HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	地中熱ヒートポンプシステムにおける搬送動力削減によるトータルシステム高効率化に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	中村, 靖
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11900号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58981
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Yasushi_Nakamura_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　中村 靖

審査担当者　主　査　教　授　長野 克則
副　査　教　授　羽山 広文
副　査　教　授　濱田 靖弘
副　査　准教授　葛 隆生

学位論文題名

地中熱ヒートポンプシステムにおける搬送動力削減によるトータルシステム高効率化に関する研究
(Study on total efficiency improvement of ground source heat pump system by electric power reduction of circulation pumps)

近年、地中熱ヒートポンプ (Ground Source Heat Pump:以下 GSHP とする) システムは高効率な暖冷房運転が可能な熱源システムとして、その CO2 排出量の削減に有効な手段の一つとして考えられている。GSHP システムの導入数は増加の一途を辿っているが、我が国における新築建物の総面積の約 3 分の 2 を占める温暖地域の中小規模建物において、GSHP システムが導入されている事例は少なく、温暖地域の中小規模建物においても CO2 排出量の削減が可能な GSHP システムの導入拡大を図ることが必要となっている。

この理由として、著者は搬送動力の少ない空冷ヒートポンプビルマルチが普及しえいることを挙げ、本論文では温暖地域の中小規模建物における GSHP システムの導入拡大のため、ヒートポンプの一次側および二次側の搬送動力を低減する、少水量対応 (Low Flow Circulation:以下 LF とする) 地中熱ヒートポンプシステム (以下 LF-GSHP システムとする) の開発を行い、搬送動力を含めたシステムの総合効率を向上させる研究を行っている。具体的には、LF-GSHP システムのフィールド試験装置を構築し、冷暖房運転を行った際の循環ポンプ (搬送動力) を含めたシステムの消費電力が最小となる最適循環流量を検討するとともに、比較的簡便な方法で循環ポンプの運転が最適に近い流量となる制御システムを導入し、システム性能の実証を行っている。また、循環流量を低減させたときの地中熱交換器の採放熱性能についてフィールド試験の結果をもとに検討し、循環流量を低減させても地中熱交換器の性能低下が小さいことを示している。さらには、北九州市に建設されたオフィスビルに LF-GSHP システムを導入し、少水量制御の導入効果を確認している。

本論文の構成および各章の内容は以下の通りである。

第 1 章は、序論である。GSHP の概要と、温暖地域の GSHP システムの導入に向けての課題について述べている。

第 2 章は GSHP システムや搬送動力の低減について従来行われてきた研究との比較を行った上で、本研究の目的およびその位置づけを示している。

第 3 章は LF-GSHP システムのフィールド試験によるシステム性能の実証である。まず本章では、一次側に熱媒の循環流量を減らす少水量循環方式を、二次側にマルチエアコンを適用できる、水冷ヒートポンプマルチエアコンを採用した LF-GSHP マルチエアコンを開発することにより GSHP システムの搬送動力を削減することについて述べている。また、LF-GSHP マルチエアコ

ンのフィールド試験装置を構築し、冷暖房運転試験を行い、冷房時おいて本システムは最大出力に対する出力割合が 30〜50 パーセントでは、循環流量が 30 L/min で搬送動力を含めたシステム COP(以下 SCOP とする) が最大となり、出力割合 100 パーセント近辺では循環流量 96 L/min で SCOP が最大となるという結果を得ている。これらにより、出力に応じて循環流量を変化させる変流量制御運転が有効であることを確認している。さらには、循環ポンプにヒートポンプ出入口温度差一定制御方式による変流量制御運転を導入し、冷房運転、暖房運転を実施しており、その試験結果からヒートポンプ冷房出力に対する流量制御の追従性について、全運転時間帯のうち約 9 割の時間帯で、設定した循環流量に対し ±10 L/min の範囲内で運転が行われており、温度差一定制御方式により実用可能な精度で運転が行えることを確認している。また、物実負荷を想定した冷房期間の運転評価では、期間平均 SCOP が 4.51 となり、目標 SCOP である 4.5 以上を達成している。また、循環ポンプ定格運転時と比較して、循環ポンプ消費電力の約 80 パーセント、システム全体の消費電力の約 20 パーセントを削減できるという結果を得ている。

第 4 章では、少水量に対応可能な地中熱交換器 (Low Flow Ground Heat Exchanger 以下 LF-GHEX とする) のフィールド試験による検討である。本章では、鋼管基礎杭および PHC 杭を地中熱交換器として用いた LF-GHEX のフィールド試験を実施し、杭仕様 (鋼管杭、PHC 杭、鋼管杭群杭)、口径 (鋼管杭については外径 267 mm、400 mm、600 mm、800 mm、PHC 杭は外径 500 mm) や、地中熱交換器の仕様 (高密度ポリエチレン管や架橋ポリエチレン管を用いた U 字管等)、循環流量や施工方法に応じた採放熱性能の差異について検討を行っている。その結果より、いずれの杭使用においても高密度ポリエチレン管を用いた U 字管方式が採熱量・コストの観点から最も優位性があることを確認している。また、施工の簡略化や部材コストの削減を目的として、汎用部材を用いて複数の U 字管を接続する杭頭部配管を行うための試験を行ったところ、U 字管毎の採熱量に差の無い範囲で循環流量が確保できることが確認している。

第 5 章は、北九州市に建設されたオフィスビルに LF-GSHP システムを導入し、LF-GSHP システムの性能検証と導入効果の検討を行っている。LF-GSHP システムの性能検証を行い、循環ポンプの変流量制御などによって、SCOP の COP に対する低下が非常に小さい GSHP システムとなっており、搬送動力や補機動力を低減できていることを確認している。また、従来の空冷ヒートポンプと比較して約 33 パーセントの省エネ効果を得ている。さらには、実際の運転において設計時のシミュレーションと比較して冷房性能が低下することを確認し、この要因として室内機型式による性能差や低負荷率での運転等を挙げ、性能予測上の留意点を示している。

第 6 章は本論文の内容を総括するとともに、LF-GSHP システムの今後の展望と課題について述べている。

これを要するに、著者はヒートポンプの一次側および二次側の搬送動力を低減させ、総合効率の向上を図ることが可能な LF-GSHP システムの開発を行い、GSHP システムのトータルシステムの性能向上を図っている。また、北九州市に建設されたオフィスビルに LF-GSHP システムを導入し、少水量制御の導入効果やシステムの省エネルギー効果を確認している。これは建築設備工学および都市環境工学の進展に寄与するところ、大なるものがある。

よって著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。