

ただで始める流体解析

扇風機ファンの流れ計算 (MRFとAMI)

Ver 2.3.x

本日の流れ

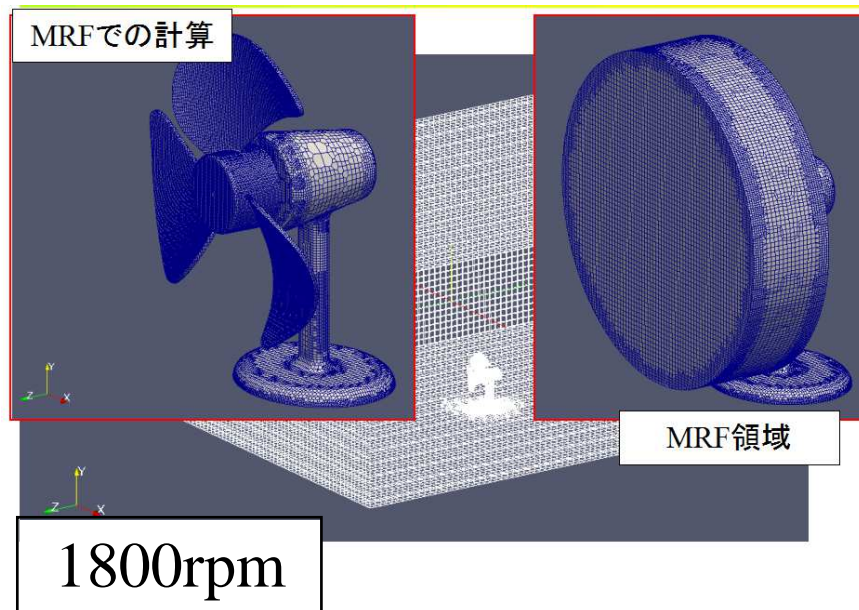
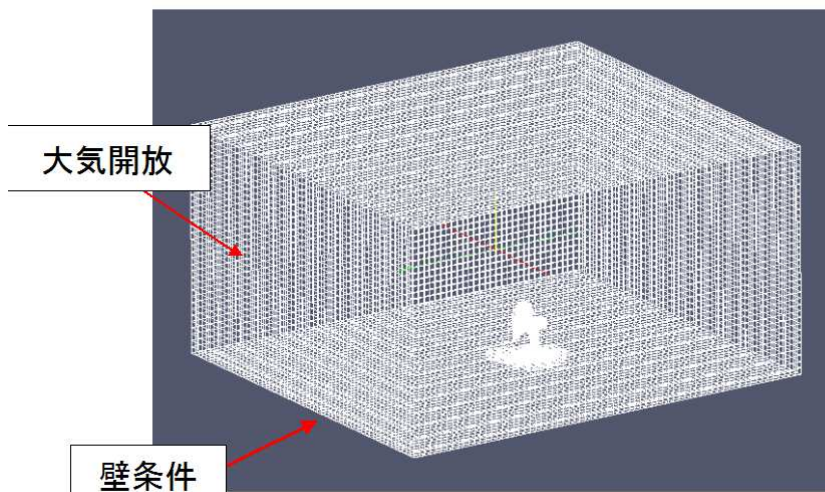
1. はじめに
2. 境界条件の再検討
その1, その2
3. 計算結果
その1, その2
4. MRFでの境界条件の比較
5. m4を使わないメッシュでの計算
6. まとめ
7. 謝辞

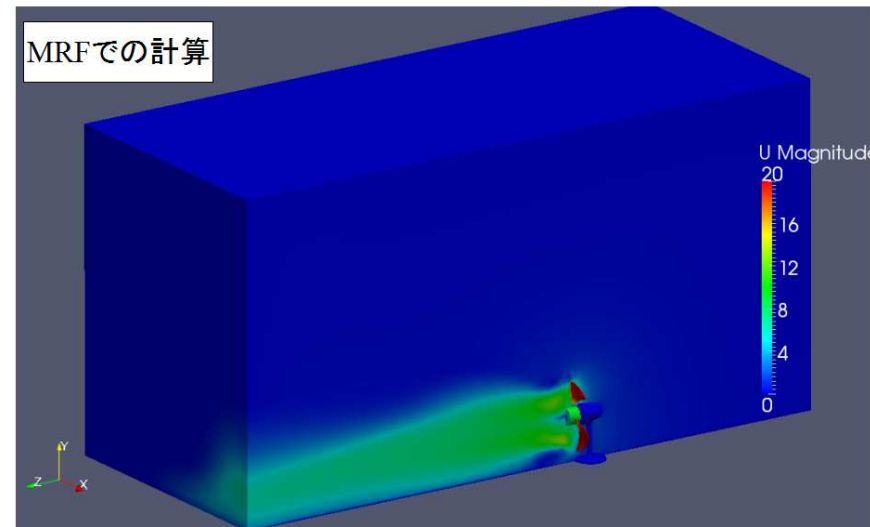
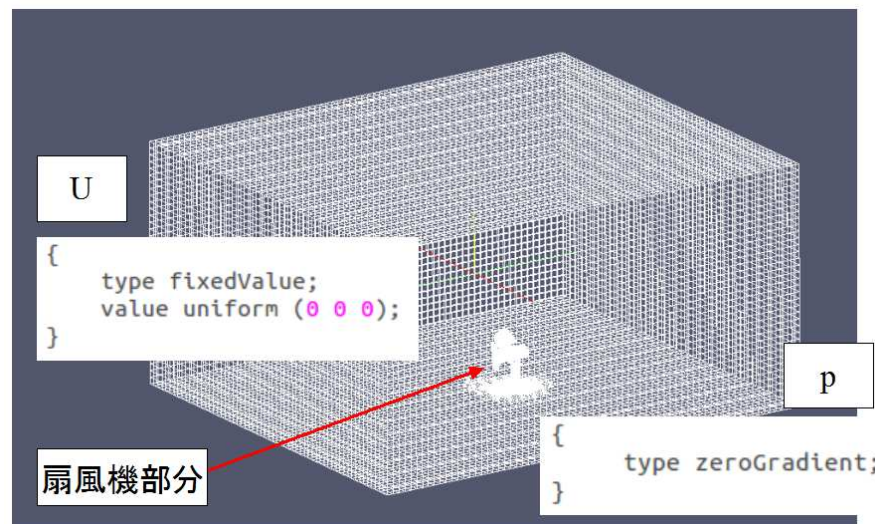
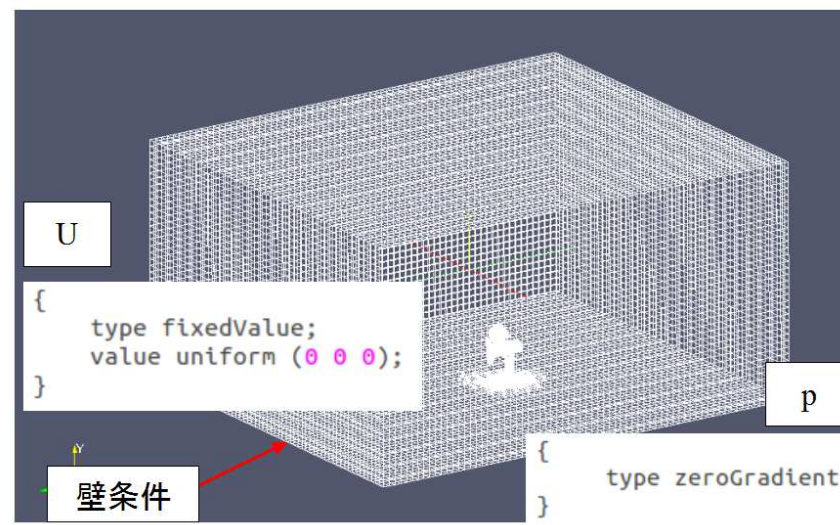
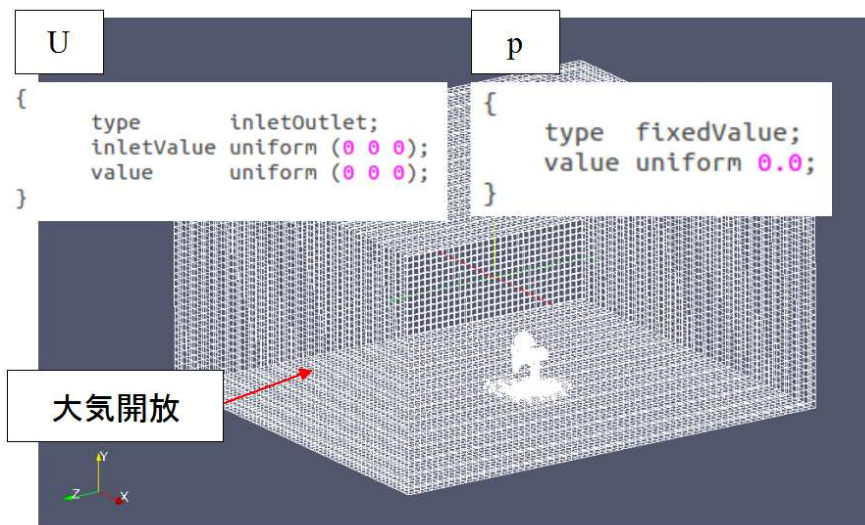
1. はじめに

第29回の勉強会で“境界条件の設定”に関して質問を挙げさせて頂き、アドバイスを頂きました。この件に関する続きの報告です。
(第29回の資料はアップしてないので、簡単におさらいをします)

MRF

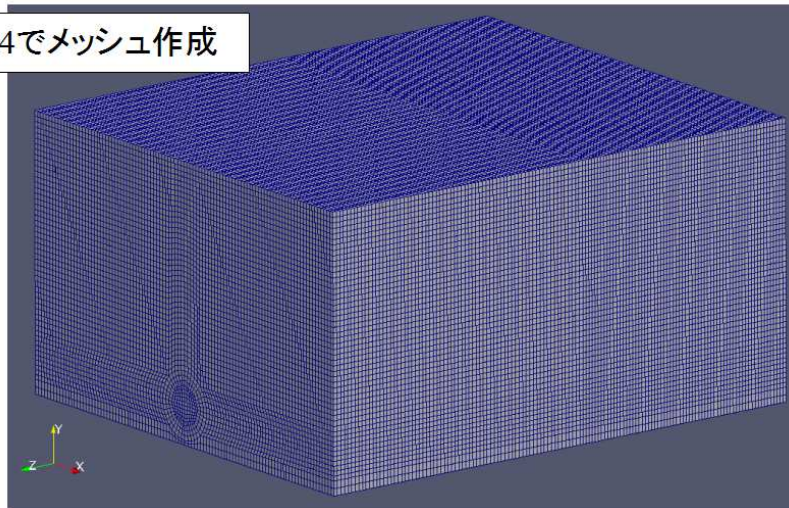
部屋に扇風機が置かれた状態の計算をしたい



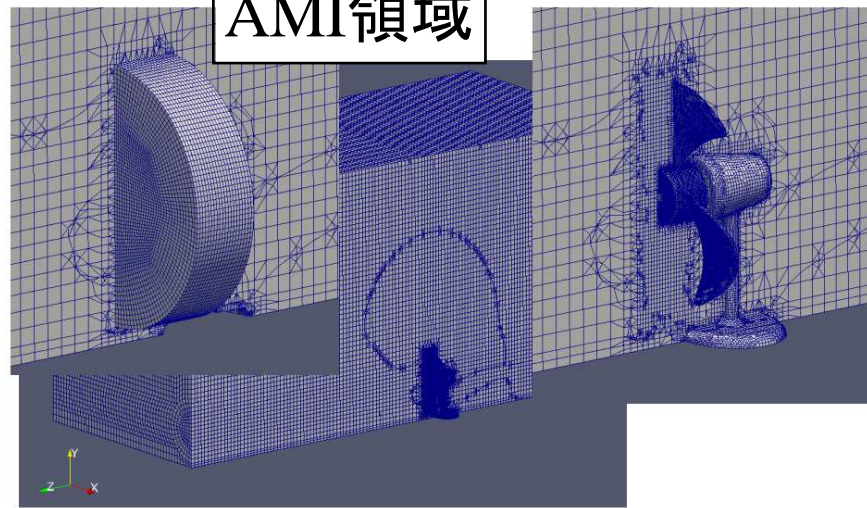


AMI

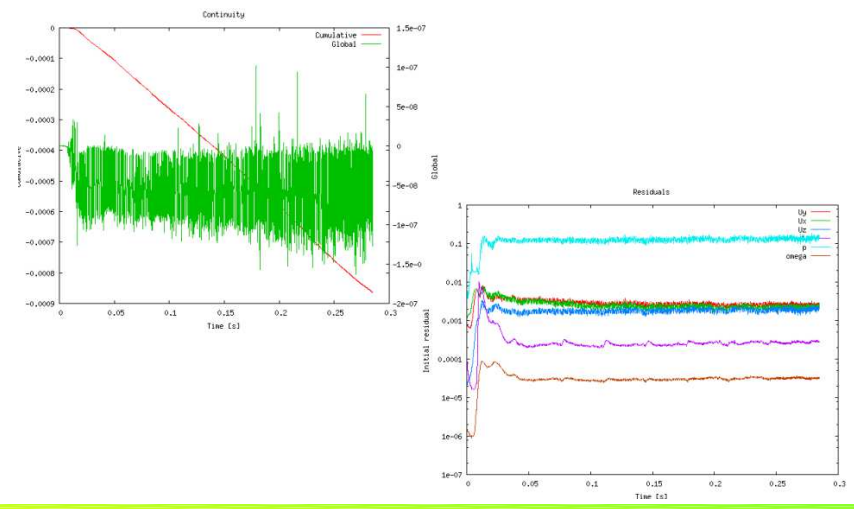
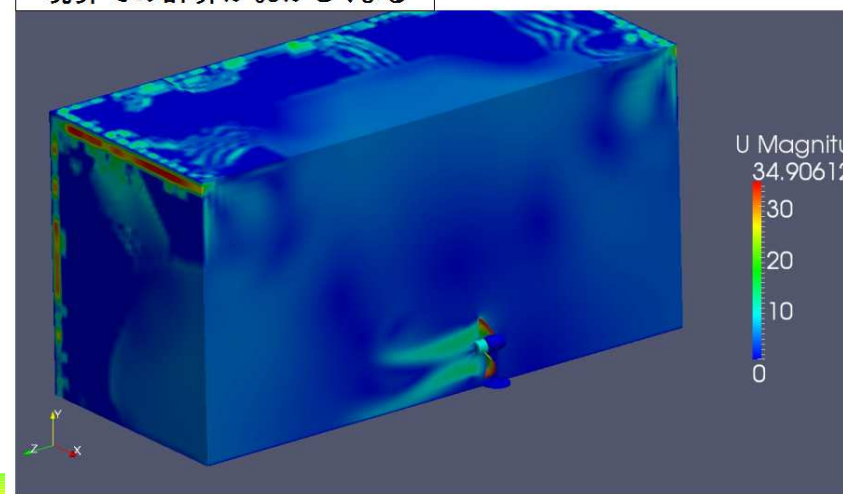
m4でメッシュ作成



AMI領域



境界での計算がおかしくなる



AMIの計算での境界設定についてOpenFOAM - Google Groups大淵さん、勉強会でアドバイスを頂きました。

Re: [OpenFOAM] Re: AMIでの計算エラーについて

これは境界条件の設定そのものに問題がある様に思います。
上面パッチのエッジ部ではお互いにInletOutlet境界が隣接しており、ショートカットの様な流れが発生すると、異常に加速した流れが生じる可能性があります。
MRFで比較的穏やかな流れになるのは定常解法では境界パッチの変数値が更新されず初期値のままで計算されるため異常な加速が生じにくいのだと思います。
上面を十分に離してSlipにするなど境界角部で短絡しない様な境界条件の組み合わせにすることをお勧めします。

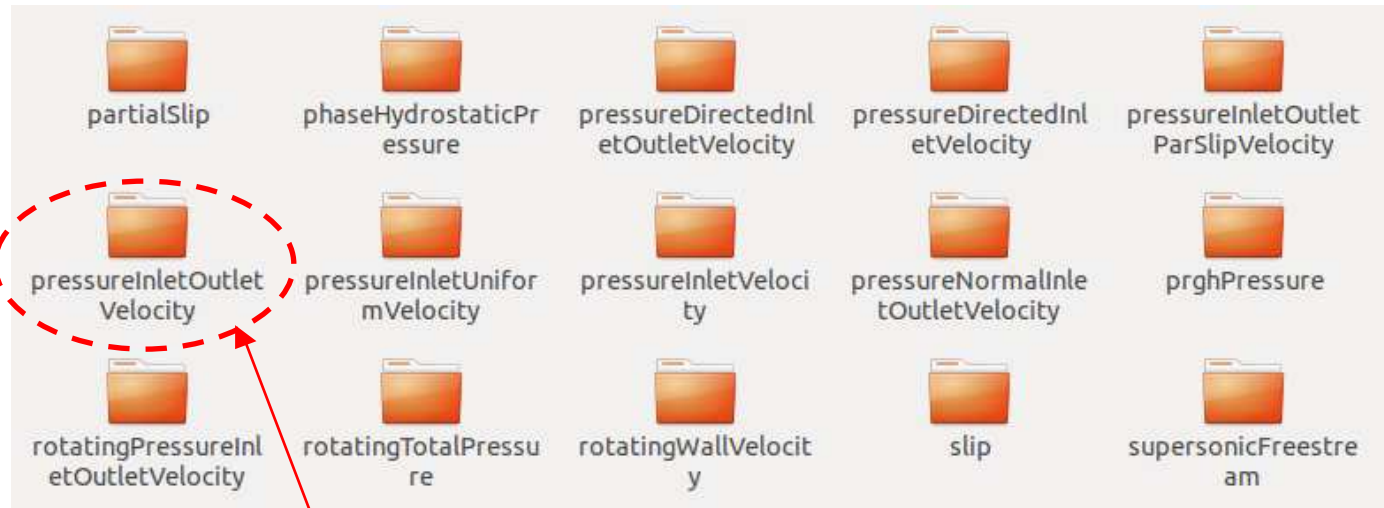
← Google Groups

pressureInletOutletVelocityを使う

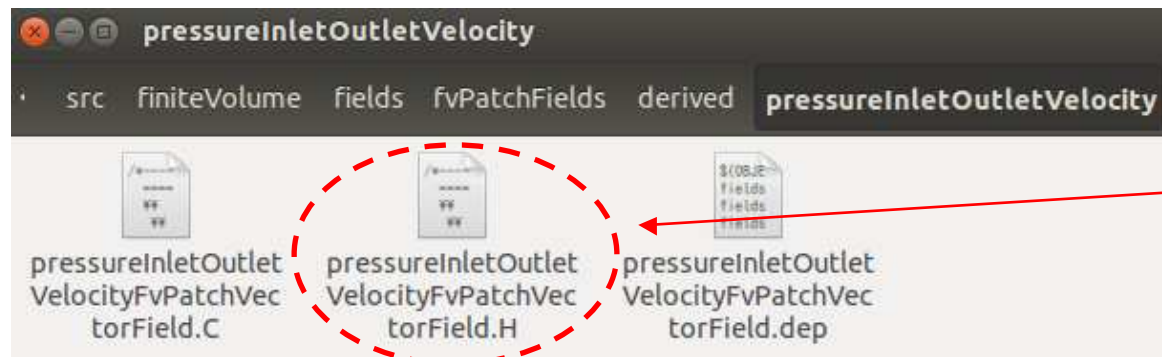
← 岐阜勉強会

pressureInletOutletVelocityは何？

OpenFOAM-2.3.x src finiteVolume fields fvPatchFields **derived** ソースの場所



70個ほど設定があるが、その中にある



説明が書いてある


```

Class
Foam::pressureInletOutletVelocityFvPatchVectorField

Group
grpInletletBoundaryConditions grpOutletBoundaryConditions

Description
This velocity inlet/outlet boundary condition is applied to pressure
boundaries where the pressure is specified. A zero-gradient condition is
applied for outflow (as defined by the flux); for inflow, the velocity is
obtained from the patch-face normal component of the internal-cell value.

The tangential patch velocity can be optionally specified.

\heading Patch usage

\table
  Property      | Description                | Required | Default value
  phi           | flux field name           | no      | phi
  tangentialVelocity | tangential velocity field | no      |
\endtable

Example of the boundary condition specification:
\verbatim
myPatch
{
  type          pressureInletOutletVelocity;
  phi           phi;
  tangentialVelocity uniform (0 0 0);
  value        uniform 0;
}
\endverbatim

```

説明

設定方法

pressureInletOutletVelocityの例題をチュートリアルで探す

```
sakuramaru@SAKURA-MARU:~/OpenFOAM/OpenFOAM-2.3.x/tutorials$ find . -name U | xargs grep pressureInletOutletVelocity
./combustion/LTSReactingFoam/ras/counterFlowFlame2D/0/U:           type           pressureInletOutletVelocity;
./combustion/fireFoam/les/oppositeBurningPanels/0/U:             type           pressureInletOutletVelocity;
./combustion/fireFoam/les/flameSpreadWaterSuppressionPanel/0/U: type           pressureInletOutletVelocity;
./combustion/fireFoam/les/smallPoolFire2D/0/U:                  type           pressureInletOutletVelocity;
./combustion/fireFoam/les/smallPoolFire3D/0/U:                  type           pressureInletOutletVelocity;
./combustion/reactingFoam/ras/counterFlowFlame2D/0/U:           type           pressureInletOutletVelocity;
./multiphase/LTSInterFoam/DTCHull/0.org/U:                       type           pressureInletOutletVelocity;
./multiphase/multiphaseInterFoam/laminar/damBreak4phase/0.org/U: type           pressureInletOutletVelocity;
./multiphase/multiphaseInterFoam/laminar/damBreak4phaseFine/0.org/U: type           pressureInletOutletVelocity;
```



```
left
{
  type           pressureInletOutletVelocity;
  value         uniform (0 0 0);
}
```

先の設定方法と少し違うが
まあいいか？

Uの設定でpressureInletOutletVelocityを使った場合, pの設定には何を使うか？。

先の例題のpを見ると, totalPressureになっている。



```

left
{
  type          totalPressure;
  p0            uniform 0;
  U             U;
  phi           phi;
  rho           none;
  psi           none;
  gamma         1;
  value         uniform 0;
}
    
```

今回はこれを使う

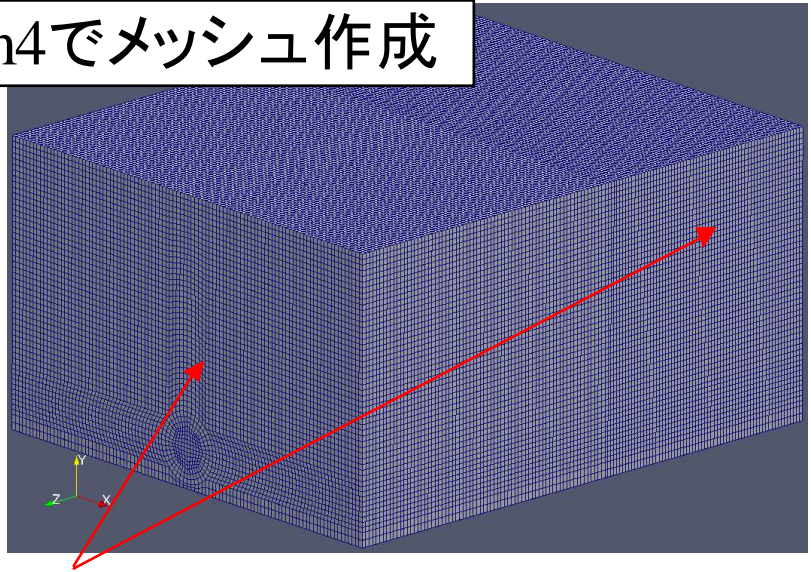
2. 境界条件の再検討

2. 境界条件の再検討

その1

その1: X軸, Y軸の垂直な面は壁, Z軸に垂直な面のみ大気開放

m4でメッシュ作成



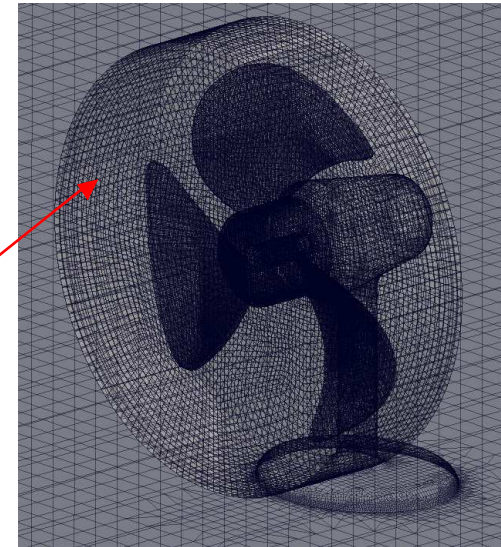
Z軸に垂直な2面
速度

```
type inletOutlet;  
inletValue uniform (0 0 0);  
value uniform (0 0 0);
```

圧力

```
type fixedValue;  
value uniform 0.0;
```

2014.05.10

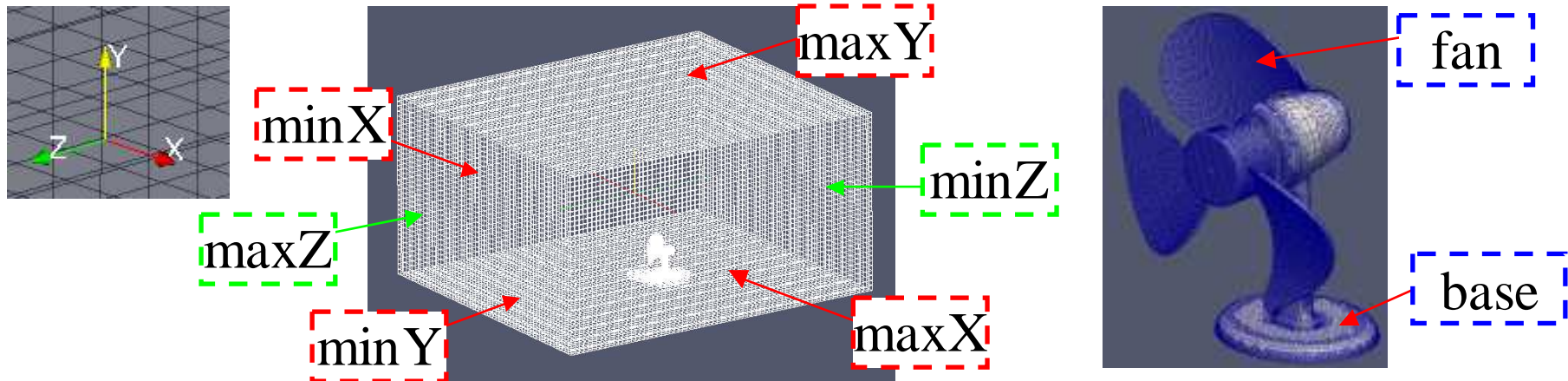


AMI領域

X, Y軸に垂直な4面
壁設定

羽根, 筐体部
壁設定

その1: X軸, Y軸の垂直な面は壁, Z軸に垂直な面のみ大気開放

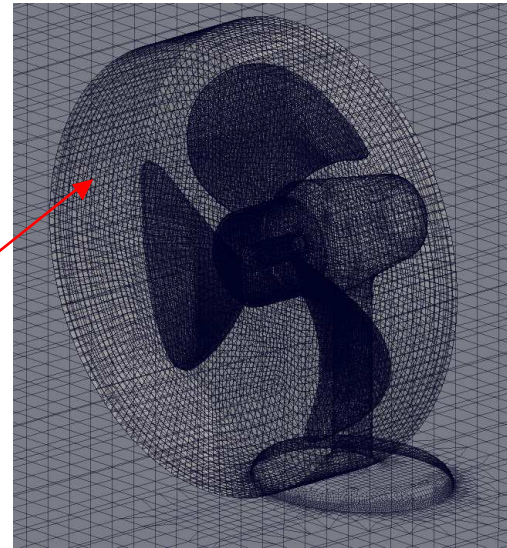
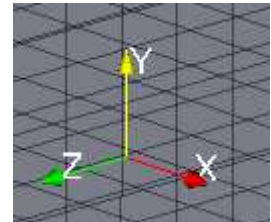
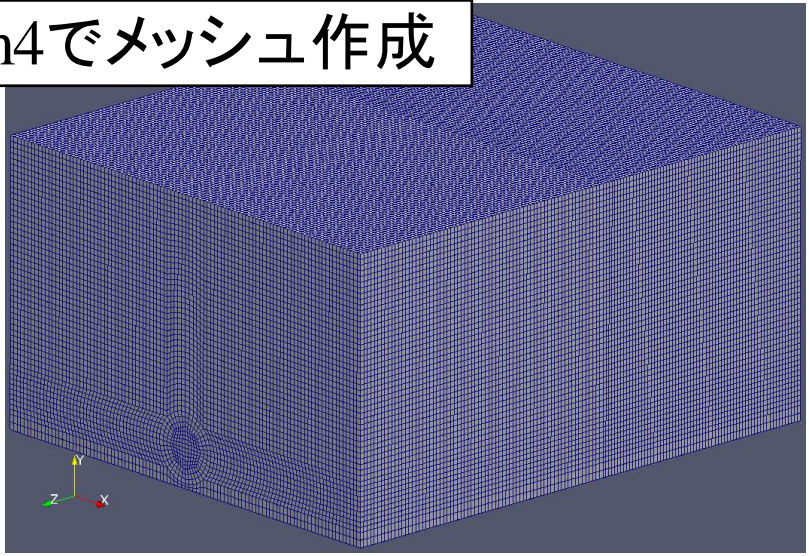


面	U	p	k	omega	nut	boundary
minX	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kqRWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
maxX	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kqRWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
minY	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kqRWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
maxY	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kqRWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
minZ	type inletOutlet inletValue unifoam(0,0,0) value uniform(0,0,0)	type fixedValue value uniform 0.0	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
maxZ	type inletOutlet inletValue unifoam(0,0,0) value uniform(0,0,0)	type fixedValue value uniform 0.0	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
fan	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kqRWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
base	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kqRWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall

2. 境界条件の再検討 その2

その2: Y軸の下側のみ壁, その他の境界部は大気開放

m4でメッシュ作成



AMI領域

大気開放
速度

```
type pressureInletOutletVelocity;
value uniform (0 0 0);
```

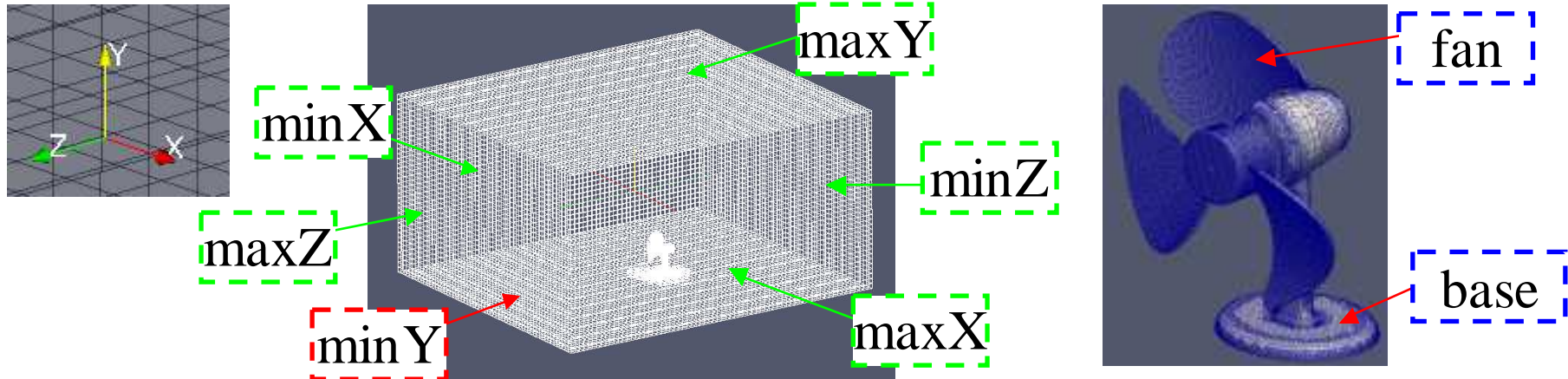
圧力
type

```
p0
U
phi
rho
psi
gamma
value
```

```
totalPressure;
uniform 0;
U;
phi;
none;
none;
1;
uniform 0;
```

羽根, 筐体部
壁設定

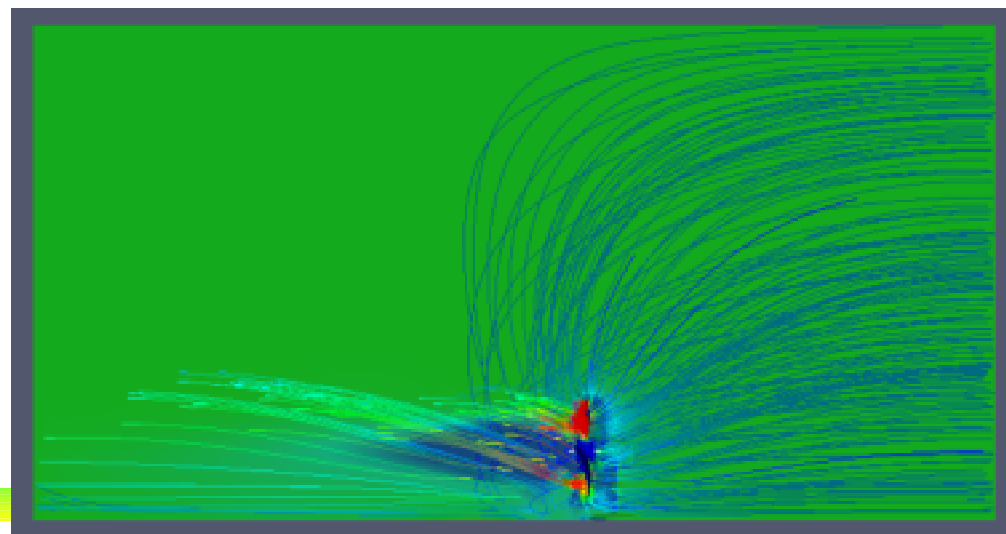
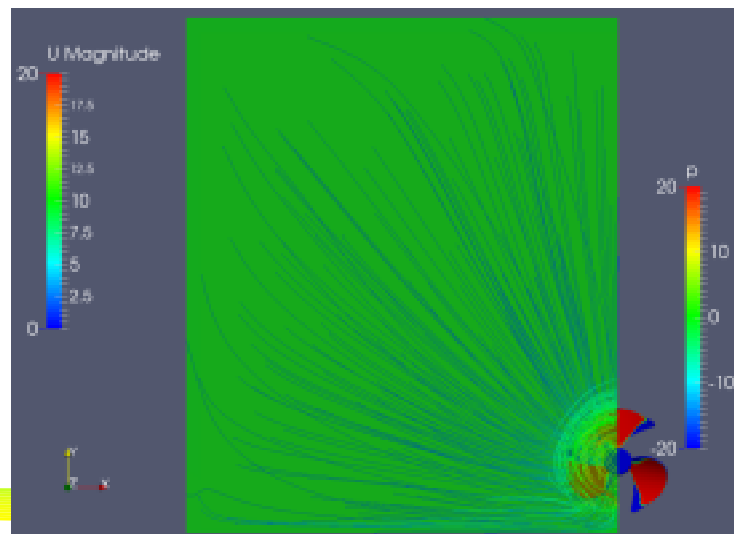
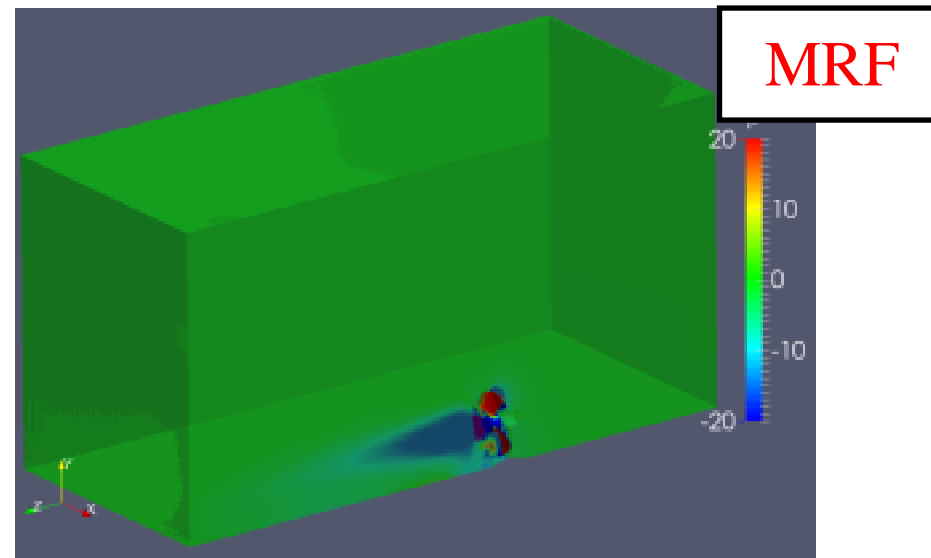
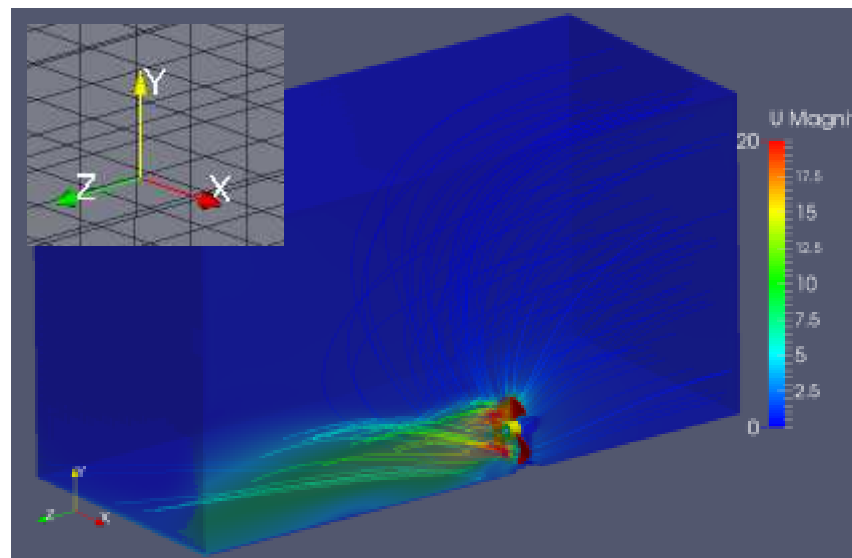
その2: Y軸の下側のみ壁, その他の境界部は大気開放



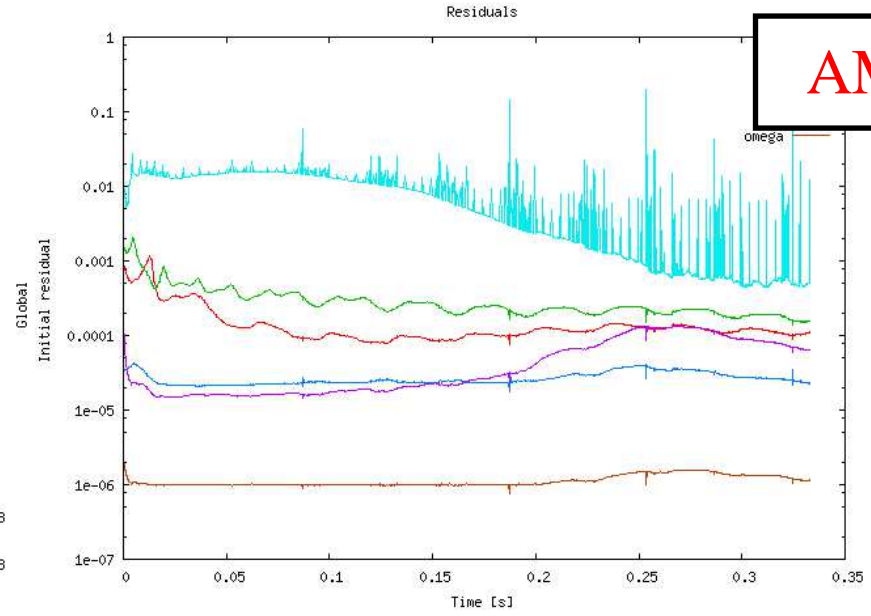
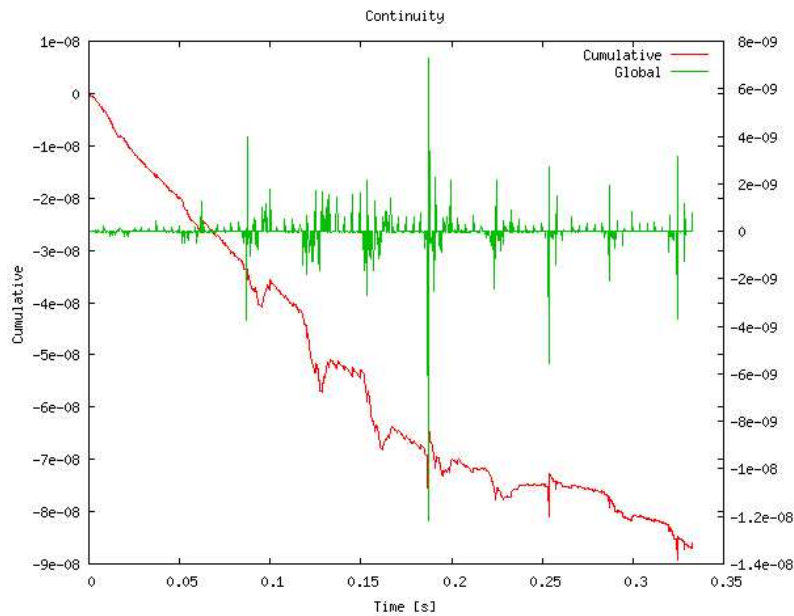
面	U	p	k	omega	nut	boundary
minX	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
maxX	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
minY	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kgRWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
maxY	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
minZ	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
maxZ	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet; inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
fan	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kgRWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
base	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kgRWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall

3. 計算結果 その1

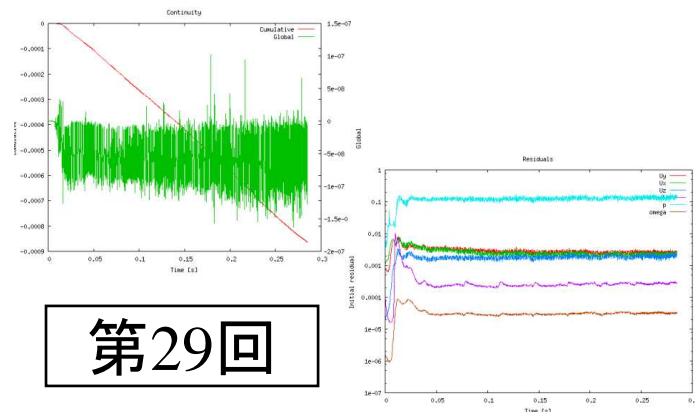
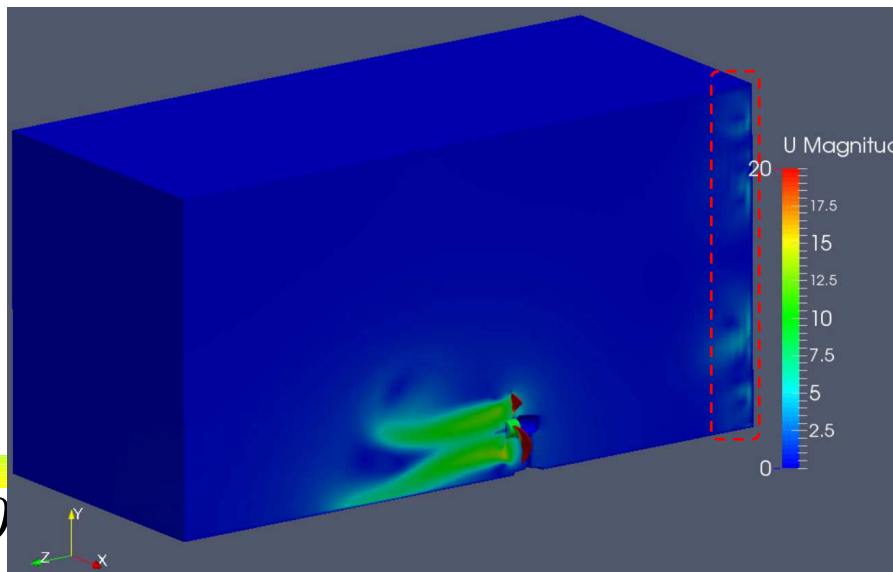
その1: X軸, Y軸の垂直な面は壁, Z軸に垂直な面のみ大気開放



その1: X軸, Y軸の垂直な面は壁, Z軸に垂直な面のみ大気開放



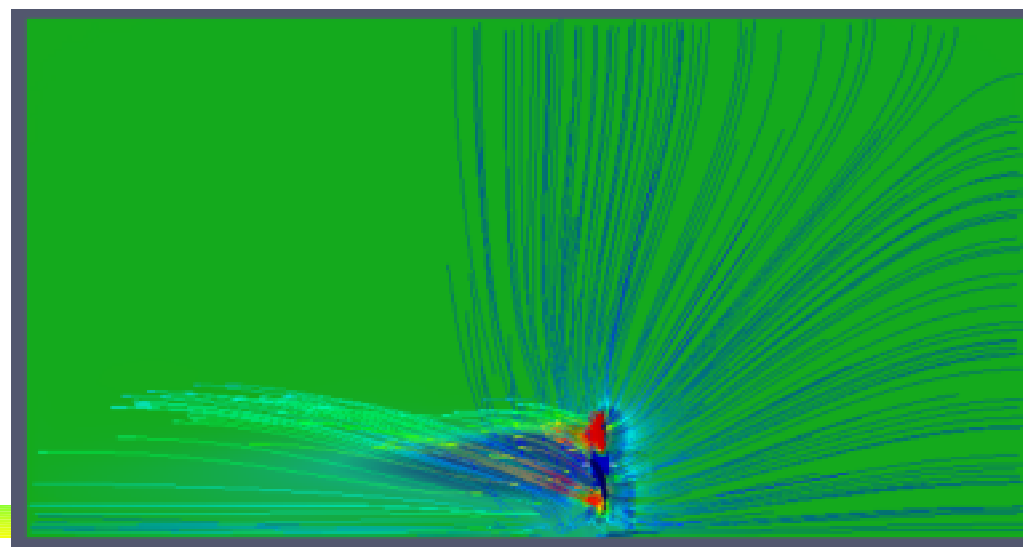
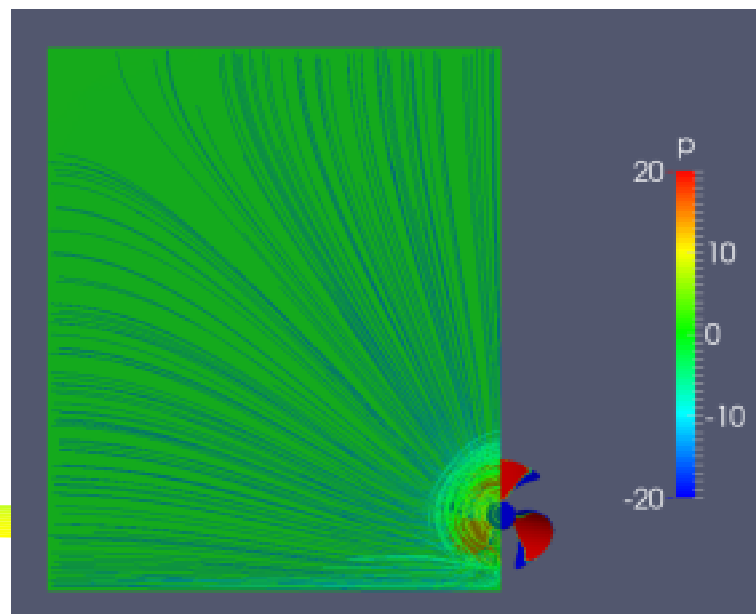
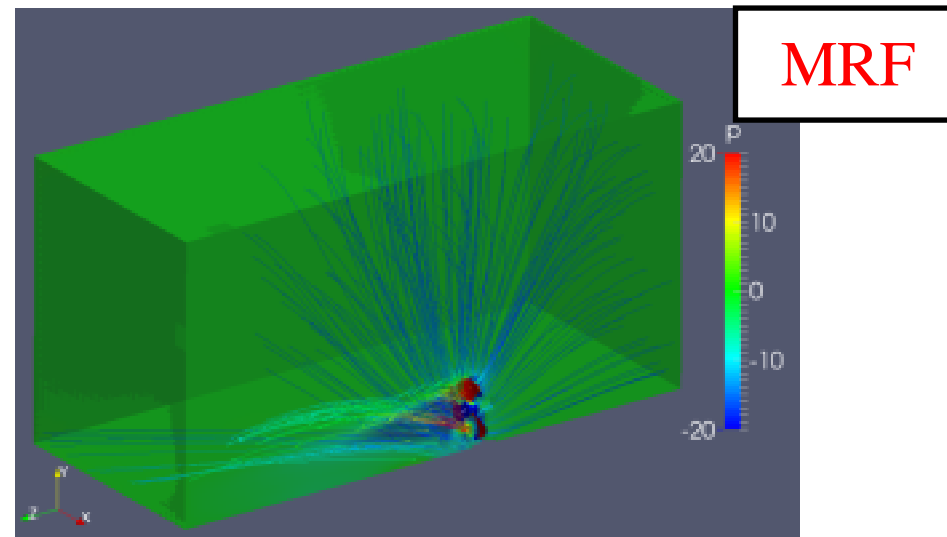
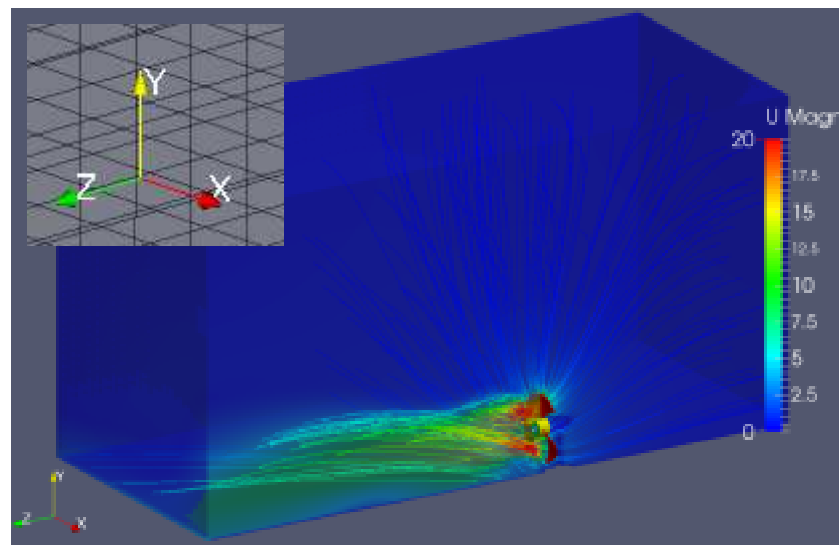
AMI



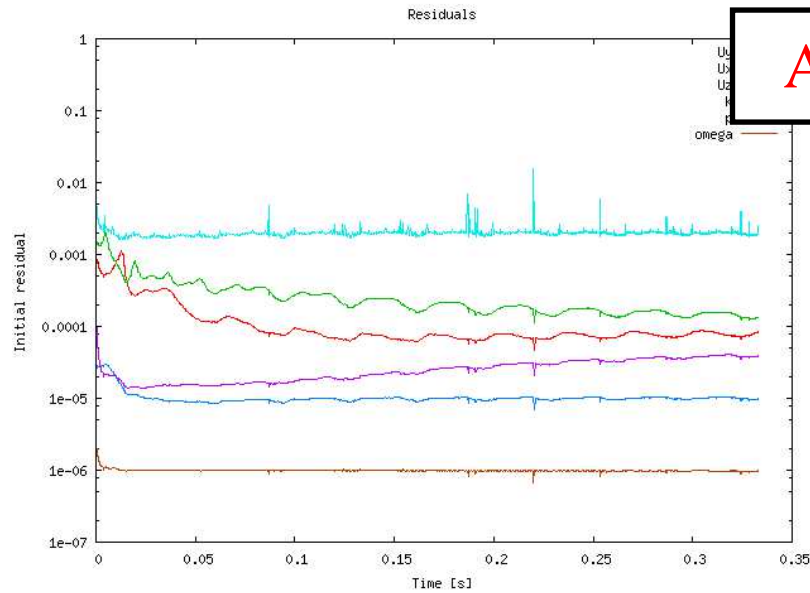
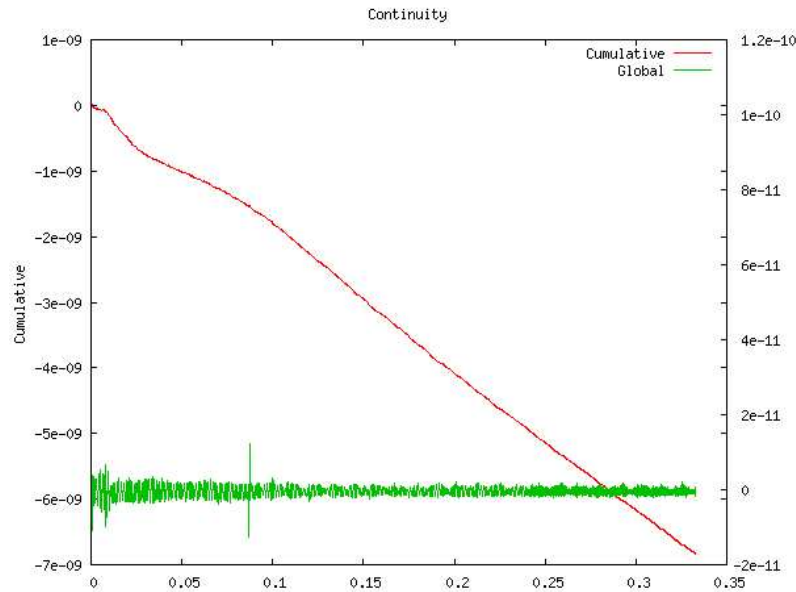
第29回

3. 計算結果 その2

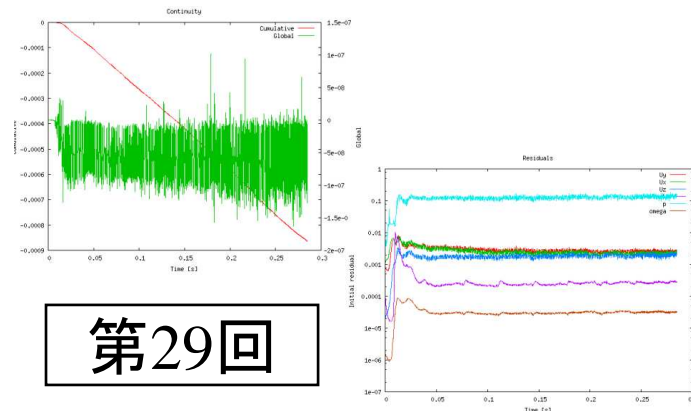
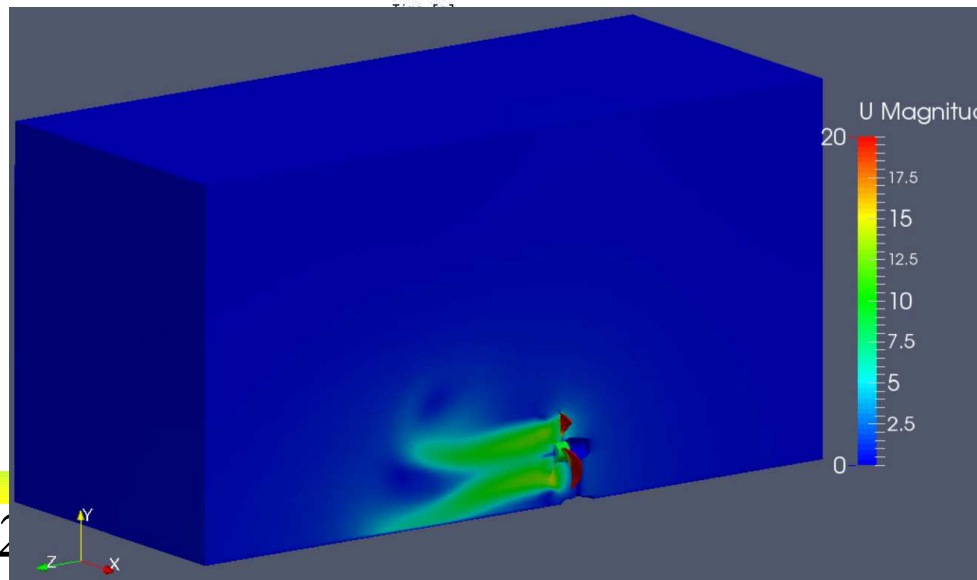
その2: X軸, Y軸の垂直な面は壁, Z軸に垂直な面のみ大気開放



その2: X軸, Y軸の垂直な面は壁, Z軸に垂直な面のみ大気開放



AMI



第29回

4. MRFでの境界条件の比較

MRFでの境界条件の比較 違いが出るか？

面	U	p	k	omega	nut	boundary
minX	type inletOutlet inletValue uniform(0,0,0) value uniform(0,0,0)	type fixedValue value uniform 0.0	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
maxX	type inletOutlet inletValue uniform(0,0,0) value uniform(0,0,0)	type fixedValue value uniform 0.0	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
minY	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kgWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
maxY	type inletOutlet inletValue uniform(0,0,0) value uniform(0,0,0)	type fixedValue value uniform 0.0	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
minZ	type inletOutlet inletValue uniform(0,0,0) value uniform(0,0,0)	type fixedValue value uniform 0.0	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
maxZ	type inletOutlet inletValue uniform(0,0,0) value uniform(0,0,0)	type fixedValue value uniform 0.0	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
fan	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kgWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
base	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kgWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall

①第29回での設定

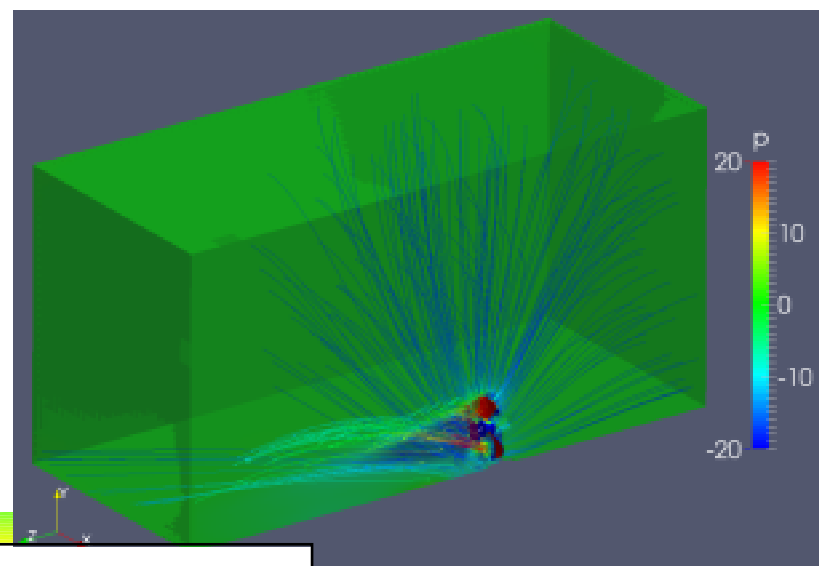
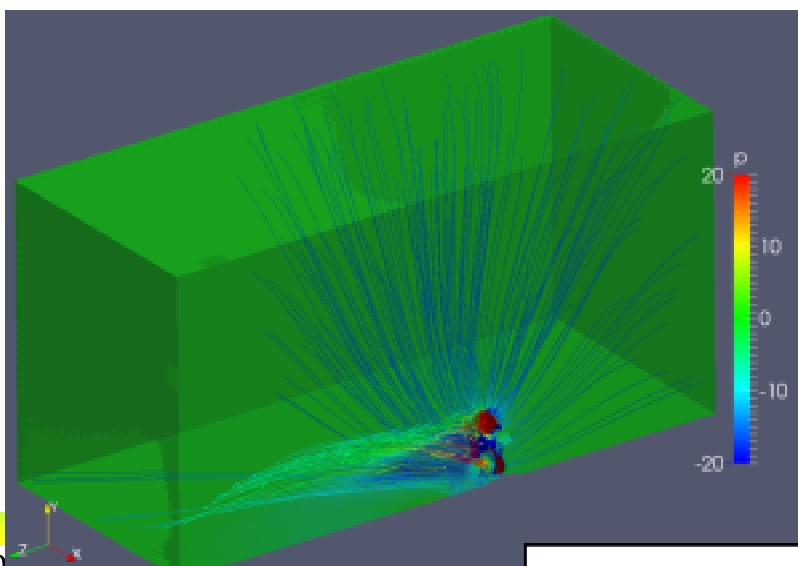
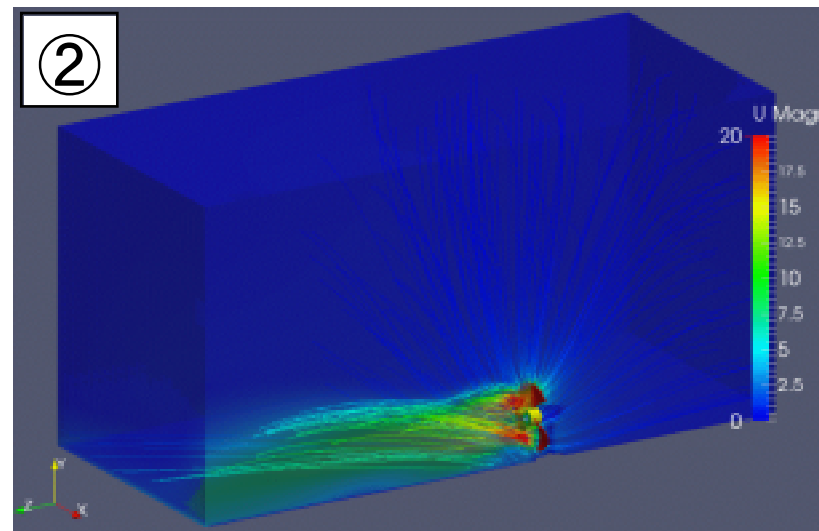
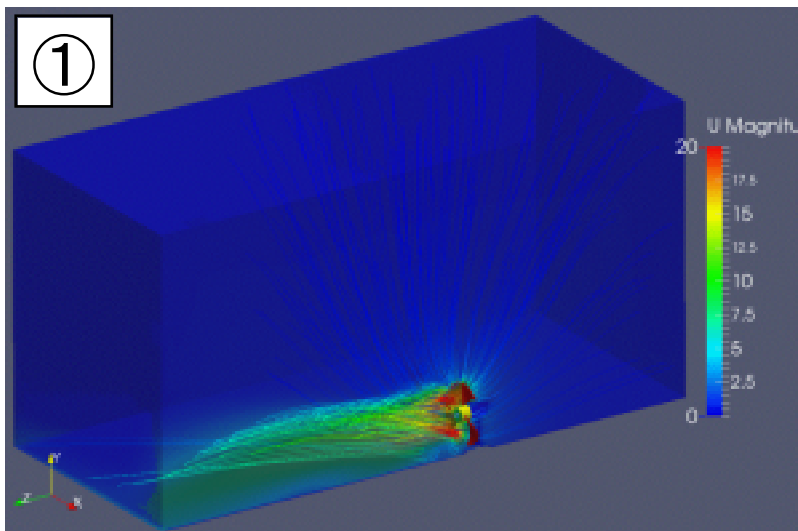


②その2での設定



面	U	p	k	omega	nut	boundary
minX	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
maxX	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
minY	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kgWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
maxY	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
minZ	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
maxZ	type pressureInletOutletVelocity value uniform(0,0,0)	type totalPressure	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type inletOutlet: inletValue \$internalField; value \$internalField;	type calculated value uniform 0	patch
fan	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kgWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall
base	type fixedValue value uniform(0,0,0)	type zeroGradient	type kgWallFunction value \$internalField	type omegaWallFunction value \$internalField	type nutkWallFunction value uniform 0	wall

MRFでの境界条件の比較

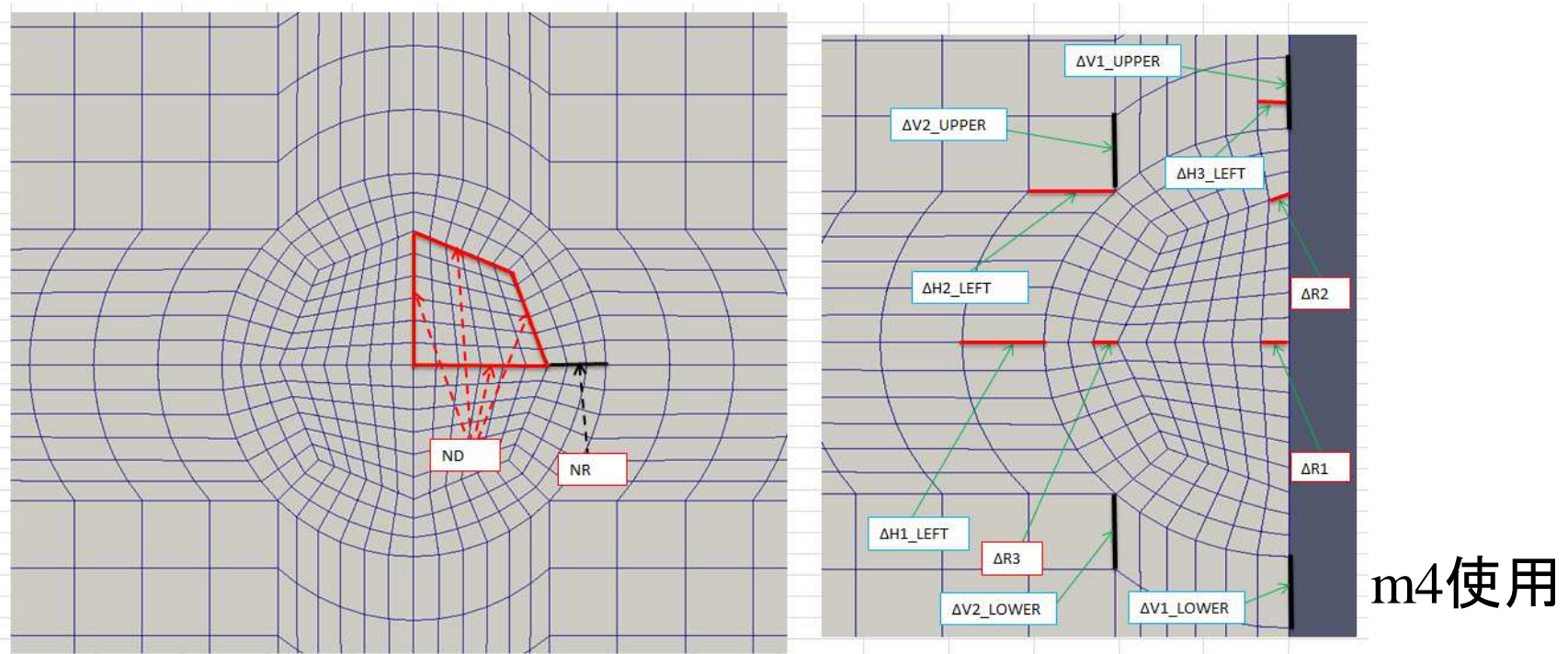


ほぼ同じような結果

5. m4を使わないメッシュでの計算

m4によるメッシュ作成でなく、通常のメッシュ作成で上手く計算するには？

m4を使ってのメッシュ作成は少々手間がかかる。しかし、品質の良いメッシュを作る事が可能。



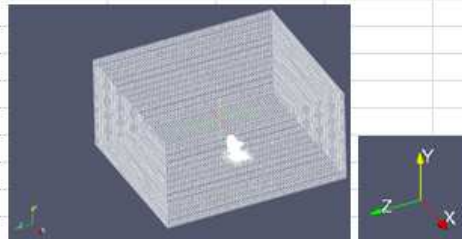
メッシュのパラメータ調整が必要になる。

AMI 境界領域を直接m4で作成する

blockMesh領域	幅(m)	幅(mm)	基礎分割数	基礎メッシュ(0)	基礎メッシュ(1)	基礎メッシュ(2)	基礎メッシュ(3)	基礎メッシュ(4)	基礎メッシュ(5)	基礎メッシュ(6)		
x	-1.500	1.500	3	3000	60	50	25	12.5	6.25	3.125	1.5625	0.78125
y	-0.250	1.550	1.8	1800	36	50	25	12.5	6.25	3.125	1.5625	0.78125
z	-1.500	2.000	3.5	3500	70	50	25	12.5	6.25	3.125	1.5625	0.78125

151200

	x	y	z
0	-1.500	-0.250	-1.500
1	1.500	-0.250	-1.500
2	1.500	1.550	-1.500
3	-1.500	1.550	-1.500
4	-1.500	-0.250	2.000
5	1.500	-0.250	2.000
6	1.500	1.550	2.000
7	-1.500	1.550	2.000



R1	0.22	LA	-1.5	ND	6	NAB	70
r	0.6	LB	-0.045	NR	4	NBC	5
Vh	1.550	LC	0.07	NRR_UPPER	40	NCD	90
VI	0.250	LD	2	NRR_LOWER	2		
H_right	1.500			NRR_LEFT	50		
H_left	1.500			NRR_RIGHT	50		

パラメータ	m	mm	0	1	2	3	4	5
Δ R1	0.0220	22.000	22.000	11.000	5.500	2.750	1.375	0.688
Δ R2	0.0168	16.838	16.838	8.419	4.210	2.105	1.052	0.526
Δ R3	0.0220	22.000	22.000	11.000	5.500	2.750	1.375	0.688
Δ H1_LEFT	0.0256	25.600	25.600	12.800	6.400	3.200	1.600	0.800
Δ H2_LEFT	0.0269	26.889	26.889	13.444	6.722	3.361	1.681	0.840
Δ H3_LEFT	0.0259	25.927	25.927	12.964	6.482	3.241	1.620	0.810
Δ V1_UPPER	0.0333	33.250	33.250	16.625	8.313	4.156	2.078	1.039
Δ V2_UPPER	0.0349	34.861	34.861	17.430	8.715	4.358	2.179	1.089
Δ V1_LOWER	0.0150	15.000	15.000	7.500	3.750	1.875	0.938	0.469
Δ V2_LOWER	0.0472	47.218	47.218	23.609	11.805	5.902	2.951	1.476
Δ AB	0.0208	20.786	20.786	10.393	5.196	2.598	1.299	0.650
Δ BC	0.0230	23.000	23.000	11.500	5.750	2.875	1.438	0.719
Δ CD	0.0214	21.444	21.444	10.722	5.361	2.681	1.340	0.670

$$\Delta R1 = r \cdot R1 / ND$$

$$\Delta R2 = (r \cdot R1 \cdot \sin 45 / 2) \times 2 / ND$$

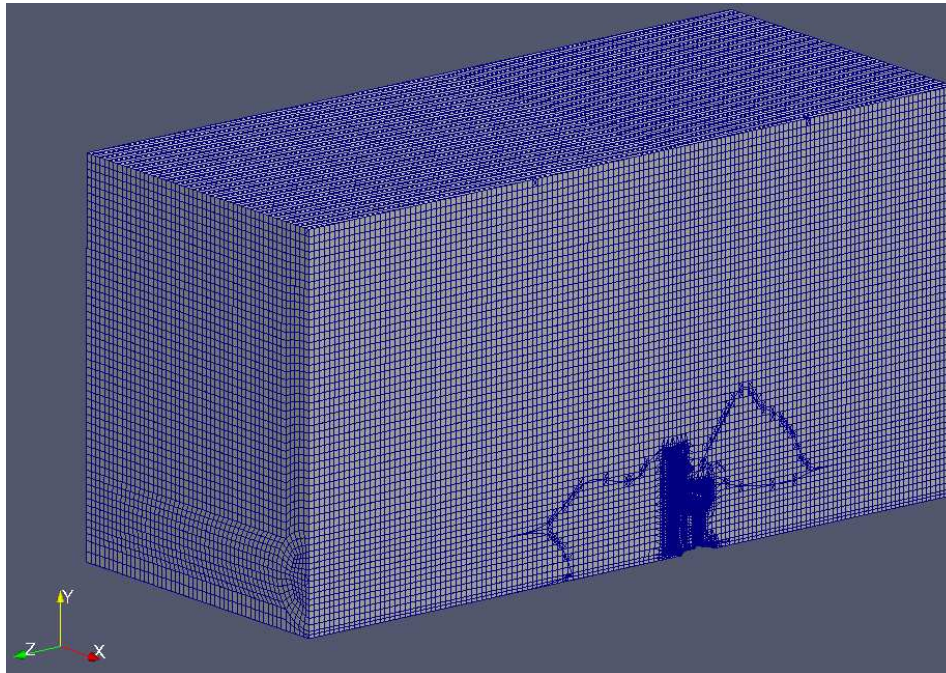
$$\Delta R3 = (R1 - r \cdot R1) / NR$$

$$\Delta H1_LEFT = (R2 - R1) / NRR$$

$$\Delta H2_LEFT = (R2 - R1 \cdot \cos 45) / NRR$$

$$\Delta H3_LEFT = R1 \cdot \cos 45 / ND$$

m4使用



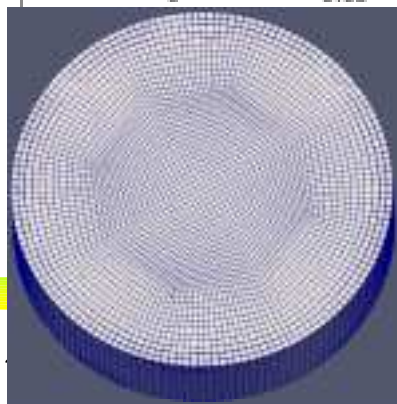
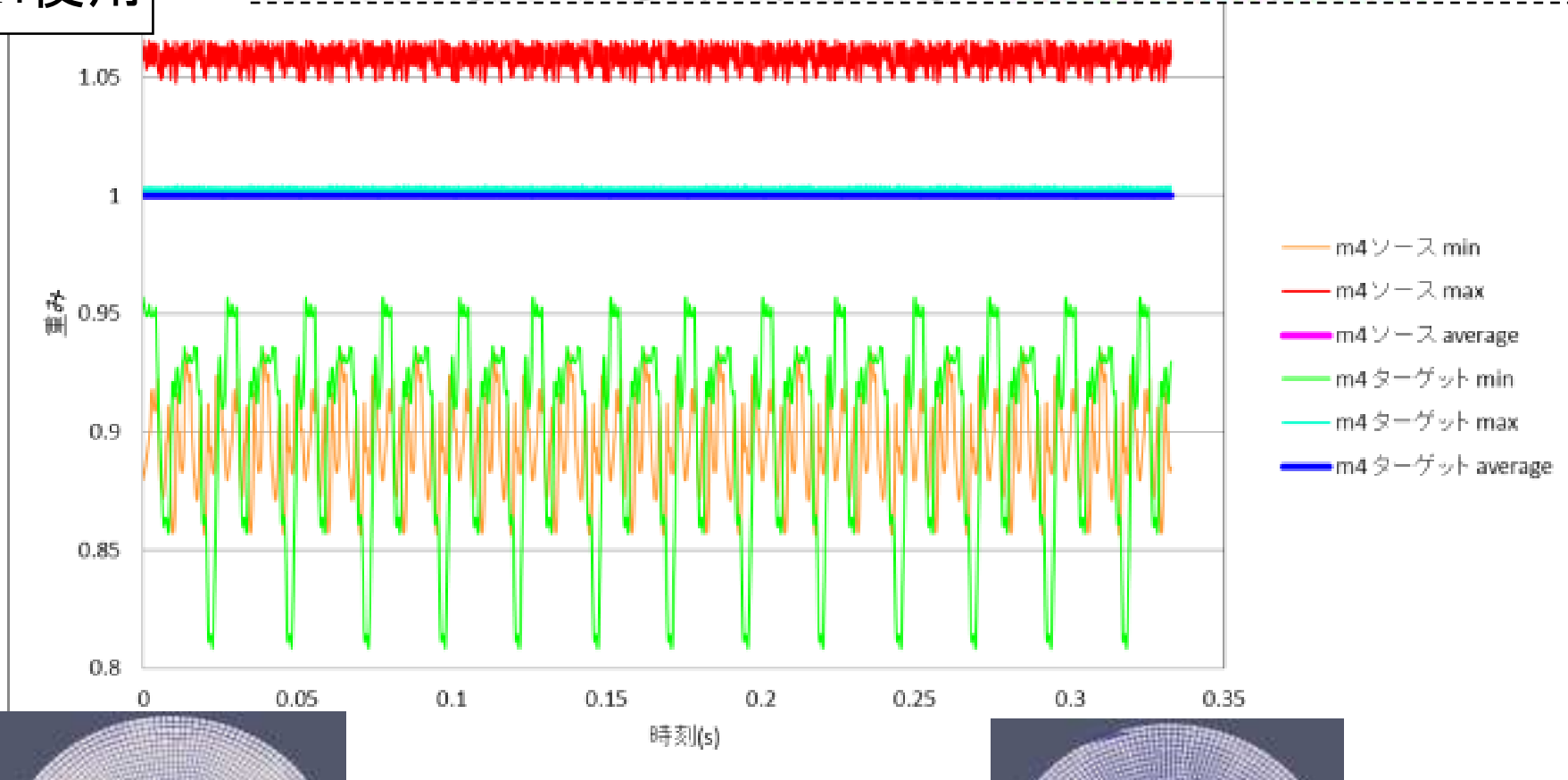
```
Mesh stats
  points:          1183485
  faces:           3249746
  internal faces:  3095258
  cells:           1039434
  faces per cell:  6.10429
  boundary patches: 10
  point zones:    0
  face zones:     1
  cell zones:     1
```

```
Checking geometry...
Overall domain bounding box (-1.5 -0.25 -1.5) (1.5 1.55 2)
Mesh (non-empty, non-wedge) directions (1 1 1)
Mesh (non-empty) directions (1 1 1)
Boundary openness (5.39585e-16 -9.11182e-15 1.54647e-16) OK.
Max cell openness = 3.97242e-16 OK.
Max aspect ratio = 8.24859 OK.
Minimum face area = 9.8103e-09. Maximum face area = 0.00146009. Face area magnitudes OK.
Min volume = 2.48777e-10. Max volume = 3.9051e-05. Total volume = 18.8979. Cell volumes OK.
Mesh non-orthogonality Max: 65.0272 average: 11.3245
Non-orthogonality check OK.
Face pyramids OK.
***Max skewness = 5.02543, 3 highly skew faces detected which may impair the quality of the results
<<Writing 3 skew faces to set skewFaces
Coupled point location match (average 0) OK.
```

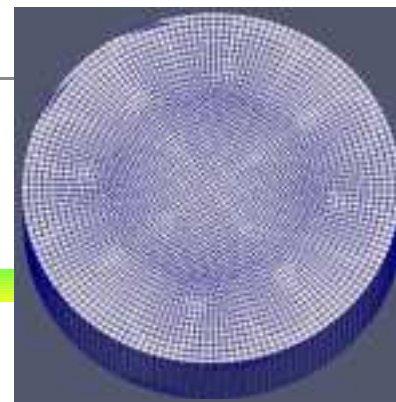
Failed 1 mesh checks.

m4使用

```
AMI: Creating addressing and weights between 12092 source faces and 12354 target faces  
AMI: Patch source sum(weights) min/max/average = 0.877148, 1.00731, 0.999959  
AMI: Patch target sum(weights) min/max/average = 0.889161, 1.04409, 0.999949
```



0s



0.33s

32/44

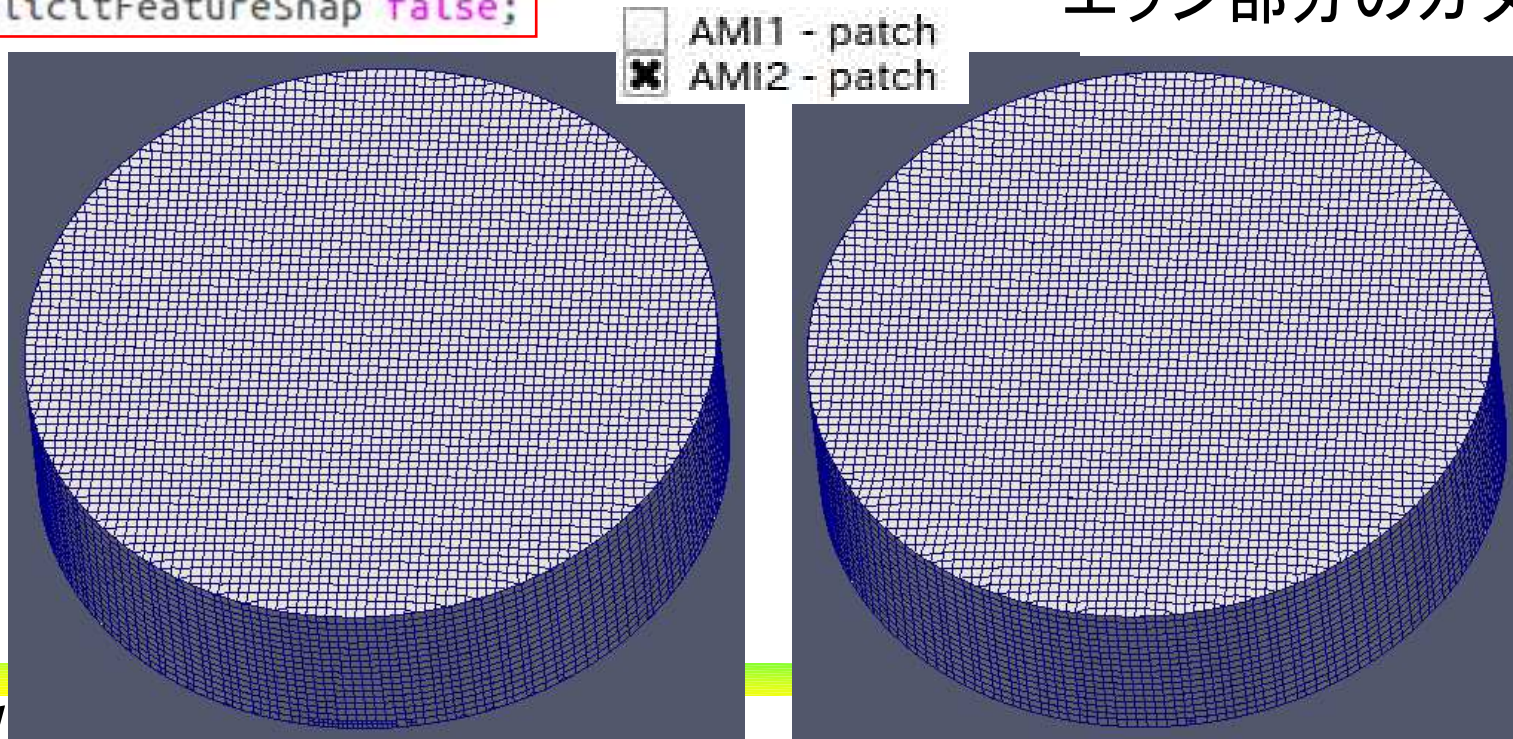
通常のメッシュ作成 snappyHexMeshの設定

メッシュ1

```
// Feature snapping
//- Detect (geometric only) features by sampling the surface
// (default=false).
//implicitFeatureSnap false;
implicitFeatureSnap true;

//- Use castellatedMeshControls::features (default = true)
//explicitFeatureSnap true;
explicitFeatureSnap false;
```

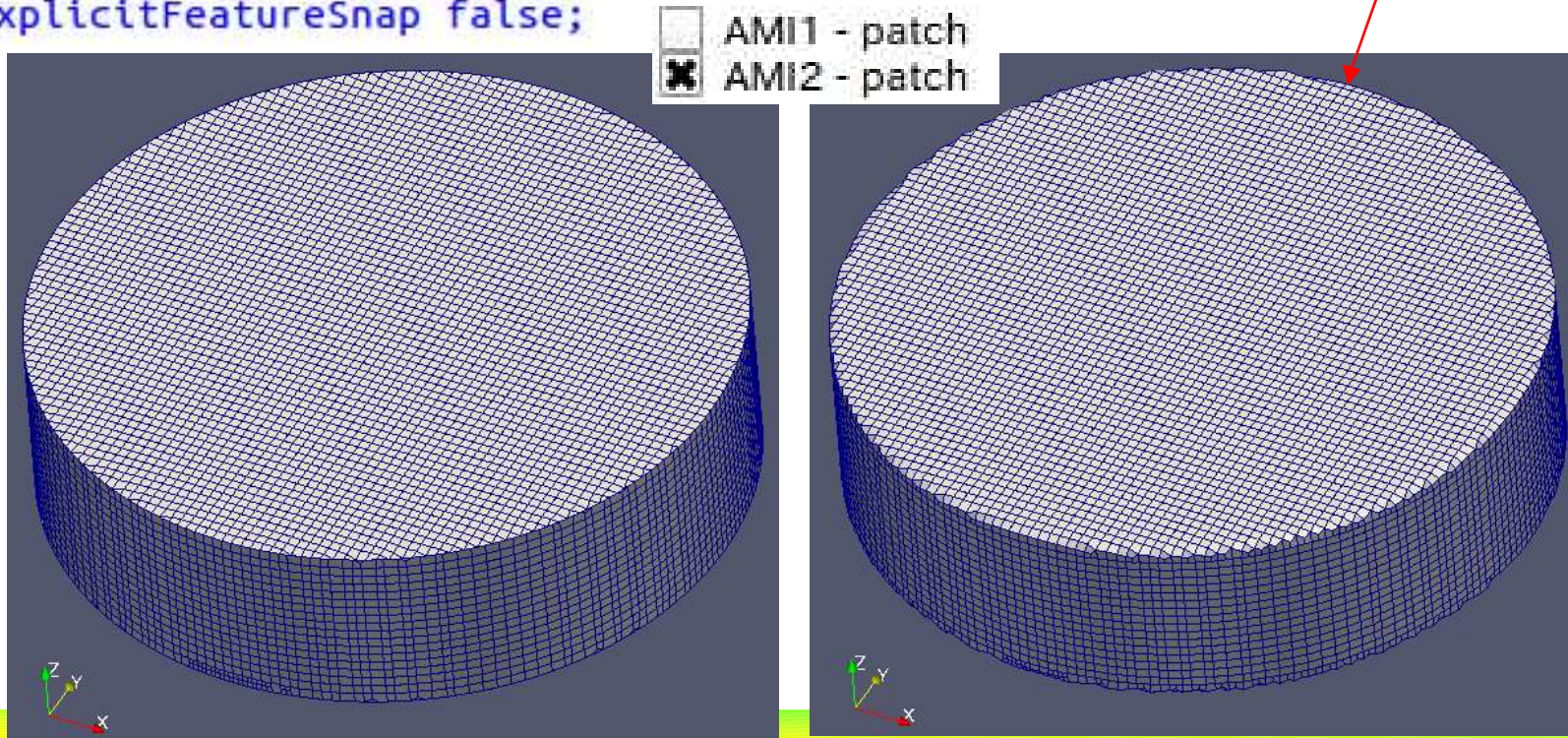
エッジ部分のガタガタなし



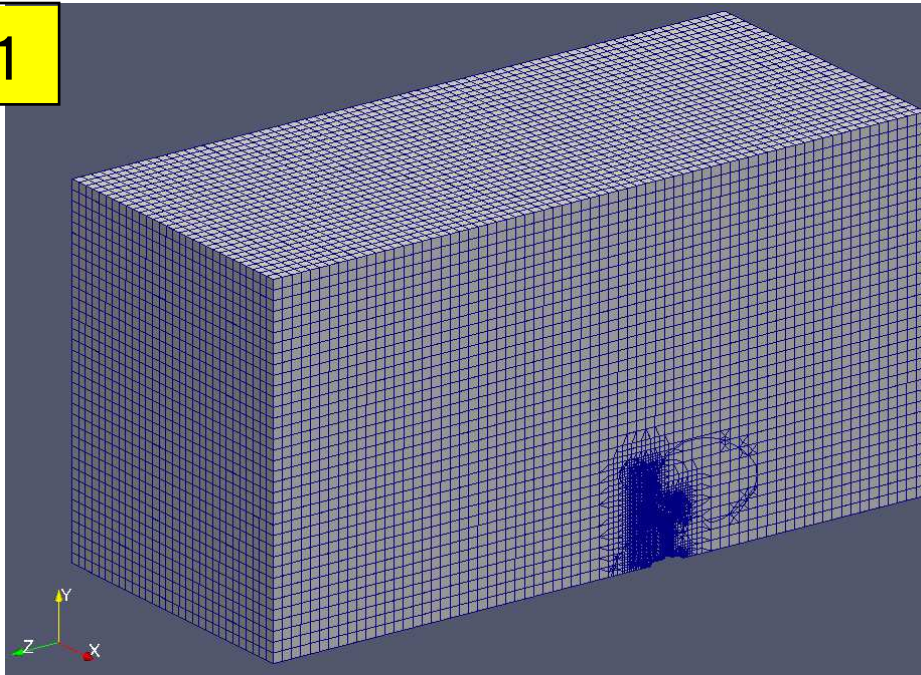
メッシュ2

```
// Feature snapping  
//- Detect (geometric only) features by sampling the surface  
// (default=false).  
implicitFeatureSnap false;  
//implicitFeatureSnap true;  
  
//- Use castellatedMeshControls::features (default = true)  
explicitFeatureSnap true;  
//explicitFeatureSnap false;
```

エッジ部分がガタガタ



メッシュ1



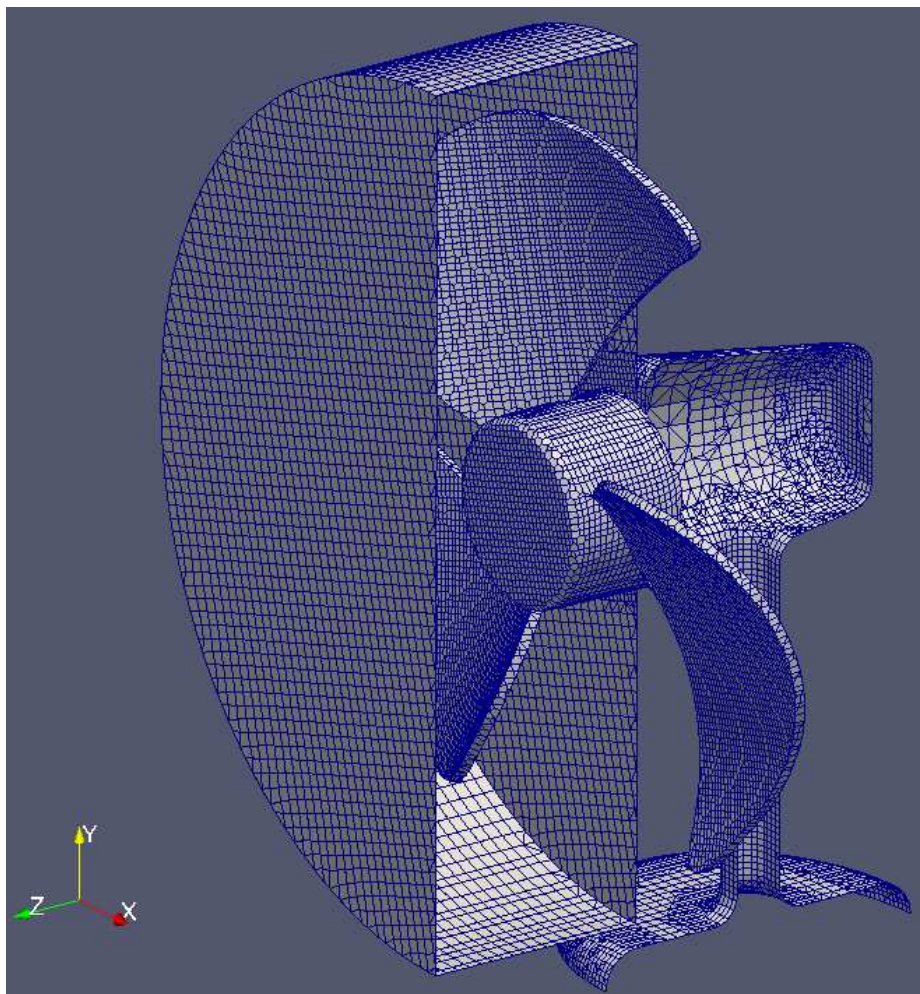
Mesh stats

points:	446313
faces:	1214872
internal faces:	1146239
cells:	385910
faces per cell:	6.11829
boundary patches:	10
point zones:	0
face zones:	1
cell zones:	1

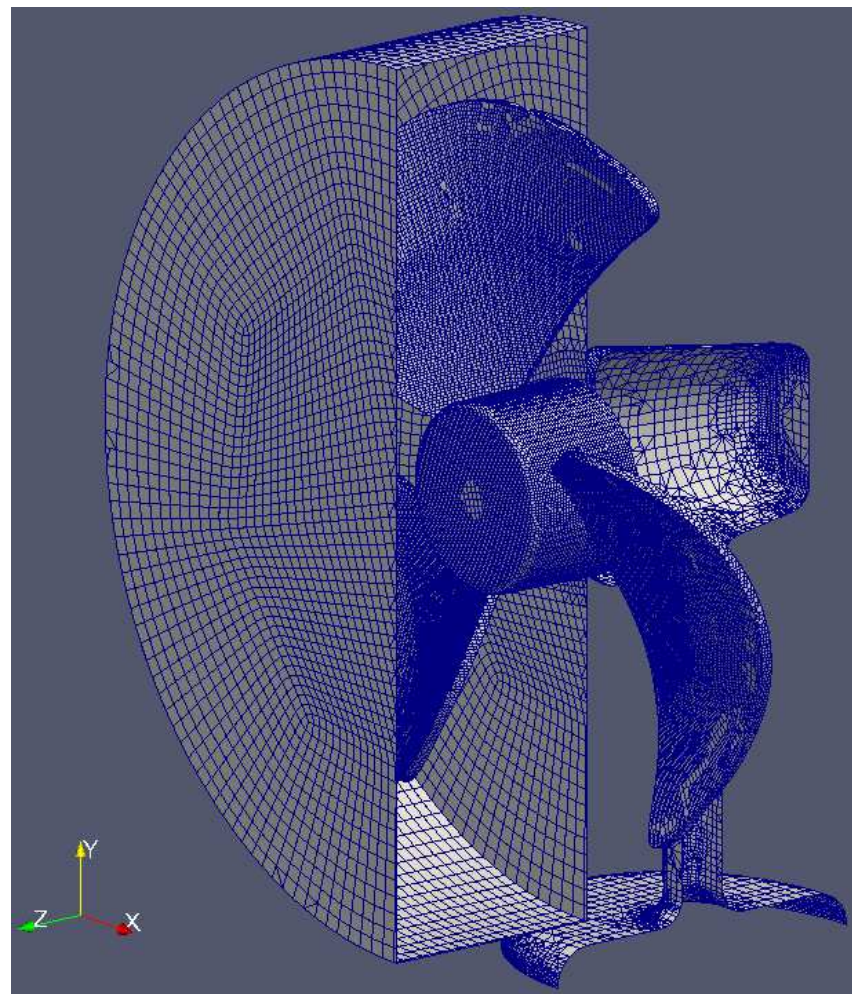
```
Checking geometry...|
Overall domain bounding box (-1.5 -0.25 -1.5) (1.5 1.55 2)
Mesh (non-empty, non-wedge) directions (1 1 1)
Mesh (non-empty) directions (1 1 1)
Boundary openness (-1.0003e-15 4.68115e-15 -4.40758e-16) OK.
Max cell openness = 3.13791e-16 OK.
Max aspect ratio = 9.17092 OK.
Minimum face area = 2.08497e-07. Maximum face area = 0.0025349. Face area magnitudes OK.
Min volume = 2.76884e-09. Max volume = 0.000126889. Total volume = 18.8979. Cell volumes OK.
Mesh non-orthogonality Max: 61.5962 average: 7.53419
Non-orthogonality check OK.
Face pyramids OK.
***Max skewness = 4.42898, 2 highly skew faces detected which may impair the quality of the results
<<Writing 2 skew faces to set skewFaces
Coupled point location match (average 0) OK.

Failed 1 mesh checks.
```


通常



m4使用

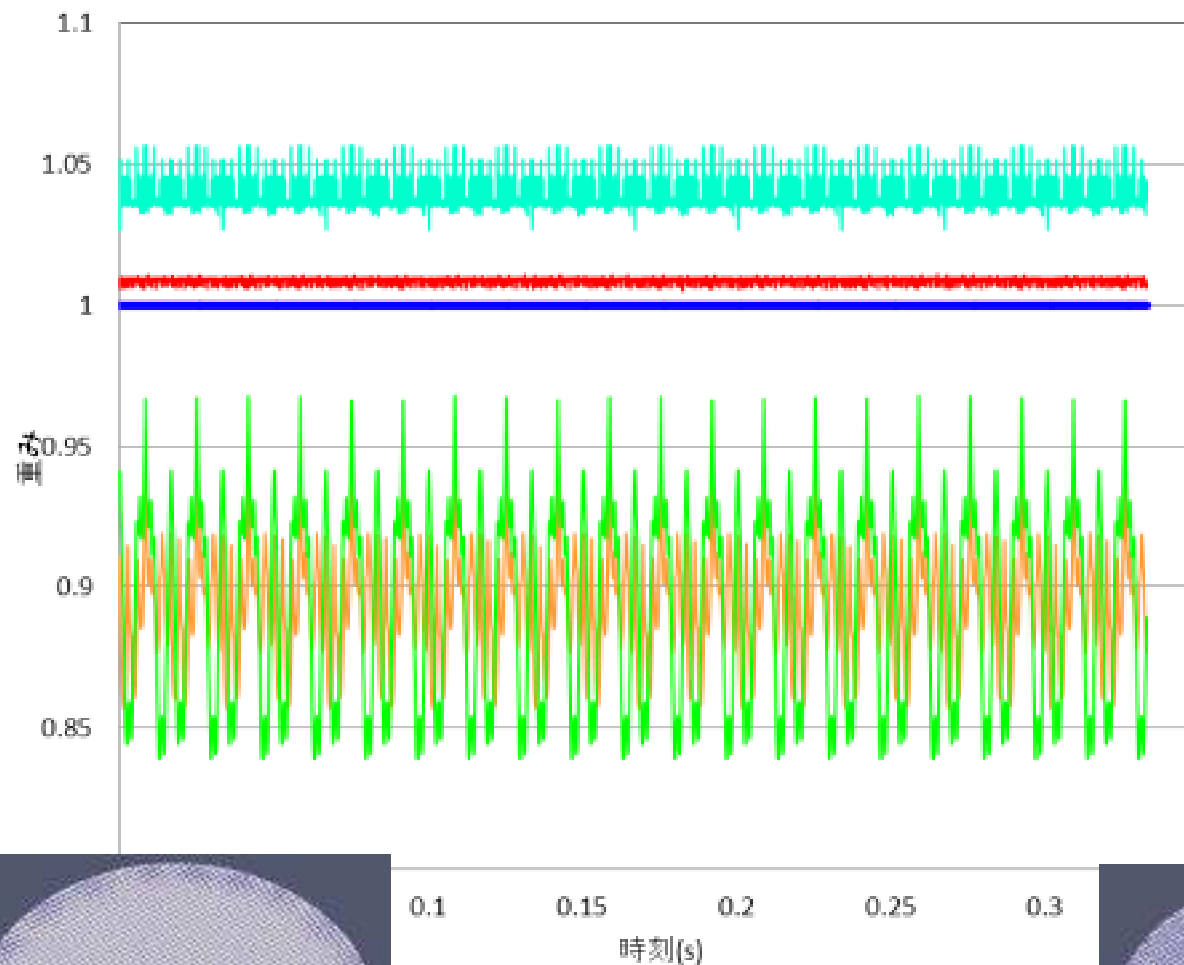


メッシュ1

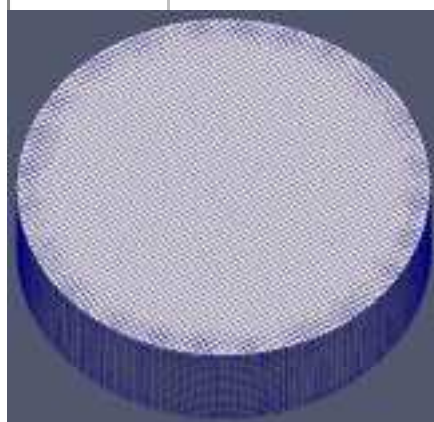
2014.05.10

通常

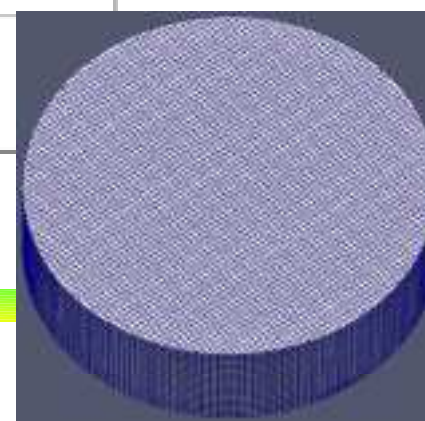
メッシュ1



- エッジにガタガタなしソース min
- エッジにガタガタなしソース max
- エッジにガタガタなしソース average
- エッジにガタガタなしターゲット min
- エッジにガタガタなしターゲット max
- エッジにガタガタなしターゲット average



0s

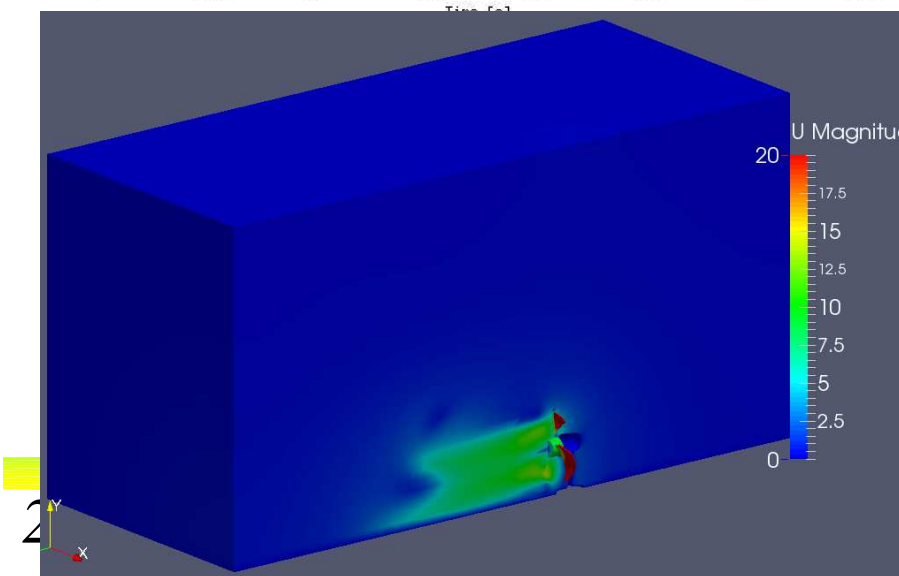
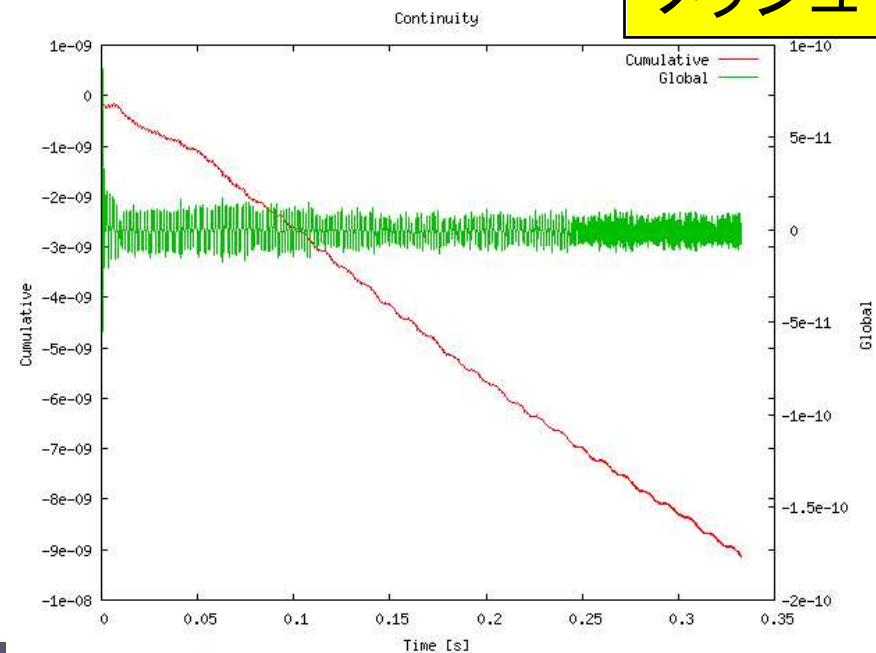
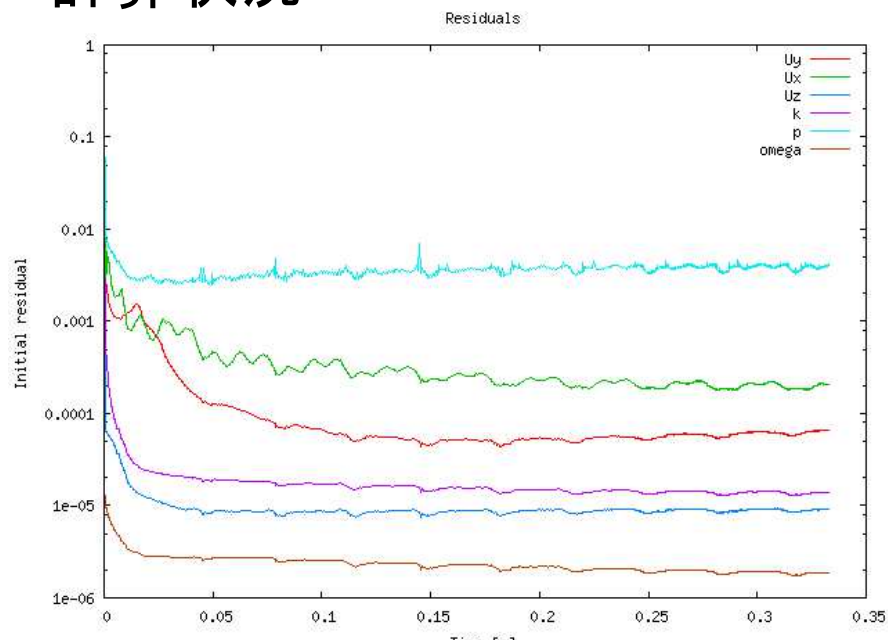


0.33s

37/44

計算状況

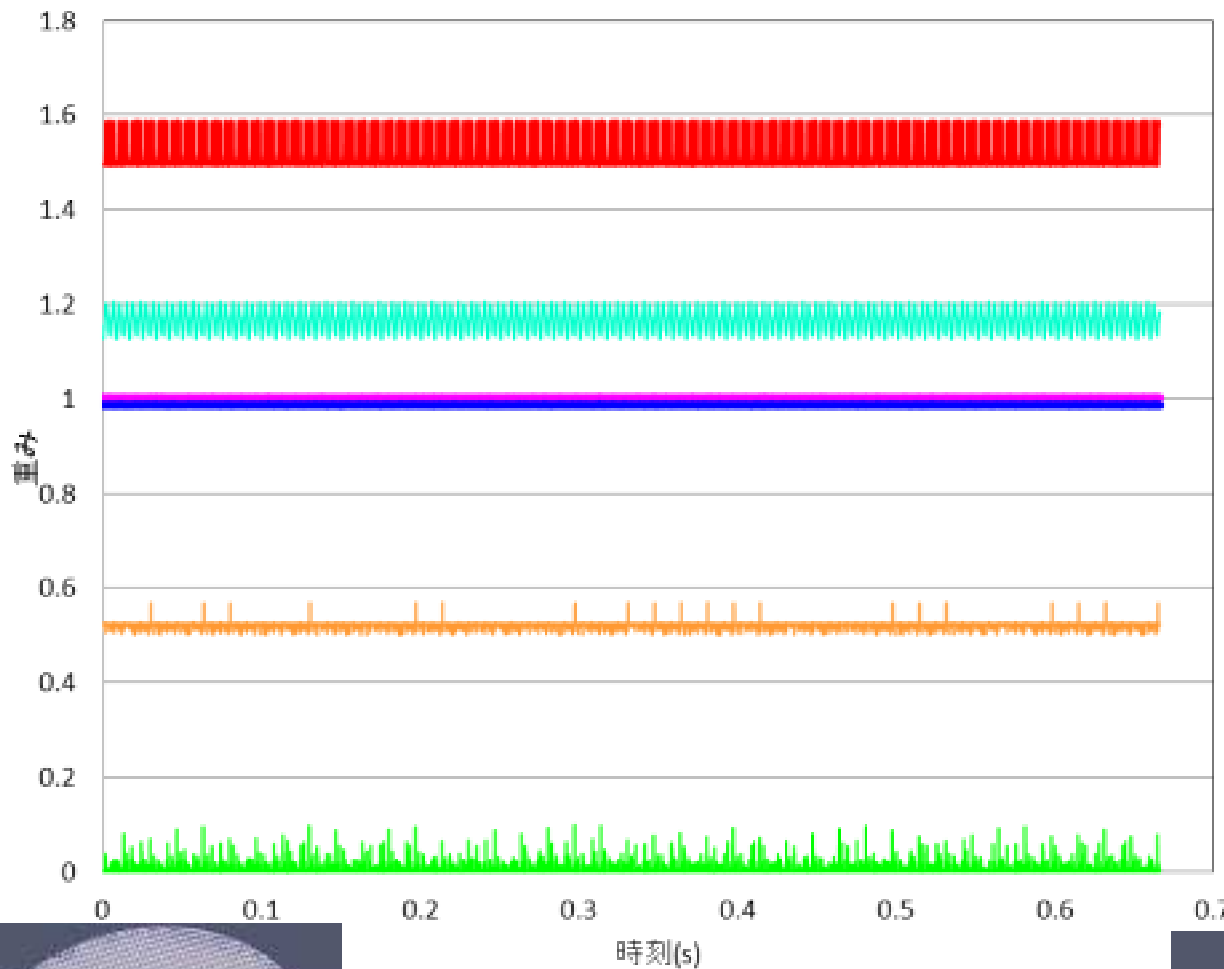
メッシュ1



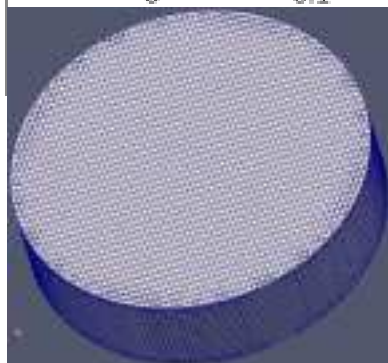
10回転

通常

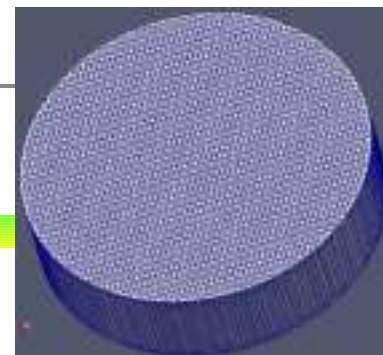
メッシュ2



- エッジにガタガタありソース min
- エッジにガタガタありソース max
- エッジにガタガタありソース average
- エッジにガタガタありターゲット min
- エッジにガタガタありターゲット max
- エッジにガタガタありターゲット average



0s

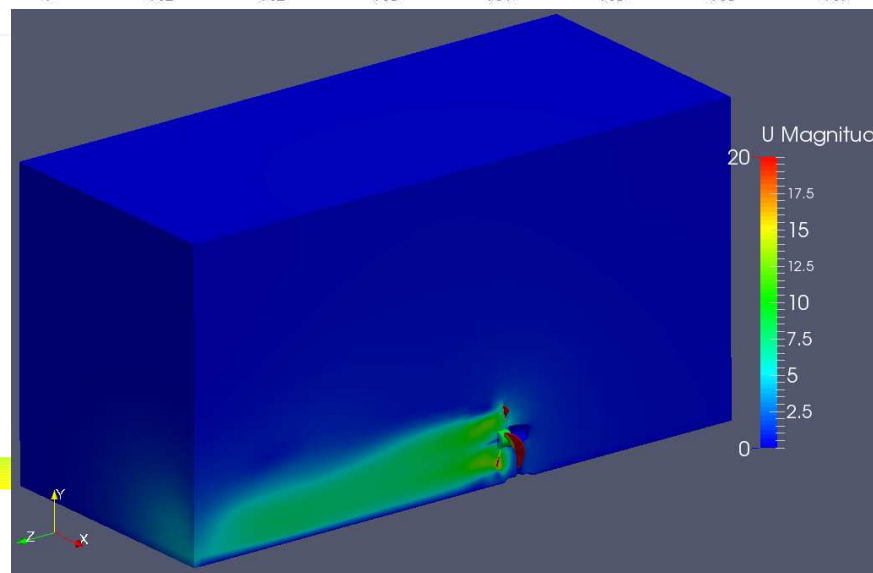
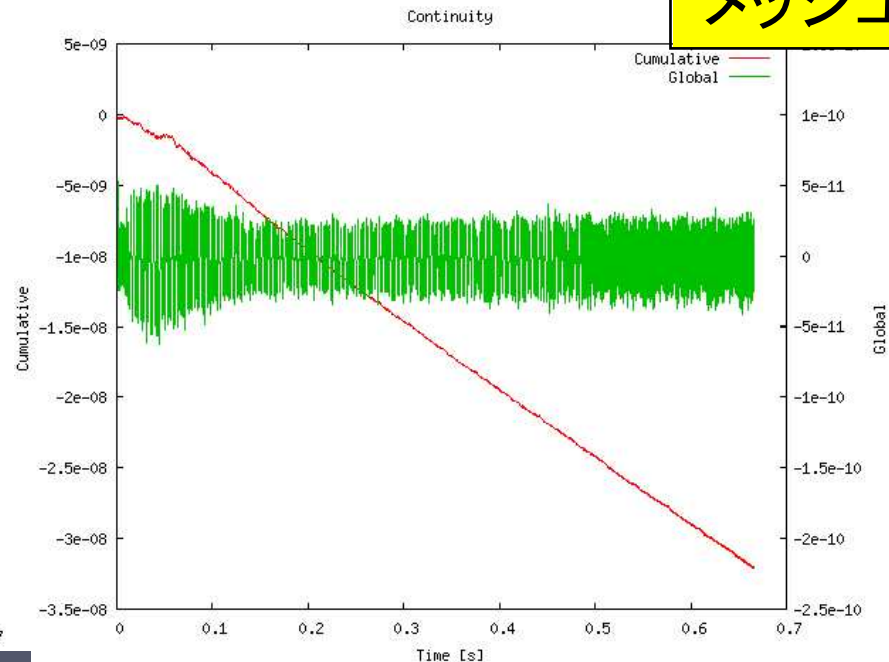
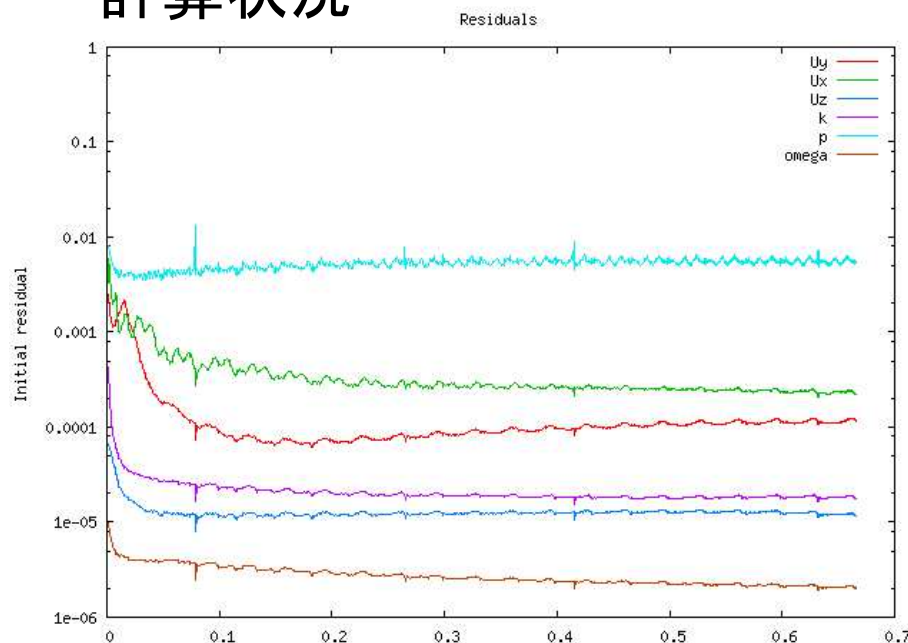


0.66s

39/44

計算状況

メッシュ2



20回転

6. まとめ

6. まとめ

- ・AMIの計算において、境界条件を検討する事で、境界面での不自然な挙動を大幅に抑える事が出来る。
- ・m4を使わないメッシュ作成でも、本事例では発散しない計算をする事が可能であった。

7. 謝辞

7. 謝辞

- ・アドバイスを頂きました皆様ありがとうございます。
- ・扇風機のモデルは、第5回SBD利用技術研究会中日本で、(株)構造計画研究所SBD営業部の森様が作成されたモデルを修正して使わせて頂きました。

SBD利用技術研究会			
研究会TOP	KKE/SBD	KKE/TOP	お問い合わせ
会員ログイン	研究会詳細	入会・退会について	設立趣旨

TEL:03-5342-1051

SBD利用技術研究会 <http://www.sbd.jp/lab/index.shtml>

SBDとは、設計者自身がシミュレーションしながら設計検討するSimulation Based Designという設計手法の略称です。

| ホーム



CAEが設計のビジネス改革としてどれだけ役に立つかどうかは、その使い方に大きく依存するものです。SBD利用技術研究会は、ユーザー、ベンダーといった立場にとらわれず、より効率的なCAEの利用技術の向上を目指して活動しています。活動の趣旨に賛同し、仲間に加わって頂ける方をお待ちしています。[研究会の設立趣旨](#)