

補助事業番号 2020M-136

補助事業名 2020年度 地球温暖化低減を目指す空調機用微細流路高効率熱交換器の開発 補助事業

補助事業者名 三重大学大学院工学研究科機械工学専攻 准教授 丸山 直樹

1 研究の概要

本研究は、空調機の高性能化を目的として、構成要素の一つである熱交換器の高効率化に取り組んだ。熱交換器では、外気と熱交換器間、熱交換器と冷媒間の2段階の熱交換を行うが、後者は構造上の制約事項が多く伝熱促進対策が難しい。伝熱量を増加するために冷媒流路を微細管構造にする手法は、実機で既に実用化されている。本研究は更なる伝熱量増加のために、微細管を通過する冷媒の挙動を実験と理論的考察により伝熱促進に活用する。微細管の断面形状は、1辺長さが1mm以下の矩形溝、U形溝、V形溝の各断面を対象とし、断面形状による流動の特徴を高速度カメラで観察すると同時に、伝熱量を測定して、高い伝熱量を期待できる流路管断面形状を提案する。

2 研究の目的と背景

微細流路を通過する冷媒気液二相流の沸騰現象を可視化計測し、気泡挙動と相変化を評価する。また、冷媒挙動と伝熱量の関連性を伝熱工学、熱工学及び流体力学の視点で学術的に評価する。これらの実験から伝熱促進に資する冷媒流路形状を提案し、熱交換器の高性能化を目指すことを目的とする。

今日、地球温暖化を原因とする異常気象により、数多くの災害が発生している。その温暖化の原因の一つとして、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出が挙げられる。空調機の多くには冷媒が用いられており、従来のフロンガスから地球温暖化係数の低い自然冷媒に変化している。しかしながら、冷却機の製造コスト、耐久性の観点から、現在も比較的GWPの低いフロン系冷媒が使用されており、その使用量の低減や構成機器の高効率化、小型化が望まれている。

3 研究内容

(1) 矩形、U形、V形断面微細流路試験部の製作と冷媒の可視化実験

(URL: <https://www.esd.mach.mie-u.ac.jp/maruyama/JKA2020.html>)

冷媒挙動の可視化計測では、一辺長さが1mm以下の微細管流路を各種作成しそこを通過する冷媒の挙動を高速度カメラで撮影、分析評価する。微細流路の断面形状を変更することにより、蒸発過程の冷媒挙動の変化を観察し、熱伝達率向上への効果を提案した。図1にテストセクションの冷媒の流動を高速度カメラで撮影している状況、図2に実験装置の系統図、図3にテストセクションの模式図、図4に高速度カメラで撮影された冷媒流動のスナップショット(シャッター速度1/20,000 sec, 撮影速度16,000 fps)の一例を示す。微細管へ同等の流入条件でも、流路断面形状が異なると、気泡の流動状況に差が生じている。

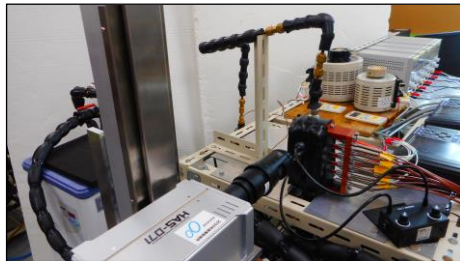


図1 実験装置(試験部と高速度カメラ)

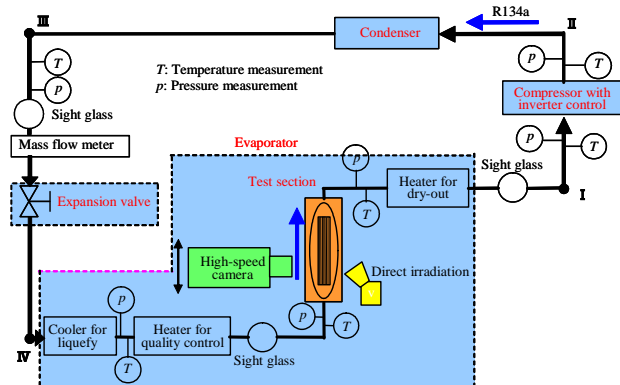


図2 実験系統図

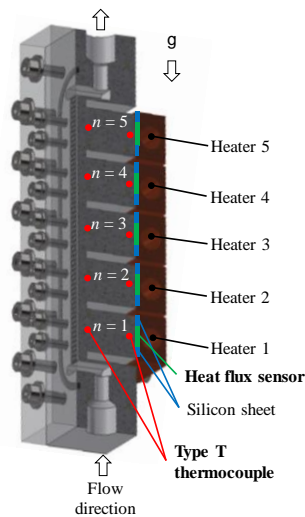
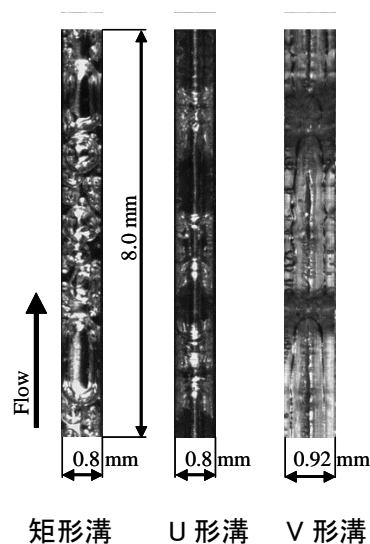


図3 テストセクション模式図



矩形溝 U形溝 V形溝

図4 可視化画像例

(スラグ流領域, 溝深さ 0.8mm)

(2) 断面形状変更による伝熱量と冷媒挙動の総合分析, 最適形状の提案

(URL: <https://www.esd.mach.mie-u.ac.jp/maruyama/JKA2020.html>)

可視化実験と同時に試験部の伝熱量を定量的に測定し, 微細管形状の変更による伝熱促進効果と冷媒気泡の挙動の関連性を分析し, 最適な微細管流路形状を提案した. 可視化動画, 熱伝達率を分析することで, 気泡(気相), 液膜, 熱伝達率と断面形状の特徴の相互作用を理論的な視点で考察した. 図5に, 液冷媒が流路角部に引き寄せられることにより辺部の液膜が薄くなる状況の模式図を示す. また, 伝熱量向上には, 伝熱壁面での液膜厚さを薄くするため, 流路角部で生じる冷媒の表面張力を利用することが有用であることを示した. 図6に, クオリティ(気相の比率. 大きくなると気相の比率が高くなる)に対する熱伝達率の変化を示す. 表面張力を活用するには 1mm 弱オーダーの微細管が有利で, 辺部の液膜を薄くできる矩形流路が有用であることを示した.

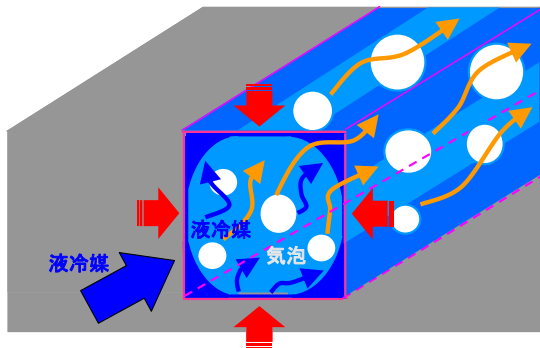


図5 気泡の離脱と液膜形成の模式図

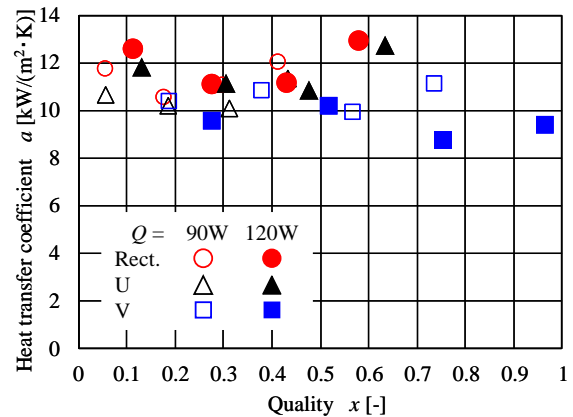


図6 熱伝達率例

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究の成果は、空調機や冷凍機の開発において、高効率低環境負荷の機器開発に貢献できると考えている。世界的な課題となっている地球温暖化問題への対策の一つとして各種機器からの排出ガス低減があり、エネルギー消費量の大きい空調機の高効率化が求められている。しいては、広く国民の生活環境の向上に繋がる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

授業では、工業熱力学、エネルギー変換工学、熱エネルギーシステム及びエンジンを題材とする機械設計の講義と演習を担当している。研究としては、伝熱促進、工業製品のライフサイクルアセスメント、脱冷媒冷凍機、廃棄物処理技術に関する研究を行っている。これらを通して、工業製品が環境に与える影響を分析して低減対策をとることが重要であることを示してきた。中でも世界的な生活レベルの向上に大きく影響を与える空調機の普及は、電力消費量の増加をもたらし、CO₂排出をはじめとする温室効果ガス排出の大きな因子となっている。本研究は、環境分野で関心の高い地球温暖化対策に貢献することを目的とする内容である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- 1) 三宅, 丸山, 田島 他, 矩形微細溝を通過する冷媒気液二相流の蒸発過程の可視化計測, 日本冷凍空調学会年次大会講演論文集, Paper No. B221 (2020), 5p.
- 2) N. Khammayom, N. Maruyama, C. Chaichana, Simplified model of cooling/heating load prediction for various air-conditioned room types, Energy Reports, Vol. 6(2020), pp. 344-351, Elsevier.
- 3) 山田, 丸山, 村上 他, 急縮小・急拡大断面を有する微細円形流路を通過するHFC-134a気液二相流の流動特性評価, 日本機械学会東海支部第68期総会・講演会講演論文集, No193-1(2019), 2p.
- 4) 村上, 丸山, 宮崎 他, 微細円形流路内の冷媒気液二相流の可視化と減圧特性による流

動評価, 日本機械学会第 27 回環境工学総合シンポジウム, Paper No. 429(2017), pp. 372-375.

- 5) 村上, 丸山, 宮崎 他, 急縮小・急拡大断面を伴う微細流路を通過する冷媒気液二相流の可視化と減圧量による流動特性評価, 日本機械学会伝熱学会東海支部第 66 期総会・講演会, Paper No. 617(2017), 2p.

7 補助事業に係る成果物

研究発表論文(URL:<https://www.esd.mach.mie-u.ac.jp/maruyama/maruyama2020tsf0013.pdf>)

- 1) N. Maruyama, H. Miyake, K. Tajima and M. Hirota, Flow Visualization and Heat Transfer Characteristics of Refrigerant Gas-liquid Two-phase Flow Passing through Fine Rectangular Grooves in the Evaporation Process, The 11th TSME International Conference on Mechanical Engineering, Paper No. TSF-0013, 7p., (2020-12), Ubon Ratchathani, Thailand.

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 三重大学 大学院工学研究科 機械工学専攻

(ミエダイガクダイガクインコウガクケンキュウカキカイコウガクセンコウ)

住 所: 〒514-8507

三重県津市栗真町屋町1577

担 当 者 准教授 丸山 直樹 (マルヤマ ナオキ)

E - m a i l: maruyama.naoki@mie-u.ac.jp

U R L: <https://www.esd.mach.mie-u.ac.jp/maruyama/maruyama.htm>