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_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　中村 靖

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、CO2 などの温室効果ガスによる地球温暖化を防止することが、環境問題の最重要課題の一つとして挙げられている。しかしながら、我が国において建物の冷暖房給湯が大きな割合を占める民生業務部門の CO2 排出量は 2006 年以降減少傾向にはあるものの、2009 年度時点で 1990 年と比較して未だ約 12 パーセント多く、これに対応することが急務となっている。

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。最近その有効性が実証されていること、導入コストが削減されつつあることから、導入数は増加の一途を辿っている。しかしながら、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い。その主な理由は、これらの建物においては熱媒の搬送動力が少ない空冷ビルマルチエアコンが普及しており、GSHP システムは熱媒の搬送動力を要するため、総合効率では優位性が後退することが挙げられ、さらに、温暖地域の業務用建物の場合、冷房負荷が暖房負荷と比べて大きく、GSHP システムにおける冷房排熱の地中への放熱が過大となるため、地中温度が上昇し、熱源効率が低下することなどが挙げられ、これが GSHP システムの本格的な普及を妨げている大きな要因となっている。

これらの背景から筆者らは、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させ、総合効率の向上を図ることが可能な少水量対応 (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) の開発に関する研究を行った。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た。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た。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検証した。

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た。

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た。

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た。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 が最大となることがわかった。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た。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、暖房運転を実施した。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た。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 以上を達成することができた。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が得られた。

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た。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た。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された。

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を行った結果についてである。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が確認された。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が得られた。また、実際の運転においては設計時のシミュレーションと比較すると冷房性能が低下していた。原因を究明した結果、室内機型式による性能差や低負荷率での運転等、性能低下となる要因が明確となり、性能予測上の留意点を把握できた。

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た。