

C02デマンド制御を組み込んだ全熱交換型換気システムの開発と性能検証

亀石, 圭司

<https://doi.org/10.15017/1500767>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名：亀石 圭司

論文題名：CO₂ デマンド制御を組み込んだ全熱交換型換気システムの開発と性能検証

区 分：甲

論 文 内 容 の 要 旨

室内環境制御の観点で換気による空気質維持の重要性は広く認識されている。室内空気質の良否は人体に直接的な影響を与えることも有り、適正な制御のための研究開発の歴史は長い。また、外気を室内導入することで発生する換気負荷は主要な空調負荷の一つであり、建物全体の省エネルギー化を図る上でも換気量の最適化は重要な課題である。すなわち、換気設計を行う上では法定換気量の担保と空気質維持の観点で十分な量の外気導入が期待されるものの、空調負荷削減の観点では換気負荷の最小化が望ましく、換気量の適正化に向けた制御アルゴリズム開発は現時点でも重要な課題となっている。

換気量の適正化の一方策として、汚染物質濃度をリアルタイムセンサで検出し、その濃度レベルに応じて換気量を調整する、所謂、換気量のデマンド制御がある。換気量をデマンド制御することで、室内濃度の適正な制御と換気負荷に起因するエネルギー消費とピーク負荷の低減に寄与することが期待される。

本研究では、熱回収に伴う換気負荷抑制効果が期待できる全熱交換型換気システムに、室内炭酸ガス(CO₂)濃度センシングによるデマンド制御を組み込むことで、導入外気量の最適化とエネルギー回収を同時に達成する換気システムの開発と性能検証を目的とする。特に実装状態での省エネルギー性能を長期実測により、定量的かつ実証的に検討した結果の整理を目的としている。

各章の内容を以下に要約する。

第1章では、序論として、研究背景と目的を明らかにしている。特に、オフィス空間における各種の省エネルギー手法を整理した上で、本研究で対象とした全熱交換器の原理と構造、デマンド制御アルゴリズムに関する研究開発の歴史を概説し、本研究の重要性、必要性、アドバンテージを明確にしている。

第2章では、本研究で開発するCO₂ デマンド制御を組み込んだ全熱交換型換気システム(以降、CO₂-DCV と略記)の概要を説明すると共に、実装状態での性能検証を実施する実測環境(大学研究室空間)に関して整理している。

第3章では、CO₂ 濃度センシング技術とドップラーセンサを組み合わせた居住者人員密度測定法について述べている。居住者の人員密度変動データの取得とその情報の換気制御へのフィードバックは、居住者起源のCO₂ 発生を前提としたCO₂-DCV システムによる空気質担保(すなわち法定換気量担保)のフェールセーフとして重要な意味を持つ。このため、ドップラーセンサと室内CO₂ 濃度変動情報を併用した居住者の入退室情報・居住者人員密度変動を簡易かつ安価に計測するシステムを構築し、実測調査によってその計測精度の検証を行っている。その結果、本開発システムが十分な精度で居住者人密度変動をリアルタイム計測可能であることを報告している。

第4章では、CO₂-DCV システム開発の基礎となる、室内でのCO₂ 発生からセンサ検出までの時間遅れに関する基礎検討について述べている。オフィス空間等の在室者数が時間変化するような室内環境中では、一般に非定常かつ不均一な流れ場、温度場、湿度場、CO₂ 濃度場が形成され

る。この場合、効率的に CO₂-DCV DCV を行うためには、特に室内 CO₂ 濃度が閾値を超えないように換気量調整を行うために、CO₂ 発生源である居住者位置とセンサによる濃度検出までの時間遅れを考慮した制御アルゴリズムの開発が求められる。室内 CO₂ 濃度閾値(例えば、1000ppm)を遵守する場合には、センサが定常濃度を出力する前段階の濃度上昇トレンドから必要換気量を予測して換気量調整を行う必要があり、デマンド制御を導入する上で、センサ濃度検出の時間遅れの問題は DCV において最重要課題の一つである。本章では、大学研究室空間を対象とした濃度センシングの時間遅れに関する基礎実験と、CFD 解析を用いた流れ場・濃度場の詳細解析を実施した上で、CO₂ 発生位置からセンサ位置までの CO₂ の平均滞在時間を CFD 解析にて 3 次元的に解析する手法を整理し、予測精度検証を行った結果を報告した。室内の過半が滞留域となる条件においても、実測結果との差異は 15%程度に収まることを確認している。さらに、CO₂-DCV 制御を組み込んだ全熱交換型換気システムの制御パラメータを決定する上で、事前に対象空間のセンサ時間遅れ分布解析を行うことで、より精度の高い換気量調整が可能となることを述べている。

第 5 章では、前章までの知見をもとに網羅的なパラメータスタディを加えながら、CO₂-DCV 制御アルゴリズムを検討する過程を詳細に述べるとともに、実験値と比較してアルゴリズムの妥当性を検証している。

第 6 章では、5 章で構築した CO₂-DCV 制御アルゴリズムを組み込んだ、当該システムを用いて 2 年間にわたる長期実測を行った結果に関して報告している。この長期実測では、開発した CO₂-DCV 制御ロジックの実装状態での性能を定量的に議論するため、比較条件として、換気量一定条件を設定した他、多段階閾値設定法 (閾値制御条件)、連続調整法 (リニア制御条件)による換気量制御の 3 条件を設定した。CO₂-DCV 制御ロジックとして採用した閾値制御ならびにリニア制御の条件ともに目標濃度 1,000ppm 以下に制御可能であることを示したが、特にリニア制御においては制御安定性が高く、換気負荷も最も小さくなる結果となった。すなわち、全熱交換型換気システムにリニア制御を用いた CO₂-DCV を組み込むことで、導入外気量の最適化とエネルギー回収を同時に達成するシステムが構築できることを定量的に確認した。

さらに、全熱交換器に CO₂-DCV を組み込んだ場合、換気風量の減少に伴って全熱交換器エレメントのエンタルピ交換効率も向上することを実験的に確認した。このことから、CO₂-DCV を採用した場合に換気風量削減と全熱交換効率の向上による相乗効果により、さらに省エネルギー性能が向上することを確認した。ただし、DCV での換気風量最適化により換気負荷を削減する場合には、空調負荷低下に伴う空調機の発停が予測されるため、換気負荷に見合った適正な(より小容量の)空調機を選定することが、室内での CO₂ 発生からセンサ検出までの時間遅れ省エネルギーの観点から重要となることを指摘している。

第 7 章では、本論文全体で得られた結果を総括し、学術的・工学的な貢献に関して言及すると共に、今後の課題を整理している。