

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発（その 225）

自然換気と外気冷房の感度解析

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 225)

Thermal Load Reduction effect of Fresh Air Control Systems and Natural Ventilation

正 会 員○芝原 崇慶（竹中工務店） 特別会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）

技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京名誉教授） 技術フェロー 郡 公子（宇都宮大学）

Takayoshi SHIBAHARA*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hisaya ISHINO*³ Kimiko KOHRI*⁴

*¹Takenaka Corporation *²Institute for Building Environment and Energy Conservation

*³Tokyo Metropolitan University *⁴Utsunomiya University

This Paper describes the thermal load reduction effect of fresh air control systems and natural ventilation in an office building in Tokyo. Air flow rate of outdoor air cooling, air flow rate of natural ventilation, energy recovery ventilation, demand control ventilation were set as a parameter in the thermal load simulation.

1. はじめに

オフィス建築の冷暖房負荷削減の観点では、外気冷房・最小外気量制御・全熱交換器といった外気導入制御や自然換気の採用が効果的である。オフィス建築の空調設備計画（特に基本計画段階）においては、建築計画との整合・空調設備スペース・コストといった要因と省エネルギー性能のバランスを考える必要がある。

BEST 専門版（建築プログラム）は、各種外気導入制御や自然換気の効果を簡易に試算することが可能である。既報¹⁾²⁾ではペリメータ・インテリアの 2 ゾーンオフィスに対して、外気導入制御（外気冷房・最小外気量制御・全熱交換器）と自然換気を単独で導入した場合の省エネルギー効果についてパラメータスタディを行った結果を示した。本報では、東京都渋谷区に計画されているオフィスをモデルとして、自然換気と外気冷房の仕様設定と年間熱負荷（装置負荷）の関係性を試算した。また、自然換気によるインフラ途絶時（空調機能停止時）における室温上昇の抑制効果を試算した結果を示す。

2. 計算対象建物概要

図 1 に計算対象建物の外観パースを示す。本建物は店舗・劇場・オフィスの複合用途建物であり 12～18 階に基準階事務室が配置されている。

図 2 に計算対象オフィスの平面図を示す。事務室面積は 500 坪であり、南側にコアが配置されている。北側外壁面には遠方・手で操作可能な自然換気装置が設置されている。

表 1 に主な計算条件を示す。階高 4.2m、天井高 2.8m に対して、窓高さ 2.6m の横連窓が配置されている。内部発熱は一般的な事務所を想定した。

3. 外気導入制御・自然換気の計算条件

表 2 に外気導入制御・自然換気の計算条件を示す。外気冷房の下限外気温度は 10℃を基準とし 18℃とした場合の試算も行った。外気冷房の最大外気量は設計外気量 $(0.2[\text{人}/\text{m}^2] \times 25[\text{CMH}/\text{人}] = 5[\text{CMH}/\text{m}^2])$ に設定の 1.0～3.0 倍の 5 ケースとし、最小外気量制御のあり/なし、全熱交換器あり/なしも検討対象とした。自然換気の制御設定値は一般的な設定値にて固定し、自然換気風量は換気回数法にて設定した。自然換気口は



図 1. 計算対象建物外観パース

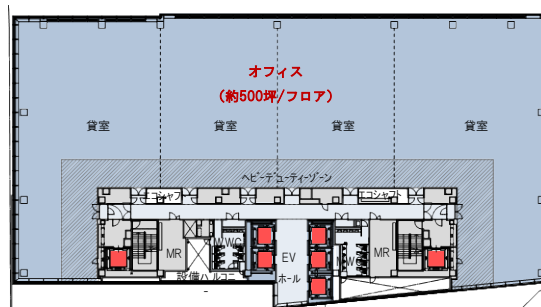


図 2. 計算対象建物基準階オフィス平面図

北側外壁面に設置されている。オフィス全体(約 500 坪)に対する換気回数 0~5[回/h]に相当する風量を北側側ペリメータゾーンに与え、ゾーン間換気により自然換気効果が他ゾーンにも及ぶといった計算方法とした。

4. 代表ケースの計算結果

図 3 に代表 6 ケースの月別装置冷暖房負荷(全熱)を示す。自然換気風量は換気回数 2.0[回/h]、外気冷房の最大の最大外気量は 2.0 倍(10[CMH/m²])とした。

自然換気のみを導入したケースでは、5・6・10 月の装置冷房負荷が 6[MJ/m²月]程度低減される。外気冷房と最少外気量制御を導入したケースでは、8 月の装置冷房負荷が 10[MJ/m²月]程度、1 月の装置暖房負荷が 17[MJ/m²月]程度低減される。

外気冷房・最小外気量制御・自然換気を導入したケース
表 1. 主な計算条件(気象・建物・空調)

気象	地点:東京、拡張アメダス気象データ(標準年)
建物	計算対象ゾーン:オフィス中間階 インテリア1ゾーン・ペリメータ4ゾーン
	主方位:北(図1の上が真北)
	空間主要寸法:天井高2.8m、階高4.2m、ペリメータ奥行5m
	外皮寸法:窓高さ2.6m、外壁高さ(天井内)1.6m
	窓:Low-E複層ガラス+明色ブラインド(操作方法:標準) 隙間風:ペリメータ・インテリア共に0.1回/h 家具顕熱熱容量:15J/lit・K ゾーン間換気:250CMH/m
	内部発熱(最大値):照明10W/m ² 在室者0.15人/m ² 、機器15W/m ² 内部発熱スケジュール:BESTのデフォルト値
空調	空調時間:8:00~22:00、外気導入時間:8:45~22:00 週休2日
	空調設定温湿度と熱処理: 夏期(6~9月)・・・下限22°C(加熱)、上限25°C60%(冷却除湿) 中間期(4・5・10・11月)・・・下限22°C(加熱)、上限25°C(冷却) 冬期:(12~3月)・・・下限22°C50%(加熱加湿)、上限25°C(冷却)
	外気導入量:5CMH/m ²

表 2. 主な計算条件(外気導入制御・自然換気)

外気導入制御	(外気冷房) 内外エンタルピチェック:あり 下限外気温度:10°C、18°C 外気露点温度:上限19°C、下限0°C 下限室温:設定なし 最大外気量:設計外気量の1.0、1.5、2.0、2.5、3.0倍 (最小外気量制御)あり、なし 下限外気量比(最小外気量制御ありの場合):0.3
	(全熱交換器)あり、なし 内外エンタルピ・内外温度チェック:あり 熱回収効率:全熱60%、下限外気量比:0.5
	(自然換気制御) 自然換気期間:通年、24時間 下限外気温度:18°C、上限外気相対湿度:90% 上限外気露点温度:19°C、上限外部風速:10m/s 下限室温:24°C 室内外エンタルピ差考慮 冷房中の自然換気実施(ハイブリッド空調)
自然換気制御	(計算法) 換気回数 0.05、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0回/h 北面のみに自然換気口が配置されているため、北ゾーンにフロア全体の換気回数分の自然換気風量を換算して与えた。

太字:パラメータスタディを行った項目を示す。

ースでは、装置冷房負荷が 55[MJ/m²年]、装置暖房負荷が 59[MJ/m²年]程度低減され、結果として年間装置冷暖房負荷では 30%程度低減される。外気冷房・最少外気量制御・全熱交換器・自然換気を全て採用したケースでは、各月の冷暖房負荷が効率よく削減され年間装置冷暖房負荷では 35%程度低減される。

5. 自然換気と外気冷房仕様と冷暖房負荷の関係

代表ケースの計算結果からは、外気冷房・最小外気量制御・全熱交換器・自然換気の採否による冷暖房負荷の低減効果の傾向を把握することが可能である。しかしながら、基本計画段階における検討の観点では、外気冷房の最大外気量や自然換気量(具体的には自然換気口の面積等)をどの程度に設定すべきかを把握する必要がある。言い換えれば、これらのパラメータを変更させた場合の冷暖房負荷の削減効果を把握可能な図が必要となる。

図 4・5 に、外気冷房時の最大外気量と自然換気仕様(換

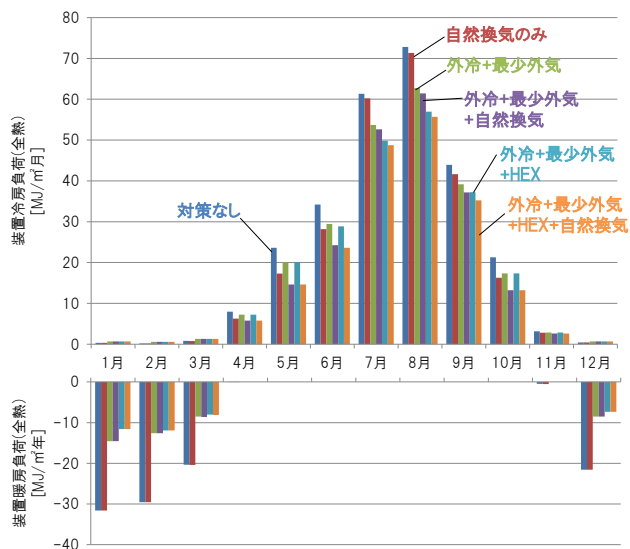


図 3. 代表ケースの月別装置冷暖房負荷(全熱)

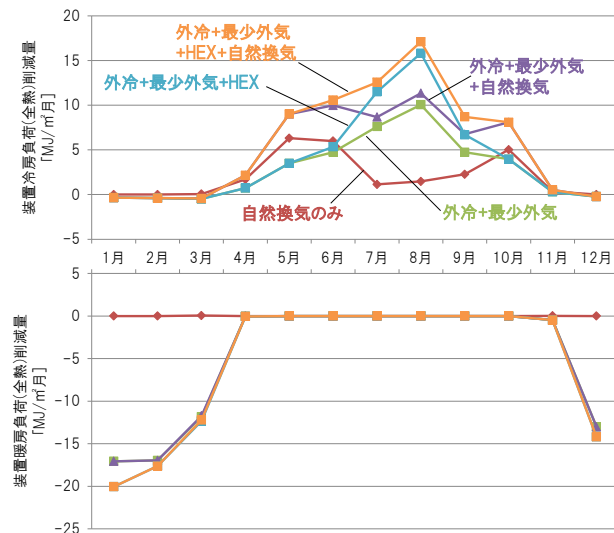


図 4. 代表ケースの月別装置冷暖房負荷(全熱)低減量

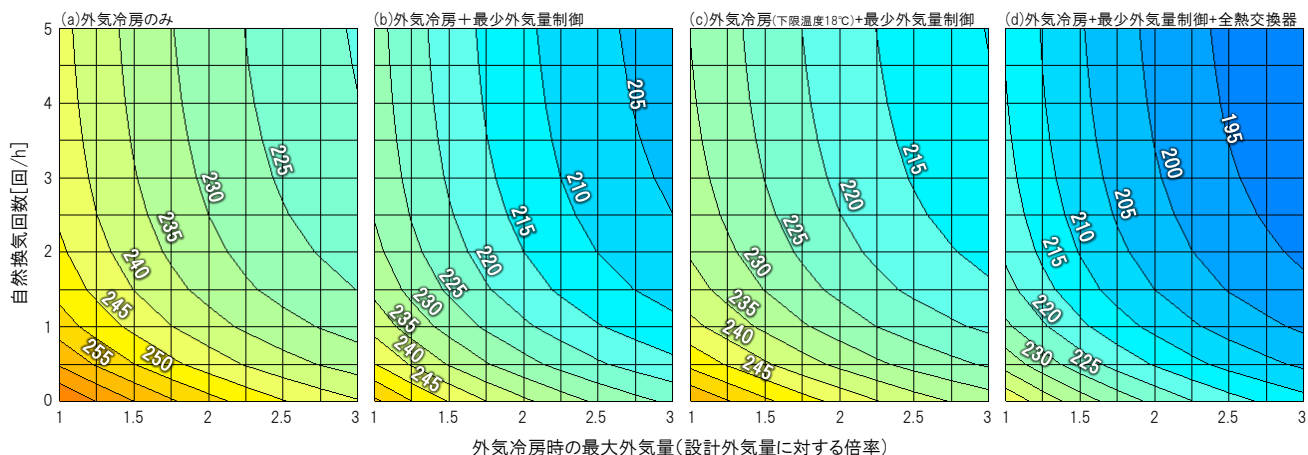


図 5. 外気冷房時の最大外気量と自然換気回数と装置冷房負荷(全熱)の関係

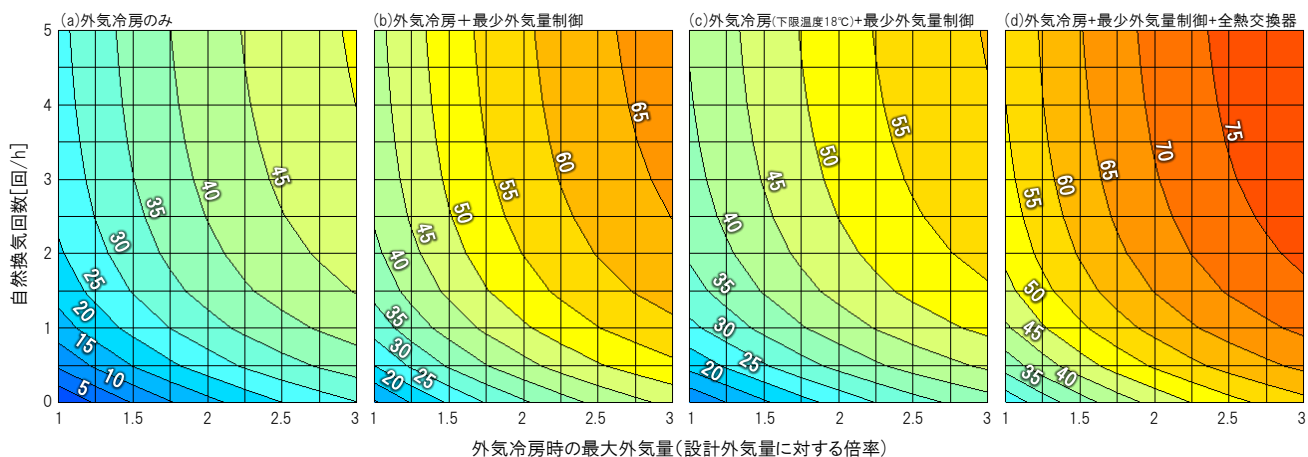


図 6. 外気冷房時の最大外気量と自然換気回数と装置冷房負荷(全熱)低減量の関係

気回数及び下限外気温度)をパラメータとして、(a)外気冷房のみ、(b)外気冷房+最少外気量制御、(c)外気冷房(下限温度 18°C)+最少外気量制御、(d)外気冷房+最少外気量制御+全熱交換器の4ケースについて装置冷房負荷(全熱)を試算した結果を示す。図5はその削減量をグラフ化したものである。

例えば、外気冷房と最少外気量制御を採用する場合(図5・6(b)に該当)、外気冷房時の最大外気量を2倍(10[CMH/m²]に相当)とし自然換気量を換気回数2[回/h]とすると、年間装置冷房負荷(全熱)の低減量は55MJ/m²年であると読み取れる。また、外気冷房の下限温度を18[°C]として同等の省エネルギー性能を確保する為には、最大外気量を2.25倍(11.25CMH/m²)、自然換気回数を4.5[回/h]程度に計画にする必要があることが読み取れる。外気冷房の下限外気温度を低く設定できるダクト計画(低温外気を導入しても居住域での不快感を回避できる外気供給計画)の重要性が示唆される。

(a)~(d)のグラフから共通して読み取れることとして、自然換気風量(換気回数)は、2[回/h]を上回ると自然換気風量を大きくしても省エネルギー効果はあまり変わらない。また、外気冷房・最少外気量制御・全熱交換器のいずれも採用せずに自然換気のみで冷房負荷低減を目

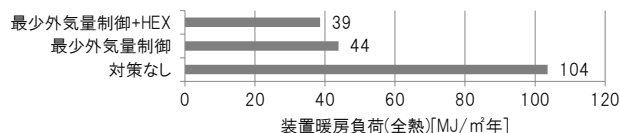


図 7. 装置暖房負荷(全熱)

指す場合は、グラフ(a)の最大外気量=1に相当する。自然換気風量(換気回数)をどれほど大きくしても冷房負荷削減量は30MJ/m²年を超えることは出来ないことが分かる。

図6に最小外気量制御・全熱交換器の採否による装置暖房負荷(全熱)を示す。最小外気量制御を導入することで60[MJ/m²年]の低減が可能で、更に全熱交換器を採用することで5[MJ/m²年]の低減が見込めることが分かる。最少外気制御の効果の計算結果は在室人員の設定によるところが大きいが、全熱交換器を設置することによる効果は限定的との見方もできる。

6. 空調機能停止時の自然換気の室温上昇抑制効果

自然換気は省エネルギーの観点から有効であるが、インフラ途絶時における室温上昇抑制の観点からも採用されることが多い。表1・表2に示す条件のうち、内部発熱をゼロ、1年を通じて空調を行わず自然換気のみで実現される室内温度を試算した。

図7にインテリアゾーンの室温を降順に並び替えた結果を示す。自然換気なしの場合は、27.3%の時間帯で30℃を超えるが、自然換気回数0.5[回/h]では20.1%、1.0[回/h]では17.8%、2.0[回/h]では16.3%、5[回/h]では15.4%となる。自然換気なしでは37.7%の時間帯で28℃を超えるが、0.5[回/h]では27.5%、1.0[回/h]では23.3%、2.0[回/h]では20.9%、5[回/h]では18.6%となる。自然換気回数が多いほどインフラ途絶時の室内温度上昇の抑制効果は大きくなるが、自然換気回数2.0[回/h]を超えるとその効果は変化しづらいたことが分かる。

7. 実プロジェクトへの展開

7.1 空調方式

図8に空調方式概念図を示す。立地の特性から、部分的に稼働時間が長いオフィステナントの入居が想定されたため、空冷ヒートポンプビル用マルチ方式を主体とした。外気処理については冬期の加湿性能の確保と、積極的な外気利用空調の実現を意図し、冷温水式の外調機方式を採用した。

7.2 外気導入制御

室内CO₂濃度確保の観点から、外気導入量は6CMH/m²(0.2人/m²×30CMH/人)とし、外気冷房時には最大12CMH/m²まで供給可能とした。室内CO₂濃度による外気取入量制御も導入した。外気冷房と外気取入量制御を実現するために外調機のファンは変風量制御と台数制御を行う計画とした。

室内への外気供給は、外調機からの外気とPACからの給気をチャンバにて混合したのちに室内へ供給する方式とした。これにより外気冷房の下限外気温度を10℃程度でも運用可能と判断している。今回計画の最大の特徴は、外気冷房が有効と判断された際には、外調機を単一ダクトVAV方式の空調機の如く動作させることで外気冷房効果の最大化を目指した。全熱交換器は不採用である。

7.3 自然換気制御

省エネルギーとインフラ途絶時の室内環境確保の観点から自然換気を導入した。自然換気口面積は30[cm²/m²]程度とし換気回数1.5~2.0[回/h]の確保を目指した。自然換気ダンパを非常用発電機対応とすることでインフラ途絶時にも動作可能としている。

7.4 省エネルギー効果の推定

今回計画は、図5・6の(b)の方式に相当する。外気導入量の上限は12[CMH/m²]であるため、横軸は2.4に相当し、換気回数は2.0[回/h]程度と見込まれるため、装置冷房負荷低減量は60MJ/m²年となる。

8. まとめ

オフィス建築の冷暖房負荷削減の観点で重要である、外気冷房・最少外気量制御・全熱交換器といった外気導入制御や自然換気の仕様設定・制御設定と冷暖房負荷削

減効果やインフラ途絶時における自然換気による室温抑制効果の試算結果を示した。他建物における概略検討の参考になるとと思われる。

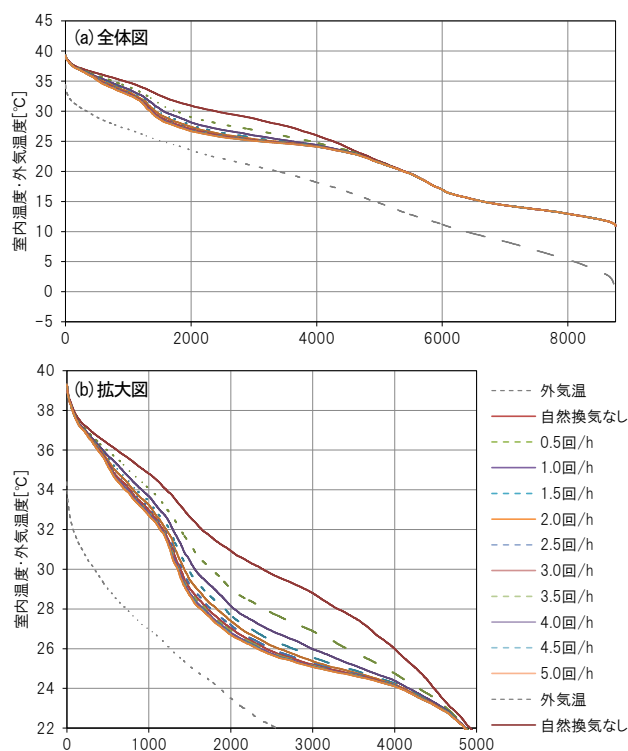


図7. 自然換気の換気回数と自然室温(降順)

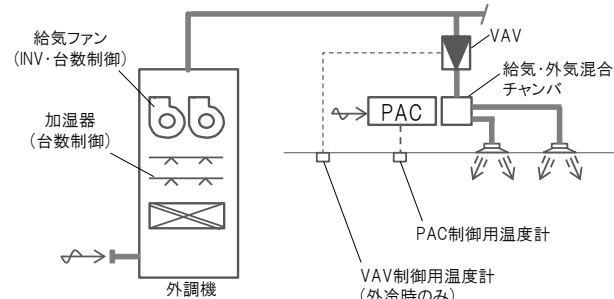


図8. 空調方式概念図

【参考文献】

- 1) 芝原、村上、石野、郡：外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その175)自然換気併用空調の効果の感度解析、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2016年
- 2) 芝原、村上、石野、郡：建築エネルギー・環境シミュレーションツールBESTの開発 第75報 各種外気導入制御を導入したオフィスの負荷低減効果、日本建築学会大会学術講演梗概集、2017年

【謝辞】

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、統合化WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。統合化WG名簿(順不同) 主査：石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員：木下泰斗(日本板硝子)、奥田篤(東京ガス)、郡公子(宇都宮大学)、菰田英晴(鹿島建設)、佐藤誠(佐藤ER)、芝原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀典(鹿児島大学)、相沢則夫(大林組)、野原文男、長谷川巖、滝澤総、二宮博史、丹羽勝巳、久保木真俊、大浦理路(以上、日建設計)、柳井崇、品川浩一、山本佳嗣(以上、日本設計)、小林信裕(前田建設工業)、事務局：生稲清久、石田真理(建築環境・省エネルギー機構)