

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, 低温環境でのヒートポンプ熱交換器上の着霜現象の解明, 流下液膜蒸発器の濡れ面積に関する検討について取り扱う.

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り単段圧縮式ヒートポンプサイクルで部屋を冷却するシステムの2変数制御の検討を試みた. 構築した制御の評価の方法として外乱のステップ状の変化に対する応答を再現することができた.

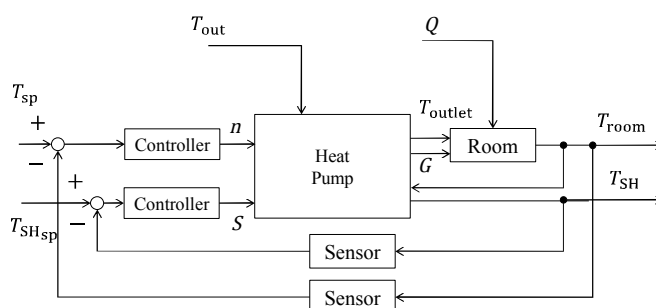


Fig. 1 圧縮式ヒートポンプシステムのブロック線図

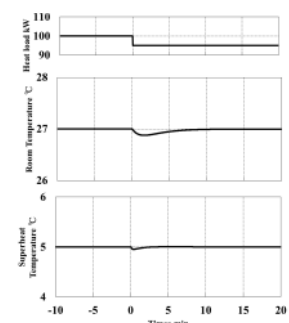


Fig. 2 外乱抑制制御の結果

2.2 低温環境でのヒートポンプ熱交換器上の着霜現象の解明

圧縮式ヒートポンプは、省エネルギー化への要望へ応えうるシステムとして期待されている。しかし寒冷地での暖房運転では、熱交換器表面上に霜が生成されることによって熱抵抗や通風抵抗が増大し、大幅な性能の低下をもたらす。よって除霜運転で霜を取り除く必要がある。除霜運転は、快適性の低下をもたらす他、除霜運転への切り替えにもエネルギーを使う。そのため着霜を考慮した評価が重要である。

ところが、着霜による性能の低下を評価する際、実機による実験では多くのコストと時間がかかるため、シミュレーションにより着霜の影響を再現することが有効である。本研究では、霜の成長を考慮した数値シミュレーションを行う。

熱交換器上に付着する霜によってヒートポンプの性能が低下する様子を再現することができた。今後の展望としては、実験による妥当性の検証や、さらにはシミュレーションを用いた最適な除霜運転手法の確立に向けた検討が挙げられる。

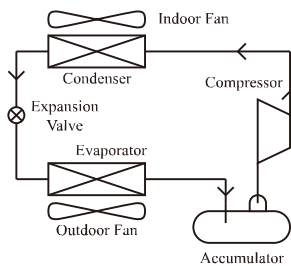


Fig. 3 ヒートポンプフロー図

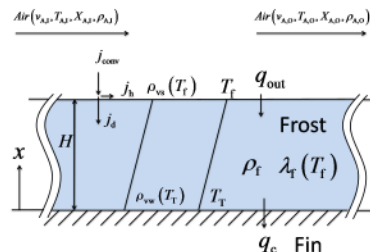


Fig. 4 霜モデル概略図

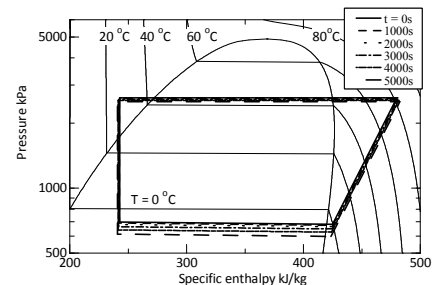


Fig. 5 ヒートポンプの Ph 線図

2.3 流下液膜蒸発器の濡れ面積に関する検討

吸収ヒートポンプシステム内の吸収器の特性は、システム全体の効率、寸法、コストに大きな影響を与える。従来の流下液膜式の場合には、高い熱伝達率と低い圧力降下を得ることができる。しかし、これらのデバイスを最適化するために用いる熱物質移動の実験的および分析的なモデルは、まだ不完全であり、熱と物質移動係数を予測するアプローチは確立されていない。また、吸収システムの効率を改善するために、より複雑な多段構成の吸収器が開発中であり、その性能を予測し、最適化、制御するための正確かつ簡易なモデルが求められている。本研究の目的は、水平伝熱管を流れる液膜の吸収プロセスを解析するためのモデルを得ることである。

本研究では水平管の膜吸収に対し二次元支配方程式の解析的研究を行った。単一の水平管上の層状吸収性膜での物質移動に対する解析は、フーリエ級数関数と指数項のような変数を分離する方法を用いた。また、部分的な濡れに対する簡易線形モデルは、低レイノルズ動作範囲に得られる解析式の精度を拡張するために使用した。流下薄膜の内部で温度と濃度分布は、吸収器内部に発生する熱および物質移動現象を特徴付けるために使用されている。この単管モデルは、実機的设计および制御に向けたシミュレーションにおいて、計算負荷が小さく、かつ精度の高いモデルとして使用することができる。

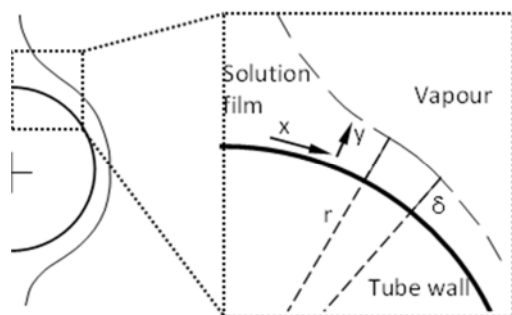


Fig. 6 液膜モデル図

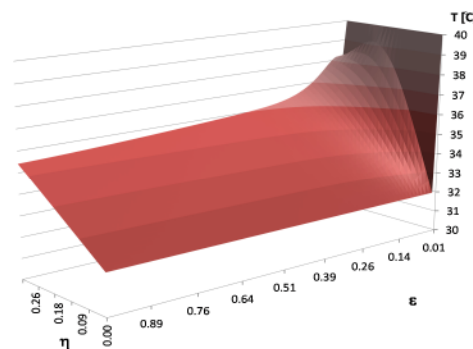


Fig. 7 液膜の温度

3. 共同研究者

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)
 山口 誠一 (理工学術院 助教)
 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

松本邦康, 大野慶祐, 齋藤潔, 岸本哲郎, VFR 形圧縮式ヒートポンプ空調機の定常特性解析
 —第1報: 室内機運転台数変更時の数値解析と実験による評価—, 日本冷凍空調学会論文集, 2015
 年 No.2, 1-14

4.2 総説・著書

齋藤潔監修 デシカント空調システムの基礎理論と最新技術 S&T 出版株式会社 2015 年 9 月

4.3 発表

ニコロジャンネッティ, 山口誠一, 齋藤 潔, アンデレア ロッケッティ, 吸収器の水平管流下膜構
 成における熱と物質移動係数の解析式, 2015 年度日本冷凍空調学会年次大会, 東京, 2015-10

大野 慶祐, 木村 健, 齋藤 潔, 遺伝的アルゴリズムによるランキンサイクル用炭化水素系混合冷
 媒の組成最適化, 2015 年度日本冷凍空調学会年次大会, 東京, 2015-10

Richard Jayson VARELA, Keisuke OHNO, Seiichi YAMAGUCHI and Kiyoshi SAITO,
 Numerical Simulation of CO2 Heat Pump for Hybrid Desiccant Air Conditioning System, 2015
 年度日本冷凍空調学会年次大会, 東京, 2015-10

松本 邦康, 大野 慶祐, 齋藤 潔, ビル用マルチ空調機のシミュレーション及び実験評価
 暖房運転に関する一考察, 2015 年度日本冷凍空調学会年次大会, 東京, 2015-10

大野 慶祐, 中川 安明, 齋藤 潔, 若林 努, 広田 和真, 古橋 優磨, ガスエンジン駆動式ヒートポンプのシミュレーション, 2015 年度日本冷凍空調学会年次大会, 東京, 2015-10

吉田 時空, 大野 慶祐, 齋藤 潔, 圧縮式ヒートポンプの最適制御
～第 1 報: プロセスゲインの非線形性と相互干渉に対する一考察～, 2015 年度日本冷凍空調学会年次大会, 東京, 2015-10

Arnas, Jongsoo JEONG, Kiyoshi SAITO, Hajime Yabase, M.Idrus Alhamid, Nasruddin, Performance Evaluation of Absorption Chiller Using Solar Energy in Tropical Regions, 2015 年度日本冷凍空調学会年次大会, 東京, 2015-10

坂本 武, 山口 誠一, 齋藤 潔, 井上 修行, 180℃蒸気の取り出しを想定した二段昇温型吸収式ヒートポンプの性能評価, 2015 年度日本冷凍空調学会年次大会, 東京, 2015-10

八橋 元, 平井 晃, 齋藤 潔, 鄭 宗秀, 大野 慶祐, Arnas, インドネシアにおける太陽熱空調システムの性能特性, 2015 年度日本冷凍空調学会年次大会, 東京, 2015-10

5. 研究活動の課題と展望

本年度は制御特性, 着霜, ぬれ面積に特に着目して検討を行った. 今後の展望としては, 実験による妥当性や, さらにはシミュレーションを用いてヒートポンプの最適な運転方法の検討や現象の解析をめざす.