

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 吉 田 吏 志

本論文は、「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」と題して、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）を組み合わせた新たな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の評価に関して論じたものである。

近年、建物のエネルギー消費量を削減するため、冷暖房や給湯用途に利用されるヒートポンプ機器の高効率化に注目が集まっている。しかしながら、国内において普及の進みつつある空調・給湯ヒートポンプ機器の効率は、機器的制約や物理的制約より、機器単体での更なる大幅な性能向上が難しい状況にあり、これを達成する為には、ヒートポンプの根幹的要素となる熱源システムから再考する必要がある。ヒートポンプの熱源には、空気熱や太陽熱、地中熱など各種自然エネルギーが有効であると考えられるが、これらの単独利用には長所短所が存在する。また、建物内で『冷房に利用する冷熱』と『給湯に利用する温熱の需要』は同時に発生しているにも関わらず、それぞれ単独の熱源を利用しているのが現状であり、熱利用の間で融通はほとんどされていない。そこで、本論文では、建物の大幅な省エネルギー化を目指し、自然エネルギー利用の長所短所を補い、且つ建物内の熱融通が可能な複合化システムを提案し、提案システムに適した各要素機器の開発と実証実験により、高い性能値を確認している。加えて、各開発機の性能曲線のモデル化と、戸建住宅を対象としたシミュレーション解析により、システム全体の省エネルギー性について明らかにしている。

本論文は、全 9 章で構成される。

第 1 章では、既存のヒートポンプシステムにおける性能向上の問題点を提起し、複合化システムの有用性を示している。

第 2 章、第 3 章では、ヒートポンプシステムに関する方式と提案システムを整理することで、提案システムの高密度型地中熱交換器と太陽空気熱源ヒートポンプを組み合わせた構成や、1 日サイクルで地温を人工的に回復し、常にヒートポンプ機器を高効率に運転する制御方法に、新規性や独自性があることを示している。

第 4 章では、提案システムに適した要素機器開発の一環として、太陽空気熱源ヒートポンプの圧縮機周波数別の性能検証を行い、周波数を小さく運転することで COP が向上することを示し、加熱 COP は最大値で 35.1、冷却 COP は最大値で 22.1 と高い値を確認している。また、実験データの解析により、性能曲線のモデル式を作成し、近似精度が変動係数で 8%未満と、モデル式の有用性を示している。

第 5 章では、提案システムに適した要素機器として、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、瞬間給湯の動作確認と、冬期想定 COP5.2、中間期想定 COP6.6、夏期想定 COP8.5 と高い効率を確認した。また、実験データの解析より、性能曲線のモデル式を作成し、近似精度が変動係数で 5%未満と、モデル式の有用性を示している。

第 6 章では、提案システムの熱源温度範囲に合わせた水熱源空調ヒートポンプの膨張弁開度を実験検証より確認し、冷房 COP が 10.1～14.2 となることを示した。一方、暖房は制御を変更しても COP に変化がないことから、冷媒量が不足気味と考察し、機器制御の改良と性能検証は今後の課題としている。また、作成したモデル式の近似精度が変動係数で 6%未満となり、その

有用性を示している。

第7章では、計算負荷の少ないUチューブ型地中熱交換器のモデル化を行い、近似精度が変動係数で5～12%であることを確認し、その有用性を示している。

第8章では、提案システムの年間運転性能予測手法を構築し、提案システムは一般的な空気熱源ヒートポンプを利用した従来システムに比べ、15%程度の消費電力の削減が見込めることを示した。

また、開発が進められなかった暖房やポンプ動力の解説より、更なる削減の可能性について述べている。

第9章では、結論と今後の課題を示している。

本論文は、建物の大幅なエネルギー消費量を削減するため、多様な自然エネルギーと多様な用途を組み合わせた新たなヒートポンプシステムの提案を行い、提案システムに適した要素機器の開発と実測による性能検証、性能曲線のモデル化、及びシミュレーションによる全体システムの省エネ性について確認したものである。開発機における運転環境や制御方法の違いによる実測データや、新たに提案されたヒートポンプシステムと、その省エネ性は、今後の建築環境工学、建築設備工学の発展に寄与するところは大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。