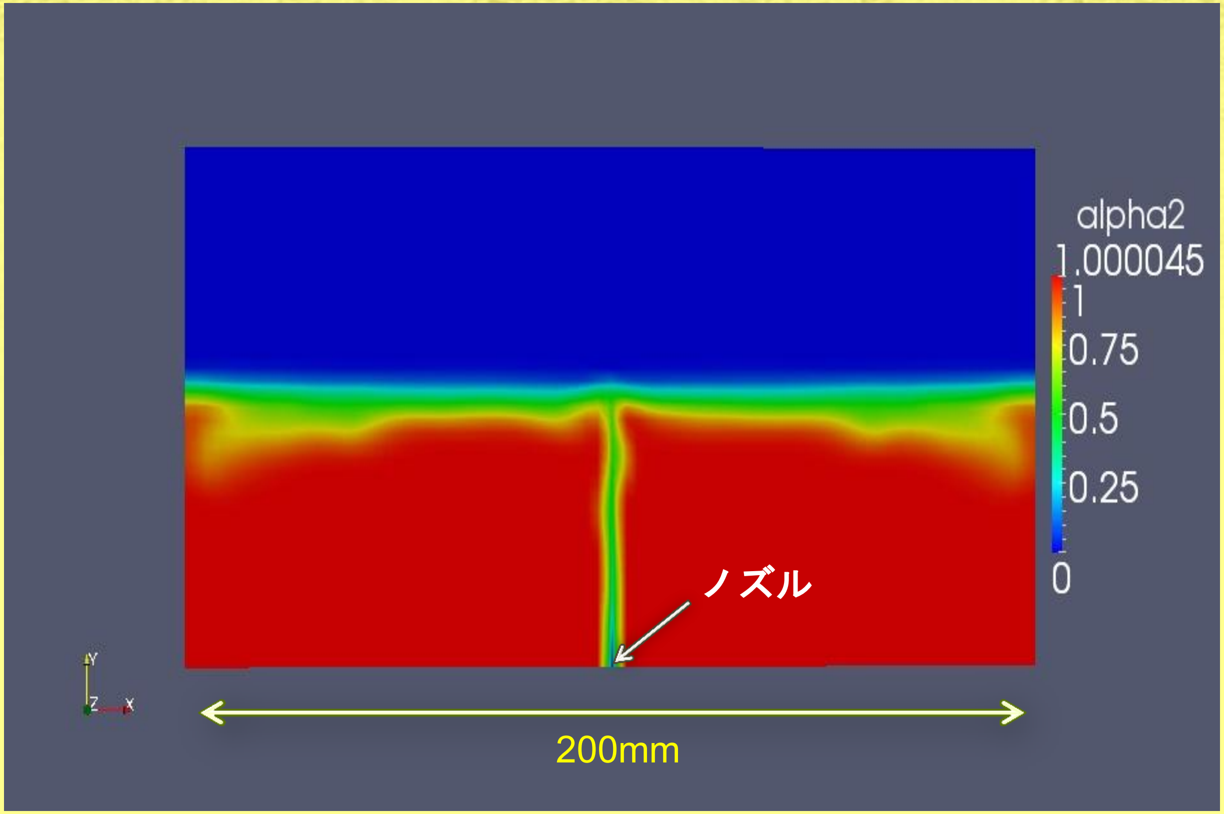
InterMixingFoamを用いたタンクでの塩水混合解析（その１）

TM

InterMixingFoam

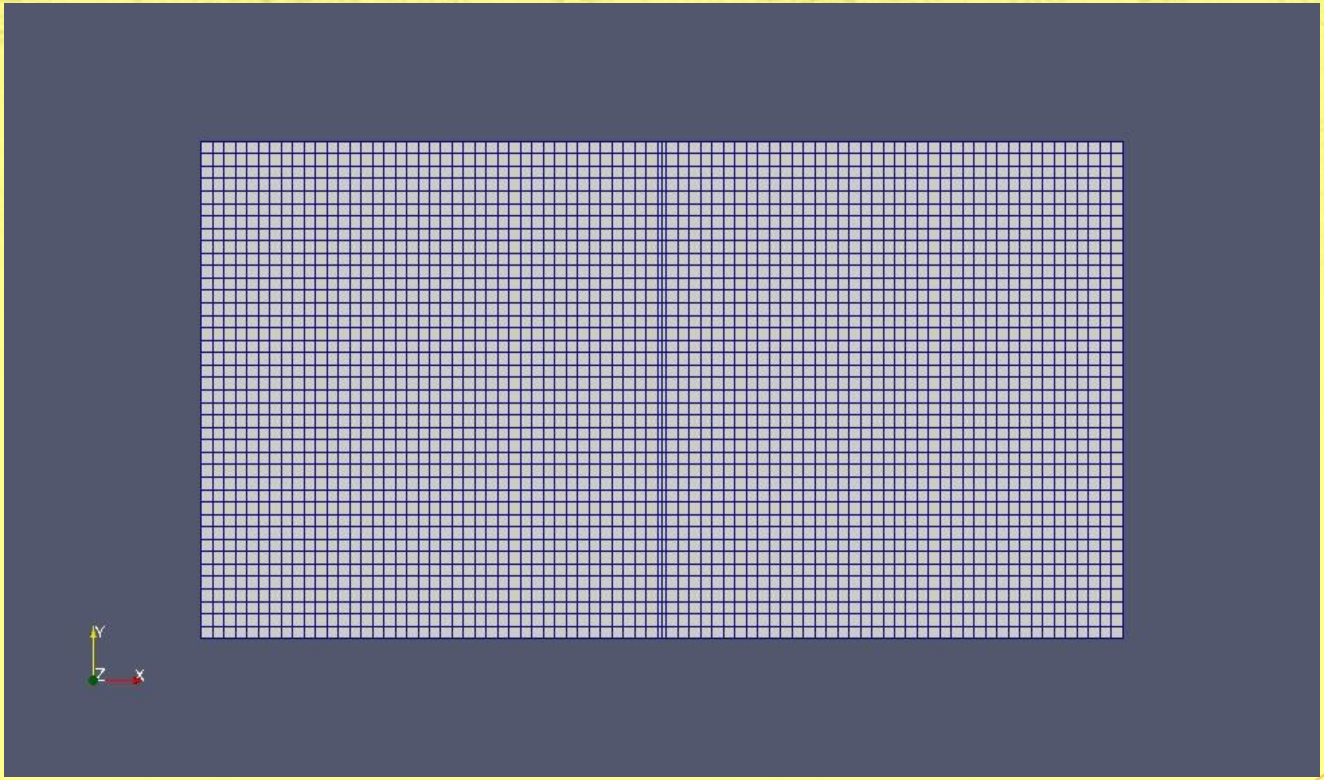
- Multiphaseのtutorialの一つ
  (OpenFOAM　ver.2.1.0)
- 3種流体気液二相流の流体運動を解析
- VOF(Volume of Fluid)法or密度関数法
- 浮力、混合する同相間の拡散、気液相の界面の表面張力を考慮

解析例その１　～2次元軽い液の注水～



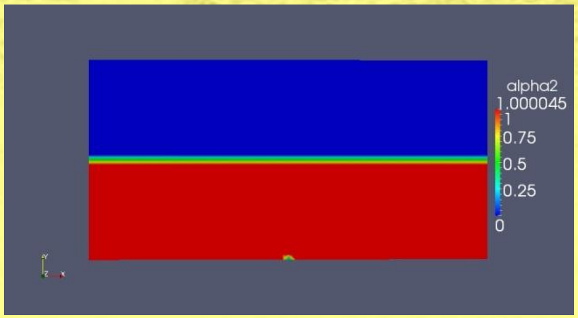
- 10%塩水が蓄えられているタンクに水を注水
- 2次元非定常層流解析
- ノズル幅=2mm、ノズル平均流速＝10cm/s

解析メッシュ

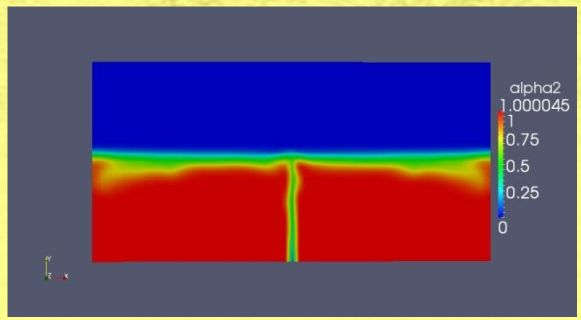


3280セル

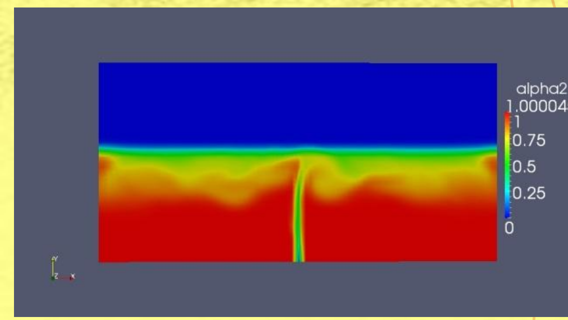
解析結果（塩水体積分率）



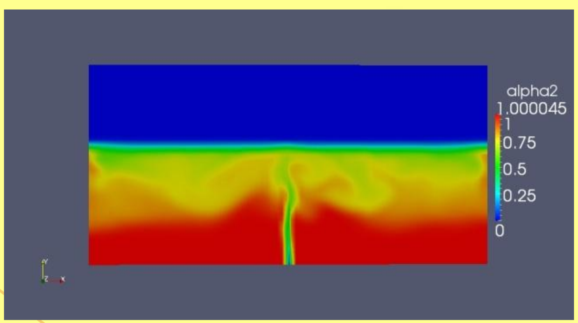
t=0sec



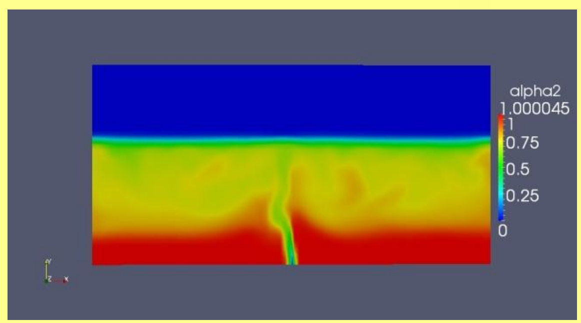
t=3sec



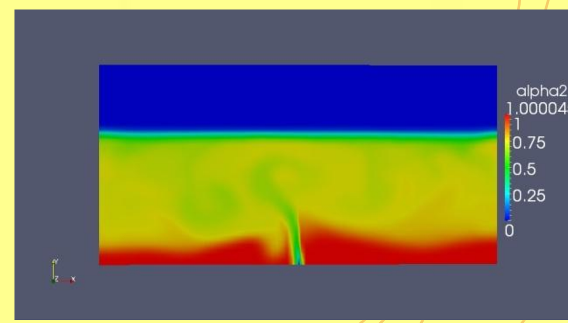
t=6sec



t=9sec



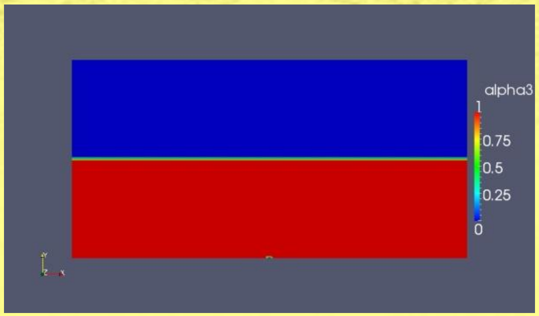
t=12sec



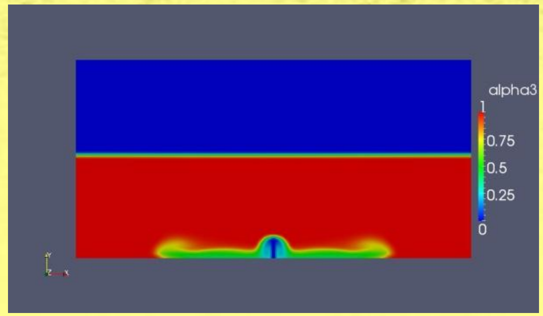
t=15sec

それらしい結果。やけに不安定

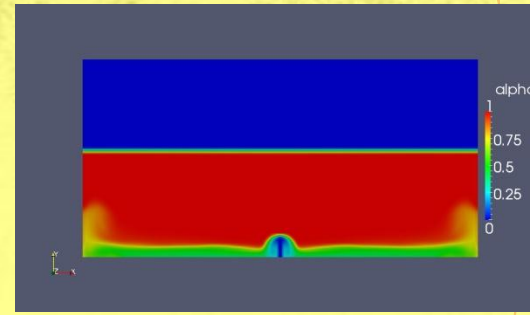
解析例その２（水体積分率）～２次元重い液の注水～



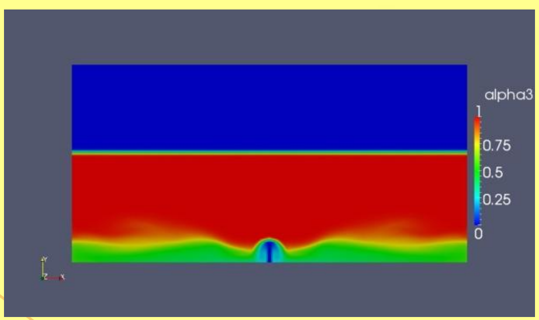
t=0.0sec



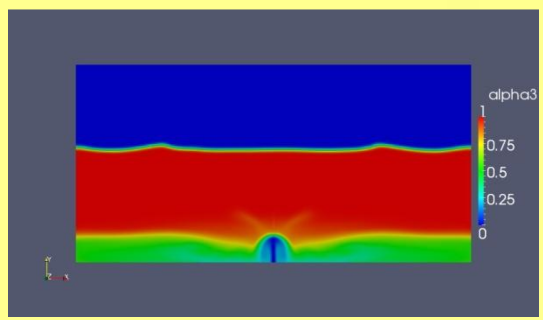
t=1.8sec



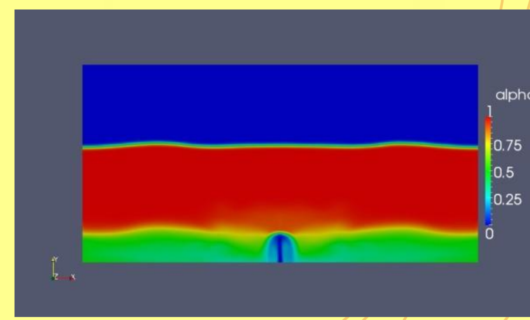
t=3.6sec



t=5.4sec



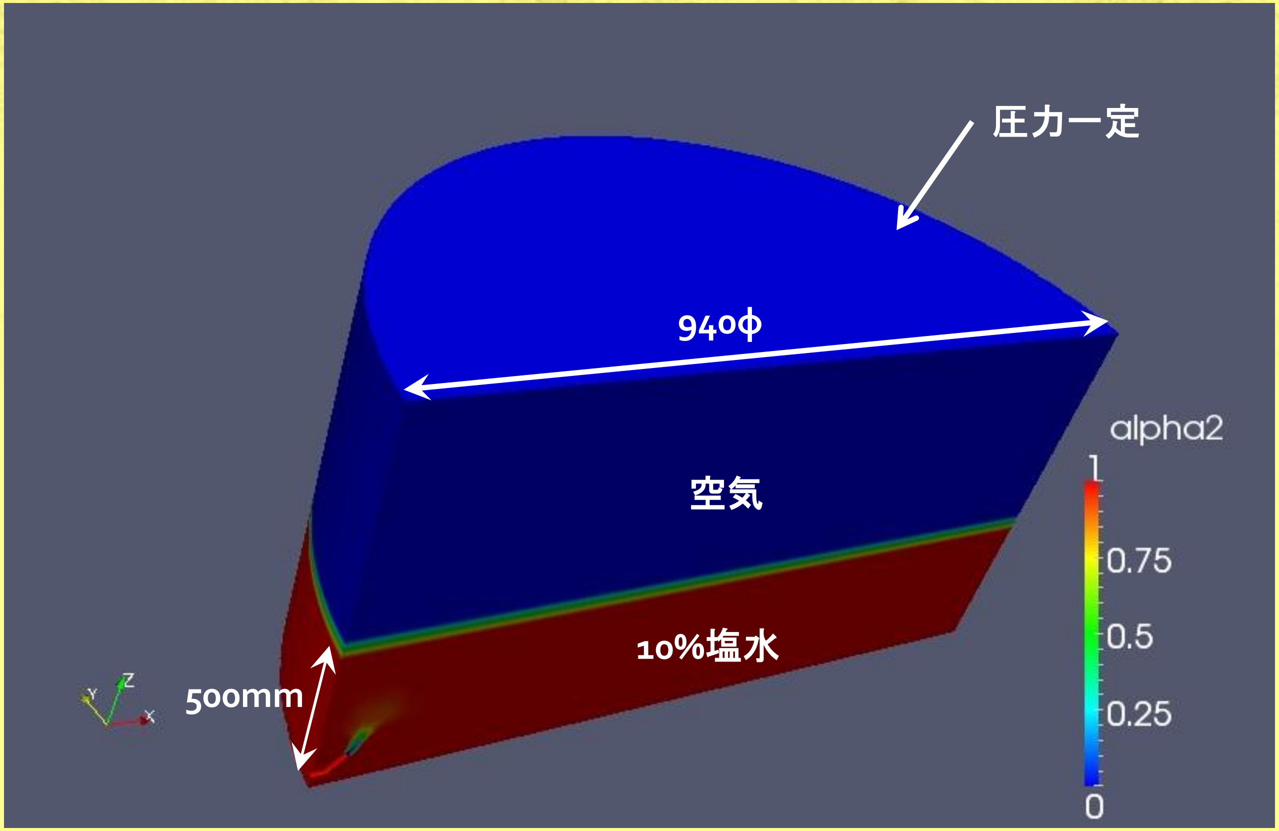
t=7.2sec



t=9.0sec

- 水が蓄えられているタンクに10%塩水を注水
- 2次元非定常層流解析（20500セル、収束しにくい）
- ノズル幅=2mm、ノズル平均流速＝10cm/s

3次元解析

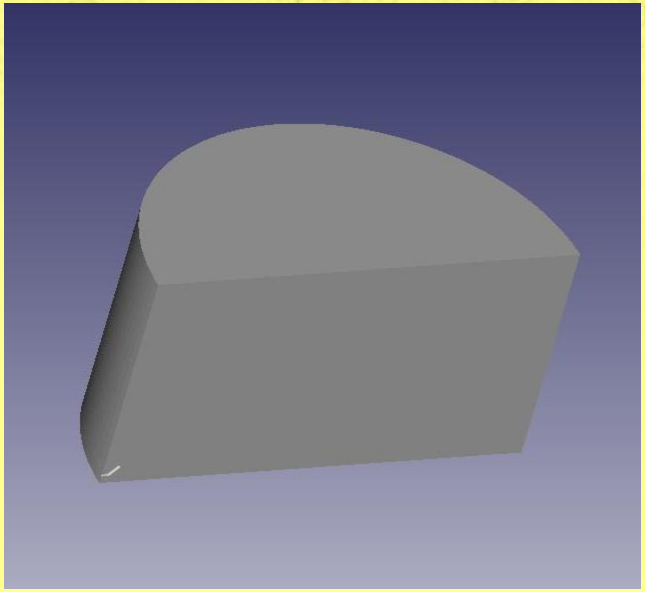


塩水タンクへの純水の注水をシミュレーション
3次元非定常層流解析
（ノズル径8φ、ノズルでの平均流速0.8m/s）

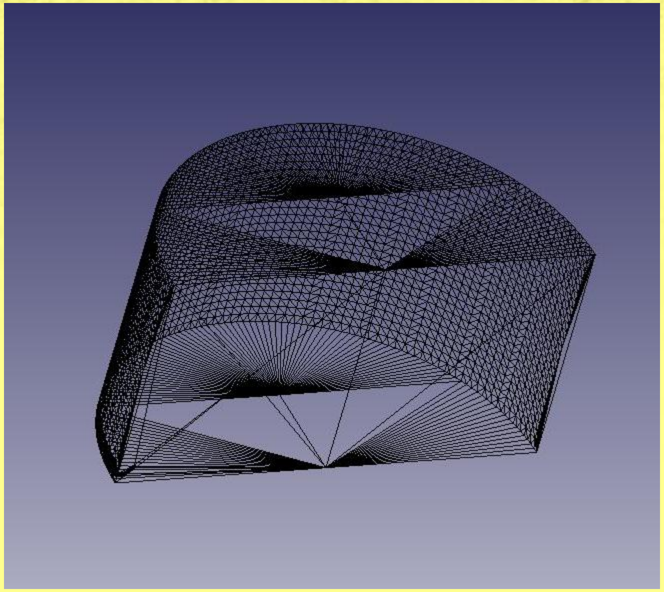
モデル作成（Step1）

- ①FreeCadで形状作成（STLファイル）
- ②STLファイルの単位変換(mm →m)
- ③blockMeshでボックスメッシュ作成
- ④surfaceFeatureExtractの適用
- ⑤SnappyHexMeshで詳細メッシュ作成
- ⑥autoPatchで境界面を設定

形状作成　FreeCad



タンク半分と液体導入ノズルを対称面について一体として作成



STLメッシュ
分解能は指定できるが今回は適当

有効数字が３ケタ以上必要だったためmm単位で作成。

メッシュ作成検討

②以下のコマンドは以下のとおり

surfaceTransformPoints tank1.stl tank1m.stl –scale(0.001,0.001,0.001)

blockMesh

surfaceFeatureExtract -includedAngle 160 constant/triSurface/tank1m.stl tank1m

試行錯誤で決定

snappyHexMesh -overwrite

autoPatch 40 -overwrite

試行錯誤で決定

snappyHexMeshDict

snappyHexMeshDict

```
/*---------------------------------*- 
| =========                 |
| ¥¥      /  F ield         | OpenFOA
|  ¥¥    /   O peration     | Version
|   ¥¥  /    A nd           | Web:
|    ¥¥/     M anipulation  |
¥*---------------------------------
FoamFile
{
    version     2.0;
    format      ascii;
    class       dictionary;
    object      snappyHexMeshDict;
}
// * * * * * * * * * * * * * * * * *

castellatedMesh true;
snap            true;
addLayers       false;

geometry
{
    tank1m.stl
    {
        type triSurfaceMesh;
        name tank1m;
    }

    refinementBox
    {
        type searchableBox;
        min (-0.500 0     0);
        max (-0.420 0.020 0.060);
    }
};

castellatedMeshControls
{
    maxLocalCells 200000;
    maxGlobalCells 500000;
    minRefinementCells 0;
    nCellsBetweenLevels 1;
```

addLayersはしない

ベース形状

詳細メッシュ領域

局所最大セル数目安=20万

最大セル数目安=50万

snappyHexMeshDict

```
    features
    (
        {
            file "tank1m.eMesh";
            level 1;
        }
    );

    refinementSurfaces
    {
        tank1m
        {
            level (1 1);
        }
    }

    resolveFeatureAngle 60;

    refinementRegions
    {
        refinementBox
        {
            mode inside;
            levels ((1 5));
        }
    }

    locationInMesh (0.0 0.100 0.100);
    allowFreeStandingZoneFaces true;
}

snapControls
{
    nSmoothPatch 3;
    tolerance 4.0;
    nSolveIter 0;
    nRelaxIter 5;
    nFeatureSnapIter 10;
}

addLayersControls
{
```

①外形の細密性

②境界面の細密性

③境界面端の細密性

④詳細メッシュ領域の細密性

createPatchDict

createPatchDict

```
| ¥¥      /   F ield         | OpenFOAM: T
|  ¥¥    /    O peration     | Version:  2
|   ¥¥  /     A nd           | Web:      w
|    ¥¥/      M anipulation  |
¥*-------------------------------------------
FoamFile
{
    version         2.0;
    format          ascii;

    root            "";
    case            "tank-filling";
    instance        "system";
    local           "";

    class           dictionary;
    object          createPatchDict;
}
// * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
matchTolerance 1E-3;
pointSync true;
patches
(
    {
        name side;
        patchInfo
        {
         type patch;
        }
        constructFrom patches;
        patches (auto0);
    }

    {
        name bottom;
        patchInfo
        {
        type patch;
        }
        constructFrom patches;
        patches (auto1);
     }
```

createPatchDict

```
     }

    {
        name nozzle;
        patchInfo
        {
        type patch;
        }
        constructFrom patches;
        patches (auto2);
     }

     {
        name inlet;
        patchInfo
        {
        type patch;
        }
        constructFrom patches;
        patches (auto3);
     }

     {
        name symmetry;
        patchInfo
        {
        type symmetryPlane;
        }
        constructFrom patches;
        patches (auto4);
     }

     {
        name atmosphere;
        patchInfo
        {
        type patch;
        }
        constructFrom patches;
        patches (auto5);
     }
);
```

パラメータスタディ

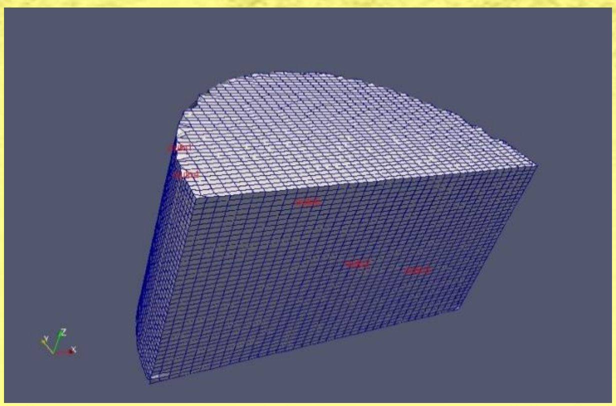
snappyHexMesh parameters

①features level 1 [境界面の細密性、数が大で詳細]
②refinementSurfaces level (1 1) [境界面メッシュ細密性、数が大で詳細]
③resolveFeatureAngle 60 [境界面端の細密性、角度が小で詳細]
④ refinementBox level (1 5) [詳細指定領域の細密性、数が大で詳細]

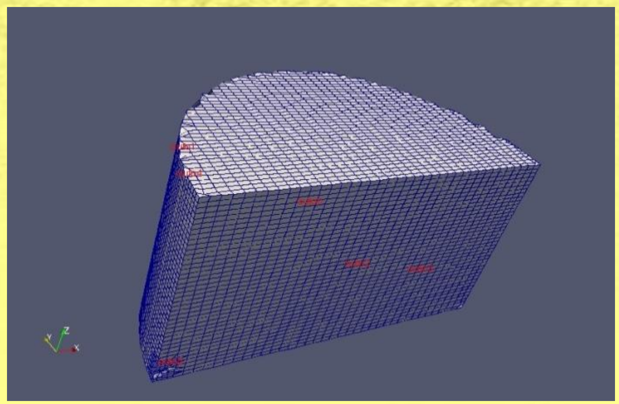
case	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
①	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1
②	1 ,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1,	1,1	1,1	1,2	1,3
③	90	90	90	90	90	90	60	30	60	60	60	60
④	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Patches	5	6	7	5	5	7	6	6	6	9	6	9
Cells	41766	42346	44638	57264	138796	569530	138583	138574	150555	177761	158074	213990
判定	×	×	×	×	×	×	◎	×	○	×	○	×

○：メッシュ細密性、Patchの適切性が良い。◎は最良

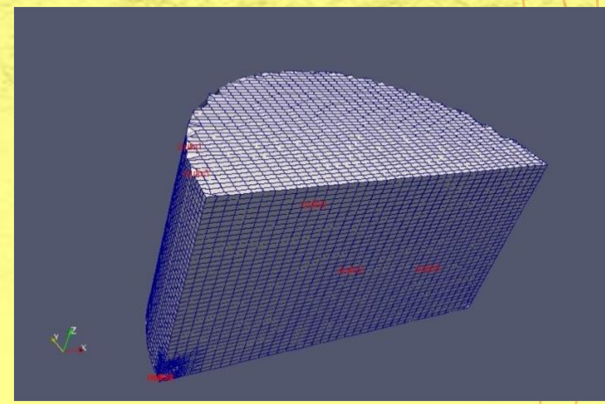
refinementBox　level



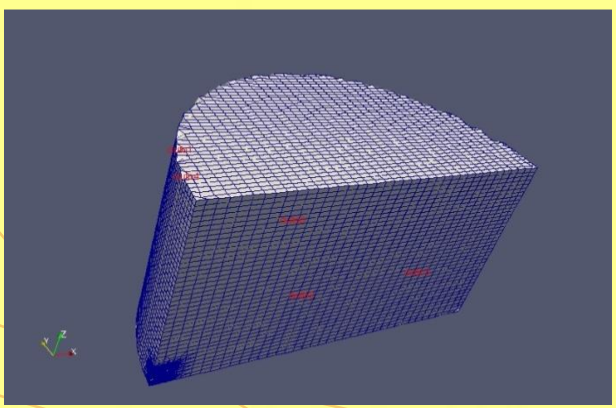
Level (1,1)



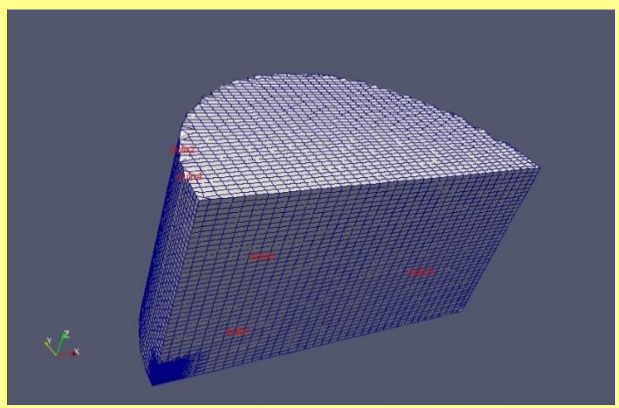
Level (1,2)



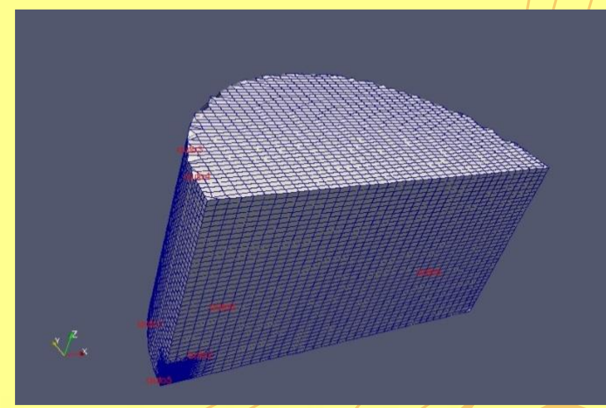
Level (1,3)



Level (1,4)



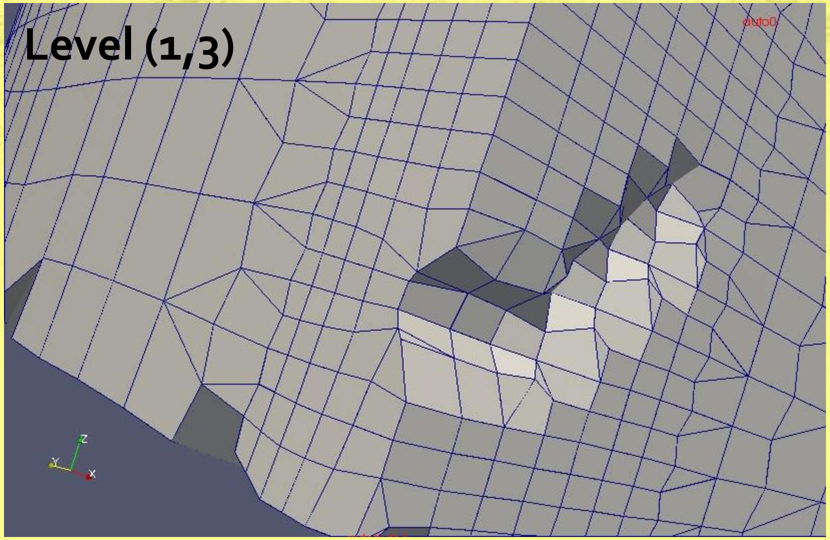
Level (1,5)

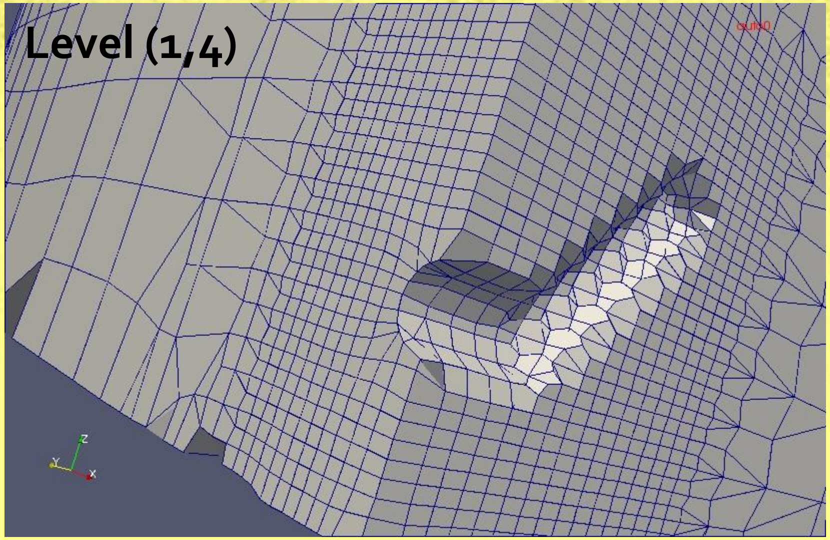


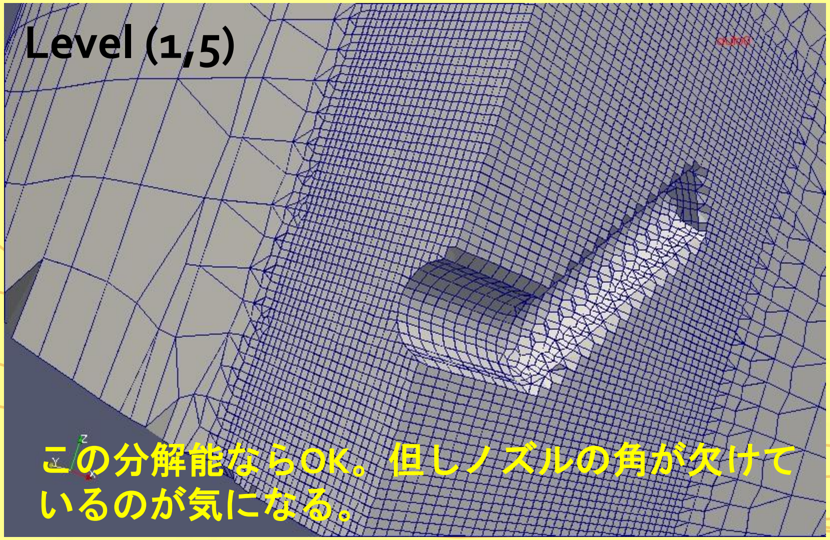
Level (1,6)

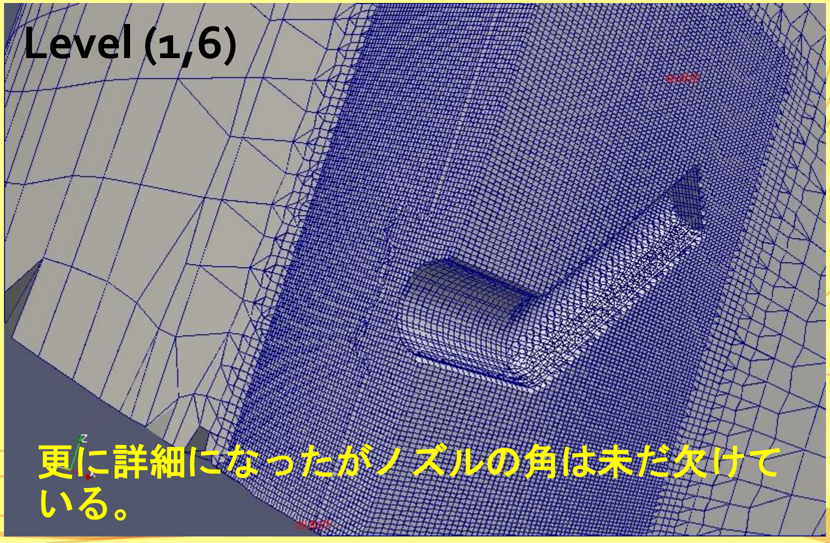
左隅のrefinemetBoxに指定した領域が段々細かくなってくる

refinementBox Level 詳細

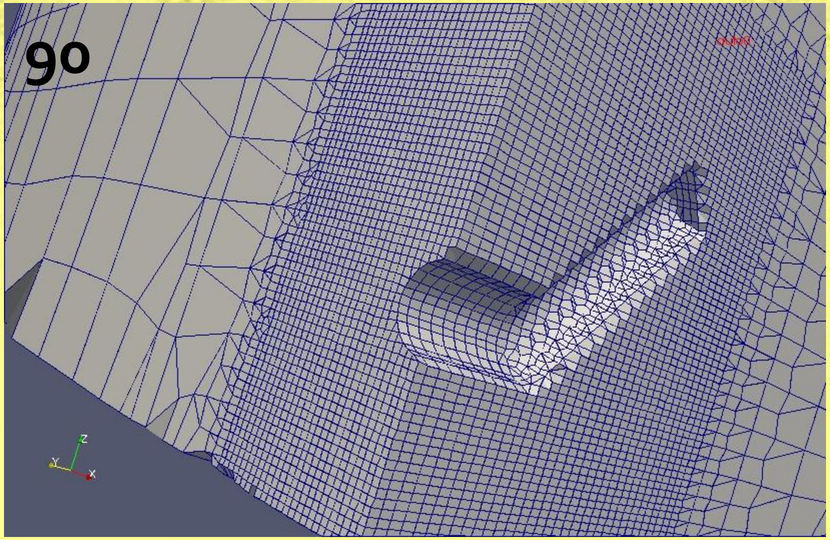


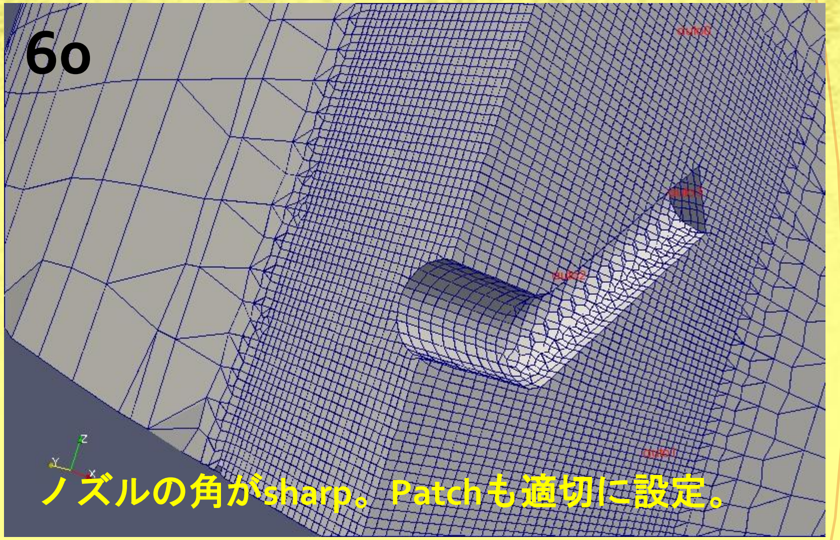


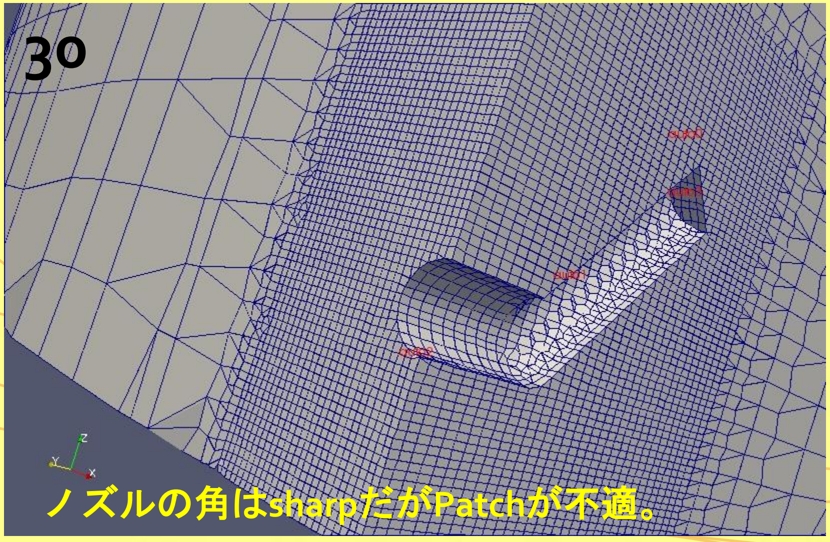




resolveFeatureAngle Level

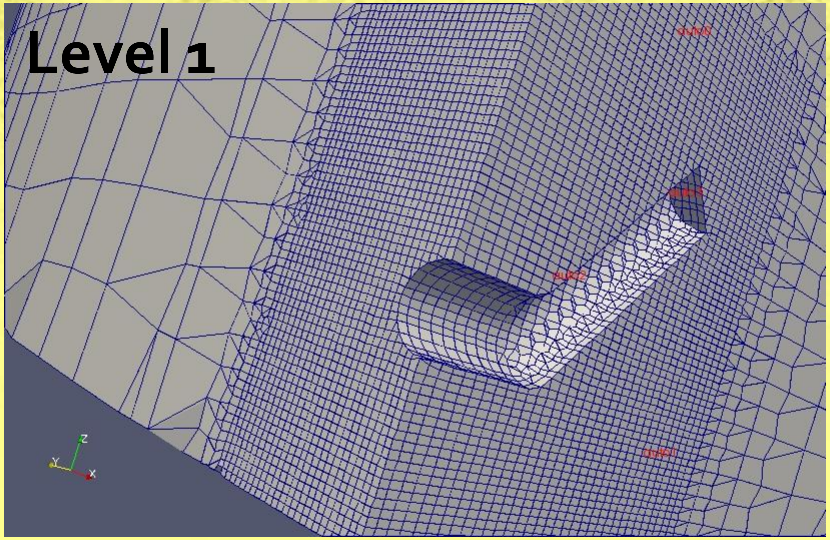


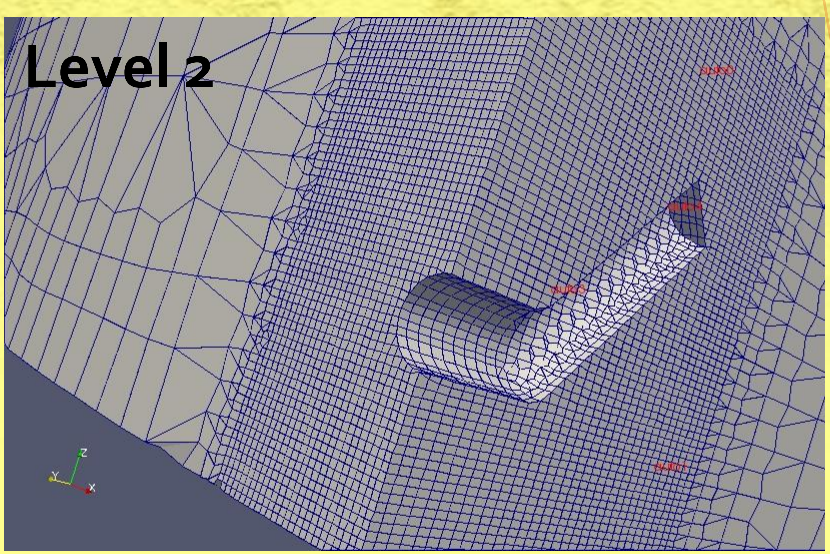


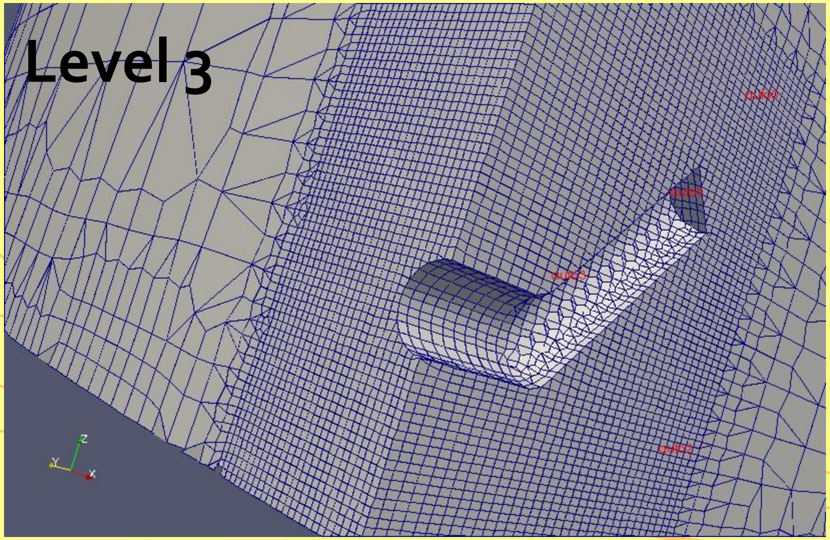


resolveFeatureAngleの角度を小さくすると、egdeが鋭くなる。
但し、小さくしすぎると細かなPatchが発生。

features level

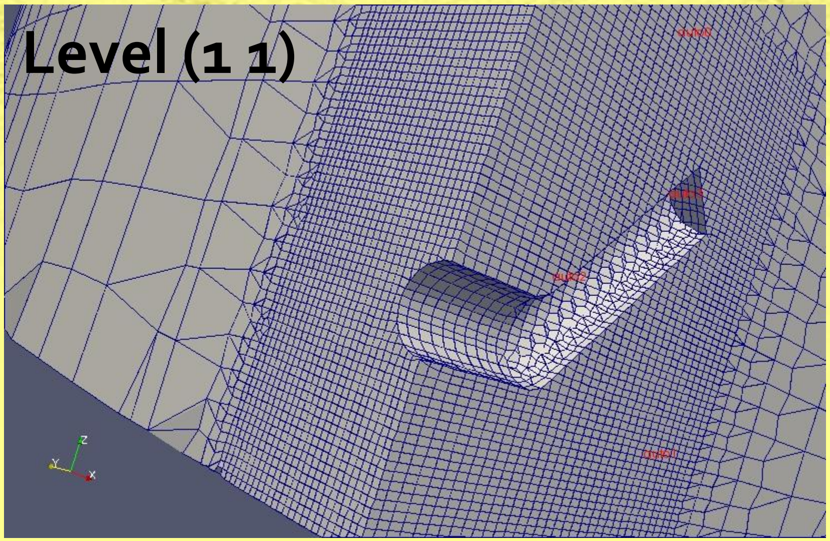


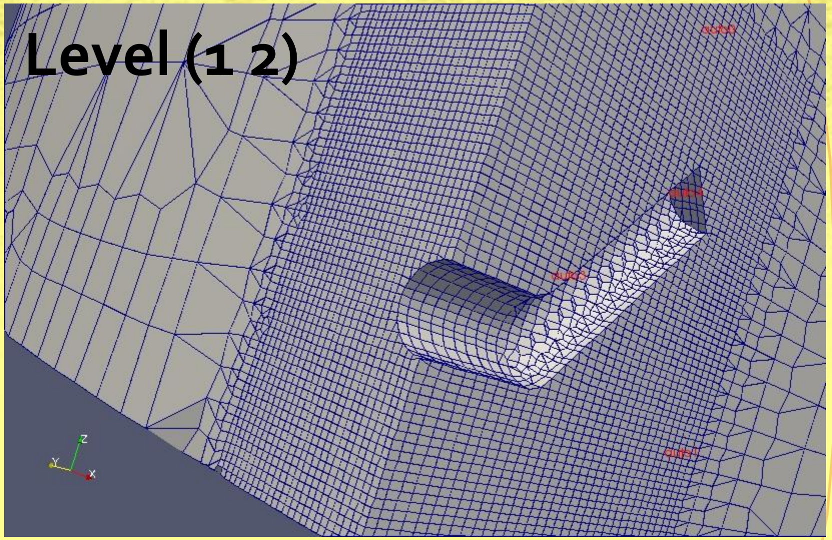


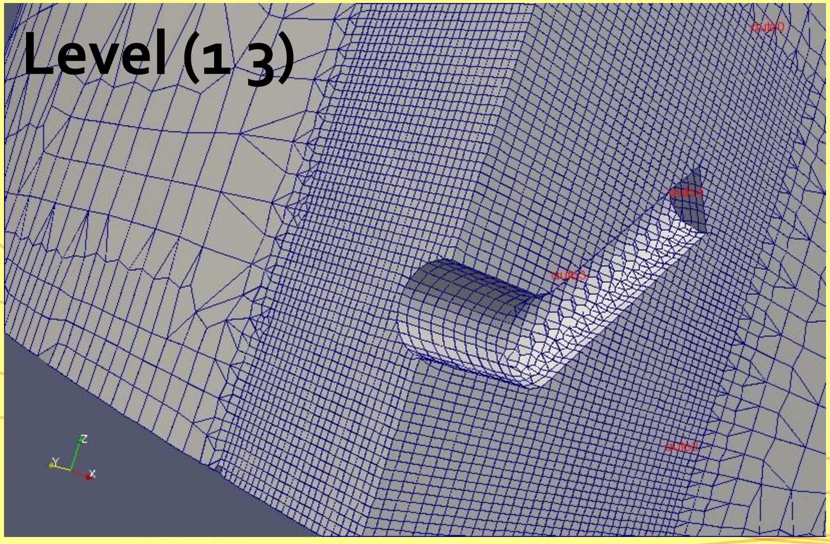


features Level をあげると、refinementBox以外の境界面は細かくなる。但し、Level3ではPatch設定は不適切。

refinementSurfaces Level







refinementSurfaces Level をあげると、refinementBox以外の境界面は細かくなる。但し、Level(1 3)ではPatch設定は不適切。
featuresと同じような効果。

モデル作成（Step2）

- ①物性値の指定
- ②境界条件U,P_rhgの指定
  p_rhg=p-phg
- ③境界条件alphaの指定
- ④初期条件setFieldsの指定

transportProperties

transportProperties

```
FoamFile
{
    version     2.0;
    format      ascii;
    class       dictionary;
    location    "constant";
    object      transportProperties;
}
// * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *

// Air
phase1
{
    transportModel  Newtonian;
    nu              nu [0 2 -1 0 0 0 0]  1.6e-05;
    rho             rho [1 -3 0 0 0 0 0] 1;
}

// Salt Water
phase2
{
    transportModel  Newtonian;
    nu              nu [0 2 -1 0 0 0 0]  1.8e-6;
    rho             rho [1 -3 0 0 0 0 0] 1100;
}

// Water
phase3
{
    transportModel  Newtonian;
    nu              nu [0 2 -1 0 0 0 0]  1.8e-6;
    rho             rho [1 -3 0 0 0 0 0] 1000;
}

// Surface tension coefficients
sigma12           sigma12 [1 0 -2 0 0 0 0] 0.076;
sigma13           sigma13 [1 0 -2 0 0 0 0] 0.076;

// Diffusivity between miscible phases
D23               D23   [0 2 -1 0 0 0 0]  3e-09;
```

phase1（空気）→Alpha1（体積分率）
phase2（塩水）→Alpha2（体積分率）
phase3（水）　→Alpha3（体積分率）

nu：動粘性係数（m^2/s）
rho：密度(kg/m^3)

sigma12:空気と塩水界面の表面張力(N/m)
sigma13:空気と水界面の表面張力(N/m)

D23:塩水と水の拡散係数(m^2/s)

U, p_rgh

U

```
    location    "0";
    object      U;
}
// * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *

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

internalField   uniform (0 0 0);

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            fixedValue;
        value           uniform (0 0.5656 0.5656);
    }
    side
    {
        type            fixedValue;
        value           uniform (0 0 0);
    }
    bottom
    {
        type            fixedValue;
        value           uniform (0 0 0);
    }
    nozzle
    {
        type            fixedValue;
        value           uniform (0 0 0);
    }
    atmosphere
    {
        type            pressureInletOutletVelocity;
        value           uniform (0 0 0);
    }
    symmetry
    {
        type            symmetryPlane;
    }
}
```

*p_rgh

```
dimensions      [1 -1 -2 0 0 0 0];

internalField   uniform 0;

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            buoyantPressure;
        value           uniform 0;
    }
    side
    {
        type            buoyantPressure;
        value           uniform 0;
    }
    bottom
    {
        type            buoyantPressure;
        value           uniform 0;
    }
    nozzle
    {
        type            buoyantPressure;
        value           uniform 0;
    }
    atmosphere
    {
        type            totalPressure;
        p0              uniform 0;
        U               U;
        phi             phi;
        rho             rho;
        psi             none;
        gamma           1;
        value           uniform 0;
    }
    symmetry
    {
        type            symmetryPlane;
    }
}
```

alpha1, alpha2, alpha3

alpha1

```
dimensions      [0 0 0 0 0 0 0];

internalField   uniform 1;

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            fixedValue;
        value           uniform 0;
    }

    side
    {
        type            zeroGradient;
    }

    bottom
    {
        type            zeroGradient;
    }

    nozzle
    {
        type            zeroGradient;
    }

    atmosphere
    {
        type            inletOutlet;
        inletValue      uniform 1;
        value           uniform 1;
    }

    symmetry
    {
        type            symmetryPlane;
    }
}
```

alpha2

```
dimensions      [0 0 0 0 0 0 0];

internalField   uniform 0;

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            fixedValue;
        value           uniform 0;
    }

    side
    {
        type            zeroGradient;
    }

    bottom
    {
        type            zeroGradient;
    }

    nozzle
    {
        type            zeroGradient;
    }

    atmosphere
    {
        type            inletOutlet;
        inletValue      uniform 0;
        value           uniform 0;
    }

    symmetry
    {
        type            symmetryPlane;
    }
}
```

alpha3

```
dimensions      [0 0 0 0 0 0 0];

internalField   uniform 0;

boundaryField
{
    inlet
    {
        type            fixedValue;
        value           uniform 1;
    }

    side
    {
        type            zeroGradient;
    }

    bottom
    {
        type            zeroGradient;
    }

    nozzle
    {
        type            zeroGradient;
    }

    atmosphere
    {
        type            inletOutlet;
        inletValue      uniform 0;
        value           uniform 0;
    }

    symmetry
    {
        type            symmetryPlane;
    }
}
```

setFieldsDict

setFieldsDict

```
/*--------------------------------*- C++ -*---
| =========                 |
| ¥¥      /  F ield         | OpenFOAM: The Op
|  ¥¥    /   O peration     | Version:  2.1.0
|   ¥¥  /    A nd           | Web:      www.Op
|    ¥¥/     M anipulation  |
¥*---------------------------------------------
FoamFile
{
    version     2.0;
    format      ascii;
    class       dictionary;
    location    "system";
    object      setFieldsDict;
}
// * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *

defaultFieldValues
(
    volScalarFieldValue alpha1 1
    volScalarFieldValue alpha2 0
    volScalarFieldValue alpha3 0
);

regions
(
    boxToCell
    {
        box (-0.5 0 0) (0.5 0.5 0.2);
        fieldValues
        (
            volScalarFieldValue alpha1 0
            volScalarFieldValue alpha2 1
            volScalarFieldValue alpha3 0
        );
    }
);
```

初期条件として
タンク内での塩水領域を指定

Batchファイル

- surfaceTransformPoints constant/triSurface/tank1.stl constant/triSurface/tank1m.stl -scale "(0.001 0.001 0.001)"
- blockMesh
- surfaceFeatureExtract -includedAngle 160 constant/triSurface/tank1m.stl tank1m
- snappyHexMesh -overwrite
- autoPatch 40 -overwrite
- createPatch -overwrite
- cp 0_orig/U 0/U
- cp 0_orig/p_rgh 0/p_rgh
- cp 0_orig/alpha1 0/alpha1
- cp 0_orig/alpha2 0/alpha2
- cp 0_orig/alpha3 0/alpha3
- setFields
- pyFoamPlotRunner.py interMixingFoam

以上のBatchファイルで計算が開始できる

おわりに

- InterMixingFoamを用いてタンク内の塩水混合解析を検討
- snappyHexMeshのパラメータを適切に決定することでautoPatchの使用可能。

→2/4の勉強会でNEさんからのアドバイス：境界を分解してSTLファイルを設定することでautoPatchが適切に使用でき、メッシュ数も削減できるとの事。

- 詳細メッシュ領域refinementBox levelの決定が重要であった。
- 今後、実験値と比較を行い、メッシュ数やメッシュ構造を検討予定。

参考文献

- http://www.geocities.co.jp/SiliconValley-SantaClara/1183/study/OpenFOAM/create_patch.html