kg/s]  
[噴霧される粒子の数]  
[単位時間当たりの数] : [12000]



- [時間・場所]タブを選び、以下の条件を設定します。  
 [時間・場所]  
 [生成開始時間] : [0 s]  
 [生成終了時間] : [100 s]
- [噴霧の中心座標], [噴霧の中心軸], [噴霧の中心軸と直行する軸]は下表の通りに入力します。

	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0m	0m	0m
[噴霧の中心軸]	0	0	1
[噴霧の中心軸と直行する軸]	1	0	0

- 以上の設定を行いましたら、登録をクリックします。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA22-4.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [粒子追跡], [温度], [拡散]を選択します。[拡散物質の数]を[3]として、[混合ガス]をONにします。[乱流モデル]の[モデル]からプルダウンメニューより SST k- $\omega$ モデルを選択します。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [10000]

[時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。

[時間間隔] : [0.01 s]

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。物性値ライブラリから、[流体(混合ガス・圧縮性)] - [混合ガス]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [拡散]

- ・ [拡散物質]タブにて、各拡散物質番号に対して次のように物性を設定します。

拡散物質番号 No.1

[モル質量] : [0.018 kg/mol]

[粘性係数] : [2.423e-5]

[定圧比熱] : [2088 J/(kg•K)]

[熱伝導率] : [0.05447 W/(m•K)]

拡散物質番号 No.2

[モル質量] : [0.032 kg/mol]

[粘性係数] : [2.057e-5 Pa•s]

[定圧比熱] : [919 J/(kg•K)]

[熱伝導率] : [0.0266 W/(m•K)]

拡散物質番号 No.3

[モル質量] : [0.028 kg/mol]

[粘性係数] : [1.777e-5 Pa•s]

[定圧比熱] : [1399 J/(kg•K)]

[熱伝導率] : [0.0258 W/(m•K)]

- ・ 拡散物質の補正を行うため、[拡散物質の補正]の設定をクリックします。[拡散物質に関する補正]ダイアログの[質量分率の規格化]で、[SW=1 最終の拡散物質の質量分率の規格化のみ補正する(最終の拡散物質がキャリアガスの場合など)]を選択し、<<をクリックします。OKをクリックし、ダイアログを閉じます。

## 5. [初期条件]

- 新規をクリックして、[初期値]ダイアログを開きます。[変数]を[温度]として、[値]を[50°C]とします。[対象]は[全てのMAT番号に適用]をONにして、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- 同様にして、新規をクリックして、各拡散物質の初期濃度を指定します。[変数]が[圧力]については[値]を[0]、[拡散物質濃度(1)]については[値]を[0]、[拡散物質濃度(2)]は[0.23184]、[拡散物質濃度(3)]は[0.76816]をそれぞれ設定します。なお、いずれも[対象]は[全てのMAT番号に適用]をONにします。

## 6. [境界条件]

- [領域]から[nozzle]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[境界面に垂直な流速を指定]を選択し、以下のように設定します。
 

[流入速度]	:	[43.871 m/s]
[流入温度]	:	ON
[温度指定 T]	:	[50 °C]
[流入乱流量]	:	ON
[乱流量指定]	[K]	: [0.43871 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
	[ε]	: [17.053 m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]
[流入拡散物質濃度]	:	ON
[C1]	:	[0]
[C2]	:	[0.23184]
[C3]	:	[0.76816]
- [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、以下のように設定します。
 

[圧力指定 P]	:	[0 Pa]
[流入温度]	:	ON
[温度指定 T]	:	[50 °C]
[流入拡散物質濃度]	:	ON
[C1]	:	[0]
[C2]	:	[0.23184]
[C3]	:	[0.76816]
- [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。

## 7. [粒子追跡]

- [粒子追跡]の設定については、特記事項粒子追跡(噴霧モデル)の条件設定方法を参照してください。

## 8. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]で、[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。[サイクル間隔]は[500]とします。

## 9. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA22-4]と入力します。

### - 八分木

[ファイル]-[開く]より exA22-4.oct を読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	自動	[1.1]	[3]

詳細設定をクリックし、[厚み]タブを選択します。[狭い空間での境界層の厚みを制限する]をONにし、[空間の広さに対する厚みの比の上限]に[0.2]を入力して、OKをクリックします。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約6時間20分

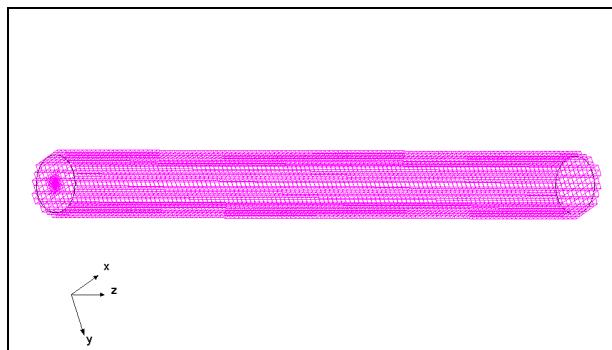
- 計算サイクル数

10,000サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

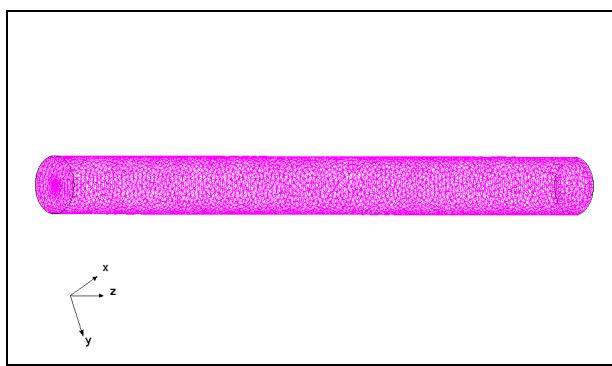
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.00625[m]~0.05[m]

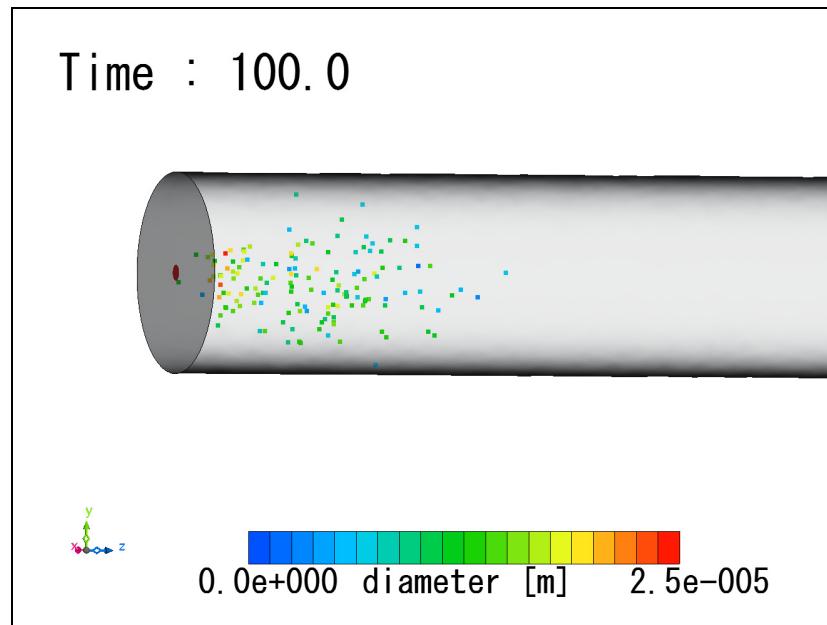
- メッシュ図



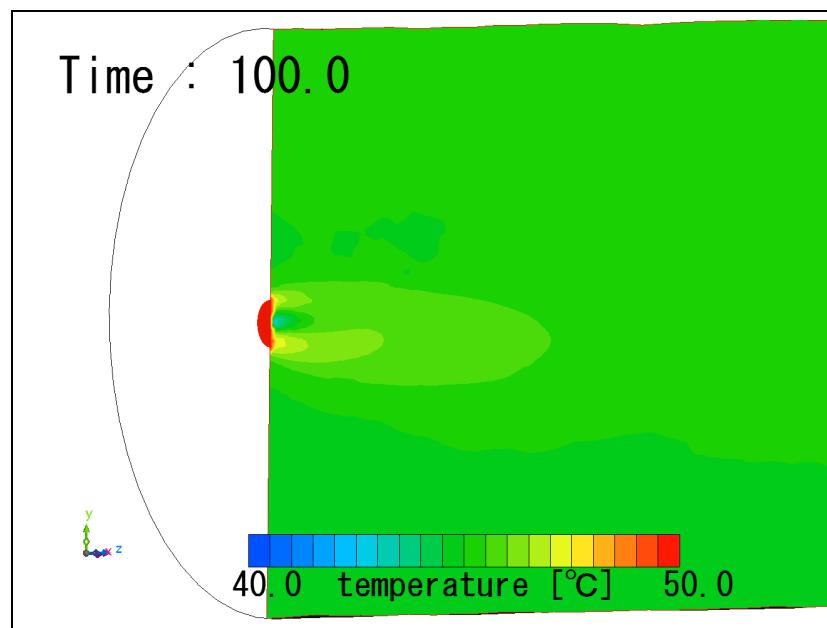
要素数 : 166,134

## 解析結果

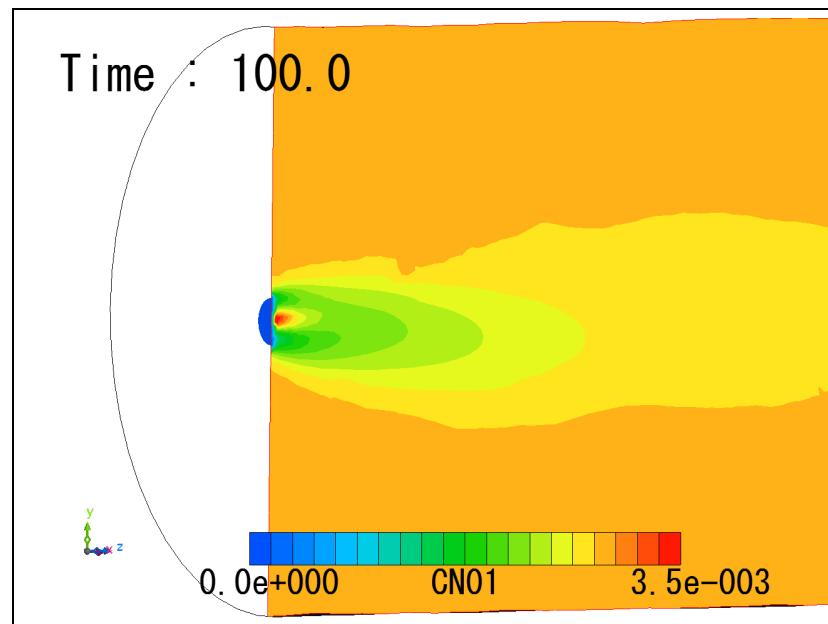
- 粒子直径分布図(t=100)



- 温度コンター図(t=100)



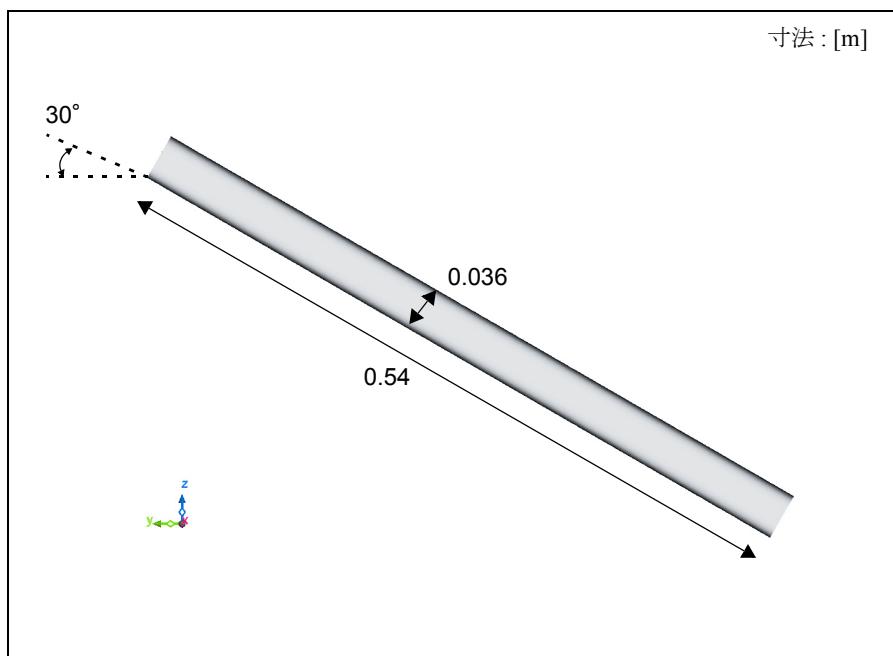
- 拡散物質1濃度コンター図(t=100)



## 例題22.5 斜め円管内への水滴の噴霧と液膜解析

噴霧モデル液膜モデルを用いて、管の中に噴霧した水滴が管に付着し垂れる様子を解析します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

直径0.036[m], 長さ0.54[m]の円管が水平方向に対して30度で設置されています。管の入り口より空気を流入させ、0.18[m]の地点で水滴の噴霧が行われます。噴霧は管軸に対して45度で行われ、8回の噴霧が行われます。噴霧された水滴は壁に付着し液膜モデルの膜厚に変換されます。付着した液膜は空気の流れや重力により液膜が下流に流されます。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k-\varepsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 粒子追跡 : 粒子追跡機能を使用して液滴の挙動を解析します。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])

### - 物性値

- MAT=1 : 非縮性流体 空気(非圧縮20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流量規定  
流入流量 0.007 [m<sup>3</sup>/s]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定  
表面圧力 0 [Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁

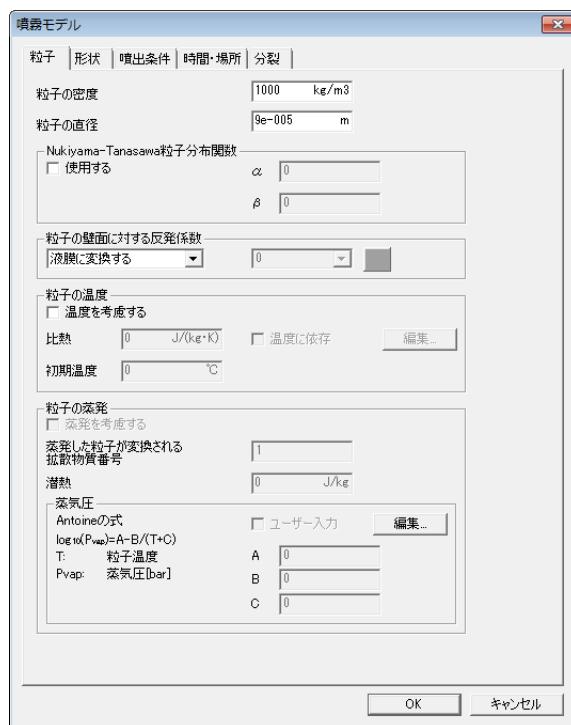
### - その他

- 乱流モデル  
標準k-εモデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.01[s]
- 粒子追跡  
出力 : 粒子の直径、粒子の属性番号、粒子の有効個数を出力する  
噴霧モデル : 粒子 : 壁で液膜に変換する  
: 温度を考慮しない  
スプレー形状 : スプレーーンモデル  
分裂 : 行わない
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル間隔毎に出力  
(サイクル間隔 10[サイクル])

## 特記事項

### - 粒子追跡(噴霧モデル)の条件設定方法

- [出力]タブを選び、以下の条件を入力します。  
 [図化用データファイルへの出力設定]  
 [粒子の直径を出力する] : ON  
 [粒子の属性番号を出力する] : ON  
 [粒子の有効個数を出力する] : ON
- [噴霧]タブを選び、噴霧モデルの設定を行います。新規をクリックします。[噴霧モデル]ダイアログの[粒子]タブにて、粒子のパラメータを以下の通りに設定します。  
 [粒子の密度] : [1000 kg/m<sup>3</sup>]  
 [粒子の直径] : [0.00009 m]  
 [粒子の壁面に対する反発係数] : [液膜に変換する]



- ・ [形状]タブを選択し、以下の条件を入力します。

[スプレー形状] : [スプレーコーンモデル]  
[噴霧の内円の軸からの角度(広がり角)] : [0 度]  
[噴霧の外円の軸からの角度(広がり角)] : [30 度]  
[噴出口直径] : [0 m]



- ・ [噴出条件]タブを選び、以下の設定を行います。

[噴出速度] : [16 m/s]

[噴霧される粒子の質量]

[総質量] : [2.15e-005 kg]

[噴霧される粒子の数]

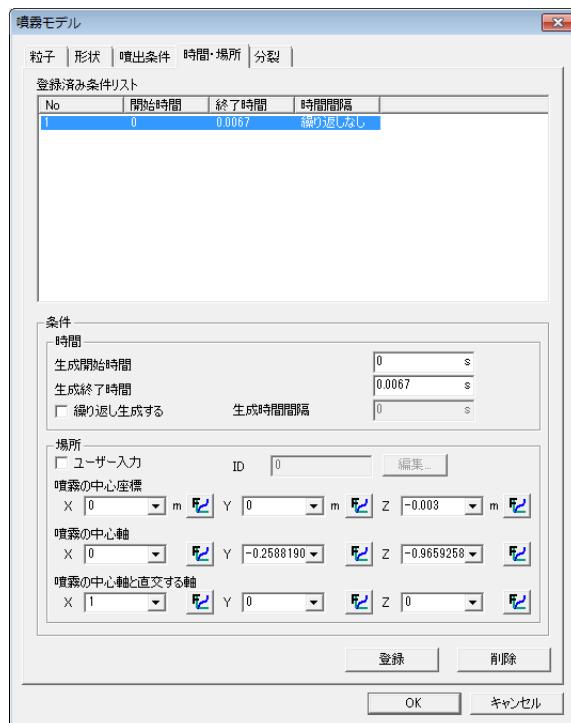
[単位時間当たりの数] : [1000]



- [時間・場所]タブを選び、以下の条件を設定します。  
**[時間・場所]**  
[生成開始時間] : [0 s]  
[生成終了時間] : [0.0067 s]
- [噴霧の中心座標], [噴霧の中心軸], [噴霧の中心軸と直行する軸]は下表の通りに入力します。

	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0m	0m	-0.003m
[噴霧の中心軸]	0	-0.258819045	-0.965925826
[噴霧の中心軸と直行する軸]	1	0	0

- 以上の設定を行いましたら、**登録**をクリックします。



- 同様に残りの7回分の噴霧を以下の表に従い登録します。

No2

[時間・場所]

[生成開始時間] : [0.025 s]

[生成終了時間] : [0.0317 s]

	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0m	0m	-0.003m
[噴霧の中心軸]	0	-0.258819045	-0.965925826
[噴霧の中心軸と直行する軸]	1	0	0

No3

[時間・場所]

[生成開始時間] : [0.05 s]

[生成終了時間] : [0.0567 s]

	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0m	0m	-0.003m
[噴霧の中心軸]	0	-0.258819045	-0.965925826
[噴霧の中心軸と直行する軸]	1	0	0

No4

[時間・場所]

[生成開始時間] : [0.075 s]

[生成終了時間] : [0.0817 s]

	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0m	0m	-0.003m
[噴霧の中心軸]	0	-0.258819045	-0.965925826
[噴霧の中心軸と直行する軸]	1	0	0

No5

[時間・場所]

[生成開始時間] : [0.1s]

[生成終了時間] : [0.1067 s]

	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0m	0m	-0.003m
[噴霧の中心軸]	0	-0.258819045	-0.965925826
[噴霧の中心軸と直行する軸]	1	0	0

No6

[時間・場所]

[生成開始時間] : [0.125s]

[生成終了時間] : [0.1317 s]

	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0m	0m	-0.003m
[噴霧の中心軸]	0	-0.258819045	-0.965925826
[噴霧の中心軸と直行する軸]	1	0	0

No7

[時間・場所]

[生成開始時間] : [0.15 s]

[生成終了時間] : [0.1567 s]

	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0m	0m	-0.003m
[噴霧の中心軸]	0	-0.258819045	-0.965925826
[噴霧の中心軸と直行する軸]	1	0	0

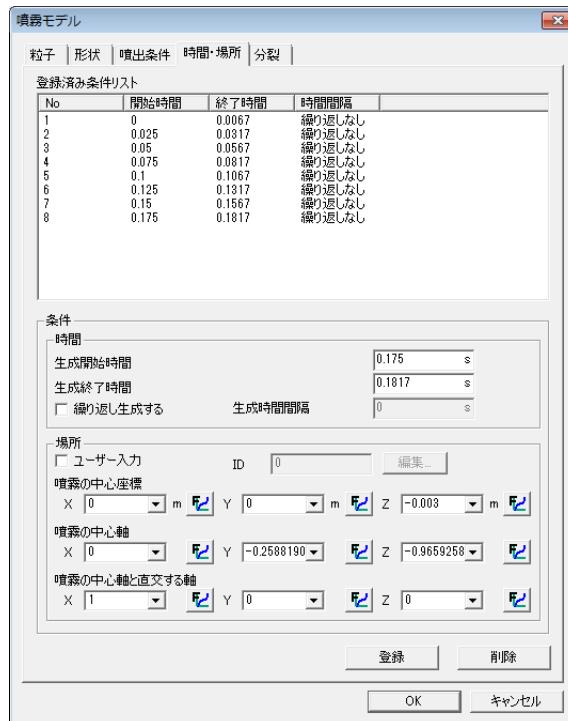
No8

## [時間・場所]

[生成開始時間] : [0.175 s]

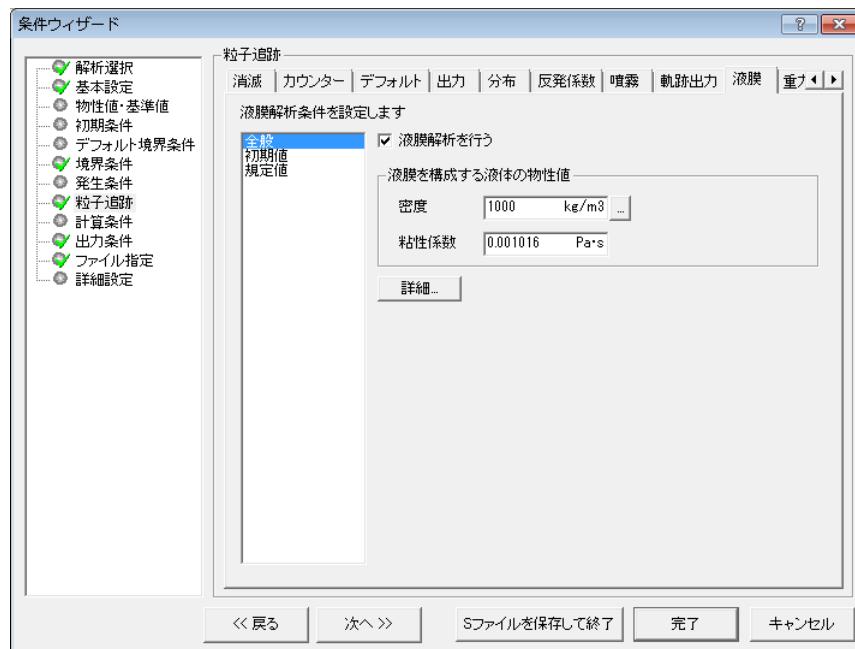
[生成終了時間] : [0.1817 s]

	X	Y	Z
[噴霧の中心座標]	0m	0m	-0.003m
[噴霧の中心軸]	0	-0.258819045	-0.965925826
[噴霧の中心軸と直行する軸]	1	0	0

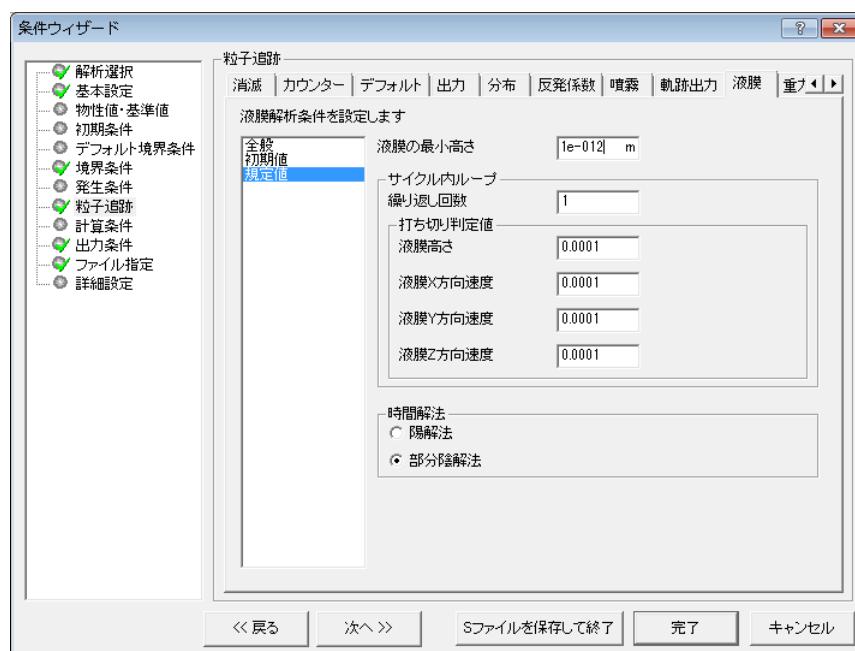


### - 粒子追跡(液膜モデル)の条件設定方法

- [液膜]タブを選び、液膜モデルの設定を行います。[全般]にて[液膜解析を行う]をONにして[液膜を構成する液体の物性値]の[密度]に[1000 kg/m<sup>3</sup>]、[粘性係数]に[0.001016 Pa・s]と入力します。



- [規定値]にて[液膜の最小高さ]に[1e-012 m]と入力します。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA22-5.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [粒子追跡]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [1000]

[時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。

[時間間隔] : [0.001 s]

- [重力]で[考慮する]をONにします。

[X] : [0 m/s<sup>2</sup>]

[Y] : [0 m/s<sup>2</sup>]

[Z] : [-9.8 m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、流量規定をクリックします。[流量規定]ダイアログにて、[境界面に垂直な体積流量を指定]を選択し、以下のように設定します。

[流入体積流量] : [0.007 m<sup>3</sup>/s]

- [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定 P]が [0 Pa]になっていることを確認してOKをクリックします。

- [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。

#### 4. [粒子追跡]

- [軌跡出力]タブにて[PCLファイルを出力する]をOFFにします。
- [粒子追跡]の設定については、特記事項粒子追跡(噴霧モデル)の条件設定方法及び特記事項粒子追跡(液膜モデル)の条件設定方法を参照してください。

#### 5. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]で、[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。[サイクル間隔]は[10]とします。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA22-5]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA22-5.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- 
- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	自動	[1.1]	[3]

詳細設定をクリックし、[厚み]タブを選択します。[狭い空間での境界層の厚みを制限する]をONにし、[空間の広さに対する厚みの比の上限]に[0.2]を入力して、OKをクリックします。

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約10分

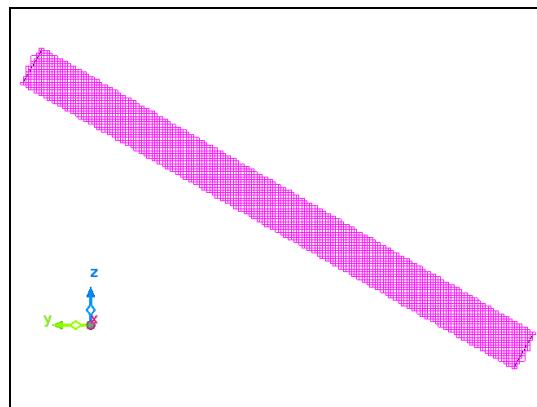
- 計算サイクル数

1000サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

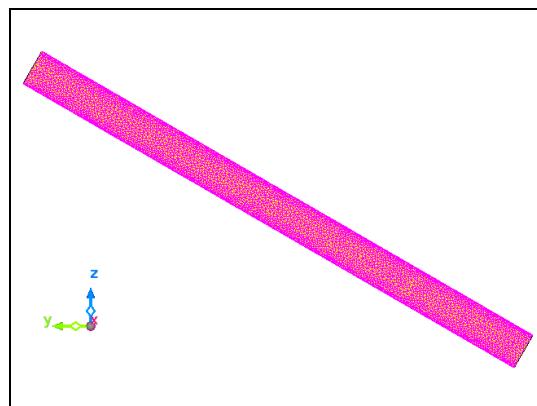
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.0025[m]~0.005[m]

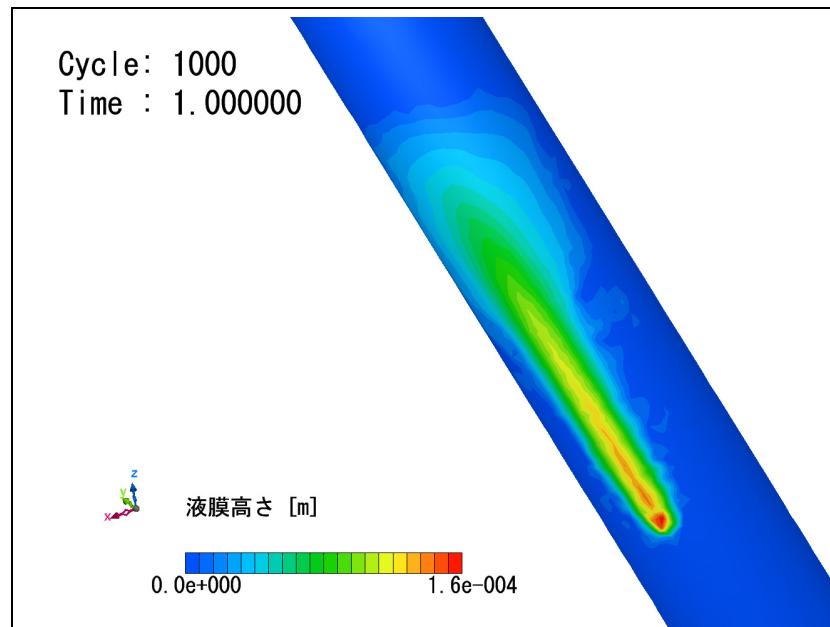
- メッシュ図



要素数 : 110,441

## 解析結果

- 液膜厚さ分布図(t=1)



---

## 機能23 自由表面解析(改良MAC法)

---

---

## 機能説明

- 代表的な自由表面は揺ら揺ら波打つ水面です。ところで普通の流体解析では水なら水だけ、と言う様に単一の流体を前提にしているので解析領域に水面は存在出来ません。つまり自由表面解析を行うにはこの水面を表現する為の工夫が必要になります。そのひとつがVOF法で例えば要素を占有する液体の割合Fで水面を表現します。当然、水面が交差する要素では $0 < F < 1$ になります。さて、本例題で取り上げる改良MAC法では、まず水面からの符号付距離FSLを全節点で求めます。FSL>0の領域は水、FSL<0は空気、FSL=0が水面です。要素や節点はFSLの符号を見て自分が水か空気かを知ります。一応これで水面の捕獲に成功した訳ですが、水面はすぐに変形するのでFSL値もずれてしまいます。そこで変形前の水面に多数のマーカー粒子を並べて粒子追跡します。粒子の移動先が新たな水面なので移動後の粒子を手懸りにFSL値を再計算します。この様にFSL値の計算と粒子追跡を繰り返して自由表面を追跡するのが改良MAC法です。

## 注意事項

- 自由表面解析(改良MAC法)は、以下の機能との併用はできません。

拡散、温度(輻射、日射)、圧縮性解析、周期境界、不連続接合、重合格子、  
粒子追跡、LES、空力騒音(分離解法)、キャビテーション、化学反応、密度ベースソルバー

- 乱流モデルは、標準 k-ε モデルのみ使用可能です。
- 液体の領域だけを解き、気体の領域は解析領域外として扱われます。
- 計算中、自由表面(気液界面)が必ず必要です。全て液体または気体となるような状況での計算はできません。計算途中で全領域が気体または液体のみとなり、自由表面がなくなった場合は、計算は終了します。
- リスタート計算において自由表面の無い計算からある計算への変更はできません。また、その逆の変更もできません。
- 自由表面解析では重力を考慮するのが普通です。その為GRAVコマンドが無い入力データはエラーになります。もし重力を無視したいのならGRAVコマンドでゼロを入力してください。
- 時間刻みはクーラン数=0.3またはそれ以下とすることが推奨されます。静止状態からはじめる場合でも、例えば、0.001[秒]といったように十分短い初期時間刻みを設定してください。
- 設定できる流入流出境界条件は、流速規定(流量規定は設定できません)、圧力規定、自然流出のみです。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [自由表面位置(FSL)] : FSL (Free Surface Level) 値

(メモ) 自由表面をSCTpostで作成するときは、[作成] - [等高線] を選びFSL=0の値を表示させます。FSL (Free Surface Level) は正負のみに意味があり、値自体は意味を持ちません。

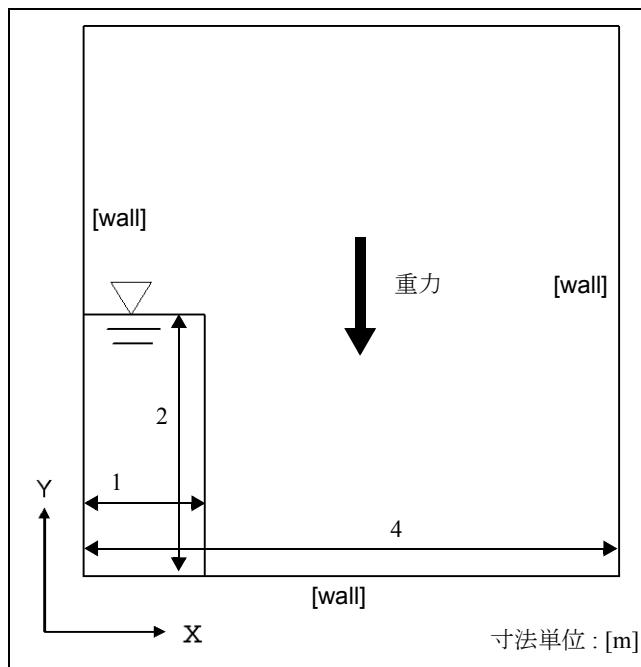
## 関連コマンド

- FSFB : 初期の気液界面の指定
- FSFD : 自由表面解析の規定値の設定
- FSFX : 水位の固定

## 例題23.1 ダムの崩壊

ダムが崩壊する様子の解析を行います。

### 解析モデル



### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)

### 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 自由表面 : 自由表面を改良MAC法で計算します。

### 解析条件

#### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向 :  $-9.8[\text{m/s}^2]$ )

**- 物性値**

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。

**- 境界条件**

- 壁面 [wall] : 擬要素中心壁条件の静止壁

**- 初期条件**

- 水柱は図の位置で静止している状態を初期条件として与えます。水面の設定は特記事項を参照してください。

**- その他**

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 3,000[サイクル]  
初期時間間隔 :  $1.0 \times 10^{-3}$ [s]  
クーラン数 : 0.3
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定時間間隔毎に出力(時間間隔 0.5[s])

## 特記事項

### - 自由表面の条件設定方法

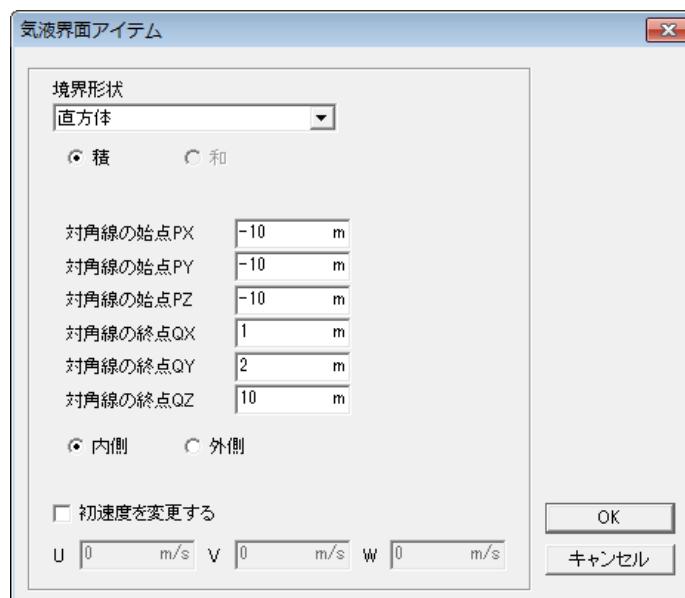
- まず、[改良MAC法]を選択します。初期水位の設定は、[初期気液界面]タブで行います。新規をクリックすると、新たな条件が設定できます。



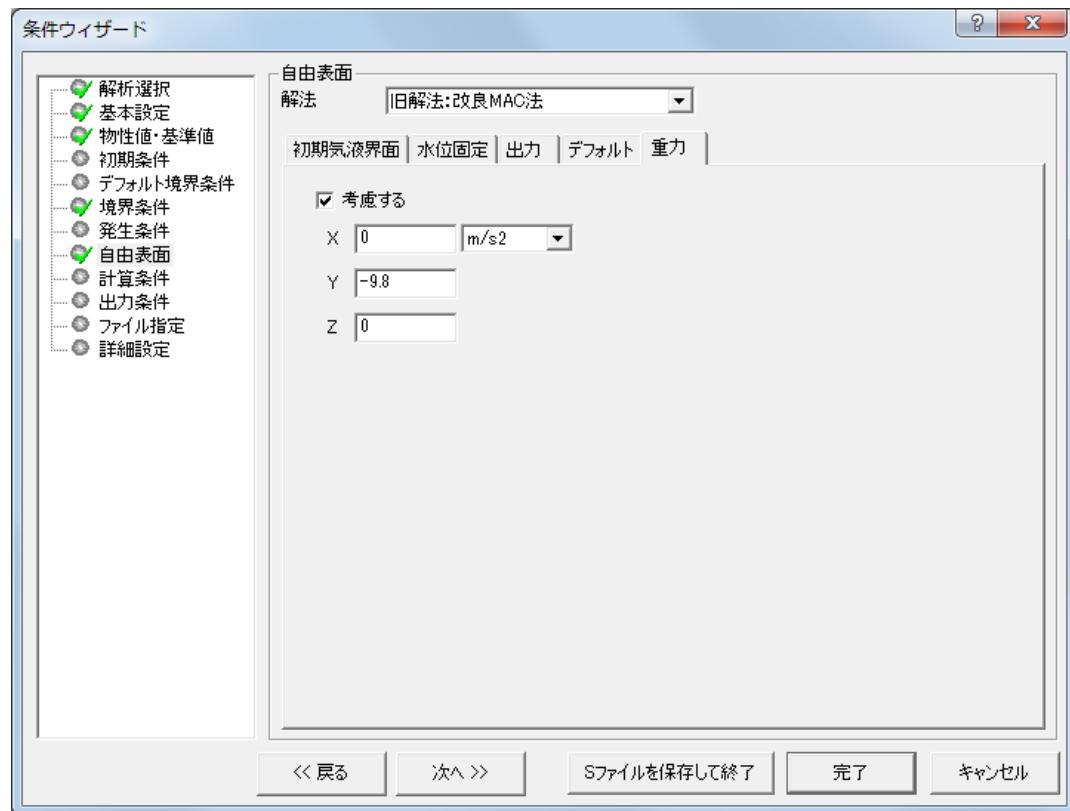
- 下図のように、[境界形状]で[直方体]を選択し、以下のように設定しOKをクリックします。

[対角線の始点 (PX, PY, PZ)] : [(-10, -10, -10)m]

[対角線の終点 (QX, QY, QZ)] : [(1, 2, 10)m]



- 自由表面の解析には、重力の設定が必要です。重力は、[重力]タブで設定します。



(メモ) [条件ウィザード] - [基本設定]で既に重力が設定されている場合、こちらの[重力]タブには[基本設定]で設定した内容が表示されます。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA23-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [自由表面]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]  
 [終了サイクル] : [3000]

- [時間間隔の設定]で[クーラン数による]を選択します。

[初期時間間隔] : [1e-3 s]  
 [クーラン数] : [0.3]

- [重力]の[考慮する]をONにします。

[(X, Y, Z)] : [(0, -9.8, 0) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[wall]を選択して、擬要素中心壁面をクリックします。[擬要素中心壁条件]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。

#### 5. [自由表面]

- 特記事項を参照してください。

#### 6. [出力条件]

- リストから[FLD(サイクル)]を選択し、[出力のタイミング]で[指定時間間隔毎に出力]を選択し、[時間間隔]に[0.5 s]を入力します。

#### 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA23-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA23-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.02]	[1]	[2]

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約4分

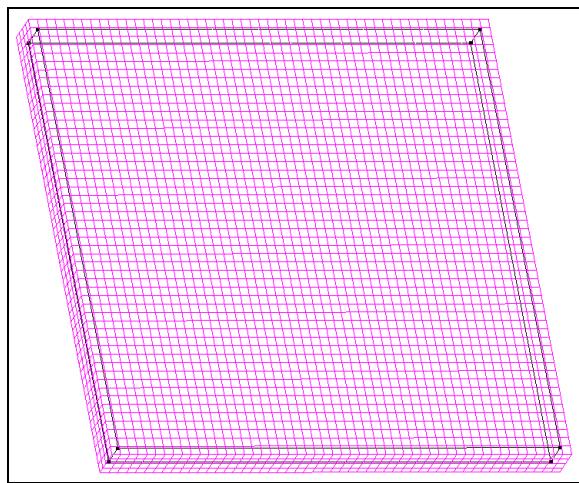
- 計算サイクル数

3,000サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

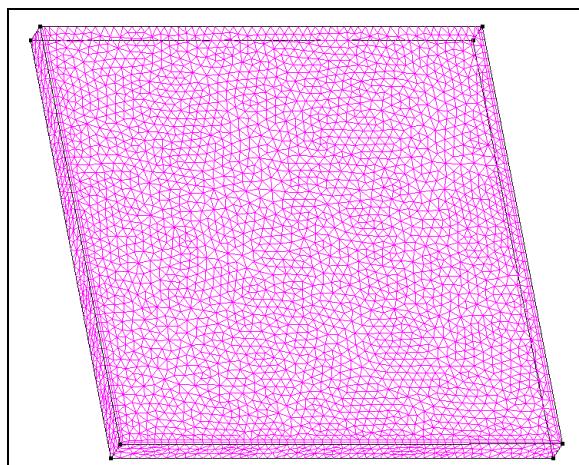
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.08[m]

- メッシュ図

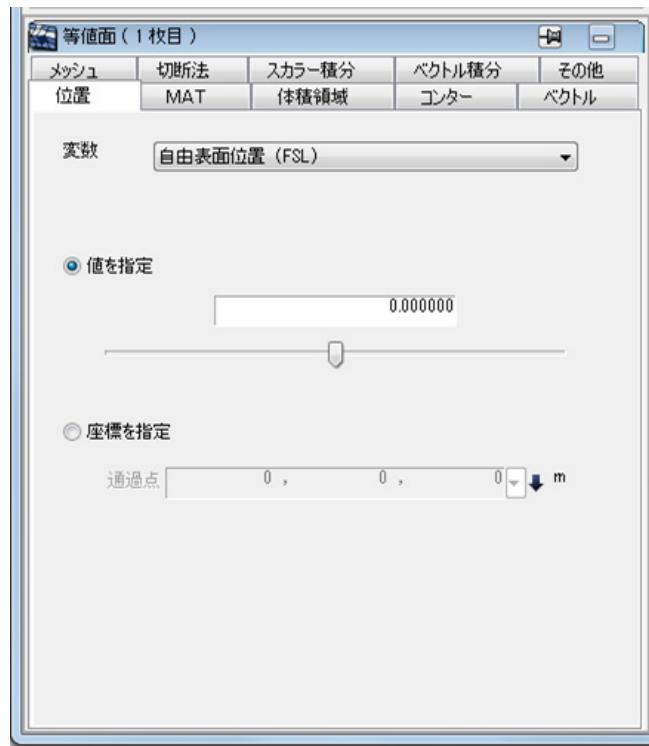


要素数 : 49,955

## 解析結果

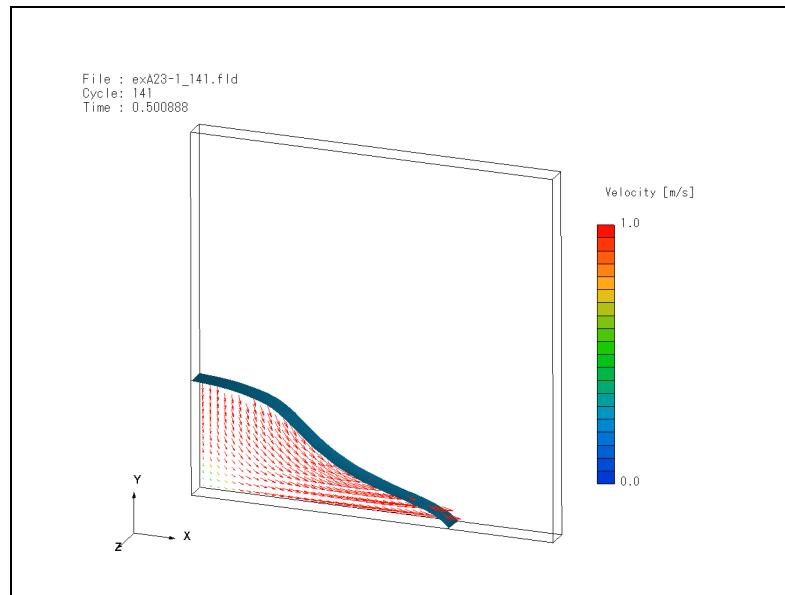
- SCTpostの設定

自由表面はFSL変数の等値面で表示されます。[作成] - [等値面]を選択、または をクリックし、[等値面]オブジェクトを作成します。以下のようなタブが現れますので、[自由表面位置(FSL)]を[0]に設定します。

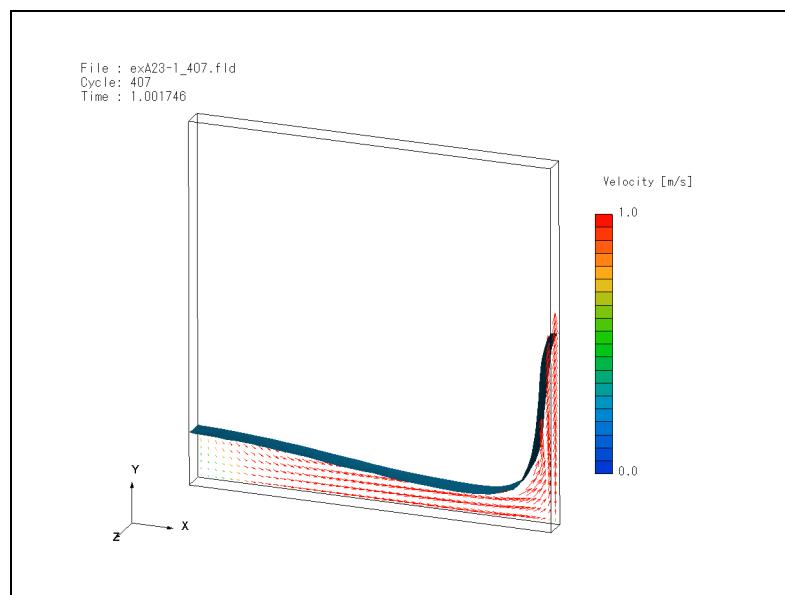


(メモ) 例題フォルダのexA23-1.aviのような動画を作成する場合には、可視化データを多数使用するために、[条件ウィザード] - [出力条件] - [FLD(サイクル)]の設定でFLDファイルの出力時間間隔を短く設定する必要があります(この設定ファイルはexA23-1-avi.sにあります)。

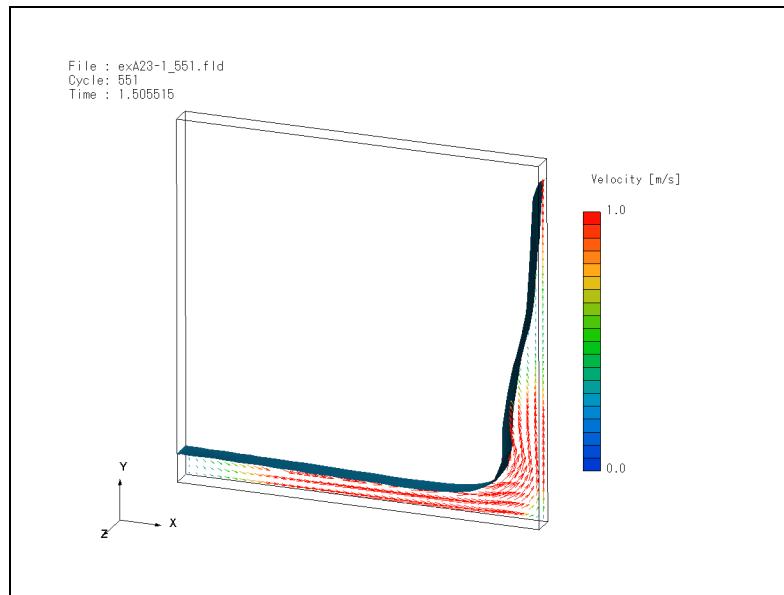
- 自由表面と流速ベクトル(0.5[秒])図



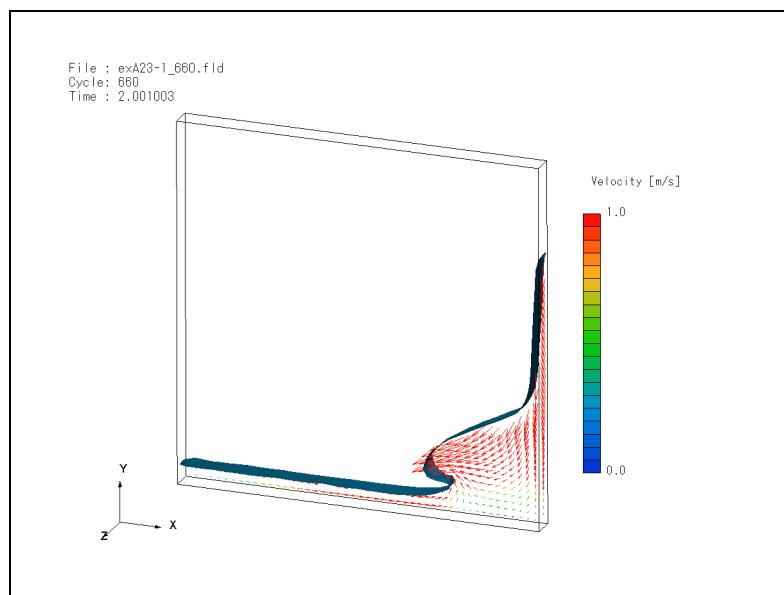
- 自由表面と流速ベクトル(1.0[秒])図



- 自由表面と流速ベクトル(1.5[秒])図



- 自由表面と流速ベクトル(2.0[秒])図



---

## 機能24 自由表面解析(VOF法)

---

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**では、重力などの影響により液体の自由表面が変化する流れの解析が可能です。このように自由表面の形状を捉える解析は、一般的な非圧縮性流体解析の機能だけでは解析することができません。そのため、特別なモデルの導入が必要になります。
- **SCRYU/Tetra**には、その代表的なモデルとして改良MAC法およびVOF法(Volume Of Fluid)が導入されています。VOF法による自由表面解析では、表面張力や接触角の影響を考慮した解析を行うことができます。改良MAC法については、**機能23**を参照してください。
- VOF法の計算手法には界面体積追跡法と界面捕獲法の2種類の方法があります。界面体積追跡法では、要素内の界面の幾何形状を考慮した移流計算を行うことで精度良い解析を行うことができます。一方界面捕獲法では、界面の移流計算をマトリックス計算で行うことで、高速な自由表面計算を行うことができます。

## 注意事項

- **SCRYU/Tetra**のVOF法は、非圧縮性、非混合流体の二相流を解析対象としています。VOF法は、以下の機能との併用はできません。

輻射, 濕度\*, 空力騒音(分離解法), キャビテーション, CVD, 化学反応, 分散混相流,  
Mixing Plane

\*VOF法（界面捕獲法）で気液界面からの蒸発を考慮するときのみ湿度との併用が可能

- VOF法(界面体積追跡法)の注意点は以下の通りです。
  - クーラン数が1以下になるようにCYCLコマンドの時間間隔を設定します。
  - クーラン数が1より大きくなったサイクルは分割されて計算されます。頻繁にクーラン数が1を超える場合には精度が悪化して計算時間も増加するので、CYCLコマンドの時間間隔、あるいは指定クーラン数を小さくしてください。
  - 空間解像度が十分ではないメッシュや不連続接合を用いる場合には、倍精度版の使用をおすすめします。
- VOF法(界面捕獲法)の注意点は以下の通りです。
  - メッシュサイズが界面精度に大きく影響しますので、界面を細かくとらえたい箇所に十分なメッシュを入れるようにしてください。
  - 要素移動と不連続接合を併用する場合は、静止側の領域を独立領域に設定してください。
  - 流入流出を伴う解析で計算が不安定になる場合は、流入流出境界条件のタイプを節点中心型に設定してください。

## 結果として出力されるもの

- 図化ファイル
  - [Volume fraction(VOF)] : 流体の体積率

---

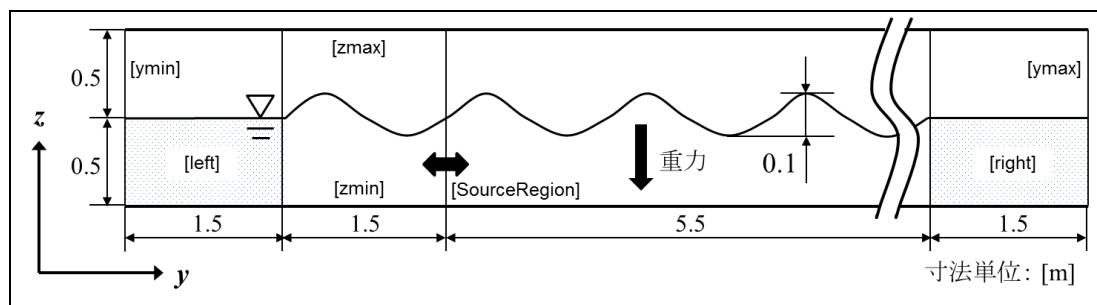
## 関連コマンド

- VOFB : 初期の気液界面の指定
- VOFD : VOF解析の規定値の設定
- VOFF : 流入相の指定
- VOFS : 表面張力の指定

## 例題24.1 有限振幅波（造波・消波機能）

VOF法(界面体積追跡法)と造波機能を用いて造波を行い、ストークス波を発生させます。波の流出部には消波機能を用い波の反射と水位の低下を防ぎます。

### 解析モデル



疑似2次元非圧縮性粘性層流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式（圧力補正式）
- 体積率の移流方程式（VOF）

### 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 自由表面 : 2相流の気液界面解析のため、VOF法を用います。

### 解析条件

#### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])

#### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

(メモ) MAT=2の登録は、[条件ウィザード] - [自由表面]の[物性値]タブで行います。

### - 境界条件

- ・ 壁面 [zmin] : 静止壁
- ・ 空気出入口 [zmax] : 表面圧力規定 0[Pa]
- ・ 流出口 [ymin],[ymax] : 表面圧力規定(テーブルによる設定)

### - 初期条件

- ・ 初期水面 : 0.5[m]
- ・ 圧力 : 静水圧

(メモ) 上記の初期条件(初期水面、初期圧力)の設定は、[条件ウィザード]-[自由表面]の[初期気液界面]タブおよび[初期条件]タブで行います。そのため、[条件ウィザード]-[初期条件]は、デフォルト(設定不要)です。

### - 造波

- ・ 領域 : [SourceRegion]
- ・ 波の種類 : ストークス波
- ・ 波高 : 0.1[m]
- ・ 波の周期 : 1[s]

(メモ) 上記の造波の設定は、[条件ウィザード]-[自由表面]の[造波]タブで行います。

### - 消波

- ・ 領域 : [ymin], [ymax]
- ・ タイプ : エネルギー吸収帶
- ・ 対象 : 液相

(メモ) 上記の造波の設定は、[条件ウィザード]-[自由表面]の[透過帯・吸収帯]タブで行います。

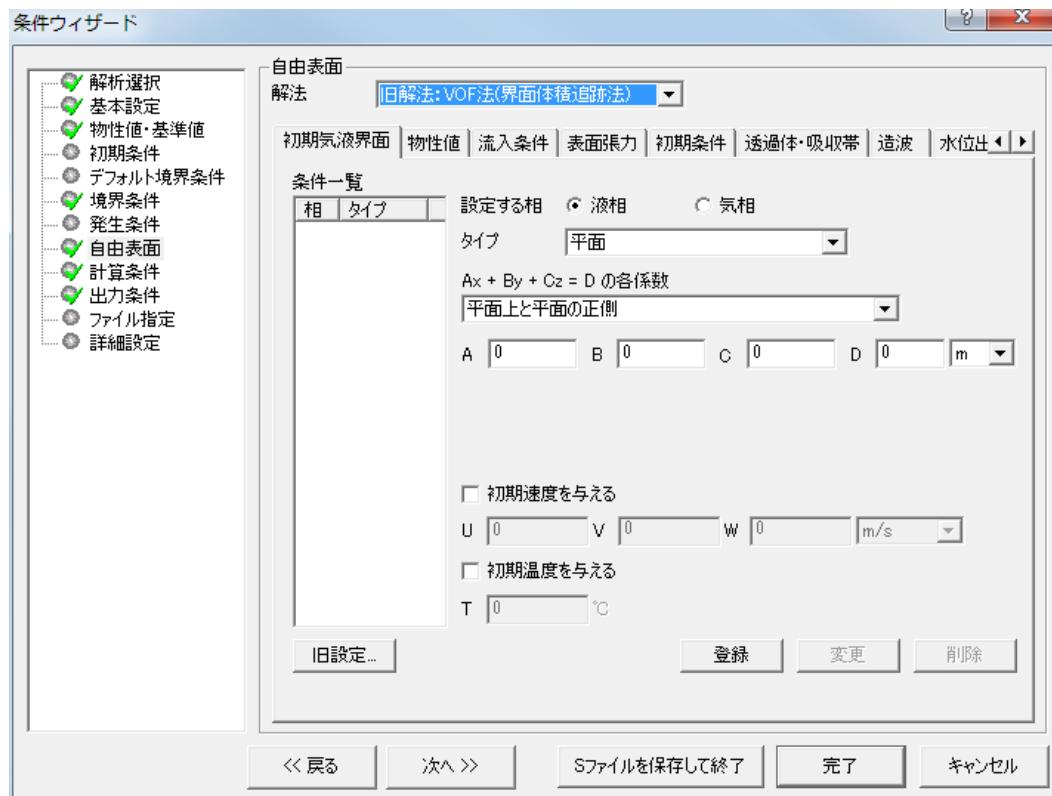
### - その他

- ・ 解析の種類  
非定常解析
- ・ 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 3,000[サイクル]  
初期時間間隔 :  $2.0 \times 10^{-3}$  [s]  
クーラン数 : 0.3
- ・ 自由表面  
自由表面 : 二相流(VOF法(界面体積追跡法))  
初期気液界面 : 平面(Z=0.5[m])  
表面張力 : 0.07275[N/m]  
水位出力 : 水深鉛直Z方向  
(X=0.005, Y=5), (X=0.005, Y=6), (X=0.005, Y=7)
- ・ 時間項の精度  
2次精度の陰解法
- ・ 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定時間間隔毎に出力(出力時間間隔0.04[s])  
初期場を出力する

## 特記事項

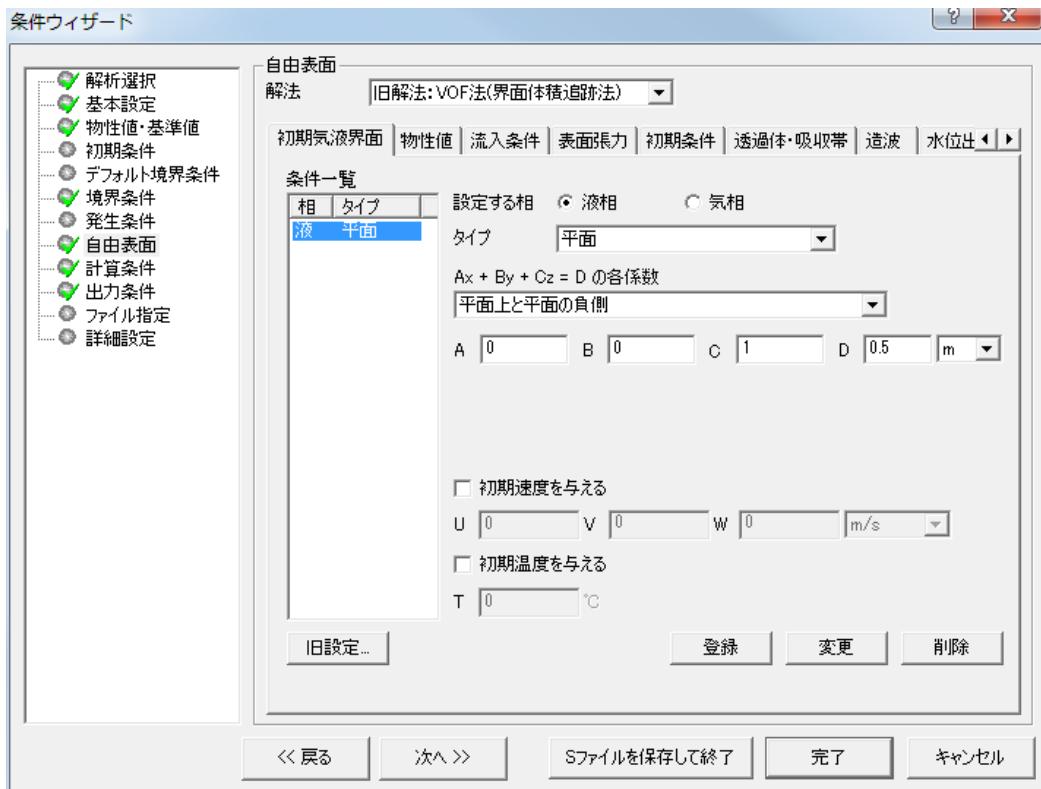
### - VOF法の条件設定方法

- 自由表面の設定は、[条件ウィザード] - [解析選択]で[自由表面]をONにし、[条件ウィザード] - [自由表面]で行います。初めに、[解法]に[旧解法：VOF法(界面体積追跡法)]を選択します。

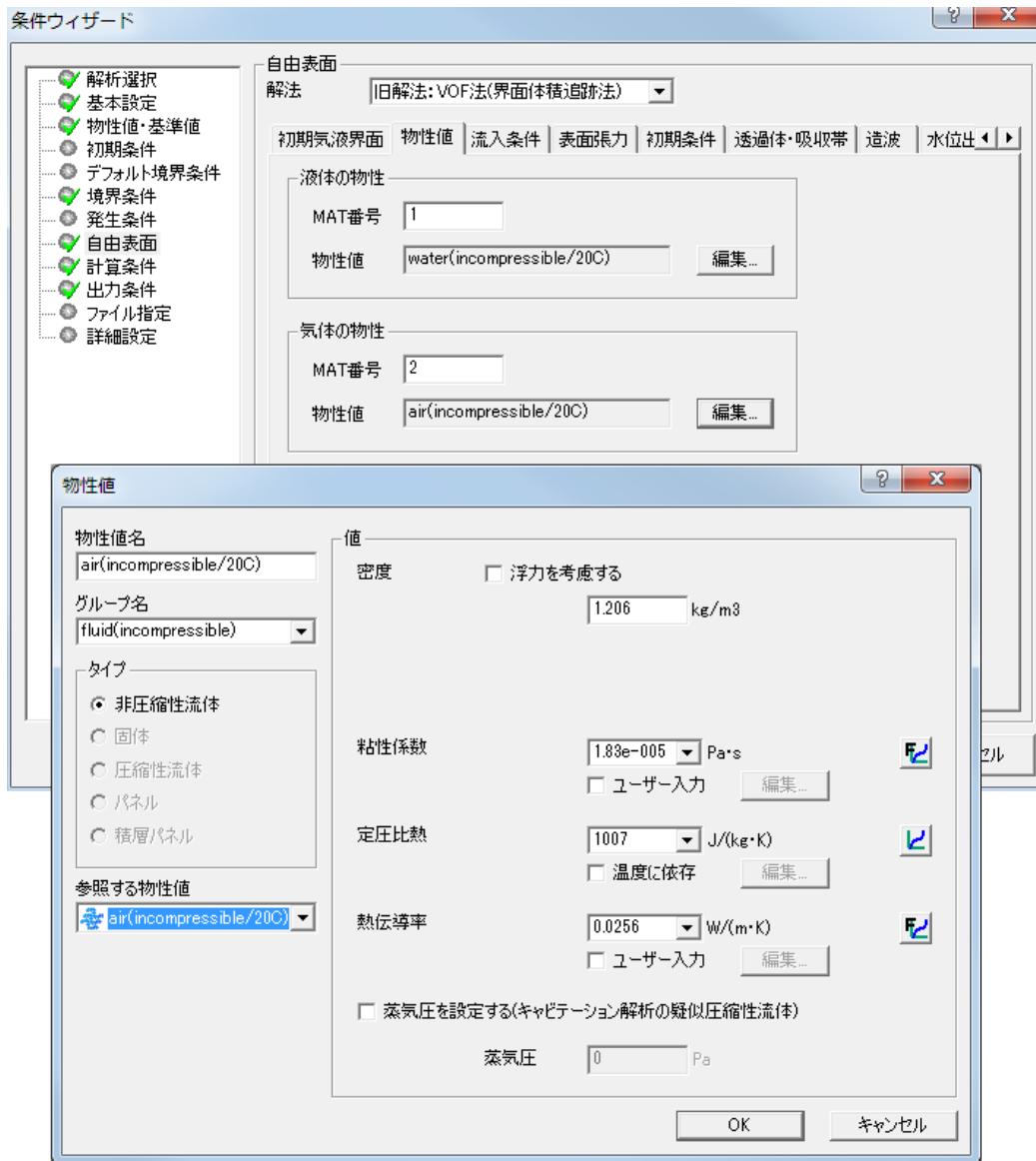


- 初期水位の設定は、[初期気液界面]タブで行います。以下の設定を行い、登録をクリックします。

[設定する相] : [液相]  
 タイプ : [平面]  
 [Ax+By+Cz=Dの各係数] : [平面上と平面の負側]  
 [(A,B,C,D)] : [( 0, 0, 1, 0.5 m)]



- [物性値]タブでMAT番号を割り当てます。MAT番号[1]には、[物性値・基準値]で設定した物性が割り当てられています。ここでは、MAT番号[2]を設定します。[物性値]タブで[気体の物性]の編集をクリックすると、[物性値]ダイアログが開きます。[参照する物性値]から[空気(非圧縮20°C)]を選択します。OKをクリックして、[自由表面]ダイアログに戻ります。



### 注意事項

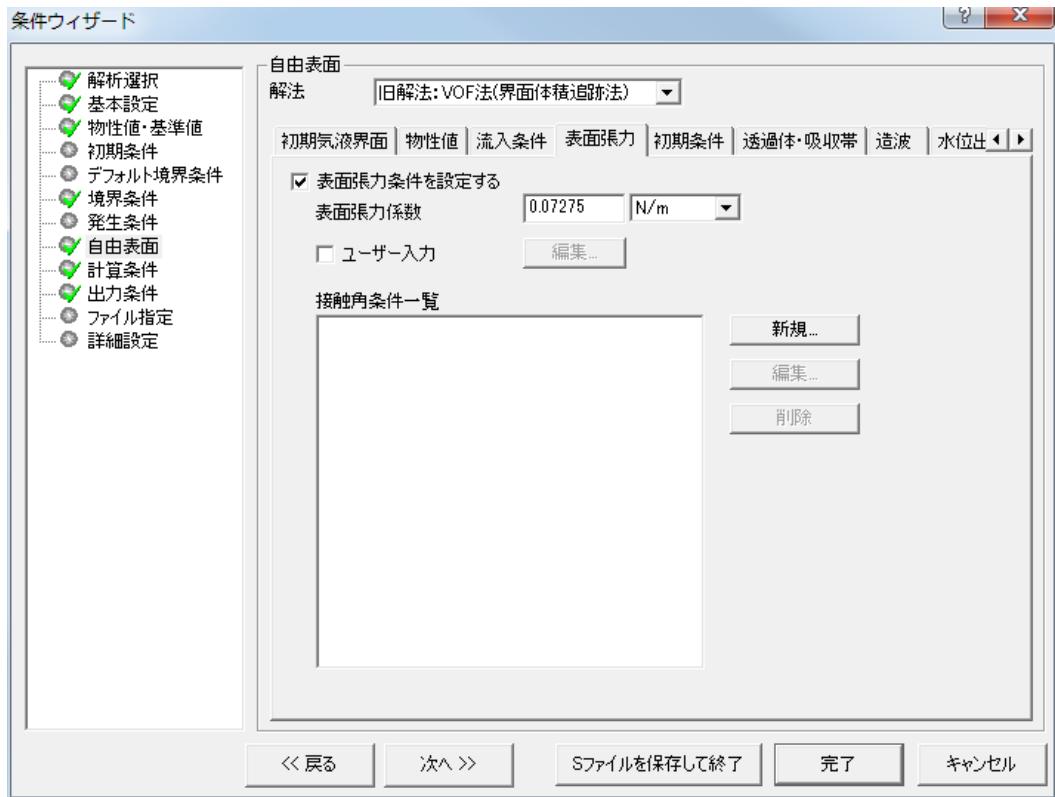
PREファイルには液体あるいは気体のどちらかのMAT番号が割り当てられていればよく、一方のMAT番号の領域がPREファイルに存在していないかもしれません。また、ここで割り当てる液体と気体の両方のMAT番号の領域がPRE ファイルに存在する場合、どちらの領域に対してもVOF法が適用されます。つまり、PREファイルで液体あるいは気体のMAT番号が割り当てられている領域がVOF法で解析される領域になります。

- [流入条件]タブで各FLUX境界面に流入する相を次のように指定し[適用]をクリックします。
- |            |   |  |
|------------|---|--|
| 1. [流入する相] | : | [流入面と同相]   |
| [領域名]      | : | [ymin_lower, ymin_upper, ymax_lower, ymax_upper] |
| 2. [流入する相] | : | [気体]   |
| [領域名]      | : | [zmax]   |



- [表面張力]タブで、表面張力を以下のように設定します。

[表面張力条件を設定する] : ON  
[表面張力係数] : [0.07275 N/m]



- [初期条件]タブで、初期圧力を以下のように設定します。  
[初期圧力を静水圧で与える] : ON



- [透過帯・吸収帯]タブで、流出面でのエネルギー吸収帯の設定を行います。

1. エネルギー吸収帯

[領域]	:	[left]
[タイプ]	:	[エネルギー吸収帯]
[吸収方向]	:	[Y負方向]
[対象]	:	[液相]
[吸収係数]	:	[(X,Y,Z)=(0, 0, 5)]
[吸収項の指數]	:	[2]
[水深]	:	[0.5 m]

2. エネルギー吸収帯

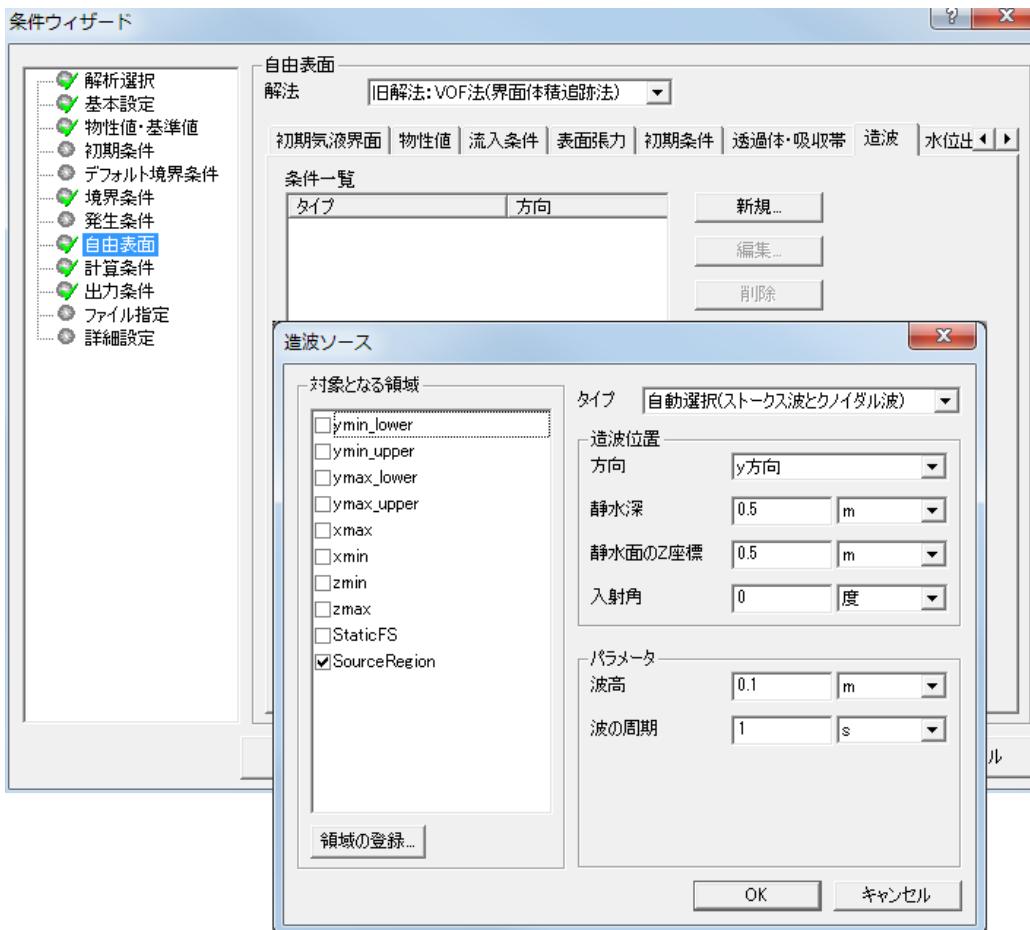
[領域]	:	[right]
[タイプ]	:	[エネルギー吸収帯]
[吸収方向]	:	[Y正方向]
[対象]	:	[液相]
[吸収係数]	:	[(X,Y,Z)=(0, 0, 5)]
[吸収項の指數]	:	[2]
[水深]	:	[0.5 m]



- [造波]タブで、造波の設定をします。

#### [SourceRegion]

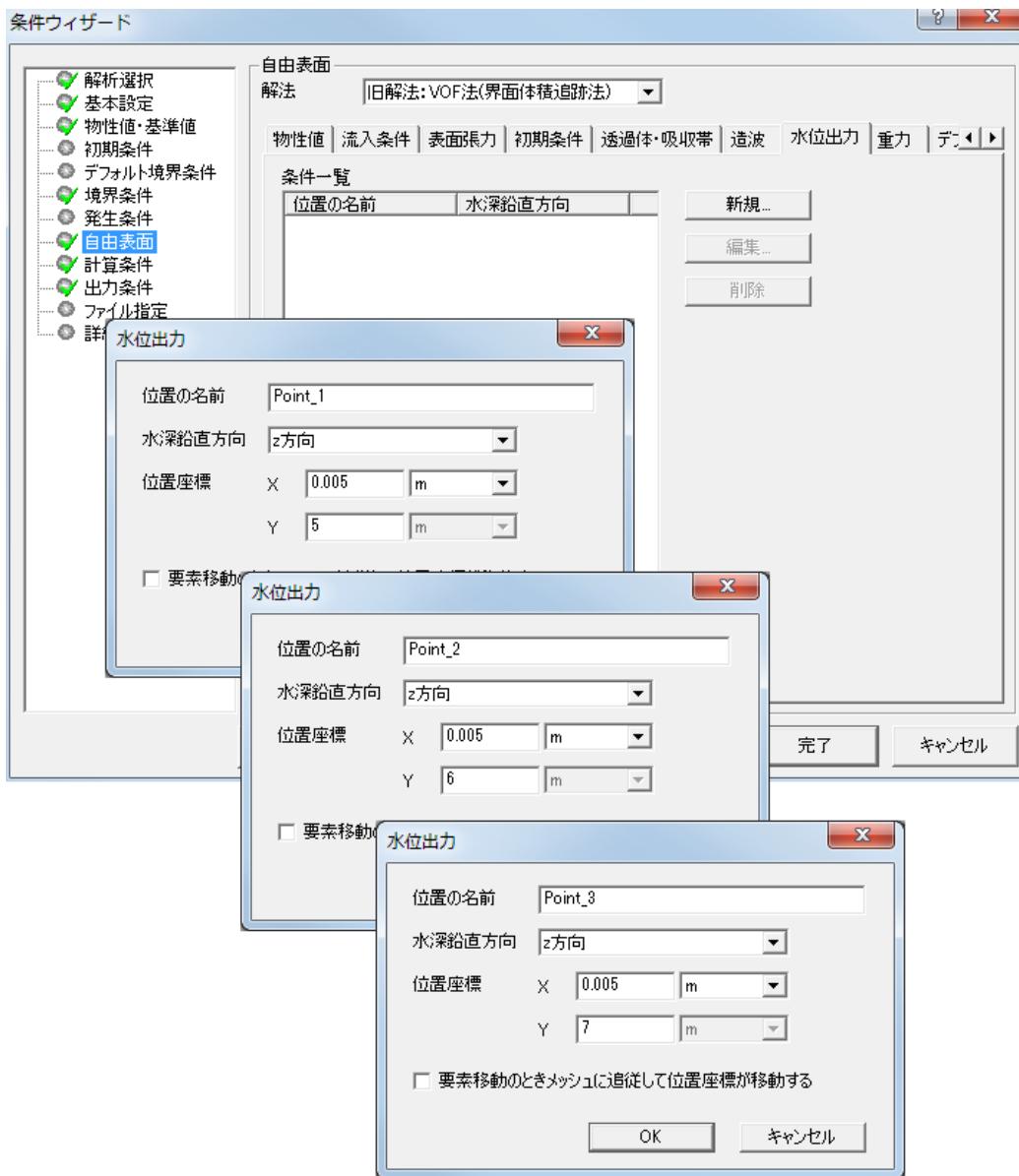
[タイプ]	: [自動選択(ストークス波とクノイダル波)]
[方向]	: [Y方向]
[静水深]	: [0.5 m]
[静水面のZ座標]	: [0.5 m]
[入射角]	: [0 度]
[波高]	: [0.1 m]
[波の周期]	: [1 s]



#### 注意事項

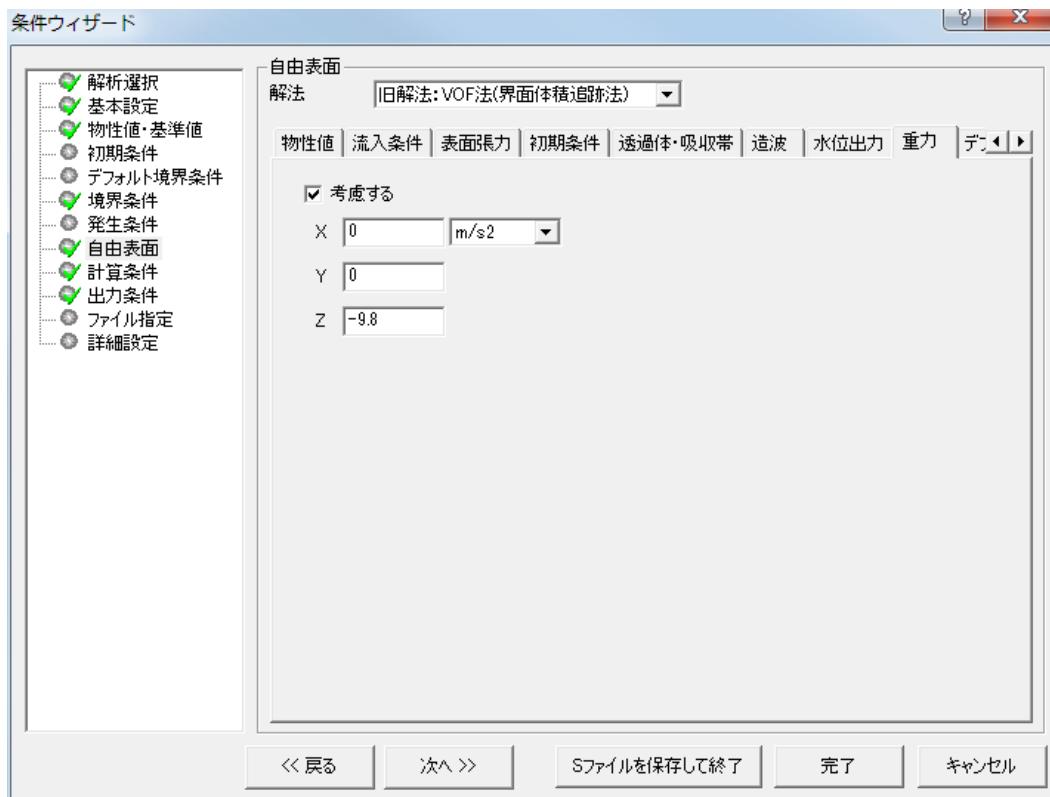
波の種類を自動選択とした場合、アーセル数が40未満のときにストークス波が選択されます。それ以外はクノイダル波となります。アーセル数は  $U_x = \frac{HL^2}{D^2}$  で定義されます。Hは波高、Lは波長、Dは静水深です。

- [水位出力]で水位出力の設定を行います。
  - [位置の名前] : [Point\_1]  
[水深鉛直方向] : [Z方向]  
[位置座標] : [(X, Y)=(0.005, 5 m)]
  - [位置の名前] : [Point\_2]  
[水深鉛直方向] : [Z方向]  
[位置座標] : [(X, Y)=(0.005, 6 m)]
  - [位置の名前] : [Point\_3]  
[水深鉛直方向] : [Z方向]  
[位置座標] : [(X, Y)=(0.005, 7 m)]



- [重力]タブで、重力を設定します。

[考慮する] : ON  
 [(X, Y, Z)] : [(0, 0, -9.8) m/s<sup>2</sup>]



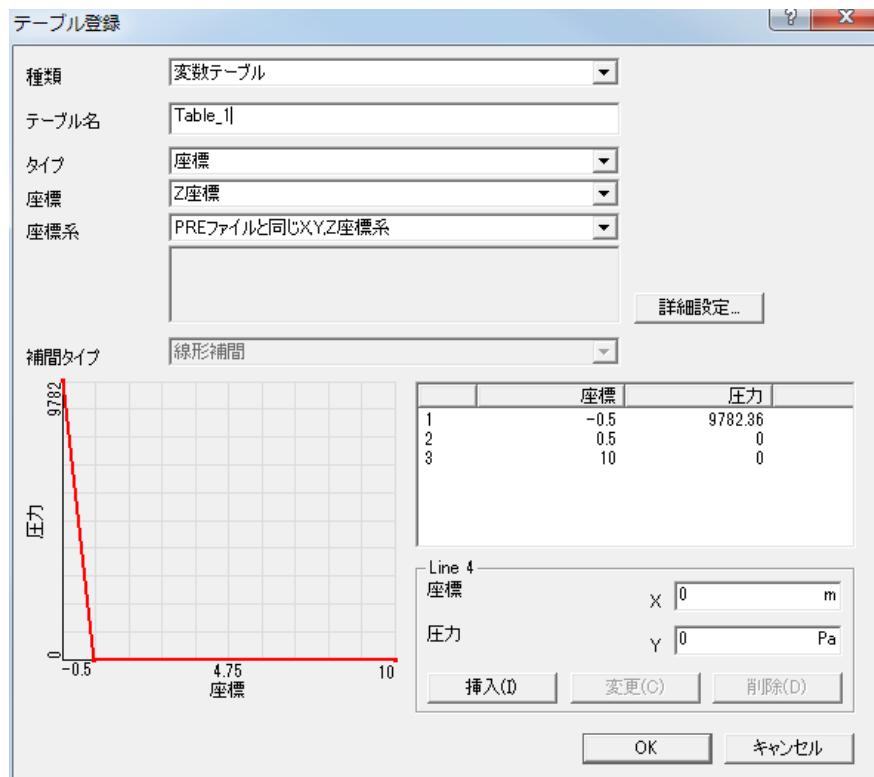
(メモ) [条件ウィザード] - [基本設定]すでに重力が設定されている場合、こちらの[重力]タブには[基本設定]で設定した内容が表示されます。

### - 表面圧力規定の変数テーブル設定

- [条件ウィザード]の[境界条件]ダイアログで設定領域として[ymin\_lower], [ymin\_upper], [ymax\_lower], [ymax\_upper]を選択し、[表面圧力規定]をクリックします。
- [表面圧力規定]ダイアログの[圧力指定]をチェックし、ボタンをクリックすると[テーブル一覧]ダイアログが表示されます。
- [テーブル一覧]ダイアログで登録をクリックして表示される[テーブル登録]ダイアログで次のように設定します。

[種類] : [変数テーブル]  
 [タイプ] : [座標]  
 [座標] : [Z座標]  
 [座標系] : [PREファイルと同じXYZ座標系]  
 [座標、圧力(X, Y)] : (-0.5, 9782.36), (0.5, 0), (10, 0)

- 以上の設定でOKをクリックすると、[テーブル一覧]ダイアログに作成した変数テーブルが登録されます。
- 閉じるをクリックして[表面圧力規定]に登録した変数テーブルが選択されていることを確認します。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA24-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [自由表面]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]  
 [終了サイクル] : [3000]

- [時間間隔の設定]で[クーラン数による]を選択します。

[初期時間間隔] : [0.002 s]  
 [クーラン数] : [0.3]

- [重力]の[考慮する]をONにします。

[(X, Y, Z)] : [(0, 0, -9.8) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。つづけて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮性20°C)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[ymin\_lower, ymin\_upper, ymax\_lower, ymax\_upper]を選択して、[表面圧力規定]をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて[圧力指定]をチェックし、ボタンをクリックします。変数テーブルで静水面以下を静水圧に、静水面より上を0となるように圧力を設定します。変数テーブルによる設定方法は特記事項を参照してください。
- [領域]から[zmax]を選択し[表面圧力規定]をクリックします。[圧力指定]を選択し、圧力に[0 Pa]を設定し、OKをクリックして[表面圧力規定]ダイアログを閉じます。
- [領域]から[zmin]を選択し[壁面]をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 5. [自由表面]

- 特記事項を参照してください。

#### 6. [計算条件]

- [時間項]を選択し、時間項に対する精度として[2次精度の陰解法]を選択します。

#### 7. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]で、[出力のタイミング]に[指定時間間隔毎に出力]を選択します。[時間間隔]は[0.04]とし、[初期場を出力する]をONにします。

#### 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA24-1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA24-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
StaticFS	0.01	0.98	12

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。[詳細設定]ダイアログの [要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素一体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

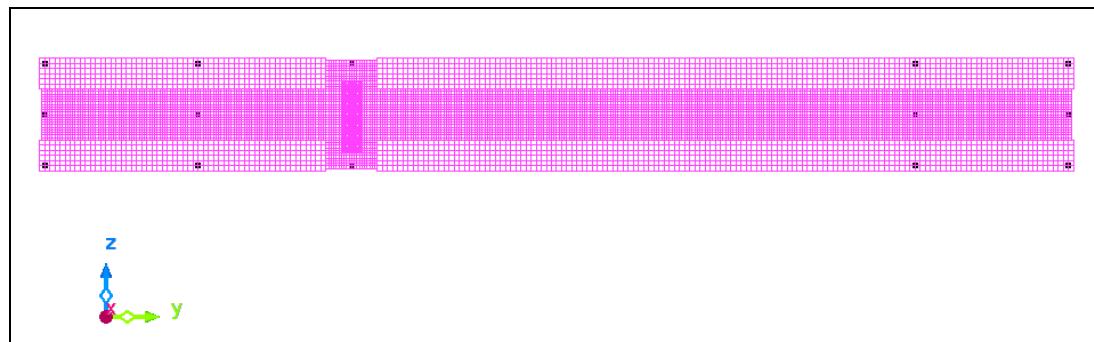
- SCTsolverの実行時間  
約19分

- 計算サイクル数  
3,000サイクル

\* 2core使用時(Intel Xeon CPU X5680 3.3GHz)

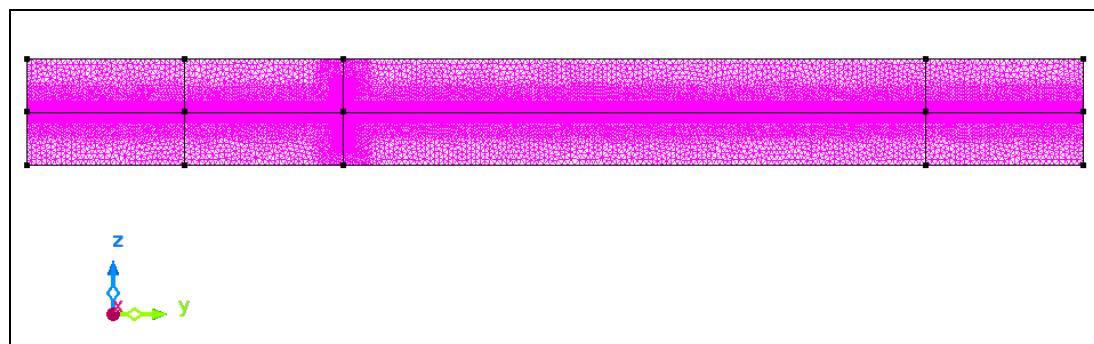
## 解析メッシュ

- 八分木図



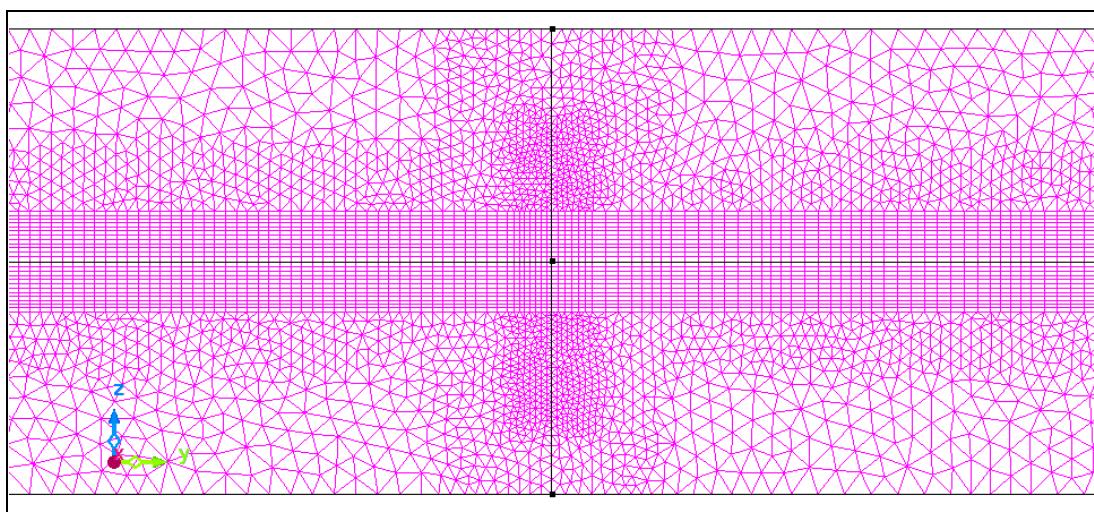
オクタントサイズ : 0.00125[m]~0.05[m]

- 全体メッシュ図



要素数 : 24,078

- 造波領域部メッシュ図



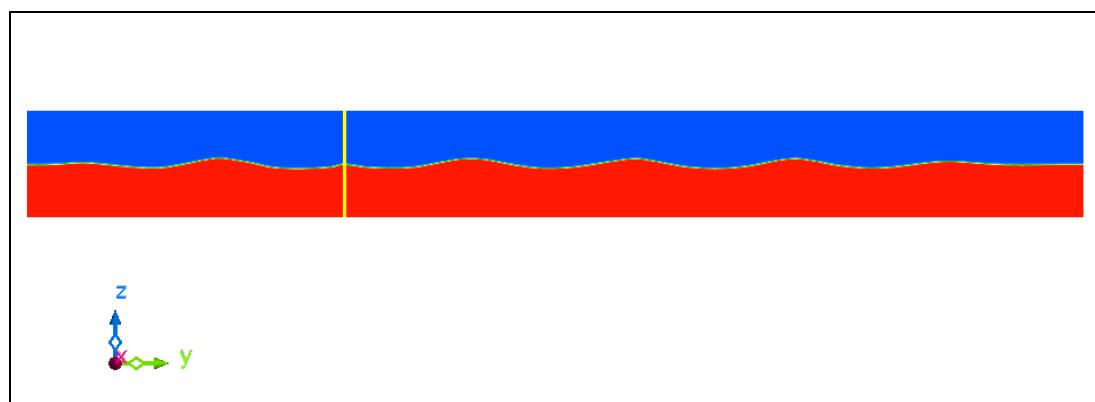
## 解析結果

- SCTpostの設定

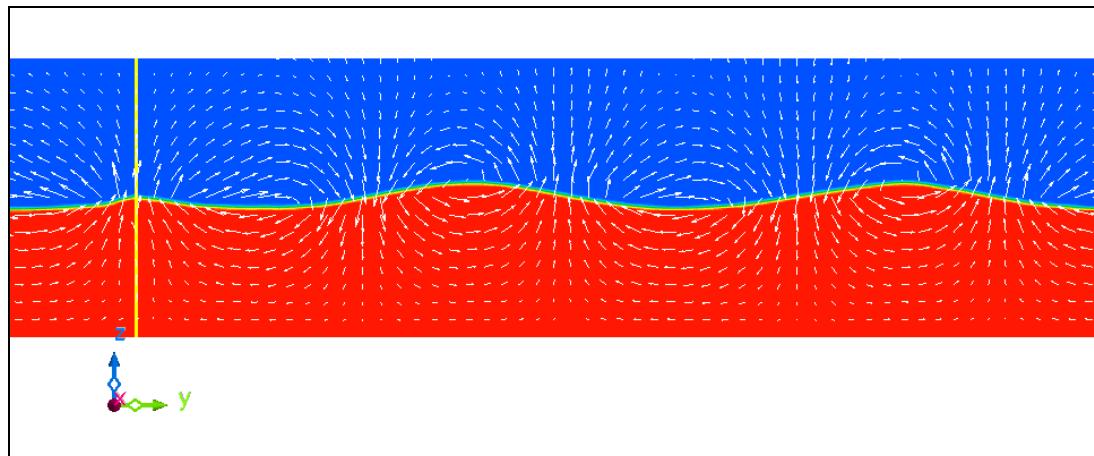
体積率を表示するには、[カット面]オブジェクトの[コンター]タブで[表示]をONにして、[変数]から[流体の体積率 (VOF)]を選択します。速度ベクトルを表示するには[カット面]オブジェクトの[ベクトル]タブで[表示]をONにし、[変数]で[流速(VEL)]を選択します。



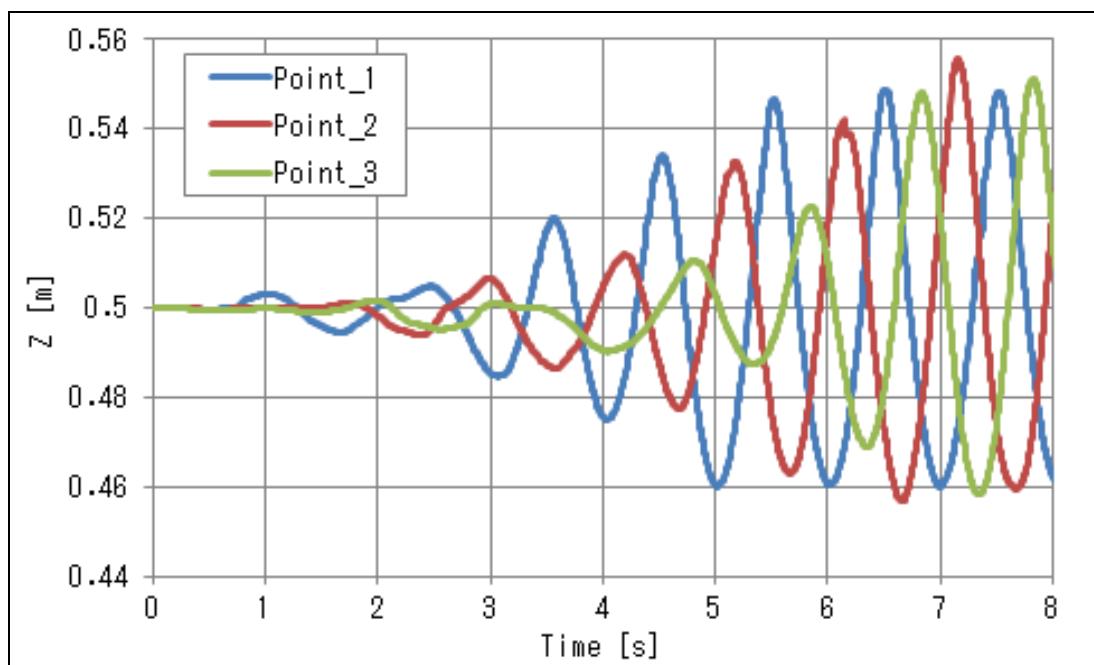
- 体積率(8.0[秒])



- 造波領域近傍の流速ベクトル図(8.0[秒])



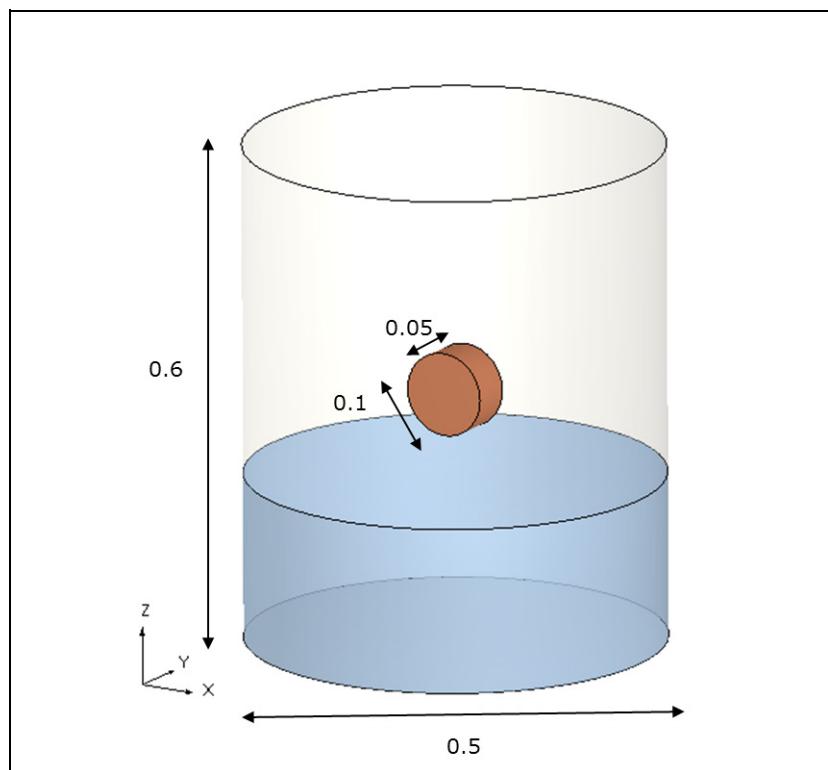
- 水位分布図



## 例題24.2 水面への物体落下

VOF法(界面捕獲法)を用いて、水面に物体が落下する自由表面解析を行います。作動流体を水と空気とし二相流を解きます。

### 解析モデル



3次元非圧縮性粘性層流

円筒容器は直径0.5[m], 高さ0.6[m]です。物体は直径0.1[m], 高さ0.05[m]の円柱で、自由に回転・並進移動します(6自由度)。物体は重力の作用で自由落下しますが、物体の密度は水の密度より小さいため、最終的に、物体は水に浮かんだ状態となります。

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- 体積率の移流方程式(VOF)

## 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 要素移動 : 物体の移動を考慮します。
- 重合格子 : 従属領域(物体)と独立領域(円筒容器)のメッシュを重ねて計算を行います。
- 自由表面 : 2相流の気液界面解析のため、VOF法を用います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向-9.8[m/s<sup>2</sup>])

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : 杉(300K)  
物性値ライブラリより[木材] - [杉(300K)]を使用します。
- MAT=3 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入流出口 [top] : 表面圧力 0[Pa]
- 壁面 [side], [bottom] : 静止壁  
[solid\_wall] : メッシュの速度を壁面の速度とする

### - 初期条件

- 初期水面 : 0.2[m]
- 圧力 : 静水圧

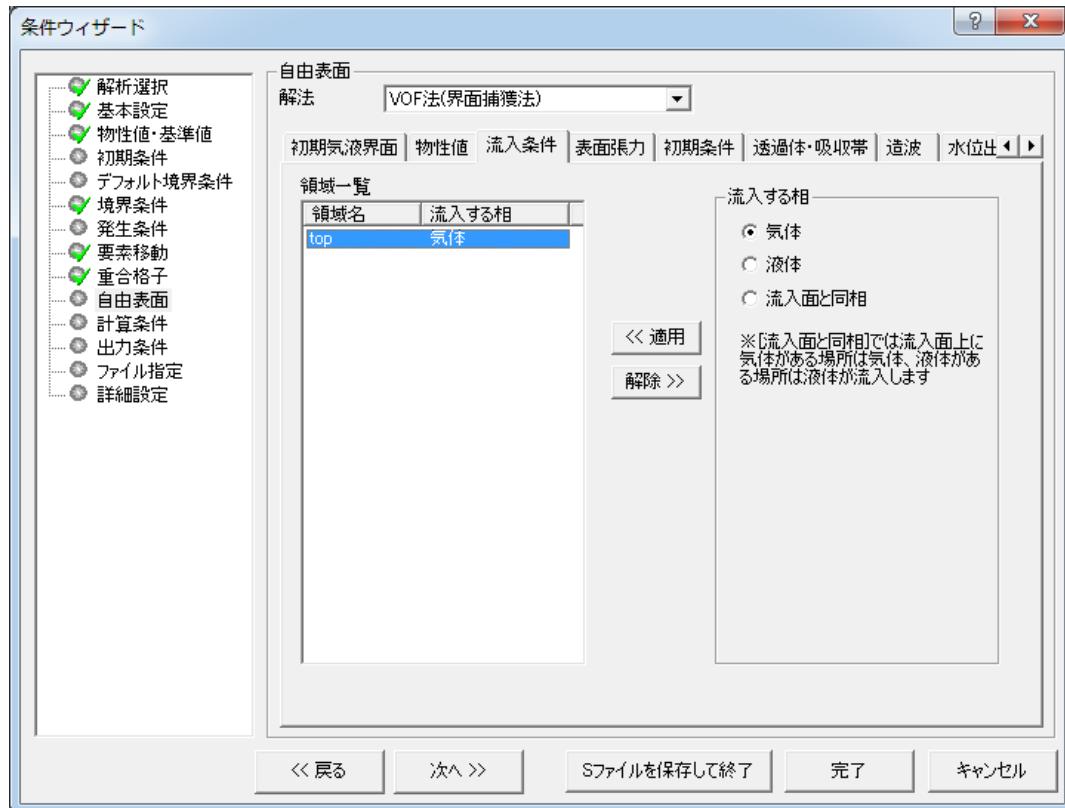
### - その他

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 1,500[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.002[s]
- 重合格子  
独立領域 : [vessel]  
従属領域 : [slave]
- 要素移動  
[slave] : 移動のタイプ 3次元回転自動計算(ダイナミカル)  
物体の慣性テンソル 每サイクル求め直す [solid]  
流体からのトルクを受ける面領域名 [solid\_wall]
- 自由表面  
自由表面 : VOF法(界面捕獲法)  
初期気液界面 : 平面( $Z=0.2[m]$ )  
表面張力 : 0.07275[N/m]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定時間間隔毎に出力(時間間隔 0.05[s])  
初期場を出力する

## 特記事項

### - 流入条件の設定方法

- 本例題では解析領域上面[top]は自由に空気が出入りする領域です。この面の流入条件を指定します。
- 領域一覧から面領域[top]を選択状態とし、流入する相から[気体]を選択します。最後に、適用をクリックします。



## 解析手順

### ・ 従属領域([slave])

#### - モデル

従属領域のメッシュを作成します。SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]よりexA24-2\_slave.mdlを読み込みます。

#### - 八分木

[ファイル]-[開く]よりexA24-2\_slave.octを読み込みます。

#### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[solid_wall]	[0.003]	[1.0]	[2]

### ・ 独立領域([vessel])

#### - モデル

- 独立領域のメッシュを作成します。[ファイル]-[新規作成]をクリックし、[確認]ダイアログではいをクリックします。次に、[ファイル]-[開く]よりexA24-2\_master.mdlを読み込みます。
- 本例題では、mdlより直接独立領域のメッシュを作成します。
- 面領域[w1]を選択状態とし、メニューから[編集]-[選択面を掃引して要素を生成]を選択します。[モデルの面を掃引して要素を生成]ダイアログにて[平行]タブを選択し、[掃引方向(X,Y,Z)]に[(0,0,1)]をそれぞれ入力します。[初期厚み]に[0.01]と入力し、[厚みの変化率]を[1]として、[層数]に[60]と入力します。最後に、OKをクリックしてメッシュを作成します。
- メッシュ作成後、Zmin面を[bottom]、Zmax面を[top]、円筒側面を[side]という名前で面領域に登録します。また、MAT1を[vessel]という名前で体積領域に登録します。最後に、ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、PREファイルをexA24-2\_master.preとして保存します。
- 次に、exA24-2\_master.preが読み込まれた状態で、[ファイル]-[開く]より従属領域のメッシュexA24-2\_slave.preを読み込みます。[選択したファイルとマージ]を選択してOKをクリックします。以上でメッシュの作成は完了です。ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、マージしたPREファイルをexA24-2.preとして保存します。

#### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

##### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [要素移動], [重合格子], [自由表面]を選択します。

##### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [1500]

- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。

[時間間隔] : [0.002 s]

- [重力]の[考慮する]をONにします。  
[(X, Y, Z)] : [(0, 0, -9.8) m/s<sup>2</sup>]

### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。
- 同様に、MAT[2]を選択し、[木材] - [杉(300K)]を選択して適用をクリックします。

### 4. [境界条件]

- [領域]から[top]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[side], [bottom]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。
- [領域]から[solid\_wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]で[メッシュの速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。

### 5. [要素移動]

- [要素移動]を選択して、[要素移動条件一覧]にて新規をクリックします。
- [要素移動条件]ダイアログにて、[対象となる領域]で[slave]をONにし、新規をクリックします。
- [要素移動条件詳細]ダイアログにて、下記のように設定します。

[条件名], [ラベル名]	:	[3D_rotation]
[移動のタイプ]	:	[3次元回転自動計算(ダイナミカル)]
[回転中心]	:	[回転物体の重心]を選択して、 [毎サイクル求め直す]をON
[物体の慣性テンソル]	:	[毎サイクル求め直す]をONにして、 [体積領域]の[solid]を選択

[流体からのトルクを受ける面領域名] : [solid\_wall]をON

- 次に、続けて移動条件追加(コンビネーションALE)をクリックし、以下の設定を行います。
- [条件名], [ラベル名] : [3D\_translation]  
[移動のタイプ] : [3次元並進自動計算(ダイナミカル)]  
[移動物体质量] : [自動計算]を選択して、  
[質量の積分領域]で[solid]を選択  
[流体からのトルクを受ける面領域名] : [solid\_wall]をON
- 以上の設定が完了したら、OKをクリックし、[要素移動条件詳細(コンビネーションALE)]ダイアログを閉じます。[要素移動条件]ダイアログについてもOKをクリックしてダイアログを閉じます。

### 6. [重合格子]

- [独立領域(静止領域)]に[vessel]、[従属領域(移動領域)]に[slave]を選択し、登録をクリックします。

### 7. [自由表面]

- まず、[解法]で[VOF法(界面捕獲法)]を選択します。
- [初期気液界面]タブで初期水位の設定を行います。次の設定を行い、**登録**をクリックします。
 

[設定する相]	:	[液相]
[タイプ]	:	[平面]
[ $Ax + By + Cz = D$ の各係数]	:	[平面上と平面の負側], [(0, 0, 1, 0.2 m)]
- [物性値]タブでMAT番号を割り当てます。MAT番号[1]には、[物性値・基準値]で設定した物性が割り当てられています。ここでは、MAT番号[3]を設定します。[物性値]タブで[気体の物性]の編集をクリックすると、[物性値]ダイアログが開きます。[参照する物性値]から[空気(非圧縮20°C)]を選択します。OKをクリックして、[自由表面]ダイアログに戻ります。
- [流入条件]タブで流入条件の設定を行います。特記事項を参照してください。
- [表面張力]タブで、表面張力を以下のように設定します。
 

[表面張力条件を設定する]	:	ON
[表面張力係数]	:	[0.07275 N/m]
- [初期条件]タブで、初期圧力を以下のように設定します。
 

[初期圧力を静水圧で与える]	:	ON
----------------	---	----
- [重力]タブで、重力が設定されていることを確認します。

### 8. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]で、[出力のタイミング]に[指定時間間隔毎に出力]を選択します。[時間間隔]は[0.05]として、[初期場]について[出力する]をONにします。

### 9. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA24-2]と入力します。

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

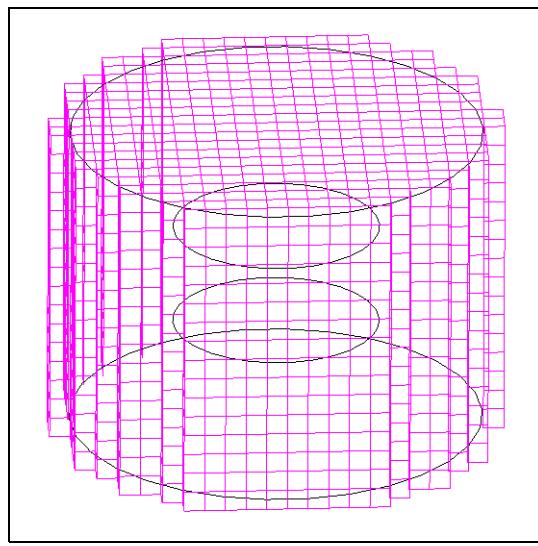
#### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約1時間30分
- 計算サイクル数  
1,500サイクル

\* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析メッシュ

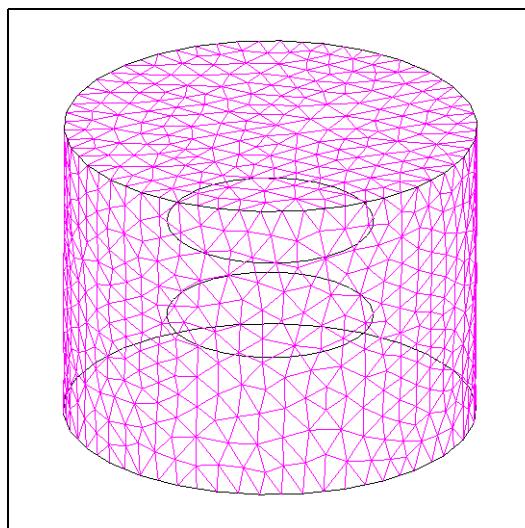
- 八分木図



從属領域[slave]

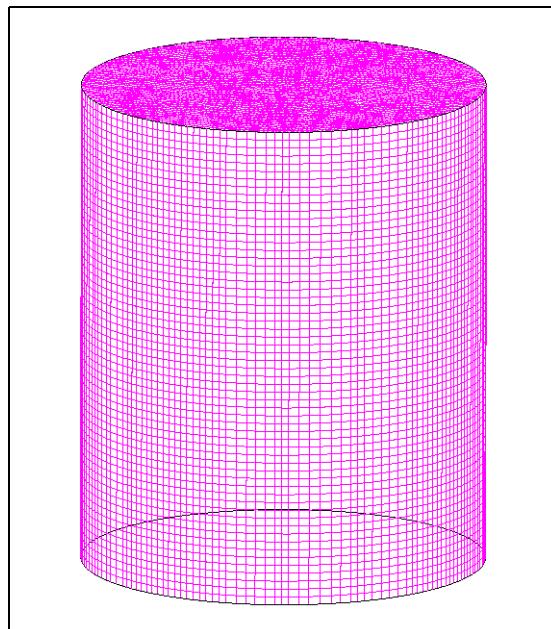
オクタントサイズ : 0.01[m]

- メッシュ図



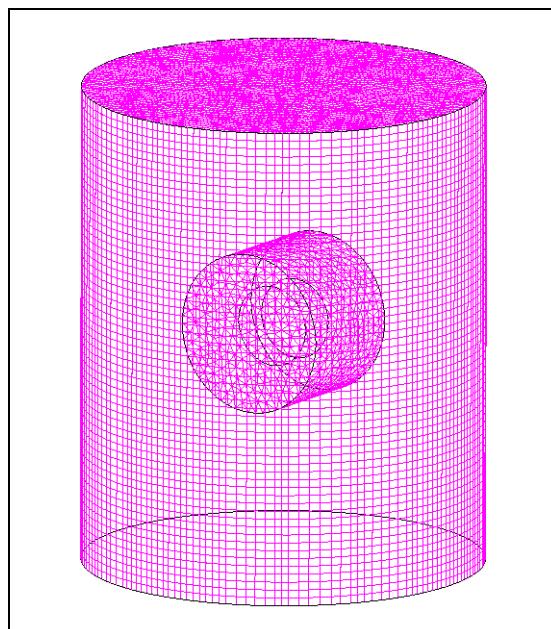
從属領域[slave]

要素数 : 36,629



独立領域[vessel]

要素数 : 252,000

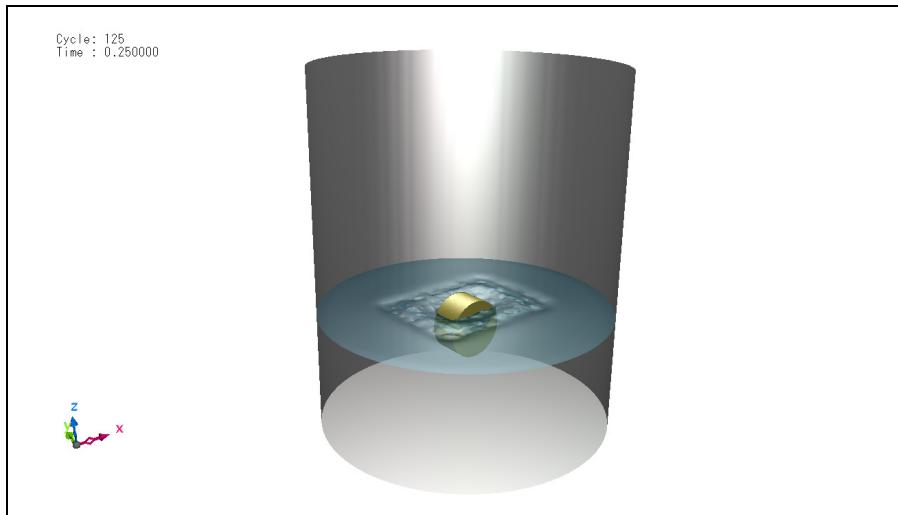


全体([vessel]と[slave]をマージしたもの)

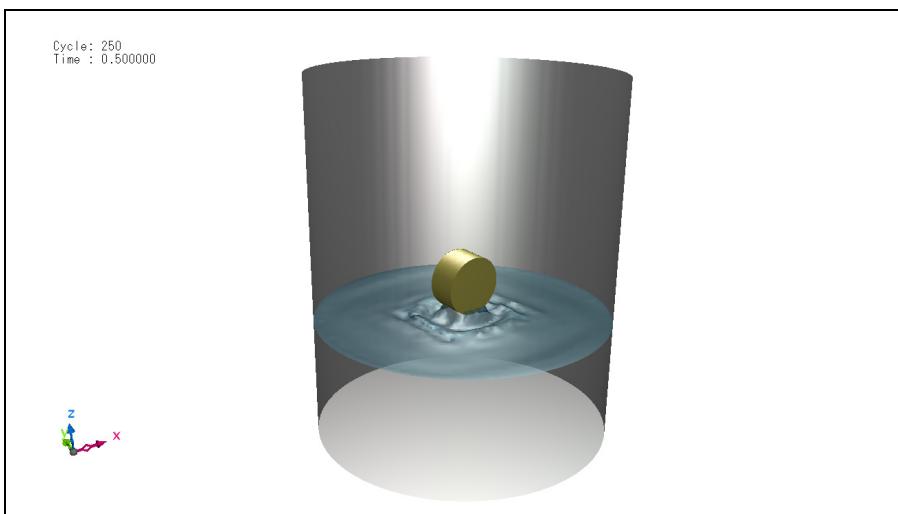
要素数 : 288,629

## 解析結果

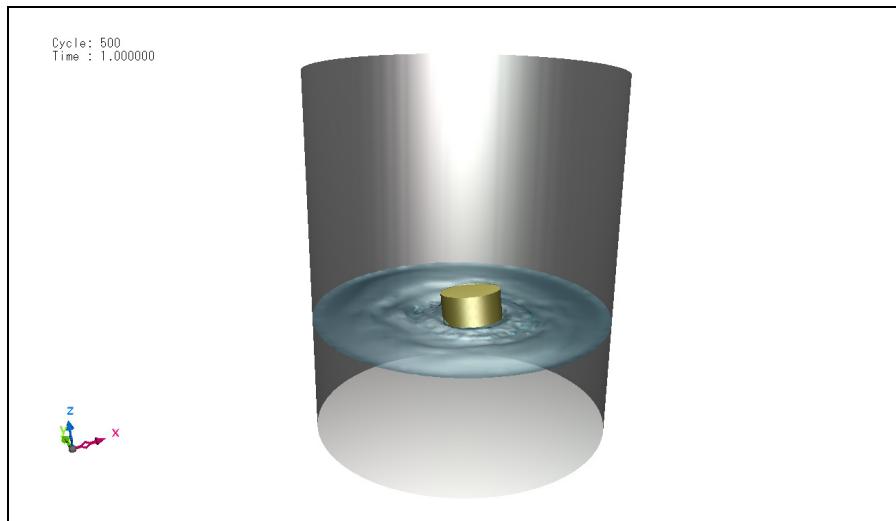
- 自由表面(0.25[秒])



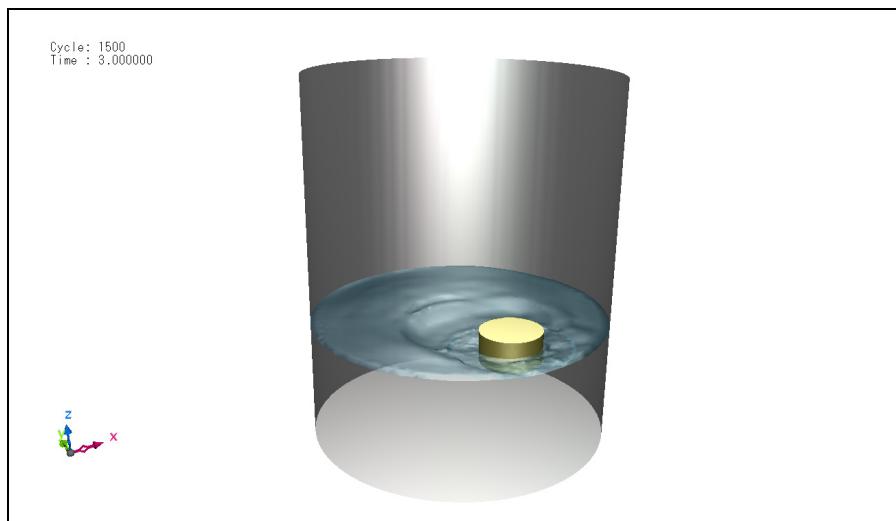
- 自由表面(0.5[秒])



- 自由表面(1.0[秒])



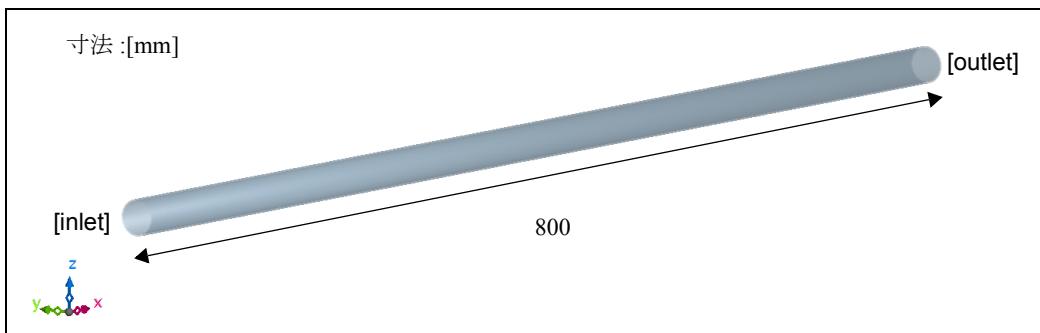
- 自由表面(3.0[秒])



## 例題24.3 水平伝熱管内の相変化

VOF法(界面捕獲法)の相変化機能を用いて、水平伝熱管内部での相変化現象の解析を行います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流(液相)/圧縮性乱流(気相)

内径20[mm]、外径22[mm]の管が一定の熱流束で加熱されます。これにより、inletより流入した水の温度が上昇し管内で相変化が起こります。その結果、流れが水と水蒸気の二相流となった状態で流出します。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- 体積率の移流方程式(VOF)

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 自由表面 : 2相流の気液界面解析のため、VOF法を用います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向:-9.8[m/s<sup>2</sup>])

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=2 : ガラス  
物性値ライブラリより[ガラス] - [石英ガラス(300K)]を使用します。
- MAT=3 : 水蒸気 (新規作成)  
ガス定数 461.9[J/(kg · K)]  
粘性係数  $1.34 \times 10^{-5}$ [Pa · s]  
定圧比熱  $2.0 \times 10^3$ [J/(kg · K)]  
熱伝導率 0.027[W/(m · K)]

### - 初期条件

- 温度 : 60[°C]
- 初期水面 : -0.2[m] (全域液体)
- 圧力 : 静水圧

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 0.15[m/s]
- 流出口 [outlet] : 自然流入流出
- 壁面 [inner\_wall] : 静止壁  
ギャップ要素に熱抵抗なし  
[outer\_wall] : フリースリップ壁  
熱流束一定 60,000[W/m<sup>2</sup>]

### - その他

- 乱流モデル  
標準k-εモデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 30,000[サイクル]  
時間間隔 : 0.0005[s]
- 自由表面  
自由表面 : 二相流(VOF法)  
初期気液界面 : 平面(Z=-0.2[m])  
表面張力 : 0.07275[N/m]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル間隔毎に出力(サイクル間隔 2,000[サイクル])  
初期場を出力する

## 特記事項

### - 相変化の設定方法

- 本例題では水の蒸発・凝縮を扱いますので、相変化に関する設定を行います。
- [条件ウィザード] - [自由表面]の[相変化]タブを選択します。[流体中での相変化を考慮する]をチェックし、水の飽和温度が[100°C]となってていることを確認します。
- 本例題では蒸発・凝縮時の潜熱も考慮します。[潜熱を考慮する]をチェックし、潜熱として[2.25e6 J/kg]を入力します。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA24-3.mdlを読み込みます。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA24-3.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[inner_wall]	[5.0e-4]	[1]	[2]

- ・ 次に、[選択] - [モデルモード]を選択し、モデルモードに変更します。面領域[inner\_wall]を選択状態とし、右クリックして[選択領域の移動(面からメッシュへ)]をクリックします。次に、メニューから[編集] - [選択面を掃引して要素を生成]を選択します。[メッシュの面を掃引して要素を生成]ダイアログにて[法線]タブを選択します。[初期厚み]に[5e-4]と入力し、[厚みの変化率]を[1]として、[層数]に[2]と入力します。最後にOKをクリックして要素を生成します。
- ・ 次に、ツリーの[閉空間] - [2, MAT=1]を右クリックして[MAT番号の変更]を選択し、MAT番号として2に変更します。
- ・ 次に、[選択] - [モデルモード]を選択し、再びモデルモードに変更します。ツールバーの面領域に対する[マウスピック & スプレッド]をONにして、ドローウィンドウで掃引で生成した円筒の側面をすべて選択します。ドローウィンドウ上で右クリックし、[領域の登録 (モデル) …]を選択して[面領域]タブにて[領域名]を[outer\_wall]、[登録の対象]を[選択されている面]として[登録]をクリックします。
- ・ ツリーの[メッシュ]を右クリックして[保存]を選択し、PREファイルをexA24-3.preとして保存します。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [流れ]で[乱流]を選択します。
- ・ [温度]をONにします。
- ・ [自由表面]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [30000]

- ・ [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。

[時間間隔] : [0.0005 s]

- ・ [重力]の[考慮する]をONにします。

[(X,Y,Z)] : [(0,0,-9.8) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

- [物性値]タブにて、MAT[2]を選択します。続けて、[ガラス]-[石英ガラス(300K)]を選択して適用をクリックします。
4. [初期条件]
- 新規をクリックして、[初期値]ダイアログを起動します
  - [初期値]ダイアログにて、[変数]に[温度]を選択して、[値]に[60°C]を入力します。[対象の設定]で[MATで指定する]を選択し、[全てのMAT番号に適用]をONにします。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
5. [境界条件]
- [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]を[0.15 m/s]とし、[流入温度]をONにして[60]を設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
  - [領域]から[outlet]を選択して、自然流入流出をクリックします。[自然流入流出]ダイアログにて、OKをクリックします。
  - [領域]から[inner\_wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認します。次に、[壁面熱伝達条件]タブで[断熱]をOFFにし、[ギャップ要素に熱抵抗なし]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。
  - [領域]から[outer\_wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面熱伝達条件]タブで[断熱]をOFFにし、[一定の熱流束を与える]を選択します。[熱流束]に[60000 W/m<sup>2</sup>]を入力して、OKをクリックします。
6. [自由表面]
- まず、[解法]として[VOF法(界面捕獲法)]が選択されていることを確認します。
  - [初期気液界面]タブで初期水位の設定を行います。
 

[設定する相]	:	[液相]
[タイプ]	:	[平面]
[Ax+By+Cz=Dの各係数(A,B,C,D)]	:	[平面上と平面の正側, (0,0,1,-0.2m)]
  - [物性値]タブでMAT番号を割り当てます。MAT番号[1]には、[物性値・基準値]で設定した物性が割り当てられています。ここでは、MAT番号[3]を設定します。[物性値]タブで[気体の物性]の編集をクリックすると、[物性値]ダイアログが開きます。[物性値名]として[水蒸気]を入力し、[タイプ]として[圧縮性流体]を選択します。以下の物性を設定後、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
 

[ガス定数]	:	[461.9 J/(kg · K)]
[粘性係数]	:	[1.34e-5 Pa · s]
[定圧比熱]	:	[2000 J/(kg · K)]
[熱伝導率]	:	[0.027 W/(m · K)]
  - [流入条件]タブで流入条件の設定を行います。各FLUX境界面に流入する相を次のように指定し、それぞれ適用をクリックします。
    - [流入する相] : [液体]  
[領域名] : [inlet]
    - [流入する相] : [流入面と同相]  
[領域名] : [outlet]
  - [表面張力]タブで、表面張力を以下のように設定します。  
[表面張力条件を設定する] : ON  
[表面張力係数] : [0.07275 N/m]
  - [初期条件]タブで、初期圧力を以下のように設定します。  
[初期圧力を静水圧で与える] : ON
  - [重力]タブで、重力が設定されていることを確認します。
  - 相変化の設定を行います。特記事項 相変化の設定方法を参照してください。

## 7. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]で、[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択します。[サイクル間隔]は[2000]として、[初期場を出力する]をONにします。

## 8. [ファイル指定]

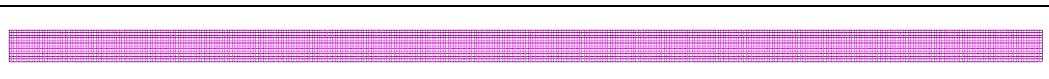
- [デフォルト名]をONにして、[exA24-3]と入力します。

## - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.002[m]

- メッシュ図



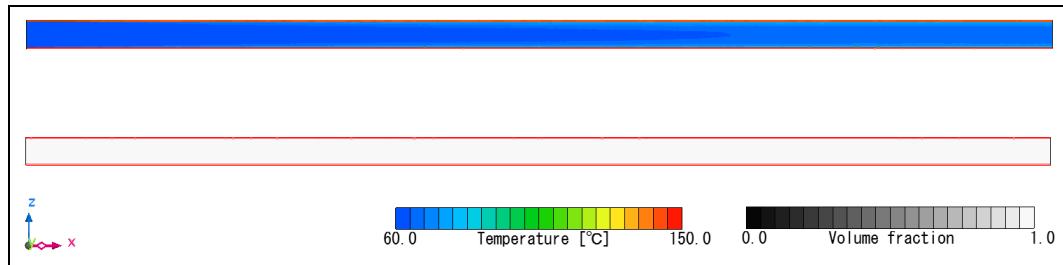
要素数 : 309,299

## 解析結果

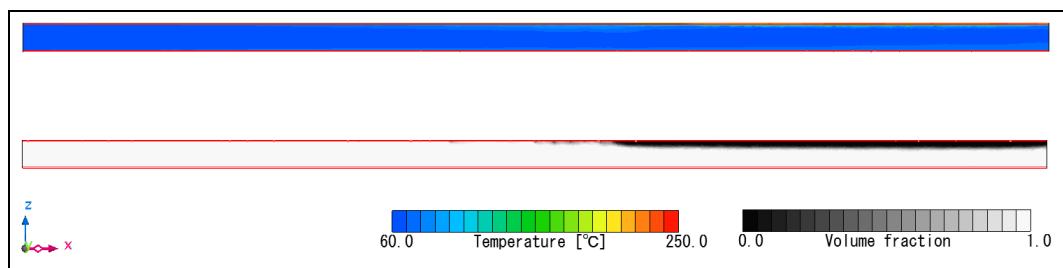
- SCTsolverの実行時間  
約15時間40分

- 計算サイクル数  
30,000サイクル

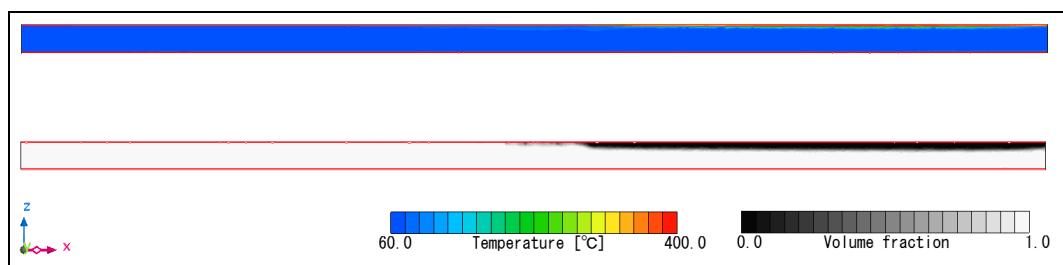
- 温度と体積率(5[秒])



- 温度と体積率(10[秒])



- 温度と体積率(15[秒])



---

## 機能25 ズーミング

---

---

## 機能説明

- ズーミング機能は、ある計算の結果を別の計算の初期条件や境界条件として利用する機能です。例えば、大きな空間を粗いメッシュで解析しておき、その結果を、着目している領域だけを抜き出した密なメッシュによる解析の初期条件や境界条件に利用することができます。また詳細なモデルで計算した結果を、大きな空間の計算で利用することも可能です。
- FLDIコマンドでマッピング元のFLDファイルを指定し、初期条件や境界条件の各入力変数において、数値を指定する代わりに"@M(:LRGN)"を入力することで、マッピング元のFLDファイルからマッピングされた値を使用することができます。LRGNはマッピング元領域名で、熱伝達係数をマッピングするときを除き、省略可能です。省略した場合は全領域からマッピング元要素を調べます。

## 注意事項

- ズーミング機能が利用できる変数は以下のとおりです。  
境界条件  
流入/流出面 (FLUXコマンド): 流速, 圧力, 温度, 流入乱流量, 拡散物質濃度  
壁面 (WL00, WL04コマンド): 熱伝達係数, 外部温度  
初期条件 (INIT コマンド)  
流速, 圧力, 温度, 亂流量, 拡散物質濃度, 固相率, 多孔質体温度, 湿度, 結露量
- 上記の変数でズーミング機能を利用する場合、マッピング元のFLDファイルに、利用する変数が output されている必要があります。
- 熱伝達係数にズーミング機能を利用する場合、マッピング元のFLDファイルに乱流熱伝達係数 (FOUTコマンドでHTRCを指定) が出力されている面領域が存在し、その面領域をマッピング元領域名(LRGN)として指定する必要があります。
- マッピング元のFLDファイルとマッピング先のPREファイルのMAT番号が対応している必要があります。対応していない場合にはMAPMコマンドでFLDファイルのMAT番号を変換してください。
- マッピング元のFLDファイルとマッピング先のPREファイルの座標原点と座標軸の向きが一致している必要があります。ずれている場合にはMAPOもしくはMAPFコマンドで座標原点と座標軸の向きが一致するようにしてください。

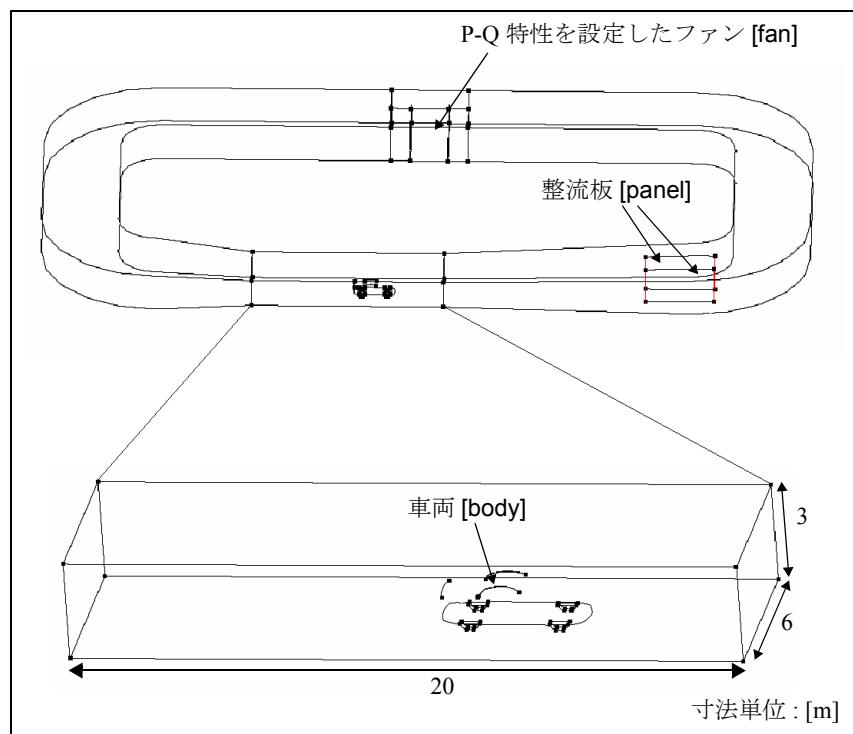
## 関連コマンド

- FLUX : 流入流出境界条件の設定
- WL00 : 擬要素中心壁境界条件の設定
- WL04 : 熱伝達境界条件の設定
- INIT : 初期条件の設定
- MAPF : 個別のズーミング条件ごとに、FLDIファイルの座標値の移動や値の演算を行う
- MAPO : FLDIファイルとPREIファイルの座標原点のずれを補正する
- MAPM : FLDIファイルとPREIファイルのMAT番号を一致させる

## 例題25.1 ズーミング機能利用例

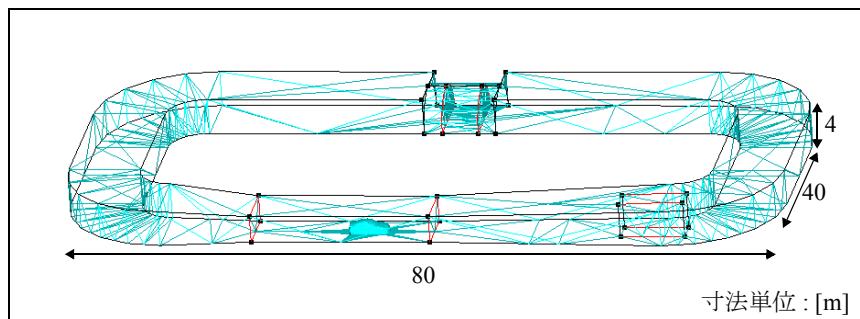
風洞と車両が形状として与えられている場合の空力計算を試みます。全体を同時に計算するのには計算コストがかかることもあるため、まず、風洞全体を比較的粗いメッシュで計算します。その後車両周辺を抜き出し、比較的細かいメッシュで計算します。このとき、流入口の速度境界条件には、最初の計算結果を用います。

### 解析モデル



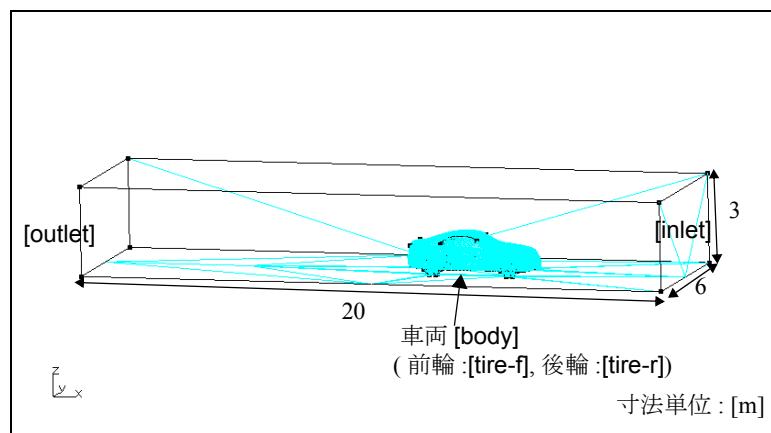
3次元非圧縮性乱流

- 風洞計算モデル



粗いメッシュにより計算が発散しないよう、車両形状を簡略化しています。具体的には、タイヤを消去し、車体を床につけています。

- 車両計算モデル



## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

(風洞計算)

- 壁面 [body], [wall], [panel] : 静止壁

(車両計算)

- 流入口 [inlet] : 流速規定((風洞計算)結果からマッピング)
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [body], [wall] : 静止壁  
[tire-f], [tire-r]

### - 発生条件

(風洞計算)

- ファン [fan] : P-Q特性

### - 初期条件

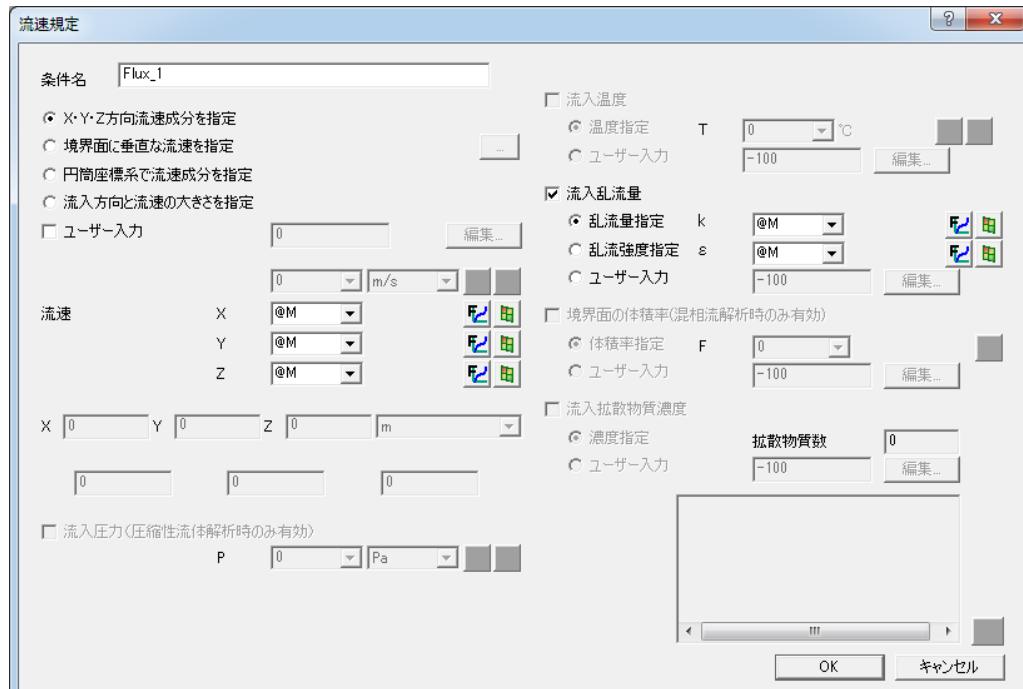
- (風洞計算) : デフォルト(設定不要)
- (車両計算) : デフォルト(設定不要)

### - その他

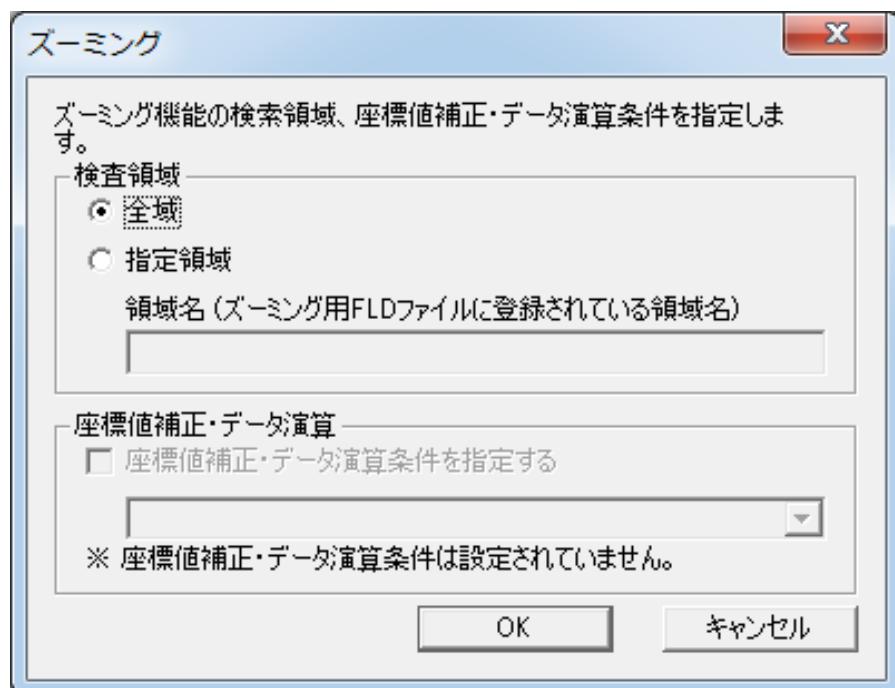
- 乱流モデル  
標準 k-εモデル
  - 解析の種類  
定常解析
  - 定常判定値  
デフォルト
- (風洞計算)
- 出力条件  
圧力 : [upstream], [downstream]

## 特記事項

### - 流入面でのマッピングデータの指定方法



境界条件で設定したい領域に、数値を入力する代わりにズーミングボタン [ ] を押し、[ズーミング]ダイアログの[検査領域]で[全域]が選択されている状態でOKをクリックします。特にFLDファイルの特定の領域のデータを用いたいときは、ズーミングダイアログで[指定領域]を選択し、領域名を入力します。

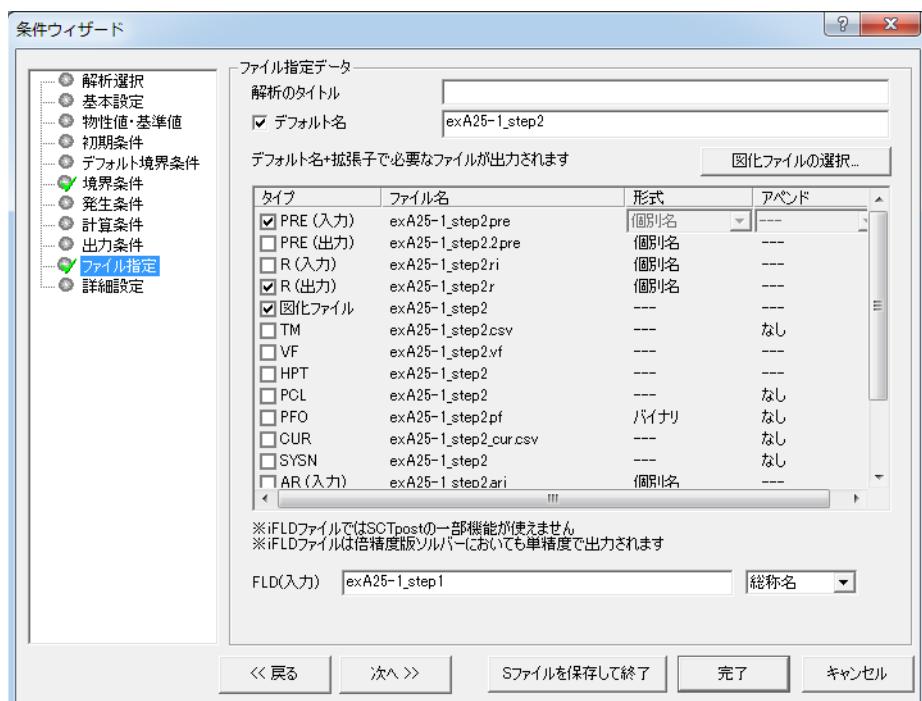


- 本例題の(車両計算)は流入面[inlet]に対してマッピングを行います。[条件ウィザード] - [境界条件]で[領域]から[inlet]を選択し、[流速規定]をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[X・Y・Z方向流速成分を指定]を選択し、[流速]の[X, Y, Z 成分]にズーミングボタンから[ズーミング]ダイアログを開き設定を行います。さらに、[流入乱流量]をONにし、[K]と[e]に対してもズーミングボタンから設定を行い、OKをクリックします。

(メモ) マッピング部分でのメッシュの細かさについて

機能上は、マッピングされる部分を含むの全体モデルと、ズームモデルはどのようなメッシュでも動作します。しかしながら、あまりメッシュの細かさに差があると結果が不自然になります。マッピング部分ではほぼ同等のメッシュサイズにすることが推奨されます。例題では、全体モデルは0.3[m]、ズームモデルは0.32[m]のオクタントとなっています。

#### - マッピング元となるFLDファイルの指定方法



マッピング元のFLDファイルを[条件ウィザード] - [ファイル指定]の[FLD(入力)]で指定します。複数のFLDファイルからのマッピング、例えば[inlet]はa\_100.fldから、[outlet]はb\_100.fldからといったようなことはできません。

- [FLD(入力)]に[exA25-1\_step1]と入力します。

## 解析手順(風洞計算)

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA25-1\_step1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [200]

#### 2. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

#### 3. [境界条件]

- [領域]から[panel], [wall], [body]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 4. [発生条件]

- [領域]から[fan]を選択し、[新規]にてファンをクリックします。[ファンの種類]として[P-Q特性ファン], [力線(line of force)]として[定ベクトルで与える]を選択します。[圧力差の計算方法]として[P]は領域平均圧力の差]を選択し、[上流側領域]に[upstream], [下流側領域]に[downstream]を選択します。また、[ファン上流から下流に向かう軸方向単位ベクトル]の[X, Y, Z]に[1, 0, 0]と入力します。[Line 1]の[P]に[1200 Pa], [Q]に[0 m3/s]と入力し、挿入をクリックします。続いて、[Line 2]の[P]に[0 Pa], [Q]に[480 m3/s]と入力し、挿入をクリックします。上記の設定が完了したら、OKをクリックして[ファン条件]ダイアログを閉じます。

#### 5. [計算条件]

- [圧力]を選択し、[圧力]に[0 Pa], [場所]の[X, Y, Z]に[(0, 0.8, 0) m]と入力して、登録をクリックします。

#### 6. [出力条件]

- [圧力]を選択し、[指定サイクル毎に出力する]を選択し、[サイクル間隔]を[1]とします。[登録領域一覧(面の領域)]にて[upstream]と[downstream]を選択し、追加をクリックします。

#### 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA25-1\_step1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA25-1\_step1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[body]			
[wall]	[0.05]	[1.1]	
[panel]			[3]

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約1分30秒

- 計算サイクル数  
約170サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析手順(車両計算)

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]より exA25-1\_step2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [200]

#### 2. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

#### 3. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択し、流速規定をクリックします。流速成分の指定方法については、特記事項 流入面でのマッピングデータの指定方法をご参照ください。
- [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[body], [tire-f], [tire-r], [wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

4. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA25-1\_step2]と入力します。
- ・ マッピング元ファイルの指定方法については、[特記事項 マッピング元となるFLDファイルの指定方法](#)をご参照ください。

- 八分木

[ファイル]-[開く]よりexA25-1\_step2.octを読み込みます。

- メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[body]			
[tire-f]	[0.005]	[1.1]	[3]
[tire-r]			
[wall]	自動	[1.1]	[3]

- 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

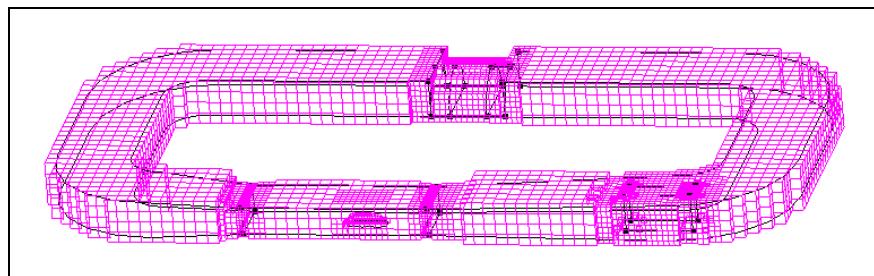
- 計算コストの目安

- ・ SCTsolverの実行時間  
約6分
- ・ 計算サイクル数  
約150サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

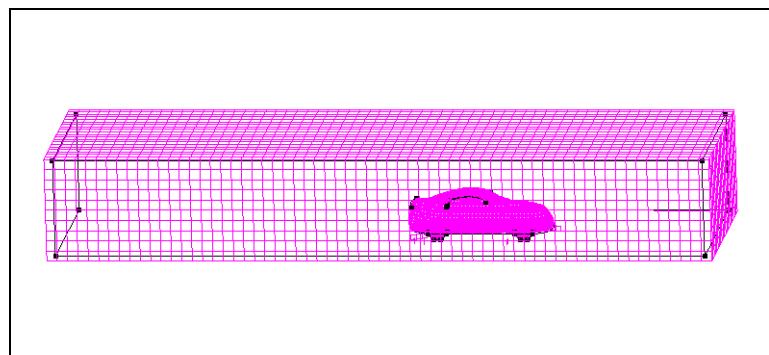
## 解析メッシュ

- 八分木図



風洞

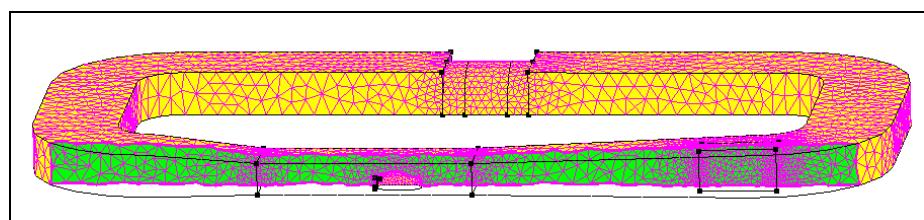
オクタントサイズ : 0.15[m] ~ 1.2[m]



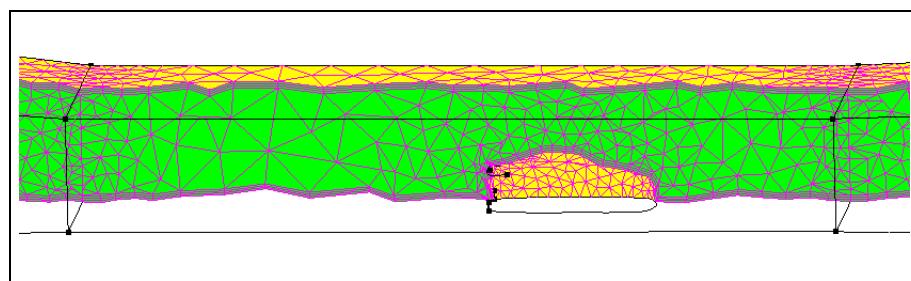
車両

オクタントサイズ : 0.02[m] ~ 0.32[m]

- メッシュ図

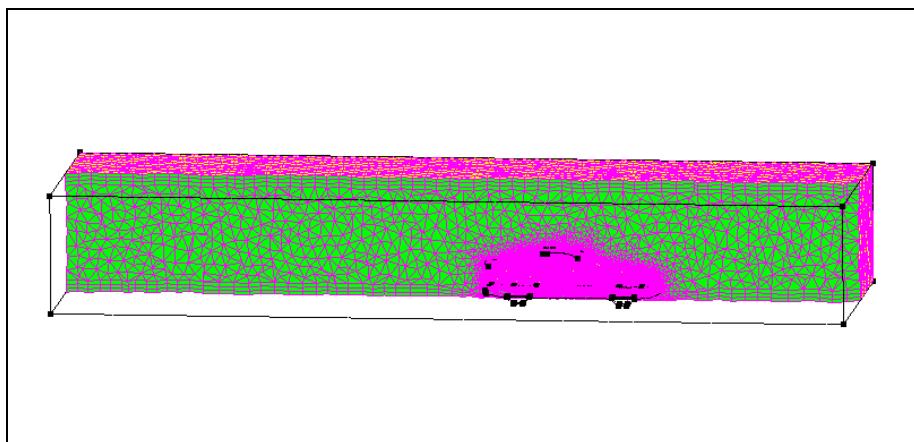


風洞



風洞(車両部分の拡大図)

要素数 : 117,980

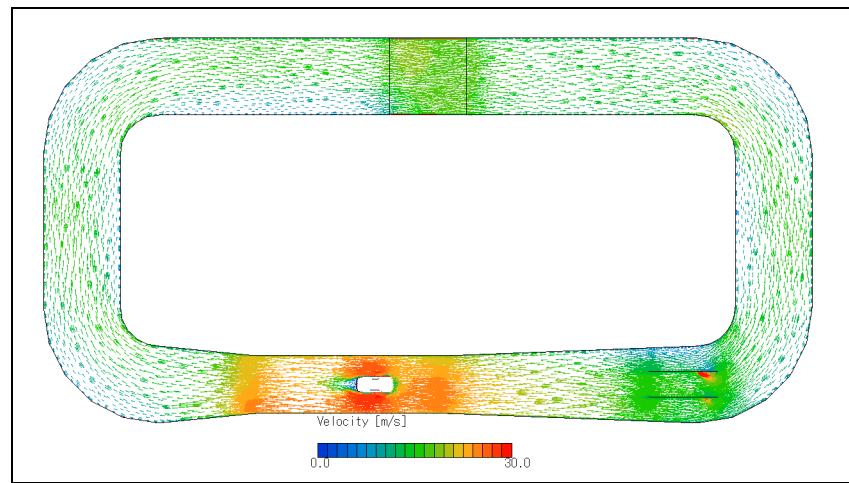


車両

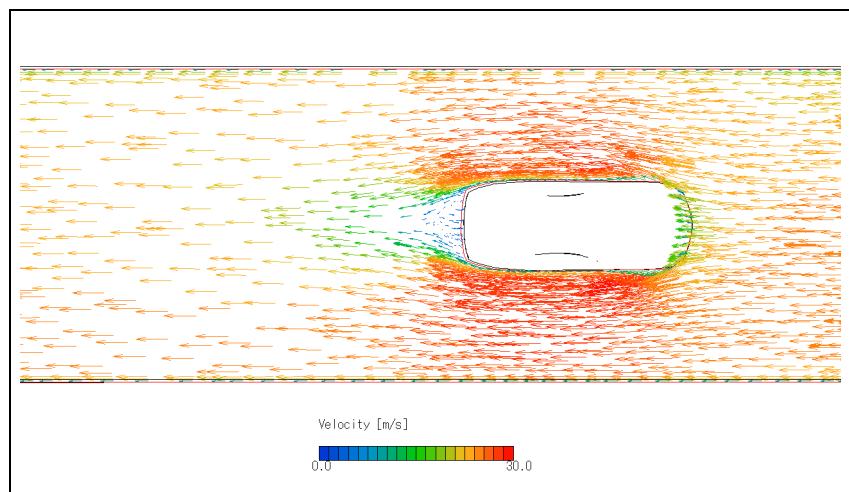
要素数 : 488,922

## 解析結果

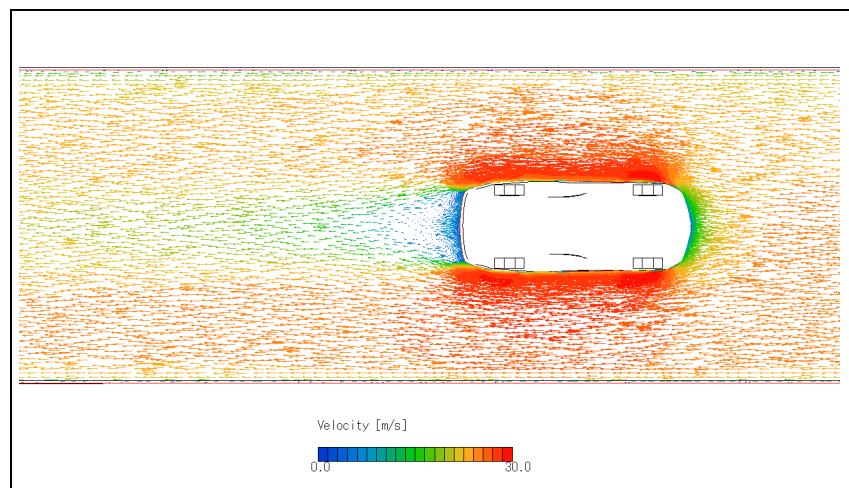
- 風洞計算における流速分布( $Z=0.4$ )



- 風洞計算における流速分布(車両周辺の拡大図、 $Z=0.4$ )



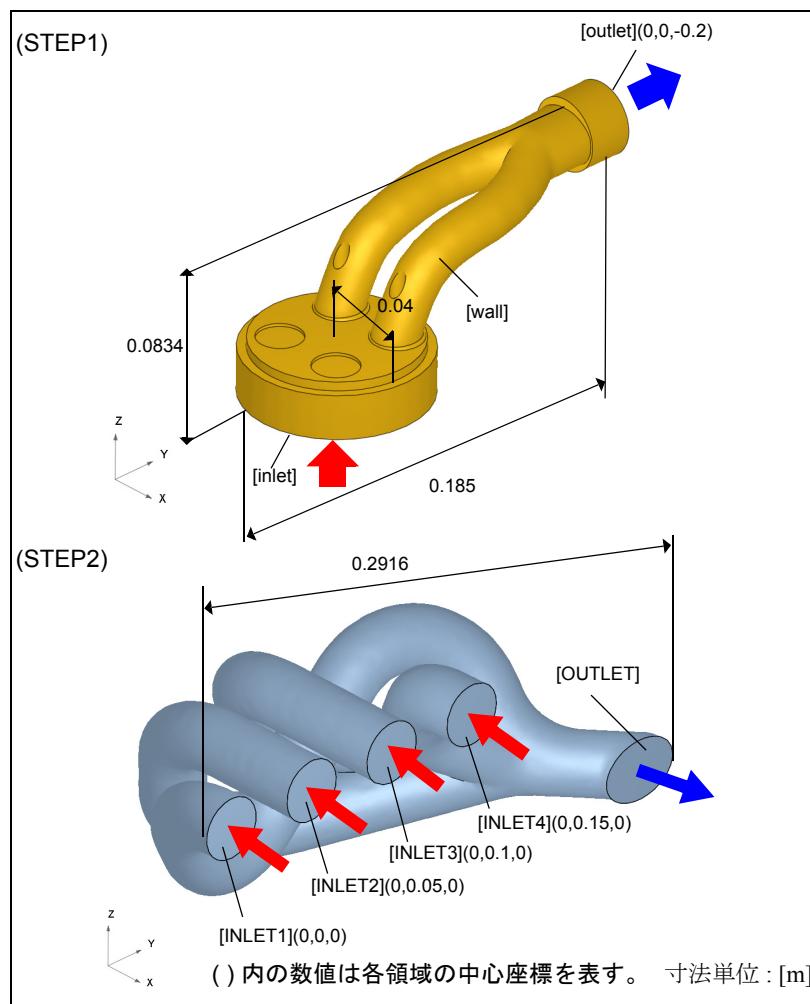
- 車両計算における流速分布( $Z=0.4$ )



## 例題25.2 ズーミング機能応用例

この例題では、ある解析の流出面における流速分布と温度分布の結果を別の解析の複数箇所の流入条件として利用します。この例題を通して、ズーミング元領域とズーミング先領域の間で位置が一致しない場合の座標変換方法を紹介します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\epsilon$  方程式
- エネルギー保存式

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 亂流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

(STEP 1)

- 流入口 [inlet] : 流速規定  
流入流速 10[m/s]  
流入温度 100[°C]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁  
壁面温度を固定 20[°C]

(STEP 2)

- 流入口 [INLET1] : 流速規定((STEP1)の[outlet]からマッピング)  
[INLET2] : 流速規定((STEP1)の[outlet]からマッピング)  
座標値補正・データ演算条件名 [labelA]  
[INLET3] : 流速規定((STEP1)の[outlet]からマッピング)  
座標値補正・データ演算条件名 [labelB]  
[INLET4] : 流速規定((STEP1)の[outlet]からマッピング)  
座標値補正・データ演算条件名 [labelC]  
(メモ) [inlet1]から[inlet4]まで、全ての流入口の流入流速、流入乱流量、流入温度に対してマッピングを行います。
- 流出口 [OUTLET] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [WALL] : 静止壁  
壁面温度を固定 20[°C]

**- 初期条件**

- デフォルト(設定不要)

**- その他**

- 乱流モデル  
標準 k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

**• 計算条件****(STEP 2)のズーミング設定**

マッピング元FLDファイル名	:	exA25-2_step1(総称名指定)
座標値補正(全体)	:	平行移動量 (0, 0, 0.2)[m] 回転角度 90[度] 回転軸上の任意座標 (0, 0, 0)[m] 回転軸の方向成分 (0, 0, 1)
座標値補正・データ演算(個別)	:	[labelA] 平行移動量(0, 0.05, 0)[m] [labelB] 平行移動量(0, 0.1, 0)[m] [labelC] 平行移動量(0, 0.15, 0)[m]

## 特記事項

### - ズーミング機能の条件設定方法

- 解析モデル図に示すように、マッピング元となる(STEP 1)解析の領域[outlet]と、マッピング先となる(STEP 2)解析の[[INLET1], [INLET2], [INLET3], [INLET4]]は、面の法線方向と位置関係が一致していません。このため、座標値補正機能を利用してマッピング元FLDの座標値をマッピング先領域に合致するように移動させます。マッピング元FLDの全体に対して回転移動(Z軸周りに90度)とZ方向の移動量(+0.2[m])を指定し、[INLET2], [INLET3], [INLET4]に対してはそれぞれY方向の移動量(+0.05[m], +0.1[m], +0.15[m])を指定します。

### - ズーミングの座標値補正条件

- [条件ウィザード]-[計算条件]-[ズーミング(座標値・データ)]にて、座標値補正の条件を入力します。まず、[座標値補正(全体)]の[座標値を補正する]と[回転移動する]をONにし、次の設定を行います。

[平行移動量]	:	$[(X, Y, Z)] = [(0, 0, 0.2) \text{ m}]$
[回転角度]	:	$[1.5708 \text{ rad}]$
[回転軸上の任意座標]	:	$[(X, Y, Z)] = [(0, 0, 0) \text{ m}]$
[回転軸の方向成分]	:	$[(X, Y, Z)] = [(0, 0, 1)]$

- 続いて、[座標値補正・データ演算(個別)]の新規をクリックし、[座標値を補正する]をONにして以下の設定を行い、OKをクリックします。

[条件名]	:	[labelA]
[平行移動量]	:	$[(X, Y, Z)] = [(0, 0.05, 0) \text{ m}]$

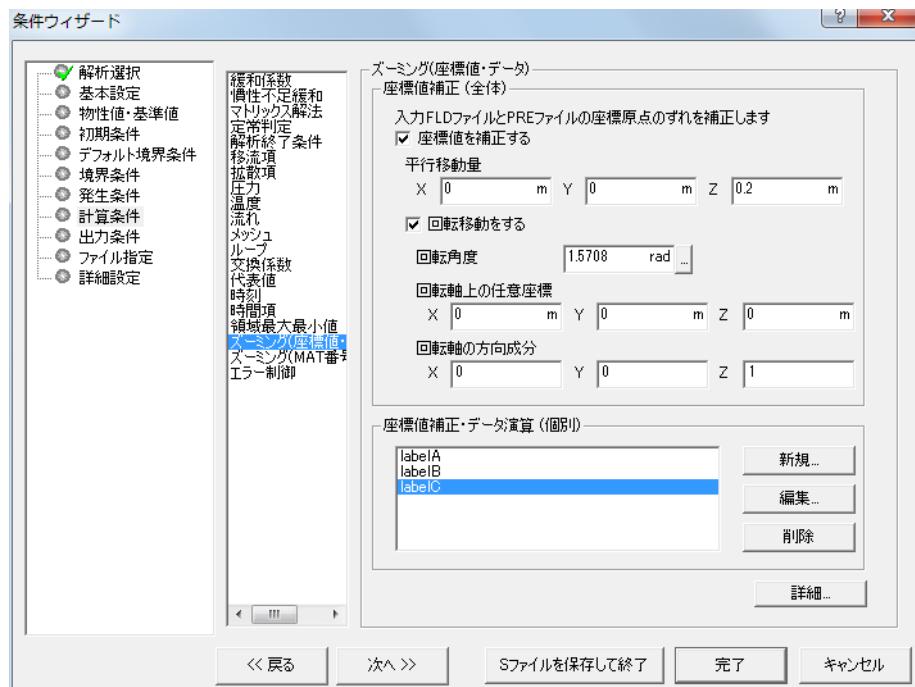
- [座標値補正・データ演算(個別)]の新規をクリックし、[座標値を補正する]をONにして以下の設定を行い、OKをクリックします。

[条件名]	:	[labelB]
[平行移動量]	:	$[(X, Y, Z)] = [(0, 0.1, 0) \text{ m}]$

- [座標値補正・データ演算(個別)]の新規をクリックし、[座標値を補正する]をONにして以下の設定を行い、OKをクリックします。

[条件名]	:	[labelC]
[平行移動量]	:	$[(X, Y, Z)] = [(0, 0.15, 0) \text{ m}]$

上記の設定が終了すると次のようなダイアログとなります。

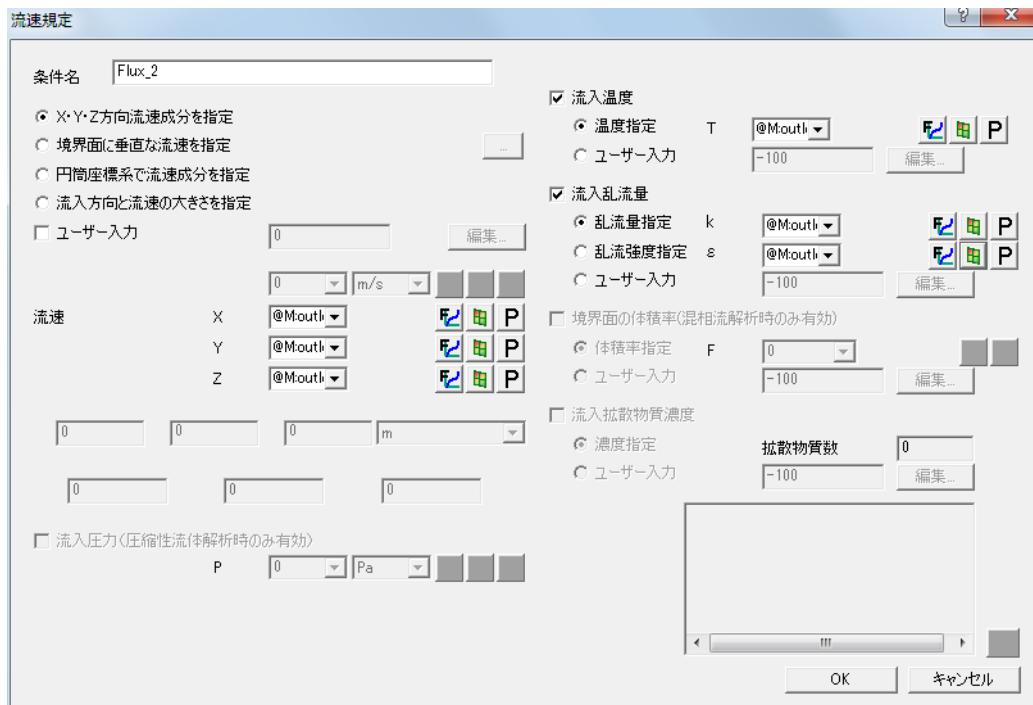


### 注意事項

全体に対する座標値補正と個別の座標値補正を併用した場合には、全体に対する補正が先に作用します。また、回転移動と平行移動を併用した場合には、回転移動が先に作用します。

### - 流入面でのマッピングデータの指定方法

- [条件ウィザード] - [境界条件]にて、[領域]から[INLET1]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログでは[X・Y・Z方向流速成分を指定]を選択し、[流入温度]と[流入乱流量]をONにします。[流速]の[X, Y, Z]、「流入温度」の[T]、[流入乱流量]の[k, ε]のボタンをそれぞれクリックして、ズーミングの設定を行います。[ズーミング]ダイアログの[検査領域]で[指定領域]を選択し、[領域名]に[outlet]を入力して、OKをクリックします。



@Mは数値を入力する代わりにマッピングした値を使用することを意味します。また、:outletはマッピング元領域にoutletを指定することを意味します。

- [領域]から[INLET2]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログでは[X・Y・Z方向流速成分を指定]を選択し、[流入温度]と[流入乱流量]をONにします。[流速]の[X, Y, Z]、「流入温度」の[T]、[流入乱流量]の[k, ε]のボタンをそれぞれクリックして、ズーミングの設定を行います。[ズーミング]ダイアログの[検査領域]で[指定領域]を選択し、[領域名]に[outlet]を入力します。[座標値補正・データ演算]で[座標値補正・データ演算条件を指定する]をONにし、[labelA]を選択し、OKをクリックします。
- [領域]から[INLET3]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログでは[X・Y・Z方向流速成分を指定]を選択し、[流入温度]と[流入乱流量]をONにします。[流速]の[X, Y, Z]、「流入温度」の[T]、[流入乱流量]の[k, ε]のボタンをそれぞれクリックして、ズーミングの設定を行います。[ズーミング]ダイアログの[検査領域]で[指定領域]を選択し、[領域名]に[outlet]を入力します。[座標値補正・データ演算]で[座標値補正・データ演算条件を指定する]をONにし、[labelB]を選択し、OKをクリックします。
- [領域]から[INLET4]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログでは[X・Y・Z方向流速成分を指定]を選択し、[流入温度]と[流入乱流量]をONにします。[流速]の[X, Y, Z]、「流入温度」の[T]、[流入乱流量]の[k, ε]のボタンをそれぞれクリックして、ズーミングの設定を行います。[ズーミング]ダイアログの[検査領域]で[指定領域]を選択し、[領域名]に[outlet]を入力します。[座標値補正・データ演算]で[座標値補正・データ演算条件を指定する]をONにし、[labelC]を選択し、OKをクリックします。

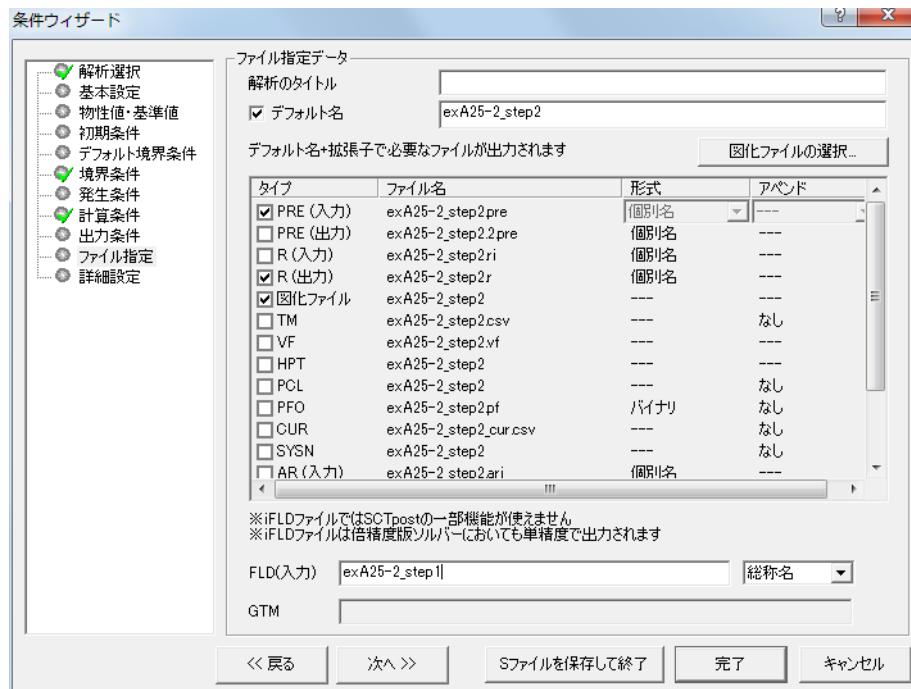
**注意事項**

マッピング元領域を指定する場合には、マッピング元FLD内に指定する名前の領域が存在する必要があります(省略可能)。

境界面の法線方向流速を指定する方法には、ズーミング機能を利用できません。

### - マッピング元となるFLDファイルの指定方法

- [条件ウィザード]-[ファイル指定]にて[FLD(入力)]に、マッピング元となるFLDファイルの名前 [exA25-2\_step1]を入力します。[形式]を[総称名]としておくと、マッピング元FLDファイル名からサイクル数と拡張子(\_XXX.fld)を除いた総称名で指定することができます。この場合、同じ総称名をもつFLDファイルの中から、最もサイクル数が大きなFLDファイルがマッピング元データとして使用されます。



### 注意事項

同じ総称名を持つFLDの中に、幾何形状データを含むFLDが必ず存在する必要があります。

## 解析手順(STEP 1)

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA25-2\_step1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [温度]をONにします。

#### 2. [境界条件]

- [領域]から[wall]を選択して、壁面をクリックし、[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。[壁面熱伝達条件]タブにて[断熱]をOFFにし、[壁面温度を外部温度に固定]を選択して[外部温度]に[20 °C]を入力します。OKをクリックします。
- [領域]から[inlet]を選択して、[流速規定]をクリックし、[流入流速]に[10 m/s]を入力します。[流入温度]をONにして[温度指定]を選択し、[T]に[100 °C]を入力します。OKをクリックします。
- [領域]から[outlet]を選択して、[表面圧力規定]をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認し、OKをクリックします。

#### 3. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA25-2\_step1]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA25-2\_step1.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。[厚みをオクタントサイズから自動で求める]をONにして設定します。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	自動	[1.1]	[3]

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

## 解析手順(STEP 2)

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA25-2\_step2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [温度]をONにします。

#### 2. [計算条件]

- ズーミングの座標値補正を[境界条件]よりも先に設定します。
- 特記事項 ズーミングの座標値補正条件を参照してください。

#### 3. [境界条件]

- [領域]から[WALL]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。[壁面熱伝達条件]タブにて[断熱]をOFFにし、[壁面温度を外部温度に固定]を選択して[外部温度]に[20 °C]を入力します。OKをクリックします。
- [領域]から[OUTLET]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認し、OKをクリックします。
- [INLET1], [INLET2], [INLET3], [INLET4]のズーミング機能の設定は、特記事項 流入面でのマッピングデータの指定方法を参照してください。

#### 4. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA25-2\_step2]と入力します。
- 特記事項 マッピング元となるFLDファイルの指定方法を参照してください。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA25-2\_step2.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。[厚みをオクタントサイズから自動で求める]をONにして設定します。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[WALL]	自動	[1.1]	[3]

### - 解析実行

STEP1の計算が終わった後、SCTsolverで解析を実行します。

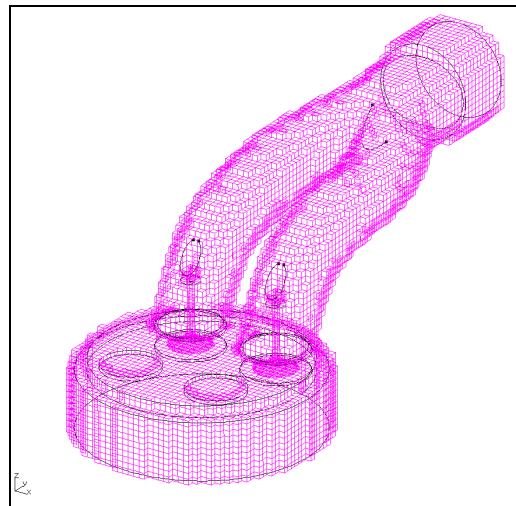
- 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
STEP 1 : 約2分  
STEP 2 : 約6分30秒
- 計算サイクル数  
STEP 1 : 約100サイクル  
STEP 2 : 約100サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

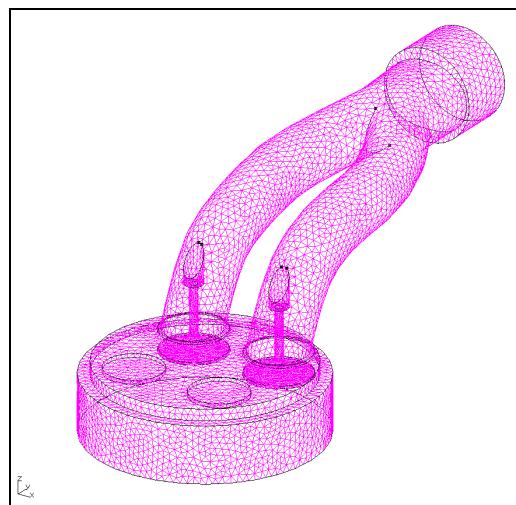
### 解析メッシュ(STEP 1)

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.001[m]~0.002[m]

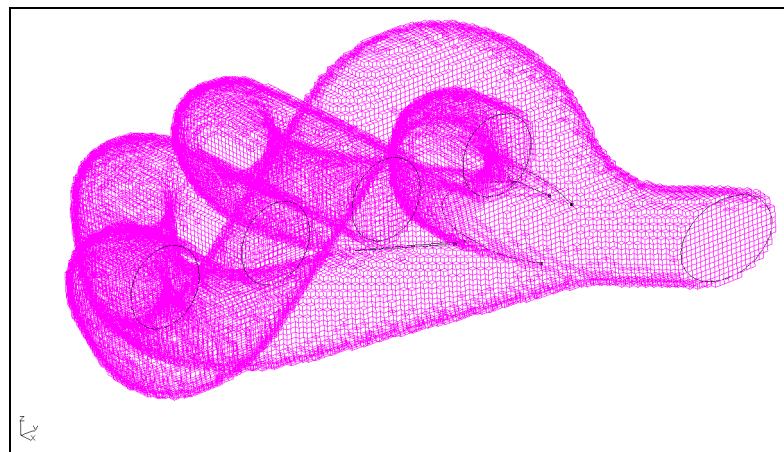
- メッシュ図



要素数 : 266,505

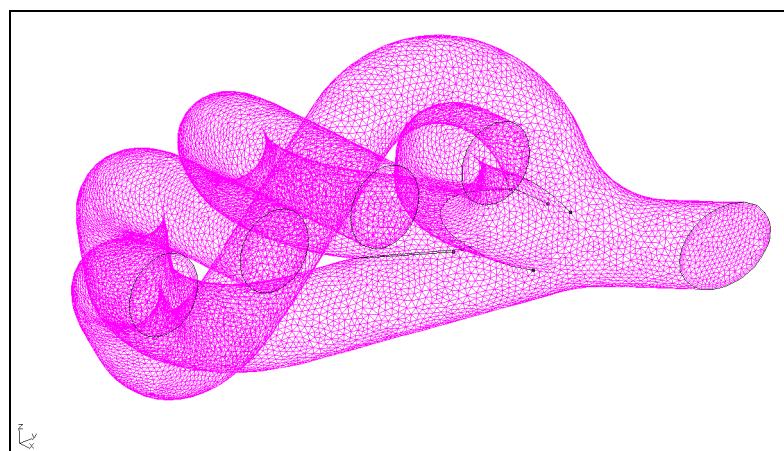
## 解析メッシュ(STEP 2)

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.002[m]

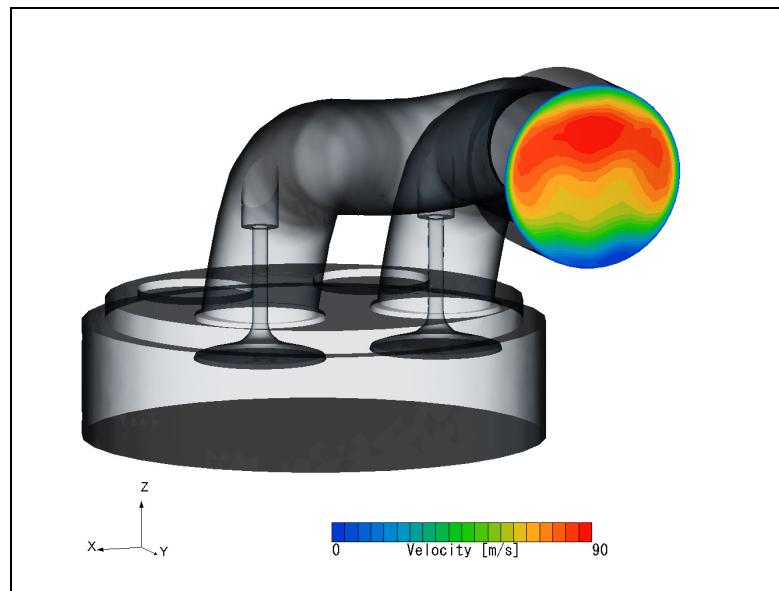
- メッシュ図



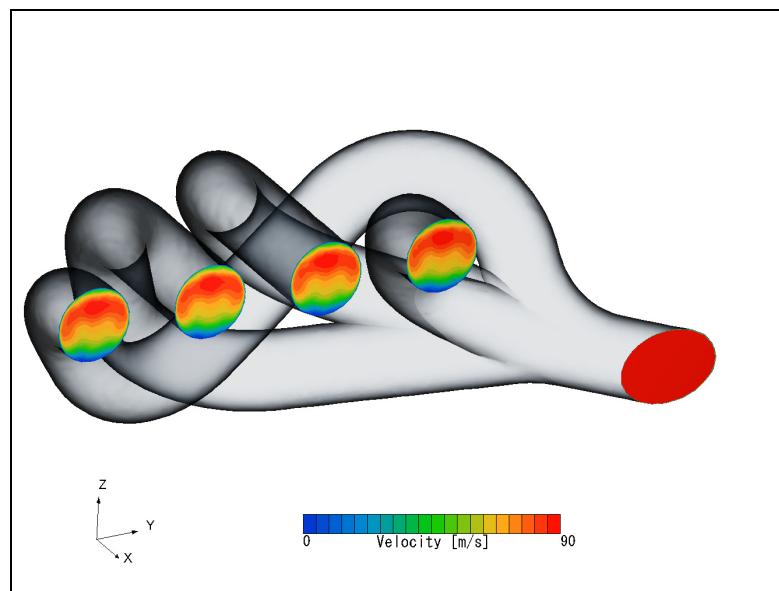
要素数 : 760,820

## 解析結果

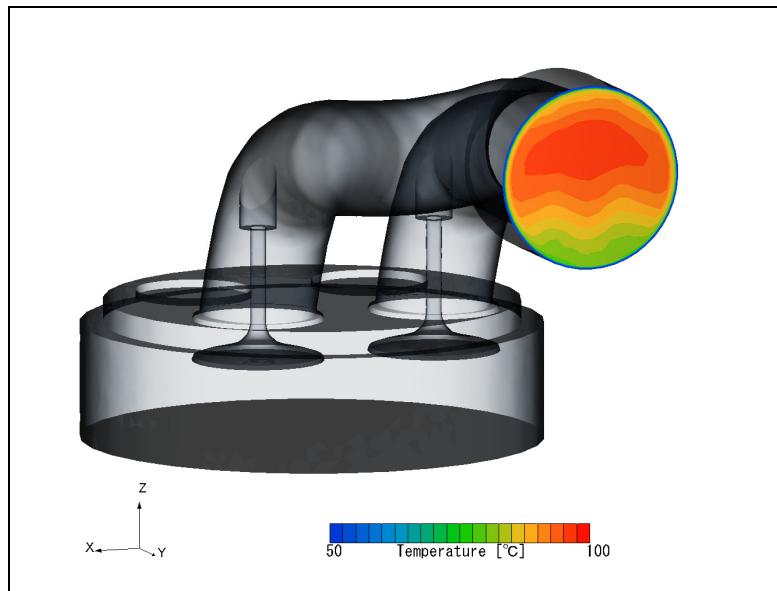
- 流速分布(STEP 1の[outlet])



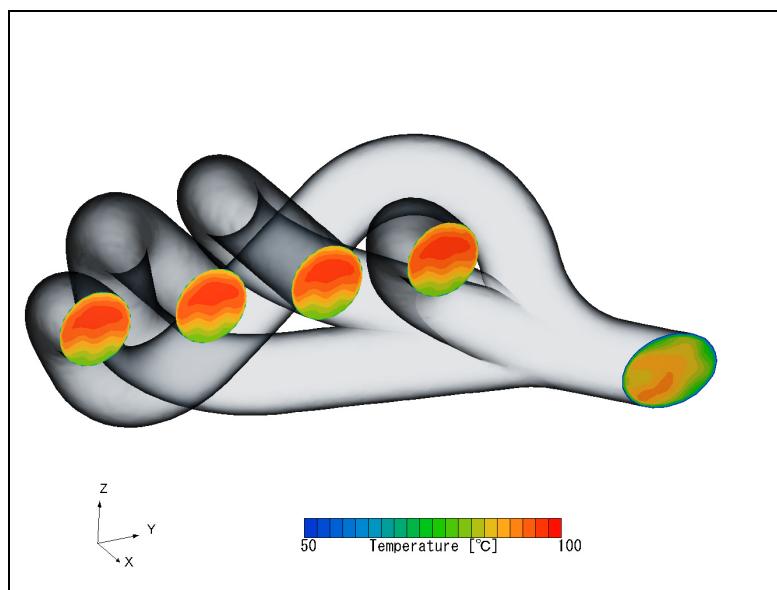
- 流速分布(STEP 2の[INLET1], [INLET2], [INLET3], [INLET4])



- 温度分布(STEP 1の[outlet])



- 温度分布(STEP 2の[inlet1], [inlet2], [inlet3], [inlet4])



---

## 機能26 LES/VLES/DES

---

---

## 機能説明

- k-ε乱流モデルに代表される乱流モデルでは非定常現象である乱流現象をレイノルズ平均と呼ばれる方法で時間平均化し時間平均値とその差を通じて扱います。これらの乱流モデルはレイノルズ平均を施した運動量保存式(またはNavier-Stokes[NS]方程式)をベースとしていることから、RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes)などとも呼ばれます。このRANSによる解析は例えばある点の平均速度や平均温度、あるいは物体に働く平均的な抗力や揚力などのような工学的に重要な平均量の予測に威力を発揮します。
- 一方、このような平均量では評価できないケースも多く有ります。例えば空力騒音問題は時々刻々と変化する乱流現象に起因するところが大きく、平均量で扱うことの出来ない現象の代表例です。これらの現象は乱流の本質(大小様々なスケールの渦運動)と密接に関係することからRANSとは異なる方法で扱う必要があります。
- このようなRANSでは解析が難しい非定常性の強い現象を解析する機能としてSCRYU/TetraではLES(Large Eddy Simulation), VLES(Very Large Eddy Simulation), DES(Detached Eddy Simulation)が導入されています。
- LES, VLES, DESの詳細については以下をご参照ください  
  ユーザーズガイド基礎編 第2部    1.11 ラージエディシミュレーション(LES)  
  (同上)                                    1.12 LESと乱流モデルの融合

## 注意事項

- LES解析は、以下の機能との併用はできません。

[拡散, 圧縮性解析, 自由表面(改良MAC法\*), 分散混相流, 密度ベースソルバー]

\* 自由表面(VOF法)は可

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

LES

- [Velocity product UU (VPUU)],                : 各瞬時速度の積  
[Velocity product VV (VPVV)],  
[Velocity product WW (VPWW)],  
[Velocity product UV (VPUV)],  
[Velocity product VW (VPVW)],  
[Velocity product UW (VPWW)]

DES

- [1/F\_DES (DES)],                : RANS領域, LES領域の切り替え係数  
[1/F\_DES2 (DES2)]

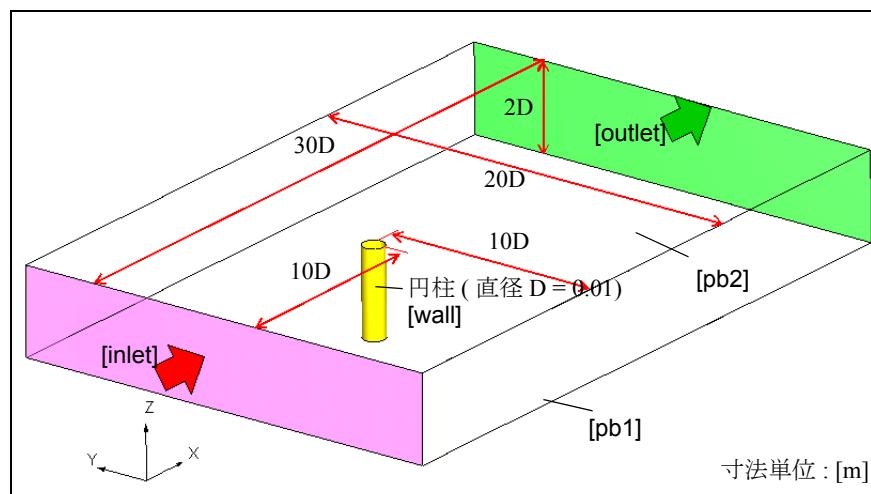
## 関連コマンド

- LESA        : LESの移流項に対する差分精度の設定
- LESM        : LESで使用するSGS(Sub Grid Scale)モデルの設定
- DES0        : DESを行う
- VLES        : 使用する乱流モデルのVLES化

## 例題26.1 三次元円柱周りの非定常乱流解析(空力特性の評価)

**SCRYU/Tetra**に組込まれている乱流解析法(乱流モデル, LES, VLES及びDES)を用いて、三次元円柱周りの非定常乱流解析を行い、円柱に働く空力特性を評価します。なお、本例題で計算したLESの結果は、[例題27.1 分離解法による空力騒音の予測](#)においても使用します。また、本例題は並列計算機を用いて実施しました。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 周期境界 :  $Z_{\min}$ 面と $Z_{\max}$ 面に対して周期境界を設定します。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- |         |              |                     |                       |
|---------|--------------|---------------------|-----------------------|
| • 流入口   | [inlet]      | : 流速規定              | 15.0[m/s]             |
| • 流出口   | [outlet]     | : 表面圧力規定            | 0.0[Pa]               |
| • 壁面    | [wall]       | : 静止壁               |                       |
| • 周期境界面 | [pb1], [pb2] | : 周期境界面のタイプ<br>平行移動 | 平面に投影可能<br>DZ=0.02[m] |

### - 初期条件

- 流速X成分 : 15.0[m/s]

### - その他

- 乱流解析のタイプ  
乱流モデル, LES, VLES, DES  
(SGSモデル, 乱流モデルの詳細については特記事項 使用するモデルを参照)
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
Case1:十分に発達した乱流場を得るまでの計算  
計算サイクル : 1[サイクル]~20,000[サイクル]  
初期時間間隔 :  $1 \times 10^{-6}$ [s]  
クーラン数 : 1.0
- Case2:サンプリング計算  
計算サイクル : 20,001[サイクル]~60,000[サイクル]  
固定時間間隔 :  $2 \times 10^{-6}$ [s]

## 特記事項

### - 使用するモデル

- 比較を行う乱流解析法は、乱流モデル、LES(Large Eddy Simulation)、VLES(Very Large Eddy Simulation)及びDES(Detached Eddy Simulation)です。なお、LESで使用するSGSモデル、及びVLESとDESで使用する乱流モデルは、以下の通りです。

#### LES用SGSモデル

- スマゴリンスキーモデル
- ダイナミックスマゴリンスキーモデル(DSM)
- WALEモデル

#### VLES用乱流モデル

- 標準  $k-\epsilon$
- 低レイノルズ数型AKNモデル

#### DES用乱流モデル

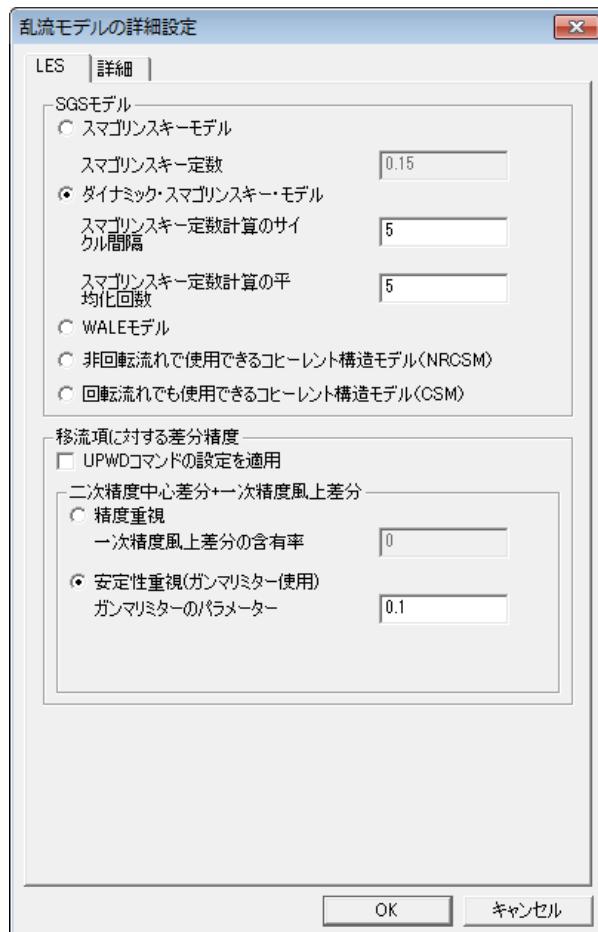
- 低レイノルズ数型AKNモデル

### - LES設定の手順

- ここでは、ダイナミック・スマゴリンスキーモデルを使用する場合を例に示します。
- [解析条件] - [条件ウィザード]を選択します。
  - [乱流] の [タイプ] で[LES]を選択し、その下にある詳細をクリックします。



3. [乱流モデルの詳細設定]ダイアログにおいて、[SGSモデル]で[ダイナミック・スマゴリンスキーモデル]を選択します。なお、[スマゴリンスキーワークス一定数計算のサイクル間隔]と[スマゴリンスキーワークス一定数計算の平均化回数]については、デフォルト値の[5]とします。
4. [移流項に対する差分精度]では、[安定性重視]を選択し、[ガンマリミターのパラメータ]は[0.1]と設定します。

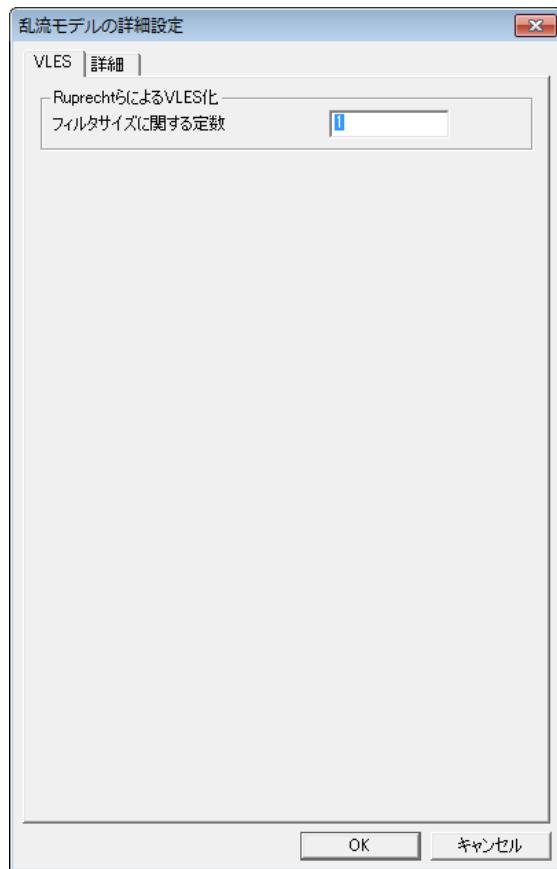


### - VLES設定の手順

- ここでは、AKN線形低レイノルズ数k- $\epsilon$ を例に示します。
- 1. [条件ウィザード] - [解析選択]の設定を行います。[乱流]の[タイプ]で[VLES]を選択し、その下にある[乱流モデル]で[線形低レイノルズ数k- $\epsilon$ モデル(AKN)]を選択します。



2. その下の詳細をクリックし、[フィルタサイズに関する定数]に[1]を設定します。



### - DES設定の手順

- ここでは、線形低レイノルズ数k- $\epsilon$ モデル(AKN)を例に示します。
1. [解析条件] - [条件ウィザード]を選択します。
  2. [乱流] の [タイプ] で[DES]を選択し、その下にある[乱流モデル]で[線形低レイノルズ数k- $\epsilon$ モデル(AKN)]を選択します。



3. その下の詳細をクリックし、[デフォルト値を使用する]をONにします。



### - その他

- スマゴリンスキーモデルで必要なモデル定数は、0.15とし、DSMで必要なサイクル間隔と平均化回数は、それぞれ5回に設定します。
- 解析モデル及び条件は、加藤ら[文献1]及びInagakiら[文献2]のLESによる計算に基づいています。その際、流れ場のレイノルズ数(主流速度と円柱直径に基づく)は、約10,000となります。
- 流れ場を発達させるために、1~20,000サイクルまでの計算を予め実行しておきます。その結果を元に20,001 ~ 60,000サイクルまで、時間刻み一定でデータサンプリング計算を行います。なおこのときのデータサンプリングでは、速度や圧力などの変数の時間平均値を求めるために、AVGFコマンドを設定して時間平均値をFLDファイルに出力させます。
- メッシュ作成は、円柱軸方向に対称性を持つものの、メッシュの掃引機能を用いておりません。
- 面領域[wall]に働く圧力、粘性応力の総和をLファイルに出力します。円柱に働く抗力係数(cd値)の比較では、標準 k-ε 及び低レイノルズ数型 AKN モデルとの結果の比較も行います。ただしこれら k-ε モデルによる計算は定常解析で行います。ちなみに、本ケースではいずれの k-ε モデルを用いても、収束には至らないため、cd 値が一定の範囲内で振動する状態を発達状態としています。

## 解析手順

- ここではダイナミック・スマゴリンスキーモルタルを使用したLESを設定する場合について説明します。DES, VLESを設定する場合については適宜、特記事項を参照してください。

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA26-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定(Case1:流れ場を発達させるための計算)

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、SファイルをexA26-1\_dsm.sという名前で保存します。

#### 1. [解析選択]

- [乱流] - [タイプ]で[LES]を選択し、その下にあるLESの詳細をクリックします。
- [乱流の詳細]ダイアログにおいて、[SGSモデル]で[ダイナミック・スマゴリンスキーモルタル]を選択します。パラメータは全てデフォルト値を使用しますのでそのままOKをクリックします。
- 周期境界をONにします。

(メモ)

- [SGSモデル]として[スマゴリンスキーモルタル], [WALEモデル]を使用する場合もパラメータは全てデフォルト値を使用します。特記事項 LES設定の手順をご参考ください。
- VLES, DESの設定についてはそれぞれ特記事項 VLES設定の手順, DES設定の手順をご参考ください。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。
  - [開始サイクル] : [1]
  - [終了サイクル] : [20000]
- [時間間隔の設定]で[クーラン数による]を選択します。
  - [初期時間間隔] : [1e-006 s]
  - [クーラン数] : [1]

#### 3. [初期条件]

- [初期値]タブにて新規をクリックし、[初期値]ダイアログで以下のように設定してOKをクリックします。
  - [変数] : [流速X成分]
  - [値] : [15 m/s]

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[wall]を選択し壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。
- [領域]から[inlet]を選択し流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログの[流入流速]に[15 m/s]を設定し、[流速規定]ダイアログのOKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択し表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]が[0 Pa]となっていることを確認してダイアログを閉じます。

**5. [周期境界]**

- [周期境界]タブにて、下記設定を行い登録をクリックします。

[領域1]	:	[pb1]
[領域2]	:	[pb2]
[周期境界面のタイプ]	:	[平面に投影可能]
[平行移動(DX, DY, DZ)]	:	[(0, 0, 0.02)m]

**6. [出力条件]**

- [圧力]にて[指定サイクル毎に出力]を選択し追加と小計をクリックして以下のように設定します。

[サイクル間隔]	:	[1]
[出力する領域群]	:	wall
-- 小計 --		
- [粘性応力]にて[指定サイクル毎に出力]を選択し追加と小計をクリックして以下のように設定します。

[サイクル間隔]	:	[1]
[出力する領域群]	:	wall
-- 小計 --		

**7. [ファイル指定]**

- [デフォルト名]をONにして、[exA26-1\_dsm]と入力します。次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA26-1.pre]とします。

sファイル保存時、「FLDファイルの出力サイクルの設定を行いますか?」という確認ダイアログが出ますが、いいえを押してください。

### - 条件設定(Case2:サンプリング計算)

Case1の設定をもとにCase2の条件設定を行います。Case1の条件設定を行っていない場合には、[ファイル]-[開く]からexA26-1\_dsm.sを読み込みます。その後、[条件ウィザード]で以下の設定変更を行い、SファイルをexA26-1\_dsm\_a.sという名前で保存します。

#### 1. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。  
[開始サイクル] : [20001]  
[終了サイクル] : [60000]
- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。  
[時間間隔] : [2e-006 s]

#### 2. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]の[出力のタイミング]で[指定サイクル毎に出力]を選択し、以下のように設定します。  
[サイクル間隔] : [5000]
- [ファイルの平均化]の[平均化]列の、[FLDファイルの出力間隔]を選択します。

#### 3. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA26-1\_dsm\_a]と入力します。次に、[デフォルト名]をOFFにして、以下のように設定します。  
[PRE(入力)] : exA26-1.pre  
[R(入力)] : exA26-1\_dsm.r

### - 八分木図

[ファイル]-[開く]よりexA26-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[3e-005]	[1.1]	[6]

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。まずexA26-1\_dsm.sを実行し、その結果を元にexA26-1\_dsm\_a.sを用いたリストアート計算をおこないます。

### - 計算コストの目安

- 本例題における全ての計算は、下記並列環境にて実施しています。

使用マシン : 富士通 PRIMERGY RX200 S7

OS : Windows Server 2008 R2 HPC

CPU : Intel Xeon E5-2690 2.9GHz

- 24CPU使用時、1サイクルあたりの計算時間を下表に示します。

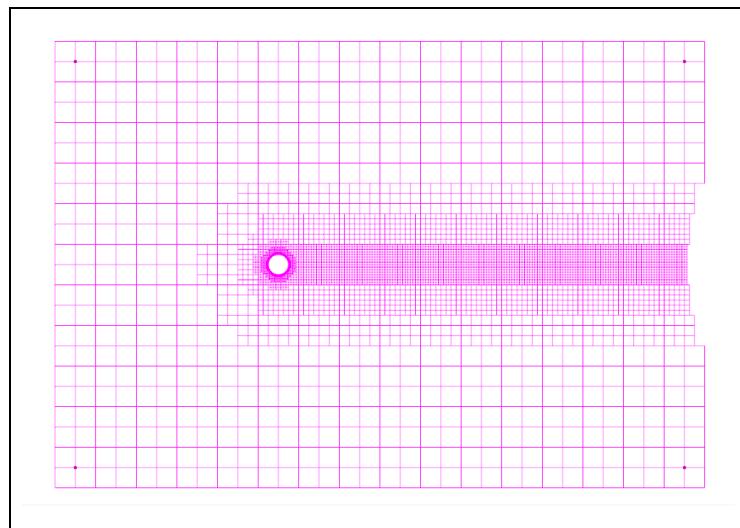
	1cycle/24CPU [sec]
LES (Smagorinsky)	0.44
LES (Dynamic)	0.48
LES (WALE)	0.40
VLES (AKN model)	0.49
VLES (Standard k-EPS model)	0.45
DES (AKN model)	0.50
Turbulence model (standard)	0.52
Turbulence model (AKN)	0.53

### 注意事項

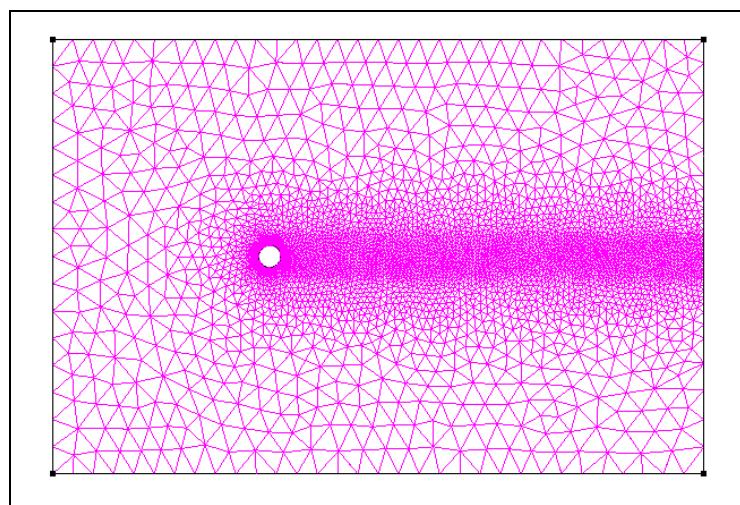
Intel Xeon E5-2690 2.9GHz 2CPUで計算した場合、1ケースあたりの所要時間は約4日となります。

## 解析メッシュ

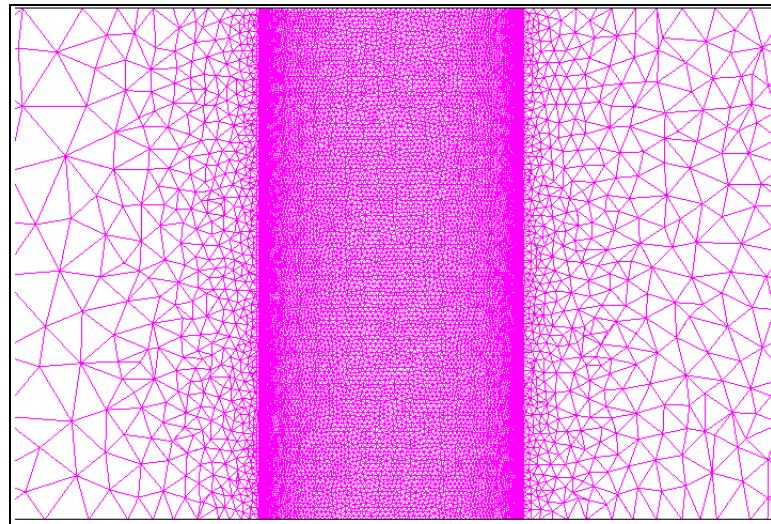
- 八分木図



- オクタントサイズ :  $0.00015625[m] \sim 0.01[m]$
- メッシュ図(全体)



- メッシュ図(円柱近傍)



- 要素数 : 844,121
- 抗力係数(Cd値)及びストローハル数(St)の比較

	Drag Coefficient Cd	Strouhal number St
LES (Smagorinsky)	1.25	0.20
LES (DSM)	1.46	0.19
LES (WALE)	1.44	0.19
VLES (AKN model)	1.50	0.20
VLES (Standard k-EPS model)	1.25	0.21
DES (AKN model)	1.43	0.20
Standard k-EPS model	0.77	-
AKN model	0.99	-
LES of Kato et al.[1]	1.15	0.2
LES of Inagaki et al.[2] (Cs=0.15)	1.19	0.21
LES of Inagaki et al.[2] (Cs=0.1)	1.32	0.21
Experiment	1.1-1.2	0.20-0.21

#### 注意事項

標準  $k-\epsilon$  モデル及び低レイノルズ数型AKNモデルは、定常計算を実施しているため、Cd値のみの比較となります。

加藤ら[文献1]及びInagakiら[文献2]の計算では、次式で示す減衰関数を渦粘性係数(SGSモデル)に乘じています。

$$v_t = (C_s f \Delta)^2 |\bar{s}|$$

$$f = \min(1, \sqrt{5y/D})$$

ここで、 $y$ は円柱表面からの距離を表します。なお、SCRUYU/Tetraでは、この減衰関数は導入していません。

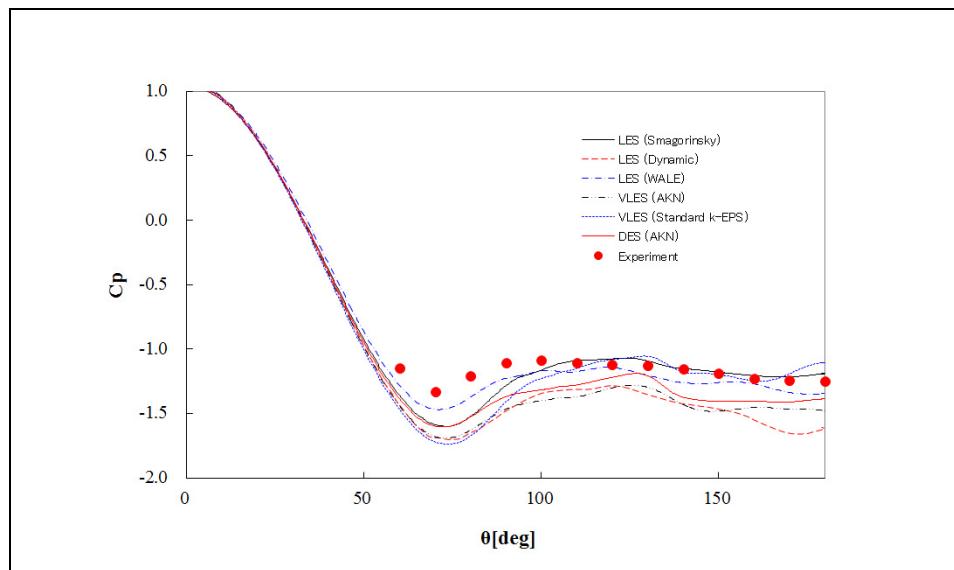
$C_d$ 値は、PFOC及びSFOCコマンドで出力されるX方向に作用する力から、次式により算出します。

$$C_d = \frac{x\text{方向に作用する力}}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$$

ここで、 $\rho$ は流体密度、 $V$ は流入速度、 $A$ は円柱の投影面積(本ケースで $0.0002[m^2]$ )です。また、具体的な算出法については**例題17.1 空力解析の解析結果**をご覧ください。

$S_t$ 値は、Y方向に作用する力の周期的な変動から求めます。

- 円柱表面の圧力係数の分布( $Z=0.01[m]$ 断面における分布)



実験値は、宮田ら[文献3]を参照。

## 参考文献

1. 加藤ら、"LESによる流体音の予測(第1報、二次元円柱からの放射音)"、日本機械学会論文集B編、60巻569号、(1994)、pp.126-132.
2. Inagaki et al., Predictions of wall-pressure fluctuation in separated complex flows with improved LES and quasi-DNS, 3rd Int. Symp. on Turbulence and Shear Flow Phenomena, Sendai, Vol. III, (2003), pp.941-946.
3. 宮田・奥山、"一様流中の円柱抗力低減の試み"、第29回乱流シンポジウム、(1997)、pp.147-148.

---

## 機能27 空力騒音解析(分離解法)

---

---

## 機能説明

- 空力騒音とは流れによって生じる音(騒音)のことです。SCRYU/Tetraで用意されている空力騒音を解析する機能には以下の2つがあります。
  - 分離解法(Ffowcs Williams & Hawkings [FW-H]の式)
  - 弱圧縮性解析法
- 本例題ではこのうちの分離解法について説明します。
- 分離解法では流体の圧力と音の持つ圧力(音圧)は別々に扱います。これは流体の運動によって得られる圧力(動圧)に対し、音圧のオーダーは非常に小さく、一緒に扱うには細心の注意が必要となるためです。分離解法では流体の圧力と音圧を別々に評価し、更に流体は非圧縮性流体として扱うことにしています。
- 分離解法を使うためには以下の2つが必要になります。
  - 音源がコンパクトであること
  - 観測点が音源から十分遠方にであること
- コンパクトであるとは音の波長に比べて音源のサイズが十分に小さいことを指します。分離解法の詳細については[ユーザーズガイド 基礎編 第2部 2.8 空力騒音解析 \(2\) 分離解法](#)を参照してください。

## 注意事項

- 空力騒音(分離解法)は、以下の機能との併用はできません。

温度(輻射, 日射), 圧縮性解析, 自由表面(改良MAC法, VOF法),  
キャビテーション, 密度ベースソルバー

- 音響的な影響(回折, 反射, 屈折, 散乱など)は一切扱いません。

## 結果として出力されるもの

### - CURファイル

- 分離解法により計算された音圧データは、ファイル指定データにおいてCURで設定されたファイルに対し、時系列データと同じフォーマットで出力されます。

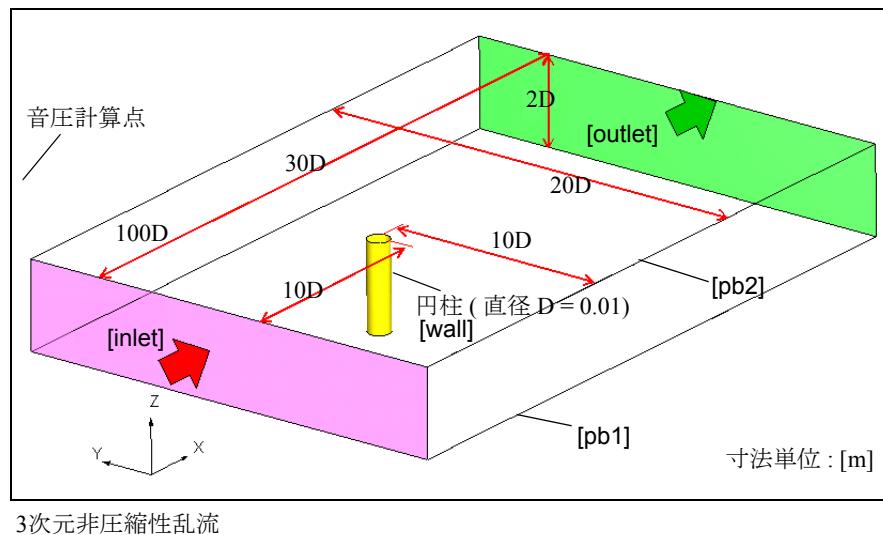
## 関連コマンド

- CURL : 分離解法使用時の音源に関する情報の設定
- CURM : 分離解法使用時の観測点(音圧を求める位置)の設定

## 例題27.1 分離解法による空力騒音の予測

分離解法を用いて円柱後方でカルマン渦列により誘起される"エオルス音"を予測します。なお本例題中の計算例は、並列計算機を用いて計算を行っています。

### 解析モデル



計算の初期場には例題26.1で求めた、LESによる円柱周りの乱流場の計算結果を利用します。よって解析領域のサイズ、円柱のサイズ、領域名は全て例題26.1 三次元円柱周りの非定常乱流解析(空力特性の評価)と同じになります。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 周期境界 :  $Z_{min}$ 面と $Z_{max}$ 面に対して周期境界を設定します。
- 空力音 : 分離解法を用いた空力音解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 15.0[m/s]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁
- 周期境界面 [pb1], [pb2] : 周期境界面のタイプ 平面に投影可能  
平行移動 DZ=0.02[m]

### - 初期条件

- 例題26.1 三次元円柱周りの非定常乱流解析(空力特性の評価)で得られた計算結果を初期データ(リストアトデータ)として使用します。

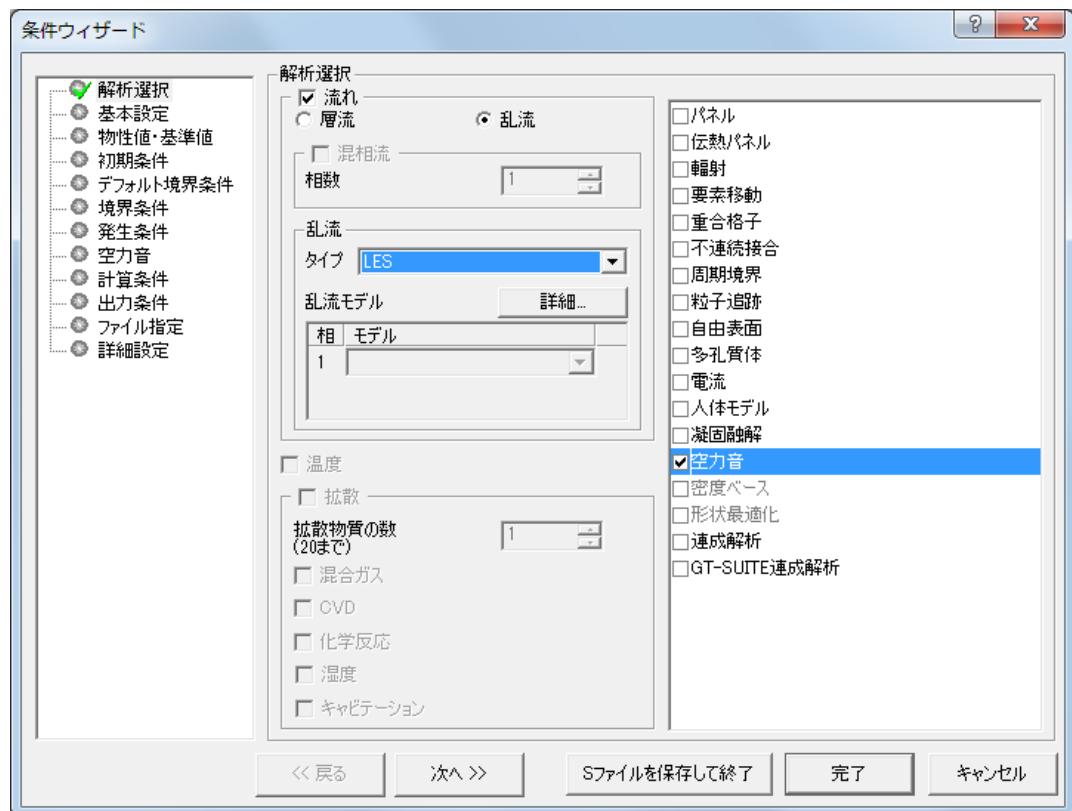
### - その他

- 乱流解析のタイプ  
LES : SGSモデルの一例として、WALEモデルを使用します。
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 50,000[サイクル]  
固定時間間隔 :  $2 \times 10^{-6}$ [s]

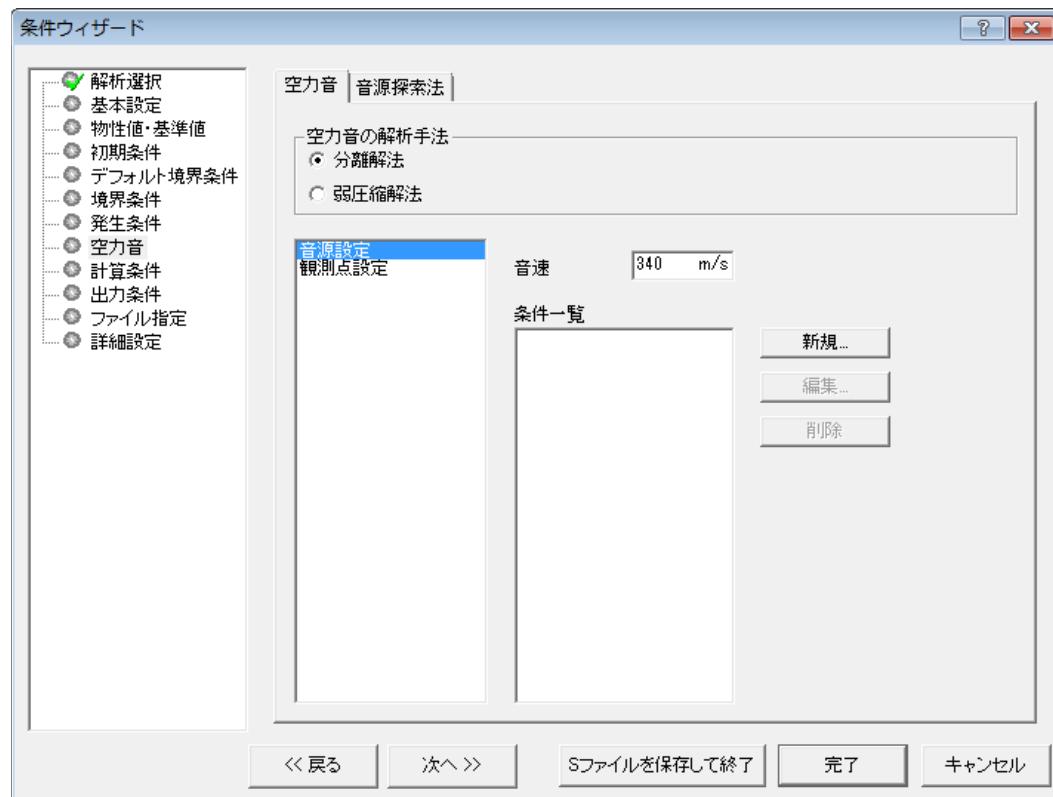
## 特記事項

### - 分離解法による空力音解析の設定手順

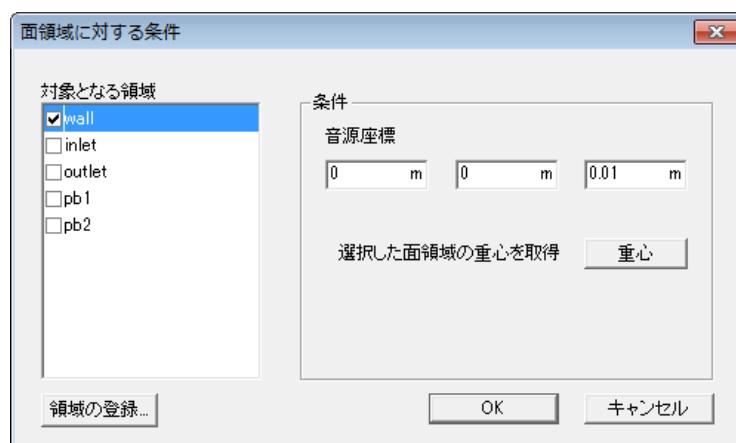
- ・ [条件ウィザード] - [解析選択]で[空力音]をONにします。



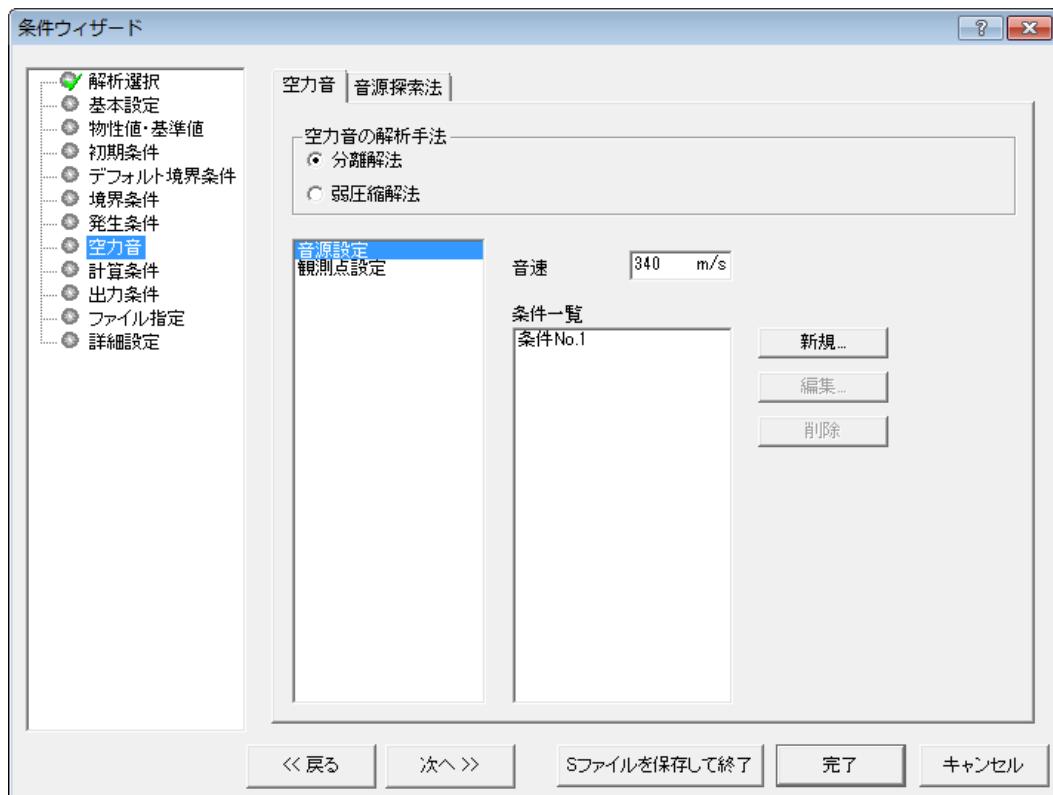
- [条件ウィザード] - [空力音]にて、まず最初に、分離解法で必要な音源に関する情報を設定します。[空力音]を開き、[空力音の解析手法]で[分離解法]を選択します。リストから[音源設定]を選択し、[音速]に対し[340 m/s]と設定します。



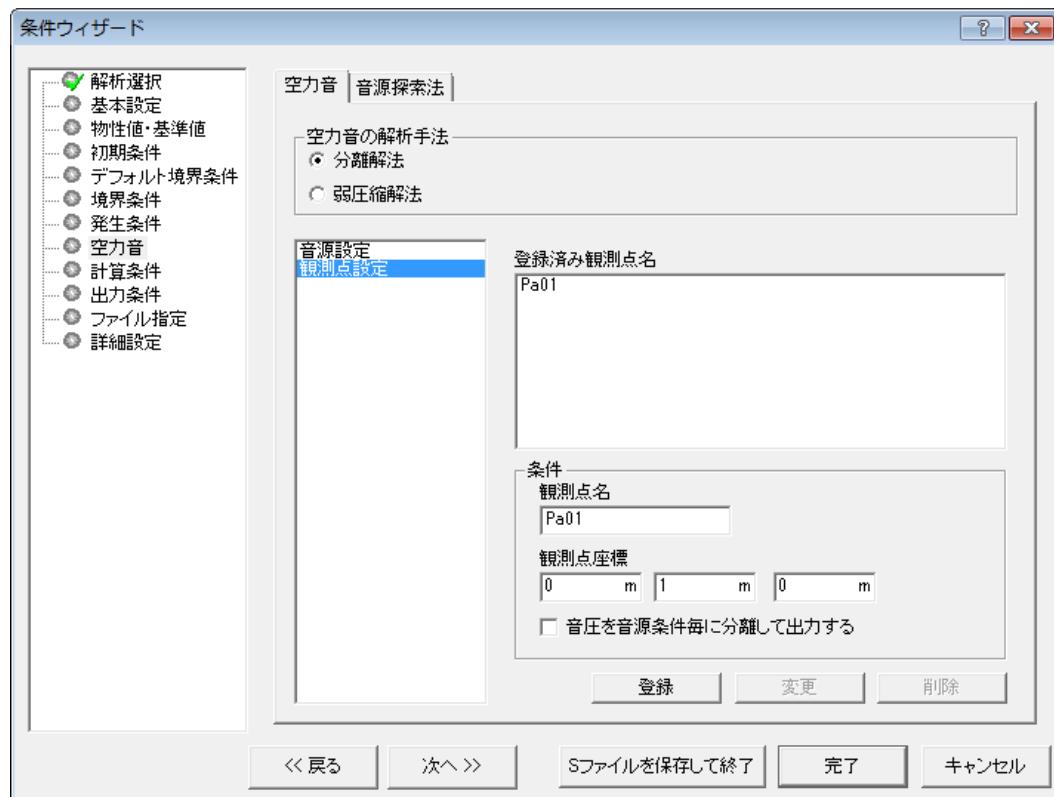
- 次に、新規をクリックし音源位置を設定します。[面領域に対する条件]ダイアログが表示されるので、[対象となる領域]で[wall]をONにします。次に、音源中心(対象となる領域が物体表面であれば、その物体の重心座標)を設定します。[音源座標]に[(0, 0, 0.01) m]と入力します。例題のように、予め音源中心座標が分かっている場合は、直接座標値を[音源座標]に入力します。もし形状が複雑で音源中心が不明の場合は、[選択した面領域の重心を取得]の横にある重心をクリックします。すると自動的に重心座標が[音源座標]内に設定されます。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- 音源に関する情報が設定できたら、下記ダイアログにあるように、[条件一覧]に [条件No.1]と表示されます。もし複数の音源が存在する場合は続けて設定します。



- 観測点に関する情報を設定します。リストから[観測点設定]を選択します。[条件]にある[観測点名]に名前を設定します。なおここで設定する名前はCURファイル(TMファイルと同一フォルダ)の出力変数名として使用されるため、必ず4文字以内とします。次に[観測点座標]に座標値を設定します。登録をクリックするとダイアログ左欄の[登録済み観測点名]に対し設定した観測点名が表示されます。ここでは観測点名に[Pa01]、観測点座標に[(0, 1, 0) m]と入力します。



### - その他

- 本計算のサイクル数(50,000)は、カルマン渦放出周期の約50倍弱の実時間に相当します(実時間で約0.15秒)。
- 解析モデル及び条件は円筒軸方向(Z方向)の境界条件を除き、加藤ら[文献1]のLESによる計算に基づいています。従って流れ場のレイノルズ数(主流速度と円柱直径に基づく)は、約10,000となります。また、加藤らのマッハ数(=0.044)と合わせるために音速は340[m/s]とします。
- 円筒軸方向境界条件に関して、加藤ら[文献1]は対称条件を課しているのに対し、本例題では、周期境界条件を適用します。その結果、以下に述べる音圧レベル補正は加藤らと若干異なる条件で行います。
- 音圧レベル(SPL)は次式で定義されます。

$$SPL = 20 \log(p'/p_a)$$

$$p_a = \sqrt{\rho \times c \times 10^{-12} [W/m^2]}$$

ここで、 $p_a$ は最小可聴音圧、 $\rho$ は空気の密度、 $c$ は音速を表します。

- 以下に示す等価相関長を求めるために、円柱表面( $x=0.0, y=0.005$ )において、Z方向に等間隔( $=0.0005[m]$ )に圧力の時系列データを求めるサンプリング点を設定しています。
- 求めた音圧レベルに対し、加藤ら[文献1]が提案する次式の補正值を加えます。

$$SPL(f) = SPL_s + 10 \log(L/L_s) \quad \text{if } L_c(f) \leq L_s$$

$$SPL(f) = SPL_s + 20 \log\{L_c(f)/L_s\} + 10 \log\{L/L_c(f)\} \quad \text{if } L_s \leq L_c(f) \leq L$$

$$SPL(f) = SPL_s + 20 \log(L/L_s) \quad \text{if } L \leq L_c(f)$$

ここで、 $L, L_s, L_c(f)$  は、それぞれ円柱の全スパン長([文献1]にある実験結果と合わせるために、0.5[m])、解析領域のスパン長(0.01[m])、及び等価相関長を表します。等価相関長は、円柱表面上にある二点(任意)の圧力時系列データを用いて、そのコヒーレンスが0.5となる距離として定義します。求め方の詳細については、[文献1]をご覧ください。なお、この補正機能は、**SCRYU/Tetra**本体に備わっていませんので、ご注意ください。

(メモ) 加藤ら[文献1]は、対称境界条件を設定している関係で $L_s=0.02$ としているのに対し、本例題は、周期境界を設定しているため $L_s=0.01$ で評価しています。

## 解析手順

### - モデル

本例題ではメッシュとして**例題26.1**のデータを使用します。SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]よりexA26-1.preを読み込みます。

### - 条件設定

本例題では**例題26.1**三次元円柱周りの非定常乱流解析(空力特性の評価)のSファイルを基に設定を行います。[ファイル]-[開く]より**例題26.1**のSファイルのうち、LES用SGSモデルにWALEモデルを使用するSファイル(exA26-1\_wale\_a.s)を読み込んで以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [周期境界]、[空力音]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [60001]

[終了サイクル] : [110000]

#### 3. [周期境界]

- [領域1]に面領域[pb1]、[領域2]に面領域[pb2]をそれぞれ選択し、[平行移動]に面領域[pb1]と[pb2]の距離([pb2] - [pb1]) = (0, 0, 0.02) [m]を入力します。

#### 4. [空力音]

- 特記事項 分離解法による空力音解析の設定手順をご参照ください。

#### 5. [出力条件]

- [時系列]を選択します。新規をクリックし、[時系列アイテム]ダイアログを表示した後、[変数リスト]の[圧力]をON、[(X, Y, Z)]に[(0, 0.005, 0.0005) m]を設定し、OKをクリックします。
- 同様に、Z座標を0.0005[m]刻みで増加させて合計40点を登録します。ただし、40点目のZ座標は0.0199[m]とします。

(メモ) 2点目の座標は[(0, 0.005, 0.001) m]、39点目の座標は[(0, 0.005, 0.0195) m]、40点目の座標は[(0, 0.005, 0.0199) m]になります。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA27-1]と入力します。
- 次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA26-1.pre]、[R(入力)]の[ファイル名]を[exA26-1\_wale\_a.r]とします。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約75時間
  - 計算サイクル数  
50,000サイクル
- \* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

### 解析メッシュ

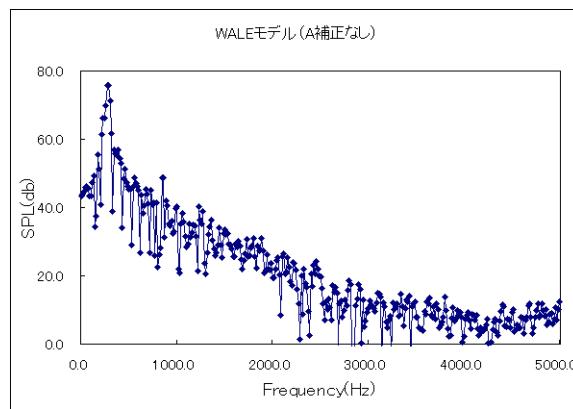
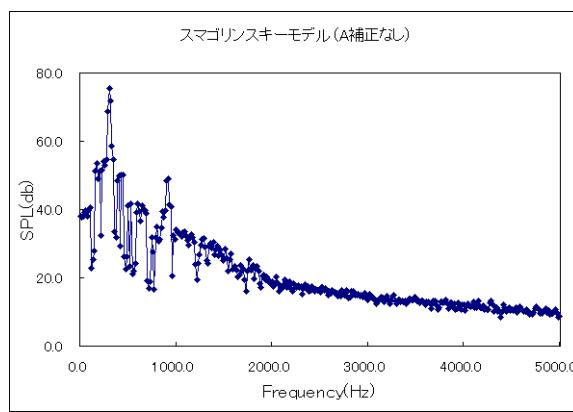
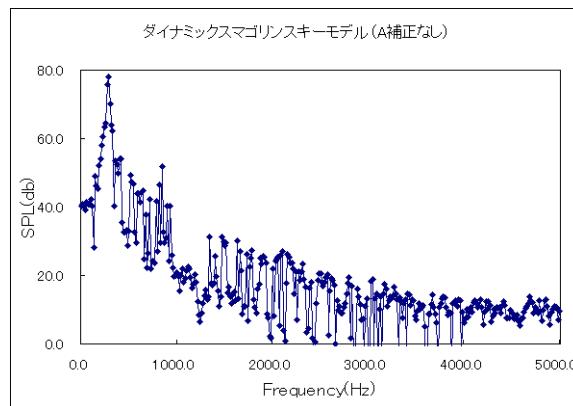
- 解析で使用するメッシュは例題26.1 三次元円柱周りの非定常乱流解析(空力特性の評価)と同じです。

## 解析結果

- SCTpostの設定  
音圧レベル(SPL)はSCTpostに内蔵されているFFT機能を用いて求めます。SCTpostでの操作手順は以下のようになります。
  - SCTpostを起動し、音圧(SPL ; Sound Pressure Level)の時系列データ(CURファイル(\*\_cur.csv))を読み込みます。
  - [グラフ]オブジェクトの[周波数分析]タブを選択します。
  - [開始サイクル]に、計算の開始サイクルが入力されていることを確認します。
  - [窓関数]に[ハニング窓]が選択されていることを確認します。
  - [使用データ数]の[自動]がONであることを確認します。([使用データ数]の[自動]がONの場合、[使用データ数]は読み込んだ時系列データ(CURファイル(\*\_cur.csv))の内容に合わせて自動で調整されます)
  - データを重複して使用する割合として、[オーバーラップ]に[50]と入力します。すると[繰戻回数]は[オーバーラップ]とリンクしており、自動で[2]に変更されます。
  - 音圧レベル(SPL)を出力するため、[音圧解析]をONにします。なお、本例題ではフラット特性で評価するため、[A特性考慮]はOFFのままとします。
  - [データ]で"Pa01"が選択されていることを確認します。
  - 以上の設定後、**実行**をクリックすると新規のグラフが作成され、SPL分布が表示されます。

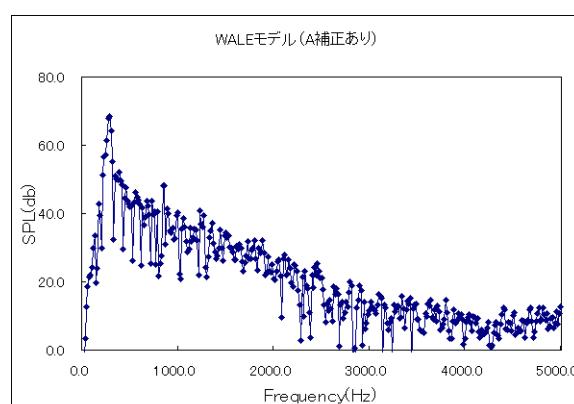
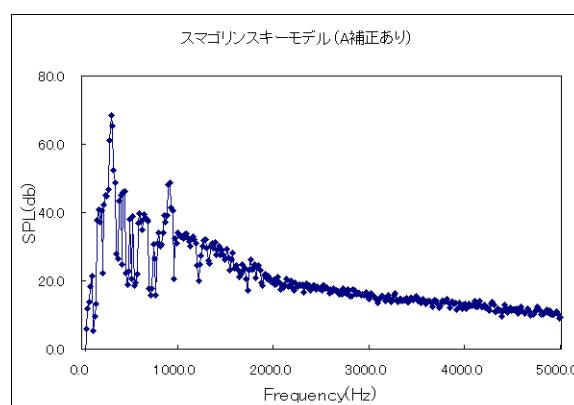
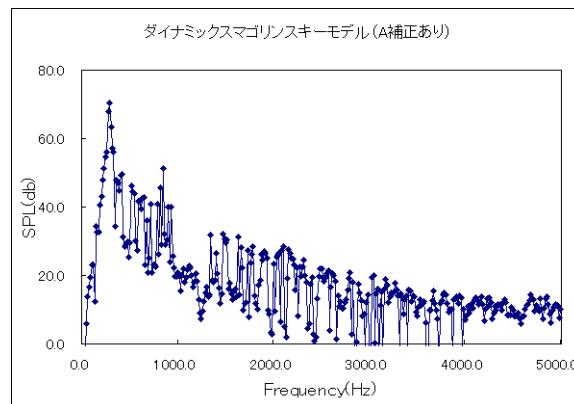


- 音圧レベル(SPL)分布(A特性による補正なし)を以下に示します。



グラフのスケールは、[文献1]の図13と同じです。なお、文献中の同図には、実験結果と加藤らのLESによる計算結果も記されています。

- 音圧レベル(SPL)分布(A特性による補正あり)を以下に示します。



## 参考文献

- 加藤ら、"LESによる流体音の予測(第1報、二次元円柱からの放射音)"、日本機械学会論文集B編、60巻569号、(1994)、pp.126-132.

---

## 機能28 空力騒音解析(弱圧縮解法)

---

---

## 機能説明

- 空力騒音とは流れによって生じる音(騒音)のことです。SCRYU/Tetraで用意されている音圧を予測する機能には以下の2つがあります。
  - 分離解法 (Ffowcs Williams & Hawking [FW-H]の式)
  - 弱圧縮性解析法
- 本例題ではこのうちの弱圧縮性解析法について説明します。
- 機能27で紹介した分離解法では発生した音は流体の運動に対して全く影響を及ぼさないことが前提となっています。しかし空力騒音問題の中には流体運動により発生した音が流体運動そのものにも影響を及ぼすケースがあります。例えば共鳴現象がその代表例です。この共鳴現象の解析では分離解法を用いることは出来ません。
- SCRYU/Tetraでは弱圧縮性解析法を採用しています。この方法の最大の特徴は、
  - 運動方程式として非圧縮性流体のNavier-Stokes方程式を利用できること
  - 圧縮性としての性質は、質量保存則にのみ現れると言うことです。つまり既存の非圧縮性流体の解析法をそのまま利用できる点にあります。これにより計算の不安定性を受けることなく共鳴現象を解析することが可能となります。
- 弱圧縮性解析法の詳細については以下をご参照ください。  
ユーザーズガイド基礎編 第2部 2.8 空力騒音解析 (3) 弱圧縮性解析法

## 注意事項

- SCRYU/Tetraで用意している方法では、以下の制限がありますのでご注意ください。
  - 音響的な影響(回折、反射、屈折、散乱など)は一切扱いません。
  - 弱圧縮性解析法では予め非圧縮性流体の計算を実行しておき、その結果を初期値として計算を始めるようにしてください。なお弱圧縮性解析法を初期計算(CYCLコマンドのNCYC1=1のとき)から使用することはできません。
  - 現バージョンでは、FW-Hの式による分離解法との併用はできません。従って弱圧縮性解析法における遠方場での音圧の計算は音圧測定点が計算領域内部に存在するように設定(または計算領域を拡張)してください。
  - 現バージョンではk-εモデルとの併用はできません。
  - 弱圧縮性解析法は、以下の機能と併用できません。

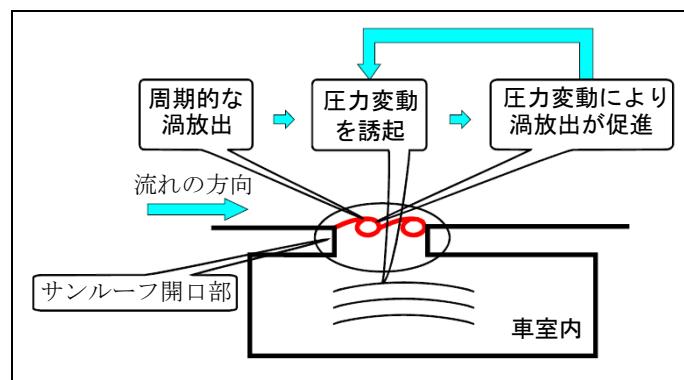
輻射、温度、密度ベースソルバー
- 通常の圧縮性流体解析の代用とすることはできません。また圧縮性解析機能と併用することもできません。

## 関連コマンド

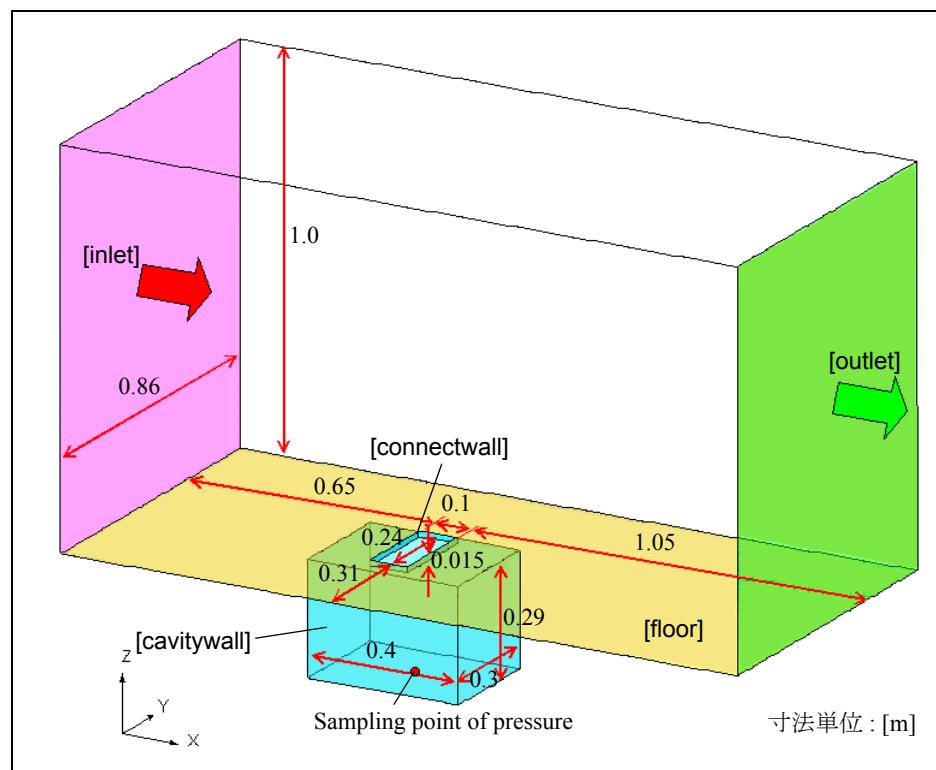
- ACMP : 弱圧縮性解析法の設定

## 例題28.1 弱圧縮性解析法によるウィンドスロップ現象

流体共鳴音の1つである"ウィンドスロップ"現象を扱います。これは、自動車のサンルーフを開けて走行するときに生じる低周波数で耳を圧迫する騒音のことです。このような流体共鳴音の生じるメカニズムとしては下図に示すように、サンルーフ開口部ではく離した渦が車室内で圧力変動を誘起しその圧力変動がさらに渦放出を促進するフィードバックループを構成する点が特徴です。なお、下図に見られる周期的な渦放出現象は、非圧縮性流体解析法で扱うことが出来ますが、共鳴音そのものは微弱な密度変動を伴うため、全体を非圧縮性流体で扱うことが出来ません。そこで本例題では稻垣ら[文献1]が提案した弱圧縮性解析法を用いて流体共鳴音の予測を行います。なお本例題は並列計算機を用いて実施されます。



### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)

## 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 空力音 : 弱圧縮性解法を用いた空力音解析を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)
 

物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

(メモ) 本例題では流速を変化させて計算しますが、流れ場におけるレイノルズ数依存性は小さいものとみなすため、物性値は常に同じ値を用います[文献1]。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定  
14, 20, 26, 34, 42 [m/s]の5種類
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [floor] : 静止壁  
[connectwall]  
[cavitywall]

### - その他

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔
 

Case1 : 非圧縮性乱流場の計算(弱圧縮解析用の初期場)

計算サイクル	:	5,000[サイクル]
初期時間間隔	:	34と42[m/s] $1 \times 10^{-6}$ [s]
	:	その他 $1 \times 10^{-5}$ [s]
クーラン数	:	1

Case2 : 弱圧縮解析

計算サイクル	:	20[m/s] 115,000[サイクル]
	:	その他 90,000[サイクル]
時間間隔指定	:	$3 \times 10^{-5}$ [s]

(メモ) 20[m/s]のケースでは比較的長周期な変動が見られるため他のケースよりも若干計算サイクル数を増やしています。
- 乱流解析のタイプ  
LES
- SGSモデル  
スマゴリンスキーモデル
- 5種類の流速を用いて計算を行います。また、弱圧縮性の効果を検証するために、同じ流速に対し、弱圧縮性と非圧縮性の両流れ場の計算を行います。
- 圧力のサンプリング点は、キャビティ底面上の中央部(0.7, 0.23, -0.304)に設定しています。

## (メモ)

- 最初に、非定常・非圧縮性流体場の解析を実行し、弱圧縮性解析法で必要な初期乱流場を作ります。その後、リスタート計算で弱圧縮性流体解析を実行します。なお、**初期計算から弱圧縮性解析を実行することはできません。**
- 解析モデル及び条件は、稻垣ら[文献1]と同じです。また流れ場のレイノルズ数依存性は小さいと思われる所以稻垣ら[文献1]と同様、キャビティ開口部長さ(0.1[m])と流速30[m/s]に基づくレイノルズ数を約200,000に固定して計算を行います。なお、流速の影響はマッハ数を通じて反映されます。

## 特記事項

### - 使用するモデル

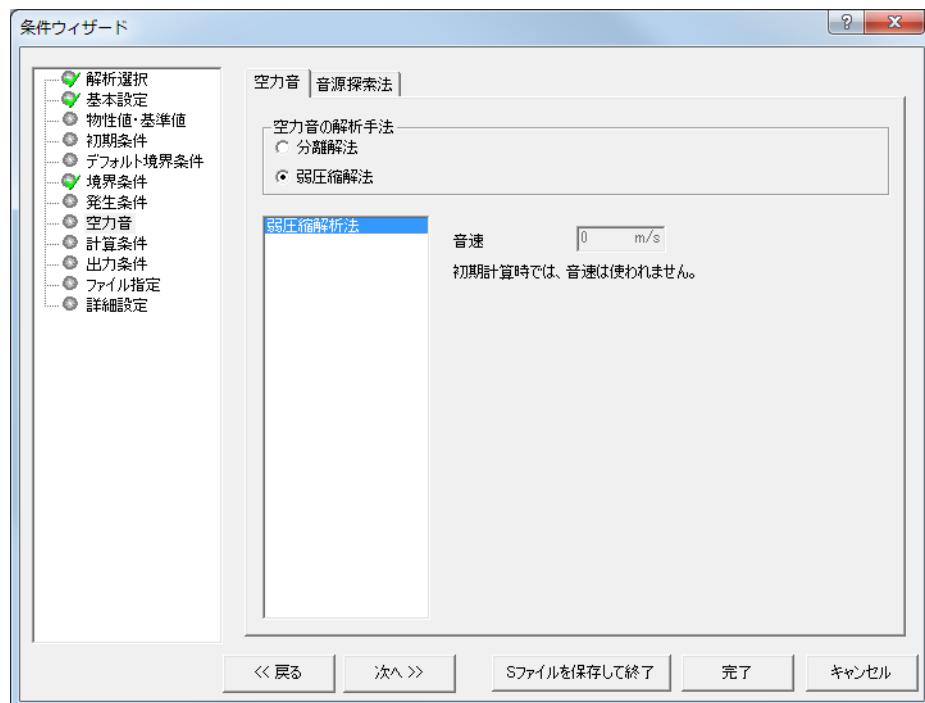
- 乱流場の計算ではLESを使用します。またスマゴリンスキ一定数は0.15(デフォルト)とします。なお現バージョンでは弱圧縮性解析法とk-εモデルとの併用は出来ませんのでご注意ください。

### - 弱圧縮性解析機能による空力音解析の設定手順

- 初期計算時の設定

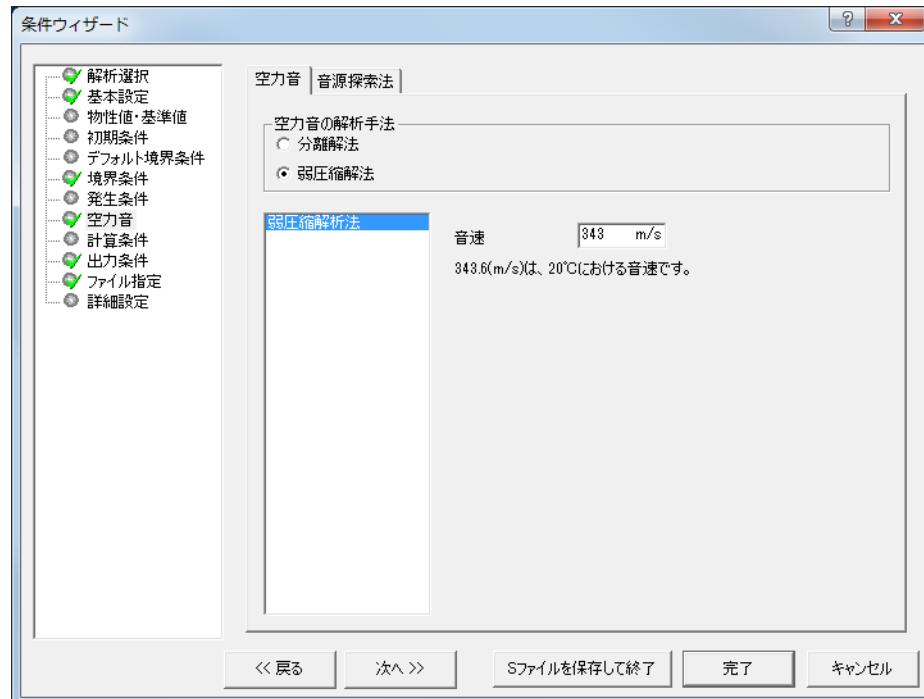
初期計算の場合([条件ウィザード] - [基本設定] - [解析方法]にある[開始サイクル]が[1]のとき)は、必ず非圧縮性流体で計算する必要があります。このときの設定方法は、次の通りです。

[条件ウィザード] - [解析選択]で[空力音]をONにします。[条件ウィザード] - [空力音]を選択すると、以下のダイアログが表示されます。ここで[弱圧縮解法]を選択します。初期計算の場合は[音速]は必ず[0 m/s]に設定され一切の変更は出来ません。



- リスタート計算時の設定

予め非圧縮性流体で計算した初期値がある場合、弱圧縮性解析はリスタート計算で実行できます。そのときの設定手順は、[音速]に対し有限値を設定するだけです。音速は[343 m/s]とします。



## 解析手順

- ここでは流入流速14[m/s]の場合について説明します。それ以外の流速を設定する場合は適宜、値を読み替えてください。

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]よりexA28-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定(Case1:非圧縮性乱流場の計算)

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、SファイルをexA28-1A\_i.sという名前で保存します。

#### 1. [解析選択]

- [乱流] - [タイプ]で[LES]を選択し、その下にある詳細をクリックします。
- [LES]ダイアログにおいて、[SGSモデル]で[スマゴリンスキーモデル]を選択します。  
また[移流項に対する差分精度]で[精度重視]を選択した上でOKをクリックします。
- [空力音]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択し、下記のように設定します。

[開始サイクル]	:	[1]
[終了サイクル]	:	[5000]

- [時間間隔の設定]で[クーラン数による]を選択します。

[初期時間間隔]	:	[1e-5 s]
[クーラン数]	:	[1]

#### 3. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、**流速規定**をクリックします。[流速規定]ダイアログの[流入流速]に[14 m/s]を設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択し**表面圧力規定**をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログで[圧力指定]の[P]に[0 Pa]が設定されていることを確認後、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[floor], [connectwall], [cavitywall]を選択し**壁面**をクリックします。Ctrlキーを押しながらクリックすることで複数の領域を同時に選択することができます。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて[フリースリップ壁]をOFFにし、[静止壁]が選択されていることを確認し、OKをクリックします。

#### 4. [空力音]

- 特記事項 弱圧縮性解析機能による空力音解析の設定手順 初期計算時の設定をご参考ください。

#### 5. [出力条件]

- [時系列]にて[指定サイクル毎に出力]を選択し、**新規**をクリックします。以下の設定を行います。OKをクリックします。

[変数リスト]	:	圧力
[(X, Y, Z) m]	:	[(0.7, 0.23, -0.304) m]

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]のチェックをONにして[exA28-1A\_i]と入力します。その後、[デフォルト名]のチェックをはずし、[PRE(入力)]を[exA28-1.pre]に変更後、[TM]をONにします。

### - 条件設定(Case2:弱圧縮解析)

Case1の設定をもとにCase2の条件設定を行います。Case1の条件設定を行っていない場合には、[ファイル]-[開く]からCase1のSファイルを読み込みます。その後、[条件ウィザード]で以下の設定変更を行い、SファイルをexA28-1A\_w.sという名前で保存します。

#### 1. [基本設定]

- 下記のように設定します。
 

[開始サイクル]	:	[5001]
[終了サイクル]	:	[95000]
- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。
 

[時間間隔]	:	[3e-5 s]
--------	---	----------

#### 2. [空力音]

- 特記事項 弱圧縮性解析機能による空力音解析の設定手順 リスタート計算時の設定をご参照ください。

#### 3. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA28-1A\_w]と入力します。その後、[デフォルト名]をOFFにして、以下のように設定します。
 

[PRE(入力)]	:	exA28-1.pre
[R(入力)]	:	exA28-1A_i.r

### - 八分木

[ファイル]-[開く]よりexA28-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素插入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[floor]			
[connectwall]	[5e-4]	[1.1]	
[cavitywall]			[5]

### - 解析実行

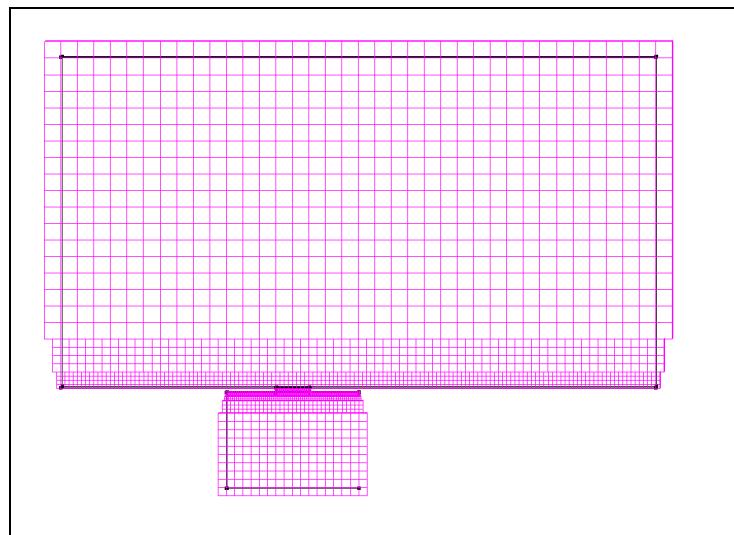
SCTsolverで解析を実行します。まずexA28-1A\_i.sを実行し、その結果を元にexA28-1A\_w.sを用いたリスタート計算を行います。

### - 計算コストの目安

- 本例題における全ての計算は、並列環境(Intel Xeon X5680 3.33GHz)にて実施しています。
- 24CPU使用時、1サイクルあたりの計算時間は、約1.5秒となります(非圧縮、弱圧縮全てのケース共通)。また90,000サイクルの計算(例えば34[m/s]のケース)における所要時間は約30時間となります。

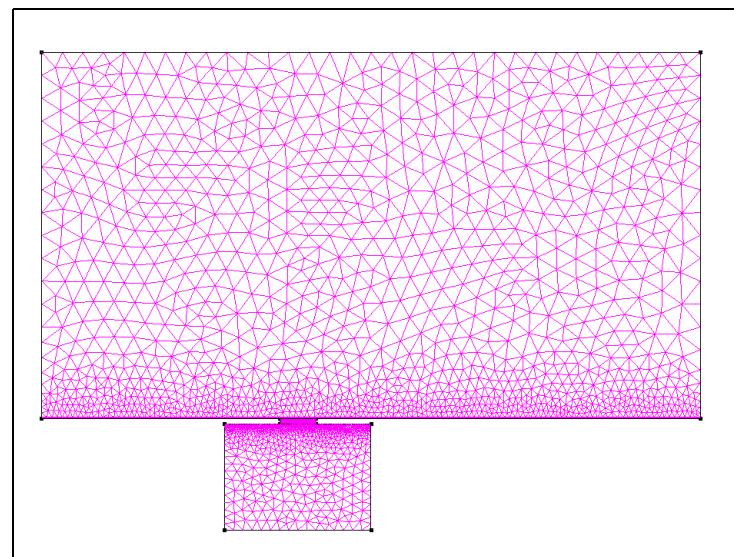
## 解析メッシュ

- 八分木図

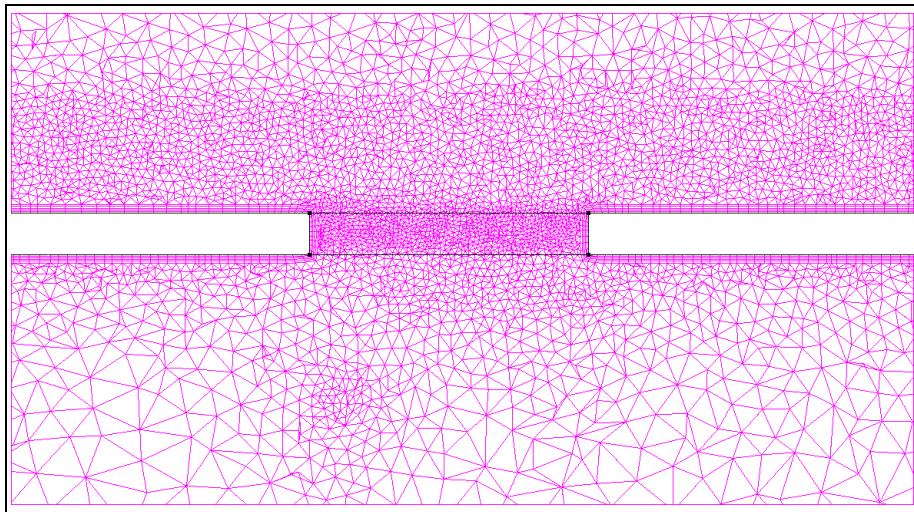


オクタントサイズ :  $0.0015625[m] \sim 0.05[m]$

- メッシュ図(全体)



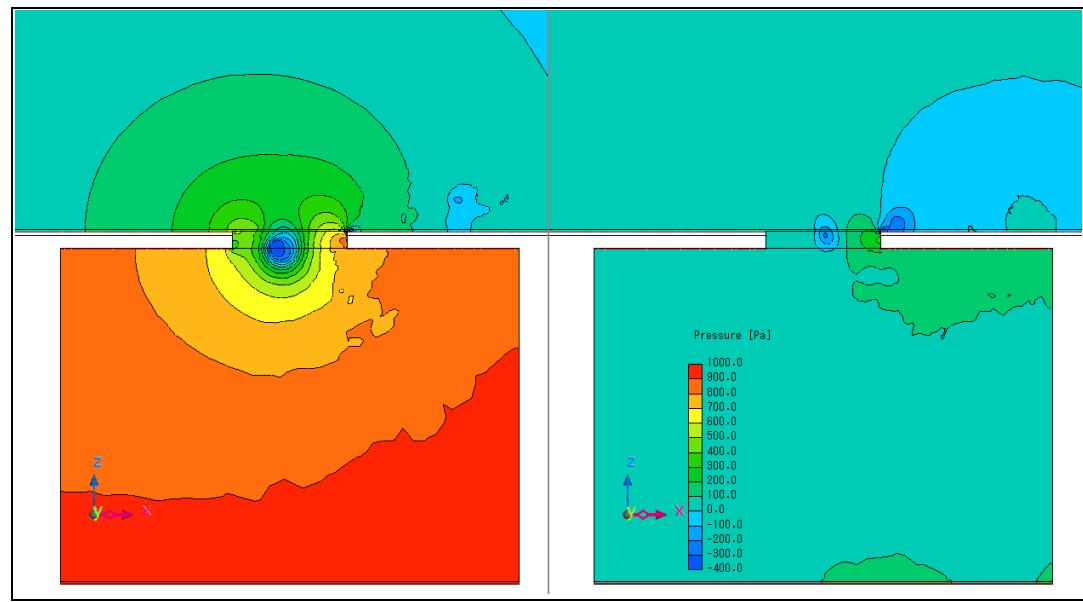
- メッシュ図(connectwall近傍)



要素数 : 4,540,991

## 解析結果

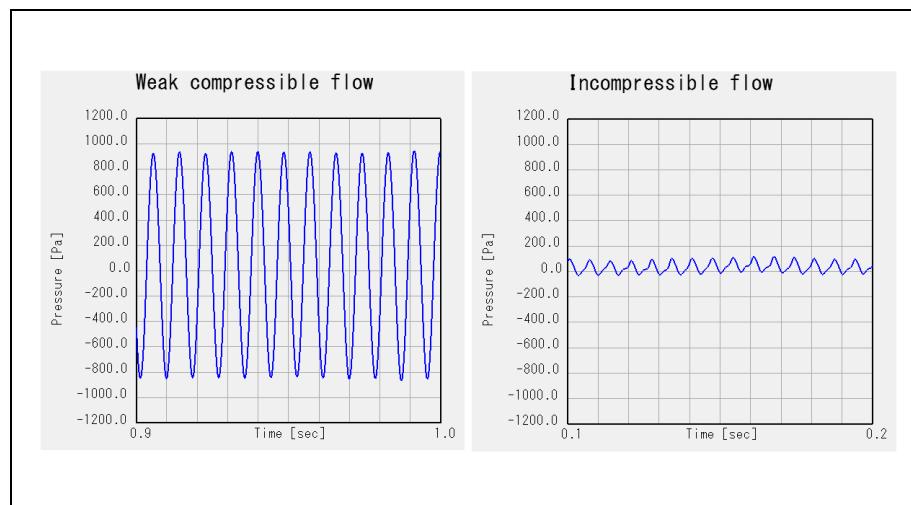
- キャビティ中心断面上の圧力分布(34[m/s]のとき)



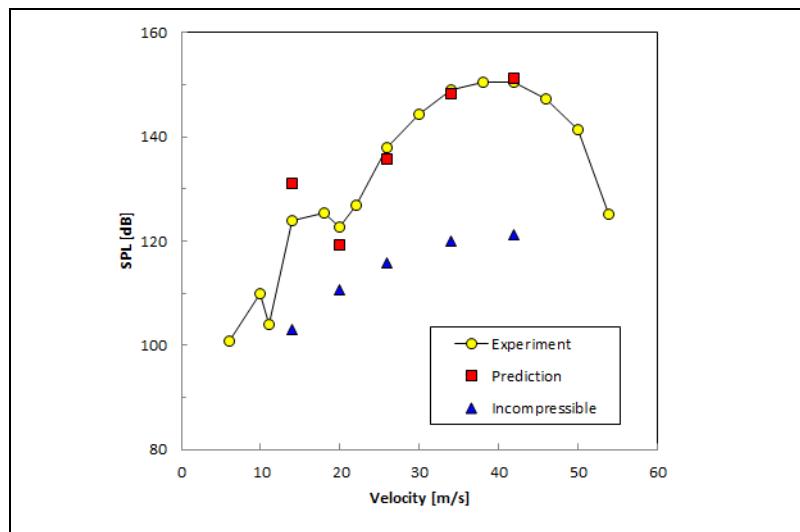
弱圧縮解析結果  
(サンプリング点の圧力が最大のとき)

非圧縮解析結果

- 圧力サンプリング点における圧力時系列データの比較(34[m/s]のとき)

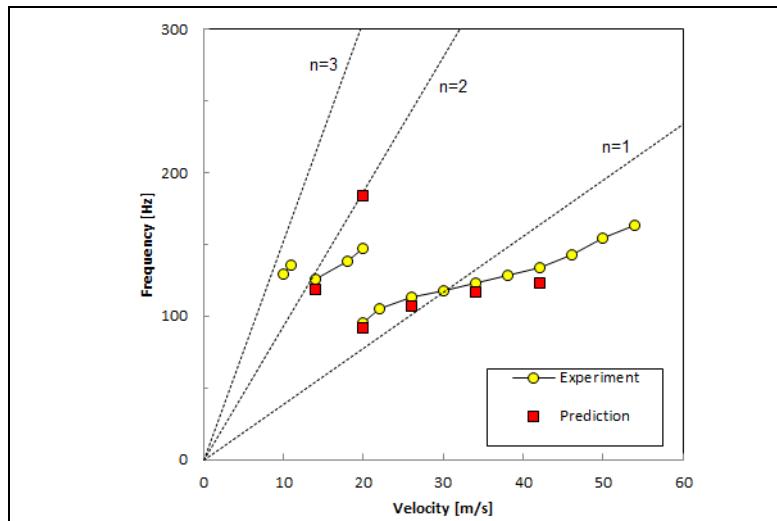


- 圧力サンプリング点における圧力値の比較(音圧レベル(SPL)に換算)



実験値は、[文献1]より引用しています。音圧レベルはSCTpostのFFT機能により求めます。なお本例題では[窓関数]として[矩形窓]を用います。14, 26, 34, 42[m/s]の開始サイクルは25,000で、20[m/s]の開始サイクルは45,000を用います。なおSCTpostのFFT機能に関しては、例題27.1 分離解法による空力騒音の予測の解析結果をご覧ください。

- 圧力振動の優位周波数の比較



図中の実験式は、Rossiterにより提案された周期的な渦放出の周波数に対する実験式を表します([文献1]にも記載されています)。

$$f_c = \frac{n - 0.25 U_0}{M + 1.75 l_c}$$

ここで、nはモードを表します(図中のn=1~3に相当)。また、Mはマッハ数、U<sub>0</sub>は主流速度、l<sub>c</sub>は開口部長さ(=0.1[m])をそれぞれ表します。

速度20[m/s]における支配的な周波数は、SPL値の大きいものから上位2箇所の値を示します。

## 参考文献

1. 稲垣ら、低マッハ数流れにおける流体共鳴音の数値解析法、日本機械学会論文集B編、66巻649号、(2000)、pp.2274-2281

---

## 機能29 凝固融解解析

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**では液体の凝固・融解という相変化を伴う流れの解析が可能です。
- 凝固・融解とは液体から固体へ、或いは、固体から液体へ相の状態が変化する現象を指します。**SCRYU/Tetra**で扱う凝固・融解機能では、相変化に伴う温度変化と流れを考慮します。また、流れを考慮せず、温度変化のみ考慮する解析も可能です。但し、**SCRYU/Tetra**での凝固・融解解析では、相変化による体積変化を考慮することはできません。
- 対象領域内の要素単位での固相、液相の体積割合(質量割合)は固相率という変数で表されます。固相率は、要素体積(質量)の何割が固相かを表す指標で、全て固相のとき1、全て液相のとき0をとります。

## 注意事項

- 凝固融解解析は、以下の機能との併用はできません。

拡散(混合ガス), 輻射(VF法), 圧縮性解析, 要素移動\*, 重格子, キャビテーション,  
密度ベースソルバー

\* VOS値が0でない領域が要素移動領域に入らなければ可

- 固体は流速0として扱われます。
- 相変化の過程での体積変化は無視されます。
- 物性条件として、潜熱、固相線温度、液相線温度、固相での比熱、液相での比熱が必要です。
- 流れなし凝固融解解析を行う場合には、初期の温度と固相率をINITコマンドで指定します。
- 流れあり凝固融解解析を行う場合には、初期計算かリスタート計算かにかかわらずICEIコマンドまたはICEBコマンドを指定する必要があります。
- 凝固融解解析時は温度計算(エネルギー式)の1サイクル内の反復計算を必要とします。この反復回数の最大値をLOPTコマンドで変更できます。
- 固体と液体の密度差は考慮しません。PROPコマンドで与える液体と固体それぞれの平均値が解析には用いられます。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [Volume of solid (VOS)] : 固相率

### - 計算時メッセージ

- エネルギー方程式の反復計算に関する情報と、計算領域内の各相の体積と質量が出力されます。詳しくは、ユーザーズガイド リファレンス(ソルバー)編 3.1 (17) 凝固融解解析を参照してください。

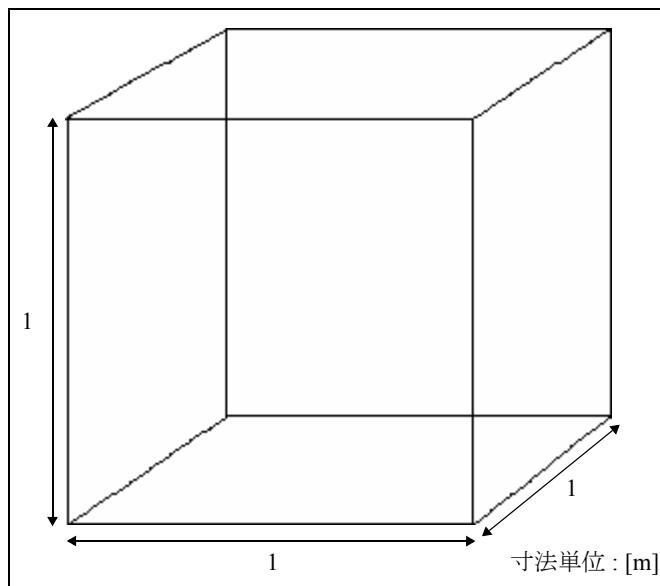
## 関連コマンド

- ICEB : 初期の固相領域の定義
- ICED : 凝固融解解析での規定値の変更
- ICEP : 凝固融解解析でのMushy領域(多孔質体)の透過率の設定
- LOPT : 温度の反復計算に必要な収束判定基準、最大繰り返し回数の設定
- PROP : 凝固融解解析に必要な物性値の設定

## 例題29.1 流れなし凝固融解

流れを考慮しない凝固融解解析を行います。初期時刻では固体(固相率1.0)です。発熱を与えると、溶けて液体(固相率0.0)になります。

### 解析モデル



凝固融解解析(流れを解きません)

解析領域は1辺が長さ1[m]の立方体です。発熱は全領域に一様に与えます。固相率および温度は時間とともに変化しますが、空間的には一様のままです。

### 解くべき方程式

- エネルギー保存式

### 解析選択

- 温度 : 温度の解析を行います。
- 凝固融解 : 流れを考慮しない凝固融解解析を行います。

### 解析条件

#### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

#### - 物性値

- MAT=1 : 密度 1.0[kg/m<sup>3</sup>]  
熱伝導率 1.0[W/(m•K)]  
固体の比熱 1.0[J/(kg•K)]  
液体の比熱 0.5[J/(kg•K)]  
潜熱 1.0[J/kg]  
固相線温度 0.0[°C]  
液相線温度 0.0[°C]

(メモ) 物性の設定方法は、**特記事項 物性の設定方法**を参照してください。

#### - 初期条件

- 初期温度(MAT=1) : -1.0[°C]
- 初期固相率(MAT=1) : 1.0[-]

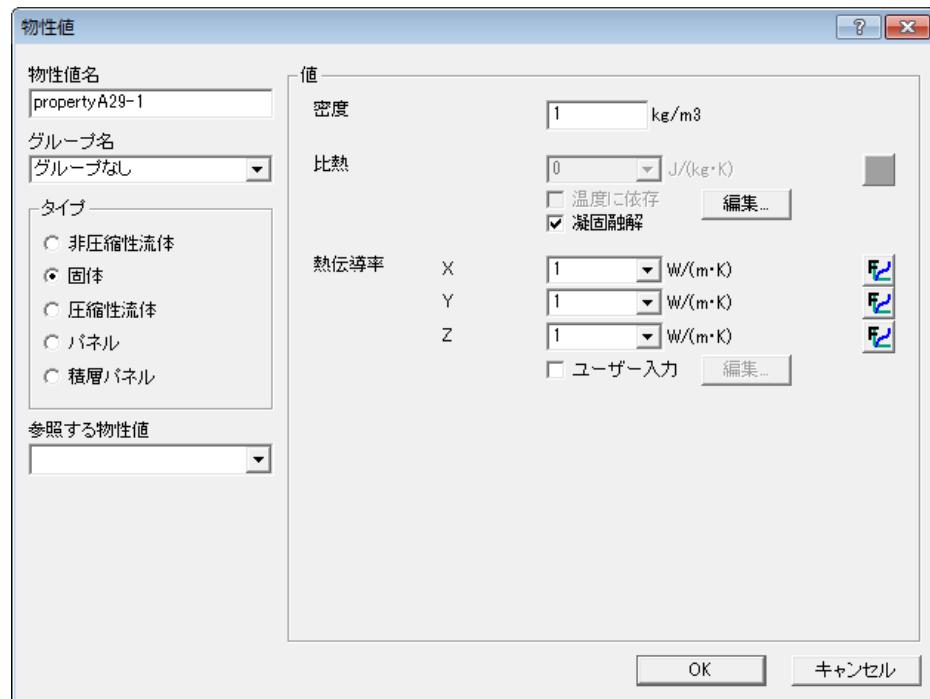
#### - その他

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : 300[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.01[s]
- 発熱条件  
MAT=1に発熱1.0[W/m<sup>3</sup>]を与えます。
- 温度、固相率の平均値をLファイルに出力します。
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔 10[サイクル])  
初期場を出力する

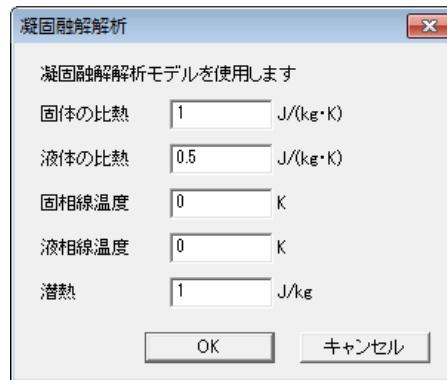
## 特記事項

### - 物性の設定方法

- [物性値・基準値] - [物性値]タブで新規作成をクリックします。[物性値]ダイアログにて、[タイプ]として[固体]を選択し、[密度]と[熱伝導率]を下図のように設定します。



- さらに、[凝固融解]にチェックを入れ、編集をクリックすると[凝固融解解析]ダイアログが出てきますので、[固体の比熱], [液体の比熱], [固相線温度], [液相線温度], [潜熱]を下図のように入力します。



- OKをクリックし、[物性値]ダイアログに戻り、さらにOKをクリックします。  
[物性値]タブに戻った状態で、MAT[1]を選択します。[物性値]から先ほど作成した物性を選択して適用をクリックします。

### - 初期条件の設定方法

- [初期条件] - [初期値]タブで新規をクリックします。[初期値]ダイアログにて[変数]として[温度]、[値]は-1、[対象]では[領域で指定する]を選び、mat1にチェックを入れ、OKをクリックします。

- 同様に新しい[初期値]ダイアログにて、[変数]は[固相率(流れなし凝固融解)]、[値]は1、[対象]では先程と同様mat1を選択し、OKをクリックします。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA29-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]をOFFにします。
- [温度]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択し、以下の設定を行います。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [300]

- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択し、以下の設定を行います。

[時間間隔] : [0.01 s]

#### 3. [物性値・基準値]

- 特記事項 物性の設定方法を参照してください。

#### 4. [発生条件]

- [領域]から[mat1]を選択して、熱・煙・乱流・質量をクリックし、[発熱・発煙・乱流生成・質量発生条件]ダイアログで以下の設定を行います。

[発生] : [発熱]を選択

[発熱量の指定方法] : [単位体積あたりの発熱量を指定]を選択

[単位体積の発熱量] : [1 W/m<sup>3</sup>]

- 以上の設定が完了したら、OKをクリックします。

#### 5. [出力条件]

- リストから[領域平均値・総量]を選択します。新規をクリックし[領域平均・領域総量のアイテム]ダイアログで以下の設定を行います。

[対象となる領域] : [体積領域]を選択し、[mat1]をON

[変数] : [温度]を選択

[重み] : [体積]を選択

- 以上の設定が完了したら、OKをクリックします。

- さらに新規をクリックし以下の設定を行います。

[対象となる領域] : [体積領域]を選択し、[mat1]をON

[変数] : [固相率]を選択

[重み] : [体積]を選択

- 以上の設定が完了したら、OKをクリックします。

- リストから[FLD(サイクル)]を選択します。[出力のタイミング]で[指定サイクル毎に出力]を選択して、[サイクル間隔]を[10]とします。また、[初期場]について[出力する]をONにします。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA29-1]と入力します。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA29-1.oct を読み込みます。

#### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログからメッシュを作成します。本解析では境界層要素の挿入を行いません。

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約8秒

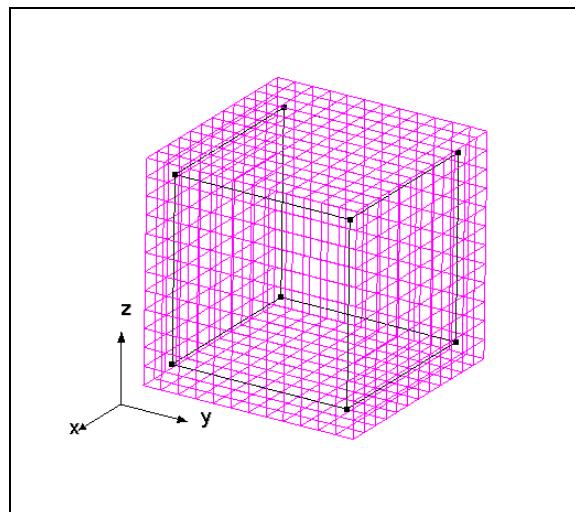
- 計算サイクル数

300サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

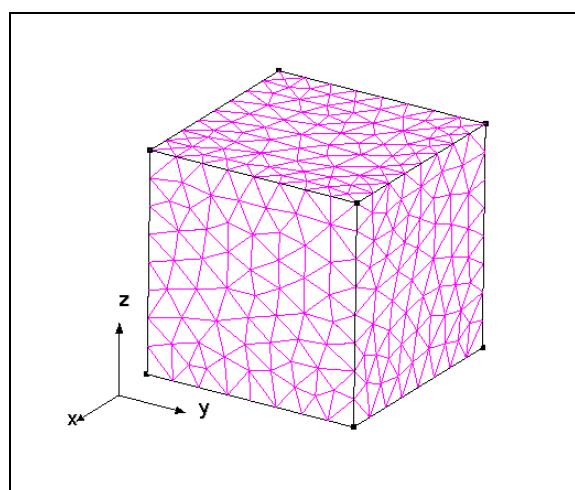
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.1[m]

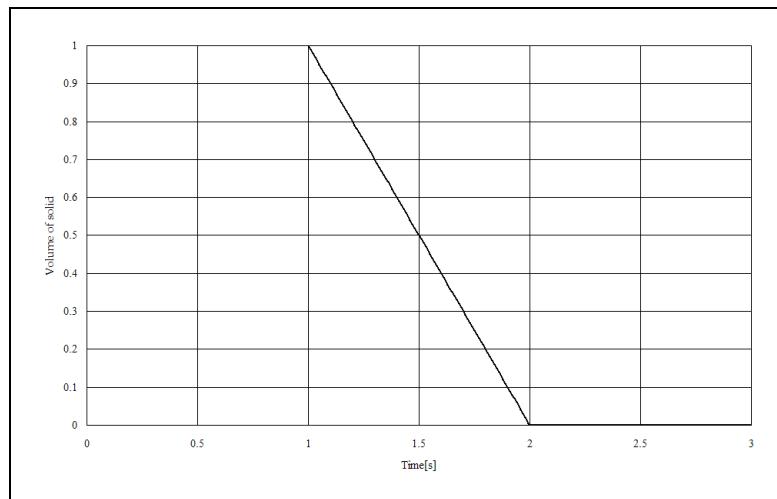
- メッシュ図



要素数 : 7,274

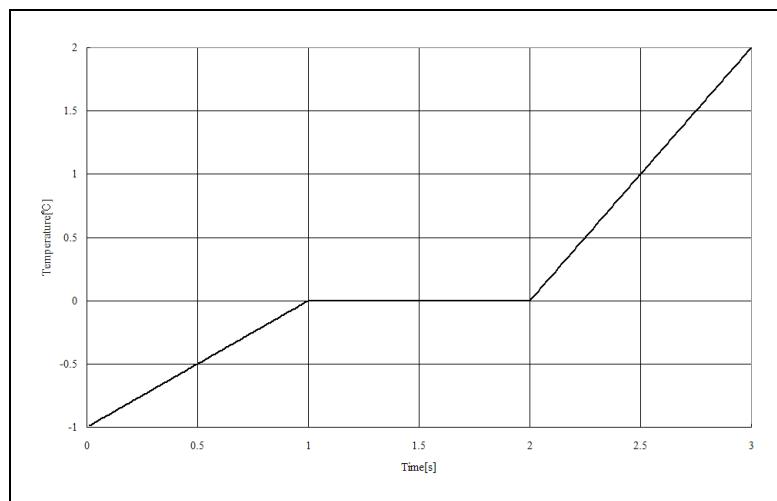
## 解析結果

- 平均固相率の時間変化



Lファイルに出力された平均固相率の時間変化です。

- 平均温度の時間変化

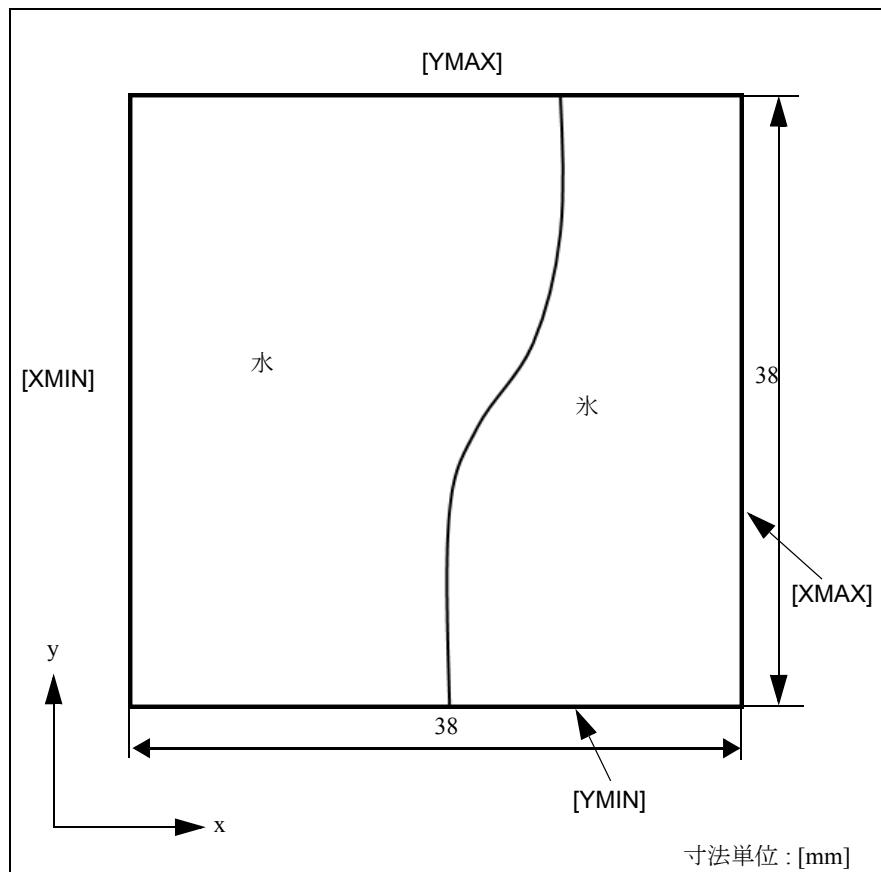


Lファイルに出力された平均温度の時間変化です。

## 例題29.2 密閉空間内の氷結(凝固)をともなう自然対流

凝固融解解析機能を用いて、氷結をともなう密閉空間内の自然対流の解析を行います。

### 解析モデル



疑似2次元非圧縮性層流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー方程式

### 解析選択

- 流れ : 層流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 凝固融解 : 流れを考慮した凝固融解解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

• MAT=1(液相) :	水(非圧縮性5°C)	
	密度	999.97 [kg/m <sup>3</sup> ]
	粘性係数	0.0015317 [Pa•s]
	比熱	4,204 [J/(kg•K)]
	熱伝導率	0.5722 [W/(m•K)]
• MAT=2(固相) :	透明氷(273K)-凝固融解	
	密度	917 [kg/m <sup>3</sup> ]
	熱伝導率	2.2 [W/(m•K)]
	固体の比熱	2,000 [J/(kg•K)]
	液体の比熱	4,204 [J/(kg•K)]
	固相線温度	0 [°C]
	液相線温度	0 [°C]
	潜熱	334,400 [J/kg]

### - 境界条件

• 壁面	[XMIN] :	静止壁 壁面温度を外部温度に固定 10[°C]
	[XMAX] :	静止壁 壁面温度を外部温度に固定 -10[°C]
	[YMIN], [YMAX] :	静止壁 外部温度との間に熱伝達係数を設定する 熱伝達係数 20[W/m <sup>2</sup> K] 外部温度 25[°C]
	[ZMIN], [ZMAX] :	フリースリップ壁 断熱

### - 初期条件

- 初期温度(液相) : 5[°C]
- 固相率 : 全域で0

### - その他

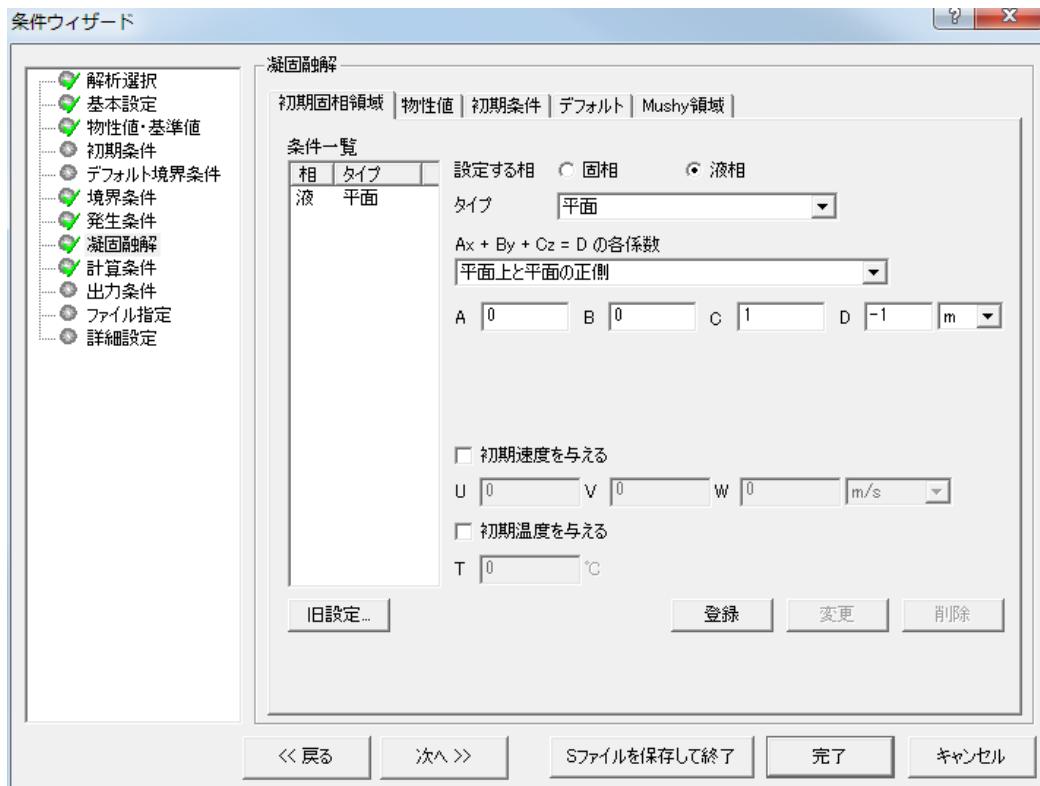
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 500[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 圧力固定  
 $(X, Y, Z) = (0.019, 0.01, 0.0005)$  : 圧力値0[Pa]

## 特記事項

### - 凝固融解の条件設定方法

- 初期固相領域の設定は、[初期固相領域]タブで行います。以下の設定を行い、登録をクリックします。

[設定する相] : [液相]  
 タイプ : [平面]  
 [Ax+By+Cz=Dの各係数] : [平面上と平面の正側]  
 [(A, B, C, D)] : [(0, 0, 1, -1 m)]



### 注意事項

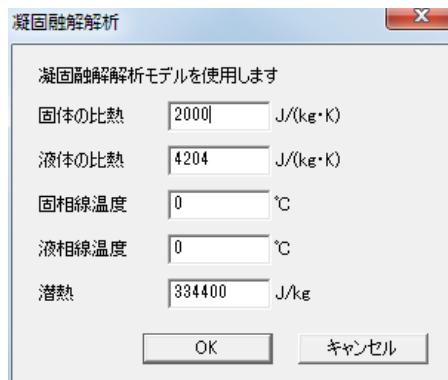
解析領域内全域で固相率を0とする設定を行っています。

- 次に、[物性値]タブで、MAT番号を割り当てます。MAT番号[1]はすでに[物性値・基準値]で設定した物性が割り当てられています。ここでは、MAT番号[2]に物性値を設定します。

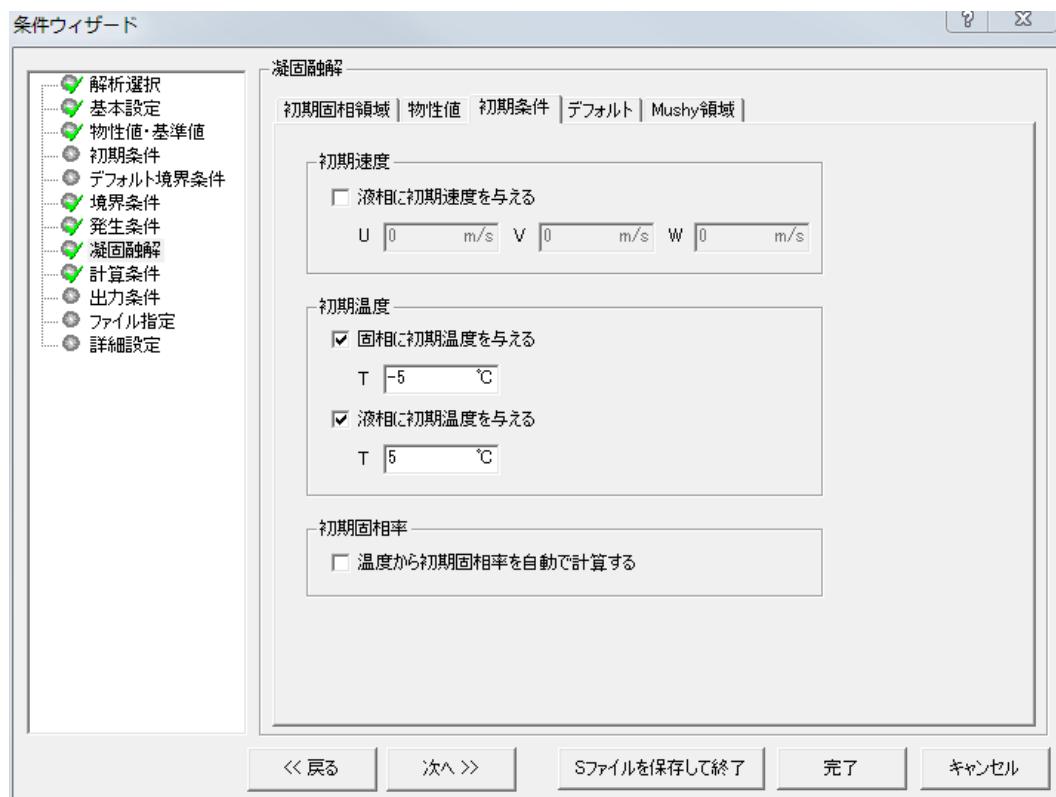
- [物性値]タブで[固体の物性]の編集をクリックすると、[物性値]ダイアログが開きます。[物性値名], [密度], [熱伝導率]に下図のように入力し、[凝固融解]にチェックを入れて編集をクリックします。



- ・ [凝固融解解析]ダイアログで下図にあるように数値を入力します。



- ・ 次に[初期条件]タブで[初期温度]を次のように入力します。



- [デフォルト]タブの[熱伝達条件]で[熱伝達係数を設定する]を選択し、下図のように数値を入力します



#### - ユーザー関数

- 水の密度は約4°Cで最大値をとり、温度が上がる(あるいは下がる)にしたがって密度は減少します。このことから体膨張率を一定としたブシネスク近似を用いるかわりに、ユーザー関数を用いることで浮力を考慮します。すなわち、FORCコマンドを用いて運動量保存式に次の体積力を考慮します。

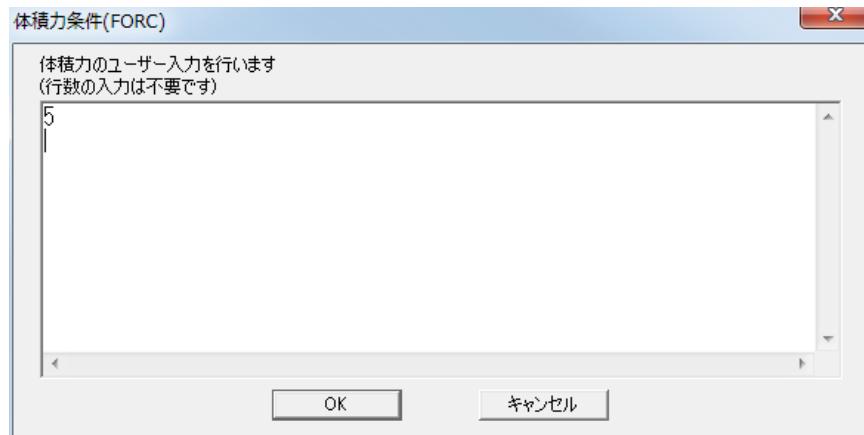
$$F_r = -g(\rho(T) - \rho_0) \quad (1)$$

ここで、 $g$ は重力、 $\rho$ は密度、 $\rho_0$ は基準密度、 $T$ は温度を表します。FORCコマンドのユーザー関数を用いてこの体積力を考慮します。ユーザー関数作成の流れは、ユーザーズガイドリファレンス(ソルバー)編 2.3 設定関数の使用方法をご参照ください。

- [条件ウィザード] - [発生条件]で、[all]を選択して体積力をクリックします。図のように [力を受ける方向]と[力を表す式]を指定します。[ユーザー入力]をONにし、[C]には[1]を入力します。



- 続けて、**編集**をクリックします。この編集は、次のような場合に使用します。ユーザー関数で設定する数値を変数として、異なる値を入力して解析を実行したい場合があります。ソースファイル(sct10\_us.c)の中の数値をその都度変更し、DLLファイルを再作成するのは手間ですので、Sファイルから変更したい数値だけを読み込めば便利です。具体的に、ユーザー関数の中でSファイルから数値を読み込む方法は後ほど説明します。この**編集**は、ユーザー関数に数値や文字列等を渡したいときにクリックし、次に現れるダイアログで入力を⾏います。例えば、この例題では式(1)中の基準密度が異なる場合に解析を実行したいとします。本例題では基準密度のかわりに基準温度を入力し、基準密度はユーザー関数内で基準温度から求めるようにします。次の図のように、ダイアログでT<sub>0</sub>の値を入力し、OKをクリックします。



このように入力すると、SファイルのFORCコマンドは以下のようになります。

```

FORC
%CNAM Forc_1
-2           1           0           0   3   0
1           ←ユーザー関数に渡す入力値は、次の1行である。
5           ←基準温度[℃]
all
/
/

```

上の囲い中の4行目の1は、SCTpreでは入力しなくてもSファイルに出力されます。これは、上の図のダイアログで、何行分の入力を行ったかが自動で出力されるようになっています。この値は、各ユーザー関数の引数nlinesに渡され、参照する事が可能です。ただし、本例題では、ユーザー関数でこれを参照しておりませんので、特別な意味はありません。

- これら編集をクリックして現れるダイアログで入力した値は、自動でユーザー関数には渡されませんので、例えば、次のようにソースファイルでSファイルから読み込むというプログラムを組み込む必要があります。

```

fprec ICE_T0;
void usr_forc(int isw,int nlines)
{
    char line[200];
    char msg[200];

    usf_getline(line,200);
    sscanf(line,"%lf", &ICE_T0);

    sprintf(msg, " ICE_T0 = %g\n", ICE_T0);
    usf_sout(msg);
}

```

これにより、Sファイルから1つの数字を読み込むという処理を、ユーザー関数で実現できます。この値を変更して解析を行いたい場合は、Sファイルを作成し直せばよいことになります。なお、このようなパラメータとなる変数が不要な場合、直接ソースコードの中で値を入れておけば、SCTpreで編集をクリックして入力する必要はありません。

- ユーザー関数(sct10\_us.c)の内容

sct10\_us.cの以下の部分を変更し、sctusr\_Dx64.dllを作成します。SCTsolverはSファイルと同じディレクトリにあるsctusr\_Dx64.dllを使用しますので、作成したDLLファイルを、Sファイルと同じディレクトリに置いてSCTsolverを実行します。

```
fprec ice_rho(fprec T)
{
    double RHO_ICE = 999.84;
    double RHO_Tmax = 995.65; /* 30 degC */
    double R[] = {
        999.84, 999.90, 999.94, 999.97, 999.97, /* 0 - 4 deg C */
        999.97, 999.94, 999.90, 999.85, 999.78, /* 5 - 9 */
        999.70, 999.61, 999.50, 999.38, 999.24, /* 10 - 14 */
        999.10, 998.94, 998.77, 998.60, 998.41, /* 15 - 19 */
        998.20, 997.99, 997.77, 997.54, 997.30, /* 20 - 24 */
        997.04, 996.78, 996.51, 996.23, 995.94, /* 25 - 29 */
        995.65, /* 30 */
    };
    double R1, R2;
    double Tmin = 0.0, Tmax = 30.0, Tinc = 1.0;
    double TR, a;
    int i1, i2, imax = (int)Tmax;

    if (T < Tmin) return (fprec)RHO_ICE;
    else if (T > Tmax) T = (fprec)Tmax;

    i1 = (int)T;
    i2 = i1 + 1;
    if (i2 > imax) i2 = imax;

    R1 = R[i1];
    R2 = R[i2];

    TR = T - i1;
    a = (R2 - R1) / Tinc;

    return (fprec)(a * TR + R1);
}
fprec ICE_T0;
void usr_Forc(int isw, int nlines)
{
    char line[200];
    char msg[200];
    usf_getline(line, 200);
    sscanf(line, "%lf", &ICE_T0);
    sprintf(msg, " ICE_T0 = %g\n", ICE_T0);
    usf_sout(msg);
}
void use_forc(int isw, int ie, int ifa, fprec *coef)
{
    fprec rho, t, RHOR;
    fprec ice_rho(fprec T);

    rho = usf_rho2elem(ie);
    t = usf_telem(ie);
    RHOR = ice_rho(ICE_T0);

    coef[0] = -(fprec)(9.8 * (ice_rho(t) - RHOR) / rho);
    coef[1] = 0.0;
    coef[2] = 0.0;
}
```

(メモ) sctusr\_Dx64.dllの作成手順については、[ユーザーズガイド リファレンス \(ソルバー\)編 第2章](#)  
ユーザー関数を参照してください。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA29-2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [流れ]にて[層流]を選択します。
- ・ [温度]をONにします。
- ・ [凝固融解]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [500]

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ 新規作成をクリックして、[物性値]ダイアログを開き、次のように入力してOKをクリックします。

[密度] : [999.97 kg/m<sup>3</sup>]

[粘性係数] : [0.0015317 Pa·s]

[定圧比熱] : [4204 J/(kg·K)]

[熱伝導率] : [0.5722 W/(m·K)]

- ・ [物性値]タブに戻った状態で、MAT[1]を選択します。[物性値]から先ほど作成した物性を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- ・ [領域]から[XMIN]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に、[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにして、以下のように入力します。

[条件値] : [壁面温度を外部温度に固定]を選択

[外部温度] : [10 °C]

最後にOKをクリックしてダイアログを閉じます。

- ・ 同様に、[領域]から[XMAX]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に、[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにして、以下のように入力します。

[条件値] : [壁面温度を外部温度に固定]を選択

[外部温度] : [-10 °C]

最後にOKをクリックしてダイアログを閉じます。

- ・ [領域]から[YMIN]と[ymax]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に、[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにして、以下のように入力します。

[条件値] : [外部温度との間に熱伝達係数を設定する]を選択

[熱伝達係数] : [20 W/(m<sup>2</sup>·K)]

[外部温度] : [25 °C]

最後にOKをクリックしてダイアログを閉じます。

## 5. [発生条件]

- 特記事項 ユーザー関数を参照してください。

## 6. [凝固融解]

- 特記事項 凝固融解の条件設定方法を参照してください。

## 7. [計算条件]

- リストから[緩和係数]を選択します。[方程式]と[緩和係数]をそれぞれ以下のように登録します。

[U], [V], [W] : [0.6]  
 [T] : [0.9]

- 流入流出境界がない非圧縮計算ですので、圧力固定の設定を行います。リストから[圧力]を選択し、以下のように入力します。

[場所(X, Y, Z)] : [(0.019, 0.01, 0.0005) m]  
 [圧力] : [0 Pa]

最後に、**登録**をクリックします。

## 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA29-2]と入力します。

## - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA29-2.oct を読み込みます。

## - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[XMIN]			
[XMAX]			
[YMIN]			
[YMAX]			

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで**詳細設定**をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

## - 解析実行

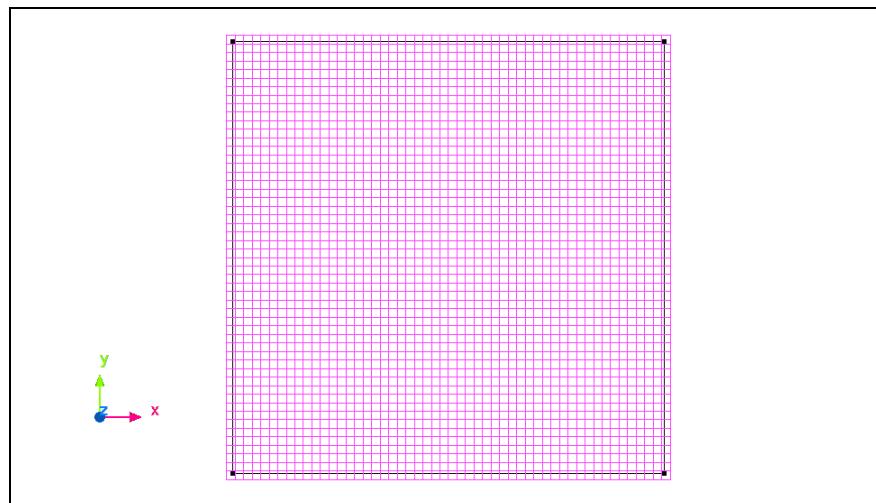
作成したユーザー関数のDLLファイルを、Sファイルと同じフォルダに置いた(コピーした)上で、SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約5分
  - 計算サイクル数  
約200サイクル
- \* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

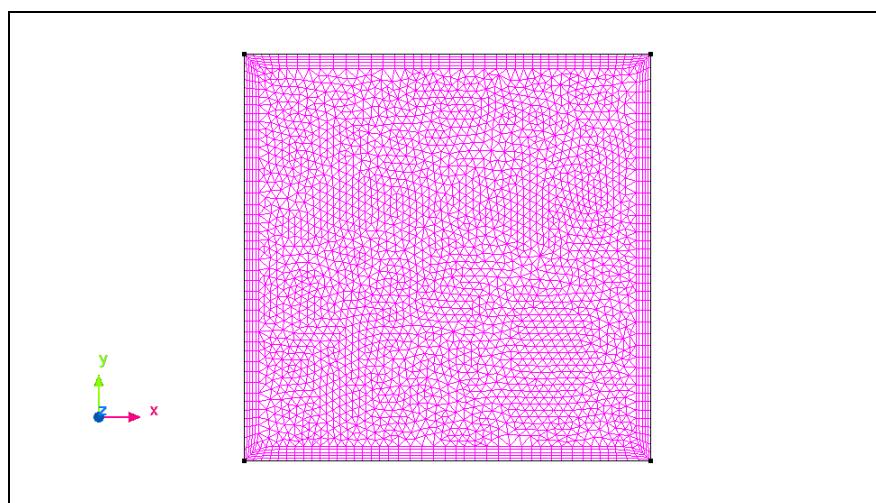
### 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.00075[m]

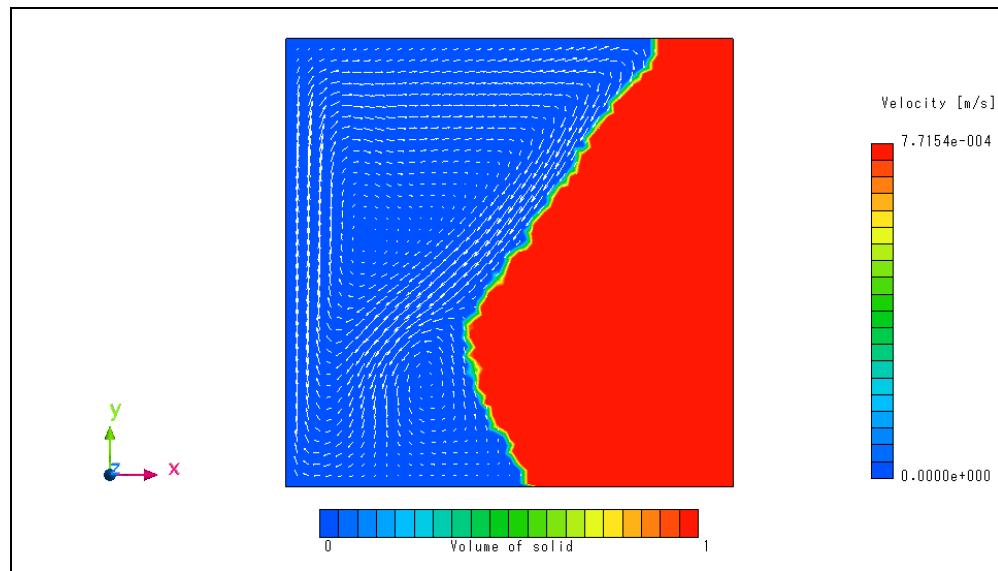
- メッシュ図



要素数 : 5,326

## 解析結果

- 固相率分布と速度ベクトル



---

## 機能30 キャビテーション

---

---

## 機能説明

- 液体の蒸気圧(ここでは飽和蒸気圧を単に蒸気圧と記します)は温度で決まります。加熱により液体が沸騰するのは蒸気圧が上昇し大気圧を超えるからです。一方、常温でも蒸気圧以下に減圧すれば液体を沸騰させる事は可能です。さて、プロペラなどで液体を高速に加速するとその場所の圧力が下がります。この時もし圧力が蒸気圧以下になれば、液体は蒸発し始め気泡が生ずる事になります。この現象をキャビテーションと呼びます。キャビテーションはポンプの性能低下など流体機器にさまざまな悪影響を及ぼします。
- キャビテーション流れを数値解析するにはキャビテーションのモデル化が必要ですが、**SCRYU/Tetra**では二相一流体モデルを用います。二相一流体モデルは気相と液相が局的に均質とみなしそうな動きをすると仮定します。

## 注意事項

- キャビテーション解析は、以下の機能との併用はできません。

非圧縮性流体\*, 自由表面, 空力騒音解析

\* フルキャビテーションモデル、Kunzモデルは可。

- キャビテーション解析では代表温度Tを指定し等温変化を仮定します。つまりエネルギー式は解きません。
- 気相の質量分率Yは第1拡散物質CN01として求めます。つまり拡散計算を指定します。
- 計算の安定性から非圧縮計算で初期場を作成し、非定常解析でキャビテーション解析を行うことを推奨します。
- バロトロピーモデルを用いた場合、気泡の消滅は考慮されません。また、質量分率 Y=0 の初期状態や流入条件は可能ですが、計算の安定性からボイド率換算で  $\alpha=0.001$  程度を設定する様にしてください。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [ボイド率(ALPH)] : 流体のボイド率

### - 計算時メッセージ

- 解析領域内の液相と気相のそれぞれの質量[kg]と体積[m<sup>3</sup>]が、体積領域とそれ以外の領域、およびそれらの合計に分けて出力されます。詳しくは、ユーザーズガイドリファレンス(ソルバー)編 3.1 (33) キャビテーションを参照してください。

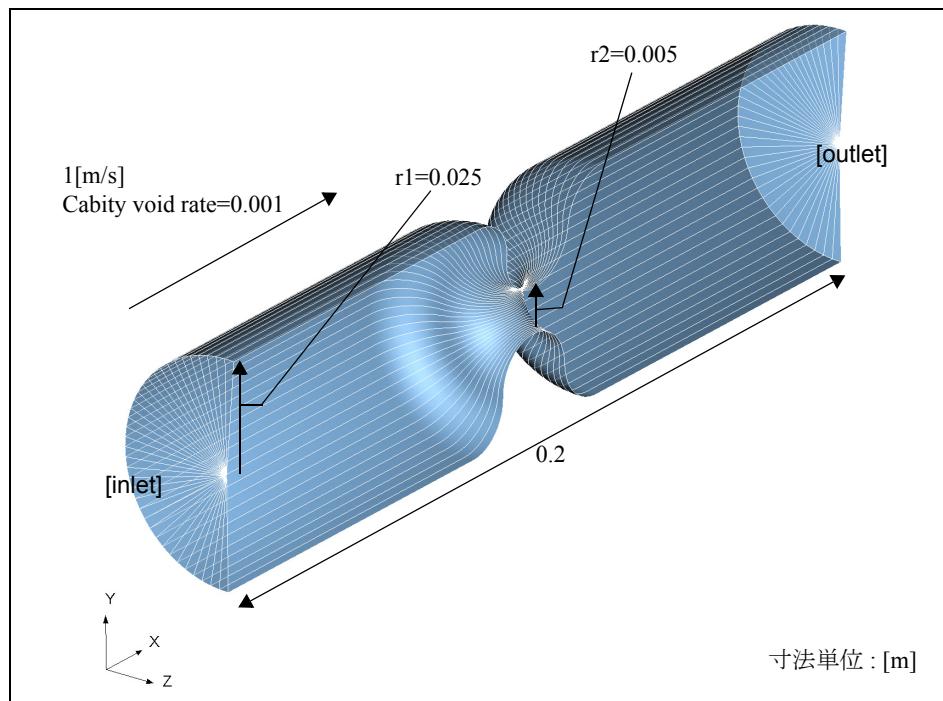
## 関連コマンド

- CAVD : キャビテーションでの様々な既定値の変更
- CAVR : キャビテーションで指定圧での質量分率、ボイド率の出力
- CAVT : キャビテーションモデルの選択

## 例題30.1 キャビテーション

水が絞り部を通過して流れる際に生じるキャビテーションの解析を行います。

### 解析モデル



疑似2次元圧縮性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式
- 拡散物質保存式

### 解析選択

- 拡散(キャビテーション) : キャビテーション解析のため拡散を考慮します。
- 周期境界 : 周期境界を使用して、疑似2次元解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向-9.8[m/s<sup>2</sup>])

### - 物性値

- CASE1 <初期流れ場を得るための定常解析(非圧縮性)>

MAT=1 : 密度 1,000[kg/m<sup>3</sup>]  
粘性係数 0.0012[Pa•s]

- CASE2 <本計算(圧縮性)>

MAT=1 : 水(27°C)  
物性値ライブラリより[流体(キャビテーション)] - [水(キャビテーション27°C)]を使用します。  
拡散物質1 : 気泡  
粘性係数 1.20×10<sup>-5</sup>[Pa•s]

### - 基準値

- 基準圧力(MAT=1) : 101,325[Pa]
- 基準密度(MAT=1) : 0[kg/m<sup>3</sup>]

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 1[m/s], ボイド率0.001
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0[Pa], ボイド率0.001
- 壁面 [wall] : 静止壁
- 周期境界面 [p1], [p2] : 周期境界面のタイプ 平面  
回転移動 回転角度5[度]  
回転軸 PX=1

### - 初期条件

- CASE1  
デフォルト(設定不要)
- CASE2 <本計算(圧縮性)>  
第1拡散物質(ボイド率指定) : 0.001

### 注意事項

リスタート時に初期条件を有効とするには、[初期条件]-[リスタート計算]で有効の設定を行う必要があります。本例題では[指定サイクルから始まるリスタート計算の場合に有効]を選択し、リスタート計算の開始サイクルを入力します。

### - その他

- 乱流モデル  
標準k-εモデル
- 解析の種類  
非定常解析(初期流れ場は定常解析から得ます)
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : CASE1 100[サイクル]  
CASE2 200[サイクル]  
時間間隔(CASE2) : 初期時間間隔 0.0001[s]  
クーラン数 0.9

## 特記事項

### - キャビテーション解析の注意事項

- キャビテーションでは気液混合状態を表現する必要があります。そのためにTammannによる気液2相媒体の状態方程式[文献1]を使用します。気相に加え液相も表現するために液体定数などの新たな値が必要になります。ここでは水-水蒸気を想定しています。
- 第1拡散物質濃度を気体の質量分率Yと見なします。状態方程式はYをパラメータとしY=0の純液体からY=1の純気体まで、一般の混合状態の密度を与えます。
- 急激な密度変化が予想されるため、安定な非定常での解析を推奨します。その時、流れ場の形成に時間がかかるので、可能ならばキャビテーションを無視した通常の非圧縮定常解析で初期場を計算しておきます。ここでは単純な水流を定常解析し、その結果を基にキャビテーションの非定常解析を行います。このような解析をリスタート解析と呼びます。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]よりexA30-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定(CASE1)

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [周期境界]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [100]

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、新規作成をクリックします。[物性値]ダイアログで以下のように入力し、OKをクリックします。

[密度] : [1000 kg/m<sup>3</sup>]

[粘性係数] : [0.0012 Pa·s]

[定圧比熱] : [0 J/(kg·K)]

[熱伝導率] : [0 W/(m·K)]

- MAT[1]を選択します。続けて、先ほど作成した物性値を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]に[1 m/s]を入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]に[0 Pa]が設定されていることを確認後、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[wall]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

## 5. [周期境界]

- [周期境界条件]タブにて、下記設定を行い登録をクリックします。

[領域1]	:	[p1]
[領域2]	:	[p2]
[周期境界面のタイプ]	:	[平面]
[回転角度]	:	[5 度]
[回転軸の方向成分(PX, PY, PZ)]	:	[(1, 0, 0)]

## 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA30-1s]と入力します。次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA30-1.pre]とします。

### - 条件設定(CASE2)

CASE1の設定をもとにCASE2の条件設定を行います。CASE1の条件設定を行っていない場合には、[ファイル] - [開く]からCASE1のSファイルを読み込みます。その後、[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [拡散]をONにし、[キャビテーション]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル]	:	[101]
[終了サイクル]	:	[300]

- [時間間隔の設定]で[クーラン数による]を選択します。

[初期時間間隔]	:	[0.0001 s]
[クーラン数]	:	[0.9]

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて、[流体(キャビテーション)] - [水(キャビテーション27°C)]を選択して適用をクリックします。
- キャビテーション解析では、圧縮性解析や疑似圧縮性(非圧縮性)解析の選択にかかわらず[基準値]タブにて[基準圧力]を適切な値に設定する必要があります。ただし、本例題ではデフォルトの[101325 Pa]を用いるため設定は行いません。

#### 4. [拡散]

- [値]の設定で[粘性係数]を[1.2e-005 Pa·s]と入力し、適用をクリックします。

#### 5. [初期条件]

- [初期値]タブで新規をクリックします。
- [初期値]ダイアログで[変数]に[拡散物質濃度(1)]を選択し、[値]に[0.001]を入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [初期値]タブの[リスタート計算]の[指定サイクルから始まるリスタート計算の場合に有効]で[サイクル]に[101]を入力します。

#### 6. [境界条件]

- [領域]から[inlet]をダブルクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入拡散物質濃度]をONにします。続いて、[濃度指定]を選択し、[0.001]と入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

- ・ [領域]から[outlet]をダブルクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[流入拡散物質濃度]をONにして[濃度指定]を選択し、[0.001]と入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 7. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA30-1]と入力します。次に、[デフォルト名]をOFFにして、[R(入力)]の[ファイル名]を[exA30-1s.r]に変更します。その後、[Sファイルを保存して終了]を選択します。なお、このとき「非定常計算が選択されていますが、FLDファイルの出力が最終サイクルのみになっています。FLDファイルの出力サイクルの設定を行いますか?」という確認ダイアログが表示されますが、いいえをクリックします。

#### - 八分木

[ファイル]-[開く]よりexA30-1.octを読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[2e-004]	[1.1]	[2]

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで[詳細設定]をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- ・ [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

- ・ SCTsolverの実行時間
 

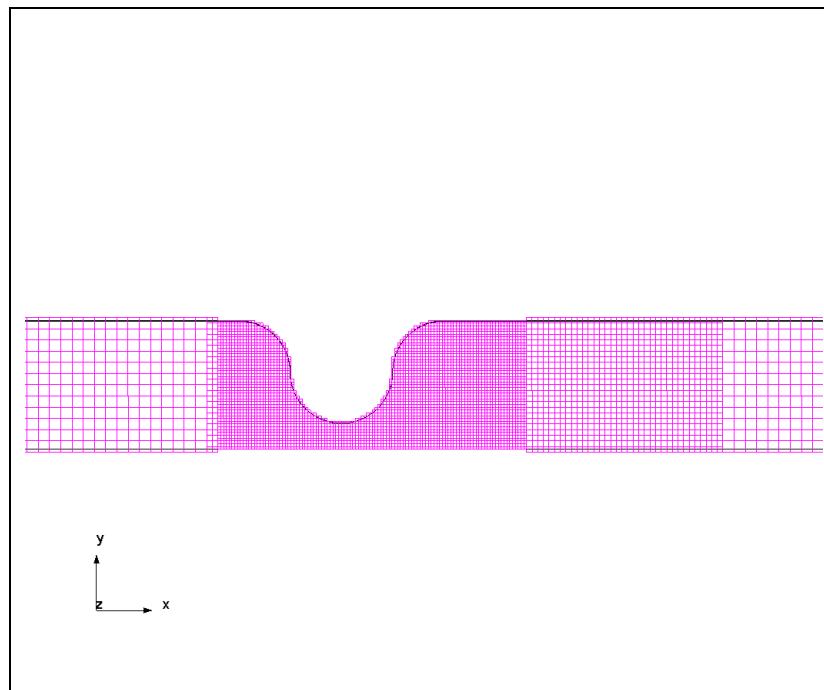
初期計算	: 約10秒
キャビテーション計算	: 約20秒
- ・ 計算サイクル数
 

初期計算	: 100サイクル
キャビテーション計算	: 300サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

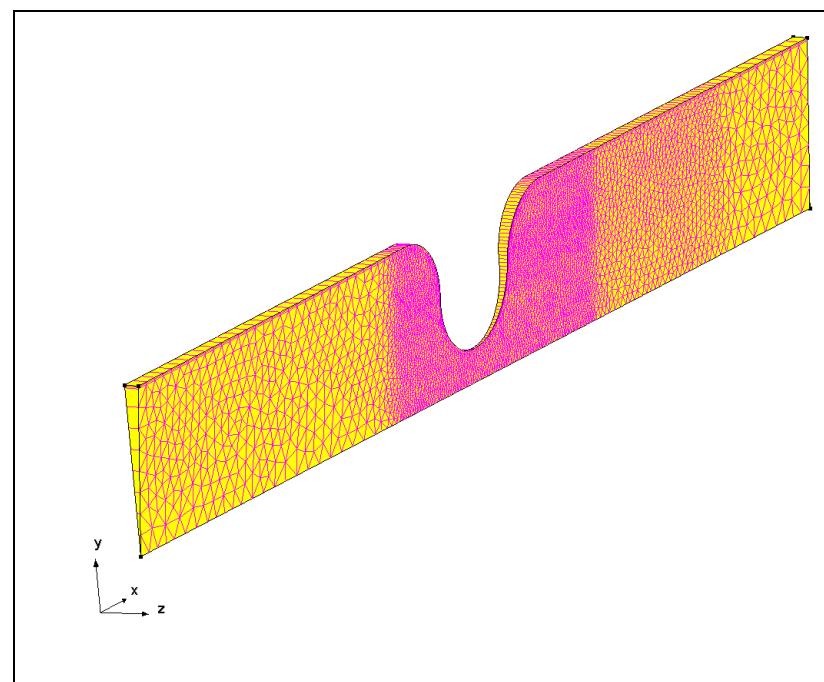
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.000546875[m]~0.0021875[m]

- メッシュ図

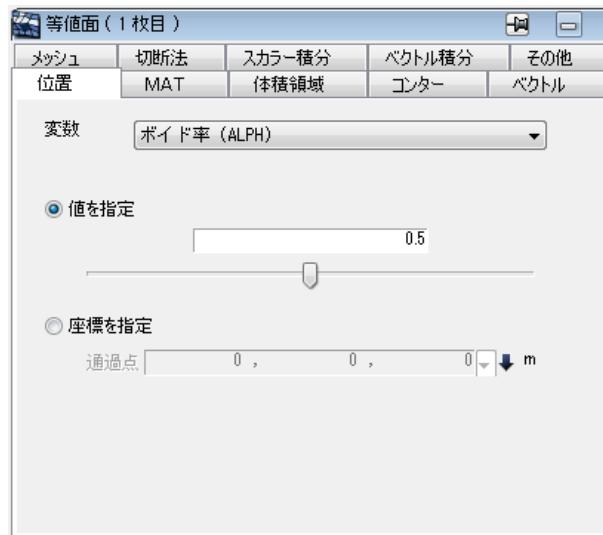


要素数 : 8,153

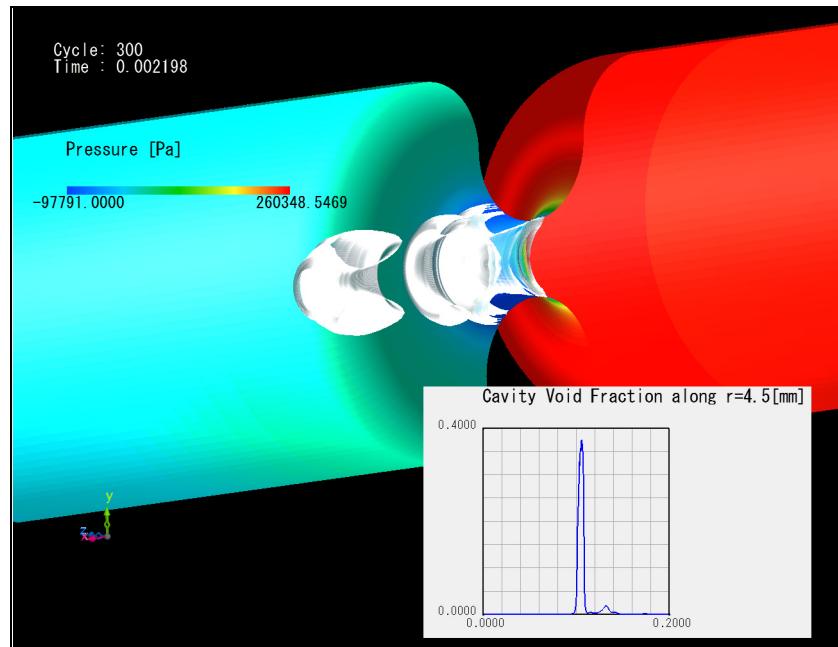
## 解析結果

- SCTpostの設定

ボイド率は、[ボイド率(ALPH)]の等値面で表示できます。まず、[作成] - [等値面]を選択して、[等値面]オブジェクトを追加します。[位置]タブにて[変数]から[ボイド率(ALPH)]を選択します。



- 管表面圧力・ボイド率等値面および、 $r = 0.0045[m]$ での管長さ方向のボイド率グラフ



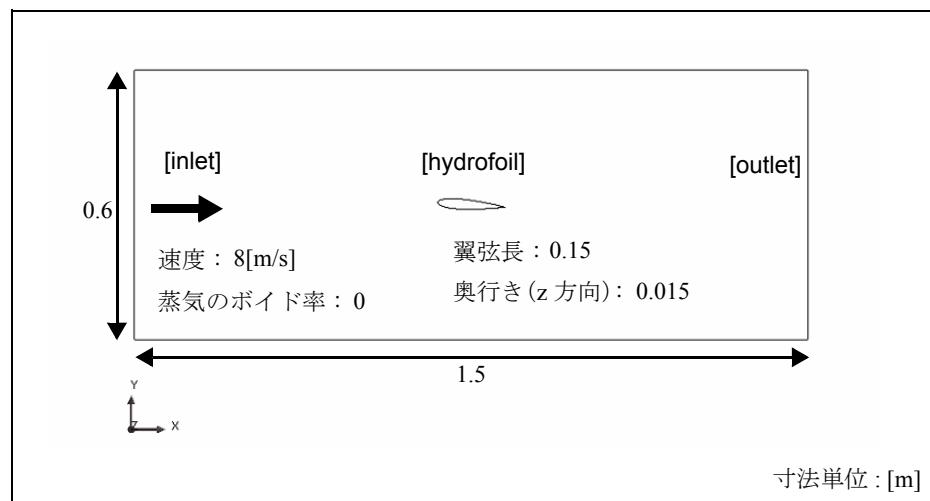
## 参考文献

- Chen, H. T. & Collins, R.; "Shock Wave Propagation Past an Ocean Surface," Journal of Computational Physics, vol.7, (1971), pp:89-101.

## 例題30.2 2次元翼まわりのキャビテーション解析

フルキャビテーションモデルを用いて2次元翼まわりのキャビテーション解析を行います。

解析モデル



### 解くべき方程式

- 運動量保存式
  - 質量保存式(壓力補正式)
  - $k-\varepsilon$ 方程式
  - 扩散物質保存式

解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
  - 拡散(キャビテーション) : キャビテーション計算のために拡散計算を行います。

## 解析条件

### - 物性値

- CASE1 <初期流れ場を得るための定常解析(非圧縮性)>  
MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。
- CASE2 <キャビテーション解析(圧縮性)>  
MAT=1 : 水(27°C)  
物性値ライブラリより[流体(キャビテーション)] - [水(キャビテーション27°C)]を使用します。  
拡散物質1 : 気泡  
粘性係数 1.20×10<sup>-5</sup>[Pa•s]

### - 基本設定

- 基準圧力(MAT=1) : 28,800[Pa] (キャビテーション数  $\sigma = 0.8$ )
- 基準密度(MAT=1) : 0[kg/m<sup>3</sup>]

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 8[m/s]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [hydrofoil] : 静止壁  
[top], [bottom], [zmin], [zmax]  
: フリースリップ壁

### - 初期条件

- CASE1  
デフォルト(設定不要)
- CASE2 <キャビテーション解析(圧縮性)>  
第1拡散物質(デフォルト) : 0

### 注意事項

リスタート時に初期条件を有効とするには、[初期条件] - [リスタート計算]で有効の設定を行う必要があります。本例題では[指定サイクルから始まるリスタート計算の場合に有効]を選択し、リスタート計算の開始サイクルを入力します。

### - その他

- 乱流モデル  
MPk- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
非定常解析(初期流れ場は定常解析から得ます)
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル : CASE1 200[サイクル]  
CASE2 4,999[サイクル]  
時間間隔(CASE2) : 初期時間間隔  $1.0 \times 10^{-4}$ [s]  
クーラン数 2
- キャビテーションモデル  
フルキャビテーションモデル(Singhalモデル)

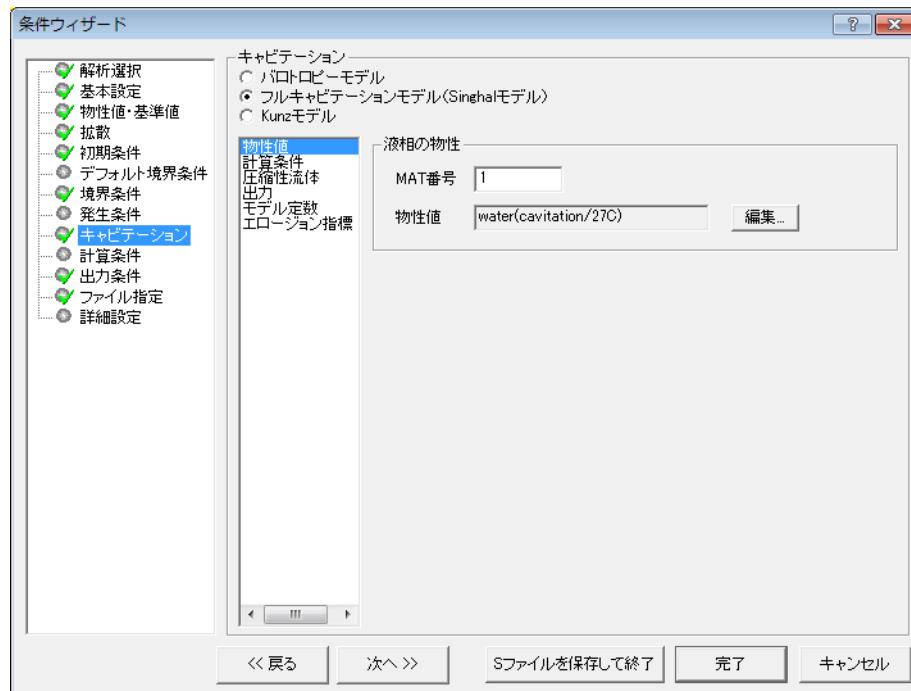
### 特記事項

#### - キャビテーション解析の注意事項

- フルキャビテーションモデルでは不凝縮ガスを考慮します。ここでは不凝縮ガスを空気と想定しています。
- 第1拡散物質濃度は水蒸気の質量分率を表します。
- キャビテーション解析を安定に行うために、はじめに非圧縮計算を行い、その結果をキャビテーション解析の初期流れ場とすることを推奨します。
- 非圧縮計算からのリスタート時には、SファイルにINIVコマンドの記述が必須になります。

### - キャビテーションモデルの設定

- ・ [条件ウィザード] - [キャビテーション]で、キャビテーションモデルとして[フルキャビテーションモデル(Singhalモデル)]を選択します。



- ・ 本解析ではSIMPLER解法を使用しませんので、[圧縮性流体]の項目の[SIMPLER解法]で[適用しない]をONにします。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA30-2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定(CASE1)

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [乱流モデル]で[MP k-εモデル]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [200]

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]に[8 m/s]と入力し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]に[0 Pa]となっていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[hydrofoil]を選択して、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

#### 5. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA30-2s]と入力します。次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA30-2.pre]とします。

### - 条件設定(CASE2)

CASE1の設定をもとにCASE2の条件設定を行います。CASE1の条件設定を行っていない場合には、[ファイル] - [開く]からCASE1のSファイルを読み込みます。その後、[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [拡散]をONにして、[キャビテーション]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [2]

[終了サイクル] : [5000]

- [時間間隔の設定]で[クーラン数による]を選択します。

[初期時間間隔] : [0.0001 s]

[クーラン数] : [2]

## 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにてMAT[1]を選択します。続けて、[流体(キャビテーション)] - [水(キャビテーション27°C)]を選択して適用をクリックします。
- [基準値]タブにて、[MAT番号]に[1], [基準圧力]に[28800 Pa], [基準密度]に[0 kg/m<sup>3</sup>]を入力し登録をクリックします。

## 4. [拡散]

- [値]の設定で[粘性係数]を[1.2e-005 Pa·s]と入力し、適用をクリックします。

## 5. [初期条件]

- [初期値]タブで新規をクリックします。[初期値]ダイアログで[変数]に[拡散物質濃度(1)]を選択し、[値]に[0]を入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [初期値]タブの[リスタート計算]の[指定サイクルから始まるリスタート計算の場合に有効]で[サイクル]に[2]を入力します。

## 6. [境界条件]

- [領域]から[inlet]をダブルクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入拡散物質濃度]をONにして[濃度指定]を選択し、[0]と入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。

## 7. [キャビテーション]

- 特記事項 キャビテーションモデルの設定をご参考ください。

## 8. [出力条件]

- [圧力]の項目で[指定サイクル毎に出力]を選択し、サイクル間隔を1とします。続いて[登録領域一覧(面の領域)]から[hydrofoil]を選択して、[追加], [小計]を順にクリックします。
- [粘性応力]の項目で[指定サイクル毎に出力]を選択し、サイクル間隔を1とします。続いて[登録領域一覧(面の領域)]から[hydrofoil]を選択して、[追加], [小計]を順にクリックします。
- [領域平均値・総量]の項目で[新規]をクリックします。[領域平均・領域総量のアイテム]ダイアログで[対象となる領域]から[面領域]を選択して、[inlet]をONにします。続いて[変数]で[圧力], [重み]で[面積]を選択し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [FLD(サイクル)]の項目で[出力のタイミング]から[指定サイクル毎に出力]を選択して、[サイクル間隔]に[100]を入力します。[初期場]から[指定サイクルから始まるリスタート計算の場合に出力する]を選択し、[サイクル]に[2]を入力します。
- [警告]の項目で[1サイクルあたりの最大警告メッセージ数]に[5]を入力します。

## 9. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA30-2]と入力します。次に、[デフォルト名]をOFFにして、[R(入力)]の[ファイル名]を[exA30-2s.r]に変更します。

## - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA30-2.oct を読み込みます。

## - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[hydrofoil]	[2e-004]	[1.05]	[5]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで[詳細設定]をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

#### - 解析実行

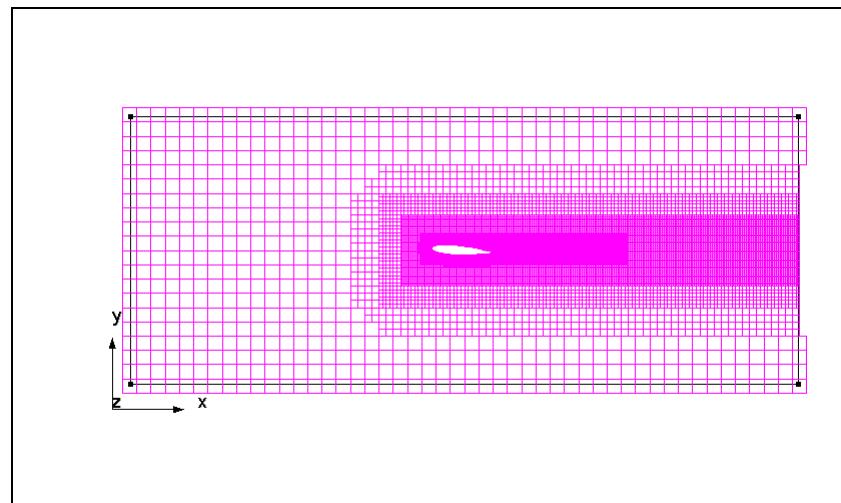
SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約1分 (CASE1)  
約40分 (CASE2)
- 計算サイクル数  
約100サイクル (CASE1)  
4999サイクル (CASE2)

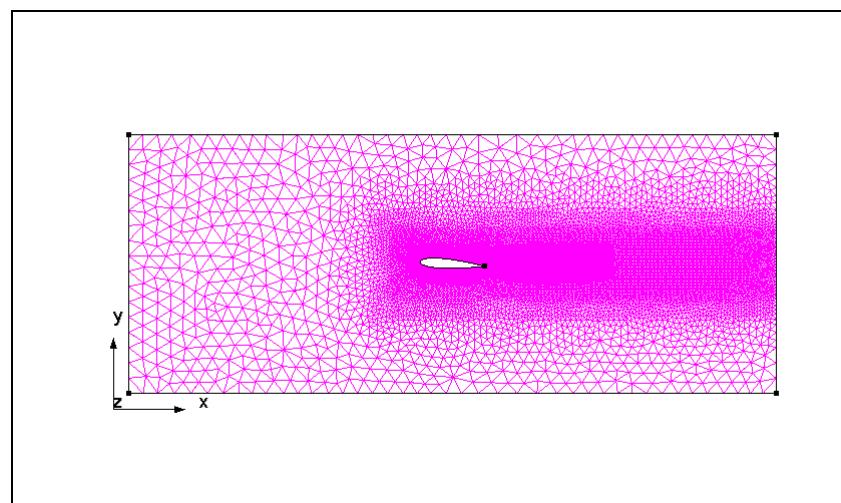
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.001[m] ~ 0.032[m]

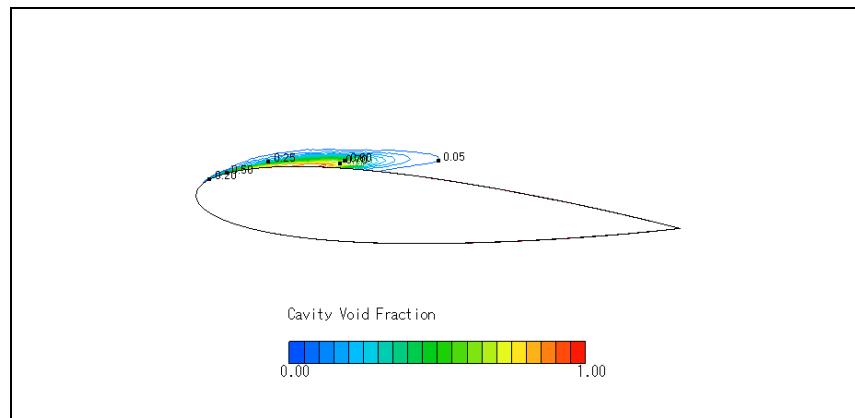
- メッシュ図



要素数 : 43,176

## 解析結果

- ポイド率分布(0.65[秒])



---

## 機能31 電流解析

---

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**の電流解析機能は、電荷の保存式より電位及び電流分布を求め、電流分布より求まるジュール熱を温度解析の発熱条件として使用できる機能です。
- 電流計算の境界条件としては、次の3種類が用意されています。
  1. 電位境界条件 : 境界面の電位がわかっている場合
  2. 電流密度境界条件 : 境界面の電流密度がわかっている場合
  3. 被膜境界条件 : 厚みが薄くメッシュ区分ができない場合

## 注意事項

- 電流解析は、以下の機能との併用はできません。

密度ベースソルバー

- 被膜条件はギャップ要素が必要なため、異なるMATに挟まれた面領域に設定するか、PANLコマンドで指定した面領域に設定する必要があります。
- 境界条件のうち、少なくとも一箇所は電位境界とする必要があります。
- 電流解析は倍精度版のご利用を推奨します。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [電位(ELPT)] : 電位
- [電流密度(CUR)] : 電流密度ベクトル

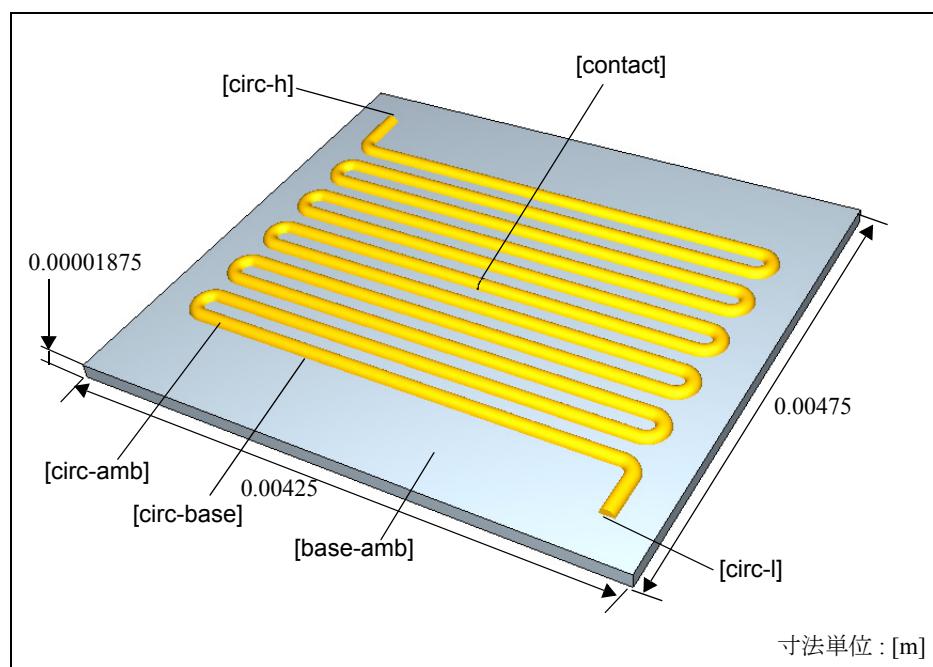
## 関連コマンド

- ECUR : 電流計算の基本条件の設定
- ECWL : 電流計算の境界条件の設定

## 例題31.1 ジュール熱

金属を流れる電流により発生するジュール熱を発熱源とした温度解析を行います。解析は、金属の接合部に電気抵抗が無い場合(Case A)とある場合(Case B)の2ケースについて行います。

### 解析モデル



電流解析(流れを解きません)

### 解くべき方程式

- エネルギー保存式
- 電荷保存式

### 解析選択

- 温度 : 温度の解析を行います。
- パネル : パネルを用いた解析を行います。
- 電流 : 電流の解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 基板 シリコン樹脂  
物性値ライブラリより[ゴム・プラスチック]-[シリコン樹脂(300K)]を使用します。
- MAT=2 : 回路 銅(導電体)  
物性値ライブラリより[純金属]-[銅(Cu)]を使用します。  
電気伝導度は $5.96 \times 10^7$ [S/m]とします。

### - 境界条件

- |        |             |   |       |                            |                        |
|--------|-------------|---|-------|----------------------------|------------------------|
| • 回路表面 | [circ-amb]  | : | 雰囲気温度 | 25[°C]                     |                        |
|        |             | : | 熱伝達係数 | 200[W/(m <sup>2</sup> •K)] |                        |
| • 基盤表面 | [base-amb]  | : | 雰囲気温度 | 25[°C]                     |                        |
|        |             | : | 熱伝達係数 | 200[W/(m <sup>2</sup> •K)] |                        |
| • 回路底面 | [circ-base] | : | 熱抵抗なし |                            |                        |
| • 低電位面 | [circ-l]    | : | 電位    | 0[V]                       |                        |
| • 高電位面 | [circ-h]    | : | 電位    | 0.1[V]                     |                        |
| • 接合面  | [contact]   | : | CaseA | 電気抵抗なし                     |                        |
|        |             |   | CaseB | 被膜境界                       |                        |
|        |             |   |       | 電気伝導度                      | $1 \times 10^5$ [S/m]  |
|        |             |   |       | 被膜の厚さ                      | $1 \times 10^{-5}$ [m] |

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

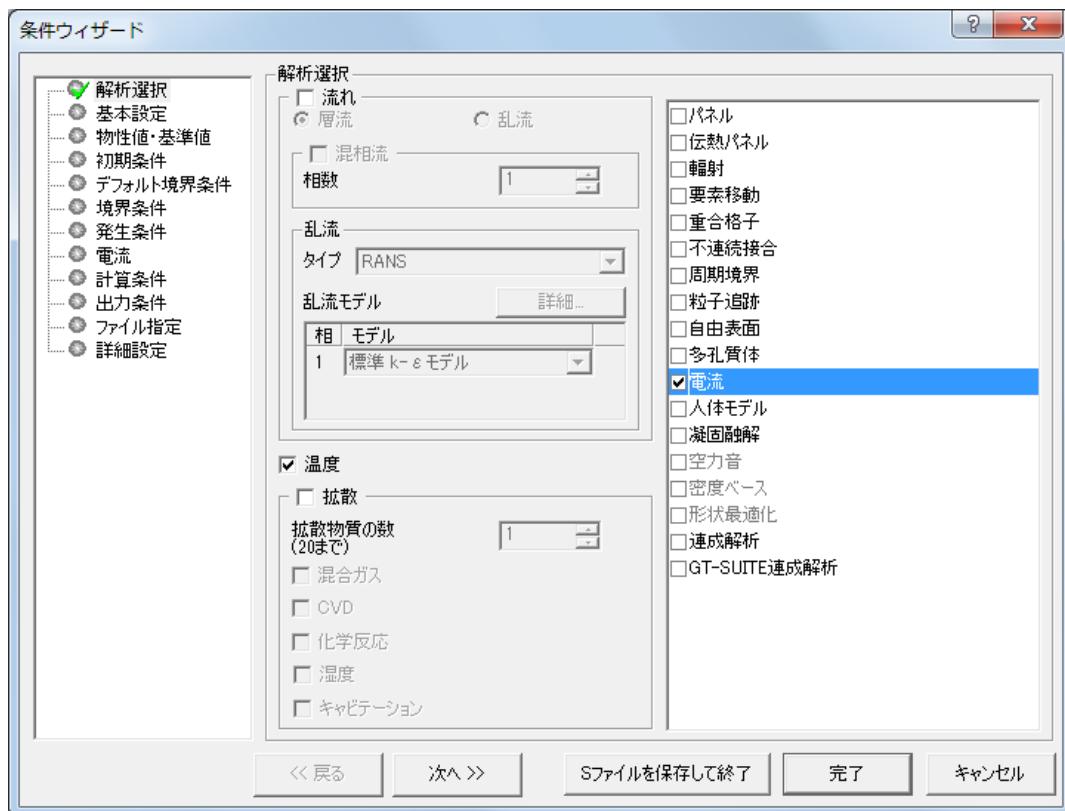
### - その他

- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

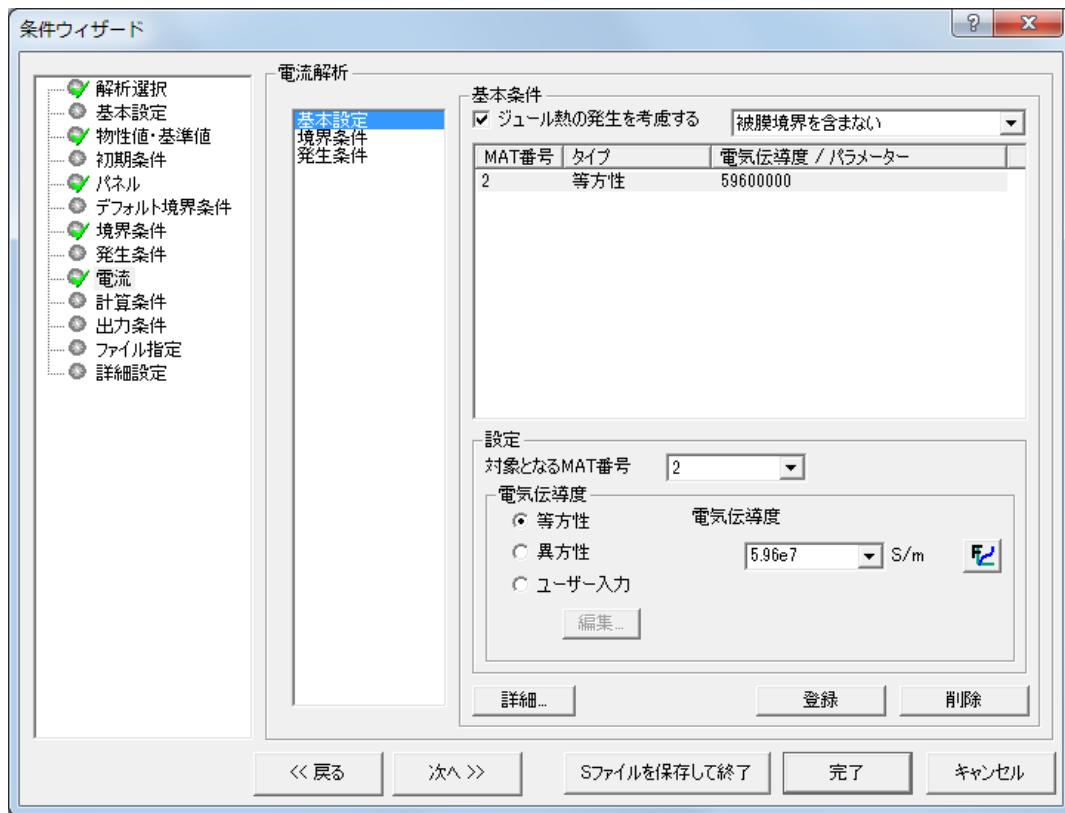
## 特記事項

### - 電流解析の条件設定方法

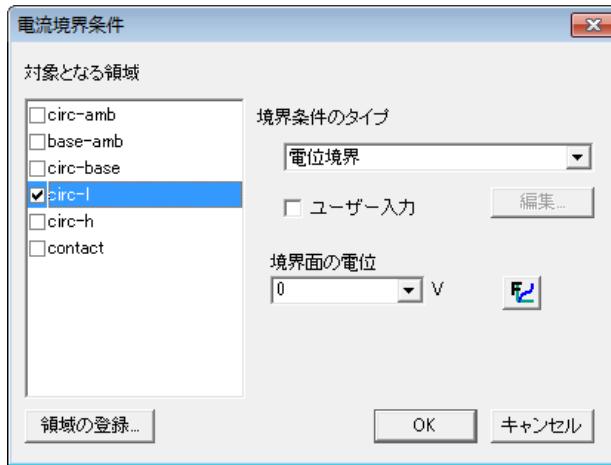
- [条件ウィザード] - [解析選択]で[電流]をONにします。なお、本例題では流れは計算しません。被膜境界条件は異なるMATに挟まれた面領域か、パネルとして設定されている面に適用されます。本例題では、領域[contact]をパネルとして設定し、CaseBではこの面に電気抵抗を与えます。



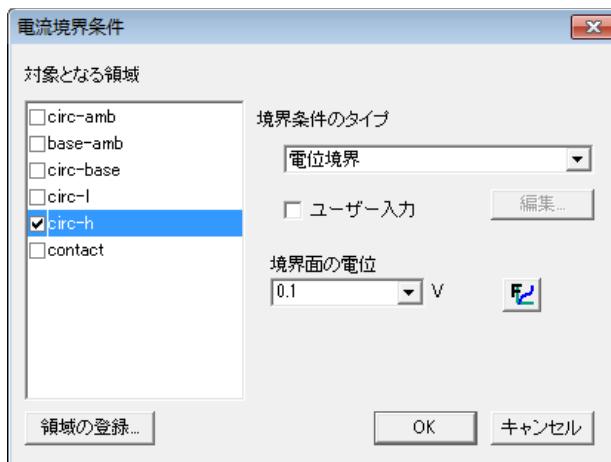
- [条件ウィザード] - [電流]の[基本設定]を選択します。下図のように、[ジュール熱の発生を考慮する]をONにし、導電体の電気伝導度を設定します。[対象となるMAT番号]で[2]を選択し、[電気伝導度]に[5.96e7 S/m]を設定して、登録をクリックします。



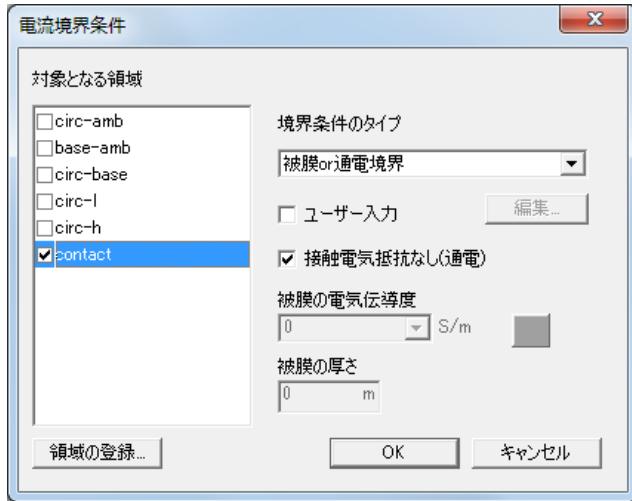
- 続いて、[条件ウィザード] - [電流]の[境界条件]を選択し、電位境界と被膜or通電境界を設定します。新規をクリックして、[電流境界条件]ダイアログを開きます。下図のように、[対象となる領域]から[circ-l]を選択し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。



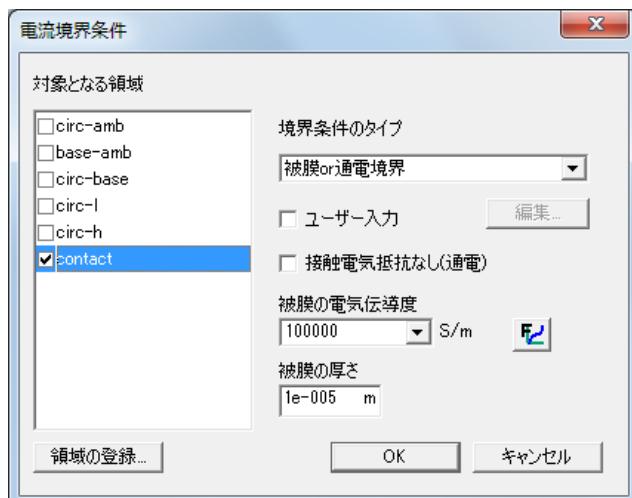
- 同様に新規をクリックし、[対象となる領域]から[circ-h]を選択し、[境界面の電位]に[0.1 V]を設定します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- 新規をクリックし、[対象となる領域]から[contact]を選択し、[境界条件のタイプ]を[被膜or通電境界]を選択します。Case Aの場合、[接触電気抵抗なし(通電)]をONとします。



- Case Bの場合、[被膜の電気伝導度]に[100000 S/m]を入力し、[被膜の厚さ]に[1e-005 m]を設定して、OKをクリックしてダイアログを閉じます。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA31-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]をOFFにします。
- [温度]をONにします。
- [パネル], [電流]をONにします。

#### 2. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[ゴム・プラスチック]-[シリコン樹脂(300K)]を選択して適用をクリックします。
- [物性値]タブにて、MAT[2]を選択します。続けて、[純金属]-[銅(Cu)]を選択して適用をクリックします。

#### 3. [パネル]

- [contact]をONにします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[circ-amb]と[base-amb]を複数選択し、壁面をクリックします。
- [壁面]ダイアログにて、[断熱]をOFFにし、[外部温度との間に熱伝達係数を設定する]を選択します。[熱伝達係数]に[200 W/(m<sup>2</sup>•K)]、[外部温度]を[25 °C]を入力して、OKをクリックします。
- [領域]から[circ-base]を選択し、壁面をクリックします。
- [壁面]ダイアログにて、[断熱]をOFFにし、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

#### 5. [電流]

- 特記事項を参照してください。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、Case Aの場合[exA31-1-A]、Case Bの場合[exA31-1-B]と入力します。
- 次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA31-1.pre]とします。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA31-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにてメッシュを作成します。本解析では境界層要素の挿入を行いません。

### - 解析実行

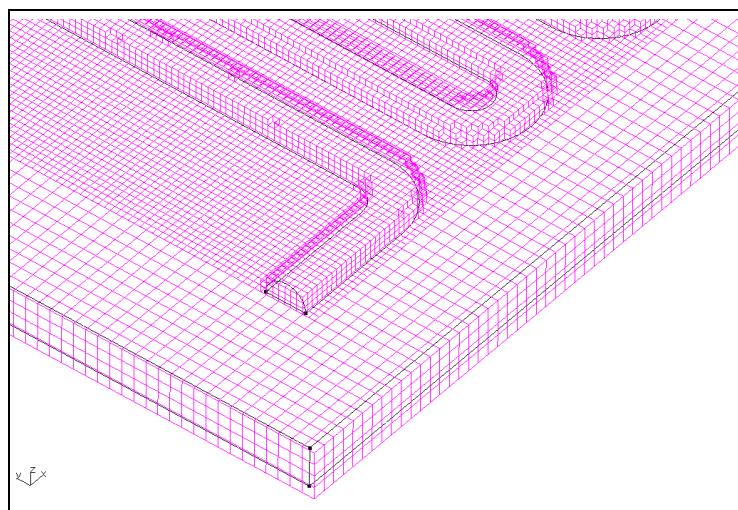
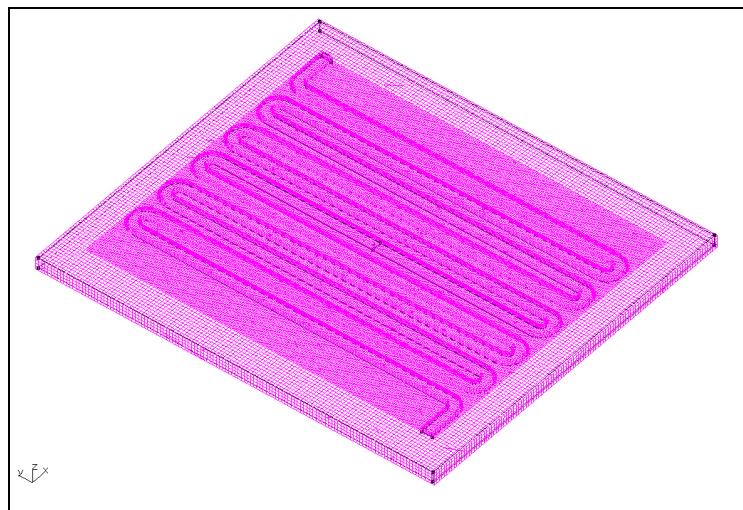
SCTSsolverで解析を実行します。

- 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約40秒
  - 計算サイクル数  
約50サイクル
- \* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

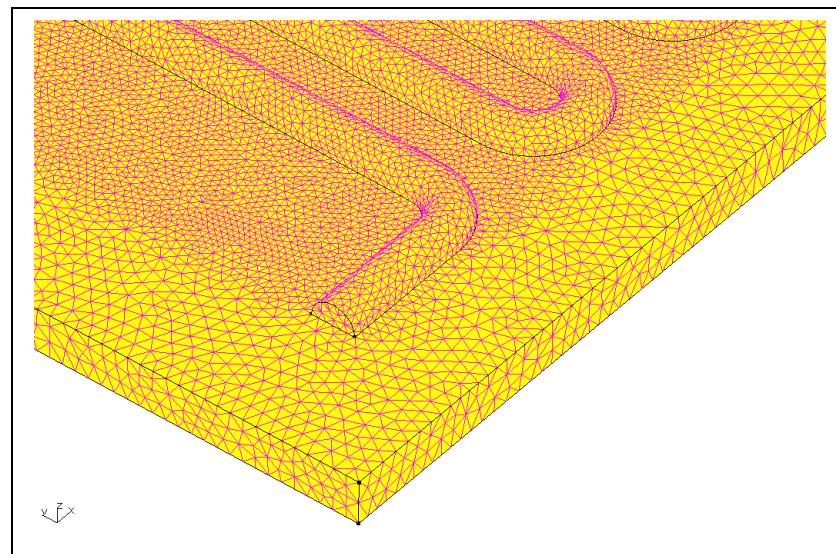
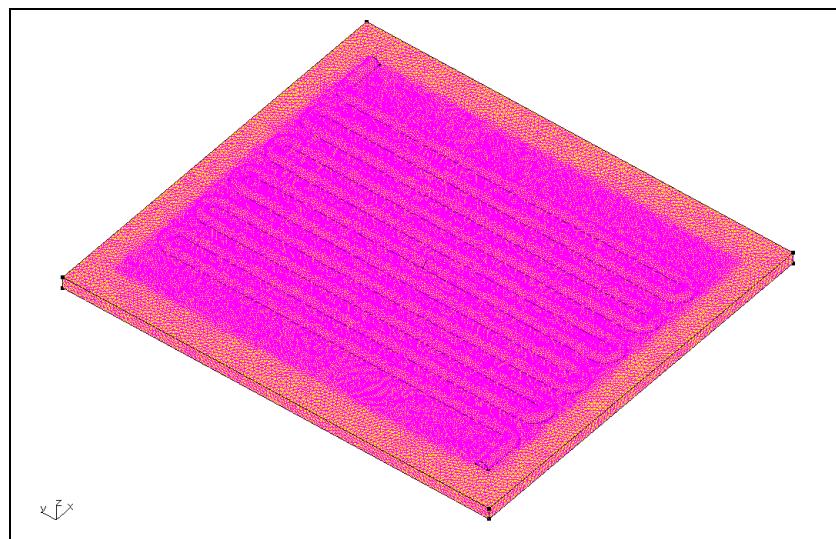
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ :  $1.875\text{e-}5[\text{m}] \sim 3.75\text{e-}5[\text{m}]$

• メッシュ図



要素数 : 868,502

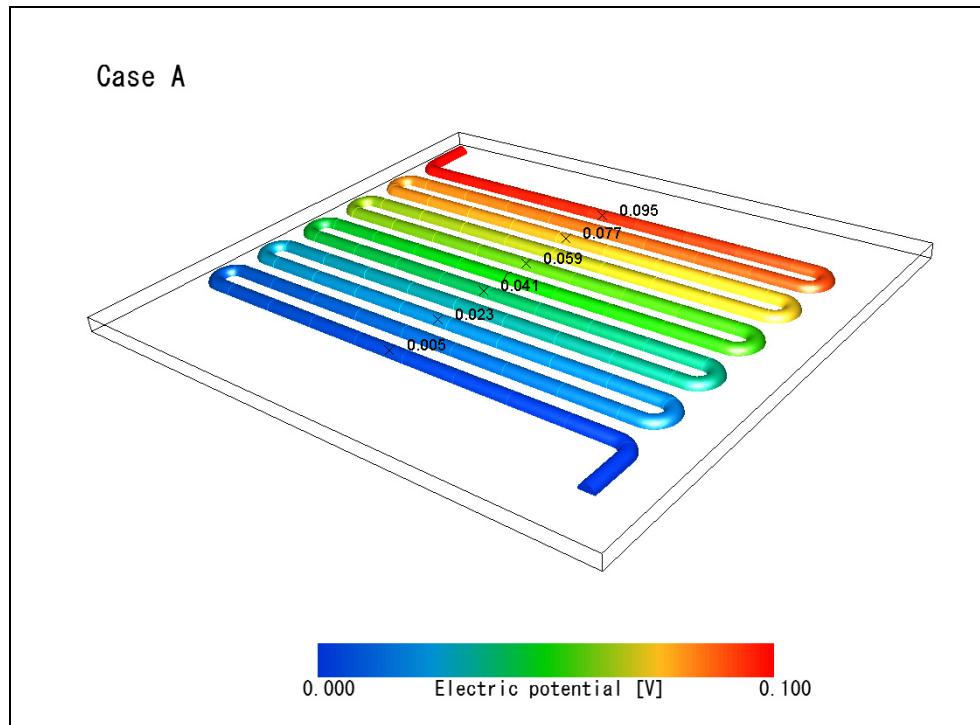
## 解析結果

- SCTpostの設定

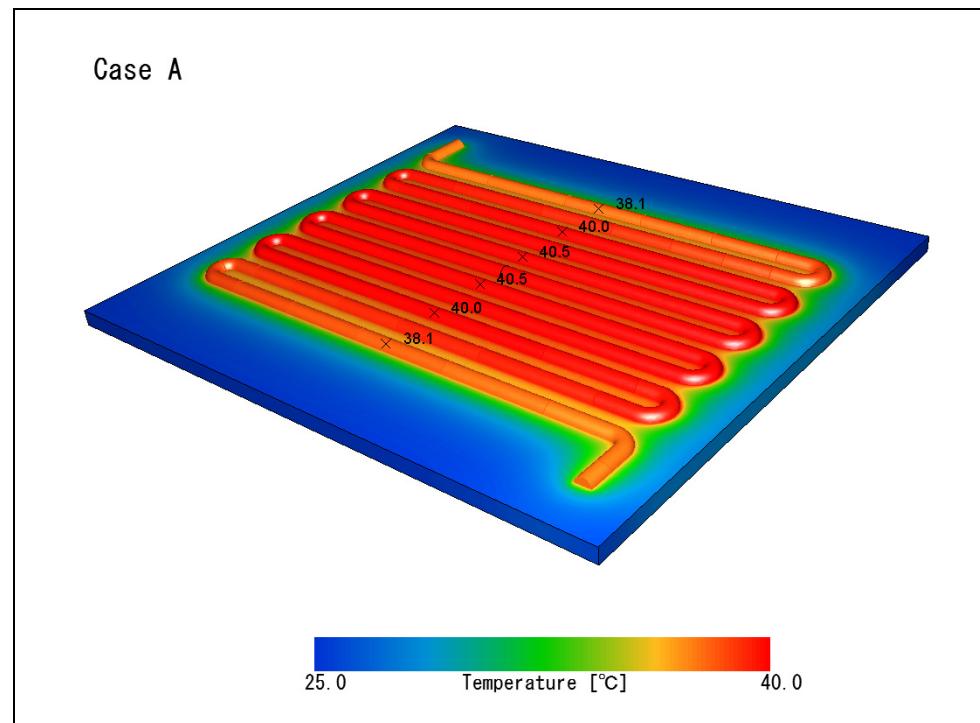
電位は、[電位 (ELPT)]の[表面]で表示されます。[表面]オブジェクトの[コンター]タブにて[変数]から[電位 (ELPT)]を選択します。



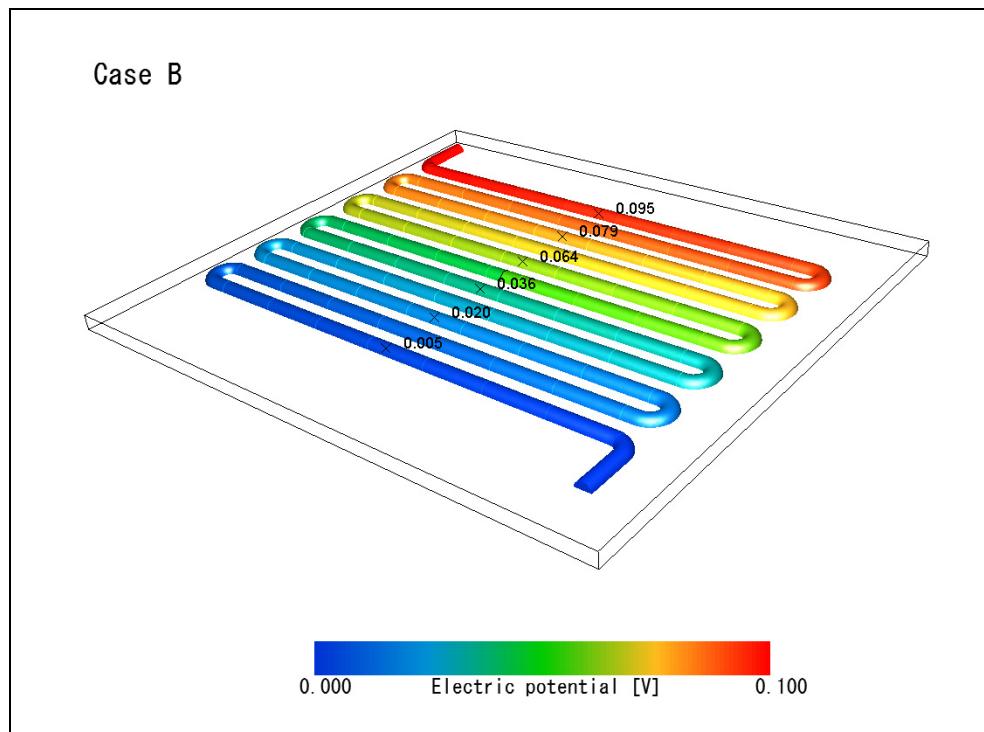
- Case A : 電位コンター図



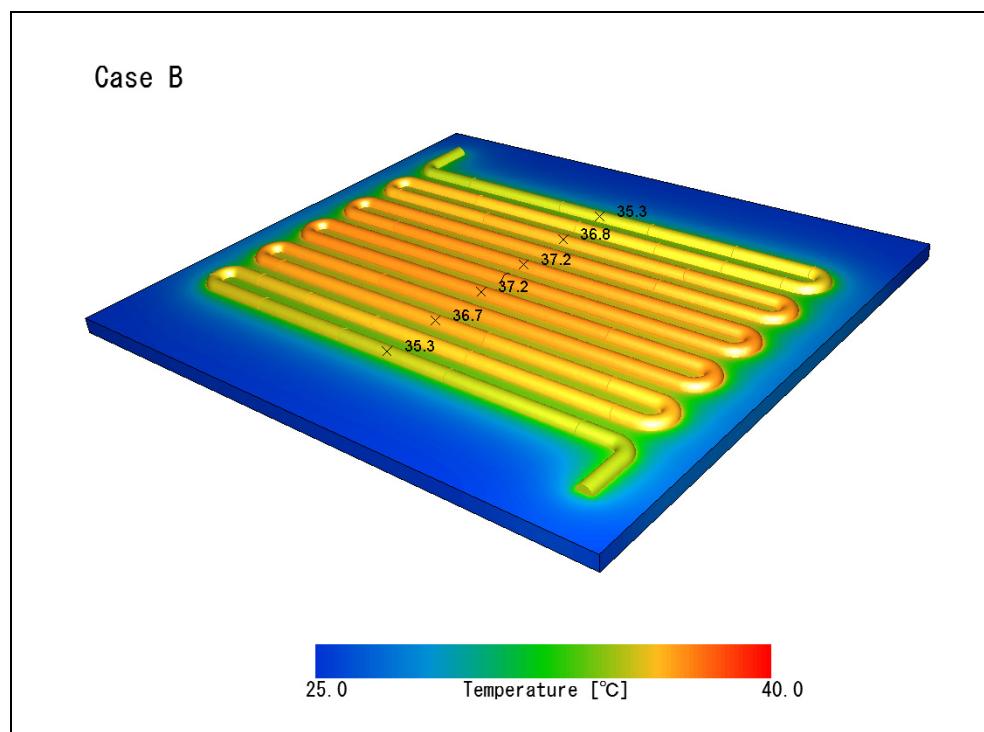
- Case A : 温度コンター図



- Case B : 電位コンター図



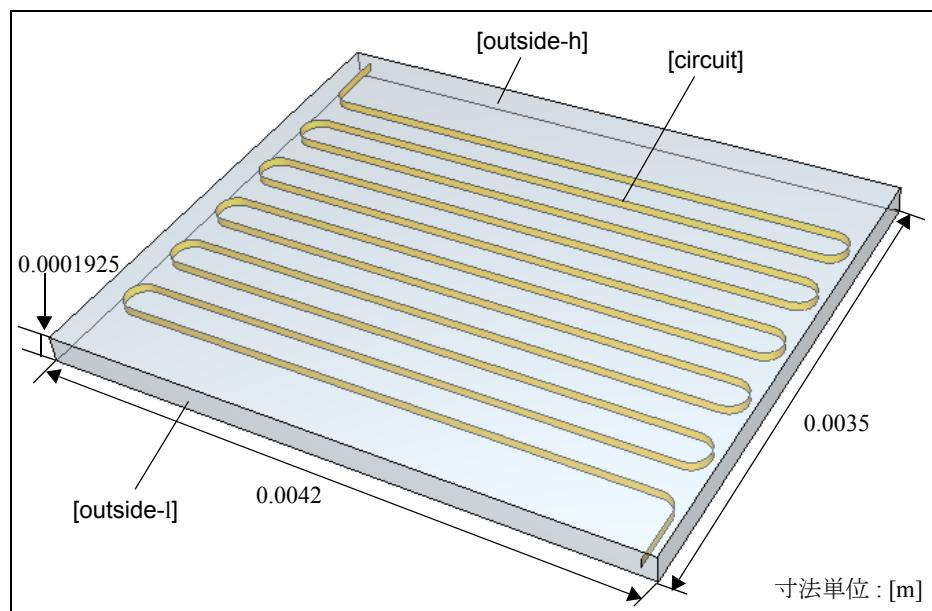
- Case B : 温度コンター図



## 例題31.2 伝熱パネルを用いた電流解析

電気回路は薄い部品で構成されていることが多い、回路部品の厚みを考慮して計算格子を生成する事は容易ではありません。伝熱パネル（詳しくは機能16を参照）と電流解析を併用する事により、薄い部品に対して計算要素を生成する代わりに仮想厚みと物性値を設定したパネルによるジュール発熱を解析することができます。

### 解析モデル



電流(ジュール熱)解析(流れを解きません)

### 解くべき方程式

- エネルギー保存式
- 電荷保存式

### 解析選択

- 温度 : 温度の解析を行います。
- 伝熱パネル : 電流が流れる部品を伝熱パネルとして扱います。
- 電流 : 電流の解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : パッケージ シリコンゴム  
物性値ライブラリより[ゴム・プラスチック]-[シリコンゴム(293K)]を使用します。
- MAT=2 : 導電体 ニクロム(パネル)  
物性値ライブラリより[合金属]-[ニクロム(300K)]を使用します。

### - デフォルト境界条件

- 未定義(熱 : 解析領域外との境界) : 露囲気温度 25[°C]  
熱伝達係数 200[W/(m<sup>2</sup>•K)]
- 未定義(熱 : 固体間) : ギャップ要素に熱抵抗無し(熱伝導)

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)です。

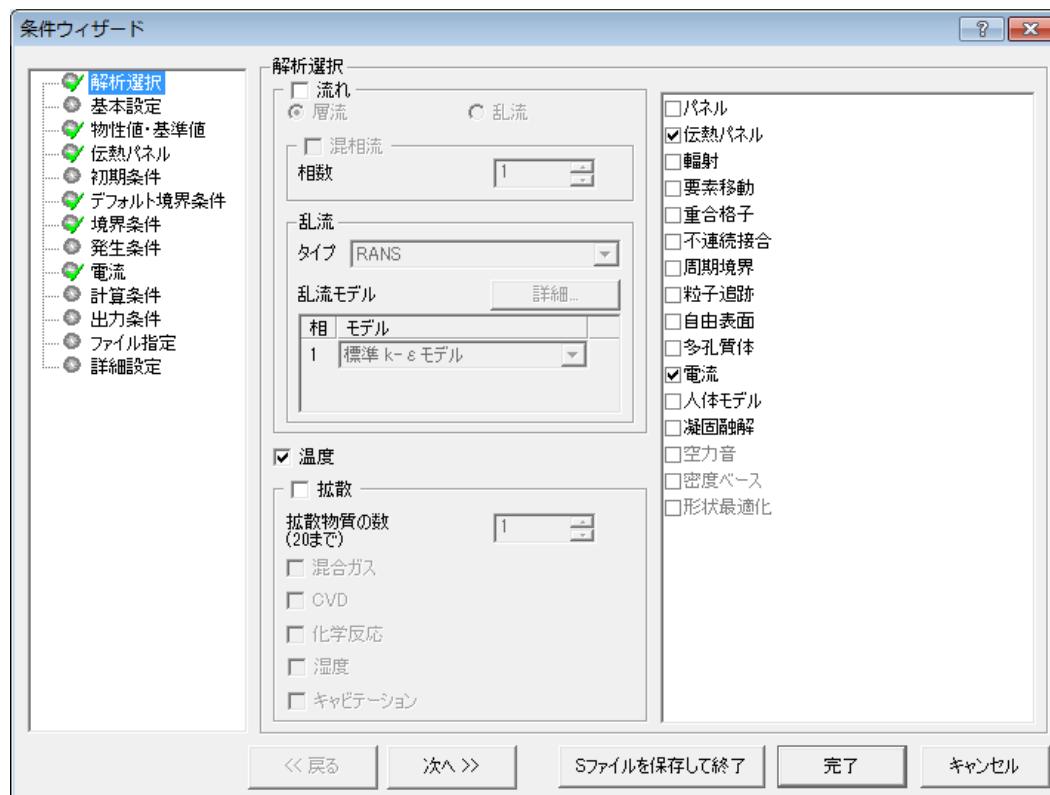
### - その他

- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

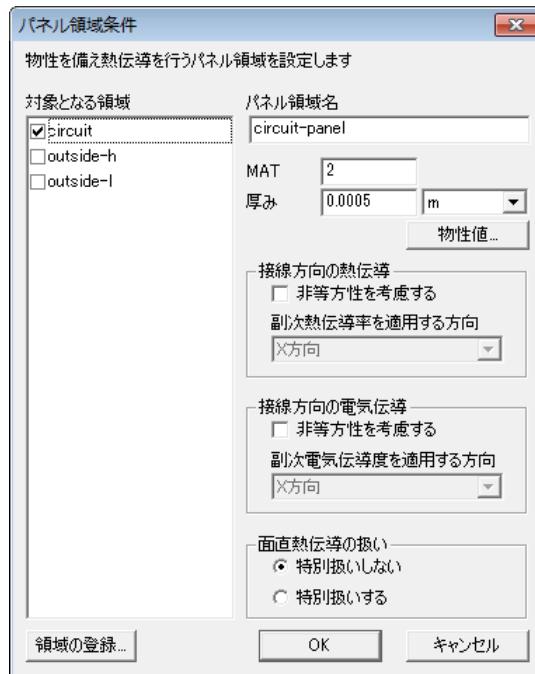
## 特記事項

### - 伝熱パネルによる電流解析の条件設定方法

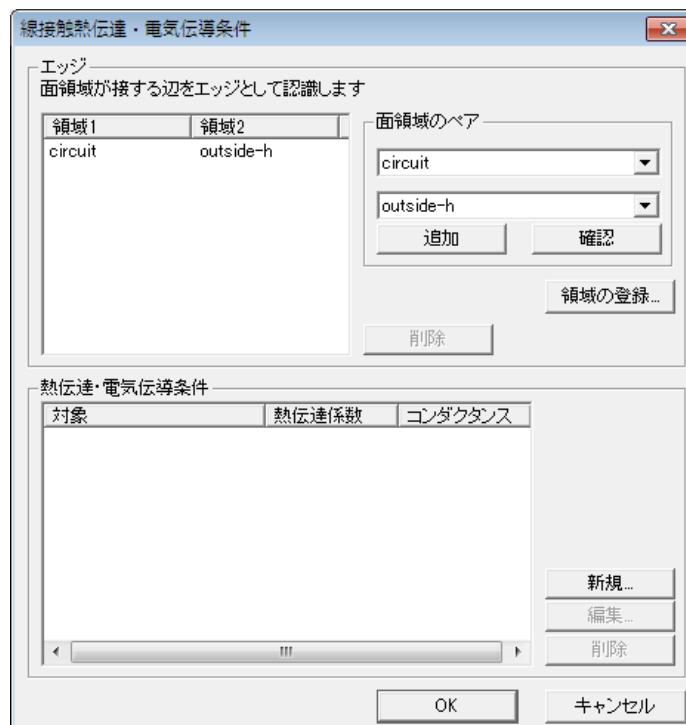
- [条件ウィザード] - [解析選択]で[伝熱パネル]と[電流]をONにします。なお、本例題では流れは計算しません。



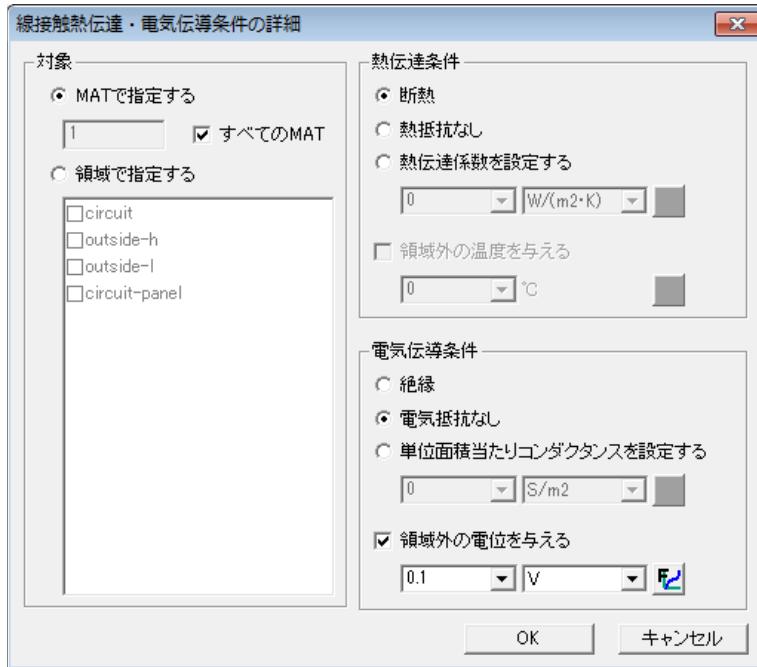
- 伝熱パネル設定の手順
  - 例題16.1と同様に、[条件ウィザード] - [伝熱パネル]のリストから[パネル領域]を選択します。新規をクリックし、領域[circuit]をパネル領域名[circuit-panel]として登録します。[厚み]に[0.0005 m]と入力し、物性値をクリックします。[物性値]ダイアログにて、[参照する物性値]から[ニクロム(300K)]を選択し、OKをクリックします。



- 伝熱パネルと解析領域外との境界が線接触している箇所に、熱伝達条件と電位の境界条件を設定します。[条件ウィザード] - [伝熱パネル]のリストから[線接触熱伝達・電気伝導]を選択して新規をクリックし、面領域のペアに[circuit]と[outside-h]を選んで追加をクリックします。



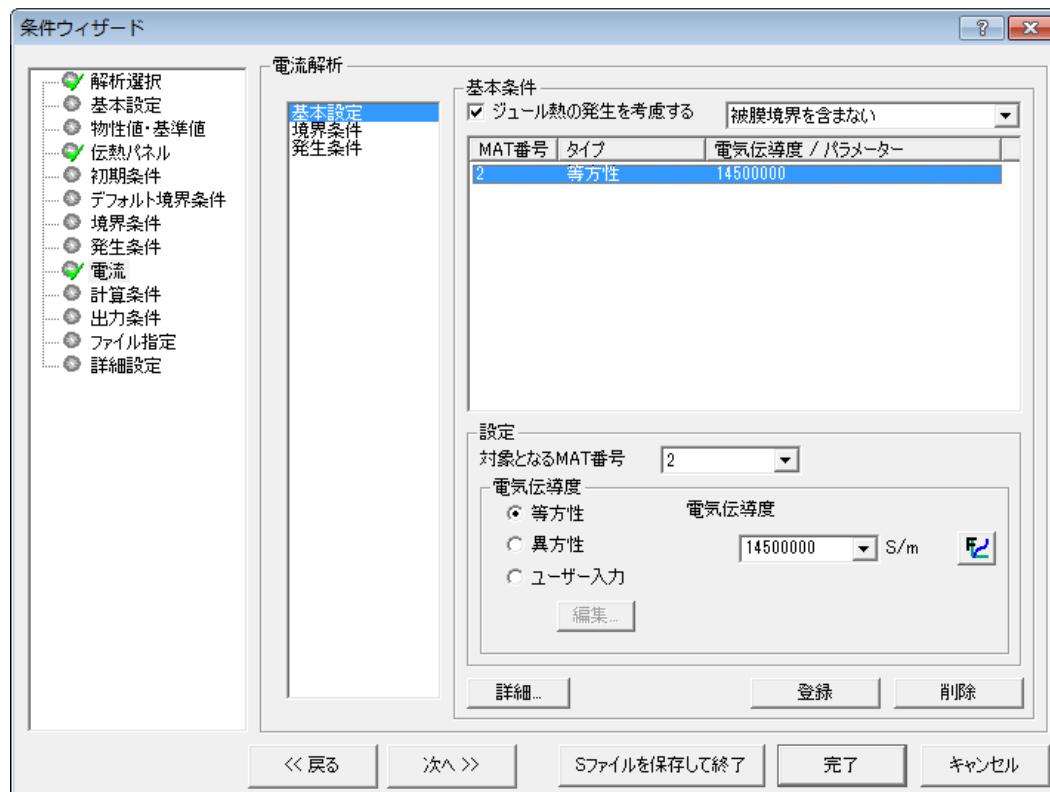
続いて新規をクリックし、電気伝導条件の電気抵抗なしを選択します。領域外の電位を与えるをチェックし、0.1[V]を入力し、OKを押します。



先ほどと同様に、[条件ウィザード] - [伝熱パネル]のリストから[線接触熱伝達・電気伝導]を選択して新規をクリックし、[circuit]と[outside-l]のペアにも領域外の電位に0[V]を与えます。

- 電流解析の基本設定

[条件ウィザード] - [電流]のリストから[基本設定]を選択し、ジュール熱の発生を考慮するをONにします。対象となるMAT番号から[2]を選択し、電気伝導度に[ $1.45 \times 10^7$  S/m]を入力して登録をクリックします。電流解析の境界条件は伝熱パネルに対して設定済みなので、ここでは設定しません。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA31-2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]をOFFにします。
- [温度]をONにします。
- [電流]と[伝熱パネル]を選択します。

#### 2. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[ゴム・プラスチック]-[シリコンゴム(293K)]を選択して適用をクリックします。

#### 3. [伝熱パネル]

- 特記事項を参照してください。

#### 4. [デフォルト境界条件]

- [未定義(熱 : 解析領域外との境界)]の条件から[熱伝達係数指定(乱流熱伝達を考慮する)]を選択し、外部温度に25 °C、熱伝達係数に200 [W/(m<sup>2</sup>•K)]を入力します。
- [未定義(熱 : 固体間)]の条件から[ギャップ要素に熱抵抗無し(熱伝導)]を選択します。

#### 5. [電流]

- 特記事項を参照してください。

#### 6. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA31-2]と入力します。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA31-2.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにてメッシュを作成します。[テラメッシュパラメータ]の詳細をクリックします。[パネル]の項目で[circuit]にチェックを入れOKを押し、Jファイルを保存します。

詳しくは例題16.1の特記事項「体積メッシュ作成時の注意点」をご覧ください。本例題では境界層要素の挿入を行いません。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約20秒

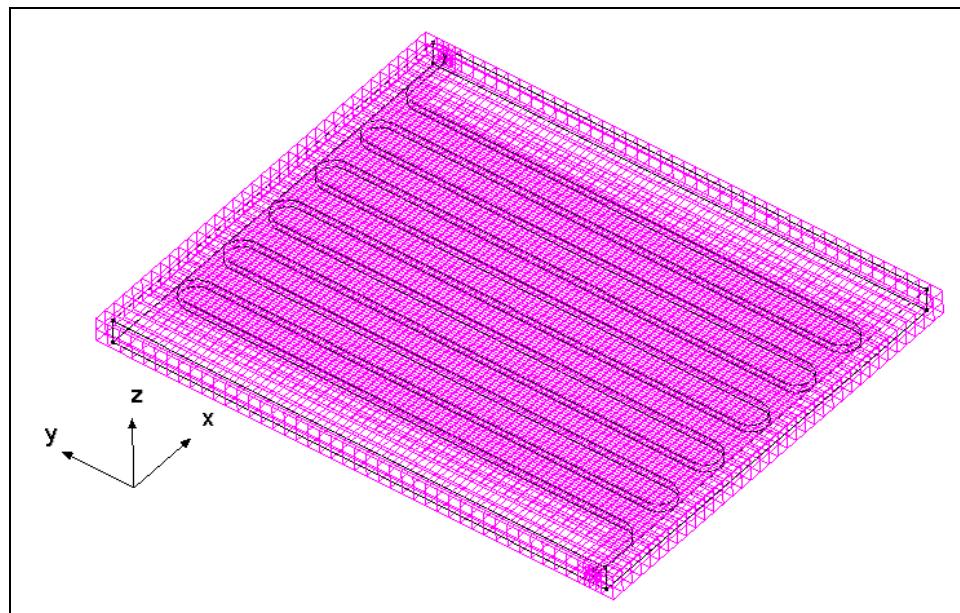
- 計算サイクル数

50サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

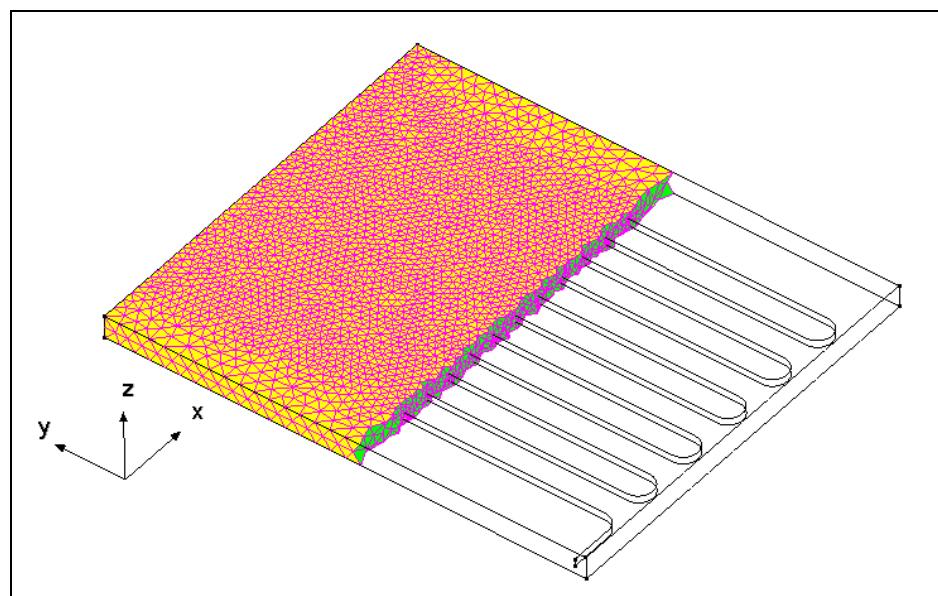
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.000025~0.0001 [m]

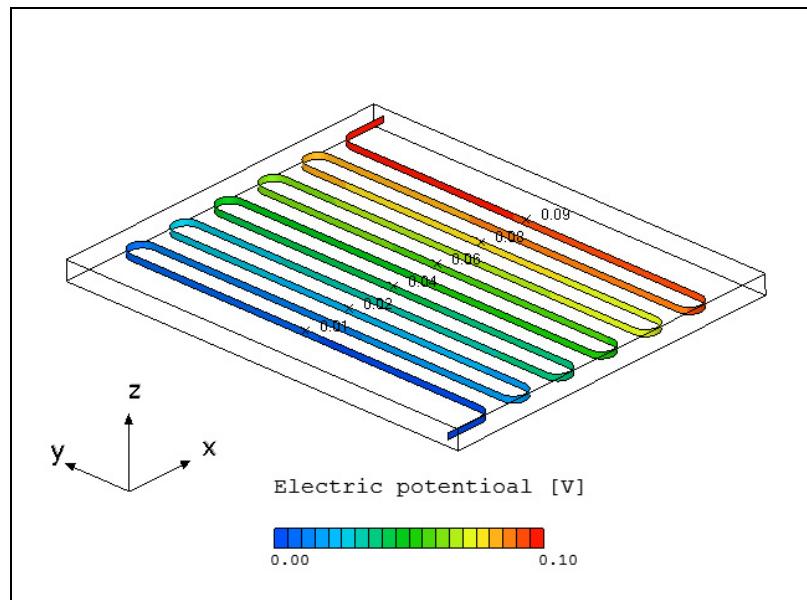
- メッシュ図



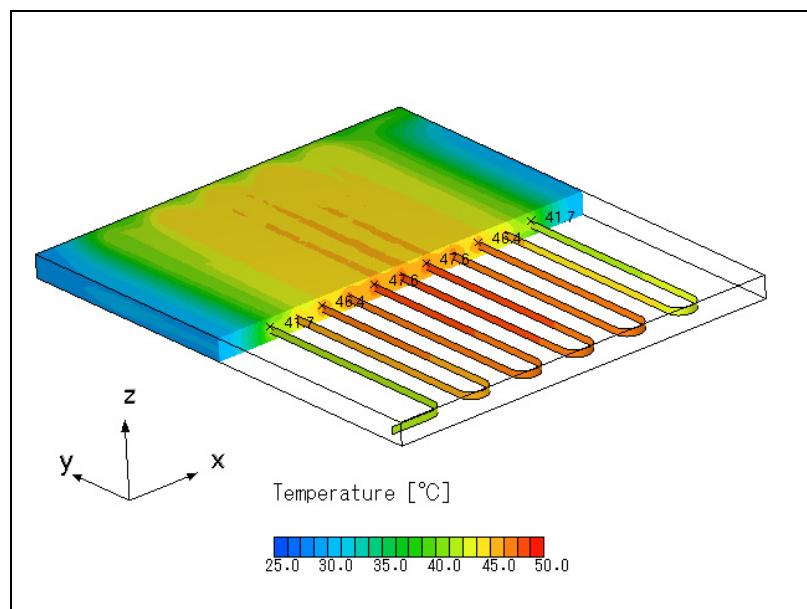
要素数 : 188,821

## 解析結果

- 電位コンター図



- 温度コンター図



---

## 機能32 溫熱環境人体熱モデルJOS

---

---

## 機能説明

- 本機能は、人体熱モデルと熱流体解析を組み合わせて、ある温熱環境下に置かれた人体の体温と周囲環境の温度変化・湿度変化を解析する機能です。人体熱モデルとは、人体形状を複数の部位に分割し、各部位の熱平衡式を用いて体温を計算する物理モデルです。人体熱モデルの解析と熱流体解析は、人体形状の表面(皮膚)で相互にデータの受け渡しを行いながら計算を進めます。人体形状表面では対流と輻射による熱交換に加えて、発汗による潜熱損失と水蒸気の発生も考慮されます。このことで熱流体解析結果に人体の熱の影響や発汗による湿度変化が考慮されます。

## 注意事項

- 人体熱モデルを使用する際には、温度と湿度(拡散物質)の方程式を解く必要があります。
- 図化ファイル(FLDファイル)には、皮膚温度(Skin temperature), および、皮膚ぬれ率(Skin wettedness)がデフォルトでは出力されます。
- 人体内部には流体解析の計算メッシュは不要です。つまり流体解析の解析領域外に設定します。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [皮膚温度 (TSK)] : 皮膚温度
- [皮膚ぬれ率(WET)] : 皮膚ぬれ率
- [蒸発熱損失量(ESK)] : 蒸発熱損失量 (FOUTコマンドによる出力設定が必要)

### - 計算時メッセージ

- JOSBコマンドを使用したとき人体に関する情報が出力されます。詳しくは、[ユーザーズガイドリファレンス\(ソルバー\)編 3.1 \(29\) 温熱環境人体熱モデル](#)を参照してください。

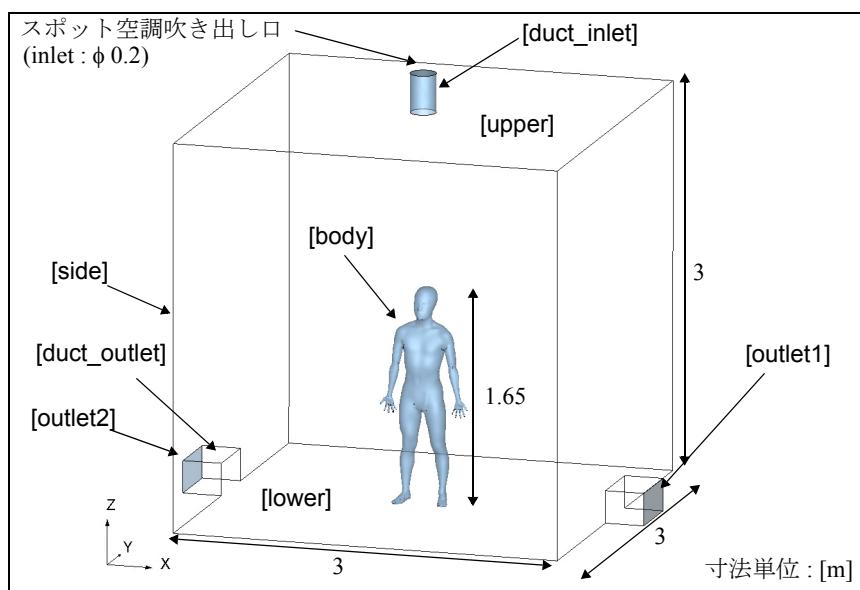
## 関連コマンド

- JOSB : 人体モデルの基本条件を設定
- JOSD : 人体モデルの様々な規定値を変更

## 例題32.1 スポット空調解析(温熱環境人体熱モデル)

温熱環境人体熱モデルJOSを用いて、スポット空調の効いている室内にいる人の体温を解析します。

### 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

- 上図のように、縦、横、高さが3[m]の室内の中央に人が立っています。そして、天井の中心に直径0.2[m]のスポット空調の吹き出し口があります。スポットより冷気が流入したときの人体の体温および発汗量を解析します。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k-ε方程式
- 拡散物質保存式(1番目:水蒸気)

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 拡散(湿度) : 居室内の湿度分布を求めます。
- 人体モデル : 人体モデル機能を使って体温や発汗量を求めます。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。
- 拡散物質1 : 水蒸気  
拡散係数  $2.56 \times 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}]$

### - 境界条件

- 流入口[inlet] : 質量流量規定  $0.134 [\text{kg}/\text{s}] (=400 [\text{m}^3/\text{h}])$   
流入温度  $20 [\text{°C}]$   
流入拡散物質濃度  $0.85 [-]$
- 流出口[outlet1], [outlet2] : 表面圧力規定  $0 [\text{Pa}]$
- 壁面 [upper], [lower] : 静止壁  
[side], [duct\_outlet] : 温度固定  $35 [\text{°C}]$

### - 初期条件

- 空気温度 :  $30 [\text{°C}]$   
相対湿度 :  $0.5 [-]$

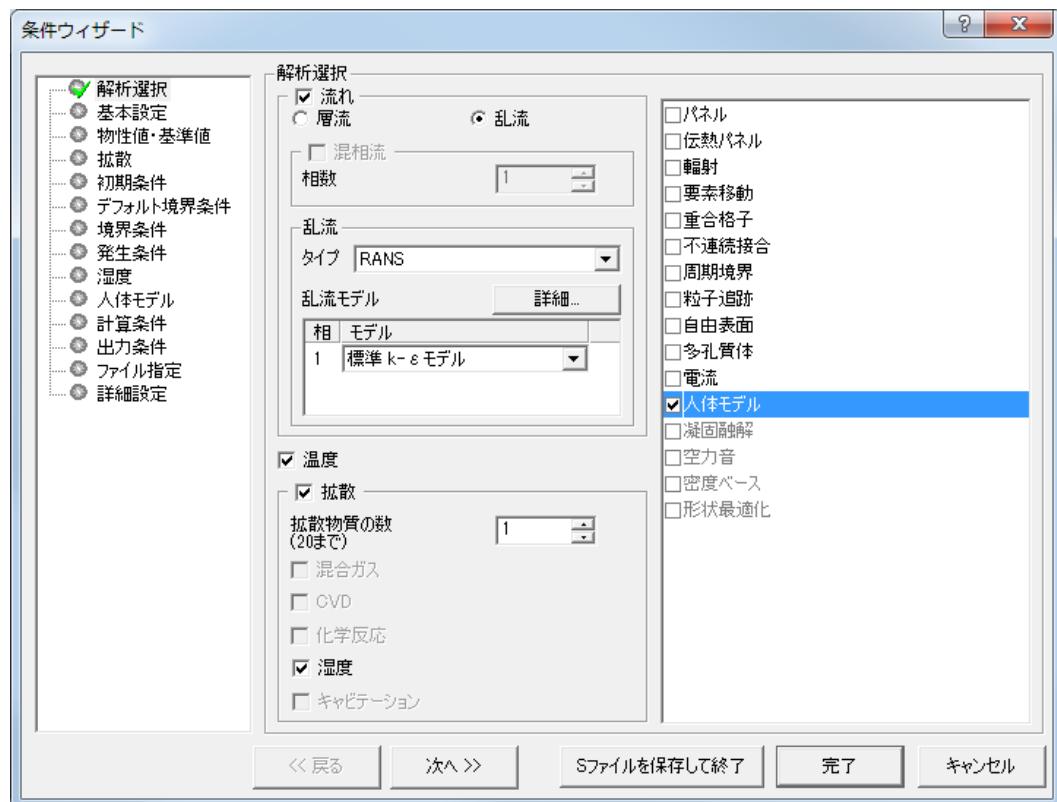
### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 定常判定値  
デフォルト
- 湿度の設定  
湿度の種類 相対湿度  
初期値  $0.5 [-]$
- 人体モデル条件  
年齢 20歳  
性別 男性  
体脂肪率 15[%]  
代謝量  $104.76 [\text{W}/\text{m}^2] (=1.8 [\text{met}])$   
着衣条件 厚手長袖作業着
- 人体モデルオプション設定  
部位別の熱バランスの出力を設定  
収束判定値を  $10^{-4}$  に設定

## 特記事項

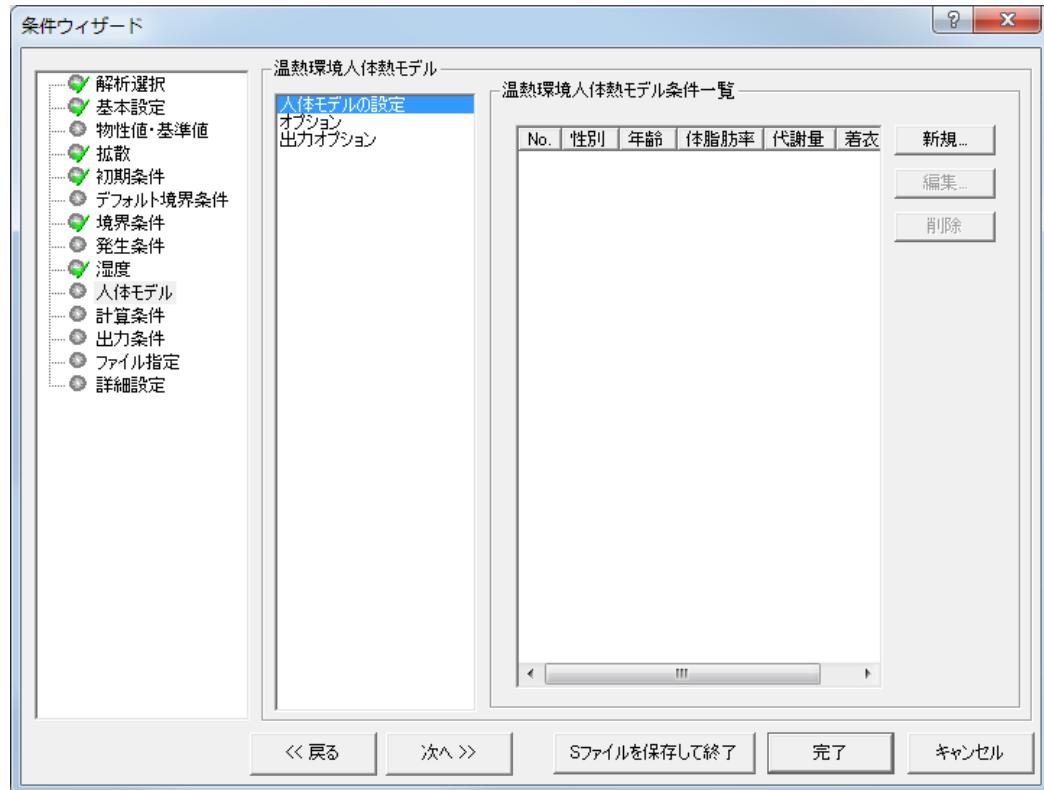
### - 人体モデル使用時の解析選択の設定

- ・ [条件ウィザード] - [解析選択]で、[温度], [拡散], [湿度], [人体モデル]をONにします。
- ・ その後、[条件ウィザード] - [湿度]で湿度の種類、初期値を設定します。[湿度]の設定については、解析手順の[湿度]をご参照ください。

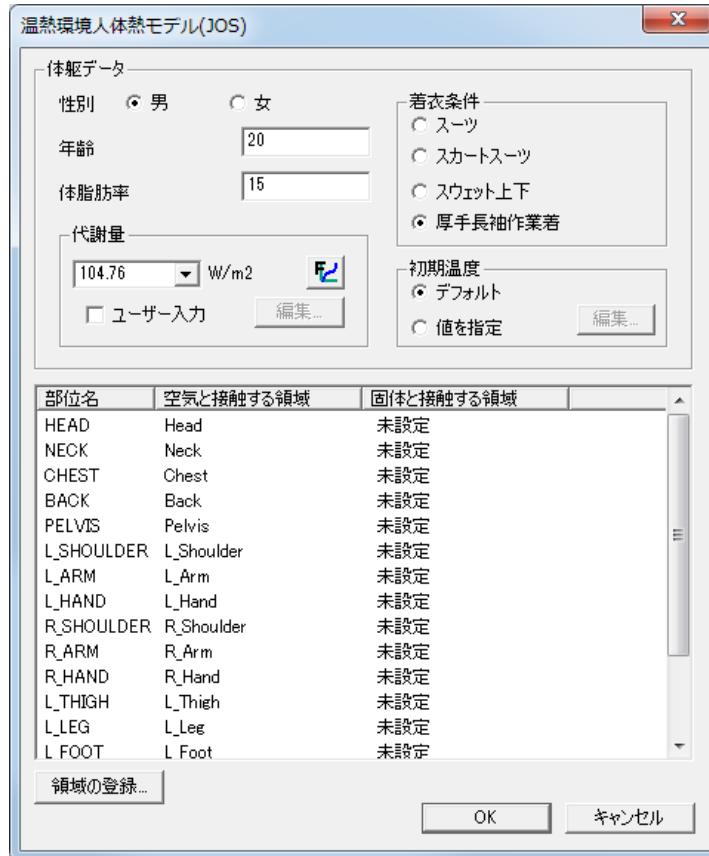


### - 人体モデルの設定

[条件ウィザード] - [人体モデル]で人体モデルに関する設定を行います。  
[温熱環境人体熱モデル条件一覧]の新規をクリックして条件を作成します。



- **体躯データ**(性別, 年齢, 体脂肪率, 代謝量, 着衣条件)を以下のように設定し、17部位に対する面領域の設定を行います。本例題では、すべて[空気と接触する領域]として下図のように設定します。



- 人体モデルのオプション設定を行います。[条件ウィザード] - [人体モデル]の[オプション]の項目を選択します。[規格化した定常判定値]で[定常判定をする]を選択し[1e-4]と入力してください。
- 続いて[条件ウィザード] - [人体モデル]の[出力オプション]の項目を選択し、[部位別の熱バランス]を[出力する]に設定します。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA32-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- 特記事項 人体モデル使用時の解析選択の設定を参照してください。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [1000]

#### 3. [拡散]

- [値]を以下のように入力します。入力が完了したら適用をクリックします。  
[拡散係数] : [2.56e-005 m<sup>2</sup>/s]

#### 4. [初期条件]

- 新規をクリックします。
- [初期値]ダイアログにて、[変数]から[温度]を選択して、[値]に[30°C]を入力します。[対象]で[MATで指定する]を選択し、[全てのMAT番号に適用]をONにして、OKをクリックします。

#### 5. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、流量規定をクリックします。[流量規定]ダイアログで[境界面に垂直に質量流量を指定]を選択します。続いて[流入質量流量]に[0.134 kg/s], [流入温度]をONにし、[T]に[20 °C]を入力します。さらに、[流入拡散物質濃度]をONにし、[濃度指定]を選択し[0.85]を入力し、OKをクリックします。
- [領域]から[outlet1], [outlet2]を複数選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログで[圧力指定]に[0 Pa]となっていることを確認し、OKをクリックします。
- [領域]から[upper], [lower], [side], [duct\_outlet]を複数選択して、壁面をクリックします。  
[壁面]ダイアログで[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。続いて[壁面熱伝達条件]タブで[断熱]をOFFにし、[条件値]で[壁面温度を外部温度に固定]を選択し、[外部温度]に[35 °C]を入力し、OKをクリックします。

#### 6. [湿度]

- [湿度の種類]タブの[設定]で[MAT番号]を[1]とし、[相対湿度]を選択し、<<をクリックします。
- [初期値]タブで新規ボタンをクリックし、現れた[初期値アイテム]ダイアログで[MAT番号]を[1], [相対湿度]を選択し、[初期値]を[0.5]と入力し、OKをクリックします。

#### 7. [人体モデル]

- 特記事項 人体モデルの設定を参照してください。

#### 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA32-1]と入力します。

### - 八分木図

[ファイル] - [開く]より exA32-1.octを読み込みます。

### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[upper]			
[lower]	[0.03]	[1.1]	[2]
[side]			
[duct_outlet]			
[duct_inlet]	[0.008]	[1.1]	[2]
[R_Hand]			
[L_Hand]	[0.0008]	[1.1]	[2]
[Head]			
[Neck]			
[Chest]			
[Back]			
[Pelvis]			
[L_Shoulder]			
[L_Arm]			
[R_Shoulder]			
[R_Arm]	[0.004]	[1.1]	[2]
[L_Thigh]			
[R_Thigh]			
[L_Leg]			
[L_Foot]			
[R_Leg]			
[R_Foot]			

詳細設定をクリックし、[厚み]タブを選択します。[狭い空間での境界層の厚みを制限する]をONにし、[空間の広さに対する厚みの比の上限]に[0.2]を入力して、OKをクリックします。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

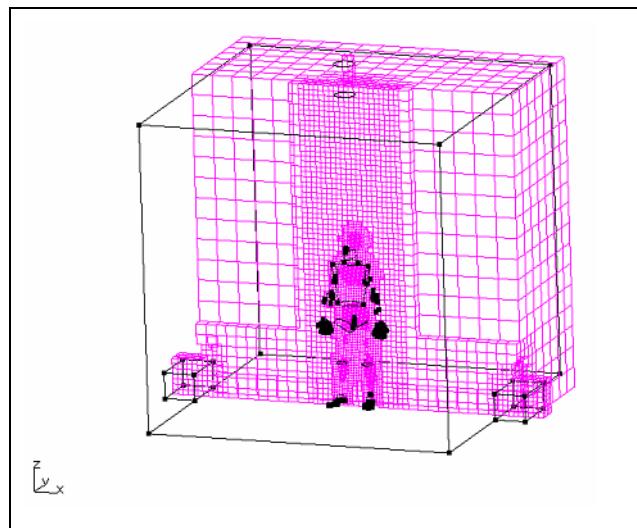
- SCTsolverの実行時間  
約 30分

- 計算サイクル数  
約 500サイクル

\* 2core 使用時( Intel Xeon X5680 3.33GHz )

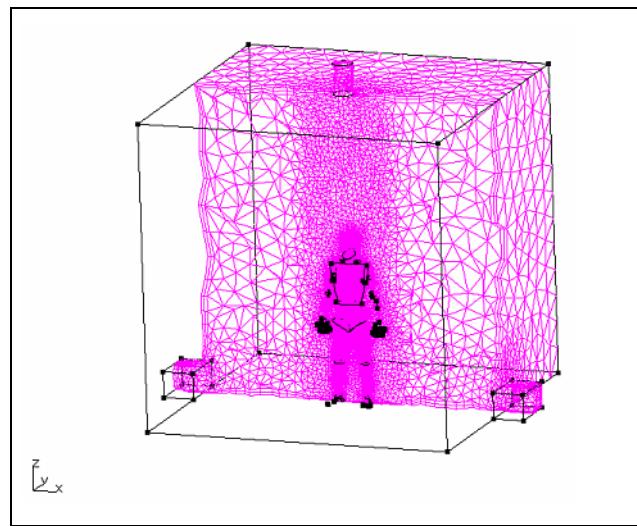
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.003125[m]~0.2[m]

- メッシュ図



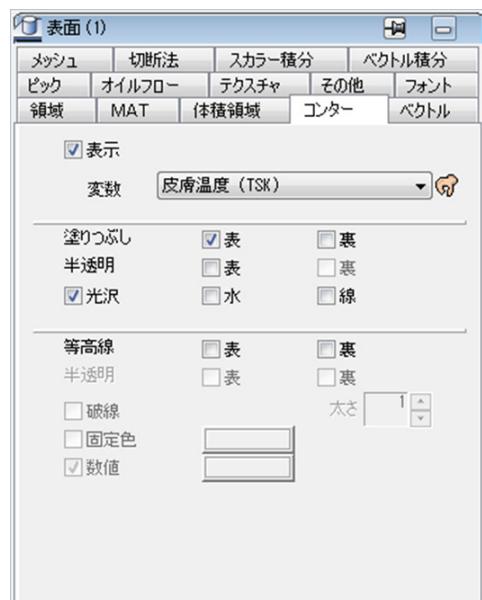
要素数 : 563,043

## 解析結果

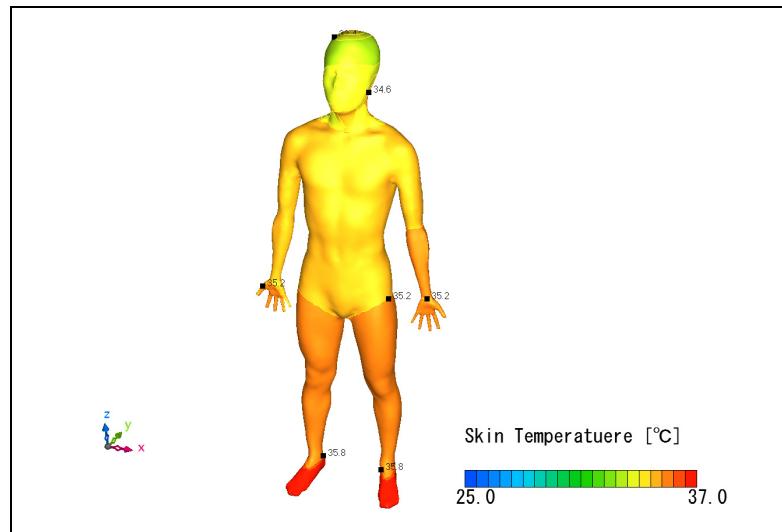
- SCTpostの設定

皮膚温度は、[表面]オブジェクトの[皮膚温度(TSK)]で表示しています。[表面]オブジェクトの[コンター]タブにて[変数]から[皮膚温度(TSK)]を選択します。

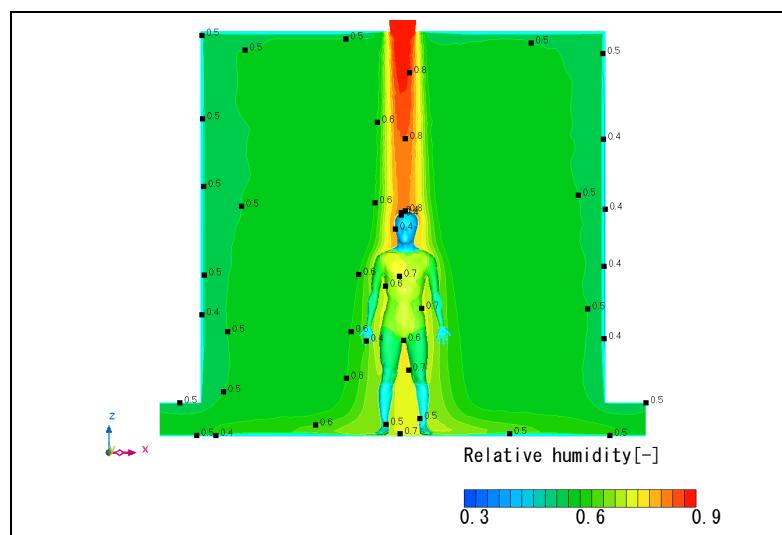
皮膚ぬれ率は、[皮膚ぬれ率(WET)]を選択することで表示できます。



- 皮膚温度分布



- 相対湿度分布(Y=0)



## 付属データ

本例題のデータフォルダの中には、以下に示す3姿勢の人体形状データが用意されています。

足投げ出し姿勢	:	exA32-1_sitfloor.mdl
座位(車の運転席)	:	exA32-1_seat_driver.mdl
座位(通常)	:	exA32-1_seat_normal.mdl

## 注意事項

本例題で使用している人体形状および付属データは、早稲田大学理工学術院田辺新一教授の研究グループより提供を受けたものです。早稲田大学理工学術院田辺新一教授および(株)ソフトウェアクリエイドルは、お客様が本データを使用したことにより、お客様または第三者に発生した直接または間接の損害について、その責任を負いません。

---

## 機能33 CVD解析

---

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**のCVD解析は表面反応に限定したものです。熱CVDは扱えますが、プラズマCVDは扱えません。熱CVDは、原料となるガスを混合して、加熱した基板上に反応により薄い膜状の結晶を析出させる方法の総称です。ユーザーズガイド 基礎編 第2部 2.3.4 表面反応機能と熱CVD解析を参照してください。

## 注意事項

- CVD解析は、以下の機能と併用できません。

自由表面, 分散混相流, 密度ベースソルバー

- 表面反応機能は圧縮性流体解析でのみ有効です。
- 設定できる表面化学種は最大で10までです。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [拡散物質1 (CN01)] : 第1拡散物質濃度
- [拡散物質2 (CN02)] : 第2拡散物質濃度
- [表面化学種の成長率(CVDD)] : 表面化学種の成長速度
- [表面化学種の膜厚 (CVDS)] : 表面化学種の膜厚(非定常解析の場合のみ)
- [拡散物質の質量分率(NO.nn) (SCnn)] / [表面化学種のモル濃度(NO.nn) (SCnn)] : nn番目の拡散物質の質量分率、またはnn番目の表面化学種のモル濃度
- [拡散物質/表面化学種のモル生成速度(NO.nn) (SRnn)] : nn番目の拡散物質のモル生成速度、またはnn番目の表面化学種のモル生成速度
- [乱流熱伝達係数 (HTRC)] : 表面熱伝達係数(乱流解析の場合)

## 関連コマンド

- CVGR : 成長速度を定義
- CVOP : 対流項の考慮等
- CVPR : 表面化学種の設定
- CVRC : 化学蒸着の起こる範囲と反応式の指定
- SORE : 热拡散係数を入力

## 例題33.1 熱CVD法による表面反応解析

熱CVD法によるSiの薄膜生成( $\text{SiHCl}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Si} + 3\text{HCl}$ )[文献1]を解析します。

反応は、以下の2つの段階に分離して設定を行います。ただし、反応熱は考慮しません。

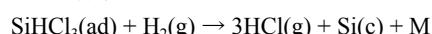
1.  $\text{SiHCl}_3$ の反応面への吸着



$$\text{反応速度} \quad r_1 = k_1[\text{SiHCl}_3][\text{M}]$$

$$\text{反応速度定数} \quad k_1 = 2.72e+6 \exp(-20687/T)$$

2. Siの生成反応



$$\text{反応速度} \quad r_2 = k_2[\text{SiHCl}_3(\text{ad})][\text{H}_2(\text{g})]$$

$$\text{反応速度定数} \quad k_2 = 5630 \exp(-21650/T)$$

ここで、

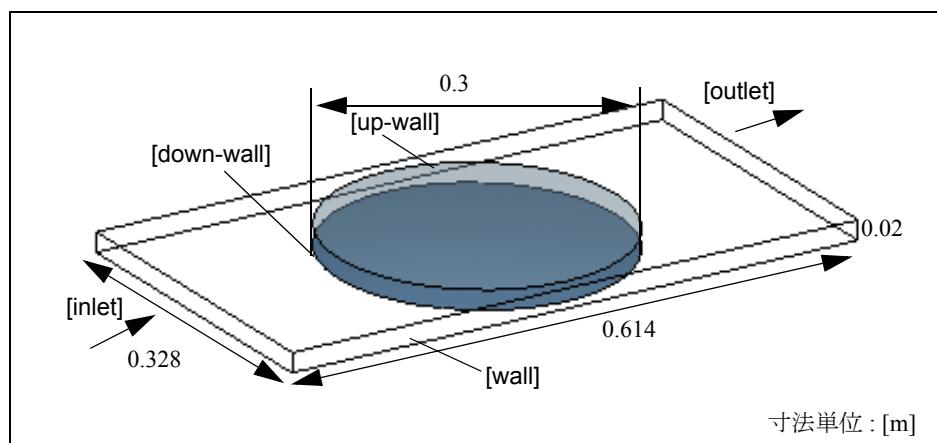
M : フリーな(空の)吸着サイト

g : ガス状態

ad : 吸着状態

c : 結晶状態

## 解析モデル



3次元圧縮性層流

CVD反応装置のうち、基板付近のみを解析領域とします。薄い直方体形状の解析領域の底面に、円形の基板[down-wall]が存在します。解析領域側面の一方[inlet]からは原料ガスが流入し、反対側の面[outlet]から流出します。

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- 拡散物質保存式

## 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 拡散(混合ガス) : 3成分混合ガスのCVD解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向 : -9.8[m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 絶対温度(K)

### - 物性値

- MAT=1 : キャリアガス(H<sub>2</sub>)
 

普遍ガス定数	8.31451	[J/(mol•K)]
定圧比熱1	14,510	[J/(kg•K)]
粘性係数	2.06e-7 T <sup>0.66</sup>	[Pa•s]
(テーブル入力)		
熱伝導率	8.099e-3+6.989e-4 T- 4.158e-7 T <sup>2</sup> +1.562e-10T <sup>3</sup>	[W/(m•K)]
(テーブル入力)		
- 拡散物質1 : SiHCl<sub>3</sub>(g)
 

モル質量	0.1356 [kg/mol]
標準生成熱	0 [J/kg]
- 拡散物質2 : HCl(g)
 

モル質量	0.0365[kg/mol]
標準生成熱	0 [J/kg]
- 拡散物質3 : H<sub>2</sub>(g)
 

モル質量	0.002 [kg/mol]
標準生成熱	0 [J/kg]
- 表面化学種4 : Si(c)
 

モル質量	0.0281 [kg/mol]
標準生成熱	0 [J/kg]
- 表面化学種5 : SiHCl<sub>3</sub>(ad)
 

モル質量	0.1356 [kg/mol]
標準生成熱	0 [J/kg]
- 表面化学種6 : 吸着サイト
 

吸着サイト密度	1 [mol/m <sup>2</sup> ]
標準生成熱	0 [J/kg]

(メモ) 吸着サイト密度を1と設定すると、表面化学種濃度にはモル分率が適用されます。拡散物質および表面化学種の設定方法は、特記事項をご参照ください。

### - 基準値

- 基準温度 : 0[K]
- 基準圧力(MAT=1) : 101,325[Pa]

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 0.1667 [m/s]  
流入温度 300 [K]  
流入拡散物質濃度  
CN01 0.712 [-]  
CN02 0 [-]  
CN03 0.288 [-]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0 [Pa]  
流入温度 300 [K]  
流入拡散物質濃度  
CN01 0.712 [-]  
CN02 0 [-]  
CN03 0.288 [-]
- 壁面 [up-wall] : 擬要素中心壁条件の静止壁  
熱伝導条件、外部温度 740 [K]  
[down-wall] : 擬要素中心壁条件の回転移動壁  
角速度 35 [rpm](=3.66519[rad/s])  
軸方向 (X, Y, Z)=(0, 0, 1)  
熱伝導条件、外部温度 1,398 [K]  
[wall] : 擬要素中心壁条件の静止壁  
熱伝導条件、外部温度 300 [K]

### - 初期条件

- 拡散物質1(SiHCl<sub>3</sub>) (MAT=1) : 0.712 [-]
- 拡散物質2(HCl) (MAT=1) : 0 [-]
- 拡散物質3(H<sub>2</sub>) (MAT=1) : 0.288 [-]
- 温度 (MAT=1) : 300 [K]
- 表面化学種5(SiHCl<sub>3</sub>) : 0.5 [-]
- 表面化学種6(吸着サイト) : 0.5 [-]

(メモ) 表面化学種のSiHCl<sub>3</sub>、吸着サイトの初期濃度の設定は、[条件ウィザード]-[CVD]-[表面化学種]にて行います。

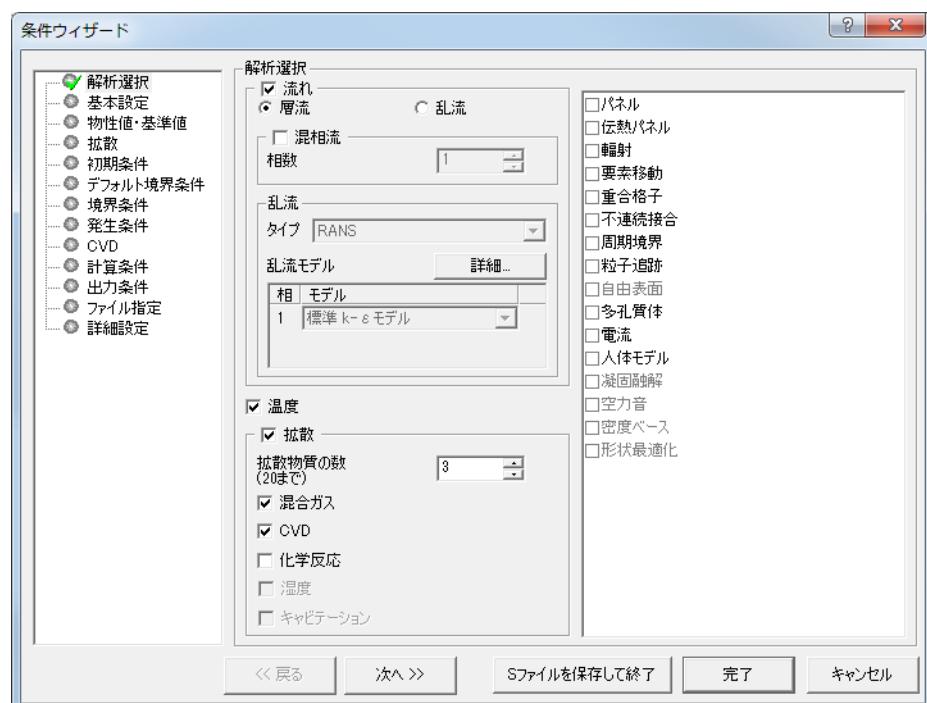
### - その他

- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 500[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 緩和係数  
温度 : 0.999  
拡散物質1, 2, 3 : 0.99

## 特記事項

### - CVD解析を計算するための設定

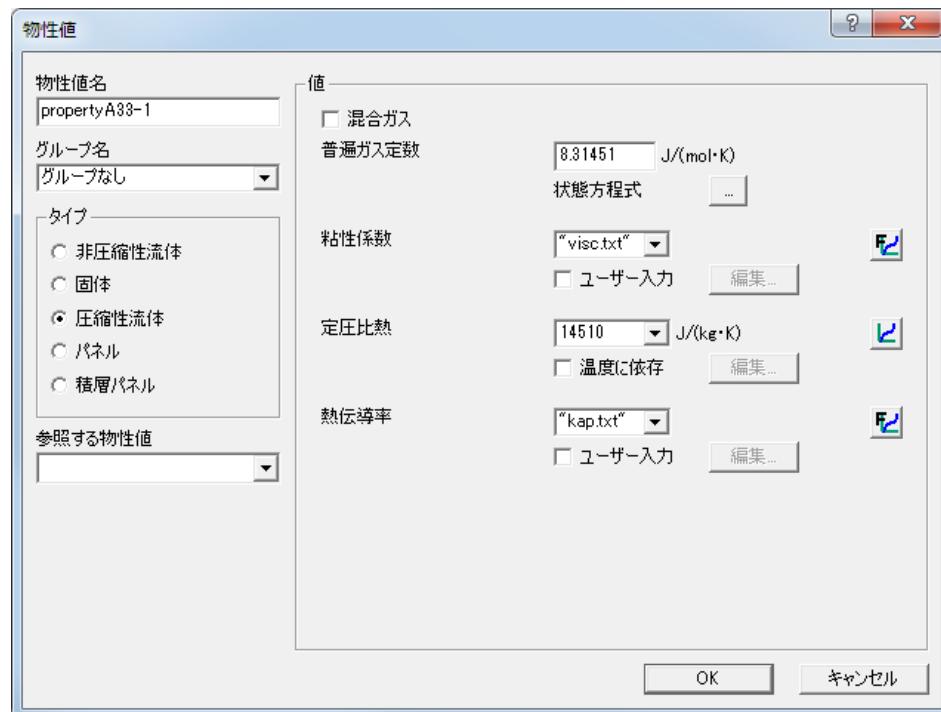
- [条件ウィザード] - [解析選択]のところで、[拡散]をONにします。[拡散物質の数]は[3]として、[混合ガス]と[CVD]をONにします。



### - キャリアガスの物性値のテーブル設定

- [条件ウィザード] - [物性値・基準値]の[物性値]タブで、新規作成をクリックします。[物性値]ダイアログにて、以下のように設定を行い、OKをクリックしてダイアログを閉じます。  
なお、[普遍ガス定数]を選択するためには、[状態方程式]の...をクリックして[普遍ガス指定]を選択します。

[タイプ] : [圧縮性流体]  
 [普遍ガス定数] : [8.31451 J/(mol・K)]  
 [粘性係数] : ["visc.txt" Pa・s]  
 [定圧比熱] : [14510 J/(kg・K)]  
 [熱伝導率] : ["kap.txt" W/(m・K)]

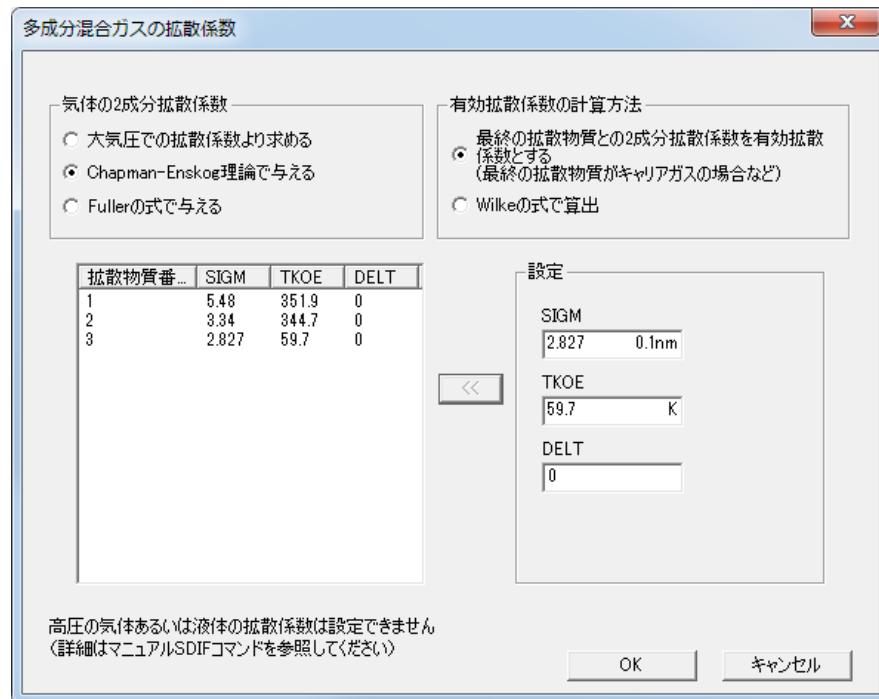


(メモ) 粘性係数、熱伝導率は変数テーブルを用いて、温度の関数として入力します。変数テーブルを指定するには、上図のように、数値を入力する位置に変数テーブルのファイル名をダブルクリックオーテーションで囲んで指定します。変数テーブルファイルの書式については、[ユーザーズガイドリファレンス\(ソルバー\)編 1.4 変数テーブル](#)を参照してください。なお、変数テーブルをSCTpreのダイアログ上で直接設定する方法もあります。後者の変数テーブルの設定方法については、[機能11の変数テーブル機能](#)を参照してください。

- 作成した物性をMAT1に設定するため、MAT[1]を選択し、[物性値]から先ほど作成した物性を選択して適用をクリックします。

### - CVD解析の条件設定方法(拡散)

- 拡散物質の設定を行うため、[条件ウィザード] - [拡散]の[拡散物質]タブにて[多成分混合ガスの拡散係数を使用]をONにします。その後、設定をクリックし、[多成分混合ガスの拡散係数]ダイアログで、[気体の2成分拡散係数]として[Chapman-Enskog理論で与える]、[有効拡散係数の計算方法]として[最終の拡散物質との2成分拡散係数を有効拡散係数とする]を選択します。その後、以下のように各拡散物質の設定を行い、OKをクリックしてダイアログを閉じます。



- [拡散物質]タブにて、各拡散物質のモル質量を以下のように設定します。

拡散物質番号 No.1  
 [モル質量] : [0.1356 kg/mol]  
 拡散物質番号 No.2  
 [モル質量] : [0.0365 kg/mol]  
 拡散物質番号 No.3  
 [モル質量] : [0.002 kg/mol]

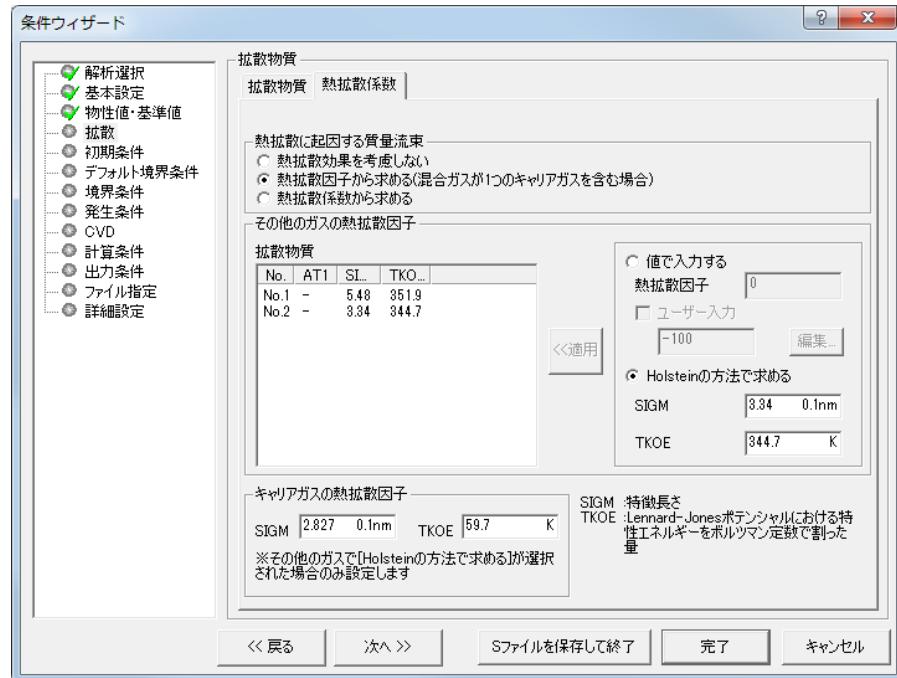
- 次に、拡散物質の補正をクリックします。[拡散物質に関する補正]ダイアログで以下のように設定して、<<をクリックしてダイアログを閉じます。  
 [質量分率の規格化] : [SW=2すべての拡散物質の質量分率を補正する]  
 [質量流束] : [SW=1最終の拡散物質の質量流束のみ補正する]

- 熱拡散に起因する拡散の考慮をするため、[熱拡散係数]タブを選択します。[熱拡散に起因する質量流束]にて[熱拡散因子から求める(混合ガスが1つのキャリアガスを含む場合)]を選択し、以下のように設定します。設定を反映させるには適用をクリックします。

拡散物質番号 No.1  
 [Holsteinの方法で求める] : ON  
 [SIGM] : [5.48 0.1nm]  
 [TKOE] : [351.9 K]  
 拡散物質番号 No.2  
 [Holsteinの方法で求める] : ON

[SIGM] : [3.34 0.1nm]  
[TKOE] : [344.7 K]

- [キャリアガスの熱拡散因子]のところで、[SIGM]を[2.827 0.1nm]、[TKOE]を[59.7 K]とします。



#### - CVD解析の条件設定方法(CVD)

- [条件ウィザード] - [CVD] - [表面化学種]の設定を行います。まず、[表面化学種の数]に[3]と入力します。
- リストの表面化学種番号[No.4], [No.5], [No.6]について、それぞれ以下のように設定して適用をクリックします。

##### 表面化学種番号 [No.4]

[種類]	: [析出物質]
[質量生成速度を成長速度に変換する係数]	: [4.2735e-4]
[分子量]	: [0.0281 kg/mol]

##### 表面化学種番号 [No.5]

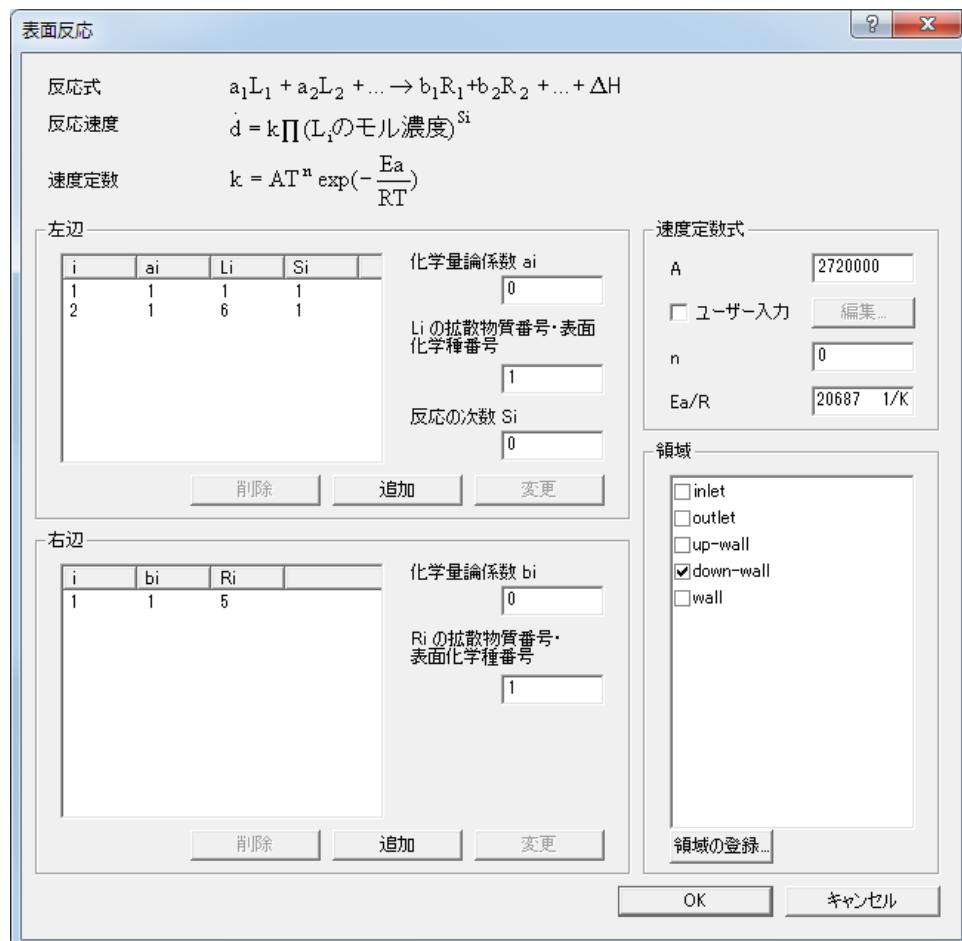
[種類]	: [フリーな吸着サイトに属する表面化学種]
[所属する吸着サイトの表面化学種番号]	: [6]
[分子量]	: [0.1356 kg/mol]
[初期濃度]	: [0.5 mol/m <sup>2</sup> ]

##### 表面化学種番号 [No.6]

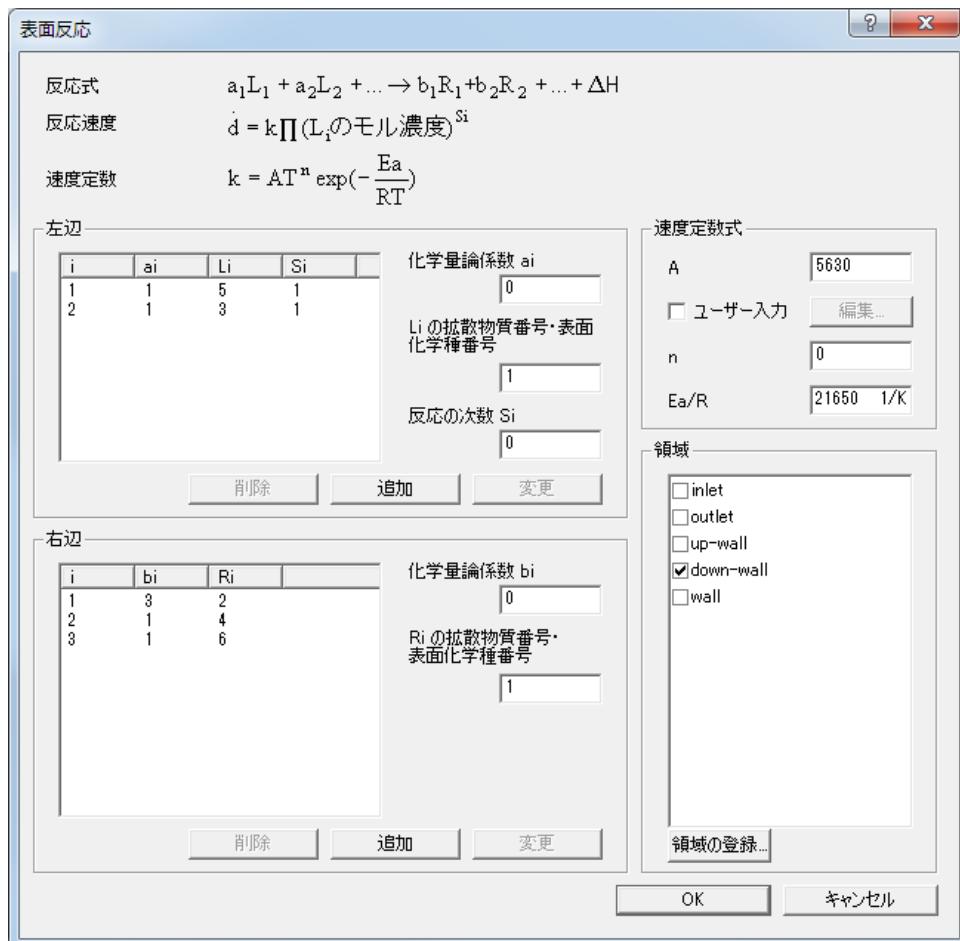
[種類]	: [フリーな吸着サイト]
[濃度の規格化]	: [ $C_{1co} = S_0(X_{1co}/(\sum X_i))$ ]
[初期濃度]	: [0.5 mol/m <sup>2</sup> ]

- [成長速度を定義する]をONにして、[4][番目の表面化学種の増加量を成長速度とする]とします。
- 続いて、[条件ウィザード] - [CVD] - [表面反応]の設定を行います。まず、[イタレーション回数]は、[2]と設定します。

- 新規をクリックし、[表面反応]ダイアログにて以下のようにSiHCl<sub>3</sub>の反応面への吸着を設定します。



- 同様に、Siの生成反応の条件の設定を行います。新規をクリックし、表示されたダイアログにて、以下のように設定します。



- [条件ウィザード] - [CVD] - [オプション]のところで、[収束速度・安定性]で[安定に解く]を選択します。

#### - 表面データの出力設定

- フリーな吸着サイト及び $\text{SiHCl}_3(\text{ad})$ の表面濃度出力の設定を行います。[条件ウィザード] - [出力条件]の[FLD(表面データ)]を選択します。[表面データ]の中から[表面化学種のモル濃度(2)]を選択し、設定をクリックして[表面データ]ダイアログにて[出力する]に変更します。同様にして、[表面化学種のモル濃度(3)]の設定も[出力する]にします。

- 変数テーブルファイル

- "visc.txt"

```
TTYP  
TEMP  
FUNC  
1  
VTBL  
2.06e-7 0.66  
/  
ENDT
```

- "kap.txt"

```
TTYP  
TEMP  
FUNC  
1  
VTBL  
8.099e-3 0.0  
6.689e-4 1.0  
-4.158e-7 2.0  
1.562e-10 3.0  
/  
ENDT
```

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA33-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [温度]、[拡散]をONにします。[拡散]の設定については、特記事項 CVD解析を計算するための設定を参照してください。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [500]
- [重力]の[考慮する]をONにします。
- [温度の単位]にて[絶対温度(K)]を選択します。

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]の設定については、特記事項 キャリアガスの物性値のテーブル設定を参照してください。

#### 4. [拡散]

- [拡散]の設定については、特記事項 CVD解析の条件設定方法(CVD)を参照してください。

#### 5. [初期条件]

- [初期値]タブにて、新規をクリックします。[初期値]ダイアログにて、[変数]を[温度]として、[値]に[300 K]を入力します。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- 同様に、新規をクリックして、[変数]を[拡散物質濃度(1)]として、[値]に[0.712]を設定します。また、[変数]を[拡散物質濃度(3)]として、[値]に[0.288]を設定します。

#### 6. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[境界面に垂直な流速を指定]を選択して以下のように設定します。

[流入流速]	: [0.1667 m/s]
[流入温度]	: ON
[温度指定 T]	: [300 K]
[流入拡散物質濃度]	: ON
[C1]	: [0.712]
[C3]	: [0.288]

- [領域]から[outlet]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、以下のように設定します。

[流入温度]	: ON
[温度指定 T]	: [300 K]
[流入拡散物質濃度]	: ON
[C1]	: [0.712]
[C3]	: [0.288]

- [領域]から[up-wall]を選択し、疑似要素中心壁面をクリックします。[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにし、[外部温度]を[740 K]とします。
- [領域]から[down-wall]を選択し、疑似要素中心壁面をクリックします。[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[回転移動壁]を選択します。[角速度]に[35]と入力し、単位に[rpm]を選択します。[軸方向]を[Z]=[1]とします。次に[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにし、[外部温度]を[1398 K]とします。
- [領域]から[wall]を選択し、疑似要素中心壁面をクリックします。[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。次に[壁面熱伝達条件]タブにて、[断熱]をOFFにし、[外部温度]を[300 K]とします。

#### 7. [CVD]

- [CVD]の設定については、[特記事項 CVD解析の条件設定方法\(CVD\)](#)を参照してください。

#### 8. [計算条件]

- [緩和係数]のところで、各方程式の緩和係数を設定します。まず、[方程式]で[T]を選択して、[物質の種類]を[圧縮性流体]、[緩和係数]を[0.999]として、登録をクリックします。次に、[方程式]で[CN01]を選択して、[緩和係数]を[0.99]として、登録をクリックします。続けて、[CN02]と[CN03]についても登録をクリックして、[CN01]と同じ設定を登録します。

#### 9. [出力条件]

- [FLD(表面データ)]のところで、表面データの出力設定の変更を行います。詳細につきましては、[特記事項 表面データの出力設定](#)を参照してください。

#### 10. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA33-1]と入力します。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA33-1.oct を読み込みます。

#### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。本解析では境界層要素の挿入を行いません。

- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[20]と設定します。

#### - 解析実行

テーブル関数ファイル(visc.txt,kap.txt)を、Sファイルと同じフォルダに置いた(コピーした)上で、SCTsolverで解析を実行します。

#### - 計算コストの目安

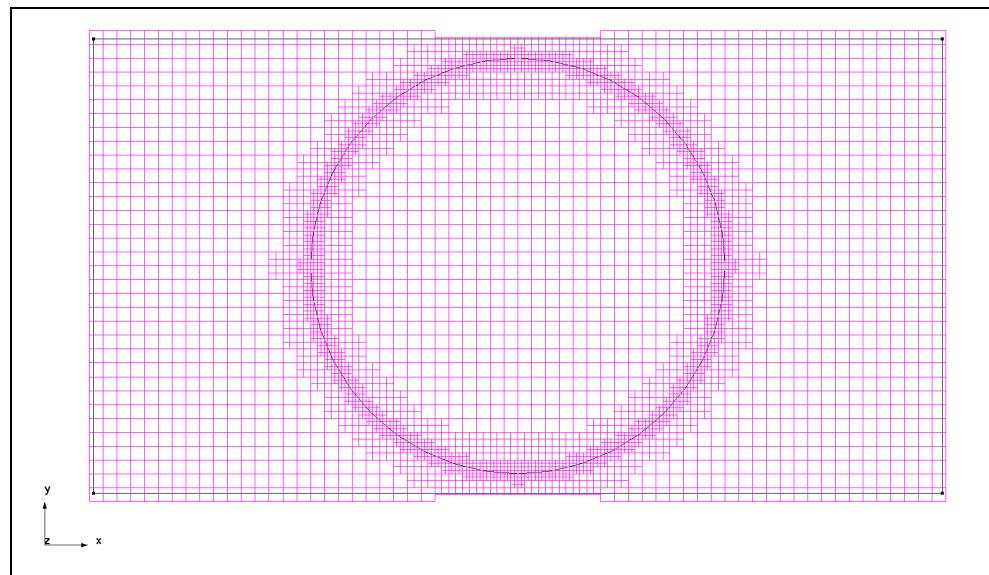
- SCTsolverの実行時間  
約25分

- 計算サイクル数  
約290サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz )

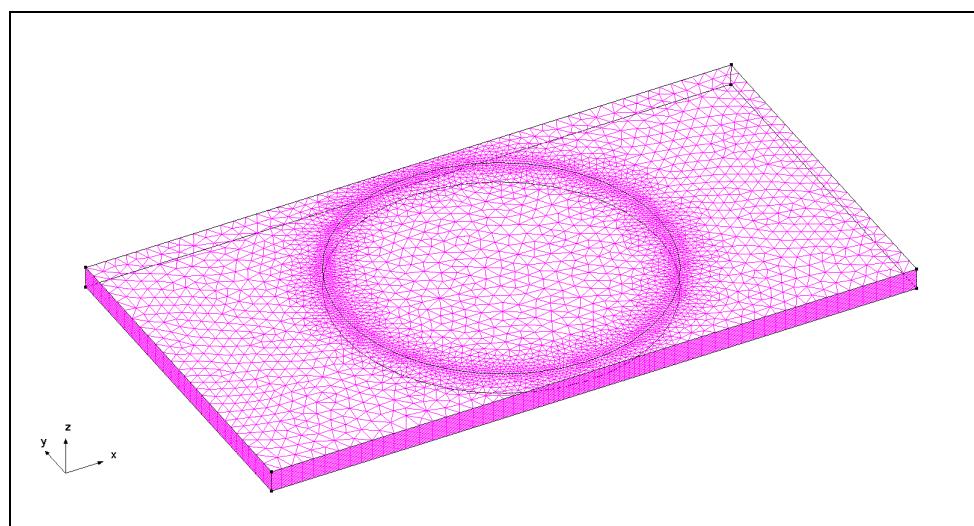
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.0025[m]~0.01[m]

- メッシュ図



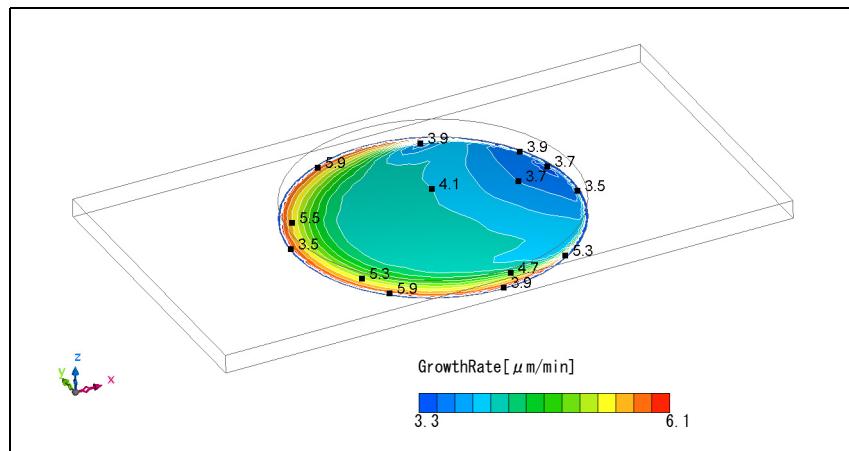
要素数 : 170,680

## 解析結果

- SCTpostの設定

成長速度は、単位を  $\mu\text{m}/\text{min}$  に変更するために、[変数登録]により作成する必要があります。ツリーの[FLD]オブジェクトの[変数登録]を選択し、計算式として [CVDD \* 60 \* 1000000] を入力して、新しい変数を登録します。また、成長速度のコンターを表示するためには、[表面]オブジェクトの[コンター]タブにて、[表示]をONにし、[変数]のところで、その新たに登録した変数を選択します。

- 成長速度



## 参考文献

- 羽深とう、"輸送現象と表面反応を考慮した  $\text{SiHCl}_3\text{-H}_2$  系 Si エピタキシャル成長の3次元数値解析"、日本結晶成長学会誌、Vol.23、(1996)、pp.2-7

---

## 機能34 化学反応

---

機能説明

- 拡散解析で2種類以上の拡散物質がある場合、物質同士が反応を起こし別の物質に変わるという現象を扱うことができます。例えば、物質Aと物質Bが反応して物質Cに変化する場合、物質A、Bが減り、物質Cが増えます。物質A、B、Cはそれぞれ第1拡散物質、第2拡散物質、第3拡散物質として扱われます。**SCRYU/Tetra**の化学反応機能では、反応による物質の増減と反応熱による温度変化を解析します。
  - どのように化学反応が起こるかは、化学反応式とその反応式に対する反応速度[mol/(m<sup>3</sup>•s)]により決まります。通常の化学反応解析では、化学反応式は条件として入力し、反応速度は修正アレニウス式により計算します。修正アレニウス式については、**ユーザーズガイド 基礎編 第2部 2.3.2 化学反応**もご参照ください。
  - 乱流燃焼時のように乱流強度が強くなると、反応速度は乱流混合に関連するパラメータで記述されると予測されます。この乱流混合の度合いによって反応速度を算出するのが渦消散モデルとなります。ただし、このように渦消散モデルは複雑な燃焼過程を扱うには、大きく簡易化されたモデルです。しかし、逆を言えば、詳細化学反応式なしで手軽に使用できるという利点があります。渦消散モデルについては、**ユーザーズガイド 基礎編 第2部 2.3.3 燃焼解析**もご参照ください。

## 注意事項

- ・ 化学反応は、以下の機能との併用はできません。

自由表面, 凝固融解

- ・ 湍流モデルは、RANSとともに用います。
  - ・ 反応物質と生成物質は拡散物質として扱われます。なお、それらの物質の濃度の単位は質量分率となります。
  - ・ 生成熱は基準温度における標準生成熱と拡散物質のモル質量によって自動的に計算されます。  
詳細は、[ユーザーズガイド リファレンス\(ソルバー\)編 REACコマンド](#)を参照してください。
  - ・ 化学反応解析で、発熱・吸熱を考慮しない場合、エネルギー方程式を解く必要はありませんが、SCTsolverが計算を受け付けるようにするために、必ずエネルギー方程式も解くようにしてください。

結果として出力されるもの

## - 図化ファイル

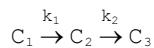
- [CN01(CN01)]: 第1拡散物質濃度
  - [CN02(CN02)]: 第2拡散物質濃度

## 関連コマンド

- REAC : 化学反応条件の設定

## 例題34.1 簡単な化学反応

3つの化学種 $C_1, C_2, C_3$ が下記のような式で化学反応を計算し、各化学種濃度の経時変化を求めます。



$$\frac{dC_1}{dt} = -k_1 C_1$$

$$\frac{dC_2}{dt} = k_1 C_1 - k_2 C_2$$

$$\frac{dC_3}{dt} = k_2 C_2$$

ここで、

$C_1$  : 化学種1の濃度[mol/m<sup>3</sup>]

$C_2$  : 化学種2の濃度[mol/m<sup>3</sup>]

$C_3$  : 化学種3の濃度[mol/m<sup>3</sup>]

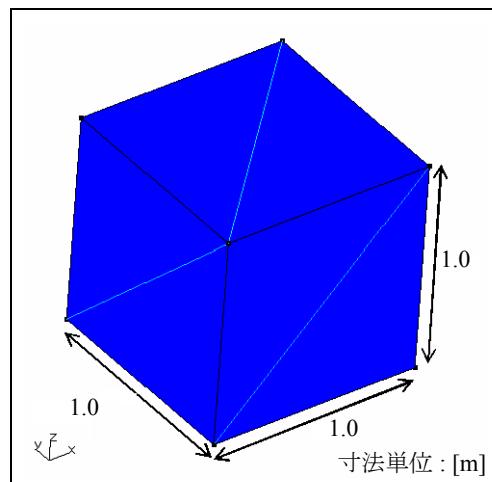
$k_1, k_2$  : 反応速度定数 [1/s]

化学種は拡散物質として扱います。SCRYU/Tetraでは拡散物質の単位は質量分率[kg/kg]です。

しかし、反応速度定数を計算するときの濃度は[mol/m<sup>3</sup>]です。

数値は濃度が[mol/m<sup>3</sup>]で計算されることを考慮して頻度因子Aの値を入力してください。質量分率からモル濃度への変換はSCTsolverが自動で行います。

## 解析モデル



化学反応解析(流れを解きません)

## 解くべき方程式

- エネルギー保存式
- 拡散物質保存式

### 注意事項

本例題の化学反応では発熱・吸熱を考慮しないため、エネルギー方程式を解く必要はありません。しかし、SCRYU/Tetraで化学反応を解く場合、エネルギー方程式を解くように設定しないと、SCTsolverが受け付けないため、エネルギー方程式も解いています。

## 解析選択

- 温度 : 温度の解析を行います。
- 拡散(化学反応) : 3つの化学種の化学反応の解析をします。

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。  
(メモ) 流体はダミーの物性値として使用しています。実際には使っていません。

- 拡散物質1 : 化学種1  
モル質量1 [kg/mol]
- 拡散物質2 : 化学種2  
モル質量1 [kg/mol]
- 拡散物質3 : 化学種3  
モル質量1 [kg/mol]

(メモ) 3つの拡散物質それぞれについて、拡散係数、基準温度、モル質量、粘性係数、定圧比熱、熱伝導率を入力します。このうち粘性係数以降の3つの物性値は、混合ガス解析のときのみ必要な変数です。本例題では拡散および温度は解きません。そのため、設定が必要なものはモル質量だけです。モル質量を0とすると、重量分率からモル濃度への変換が出来なくなるため、仮に全ての拡散物質についてモル質量を1[kg/mol]としました。詳細な設定方法につきましては、特記事項 化学反応の拡散条件設定を参照してください。

### - 境界条件

- なし

### - 初期条件

- 温度 : 0[°C]
- 拡散物質濃度(1) : 1.00[-]
- 拡散物質濃度(2) : 0.00[-]
- 拡散物質濃度(3) : 0.00[-]

### - その他

- ・ 解析の種類  
非定常解析
- ・ 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
固定時間間隔 : 0.01[s]

## 特記事項

### - 化学反応の設定指針

- ・ 化学反応の反応速度定数は次のようにします。  
 $k_1=1.0$   
 $k_2=0.1$   
従って、 $k_1$ については、以下のように設定します。  
 $A=1.0, n=0, Ea/R=0$
- ・ また、 $k_2$ については、以下の設定となります。  
 $A=0.1, n=0, Ea/R=0$

### - 化学反応解析のための計算の設定

- ・ [条件ウィザード] - [解析選択]で[流れ]をOFF, [温度]と[拡散]をONにします。  
[拡散]をONにした後、[拡散物質の数]に[3]を入力し、[化学反応]を選択します。



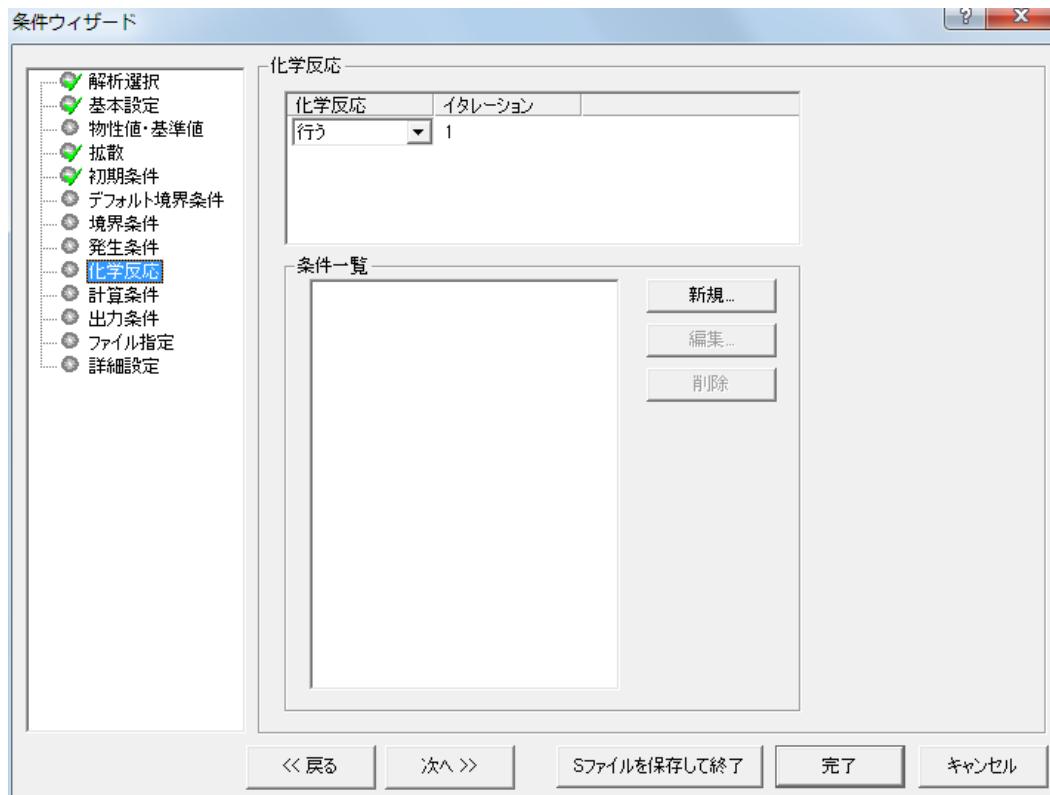
### - 化学反応の拡散条件設定

- [条件ウィザード]-[拡散]にて、各化学種のモル質量を設定します。この設定により、重量分率からモル濃度への変換が可能となります。リストの[拡散物質番号]から[No.1], [No.2], [No.3]をキーボードのCtrlキーを押した状態で3つとも選択します。[値]にある[モル質量]に[1 kg/mol]を入力し、適用をクリックします。



### - 化学反応の反応条件設定

- [条件ウィザード] - [化学反応]を選択すると、下図のようなダイアログが現れます。



- まず、1番目の化学反応



の設定を行うため、**新規**をクリックします。[化学反応]ダイアログにて、以下のように設定します。[右辺]と[左辺]の設定を反映させるためには、それぞれ入力後に**追加**をクリックします。

[左辺](i=1)

[化学量論係数 ai] : [1]  
 [Liの拡散物質番号] : [1]  
 [反応の次数 Si] : [1]

[右辺](i=1)

[化学量論係数 bi] : [1]  
 [Riの拡散物質番号] : [2]

[速度定数式]

[A] : [1]



- 設定後、OKをクリックしてダイアログを閉じると、[条件一覧]のところに、[条件No.1]が追加されます。なお、多くの化学反応ではaiとSiは同じ値になるものと思われます。

- 次に、2番目の化学反応



の設定を行います。先ほどと同様に、**新規**をクリックし、[化学反応]ダイアログにて、以下のように設定し、[条件No.2]を作成します。

[左辺](i=1)

[化学量論係数 ai] : [1]  
 [Liの拡散物質番号] : [2]  
 [反応の次数 Si] : [1]

[右辺](i=1)

[化学量論係数 bi] : [1]  
 [Riの拡散物質番号] : [3]

[速度定数式]

[A] : [0.1]

#### - 化学種の濃度の出力設定

- 拡散物質濃度の時系列グラフを作成するため、[条件ウィザード]-[出力条件]の**[時系列]**にて、**新規**をクリックし、以下の設定を行います。

[変数リスト] : [拡散物質濃度(1)]  
 [(X, Y, Z)] : [(0.5, 0.5, 0.5) m]

[変数リスト] : [拡散物質濃度(2)]  
 [(X, Y, Z)] : [(0.5, 0.5, 0.5) m]

[変数リスト] : [拡散物質濃度(3)]  
 [(X, Y, Z)] : [(0.5, 0.5, 0.5) m]

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA34-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- 特記事項 化学反応解析のための計算の設定を参照してください。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択し、以下のように設定します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [1000]

- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。

[時間間隔] : [0.01 s]

#### 3. [拡散]

- [拡散]の設定については、特記事項 化学反応の拡散条件設定を参照してください。

#### 4. [初期条件]

- [初期値]タブにて、新規をクリックします。[初期値]ダイアログにて、以下の設定を行い、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

[変数] : [温度]

[値] : [0 °C]

[変数] : [拡散物質濃度(1)]

[値] : [1]

[変数] : [拡散物質濃度(2)]

[値] : [0]

[変数] : [拡散物質濃度(3)]

[値] : [0]

#### 5. [化学反応]

- 特記事項 化学反応の反応条件設定を参照してください。

#### 6. [出力条件]

- [時系列]の設定を行います。詳細につきましては、特記事項 化学種の濃度の出力設定を参照してください。

#### 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA34-1]と入力します。その後、[Sファイルを保存して終了]を選択します。なお、このとき「非定常計算が選択されていますが、FLDファイルの出力が最終サイクルのみになっています。FLDファイルの出力サイクルの設定を行いますか?」という確認ダイアログが表示されますが、いいえをクリックします。

- 八分木

[ファイル] - [開く]より exA34-1.oct を読み込みます。

- メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにてメッシュを作成します。なお、この例題では、境界層要素の挿入は行いません。

- 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

- 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約40秒

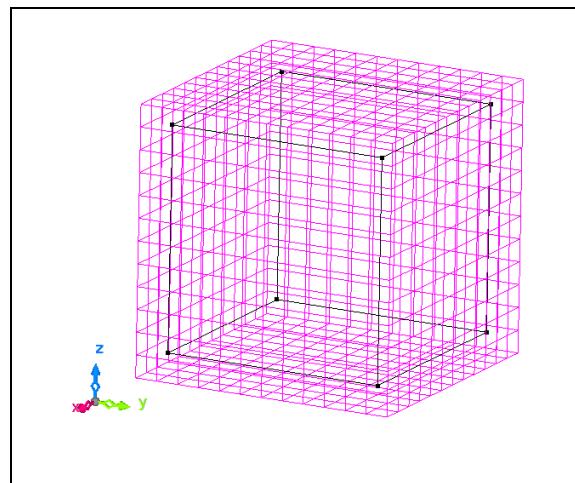
- 計算サイクル数

1000サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

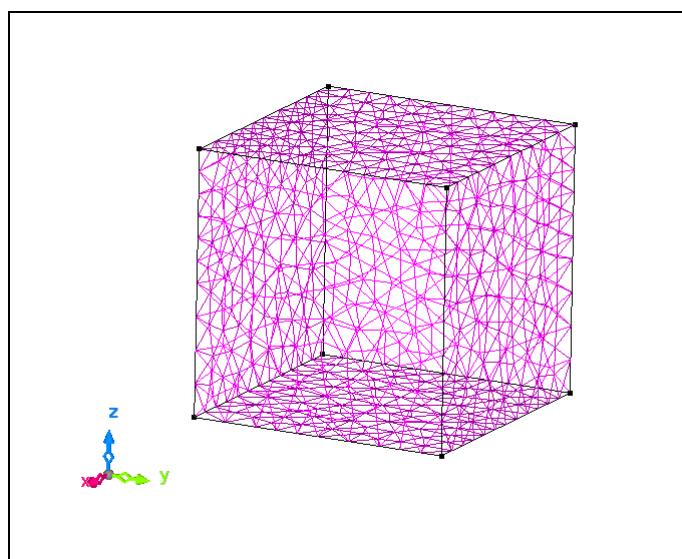
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.1[m]

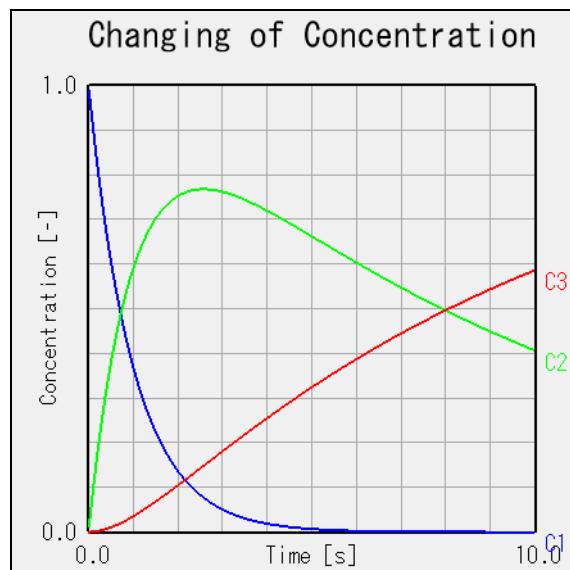
- メッシュ図



要素数 : 7,489

## 解析結果

- 拡散物質濃度の経時変化



- 検証

本例題の化学は理論的に求められ、理論解は次式のようになります。

$$C_1 = e^{-k_1 t}$$

$$C_2 = \frac{k_1}{k_1 - k_2} (e^{-k_2 t} - e^{-k_1 t})$$

$$C_3 = 1 - C_1 - C_2$$

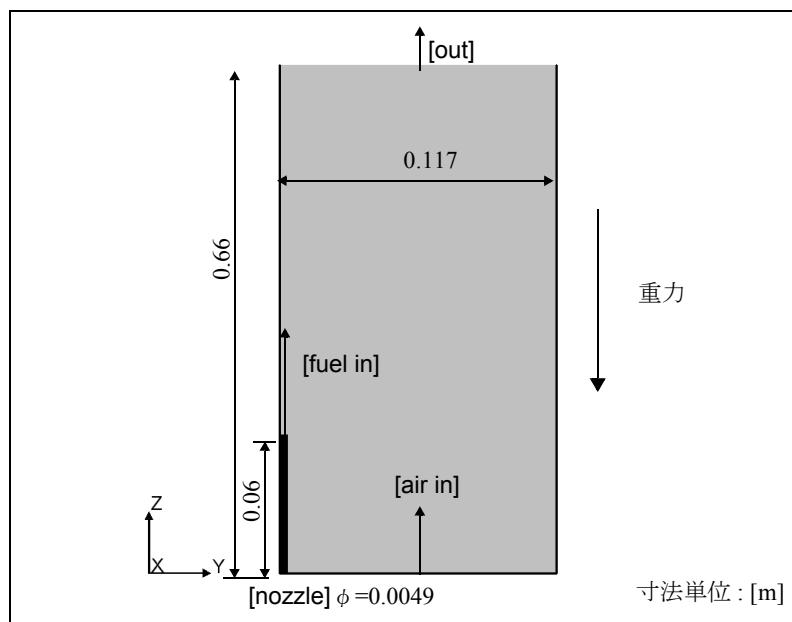
計算開始10秒後(1,000サイクル後)の計算結果と理論解を比較すると以下のようになります。

	計算結果	理論解
C <sub>1</sub>	0.000	0.000
C <sub>2</sub>	0.406	0.409
C <sub>3</sub>	0.586	0.591

## 例題34.2 涡消散モデルによる水素一空気拡散火炎の計算

渦消散モデルを用いて、空気中に水素燃料が噴射される場合の火炎の解析を行います。解析は化学反応を伴う混合気体解析となります。考える気体の種類は、水素、酸素、窒素そして水蒸気です。また、この例題では、高温下での比熱の温度依存を考えるため、比熱を温度の多項式として設定してみましょう。

### 解析モデル



本例題では、回転挿引による疑似2次元メッシュを用いて、軸対称計算をします。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k- $\epsilon$ 方程式
- 拡散物質保存式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 温度 : 温度の解析を行います。
- 拡散(混合ガス) : 4成分の混合ガスの化学反応の解析をします。
- 周期境界 : 周期境界を使用して、疑似2次元解析を行います。

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向:-9.8 [m/s<sup>2</sup>])
- 温度の単位 : 摂氏(°C) (デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 混合ガス  
物性値ライブラリより[流体(混合ガス・圧縮性)] - [混合ガス]を使用します。
- 拡散物質1 : 水素
 

モル質量	0.002	[kg/mol]
粘性係数	$1 \times 10^{-5}$	[Pa·s]
熱伝導係数	0.3	[W/(m·K)]
拡散係数	0.0	[m <sup>2</sup> /s]
定圧比熱	$13,853 + 1.5149T$	[J/(kg·K)]
- 拡散物質2 : 酸素
 

モル質量	0.032	[kg/mol]
粘性係数	$3 \times 10^{-5}$	[Pa·s]
熱伝導係数	0.1	[W/m·K]
拡散係数	0.0	[m <sup>2</sup> /s]
定圧比熱	$881.86 + 0.1213T$	[J/(kg·K)]
- 拡散物質3 : 水蒸気
 

モル質量	0.018	[kg/mol]
粘性係数	$5 \times 10^{-5}$	[Pa·s]
熱伝導係数	0.1	[W/m·K]
拡散係数	0.0	[m <sup>2</sup> /s]
定圧比熱	$1728.8 + 0.4552T$	[J/(kg·K)]
標準生成熱	$-1.34 \times 10^7$	[J/kg](発熱)
- 拡散物質4 : 窒素
 

モル質量	0.028	[kg/mol]
粘性係数	$5 \times 10^{-5}$	[Pa·s]
熱伝導係数	0.1	[W/m·K]
拡散係数	0.0	[m <sup>2</sup> /s]
定圧比熱	$1008.5 + 0.1045T$	[J/(kg·K)]

(メモ) 物性値は本例題で仮定したもので、厳密なものではありません。

### - 基準値

- 基準温度 : 273.15 [K]
- 基準圧力(MAT=1) : 101,325 [Pa]
- 基準密度(MAT=1) : 0 [kg/m<sup>3</sup>]

**- 境界条件**

- 流入口[fuel\_in] : 
 

流速規定	
流入流速	20.4 [m/s]
流入温度	26.85 [°C](300[K])
流入拡散物質濃度	
C1(水素質量分率)	0.04665 [-]
C2(酸素質量分率)	0.0 [-]
C3(水蒸気質量分率)	0.0 [-]
C4(窒素質量分率)	0.95335 [-]
- [air\_in] : 
 

流速規定	
流入流速	5.1 [m/s]
流入温度	26.85 [°C] (300 K)
流入拡散物質濃度	
C1 (水素質量分率)	0.0 [-]
C2 (酸素質量分率)	0.23184 [-]
C3 (水蒸気質量分率)	0.0 [-]
C4 (窒素質量分率)	0.76816 [-]
- 流出口[out] : 
 

表面圧力規定	0.0 [Pa]
流入温度	26.85 [°C] (300 K)
流入拡散物質濃度	
C1(水素質量分率)	0.0 [-]
C2 (酸素質量分率)	0.23184 [-]
C3 (水蒸気質量分率)	0.0 [-]
C4 (窒素質量分率)	0.76816 [-]
- 周期境界面[c1], [c2] : 
 

周期境界面のタイプ	平面に投影可能
回転移動	
回転角度θ	0.0872665[rad]
回転軸の方向成分	PZ=1
- 壁面 [wall] : 
 

静止壁	
断熱	

**- 初期条件**

- 圧力 : 0.0 [Pa]
- 温度 : 26.85[°C] (300[K])
- 拡散物質濃度(1)(水素質量分率) : 体積領域[v\_nozzle] 0.04665[-]  
体積領域[v\_cbr] 0.0[-]
- 拡散物質濃度(2)(酸素質量分率) : 体積領域[v\_nozzle] 0.0[-]  
体積領域[v\_cbr] 0.23184[-]
- 拡散物質濃度(3)(水蒸気質量分率) : 体積領域[v\_nozzle] 0.0[-]  
体積領域[v\_cbr] 0.0[-]
- 拡散物質濃度(4)(窒素質量分率) : 体積領域[v\_nozzle] 0.95335[-]  
体積領域[v\_cbr] 0.76816[-]

### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 1,500[サイクル]  
定常判定値 : 定常判定を行いません。
- 初期条件  
調和関数による初期化を行いません。

## 特記事項

### - 消散モデルの反応条件設定

- [条件ウィザード]-[化学反応]で新規をクリックし、表示された[化学反応]ダイアログにて、[反応速度]の設定としてアレニウスタイプ以外に設定します。本例題では拡散火炎タイプを選びます。[反応速度]として、[拡散火炎タイプ(渦消散モデル)]を選択します。渦消散モデルの設定では、反応式の左辺には燃料と酸化剤に相当する拡散物質番号を設定し、その量論式の係数を入力します。右辺には生成物の拡散物質番号を設定します。本例題では、



という燃焼反応を設定します。そのため、以下のように設定します。

なお、設定を反映させるためには、追加をクリックします。

左辺(i=1)

[化学量論係数 ai] : [1]  
[Liの拡散物質番号] : [1]  
[タイプ] : [燃料]

左辺(i=2)

[化学量論係数 ai] : [0.5]  
[Liの拡散物質番号] : [2]  
[タイプ] : [酸化剤]

右辺(i=1)

[化学量論係数 bi] : [1]  
[Riの拡散物質番号] : [3]

[反応速度に掛ける定数]

[N] : [1]



- [条件ウィザード] - [計算条件]の[慣性不足緩和]にて、[方程式]を[CN01], [物質の種類]を[圧縮性流体], [クーラン数を与え、重み付け平均時間間隔を与える]を選択し、[クーラン数]を[10]として登録をクリックします。
- [CN02], [CN03], [CN04]に対しても同じ設定を行います。
- [条件ウィザード] - [計算条件]の[定常判定]で、[定常判定による計算の打ち切りを行わない]を選択します。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA34-2.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [温度], [拡散], [周期境界]をONにします。[拡散物質の数]に[4]を入力して、[混合ガス], [化学反応]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [1500]

- [重力]の[考慮する]をONにします。

[(X, Y, Z)] : [(0, 0, -9.8) m/s<sup>2</sup>]

#### 3. [物性値・基準値]

- [条件ウィザード] - [物性値・基準値]の[物性値]タブにてMAT[1]を選択します。その状態で、[物性値]にて[流体(混合ガス・圧縮性)] - [混合ガス]を選択し、適用をクリックします。

#### 4. [拡散]

- [拡散物質]タブにて、各拡散物質を以下のように設定します。なお、[定圧比熱]は温度依存性を考えるので、[OFS]以降の設定を、[温度に依存]をONにして編集をクリックしたときに表示される[比熱]ダイアログにて行います。各設定の反映は、適用をクリックして行います。

##### 拡散物質番号 No.1

[標準生成熱]	: [0 J/kg]
[モル質量]	: [0.002 kg/mol]
[粘性係数]	: [1e-005 Pa·s]
[熱伝導率]	: [0.3 W/(m·K)]
[温度に依存]	: ON
[OFS]	: [273.15 K]
[A0]	: [13853 J/(kg·K)]
[A1]	: [1.5149 J/(kg·K <sup>2</sup> )]
[A2]	: [0 J/(kg·K <sup>3</sup> )]
[A3]	: [0 J/(kg·K <sup>4</sup> )]

##### 拡散物質番号 No.2

[標準生成熱]	: [0 J/kg]
[モル質量]	: [0.032 kg/mol]
[粘性係数]	: [3e-005 Pa·s]
[熱伝導率]	: [0.1 W/(m·K)]
[温度に依存]	: ON
[OFS]	: [273.15 K]
[A0]	: [881.86 J/(kg·K)]
[A1]	: [0.1213 J/(kg·K <sup>2</sup> )]
[A2]	: [0 J/(kg·K <sup>3</sup> )]

[A3] : [0 J/(kg•K4)]

拡散物質番号 No.3

[標準生成熱] : [-1.34e+007 J/kg]  
 [モル質量] : [0.018 kg/mol]  
 [粘性係数] : [5e-005 Pa•s]  
 [熱伝導率] : [0.1 W/(m•K)]  
 [温度に依存] : ON  
 [OFS] : [273.15 K]  
 [A0] : [1728.8 J/(kg•K)]  
 [A1] : [0.4552 J/(kg•K2)]  
 [A2] : [0 J/(kg•K3)]  
 [A3] : [0 J/(kg•K4)]

拡散物質番号 No.4

[標準生成熱] : [0 J/kg]  
 [モル質量] : [0.028 kg/mol]  
 [粘性係数] : [5e-005 Pa•s]  
 [熱伝導率] : [0.1 W/(m•K)]  
 [温度に依存] : ON  
 [OFS] : [273.15 K]  
 [A0] : [1008.5 J/(kg•K)]  
 [A1] : [0.1045 J/(kg•K2)]  
 [A2] : [0 J/(kg•K3)]  
 [A3] : [0 J/(kg•K4)]

### 5. [初期条件]

- ・ [条件ウィザード] - [初期条件]の[初期値]タブにて新規をクリックします。[初期値]ダイアログにて、[変数]を[圧力]、[値]を[0 Pa]として、OKをクリックします。
- ・ 同様にして、[温度]と各拡散物質濃度の初期条件を以下のように設定します。

[変数] : [温度]

[値] : [26.85 °C]

[変数] : [拡散物質濃度(1)]

[値] : [0.04665]

[領域で指定する] : [v\_nozzle]

[変数] : [拡散物質濃度(1)]

[値] : [0]

[領域で指定する] : [v\_cbr]

[変数] : [拡散物質濃度(2)]

[値] : [0]

[領域で指定する] : [v\_nozzle]

[変数] : [拡散物質濃度(2)]

[値] : [0.23184]

[領域で指定する] : [v\_cbr]

[変数] : [拡散物質濃度(3)]

[値] : [0]

[領域で指定する]	:	[v_nozzle]
[変数]	:	[拡散物質濃度(3)]
[値]	:	[0]
[領域で指定する]	:	[v_cbr]
[変数]	:	[拡散物質濃度(4)]
[値]	:	[0.95335]
[領域で指定する]	:	[v_nozzle]
[変数]	:	[拡散物質濃度(4)]
[値]	:	[0.76816]
[領域で指定する]	:	[v_cbr]

- [調和関数]タブを選択します。リストの[MAT]の中から[1]を選択するとダイアログが表示されます。[調和関数による初期化]ダイアログにて、[デフォルト]をOFFにして、[圧力], [温度], [速度]を全て[初期化しない]とします。

#### 6. [境界条件]

- [領域]から[fuel\_in]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[境界面に垂直な流速を指定]を選択して、以下のように設定します。なお、[流入拡散物質濃度]の数値の設定を変更する場合は、変更したい数字をクリックします。

[流入流速]	:	[20.4 m/s]
[流入温度]	:	ON
[温度指定 T]	:	[26.85 °C]
[流入拡散物質濃度]	:	ON
[C1]	:	[0.04665]
[C2]	:	[0]
[C3]	:	[0]
[C4]	:	[0.95335]

- [領域]から[air\_in]を選択し、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[境界面に垂直な流速を指定]を選択して、以下のように設定します。なお、[流入拡散物質濃度]の数値の設定を変更する場合は、変更したい数字をクリックします。

[流入流速]	:	[5.1 m/s]
[流入温度]	:	ON
[温度指定 T]	:	[26.85 °C]
[流入拡散物質濃度]	:	ON
[C1]	:	[0]
[C2]	:	[0.23184]
[C3]	:	[0]
[C4]	:	[0.76816]

- [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認しOKをクリックします。

- [領域]から[out]を選択し、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、以下のように設定します。なお、[流入拡散物質濃度]の数値の設定を変更する場合は、変更したい数字をクリックします。

[圧力指定 P]	:	[0 Pa]
[流入温度]	:	ON
[温度指定 T]	:	[26.85 °C]
[流入拡散物質濃度]	:	ON

[C1]	:	[0]
[C2]	:	[0.23184]
[C3]	:	[0]
[C4]	:	[0.76816]

## 7. [化学反応]

- ・ 特記事項 消散モデルの反応条件設定を参照してください。

## 8. [周期境界]

- ・ [周期境界条件]タブにて、以下の設定を行い、**登録**をクリックします。

[領域1]	:	[c1]
[領域2]	:	[c2]
[周期境界面のタイプ]	:	[平面に投影可能]
[回転角度 θ]	:	[0.0872665 rad]
[回転軸の方向成分(PX, PY, PZ)]	:	[(0, 0, 1)]

## 9. [計算条件]

- ・ 詳細については、特記事項 消散モデルの反応条件設定を参照してください。

## 10. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA34-2]と入力します。

## - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA34-2.oct を読み込みます。

## - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[p1](ノズル部)	[1e-004]	[1.1]	[2]
[p2](ノズル部)	[5e-004]	[1.1]	[2]

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで**詳細設定**をクリックします。 [詳細設定]ダイアログの [要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- ・ [挿引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[挿引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにし、[層数]を[1]と設定します。

## - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

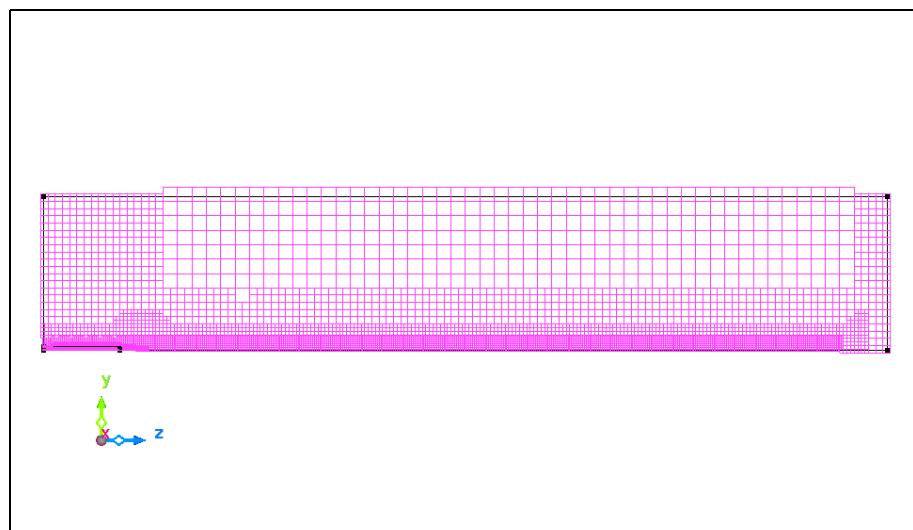
## - 計算コストの目安

- ・ SCTsolverの実行時間  
約12分
- ・ 計算サイクル数  
1,500サイクル

\* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

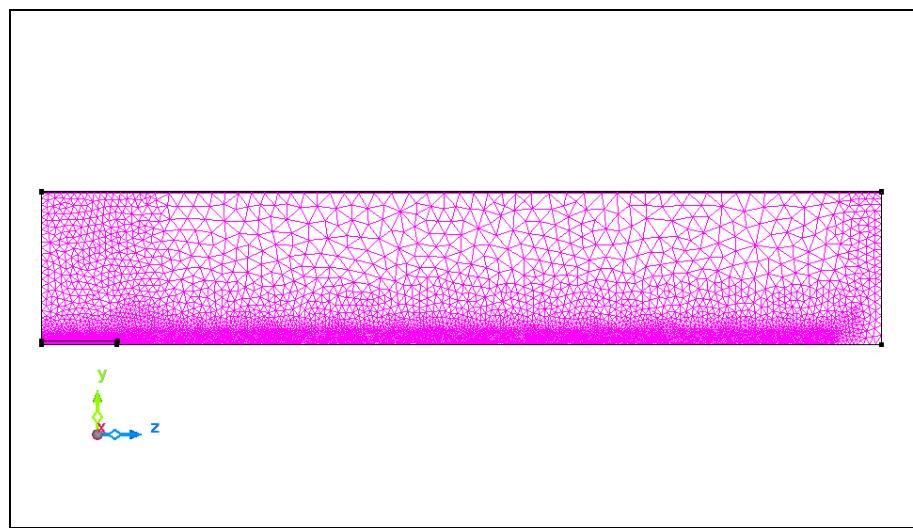
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ :  $8.78906 \times 10^{-5}[\text{m}] \sim 0.01125[\text{m}]$

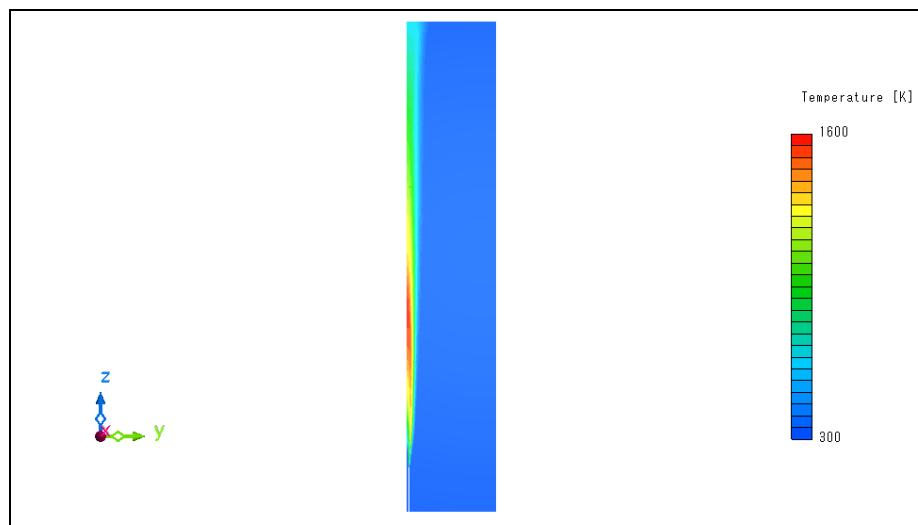
- メッシュ図



要素数 : 15,588

## 解析結果

- 温度センター図



---

## 機能35 分散混相流解析

---

---

## 機能説明

- 異なる2つ以上の相を持つ流れを混相流といいます。混相流では、相と相の境界を正確に捉えることが理想的ですが、界面をメッシュの大きさの範囲で捉える必要があることから、一般に計算負荷が大きくなるという短所があります。このため、相間の境界を正確に捉える代りに、各相の平均の体積割合をもって混相流を記述する方法があります。これは2流体モデルと呼ばれます。2流体モデルでは、同じ位置に、相毎に体積率、速度などの物理量を与えます。一方、圧力は各相共通の1つのみです。バブルジェットのように、相が分散している流れには2流体モデルが適していると考えられています。このように、流れ場に分散して存在する相を分散相と呼び、分散相を持つ流れを分散混相流と呼びます。本例題は、この分散混相流解析についての例題です。

## 注意事項

- 分散混相流解析は、以下の機能との併用はできません。

拡散(結露), 重合格子, 粒子追跡, 自由表面, LES, CVD,  
密度ベースソルバー

- 流体体積率がある指定値以下では、0.0の物理量が図化ファイルに出力されます。その指定値のデフォルトは0.0です。
- 単相流ではPCTYコマンドで圧力補正法を選択できますが、この分散混相流解析では、修正SIMPLEC法(L\_PCTY=4)のみ選択可能となります。
- 単相流解析から混相流解析へのズーミングは可能ですが、混相流解析からのズーミングは不可となります。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [FVF] : 流体の体積率

(メモ) 単相流解析での変数名の先頭に相の番号が追加されます。例えば、x方向流速[VELX]は、[1\_VELX]のようになります。

### - 計算時メッセージ

- IFORコマンドを設定したとき、相間の相互作用に関する量が出力されます。詳しくは、[ユーザガイド リファレンス\(ソルバー\)編 3.1 \(27\) 分散混相流\(IFORコマンド\)](#)を参照してください。
- HBALコマンドを設定したとき、相間の熱量の相互作用が出力されます。詳しくは、[ユーザガイド リファレンス\(ソルバー\)編 3.1 \(28\) 分散混相流\(HBALコマンド\)](#)を参照してください。

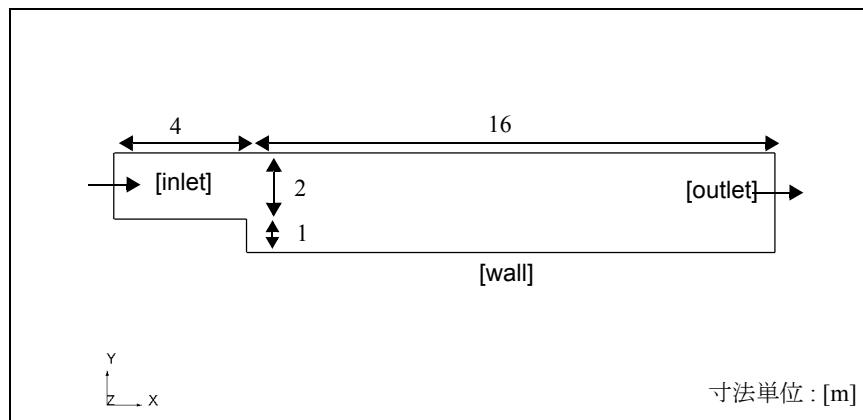
## 関連コマンド

- BASI : 分散混相流解析で使用する基準密度の設定
- IFOR : 相間の相互作用の設定
- PHAS : 分散混相流解析の設定開始の宣言
- PHAD : 分散混相流解析での規定値の変更

## 例題35.1 簡単な2相流

混相流機能を使用し、空気で満たされた空間へ、水を流入させる解析を行います。

### 解析モデル



疑似2次元非圧縮性乱流

空気(相1)で全体を満たしておき、水(相2)は左側の[inlet]から流入します。

時間と共に水は右側の[outlet]より流出します。

奥行き(Z)方向に1要素のメッシュ(疑似2次元メッシュ)を作成し、疑似的な2次元解析を行います。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 混相流(相数:2) : 空気と水の混相流解析を行います。

### 解析条件

#### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向:-9.8[m/s<sup>2</sup>])

### - 物性値

- MAT=1(相1) : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=1(相2) : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 基準値

- 基準温度 : 273.15[K]  
 基準圧力(MAT=1) : 101,325[Pa]  
 基準密度(MAT=1) : 0[kg/m<sup>3</sup>]

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 10[m/s]  
 相1の体積率 0.0  
 相2の体積率 1.0
- 流出口 [outlet] : 自然流入流出条件  
 相1の体積率 1.0  
 相2の体積率 0.0
- 壁面 [wall] : 相1, 相2共に静止壁

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

(メモ) 相1の体積率=1.0がデフォルトです。

### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル 1,000[サイクル]  
初期時間間隔 0.001[s]  
クーラン数 1.0
- サイクル内ループ  
疑似2次元の為、サイクル内ループの打ち切り判定を変更します。  
相1, 相2共に、Z方向の流速成分を $1.0 \times 10^{-1}$ とします。
- 圧力固定  
(X, Y, Z)=(16.0, 3.0, 0.0) : 圧力値0[Pa]
- 図化ファイル  
出力のタイミング : 指定サイクル毎に出力(サイクル間隔 100[サイクル])

## 特記事項

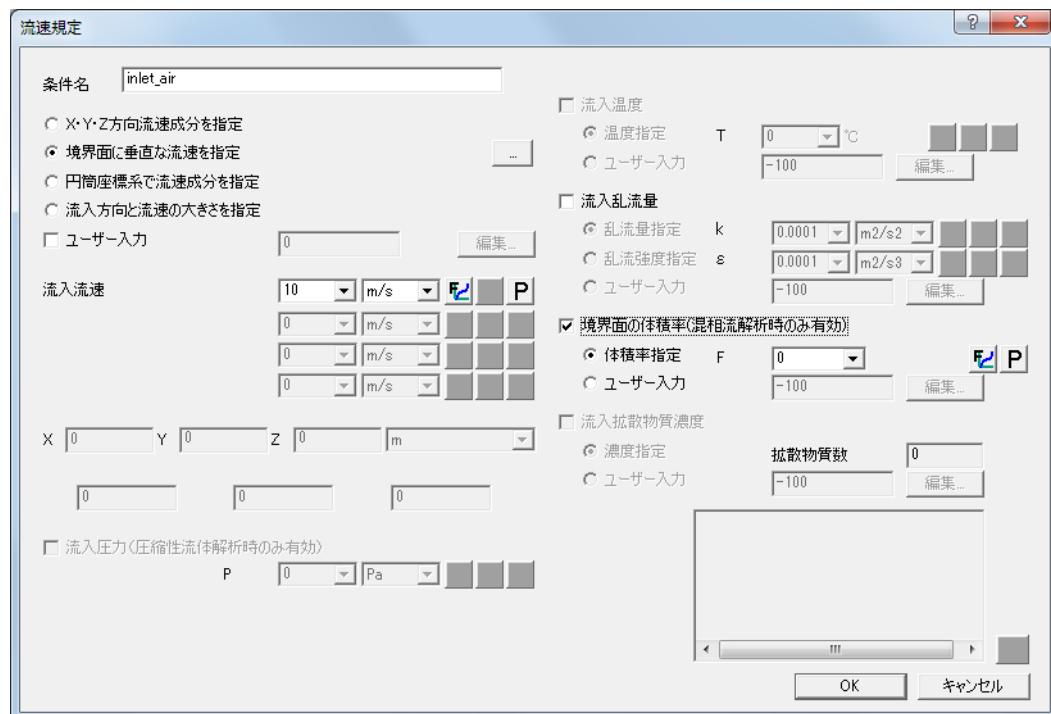
### - 混相流の設定

- 流入流出条件、壁面条件は各相毎に設定が必要です。
- リストから[inlet]の相1を選択し、**流速規定**をクリックします。[流速規定]ダイアログが開きますので以下の設定を行います。

[流入流速] : [10 m/s]

[界面の体積率(混相流解析時のみ有効)] : ON

[体積率指定] : [0]

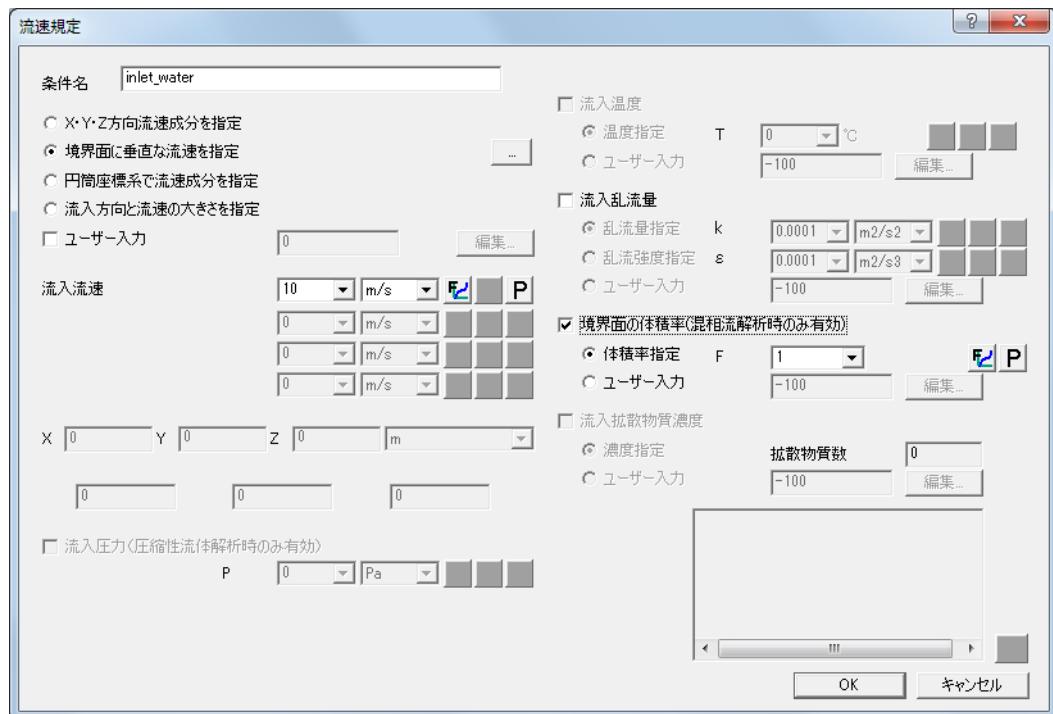


- 同様に、[inlet]の相2を選択した状態で流速規定をクリックし、[流速規定]ダイアログで以下の設定を行います。

[流入流速] : [10 m/s]

[界面の体積率(混相流解析時のみ有効)] : ON

[体積率指定] : [1]



- [outlet]の相1を選択し、[自然流入流出]を選択します。[境界面の体積率(混相流解析時のみ有効)]をONにして、体積率の入力欄に[1]と入力します。
- [outlet]の相2を選択し、[自然流入流出]を選択します。[境界面の体積率(混相流解析時のみ有効)]をONにして、体積率の入力欄に[0]と入力します。
- [wall]の相1, 相2共に[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。

## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exA35-1.mdlを読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [混相流]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [1000]

- [時間間隔の設定]で[クーラン数による]を選択します。

[初期時間間隔] : [0.001 s]

[クーラン数] : [1]

- [重力]の[考慮する]をONにし、[(X,Y,Z)]にそれぞれ[(0, -9.8, 0) m/s<sup>2</sup>]と入力します。

### 3. [物性値・基準値]

- MAT[1]の相1はデフォルトの[空気(非圧縮20°C)]とします。
- MAT[1]の相2を選択し、[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。
- [基準値]タブ[設定]の[MAT番号]にてMAT[1]を選択し、[基準圧力]に[101325 Pa]、[基準密度]に[0 kg/m<sup>3</sup>]と入力して、登録をクリックします。

### 4. [境界条件]

- 特記事項 混相流の設定を参照してください。

### 5. [計算条件]

- リストから[圧力]を選択します。[場所(X,Y,Z)]のそれぞれに[(16, 3, 0) m]と入力し、[圧力]に[0 Pa]を入力して登録をクリックします。
- リストから[ループ]を選択します。[相の番号]で[1]を選択した状態で、[方程式]から[W]を選択し、[判定値]に[0.1]と入力し、登録をクリックします。同様に、[相の番号]で[2]を選択し、[方程式]から[W]を選択した状態で[判定値]に[0.1]と入力して、登録をクリックします。

### 6. [出力条件]

- [FLD(サイクル)]にて、[出力のタイミング]で[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に[100]と入力します。

### 7. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA35-1]と入力します。

#### - 八分木

[ファイル] - [開く]より exA35-1.oct を読み込みます。

#### - メッシュ生成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.03]	[1]	[3]

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。 [詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにし、[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。
- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

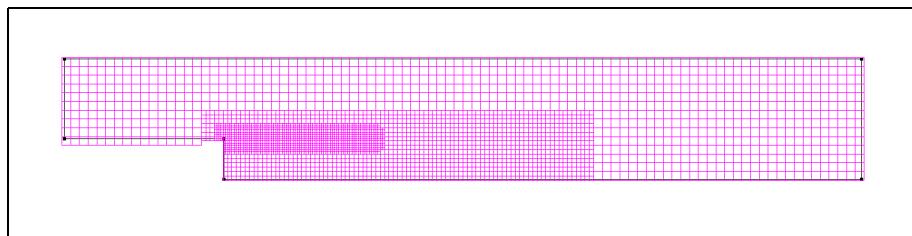
#### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約20分
- 計算サイクル数  
1,000サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

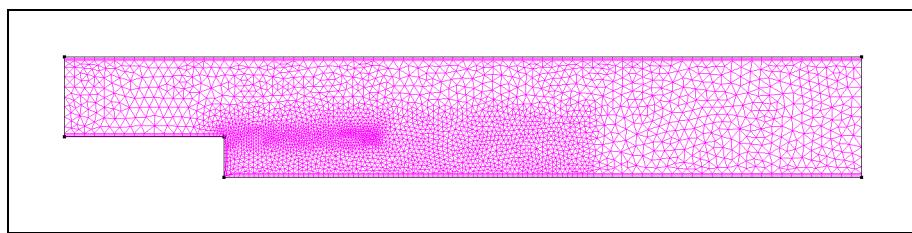
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.05[m]~0.20[m]

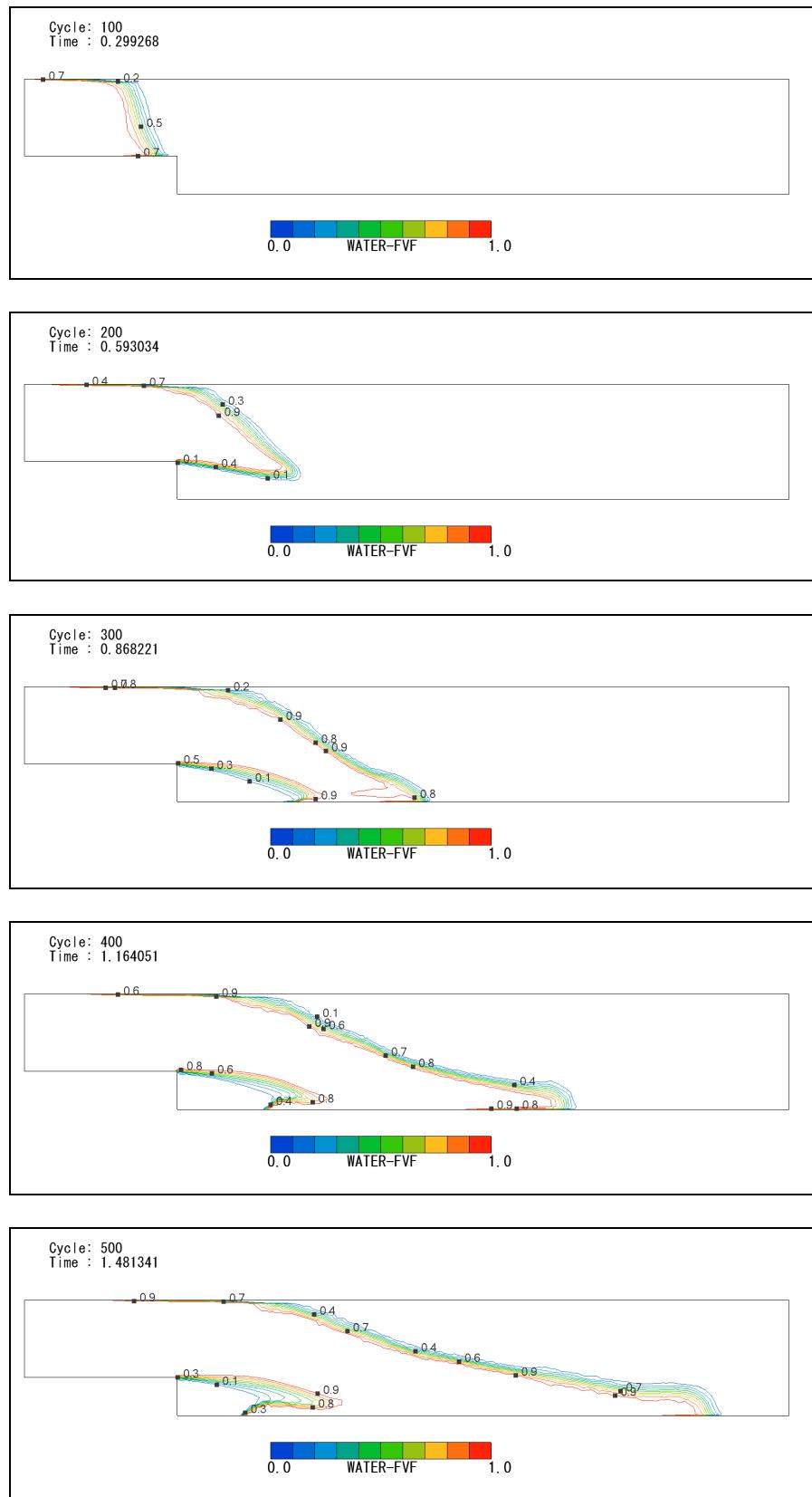
- メッシュ図

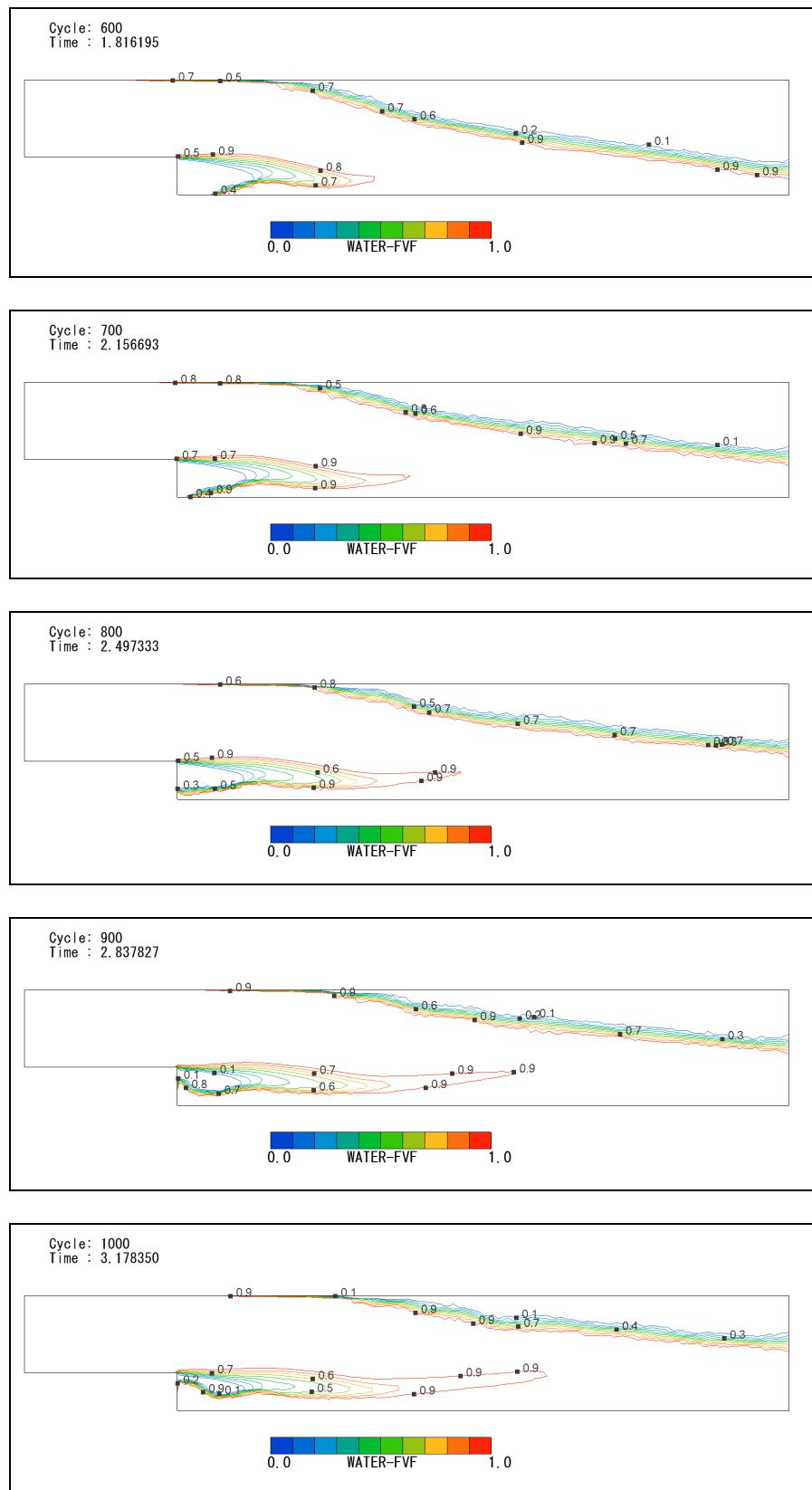


要素数 : 6,230

## 解析結果

- 相2(水)の体積率コンター図





---

## 機能36 形状最適化

---

---

## 機能説明

- **SCRYU/Tetra**の形状最適化は、目的関数を最適値に近づけるために、形状をどのように変形すればよいかを求める機能です。最適化の手法としてはAdjoint法が使用されます。目的関数としては物体に働く力を指定することができ、物体にかかる抗力を小さくしたり、揚力を大きくするような形状変化を求めるすることができます。形状最適化を使用すると、指定した境界面の変形に対する目的関数の変化率が感度分布として出力されます。また、求めた感度分布に従って、実際に物体形状を変化させたメッシュを出力させることも可能です。

## 注意事項

- **SCRYU/Tetra**の形状最適化は、現バージョンでは以下の機能との併用はできません。

温度, 拡散, 混合ガス, CVD, 化学反応, 湿度, キャビテーション, 伝熱パネル, 輻射, 要素移動, 重合格子, 不連続接合, 周期境界, 粒子追跡, 自由表面, 多孔質体, 電流, 人体モデル, 凝固融解, 空力音, 密度ベース, LES
---

- 最適化の向きの設定に関わらず、出力される感度ベクトルの方向は、目的関数の絶対値を小さくする方向になります。
- 物体に働く力としては、圧力のみが考慮されており、粘性力は考慮されていません。

## 結果として出力されるもの

### - 図化ファイル

- [SENS] : 感度分布

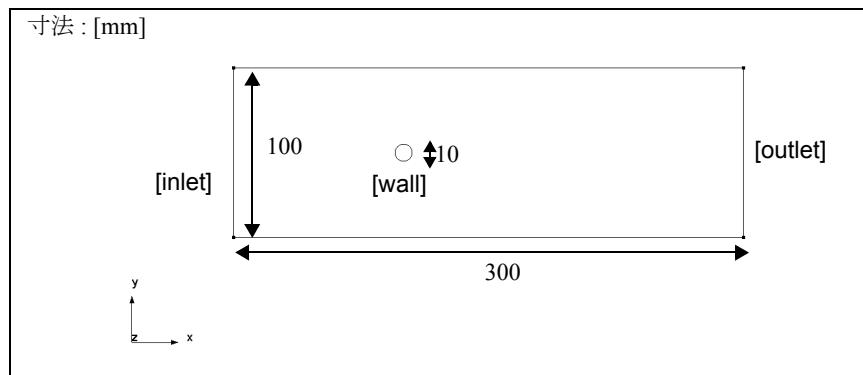
## 関連コマンド

- ADJD : Adjoint法による形状最適化解析の規定値の変更
- ADJF : Adjoint法による形状最適化で動かさない境界面の指定
- ADJT : Adjoint法による形状最適化解析の実行

## 例題36.1 二次元円柱の抗力低減

形状最適化機能を用いて、二次元円柱にかかる抗力を低減させる最適化解析を行います。

### 解析モデル



疑似二次元非圧縮性粘性層流

物体は直径10[mm]の円柱で、inletより流入する空気の流れによる抗力が低減するように、形状最適化を行います。

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)

### 解析選択

- 流れ(層流) : 層流解析を行います。
- 形状最適化 : 抗力低減のために形状最適化を用います。

### 解析条件

#### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

#### - 境界条件

- [正解析]
- 流入口 [inlet] : 流速規定 0.01[m/s]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力 0.0[Pa]

- 壁面 [wall] : 静止壁
- [逆解析]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力 0.0[Pa]

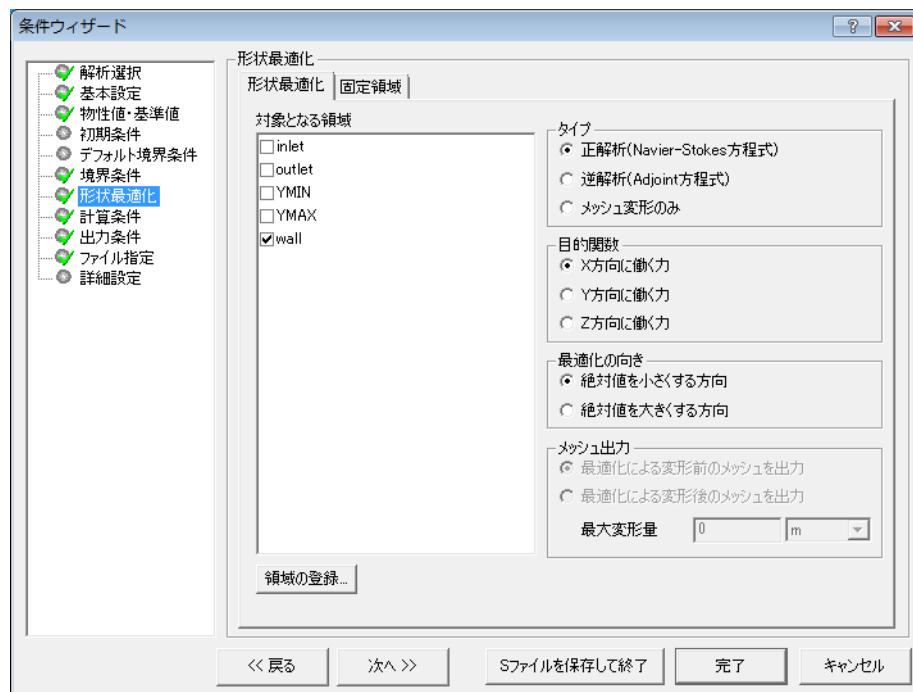
#### - その他

- [正解析]
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 5,000[サイクル]  
定常判定値 :  $1.0 \times 10^{-6}$
- [逆解析]
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

## 特記事項

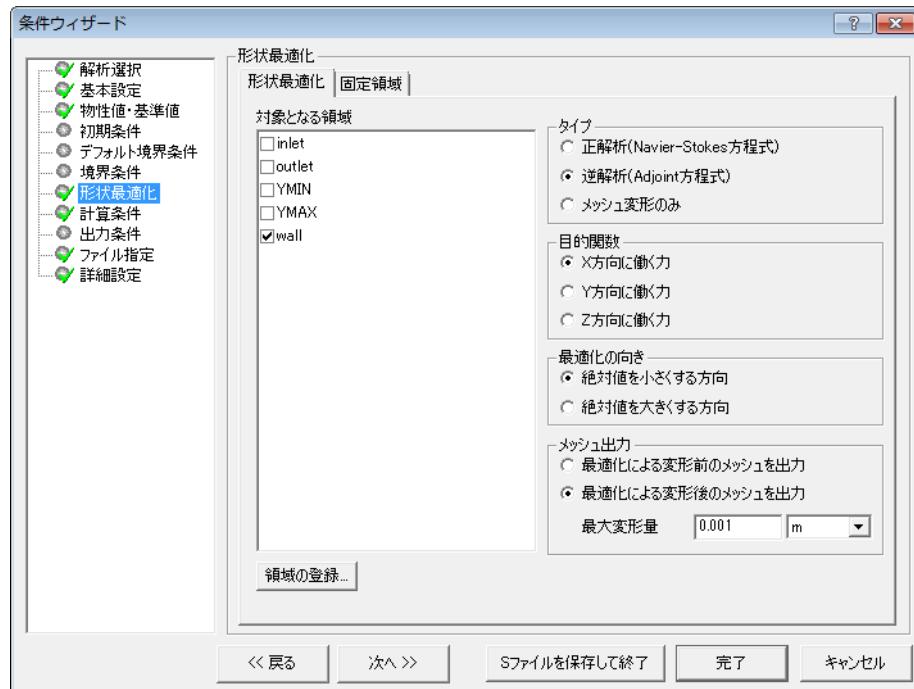
### - 形状最適化の設定方法（正解析）

- 形状最適化の解析では、最初に正解析を行い、最適化に必要な流れ場の情報と目的関数の値をリストアートファイルに出力します。
- [条件ウィザード]-[解析選択]で[形状最適化]をONにしたのち、ツリーから[形状最適化]を選択します。[形状最適化]タブにて、対象となる領域として最適化を行いたい面(本解析では[wall])を選択します。
- 正解析では、[タイプ]として[正解析(Navier-Stokes方程式)]を選択します。本解析ではX方向に働く力が主流方向に対する抗力になりますので、[目的関数]として[X方向に働く力]を選択します。

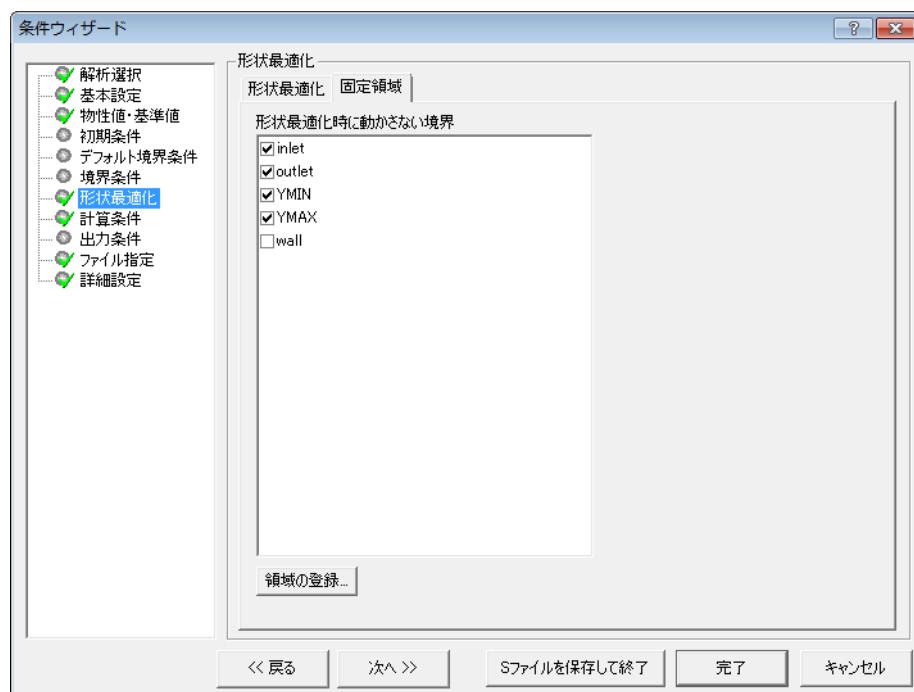


### - 形状最適化の設定方法（逆解析）

- 正解析で出力されたリストアートファイルを用いて逆解析を行うことで、形状変化に対する目的関数の変動の感度分布、ならびに感度分布と変形量にしたがってモーフィングされたメッシュを出力することができます。
- [条件ウィザード]-[解析選択]で[形状最適化]をONにしたのち、ツリーから[形状最適化]を選択します。[形状最適化]タブにて、対象となる領域として正解析同様に[wall]を選択します。
- 逆解析では、[タイプ]として[逆解析(Adjoint方程式)]を選択します。[目的関数]として正解析同様に[X方向に働く力]を選択します。
- 本解析では抗力を低減させる向きにメッシュをモーフィングさせますので、[最適化の向き]として[絶対値を小さくする方向]を選択します。また、モーフィングしたメッシュを出力するためには、[メッシュ出力]として[最適化による変形後のメッシュを出力]を選択します。[最大変形量]は、感度のもっとも大きい箇所の変形量を表します。本解析では、たとえば[0.001 m]を指定します。



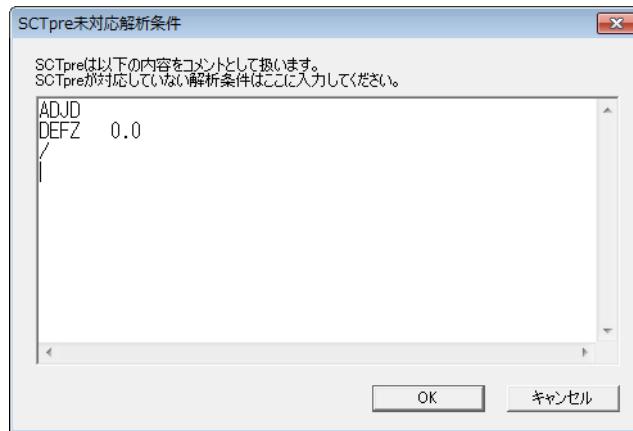
- メッシュをモーフィングするとき、一般に物体遠方にある境界は変形させる必要がありません。こういった領域を固定領域として登録します。[固定領域]タブを選択し、[形状最適化時に動かさない境界]として境界面[inlet],[outlet],[YMIN],[YMAX]を選択します。



#### - 形状最適化の設定方法 (SCTpre未対応の条件設定)

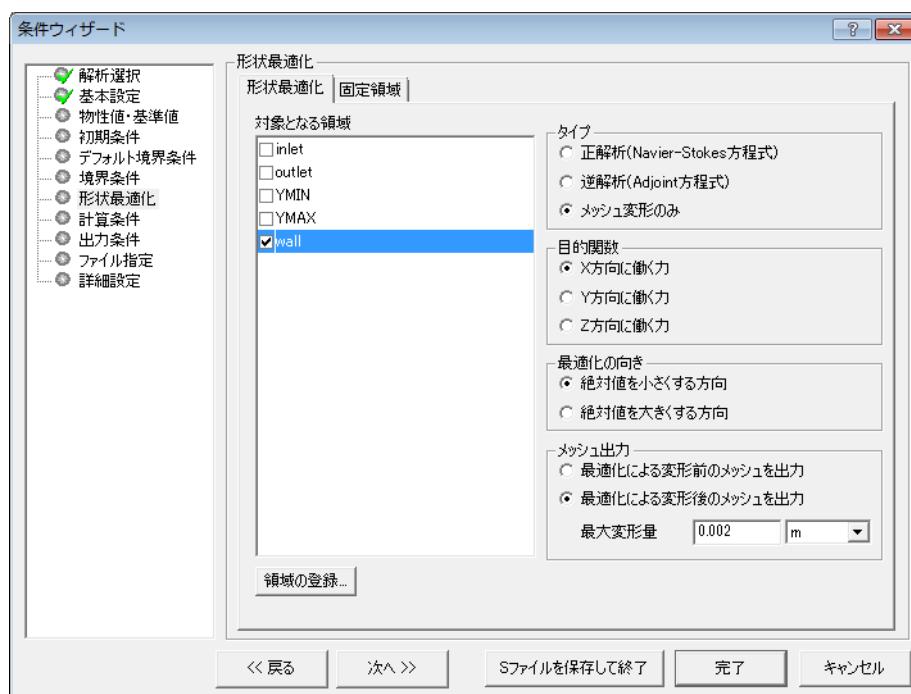
- 本解析は疑似二次元解析のため、物体は奥行き方向(Z方向)には変形させてはいけません。このような特定の方向への変形を制限するために、形状最適化機能では、メッシュ変形時の変形量に方向ごとにスケールをかけることが可能です。この設定はADJDコマンドで指定しますが、SCTpreに未対応の機能ですので、以下のように設定を行います。

- ツリーから[詳細設定]を選択し、[SCTpre未対応の解析条件]の編集をクリックします。[SCTpre未対応解析条件]ダイアログにて、以下のように指定します。この設定により、感度分布によらずZ方向の変形量をゼロにすることができます。



#### - 形状最適化の設定方法（メッシュ変形のみ）

- 逆解析で出力されたリスタートファイルには、逆解析で求められた感度分布の情報が output されています。この情報を用いて、Adjoint方程式を解く過程をスキップし、最大変形量を変化させたメッシュモーフィングのみを行うことが可能です。
- [条件ウィザード]- [解析選択]で[形状最適化]をONにしたのち、ツリーから[形状最適化]を選択します。対象となる領域は逆解析と同様に[wall]を選択します。
- メッシュモーフィングのみを行う場合、[タイプ]として[メッシュ変形のみ]を選択します。[目的関数],[最適化の向き],[メッシュ出力]については逆解析と同様に指定します。[最大変形量]に目的の変形量を指定します。
- [固定領域]タブでの固定領域も逆解析と同様に設定を行ないます。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]よりexA36-1.mdlを読み込みます。

### - 八分木

[ファイル] - [開く]よりexA36-1.octを読み込みます。

### - メッシュ作成

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[1.0e-6]	[1.1]	[45]

- [掃引によるメッシュ生成]ダイアログにて、[掃引により疑似2次元メッシュを生成する]をONにして、[層数]を[1]と設定します。

### - 条件設定（正解析）

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [形状最適化]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。
- |          |   |        |
|----------|---|--------|
| [開始サイクル] | : | [1]    |
| [終了サイクル] | : | [5000] |

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- [領域]から[inlet]を選択して、流速規定をクリックします。[流速規定]ダイアログにて、[流入流速]を[0.01 m/s]とします。OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]で[静止壁]を選択して、OKをクリックします。

#### 5. [形状最適化]

- 特記事項 形状最適化の設定方法（正解析）を参照してください。

#### 6. [計算条件]

- [定常判定]にて、[方程式]に[U]を選択し、[判定値]を[1e-6]として、登録をクリックします。同様に、[V], [W], [P]に[判定値]を[1e-6]として登録します。

## 7. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA36-1\_fwd]と入力します。
- ・ 次に、[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exA36-1.pre]とします。

### - 条件設定（逆解析）

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [流れ]で[層流]を選択します。
- ・ [形状最適化]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[定常解析]を選択します。
- |          |          |
|----------|----------|
| [開始サイクル] | : [2]    |
| [終了サイクル] | : [1000] |

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- ・ [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。

#### 5. [形状最適化]

- ・ 特記事項 形状最適化の設定方法（逆解析）を参照してください。

#### 6. [計算条件]

- ・ リストから[慣性不足緩和]を選択します。[時間間隔を与える]を選択し、[方程式],[時間間隔]をそれぞれ以下のように登録します。
- |             |            |
|-------------|------------|
| [U],[V],[W] | : [0.01 s] |
|-------------|------------|

#### 7. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA36-1\_inv]と入力します。
- ・ 次に、[デフォルト名]をOFFにして、各タイプの[ファイル名]を以下のように入力します。

[PRE(入力)]	: [exA36-1.pre]
[PRE(出力)]	: [exA36-1_opt0.001.pre]
[R(入力)]	: [exA36-1_fwd.r]

#### 8. [詳細設定]

- ・ 特記事項 形状最適化の設定方法（SCTpre未対応の条件設定）を参照してください。

### - 条件設定（メッシュ変形のみ）

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [形状最適化]を選択します。

#### 2. [基本設定]

- [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [2]

[終了サイクル] : [2]

#### 3. [物性値・基準値]

- [物性値]タブにて、MAT[1]を選択します。続けて、[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を選択して適用をクリックします。

#### 4. [形状最適化]

- 特記事項 形状最適化の設定方法（メッシュ変形のみ）を参照してください。

#### 5. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をONにして、[exA36-1\_opt0.002]と入力します。
- 次に、[デフォルト名]をOFFにして、各タイプの[ファイル名]を以下のように入力します。

[PRE(入力)] : [exA36-1.pre]

[R(入力)] : [exA36-1\_inv.r]

#### 6. [詳細設定]

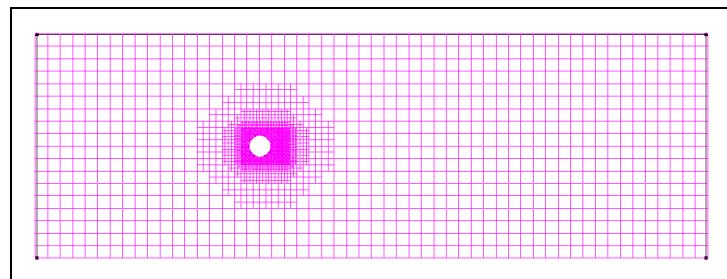
- 特記事項 形状最適化の設定方法（SCTpre未対応の条件設定）を参照してください。

### - 解析実行

SCTsolverで正解析、逆解析の順番で解析を実行します。

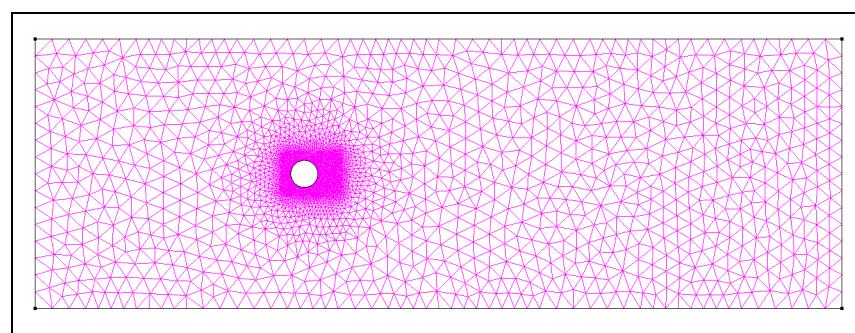
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.00035[m]~0.0056[m]

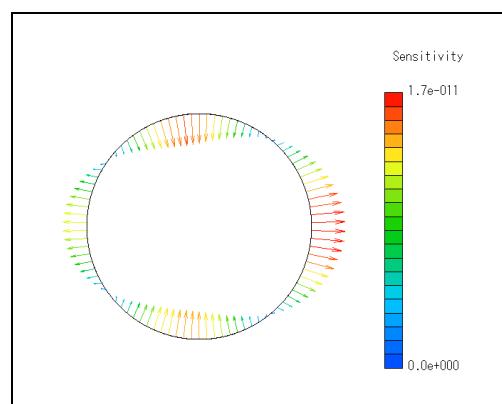
- メッシュ図



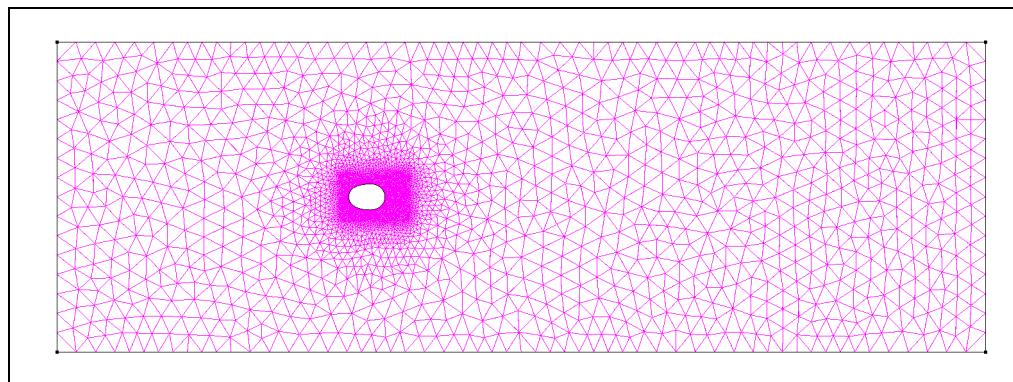
要素数 : 11,252

## 解析結果

- SCTsolverの実行時間  
正解析：約3分  
逆解析：約20秒
- 計算サイクル数  
正解析：約2,200サイクル  
逆解析：約280サイクル
- 物体表面での感度分布

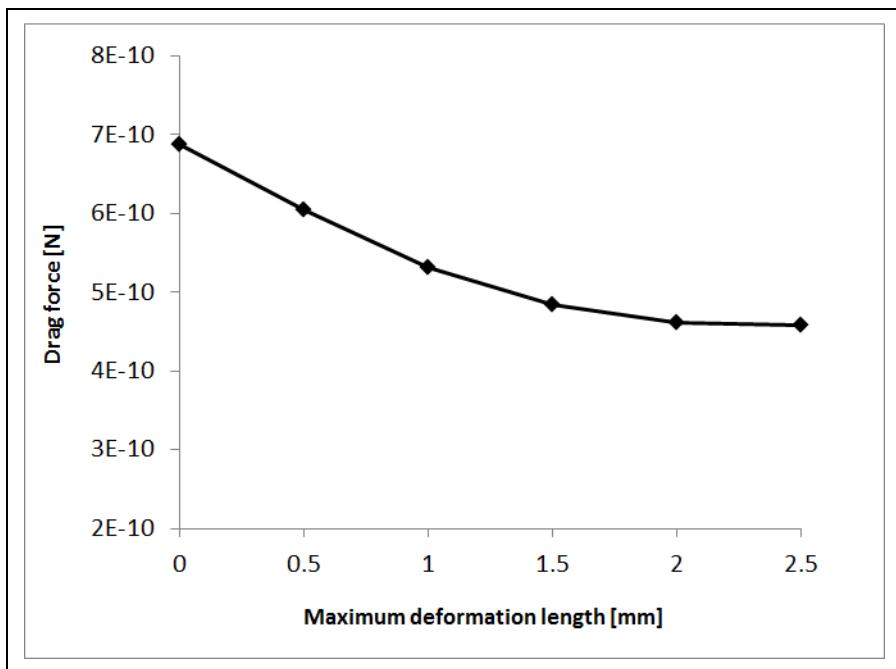


- 最大変形量0.001[m]での最適化後のメッシュ図



最適化後のメッシュは、逆解析またはメッシュ変形のみの解析を行ったとき、PRE（出力）に指定したPREファイルに出力されます。逆解析において指定した最大変形量と異なる最大変形量でのメッシュについては、逆解析を行った後にメッシュ変形のみを行って得ることができます。

- 最大変形量による抗力の変化



上図の結果は、逆解析およびメッシュ変形のみで出力されたメッシュを用いて、流れ計算を別途実施することによって得ています。

---

## 機能37 Mixing Plane

---

---

## 機能説明

- Mixing Planeは、2つの独立した領域が接する境界面において、周方向に平均した値を相互の境界条件とすることで領域間の状態をつなぎ合わせる計算手法です。この手法を使うことにより、ターボ機械の性能を定常解析でも予測することができ、さらに、インペラなどの羽根を一翼だけ切り出したモデルでも解析できるため、計算格子数（時間）の削減を図ることができます。

## 注意事項

- Mixing Planeは以下の機能との併用はできません。

LES、拡散、混相流、輻射、粒子追跡、自由表面、  
電流、人体モデル、凝固融解、空力音、圧縮性流体
- Mixing Planeは流れが一方向に限られる（逆流・渦が発生しない）箇所に設けてください。

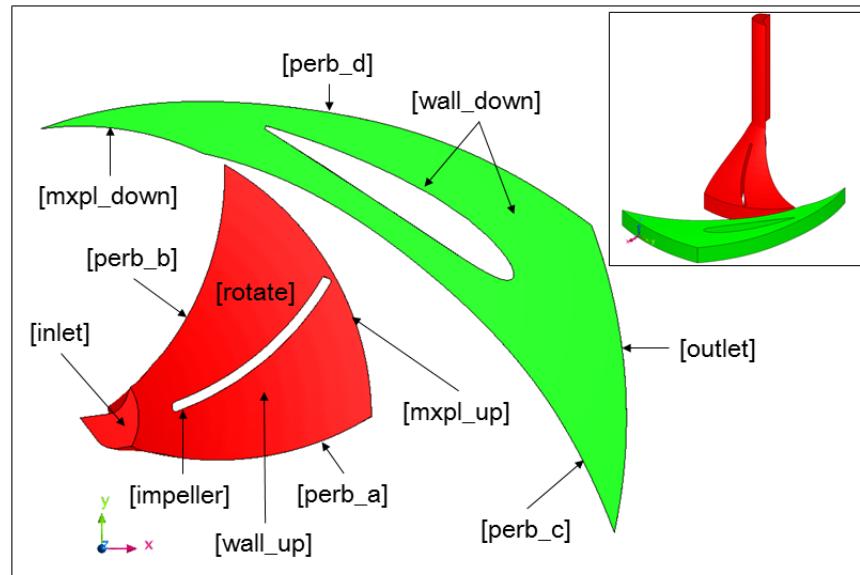
## 関連コマンド

- MXPD : Mixing Planeのデフォルトを設定する
- MXPL : Mixing Planeを設定する

## 例題37.1 ディフューザポンプの定常流体解析

本例題では、ディフューザポンプのインペラ(上流領域)とディフューザベーン(下流領域)をそれぞれ一翼ずつ切り出し、2つの領域の間をMixing Planeでつなぎ合わせて定常流体解析を行います。

### 解析モデル



3次元非圧縮性粘性乱流

### 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\epsilon$ 方程式

### 解析選択

- 流れ(乱流) : 乱流解析を行います。
- 要素移動 : [rotate]の回転移動を考慮します。
- 不連続接合 : [mxpl-up]と[mxpl-down]をMixing Planeでつなぎます。
- 周期境界 : [perb-a]と[perb-b]、[perb-c]と[perb-d]をそれぞれ周期境界でつなぎます。

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮性20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- |         |  |                           |                                 |
|---------|--|---------------------------|---------------------------------|
| • 流入口   | [inlet]                                  | : 流量規定                    | 0.5[kg/s]                       |
| • 流出口   | [outlet]                                 | : 表面圧力規定                  | 0[Pa]                           |
| • 壁面    | [wall-up], [wall-down]<br>[impeller]     | : 静止壁<br>メッシュの速度を壁面の速度とする |                                 |
| • 周期境界面 | [perb-a], [perb-b]<br>[perb-c], [perb-d] | : 周期境界面のタイプ<br>回転移動回転角度   | 平面に投影不可能<br>60[度](PZ = 1)       |
|         |  | : 周期境界面のタイプ<br>回転移動回転角度   | 平面に投影不可能<br>32.72727[度](PZ = 1) |

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

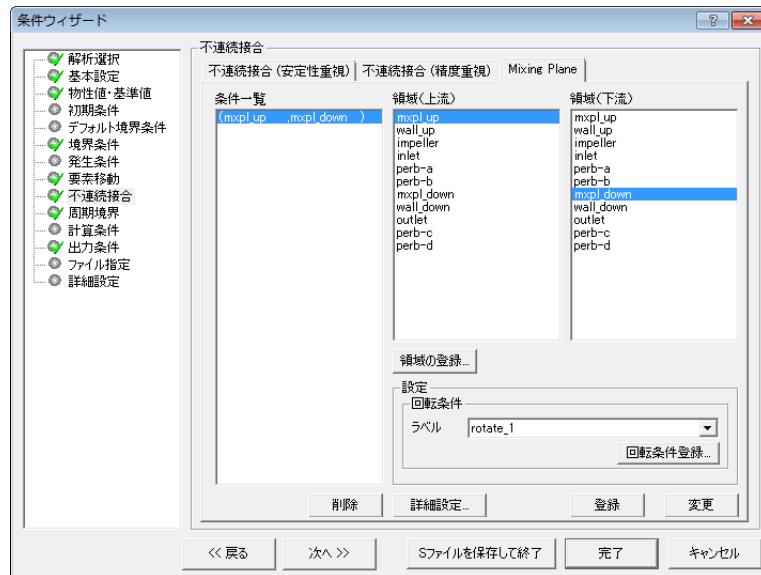
### - その他

- 乱流モデル  
標準k- $\varepsilon$ モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 500[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 回転条件  
ラベル : rotate\_1  
角速度 : 1500[rpm](157.08[rad/s])  
回転軸の中心座標 : (X, Y, Z) = (0, 0, 0)[m]  
回転軸の方向成分 : (PX, PY, PZ) = (0, 0, -1)
- 要素移動  
[rotate] : 移動のタイプ 回転移動  
要素移動の影響を排除する領域 : 回転条件を参照する(ラベル : rotate\_1)  
[wall\_up]
- 不連続接合(Mixing Plane)  
[mxpl\_up], [mxpl\_down] : 回転条件(ラベル : rotate\_1)

## 特記事項

### - Mixing Planeの設定方法

- ・ [条件ウィザード] - [不連続接合]において[Mixing Plane]タブを選択します。
- ・ [領域(上流)]から[mxpl\_up]を、[領域(下流)]から[mxpl\_down]をそれぞれ選択します。[回転条件]の[ラベル]に[要素移動]で登録しておいた[rotate\_1]を選択します。最後に登録を押します。



## 解析手順

### - モデル

SCTpreを起動し、[ファイル] - [開く]より exA37-1\_impeller.mdl、exA37-1\_vane.mdl([選択したファイルとマージ])を続けて読み込みます。

### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイル(exA37-1.s)を保存します。

#### 1. [解析選択]

- ・ [要素移動], [不連続接合], [周期境界]をONにします。

#### 2. [基本設定]

- ・ [解析方法]で[定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [500]

#### 3. [物性値・基準値]

- ・ [物性値]タブにて物性値ライブラリから[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を選び、適用をクリックします。

#### 4. [境界条件]

- ・ [領域]から[inlet]を選択して、流量規定をクリックします。[流量規定]ダイアログにて、[流入質量流量]に[0.5kg/s]と入力し、OKをクリックします。

- ・ [領域]から[outlet]を選択して、表面圧力規定をクリックします。[表面圧力規定]ダイアログにて、[圧力指定]の[P]に[0 Pa]が設定されていることを確認して、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[wall\_up], [wall\_down]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[静止壁]が選択されていることを確認して、OKをクリックします。
- ・ [領域]から[impeller]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]をOFFとし、[壁面の速度]に[メッシュの速度を壁面の速度とする]を選択して、OKをクリックします。

#### 5. [要素移動]

- ・ [要素移動]を選択し、新規をクリックして[要素移動条件]ダイアログを開きます。[対象となる領域]で[rotor]をONにして新規をクリックすると、[要素移動条件詳細]ダイアログが開きます。
- ・ [要素移動条件詳細]ダイアログにて、[移動タイプ]に[回転移動]を選択します。[回転条件を参照する]をチェックし、登録を押し[回転条件]ダイアログを開きます。
- ・ [回転条件]ダイアログにて、[角速度]に[1500][rpm]、[回転軸の中心座標(X, Y, Z)]に[0, 0, 0 m]、[回転の方向成分(PX, PY, PZ)]に[0, 0, -1]と入力し、登録を押します。閉じるを押してダイアログを閉じます。さらに[要素移動条件詳細]ダイアログ、[要素移動条件]ダイアログでOKをクリックしてダイアログを閉じます。
- ・ [要素移動の影響]を選択して[要素移動の影響を排除する領域]で[wall\_up]をONにします。

#### 6. [不連続接合]

- ・ 特記事項 Mixing Planeの設定方法を参照してください。

#### 7. [周期境界]

- ・ [周期境界条件]タブにて、下記の設定をそれぞれ行い、登録をクリックします。
 

[領域1]	:	[perb-a]
[領域2]	:	[perb-b]
[周期境界面のタイプ]	:	[平面に投影不可能]
[回転角度]	:	[60 度]
[回転軸の中心座標(X, Y, Z)]	:	[(0, 0, 0)m]
[回転の方向成分(PX, PY, PZ)]:	:	[(0, 0, 1)]
- ・ [perb-c]と[perb-d]についても、[領域1]を[perb-c]、[領域2]を[perb-d]、[回転角度]を[32.72727 度]にして同様に登録します。

#### 8. [ファイル指定]

- ・ [デフォルト名]をONにして、[exA37-1]と入力します。

#### - メッシュ作成(上流領域 : [impeller])

まず、上流領域のメッシュを作成します。SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]より exA37-1\_impeller.mdl, exA37-1\_impeller.oct, exA37-1.sを読み込みます。

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [作成されるデータ]の[境界層要素挿入済みメッシュ]に表示されているファイル名をexA37-1.preからexA37-1\_impeller.preに変更します。
- ・ [境界条件挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall_up] [impeller]	自動 [厚みをオクタントサイズから自動で求める]にチェックを入れる	1.1	3

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで[周期境界面のメッシュパターンの一一致]の詳細を押し、[参照する周期境界条件]から[(perb-a, perb-b)]を選択し、OKを押します。
- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにします。続いて、[厚み]タブにて[厚みの変化率を制限する]をONにします。最後に[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。

#### - メッシュ作成(下流領域 : [vane])

続いて下流領域のメッシュを作成します。[ファイル]-[新規作成]をクリックし、[確認]ダイアログではいをクリックします。次に[ファイル]-[開く]より exA37-1\_vane.mdl, exA37-1\_vane.oct, exA37-1.s を読み込みます。

[連続実行]ダイアログにて以下の設定を行い、メッシュを作成します。

- ・ [作成されるデータ]の[境界層要素挿入済みメッシュ]に表示されているファイル名をexA37-1.preからexA37-1\_vane.preに変更します。
- ・ [境界条件挿入パラメータ]ダイアログにて、以下の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall_down]	自動 [厚みをオクタントサイズから自動で求める]にチェックを入れる	1.1	3

- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで[周期境界面のメッシュパターンの一一致]の詳細を押し、[参照する周期境界条件]から[(perb-c, perb-d)]を選択し、OKを押します。
- ・ [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログで詳細設定をクリックします。[詳細設定]ダイアログの[要素の質]タブにて[低品質な要素の挿入する境界層の層数を減らす]をONにします。続いて、[厚み]タブにて[厚みの変化率を制限する]をONにします。最後に[その他]タブにて[先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)]をONにします。

次に、exA37-1\_impeller.preが読み込まれた状態で、[ファイル]-[開く]より下流領域のメッシュexA37-1\_vane.preを読み込みます。[選択したファイルとマージ]を選択してOKをクリックします。以上でメッシュの作成は完了です。マージしたファイルを[ファイル]-[保存]より exA37-1.preとして保存します。

#### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

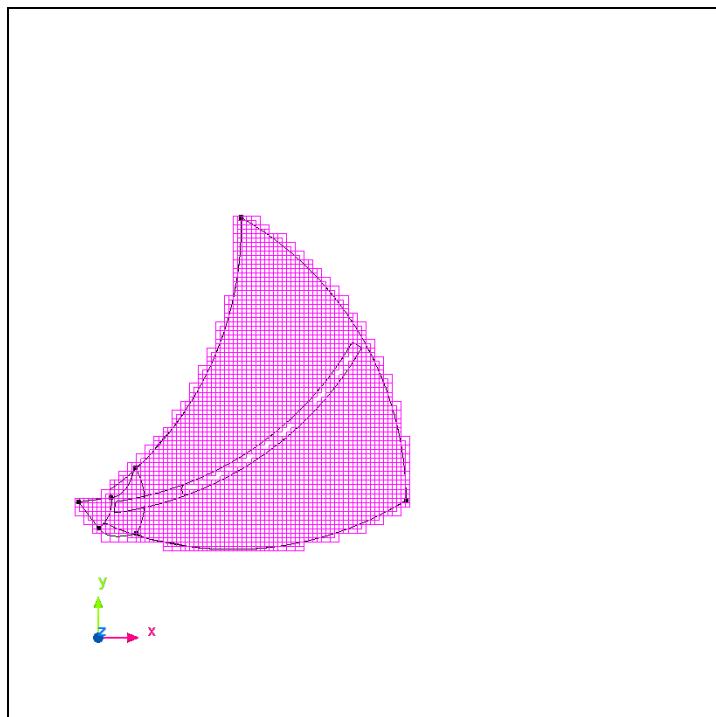
#### - 計算コストの目安

- ・ SCTsolverの実行時間  
約9分
- ・ 計算サイクル数  
約460サイクル

\*2core使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

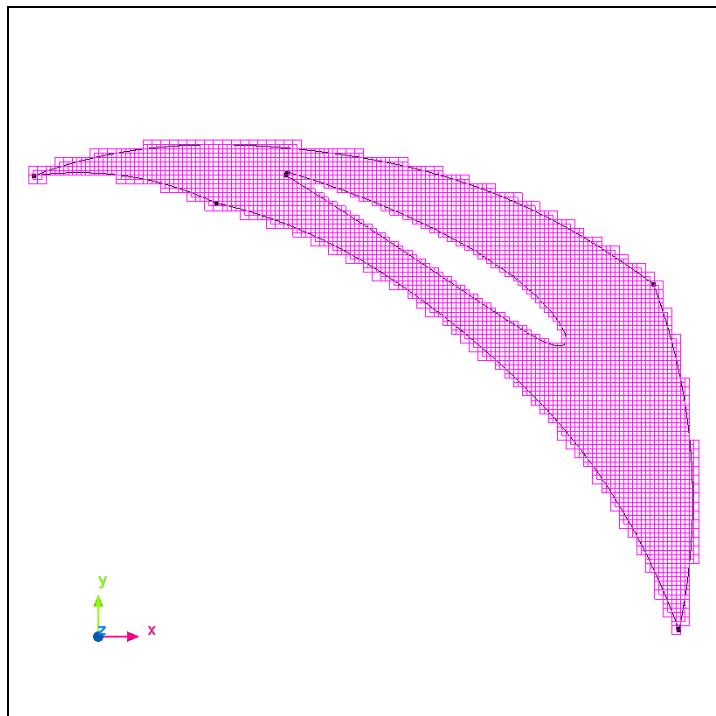
## 解析メッシュ

- 八分木図



上流領域[impeller]

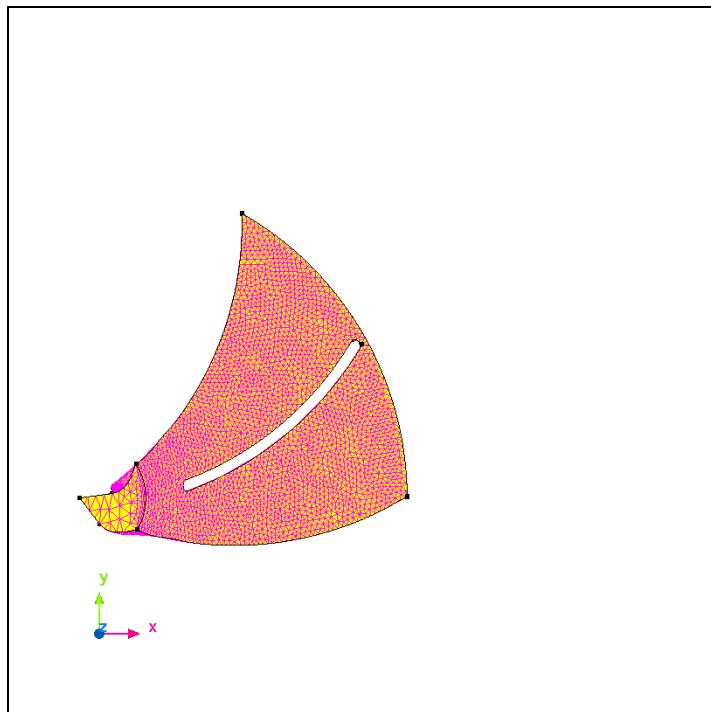
オクタントサイズ : 0.002[m]~0.004[m]



下流領域[vane]

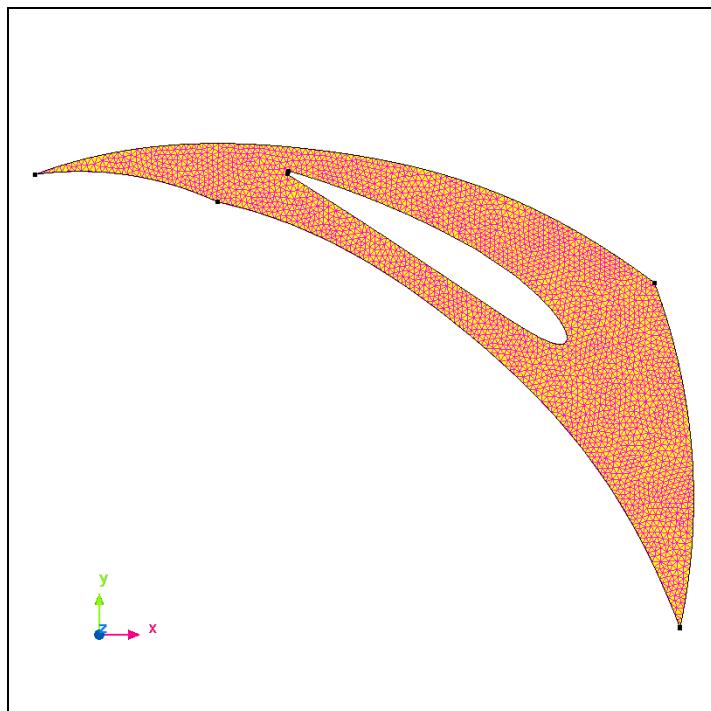
オクタントサイズ : 0.002[m]~0.004[m]

## • メッシュ図



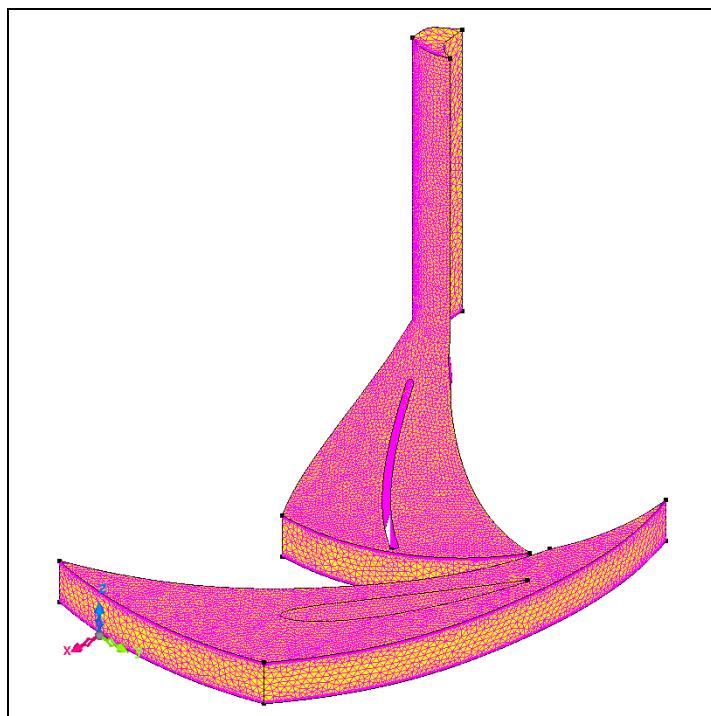
上流領域[impeller]

要素数 : 129,260



下流領域[vane]

要素数 : 100,931

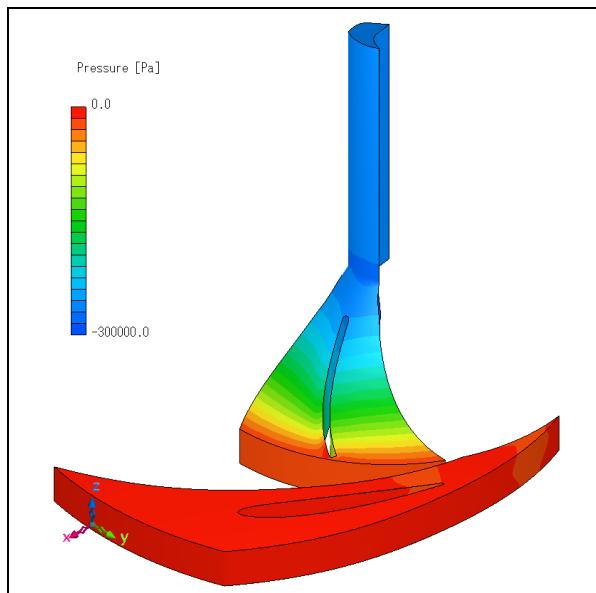


全体([impeller]と[vane]をマージ)

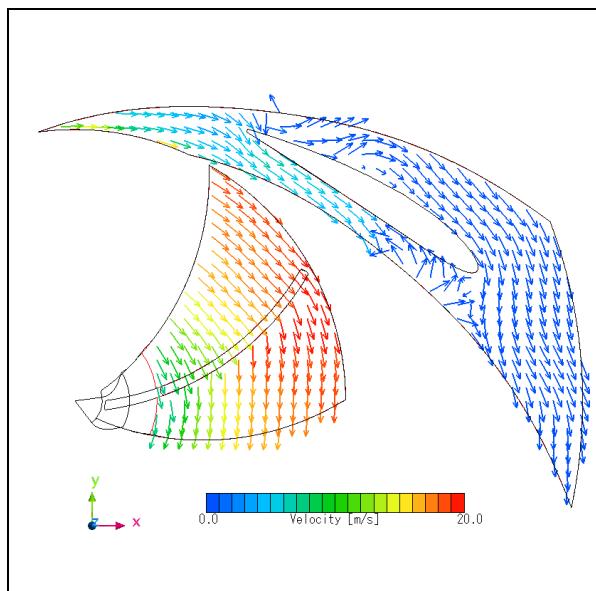
要素数 : 230,191

## 解析結果

- 圧力コンター図



- 流速ベクトル図



Mixing Planeでは、上流領域([impeller])の流出境界で周方向に平均した流速ベクトルを下流領域([vane])の流入境界条件に、下流領域の流入境界で周方向に平均した圧力を上流領域の流出境界条件に設定されるため、解析結果もそのようになっています。

---

## 第2部 検証例

---

# 検証1 非線形乱流モデルによる矩形ダクト 内解析

---

---

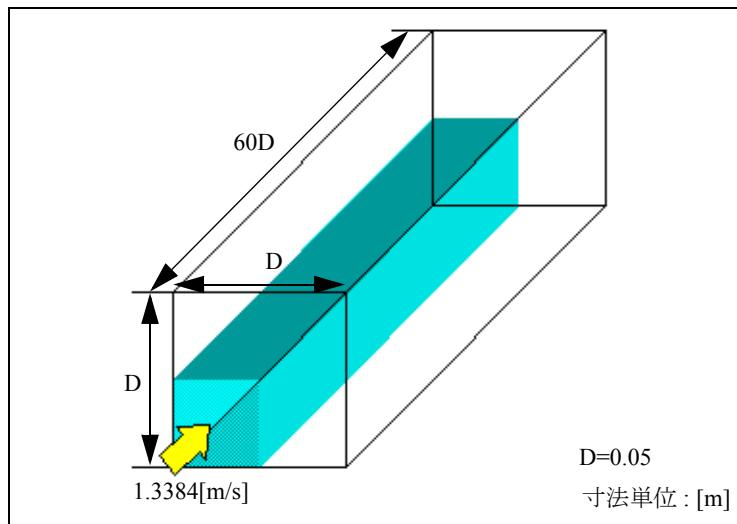
---

非線形乱流モデルによる矩形ダクト内の乱流解析を行い、第2種二次流れの発生を予測します。

---

---

## 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

対称性を考慮して、ダクト断面の1/4のみを扱います。

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- 非線形k- $\epsilon$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流)

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気( $20^{\circ}\text{C}$ )  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮 $20^{\circ}\text{C}$ )]を使用します。

---

#### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定
  - 流速 1.3384 [m/s]
  - 流入乱流エネルギー( $k$ ) 0.027 [ $m^2/s^2$ ]
  - 流入乱流消失率( $\epsilon$ ) 0.4324 [ $m^2/s^3$ ]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0 [Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁

#### - 初期条件

- 流速x成分 : 1.3384 [m/s]
- 乱流エネルギー : 0.027 [ $m^2/s^2$ ]
- 乱流消失率 : 0.4324 [ $m^2/s^3$ ]

#### - その他

- 乱流モデル  
非線形低レイノルズ数k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

## 特記事項

#### - 解析内容について

- レイノルズ数は、Gavrilakis [文献1] の直接数値シミュレーションに合わせて、流入流速と矩形ダクト幅基準で4,410に設定しています。

#### - メッシュ作成について

- 本例題のメッシュは[inlet]面をx正方向に掃引することで作成します。はじめに、SCTpreでexB01org.mdlを読み込み、通常の方法で境界層要素が挿入された体積メッシュを作成します。続いて、メニューバーの[編集]-[メッシュからモデル作成]から、境界層要素形状の入った表面メッシュを作成します。これで不要となった体積メッシュはツリー-[メッシュ]の右クリックから削除します。さらにモデルモードで[inlet]以外の面を削除しておきます。残った[inlet]を選択してメニューバー[編集]-[選択面を掃引して要素を生成]から掃引方向(1, 0, 0), 初期厚み0.003[m], 厚みの変化率1.15, 層数30で掃引メッシュを作成します。さらにx方向に領域を伸ばすため、掃引方向に先端の面をメッシュモードで選択します。メッシュモードで面を選択するには、モデルモードで面をピックしてから、メニューバーの[編集] - [選択領域の移動] - [面からメッシュへ]を行います。最後に、[編集]-[選択面を掃引して要素を生成]から掃引方向(1, 0, 0), 初期厚み0.17[m], 厚みの変化率1.0, 層数10でメッシュを掃引します。このとき、[選択面と同じグループ番号を新しい要素を適用する]をONにしておきます。メッシュ図は最終的に得られるメッシュのものです。この完成メッシュデータに改めて面領域を登録します。掃引によるメッシュ生成例はユーザーズガイド 操作編の応用例3 伸縮メッシュと要素移動をご参照ください。

---

### - その他

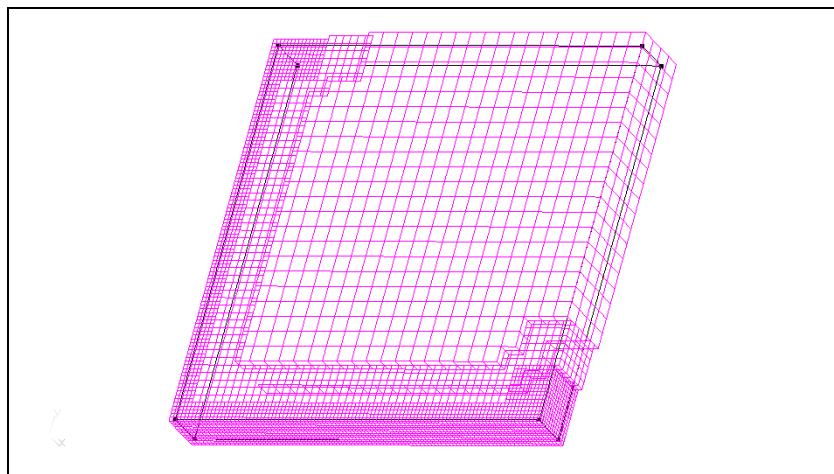
- 本例題では安定して計算を行うため、[条件ウィザード] - [計算条件] - [マトリックス解法]にて下記の設定を行う必要があります。

方程式 : P  
AMGCG-STAB法  
最大反復回数 : 500  
相対誤差 : 0.0001

---

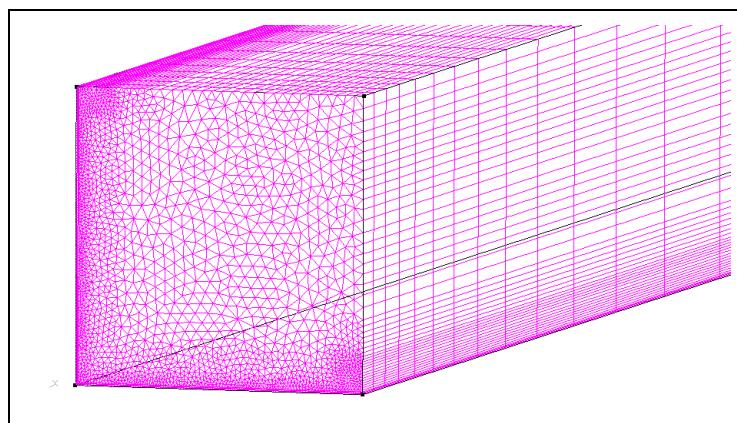
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.00025[m]~0.001[m]

- メッシュ図



要素数 : 144,920

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[8e-005]	[1.15]	[3]

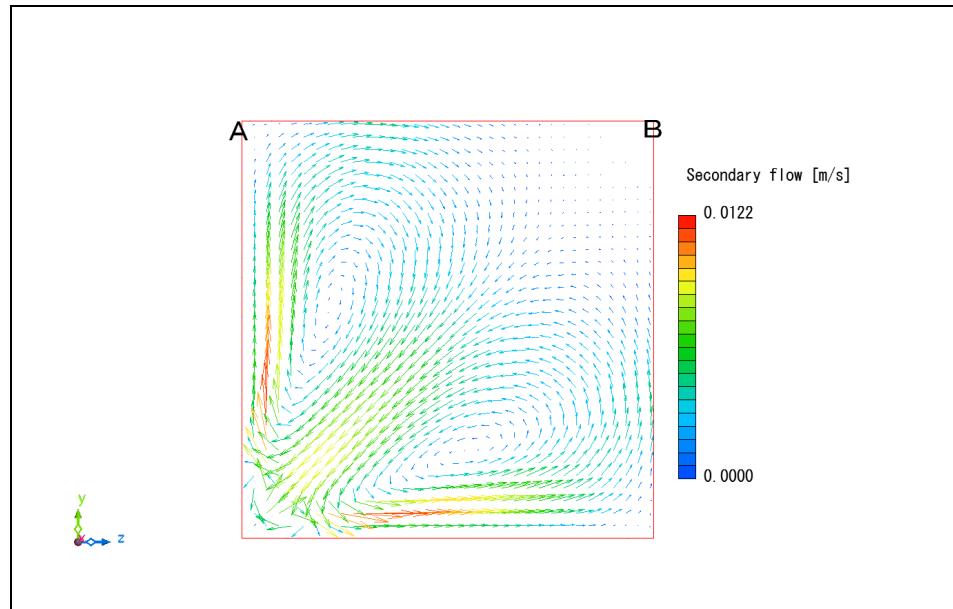
## 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約40分
- 計算サイクル数  
約500サイクル

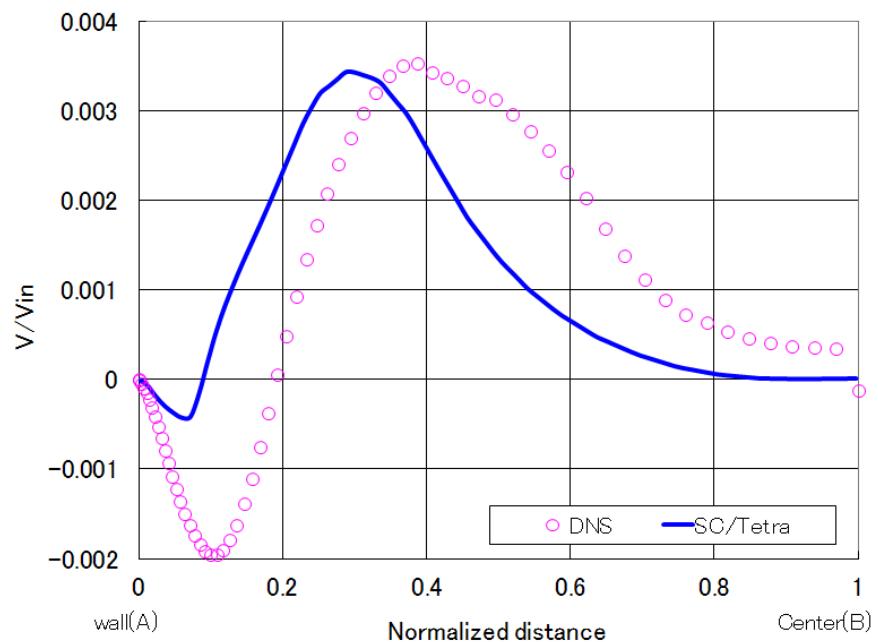
\* 2core使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析結果

- ダクト内二次流れの解析結果 (X=1.5[m]での断面に射影した流速ベクトル)



- ダクト断面内二等分線(上図の線分A-B)上の壁垂直方向速度の比較(○: DNS, 実線: 解析結果)



具体的には、縦軸は線分A-B上の流速Z成分を流入速度の絶対値で規格化したもの、横軸は壁面からの距離を線分A-Bの長さで規格化したものになります。

---

## 参考文献

1. Gavrilakis, S. "Numerical simulation of low-Reynolds-number turbulent flow through a straight square duct," J. Fluid Mech., Vol. 244, (1992), pp.101-129.

---

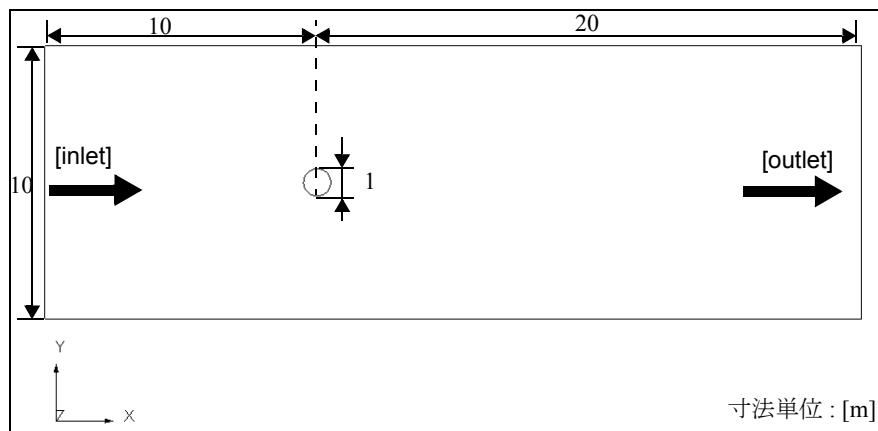
## 検証2 強制対流下の円柱表面における 熱伝達

---

本例題では、Kato-Launder補正(MP補正)を施した線形低レイノルズ数  $k$ - $\epsilon$ モデル(MPAKN)を用いて、強制対流下での円柱表面上の熱流束を算出します。

線形低レイノルズ数  $k$ - $\epsilon$ モデル(AKN)は、高レイノルズ数型  $k$ - $\epsilon$ に比して固体壁面近傍の伝熱現象を精度良く捉えることが出来ますが、鈍体周りの流れにおいては淀み点付近での表面熱伝達率を大きく見積もる傾向があるため、Kato-Launder補正(MP補正)を施したモデルを使用する必要があります。

## 解析モデル



疑似2次元非圧縮性乱流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- $k$ - $\epsilon$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流)、温度、周期境界

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

---

#### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 2.12[m/s]  
(Re=140,000)  
流入温度 0[°C]  
流入乱流エネルギー(k)  $9.75 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}^2]$   
流入乱流消失率( $\varepsilon$ )  $3.04 \times 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}^3]$
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁  
壁面温度を外部温度に固定 100[°C]
- 周期境界面 [perb-a], [perb-b]
  - : 周期境界面のタイプ 平面
  - 平行移動 Z=0.05[m]

(メモ) 流入部の流入乱流エネルギーと流入乱流消失率は乱流強度  $Tu_{in} = 1.2\%$  として算出しています。

$$k = 1.5(u_{in}Tu_{in})^2$$

$$\varepsilon = k^{3/2}/D$$

$u_{in}$  : 流入流速  
D : 直径

#### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

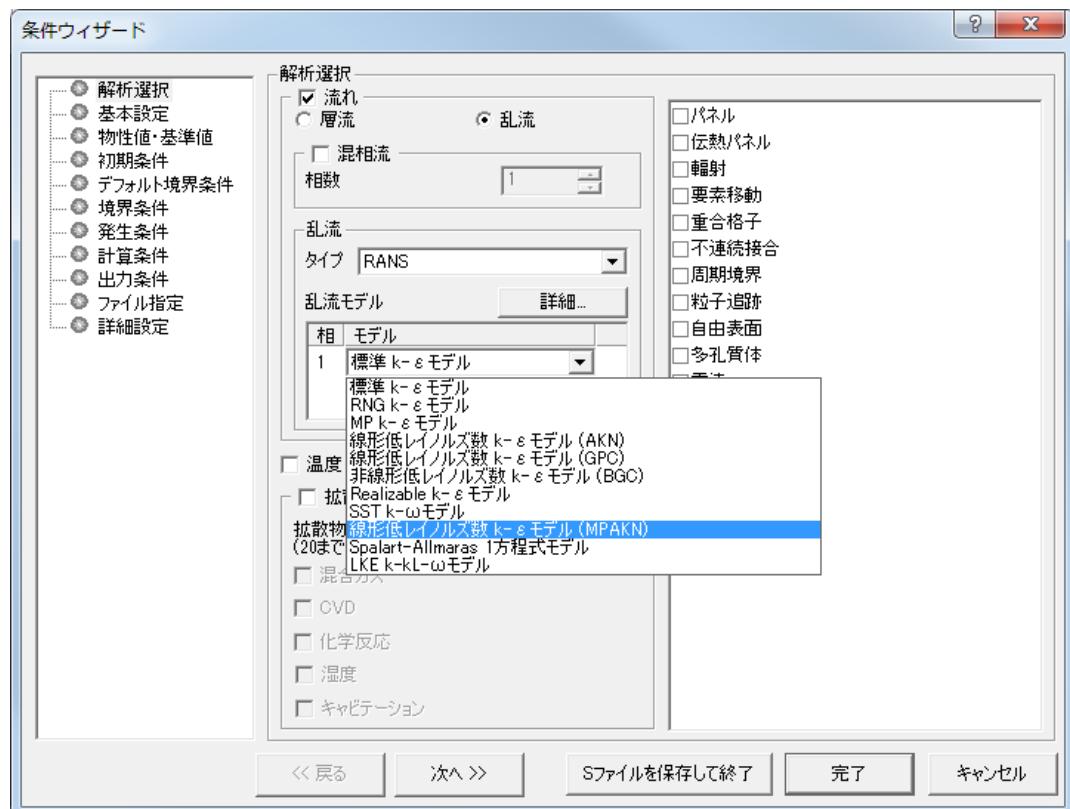
#### - その他

- 乱流モデル  
線形低レイノルズ数 k- $\varepsilon$ モデル(MPAKN)
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔
  - 計算サイクル 10,000[サイクル]
  - 時間間隔 0.01[s]

## 特記事項

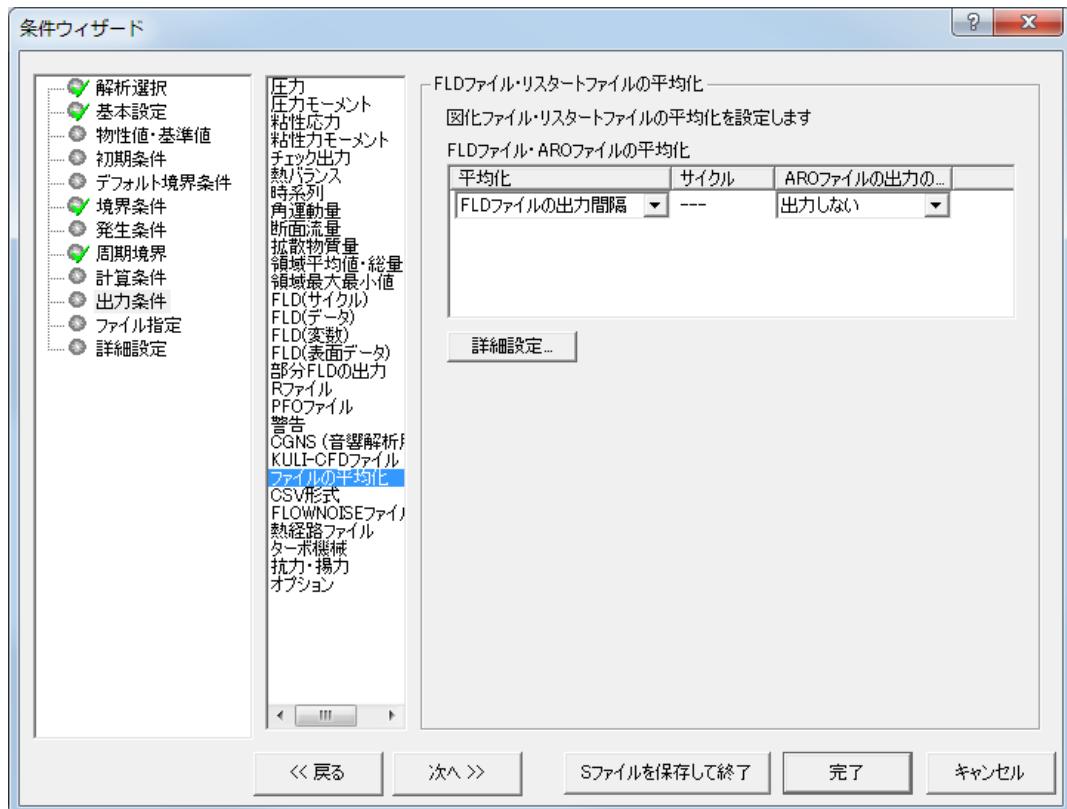
### - 乱流モデルの設定

- MP補正を施した線形低レイノルズ数型k-εモデル(MPAKN)を使用します。
- [条件ウィザード]-[解析選択]で、[乱流]を選択し、[乱流モデル]から、[線形低レイノルズ数k-εモデル(MPAKN)]を選択します。



### - 出力条件の設定

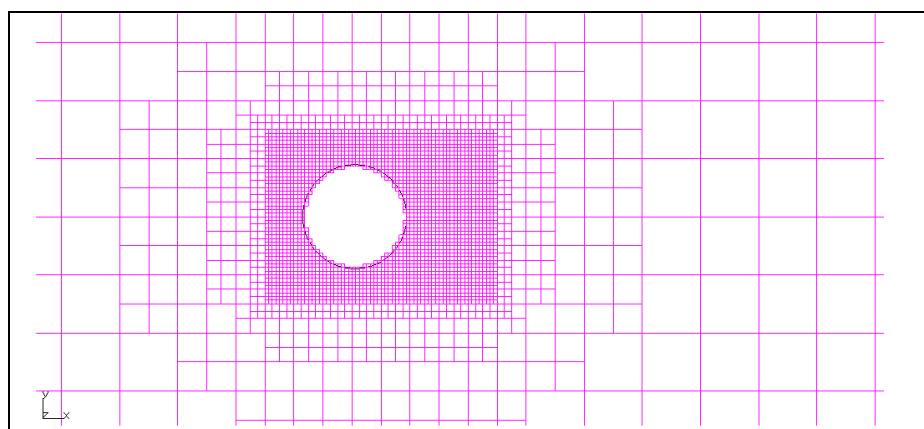
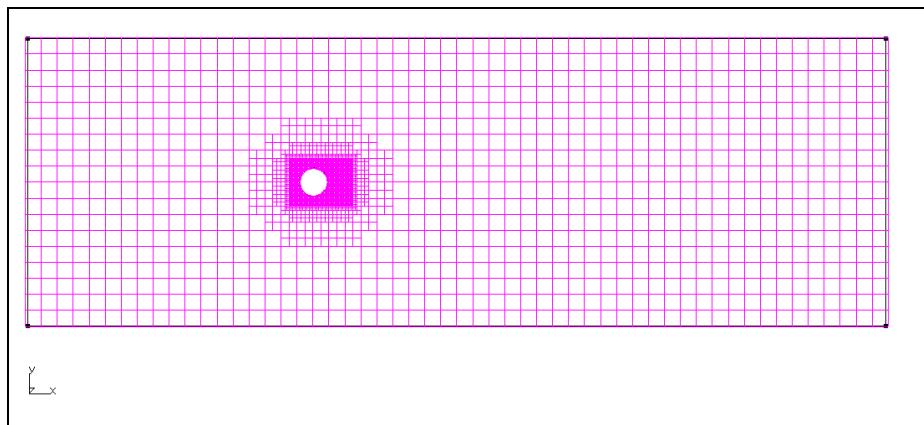
- 本例題では、SCTsolverに流れ場の時間平均を出力させます。まず[条件ウィザード] - [出力条件]で[FLD(サイクル)]を選択し、[最終サイクルの結果を出力]をONとします。次に[ファイルの平均化]を選択し、平均化で[FLDファイルの出力間隔]を選択します。本例題では流れが準定常(カルマン渦放出周期が一定になった状態)となる5,000サイクルまで計算を行い、そこから一定時間(5,001~10,000サイクル)再計算した後に変数を平均化しました。(解析結果に示すヌセルト数を計算するには、FLDファイルに[壁面熱流束]を出力しておく必要があります。)
- 時間平均を取る期間の計算はリスタート計算で行います。



---

## 解析メッシュ

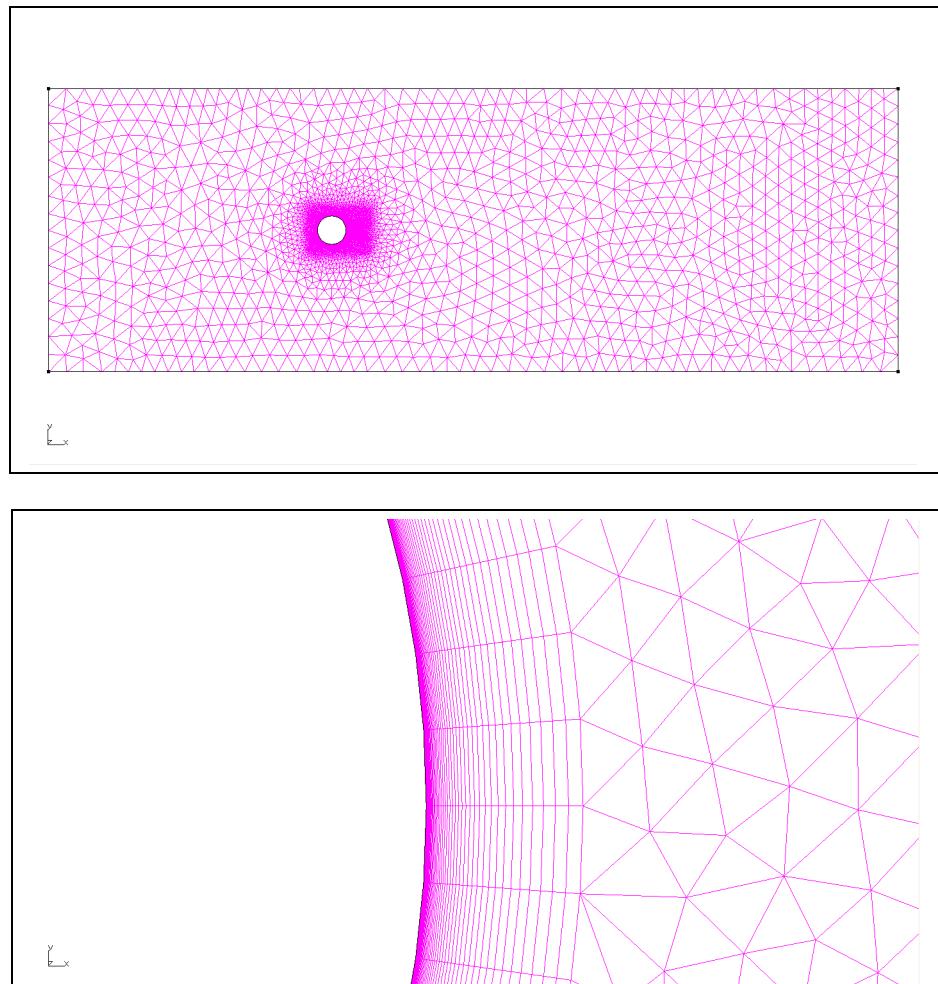
- 八分木図



オクタントサイズ : 0.0349[m]~0.5584[m]

---

- メッシュ図



要素数 : 11,315

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[1e-004]	[1.1]	[45]

\* 境界層要素挿入のタイミング : 先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)

Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

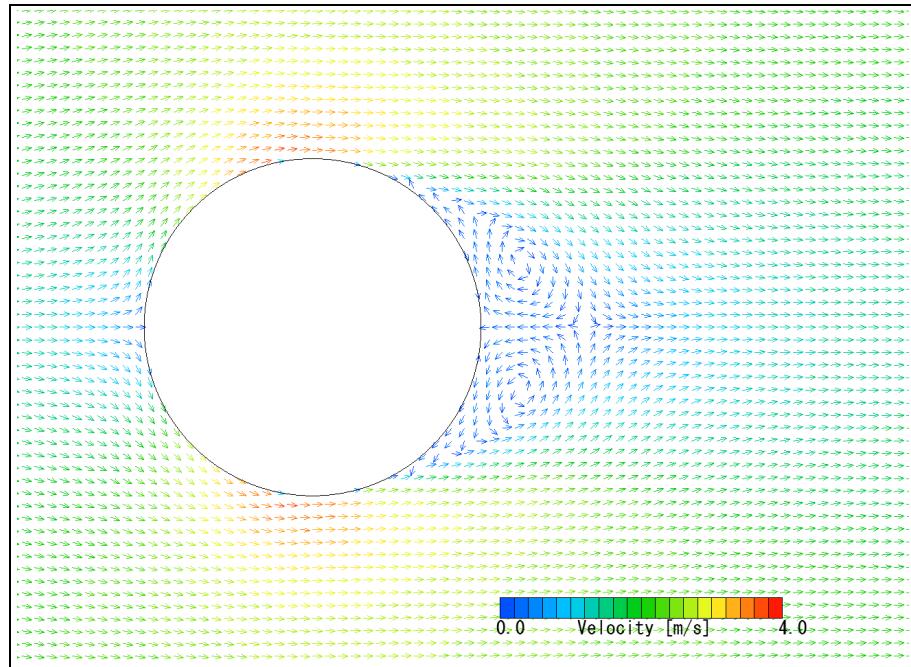
---

## 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約26分
  - 計算サイクル数  
10,000サイクル
- \* 2core使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

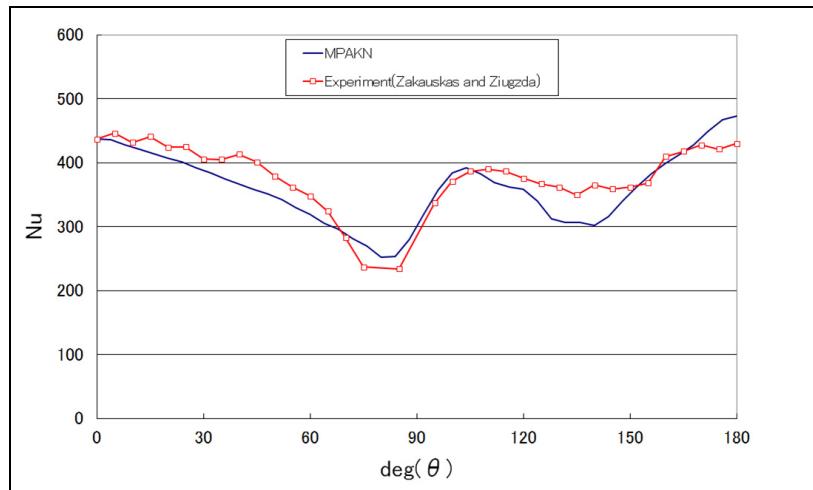
## 解析結果

- 流速ベクトル図



ベクトルは一定長で表示しています。

- 
- 円柱表面上Nu数分布グラフ



円柱前方の淀み点 :  $\theta=0$

$$Nu = \frac{q_w d}{k(T_w - T_o)}$$

Nu	: ヌセルト数
d	: 円柱直径[m]
k	: 热伝導率[W/(m•K)]
$T_w$	: 円柱表面温度[K]
$T_o$	: 主流温度[K]
$q_w$	: 円柱表面上の局所熱流束[W/m <sup>2</sup> ]

## 参考文献

- White, F., Heat and Mass Transfer, ADDISON WESLEY, (1988), pp.343-347.

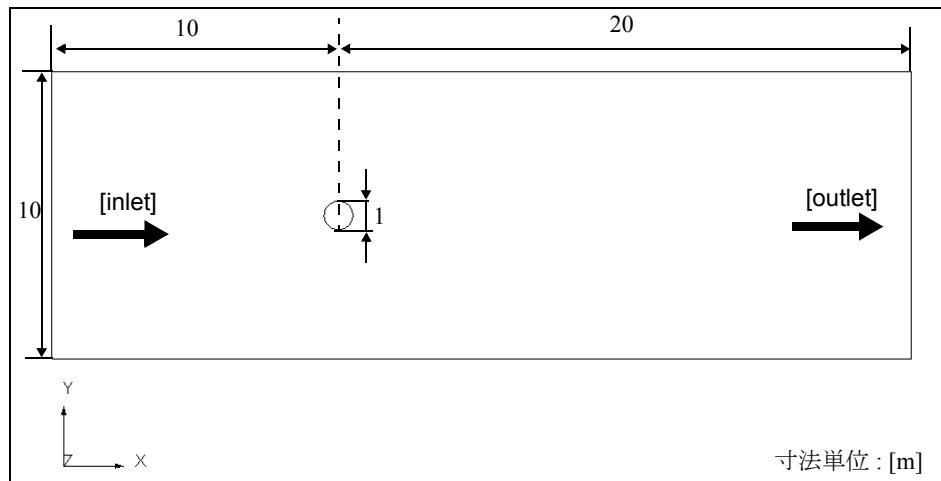
---

## 検証3 強制対流下の円柱表面における 熱伝達2(粗い格子)

---

検証2では、低レイノルズ型モデルを用いて、円柱周りの熱伝達を計算しました。計算したヌセルト数は実験とよく一致しましたが、細かい計算格子が必要でした。この例題では、低レイノルズ型モデルを用いて、粗い格子でヌセルト数を算出します。擬要素中心壁条件を用います。擬要素中心壁条件では、TBLE壁関数と呼ばれる手法が利用できます。これを用いると、ユーザー関数により壁関数の形を変更することができます。このユーザー関数の使用法についても説明します。

## 解析モデル



疑似2次元非圧縮性乱流

TBLE壁関数のタイプ1を用います。解析は2ケース行います。

Case A : 減衰関数のタイプ1

$$f_\mu = \left(1 - \exp\left(-\frac{y^*}{16}\right)\right)^2$$

$$y^* = \frac{yu_k^*}{v}$$

Case B : 減衰関数はユーザー関数により次式を与えます。

下記のように減衰関数に圧力勾配の影響を入れます。[文献1]

$$f_\mu = \left(1 - \exp\left(-\frac{y^*}{16N}\right)\right)^2$$

$$N = \sqrt{\text{MAX}(1 - 11.8p^*, 0)}$$

$$p^* = -\frac{v}{\rho u_k^{*3}} \frac{dp}{dx}$$

ただし、

$$u_1 \frac{du_1}{dx} \approx -\frac{dp}{dx} \rho$$

を仮定しています。

---

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k-ε方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流)、温度、周期境界

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- |         |                    |                |   |
|---------|--------------------|----------------|---|
| • 流入口   | [inlet]            | : 流速規定         | 2.12[m/s] (Re=140,000)                        |
|         |                    | : 流入温度         | 0.0[°C]                                       |
|         |                    | : 流入乱流エネルギー(k) | $9.75 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}^2]$ |
|         |                    | : 流入乱流消失率(ε)   | $3.04 \times 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}^3]$ |
| • 流出口   | [outlet]           | : 表面圧力規定       | 0.0[Pa]                                       |
| • 壁面    | [wall]             | : 擬要素中心壁条件の静止壁 |   |
|         |                    | : 壁面温度を外部温度に固定 | 100[°C]                                       |
| • 周期境界面 | [perb-a], [perb-b] | : 周期境界面のタイプ    | 平面  |
|         |                    | : 平行移動         | DZ=0.05[m]                                    |

(メモ) 流入部の流入乱流エネルギーと流入乱流消失率は乱流強度  $Tu_{in} = 1.2\%$  より算出しています。

$$k = 1.5(u_{in}Tu_{in})^2$$

$$\varepsilon = k^{3/2}/D$$

$u_{in}$  : 流入流速

D : 直径

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

## - その他

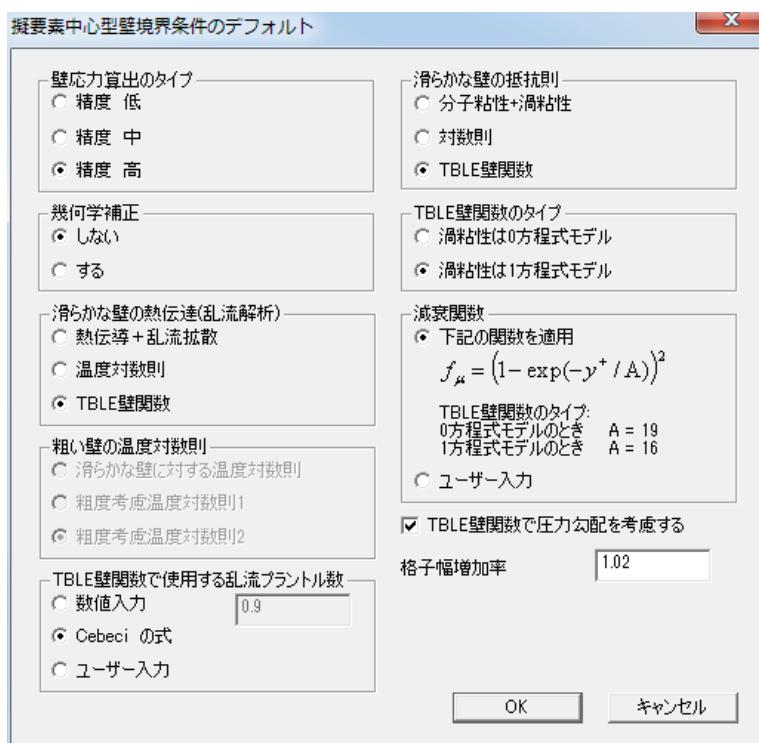
- 乱流モデル  
線形低レイノルズ数k-εモデル(MPAKN)
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル 10,000[サイクル]  
固定時間間隔 0.01[s]
- 出力条件  
流れ場の時間平均を出力します。詳細は検証2-特記事項-出力条件の設定を参照してください。

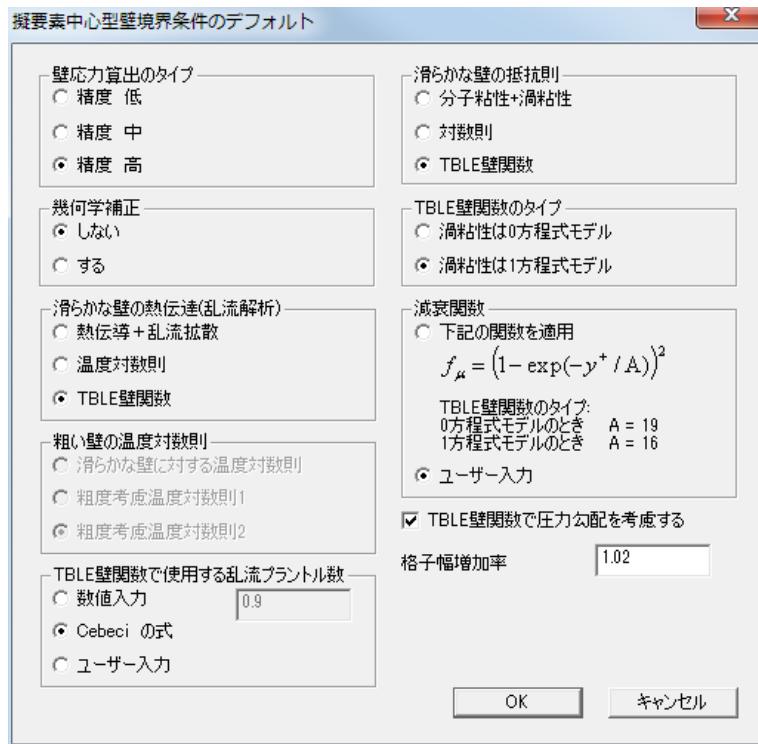
## 特記事項

### - 擬要素中心壁の設定

- [条件ウィザード] - [境界条件] - [擬要素中心型境界条件のデフォルト]で設定を行います。

Case A





### - ユーザー関数

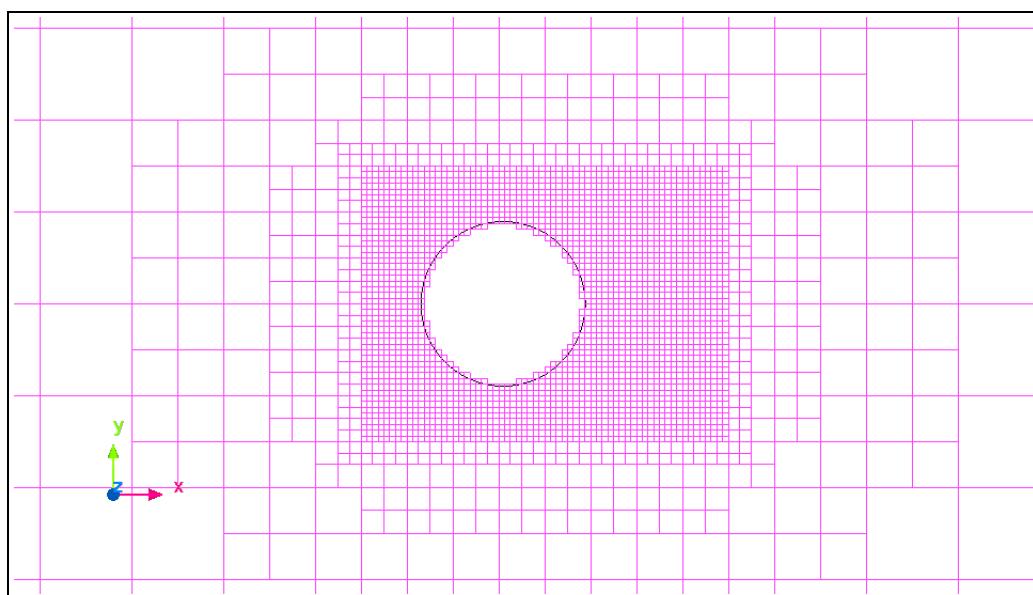
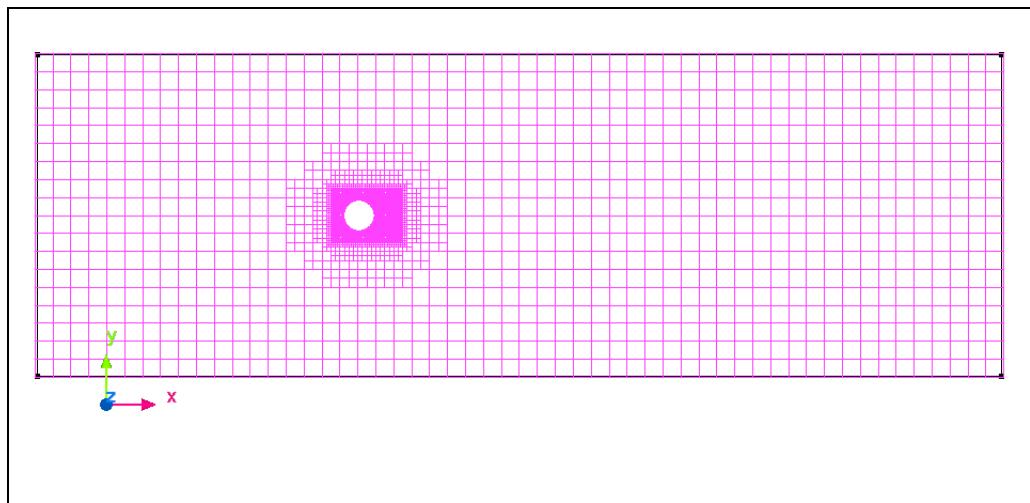
- 減衰関数をuse\_w100\_fmuで指定します。

```
fprec use_w100_fmu(int *ival,fprec *fval)
{
    double fmu,A=16.0,N=1.0,ps,n,a;
    double px,us,nu,yls;
    yls =fval[0];
    nu   =fval[2];
    us   =fval[3];
    px   =fval[6];
    if(px>0.0){ px=(fprec)0.0; }
    ps=-px*nu/(us*us*us+1.0e-10);
    n = 1-11.8*ps;
    if(n>0.0){ N =sqrt(n);      }
    else       { N = (fprec)0.0; }
    a   = 1.0-exp(-yls/A*N);
    fmu = (fprec)(a*a);
    return fmu;
}
```

---

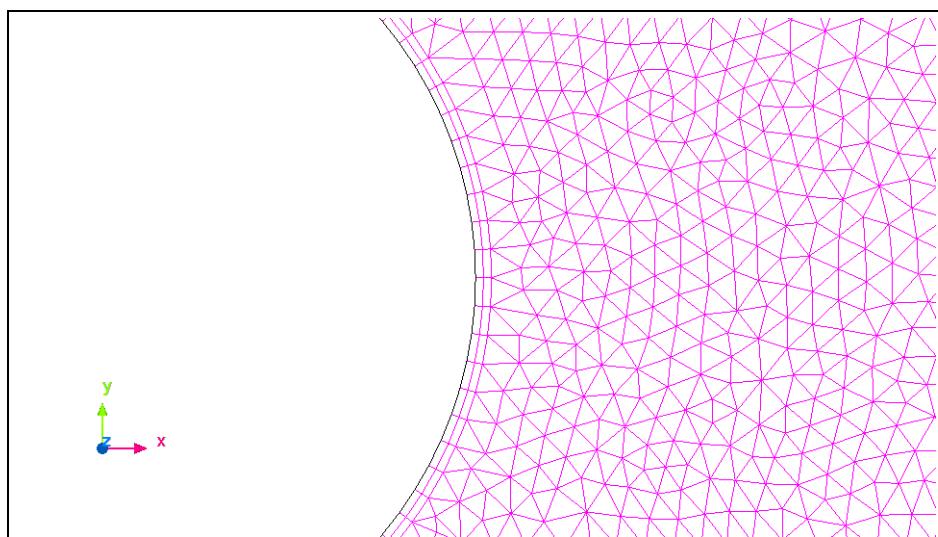
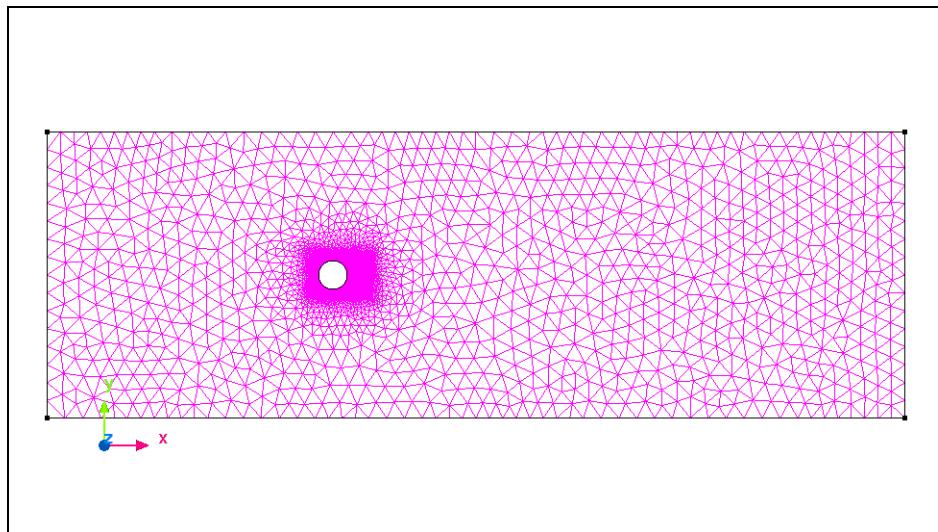
## 解析メッシュ

- 八分木図



---

- メッシュ図



要素数 : 7,199

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[1e-2]	[1]	[2]

\* 境界層要素挿入のタイミング: 先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)

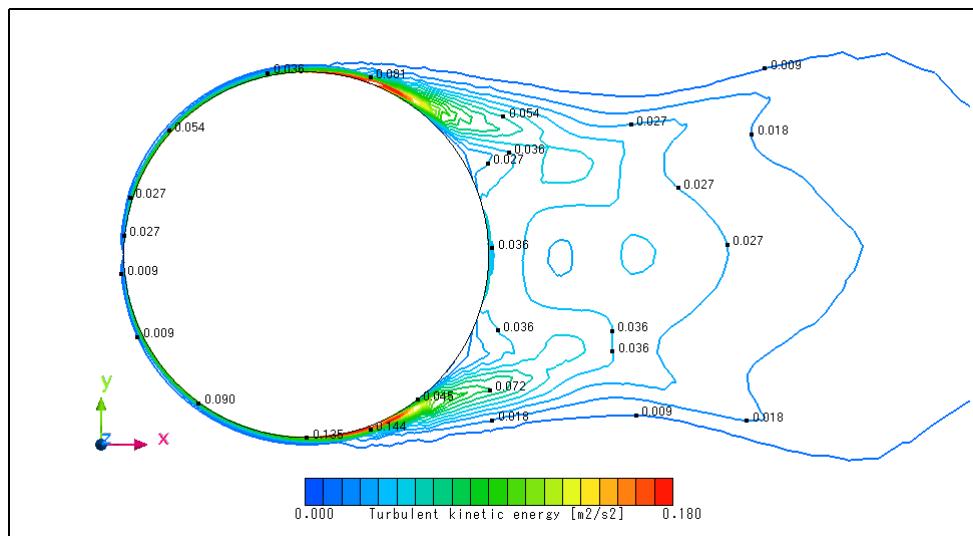
Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

## 計算コストの目安

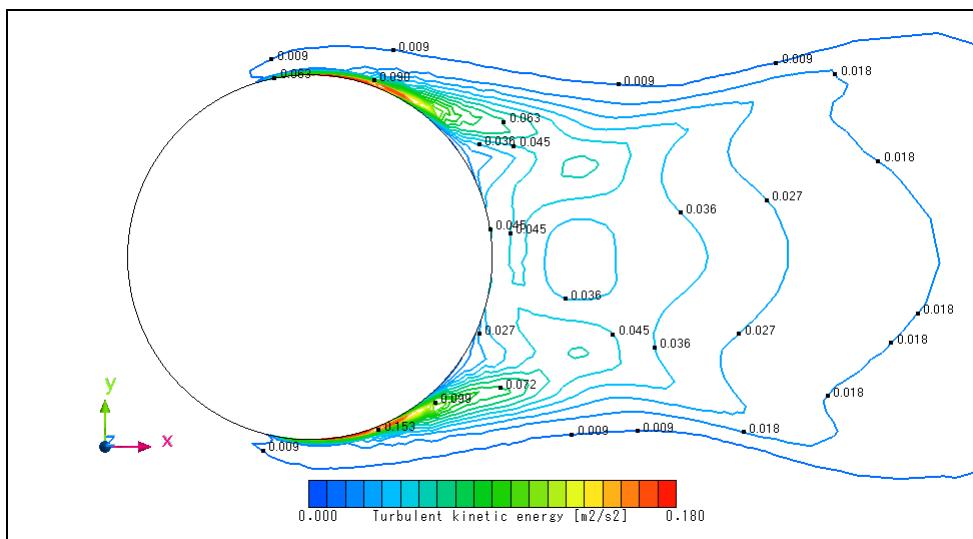
- SCTsolverの実行時間  
1ケースあたり約13分
  - 計算サイクル数  
1ケースあたり10,000 サイクル
- \* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析結果

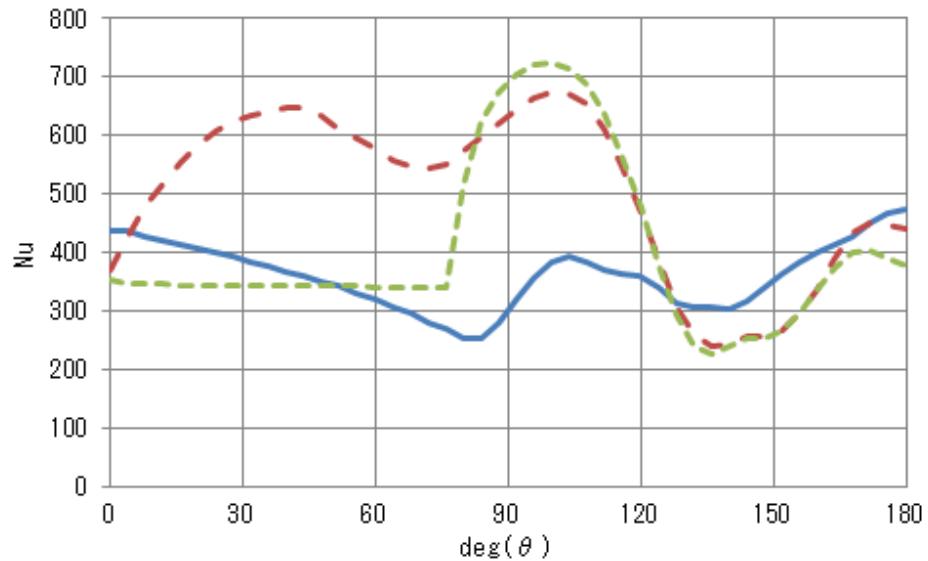
- 乱流エネルギーのコンター図  
Case A



Case B



- 
- 円柱表面Nu数分布グラフ



実線 : 検証2  
破線 : Case A  
点線 : Case B

## 参考文献

- Cebeci T. and Cousteix J., Modeling and Computation of Boundary-Layer Flows, Springer, pp.177(2005).

---

## 検証4 粗い面の乱流熱伝達係数

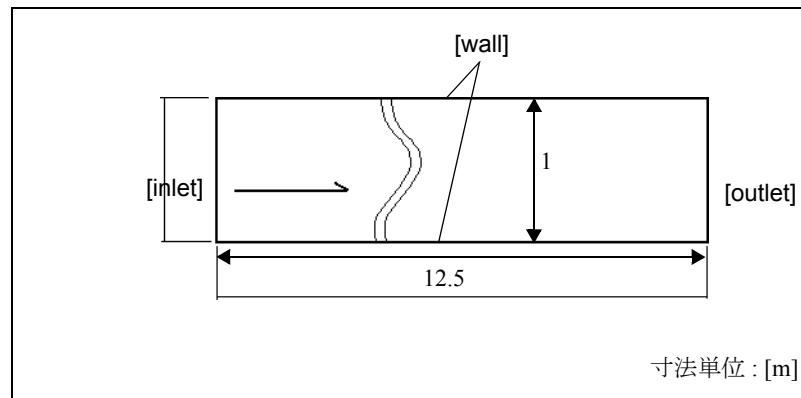
---

---

粗い壁を仮定した2枚の平板に挟まれた領域に一様速度の流れがある場合、その乱流熱伝達係数を解析から見積ります。

---

## 解析モデル



疑似2次元非圧縮性乱流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k- $\varepsilon$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流)、温度

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 水(20°C)

物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用

---

#### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 0.1017832098[m/s]  
流入温度 1[°C]
- 流出口 [outlet]: 表面圧力規定 0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁 (等価粗さ0.001[m]～0.004[m])  
壁面温度を外部温度に固定 0[°C]

#### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

#### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 300 [サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

## 特記事項

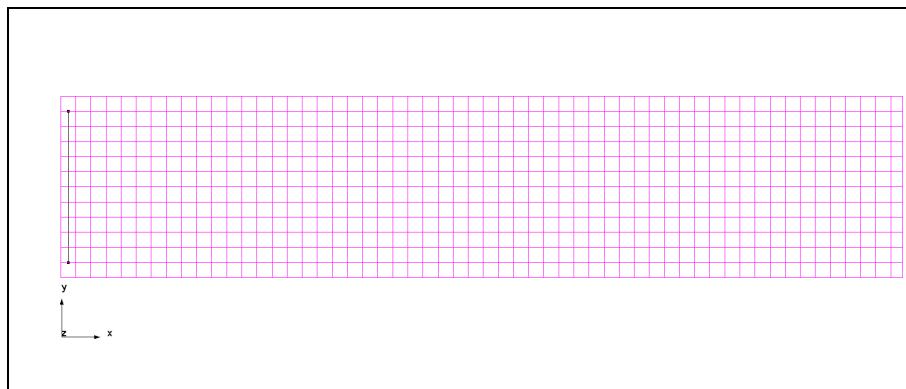
#### - 解析内容について

- 流入流速は平板間距離と流体の粘性から、レイノルズ数が $10^5$ を仮定して定めています。
- Lファイルに、流れ場の発達した下流(面領域名"htco")における乱流熱伝達係数の面積平均値を出力させます。設定は、[条件ウィザード] - [出力条件] - [領域平均値・総量]で行います。

---

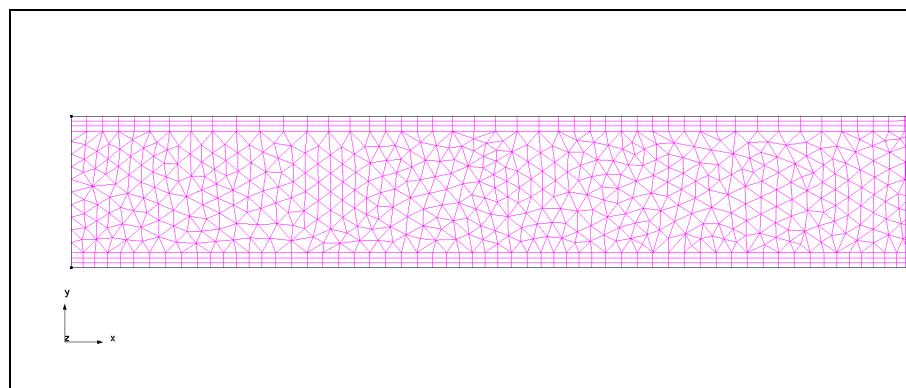
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.1[m]均一

- メッシュ図



要素数 : 7,845

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.03]	[1.1]	[3]

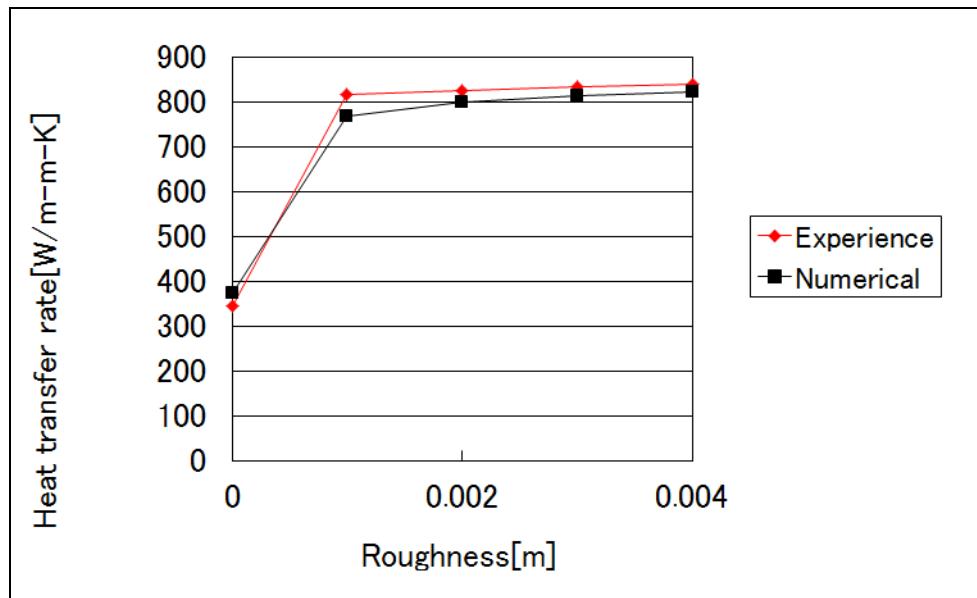
## 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
1ケースあたり約5秒
  - 計算サイクル数  
1ケースあたり約100サイクル
- \* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

---

## 解析結果

- 実験経験式との比較結果



実験経験式は、Dipprey, D.F. and Sabersky, R.H., Int. Jour. Heat and Mass Transfer, 6, pp:329, (1963)にあります。解析結果は、Lファイルに出力されている面領域htcoの面積平均された乱流熱伝達係数です。

---

## 検証5 正方キャビティー流れ

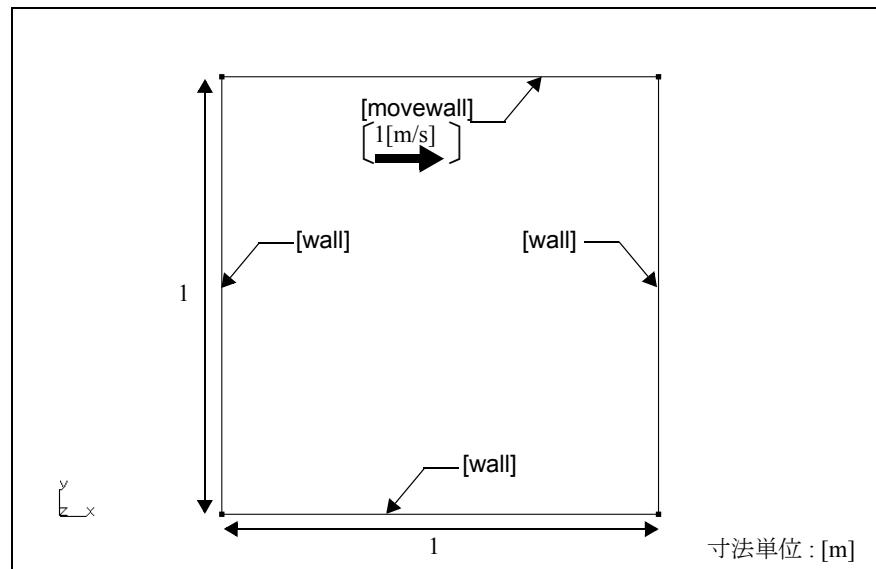
---

---

疑似2次元解析で縦横1[m]の正方形の面の1辺に1[m/s]の流速を与え、レイノルズ数1,000の場合の、キャビティー流れの解析を行います。

---

## 解析モデル



疑似 2 次元非圧縮性層流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)

## 解析選択

- 流れ(層流)

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 流体  
密度  $1.0[\text{kg}/\text{m}^3]$   
粘性係数  $1.0 \times 10^{-3}[\text{Pa}\cdot\text{s}]$

物性値ライブラリで新規作成をクリックし、上記の物性値を設定します。

(メモ) 解析結果の流速値を、レイノルズ数=1,000の場合のGhiaらの結果[文献1]と比較するために、流体の密度を $1.0[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、粘性係数を $0.001[\text{Pa}\cdot\text{s}]$ と設定しました。

---

#### - 境界条件

- 壁面 [movewall] : 平行移動壁  $Vx=1[m/s]$
- [wall] : 静止壁

#### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

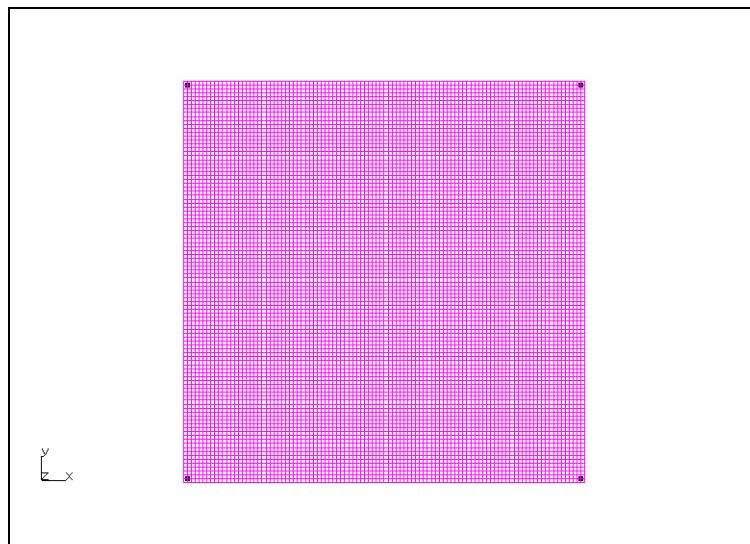
#### - その他

- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 300[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト
- 圧力固定  
 $(X, Y, Z) = (-0.495, -0.495, 0.005)$

---

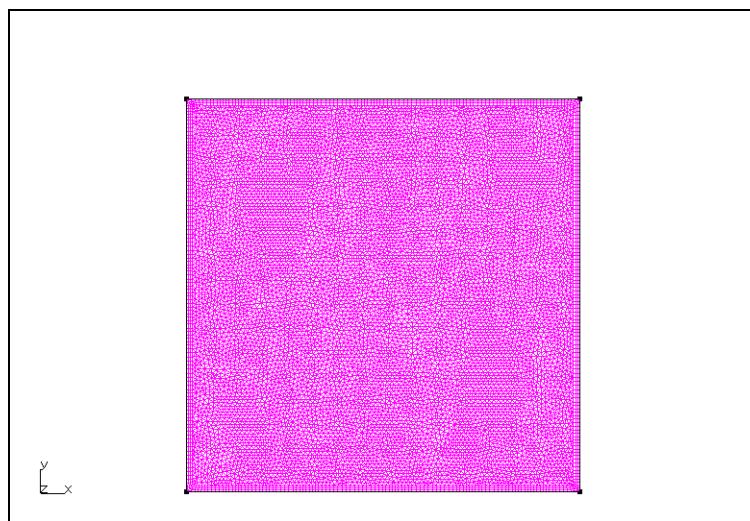
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.01[m]

- メッシュ図



要素数 : 20,096

境界層要素は下記で指定しています。さらに、境界層要素挿入のタイミングは先入れにします。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[movewall] [wall]	[0.005]	[1.1]	[3]

Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

---

## 計算コストの目安

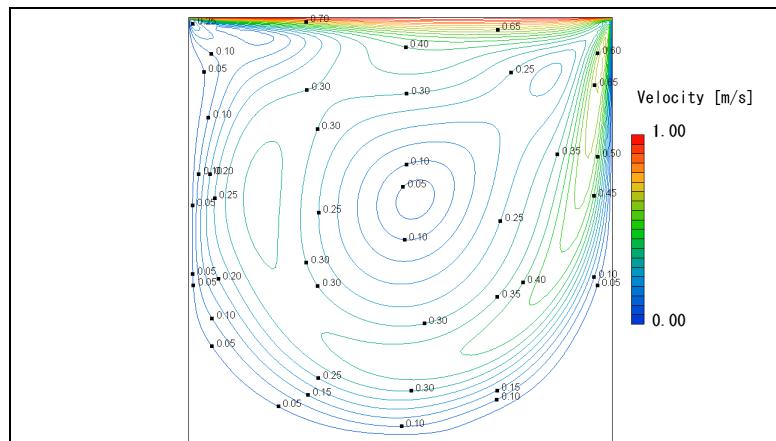
- SCTsolverの実行時間  
約30秒
  - 計算サイクル数  
約240サイクル
- \* 2core使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析結果

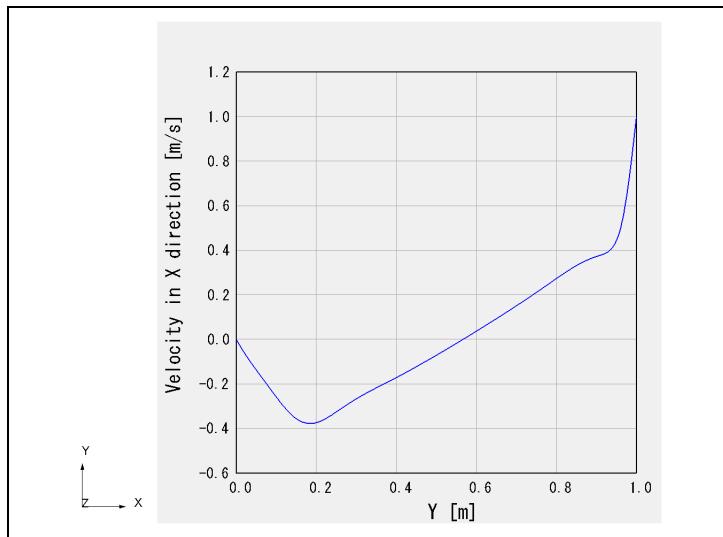
- SCTpostの設定  
中心線上の変化グラフを、SCTpostの変数グラフ機能を使って描画する場合は、グリッド表示でX座標中心、又はY座標中心を明確にして、通過点は正確に軸上をピックします。

Ghiaらの結果との比較グラフは、SCTpostの座標点ピック機能を利用しておおり、Ghiaらの結果と同じ座標位置の流速値をCSV形式で出力したものをExcelでグラフ化しています。

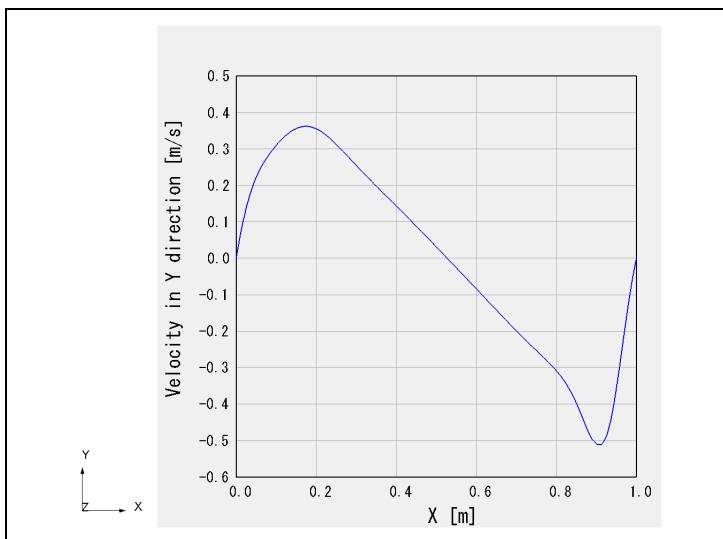
- 流速分布図



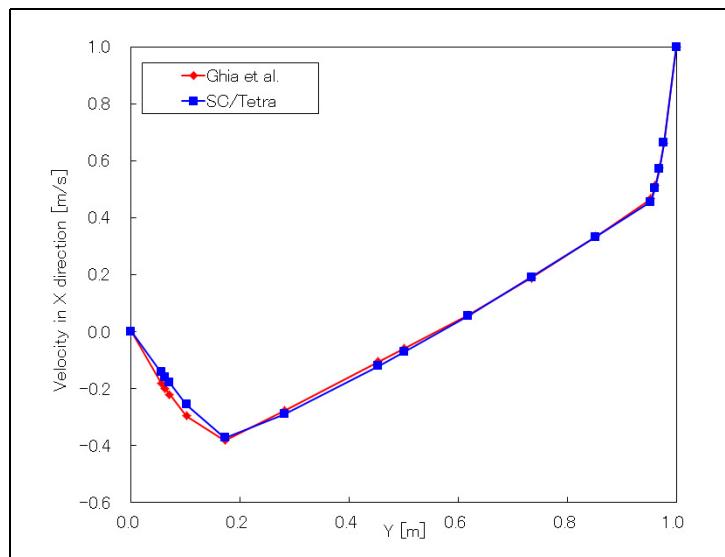
- 
- Y軸平行中心線上でのX方向流速変化グラフ



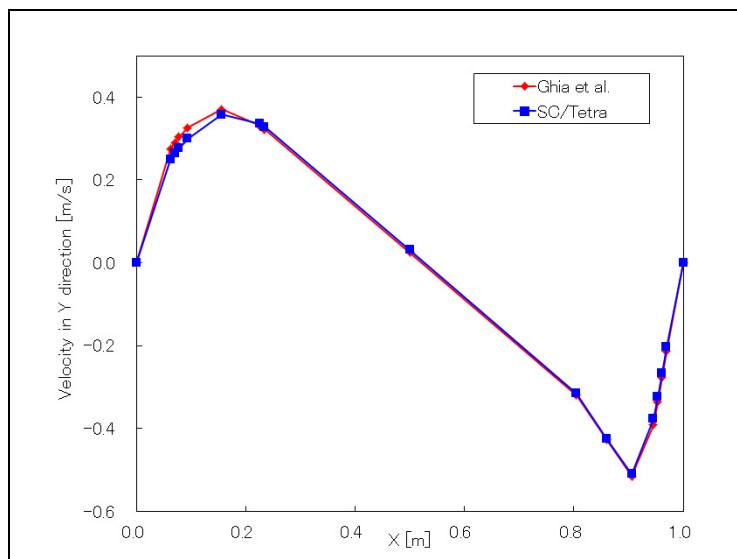
- X軸平行中心線上でのY方向流速変化グラフ



- 
- Ghiaらの結果との比較グラフ(X方向流速)



- Ghiaらの結果との比較グラフ(Y方向流速)



## 参考文献

1. U. Ghia, K. N. Ghia and C. T. Shin, J. Comput. Phys., 48,(1982),pp.387-411

---

## 検証6 擬要素中心壁条件

---

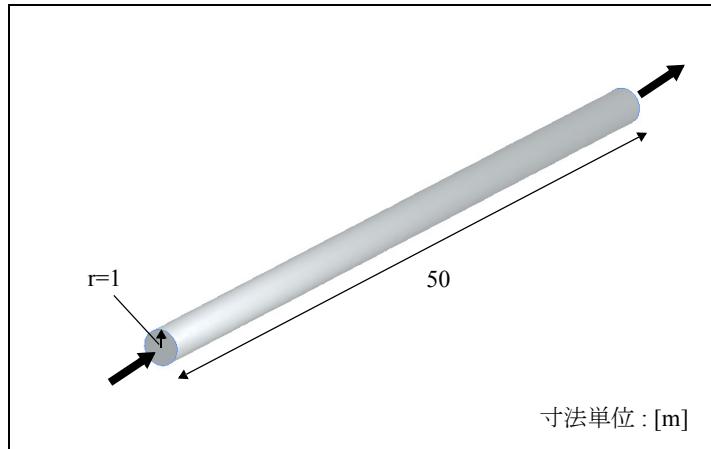
---

---

内部流れの解析で要素数が不十分のとき、要素中心壁条件を用いたときの効果を確認します。

---

## 解析モデル



3次元非圧縮性乱流 (CASE1) / 3次元非圧縮性層流 (CASE2)

長さ50[m]の半径1[m]の円管があります。あえて粗い計算格子を用いて、通常の壁条件(節点型壁条件)と要素中心壁条件で圧損を比較します。乱流(CASE 1)と層流(CASE 2)の2ケースの解析を行います。

## 解くべき方程式

### CASE 1

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-\varepsilon$ 方程式

### CASE 2

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)

## 解析選択

### CASE 1

- 流れ(乱流)

### CASE 2

- 流れ(層流)

---

## 解析条件

### - 物性値

#### CASE 1

- MAT=1 : 密度 1.0[kg/m<sup>3</sup>]  
粘性係数  $2.0 \times 10^{-4}$ [Pa·s]

#### CASE 2

- MAT=1 : 密度 1.0[kg/m<sup>3</sup>]  
粘性係数  $2.0 \times 10^{-2}$ [Pa·s]

(メモ) 上記の物性値(密度、粘性係数)には、CASE1ではレイノルズ数=10,000相当、CASE2ではレイノルズ数=100相当になる数値を適用しています。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流量規定  
境界面に垂直な平均流速を指定 1.0 [m/s]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁

(メモ) 上記の壁面で設定される静止壁の設定は、節点中心型の場合は、[条件ウィザード]-[境界条件]の壁面より[静止壁]を選択し、要素中心型の場合は、擬要素中心壁面より[静止壁]を選択します。

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

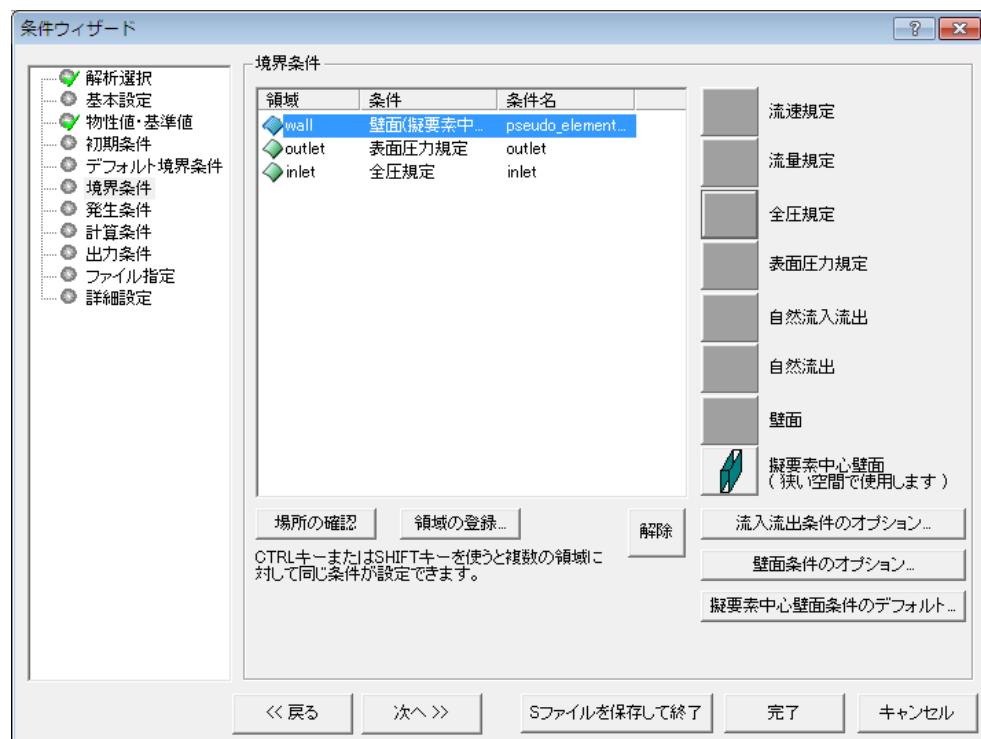
### - その他

- 乱流モデル(CASE1のみ)  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 200[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

## 特記事項

### - 擬要素中心壁条件の設定

- ・ 擬要素中心壁条件は、[条件ウィザード] - [境界条件]にて、擬要素中心壁面を選択して行います。



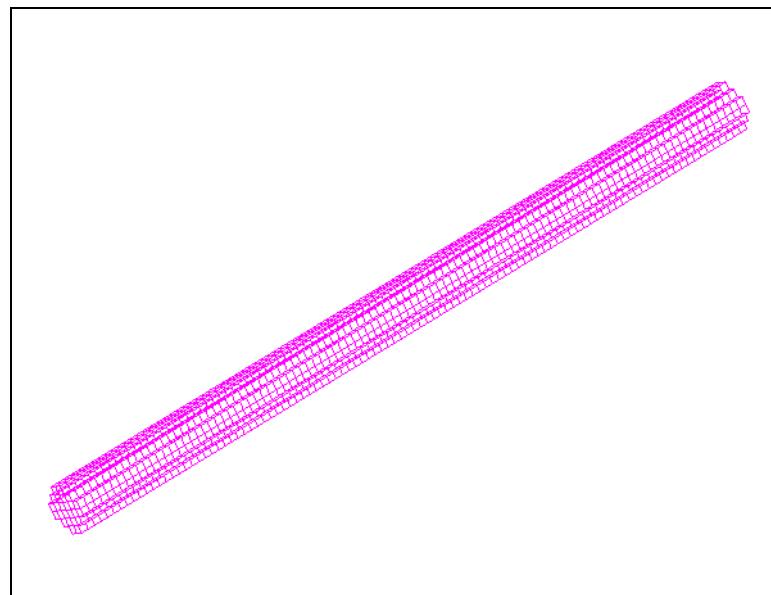
- ・ 本例題では計算精度を重視し、[擬要素中心型壁境界条件のデフォルト] - [壁応力算出のタイプ] を併せて[精度 中]に変更します。

(メモ) 擬要素中心壁条件の設定は、要素中心型の場合のみに設定します。

---

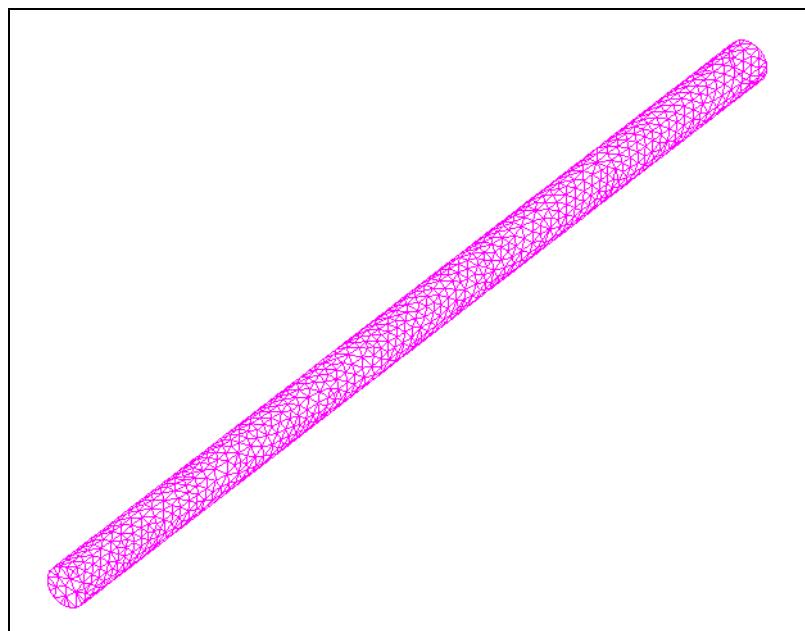
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.5[m]

- メッシュ図



要素数 : 10,286

本解析では境界層要素の挿入を行いません。

---

## 計算コストの目安

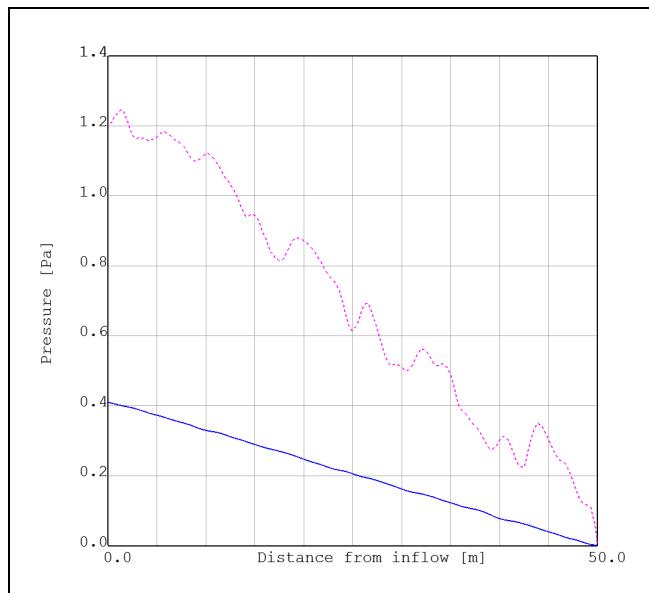
- SCTsolverの実行時間
  - CASE1(要素中心型) : 約3秒
  - CASE1(節点中心型) : 約2秒
  - CASE2(要素中心型) : 約2秒
  - CASE2(節点中心型) : 約1秒
- 計算サイクル数
  - CASE1(要素中心型) : 約50サイクル
  - CASE1(節点中心型) : 約50サイクル
  - CASE2(要素中心型) : 約50サイクル
  - CASE2(節点中心型) : 約50サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析結果

- 流れ方向の圧力変化

CASE 1



上図は中心軸での圧力の変化を表します。横軸は、流入口からの距離です。図で実線が要素中心型、点線が節点中心型です。

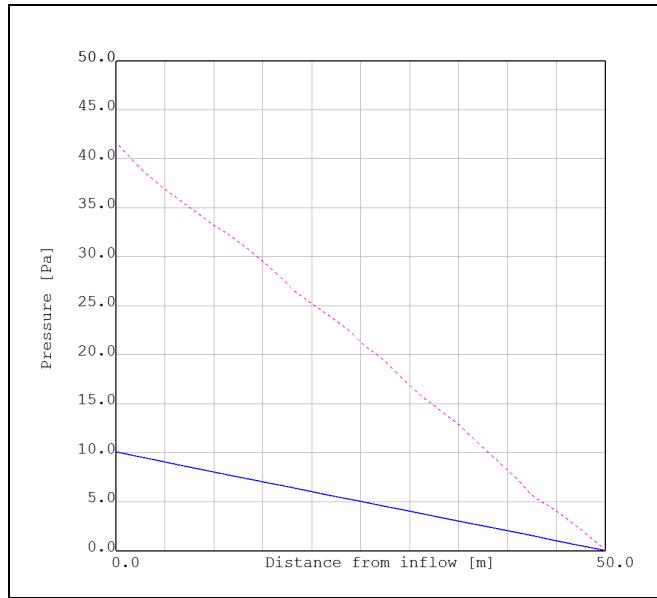
これらの結果を評価するために、完全に発達した流れと比較してみます。乱流の場合、単位長さ当たりの圧力損失( $dP/dL$ )はおよそ次式で表されます。

$$dP/dL = (0.0791Re^{-0.25})\rho U^2/r = 0.00791 \text{ [Pa/m]}$$

ここで、 $Re$ はレイノルズ数、 $\rho$ は密度、 $r$ は円管の半径です。入り口から出口までの距離50mで生じる圧損は0.4[Pa]です。このことから、節点型は圧損を過大評価評価している一方、要素中心型の圧損は妥当な範囲に収まっていることが分かります。しかし、要素中心型も節点中心型も圧力勾配はほぼ一定で、流れの発達の過程については再現できていません。

---

## CASE 2



実線が要素中心型、点線が節点中心型です。層流の場合、完全に発達した流れの圧損は次式で表されます。

$$dP/dL = (16/Re)\rho U^2 / r = 0.16 \text{ [Pa/m]}$$

50[m]に換算すると、8[Pa]です。傾向としては乱流の場合と同じであることがわかります。この例では要素中心型の圧損は妥当な範囲に収まっていることが分かります。

なお、これらの結果は極端に粗い格子を用いた場合の結果であることに注意して下さい。

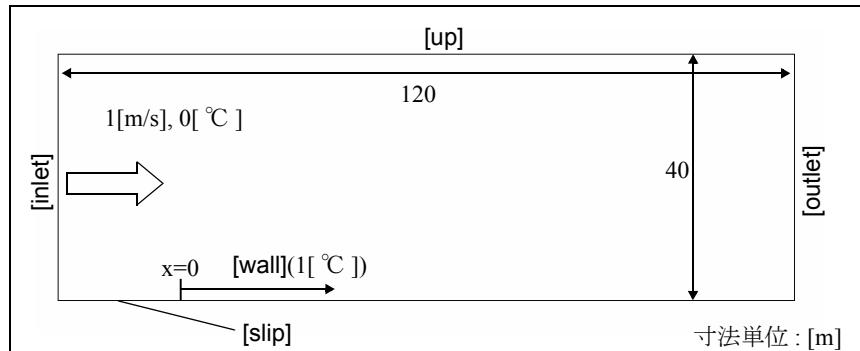
---

## 検証7 平板境界層流れと移流項精度

---

層流平板境界層方程式の厳密な解法はBlasiusによって与えられています。ここでは、 $Re=100$ ,  $Pt=1$ の場合を取り、移流項スキームの精度を変えながら、速度境界層、温度境界層の発達の仕方をBlasiusの解と比較します。

## 解析モデル



疑似2次元非圧縮性層流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式

## 解析選択

- 流れ(層流)、温度

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

• MAT=1	:	密度	1.0	[kg/m <sup>3</sup> ]
		粘性係数	0.01	[Pa•s]
		比熱	1.0	[J/(kg•K)]
		熱伝導率	0.01	[W/(m•K)]

---

#### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 1.0 [m/s]  
流入温度 0.0 [°C]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0 [Pa]  
流入温度 0.0 [°C]
- 領域上面 [up] : 自然流入流出  
流入温度 0.0 [°C]
- 領域下面 [slip] : フリースリップ  
断熱
- 壁面 [wall] : 静止壁  
境界温度 1.0 [°C]

#### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

#### - その他

- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 500[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

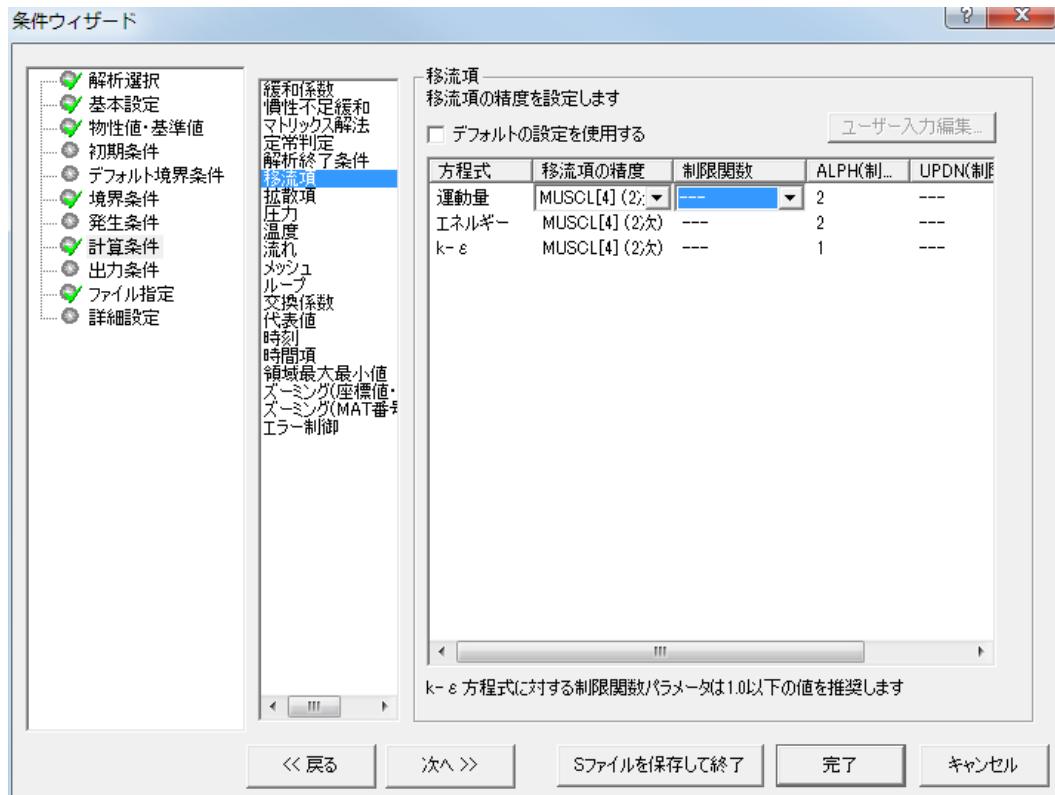
## 特記事項

#### - 移流項精度の調節

- 本例題では、移流項の精度を変化させた4ケースについて解析結果を比較します。
- [条件ウィザード] - [計算条件] - [移流項]タブを選択し、[運動量]方程式と[エネルギー]方程式に対して次のように設定を行います。

ケースA :	[移流項の精度]	[風上差分(1次)]
ケースB :	[移流項の精度]	[MUSCL[4](2次)]
	[ALPH(制限関数パラメータ)]	[1]
ケースC :	[移流項の精度]	[MUSCL[4](2次)]
	[ALPH(制限関数パラメータ)]	[1.5]
ケースD :	[移流項の精度]	[MUSCL[4](2次)]
	[ALPH(制限関数パラメータ)]	[2]

例えばケースDは次図のように設定します。



### - 移流項精度について

**SCRYU/Tetra**の移流スキームは、一次風上差分と二次精度のMUSCLスキームが選択できます。デフォルトの[MUSCL[4]]ではパラメータを調節することで、さらに高次へとスキームの精度を上げていくことが可能です。

低次の移流スキームは、要素分割の粗さに比例した数値粘性を含んでいます。この数値粘性のおかげで計算は安定化しますが、メッシュの解像度が十分でないと、流体が物性として持つ粘性以上に数値解を鈍らせる性質があり、平板境界層流れにおいては境界層の発達を実際以上に早めることになります。この例題では、移流項精度を上げることで、解析結果がBlasiusの解に近づくのを確認します。

### - Blasiusの解との比較

$Pr=1$ の場合には、圧力勾配がないと仮定した境界層方程式においては、温度境界層と速度境界層は流れに沿って同じ度合いで発達します。ここでは、その境界層厚さを"無限遠の99%の値を持つy座標"で比較します。Blasiusの解より、これは以下のように表されます：

$$\delta_9/x \approx 4.91/\sqrt{Re_x}$$

ここで、

$$Re_x = (U_\infty x)/v$$

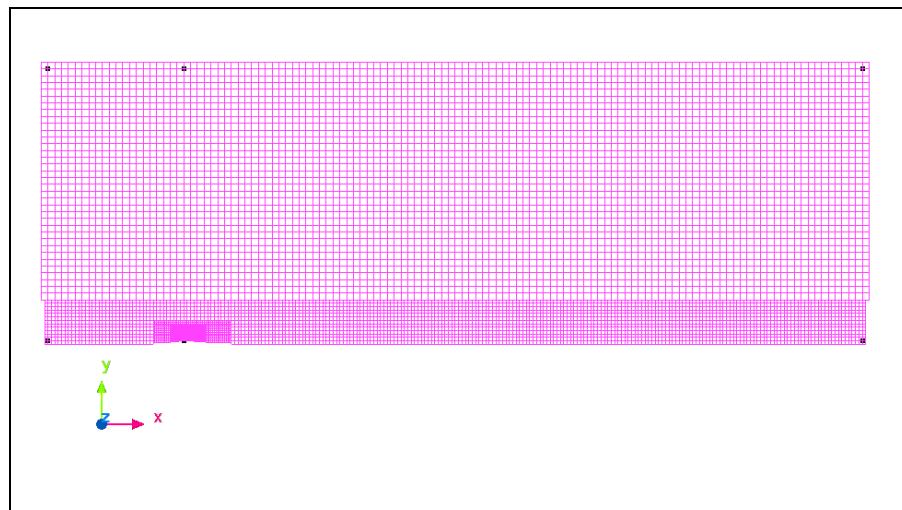
この境界層端では速度及び温度はそれぞれ以下の値を持ちます：

$$\text{速度 } U = 0.99 U_\infty$$

$$\text{温度 } T = T_{wall} + 0.99(T_\infty - T_{wall})$$

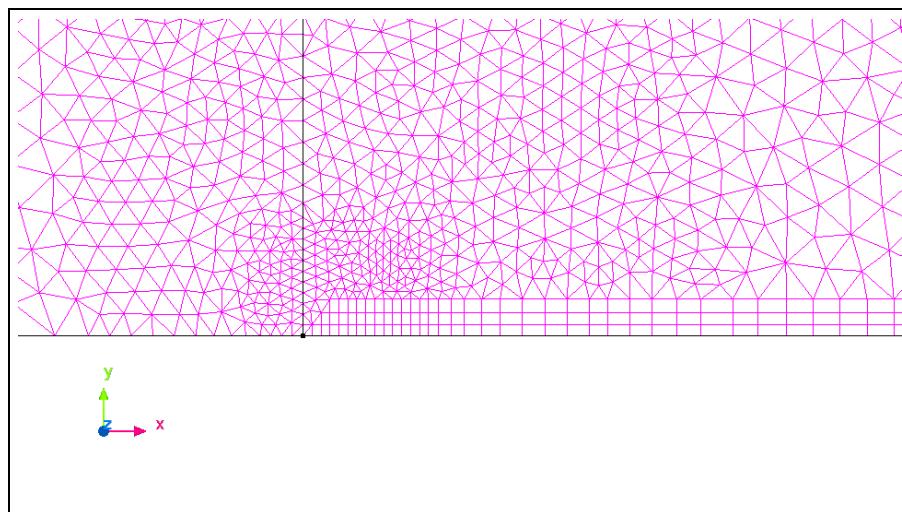
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.03125[m]~1[m]

- メッシュ図



要素数 : 18,366

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.04]	[1.1]	[3]

\* 境界層要素挿入のタイミング:先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)

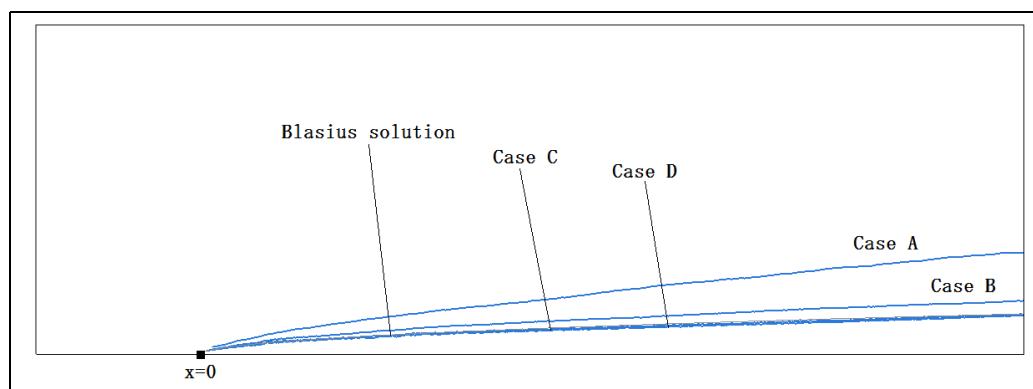
Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

## 計算コストの目安

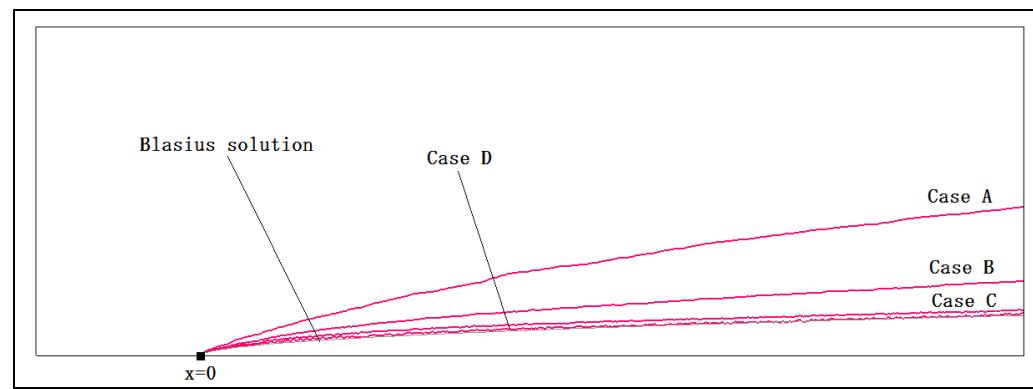
- SCTsolverの実行時間  
1ケースあたり約1分
  - 計算サイクル数  
1ケースあたり約280サイクル
- \* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析結果

- 速度境界層の発達の比較



- 温度境界層の発達の比較



## 参考文献

1. J. P. Holman, Heat Transfer, 4th-edition, McGraw-Hill

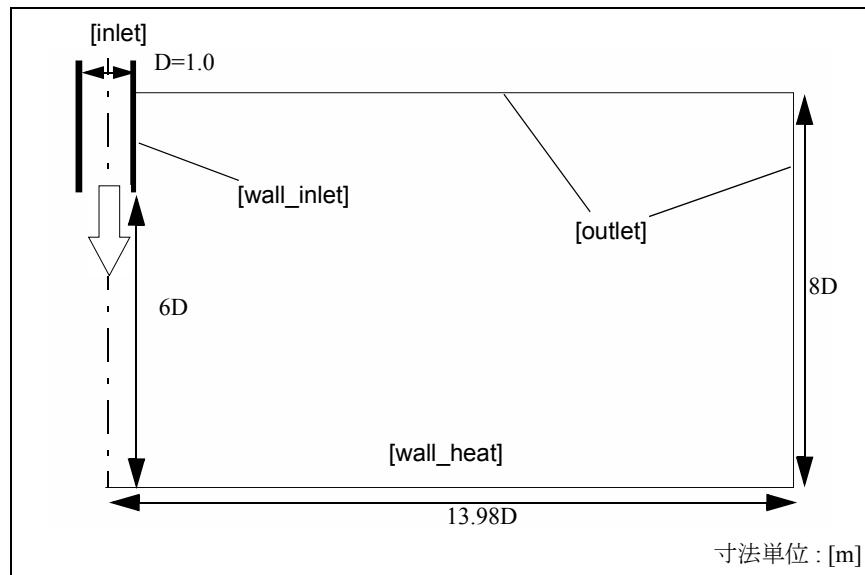
---

## 検証8 軸対称衝突噴流における乱流熱伝達

---

低レイノルズ数型乱流モデル(SST k- $\omega$ モデル)を用いて熱伝達を伴う軸対称衝突噴流を解析します。熱伝達予測精度を向上させるために、衝突域での乱流量の過大生成を抑える渦粘性リミターを適用します。衝突壁面上のヌセルト数分布について、計算結果と実験値を比較します。

## 解析モデル



## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k- $\omega$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流)、温度

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

---

#### - 物性値

• MAT = 1	:	密度	1	[kg/m <sup>3</sup> ]
		粘性係数	$4.29 \times 10^{-5}$	[Pa·s]
		定圧比熱	71	[J/(kg·K)]
		熱伝導率	$4.29 \times 10^{-3}$	[W/(m·K)]

#### - 境界条件

• 流入口	<b>[inlet]</b>	:	流速規定	1	[m/s]
			流入温度	0	[°C]
			流入乱流エネルギー(k)	0.01	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]
			流入乱流消失率(ε)	0.0024	[m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]
• 流出口	<b>[outlet]</b>	:	表面圧力規定	0	[Pa]
			流入温度	0	[°C]
• 壁面	<b>[wall_inlet]</b>	:	静止壁 断熱		
	<b>[wall_heat]</b>	:	静止壁 熱流束一定	1	[W/m <sup>2</sup> ]

#### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

#### - その他

- 乱流モデル  
SST k-ωモデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 1,000[サイクル]  
定常判定値 : デフォルト

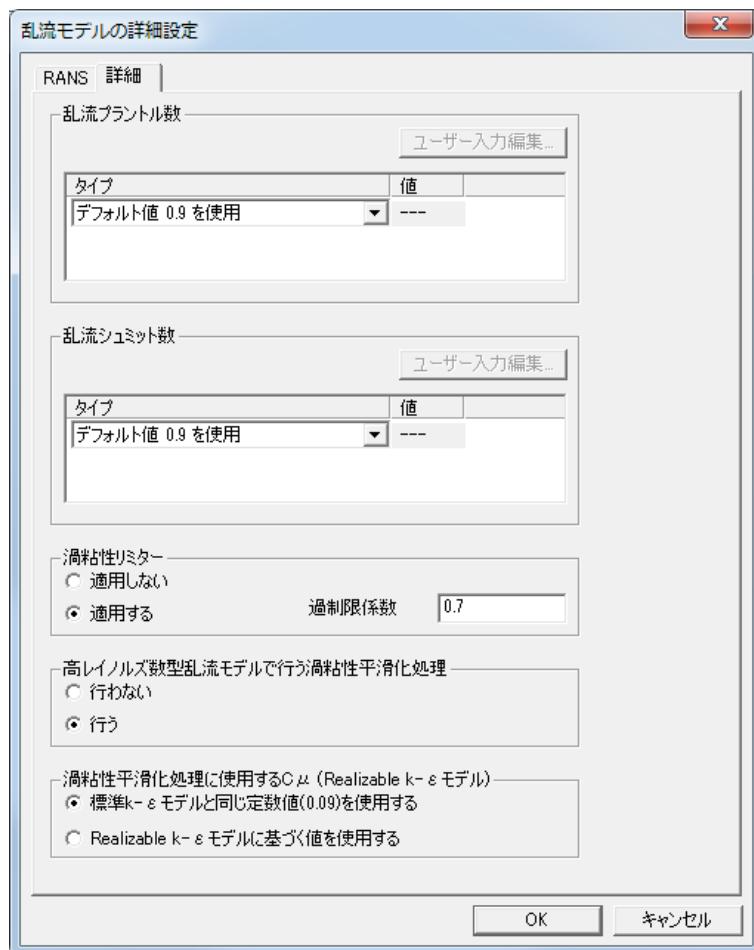
## 特記事項

### - 使用する乱流モデル

- SST k- $\omega$ モデルを使用します。[条件ウィザード] - [解析選択]で[乱流モデル]に[SST k- $\omega$ モデル]を選択します。

### - 涡粘性リミターの設定方法

- [条件ウィザード] - [解析選択]で詳細をクリックします。[乱流モデルの詳細設定]ダイアログの[詳細]タブで[涡粘性リミター]の[適用する]をONにし、[過制限係数]を[0.7]とします。強い衝突を伴う噴流の場合、1以下(～0.7程度)の係数を選択することで温度予測精度を上げることができます。



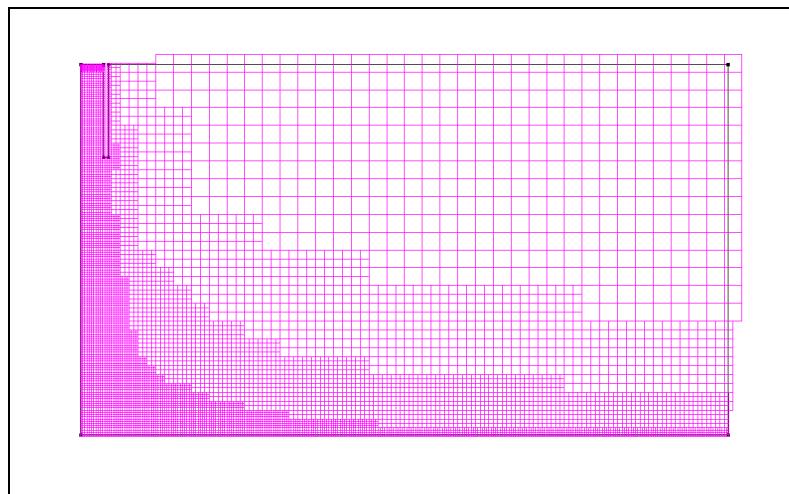
### - メッシュ作成について

- 噴流吹出入口において十分発達した円管流れを得るために、パイプ部分はメッシュの掃引機能を使って作成します(全体の厚み20[m]・厚みの変化率1.15・層数30)。掃引機能については、[ユーザーズガイド 操作編 応用例3 伸縮メッシュと要素移動](#)を参照してください。

---

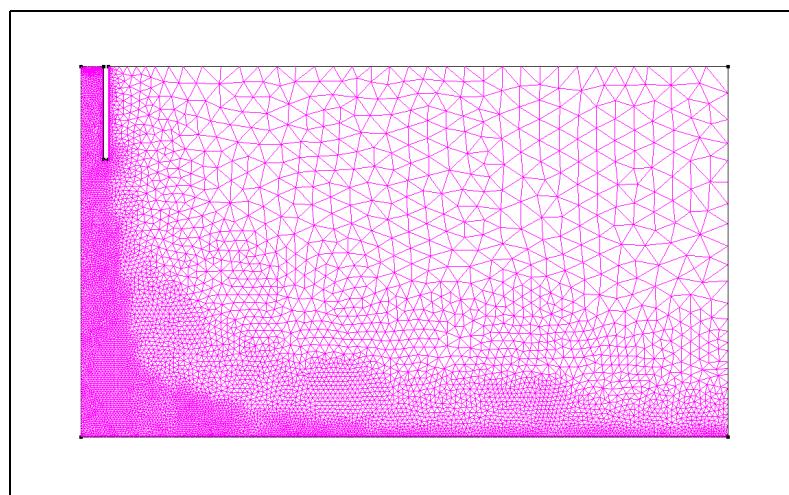
## 解析メッシュ

- 八分木図

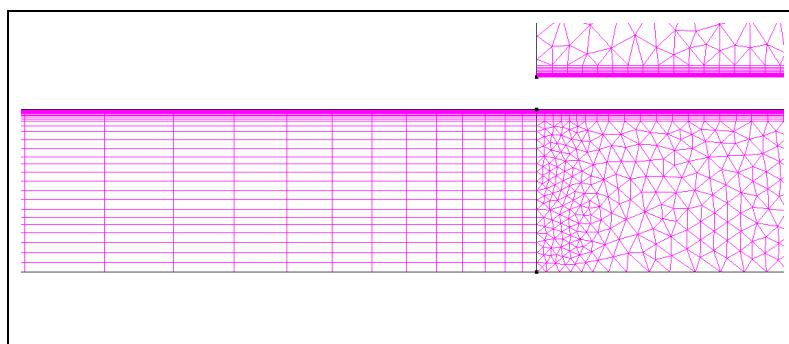


オクタントサイズ : 0.024[m]~0.384[m]

- 掃引前メッシュ図



- 掃引部メッシュ図



要素数 : 22,367

---

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall_inlet]	[5e-004]	[1.2]	
[wall_heat]			[15]

\* 境界層要素挿入のタイミング：先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)

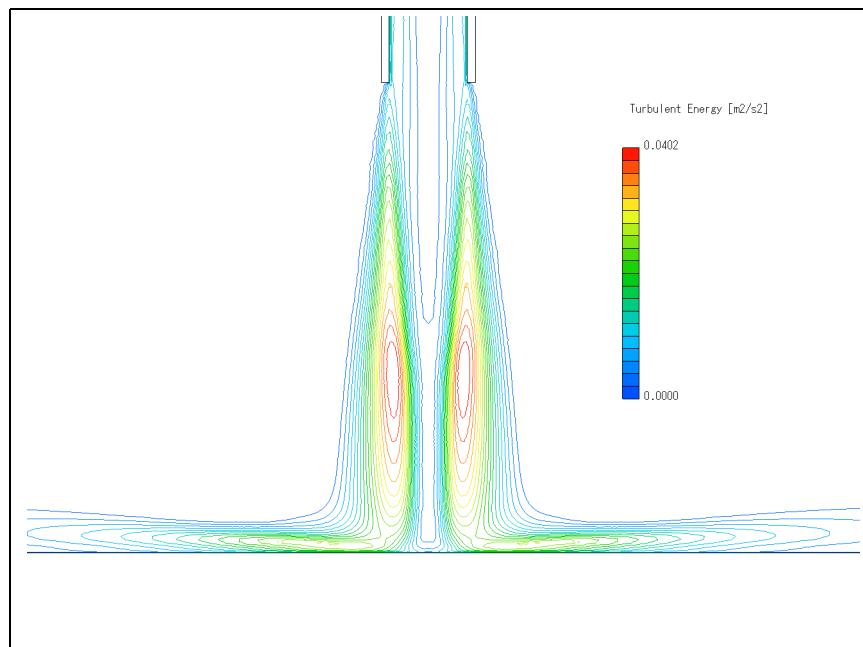
$\theta$  方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザーズガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

## 計算コストの目安

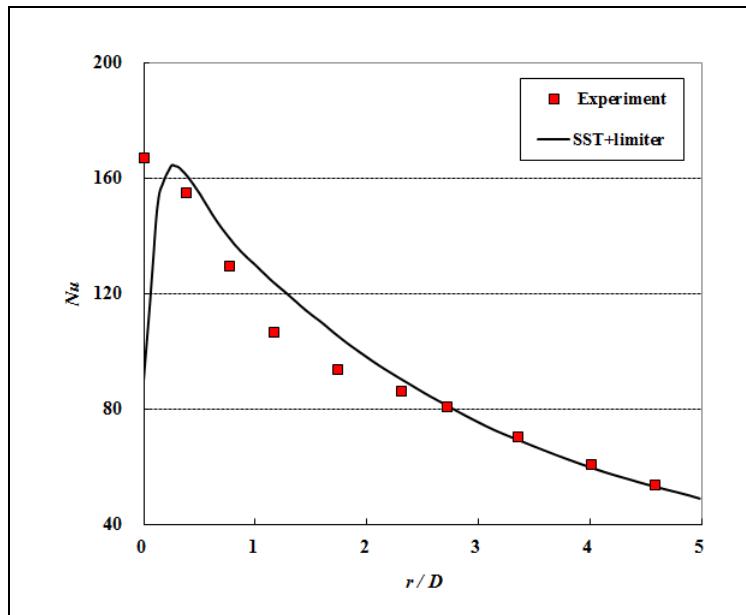
- SCTsolverの実行時間  
約4分30秒
- 計算サイクル数  
約 720サイクル

## 解析結果

- 乱流エネルギーセンター図



- 衝突壁表面Nu数分布



ここで

$r$  : 対称軸からの距離

$D$  : パイプ直径

$Nu$  : ヌセルト数  $\left( = \frac{q_{wall}D}{\kappa \Delta T} \right)$

$q_{wall}$  : 壁面熱流束

$\kappa$  : 热伝導率

$\Delta T$  : 壁面上の局所温度と噴流吹出し温度の差

## 参考文献

- Baughn, J. et al., An Experimental Study of Entrainment Effects on the Heat Transfer from a Flat Surface to a Heated Circular Impinging Jet, J. Heat Transfer Vol. 113 (1991).

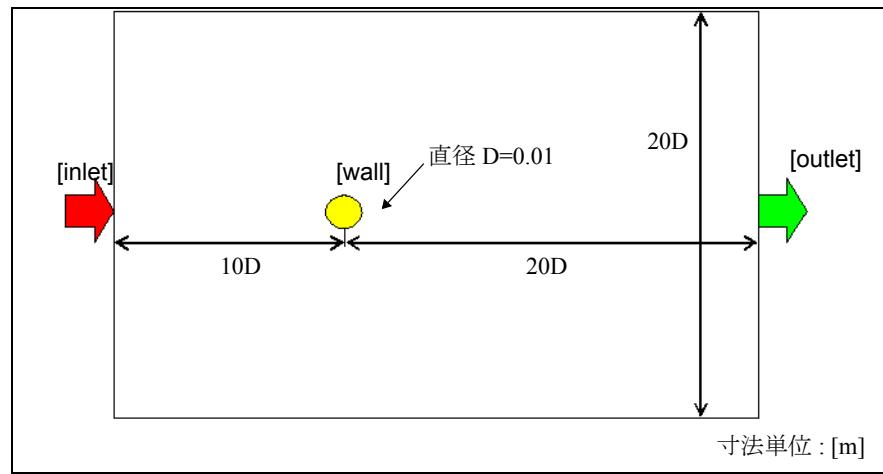
---

## 検証9 時間項の精度検証

---

非定常解析で必要な時間項の精度について検証します。SCRYU/Tetraでは、運動量保存式(NS式)とスカラー方程式(温度、拡散物質、 $k$ 、 $\epsilon$ など)で使用される時間項に対し、1次精度陰解法と2次精度陰解法が用意されています。本例題では両者の違いに加え、サイクル内ループの使用による違いについても検証します。なお、検証で用いる流れ場は、円柱回りの流れ場とし、いくつか時間間隔を変えて計算します。ただし、ここでは簡単のために、円筒軸方向に対し1要素を割り当てた疑似2次元解析を行います。

## 解析モデル



疑似2次元非圧縮性層流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)

## 解析選択

- 流れ(層流)

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気( $20^{\circ}\text{C}$ )  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮 $20^{\circ}\text{C}$ )]を使用します。

---

#### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定  
流入流速 1.5[m/s]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁

#### - 初期条件

- 流速(X方向成分) : 1.5[m/s]

#### - その他

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算は、全て固定時間間隔で行います。なお、計算サイクル数は、実時間で0.5秒の計算となるように、適宜調整しています。

	Case A	Case B	Case C	Case D	Case E	Case F
Fixed time interval [s]	$1 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$
Calculation cycles	50,000	10,000	5,000	2,500	1,000	625

## 特記事項

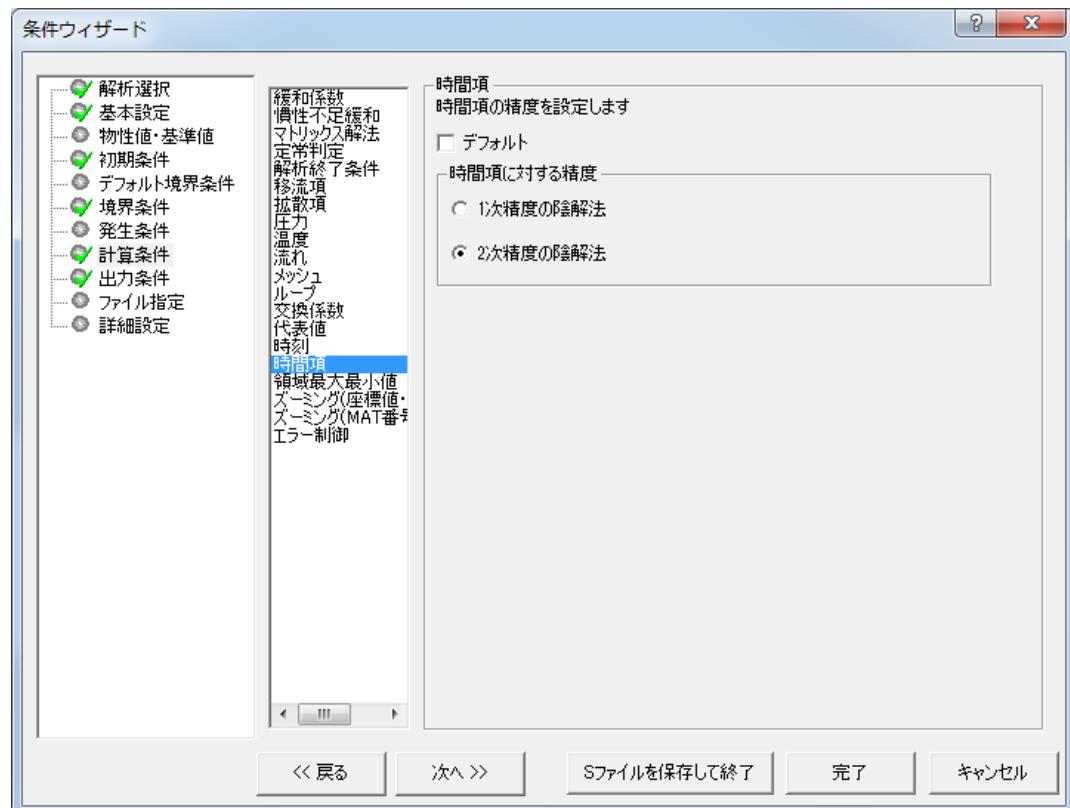
### - 解析内容について

- ・円柱直径と流入速度に基づくレイノルズ数は、約1,000となります。
- ・計算結果に対する時間精度の依存性は、ストローハル数(St)を求めて調べます。なお、実験で求められたRe=1,000のストローハル数は、約0.21と報告されています[文献1]。
- ・ストローハル数を求めるため、円柱に働く力をLファイルに出力します。

[出力条件] - [圧力], [出力条件] - [粘性応力]から設定を行います。

### - 時間精度の設定手順(2次精度陰解法を選択する場合)

- ・[条件ウィザード] - [計算条件]の[時間項]にて、[デフォルト]をOFFにし、[時間項に対する精度]を[2次精度の陰解法]とします。



- ・上記の設定がされない場合、つまりデフォルトでは、1次精度陰解法が適用されます。

### - サイクル内ループの設定手順

- ・サイクル内ループは、1サイクルの間に各方程式のマトリックスを解く回数で、デフォルトでは1回となっています。
- ・非定常解析で1サイクルあたりの時間間隔が大きい時に、ループを2以上にすることで、より精度の高い解を得られる場合があります。
- ・[条件ウィザード] - [計算条件] - [ループ]の[サイクル内ループの繰り返し回数]にて、[デフォルト]をOFFにし、[サイクル]に[2]を入力します。

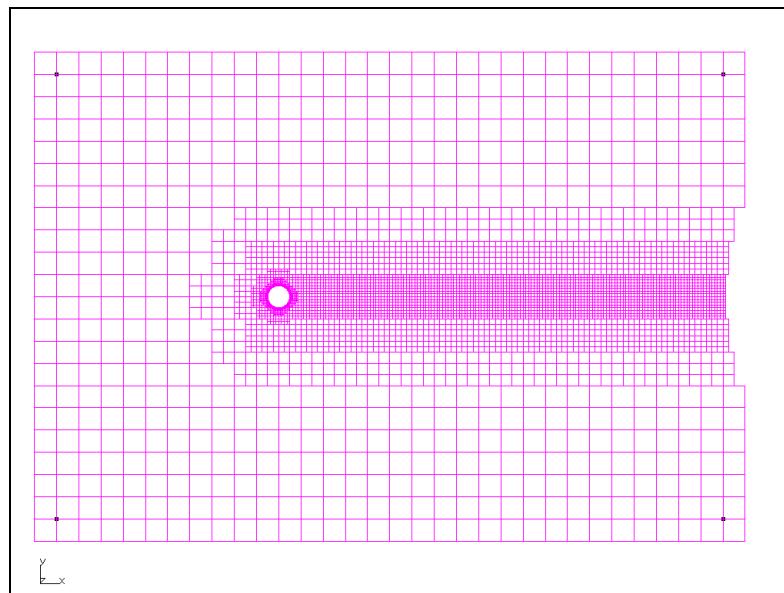
---

#### - ストローハル数の求め方について

1. 解析で得られたリストファイル(Lファイル)を、LFileView.exeで読み込みます。
2. Lファイル中の"PRESSURE FORCE WORKING ON SURFACES"欄の"FORCE-Y"の値をダブルクリックすると、グラフが表示されます。
3. このとき、表示している変数に名前をつけます。そして、登録変数と時間をCSVファイルに出力します。
4. なお、ストローハル数で必要な振動周期または周波数については、5周期分の振動周期から1周期分の平均値を算出します。周期の算出については、Excelなどに読み込んで数値情報から直接読み取る、あるいはFFT関係のソフトなどを用いて解析することで得られます。

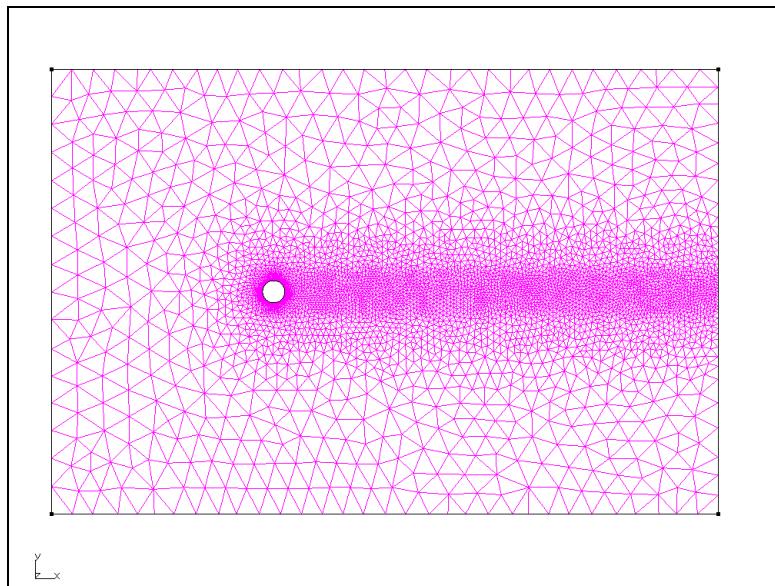
#### 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.00015625[m] ~ 0.01[m]

- 
- メッシュ図(全体)



要素数 : 9,702

境界層要素は下記で指定しています。さらに、境界層要素挿入のタイミングは先入れにします。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[3e-5]	[1.1]	[6]

Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

## 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間 (サイクル内ループなし)

Case A 約45分

Case B 約10分

Case C 約5分

Case D 約2分30秒

Case E 約1分

Case F 約40秒

- 計算サイクル数

Case A 50,000サイクル

Case B 10,000サイクル

Case C 5,000サイクル

Case D 2,500サイクル

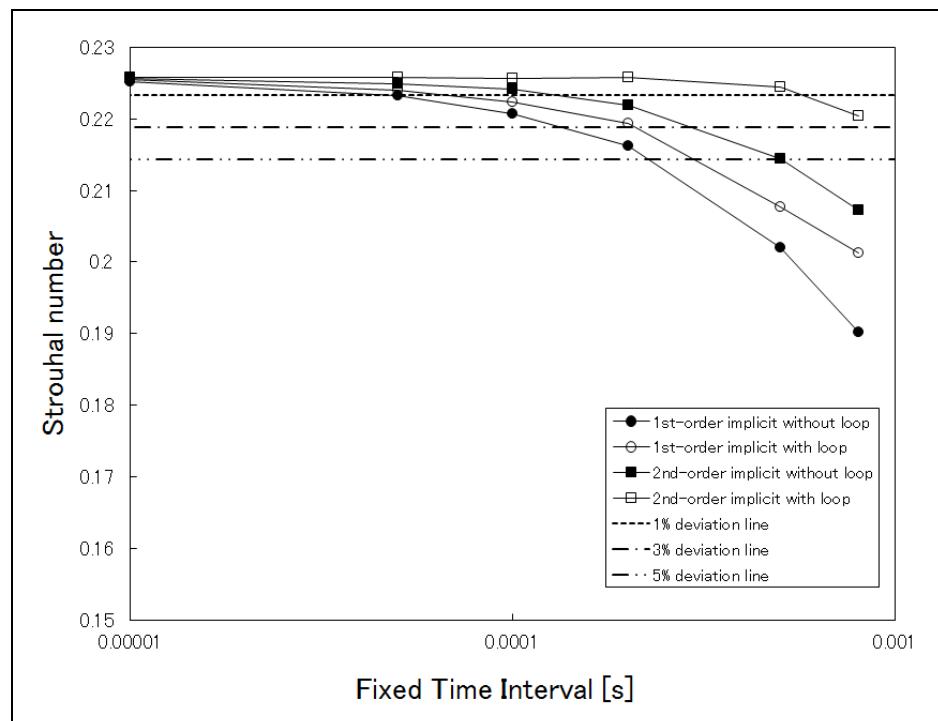
Case E 1,000サイクル

Case F 625サイクル

\* 2core使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析結果

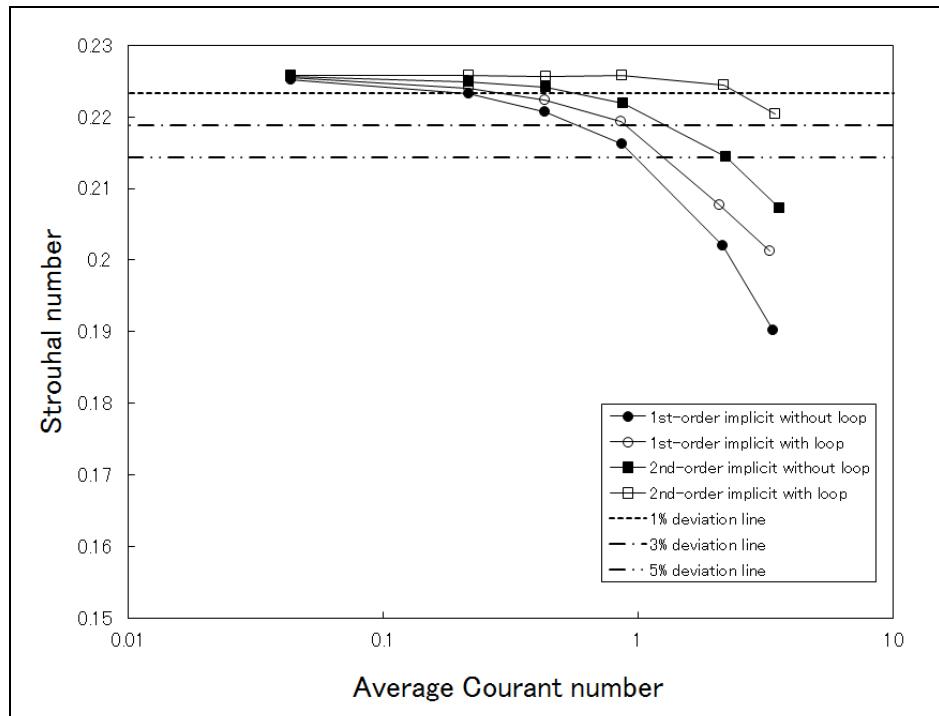
- ストローハル数(St)の時間刻み依存性



### 注意事項

- 時間刻みが十分小さい場合、1次精度と2次精度共に同じSt値(=0.222)を示します。
- サイクル内ループによって、時間刻みが大きい場合の精度が改善されています。
- 図中の点線(1%), 一点鎖線(3%), 二点鎖線(5%)は、それぞれ時間刻みを十分小さくした場合のSt値からのずれを表します。

- 
- ストローハル数(St)の平均クーラン数依存性



#### 注意事項

- 横軸の平均クーラン数は、時間刻み一定での計算中にリストファイル(Lファイル)に出力される "Average CFL number"を指します。なお、グラフ中の平均クーラン数は、計算時間の0.3秒から0.5秒までの平均値を意味します。

#### 参考文献

1. H. Schlichting, Boundary-Layer Theory, McGraw-Hill, (1955).

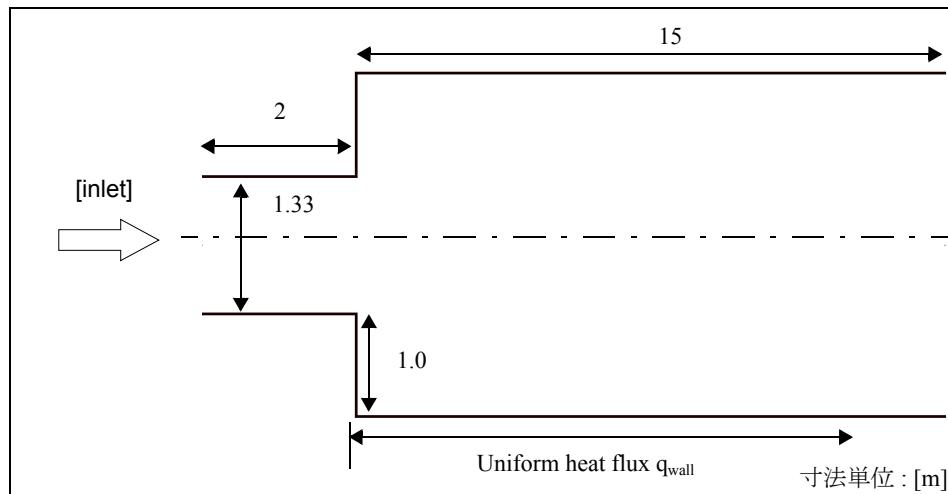
---

## 検証10 包括型壁関数を用いた軸対称バックステップ流れの熱伝達

---

低レイノルズ数域包括型壁関数を用いて、軸対称バックステップ流れの解析を行います。ステップ後流において一様な壁面熱流束を与え、スセルト数分布を実験値と比較します。

## 解析モデル



軸対称疑似2次元非圧縮性乱流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- エネルギー保存式
- k-ε方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流)、温度

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- |         |      |                        |                      |
|---------|------|------------------------|----------------------|
| • MAT=1 | : 密度 | 1                      | [kg/m <sup>3</sup> ] |
|         | 粘性係数 | $1.306 \times 10^{-5}$ | [Pa·s]               |
|         | 比熱   | 71                     | [J/(kg·K)]           |
|         | 熱伝導率 | $1.306 \times 10^{-3}$ | [W/(m·K)]            |

---

#### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 1 [m/s]  
流入温度 0 [°C]  
流入k 0.0001 [ $m^2/s^2$ ]  
流入 $\epsilon$  0.0001 [ $m^2/s^3$ ]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0 [Pa]
- パイプ表面 [wall] : 静止壁  
断熱
- 拡大部表面 [wall\_heat] : 静止壁  
熱流束一定 1 [W/m<sup>2</sup>]

#### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

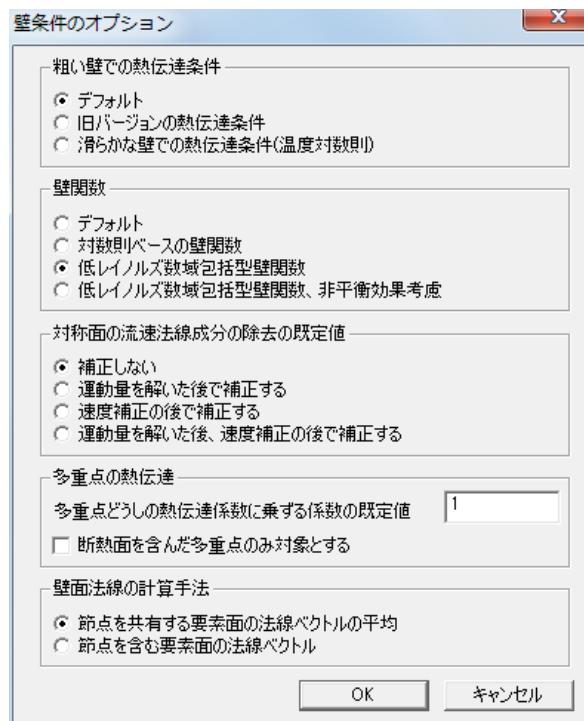
#### - その他

- 乱流モデル  
標準k- $\epsilon$ モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 1000[サイクル]  
定常判定値 : 温度および乱流量  $1.0 \times 10^{-5}$   
その他 デフォルト

## 特記事項

### - 低レイノルズ数域包括型壁関数の設定方法

- 乱流モデルには標準k-εモデルを使用し、低レイノルズ数域包括型壁関数を適用します。[条件ウィザード] - [境界条件]で壁面条件のオプションをクリックし、[壁関数]から[低レイノルズ数域包括型壁関数]をONにし、OKをクリックします。



### - メッシュについて

- 流入・流出において十分発達した円管流れを得るために、メッシュの掃引機能を使用します(流入部：全体の厚み18[m]・厚みの変化率1.15・層数30、流出部：全体の厚み30[m]・変化率1.08・層数50)。掃引機能については、[ユーザーズガイド 操作編 応用例3 伸縮メッシュと要素移動](#)を参照してください。

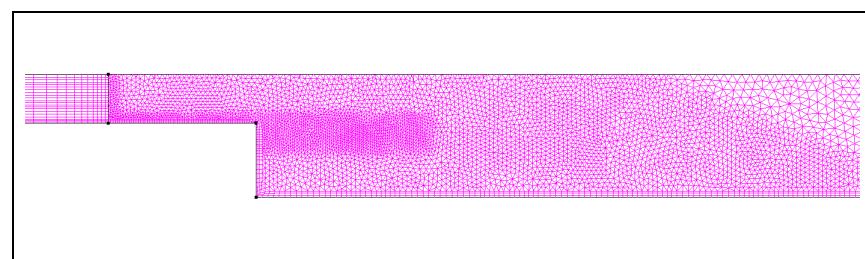
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.03[m] ~ 0.12[m]

- メッシュ図



要素数 : 14,044

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall_thin]	[0.015]	[1.1]	[3]
[wall_thick]	[0.025]	[1.1]	[3]

\* 境界層要素挿入のタイミング:先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)

Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザーズガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

## 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約2分

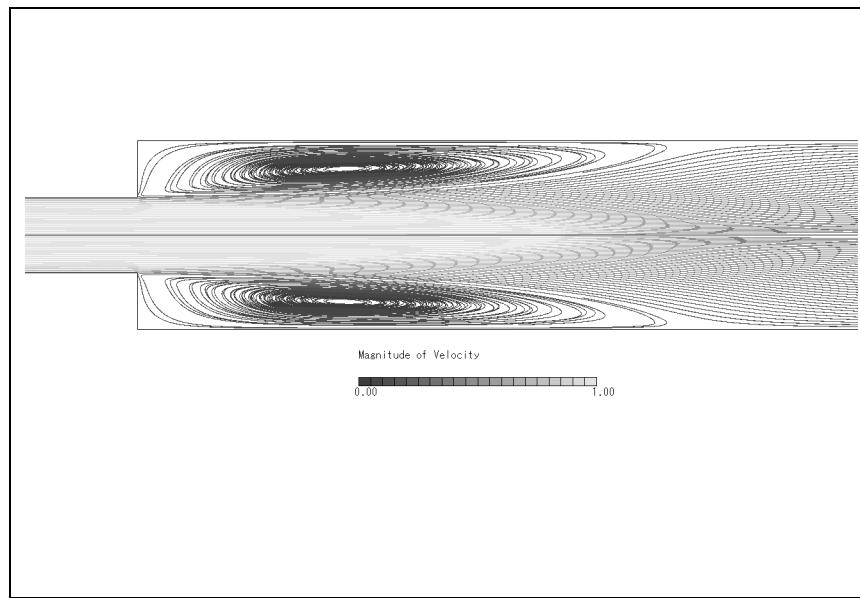
- 計算サイクル数  
約800サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

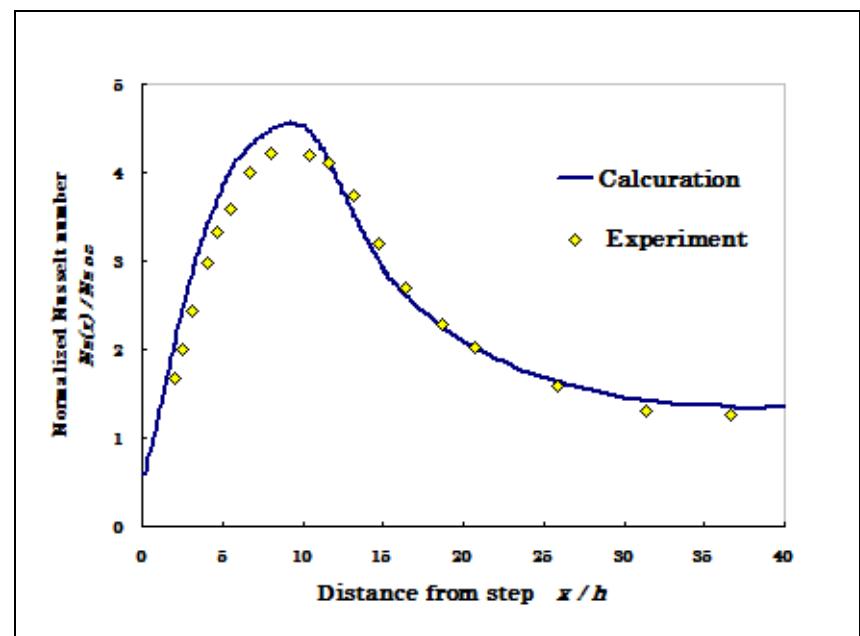
---

## 解析結果

- 流線図



- Nu数分布



---

ここで

x	:	バックステップからの距離
h	:	バックステップ高さ(=1.0)
Nu	:	ヌセルト数 $\left( = \frac{q_{wall}D}{\kappa(T_{wall} - T_{bulk}(x))} \right)$
D	:	拡大部管径(=3.33)
q <sub>wall</sub>	:	壁面熱流束
κ	:	熱伝導率
T <sub>wall</sub>	:	壁面上の局所温度
T <sub>bulk</sub> (x)	:	パイプ流れ平均温度 $\left( = \frac{4q_{wall}x}{Re\mu C_p} \right)$
μ	:	粘性係数
C <sub>p</sub>	:	比熱
Re	:	パイプ拡大部の直径と平均速度に基づいたRe数(=40,700)
Nu <sub>DB</sub>	:	Dittus-Boelterの経験式( $= 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4}$ )

## 参考文献

1. J. W. Baughn et al., Local Heat Transfer Downstream of an Abrupt Expansion in a Circular Channel with Constant Wall Heat Flux, J. Heat Transfer, Vol.106 (1984)

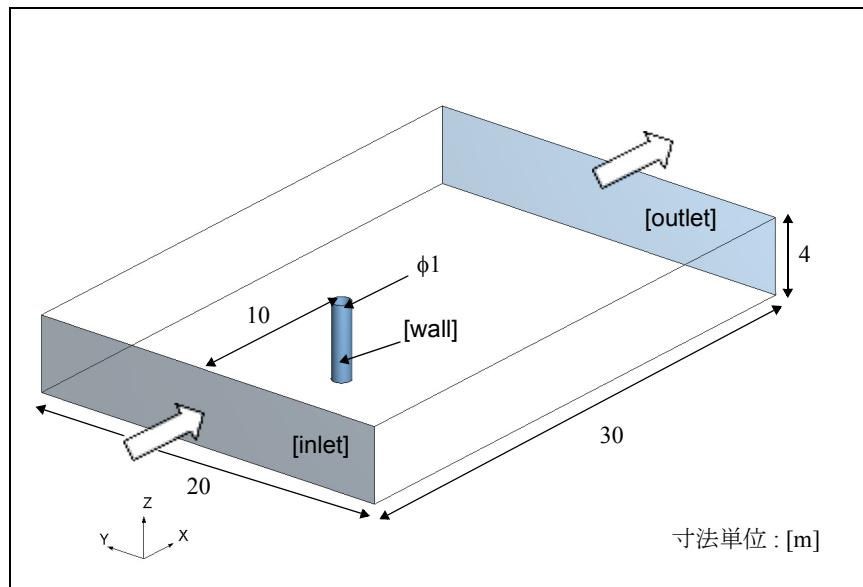
---

## 検証11 三次元円柱周り流れのDetached Eddy Simulation

---

Detached Eddy Simulation(DES)機能を用いて、三次元円柱周りの非定常乱流解析を行い、円柱に働く空力特性を評価します。また、RANSによる同様の計算結果と比較します。

## 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- k- $\omega$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流)

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 密度 100 [kg/m<sup>3</sup>]  
粘性係数  $1.66667 \times 10^{-2}$  [Pa•s]

---

#### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流入流速規定 5.0 [m/s](Re=30,000)  
流入k 0.015 [ $m^2/s^2$ ]  
流入 $\varepsilon$  0.000486 [ $m^2/s^3$ ]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0 [Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁

#### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

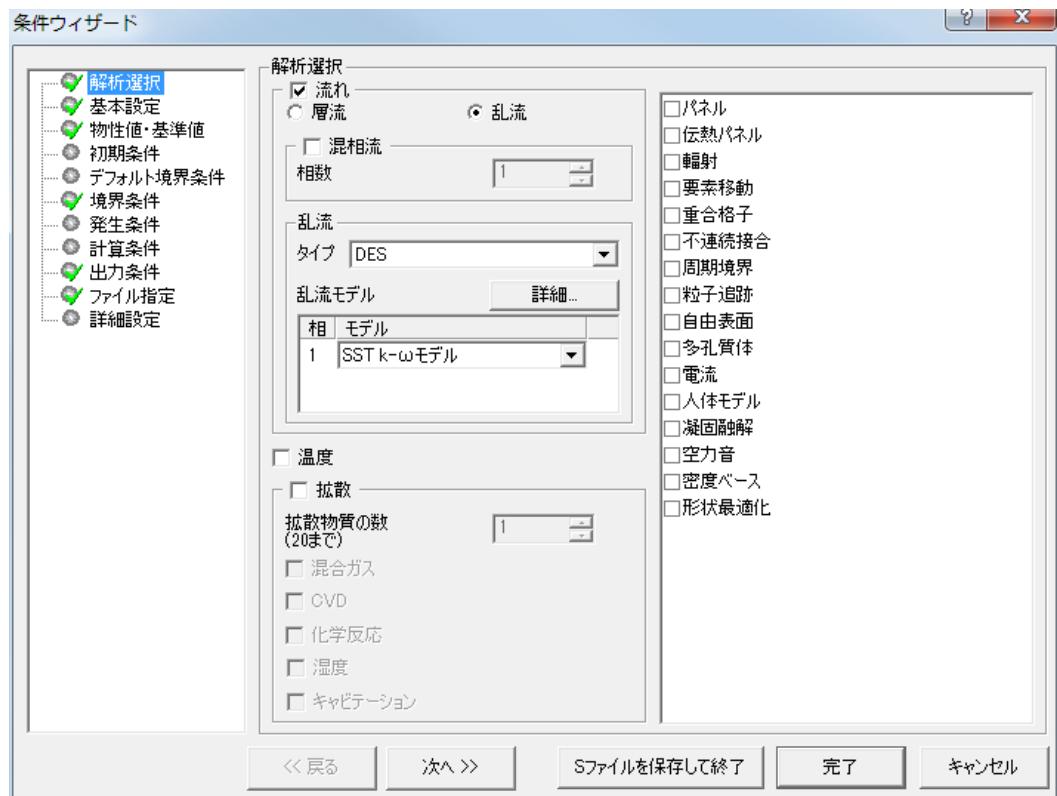
#### - その他

- 乱流解析のタイプ  
DES
- 乱流モデル  
SST k- $\omega$ モデル
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル 5,000[サイクル]  
固定時間間隔 0.003[s]
- 図化ファイルを500サイクル毎に出力します。
- 円柱に働く抗力、揚力を求めるため、登録面領域[wall]に働く力を出力します。  
[条件ウィザード] - [出力条件]の[圧力]および[粘性応力]で設定します。

## 特記事項

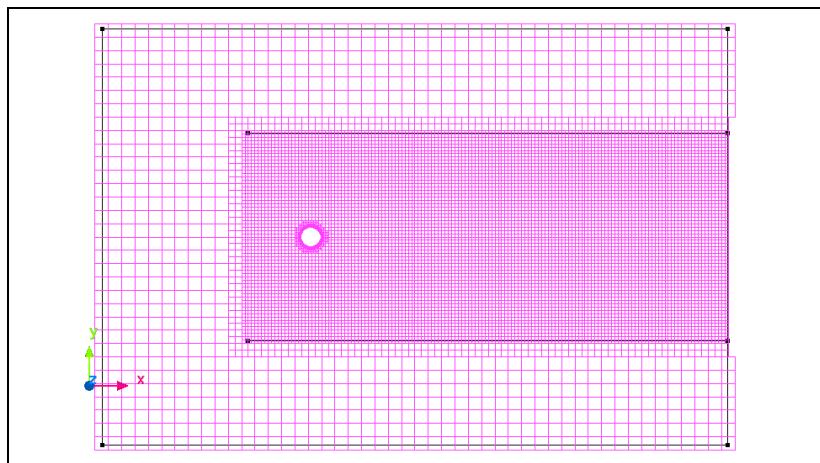
### - DESの設定

- ・ [条件ウィザード] - [解析選択]で、[乱流]の[タイプ]として[DES]、[乱流モデル]として[SST k- $\omega$ ]を選択します。乱流モデルの選択は、機能1 亂流解析をご参照ください。



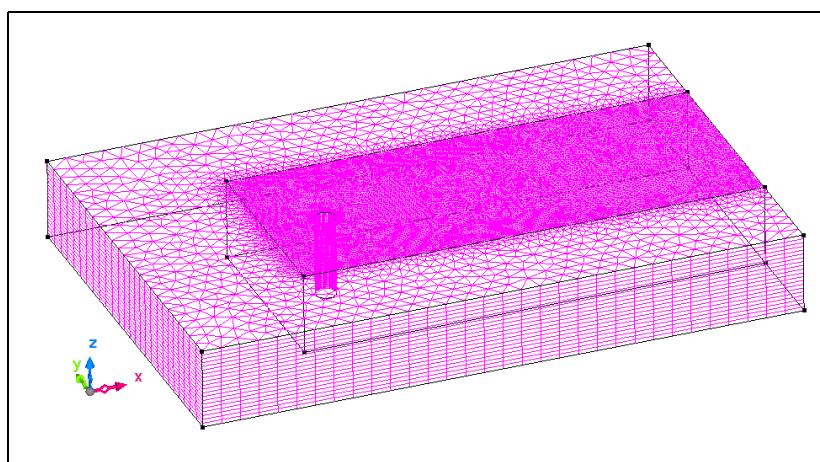
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.04[m]~0.64[m]

- メッシュ図



要素数 : 455,640

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.0002]	[1.2]	[30]

\* 境界層要素挿入のタイミング:先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)

Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は20層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

## 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

DES 約6時間

RANS 約6時間

- 計算サイクル数

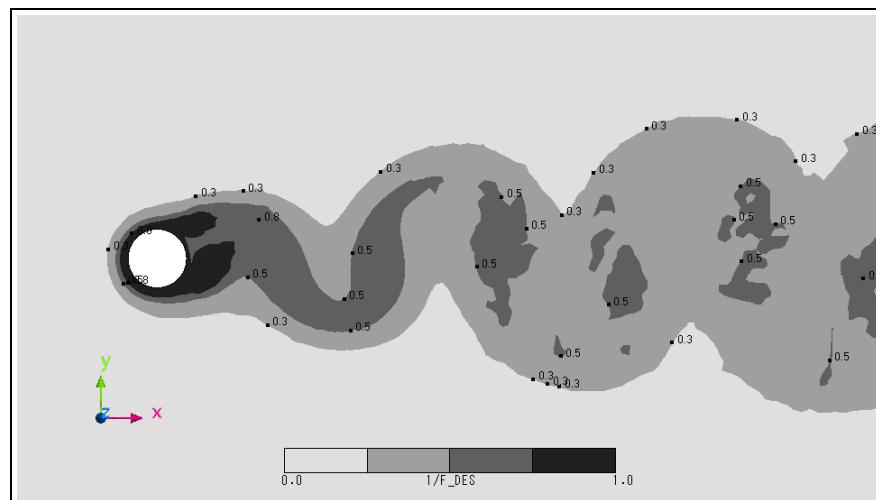
DES 5,000サイクル

RANS 5,000サイクル

\* 2core 使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

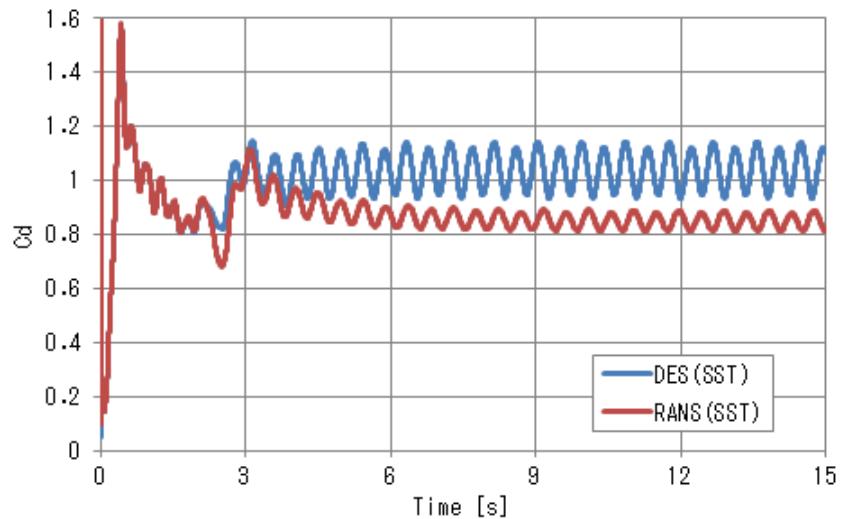
## 解析結果

- 1/F<sub>DES</sub>の分布



円柱近傍がRANS領域( $1/F_{DES}=1$ ), 円柱後方がLES領域( $1/F_{DES}<1$ )であることが分かります。

- 
- 抗力係数 $C_D$ の時間変化



(メモ)  $C_D$ の実験値= 1.0~1.2 (Re=30,000)

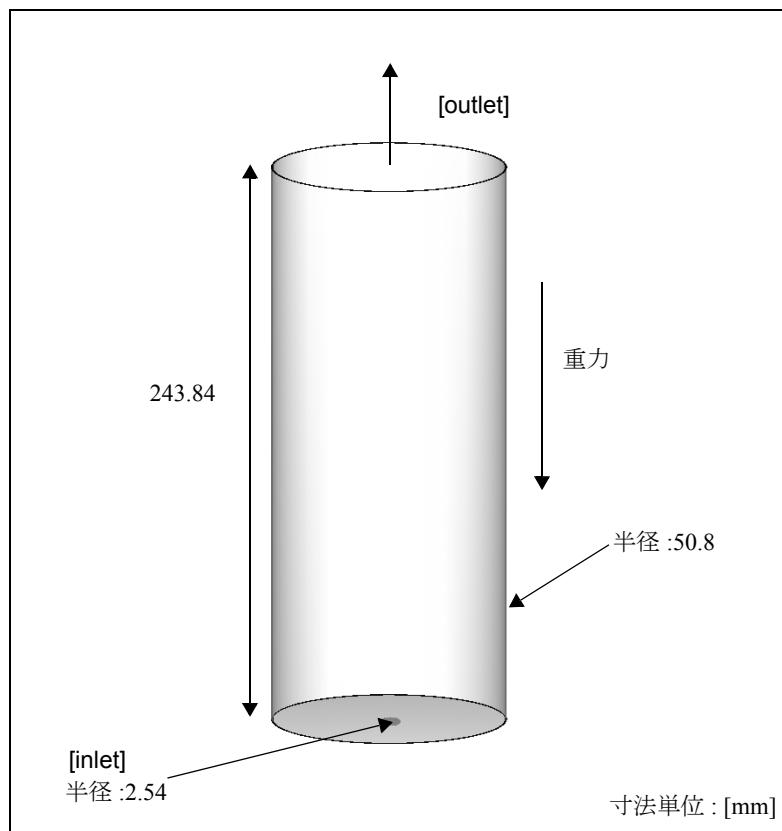
---

## 検証12 混相流モデルを用いたバブルジェットの解析

---

2流体モデルを用いてバブルジェットの解析ならびに混相流解析機能の精度検証を行います。2流体モデルは、相間の境界の計算は行わず、各相の平均体積率をもって混相流を計算する方法で、本例のように相が分散している流れの計算に適していると考えられています。本例では、[文献1]の実験を模擬するデータを作成し、解析結果と実験データとの比較を行います。

## 解析モデル



疑似2次元非圧縮性乱流

図のような、半径50.8[mm]の円筒領域に、半径2.54[mm]のノズルからバブルジェットが流入する解析を行います。実験データとの比較は、流入口から円筒の長さ方向へ長さ121.92[mm](ノズル流入半径の48倍)の位置での、気・液両相の半径方向の速度分布について行います。

## 解くべき方程式

- 各相の運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- 各相のk-ε方程式

---

## 解析選択

- 流れ(乱流)、混相流(相数:2)

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Z方向):-9.8[m/s<sup>2</sup>]

### - 物性値

- MAT=1(相1) : 水(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を使用します。
- MAT=1(相2) : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。  
気泡の直径 0.001[m]

(メモ) 気泡の直径の設定方法は、**特記事項 分散混相流の設定**をご参照ください。

### - 基準値

- 基準圧力(MAT=1) : 101,325[Pa]
- 基準密度(MAT=1) : 998.2[kg/m<sup>3</sup>]

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 相1 流速規定 1.65 [m/s] 体積率 0.976  
相2 流速規定 1.65 [m/s] 体積率 0.024
- 流出口 [outlet] : 相1 表面圧力規定 0 [Pa] 体積率 1.0  
相2 表面圧力規定 0 [Pa] 体積率 0.0

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

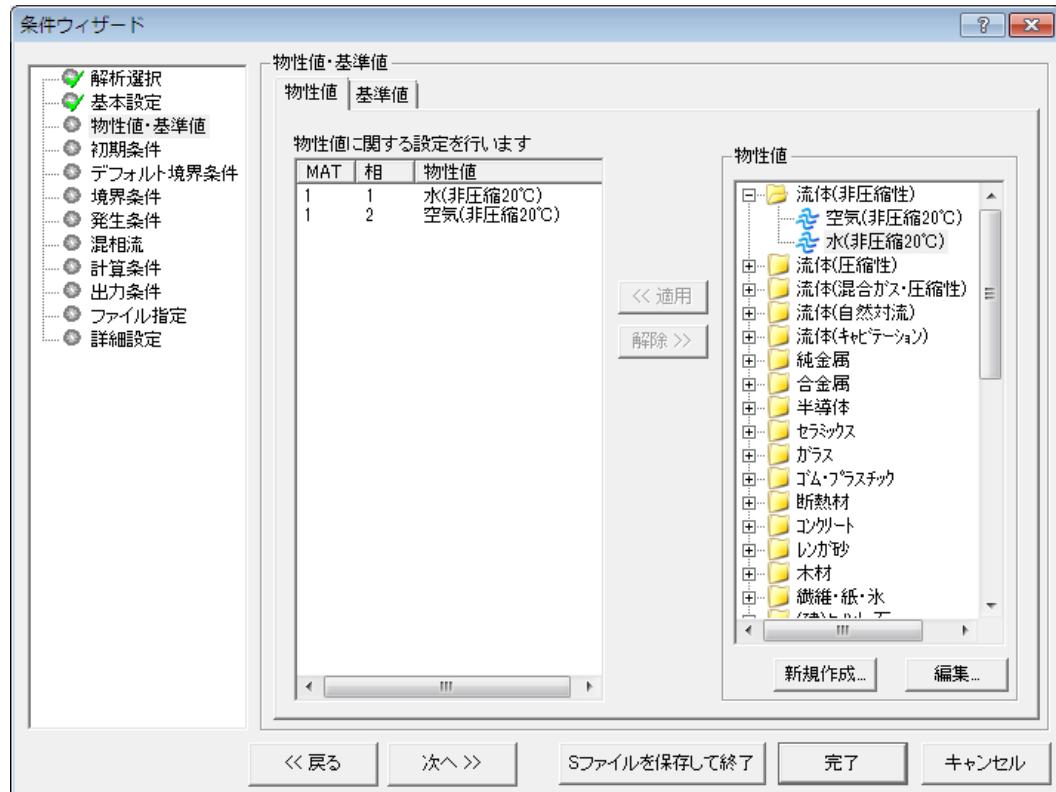
### - その他

- 乱流モデル  
標準 k-ε モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクルおよび定常判定値  
計算サイクル : 2,000[サイクル]  
定常判定値 : 相1, 相2 の全ての方程式  $5 \times 10^{-5}$
- 図化ファイルの出力間隔  
500 サイクル(初期場も出力)

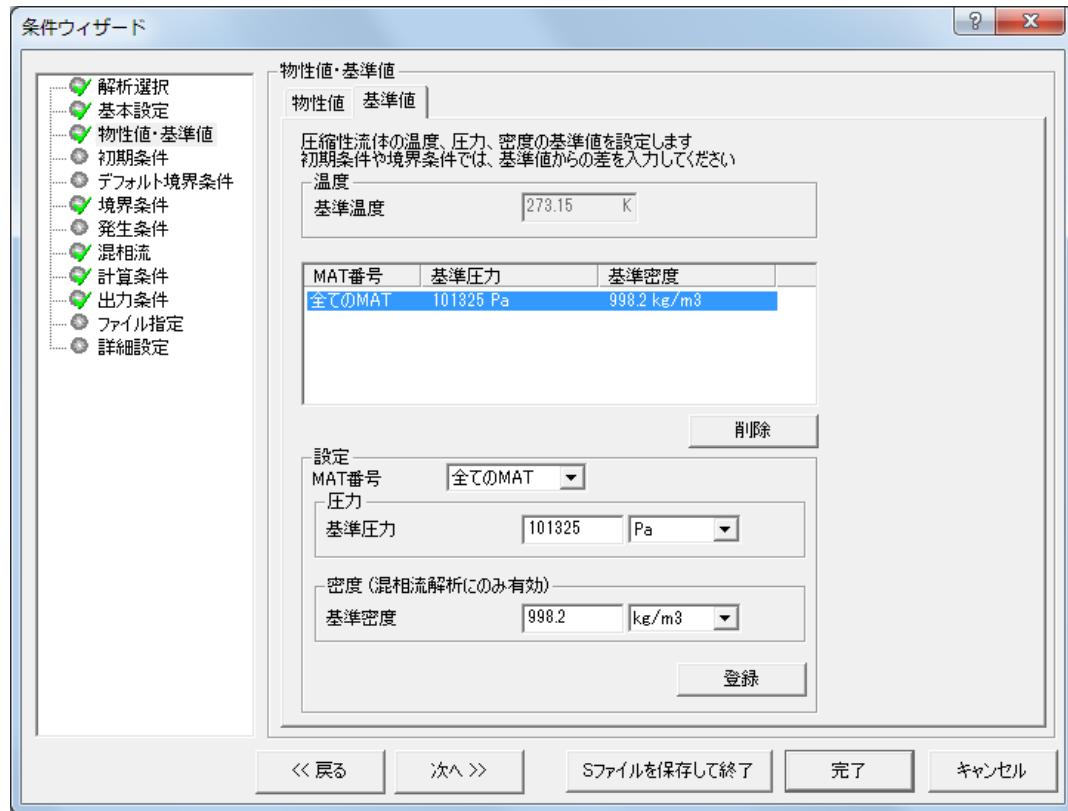
## 特記事項

### - 分散混相流の設定

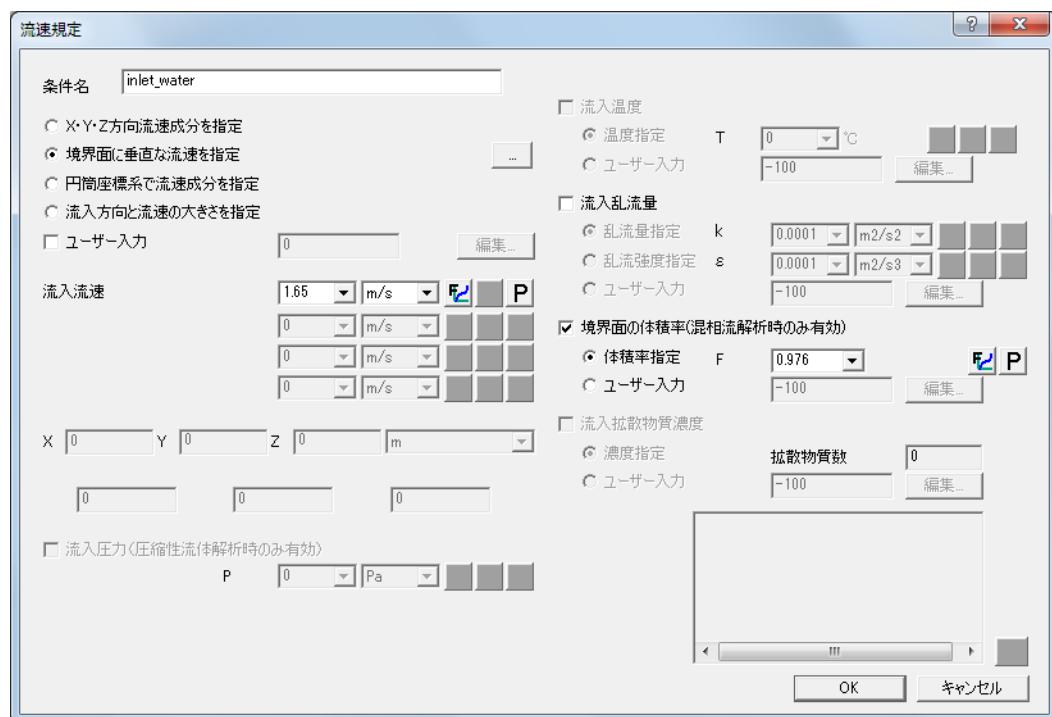
- 分散混相流の解析を行うため、[条件ウィザード] - [解析選択]で[混相流]をONにし、続いて下記の条件設定を行います。
- [物性値・基準値]の[物性値]タブで、相[1]に[流体(非圧縮性)] - [水(非圧縮20°C)]を、相[2]に[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を適用します。



- 続いて[基準値]タブで、[MAT番号]に[全てのMAT]、[基準圧力]に[101325]、[基準密度]に[998.2 kg/m<sup>3</sup>]と入力して登録をクリックします。



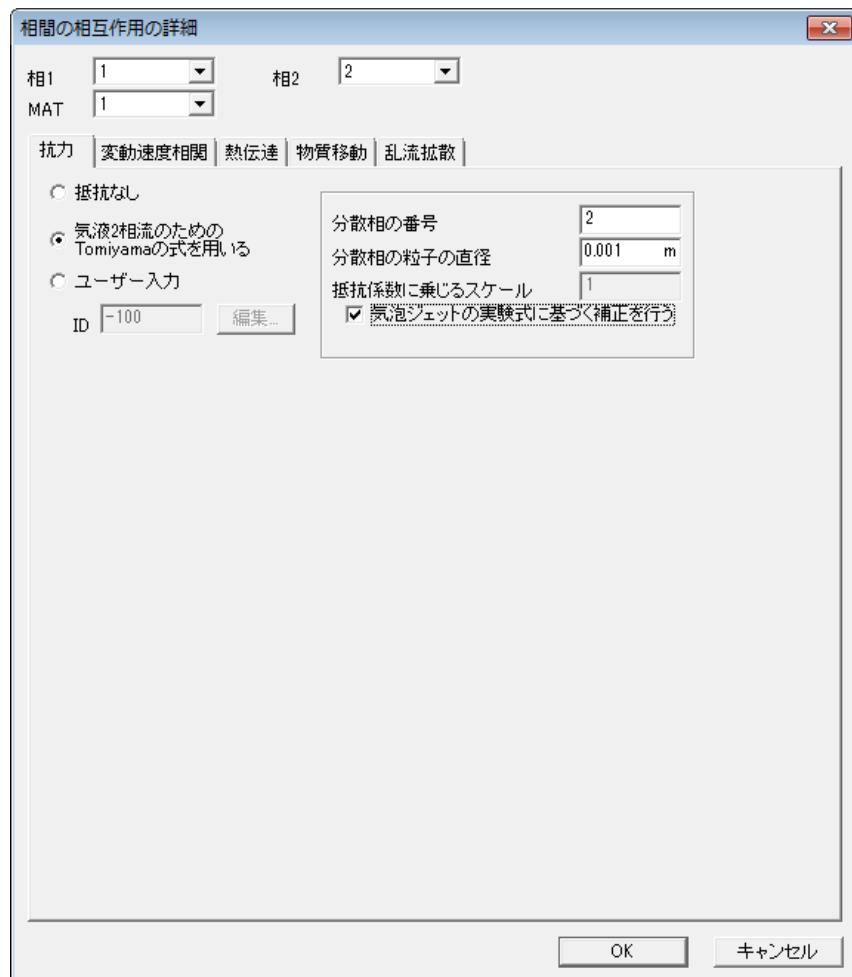
- [境界条件]の設定では、相ごとの流入流出条件に体積率を設定します。例えば、相[1]の流入条件は以下のように設定します。



- [混相流]の[相間の相互作用]タブで新規をクリックし、混相流の詳細な設定を行います。[抗力]タブで[気液2相流のためのTomiyamaの式を用いる]をONにします。 [分散相の番号]に[2]、[分散相の粒子の直径]に[0.001 m]と入力し、[気泡ジェットの実験式に基づく補正を行う]をONにします。さらに、[乱流拡散]タブで

$$V_{c,d}^D = V_t \frac{1}{1 + T_d/T_c}$$

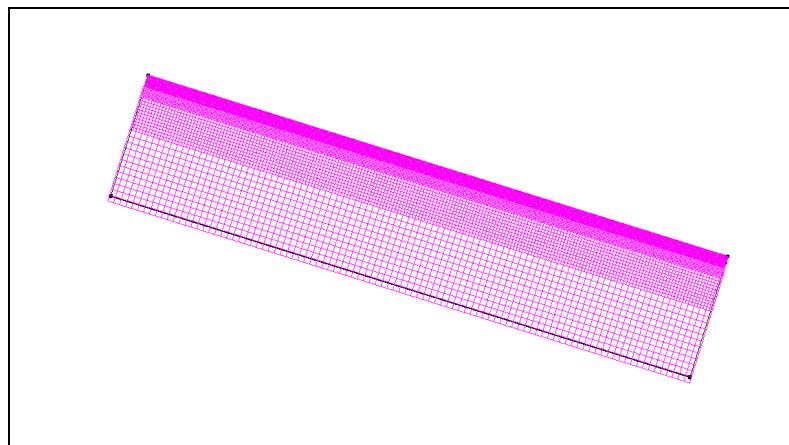
をONにして、[分散相の番号]に[2]、[ $V_{c,d}^D$  に乘じるスケール]に[1]を入力します。



---

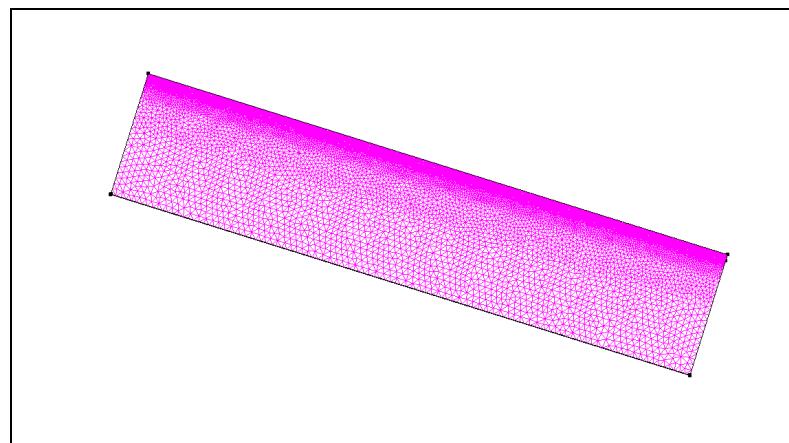
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.0003125[m]~0.0025[m]

- メッシュ図



要素数 : 23,860

本解析では境界層要素の挿入を行いません。

円周方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザーズガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

## 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間

約20分

- 計算サイクル数

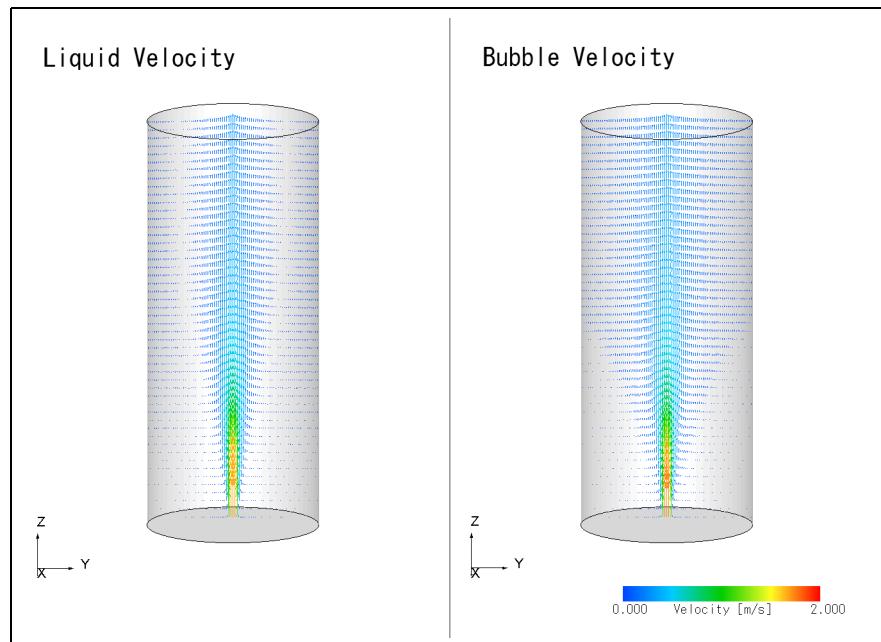
約1,400サイクル

\* 2core 使用時(Intel Xeon X5680 3.33GHz)

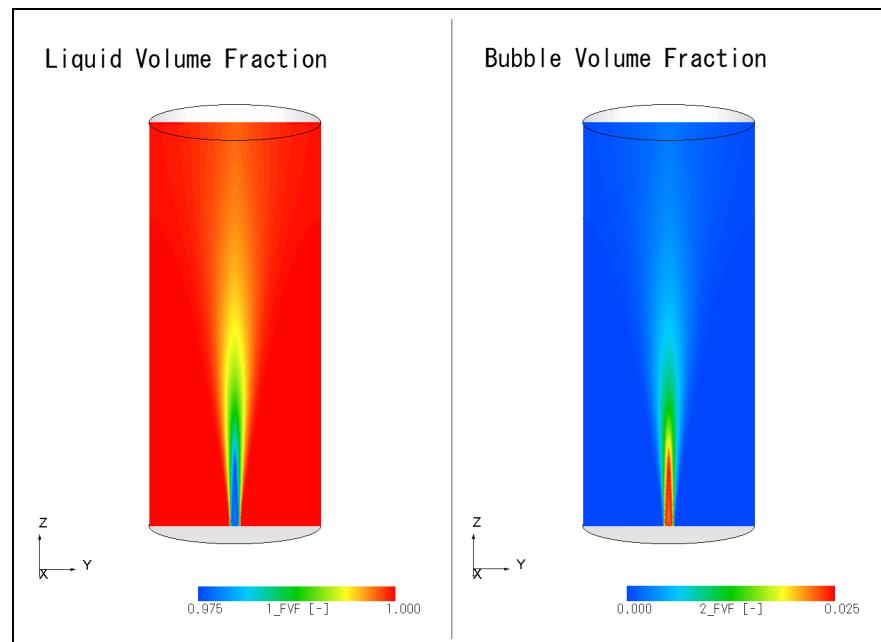
---

## 解析結果

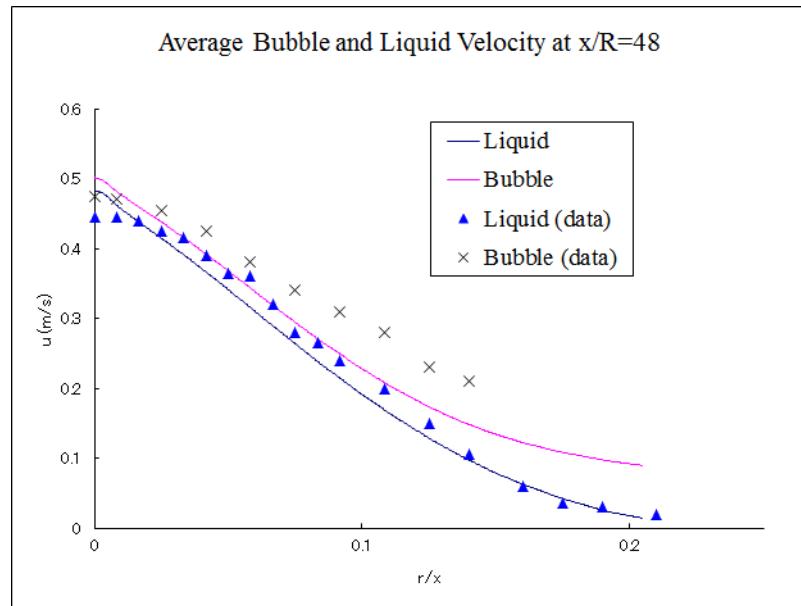
- 流速ベクトル図



- 体積率コンター図



- 実験値[文献1]との比較  
測定面での気液各相の半径方向速度分布



$r$  : 軸中心からの距離  
 $x$  : 流入地点からのZ方向距離  
 $R$  : ノズル半径  
 (凡例中)  
 Liquid : 液相速度  
 Bubble : 気相速度  
 特記なし : 解析結果  
 (data) : [文献1]での実験結果

## 参考文献

1. M.Lopez de Bertodano, F. J. Moraga, D. A. Drew, and R. T. Lahey, Jr., "The Modeling of Lift and Dispersion Forces in Two-Fluid Model Simulations of a Bubbly Jet," Journal of fluids engineering, Vol. 126, 2004, pp.573-577.

---

## 検証13 混相流モデルを用いた曝気槽の解析

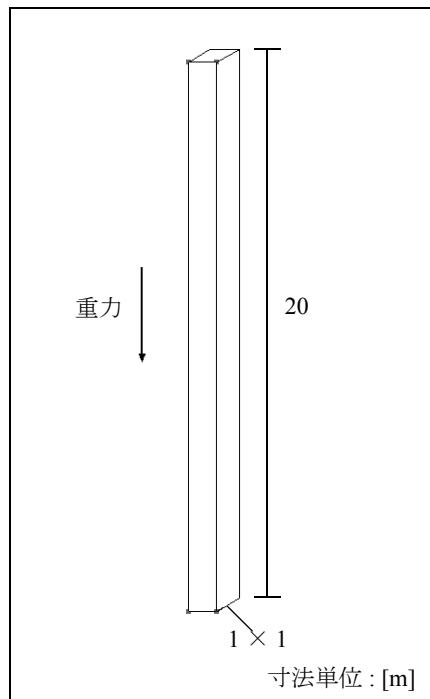
---

---

曝気槽に純酸素を曝気したときに、酸素が水に溶け、かつ気泡の上昇とそれに伴う液体(水)の流動を計算します。酸素気泡の直径は3[mm]とします。

---

## 解析モデル



3次元非圧縮性乱流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- 拡散物質保存式

## 解析選択

- 流れ(乱流)、混相流(相数:2)、拡散(単純な拡散物質)

## 解析条件

### - 基本設定

- 重力 : 考慮する(Y方向):-9.8[m/s<sup>2</sup>])

---

### - 物性値

• MAT=1(相1)	:	酸素(気相)	
密度		1.3	[kg/m <sup>3</sup> ]
粘性係数		$2.072 \times 10^{-5}$	[Pa·s]
熱伝導率		0.0263	[W/(m·K)]
モル質量		0.032	[kg/mol]
モル体積(Vm)		$18.0 \times 10^{-6}$	[m <sup>3</sup> /mol]
• MAT=1(相2)	:	水(液相)	
密度		1000	[kg/m <sup>3</sup> ]
粘性係数		$1.8 \times 10^{-3}$	[Pa·s]
気泡径(dp)	:	3	[mm]
ヘンリ－一定数(He)	:	$4.420 \times 10^9$	[Pa/(mole fraction)]
シャーウッド数(Sh)	:	300	
相間の抗力	:	cd=0.44(ユーザー関数にて設定)	
拡散係数(D)	:	$2.4 \times 10^{-9}$	[m <sup>2</sup> /s]

### - 境界条件

#### 相1 (気相)

• 流入口[inlet]	:	流量規定	平均流速	0.1	[m/s]
		境界面の体積率		1	
		拡散物質1の質量分率		1.0	
• 流出口[outlet]	:	表面圧力規定		0	[Pa]
		境界面の体積率		0.3333	
		拡散物質1の質量分率		1.0	

#### 相2 (液相)

• 流出口[outlet]	:	表面圧力規定		0	[Pa]
		境界面の体積率		0.6667	
		拡散物質1の質量分率		0.0	

### - 初期条件

- 流体体積率 : 相1 0.3333 相2 0.6667
- 拡散物質濃度 : 相1 1.0 相2 0.0

(メモ) 流体体積率の初期条件については、補足の理論計算をご参照ください。

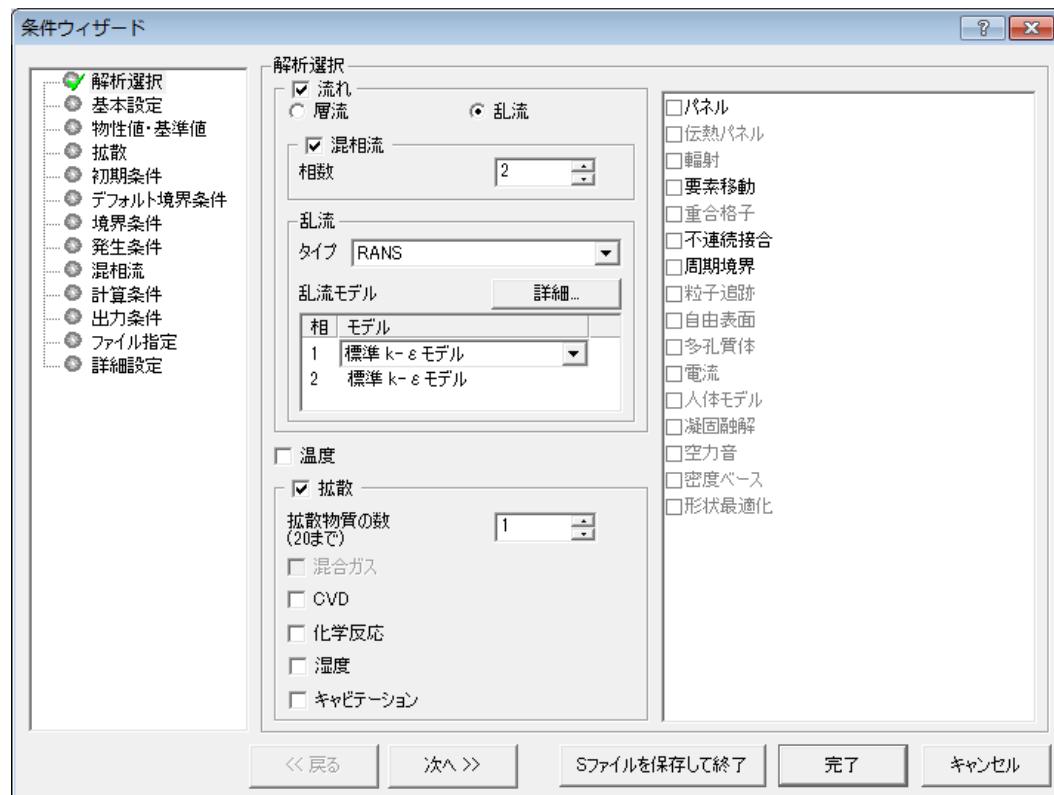
### - その他

- 乱流モデル  
標準k-εモデル(相1, 相2)
- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクルおよび時間間隔  
計算サイクル 2,000[サイクル]  
固定時間間隔 0.01[s]

## 特記事項

### - 混相流の設定

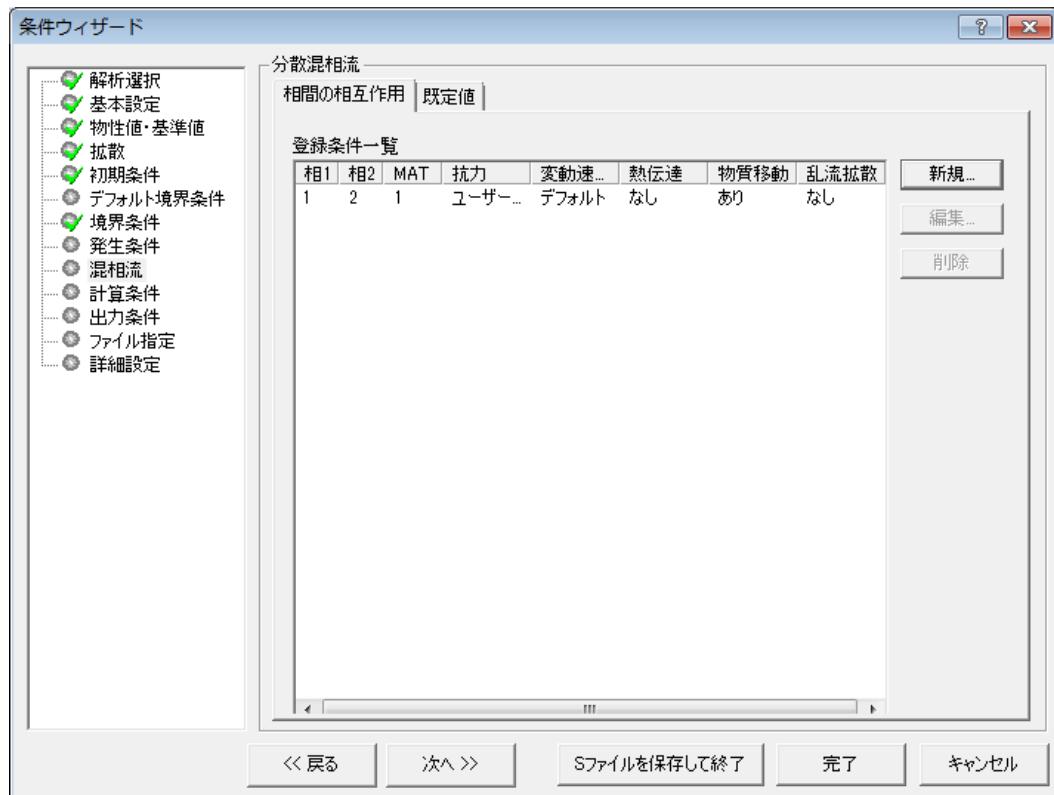
- まず[条件ウィザード] - [解析選択]で[混相流]をONにします。相数は水と酸素だけですので、[2]とします。



- これにより、他の条件において相毎に設定が必要な条件設定については、表に"相"という列ができる、各相について設定できるようになります。下図は、境界条件設定の例です。



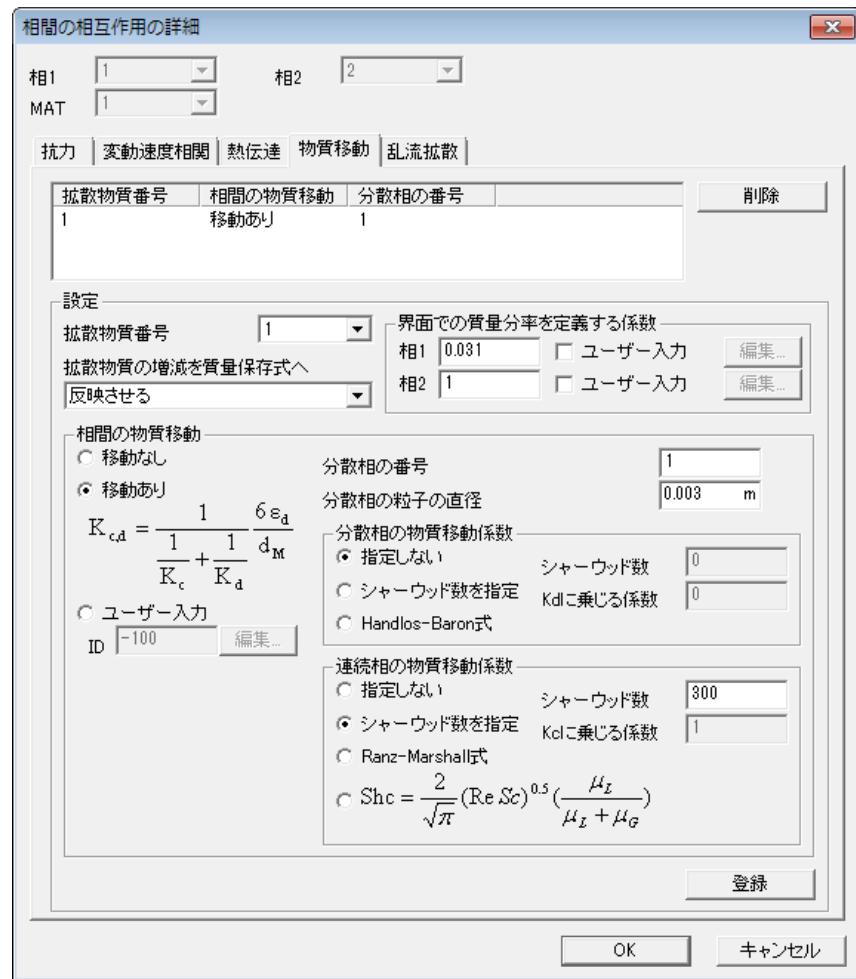
- ・ 混相流固有の設定は[条件ウィザード] - [混相流]で行います。



- 新規をクリックし[抗力]タブで、ユーザー入力を選択します。編集をクリックし、[3.0e-3]を入力します。これは、ユーザー関数で用いるパラメータです。



- 次に、[物質移動]タブで、[設定]の部分を以下の様に入力し、登録をクリックします。



[0.031]はIFORコマンドの入力変数のAIを表します(補足の入力変数AIを参照)。

また、この設定により、分散相は相番号1であり、気泡径は0.003[m](3[mm])となります。物質移動は連続相側の移動係数により記述されるとし、連続相側のみ設定します。[シャーウッド数]は[300]となります。

- 理論的な詳細はユーザーズガイド 基礎編 第2部 2.5.2 分散混相流解析をご参照ください。
- なお、この例題では、酸素の質量分率は1.0に保たれます。RVALコマンドのデフォルトでは、判定基準値がほぼ0になってしまいます。そこで、拡散物質1(酸素)については、サイクル毎の収束判定から除いています。

---

## - ユーザー関数

- 抗力についてユーザー関数を利用します。  
ユーザー関数では次式で定義される $\beta_0$ を指定する必要があります。

$$\vec{F}_{I,J} = \beta_0 \epsilon_I \epsilon_J (\vec{u}_J - \vec{u}_I)$$

ここで、 $\vec{F}_{I,J}$ は相Iが相Jから受ける力[N/m<sup>3</sup>]、 $\epsilon$ は流体体積率、 $\vec{u}$ は速度ベクトルです。

$C_d$ 値の定義式から、 $C_d=0.44$ に相当する $\beta_0$ を求めます。

$$\frac{\vec{F}_{d,c}}{n_p} = C_d \frac{1}{2} \rho_d |\vec{u}_c - \vec{u}_d| (\vec{u}_c - \vec{u}_d) \frac{\pi d_p^2}{4}$$

ここで、下付き添え字dは分散相、cは連続相を表します。 $n_p$ は単位体積あたりの粒子の個数で、次式で与えられます。

$$n_p = \frac{\epsilon_d}{\frac{\pi d_p^3}{6}}$$

従って、

$$\beta_0 = 0.44 \frac{3\rho_d}{4d_p \epsilon_c} |\vec{u}_c - \vec{u}_d|$$

となります。

```
fprec D;
void usr_ifor_drag(char *item, int isw, int nlines)
{
    char line[200];
    char msg[200];
    double tmp;
    usf_getline(line, 200);
    sscanf(line, "%lg", &tmp);
    D = (fprec)tmp;
    sprintf(msg, "D = %g\n", D);
    usf_sout(msg);
}

fprec use_ifor_drag(char *item, int *ival, fprec *fval)
{
    fprec beta0, epsC, rhoC, uabs;
    epsC = fval[0];
    rhoC = fval[3];
    uabs = fval[6];
    beta0 = 0.44*3*rhoC*uabs/(4*D*epsC);
    return beta0;
}
```

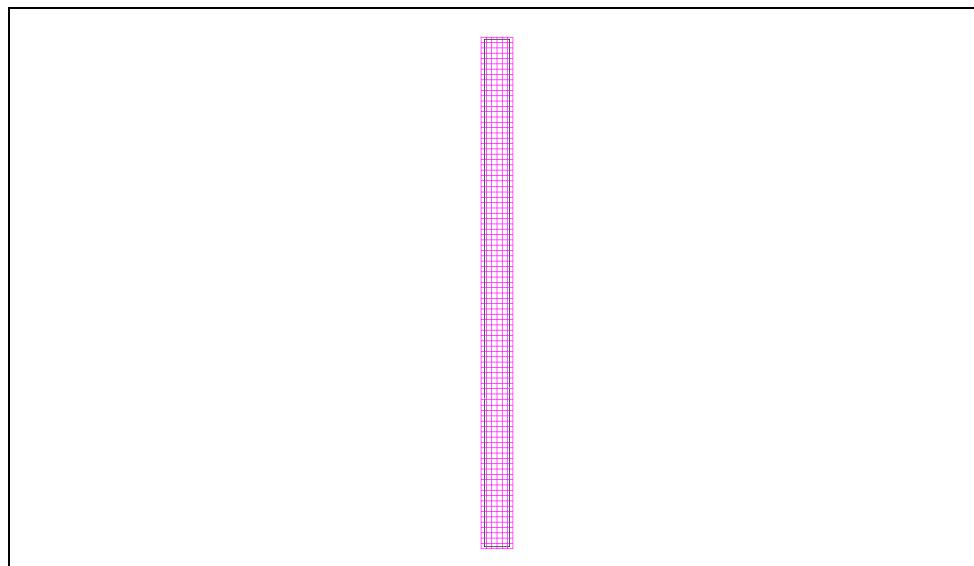
usr\_ifor\_dragでは粒子の直径を変数Dに読み込んでいます。

use\_ifor\_dragでは、beta0を設定しています。

---

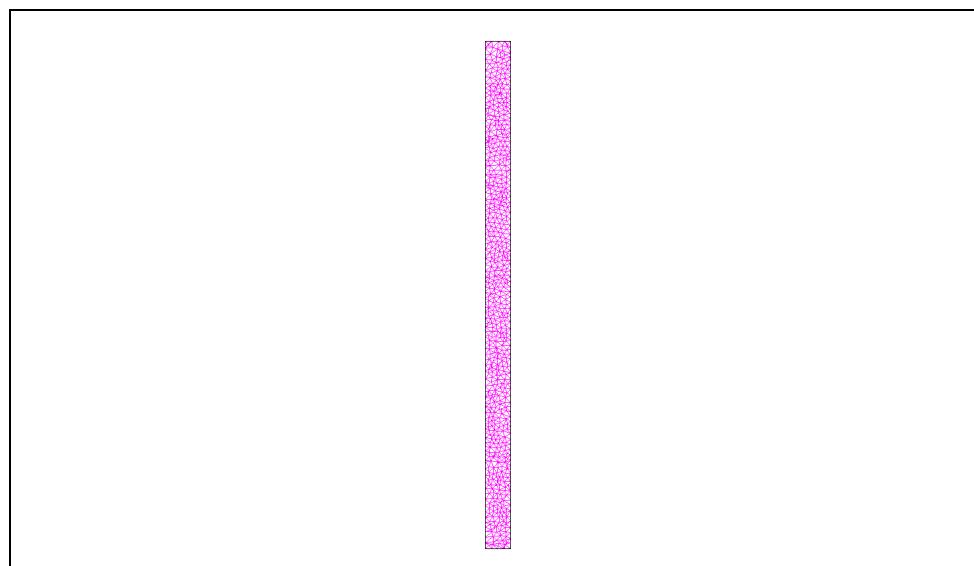
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.21[m]

- メッシュ図



要素数 : 16,115  
本解析では境界層要素の挿入を行いません。

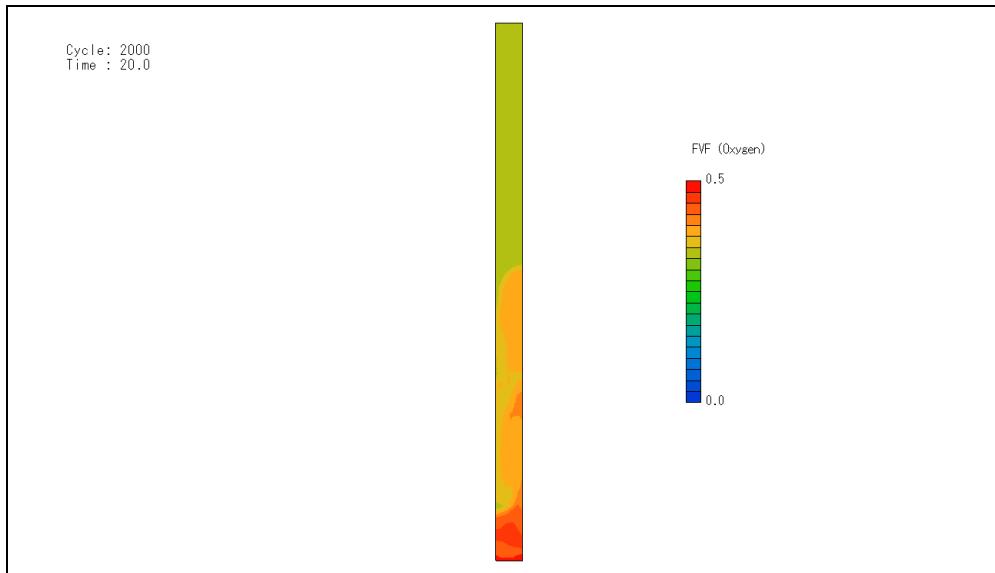
---

## 計算コストの目安

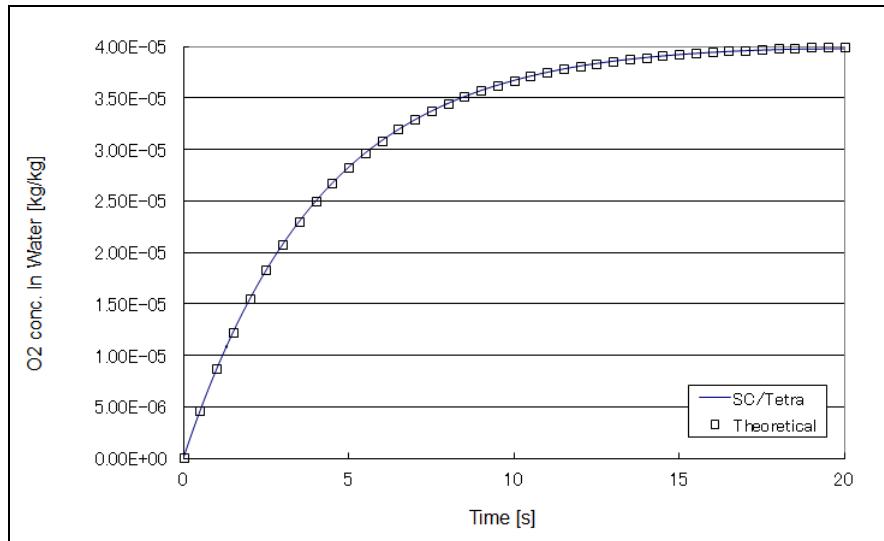
- SCTsolverの実行時間  
約25分
  - 計算サイクル数  
2,000サイクル
- \* 2core使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析結果

- 第1相(気相)の流体体積率



- 液相中気相濃度の時系列図  
(Lファイルに出力されたCN01の平均の質量分率)



混合状態が均一であることを前提とした場合の5秒後の液相中気相濃度の理論値は $2.827 \times 10^{-5}$ です  
([補足の理論計算 参照](#))。これに対し、計算結果は $2.826 \times 10^{-5}$ となります。

---

## 補足

- 入力変数AI

ユーザーズガイド 基礎編 第2部 2.5.2 分散混相流解析(2.5-36d)より、

$$A = \frac{RT}{H_e V_{H_2O}}$$

但し、

$$P = \frac{\rho_{O_2}}{M_{O_2}} RT$$

より、

$$A = \frac{PM_{O_2}}{\rho_{O_2} H_e V_{H_2O}}$$

以上に、数値(解析条件 物性値)を代入すると、 $A = 0.031$ となります。  
ここで、圧力Pは大気圧(101,300[Pa])としました。

- 理論計算

終端速度 $v_t$  [m/s]

$$v_t = \sqrt{\frac{4d_p g}{3C_d}} = 0.2985$$

気泡の平均体積率 $\epsilon_d$  [-]

流入酸素の体積流量と流出酸素の体積流量が等しい。

$$\epsilon_d v_t = U_m$$

$$\epsilon_d = 0.33503$$

気泡の単位体積あたりの表面積 $a$ [m<sup>-1</sup>]

$$a = \frac{\epsilon_d}{\pi d_p^3 / 6} \pi d_p^2 = 6 \frac{\epsilon_d}{d_p} = 670.1$$

水中の酸素のモル濃度の体積平均値 $c$ [mol/m<sup>3</sup>]

$$(1 - \epsilon_d) \frac{dc}{dt} = a S_h \frac{D}{d_p} \left( \frac{P}{H_e V_m} - c \right)$$

$$c = \frac{P}{H_e V_m} (1 - \exp(-\alpha t))$$

$$\alpha = \frac{a S_h D}{d_p (1 - \epsilon_d)} = 0.2418$$

水中での酸素の質量分率 $C$ [kg/kg]

$$C = C_\infty (1 - \exp(-\alpha t))$$

$$C_\infty = \frac{M_{O_2} P}{\rho_{H_2O} H_e V_m} = A \frac{\rho_{O_2}}{\rho_{H_2O}} = 0.031 \frac{1.3}{1000} = 0.0000403$$

時刻 $t=5$ [s]のとき、 $C_{t=5} = 2.827 \times 10^{-5}$

---

## 検証14 平板境界層の乱流遷移

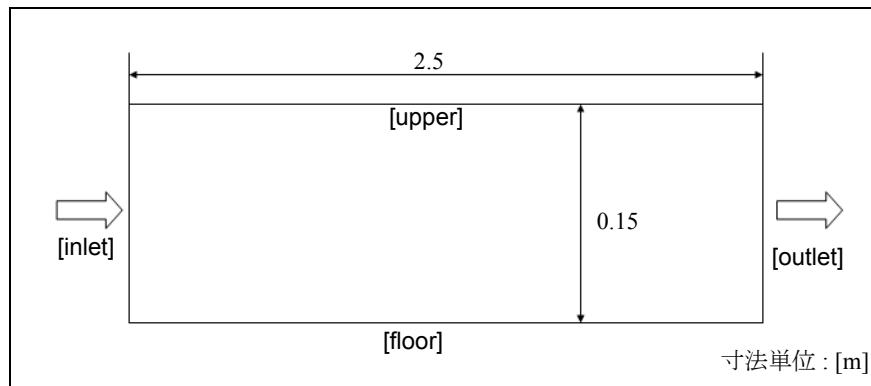
---

---

平板に沿った境界層が層流境界層から乱流境界層へ遷移する位置をLKE(Laminar Kinetic Energy)モデルを用いて評価します。LKEモデルは、境界層の乱流遷移を捉える事を目的として開発された乱流モデルです。上流の乱流強度によって遷移位置が異なる様子を実験結果と比較します。

---

## 解析モデル



寸法単位 : [m]

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式(圧力補正式)
- $k-k_L-\omega$  方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流)

---

## 解析条件

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(非圧縮性)] - [空気(非圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定 T3A : 5.4[m/s]  
T3B : 9.4[m/s]  
流入乱流量(乱流強度指定) T3A : Tu=3[%],  $\mu t/\mu = 15$   
T3B : Tu=6[%],  $\mu t/\mu = 100$
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0.0[Pa]
- 壁面 [floor] : 静止壁
- 流入流出口 [upper] : 自然流入流出

(メモ) 流入条件はERCOFTAC(European Research Consortium on Flow, Turbulence and Combustion)のデータベース[文献1]に基づきます。

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

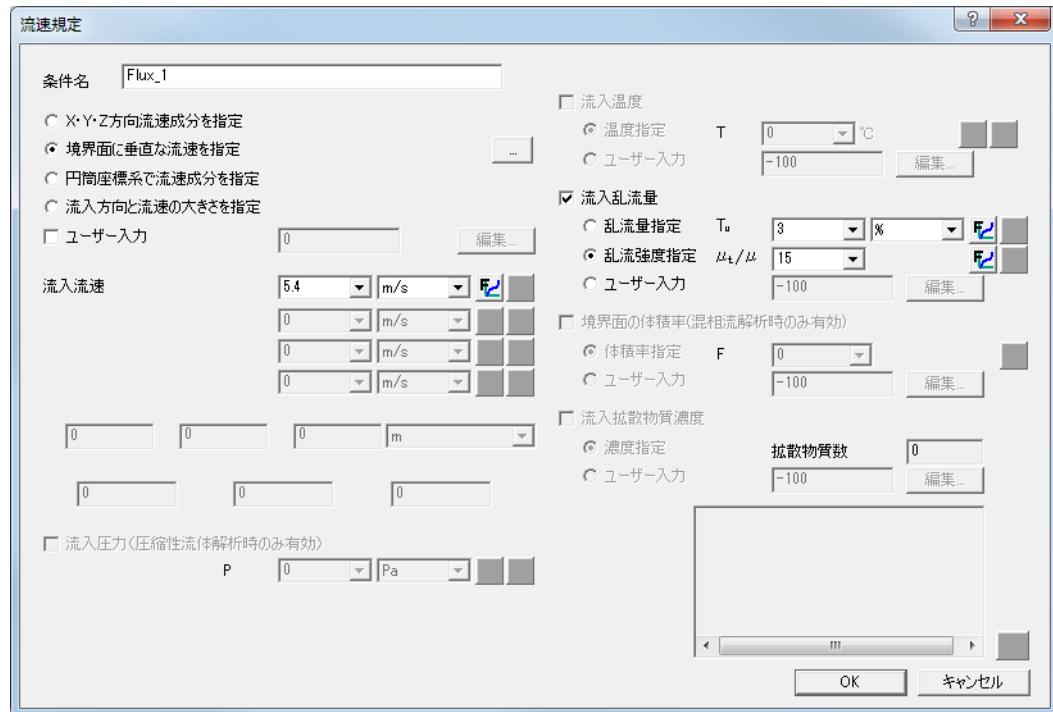
### - その他

- 乱流モデル  
LKE k-k<sub>L</sub>-ω モデル
- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 2,000[サイクル]  
定常判定値 : 流速および乱流量  $1.0 \times 10^{-5}$   
その他 デフォルト
- 図化ファイル  
表面データ : 摩擦速度

## 特記事項

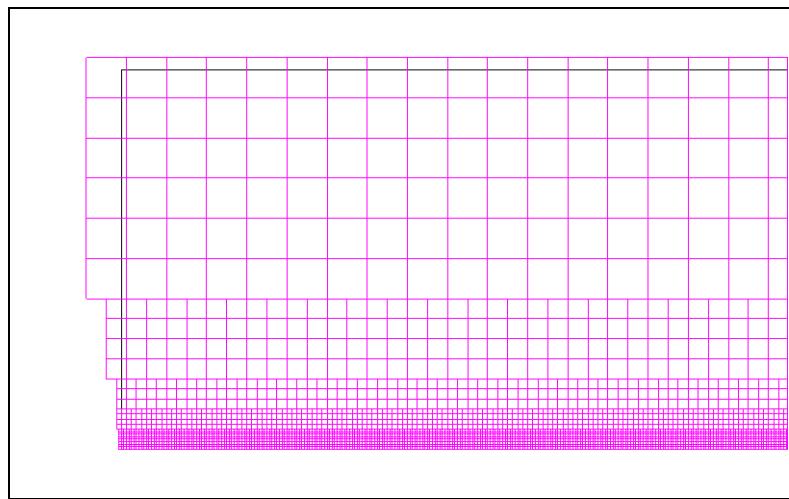
### - 流入乱流量の設定

- 流入乱流量を乱流強度で指定する場合、[条件ウィザード]-[境界条件]の[流速規定]ダイアログで[乱流強度指定]を選択します。ここで $T_u$ は乱流強度を意味し、主流速度に対する変動速度成分の割合[%]を入力します。また、 $\mu_t/\mu$ は渦粘性係数 $\mu_t$ と粘性係数 $\mu$ の比を入力します。



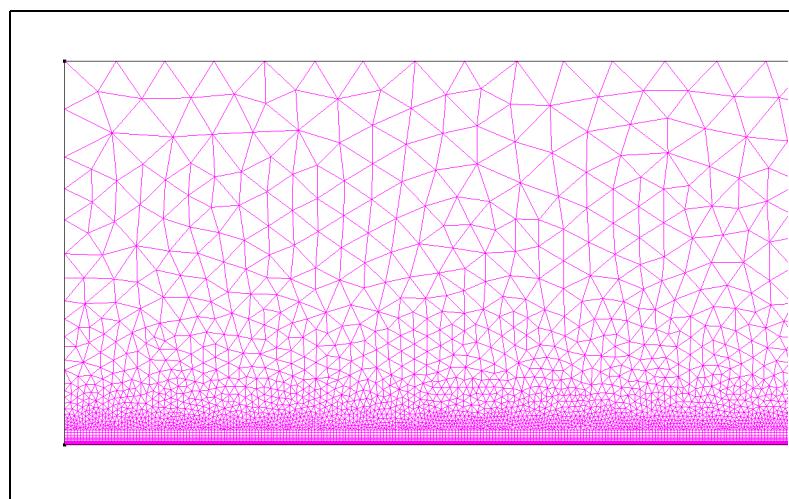
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.001[m] ~ 0.016[m]

- メッシュ図



要素数 : 42,078

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[floor]	[ $8.0 \times 10^{-5}$ ]	[1.2]	[15]

\* 境界層要素挿入のタイミング: 先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)

Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザガイド操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

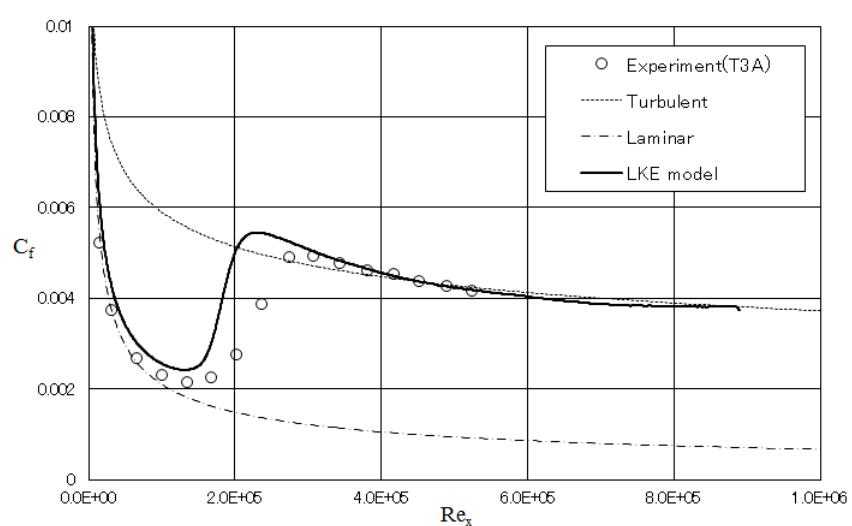
## 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
1ケースあたり約15分
- 計算サイクル数
  - T3A : 約1,100サイクル
  - T3B : 約1,100サイクル

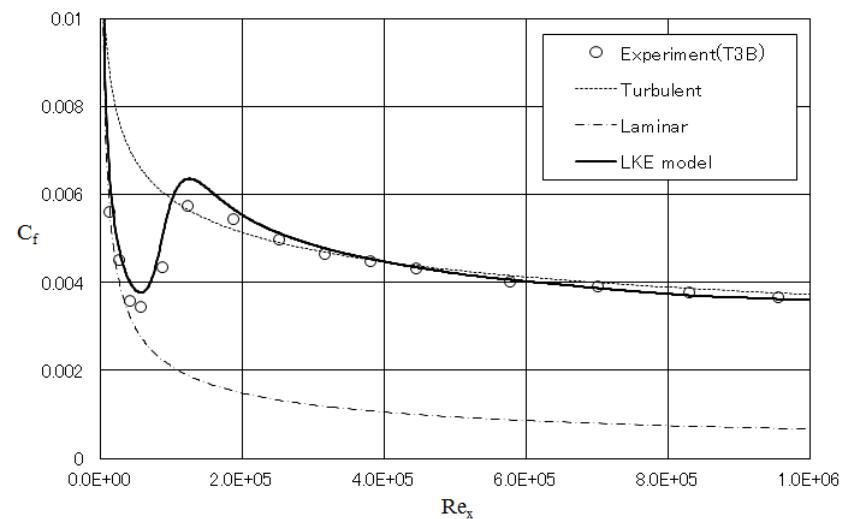
\* 2core使用時 (Intel Xeon X5680 3.33GHz)

## 解析結果

$C_f$  (壁面抵抗係数)の分布 : (a) T3A, (b)T3B  
(a)



(b)



---

ここで、

$$C_f : \text{抵抗係数} \left( = \frac{\tau}{\frac{1}{2}\rho U^2} \right)$$

$$Re_x : \text{平板前縁からの距離}x \text{に基づくレイノルズ数} \left( = \frac{\rho U x}{\mu} \right)$$

$$\tau : \text{せん断応力} (= \rho u^{*2})$$

$$\rho : \text{密度}$$

$$\mu : \text{粘性係数}$$

$$U : \text{一様流速}$$

$$u^* : \text{摩擦速度}$$

#### 平板境界層の抵抗則[文献2]

$$\text{層流境界層} : C_f = 0.664 \times Re_x^{-1/2}$$

$$\text{乱流境界層} : C_f = 0.059 \times Re_x^{-1/5}$$

## 参考文献

1. Coupland, J., ERCOFTAC Special Interest Group on Laminar to Turbulent Transition and Retransition: T3A and T3B Test Cases (1990)
2. Schlichting, H. Boundary Layer Theory (7th edition), McGraw-Hill

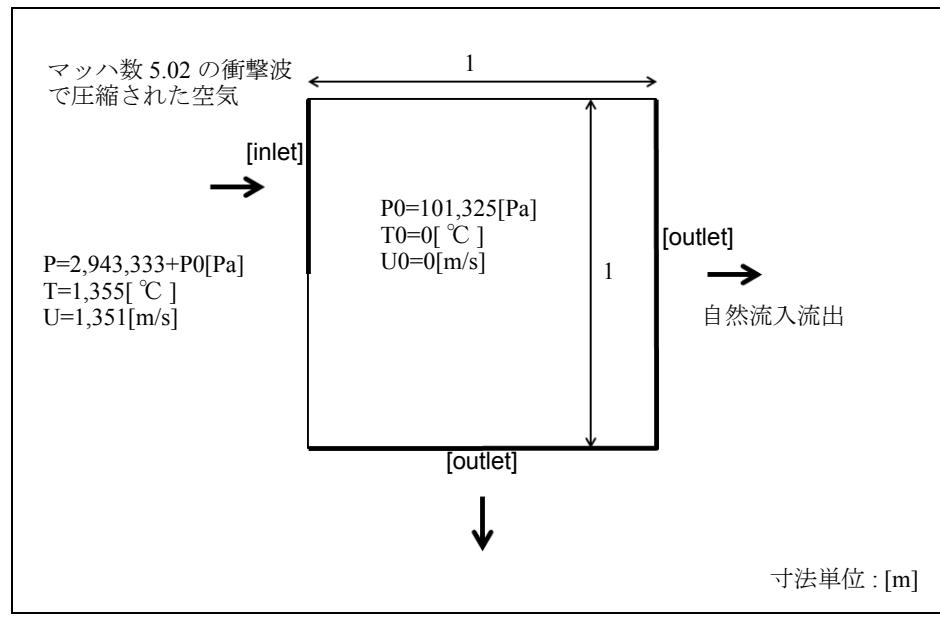
---

## 検証15 衝撃波の回折

---

衝撃波の回折現象を密度ベースソルバーにより計算します。粘性等の拡散項は無視して、オイラー方程式で計算します。

## 解析モデル



疑似2次元圧縮性非粘性流

## 解くべき方程式

- 運動量保存式
- 質量保存式
- エネルギー保存式

## 解析選択

- 流れ(層流)、温度

---

## 解析条件

### - 基本設定

- 温度の単位 : 摂氏(°C)(デフォルト)

### - 物性値

- MAT=1 : 空気(20°C)  
物性値ライブラリより[流体(圧縮性)] - [空気(圧縮20°C)]を使用します。

### - 境界条件

• 流入口	[inlet]	： 流速規定	
		流入流速	1,351 [m/s]
		流入圧力	2,943,333 [Pa]
		流入温度	1,355 [°C]
• 流出口	[outlet]	： 表面圧力規定	0 [Pa]
		流入温度	0 [°C]

(メモ) 圧力は、基準値のデフォルトであるP0=101,325[Pa]からの相対値で指定されます。流入条件の指定値については、特記事項 流入条件を参照してください。

### - 初期条件

- デフォルト(設定不要)

### - その他

- 解析の種類  
非定常解析
- 計算サイクル及び時間間隔  
計算サイクル : 1,800[サイクル]  
時間間隔 :  $3.02 \times 10^{-7}$ [s]

(メモ) 時間間隔DTは、代表時間T0で無次元化された値で $DT/T0 = 1.0 \times 10^{-4}$ となるように指定されます。ここでT0は、代表長さD(=1[m])と静止音速C0(=331.17[m/s])を用いて、 $T0=D/C0$ で表されます。本例題では、1,800サイクル、 $T/T0=0.18$ での結果を実験[文献2]の可視化写真と比較します。このとき、 $T=5.44 \times 10^{-4}$  [s]です。

時間間隔はクーラン数が1程度となるよう指定しています。

---

## 特記事項

### - 密度ベースの設定

- 密度ベースソルバーを用いるには、[条件ウィザード] - [解析選択]で[密度ベース]をONにします。
- オイラー方程式での計算を指定するため、[条件ウィザード] - [密度ベース] - [拡散項]にて、[拡散項を無視する(Euler方程式を解く)]をONにします。
- [条件ウィザード] - [密度ベース] - [時間項]にて、[時間進行法]に[(陽解法) 2次精度Runge-Kutta法]を選択します。

(メモ1) 衝撃波の伝播を精度良く捉えるには、クーラン数を1以下にすることが推奨されます。

(メモ2) 密度ベースソルバーの時間進行法には、陽解法と二重時間刻み法の2種類があります。

陽解法では、クーラン数が1を大きく超えるような時間間隔で計算することが出来ません。

二重時間刻み法は、時間間隔を大きく設定しても計算が可能です。ただし、1サイクルの間に繰り返し計算を行うため、1サイクルあたりの計算時間は陽解法に比べて長くなります。

この例題の時間間隔はクーラン数1より小さいため、より計算時間が短い陽解法を用います。

詳しくは、[ユーザーズガイド 基礎編 第2部 2.7 圧縮性流体 \(4\) 密度ベースソルバー](#)をご参照ください。

### - 流入条件

- 流入条件として、マッハ数 $M_s=5.02$ の垂直衝撃波が通過後の状態を指定します。  
流入流速 $U$ , 壓力 $P$ , 温度 $T$ は、比熱比を $\gamma$ として次式で与えられます。[\[文献1\]](#)

$$\frac{P}{P_0} = 1 + \frac{2\gamma}{\gamma+1}(M_s^2 - 1)$$

$$T = P/\rho R$$

$$U = (1 - \rho_0/\rho)U_s$$

ここで、

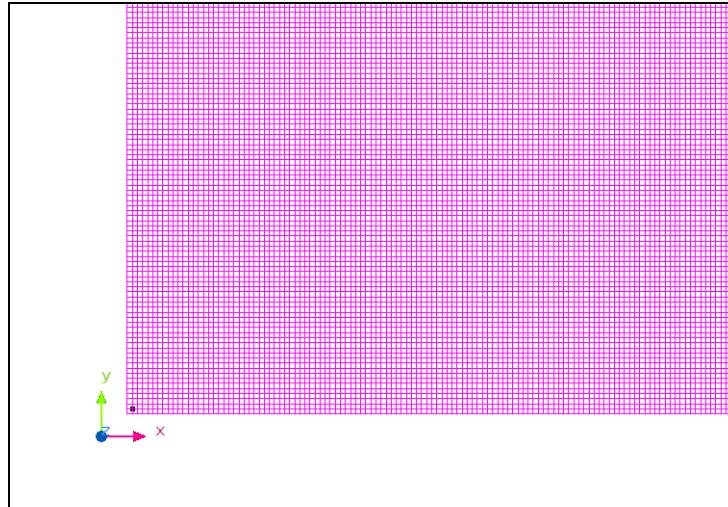
$$\frac{P}{P_0} = \frac{(\gamma+1)M_s^2}{(\gamma-1)M_s^2 + 2}$$

$$U_s = M_s \sqrt{\gamma RT}$$

---

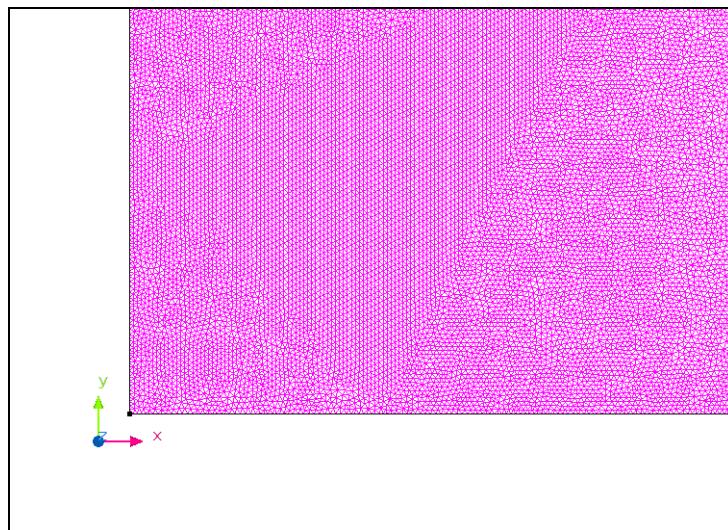
## 解析メッシュ

- 八分木図  
 $0 \leq X \leq 0.3, 0 \leq Y \leq 0.2$  の領域を拡大しています。



オクタントサイズ : 0.0025[m]

- メッシュ図  
 $0 \leq X \leq 0.3, 0 \leq Y \leq 0.2$  の領域を拡大しています。



要素数 : 313,187

Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザーズガイド 操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

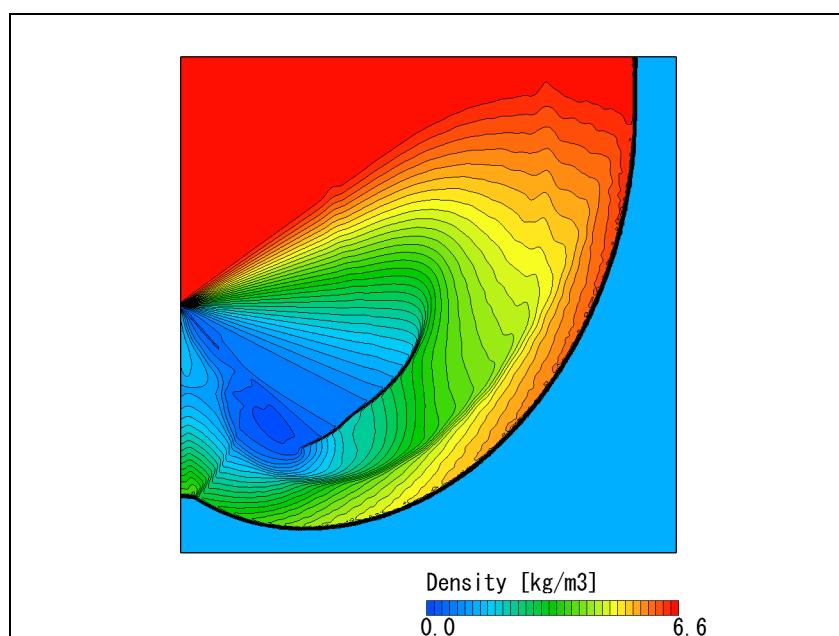
---

## 計算コストの目安

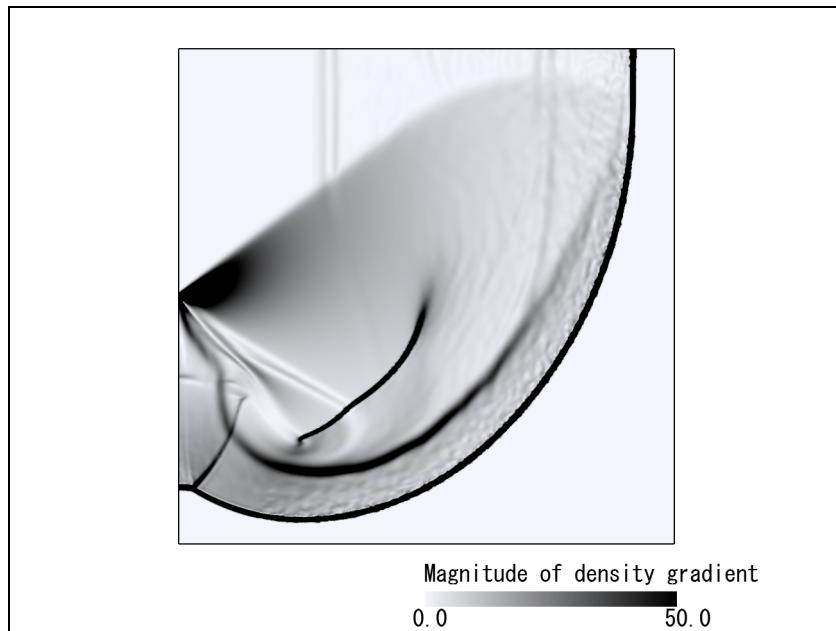
- SCTsolverの実行時間  
約1時間
- 計算サイクル数  
1,800サイクル

## 解析結果

- 密度コンター図



- 
- 密度勾配のコンター図



衝撃波等の可視化実験によく用いられるシュリーレン写真は密度勾配を濃淡で表現するものです。密度勾配はSCTpostの変数登録機能を用いて作成可能です。例えば[変数名]と[説明]を次のようにして、密度勾配を新たな変数として登録します。

[計算式] : [grad(DENS)]

[変数名] : [DRHO]

[説明] : [密度勾配]

この図では、[カット面]オブジェクトの[コンター]タブで、[変数]に[密度勾配の大きさ(DRHOV)]を選択しています。[文献2]のFig.26(d)のシュリーレン写真と比較すると、良く一致しています。

## 参考文献

1. Liepmann, H. W.; Roshko, A. Elements of Gas Dynamics. Dover Publications, 2002, p.59.
2. Bazhenova, T. V.; Gvozdeva, L. G.; Nettleton, M. A. Unsteady interactions of shock waves. Prog. Aerospace Sci., 1984, 21(4), p. 249-331.

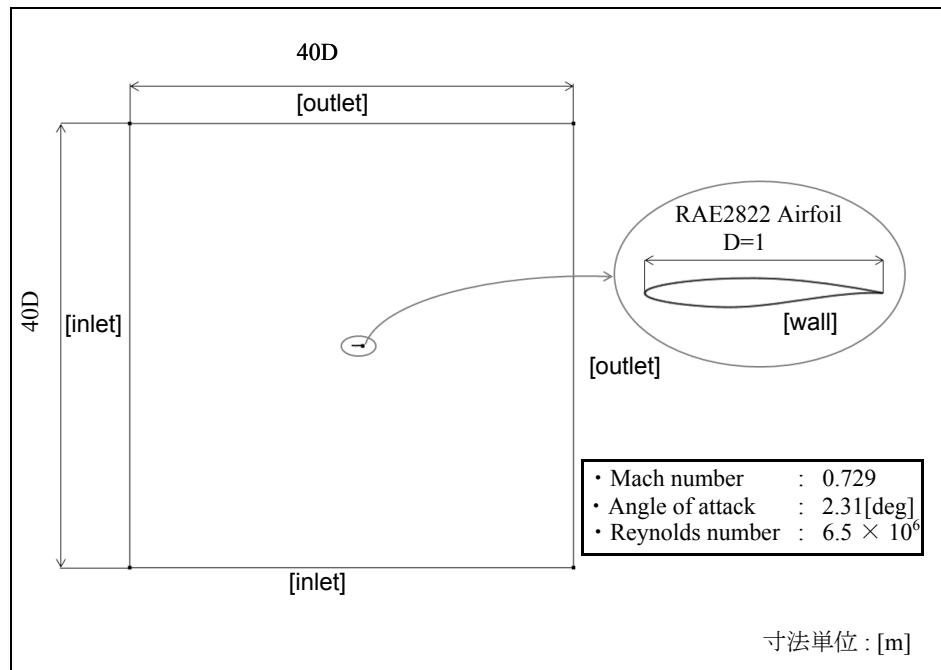
---

## 検証16 2次元翼周りの衝撃波を伴う流れ 解析

---

2次元翼(RAE2822翼型)周りの衝撃波を伴う流れを圧縮性ナビエストークス方程式で計算します。本例題では、圧力ベースソルバーと密度ベースソルバーでの計算を行い、[文献1]の実験結果と比較します

## 解析モデル



疑似2次元圧縮性乱流

## 解くべき方程式

- 運動量方程式
- 質量保存式
- エネルギー方程式(温度方程式)
- k- $\omega$ 方程式

## 解析選択

- 流れ(乱流)、温度

---

## 解析条件

### - 物性値

• MAT=1	:	ガス定数	287.060	[J/(kg•K)]
		粘性係数	$5.340 \times 10^{-5}$	[Pa•s]
		定圧比熱	1,004.71	[J/(kg•K)]
		熱伝導率	0.0745	[W/(m•K)]

### - 基準値

- 基準温度 : 255.556 [K]
- 基準圧力(MAT=1) : 109,000 [Pa]

### - 境界条件

- 流入口 [inlet] : 流速規定
  - 流速(X方向成分) 233.436 [m/s]
  - 流速(Y方向成分) 9.417 [m/s]
  - 流入圧力 0 [Pa]
- 流出口 [outlet] : 表面圧力規定 0 [Pa]
- 壁面 [wall] : 静止壁

(メモ) 流入流速は、流速233.626[m/s], 迎角2.31度の主流条件が指定されます。圧力は基準値からの相対値で指定されます。

### - 初期条件

- 流速(X方向成分) : 233.436[m/s]
- 流速(Y方向成分) : 9.417[m/s]

### - その他

- 解析の種類  
定常解析
- 計算サイクル及び定常判定値  
計算サイクル : 2,000 [サイクル]  
定常判定値 : 圧力  $1.0 \times 10^{-5}$   
その他 デフォルト
- 乱流モデル  
SST k- $\omega$ モデル
- 初期条件  
調和関数による初期化を行いません。

---

## 特記事項

### - 密度ベースの設定

- 密度ベースソルバーを用いるには、[条件ウィザード] - [解析選択]で[密度ベース]をONにします。

### - 主流条件及び物性値

- 主流マッハ数 $M=0.729$ , レイノルズ数 $Re=6.5 \times 10^6$ となるよう、主流条件及び物性値を与えていきます。

ガス定数 $R=287.06[J/(kg\cdot K)]$ , 比熱比 $\gamma=1.4$ , プラントル数 $P_r=0.72$ , 主流温度 $T_0=255.556[K]$ , 主流圧力 $P_0=109,000[Pa]$ , 及び代表長さ $D=1.0[m]$ とします。主流条件及び物性値は、次式で与えられます。

$$\text{主流密度 } \rho_0 = \frac{P_0}{RT_0} \quad [\text{kg/m}^3]$$

$$\text{音速流速 } C_0 = \sqrt{\gamma RT_0} \quad [\text{m/s}]$$

$$\text{主流速度 } V_0 = MC_0 \quad [\text{m/s}]$$

$$\text{定圧比熱 } C_p = \frac{\gamma}{\gamma-1} R \quad [J/(kg\cdot K)]$$

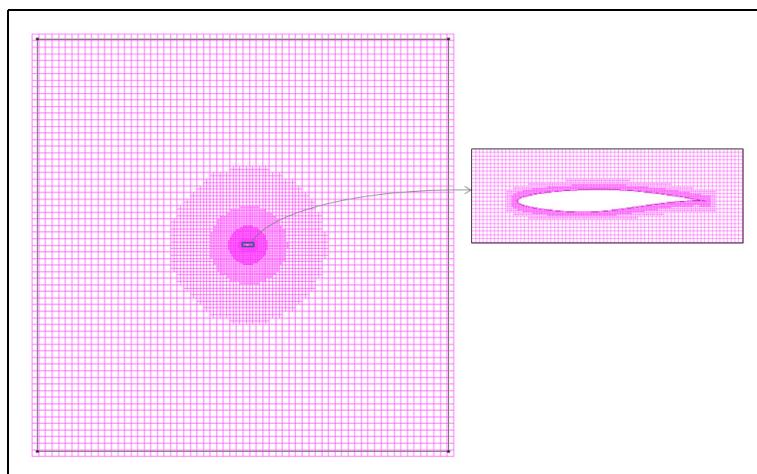
$$\text{粘性係数 } \mu = \frac{\rho_0 V_0 D}{Re} \quad [\text{Pa}\cdot\text{s}]$$

$$\text{熱伝導率 } \kappa = \frac{\mu C_p}{P_r} \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$$

---

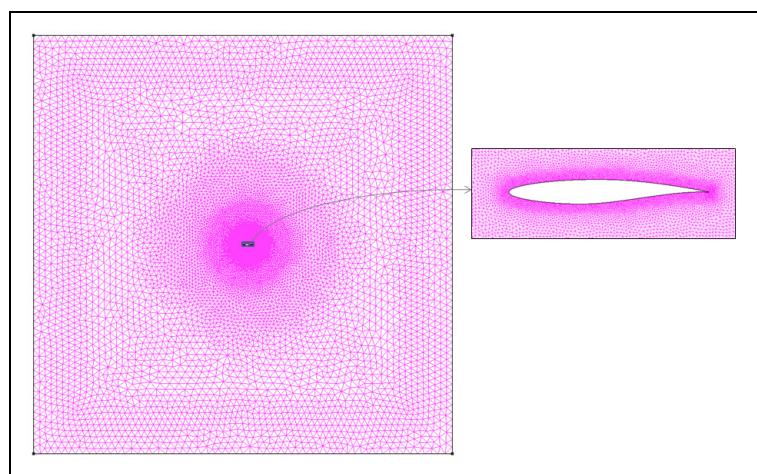
## 解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.0025[m]~0.64[m]

- メッシュ図



要素数 : 41,146

---

境界層要素は下記で指定しています。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.0008]	[1.0]	[4]

\* 境界層要素挿入のタイミング：先入れ(境界層要素挿入→体積メッシュ作成)

翼後縁で境界層要素の抜けを回避するため、境界層要素の挿入パラメータの詳細設定を変更しています。設定方法は、次の通りです。

1. [境界層要素挿入パラメータ]ダイアログの**詳細設定**をクリックします。
2. [詳細設定]ダイアログで**角度**タブを選択します。
3. [剥離位置への挿入回避]の[逆くさび形状判定角度(モデル非選択辺)]で[360]を入力します。

要素サイズを滑らかに変化させるため、[要素サイズパラメータ]ダイアログで**有効にする**にチェックを入れ、[影響を受ける範囲]に**細かい側は固定、粗い側のみ変化させる**を選択し、[範囲]を[7]に設定してください。

Z方向に掃引したメッシュを使用します。層数は1層です。掃引メッシュの作成手順は、[ユーザガイド 操作編 応用例1 疑似2次元メッシュ](#)を参照してください。

(メモ) 密度ベースソルバーの場合、疑似2次元解析にて2次元面の要素サイズに比べて奥行長さが短い場合、奥行長さがクーラン数の制限に効いてしまう可能性があります。奥行長さは2次元面の要素サイズに比べて数倍程度に大きく取られることをお勧めします。

## 計算コストの目安

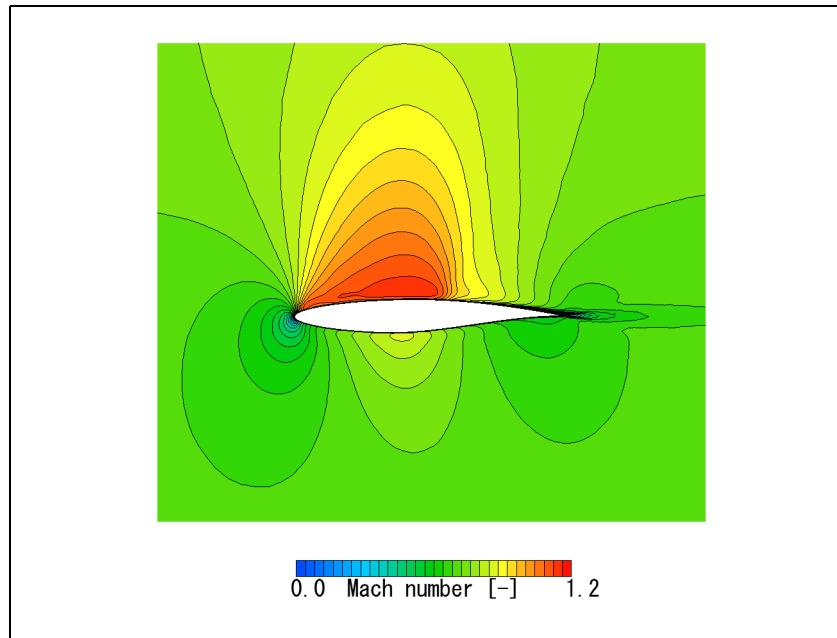
- SCTsolverの実行時間  
圧力ベースソルバー : 約9分30秒  
密度ベースソルバー : 約7分30秒
- 計算サイクル数  
圧力ベースソルバー : 約1050サイクル  
密度ベースソルバー : 約250サイクル

---

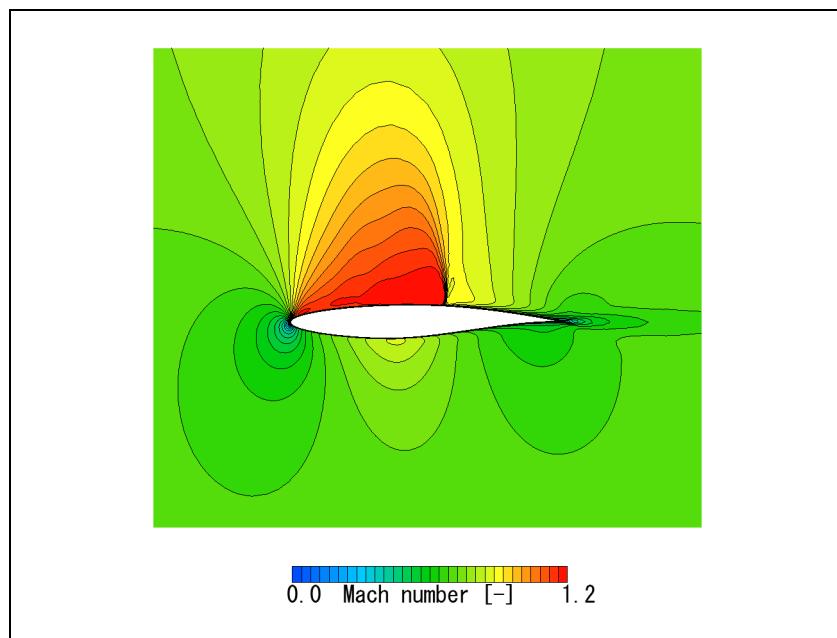
## 解析結果

- マッハ数分布図

圧力ベース

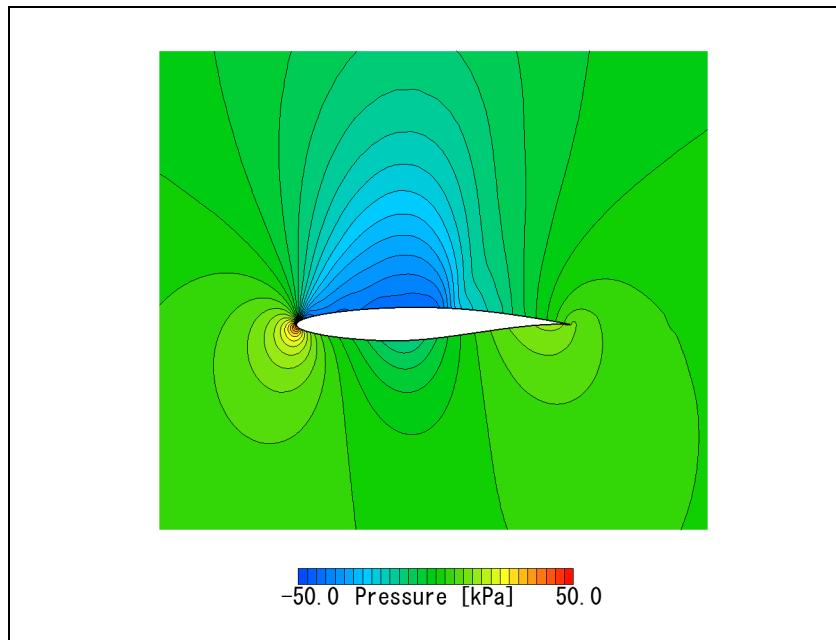


密度ベースソルバー

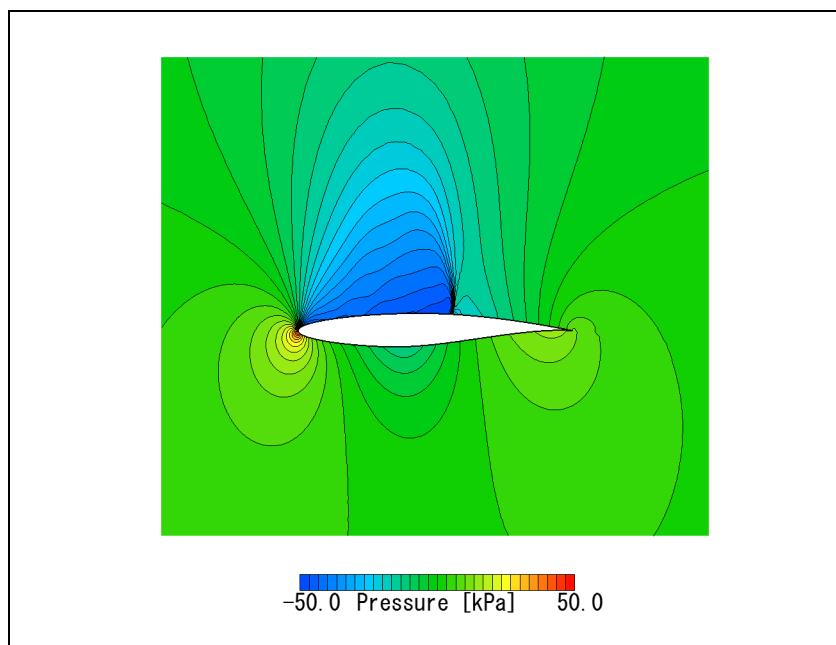


- 
- 圧力分布図

圧力ベースソルバー

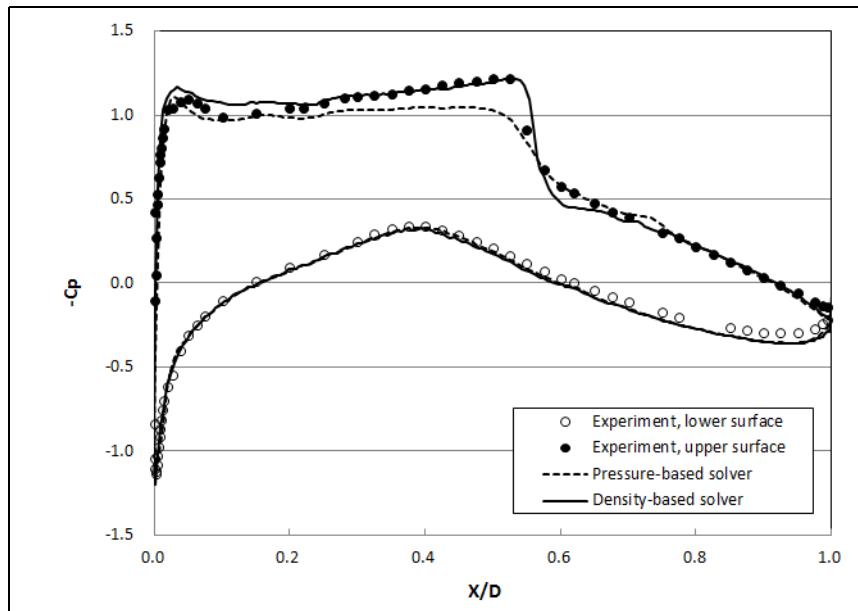


密度ベースソルバー



---

- 圧力係数分布図



翼表面での圧力係数Cpの分布を実測[文献1]と比較しています。Cpは次式で算出されます。

$$C_p = \frac{P_{x/D} - P_0}{\frac{1}{2} \rho_0 V_0^2}$$

ここで、 $P_{x/D}$  は位置X/Dにおける翼表面の圧力です。Xは翼前縁からの距離を表します。

### 参考文献

1. Cook, P. H.; McDonald, M. A.; Firmin, M. C. P. Aerofoil RAE 2822 - Pressure Distributions, and Boundary Layer and Wake Measurements. Experimental Data Base for Computer Program Assessment, AGARD Report AR 138. 1979.

---

## 第3部 応用例

---

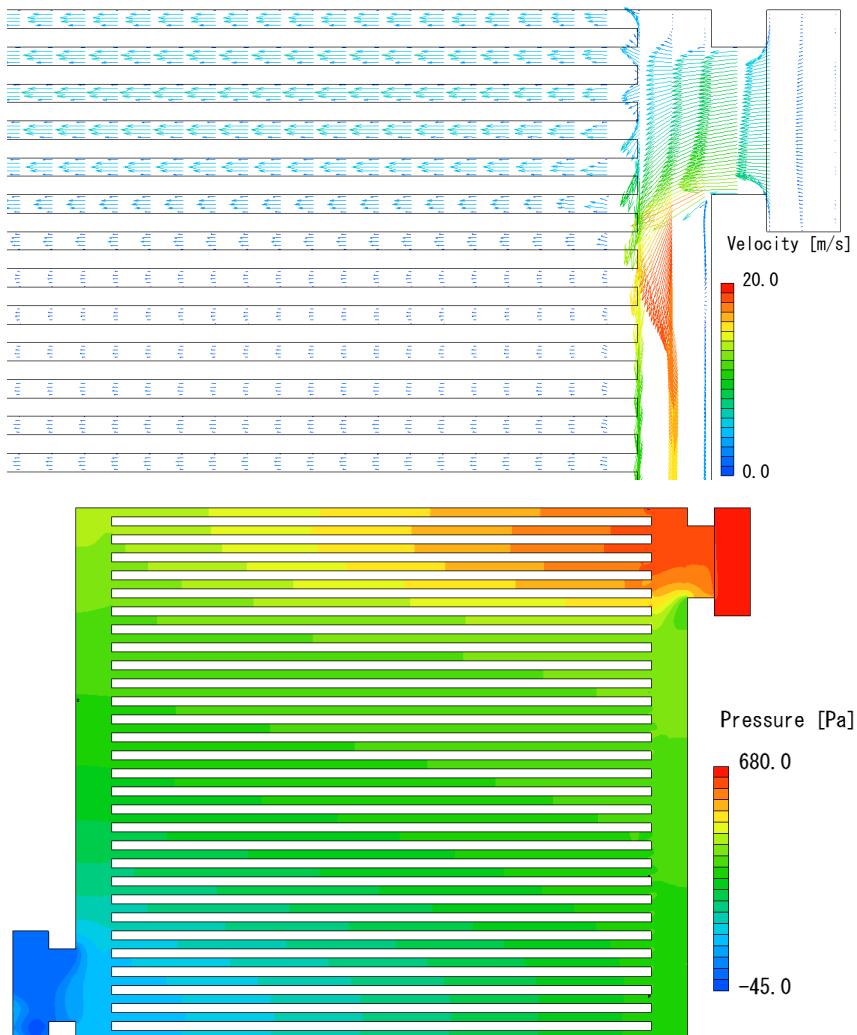
## 应用例1 燃料电池

---

近年、燃料電池という言葉も身近なものになってきました。従来の電池は使い切ったら廃棄(1次電池)、また充電して再利用(2次電池)をする形式で、電池自身は蓄電の役割しか持たず、再利用するにも比較的大きなコストがかかります。燃料電池は化学反応によって起電力を得る、という点は従来の電池と同様ですが、発電のしくみを内部に持ち、かつ、反応に係わる物質も、入手しやすく、地球上に豊富に存在するものが選ばれており、近年注目されている環境問題への配慮もなされています。

よく例として掲げられる酸素と水素を用いた燃料電池では、電解質を挟んで水素と酸素の電気分解反応の逆反応を起こすことで発電します。もちろん水素と酸素が会う時間が長いほど、同じスペースで多くの発電ができますが、電池の省スペース化の都合もあり、通常、セパレータと呼ばれる小さな流路が密集した薄い板の内部に反応ガスを通します。このとき、流路内部ではできるだけ均一に、そして流路を通過する際の流動抵抗が少なくなるようセパレータの流路を設計することが望ましくなります。

この例題では、ある形状のセパレータ内部に空気を通した時の、セパレータ内部の流速分布と複数在る流路の断面流量を調べることで、流れの均一性を評価するとともに、流入出間での圧力損失量を評価しようとする例です。例えば自動車に搭載される燃料電池は、一辺が100mmから200mm程度あり、またセパレータも積載(スタック)されることがほとんどですが、本例では解析コストも考えて、一辺30mmの一枚のセパレータとしてモデル化しています。特に、複数の断面で通過流量を得るための設定や、比較的狭い流路に質の良いメッシュを作成するための方法については要注目です。

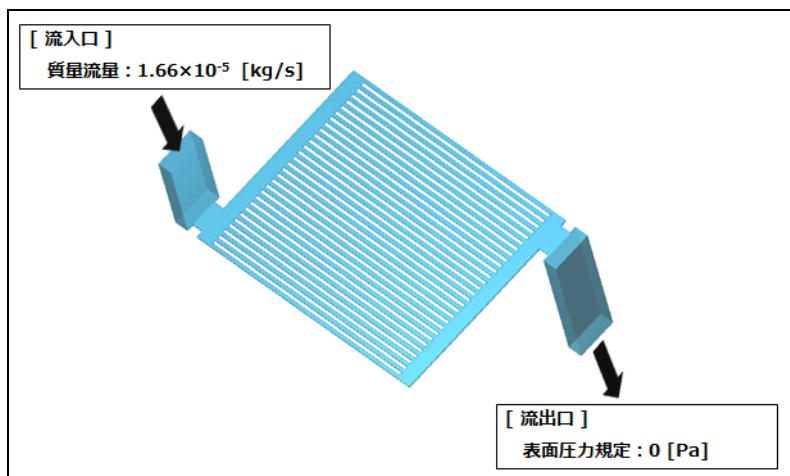


各溝の流量の均一化を目的として設計された燃料電池モデルを解析し、"流量"、"圧力分布"、"各溝の入口・出口間での圧力損失"等を求めます。

※ 流体は20[°C]の空気とします。

※ 各溝部分のメッシュには、掃引メッシュを使用します。

## 解析モデル



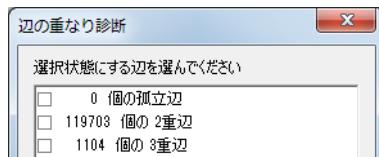
## 解析手順

### - 解析モデル作成

SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]より exC01.stlを読み込み、以下の設定を行いMDLファイルを保存します。

#### 1. モデルのクリーニング（モデルデータの確認）

- モデルデータ（STLデータ）に問題が無いか、確認します。
- [編集]-[モデル修正]-[辺の重なり診断]を選択し、孤立辺がないことを確認します。



- [編集]-[モデル修正]-[重なった面の検出]を選択し、面の重なりが存在しないことを確認します。

- [編集]-[モデル修正]-[干渉面の検出]を選択し、干渉面が存在しないことを確認します。

※ メッセージウィンドウに、下記メッセージが表示されます。

0 個の重なった面が存在します。  
モデルに干渉面は存在しません。

## 2. 閉空間/MAT番号の設定

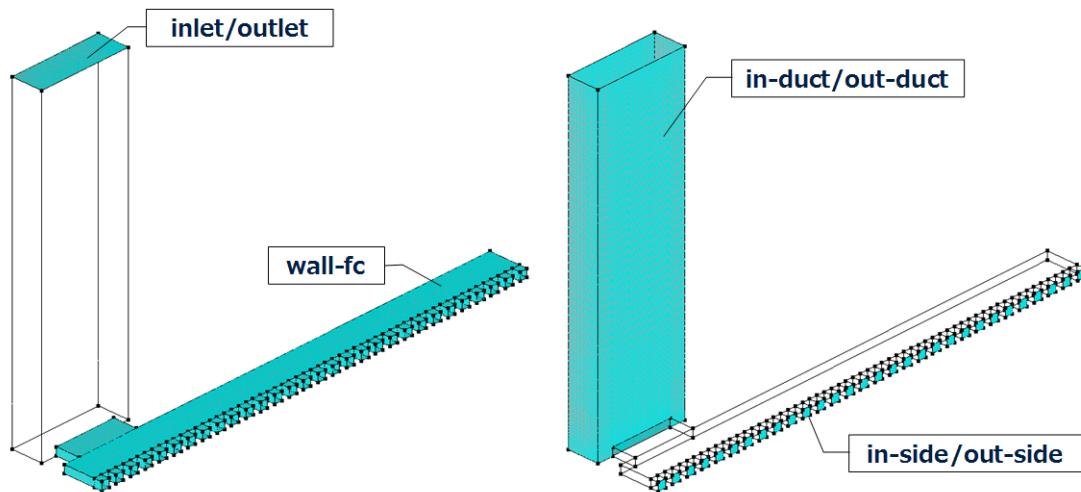
- ・ [編集]-[閉空間/MAT番号の設定(モデル)]を選択し、閉空間を確認します。
- ※ 65個の閉空間が認識されます。

閉空間=0以外のすべてにMAT番号=1を設定します。



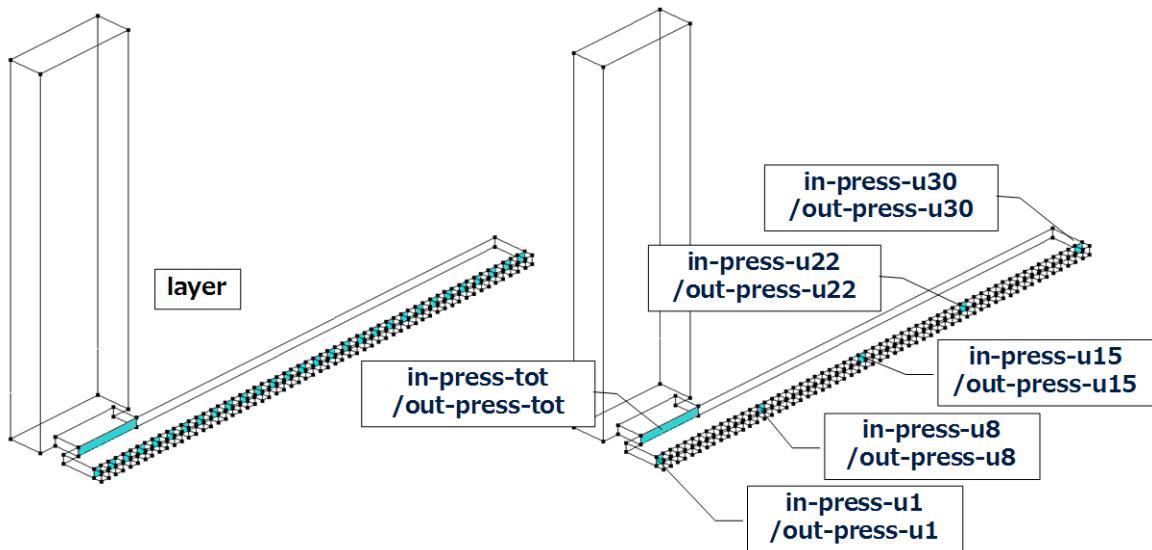
## 3. 面領域の登録

- ・ モデル全体の流入口[inlet]を登録します。
- ・ 流入部と溝部分の外壁をそれぞれ登録します。[in-duct], [out-duct], [wall-fc]
- ・ 掃引メッシュ作成に使用する面領域を登録します。[in-side]
- ・ 同様の考え方で、流出口側のモデル面に対して面領域を登録します。[outlet], [out-duct], [wall-fc], [out-side]



- ・ 境界層要素の抜けを防ぐために使用する面領域を登録します。[layer]
- ・ 各溝の圧力損失や通過流量を計算するため、各溝の流入出面をそれぞれ下図の様に登録します。

※ 面領域の登録は、流量の二重計測を防ぐため面の表側、または裏側のいずれか一方に対してのみ行います。

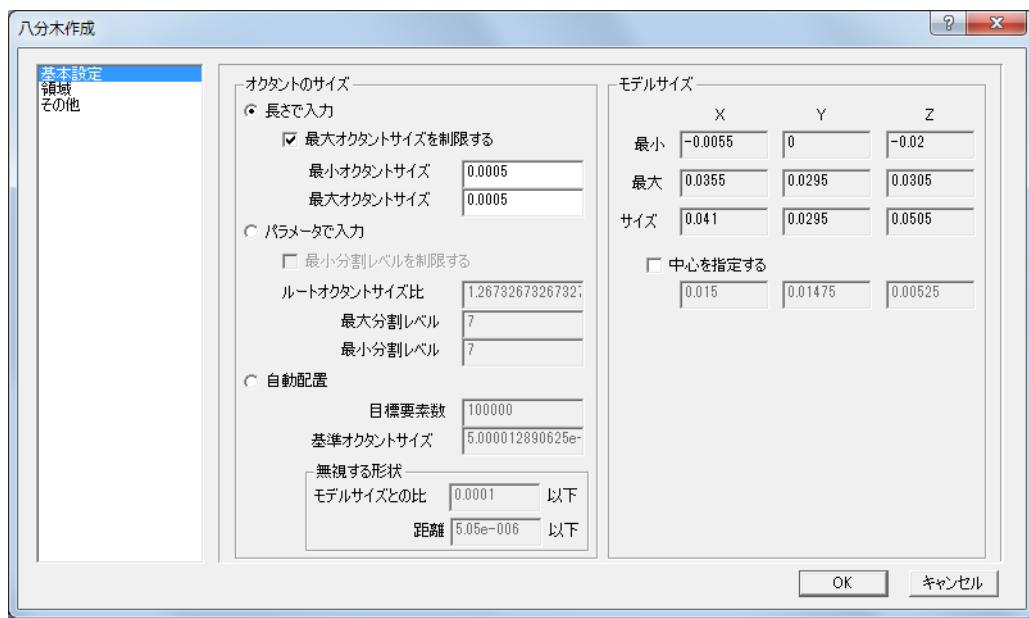


## - 解析メッシュ

### 1. オクタント作成

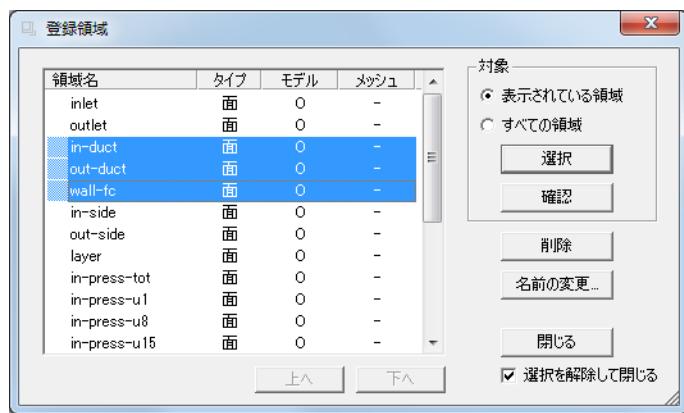
以下の手順で八分木を作成し、OCTファイルを保存します。

- ・ [編集]-[八分木作成]をクリックします。
- ・ 表示された八分木作成ダイアログで[最大オクタントサイズを制限する]にチェックを入れ、以下の値を入力し [OK]をクリックします。  
[最小オクタントサイズ] : 0.0005  
[最大オクタントサイズ] : 0.0005



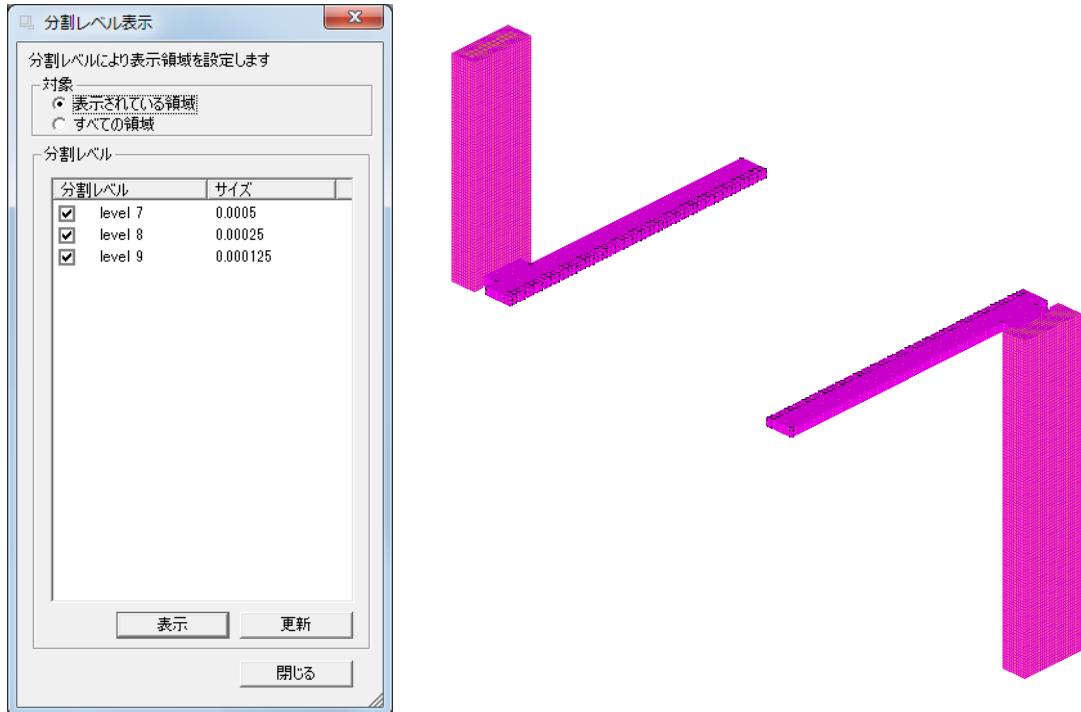
- ・ [編集]-[登録領域...]から以下の領域を選択します。

- ・ [in-duct]
- ・ [out-duct]
- ・ [wall-fc]



- ・[編集]-[編集]-[選択領域の移動]-[面から八分木]を選択し、[編集]-[オクタント再分割(1回)]を実行します。
- ・[wall-fc]に対してのみ、同様の手順で再度オクタントの分割を行います。
- ・分割の終了後、[表示]-[分割レベル表示]または、[右クリック]-[分割レベル表示]で表示される[分割レベル表示]ダイアログからオクタントの大きさをチェックします。

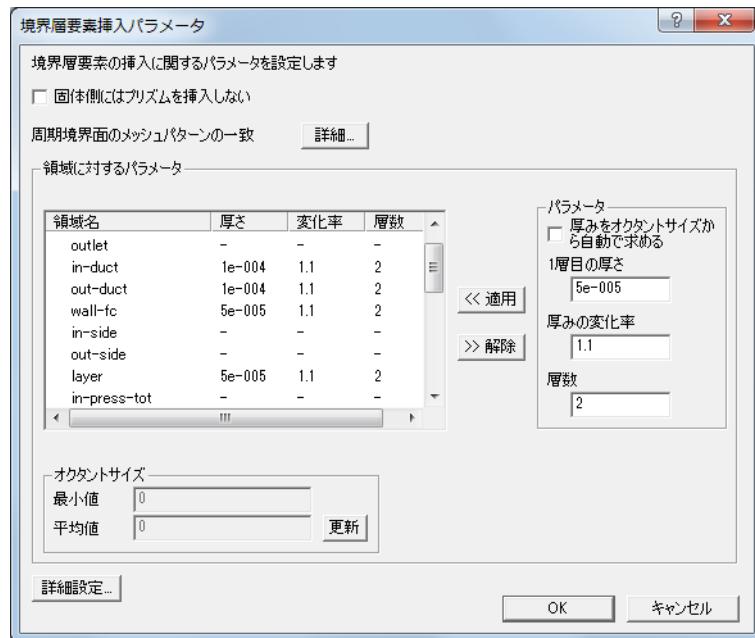
※ 最終オクタント数：103,724



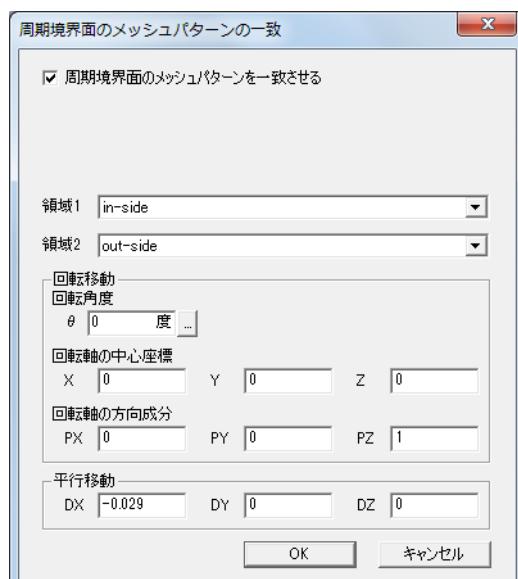
## 2. メッシュ作成

- ・[実行]-[表面メッシュ作成から]-[境界層要素挿入まで]を選択し、[連続実行]ダイアログを表示します。
  - ・[必要なデータ]を選択し、前ページで保存したMDLファイルとOCTファイルを指定します。ファイルの指定はエクスプローラからのドラッグ&ドロップにて可能です。
  - ・[作成されるデータ]で保存場所と保存名を確認します。
- ※ Sファイルは、メッシュの作成には必要ありません。
- ・続いて[境界層要素挿入パラメータ]の設定をクリック、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを表示し、下記の設定を行います。

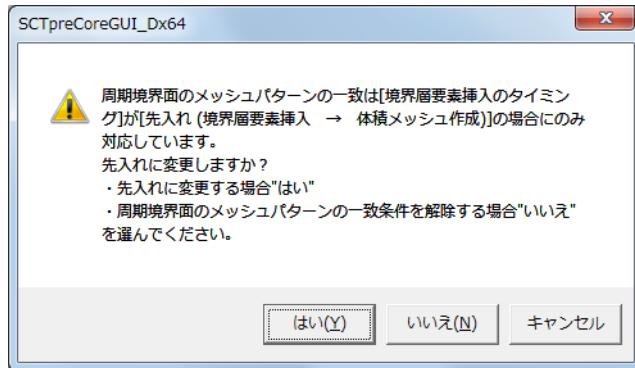
[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[in-duct] [out-duct]	[1e-4]	[1.1]	[2]
[layer] [wall-fc]	[5e-5]	[1.1]	[2]



- 周期境界面のメッシュパターンの一一致]-[詳細]を選択します。
- 以下の設定を行い、[OK]をクリックします。
  - [周期境界面のメッシュパターンを一致させる]をチェック。
  - 領域1：in-side、領域2：out-side を選択。
  - [平行移動]：DX=-0.029を入力。



- 以下のダイアログが表示されます。[はい]をクリックします。
- ※ 自動的に[境界層要素挿入のタイミング]が[先入れ]に変更されます。



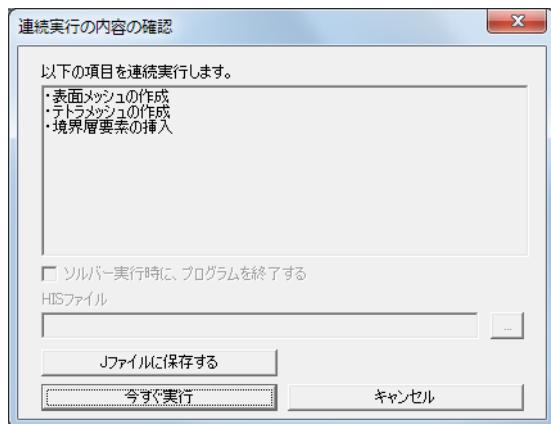
### 境界層要素挿入パラメータについて

- $y^+$ とは抵抗のある壁からの無次元距離で、流体の密度・粘性係数・摩擦速度から決まります。なお流体の密度・粘性係数はあらかじめ求めることができますが、摩擦速度を知るためには計算を実施し、計算結果を参照する必要があります。しかし、一般にはおおよそ平均流速の5%程度で推移することが知られていますのである程度類推することは可能です。
- $y^+$ の値は、一般に境界層要素の厚さによって求まり、低レイノルズ数型乱流モデルの場合、 $y^+$ の値を1程度とした場合に最も高い精度で結果が得られることが知られています。
- 下図に $y^+$ が適切な例を示します。（LFileViewで見た図です。） $y^+$ が5以下に集中しており、適切であることがわかります。

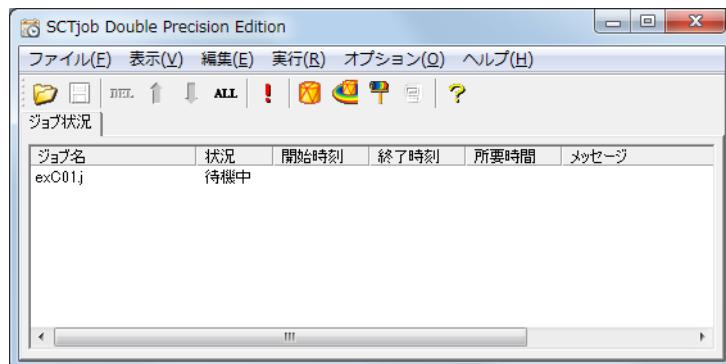
```
== YPLUS MIN-MAX ==
  NODE      YPLUS      DIST     TAUWALL    TURK      TEPS
MAX    47705   10.9859  8.46771e-005   4.67402  3.33502e-050 7.84284e-045
MIN    80235   0.0181187 2.85177e-005  0.000112093 9.80136e-046 5.85208e-040
  NODE      X          Y          Z
        -0.00200000  0.00400000  0.0100000
        0.03200000  0.0000000  0.0103750

(YPLUS DISTRIBUTION)
  0.0 - 1.0 : 5920
  1.0 - 2.0 : 24071
  2.0 - 5.0 : 27416
  5.0 - 11.6 : 3640
  11.6 - 1000.0 : 0
  1000.0 - Inf : 0
```

- 摩擦のある壁では $y^+$ を上記の値程度に抑えなければ高い精度の結果が得られませんので、可能な限りこの範囲に収まるよう、境界層の厚さを抑える必要があります。また、フリースリップ面や対称面(鏡面)といった壁面でない面では摩擦を考慮する必要はありませんので、境界層の挿入は不要となります。
  - $y^+$ の正確な値は実際に計算を試さないと分かりませんので、もし計算結果がうまく得られない場合等は、 $y^+$ の分布を確認し、 $y^+$ が適切な範囲に収まるようメッシュを切り直します。
  - [OK]をクリックし、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを閉じます。
  - [連続実行]ダイアログの[OK]をクリックし、表示された[連続実行の内容の確認]ダイアログ(下図)の[Jファイルに保存する]をクリックし、境界層要素の設定をJファイルに保存します。
- ※ Jファイルに境界層要素の設定を保存せずに[今すぐ実行]をクリックした場合、境界層要素挿入に関する情報が保存されません。

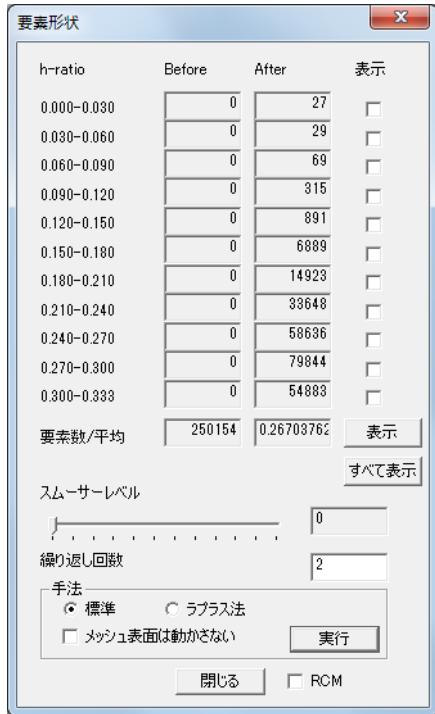


- 保存したJファイルをSCTjobに読み込み、実行ボタンをクリックすると、メッシュ作成がスタートします。
- ※ SCTjobで実行した場合にはログファイルが保存されます。
- ※ 保存されるログファイルには、SCTjobの進行状況がリアルタイムで出力され、エラーが発生した際もその詳細がこのファイルに出力されます。

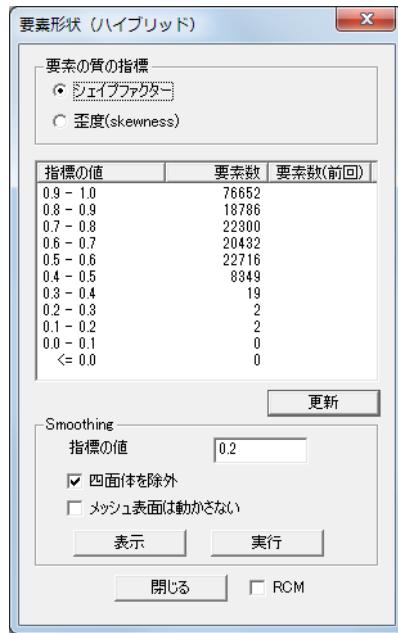


### 3. メッシュチェック

- 作成されたメッシュはPREファイル(exC01.pre)として保存されます。
- 指定した場所に境界層が入っているか、メッシュが粗すぎないかを目視でチェックします。例題のため今回は粗いメッシュを設定していますが、多くの場合、より細かいメッシュを作成する必要があります。
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック]を選択すると 下図のような要素形状ダイアログ内にh-ratioの分布が表示されます。



- h-ratioとは三角形の内接球と外接球の半径の比で、最も良い形状の場合は0.333となり、形状が悪い程0へ近づきます。
  - 通常は0.03以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.03以下の要素があるかチェックします。
  - もし h-ratio : 0.03 以下の要素が多くある場合は、[0.000-0.030] 右のチェックボックスをONとし、[表示]をクリックすることで、該当する要素のみがドローウィンドウに表示されますので、その周囲のメッシュを細かくする、またはスムージング機能を使用してメッシュの質の改善を行います。
- ※ 通常、スムージングは一度に行うのではなく、スムーサーレベルを段階的に分けて繰り返し行い、メッシュの質を徐々に上げていきます。
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック(ハイブリッド)]を選択し、下図のような[要素形状(ハイブリッド)]ダイアログで Shape Factor の分布を表示します。

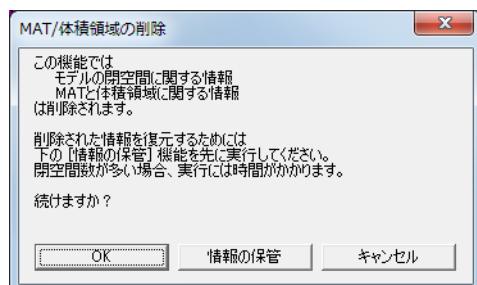


- Shape Factor はテトラ要素以外のプリズム要素、ピラミッド要素の質を表すパラメータで、最も質の良い形状の場合は1.0となり、形状の質が悪い程0に近づきます。
  - 通常は0.1以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.1以下の要素があるかチェックします。
  - もし Shape Factor : 0.1以下の要素が多くある場合は、以下の手順で修正をします。
    - 境界層の厚みを変えるか、隣接するメッシュを細かくする。
    - スムージングを行う。
    - Shape Factorに0.1と入力し、実行をクリックします。
- ※ 0.1未満の値を入力した場合には境界層の厚みが不揃いとなる可能性があります。

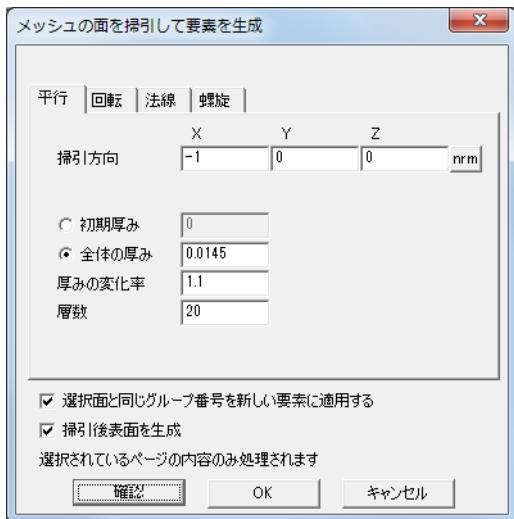
#### 4. 掃引メッシュの作成

以下の手順でコア部に掃引メッシュを作成し、PREファイルを保存します。

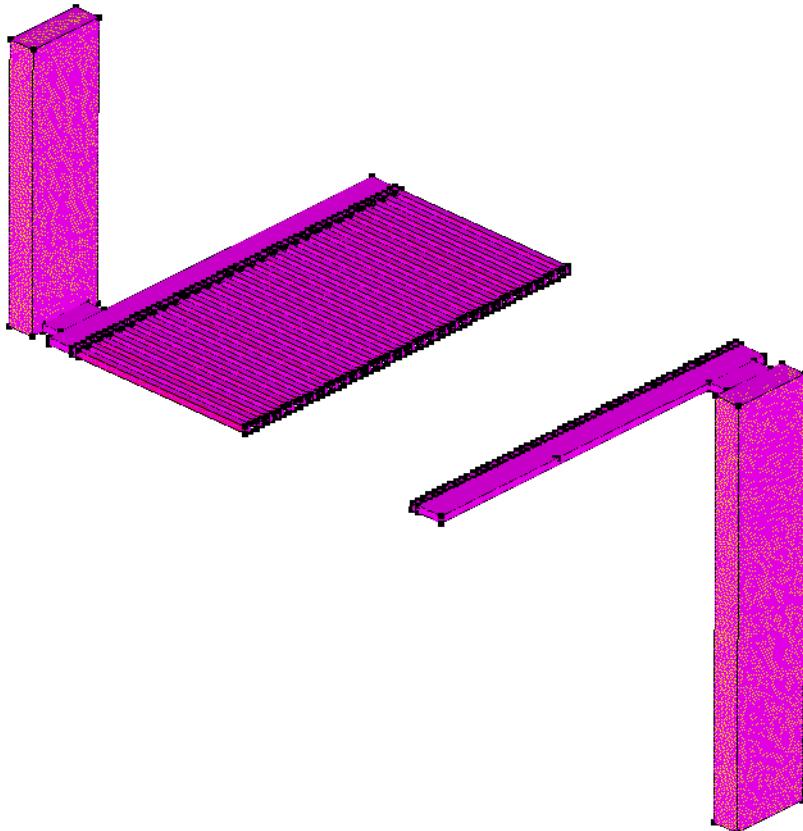
- モデルモードで作成されたPREファイルを開きます。
  - 面領域[in-side]を選択します。
  - [右クリック]-[選択領域の移動(面からメッシュへ)]を選択します。
- ※ 自動的にリージョンモードへ移行します。
- [編集]-[選択面を掃引して要素を生成...]を選択します。
  - [MAT/体積領域の削除]ダイアログの[OK]をクリックします。



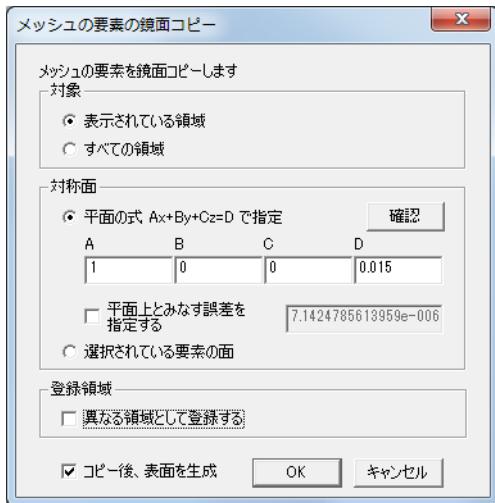
- 
- ・ [メッシュの面を掃引して要素を生成]ダイアログに以下の設定を入力します。
    - ・ 掃引方向 : X=-1, Y=0, Z=0
    - ・ [全体の厚み]=0.0145 (作成する掃引メッシュの半分の距離を指定)
    - ・ [厚みの変化率]=1.1
    - ・ [層数]=20
    - ・ [選択面と同じグループ番号を新しい要素に適用する]=ON



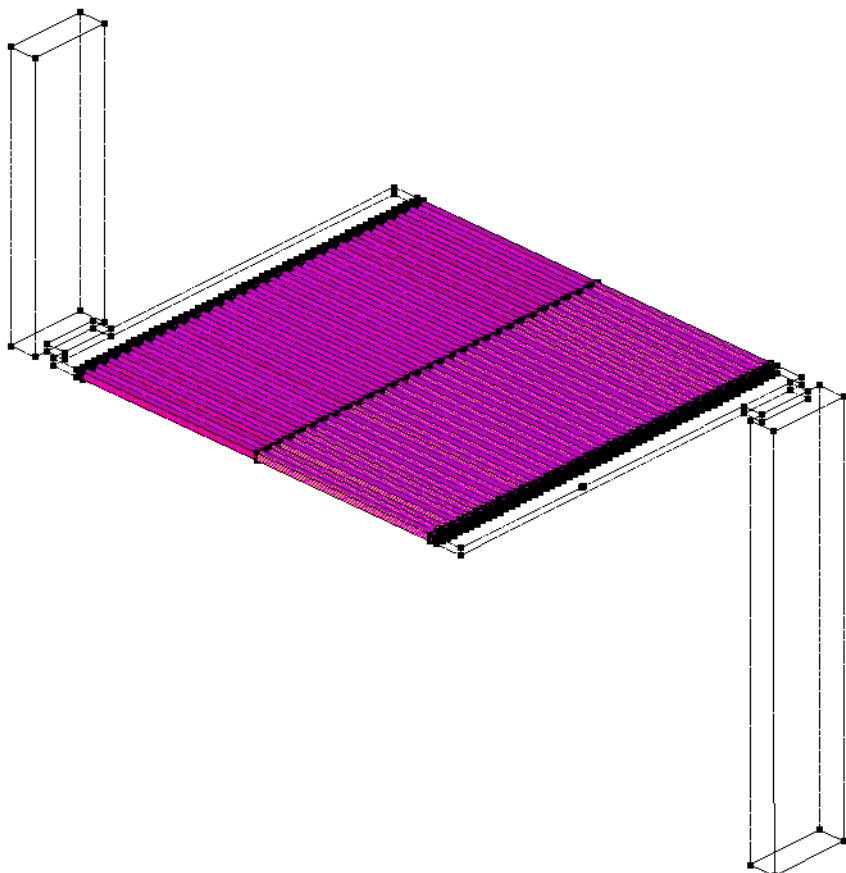
- ・ [OK]をクリックします。  
※ 掃引メッシュが作成され、作成された要素のみが選択状態となります。



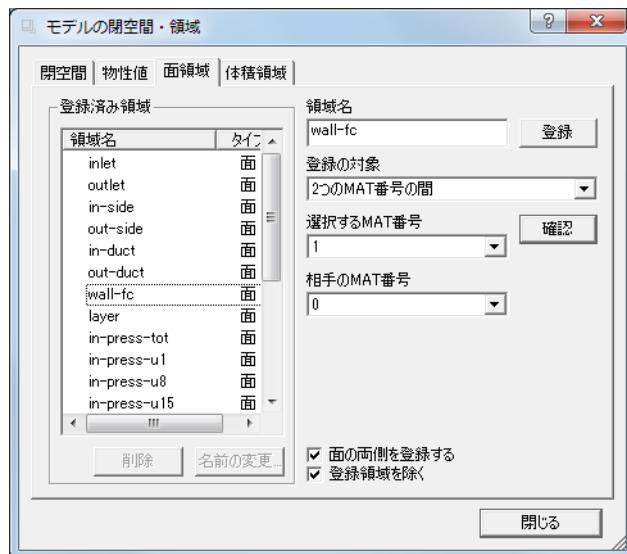
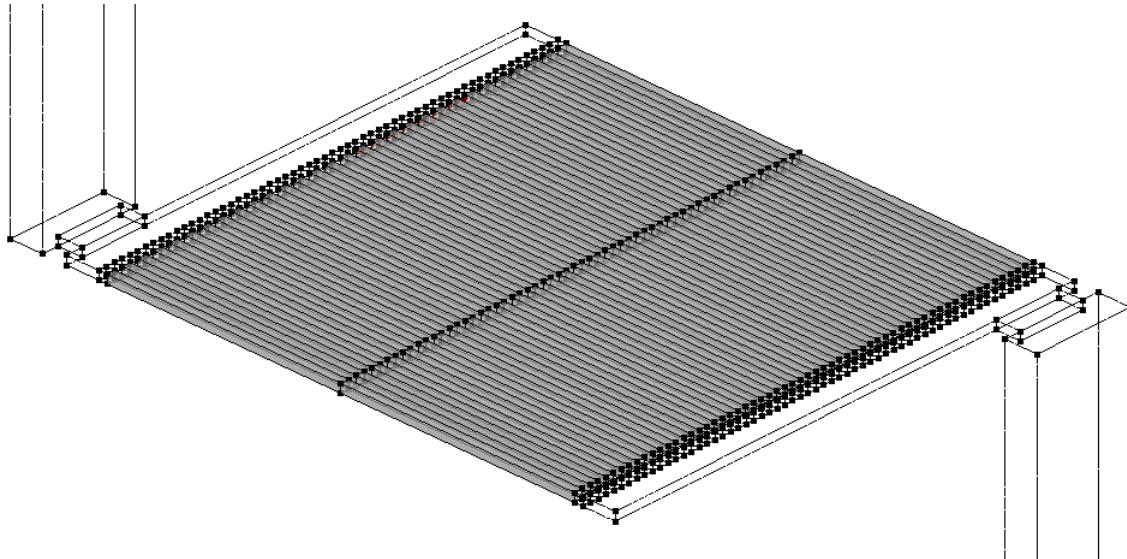
- [表示]-[選択領域のみ表示]を実行します。
- [編集]-[コピー]-[鏡面...]を選択し、以下の設定を行います。
  - [対象]=表示されている領域
  - 平面の式 : X=0.015(作成した掃引メッシュ端部の位置)
  - [異なる領域として登録する]=OFF



- [OK]をクリックします。
- ※ 掃引メッシュ部のみがコピーされます。但し、流出口側の掃引メッシュ端部のメッシュは繋がっていません。

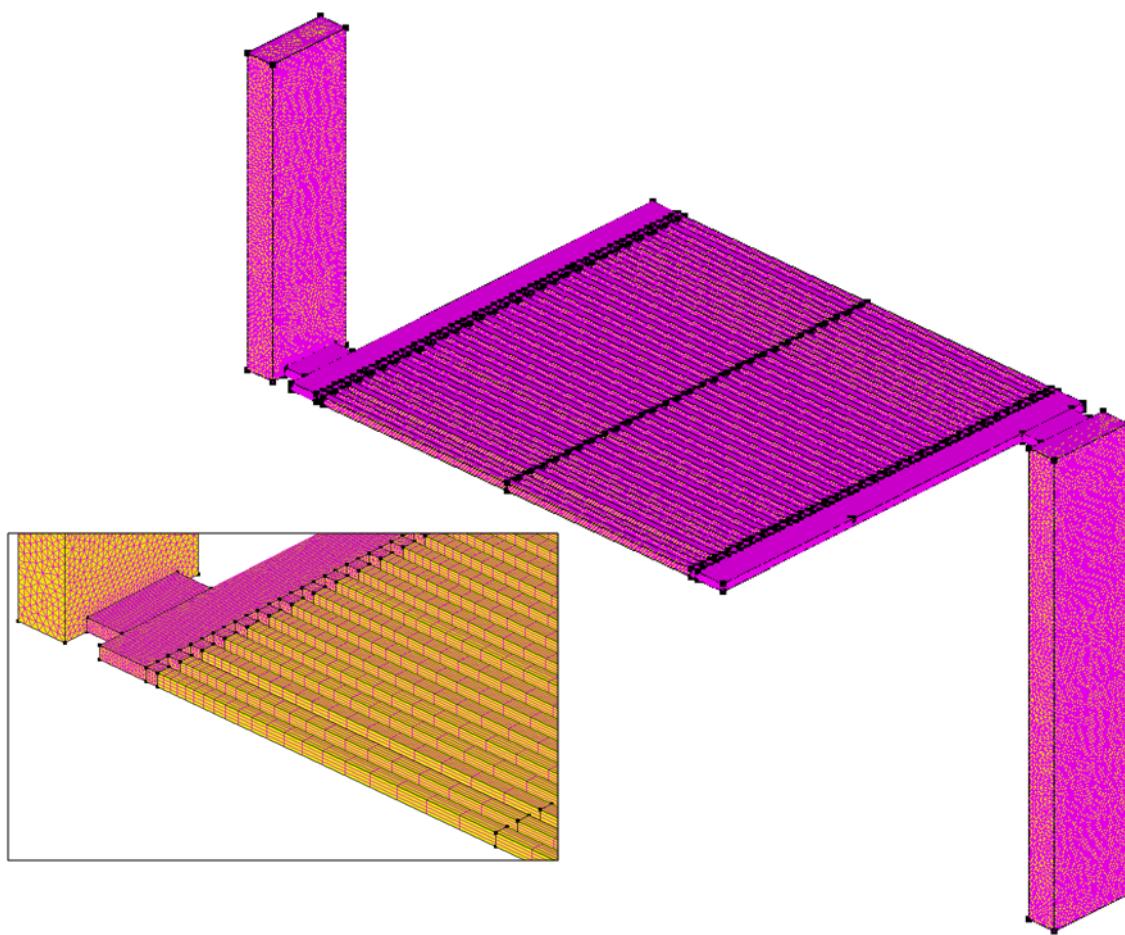


- すべてを表示した後、[右クリック]-[選択解除(要素)]を実行します。
- [編集]-[メッシュ頂点のマージ(距離)...]を選択し、[マージ実行]をクリックします。  
※ メッシュが繋がった状態となります。
- [編集]-[メッシュからモデル作成]を実行します。
- メッシュ情報からモデルが再構築された後、自動的にモデルモードへ移行します。
- 掃引メッシュで作成した壁部分を面領域[wall-fs]として追加登録します。面登録には以下の設定を使用すると便利です。



- 作成したPREファイルを保存します。

※ 要素数=486,817、節点数=216,663



## - 条件設定

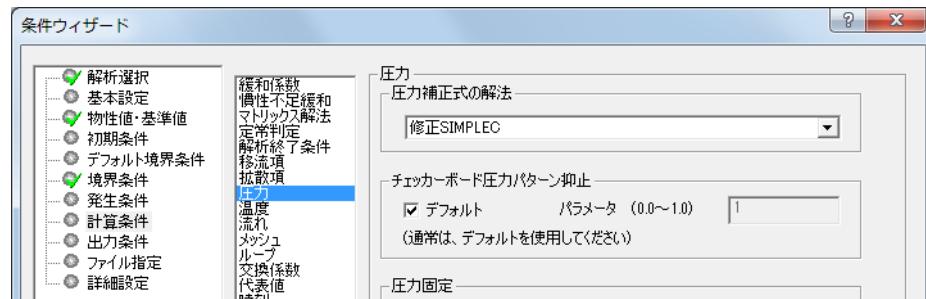
[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

1. 解析選択
  - [乱流モデル]に[線形低レイノルズ数k- $\varepsilon$  モデル(AKN)]を選択します。
2. 基本選択
  - [解析方法]で[定常解析](デフォルト設定)を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [200](デフォルト設定)
3. 物性値・基準値
  - MAT1の物性として"空気(非圧縮20°C)"(デフォルトの設定)を使用します。
4. 境界条件
  - 以下の境界条件を設定します。
    - [inlet] : 流量規定(流入質量流量=1.66e-5[kg/s])
    - [outlet] : 表面圧力規定(0[Pa])
    - [in-duct], [out-duct], [wall-fc] : 壁面(静止壁)

## 5. 計算条件

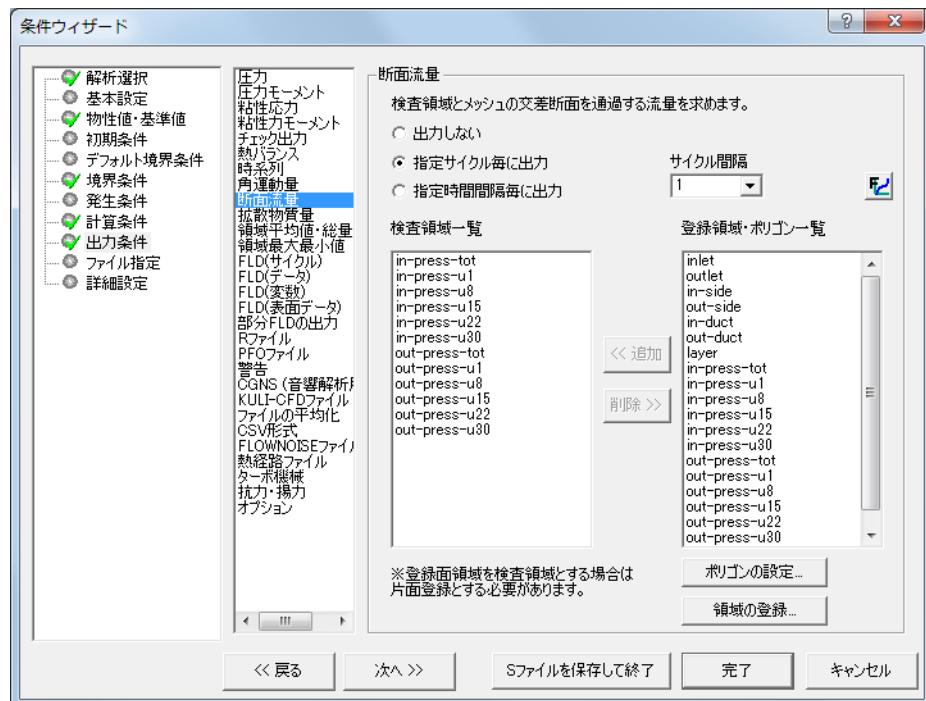
- [圧力]-[圧力補正式の解法]で[修正SIMPLEC]を選択します。

※ 今回のように流路に急縮箇所といった流路の断面積が大きく変化する箇所のある場合にデフォルトの設定(SIMPLEC法)のままだと圧力場が慣れ難く、なかなか定常収束に至らないことがあります。そのような場合には、圧力補正式を時間刻みに依存しない修正SIMPLEC法に変更することで、定常収束に至り易くなります。



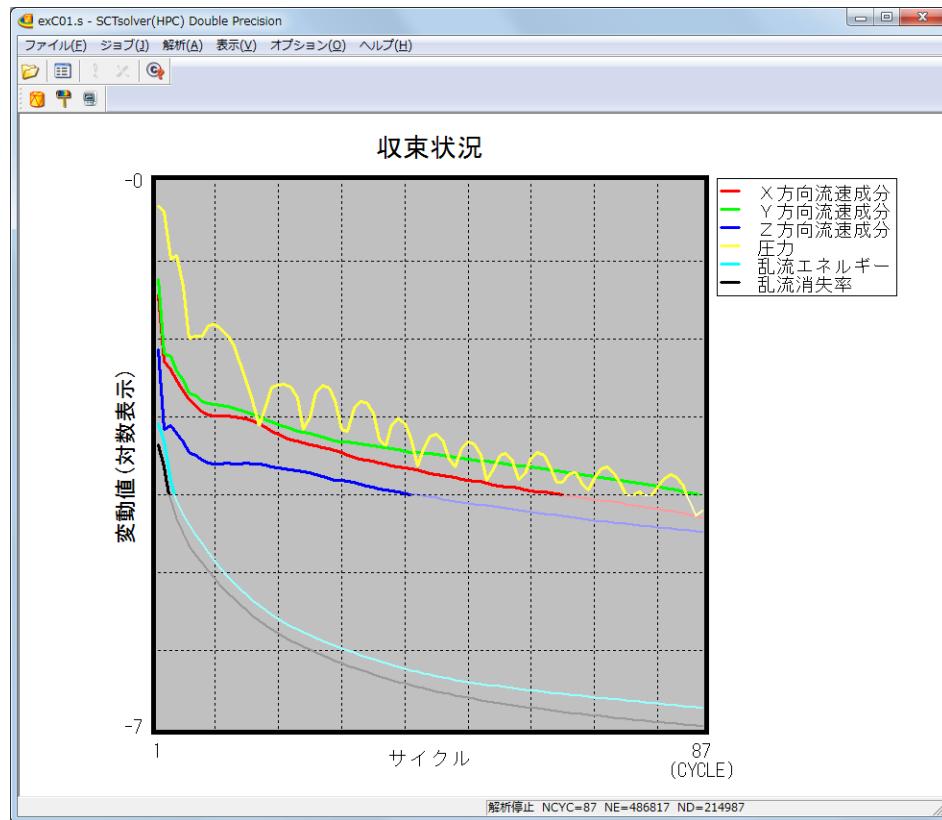
## 6. 出力条件

- [断面流量]で[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に"1"を入力します。
- [登録領域・ポリゴン一覧]から、下図の領域を[検査領域一覧]へ追加します。



## - 解析実行

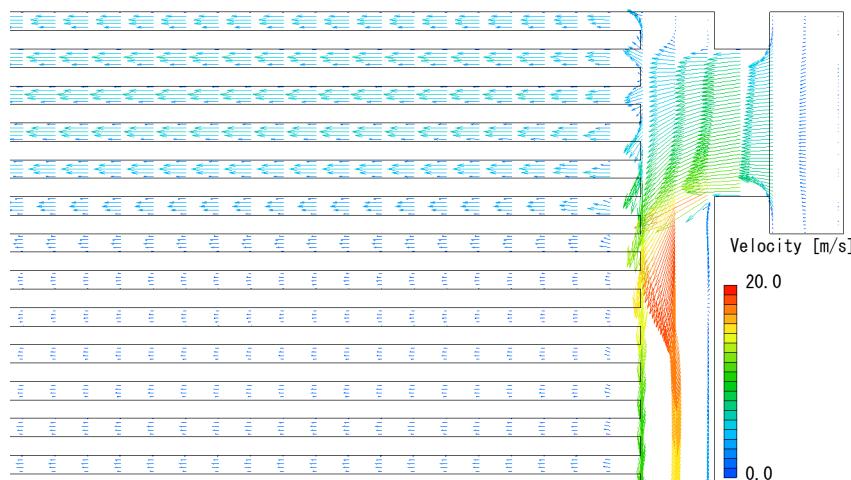
Sファイルをソルバーに読み込み、実行をクリックすると計算が開始します。[収束状況]から、最終的に87サイクル目でグラフ上のすべての変数が定常判定値 $10^{-4}$ (下図対数グラフでは-4)に達していることが分かります。



## - 解析結果

### 1. 流速ベクトル図(溝流入付近)

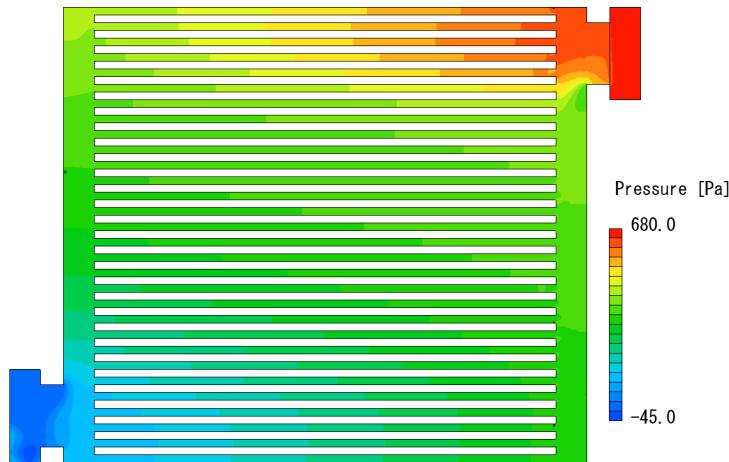
- 流路中の任意の断面上に流速ベクトルを描画することができます。
- カット面オブジェクト[位置]タブを選択し、[Z軸]を選択後、[座標]に[0.01025]と入力します。
- 同じくカット面オブジェクト[ベクトル]タブを選択し、[表示]をONとして、流速表示されているのを確認します。
- [等間隔]を選択後、[間隔u]に0.7、[間隔v]に0.08と入力し、再描画をクリックするとベクトル図が得られます。



---

## 2. 圧力コンター図

- カット面オブジェクトの[コンター]タブで[表示]をON、[変数]に[圧力(PRES)]を選択すれば、断面上の表示を圧力コンターに変更することも可能です。



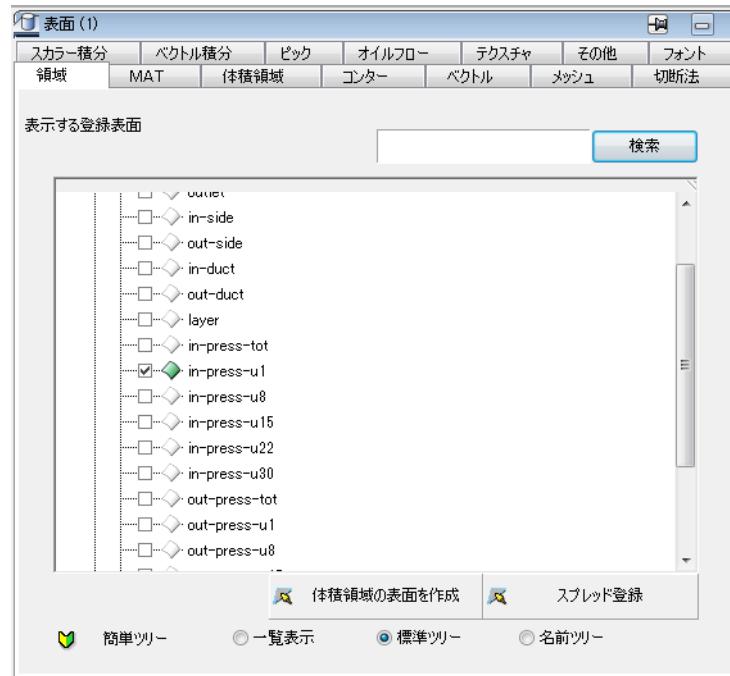
## 3. 条件設定時に指定した各断面での流量

- 各断面の流量は、SCTsolverから出力されたexC01.lをLFileViewに読み込み、最終サイクルの"== SECTION FLUX =="の箇所を参照することで、確認することができます。  
※ "MASS FLUX"が質量流量(kg/s)、"VOLUME FLUX"が体積流量(m<sup>3</sup>/s)を表します。
- 今回のモデルでは、各溝ごとに流量が大きく異なる結果となり、流量均一化のために設計の改善が必要であることが分かります。

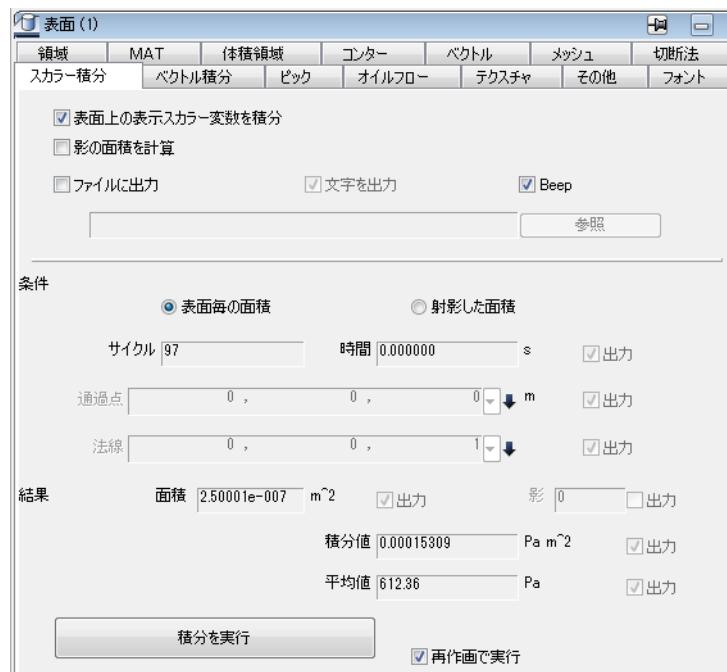
```
== SECTION FLOW RATE ==
REGION          AREA      MASS FLOW    VOLUME FLOW
in-press-tot   2.00000e-006 -1.66000e-005 -1.37645e-005
in-press-u1     2.50000e-007  8.13242e-007  6.74330e-007
in-press-u8     2.50000e-007  1.57630e-007  1.30705e-007
in-press-u15    2.50000e-007  2.57550e-007  2.13557e-007
in-press-u22    2.50000e-007  5.59888e-007  4.64252e-007
in-press-u30    2.50000e-007  1.00264e-006  8.31379e-007
out-press-tot   2.00000e-006  1.66000e-005  1.37645e-005
out-press-u1    2.50000e-007  -8.13242e-007 -6.74330e-007
out-press-u8    2.50000e-007  -1.57630e-007 -1.30705e-007
out-press-u15   2.50000e-007  -2.57550e-007 -2.13557e-007
out-press-u22   2.50000e-007  -5.59888e-007 -4.64252e-007
out-press-u30   2.50000e-007  -1.00264e-006 -8.31379e-007
TOTAL:          6.50000e-006  1.42977e-013  1.18555e-013
```

#### 4. 各溝の入口・出口間の圧力損失の計算

- 溝毎の圧力損失を確認する際はまず、表面オブジェクトを作成し、[領域]タブで圧損を計算したい溝の流入口 [in-press-u1]を選択し、[コンター]タブで圧力を描画します。
- ※ 最下行のMAT境界のチェックは外します。



- 次に[スカラー積分]タブで[表面上の表示スカラー変数を積分]をチェックし、[積分を実行]をクリックすると、右図のように表示面の平均圧力が[平均値]として表示されます。
- 同様に、[out-press-u1]の平均圧力も求め、[in-press-u1]の平均圧力との差を求める1番目の溝での圧力損失となります。



---

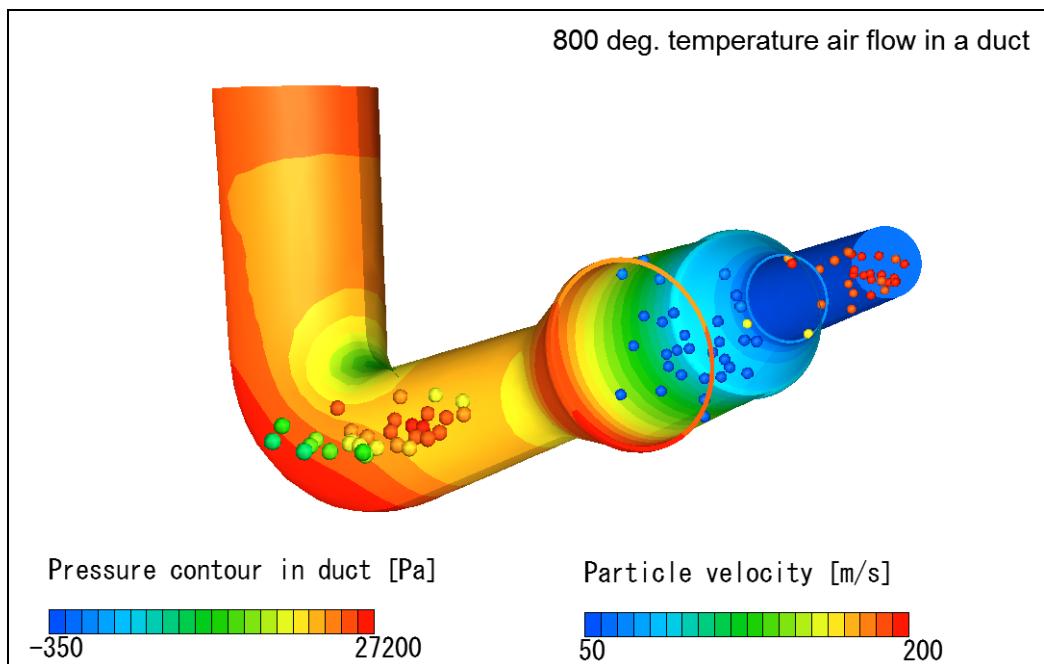
## 応用例2 触媒コンバータ

---

応用例1では燃料電池の一例を扱いました。燃料電池が今後ますます自動車の駆動エネルギー源として利用されるようになれば、化石燃料の使用後に排出される有害ガスが激減していくでしょう。電気自動車など排出ガスを出さない自動車を、そのような意味でZero-emission vehicleとも呼びますが、現状、多くの自動車はガソリン、軽油といった化石燃料で駆動されており、この場合は排出ガスの発生は避けられません。そこで、ご存知のように、自動車は排出ガスをある程度無害化して排出するためのしくみを持っています。俗にマフラーと呼ばれる部品の内部、またそのそばに付く触媒という部分がそれに相当します。

触媒は排出ガスに含まれる一酸化炭素などの有害ガスを分解し、できるだけ無害なガスに置換します。例えば三元触媒という触媒では、白金やロジウムを触媒として、酸化反応によって一酸化炭素を二酸化炭素に、炭化水素は水と二酸化炭素に、また、窒素酸化物は触媒の還元作用で酸素と窒素へと分解されます。応用例題1でも触れたとおり、触媒も化学反応を生じることで機能を果たすものですから、なるべく排出ガスと触媒が接する部分を広くすると効率が上がります。そのため、通常は触媒の内部には小さな矩形やハニカム形の流路が多数作られており、白金などの触媒はその流路の壁に蒸着されています。応用例題1の燃料電池の例と同様、なるべく触媒内の流れが均一化され、また損失が少ない触媒が望まれますが、触媒はセラミック、いわば陶器として作られることが多く、触媒内にある多くの流路を隔てている薄い壁に非均一な流れが入り込むと、一部の壁が破損する場合もあるようで、触媒内部の流れとともに、流入する流れの分布にも注目した解析が行われることも多いようです。

この例題では触媒と前後の流路(触媒につながるパイプ)をモデル化して、その内部の流れの様子を観察しようとするものです。特に触媒は無数の小さな流路を持ち、そのまま流路にメッシュを作成することは解析コスト上、現実的ではありません。このような場合、圧力損失モデルという解析モデルを用いて、狭い流路を通過するのに等価な損失を直接考慮することで、流路内部の詳細な流れの計算を省く、という手段をとります。設定の上では、この圧力損失モデルの使い方について特に注目してみてください。

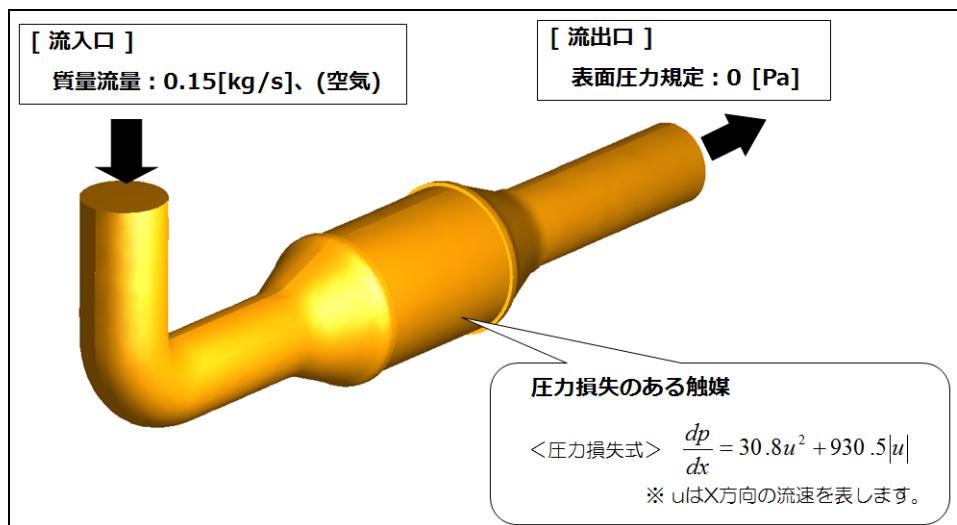


流入口から流入した有害物質を含んだ800°Cの燃焼ガスが、触媒により無害化されて流出口から排出されます。その際のダクト内の流れを解きます。

※ 今回の解析では、圧力損失にのみ注目するため、温度・拡散は考慮しません。

※ 左右対称モデルのため、計算時間・メモリの節約を目的として計算ではハーフモデルを使用します。

## 解析モデル



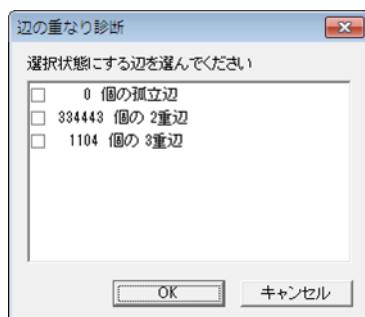
## 解析手順

### - 解析モデル作成

SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]より exC01.stlを読み込み、以下の設定を行いMDLファイルを保存します。

#### 1. モデルのクリーニング（モデルデータの確認）

- モデルデータ（STLデータ）に問題が無いか、確認します。
- [編集]-[モデル修正]-[辺の重なり診断]を選択し、孤立辺がないことを確認します。



- [編集]-[モデル修正]-[重なった面の検出]を選択し、面の重なりが存在しないことを確認します。

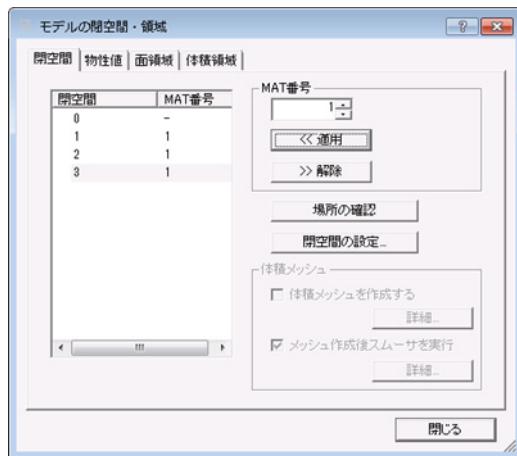
- [編集]-[モデル修正]-[干渉面の検出]を選択し、干渉面が存在しないことを確認します。

※ メッセージウィンドウに、下記メッセージが表示されます。

0 個の重なった面が存在します。  
モデルに干渉面は存在しません。

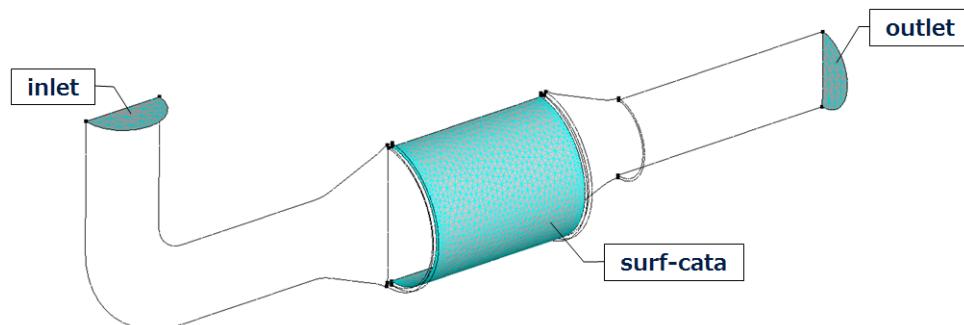
## 2. 閉空間/MAT番号の設定

- [編集]-[閉空間/MAT番号の設定(モデル)]を選択し、閉空間を確認します。  
※ 4個の閉空間が認識されます。
- 閉空間=0以外のすべてにMAT番号=1を設定します。

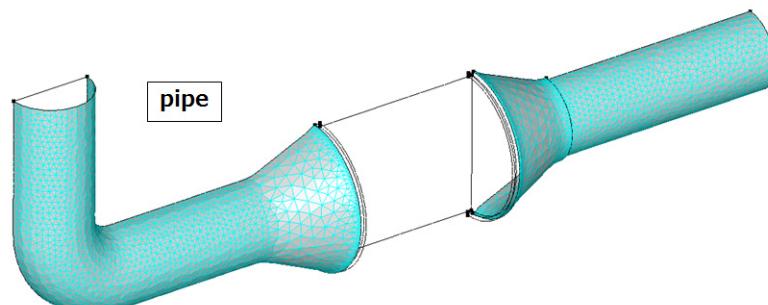


## 3. 面領域の登録

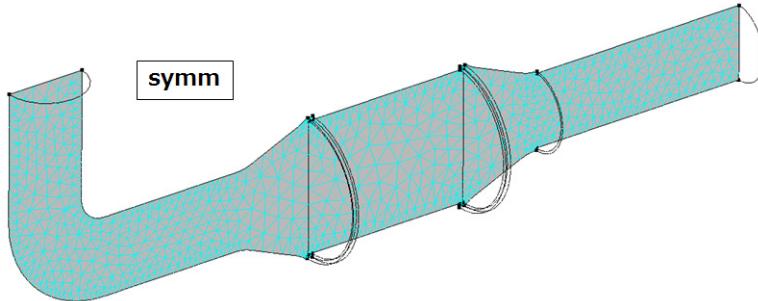
- 流入口[inlet]、流出口[outlet]、触媒側壁部[surf-cata]を登録します。



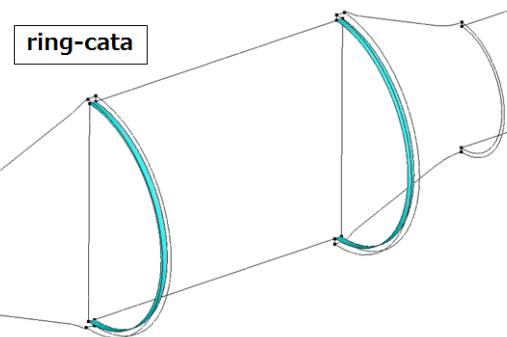
- 2つの面を[pipe]として登録します。



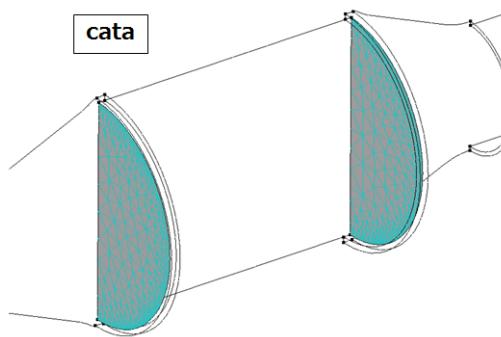
- 
- 対称面を[symm]として登録します。



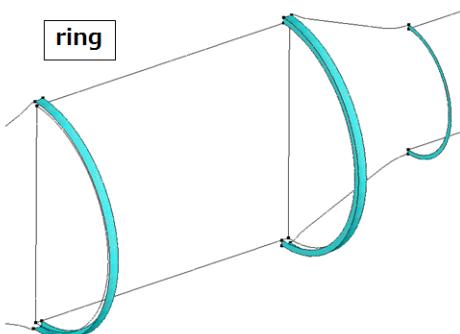
- 2つの面を[ring-cata]として登録します。



- 触媒出入口部の2面を[cata]として登録します。



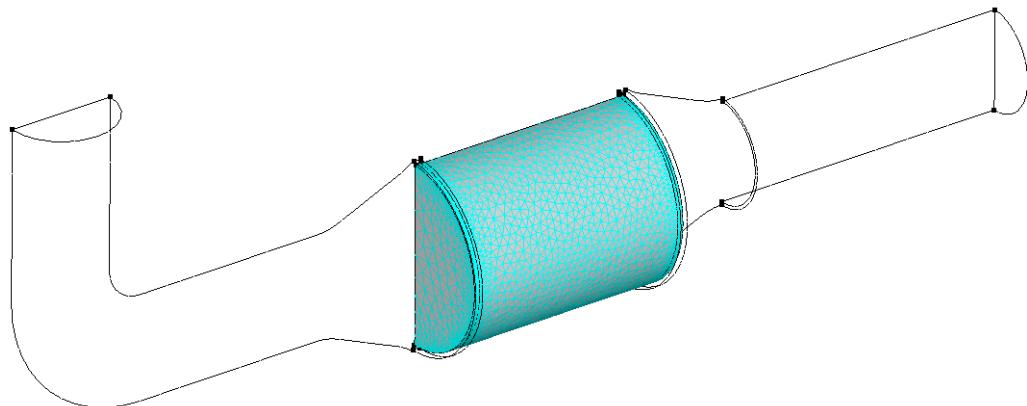
- 合計5つのリング状の面を[ring]として登録します。



---

#### 4. 体積領域の登録

- 圧力損失条件を与えるため、触媒に相当する体積領域を[catalyst]として登録します。



#### - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

##### 1. 解析選択

- 乱流を解く設定とします。(デフォルト設定)

##### 2. 基本選択

- [解析方法]で[定常解析] (デフォルト設定) を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [200] (デフォルト設定)

##### 3. 物性値・基準値

- MAT1の物性として、800°C相当の空気（非圧縮性）の物性を入力します。
  - 密度 : 0.3293[kg/m<sup>3</sup>]
  - 粘性係数 : 4.509e-5[Pa · s]
  - 定圧比熱 : 1155[J/(kg · K)]
  - 热伝導率 : 0.07049[W/(m · K)]

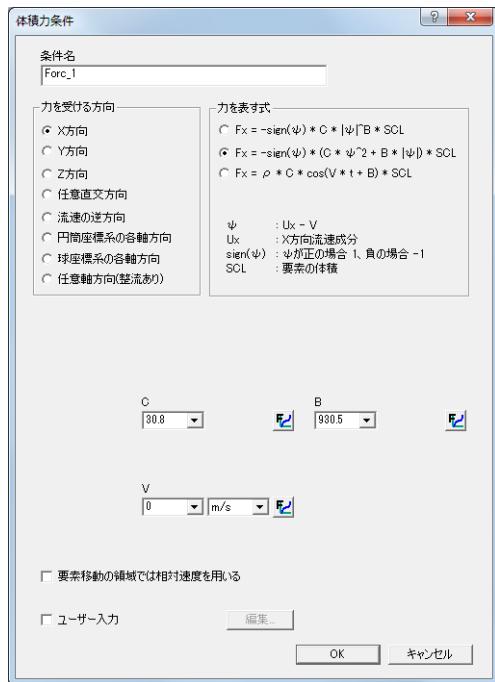
##### 4. 境界条件

- 以下の境界条件を設定します。

- [inlet] : 流量規定 (流入質量流量=0.075[kg/s])  
※ 実形状における質量流量は0.15[kg/s]ですが、ハーフモデルのため流量を半分にしています。
- [outlet] : 表面圧力規定 (0[Pa])
- [pipe], [ring] : 壁面（静止壁）

##### 5. 発生条件

- 体積領域[catalyst]に対して、下図の設定を行い、圧力損失条件を与えます。

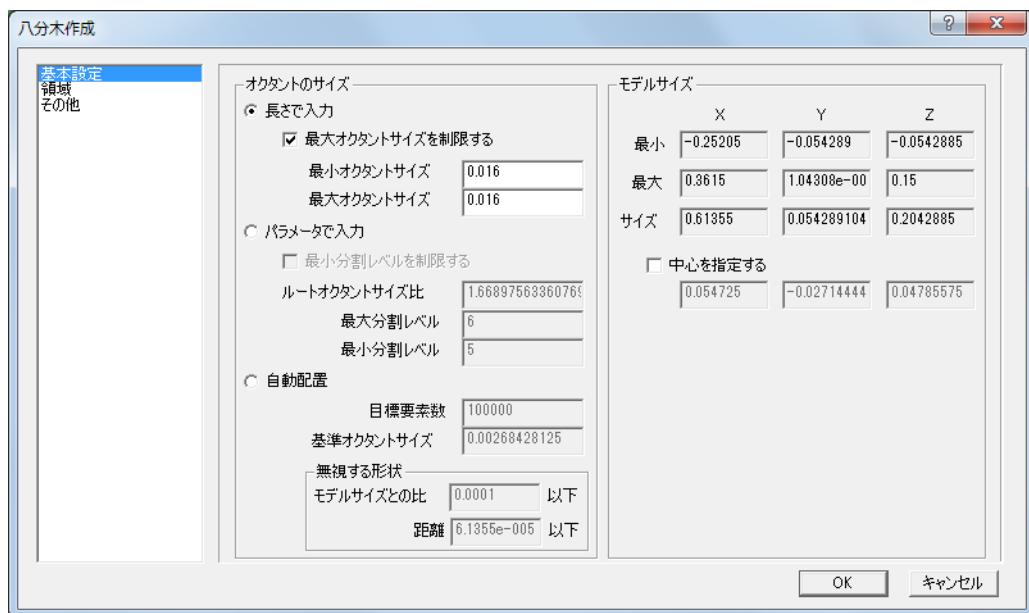


## - 解析メッシュ

### 1. オクタント作成

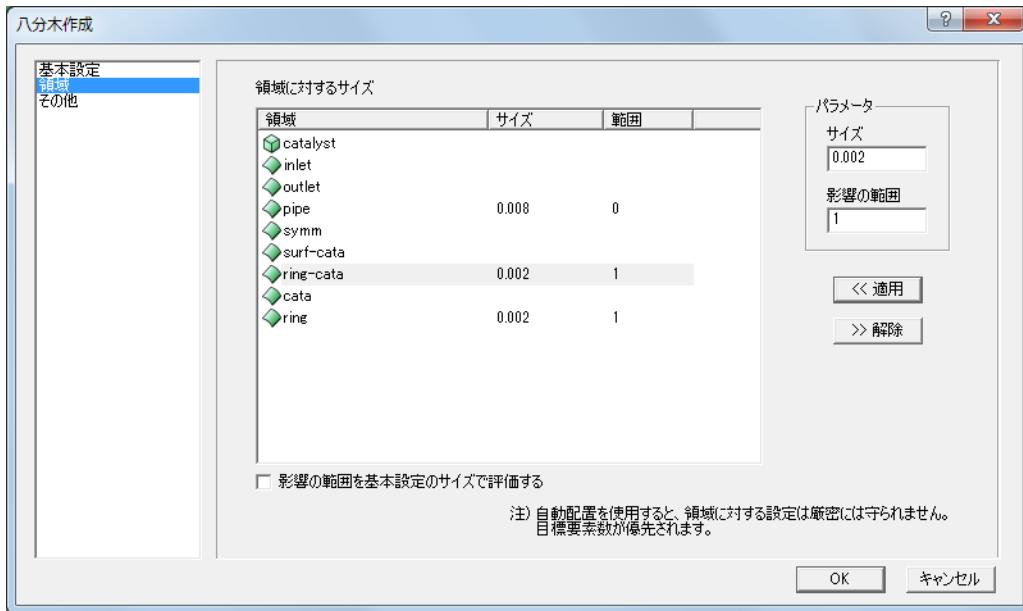
以下の手順で八分木を作成し、OCTファイルを保存します。

- ・ [編集]-[八分木作成]をクリックします。
- ・ 表示された八分木作成ダイアログで[最大オクタントサイズを制限する]にチェックを入れ、以下の値を入力します。  
[最小オクタントサイズ] : 0.016  
[最大オクタントサイズ] : 0.016



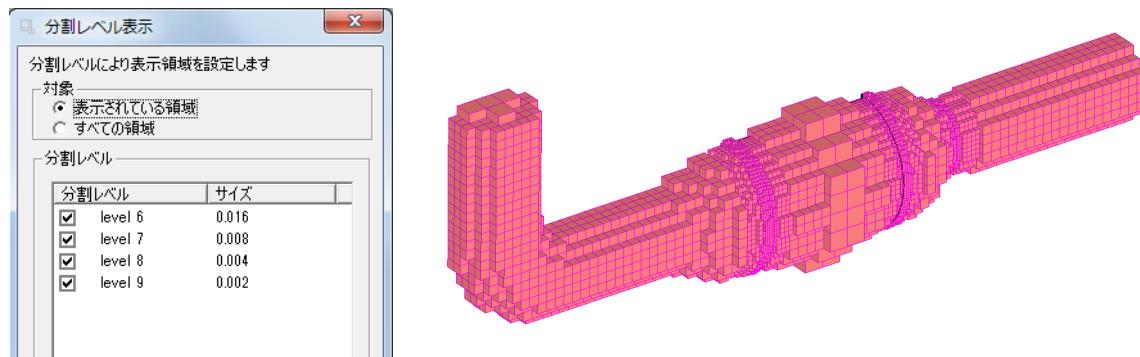
- ・ [領域]をクリックし、領域に対するサイズに以下の様な設定を行い、[OK]をクリックします。
  - ・ [pipe] : サイズ=0.008、範囲=0

- [ring]、[ring-cata] : サイズ=0.002、範囲=1



- 分割の終了後、[表示]-[分割レベル表示]または、[右クリック]-[分割レベル表示]で表示される[分割レベル表示]ダイアログからオクタントの大きさをチェックします。

※ 最終オクタント数：10,542



## 2. メッシュ作成

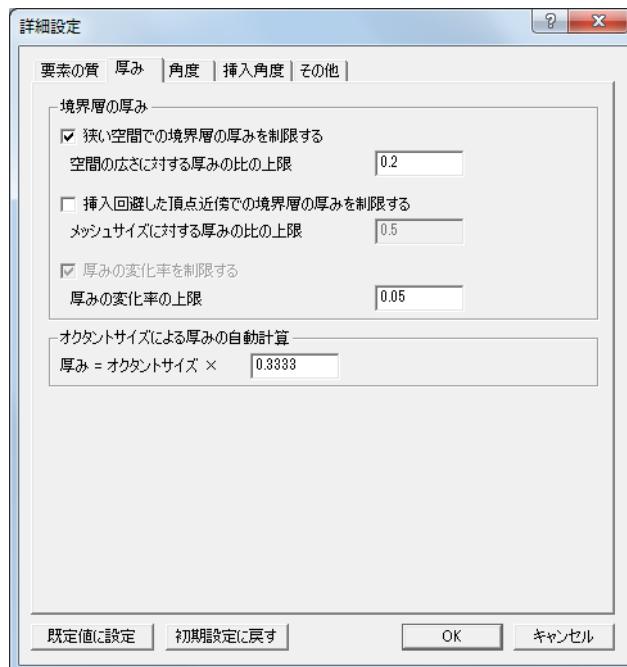
- [実行]-[表面メッシュ作成]から[境界層要素挿入]までを選択し、[連続実行]ダイアログを表示します。
  - [必要なデータ]を選択し、前ページで保存したMDLファイルとOCTファイルを指定します。ファイルの指定はエクスプローラからのドラッグ&ドロップにて可能です。
  - [作成されるデータ]で保存場所と保存名を確認します。
- ※ Sファイルは、メッシュの作成には必要ありません。
- 続いて[境界層要素挿入パラメータ]の設定をクリック、[境界層要素挿入パラメータ] ダイアログを表示し、下記の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[pipe] [cata]	[1.6e-3]	[1.1]	[2]
[ring-cata] [ring]	[8e-4]	[1.1]	[2]

※ 基本的に壁面でない面は境界層要素を挿入する必要はありませんが、圧損体と流体との境界([cata])では二次流れ発生し、流れが複雑になるため、境界層要素を挿入します。

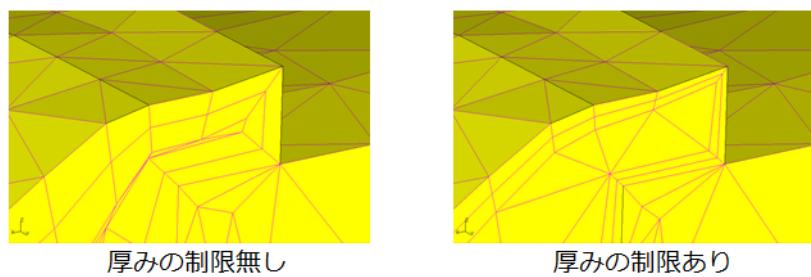


- [詳細設定]を選択し、[厚み]タブで[狭い空間での境界層要素の厚みを制限する]をONにします。
- [空間の広さに対する厚みの比の上限]に0.2(デフォルト)を入力、[OK]をクリックして[詳細設定]ダイアログを閉じます。



※ 今回のモデルのような、狭い空間（触媒とダクトの結合部）に境界層要素を入れる場合は、その空間内の要素の厚みを制限することで、メッシュを適切に配置することができます。

### [ring]周辺のメッシュ比較（同じオクタント、境界層要素で比較）



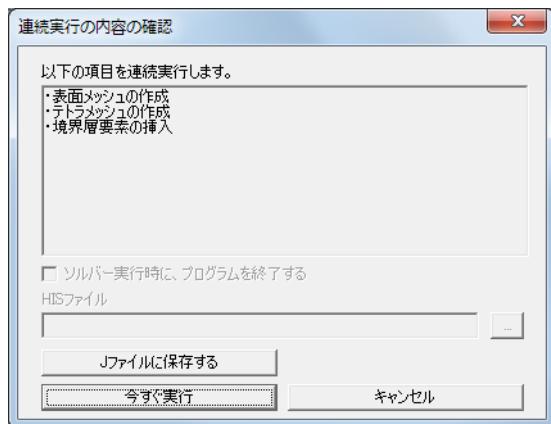
#### 境界層要素挿入パラメータについて

- $y^+$ とは抵抗のある壁からの無次元距離で、流体の密度・粘性係数・摩擦速度から決まります。なお流体の密度・粘性係数はあらかじめ求めることができますが、摩擦速度を知るためにには計算を実施し、計算結果を参照する必要があります。しかし、一般にはおおよそ平均流速の5%程度で推移することが知られていますのである程度類推することは可能です。
- $y^+$ の値は、一般に境界層要素の厚さによって求まり、対数則は $y^+$ の値が30~1,000程度の範囲で成立します。  
SCRYU/Tetraでは対数則を用いているため、この値を50~150程度になると、比較的精度の高い結果が得られる傾向にあります。
- 下図に $y^+$ が不適切な例を示します。（LFileViewで見た図です。） $y^+$ が5以下に集中していることがわかります。

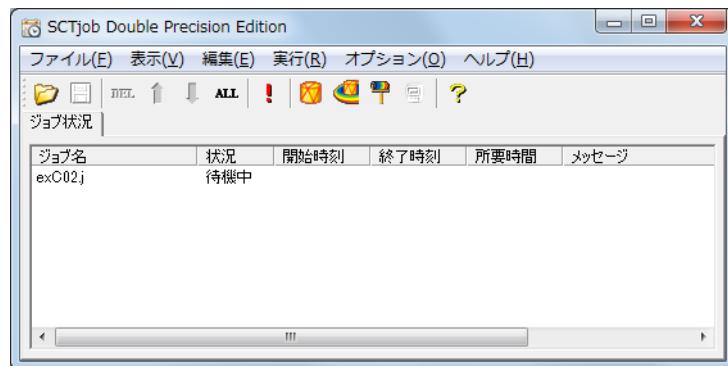
```
== YPLUS MIN-MAX ==
  NODE      YPLUS      DIST      TAUWALL      TURK      TEPS
MAX    10265  0.558712  0.000999468  10.1472  0.0380045  3.04513
MIN    37063  0.000000  0.000000  0.000000  1.000000e-09  1.000000e-09
  NODE      X          Y          Z
           X          Y          Z
10265   0.0432288 -0.0242331  0.146652
37063  -0.00260846 -0.0308704  0.180348
```

```
(YPLUS DISTRIBUTION)
  0 - 5 : 10281
  5 - 30 : 0
  30 - 100 : 0
  100 - 300 : 0
  300 - 1000 : 0
  1000 - Inf : 0
```

- 摩擦のある壁では $y^+$ を上記の値程度に抑えなければ高い精度の結果が得られませんので、可能な限りこの範囲に収まるよう、境界層の厚さを抑える必要があります。また、フリースリップ面や対称面（鏡面）といった壁面でない面では摩擦を考慮する必要はありませんので、境界層の挿入は不要となります。
  - $y^+$ の正確な値は実際に計算を試さないと分かりませんので、もし計算結果がうまく得られない場合等は、 $y^+$ の分布を確認し、 $y^+$ が適切な範囲に収まるようメッシュを切り直します。
  - [OK]をクリックし、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを閉じます。
  - [連続実行]ダイアログの[OK]をクリックし、表示された[連続実行の内容の確認]ダイアログ（下図）の[Jファイルに保存する]をクリックし、境界層要素の設定をJファイルに保存します。
- ※ Jファイルに境界層要素の設定を保存せずに[今すぐ実行]をクリックした場合、境界層要素挿入に関する情報が保存されません。

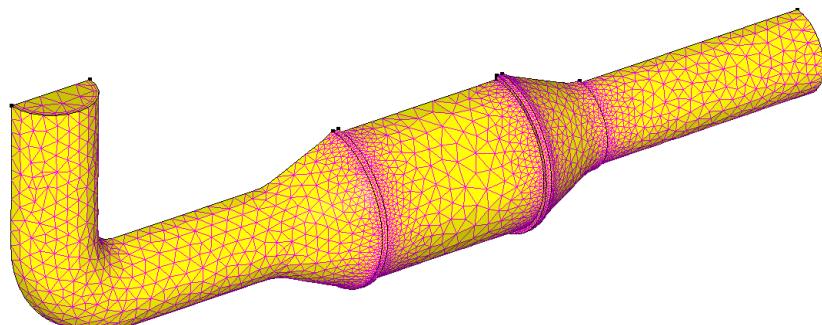


- 保存したJファイルをSCTjobに読み込み、実行ボタンをクリックすると、メッシュ作成がスタートします。
- ※ SCTjobで実行した場合にはログファイルが保存されます。
- ※ 保存されるログファイルには、SCTjobの進行状況がリアルタイムで出力され、エラーが発生した際もその詳細がこのファイルに出力されます。

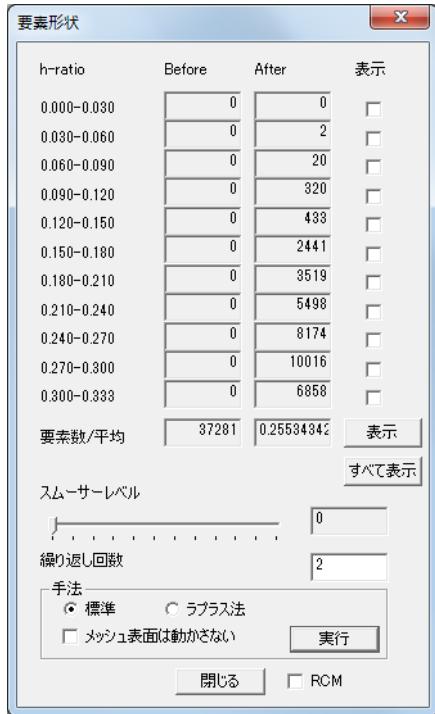


### 3. メッシュチェック

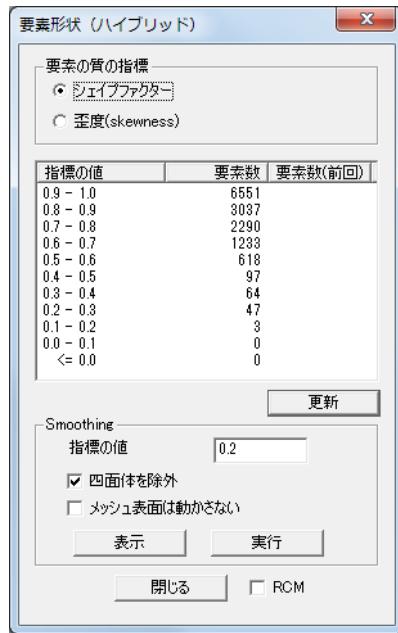
- 作成されたメッシュはPREファイル（exC02.pre）として保存されます。
- ※ 要素数=51,221、節点数=15,385



- 指定した場所に境界層が入っているか、メッシュが粗すぎないかを目視でチェックします。例題のため今回は粗いメッシュを設定していますが、多くの場合、より細かいメッシュを作成する必要があります。
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック]を選択すると 下図のような要素形状ダイアログ内にh-ratioの分布が表示されます。



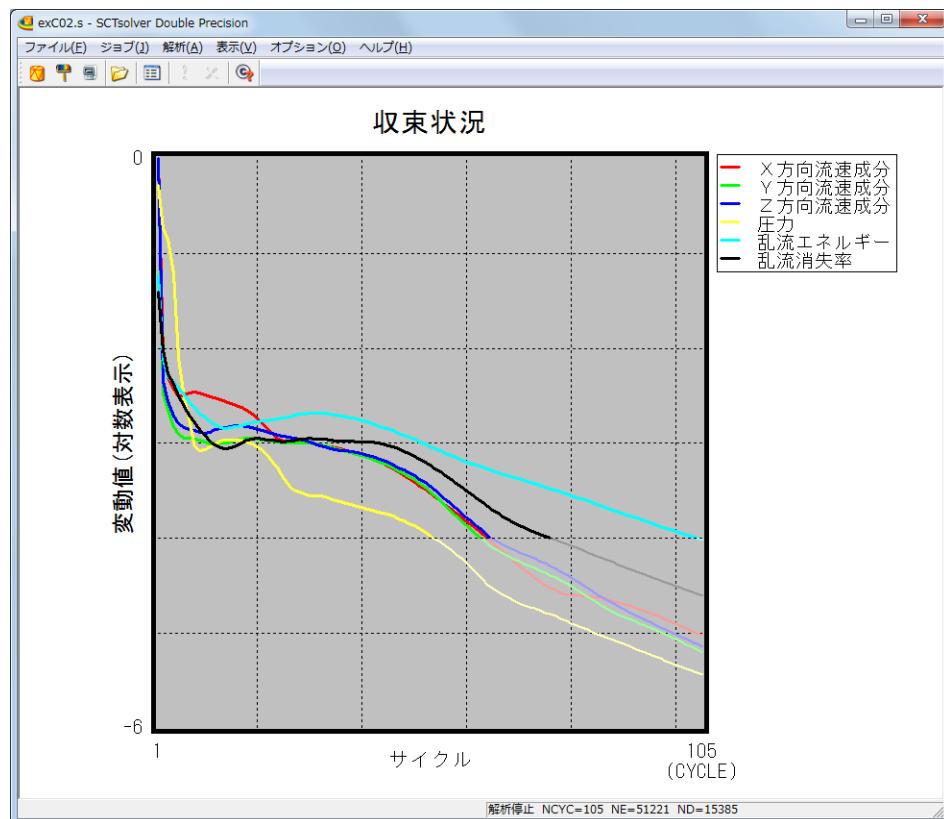
- h-ratioとは三角形の内接球と外接球の半径の比で、最も良い形状の場合は0.333となり、形状が悪い程0へ近づきます。
  - 通常は0.03以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.03以下の要素があるかチェックします。
  - もし h-ratio : 0.03 以下の要素が多くある場合は、[0.000-0.030] 右のチェックボックスをONとし、[表示]をクリックすることで、該当する要素のみがドローウィンドウに表示されますので、その周囲のメッシュを細かくする、またはスムージング機能を使用してメッシュの質の改善を行います。
- ※ 通常、スムージングは一度に行うのではなく、スムーサーレベルを段階的に分けて繰り返し行い、メッシュの質を徐々に上げていきます。
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック（ハイブリッド）]を選択し、下図のような[要素形状（ハイブリッド）]ダイアログでShape Factorの分布を表示します。



- Shape Factor はテトラ要素以外のプリズム要素、ピラミッド要素の質を表すパラメータで、最も質の良い形状の場合は1.0となり、形状の質が悪い程0に近づきます。
  - 通常は0.1以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.1以下の要素があるかチェックします。
  - もし Shape Factor : 0.1以下の要素が多くある場合は、以下の手順で修正をします。
    - 境界層の厚みを変えるか、隣接するメッシュを細かくする。
    - スムージングを行う。
    - Shape Factorに0.1と入力し、実行をクリックします。
- ※ 0.1未満の値を入力した場合には境界層の厚みが不揃いとなる可能性があります。

## - 解析実行

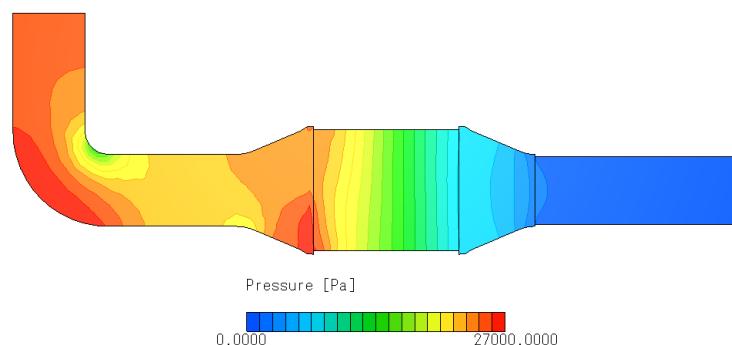
Sファイルをソルバーに読み込み、実行をクリックすると計算が開始します。[収束状況]から、最終的に105サイクル目でグラフ上のすべての変数が定常判定値 $10^{-4}$ （下図対数グラフでは-4）に達していることが分かります。



## - 解析結果

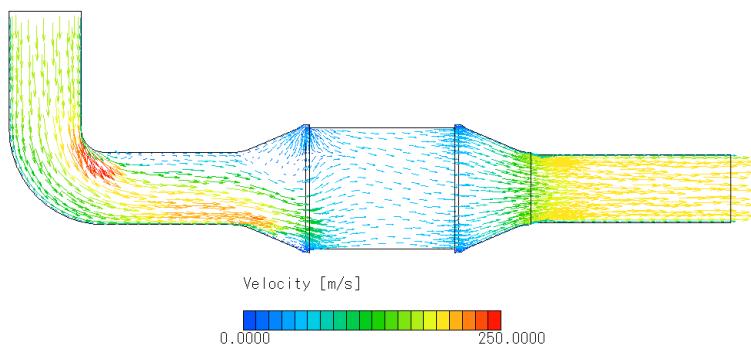
### 1. 圧力コンター図

- 表面オブジェクトを利用することで、任意の面領域にスカラー変数のコンターを描画することができます。
- [作成]-[表面]から、表面オブジェクトを作成し、[領域]タブの[表示する登録表面]で"MAT境界"をOFF、"symm"をONにします。
  - [コンター]タブの[表示]をON、変数で[圧力(PRES)]を選択し、[塗りつぶし]で[表][裏]共にONとして再描画を行うと、ダクトの中心断面上に圧力のコンターが描画されます。



### 2. 流速ベクトル図

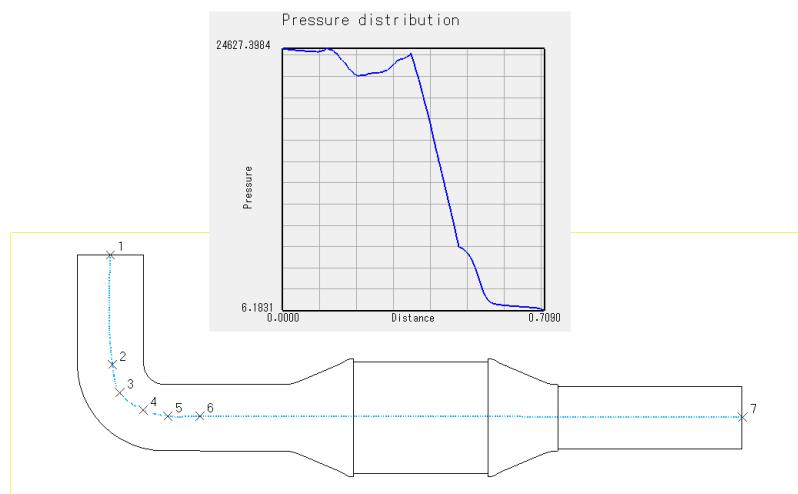
- ベクトルを描画するにはコンターと同様、[ベクトル]タブの[表示]にチェックを入れ、[変数]に[流速(VEL)]が選択されていることを確認し、再描画を行うとダクトの中心断面上に流速ベクトルが描画されます。



### 3. 配管の流入口から流出口までの圧力変動

曲線オブジェクトを使用することで、曲線上の一次元圧力分布グラフを作成することができます。

- [作成]-[変数グラフ]を選択し、曲線オブジェクトを作成します。
- ダクトの中心を通る曲線上の値を参照するため、曲線オブジェクト[参照平面]タブ[軸に垂直]で[Y軸]を選択し [座標]をダクトの中心座標付近の[-0.001]に設定します。
- ※ ダクト中心のY座標は正確にはゼロですが、グラフの参照平面がモデルに接した状態ですと、うまく描画できない場合があります。このような場合は、参照平面を微少量だけモデルの内部に食い込ませることでうまく描画することが可能となります。
- [変数]タブの[変数]で[圧力(PRES)]が選択され、[グラフ]で表示中のグラフが選択されていることを確認します。
- ドローウィンドウ上で下図のように配管内をクリックしていくと、それらを連ねた曲線上の変数グラフが作成されます。

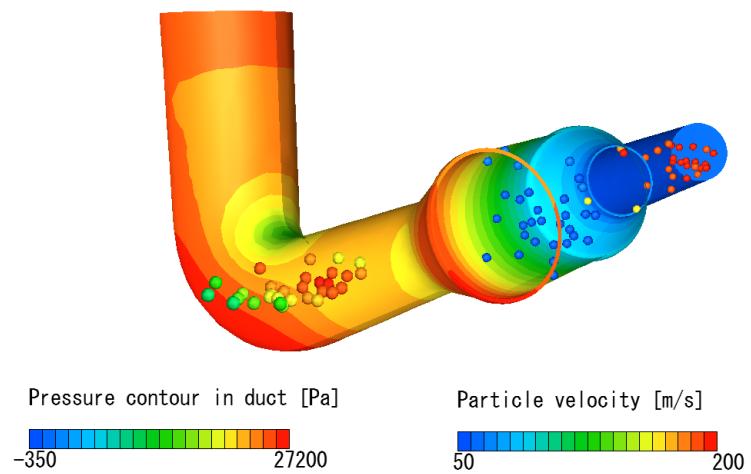


### 4. 視点自動移動オブジェクトと流線オブジェクトを用いたアニメーション

- [視点自動移動]オブジェクトを用いることにより、下図のような視点方向を回転させるアニメーションを作成することができます。
- 本例題データフォルダ内のUFO.staをPOSTに読み込み、以下の操作を行うことでアニメーションを再現できます。
  - UFOオブジェクトの[移動方法]タブにおいて、[視点自動移動開始]にチェックを入れます。
  - ⏴ をクリックするとアニメーションが実行されます。

---

800 deg. temperature air flow in a duct



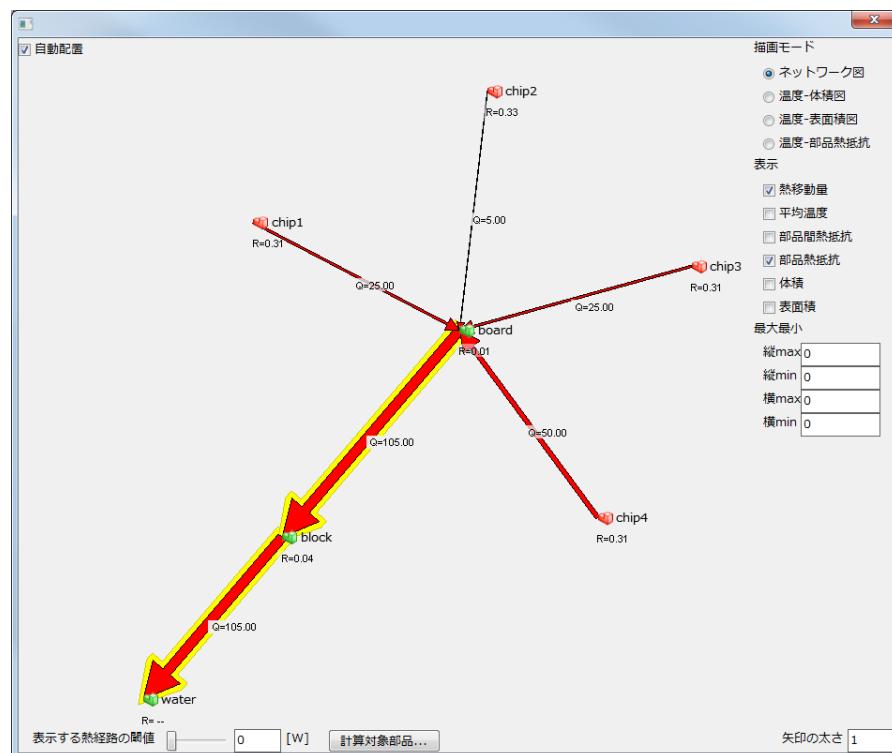
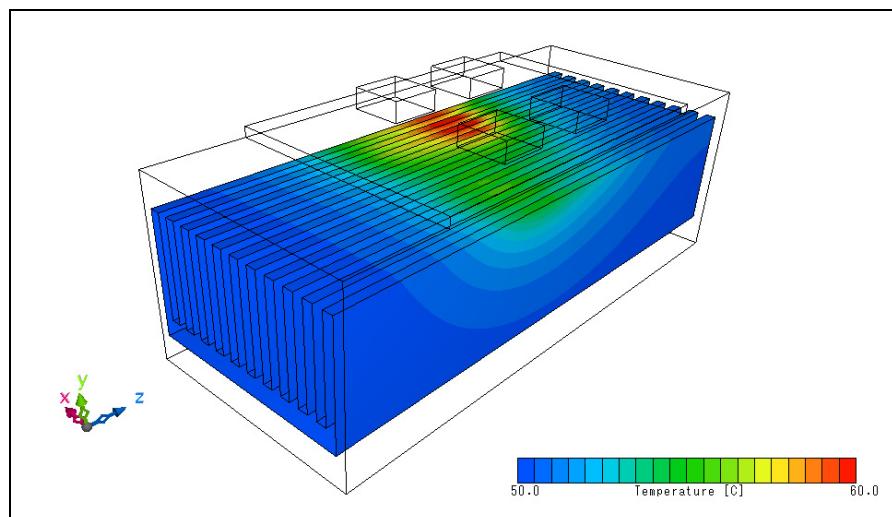
---

## 應用例3 電子機器

---

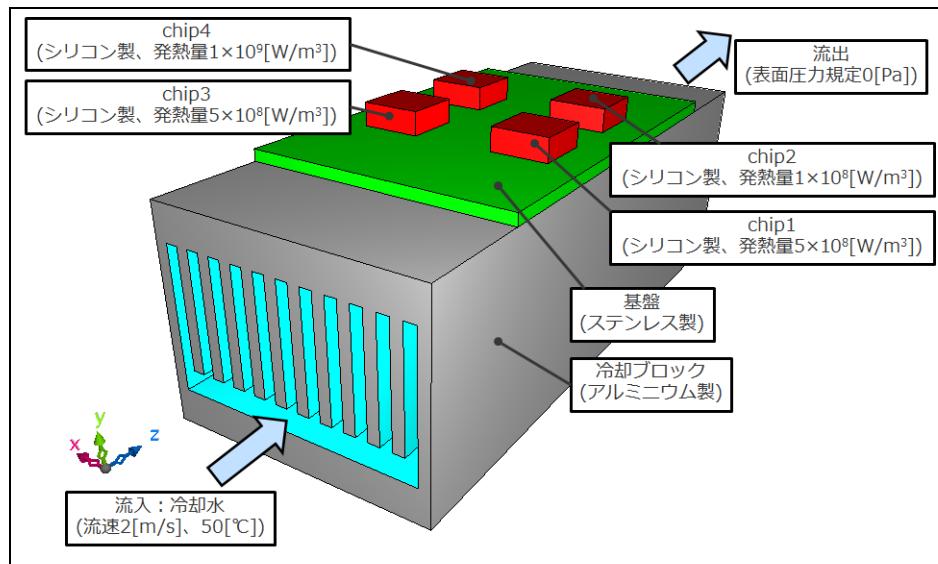
電子機器は私たちの生活には既に欠かすことができない重要な工業製品です。特に最近では電子機器の小型化、高性能化に伴って、部品の集積率が高まってきています。電子部品は電気の持つエネルギー(電位差間の落差(ポテンシャル))により駆動され、所定の機能を発揮しますが、それらはほとんど必ず電気抵抗を含み、残念なことにその動作とともに、電気抵抗による発熱を伴います。その発热量も、上記のような高集積化により、電子部品本来の動作に明らかに悪影響を与えるほど高まってきており、効率的な排熱が、機器性能をさらに向上させるために非常に重要な要素となっています。これらは総じて「熱マネジメント」とも呼ばれ、現在の重要な工学的研究テーマにもなっています。確かに、超伝導技術など、解決の糸口は見出されつつあるものの、生産コスト上、実用化は未だ遠く、まだしばらくは電子機器の性能向上において熱との戦いは付いて回ることになりそうです。

この例題ではある電子機器を模擬して、発熱を伴う電子部品を水冷する様子を解析しようとするものです。典型的な、熱流れ解析の有効な応用例とも言えましょう。ここでは、異なる複数の物性を持つモデルへの条件設定のしかた、また、固体物性と流体物性間の効率的な面領域の登録のしかたについて着目してみてください。



基板の上に置かれた4つのチップから発せられる熱が、基板を通じて冷却装置により冷却され、最終的にどのような温度分布で落ち着くのかを解析します。また、HeatPathViewを用いて熱経路を確認します。

## 解析モデル



## 解析手順

### - 解析モデル作成

SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]よりexC03.stlを読み込み、以下の設定を行いMDLファイルを保存します。

1. モデルのクリーニング（モデルデータの確認）
  - モデルデータ（STLデータ）に問題が無いか、確認します。
  - [編集]-[モデル修正]-[辺の重なり診断]を選択し、孤立辺がないことを確認します。
  - [編集]-[モデル修正]-[重なった面の検出]を選択し、面の重なりが存在しないことを確認します。
  - [編集]-[モデル修正]-[干渉面の検出]を選択し、干渉面が存在しないことを確認します。

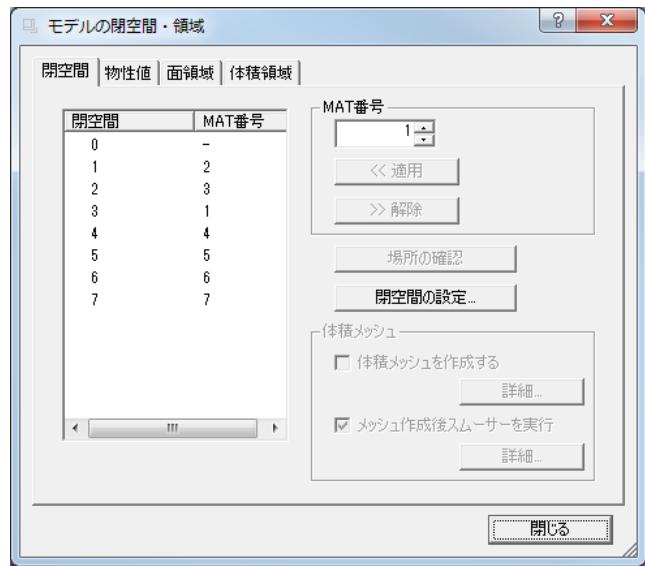
### 2. 閉空間/MAT番号の設定

- [編集]-[閉空間/MAT番号の設定(モデル)]を選択し、閉空間を確認します。

※ 8個の閉空間が認識されます。

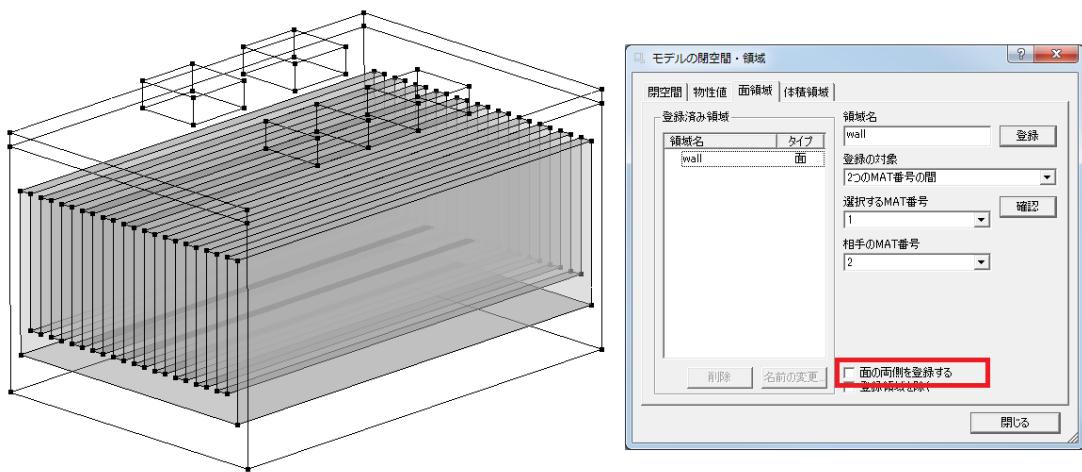
以下のようにMAT番号を設定します。熱経路出力をするため、同一物性でもMAT番号は別にしておきます。

閉空間1(冷却プロック)	:	MAT番号2
閉空間2(基盤)	:	MAT番号3
閉空間3(冷却水)	:	MAT番号1
閉空間4~7(chip1~4)	:	MAT番号4~7

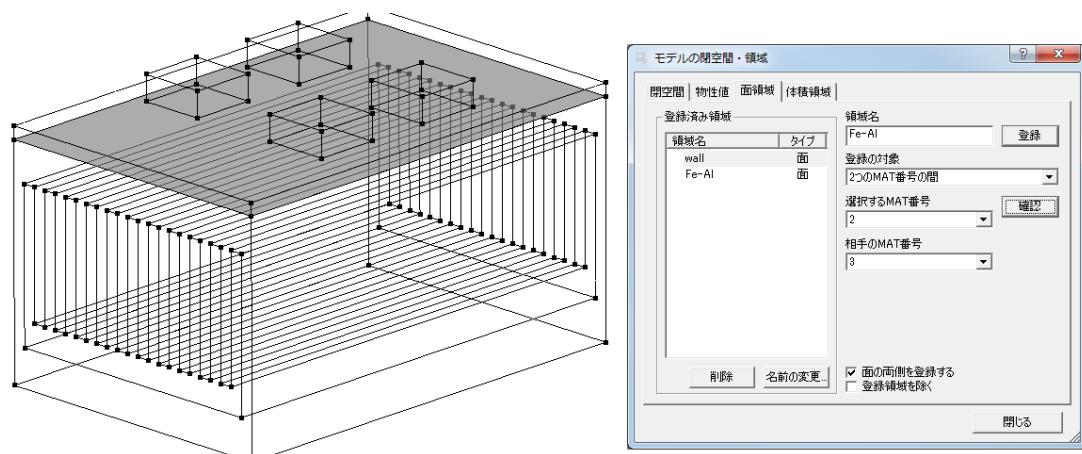


### 3. 面領域の登録

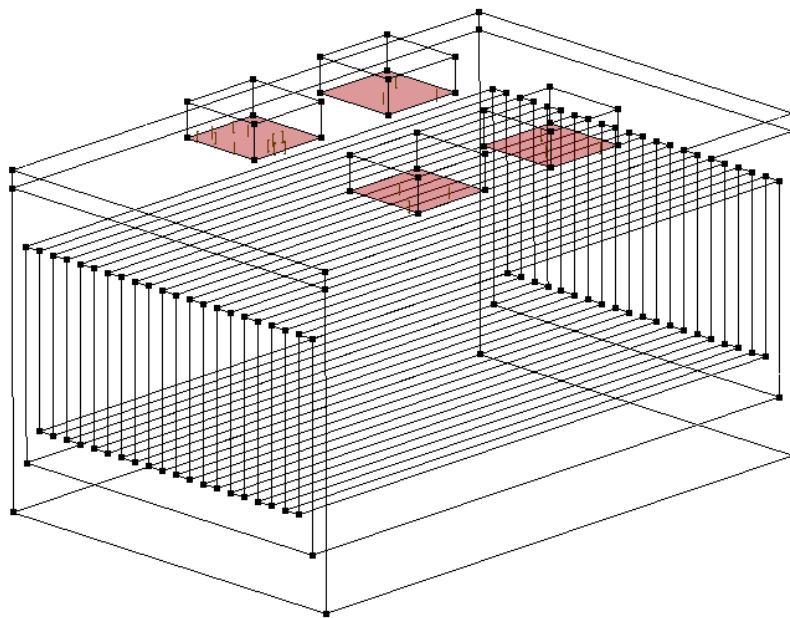
- MAT番号1と2の間の面を[wall]として登録します。冷却水側の面のみに境界層要素を挿入するため、片面のみを登録します。



- MAT番号2と3の間の面を[Fe-Al]として登録します。



- 
- MAT番号3と4～7の間の面を[chip1-Fe]、[chip2-Fe]、[chip3-Fe]、[chip4-Fe]として登録します。



#### 4. 体積領域の登録

- 閉空間1 : 冷却ブロックを[block]として登録します。
- 閉空間2 : 基盤を[board]として登録します。
- 閉空間3 : 冷却水を[water]として登録します。
- 閉空間4～7 : hip1～4を[chip1]、[chip2]、[chip3]、[chip4]として登録します。

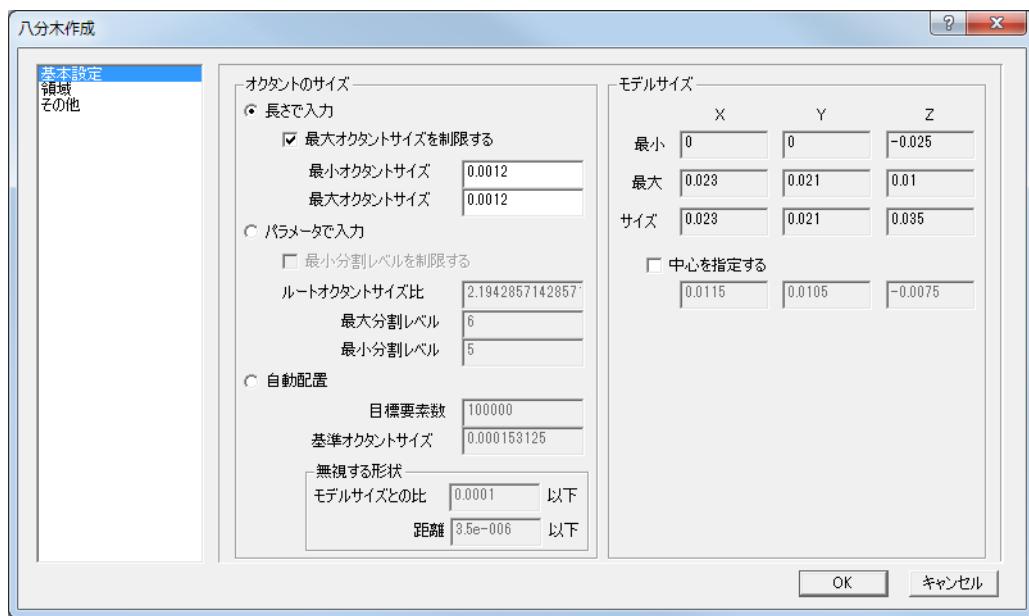
## - 解析メッシュ

### 1. オクタント作成

以下の手順で八分木を作成し、OCTファイルを保存します。

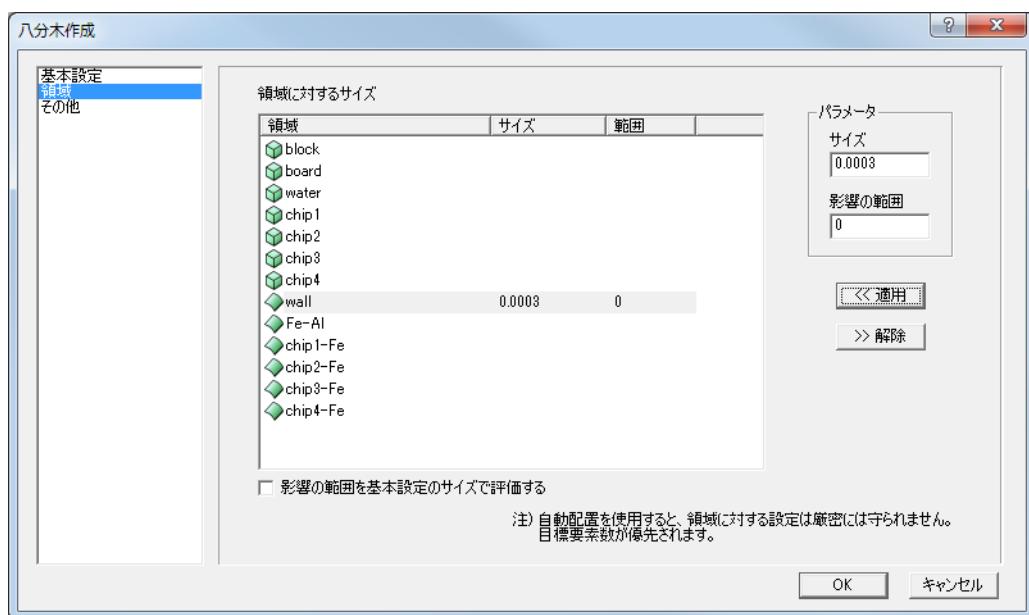
- ・ [編集] - [八分木作成]をクリックします。
- ・ 表示された八分木作成ダイアログで[最大オクタントサイズを制限する]にチェックを入れ、以下の値を入力します。

[最小オクタントサイズ] : 0.0012  
[最大オクタントサイズ] : 0.0012



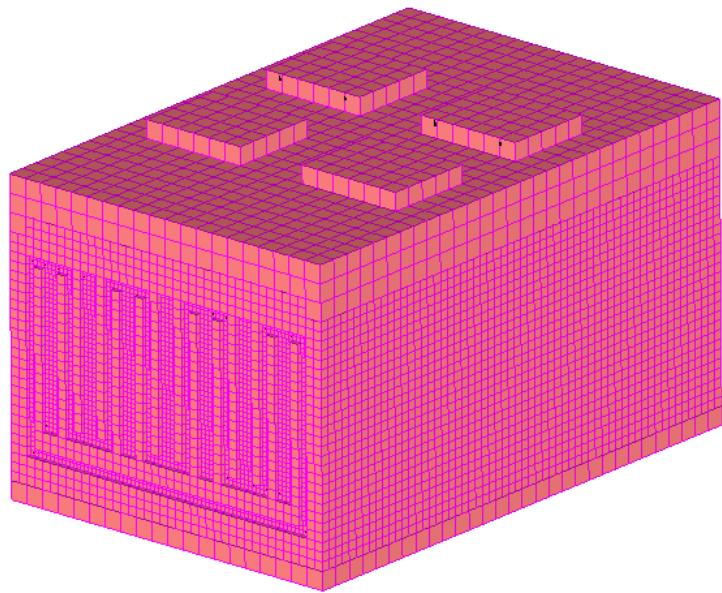
- ・ [領域]をクリックし、領域に対するサイズに以下の様に設定します。

[wall] : サイズ=0.0003、範囲=0



- ・ [OK]をクリックします。

※ オクタント数 254,100



## 2. メッシュ作成

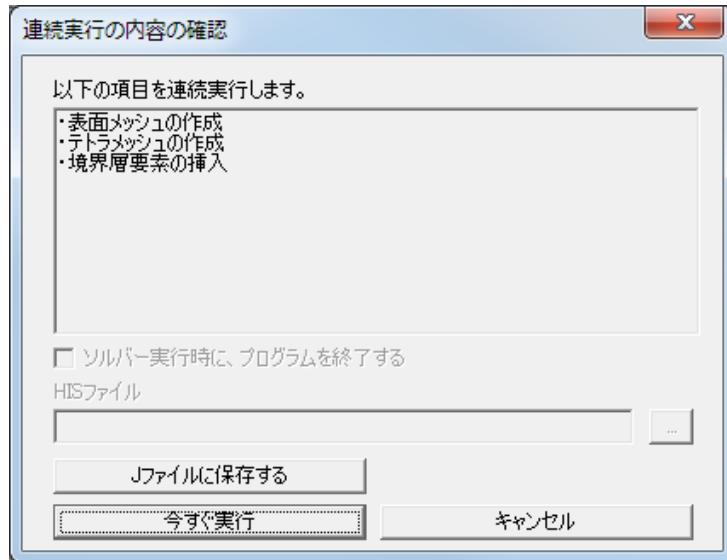
- [実行] - [表面メッシュ作成]から[境界層要素挿入]までを選択し、[連続実行]ダイアログを表示します。
  - [必要なデータ]に前ページで保存したMDLファイルとOCTファイルを指定します。ファイルの指定はエクスプローラからのドラッグ&ドロップにて可能です。
  - [作成されるデータ]で保存場所と保存名を確認します。
- ※ Sファイルは、メッシュの作成には必要ありません。
- 続いて[境界層要素挿入パラメータ]の設定をクリック、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを表示し、下記の設定を行います。

領域名	1層目の厚さ	変化率	層数
wall	0.0001	1	2

### 境界層要素挿入パラメータについて

- $y^+$ とは抵抗のある壁からの無次元距離で、流体の密度・粘性係数・摩擦速度から決まります。なお流体の密度・粘性係数はあらかじめ求めることができますが、摩擦速度を知るためにには計算を実施し、計算結果を参照する必要があります。しかし、一般にはおおよそ平均流速の5%程度で推移することが知られていますのである程度類推することは可能です。
- $y^+$ の値は、一般に境界層要素の厚さによって求まり、低レイノルズ数型乱流モデルの場合、 $y^+$ の値を1程度とした場合に最も高い精度で結果が得られることが知られています。
- 摩擦のある壁では $y^+$ を上記の値程度に抑えなければ高い精度の結果が得られませんので、可能な限りこの範囲に収まるよう、境界層の厚さを抑える必要があります。また、フリースリップ面や対称面（鏡面）といった壁面でない面では摩擦を考慮する必要はありませんので、境界層の挿入は不要となります。
- $y^+$ の正確な値は実際に計算を試さないと分かりませんので、もし計算結果がうまく得られない場合等は、 $y^+$ の分布を確認し、 $y^+$ が適切な範囲に収まるようメッシュを切り直します。

- [OK]をクリックし、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを閉じます。
  - [連続実行]ダイアログの[OK]をクリックし、表示された[連続実行の内容の確認]ダイアログ（下図）の[Jファイルに保存する]をクリックし、境界層要素の設定をJファイルに保存します。
- ※ Jファイルに境界層要素の設定を保存せずに[今すぐ実行]をクリックした場合、境界層要素挿入に関する情報が保存されません。



- 保存したJファイルをSCTjobに読み込み、実行ボタンをクリックすると、メッシュ作成がスタートします。
- ※ SCTjobで実行した場合にはログファイルが保存されます。
- ※ 保存されるログファイルには、SCTjobの進行状況がリアルタイムで出力され、エラーが発生した際もその詳細がこのファイルに出力されます。



### 3. メッシュチェック

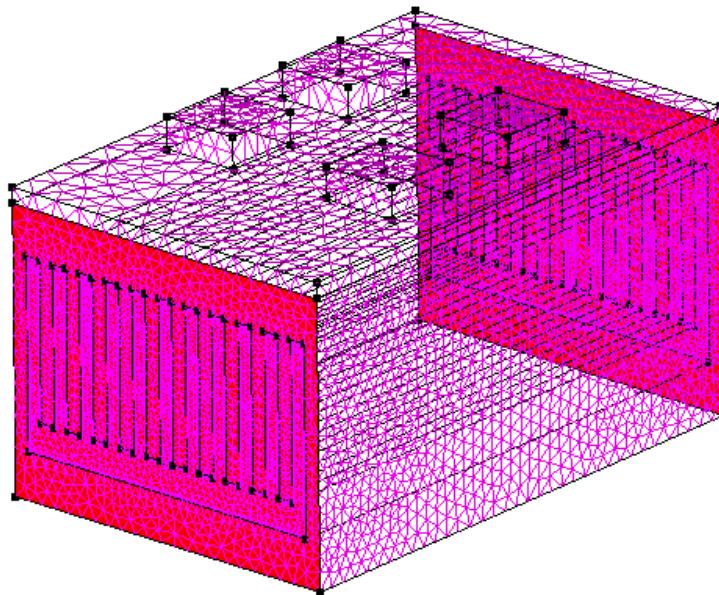
- 指定した場所に境界層が入っているか、メッシュが粗すぎないかを目視でチェックします。例題のため今回は粗いメッシュを設定していますが、多くの場合、より細かいメッシュを作成する必要があります。
- メッシュモードで[表示] - [要素形状チェック] - [要素形状チェック]を選択すると要素形状ダイアログ内にh-ratioの分布が表示されます。
- h-ratioとは三角形の内接球と外接球の半径の比で、最も良い形状の場合は0.333となり、形状が悪い程0へ近づきます。
- 通常は0.03以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.03以下の要素があるかチェックします。

- 
- もし h-ratio : 0.03 以下の要素が多くある場合は、[0.000-0.030] 右のチェックボックスをONとし、[表示]をクリックすることで、該当する要素のみがドローウィンドウに表示されますので、その周囲のメッシュを細かくする、またはスムージング機能を使用してメッシュの質の改善を行います。
- ※ 通常、スムージングは一度に行うのではなく、スムーサーレベルを段階的に分けて繰り返し行い、メッシュの質を徐々に上げていきます。
- メッシュモードで[表示] - [要素形状チェック] - [要素形状チェック (ハイブリッド)]を選択し、[要素形状 (ハイブリッド)]ダイアログで Shape Factor の分布を表示します。
  - Shape Factor はテトラ要素以外のプリズム要素、ピラミッド要素の質を表すパラメータで、最も質の良い形状の場合は1.0となり、形状の質が悪い程0に近づきます。
  - 通常は0.1以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.1以下の要素があるかチェックします。
  - もし Shape Factor : 0.1以下の要素が多くある場合は、以下の手順で修正をします。
    - 境界層の厚みを変えるか、隣接するメッシュを細かくする。
    - スムージングを行う。
    - Shape Factorに0.1と入力し、実行をクリックします。
- ※ 0.1未満の値を入力した場合には境界層の厚みが不揃いとなる可能性があります。

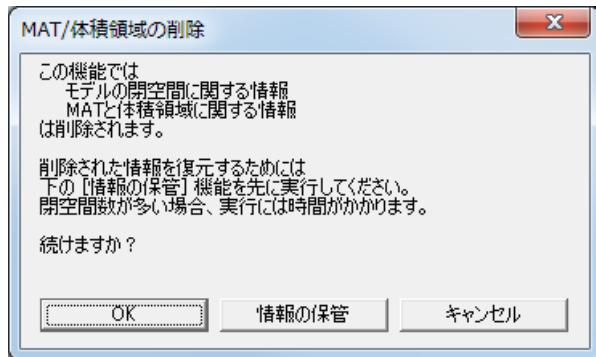
#### 4. メッシュの掃引

冷却ブロック、冷却水のメッシュをZ軸方向に引き伸ばします。

- モデルモードで冷却ブロックと冷却水のZ座標最大・最小面を選択し、[編集] - [選択領域の移動] - [面からメッシュへ]を選択します。

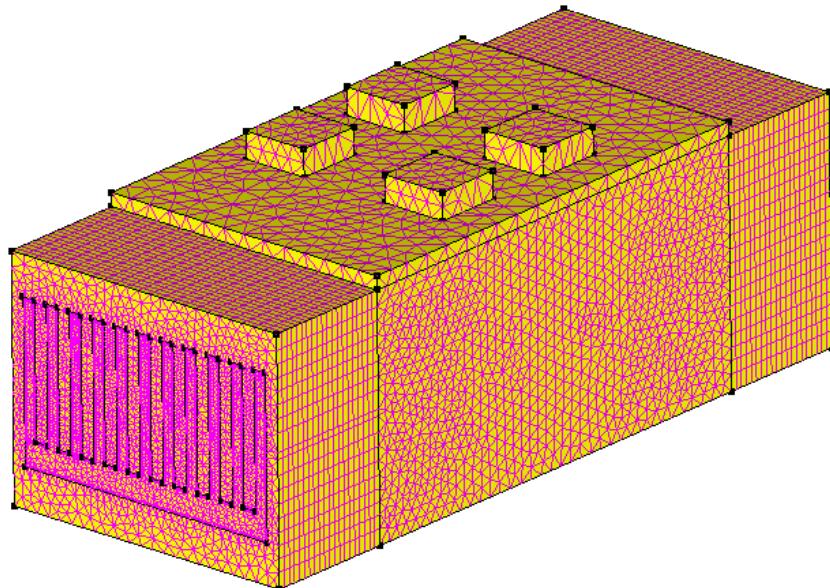


- 
- [編集] - [選択面を掃引して要素を生成]を選択し、[MAT/体積領域の削除]ダイアログではそのまま[OK]をクリックして次へ進みます。



- [メッシュの面を掃引して要素を生成]ダイアログの[法線]タブで下記のように入力し、[OK]をクリックすると、Z軸負方向へ引き伸ばされたメッシュが作成されます。

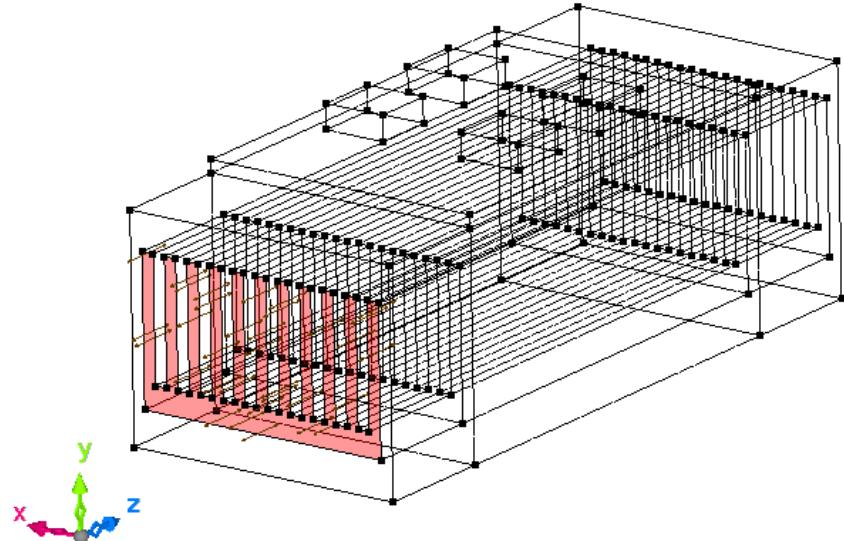
初期厚み	0.0005
厚みの変化率	1
層数	20



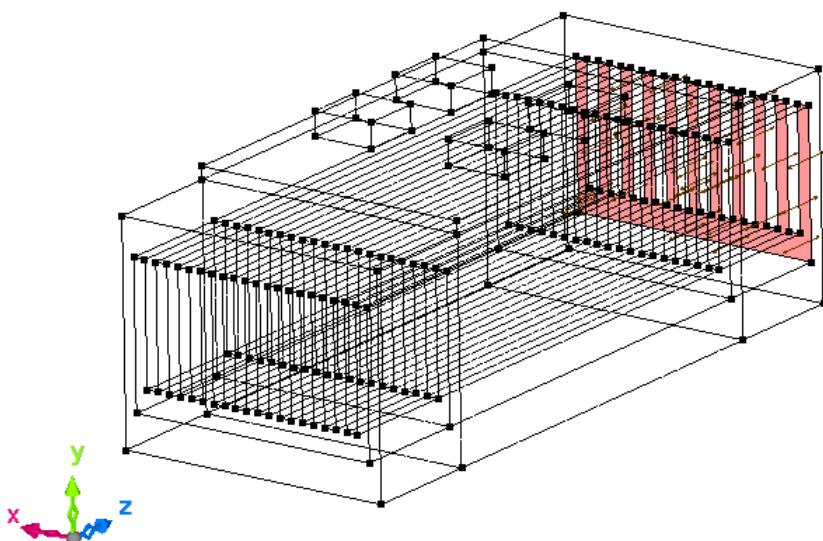
---

## 5. 面領域の登録・修正

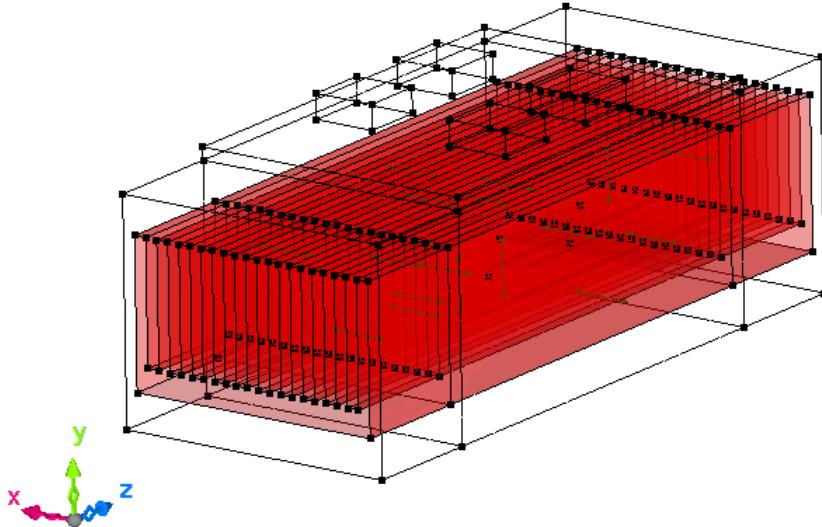
- メッシュの掃引により追加された面・体積に対し、領域登録を行います。
- 冷却水のZ軸最小面を[inlet]として登録します。



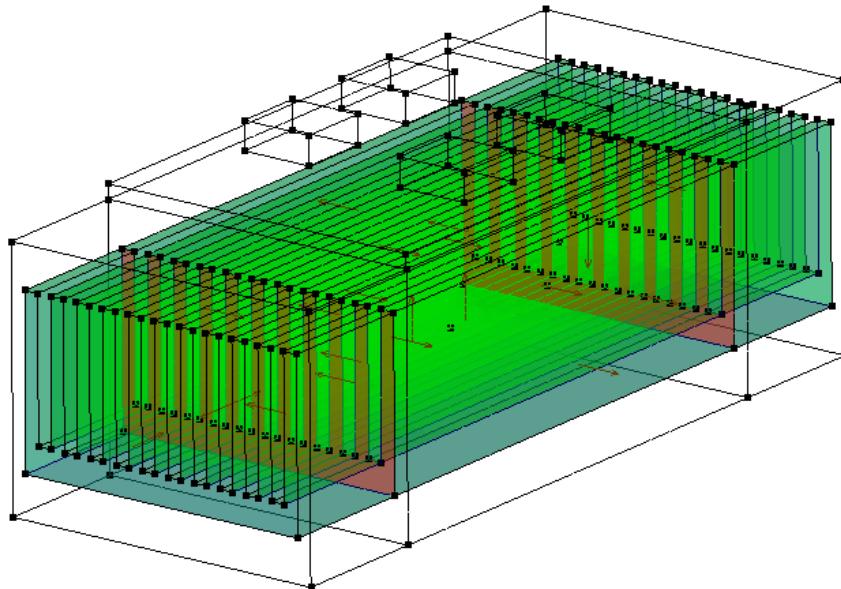
- 冷却水のZ軸最大面を[outlet]として登録します。



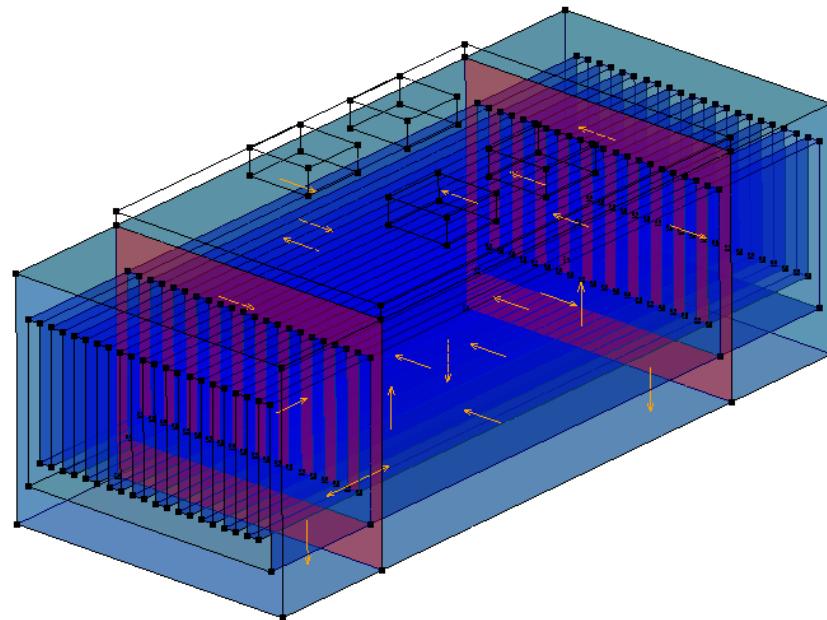
- 
- MAT番号1と2の間の面を[wall]として再登録します。既に境界層要素まで作成しているため、両面登録で構いません。



- MAT番号1を体積領域[water]として再登録します。

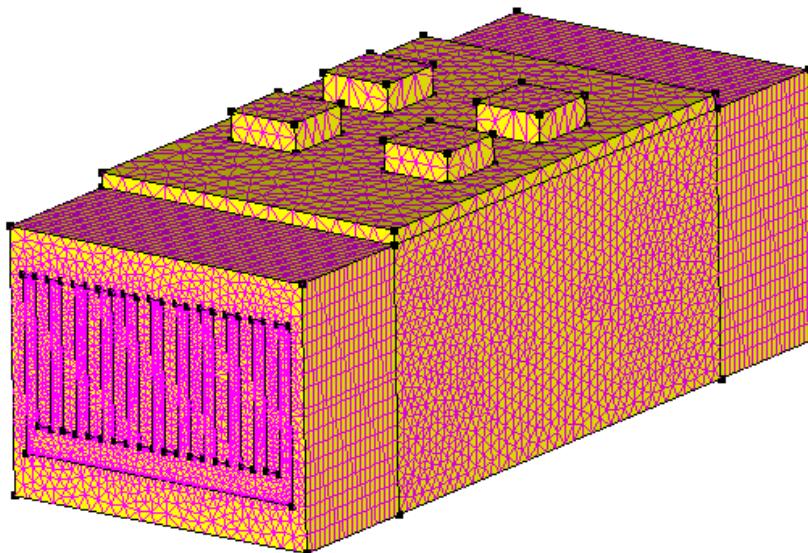


- 
- MAT番号2を体積領域[block]として再登録します。



- 作成したメッシュをexC03\_2.preとして保存します。

※ 要素数=1,958,196、節点数=544,417



---

## - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

### 1. 解析選択

- [温度]をONにします。
- [乱流モデル]に[線形低レイノルズ数k- $\varepsilon$  モデル(AKN)]を選択します。

### 2. 物性値・基準値

- MAT=1 : water50 (非圧縮性流体)

密度	996	[kg/m <sup>3</sup> ]
粘性係数	0.0015	[Pa · s]
定圧比熱	3600	[J/(kg · K)]
熱伝導率	0.5	[W/(m · K)]

- MAT=2 : Al50 (固体)

密度	2700	[kg/m <sup>3</sup> ]
比熱	3600	[J/(kg · K)]
熱伝導率	235	[W/(m · K)]

- MAT=3 : Fe50 (固体)

密度	7870	[kg/m <sup>3</sup> ]
比熱	442	[J/(kg · K)]
熱伝導率	80.3	[W/(m · K)]

- MAT=4,5,6,7 : Silicon50 (固体)

密度	2330	[kg/m <sup>3</sup> ]
比熱	713	[J/(kg · K)]
熱伝導率	148	[W/(m · K)]

### 3. 初期条件

- 全てのMAT番号に対して初期温度50°Cを設定します。

### 4. 境界条件

- 以下の境界条件を設定します。

[inlet]	:	流速規定	(流入流速:2[m/s]、流入温度:50[°C])
[outlet]	:	表面圧力規定	(0[Pa])
[wall]	:	壁面	(静止壁、ギャップ要素に熱抵抗なし)
[Fe-Al],[chip1-Fe],[chip2-Fe],[chip3-Fe],[chip4-Fe]	:	壁面	(フリースリップ壁、ギャップ要素に熱抵抗なし)

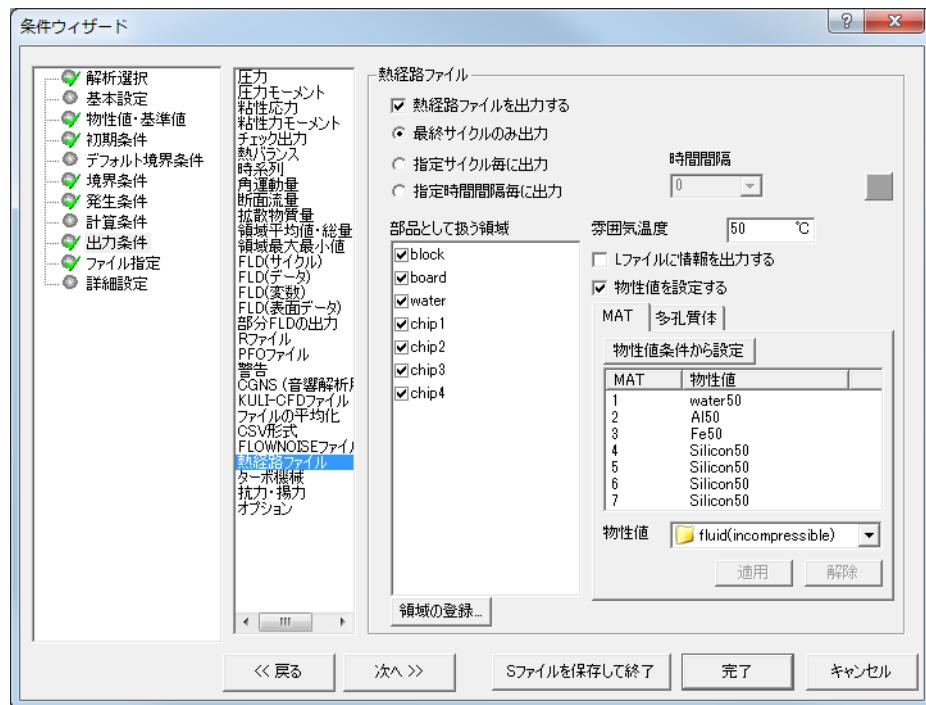
### 5. 発生条件

- 以下の発熱条件を設定します。

[chip1]	:	単位体積あたりの発熱量	$5 \times 10^8$	[W/m <sup>3</sup> ]
[chip2]	:	単位体積あたりの発熱量	$1 \times 10^8$	[W/m <sup>3</sup> ]
[chip3]	:	単位体積あたりの発熱量	$5 \times 10^8$	[W/m <sup>3</sup> ]
[chip4]	:	単位体積あたりの発熱量	$1 \times 10^9$	[W/m <sup>3</sup> ]

### 6. 出力条件

- [熱経路ファイル]で[熱経路ファイルを出力する]をONにします。
- [部品として扱う領域]ですべての項目をONにします。
- [雰囲気温度]に50[°C]を入力します。
- [物性値を設定する]をONにし、[物性値条件から設定]をクリックします。

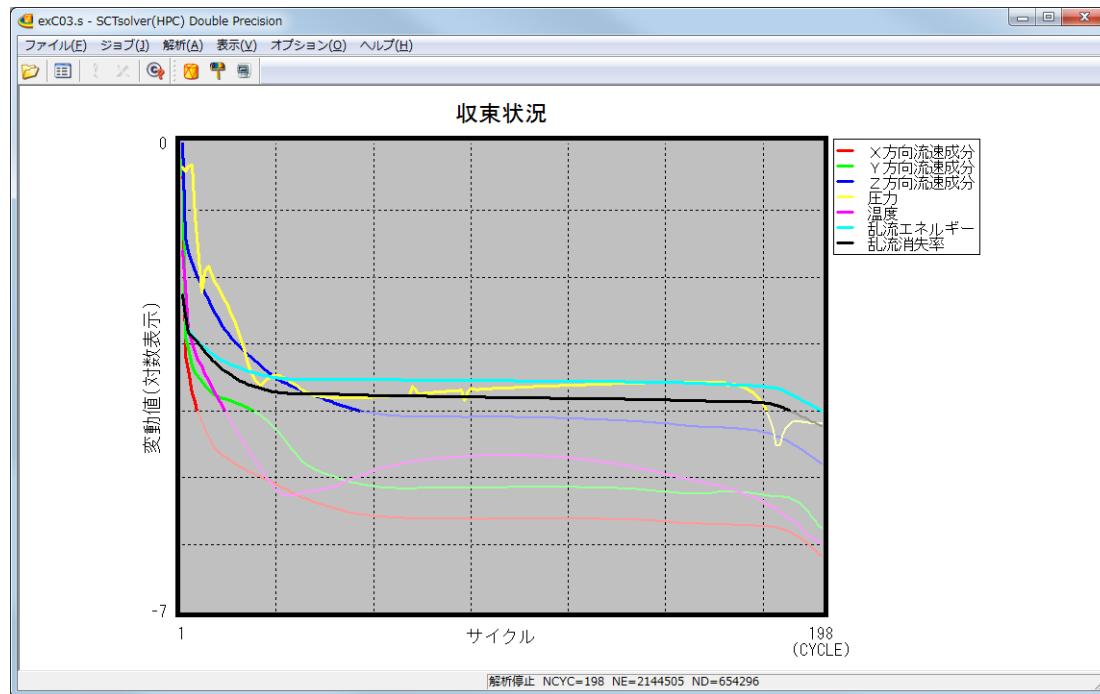


## 7. ファイル指定

- [デフォルト名]をONにして、[ex03C]と入力します。
- 次に[デフォルト名]をOFFにして、[PRE(入力)]の[ファイル名]を[exC03\_2.pre]とします。

## - 解析実行

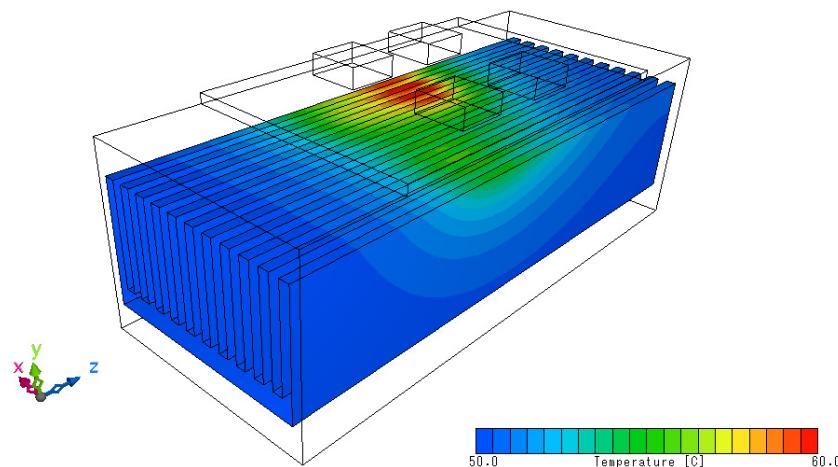
Sファイルをソルバーに読み込み、実行をクリックすると計算が開始します。[収束状況]から、最終的に198サイクル目でグラフ上のすべての変数が定常判定値 $1.0e-4$ （下図対数グラフでは-4）に達していることが分かります。



## - 解析結果

### 1. 流路表面における温度コンター

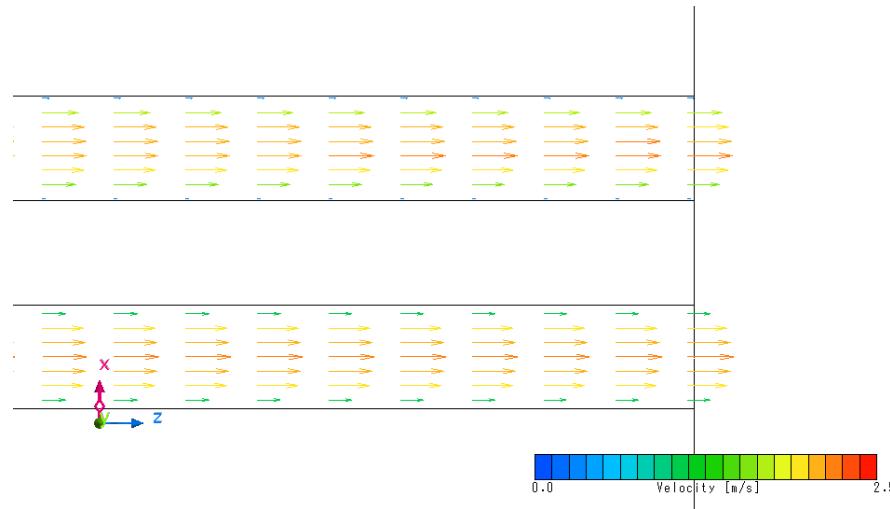
- 表面オブジェクトを利用することで、任意の面領域に任意のスカラー変数のコンターを描画することができます。ここでは面領域“wall”へ温度コンターを描画します。
- [作成]-[表面]で表面オブジェクトを作成し、[領域]タブの[表示する登録表面]で“MAT境界”をOFF、“wall”をONにします。[コンター]タブの[表示]をON、変数で[温度(TEMP)]を選択し、[塗りつぶし]で[表][裏]共にONとして再描画を行うと、流路表面に温度コンターが描画されます。



---

## 2. 流路内の任意断面における流速ベクトル

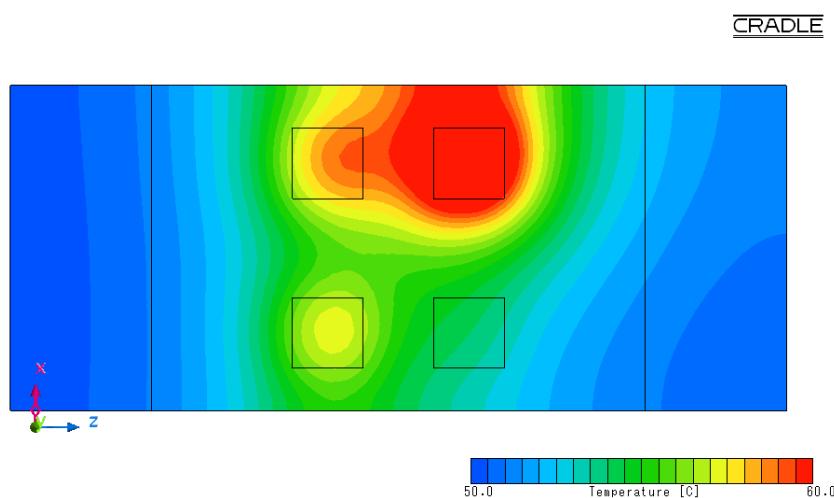
- カット面の[位置]タブで[軸に垂直] / [座標]を調整し、[ベクトル]タブで[表示]をON、[変数]に[流速 (VEL)]が選択されていることを確認し、[場所]に[等間隔]を指定、[間隔u] / [間隔v] / [スケール]を調整し再描画を行うと、下図のように流路内の任意の断面内に流速ベクトルを表示することができます。



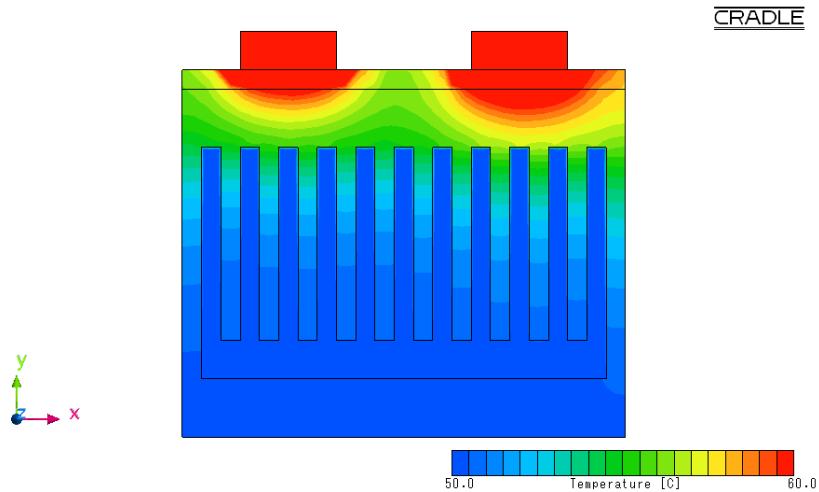
## 3. 流路内の任意断面における温度コンター

- カット面オブジェクトの描画内容を、[コンター]タブの[温度 (TEMP)]に変更し、[位置]タブで[軸]と[座標]を変更することで、以下のように任意の断面内に温度コンターを描画することができます。

- ◆ Y=0.01断面

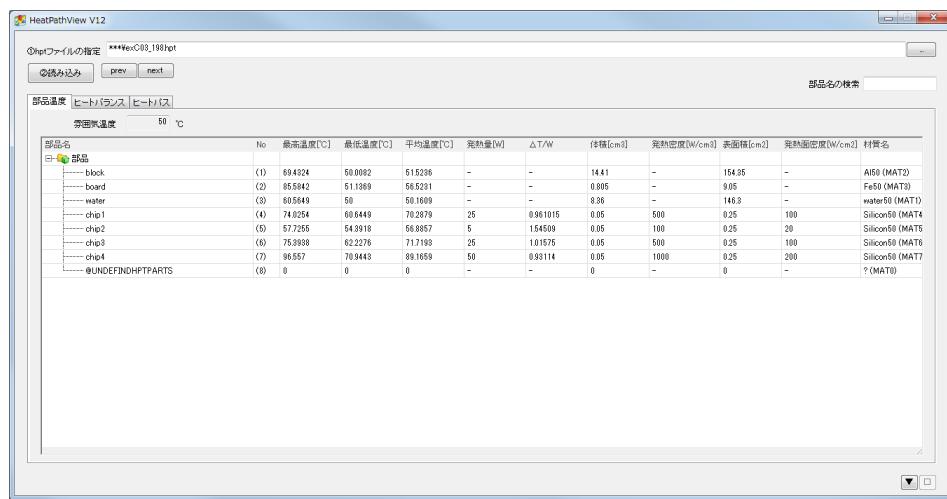


◆ Z=-0.0125断面

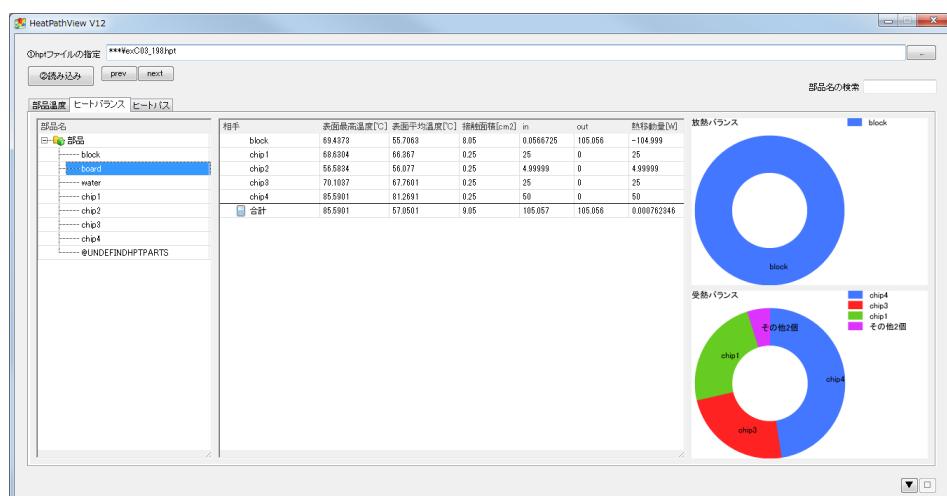


4. HeatPathViewによる熱経路の確認

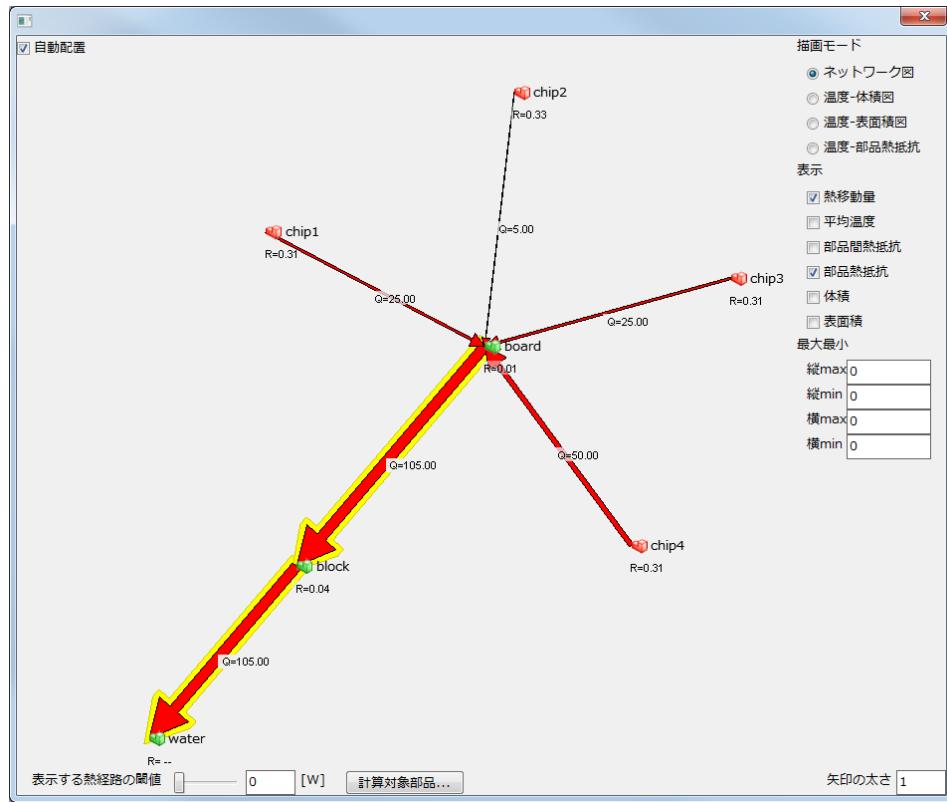
- 熱経路ファイル(\*.hpt)をHeatPassViewに読み込みます。



- [ヒートバランス]タブで[board]を選択します。基盤の熱バランスが円グラフで確認できます。



- [ヒートパス]タブで[全体図]をクリックします。解析モデル全体の熱経路図が表示されます。



---

## 応用例4 オイルスロッシング

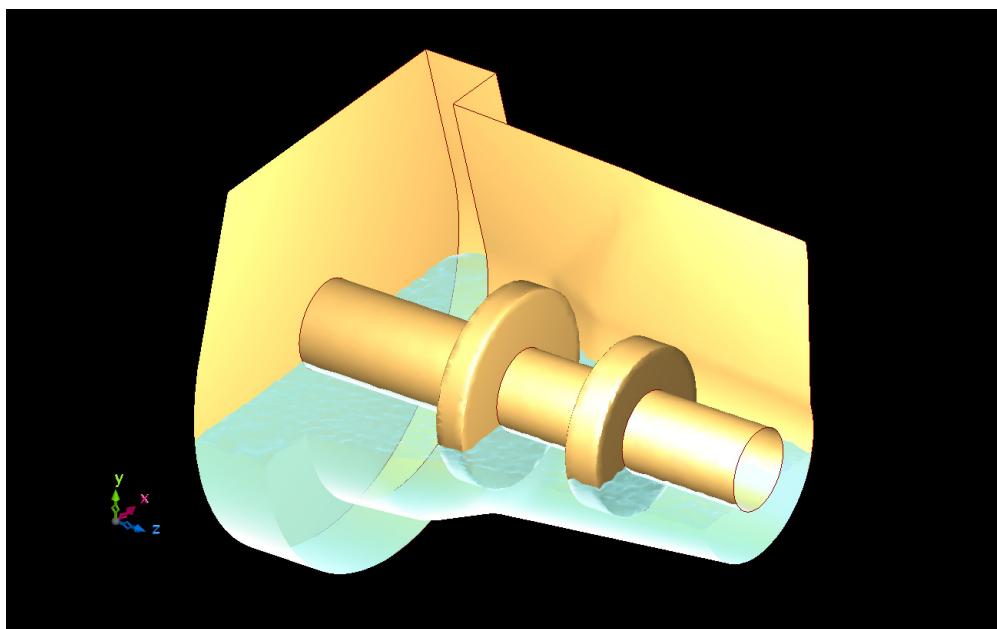
---

コップに水を入れ、左右に揺らすと、中の水の水面は揺らした方向に交互に高低を繰り返すように揺れます。強く揺らすと水はコップから溢れ、揺らすのを止めると水面の揺れも収まっていきます。当たり前のことがですが、これが最も身近なスロッシングかもしません。スロッシング(Slosh-ing)という言葉には、水がのたうち回る、はねる、という原意があります。これが転じたのか、酔っ払う、殴る、という俗的な意味もあるようですが、いずれにしても普通に見かける(と思われる)現象ですが、この現象の流体解析は比較的盛んに行われています。

スロッシング現象は揺れる、つまり振動するということが特徴的です。この特徴が思わぬ災禍を招くことがあります。振動には共振という性質があり、例えばコップの構造的な固有周波数と同じ周波数でコップの中の水が振動すると、その振幅が非常に大きくなり、同じ力でコップを揺らした場合でも、水が溢れやすくなります。ところで、コップから水がこぼれる程度なら良いのですが、コップが例えば重油タンクだったらどうでしょうか。実際、地震によってタンク内の油がタンクに共振し、想定の液位を超えて溢れてしまった事故例があります。特に液体の安全な貯蔵・管理という観点から、スロッシング現象の解析が注目されています。

ここでは、ある歯車を持つ軸の潤滑を行うための潤滑油の容器をモデル化し、容器に、ある一定方向からの加速度がかかった場合の内部の油面の動きを観測してみます。容器にかかるのは一定の力なので振動・共振は伴いませんが、一つの液面の動きを観測する事例として御覧ください。

設定のポイントは自由表面解析機能を用いるための諸設定方法と、また容器に体積力条件によって外力をかける設定とする点です。また、体積力の設定では振動を与えることもできますので、本例を一度行ったら、振動する油面の解析にもトライしてみてください。液面を可視化するポストの操作についても例示しています。



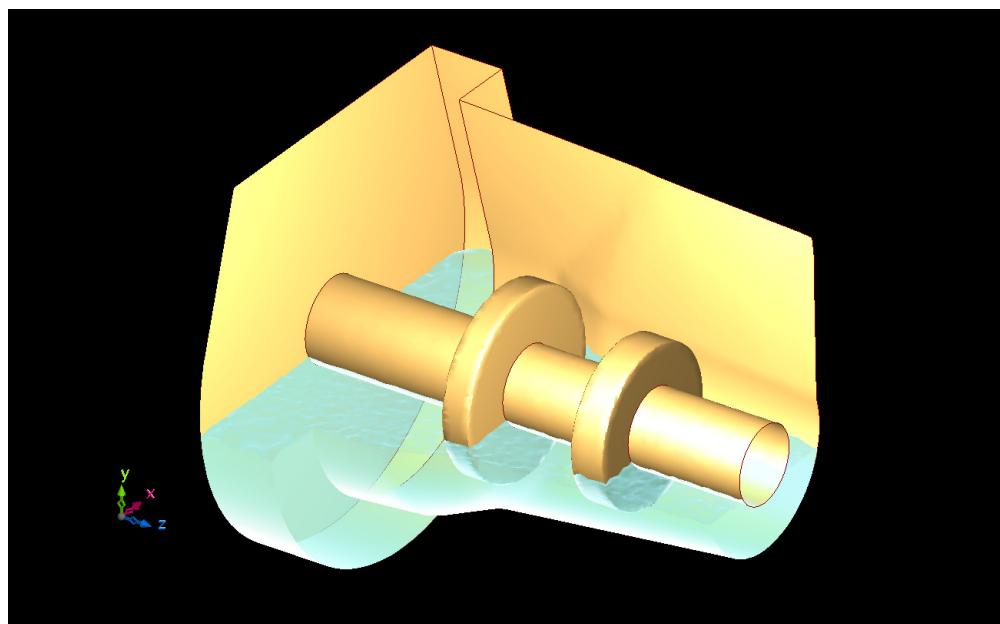
Z方向（進行方向）に-3 [m/s<sup>2</sup>]の加速度が掛かる際の、マニュアルトランスマッショ内における油面の時系列変化をシミュレートします。

※ 重力加速度はY方向に-9.8m/s<sup>2</sup>とします。

※ ギヤシャフトは通常、3本（入力用/出力用/リバース用）搭載されますが、本例題では1本に簡略化します。

※ またギヤについても枚数を2枚に削減し、形状も円板形に簡略化しています。

## 解析モデル



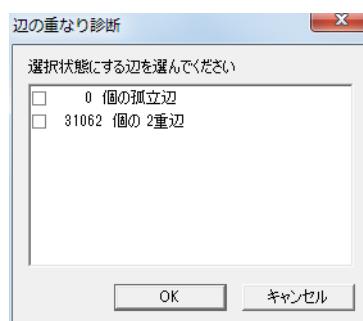
## 解析手順

### - 解析モデル作成

SCTpreを起動して、[ファイル]-[開く]より exC06.stlを読み込み、以下の設定を行いMDLファイルを保存します。

#### 1. モデルのクリーニング（モデルデータの確認）

- まずモデルデータ（STLデータ）に問題が無いか、確認します。
- [編集]-[モデル修正]-[辺の重なり診断]を選択し、孤立辺がなく、2重辺であることを確認します。



- 
- [編集]-[モデル修正]-[重なった面の検出]を選択し、面の重なりが存在しないことを確認します。  
※ メッセージウィンドウに、下記メッセージが表示されます。

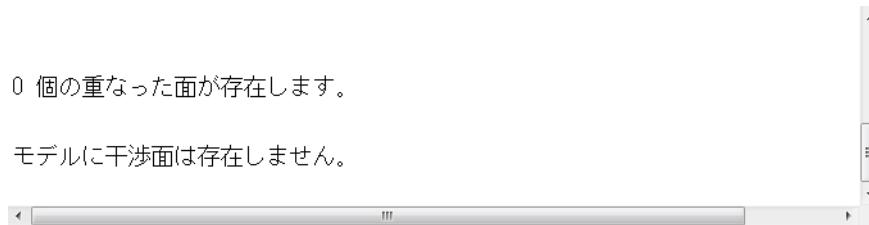
0 個の重なった面が存在します。



- [編集]-[モデル修正]-[干渉面の検出]を選択し、干渉面が存在しないことを確認します。

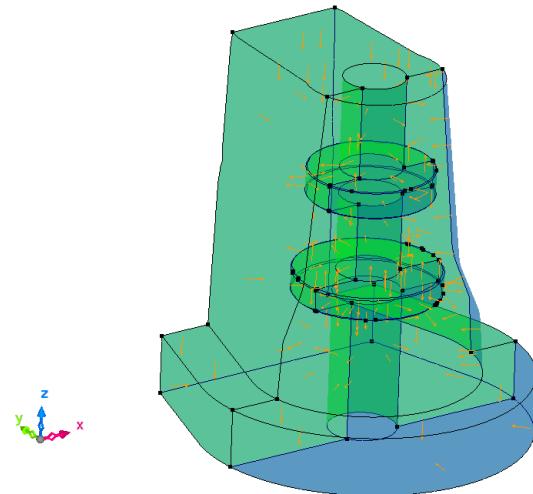
0 個の重なった面が存在します。

モデルに干渉面は存在しません。



## 2. モデルのクリーニング(閉空間の認識確認)

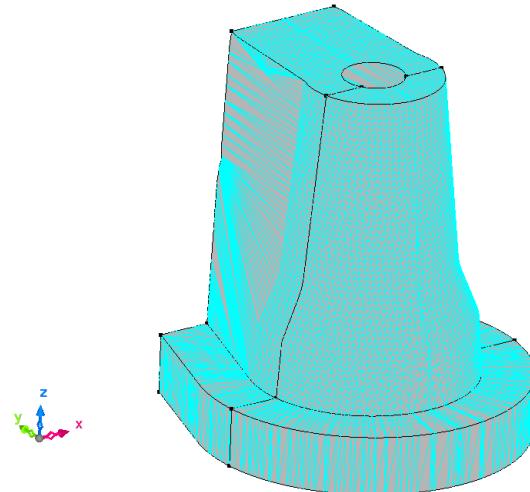
- [編集]-[閉空間/MAT番号の設定 (モデル)]をクリックし、閉空間とMAT番号が適切に設定されていることを確認します。  
※ 本モデルでは閉空間は一つのみ作成されます。



---

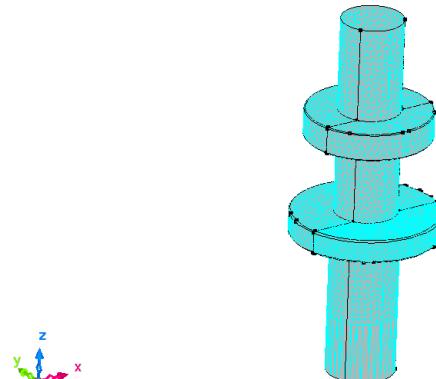
### 3. 面領域の登録

- [面領域]タブをクリックし、ミッショングース面すべてを面領域「wall」として登録します。



- ギヤとシャフトはまとめて面領域「gear」として登録します。

※ ギヤとシャフトの選択は、上記で登録した面領域「wall」を非表示とした後、残りすべての面を選択状態とすることで簡単に行うことができます。



## - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

### 1. [解析選択]

- [自由表面]を選択します。

### 2. [基本選択]

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。

[開始サイクル] : [1]

[終了サイクル] : [1000]

- [時間間隔の設定]で[クーラン数による]を選択します。

[初期時間間隔] : [0.0001 s]

[クーラン数] : [0.3]

※ 初期時間間隔は本例題のように、十分短い値を設定するようにしてください。

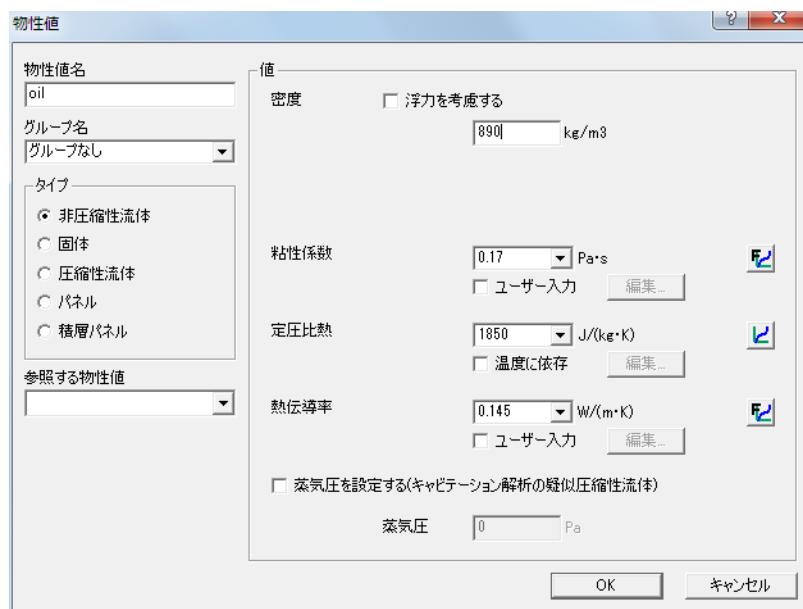
- [重力]の[考慮する]をONにします。

$[(X, Y, Z)] : [(0, -9.8, -3) \text{ m/s}^2]$

※ 自由表面での解析時には必ず重力の設定を行ってください。ただし、無重力の計算を行う場合は  $(0,0,0)$  と入力します。

### 3. [物性値・基準値]

- 新規作成をクリックし、[oil]の物性を以下のように作成、MAT番号1へ適用します。
  - 密度 890 [ $\text{kg/m}^3$ ]
  - 粘性係数 0.17 [ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ]
  - 定圧比熱 1850 [ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ]
  - 热伝導率 0.145 [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]



### 4. [境界条件]

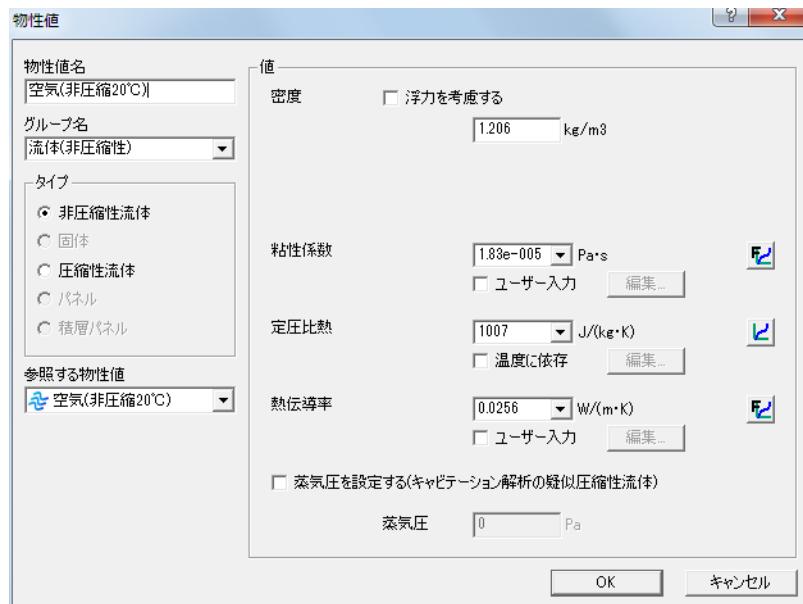
- [領域]から[wall],[gear]の両方を選択して壁面をクリックします。[壁面]ダイアログの[壁面応力条件]タブにて、[フリースリップ壁]をOFFにし、[壁面の速度]として[静止壁]が選択されていることを確認します。

### 5. [自由表面]

- 解法に[VOF法（界面捕獲法）]を選択し、[初期気液界面]タブで以下のように入力し、登録をクリックします。
  - ここで初期の油面の位置を数式で指定します。
    - 設定する相：液相
    - タイプ：平面
    - 平面上と平面の負側
    - $(A, B, C, D) = (0, 1, 0, -0.0471)$



- [物性値]タブを開き、[気体の物性]の編集をクリック、表示された[物性値]ダイアログの[参照する物性値]にて、"空気(非圧縮20°C)"を選択し、OKをクリックします。



## 6. [出力条件]

- [FLDファイル(サイクル)]を表示し、[指定時間間隔毎に出力]を選択、[時間間隔]に0.05と入力します。また[初期場]にて[出力する]を選択します。

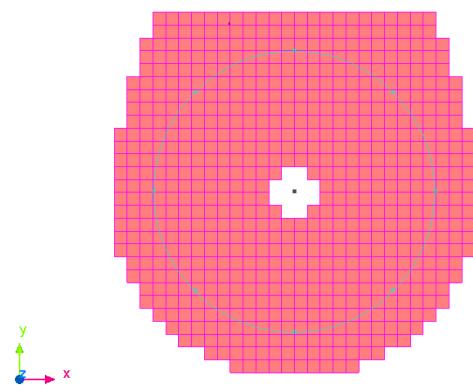
---

## - 解析メッシュ

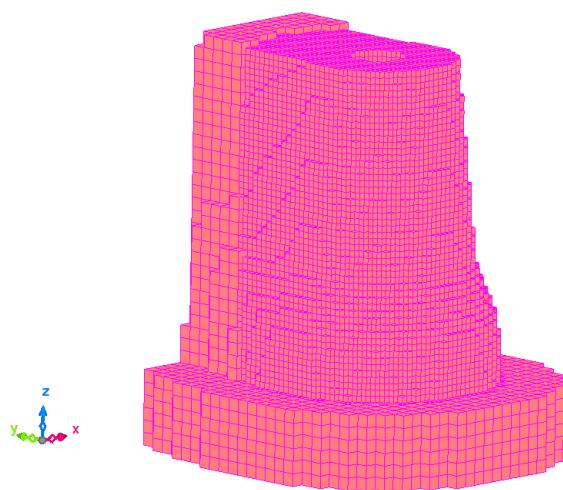
### 1. オクタント作成

以下の手順で八分木を作成し、OCTファイルを保存します。

- [編集]-[八分木作成]をクリックします。表示された八分木作成ダイアログで[最大オクタントサイズを制限する]にチェックを入れ、以下の値を入力します。  
[最小オクタントサイズ] : 0.006  
[最大オクタントサイズ] : 0.006
- 視点をZ軸正方向からの表示に変更し、[表示]-[ラバーサークル表示]で以下の範囲のオクタントのみを表示し、再分割します。
  - 中心 (X,Y,Z)=( 0.0524, -0.0385, 0)
  - 半径 0.066



- 最終的に作成されるオクタントは、下図のようになります。



オクタントサイズ : 0.003[m]~0.006 [m]  
オクタント数 : 59,217

## 2. メッシュ作成

- [実行]-[表面メッシュ作成から]-[境界層要素挿入まで]を選択し、[連続実行]ダイアログを表示します。
- [連続実行]ダイアログ上に、保存した MDL ファイル・OCT ファイルをドロップすると、各ファイルパスが自動で入力されます。
  - ◆ 本例題ではメッシュ作成に S ファイルを使用しませんが、 J ファイルを保存する際、警告があるので [ ファイル ] が選択された状態にしておきます。
- 続いて [ 境界層要素挿入パラメータ ] の設定をクリック、 [ 境界層要素挿入パラメータ ] ダイアログを表示し、下記の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[wall]	[0.001]	[1.1]	[2]
[gear]			

- [連続実行] ダイアログで OK をクリックし、表示された [ 連続実行の内容の確認 ] ダイアログで [ J ファイルに保存する ] をクリック、設定した内容を J ファイルに保存します。  
※ J ファイルには [ 連続実行 ] ダイアログで設定した内容が全て保存されます。なお保存せずに [ 今すぐ実行 ] をクリックした場合、メッシュ作成時の設定情報は残されませんのでご注意下さい。
- 保存した J ファイルを SCTjob で読み込み [ 実行 ] - [ 実行開始 ] をクリックするとメッシュ作成が開始されます。  
※ SCTjob で実行を行った場合、 J ファイルと同じフォルダ内にログファイルに出力されます。このログファイルには SCTjob の進行状況がリアルタイムに出力されており、エラーが発生した場合も、ここで確認することができます。  
※ 境界層要素挿入パラメータについて
- $y^+$  とは抵抗のある壁からの無次元距離で、境界層要素の厚さ・流体の密度・粘性係数・摩擦速度から求められます。ここで、境界層要素の厚さ・流体の密度・粘性係数は計算の実行前にあらかじめ求めておくことができますが、摩擦速度を求めるためには実際に計算を行い求める必要があります。よって摩擦速度は通常、平均流速の 5% 程度とする経験則から見積もるのが一般的です。
- SCRYU/Tetra で採用している対数則は、  $y^+$  が 30 ~ 1000 程度で成立します。その中でも特に、精度の高い結果は 50 ~ 150 程度に収まる際に得られる傾向にあります。
- 信頼できる結果を得るためにには、境界層の厚さを対数則の適用できる範囲内に収める必要があります。 $y^+$  は計算を行わなければ確認できませんので、まずは適当な厚さでテスト計算を行い、上記範囲に収まるか確認します。もし収まっていない場合は境界層の厚さを修正し、再度テスト計算を行うようにしてください。
- 下図に  $y^+$  が不適切な例を示します。（ LFileView で見た図です。）  $y^+$  が 5 以下に集中していることがわかります。

```

==== YPLUS MIN-MAX ====
      NODE          YPLUS        DIST     TAUWALL      TURK       TEPS
MAX    10265    0.558712  0.000999468   10.1472  0.0380045  3.04513
MIN    37063    0.000000  0.000000   0.000000 1.000000e-09 1.000000e-09
      NODE          X           Y           Z
            X           Y           Z
10265    0.0432288  -0.0242331   0.146652
37063  -0.00260846  -0.0308704   0.180348

(YPLUS DISTRIBUTION)
  0 - 5 : 10281
  5 - 30 : 0
  30 - 100 : 0
  100 - 300 : 0
  300 - 1000 : 0
  1000 - Inf : 0

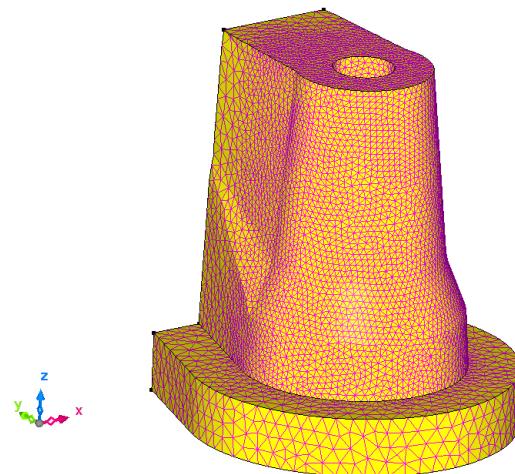
```

- なお壁面でない面には摩擦を考慮する必要がないため、境界層を挿入する必要はありません。基本的に対称面（鏡面）やフリースリップ面、開口部に対して境界層の挿入は不要となります。

---

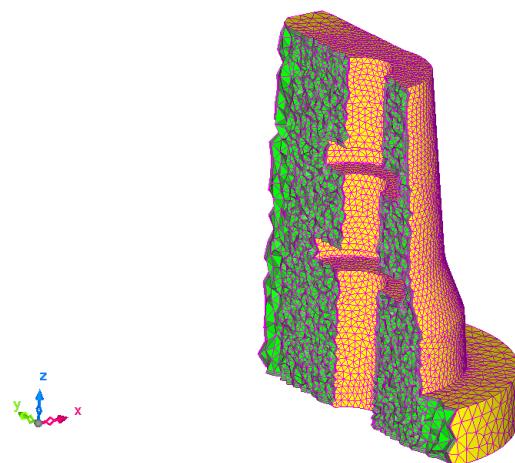
### 3. メッシュチェック

- メッシュ図

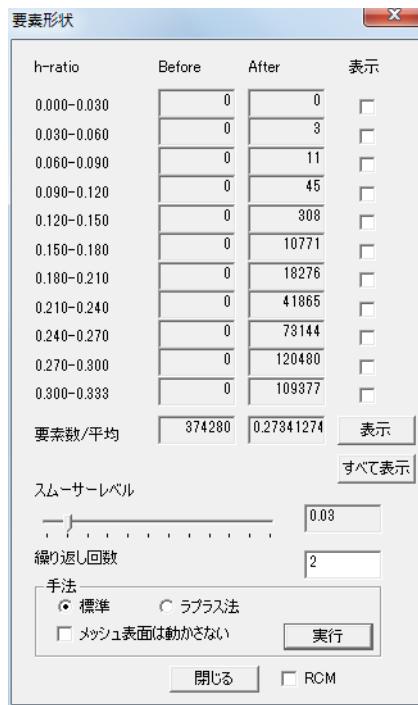


要素数 : 415,512

- 作成されたメッシュの断面を確認します。ラバーボックス表示により半分のみを表示することで、メッシュの断面を確認することができます。



- また、メッシュモード[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック]をクリックし、h-ratio・Shape Factorの確認も併せて行います。
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック]をクリックすると、下図のような要素形状ダイアログ内にh-ratio の分布が表示されます。h-ratioとは三角形の内接球と外接球の半径の比で、最も良い形状の場合は0.333となり、形状が悪い程0へ近づきます。  
通常は0.03以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.03以下の要素が生じていないかチェックします。もし h-ratioが0.03以下の要素がある場合は [0.000-0.030] 右のチェックボックスをONとし、[表示]をクリックすることで、該当する要素のみがドローウィンドウに表示されますので、その周囲のメッシュを細かくする、またはスムージング機能を使用してメッシュの質の改善を行います。  
※ 通常、スムージングは一度に行うのではなく、スムーサーレベルを段階的に分けて繰り返し行い、メッシュの質を徐々に上げていきます。



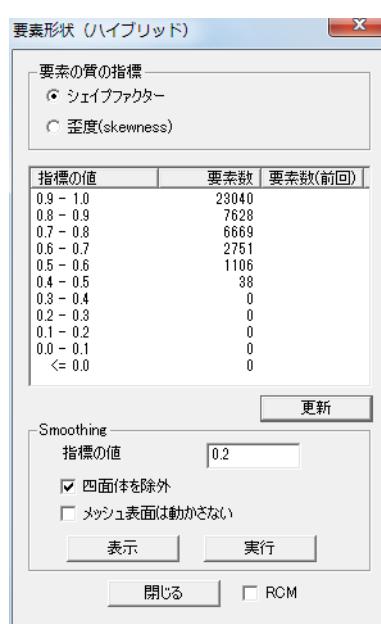
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック (ハイブリッド)]を選択し、下のような[要素形状 (ハイブリッド)]ダイアログで Shape Factor の分布を表示します。Shape Factor はテトラ要素以外のプリズム要素、ピラミッド要素の質を表すパラメータで、最も質の良い形狀の場合は1.0となり、形狀の質が悪い程0に近づきます。

通常は0.1以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.1以下の要素があるかチェックします。もし Shape Factor : 0.1以下の要素が多くある場合は、以下の方法で修正を行います。

方法1. 境界層の厚みを変えるか、隣接するメッシュをより細かくする。

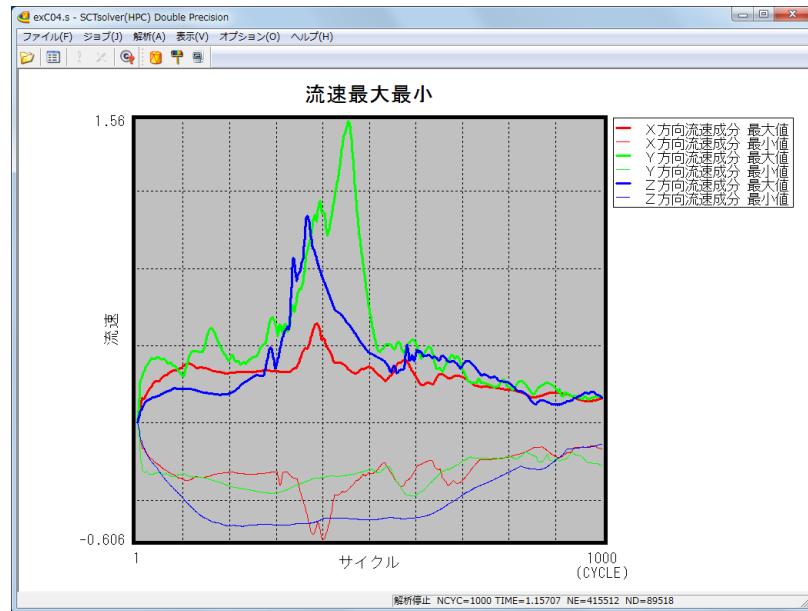
方法2. スムージングを行う。

※ Shape Factorに0.1と入力し、実行をクリックします（下図）。0.1未満の値を入力した場合には境界層の厚みが不揃いとなる場合があります。



## - 解析実行

Sファイルをソルバーに読み込み、**実行**をクリックすると計算が開始します。非定常解析では計算が終了サイクル数に達すると、自動的に計算が終了します。



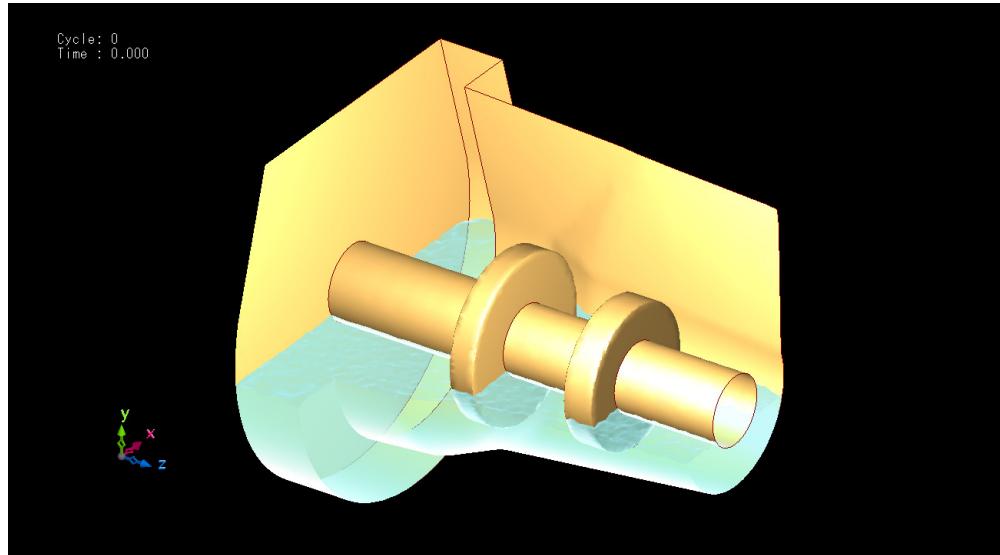
---

## - 解析結果

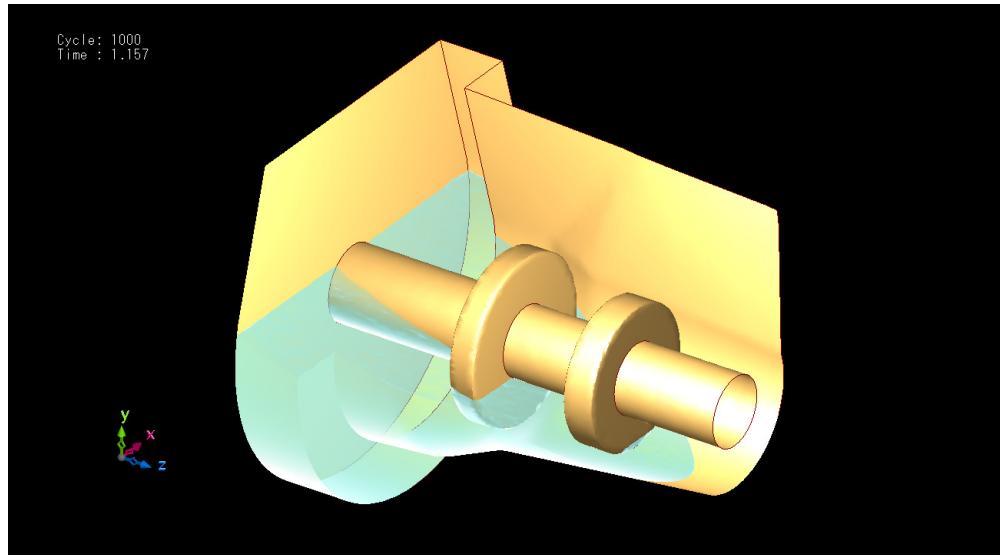
### 1. オイル界面の確認

- [作成]-[等値面]で等値面を作成し、[位置]タブの変数に[Volume fraction (VOF)]を選択、[値を指定]に[0.5]と入力します。

0サイクル



1,000サイクル(最終)

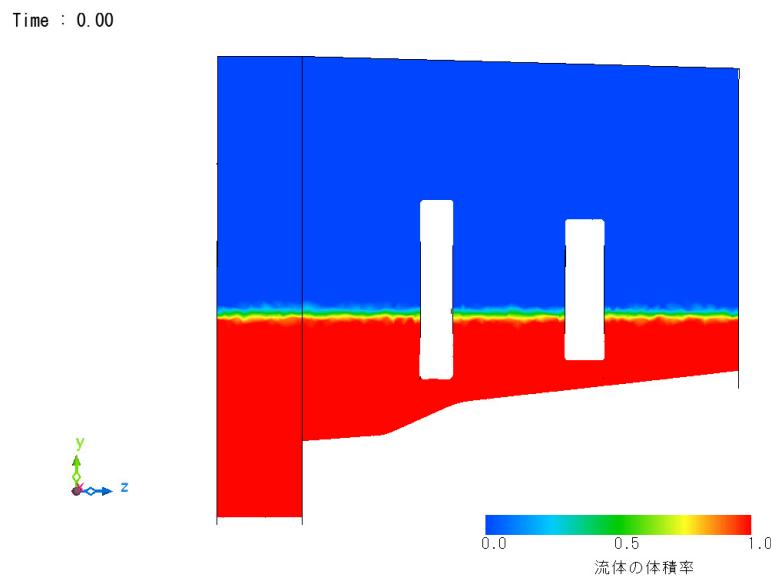


### 2. 鉛直断面におけるオイル占有率の確認

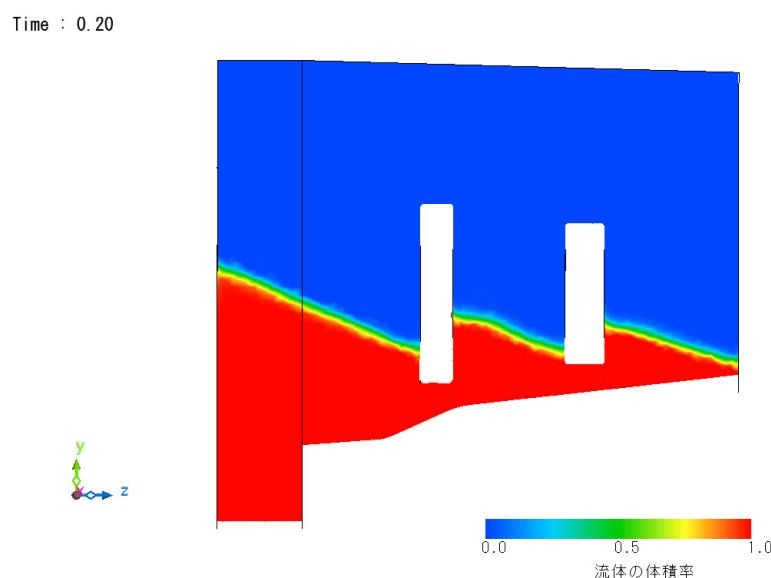
- カット面[コンター]タブの[表示]をONとし、[Volume fraction (VOF)]を選択します。
- [位置]タブでX軸の座標を [ 0.072 ] に設定します。
- カラーバー[範囲]タブにて、最小値に [ 0 ]、最大値に [ 1 ] と入力します。

---

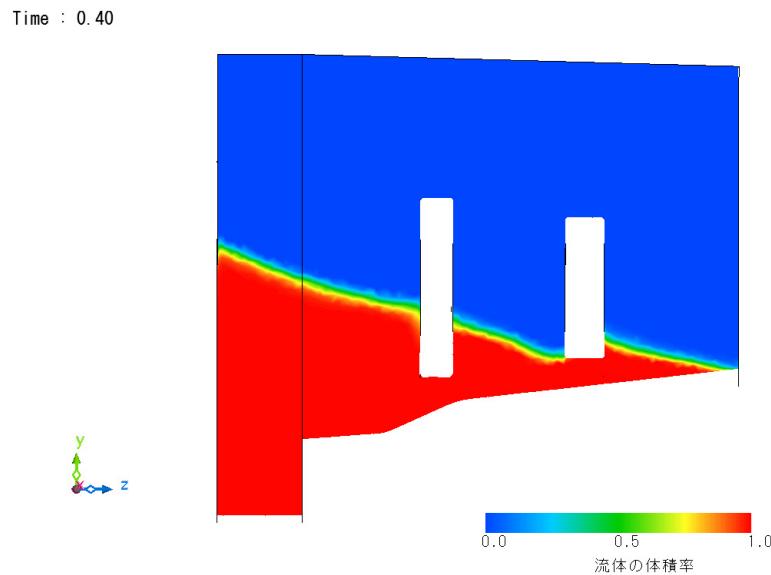
0秒(初期)



0.2秒

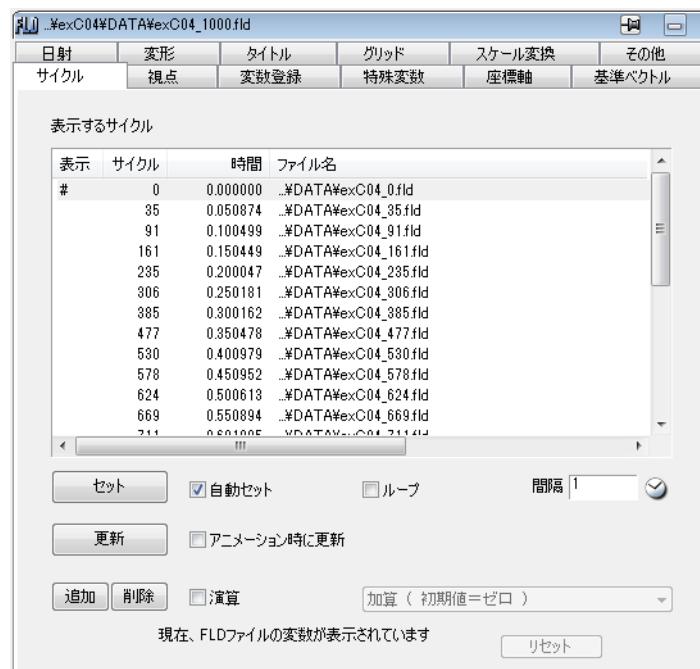


0.4秒



### 3. オイル界面変化のアニメーション

- 画像保存オブジェクト[フォーマット]タブにて、[ファイル名]にアニメーションの作成に使用するBMPファイルパスを入力し、[自動保存]をONとします。
- 全体オブジェクト[サイクル]タブにて、全てのFLDファイルがリストアップされていること、現在ドローワインドウに表示しているサイクルが0サイクルであることを確認し、[アニメ実行]ボタンをクリックします。



※ 全てのFLDファイルがリストアップされるためには、POSTへの読み込み時、それらのFLDファイルが同一フォルダ内に保存されている必要があります。

- リストアップされているFLDファイルが順に読み込まれると同時に、それらのBMPファイルが保存されます。
- 保存された画像を BMP2AVI.exe に一括して読み込ませ、アニメーションを作成します。

---

## 應用例5 自動車空力

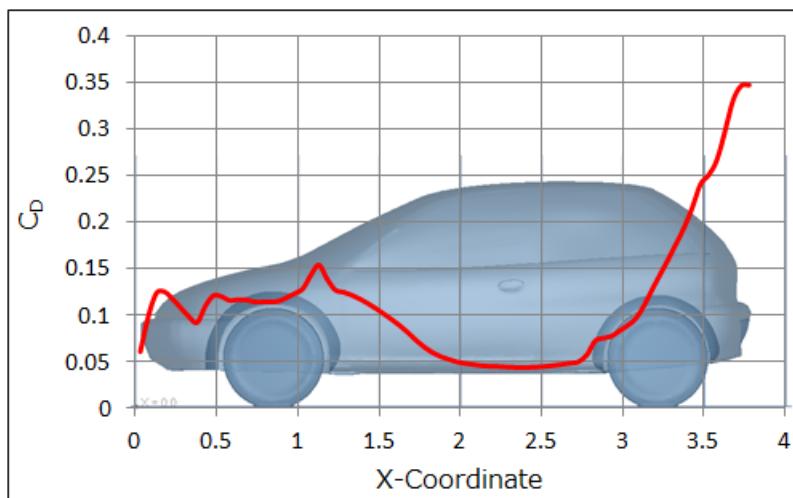
---

自動車と言えば今や欠かせない交通手段ですが、それだけ身近にあるだけに、また、その動力源が枯渇しつつある化石燃料を主としているだけに、近年呼ばれる環境対策において槍玉に挙がることが多いようです。すなわち、代替の駆動力に転換する、とか、もっと燃料を効率的に使う、とか様々な対策の要求があるようです。

その中でも、燃料を効率的に使う、という観点から、自動車が走行する際の空気抵抗の低減は従来から重要な対策テーマとなっています。空気という「実体」を押しのけて走行しなければならないため、その抵抗は避けられませんが、これをいかに低減するかということは、いわゆる燃費向上に重要です。空気抵抗は走行速度の2乗に比例して大きくなります(動圧の増加です)。従って、ゆっくり走れば空気抵抗も相当に減るので、非常にゆっくり走ることも一つの対策ではあります。しかしながら、一般的な乗用車では時速20km/hを超えると燃費に変化をきたす程度の抵抗が生じ始めます。20km/h未満で走行するのは現実的ではありません。また速度を上げていくと、前述のようにその2乗に比例して抵抗は増え、時速100km/h程度では、燃料のおよそ半分が空気抵抗に打ち勝つために使われている、とも言われています。

また、抵抗は空気の力を垂直に受ける面積が広いほど大きくなります。しかし、自動車の居住性を考慮すると、例えば鋭いクサビのような車型は許されず、様々な要求のバランスの中で抵抗を減らす工夫を強いられます。車体周りの気流解析を行うと、車体にかかる空気抵抗が見積もりができるところから、このような解析は空力解析、と呼ばれ、流れ解析の重要な応用解析の一つとしてよく行われています。

この例では、車体周りの空気流の解析を行い、一般に抵抗の指標として用いられる $C_D$ 値(抵抗係数: Drag coefficient)を結果から確認する方法が示されています。また、ブリについては、車体のモデルを接地させる場合のタイヤと地面の形状処理について述べています。



簡易的な車両モデルを用いて、30m/s(108km/h)で走行する車の空力解析を行います。空力係数である空気抵抗係数( $C_D$ 値)と、揚力係数( $C_L$ 値)を求めます。

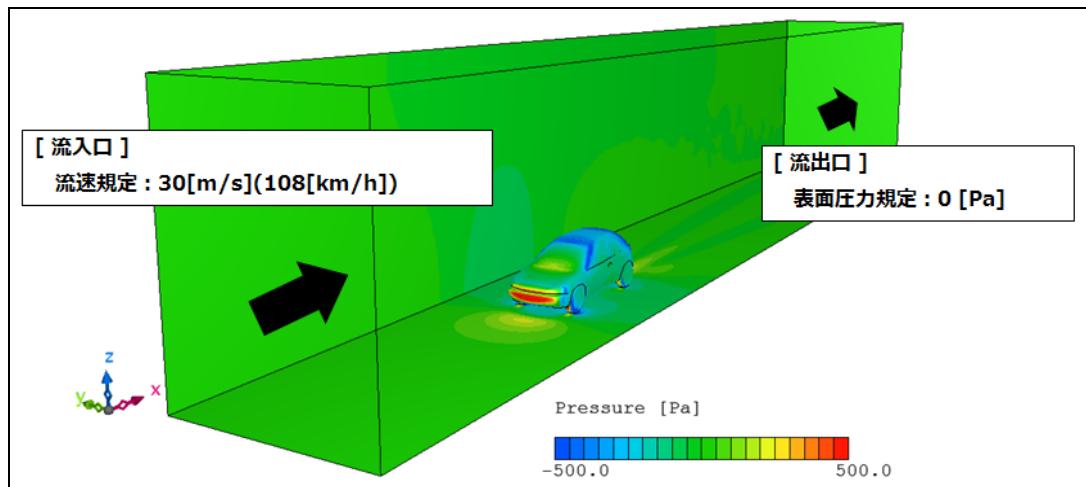
※ 解析用モデルの作成には、ラッピング機能を使用します。

※ 本例題では、実際に車のモデルを移動させるのではなく、30m/sの空気を車の前方から当てるにより、車が走行する様子を模擬します。

(注意)

本例題では、[抗力・揚力の出力]機能(CDCLコマンド)を使用して、車両前端から後端まで、0.05m間隔での $C_D$ 値、 $C_L$ 値(区間値)を取得します。CDCLコマンドで区間値を取得する場合は、本例題のモデル同様に、座標軸プラス方向が、車両前端から後端方向と一致する様に解析モデルを作成して下さい。仮に、座標軸マイナス方向が、車両前端から後端方向と一致する様なモデルを使用した場合、区間値の出力が、車両後端から前端に向かう順番で出力されます。

## 解析モデル

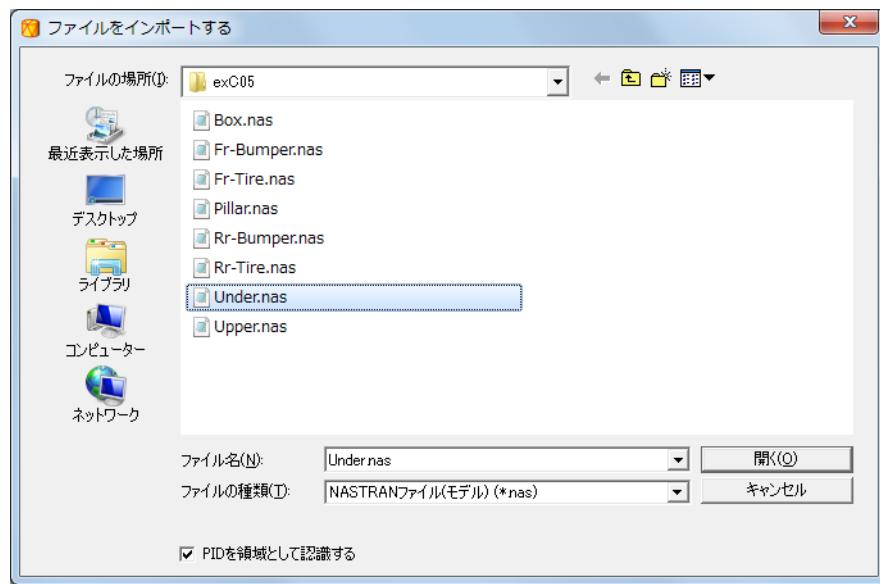


## 解析手順

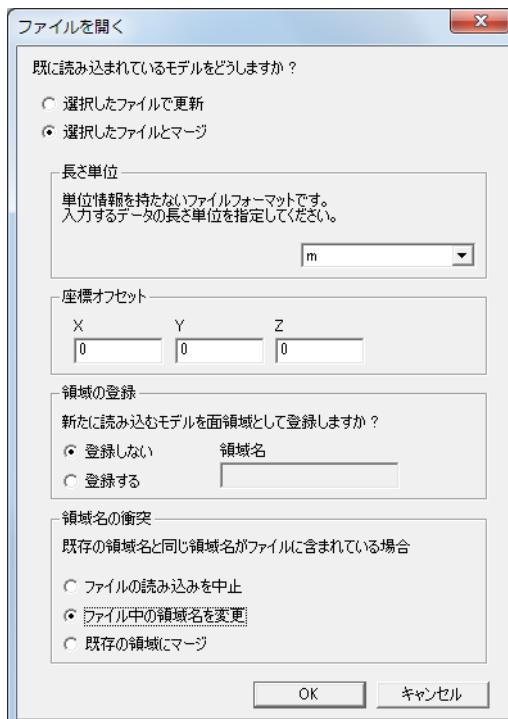
### - ラッピングによる解析形状の作成

#### 1. 形状データの読み込み

- SCTpreを起動して、[ファイル]-[インポート]を選択します。以下の設定を行い、Under.nasを読み込みます。
  - ファイルの種類 : NASTRANファイル(モデル)(\*.nas)
  - [PIDを領域として認識する] : ON



- 同様の手順で、以下のファイルの順番でNASTRANファイルを読み込みます。(ドラッグ&ドロップでも構いません。)
  - Upper.nas
  - Pillar.nas
  - Fr-Bumper.nas
  - Rr-Bumper.nas
- ファイルを読み込む際は、[ファイルを開く]ダイアログで下記設定を行います。
  - [選択したファイルとマージ] : ON
  - [領域名の衝突] : [ファイル中の領域名を変更]をON



---

## 2. 面領域の登録

- [編集]-[領域の登録(モデル)]を選択し、以下に従い面領域名を登録します。

面領域	領域名
PID1	Under
PID12	Upper
PID15	Fr-Bumper
PID15	Rr-Bumper
PID2	
PID13	Fine-Area
PID22	

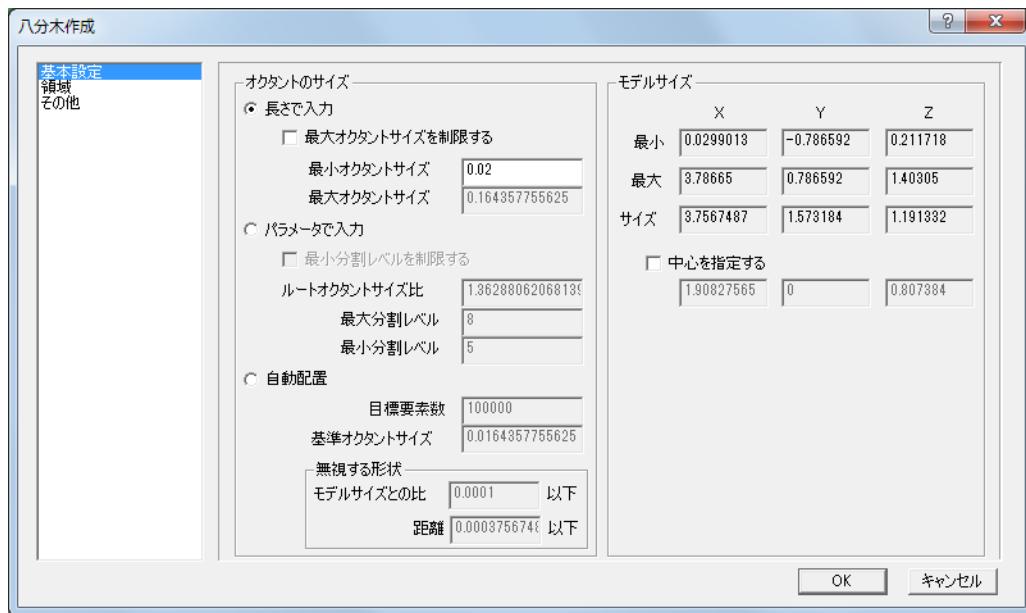
※ NASTRANファイルの読み込み順序によっては、PIDとの対応関係が変わってきます。

- 面領域[Under]、[Upper]、[Fr-Bumper]、[Rr-Bumper]を[Car]として登録します。  
※ ここまででの作業を終了した段階で、面領域は以下の状態となります。



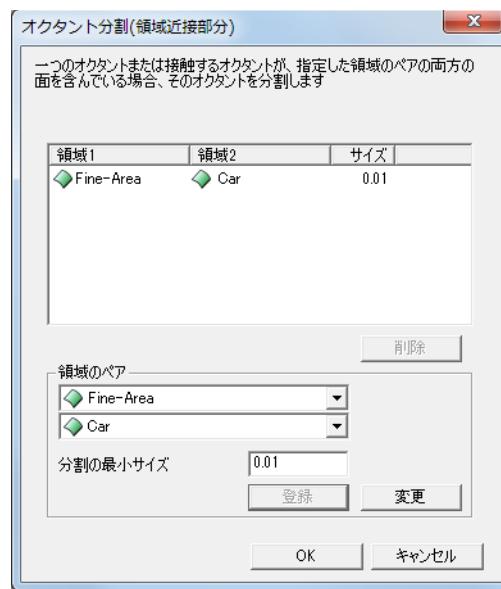
### 3. ラッピング用のオクタント作成

- [編集]-[八分木作成]をクリックします。
- 表示された八分木作成ダイアログで、[最小オクタントサイズ]に0.02を入力し、[OK]をクリックします。

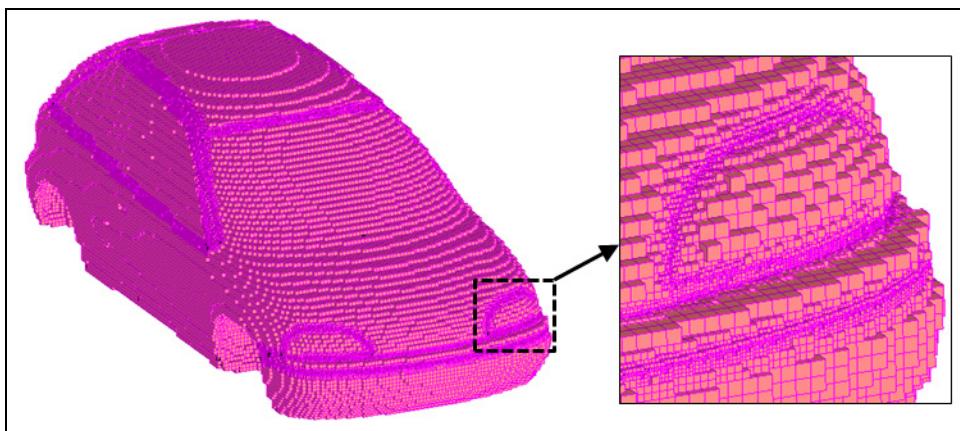


- ラッピング後の形状の再現性を高めるために、局所的に細かいオクタントを配置します。[編集]-[オクタント分割(領域近接部分)]を選択し、以下の設定を行い、[登録]をクリックします。

- [領域のペア] : [Fine-Area]と[Car]
- [分割の最少サイズ] : 0.01を入力



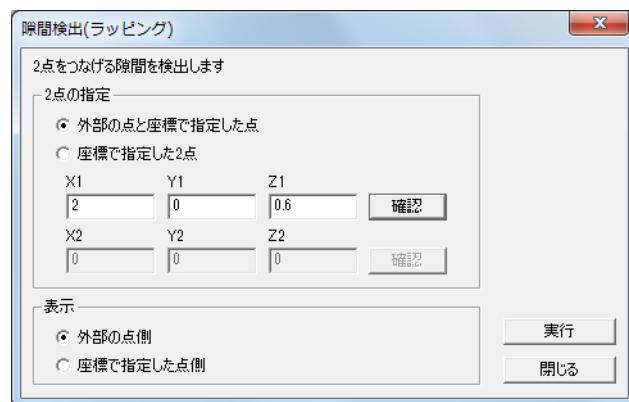
- [OK]をクリックして、オクタント分割を実行します。  
※ 局所的にオクタントが再分割されていることが確認出来ます。



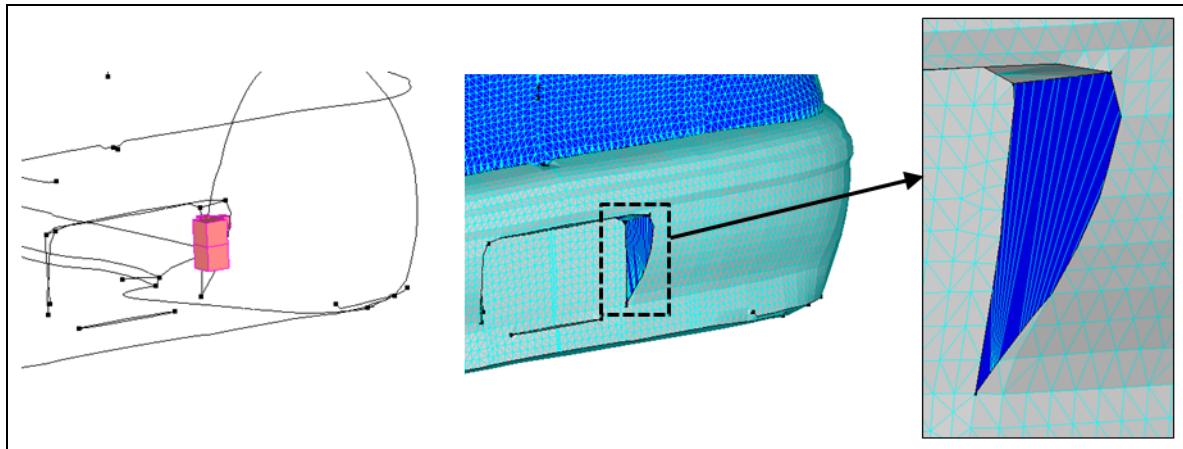
#### 4. 隙間検出(ラッピング)の実行とモデル修正

オクタントサイズに対して、モデル面に大きな隙間がある場合、穴の開いたラッピング結果が得られてしまいます。ラッピング前に隙間検出機能を使用することで、穴の開く部分を検出することができます。

- [編集]-[隙間検出(ラッピング)]を選択します。
- 以下の設定を行い、[実行]をクリックします。
  - [2点の指定] : [外部の点と座標で指示した点]をON  
X1=2、Y1=0、Z1=0.6(キャビン内の座標)を入力
  - [表示] : [外部の点側]を選択



- 処理が終了して隙間が検出されると、隙間部分のみオクタントが表示されます。モデルモードに移動して、その周辺の面の状況を確認します。今回のモデルでは、以下の様にリアバンパーのナンバープレート付近の面に、穴が開いていることが確認出来ます。

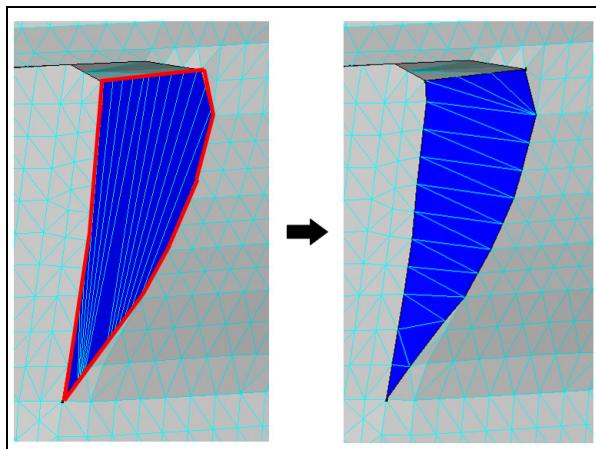


- 今回は、[モデルの穴埋め]機能を使用して、以下の手順で穴を塞ぎます。
  - [選択]-[マウスピック(辺)]-[マウスピック&スプレッド]を選択します。
  - 穴周りの辺のみを選択します。(左下図の状態)
  - [編集]-[モデルの穴埋め]を実行します。

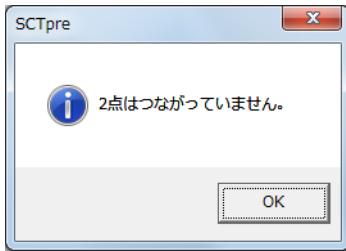
※ 右下図の様に、面が追加され穴が塞がります。

※ ラッピング用モデルのモデル修正には、その他に以下の機能が便利です。

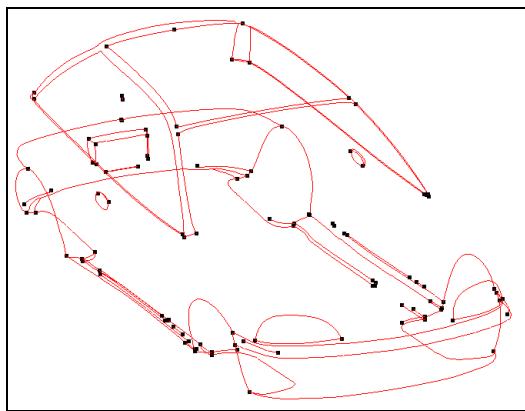
  - [編集]-[追加]-[三角形2枚(2辺ピック)]
  - [編集]-[追加]-[ピック点ループ埋め]
  - [編集]-[選択辺を掃引して面を生成...]
  - [編集]-[モデル修正]-[頂点のマージ...]



- 別の個所に穴がないか、再度、隙間検出(ラッピング)を実行します。隙間がなければ、以下のダイアログが表示されます。
- ※ 隙間が検出されなくなるまで、作業を繰り返します。



- 穴埋めした面を面領域[Car]と[Rr-Bumper]に追加します。
  - 以下の手順で、ラッピング実行時の特徴線として使用する外形線を抽出します。
    - [編集]-[モデルの外形点・外形線の抽出]-[弱]を実行します。
    - [表示]-[ラバーボックス表示(外形線)]-[囲んで選択]を選択します。
    - 車両のデータをラバーボックスですべて囲み、[OK]をクリックします。
- ※ 検出されている外形線が、すべて選択状態となります。



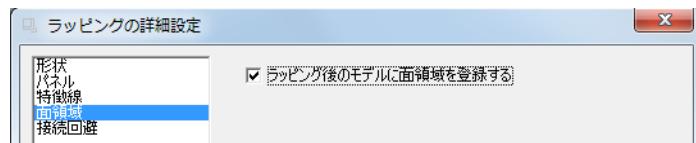
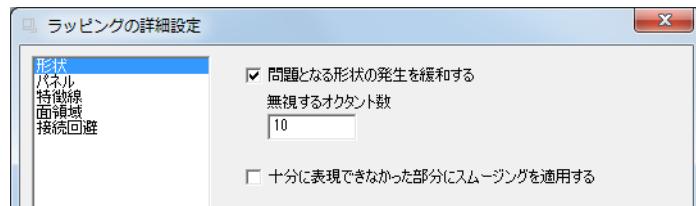
- Car\_for-Wrapと言うファイル名で、MDLファイルとOCTファイルを保存します。  
※ ラッピング実行後は、ラッピング実行前のモデル情報は自動的に破棄されてしまいます。必ず、ラッピング実行前のMDLファイルを保存する様にして下さい。

## 5. ラッピングの実行

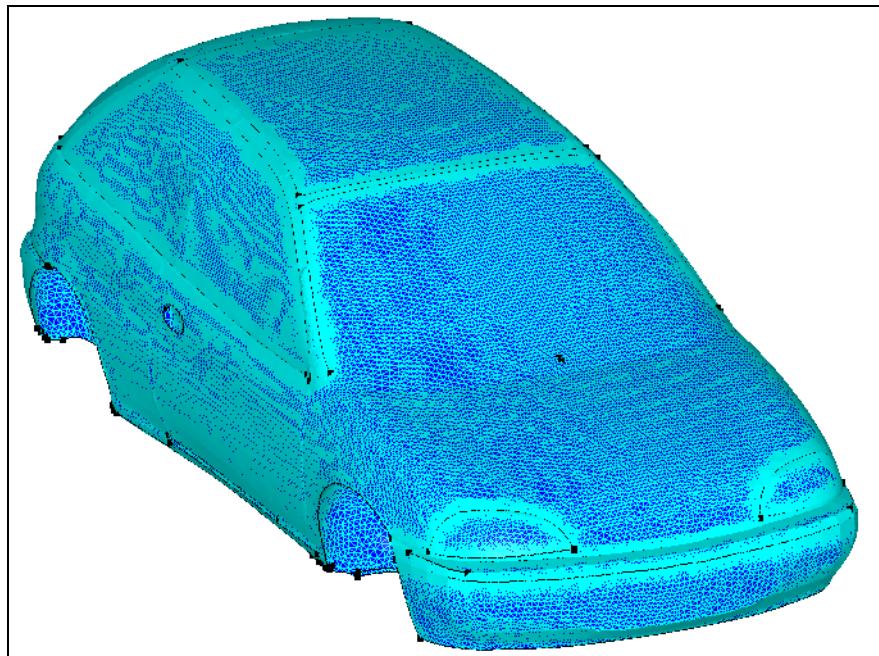
- [編集]-[ラッピング...]を選択します。
- 以下に示すダイアログの設定を行います。



- ・[詳細設定]をクリックします。



- ・[OK]をクリックし、ラッピングを実行します。  
※ 本データでは、ラッピング処理に約2分程度かかります。
- ・意図せずラッピング結果が繋がってしまっているなどないか、ラッピング後の形状を確認します。



- ・[編集]-[閉空間/MAT番号の設定(モデル)]を実行します。車体内部が閉空間として認識されているか確認します。
- ・Car\_Wrap-Afterと言う名前で、MDLファイルを保存します。

## - 解析モデルの作成

### 1. 形状データの読み込み

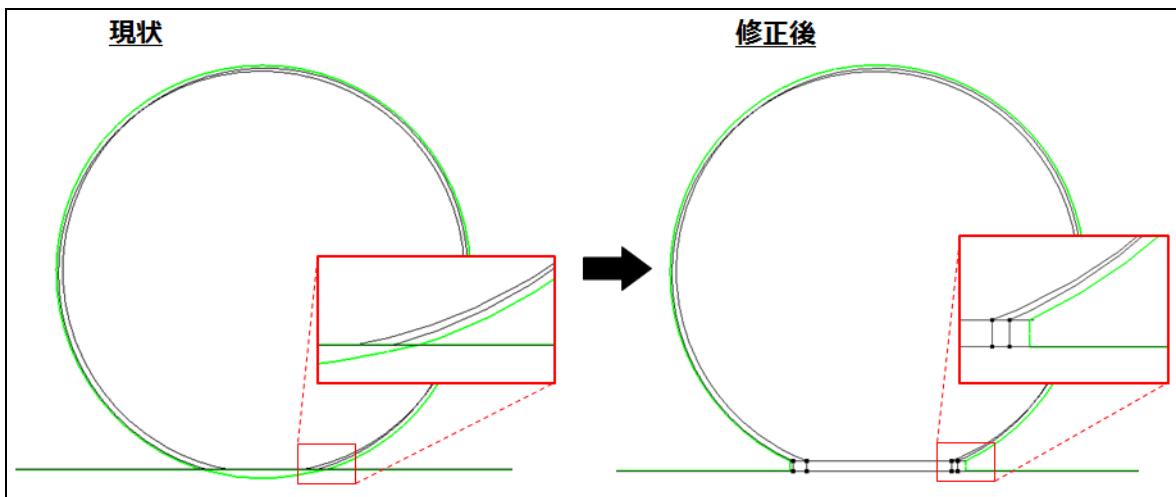
- ・[ファイル]-[新規作成]を実行し、情報を初期化します。
- ・[ファイル]-[インポート]を選択します。以下の設定を行い、Fr-Tire.nasを読み込みます。
  - ・ファイルの種類 : NASTRANファイル(モデル)(\*.nas)
  - ・[PIDを領域として認識する] : ON
  - ・面領域[PID1]を[Fr-Tire]に名前を変更します。

- 同様の手順で、Rr-Tire.nasを[選択したファイルとマージ]の設定で読み込みします。
- 面領域[PID1]を[Rr-Tire]に名前を変更します。
- 同様の手順で、Box.nasを[選択したファイルとマージ]の設定で読み込みます。
- [編集]-[領域の登録(モデル)]を選択し、以下に従い面領域名を登録します。

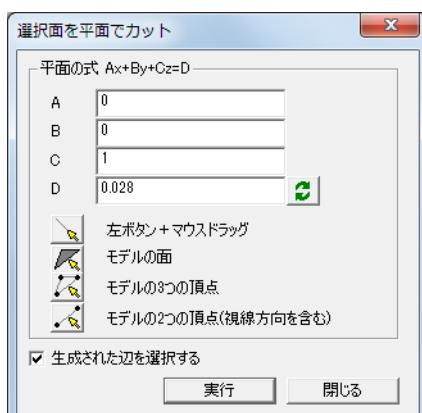
面領域	領域名
PID1	Inlet
PID2	Outlet
PID3	Side-Wall
PID4	Upper-Wall
PID5	Ground

## 2. タイヤと地面の接合作業

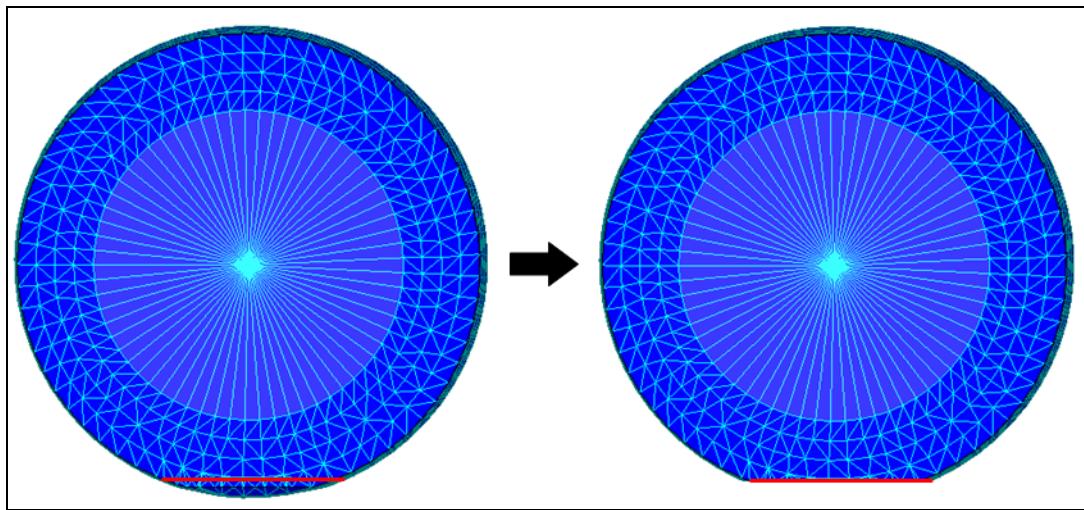
[表示]-[モデル断面表示...]を選択し、ZX平面上のタイヤ中心付近のモデル状況を認します。左下図(現状)の様に、地面にタイヤが食い込んでいることが確認出来ます。また、タイヤと地面が鋭いくさび形状を形成すると、上手くメッシュが作成出来ない可能性があります。そのため、右下図(修正後)の様にモデルを修正して、タイヤと地面を接合します。



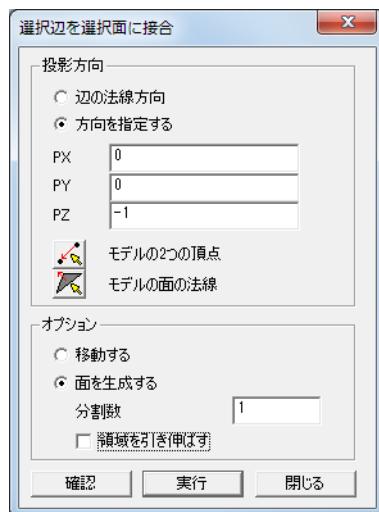
- 面領域[Fr-Tire]、[Rr-Tire]のみを表示し、選択状態にします。
  - [編集]-[モデル修正]-[選択面を平面でカット...]を選択し、以下の設定を行い[実行]をクリックします。
- [平面の式] : A=0, B=0, C=1, D=0.028  
 [生成された辺を選択する] : ON
- ※ 当該部位で、メッシュ作成に使用するオクタントサイズは0.01を配置します。追加する面の高さを0.01とするために、D=0.018(地面のZ座標)+0.01として決定しています。



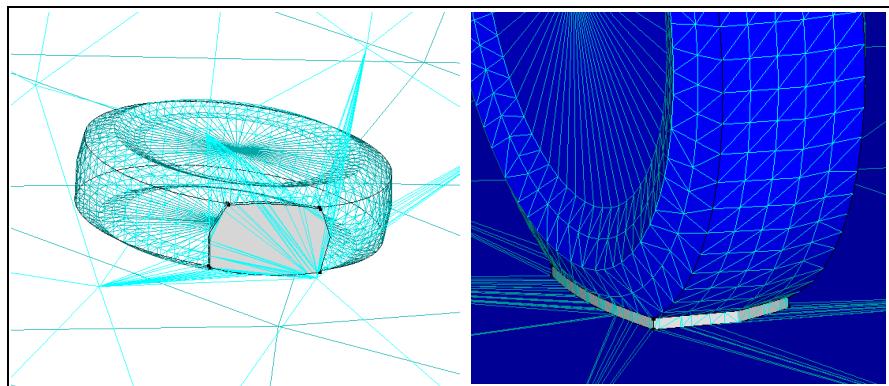
- 4本のタイヤにおいて、選択状態となっている生成された辺より下側の面を、すべて削除します。



- 非表示状態の面領域[Ground]を表示、面を選択します。
- [編集]-[モデル修正]-[選択辺を選択面に接合...]を選択し、以下の設定を行い、実行をクリックします。
  - [投影方向] : [方向を指定する]=ON、PX=0、PY=0、PZ=-1
  - [オプション] : [面を生成する]=ON、[分割数]=1、[領域を引き伸ばす]=OFF



- 面領域[Ground]に、上記作業で追加された面に囲まれた領域が生成されます(左下図)。それら4か所の面を削除します。
- 追加された面(右下図)すべてを面領域[Fine-Area]として登録します。また、引き伸ばし元の面領域[Fr-Tire]、[Rr-Tire]にも追加登録します。

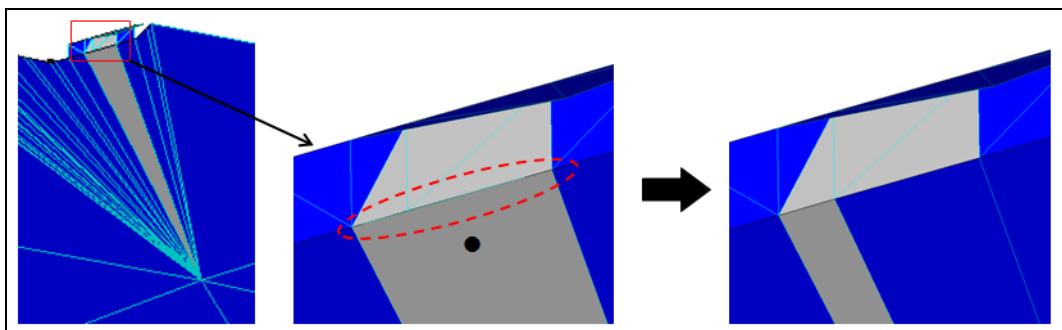


### 3. モデルのクリーニング

- 作成したモデルデータに問題が無いか、確認します。
- [編集]-[モデル修正]-[辺の重なり診断]を選択し、孤立辺がないことを確認します。

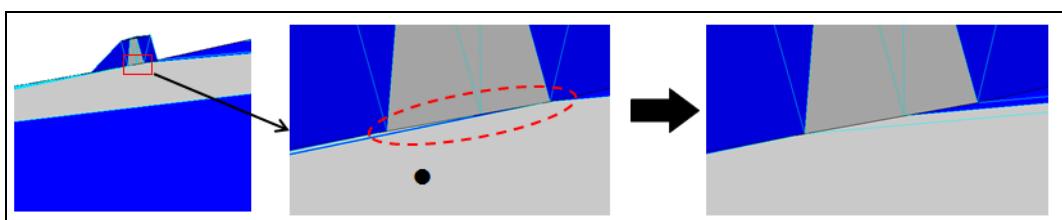


- [編集]-[モデル修正]-[重なった面の検出]を選択し、面の重なりが存在しないことを確認します。
- [編集]-[モデル修正]-[干渉面の検出]を選択し、干渉面を確認します。  
※ 本データでは、メッセージウィンドウに「モデルに24枚の干渉面が存在しています。」と言うメッセージが表示され、干渉面が選択状態となります。
- [表示]-[選択領域のみ表示]を選択し、[表示]-[近傍表示]-[選択領域に節点でつながった近傍]を実行し、干渉面の状況を確認します。  
※ すべて、タイヤと地面の接合部で干渉面が発生していることが分かります。  
これらすべての干渉面は、[モデルエッジスワップ]機能を使用して、面のファセット構成を修正することで、干渉面を無くすことが出来ます。
- 以下の手順で、干渉面を修正して行きます。
  - [編集]-[モデルエッジスワップ]を選択します。
  - 干渉面が発生している部位を拡大し、面のファセット構成を確認します。下図真ん中の画像の様に、赤丸で囲んだ部分のファセット構成がおかしいことが確認出来ます。
  - 下図真ん中の画像の●印付近をクリックします。すると、下図右側の画像の様にファセット構成が変わり、正常な状態に修正することが出来ます。
  - [編集]-[モデル修正]-[干渉面の検出]を選択し、干渉面を除去出来たことを確認します。



- 下図の様に、ファセット構成は正常に見えるけれども、極細の三角形パッチが原因で干渉面となっている場合もあります。修正方法は同様ですが、極細の三角形パッチが解消出来るまで、モデルエッジスワップによる修正を行います。(●印付近をクリックします。)

※ 本部位は、2回のモデルエッジスワップで干渉面の除去が可能です。

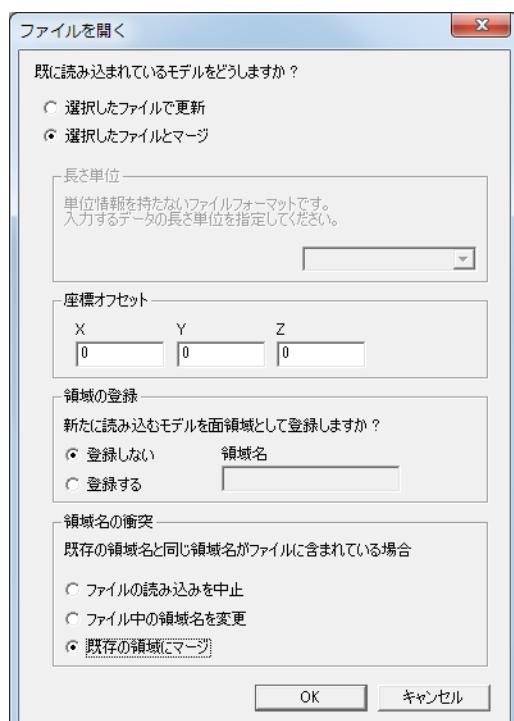


※ 予め、CADなどで矩形風洞とタイヤを接合したデータを作成することで、本干渉面の修正作業は不要となります。

※ [モデルエッジスワップ]で修正しきれない場合は、[モデルエッジスプレッド]や[モデルの頂点のマージ(ピック)]を併用して、干渉面の除去をして下さい。

#### 4. 車両データのマージ

- 以下の設定で、Car\_Wrap-After.mdlを読み込みます。



- モデルのクリーニングの作業を再度行います。
  - ※ 本データの場合、問題のないデータということが確認出来ます。
  - ※ 車両部分のモデルのクリーニングは、必ず矩形風洞モデルとマージした後で実施します。車両モデルのみの状態でクリーニングを行っても、矩形風洞モデルとマージすることで干渉面判定などの閾値が変わり、干渉面が検出されることがあります。

## 5. 閉空間の再認識

- [編集]-[閉空間/MAT番号の編集(モデル)]を選択し、[閉空間の設定]をクリックします。
- [閉空間の設定]ダイアログ内の[再認識]をクリックして、閉空間を再認識させます。
- 閉空間が正しく認識されているか確認した後、車両内部の空間(閉空間2)にMAT番号に0を適用し、解析領域外として設定します。

## 6. 面領域の編集

- 以下の様に、面領域を編集します。登録作業には、[表示]-[登録領域...]を使用すると便利です。
    - 面領域[Fine-Area]、[Fr-Tire]、[Rr-Tire]を面領域[Car]に追加登録します。
    - 面領域[PID2]、[PID13]を面領域[Upper]に追加登録します。
    - 面領域[PID22]を面領域[Fr-Bumper]に追加登録します。
    - 面領域[PID2]、[PID13]、[PID22]を削除します。
- ※ 下図の様な面領域登録状態となります。



- exC05と言う名前でMDLファイルを保存します。

## - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

- 解析選択
  - [乱流モデル]に[MP k-εモデル]を選択します。

## 2. 基本選択

- [解析方法]で[定常解析]（デフォルト設定）を選択します。  
[開始サイクル] : [1]  
[終了サイクル] : [500]

## 3. 物性値・基準値

- MAT1の物性として"空気（非圧縮20°C）"（デフォルトの設定）を使用します。

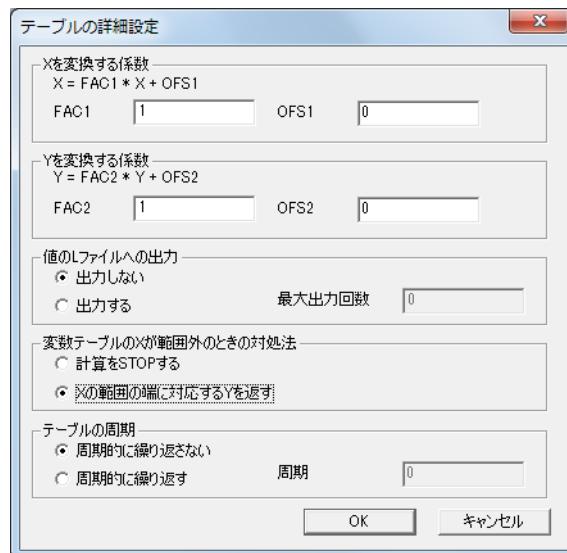
## 4. 境界条件

- 以下の境界条件を設定します。
  - [Inlet] : 流速規定（流入流速=30[m/s]）
  - [Outlet] : 表面圧力規定（0[Pa]）
  - [Ground] : 平行移動壁（移動速度 X=30[m/s]）
  - [Fr-Tire] : 回転移動壁（角速度=98.49[rad/s]  
回転中心=(0.845、0.752、0.311)[m]  
軸方向=(0、-1、0))
  - [Rr-Tire] : 回転移動壁（角速度=98.49[rad/s]  
回転中心=(3.21、0.752、0.311)[m]  
軸方向=(0、-1、0))
  - [Car] : 壁面（静止壁）  
※ 必ず、[Car]の壁面条件は最後に設定します。同じ部分にWL02コマンドが複数指定された場合には、すべり壁条件を除いて先に設定した条件が優先されます。今回の場合、[Fr-Tire]と[Rr-Tire]は、[Car]にも含まれるため、先に[Car]の静止壁条件を設定すると、回転移動壁条件が考慮されません。

## 5. 計算条件

- [慣性不足緩和]で、U、V、Wに対して、以下の変数テーブルを作成し、設定します。

	サイクル	クーラン数
1	0	15
2	30	15
3	31	0



※ クーラン数=0は、慣性不足緩和を使用しない設定となります。

- [定常判定]で、すべての物理量の判定値を1e-5に設定します。
- [圧力]-[圧力補正式の解法]で[修正SIMPLEC]を選択します。

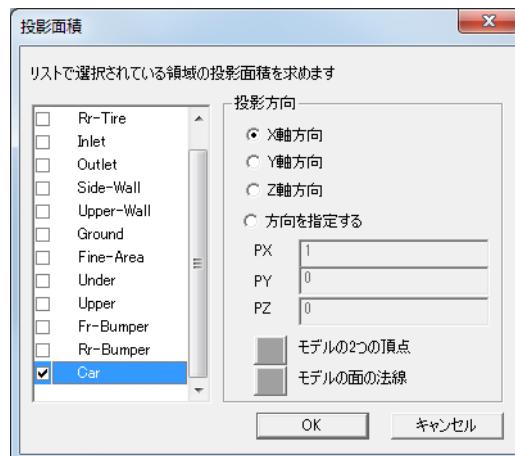
## 6. 出力条件

- ・ [圧力]で、[指定サイクル毎に出力]-[サイクル間隔]=1、[出力する領域群]=Carを設定します。
- ・ [粘性応力]で、[指定サイクル毎に出力]-[サイクル間隔]=1、[出力する領域群]=Carを設定します。
- ・ [抗力・揚力]で、[新規作成]をクリックし以下の設定を行います。本設定で、車両表面における0.05m間隔の $C_D$ 値及び、 $C_L$ 値の情報を出力することが出来ます。



※ 計算終了時のみ出力するために、指定終了サイクルより十分に大きな値を設定します。

※ [前面投影面積]横の□をクリックすることで、[投影面積]ダイアログが現れ、以下の設定を行い[OK]をクリックすると前面投影面積が自動的に算出されます。



- ・ [抗力・揚力]で、各面領域毎の $C_D$ 値及び、 $C_L$ 値を出力する設定を行います。以下の手順で設定することが出来ます。
  - ・ [登録済み条件]の[条件No.1]を選択します。
  - ・ [再利用...]をクリックします。
  - ・ [条件No.1]の内容がコピーされた[抗力・揚力の出力条件のアイテム]ダイアログが現れます。
  - ・ 以下の様に必要な設定 ([対象となる領域]、[区間間隔]、[CSVのラベル名]) のみ編集し、[OK]をクリックすると、[条件No.2]として登録されます。



※ [区間間隔]に[対象となる領域]より十分大きな値を設定することで、全体のC<sub>D</sub>値、C<sub>L</sub>値の出力が可能となります。

## 7. ファイル指定

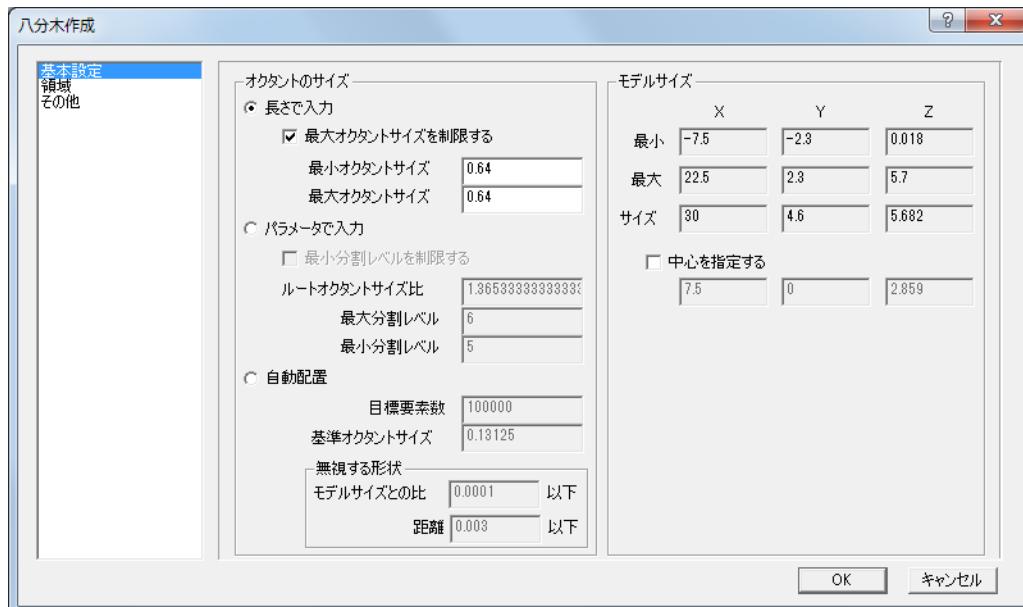
- [デフォルト名]にexC05と入力します。

## - 解析メッシュ

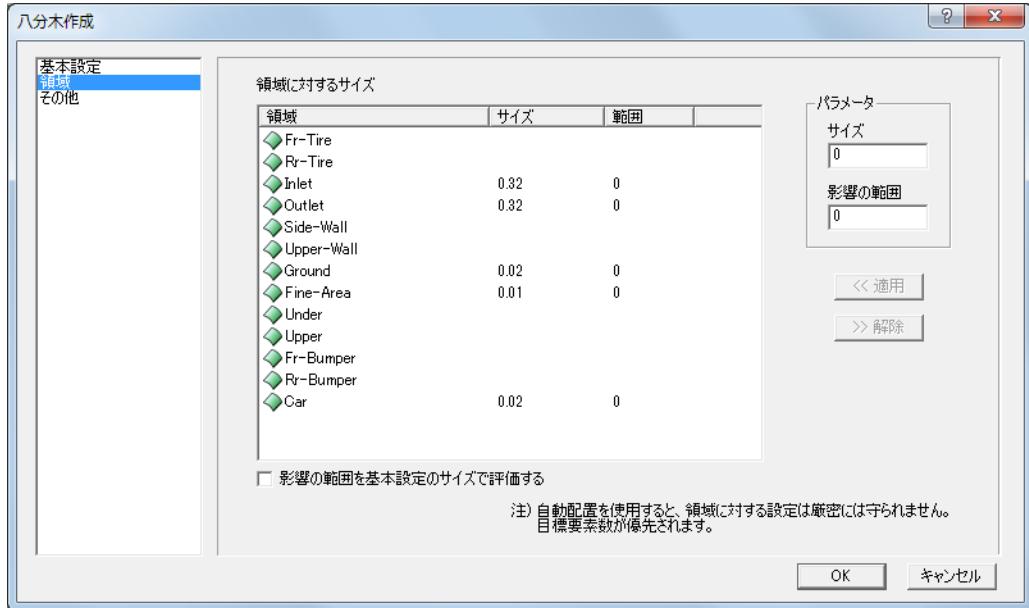
### 1. オクタント作成

以下の手順で八分木を作成し、OCTファイルを保存します。

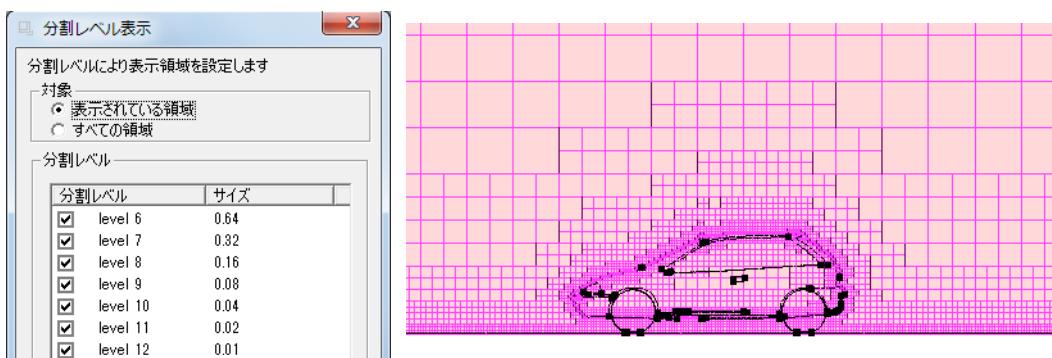
- [編集]-[八分木作成]をクリックします。
- 表示された八分木作成ダイアログで[最大オクタントサイズを制限する]にチェックを入れ、以下の値を入力します。  
[最小オクタントサイズ] : 0.64  
[最大オクタントサイズ] : 0.64



- ・ [領域]を選択し、[領域に対するサイズ]に以下の様な設定を行い、[OK]をクリックします。
- ・ [Inlet]、[Outlet] : サイズ=0.32、範囲=0
- ・ [Car]、[Ground] : サイズ=0.02、範囲=0
- ・ [Fine-Area] : サイズ=0.01、範囲=0



- ・ 分割の終了後、[表示]-[分割レベル表示]または、[右クリック]-[分割レベル表示]で表示される[分割レベル表示]ダイアログからオクタントの大きさをチェックします。  
※ 最終オクタント数 : 980,518

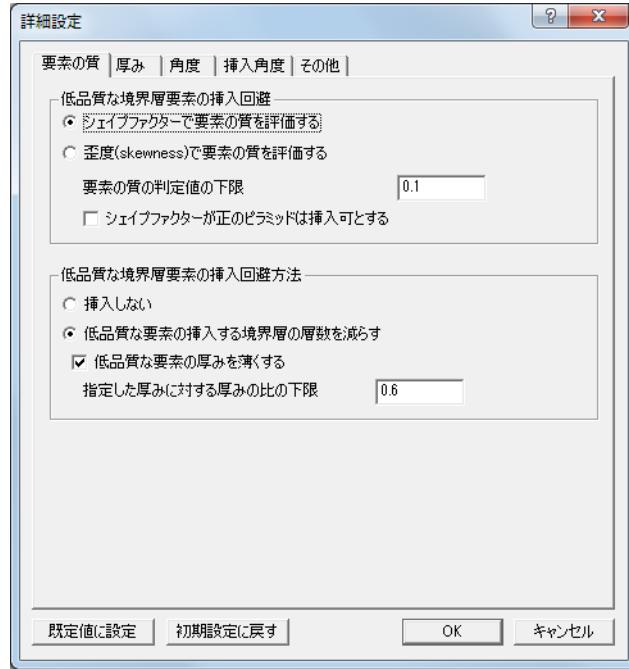


## 2. メッシュ作成

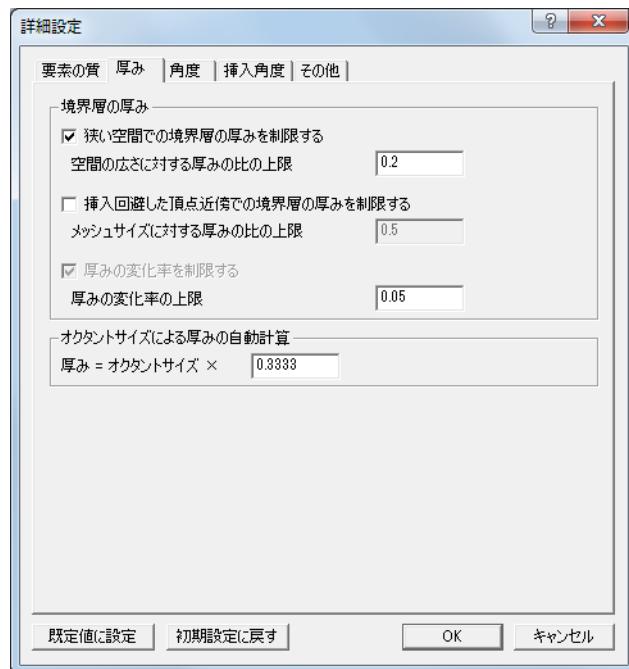
- ・ [実行]-[表面メッシュ作成から]-[境界層要素挿入まで]を選択し、[連続実行]ダイアログを表示します。
- ・ [必要なデータ]を選択し、前ページで保存したMDLファイルとOCTファイルを指定します。ファイルの指定はエクスプローラからのドラッグ&ドロップにて可能です。
- ・ [作成されるデータ]で保存場所と保存名を確認します。  
※ Sファイルは、メッシュの作成には必要ありません。
- ・ 続いて[境界層要素挿入パラメータ]の設定をクリック、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを表示し、下記の設定を行います。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[Car]	[5e-3]	[1.1]	[2]
[Ground]			

- [詳細設定]を選択し、[要素品質]タブで[低品質な境界層要素の挿入回避方法]-[低品質な要素の厚みを薄くする]をONにします。
- [指定した厚みに対する厚みの比の下限]に0.6(デフォルト)を入力します。



- [厚み]タブを選択し、[狭い空間での境界層要素の厚みを制限する]をONにします。
- [空間の広さに対する厚みの比の上限]に0.2(デフォルト)を入力、[OK]をクリックして[詳細設定]ダイアログを閉じます。



## 境界層要素挿入パラメータについて

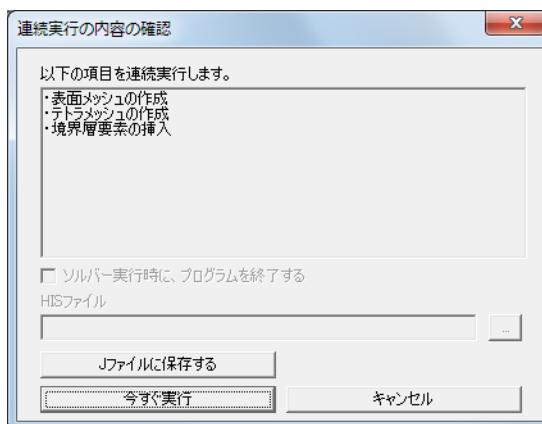
- $y^+$ とは抵抗のある壁からの無次元距離で、流体の密度・粘性係数・摩擦速度から決まります。なお流体の密度・粘性係数はあらかじめ求めることができますが、摩擦速度を知るためには計算を実施し、計算結果を参照する必要があります。しかし、一般にはおおよそ平均流速の5%程度で推移することが知られていますのである程度類推することは可能です。
- $y^+$ の値は、一般に境界層要素の厚さによって求まり、対数則は $y^+$ の値が30~1,000程度の範囲で成立します。**SCRYU/Tetra**では対数則を用いているため、この値を50~150程度にすると、比較的精度の高い結果が得られる傾向にあります。
  - 下図に $y^+$ が不適切な例を示します。（LFileViewで見た図です。） $y^+$ が5以下に集中していることがわかります。

```
== YPLUS MIN-MAX ==
  NODE      YPLUS      DIST      TAUWALL      TURK      TEPS
MAX    10265  0.558712  0.000999468  10.1472  0.0380045  3.04513
MIN    37063  0.000000  0.000000  0.000000  1.000000e-09 1.000000e-09
  NODE      X          Y          Z
10265  0.0432288 -0.0242331  0.146652
37063 -0.00260846 -0.0308704  0.180348

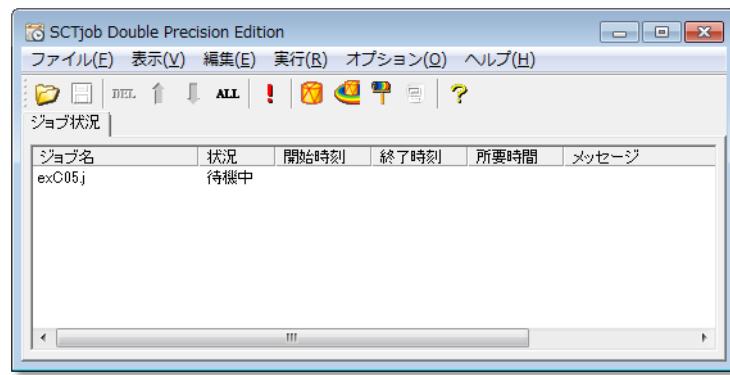
(YPLUS DISTRIBUTION)
  0 - 5 : 10281
  5 - 30 : 0
  30 - 100 : 0
  100 - 300 : 0
  300 - 1000 : 0
  1000 - Inf : 0
```

- 摩擦のある壁では $y^+$ を上記の値程度に抑えなければ高い精度の結果が得られませんので、可能な限りこの範囲に収まるよう、境界層の厚さを抑える必要があります。また、フリースリップ面や対称面（鏡面）といった壁面でない面では摩擦を考慮する必要はありませんので、境界層の挿入は不要となります。
- $y^+$ の正確な値は実際に計算を試さないと分かりませんので、もし計算結果がうまく得られない場合等は、 $y^+$ の分布を確認し、 $y^+$ が適切な範囲に収まるようメッシュを切り直します。
- [OK]をクリックし、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを閉じます。
- [連続実行]ダイアログの[OK]をクリックし、表示された[連続実行の内容の確認]ダイアログ（右図）の[Jファイルに保存する]をクリックし、境界層要素の設定をJファイルに保存します。

※ Jファイルに境界層要素の設定を保存せずに[今すぐ実行]をクリックした場合、境界層要素挿入に関する情報が保存されません。

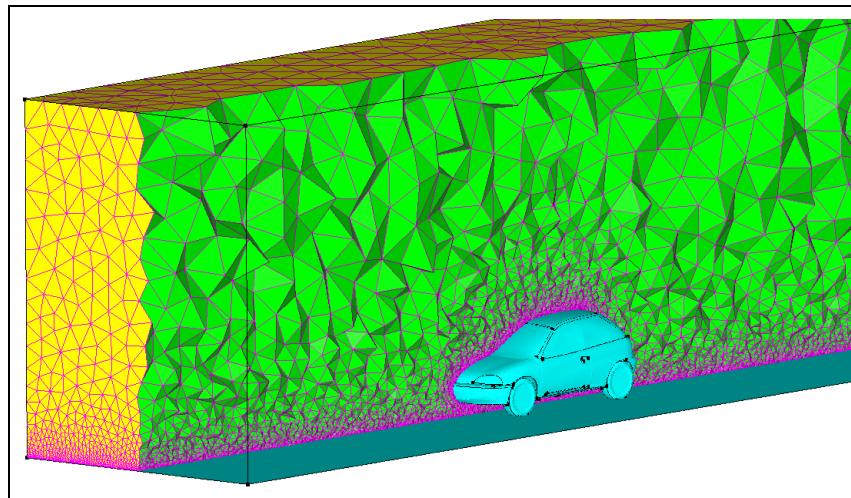


- 保存したJファイルをSCTjobに読み込み、実行ボタンをクリックすると、メッシュ作成がスタートします。  
※ SCTjobで実行した場合にはログファイルが保存されます。  
※ 保存されるログファイルには、SCTjobの進行状況がリアルタイムで出力され、エラーが発生した際もその詳細がこのファイルに出力されます。

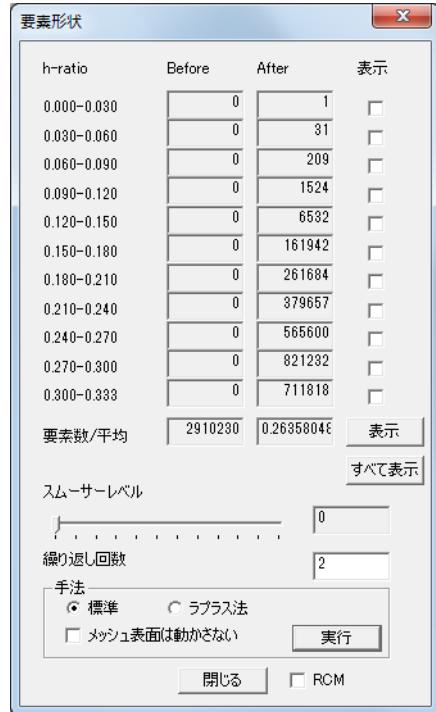


### 3. メッシュチェック

- 作成されたメッシュはPREファイル（exC05.pre）として保存されます。  
※ 要素数=4,089,098、節点数=1,246,993

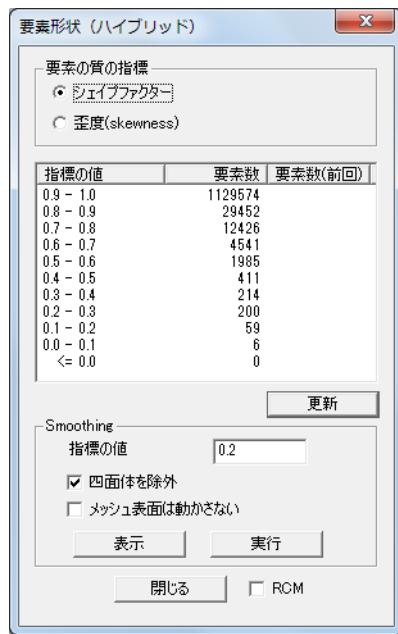


- 指定した場所に境界層が入っているか、メッシュが粗すぎないかを目視でチェックします。例題のため今回は粗いメッシュを設定していますが、多くの場合、より細かいメッシュを作成する必要があります。
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック]を選択すると下図のような要素形状ダイアログ内にh-ratioの分布が表示されます。



- h-ratioとは三角形の内接球と外接球の半径の比で、最も良い形状の場合は0.333となり、形状が悪い程0へ近づきます。
  - 通常は0.03以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算出来ないこともあるので、0.03以下の要素があるかチェックします。
  - もし h-ratio : 0.03 以下の要素が多くある場合は、[0.000-0.030] 右のチェックボックスをONとし、[表示]をクリックすることで、該当する要素のみがドローウィンドウに表示されますので、その周囲のメッシュを細かくする、またはスムージング機能を使用してメッシュの質の改善を行います。
- ※ 通常、スムージングは一度に行うのではなく、スムーサーレベルを段階的に分けて繰り返し行い、メッシュの質を徐々に上げていきます。

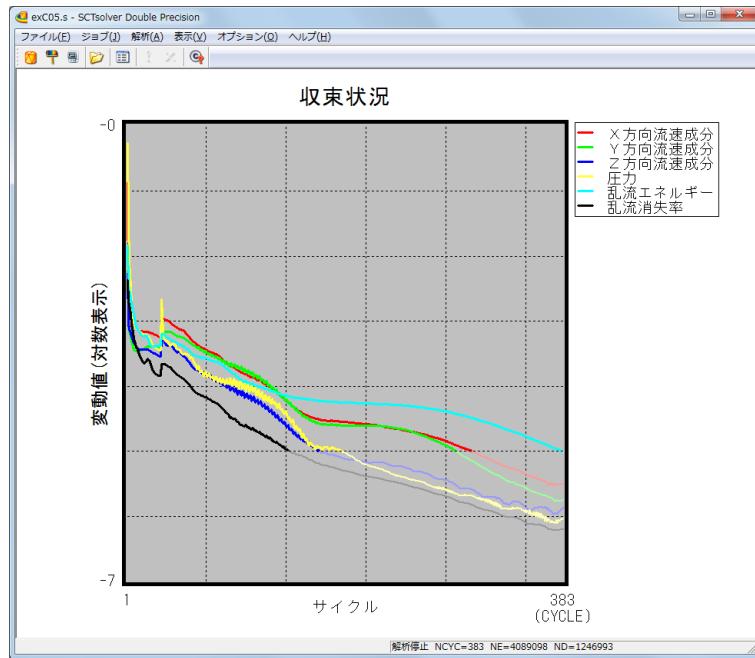
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック（ハイブリッド）]を選択し、下図のような[要素形状（ハイブリッド）]ダイアログで Shape Factor の分布を表示します。



- Shape Factor はテトラ要素以外のプリズム要素、ピラミッド要素の質を表すパラメータで、最も質の良い形状の場合は1.0となり、形状の質が悪い程0に近づきます。
  - 通常は0.1以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算出来ないこともあるので、0.1以下の要素があるかチェックします。
  - もし Shape Factor : 0.1以下の要素が多くある場合は、以下の手順で修正をします。
    - 境界層の厚みを変えるか、隣接するメッシュを細かくする。
    - スムージングを行う。
    - Shape Factorに0.1と入力し、実行をクリックします。
- ※ 0.1未満の値を入力した場合には境界層の厚みが不揃いとなる可能性があります。

## - 解析実行

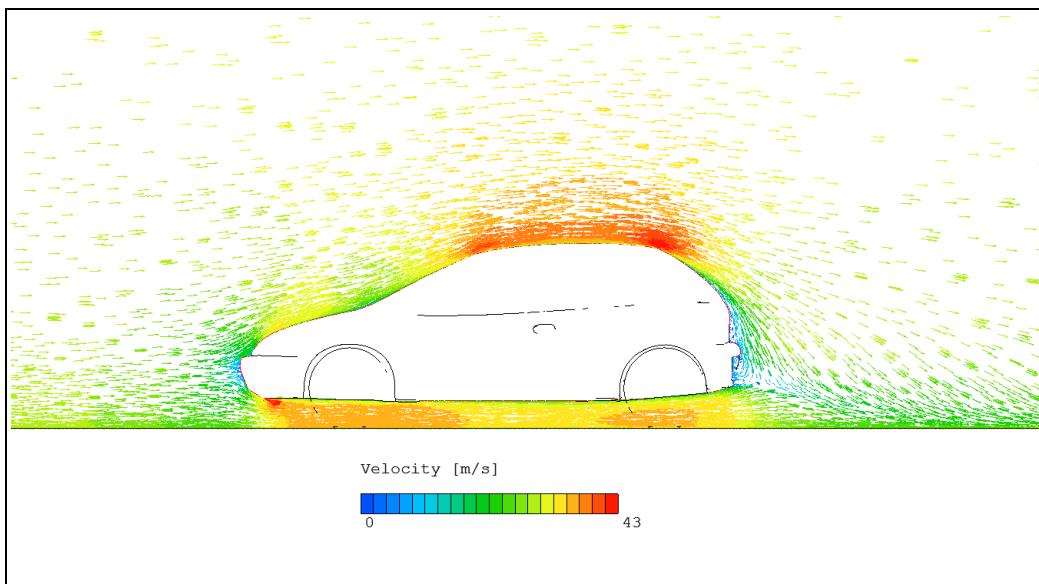
Sファイルをソルバーに読み込み、実行をクリックすると計算が開始します。[収束状況]から、最終的に383サイクル目でグラフ上のすべての変数が定常判定値 $10^{-5}$ （下図対数グラフでは-5）に達していることが分かります。



## - 解析結果

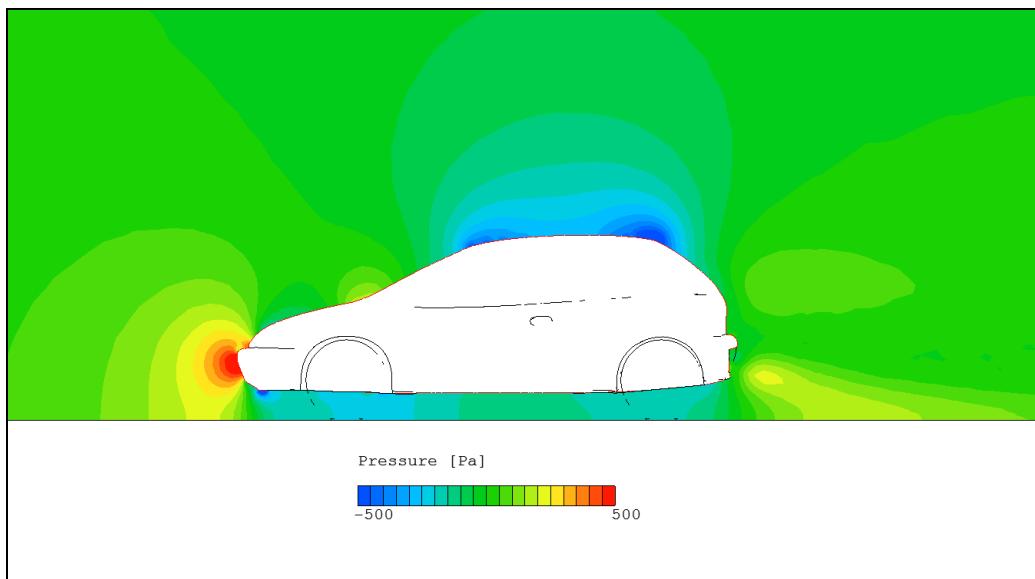
### 1. 流速ベクトル図 (Y=0断面)

- 車両中心断面上に流速ベクトル図を描画します。
- カット面オブジェクト[位置]タブを選択し、[Y軸]を選択後、[座標]に0と入力します。
- 同じくカット面オブジェクト[ベクトル]タブを選択し、[表示]をONとして、流速表示されているのを確認します。
- [場所]-[節点上]を選択します。
- [スケール]-[長さ]に0.1と入力し、再描画をクリックするとベクトル図が得られます。



## 2. 圧力センター図

- カット面オブジェクトの[センター]タブで[表示]をON、[変数]に[圧力 (PRES) ]を選択すれば、断面上の表示を圧力センターに変更することも可能です。



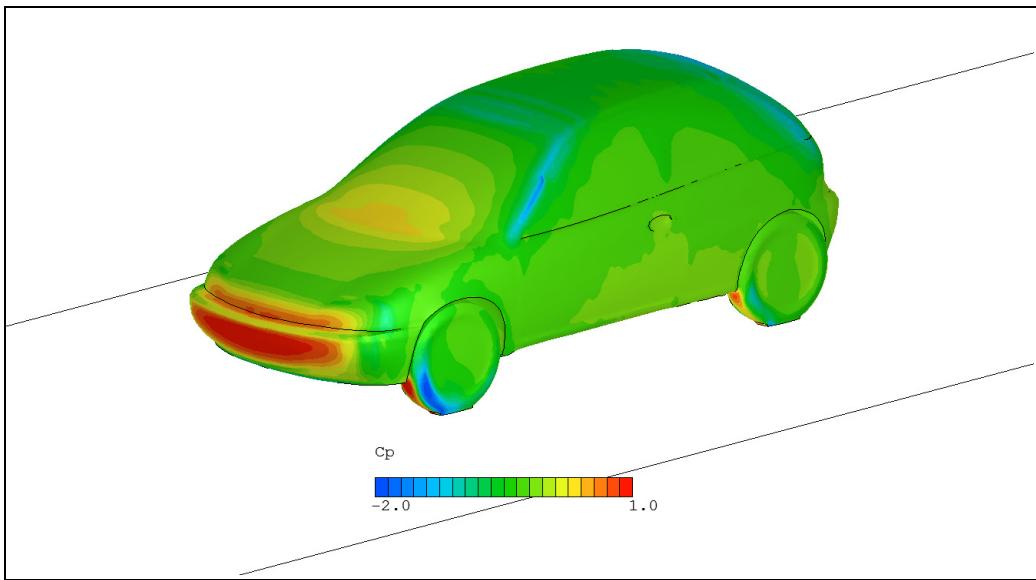
## 3. 無次元圧力の表示

[変数登録]機能を使用することで、任意の変数を定義し、描画することができます。

- [全体]オブジェクトの[変数登録]を選択し、以下の図の様に設定し、[登録]をクリックします。



- [カット面]を非表示にします。
- [表面]オブジェクトを作成し、[領域]タブの[表示する登録表面]-[MAT境界]のチェックを外し、[登録表面]-[Car]のみにチェックをします。
- [センター]タブの[表示]をチェックし、[変数]で[Cp]を選択します。[塗りつぶし]の[表]、[裏]両方にチェックをして再描画をクリックすると、車両表面に無次元圧力分布が描画されます。



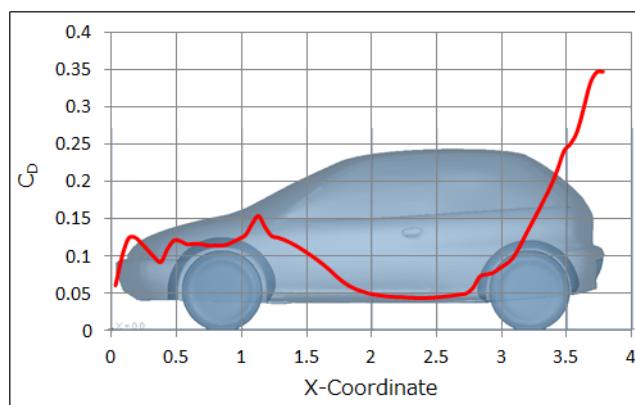
#### 4. $C_D$ 値、 $C_L$ 値の確認

[解析条件]-[出力設定]-[抗力・揚力]の設定によって、計算結果としてexC05\_CDCL\_Car\_383.csvと

exC05\_CDCL\_Total\_CD\_383.csvの2つのCSVファイルが出力されます。これらのファイルの内容を確認します。

※ 出力内容詳細に関しては、リファレンス(ソルバー)編の[第3章Solverからの出力メッセージ]-[(37)抗力・揚力]をご参照ください。

- exC05\_CDCL\_Car\_383.csvをエクセルで開きます。このファイルには、区間毎の $C_D$ 値、 $C_L$ 値などの情報が出力されています。
- [CD]ラベルの値を積算しグラフ化することで、 $C_D$ 値の変化を確認出来ます。



- exC05\_CDCL\_Total\_CD\_383.csvをエクセルで開きます。このファイルには、登録面領域毎の $C_D$ 値、 $C_L$ 値が出力されています。
- 一部内容を抜粋した例を示します。面領域[Car]は車両全体を登録していることから、今回の解析結果は、リストのLRGN[Car]の値を確認することで $C_D$ 値=0.347、 $C_L$ 値=0.240ということが分かります。

---

LRGN[Fr-Tire]			
DRAG	LIFT	CD	CL
31.5836	15.1139	0.0338505	0.0161988
LRGN[Rr-Tire]			
DRAG	LIFT	CD	CL
13.0121	14.6777	0.0139461	0.0157312
LRGN[Under]			
DRAG	LIFT	CD	CL
45.9405	-837.119	0.0492379	-0.897204
LRGN[Upper]			
DRAG	LIFT	CD	CL
109.109	1042.55	0.116941	1.11738
LRGN[Fr-Bumper]			
DRAG	LIFT	CD	CL
79.433	-12.1242	0.0851343	-0.0129944
LRGN[Rr-Bumper]			
DRAG	LIFT	CD	CL
44.9801	1.12263	0.0482086	0.00120321
LRGN[Car]			
DRAG	LIFT	CD	CL
324.058	224.218	0.347318	0.240311

---

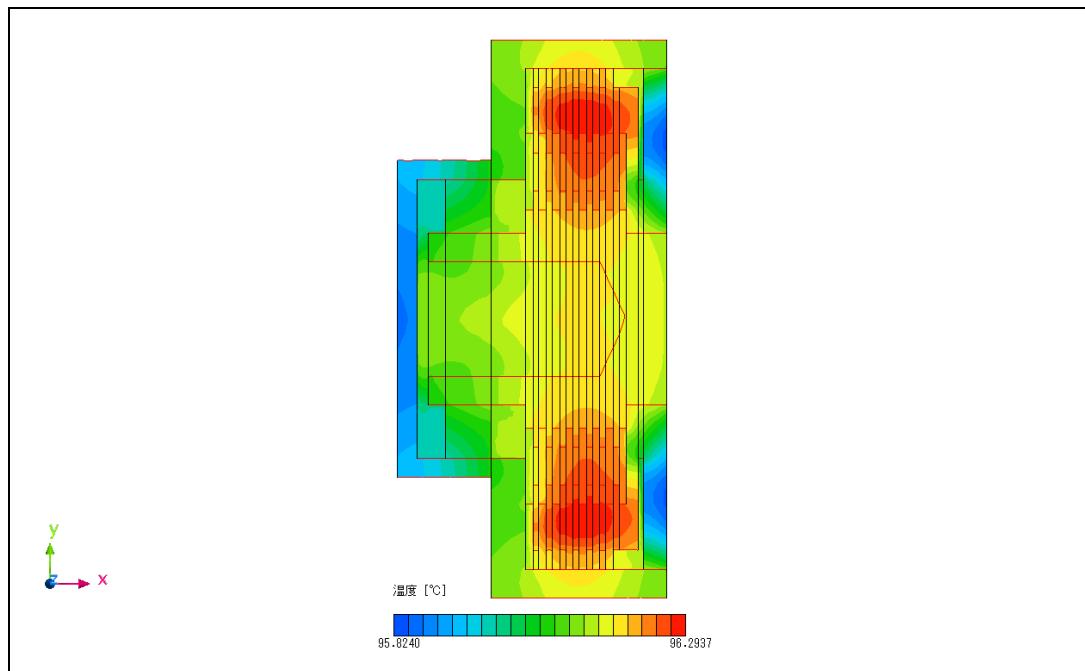
## 応用例6 制御力アップリング

---

制御カップリングは大事な自動車部品の一つです。自動車はもちろん「曲がる」ということができますが、自動車の持つ4つのタイヤが必ず同一の回転数を持つように作られていると、カーブの内側と外側では周差があるため、内側のタイヤがスリップしない限り、外側のタイヤが効率よく回転することができません。そのため、通常、自動車は運転状況によって、エンジンからの力が効率良く、最適に4本のタイヤに分配されるような機構を持っています。耳にしたことでもあります。もっとも、最近は、LSD(Limited slip differential)という、例えば、ぬかるみから脱出する場合にも便利なように、いずれのタイヤにも最低限の力がかかるようにする機構がよく用いられているようです。

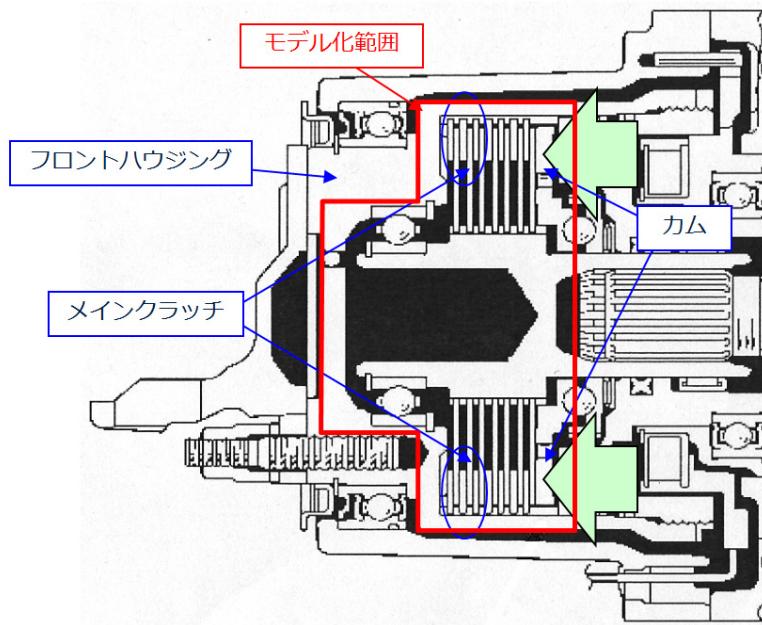
これらはいずれにしてもタイヤにエンジンの動力をどのように分配するか、ということを司るものですが、さらに発展して、路面の状態、ドライバーのアクセルやブレーキの踏み方など、「曲がる」ということ以外の細やかな要素によっても力の分配を変えることができれば、燃費や、はては運転性能(ドライバビリティ)の向上にも役立ちます。この例題で取り上げる制御カップリングはそのための代表的な部品です。本例題で取り上げているEMCD(Electro-Magnetic Control Device)と呼ばれる部品も、その制御カップリングの一つで、外部からの電気信号で内部に働く電磁力を変化させ、それによって各タイヤへの動力分配を柔軟に制御します。力を伝える、という目的上、この部品の内部では、異なる軸間の動力伝達機構を持ちます。いわゆるクラッチですが、このクラッチ板間にには摩擦力がかかり、熱を発生します。

この例題ではこのEMCD内のクラッチの発熱を解析しようとするものです。設定では、特に閉空間が多い場合の処理や、流体の空間が密閉されている場合の解析設定の考え方、回転移動壁面条件の使い方について着目してみてください。



下図に示す制御カップリングは、カムからの力が加わることにより、フロントハウジングから伝わってきたトルクをメインクラッチを介してシャフトへと伝える働きをします。メインクラッチ部分のアウターとインナーは異なる回転数を持ち、接触面で摩擦熱が発生します。この摩擦熱による温度上昇を、模擬回転体（回転移動壁）を使って解析します。

## 解析モデル



## 解析手順

### - 解析モデル作成

SCTpreを起動して、[ファイル] - [開く]より exC06.stlを読み込み、以下の設定を行いMDLファイルを保存します。

#### 1. 閉空間/MAT番号の設定

- 今回のモデルは形状が複雑なため、面登録は面をひとつひとつ選択して行うのではなく、单一もしくは複数の閉空間番号を指定して行います。そこで、まずは各閉空間の番号と位置との対応を確認します。
- 例えば閉空間番号1を確認する場合、[編集] - [閉空間/MAT番号の設定 (モデル)]をクリック、[閉空間]タブで [閉空間 : 1]を選択し場所の確認をクリックします。するとドローウィンドウ上で形状を確認することができます。以降、他の閉空間についても同様に、合計20個の閉空間について確認を行っていきます。
- 次に、各閉空間にMAT番号を設定します。下図のように閉空間1を選択した状態で、[MAT番号]に[10]と入力、<<適用をクリックすると、閉空間番号1のMAT番号が10に更新されます。

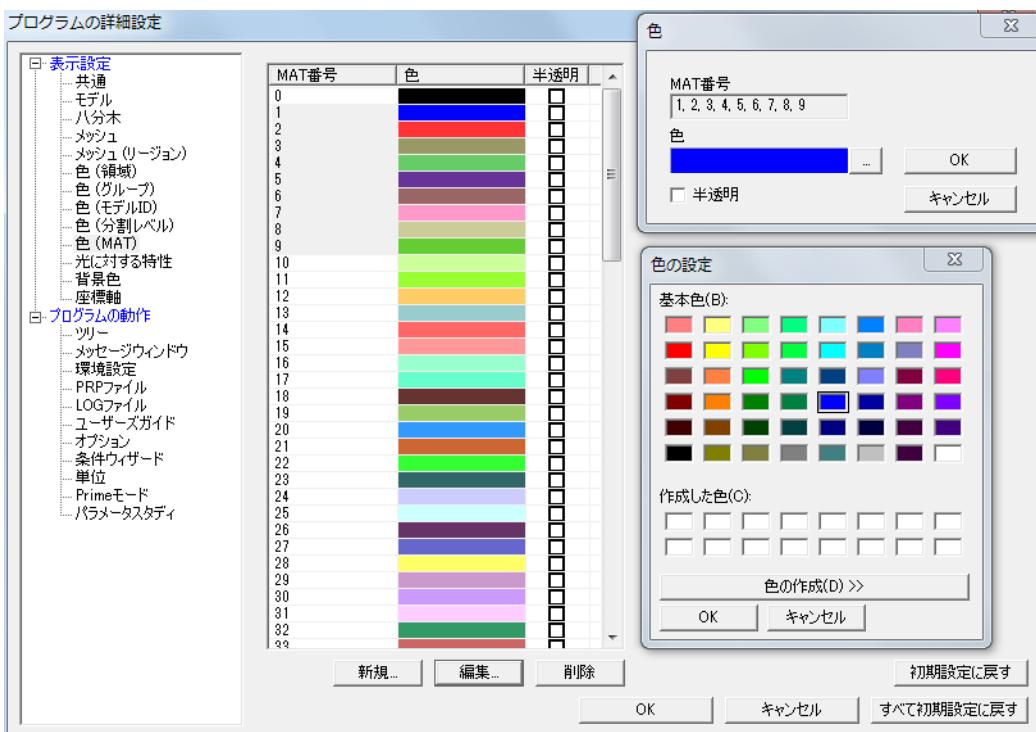


- 他の閉空間についても同様に、下表に従ってMAT番号を設定していきます。

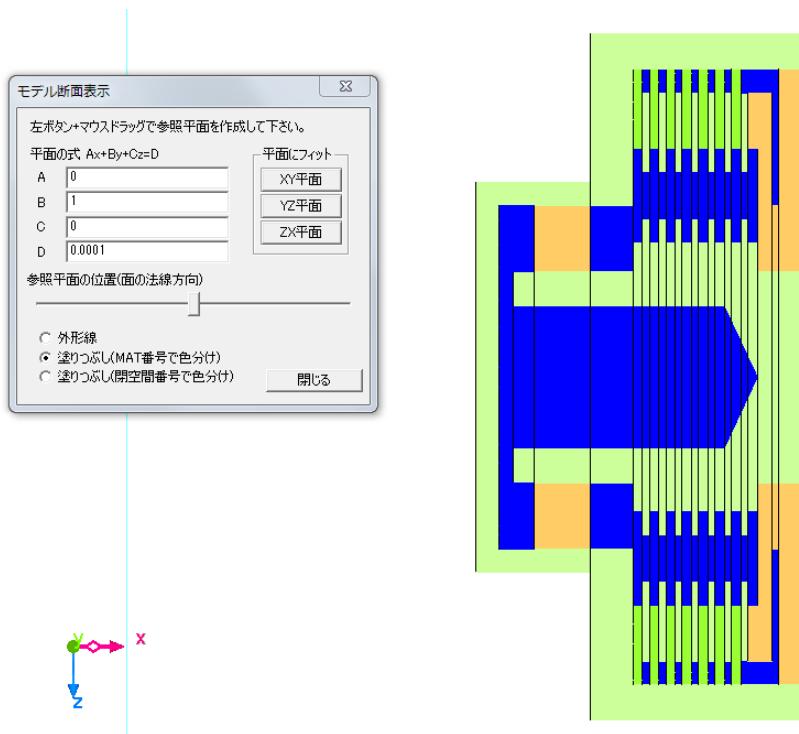
閉空間	MAT番号	閉空間	MAT番号
1	10	11	6
2	1	12	11
3	10	13	7
4	12	14	11
5	2	15	8
6	11	16	11
7	4	17	9
8	11	18	11
9	5	19	3
10	11	20	12

## 2. モデルの形状チェック

- ここで、閉空間とMAT番号が正しく設定されたことを確認します。
- まずMAT番号ごとの色分けに使用する色をそれぞれ指定します。[プログラムの詳細設定]ダイアログ ([オプション]-[プログラムの詳細設定]) [表示設定]から[色(MAT)]を選択すると、MAT番号ごとの色分けに使用される色のリストが表示されます。MAT番号1から9を同時に選択し、[編集]をクリックすると、下図のような[色]ダイアログが表示されますので青色を設定し、OKをクリックします。最後に[プログラムの詳細設定]ダイアログ上でMAT番号1~9の色が青色に更新されたことを確認、OKをクリックし[プログラムの詳細設定]ダイアログも閉じます。
- 以上の操作により、以降MAT番号で色分け表示を行う際には、オイル部分は青く表示されるようになります。



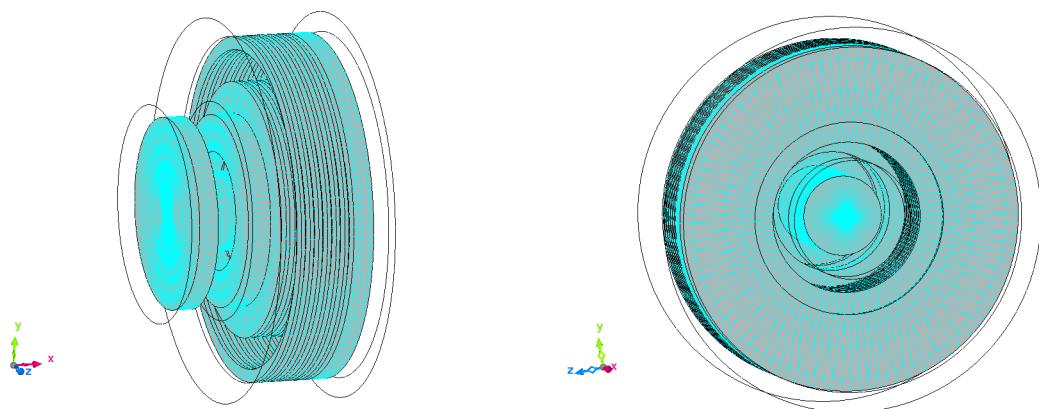
- 各閉空間にMAT番号が正しく設定されたことを確認するため、モデル断面表示でMAT番号による色分けを行います。
- [表示] - [モデル断面表示]で下図のように設定し、[塗りつぶし(MAT番号で色分け)]を選択すると、モデル断面が表示されます。
- 下図ではオイル部が青、アルミ部が薄黄緑、紙部が黄緑、鋼部が濃黄で表示されており、MAT番号が正しく設定されていることが分かります。



---

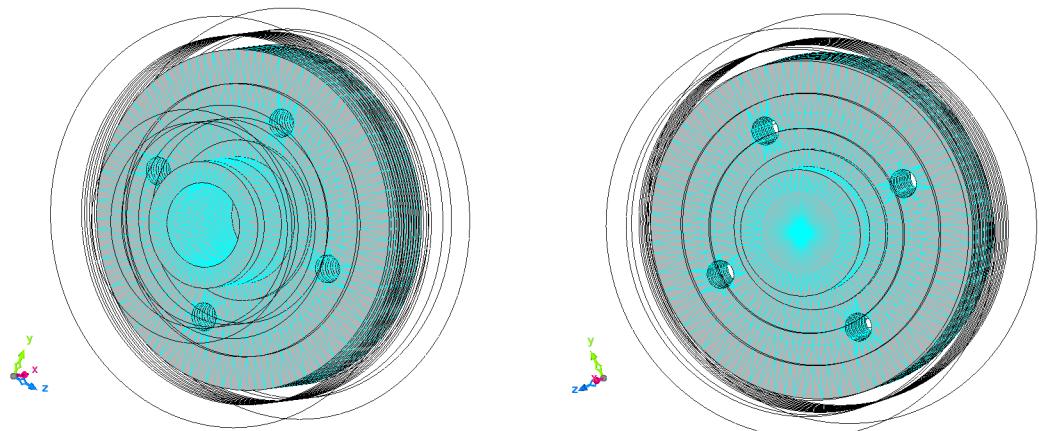
### 3. 面領域の登録

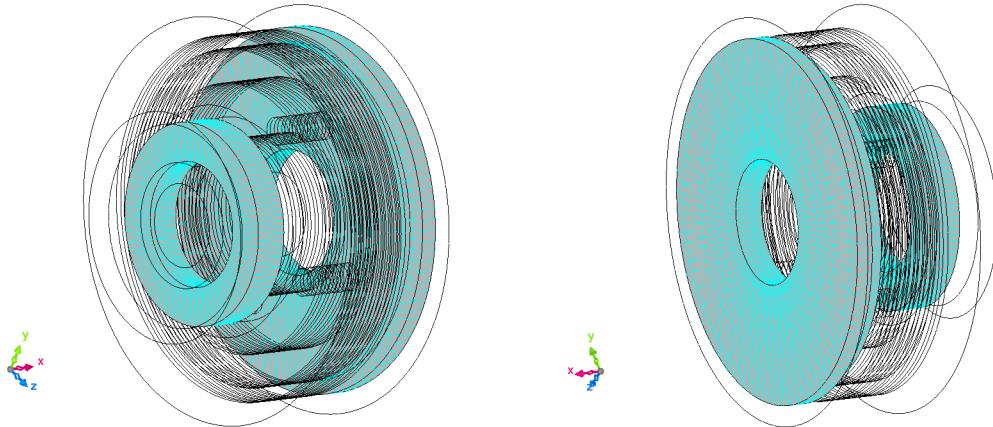
- 各閉空間へのMAT番号の設定が完了しましたので、次に面領域の登録を行います。
- まず前準備として、メッシュ作成及び計算条件用の面領域登録時に“参照用”として使用する、以下の面領域の登録を行います。
  - オイルの境界 [bound-oil]
  - 閉空間No.3の境界 [hei03]
  - 閉空間No.4とNo.20の境界 [hei04to20]
- [編集] - [閉空間/MAT番号の設定(モデル)]から[面領域]タブを開き、[指定した閉空間の表面]を選択、下記の閉空間を[bound-oil]という面領域名で登録をクリックすると下図のような面領域が登録されます。
- 閉空間番号 : 2, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19



- 同様に、以下の閉空間の表面についても面領域を登録します。
- 面領域名 hei03 : 閉空間番号 3
- 面領域名 hei04to20 : 閉空間番号 4,20

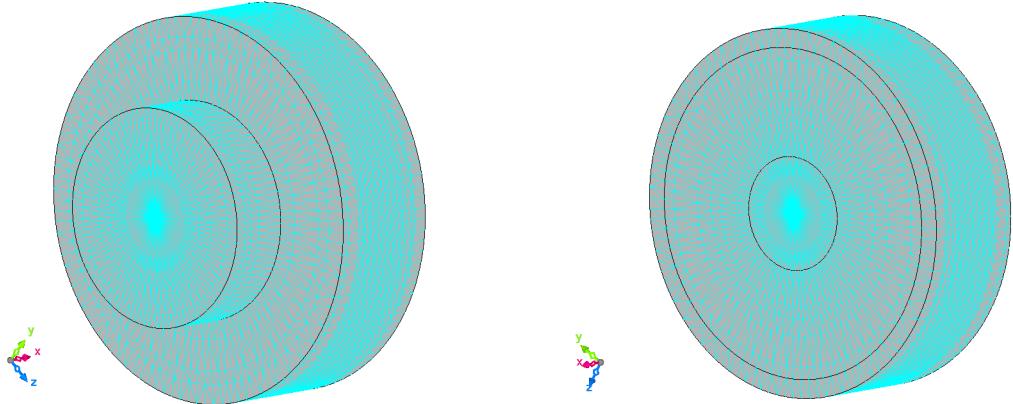
hei03



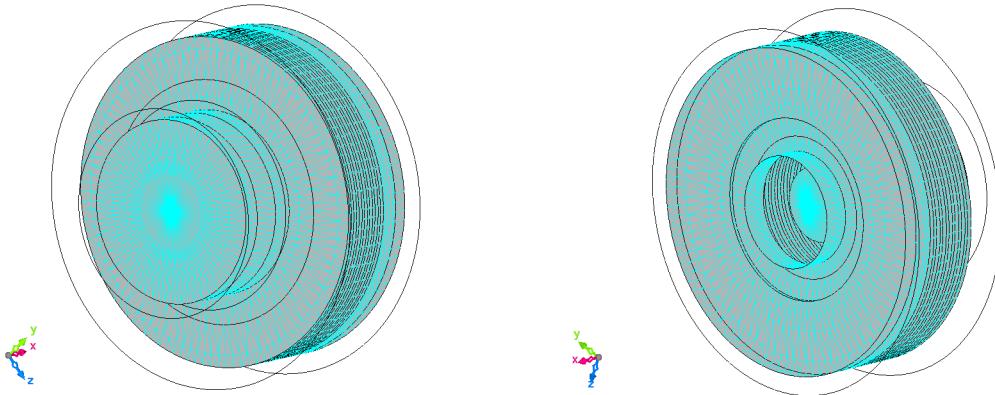


- 次に、メッシュ作成及び計算条件設定に使用する以下の面領域を登録していきます。
  - 外枠 / 外枠以外 / 回転移動壁（アルミ部とオイルの接触面）/ 静止壁 / 発熱面 / 境界層要素挿入面
- まず外枠の登録を行います。右クリックメニューの[選択解除(面)]を選択し、面が選択されていない状態にします。
- 次に、右クリックメニュー[マウスピック(面)] - [マウスピック & スプレッド]を選択し、下図のようにモデルの外側の面（計7面）を選択します。
- [モデルの閉空間・領域]ダイアログの[面領域]タブにて、[登録の対象]に[選択されている面]を指定し、[waku]という面領域名で登録します。

waku

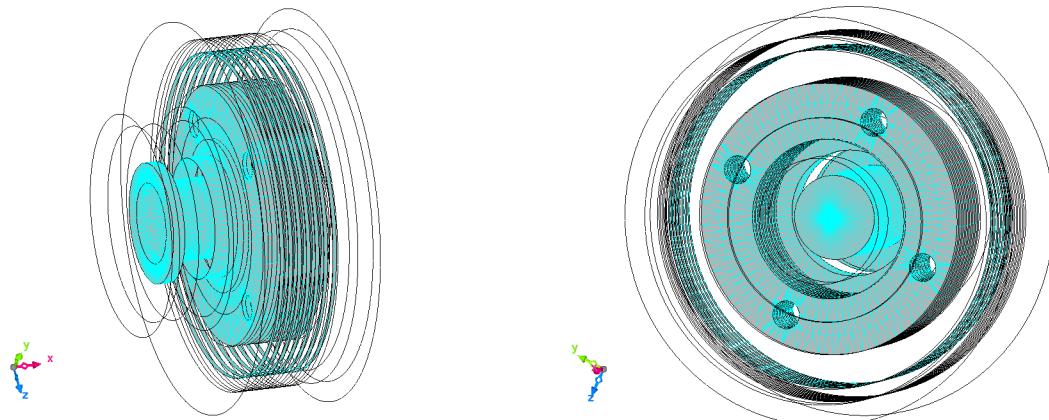


- 同様の手順で、外枠以外の面領域についても登録を行っていきます。
- まず外枠以外の面領域の登録を行います。前ページで登録した面領域[waku]のみが選択された状態で、右クリックメニュー[選択領域の非表示]を選択します。次に右クリックメニュー[すべて選択(面)]を選択すると、面が下図のように選択されますので[waku-igai]という面領域名で登録します。



- 続いて回転移動壁（アルミ部とオイルの接触面）の登録を行います。まず[モデルの閉空間・領域]ダイアログの[面領域]タブにて面領域[bound-oil]をダブルクリックした後、右クリックメニューから[選択領域のみ表示]を選択します。その後、続けて面領域[hei03]をダブルクリックし、右クリックメニューから[選択領域のみ表示]を選択します。すると面の選択状態は下図のようになりますので[ido03]という面領域名で登録します。

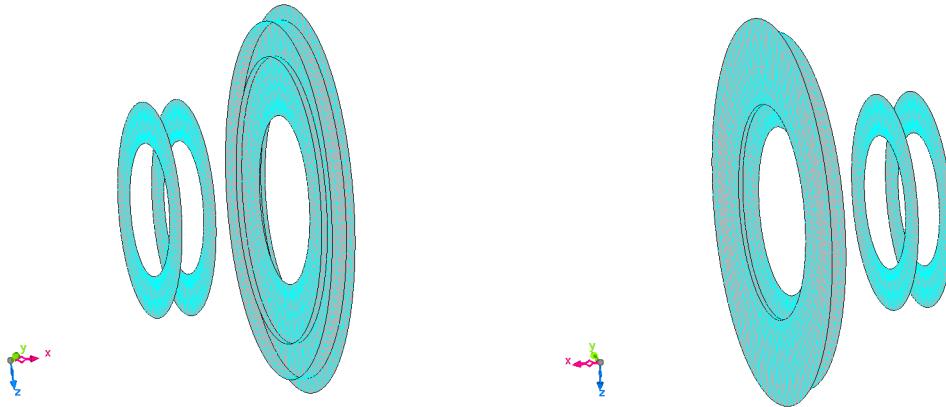
ido03



- 次にオイル表面上の静止壁の面登録を行います。まず右クリックメニューから[すべて表示]を選択し、表示状態を元に戻します。次に[モデルの閉空間・領域]ダイアログの[面領域]タブにて面領域[bound-oil]をダブルクリック、右クリックメニュー[選択領域のみ表示]を選択します。その後、続けて面領域[hei04to20]をダブルクリックし、右クリックメニューから[選択領域のみ表示]を選択します。すると面の選択状態は下図のようになりますので[no-slip]という面領域名で登録します。

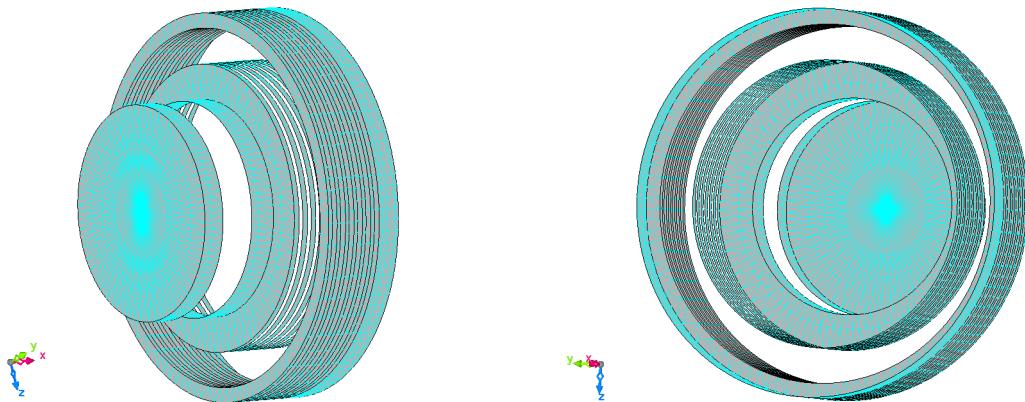
---

### no-slip

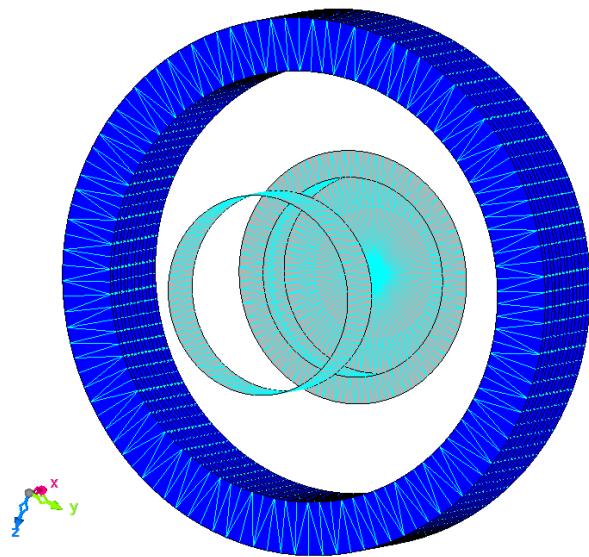


- 次に回転移動壁（面領域[ido03][no-slip]を除くオイル表面）の面登録を行います。まず右クリックメニューから[すべて表示]を選択し、表示状態を元に戻します。次に[モデルの閉空間・領域]ダイアログの[面領域]タブにて、面領域[bound-oil]をダブルクリックした後、右クリックメニュー[選択領域のみ表示]を選択します。その後、続けて面領域[ido03][no-slip]についてもダブルクリック、右クリックメニュー[選択領域の非表示]を選択し、右クリックメニューから[すべて選択(面)]を選択します。すると面の選択状態は下図のようになりますので[ido01]という面領域名で登録します。

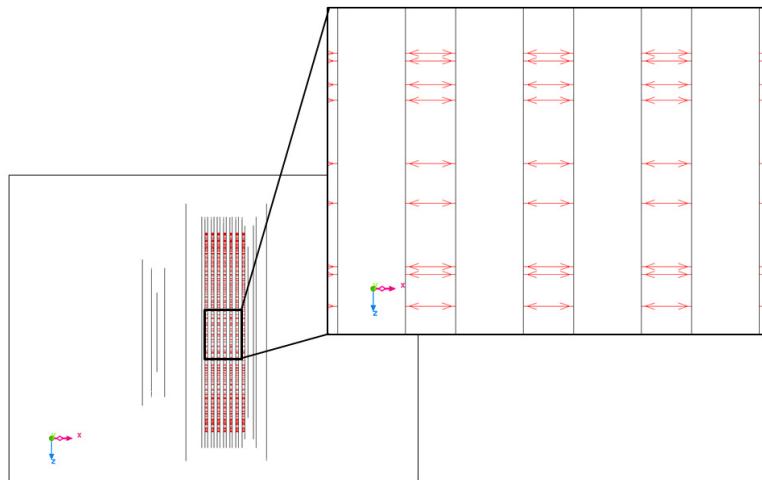
### ido01



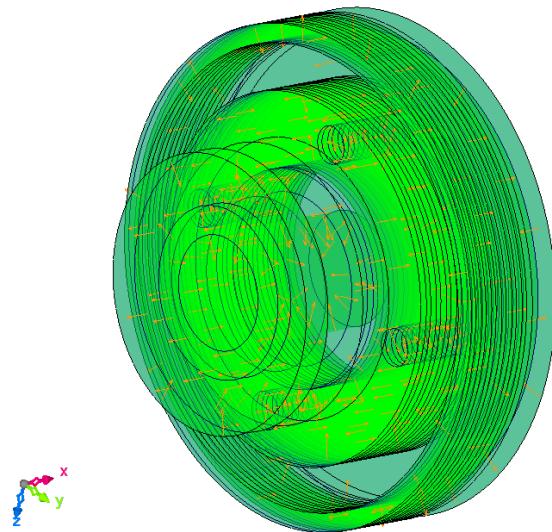
- 次に発熱を生じるメインクラッチアウター部とインナー部との接触面の登録を行います。
  - 右クリックメニューから[すべて表示]を選択し表示状態を元に戻します。
  - [モデルの閉空間・領域]ダイアログの[面領域]タブにて[hei03]をダブルクリックし、右クリックメニュー[選択領域のみ表示]を選択します。
  - 面領域[bound-oil]をダブルクリックし、右クリックメニューから[選択領域の非表示]を選択します。
  - 右クリックメニュー[マウスピック(面)]から[マウスピック & スプレッド]を選択し、下図に示す計4枚の面を選択します。その後、続けて右クリックメニュー[選択領域の非表示]を選択し、選択面を非表示とします。



- 右クリックメニューから[すべて選択(面)]を選択し、[モデルの閉空間・領域]ダイアログの[面領域]タブの[方向]で[面の両側を登録する]のチェックを解除、[表側]を選択します。下図のように矢印が両側を向いていることを確認し、[menhatu]という面領域名で登録します。



- 最後に境界層要素挿入面の登録を行います。
  - まず右クリックメニューから[すべて表示]を選択し、表示状態を元に戻します。
  - 次に[モデルの閉空間・領域]ダイアログの[面領域]タブにて[bound-oil] をダブルクリックし、右クリックメニューから[選択領域のみ表示]を選択します。面領域[menhatu]の場合と同様に、面の[方向]を[表側]に変更し、[0.15mm]という面領域名で登録します。



- ここまででの作業で、MDLファイルを保存しておきます。

### - 条件設定

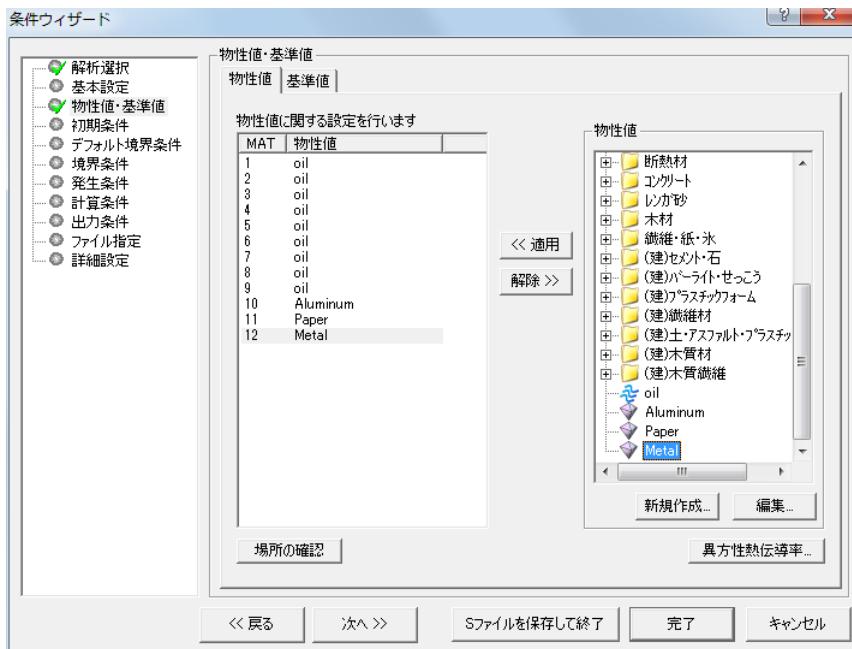
#### 1. [解析選択]

- [流れ]で[層流]を選択します。
- [温度]をONにします。

#### 2. [物性値・基準値]

- 以下の表に従って、各MATに物性を設定します。

物性	MAT番号	タイプ	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	粘性係数 [Pa · s]	比熱 [J/(kg · K)]	熱伝導率 [W/(m · K)]
オイル	1～9	非圧縮性流体	872	0.147	1,985	0.143
アルミ	10	固体	2,688	-	905	237(全方向)
紙	11	固体	1,350	-	1,950	0.09(全方向)
銅	12	固体	7,730	-	470	26.9(全方向)

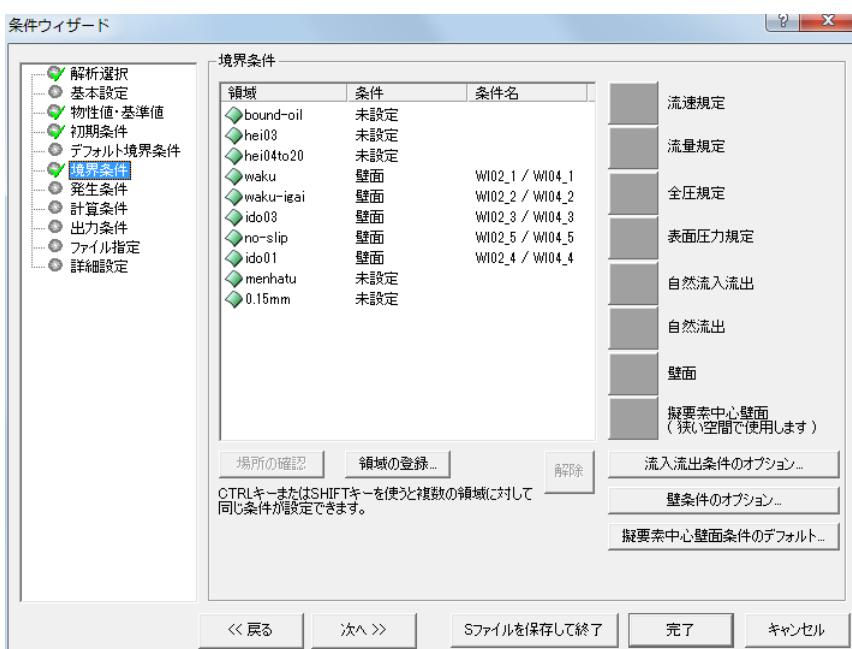


### 3. [初期条件]

- 新規をクリックして、[初期値]ダイアログを開きます。[変数]を[温度]として、[値]を[27 °C]とします。[全ての MAT番号に適用]をONにし、OKをクリックしてダイアログを閉じます。

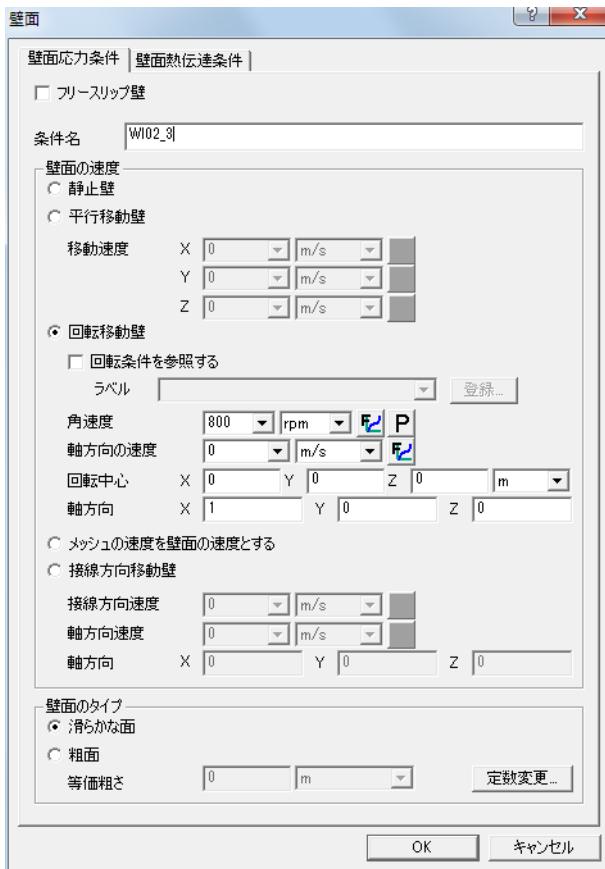
### 4. [境界条件]

- 下記の設定を行います。回転移動壁・壁面熱伝達係数の設定詳細については、次ページ以降を参照してください。
  - waku (フリースリップ壁/壁面熱伝達)
  - waku-igai (フリースリップ壁/壁面熱伝達)
  - ido01, ido03 (回転移動壁/断熱)
  - no-slip (静止壁/断熱)



• [境界条件] : 回転移動壁の設定

- [領域]に[ido03]を選択し、壁面をクリックします。[壁面]ダイアログにて[フリースリップ壁]のチェックを外し[回転移動壁]を選択します。
- [角速度]の単位を[rad/s]から[rpm]に変更し[800]を入力します。
- [軸方向]に(X, Y, Z) = (1, 0, 0)と入力します。
- 面領域[ido01]についても同様に、回転速度1000[rpm]として回転移動壁の設定を行います。



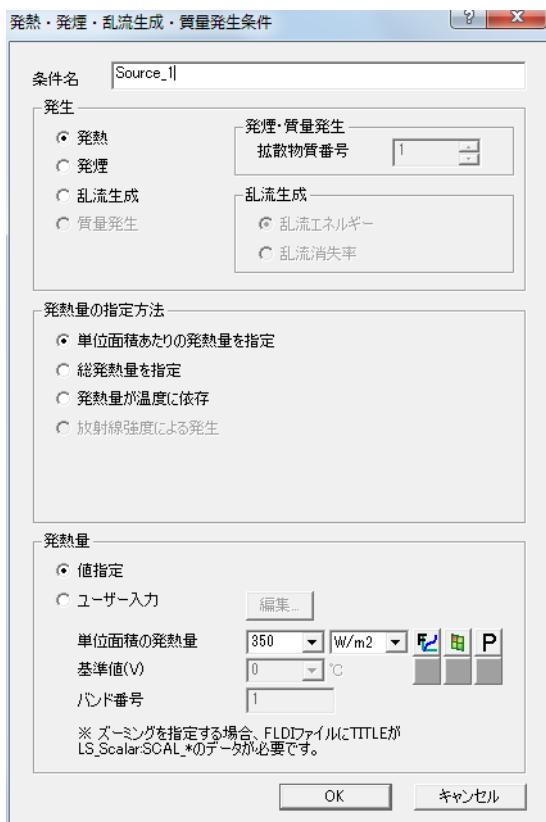
• [境界条件] : 壁面熱伝達条件の設定

- [領域]に[waku]を選択し、壁面をクリックします。[壁面熱伝達条件]タブを表示し、[断熱]のチェックを解除、[条件値]に[外部温度との間に熱伝達係数を設定する]を選択し、[熱伝達係数]に[5]、[外部温度]に[30]と入力してOKをクリックします。
- [waku-igai]にも壁面熱伝達条件を設定しますが、[条件値]には[ギャップ要素に熱抵抗なし]を選択し、数値入力は行いません。



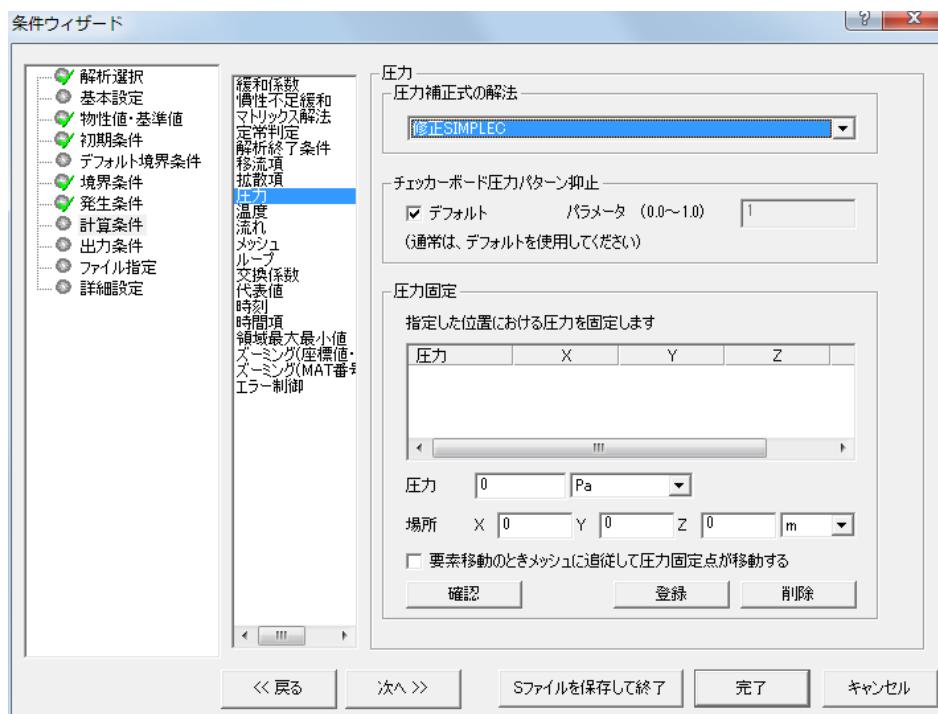
##### 5. [発生条件]

- [menhatu]を選択し、熱・煙・乱流・質量をクリックします。発熱量の指定方法に[単位面積あたりの発熱量を指定]を選択、[単位面積の発熱量]に[350]と入力してOKをクリックします。



#### 6. [計算条件] - [圧力]

- [圧力補正式の解法]に[修正SIMPLEC]を選択します。
- 本例題のように流路に急縮箇所といった流路の断面積の大きく変化する箇所がある場合、圧力補正式を時間刻みに依存しない修正SIMPLEC法に変更することで、定常収束に至り易くなります。



- 今回の解析では圧力に関する情報が境界で設定されないため、圧力固定点を設定して補います。固定点はMAT番号ひとつにつき1点ずつ必要となりますので、条件ウィザード[計算条件] - [圧力]で下表の9点の登録をそれぞれ行います。

圧力	X	Y	Z
0	0.0245	0	0
0	0.0305	0	0.0295
0	0.03625	0	0.063
0	0.03975	0	0.063
0	0.04325	0	0.063
0	0.04675	0	0.063
0	0.05025	0	0.063
0	0.05375	0	0.063
0	0.05725	0	0.063

## 7. [出力条件]

- 今回の解析のように熱の出入りが重要な解析の場合には、確認のため熱バランスを出力します。条件ウィザード[計算条件] - [熱バランス]にて[指定サイクル毎に出力]を選択します。
- 条件ウィザード[計算条件] - [FLD(サイクル)]を開き、[出力のタイミング]に[指定サイクル毎に出力]を選択、[サイクル間隔]に[20]と入力します。

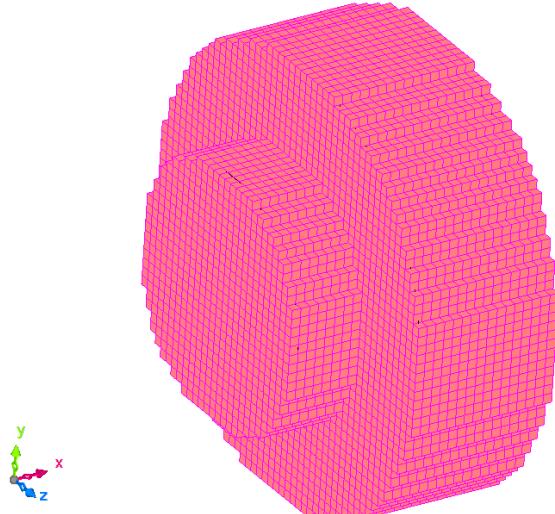
## 8. [ファイル指定]

- [デフォルト名]をチェックし、[exC06]と入力します。

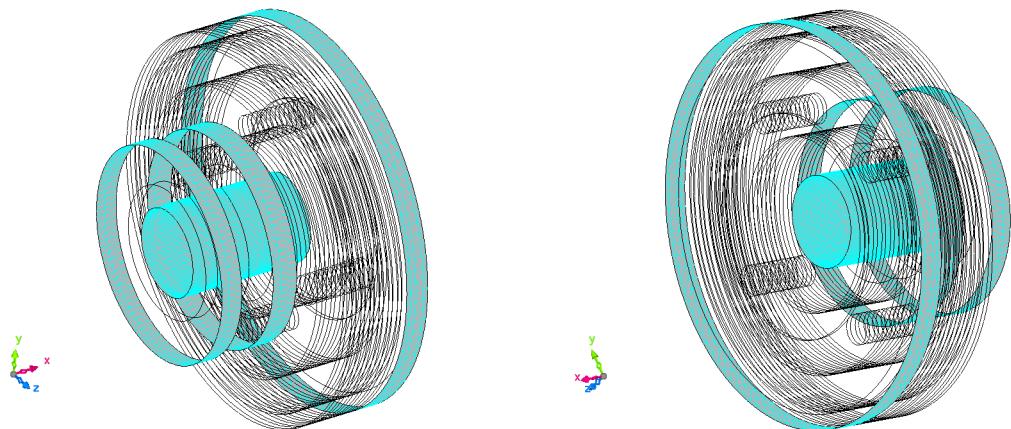
## - 解析メッシュ

### 1. オクタント作成

- メニュー[編集] - [八分木作成]にて[最大オクタントサイズを制限する]をチェックし、[最小オクタントサイズ]、[最大オクタントサイズ]共に[0.0032]と入力します。  
※ 最大を設定しない場合、オクタントサイズが均一とならないことがあります。
- OKをクリックすると、オクタントが下図のように作成されます。

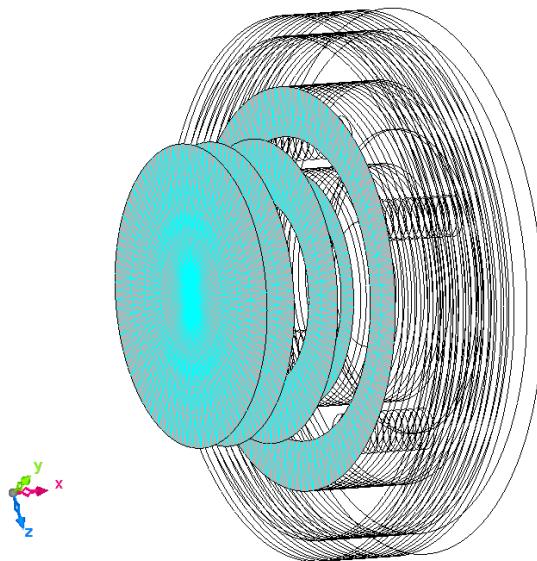


- 
- 次に、オイル部の狭い箇所のオクタントを細かくします。
  - メニュー[表示] - [登録領域]を選択し、[bound-oil]をダブルクリック、右クリックメニューから[選択領域のみ表示]を選択します。
  - 右クリックメニューから[選択解除(面)]で全ての面選択を解除した後、右クリックメニュー[マウスピック(面)] - [マウスピック & スプレッド]で、下図のように計4枚の面を選択します。全て選択後、右クリックメニューから[選択領域の非表示]を選択します。



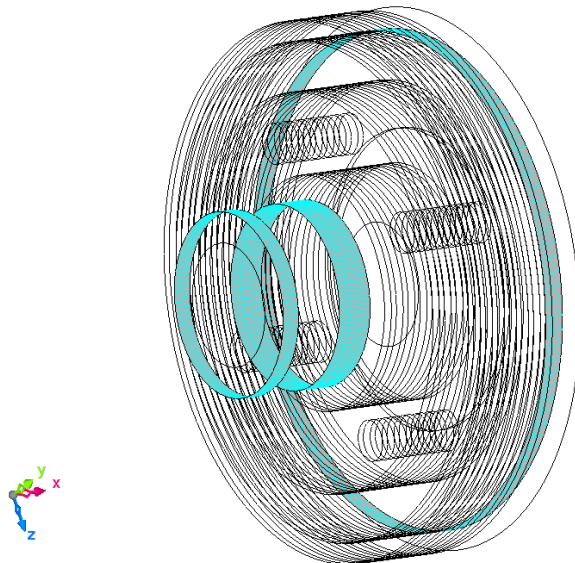
- 同様にして、以下の面を順に非表示にしていきます。

5面を非表示

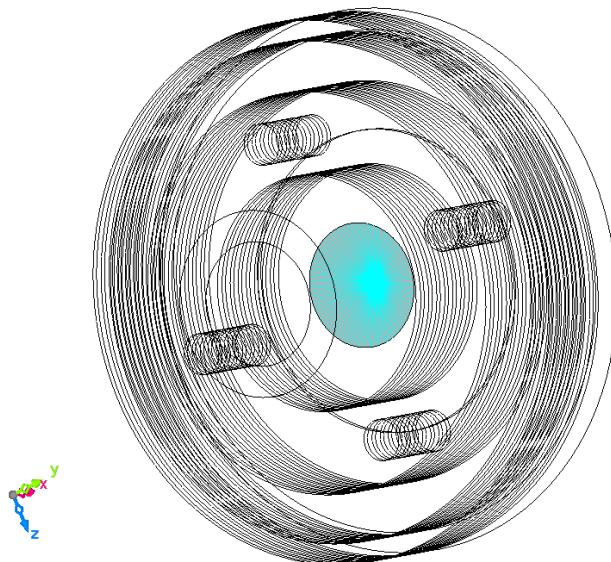


---

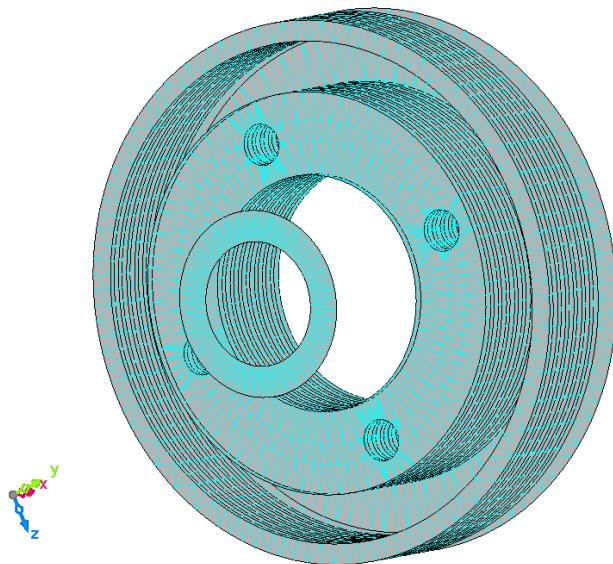
3面を非表示



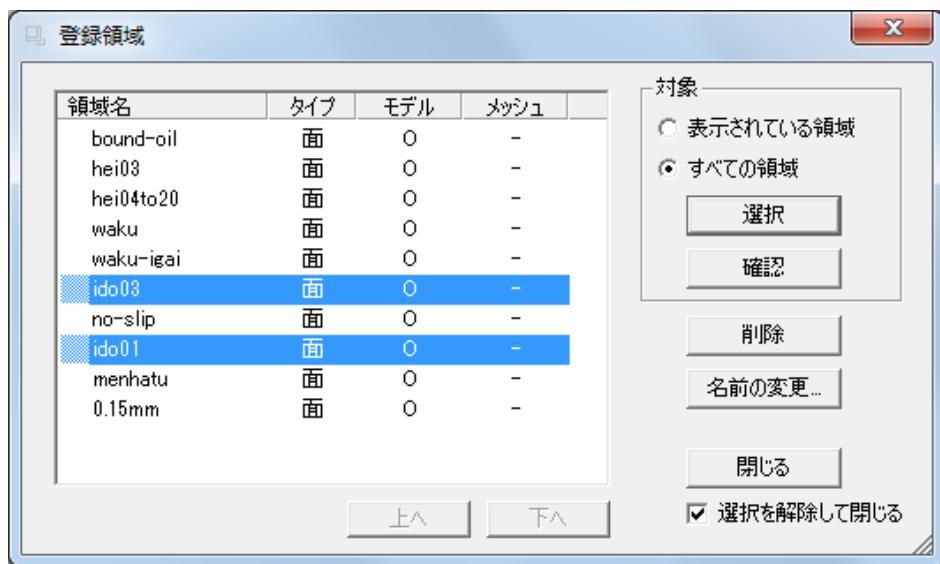
1面を非表示



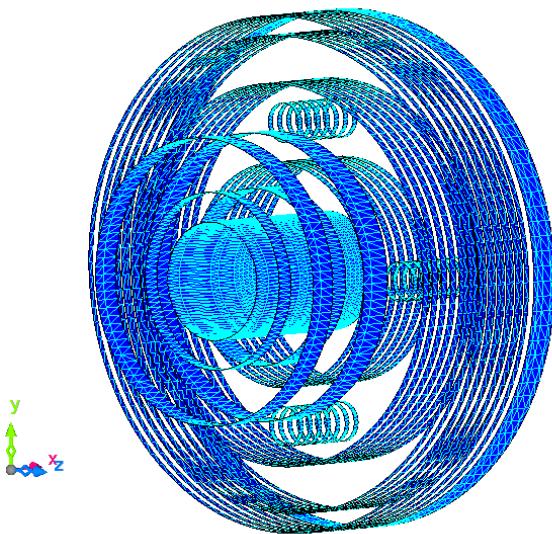
- 最終的に残る面は下図のようになります。この面に接するオクタントサイズを半分にします。
- 右クリックメニュー[全て選択(面)]を選択後、メニュー[編集] - [選択領域 の移動] - [面から八分木へ]を選択します。ここでメニュー[編集] - [オクタント再分割(1回)]を選択すると、表示中のオクタントサイズを半分にすることができます。



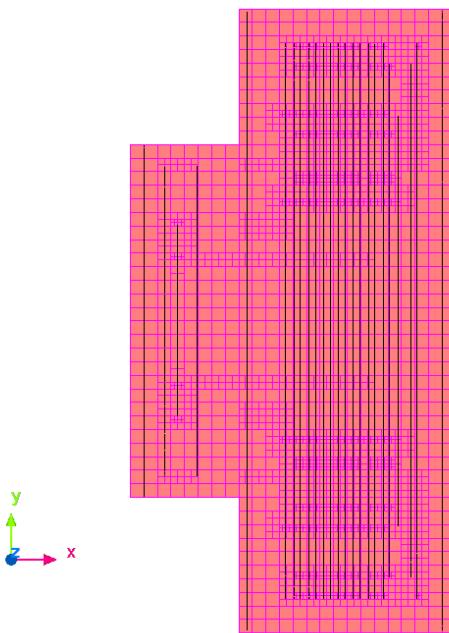
- 次に[表示] - [登録領域]で[ido01][ido03]をどちらも選択状態とし、[対象] - [全ての領域]を選びます。選択をクリックし、右クリックメニューから[選択領域のみ表示]を選択します。



- 右クリックメニューから[選択解除(面)]で全ての面選択を解除した後、先程と同様の手順でX軸に垂直な面を全て非表示にします。
- 最終的に残る面は下図のようになります。この面に接するオクタントサイズを半分にします。



- 最終的に作成されるオクタントは、下図のようになります。



オクタントサイズ : 0.0008[m]~0.0032 [m]  
オクタント数 : 254,208

## 2. メッシュ作成

- メニュー[実行] - [表面メッシュ作成から] - [境界層要素挿入まで]を選択すると[連続実行]ダイアログが表示されます。
  - [必要なデータ]にMDLファイル、OCTファイルを指定します。
- ※ 本例題ではメッシュ作成にSファイルを使用しませんが、Jファイルを保存する際、警告があるので[ファイル]が選択された状態にしておきます。

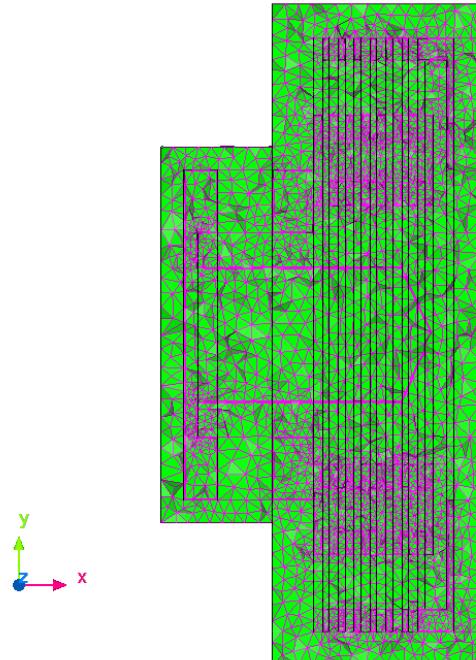
- [連続実行]ダイアログにある[境界層要素挿入パラメータ]の設定をクリックし、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを表示します。[領域名]から[0.15mm]を選択した状態で境界層要素の[パラメータ]を、下表のように入力、<<適用をクリックします。設定が適用されたことを確認し、OKをクリックします。

[領域名]	[1層目の厚さ]	[厚みの変化率]	[層数]
[0.15mm]	[1.5e-004]	[1.1]	[2]

- ※ 境界層の厚さはオクタントサイズやy<sup>+</sup>を考慮して決定します。壁でない部分には基本的に境界層要素を挿入する必要はありません。
- OKをクリックし、[連続実行]ダイアログを閉じると[連続実行の内容の確認]ダイアログが表示されます。
  - Jファイルに保存するをクリックし、設定した内容をJファイルに保存します。
- ※ Jファイルには、境界層要素挿入などのパラメーターが保存されます。保存せずに今すぐ実行を実行した場合、後でどのようにしてメッシュが作成されたかを確認することができません。
- 保存したJファイルをSCTjobに読み込み、[実行] - [実行開始]をクリックすると、メッシュ作成がスタートします。
- ※ SCTjobで実行すると、メッシュ作成時のログファイルが残されます。このログファイルにはSCTjobの進行状況がリアルタイムに出力され、エラーが発生した場合にも、ここで確認することができます。

### 3. メッシュチェック

- 作成されたメッシュを確認します。



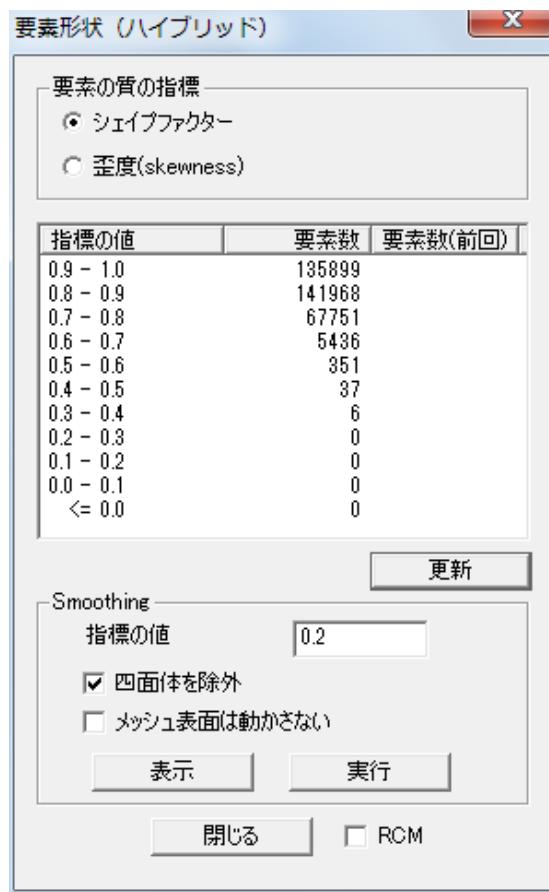
要素数 : 1,562,627

- メッシュはPREファイル (\*\*.pre) として保存されます。
- 指定した場所に境界層要素が入っているか、メッシュが粗すぎないかをチェックします。
- [選択] - [メッシュモード]で[表示] - [要素形状チェック] - [要素形状チェック]と[要素形状チェック(ハイブリッド)]をクリックして、メッシュ品質の指標であるh-ratioとShape Factorもチェックします。

- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック]をクリックすると、下図のような[要素形状]ダイアログ内にh-ratioの分布が表示されます。
  - h-ratioとは四面体の内接球と外接球の半径の比で、最も良い形状の場合は0.333となり、形状が悪い程0へ近づきます。通常は0.03以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.03以下の要素があるかチェックします。
  - もし、h-ratioが0.03以下の要素がある場合は[0.000-0.030]右のチェックボックスをONとし、表示をクリックすることで、該当する要素のみがドローウィンドウに表示されます。そして、その周囲のメッシュを細かくする、またはスムージング機能を使用してメッシュの質の改善を行います。
- ※ 通常、スムージングは一度に行うのではなく、スムーサーレベルを段階的に分けて繰り返し行い、メッシュの質を徐々に上げていきます。



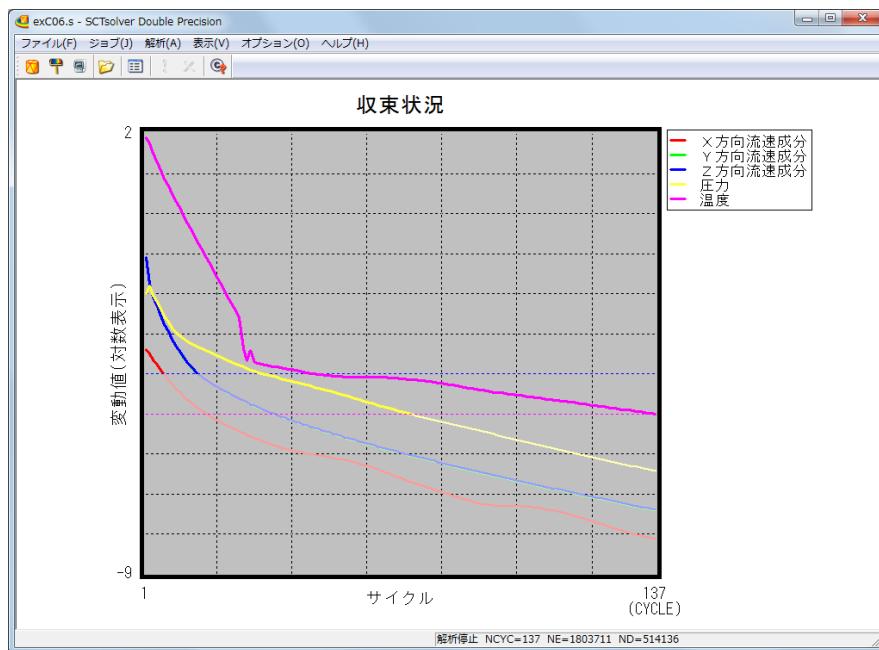
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック (ハイブリッド)]を選択し、下図のような[要素形状 (ハイブリッド)]ダイアログでShape Factorの分布を表示します。



- Shape Factor はテトラ要素以外のプリズム要素、ピラミッド要素の質を表すパラメータで、最も質の良い形状の場合は1.0となり、形状の質が悪い程0に近づきます。
- 通常は0.1以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.1以下の要素があるかチェックします。
- もし、Shape Factorが0.1以下の要素が多くある場合は、以下の方法で修正を行います。
  - 方法1. 境界層の厚みを変えるか、隣接するメッシュを細かくする。
  - 方法2. スムージングを行う。[Shape Factor]に[0.1]と入力し、**実行**をクリックします。0.1未満の値を入力した場合には境界層の厚みが不揃いとなる場合があります。

## - 解析実行

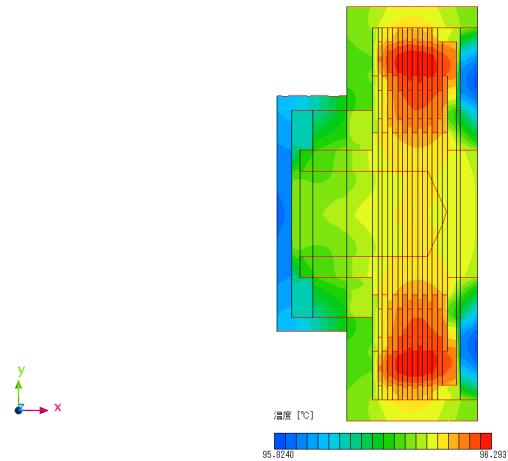
SCTsolverにSファイルを読み込み、計算を実行します。



## - 解析結果

### 1. カット面でのコンター図作成手順

- カット面オブジェクトの[コンター]タブにて[表示]をチェックし、変数から[温度(TEMP)]を選択します。再描画を行うとコンターを下図のように確認することができます。



- カラーバーを横向きに表示する場合は、[カラーバー]オブジェクトの[表示]タブにて[向き]に[横]を選択します。カラーバーの位置を変更する場合は、ツリー上のカラーバーオブジェクト左にある、手でつまむアイコン をクリックしてアクティブな状態とすると、他のオブジェクトと同様に、ドローウィンドウ上でカラーバーを操作することができます。



## 2. 热バランスの確認

- 条件設定時に出力を設定した「热バランス」を、Lファイルで確認します。各サイクル毎に下のようなデータが输出されます。
- MAT番号ごとの表示でBALANCEの欄のFLUX/SOURCEの値が異常に大きな数字（どれくらいの数字が大きいかは解析モデルによる）が表示されている場合は、解析条件に問題がある可能性があります。

```
== HEAT BALANCE ==
ITEM      MAT      AREA      FLOW/SOURCE
waku-igai 1  0.0150305  0.00179076
BALANCE:   1  0.0150305  0.00179076
waku-igai 2  0.0873176 -0.00142647
BALANCE:   2  0.0873176 -0.00142647
waku-igai 3  0.0246815 -8.68803e-005
BALANCE:   3  0.0246815 -8.68803e-005
waku-igai 4  0.00514361 -5.32037e-005
BALANCE:   4  0.00514361 -5.32037e-005
waku-igai 5  0.00514352 -4.85317e-005
BALANCE:   5  0.00514352 -4.85317e-005
waku-igai 6  0.00514350 -4.56880e-005
BALANCE:   6  0.00514350 -4.56880e-005
waku-igai 7  0.00514344 -4.82932e-005
BALANCE:   7  0.00514344 -4.82932e-005
waku-igai 8  0.00514348 -4.26516e-005
BALANCE:   8  0.00514348 -4.26516e-005
waku-igai 9  0.00514346 -3.43662e-005
BALANCE:   9  0.00514346 -3.43662e-005
waku     10  0.0490452 -16.2049
waku-igai 10  0.177136 -3.91861
menhatu  10  ---        20.1235
BALANCE:   10  0.226181 -1.75603e-005
waku-igai 11  0.0952148 -5.33008e-006
BALANCE:   11  0.0952148 -5.33008e-006
waku     12  0.0118868 -3.91855
waku-igai 12  0.0429457  3.91861
BALANCE:   12  0.0548325  5.45927e-005
```

---

## 応用例7 トルクコンバータ

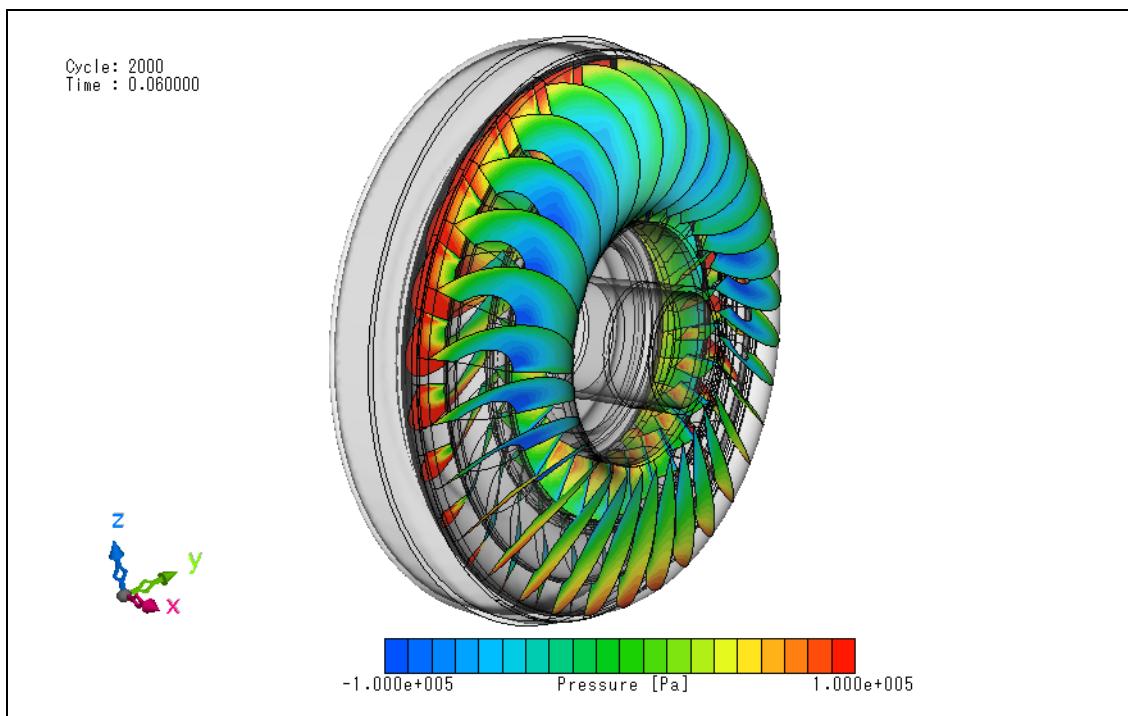
---

いつからか、ほとんどの自動車からシフトレバーがなくなってしまいました。いえ、「PDNR」という表示の付いたレバーはありますが、「12345R」という表示のあるレバーはあまり見かけなくなりました。いわゆるオートマチック・トランスマッキン(AT)への転向が起り、マニュアル・トランスマッキン(MT)は一部のスポーツカーのオプション設定で残ったのみのように見えます。

ATで重要な役割を果たす流体機械がトルクコンバータです。対向する2つの羽根車を液体を満たした容器に入れ、片方はエンジンによって回転し、流体の運動を通じて、もう片方のタイヤに通じる側の羽根車を回転させることで動力を伝える装置です。MTでの機械的な接触を伴う動力伝達に比べて、滑らかな力の伝達が可能で、耐久性も高くなります。また特徴的なのは、トルクコンバータという名前のとおり、伝達するトルクを増減させる機構を備えていることです。そのために、実際のトルクコンバータは両羽根車間の流れの方向を制御し、基本的には伝達トルクを増すために、間にもう一つの羽根車を挟む構造になっています。伝達トルクを変化させることができる、という性質は、そのまま変速機構にも応用できることから、このトルクコンバータは現在のATの要の部品として、より効率的なトルク伝達、トルクの増加が行えるよう、改良が行われてきています。

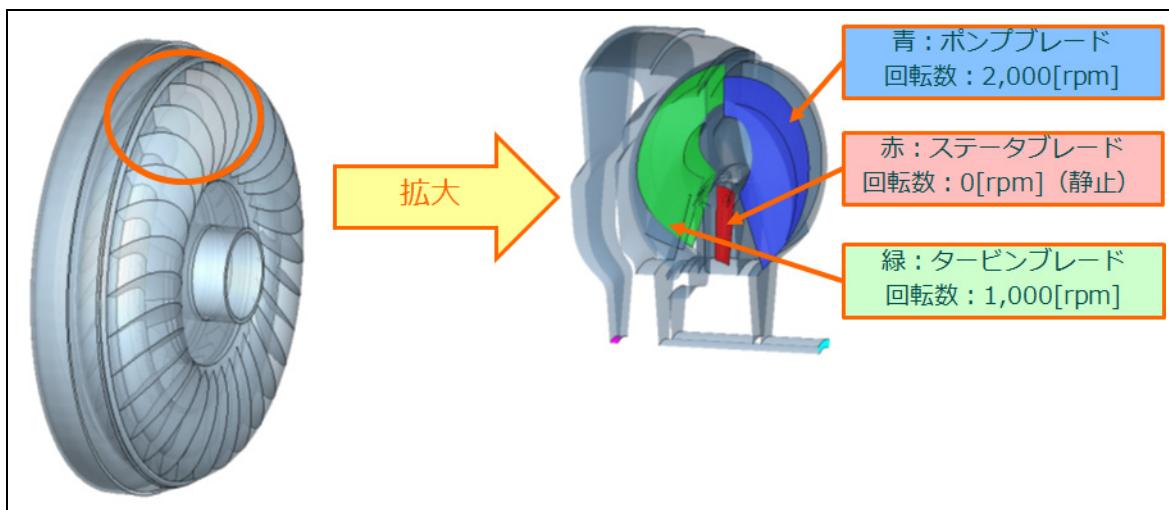
ここでは、このトルクコンバータの解析に挑戦してみたいと思います。解析は回転要素移動を考慮した非定常解析で、解析形状も比較的複雑です。そのため、ある程度長い解析時間を必要とします。HPC版をご利用のお客様は是非並列計算にてトライしてみてください。

また、解析データの処理例として、同梱ツールLFileViewを用いて、Lファイル内に記述されている時系列データの加工や、CSV形式での出力についても触れてています。



トルクコンバータ内のオイルの流れを解きます。自動車などの変速機としてのトルクコンバータは、ポンプブレードが回転することでコンバータ内のオイルをタービンブレードへ流れさせ、そのオイルの慣性力でタービンブレードを回転させてトルクを伝えます。ステータブレードはタービン出口の流体の噴出の方向制御のためのものです。本来タービンブレードはポンプブレードの回転により駆動されるオイルによって回転しますが、今回の解析ではコンバータ内のオイルの流れに着目するため、能動的に回転させます。タービンブレード、ポンプブレード、ステータブレード共に厚みの無いパネルとして扱います。温度・拡散は考慮しません。

## 解析モデル



## 解析手順

### - 解析モデル作成

本例題ではexC07\_turbine.stl, exC07\_pump.stl, exC07\_stat.stl, exC07\_other.stlの4つのSTLファイルを用います。以下の手順を行い、turbine.mdl, pump.mdl, stat.mdl, other.mdlとして保存します。

---

## 1. モデルのクリーニング（モデルデータの確認）

- モデルデータ（STLデータ）に問題が無いか、確認します。
- [編集]-[モデル修正]-[辺の重なり診断]を選択し、孤立辺がないことを確認します。
- [編集]-[モデル修正]-[重なった面の検出]を選択し、面の重なりが存在しないことを確認します。
- [編集]-[モデル修正]-[干渉面の検出]を選択し、干渉面が存在しないことを確認します。

## 2. 閉空間/MAT番号の設定

- [編集]-[閉空間/MAT番号の設定(モデル)]を選択し、閉空間を確認します。
- 以下のようにMAT番号を設定します。

### turbine.mdl

閉空間1～29 : MAT番号1  
閉空間30 : MAT番号0

### pump.mdl

閉空間1～31 : MAT番号1  
閉空間32 : MAT番号0

### stat.mdl

閉空間1～25 : MAT番号1

### other.mdl

閉空間1 : MAT番号1

---

### 3. 面領域の登録

- 以下の面領域を登録します。
  - 面領域を以下のように34個に分けて登録するのは、要素移動解析のため部品毎にメッシュを作成する必要があり、さらに各部品の面領域毎に異なる条件を設定するためです。

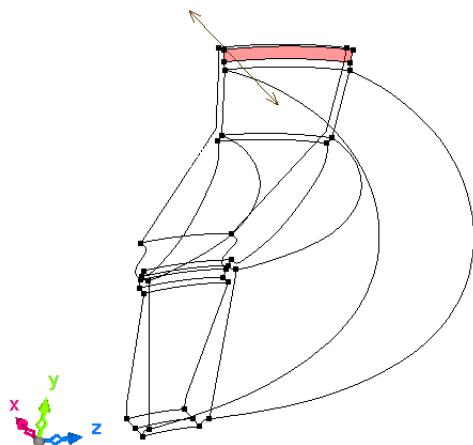
領域名	MDL	条件1	条件2	境界層厚さ
1-t	turbine	不連続面(平)		
2-t	turbine	不連続面(円)		
4-t	turbine	不連続面(平)		
5-t	turbine	不連続面(円)		
6-t	turbine	不連続面(平)		
t-shel-1	turbine	壁面(ALE)		0.0003
t-pnl	turbine	壁面(ALE)	パネル	0.0003
dumm-t	turbine			0.0003
t-wall	turbine	壁面(ALE)		0.0003
t-core	turbine	壁面(ALE)		0.00015
3-p	pump	不連続面(円)		
4-p	pump	不連続面(平)		
7-p	pump	不連続面(円)		
8-p	pump	不連続面(平)		
p-shel	pump	壁面(ALE)		0.0003
p-pnl	pump	壁面(ALE)	パネル	0.0003
dumm-p	pump			0.0003
p-wall	pump	壁面(ALE)		0.0003
p-core	pump	壁面(ALE)		0.00015
5-s	stat	不連続面(円)		
6-s	stat	不連続面(平)		
7-s	stat	不連続面(円)		
8-s	stat	不連続面(平)		
s-wall	stat	静止壁		0.0003
s-pnl	stat	静止壁	パネル	0.0003
dumm-s	stat			0.0003
inlet	other	流量規定		
outlet	other	表面圧力規定		
1-o	other	不連続面(平)		
2-o	other	不連続面(円)		
3-o	other	不連続面(円)		
o-wall-mv	other	回転移動壁		0.0003
t-shel-2	other	回転移動壁		0.0006
o-wall-stay	other	静止壁		0.0003

---

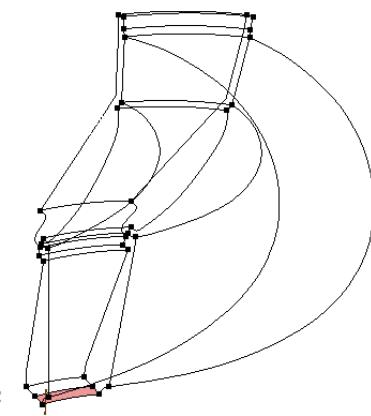
**turbine.mdl**

図の赤い面を登録します。見易さのため翼間1ピッチ(閉空間29)についてのみ表示していますが、実際に面登録を行なう際は周全体に対し、まとめて登録を行います。

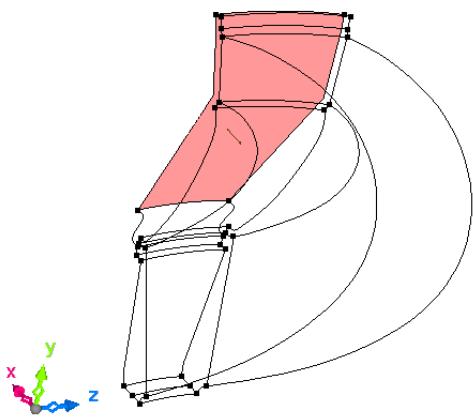
- [1-t]



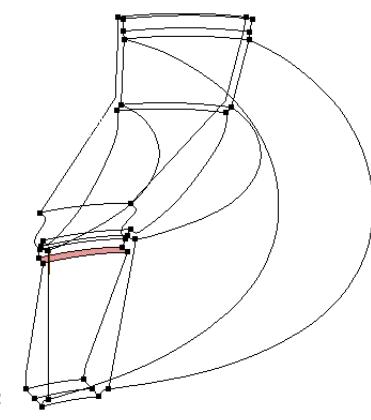
- [2-t]



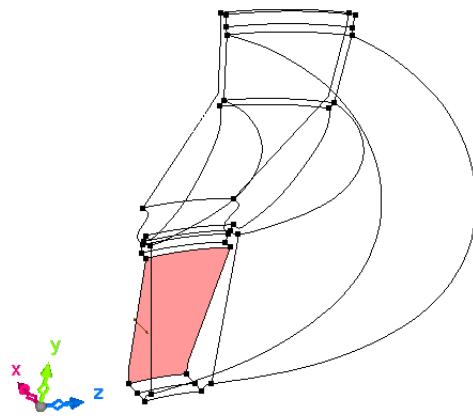
- [4-t]



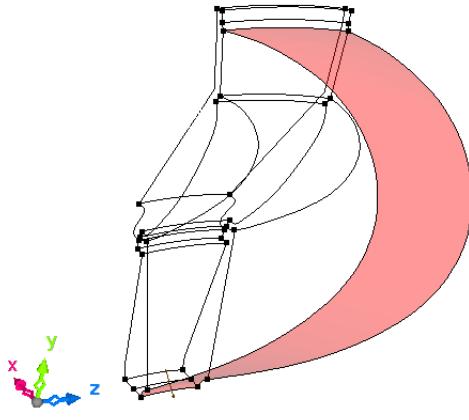
- [5-t]



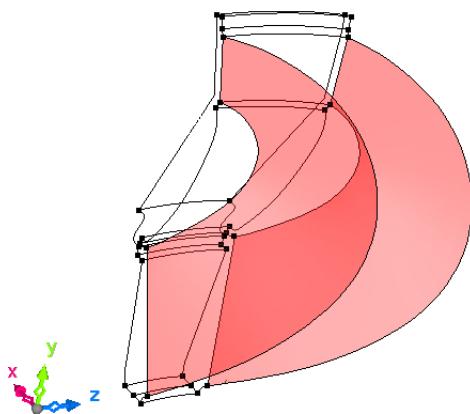
- [6-t]



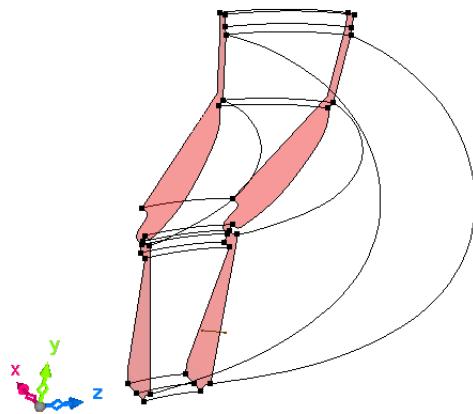
- [t-shel-1]



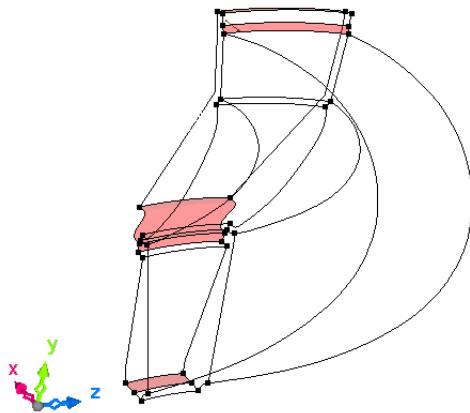
- [t-pnl]



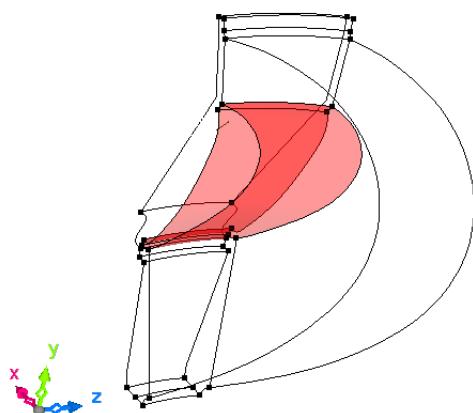
- [dumm-t]



- [t-wall]



- [t-core]



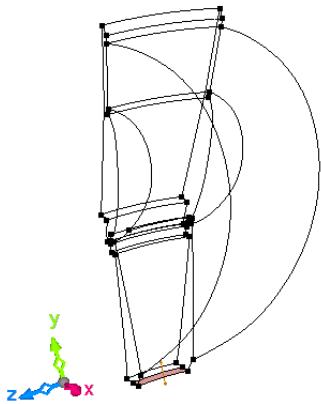
- さらにこれらの面を以下のようにまとめた面をそれぞれ登録します。
  - [0.00015m] = [t-core]
  - [0.0003m] = [1-t] + [2-t] + [t-shel-1] + [t-pnl] + [dumm-t] + [t-wall]

---

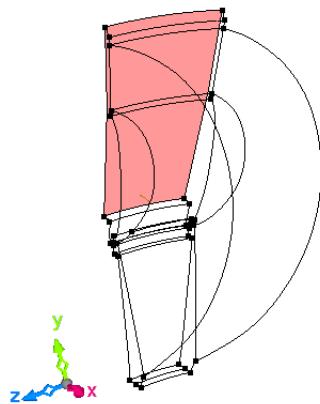
pump.mdl

- 図の赤い面を登録します。見易さのため翼間1ピッチ(閉空間31)についてのみ表示していますが、実際に面登録を行なう際は周全体に対し、まとめて登録を行います。

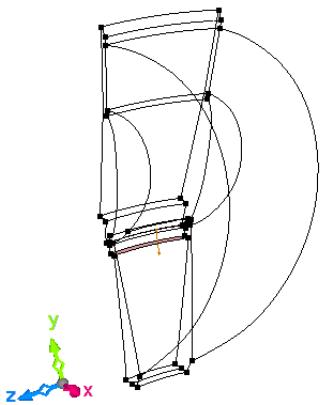
- [3-p]



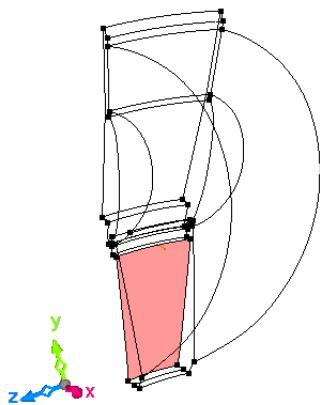
- [4-p]



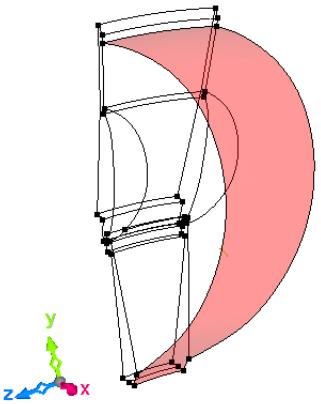
- [7-p]



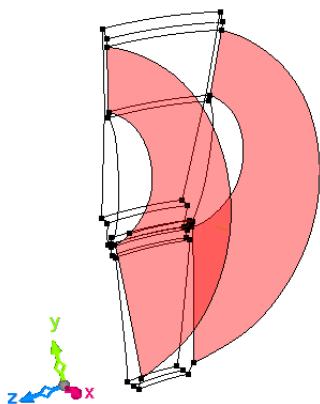
- [8-p]



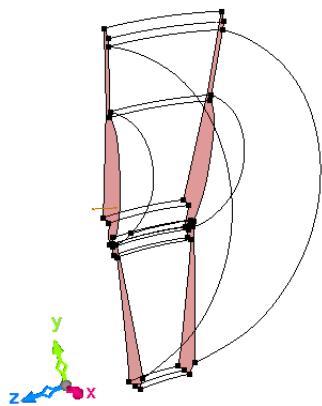
- [p-shel]



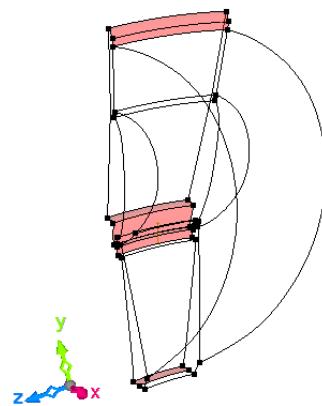
- [p-pnl]



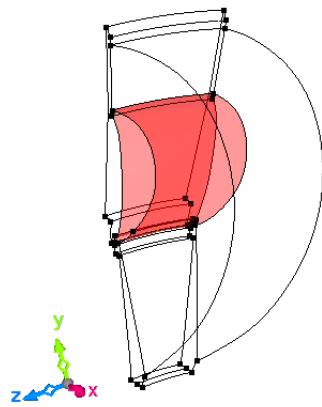
- 
- [dumm-p]



- [p-wall]



- [p-core]

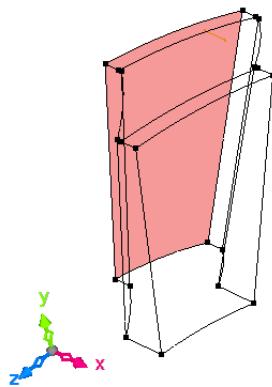
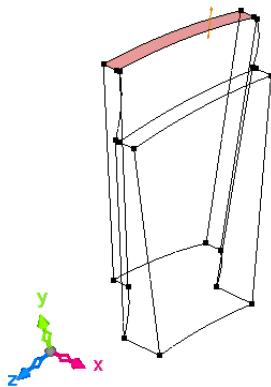


- さらにこれらの面を以下のようにまとめた面をそれぞれ登録します。
  - [0.00015m] = [p-core]
  - [0.0003m] = [3-p] + [p-shel] + [p-pnl] + [dumm-p] + [p-wall]

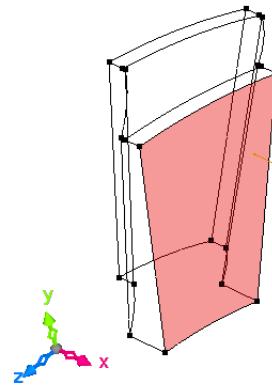
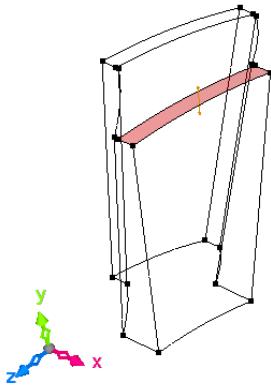
---

**stat.mdl**

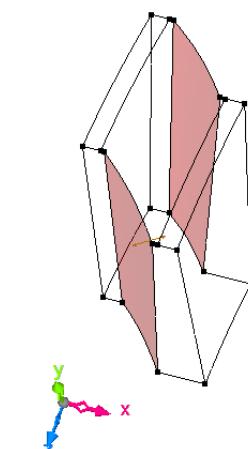
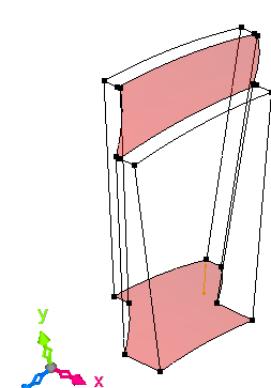
- 図の赤い面を登録します。見易さのため翼間1ピッチ(閉空間25)についてのみ表示していますが、実際に面登録を行なう際は周全体に対し、まとめて登録を行います。
- [5-s]
- [6-s]



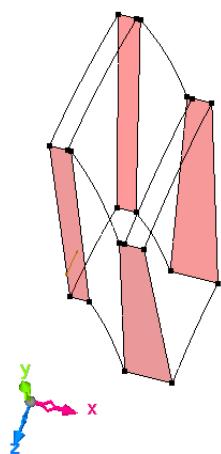
- [7-s]
- [8-s]



- [s-wall]
- [s-pnl]



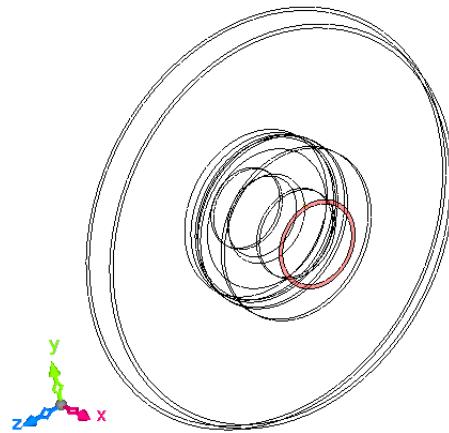
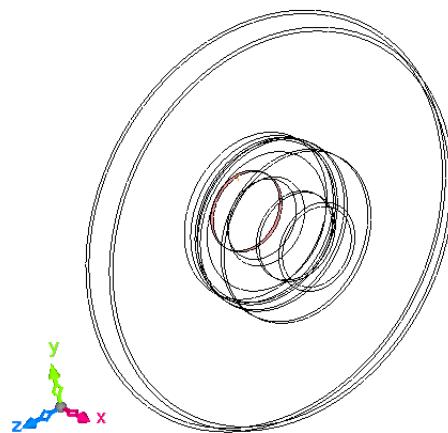
- 
- [dumm-s]



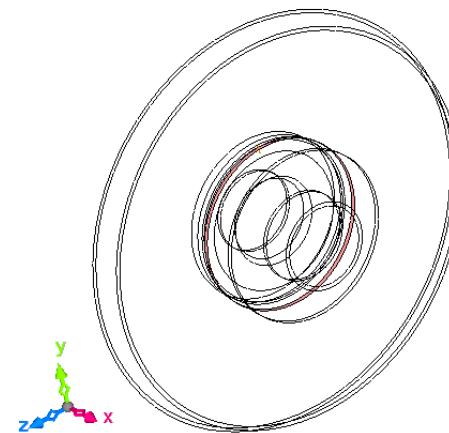
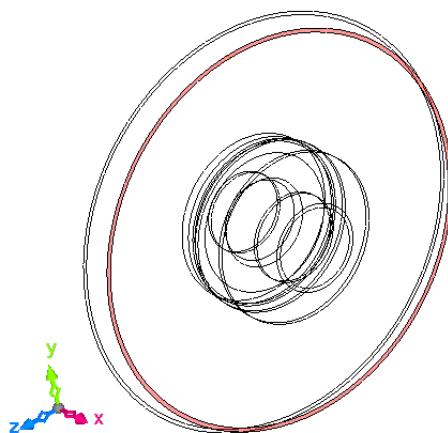
- さらにこれらの面を以下のようにまとめた面をそれぞれ登録します。
  - $[0.0003m] = [5-s] + [7-s] + [s-wall] + [s-pnl] + [dumm-s]$

#### other.mdl

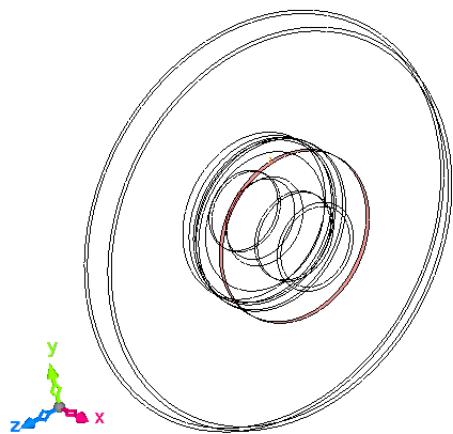
- 図の赤い面を登録します。
- [inlet]
- [outlet]



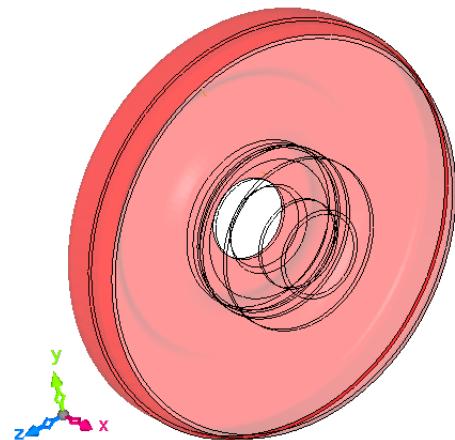
- [1-o]
- [2-o]



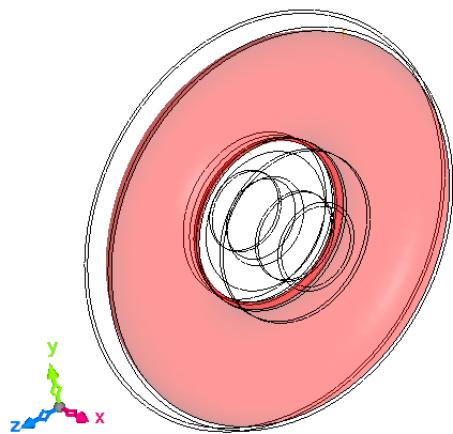
- [3-o]



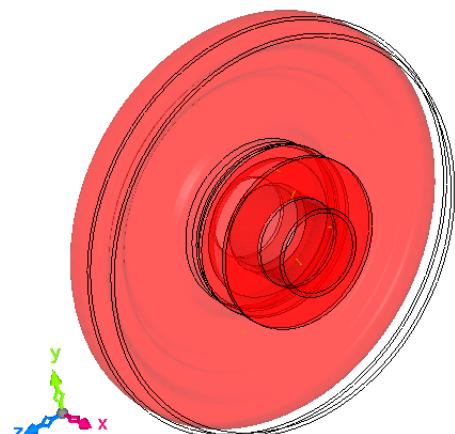
- [o-wall-mv]



- [t-shel-2]



- [o-wall-stay]



- さらにこれらの面を以下のようにまとめた面をそれぞれ登録します。
  - $[0.0003\text{m}] = [\text{t-shel-2}] + [\text{o-wall-mv}] + [\text{o-wall-stay}]$

#### 4. 体積領域の登録

turbine.mdl

MAT番号1を[mv-t]として登録します。

pump.mdl

MAT番号1を[mv-p]として登録します。

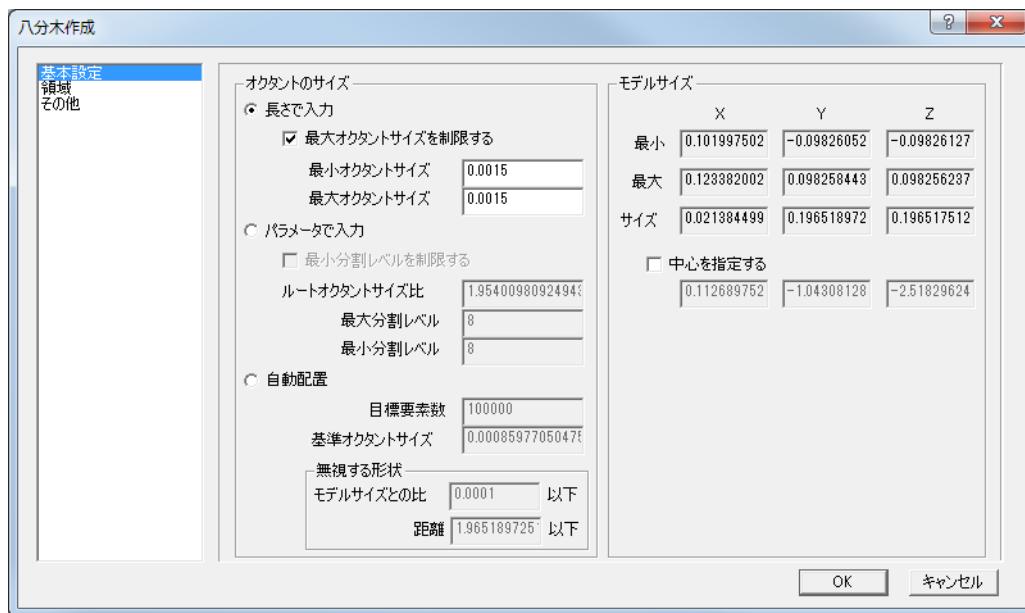
## - 解析メッシュ

### 1. オクタント作成

turbine.mdl

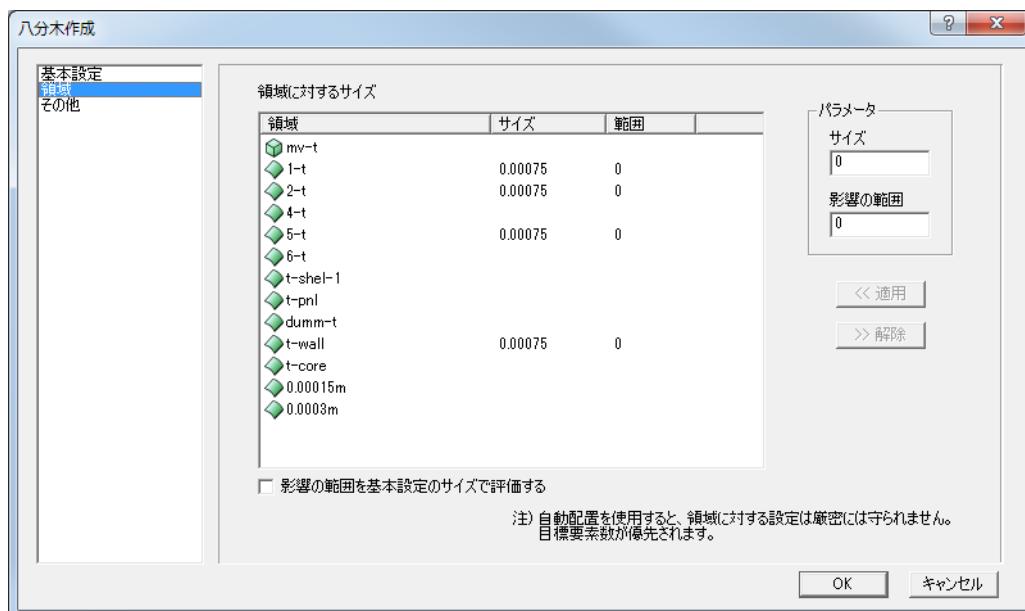
以下の手順で八分木を作成し、turbine.octを保存します。

- ・ [編集]-[八分木作成]をクリックします。
- ・ 表示された八分木作成ダイアログで[最大オクタントサイズを制限する]にチェックを入れ、以下の値を入力します。  
[最小オクタントサイズ] : 0.0015  
[最大オクタントサイズ] : 0.0015

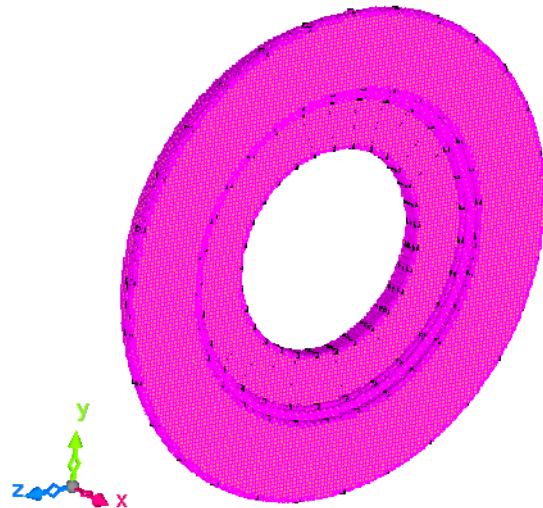


- ・ [領域]をクリックし、領域に対するサイズに以下の様に設定します。

[1-t], [2-t], [5-t], [t-wall] : サイズ=0.00075、範囲=0



- ・ [OK]をクリックします。  
※オクタント数154,664



#### pump.mdl

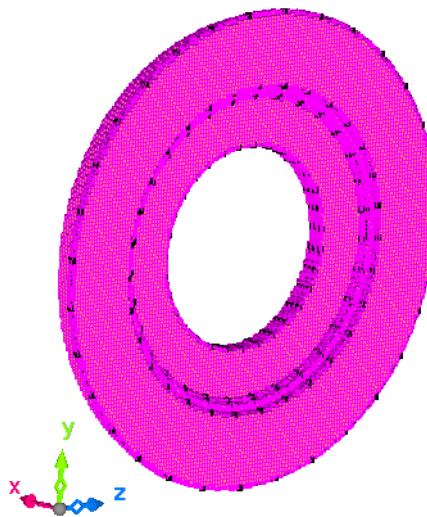
同様の手順で八分木を作成し、pump.octを保存します。

[最小オクタントサイズ] : 0.0015

[最大オクタントサイズ] : 0.0015

[3-p], [7-p], [p-wall] : サイズ=0.00075、範囲=0

※オクタント数153,977



---

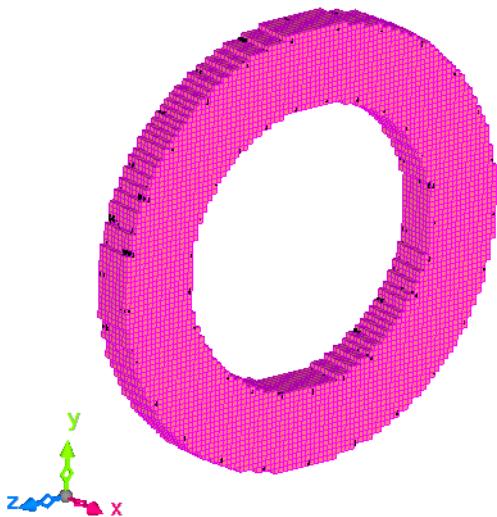
### stat.mdl

同様の手順で八分木を作成し、stat.octを保存します。

[最小オクタントサイズ] : 0.0015

[最大オクタントサイズ] : 0.0015

※オクタント数25,892



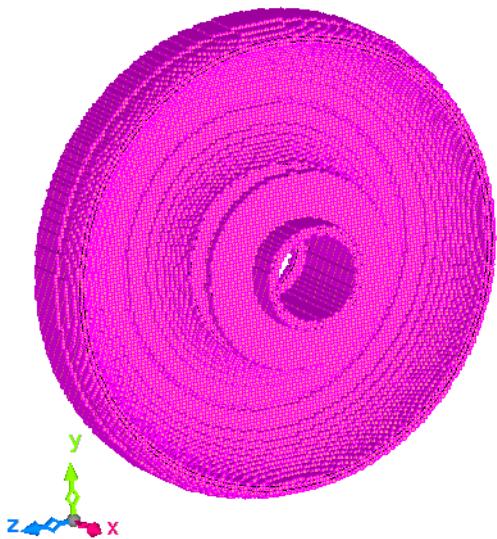
### other.mdl

同様の手順で八分木を作成し、other.octを保存します。

[最小オクタントサイズ] : 0.0015

[最大オクタントサイズ] : 0.0015

※オクタント数 137,012



## 2. メッシュ作成

### turbine.mdl

以下の手順でメッシュ作成の設定を行い、Jファイルをturbine.jとして保存します。

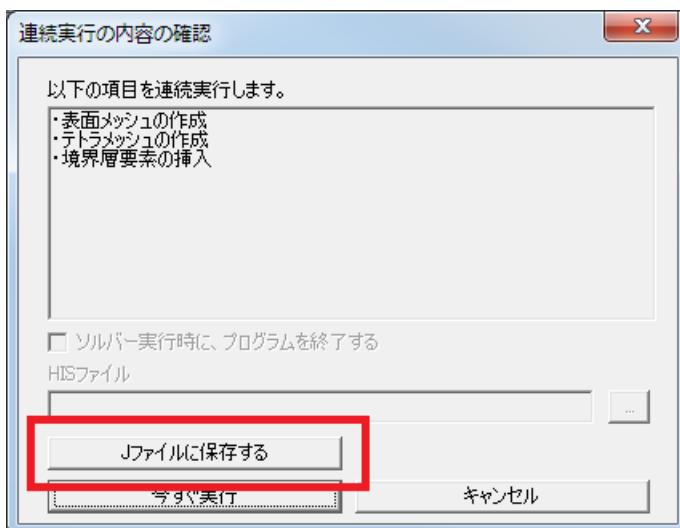
- [実行]-[表面メッシュ作成から]-[境界層要素挿入まで]を選択し、[連続実行]ダイアログを表示します。

[必要なデータ]にturbine.mdlとturbine.octを指定します。ファイルの指定はエクスプローラからのドラッグ & ドロップにて可能です。

- ・ [作成されるデータ]で保存場所と保存名を確認します。  
※ Sファイルは、メッシュの作成には必要ありません。
- ・ 続いて[境界層要素挿入パラメータ]の設定をクリック、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを表示し、下記の設定を行います。

領域名	1層目の厚さ	変化率	層数
0.00015m	0.00015	1.1	2
0.0003m	0.0003	1.1	2

- ・ 境界層要素の挿入率が悪い場合、必要に応じて[詳細設定]でパラメータを調整します。
- ・ [OK]をクリックし、[境界層要素挿入パラメータ]ダイアログを閉じます。
- ・ [連続実行]ダイアログの[OK]をクリックし、表示された[連続実行の内容の確認]ダイアログ（下図）の[Jファイルに保存する]をクリックし、境界層要素の設定をJファイルに保存します。



#### pump.mdl

同様の手順でメッシュ作成の設定を行い、pump.jを保存します。

領域名	1層目の厚さ	変化率	層数
0.00015m	0.00015	1.1	2
0.0003m	0.0003	1.1	2

#### stat.mdl

同様の手順でメッシュ作成の設定を行い、stat.jを保存します。

領域名	1層目の厚さ	変化率	層数
0.0003m	0.0003	1.1	2

#### other.mdl

同様の手順でメッシュ作成の設定を行い、other.jを保存します。

領域名	1層目の厚さ	変化率	層数
0.0003m	0.0003	1.1	2

- 保存した4つのJファイルをSCTjobに読み込み、実行ボタンをクリックすると、登録されたジョブがリストアップされた順に実行されメッシュが作成されます。
- ※ SCTjobで実行した場合にはログファイルが保存されます。
- ※ 保存されるログファイルには、SCTjobの進行状況がリアルタイムで出力され、エラーが発生した際もその詳細がこのファイルに出力されます。



### 3. メッシュチェック

- 指定した場所に境界層が入っているか、メッシュが粗すぎないかを目視でチェックします。例題のため今回は粗いメッシュを設定していますが、多くの場合、より細かいメッシュを作成する必要があります。
- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック]を選択すると 要素形状ダイアログ内にh-ratioの分布が表示されます。
- h-ratioとは三角形の内接球と外接球の半径の比で、最も良い形状の場合は0.333となり、形状が悪い程0へ近づきます。
- 通常は0.03以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともあるので、0.03以下の要素があるかチェックします。
- もし h-ratio : 0.03 以下の要素が多くある場合は、[0.000-0.030] 右のチェックボックスをONとし、[表示]をクリックすることで、該当する要素のみがドローウィンドウに表示されますので、その周囲のメッシュを細かくする、またはスムージング機能を使用してメッシュの質の改善を行います。

※ 通常、スムージングは一度に行うのではなく、スムーサーレベルを段階的に分けて繰り返し行い、メッシュの質を徐々に上げていきます。

- メッシュモードで[表示]-[要素形状チェック]-[要素形状チェック (ハイブリッド)]を選択し、[要素形状 (ハイブリッド)]ダイアログで Shape Factor の分布を表示します。
- Shape Factor はテトラ要素以外のプリズム要素、ピラミッド要素の質を表すパラメータで、最も質の良い形状の場合は1.0となり、形状の質が悪い程0に近づきます。
- 通常は0.1以下の要素が多く存在するとソルバーでうまく計算できないこともありますので、0.1以下の要素があるかチェックします。
- もし Shape Factor : 0.1以下の要素が多くある場合は、以下の手順で修正をします。
  - 境界層の厚みを変えるか、隣接するメッシュを細かくする。
  - スムージングを行う。
  - Shape Factorに0.1と入力し、実行をクリックします。

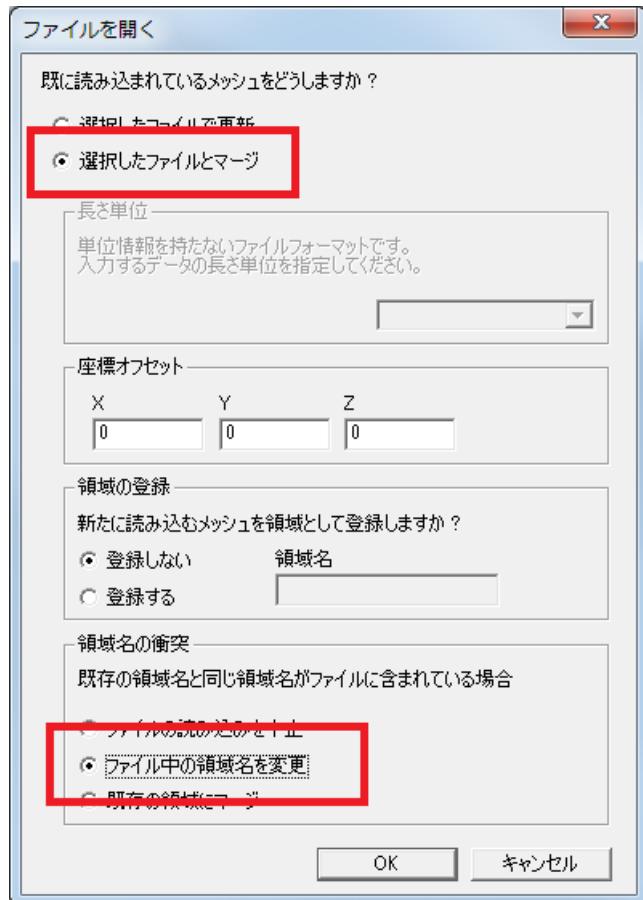
※ 0.1未満の値を入力した場合には境界層の厚みが不揃いとなる可能性があります。

### 4. メッシュのマージ

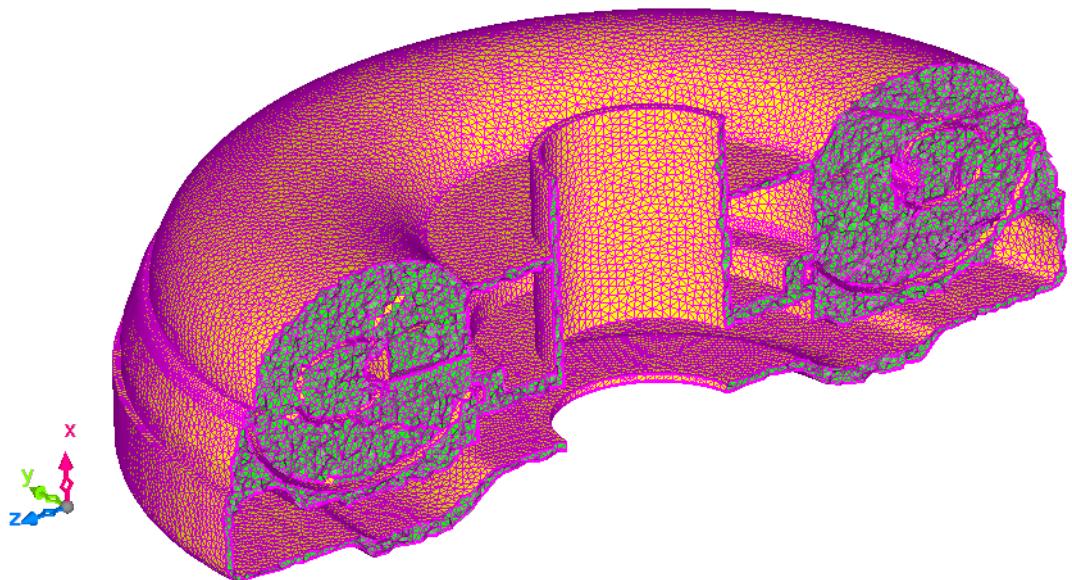
作成された4つのPREファイル(turbine.pre, pump.pre, stat.pre, other.pre)をマージします。

- まずturbine.preをSCTpreに読み込み、その後ドラッグ&ドロップで同じSCTpre画面にpump.preを読み込みます。すると[ファイルを開く]ダイアログが表示されますので、[選択したファイルをマージ]と[領域名の衝突]で

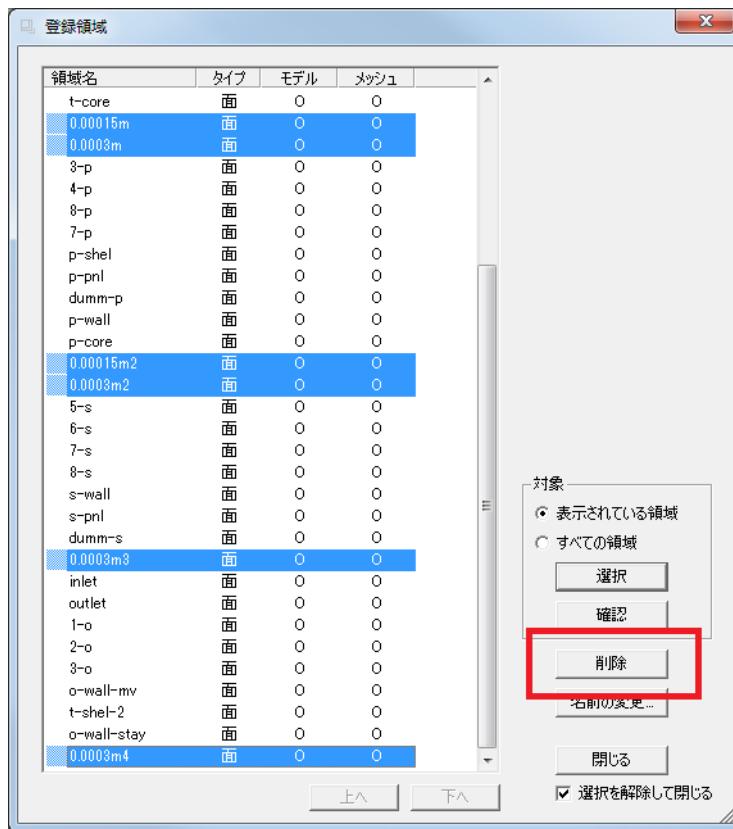
[ファイル中の領域名を変更]を選択し、[OK]をクリックすると、後から読み込むpump.preに既に読み込み済みのturbine.preと同じ名称の面領域が含まれている場合（今回の場合“0.00015m”と“0.0003m”）、pump.preの面領域名が変更されてturbine.preとpump.preが結合されます。



- stat.pre、other.preについても同様の手順で一つずつ結合を繰り返して、4つのメッシュをマージします。



- メッシュモード[表示]-[登録領域]で[登録領域]ダイアログを表示し、境界層要素挿入時の参照用に作成した以下の領域を選択し、[削除]をクリックします。(この作業は解析条件の設定をしやすくするために行うものであり、本作業を行わなくとも解析に影響はありません。)
  - 0.00015m
  - 0.0003m
  - 0.00015m2
  - 0.0003m2
  - 0.0003m3
  - 0.0003m4



- 作成したメッシュをexC07.preとして保存します。

※ 要素数=3,262,379、節点数=929,948

## - 条件設定

[条件ウィザード]で以下の設定を行い、Sファイルを保存します。

1. 解析選択
  - [パネル], [要素移動], [不連続接合]をONにします。
  - [乱流モデル]に[MP k-εモデル]を選択します。

## 2. 基本設定

0.06秒間の計算を行います。これはタービンブレードが一回転する時間です。

- [解析方法]で[非定常解析]を選択します。  
[開始サイクル] : 1  
[終了サイクル] : 2000
- [時間間隔の設定]で[数値入力による]を選択します。  
[時間間隔] : 0.00003 [s]

## 3. 物性値・基準値

- MAT=1 : oil(非圧縮性流体)  
密度 820[kg/m<sup>3</sup>]  
粘性係数 0.007[Pa · s]

## 4. パネル

パネルとして扱う領域に[p-pnl], [t-pnl], [s-pnl]を指定します。

## 5. 要素移動

- [要素移動条件一覧]から[新規]をクリックし、[対象となる領域]に[mv-t]を選択し、さらに[条件]で[新規]をクリックし[要素移動条件詳細]ダイアログを表示します。
- [移動のタイプ]に[回転移動]を選択し、[回転条件を参照する]をONにします。
- 登録をクリックし、[回転条件]ダイアログを表示します。
- ラベルに[rotate\_turbine]と入力し、[角速度]に1000[rpm]を入力します。
- [回転軸の中心座標]に[(0,0,0)], [回転軸の方向成分]に[(1,0,0)]と入力します。
- 登録をクリックします。



- 続いて[ラベル]に[rotate\_pump]と入力し、[角速度]に2000[rpm]を入力します。
- 登録をクリックします。



- 閉じるをクリックして[回転条件]ダイアログを閉じます。
- [要素移動条件詳細]ダイアログで[ラベル]に[rotate\_turbine]を選択します。



- OKをクリックして[要素移動条件詳細]ダイアログを閉じ、続いてOKをクリックして[要素移動条件]ダイアログを閉じます。

- ・ [要素移動条件一覧]から[新規]をクリックし、[対象となる領域]に[mv-v]を選択し、さらに[条件]で[新規]をクリックし[要素移動条件詳細]ダイアログを表示します。
- ・ [移動のタイプ]に[回転移動]を選択し、[回転条件を参照する]をONにします。
- ・ [ラベル]に[rotate\_pump]を選択します。



- ・ OKをクリックして[要素移動条件詳細]ダイアログを閉じ、続いてOKをクリックして[要素移動条件]ダイアログを閉じます。

## 6. 境界条件

- ・ 以下の境界条件を設定します。
  - [inlet] : 流量規定 (質量流量: 0.136667[kg/s])
  - [outlet] : 表面圧力規定 (0[Pa])
  - [s-wall], [s-pnl], [o-wall-stay] : 壁面(静止壁)
  - [t-shel-1], [t-pnl], [t-wall], [t-core], [p-shel], [p-pnl], [p-wall], [p-core] : 壁面 (メッシュの速度を壁面の速度とする)
  - [o-wall-mv] : 壁面(回転移動壁、回転条件を参照する、ラベル[rotate\_pump])
  - [t-shel-2]: 壁面(回転移動壁、回転条件を参照する、ラベル[rotate\_turbine])

## 7. 不連続接合

- 以下の不連続接合を設定します。

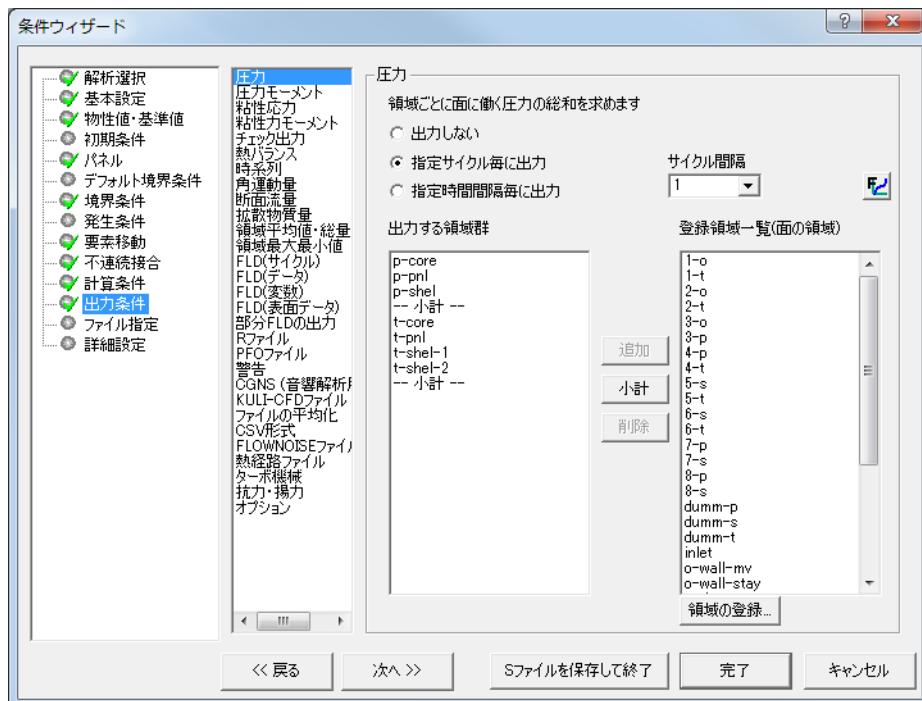
領域(独立)	領域(従属)	タイプ	ラベル
1-t	1-o	平面	
2-t	2-o	円筒面	rotate_turbine
3-p	3-o	円筒面	rotate_pump
4-p	4-t	平面	
5-t	5-s	円筒面	rotate_turbine
6-t	6-s	平面	
7-p	7-s	円筒面	rotate_pump
8-p	8-s	平面	

## 8. 計算条件

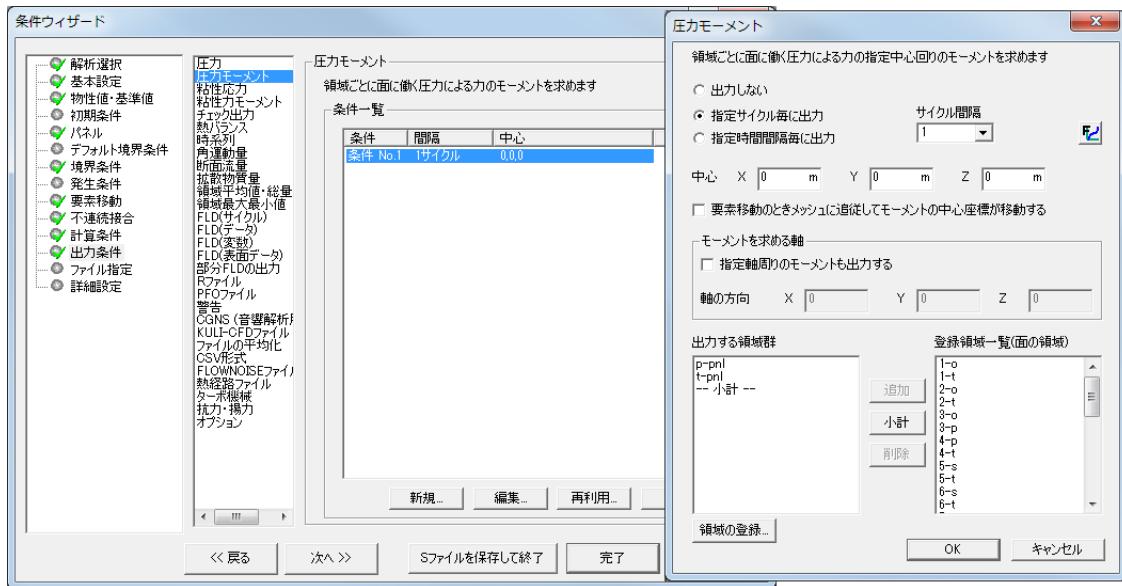
- [時間項]で、[2次精度の陰解法]を選択します。

## 9. 出力条件

- [出力条件]-[圧力], [粘性応力], [圧力モーメント], [粘性力モーメント]
- [圧力]の項目で[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に[1]を入力します。[出力する領域群]に[登録領域一覧(面の領域)]から圧力の積分値を計測する以下の領域を[追加]します。[粘性応力]の項目でも同様の設定を行います。  
[p-pnl], [p-shel], [p-core]  
(ここで一度、中央にある[小計]ボタンをクリック)  
[t-pnl], [t-core], [t-shel-1], [t-shel-2]



- [圧力モーメント]の項目で[新規]をクリックし、[サイクル間隔]に[1]が入力されていることを確認して、[出力する領域群]に[登録領域一覧(面の領域)]から圧力モーメントを計測する以下の領域を[追加]します。[粘性力モーメント]の項目でも同様の設定を行います。  
[p-pnl], [t-pnl]



- [出力条件]-[FLD(サイクル)]
- [出力のタイミング]で[指定サイクル毎に出力]を選択し、[サイクル間隔]に[20]と入力します。

#### 10. ファイル指定

[デフォルト名]をONにして、[ex07C]と入力します。

### - 解析実行

SCTsolverで解析を実行します。

### - 計算コストの目安

- SCTsolverの実行時間  
約14時間
- 計算サイクル数  
2,000サイクル

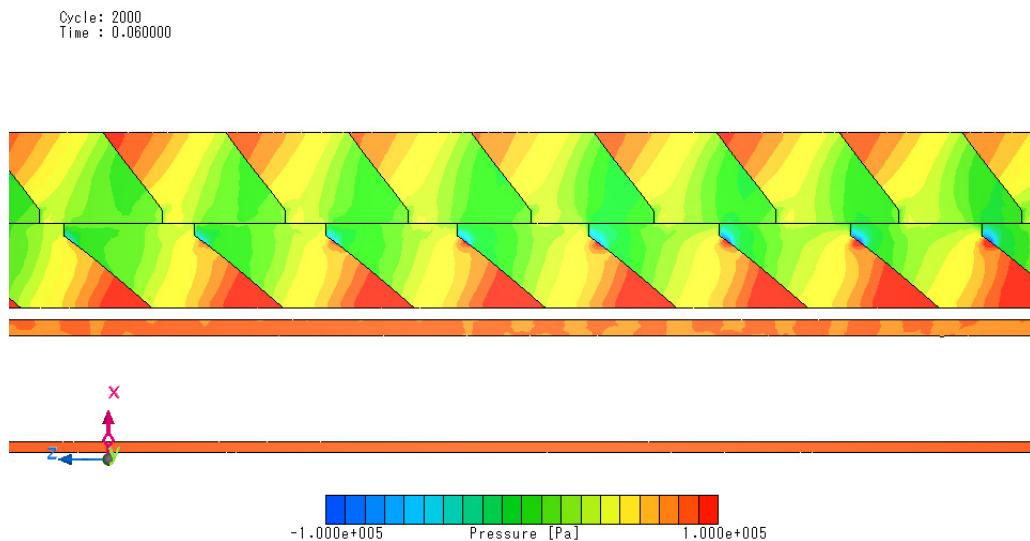
\* 2core使用時(Intel Xeon CPU X5680 3.3GHz)

## - 解析結果

### 1. 任意の円筒面での圧力コンターの表示

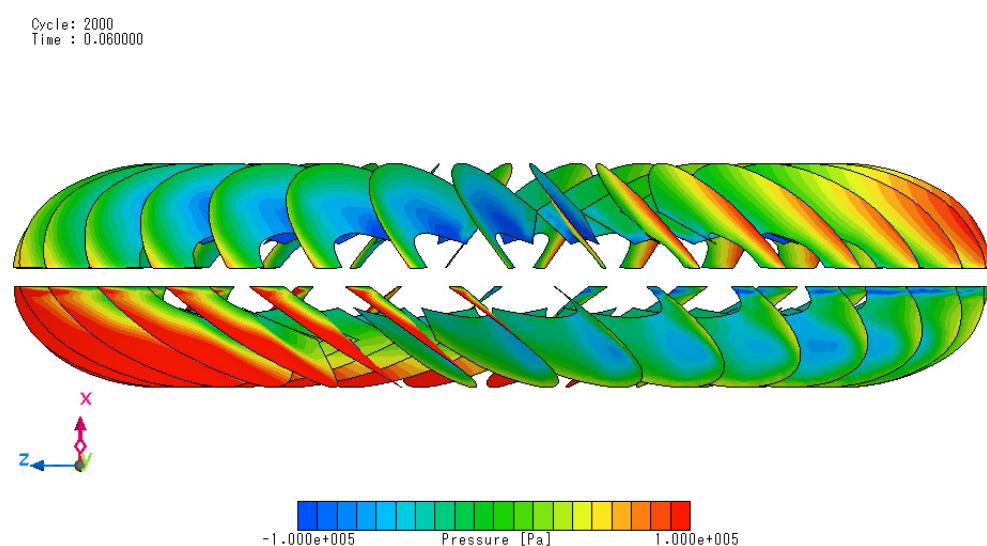
[作成]-[円筒面]をクリックして円筒面オブジェクトを作成し、以下の設定を行います。

- ・ [位置]タブで軸をX軸、半径を0.09に設定
- ・ [その他]タブにて[展開する]をON
- ・ [コンター]タブで[圧力]の表示



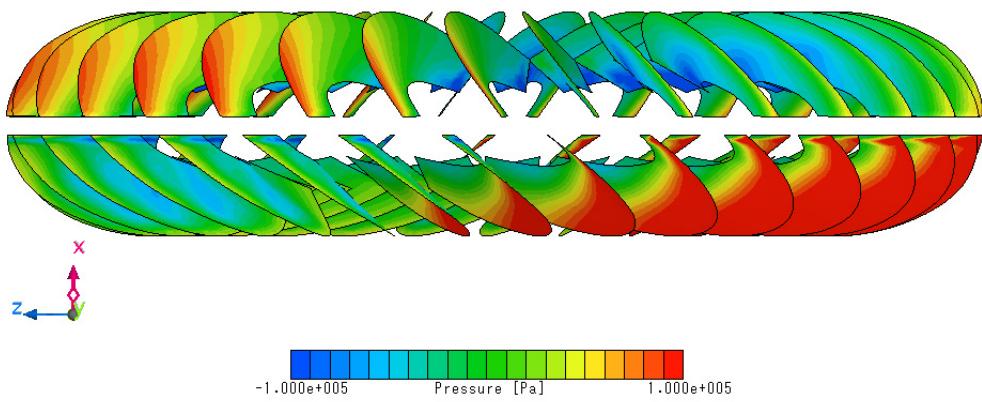
### 2. ブレード表面での圧力コンターの表示

- ・ 表面オブジェクトの[領域]タブで[MAT境界]のチェックを外し、[登録表面]から「p-pnt」と「t-pnl」を選択します。
- ・ [コンター]タブで[表示]をチェックし、[変数]から[圧力]を選択します。
- ・ [塗りつぶし]で、[表]のみONとすると、画面奥側を向いたブレード表面に圧力コンターが描画されます。[裏]のみをONとすると、画面手前側を向いたブレード表面に圧力コンターが描画されます。
- ・ [塗りつぶし]で[表]のみが選択された場合



- [塗りつぶし]で[裏]のみが選択された場合

Cycle: 2000  
Time : 0.060000

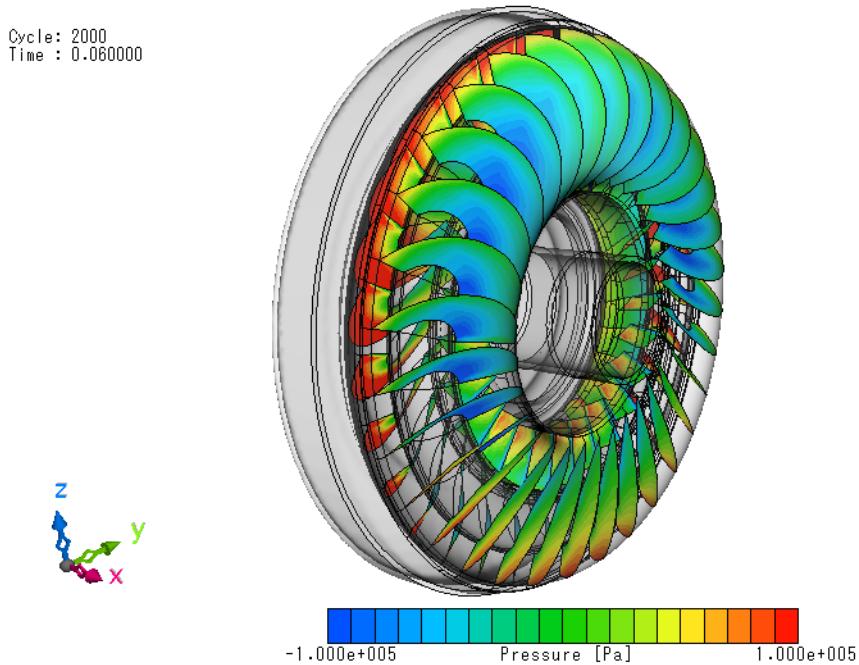


### 3. ブレード回転のアニメーション表示

- ブレード表面にコンターを描画した状態で、まず全体オブジェクトの[サイクル]タブで先頭のサイクルをダブルクリックし、ドローウィンドウ上に表示させます。
- 画像保存オブジェクトの[フォーマット]タブで適当なファイル名を設定し、[フォーマット]に[AVI]を選択後、[AVI記録開始]をクリックします。



- 全体オブジェクトの[サイクル]タブに戻り、[自動セット]をONとして、右に配置されている時計アイコンをクリックしアニメーションを表示します。
- アニメーション表示の終了後、画像保存オブジェクトの[フォーマット]タブで[AVI記録終了]をクリックすると、ドローウィンドウで表示したアニメがAVIファイルとして保存されます。



アニメーションの作例は同梱の"exC07.avi"をご参照ください。

#### 4. タービンスラスト/ポンプトルク/タービントルクの時系列変化グラフの作成

- SCTsolverから出力されたLファイルを使用して、Excel上でスラスト・トルクについての時系列グラフを作成することができます。
- まずSCTsolverから出力されたLファイルをLFileViewで開き、X軸方向についての以下の各出力をダブルクリック、右の[変数/グループ]タブの変数/グループ名を編集して、変数登録を行います。
  - PRESSURE FORCE WORKING ON SURFACES
    - 領域名p-\*に関するSUBTOTAL 変数登録名 : FpxPump
    - 領域名t-\*に関するSUBTOTAL 変数登録名 : FpxTurbine
  - STRESS FORCE WORKING ON SURFACES
    - 領域名p-\*に関するSUBTOTAL 変数登録名 : FsxPump
    - 領域名t-\*に関するSUBTOTAL 変数登録名 : FsxTurbine
  - MOMENT OF PRESSURE FORCE WORKING ON SURFACES
    - 領域名「p-pnl」 変数登録名 : MpxPump
    - 領域名「t-pnl」 変数登録名 : MpxTurbine
  - MOMENT OF STRESS FORCE WORKING ON SURFACES
    - 領域名「p-pnl」 変数登録名 : MsxPump
    - 領域名「t-pnl」 変数登録名 : MsxTurbine

exC07.i - LFileView

ファイル[...] フル集団 表示[...] 変数[...] グラフ[...] ヘルプ[...]

2000 指定サイクルへ移動 Log

変数登録

変数/グループ...	変数/グループ
CYCLE	実数
TIME	実数
FpxPump	実数
FsxPump	実数
FpxTurbine	実数
FsxTurbine	実数
MpxPump	実数
MpxTurbine	実数
MsxTurbine	実数
MsxTurbine	実数

```

p-core          0.0230718   -0.970123   0.01386275   0.0115190
p-pnl           0.0468345   -1.52314    0.00125425   0.0268012
p-shel          0.0280853   -5.38833    0.00885030   0.0162003
SUBTOTAL:      0.0984322   -5.38833    0.00588507   0.0742004
t-core          0.0222323   -0.0492181   -0.0153322   -0.00639545
t-pnl           0.0559264   1.58334    0.00177247   -0.0195094
t-shel-1        0.0292714   -2.67712    -0.000766479   -0.0343285
t-shel-2        0.0330405   -0.0310201   -0.000764830   0.00540734
SUBTOTAL:      0.140471    -1.08802   -0.0150921   -0.0548260
TOTAL:         0.239903    -6.17022   -0.00920701   0.0193745

*** MOMENT OF PRESSURE FORCE WORKING ON SURFACES ***
REGION          AREA            MOMNT-X       MOMNT-Y       MOMNT-Z
(ENTRY NO. = 1)
p-pnl           0.0468345   -75.2721     -0.160471   -0.0803067
t-pnl           0.0559264   93.7720     0.300336   -0.209466
TOTAL:          0.102621    18.4999     0.139865   -0.269773

*** MOMENT OF STRESS FORCE WORKING ON SURFACES ***
REGION          AREA            MOMNT-X       MOMNT-Y       MOMNT-Z
(ENTRY NO. = 1)
p-pnl           0.0468345   -0.0459005   -0.00315717   0.000617942
t-pnl           0.0559264   0.395443    0.000301176   -0.00195352
TOTAL:          0.102621    -0.441349   -0.00285599   -0.00133557

*** OUTPUT S-FILE TEXT(TITLE='LS_SFile') IN FLD FILE.***

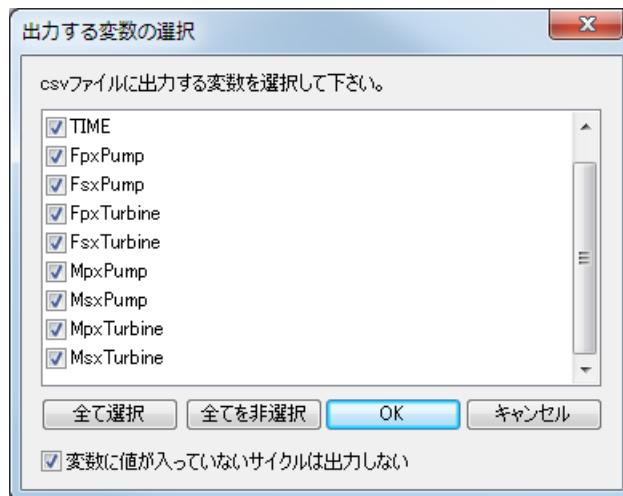
*** NCYC = 2000 WRITTEN TO exC07_2000.fld
*** NCYC = 2000 WRITTEN TO exC07.2.pre
*** NCYC = 2000 WRITTEN TO exC07.r

*** WARNING LIST ***
(NO. = 43)      total =1

```

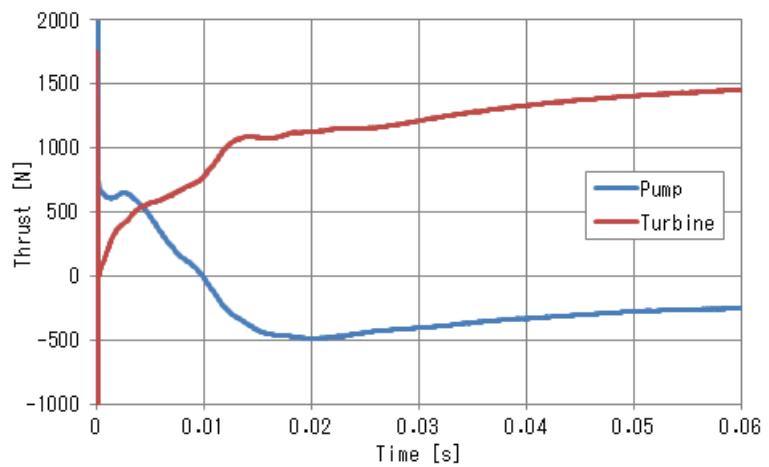
2000サイクル 220736行 45文字

- 変数登録後、[ファイル]-[変数をcsv形式で保存]をクリックし、変数登録を行った変数の中から保存する変数を選択してCSVファイルを保存します。

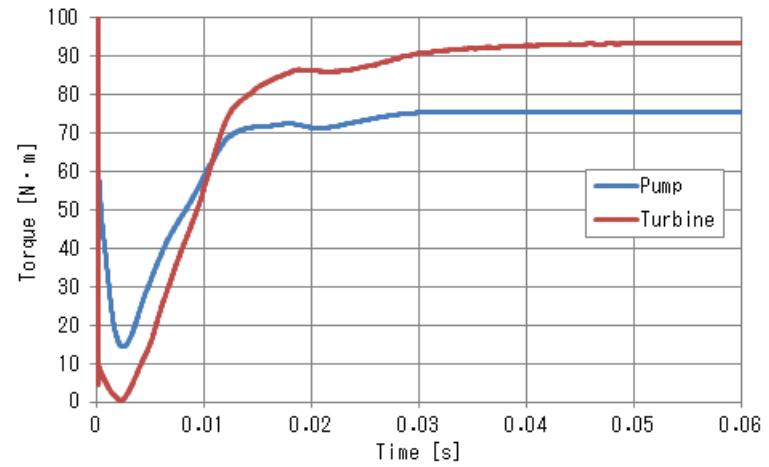


- 保存したCSVファイルをMicrosoft Excelなどで開きます。
- 以下のようにスラスト/ポンプトルク/タービントルクを計算し、これらの値をそれぞれY軸に設定し、X軸に時間 (Time) を設定すると、以下のように各変数の時系列グラフを作成することができます。
  - ポンプスラスト=FpxPump+FsxPump
  - タービンスラスト=FpxTurbine+FsxTurbine
  - ポンプトルク=abs(MpxPump+MsxPump)
  - タービントルク=abs(MpxTurbine+MsxTurbine)

- 
- ・ スラスト



- ・ トルク



---

## 應用例8 流体軸受

---

軸受 (bearing) とは回転や直線運動を行う部品を支持するための部品であり、機械要素<sup>\*</sup>の一つにも数えられる工学上極めて重要な機械部品です。

※ 機械要素：機械を構成する最小の機能単位

一般に「玉軸受(ball bearing)」や「ころ軸受(roller bearing)」としてよく知られており、身近な家電、自動車から、医療、航空・宇宙機器に至るまで、幅広い分野で利用されています。

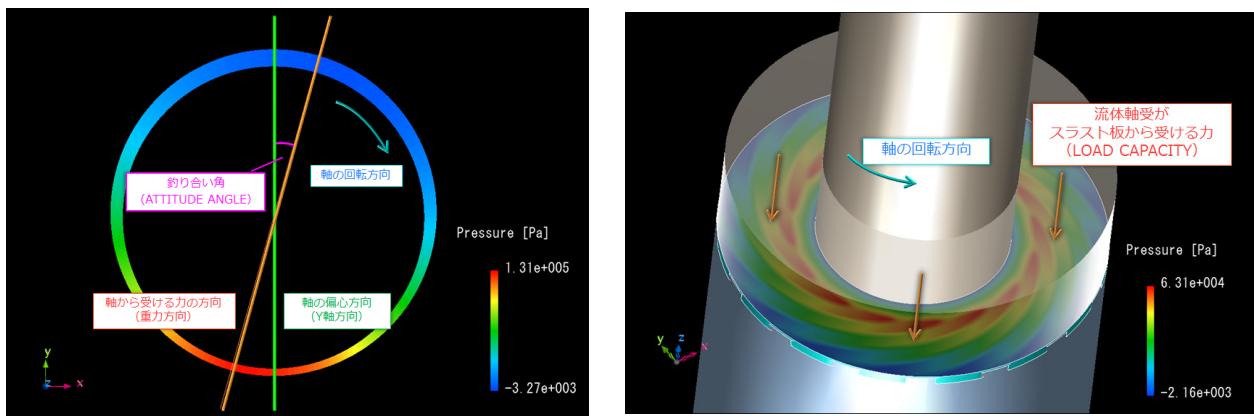
軸受の種類は、媒体に固体/流体のどちらを使用するかで大きく二分され、玉やコロといった、いわゆる“転動体”を用いるものは「転がり軸受(Anti-Friction Bearing)」、液体（油）もしくは気体（空気）を用いるものは「流体軸受(Fluid Dynamic Bearing)」と呼ばれています。特に前者「転がり軸受」の歴史は古く、その原型はそりの下に使用する丸太や、火起こしの道具の一部として、古代エジプトの時代には既に存在していたと言われています([文献1])。

「起動/停止時の耐摩耗性能」「摩擦抵抗の少なさ」「耐熱性」「保守の容易さ」といった利点から、数十世紀経つた現代でも自動車エンジンのロッカームや小型エンジンのコンロッド等、社会的に主要な製品の一部として活躍しています([文献2])。

一方、後者「流体軸受」の歴史は比較的浅く、アイデア自体は19世紀の中頃のフランスで既に存在していたものの、高い技術力・コストが必要となることから、その実用化の動きが本格的に進められ始めたのは、それから一世紀も経った20世紀半ばでした([文献1,2])。しかし実用化が進み始めてからは「高い精度での高速回転が可能」「固体接触が殆ど生じず低振動・低騒音」「摩擦が少なく高効率・長寿命」「転動体が無い分、より薄膜化が可能」「摩耗によって生じる金属粉（内部汚染）の心配が少ない」といった特長から、近年高まる高速化・小型化・精確な運転への需要と相まって、急速に普及が進んでいます。現在では各種工作機械は勿論のこと、発電機の主軸といった比較的大型なものから、サーバ・ノートPC向けのファンモータといった精密機器に至るまで、幅広い分野で利用されています。中でもBlu-rayレコーダーといったAV機器に用いられるHDDモータにおいては、この流体動圧軸受の静音性が不可欠とされ、現在殆どのHDDモータにこの流体軸受（焼結含油軸受）が使用されています。

ただ一方で、流体軸受には転がり軸受に比べ「剛性が小さく、固体接触/振れ回り不安定を生じやすい」といった弱点もあります。それ故、その設計にはより緻密な設計と、それを実現するための高い加工技術が必要となります。流体軸受はその作動原理により、外部ポンプから流体を吹き込み軸を持ち上げる“静圧型”と、隙間が狭まることによって発生する局所的な高圧化を利用して軸を支える“動圧型”に大別されますが<sup>※</sup>、この例題ではその中でもより高温/低温の影響を受けにくく、かつ狭い隙間を維持することのできる“気体軸受”を対象に、設計に欠かすことのできない「負荷容量（軸受に掛かる力）」や「出力損失（エネルギー損失）」「軸受剛性（軸のぶれにくさ）」の評価方法について紹介します。

※ SCRYU/Tetra(Fluid Bearing Designer)で計算可能な対象は、動圧型のみとなります。



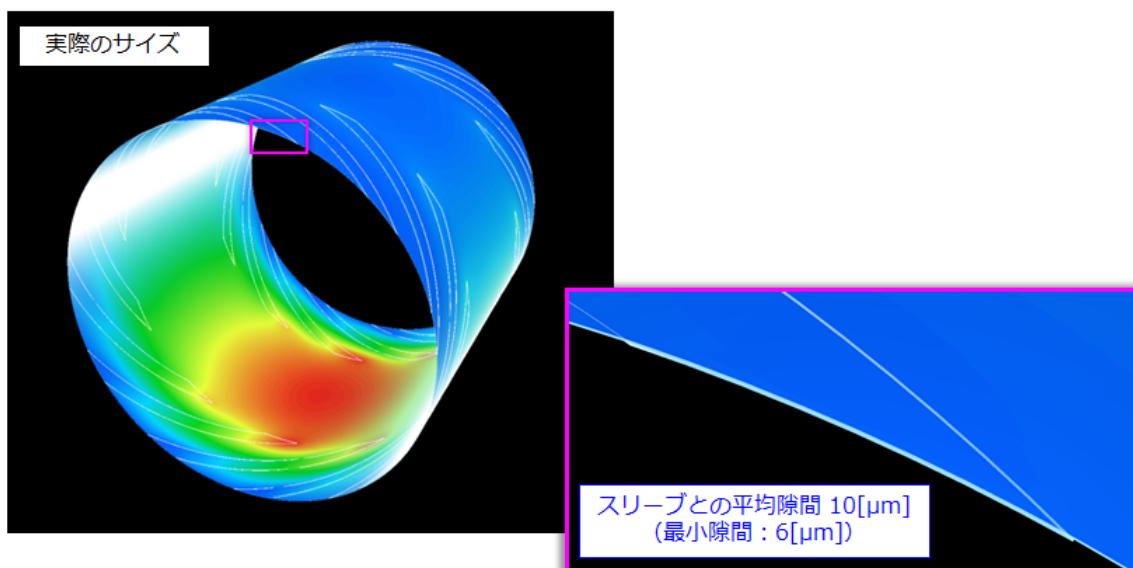
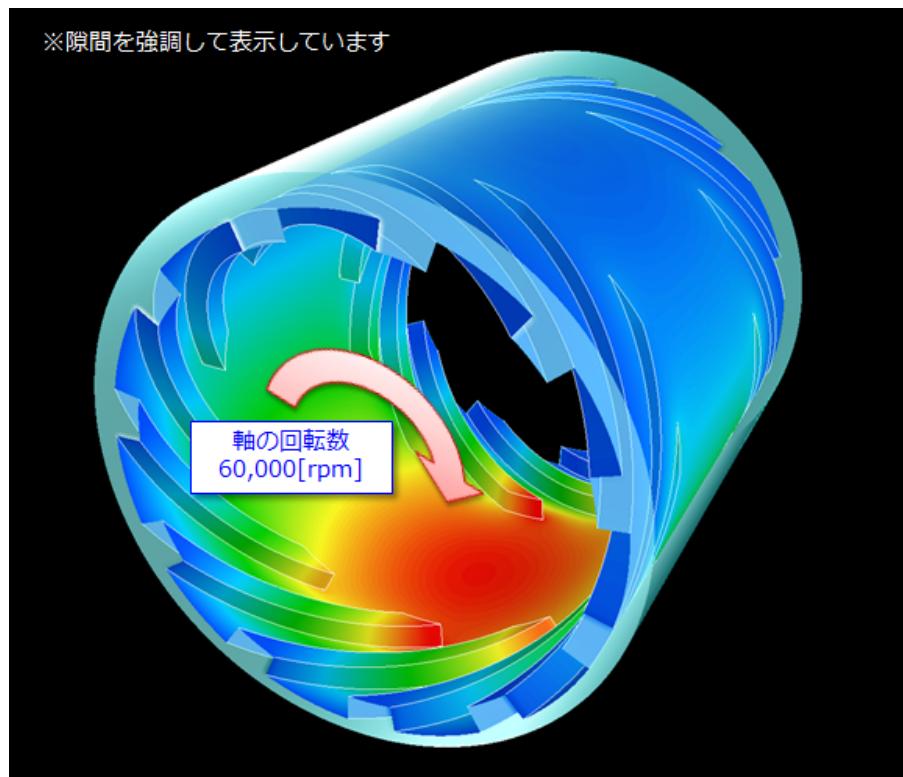
#### 参考文献

1. 十合晋一著 "気体軸受 -設計から製作まで-", 共立出版株式会社, (1984), 1章
2. NTN株式会社 “テクニカルレビュー No.69<流体軸受>” 小特集号 [巻頭言]

## 応用例8.1 動圧ラジアル気体軸受

ヘリングボーン溝付き動圧ラジアル気体軸受を対象として、最小隙間  $6[\mu\text{m}]$  で安定して軸を支える際に軸から受ける力[N]と、その方向を求めます。

### 解析モデル



## 解析手順

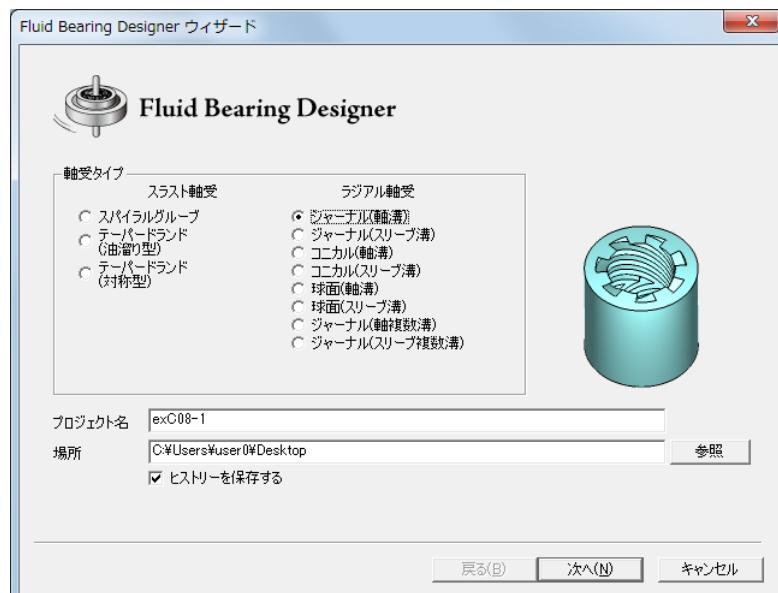
### - 解析モデル作成/条件設定/解析メッシュ

流体軸受計算を行う場合、関する設定は、全て専用のウィザード「Fluid Bearing Designer」(SCTpreメニュー[オプション]-[Fluid Bearing Designer])に用意されています。

以降では、ダイアログ画像中の入力値を参照しながらウィザードの設定を行って下さい。

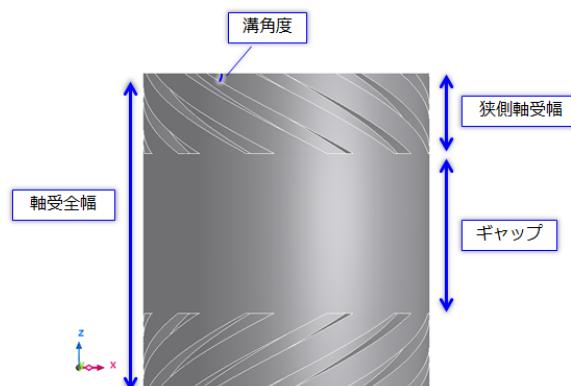
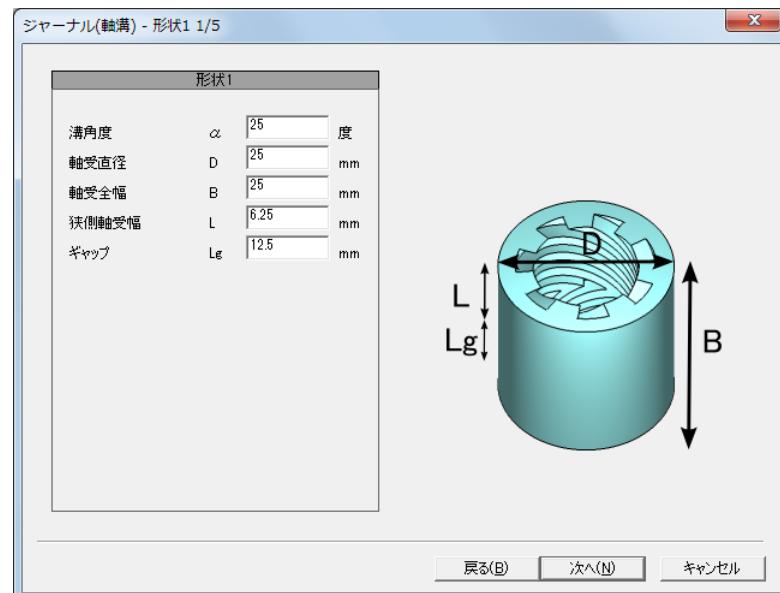
#### 1. 軸受タイプの設定

- 流体軸受のタイプに[ジャーナル(軸溝)]を指定します。
- [プロジェクト名]に各種データファイルに設定されるファイル名、[場所]にそれらファイルが出力されるフォルダパスを入力します。



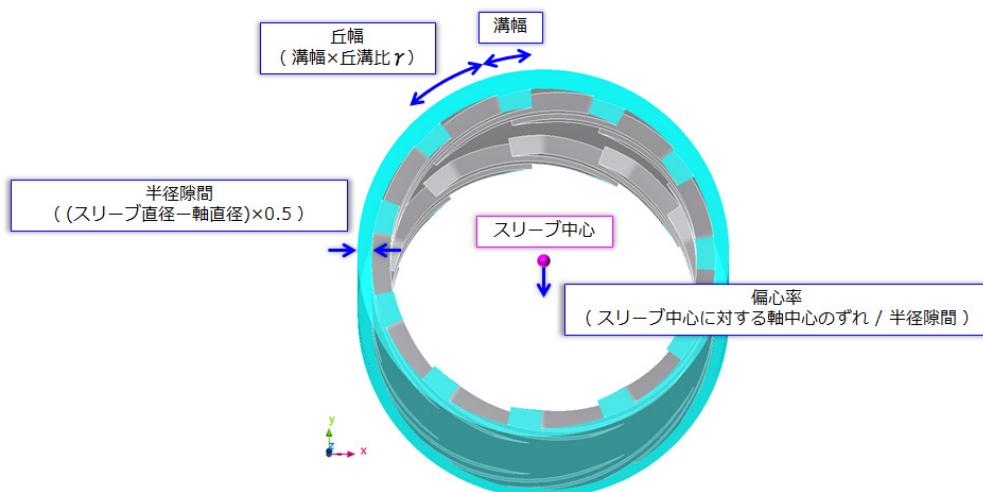
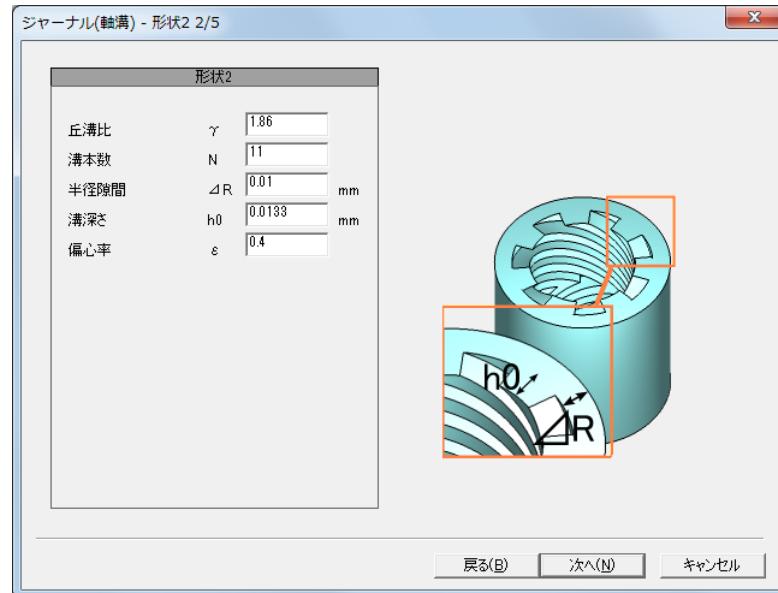
## 2. 軸/スリーブ形状の設定

- 最初のダイアログ (1/5) では、軸/スリーブ形状に関する設定を行います。



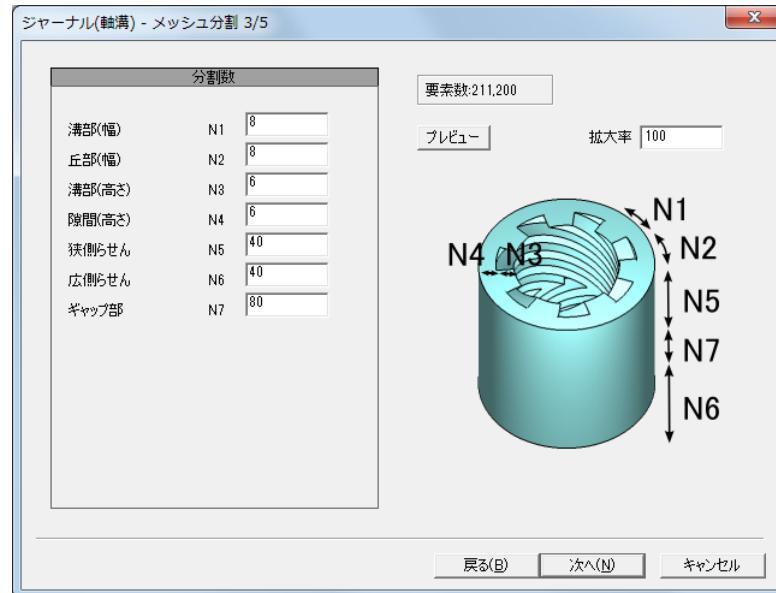
## 3. 軸形状/配置の設定

- 2つめのダイアログ (2/5) では、軸の形状/配置に関する設定を行います。

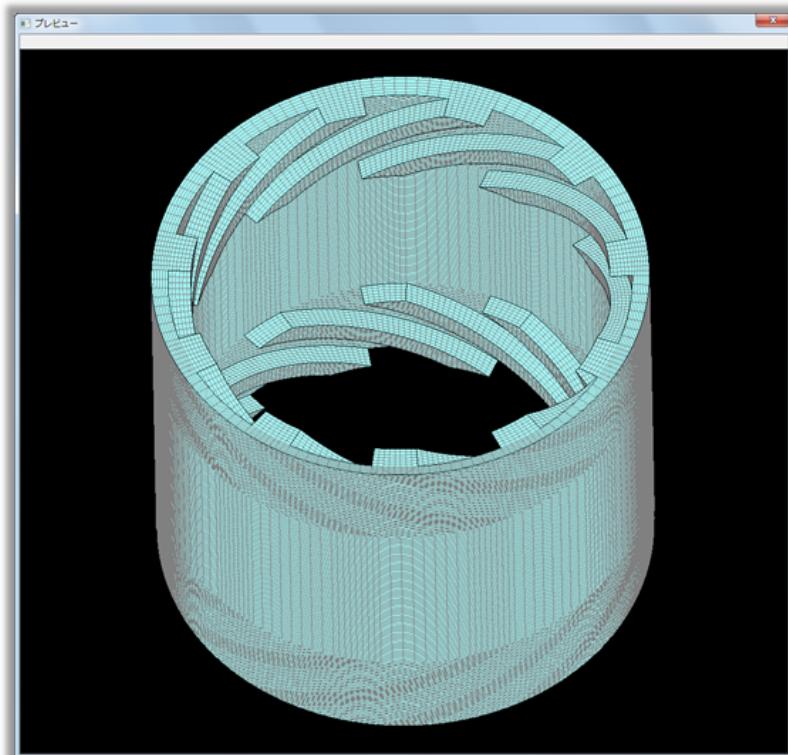


## 4. メッシュ分割の設定

- 3つめのダイアログ (3/5) では、メッシュの分割方法に関する設定を行います。

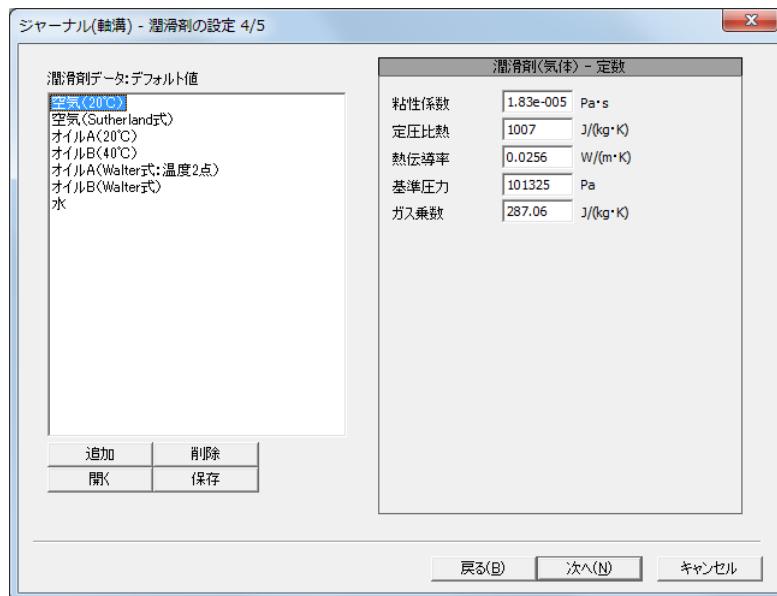


プレビュー画面 (要素数 : 211,200)



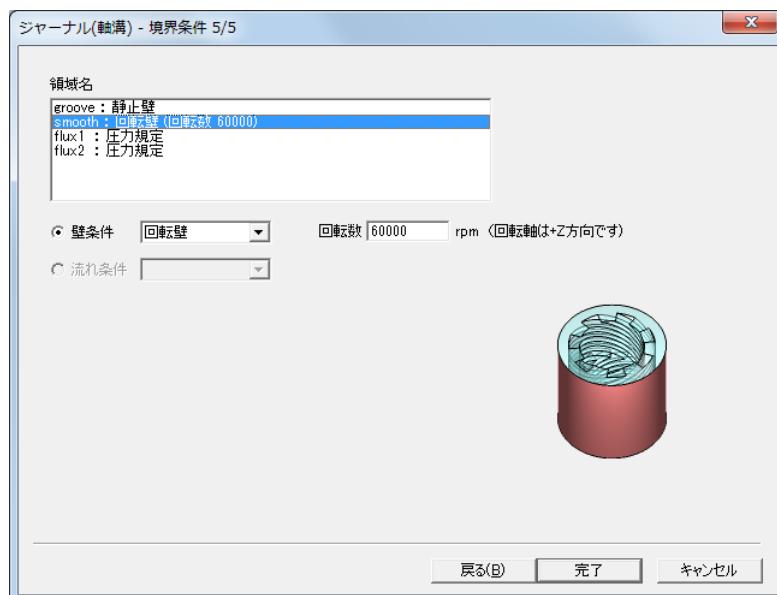
## 5. 潤滑剤物性の設定

- 4つめのダイアログ（4/5）では、潤滑剤の物性に関する設定を行います。
- 本例題では「空気(20°C)」（圧縮性）を使用します。



## 6. 軸回転条件の設定

- 最後のダイアログ（5/5）では、軸の回転数の設定を行います。



- [完了]をクリックすると、最初のダイアログ画面（1/5）で指定したフォルダパスに以下のファイルが出来ます。
  - hisファイル (\*.his) : Fluid Bearing Designer ウィザードの設定保存用。Fluid Bearing Designer ウィザードの先頭画面へドロップすることにより、設定を復元することができます。
  - PREファイル (\*.pre) : メッシュを保存したファイル。
  - Sファイル (\*.s) : 計算条件を保存したファイル。

## 7. (補足) 軸受計算特有のSファイル設定

- 出力されるSファイルには、以下に示す軸受計算特有の設定がデフォルトで追加されています。

軸受特有のデフォルト設定 (BEARコマンドは除く)

```

DTSR      4   0          0   3
/
FTYP      0
INIT
TEMP
/
PCTY      4
SOLV
  1   5   50           1e-005
  2   5   50           1e-005
  3   5   50           1e-005
  4   8   800          0.0001
  5   10  100          1e-005
/
STED
  1   0               0
  2   0               0
  3   0               0
  4   0               0
  5   0               0
/
STPB      0
UNDR
  1               0.5  3
  2               0.5  3
  3               0.5  3
/
UPWD
0000
WL04
%CNAM Wall      -1   0          20   0
groove
smooth
/
/
%SKPB
MOND
STS 0
/
%SKPE

```

※ピンクの行は圧縮性(気体)の場合のみ

※各コマンドの詳細は「ユーザーズガイドリファレンス(ソルバー)編」参照

- 1) DTSRコマンド
  - 圧力の慣性不足緩和を行わない（収束が遅いため加速）
- 2) FTYPコマンド
  - 速度場・スカラー共に「節点中心型」に
- 3) INITコマンド
  - 潤滑剤の初期温度を外気20°Cに合せる
- 4) PCTYコマンド
  - 圧力補正式の解法を「修正SIMPLEC」に
- 5) SOLVコマンド
  - 運動量(U/V/W)・圧力(P)のマトリックス最大反復回数を増加  
(アスペクト比が極端に大きく、収束性が悪いため)
    - ◆ 温度のマトリックス相対誤差を厳しく
- 6) STEDコマンド
  - 運動量(U/V/W)・圧力(P)・温度(T)についての収束判定を無視
- 7) STPBコマンド
  - 圧力規定境界の安定化を行わない  
(開口部「flux1」「flux2」で流速分布がチェックボード状となるのを防止)
- 8) UNDRコマンド
  - 運動量(U/V/W)の緩和係数を低下（デフォルトの緩和では発散の恐れ）
- 9) UPWDコマンド
  - 全ての方程式の移流項精度を「風上差分(1次精度)」に
- 10) WL04コマンド
  - 軸/スリーブの壁面温度を20°Cに固定
- 11) MONDコマンド
  - Solverモニターで表示される情報を制限

## - 解析実行

Fluid Bearing Designer ウィザードでの設定が完了すれば、続いて SCTsolver での計算を行います。計算準備で作成された PRE ファイル (\*.pre) と S ファイル (\*.s) を同じフォルダ内に保存し、SCRYU/Tetra での解析と同様の操作にて、SCTsolver での計算を開始します。



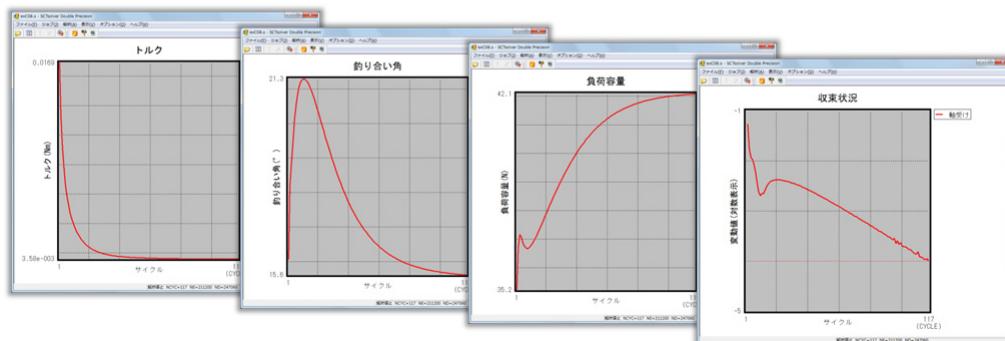
なお軸受計算において定常判定は、"負荷容量"についてのみ行われます。

(定常判定値 : 1e-4 ; BEAR コマンド)

**・定常判定式**

$$| \text{Load}_{\text{new}} - \text{Load}_{\text{old}} | / \max ( |\text{Load}_{\text{new}}|, |\text{Load}_{\text{old}}| )$$

ここに  
 $\text{Load}_{\text{new}}$  : 現在のサイクルにおける負荷容量  
 $\text{Load}_{\text{old}}$  : 前のサイクルにおける負荷容量



## - 解析結果

### 1. 解析選択

- SCTsolverから出力されたLファイル(\*.l)をLFileViewで表示します。
- 最終サイクルのうち、軸受の特性量の出力されている「BEARING RESULT」という項目を確認します。
- 各数値から以下の結果を確認することが出来ます。

軸受(潤滑剤)の負荷容量[N] (軸を支える力)	釣り合い角[°]※ (軸から受ける力と偏心方向とが成す角度)
== BEARING RESULT (journal1) == LOAD CAPACITY : 42.0741 (N) FRICTION TORQUE : 0.00358379 (Nm)	ATTITUDE ANGLE : 15.61 (DEGREE)
摩擦トルク[N・m] (回転軸周りの粘性モーメント)	

※ 「釣り合い」とは、「軸から受ける力」と「軸受が軸を支える力」とが釣り合っていることを意図した呼称です。一般には「偏心角」とも呼ばれます。

### 2. 風損

- 風損（機械損失のひとつ）は、摩擦トルク（FRICTION TORQUE）より求めることができます。

$$\text{LOSS}_{\text{wind}} = T_f \times N \times 2\pi / 60$$

ここに

$\text{LOSS}_{\text{wind}}$	: 風損 [W]
$T_f$	: 摩擦トルク [N・m] (FRICTION TORQUE)
N	: 回転数 [rpm]

軸受(潤滑剤)の負荷容量[N] (軸を支える力)	釣り合い角[°]※ (軸から受ける力と偏心方向とが成す角度)
== BEARING RESULT (journal1) == LOAD CAPACITY : 42.0741 (N) FRICTION TORQUE : 0.00358379 (Nm)	ATTITUDE ANGLE : 15.61 (DEGREE)
摩擦トルク[N・m] (回転軸周りの粘性モーメント)	

※ 本例題の場合

$$\text{風損 } \text{LOSS}_{\text{wind}} = 0.00358379 [\text{N} \cdot \text{m}] \times 60,000 [\text{rpm}] \times 2\pi [\text{rad}] / 60 [\text{s/min}] \\ \approx 22.5 [\text{W}]$$

## 3. 軸受剛性・ダンパ係数

- 軸の偏心のしにくさの指標である軸受剛性 (stiffness) ・ダンパ係数 (damping coefficient) は、偏心率 (最小隙間) を微小に変化させた計算※を追加でもう一つ行うことにより、求めることができます。
- ※ 偏心率変化後の釣り合い角が、偏心率変化前と一致していることが前提となります。

$$\text{軸受剛性 } K = \frac{W(h - \delta h) - W(h)}{\delta h} \quad \text{ダンパ係数 } C = \frac{K}{(N/60)}$$

ここに

$K$	: 軸受剛性 [N/m]
$C$	: ダンパ係数 [N · s/m]
$h$	: 最小隙間 [m] (半径隙間 × (1 - 偏心率 $\varepsilon$ ) )
$\delta h$	: 最小隙間の微小変化量 [m] (絶対値)
$W(h - \delta h), W(h)$	: 最小隙間 ( $h - \delta h$ ), $h$ [m] における負荷容量[N] (LOAD CAPACITY)
$N$	: 回転数 [rpm]

軸受(潤滑剤)の負荷容量[N] (軸を支える力)	釣り合い角[°]* (軸から受ける力と偏心方向とが成す角度)
<pre>==== BEARING RESULT (journal1) ==== LOAD CAPACITY      :      42.0749 (N)   ATTITUDE ANGLE :  15.62 (DEGREE) FRICTION TORQUE    :  0.00358335 (Nm)</pre>	
摩擦トルク[N · m] (回転軸周りの粘性モーメント)	

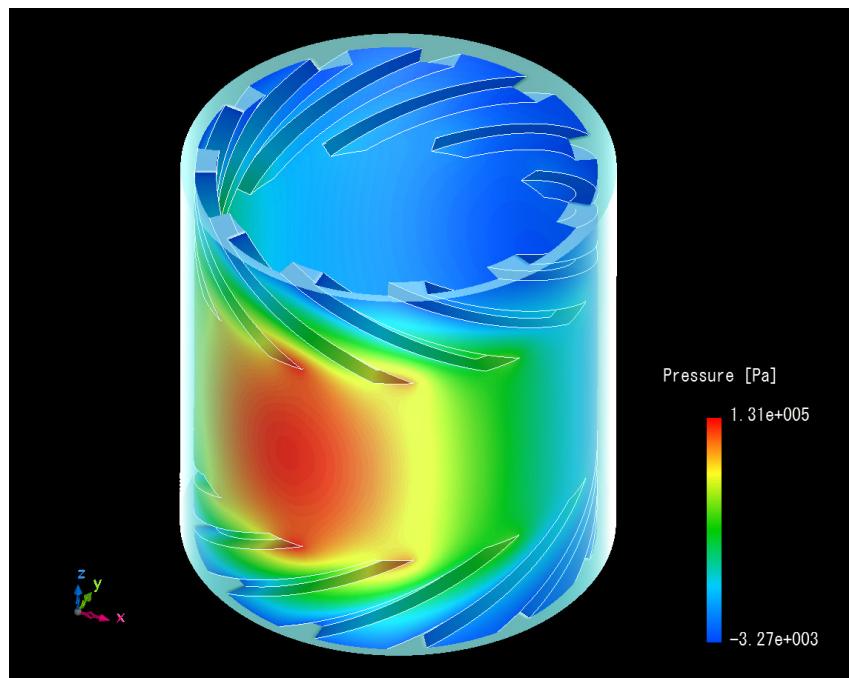
※ 計算例) 最小隙間をさらに8%狭めた際 (偏心率0.448) の負荷容量が48.9779 [N]だった場合

$$\text{軸受剛性 } K = \frac{48.9779[\text{N}] - 42.0741[\text{N}]}{6.0 \times 10^6[\text{m}] \times 0.08} \doteq \underline{1.438 \times 10^7 [\text{N}/\text{m}]}$$

$$\text{ダンパ係数 } C = \frac{K}{(N/60)} \doteq \underline{1.438 \times 10^4 [\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}]}$$

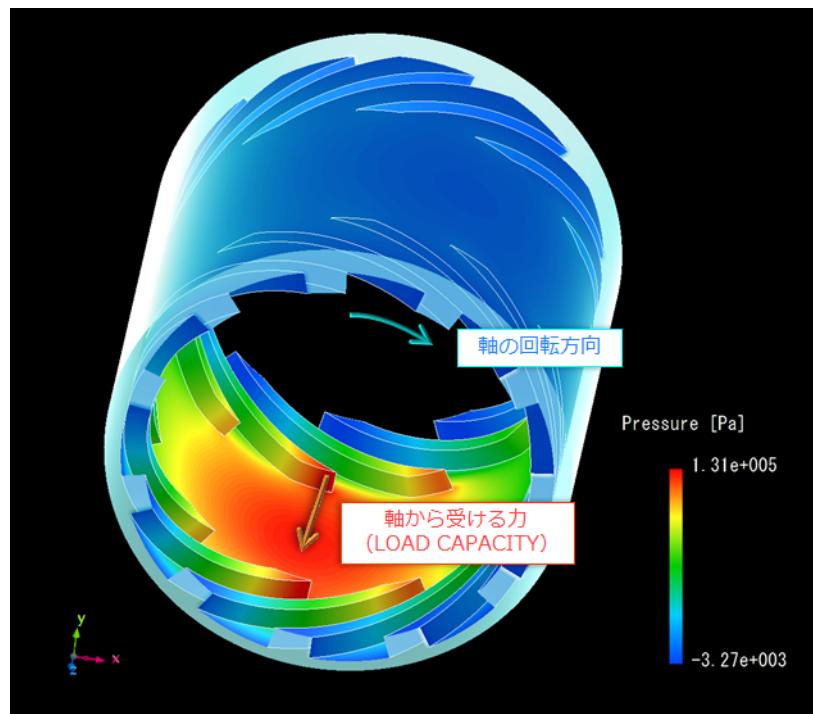
## 4. 軸を支える圧力分布

- 初めに結果を確認し易くするため、全体オブジェクト[スケール変換]タブの[円筒]を選択し、隙間幅・偏心量を強調表示とします。
- [作成]-[表面]をクリックし、表面オブジェクトを追加します。
- 作成した表面オブジェクト[領域]タブで面領域「groove」のみがONの状態とします。
- 同じ表面オブジェクト[コンター]タブで[圧力(PRES)]を指定し、[裏]をONにすると軸上に圧力コンターが表示されます。



## 5. Lファイル結果との対応関係

- Lファイルに出力されている「軸受の負荷容量」(LOAD CAPACITY) は、軸表面から法線方向に受ける力を、ベクトル積分することにより得られた力です。
- 一般に軸から受ける力の要因には、他の装置が軸を拘束する力や、軸自身の重量等、複数の要因が含まれますが、その方向は多くの場合、重力方向とほぼ一致します。
- 仮に軸から受ける力の方向が、重力方向と一致していると考えた場合、Lファイルの「釣り合い角」(ATTITUDE ANGLE) は、“偏心方向(Y軸方向)が鉛直下方向に対して、どのくらい傾いているか”を表しているといえます。



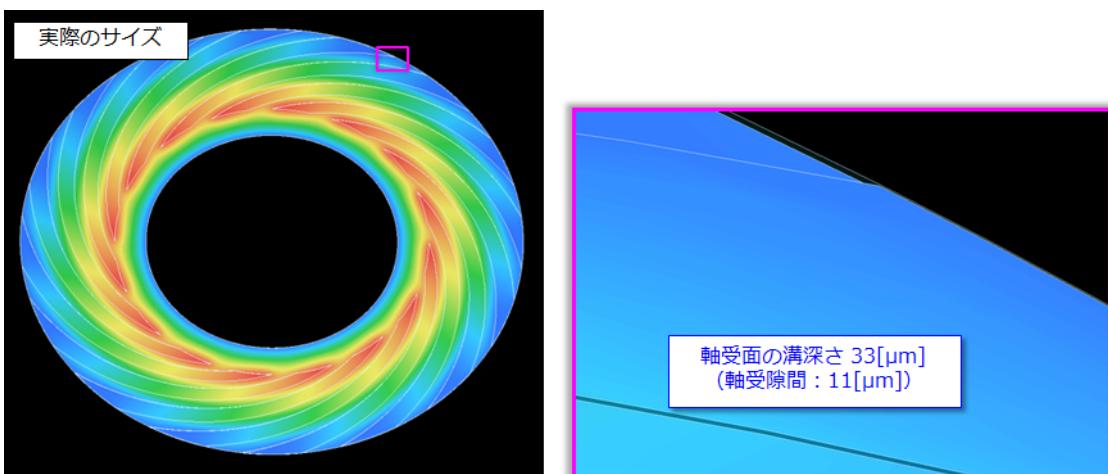
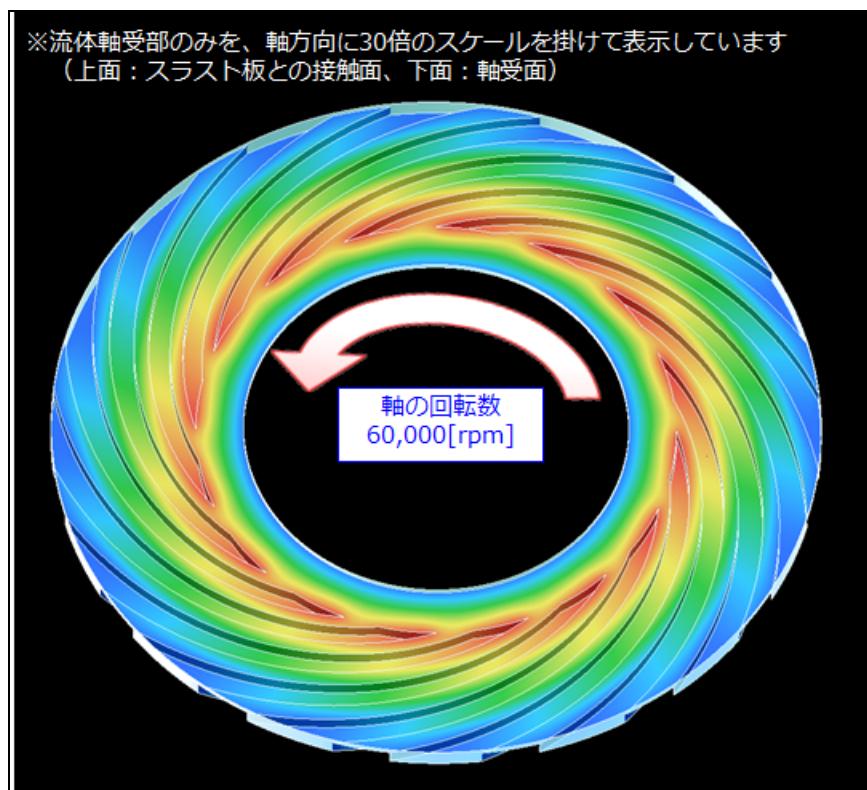
### ※ 計算結果に関する注意点

- 重力(浮力)の影響は考慮されていません。
- 軸の偏心方向はY軸負方向に設定されています。
- 原点(X,Y)=(0,0)を通るのは、スリーブ/軸の中心軸のうち、溝の付いている方の中心軸(本例題では軸の中心軸)となります。
- 軸の回転の影響は、スリーブ/軸の表面のうち、溝の付いていない方の表面(本例題ではスリーブの表面)へもう一方に対する相対的な回転速度(必ずZ軸正方向周りの回転)を与えることにより考慮されています。

## 応用例8.2 動圧スラスト気体軸受

スパイラル溝付き動圧スラスト気体軸受を対象として、軸受隙間 11[μm]で安定してスラスト板を支えるのに必要となる力[N]を求めます。

### 解析モデル



## 解析手順

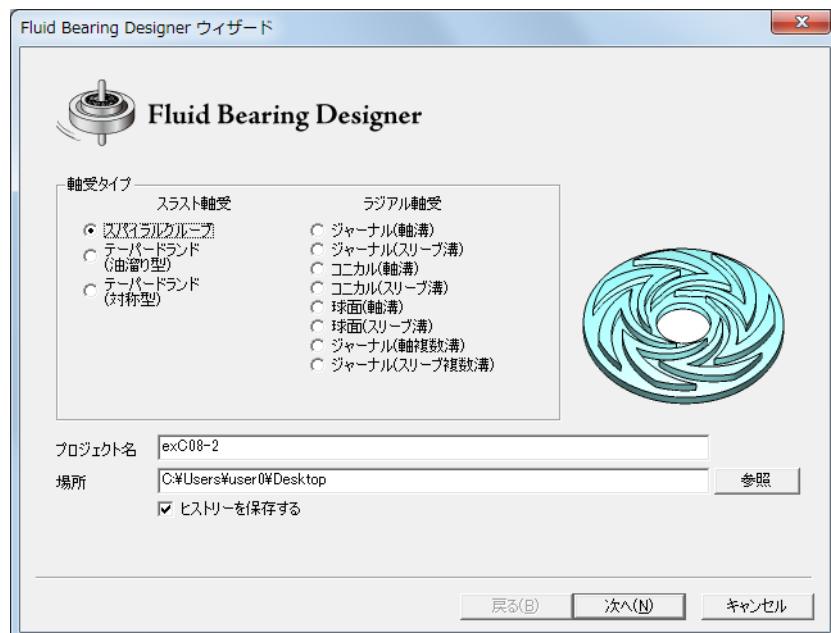
### - 解析モデル作成/条件設定/解析メッシュ

流体軸受計算を行う場合、関連する設定は全て専用のウィザード「Fluid Bearing Designer」(SCTpreメニュー[オプション][Fluid Bearing Designer])に用意されています。

以降では、ダイアログ画像中の入力値を参照しながらウィザードの設定を行って下さい。

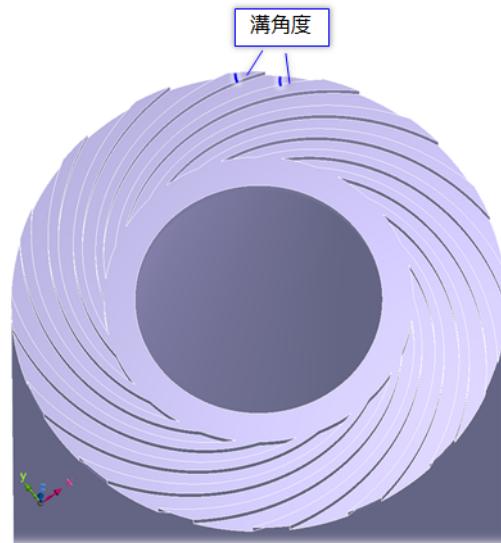
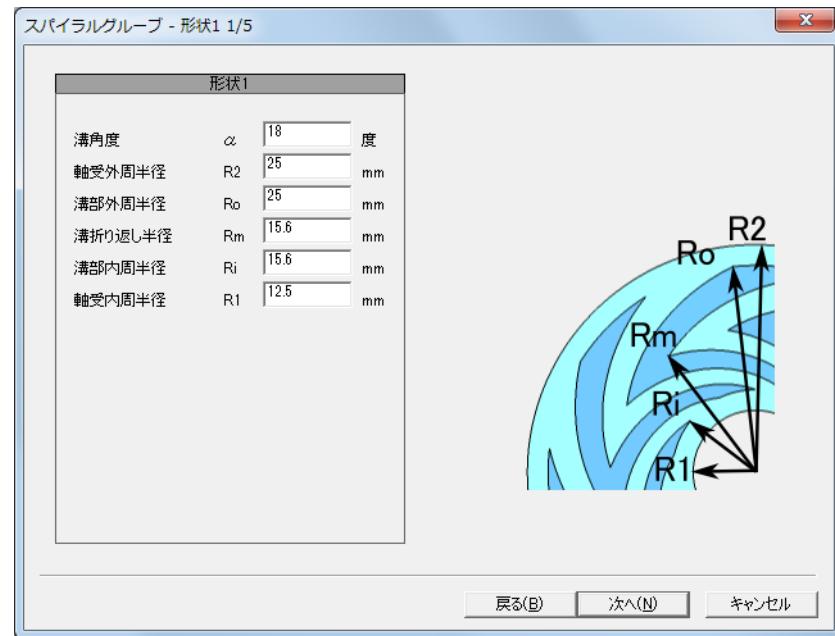
#### 1. 軸受タイプの設定

- 流体軸受のタイプに[スピアルグループ]を指定します。
- [プロジェクト名]に各種データファイルに設定されるファイル名、[場所]にそれらファイルが出力されるフォルダパスを入力します。



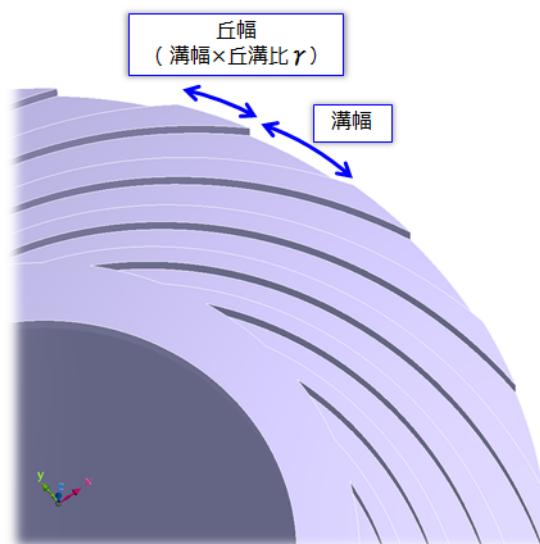
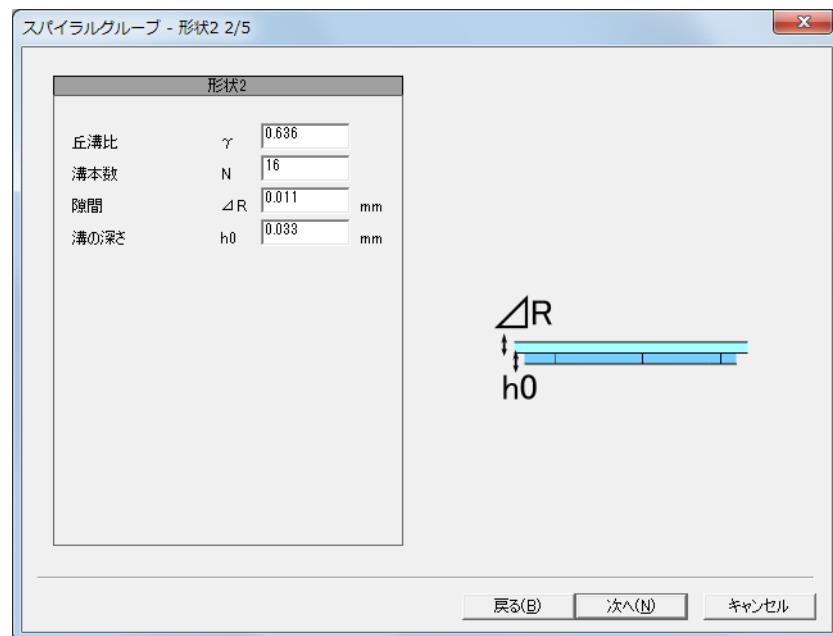
## 2. 溝形状の設定

- 最初のダイアログ (1/5) では、軸受面の溝形状に関する設定を行います。



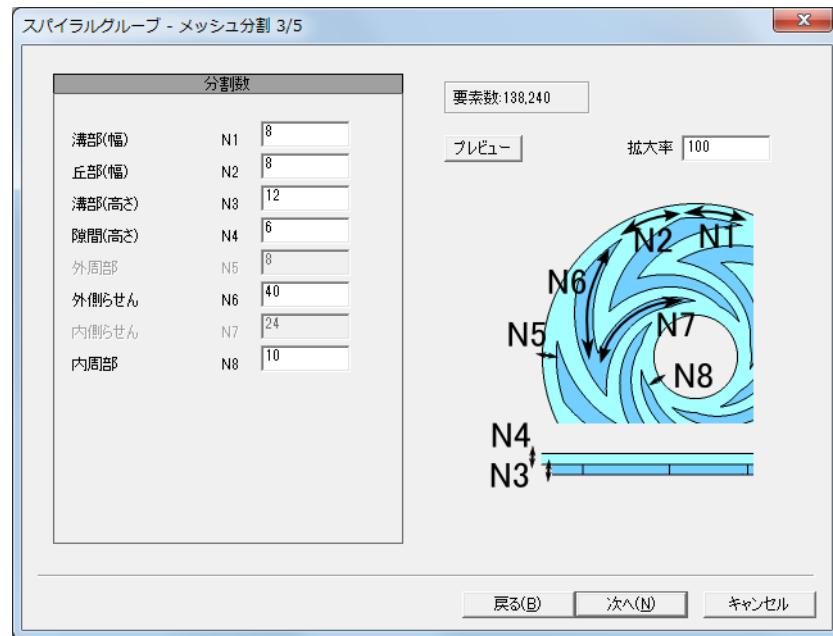
## 3. 溝形状/隙間幅の設定

- 2つめのダイアログ (2/5) では、溝形状/隙間幅に関する設定を行います。

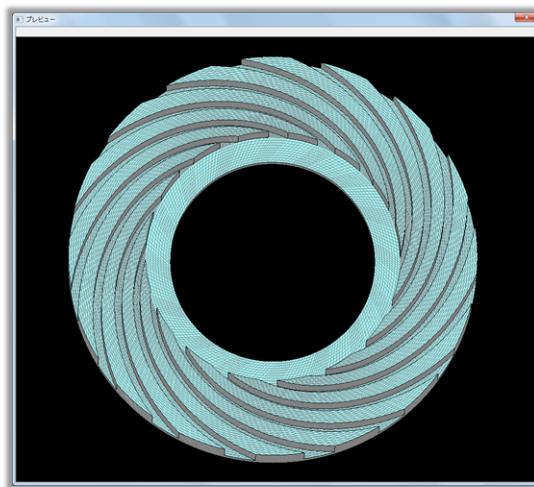


## 4. メッシュ分割の設定

- 3つめのダイアログ (3/5) では、メッシュの分割方法に関する設定を行います。

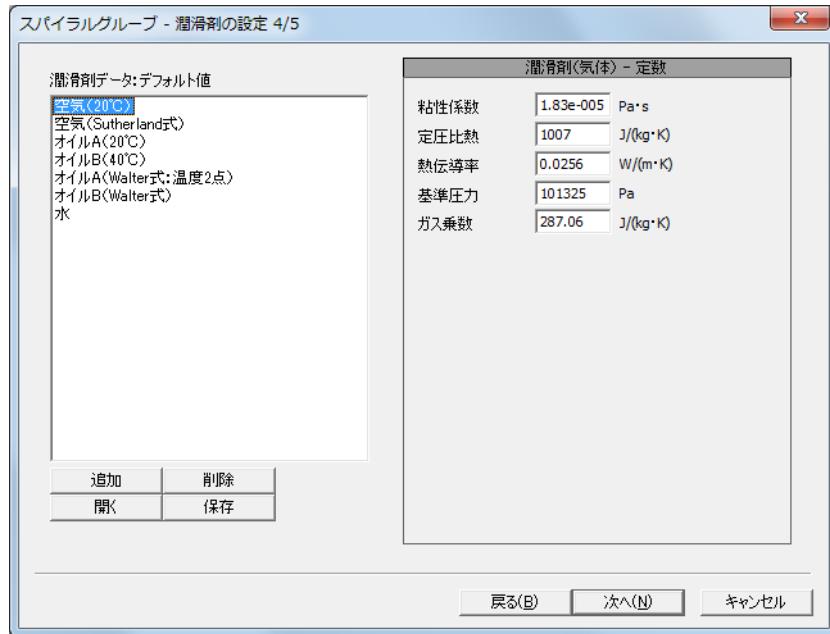


プレビュー画面 (要素数 : 138,240)



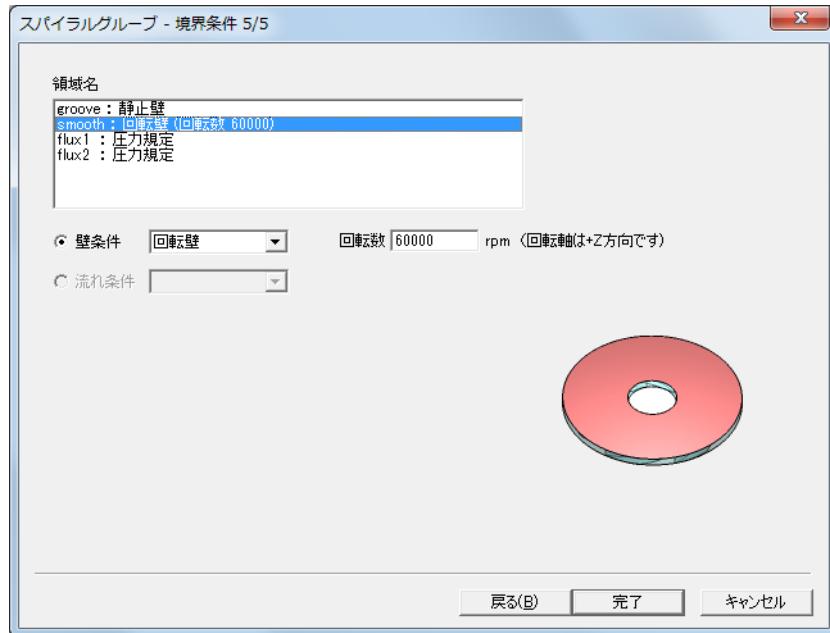
## 5. 潤滑剤物性の設定

- 4つめのダイアログ（4/5）では、潤滑剤の物性に関する設定を行います。
- 本例題では「空気(20°C)」（圧縮性）を使用します。



## 6. 軸回転条件の設定

- 最後のダイアログ（5/5）では、軸の回転数の設定を行います。



- [完了]をクリックすると、最初のダイアログ画面（1/5）で指定したフォルダパスに以下のファイルが output されます。
  - hisファイル(\*.his) : Fluid Bearing Designer ウィザードの設定保存用。  
Fluid Bearing Designer ウィザードの先頭画面へドロップすることにより、設定を復元することができます。
  - PREファイル(\*.pre) : メッシュを保存したファイル。
  - Sファイル (\*.s) : 計算条件を保存したファイル。

## 7. (補足) 軸受計算特有のSファイル設定

- 出力されるSファイルには、以下に示す軸受計算特有の設定がデフォルトで追加されています。

軸受特有のデフォルト設定 (BEARコマンドは除く)

```

DTSR      4   0           0   3
/
FTYP      0
INIT
TEMP
/
PCTY      4
SOLV
  1   5   50          1e-005
  2   5   50          1e-005
  3   5   50          1e-005
  4   8   800         0.0001
  5   10  100         1e-005
/
STED
  1   0           0
  2   0           0
  3   0           0
  4   0           0
  5   0           0
/
STPB      0
UNDR
  1           0.5   3
  2           0.5   3
  3           0.5   3
/
UPWD     0000
WL04
%CNAM Wall      -1   0           20   0
groove
smooth
/
%SKPB
MOND
STS0 0
/
%SKPE

```

※ピンクの行は圧縮性（気体）の場合のみ

※各コマンドの詳細は「ユーザーズガイドリファレンス（ソルバー）編」参照

## ①DTSRコマンド

圧力の慣性不足緩和を行わない（収束が遅いため加速）

## ②FTYPコマンド

速度場スカラーと共に「節点中心型」に

## ③INITコマンド

潤滑剤の初期温度を外気20°Cに合せる

## ④PCTYコマンド

圧力補正式の解法を「修正SIMPLEC」に

## ⑤SOLVコマンド

運動量(U/V/W)圧力(P)のマトリックス最大反復回数を増加

（アスペクト比が極端に大きく、収束性が悪いため）

温度のマトリックス相対誤差を厳しく

## ⑥STEDコマンド

運動量(U/V/W)圧力(P)温度(T)についての収束判定を無視

## ⑦STPBコマンド

圧力規定境界の安定化を行わない

（開口部「flux1」「flux2」で流速分布がチェックボード状となるのを防止）

## ⑧UNDRコマンド

運動量(U/V/W)の緩和係数を低下（デフォルトの緩和では発散の恐れ）

## ⑨UPWDコマンド

全ての方程式の移流項精度を「風上差分(1次精度)」に

## ⑩WL04コマンド

軸/スリーブの壁面温度を20°Cに固定

## ⑪MONDコマンド

Solverモニターで表示される情報を制限

## - 解析実行

Fluid Bearing Designer ウィザードでの設定が完了すれば、続いて SCTsolver での計算を行います。計算準備で作成された PRE ファイル (\*.pre) と S ファイル (\*.s) を同じフォルダ内に保存し、SCRYU/Tetra での解析と同様の操作にて、SCTsolver での計算を開始します。



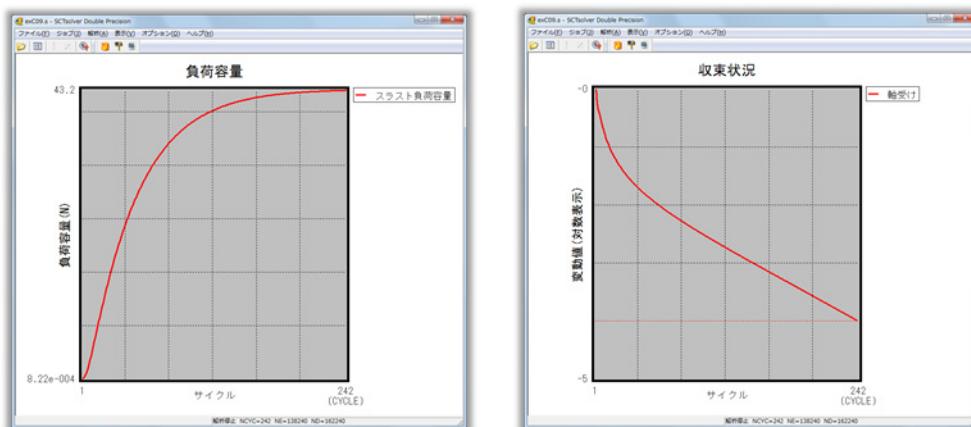
なお軸受計算において定常判定は、"負荷容量"についてのみ行われます。（定常判定値：1e4；BEARコマンド）

### ・定常判定式

$$| \text{Load}_{\text{new}} - \text{Load}_{\text{old}} | / \max ( |\text{Load}_{\text{new}}|, |\text{Load}_{\text{old}}| )$$

ここに

$\text{Load}_{\text{new}}$  : 現在のサイクルにおける負荷容量  
 $\text{Load}_{\text{old}}$  : 前のサイクルにおける負荷容量



## - 解析結果

### 1. 負荷容量摩擦トルク

- SCTsolverから出力されたLファイル (\*.l) をLFileViewで表示します。
- 最終サイクルのうち、軸受の特性量の出力されている「BEARING RESULT」という項目を確認します。
- 各数値から以下の結果を確認することが出来ます。

軸受(潤滑剤)の負荷容量[N] (スラスト板を支える力)	
<pre>== BEARING RESULT (thrust_spiral) == LOAD CAPACITY : 43.2311 (N) FRICTION TORQUE : 0.00471964 (Nm)</pre>	
摩擦トルク[N・m] (回転軸周りの粘性モーメント)	

### 2. 風損

- 風損（機械損失のひとつ）は、摩擦トルク（FRICTION TORQUE）より求めることができます。

$$\text{LOSS}_{\text{wind}} = \text{T}_f \times N \times 2\pi / 60$$

ここに

- $\text{Loss}_{\text{wind}}$  : 風損 [W]
- $\text{T}_f$  : 摩擦トルク [N・m] ( FRICTION TORQUE )
- N : 回転数 [rpm]

軸受(潤滑剤)の負荷容量[N] (スラスト板を支える力)	
<pre>== BEARING RESULT (thrust_spiral) == LOAD CAPACITY : 43.2311 (N) FRICTION TORQUE : 0.00471964 (Nm)</pre>	
摩擦トルク[N・m] (回転軸周りの粘性モーメント)	

※ 本例題の場合

$$\text{風損 Loss wind} = 0.00471964[\text{Nm}] \times 60,000[\text{rpm}] \times 2\pi[\text{rad}] / 60[\text{s/min}] \approx 29.7 [\text{W}]$$

## 3. 軸受剛性ダンパ係数

- 軸の偏心のしにくさの指標である軸受剛性 (stiffness) ダンパ係数 (damping coefficient) は、偏心率 (最小隙間) を微小に変化させた計算を追加でもう一つ行うことにより、求めることができます。

$\text{軸受剛性 } K = \frac{W(h - \delta h) - W(h)}{\delta h}$ <p>ここに</p> <p>K : 軸受剛性 [N/m]      C : ダンパ係数 [N · s/m]      h : 軸受隙間 [m]  <math>\delta h</math> : 軸受隙間の微小変化量 [m] (絶対値)  <math>W(h - \delta h)</math>, <math>W(h)</math> : 軸受隙間 (<math>h - \delta h</math>), <math>h</math> [m] における負荷容量[N] (LOAD CAPACITY)      N : 回転数 [rpm]</p>	$\text{ダンパ係数 } C = \frac{K}{(N/60)}$
---	--------------------------------------

```
==== BEARING RESULT (thrust_spiral) ====
LOAD_CAPACITY      :      43.1909 (N)
FRICTION_TORQUE   :      0.00471860 (Nm)
```

軸受(潤滑剤)の負荷容量[N]  
(スラスト板を支える力)

摩擦トルク[N · m]  
(回転軸周りの粘性モーメント)

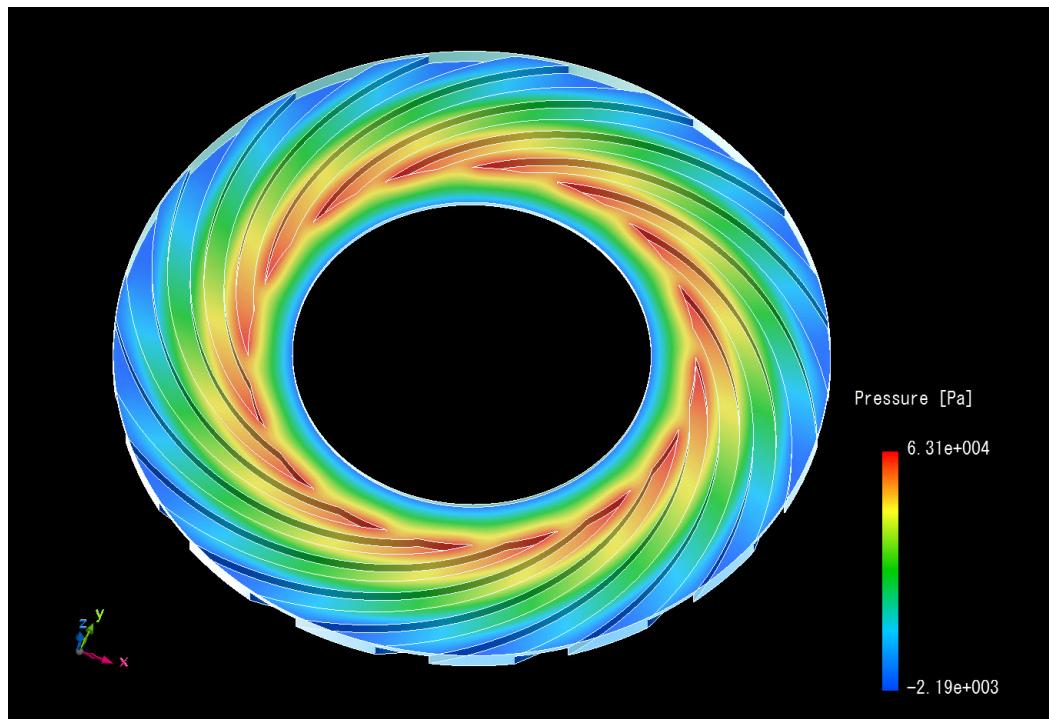
※ 計算例) 軸受隙間をさらに8%狭めた際 (軸受隙間10.12[μm]) の負荷容量が 50.8404[N]だった場合

$$\text{軸受剛性 } K = \frac{50.8404[\text{N}] - 43.2311[\text{N}]}{1.1 \times 10^{-5}[\text{m}] \times 0.08} \approx 8.647 \times 10^6 [\text{N}/\text{m}]$$

$$\text{ダンパ係数 } C = \frac{K}{(N/60)} \approx 8.647 \times 10^3 [\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}]$$

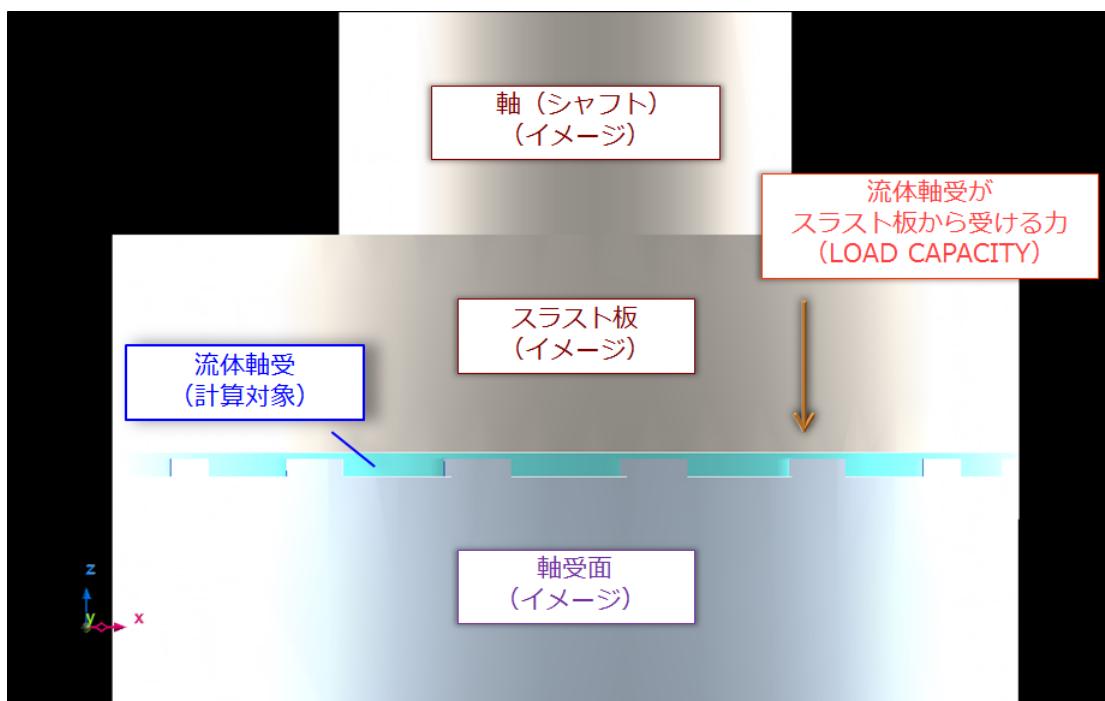
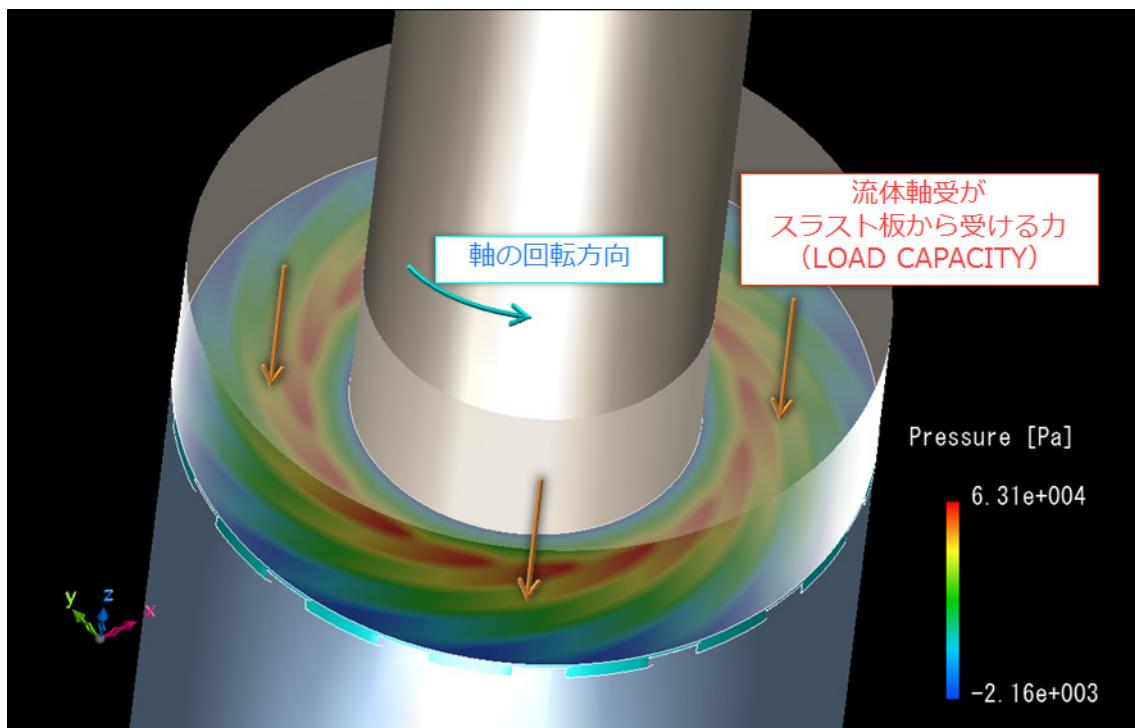
#### 4. 軸受面に係る圧力分布

- 初めに結果を確認し易くするため、全体オブジェクト[スケール変換]タブの[線形]を選択、[スケール]のZ軸成分のみを調整（下図では30を設定）し、隙間幅を強調表示とします。
- [作成][表面]をクリックし、表面オブジェクトを追加します。
- 作成した表面オブジェクト[領域]タブで面領域「groove」のみがONの状態とします。
- 同じ表面オブジェクト[センター]タブで[圧力(PRES)]を指定し、[裏]をONにすると、軸受面に圧力センターが表示されます。



## 5. Lファイル結果との対応関係

- Lファイルに出力されている「軸受の負荷容量」(LOAD CAPACITY)は、流体軸受がスラスト板表面（面領域「smooth」）より受ける力を、面積分することにより得られた力です。



## ※ 計算結果に関する注意点

- 重力（浮力）の影響は考慮されていません。