

# ただで始める流体解析

## OpenFOAMによる U字パイプの内部流れ解析

2011.5.14

1/156

### (1) U字パイプの内部流れ解析

1. 解析概要
2. モデル
3. メッシュ作成, メッシュ事例, snapEdgeの利用
4. 計算に利用したRANS系の乱流モデル
5. パッチ, 計算条件の設定
6. 計算設定
7. 計算結果
8. 参照資料

- ①Blenderによるモデルの作成メモ 57~74
- ②メッシュ作成事例 75~84
- ③各計算の収束状況 85~97
- ④各計算結果の詳細 98~150
- ⑤SimpleFoamで計算を行った場合の静圧のparaFoamでの表示方法 151~156

### 9. まとめ

### (2) 質疑・応答

2011.5.14

2/156

## 1. 解析概要

直径が等しいU字パイプの中を空気が流れる簡単な解析を複数のRANS系モデルで解析を行う。

## 2. モデル

inlet

直径10cm

p:勾配0

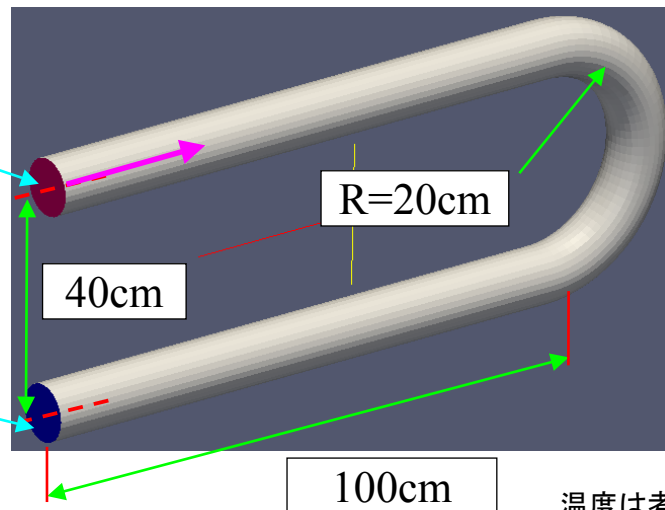
v:流入速度50m/s

outlet

直径10cm

p:大気開放

v:勾配0



温度は考慮しない

2011.5.14

3/156

## 2. モデル:レイノズル数の計算

このモデルの場合はどうやってReを見積もるか？

$$Re = \frac{\text{代表速度} \times \text{代表長さ}}{\text{動粘性係数}} = \frac{50 \times L}{1.54 \times 10^{-5}}$$

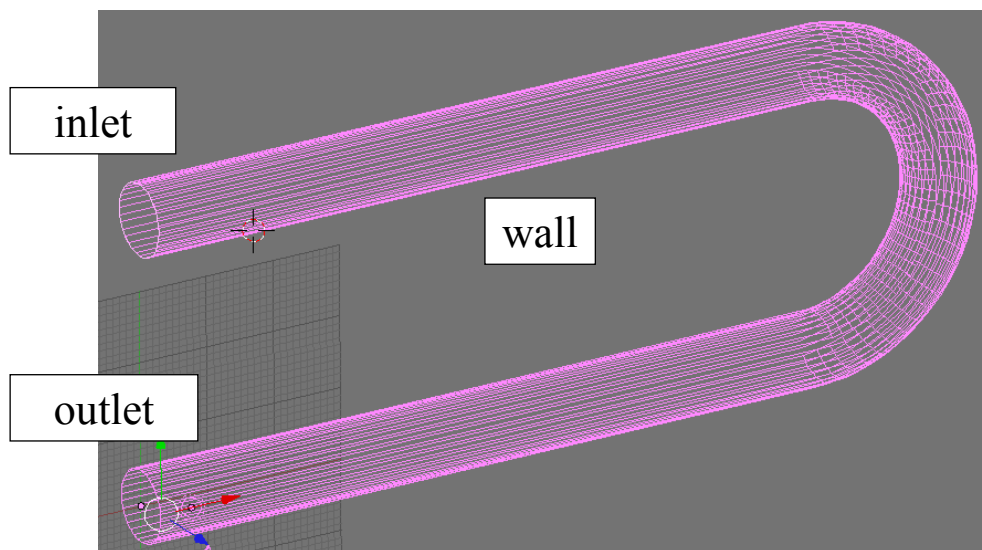
管内流れであれば、代表長さ(L)に管径を取る場合が一般的と言われているため、本計算ではL=0.1として、レイノズル数はRe=約325000になる。

2011.5.14

4/156

## 2. モデル: Blender

モデルを単位cmで作成し, Named STLでinlet, outlet, wallの3つに分けて書き出す (Blenderによるモデルの作成メモ参照)



2011.5. 14

5/156

## 2. モデル: 単位変換

・作成したSTLモデル(単位cm)を計算する単位(m)に変更する。  
scaleの引数で変換の倍率を指定する。青枠が作成したモデルファイル, 赤枠が単位を修正したモデルファイルとなっている。解析には修正したファイルを用いる。

```
surfaceTransformPoints inlet.stl inlet_m.stl -scale "(0.01 0.01 0.01)"
surfaceTransformPoints outlet.stl outlet_m.stl -scale "(0.01 0.01 0.01)"
surfaceTransformPoints wall.stl wall_m.stl -scale "(0.01 0.01 0.01)"
```

### ・変換の確認: インレットの場合例

```
solid inlet
facet normal -1.0 0.0 0.0
outer loop
vertex 0.0 35.0958595276 0.975463747978
vertex 0.0 35.0958595276 -0.975440263748
vertex 0.0 34.9997940063 1.15581224236e-05
endloop
endfacet
```



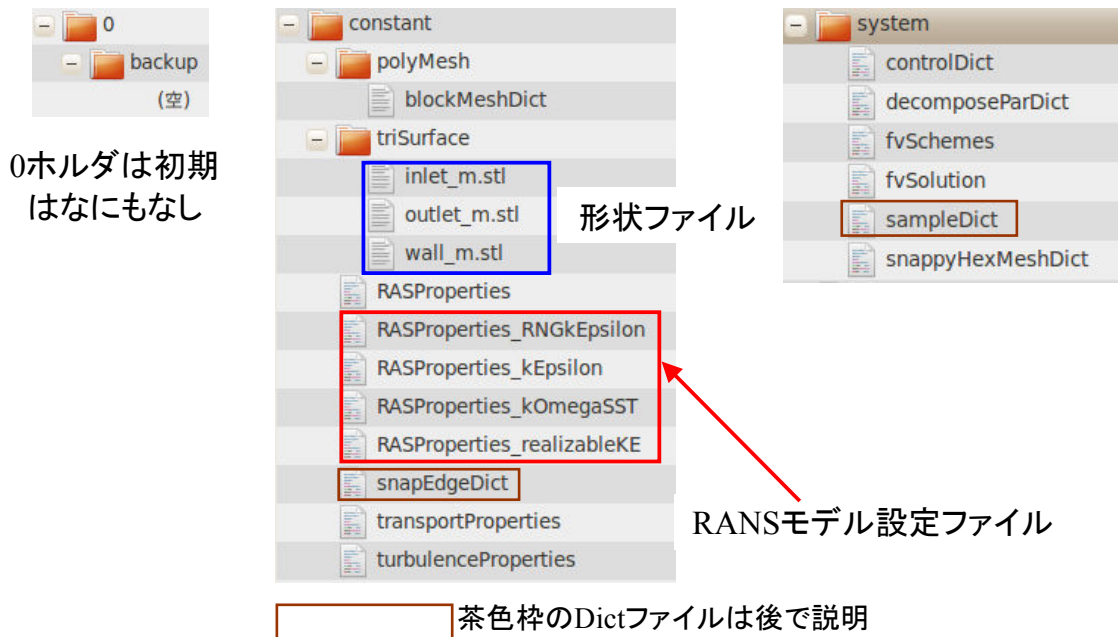
```
solid inlet
facet normal -1 0 -0
outer loop
vertex 0 0.350959 0.00975464
vertex 0 0.350959 -0.0097544
vertex 0 0.349998 1.15581e-07
endloop
endfacet
```

2011.5. 14

6/156

### 3. メッシュ作成

#### ・ファイル構成の例(初期状態)



### 3. メッシュ作成

#### ・OpenFOAMの標準ユーティリティーを利用(標準) blockMesh→snappyHexMesh→boundaryの手修正

```

blockMesh
snappyHexMesh
checkMesh
renumberMesh -latestTime
mv constant/polyMesh constant/polyMesh_blockMesh
mv 4/polyMesh constant
rm -r 1
rm -r 2
rm -r 3
rm -r 4
    
```

constant/polyMesh/boundaryの設定を手修正 wallをpatchに変更する

### 3. メッシュ作成

#### blockMeshDictの事例

```

FoamFile
{
  version 2.0;
  format ascii;
  class dictionary;
  object blockMeshDict;
}

convertToMeters 0.01;

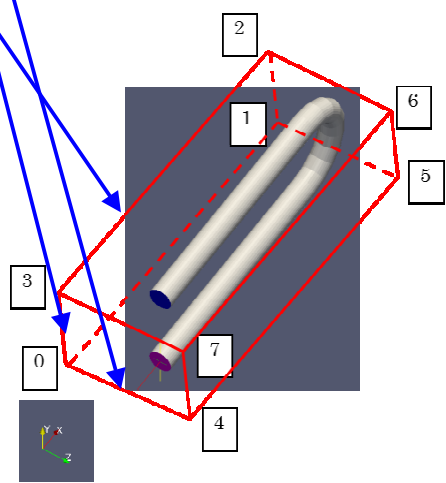
vertices
(
  (-10 -10 -10) // 0
  (130 -10 -10) // 1
  (130 50 -10) // 2
  (-10 50 -10) // 3
  (-10 -10 10) // 4
  (130 -10 10) // 5
  (130 50 10) // 6
  (-10 50 10) // 7
);
    
```

```

blocks
(
  hex (0 1 2 3 4 5 6 7) (28 12 4) simpleGrading (1 1 1)
);

edges ();
patches ();
mergePatchPairs ();
    
```

分割数の設定



参考:ユーザーガイド 2.1.1.1 メッシュ生成

### 3. メッシュ作成

レイヤー層数, 層厚さを振って計算を行う。組み合わせは次のように設定している。

| レイヤー数 | minThickness |
|-------|--------------|
| 1     | 0.05         |
| 2     | 0.05         |
| 3     | 0.05         |
| 1     | 0.1          |
| 2     | 0.1          |
| 3     | 0.1          |
| 1     | 0.2          |
| 2     | 0.2          |
| 3     | 0.2          |
| なし    | なし           |

### 3. メッシュ作成

#### snappyHexMeshDictの事例

```
FoamFile
{
  version 2.0;
  format ascii;
  class dictionary;
  object snappyHexMeshDict;
}

castellatedMesh true;
snap true;
addLayers true;

geometry
{
  wall_m.stl
  {
    type triSurfaceMesh;
    name wall;
  }

  inlet_m.stl
  {
    type triSurfaceMesh;
    name inlet;
  }
}
```

モデルに使うstlの設定

```
outlet_m.stl
{
  type triSurfaceMesh;
  name outlet;
}

};

castellatedMeshControls
{
  maxLocalCells 1000000;
  maxGlobalCells 2000000;
  minRefinementCells 10;
  maxLoadUnbalance 0.10;
  nCellsBetweenLevels 3;
  features
  (
    //{
    // file "someLine.eMesh";
    // level 2;
    //}
  );
```

参考: ユーザーガイド 5.4 snappyHexMeshユーティリティーを使ったメッシュ作成

### 3. メッシュ作成

#### snappyHexMeshDictの事例

```
refinementSurfaces
{
  wall1
  {
    level (2 4);
  }
  inlet
  {
    level (0 2);
  }
  outlet
  {
    level (0 2);
  }
}

resolveFeatureAngle 30;
```

メッシュの密度設定

レイヤー層を入れない場合はコメントアウト

```
refinementRegions
{
  //{
  // refinementBox
  // mode inside;
  // levels ((1E15 4));
  //}
  locationInMesh (0.05 -0.01 -0.01);
}

snapControls
{
  nSmoothPatch 3;
  tolerance 4.0;
  nSolveIter 30;
  nRelaxIter 5;
}

addLayersControls
{
  relativeSizes true;
  layers
  {
    wall1_wall
    {
      nSurfaceLayers 3;
    }
  }
}
```

メッシュの切り始め点

レイヤー層の設定

層数の指定  
今回は1, 2, 3の3パターン

### 3. メッシュ作成

#### snappyHexMeshDictの事例

```

expansionRatio 1.0;
finalLayerThickness 0.3;
minThickness 0.1;
nGrow 1;
featureAngle 30;
nRelaxIter 3;
nSmoothSurfaceNormals 1;
nSmoothNormals 3;
nSmoothThickness 10;
maxFaceThicknessRatio 0.5;
maxThicknessToMedialRatio 0.3;
minMedianAxisAngle 130;
nBufferCellsNoExtrude 0;
nLayerIter 50;
}

meshQualityControls
{
    maxNonOrtho 65;
    maxBoundarySkewness 20;
    maxInternalSkewness 4;
    maxConcave 80;
    minFlatness 0.5;
    minVol 1e-13;
    minArea -1;
    minTwist 0.02;
    minDeterminant 0.001;
    minFaceWeight 0.02;
    minVolRatio 0.01;
    minTriangleTwist -1;
    nSmoothScale 4;
    errorReduction 0.75;
}
debug 0;
mergeTolerance 1E-6;

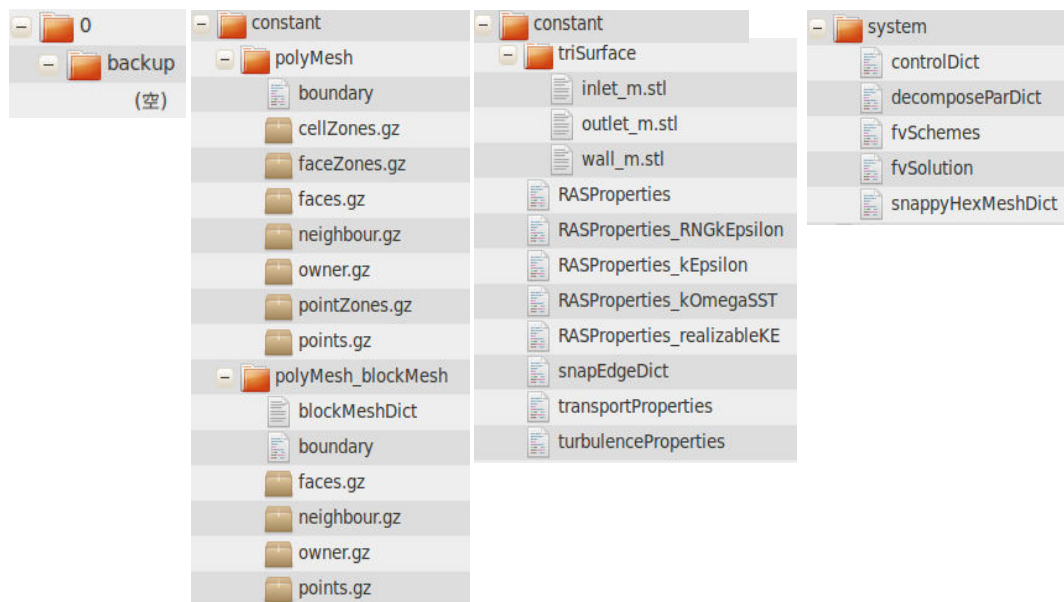
//
*****
//

```

パラメータはほぼデフォルトを使用

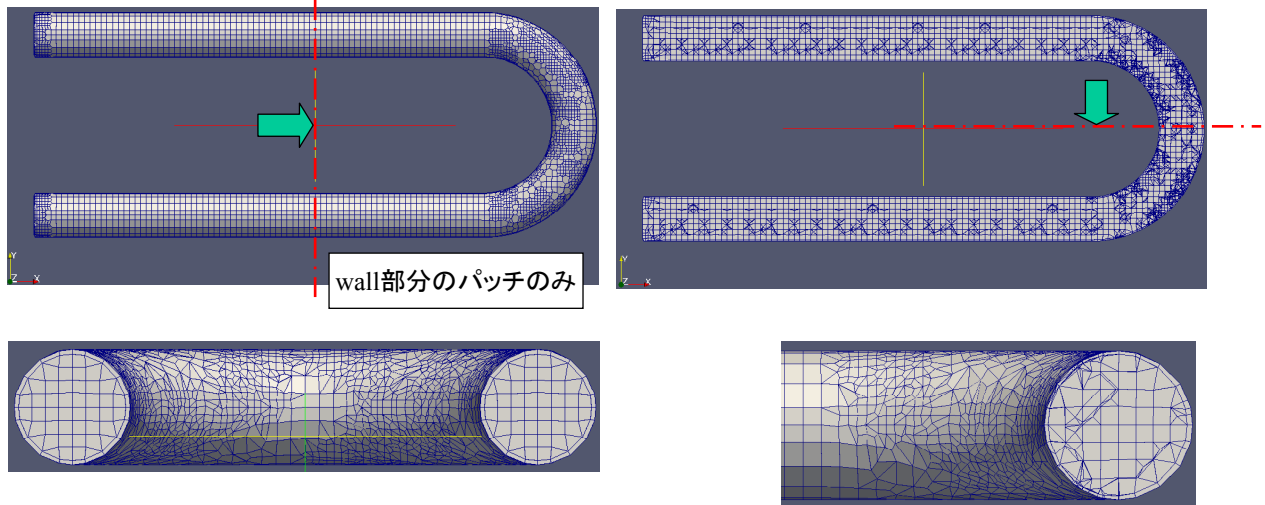
### 3. メッシュ作成

#### ・ファイル構成の例 (snappyHexMesh実施後)



### 3. メッシュ作成事例

レイヤー層=1, minThickness=0.05の場合



wall部分のパッチのみ

その他のメッシュは参照資料のメッシュ作成事例

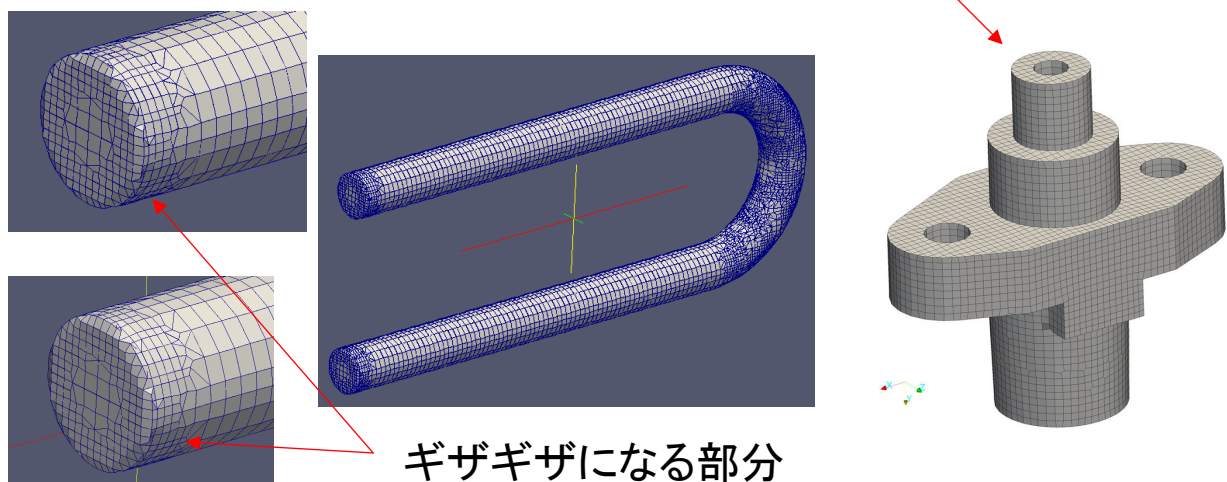


2011.5.14

15/156

### 3. メッシュ作成の問題

1.7.xのsnappyHexMeshでは、インレット側とアウトレット側の特徴線がギザギザになる。次期バージョンでは、snappyHexMesh gets Feature Edge Handlingがサポートされるとアナウンスがされている(<http://www.openfoam.com/news/snappyHexMesh-feature-edge.php>)。どの程度使えるか期待したい。



ギザギザになる部分

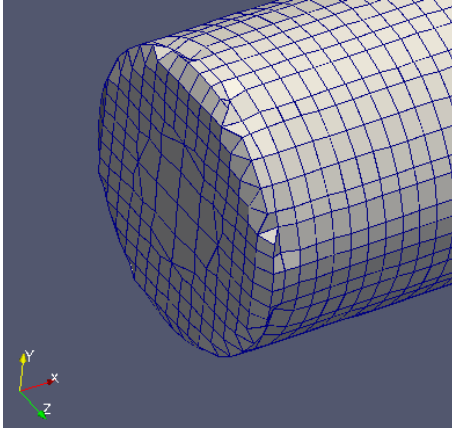
2011.5.14

16/156

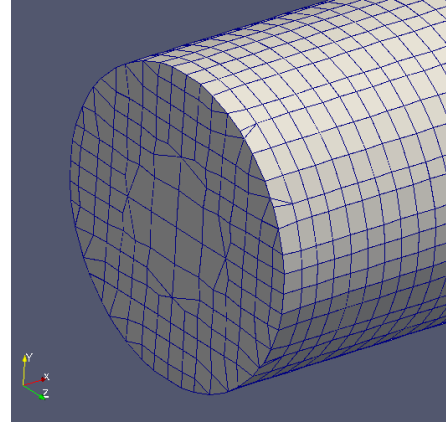


### 3. メッシュ作成: snapEdgeの紹介

現状では, snapEdgeを利用する事でこのギザギザをある程度解消できる。メッシュ作成後のcheckMeshで要素状態をチェックする事が推奨されている。(http://openfoamwiki.net/index.php/Contrib\_snapEdge)



通常のメッシュ



snapEdgeありのメッシュ(方法2)

### 3. メッシュ作成: snapEdgeの導入

http://openfoamwiki.net/index.php/Contrib\_snapEdgeから  
Contrib snapEdge

#### snapEdge

snapEdge does not work wonders, it sometimes works and sometimes not.

What it does is that it finds the features on STL surfaces and maps the selected patches to those lines/edges.

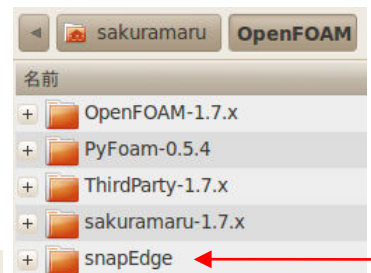
Download from here [http://openfoam.nequam.se/cases/snapEdge\\_110225.tgz](http://openfoam.nequam.se/cases/snapEdge_110225.tgz) (25 Feb 2011) **ダウンロードして解凍する**

(Old algorithm <http://openfoam.nequam.se/cases/snapEdge.tgz> (update: 21 sept 2010).)

21 Sept 2010: Added the overwrite option and snapZones entry from Bernhard Gschaider

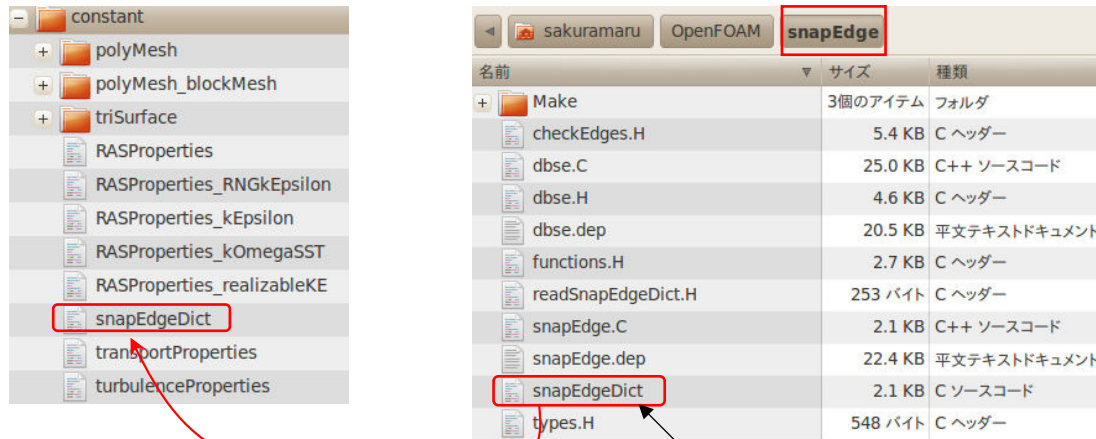
snapEdgeのホルダに入ってwmakeを行う。  
ユーザーホルダの下にsnapEdgeが出来て  
いればコンパイル成功

| 名前                | サイズ      | 種類     | 更新日時                |
|-------------------|----------|--------|---------------------|
| MRFSimpleFoam     | 451.7 KB | 実行ファイル | 2010年10月24日 18時19分0 |
| laplacianFoamDepT | 261.7 KB | 実行ファイル | 2011年04月24日 15時48分5 |
| <b>snapEdge</b>   | 126.8 KB | 実行ファイル | 2011年05月01日 14時03分0 |



### 3. メッシュ作成: snapEgdeDictの設定

constantホルダのsnapEgdeDictで設定を行う。snapEdgeDictのひな形は、snapEdgeを解凍したホルダにあるsnapEdgeDictを参照する。



コピーして修正して使う

ひな形のファイル

### 3. メッシュ作成: snapEgdeDictの事例

```

snapEdgeDict
{
    snapPatches
    (
        inlet_inlet
        outlet_outlet
        //wall_wall
    );
    snapZones
    (
    );
    stlFileNames
    (
        inlet_m.stl
        outlet_m.stl
        //wall_m.stl
    );
    tolerance 1.9;
    relaxation 0.1;
    nIterations 15;
    includeInterior yes;
    excludeEdgeAngle 60;
    parallelAngle 50.0;
    fitFactor 1.0e-2;
}
    
```

snapPatchesとstlFileNamesを設定する。後はデフォルトのまま。

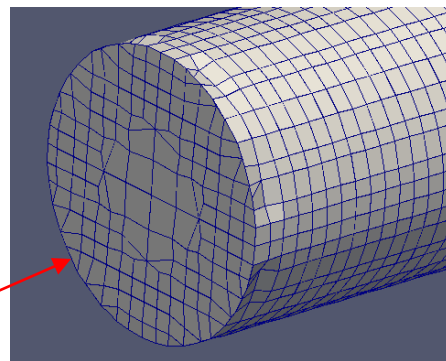
### 3. メッシュ作成: snapEdgeを利用した場合

#### snapEdgeを入れメッシュ作成をする場合 方法1

```
ln -s constant/triSurface/wall_m.stl
ln -s constant/triSurface/inlet_m.stl
ln -s constant/triSurface/outlet_m.stl
blockMesh
snappyHexMesh
snapEdge
checkMesh
renumberMesh -time 4
mv constant/polyMesh constant/polyMesh_blockMesh
mv 5/polyMesh constant
rm -r 1
rm -r 2
rm -r 3
rm -r 4
rm -r 5
```

メッシュ作成の順番

- ①castellatedMesh
- ②snap
- ③doLayers
- ④snapEdge



ギザギザが修正される

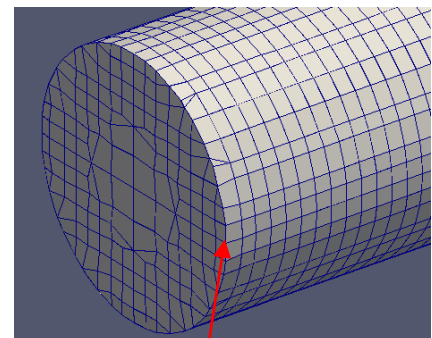
### 3. メッシュ作成: snapEdge

#### snapEdgeを入れメッシュ作成をする場合 方法2

```
ln -s constant/triSurface/wall_m.stl
ln -s constant/triSurface/inlet_m.stl
ln -s constant/triSurface/outlet_m.stl
blockMesh
cp -r system/snappyHexMeshDict_1 system/snappyHexMeshDict
snappyHexMesh
snapEdge
cp -r system/snappyHexMeshDict_2 system/snappyHexMeshDict
snappyHexMesh
renumberMesh -latestTime
mv constant/polyMesh constant/polyMesh_blockMesh
mv 5/polyMesh constant
rm -r 1
rm -r 2
rm -r 3
rm -r 4
rm -r 5
```

メッシュ作成の順番

- ①castellatedMesh
- ②snap
- ③snapEdge
- ④doLayers



castellatedMesh true;  
snap true;  
addLayers false;

castellatedMesh false;  
snap false;  
addLayers true;

ギザギザが修正される

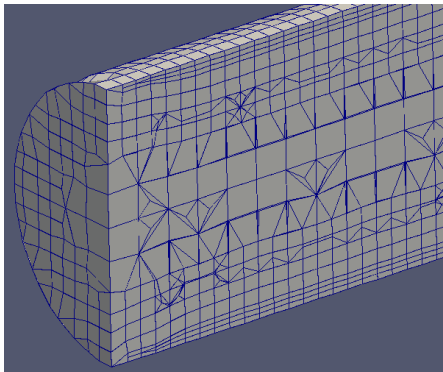
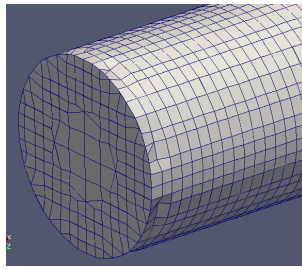
snappyHexMeshDictの最初の部分のみ変更

### 3. メッシュ作成: snapEdge

#### メッシュ作成における方法1と方法2の差

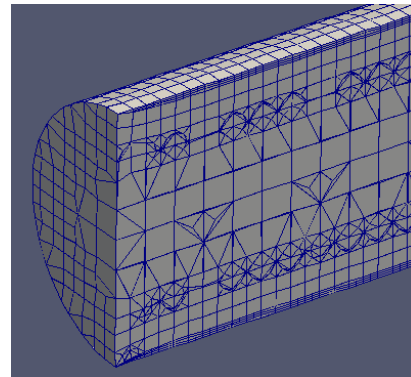
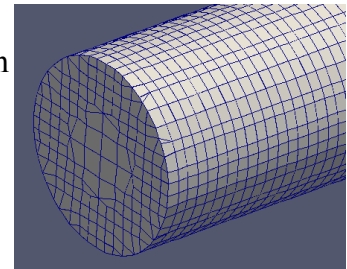
方法1

- ①castellatedMesh
- ②snap
- ③doLayers
- ④snapEdge



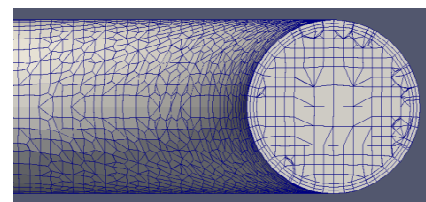
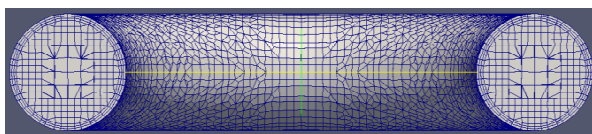
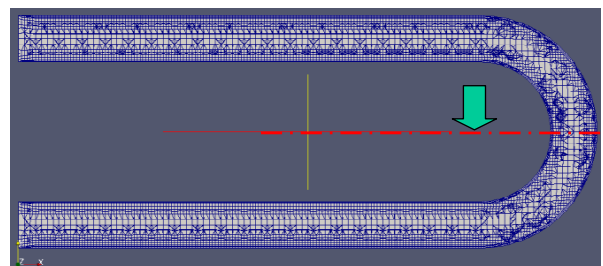
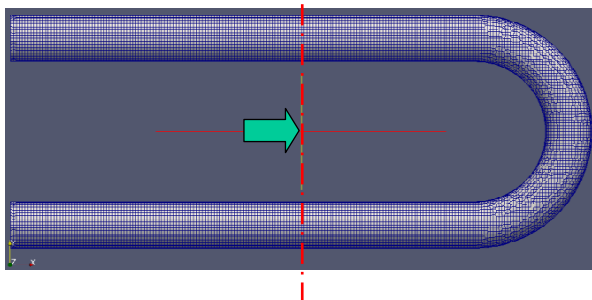
方法2

- ①castellatedMesh
- ②snap
- ③snapEdge
- ④doLayers



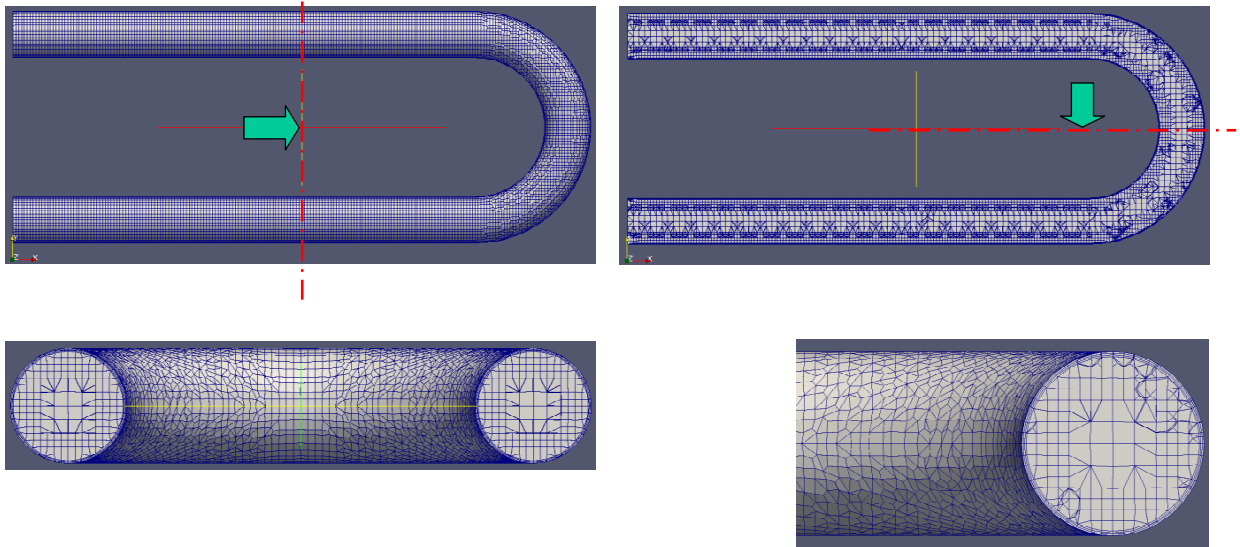
### 3. メッシュ作成事例: snapEdge(方法1)

レイヤー層=3, minThickness=0.1の場合



### 3. メッシュ作成事例: snapEdge(方法2)

レイヤー層=3, minThickness=0.1の場合



2011.5.14

25/156

### 4. 計算に利用したRANS系の乱流モデル

kEpsilon, kOmegaSST, RNGkEpsilon, realizableKEの4モデル

乱流値の初期設定 (RANS)

| 項目            | 値        |
|---------------|----------|
| I(みだれ強さ)      | 0.05     |
| U(流入速度 m/s)   | 50       |
| k             | 9.375    |
| d(直径mm)       | 100      |
| l(みだれの長さスケール) | 0.007    |
| $C_\mu$       | 0.09     |
| $\omega$      | 798.5957 |
| $\epsilon$    | 673.8151 |

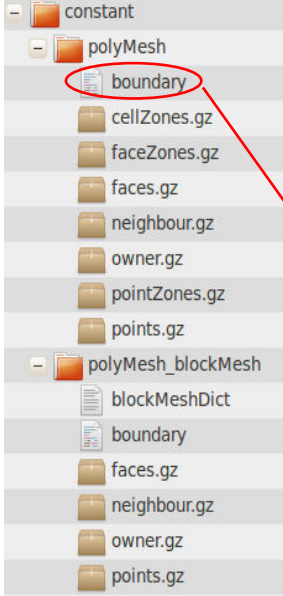
(オープンCAE第3回勉強会 SM資料 11/122ページ参照)

2011.5.14

26/156

## 5. パッチ, 計算条件の設定

### constant/polyMesh/boundaryの設定を手修正



```

4
(
  defaultFaces
  {
    type      empty;
    nFaces    0;
    startFace 62699;
  }
  wall_wall
  {
    type      wall;
    nFaces    5802;
    startFace 62699;
  }
  inlet_inlet
  {
    type      wall;
    nFaces    164;
    startFace 68501;
  }
  outlet_outlet
  {
    type      wall;
    nFaces    164;
    startFace 68665;
  }
}
)
            
```

➡

```

4
(
  defaultFaces
  {
    type      empty;
    nFaces    0;
    startFace 62699;
  }
  wall_wall
  {
    type      wall;
    nFaces    5802;
    startFace 62699;
  }
  inlet_inlet
  {
    type      patch;
    nFaces    164;
    startFace 68501;
  }
  outlet_outlet
  {
    type      patch;
    nFaces    164;
    startFace 68665;
  }
}
)
            
```

2011.5.14

27/156

## 5. パッチ, 計算条件の設定

・適当なチュートリアルからU,p,kなどを0のディレクトリ下にコピーする。今回は, tutorials/incompressible/simpleFoam/pitzDaily/0から U, p, epsilon, k, nutをtutorials/heatTransfer/bouyantSimpleFoam/bouyantCavity/0からomegaを持ってきている。ただ, そのままでは解析に利用できない。

・pyFoamCreateBoundaryPatches.pyでpatchを設定する。

```

pyFoamCreateBoundaryPatches.py --clear-unused 0/U
pyFoamCreateBoundaryPatches.py --clear-unused 0/p
pyFoamCreateBoundaryPatches.py --clear-unused 0/k
pyFoamCreateBoundaryPatches.py --clear-unused 0/epsilon
pyFoamCreateBoundaryPatches.py --clear-unused 0/omega
pyFoamCreateBoundaryPatches.py --clear-unused 0/nut
            
```

DEXCS2010にはpyFoamは導入済, その他では事前にpyFoamの組み込みが必要

2011.5.14

28/156

### 5. パッチ, 計算条件の設定 Uの場合

```

dimensions [0 1 -1 0 0 0];
internalField uniform (0 0 0);
boundaryField
{
  inlet
  {
    type    fixedValue;
    value   uniform (10 0 0);
  }
  outlet
  {
    type    zeroGradient;
  }
  upperWall
  {
    type    fixedValue;
    value   uniform (0 0 0);
  }
  lowerWall
  {
    type    fixedValue;
    value   uniform (0 0 0);
  }
  frontAndBack
  {
    type    empty;
  }
}
    
```



```

dimensions [0 1 -1 0 0 0];
internalField uniform (0 0 0);
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type    zeroGradient;
  }
  wall_wall
  {
    type    zeroGradient;
  }
  defaultFaces
  {
    type    empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type    zeroGradient;
  }
}
    
```



```

dimensions [0 1 -1 0 0 0];
internalField uniform (0 0 0);
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type    zeroGradient;
  }
  wall_wall
  {
    type    fixedValue;
    value   uniform (0 0 0);
  }
  defaultFaces
  {
    type    empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type    fixedValue;
    value   uniform (50 0 0);
  }
}
    
```

手動で設定する

### 5. パッチ, 計算条件の設定 pの場合

```

dimensions [0 2 -2 0 0 0];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type    zeroGradient;
  }
  outlet
  {
    type    fixedValue;
    value   uniform 0;
  }
  upperWall
  {
    type    zeroGradient;
  }
  lowerWall
  {
    type    zeroGradient;
  }
  frontAndBack
  {
    type    empty;
  }
}
    
```



```

dimensions [0 2 -2 0 0 0];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type    zeroGradient;
  }
  wall_wall
  {
    type    zeroGradient;
  }
  defaultFaces
  {
    type    empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type    zeroGradient;
  }
}
    
```



```

dimensions [0 2 -2 0 0 0];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type    fixedValue;
    value   uniform 0;
  }
  wall_wall
  {
    type    zeroGradient;
  }
  defaultFaces
  {
    type    empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type    zeroGradient;
  }
}
    
```

手動で設定する

### 5. パッチ, 計算条件の設定 kの場合

```
dimensions [0 2 -2 0 0 0 0];
internalField uniform 0.375;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type fixedValue;
    value uniform 0.375;
  }
  outlet
  {
    type zeroGradient;
  }
  upperWall
  {
    type kqRWallFunction;
    value uniform 0.375;
  }
  lowerWall
  {
    type kqRWallFunction;
    value uniform 0.375;
  }
  frontAndBack
  {
    type empty;
  }
}
```



```
dimensions [0 2 -2 0 0 0 0];
internalField uniform 0.375;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type zeroGradient;
  }
  wall_wall
  {
    type zeroGradient;
  }
  defaultFaces
  {
    type empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type zeroGradient;
  }
}
```



```
dimensions [0 2 -2 0 0 0 0];
internalField uniform 9.375;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type inletOutlet;
    inletValue uniform 9.375;
    value uniform 9.375;
  }
  wall_wall
  {
    type kqRWallFunction;
    value uniform 9.375;
  }
  defaultFaces
  {
    type empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type turbulentIntensityKineticEnergyInlet;
    intensity 0.05;
    value uniform 1;
  }
}
```

2011.5.14

手動で設定する

31/156

### 5. パッチ, 計算条件の設定 epsilonの場合

```
dimensions [0 2 -3 0 0 0 0];
internalField uniform 14.855;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type fixedValue;
    value uniform 14.855;
  }
  outlet
  {
    type zeroGradient;
  }
  upperWall
  {
    type epsilonWallFunction;
    value uniform 14.855;
  }
  lowerWall
  {
    type epsilonWallFunction;
    value uniform 14.855;
  }
  frontAndBack
  {
    type empty;
  }
}
```



```
dimensions [0 2 -3 0 0 0 0];
internalField uniform 14.855;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type zeroGradient;
  }
  wall_wall
  {
    type zeroGradient;
  }
  defaultFaces
  {
    type empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type zeroGradient;
  }
}
```



```
dimensions [0 2 -3 0 0 0 0];
internalField uniform 674;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type inletOutlet;
    inletValue uniform 674;
    value uniform 674;
  }
  wall_wall
  {
    type epsilonWallFunction;
    value uniform 674;
  }
  defaultFaces
  {
    type empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type turbulentMixingLengthDissipationRateInlet;
    mixingLength 0.007;
    value uniform 1;
  }
}
```

2011.5.14

手動で設定する

52/150



### 5. パッチ, 計算条件の設定 omegaの場合

```
dimensions [0 0 -1 0 0 0];
internalField uniform 0.12;
boundaryField
{
  frontAndBack
  {
    type compressible::omegaWallFunction;
    value uniform 0.12;
  }
  topAndBottom
  {
    type compressible::omegaWallFunction;
    value uniform 0.12;
  }
  hot
  {
    type compressible::omegaWallFunction;
    value uniform 0.12;
  }
  cold
  {
    type compressible::omegaWallFunction;
    value uniform 0.12;
  }
}
```

```
dimensions [0 0 -1 0 0 0];
internalField uniform 0.12;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type zeroGradient;
  }
  wall_wall
  {
    type zeroGradient;
  }
  defaultFaces
  {
    type empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type zeroGradient;
  }
}
```

```
dimensions [0 0 -1 0 0 0];
internalField uniform 799;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type inletOutlet;
    inletValue uniform 799;
    value uniform 799;
  }
  wall_wall
  {
    type omegaWallFunction;
    value uniform 799;
  }
  defaultFaces
  {
    type empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type turbulentMixingLengthFrequencyInlet;
    mixingLength 0.007;
    k k; // turbulent k field
    value uniform 799;
  }
}
```

手動で設定する

### 5. パッチ, 計算条件の設定 nutの場合

```
dimensions [0 2 -1 0 0 0];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
  inlet
  {
    type calculated;
    value uniform 0;
  }
  outlet
  {
    type calculated;
    value uniform 0;
  }
  upperWall
  {
    type nutWallFunction;
    value uniform 0;
  }
  lowerWall
  {
    type nutWallFunction;
    value uniform 0;
  }
  frontAndBack
  {
    type empty;
  }
}
```

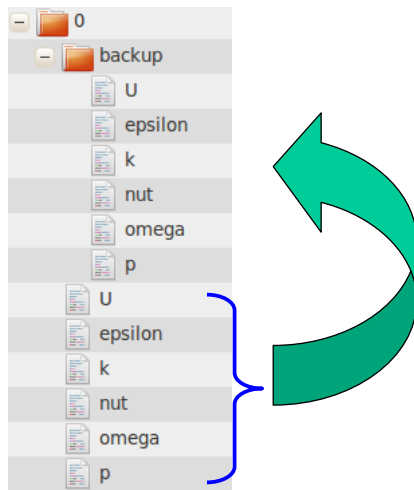
```
dimensions [0 2 -1 0 0 0];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type zeroGradient;
  }
  wall_wall
  {
    type zeroGradient;
  }
  defaultFaces
  {
    type empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type zeroGradient;
  }
}
```

```
dimensions [0 2 -1 0 0 0];
internalField uniform 0;
boundaryField
{
  outlet_outlet
  {
    type calculated;
    value uniform 0;
  }
  wall_wall
  {
    type nutWallFunction;
    value uniform 0;
  }
  defaultFaces
  {
    type empty;
  }
  inlet_inlet
  {
    type calculated;
    value uniform 0;
  }
}
```

手動で設定する

## 5. パッチ, 計算条件の設定

条件を設定したファイルを0/backupのホルダに入れる。解析時にpotentialFoamを行うとファイルが上書きされるため、バックアップとして保存している。



2011.5.14

35/156

## 5. パッチ, 計算条件の設定 fvSolution

```

solvers
{
  p
  {
    solver      GAMG;
    tolerance   1e-7;
    relTol      0.1;
    smoother    GaussSeidel;
    nPreSweeps  0;
    nPostSweeps 2;
    cacheAgglomeration on;
    agglomerator faceAreaPair;
    nCellsInCoarsestLevel 10;
    mergeLevels 1;
  };

  "(U|k|epsilon|omega|R|nuTilda)"
  {
    solver      smoothSolver;
    smoother    GaussSeidel;
    tolerance   1e-6;
    relTol      0.1;
    nSweeps     1;
  };
}

SIMPLE
{
  nNonOrthogonalCorrectors 0;
  // convergence           1e-3;
}

relaxationFactors
{
  p      0.3;
  U      0.7;
  k      0.7;
  epsilon 0.7;
  omega  0.7;
}
    
```

2011.5.14

36/156

## 5. パッチ, 計算条件の設定 fvSchemes

```

ddtSchemes
{
  default steadyState;
}

gradSchemes
{
  default Gauss linear;
  grad(p) Gauss linear;
  grad(U) Gauss linear;
}

divSchemes
{
  default none;
  Gauss linear;
  div(phi,U) Gauss limitedLinearV 1;
  div(phi,k) Gauss limitedLinear 1;
  div(phi,epsilon) Gauss limitedLinear 1;
  div(phi,omega) Gauss limitedLinear 1;
  div((nuEff*dev(grad(U).T()))) Gauss linear;
  div(phi,R) Gauss limitedLinear 1;
  div(R) Gauss limitedLinear 1;
  div(phi,nuTilda) Gauss limitedLinear 1;
}

laplacianSchemes
{
  default Gauss linear corrected;
}

interpolationSchemes
{
  default linear;
  interpolate(U) linear;
}

snGradSchemes
{
  default corrected;
}

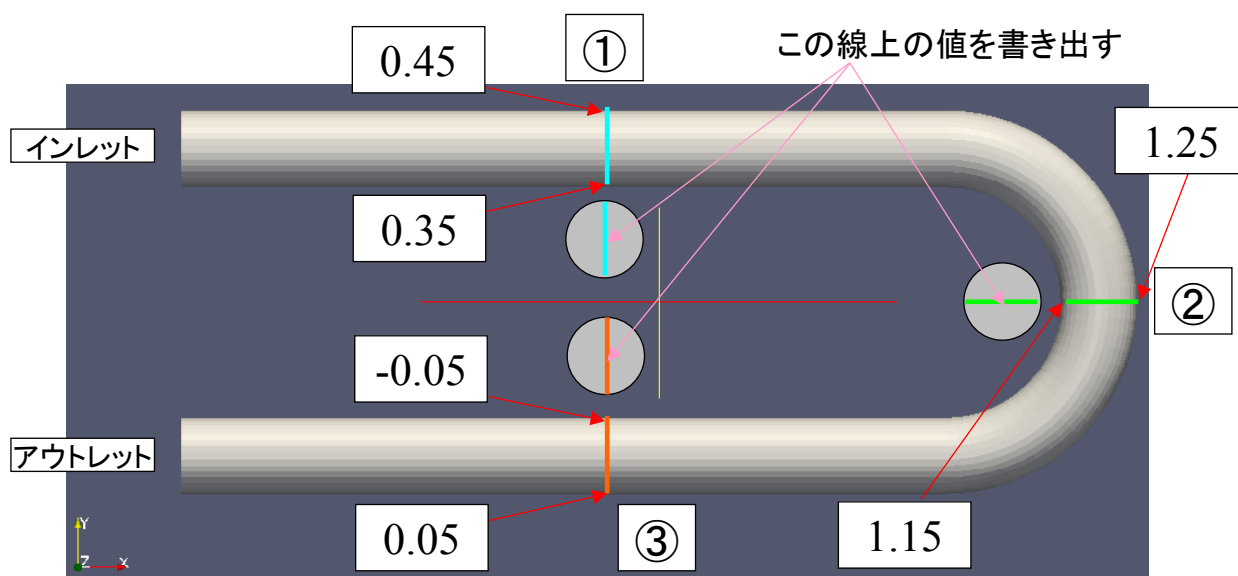
fluxRequired
{
  default no;
  p;
}
    
```

2011.5.14

37/156

## 5. パッチ, 計算条件の設定 sampleDictの設定

特定位置での速度, 圧力, 乱流エネルギーの書き出し設定  
 パイプ断面の中心線上で上記の値を書き出す



2011.5.14

38/156

### 5. パッチ, 計算条件の設定 sampleDictの設定

```

FoamFile
{
  version      2.0;
  format       ascii;
  class        dictionary;
  location     system;
  object       sampleDict;
}

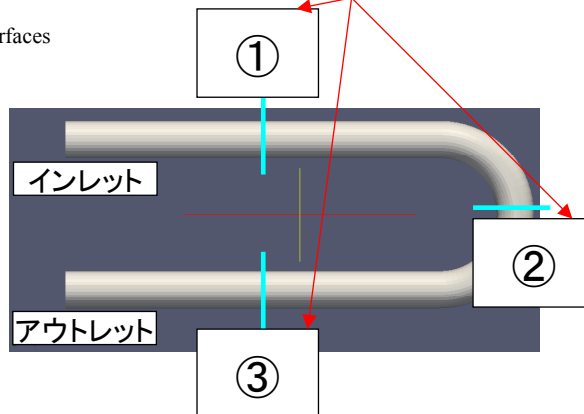
setFormat raw;
surfaceFormat foamFile;
interpolationScheme cellPointFace;

fields
(
  U p k
);

sets
(
  x=0H ①
  {
    type      uniform;
    axis      y;
    start     (0.5 0.35 0);
    end       (0.5 0.45 0);
    nPoints   50;
  }
  x=1H ②
  {
    type      uniform;
    axis      x;
    start     (1.15 0.2 0);
    end       (1.25 0.2 0);
    nPoints   50;
  }
  x=2H ③
  {
    type      uniform;
    axis      y;
    start     (0.5 -0.05 0);
    end       (0.5 0.05 0);
    nPoints   50;
  }
);

surfaces
(
);
    
```

この3カ所書き出す



参考:ユーザーガイド 6.5 データのサンプリング  
 \$FOAM\_UTILITIES/postProcessing/sampling/sampleにひな形あり

### 6. 計算設定(1)

| No | RANS モデル  | 緩和係数  | レイヤー数 | minThickness | fvSchemes | fvSolution           | y+ min | y+max | y+average |      |     |
|----|-----------|---|-------|--------------|-----------|----------------------|--------|-------|-----------|------|-----|
| 1  | kEpsilon  | p=0.3<br>U=0.7<br>k=0.7<br>epsilon=0.7<br>omega=0.7 | 1     | 0.05         | TVD       | GAMG<br>smoothSolver | 25     | 402   | 200       |      |     |
| 2  |           |   | 2     | 0.05         |           |                      | 34     | 370   | 205       |      |     |
| 3  |           |   | 3     | 0.05         |           |                      | 43     | 375   | 205       |      |     |
| 4  |           |   | 1     | 0.1          |           |                      | 26     | 408   | 207       |      |     |
| 5  |           |   | 2     | 0.1          |           |                      | 36     | 372   | 205       |      |     |
| 6  |           |   | 3     | 0.1          |           |                      | 45     | 381   | 205       |      |     |
| 7  |           |   | 1     | 0.2          |           |                      | 37     | 415   | 208       |      |     |
| 8  |           |   | 2     | 0.2          |           |                      | 42     | 378   | 206       |      |     |
| 9  |           |   | 3     | 0.2          |           |                      | 52     | 386   | 206       |      |     |
| 10 |           |   | -     | -            |           |                      | -      | -     | 101       | 1300 | 479 |
| 11 |           |   | 3     | 0.1          |           |                      | 55     | 378   | 135       |      |     |
| 12 |           |   | 3     | 0.1          |           |                      | 37     | 76    | 61        |      |     |
| 13 | kOmegaSST | p=0.3<br>U=0.7<br>k=0.7<br>epsilon=0.7<br>omega=0.7 | 1     | 0.05         | TVD       | GAMG<br>smoothSolver | 25     | 435   | 195       |      |     |
| 14 |           |   | 2     | 0.05         |           |                      | 38     | 406   | 205       |      |     |
| 15 |           |   | 3     | 0.05         |           |                      | 48     | 402   | 203       |      |     |
| 16 |           |   | 1     | 0.1          |           |                      | 26     | 445   | 202       |      |     |
| 17 |           |   | 2     | 0.1          |           |                      | 41     | 406   | 205       |      |     |
| 18 |           |   | 3     | 0.1          |           |                      | 50     | 402   | 204       |      |     |
| 19 |           |   | 1     | 0.2          |           |                      | 40     | 447   | 203       |      |     |
| 20 |           |   | 2     | 0.2          |           |                      | 45     | 407   | 205       |      |     |
| 21 |           |   | 3     | 0.2          |           |                      | 53     | 402   | 204       |      |     |
| 22 |           |   | -     | -            |           |                      | 98     | 1078  | 473       |      |     |
| 23 |           |   | 3     | 0.1          |           |                      | 51     | 373   | 135       |      |     |
| 24 |           |   | 3     | 0.1          |           |                      | 37     | 76    | 60        |      |     |

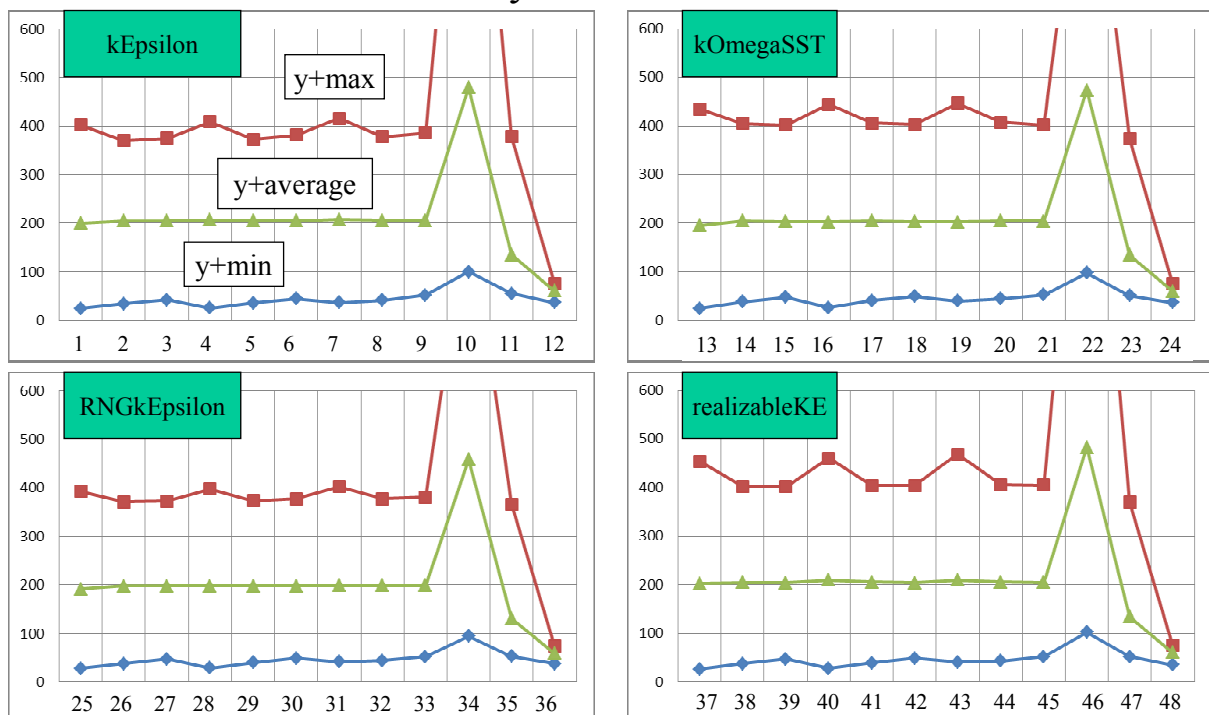
### 6. 計算設定(2)

| No | RANS モデル     | 緩和係数  | レイヤー数 | minThickness | fvSchemes | fvSolution           | y+ min | y+max | y+average |
|----|--------------|---|-------|--------------|-----------|----------------------|--------|-------|-----------|
| 25 | RNGkEpsilon  | p=0.3<br>U=0.7<br>k=0.7<br>epsilon=0.7<br>omega=0.7 | 1     | 0.05         | TVD       | GAMG<br>smoothSolver | 28     | 393   | 191       |
| 26 |              |   | 2     | 0.05         |           |                      | 37     | 371   | 198       |
| 27 |              |   | 3     | 0.05         |           |                      | 48     | 373   | 198       |
| 28 |              |   | 1     | 0.1          |           |                      | 29     | 397   | 198       |
| 29 |              |   | 2     | 0.1          |           |                      | 40     | 373   | 198       |
| 30 |              |   | 3     | 0.1          |           |                      | 49     | 377   | 198       |
| 31 |              |   | 1     | 0.2          |           |                      | 42     | 402   | 199       |
| 32 |              |   | 2     | 0.2          |           |                      | 44     | 377   | 198       |
| 33 |              |   | 3     | 0.2          |           |                      | 52     | 380   | 199       |
| 34 |              |   | -     | -            |           |                      | 95     | 973   | 458       |
| 35 |              |   | 3     | 0.1          |           |                      | 53     | 366   | 131       |
| 36 |              |   | 3     | 0.1          |           |                      | 38     | 75    | 59        |
| 37 | realizableKE | p=0.3<br>U=0.7<br>k=0.7<br>epsilon=0.7<br>omega=0.7 | 1     | 0.05         | TVD       | GAMG<br>smoothSolver | 27     | 454   | 203       |
| 38 |              |   | 2     | 0.05         |           |                      | 37     | 402   | 205       |
| 39 |              |   | 3     | 0.05         |           |                      | 47     | 402   | 204       |
| 40 |              |   | 1     | 0.1          |           |                      | 28     | 460   | 210       |
| 41 |              |   | 2     | 0.1          |           |                      | 40     | 404   | 206       |
| 42 |              |   | 3     | 0.1          |           |                      | 49     | 404   | 205       |
| 43 |              |   | 1     | 0.2          |           |                      | 41     | 468   | 210       |
| 44 |              |   | 2     | 0.2          |           |                      | 44     | 406   | 206       |
| 45 |              |   | 3     | 0.2          |           |                      | 52     | 406   | 205       |
| 46 |              |   | -     | -            |           |                      | 103    | 1340  | 483       |
| 47 |              |   | 3     | 0.1          |           |                      | 52     | 370   | 135       |
| 48 |              |   | 3     | 0.1          |           |                      | 36     | 76    | 61        |

2011.5.14

41/156

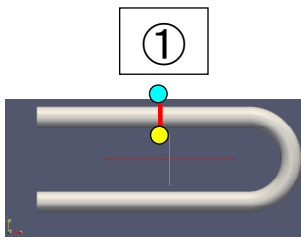
### 7. 計算結果 各モデルでのy+



2011.5.14

42/156

7. 計算結果 各モデルでの①部での静圧比較

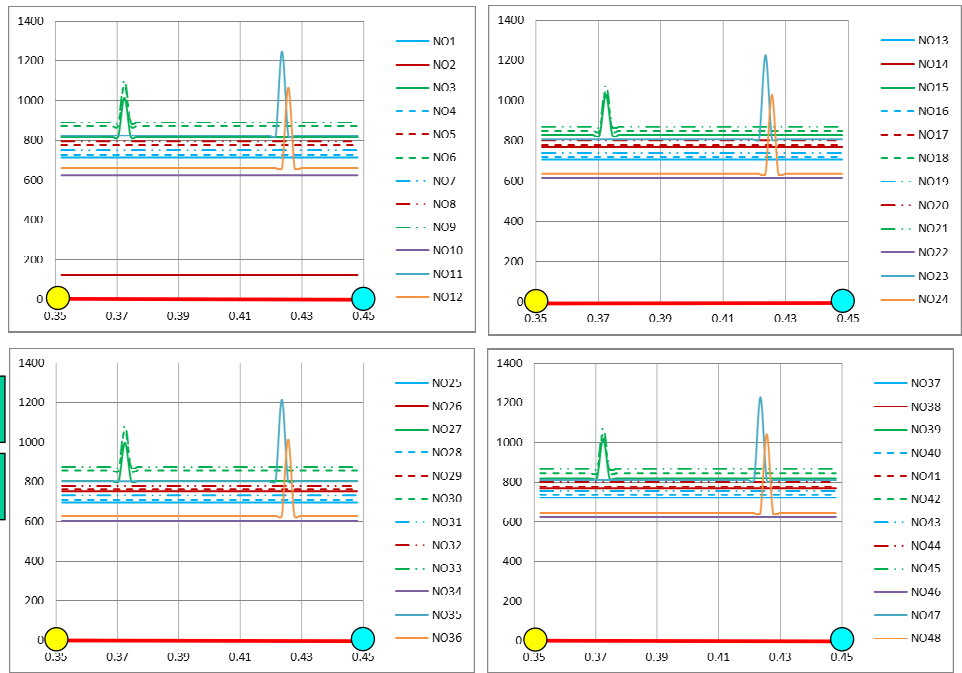


円管断面の中央部  
を黄丸から青丸方  
向に静圧を表示

|             |              |
|-------------|--------------|
| kEpsilon    | kOmegaSST    |
| RNGkEpsilon | realizableKE |

図配置

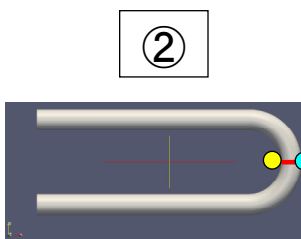
スパイク状の山が出る  
現象はsampleでの取り  
出しに問題があるか？



2011.5.14

43/156

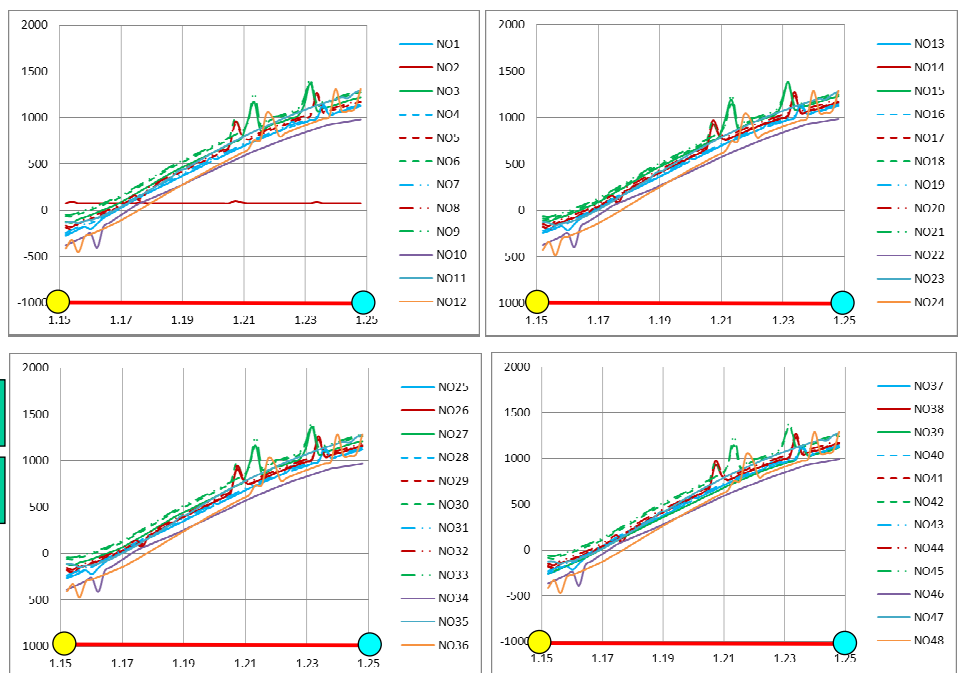
7. 計算結果 各モデルでの②部での静圧比較



円管断面の中央部  
を黄丸から青丸方  
向に静圧を表示

|             |              |
|-------------|--------------|
| kEpsilon    | kOmegaSST    |
| RNGkEpsilon | realizableKE |

図配置

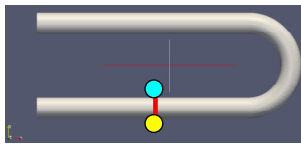


2011.5.14

44/156

7. 計算結果 各モデルでの③部での静圧比較

③

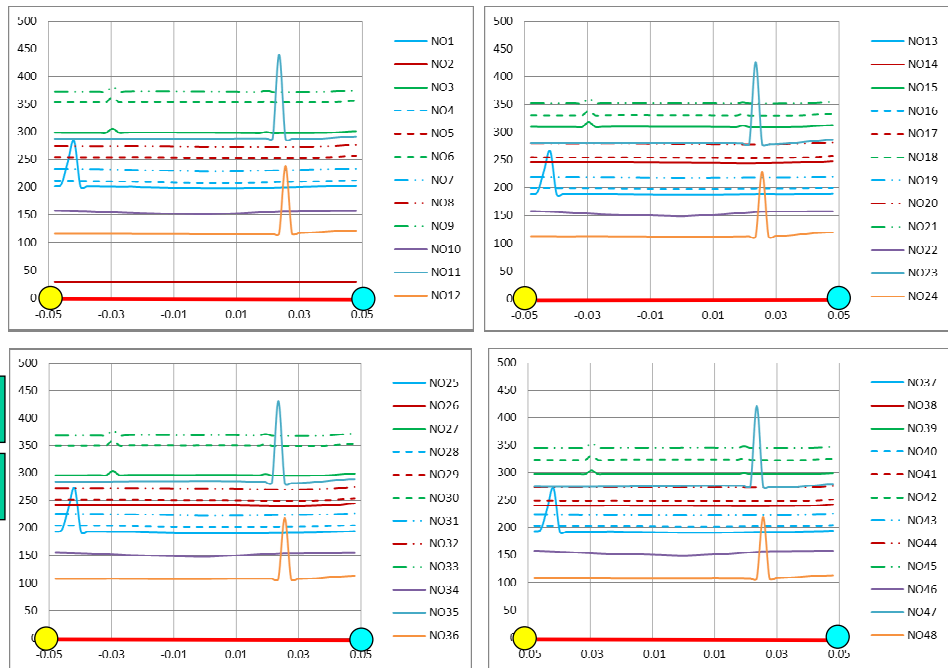


円管断面の中央部  
を黄丸から青丸方  
向に静圧を表示

|             |              |
|-------------|--------------|
| kEpsilon    | kOmegaSST    |
| RNGkEpsilon | realizableKE |

図配置

乱流モデル間で  
差が出ている

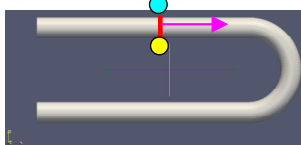


2011.5.14

45/156

7. 計算結果 各モデルでの①部での軸方向速度比較

①

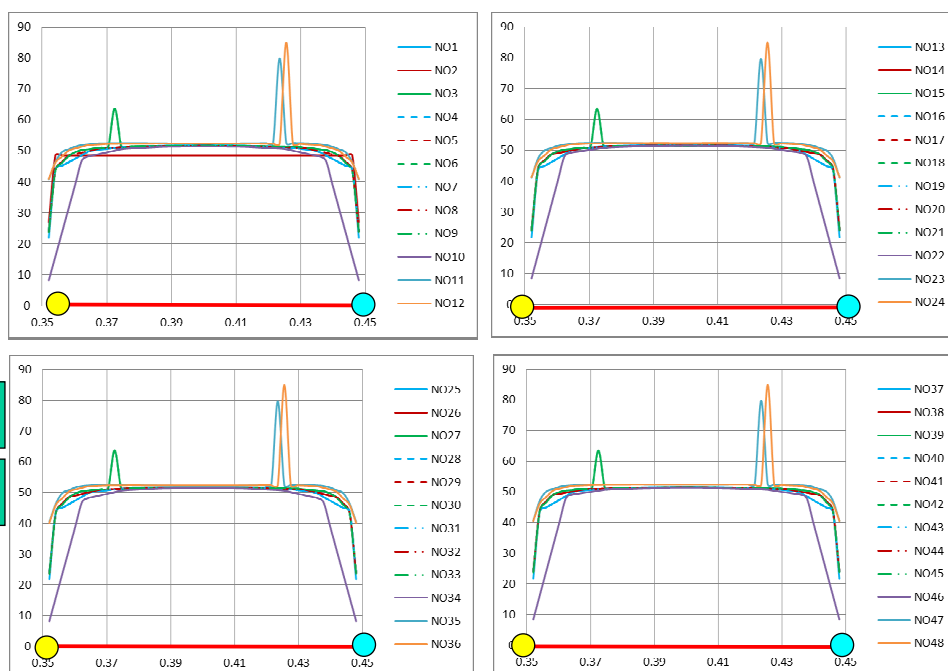


円管断面の中央部を  
黄丸から青丸方向に  
軸方向速度を表示

|             |              |
|-------------|--------------|
| kEpsilon    | kOmegaSST    |
| RNGkEpsilon | realizableKE |

図配置

レイヤー層の無いモデ  
ルは壁付近の速度分  
布が異なっている

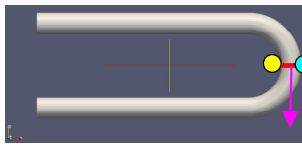


2011.5.14

46/156

7. 計算結果 各モデルでの②部での軸方向速度比較

②

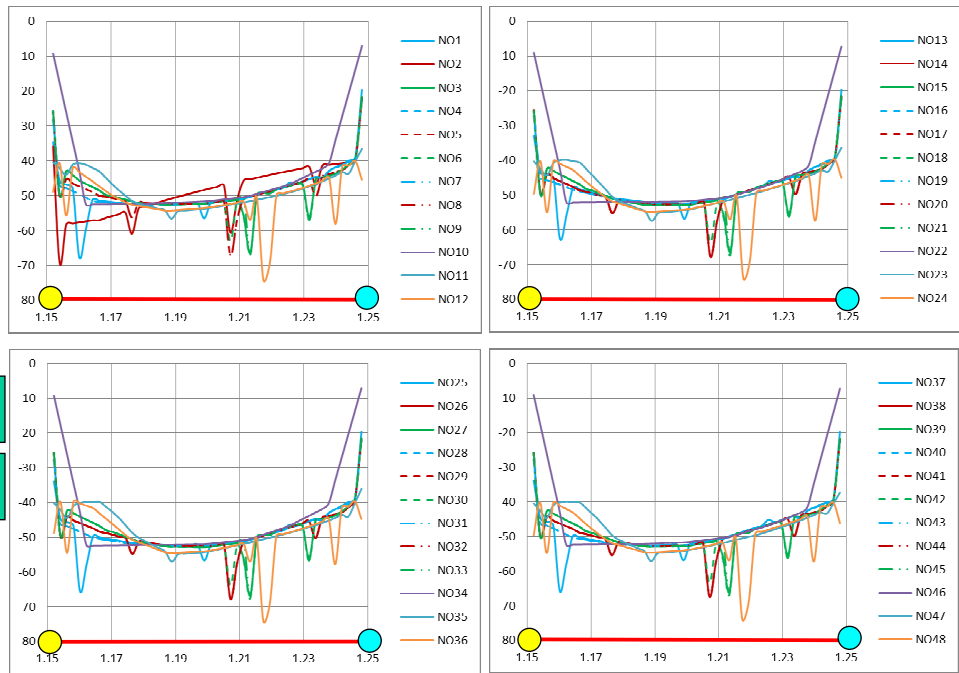


円管断面の中央部を  
黄丸から青丸方向に  
軸方向速度を表示

|             |              |
|-------------|--------------|
| kEpsilon    | kOmegaSST    |
| RNGkEpsilon | realizableKE |

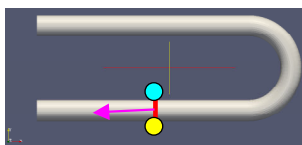
図配置

各乱流モデルとも同じ  
ような速度分布を示す



7. 計算結果 各モデルでの③部での軸方向速度比較

③

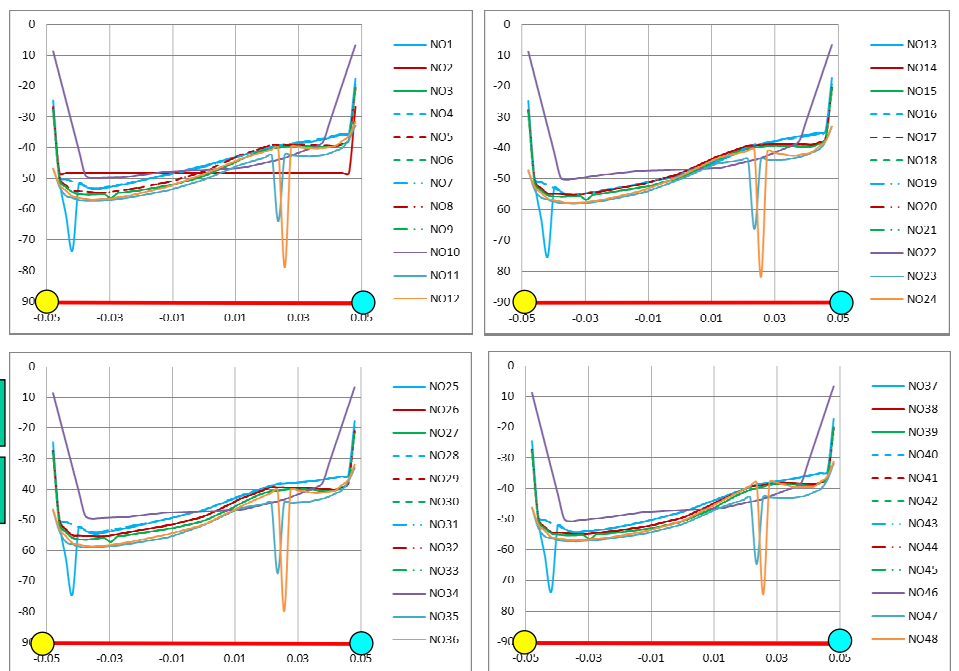


円管断面の中央部を  
黄丸から青丸方向に  
軸方向速度を表示

|             |              |
|-------------|--------------|
| kEpsilon    | kOmegaSST    |
| RNGkEpsilon | realizableKE |

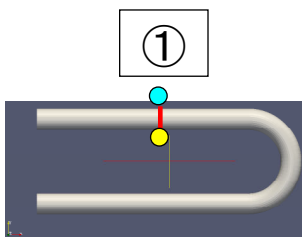
図配置

各乱流モデルとも同じ  
ような速度分布を示す





7. 計算結果 各モデルでの①部での乱流エネルギー比較

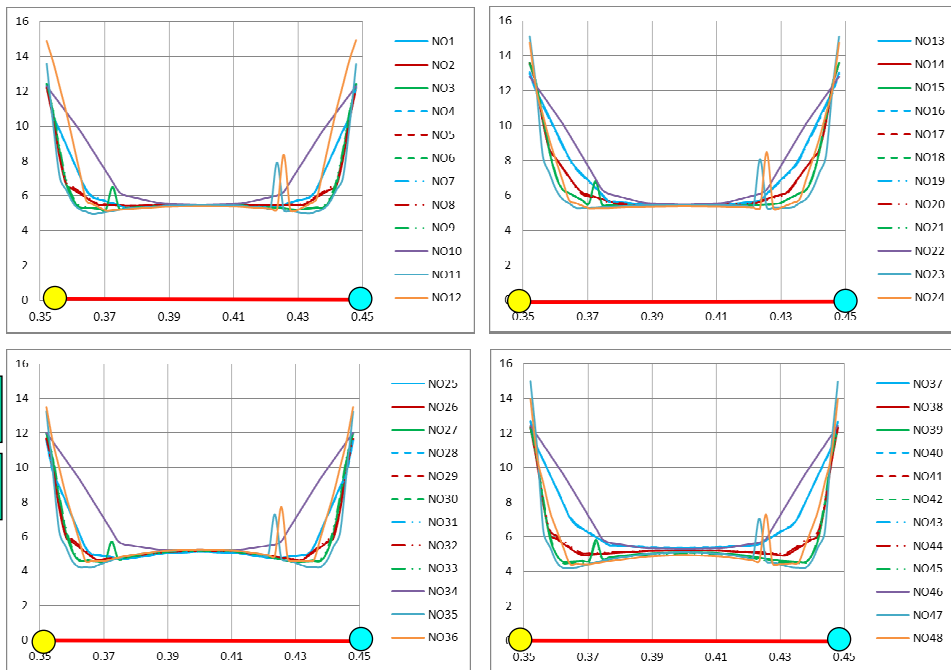


①  
円管断面の中央部を黄丸から青丸方向に乱流エネルギーを表示

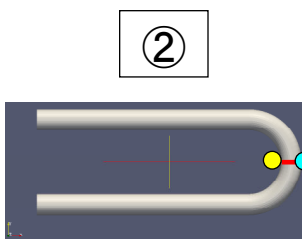
- kEpsilon
- kOmegaSST
- RNGkEpsilon
- realizableKE

図配置

各乱流モデルとも同じような分布を示す



7. 計算結果 各モデルでの②部での乱流エネルギー比較

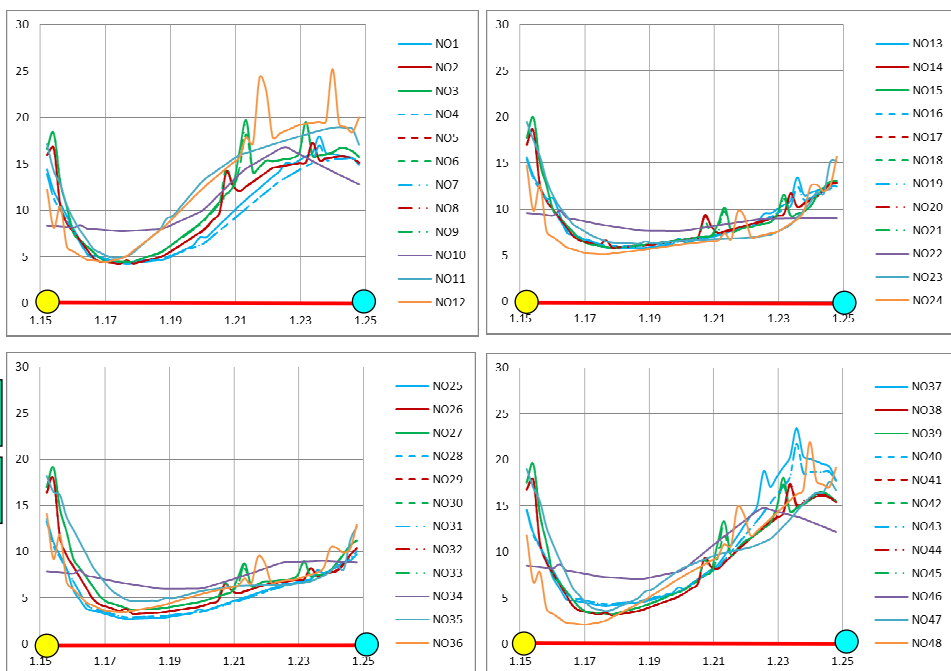


②  
円管断面の中央部を黄丸から青丸方向に乱流エネルギーを表示

- kEpsilon
- kOmegaSST
- RNGkEpsilon
- realizableKE

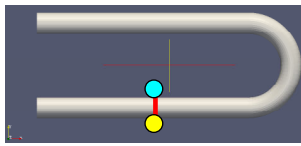
図配置

乱流モデルにより異なる分布を示す



7. 計算結果 各モデルでの③部での乱流エネルギー比較

③

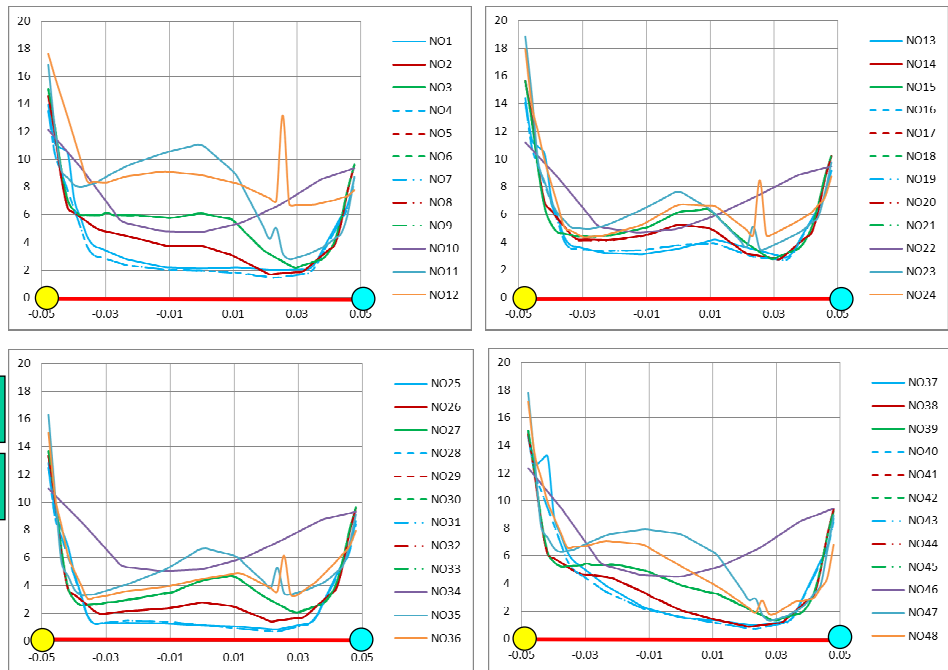


円管断面の中央部を黄丸から青丸方向に乱流エネルギーを表示

|             |              |
|-------------|--------------|
| kEpsilon    | kOmegaSST    |
| RNGkEpsilon | realizableKE |

図配置

乱流デル、レイヤーにより異なる分布を示す

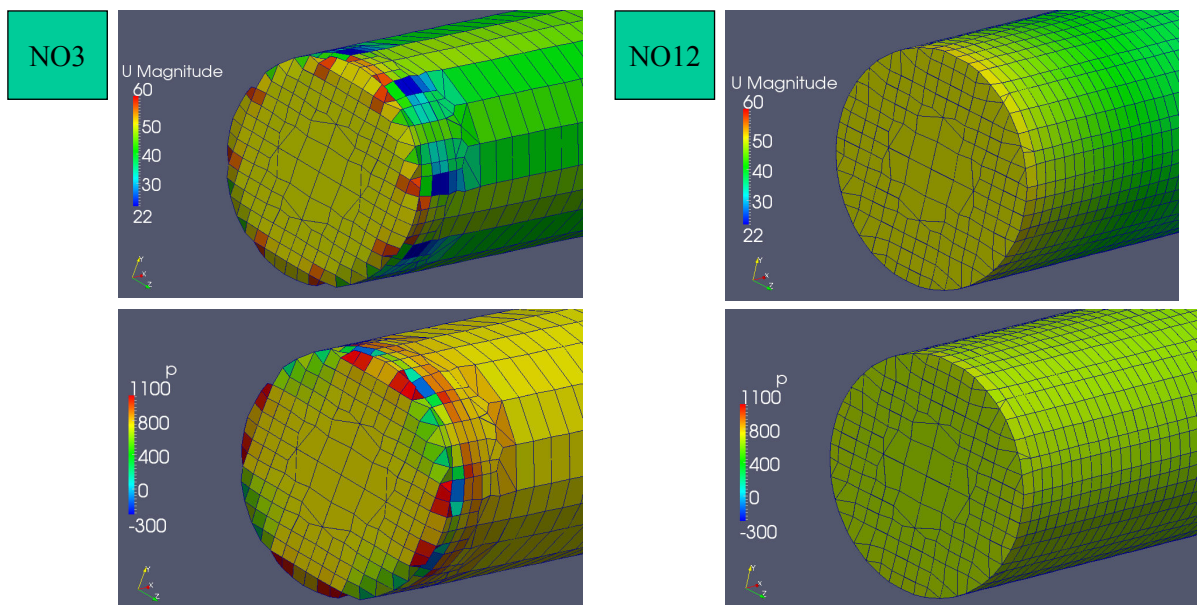


2011.5.14

51/156

7. 計算結果 速度, 圧力分布(メッシュ問題)

特徴線が丸まるため分布がおかしくなる。snapEdgeを使うと解消される。



2011.5.14

インレット側での状況

52/156