

Integration of Dynamic Airflow and Energy Simulation for optimized ventilation design

范, 芸青

<https://doi.org/10.15017/1398412>

出版情報：九州大学, 2013, 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



論文提出者 Yunqing Fan

論文題名 Integration of Dynamic Airflow and Energy Simulation for Optimized Ventilation Design
(最適換気設計のための CFD-BES 連成解析)

論文調査委員	主査	九州大学	教授	林 徹夫
	副査	九州大学	准教授	伊藤 一秀
	〃	東京大学	教授	加藤 信介
	〃	東京大学	教授	赤司 泰義

論文要旨

現下の地球環境問題、エネルギー問題を背景として、エネルギー消費の増加傾向に歯止めが掛からぬ民生部門においては、この抑制のための対策と実行が切に求められている。建築関連部門では、東日本大震災を契機とした電力供給逼迫という喫緊の問題に対応するため、建物ランニングコストの最小化、建物エネルギー消費量の大幅削減が当然の命題として課されている。環境配慮やエネルギー消費の最小化は当然の課題であり、加えて、居住者や執務者の安全性、健康性、快適性の維持・向上を含めて、トレードオフの課題に対する最適解の探査が求められている。

建物の環境設計に着目した場合、換気は主要な室内熱負荷であると共に、空気質維持のための主たる制御要因である。外気導入量の増加は汚染物質の室内濃度の低下、即ち、室内空気質IAQが向上するものの、換気負荷が増大することとなり、省エネルギー性能と室内環境維持の両面に配慮した最適設計法の確立が求められている。

このような背景のもと、本研究は、省エネルギー性能と最適空気質維持の両者を達成する最適換気システム設計法の基礎となる、総合的な数値シミュレーション手法の開発に取り組んでいる。実在するオフィス空間を対象とした様々な境界条件での解析により、その有効性を検討したものである。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、既往研究と本研究の位置づけを明らかにしている。特に、室内換気設計の動向を整理した上で、各種の換気方式、最適設計のための各種の手法を概説することで、本研究の必要性、重要性を明確にしている。

第2章では、ダイヤモンド制御を中心とした換気量最適化のための各種手法、室内環境予測を行うための数値シミュレーション手法に関する文献調査結果を詳細に整理している。特に、建物エネルギーシミュレーション(BES)と計算流体力学(CFD)の連成解析手法に関し、各種の既往研究事例のメリット、デメリットを比較検討している。長期の熱負荷変動予測を可能とするBESと、詳細な不均一性の評価が可能ではあるが比較的短期スケールのみが対象となるCFDは相互補完的なシミュレーションツールであり、両者の連成に関しては各種の手法が提案されているものの、現時点では計算機負荷の観点で制約が大きい。

第3章では、本研究で使用するBESソフトウェアであるTRNSYS、CFDソフトウェアであるANSYS/FLUENTを中心に、その理論的背景を詳細に解説、支配方程式、数値解析手法、境界条件の理論的背景や設定法に関して整理している。

第4章では、本研究で採用するBESとCFDのQuasi連成解析手法に関して説明している。CFDによる室内環境解析にて不均一分布情報、特に居住域平均値をBES側にフィードバックさせるアルゴリズムに加え、本研究の独自手法であるPIDによる居住域温度制御とCO₂ダイヤモンド制御による換気量制御、全熱交換器による顕熱・潜熱回収を同時に実施することで多段階最適化を行う計算手法を詳細に解説している。

第5章では、実在オフィス空間を対象として実施した実測結果を報告している。全熱交換器とCO₂

ダイヤモンド制御を導入した中規模オフィスの一室を対象とした、夏期ならびに冬期の室内温湿度分布、二酸化炭素濃度履歴、空調消費電力量等の計測結果である。冬期暖房時には通常換気と比較して、全熱交換器を導入することで空調機の消費電力量は20%程度削減される可能性のあること、湿度回収により相対湿度で5%程度の保湿効果が期待できることを確認している。また、夏期冷房時には空調機の消費電力量が10%程度削減される可能性のあることを報告している。

第6章では、前章で示したオフィス空間を対象として、BES-CFD連成解析を実施した結果を報告している。特に夏期の実測条件を対象とした、PIDによる室温制御とCO₂ダイヤモンドによる換気量制御を導入した解析を行っている。実測結果との照合にて予測精度を検証した上で、換気システムの室内吹出口、吸込口のレイアウト変更が、室内温度分布、CO₂濃度分布を意図的に変化させた場合の空調負荷予測に与える影響をパラメトリックに検討している。質点系解析であるBESを単体で適用した場合と比較して、CFDと連成させて不均一分布情報をフィードバックすることで予測精度が5%程度改善することを確認している。また換気システムレイアウトの調整で20%程度の空調負荷削減が実現することも確認している。

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。