

## 審査の結果の要旨

氏名 李 栄玲

本論文は、「Operation Strategy Optimization and Exergy Evaluation of HVAC System (空調システムの運用方法の最適化とそのエクセルギー分析に関する研究)」と題して nZEB を目指す建物の実運用段階の空調システムの実測により性能評価と問題点発見を行い、運転方法の最適化、さらに、エクセルギー解析を行い性能改善の方法の検討を論じたものである。

近年、ニアリ・ゼロ・エネルギービルディング (nZEB) に代表される省エネルギー建物が注目されている。しかし、省エネルギー建物の現状としては、様々な技術を導入しても、設計時に想定した運用条件が必ずしも適切ではなく、高効率な運転を実現するには、運用方法の工夫が必要である。特に空調システムのエネルギー消費は建物のエネルギー消費の 40% を示しており、この部分のエネルギー消費量の削減が極めて重要である。

そこで本論文では、まず nZEB を目指した建物を対象に、エネルギー消費量の実測を行い空調システムにおける現在の運用上の問題点を明らかにした。さらにその問題点の改善案を提案・実施し、その省エネルギー効果を把握するとともに、そのことによる室内環境の維持が行われているか環境実測により把握を行った。最後に、エネルギーシステムの性能改善のポテンシャルを明確にするために、エクセルギー解析を実施した。エクセルギー解析により、実際に利用できるエネルギーの変化を明らかにすることができる。

本論文は、全 7 章で構成される。本論では、二年間の計測データを用いた nZEB の性能評価における空調システムのエネルギー消費量が建物全体消費量の 77% を占めることが明確になった。空調システムに着目する実測により、様々な問題点を発見し、特に、地中熱ヒートポンプシステムが期待された性能が実現していないことが分かった (第 3, 4 章)。地中熱ヒートポンプは主に定格負荷で運転していたため、生成冷水温度レベルが性能に強く影響すると考えられる。したがって、地中熱ヒートポンプの生成冷水温度レベルなどのパラメータを設計パラメータとし、運用方法の最適化を行った (第 6 章)。さらに、ヒートポンプの性能を最適化運転する際の性能以上に上げる可能性を検討するため、エクセルギー解析を手法とし、ヒートポンプのエクセルギーフロー、冷媒サイクル及び各熱交換器のエクセルギーロスを考察した (第 5 章)。

第 1 章では、本研究の研究背景と目的、及び論文の構成を述べている。

第 2 章では、エクセルギーの理論を中心に本研究の基礎理論に関して説明した。

第3章では、二年間の計測データを用い nZEB のエネルギー・パフォーマンス、空調システムの性能、室内温熱環境を評価し、問題点を発見した。本章の分析により、空調システムのエネルギー消費量は建物エネルギー消費量の 77%となっている。

第4章では、空調システムに着目し、実測によりその性能を調査し、問題点を発見した。実測により地中熱ヒートポンプを用いた蓄熱システム及び天井面放射冷暖房システムの性能評価を説明している。

第5章では、第3章と第4章に述べた問題点を解決するため、研究手法としてエクセルギー解析を行っている。ヒートポンプシステムのエクセルギー解析による以下の新発見があった。1) エクセルギーロスの発生箇所とそのロスの値を明確にした。2) 地中熱ヒートポンプのエクセルギー効率が空気熱源ヒートポンプより大きい。3) エクセルギーのロスが冷媒サイクルと各熱交換器で発生し、特に、冷媒サイクルでのロスが最も大きい。したがって、ヒートポンプ性能向上ため圧縮機の性能改善に着目するべきであると提案している。

第6章では、実測により発見した地中熱ヒートポンプの設計冷水温度で運転する際に COP が低下するなどの問題点を解決するために、シミュレーションにより地中熱利用システムの分類検討し、最適化計算を行う。地中熱ヒートポンプの適切な運転方法を検討し、さらに、その最適化の効果をエクセルギー解析により検討した。

第7章は、本研究のまとめ、今後の課題を示している。

本論文は、nZEB を目指す建物の実運用段階の空調システムの実測により性能評価と問題点発見を行い、運転方法の最適化、さらにエクセルギー解析を行い、性能改善の方法の検討を行ったものである。エクセルギー解析により、各サブシステムの分析が可能となり、ロスの発生原因が明確になるため、コミッションニングの箇所とその性能向上のポテンシャルを提示することが可能となった。また、本研究で得られた知見は、空調設備のメーカーにとっても役立つと考えられ、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。