

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・航空学科 教授)

1. 研究課題

パリ協定を受け、エアコン(ルーム、パッケージ、マルチ)、ショーケース等の中小型規模の冷凍空調機器へ導入される冷媒の低 GWP 化へ向けた研究開発が本格化している。このような次世代冷媒としては、プロパン等の HC 系冷媒、HFO 系冷媒やそれらの混合冷媒も含めた多様な冷媒が候補となっているが、可燃性や毒性を有する場合が多いため、安全性、リスク評価が進められ、成果も上がりつつある。一方で、これらの次世代冷媒を導入する場合には、安全性や GWP だけでなく機器としての実運転性能が評価すべき最重要因子の一つであることは誰もが認識しているところであろう。しかし、現状では、機器性能については、十分な評価が行われないうまま、冷媒の選定が進められているのが実情である。

このため、工業界や学术界で公平・公正に共有できる実用機レベルまでの性能評価手法や性能評価ツールの開発、これに基づいた冷媒評価の実施が強く望まれていた。そこで、本研究開発では、低 GWP 冷媒を導入した中小型規模の冷凍空調機器の性能を理想化された基礎研究レベルにとどまらず、実用機レベルにおいてまで評価できる手法を確立する。そして、工業界や学术界でも広く標準ツールとして活用が可能な共通解析プラットフォームとしてのシミュレーションツールとして展開する。このツールを活用して候補として挙げられている具体的な次世代低 GWP 冷媒を導入した機器性能の評価を実施する。

2. 主な研究成果

2.1 熱交換器に関する多目的最適設計問題の検討

ヒートポンプにおける主要要素である熱交換器の最適形状はいまだ十分に分かっておらず、これまでは経験的、試行錯誤的に設計されてきた。本研究では、遺伝的アルゴリズム手法を用いて、2 種の熱交換器の多目的最適設計問題に取り組んだ。熱交換器は、従来から広く用いられている円管伝熱管を用いたフィンチューブ熱交換器、および、近年採用が進んでいる扁平多孔管を用いたミニチャンネル熱交換器を対象にした。また、多目的最適化の目的関数は、ファン動力と占有体積からなる。最適化パラメータとしては、フィンの各寸法やフィンピッチなどである。本最適化問題の結果の一例を、Fig.1 に示す。

結果より、ファン動力と体積についてのパレート解を算出することができた。また各条件による最適化結果による形状の違いを定量的にも視覚的にも示すことに成功した。これらの成果は、従来経験や試行錯誤に頼っていた熱交換器の設計に一石を投じるものであり、ヒートポンプ全体の高性能化に向けた非常に有用な知見であると言える。

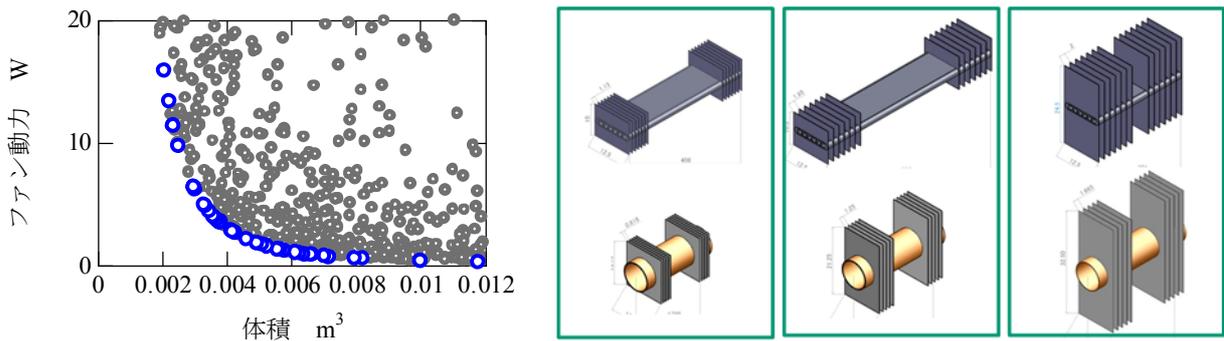


Fig.1 フィンチューブ熱交換器とミニチャンネル熱交換器のファン動力と体積を目的関数とした多目的最適化のパレート解といくつかの条件における最適形状例の外観図

2.2 ヒートポンプの制御に関する検討

ヒートポンプは本来、非常に省エネルギー性の高いシステムである。しかし、多様な運転条件下において、常にそのポテンシャルを発揮し続けるには、それをどのように制御していくかが重要である。実際、実運転環境における省エネルギー化を目的とした制御手法は、いまだ十分に確立されていないのが現状であり、その手法の確立・理論化が強く求められている。本研究では、様々なタイプのヒートポンプについて、一般的な制御検討を行っている。Fig. 2 に、一例として、ターボ冷凍機において、熱負荷が変動した場合における、各制御量と各操作量の非定常的な変動を数値シミュレーションにより算出した結果を示す。制御は、PI コントローラを用いたフィードバック制御系を採用している。

この結果より、凝縮器液位の振動的な振る舞いなどを再現することができていることが分かる。これらの結果は、ターボ冷凍機の制御検討に向けて必要となるシステムシミュレーション技術が獲得できていることを示しており、今後の最適制御検討などに大きく貢献するものであると言える。

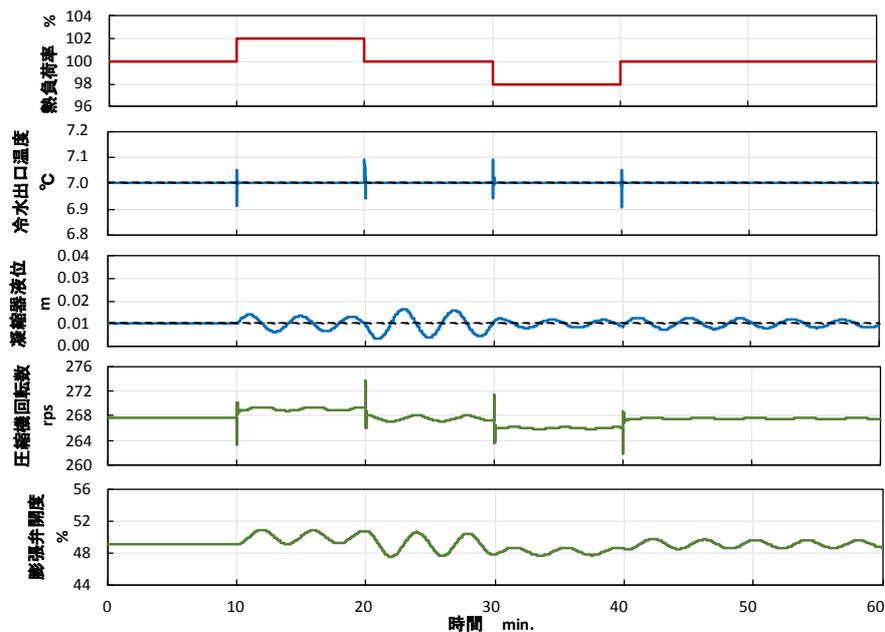


Fig.2 ターボ冷凍機の負荷変動に対する各部の非定常応答特性の例

3. 共同研究者

山口 誠一（基幹理工学部 機械科学・航空学科 准教授（任期付））

ニコロ ジャンネッティ（基幹理工学部 講師（任期付））

井上 修行（理工学研究所 招聘研究員）

鄭 宗秀（理工学研究所 客員准教授）

粥川 洋平（理工学術院 客員准教授）

東條 健司（理工学研究所 招聘研究員）

4. 研究業績

学術論文（Journal papers）

- (1) Niccolo Giannetti, Seiichi Yamaguchi, Kiyoshi Saito, Numerical simulation of Marangoni convection within absorptive aqueous Li-Br, *International Journal of Refrigeration*, Volume 92, 2018, Pages 176-184.
- (2) Niccolo Giannetti, Seiichi Yamaguchi, Kiyoshi Saito, Simplified expressions of the transfer coefficients on a partially wet absorber tube, *International Journal of Refrigeration*, 2018, In Press, Corrected Proof, Available online 29 July 2018, ISSN 0140-7007.
- (3) Niccolo Giannetti, Richard Jayson Varela, Hifni Ariyadi, Seiichi Yamaguchi, Kiyoshi Saito, Xin-Ming Wang, Hiroshi Nakayama, Semitheoretical Prediction of the Wetting Characteristics of Aqueous Ionic Liquid Solution on an Aluminum Finned-Tube Desiccant Contactor, *Journal of Fluids Engineering*, Volume 140, Issue 12, 2018, 121109-121109-10, FE-18-1162, doi: 10.1115/1.4040796.

5. 研究活動の課題と展望

今後の展望として、上述の検討を含めヒートポンプの省エネルギー化に対するさまざまな検討を、様々な冷媒に対して行い、その比較検討を進めていく予定である。