

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159) 自然換気計算機能を用いた自然換気システムの省エネ効果に関する検討
Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST
(Part 159) Study on Energy Saving Effect of Natural Ventilation System
Using Natural Ventilation Calculation Function

正会員 ○山本 佳嗣 (日本設計) 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)
 正会員 品川 浩一 (日本設計)

Yoshihide YAMAMOTO*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hisaya ISHINO*³ Kimiko KOHRI*⁴ Koichi SHINAGAWA*¹

*¹ Nihon Sekkei, Inc. *² Institute for Building Environment and Energy Conservation

*³ Tokyo Metropolitan University *⁴ Utsunomiya University

In recent years, natural ventilation system have attracted greater attention as an alternative to reduce building energy consumption. And natural ventilated buildings have been increasingly applied even in large office buildings. This paper shows the method of setting model building and the results we estimate the energy saving effect of natural ventilation system by the BEST program.

1. はじめに

BEST 専門版に追加された自然換気計算機能によって、温度差換気、風力換気の駆動力を加味した自然換気の効果計算が可能となった。本論文では、この自然換気計算機能を用いて自然換気の省エネ効果に関する検討を行った。自然換気の省エネ効果に影響を与える要因としては、①換気経路における換気口実効面積、②自然換気許可条件、③気象、④冷房負荷条件、⑤風力換気併用時の換気口配置などが考えられる。これらの要因のうち①～③に関してパラメータスタディを行い自然換気による省エネ効果の違いを検討した。本論文では温度差換気のみを対象とし、冷房負荷条件はモデルビルの条件を利用している。

2. モデルビルの設定

2.1 モデルビルの概要

図1に検討モデル、表1にモデル概要を示す。用途は間仕切りのないオープンで利用されるオフィスビルとし、ペリメータとインテリアを統合したモデルとした。建物高さは40mで、プログラム上では中性帯の位置が建物高さの2/3の位置にあると想定される。解析対象室は2階の北側執務室とした。また、評価期間は中間期(4～6月、9～11月)で自然換気対象時間は24時間に設定したため、中間期の総時間数は4,368時間となる。自然換気のほか、ペリメータを自然換気すると同時にインテリアを空調するようなハイブリット空調も計算対象とした。

表1 モデル概要

	設定値
地域	標準年EA気象データ (2000年版 東京)
階高	4.0m
照明負荷	10W/m ²
在室者	0.15人/m ²
機器負荷	15W/m ²
家具類熱容量	15J/(lit・K)
ゾーン間換気	300m ³ /m
窓	高日射遮蔽型Low-ε 複層ガラス +中間色ブラインド 窓面積率50%
外壁	熱貫流率1.0W/m ² K

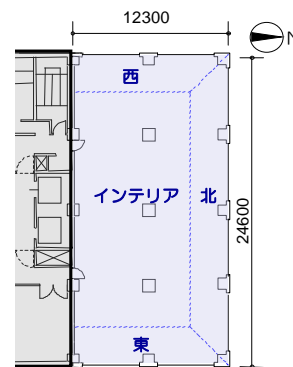


図1 モデル平面図

2.2 自然換気口面積の標準設定

モデルビルに対する自然換気口の換気口面積については表2に示す換気基本式によって設定した。中間期における解析対象室の平均装置負荷を自然換気によって処理する目標負荷とし、室内26℃、室外21℃時の室内外温度差5℃を用いて式(1)より必要換気量を求めた。

表2 換気口設定に用いた基本式

$$q = H / (0.33 \cdot (t_i - t_o)) \quad (1)$$

$$Q = \alpha A \sqrt{2 / \rho (\rho_o g (h_{NPL} - h_i) \Delta T / T_i)} \quad (2)$$

<凡例> q : 必要換気量[m³/h・m²], H : 空調負荷/装置負荷[W/m²], t_i : 目標室内設定温度[℃], t_o : 外気温度[℃], αA : 換気口実効面積[m²], h_{NPL} : 中性帯高さ(建物高さの2/3の位置と想定), h_i : 換気口の地上からの高さ[m], Q : 必要換気量[m³/s], ΔT : 内外温度差[K], T_i : 室内温度[K]

その結果と式(2)の無風時を想定した温度差換気の式により、換気口実効面積 αA を求めた。年間負荷計算より求めた5月の平均装置負荷 $19.7\text{W}/\text{m}^2$ を自然換気で処理する負荷とした。以上の手順より決定した設定条件を表3に示す。

表3 自然換気的设计条件と換気口設定

外気温度	21 °C	室内温度	26 °C
対象床面積	303 m ²	目標換気原単位	12 m ³ /h・m ²
時間平均負荷	19.7 W/m ²	目標換気回数	4.4 回/h

No.	開口	風量	開口面地上高	中性帯からの高低差	αA
		m ³ /h	m	m	m ²
1	2F 給気口	+3.636	6.0	20.7	(αA) ₁ = 0.39

2.3 モデルの負荷特性

解析対象室の中間期における室負荷と外気温の関係を図2に示す。外気温は $6.9^{\circ}\text{C}\sim 32.9^{\circ}\text{C}$ と幅があり、外気温度に比例して負荷が増加している傾向が確認できた。最少負荷 $5.5\text{W}/\text{m}^2$ 、最大負荷 $93.2\text{W}/\text{m}^2$ であり、中間期全体の平均が $23.7\text{W}/\text{m}^2$ であった。自然換気量及び外気冷房効果は外気温に反比例するため 18°C 以下のような低温域では過冷却になる可能性がある。

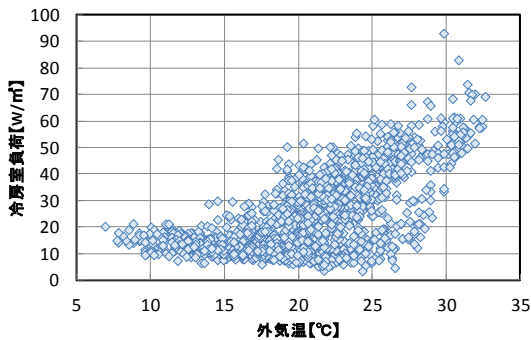


図2 モデルビルにおける中間期の冷房負荷特性

2.4 自然換気時間数

モデルビルにおいて標準設定の換気口面積と表4における許可条件において自然換気有効と判断された時間数を図3に示す。ここでは昼間の時間数を積算した。4月、5月、10月、11月においては、下限室温設定により外気条件のみでの判断に比べ時間数が少なくなり、6月、9月は室内設定温度の切替($26^{\circ}\text{C}\rightarrow 28^{\circ}\text{C}$)と基準となる室内エンタルピーの変動により時間数が多くなった。図4に自然換気不許可指標の割合を示す。4月、11月では下限外気温度、6月、9月では上限露点温度での不許可時間数が多い。

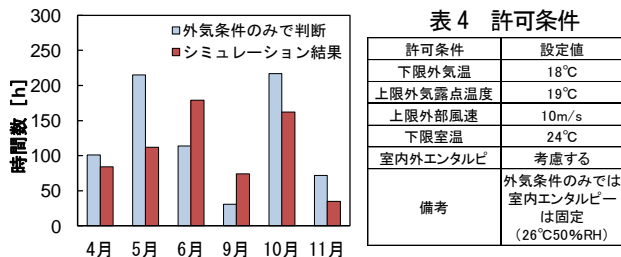


図3 自然換気有効時間数 (東京 8:00~19:00)

許可条件	設定値
下限外気温度	18°C
上限外気露点温度	19°C
上限外部風速	10m/s
下限室温	24°C
室内外エンタルピー	考慮する
備考	外気条件のみでは室内エンタルピーは固定(26°C50%RH)

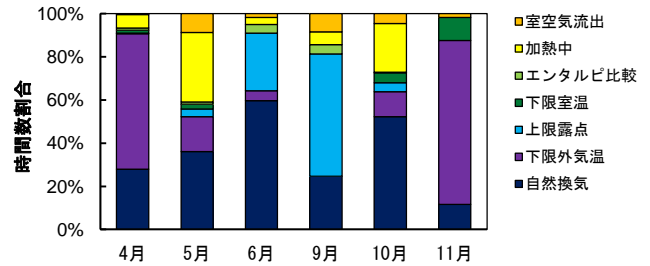


図4 自然換気不許可指標の内訳 (東京 8:00~19:00)

3. 自然換気の省エネ効果に関するパラメータスタディ

3.1 換気口実効面積の影響

自然換気の効果に影響を与える要因の一つである換気口実効面積の設定による省エネ効果への影響を検討した。実効面積は式(2)より求めるため、目標とする換気回数と室内外温度差によって変化する。表5に換気回数、室内外温度差と換気口実効面積 αA の一覧を示す。中性帯からの高低差は表3により 20.7m と設定している。また、ここでの αA とは外壁に設置された給気口単体ではなく、吹き抜けまでの換気経路も含めた総合実効面積を表している。また、検討結果として自然換気時間数の変化を図5、自然換気による負荷の削減量を図6に示す。中間期の総時間数は $4,368$ 時間であり、機械空調時の負荷は $102\text{MJ}/\text{m}^2$ である。換気口実効面積の算出式からも推定されるように目標自然換気量が省エネ効果に与える影響が大きい。また、有効換気口面積の増加に伴い自然換気時間数も増えている。これは自然換気量が増加する事によって自然換気のみで負荷を処理できる時間数が増えたためである。自然換気時間数、負荷の削減量は、目標換気回数 0.5 回/h~ 4 回/h程度までは変化幅が大きい、 4 回/h以上になると変化が小さくなる事が分かった。本モデルでは確保する換気口面積と省エネ効果の最適値は 4 回/h換気を目標とした場合の面積(換気口実効面積 αA が $0.279\sim 0.395\text{m}^2$ 程度)である事が分かった。ベースモデルの設計条件である換気回数は 4.4 回/hと設定しており、検討結果と傾向が合っている事が確認された。閾値が 4 回/hという数値に関しては、本モデルの負荷特性によって決まる値であるが、他のモデルにおいても目標換気量と自然換気時間数、負荷削減効果は同様の関係性を持つと考えられる。自然換気時間数は 0.5 回/h換気、室内外温度差 4°C で換気口実効面積を決定した場合(0.0049m^2)が $1,186$ 時間に対して、 4 回/h換気以上では $1,400$ 時間前後まで自然換気時間数が増える事が分かった。削減負荷量は 0.5 回/h換気時は $6\text{MJ}/\text{m}^2$ に対して 4 回/h換気以上では $25\sim 29\text{MJ}/\text{m}^2$ まで増加する事が分かった。室内外温度差は目標換気量と比較すると省エネ効果に与える影響は小さい。モデルの条件としては発生時間数の多い外気温 $21\sim 22^{\circ}\text{C}$ での温度差が適当と考えられる。

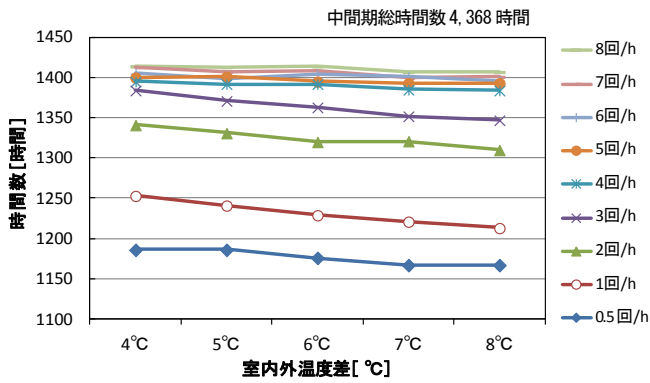


図5 目標換気回数・室内外温度差と時間数

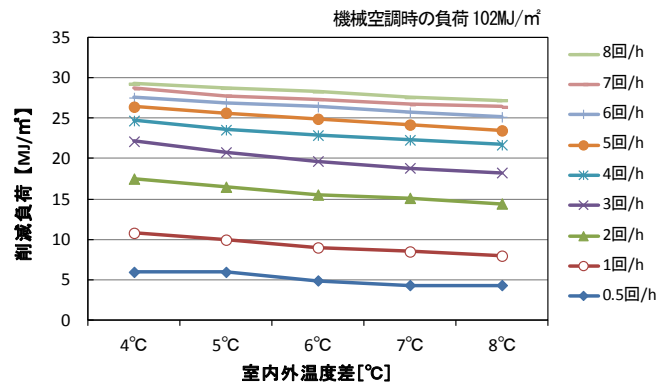


図6 目標換気回数・室内外温度差と削減負荷

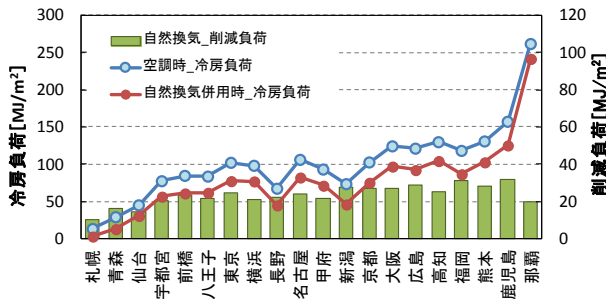


図7 地域による省エネ効果の違い（中間期）

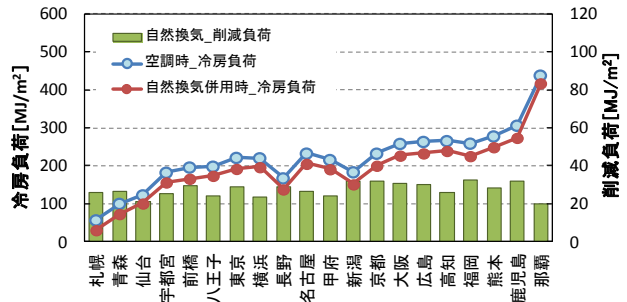


図8 地域による省エネ効果の違い（年間）

表5 設計条件と換気口実効面積 αA

αA	室内外温度差				
	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C
0.5回/h	0.049 m ²	0.044 m ²	0.040 m ²	0.037 m ²	0.035 m ²
1回/h	0.099 m ²	0.088 m ²	0.081 m ²	0.075 m ²	0.070 m ²
2回/h	0.197 m ²	0.176 m ²	0.161 m ²	0.149 m ²	0.140 m ²
3回/h	0.296 m ²	0.265 m ²	0.242 m ²	0.224 m ²	0.209 m ²
4回/h	0.395 m ²	0.353 m ²	0.322 m ²	0.298 m ²	0.279 m ²
5回/h	0.493 m ²	0.441 m ²	0.403 m ²	0.373 m ²	0.349 m ²
6回/h	0.592 m ²	0.529 m ²	0.483 m ²	0.447 m ²	0.419 m ²
7回/h	0.691 m ²	0.618 m ²	0.564 m ²	0.522 m ²	0.488 m ²
8回/h	0.789 m ²	0.706 m ²	0.644 m ²	0.597 m ²	0.558 m ²

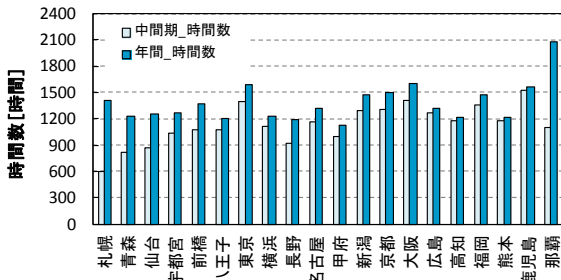


図9 地域による自然換気時間数の違い

3.2 地域の影響

地域別の差異を確認するため、20都市の標準年EA気象データ（2000年版）を用いて機械空調時と自然換気併用空調時の装置負荷と負荷削減量を算出した。中間期の結果を図7に、年間の結果を図8に示す。換気口の面積は本モデルの標準設定を用いた。グラフの冷房負荷は床面積あたりの中間期の積算値である。中間期においては、札幌、青森などの冷涼な気候の都市では、自然換気有効時間も少なく冷房負荷も少ない。よって自然換気による負荷削減量も少なくなるが削減率は50%以上であった。中国、四国、九州地方では那覇を除き自然換気時間も長く、冷房負荷も多いため負荷削減量も多くなる。関東・中部・近畿の負荷削減量は平均24MJ/m²であった。

年間の結果では、札幌、青森などの冷涼な気候の都市における時間数が増えている。これは夏期の自然換気時間数が多く発生しているためである。札幌、青森、仙台、長野、新潟などの冷涼な気候の都市、東京、名古屋、大阪などの太平洋側の都市、九州地方の温暖な気候の都市、亜熱帯の那覇の4つのグループ間では、自然換気時間数や削減効果に差が見られた。

表6 許可条件パターンと設定値

基準ケース	設定条件
初期設定	外気温度下限、室内温度上限(26°C、6,9月のみ28°C) 外気エンタルピー<室内エンタルピー 露点温度<19°C、相対湿度<90%
t-h型	外気温度下限、室内温度上限(26°C、6,9月のみ28°C) 外気エンタルピー<室内エンタルピー 相対湿度<90%
t-x型	外気温度下限、室内温度上限(26°C、6,9月のみ28°C) 露点温度<19°C、相対湿度<90%
t-h-φ型	外気温度下限、室内温度上限(26°C、6,9月のみ28°C) 外気エンタルピー<室内エンタルピー 相対湿度<80%
t型	外気温度下限、室内温度上限(26°C、6,9月のみ28°C) 相対湿度<90%

3.3 許可条件の影響

自然換気の許可条件が自然換気効果に与える影響に関して検討を行った。外気状態に関する条件と自然換気時の許容室内温度を変化させて省エネ効果を比較した。検討した許可条件を表6に示す。プログラムにおける初期設定では外気温度の上下限と室内外エンタルピー差、露点温度の上限値、降雨の判断として相対湿度上限値を採用している。これに対して表5に示すような4つの異なる

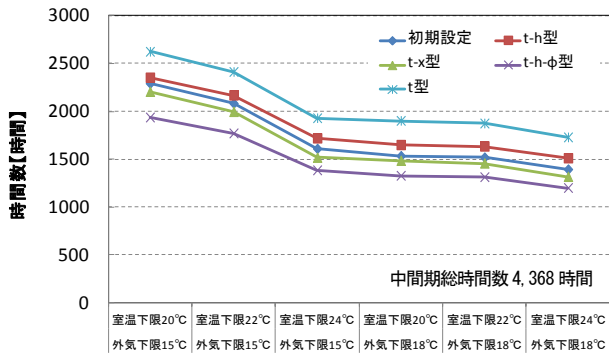


図 10 許可条件による時間数の違い

る許可条件にした場合の省エネ効果の違いを検討した。また、外気の下限温度を 15°C、18°C に変化させた場合と室内の許容室温の下限值を 24°C、22°C、20°C に変化させた場合も同時に検討した。検討結果として許可条件による時間数の違いを図 6 に、削減効果の違いを図 7 に示す。外気温度の上下限值と相対湿度 90% 未満のみを条件としている t 型が自然換気時間数では最も多くなったが負荷の削減効果に関しては最も少ない結果となった。負荷の削減効果が最も大きかったのは t-h 型の条件で自然換気時間数も多い結果となった。外気下限温度を 18°C から 15°C にした場合、室内下限温度が 24°C では差が見られなかったが 22°C、20°C と下げていく事で自然換気時間数、削減負荷ともに増加する結果となった。15°C から 18°C の外気状態は中間期に多く存在するが、本モデルの発熱条件と自然換気口面積の設定では 24°C 以下の室温でバランスする時間帯が多い事が確認された。

4. 自然換気の省エネに関するポテンシャル評価

検討の結果より、自然換気の削減効果の最大化という視点からは以下の条件が適していると想定された。
 ① t-h 型で外気下限温度 15°C、室温下限温度 20°C
 ② 6 回/h 換気目標で室内外温度差 4°C とした場合の換気口実効面積 (0.592 m²)
 以上の設定条件にて、札幌、長野、東京、福岡の気象データでの結果を比較した。検討結果として自然換気時の省エネ効果を表 7 に、ハイブリット空調の省エネ効果を表 8 に示す。中間期の総時間数 4,368 時間に対して東京、福岡では 2,300 時間を超える自然換気時間数となった。負荷の削減率は東京で削減率 37%、札幌で削減率 88%、福岡で削減率 41%、長野で 49% であった。更に自然換気と機械空調を併用するハイブリット空調では東京で削減率 40%、札幌で削減率 88%、福岡で削減率 43%、長野で 50% となった。最大限自然換気を利用する条件にすることで高い省エネ性能が確保されることを確認した。自然換気で処理できない負荷は 6 月、9 月などの外気温が高く、負荷の大きい時間帯のものである。

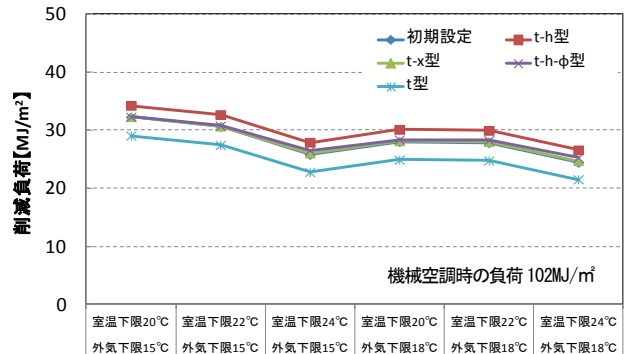


図 11 許可条件による削減効果の違い

表 7 自然換気時の省エネ効果

	時間数 [時間]	空調時 [MJ/m ²]	自然換気時 [MJ/m ²]	負荷削減量 [MJ/m ²]	削減率 [%]
札幌	1,212	13	1.6	13	88
東京	2,358	102	64.4	102	37
長野	1,557	67	34.3	67	49
福岡	2,385	118	69.4	118	41

表 8 ハイブリット空調時の省エネ効果

	時間数 [時間]	空調時 [MJ/m ²]	自然換気時 [MJ/m ²]	負荷削減量 [MJ/m ²]	削減率 [%]
札幌	1,213	13	1.6	13	88
東京	2,489	102	61.4	102	40
長野	1,606	67	33.2	67	50
福岡	2,480	118	67.0	118	43

7. まとめ

BEST 専門版の自然換気計算機能を使って、モデルビルにおける自然換気の省エネ効果について検討を行った。
 ①換気経路における実効換気口面積 αA 、②自然換気許可条件、③気象などのパラメータを変化させ、自然換気の省エネ効果に対する影響についてパラメータスタディを行った。その結果、自然換気の削減効果を最大化するという視点からは①外気温度と室内外エンタルピ比較による許可条件 t-h 型とし、外気下限温度 15°C、室温下限温度 20°C に設定、②6 回/h 換気目標、室内外温度差 4°C で算出した換気口実効面積 (0.592 m²) が本モデルにおける適正条件であることが分かった。この条件で自然換気の省エネ効果を計算した結果、中間期の負荷の削減率は東京で削減率 37%、札幌で削減率 88%、福岡で削減率 41%、長野で 49% となった。

【謝辞】

本報は、(一財)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」・「企画開発委員会(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: 内海康雄(宮城工業高等専門学校)、大西晴史(関電工)、木下泰斗(日本板硝子)、工月良太(東京ガス)、郡公子(宇都宮大学)、菺田英晴(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)、田中拓也(大成建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀興(鹿児島大学)、野瀬暁則(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(以上、日建設計)、柳井崇、品川浩一、山本佳嗣(以上、日本設計)、事務局: 生稲清久、石田真理(建築環境・省エネルギー機構)