

# Conjugate Heat Transfer

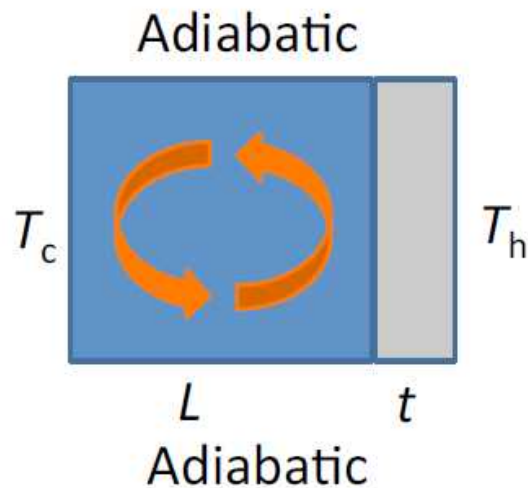
ポンプ設計における熱流体解析

宮部 正洋

# 高木先生の資料(第11回 勉強会@関西)

## Conjugate heat transfer problem

Kaminski & Prakash, Int. J. Heat Mass Transfer (1986)



### Condition

$$Pr = 0.7 \text{ (air)}$$

$$Gr = 10^3, 10^5, 10^6, 5 \times 10^6, 10^7$$

$$t/L = 0.2, 0.4$$

$$(k_w L)/(k_l t) = 5, 25, 50, \infty$$

$$N_x \times N_y = 40 \times 30$$

### Results

Stream line, Isotherm

Temp. on solid-liquid interface

Local heat flux

Nusselt number

参考にさせて頂きました

# 片山さんの資料(第17回 勉強会@関西)

第17回OpenFOAM勉強会@関西  
2012.10.13

Conjugate heat transfer problem solved by chtMultiRegion

片山 達也

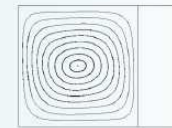
## 解析結果

### 3. Stream Line ( $t/L = 0.4$ )

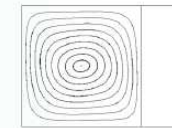
➤  $Gr=10e3$



$k_w L / k_t t = 5$



$k_w L / k_t t = 25$



$k_w L / k_t t = 50$

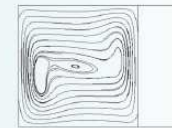


$k_w L / k_t t = \infty$

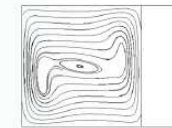
➤  $Gr=10e5$



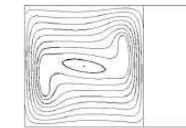
$k_w L / k_t t = 5$



$k_w L / k_t t = 25$



$k_w L / k_t t = 50$



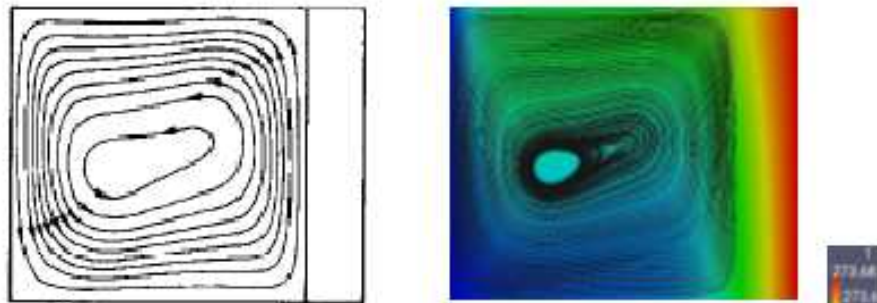
$k_w L / k_t t = \infty$

第17回OpenFOAM勉強会@関西

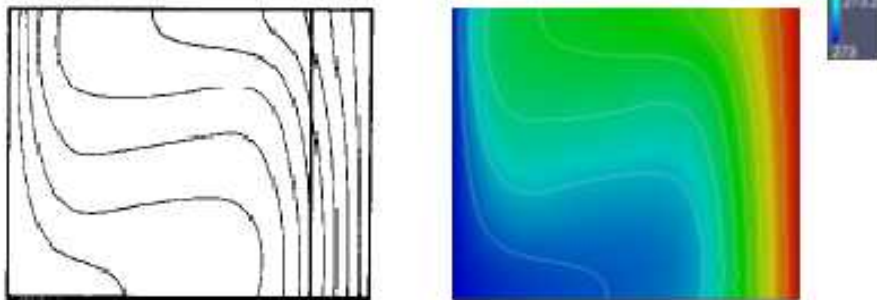
8

参考にさせて頂きました

# Validation (chtMultiRegionSimpleFoam)

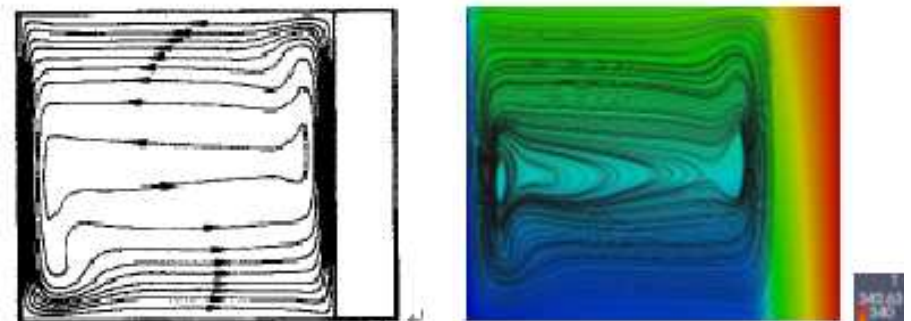


(a) Streamline ↵

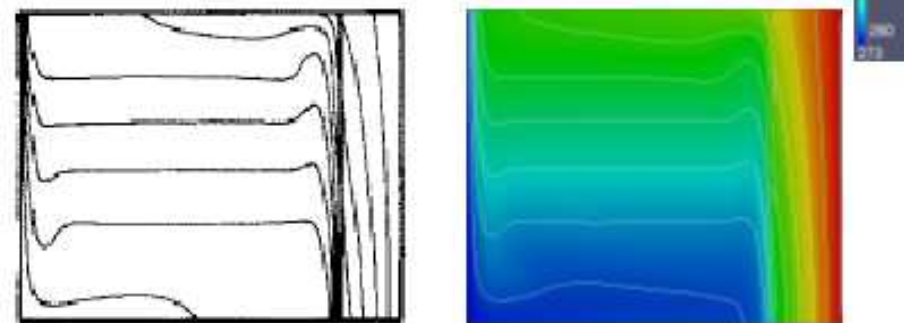


(b) Isotherm ↵

Fig.6 Flow and temperature fields for  $Gr=10^5$  and  $t/L=0.2$  with  $k_w L/k_f A=5$  ↵  
Result of the reference (left) and OpenFOAM (right) ↵



(a) Streamline ↵

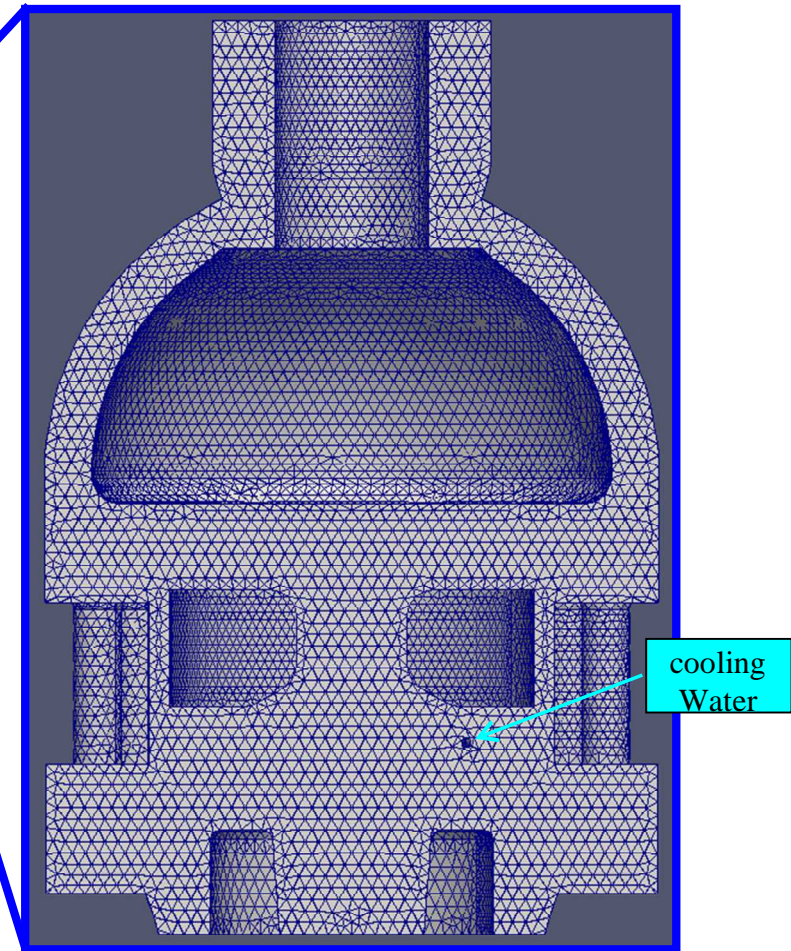
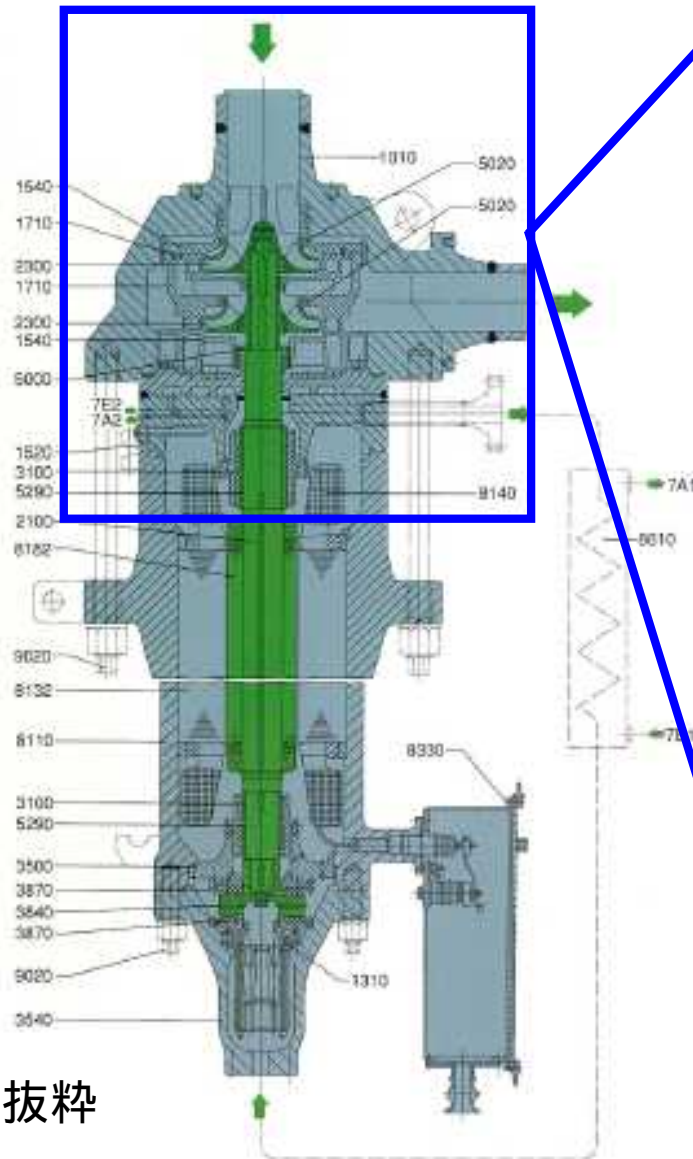


(b) Isotherm ↵

Fig.9 Flow and temperature fields for  $Gr=10^7$  and  $t/L=0.2$  with  $k_w L/k_f A=25$  ↵  
Result of the reference (left) and OpenFOAM (right) ↵

# ボイラ循環ポンプの構造と解析モデル

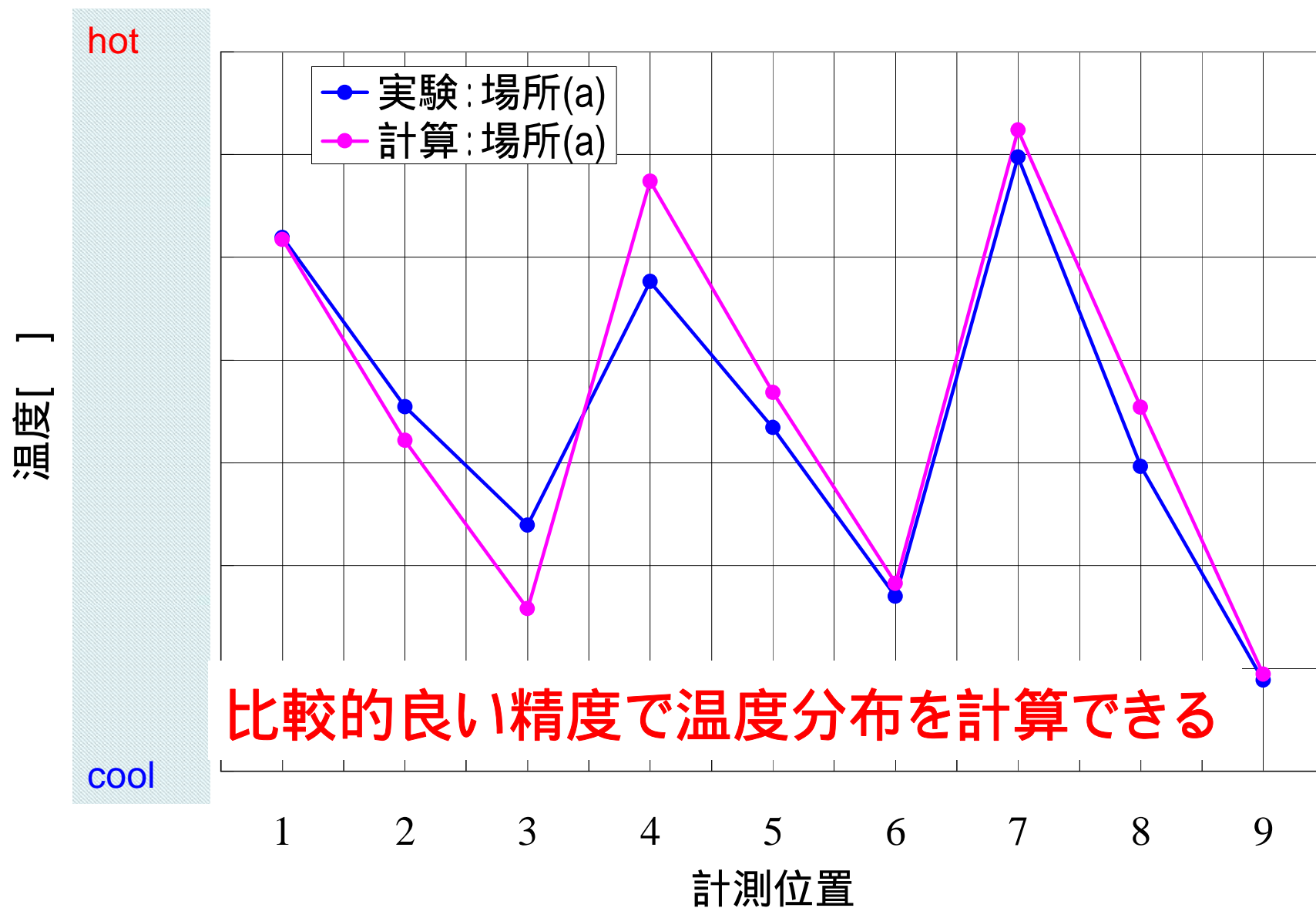
No.	名 称
1010	ポンプケーシング
1310	ガイドリング
1520	ヒートバリア
1540	チュウカンプレート
1710	ガイドベーン
2100	シャフト
2300	インペラ
3100	スベリジクウケ
3500	ベアリングブラケット
3540	スラストベアリングケース
3840	スラストカラ
3870	スラストパッド
5000	リング
5020	ケースウエアリング
5290	メタルスリーブ
6810	高圧冷却器
8110	モータケーシング
8132	ステータコア
8140	ステータコイル
8182	ロータコア
8330	ターミナルボックス
9020	スタッドボルト
7E1	高圧冷却器用 低圧冷却水入口
7A1	高圧冷却器用 低圧冷却水出口
7E2	ヒートバリア用 低圧冷却水入口
7A2	ヒートバリア用 低圧冷却水出口



解析モデル

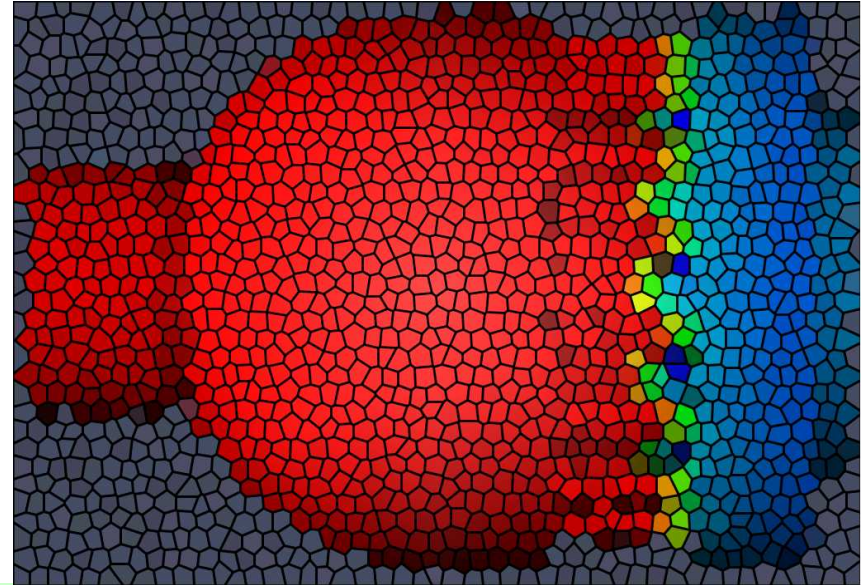
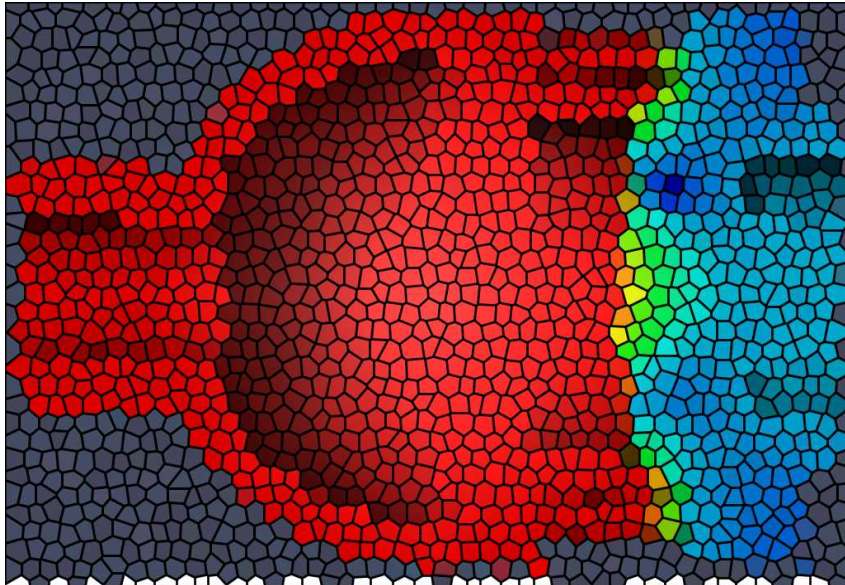
カタログより抜粋

# 検証事例1 (実験と解析の比較)

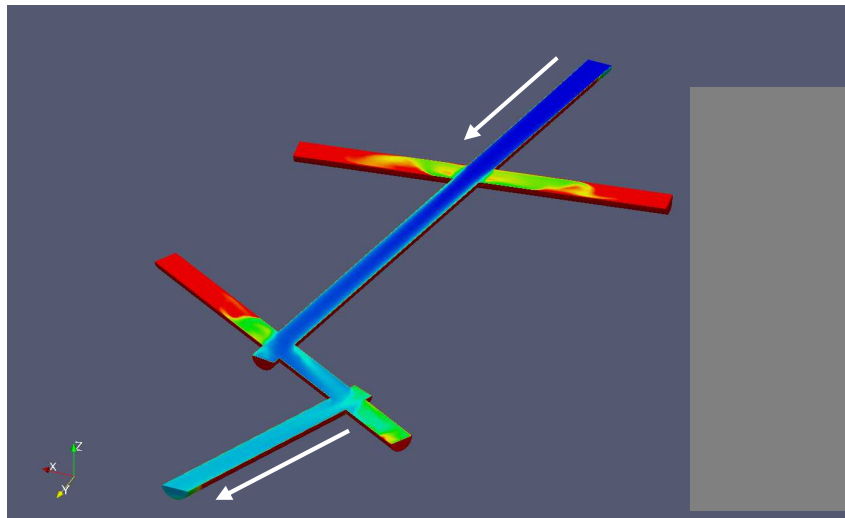


(この資料では計測位置は非公開とさせていただきます)

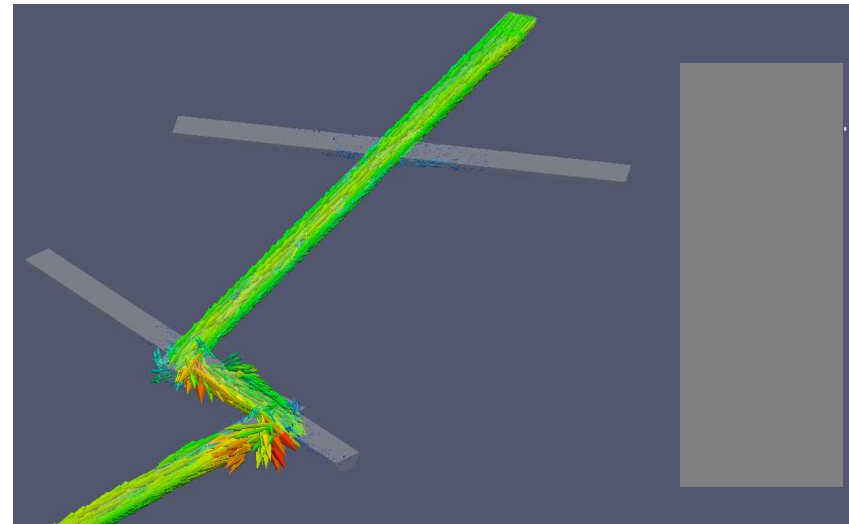
# 計算結果



ケーシング温度分布図 (ぼかし入り)

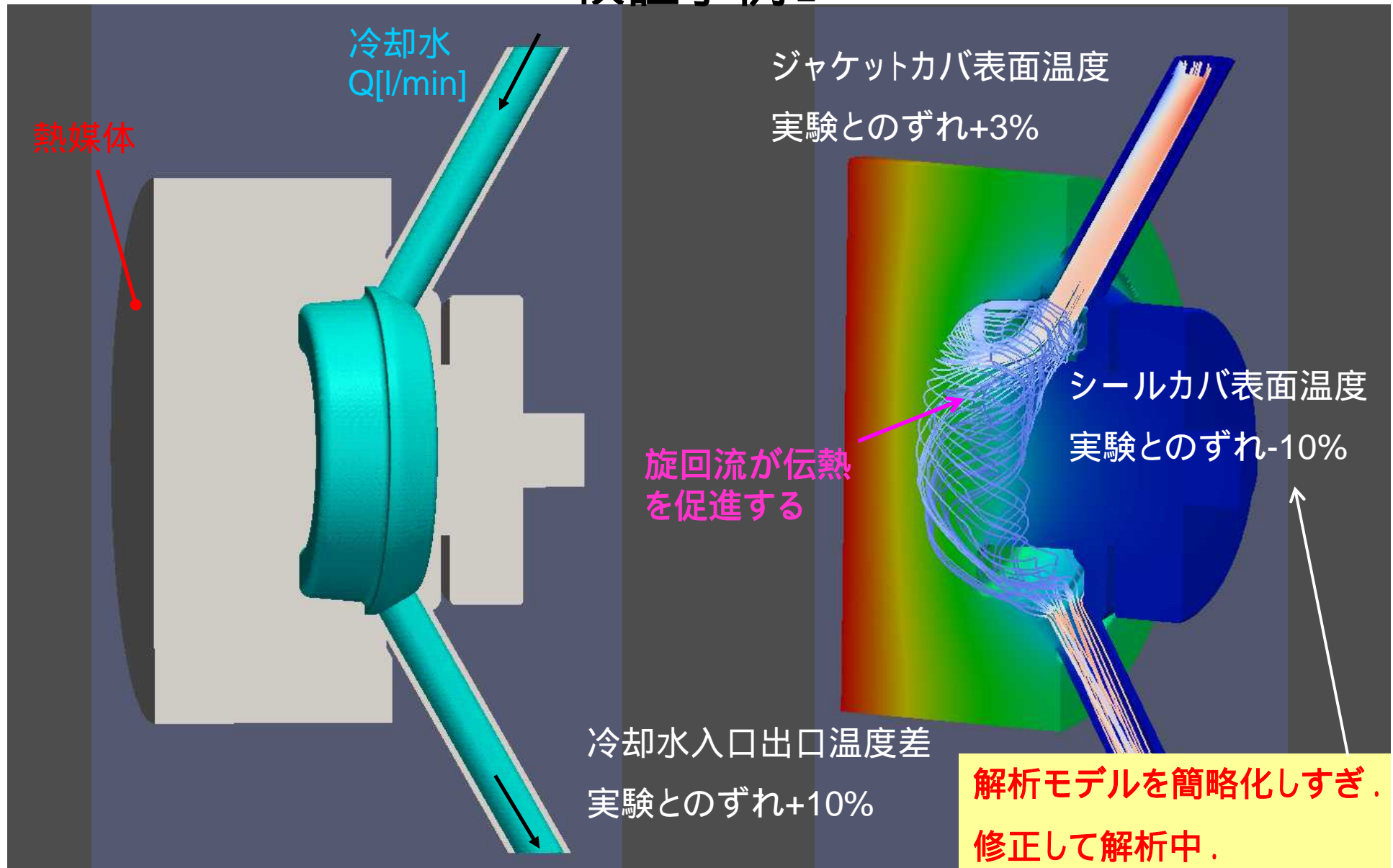


冷却水の温度分布



冷却水の数値ベクトル

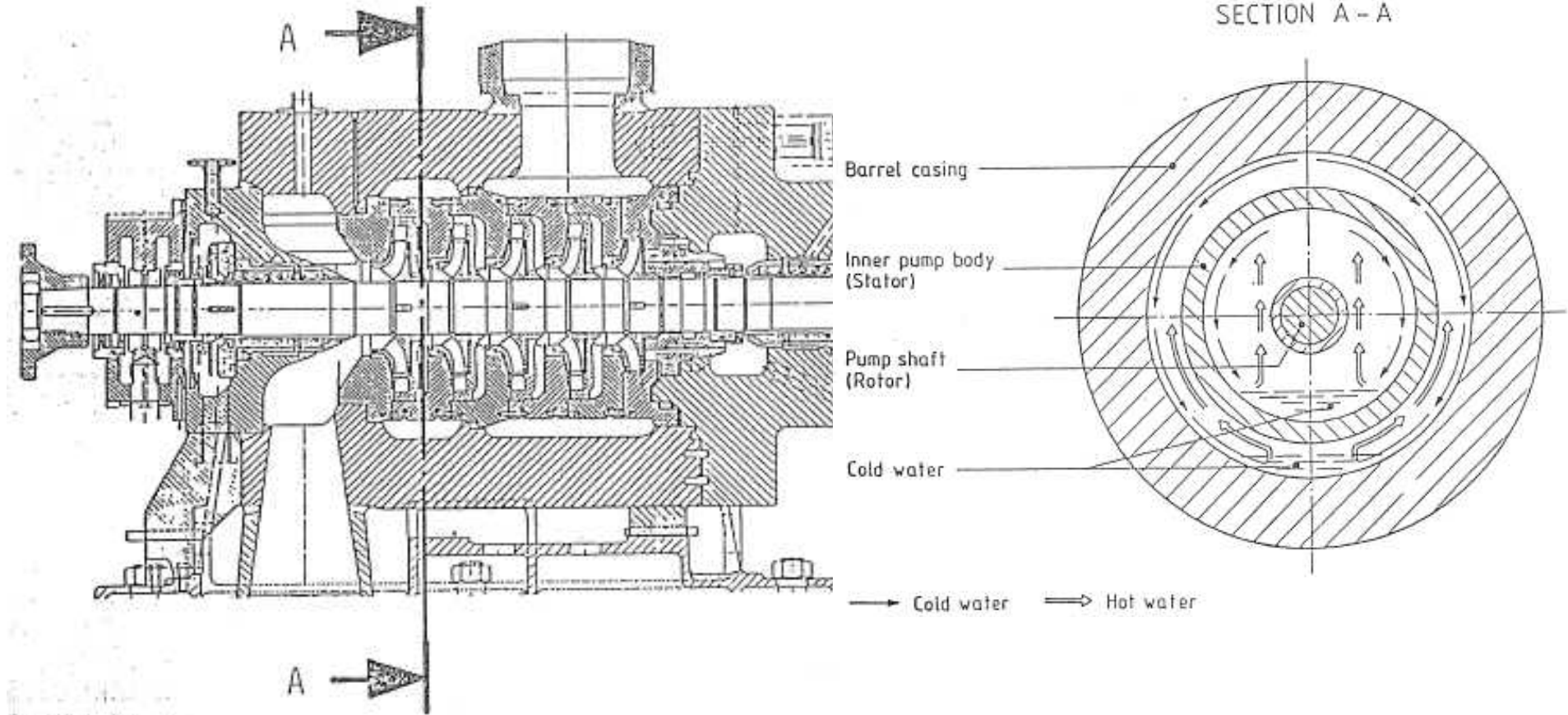
## 検証事例2



ポンプケーシングの温度分布と water-jacket 内の流れ



# Thermal siphon



文献によると給水ポンプを停止した後にthermal siphon circuits が形成されるらしい

# Thermal siphon

文献には  
「停止後数時間で数十度の温度差ができる」とある  
さて、本当か？ simulation で調べる

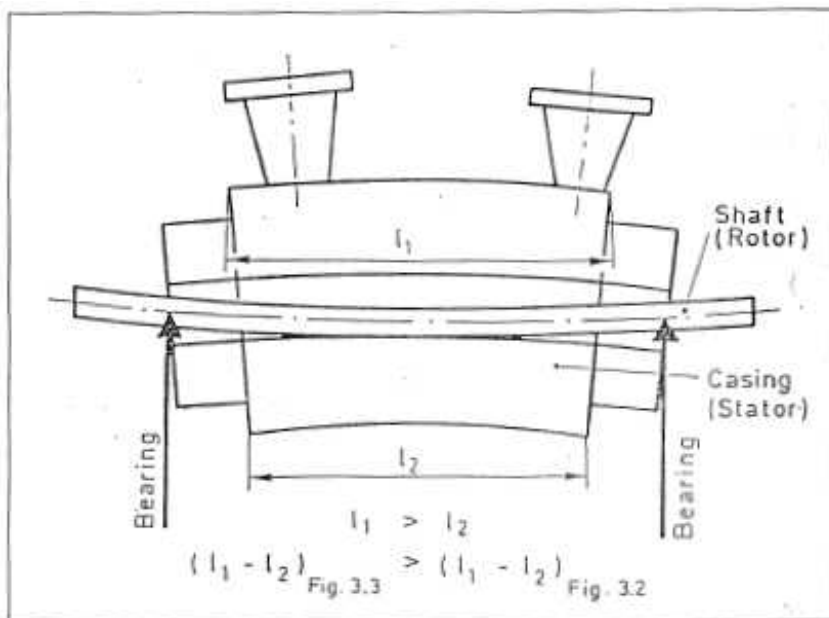
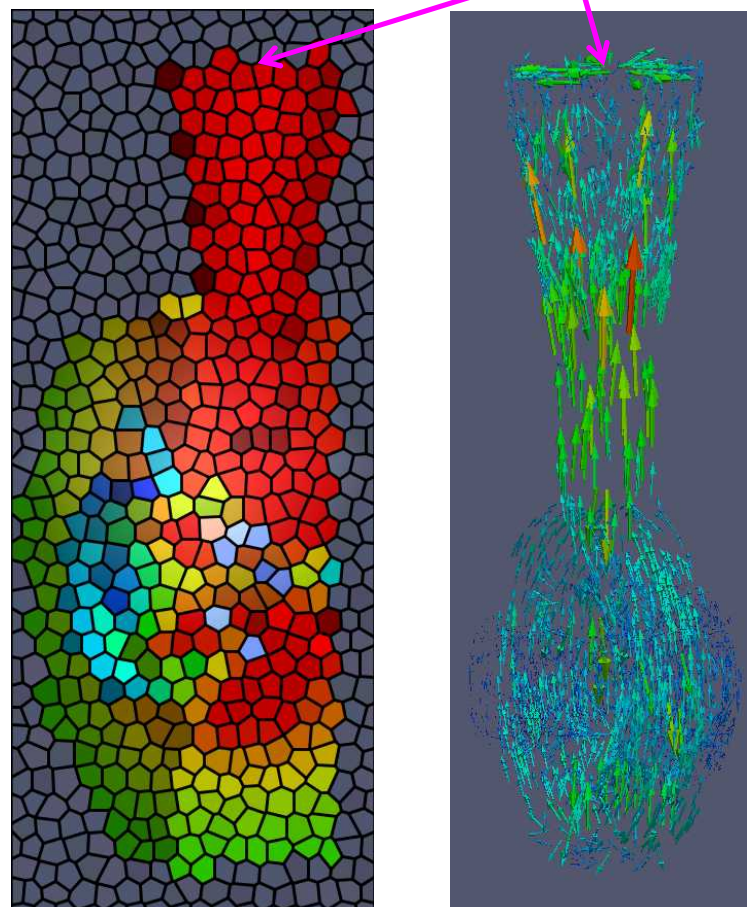


Figure 3-3  
Thermal deformation of pump parts after a hot pump has been stopped for a certain time (in the figure the shaft is shown turned by half a revolution).



ケーシング温度分布と熱流体ベクトル図

本日の質問:

大気自然対流を考慮する場合の境界条件は？

外部境界はどの程度の大きさが必要でしょう？

# エラーが出て止まる 原因: deltaTが急激に小さくなる

```
faceSource massFlowField_outlet output:
  sum(outlet_Exportedfromblender) for phi = 0.267

faceSource Temperature_outlet output:
  average(outlet_Exportedfromblender) for T = 323.67869
  average(outlet_Exportedfromblender) for U = (0.0080448597 0.24945215 -0.13971147)

Region: coolingWater Courant Number mean: 0.030626422 max: 0.49946978
Region: hotWater Courant Number mean: 2.8623083e+88 max: 3.3638659e+91
Region: domain0 Diffusion Number mean: 9.2590254e-06 max: 0.00013005611
deltaT = 1.1433731e-95
--> FOAM Warning :
  From function Time::operator++()
  in file db/Time/Time.C at line 1039
  Increased the timePrecision from 6 to 7 to distinguish between timeNames at time 1.3815385
Time = 1.381538

Solving for fluid region coolingWater
diagonal: Solving for rho, Initial residual = 0, Final residual = 0, No Iterations 0
DILUPBiCG: Solving for Ux, Initial residual = 3.5216662e-17, Final residual = 3.5216662e-17, No Iterations 0
DILUPBiCG: Solving for Uy, Initial residual = 3.489602e-17, Final residual = 3.489602e-17, No Iterations 0
DILUPBiCG: Solving for Uz, Initial residual = 3.4388386e-17, Final residual = 3.4388386e-17, No Iterations 0
DILUPBiCG: Solving for h, Initial residual = 3.4960431e-15, Final residual = 3.4960431e-15, No Iterations 0
Min/max T:289 351.99751
GAMG: Solving for p_rgh, Initial residual = 1, Final residual = 0.0037169377, No Iterations 3
diagonal: Solving for rho, Initial residual = 0, Final residual = 0, No Iterations 0
time step continuity errors (coolingWater): sum local = 7.7365895e-17, global = -6.8839235e-17, cumulative = -2.3264925e-09
GAMG: Solving for p_rgh, Initial residual = 0.035701018, Final residual = 5.3154001e-08, No Iterations 22
diagonal: Solving for rho, Initial residual = 0, Final residual = 0, No Iterations 0
time step continuity errors (coolingWater): sum local = 7.7365895e-17, global = -6.8839235e-17, cumulative = -2.3264926e-09

Solving for fluid region hotWater
diagonal: Solving for rho, Initial residual = 0, Final residual = 0, No Iterations 0
DILUPBiCG: Solving for Ux, Initial residual = 0.00060000725, Final residual = 6.800534e-08, No Iterations 2
DILUPBiCG: Solving for Uy, Initial residual = 0.00044845213, Final residual = 1.326347e-08, No Iterations 2
DILUPBiCG: Solving for Uz, Initial residual = 0.0016059328, Final residual = 3.9392061e-09, No Iterations 3
#0 Foam::error::printStack(Foam::Ostream&) in "/home/miyabe/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/platforms/linux64GccDPOpt/lib/libOpenFOAM.so"
#1 Foam::sigFpe::sigHandler(int) in "/home/miyabe/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/platforms/linux64GccDPOpt/lib/libOpenFOAM.so"
#2 in "/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6"
#3 double Foam::sumProd<double>(Foam::UList<double> const&, Foam::UList<double> const&) in "/home/miyabe/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/platforms/linux64GccDPOpt/lib/libOpenFOAM.so"
#4 Foam::PBiCG::solve(Foam::Field<double>&, Foam::Field<double> const&, unsigned char) const in "/home/miyabe/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/platforms/linux64GccDPOpt/lib/libOpenFOAM.so"
#5 Foam::fvMatrix<double>::solveSegregated(Foam::dictionary const&) in "/home/miyabe/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/platforms/linux64GccDPOpt/lib/libfiniteVolume.so"
#6 Foam::fvMatrix<double>::solve(Foam::dictionary const&) in "/home/miyabe/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/platforms/linux64GccDPOpt/bin/chtMultiRegionFoam"
#7
  in "/home/miyabe/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/platforms/linux64GccDPOpt/bin/chtMultiRegionFoam"
#8 __libc_start_main in "/lib/x86_64-linux-gnu/libc.so.6"
#9
  in "/home/miyabe/OpenFOAM/OpenFOAM-2.2.x/platforms/linux64GccDPOpt/bin/chtMultiRegionFoam"
miyabe@2LACIE:~/OpenFOAM/miyabe-2.2.x/run/pump/WX/6_exeCht_Unsteady/m4_77$ paraview
Inconsistency detected by ld.so: dl_close.c: 759: dl_close: Assertion 'map->l_init_called' failed!
miyabe@2LACIE:~/OpenFOAM/miyabe-2.2.x/run/pump/WX/6_exeCht_Unsteady/m4_77$
```

勉強会当日に下記アドバイスを頂戴しました  
ありがとうございます！

- ・熱流体の出入り口を作るとよい

(閉じた領域だと不安定になり発散した経験あり)

境界条件はInletOutlet系にするとよい

- ・ケーシングと大気との間に熱伝達率を設定するとよい

これで熱収支を計算する。流れは解かない。

(この設定がないと実験と計算が合わなかった経験あり)

その後、モデルと境界条件を修正しました。

お陰様で解析は上手く行き、Thermal siphon 形成中です。

進捗は追ってご報告いたします。

以上