

次世代ヒートポンプ技術に関する研究

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

省エネルギー性が極めて高いヒートポンプのさらなる高効率化, 利用拡大を実現するために, ヒートポンプの要素からシステムにわたる高性能化、高効率化の実現を目指す。本年度はヒートポンプシステムの制御特性の検討, 吸収ヒートポンプの吸収器における伝熱・液流動特性の解明, 熱気泡ポンプの特性把握と内部状態の可視化に関する検討について取り組む。

2. 主な研究成果

2.1 ヒートポンプシステムの制御特性の検討

圧縮式ヒートポンプは逆カルノーサイクルをベースとしたシステムあり, 低温環境から高温環境へ熱を組み上げることができる。圧縮式ヒートポンプはエネルギー消費効率が非常に高く, そのため, 冷凍, 空調分野をはじめとする様々な分野で冷却用途や加温用途に使用されている。

圧縮式ヒートポンプを狙い通りに運転するための制御についても技術開発が行われてきた。制御に関しては, インバーターが導入され, 圧縮機回転数の連続的操作が可能となったが, 通常では十分に連続運転可能な領域でも, 断続的な運転が繰り返され, 機器の性能が大きく低下する状況が散見されている。この様な背景には, 制御系設計の立場から制御対象の特性を十分に整理, 把握することなく, ブラックボックス化した形で制御設計を進めてきたことが大きな要因の一つではないかと考えられる。そのため, ヒートポンプサイクルのプロセスゲインの非線形性, 各操作量変動に対する感度, プロセスの遅れ, 無駄時間といった制御に関する基本特性の十分に検討することにより制御性向上が期待される。

本研究では数値シミュレーションによって, 操作量, 外乱に対してパラメータスタディを行い, 圧縮式ヒートポンプの定格点近傍における定常特性について明らかにし, この特性が制御性に与える影響について考察する。

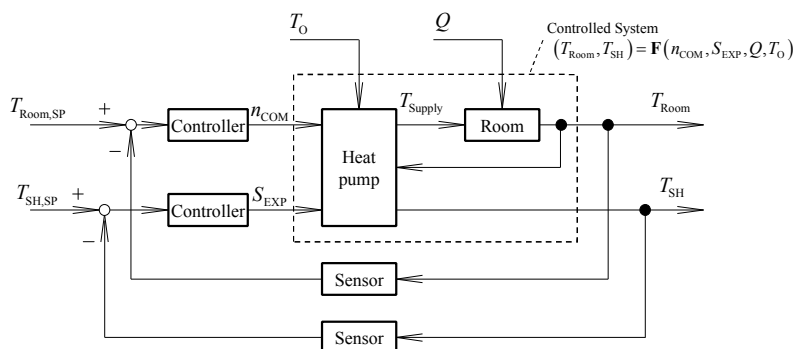


Fig. 1 圧縮式ヒートポンプシステムのブロック線図

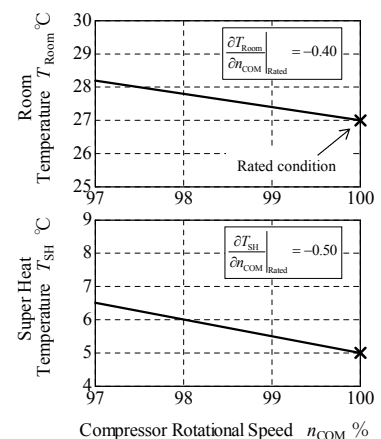


Fig. 2 操作量の特性解析

2.2 吸収器用伝熱管の熱伝達率の計測と可視化

吸収式ヒートポンプは低温排熱をエネルギー源として、冷水や温水、高温蒸気を生成することが可能なシステムである。吸収式ヒートポンプは、主に吸収器、再生器、蒸発器、凝縮器の4つの要素で構成され、それぞれ銅製の伝熱管を用いている。本研究では流下液膜式吸収器に着目し、熱伝達率及び伝熱管表面上における溶液の流れの様相を明らかにすることを目的とした。

Fig. 3 に、吸収器の溶液流量がその熱伝達率に与えり影響を、管の表面形状や界面活性剤添加の有無をパラメータとして示す。また、Fig. 4 にその時の、吸収器内部の溶液流動状態の可視化結果を示す。

結果より、平滑管、ローフィン管のいずれの場合においても溶液流量の増加に伴い、熱伝達率が増加した。平滑管の場合においては界面活性剤を添加する場合には添加しない場合に比べて熱伝達率が上昇した。また、ローフィン管の熱伝達率の方が同じく界面活性剤を添加した平滑管の場合と比べて高い。このことはローフィン管の伝熱面積が平滑管に比べ大きいためだと考えられる。

また、可視化実験により、ローフィン管では濡れていない面が存在するが、フィン間での鉛直方向の溶液の対流が見受けられる。ローフィン管の表面積の拡大と溶液の鉛直方向の対流により、高効率になったと考えられる。

以上によって得られた知見は、吸収式ヒートポンプの最適設計に向けた重要な知見となると期待される。

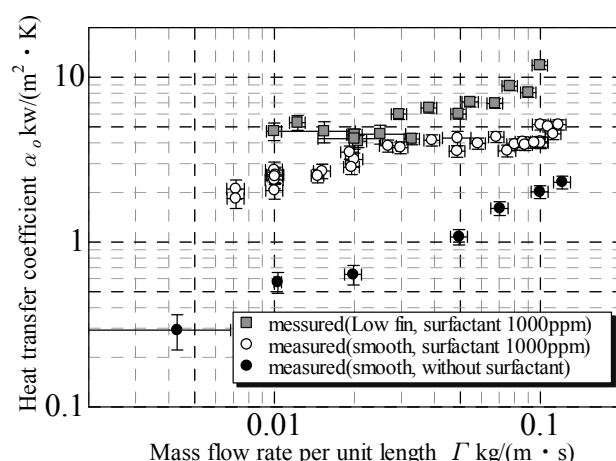


Fig. 3 吸収器における熱伝達率

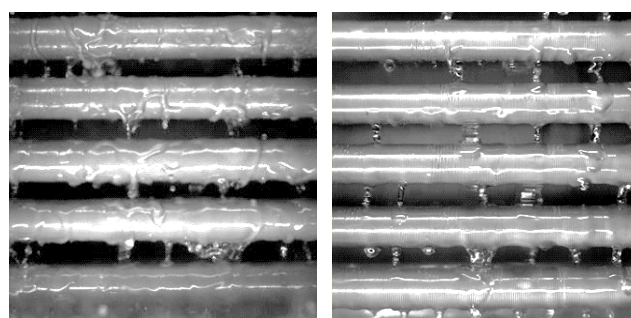


Fig. 4 吸収器内部の可視化

2.2 熱気泡ポンプの特性把握と内部状態の可視化

本研究の目的は、吸収溶液を用いた沸騰型気泡ポンプの特性を把握し、安定に運転できる動作理論を確立することである。そのための基本的な知見として、入熱量や溶液濃度、管の形状等の影響について実験を行い、また流動様式の可視化も行った。

Fig. 5 に入熱量（単位面積当たりの入熱量）と揚液量の関係を示す。ここでは、作動媒体として、濃度の異なる臭化リチウム水溶液と水を対象にした場合の実験結果を示す。また、Fig. 6 に加熱部の高速度カメラでの撮影による可視化結果を示す。

結果より、入熱の増加にともなって蒸気量と揚液量は共に増加していることがわかる。また、蒸気量に比べて揚液量は増加の度合いが大きいことも見て取れる。また、臭化リチウムの濃度 30.0% と 41.5% では、蒸気量があまり変化していないことを分かる。

以上より、本年度行った初歩的な検討で、熱気泡ポンプの基本特性の一部と、より高性能化に向けたいくつかの課題を抽出することができた。

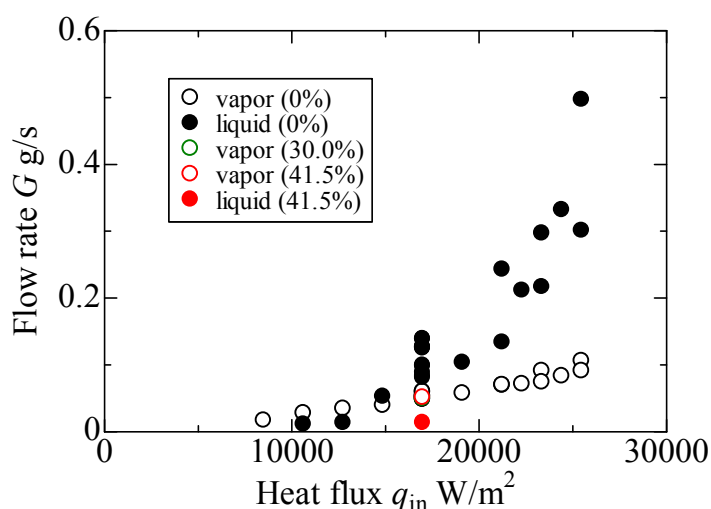


Fig. 5 熱気泡ポンプにおける入熱量と揚液量の関係

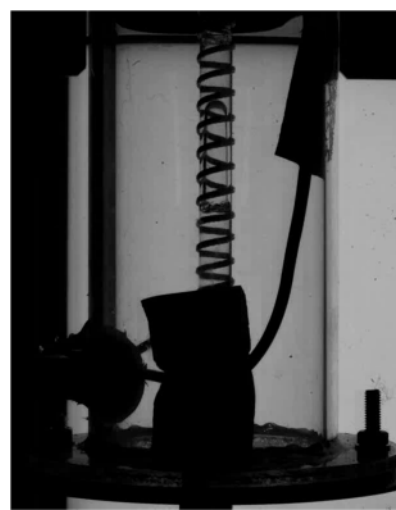


Fig. 6 加熱部の可視化

3. 共同研究者

山口 誠一（理工学研究所 主任研究員）
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

4.1 学術論文

伊藤卓, 大曲康仁, 山口誠一, 齋藤潔, 低露点環境向けデシカント空調の制御に関する研究 第2報—数値計算による運転変数のパラメータスタディー, 日本冷凍空調学会論文集, 33(2), pp.185-196, 2016.

N. Giannetti, A. Rocchetti, K. Saito, S. Yamaguchi, Entropy parameters for falling film absorber optimization, Applied Thermal Engineering, 93 pp.750-762, 2016.

4.2 発表（国際）

T. Usuzaka, Y. Kobayashi, S. Yamaguchi, K. Saito, H. Nakayama, Y. Miyaoka, X. Wang, Heat and mass transfer characteristics of a dehumidifier using an ionic liquid for a liquid desiccant system, The 8th Asian conference on refrigeration and air conditioning (ACRA2016), Taipei, Taiwan, May, 2016.

M. Takigiri, S. Hatada, S. Yamaguchi, K. Saito, Y. Ikumi, Experimental study on heat and mass transfer performance of a falling film absorber, The 8th Asian conference on refrigeration and air conditioning (ACRA2016), Taipei, Taiwan, May, 2016.

N. Giannetti, A. Rocchetti, K. Saito, S. Yamaguchi, Analytical description of falling film absorption, The 8th Asian conference on refrigeration and air conditioning (ACRA2016), Taipei, Taiwan, May, 2016.

4.3 発表（国内）

大野慶祐, 中川安明, 齋藤潔, 古橋優磨, 若林努, 広田和真, ガスエンジン駆動式ヒートポンプの冷媒漏洩検知に関する研究 その 1 : 冷媒漏洩検知方法の提案, B141, 2016 年度日本冷凍空調学会年次大会, 神戸, 2016 年 9 月

吉田時空, 伴俊憲, 大野慶祐, 山口誠一, 齋藤潔, 圧縮式ヒートポンプの最適制御 第 2 報 : 操作量と外乱に対するパラメータスタディ, B151, 2016 年度日本冷凍空調学会年次大会, 神戸, 2016 年 9 月

伴俊憲, 大野慶祐, 山口誠一, 齋藤潔, 山口秀樹, 圧縮式ヒートポンプの実運転性能評価法に関する研究—評価装置の構築と非定常評価手法の提案—, B142, 2016 年度日本冷凍空調学会年次大会, 神戸, 2016 年 9 月

Niccolo GIANNETTI, Seiichi YAMAGUCHI, Kiyoshi SAITO, Marangoni convection within absorptive falling films over an inclined wall Modelling and numerical simulations, D351, 2016 年度日本冷凍空調学会年次大会, 神戸, 2016 年 9 月

森脇涼介, 山口誠一, ジャンネッティ ニコロ, 齋藤潔, 流下液膜式吸収器における吸収現象に関する実験研究, D352, 2016 年度日本冷凍空調学会年次大会, 神戸, 2016 年 9 月

Richard Jayson VARELA, Seiichi YAMAGUCHI, Kiyoshi SAITO, Masatoshi HARADA, Hikoo MIYAUCHI, Performance Optimization of a Packed Bed Liquid Desiccant Air Conditioning System, D154, 2016 年度日本冷凍空調学会年次大会, 神戸, 2016 年 9 月

5. 研究活動の課題と展望

本年度は圧縮式ヒートポンプ, 吸収器用伝熱管, 熱気泡ポンプに特に着目して検討を行った. 今後の展望としては, 圧縮式ヒートポンプを用いた, より複雑なシステム (大規模熱システム) を対象にその最適制御理論の構築を試みる. また, 吸収式ヒートポンプについては, 吸収器の伝熱性能評価や可視化実験を, より高い吸収温度域で行い, より一般的な知見を得ることを目指す.