

平成29年度中性子イメージング専門研究会

日時:平成29年12月28日(木)

場所:京都大学原子炉実験所事務棟大会議室

---

---

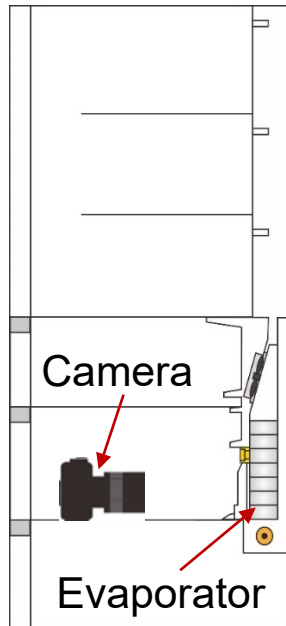
## 熱交換器への3次元着霜分布のCT計測

---

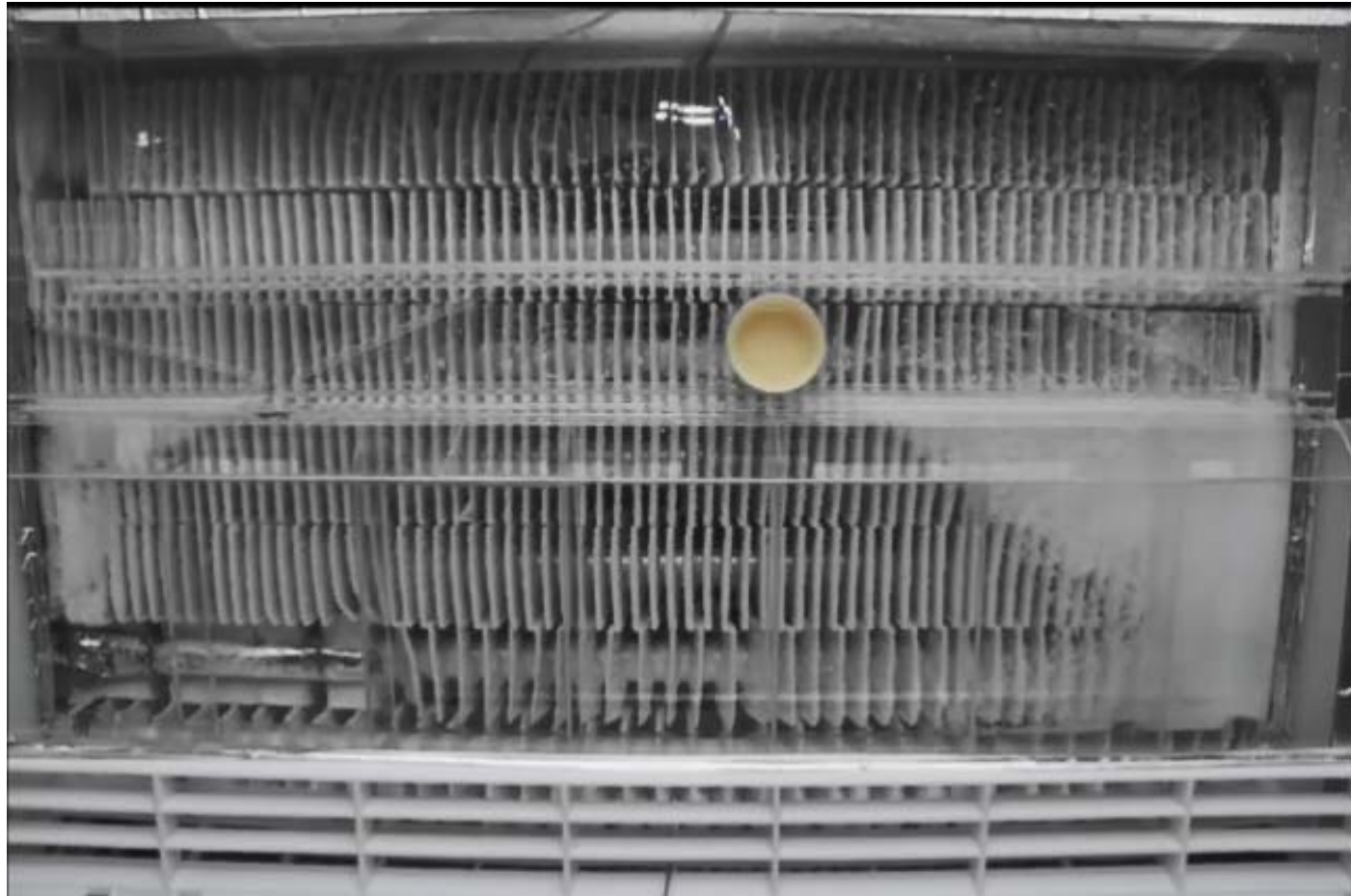
---

松本亮介(関西大学), 長澤佳輝(関西大学大学院), 上地拓摩(関西大学大学院),  
塩川貴大(関西大学4年生), 鶴間圭亮(関西大学4年生),  
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)

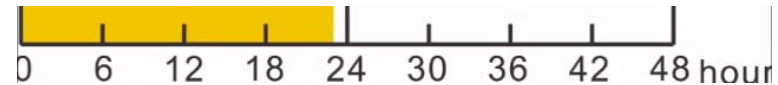
# 熱交換器への着霜問題



家庭用冷蔵庫



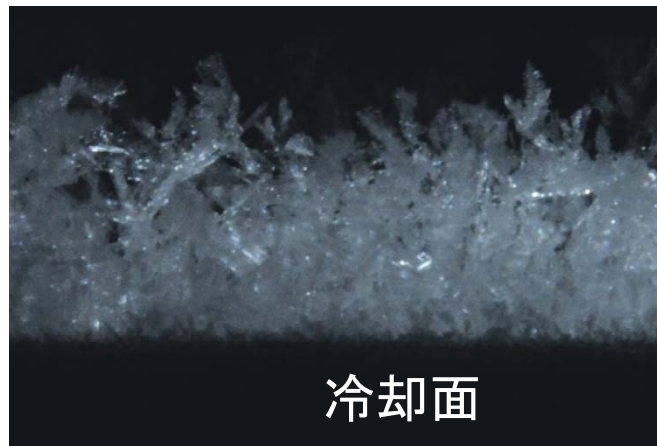
蒸発器での着霜(7200倍速)



作動冷媒が $0^{\circ}\text{C}$ 以下で動作する熱交換器では、**着霜**が生じ、熱機器(冷蔵庫, ヒートポンプなど)の性能を大幅に低下させる.

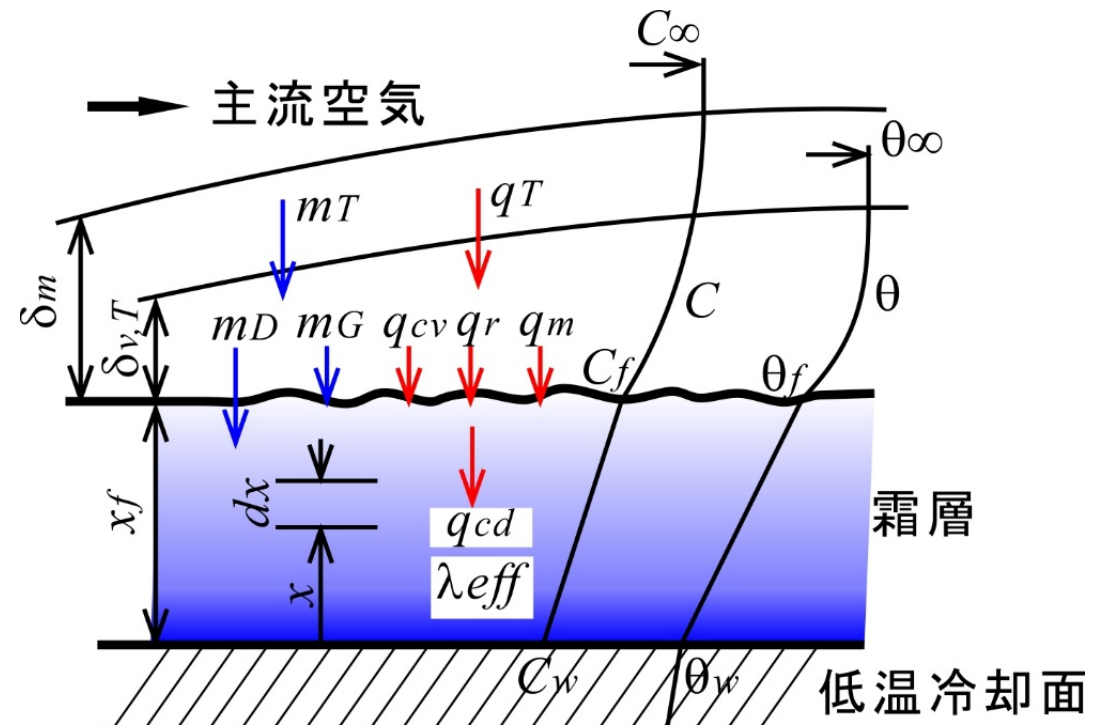
- ✓ 熱交換器の熱抵抗と流動抵抗の増加
- ✓ **除霜**運転(冷蔵庫の場合, 電気ヒータで加熱)によるエネルギーロス

# 霜層の微細構造・着霜モデル・霜密度



単一平板上自然対流での着霜  
(着霜時間50min)

冷却面温度:  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 空気温度:  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$



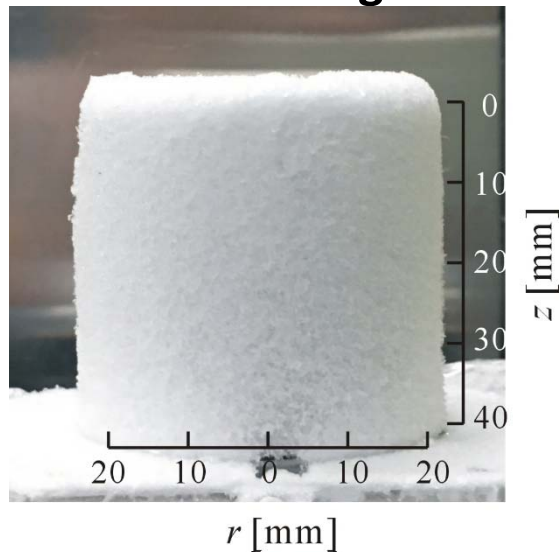
着霜モデル

- ✓ 着霜モデルには、霜層の構造、霜層の熱物性(等価熱伝導率, **霜密度**)が必要.
- ✓ **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.
- ✓ 着霜抑制・防止を目指すも、**霜層の微細構造**の定量3次元計測がない.
- ✓ デフロスト時の**融解**, **ドレン水排出の挙動**の観察が困難.

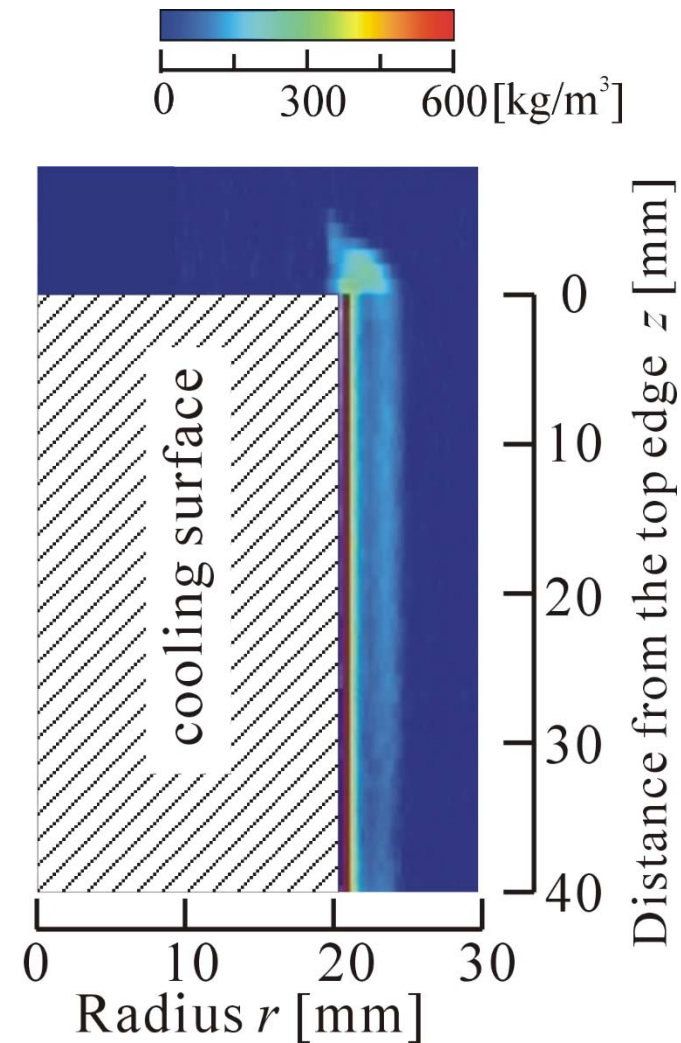
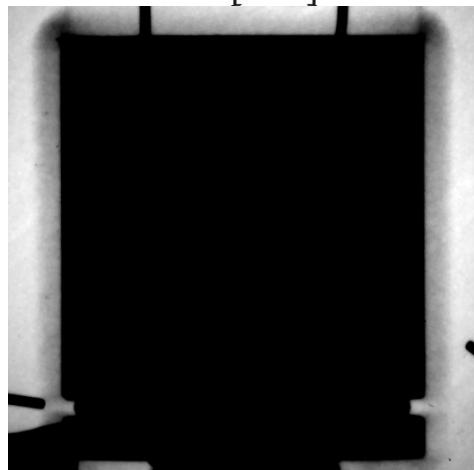
## 霜層厚み方向の霜密度分布計測(2015年度)

- ・ 京都大学原子炉実験所 B4照射室 X線ラジオグラフィ  
X線発生装置 80 kV, 5 mA , 露光時間 60sec
- ・ 逆アーベル変換による半径方向霜密度分布評価  
120min images

Digital  
Camera  
image

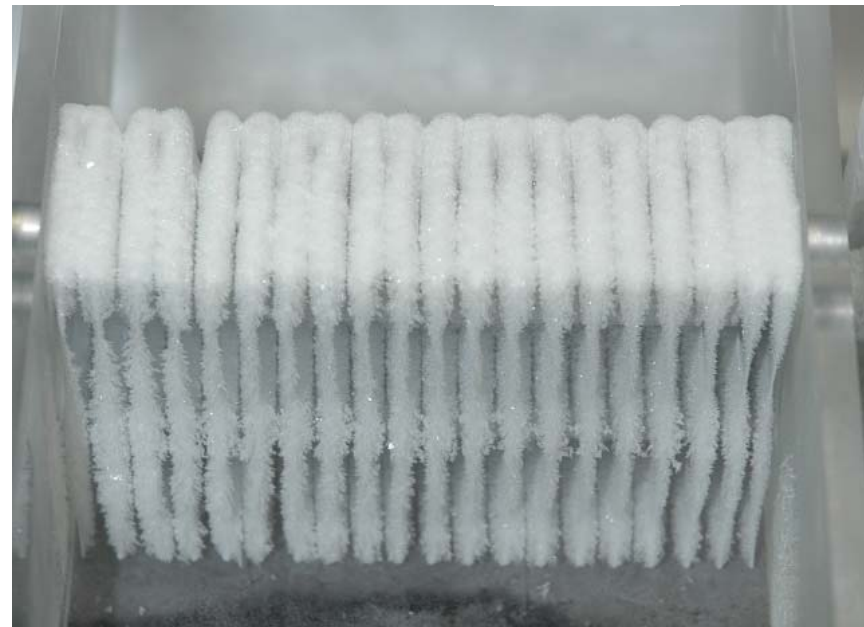
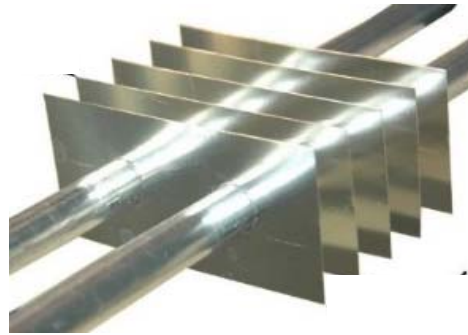


X-ray  
image



# 熱交換器への着霜

プレートフィンチューブ熱交換器への着霜



# 中性子・X線ラジオグラフィの霜計測への利用

熱交換器への着霜量分布 (cmスケール)

霜層厚さ方向の霜密度 (mmスケール)

霜結晶の微細構造 ( $\mu\text{m}$ スケール)

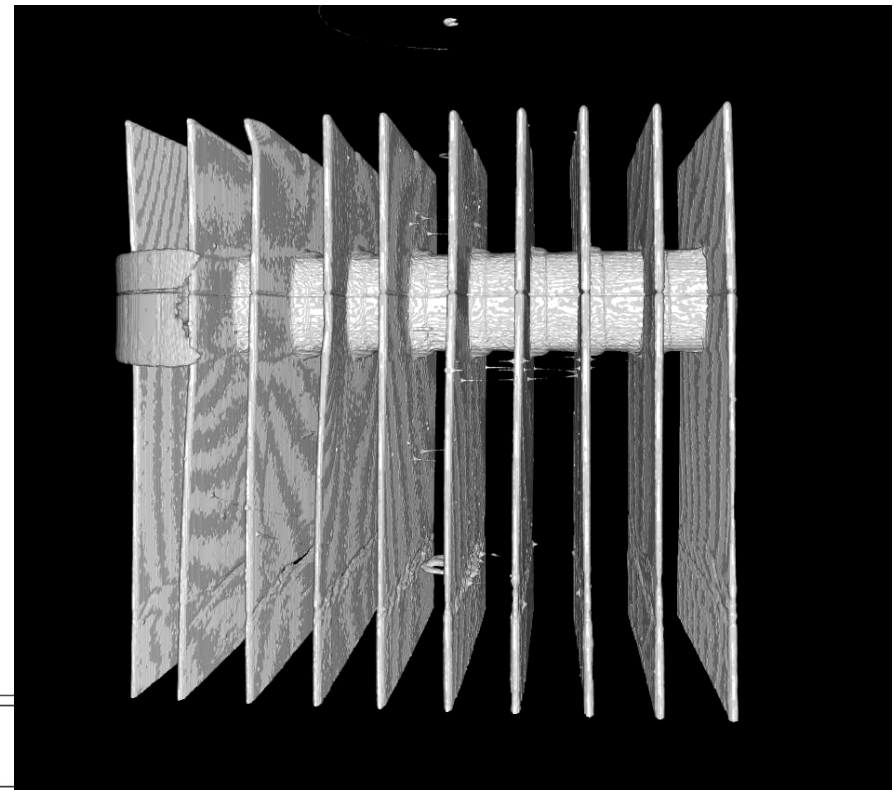
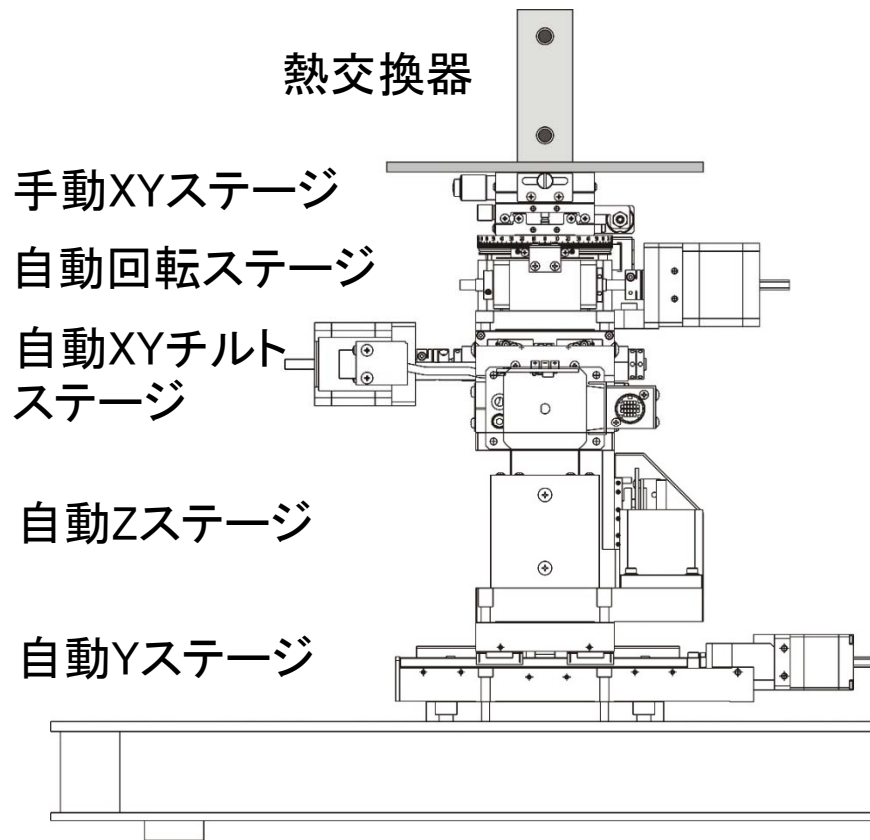
での着霜現象の評価

1. 熱交換器フィン面上の2次元着霜量分布計測  
(KUR B4, E2 中性子ラジオグラフィ) 2011-2012
2. 霜層厚み方向の霜密度分布計測  
(KUR X線ラジオグラフィ) 2015-2016
3. 霜層の3次元微細構造の計測  
(SPring-8 BL20B2 X線 $\mu\text{CT}$ ) 2016-2017
4. 熱交換器の3次元着霜量分布計測  
(KUR X線ラジオグラフィ CT計測) 2016  
(KUR 中性子ラジオグラフィ CT計測) 2017

# X線ラジオグラフィによる熱交換器の3次元着霜量分布計測

- ・ 京都大学原子炉実験所 B4照射室 新型X線照射装置
- ・ 2016年12月16日 無着霜時の熱交換器のCT撮影
- ・ 2017年1月24日 着霜時の熱交換器のCT撮影  
プレートフィンチューブ熱交換器での着霜分布と霜密度分布

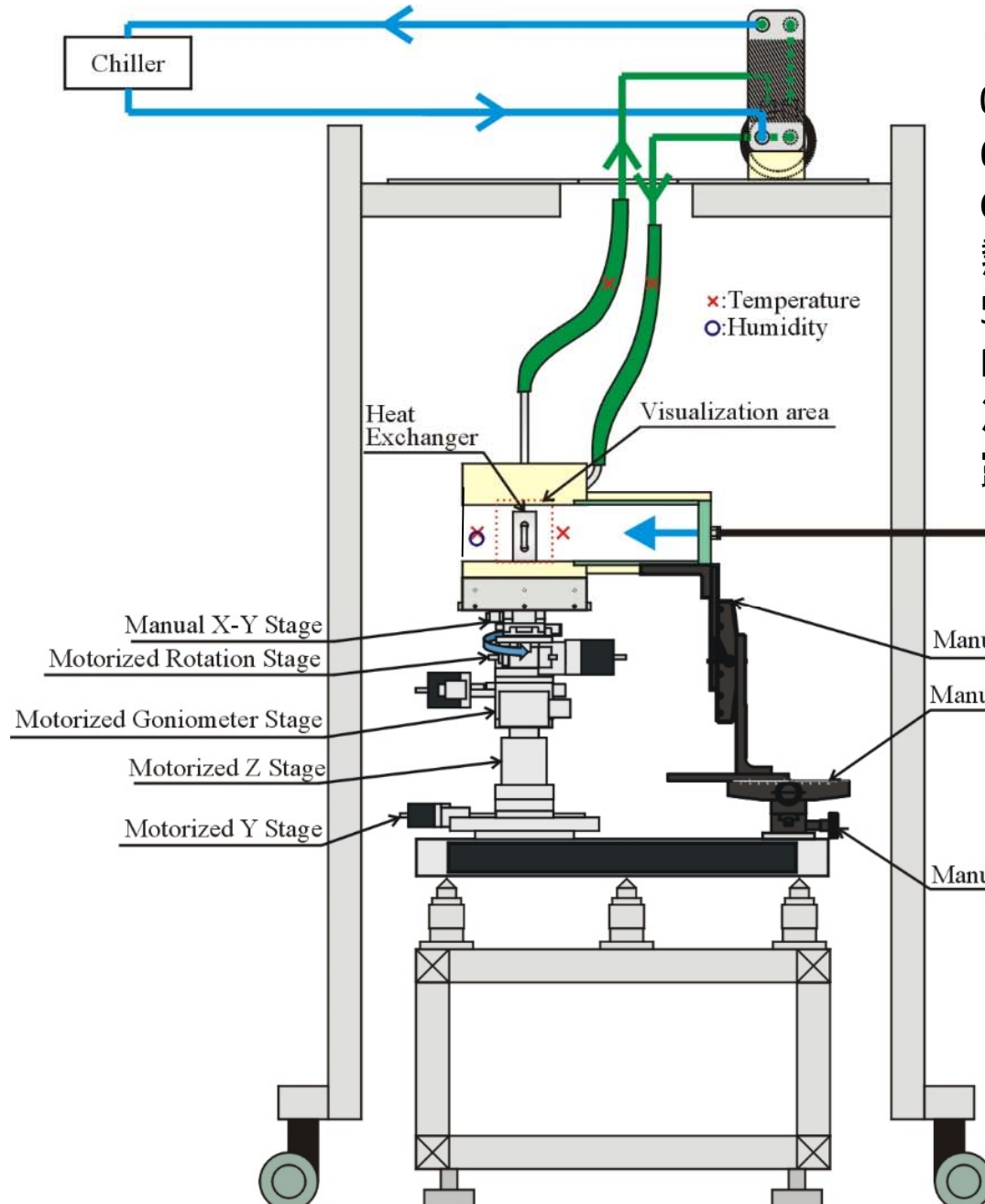
⇒ 無着霜時の熱交換器の再構成は可能だが、霜層の計測は不可能であった



回転ステージ

無着霜時の熱交換器の再構成画像

# 中性子ラジオグラフィによる熱交換器の3次元着霜量分布計測



1時間着霜させた熱交換器を  
0.3° ずつ回転させ、  
600枚の透過画像を取得。

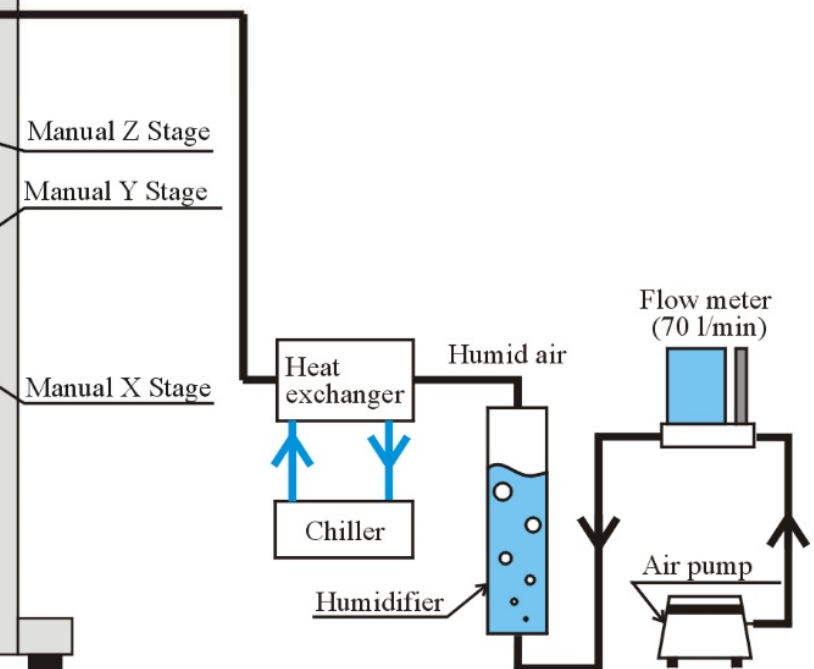
CT撮影中は湿り空気を流さない  
熱交換器の冷却は継続

5MW

Nikon 105mm f1.8

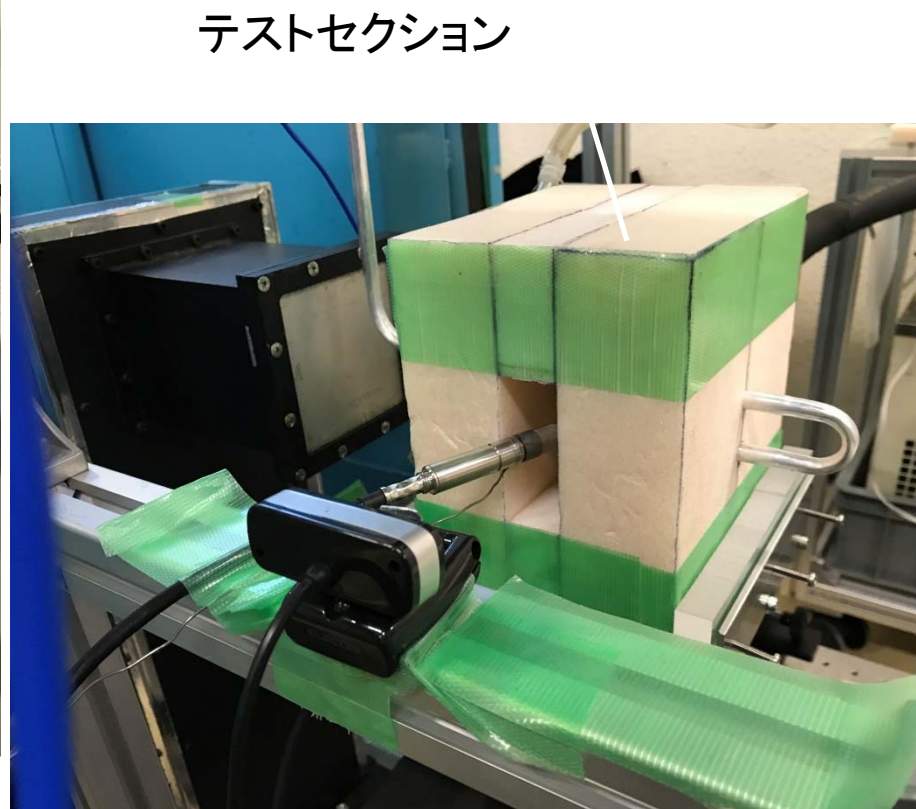
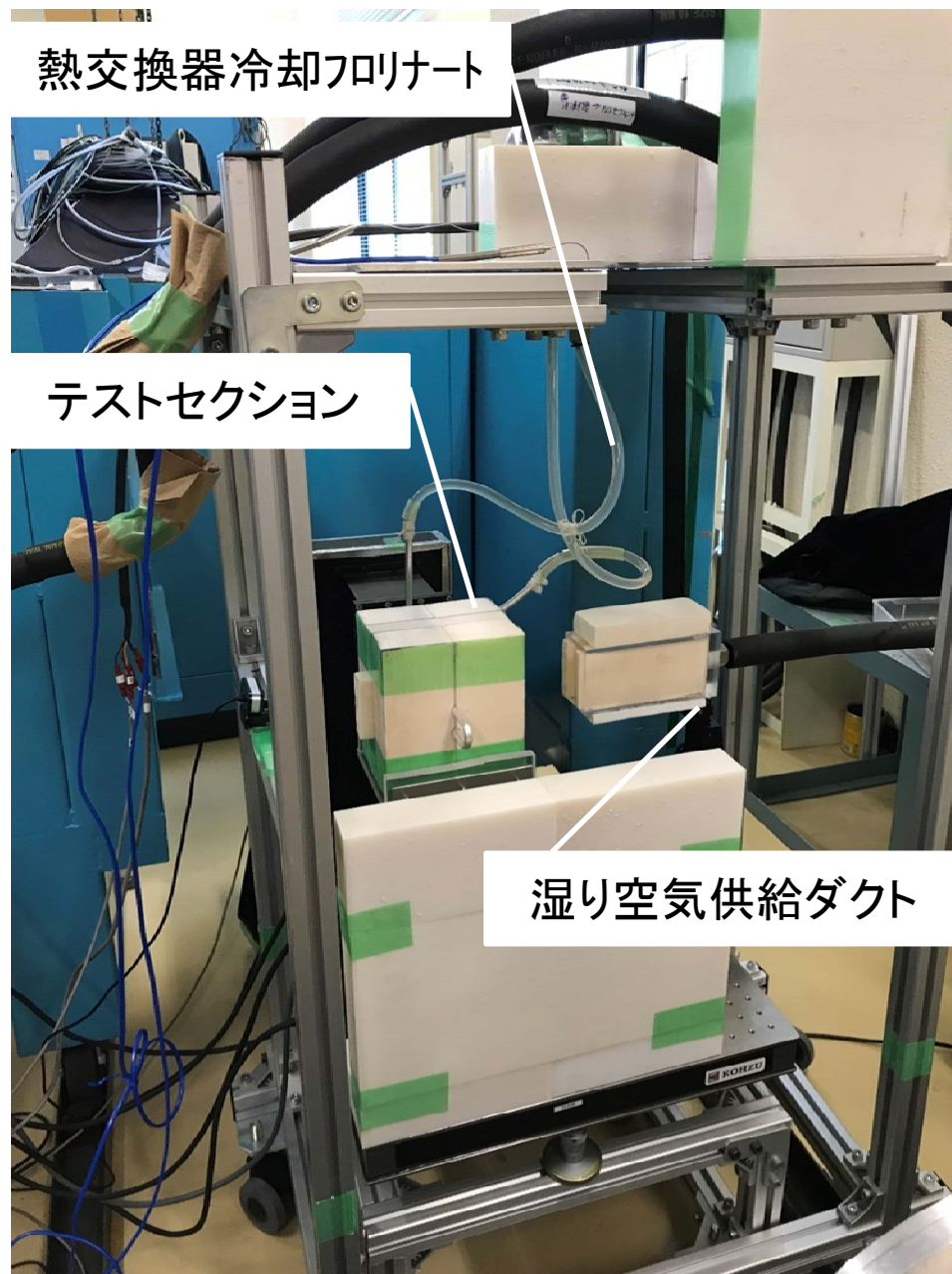
冷却CCDカメラ (Princeton inc., 神大)

露光時間5秒





# 2017年12月5日～7日 B4照射室



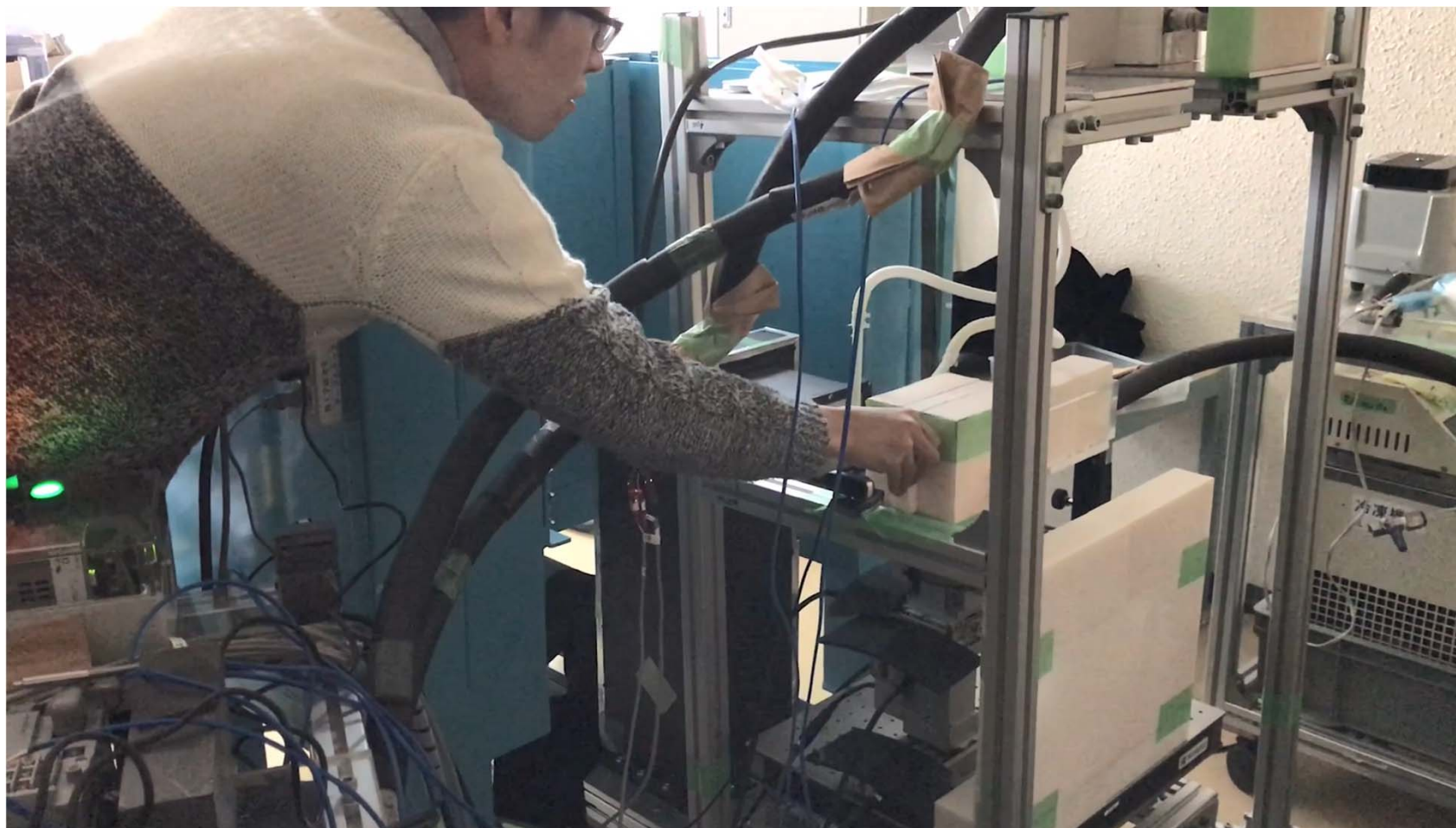
テストセクション出口側から撮影

# 2017年12月5日～7日 B4照射室

着霜後のCT撮影中は湿り空気を流さない

熱交換器の冷却は継続

テストセクションの出入り口は発泡スチロールで蓋をして、霜成長を抑制

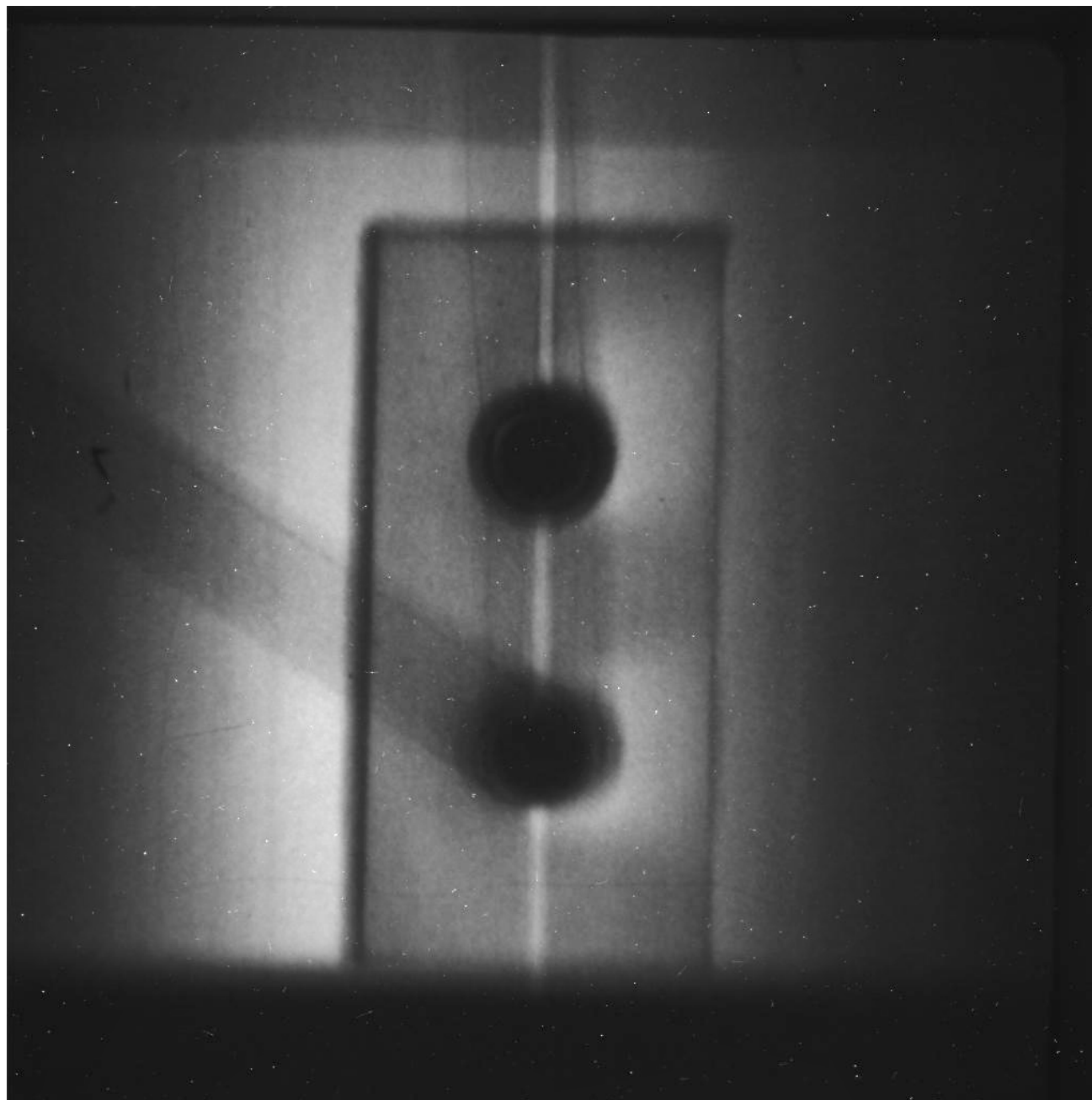


# 2017年12月5日～7日 B4照射室

CT撮影中は、B4照射室外部でPCを操作

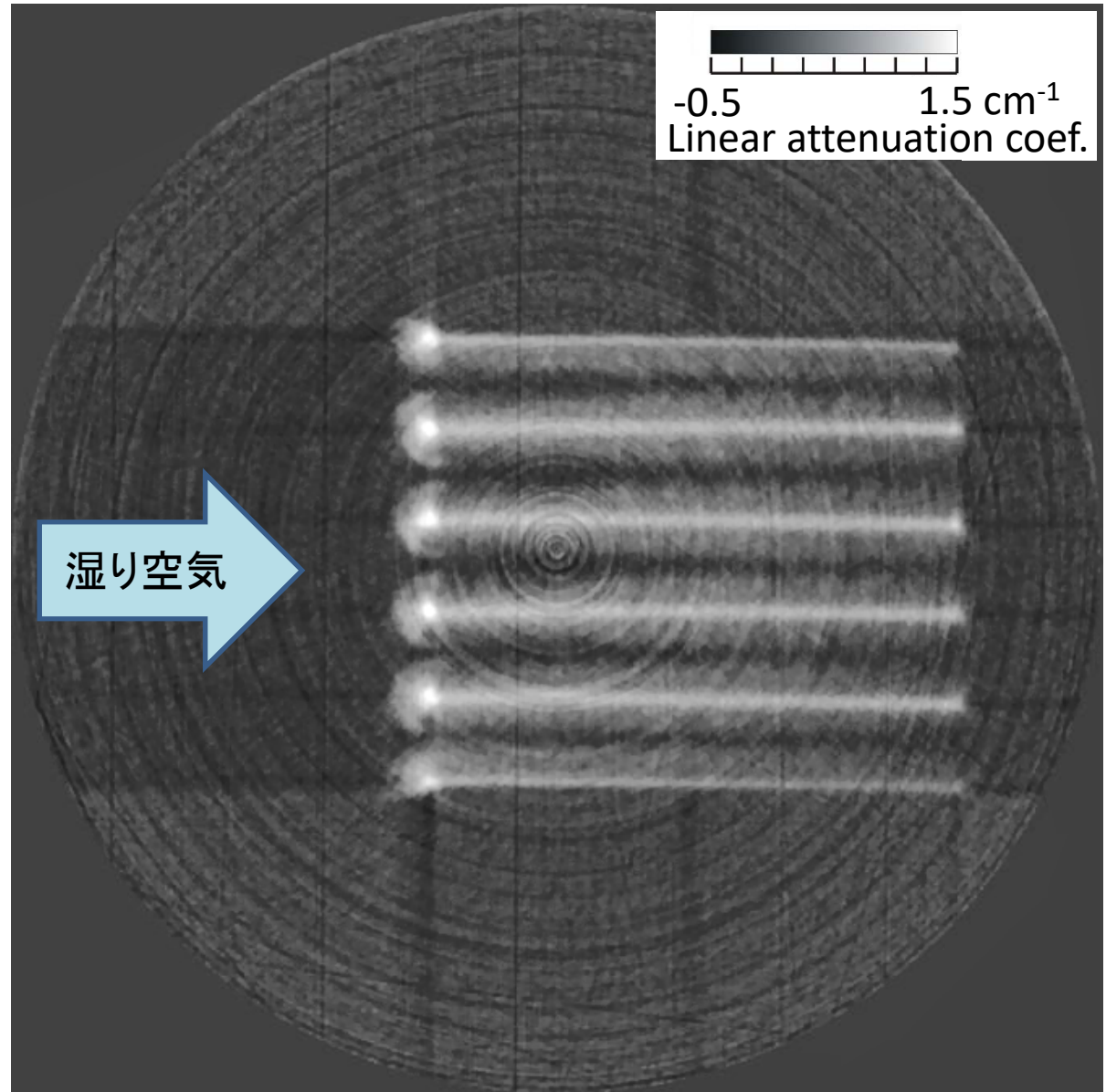
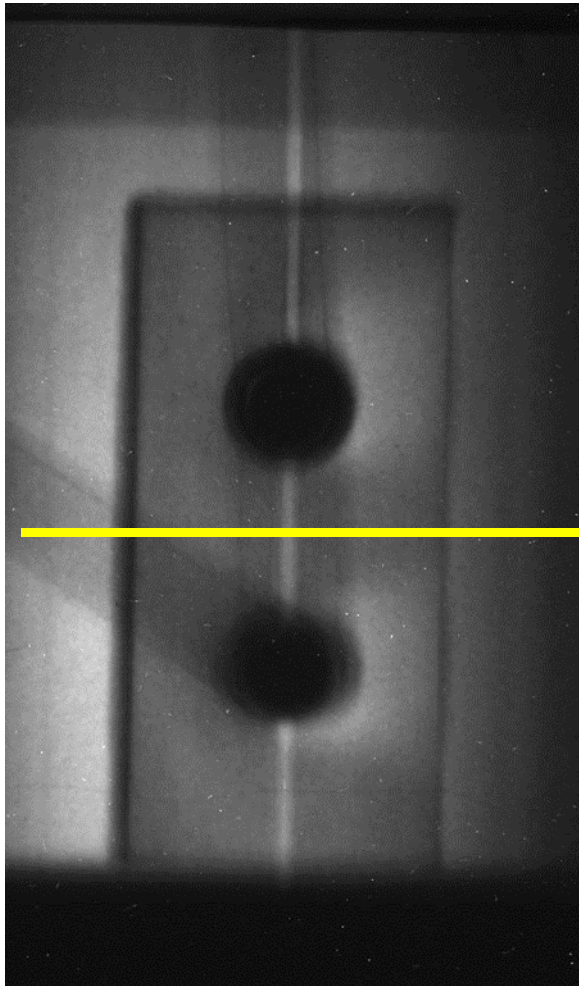


透過画像(600枚を連続再生)

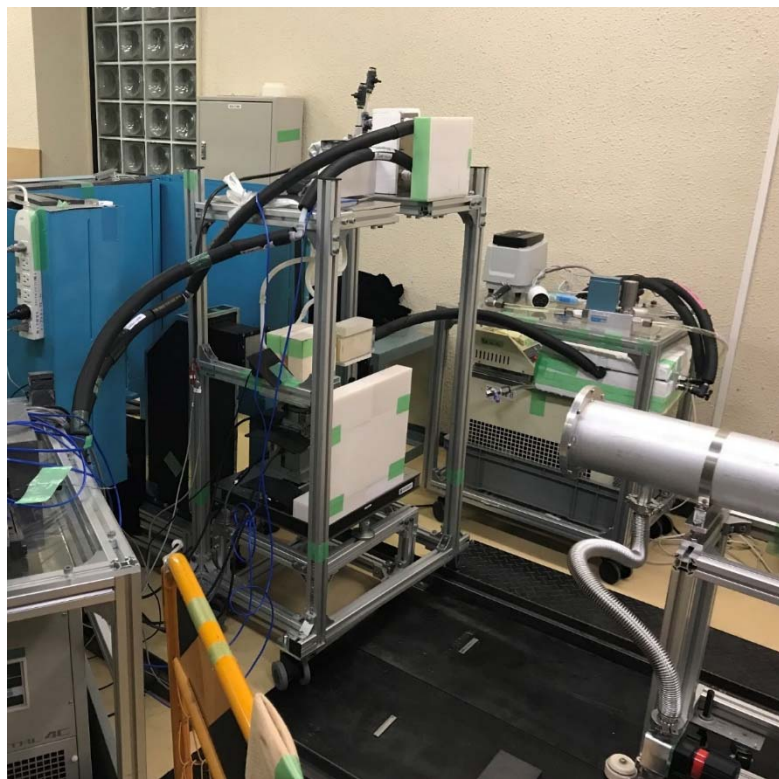
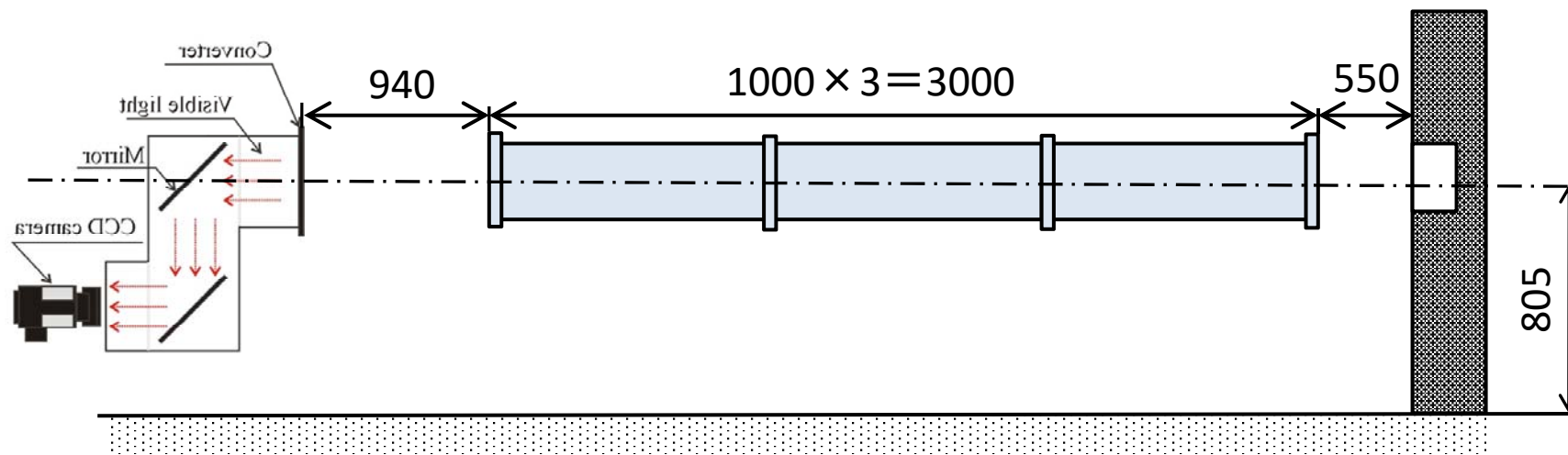


# 再構成した断層画像

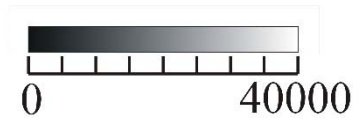
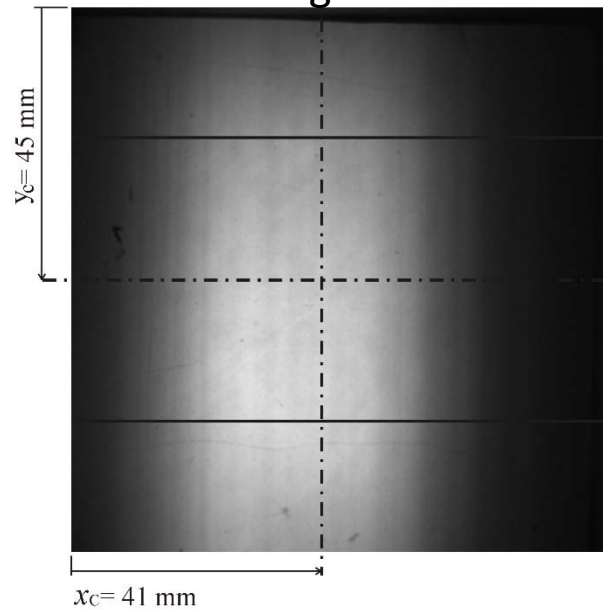
(熱交換器下部から上部にかけて断層部を移動)



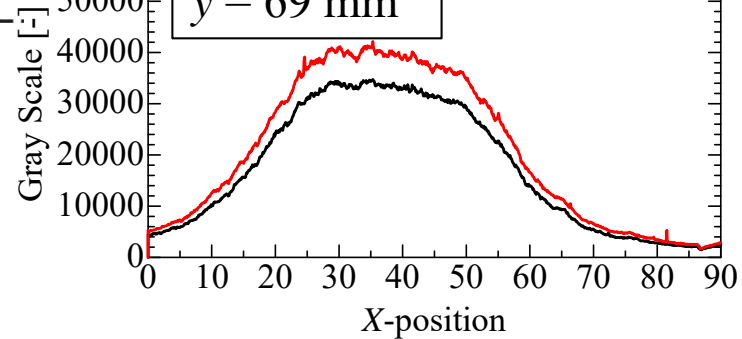
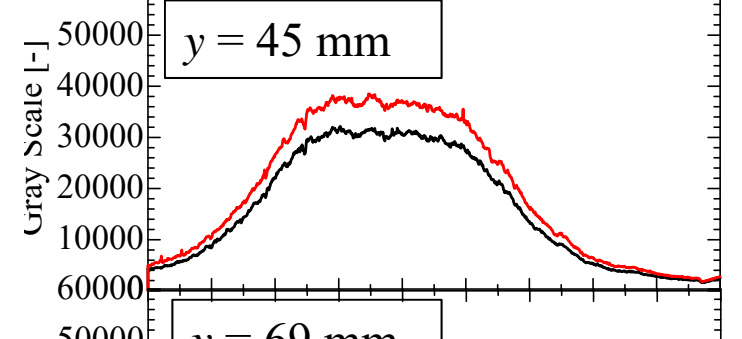
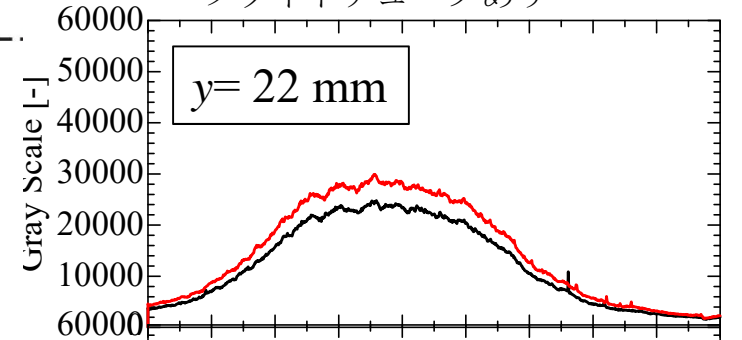
# フライトチューブ (1m × 3本 = 3m)



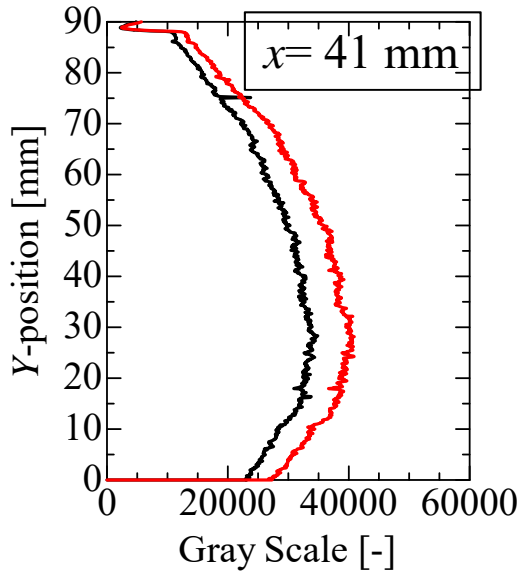
### Without flight tube



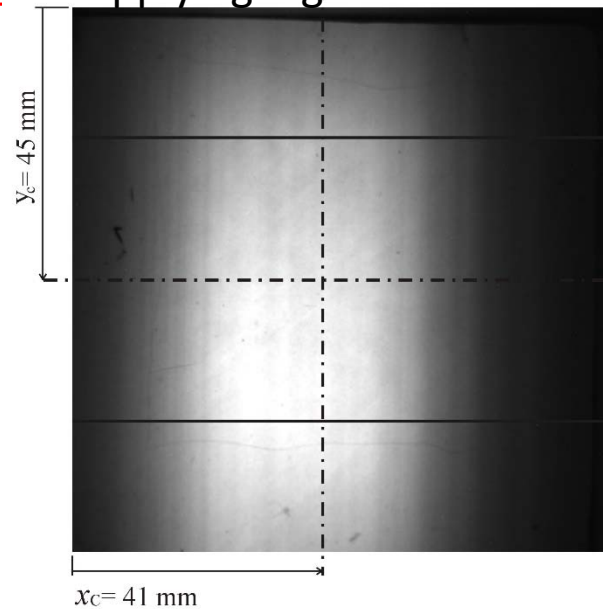
フライトチューブなし —  
 フライトチューブあり —



フライトチューブなし —  
 フライトチューブあり —

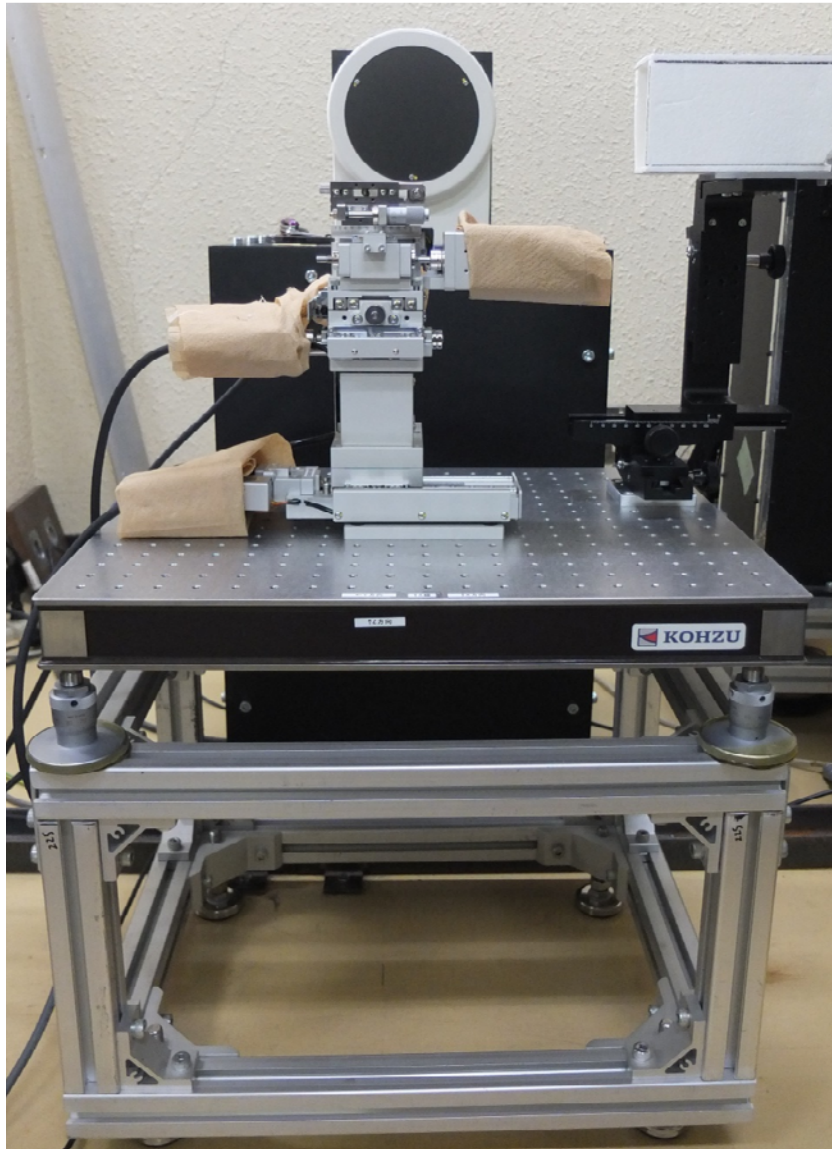


### Applying flight tube



Exposure time:60sec, CCD camera:Princeton Inst, 16-bit, 1024 × 1024 pixels, F1.8

# KOHZU 回転ステージ B4照射室に



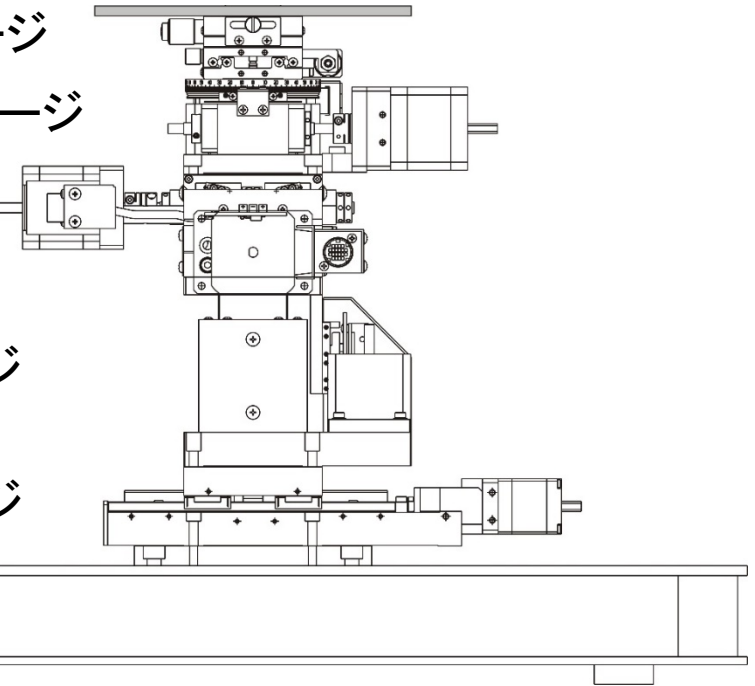
手動XYステージ

自動回転ステージ

自動XYチルト  
ステージ

自動Zステージ

自動Yステージ



回転ステージと熱交換器

回転ステージと熱交換器





## まとめ

京都大学原子炉実験所B4ポートにて、中性子ラジオグラフィにより熱交換器への3次元着霜分布のCT計測を行った。着霜分布および霜密度分布の評価が可能であることが確認された。

フライトチューブを用いることで、輝度が約17%増加した。