

審査の結果の要旨

氏名 劉明哲

本研究は、「Study on Development of Distributed Water Source Heat Pump System Using Renewable Energy (再生可能エネルギーを利用する水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発に関する研究)」と題とする。主な目的は、ヒートポンプにより再生可能エネルギーを建物の熱供給システムへの利用技術に着目し、太陽熱、空気熱などの再生可能エネルギーを補完的に利用できる高効率な熱供給システムの開発を行っている。

具体的には、既往研究での各ヒートポンプのプロトタイプに基づき、改良を加えて再生可能エネルギーを利用する水循環・分散型ヒートポンプシステムに適する機器を開発し、試験建屋を用いて実運転により本システムの運転性能を評価している。さらに、将来の適用と展開に向けた運転性能予測手法の開発を目指し、試験建屋の配管システムを対象とし、数値流体力学 (CFD) を用いて配管内圧力損失と温度の予測と精度検証を行う以外に、高度な制御方法を開発するため Modelica 言語を用いて、試験建屋及びヒートポンプシステムの熱的挙動を表現できる性能予測モデルの構築を行っている。

本論文は下記の全 7 章により構成される。

第 1 章は、本研究の研究背景、建物における再生可能エネルギー利用に関する課題、課題に対する本研究の目的及び論文構成について述べている。

第 2 章は、ヒートポンプの基礎、建築分野に広く利用されている空気熱源ヒートポンプ、地中熱ヒートポンプ及びソーラーアシストヒートポンプシステムに関する先行研究のレビューについて解説し、それぞれの問題点と本研究で提出しているシステムによる対策に関する解説を行っている。

第 3 章は、再生可能エネルギーを利用する水循環・分散型ヒートポンプシステムの概念と構成から始め、水ループ、螺旋式地中熱交換器、天空熱源ヒートポンプ、床暖房、給湯及びダクト空調用の水熱源ヒートポンプの開発を説明している。特に改良を加えた各ヒートポンプの構造、及び性能試験と結果を解説している。

第 4 章は、各ヒートポンプ及びシステム全体の運転性能を確認するために、小規模住宅を想定した試験建屋を用いて、実運転により本システムの性能評価を行っている。冬期、夏季及び中間期の実験結果に基づき、天空熱源ヒートポンプ、床暖房、給湯、ダクト空調用の水熱源ヒートポンプ、及びシステム全体が優れた性能を有することを示している。さらに、天空熱源ヒートポンプと地中熱交換器を組み合わせて利用した **daily cycle** 運転方式でシステムの安定かつ効率的な長期間運用が期待できることを示している。

第 5 章は、主に対象となる試験建屋の地中熱交換器を含む配管システムの 3 次元モデルを作成し、**CFD** を用いて配管システム内の圧力損失及び温度の予測シミュレーションを行っている。実験データとの比較により、本方法の予測精度と誤差原因を明らかにしている。

第 6 章は、運用方法の最適化、及び運転性能や経済性などを比較評価のために、**Modelica** 言語を用いて試験建屋及びヒートポンプシステムの熱的挙動を表現できるモデルを構築している。まず、建築分野によく使用されるツールと方法のレビューに基づき、それぞれの特性と長短所の分析を始め、**Modelica** 言語の基礎と建築分野における応用を解説している。次に、各部分のモデリングの解説、本研究で提出したヒートポンプシステムのモデルの構築を行い、実験結果との比較により、構築したモデルの妥当性と予測精度を明らかにしている。

第 7 章は、本研究で得られた知見をまとめるとともに、今後の課題について示している。

本論文では、太陽熱、空気熱などの再生可能エネルギーをヒートポンプの熱源として利用する水循環・分散型ヒートポンプシステムの開発を行っている。本研究で提出したヒートポンプシステムは、実運転により高い運転性能を示し、従来よりも安定かつ高効率な建築熱供給が期待できることを示している。また、実験値との比較により **CFD** による配管システム内の圧力損失と温度予測の可能性と精度を示す以外には、**Modelica** 言語を用いて本ヒートポンプシステムの高度な制御方法の開発や最適化に利用できるモデルを構築している。本論文の知見は、再生可能エネルギー熱利用の普及拡大に大きく貢献するものであり、工学的、社会的な有用性は極めて高い。

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。