

オフィスビルにおける自然換気併用ハイブリッド空調システムに関する研究 —運用段階を対象とした熱換気回路網解析の予測精度と省エネ効果の検証—

2008541024 坂本知也

白石研究室

自然換気, 熱・換気回路網解析, オフィスビル, 省エネ, 精度検証

1.はじめに

近年の地球環境問題の進展に伴い、省エネ且つ自然エネルギーの有効利用を意図した建築技術として、自然換気と機械空調を併用したハイブリッド空調システム（以下、ハイブリッド空調）が注目されている。しかし、ハイブリッド空調の省エネ性能は対象敷地の立地・気候特性や対象建物の形態や運用方法等に大きく依存するため、設計段階における事前予測は極めて困難である。特に、自然換気量の評価に関しては、外気導入経路の複雑さ等の理由から設計段階のみならず運用段階においてもその評価は容易ではない。以上のような状況を鑑み、本研究では北九州市におけるゼロ・エネルギー・ビルを目指すオフィスビル（図1参照）を対象にハイブリッド空調の事前性能予測を行ってきた。特に自然換気性能に関しては、空調試運転時を対象として、CFDと熱換気回路網の連成解析モデルに給排気口の流量制御機能を組み込んだ解析を行うことで高精度に予測できることを既往の研究にて確認している。

本論文では、更に運用段階を対象としたハイブリッド空調の解析モデルの提案と中間期実測との比較による性能検証及び自然換気による省エネ効果を算出することを目的としている。解析モデルに関しては、実際の在室人数や運用状況を考慮にいたれた発熱スケジュールの作成、CO₂濃度制御及び全熱交換器モデルの組み込み等を新たに行っている。

2.対象建物概要

対象建物の概要を表1に示す。本建物は様々な省エネ技術が導入されており、BEMS（Building Energy Management System）による中央制御が行われている。本建物の自然換気経路（断面図）を図2に示す。各階執務室の南北に設置された給気口より外気が導入され、室中央の吹き抜けを介し、建物上部より排気される仕組みとなっている。また執務室は東西南北の4つのゾーンに分割されており、各ゾーンにて個別に自然換気の有効・無効が判断（表2）されている。尚、自然換気条件を満た



図1 建物外観

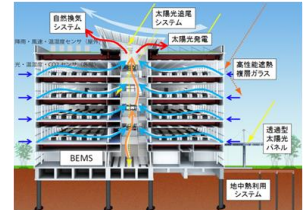


図2 自然換気経路

表1 建物概要

所在地	北九州市戸畑区	階数	地上5階
建築面積	2,330m ²	構造	S造,両端コア
述床面積	10,387m ²	竣工	2011/12

表2 自然換気実行条件

①	外気エンタルピー < 室内エンタルピー
②	15.0°C < 外気温度 < 26.0°C
③	5°C DP < 外気露点温度 < 15°C DP
④	室内設定温度 - 補正値α < 室内温度

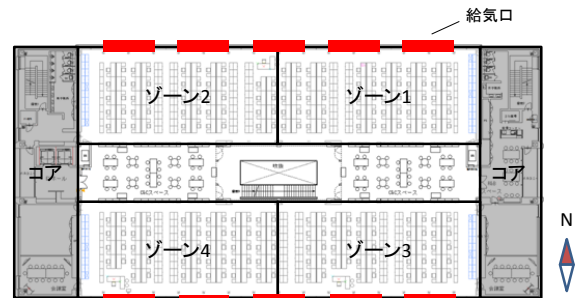


図3 基準階平面図

表3 測定項目概要

測定項目	備考
空調機冷媒温度・流量	空調機の処理熱負荷の把握①
空調機給気・排気口温湿度	空調機の処理熱負荷の把握②
自然換気の給気口の風速	自然換気量の把握
全熱交換機排気口 CO ₂ 濃度	CO ₂ 濃度制御用, 在室者数の推定
OA機器・照明電力量	室内発熱状況の把握

さない時間帯においては全熱交換機による機械換気が行われ、その風量は室内のCO₂濃度を感知して3段階（強・中・弱）にデマンド制御されている。

3.実測概要

表3に実測概要を示す。実測は中間期(秋季)となる10月に実施し、3Fの執務空間を対象として測定を行った。測定結果として図4に南北の空調機における吸込み温度(空調時間帯の日平均)を示す。平均値は26.7°Cであり、空調機吸込み口の温度は室内の瞬時一様拡散温度に等しいと仮定できるため、本解析では室温が26.7°Cとなるように制御することで空調の負荷を算出している。その他の測定結果に関しては以下の解析概要および解析結果にてあわせて示す。

4.熱・換気回路網解析の概要

熱・換気回路網の解析条件を表4に示す。本解析では実測期間を対象として、給排気口の開閉等のフィードバック制御を組み込んだ熱・換気回路網解析を実施し、以下(5.予測精度の検証以降)では、給気口の開閉時間、自然換気量等の評価を行う。各種境界条件として実測の値を用い、15分間隔の非定常計算を行っている。また、以下4.1~4.3に示す制御を組み込むことで実際の対象建物の運用を詳細に再現することを試みた。

4.1 発熱スケジュール

執務空間における内部負荷の日変化(以下発熱スケジュール)に関しては実測値及び既往の研究¹⁾をもとにパターン化することで再現した。まず実測のCO₂濃度より推計した在室人数^{2) 注1)}を図5に、消費電力量より算出したOA機器及び照明の発熱スケジュールを図6及び7にそれぞれ示す。平日と土日の発熱スケジュールが大きく異なるため、今回は平日と土日の2つの発熱スケジュールを作成し、対応している。

4.2 全熱交換器

建物全体の熱負荷の収支を再現するには全熱交換(機械換気)による処理負荷を考慮する必要がある。本解析モデルでは、①自然換気を行う場合の換気回路と②全熱交換(機械換気)を行う場合の換気回路を作成し、自然換気条件(表2)に応じて回路を切り替える(フィードバック制御)ことで全熱交換機を再現している(図8)。尚、全熱の交換効率に関しては既往の研究³⁾を参考に一定値(0.7[-])を与えている。

4.3 CO₂濃度による風量制御

熱・換気回路網解析では別途ガス(CO₂)回路を作成し熱・換気回路と連成させることで室内のCO₂濃度を算出することができ、図8と同様のロジックを用いることで対象建物の全熱交換器のデマンド風量制御を再現することが可能となる。しかし、今回の実測期間においては全

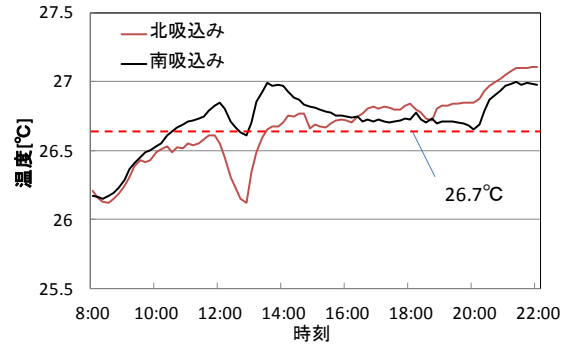


図4 水平面温度分布(日平均)

表4 熱・換気回路網解析の条件

気象データ	外気温湿度 実測値 風向,風速 気象庁データ(八幡)
計算期間	2011/10/1~2011/10/31
空調時間帯	平日 8:30~22:00 土曜 9:30~22:30
全熱交換機	風量 6600m ³ /h 自然換気時は停止
熱回路網節点数	325点
換気回路網ゾーン数	13ゾーン(74流路)

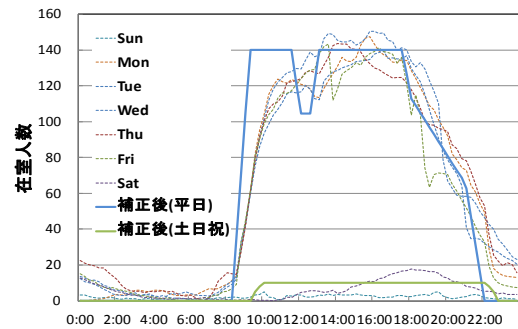


図5 CO₂濃度から推定した在室人数(曜日平均)

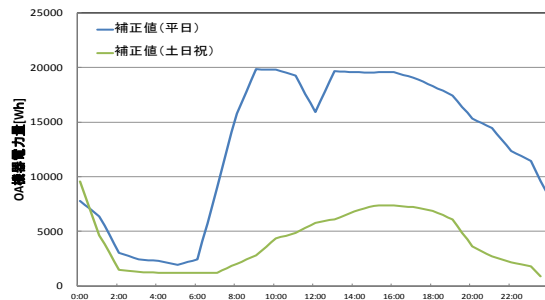


図6 OA機器の発熱スケジュール

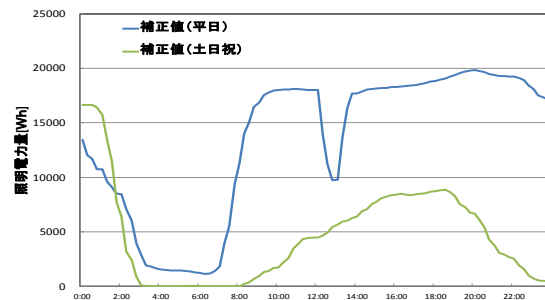


図7 照明の発熱スケジュール

熱交換器の風量がすべて弱で運転されていたため、本解析では簡易的に一定風量（6600 m³/h）を与えている。

5. 熱換気回路網解析の予測精度の検証

今回の実測結果では、本来、給気口が開いている（自然換気条件を満たしている）時間帯において、制御の不具合の為に給気口が閉じるという現象が確認できた。図9に3Fの各ゾーンにおける給気口開閉時間を示す。塗りつぶされている期間が自然換気時間帯を示しており、ゾーン3,4ではほぼ自然換気がなされていないことが確認できる。そこで、各階にて不具合の傾向が顕著であったゾーンにおいては、強制的に給気口を閉じて解析を行った。以下の結果では、①モデル補正前と②モデル補正後（給気口を強制的に閉める）の両ケースを示す。

5.1 自然換気風量

実測及び解析での自然換気風量の積算値を図10に示す。実測値には、測定した給気口の風速に既往の研究⁴⁾において導いた補正式^{注2)}によって算出した値を用いた。図をみると補正後の値においては実測より換気量を過小に評価していることがわかる。これは既述した制御側の問題もあるが、実際には建物内部の圧力損失の影響も一因であると推察できる。今後、建物内部を再現したCFD解析による詳細な検討を行うことで、建物内部の圧力損失の影響を検証する必要がある。

しかしながら実測値との誤差は4.8%程度であり、本解析によって高精度に換気量を算出できていることが示唆される。また、制御側の問題を解決することで自然換気量が3割程度増加するものと推察される。

5.2 空調処理熱量

実測及び解析での空調処理熱負荷の月積算値を図11に示す。実測値には、測定した空調機の冷媒温度および流量より算出した値を用いている。補正前の解析値と実測値との誤差は約13.2%、補正後の解析値との誤差は約5%であり、補正により精度が大幅に向上していることが確認できる。また解析値（補正前）と実測値を比較すると、補正後の解析値においても多少の誤差が生じているが、これは①解析では空間全体(1フロア単位)で瞬時一様拡散を仮定しているが、実際には室南側の温度が高いため（図4参照）、北側の給気のみでは自然換気による熱負荷の除去効率が低下していることや②執務空間において上下に温度成層が形成されることで流路やゾーン間の温度差が解析モデルと一致せず、空調機の還気温度が瞬時一様拡散温度よりも高くなること等も原因と考えられる。これらについては5.1同様にCFD解析による詳細な検討

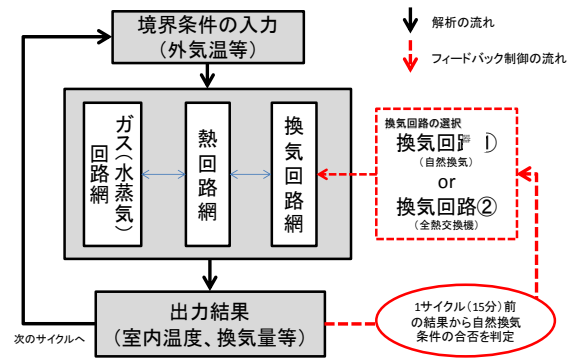


図8 フィードバック制御を組み込んだ解析の概念図

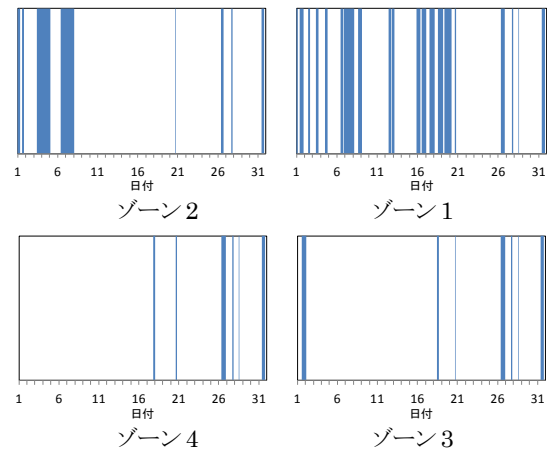


図9 3Fにおける各ゾーンの給気口開閉時間

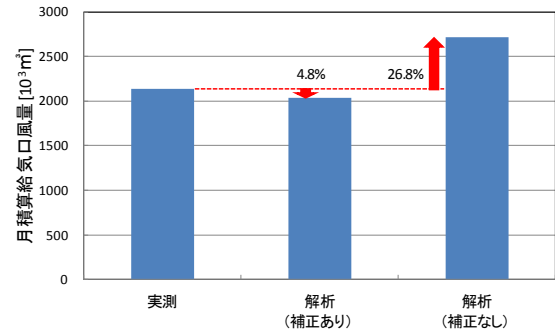


図10 実測及び解析による積算風量

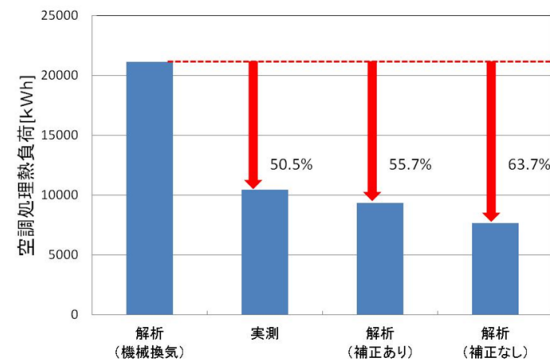


図11 実測及び解析の空調処理熱負荷

を行うことでゾーンまたは上下の熱移動特性を検証する必要があり、今後の課題である。また図中には自然換気による処理熱量を付加した値も合わせて示しているが、自然換気による処理熱量が空調処理熱量（実測値）に対して、50.5%程度となる。よって、制御不具合が無い場合、自然換気による処理熱量は最大で、58.5（=50.5+（63.7-55.7））%程度になるものと推察される。

6. 自然換気による省エネ効果

自然換気による省エネ効果を算出するにあたり、空調機の部分負荷特性を考慮に入れた性能曲線により、空調機の電力消費量を算出した。図12に空調機の性能近似式を示す。今回の実測では、図12に示す曲線近似式において高い決定係数(0.96)を示した。この結果を用いて、実測期間中の10月1日から10月31日の31日間の自然換気による省エネ効果を推定した(図13)。図11同様に機械換気のみで行った値も合わせて示している。補正前後の結果から現在の運用状況では概ね8.6（=61.5%-52.9%）%ほど削減の余地があることが分かった。現在は自然換気によって42.8%の省エネが達成できているが、更に8.6%が加わり、計51.4%の省エネが期待できるものと推察される。

7. まとめ

本報では運用段階における対象オフィス基準階の熱換気回路網解析に関する予測精度の検証を行った。今回、実測では制御上の問題により本来の省エネ性能を発揮できなかったが、数値シミュレーションベースでは制御不具合も含めて再現することにより、予測精度の高さを確認できた。また、制御不具合が無い場合の解析では更に大幅な省エネ効果が期待できることが分かった。今後の検討課題を以下に示す。

- 1) 現在の解析モデルは室点を各フロア1点でモデリングし制御を行っており、室内温度条件等の屋内条件をゾーン別に制御していない。この点は、CFD解析を参考にゾーン分割を行うことでより高精度化が期待できる。
- 2) 自然換気実行条件の最適化により、更なる省エネが期待できる。この点は、次報にて検討を行う。

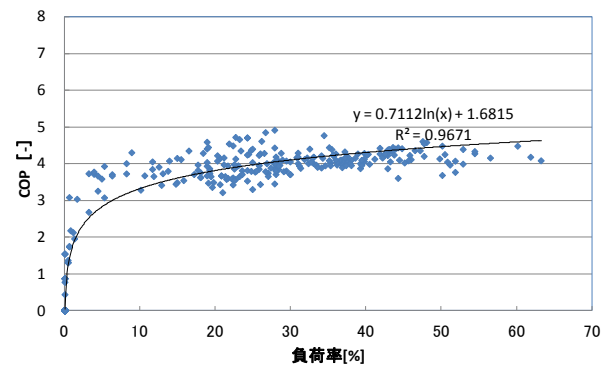


図12 空調性能（部分負荷とCOPの関係）

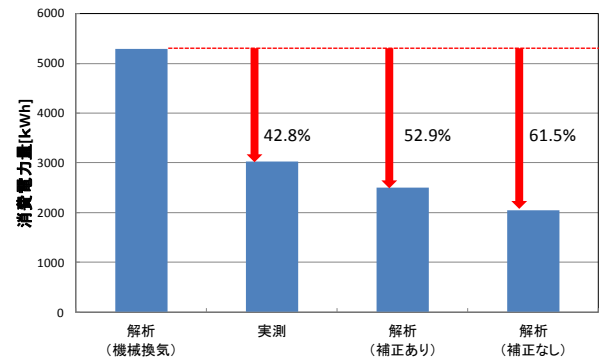


図13 自然換気による省エネ効果の推計

注釈

1) ザイゼルス式 $x=Q(C-C_0)/k$

(記号)x: 在室人数[人], Q: 換気量[m³/h], k: 人体CO₂発生量[m³/h], C: 室内CO₂濃度[10⁻⁶], C₀: 外気のCO₂濃度[10⁻⁶]

2) 給気口風速の補正式 $y=1.228x+0.0551$

x: BEMSの給気口の風速[m/s], y: 補正後の風速[m/s]

参考文献

- 1) 新川ら: オフィスにおける内部発熱負荷要因の経時変化研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2006年9月
- 2) 立川智一ら: 環境センサを利用した在室人数推定手法研究, 日本建築学会環境系論文集 75(650), 2010-04
- 3) 大西ら: 中規模オフィスビルを対象にした全熱交換器の空調消費電力削減効果に関する実測研究 空気調和・衛生工学会論文集 No.162, 2010年9月
- 4) 大庭ら: オフィスビルにおける自然換気及び機械空調の併用手法に関する研究—試運転時を対象とした実測・数値シミュレーションの予測精度の検証— 日本建築学会研究報告. 九州支部. 2, 環境系 (50), 305-308, 2011-03-01