

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文審査報告書

論 文 題 目

運用実態調査による
自然換気システムの持続的活用法に関する研究

Sustainable utilization method based on the actual
operation survey for natural ventilation systems

申 請 者

山 本 佳 嗣

Yoshihide YAMAMOTO

2017年2月

持続可能な社会の実現を目指すという時代背景から、自然換気システムはゼロ・エネルギービルに必要な技術の一つとして、多くの環境配慮建築において採用されている。また、非常時の換気手段としても期待が持てる。現代建築においては、自然換気システムは空調設備による環境制御と併用して用いられることが多い。そのため、自然換気システムを効率的に運用するための方法に関する研究が必要とされていた。また、自然換気システムにより室内環境の快適性や省エネルギー性能の向上が期待されている。既往の研究では、自然換気システムにおける運用阻害要因の存在は指摘されているが、持続的な自然換気システムの活用を目指した研究はみられなかった。

以上の背景を踏まえ、本論文は、吹き抜けやソーラーチムニーなどの自然換気を促進する仕組みと空調設備を組み合わせて自動制御するなどの高度な自然換気システムを対象とし、運用を中止されることなく持続的に活用されるための設計法及び運用法の提案を目的としている。

本論文は7章で構成されており、審査の要旨は以下の通りである。

第1章では、本研究の目的・背景および既往の研究について述べ、本研究の範囲および意義を明らかにしている。

第2章では、自然換気の運用実態の把握を目的として、設備設計者を対象とした72物件のアンケート・ヒアリング調査を行い、更に19物件について管理者アンケート・ヒアリング調査・実運用データの解析を行っている。設計者アンケート・ヒアリング調査では、自然換気システムの構成、設計意図、運用への意識や設計上の工夫などを調査し、国内における自然換気システム設計の現状を整理している。また、管理者アンケート・ヒアリング調査では、システムに対する管理者の満足度、実際に発生した苦情とその対応などを整理し、管理者からは管理の手間と苦情対応についての意見が多く、自然換気口の制御法の違いによって運用上の問題点や苦情の内容が異なる傾向があることを明らかにしている。

さらに、建物の Building Energy Management System (BEMS) から取得した実運用データ解析を行い、自然換気利用時間数は設計時から運用されるに従って減少傾向にあり、調査時には設計時に想定した使用時間の58%に留まっている現状を明らかにした。9物件については、詳細なヒアリング調査や騒音値の実測調査により自然換気システムの運用時間が少なくなるまでの経緯が整理されている。さらに「ほこり」「虫の侵入」など、運用段階で苦情に繋がる恐れのある16項目の運用阻害要因があること指摘し、設計時の主な対策と実際の苦情発生件数の関係を分析している。また、設計者の苦情に対する問題意識と実際に発生した苦情との関連を分析した結果、「外からの騒音」「換気口の作動音」などについては、設計者の問題意識が低く、運用時にも苦情が発生していることを明らかにしている。

これらの運用実態調査の結果より、持続的活用性向上への検討課題として、

適切な自然換気許可条件、温度差換気を考慮した適切な自然換気経路の設計、空調設備との連動による省エネルギー性の確保の3点が重要であることを見出している。

運用実態調査によって利用時間数の変化と原因を明らかにした成果は、学術的だけではなく実務的にも価値の高いものであると認められる。

第3章では、換気口の開放条件にあたる自然換気許可条件に関して、その適切な条件設定を見出すことを目的に42物件の事例調査と分析を行っている。事例調査の結果より、外気温の上下限值、外気露点温度の上下限值、室内外エンタルピー比較、外気相対湿度の上下限值などの採用条件の組み合わせによって6つの自然換気許可条件に分類できることを示している。また、東京の年間気象データを用いて、自然換気利用時間数、外気の温湿度状態としての導入外気の質、換気口における1日あたりの平均連続開放時間数の3項目を評価尺度とし、自然換気許可条件の特徴を比較している。これらの検討の成果として、最も汎用性の高い許可条件を抽出し、それぞれの基準となる設定値を明らかにしている。

以上のように、換気口の運用上重要な自然換気許可条件について詳細に分析を行っており、有用性が高い知見が得られたと認められる。

第4章では、運用阻害要因への対策と自然換気性能を両立する新しい設計手法の提案を行っている。吹き抜けを有する建物の計画初期段階において、まず中性帯の位置を決定し、各階の必要給気口面積を求め、エアバランス表から必要排気口面積を求める設計フローを提案している。この設計フローの精度確認として、詳細な設計後に可能となる熱換気回路網シミュレーションとの結果比較が行われており、給気口から排気口へと至る一方向の気流の流れが明らかな建物モデルにおいては、室温・換気量の計算誤差は小さいことが確認されている。また、新たな予測法として、定常時の熱平衡式と温度差換気の基本式より、自然換気対象期間の時刻別の冷房負荷のうち温度差換気で処理可能な時間数を求め、必要とされる給気口面積を算出する手法も提案している。本予測法により給気口面積の最適値を算出することが可能になった。また、開口率制御、ハイブリッド空調を組み合わせることによって自然換気を行える時間数を大幅に向上できることを示している。

本章では、システムの基本方針が決定する計画初期段階を対象として、時刻別の冷房負荷から必要給気口面積を検討する予測法とエアバランス表から必要排気口面積を算出する手法を組み合わせた新しい換気経路の設計手法を提案しており、設計実務上の有用性が極めて高いものと認められる。

第5章では、空調システムが自然換気による省エネルギー効果に与える影響を明らかにすることを目的としてエネルギーシミュレーション解析を行っている。自然換気と機械換気・空調を併用する自然換気併用ハイブリッド空調を標準オフィスモデルで検討した結果、冷房負荷削減率に比べて消費エネ

ルギー削減率が小さいことを示している。この原因として、熱源補機などでの冷房負荷によらず一定のエネルギー消費が存在することに加え、自然換気により冷房負荷が小さくなることにより空調システムの効率が低下することによって、両者の差が大きくなることを明らかにしている。冷房負荷削減率に応じた省エネルギー効果を得るためには、これまでよりも部分負荷効率の高い空調システムが必要であることを明らかにしている。更なる省エネルギー達成のためには自然換気時に空調システムを停止する切り替え制御も有効であることを提案している。

第6章では、本研究で提案した設計手法・運用手法の有効性を確認することを目的として、申請者が設計に関与した物件において実践した結果を示している。研修所に導入された事例では提案した設計手法を活用し、最上階の温度上昇に対する採風窓の設置や非居住域に排気を誘引する換気口のデザインなどを行い、運用段階でのコミッションングにも取り組むことによって省エネルギー性が高い運用が実現されている。また、庁舎に導入された事例では年間536時間の適切な自然換気利用が確認されている。これらの結果から、本研究で提案した設計手法・運用手法が実物件においても有効であることを示している。

第7章では各章の研究結果を総括している。

以上を要するに、本研究は現代建築に導入された自然換気システムの運用上の問題点について多角的な調査・分析を行い、調査結果を根拠として持続的活用を目的とした設計法・運用法を構築したものである。更に実物件での実践により、本手法の有効性の確認を行っている。この一連の研究成果は、実用性の高い環境配慮建築の設計技術の発展に大きく寄与するものであり、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2017年2月

審査員

主査 早稲田大学 教授 工学博士（早稲田大学） 田邊 新一

早稲田大学 教授 工学博士（早稲田大学） 長谷見雄二

早稲田大学 教授 博士（工学）早稲田大学 高口 洋人