

---

# Verification & Validation

## -OpenFOAM による熱設計機能検証-

2013.08.31

酒井 秀久 森 一浩

---

# 0. 活動内容（まずはVerification）

---

## 1. ファンP-Q(P-v)特性

- 内部のパッチにP-Q特性を与え，流量を求める.

## 2. 定常固体熱連成問題(輻射なし)

### 2.1. 強制対流(冷却)

- 発熱する固体(樹脂, 金属)を空気によって強制冷却する.
- 熱収支の確認.

### 2.2. 自然対流

- 発熱する固体(樹脂, 金属)を空気によって自然空冷する.
- 熱収支の確認.

## 3. 定常固体熱連成問題(輻射考慮)

---

# 1. ファンP-Q(P-v)特性とは?

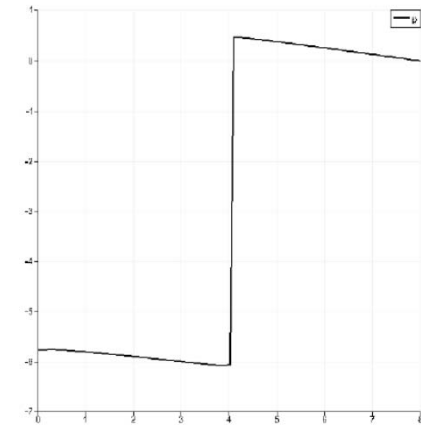
- モデル内部のPatchに与える境界条件として定義できる
- FanとしてPatch前後で圧力上昇させる

## The fan BC

`$FOAM_SRC/finiteVolume/fields/fvPatchFields/derived/fan/fanFvPatchFields.C:`

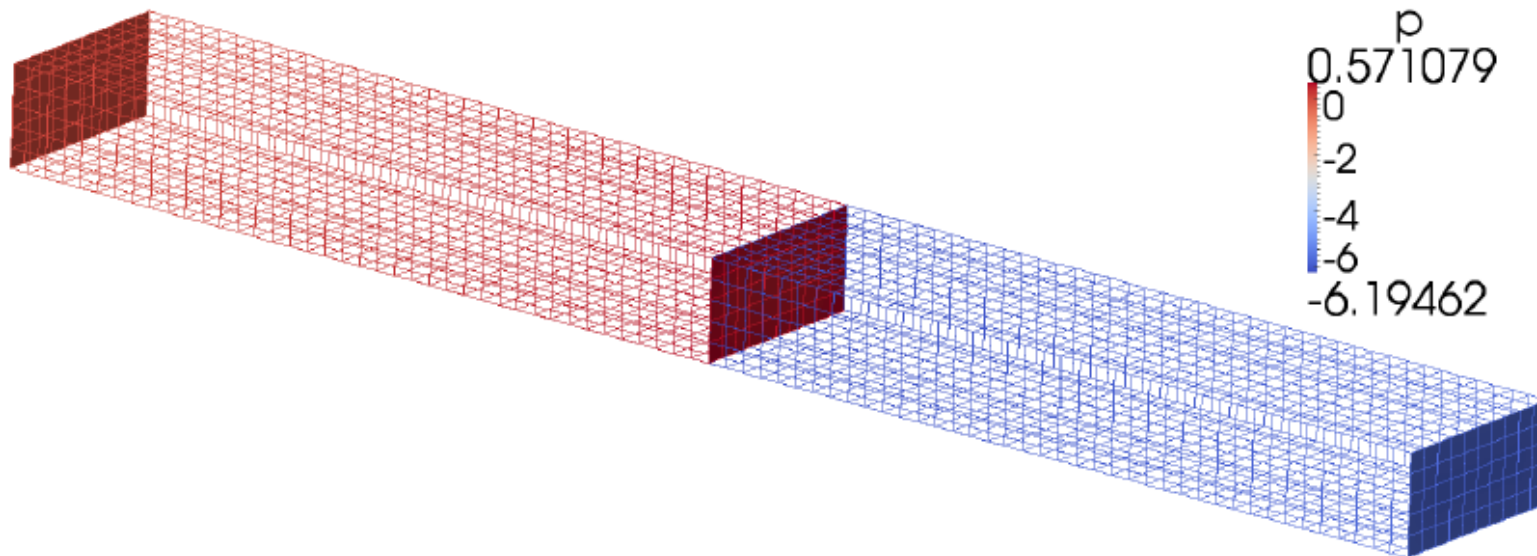
```
for(label i=1; i<f_.size(); i++)  
{  
    jump_ += f_[i]*pow(Un, i);  
}
```

The pressure jump is computed according to  $\Delta p = \sum_{i=0}^n f_i \cdot U^i$



Pressure in the flow direction.

## The fan BC: pressure



# 1. ファンP-Q(P-v)特性とは?

---

- 電子機器でファンを使っているものにファンを実際にモデル化する代わりにパッチ面の境界条件として定義できる
- P-Q特性を与える
- T-junctionFanの例題がOpenFOAMではTutorialにある。この例題の解説は関西CAE勉強会のTutorial Projectのページにある。

[https://sites.google.com/site/freshtamanegi/home/openfoam/tutorial/pimplefoam\\_TJunctionFan](https://sites.google.com/site/freshtamanegi/home/openfoam/tutorial/pimplefoam_TJunctionFan)

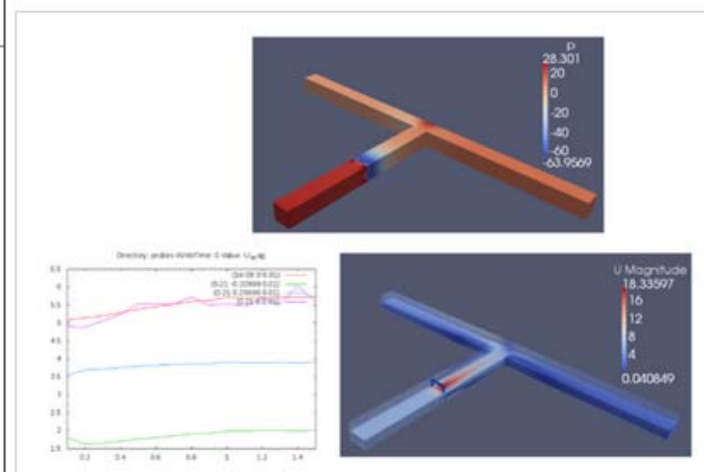
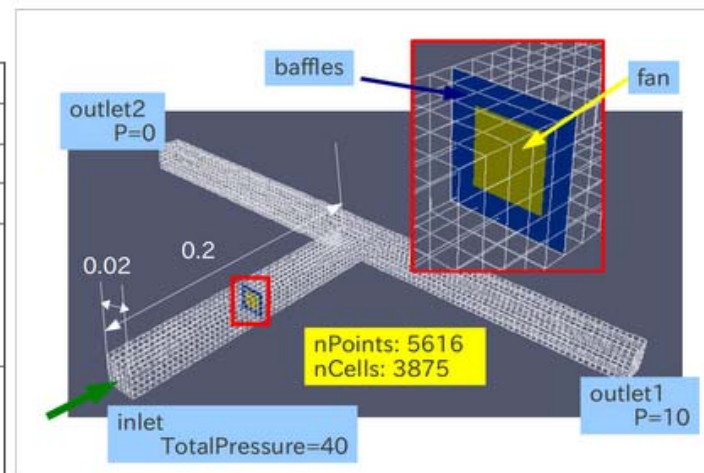
---

# 1. ファンP-Q(P-v)特性とは?

## pimpleFoam:T型分岐管の流れ(ファン付き)

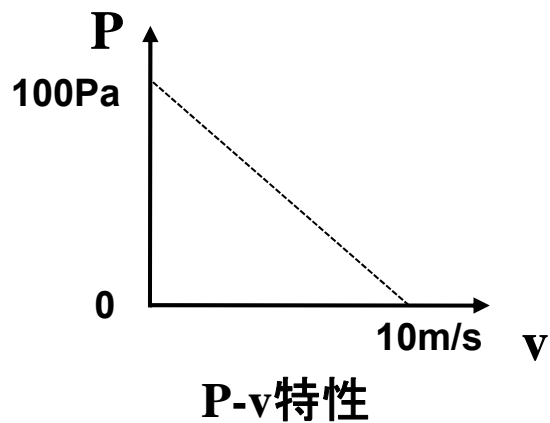
### 基本情報

Solver	pimpleFoam
Case	TjunctionFan (/tutorials/incompressible/pimpleFoam/TJunctionFan)
Version	2.1.x
Keyword	非定常, 乱流, TotalPressure, table, cyclic-fan
変数	U [m/s] p [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ] k [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ] epsilon [m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup> ]
定数	流体特性(constant/transportProperties) nu [m <sup>2</sup> /s] 乱流モデル(constant/RASProperties) RASModel kEpsilon
基礎方程式	
コメント	<p>ファン特性は、境界条件ファイル中、</p> <pre> type fan; patchType cyclic; jump uniform 0; f 2(100 -0.1); </pre> <p>によって設定されることになり、この場合はUn が通過流量とすると、jump_(昇圧量)が、  <math>jump = 100 - 0.1 * Un</math>                  として計算されることになる。</p> <p>(参考)                  src/finiteVolume/fields/fvPatchFields/derived/fan/fanFvPatchFields.C</p>



# 1.1.1. ファンP-Q特性

- TjunctionFanの形状を利用.
- 密度 $1\text{kg/m}^3$ , 粘性係数 $0.001\text{kg/m}\cdot\text{s}$ (層流定常解析).
- 入口全圧0規定, 出口静圧0規定.
- P-Q(P-v)特性を与えて流量を求める.

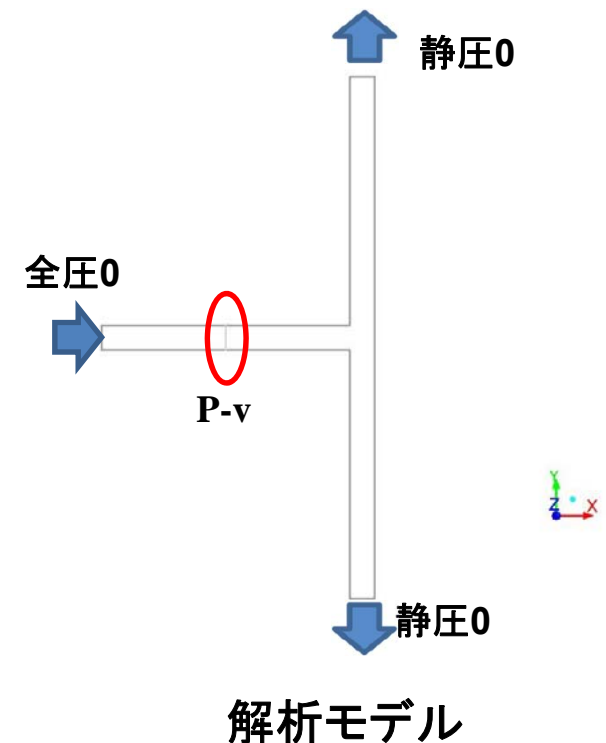


```
fan_half0
{
  type          fan;
  patchType     cyclic;
  jump          uniform 0;
  f             2(100 -10);
  value        uniform 0;
}

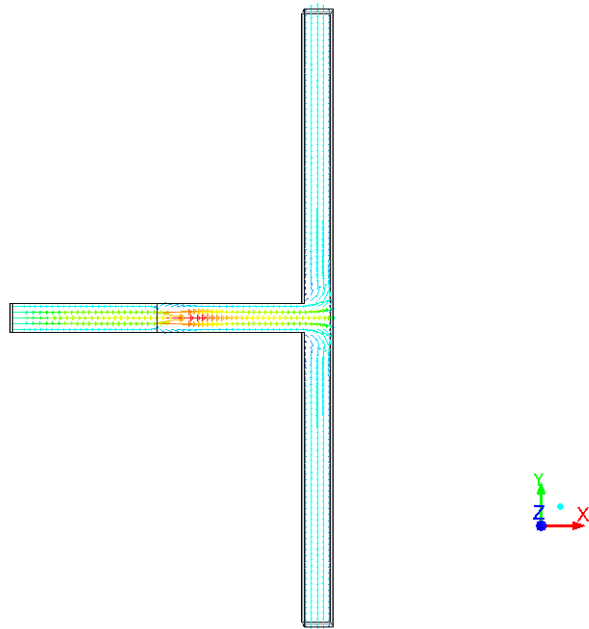
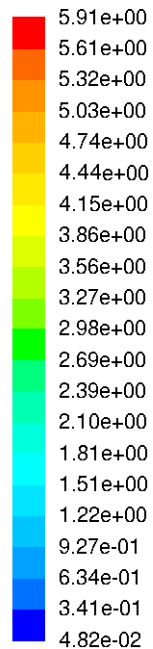
↓ (逆方向にしたい)

fan_half0
{
  type          fan;
  patchType     cyclic;
  jump          uniform 0;
  f             2(-100 10);
  value        uniform 0;
}
```

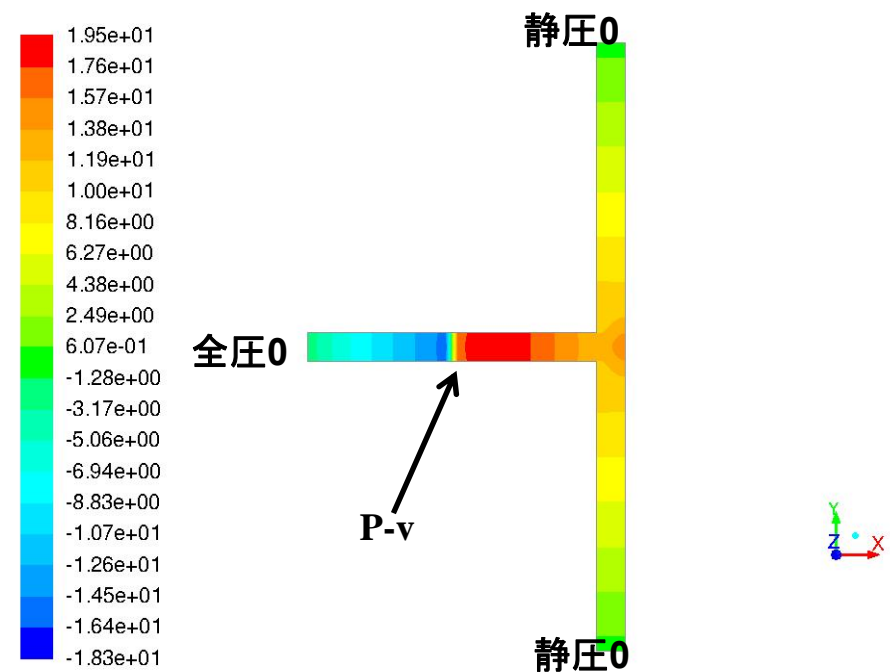
fanの定義(0/pファイル)



## 1.1.2. ファンP-Q特性 (FLUENT14.5 & simple)



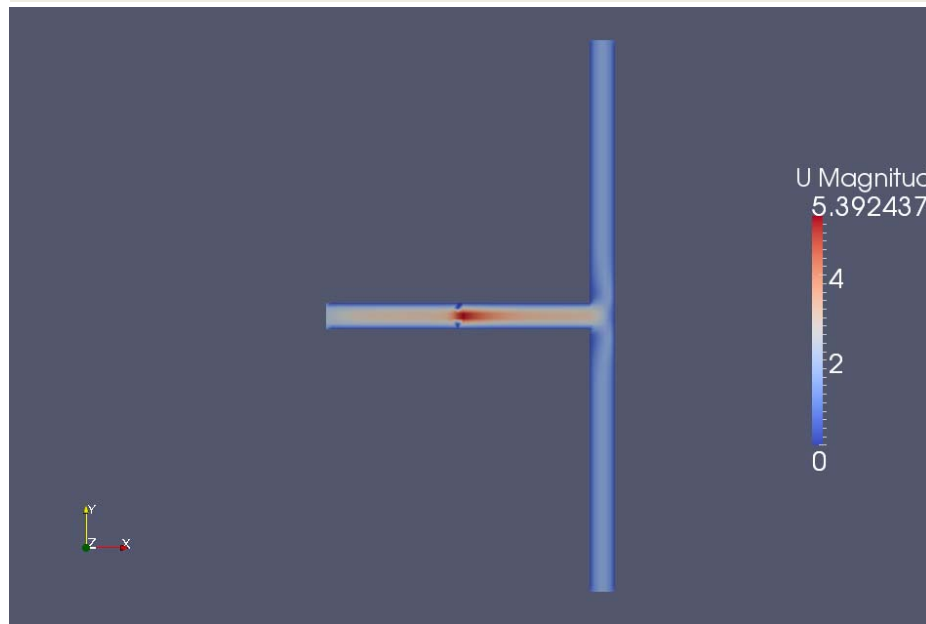
速度ベクトル表示



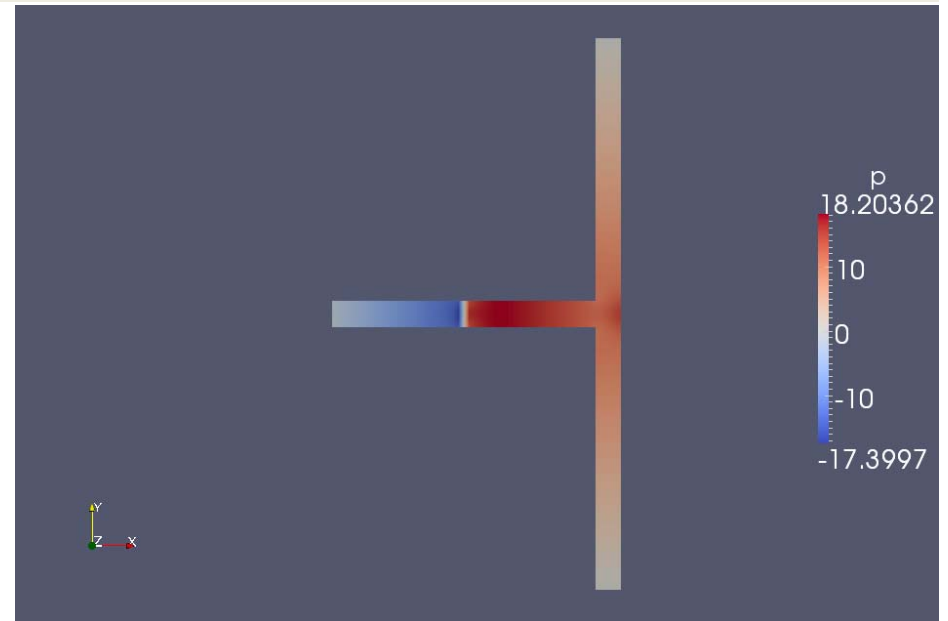
圧力コンター表示

- simple法による定常解析(緩和係数:U 0.5, p 0.3).
- P-v 特性設定のパッチの下流で圧力上昇.
- 流入量  $7.83 \times 10^{-4}$  kg/s.

# 1.1.3. ファンP-Q特性 (OpenFOAM2.2.1 & pimple)

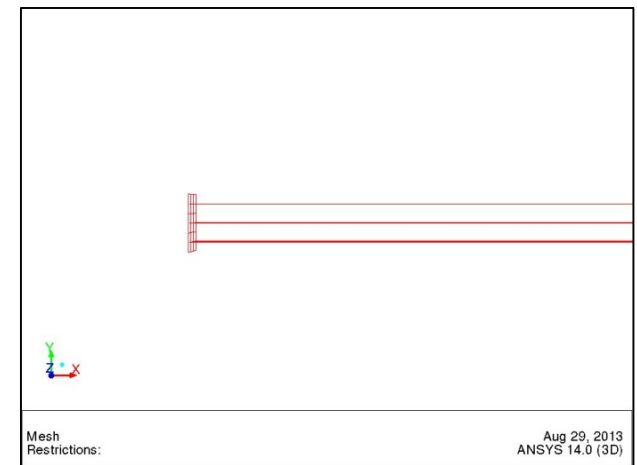


速度コンター表示



圧力コンター表示

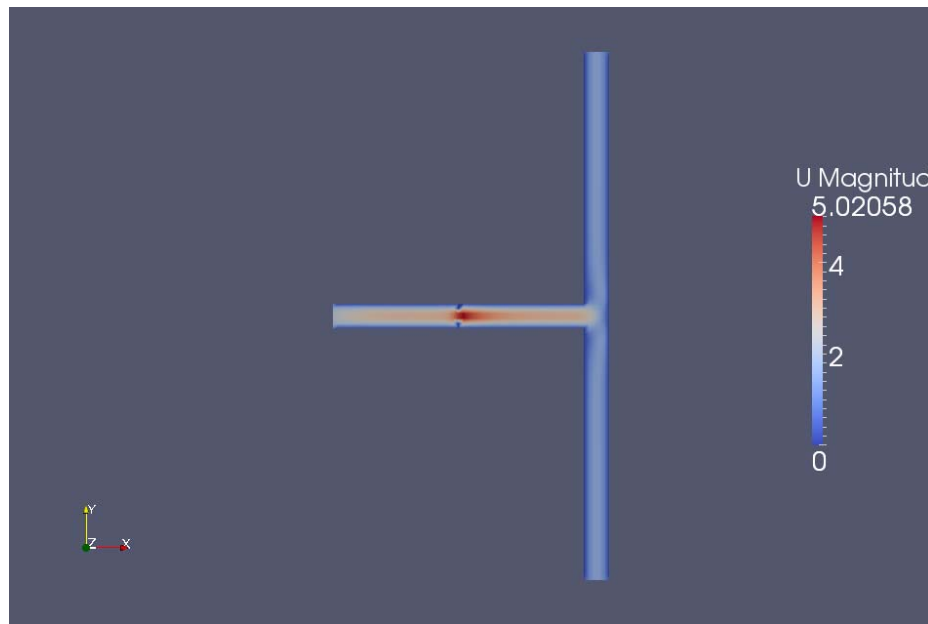
- pimpleによる定常解析(緩和係数:U 1, p 1) .
- P-v 特性設定のパッチの下流で圧力上昇.
- 流入量  $7.27 \times 10^{-4}$  kg/s.



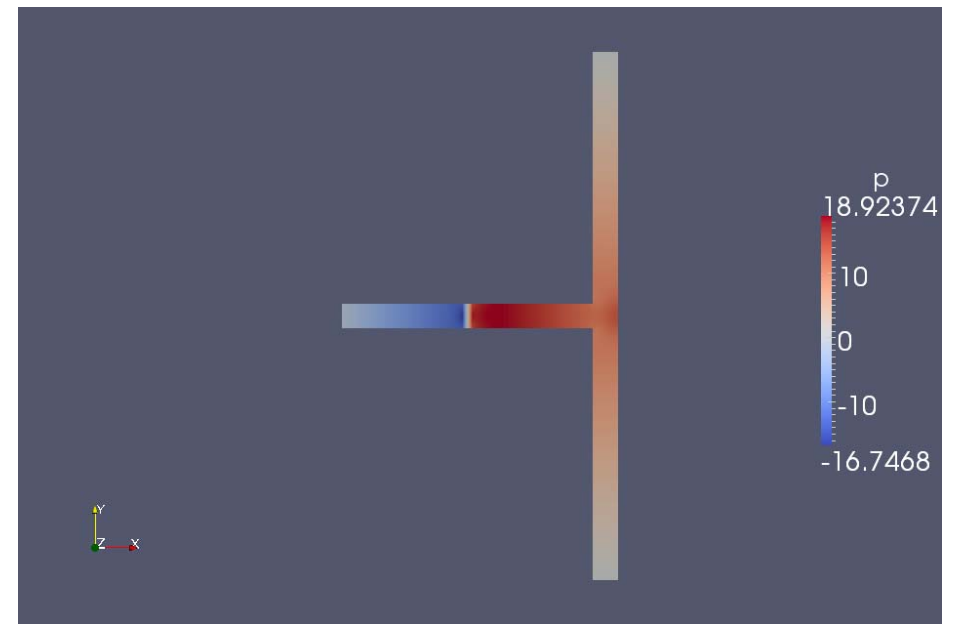
パッチfan\_half1のNormal



## 1.1.4. ファンP-Q特性 (OpenFOAM2.2.1 & simple)



速度コンター表示



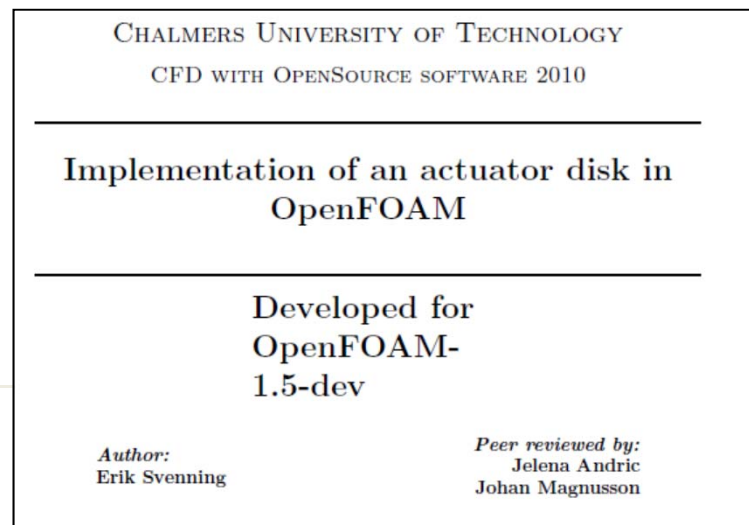
圧力コンター表示

- simpleによる定常解析(緩和係数:U 0.5, p 0.3) .
- P-v 特性設定のパッチの下流で圧力上昇.
- 流入量  $7.30 \times 10^{-4}$  kg/s.

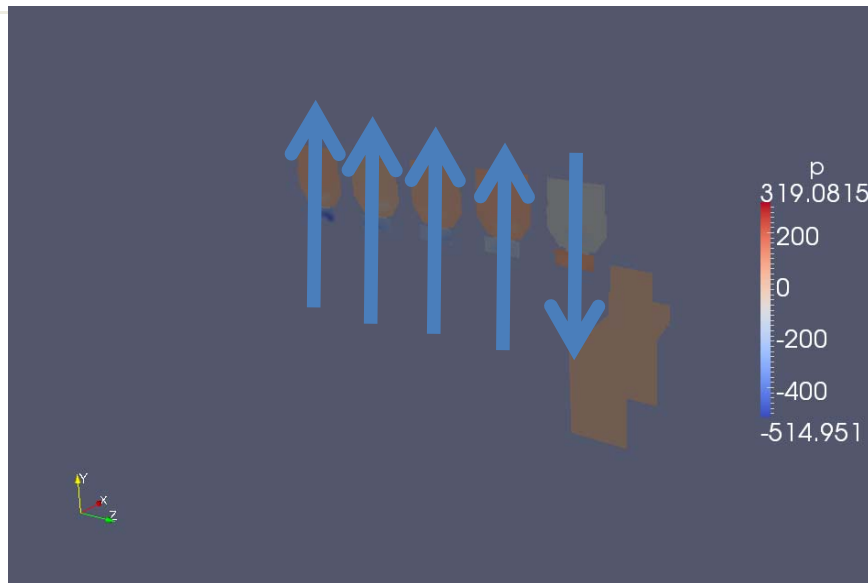
## 1.1.4. ファンP-Q特性（ここまでのまとめ）

### まとめ

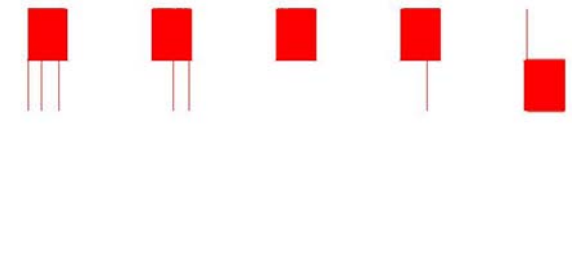
- TjunctionFANの例題モデルをFluent結果と比較しておおむね妥当な結果が得られた。
- 今後はより実用的なモデルで検証を行う予定
- 複数ファンでの検証（課題→次ページ）
- 旋回力は与えられない  
（与えられるようにカスタマイズしたレポートはネットに上がっている）



## 2.1.1. ファンP-Q特性（複数ファン）



圧力コンター表示(x一定断面)



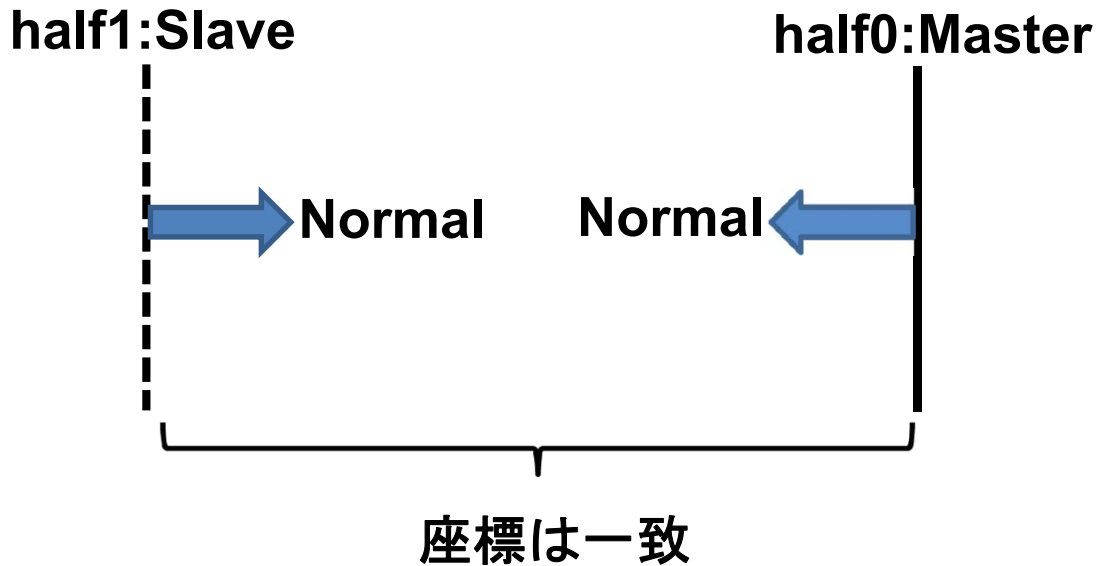
パッチfan\_half1のNormal

- 四角い箱の5つの上面にファン設定.
- 圧力上昇の方向がパッチfan\_half1のNormalに一致していそう.



- ファンの方向を自由に設定(入力)できねばならない.
- 現状では具体的にどうすればいいか？

## 2.1.2. ファンP-Q特性（圧力上昇の方向）



```
/*-----*- C++ -*-----**
|=====|
|%% / Field | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox |
|%% / Operation | Version: 2.1.x |
|%% / And | Web: www.OpenFOAM.org |
|%%/ Manipulation |
**-----**

FoamFile
{
  version 2.0;
  format ascii;
  class polyBoundaryMesh;
  location "constant/polyMesh";
  object boundary;
}
// ***** //

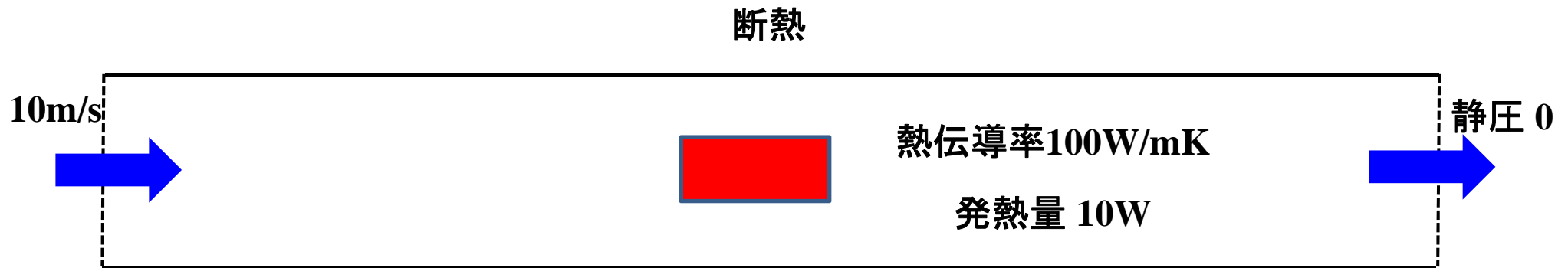
7
(
  . . . . .
  fan_half0
  {
    type cyclic;
    nFaces 9;
    startFace 10132;
    matchTolerance 0.0001;
    neighbourPatch fan_half1;
  }
  fan_half1
  {
    type cyclic;
    nFaces 9;
    startFace 10141;
    matchTolerance 0.0001;
    neighbourPatch fan_half0;
  }
  . . . . .
)
// ***** //
```

圧力上昇が逆の場合はMasterとSlaveを入れ替える。

boundary ファイル

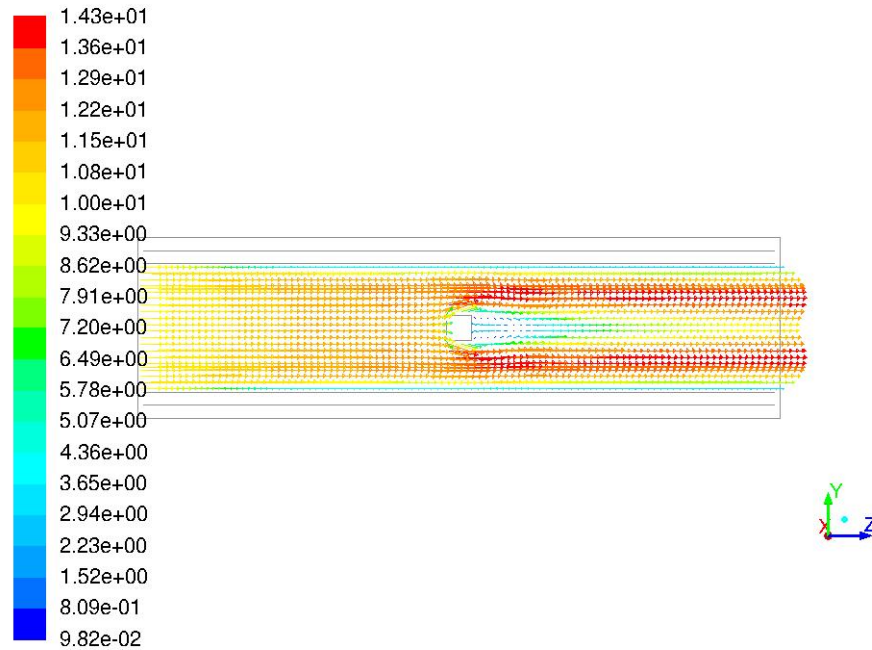
- さきにあるのが”Master”。
- Slave側に対してMaster側の圧力が上昇する。
- それぞれのNormalは相手側を向く。
- Normalがそろわない場合がある(課題)。

## 2.2.1. 強制対流（輻射なし）

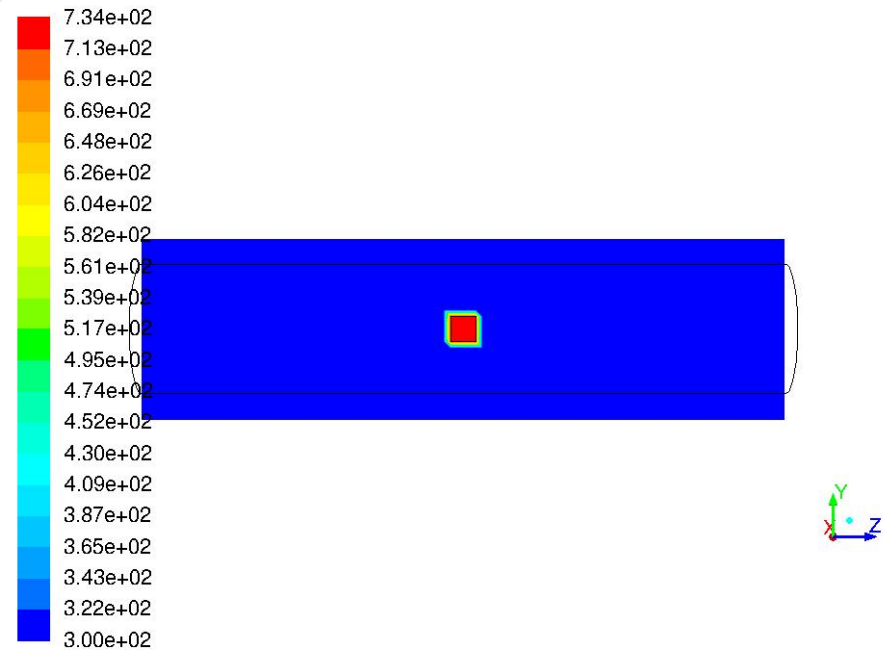


- 非圧縮性定常解析.
- 密度 $1\text{kg/m}^3$ , 粘性係数  $0.001\text{kg/m}\cdot\text{s}$ (層流).
- 入口流速  $10\text{m/s}$ 規定, 出口静圧  $0$ 規定.
- まず流れ場を求め, そのあと温度のみ解析.

## 2.2.2. 強制対流 (FLUENT14.5)



速度ベクトル表示



温度コンター表示

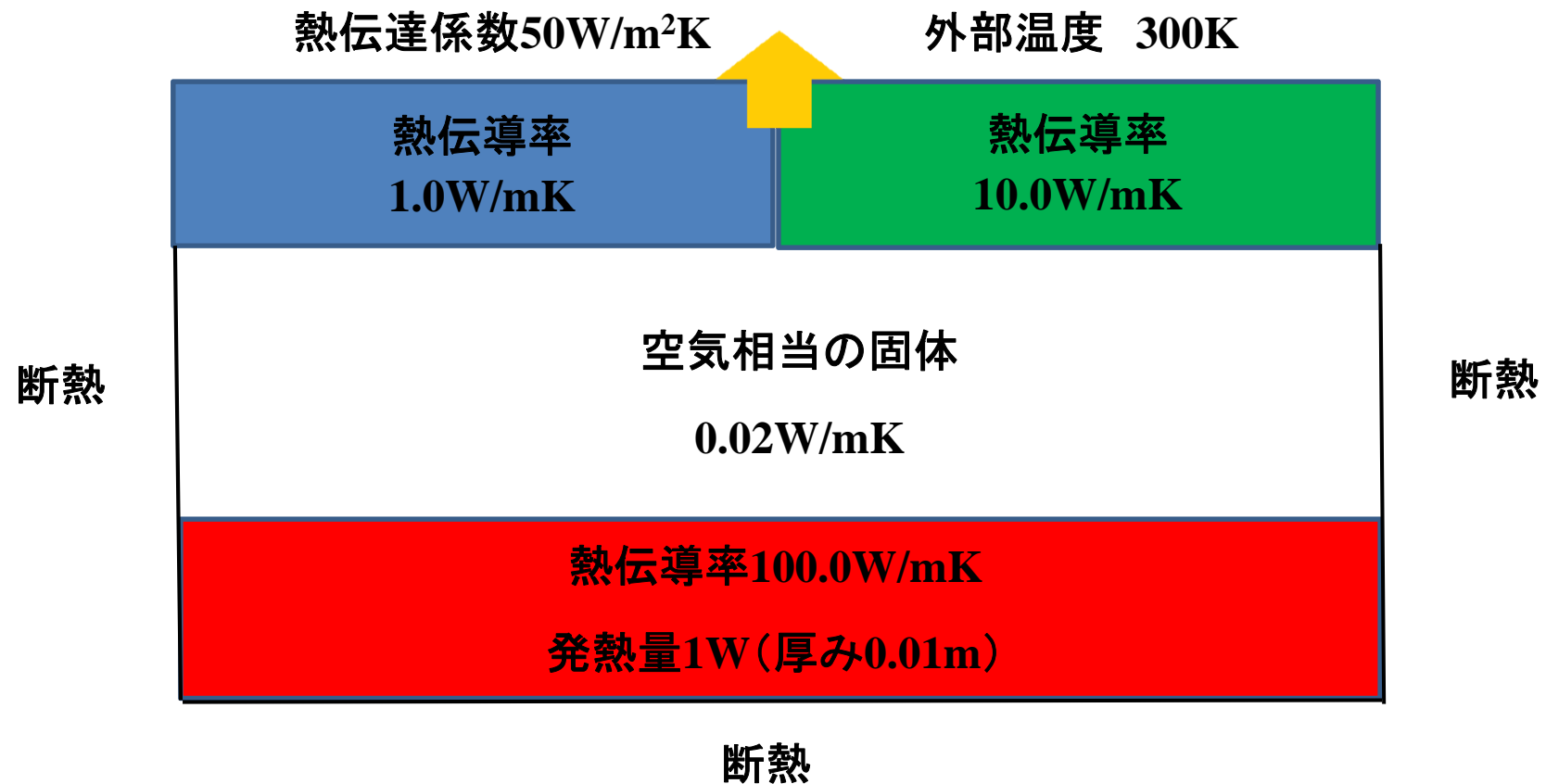
- 温度上昇  $334^{\circ}\text{C}$ .
- 排熱  $9.91\text{W}$ .
- 発熱  $10\text{W}$ なので、熱収支誤差  $0.9\%$ .

## 2.2.3. 強制対流 (OpenFOAM)

---

**未実施→9月実施予定**

## 2.3.1. 固体熱伝導解析



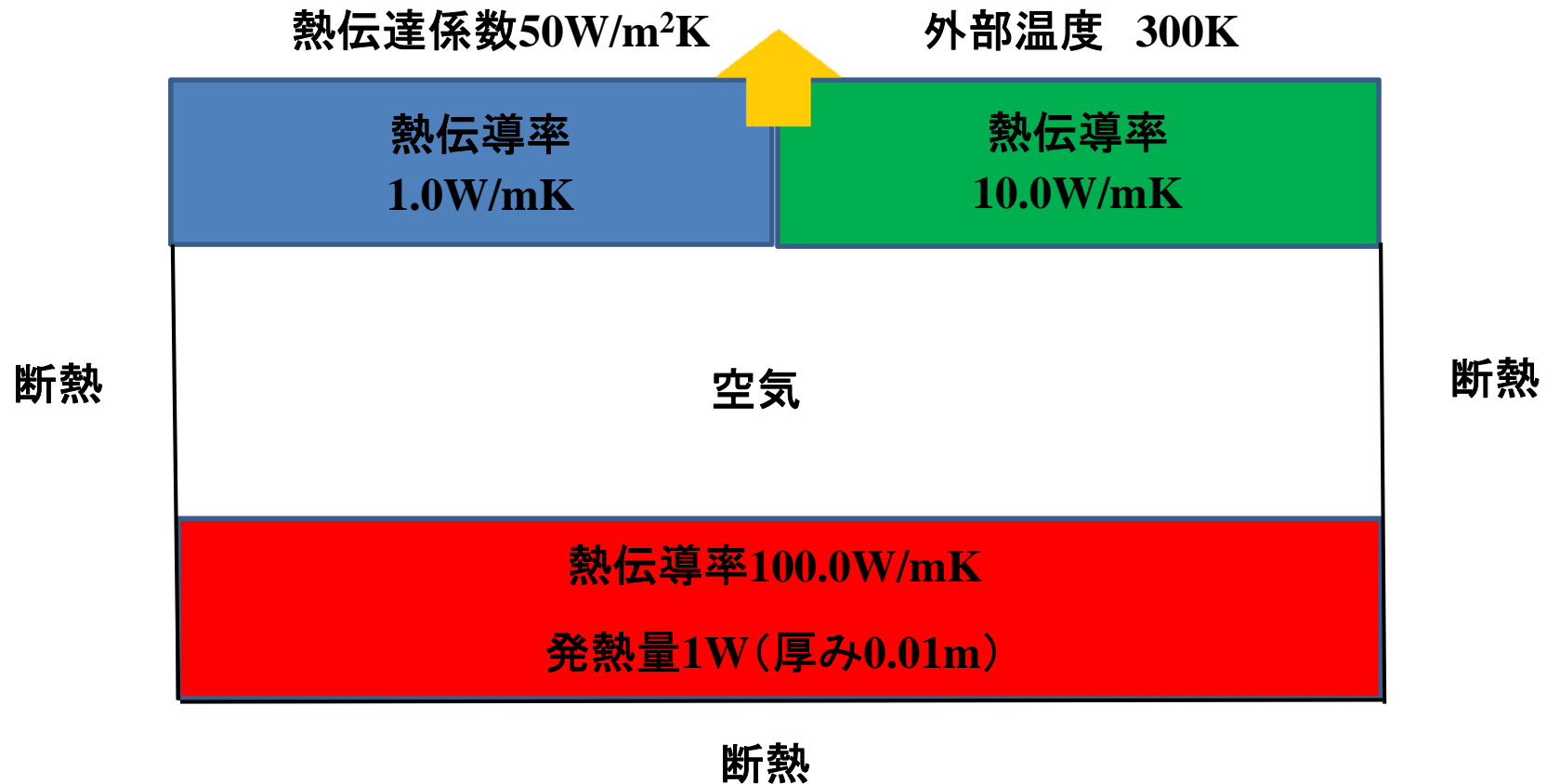
- 固体熱伝導定常解析.
- $0.02 \sim 100 \text{ W/mK}$  までの熱伝導率. 熱収支の確認.
- $0.5 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$  の解析領域 ( $100 \times 40$  メッシュ).



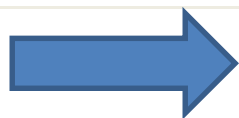
固体の複数材料のみの解析はOpenFOAMではどうする？



## 2.3.2. 自然対流（輻射なし）



- 密度のみ温度依存性考慮，定常解析.
- 空気，粘性係数  $1.789 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$  (層流).
- $0.5 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$  の解析領域 ( $100 \times 40$ メッシュ).



ChtmultiResionSimpleFoamを使う  
HeatSourceの定義はどうするか？

## 2.3.2. 自然対流（輻射なし）

---

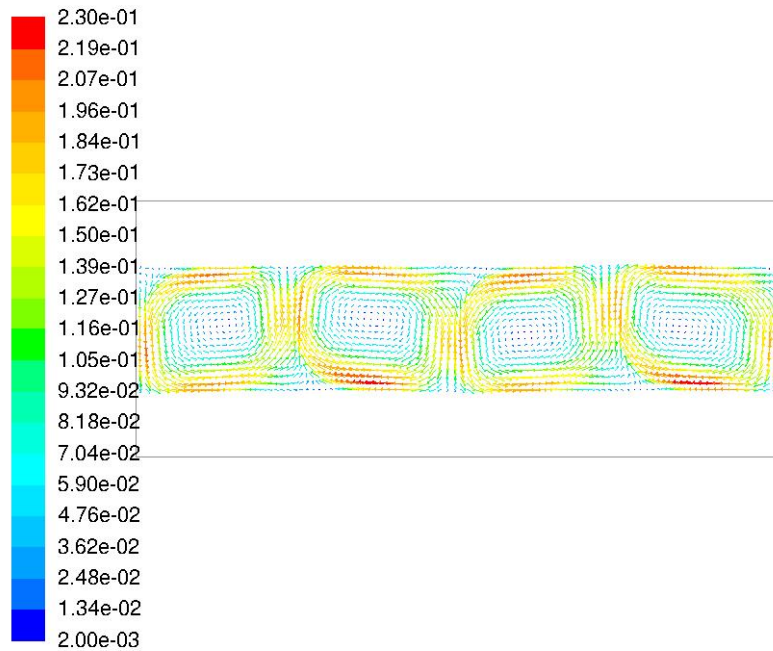
-固体の発熱はOpenFOAMでは標準機能では与えられないようだ？ではどうする？

- 1) この例題の場合は流体には1面しか接触していないので面に熱流束を与える。つまり温度勾配をTをfixedgradientで定義する。
- 2) HeatSource項を追加する。下記↓を参考にすれば可能か？

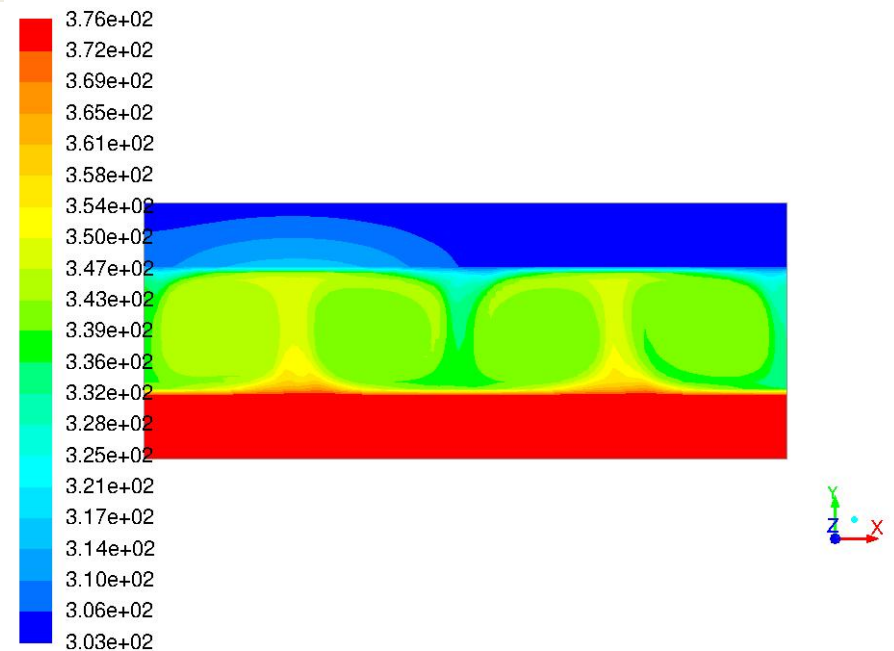
<http://www.opencae.jp/attachment/wiki/OpenFOAM-study-group-for-beginner%28ja%29/20120421OFBeginner.pdf>

---

## 2.3.3. 自然対流 (FLUENT14.5)



速度ベクトル表示



温度コンター表示

- 温度上昇  $76^{\circ}\text{C}$ .
- 排熱  $0.991\text{W}$  (100サイクル時).
- 発熱  $1\text{W}$ なので, 熱収支誤差  $0.9\%$ .

## 2.3.4. 自然対流 (OpenFOAM)

---

**未実施→9月実施予定**

### 3. まとめ

	FLUENT 14.5	OpenFOAM	iconCFD	Helyx
ファン	○	<b>pimple&amp;simple</b> ○ (V2.2.1)		
層流平板 境界層				
固体熱伝導				
強制対流 (輻射なし)	○			
自然対流 (輻射なし)	○			
強制対流 (輻射考慮)				
自然対流 (輻射考慮)				