

非構造格子系熱流体解析システム

SCRYU/Tetra[®]
Version 12

ユーザーズガイド
1D/3Dカップリング(GT-SUITE)編
(オプション)

株式会社ソフトウェアクレイドル

2015年6月

SCRYU/Tetra[®]は、株式会社ソフトウェアクレ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レイドル
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

GT-SUITEは米国Gamma Technologies社の製品です。

目次

第1章 機能概要

(1) 1次元/3次元連成解析の目的	1-2
(2) 必要な環境	1-3
(3) 連成解析の計算方法	1-3
(4) 連成解析の実行方法	1-5

第2章 リファレンス(プリ)編

[解析条件] - [条件ウィザード] - [GT-SUITE]	2-2
---------------------------------------	-----

第3章 リファレンス(ソルバー)編

3.1 コマンドデータ	3-2
GTSCコマンド	3-3
GTSDコマンド	3-5

第4章 操作例題

4章をお読みになるまえに	4-2
機能説明	4-2
注意事項	4-2
結果として出力されるもの	4-2
図化ファイル	4-2
計算時メッセージ	4-2
関連コマンド	4-2
4.1 操作例題1 エンジン吸排気系の1次元/3次元連成解析	4-3
解析モデル	4-3
解くべき方程式	4-3
解析選択	4-3
解析条件	4-4
物性値	4-4
GT-SUITE	4-5
境界条件	4-6
初期条件	4-6
その他	4-6
特記事項	4-7
GT-SUITE連成計算の設定方法	4-7
GT-SUITE連成計算の設定方法(境界条件の設定)	4-7
GT-SUITE連成計算の設定方法(拡散物質の設定)	4-8
GT-SUITE連成計算の実行方法	4-8
解析手順	4-9
モデル	4-9
条件設定	4-9

八分木	4-10
メッシュ生成	4-10
解析実行	4-10
計算コストの目安	4-10
解析メッシュ	4-11
解析結果	4-12

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、例題編もお試してください。
- **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**
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。実際の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®)編(オプション)**
SCRYU/TetraのオプションであるSCRYU/Tetra I/F Option for Abaqus®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)(本書)**
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®)編(オプション)**
SmartBlades®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**
 - **GT-SUITE v7.3.0, v7.4.0およびv7.5.0**
2. 本書で使用しているドライブ名やフォルダ名は、実際と異なることがあります。
3. [ファイル]-[開く]等の記述は、メニューバーの[ファイル]を選択し、さらに[開く]を選択することを意味します。

倍精度版プログラムについて

倍精度版は、単精度版では32bitのデータ長で扱っていた実数を倍の64bitのデータ長で扱うことによって、桁落ちなど、計算機の誤差を、より小さくできることが期待できるプログラムとなっています。従いまして、倍精度版では、単精度版での計算では桁落ちなどにより十分な計算精度が得られなかったような計算が実行できるようになることが期待できます。しかしながら、反面、下に記しますような制限や条件が生じます。倍精度版の御利用にあたっては、是非とも下記を御留意の上、御利用頂けますと幸いです。

1. 倍精度版プログラムの利用にあたっての注意事項

- 倍精度版の実行では、単精度版の実行と比較して、計算時間, 必要メモリ量, また入出力されるデータファイル容量が増加します。**次項目** 参照。
- 倍精度版での解析の結果は、単精度版での解析の結果と比べて、内部で扱う数値の絶対精度が異なるため、両者の結果としては、必ずしも全ての数値が完全一致することはありませんが、これは不具合ではありません。
- 単精度版の結果と比較して、倍精度版の結果は、内部数値の有効桁が異なるのみです。倍精度解析を行うことと、物理的な観点から熱流れの現象を高精度に表現するということは別の問題であり、例えば、明らかに実現象を表現しきれていない単精度解析を倍精度版で実行し直せば、その結果が実現象に近似するかということについては、全く保障はありません。
- 定常解析において、既存の単精度版での解析を倍精度版で再現した場合、収束サイクルが若干異なることがあります。
- 原則として、倍精度解析を行う際は、倍精度版のPreprocessor、Postprocessorを用い、データ精度の一貫性を保つことを推奨致します。

2. 単精度版プログラムと倍精度版プログラムの計算時間等の比較

	計算(処理)時間	メモリ使用量	ファイル容量
Preprocessor	15%	10%	10% (PREファイル容量)
Solver	10%	70%	70% (リスタートファイル容量)
Postprocessor	0%	10%	40% (FLDファイル容量)

表は、単精度版プログラムでの実行時の数値に対する倍精度版での実行時の数値の増加割合を示しています。本数値は目安です。全ての解析でこの数値比になるとは限りません。

SCRYU/Tetraの場合、単精度版ではPreprocessorとSolverの実行時のメモリ使用量がほぼ同等でしたが、倍精度版ではSolverの方がメモリ使用量が大きくなります。

このため、計算機に搭載されているメモリ容量内で、メッシュは作成できても、計算ができなくなる、という現象が起きる可能性があります。

3. 各プログラムにおけるデータの取り扱い

SCTpre.exe

- 単精度版Preprocessorは単精度のMDL, PREファイルを(..._meshsurf.mdl, ..._tetra.preはそれぞれmdl, preに含みます)、倍精度版Preprocessorは、倍精度のMDL, PREファイルを読み込むことが原則ですが、単精度版Preprocessorで倍精度のファイル、倍精度版Preprocessorで単精度のファイルを読み込むことは可能です。この場合、メッセージウィンドウに警告が出ます。

また、倍精度ファイルを単精度版Preprocessorで読み込んだときは、読み込み時の倍精度データ分のメモリを確保し、内部で単精度データに変換次第、不要なメモリを解放します。従いまして、倍精度データを読み込む場合、計算機には必ず倍精度データを読み込める分のメモリが搭載されていなければなりません。

- HIS, PRPファイルは(meshautoexec.his, default.hisを含む)単精度・倍精度共通ですが、単精度版Preprocessorで出力するときは数値の表示桁数に制限があります。
- 出力されるファイルの精度はプログラムの精度に従います。

SCTsolver.exe

- 単精度版は単精度のリスタートファイル、倍精度版は倍精度のリスタートファイルを読むことが原則ですが、単精度版で倍精度のリスタートファイル、または倍精度版で単精度のリスタートファイルを読むことも可能です。この場合、Lファイルに警告が出ます。
- 出力されるR, FLDファイルはプログラムの精度に従います。変更・選択はできません。

SCTpost.exe

- 単精度版Postprocessorは単精度版SolverのFLDファイルを、倍精度版Postprocessorは倍精度版SolverによるFLDファイルを読むことが原則ですが、単精度版Postprocessorで倍精度データを含むファイル、または倍精度版Postprocessorで単精度データを含むファイルを読むことも可能です。この場合、メッセージウィンドウに警告が出ます。
- STA, HEN, iFLDファイルは、現状では単精度データとして取り扱われます。

4. 単精度と倍精度の数値の表現例

倍精度は、単精度と比較して、数値を表現する際の"有効桁数"が異なります。

1.234567	Single	1.234567
	Double	1.23456700000000
1.23456789012345	Single	1.234567
	Double	1.23456789012345
123.456789012345	Single	123.4567
	Double	123.456789012345

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のプログラムが出力した全てのファイル群の入力に対応しております。
- V12のプログラムで出力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章 機能概要

(1) 1次元/3次元連成解析の目的

近年、熱流体解析ソフトウェアは、製品の高効率化・高性能化を目的として、開発現場でますます活躍の場を広げています。**SCRYU/Tetra**は、熱流体现象を可能な限り詳細かつ忠実に再現することを目的とした3次元熱流体解析ソフトウェアです。解析対象（製品）の形状は大抵の場合3次元的な構造をしているため、熱流体解析も3次元で行うことが望ましいです。しかしながら、解析形状が複雑かつ大規模になると計算要素数の増大によって計算時間は莫大なものとなることがあります。そのような場合、3次元の熱流体解析ソフトウェアは、スピードが求められる開発現場からの要求を必ずしも満たすことができません。

一方で複雑・大規模な形状の熱流体解析を大まかに短時間で行うことを目的として、管内流れの解析において配管システムを1次元近似する方法が用いられることがあります。米Gamma Technologies社で開発されている**GT-SUITE**に含まれる**GT-POWER**は、特にエンジンの吸排気システムを1次元近似で熱流体解析することのできるソフトウェアです。**GT-POWER**を用いることで、例えば複雑なエンジンの吸気から排気までの配管システムの情報（圧力・流量・温度など）をごく短時間のうちに解析することが可能です。当然のことながら1次元近似することによるデメリットもあります。例えば、直円管のようにシンプルな形状の圧力分布や通過流量を計算することは容易ですが、配管が分岐・湾曲していたり、表面が凸凹していたりする領域での局所的な流れの特徴を把握することは難しいです。また、基本的には1次元（管の長手方向）の情報しか持たないため管断面の分布（流速、温度など）を詳細に解析することは困難です。以上をまとめると表1.1のようになります。

表1.1: 1次元解析と3次元解析のメリット・デメリット

	1次元解析	3次元解析
メリット	大まかではあるが解析結果をすぐに得られる	詳細かつ忠実に現象を解析できる
デメリット	断面方向の分布であったり局所的な流れの特徴を捉えることが困難	形状が複雑・大規模になると、計算要素数の増大から計算時間が長くなる

そこで、図1.1に示すようなエンジン吸排気システムのうち、全体的に単純な領域は1次元で、複雑部品または詳細に現象を見たい局所的な領域は3次元でそれぞれ解析することができれば、比較的短時間に全体的かつ詳細な解析が可能となります。**SCRYU/Tetra I/F Option for GT-SUITE**は、**SCRYU/Tetra**と**GT-SUITE**を連成させることにより以上のような課題を解決することを目的とした機能です。

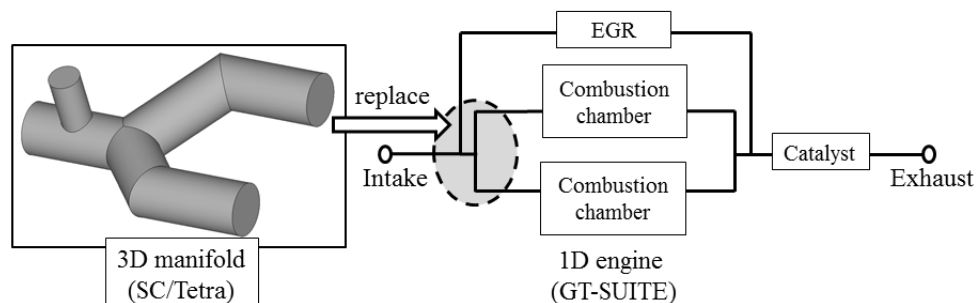


図1.1: 1次元/3次元連成解析の概念図

(2) 必要な環境

GT-SUITEとの連成解析には、SCRYU/Tetraが実行できる環境に加え以下が必要です。

- SCRYU/TetraのSCRYU/Tetra I/F Option for GT-SUITEライセンスがあること
- GT-SUITE v7.3, v7.4もしくはv7.5がインストールされて計算が実行可能であること

SCRYU/TetraとGT-SUITEの連成解析はソフトウェアクレイドルが動作保障・サポートします。

(3) 連成解析の計算方法

エンジン吸排気系の流体解析を目的としているGT-POWERでは、吸排気管内の様々な化学種（窒素、酸素、etc）の混合状態を扱うため、SCRYU/Tetra側でも同様に混合ガス解析（圧縮性）機能を使用します。また、SCRYU/TetraとGT-SUITEとの連成解析は非定常解析のみで可能であり定常解析は行えません。

SCRYU/TetraとGT-SUITEとの連成は、それぞれの流入出境界での物理量の受け渡しを通して行われます。GT-SUITEとの連成計算では各物理量を受け渡す方法として、図1.2にも示すように、以下の二通りの方法が選択できます。

• Inlet Boundary Type

SCRYU/TetraはGT-SUITEから流速、密度、温度、化学種の質量分率を受け取り、SCRYU/Tetraからは圧力、温度、化学種の質量分率をGT-SUITEへ渡します。ここで、SCRYU/Tetraのコロケート格子に対してGT-SUITEはスタッガード格子を採用しているため、GT-SUITEへ渡す圧力は、GT-SUITE側で速度が定義されている連成境界面からずらした位置の圧力にする必要があります。この方法として、SCRYU/Tetraでは、決められた体積領域の平均圧力を渡す方法と、SCRYU/Tetra側の連成境界面からGT-SUITEの線要素の半分の距離だけ内側の点の圧力を渡す方法が用意されています。

• Pressure Boundary Type

SCRYU/TetraはGT-SUITEから圧力、温度、化学種の質量分率を受け取り、SCRYU/Tetraからは流速、温度、化学種の質量分率をGT-SUITEへ渡します。ほとんどの場合、Pressure Boundary TypeよりもInlet Boundary Typeでの連成解析が推奨されています。

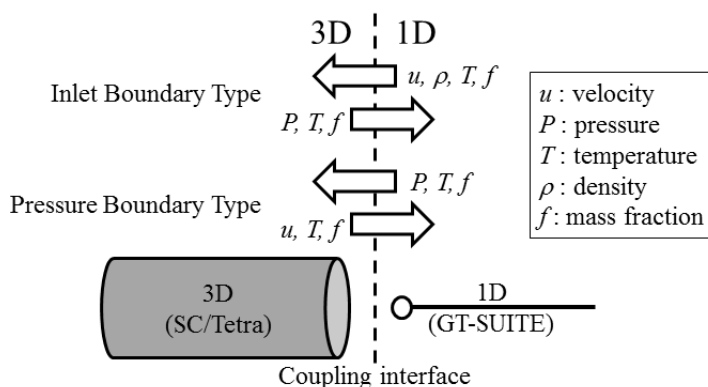


図1.2: 受け渡しする物理量と方法

これら物理量受け渡しの計算の流れは次の通りです。**SCRYU/Tetra**の毎計算サイクルの始めに、**GT-SUITE**から物理量を受け取り、受け取った物理量を境界条件として**SCRYU/Tetra**で熱流体計算（時間進行）を行います。**SCRYU/Tetra**側で1サイクル計算が終了すると、今度は**SCRYU/Tetra**で得られた流入境界の物理量を**GT-SUITE**へ渡して**GT-SUITE**側で熱流体計算（時間進行）を行います。ここで、時間進行させる時間刻みは、**SCRYU/Tetra**と**GT-SUITE**との間で統一しておく必要はありません。**SCRYU/Tetra**側の時間刻みが**GT-SUITE**側よりも長い場合、**GT-SUITE**側で**SCRYU/Tetra**側の時間刻みに達するまで複数サイクルが進みます。逆に**SCRYU/Tetra**側の時間刻みが**GT-SUITE**側よりも短い場合、**GT-SUITE**側では、**SCRYU/Tetra**と同じ時間刻みを用いて計算サイクルが1サイクル進みます。**SCRYU/Tetra**は陰解法、**GT-SUITE**は陽解法を採用しているため、基本的には**GT-SUITE**よりも**SCRYU/Tetra**の時間刻みが長くなります。

また、計算開始時にいきなり**GT-SUITE**と**SCRYU/Tetra**を連成させてしまうと、エンジンの周期的な変動状態に到達するまでに時間がかかってしまう等の問題が発生するため、図1.3に示すような予備計算の設定が推奨されています。予備計算には2段階あり、1段階目は**GT-SUITE**のみの単独予備計算、2段階目は**GT-SUITE**の計算結果を**SCRYU/Tetra**へ一方的に渡す一方連成計算です。予備計算の実施タイミングは、**GT-SUITE**側で設定します。

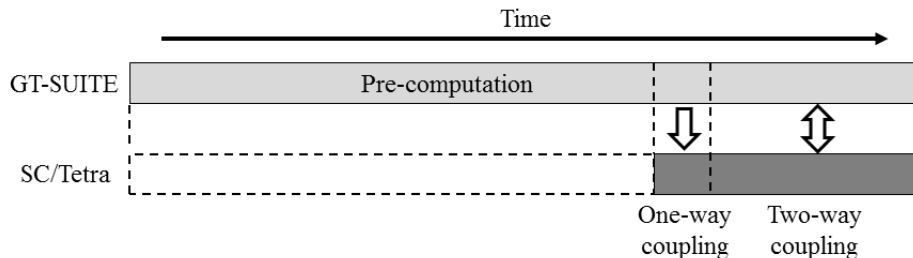


図1.3: 連成計算の流れ

GT-SUITE側の連成計算の設定について、ここでは簡単な説明にとどめておきます。詳細は、**GT-SUITE**のCFD連成計算のためのマニュアルを参照してください。**GT-SUITE**側の設定で連成計算を行うために使用する主なオブジェクトと役割は以下の通りです。

- **CFDComponentオブジェクト**：
連成計算の際、**SCRYU/Tetra**の3次元計算に置き換える場所を定義するために使用します。このオブジェクトでは予備計算や連成計算を行うタイミングなどを設定します。
- **CFDFlowConnオブジェクト**：
SCRYU/Tetraの3次元計算に接続する境界を定義するために使用します。このオブジェクトで**GT-SUITE**側の境界面の情報を設定します。
- **CFDInterfaceオブジェクト**：
CFDComponentオブジェクトに**GT-SUITE**の1次元流路を分岐させるために使用します。
- **CFDDefinedSpeciesMapオブジェクト**：
GT-SUITEの解析で扱う化学種（FluidGas, FluidLiqIncompress等）のうち**SCRYU/Tetra**に渡す化学種を設定します。ここで何も設定しない場合、FluidGas, FluidLiqIncompress等に登録された化学種は、**SCRYU/Tetra**に全て渡されます。
- **CFDSpeciesMapオブジェクト**：
GT-SUITEの解析で扱われるエンジンシリンダーから排出された化学種(接頭語が” prod_”の化学種)のうち**SCRYU/Tetra**に渡す化学種を設定します。
- **CFDSpeciesオブジェクト**：
SCRYU/Tetraで扱う化学種を**GT-SUITE**側の化学種に個別にマッピングするために使用します。

(4) 連成解析の実行方法

連成計算は**SCRYU/Tetra**が**GT-SUITE**を呼び出すことで実行され、TCP/IPを通して情報の通信が行われます。実行方法は、環境に応じて以下の2種類を使い分けます。

- **Automatic Port Setup**

SCRYU/Tetraと**GT-SUITE**との間の通信に必要な設定が全て自動で行われる方法です。**SCRYU/Tetra**と**GT-SUITE**が同一の計算機にインストールされており、その計算機で連成解析を行う場合に利用することができます。

- **Manual Port Setup**

SCRYU/Tetra側で**GT-SUITE**との通信に使用するポート番号と**GT-SUITE**を実行するホスト名（もしくはIPアドレス）を設定しておき、さらに連成計算を始める前に**GT-SUITE**を実行する計算機で通信の待ち受け状態にしておく方法です。**SCRYU/Tetra**と**GT-SUITE**を別々の計算機で実行する場合に使用します。

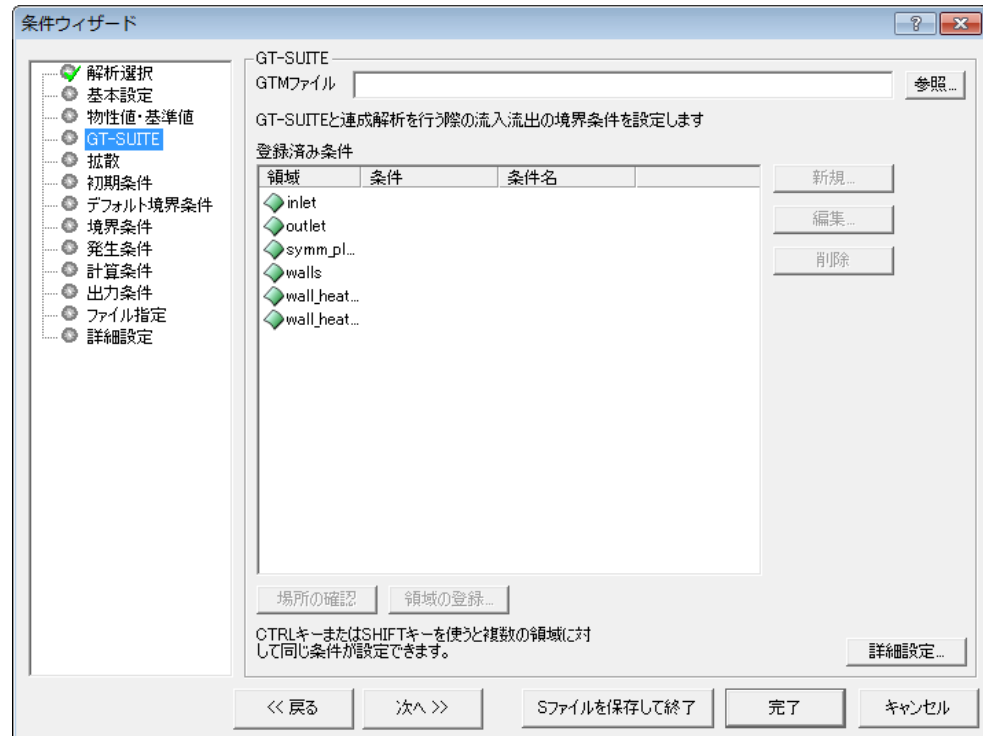
具体的な連成計算の実行方法は、第4章の操作例題を参照してください。

第2章 リファレンス(プリ)編

[解析条件] - [条件ウィザード] - [GT-SUITE]

機能 GT-SUITE連成解析の条件を設定します。

操作

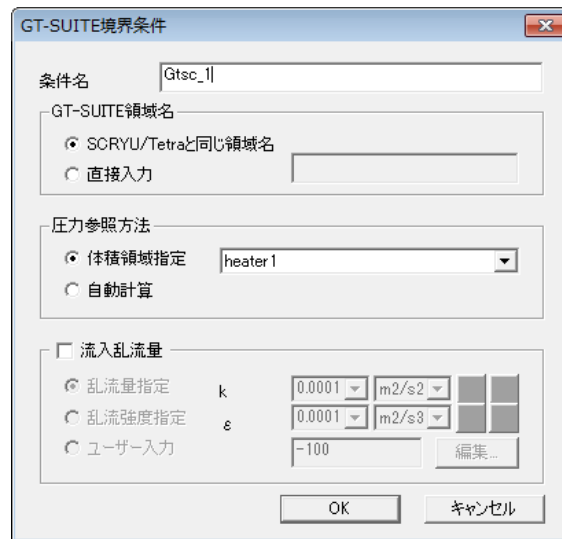


GT-SUITEとの連成解析を行う場合は、[GTMファイル]を指定します。

注意事項 [条件ウィザード] - [解析選択]に[GT-SUITE連成解析]の項目がない場合、次の設定を行う必要があります。

1. メニューバーの[オプション] - [プログラムの詳細設定]を選択し、[プログラムの詳細設定]ダイアログを開きます。
2. 左のツリーの[プログラムの動作] - [条件ウィザード]を選択します。
3. 下部の[GT-SUITE連成解析に関する項目を表示する]をONにします。
4. OKをクリックしてダイアログを閉じます。
5. SCTpreを再起動します。

新たに条件を作成する場合は、領域を選択し**新規**をクリックします。既存の条件を編集する場合は、条件を選び、**編集**をクリックします。条件を削除する場合は、条件を選び**削除**をクリックします。**新規**または**編集**をクリックした場合、[GT-SUITE境界条件]ダイアログが現れます。



The dialog box is titled "GT-SUITE境界条件". It contains the following fields and controls:

- 条件名**: A text box containing "Gtsc_1".
- GT-SUITE領域名**: Two radio buttons. The first is "SCRYU/Tetraと同じ領域名" (selected). The second is "直接入力" (disabled), followed by a text box.
- 圧力参照方法**: Two radio buttons. The first is "体積領域指定" (selected), followed by a dropdown menu showing "heater 1". The second is "自動計算".
- 流入乱流量**: A checkbox that is unchecked. Below it are three options:
 - 乱流量指定** (selected): Shows "k" with a dropdown of "0.0001" and a unit dropdown of "m2/s2".
 - 乱流強度指定**: Shows "ε" with a dropdown of "0.0001" and a unit dropdown of "m2/s3".
 - ユーザー入力**: A text box containing "-100" and a "編集..." button.
- At the bottom are "OK" and "キャンセル" buttons.

[条件名]を入力します。

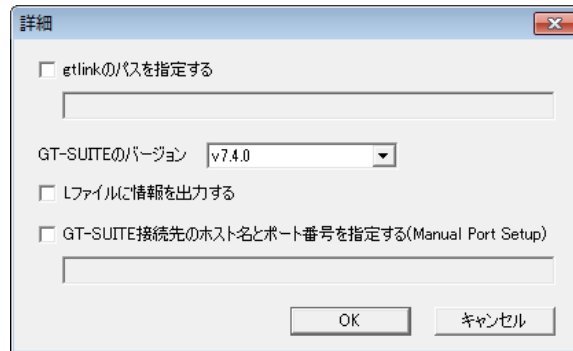
[GT-SUITE領域名]の指定方法を[SCRYU/Tetraと同じ領域名]または[直接入力]から選びます。

[圧力参照方法]を[体積領域指定]または[自動計算]から選びます。

流入乱流量を指定する場合には、[流入乱流量]をチェックし、指定方法を[乱流量指定]、[乱流強度指定]、[ユーザー入力]から選びます。

詳細設定

詳細設定をクリックすると、[詳細]ダイアログが現れます。



- [gtlinkのパスを指定する]
パスを指定する場合にはチェックをし、GT-SUITEとのカップリングに必要なライブラリgtlink.dll (libgtlink.so) のパスを入力します。
- [GT-SUITEのバージョン]
GT-SUITEのバージョンを選びます。
- [Lファイルに情報を出力する]
情報を出力する場合にはチェックします。
- [GT-SUITE接続先のホスト名とポート番号を指定する(Manual Port Setup)]
指定する場合にはチェックをし、ホスト名とポート番号を入力します。未指定の場合、Automatic Port Setupで動作します。
書式 : [ホスト名]:[ポート番号]

参照

GTSCコマンド
GTSDコマンド

第3章 リファレンス(ソルバー)編

3.1 コマンドデータ

GTSCコマンド

目的

GT-SUITEと連成計算を行うための設定を行う。

入力形式

◆ GTSC

```

◇ REFZ, REFP, LRV, LKE
  [
    * REFZ=1のとき
    ◇ LZNE
  ]
  [
    * REFP=1のとき
    ◇ VRGN
  ]
  [
    * LKE=1のとき
    ◇ TKEX†‡ TEEX†‡
    * LKE=2のとき
    ◇ TIEX† EVEX†
    * LKE ≤ -100のとき
    ◇ NU
    ユーザー入力
    (|LKE|およびNUを引数としてusr_ke( )が呼ばれる)
  ]
  [
    ◇ LRGN
    [/まで繰り返す]
  ]
[/まで繰り返す]

```

入力変数の意味

REFZ ; GT-SUITE側の連成境界名の指定方法
 0のとき LRGNで指定された領域名とする
 1のとき LZNEで入力

REFP ; GT-SUITEへ渡す圧力の算出方法
 (GT-SUITE側でPressure Boundary Typeが設定されている連成境界では無意味)
 0のとき 自動的に計算された点*の圧力
 1のとき VRGNで指定された体積領域の平均圧力

LRV ; 流入方向
 (GT-SUITE側でPressure Boundary Typeが設定されている連成境界では無意味)
 0のとき 流入方向は基準座標(絶対座標)に対する法線方向
 1のとき 流入方向は格子と共に動く座標系から見た法線方向

LZNE ; つなぎ合わせるGT-SUITE側の領域名

VRGN ; REFP=1が指定されたときの体積平均圧力を求める体積領域名

TKEX ; 境界面の流入乱流エネルギー[m²/s²]

TEEX ; 境界面の流入乱流消失率[m²/s³]

TIEX ; 境界面の流入速度に対する乱流強度[%]

EVEX ; 境界面の渦粘性と分子粘性の比(μt/μ)

LRGN ; 流入流出条件を与える領域名

デフォルト

GT-SUITEとの連成計算は行われない。

流入乱流量のデフォルト

FLUXコマンドのデフォルトに従う

注意事項

- GTSCコマンドは内部的にFLUXコマンドに置き換えられるため、出力されるメッセージがFLUXコマンドに関連したものになる場合があります。
- REFZ=0を使用するには、GT-SUITE側とSCRYU/Tetra側の連成境界の領域名を統一しておく必要があります。
- REFP=0のとき、LRGNで指定された面領域の中心座標から、 $0.5 \times \Delta x$ 内側の点の圧力がGT-SUITEに渡されます(Δx : カップリング境界に接続するGT-SUITEの線要素の長さ)。参照点が解析領域外部にある等の理由で見つからない場合はエラーとなります。その際はREFP=1に変更する必要があります。
- GT-SUITEと連成解析を行うには、SNAMコマンドの設定も必要です。

GTSDコマンド

目的

GT-SUITEと連成解析するための様々な規定値の変更を行う。

入力形式

◆ GTSD

◇ ITEM, VAL
[/まで繰り返す]

入力変数の意味

ITEM ; 変更する項目名、以下の項目名から選択する。

VAL ; 新たに設定する値。

項目名	初期値	意味
ARGS	"-g:off -r:off"	GT-SUITEを起動する際のオプション(SCTpre非サポート) ※GT-SUITE v7.4以降で有効
CODE	0	GT-SUITEを動作させるために使用するライセンス(SCTpre非サポート) 0のとき GT-POWER 1のとき GT-SUITE 2のとき GT-SUITE MP
LIBP	""	GT-SUITEとのカップリングに必要なライブラリgtlink_dp.dll (libgtlink_dp.so) のパス
OUTP	0	GT-SUITEと受け渡ししている値のLファイル出力の選択 0のとき 出力しない 1のとき 出力する
RCMN	""	Manual Port Setupに必要なホスト名とポート番号の指定。未指定の場合、Automatic Port Setupで動作 書式:[ホスト名]:[ポート番号]
VRSN	"v7.4.0"	GT-SUITEのバージョン (LIBP未指定の場合有効) 書式:v*.*.*

デフォルト

上記の初期値

注意事項

- ライブラリパスはLIBPが未設定の場合、GT-SUITEインストール時に登録される環境変数GTIHOMEから以下が参照されます。Manual Port Setupを使ってGT-SUITEとSCRYU/Tetraを別々の計算機で実行するなどGT-SUITEがインストールされていない計算機でSCRYU/Tetraを実行する場合、LIBPを使ってライブラリファイルを直接指定する必要があります。

[Windows (64bit)]

%GTIHOME%\[VRSN]\GTsuite\bin\win64\coupling\gtlink_dp.dll

[Linux (64bit)]

\$GTIHOME/[VRSN]/GTsuite/bin/linux_x86_64/coupling/libgtlink_dp.so

- RCMNでホスト名とポート番号が指定されたとき、計算開始時にManual Port Setupに必要なgtlink.prmファイルがSファイルと同じフォルダに作られます。未指定の場合、gtlink.prmファイルが存在する場合は削除され、Automatic Port Setupで実行されます。

第4章 操作例題

4章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**
 - **GT-SUITE v7.3, v7.4 および v7.5**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。
4. 条件ウィザードに**[GT-SUITE連成解析]**を表示するための設定が必要です。詳細は、**第2章 リファレンス(プリ)編 [解析条件] - [条件ウィザード] - [GT-SUITE]**の注意事項をご参照ください。

機能説明

- 米Gamma Technologies社で開発されている**GT-SUITE**に含まれる1次元エンジンパフォーマンスソフトウェア**GT-POWER**と**SCRYU/Tetra**とを連携させることで、エンジン吸排気系の1次元/3次元連成解析を行うことができます。

注意事項

- **SCRYU/Tetra**の**SCRYU/Tetra I/F Option for GT-SUITE**ライセンスが必要です。
- **GT-SUITE v7.3**および以降のバージョンがインストールされていて、実行可能な必要があります。
- 本操作例題では**GT-SUITE v7.4**を使って進めますが、それ以外のバージョンを使用する場合、設定方法が異なる場合があります。
- 混合ガス解析機能を使用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
 - **[CN01(CN01)]** : 第1拡散物質濃度
 - **[CN02(CN02)]** : 第2拡散物質濃度
 - : :
 - **[CN09(CN09)]** : 第9拡散物質濃度
- 計算時メッセージ
 - **SCRYU/Tetra**と**GT-SUITE**との間でやり取りしている情報

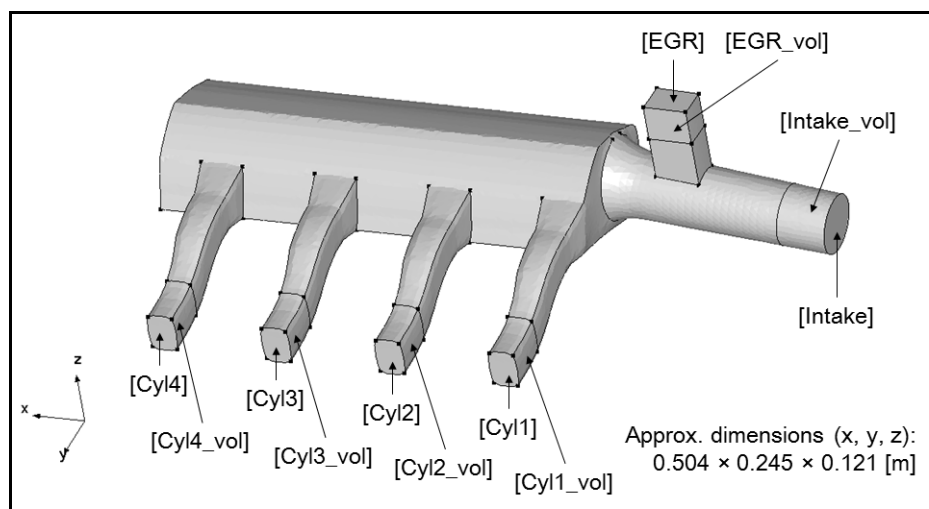
関連コマンド

- GTSC : 連成境界面の条件設定
- GTSD : **GT-SUITE**連成解析のデフォルト設定
- SNAM : 拡散物質名の設定

4.1 操作例題1 エンジン吸排気系の1次元/3次元連成解析

GT-SUITEで用意されているCFD連成計算チュートリアルデータを使って、**SCRYU/Tetra**との1次元/3次元連成解析の方法について説明します。チュートリアルデータはEGR装置を有するエンジン吸排気系の解析（4気筒、回転数3,000rpm）となっており、インテークマニフォールドの流れを**SCRYU/Tetra**で3次元計算し、それ以外の配管流れを**GT-SUITE**で1次元計算します。

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-ε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） : 9成分の混合ガスについて拡散解析を行います。
- ・ GT-SUITE : **GT-SUITE**と連成解析を行います。

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 : 拡散物質名 indolene-vap
 拡散係数 0 [m²/s]
 標準生成熱 0 [J/kg]
 モル質量 0.110173 [kg/mol]
 粘性係数 8.02×10^{-6} [Pa・s]
 定圧比熱 1,705.8 [J/(kg・K)]
 熱伝導率 0.0083 [W/(m・K)]
- 拡散物質2 : 拡散物質名 n2-vap
 拡散係数 0 [m²/s]
 標準生成熱 0 [J/kg]
 モル質量 0.02808 [kg/mol]
 粘性係数 $1.87e \times 10^{-5}$ [Pa・s]
 定圧比熱 1,036.681 [J/(kg・K)]
 熱伝導率 0.0273 [W/(m・K)]
- 拡散物質3 : 拡散物質名 o2-vap
 拡散係数 0 [m²/s]
 標準生成熱 0 [J/kg]
 モル質量 0.032 [kg/mol]
 粘性係数 2.15×10^{-5} [Pa・s]
 定圧比熱 919.433 [J/(kg・K)]
 熱伝導率 0.0283 [W/(m・K)]
- 拡散物質4 : 拡散物質名 indolene-combust
 拡散係数 0 [m²/s]
 標準生成熱 0 [J/kg]
 モル質量 0.110173 [kg/mol]
 粘性係数 8.02×10^{-6} [Pa・s]
 定圧比熱 1,705.8 [J/(kg・K)]
 熱伝導率 0.0083 [W/(m・K)]
- 拡散物質5 : 拡散物質名 prod_co2
 拡散係数 0 [m²/s]
 標準生成熱 0 [J/kg]
 モル質量 0.04401 [kg/mol]
 粘性係数 1.65×10^{-5} [Pa・s]
 定圧比熱 853.7611 [J/(kg・K)]
 熱伝導率 0.0189 [W/(m・K)]
- 拡散物質6 : 拡散物質名 prod_h2o
 拡散係数 0 [m²/s]
 標準生成熱 0 [J/kg]
 モル質量 0.018018 [kg/mol]
 粘性係数 1.07×10^{-5} [Pa・s]
 定圧比熱 1,865.651 [J/(kg・K)]
 熱伝導率 0.0198 [W/(m・K)]
- 拡散物質7 : 拡散物質名 lump_N2
 拡散係数 0 [m²/s]
 標準生成熱 0 [J/kg]

• 拡散物質8	:	モル質量	0.02808	[kg/mol]
		粘性係数	$1.87\text{e} \times 10^{-5}$	[Pa · s]
		定圧比熱	1,036.681	[J/(kg · K)]
		熱伝導率	0.0273	[W/(m · K)]
		拡散物質名	o2_backflow	
		拡散係数	0	[m ² /s]
		標準生成熱	0	[J/kg]
		モル質量	0.032	[kg/mol]
		粘性係数	2.15×10^{-5}	[Pa · s]
		定圧比熱	919.433	[J/(kg · K)]
• 拡散物質9	:	熱伝導率	0.0283	[W/(m · K)]
		拡散物質名	o2_EGR	
		拡散係数	0	[m ² /s]
		標準生成熱	0	[J/kg]
		モル質量	0.032	[kg/mol]
		粘性係数	2.15×10^{-5}	[Pa · s]
		定圧比熱	919.433	[J/(kg · K)]
		熱伝導率	0.0283	[W/(m · K)]

(メモ) 物性値はGT-SUITE Libraryに収録されている物性を参考にした値です。本例題は移流と乱流拡散が支配的な現象であることから、ここでは全ての物質の拡散係数を0[m²/s]としています。

- GT-SUITE

• GT-SUITE境界条件

[Intake]	:	GT-SUITE領域名	SCRYU/Tetraと同じ領域名
		圧力参照方法	体積領域指定 (領域名: Intake_vol)
		流入乱流量	乱流強度指定 (Tu=2%、μt/μ=10)
[EGR]	:	GT-SUITE領域名	SCRYU/Tetraと同じ領域名
		圧力参照方法	体積領域指定 (領域名: EGR_vol)
		流入乱流量	乱流強度指定 (Tu=2%、μt/μ=10)
[Cyl1]	:	GT-SUITE領域名	SCRYU/Tetraと同じ領域名
		圧力参照方法	体積領域指定 (領域名: Cyl1_vol)
		流入乱流量	乱流強度指定 (Tu=2%、μt/μ=10)
[Cyl2]	:	GT-SUITE領域名	SCRYU/Tetraと同じ領域名
		圧力参照方法	体積領域指定 (領域名: Cyl2_vol)
		流入乱流量	乱流強度指定 (Tu=2%、μt/μ=10)
[Cyl3]	:	GT-SUITE領域名	SCRYU/Tetraと同じ領域名
		圧力参照方法	体積領域指定 (領域名: Cyl3_vol)
		流入乱流量	乱流強度指定 (Tu=2%、μt/μ=10)
[Cyl4]	:	GT-SUITE領域名	SCRYU/Tetraと同じ領域名
		圧力参照方法	体積領域指定 (領域名: Cyl4_vol)
		流入乱流量	乱流強度指定 (Tu=2%、μt/μ=10)

• 詳細

GT-SUITEのバージョン	v7.4.0
Lファイルに情報を出力する	ON

- 境界条件

[wall]	: 静止壁	
	壁面のタイプ	粗面（等価粗さ：0.00026[m]）
	壁面温度を外部温度に固定	26.85[°C]
	乱流熱伝達	考慮する

- 初期条件

- 温度(MAT=1) : 26.85 [°C]
- 圧力(MAT=1) : 98,675 [Pa]
- 拡散物質濃度1(MAT=1) : 0 [-]
- 拡散物質濃度2(MAT=1) : 0.61 [-]
- 拡散物質濃度3(MAT=1) : 0.18 [-]
- 拡散物質濃度4(MAT=1) : 0 [-]
- 拡散物質濃度5(MAT=1) : 0.04 [-]
- 拡散物質濃度6(MAT=1) : 0.02 [-]
- 拡散物質濃度7(MAT=1) : 0.15 [-]
- 拡散物質濃度8(MAT=1) : 0 [-]
- 拡散物質濃度9(MAT=1) : 0 [-]

(メモ) 圧力はBASIコマンドのデフォルト値101,325[Pa]からの差です。拡散物質濃度は質量分率です。

- 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
- 計算サイクル及び時間間隔
計算サイクル : 2,162
時間間隔 : 5.55556e-005[s]
- 図化ファイル
出力のタイミング : 180
初期場を出力する。

(メモ) 時間間隔は回転数3,000rpmの4ストロークエンジンがクランク角で1度分だけ回転する時間から求めており、3エンジンサイクル分(2,160サイクル)の計算を行います。**GT-SUITE**側でも3エンジンサイクル分の連成計算を設定しますが、3エンジンサイクルに到達して**GT-SUITE**側の終了処理を行っているにもかかわらず、**SCRYU/Tetra**からの強制的な終了指令で処理が不完全になることを防ぐため、**SCRYU/Tetra**側は、さらに2サイクルだけ余分に計算を行います。

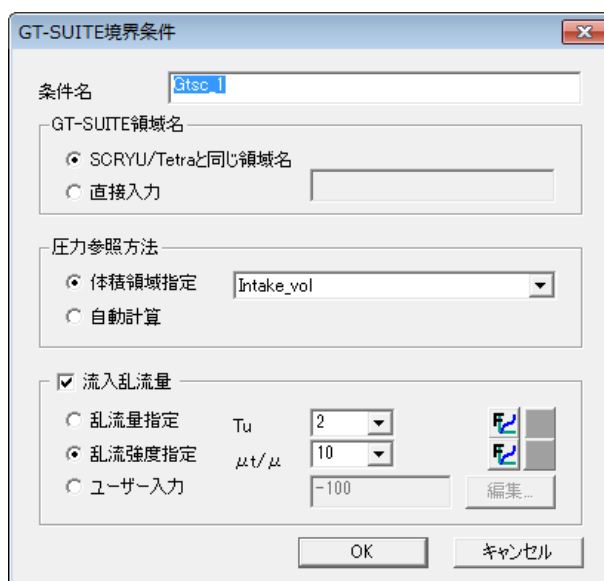
特記事項

- GT-SUITE連成計算の設定方法

- [GTMファイル]には、連成計算の際、**SCRYU/Tetra**と**GT-SUITE**をそれぞれの計算機で実行するかで、連成計算で使用するGT-SUITEの設定ファイル(*.datもしくは*.gtm)のパスを以下のよう指定します。
 - **SCRYU/Tetra**と**GT-SUITE**を同一の計算機で実行する場合
解析するSファイルからGTMファイルまでの相対パス、もしくは計算を実行する計算機でのGTMファイルの絶対パスを入力します。
 - **SCRYU/Tetra**と**GT-SUITE**を別々の計算機で実行する場合
GT-SUITEを実行する計算機でのGTMファイルの絶対パスを入力します。
- 詳細設定をクリックして現れたダイアログで[GT-SUITEのバージョン]に[v7.4.0]を選択し、さらに[Lファイルに情報を出力する]にチェックを入れ、最後にOKをクリックしてダイアログを閉じます。

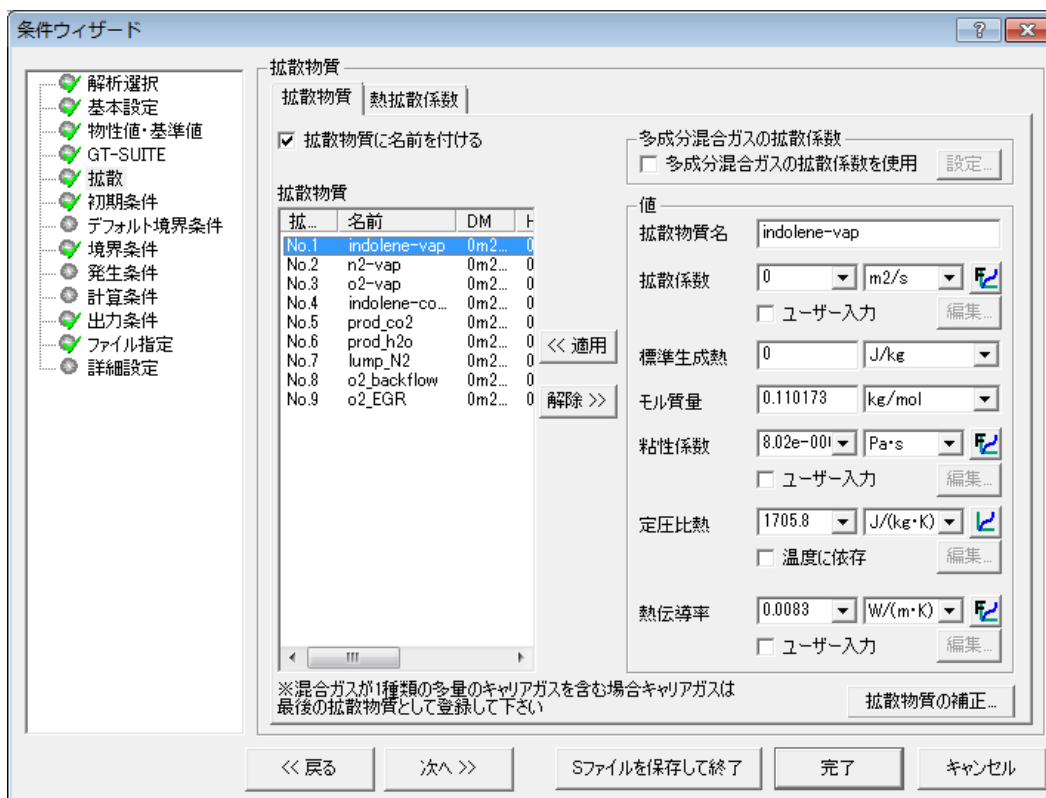
- GT-SUITE連成計算の設定方法(境界条件の設定)

- [領域]から[Intake]を選択し、新規をクリックして[GT-SUITE境界条件]ダイアログを開きます。
- [GT-SUITE領域名]で、[SCRYU/Tetraと同じ領域名]を選択します。
- [圧力参照方法]として[体積領域指定]を選択し、[対象となる領域]で指定した面領域に接する体積領域を選択します。
- [流入乱流量]をONにして、[乱流強度指定]を選択します。Tu=[2 %]、 $\mu t/\mu$ =[10]を入力し、OKをクリックしてダイアログを閉じます。
- 解析条件のGT-SUITE境界条件を参考に6つの領域に対して以上の設定を行います。



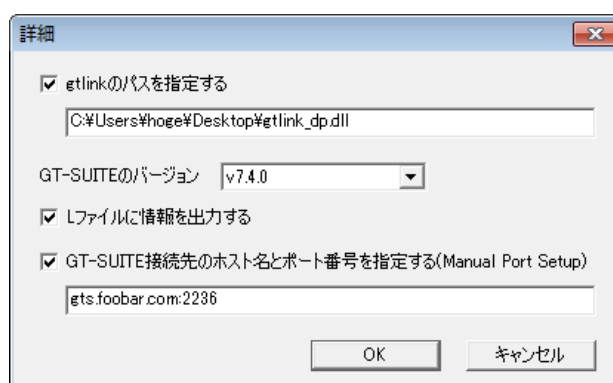
- GT-SUITE連成計算の設定方法(拡散物質の設定)

- [拡散物質に名前を付ける]をチェックします。
- 拡散物質番号No.1が選択されている状態で、[拡散物質名]にGT-SUITE側で定義されている化学種名[indolene-vap]を入力します。さらに、[拡散係数]に[0]、[標準生成熱]に[0]、[モル質量]に[0.110173]、粘性係数に[8.02e-006]、定圧比熱に[1705.8]、熱伝導率に[0.0083]を入力して、適用をクリックします。
- 同様にして残り8つの拡散物質に、解析条件の物性値を参考に設定していきます。



- GT-SUITE連成計算の実行方法

- Automatic Port Setupで実行する方法
Sファイル、preファイル、gtmファイルが適切に置かれた状態でSファイルをSCTsolverで実行すると、**GT-SUITE**がバックグラウンドで立ち上がり連成計算が自動的に開始されます。ただし、この方法は**SCRYU/Tetra**と**GT-SUITE**を同一の計算機で実行する場合のみに使用できます。
- Manual Port Setupで実行する方法
GT-SUITEがインストールされている計算機から連成計算に必要なライブラリファイル `gtlink_dp.dll` (Linuxで**SCRYU/Tetra**を実行する場合、`libgtlink_dp.so`) を、**SCRYU/Tetra**を実行する計算機の適当なフォルダにコピーします。ライブラリファイルが保存されている場所はGTSDコマンドの注意事項を参照してください。コピーしたライブラリファイルは**詳細設定**の[`gtlink`のパスを指定する]にチェックを入れ、**SCRYU/Tetra**を実行する計算機での、絶対パスもしくは解析するSファイルからの相対パスで指定します。次に、**GT-SUITE**を実行する計算機の実ホスト名と通信に使用するTCP/IPポート番号を、[`GT-SUITE`接続先のホスト名とポート番号を指定する]にチェックを入れて入力します。例えば、**GT-SUITE**を実行する計算機の実ホスト名が「`gts.foobar.com`」でポート番号2236を使って通信する場合、「`gts.foobar.com:2236`」と入力します。このとき、Manual Port Setupに必要な`gtlink.prm`ファイルが計算実行時に自動的に作成されますので、ユーザー自身でこのファイルを準備する必要はありません。



連成計算の実行直前に、**GT-SUITE**を実行する計算機でコマンドプロンプト（Linux環境の場合、ターミナル）を立ち上げ、以下のコマンドを入力して通信の待ち受け状態にします。このとき、連成計算が始まると、このコマンドを実行したディレクトリに、**GT-SUITE**からのファイル出力が一部行われるため、あらかじめ計算実行する`gtm`ファイルがあるディレクトリに移動しておくことを推奨します。

```
gtlink -v7.4 -s:[port]
```

[port]には通信を行うポート番号（今回の例では、2236）を入力します。最後に、**GT-SUITE**を実行する計算機に`gtm`ファイルが、**SCRYU/Tetra**を実行する計算機に`S`ファイル、`pre`ファイル、ライブラリファイルがそれぞれ適切に置かれた状態で`S`ファイルを`SCTsolver`で実行すると連成計算が開始されます。

解析手順

- モデル

`SCTpre`を起動して、[ファイル]-[開く]より、`exA01_intake_manifold.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。[拡散物質の数]を[9]にして[混合ガス]をONにします。最後に[GT-SUITE連成解析]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] : [2162]
 - [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] : [5.55556e-005 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. [GT-SUITE]
 - 特記事項 GT-SUITE連成計算の設定方法
 - 特記事項 GT-SUITE連成計算の設定方法(境界条件の設定)

をそれぞれ参照してください。

5. [拡散]
 - ・ 特記事項 GT-SUITE連成計算の設定方法(拡散物質の設定)を参照してください。
6. [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[26.85 °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、初期圧力と各拡散物質の初期濃度を解析条件の初期条件を参考に設定していきます。
7. [境界条件]
 - ・ [GT-SUITE]ですでに条件設定した領域には、[条件]に[GT-SUITE]と表示されますので、[境界条件]ではそれら領域に対する設定は行いません。
 - ・ [領域]から[wall]を選択し、壁面をクリックします。[壁面応力条件]タブで[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ます。[壁面のタイプ]で[粗面]を選択し、等価粗さに[0.00026 m]を入力します。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[26.85°C]と入力します。
8. [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[サイクル間隔]に[180]を入力します。[初期場]で[出力する]を選択します。
9. [ファイル指定]

[デフォルト名]をONにして、[exA01_intake_manifold]と入力します。

- 八分木

[ファイル]-[開く]より exA01_intake_manifold.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 [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]

- 解析実行

特記事項 GT-SUITE連成計算の実行方法を参考にしてSCTsolverで解析を実行します。

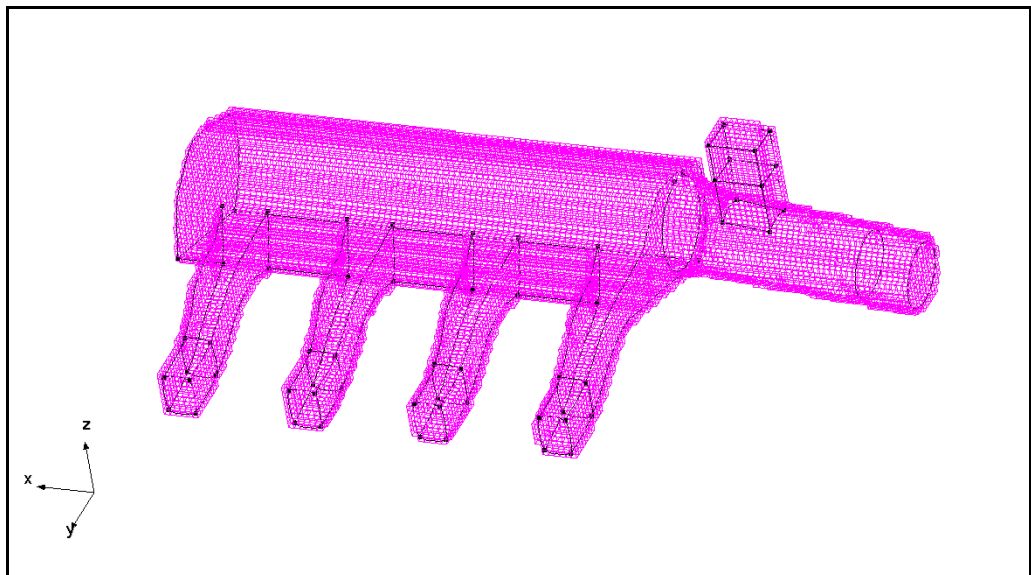
- 計算コストの目安

- ・ SCTsolverの実行時間
約5時間
- ・ 計算サイクル数
2,162サイクル

*2core 使用時(Intex Xeon X5680 3.33GHz)

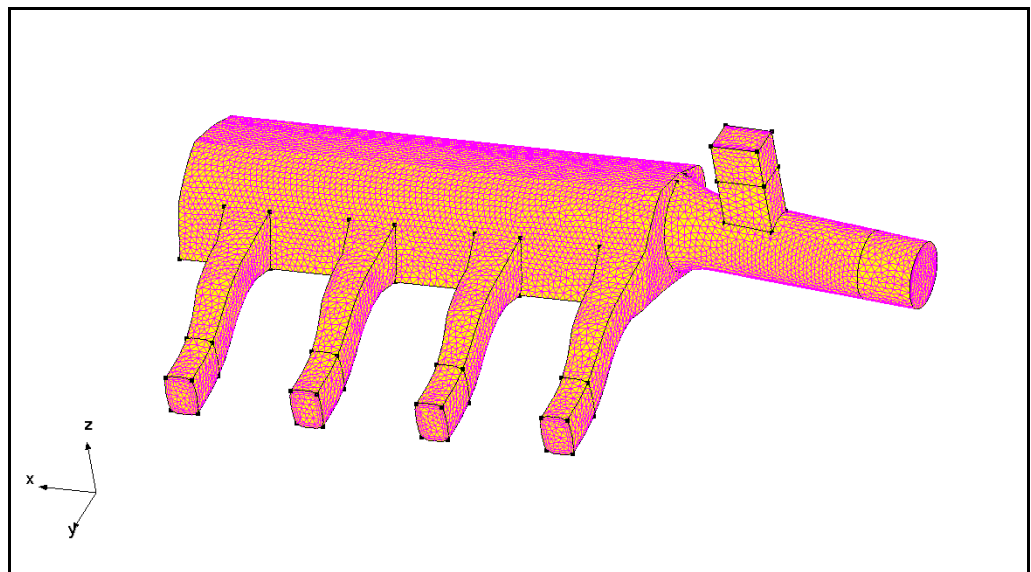
解析メッシュ

- 八分木図



オクタントサイズ : 0.004[m]

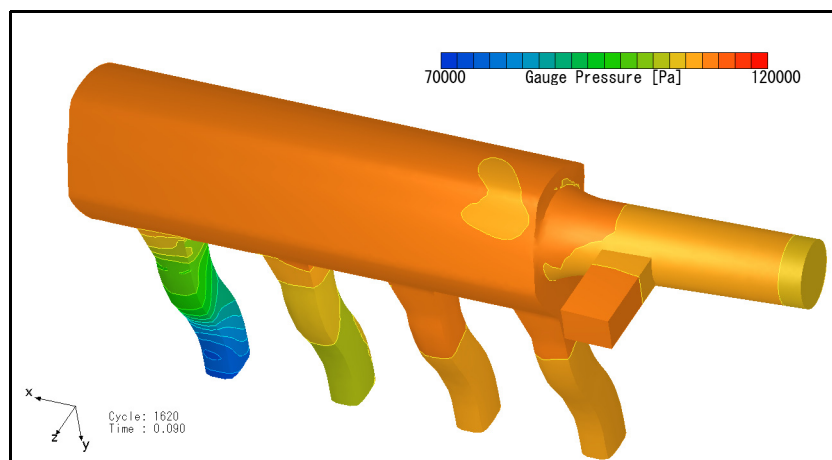
- メッシュ図



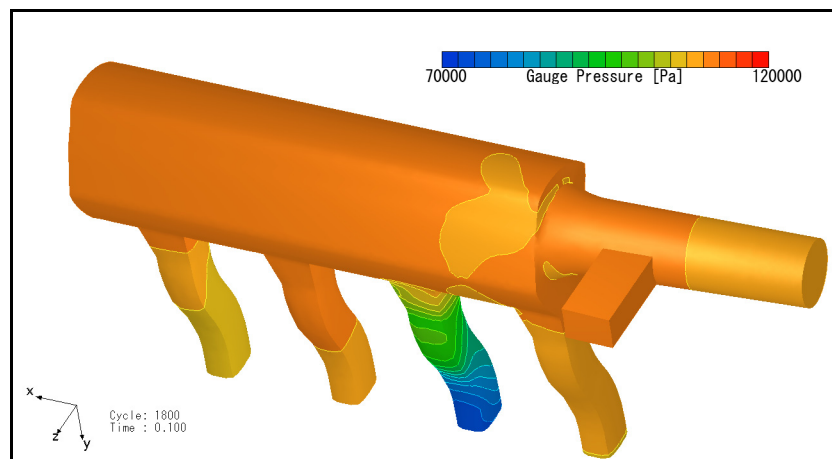
要素数 : 366,717

解析結果

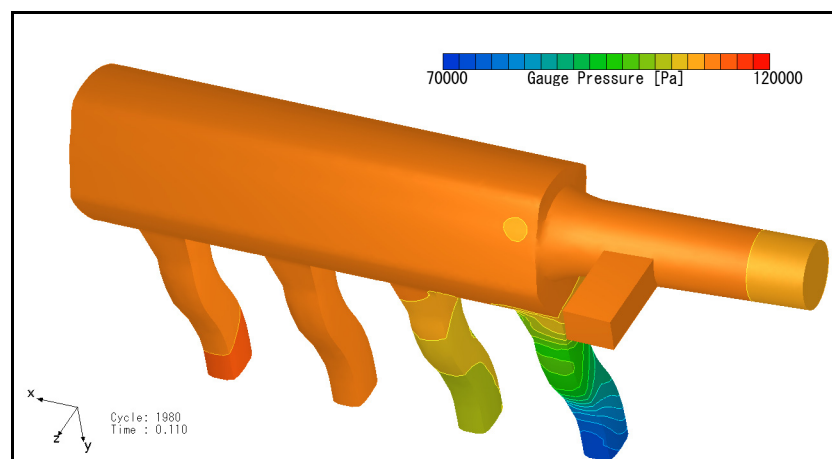
- 圧力コンター図



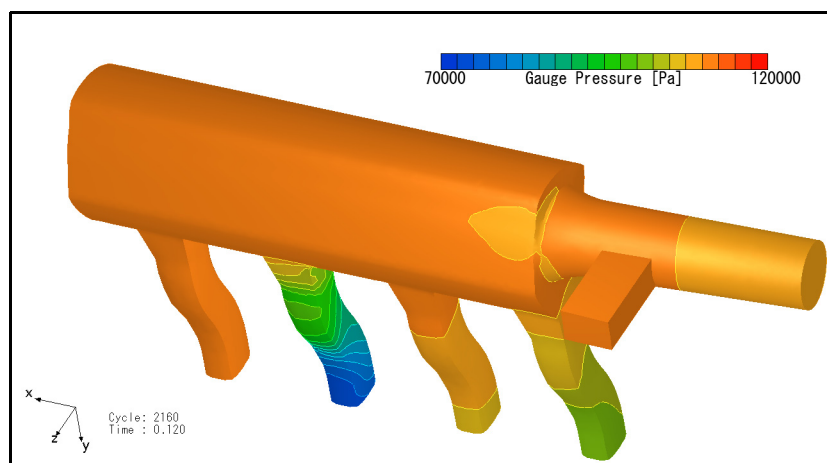
1,620サイクル (クランク角 : 180deg)



1,800サイクル (クランク角 : 360deg)

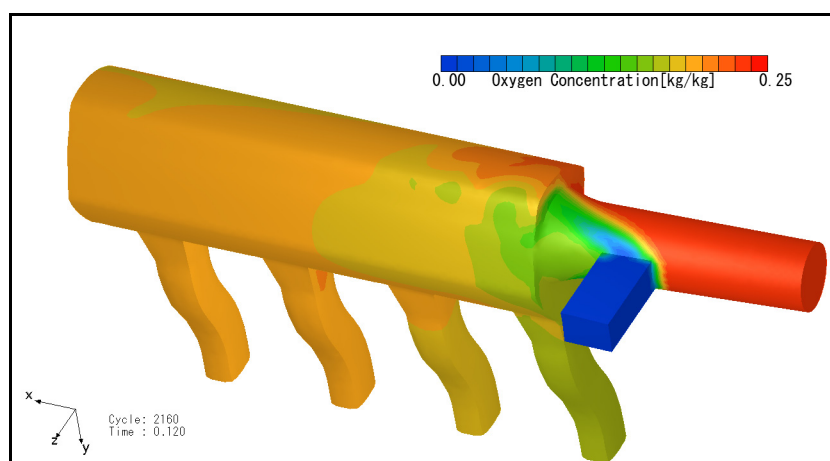


1,980サイクル (クランク角 : 540deg)



2,160サイクル (クランク角 : 720deg)

- 酸素濃度分布



各クランク角での圧力分布図から、それぞれのシリンダのバルブが開くタイミングにあわせて、そのポートが負圧になっている様子を確認できます。酸素濃度分布は、SCTpostの変数登録機能を使用してCN03(o2-vap)、CN08(o2_backflow)、CN09(O2_EGR)の濃度を足し合わせた値を表示させています。図の右側から流入してくる吸気酸素濃度が、図の手前にあるEGR装置から流入してくる燃焼ガスの影響で、低下している様子を確認することができます。