

第 2 回演習資料

新領域創成科学研究科 人間環境学専攻

橋本 学

1. はじめに

外力を作用させた物体の応力状態を求めることを構造解析といいます。図 1.1 に構造解析の流れを示します。構造解析では、プリプロセッサ、ソルバー、ポストプロセッサの三つの処理を行うプログラムが必要になります。有限要素解析を行うのがソルバープログラムです。有限要素解析に入る前に解析メッシュ（節点や有限要素）を作成し、境界条件や外力を設定します。これらを担当するのが、プリプロセッサプログラムです。有限要素解析が終わったら、計算結果を用いて物体の変形状態や応力状態を可視化します。これらを担当するのがポストプロセッサプログラムです。また、構造解析に入る前に形状データを作成する必要があります。形状データの作成には、Computer Aided Design (CAD) ソフトがよく用いられます。形状データには物体表面のデータしかなく、物体内部の情報はありません。プリプロセッサプログラムによって、物体表面のデータから解析メッシュが作成されます。

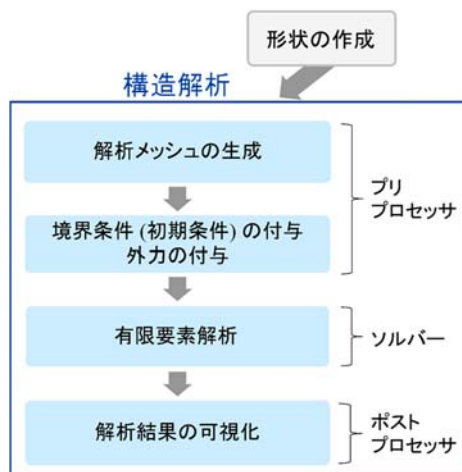


図 1.1 構造解析の流れ

第 2 回の講義の目標は、有限要素法プログラムの基本モジュールおよび有限要素を表現するために必要なデータを理解することです。

2. 有限要素法プログラムの基本モジュールの説明

プログラミングでは、プログラマーが行いたい処理に登場するモノの動作を意識し、モノ同士がどのような関係にあるのかを整理し、そのモノ単位でプログラムを作っていくことが重要です。有限要素解析において登場するモノとその動作を考えます。

- 有限要素法 (fem3d) :

剛性マトリックス \mathbf{K} を計算します。外力ベクトル \mathbf{f} を計算します。連立一次方程式

$\mathbf{K}\mathbf{u}=\mathbf{f}$ を求解し、変位ベクトル \mathbf{u} 、ひずみ $\boldsymbol{\varepsilon}=(\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, 2\varepsilon_{xy}, 2\varepsilon_{yz}, 2\varepsilon_{zx})^T$ の要素平均

値、応力 $\boldsymbol{\sigma}=(\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{yz}, \sigma_{zx})^T$ の要素平均値、Mises 応力 σ_{Mises} を計算します。

- 要素剛性マトリックス (elemstiffmat3d) :
要素剛性マトリックス \mathbf{K}^e を計算します。
- 要素外力ベクトル (elemexforce3d) :
要素外力ベクトル \mathbf{f}^e を計算します。
- 物理空間 (x, y, z) における有限要素 (elements3d) :
要素番号-節点番号コネクティビティを持ちます。要素の体積を計算します。
- 計算空間 (ξ, η, ζ) における有限要素 (localelement3d) :
要素の形状情報を持ちます。数値積分点での形状関数、形状関数の微分値を計算します。
- 節点 (nodes3d) :
座標 (x^I, y^I, z^I) を持ちます。
- 直方体メッシャー (rectmesher3d) :
直方体領域の解析メッシュを作成します。

図 2.1 にクラス図とクラス同士の関連を示します。上段はクラスの名前、中段は属性、下段は操作です。名前が単数か複数かに注意してください。全てのクラスを単数名で設計すると、操作の回数が多くなり、多くの計算時間が必要になります。Fortran 90/95 のモジュールを用いて、図 2.1 に示されるようなモノとその動作を実現します。

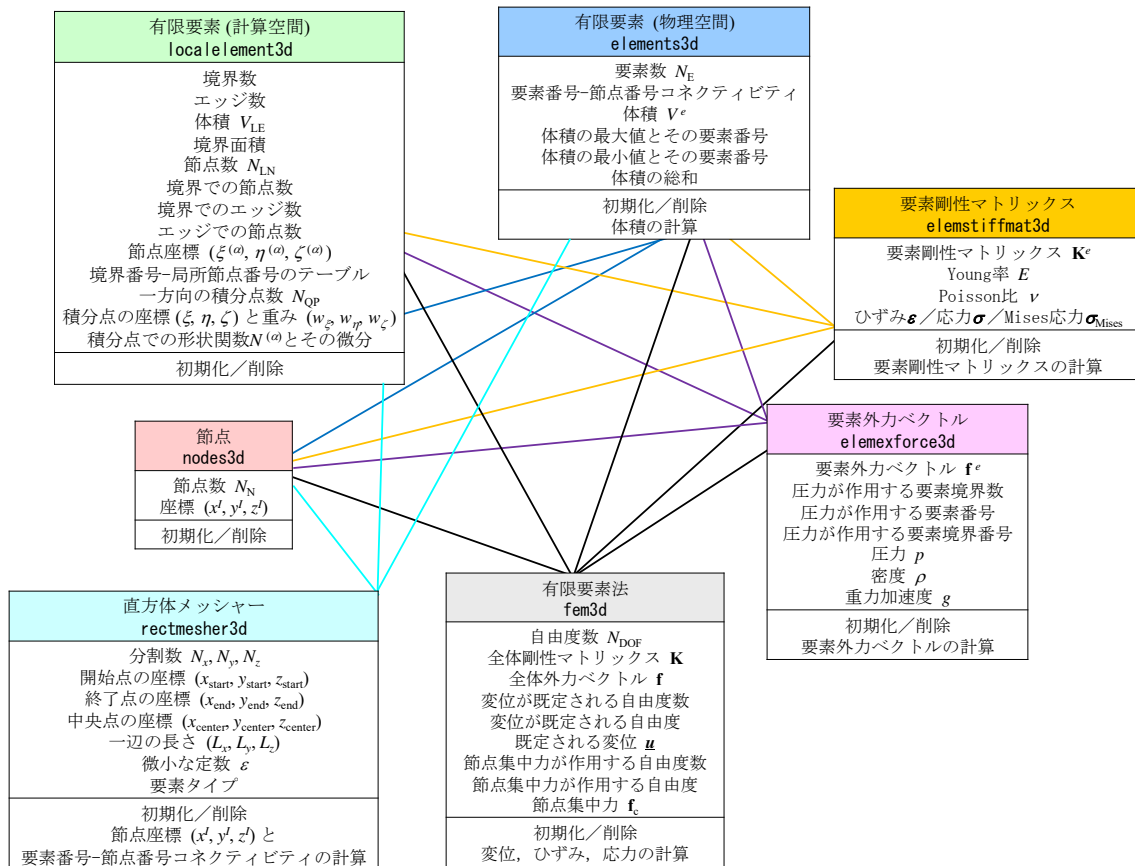


図 2.1 有限要素解析のクラス図とクラス同士の関連

有限要素法の基本モジュールは

- 有限要素法 (mod_fem3d)
- 要素剛性マトリックス (mod_elemstiffmat3d)
- 要素外力ベクトル (mod_elemexforce3d)
- 物理空間 (x, y, z) における有限要素 (mod_elements3d)
- 計算空間 (ξ, η, ζ) における有限要素 (mod_localelement3d)
- 節点 (mod_nodes3d)
- 直方体メッシュャー (mod_rectmesher3d)

の七つです。モジュール名が単数か複数かに注意してください。図 2.1 の中段はデータメンバ、下段はメンバ関数になります。

3. ParaView を用いた UCD の可視化

下記の URL にアクセスしてください。

<https://www.paraview.org/>

図 3.1 のようなホームページが表示されます。

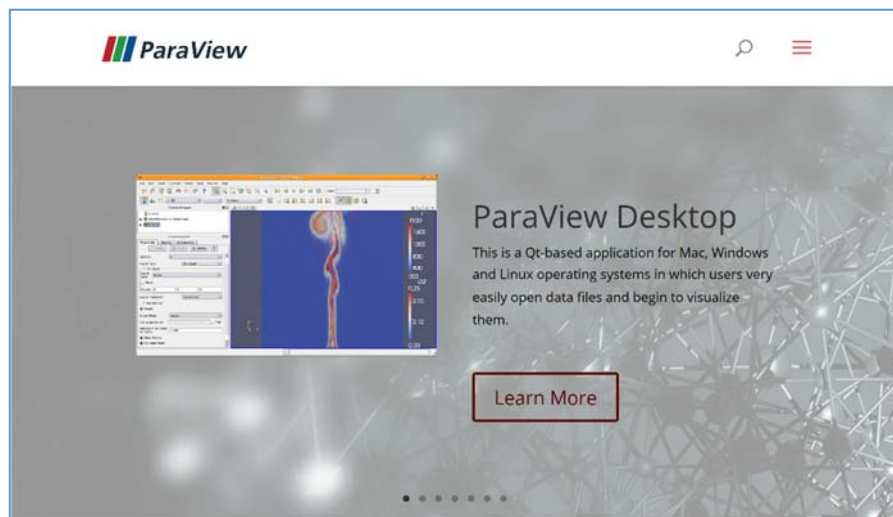


図 3.1 ParaView のホームページ (<https://www.paraview.org/>)

右上メニュー (三本線) から Download を選びます。そして, Sources, Windows, Linux, macOS の中から Windows を選びます (図 3.2 参照)。64-bit OS の場合, ParaView-5.5.0-Qt5-Windows-64bit または ParaView-5.5.0-Qt5-MPI-Windows-64bit をダウンロードしてください。32-bit OS の場合, Ver. 5.2 の ParaView-5.2.0-Qt4-OpenGL2-Windows-32bit をダウンロードしてください。

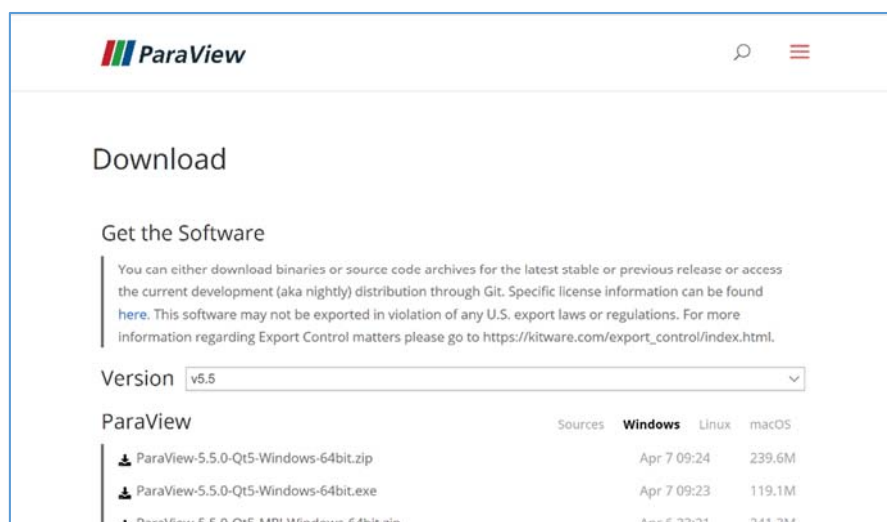


図 3.2 ParaView のダウンロードページ (<https://www.paraview.org/download/>)

ParaView を起動すると, 図 3.3 のような起動画面が表示されます。

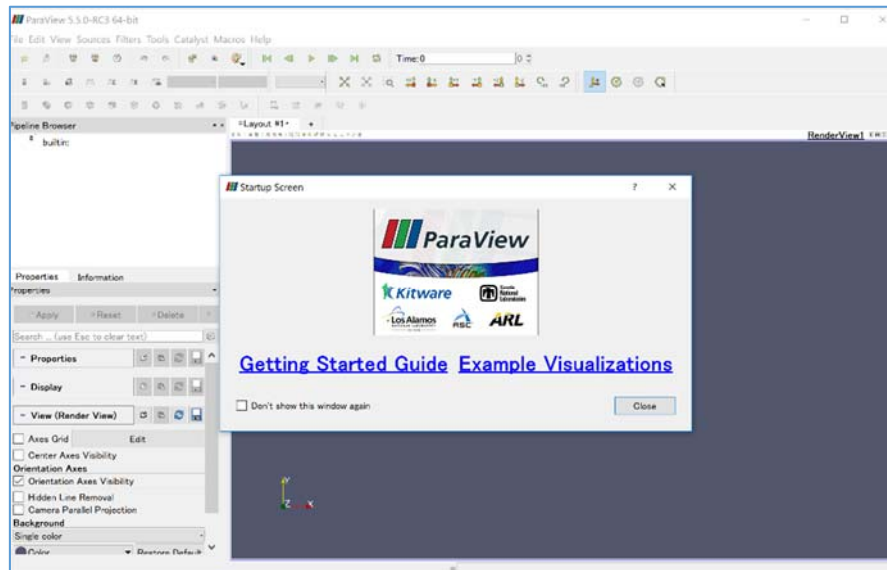


図 3.3 ParaView の起動画面

ParaView を用いて、流れ場の Unstructured Cell Data (UCD) を可視化します。

<http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/~ghashimoto/cavityflow.zip>

よりダウンロードしてください。ParaView の Pipeline Browser のペインに `cavityflow.inp` をドラッグ&ドロップしてから、Apply ボタンを押してください。上部プルダウンメニューで Node state を Velocity に変更し、Surface を Surface With Edges に変更すると、図 3.4 のような流れ場を見ることができます。上部メニューから File を選び、Save Screenshot を選ぶと、可視化結果を画像として保存できます。

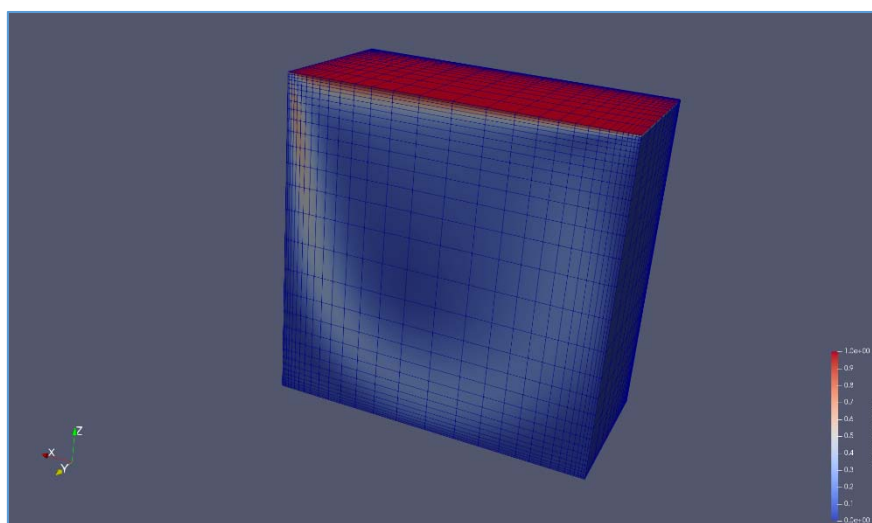


図 3.4 キャビティ内強制対流の可視化

UCD のフォーマットは以下のようになっています。有限要素を表現するには、座標値と要素-節点コネクティビティのデータが必要となります。

UCD のフォーマット

(全節点数) (全要素数) (各節点のデータ数) (各要素のデータ数) (モデルのデータ数)

(節点番号 1) (x 座標) (y 座標) (z 座標)

(節点番号 2) (x 座標) (y 座標) (z 座標)

.

.

.

(要素番号 1) (材料番号) (要素の種類) (要素-節点コネクティビティ)

(要素番号 2) (材料番号) (要素の種類) (要素-節点コネクティビティ)

.

.

.

(節点のデータ成分数) (成分 1 の構成数) (成分 2 の構成数) . . . (各成分の構成数)

(節点データ成分 1 のラベル), (単位)

(節点データ成分 2 のラベル), (単位)

.

.

.

(各節点データ成分のラベル), (単位)

(節点番号 1) (節点データ 1) (節点データ 2)

(節点番号 2) (節点データ 1) (節点データ 2)

(要素のデータ成分数) (成分 1 の構成数) (成分 2 の構成数) . . . (各成分の構成数)

(要素データ成分 1 のラベル), (単位)

(要素データ成分 2 のラベル), (単位)

.

.

.

(各要素データ成分のラベル), (単位)

(要素番号 1) (要素データ 1) (要素データ 2)

(要素番号 2) (要素データ 1) (要素データ 2)

.

.

.

4. おわりに

第 2 回では，有限要素解析を行うのに必要となる基本モジュールを理解しました．そして，有限要素を表現するために必要なデータは座標値と要素-節点コネクティビティであることを理解しました．

次回は，有限要素法の基本モジュールを用いて，簡単な形状の解析メッシュを作成できるプリプロセッサプログラム (直方体メッシュャープログラム) を作成してもらいます．何か質問がありましたら，橋本 (メールアドレス：ghashimoto@k.u-tokyo.ac.jp) に連絡してください．