

次世代ヒートポンプ技術に関する研究Ⅱ

研究代表者 齋藤 潔

(基幹理工学部 機械科学・航空宇宙学科 教授)

1. 研究課題

次世代冷媒は、従来の冷媒と比べれば性能が低下することが予想されている。このため、実際にそれらの冷媒を機器に導入した際の機器性能についても十分な検討を行うことが必要不可欠である。そこで、次世代冷媒に対して、実機レベルでの冷凍サイクルの性能評価を可能とすることを目的に、シミュレーション技術を実機設計レベルへと高度化する。また、次世代冷媒ごとに冷凍サイクルの最適化を可能とし、冷媒ごとに公平に機器性能を予測、検証可能な体制を確立し、次世代冷媒の開発や次世代冷媒を導入した機器の早期普及を支援可能な性能評価技術の確立を目指す。

2. 主な研究成果

2.1 冷凍サイクル実機シミュレーション技術研究開発

シミュレーション技術を高度化し、実機レベルで使用可能な技術に発展させるため、実機構造を考慮したアキュムレーターの数理モデルを構築した。作成したモデルを Fig. 1 に示す。冷媒充填量評価装置を用いてアキュムレーターの実験を行った結果、測定値とシミュレーション計算値はよく一致している。測定値とシミュレーション値の比較例を Fig. 2 に示す。

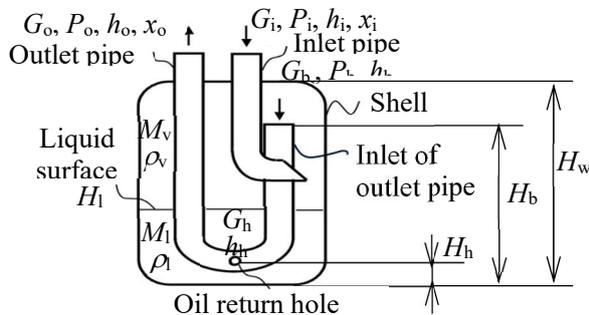


Fig. 1 Schematic structure diagram of accumulator

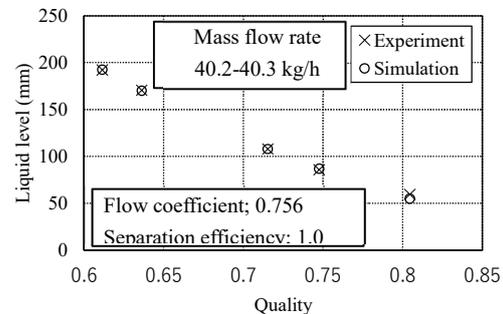


Fig.2 Comparison results of liquid level at mass flow rate around 40 kg/h

2.2 AIを活用した冷凍サイクルシミュレーターの最適化技術研究開発

熱交換器の接続回路は、回路の実現可能性と製造上の制約を確保しながら、ノードの分割および結合の数と位置を変化させて COP を最適化するための遺伝的解析を実施した。具体的には、接続されていない配管、実行不可能な内部ループ、熱交換器の反対側から来る合流、上流への流れとなる接続は除外し、回路配置における製造可能性の制約として考慮した。

Figure 3 に示すとおり、製造可能性の制約を考慮して最適化解を求めた結果は、製造可能性の制約を考慮しない場合の COP と同等であり、熱交換器の実現可能性を確保しながら、回路の最適化によって性能向上を達成できる可能性があることが実証できた。

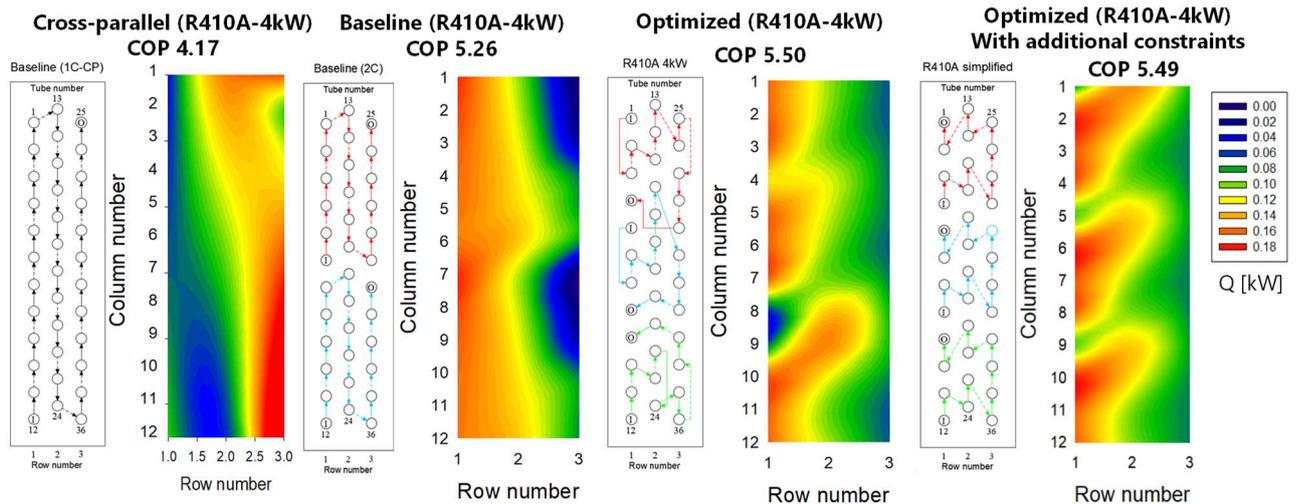
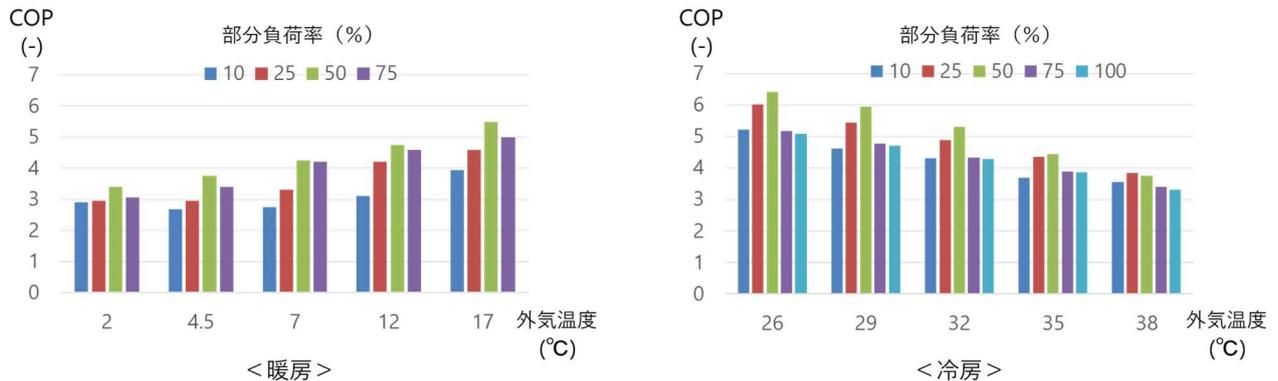


Fig. 3 Simulated heat transfer distribution and performance comparison between baseline and optimized circuitries

2.3 冷凍サイクルシステム評価技術研究開発

AI を用いた最適化設計手法によって最適化された熱交換器やサイクルの妥当性の検証に使用する最適化検証装置の製作を行った。また、最適化検証装置との比較検証のための実証試験を市販のパッケージエアコンを用いて試験を実施して現行の空調機の特性を調査した。試験の結果を Fig. 4 に示す。



2.4 空調機器の動的性能評価方法に関する研究開発

性能評価装置を用いて空調機の動的性能評価を高精度で実施するためには、エミュレーターの指示値に対して試験室内の温度を微小に調整する設備が必要である。そこで、性能評価装置の温調装置である条件発生器のPID制御と干渉しない「フィードフォワード補償」と呼ばれる補正手順を自動化することができる追加のソフトウェア要素を開発した（特許出願中）。試験の結果、これにより、空調機の動的性能評価が従来よりも高精度で実施できることができた。

3. 共同研究者

ジャンネッティ ニコロ（早稲田高等研究所・准教授） 榎木 光治（理工学術院 客員准教授）

4. 研究業績

4.1 学術論文

- [1] Sholahudin, N. Giannetti, Y. Miyaoka, K. Tanaka, W. Kowa, K. Saito, Implementation of scalable performance monitoring method for air conditioners, *Applied Thermal Engineering*, no. 122820, February 2024.
- [2] C.H. Kim, N. Giannetti, N.H. Kim, K. Saito, Experimental and theoretical characterization of two-phase flow distribution in unbalanced networks, *Journal of Enhanced Heat Transfer*, Vol. 31(5), pp. 1-15, January 2024.
- [3] D. Dondini, N. Giannetti, A. Mizuno, Y. Miyaoka, K. Saito, Reproducibility assessment of an emulator-type load-based testing methodology, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 159, pp. 39-49, March 2024.
- [4] N. Giannetti, J.C.S. Garcia, C.H. Kim, Y. Sei, K. Enoki, J. Jeong, K. Saito, Circuitry optimization using genetic programming for the advancement of next generation refrigerants, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 217, no. 124648, December 2023.
- [5] Sholahudin, N. Giannetti, Y. Miyaoka, K. Saito, K. Tanaka, H. Ogami, Experimental verification of artificial neural network scalability for performance monitoring of multi-split type air conditioners, *Journal of Building Engineering*, Vol. 76, no. 107427, October 2023.
- [6] 鄭 宗秀, 宮岡 洋一, 齋藤 潔, 産業分野におけるヒートポンプ導入効果の評価手法による「産業ヒートポンプ単体シミュレーター」の構築, *日本冷凍空著学会論文集 23-20_OA* (2024).
- [7] 宮岡 洋一, 水野 亜杜, ドンディーニ ダミアーノ, ジャンネッティ ニコロ, 齋藤 潔, エミュレーター式負荷試験装置による業務用空調機のラウンドロビンテスト第1報: 冷房試験の結果一, *日本冷凍空著学会論文集, 23-21_OA* (2024).

4.2 総説・著書

「図解でわかる次世代ヒートポンプ技術～カーボンニュートラルを実現する冷温熱利用技術～」, 技術評論社, 2024

4.3 招待講演

4.4 受賞・表彰

4.5 学会および社会的活動

日本冷凍空調学会 会長, 2023年5月～現在, 東京

日本空調冷凍研究所 理事長, 2022年6月～現在, 神奈川県厚木市

5. 研究活動の課題と展望

2024年度は、「低GWP混合冷媒のシステム評価手法開発」として、シミュレーション技術を実機設計レベルへとさらに高度化するために、熱交換器シミュレーターで各種低GWP冷媒の熱交換性能を解析できるようにする。また、最適化検証装置を使ってR32とR454Cそれぞれを用いて、冷凍サイクルを稼働させて熱交換器の効率やシステムの効率を確認する実験を進め、シミュレーターの計算値の妥当性

を検証する。これにより、冷媒ごとに公平に機器性能を予測、検証可能な体制を確立し、次世代冷媒の開発や次世代冷媒を導入した機器の早期上市を支援可能な性能評価技術の確立を目指すこととしたい。