

複雑構造体内へ浸潤する液体 の流動可視化

大阪公立大学・金田

近年の自動車電動化

(自動車用動力伝達技術研究組合 (TRAMI))



↓
モーターの高出力化と小型化

↓
モーター発熱密度の増大・温度の上昇 (減磁等の問題)

効率的な除熱
が必要

現状：冷却液 (ATF) をノズルから流下して発熱部 (ステータコイル) を冷却

液体挙動は不明，複数ノズル穴などで試行錯誤？

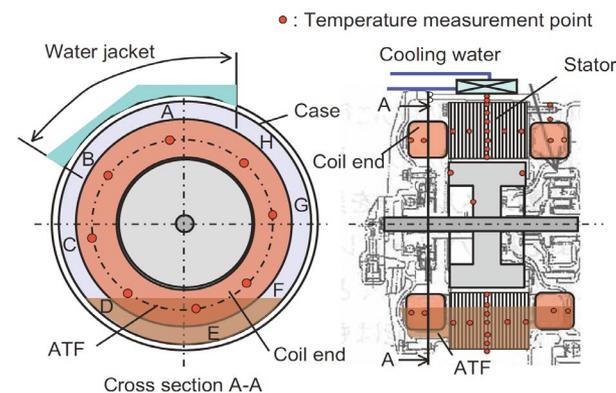


Fig. 4 Motor for evaluation to measure temperature distribution

*鬼丸 貞久ほか、ハイブリッド電気自動車(HEV)のATFを用いたモーター冷却構造の熱解析、デンソーテクニカルレビュー,vol13,No.1,21,2001

現象の解明と最適化のための知見の収集



モータに通電⇒ステータコイル部分：ジュール加熱



簡易構造を通電加熱，冷却液を流下．構造内の冷却液を可視化



実験概要

期間：2022年11月15-17日（2泊3日）

場所：京都大学複合原子力科学研究所B-4照射口

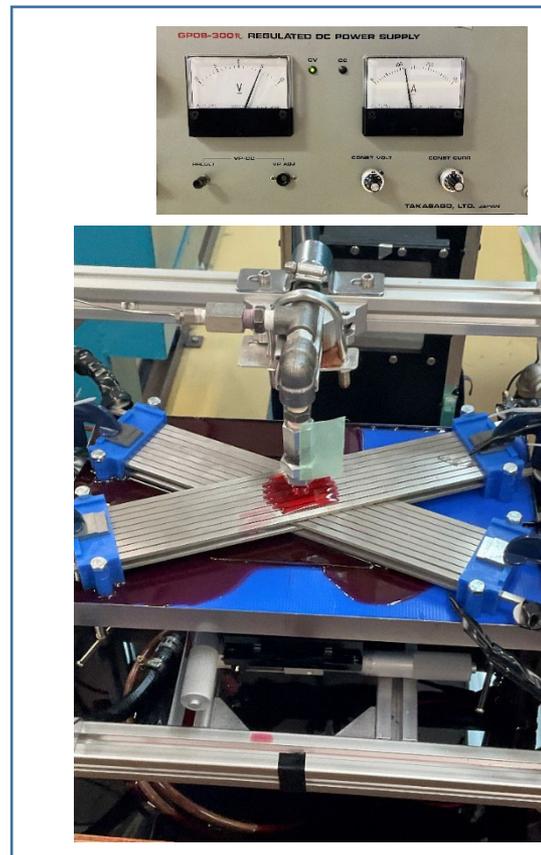
実施者：金田，李

実験装置

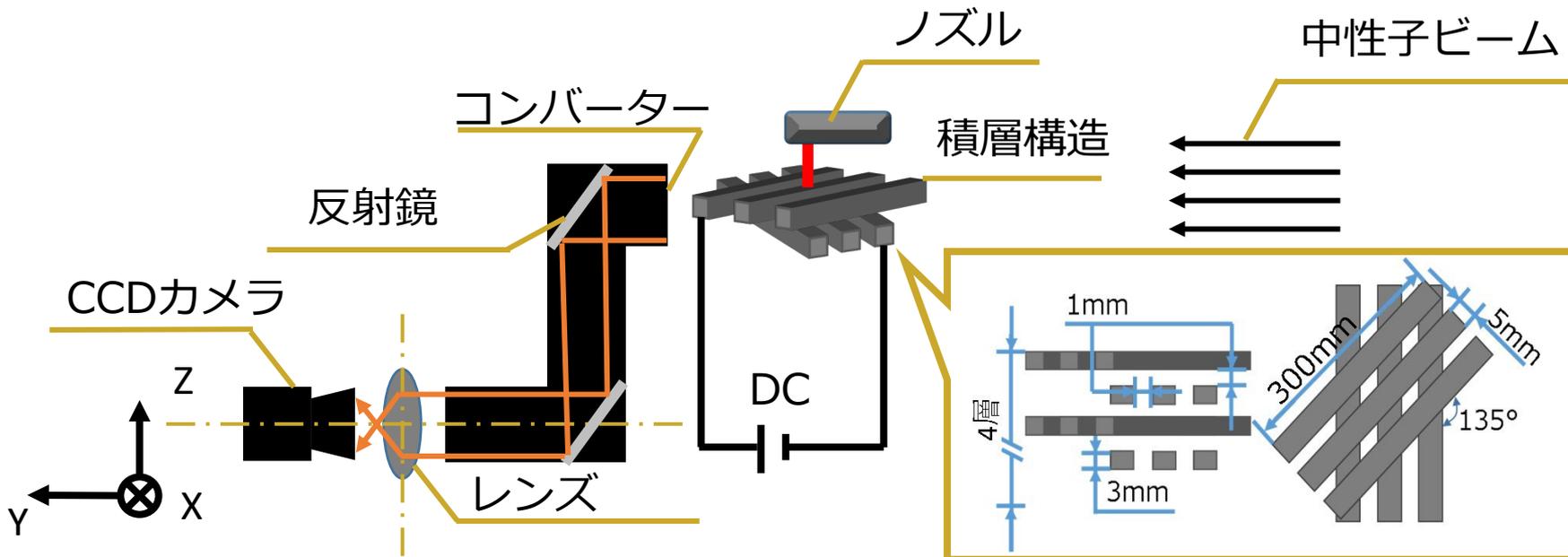
積層数：4（45° 交差）アルミ製

直流電源：施設のものを拝借

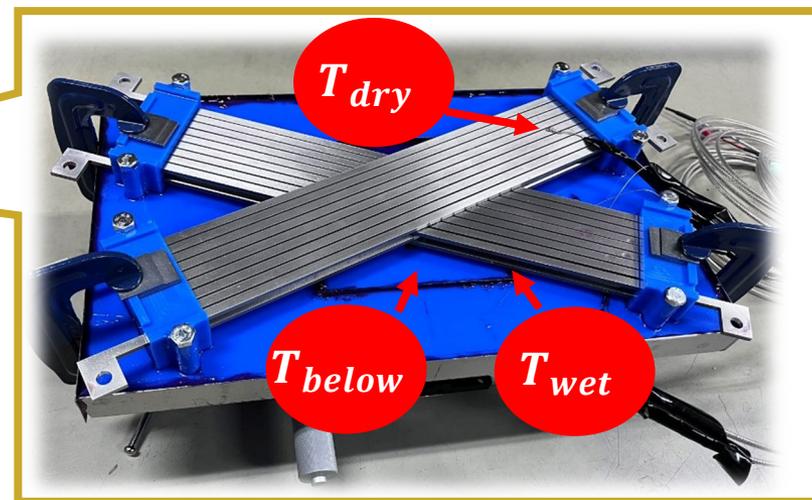
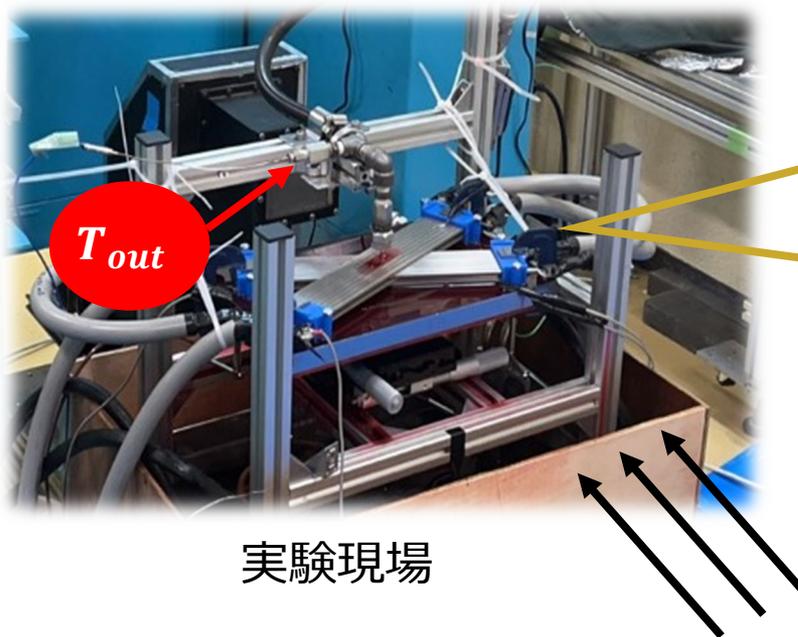
周囲温度：約25℃



ATF流量(mL/min)	流下温度(℃)	通電量
500	35	0W
	50	$1.6V \times 40A = \text{約}64W$
	50	$2V \times 50A = \text{約}100W$ $2.9 \times 70A = \text{約}200W$
650	35	0W
	50	$2V \times 50A = \text{約}100W$
	50	$2.9 \times 70A = \text{約}200W$



積層構造の寸法



積層構造実物

実験パラメータ

角棒	Al角棒(面取りなし)
流量[ml/min]	500, 650
液温[°C]	35, 50
直流電源出力[W]	0, 66, 100, 200

$$\eta = \frac{I_0 e^{-\mu_{ATF} d_{ATF} - \mu_{Al} d_{Al} - \mu_{Air} d_{Air}}}{I_0 e^{-\mu_{Al} d_{Al} - \mu_{Air} d_{Air}}}$$

$$V_{pixel} = \left(-\frac{\ln(\eta)}{\mu_{ATF}} \right) \times L^2_{pixel}$$

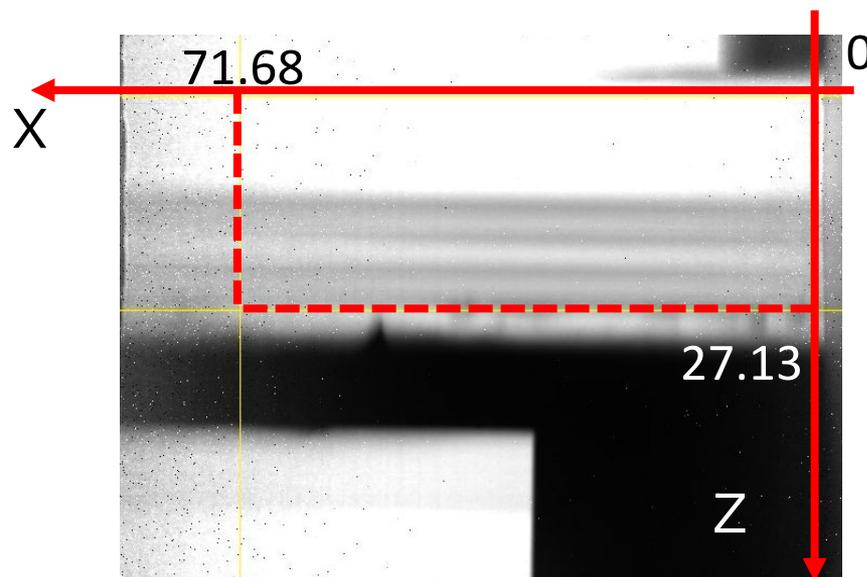
V_{pixel} :ピクセルごとATFの体積[mm³]

d_x :照射方向の物質の厚み[mm]

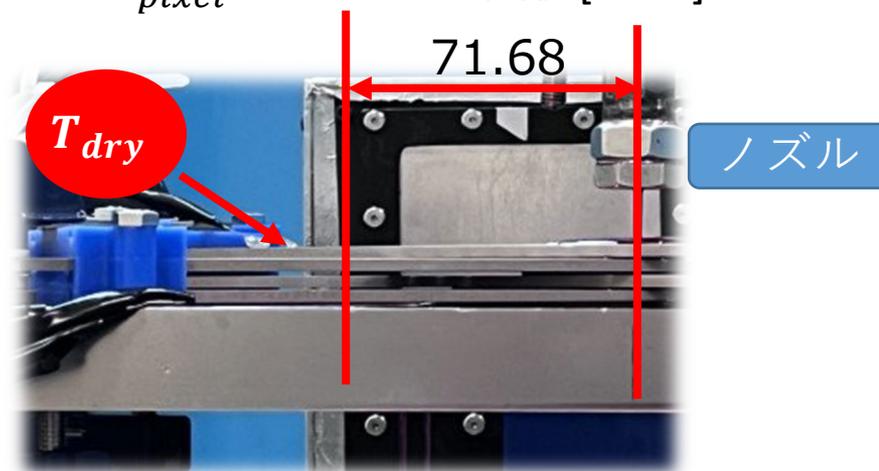
μ_x :物質の減衰係数[/mm]

L^2_{pixel} :ピクセルの面積[mm²]

単位:mm



計測範囲



実物範囲



100W_500ml/min



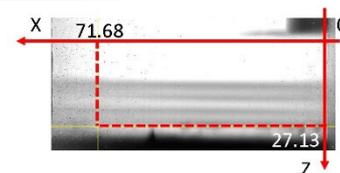
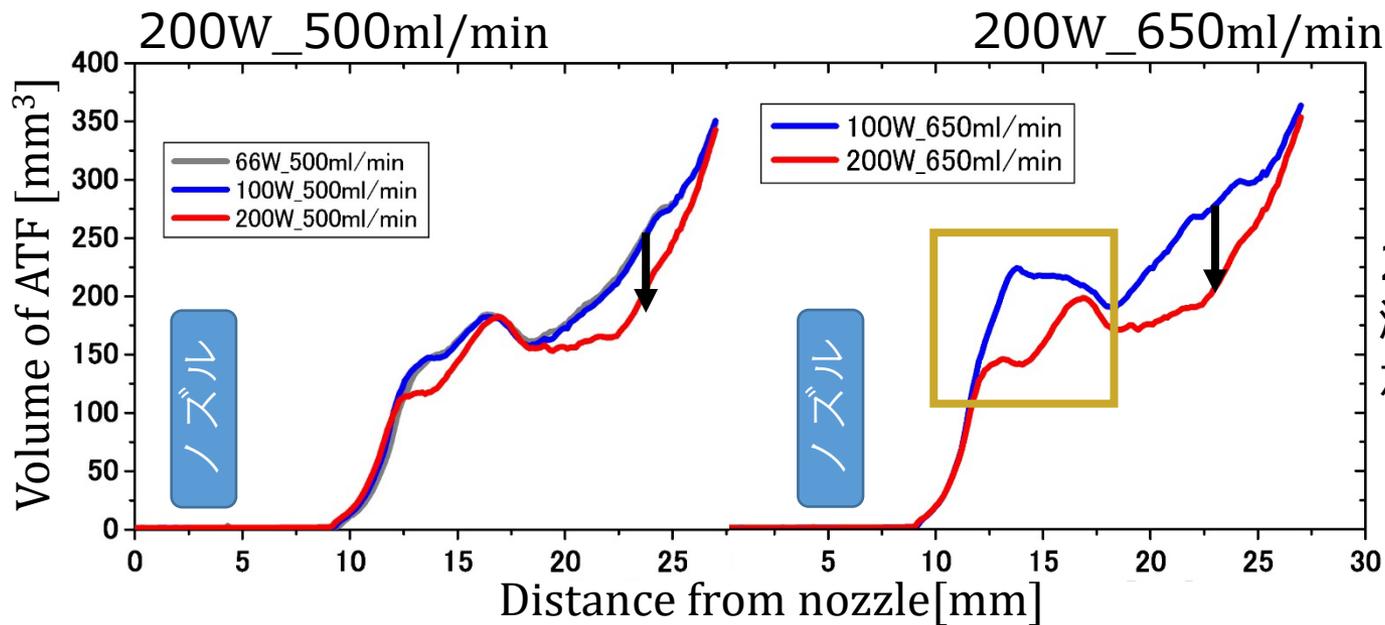
100W_650ml/min



200W_500ml/min



200W_650ml/min



200WではATF粘度減少で構造内体積が減少？



100W_500ml/min



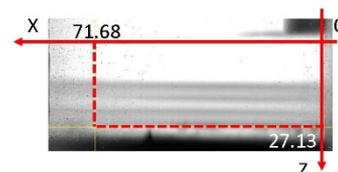
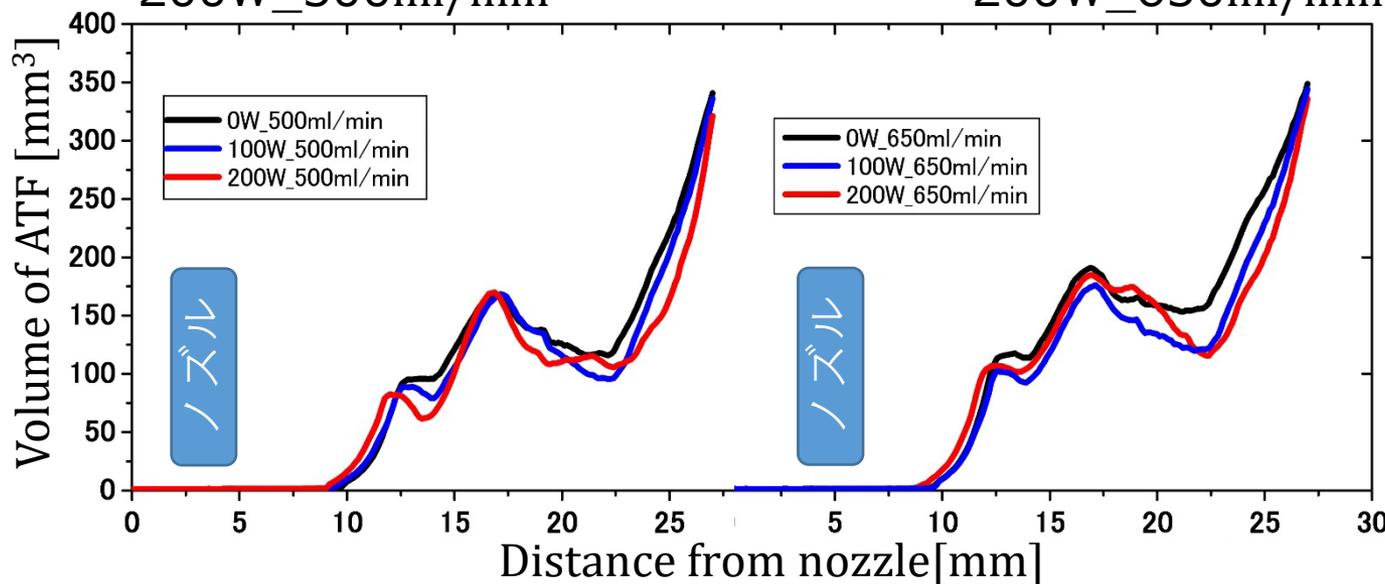
100W_650ml/min



200W_500ml/min



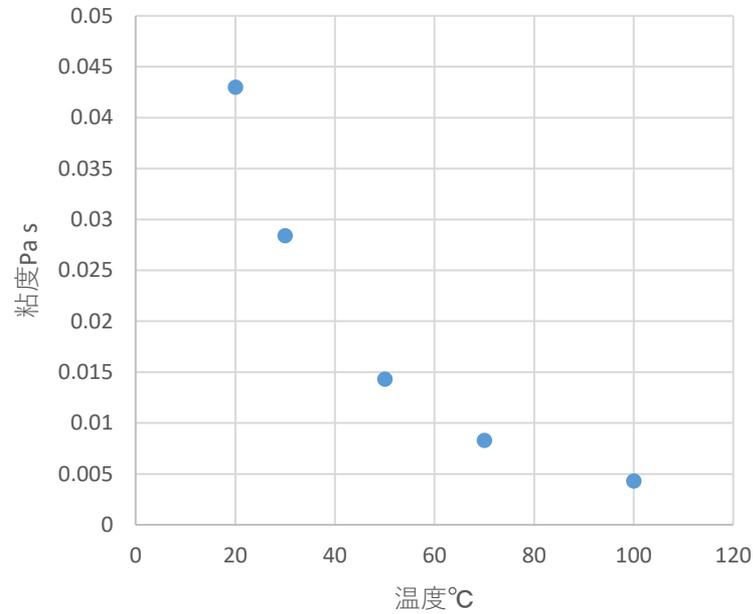
200W_650ml/min



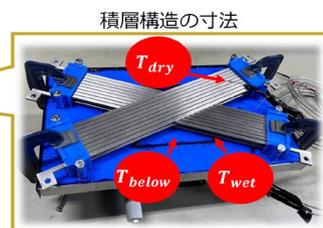
初期液温：高
 ⇒粘度：小
 ⇒構造内の体積減少

粘度の温度依存：小
 ⇒加熱量による構造内変化が小さい？

粘度の温度依存性

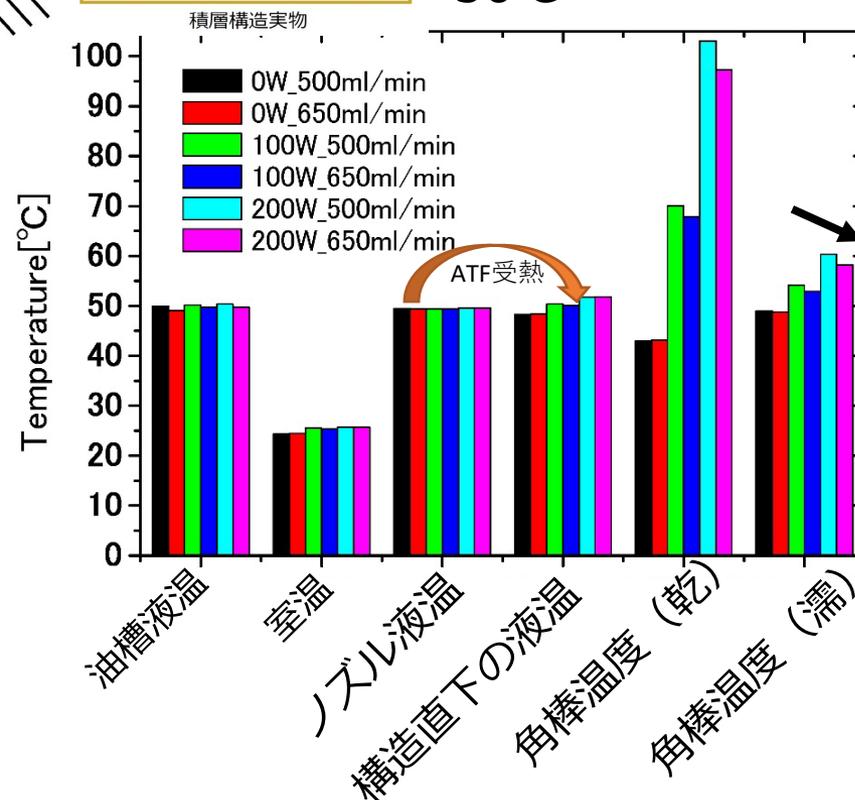
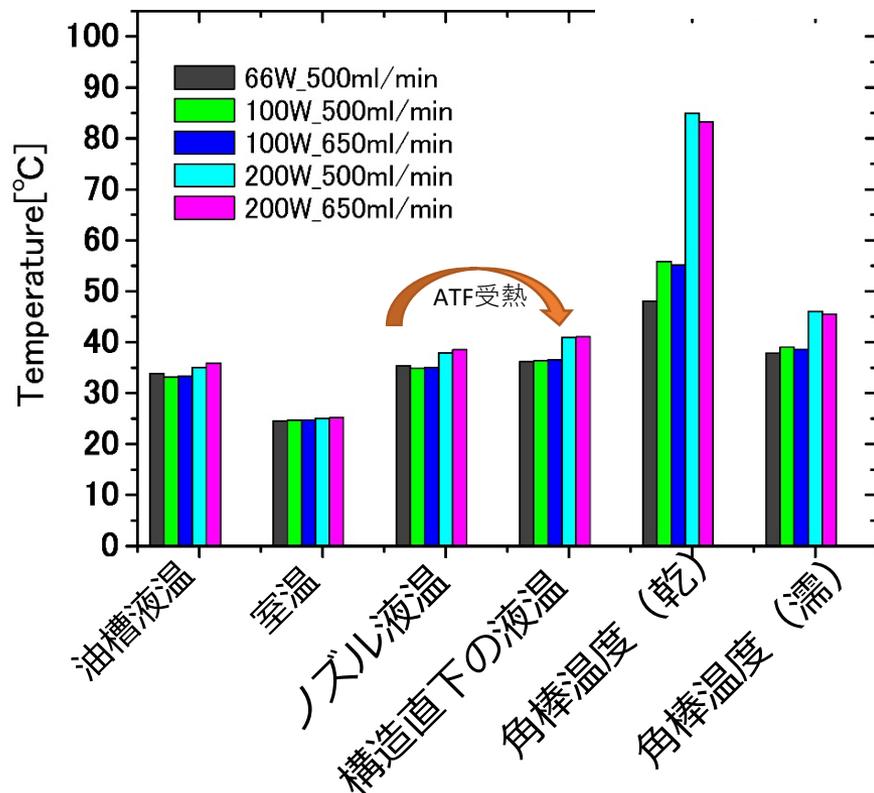


粘度変化を含めた議論が必要になるかも

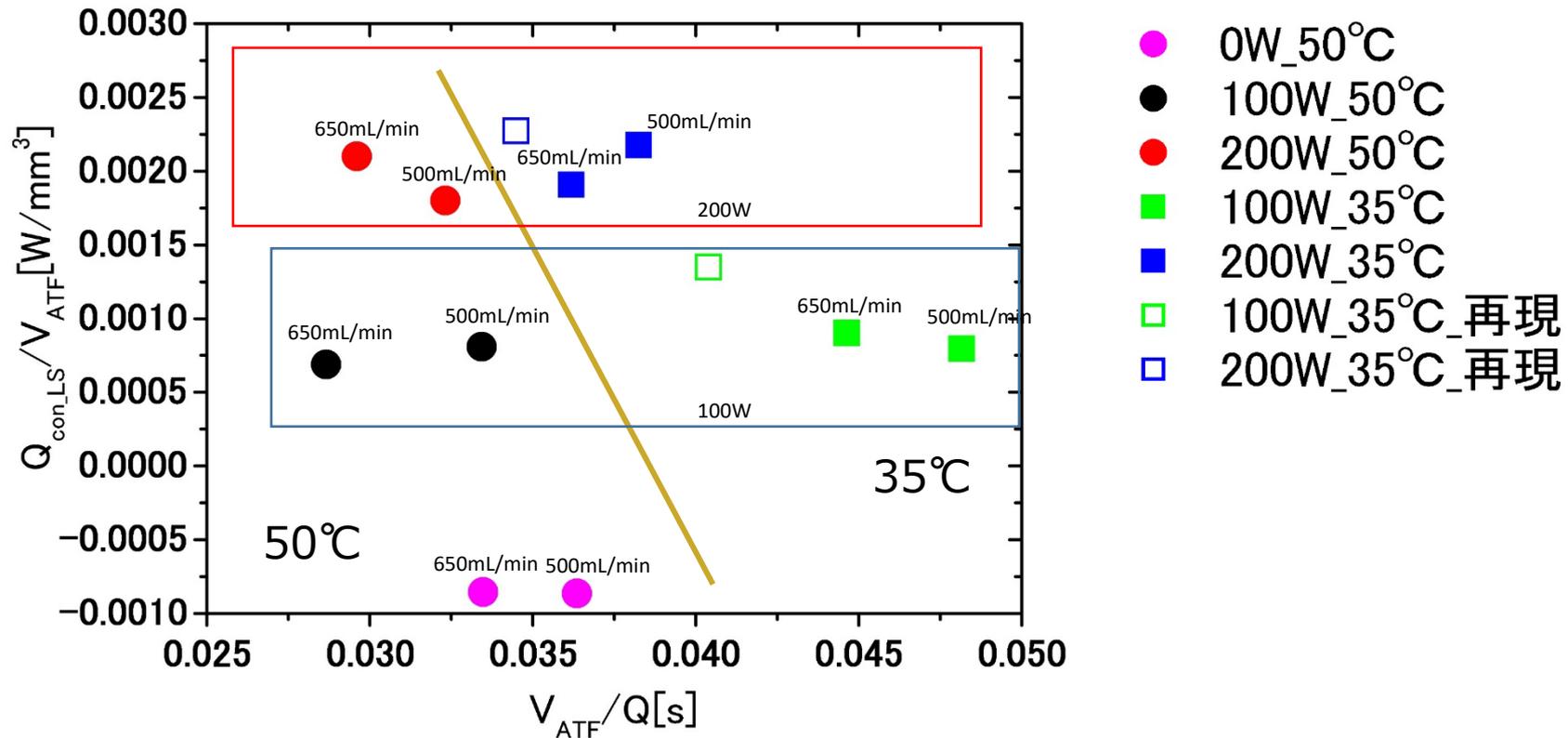


35°C

50°C



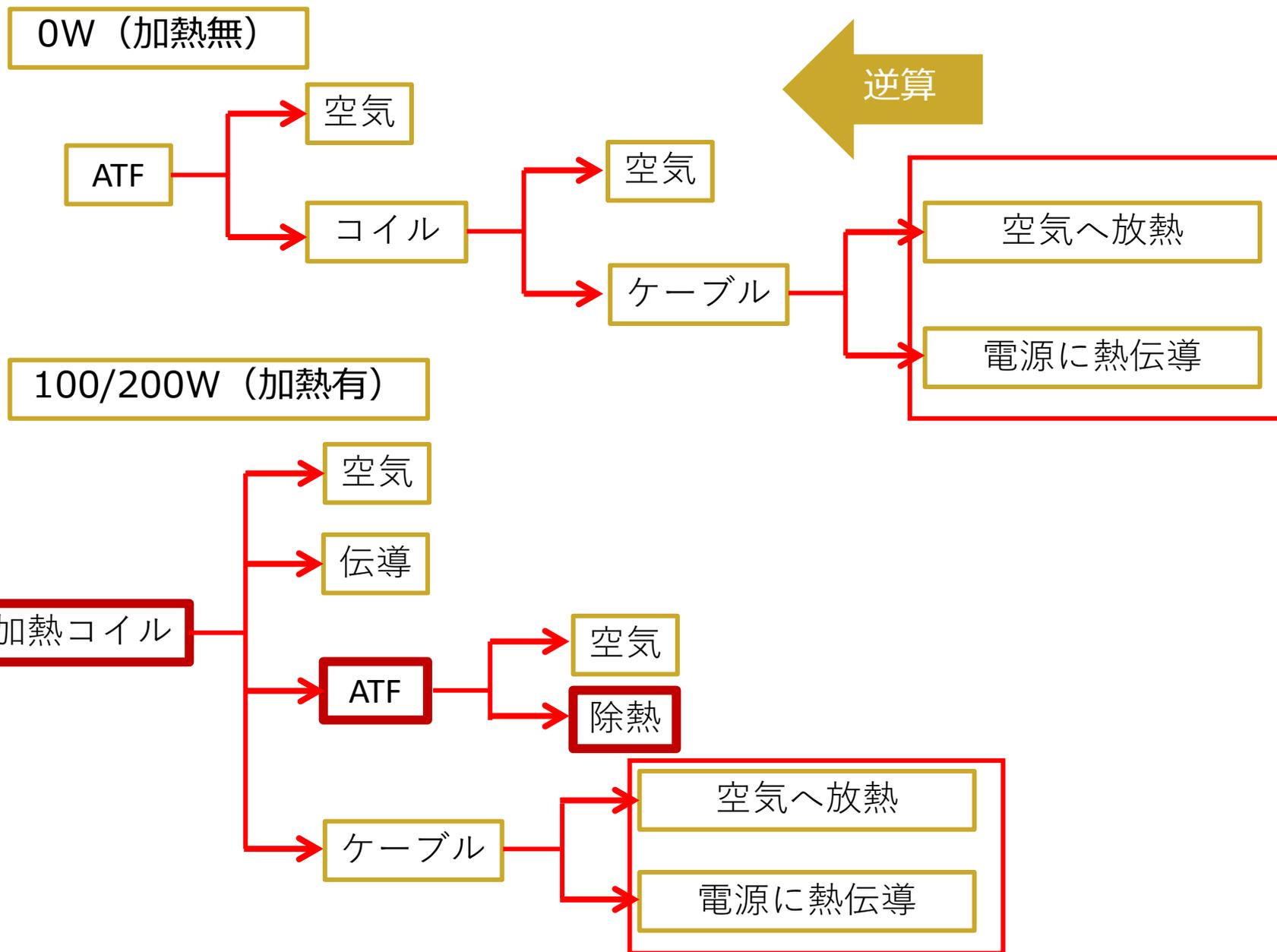
- 熱伝達率が高いため， ATFの温度と濡れた角棒の温度がほぼ同じになった
- 熱容量がより大きいため， ATF流下する前後の温度差が小さい
- 50°Cの場合に， 流量を増やすによる温度変化がより大きい



Q_{conLS}/V_{ATF} : 単位体積のATFの受熱量[W/mm²]

V_{ATF}/Q : ATFが積層構造を通過する平均時間[s]

- 流量増加 = > 滞留時間短
- 流下温度上昇 = > 粘度低下 = > 滞留時間短
- 単位体積の受熱量 = > 加熱量に依存



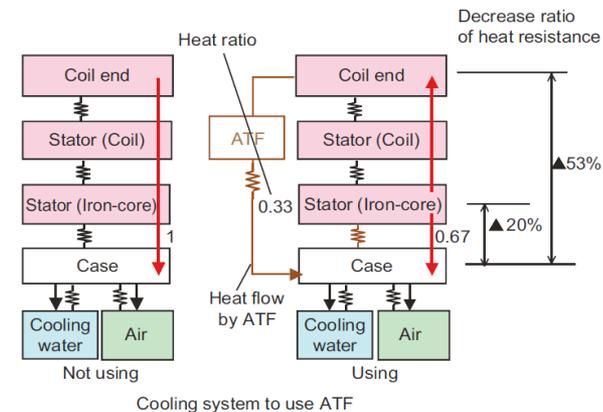
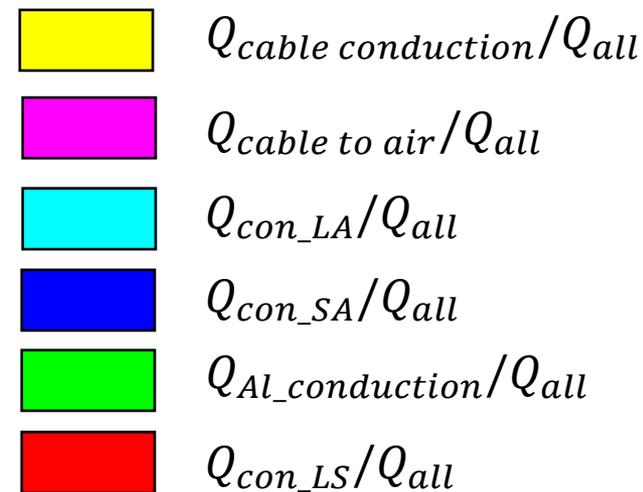
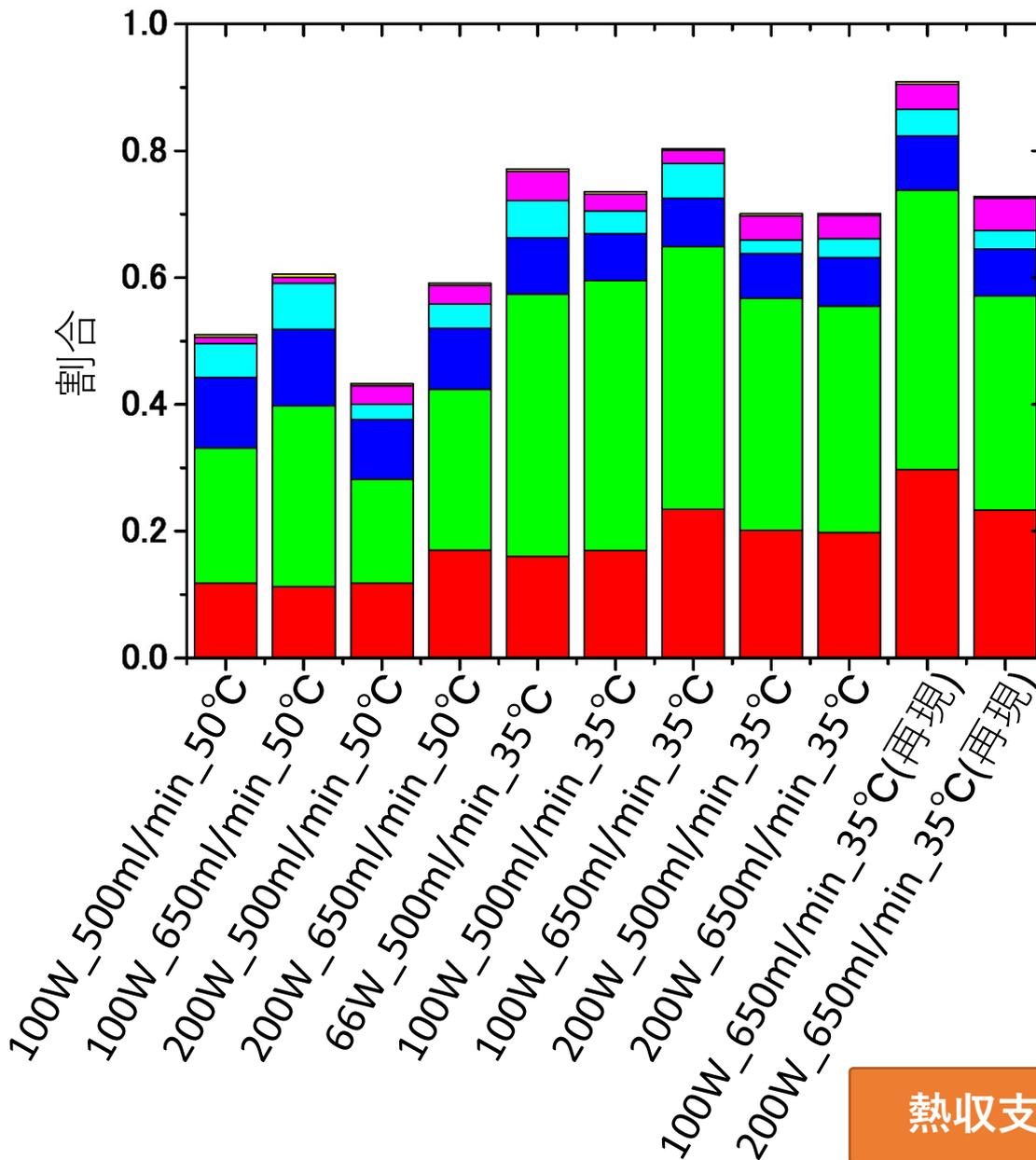


Fig. 13 Result of the trial calculation (Heat flow, Heart resistance between stator and case)

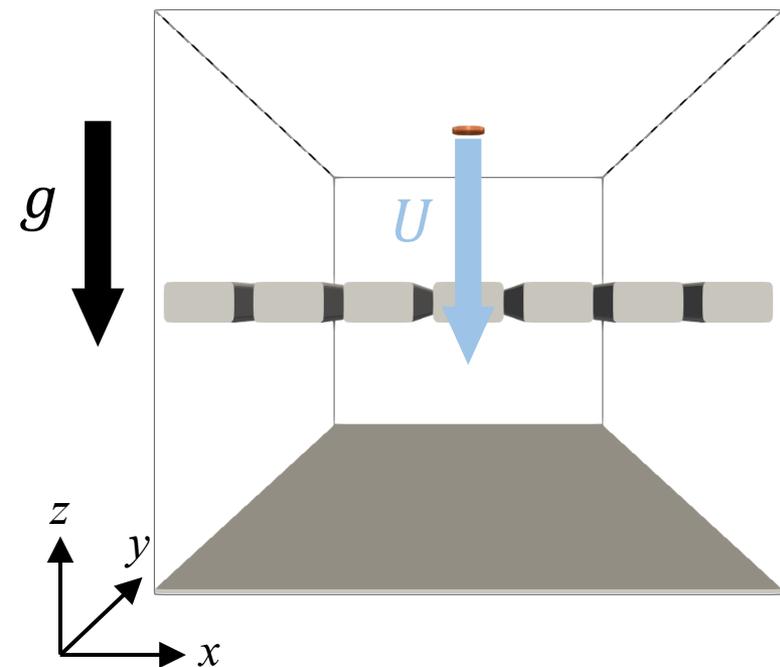
鬼丸ら (2008) より

熱収支についてはもう少し検討が必要

Velocity: Central moment
Temperature: WMRT

初期条件

解析パラメータ



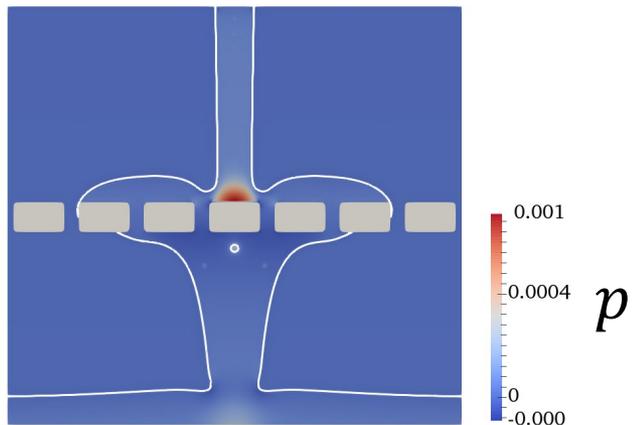
解析領域 (x, y, z)	$(318\Delta, 800\Delta, 300\Delta)$
液相初期温度 $T_{l,0}$	1.0
気相初期温度 $T_{g,0}$	1.0
流入速度 U [m/s]	0.65
重力加速度 g [m/s ²]	9.8
熱容量比 $(\rho c_p)_l / (\rho c_p)_g$	1330
粘性比 μ_l / μ_g	2362
Pr_g	0.7

境界条件

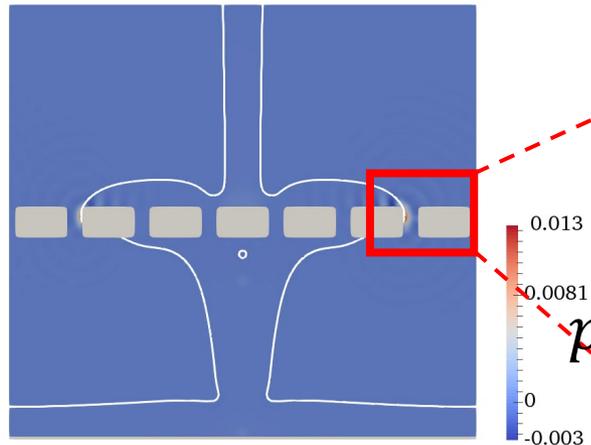
- ・ 周期境界条件 : x, y 方向
- ・ 流入境界条件 : $-z$ 方向境界
- ・ 流出境界条件 : $+z$ 方向境界
- ・ 一様発熱 : 角柱表面

密度比に対する安定性

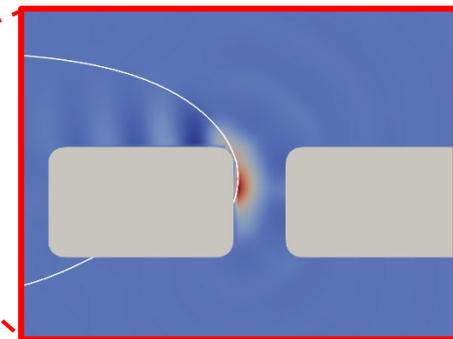
密度比：100



密度比：150

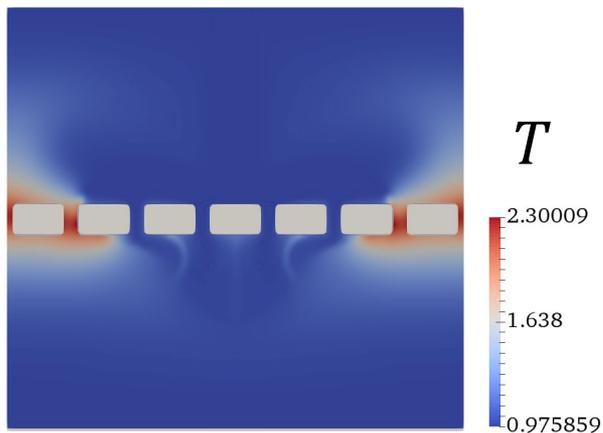


圧力場が振動



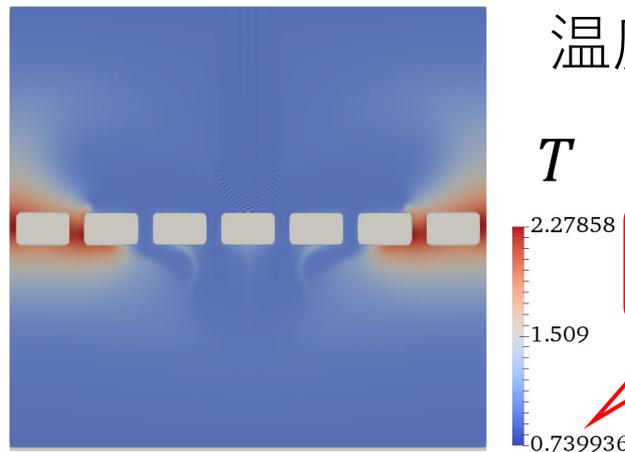
Pr_1 に対する安定性

$Pr_1 = 100$



誤差2.4%

$Pr_1 = 150$



誤差26%

原因：
温度場の振動

わかったこと

- 構造内のATF：流下時の液温に律速で、通電加熱による温度上昇による影響は小さい
- ∵ 比熱・大⇒受熱による温度上昇・小⇒粘度変化・小

今後の展開

- 構造内の液体体積（滞留時間）と交換熱量の関係を明らかにしたい（系全体の熱収支計算が大変）

謝辞

- 本研究はTRAMI（自動車用動力伝達技術研究組合）により実施されました。また、京大複合研の齋藤先生、伊藤（大）先生、大平先生には大変お世話になりました。（事情で登壇できず申し訳ありません）