

平成27年度中性子イメージング専門研究会

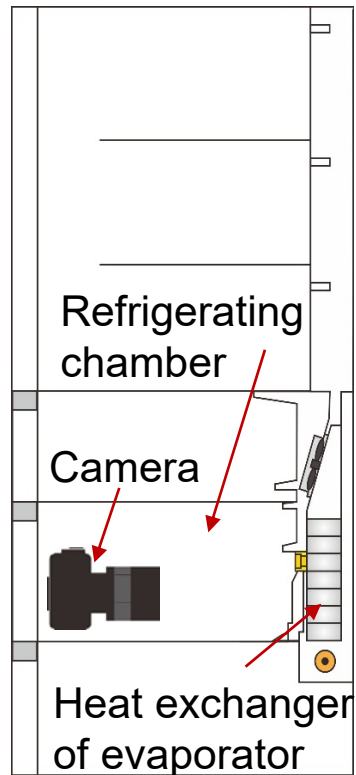
日時:平成28年1月6日(水)

場所:京都大学原子炉実験所事務棟大会議室

中性子ラジオグラフィを用いた着霜・除霜に関する研究 — 除霜時の融解水の挙動 —

松本亮介(関西大学), 吉村智也(ヤマ-エネルギーシステム), 梅川尚嗣(関西大学),
網健行(関西大学), 伊藤大介(京都大学原子炉実験所), 齊藤泰司(京都大学
原子炉実験所)

背景



家庭用冷蔵庫

熱交換器の着霜

作動冷媒が 0°C 以下で動作する熱交換器では、伝熱面において着霜が生じ、熱機器(冷蔵庫、ヒートポンプなど)の性能を低下させる

- ✓ 熱交換器の熱抵抗と流動抵抗を増加させ、伝熱性能を低下させる
- ✓ 家庭用冷蔵庫では、1日に1度、除霜運転(冷蔵庫の場合、電気ヒータで加熱)を実施.
- ✓ 霜成長モデルの構築が望まれているが、霜層の熱物性(等価熱伝導率、霜密度)のデータが不十分.
- ✓ 着霜量の測定においてでさえ、掻き取るほかに方法がない.

中性子ラジオグラフィで何を調べたいか？

霜成長モデルの構築

【着霜量の測定】

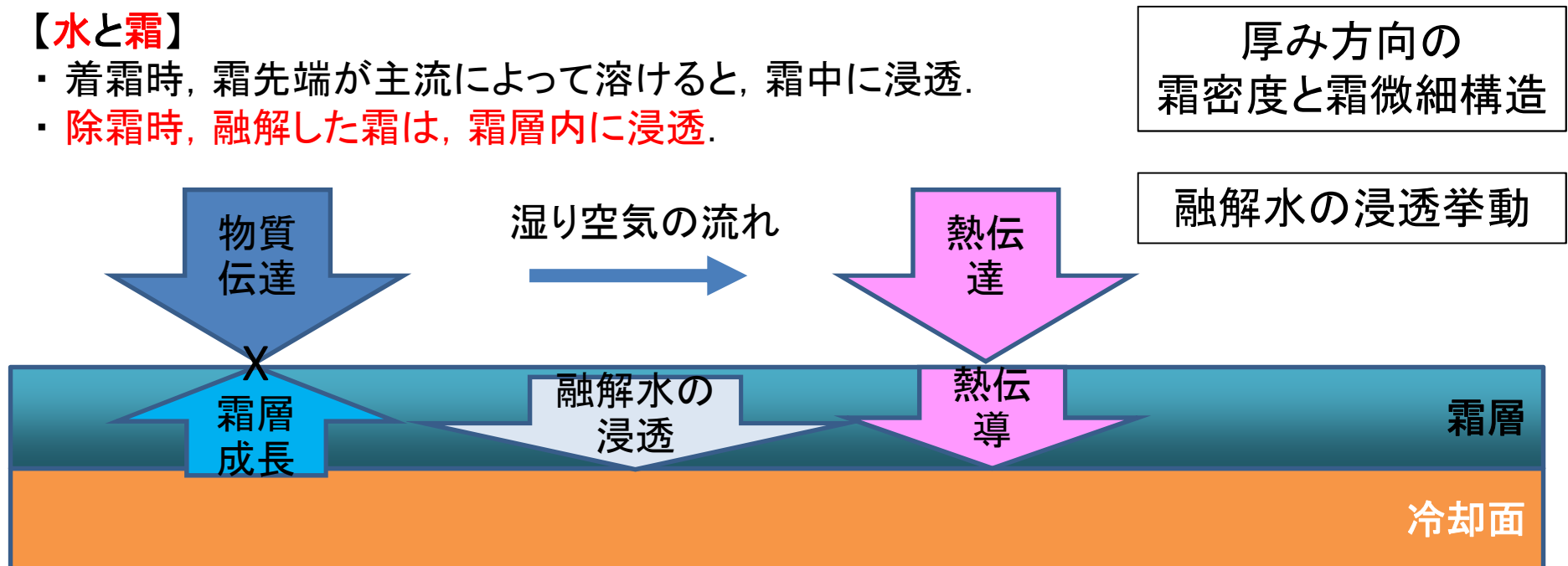
- ・現状の着霜量の測定は、掻き取りによる方法しかない。
（もしくは絶対湿度差，質量測定による霜層全体の測定）
- ・熱交換器の「どこに」，「どれだけの」，そして「どのような」霜が付いているのか？

【霜密度と霜微細構造の関係】

- ・霜の3次元微細構造と霜密度，等価熱伝導率の関係
- ・厚み方向の霜密度の分布
- ・その時間変化

【水と霜】

- ・着霜時，霜先端が主流によって溶けると，霜中に浸透。
- ・除霜時，融解した霜は，霜層内に浸透。



京都大学原子炉実験所 B4ポート

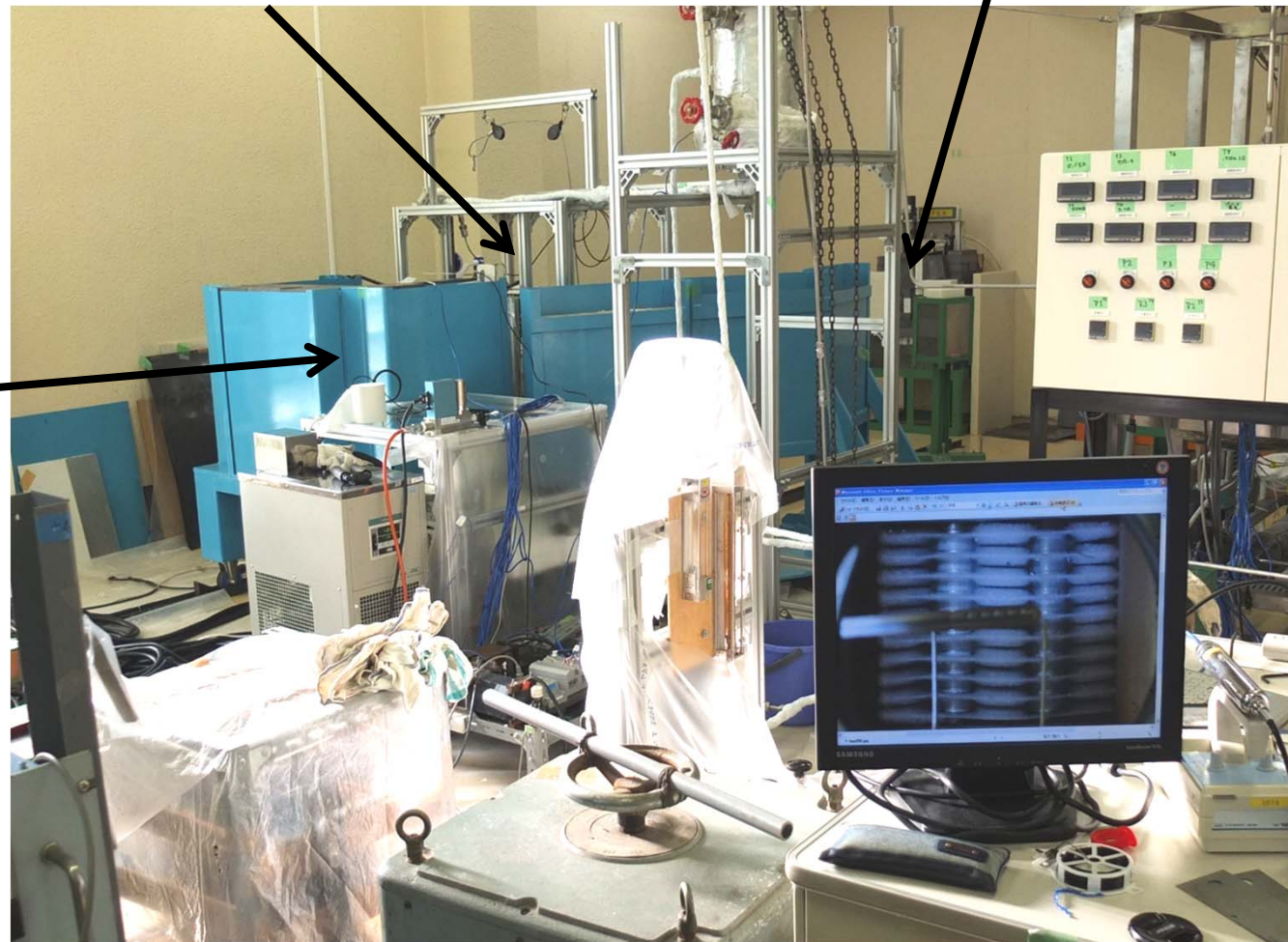
アルミニウム製フィンチューブ熱交換器での着霜・除霜実験

- ・着霜量分布の時間変化の測定
- ・物質伝達率分布の評価
- ・除霜時の観察

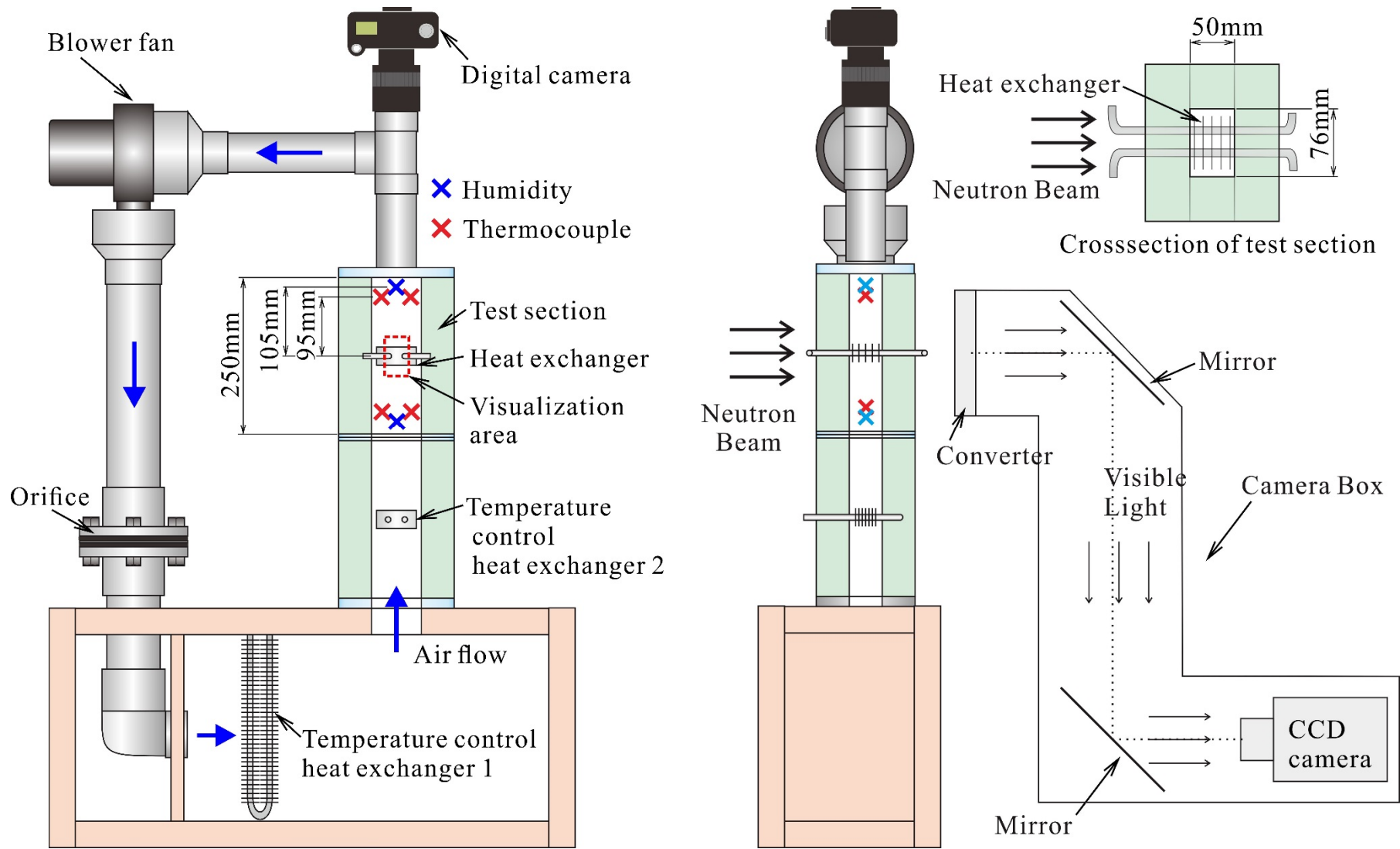
Experimental
apparatus

Beam port

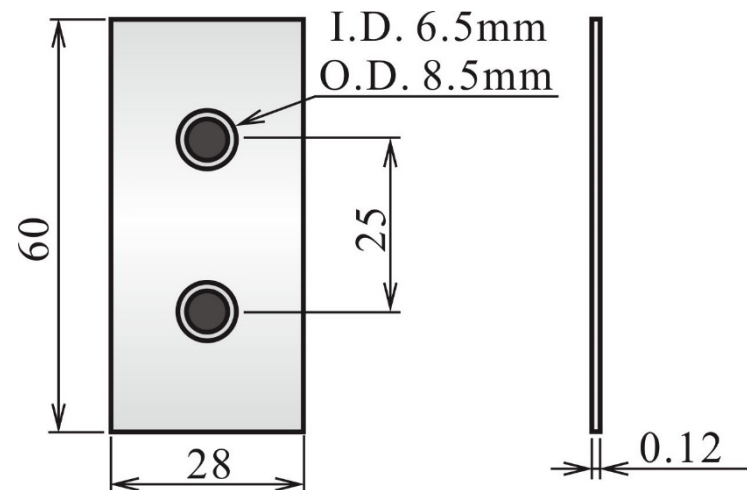
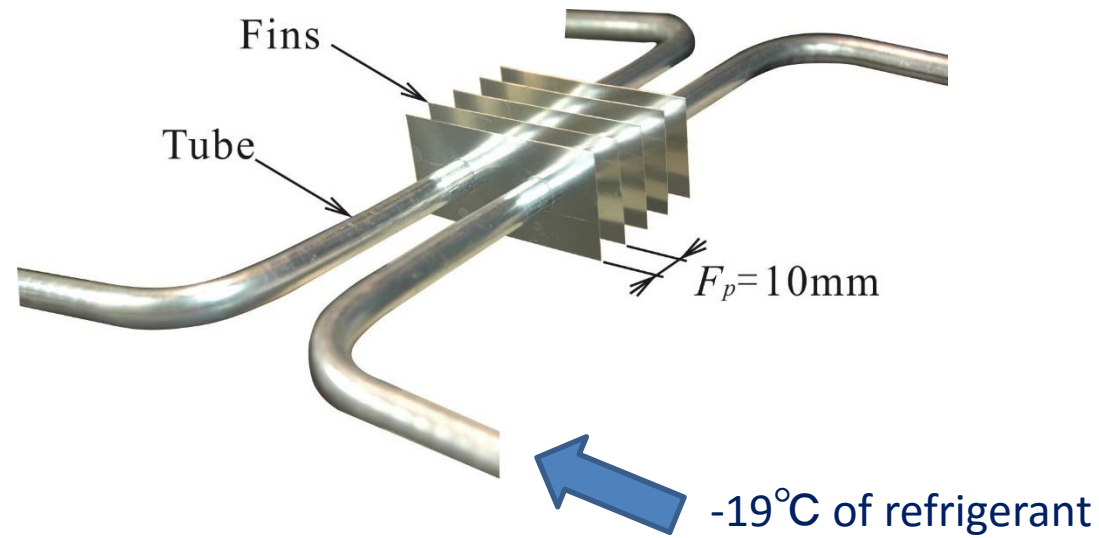
Shield



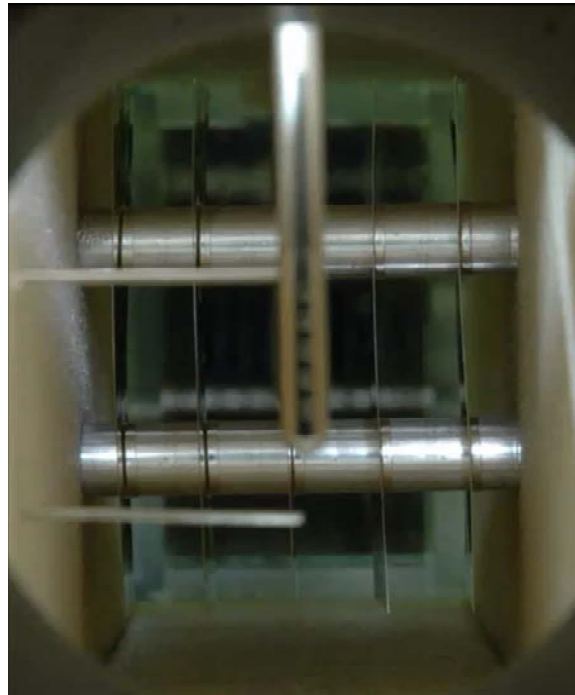
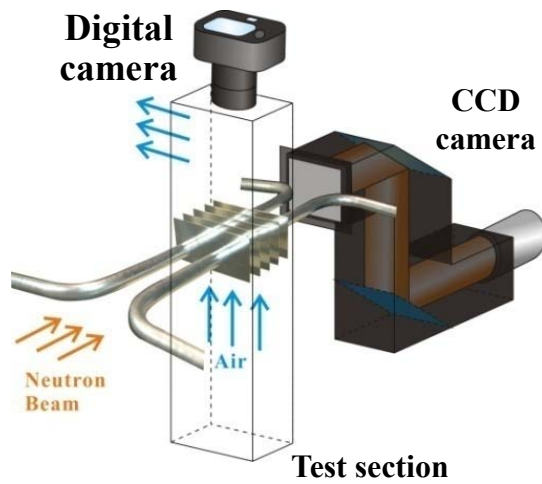
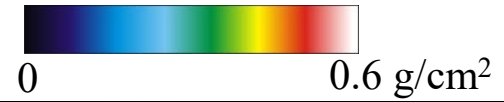
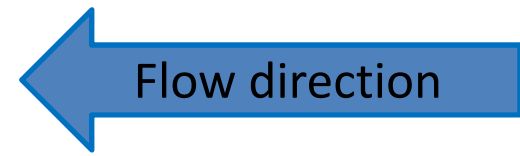
実験装置



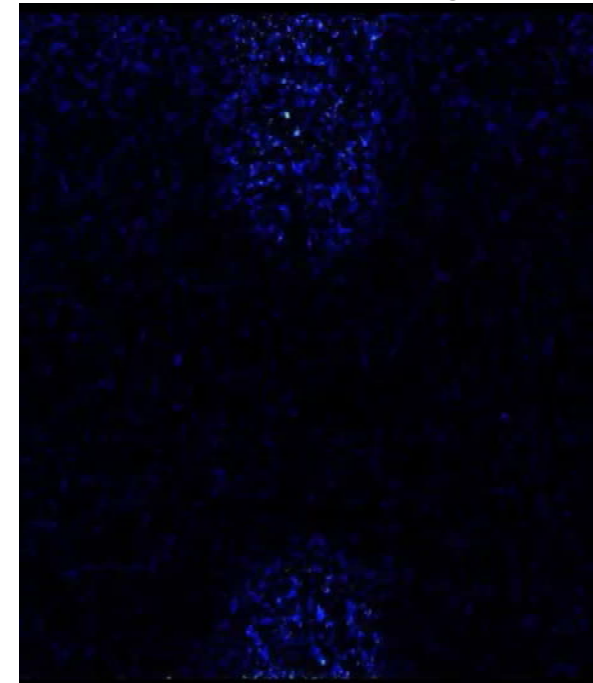
フィンチューブ熱交換器 $F_p=10\text{mm}$



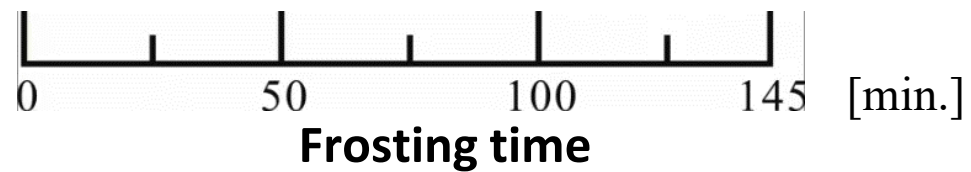
● Flow direction



Digital Camera image



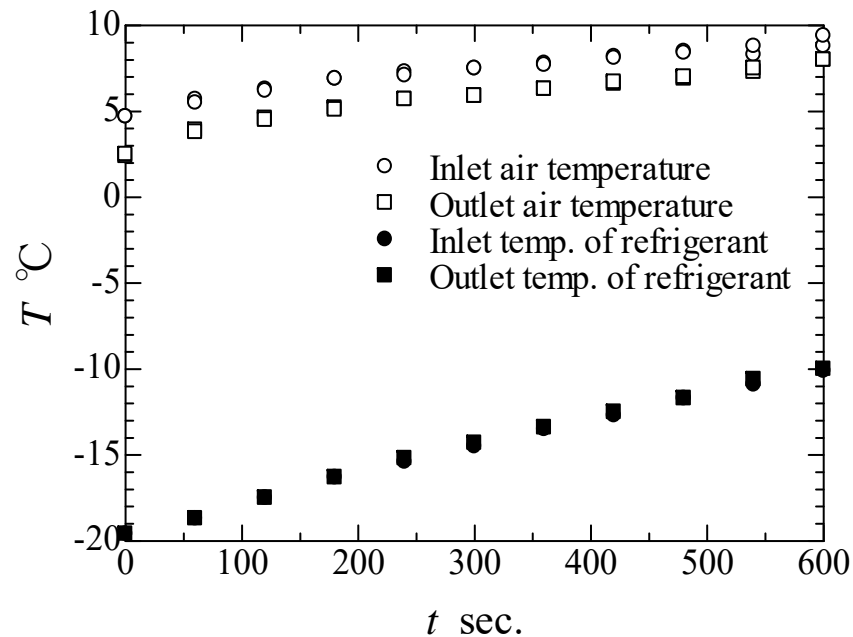
Frost accumulation



除霜時の融解水挙動の観察

着霜開始から148分後に、着霜部の熱交換器の冷凍機と空気温度調整用熱交換器の冷凍機の電源を切り、冷媒の循環を停止して除霜を開始

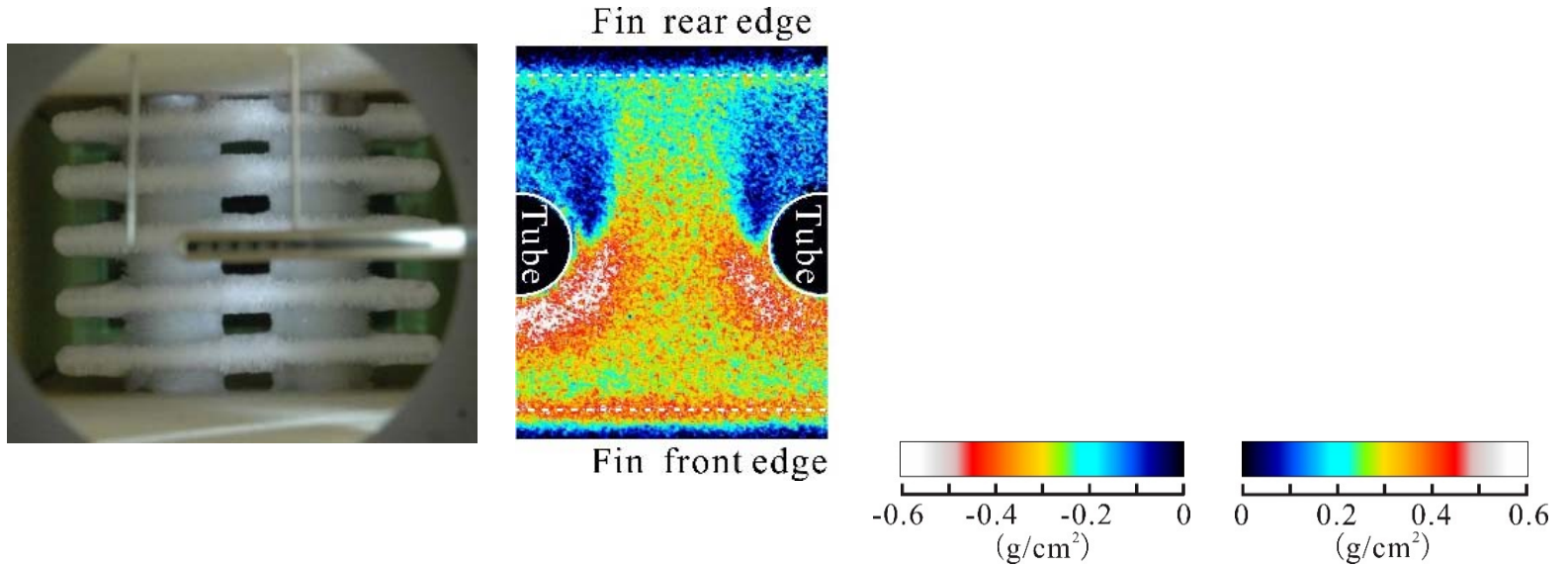
循環空気流量は250 l/minが保たれ、空気流からの加熱により除霜。除霜の間、露光時間5秒の中性子透過画像を120枚連続で撮影。



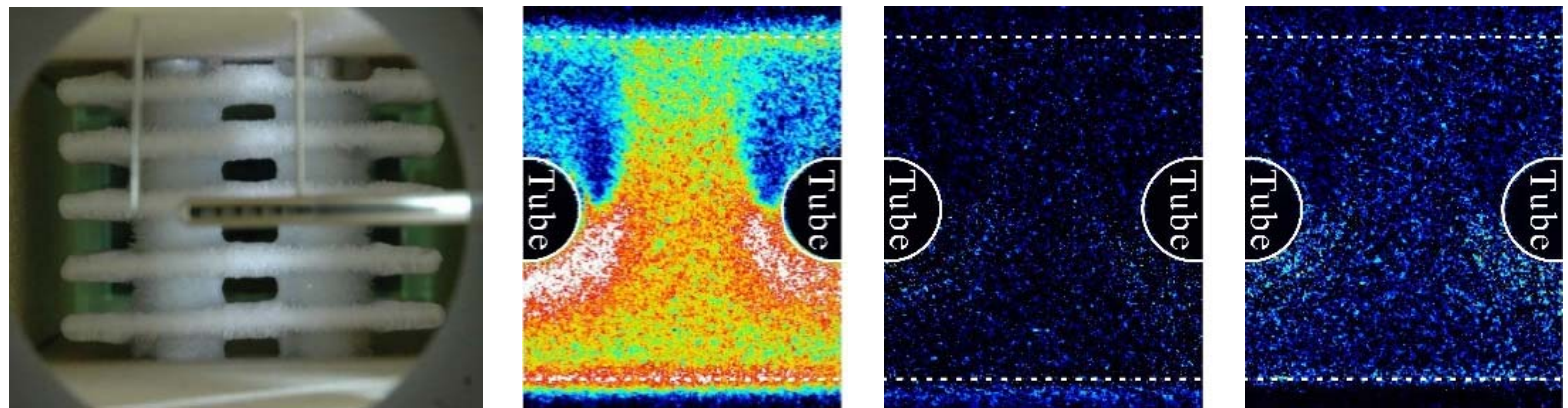
除霜の間の熱交換器上下流の空気温度
および冷媒の温度履歴

水分量分布の変化 $t=140\text{sec}$ 時 ($t=20\text{sec}$ 基準)

$t = 20 \text{ sec}$



$t = 140 \text{ sec}$



デジタルカメラ

水分量分布

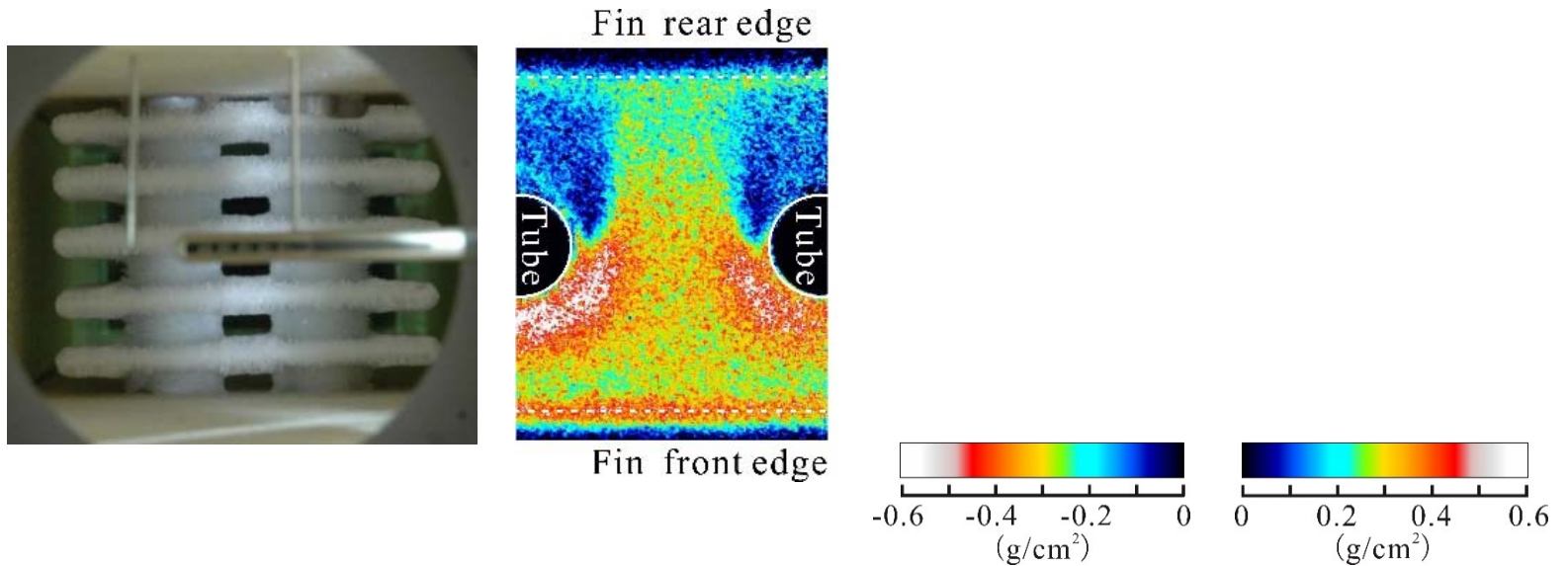
減少

増加

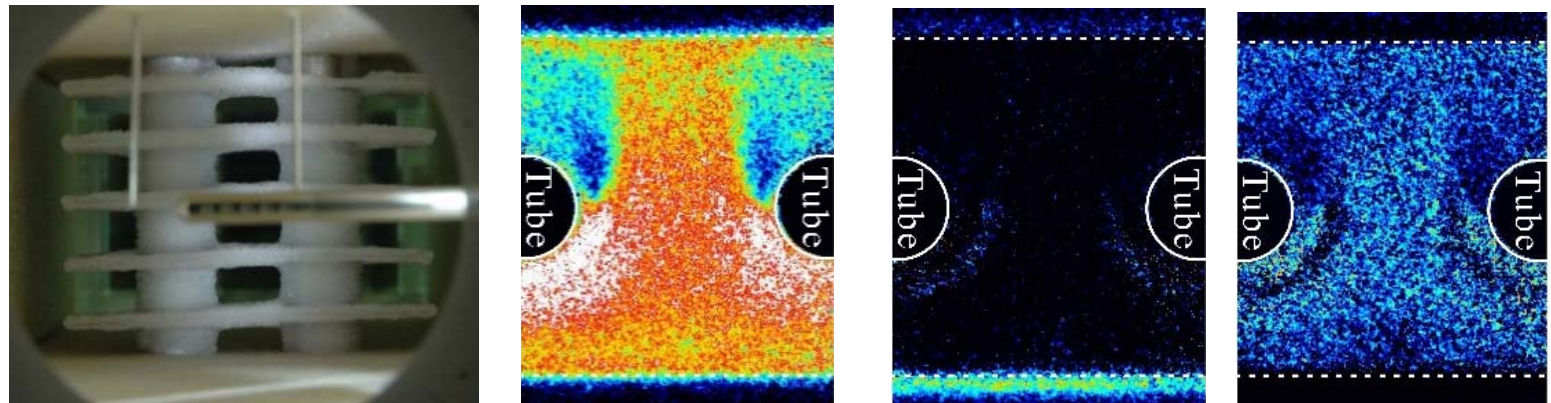
水分量がわずかに増加. 除霜操作を始めても伝熱面に着霜

水分量分布の変化 $t=290\text{sec}$ 時 ($t=20\text{sec}$ 基準)

$t = 20 \text{ sec}$



$t = 290 \text{ sec}$



デジタルカメラ

水分量分布

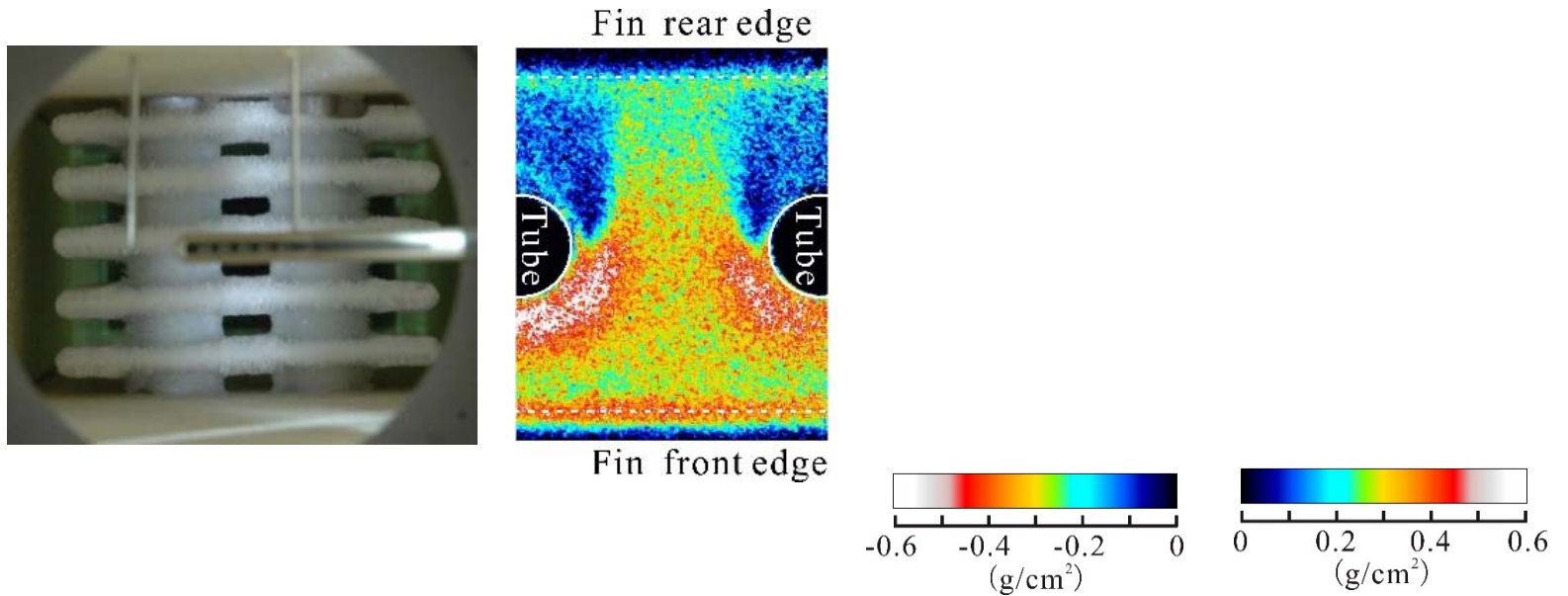
減少

増加

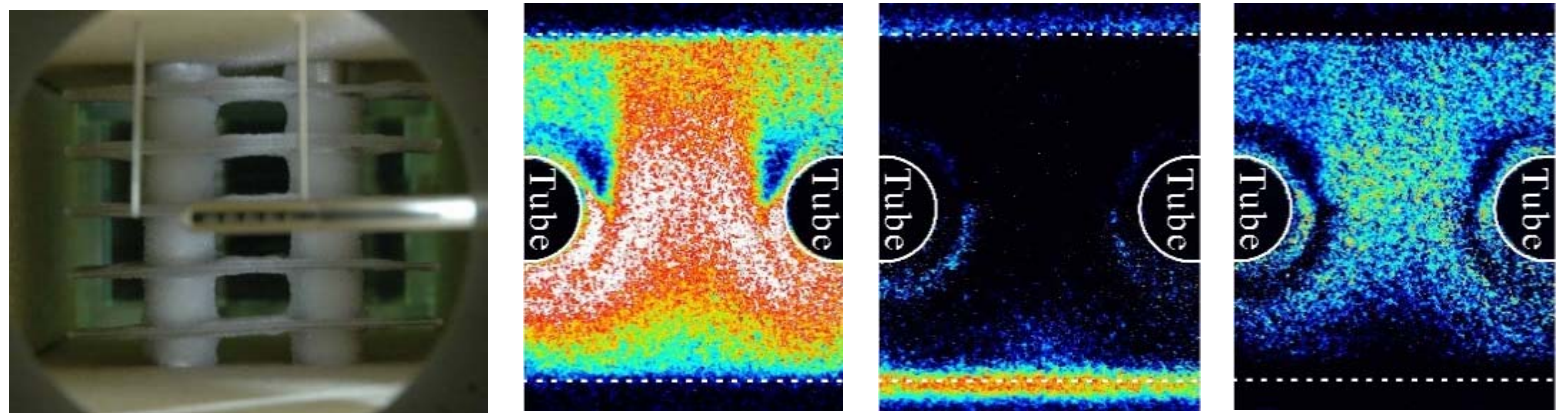
フィン前端部, 観察領域外の左右のフィンでの霜が融解.
融解水がフィン面方向に浸透し, 水分量が増加

水分量分布の変化 $t=380\text{sec}$ 時 ($t=20\text{sec}$ 基準)

$t = 20 \text{ sec}$



$t = 380 \text{ sec}$



デジタルカメラ

水分量分布

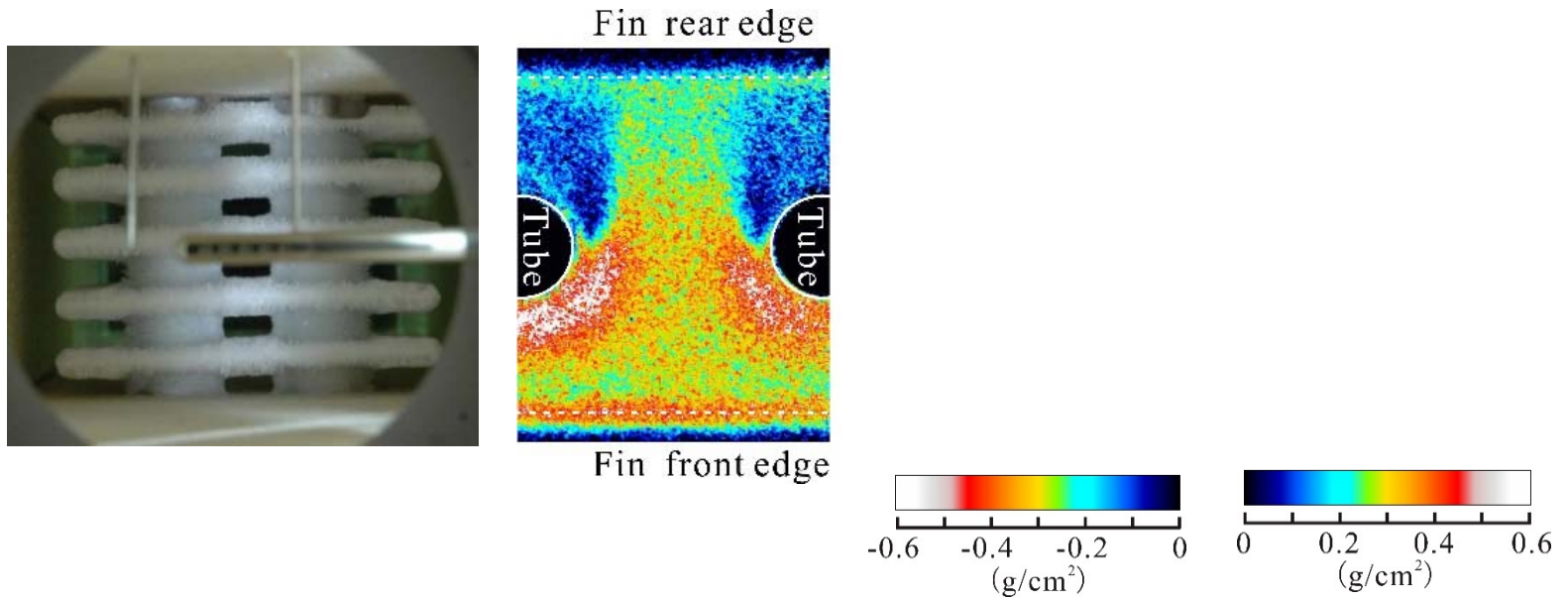
減少

増加

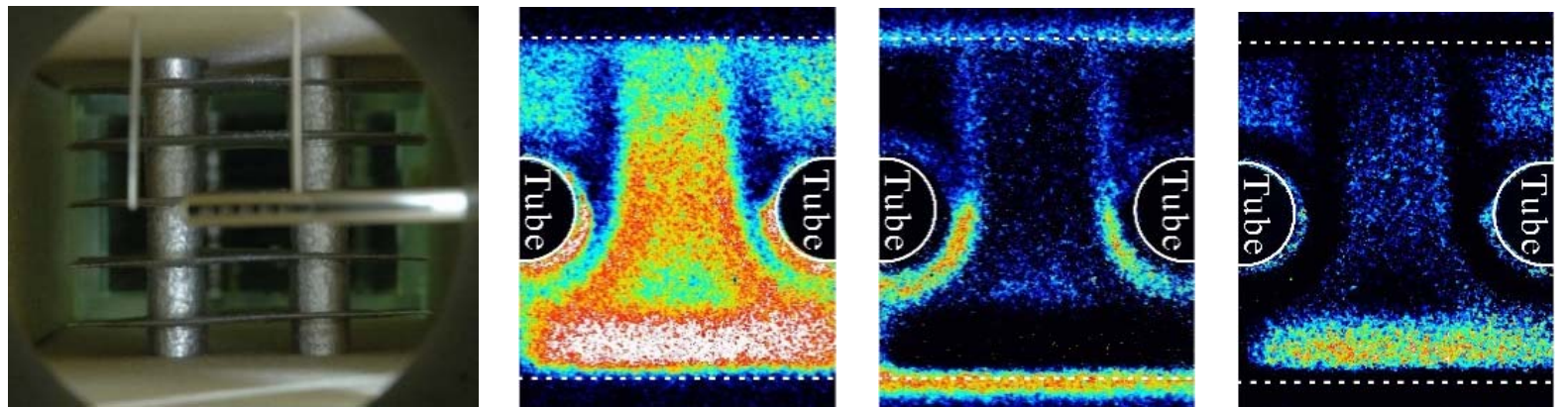
フィン前端部中央の霜層が薄くなり、水分が減少. フィン中央部に水分が集中.

水分量分布の変化 $t=470\text{sec}$ 時 ($t=20\text{sec}$ 基準)

$t = 20 \text{ sec}$



$t = 470 \text{ sec}$



デジタルカメラ

水分量分布

減少

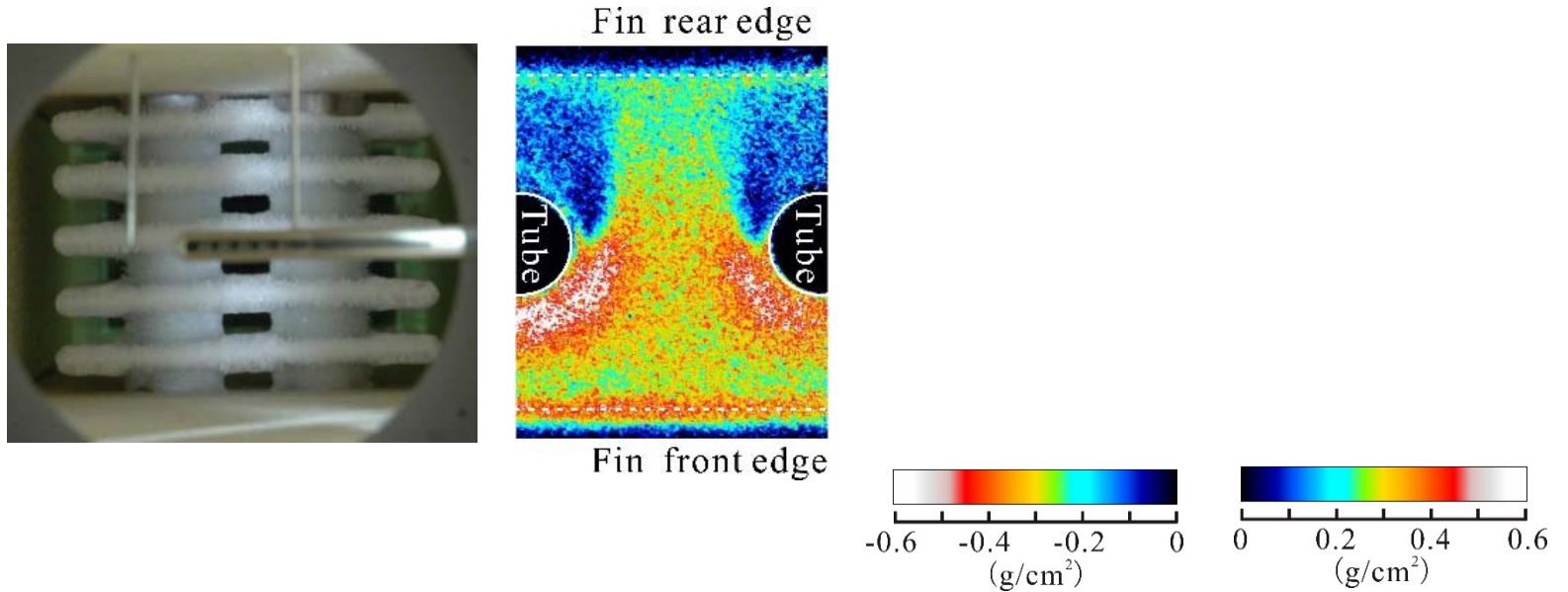
増加

融解水が重力でフィン下側に集まる。

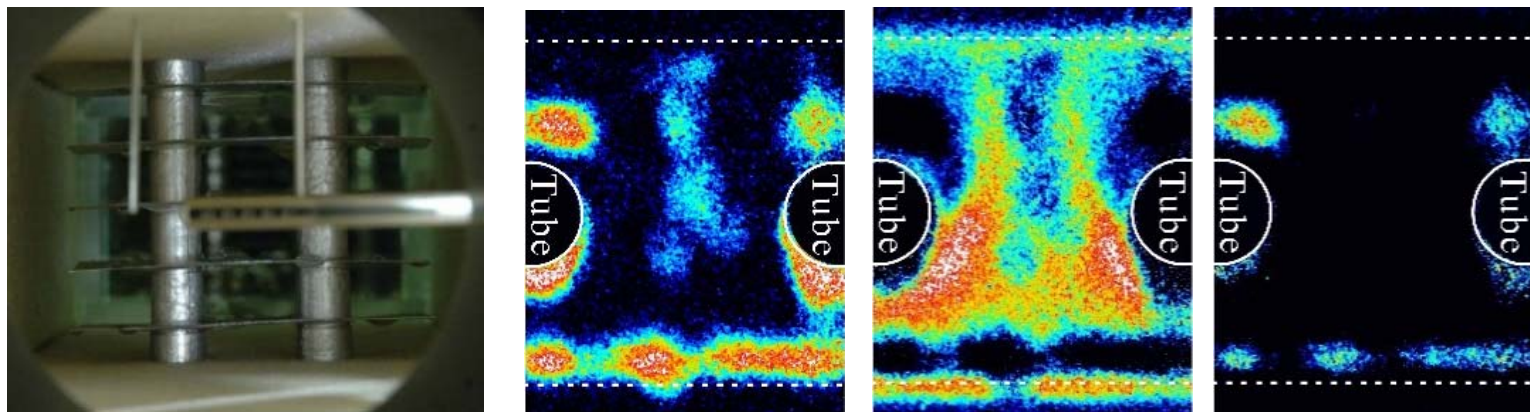
フィン中央部で高い水分分布。融解水の一部が再凍結か。

水分量分布の変化 $t = 590\text{sec}$ 時 ($t = 20\text{sec}$ 基準)

$t = 20 \text{ sec}$



$t = 590 \text{ sec}$



デジタルカメラ

水分量分布

減少

増加

融解水のほとんどは落下，離脱し，除霜が完了

フィンチューブ熱交換器の強制対流下での除霜について、中性子ラジオグラフィを用いて水分分布を測定し、融解水の評価を行った。その結果、以下のことが得られた。

(1) 中性子ラジオグラフィを用いて除霜時の水分分布を定量的に評価することができた。

(2) 除霜の初期では、融解水が霜層厚み方向に浸透する融解進行期間であり、融解水のフィンの面方向への移動は観察されない。

(3) フィン前端部やチューブ周囲の融解が始まり、水分浸透層が飽和すると、フィン面方向に融解水が浸透する。面方向の融解水移動は全着霜量の約30%に達する。