ただで始める流体解析

MRFsimpleFoamを利用した ファンの簡単な流れ計算？

MRFsimpleFoamを利用したファンの簡単な流れ計算？

1. 計算概要
2. モデル
3. 設定条件
4. メッシュ作成
5. 計算結果
6. OpenFOAMディスカッションボードから
7. 謝辞

Blenderによるモデルの作成メモ

①ファンの軸埋め

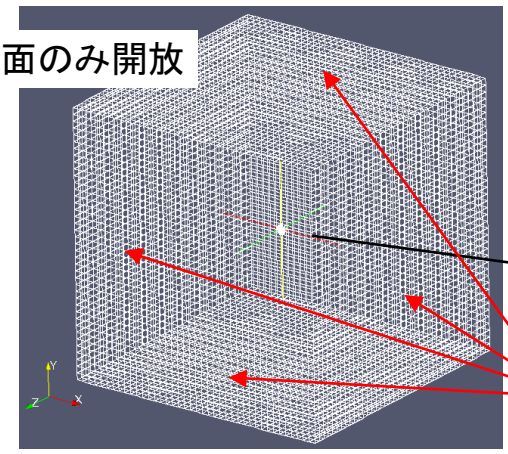
②MRF領域作成

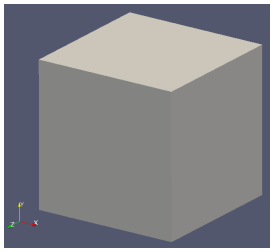
1．計算概要

MRFSimpleFoamを利用し，サイコロ状の空間の中でファンを疑似的に回転させ，流れを計算します。（注意：本報告には色々と問題がありますので。。。）

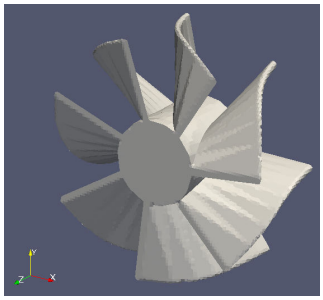
2．モデル

空間形状は立方体とし，Z軸に垂直な面が開放されており，その他の4面は壁とします。ファンは中央に置かれています。ファンの回転軸はZ軸です。





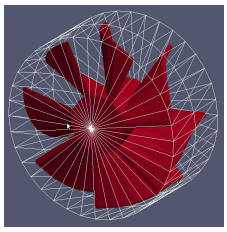
回転数は5000rpmと20000rpmの2パターン



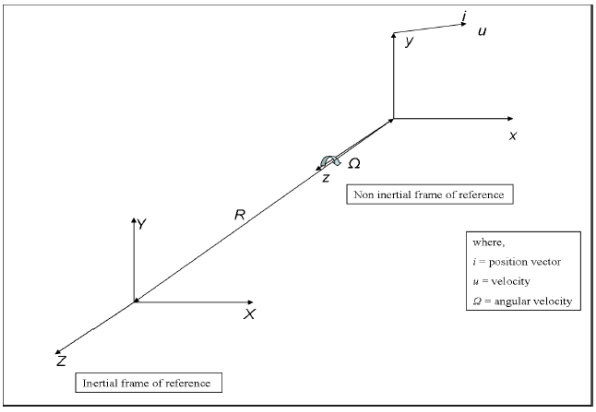
2．モデル

今回の計算では，ファンを直接回転させるのでなく，ファンを含む領域にコリオリ力を与えます。このためモデルでは，MRFと呼ばれる領域を作成しています。

ファンを囲むようにして作成したMRF領域



Bounds
X range: -0.0772 to 0.0772 (delta: 0.154)
Y range: -0.0772 to 0.0772 (delta: 0.154)
Z range: -0.035 to 0.035 (delta: 0.07)



$$\rho\frac{Du}{Dt} = -\nabla p + \mu\nabla^2\vec{u} - \underbrace{\rho.[2.\vec{\Omega}\times\vec{u} + \vec{\Omega}\times\vec{\Omega}\times\vec{r}]}$$

where, $\vec{r}$ = position vector of the rotating frame.

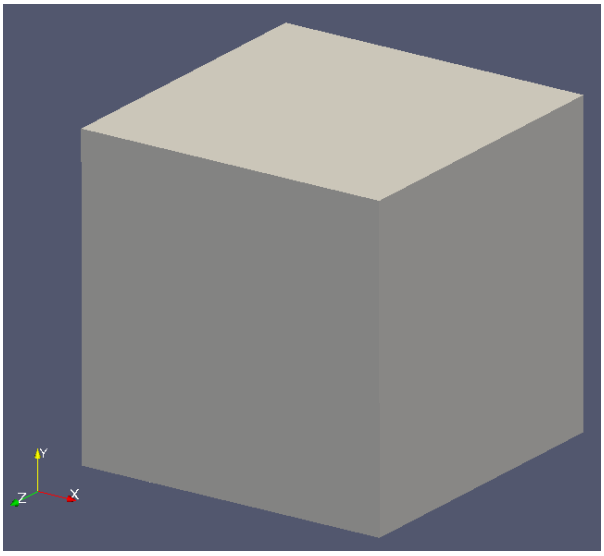
$2\vec{\Omega}\times\vec{u}$ = the Coriolis acceleration term due to rotation.

$\vec{\Omega}\times\vec{\Omega}\times\vec{r}$ = the centripetal force term.

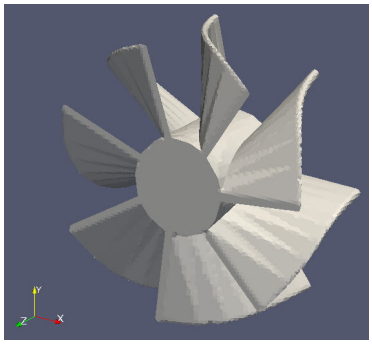
SIMULATIONS OF FLOW OVER WIND TURBINES
DNYANESH A. DIGRASKAR

2．モデル

空間形状，ファンの寸法は下記にようになっています。



4m×4m×4mの立方体



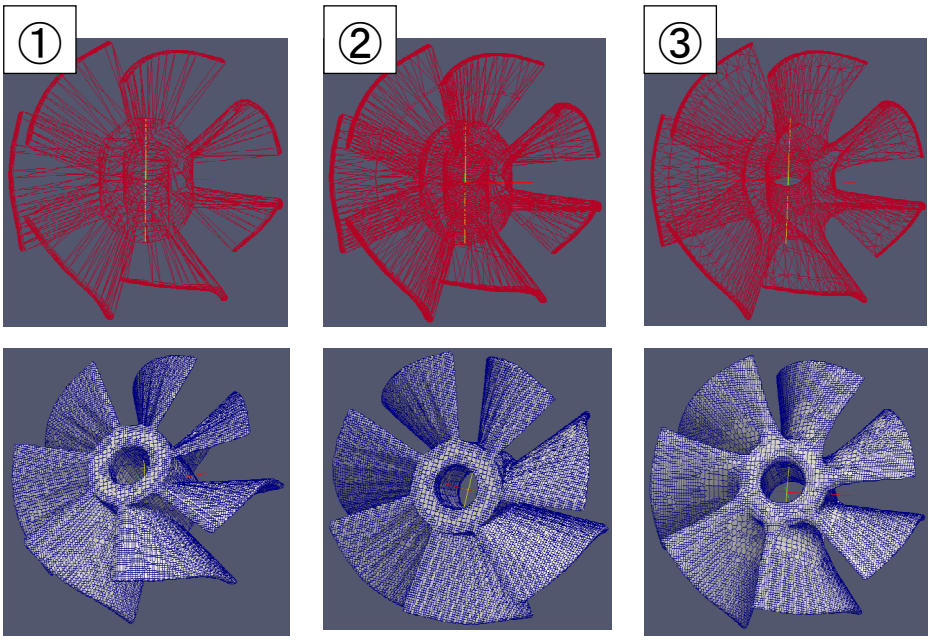
Bounds
X range: -0.0724 to 0.0724 (delta: 0.145)
Y range: -0.0719 to 0.0719 (delta: 0.144)
Z range: -0.025 to 0.025 (delta: 0.05)

ファンの直径は145mm

ファンは，NEさんが紹介されたサイト（http://www-roc.inria.fr/gamma/download/MECHANICAL/index0.php）から持ってきて，一部形状を変更しています。

2．モデル

ファンの形状微調整をOpenFOAM2.0から入ったSurface mesh　toolsを使ってみます。



①：そのままの形状

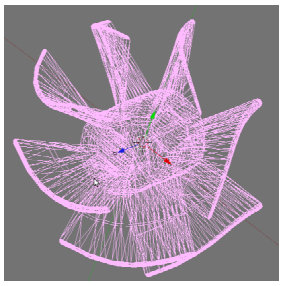
②：surfaceRefineRedGreen実施

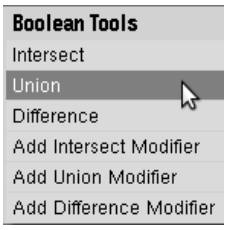
③：surfaceRefineRedGreen+surfaceSmooth

← 形状が少し丸くなる

2. モデル

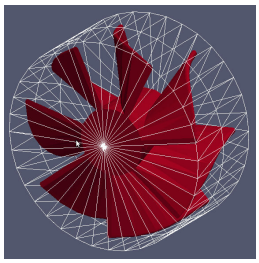
ファンの形状は，スライド6の②に真ん中の穴を，blenderのブーリアン演算の機能を利用して埋めています。

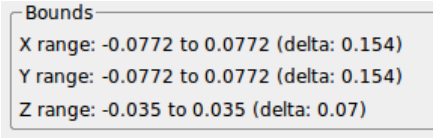




blenderでファンの軸径より少し大きく，軸長さが等しい円柱を書いて，Boolean Tools/Unionで2つを足し合わせます。形状が3つ出来ますので，計算に必要のない2つを消します。（スライド36-51参照）

ファン外部のMRF領域もblenderで作ります。





φ155，幅70でMRF領域を作成
（スライド52-55参照）

3. 設定条件（主な条件）

・乱流モデル
kOmegaSST

・ファンの回転数
5000rpm，20000rpmの2条件

・U,p,k,omegaの設定:スライド9-16参照

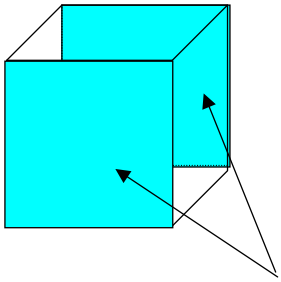
・fvSchemes/divSchemes
upwind，limitedLinear 0.5，limitedLinear 1の3条件

・メッシュ密度　2条件

No	ケース名	ファン回転数(rpm)	divSheme	メッシュ
①	CASE_1	5000	upwind	標準
②	CASE_2		limited linear 0.5	
③	CASE_3		limited linear 1.0	
④	CASE_1B		upwind	粗
⑤	CASE_1A	20000	upwind	標準
⑥	CASE_2A		limited linear 0.5	
⑦	CASE_3A		limited linear 1.0	
⑧	CASE_1C		upwind	粗

3. 設定条件(U)

```
internalField uniform (0 0 0);
  boundaryField
{
 turbine_fan_Mesh
 {
  type fixedValue;
  value uniform (0 0 0);
 }
 wall_6
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform (0 0 0);
  value uniform (0 0 0);
 }
 wall_5
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform (0 0 0);
  value uniform (0 0 0);
 }
 wall_4
 {
  type fixedValue;
  value uniform (0 0 0);
 }
 wall_3
 {
  type fixedValue;
  value uniform (0 0 0);
 }
 wall_2
 {
  type fixedValue;
  value uniform (0 0 0);
 }
 wall_1
 {
  type fixedValue;
  value uniform (0 0 0);
 }
}
```



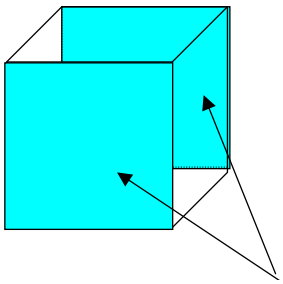
前後面でinletOutlet

ファン，壁で速度0

inletOutlet
ドメインに
　流入するとき速度規定（ディリクレ条件）
　流出するときzeroGradient（ノイマン条件）

3. 設定条件(p)

```
internalField uniform 0;

boundaryField
{
 turbine_fan_Mesh
 {
  type zeroGradient;
 }
 wall_6
 {
  type fixedValue;
  value uniform 0.0;
 }
 wall_5
 {
  type fixedValue;
  value uniform 0.0;
 }
 wall_4
 {
  type zeroGradient;
 }
 wall_3
 {
  type zeroGradient;
 }
 wall_2
 {
  type zeroGradient;
 }
 wall_1
 {
  type zeroGradient;
 }
}
```



前後面で圧力0（大気開放）

ファン，壁で速度勾配0

3. 設定条件(k, ω) 5000rpm時

Turbulent energy

The turbulent energy, k, can be computed as:

$$k = \frac{3}{2}(U\,I)^2$$

Where U is the mean flow velocity and I is the turbulence intensity.

From the turbulence length scale

$$\omega = C_\mu^{-\frac{1}{4}} \frac{\sqrt{k}}{l}$$

Where C_μ is a turbulence model constant which usually has a value of 0.09, k is the turbulent energy and l is the turbulent length scale

壁, 出入口

項目	係数
I(みだれ強さ)	0.05
U(流出速度 m/s)	1
k	0.00375
d(直径mm)	4000
l(みだれの長さスケール m)	0.28
Cμ	0.09
ω	0.399297853

ファン

項目	係数
I(みだれ強さ)	0.15
U(流出速度 m/s)	37.96091123
k	48.63478887
d(直径mm)	185
l(みだれの長さスケール m)	0.01295
Cμ	0.09
ω	983.202834

http://www.cfd-online.com/Wiki/Turbulence_free-stream_boundary_conditions

3. 設定条件(k, ω) 20000rpm時

Turbulent energy

The turbulent energy, k, can be computed as:

$$k = \frac{3}{2}(U\,I)^2$$

Where U is the mean flow velocity and I is the turbulence intensity.

From the turbulence length scale

$$\omega = C_\mu^{-\frac{1}{4}} \frac{\sqrt{k}}{l}$$

Where C_μ is a turbulence model constant which usually has a value of 0.09, k is the turbulent energy and l is the turbulent length scale

壁, 出入口

項目	係数
I(みだれ強さ)	0.05
U(流出速度 m/s)	1
k	0.00375
d(直径mm)	4000
l(みだれの長さスケール m)	0.28
Cμ	0.09
ω	0.399297853

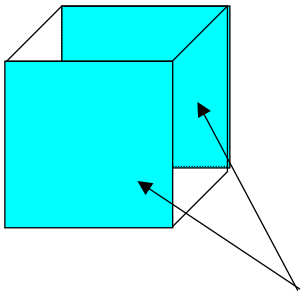
ファン

項目	係数
I(みだれ強さ)	0.15
U(流出速度 m/s)	151.8436449
k	778.156622
d(直径mm)	185
l(みだれの長さスケール m)	0.01295
Cμ	0.09
ω	3932.811336

http://www.cfd-online.com/Wiki/Turbulence_free-stream_boundary_conditions

3．設定条件（k）5000rpm時

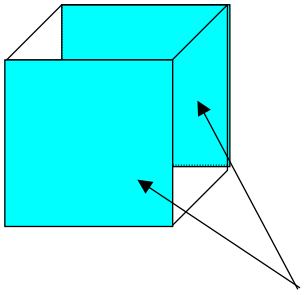
```
internalField uniform 0.00375;

boundaryField
{
 turbine_fan_Mesh
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 49;
 }
 wall_6
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform 0.00375;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_5
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform 0.00375;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_4
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_3
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_2
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_1
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
}
```



前後面でinletOutlet
ファン，壁で異なるk
値を与える

3．設定条件（k）20000rpm時

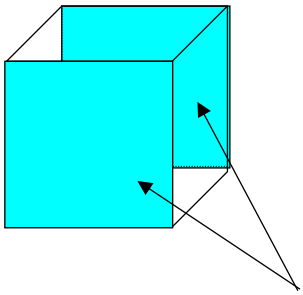
```
internalField uniform 0.00375;

boundaryField
{
 turbine_fan_Mesh
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 778;
 }
 wall_6
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform 0.00375;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_5
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform 0.00375;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_4
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_3
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_2
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_1
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
}
```



前後面でinletOutlet
ファン，壁で異なるk
値を与える

3. 設定条件（ω）5000rpm時

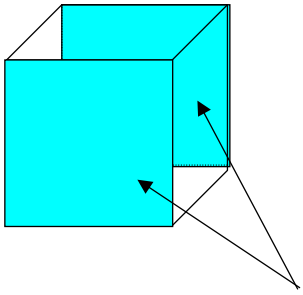
```
internalField uniform 0.4;

boundaryField
{
 turbine_fan_Mesh
 {
  type omegaWallFunction;
  value uniform 985;
 }
 wall_6
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform 0.4;
  value uniform 0.4;
 }
 wall_5
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform 0.4;
  value uniform 0.4;
 }
 wall_4
 {
  type omegaWallFunction;
  value uniform 0.4;
 }
 wall_3
 {
  type omegaWallFunction;
  value uniform 0.4;
 }
 wall_2
 {
  type omegaWallFunction;
  value uniform 0.4;
 }
 wall_1
 {
  type omegaWallFunction;
  value uniform 0.4;
 }
}
```



前後面でinletOutlet
ファン，壁で異なる
ω値を与える

3. 設定条件（ω）20000rpm時

```
internalField uniform 0.00375;

boundaryField
{
 turbine_fan_Mesh
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 3935;
 }
 wall_6
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform 0.00375;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_5
 {
  type inletOutlet;
  inletValue uniform 0.00375;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_4
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_3
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_2
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
 wall_1
 {
  type kqRWallFunction;
  value uniform 0.00375;
 }
}
```



前後面でinletOutlet
ファン，壁で異なる
ω値を与える

4. メッシュの作成

```
castellatedMesh true;
snap          true;
addLayers     true;

geometry
{
        turbine_model_fix1a_m.stl
        {
                type triSurfaceMesh;
                name turbine_fan;
        }

        MRF_area_m.stl
        {
                type triSurfaceMesh;
                name MRF_area;
        }
};

castellatedMeshControls
{
   maxLocalCells 2000000;
   maxGlobalCells 2000000;
   minRefinementCells 0;
   nCellsBetweenLevels 1;
```

ファン

MRF領域

```
features
   (
      {
         file "turbine_model_fix1a_m.eMesh";
         level 0;
      }

      {
         file "MRF_area_m.eMesh";
         level 0;
      }
   );
refinementSurfaces
   {
      turbine_fan
      {
         level (3 6);
      }

      MRF_area
      {
         level (3 6);
         faceZone MRF_area;
         cellZone MRF_area;
         zoneInside true;
      }
   }
```

surfaceFeatureExtract用

MRFのメッシュ領域を作る

粗いメッシュの場合はlevel（3,5）

4. メッシュの作成

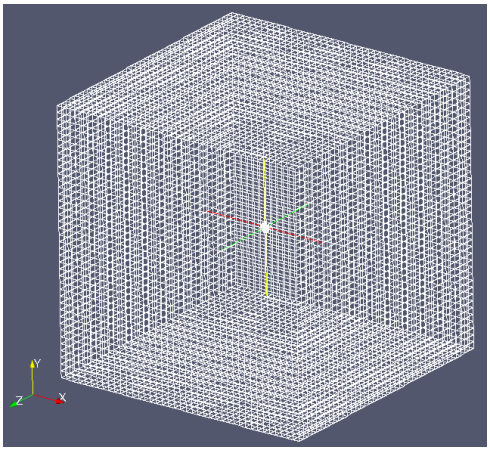
```
 resolveFeatureAngle 30;
 refinementRegions
  {
    // refinementBox
     //{
    //     mode inside;
    //     levels ((1E15 4));
     //}
  }
 locationInMesh (1.01 1.01 1.01);
}
snapControls
{
    nSmoothPatch 3;
    tolerance 1.0;
     nSolveIter 300;
     nRelaxIter 5;
     nFeatureSnapIter 10;
}
addLayersControls
{
    relativeSizes true;
   layers
   {
     turbine_fan_Mesh
      {
         nSurfaceLayers 2;
      }
}
```

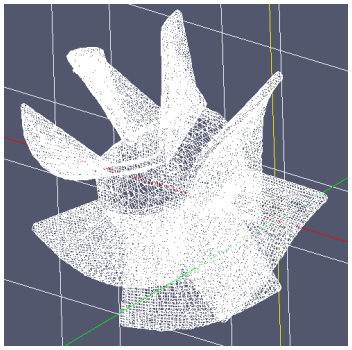
メッシュ切りの開始点

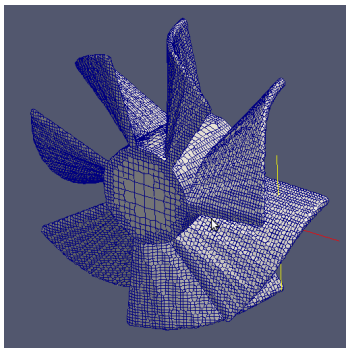
```
   expansionRatio 1.0;
    finalLayerThickness 0.3;
    minThickness 0.1;
    nGrow 0;
    featureAngle 30;
    nRelaxIter 3;
    nSmoothSurfaceNormals 1;
    nSmoothNormals 3;
    nSmoothThickness 10;
    maxFaceThicknessRatio 0.5;
    thickness to medial
    maxThicknessToMedialRatio 0.3;
    minMedianAxisAngle 90;
    nBufferCellsNoExtrude 0;
    nLayerIter 50;
   nRelaxedIter 20;
}

meshQualityControls
{
   maxNonOrtho 65;
   maxBoundarySkewness 20;
   maxInternalSkewness 4;
   maxConcave 80;
   minVol 1e-13;
   minTetQuality 1e-30;
   minArea -1;
   minTwist 0.05;
   minDeterminant 0.001;
```

4. メッシュの作成

```
  minFaceWeight 0.05;
  minVolRatio 0.01;
  minTriangleTwist -1;

  nSmoothScale 4;
  errorReduction 0.75;
  {
      maxNonOrtho 75;
  }
}

debug 0;
mergeTolerance 1E-6;
```







4. メッシュの作成（標準）

```
Mesh stats
    points:           222895
    faces:            563993
    internal faces:   534800
    cells:            173053
    boundary patches: 8
    point zones:      0
    face zones:       1
    cell zones:       1

Overall number of cells of each type:
    hexahedra:     136007
    prisms:        2250
    wedges:        0
    pyramids:      0
    tet wedges:    120
    tetrahedra:    0
    polyhedra:     34676

Checking topology...
    Boundary definition OK.
    Cell to face addressing OK.
    Point usage OK.
    Upper triangular ordering OK.
    Face vertices OK.
    Number of regions: 1 (OK).

Checking patch topology for multiply connected surfaces ...
    Patch             Faces    Points   Surface topology
    wall_1             1600     1681    ok (non-closed singly connected)
    wall_2             1600     1681    ok (non-closed singly connected)
    wall_3             1600     1681    ok (non-closed singly connected)
    wall_4             1600     1681    ok (non-closed singly connected)
    wall_5             1600     1681    ok (non-closed singly connected)
    wall_6             1600     1681    ok (non-closed singly connected)
    turbine_fan_Mesh    19593    23950    ok (closed singly connected)
    MRF_area_Mesh       0        0        ok (empty)

Checking geometry...
    Overall domain bounding box (-2 -2 -2) (2 2 2)
    Mesh (non-empty, non-wedge) directions (1 1 1)
    Mesh (non-empty) directions (1 1 1)
    Boundary openness (2.86669e-16 1.54803e-16 5.29612e-16) OK.
    Max cell openness = 7.20125e-16 OK.
    Max aspect ratio = 21.6883 OK.
    Minumum face area = 2.04145e-08. Maximum face area = 0.0100632.  Face
area magnitudes OK.
    Min volume = 3.18458e-11. Max volume = 0.00100577.  Total volume =
63.9998.  Cell volumes OK.
    Mesh non-orthogonality Max: 65.8525 average: 13.2238
    Non-orthogonality check OK.
    Face pyramids OK.
    Max skewness = 3.13773 OK.
    Coupled point location match (average 0) OK.

Mesh OK.
```

4. メッシュの作成（粗）

Mesh stats
points: 114490
faces: 306518
internal faces: 291677
cells: 96620
boundary patches: 8
point zones: 0
face zones: 1
cell zones: 1

Overall number of cells of each type:
hexahedra: 86852
prisms: 495
wedges: 0
pyramids: 0
tet wedges: 19
tetrahedra: 0
polyhedra: 9254

Checking topology...
Boundary definition OK.
Cell to face addressing OK.
Point usage OK.
Upper triangular ordering OK.
Face vertices OK.
Number of regions: 1 (OK).

Checking patch topology for multiply connected surfaces ...

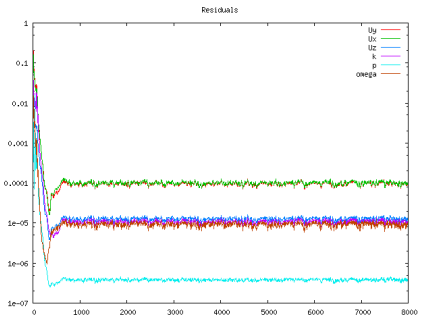
Patch	Faces	Points	Surface topology
wall_1	1600	1681	ok (non-closed singly connected)
wall_2	1600	1681	ok (non-closed singly connected)
wall_3	1600	1681	ok (non-closed singly connected)
wall_4	1600	1681	ok (non-closed singly connected)
wall_5	1600	1681	ok (non-closed singly connected)
wall_6	1600	1681	ok (non-closed singly connected)
turbine_fan_Mesh	5241	6279	ok (closed singly connected)
MRF_area_Mesh	0	0	ok (empty)

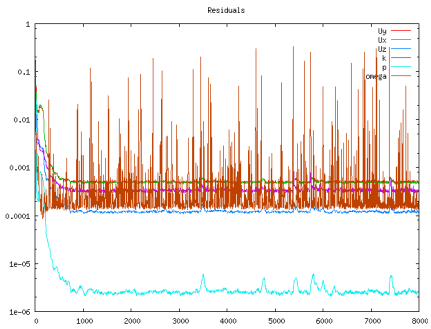
Checking geometry...
Overall domain bounding box (-2 -2 -2) (2 2 2)
Mesh (non-empty, non-wedge) directions (1 1 1)
Mesh (non-empty) directions (1 1 1)
Boundary openness (8.88687e-17 2.0669e-17 9.58054e-17) OK.
Max cell openness = 5.56899e-16 OK.
Max aspect ratio = 17.8828 OK.
Minumum face area = 2.49171e-07. Maximum face area = 0.0100661. Face area magnitudes OK.
Min volume = 5.08154e-10. Max volume = 0.00100727. Total volume = 63.9998. Cell volumes OK.
Mesh non-orthogonality Max: 65.3845 average: 10.3595
Non-orthogonality check OK.
Face pyramids OK.
Max skewness = 3.52413 OK.
Coupled point location match (average 0) OK.

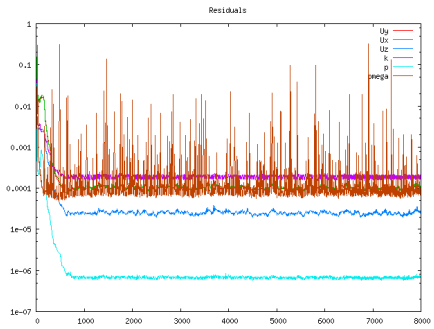
Mesh OK.

5. 計算結果

p,U,k,omegaの収束状況（5000回転）





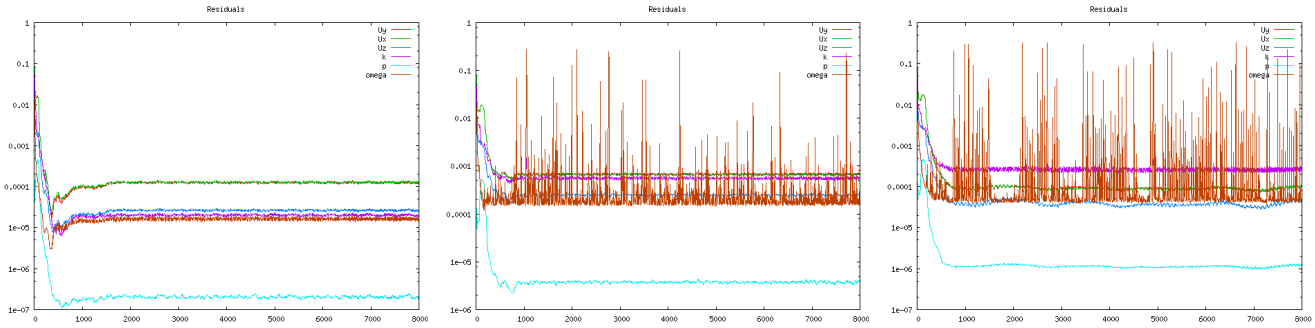


① CASE_1　　② CASE_2　　③ CASE_3

upwindとlimitedLinearを比較するとomegaの収束状態が大きく異なる。

5. 計算結果

p,U,k,omegaの収束状況（20000回転）

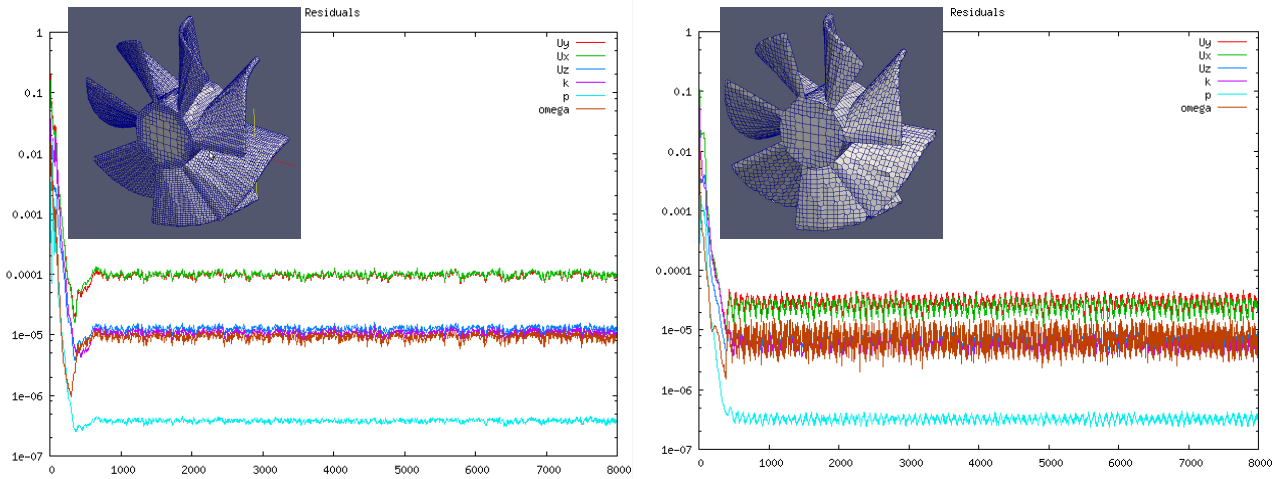


① CASE_1A　　② CASE_2A　　③ CASE_3A

upwindとlimitedLinearを比較するとomegaの収束状態が大きく異なる。

5. 計算結果

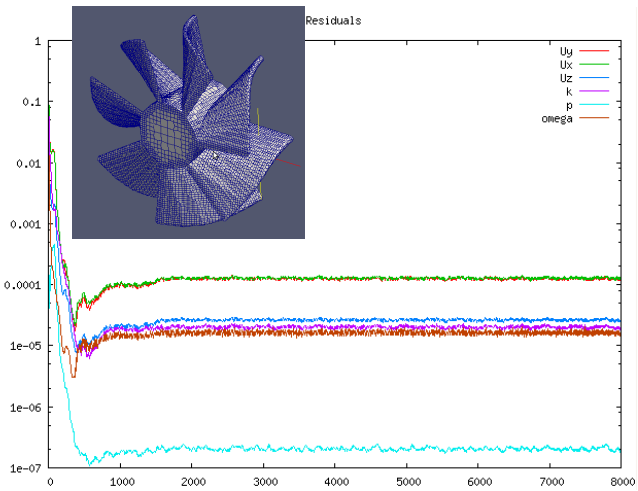
メッシュ密度がp,U,k,omegaの収束に及ぼす影響（5000回転）

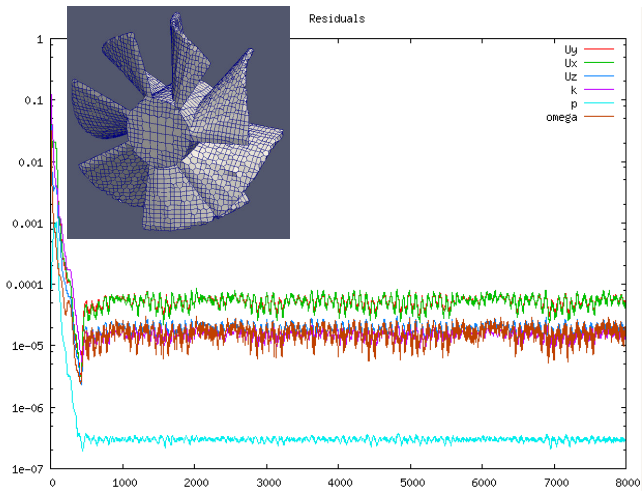


メッシュが粗くなると残差の振動が大きくなっている

5. 計算結果

メッシュ密度がp,U,k,omegaの収束に及ぼす影響（20000回転）



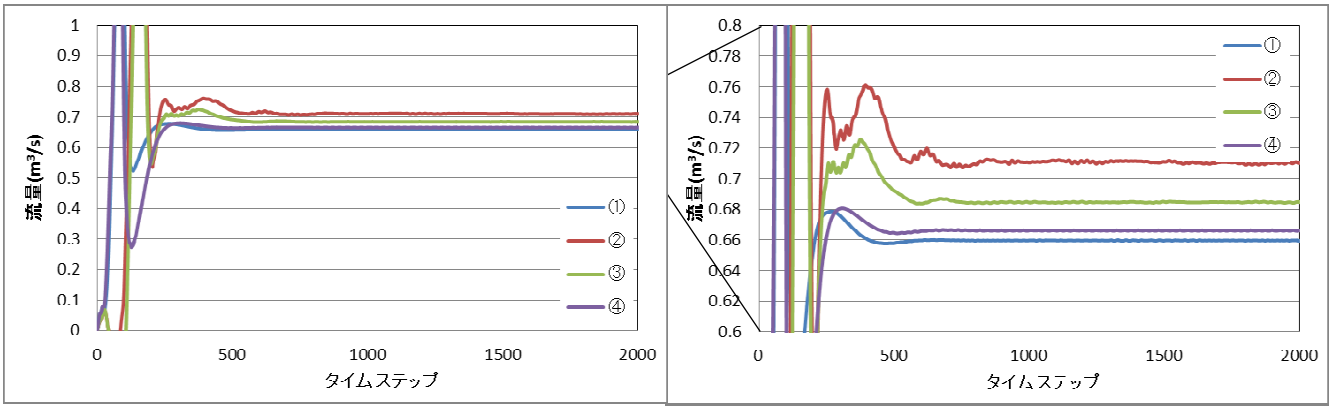


メッシュが粗くなると残差の振動が大きくなっている

5. 計算結果

流量の収束状況（5000回転）

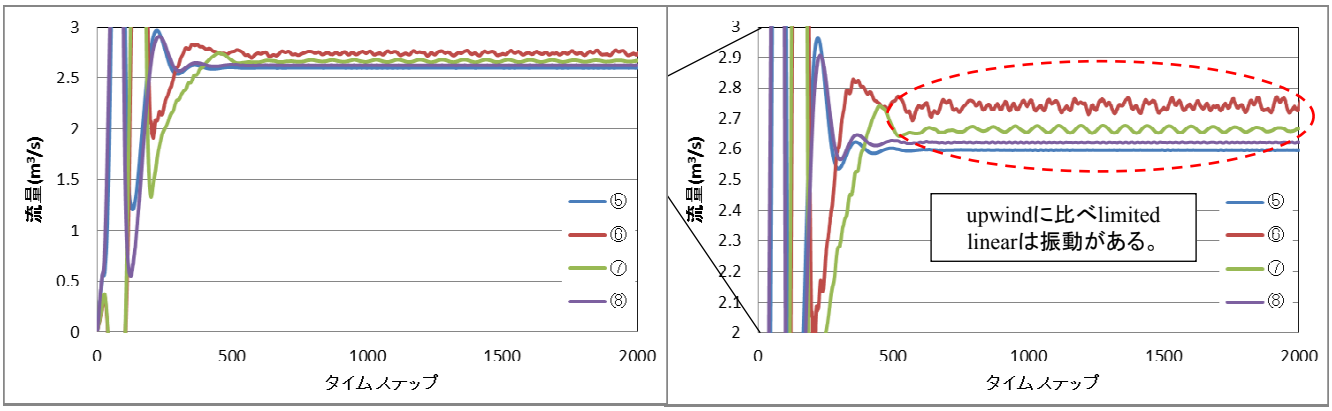
No	ケース名	ファン回転数(rpm)	divSheme	メッシュ	wall_5の流量	比率(%)
①	CASE_1	5000	upwind	標準	0.660	100
②	CASE_2		limited linear 0.5		0.710	108
③	CASE_3		limited linear 1.0		0.685	104
④	CASE_1B		upwind	粗	0.666	101



5. 計算結果

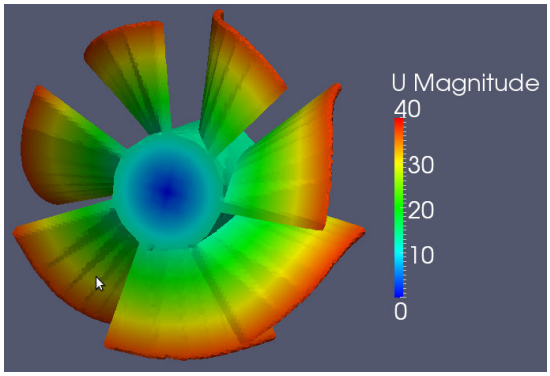
流量の収束状況（20000回転）

No	ケース名	ファン回転数(rpm)	divSheme	メッシュ	wall_5の流量	比率(%)
⑤	CASE_1A	20000	upwind	標準	2.598	100
⑥	CASE_2A		limited linear 0.5		2.736	105
⑦	CASE_3A		limited linear 1.0		2.662	102
⑧	CASE_1C		upwind	粗	2.623	101

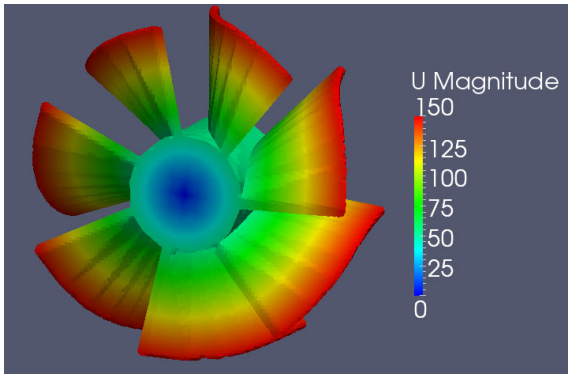


5. 計算結果

速度分布はMRF領域であらかじめ与えている。結果ではないが5000rpmではファンの外周速は38m/s，20000rpmでは151m/sとなる。



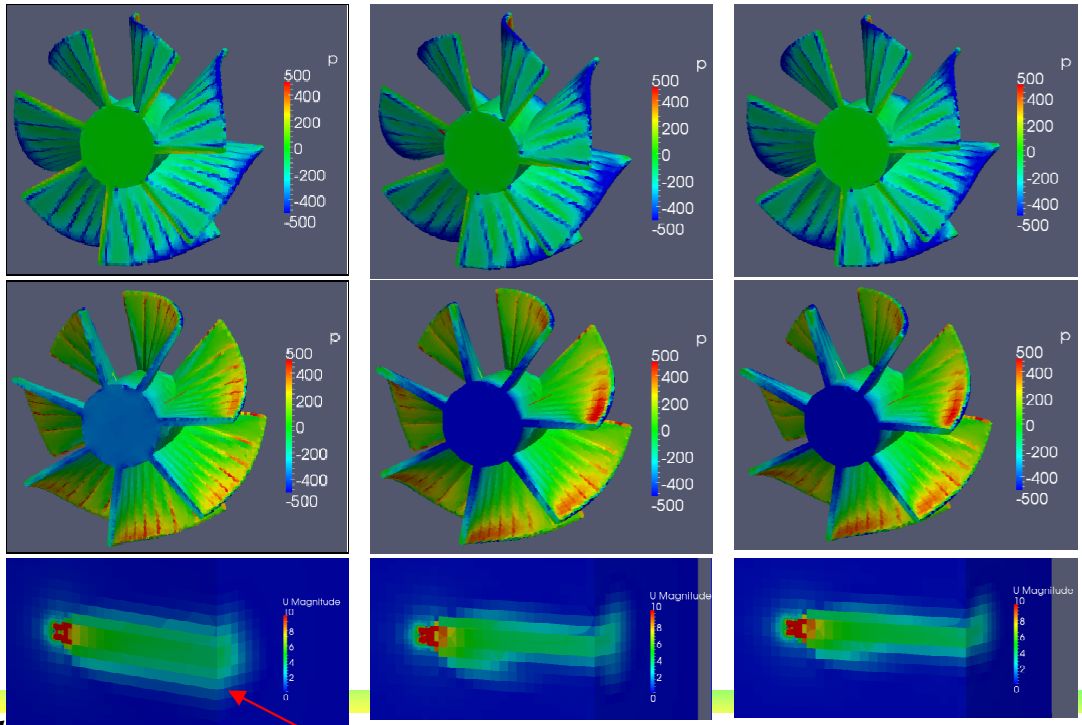
5000rpm



20000rpm

5. 計算結果(5000rpm)

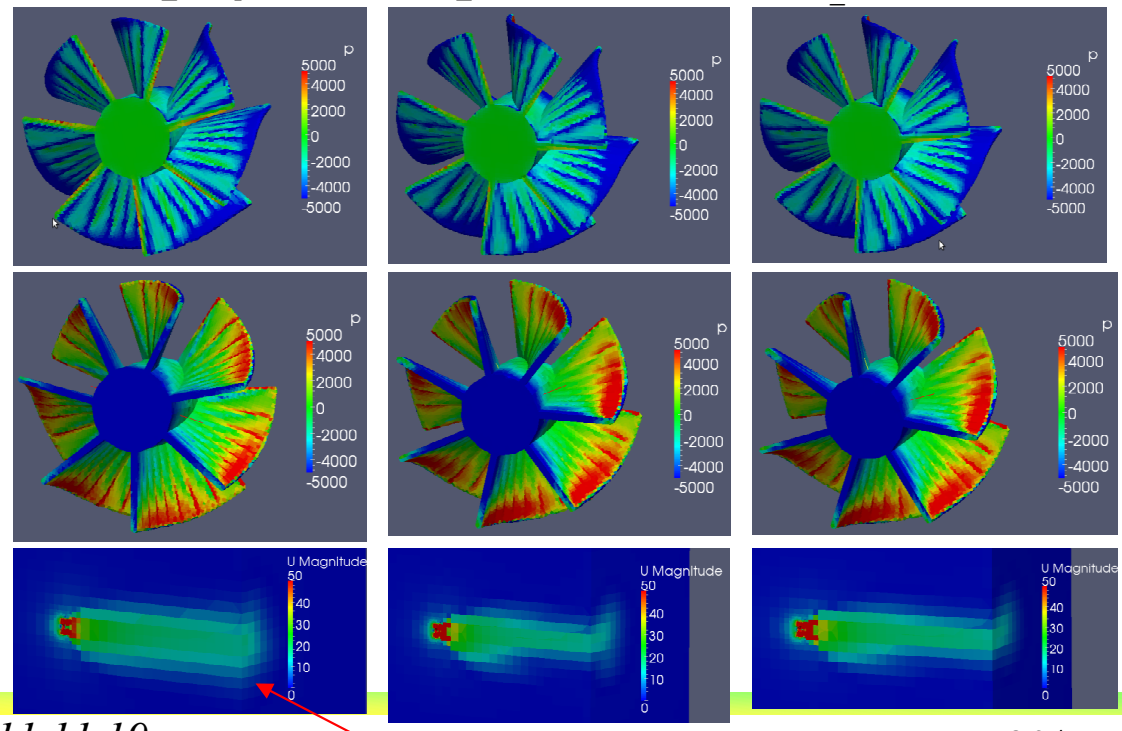
CASE_1 upwind　CASE_2 limited linear 0.5　CASE_3 limited linear 1.0



流れの拡散(スライド33参照)

5. 計算結果(20000rpm)

CASE_1A upwind　CASE_2A limited linear 0.5　CASE_3A limited linear 1.0



流れの拡散(スライド33参照)

６．OpenFOAMディスカッションボードから

①MRF領域の法線方向を確認せずにメッシュを作成して計算

回転領域が外側になってしまったため，ファンよりも周辺の領域が回転している状態になり，計算は出来るが圧力，速度共に非常に大きな値となりおかしい値になった。

（指摘された要旨）

回転領域を定義するMRF_area_m.stlにおいて、法線方向が通常とは逆（内向き）になっていることが原因。

参考データ
http://groups.google.com/group/openfoam/browse_thread/thread/ff563b198c7818b2#

http://opencae.gifu-nct.ac.jp/pukiwiki/index.php?plugin=attach&refer=%BE%F0%CA%F3%A1%A7%CA%D9%B6%AF%B2%F1%A4%CE%BC%C1%B5%BF%B1%FE%C5%FA&openfile=MODEL_file.lzh

６．OpenFOAMディスカッションボードから

②ファンの回転させる方向を間違えて計算

fvSchemes/divSchemesのGauss upwindとGauss limitedLinearで，patchを通過する流量が倍程度の違いになってしまった。

（指摘された要旨）

これはファンの通常の動作点でない、逆回転の状況を計算していることがそもそもの原因。ファンの翼間を通過するでなく、翼の法線方向にぶち当たる流れ計算をしていることになり、翼面近傍が非常に不安定というか、計算が難しく、局所的なホットスポットのようなものが出てしまっている。

この出方如何で全体流量（というか抵抗）の大きさに効いてきている。ちなみに回転方向を逆にしたら、上記のホットスポットもなく、収束状況も安定、流量の違いも5%程度（upwindの方が少な目）

参考データ
http://groups.google.com/group/openfoam/browse_thread/thread/e801040a43701ec5
http://opencae.gifu-nct.ac.jp/pukiwiki/index.php?plugin=attach&pcmd=open&file=CASE_1.lzh&refer=%BE%F0%CA%F3%A1%A7%CA%D9%B6%AF%B2%F1%A4%CE%BC%C1%B5%BF%B1%FE%C5%FA
http://opencae.gifu-nct.ac.jp/pukiwiki/index.php?plugin=attach&pcmd=open&file=CASE_2A.lzh&refer=%BE%F0%CA%F3%A1%A7%CA%D9%B6%AF%B2%F1%A4%CE%BC%C1%B5%BF%B1%FE%C5%FA

６．OpenFOAMディスカッションボードから

③fvSchemes/divSchemesの解法差による収束状況の差

（指摘された要旨）
upwind > limitedLinear1 > limitedLinerar0.5の順に数値粘性が大きくなります。従って、ファンから出るジェットの拡大角度がupwindの方が大きくなり、圧力損失 が増えて流量が減るのだと思います。数値粘性が少ないとジェットと周囲流体の間のせん断層がよりシャープに捉えられ、その不安定によりジェットが揺らぐことによって変動が生じるのかも知れません。
http://groups.google.com/group/openfoam/browse_thread/thread/e801040a43701ec5

今野先生が行われた平成22年度OpenFOAM非圧縮性流体解析演習シリーズ第3回に離散化スキームの比較が記述されています。
http://dl.dropbox.com/u/3609076/OpenFOAMLectureCourseSeries/OpenFOAMLectureCourseSeries2010-3.pdf

６．OpenFOAMディスカッションボードから

④本計算の根本的な問題

（指摘された要旨）
出入口ともInletOutletで定義されており境界がファンから近いこともあって、システム抵抗が極めて小さくなっている。
ファン流量を求めるのが目的なら、入口にポーラスバッフルを入れるなどして実際の系とシステム抵抗を合わせるべきで，現状では過大に評価されているはず。
出口境界面からの逆流パターンが対流項スキームにより変化して系のシステム抵抗に影響している可能性がある。出口を離して絞るなどして逆流を抑制すべきです。
http://groups.google.com/group/openfoam/browse_thread/thread/e801040a43701ec5

このご指摘は非常に勉強になりました。

7．謝辞

この事例を作成するに当たり，OpenFOAMディスカッションボード（http://groups.google.com/group/openfoam）を利用させて頂き，ohbuchi様，E.Mogura様から色々なアドバイスを頂き，本当に色々と勉強になりました。ありがとうございました。

また，関係するファイルの置き場として柴田先生が管理されているオープンCAE初心者勉強会の情報・勉強会の質疑応答を使わせて頂きました。
（http://opencae.gifu-nct.ac.jp/pukiwiki/index.php?%BE%F0%CA%F3%A1%A7%CA%D9%B6%AF%B2%F1%A4%CE%BC%C1%B5%BF%B1%FE%C5%FA）

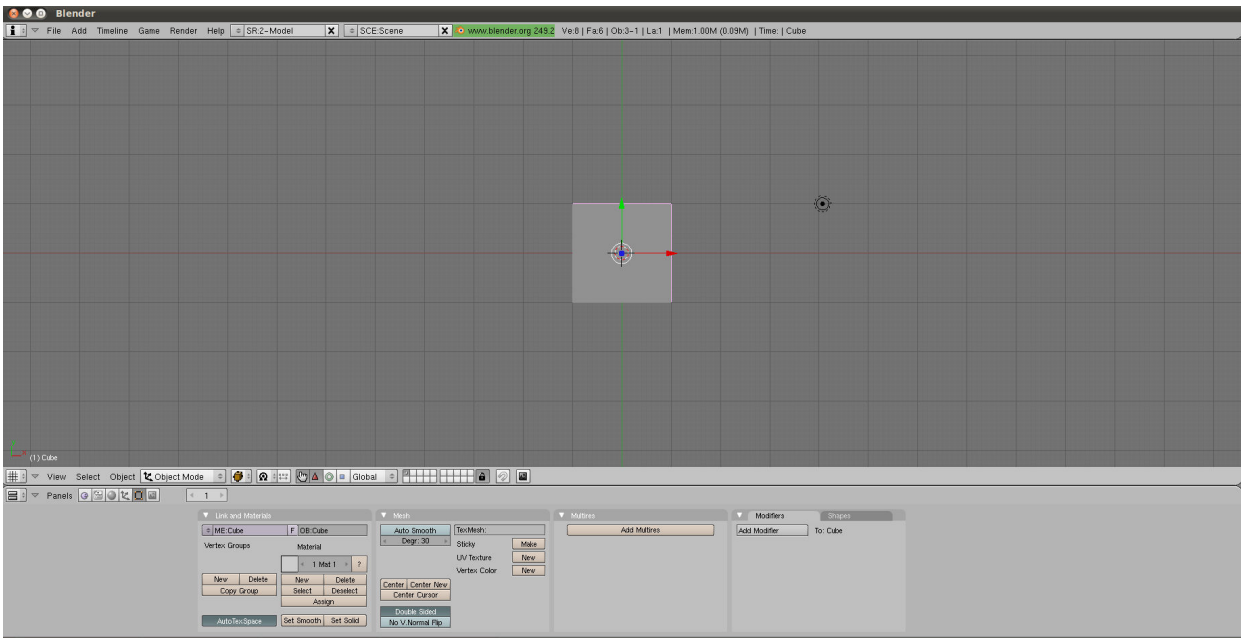
今野先生が行われた平成22年度OpenFOAM非圧縮性流体解析演習シリーズの資料を参考にさせて頂きました。

今回の計算等に利用したモデルの一部は第9回勉強会：H231119のページにアップしてあります。（OpenFOAM2.0.x+swak4Foamの環境で作成しています。）

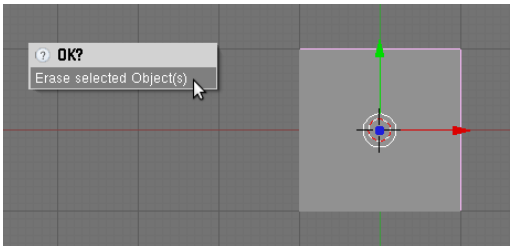
CASE_1.lzh	5000 rpm	fvSchemes/divSchemes→ upwind
CASE_2.lzh	5000rpm	fvSchemes/divSchemes→ limitedLinear 0.5
CASE_3.lzh	5000rpm	fvSchemes/divSchemes→ limitedLinear 1

①Blenderによるモデルの作成メモ（ファンの軸埋め）

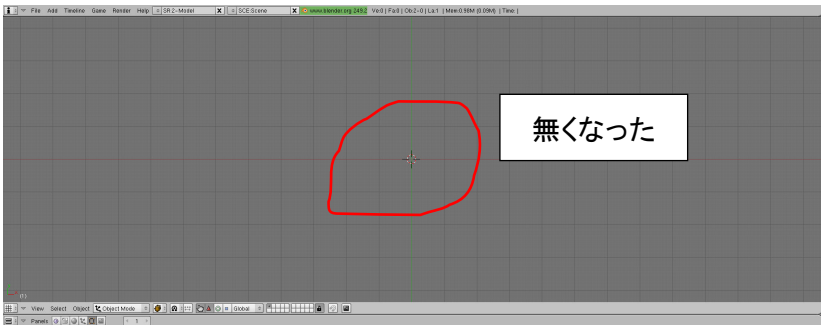
何はともあれまずBlender(2.49b)を立ち上げる。初期画面はこれ。ここからスタート。(三つボタンのマウスを使うと便利)



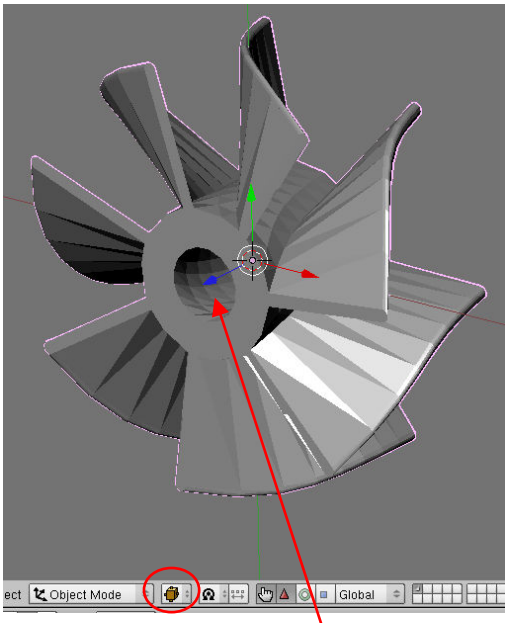
モデルを作成するため，画面上の立方体を消去する。
“X”を押すと，ポップアップでメニューがでる。

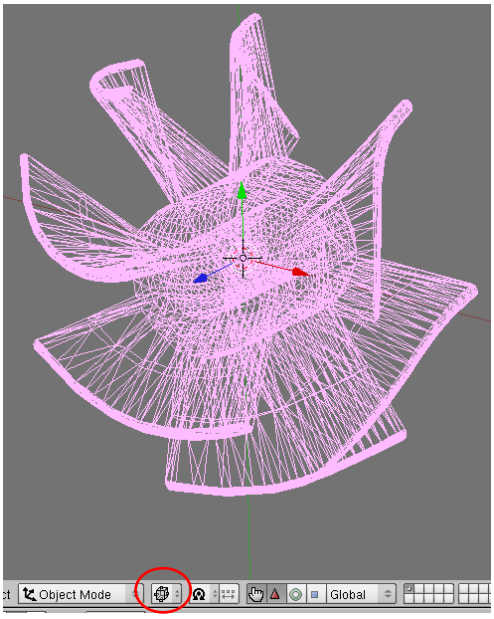


ここで，Erase･･･をマウスでクリックすると，立方体が消える。



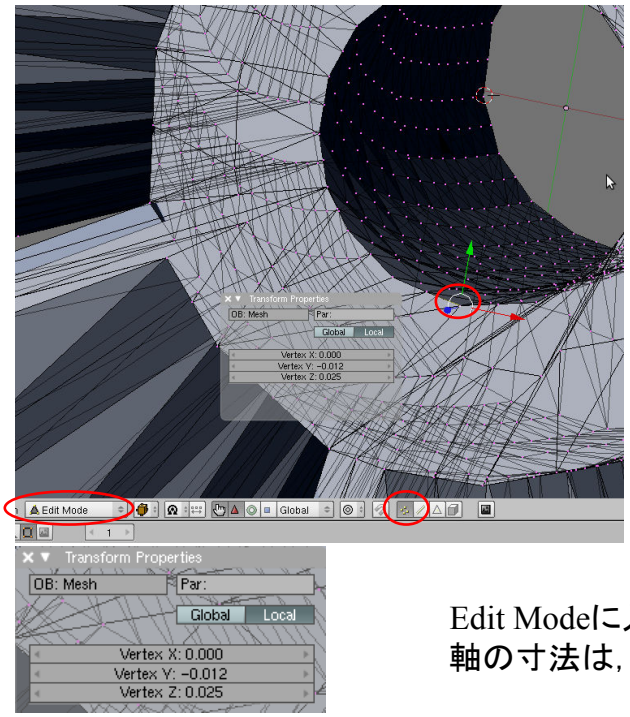
ファンの形状を読み込む　初期の形状

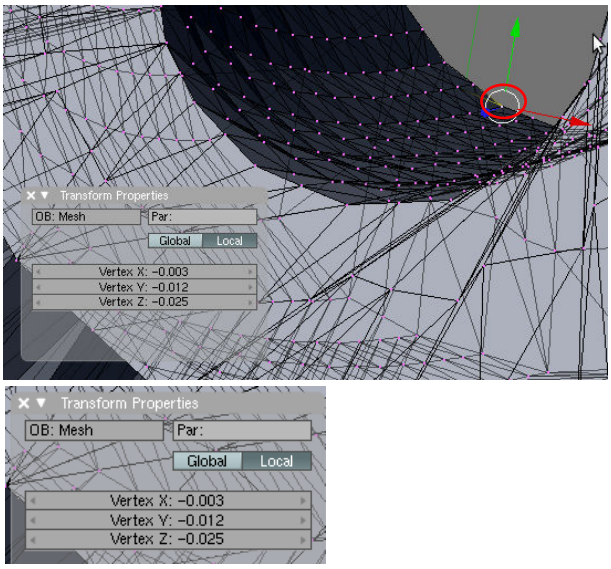




この軸部分を埋める

軸の寸法を確認

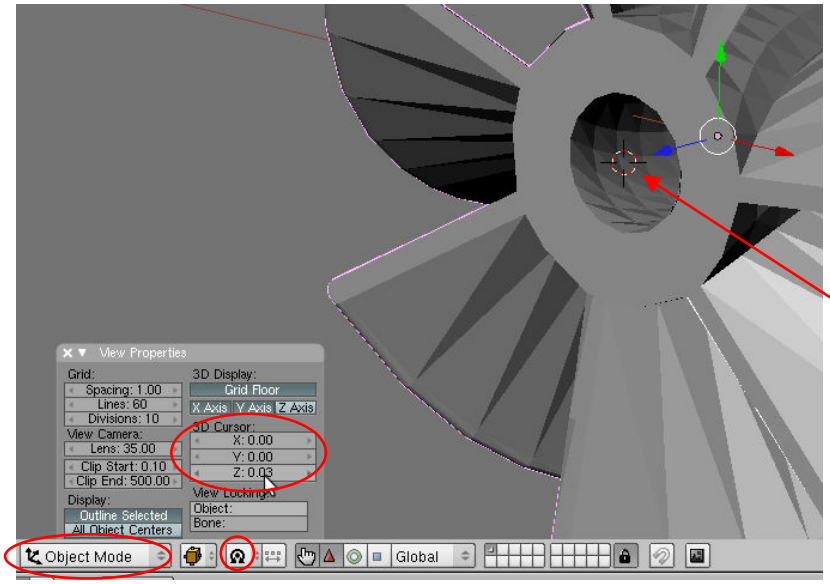




Edit Modeに入り，軸径の前後の節点をチェックする。
軸の寸法は，長さが0.05mで直径が0.025mと分かる。

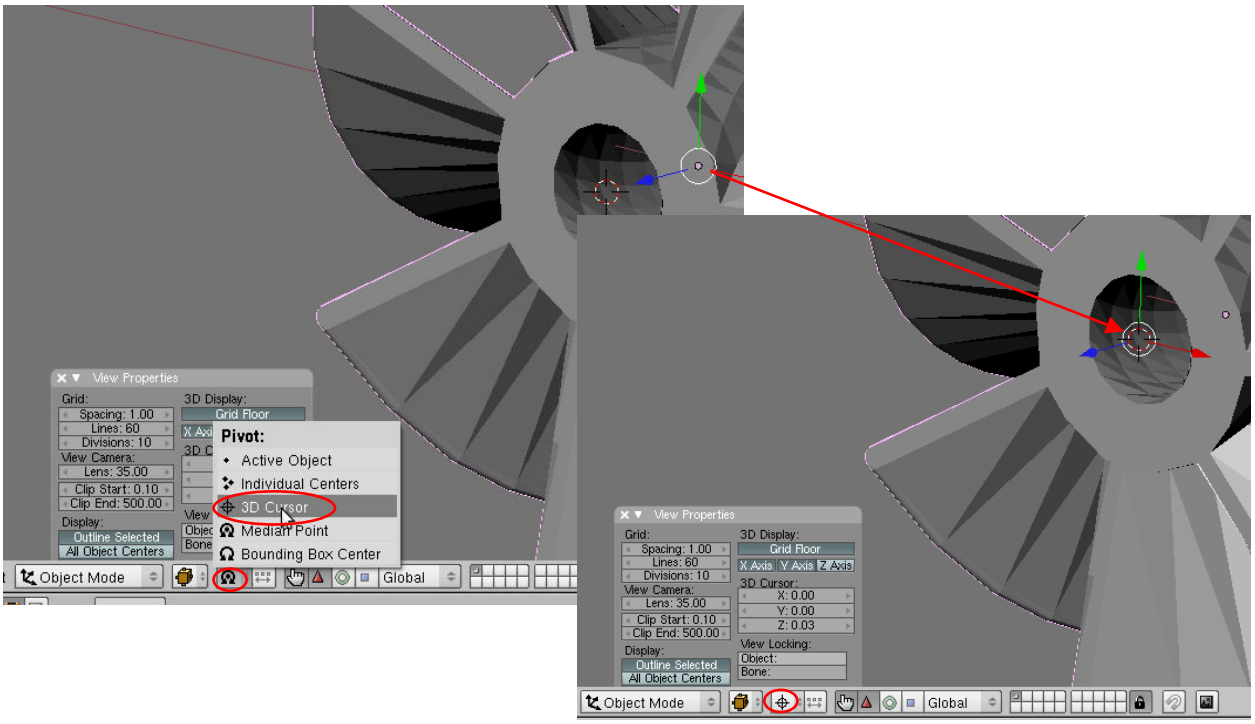
軸部分の穴埋め

Object Modeに移り，カーソルを+Zの面に移す。View Propertesを表示させて，3D Cursorの座標に(0,0,0.025)を設定する。

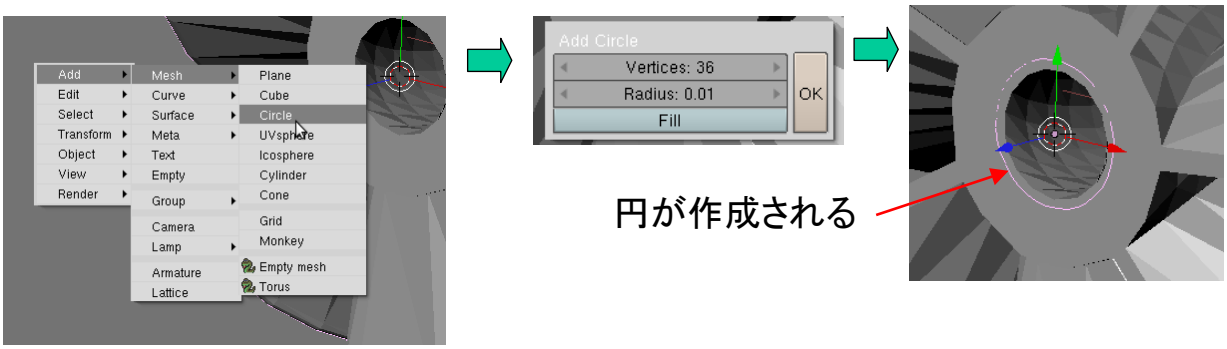


ここにマークが出る

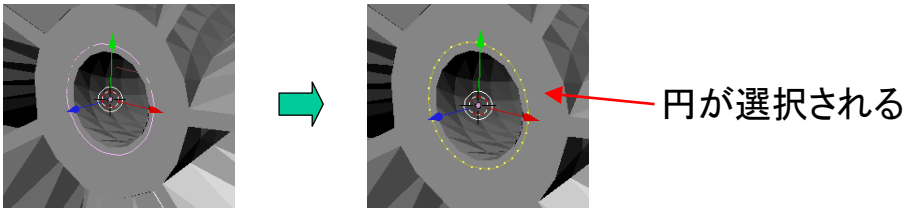
カーソルの移動



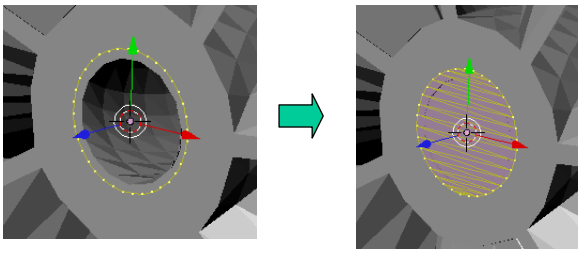
スペースバーを押すと，メニューがポップアップされる。
Add/Mesh/Circleを選択し，Vertices:36，Radius:0.014でOKを押す。円が作成される。



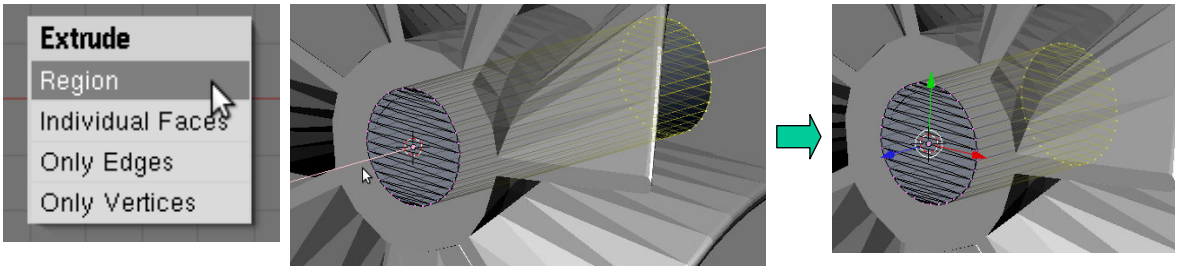
タブキーを押して，Object ModeからEdit Modeに変更する。



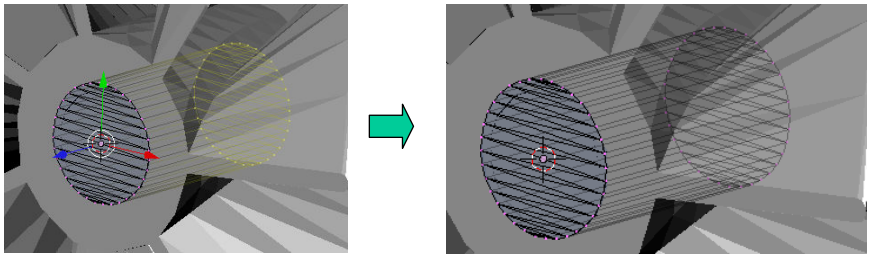
シフトキー+Fで円の中にパッチを貼る。



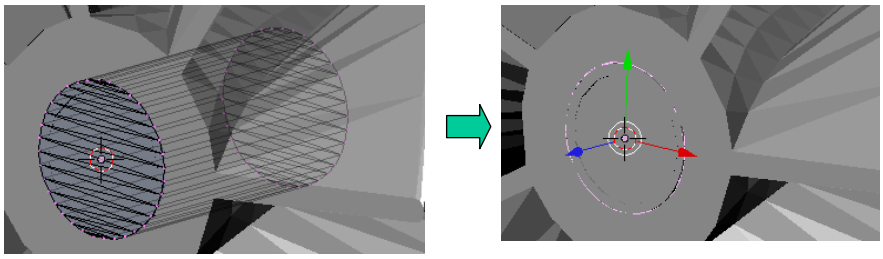
Eを押すとメニューがポップアップするので，Regionを選択する。
マウスを動かすと面がZ方向に伸びる。3Dウィンドウ左下に距離（D）が出るが，正確な数値を入れる。今回は-0.05と入力する。



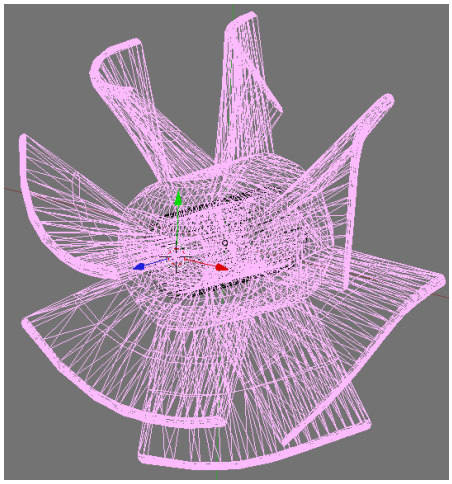
Aを押して面の選択を解除する。



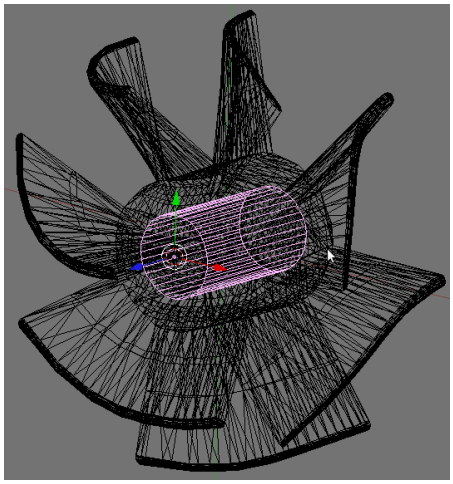
Tabを押してObject Modeに移る。



ファンと作成した円柱がある事を確認する。Object Modeでマウスの右クリックで選択が出来る。

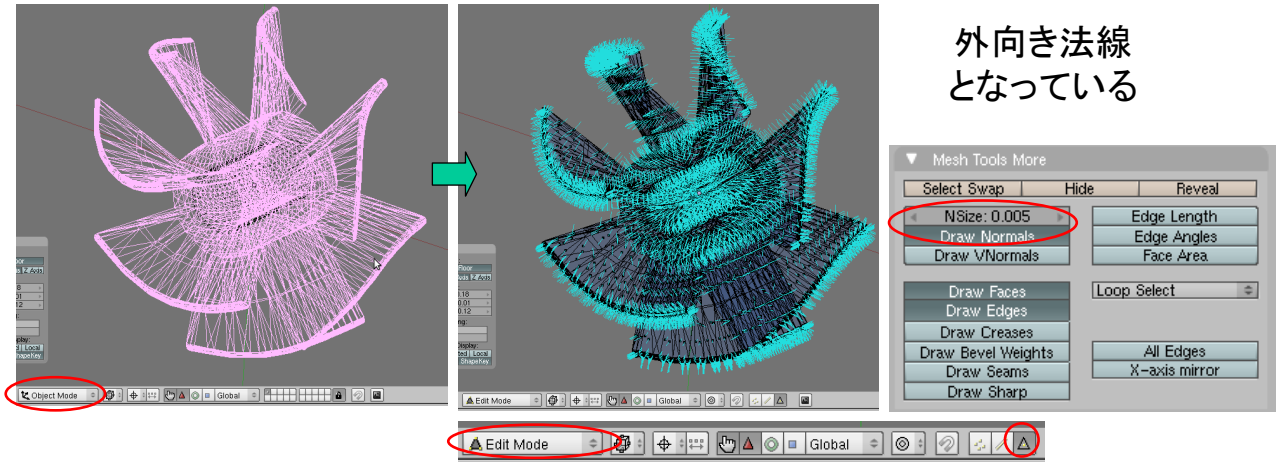


ファン



円柱

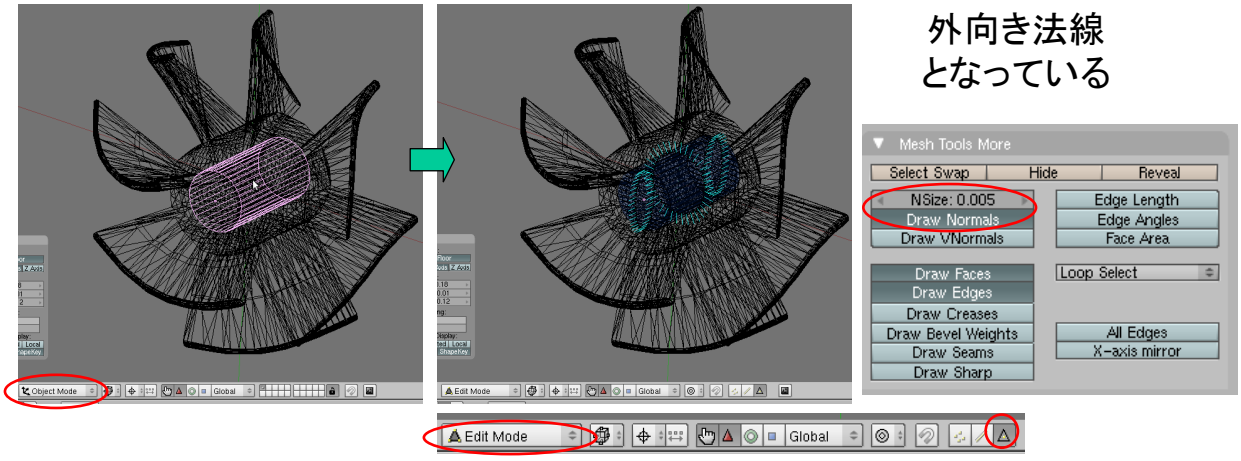
ファンと円柱を足し合わせるにはブーリアン演算をするが，法線が方向が外向きになっている事を確認する。
ファンのチェックから行う。Tabを押してFace select modeを選択しMesh Tools MoreでNSizeとDraw Normalsで法線方向をチェックする。



外向き法線
となっている

Face select mode

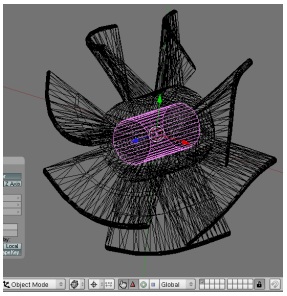
円柱も同様にして確認を行う。Object Modeにして右ボタンで円柱を選択する。その後Edit Modeに移り，Face select modeを選択しMesh Tools MoreでNSizeとDraw Normalsで法線方向をチェックする。



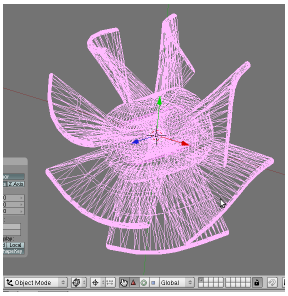
外向き法線
となっている

Face select mode

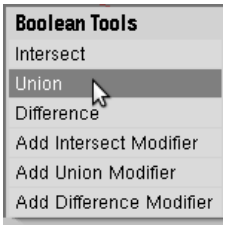
Object Modeに移り，Shiftを押ながら2つの円柱を選択する。Wを押すとBoolean Tools/Unionで結合させる。



円柱部を選択

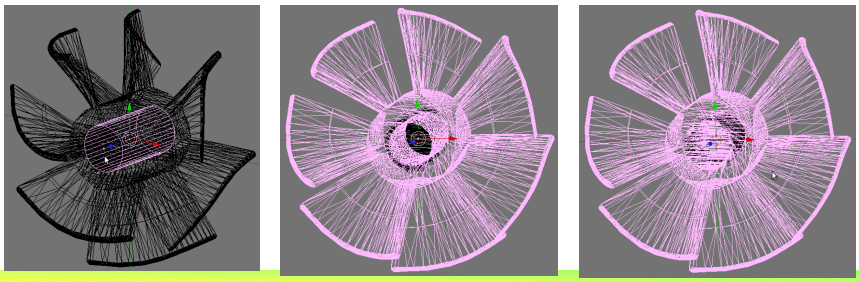


ファンを追加選択

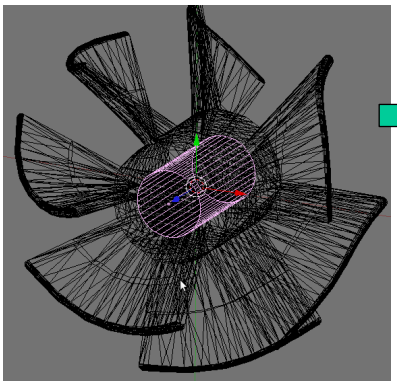


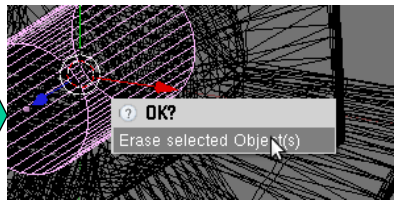
少し時間がかかるが結合される

円柱，ファン，結合されたファンの3つが出来る。

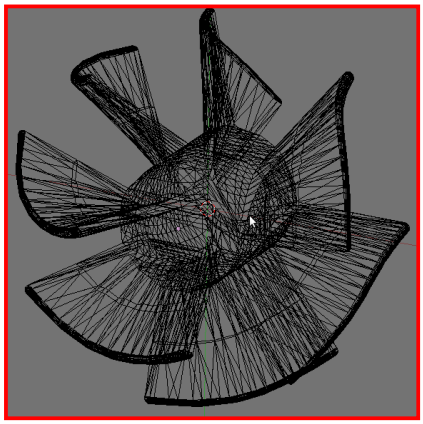


結合されたファン以外は利用しないため消去する。
Object Modeで消すフィーチャーを選択しXを押すと，削除して良いか聞いてくるので，選択が合っている事を確認してErase selected Object(s)を押す。これを繰り返して必要のないフィーチャーを消去していく。

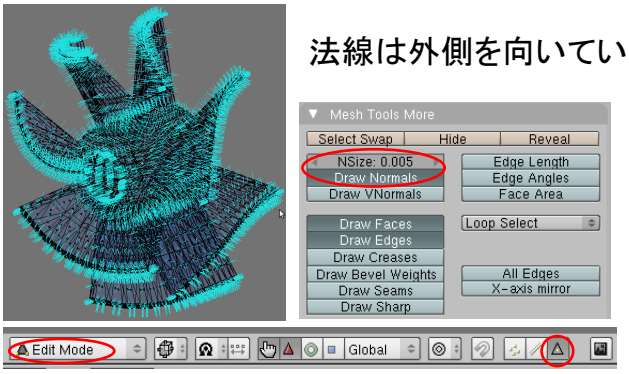




軸部分を埋めたファン形状が完成



最終的な形状の法線を確認する。

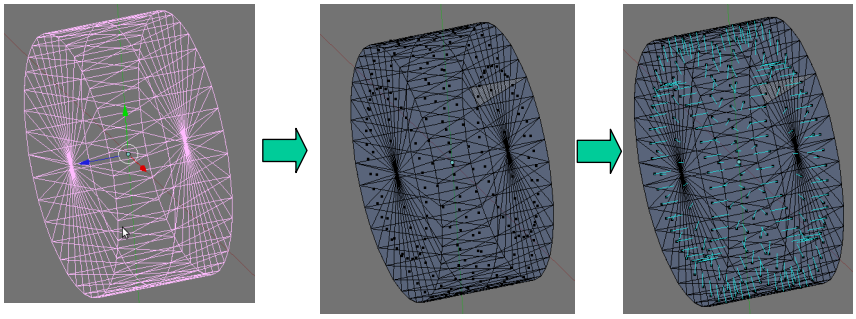


法線は外側を向いている

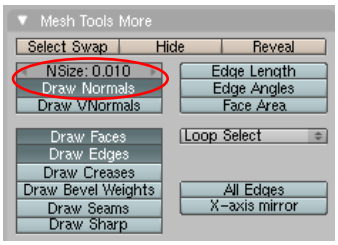
blender形式でファイル後，Named STLで書き出す。
（blender形式でファイルしないと外向き法線に修正したモデルが書き出されないため注意）

②Blenderによるモデルの作成メモ（MRF領域）

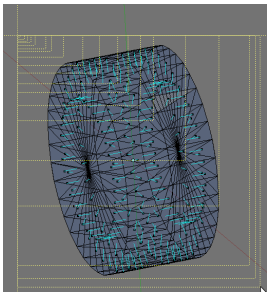
ファンの軸埋めと同様な方法でMRF領域を作成していく。寸法は，φ155×70mmである。
形状が出来たらEdit Modeに移り，法線を表示させる。



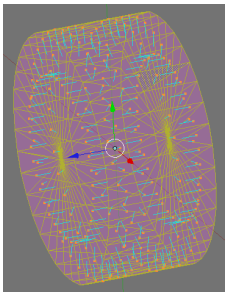
法線方向が内向き



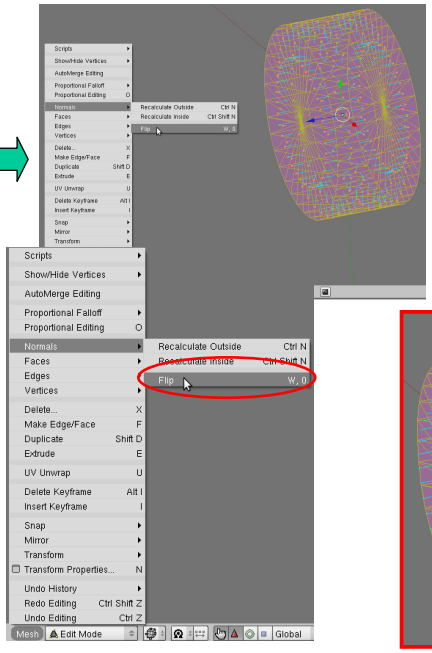
法線方向を外向きに変更する。
Edit ModeでBを押してマウス左ボタンを押して領域を選択する。

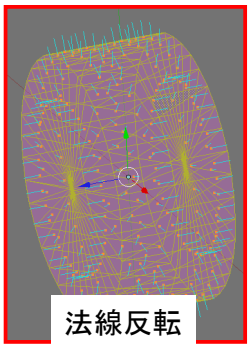


領域選択



領域が選択される





法線反転

MRFの法線方向を間違えると計算がおかしな事になる

blender形式でファイル後，Named STLで書き出す。
（blender形式でファイルしないと外向き法線に修正したモデルが書き出されないため注意）