

自然冷媒による次世代冷凍空調サイクルの包括的研究

題目	強制対流化における凹凸平板間の着除霜現象 -霜層成長の予測手法の開発及び除霜実験の検討-
著者	勝田正文, 裴相哲, 土志田弘輝, 寺門優樹, 安井健蔵, 生田屋翔多, 山岸純也

1. 研究背景・目的

現在、自動車業界では電気自動車の開発に伴い、空調機器に対しても変化が求められている。車両燃費を考慮するとヒートポンプを用いた暖房が最も有効であると考えられる。しかし、寒冷地で使用するケースでは、室外熱交換器の着霜現象による熱伝達率低下と圧力損失増加が大きな課題となることが予想される。現行の自動車空調用熱交換器ではマルチフロータイプが主流となっており、性能向上のためにフィンやチューブの微細化・細密化が進んでいる。しかしながら、微細化・細密化によってフィン間への凝縮水あるいは融解水の滞留量が増加し、除霜性能は低下することが懸念される。これらの課題に対する改善方法として、フィンを用いないフィンレスタイプの熱交換器が提案されている。

本研究は、従来熱交換器に対してフィンレス熱交換器の着除霜特性の優位性を明らかにすることを目的とし、フィンレス熱交換器における着除霜特性の評価手法を確立するとともに、着除霜時の基礎特性把握を実施している。

2. 研究方法

実験装置は主に温調空気供給装置、ブロウ、体積流量計、テストセクション及びそれらを連結するダクト類で構成される。温調空気供給装置内で温湿度調整された空気は冷却されたテストセクションへブロウによって送風され、平板間で着霜する。その後、再び温調空気供給装置へと戻される。除霜実験はテストピースを直接加熱する方法と異なる恒温槽で調節した空気をテストセクションに流入させる方法を用いた。

実験に用いた装置概略図及びテストピース形状を図1, 2に、実験条件を表1に示す。

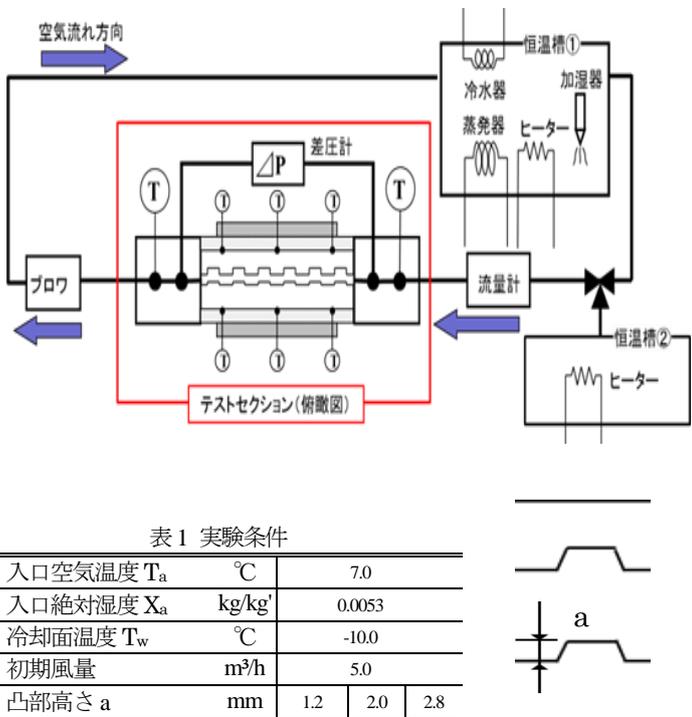


表1 実験条件

入口空気温度 $T_a$	°C	7.0
入口絶対湿度 $X_a$	kg/kg'	0.0053
冷却面温度 $T_w$	°C	-10.0
初期風量	m <sup>3</sup> /h	5.0
凸部高さ a	mm	1.2   2.0   2.8

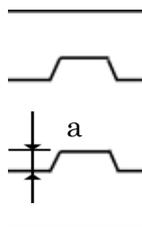


図2 テストピース

3. 研究成果

3.1 霜層成長観察

片側アクリル平板としたテストセクション流路内において初期霜成長過程を撮影した。本実験ではテストピース表面の濡れ角をパラメータとした。測定にはデジタルマイクロスコープを用い、画像から霜柱発生期における初期氷柱径、氷柱間隔の測定を行った。撥水性（濡れ角 > 90°）を示す表面では氷柱径及び氷柱間隔の測定が困難であったため、親水性を示すテストピースを用いて実験を行った。図3に濡れ角と氷柱間隔の関係を示す。

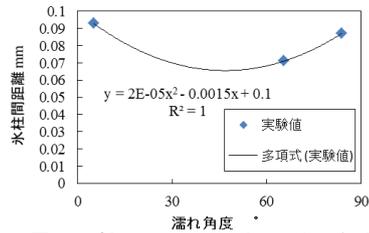


図3 親水性表面における氷柱間隔

3.2 霜層成長解析

霜層成長の解析は霜層成長過程に合わせた計算モデルを基に行った。霜層の成長過程は「霜柱発生期」、「霜層成長期」、「霜層成熟期」として分類されている。本実験では霜層表面での融解が確認できないため、霜層成長期までの過程を対象とした解析を行った。また凹凸を引き延ばして平行平板として扱い、着霜部の平均霜層密度と平均霜層高さについて行った。霜柱発生期は一次的に霜柱が成長していく Tao らのモデルを改良した山下のモデルを使用する。また霜層成長期は水

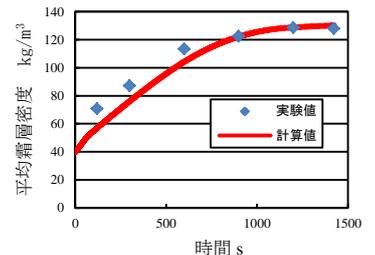


図4 平均霜層密度

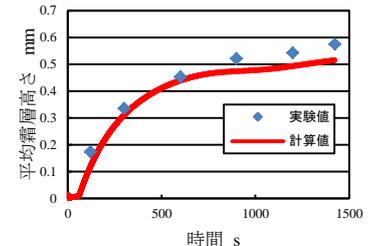


図5 平均霜層高さ

蒸気を霜層密度と霜層高さ増加の2つの成分に分け、密度増加成分は霜層を多孔質層と考えて Fick の法則に従い、氷粒子の間の空気部分を水蒸気が濃度勾配に従って拡散する解析モデルを使用する。霜層密度と霜層高さを図4, 5に示す。実験値と計算値は概ね一致した。

3.3 着除霜実験

着霜実験終了後、恒温槽を用いた空気側加熱、ペルチェ素子を用いたテストピース加熱によって除霜実験を行った。テストピースはコルゲートルーバフィン及び凹凸平板を用い、表面性状、フィンピッチ、凸部高さをパラメータとした。以下に濡れ性をパラメータとした凹凸平板における除霜実験の結果を示す。(図6, 7)

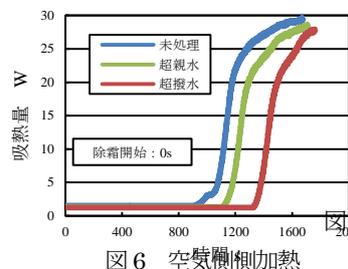


図6 空気側加熱

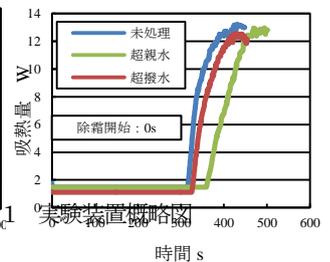


図7 テストピース側加熱

4. 今後の予定

今後は実験装置を改良し、除霜実験を引き続き行っていく。また、着霜・除霜の繰り返し実験が重要であると推測される。そこで今後は着霜→除霜→着霜→除霜といった繰り返しの実験を行い、基礎特性(吸熱量, 圧力損失, 着霜量)のデータを取得する。

5. 学会発表

学会名	発表年月
IEA HEAT PUMP CONFERENCE	2017/5
日本冷凍空調学会	2017/9