

# 熱流体の数値シミュレーション 入門(実習付)

富山県立大学 工学部 機械システム工学科  
講師 中川 慎二

## 目的

参加者が熱流体シミュレーションソフトウェアを操作し、簡単な流れのシミュレーション・結果の可視化にも挑戦します。

初めて数値シミュレーションに触れる方を主な対象とします。

詳細な理論には踏み込まず、例題への取り組みを通じて、数値シミュレーションを体験することが目的です。

誰でも無料で使えるオープンソース・ソフトウェア“OpenFOAM”を使用します。

講習終了後に、各自で用意したPCにインストールし、シミュレーションすることも可能です。

OpenFOAMに関する詳細は下記のウェブサイトをご覧ください。

<http://www.opencfd.co.uk/openfoam/index.html>

## スケジュール

第1日:5月11日(金) 18:00~20:00

1. オープンソース・CFDソフトウェア  
“OpenFOAM”について
2. OpenFOAMによる数値シミュレーション1  
(cavity流れ1)

第2日:5月18日(金) 18:00~20:00

3. OpenFOAMによる数値シミュレーション2  
(cavity流れ2)
4. OpenFOAMによる数値シミュレーション3(ダ  
ムの崩壊-自由表面)

## 講習会で使用する計算機の環境

### ハードウェア

機種: Dell OptiPlex GX620  
CPU: Intel Pentium-4 640 3.2GHz  
メモリ容量: 1GB  
グラフィックボード: Intel Graphics Media Accelerator 950  
その他: 80GB SATA-HDD, CD/DVD-ROM, USB,  
1000Base-T, Keyboard, Optical Mouse

### ソフトウェア

OS: vine linux 3.2  
<http://vinelinux.org/>  
シミュレーションソフトウェア: OpenFOAM 1.2  
<http://www.opencfd.co.uk/openfoam/index.html>  
注意: 最新バージョンは1.4ですが, OSとの相性から,  
旧バージョンを使用します。

## 計算機の起動とログイン

### 起動

- 本体中央部の電源ボタンをON

### OS選択

- Linuxを選択

### ログイン

- ユーザ名 (air???)を入力
- パスワードを入力

## 数値シミュレーションについて

CFD (Computational Fluid Dynamics): 数値  
流体力学, 流体の数値シミュレーション

実現象 → 物理モデル → 数学モデル → シミュ  
レーションモデル (様々な仮定)

作業の流れ:

プレ処理 → 計算 → ポスト処理

# オープンソース・CFDソフトウェア “OpenFOAM”について

2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

7

## 数値シミュレーションについて

作業の流れ:

ユーザマニュアル1章 p.17

プレ処理 → 計算 → ポスト処理

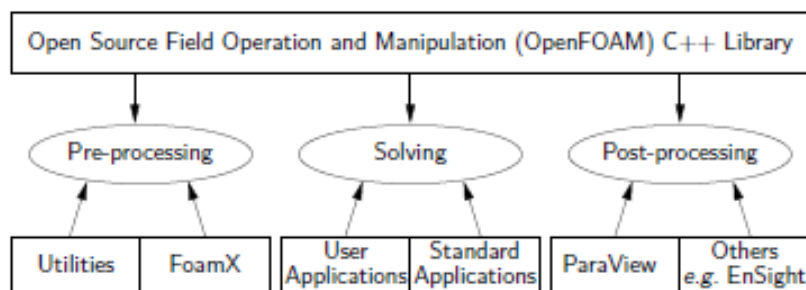


Figure 1.1: Overview of OpenFOAM structure.

2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

8

# OpenFOAMで利用するソフト

1. OpenFOAM  
OpenFOAM本体, c++で記述されたプログラムの集まり
2. FoamX  
OpenFOAMのGUI, 各種設定をマウス操作で設定可能  
FoamXがなくても, 設定ファイルを直接書き換えることができる。
3. paraview  
オープンソースの可視化ソフトウェア  
<http://www.paraview.org/HTML/Index.html>  
Windows版, Linux版, MacOS版有り
4. gcc  
コンパイラ(GNU Compiler Collection)  
ソースコードをコンパイルする場合に必要
5. java  
FoamXはjavaにより作成されている

2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

9

# ディレクトリ構造

```
$HOME ←ユーザのホームディレクトリ:/nfs20/air001など
├─ OpenFOAM
│   └─ OpenFOAM-1.2
│       ├── applications ←アプリケーションのソースファイル
│       ├── bin ←実行ファイル
│       ├── doc ←マニュアル
│       ├── lib ←ライブラリ
│       ├── src ←各種部品のソースファイル
│       ├── tutorials ←オリジナル例題ファイル
│       └─ wmake ←コンパイル関連(通常使用しません)
├─ linux
│   ├── gcc-4.0.1
│   ├── j2sdk1.4.2_05
│   └─ paraview-2.2.0
└─ air000 ←ユーザの作業用ディレクトリ
    └─ run - tutorials ←例題作業ディレクトリ
```

2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

10

## 作業:ディレクトリ構造の確認

### ファイルビューアの起動

- デスクトップ左上のフォルダ(ログイン名)をダブルクリック
- 起動直後:ホームディレクトリが表示される

### OpenFOAMのディレクトリを確認

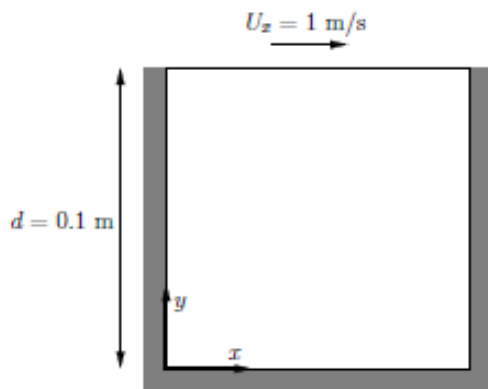
- ホームディレクトリ下に, OpenFOAMが存在することを確認する

## 作業:端末(ターミナル)の起動

### 端末(ターミナル)の起動

- デスクトップ左上の「アプリケーション」→「システムツール」→「GNOME端末」を選択

# 例題1: キャビティ流れ



ユーザマニュアル2.1節 p.19

- 正正方形容器
- 上蓋が移動
- 容器内に非圧縮性流体 (incompressible fluid)
- 層流, 一定温度

Figure 2.1: Geometry of the lid driven cavity. Standard Application の icoFoamを利用する

# モデルの幾何形状

ユーザマニュアル2.1.1.1節 p.22

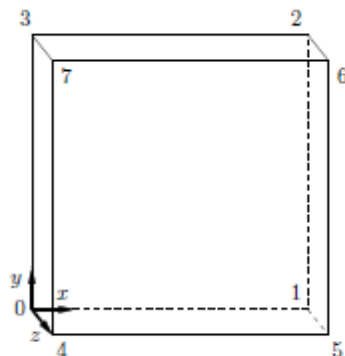


Figure 2.3: Block structure of the mesh for the cavity.

# プレ処理 Pre-processing

ユーザマニュアル2.1.1節 p.20

## 作業内容

- メッシュ生成 (Mesh generation)
- 境界条件と初期条件設定 (Boundary and initial conditions)
- 物性値設定 (Physical properties)
- 計算制御設定 (Control)
- 離散化と行列解法の設定 (Discretisation and linear-solver settings)

2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

15

# プレ処理ソフト: FoamX

## FoamXの起動

ユーザマニュアル2.1.1節 p.21

- ターミナルで、下記のコマンドを実行  
FoamX
- 下図のウィンドウが立ち上がる



2007/05/11

16



## FoamXの使い方

FoamXの左側にはケースパネル(case panel), 右側には編集パネル(editing panel), 下には進捗状況パネル(Progress history panel)があります。

FoamXを起動した状態では, ケースパネルにHostが表示されています。Hostを選び, ダブルクリックすると, そのHostに存在するアプリケーションプログラムが一覧で表示されます。

アプリケーションプログラムとは, ある特定の問題をシミュレーションするためのソフトウェアです。問題の種類に応じて(流れが層流か乱流か, 圧縮性か非圧縮性か, など), アプリケーションプログラムを使い分けます。

OpenFOAMでは, シミュレーションで取り扱う問題を, ケースと呼びます。ケースパネルでは, 現在保存されているケース(問題)を一覧できます。ケースをダブルクリックすると, ケースが開かれます。

## メッシュ

- 計算領域を多くの小さな領域に分割する
- 小領域をセルという
- 分割線をメッシュという
- シミュレーションでは, 各セルでの物理量を予測する

# メッシュ生成

## 単純なメッシュ

- OpenFOAMで作成できる
- blockMeshDictというファイルにメッシュの生成方法を記述 → メッシュ生成コマンド

# メッシュ作成指令書: blockMeshDict

ユーザマニュアル2.1.1節 p.21

convertToMeters 0.1; ← これから書く数字を, 0.1倍すると, 単位がmになる

vertices ← 節点

```
(  
  (0 0 0) ← 0から6までの各点の座標。この値を0.1倍するとm単位になる。  
  (1 0 0)  
  (1 1 0)  
  (0 1 0)  
  (0 0 0.1)  
  (1 0 0.1)  
  (1 1 0.1)  
  (0 1 0.1)  
);
```

blocks ← ブロック(直方体(hex), 節点番号で指定する)

```
(  
  hex (0 1 2 3 4 5 6 7) (20 20 1) simpleGrading (1 1 1)  
  ← 節点0~6で直方体を作る。 x, y, z方向に20, 20, 1分割(等間隔)してメッシュをつくる  
);
```

# メッシュ作成指令書: blockMeshDict

ユーザマニュアル2.1.1節 p.21

```
patches ← 同じ境界条件をまとめる
(
  wall movingWall ← 境界条件: 壁面が動く(一定の速度)
  (
    (3 7 6 2) ← 4つの節点で構成される面
  )
  wall fixedWalls ← 境界条件: 固定された壁(速度は0)
  (
    (0 4 7 3) ← 4つの節点で構成される面
    (2 6 5 1) ← 4つの節点で構成される面
    (1 5 4 0) ← 4つの節点で構成される面
  )
  empty frontAndBack ← 境界条件: 対称面(物理量の勾配は0)
  (
    (0 3 2 1) ← 4つの節点で構成される面
    (4 5 6 7) ← 4つの節点で構成される面
  )
);
```

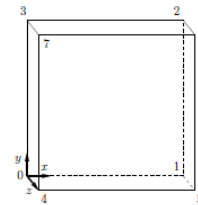


Figure 2.3: Block structure of the mesh for the cavity flow problem.

2007/05/11

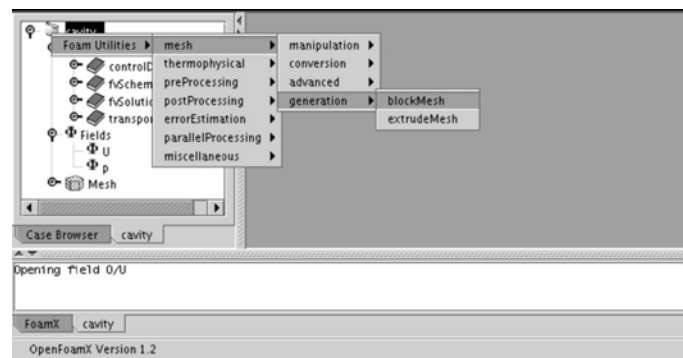
CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

21

# FoamXでblockMeshを実行

ユーザマニュアル2.1.1.1節 p.22

- ディレクトリツリーでケース名 (cavity) 上で右クリック
- 開いたメニューから, mesh → generation → blockMesh



2007/05/11

22

## 境界条件

ユーザマニュアル2.1.1.2節 p.23

- ケースのMesh上で, 右クリック
- 「Read Mesh&Fields」を選択
  - メッシュに関する情報が FoamXに読み込まれる
- MeshフォルダーPatchesフォルダ内にpatch名の一覧
- patch名をクリック→the physical boundary typesの選択
  - patch名:fixedWalls, movingWall →物理的境界条件:wall
  - patch名:frontAndBack → empty
- 物理的境界条件に応じて, 速度Uや圧力pの条件が決まる
- 壁ではUは一定の値, 圧力pの勾配は0。(圧力勾配0→壁に垂直な方向の速度は0→壁を通り抜ける流れはない)

2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

23

## 物性値設定

ユーザマニュアル2.1.1.3節 p.24

- ~Propertiesという名のディクショナリに物性値を記録
- 動粘度 $\nu$ はtransportPropertiesディクショナリ
- 今回は  $\nu = 0.01 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$  と設定

2007/05/11

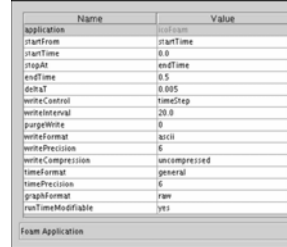
CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

24

## 計算制御設定

ユーザマニュアル2.1.1.4節 p.24

- 計算時間, データ読み込み, 書き出しなどの制御に関する情報は controlDict ディクショナリに記録



Application	Name	Value
	startFrom	startTime
	startTime	0.0
	stopAt	endTime
	endTime	0.5
	deltaT	0.005
	writeControl	timeStep
	writeInterval	20 0
	purgeWrite	0
	writeFormat	ascii
	writePrecision	6
	writeCompression	uncompressed
	timeFormat	general
	timePrecision	6
	graphFormat	raw
	runTimeModifiable	yes

Foam Application

### この例題

- 計算を時刻  $t = 0$  から始める
- startFromキーワード = startTime
- startTimeキーワード = 0

2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

25

## 計算制御設定

ユーザマニュアル2.1.1.4節 p.25

計算を時刻  $t = 0.5$  秒でとめる

- stopAtキーワード = endTime
- endTimeキーワード = 0.5

時間刻みを0.005秒にする

- deltaT = 0.005

結果を0.1秒 (=0.005 × 20) ごとに記録する

- writeControl = timeStep      時間刻みが
- writeInterval = 20              20回ごと

2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

26

## 離散化と行列解法の設定

ユーザマニュアル2.1.1.5節 p.25

有限体積法での離散化方法

- fvSchemesディクショナリ

解法

- fvSolutionディクショナリ

## データの保存

ユーザマニュアル2.1.1.6節 p.25

これまでに設定したデータを保存する

- FoamX上部のメニューボタンから、フロッピーディスクのボタンをクリック

ケースを閉じる

- FoamX上部のメニューボタンから、赤丸ボタンをクリック

## メッシュの確認

ユーザマニュアル2.12節 p.26

ポスト処理ソフトParaViewを使って、メッシュを確認する

- 下記のコマンドを実行する  
paraFoam \$FOAM\_RUN/tutorials/icoFoam cavity
- ParaViewが起動する
- Acceptボタン(緑)を押す
- Displayパネルで下記を選択
  - Color by Property
  - white ← Color
  - Wireframe ← Surface representation

2007/05/11


CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

29

## 計算 Solving

ユーザマニュアル2.1.3節 p.27

2つの実行方法

- FoamXから, Start Calculation Now button 
- ターミナルから下記コマンドを実行  
icoFoam \$FOAM\_RUN/tutorials/icoFoam cavity

2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

30

# ポスト処理

## Post-processing

ユーザマニュアル2.1.4節 p.29

ParaViewを使って結果を可視化

OpenFOAMの結果を可視化するコマンドは  
paraFoam

このコマンドは、OpenFOAMの結果をParaViewで  
読める形式に変換する

## paraFoamの実行

ユーザマニュアル2.1.4節 p.29

下記のコマンドを実行する

```
paraFoam $FOAM_RUN/tutorials/icoFoam  
cavity
```

- ParaViewが起動する
- Timeが0.5になっていることを確認
- Acceptボタン(緑)を押す



# カラー等高線図 Contour

ユーザマニュアル2.1.4.1節 p.29

## 圧力分布の可視化

Color by volPointInterpolate(p)

→ 補間された滑らかな分布

Color by cell(p)

→ 各セルでの値(補間なし)



2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

33

# 速度ベクトル図 Glyph

ユーザマニュアル2.1.4.2節 p.29

## セル中心での速度ベクトル

- Selection Windowで cavity.foamが選ばれていることを確認
- FilterからCellCenters選択
- Acceptボタンを押す
- Selection WindowでCentersが選ばれていることを確認
- FilterからGlyph選択
- Acceptボタンを押す
- 右のようにパネルを設定



2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

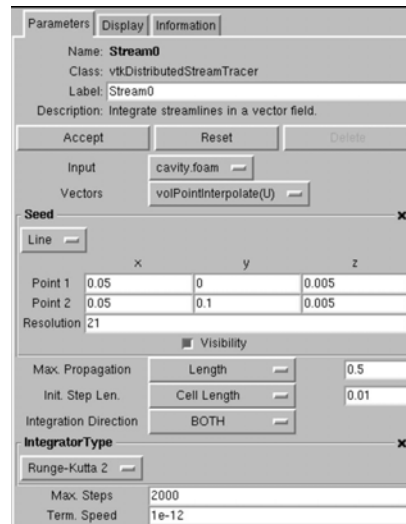
34

# 流線 Streamline

ユーザマニュアル2.1.4.3節 p.31

## 流線

- Selection Windowで cavity.foamが選ばれていることを確認
- FilterからStreamTracer選択
- Acceptボタンを押す
- 右のようにパネルを設定
- マニュアルでは, Seedを次のように設定  
Num. sides 20; Radius 0.0003;  
and, Radius factor 10.



2007/05/11

CFD講習会 @ 富山県立大学 可視化研究会

35