

bouyantSimpleFoamについて

TM

第19回*OpenCAE*初心者勉強会(岐阜)

2013/2/16

概要

OpenFOAM ver.2.0.x tutorials

heatTransfer/bouyantSimpleFoam

自然対流伝熱問題のチュートリアル

<前提>

- 定常問題
- 圧縮性
- 圧縮性乱流モデル
- 乱流伝熱
- 理想気体の状態方程式

支配方程式

連続の式

$$\operatorname{div}(\rho \mathbf{v}) = 0$$

レイノルズ平均方程式

$$\operatorname{div}(\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = -\operatorname{grad} p + \Delta(\mu_{\text{eff}} \mathbf{v})$$

エネルギー方程式

$$\operatorname{div}(\mathbf{v} h) - h \bullet \operatorname{div} \mathbf{v} - \Delta(\alpha_{\text{eff}} h) = \operatorname{div}\{(\mathbf{v} / \rho)p\} - p \operatorname{div}(\mathbf{v} / \rho)$$

理想気体の
状態方程式

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

この項は理論的には不正確

エンタルピー

$$h = h_0 + C_p T \quad (\text{圧力変化を無視})$$

修正粘性係数

$$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t \quad \leftarrow \text{渦粘性係数}$$

修正熱伝導率

$$\alpha_{\text{eff}} = \alpha + \alpha_t = \alpha + \frac{\mu_t}{Pr_t}$$

乱流プラントル数 = 1.0 (変更する場合は
Turbulent Modelのソースを修正する必
要あり)

この他に k 、 ε 方程式がある。

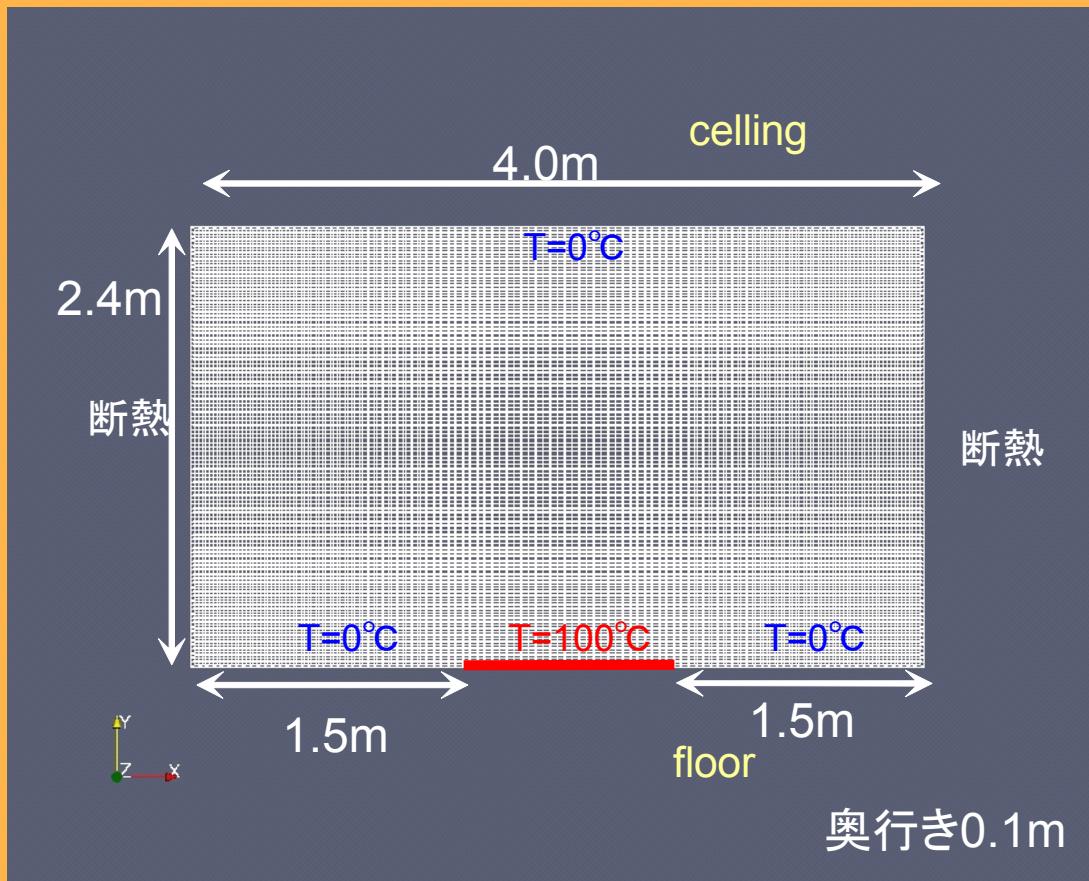
2/16にI氏が誤りを指摘され、修正
させてもらいました。 α は熱伝導
率。

$$\Delta(\alpha_{\text{eff}} h) \leq \frac{1}{\rho} \operatorname{div}(\alpha_{\text{eff}} \bullet \operatorname{grad} T)$$



エネルギー方程式の拡散
項は次元も違うし修正熱伝
導率の変化率も変

例題



**tutorialのhotRoomを改造
2次元問題 静止空気を加熱
 $100 \times 100 = 10,000$ メッシュ 標準k- ε モデル**

物性値 thermophysical Properties

```
thermoType 輸送係数と状態方程式の選択(3つ選択肢がある)
hPsiThermo<pureMixture<constTransport<specieThermo<hConstThermo<perfectGas>>>>;
pRef          101300; 基準圧力[Pa]
mixture
{
    specie
    {
        nMoles      1;      モル数
        molWeight   28.9;   分子量
    }
    thermodynamics
    {
        Cp          1005;   比熱[J/(kgK)]
        Hf          0;       標準エンタルピー[J/kg]
    }
    transport
    {
        mu         2.22e-05; 粘性係数 [Pa·s]
        Pr         0.93;     プラントル数 =  $\mu \text{Cp} / \alpha$  :  $\alpha = 0.024 \text{W}/(\text{mK})$ 
    }
}
```

物性値 thermoType

basicPhiThermo Type 選択できるのは⑥~⑧

- ①ePsiThermo<pureMixture<constTransport<specieThermo<eConstThermo<perfectGas>>>>
- ②ePsiThermo<pureMixture<constTransport<specieThermo<hConstThermo<perfectGas>>>>
- ③ePsiThermo<pureMixture<sutherlandTransport<specieThermo<eConstThermo<perfectGas>>>>
- ④ePsiThermo<pureMixture<sutherlandTransport<specieThermo<hConstThermo<perfectGas>>>>
- ⑤ePsiThermo<pureMixture<sutherlandTransport<specieThermo<janafThermo<perfectGas>>>>
- ⑥hPsiThermo<pureMixture<constTransport<specieThermo<hConstThermo<perfectGas>>>>
- ⑦hPsiThermo<pureMixture<sutherlandTransport<specieThermo<hConstThermo<perfectGas>>>>
- ⑧hPsiThermo<pureMixture<sutherlandTransport<specieThermo<janafThermo<perfectGas>>>>
- ⑨hsPsiThermo<pureMixture<constTransport<specieThermo<hConstThermo<perfectGas>>>>
- ⑩hsPsiThermo<pureMixture<sutherlandTransport<specieThermo<hConstThermo<perfectGas>>>>
- ⑪hsPsiThermo<pureMixture<sutherlandTransport<specieThermo<janafThermo<perfectGas>>>>

分類	輸送係数	比熱
⑥定輸送係数/比熱一定	一定値	一定値
⑦輸送係数温度考慮/比熱一定	Sutherland model	一定値
⑧輸送係数温度考慮/比熱温度考慮	Sutherland model	JANAF model

fvsolution

収束条件 = 残差レベル

```
 SIMPLE
 {
     nNonOrthogonalCorrectors 0;
     pRefCell      0;
     pRefValue     0;

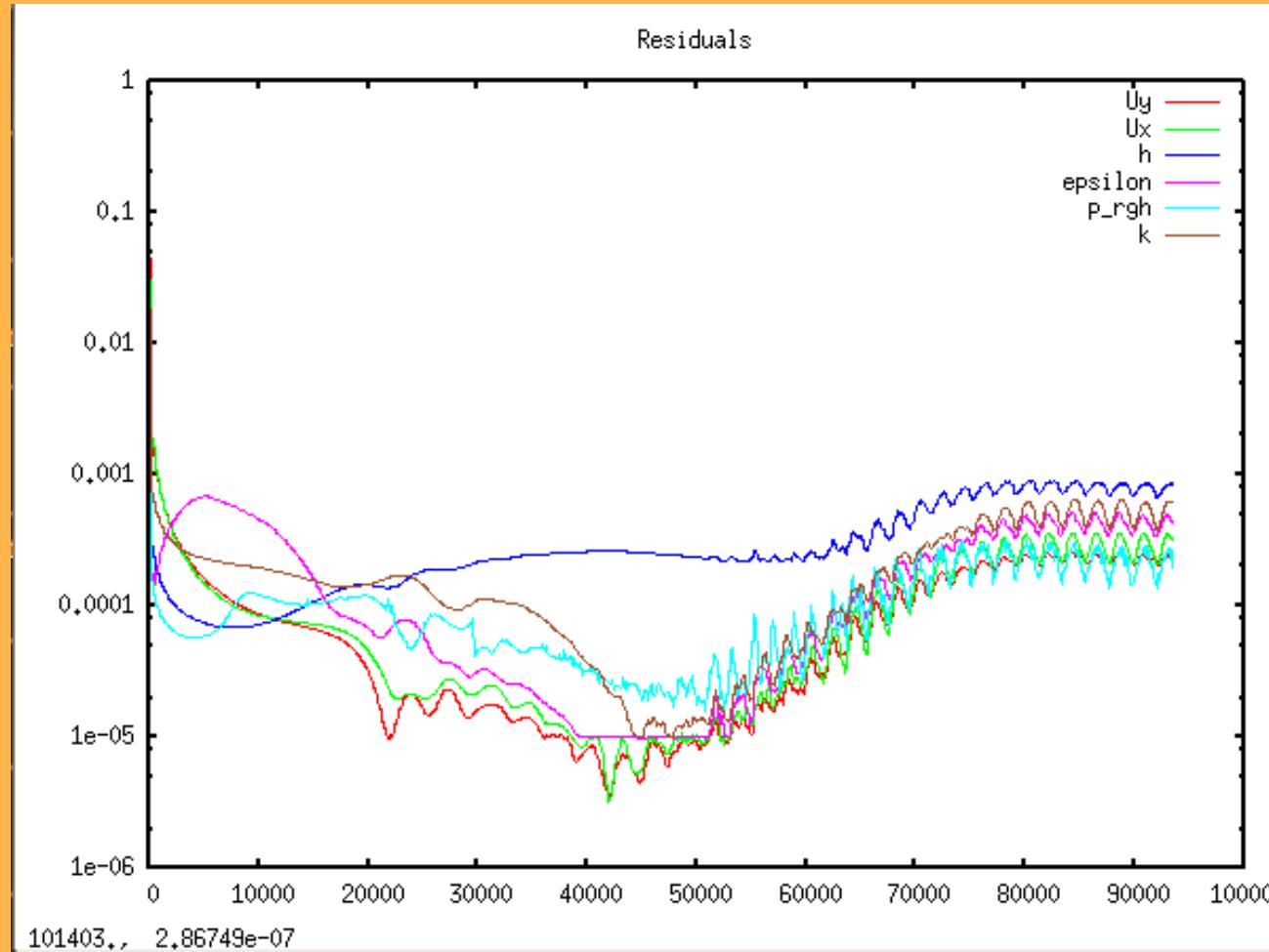
     residualControl
     {
         p_rgh      1e-2;
         U          1e-3;
         h          1e-4;           ←1e-3

         // possibly check turbulence fields
         "(k|epsilon|omega)" 1e-5; ←1e-3
     }
 }

緩和係数
```

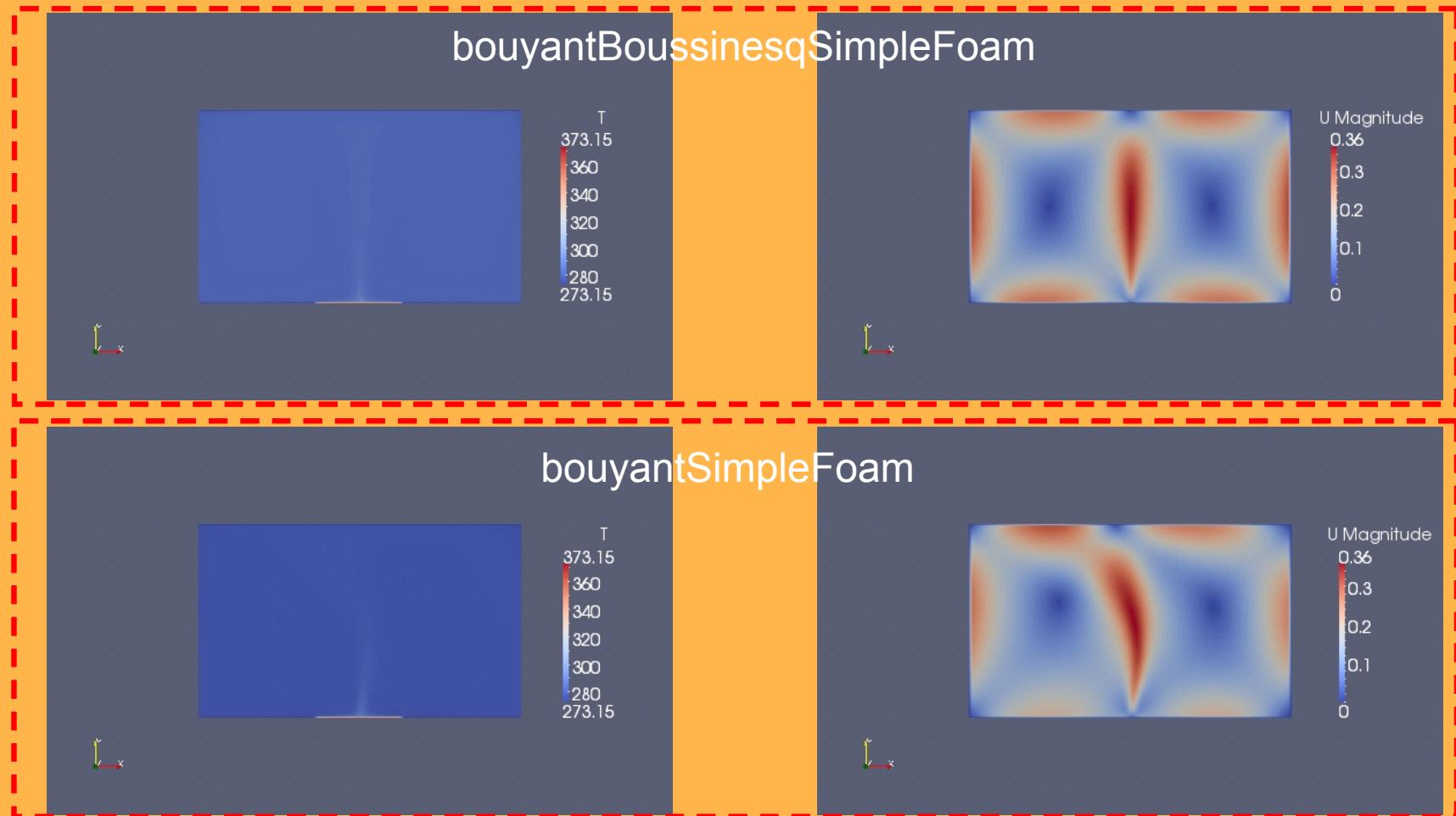
```
 relaxationFactors
 {
     rho        1.0;
     p_rgh     0.7;
     U          0.2;
     h          0.2;
     "(k|epsilon|R)" 0.2;    ←0.5
 }
```

残差の履歴



振動して収束しない。不安定化の理由は乱流モデル
(laminarでは収束する)

温度分布と流線

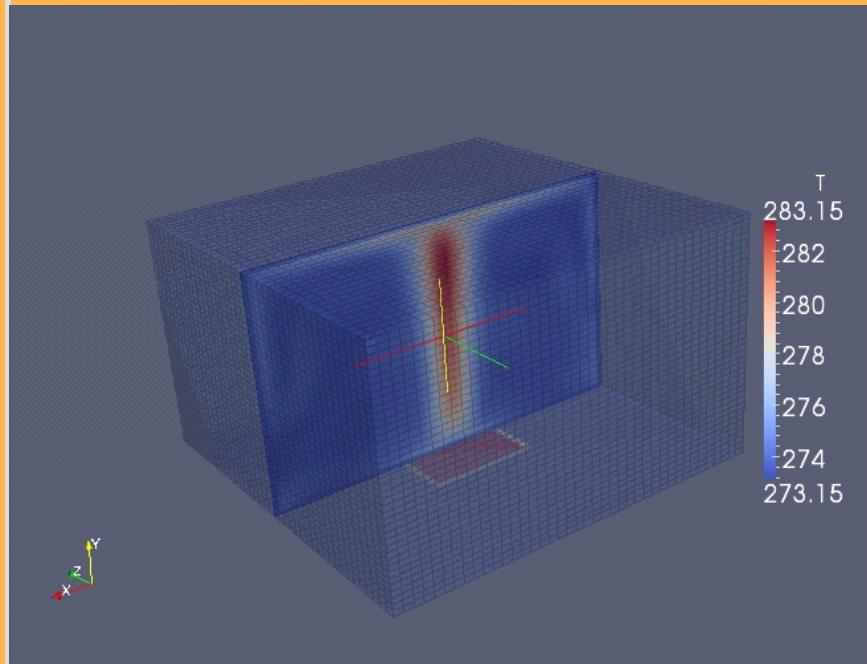


2013/2/16

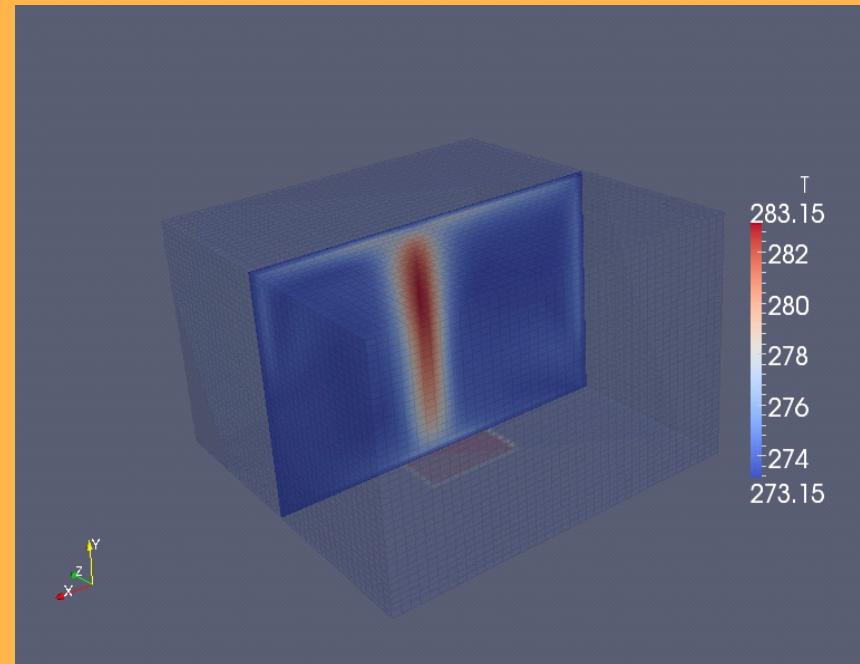
bouyantSimpleFoamでは定常解が得られなかった。

3D解析

bouyantSimpleFoam



bouyantBoussinesqSimpleFoam



mesh: $40 \times 40 \times 40 = 64,000$

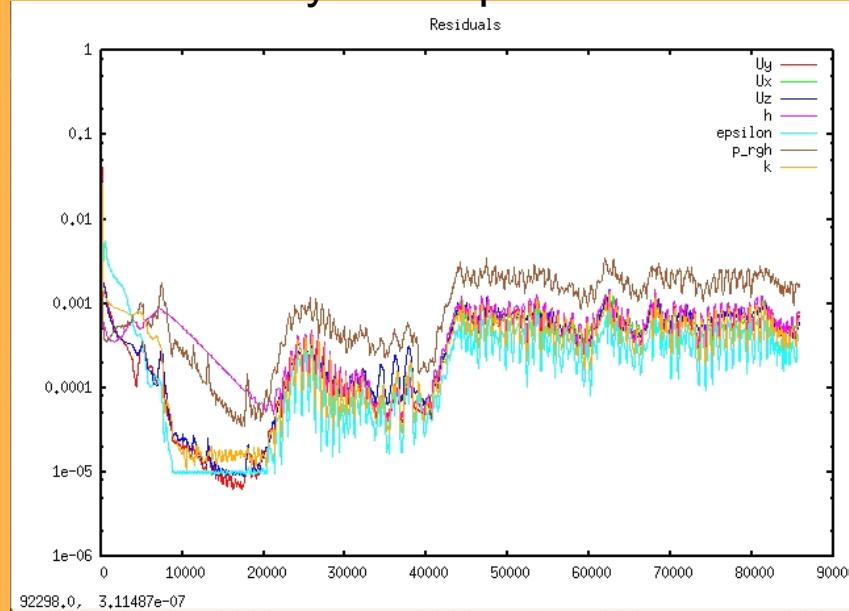
Turbulent Model: $k - \varepsilon$, $Prt=1.0$

Boundary Condition: floor=373.15K(heat area) 273.15K(the other)
ceiling=273.15K
walls=zero gradient

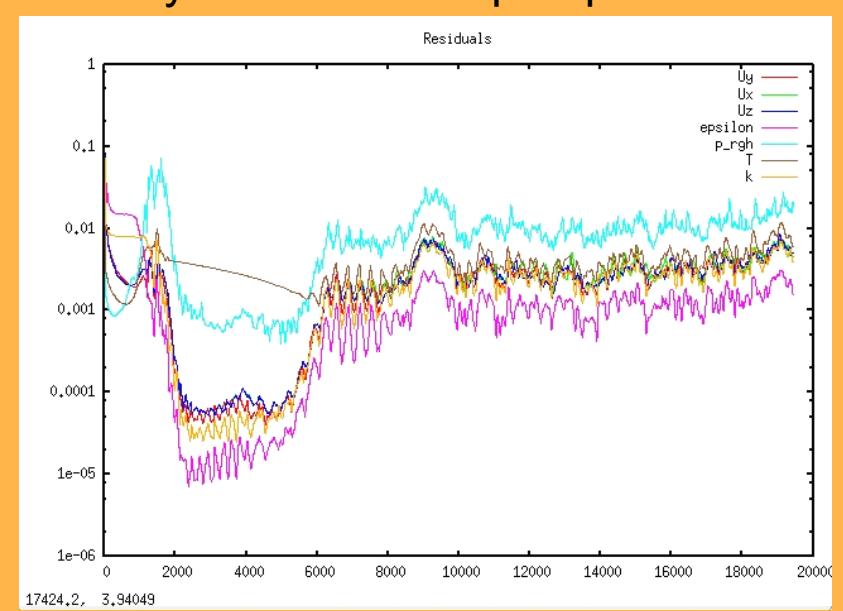
2013/2/16

3D残差

bouyantSimpleFoam



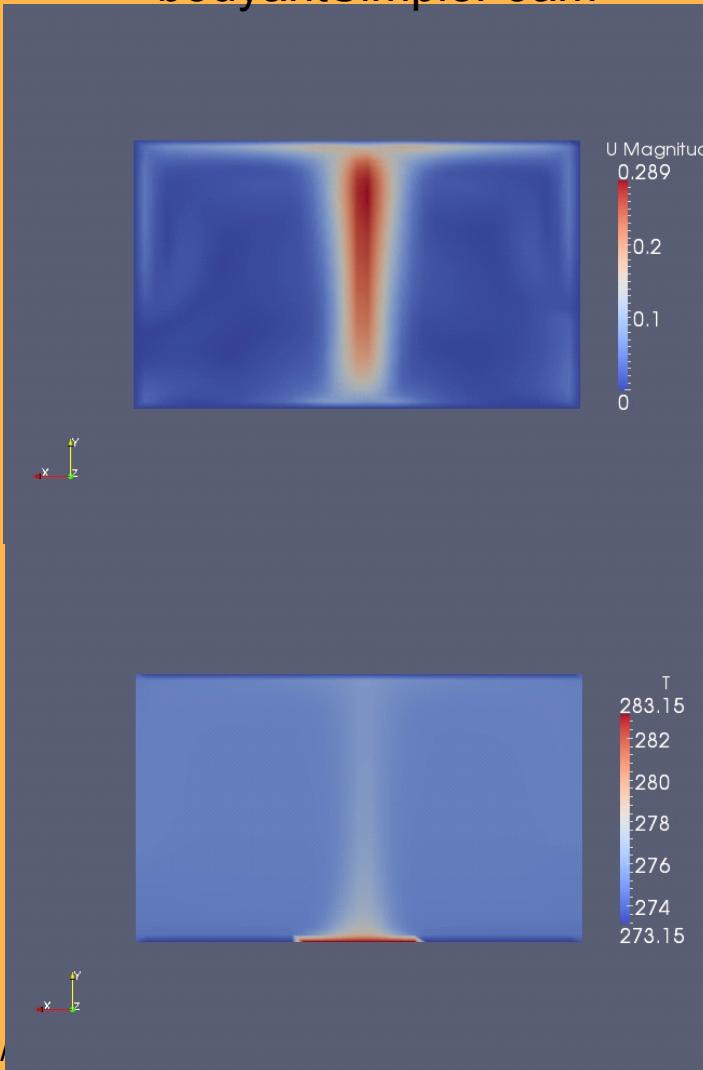
bouyantBoussinesqSimpleFoam



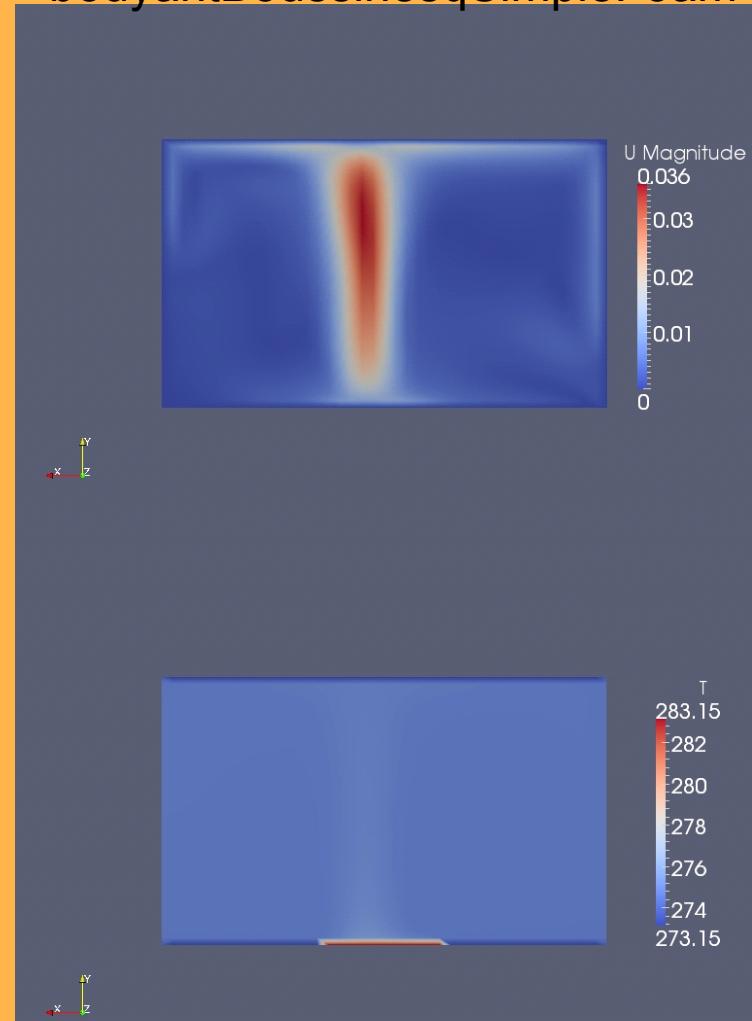
- 両方とも収束性が悪い。
- 入熱および放熱量 bSF=58.8W bBSF=1.36W

速度と温度

bouyantSimpleFoam



bouyantBoussinesqSimpleFoam



2013/2/