

ただで始める流体解析

初心者が行う

OpenFOAM & Free CAD & Blender

を利用したファンの流れ計算

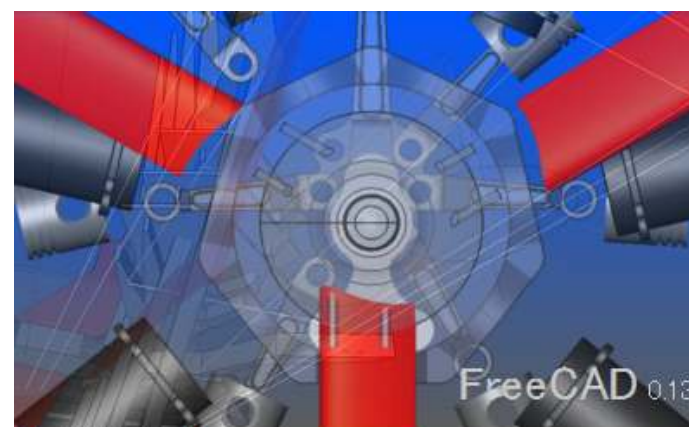
(AMI+m4)

Ver 2.2.x

本日の流れ

0. はじめに
1. モデルの確認
2. メッシュ作成
- 3-1. メッシュ1
計算結果
- 3-2. メッシュ2
計算結果
4. まとめ

本内容は第23回からの続きです。
前回資料は第23回勉強会の
ページにアップしてあります。

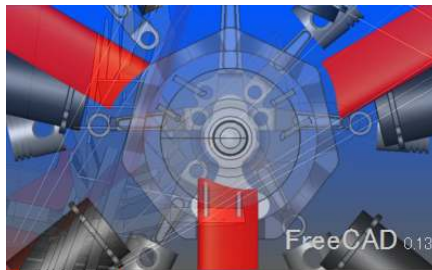


Open  FOAM

0. はじめに

0. はじめに

ファンの流れ解析をOpenFOAM, FreeCAD, blenderの **すべてただで使えるフリーソフト**を利用してやってみました。

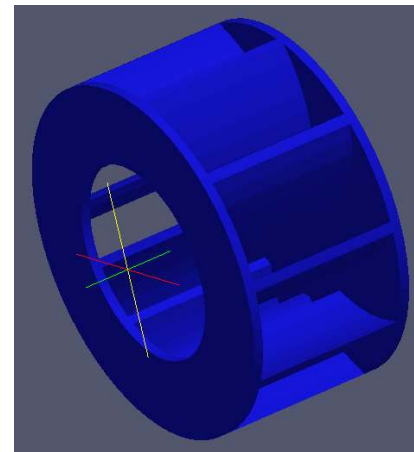
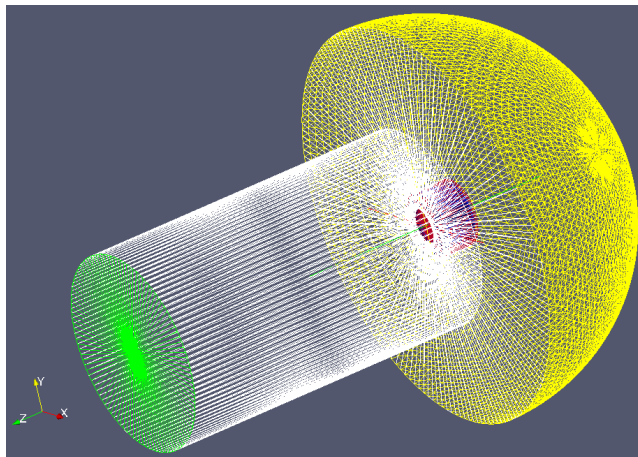


+



+

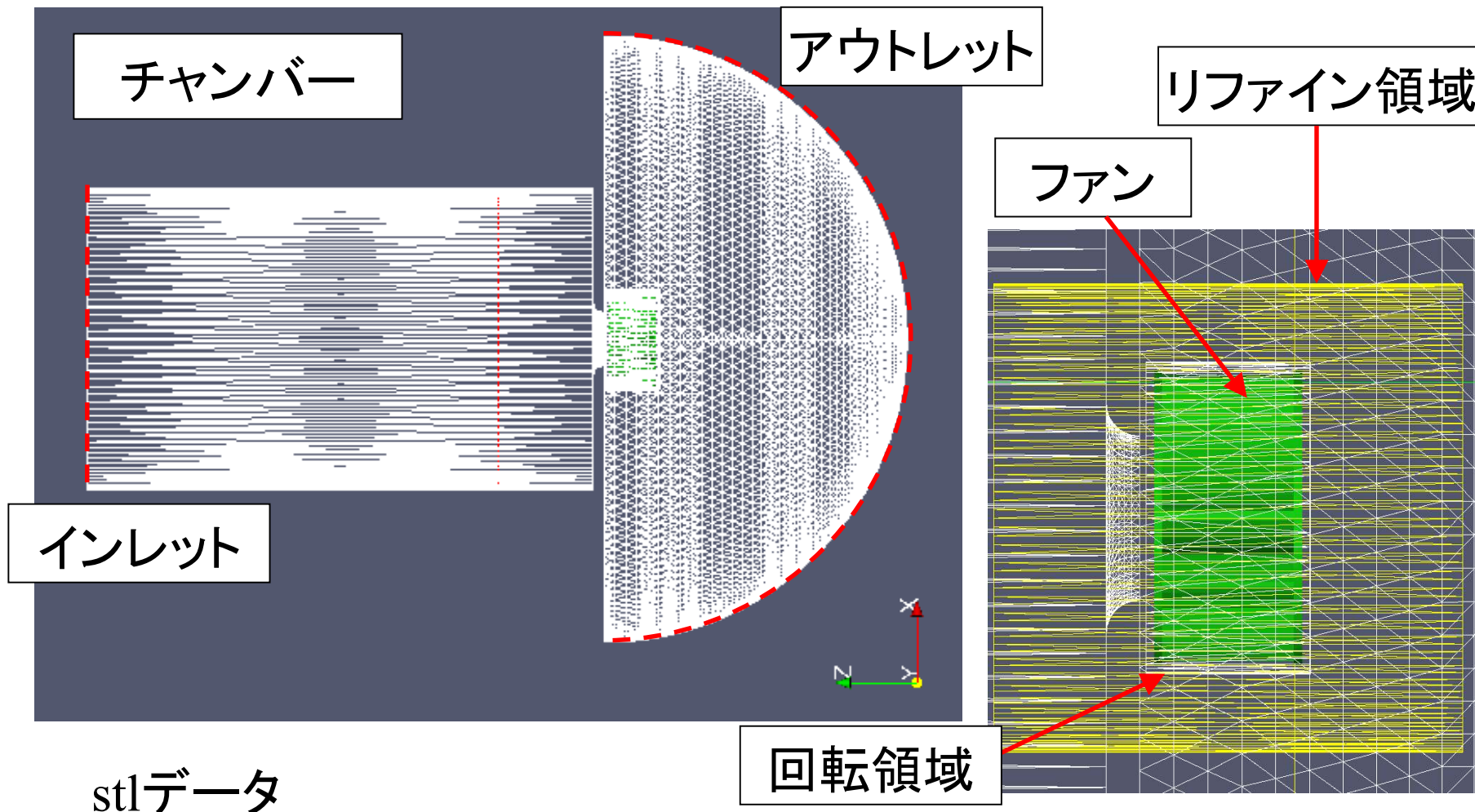
OpenFOAM



今回の計算モデル
Free CADで形状
を全部作成
(第23回と同じ)

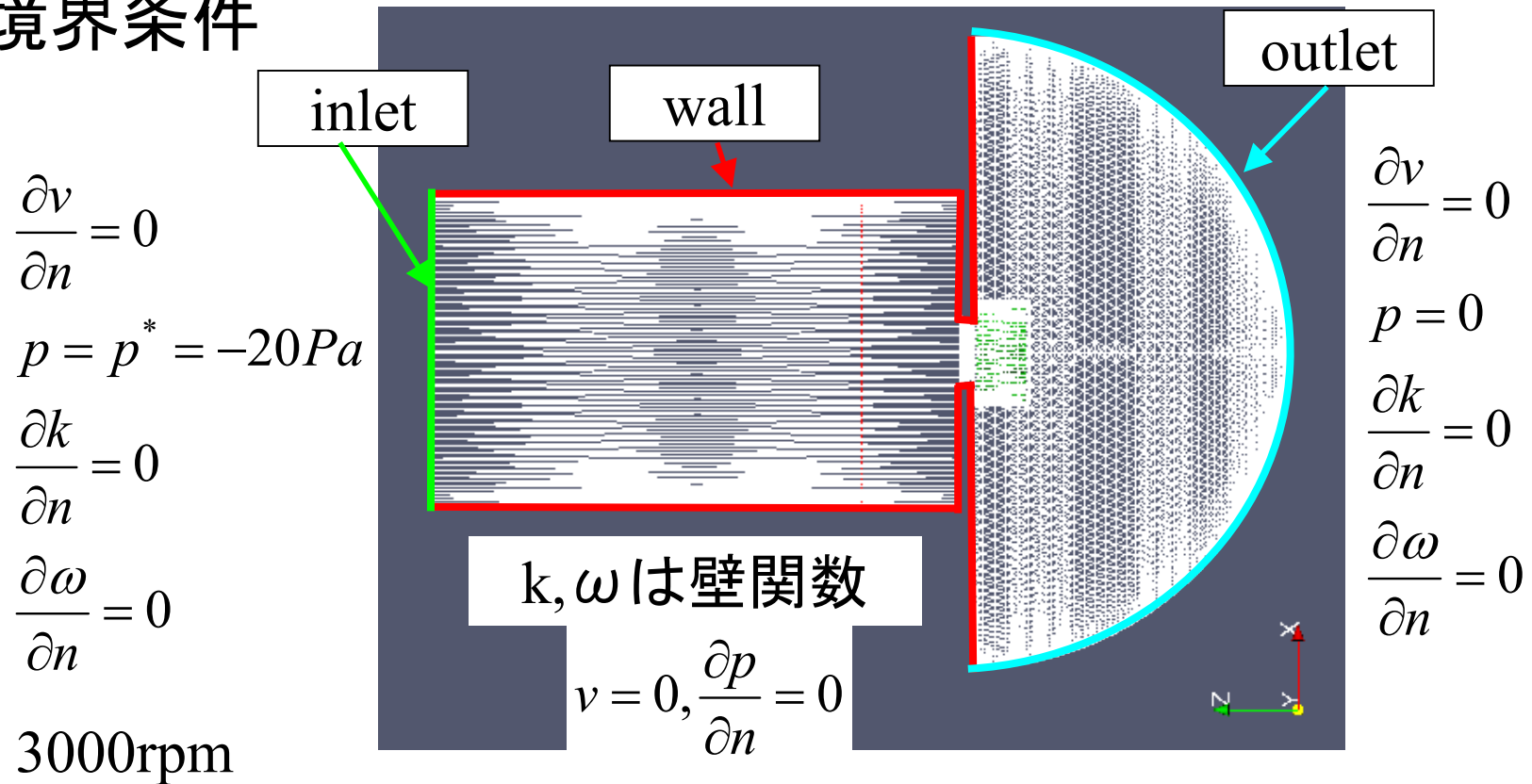
1. モデルの確認

1. モデルの確認



1. モデルの確認

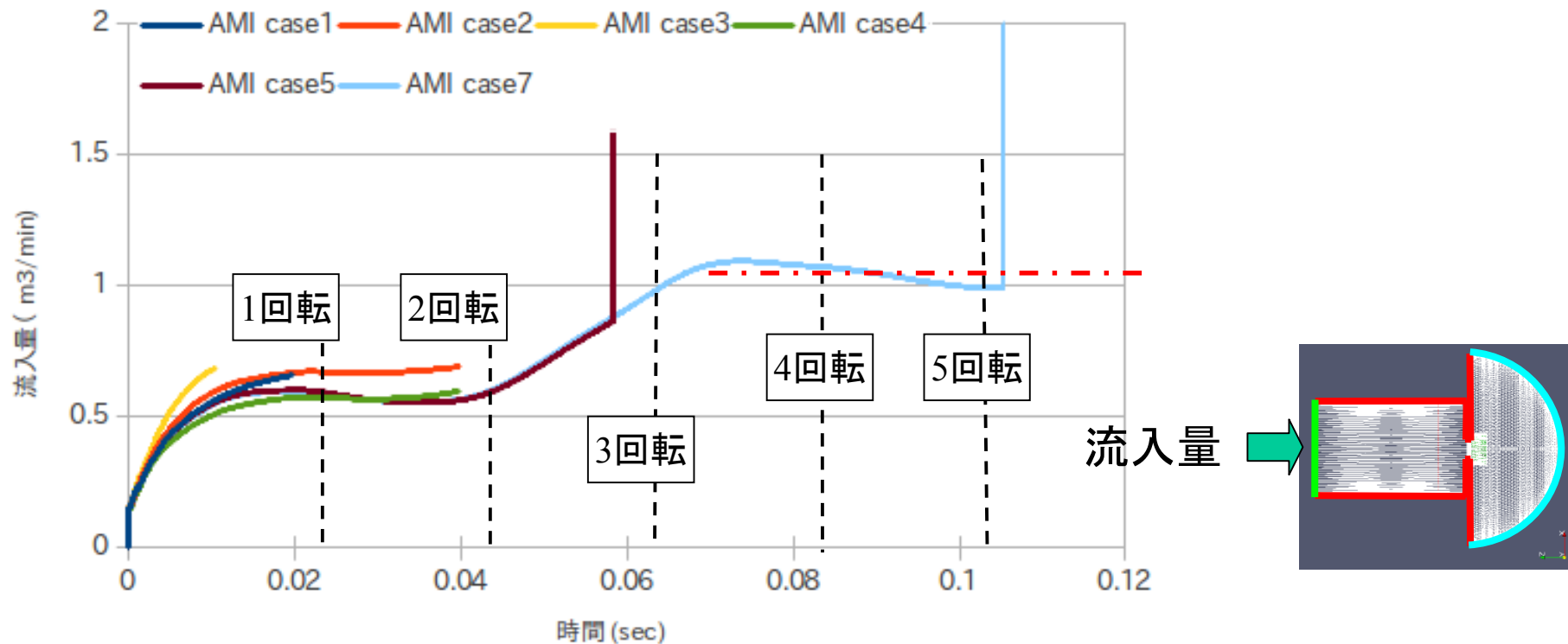
境界条件



2. メッシュ作成

2. メッシュ作成

第23回ではMRF用に作成したメッシュでAMIでの計算を実施しました。しかし、御多分に漏れず計算が途中で発散！。m4を用いたメッシュにトライしました。



2. メッシュ作成

①計算に必要なファイルの設定

②m4+blockMesh m4で基礎メッシュ作成

③surfaceFeatureExtract

特徴線の取出し

④decomposePar

並列メッシュの準備

⑤snappyHexMesh

並列メッシュの作成

⑥reconstructParMesh

メッシュの統合

⑦topoSet

ダミーフェースの作成

⑧createPatch

パッチの作成

⑨createBaffles

回転面の設定

⑩mergeOrSplitBaffles

回転面の分割

⑪checkMesh

チェックのメッシュ

⑫ホルダ構成の設定・調整

2. メッシュ作成

```
echo "Start mesh AMI"
CASE_DIR=case_set/case1/set
DECOMPOSE_PAR=decomposeParDict_case1_mesh
SNAPPYHEXMESH_DICT=snappyHexMeshDict_case1
SNAPPYHEXMESH_FEATURE=surfaceFeatureExtractDict_1
SNAPPYHEXMESH_DEFAULT=surfaceFeatureExtractDictDefaults_1
FV_SCH=fvSchemes_case1
FV_SOL=fvSolution_case1
CONTROL_DICT=controlDict_case1_mesh
DummyfaceSet=DummyfaceSet.topoSetDict_case1
CREATE_PatchDict=createPatchDict_case1
CREATE_BafflesDict=createBafflesDict_case1
AMI_AREA=rotate_area
```

①計算に必要なファイルの設定

```
cp -r $CASE_DIR/$FV_SCH system/fvSchemes
cp -r $CASE_DIR/$FV_SOL system/fvSolution
cp -r $CASE_DIR/$SNAPPYHEXMESH_FEATURE system/surfaceFeatureExtractDict
cp -r $CASE_DIR/$SNAPPYHEXMESH_DEFAULT system/surfaceFeatureExtractDictDefaults
```

```
echo "blockMesh"
cp -r $CASE_DIR/$CONTROL_DICT system/controlDict
m4 < constant/polyMesh/blockMeshDict base.m4 > constant/polyMesh/blockMeshDict
$runApplication blockMesh > log.blockMesh
```

②基礎メッシュの作成

m4を利用

```
echo "surfaceFeatureExtract"
$runApplication surfaceFeatureExtract
```

③特徴線の取出し

```
echo "decomposePar 4 blocks"
cp -r $CASE_DIR/$DECOMPOSE_PAR system/decomposeParDict
$runApplication decomposePar > log.decomposePar
```

④並列メッシュの準備

2. メッシュ作成

```
echo "Copy data"|  
cp -r constant/triSurface/ processor0/constant/  
cp -r constant/triSurface/ processor1/constant/  
cp -r constant/triSurface/ processor2/constant/  
cp -r constant/triSurface/ processor3/constant/
```

```
echo "snappyHexMesh 4CPU"
```

```
cp -r $CASE_DIR/$SNAPPYHEXMESH_DICT system/snappyHexMeshDict  
$runApplication mpirun -np 4 snappyHexMesh -parallel > log.snappyHexMesh
```

⑤並列メッシュの作成

```
echo "reconstructParMesh"
```

```
$runApplication reconstructParMesh -time 3 -mergeTol 1e-6 > log.reconstructParMesh
```

⑥メッシュの統合

```
rm -r processor0  
rm -r processor1  
rm -r processor2  
rm -r processor3
```

```
echo "topoSet DummyfaceSet"
```

```
cp -r $CASE_DIR/$DummyfaceSet system/topoSetDict  
$runApplication topoSet > log.dummyfaceset
```

⑦ダミーフェースの作成

```
echo "createPatch"
```

```
cp -r $CASE_DIR/$CREATE_PatchDict system/createPatchDict  
$runApplication createPatch > log.createPatch
```

⑧パッチの作成

```
echo "createBaffles"
```

```
cp -r $CASE_DIR/$CREATE_BafflesDict system/createBafflesDict  
$runApplication createBaffles > log.createBaffles
```

⑨回転面の設定

2. メッシュ作成

```
echo "mergeOrSplitBaffles"  
$runApplication mergeOrSplitBaffles -split > log.mergeOrSplitBaffles
```

⑩回転面の分割

```
echo "checkMesh"  
$runApplication checkMesh > log.checkMesh
```

⑪チェックメッシュ

```
echo "rename holder name"  
mv constant/polyMesh constant/polyMesh_blockMesh
```

⑫ホルダ構成の設定・調整

```
echo "set data"  
mv 5/polyMesh constant
```

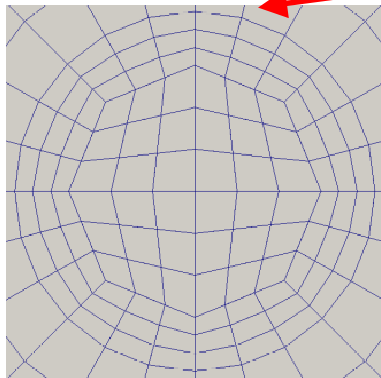
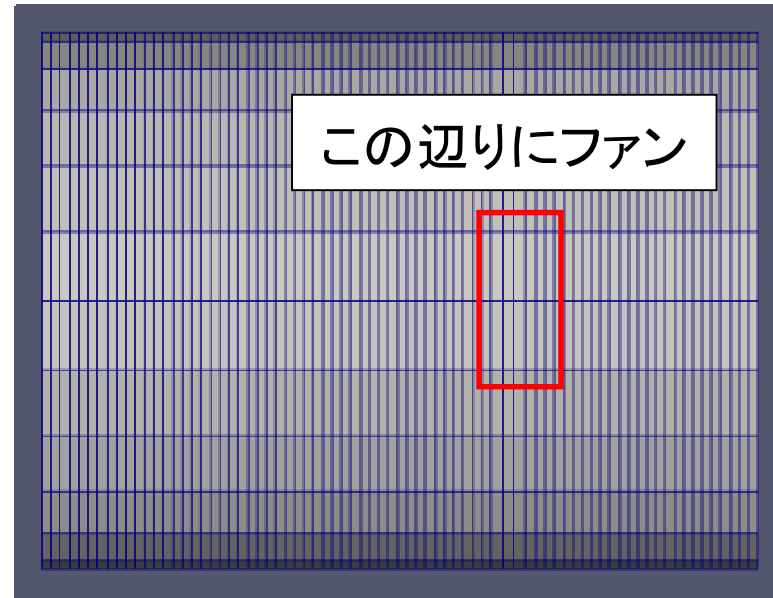
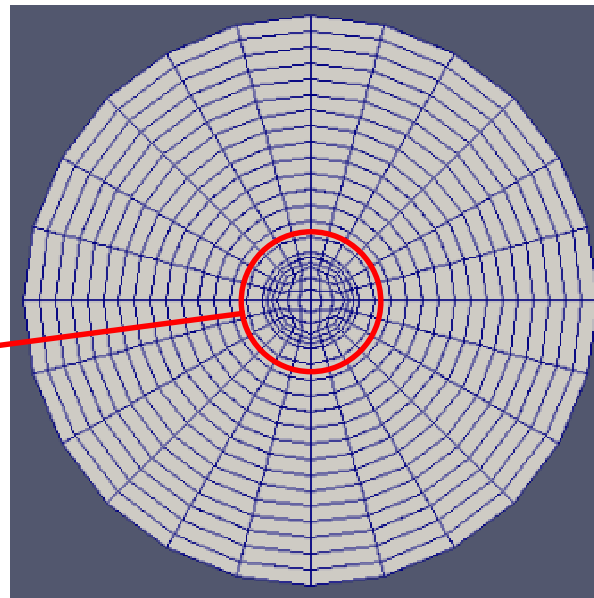
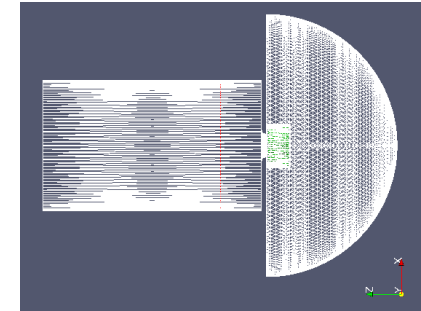
```
echo "End of mesh"
```

3-1. メッシュ1

m4でどんなメッシュを設定するか？



基礎メッシュ部分を放射状の円筒でトライ



NE様の公開情報を参考にさせていただきました。
<http://mogura7.zenno.info/~et/wordpress/?p=1123>

3-1. メッシュ1

```
// 円管径
define(R1, 0.050) //ファンの回転領域
define(R2, 0.3) //チャンバー領域

// 円管領域の内部矩形分割領域の比率
define(r, 0.7)
define(D1, calc(R1 * r))

// 分割数
//ND 1/8ブロックの周方向
define(ND, 3)

// NR 円管の矩形外領域の径方向
define(NR, 3)

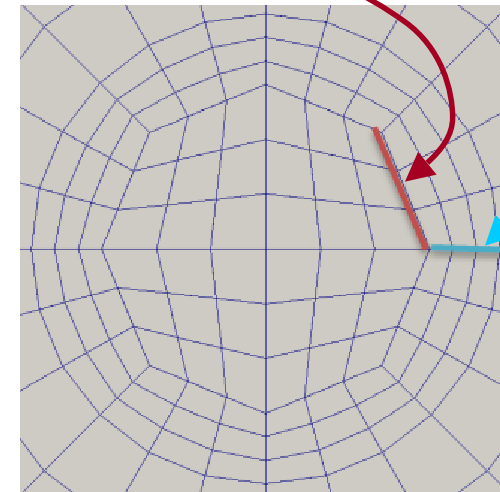
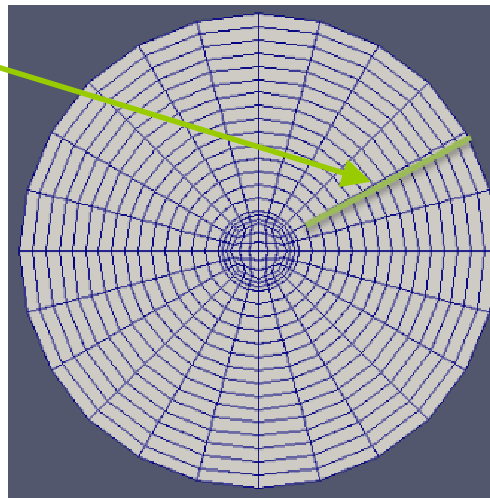
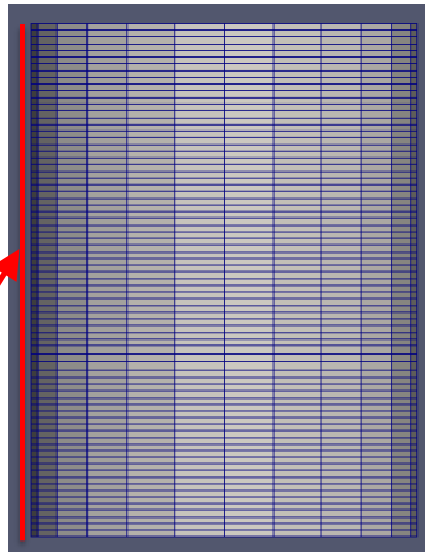
// NRR 円管の矩形外領域の径方向
define(NRR, 15)

// 円管の長手方向
//define(NAB, 25)
//define(NBC, 5)
//define(NCD, 50)

define(NAB, 24)
define(NBC, 4)
define(NCD, 48)

// *****

// L 流路位置 (Z方向)
define(LA, -0.250)
define(LB, -0.0025)
define(LC, 0.0475)
define(LD, 0.550)
```



3-1. メッシュ1

いかにメッシュの設定をするか？

検討用		
IND 1/8ブロックの周方向		6
NR 円管の矩形外形領域の径方向		3
NRR 円管の矩形外部域の径方向		15
NAB		24
NBC		4
NCD		48
R1		0.05
R2		0.3
r		0.65
LA		-0.25
LB		-0.0025
LC		0.0475
LD		0.55

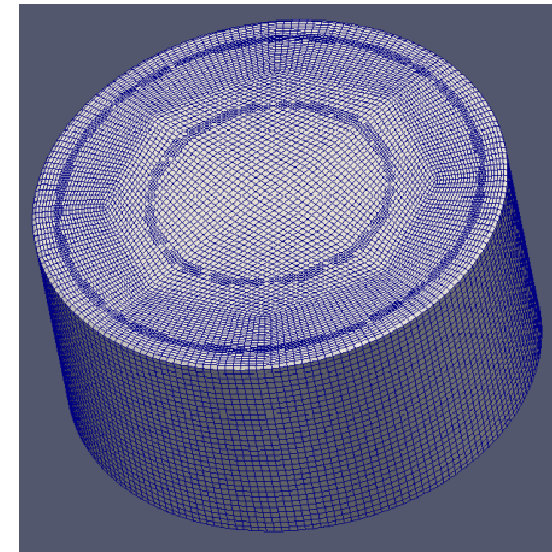
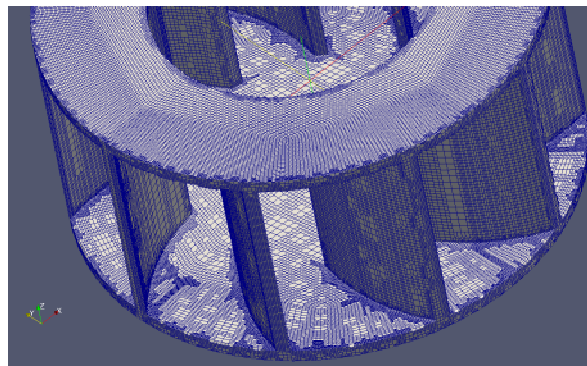
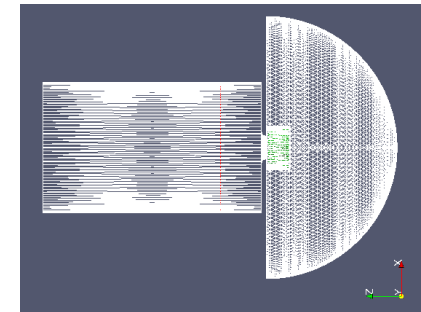
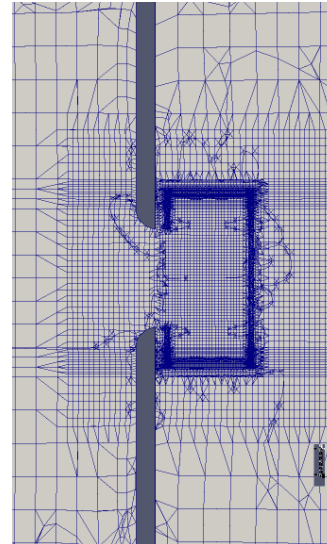
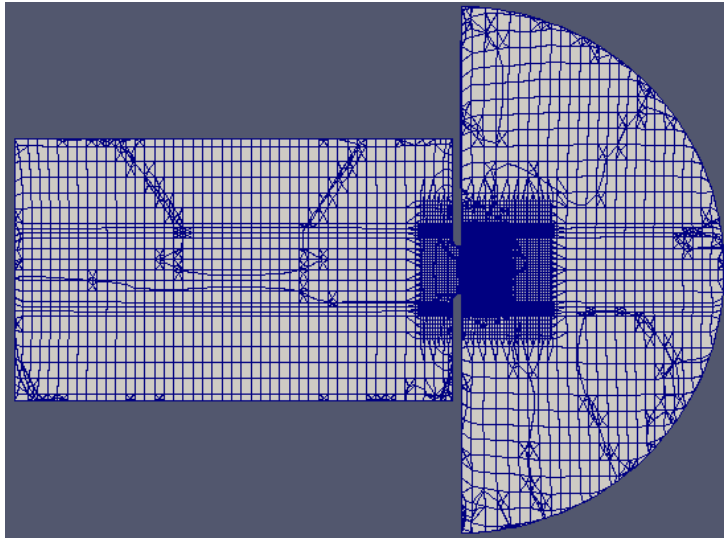
	m	mm		0	1	2	3	4	5
内側分割辺長さ ①	0.0054167	5.42	①	5.42	2.71	1.35	0.68	0.34	0.17
内側分割辺長さ ②	0.0041457	4.15	②	4.15	2.07	1.04	0.52	0.26	0.13
内側分割辺長さ ③	0.006545	6.54	③	6.54	3.27	1.64	0.82	0.41	0.20
内側分割辺長さ ④	0.0058333	5.83	④	5.83	2.92	1.46	0.73	0.36	0.18
外側分割辺長さ ⑤	0.0392699	39.27	⑤	39.27	19.63	9.82	4.91	2.45	1.23
外側分割辺長さ ⑥	0.0166667	16.67	⑥	16.67	8.33	4.17	2.08	1.04	0.52
分割(LA-LB)	0.0103125	10.31		10.31	5.16	2.58	1.29	0.64	0.32
分割(LB-LC)	0.0125	12.50		12.50	6.25	3.13	1.56	0.78	0.39
分割(LC-LD)	0.0104688	10.47		10.47	5.23	2.62	1.31	0.65	0.33

2013.9.14

blockMeshで言うところサイズ0の分割長さ

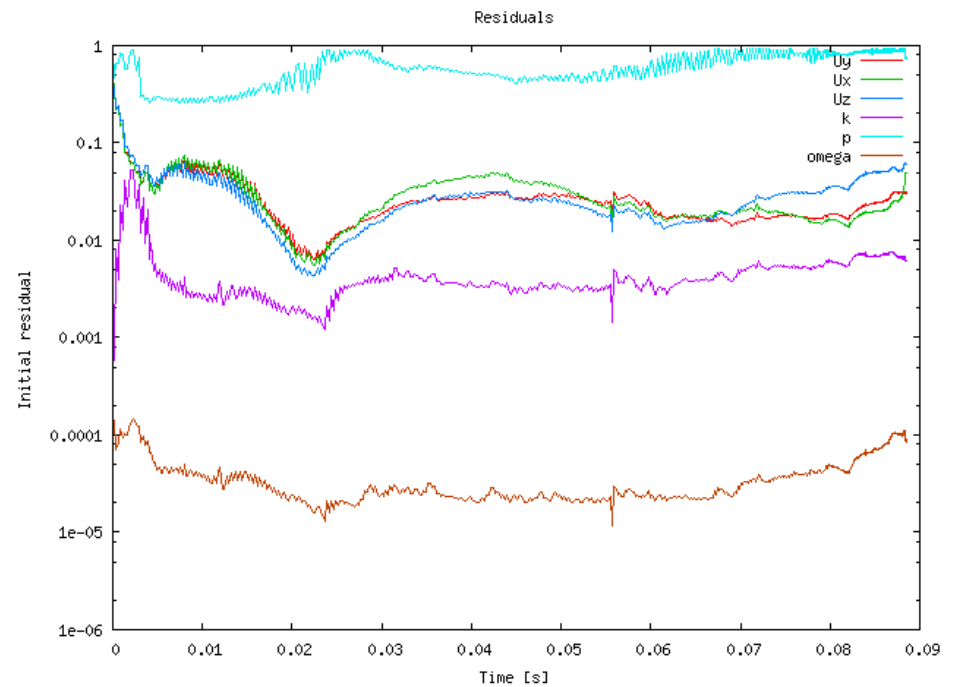
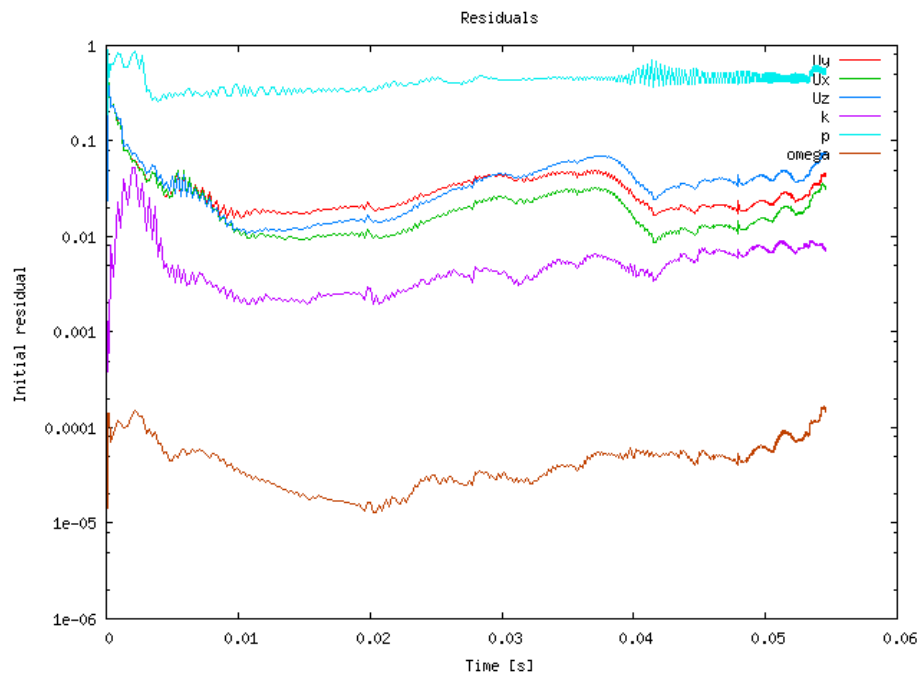
3-1. メッシュ1

メッシュの事例 中身はこんな感じ



3-1. 計算結果

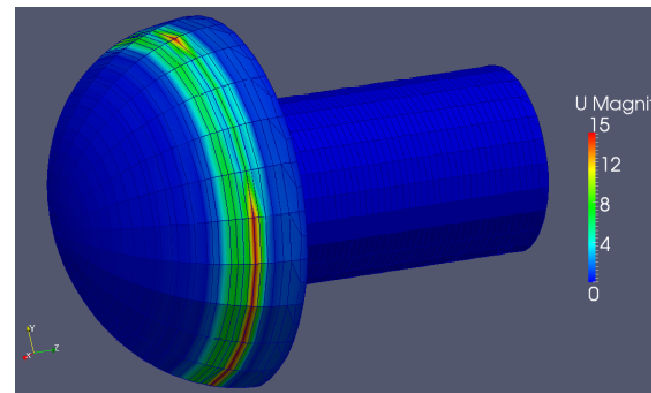
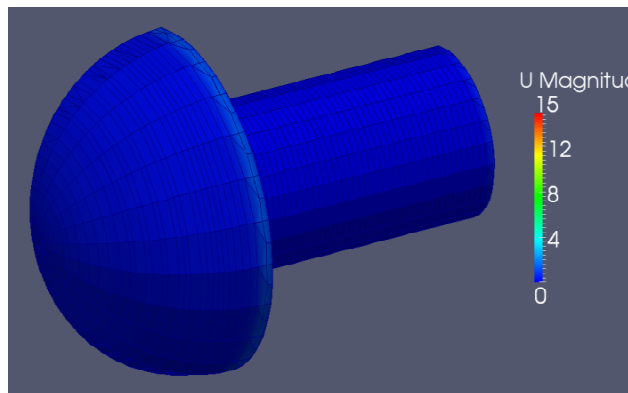
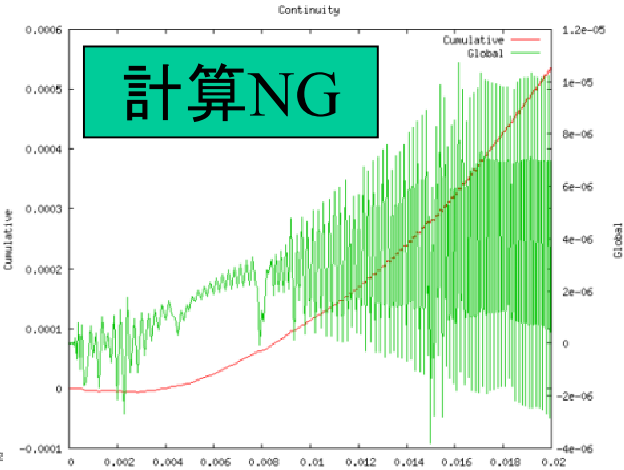
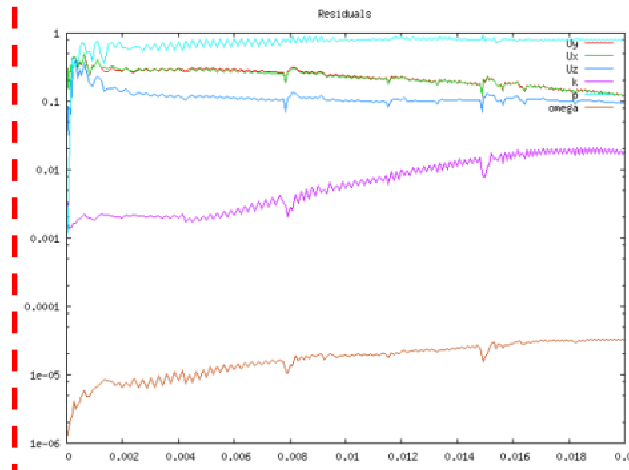
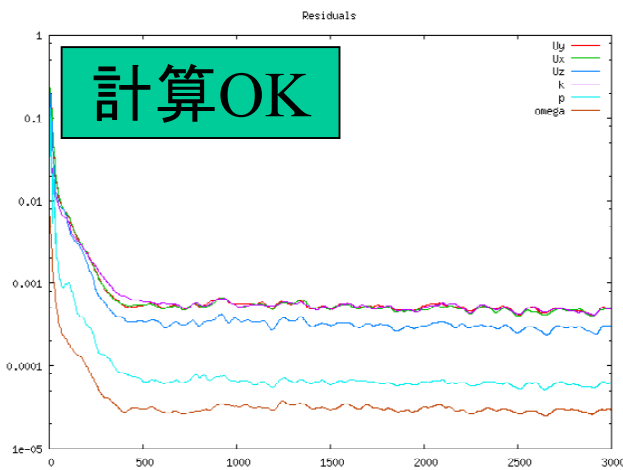
計算が上手く流れない。色々メッシュ, パラメータを変えてみましたが。



3-1. 計算結果

このメッシュで、回転(AMI)を除いて計算できるか？

①simpleFoam, ②pimpleFoamで計算チェック。

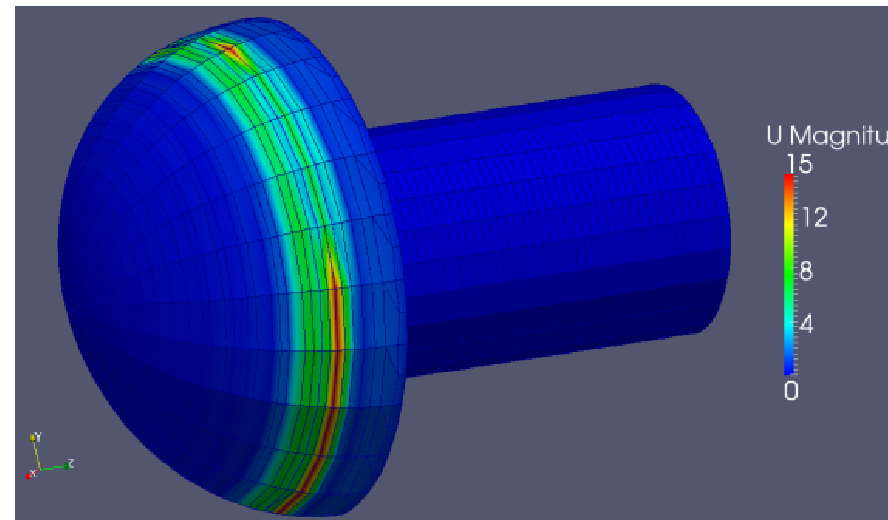
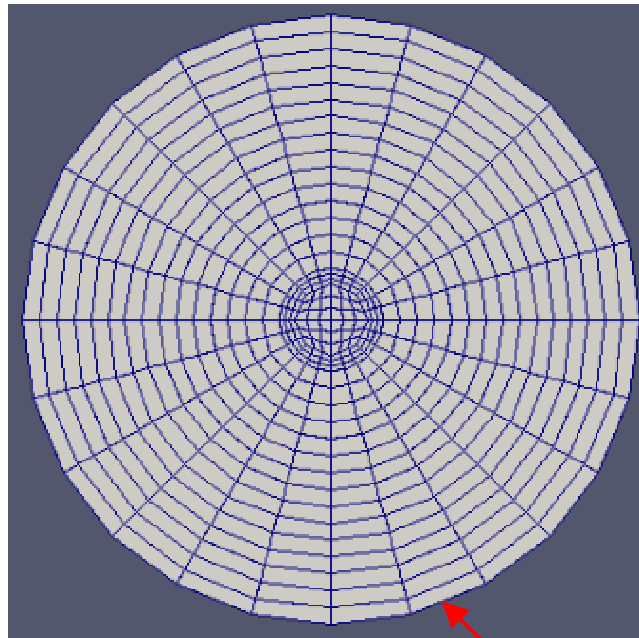


①simpleFoam

②pimpleFoam

3-1. 計算結果

pimpleFoamでは、基礎メッシュの形状が悪いと計算発散する。
円柱をベースとした基礎メッシュ作成では、アスペクト比がどうしても大きくなってしまふ。



直径が大きくなるほど基礎形状が悪くなる。

3-2. メッシュ2

ユーザーガイドの中に穴あき板の応力解析の事例があり、下図のような基礎分割形状が示してあった。これを拡張すれば、形状の良い基礎メッシュが出来るのではないか？

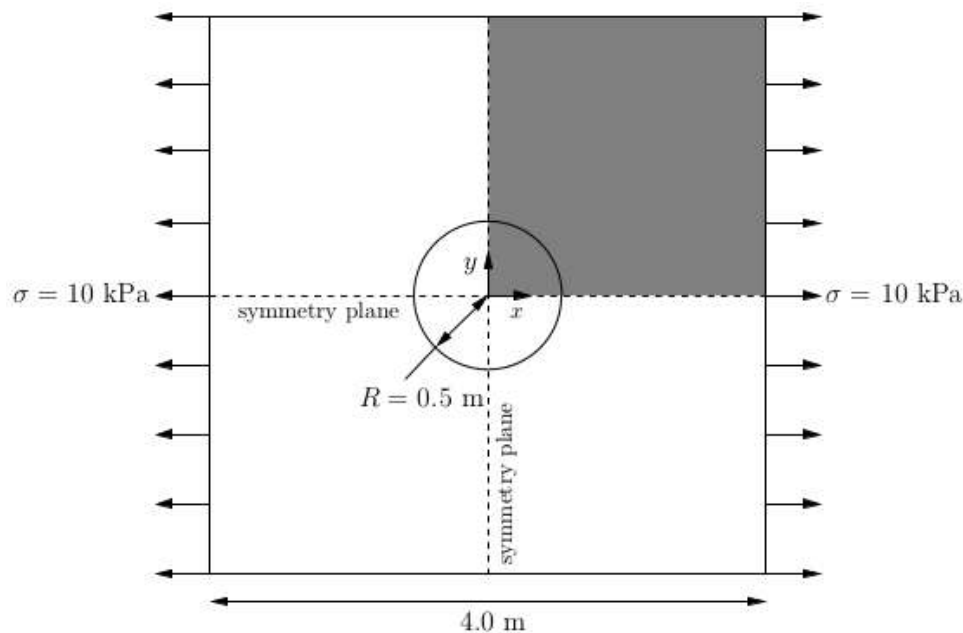


Figure 2.15: Geometry of the plate with a hole.

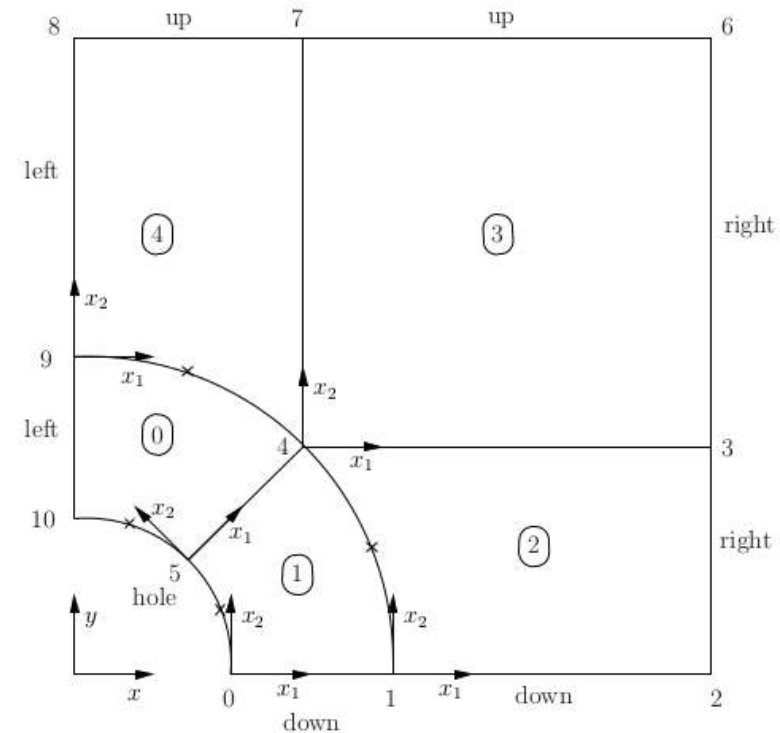
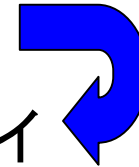


Figure 2.16: Block structure of the mesh for the plate with a hole.

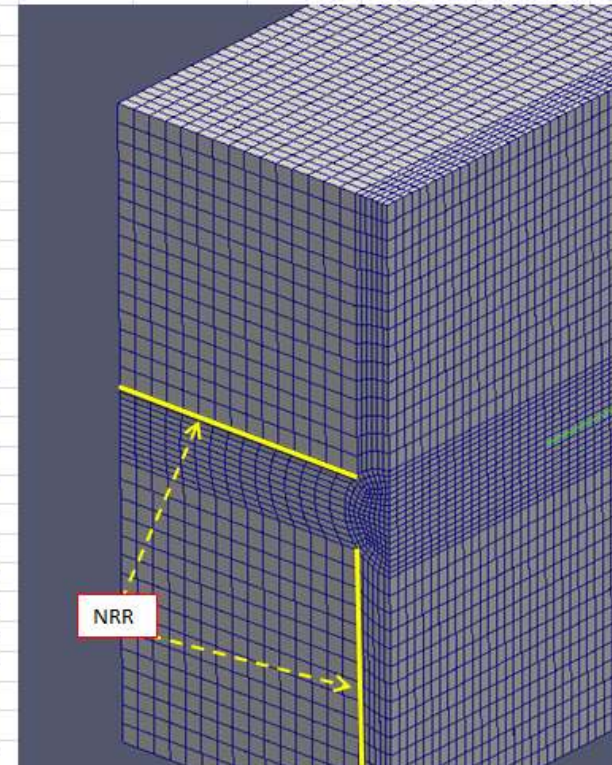
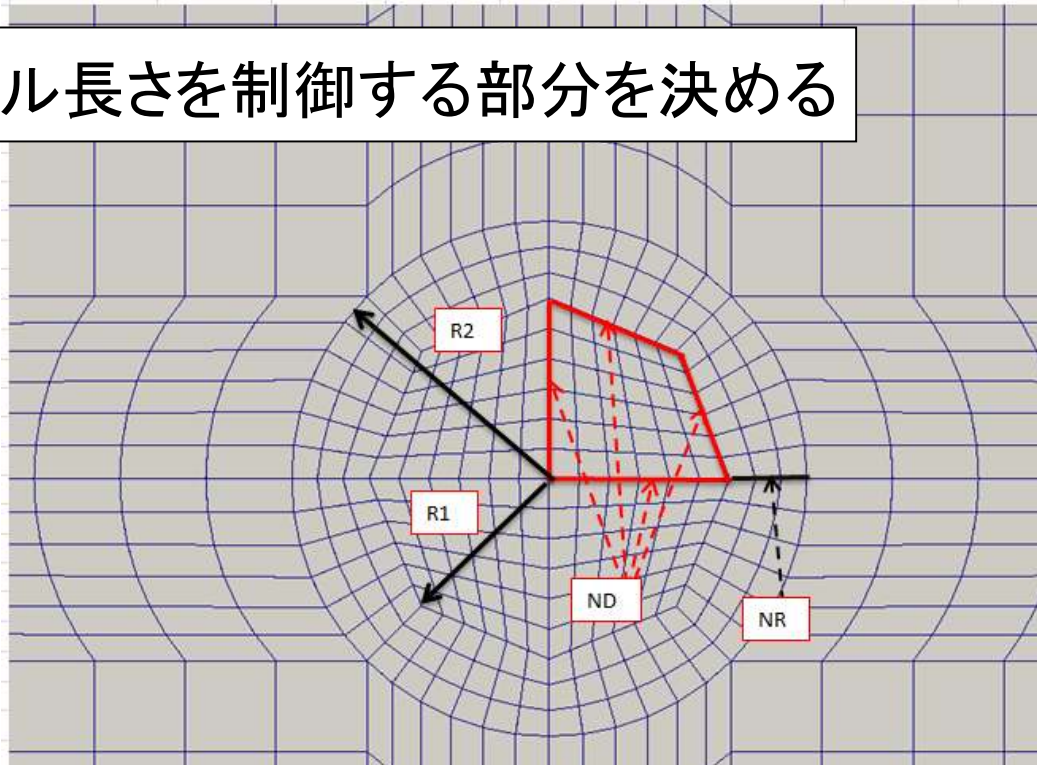
3-2. メッシュ2

どうすれば良い形状の基礎メッシュが作れるか？

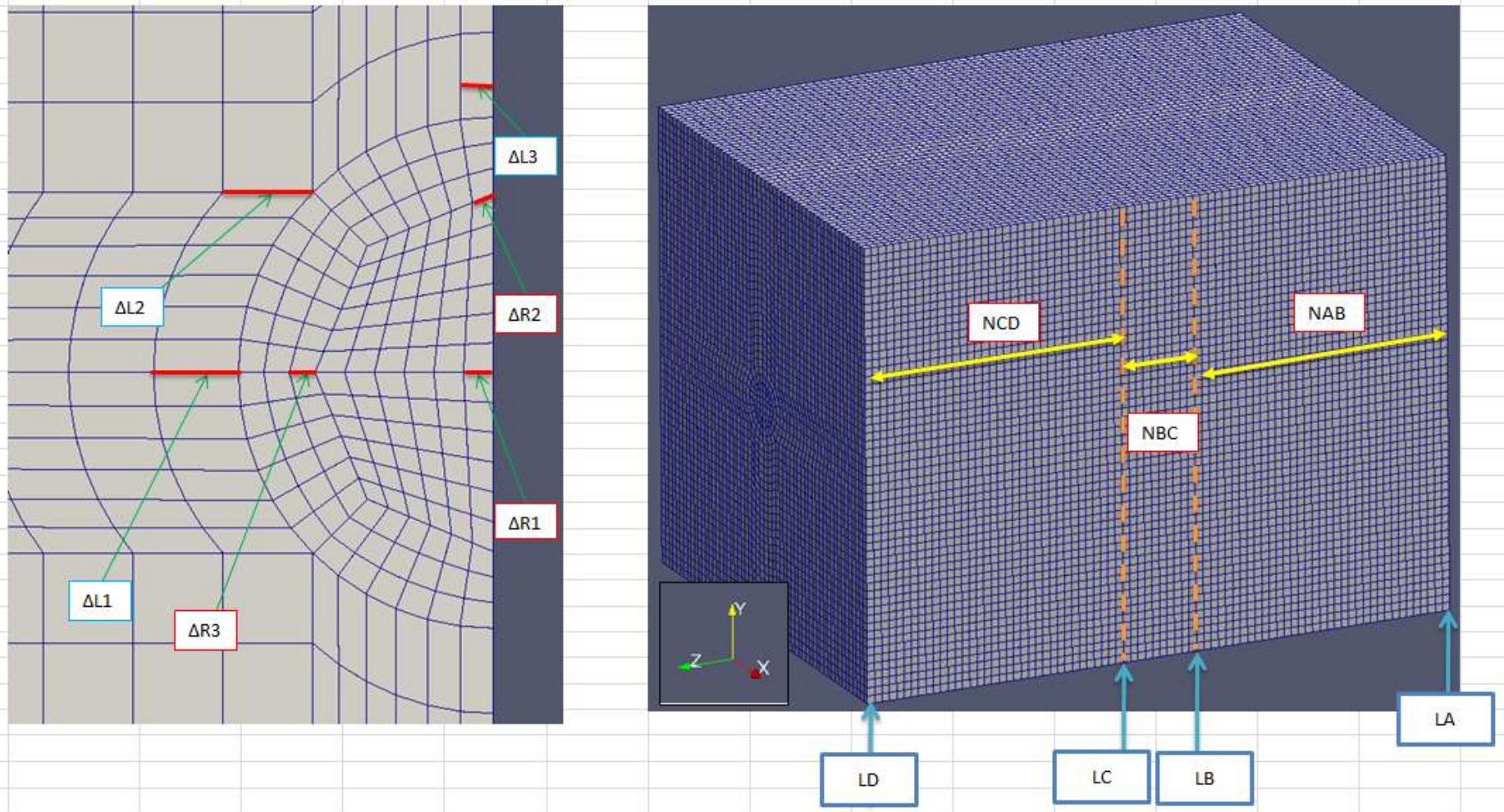
エクセルソルバー機能を利用してメッシュ分割をトライ



セル長さを制御する部分を決める



3-2. メッシュ2



3-2. メッシュ2

	寸法丸め	寸法	最小値	最大値		分割数丸め	分割数	分割数最小	分割数最大
R2	0.350	0.35	0.29	0.35	ND	4	3.585573	1	10
R1	0.051	0.050767	0.047	0.055	NR	1	1.089161	1	10
r	0.785	0.785436	0.2	0.85	NRR	31	30.67426	1	100
LA	-0.396	-0.39563	-0.25	-0.5	NAB	39	39.30942	1	100
LB	-0.0025	-0.0025	-	-	NBC	5	4.999229	1	100
LC	0.0475	0.0475	-	-	NCD	61	60.70967	1	100
LD	0.655	0.654581	0.54	0.8					
分割長さ(mm)	10	10	-	-					

今回の分割長さの目標は10

ファンに関する領域のため固定

計算で変化させる幅は指定

今回の事例では、6か所を対象

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

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

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

$$\Delta L1 = (R2 - R1) / NRR$$

$$\Delta L2 = (R2 - R1 \cdot \cos 45) / NRR$$

$$\Delta L3 = R1 \cdot \cos 45 / ND$$

3-2. メッシュ2

ソルバーに使う関数はいたって簡単！

Lは設定したい分割長さで、今回の事例では10

$$f = (\Delta R1 - L)^2 + (\Delta R2 - L)^2 + (\Delta R3 - L)^2 + \\ (\Delta L1 - L)^2 + (\Delta L2 - L)^2 + (\Delta L3 - L)^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta R1 = r \cdot R1 / ND \\ \Delta R2 = (r \cdot R1 \cdot \sin 45 / 2) \times 2 / ND \\ \Delta R3 = (R1 - r \cdot R1) / NR \\ \Delta L1 = (R2 - R1) / NRR \\ \Delta L2 = (R2 - R1 \cdot \cos 45) / NRR \\ \Delta L3 = R1 \cdot \cos 45 / ND \end{array} \right.$$

6個のパラメータを変化させてfの最小値を求める。

3-2. メッシュ2

EXCEL2010では、3種類の方法が選択できる。ただし全部使えるわけでない。また、デフォルトでは設定が悪いのか、1回の操作で最適値が出ないため、収束と判断するまで繰り返しソルバーを回す。

ソルバーのパラメーター

目的セルの設定(D)

目標値: 最大値(M) 最小値(N) 指定値(V)

変数セルの変更(B)

制約条件の対象(U)

- \$R\$61 <= \$T\$61
- \$R\$60 <= \$T\$60
- \$R\$60 >= \$S\$60
- \$R\$59 <= \$T\$59
- \$R\$59 >= \$S\$59
- \$L\$56 <= \$N\$56
- \$R\$57 <= \$T\$57
- \$R\$56 <= \$T\$56
- \$L\$62 <= \$N\$62
- \$R\$58 >= \$S\$58
- \$R\$61 >= \$S\$61
- \$R\$58 <= \$T\$58
- \$R\$56 >= \$S\$56
- \$R\$57 >= \$S\$57

制約のない変数を非負数にする(K)

解決方法の選択(E)

解決方法

滑らかな非線形を示すソルバー問題には GRG 非線形エンジン、線形を示すソルバー問題には LP シンプ
 レックス エンジン、滑らかではない非線形を示すソルバー問題にはエボリューション エンジンを選択して
 ください。

解決方法の選択(E)

解決方法

滑らかな非線形を示すソルバー問題には GRG 非線形エンジン、線形を示すソルバー問題には LP シンプ
 レックス エンジン、滑らかではない非線形を示すソルバー問題にはエボリューション エンジンを選択して
 ください。

ヘルプ(H)


3-2. メッシュ2 エボリューションナリー法



	R1	R2	r	LA	LD
0	0.3	0.5	0.6	-0.4	0.7
1	0.343	0.052	0.785	-0.428	0.798
2	0.329	0.051	0.785	-0.396	0.655
3	0.350	0.051	0.785	-0.396	0.655
4	0.350	0.051	0.785	-0.396	0.655

	ND	NR	NRR	NAB	NBC	NCD
0	5	5	20	50	50	50
1	3.661	1.116	29.925	42.584	5.000	75.074
2	3.597	1.093	28.604	39.313	5.000	60.740
3	3.586	1.089	30.674	39.309	4.999	60.710
4	4	1	31	39	5	61

3-2. メッシュ2

3回目				0	1	2	3	4	5
パラメータ	重み	mm	誤差評価						
△R1	1	11.12	1.3	11.121	5.560	2.780	1.390	0.695	0.348
△R2	1	8.51	2.2159557	8.511	4.256	2.128	1.064	0.532	0.266
△R3	1	10.00	1.058E-06	10.001	5.001	2.500	1.250	0.625	0.313
△L1	1	9.76	0.0599375	9.755	4.878	2.439	1.219	0.610	0.305
△L2	1	10.24	0.0575638	10.240	5.120	2.560	1.280	0.640	0.320
△L3	1	10.01	0.0001355	10.012	5.006	2.503	1.251	0.626	0.313
△AB	1	10.00	6.677E-07	10.001	5.000	2.500	1.250	0.625	0.313
△BC	1	10.00	2.38E-06	10.002	5.001	2.500	1.250	0.625	0.313
△CD	1	10.00	6.849E-08	10.000	5.000	2.500	1.250	0.625	0.312
評価関数			3.6						
 最終的な分割状態									
最適計算後の補正				0	1	2	3	4	5
パラメータ	重み	mm	誤差評価						
△R1	1	10.01	0.0	10.009	5.004	2.502	1.251	0.626	0.313
△R2	1	7.66	5.4738891	7.660	3.830	1.915	0.958	0.479	0.239
△R3	1	10.97	0.931225	10.965	5.483	2.741	1.371	0.685	0.343
△L1	1	9.65	0.1259105	9.645	4.823	2.411	1.206	0.603	0.301
△L2	1	10.13	0.0161335	10.127	5.064	2.532	1.266	0.633	0.316
△L3	1	9.02	0.9690208	9.016	4.508	2.254	1.127	0.563	0.282
△AB	1	10.09	0.0080539	10.090	5.045	2.522	1.261	0.631	0.315
△BC	1	10.00	2.38E-06	10.002	5.001	2.500	1.250	0.625	0.313
△CD	1	9.96	0.0016797	9.959	4.980	2.490	1.245	0.622	0.311
評価関数			7.5						

3-2. メッシュ2

エボリューションナリー法

チェックメッシュの結果

Checking geometry...

```
Overall domain bounding box (-0.284812 -0.284807 -0.235491) (0.284812 0.284822 0.534642)
Mesh (non-empty, non-wedge) directions (1 1 1)
Mesh (non-empty) directions (1 1 1)
Boundary openness (3.63295e-16 6.33806e-17 2.24663e-15) OK.
Max cell openness = 1.10988e-15 OK.
Max aspect ratio = 32.1815 OK.
Minimum face area = 5.37409e-09. Maximum face area = 0.000180957. Face area magnitudes OK.
Min volume = 1.37016e-12. Max volume = 1.3329e-06. Total volume = 0.078646. Cell volumes OK.
Mesh non-orthogonality Max: 64.9996 average: 17.7358
Non-orthogonality check OK.
Face pyramids OK.
Max skewness = 2.99394 OK.
Coupled point location match (average 0) OK.
```

Mesh OK.

3-2. メッシュ2


GRG非線形法



	R1	R2	r	LA	LD
0	0.3	0.5	0.6	-0.4	0.7
1	0.290	0.055	0.604	-0.500	0.555
2	0.290	0.047	0.787	-0.500	0.575
3	0.291	0.047	0.787	-0.465	0.614
4	0.309	0.047	0.787	-0.460	0.661
5	0.350	0.047	0.787	-0.461	0.697
6	0.350	0.047	0.787	-0.461	0.697

	ND	NR	NRR	NAB	NBC	NCD
0	5	5	20	50	50	50
1	3.191	2.391	21.253	49.940	49.818	51.476
2	3.324	1.000	24.920	49.731	47.027	52.737
3	3.324	1.003	25.044	46.214	38.646	56.672
4	3.323	1.001	26.883	45.775	4.999	61.322
5	3.324	1.000	31.032	45.878	5.000	64.956
6	3	1	31	46	5	65

3-2. メッシュ2

				5回目					
パラメータ	重み	mm	誤差評価	0	1	2	3	4	5
△R1	1	11.13	1.3	11.133	5.566	2.783	1.392	0.696	0.348
△R2	1	8.52	2.188671	8.521	4.260	2.130	1.065	0.533	0.266
△R3	1	10.00	1.18E-08	10.000	5.000	2.500	1.250	0.625	0.313
△L1	1	9.76	0.0557	9.764	4.882	2.441	1.220	0.610	0.305
△L2	1	10.21	0.043095	10.208	5.104	2.552	1.276	0.638	0.319
△L3	1	10.00	1.69E-07	10.000	5.000	2.500	1.250	0.625	0.312
△AB	1	10.00	3.66E-08	10.000	5.000	2.500	1.250	0.625	0.312
△BC	1	10.00	8.91E-09	10.000	5.000	2.500	1.250	0.625	0.313
△CD	1	10.00	1.58E-08	10.000	5.000	2.500	1.250	0.625	0.313
評価関数			3.6						
 最終的な分割状態									
最適計算後の補正									
パラメータ	重み	mm	誤差評価	0	1	2	3	4	5
△R1	1	12.33	5.4	12.330	6.165	3.082	1.541	0.771	0.385
△R2	1	9.44	0.317286	9.437	4.718	2.359	1.180	0.590	0.295
△R3	1	10.01	0.000121	10.011	5.006	2.503	1.251	0.626	0.313
△L1	1	9.77	0.050989	9.774	4.887	2.444	1.222	0.611	0.305
△L2	1	10.22	0.047636	10.218	5.109	2.555	1.277	0.639	0.319
△L3	1	11.08	1.162097	11.078	5.539	2.770	1.385	0.692	0.346
△AB	1	9.97	0.001063	9.967	4.984	2.492	1.246	0.623	0.311
△BC	1	10.00	8.91E-09	10.000	5.000	2.500	1.250	0.625	0.313
△CD	1	9.99	5.92E-05	9.992	4.996	2.498	1.249	0.625	0.312
評価関数			7.0						

3-2. メッシュ2

GRG非線形法

チェックメッシュの結果

Checking geometry...

Overall domain bounding box (-0.28489 -0.284887 -0.235421) (0.28489 0.284897 0.534749)

Mesh (non-empty, non-wedge) directions (1 1 1)

Mesh (non-empty) directions (1 1 1)

Boundary openness (-9.91371e-18 -9.87408e-16 6.13019e-16) OK.

Max cell openness = 7.69485e-16 OK.

Max aspect ratio = 25.8778 OK.

Minimum face area = 8.71134e-09. Maximum face area = 0.000182479. Face area magnitudes OK.

Min volume = 2.052e-12. Max volume = 1.47122e-06. Total volume = 0.0786206. Cell volumes OK.

Mesh non-orthogonality Max: 65.2552 average: 16.9898

Non-orthogonality check OK.

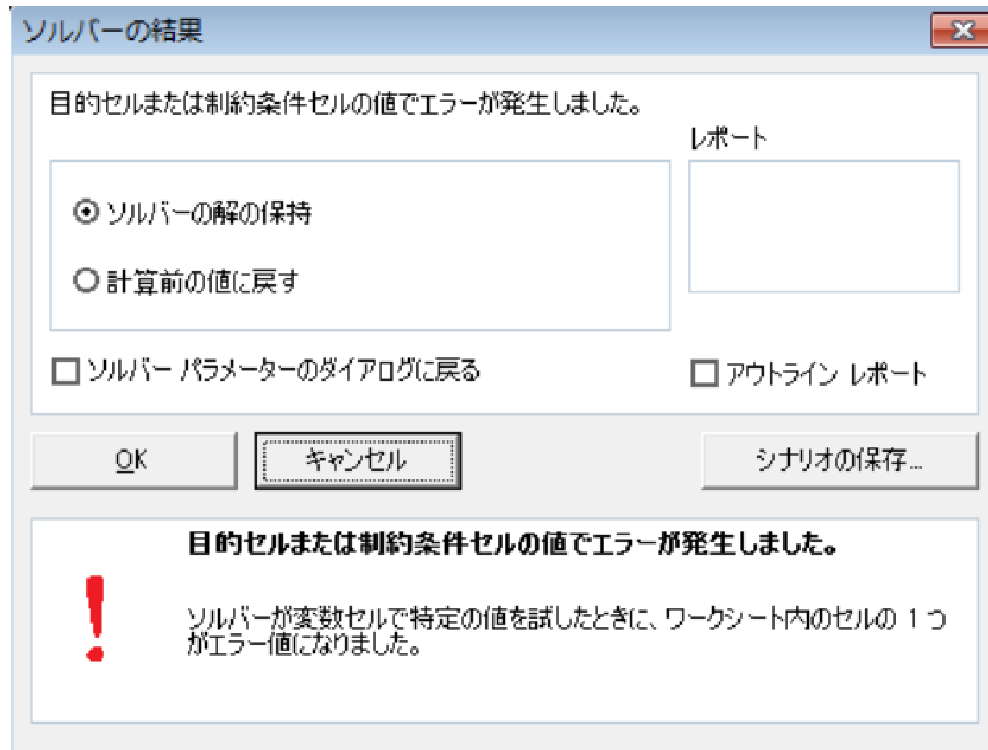
Face pyramids OK.

Max skewness = 2.99655 OK.

Coupled point location match (average 0) OK.

Mesh OK.

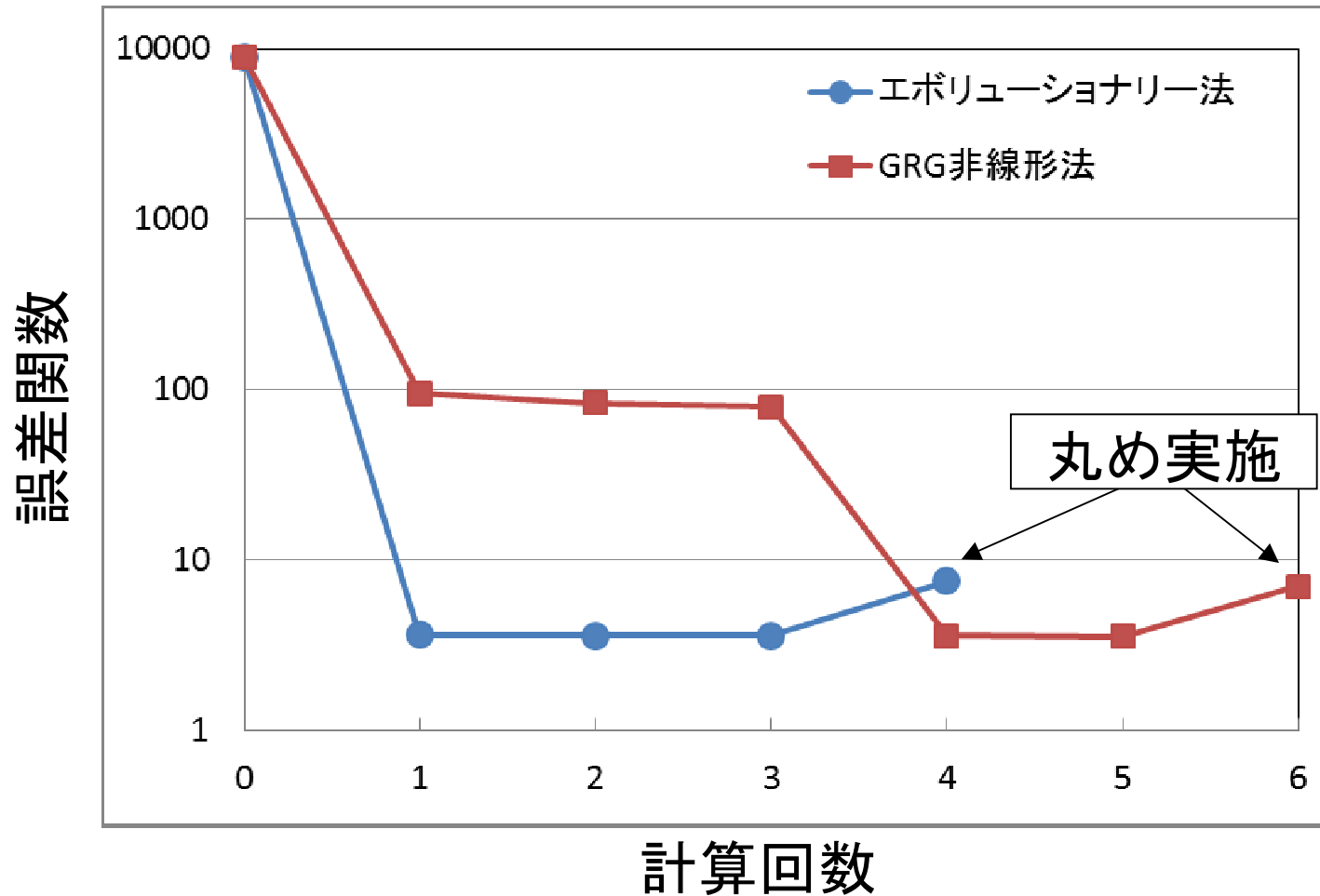
3-2. メッシュ2 シンプレックスLP法



この方法では解けませんでした

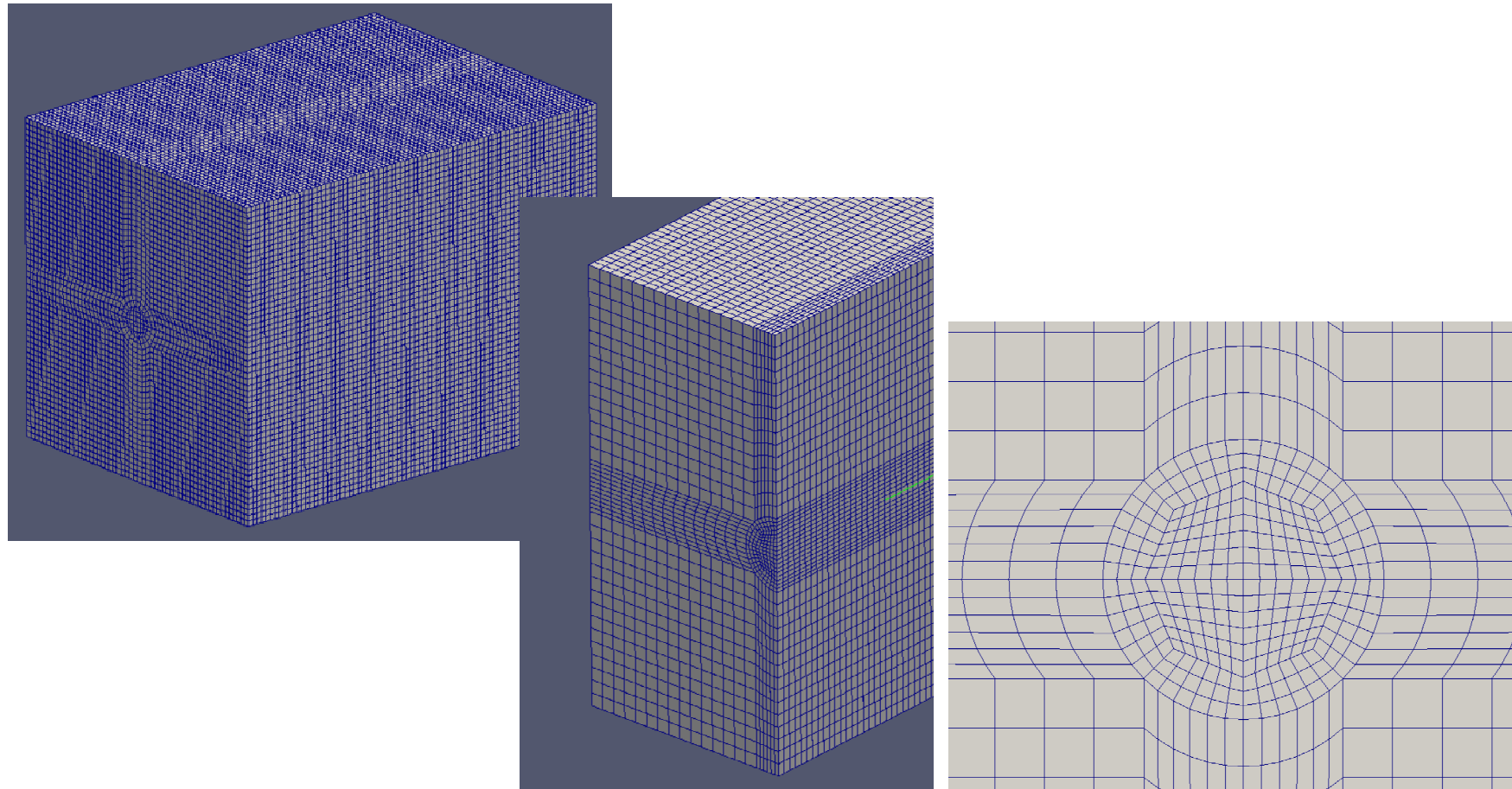
3-2. メッシュ2 評価関数の推移

$$f = (\Delta R1 - L)^2 + (\Delta R2 - L)^2 + (\Delta R3 - L)^2 + (\Delta L1 - L)^2 + (\Delta L2 - L)^2 + (\Delta L3 - L)^2$$



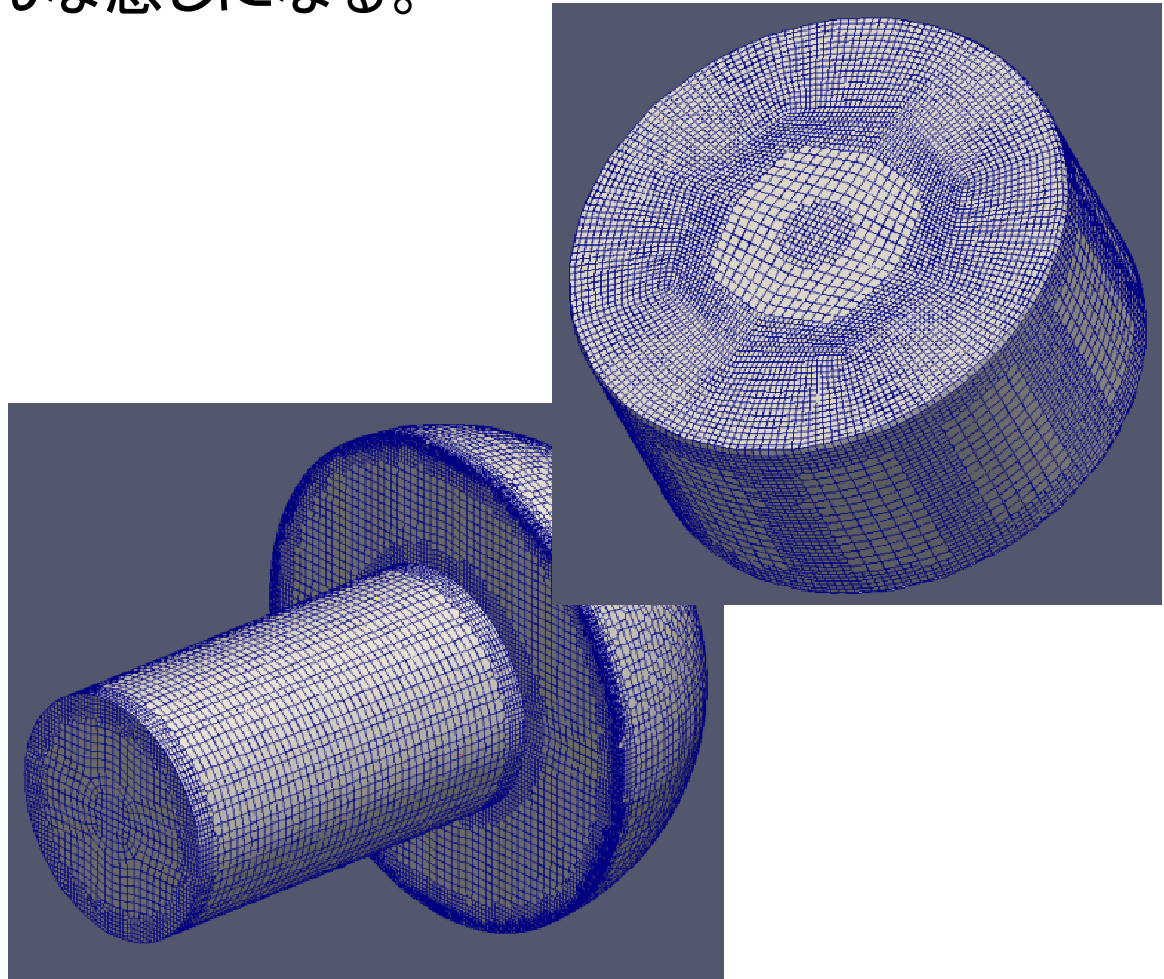
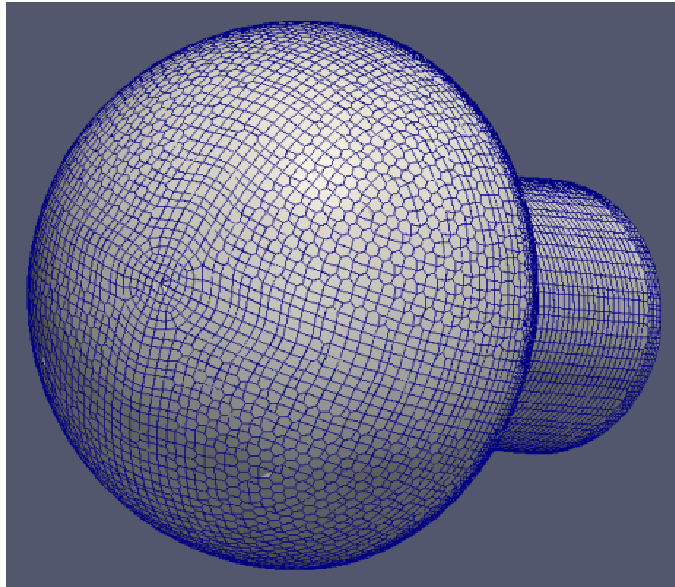
3-2. メッシュ2

基礎メッシュはこんな感じになる。



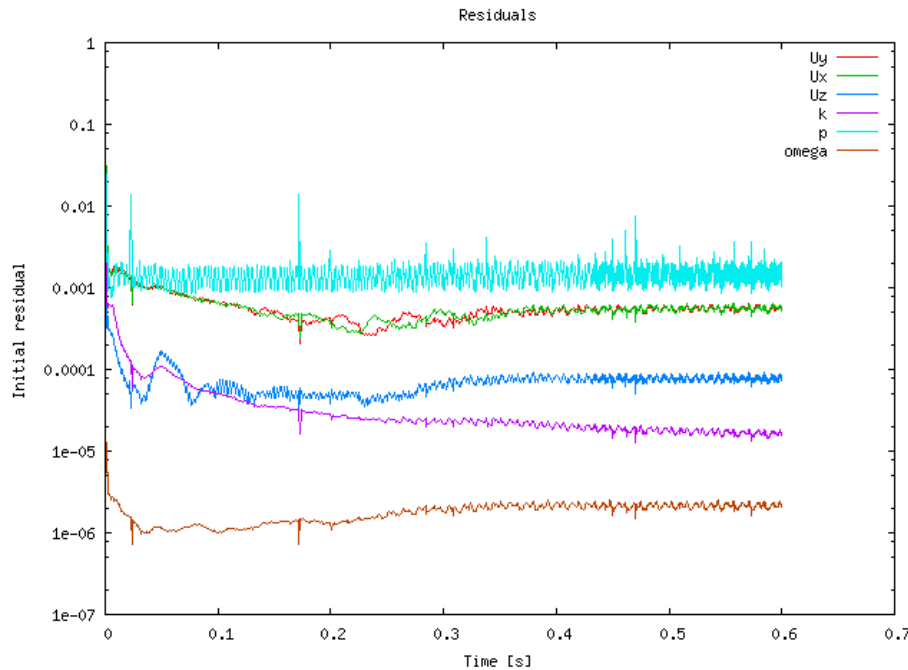
3-2. メッシュ2

最終的なメッシュはこんな感じになる。

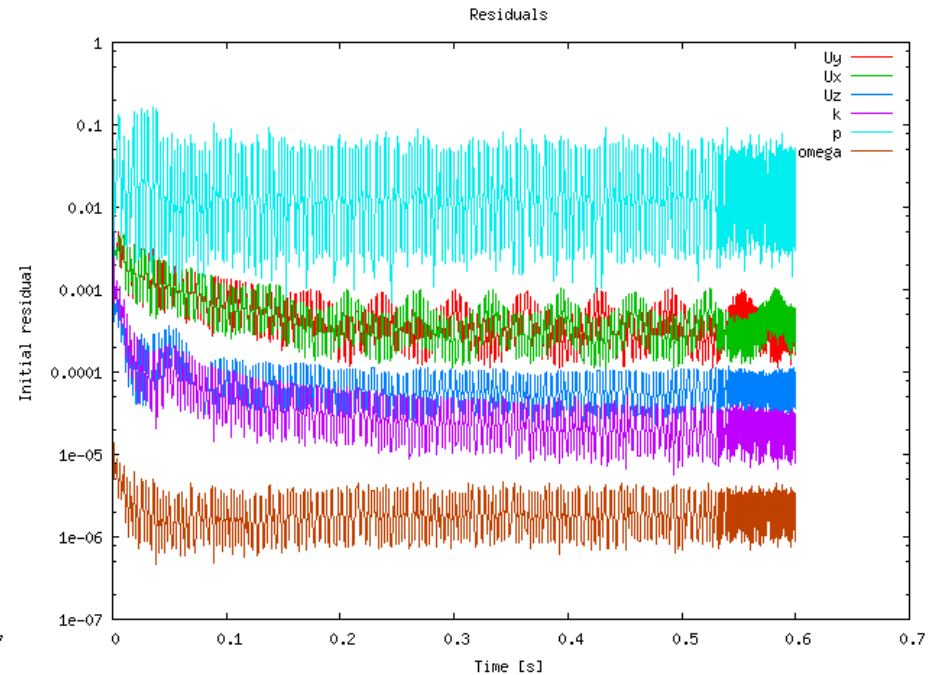


3-2. 計算結果2

計算で設定した30回転までエラーなく計算

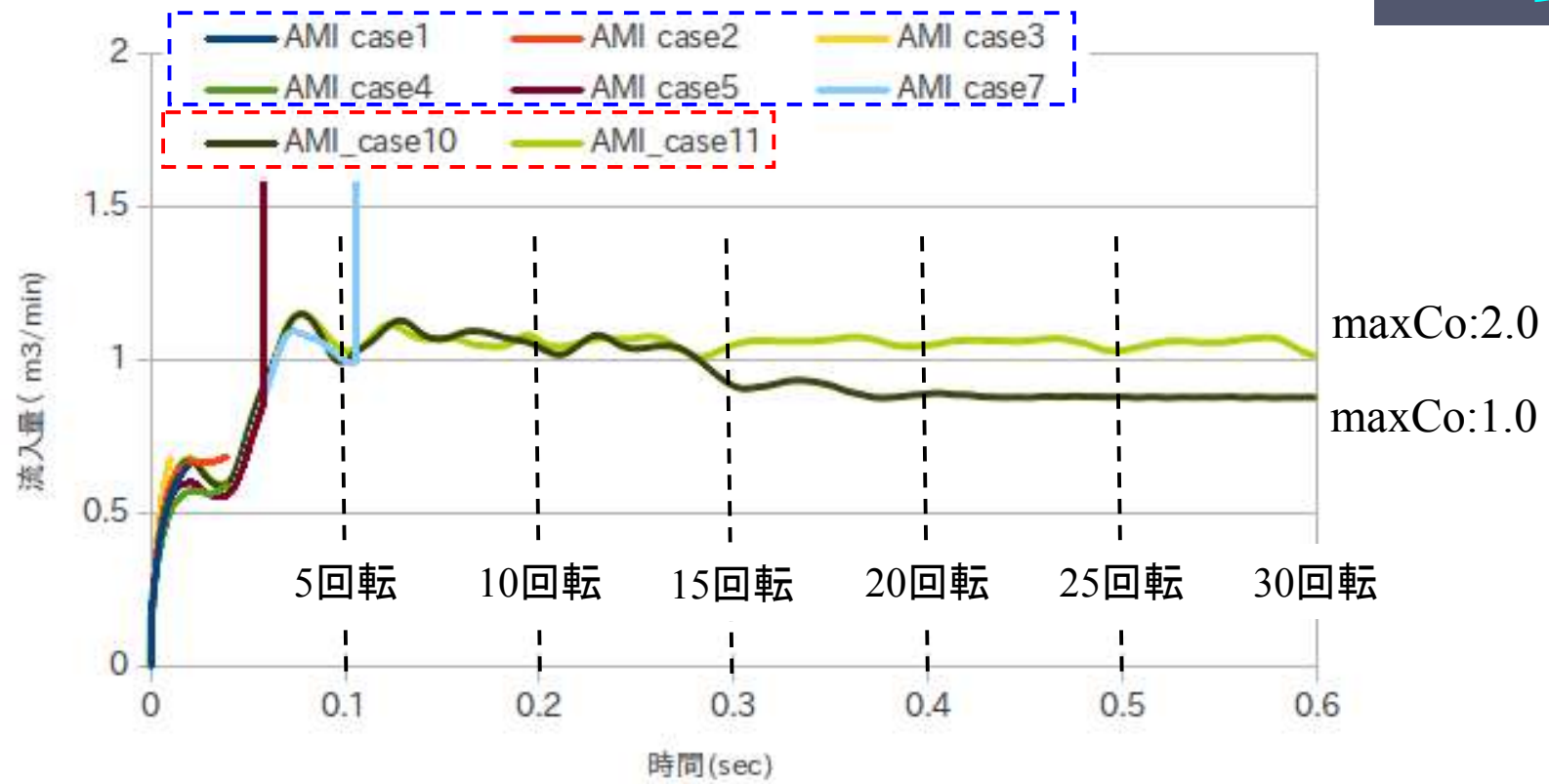
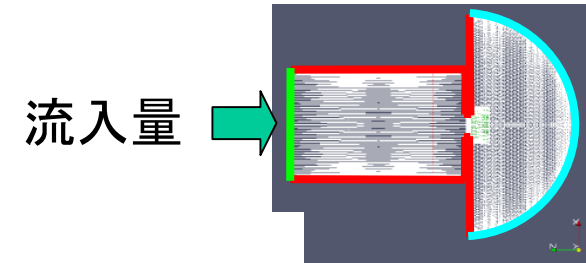


maxCo:1.0
174821sec
(case10)



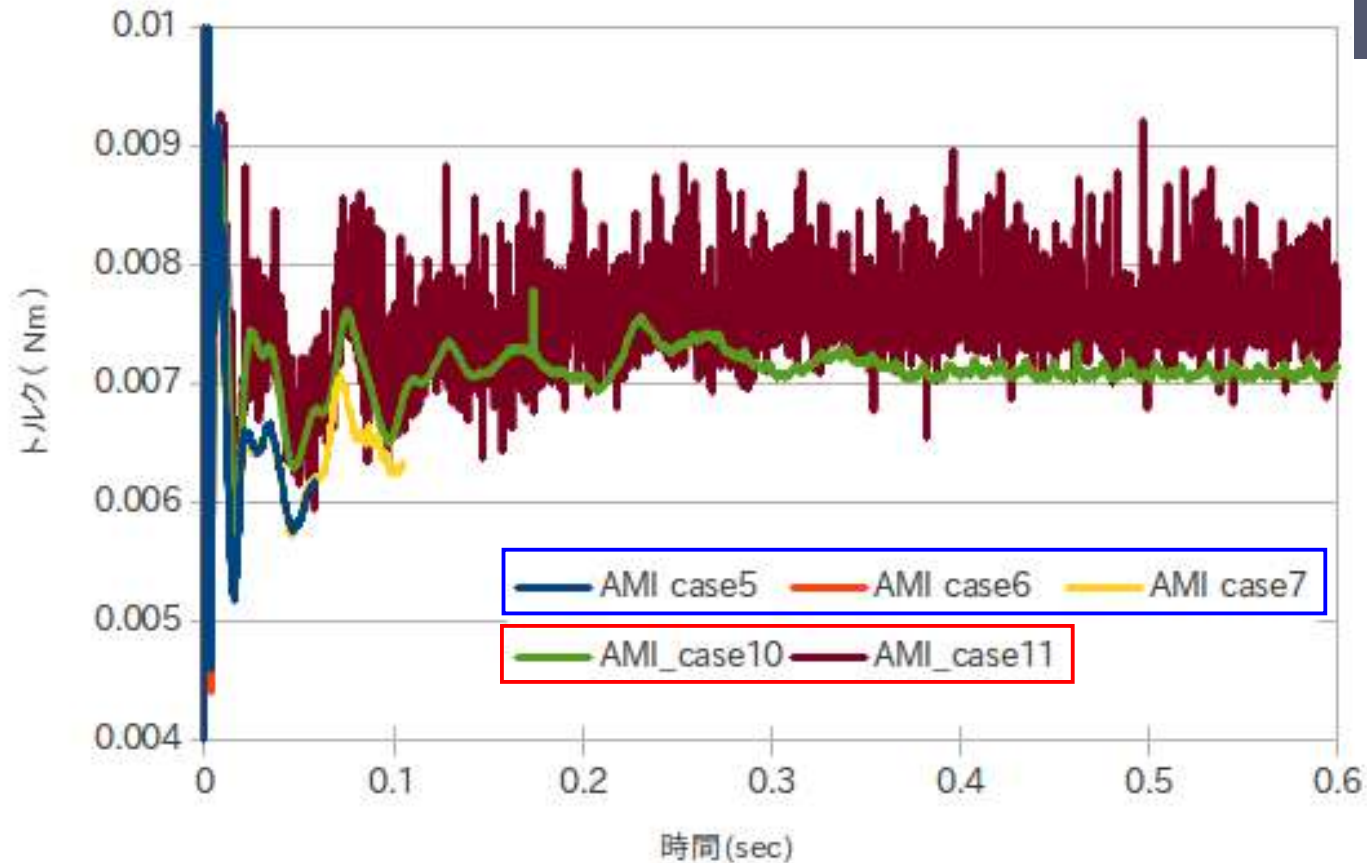
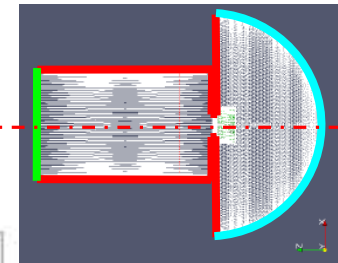
maxCo:2.0
159751sec
(case11)

3-2. 計算結果2 流入量の比較



3-2. 計算結果2 軸トルクの比較

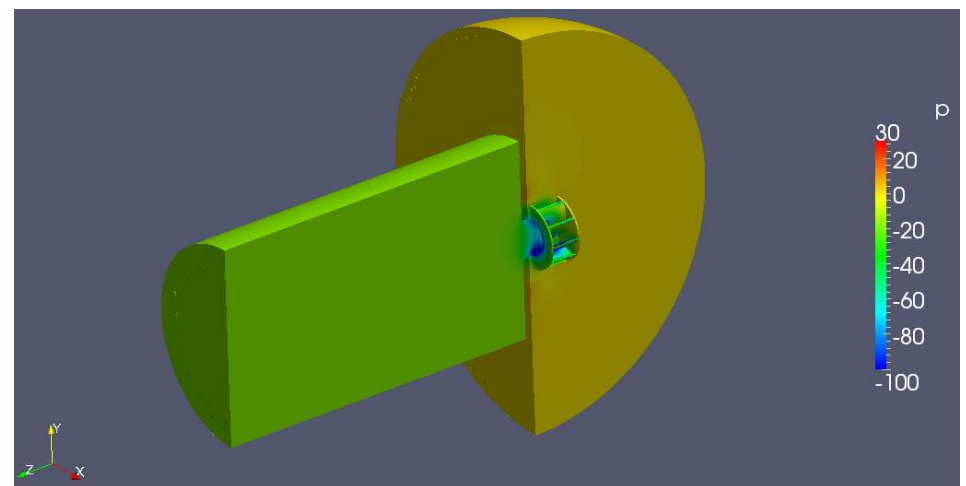
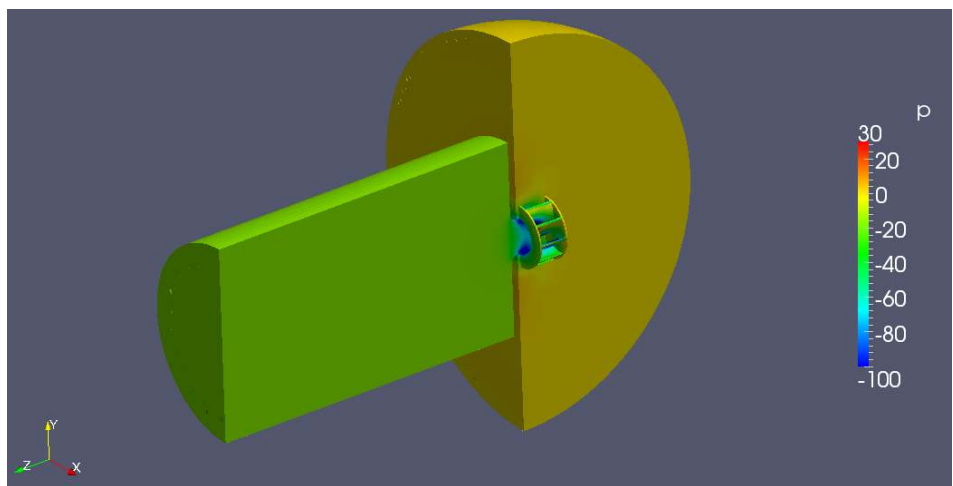
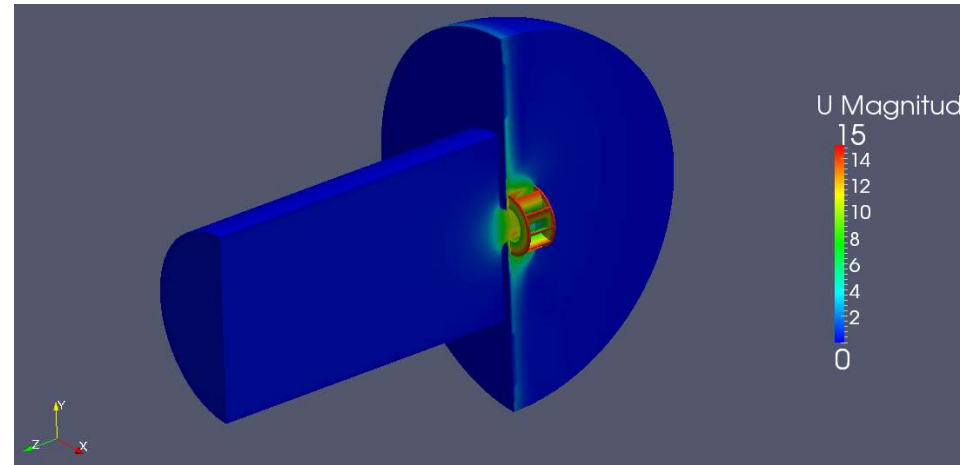
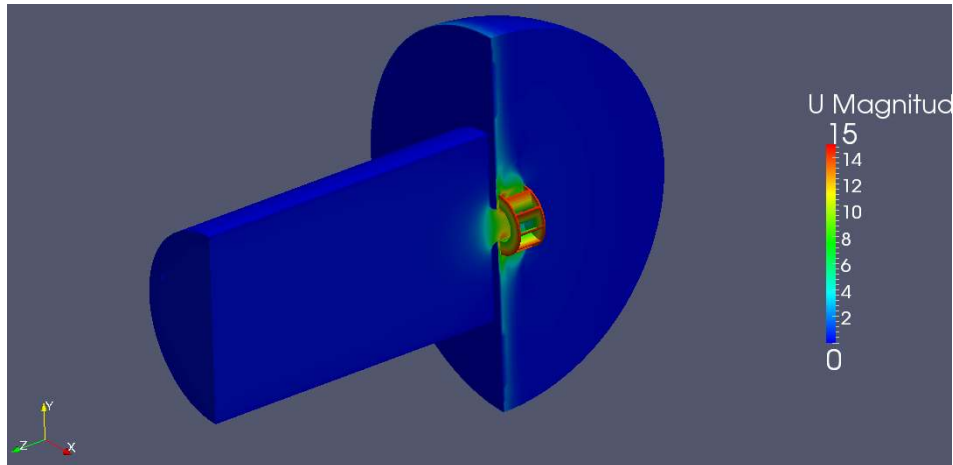
トルク 



maxCo:2.0

maxCo:1.0

3-2. 計算結果2



maxCo:1.0

maxCo:2.0

4. まとめ

- ・m4を用いたメッシュ作成を利用する事で、AMIの計算は安定する。
- ・最適化手法を利用する事で、サイコロ形状に近い基礎メッシュを作成できる。
- ・クーラン条件を抑える事で、変動の少ない結果を得る事が出来る。