

[2023105102]

中性子ラジオグラフィを用いた着霜・除霜のメカニズムの解明 Elucidation of Frosting and Defrosting Mechanisms by using Neutron Radiography

木村駿斗^{A)}, 松本亮介^{#,B)}, 小林慶斗^{B)}
Shunto Kimura^{A)}, Ryosuke Matsumoto^{#,B)} and Keito Kobayashi^{B)}
^{A)} Graduate School of Science and Engineering, Kansai University
^{B)} Mechanical Engineering, Kansai University

Abstract

Frost formation on the heat exchanger causes the thermal resistance for the heat transfer performance. In this study, the frost and defrost distribution on the heat exchanger used in the air conditioning system were evaluated by neutron radiography imaging. At the frost formation under high humidity, a lot of frost formed in the upstream side of the heat exchanger. The defrost was depended on humidity of the inlet air.

Keyword: Frost, Heat exchanger, Neutron radiography

1. 緒言

空調システムの熱交換器への着霜は、伝熱性能に深刻な問題を引き起こす。また、性能維持のため除霜運転を行うが、融解水が熱交換器の内部に残留することで再運転時に霜の成長を促進させるといった問題も発生する。

近年では空調機の熱交換器にフラットチューブ型熱交換器の普及が進んでいる。フラットチューブ型熱交換器は従来の熱交換器に比べ、熱交換性能が向上する。しかし、フラットチューブ上に融解水が多く残留するといったデメリットも存在している。これら課題の解決策として着霜時の着霜分布の把握、除霜時の融解水挙動の把握や残留水の低減が重要となっている。

本研究では、JRR-3 TNRF の中性子ラジオグラフィを用いて、フラットチューブ型熱交換器での着霜分布と融解水挙動を評価する。

2. 実験装置および方法

Fig. 1 に実験装置を、Fig.2 に実験時の写真を示す。熱交換器は中性子照射位置の高さ 1240 mm に設置した。熱交換器は高さ 163mm, フィン幅 1.6mm, フィン枚数 30 枚 (幅 50mm) から構成される扁平管 12 段のフラットチューブ熱交換器であり、発泡スチロール製矩形ダクト内に設置されている。テストセクション中部の空気供給部に空気温度調整用熱交換器と加湿器を設置し、ファンにより空気供給部内の空気を循環させることで空気温度と湿度を調整し、熱交換器へファンにより湿り空気を流入させる。空気温度および湿度は、ダクト入口出口部で K 型シース熱電対、湿度計プローブ (Vaisala, HMP7) により測定した。空気流速も同様にダクト出口部の中心で流速計により測定した。

照射室外の冷凍機 1 (トーマス科学器械, TRL-140) により -22.0 °C 温度調整されたナイブラインは、5 m のチューブを用いて照射室天井からテストセクション下部のプレート式熱交換器へマグネットポンプにより供給される。プレート式熱交換器を介してフロ

リナートを冷却し、DC モーター駆動のポンプ (スペック社, MY2-8000-MK) にて熱交換器へ流入される。冷媒温度は熱交換器の入口および出口にて K 型シース熱電対により測定される。なお、空気供給部内の熱交換器は、21.0 °C に設定した冷凍機 2 (東京理化学器械, CA-1115C) により冷却される。

-20 °C のフロリナートを熱交換器へ循環させ着霜開始する。照射された中性子は、シンチレータ (化成オプトニクス, NR コンバータ) で可視光に変換された後、ミラーを介して CCD カメラ (Andor, iKon-L 936) で記録される。撮影は 2000 枚の連続撮影で設定し、各条件の開始と終了の時間と枚数を記録した。撮影間隔は撮影総枚数と経過時間からもとめた。露光時間は 1 秒である。

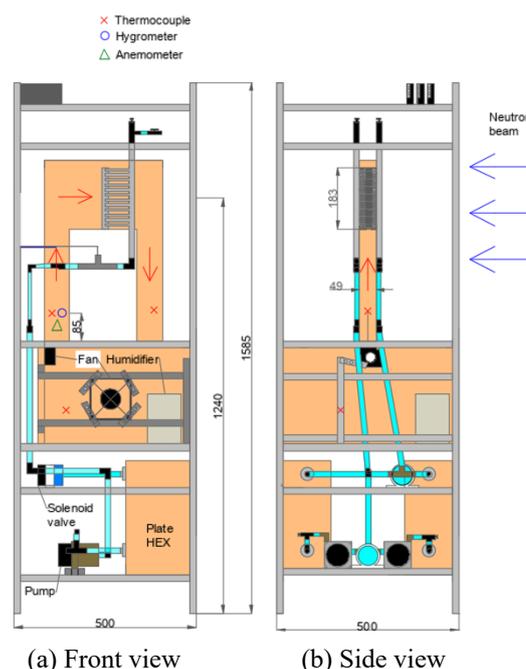


Fig. 1 Test section.

[2023105102]

3. 実験結果と考察

初期空気速度 0.79m/s, 入口空気温度 24.0°C, 絶対湿度 0.014kg/kgDA で相対湿度約 90%である高温高湿度条件での実験結果を Fig.3, 4 に示す. Fig.3 は熱交換器側面から見た着霜分布であり, Fig.3(a)は着霜開始 90sec, (b)は着霜開始 600sec の着霜分布を示す. 中性子ラジオグラフィ透過画像からの着霜量の定量化の方法は, 前報を参照されたい^[1].

Fig.4 に, 中性子ラジオグラフィ画像から算出した着霜水分量 m , 空気温度 T_{air} , 熱交換器を冷却するフロリナートの温度 $T_{coolant}$, 絶対湿度 X , 熱交換器での風速 v の時間変化を示す. 風速は流路入口で計測しており, 測定部流路断面は 50mm×70mm, 熱交換器の流路断面積は, 50mm×160mm である. そのため, 風速は計測部の断面積と熱交換器の断面積の関係より求めている.

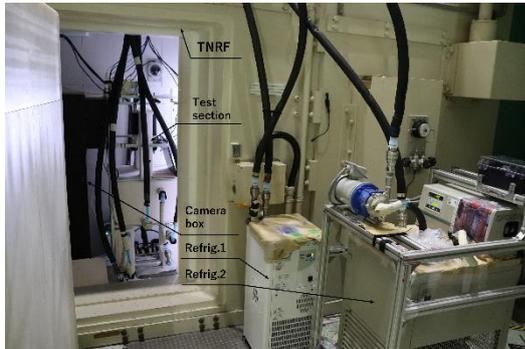


Fig. 2 Photograph of experimental setup.

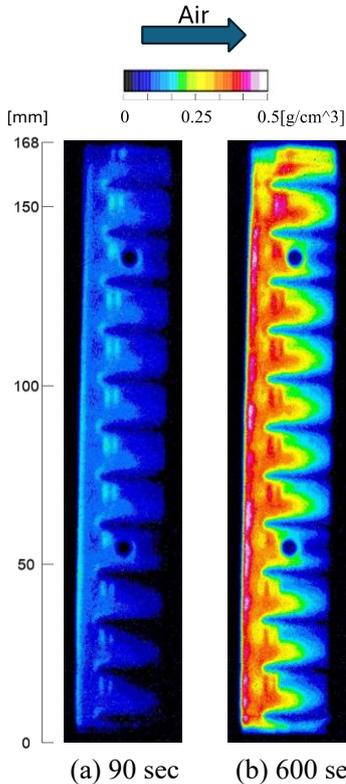


Fig. 3 Frost formation on the high humidity condition.

Fig.3(b)の着霜終了時の 600sec の着霜分布より, 熱交換器の上流側で多くの着霜が確認できた. (a)の画像より, 着霜開始直後から熱交換器上流側での着霜が進み, 時間が経過するにつれ, フィンエッジ部での着霜が顕著に見られた. (b)の熱交換器上流側では, 擬似カラーが赤色 (0.4g/cm²) の着霜量を示している. 霜密度を 100kg/m³ と仮定すると約 40mm の霜厚さに相当し, フィン 30 枚の 50mm 幅の熱交換器が着霜によりほぼ閉塞していることがわかる.

Fig.4 では, 実験開始時から空気流速が低下し, 終了時は 0.37m/s と開始時の約 45%低下した. これは, 高湿度条件であるため, 熱交換器のフィンエッジ部での着霜による霜の成長で流路が閉塞することが原因である.

4. 結言

本研究では, 中性子ラジオグラフィを用いてフラットチューブ型熱交換器の着霜, 除霜評価を行った. 湿度の違いによる着霜位置の違いを確認することができ, 高温高湿度条件では, 熱交換器上流側に多くの着霜が確認できた. また, 除霜時には, 融解水挙動の違いが観察できた.

参考文献

- [1] 黒田陸斗ほか, “中性子ラジオグラフィを用いた着霜の評価”, 2021 年度日本原子力研究開発機構・量子科学技術研究開発機構施設利用共同研究一般共同研究成果報告書, 21025, 2022.

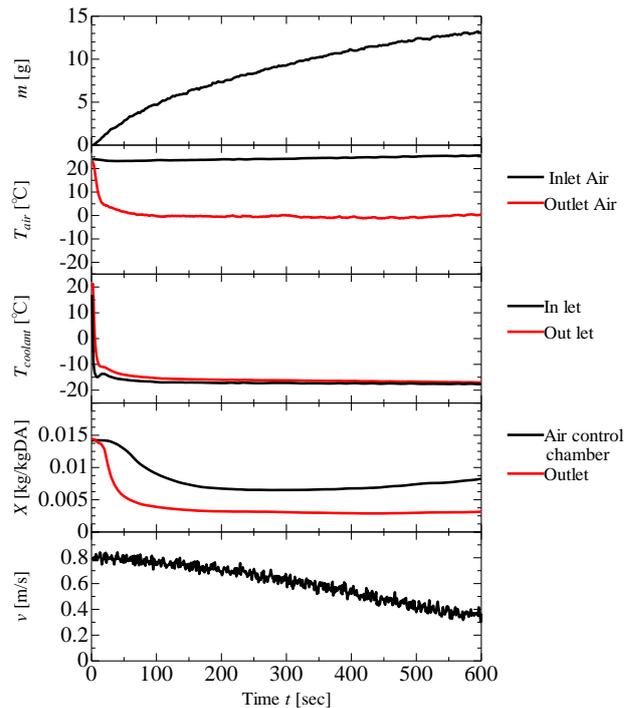


Fig. 4 Experimental results of water deposition, temperature, humidity and velocity.