



中性子イメージング専門研究会
@京都大学原子炉実験所

2013/01/08-09

中性子ラジオグラフィを用いた 冷却平板への着霜現象の評価

Evaluation of frosting phenomena on cooling plate by using neutron radiography

関西大学

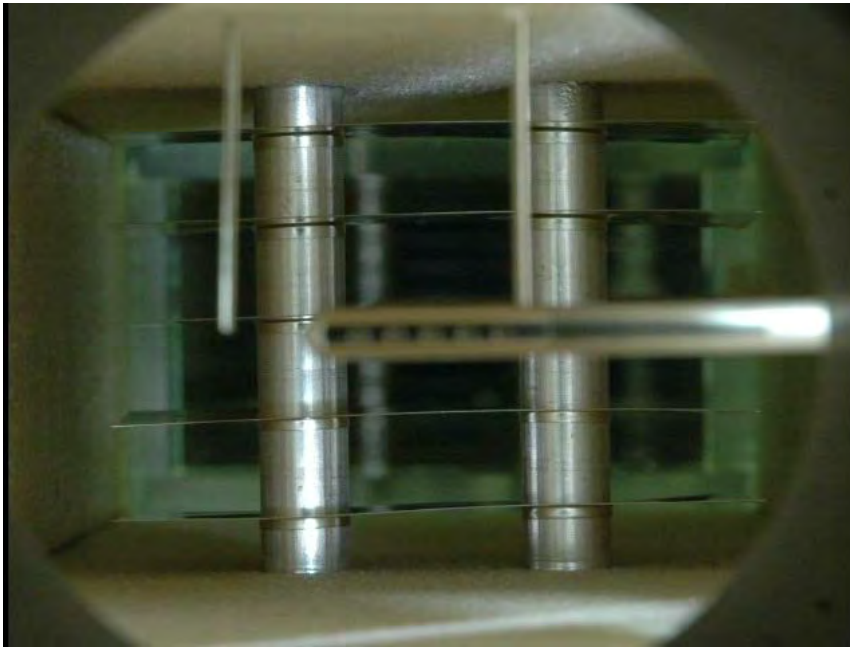
吉村 智也 松本 亮介

梅川 尚嗣 網 健行

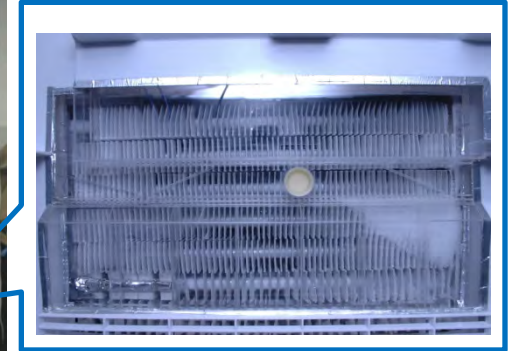
京都大学原子炉実験所

齊藤 泰司

Background



冷蔵庫



ヒートポンプ(室外機)

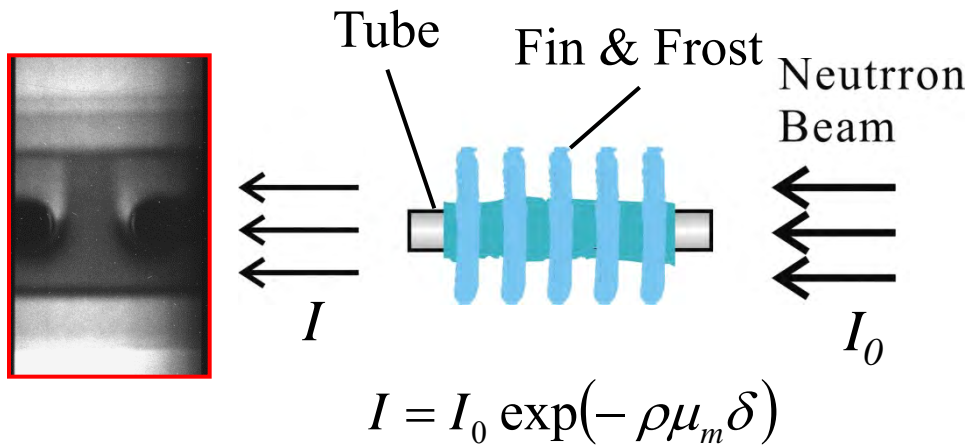


Frosting time

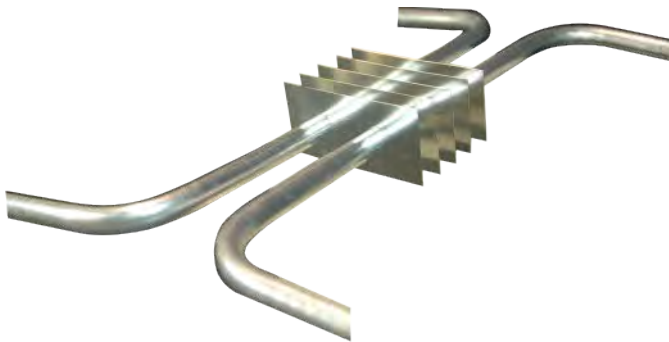
目的

冷却面に対して垂直方向から中性子線を照射し、透過画像から冷却面上の着霜分布、および局所物質伝達率の時間変化を評価する。

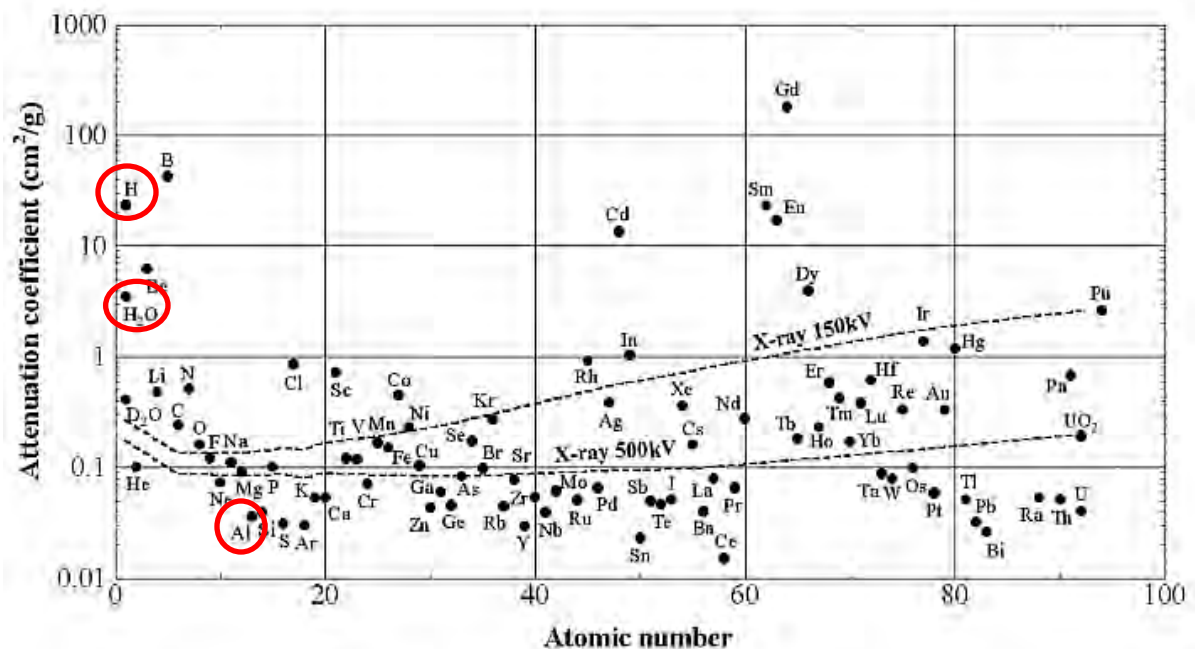
Neutron radiography



- ✓ 熱交換器のアルミニウム材は透過
- ✓ 水に対して強く減衰
- ⇒ 透過画像の強度分布から
フィン表面での着霜分布を
評価することが可能である

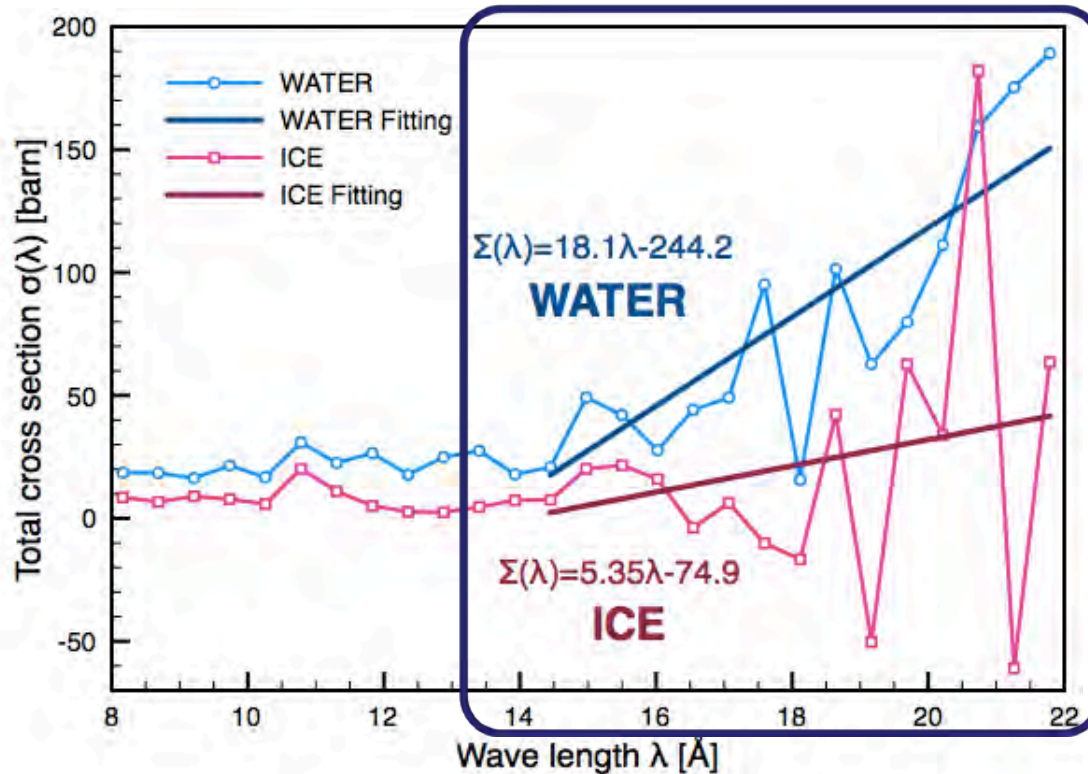


純アルミニウム製
フィンチューブ熱交換器



Total cross-section

熱中性子
約1 Å

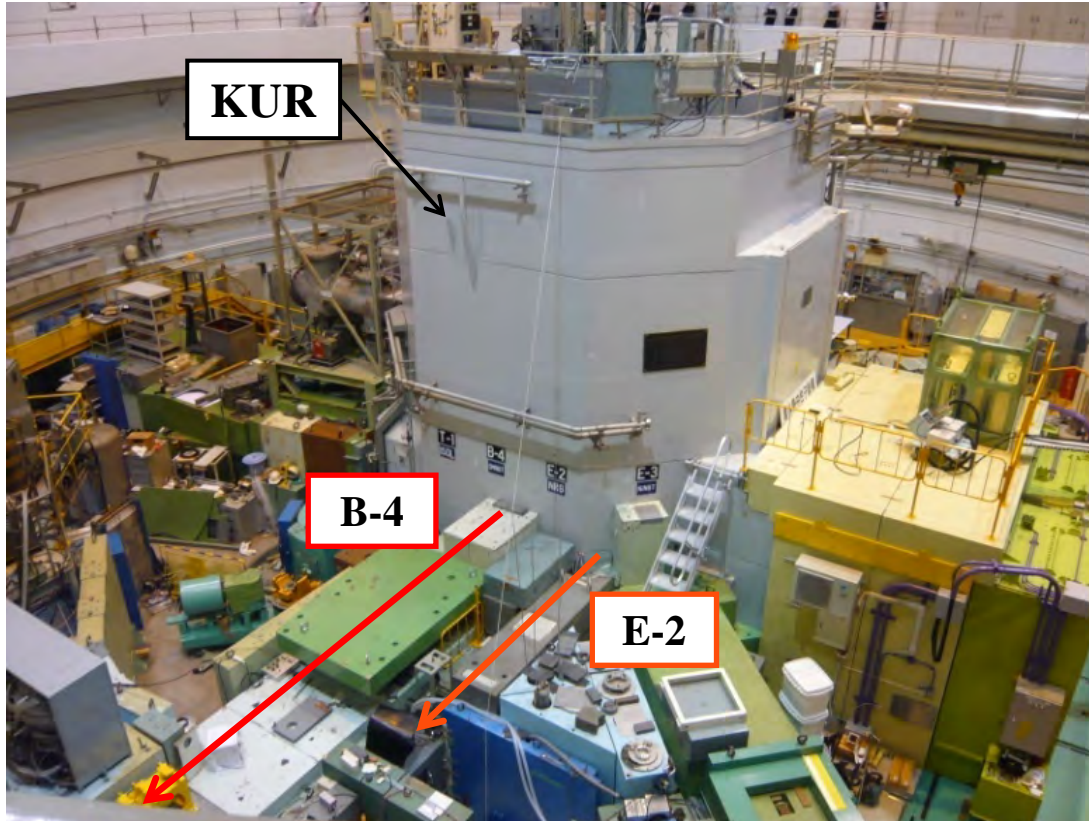


軽水氷の微視的全断面積

*鬼柳ら(北大) 中性子イメージング研究会 (2011.01.06)

⇒ 熱中性子レベルでは、結晶構造によらず減衰はほぼ一定と考えてよい。

Neutron radiography



京都大学原子炉実験所 (KURRI)

Neutron source

Nuclear reactor	KUR
Thermal output	1 MW, 5MW

本研究は

京都大学原子炉実験所

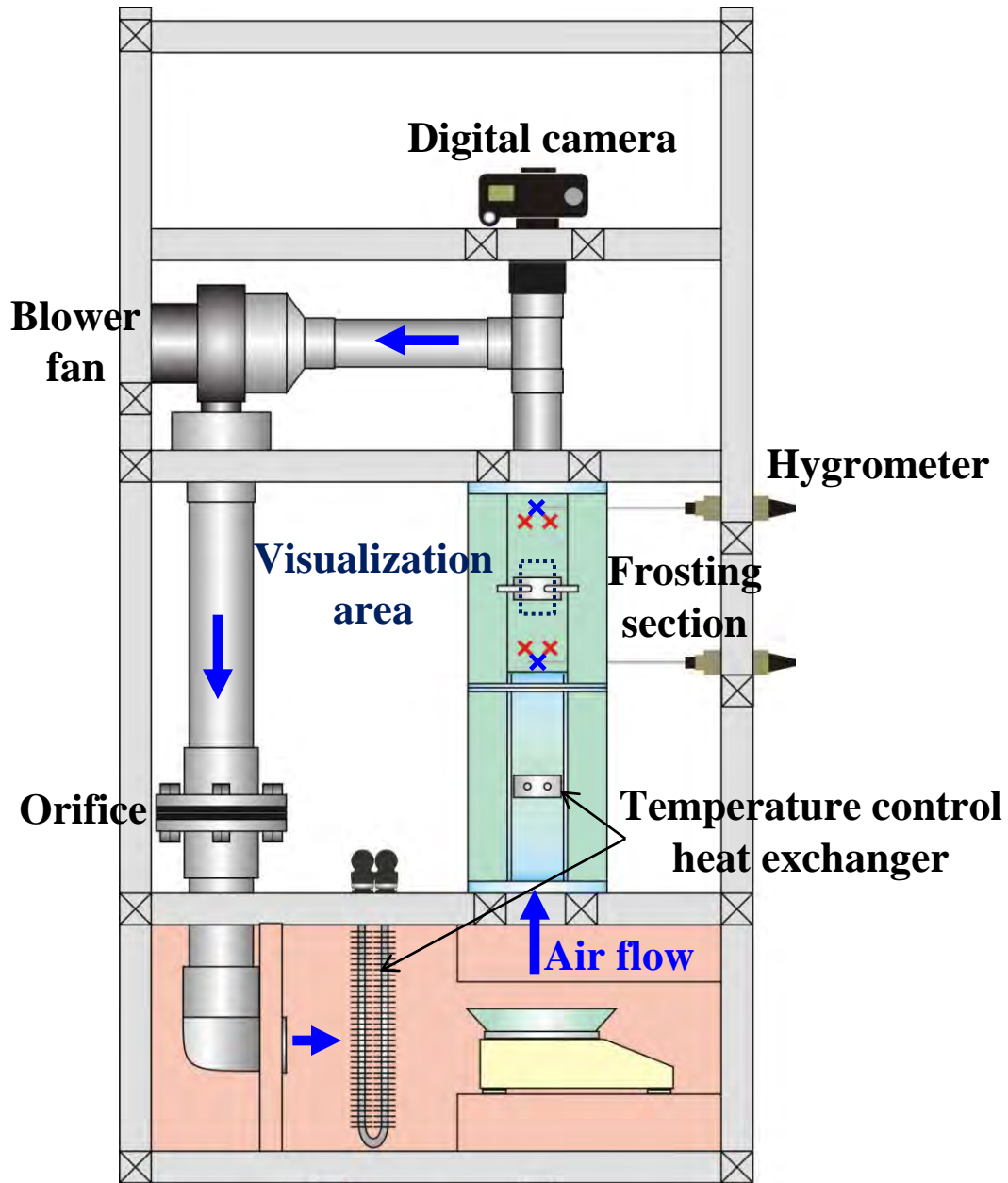
平成23, 24年度共同利用研究

(23P12-5, 24P4-5)として実施

- H.23年度～24年度(上) : B-4 port
 - H.24年度(下) : E-2 port
- を利用して実施

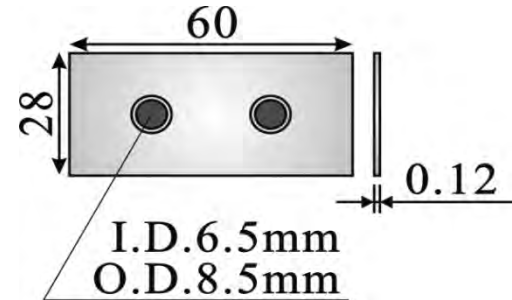
- ✓ B-4 portでは,
フィンチューブ熱交換器
- ✓ E-2 portでは,
単一平板
を用いた実験を行った。

Experimental apparatus (B-4 port)



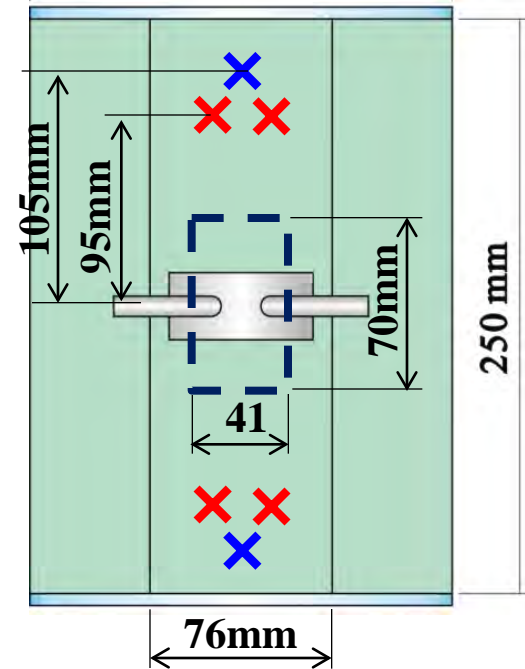
Fin-Tube heat exchanger

Material : Pure aluminum

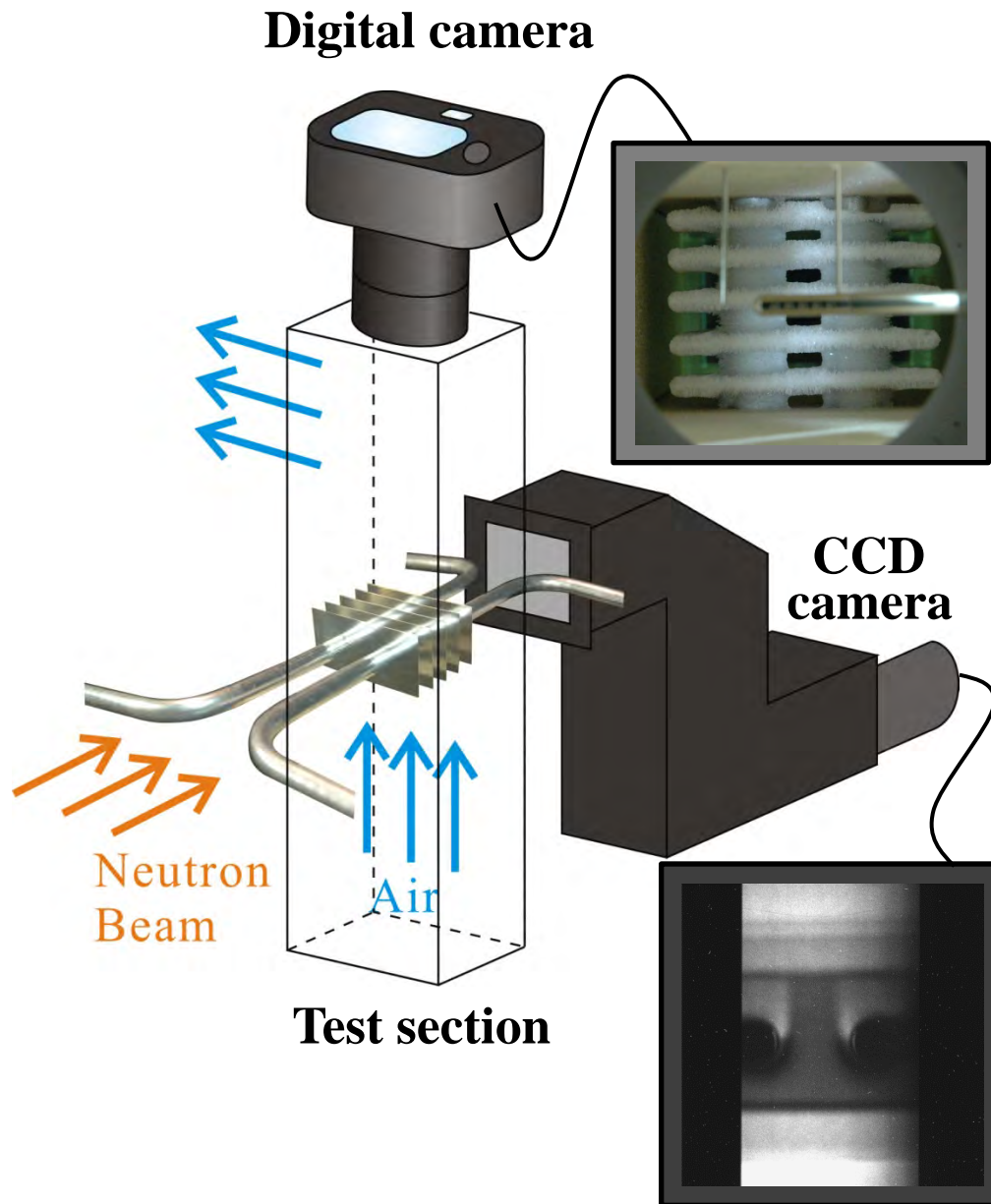


Fin pitch : 10mm

× : Hygrometer × : Thermocouple



Experimental apparatus (B-4 port)



Camera

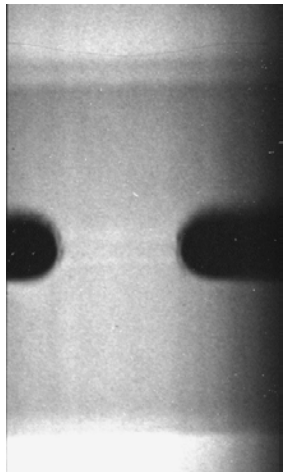
CCD camera "PIXIS 1024B" (Princeton Instruments)	
Imaging array	1024 × 1024 pixels
Lens "APO MACRO 180mm F3.5" (SIGMA corporation)	
Exposure	30 sec.

Experimental condition

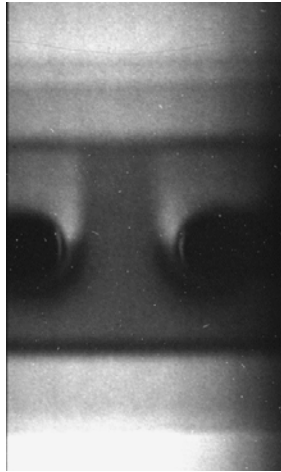
Ambient temperature [deg. C]	20
Inlet air temperature [deg. C]	6
Air flow rate [ℓ/min]	250
Brine temperature [deg. C]	-19
Frosting time [min.]	145

Image procession

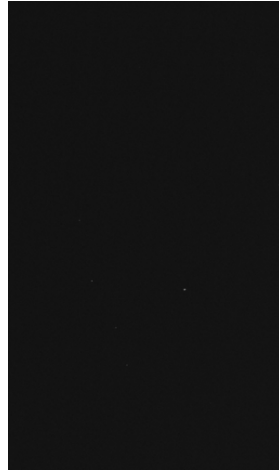
無着霜時の画像 S_0



着霜時の画像 S



オフセット画像 O



各画像にMorphology filterによるノイズ除去処理

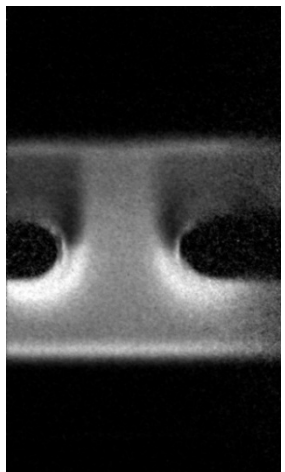
S :輝度値 G :ゲイン O :オフセット

μ :質量減衰係数 ρ :密度 δ :厚さ

無着霜時の減衰式

$$S_0(x, y, t_0) = G(x, y) \exp[-\mu_{mAl} \rho_{Al} \delta_{Al}(x, y)] + O(x, y)$$

着霜量の画像 m_f



着霜時の減衰式

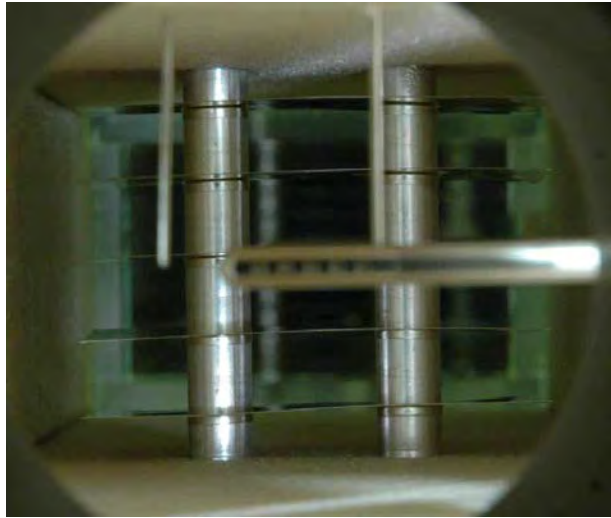
$$S(x, y, t) = G(x, y) \exp[-\mu_{mAl} \rho_{Al} \delta_{Al}(x, y) - \mu_{mf} \rho_f \delta_{f,t}(x, y, t)] + O(x, y)$$

着霜量

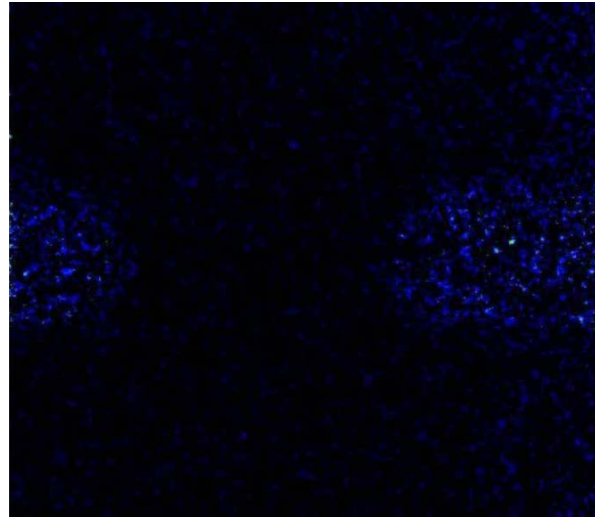
$$m_f = \rho_f \delta_{f,t} = -\frac{\ln\left(\frac{S(x, y, t) - O(x, y)}{S_0(x, y, t_0) - O(x, y)}\right)}{\mu_{mf}} \quad [\text{g/cm}^2]$$

$$\mu_{mf} = \mu_{mw} = 3.482 \quad [\text{cm}^2 / \text{g}]$$

Experimental results



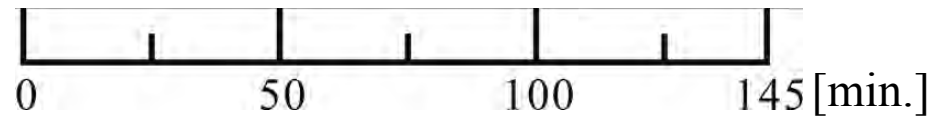
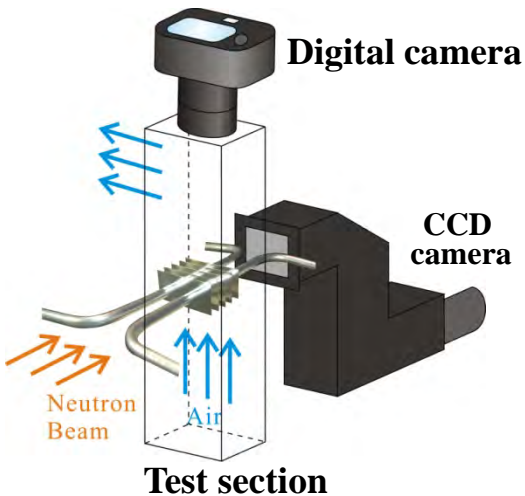
Digital camera



Frost weight

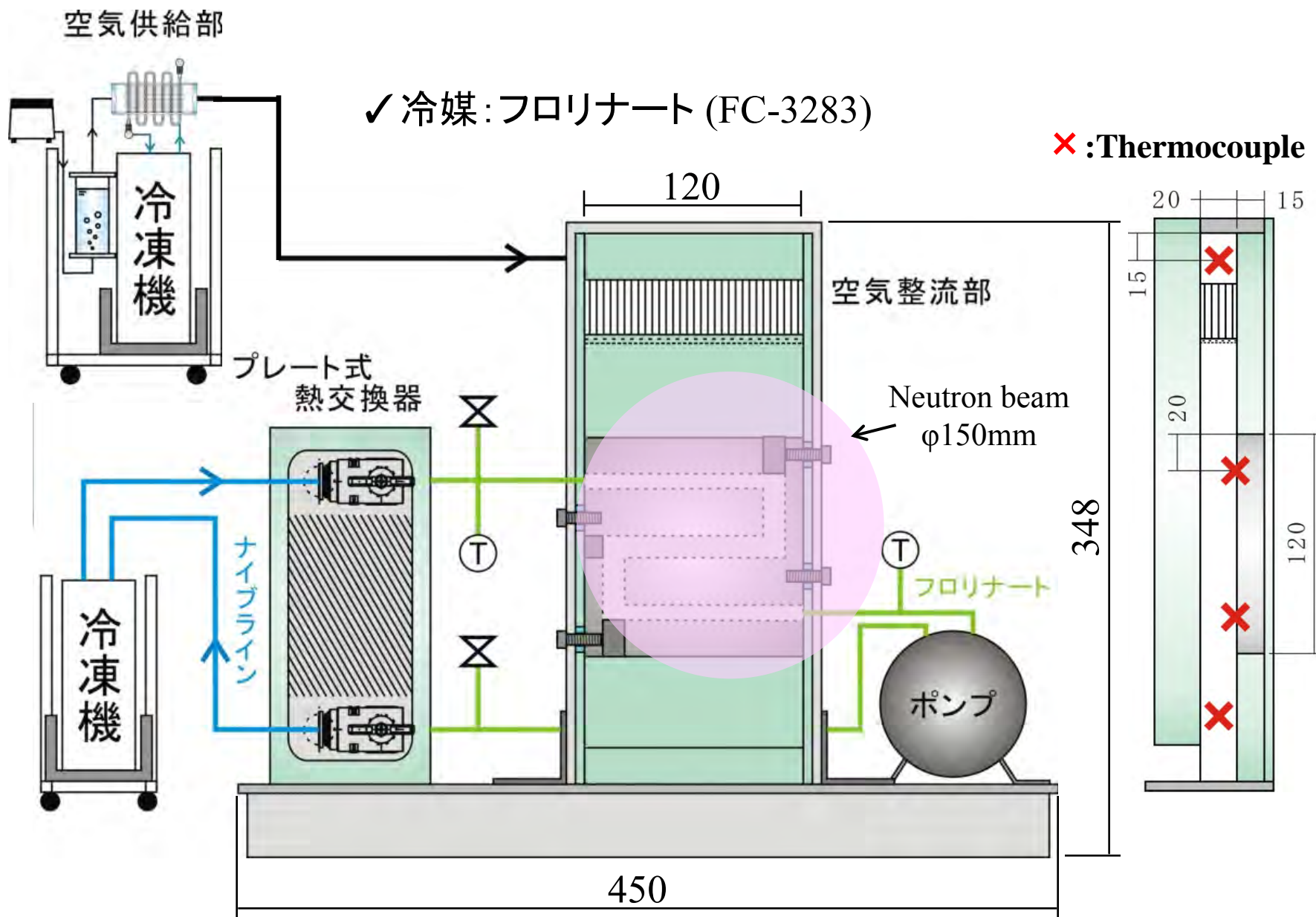


Mass transfer coefficient



Frosting time

Experimental apparatus (E-2 port)



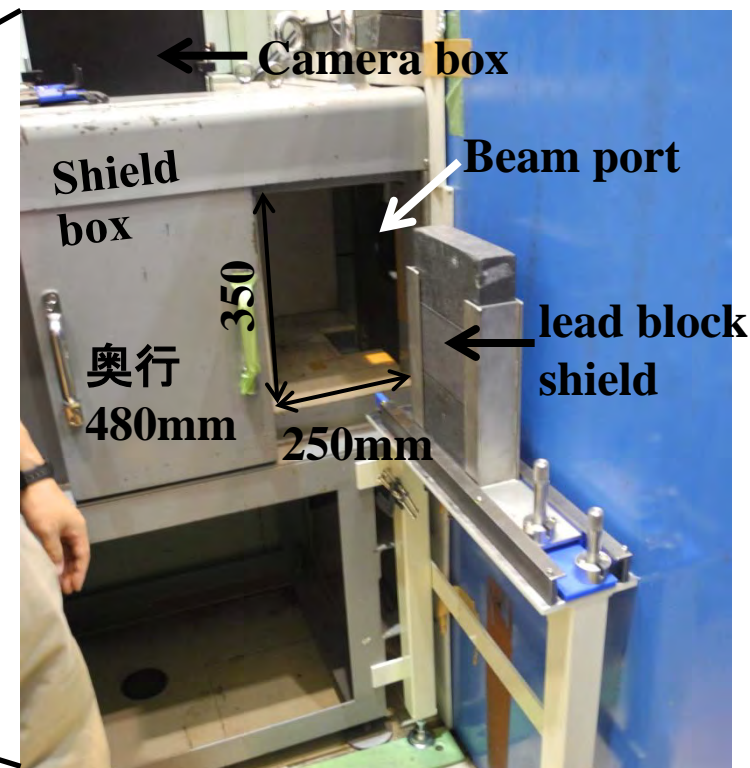
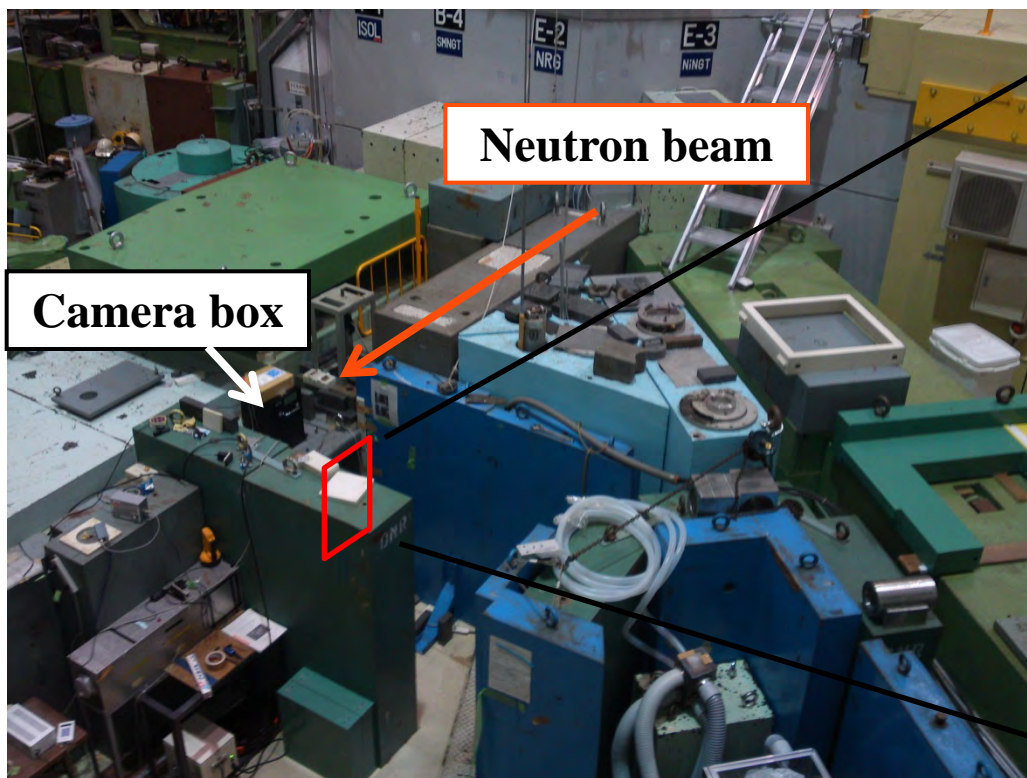
E-2 port

E-2 port

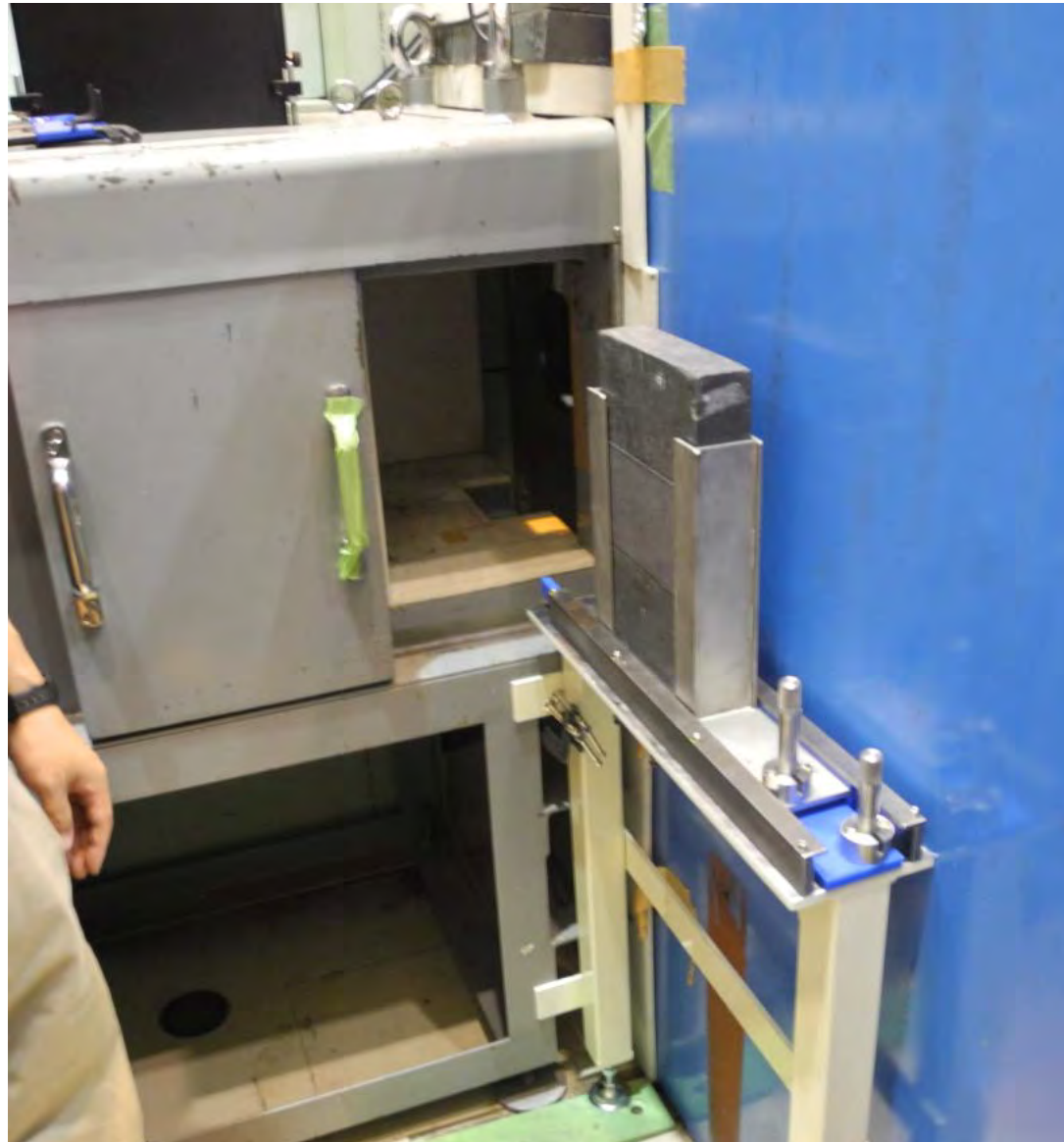
✓ 医療照射用重水タンクより得られる
熱中性子線を利用したラジオグラフィープート

Thermal output	1MW, 5MW
Beam size	φ15 cm
Neutron flux @5MW	$3.2 \times 10^5 \text{ n/cm}^2\text{s}$

✓ 撮像システムは
理研のグループにより
整備されたものを利用



Experimental apparatus (E-2 port)



Experimental apparatus (E-2 port)



Experimental apparatus (E-2 port)

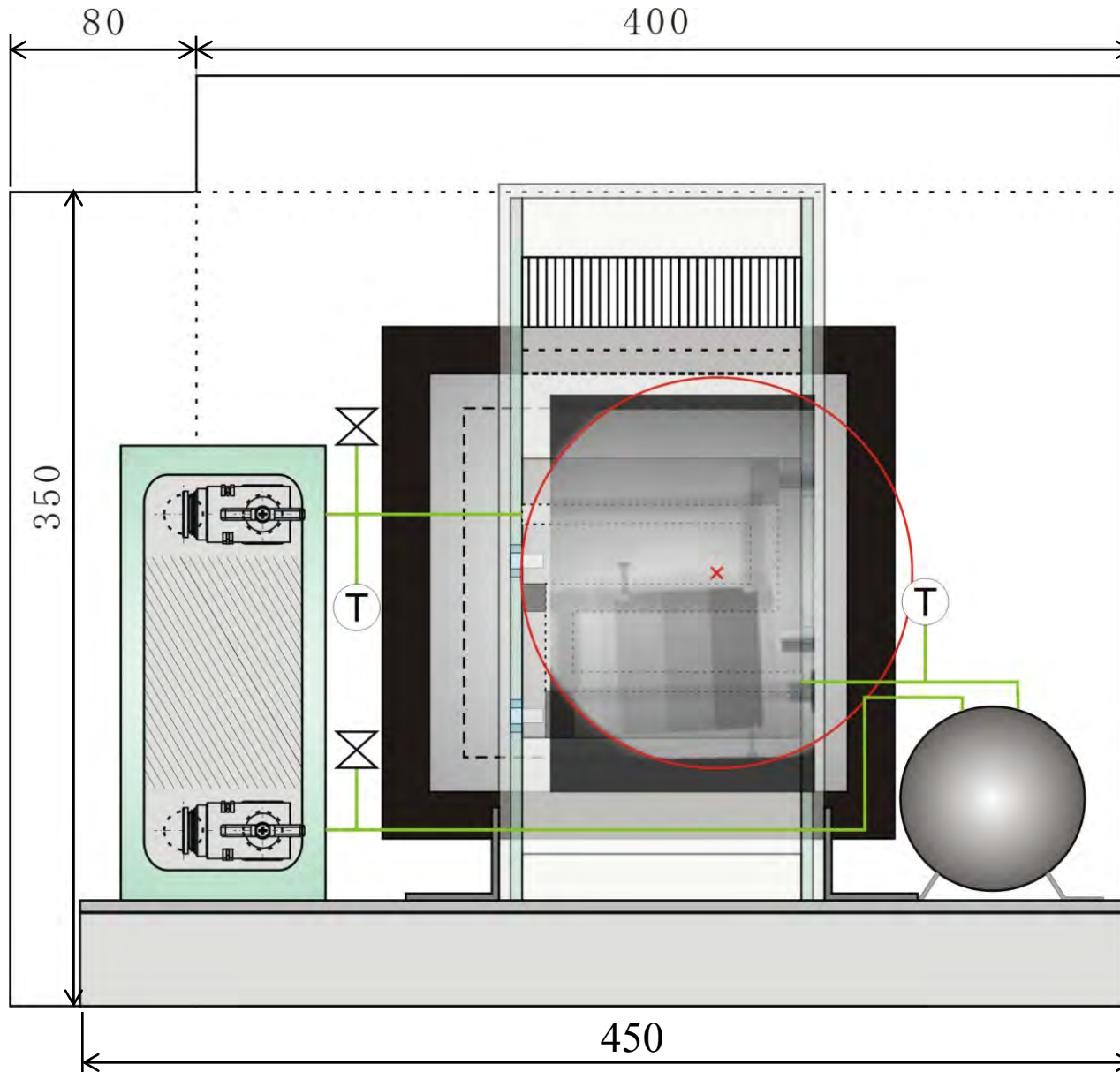


テストセクション
のセッティング

Experimental apparatus (E-2 port)

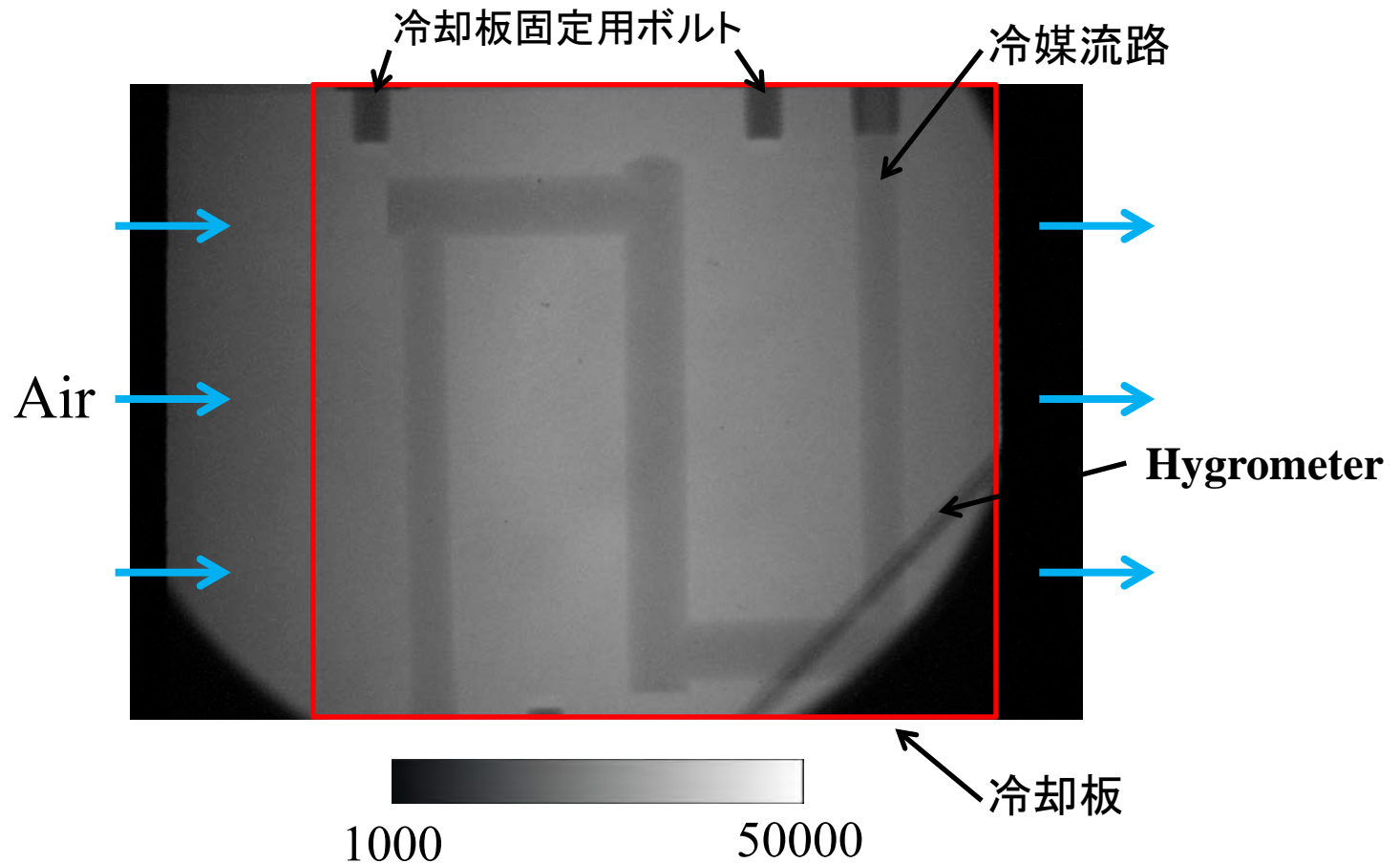


Experimental apparatus (E-2 port)



ビームポート側から見た図

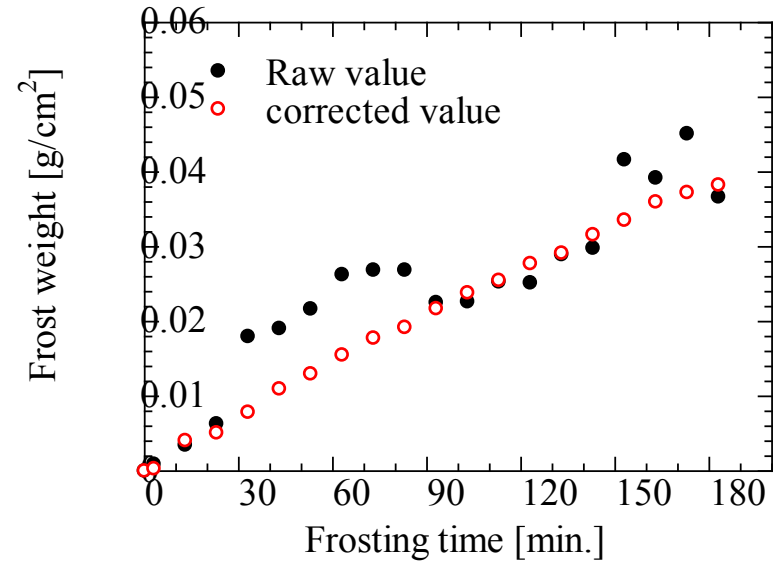
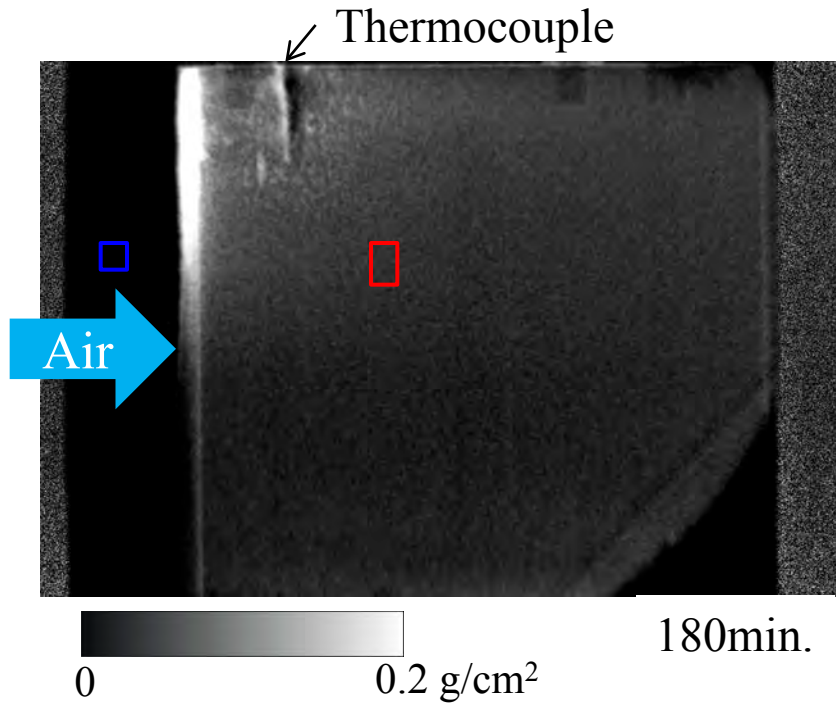
Experimental condition



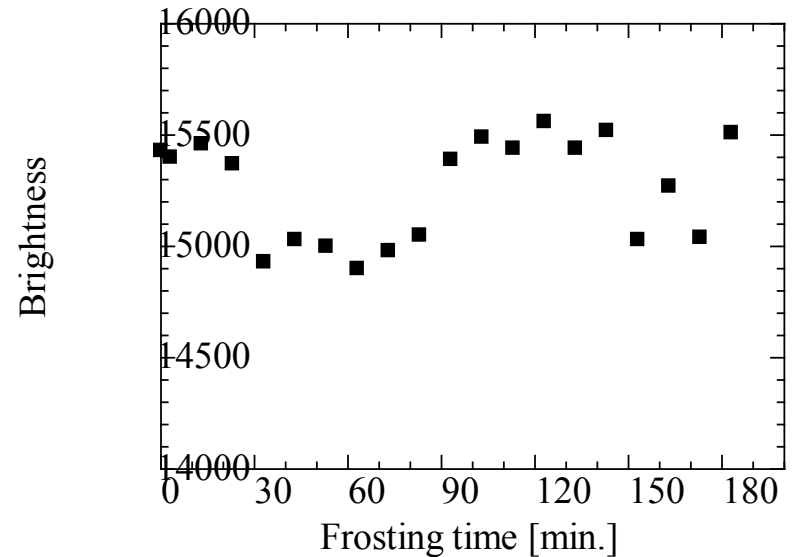
Experimental condition

Ambient temperature [deg. C]	20	Fluorinert temperature [deg. C]	-15
Inlet air temperature [deg. C]	8	Frosting time [min.]	180
Air flow rate [ℓ /min]	93	Exposure (CCD camera) [min.]	3

Experimental results



各時間の □ の平均着霜量



各時間の □ の平均輝度



実験終了後の写真

Summary

本一連の研究により以下の知見を得た.

- ✓ 中性子ラジオグラフィを用いて, 各時間におけるフィンチューブ熱交換器および単一平板への着霜状態の透過画像から空間的な着霜分布を可視化し, その時間変化を評価した.
- ✓ E-2ポートにおいては120mm角の冷却平板への着霜実験を行い, 5MW運転時には出力誤差により, 着霜量の算出にばらつきがみられたが, 基準値を設け, 補正することで妥当な値が得られた.