

論文の内容の要旨

論文題目 マルチソース・マルチユースヒートポンプシステムに関する開発研究

氏名 吉田 吏志

本論文は、建物の大幅なエネルギー消費量の削減を狙い、多様な自然エネルギー（マルチソース）と多様な用途（マルチユース）を組み合わせたヒートポンプシステムを提案し、その開発研究と省エネルギー性について検証を行った。開発研究として、システムに適した各要素機器を開発し、実証実験にて優れた性能を明らかにした。加えて、実験データの解析から各開発機の性能曲線のモデル化と、その有効性を確認した。また、これら開発機のモデルを用いて、戸建住宅におけるシミュレーションを行い、本システムは、空気熱源ヒートポンプを利用した従来システムより、約 15%の消費電力の削減が見込めることを示した。

本研究論文は以下に示す 9 章から構成されている。

- 第 1 章** 「序論」では、建物の消費エネルギーの中で大きな割合を占める冷暖房・給湯において、既存のヒートポンプシステムの更なる性能向上に対しての問題点を提起し、複数の再生可能エネルギーを利用したヒートポンプシステムの必要性和、本論文の目的を示した。
- 第 2 章** 「ヒートポンプシステムの既往研究と技術」では、ヒートポンプシステムに関する既存の研究や方式をまとめ、各々の方式における現状の課題と、MMHP システムの新規性や独自性を示した。
- 第 3 章** 「MMHP システムの概要」では、本論文で提案している MMHP システムの概要について述べた。特にシステム構成や制御方法の詳細を、従来の地中熱利用ヒートポンプと比較しながら述べ、また、冷凍サイクルを既存の空気熱利用ヒートポンプシステムと比較しながら述べることで、MMHP システムの特徴と、既存システムの課題に対する考え方について解説した。更に、本システムの適用イメージとその可能性について述べることで、本研究の意義を示した。
- 第 4 章** 「太陽空気熱源ヒートポンプの開発研究と性能検証」では、MMHP システムに適した要素機器開発の一環として、システム制御に大きな役割を担う、太陽空気熱源ヒート

ポンプの圧縮機周波数（回転数）別の性能検証を行い、運転制御方法の検討と、性能曲線のモデル化を行った。

- 1) ヒートポンプの圧縮機周波数を小さくすることで、COP が大幅に向上することがわかった。今回の実験では、加熱 COP は最大で 35.1，冷却 COP は最大で 22.1 と高い値を確認した。これにより、必要な出力や外気条件に応じて圧縮機周波数を変更（小さく）することで、更なる性能向上が期待できることを示した。
- 2) 実験データの解析より、太陽空気熱源ヒートポンプ（試作機）のモデル式を示した。近似精度は平均誤差で約 8 %未満であることを確認し、シミュレーションに利用が可能であると判断した。

第 5 章 「水熱源瞬間式給湯ヒートポンプの開発研究と性能検証」では、MMHP システムに適した要素機器開発の一環として、水熱源瞬間式給湯ヒートポンプという新しい給湯方式の提案と、試作機における実証実験から、動作確認と性能値を提示した。また、実験データの解析から性能曲線のモデル化を行い、その有効性を検証した。

- 1) 試作機において、問題なく瞬間で給湯する動作を確認し、MMHP システムを利用した本給湯機は冬期想定 COP:5.2，中間期想定 COP:6.6，夏期想定 COP8.5 と高い効率を確認した。
- 2) 実験データの解析より本給湯機（試作機）のモデル式を示した。近似精度は約 5 %未満であることを確認し、シミュレーションに利用が可能であると判断した。

第 6 章 「水熱源空調ヒートポンプの開発研究と性能検証」では、MMHP システムに適した要素機器開発の一環として、水熱源空調ヒートポンプの改良と、本システムに適した膨張弁開度の制御について、実証実験から検討を行った。また、実験データの解析から性能曲線のモデル化を行い、その有効性を検証した。

- 1) 冷房運転においては、標準設定値より膨張弁開度を大きくすることで、COP が向上した。膨張弁開度の設定を改良した空調機を利用して、本システムの温度域で性能検証行なうと、冷房 COP が 10.1～14.2 と比較的に高い効率が得られた。
- 2) 暖房運転においては、膨張弁開度を調整しても COP に大きな変化が見られなかった。これは、実験機の冷媒封入量が足りていないと推測される。実験機に改良の余地は残るが、本システムの温度域における現状機器の暖房 COP は 4.8～5.1 となった。
- 3) 実験データの解析より本空調機（試作機）のモデル式を作成した。近似精度は冷房，暖房ともに平均誤差で 6 %未満であることを確認し、シミュレーションに利用が可能であると判断した。

第 7 章 「地中熱交換器のモデル化」では、MMHP システムに適した要素機器開発の一環として、U チューブ型地中熱交換器のモデル化を行い、その有効性を確認した。近似精度は 5～12 %であることを確認し、シミュレーションに利用が可能であると判断した。

第 8 章 「年間運転性能予測シミュレーションによるシステム構成と運用に関する研究」では、MMHP システムの戸建て住宅における年間運転性能予測シミュレーションを行い、消

費エネルギーを最小化するためのシステム構成と運用手法の検討を行った。また、従来システムとの比較による導入効果の検証を行った。

- 1) 本システム構成の検討として、地中熱交換器長さと太陽空気熱ヒートポンプの容量をシミュレーションにて検証した。本条件において、不凍液を用いず、瞬間式給湯ヒートポンプを利用した場合、地中熱交換器長さが 400m 以上必要という結果となった。地中熱交換器長さを 200m 以下にするためには、太陽空気熱源ヒートポンプが 5kW と、生活スタイルの変更が必要となった。しかしながら、生活スタイルの変更は生活者への負担が生じるため、今後は省エネを追求するだけでなく、使い勝手や機器の組み合わせ（貯湯式の給湯ヒートポンプ）を含め、更なるシステム構成の検討を行う必要があると考える。
- 2) 本システムの運用手法として、太陽空気熱源ヒートポンプの制御方法を調整して検証を行った。本条件における最適な運用手法では、太陽空気熱源ヒートポンプの冷却（放熱）運転が必要ないことを示し、運用手法を変更することで、全体の消費電力を削減できる見込みがあることが判った。
- 3) 本解析条件において、水ループ熱源水温度が長期間安定する太陽空気熱源ヒートポンプの人工回復熱量は 2270 kWh/年、地中熱交換器の自然回復量は 2894 kWh/年であることが判った。この結果は地中熱を含んだ複合システムを設計する際のひとつの指標として利用できると考えている。
- 4) 本システムと、空気熱源の空調ヒートポンプ並びに貯湯式の自然冷媒ヒートポンプ給湯機を用いた従来システムを比較すると、本システムは従来システムに比べ、約 15%の消費電力の削減が期待できることが判った。しかしながら、本論文に記した通り、現在の試作機や運用手法には、未だ改良の余地が残っているため、更なる省エネの可能性があると考えている。

第9章 「結論と今後の課題」では、各章で得られた結果を要約し、本論文の成果を明らかにした。また、本論文から明らかとなった課題について述べた。