



Title	熱エネルギーの面的利用の高効率化に向けた搬送動力の削減手法に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	阿部, 佑平
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14447号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81276
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuhei_Abe_abstract.pdf, 論文内容の要旨



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 阿部 佑平

学 位 論 文 題 名

熱エネルギーの面的利用の高効率化に向けた搬送動力の削減手法に関する研究
(Methods for Reducing the Power Consumption for the Conveyance of Heat for High Efficiency of Thermal Energy Networks)

熱エネルギーの面的利用とは、個々の建物ではなく、地区・街区レベルの複数の建物においてエネルギー利用の最適化を図り、エリア全体のエネルギー消費量を削減することが可能なシステムである。その代表として、地域熱供給システムがある。複数の建物に熱供給を行う場合、異なる熱負荷パターンを組み合わせることで負荷平準化や熱源機器容量の低減、熱源機の効率が低下する部分負荷運転の回避、再生可能エネルギーや未利用エネルギーの活用が可能になる等のメリットがあり、建物単体では成し得ない省エネルギーや CO_2 排出量の削減が期待される。一方で、広域に冷水や温水を供給するため、ポンプの搬送動力が大きくなることから省エネルギーの点では課題があり、新たな技術開発が求められている。

本研究は、道内市町村を対象に熱エネルギーの面的利用の導入可能性を示すとともに、その高効率化に向け、ポンプの搬送動力の更なる削減と制御システムにかかるイニシャルコストの削減を目指した差圧を用いない変流量制御方式に関する今後の技術開発に知見を与えることを目的としている。

第1章「序論」では、研究の背景と目的を述べ、関連する既往の研究について概説し、本研究の位置付けを示した。

第2章「民生部門等を対象としたエネルギー消費量の調査」では、北海道富良野圏域5市町村(富良野市、上富良野町、中富良野町、南富良野町、占冠村)を対象に民生部門エネルギー等の需要構造を明らかにするために、自治体が所有する公共施設を対象とした施設属性調査、およびエネルギー消費量調査を行った。エネルギー消費量調査より、浴場や温水プール等の温浴施設を有する施設のエネルギー消費量が特に多く、年間の給湯エネルギーが暖房エネルギーを上回る施設もあることが分かった。これらの施設では、暖房のみならず給湯の省エネルギー化が必要である。また、各施設のエネルギー消費量のデータより、建物用途別のエネルギー消費原単位と各月のエネルギー消費量の変動を示す変動係数を作成した。

第3章「都市におけるエネルギー需要の推定」では、北海道富良野市の民生部門を対象に、エネルギーのエリアマネジメントを検討するために必要となる都市のエネルギー需要を推定した。第2章で作成した建物用途別のエネルギー消費原単位と都市計画基礎調査による建物の属性データを用いてエネルギー需要を推定したところ、年間の電力需要は約220TJ、熱需要は約731TJとなり、熱需要は電力需要の約3.3倍であることが分かった。熱需要を暖房と給湯に分離すると、年間の暖房および給湯需要は、それぞれ約378TJ、約354TJと推定され、暖房と給湯需要はほぼ同じであった。また、建物用途別で見ると、電力および熱需要ともに、住宅での需要が年間を通じて最も多いため、民生部門のエネルギー需要の削減には、住宅の省エネルギーが重要である。さらに、富良野市のエネルギー需要を250m×250mメッシュ間隔で分析し、空間分布特性を把握した。熱負荷密

度と熱電比を入力データとしてクラスター分析を行うことにより、各メッシュの特性を明らかにした。夏期でも熱需要のある医療施設や宿泊施設の占める面積割合が大きいエリアでは、熱負荷密度が 4.2TJ/ha 以上となり、熱エネルギーの面的利用による省エネルギー効果が期待できることを示した。

第 4 章「建物群に対する熱供給を対象とした差圧を用いない変流量制御方式」では、建物群に対する熱供給を対象に、従来の差圧によるポンプの変流量制御方式とは異なる差圧を用いない変流量制御方式(二次側温水行き温度一定制御、バルブ開度制御)を開発し、その制御特性を実験により評価した。提案する変流量制御方式の評価にあたっては、従来の差圧による変流量制御方式と同一条件において制御特性を比較した。2 つの建物に対して、熱交換器による間接受入方式で暖房の熱供給を行うことを想定した実験を行い、変流量制御方式別の搬送動力等の基礎データを収集した。実験結果より、開発した変流量制御方式でもポンプの回転数を制御でき、搬送動力の削減効果があることを明らかにした。これにより、差圧計を用いなくてもポンプの回転数を制御することが可能となり、制御システムにかかるイニシャルコストを削減できる可能性を示した。

第 5 章「建物群に対する熱供給を対象とした数値解析手法」では、建物群に対する熱供給を対象に、ポンプの変流量制御方式の導入による搬送動力等の制御特性を定量的に評価するため、流体移動と熱移動を同時に解析する手法を検討した。流体移動はポンプの特性(流量-揚程特性曲線)を考慮して流体管路網を用いて計算し、熱移動は各部位を節点(ノード)と熱コンダクタンスからなる熱回路網を後退差分法により解いた。数値解析手法の妥当性を検証するため、第 4 章で行った実験を対象に解析を行った。一次側流量、末端差圧、二次側温水行き温度について、実験結果と解析結果を比較したところ、両者は概ね一致したため、解析手法の妥当性を確認した。

第 6 章「数値解析による差圧を用いない変流量制御方式の制御特性の評価」では、第 4 章で提案したバルブ開度制御を対象に第 5 章で開発した数値解析手法を用いて、熱負荷パターンの異なる 3 つの建物に対して、熱交換器による間接受入方式で暖房の熱供給を行うことを想定した数値解析を行い、制御特性を評価した。解析結果より、バルブ開度制御は、従来の差圧による変流量制御方式よりもインバータでポンプの回転数を下げて運転することが可能であり、水動力を比較すると 10 ~17% 程度の削減効果があることを明らかにした。また、バルブ開度制御は、建物側の熱負荷が増加し、電動バルブの開度が全開になった時の二次側温水行き温度の低下を検知することでポンプの回転数を制御し、必要な流量を供給できるようにしている。この温度低下の許容範囲を検討したところ、二次側温水行き温度の設定が 60 °C の場合では、建物側の熱負荷を満足するために必要な一次側流量を供給し、かつ二次側流量を大きくしないためには、許容範囲を 2 °C 以内にする必要があることを示し、適正な運用範囲を明らかにした。

第 7 章「総括」では、本研究で得られた知見を総括し、今後の課題と展望について述べた。