



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	複数室外機を有する個別分散空調システムの自動最適運転制御の開発に関する研究
Author(s)	藤村, 昌弘
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16625号
Issue Date	2025-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16625
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98235
Type	doctoral thesis
File Information	Masahiro_Fujimura_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



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 藤村 昌弘

審査担当者 主 査 准教授 葛 隆生
副 査 教 授 森 太郎
副 査 教 授 田部 豊

学位論文題名

複数室外機を有する個別分散空調システムの自動最適運転制御の開発に関する研究
(A Study on the Development of Automatic Optimal Operation Control for Decentralized Package
Air Conditioning Systems with Multiple Outdoor Units)

2025 年のカーボンニュートラルの実現に向けて、省エネ法の改正など、エネルギーの削減に向けた取り組みが強化されている。一方で、中小規模ビルでは専任のエネルギー管理者が不在であることから、大規模ビルと比べて省エネルギー対策が進んでいない実態がある。消費エネルギー割合をみると、空調システムがその半分近くを占めており、空調機の効率化による省エネルギー対策は効果が高い。中小規模ビルでは空調設備として個別分散空調システムが多く導入されており、著者は電気式空気熱源ヒートポンプ (以下、EHP) の室外機 1 台に対してエネルギー消費量を最小化する EHP 最適運転制御を開発している。これは負荷率 30~60% 付近で最高効率となる EHP の特性を活かして、低負荷と高負荷の運転を避けることで効率化を図る制御である。しかしながら、一室を複数の室外機によって空調する場合には、一方の室外機に負荷が偏ってしまうと、低負荷と高負荷の運転となり、非効率となる可能性がある。

そこで著者は、室全体の負荷に応じて、複数の室外機にその負荷を最適に配分することで、空調システム全体でのエネルギー消費量を最小化する EHP システム最適運転制御の開発を行っている。それにより自動制御によって、エネルギー管理者が不在でも省エネルギーを達成できる空調制御を実現している。

論文は 5 章で構成されている、以下に各章の内容を記載する。

第 1 章は序論であり、研究の背景と目的について述べ、そして本論文に関連する既往の研究とその課題を述べ、本研究の位置付けを示している。

第 2 章では、一つの部屋に対し、複数の室外機を用いて空調を行う個別分散空調システムに対し、空調システム全体の運転効率を最大化させる EHP システム最適運転制御の開発である。まず、開発した制御のシステム構成と EHP システムの消費エネルギーを最小化する最適化の方法、最適運転制御の方法について説明している。そしてこの制御を実際に建物に導入し、冷房期間の制御動作や室内環境の検証を行っている。制御動作は想定した制御をよく再現しており、また、室内環境は EHP システム最適運転制御を導入しても環境の悪化は見られず、空調時間帯は室温 23~26℃、湿度 50~70% の範囲に収まっていることを確認している。更に、冷房期間のシステム COP の向上効果を検証し、制御を導入しなかった場合と比べて 13%、EHP 最適運転制御と比べて 3% の向上効果を確認している。

第 3 章は EHP システム最適運転制御における実測に基づく EHP の性能曲線 (特性式) の自動更

新についてである。EHP システム最適運転制御は負荷と COP の特性である性能曲線から負荷の配分を決定するが、LCEM ツールなどで提供されている性能曲線を用いて計算する COP と実測から得られる COP では乖離が見られる。そこで実測値をもとにした性能曲線を作成し、配分を決めることで、更なるシステム COP の向上を検討している。実測値に基づく性能曲線の検討にあたり、実測値には外れ値が含まれており、その外れ値も含めて性能曲線を描くと、実際の機器の特性に合わないこととなる。そこで、物理的特性および統計的特性によって、外れ値を除外している。物理的特性では、物理的に通常では取りえない計測値となった場合に、閾値によってそれを検出して除外する手法である。統計的特性では、負荷率と COP という相関関係のある数値から除外するため、マハラノビス距離を求めてその距離が大きいものを除外している。また、高負荷域のデータが無い場合については、LCEM ツールの性能曲線と同じ傾向を示すものと想定して、COP が連続となるようにグラフを補完している。このようにして得られた性能曲線によって、EHP システム最適運転制御の負荷配分を見直したところ、制御を導入しなかった場合と比べて 16%、EHP 最適運転制御と比べて 6% のシステム COP の向上効果を確認している。

第 4 章は複数室外機を有する個別分散空調システムの最適制御の導入効果検証シミュレーションについてである。第 3 章までで EHP システムの最適制御の導入効果検証を実測によって行ってきたが、実建物の代表日による比較では、外気温度や建物・設備の使われ方によって、制御以外の条件を同一とすることが難しいことも課題となっている。そこで、複数の室外機を持つ個別分散空調システムのシミュレーションモデルを用いて、最適運転制御の効果を定量的に検証している。具体的には、このシミュレーションモデルを用いて、2 台の室外機構成に対して EHP システム最適運転制御を導入した時の EHP システム冷房 COP 向上効果を検証している。その結果として、制御を導入しなかった場合と比較して 15% の COP 向上効果が得られることを確認している。また、2 台の室外機の負荷切替タイミングの変更および空調時間帯に同じ空間を空調する室内機を全て稼働させる運転を導入することで、EHP システムの COP 向上効果がさらに 3~7% 見込まれると推測している。

第 5 章では本研究で得られた知見をまとめ、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、複数室外機を有する個別分散型空調システムについて空調システム全体の運転効率を最大化させる自動最適運転制御を開発し、その導入効果を実証している。更には運転最適化を行う際に用いる空調システムの性能曲線を自動更新する方法や、自動最適運転制御の導入効果をシミュレーションによって定量的に示している。これは中小規模ビルで採用されることの多い個別分散型空調システムの高効率化と省エネルギー化の実現に貢献し、エネルギー環境工学の発展に寄与することが大きいと考える。

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。