

流動可視化による自励振動ヒートパイプの 熱輸送機構の解明

○谷口 智哉, 杉本 勝美, 村川 英樹, 浅野 等

神戸大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻
エネルギー変換工学研究分野

小型・高密度化する電子部品の発熱密度が上昇
従来の冷却システム：冷却能力不足，大規模
→ **高性能でコンパクト**な冷却技術が必要



ヒートパイプ

■ 作動流体の蒸発・凝縮に伴う潜熱を利用

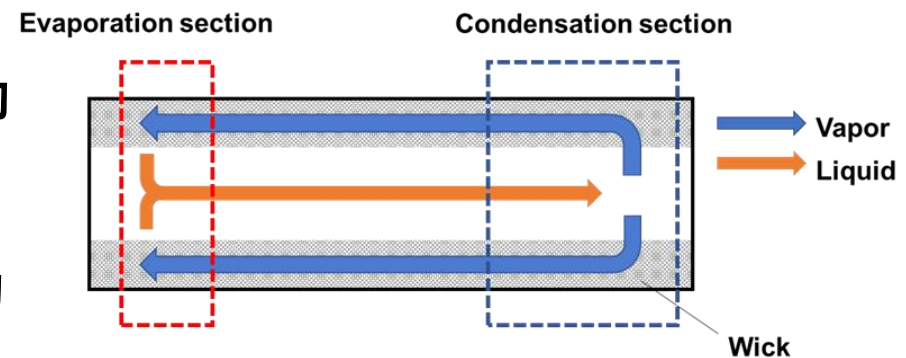
加熱部で発生した蒸気が冷却部へ移動・凝縮



凝縮した作動流体が加熱部へ移動

従来の還流の駆動源：毛細管力，重力

→ 加工が必要・設置姿勢に制限



自励振動ヒートパイプ

原理

流路に作動流体を封入 ➡ 表面張力で形成された液柱が加熱部と冷却部の**圧力差**で自励振動^[1]

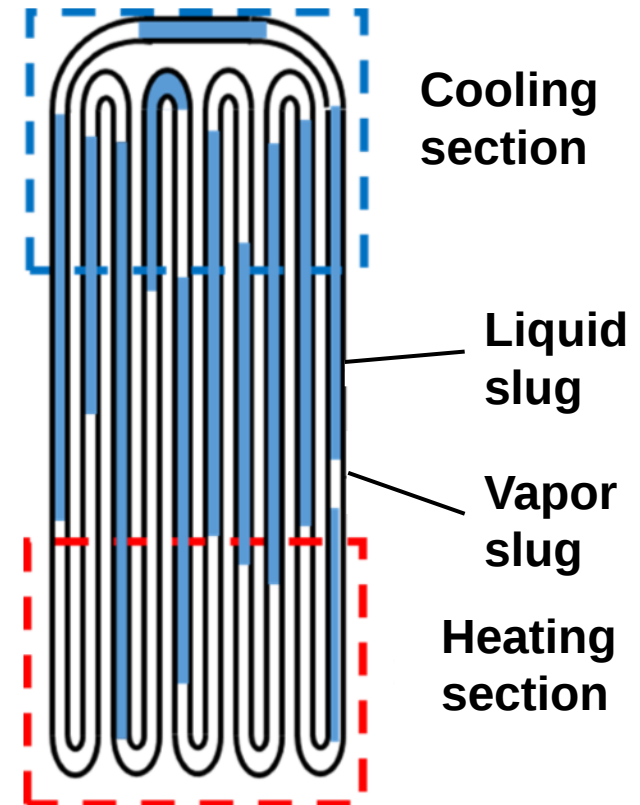
特徴

- ・ 動作に**外部動力が不要**でコンパクト
- ・ 従来のHPと比較し、重力依存が少ない
→ **様々な姿勢**で利用可能
- ・ 潜熱輸送と顕熱輸送を同時に行う
→ **高い熱輸送能力**

潜熱輸送：作動流体が加熱部で蒸発，
冷却部で凝縮の相変化

顕熱輸送：作動流体が流路内を往復し，
流路壁と熱交換

OHPの性能，動作を決定するパラメータ
設置姿勢，流路径，形状，封入率など



OHPの課題：性能向上，安定動作

様々なパラメータの伝熱性能への影響は広く報告

安定動作に重要な内部流動への各種パラメータの影響は未解明

内部流動へのパラメータの影響



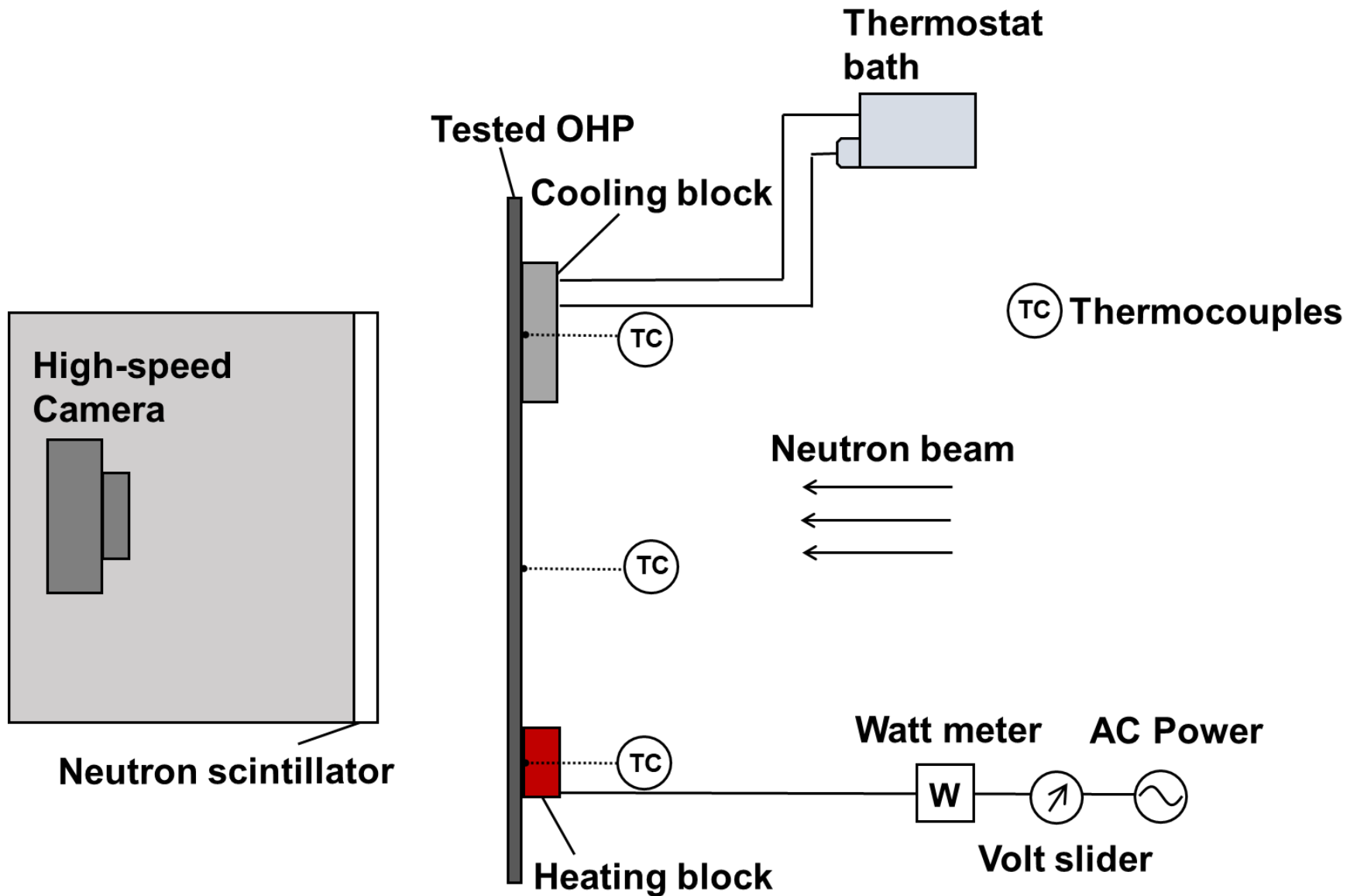
内部流動と熱輸送特性の関係の解明

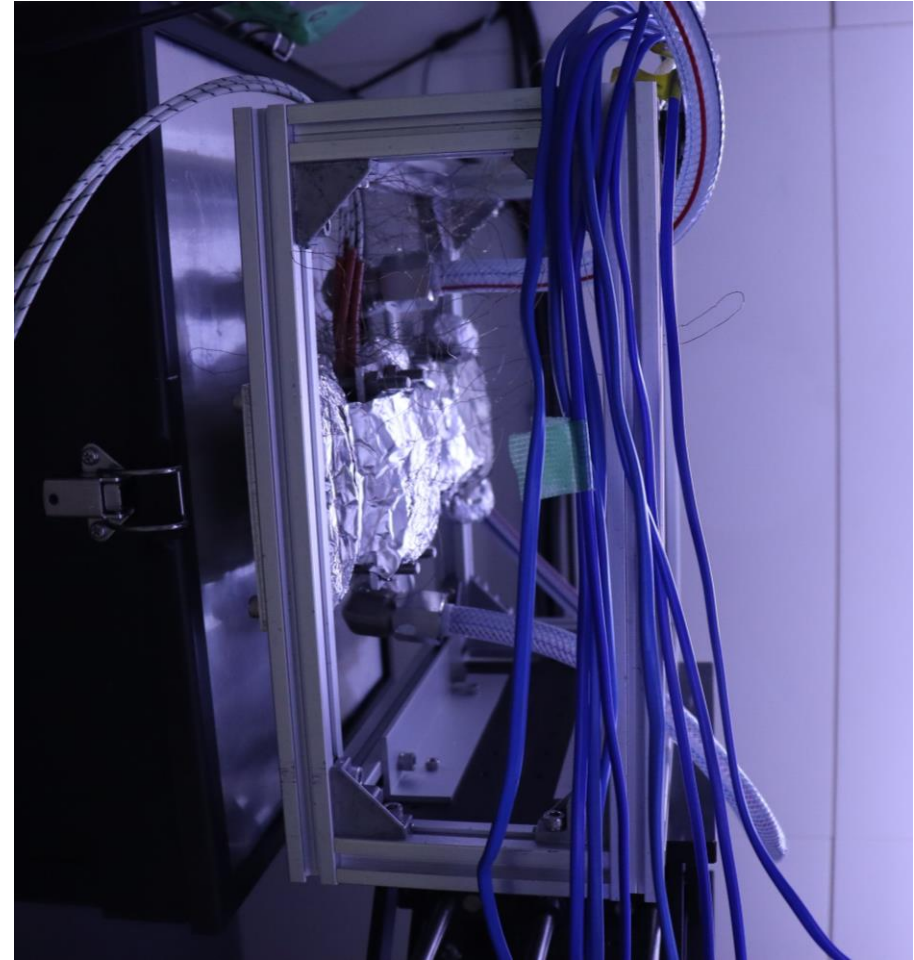
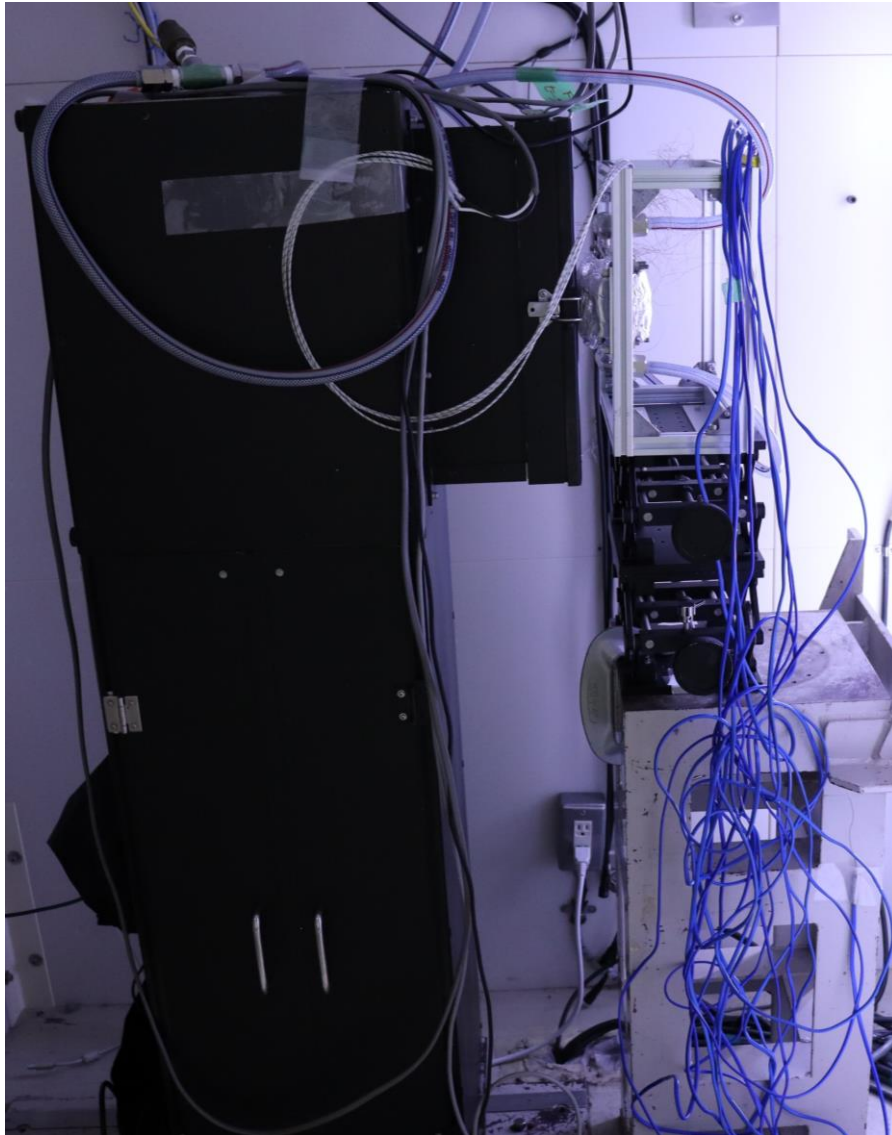
研究内容

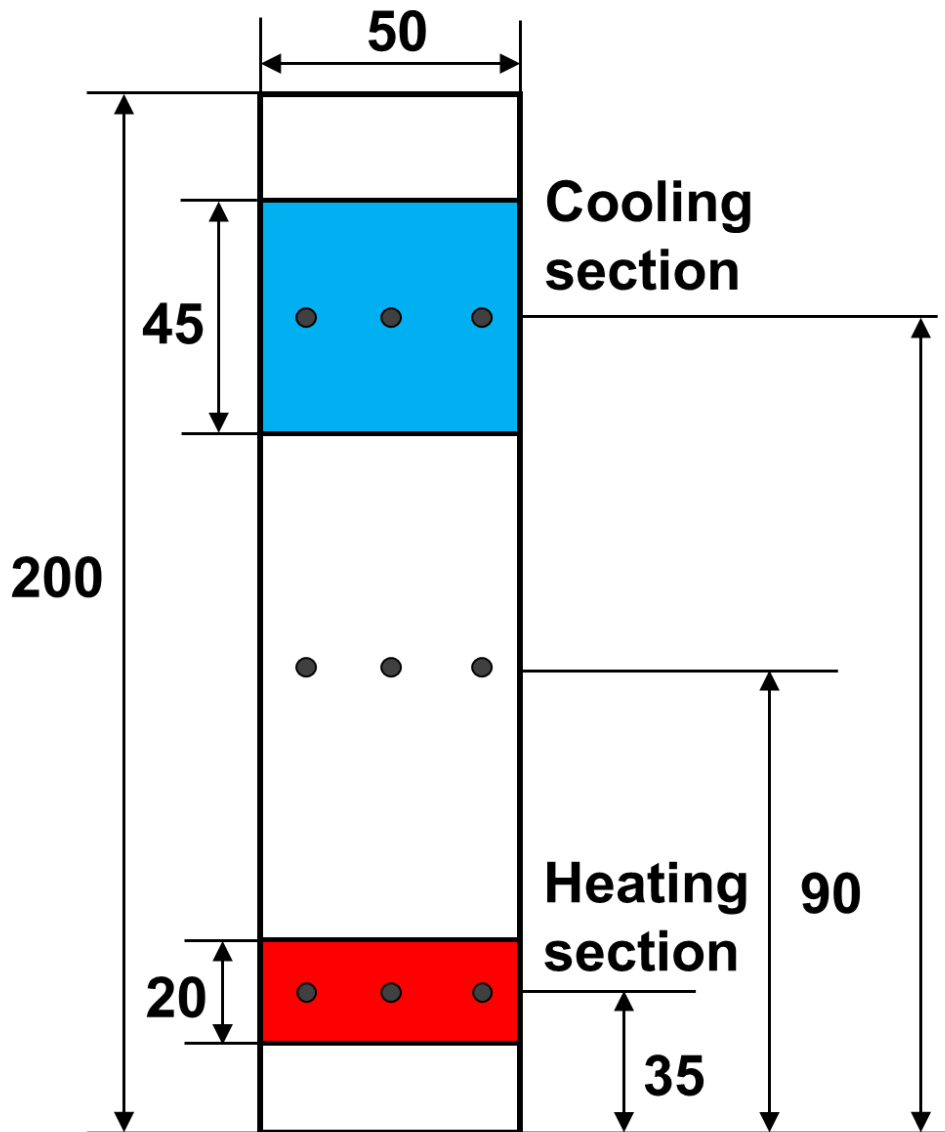
■ 熱輸送特性を試験部の計測温度から評価

■ 内部流動を作動流体の挙動，分布から評価

観察にはJRR-3の中性子ラジオグラフィシステムを用いる

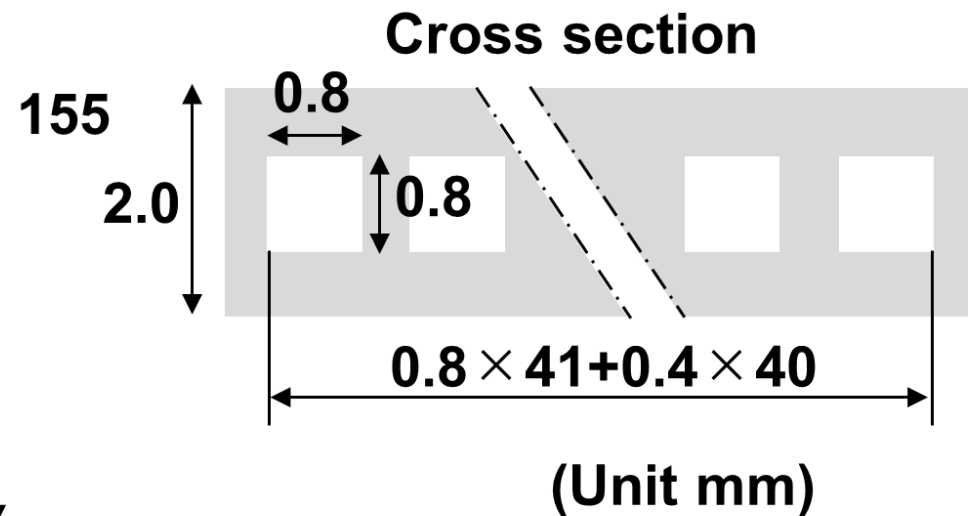






流路サイズ	0.8mm × 0.8mm
材質	アルミニウム
流路本数	41
作動流体	イソブタン

●:Temperature measure points

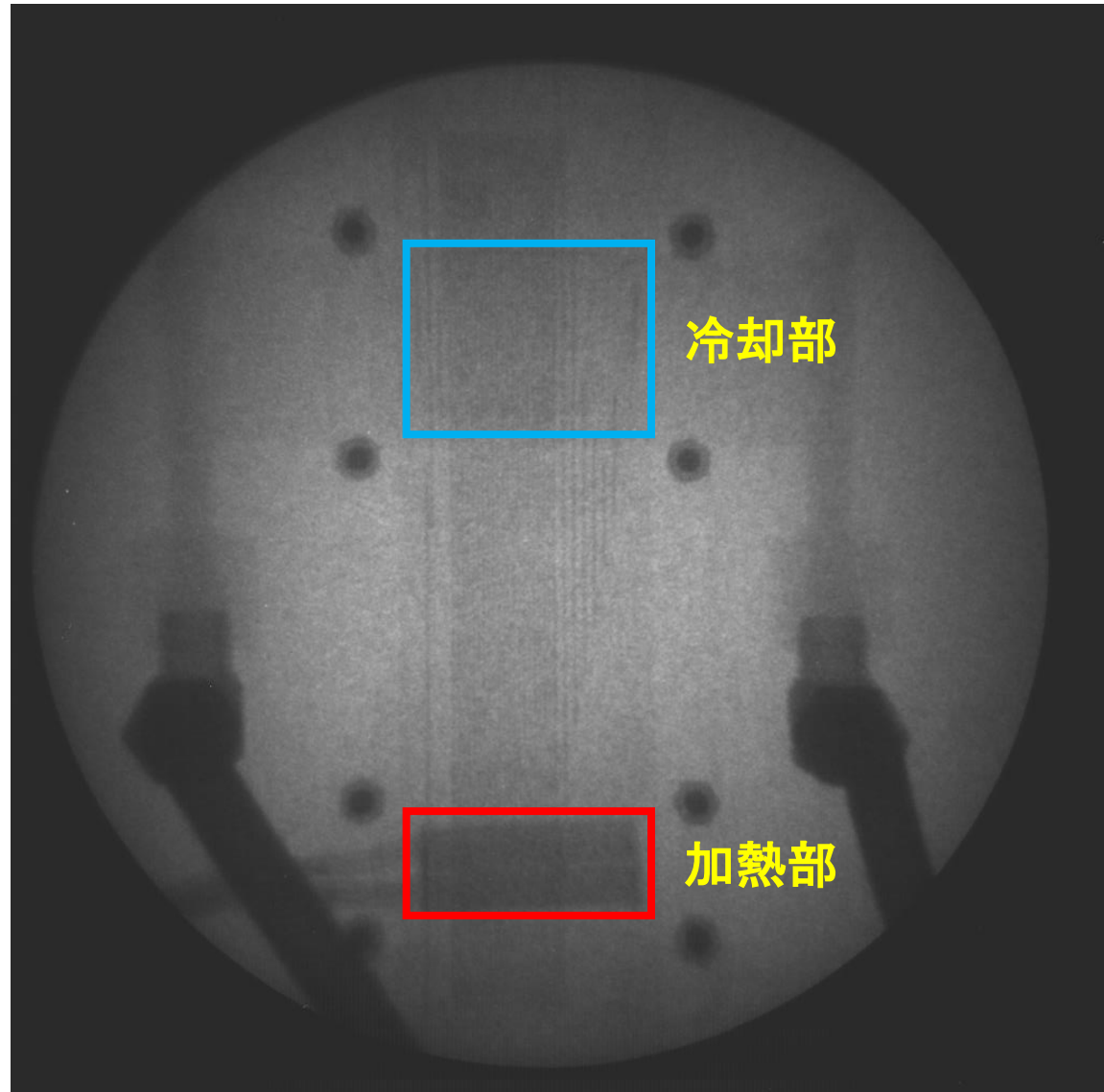


JRR-3

- ・ 視野 : $D = 220 \text{ mm}$

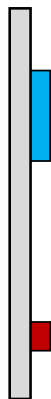
高速度カメラ

- ・ 空間分解能 : 約 $280 \mu\text{m}/\text{pixel}$
- ・ フレームレート : 500 fps
- ・ 露光時間 : $1/500 \text{ 秒}$
- ・ レンズ : 58 mm



封入率 [%]	62
設置姿勢	ボトムヒート トップヒート 水平姿勢
加熱量 [W]	20~140

Bottom heat



Horizon

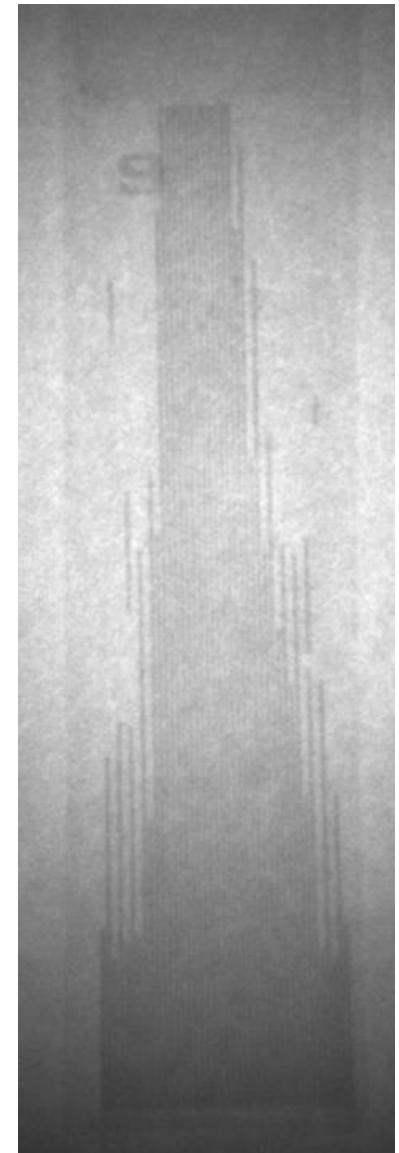


Top heat



 Heating block
 Cooling block

62%



■ 性能評価

■ 動作時の動画

■ 内部流動評価

■ 性能と内部流動の関係

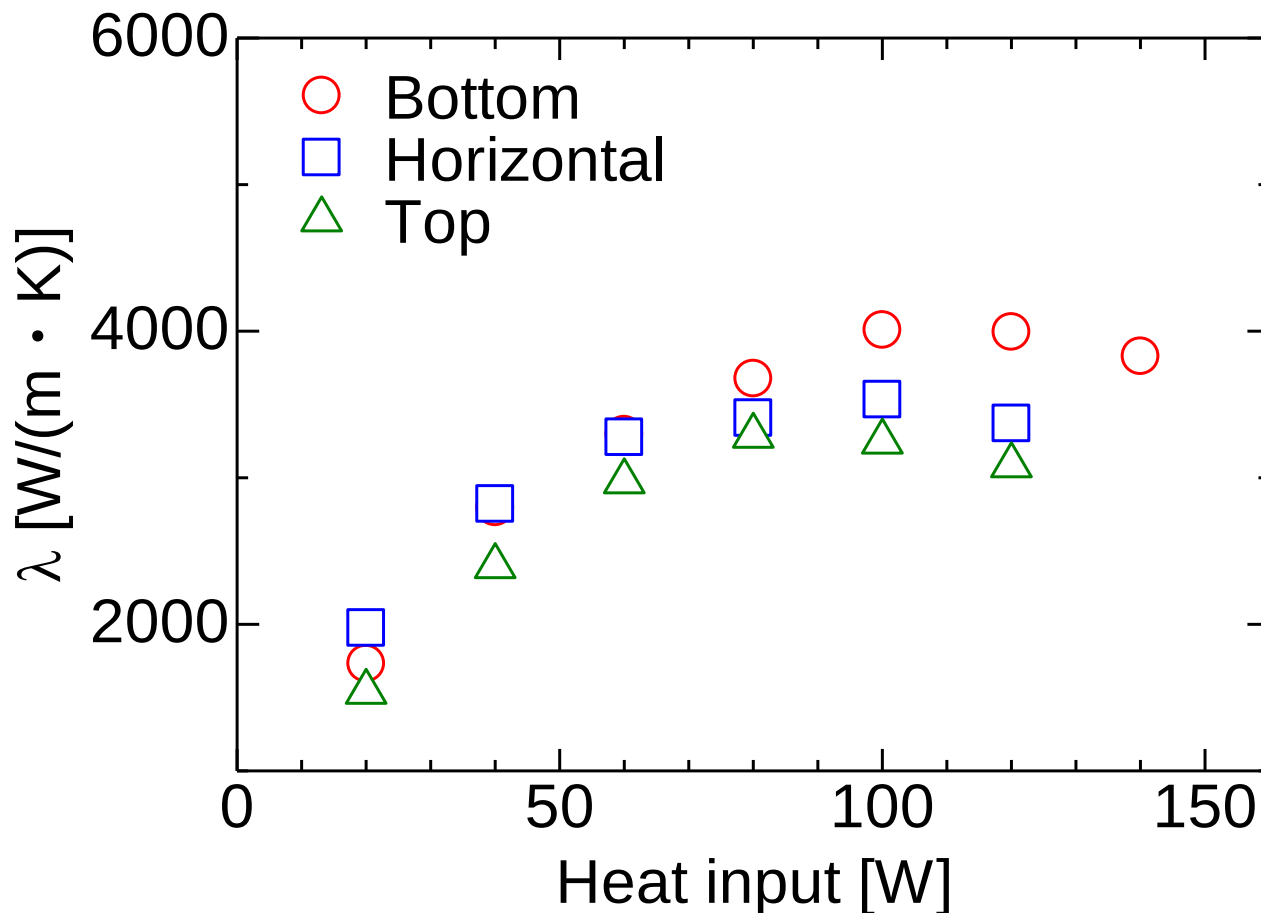
$$\lambda = \frac{Q}{A} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta T}$$

Q [W] : 加熱量

A [m²] : 流路断面積

L [m] : 加熱部と冷却部の測温点距離

ΔT [K] : 加熱部と冷却部の温度差



ボトムヒートが
他の姿勢よりも高い

熱伝達率

$$h_c = \frac{Q}{A_c(T_s - T_c)}$$

$$h_e = \frac{Q}{A_e(T_e - T_s)}$$

Q [W] : 加熱量

A_c [m²] : 冷却部断面積

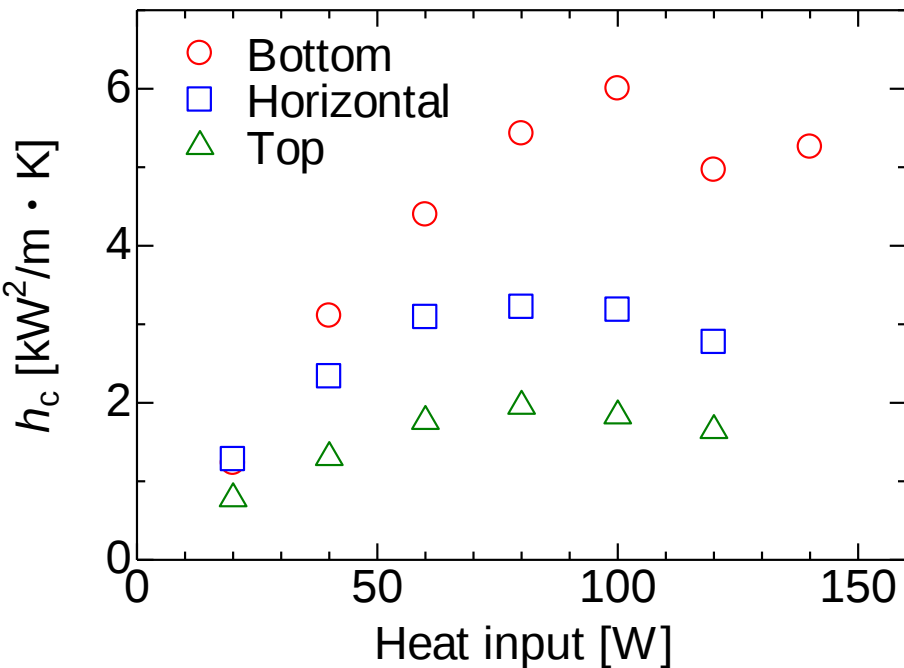
A_e [m²] : 加熱部断面積

T_c [K] : 冷却部温度

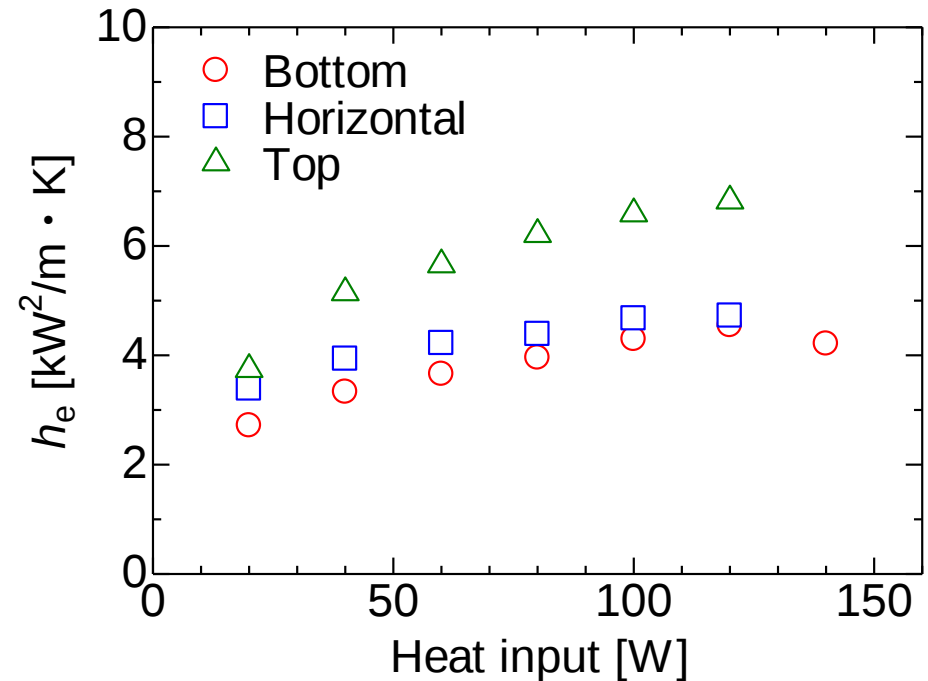
T_e [K] : 加熱部温度

T_s [K] : 断熱部温度

冷却部熱伝達率



加熱部熱伝達率



他の姿勢との差が出るのは**冷却部**の性能

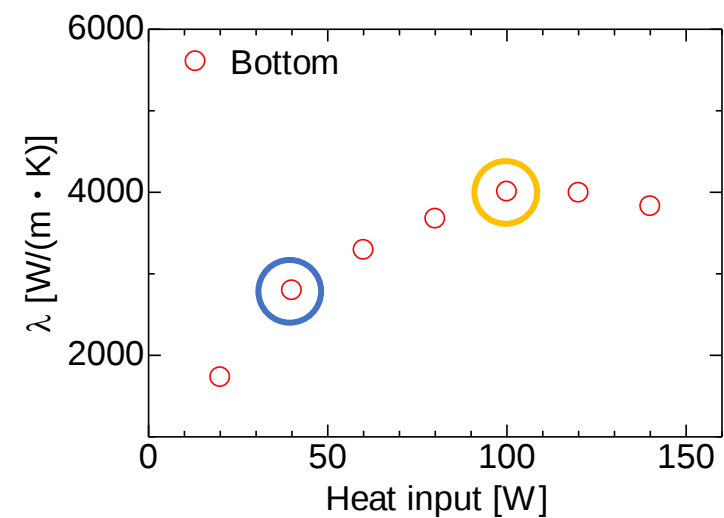
■ 性能評価

■ 動作時の動画

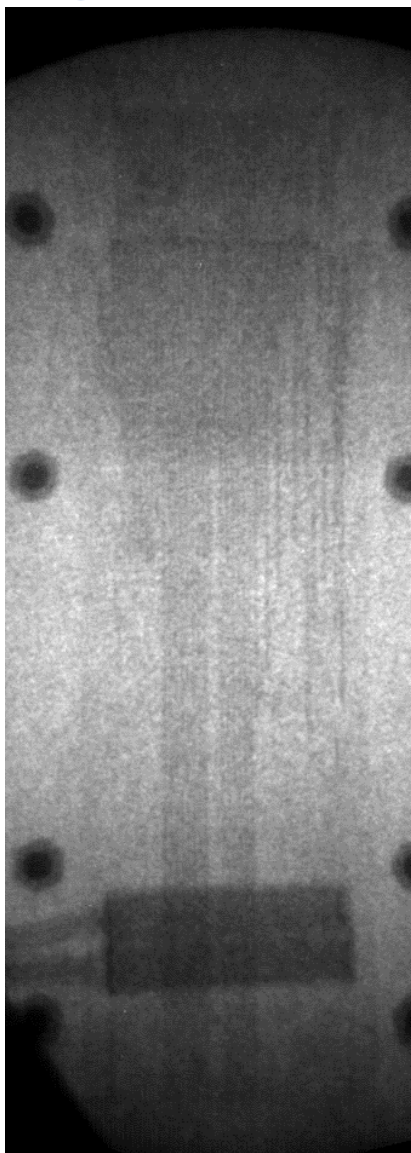
■ 内部流動評価

■ 性能と内部流動の関係

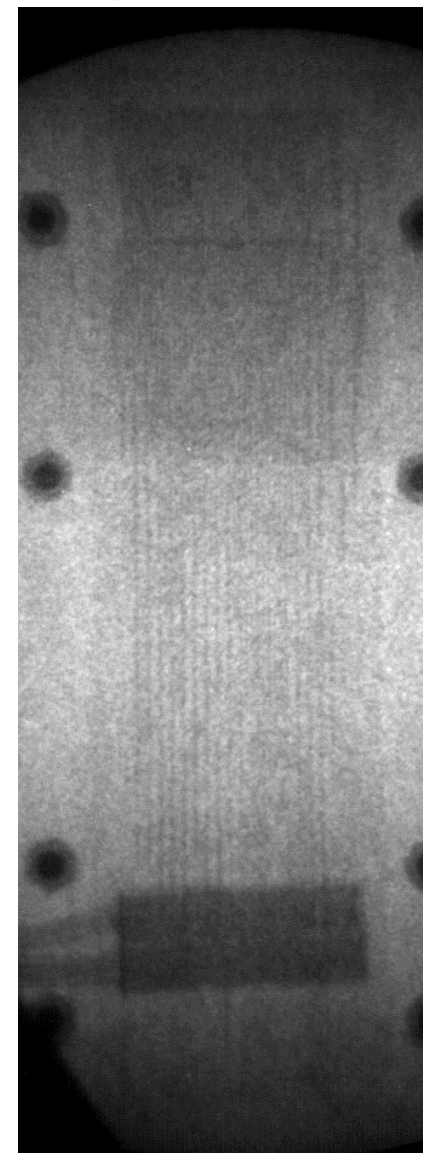
62%ボトムヒート
等倍映像



○ 40W



○ 100W



冷

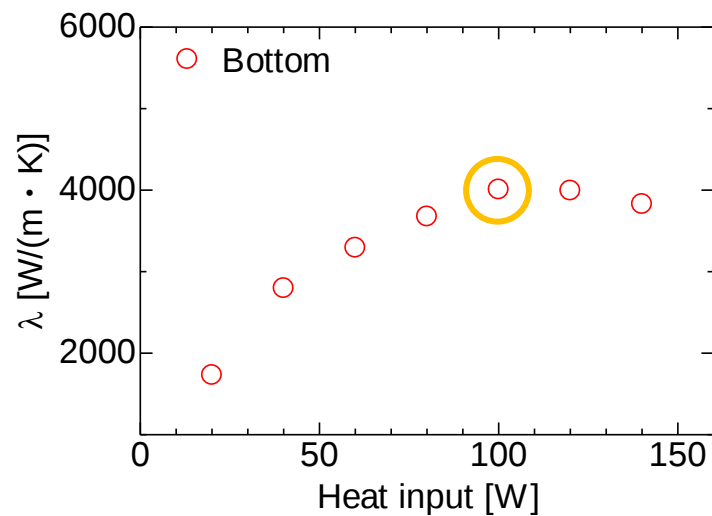
加

62%ボトムヒート

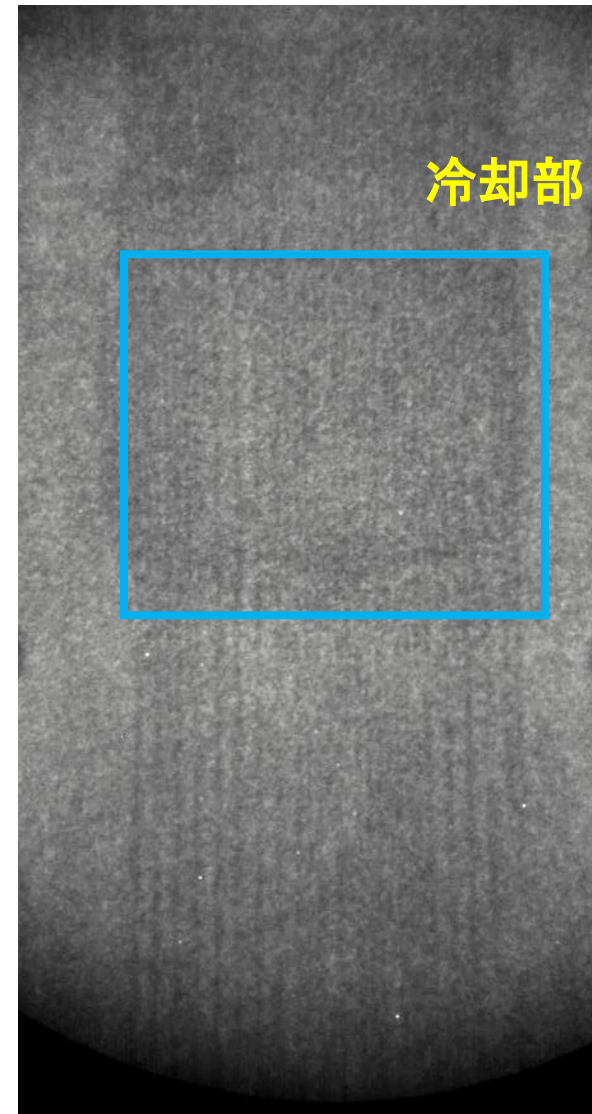
等倍映像

冷却部拡大

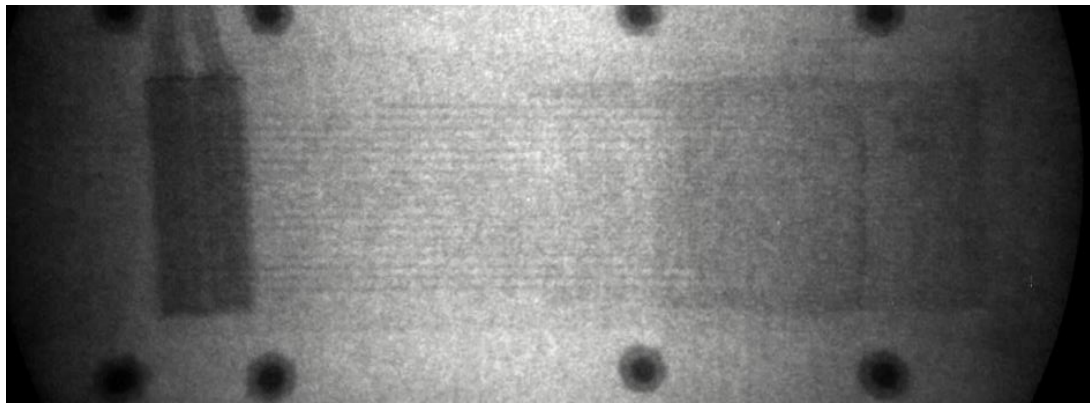
レンズ：58 mm→105 mm



○ 100W



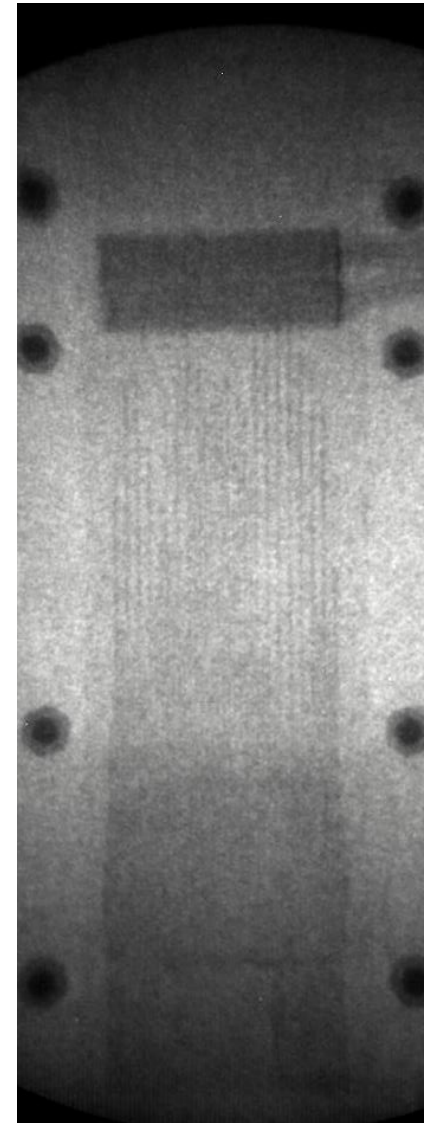
水平姿勢100W



加

冷

トップヒート100W



加

冷

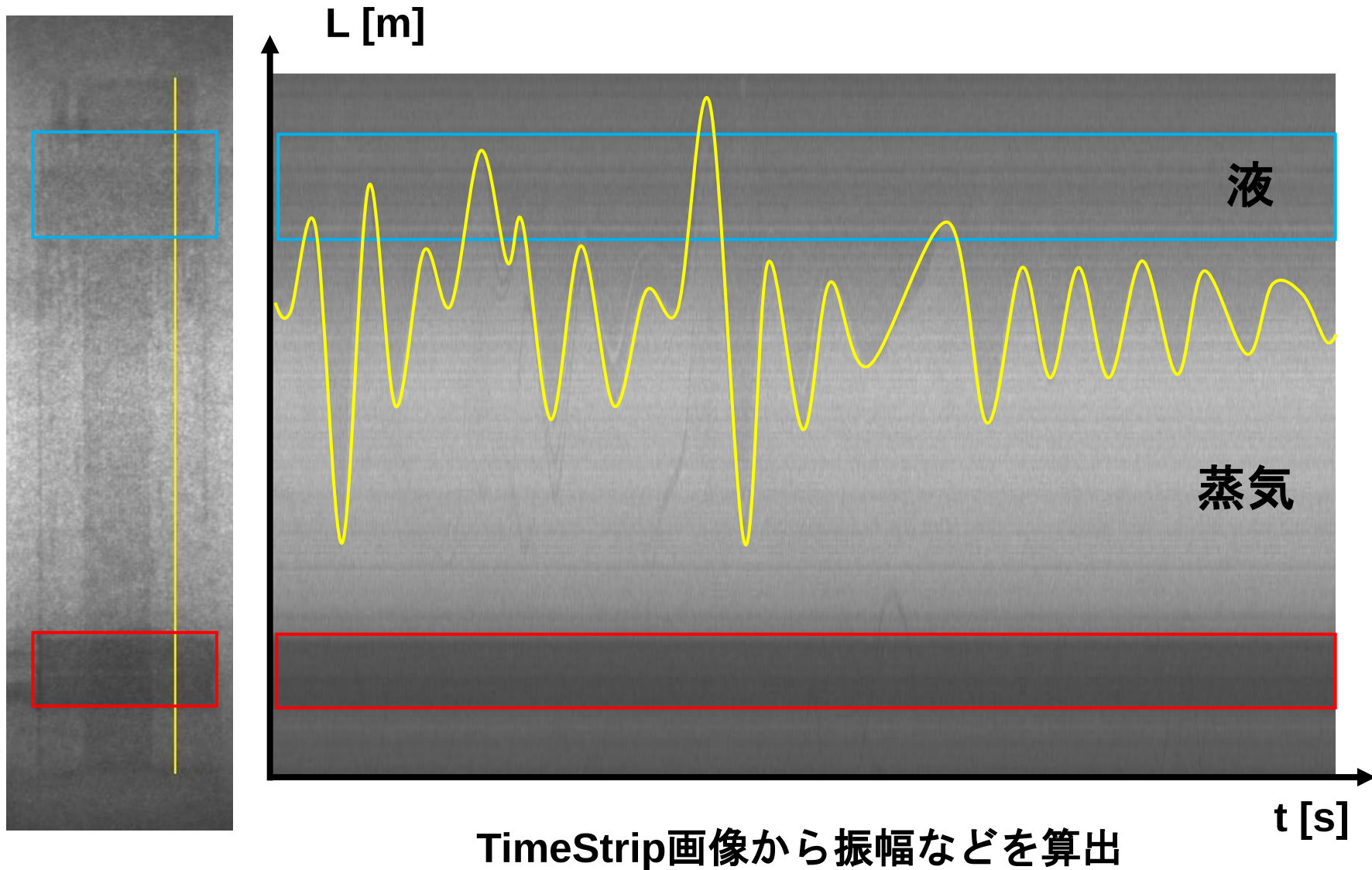
■ 性能評価

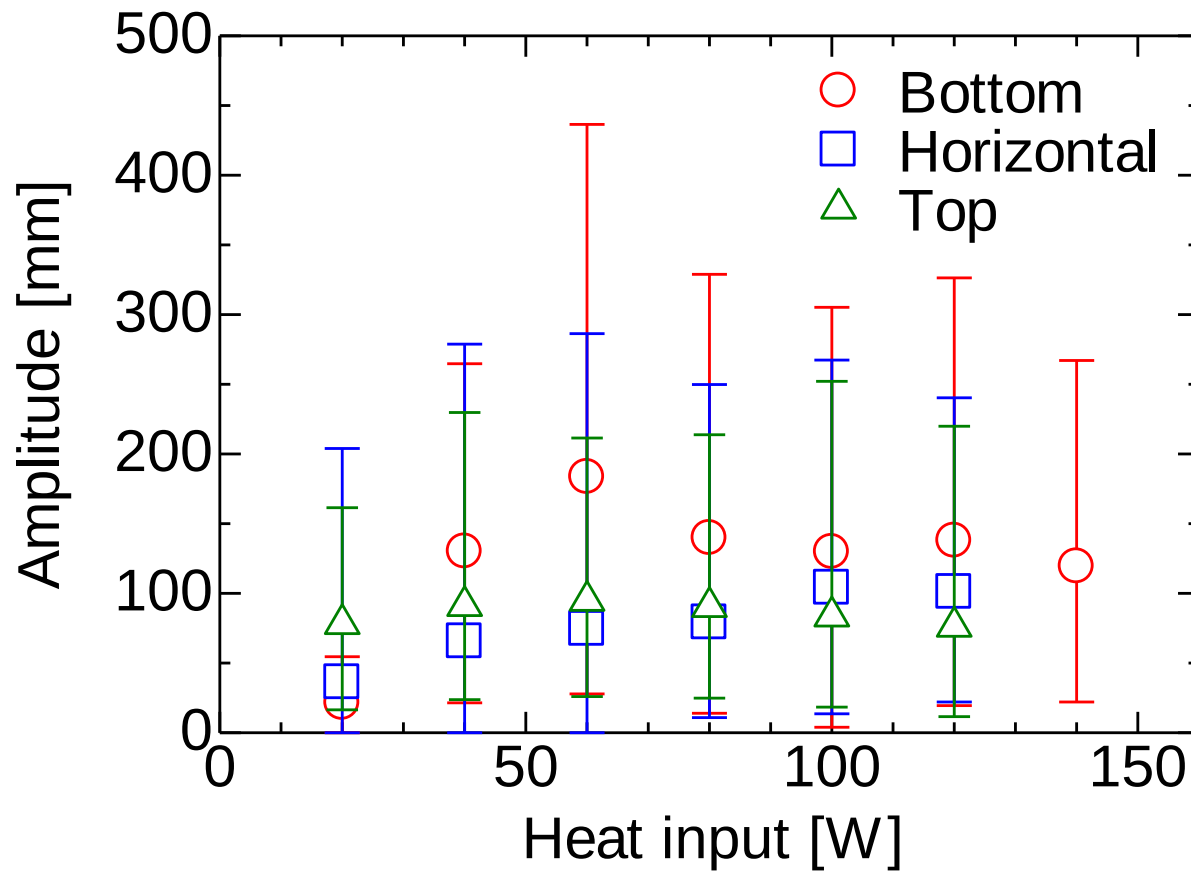
■ 動作時の動画

■ 内部流動評価

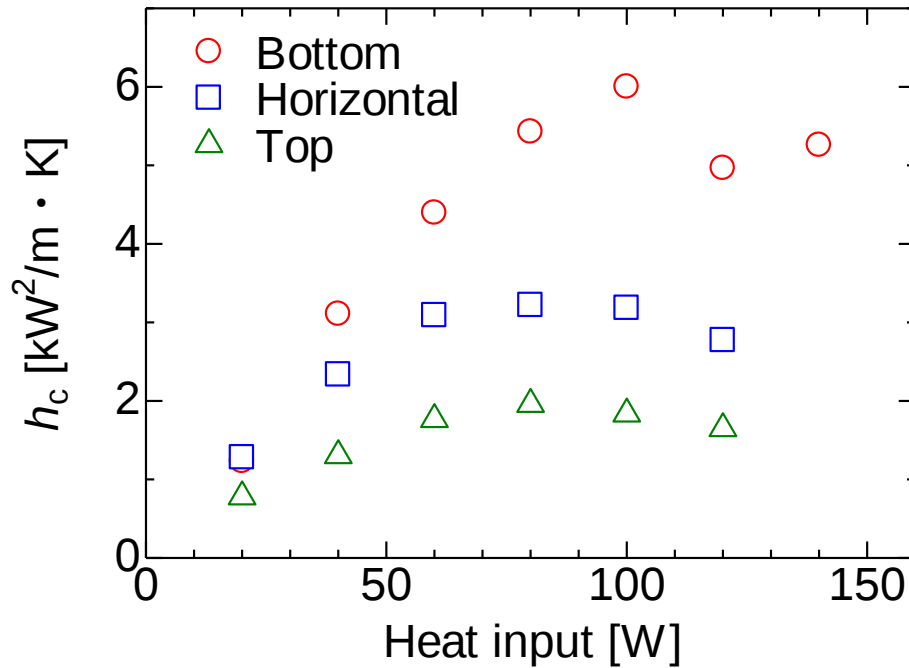
■ 性能と内部流動の関係

1本の流路の時間変化を示す画像





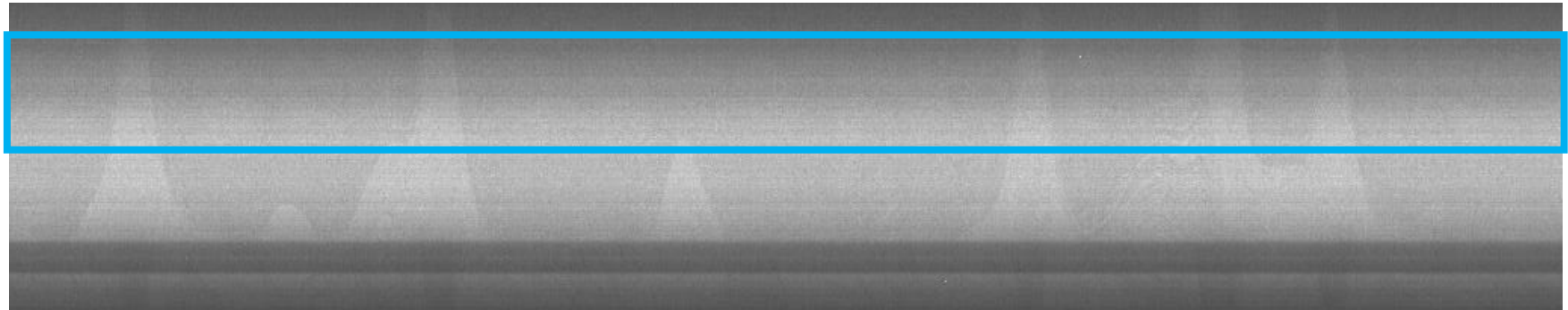
ボトムヒート > 水平, トップヒート



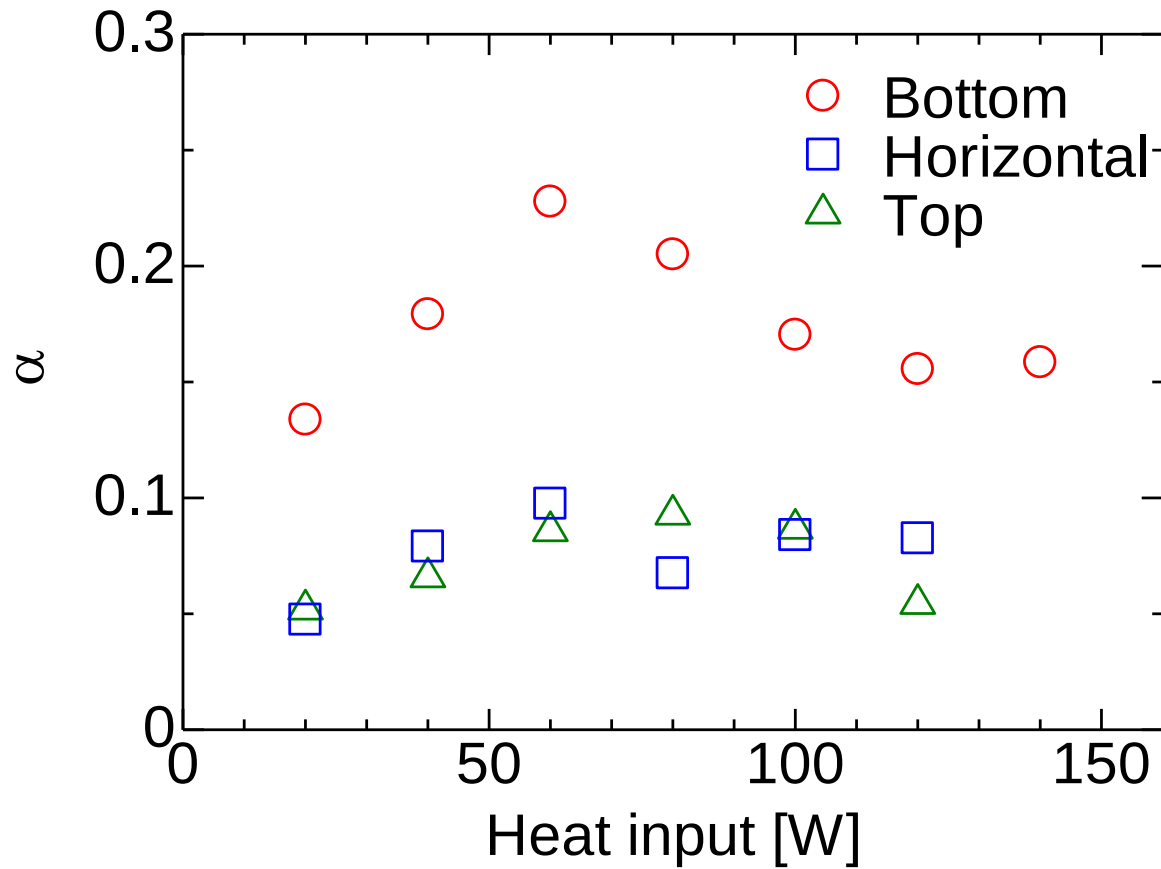
冷却部の性能が全体の性能にも効いている



冷却部の内部流動を評価



冷却部の気相割合を算出



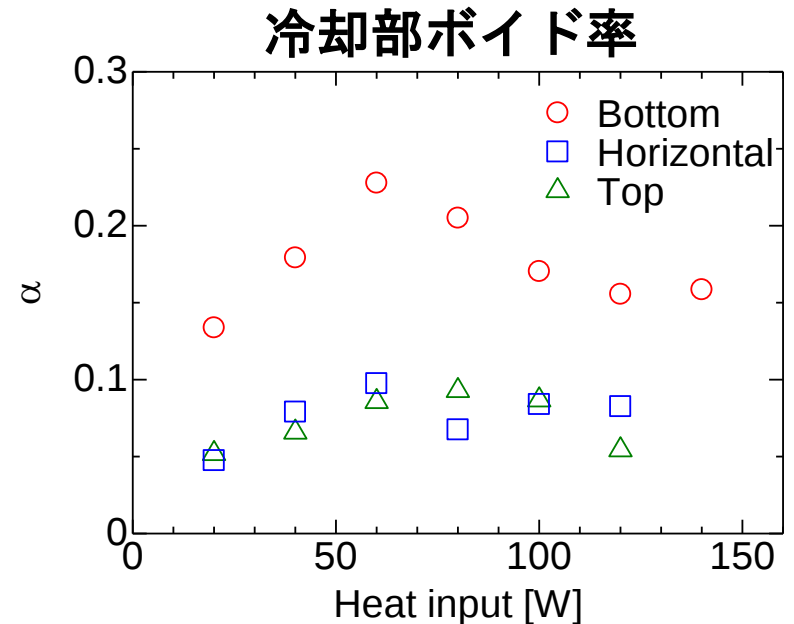
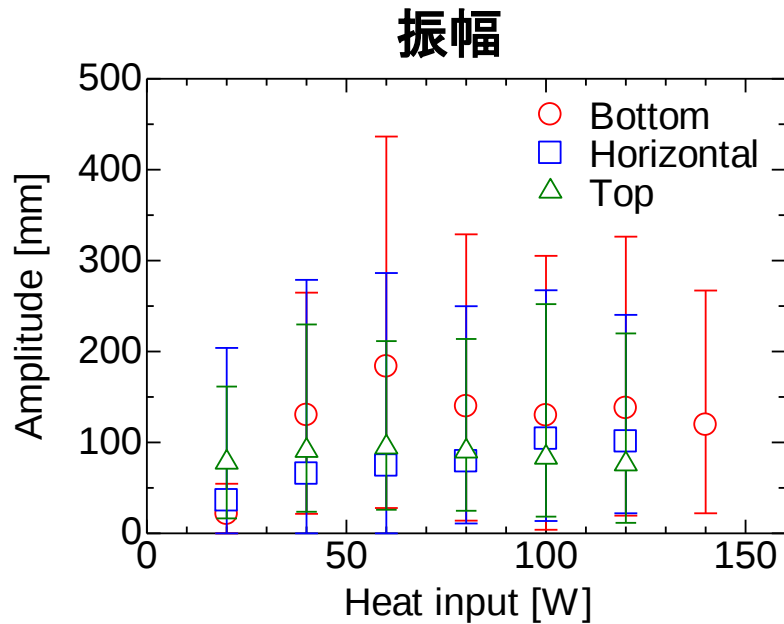
振幅と同様に
ボトムヒート > 水平, トップヒート

■ 性能評価

■ 動作時の動画

■ 内部流動評価

■ 性能と内部流動の関係



振幅とボイド率は相関あり

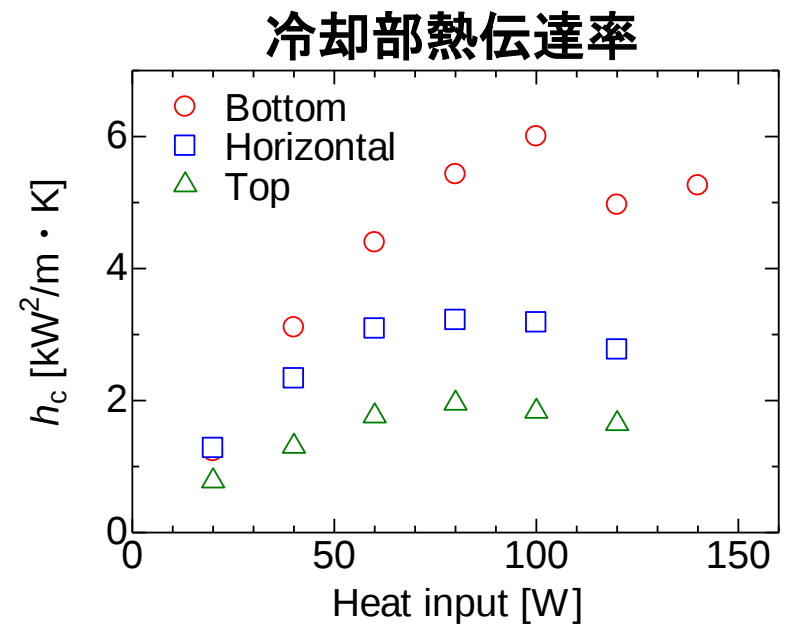
振幅が大きい



冷却部に液が滞留しにくい



性能向上



自励振動ヒートパイプの熱輸送機構の解明を目的として中性子ラジオグラフィを用いて内部流動を観察した.

■中性子ラジオグラフィを用いることで, 自励振動ヒートパイプの**可視化**ができ, 内部流動を観察できた.

■ボトムヒートとトップヒートでは**ボトムヒート**のほうが熱伝導率が高い結果が得られた. これは**冷却部の性能**による差が大きいことが分かった.

■内部流動から確認した**振幅**と**冷却部のボイド率**に相関があることが確認できた. 振幅が大きいと, 冷却部に液が滞留しにくくなり, 性能向上につながるということが分かった.