

チュートリアルのコピーをしていない方は
講習開始までに以下を実行しておいてください



さらに端末で赤字のように打ちます

```
mkdir -p $FOAM_RUN↵
```

```
cp -r $FOAM_TUTORIALS $FOAM_RUN↵
```

OPENFOAM(R) is a registered trade mark of OpenCFD Limited, the producer of the OpenFOAM software and owner of the OPENFOAM(R) and OpenCFD(R) trade marks.

平成22年度OpenFOAM®非圧縮性流体解析演習シリーズ

第2回

キャビティ流れのチュートリアルによる格子生成、
流体解析、可視化の基礎

今野 雅 (オープンCAE学会、東京大学)



自己紹介

- 所属
 - 東京大学 大学院工学系研究科 建築学専攻
- 専門
 - 建築環境工学 (温熱・空気環境、特に数値予測)
- 所属学会
 - 日本建築学会
 - 空気調和・衛生工学会
 - 日本流体力学会
 - 日本風工学会
 - オープンCAE学会(副会長)



目次

1. キャビティ流れのチュートリアル
2. blockMeshによる格子生成
3. icoFoamによる流体解析
4. paraFoamによる可視化

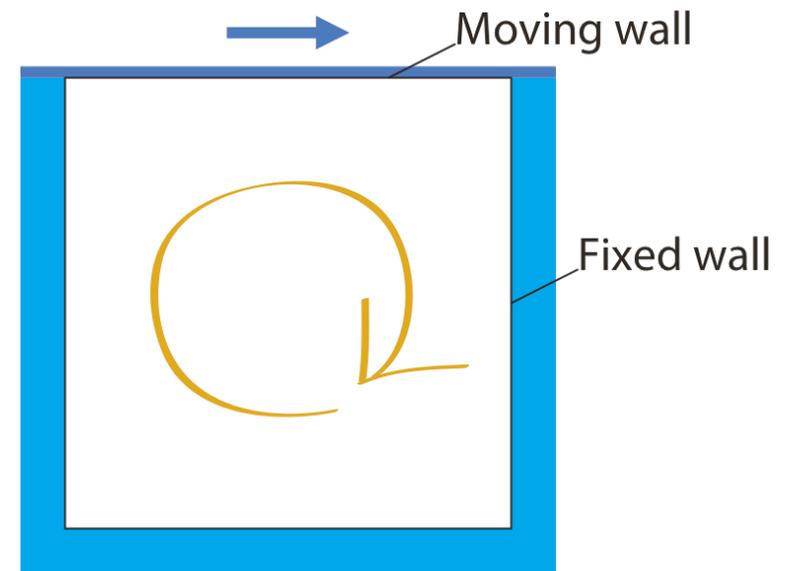
キャビティ流れのチュートリアル

チュートリアルとは

- ▶標準ソルバーの実行例であり、スクリプトにより格子生成や解析が自動的に実行ができる
- ▶ユーザガイド第2章で扱っているケースの例
 - ✓ cavity : 天井駆動のキャビティ流れ
 - ✓ plateHole : 穴あき板の応力解析
 - ✓ damBreak : ダムの決壊
- ▶Ver.1.7.xでは約120ケースが用意されている

キャビティ流れとは

- ▶キャビティ(空洞)の上壁が動き、その摩擦で空洞内の流体が動く流れ場
- ▶CFDソフトウェアの基礎的な検証例(ベンチマークテスト)として良く用いられる
- ▶Ghiaら(1982)の論文が有名



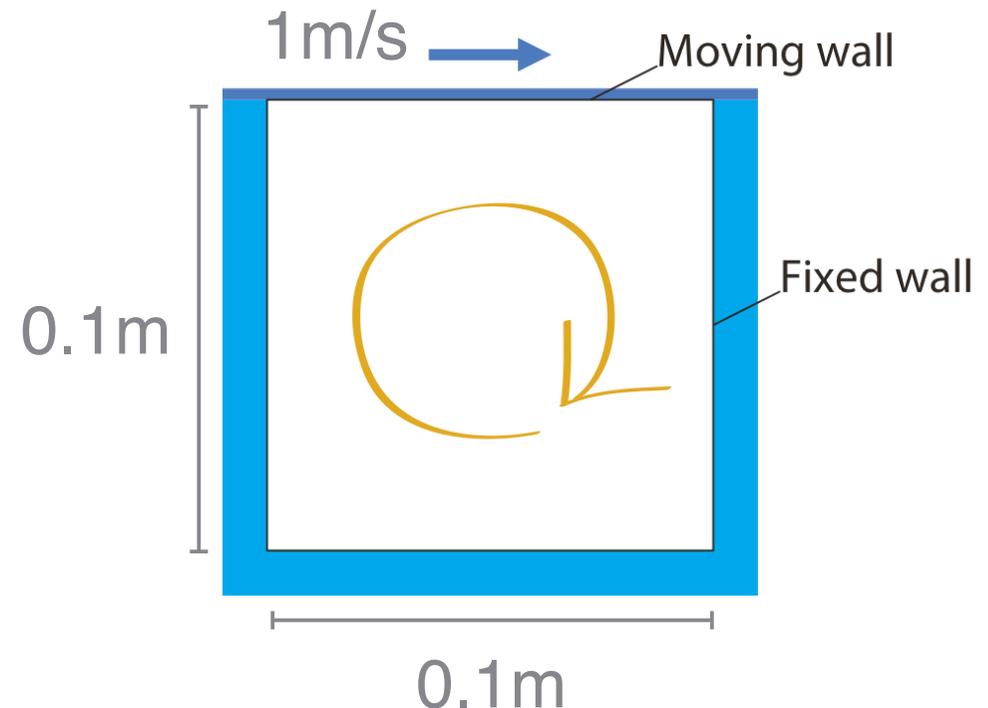
(図引用元: 大嶋 拓也 (新潟大学) 「キャビティ流れの解析、paraFoamの実習」
第一回OpenFOAM講習会)

キャビティ流れのチュートリアル

- ▶ 正方形のキャビティで辺長： $d = 0.1m$
- ▶ 上壁の移動速度： $U = 1m/s$
- ▶ 流体の動粘性係数 (=粘性係数/密度)： $\nu = 0.01m^2/s$
- ▶ レイノルズ数：

$$Re = \frac{dU}{\nu} = 10$$

- ▶ 非圧縮性の層流解析



Open FOAM[®]の標準ソルバ

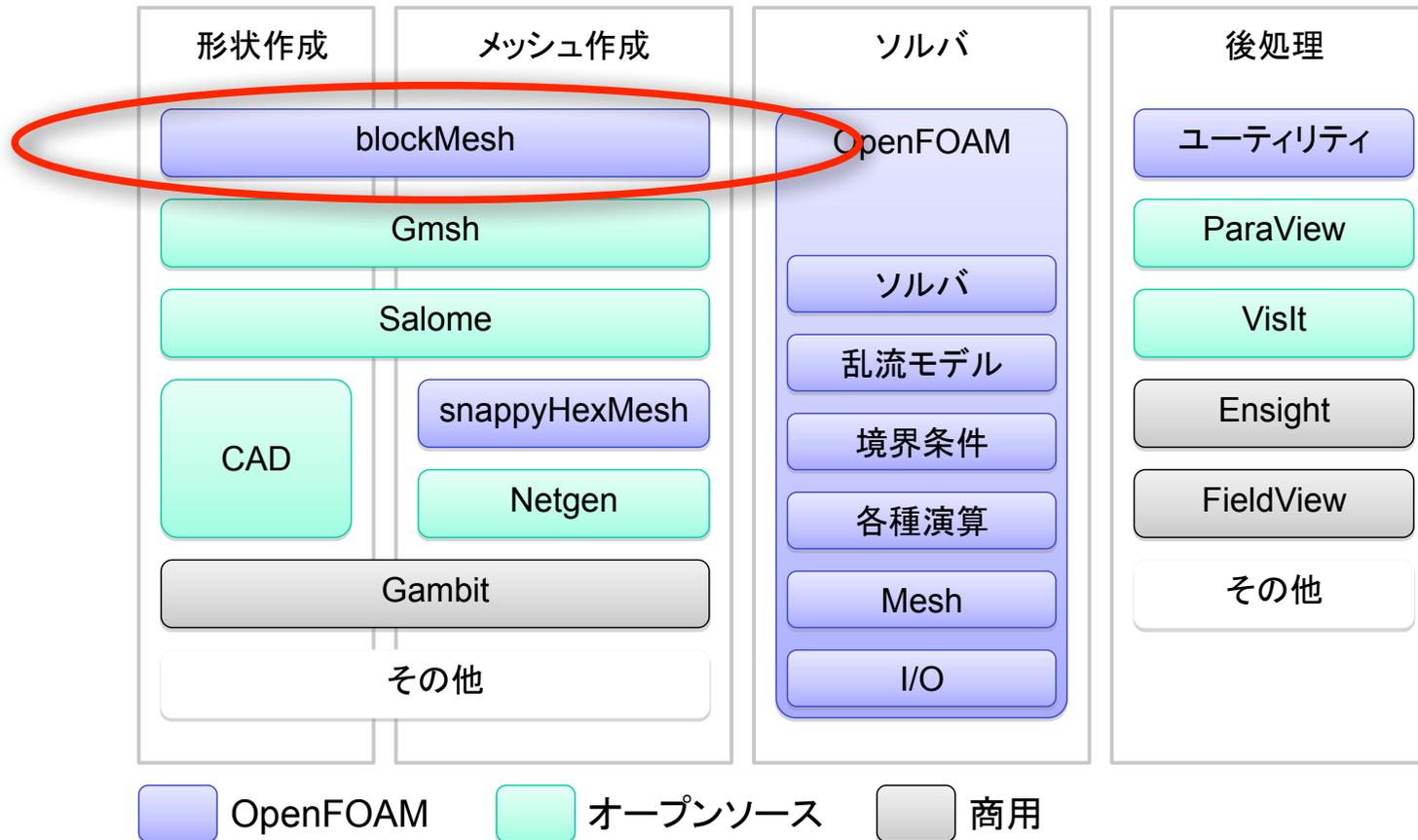
basic	基礎的ソルバ
incompressible	非圧縮性流れ
compressible	圧縮性流れ
multiphase	多層流
DNS	直接数値シミュレーション
combustion	燃焼
heatTransfer	熱輸送
electromagnetics	電磁流体
stressAnalysis	固体応力解析
financial	金融工学

基礎的・非圧縮性ソルバー

basicカテゴリ	laplacianFoam	ラプラス方程式(拡散のみ)
	potentialFoam	ポテンシャル流れ
	scalarTransportFoam	パッシブスカラー輸送流れ
incompressible カテゴリの 代表的なソルバー	icoFoam	層流PISO法ソルバー
	pisoFoam	乱流 PISO法ソルバー
	simpleFoam	乱流SIMPLE法ソルバー
heatTransfer カテゴリの ブシネスク近似 ソルバー	buoyantBoussinesqPisoFoam	熱流体PISO法ソルバー
	buoyantBoussinesqSimpleFoam	熱流体SIMPLE法ソルバー

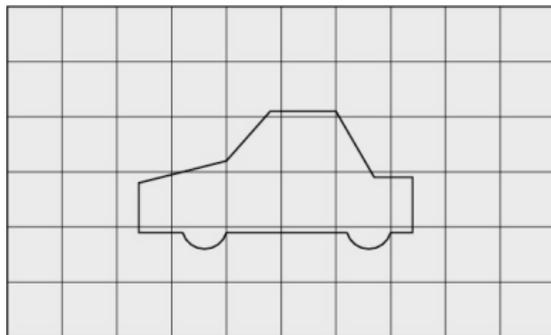
blockMeshによる格子生成

OpenFOAM®の構成

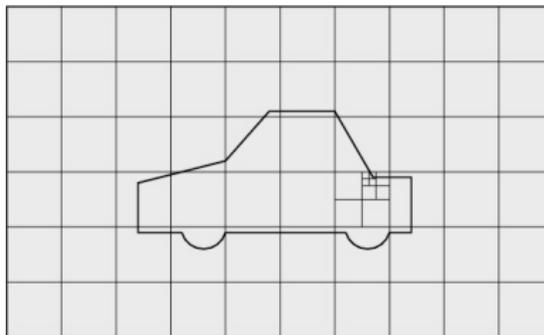


(図引用元: 大嶋 拓也 (新潟大学) 「イントロダクション: OpenFOAM概要」
第一回OpenFOAM講習会)

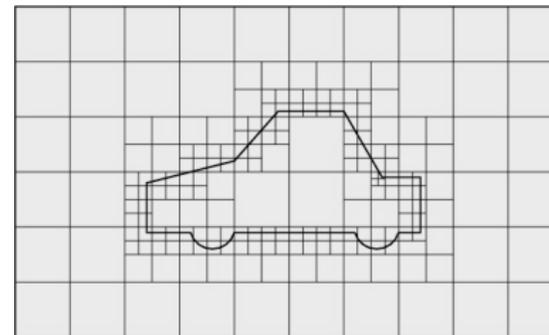
境界適合六面体格子生成ユーティリティ snappyHexMesh



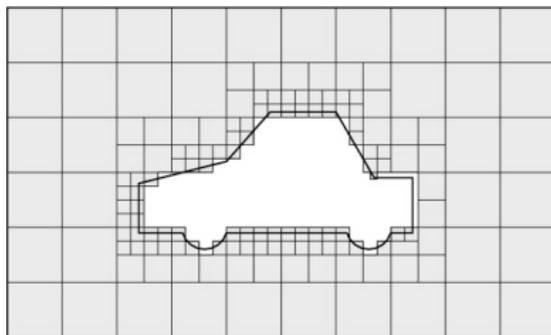
ベース格子



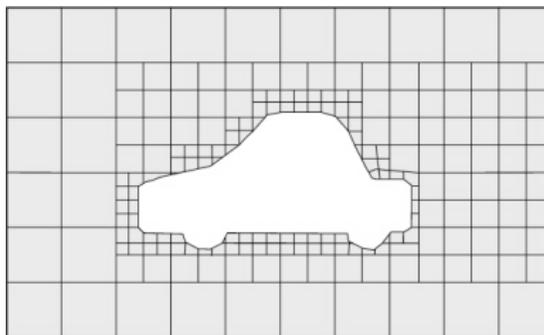
STL表面の細分割



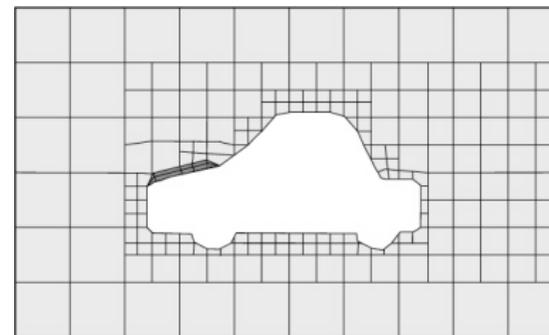
スムージング



階段状格子



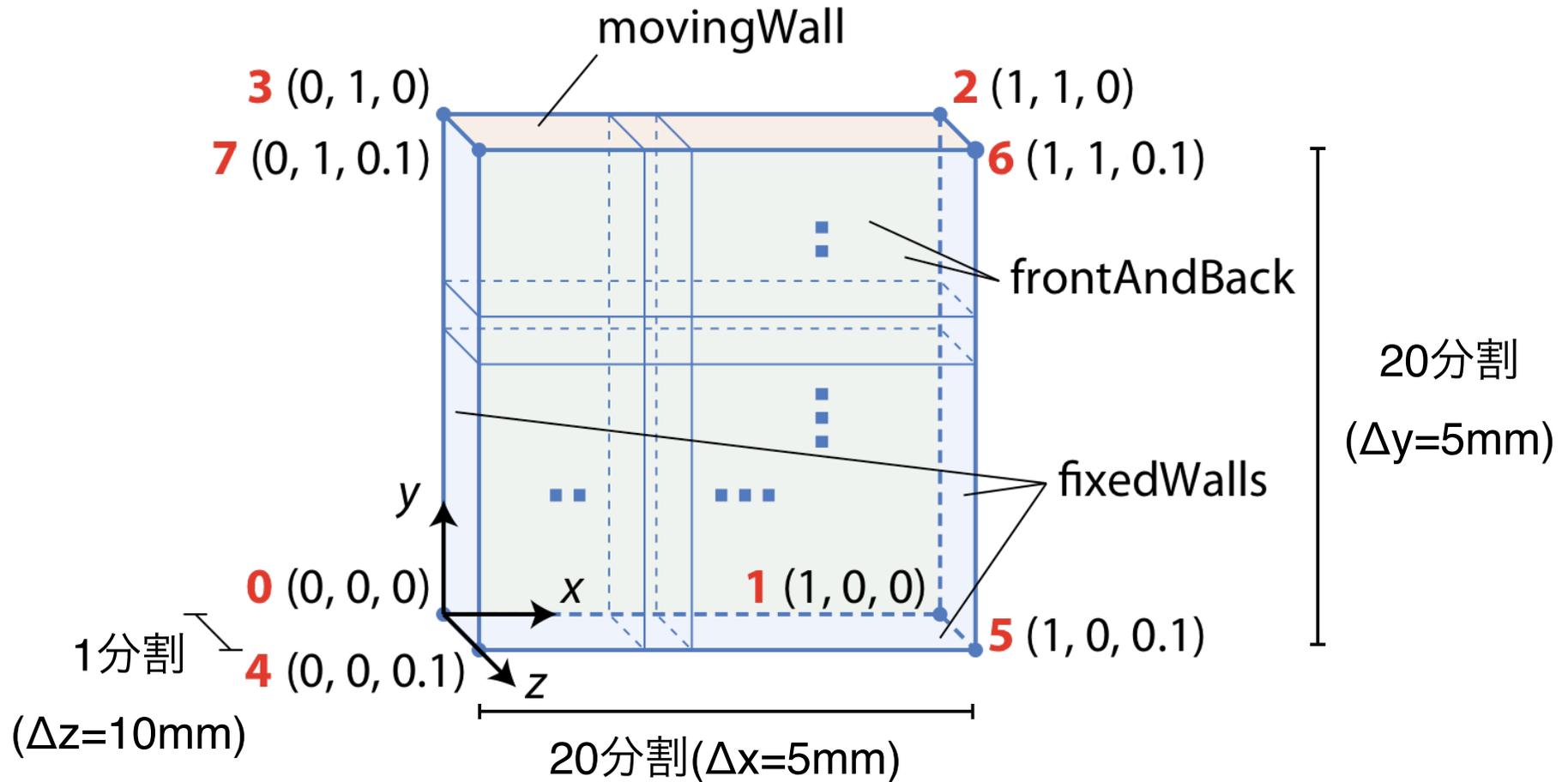
境界適合(snap)



レイヤ付加

(図引用元: OpenFOAM User Guide Version 1.5)

計算領域の定義



注)2次元なので、z方向は1分割(幅は任意)



ケースのディレクトリ構成

 cavity	ケース・ディレクトリ (tutorials/incompressible/icoFoam/cavity)
 0	初期条件・境界条件ディレクトリ
 U	速度Uの初期条件・境界条件
 p	圧力pの初期条件・境界条件
 constant	不変な格子・定数・条件を格納するディレクトリ
 polyMesh	格子データのディレクトリ
 blockMeshDict	blockMeshの設定
 boundary	境界(パッチ)の基礎情報(blockMeshが生成する)
 transportProperties	動粘性係数など主に流体の物性を設定
 system	解析条件を設定するディレクトリ
 controlDict	実行条件の設定
 fvSchemes	離散化スキームの設定
 fvSolution	時間解法やマトリックスソルバの設定

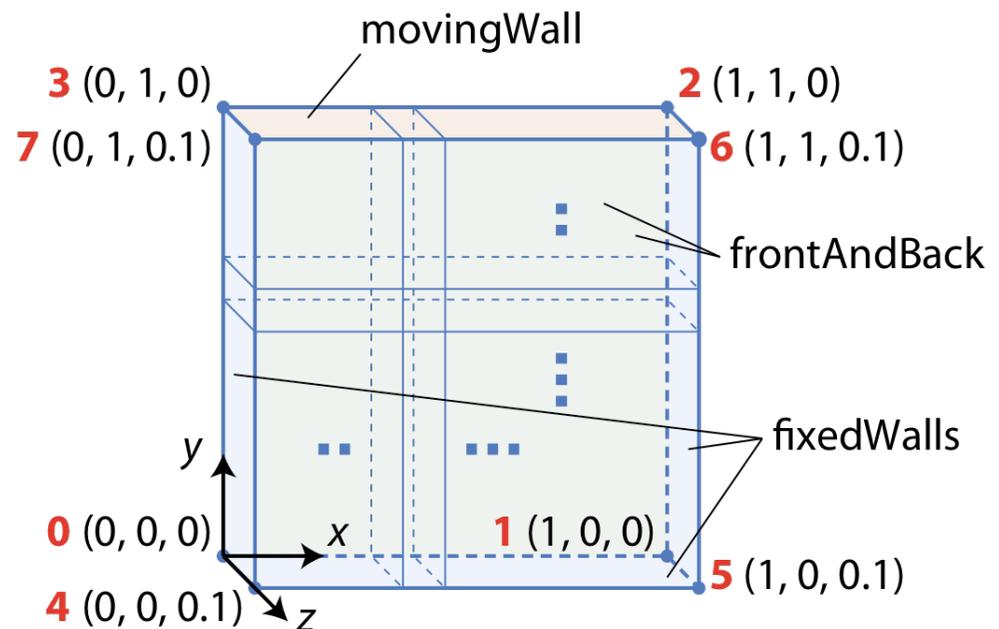
blockMeshDict (1)

convertToMeters 0.1; **メートル単位への変換係数**

vertices **頂点の座標リスト**

(

(0 0 0) **頂点0**
(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) **頂点7**



);

blockMeshDict (2)

blocks 格子ブロックの定義

(

hex (0 1 2 3 4 5 6 7)

形状 頂点番号リスト

(20 20 1)

各方向の分割数

simpleGrading (1 1 1)

格子幅は等比級数

各方向の格子幅比

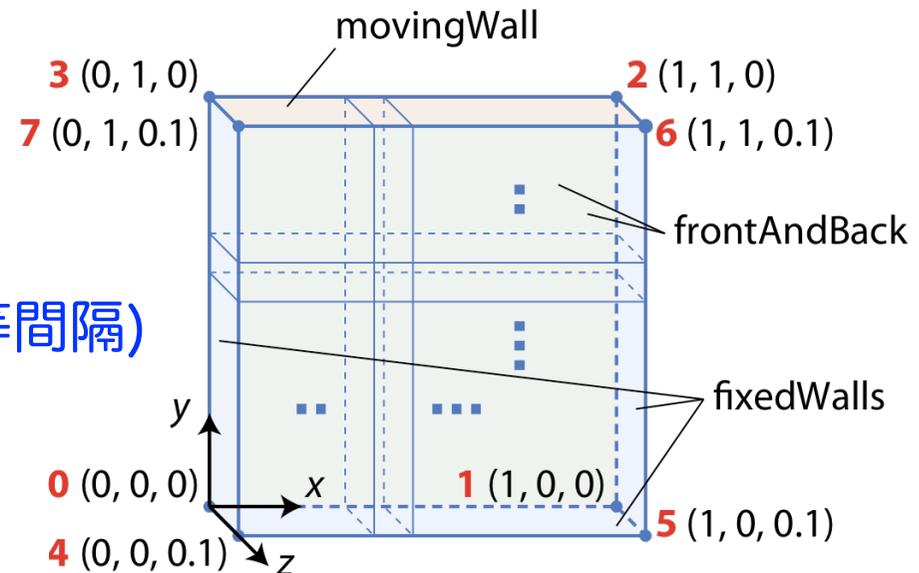
); (最初と最後の格子の比。1:等間隔)

edges 辺が曲線の場合に指定

(

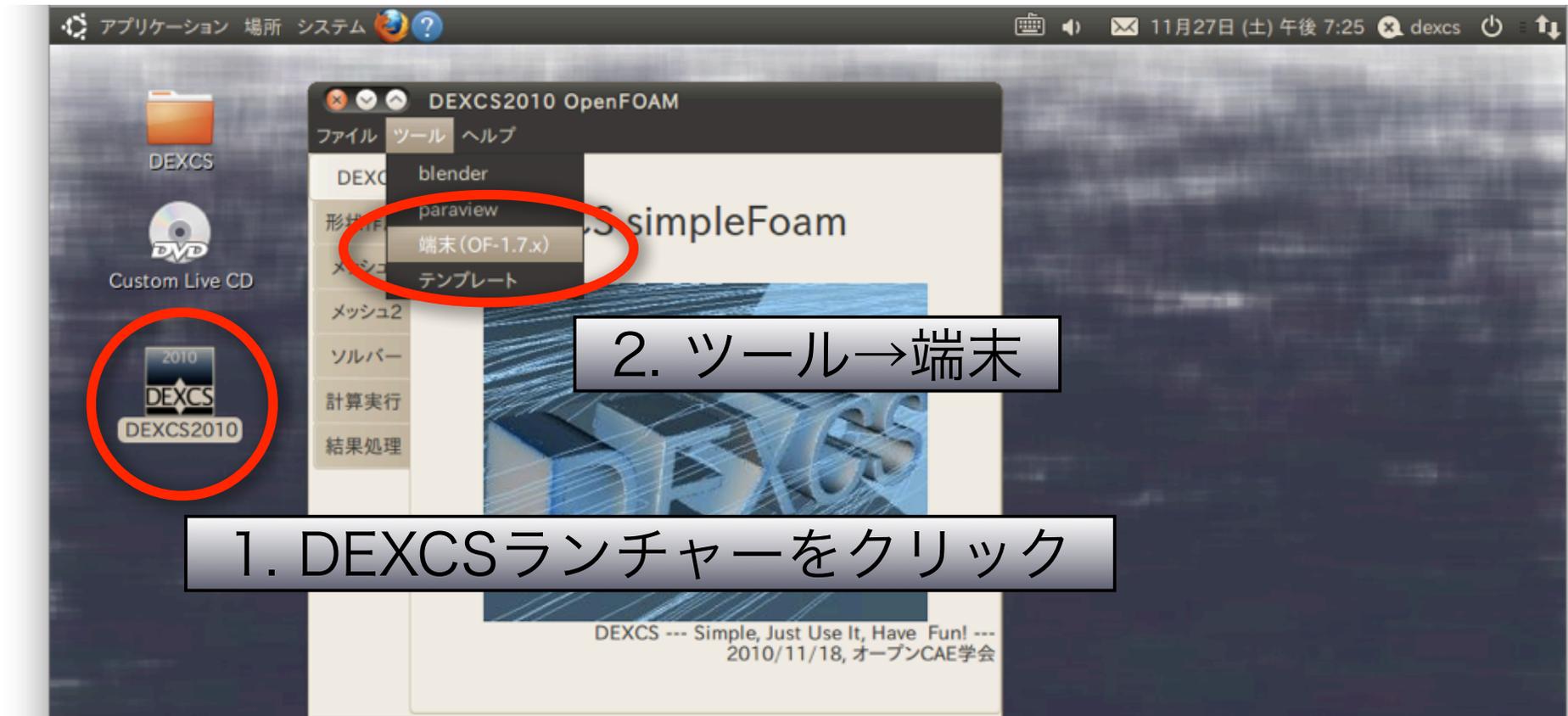
(今回は指定しない)

);



端末の起動(1)

OpenFOAMの環境設定済みの端末を起動する



端末の起動(2)

OpenFOAMの環境設定済みの端末を起動する



端末
(OpenFOAM-1.7.x用
環境設定済み)

OpenFOAMの環境設定：シェルの起動時に以下を実行している。

- ・ `~/OpenFOAM/OpenFOAM-1.7.x/etc/bashrc`

ケース・ディレクトリ

端末で赤字のように打ちましょう!

```
run ↵  
cd tutorials/↵  
cd incompressible/↵  
cd icoFoam/↵  
cd cavity/↵  
ls ↵
```

←ディレクトリ名はTab
キーで補完できます

出力

```
0 constant system
```



ケース・ディレクトリの初期化

もし、log.blockMesh等のファイルがある
場合には、以下を打ってディレクトリを初期化します

foamCleanTutorials↵

←Tabキーで補完できます

Allcleanがあるチュートリアル・ケースにおいては、
上記は ./Allclean を実行するのと同様です。

チュートリアルの実行

(今回は実行しないでください)

foamRunTutorials ↵

←Tabキーで補完できます

Allrunがあるチュートリアル・ケースにおいては、上記はAllrun を実行するのと同様です。

Allrunが無いケースでは、blockMeshと、そのケースに対応するソルバーが順次実行されます。

blockMeshDictの確認

[more constant/polyMesh/blockMeshDict](https://www.openfoam.com/docs/guide/mesh/blockMeshDict) ↩

```
端末
ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 端末(T) ヘルプ(H)
Field
Operation
And
Manipulation
OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
Version: 1.7.1
Web: www.OpenFOAM.com
FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        dictionary;
  object       blockMeshDict;
}
// *****
convertToMeters 0.1;
vertices
(
  (0 0 0)
  (1 0 0)
  (1 1 0)
)
--続ける-- (61%)
```

↑SPC:前, b:後, h:ヘルプq:終了



blockMeshの実行

blockMesh ↵

出力

```
:  
Default patch type set to empty  
Writing polyMesh  
End
```

生成格子ファイルの確認

ls constant/polyMesh/ ↩

出力

blockMeshDict ←既存の設定ファイル
boundary
faces
neighbour ←生成格子ファイル
owner
points



icoFoamによる流体解析

初期条件・境界条件設定(1)

▶初期条件・境界条件ファイル：0/U, 0/p

 cavity	ケース・ディレクトリ
 0 初期条件・境界条件ディレクトリ
 U 速度Uの初期条件・境界条件
 p 圧力pの初期条件・境界条件

なお、初期条件を置くディレクトリは0で無くても良く、後述の system/controlDict で指定する。

初期条件・境界条件設定(2)速度

▶速度の初期条件・境界条件ファイル：0/U

```
dimensions [ 0 1 -1 0 0 0 0 ];
```

単位の次元 質量 長さ 時間 温度 物質量 電流 光度

SI単位での例： [kg] [m] [s] [K] [kgmol] [A] [cd]

(単位系は任意)

(長さ[m]) · (時間[s])⁻¹ → 速度[m/s]

```
internalField      uniform (0 0 0);
```

内部の場

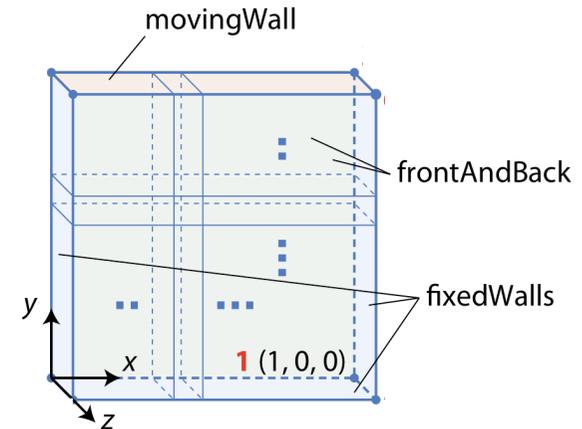
一様(分布) 0ベクトル (速度0)

演算時には単位の検査がなされる



初期条件・境界条件設定(3)速度

```
boundaryField 境界条件
{
  movingWall 動く上壁
  {
    type fixedValue; 値固定
    value uniform (1 0 0); (1,0,0)で一様
  }
  fixedWalls 固定壁
  {
    type fixedValue; 値固定
    value uniform (0 0 0); (0,0,0)で一様(壁)
  }
  frontAndBack
  {
    type empty; 2次元なので空
  }
}
```



初期条件・境界条件設定(4)圧力

▶速度の初期条件・境界条件ファイル：0/p

```
dimensions [ 0 2 -2 0 0 0 0 ];
```

単位の次元 質量 長さ 時間 温度 物質量 電流 光度

OpenFOAMの非圧縮性ソルバでは、圧力は密度で割っている

(質量)・(長さ)・(時間)⁻² / ((質量)・(長さ)⁻³) = (長さ)²・(時間)⁻²

圧力の次元

密度の次元

pの次元

```
internalField      uniform      0;
```

内部の場

一様(分布)

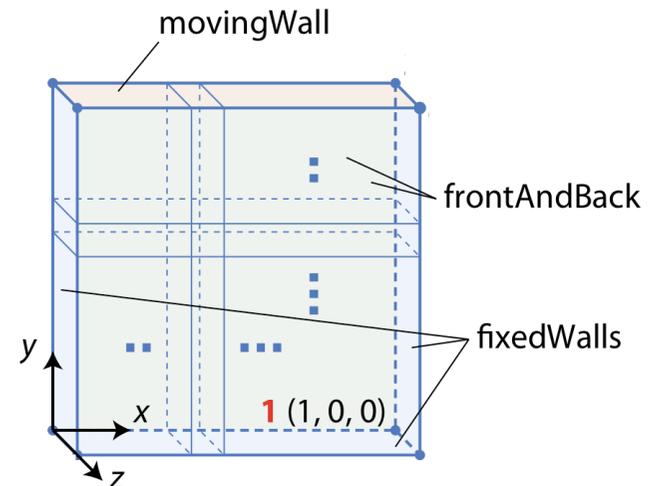
圧力0

初期条件・境界条件設定(5)圧力

```
boundaryField
{
  movingWall 動く上壁
  {
    type zeroGradient; 境界の法線方向勾配0
  }

  fixedWalls 固定壁
  {
    type zeroGradient;
  }

  frontAndBack
  {
    type empty; 2次元なので空
  }
}
```



実行条件の設定(1)



実行条件の設定(2)

▶ 実行条件の設定ファイル：system/controlDict

startFrom	startTime;	解析開始の設定法(他にlatestTime等)
startTime	0;	解析の開始時刻
stopAt	endTime;	解析終了の設定法(他にnextWrite等)
endTime	0.5;	解析の終了時刻
deltaT	0.005;	時間刻み
writeControl	timeStep;	解析結果書き出しの決定法
writeInterval	20;	20 timestep(0.1s)毎に書き出す

他の設定はユーザガイド4.3節参照



解析の実行

▶ 解析の実行

```
icoFoam ↵
```

▶ ログを残しながらバックグラウンドで解析の実行

```
foamJob icoFoam ↵
```

▶ ログを確認

```
more log ↵
```

```
↑SPC:前,b:後,h:ヘルプq:終了
```



paraFoamによる可視化

paraFoamによる可視化

paraFoam & ↵

← コマンドの後に&を付けると、コマンドがバック・グラウンドで動き、続けて他のコマンドを実行できます。

paraFoamによる可視化(1)：データの読み込み

ParaView 3.8.0

File Edit View Sources Filters Tools Macros Help

Time: 0

Pipeline Browser

builtin:
cavity.OpenFOAM

Object Inspector

Properties Display Information

Apply Reset Delete

Mesh Parts

- internalMesh
- movingWall - patch
- fixedWalls - patch
- frontAndBack - patch

Volume Fields

- p
- U

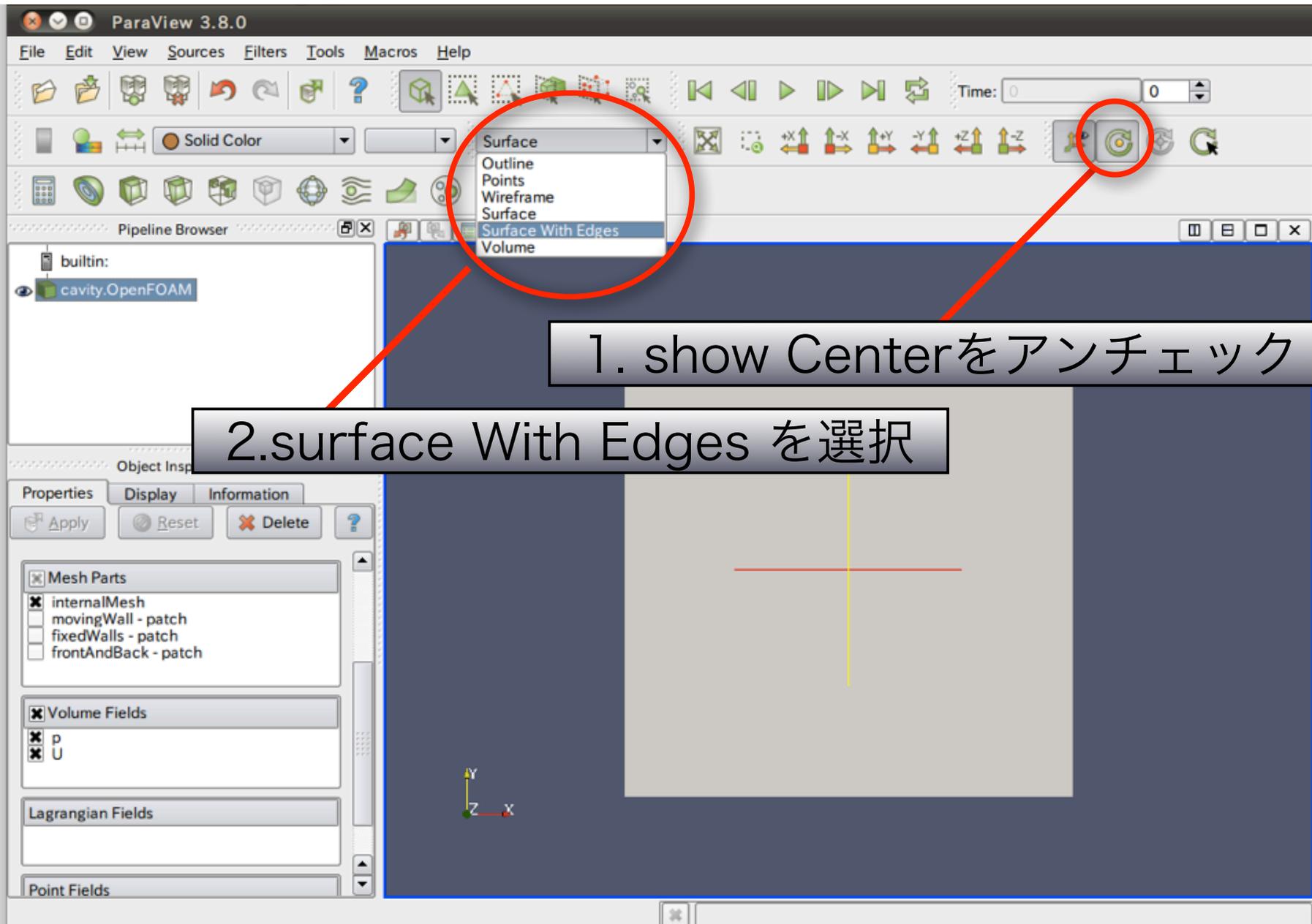
Lagrangian Fields

Point Fields

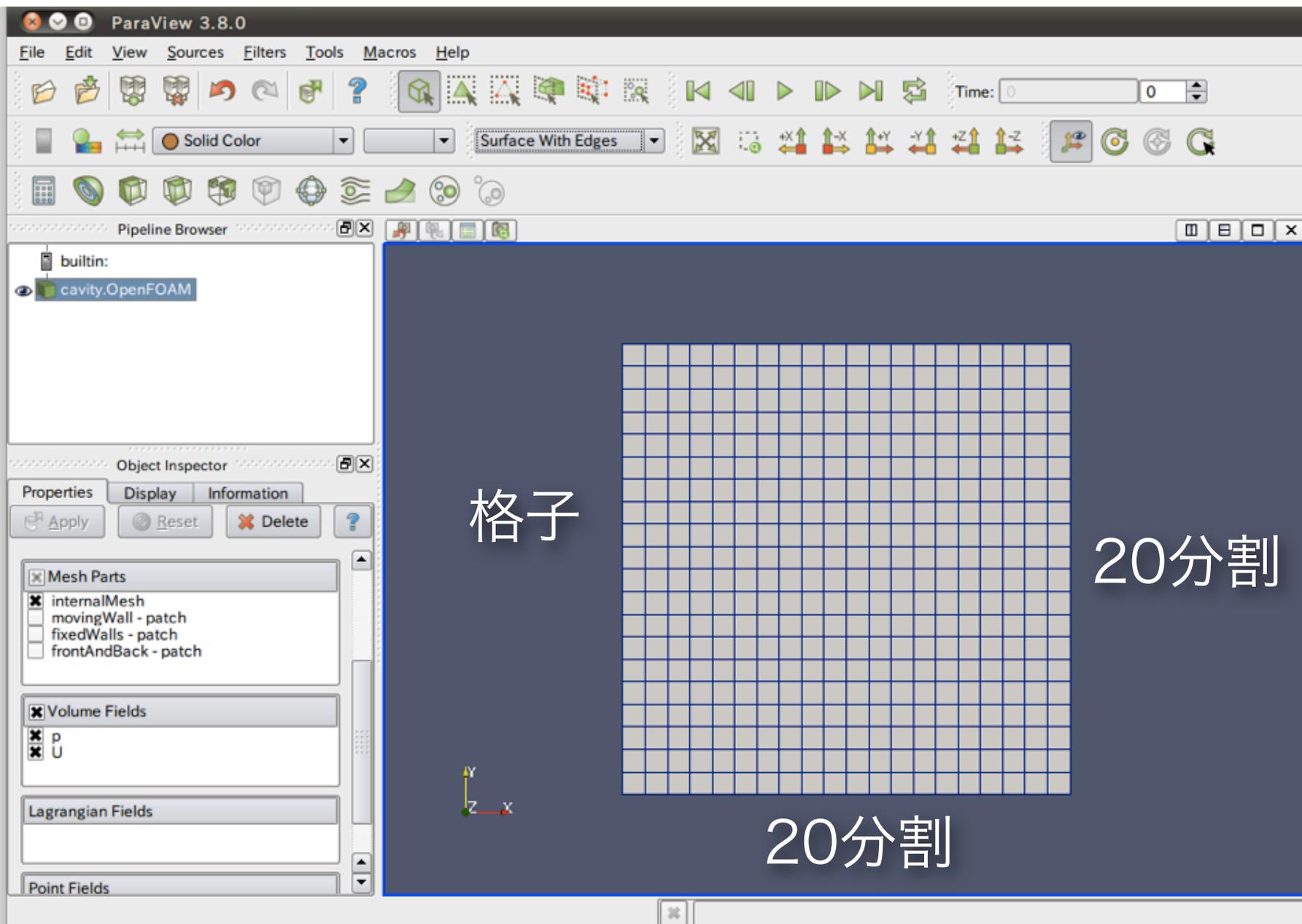
ParaFoamの起動画面

3. Applyを押してデータを読み込む
- 1.internalMeshをチェック
2. pとUをチェック

paraFoamによる可視化(2)：格子の表示



paraFoamによる可視化(3)：格子の表示



paraFoamによる可視化(4)：マウス操作

ドラッグ

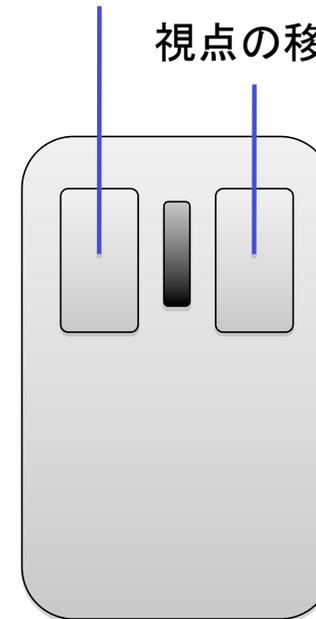
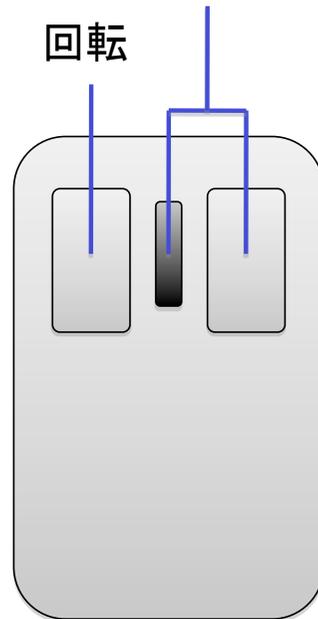
[SHIFT] + ドラッグ

拡大・縮小(右ボタンは縦にドラッグ)

画面垂直軸に対し回転

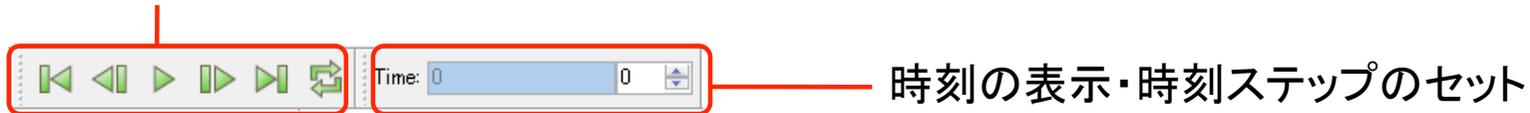
回転

視点の移動



paraFoamによる可視化(5)：ツールバーの操作

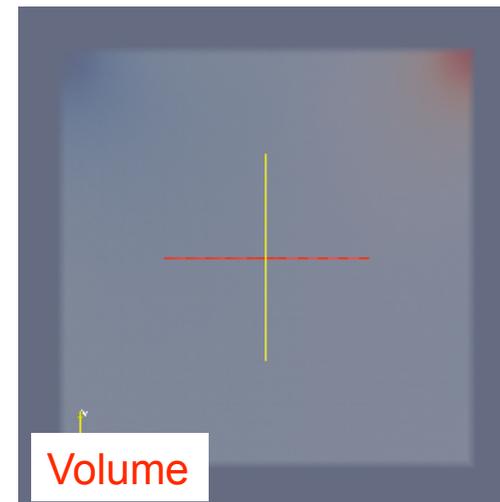
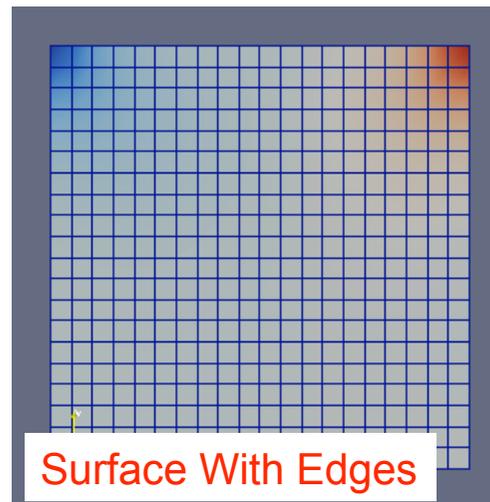
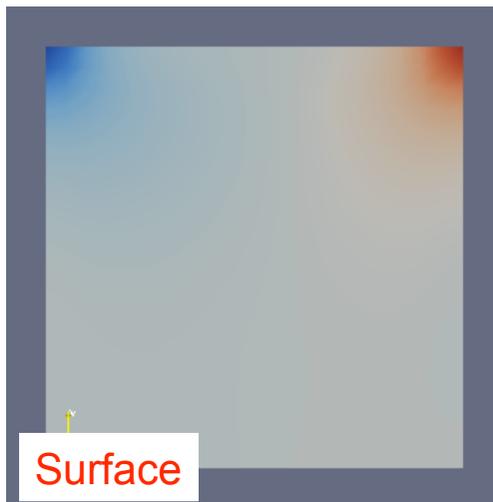
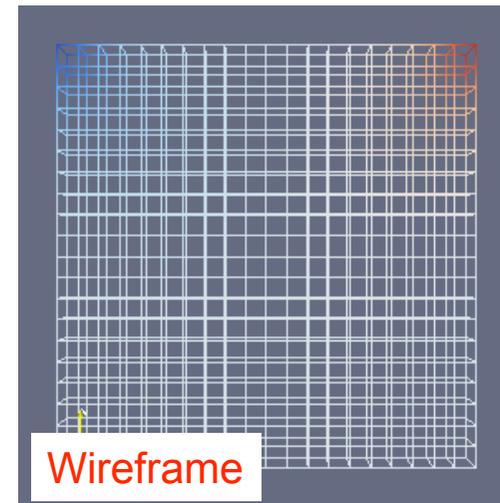
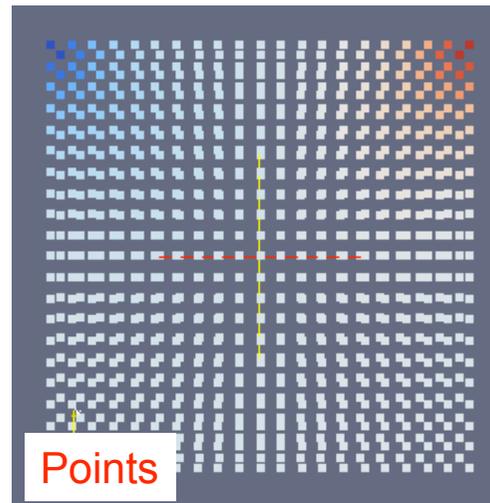
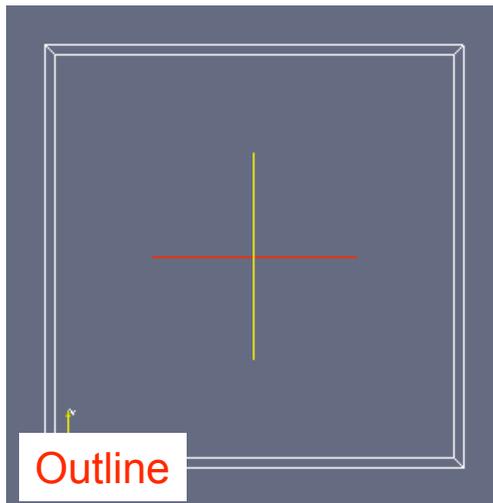
アニメーション(最初の時刻ステップ、一時刻前、再生、次のステップ、最後のステップ)



凡例の表示 表示するフィールドの選択



paraFoamによる可視化(6)：レプレゼンテーション



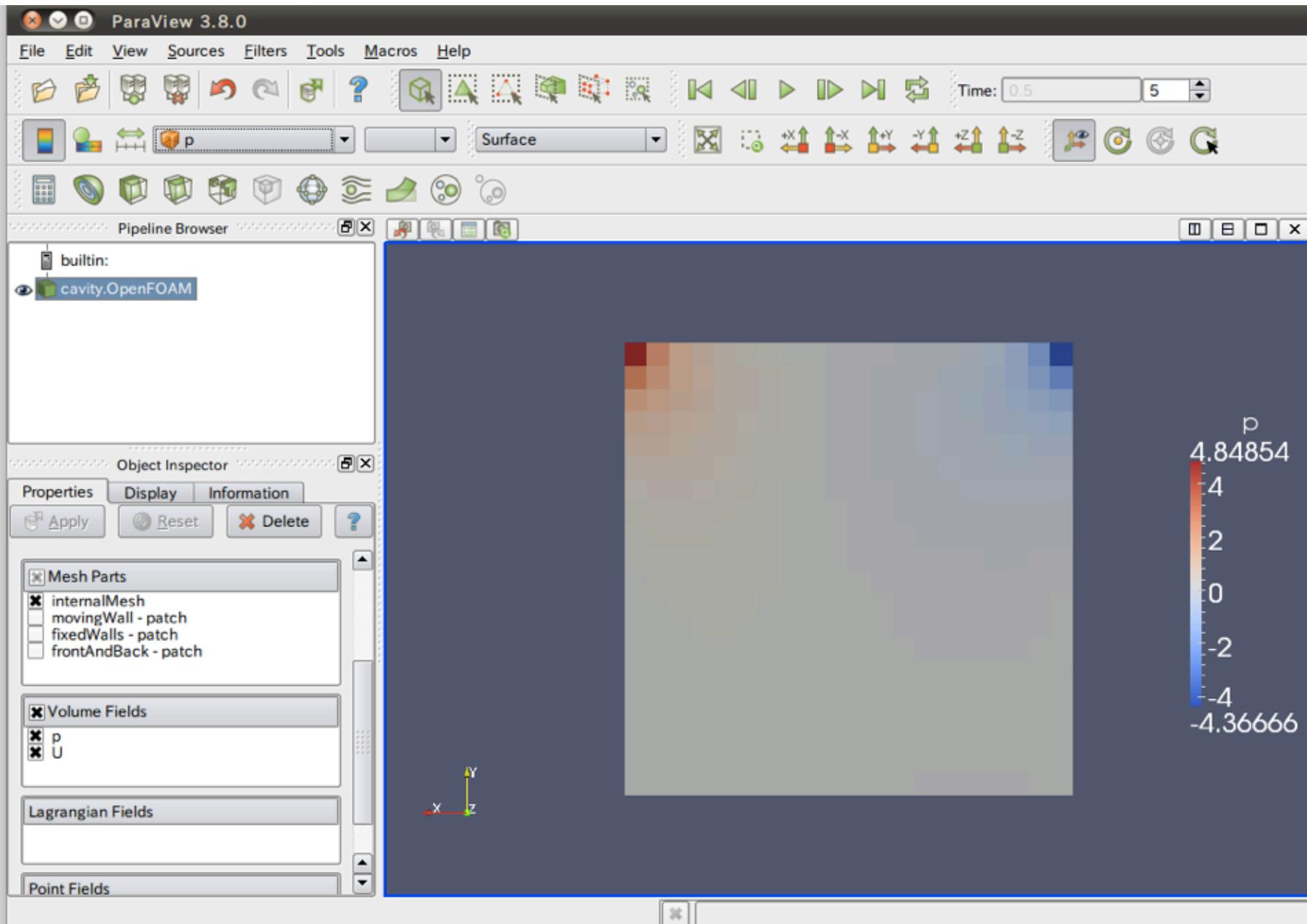
paraFoamによる可視化(7)：圧力場の表示

1. 時刻を最後まで進める

2. p を選択
(は補間無、 は補間有)

3. 凡例(カラーバー)を表示

paraFoamによる可視化(8)：圧力場の表示



paraFoamによる可視化(9)：風速の表示

ParaView 3.8.0

File Edit View Sources Filters Tools Macros Help

Time: 0.5 5

Magnitu
Magnitude
X
Y
Z

Pipeline Browser

builtin:
cavity.OpenFOAM

Object Inspector

Properties Display Information

Apply Reset Delete

Mesh Parts

- internalMesh
- movingWall - patch
- fixedWalls - patch
- frontAndBack - patch

Volume Fields

- p
- U

Lagrangian Fields

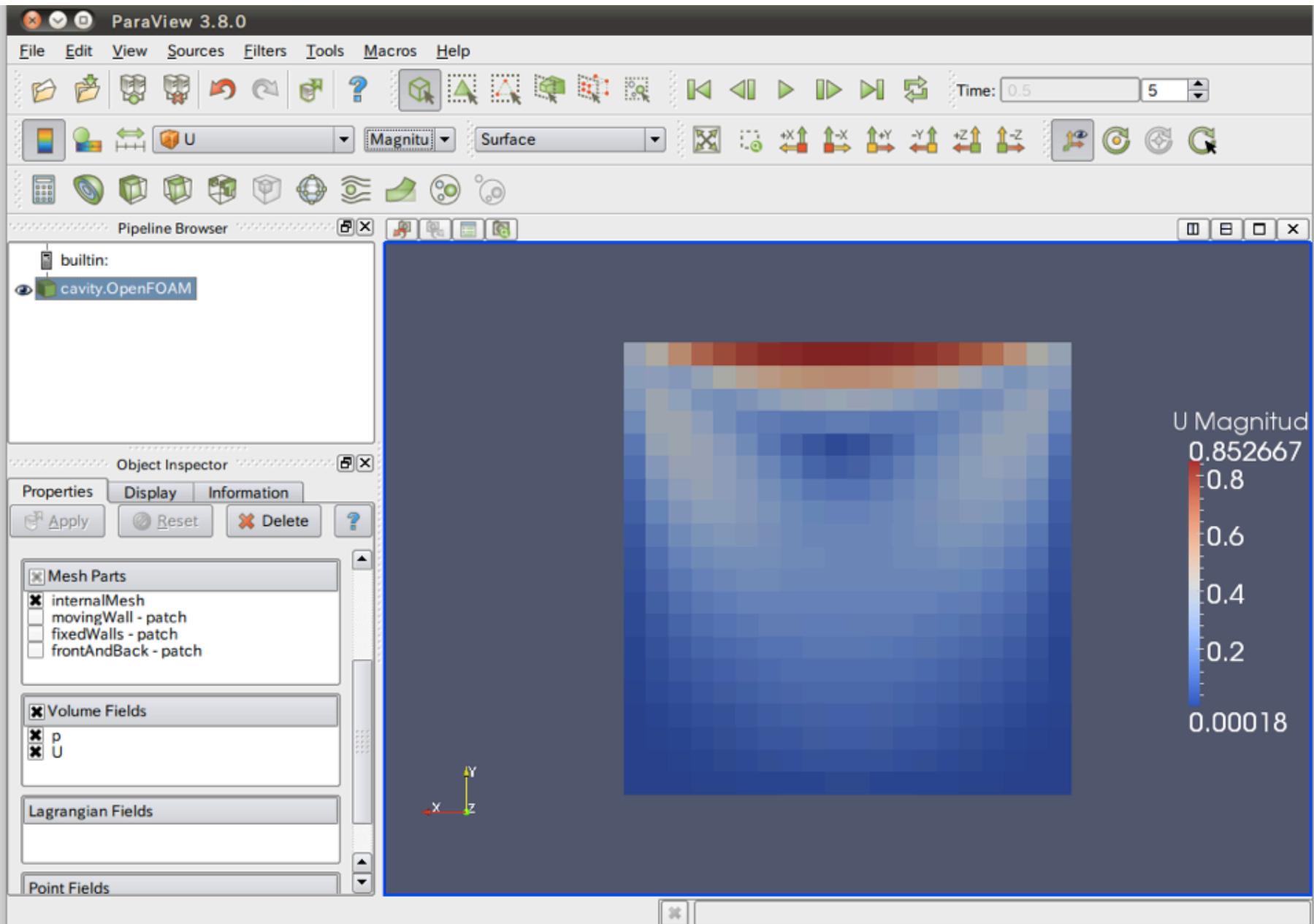
Point Fields

2. Magnitude(大きさ)を選ぶ
X,Y,Zは風速成分

1. □Uを選択

U Magnitud
0.852667
0.8
0.6
0.4
0.2
0.00018

paraFoamによる可視化(10)：風速の表示



paraFoamによる可視化(11)：風速ベクトルの表示

1. Sliceフィルタを選択

3. Applyを押す

2. Z normal(Z断面)を選択

U Magnitud
0.852667
0.8
0.6
0.4
0.2
0.00018

paraFoamによる可視化(12)：風速ベクトルの表示

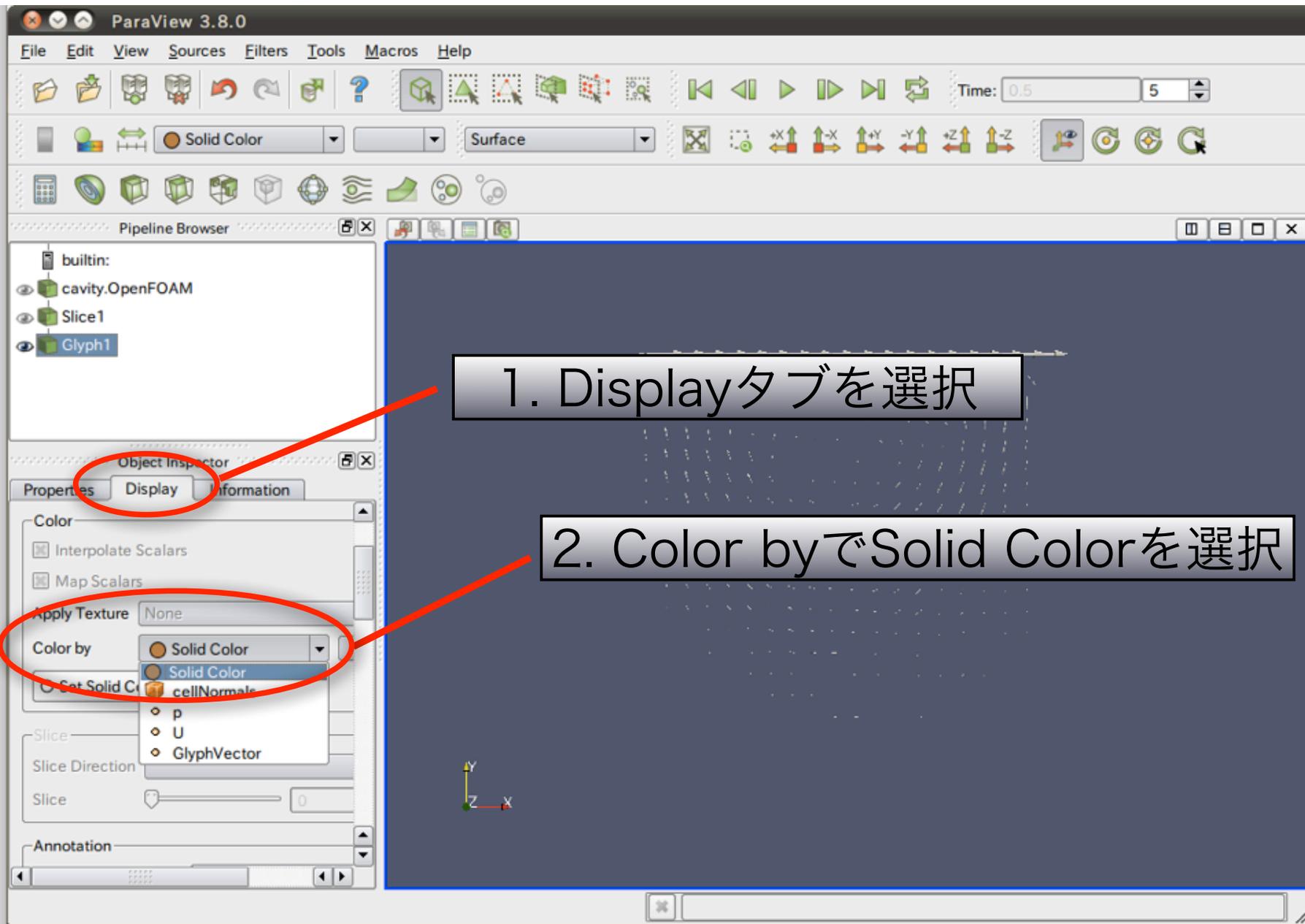
The screenshot shows the ParaView 3.8.0 interface. The Pipeline Browser on the left shows a hierarchy: 'builtin:' -> 'Security OpenFOAM' -> 'Slice1' -> 'Glyph1'. The 'Slice1' filter is currently checked. The Object Inspector on the right shows the 'Glyph1' filter selected, with the 'Apply' button highlighted. The main 3D view shows a coordinate system with x, y, and z axes.

2. Glyphフィルタを選択

1. Sliceフィルタを非表示(目をアンチェック)

3. Applyを押す

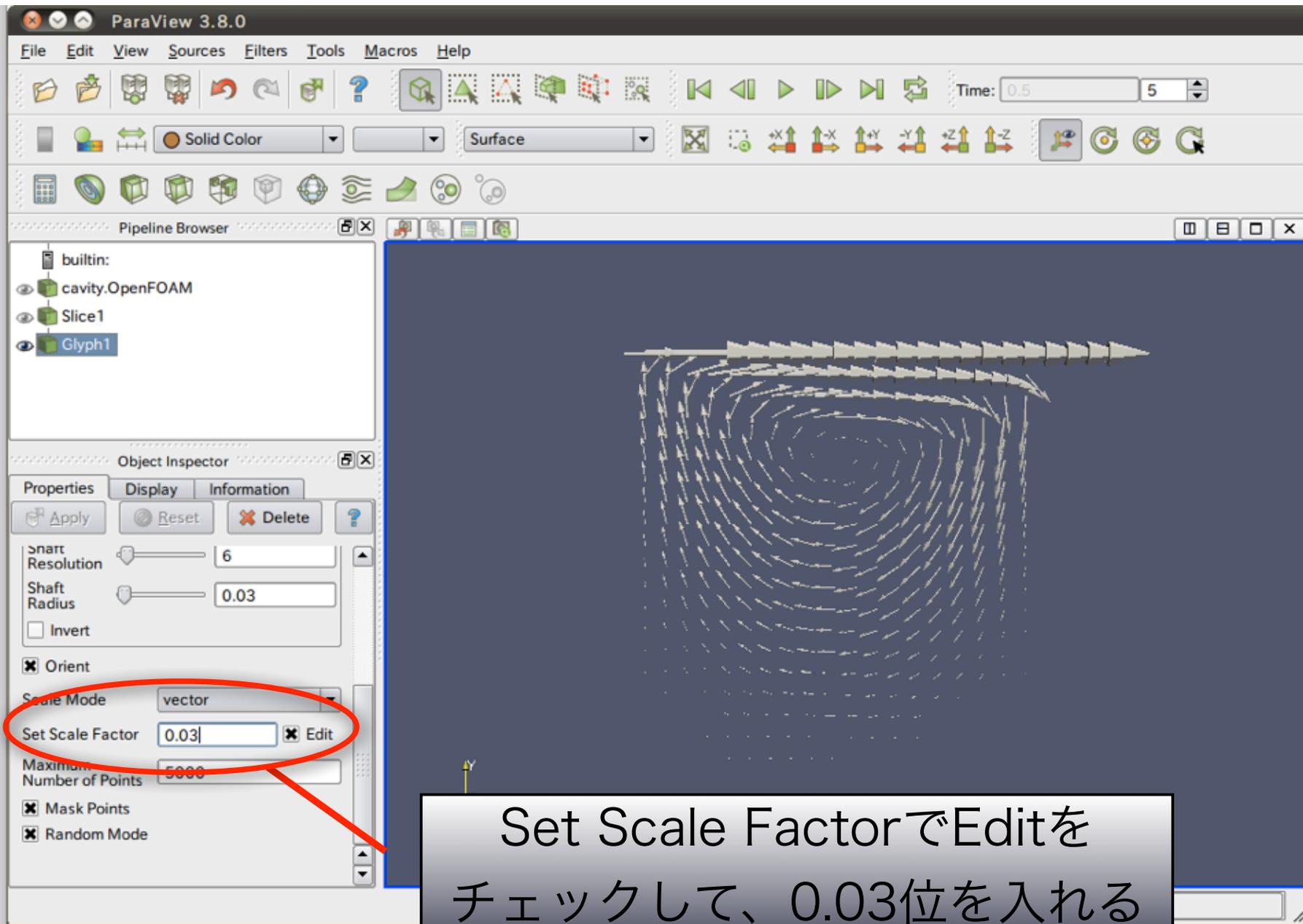
paraFoamによる可視化(13)：風速ベクトルの表示



1. Displayタブを選択

2. Color byでSolid Colorを選択

paraFoamによる可視化(14)：風速ベクトルの表示



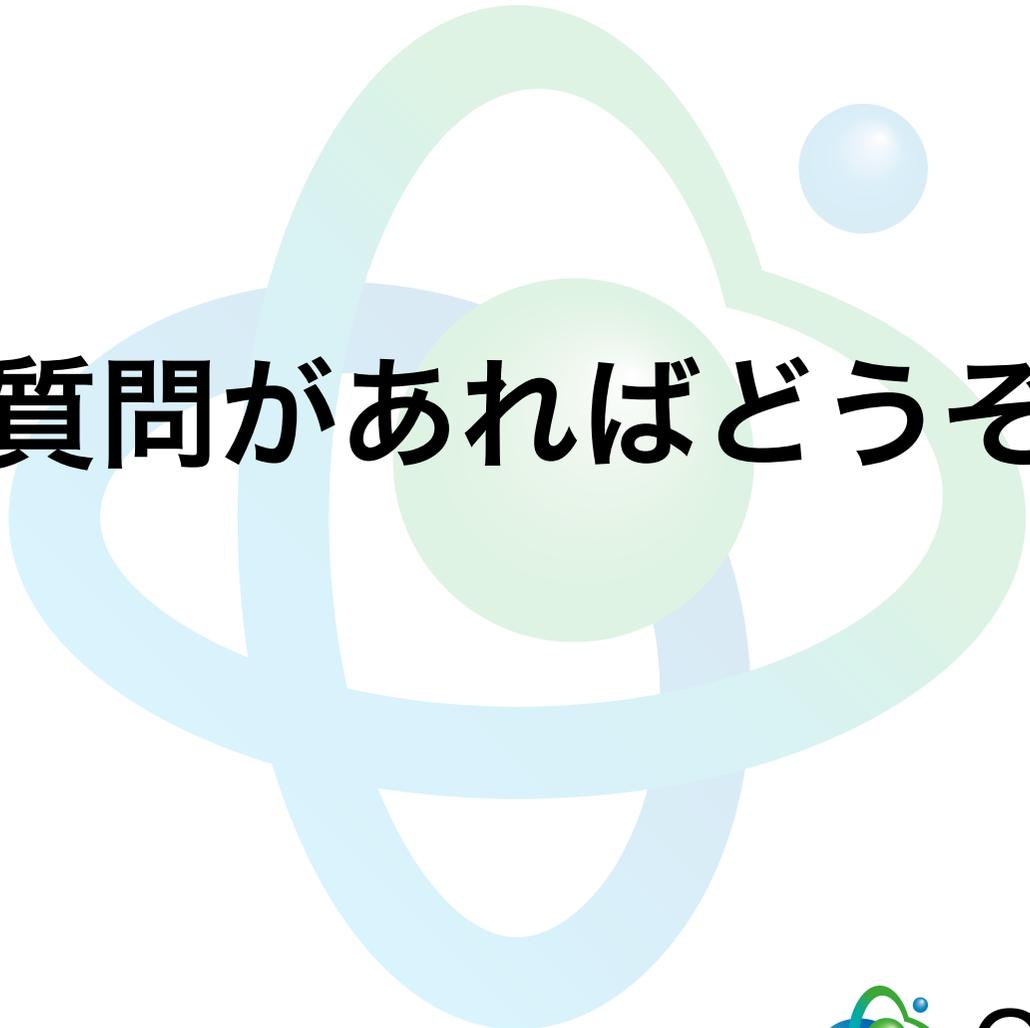
まとめ

1. キャビティ流れのチュートリアル
2. blockMeshによる格子生成
3. icoFoamによる流体解析
4. paraFoamによる可視化

今後の演習予定

- ▶ 第3回 (初級) 離散化スキーム、線型ソルバー、初期値や境界条件の設定
- ▶ 第4回 (中級) 吹出口、吸込口、発熱面等の新たな境界面の作成と設定





質問があればどうぞ