

個別分散空調機における性能評価法の高度化に関する研究

著者	松井 絵美
学位名	博士(工学)
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2021
学位授与番号	12614博乙第42号
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00002223/

博士学位論文内容要旨

Abstract

専攻 Major	応用環境システム学専攻	氏名 Name	松井 絵美
論文題目 Title	個別分散空調機における性能評価法の高度化に関する研究		

近年の地球規模での温暖化や都市域における高密度なエネルギー使用に伴う熱環境の悪化は顕著であり、これらの抑制は急務の課題である。グレンイーグルズサミット（2005年）以降の国際関連会議や IPCC 第4次・5次評価報告書などでは、CO₂削減の経済的ポテンシャルは建築分野が最大であり、同分野でのエネルギー削減に係わる実効的な取り組みは、地球温暖化の抑制に貢献することが共通の認識であり、これには建築物を対象とした的確な省エネルギー対策の展開が必須となる。全建物エネルギー消費量に占める空調消費エネルギーは約40%以上であり、換言すれば空調システムのエネルギー削減は、今後の低炭素社会の構築に極めて重要となる。

近年の空調システムの傾向として、機器効率や設計自由度の向上、施工の容易性などにより個別分散空調機の普及が増加の一途である。しかし、同空調機は液冷媒が蒸発器管内で相変化を伴いながら環境空気と熱交換を行うため、その熱交換量（発生熱出力）の正確な把握が難しく、特にオンサイトでの性能評価は困難である。そこで、所属研究室では同空調機の性能評価法として、室内機からの吹き出し熱量から評価を行う熱フラックス法を試みたが、吹き出し口近傍の気流分布が複雑で正確な熱量評価が技術的に至難なことから、空調機圧縮機の流量特性をベースに単位時間当たりの冷媒流量と室内機での冷媒エンタルピー差から空調能力を算定するコンプレッサーカーブ法（CC法）を考案し、この手法によりユーザによる性能評価が可能になった。しかし、実建物における同空調機の省エネルギー方策の確立には、ユーザや管理者などに速やかに最適運転の情報を提供する評価システムの構築が必要であることから、運用機からの運転データをリアルタイムに収集し、その性能および運転状態を高精度に把握可能とする高度化された性能評価システムを開発するに至った。

CC法をベースとする性能評価法では、単位時間当たりの圧縮機冷媒流量の計算には、不確定なパラメータである体積効率値が必要であり、これを環境試験室を用いた実測から求めた。これによりCC法の算定精度は飛躍的に高まり、その相対誤差は最大で7%程度と十分に精度が担保された。

膨大な量の運転データをリアルタイムに処理し運転状態を同定するために、マイコンボードを用いて室外機制御基板から直接取得した運転データをネットワークを介してクラウドサーバ上でリアルタイム性能を算定するシステムを構築した。本手法は空調機を改造することなくユーザサイドでの直接的な性能・運転状態の把握が可能である。この高度化された性能評価システムを建物用途や気象条件が異なる全国の建物に装着してフィールド試験を行い、収集データの解析から実運用下における同空調機のエネルギー消費特性などの熱的基本性能を得た。その結果、過大な設備容量による空調機の低負荷運転の常態化、室内機の設定温度の差異によるCOP値の低下、室外機冷却空気のショートサーキットによるCOP値の低下、さらに省エネルギー制御運転時のエネルギー削減効果の定量化など、ユーザサイドでは未知であった個別分散空調機の諸現象とその影

響を明らかにした。

近年の建築物では内部発熱量の減少に伴い暖房負荷量は増大する傾向にあり、暖房時での空調機性能の適正な評価が重要となっていることから、特に暖房負荷量が多い寒冷地において EHP（電動）および GHP（ガスエンジン駆動）空調機の両者について、暖房運転に特化した解析を行った。EHP 空調機における低外気温度下での暖房運転ではヒートポンプ運転の維持が困難なことから、運転維持のために圧縮機回転数が増大してエネルギー効率値がより低下する傾向がある。また、連続運転中のデフロスト動作により、単位時間当たりの平均 COP 値は通常運転時と比較して 45%程度低下することを検証した。燃焼機械である GHP 空調機ではその排気熱や冷却水熱の利用により、同一温度条件においてもデフロスト運転が回避され、幅広い低温度帯でエネルギー効率値の変化は小さく、また、起動直後の有効発生熱量の立ち上がりでは、EHP 空調機の熱出力低下に対して GHP 空調機では全温度帯でほぼ均一した出力が得られることを明らかにした。さらに電力消費量の比較では、EHP 空調機に対する GHP 空調機の電力消費量は、冷・暖房期でそれぞれ 6%、13%程度でありデマンド電力の差が顕著であることを検証した。

本性能評価システムは詳細なデータがリアルタイムに確認でき、速やかにユーザらに情報を提供できることから、エネルギーマネジメントへの応用が容易となる。室内環境を担保しながら高効率な運転、故障診断または故障予兆などにも適用可能であり、従来では監視や改修が主な業務であったマネジメント事業が、設備設計から高度な省エネルギー診断、エネルギーマネジメントに関するコンサルタントなどへの幅広い活用が可能で、ワンストップ型の省エネルギー事業の導入が期待できることを実証した。また、性能評価システムを建物熱負荷センサとして用いることにより、収集された機器・建物・気象データなどを多角的に解析し、想定できる負荷パターンの機械学習から建物のエネルギー削減に寄与する総合省エネルギーチューニング支援システムの構築を提案した。

個別分散空調機の性能評価指標について、JIS 規定で従来の評価値である COP 値 (Coefficient of performance : 成績係数) から、より使用状態に近い APF 値 (Annual Performance Factor : 通年エネルギー消費効率) に変更され、両者の効率特性の単純比較が不可となったことから、通年の実測データなどをベースに、両者のエネルギー消費量やエネルギー消費特性をそれぞれ算出し、変換効率などの指標を導出し、空調機更新時などでの省エネルギー性能を容易な比較を可能とした。

本研究におけるユーザサイドでの高精度な性能評価法の確立は、個別分散空調機の実用化後 40 数年間で初の試みであり、従来困難であった同空調機のユーザサイドでの性能評価の可能性を示した。今後のデータ蓄積により、実効的な同空調機の省エネルギー運転に帰結し、単なる運転性能の解析のみならず、故障解析や省エネルギー運転への提言など、個別分散空調機の製品性能の向上に貢献するものとする。