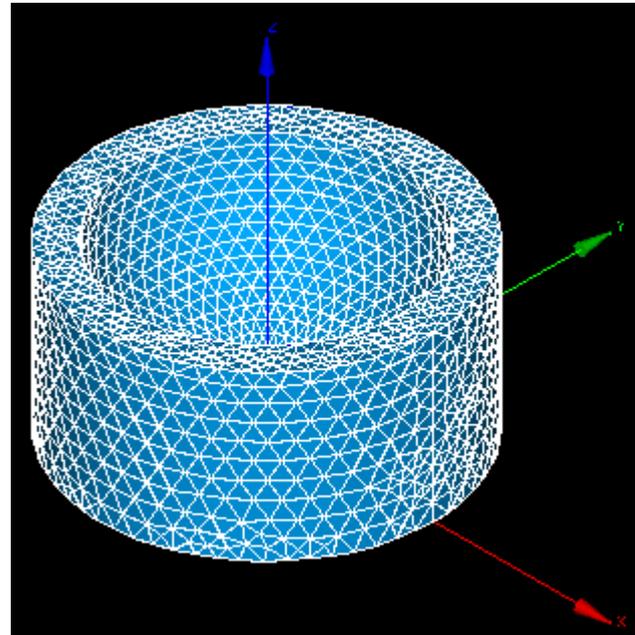


Salome-Mecaを使用した熱伝導解析入門
&
解析手法の違いによる熱伝導解析比較

秋山善克

本日の演習内容

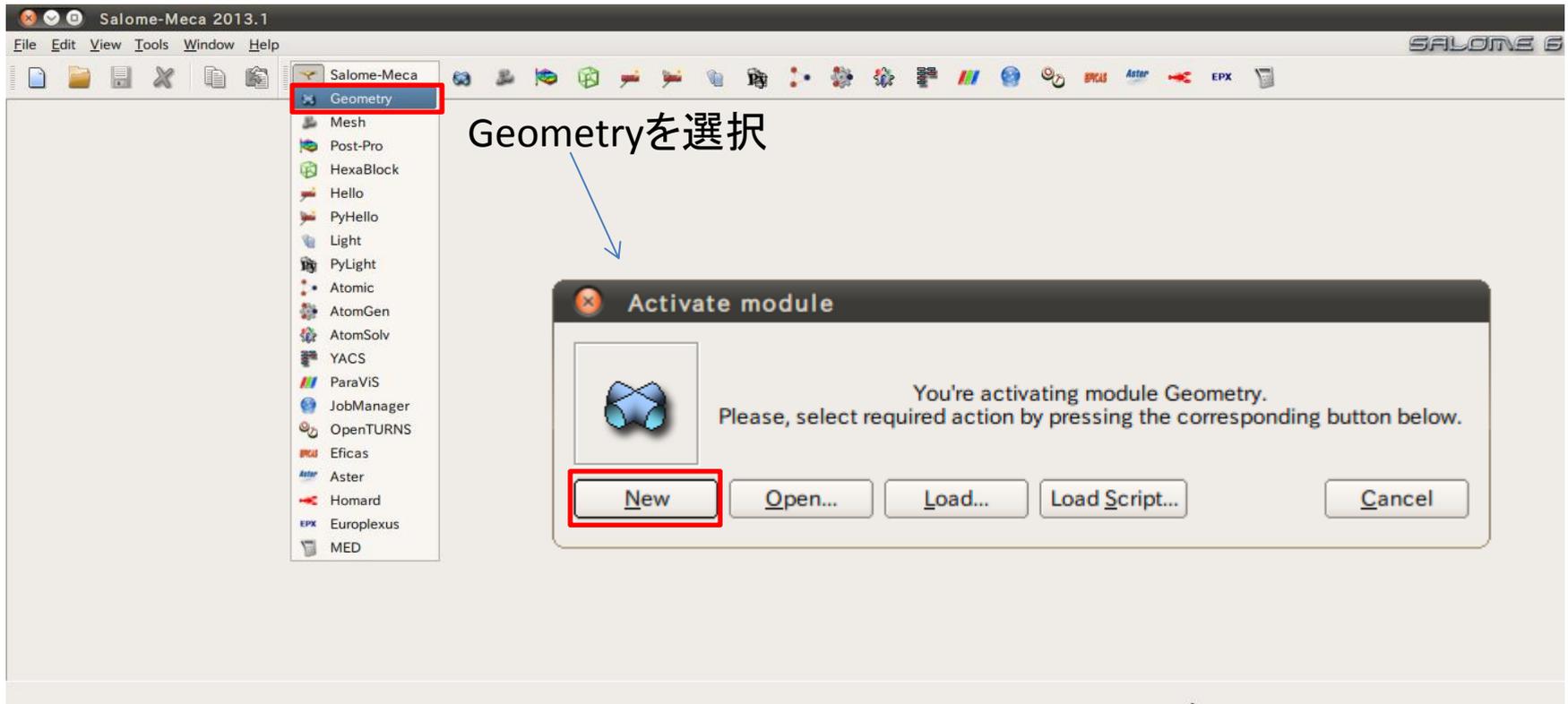
- 演習1: ウィザードによる熱伝導解析手順の確認
- 演習2: 有限要素法による1次元解析
- 演習3: 差分法による数値解の比較
- 演習4: 有限体積法による数値解の比較



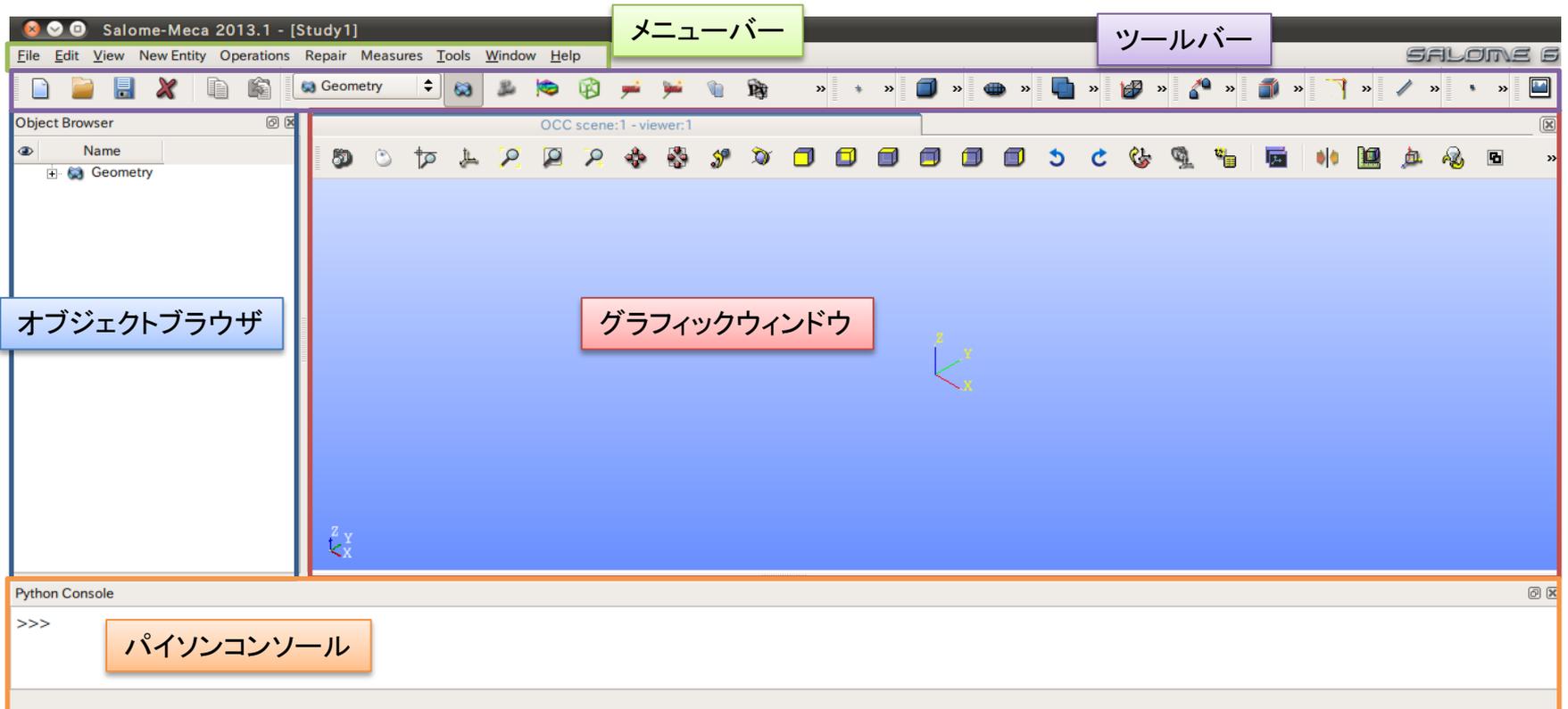
Salome-Meca2013.1の起動



デスクトップ上のアイコンをクリック

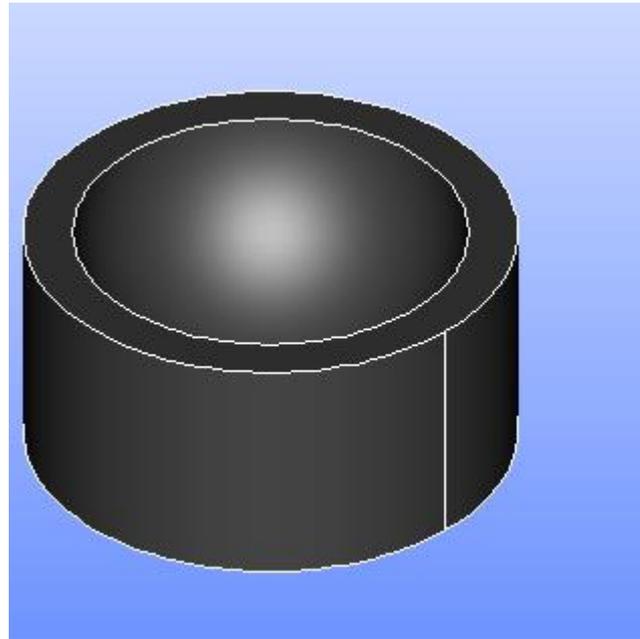


Geometry起動画面



演習1 Primitivesによるモデル作成

- ①XY平面を底面基準とし、Z軸を中心軸とする半径50mm、高さ50mmの円柱を作成する。(ソリッドモデルA)
- ②座標値(0,0,50)を中心とする半径40mmの球形状を作成する。(ソリッドモデルB)
- ③円柱(ソリッドモデルA)と球(ソリッドモデルB)を組み合わせる。

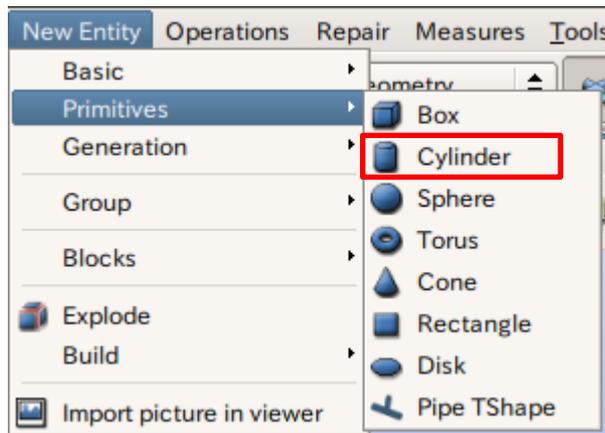


演習1 Primitivesによるモデル作成

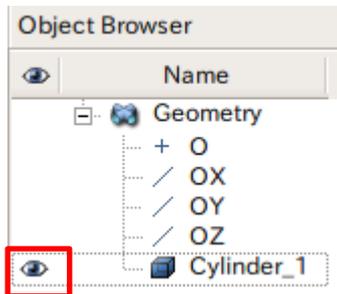
- ①XY平面を底面基準とし、Z軸を中心軸とする半径50mm、高さ50mmの円柱を作成する。
(ソリッドモデルA)

円柱の作成

New Entity>Primitives>Cylinder



連続して作成する場合はApply



オブジェクトブラウザに追加される

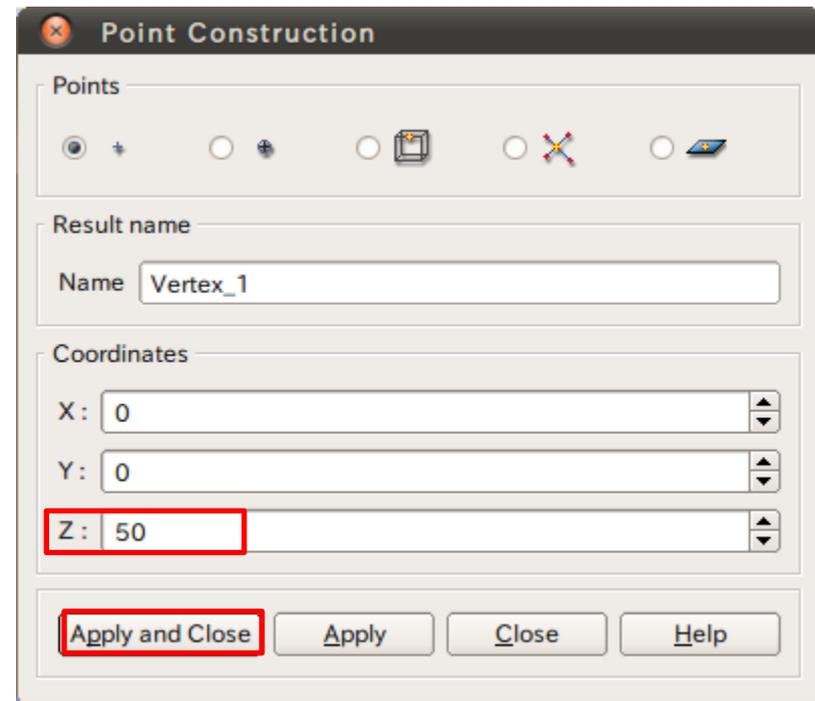
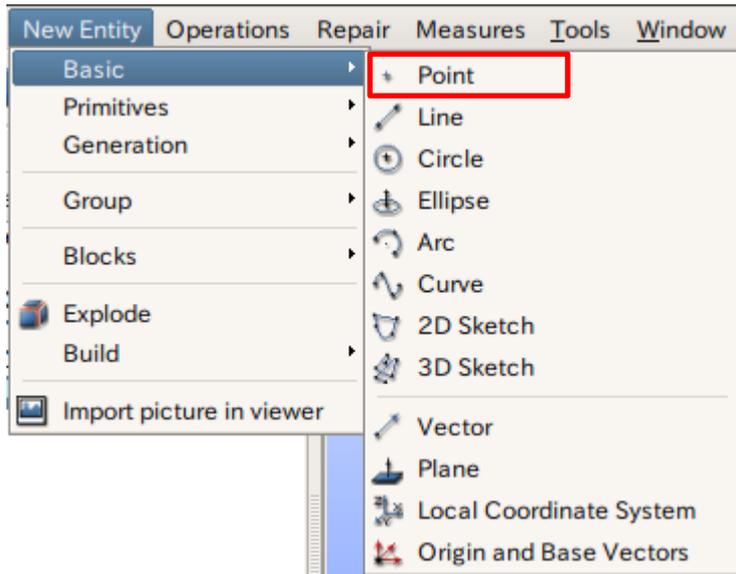
表示/非表示切り替え

演習1 Primitivesによるモデル作成

②座標値(0,0,50)を中心とする半径40mmの球形状を作成する。(ソリッドモデルB)

点の作成

New Entity>Basic>Point

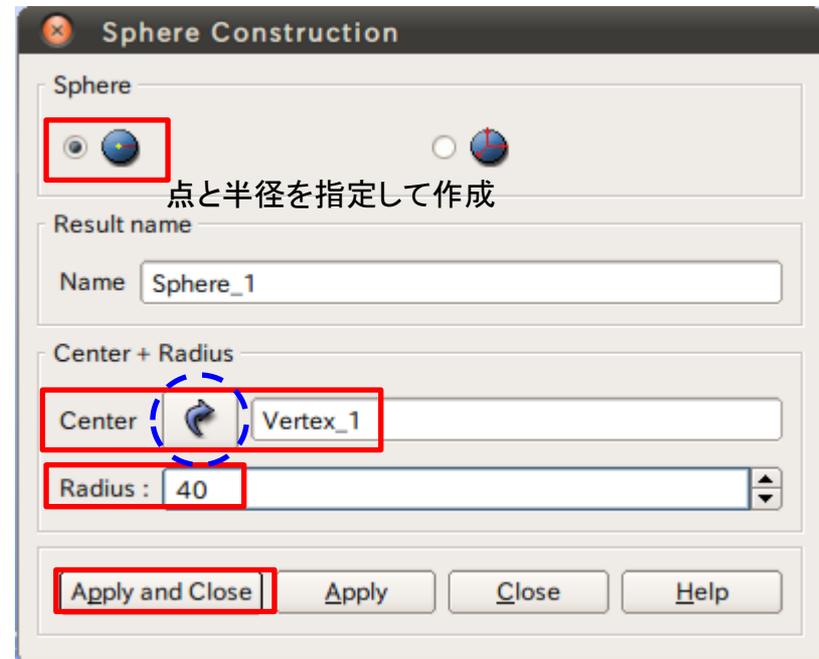
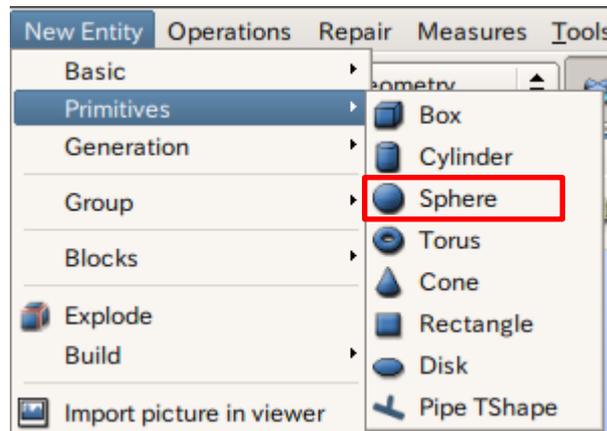


演習1 Primitivesによるモデル作成

②座標値(0,0,50)を中心とする半径40mmの球形状を作成する。(ソリッドモデルB)

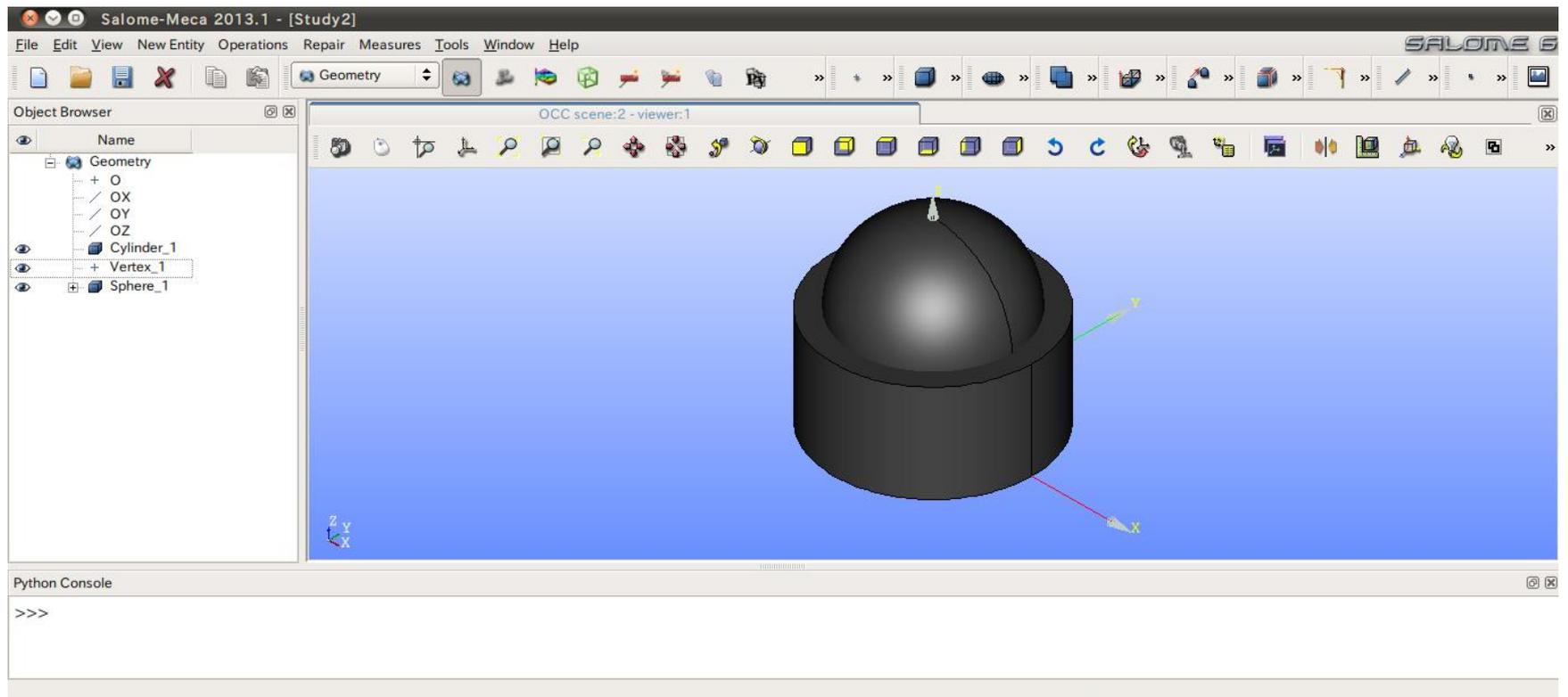
球の作成

New Entity>Primitives>Sphere



矢印を選択するとグラフィックウインドウまたはオブジェクトブラウザから選択可能

演習1 Primitivesによるモデル作成

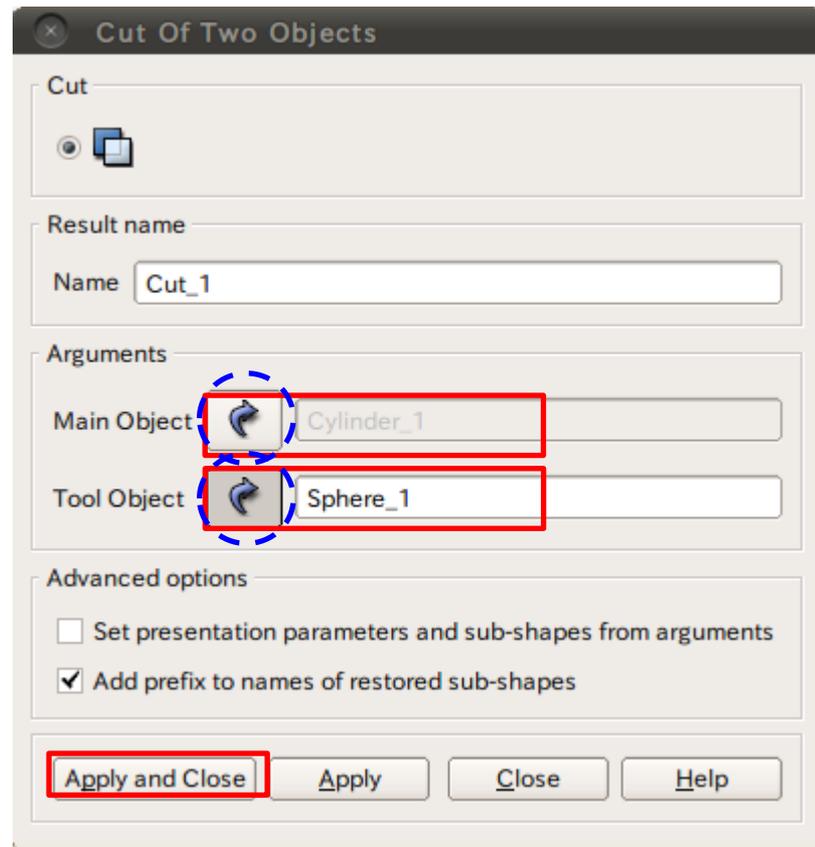
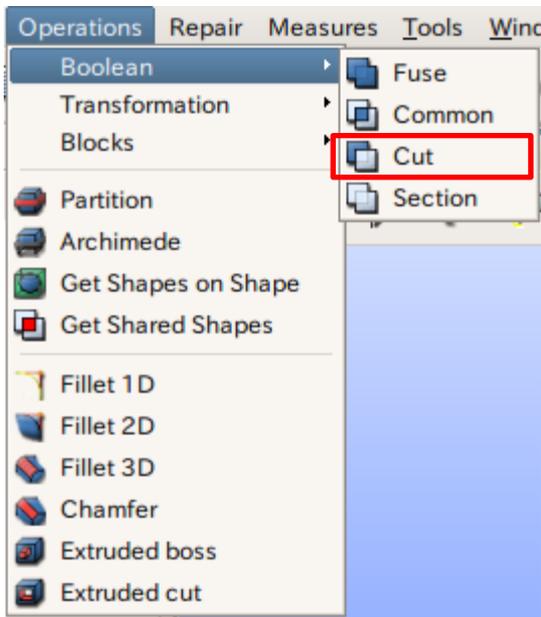


演習1 Primitivesによるモデル作成

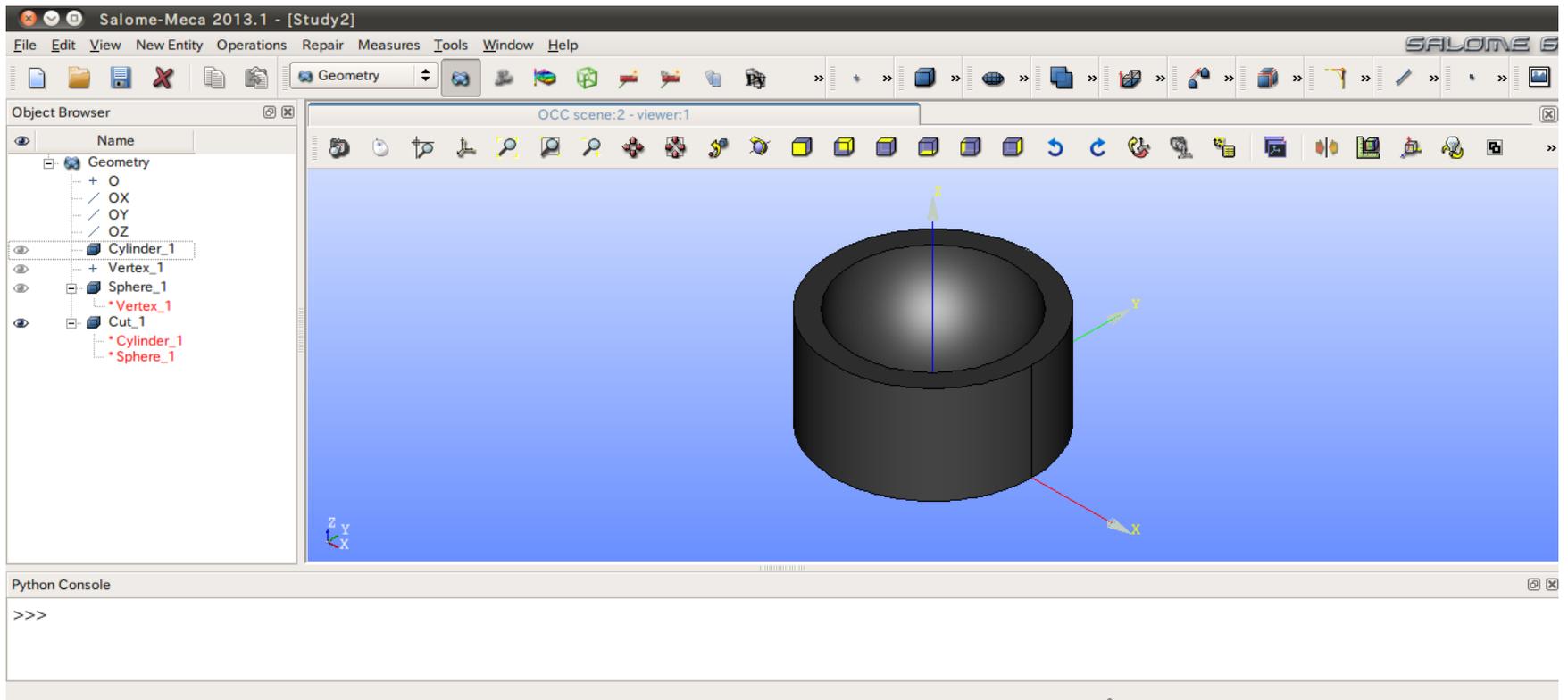
③円柱(ソリッドモデルA)と球(ソリッドモデルB)を組み合わせる。

球の作成

Operations>Boolean>Cut



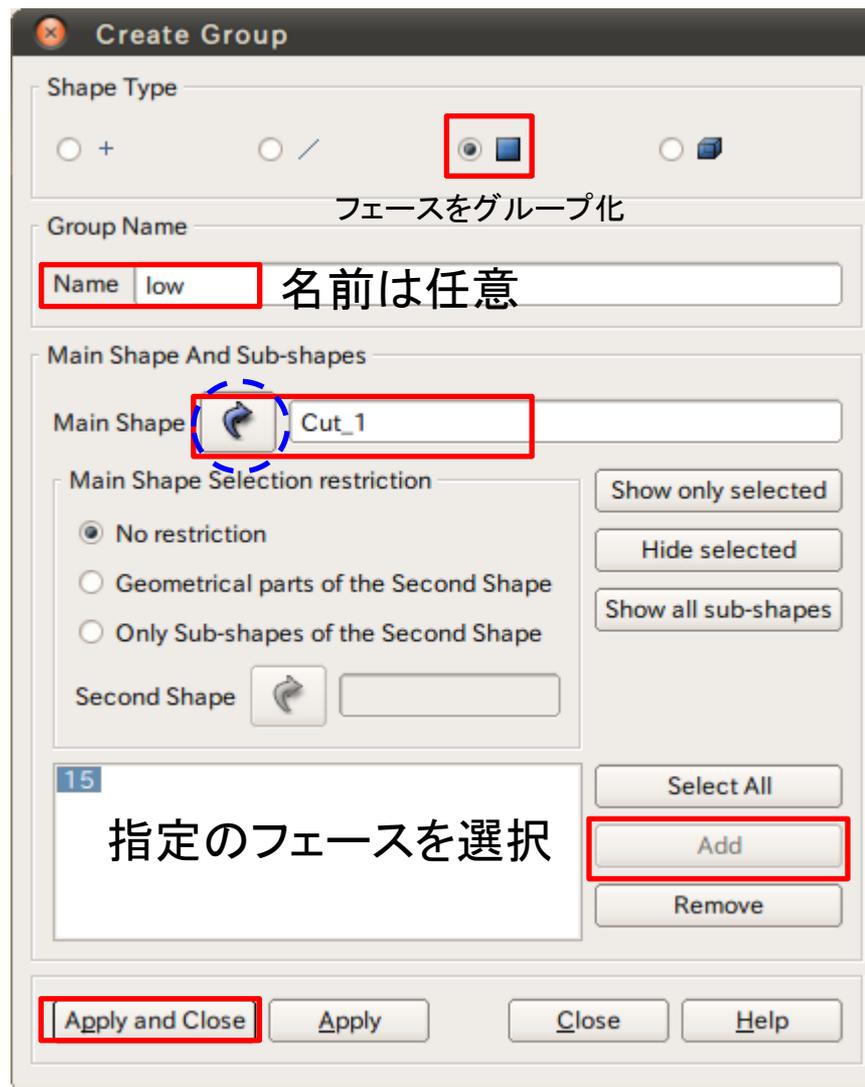
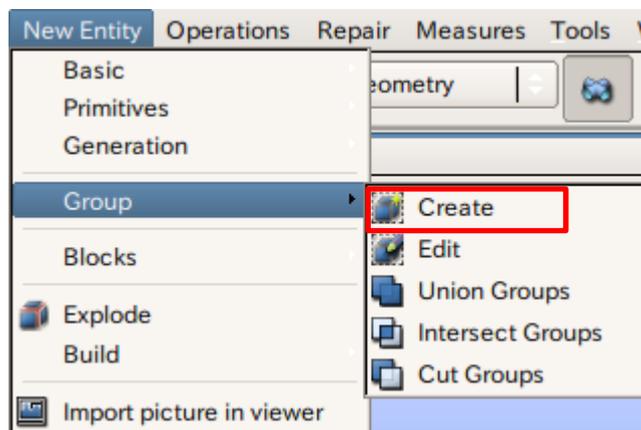
演習1 Primitivesによるモデル作成



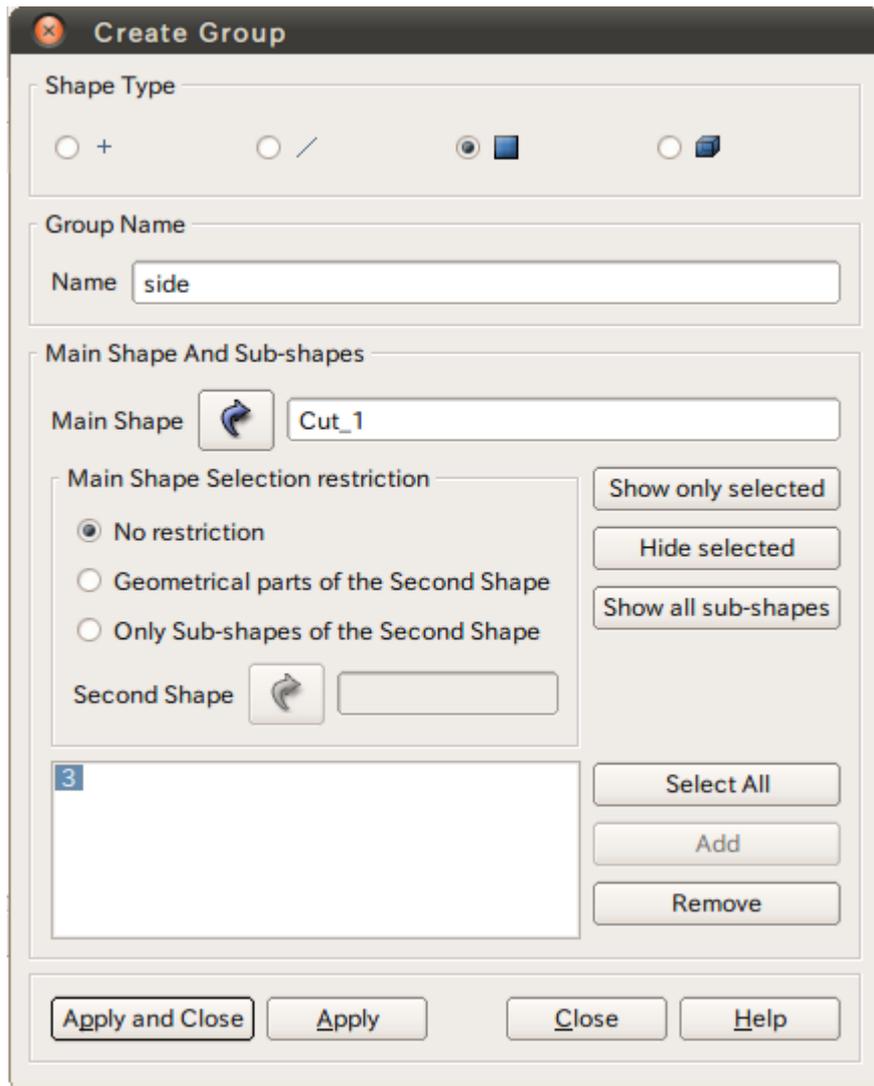
演習1 グループの作成

グループの作成

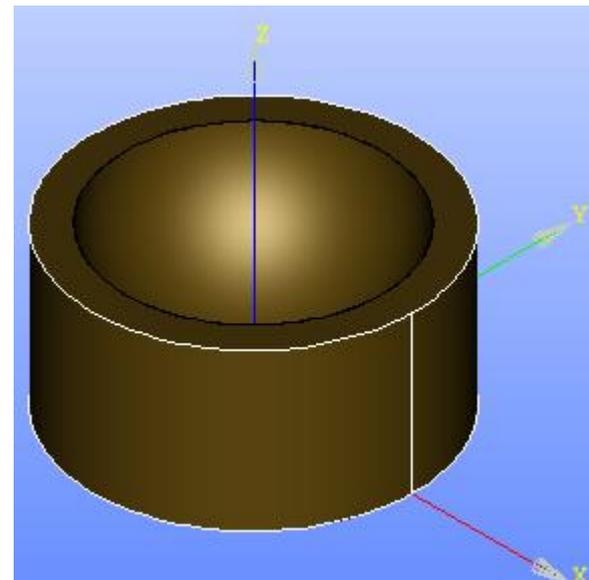
New Entity>Group>Create



演習1 グループの作成



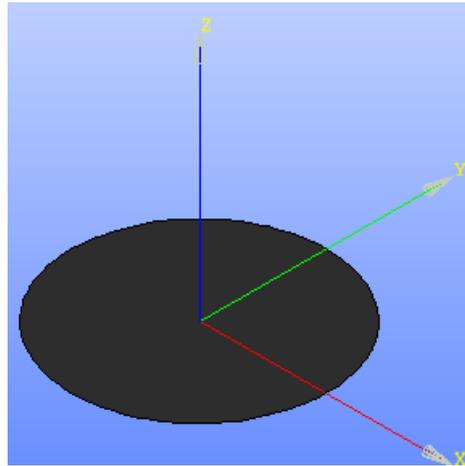
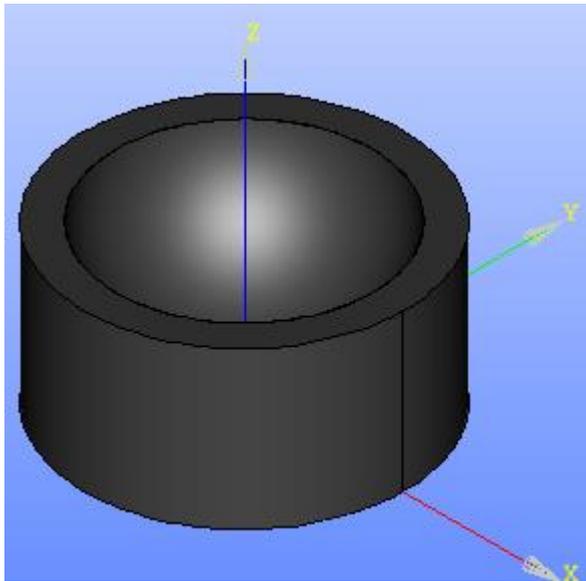
作成中



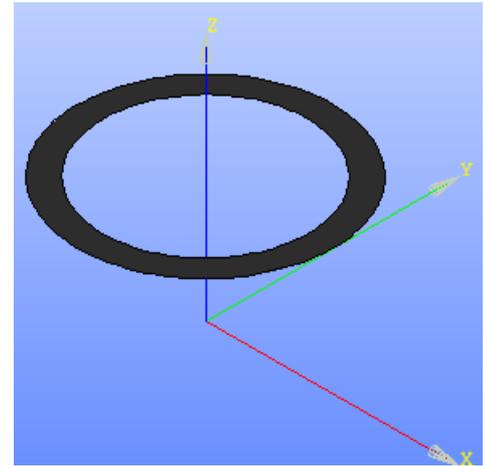
選択するとハイライトされる

演習1 グループの作成

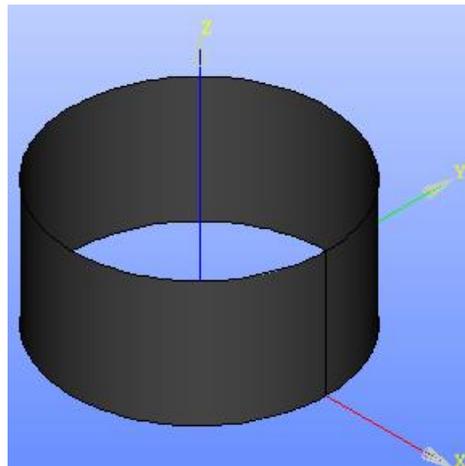
グループの作成



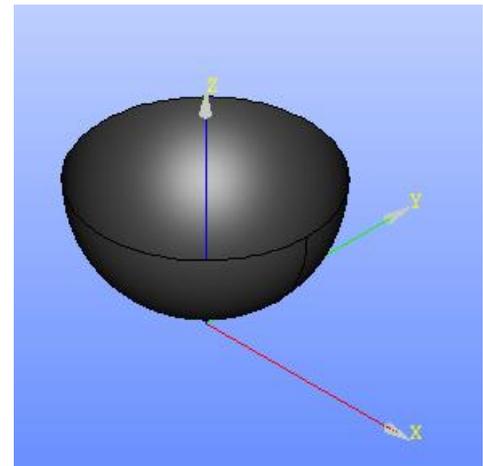
low



up

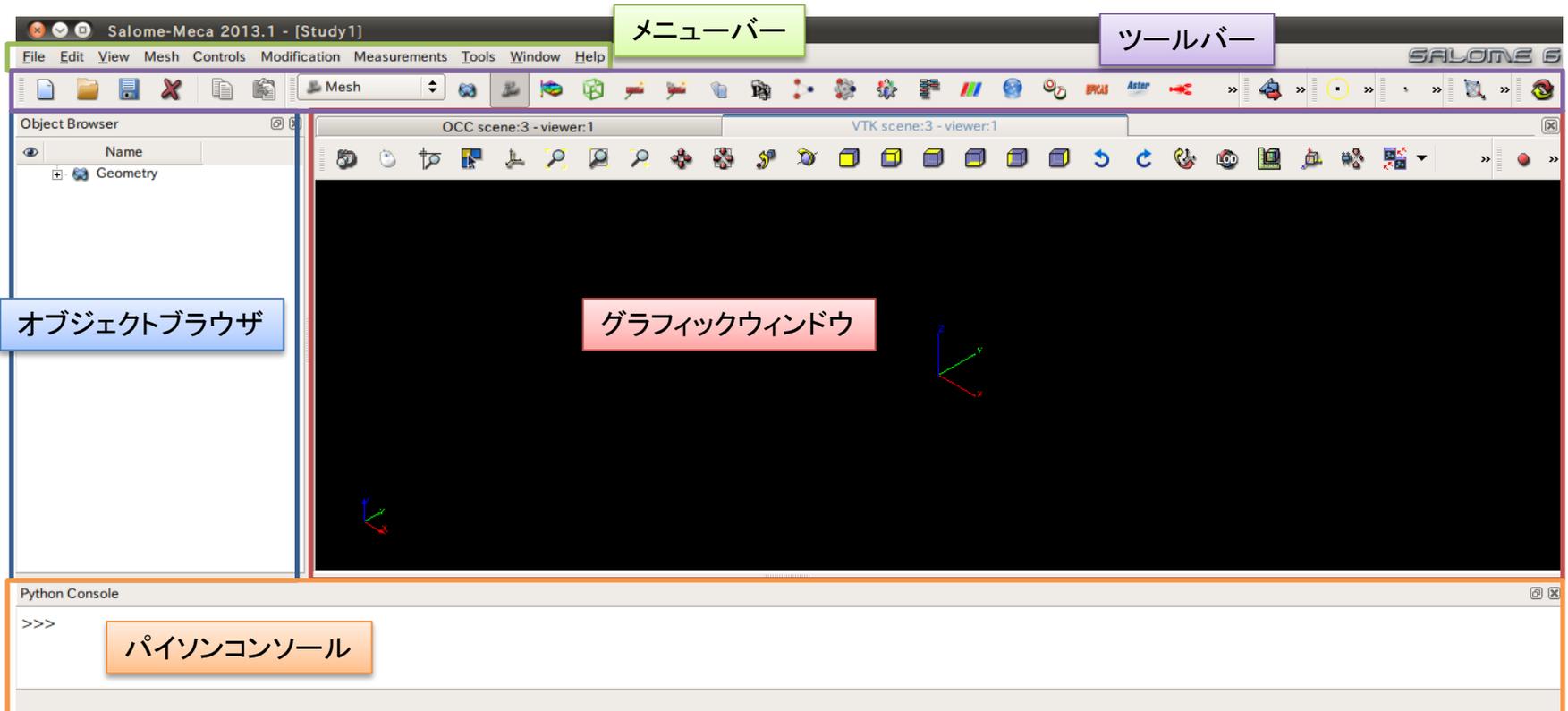


side



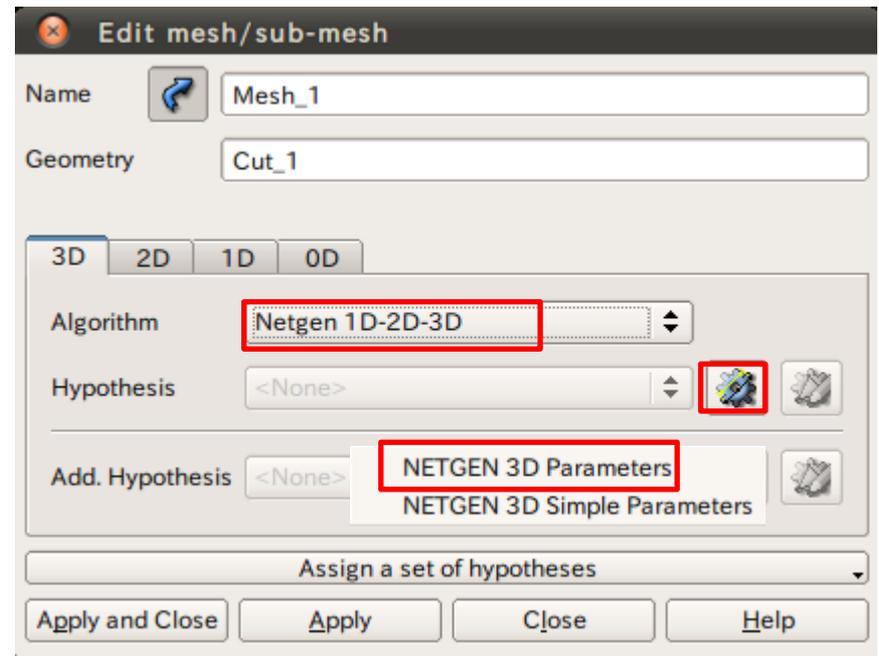
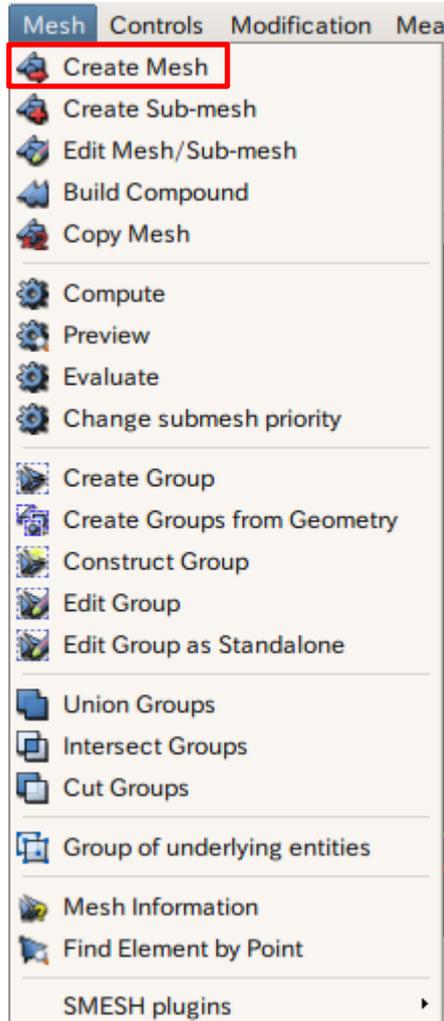
hole

Mesh起動画面

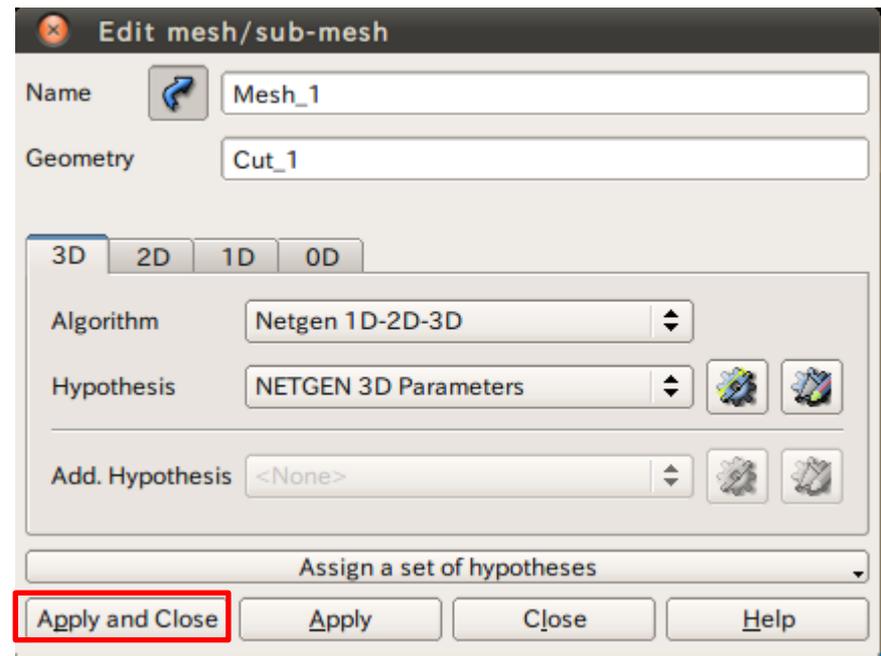
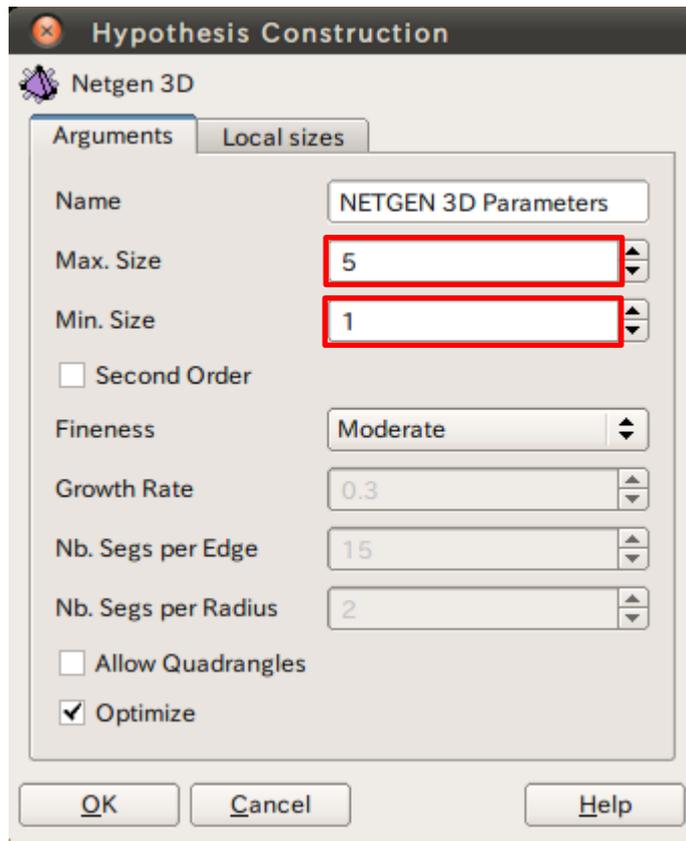


演習1 メッシュの作成

Mesh>Create Mesh



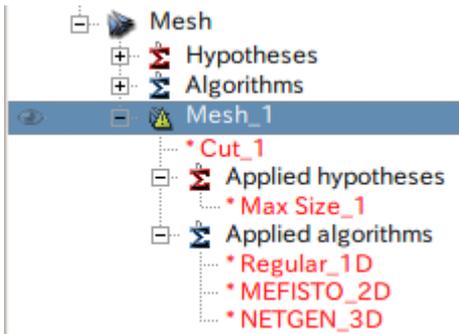
演習1 メッシュサイズの設定



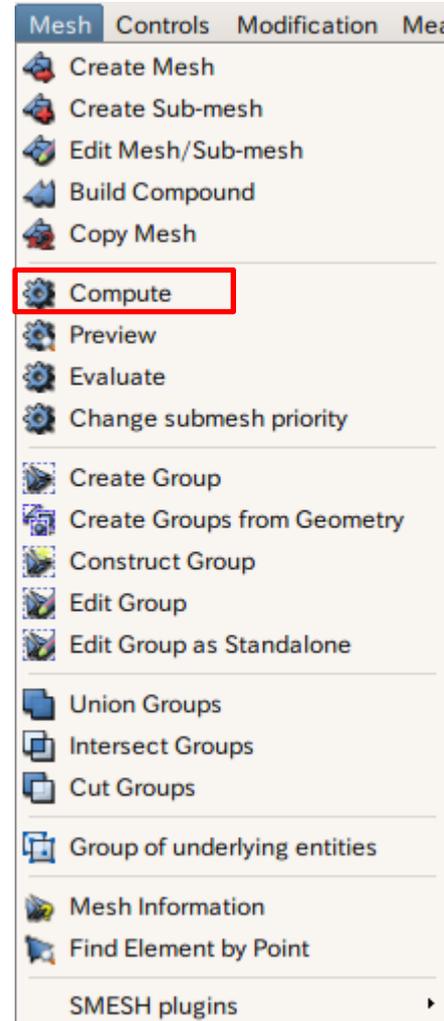
演習1 メッシュの作成

メッシュの作成

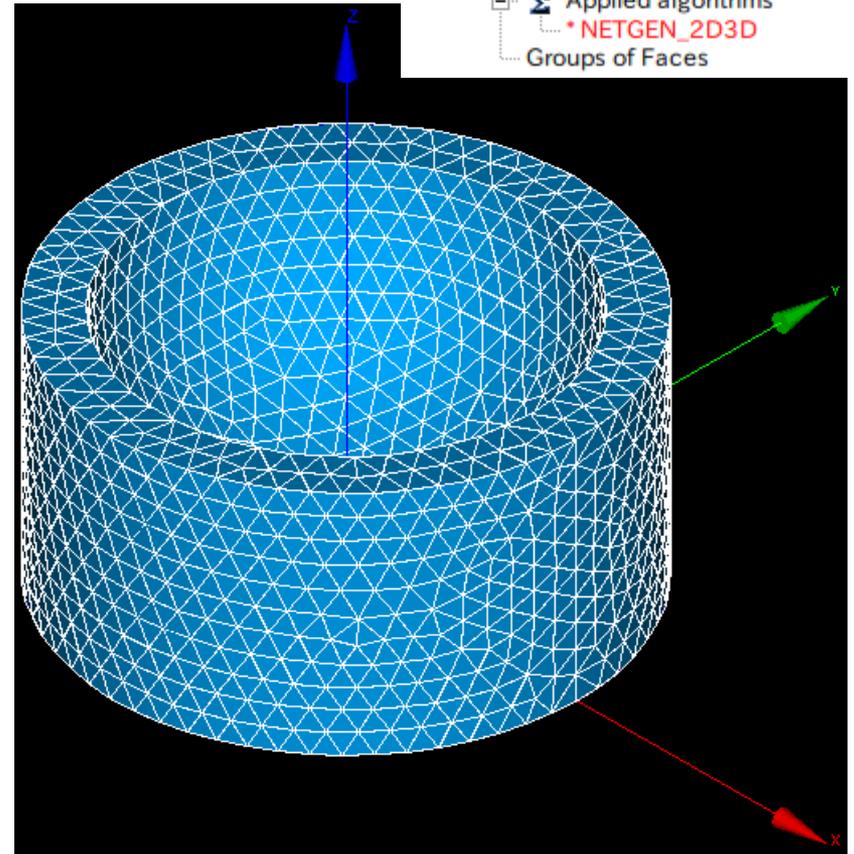
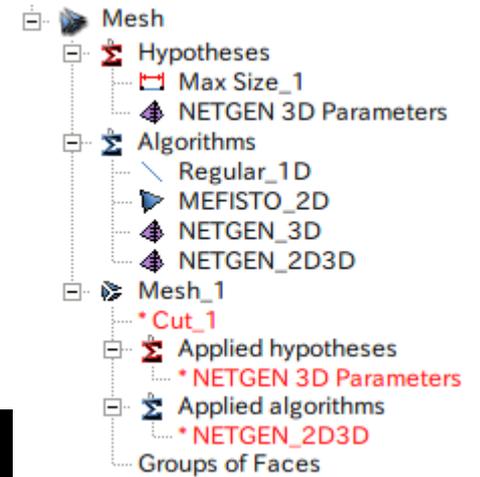
Mesh>Compute



Mesh_1を選択



演習1 メッシュの作成



Mesh computation succeed

Compute mesh

Name

Mesh_1

Mesh Infos

	Total	Linear	Quadratic
Nodes :	2118		
0D Elements :	0		
Balls :	0		
Edges :	199	199	0
Faces :	3290	3290	0
Triangles :	3290	3290	0
Quadrangles :	0	0	0
Polygons :	0		
Volumes :	7441	7441	0
Tetrahedrons :	7441	7441	0
Hexahedrons :	0	0	0
Pyramids :	0	0	0
Prisms :	0	0	0
Hexagonal prisms :	0		
Polyhedrons :	0		

Close

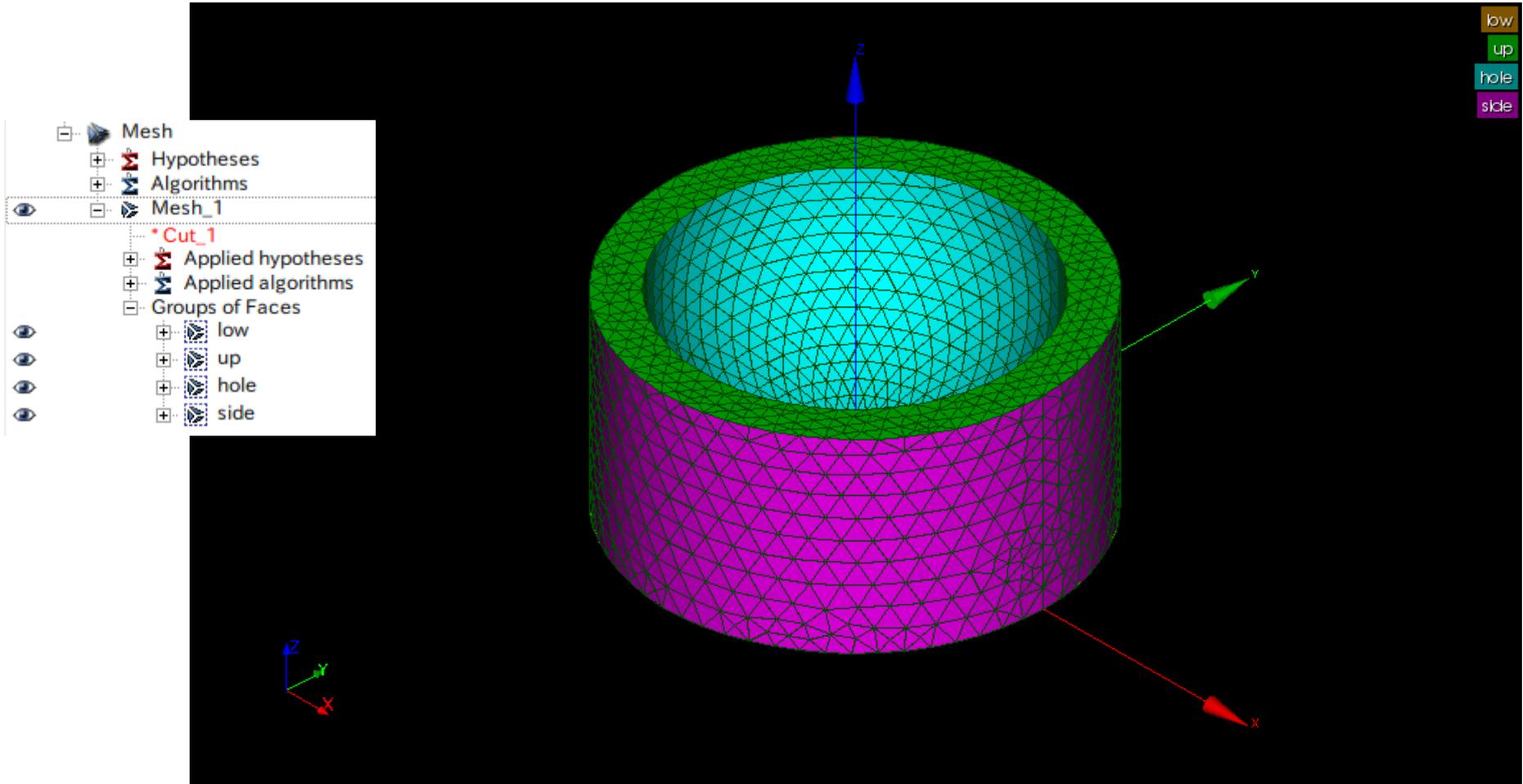
演習1 メッシュのグループ化

グループの作成

Mesh>Create Group

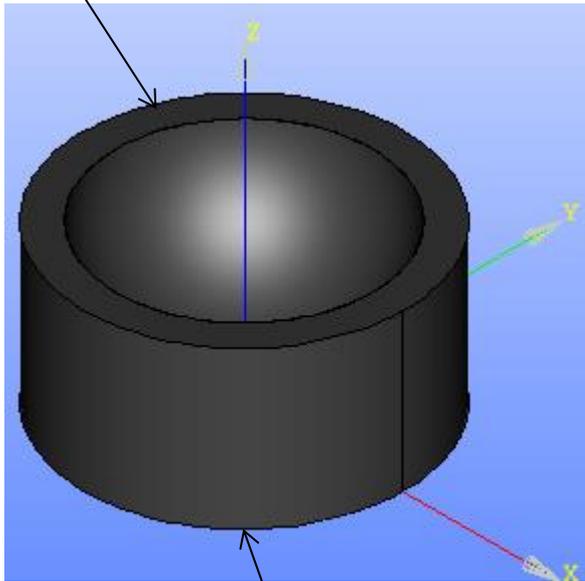


演習1 メッシュのグループ化



演習1 熱伝導解析設定条件

up温度: 100°C



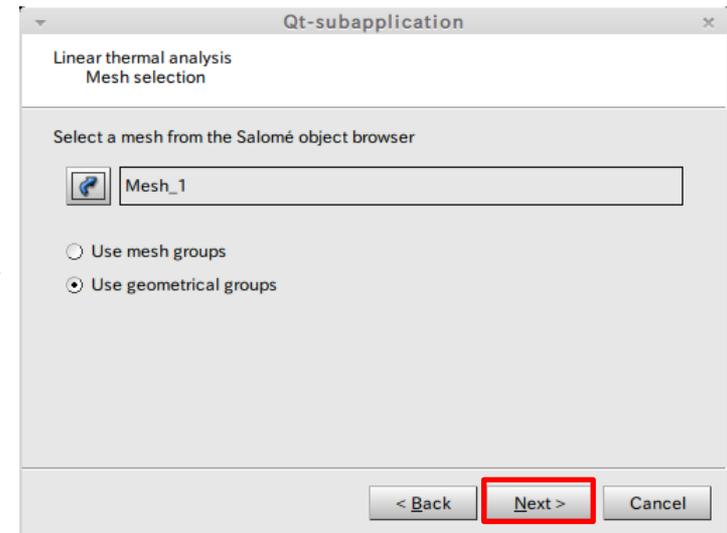
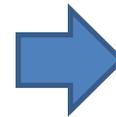
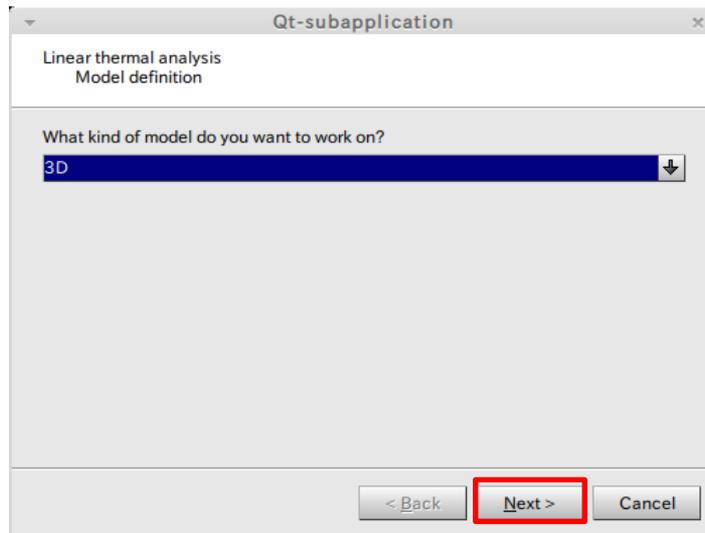
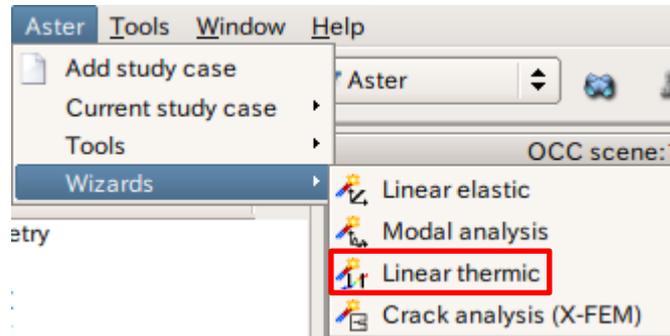
熱伝導率: 0.54W/mK

low温度: 0°C

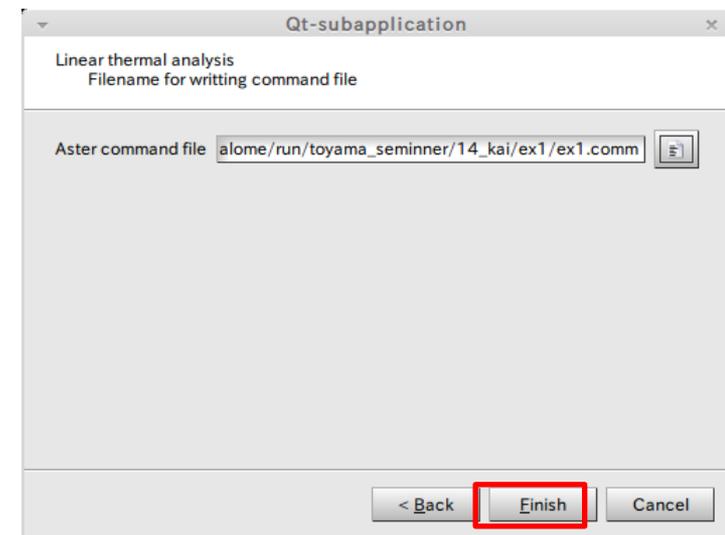
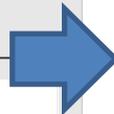
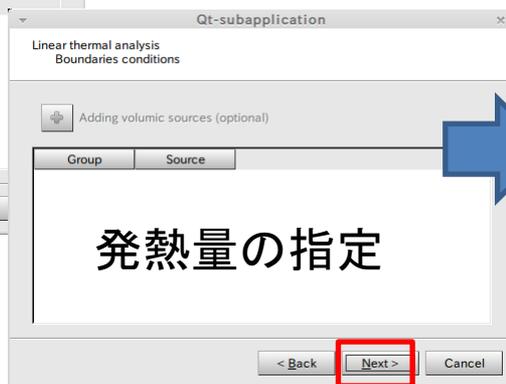
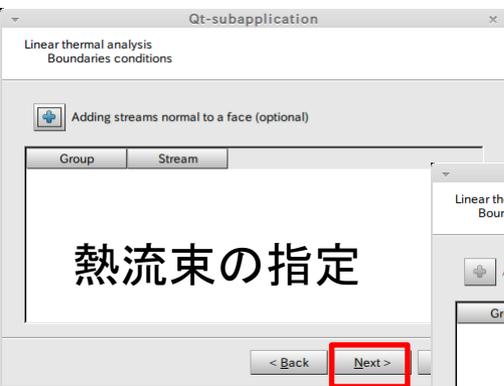
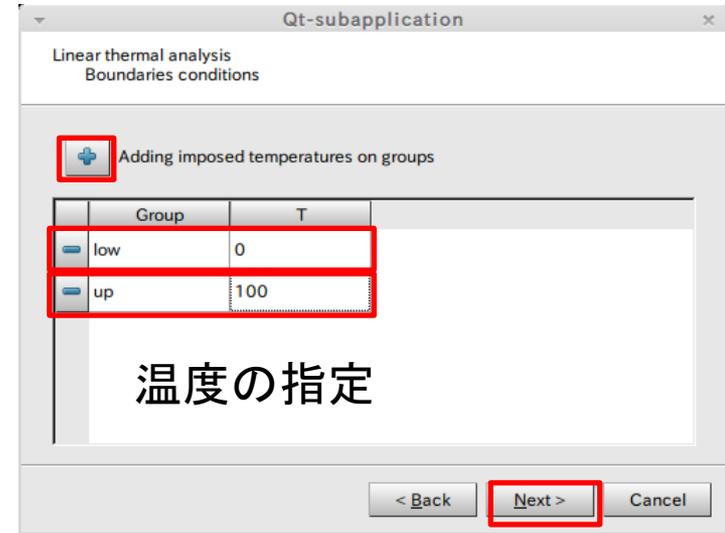
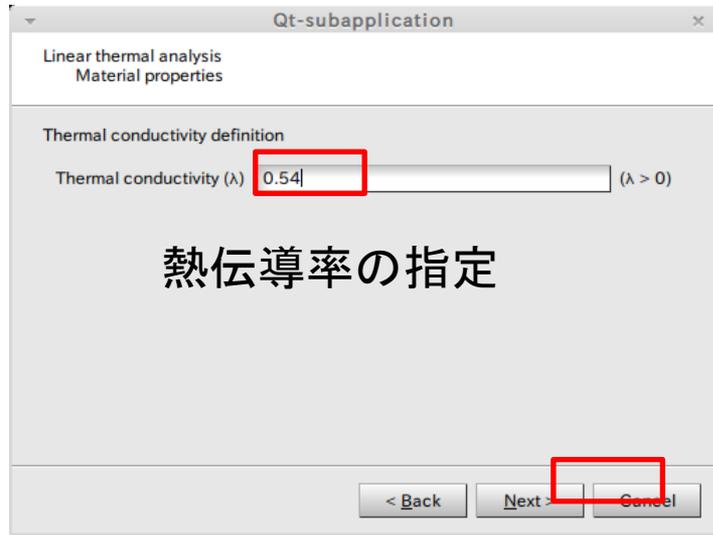
演習1 Asterモジュールの起動

ウィザード

Aster>Wizards>Linear thermic

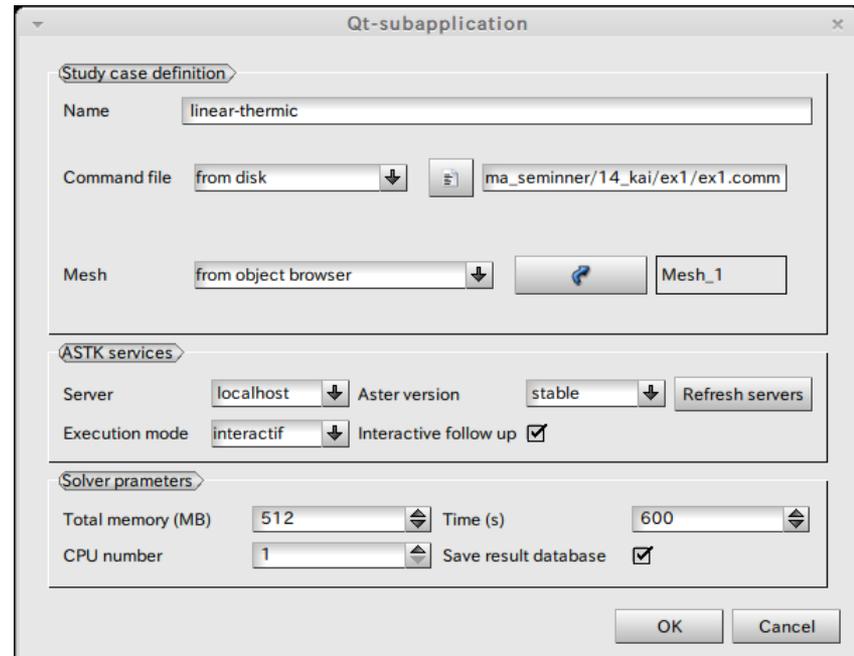
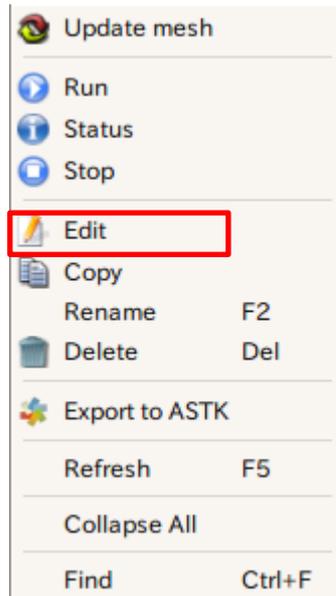
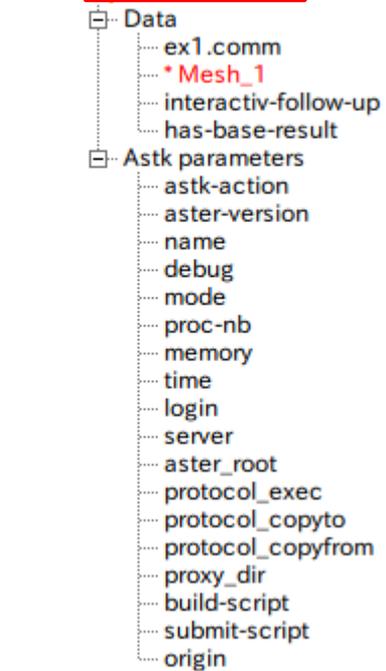


演習1 wizardの設定



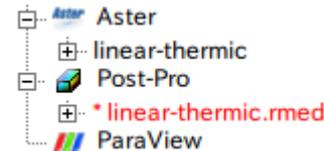
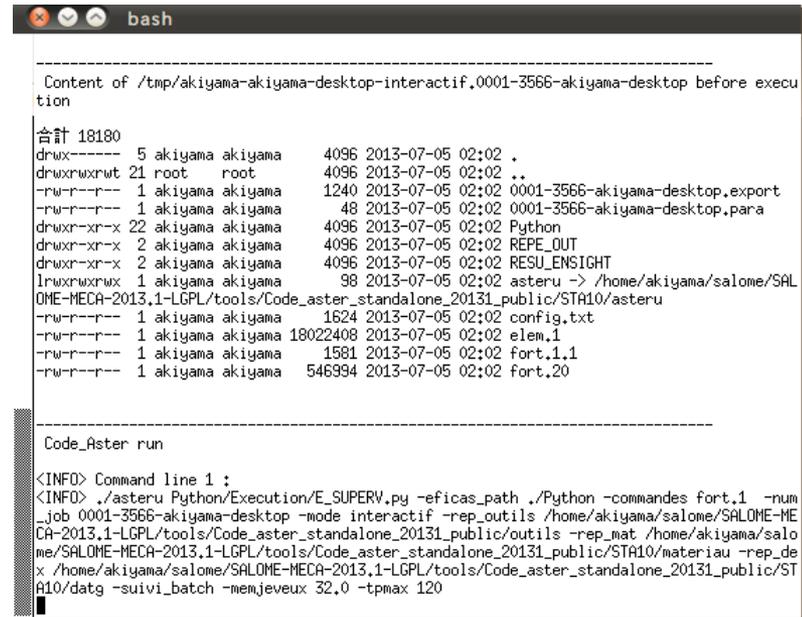
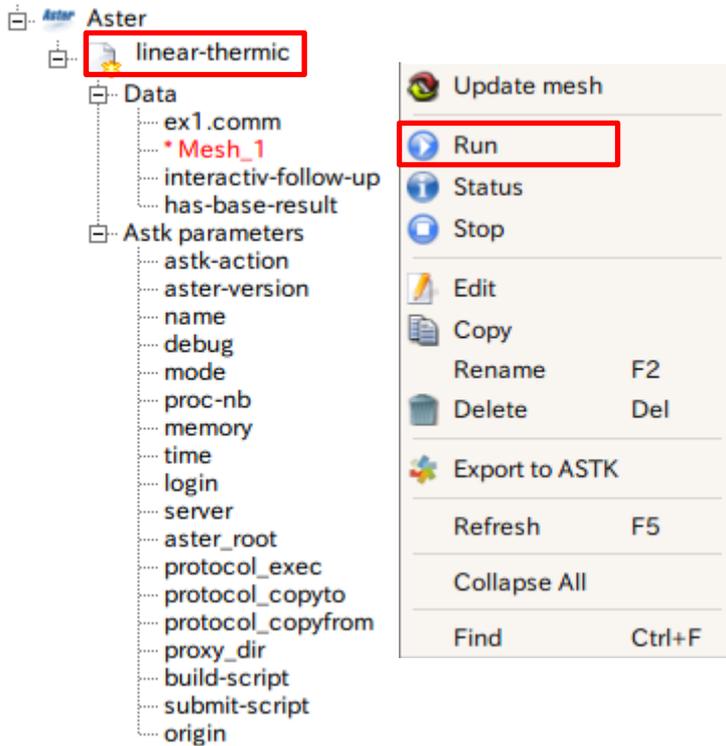
演習1 wizardの設定

Aster linear-thermic 右クリック



演習1 解析の実行

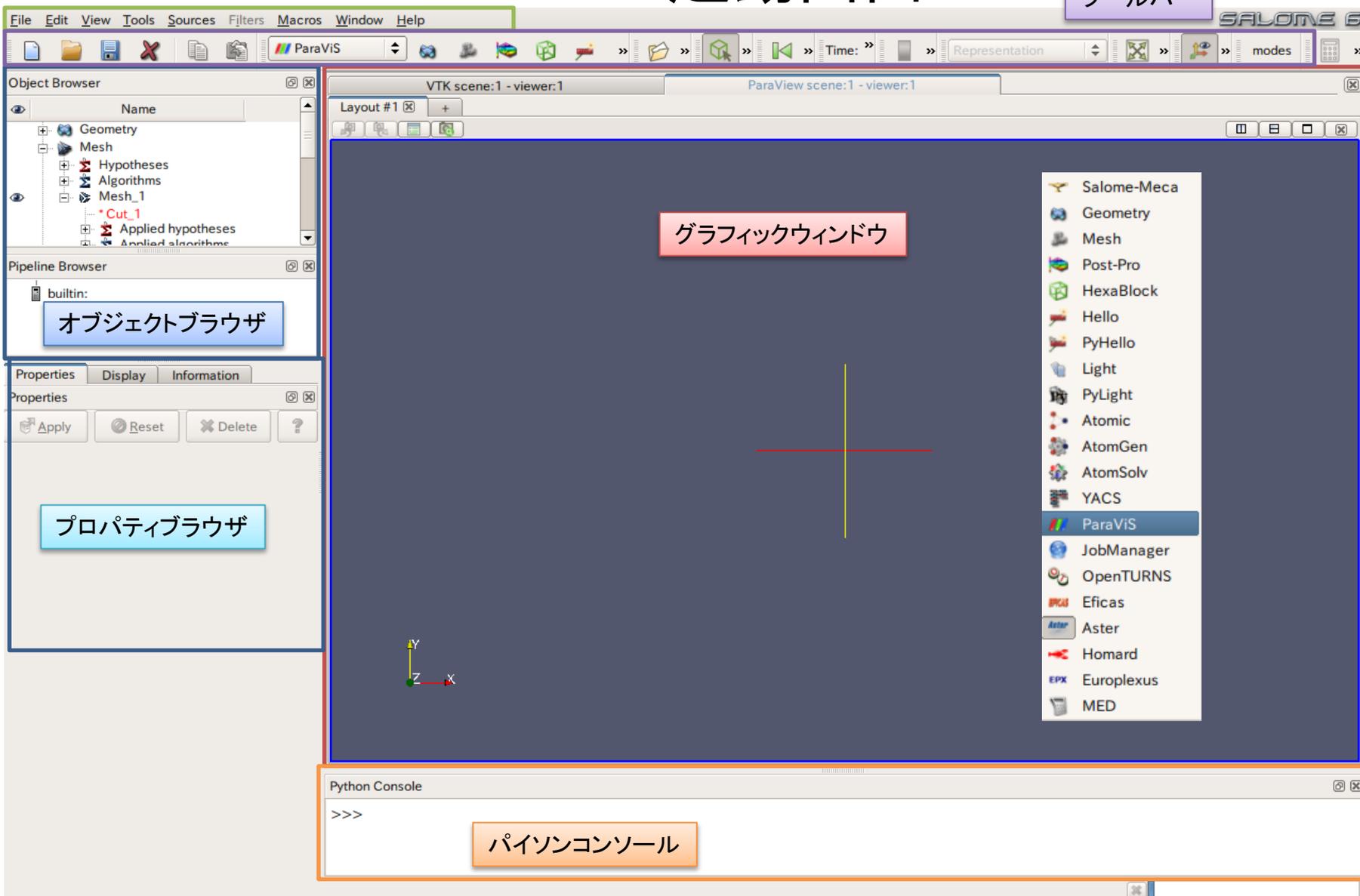
解析実行中



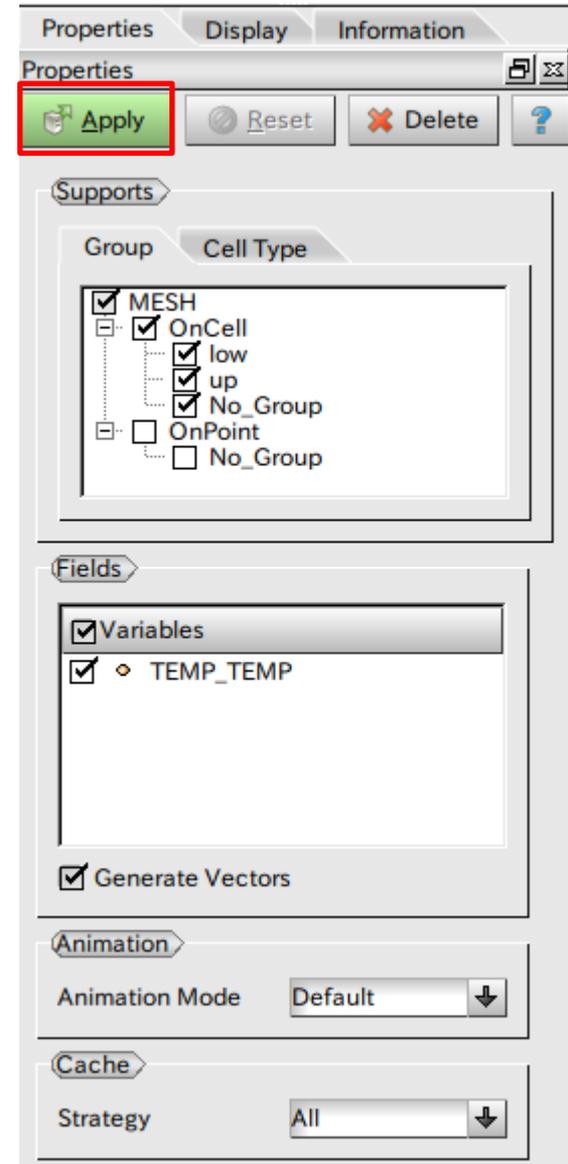
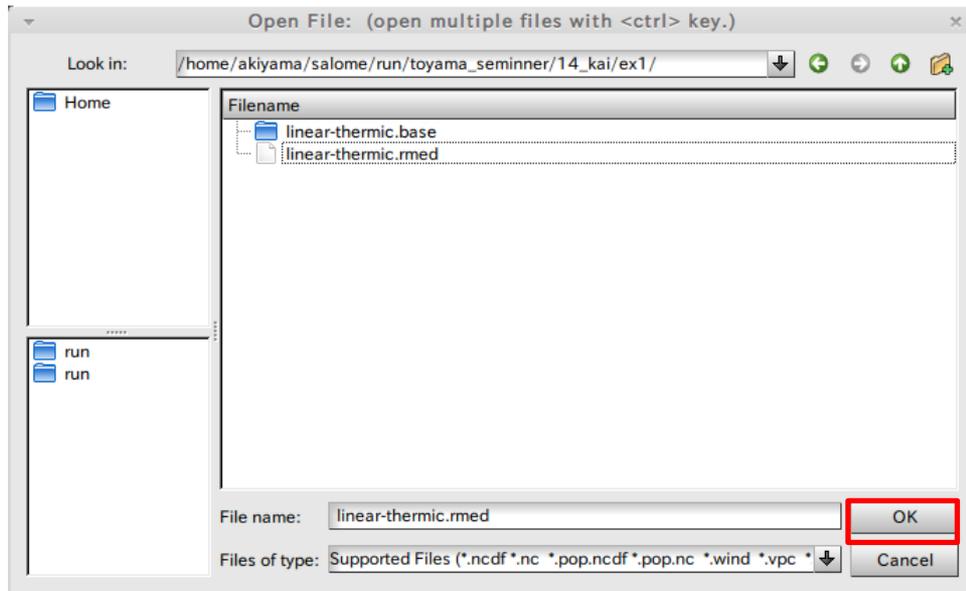
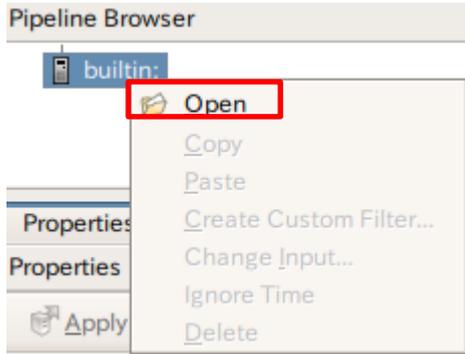
メニューバー

ParaViS起動画面

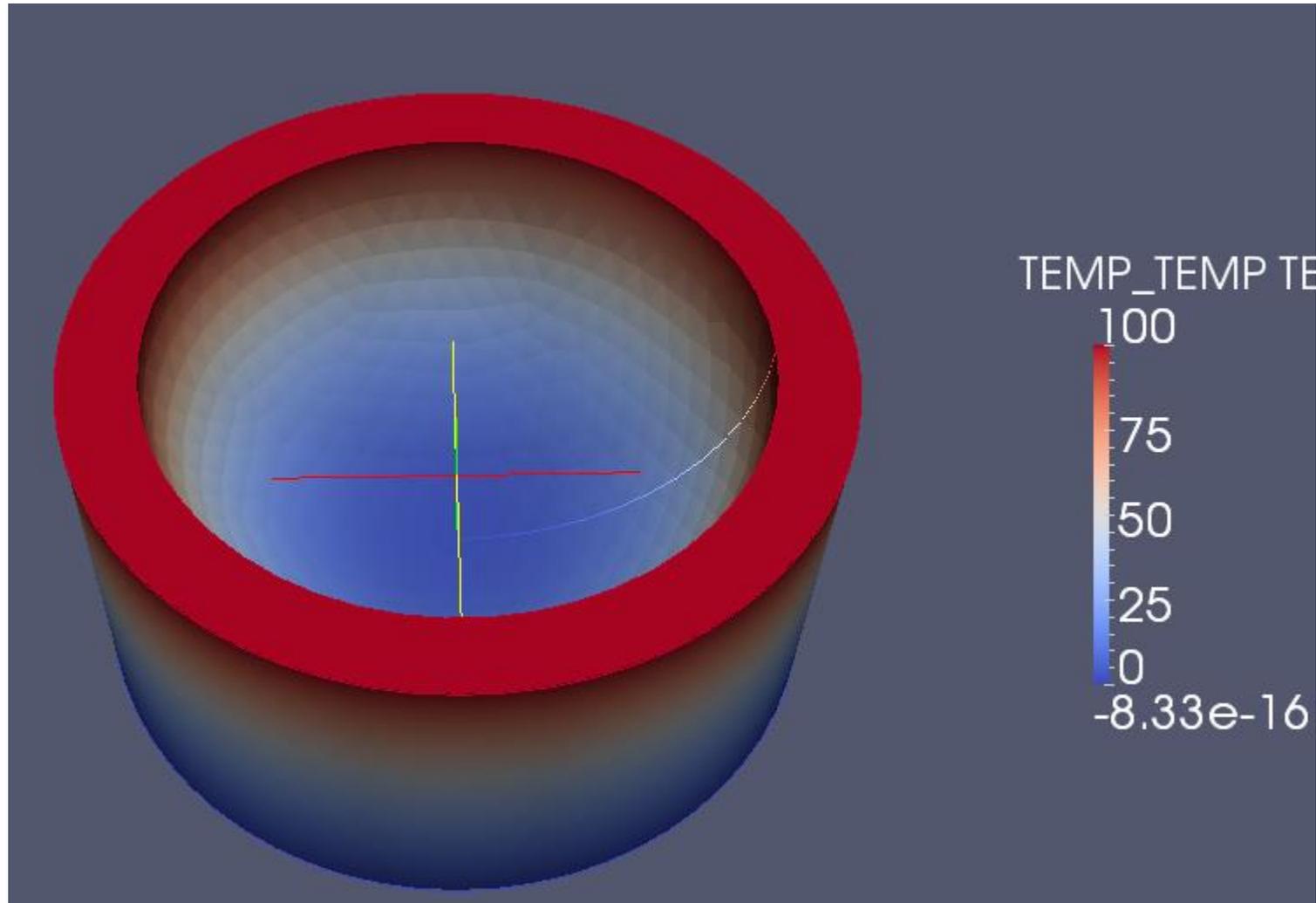
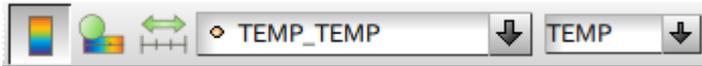
ツールバー



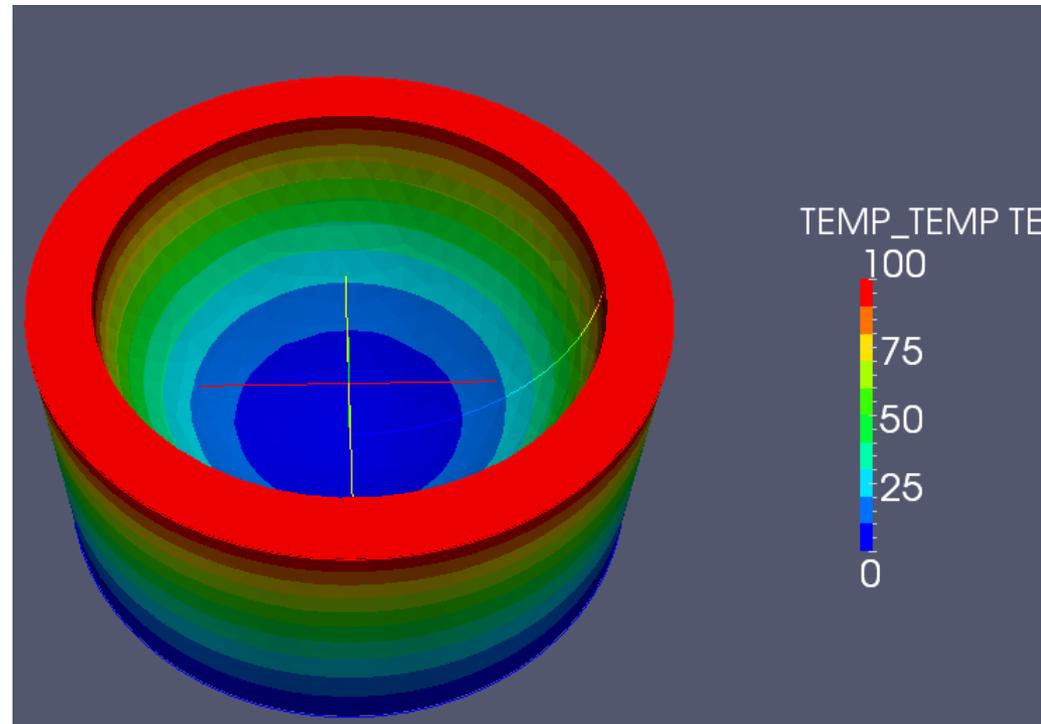
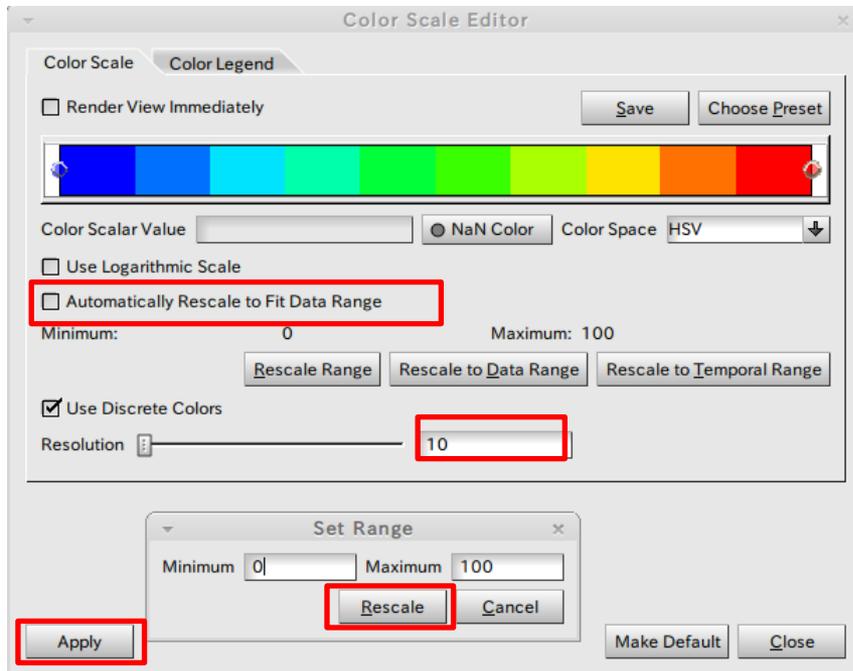
演習1 解析結果の表示



演習1 解析結果の表示(温度)



演習1 解析結果の表示(レンジの変更)



演習2

- 2-1解析解と数値解の比較
 - 解析解を算出する
- 2-2メッシュサイズの違いによる解析結果への影響
 - メッシュサイズ 0.01mと0.005mで比較
- 2-3メッシュタイプの違いによる解析結果への影響
 - テトラメッシュとヘキサメッシュ(各辺15分割)で比較
- 2-4境界条件の違いによる解析結果への影響
 - 端部拘束と法線方向拘束で比較

演習2 有限要素法による熱伝導解析

θ : 温度[K]

$\alpha = 1$: 熱拡散率 $\left[\frac{m^2}{s} \right]$

$\lambda = 1$: 熱伝導率 $\left[\frac{W}{mK} \right]$

$\rho = 1$: 密度 $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$C_p = 1$: 比熱 $\left[\frac{J}{kgK} \right]$

$[W] = \left[\frac{J}{s} \right]$

$B: 1m$

$W: 1m$

$L: 10m$

$T_1: 100K$

$T_2: 0K$

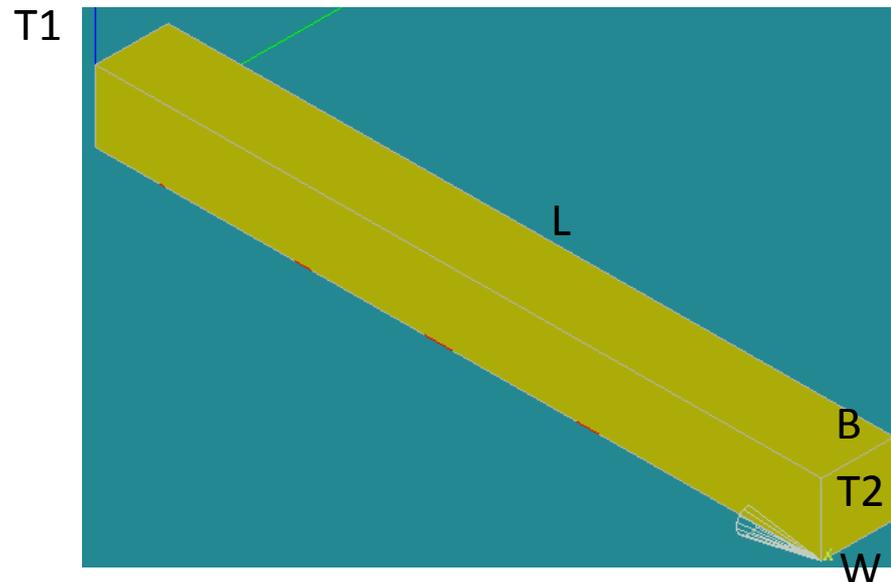
B : 幅

W : 奥行

L : 全長

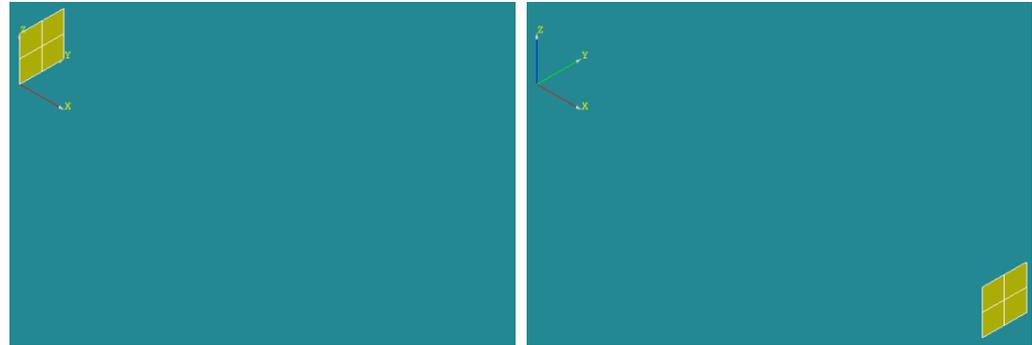
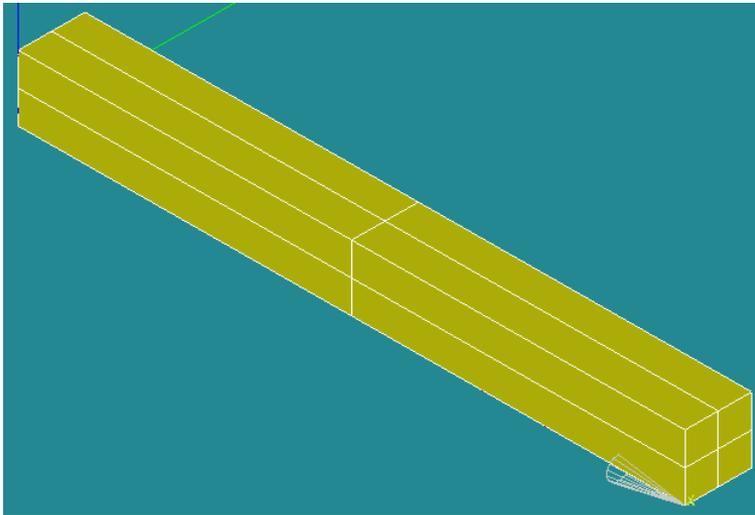
T_1 : 左側温度

T_2 : 右側温度



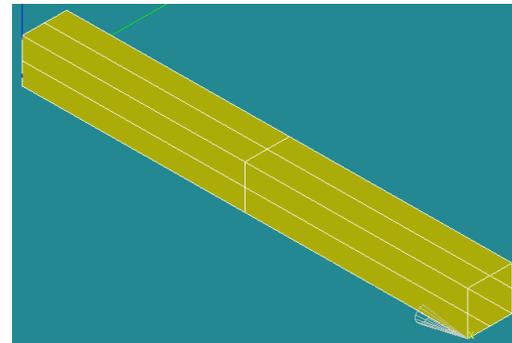
演習2 グループの作成

グループの作成



T1

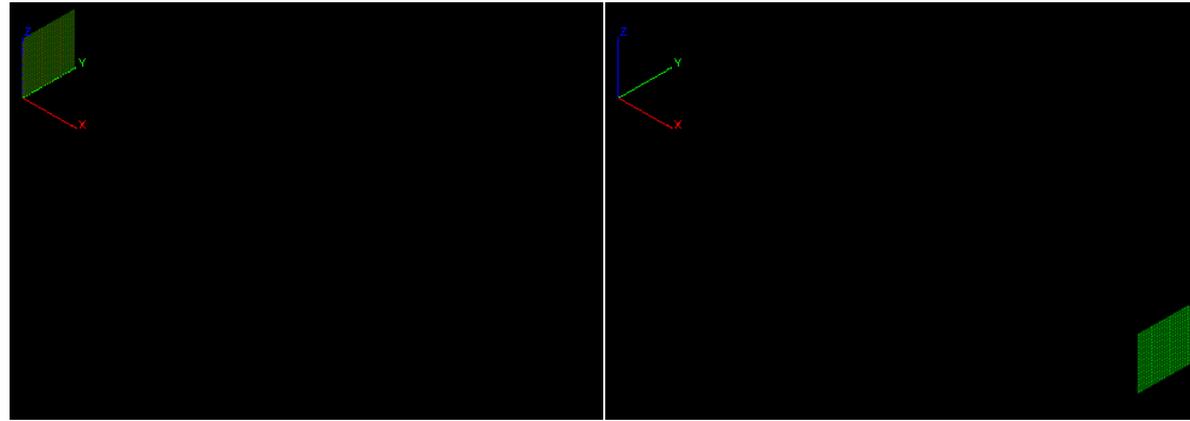
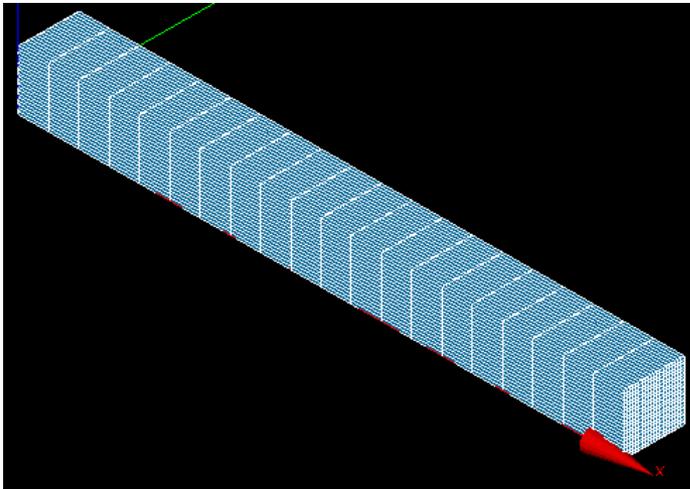
T2



wall

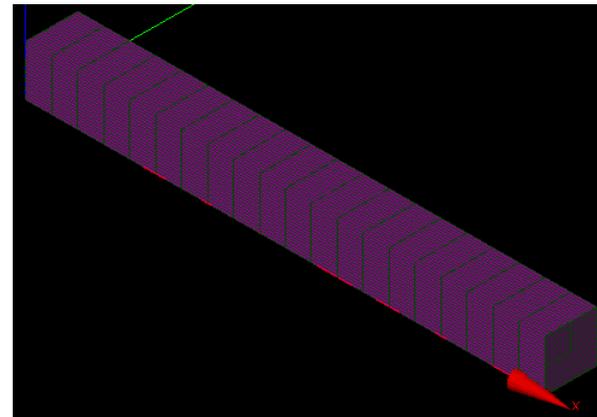
演習2 メッシュグループの作成

グループの作成



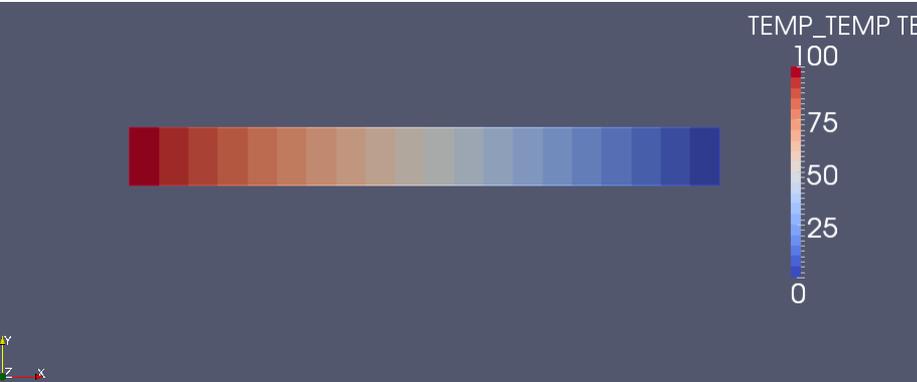
T1

T2



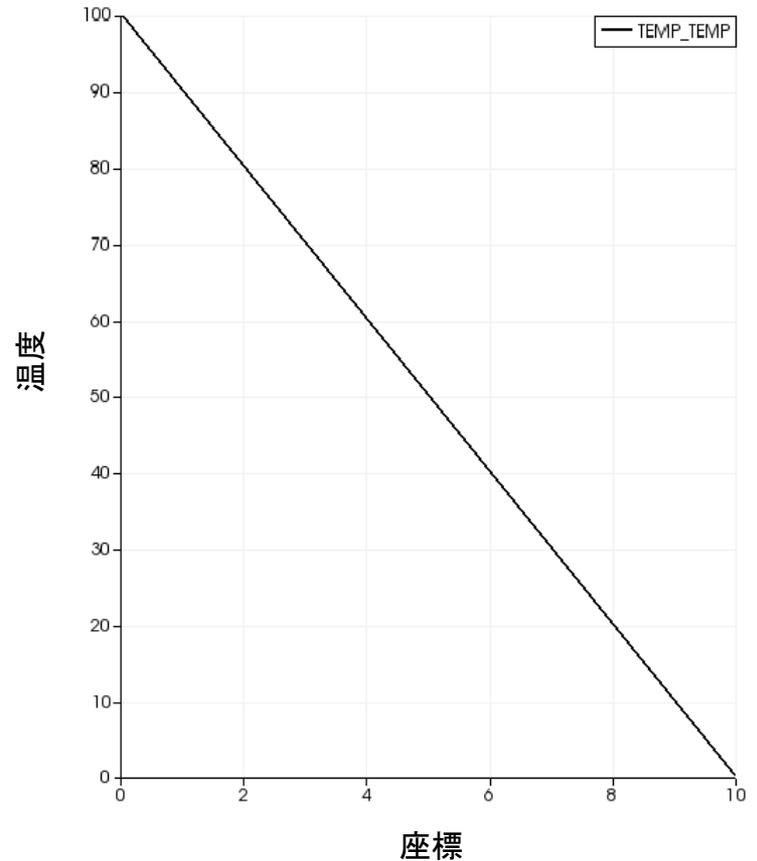
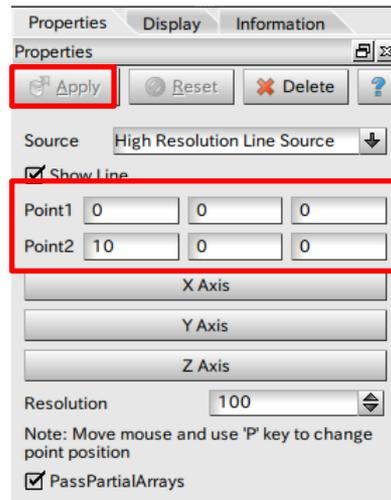
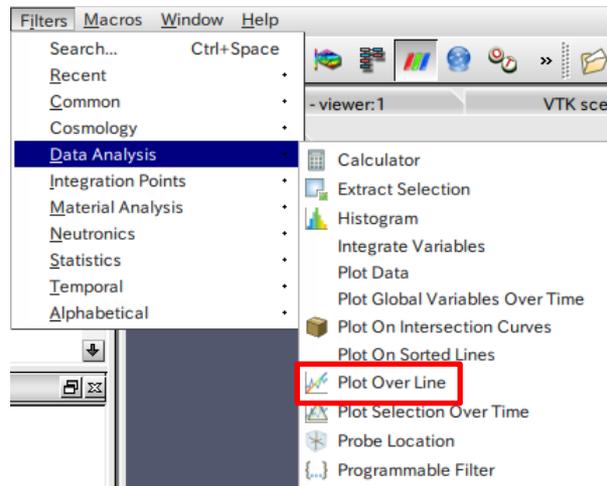
wall

演習2 解析結果



builtin:
linear-thermic.rmed 選択状態にする

Filters>Data Analysis>Plot Over Line



ラインの始点と終点の座標を入力

演習3 差分法による1次元解析

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2}$$

熱伝導方程式

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p}$$

熱拡散率

θ : 温度[K]

$$\alpha = 1: \text{熱拡散率} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$\lambda = 1: \text{熱伝導率} \left[\frac{W}{mK} \right]$$

$$\rho = 1: \text{密度} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$C_p = 1: \text{比熱} \left[\frac{J}{kgK} \right]$$

$$[W] = \left[\frac{J}{s} \right]$$

$B: 1m$

B : 幅

$W: 1m$

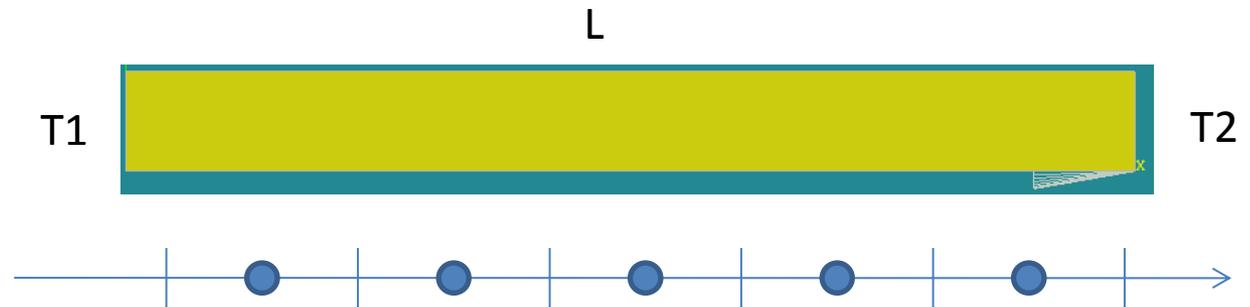
W : 奥行

$L: 10m$

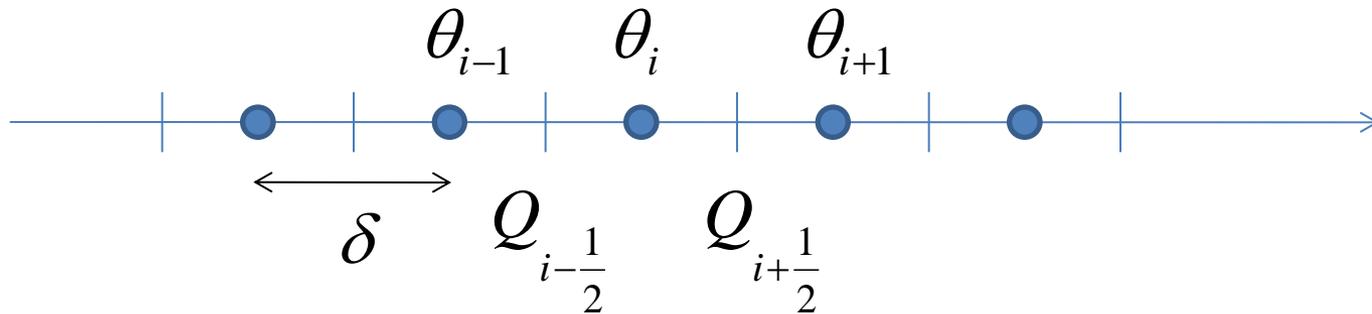
L : 全長

$T_1: 100K$

$T_2: 0K$



演習3 数值微分

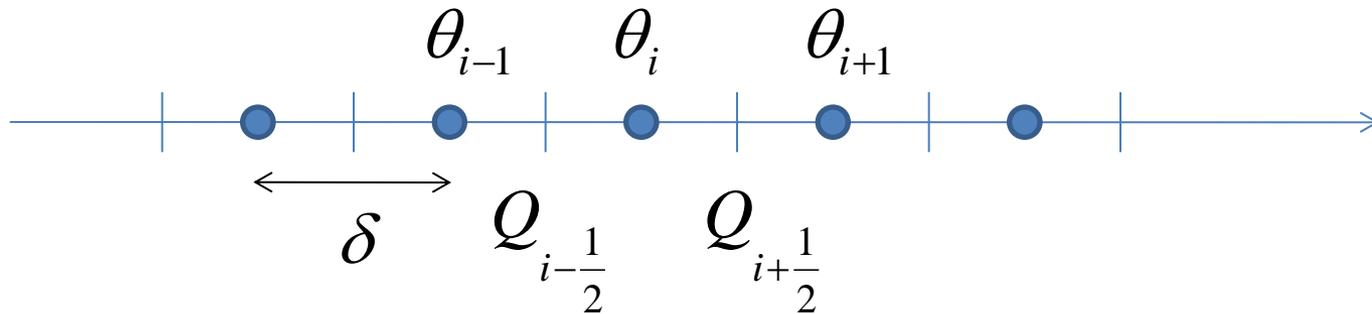


$$Q_{i-\frac{1}{2}} = \frac{\theta_i - \theta_{i-1}}{\delta}$$

$$Q_{i+\frac{1}{2}} = \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{\delta}$$

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \alpha \frac{d^2\theta}{dx^2} \approx \alpha \frac{Q_{i+\frac{1}{2}} - Q_{i-\frac{1}{2}}}{\delta}$$

演習3 数值微分(中央差分陽解法)



$$Q_{i-\frac{1}{2}} = \frac{\theta_i - \theta_{i-1}}{\delta}$$

$$Q_{i+\frac{1}{2}} = \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{\delta}$$

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \alpha \frac{d^2\theta}{dx^2} \approx \alpha \frac{Q_{i+\frac{1}{2}} - Q_{i-\frac{1}{2}}}{\delta} \Rightarrow \theta_i^{t+1} = \theta_i^t + \alpha \frac{\theta_{i+1}^t - 2\theta_i^t + \theta_{i-1}^t}{\Delta x^2} \Delta t$$

演習3 エクセルによる計算

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	α	1										
2	dt	0.1										
3	dx	1										
4	T1	100										
5	T2	0										
6	C	0.1										
7												
8	t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.1	100	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.2	100	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0.3	100	24.5	2.6	0.1	0	0	0	0	0	0	0
13	0.4	100	29.86	4.54	0.34	0.01	0	0	0	0	0	0
14	0.5	100	34.342	6.652	0.727	0.042	0.001	0	0	0	0	0
15	0.6	100	38.1388	8.8285	1.251	0.1064	0.005	0.0001	0	0	0	0
16	0		39389	11.00178	1.89429	0.21072	0.01465	0.00058	0.00001	0		
17	0		21529	13.13024	2.636682	0.35947	0.03285	0.00193	0.000066	0.000001		
18	0.9	100	46.68526	15.18939	3.458317	0.554529	0.06242	0.004836	0.000246	7.4E-06	1E-07	0
19	1	100	48.86714	17.16587	4.341045	0.795697	0.105872	0.010135	0.000681	3.05E-05	8.2E-07	0
20	1.1	100	50.8103	19.05351	5.268993	1.081249	0.165281	0.018763	0.001561	9.26E-05	3.71E-06	0
21	1.2	100	52.55359	20.85074	6.228671	1.408427	0.242226	0.031695	0.003135	0.000231	1.22E-05	0
22	1.3	100	54.12795	22.55882	7.208854	1.773831	0.337793	0.049892	0.0057	0.000499	3.28E-05	0
23	1.4	100	55.55824	24.18074	8.200348	2.17373	0.452607	0.074263	0.009599	0.000973	7.62E-05	0
24	1.5	100	56.86467	25.72045	9.195725	2.604279	0.586885	0.105631	0.015203	0.001746	0.000158	0
25	1.6	100	58.06378	27.1824	10.18905	3.061684	0.740499	0.144714	0.0229	0.002933	0.000301	0
26	1.7	100	59.16926	28.5712	11.17565	3.542303	0.913039	0.192111	0.033085	0.004666	0.000534	0
27	1.8	100	60.19253	29.89145	12.15187	4.042711	1.103872	0.248301	0.046145	0.007095	0.000894	0
28	1.9	100	61.14317	31.1476	13.11491	4.559743	1.312199	0.313643	0.062456	0.01038	0.001425	0

定義

初期値

境界条件

境界条件

演習3 エクセルによる計算

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	α	1										
2	dt	0.1										
3	dx	1										
4	T1	100										
5	T2	0										
6	C	0.1										
7												
8	t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0.1	100	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0.2	100	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0.3	100	24.5	2.6	0.1	0	0	0	0	0	0	0
13	0.4	100	29.86	4.54	0.34	0.01	0	0	0	0	0	0
14	0.5	100	34.342	6.652	0.727	0.042	0.001	0	0	0	0	0
15	0.6	100	38.1388	8.8285	1.251	0.1064	0.005	0.0001	0	0	0	0
16	0	100	39.389	11.00178	1.89429	0.21072	0.01465	0.00058	0.00001	0	0	0
17	0	100	21.529	13.13024	2.636682	0.35947	0.03285	0.00193	0.000066	0.000001	0	0
18	0.9	100	46.68526	15.18939	3.458317	0.554529	0.06242	0.004836	0.000246	7.4E-06	1E-07	0

定義

初期値

境界条件

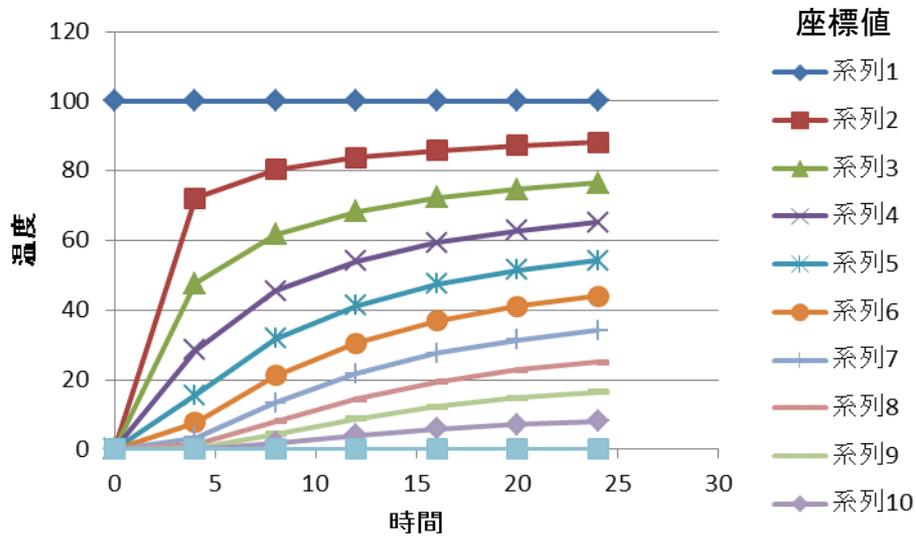
境界条件

$$\theta_i^{t+1} = \theta_i^t + \alpha \frac{\theta_{i+1}^t - 2\theta_i^t + \theta_{i-1}^t}{\Delta x^2} \Delta t$$

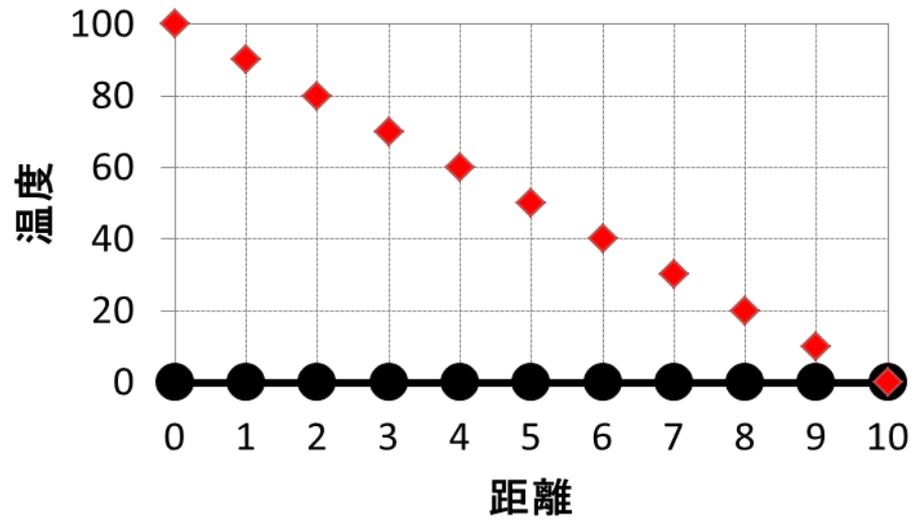
C10セル

=C9+\$B\$1*((D9-C9)/\$B\$3-(C9-B9)/\$B\$3)/\$B\$3*\$B\$2

演習3 解析結果

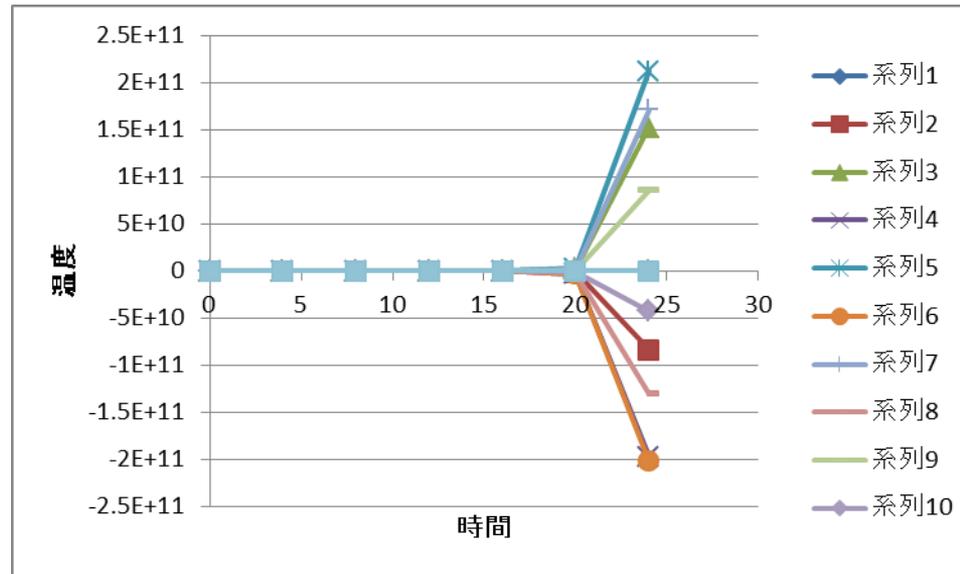


非定常解析結果



定常解析結果

演習3 dtを大きくする



クーラン数 $C = \frac{c\Delta t}{\Delta x} \leq 1$

Δx : 格子幅[L], Δt : 時間刻み[T], c 速度[LT^{-1}]

演習4 有限体積法による熱伝導解析

TutorialsのlaplacianFoamのflangeをコピー

→/home/user/OpenFOAM/user-2.2.1/run/tutorials/basic/laplacianFoam/flange

フォルダ一名をflange→に変更

Allclean

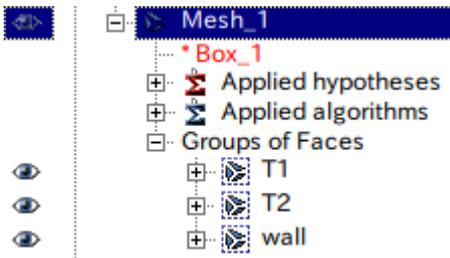
Allrun

Flange.ans

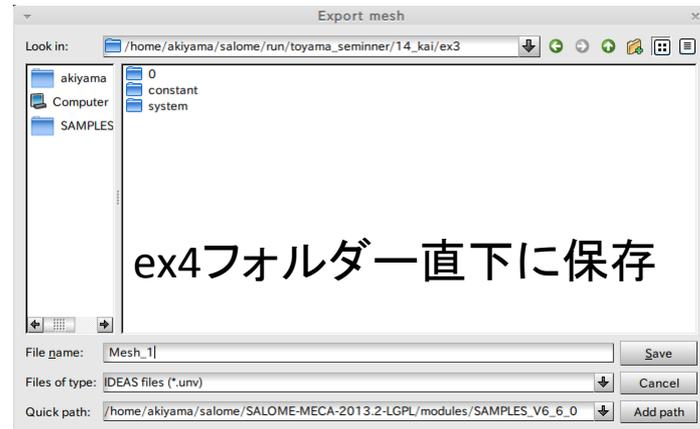
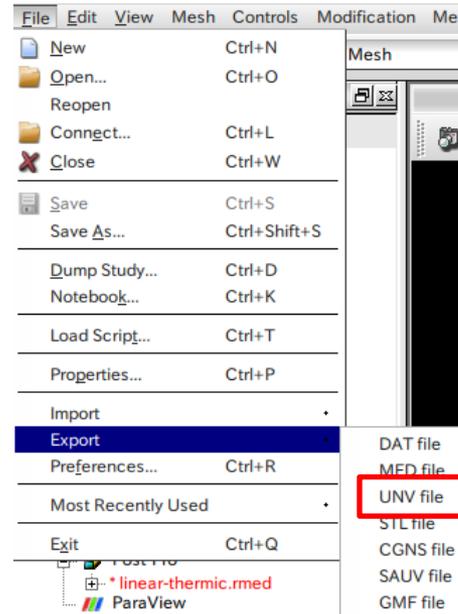
Constant>polyMesh内のファイル
は削除する

演習4 メッシュの出力

メッシュ及びグループを表示状態
メッシュを選択状態にする



File>Export>UNV file



演習4 メッシュの変換、条件設定

\$ ideasUnvToFoam Mesh_1.unv

メッシュ変換

その他ファイルの編集

/0/T の編集

	define patch at constant/. (boundary)	T
field type dimensions		volScalarField; [0 0 0 1 0 0 0];
internal Field <sort patch>		uniform 0;
T1	type patch; physicalType patch;	type fixedValue; value uniform 100;
T2	type patch; physicalType patch;	type fixedValue; value uniform 0;
wall	type patch; physicalType patch;	type zeroGradient;

/system/controlDict の編集

```

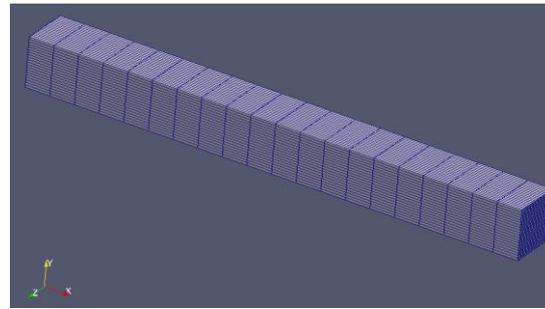
18 application      laplacianFoam;
19
20 startFrom        latestTime;
21
22 startTime        0;           開始時間
23
24 stopAt           endTime;
25
26 endTime          400;        終了時間
27
28 deltaT           0.1;       計算時間間隔
29
30 writeControl     runTime;
31
32 writeInterval    10;        結果出力間隔
??
    
```

/constant/transportProperties の編集

```

18 DT               DT [ 0 2 -1 0 0 0 0 ] 1.0; 熱伝導率
19
20
    
```

\$ paraFoam

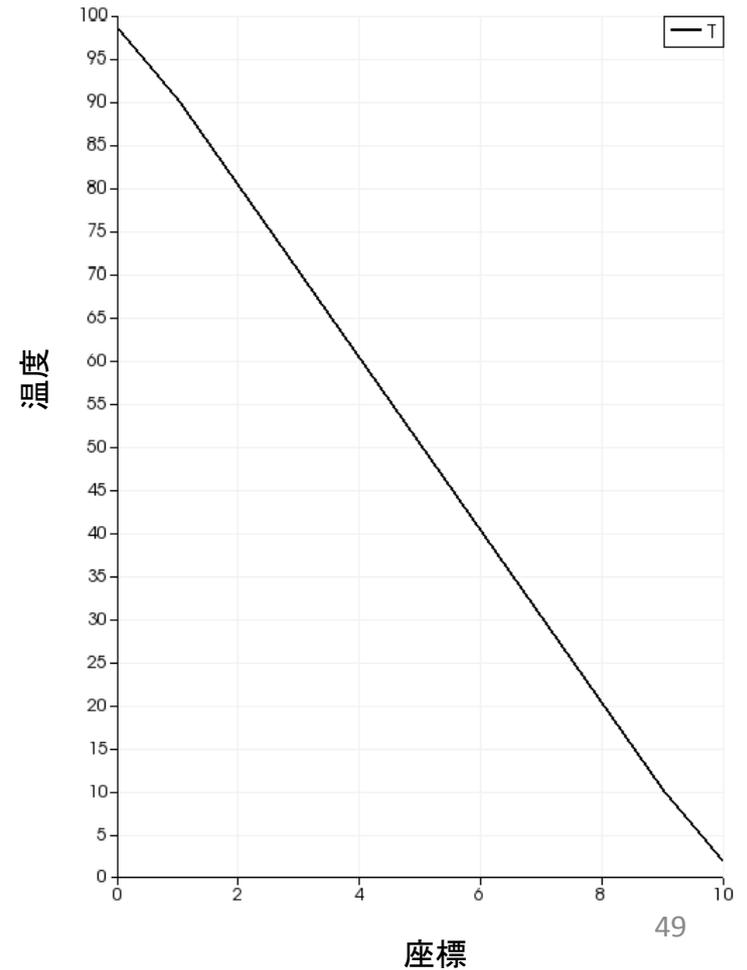
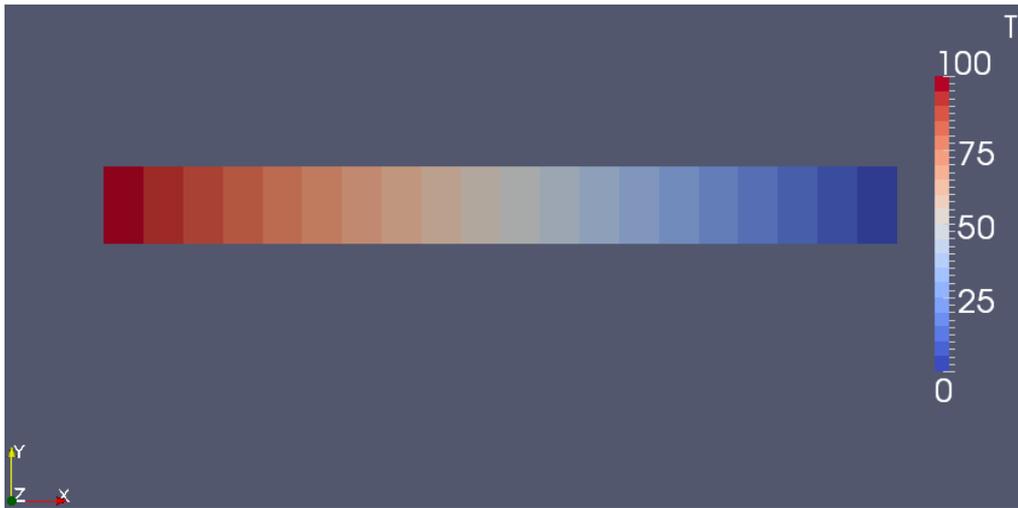


演習4 計算実行、結果処理

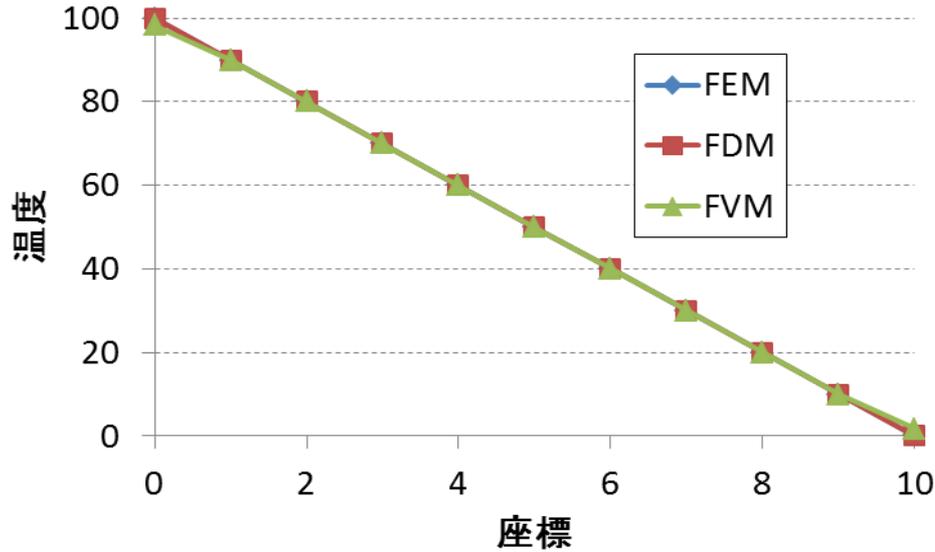
\$ laplacianFoam

解析実行

\$ paraFoam



解析結果の比較



座標	FEM	FDM	FVM
0	100.0000	100.0000	98.3329
1	90.0000	90.0000	89.9973
2	80.0000	80.0000	79.9949
3	70.0000	70.0000	69.9929
4	60.0000	60.0000	59.9917
5	50.0000	50.0000	49.9912
6	40.0000	40.0000	39.9917
7	30.0000	30.0000	29.9929
8	20.0000	20.0000	19.9949
9	10.0000	10.0000	9.9928
10	0.0000	0.0000	1.66621

	離散化手法	
演習2	有限要素法	FEM
演習3	差分法	FDM
演習4	有限体積法	FVM