

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 212) 自然換気システムにおける目標換気量の簡易設定法に関する検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST
(Part 212) Study on setting method of target air change rate in natural ventilation system

正会員 ○山本 佳嗣 (東京工芸大学)

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)

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

*¹ Tokyo Polytechnic University. *² Institute for Building Environment and Energy Conservation

*³ Tokyo Metropolitan University *⁴ Utsunomiya University

In this paper, the simulation analysis of natural ventilation systems was conducted using VC-tool and the BEST program. We calculated the natural ventilation potential and the required ventilation air change rate of a standard office building in Tokyo using VC tool as a simple setting of the target ventilation volume, compare the result with detailed calculation by BEST program, Confirm accuracy. In addition, we consider factors that influence target ventilation frequency of standard building.

はじめに

自然換気システムの設計時には、性能目標値として必要換気回数が用いられることが多い。しかし、必要換気回数は外皮性能や内部発熱などの条件によって変化し、建物ごとに検討が必要となる。また、外気冷房効果は時間によって変動する外気温と室温の温度差に依存するため、時間によって必要換気回数が増える。熱換気回路網シミュレーション等により年間の室温と換気量を求め目標換気回数を求める手法が用いられることも多いが、モデル作成の手間を考えると、設計初期段階においては、少ない入力項目で簡易に年間評価を行い、目標換気回数を設定できる手法があると便利である。

自然換気の国際共同研究である Annex62 では、その研究成果として Ventilative Cooling potential tool (以下 VC ツール) を公開している¹⁾。これは計画初期段階において年間の外気の変動、内部発熱、外皮条件等の条件を加味した自然換気ポテンシャルと必要換気量を試算することができるツールである。本報では、目標換気量の簡易設定手法である VC ツールを用いて、東京における標準的なオフィスビルの検討を行い、BEST 専門版による詳細計算と比較することによって精度を確認する。また、標準ビルの目標換気回数に影響を与える要因について考察する。

1. 検討モデル

1.1 基準モデル概要

本検討で用いる標準的なオフィスモデルについて、図

1 にモデル平面図、表 1 に基準条件としてのモデル概要を示す。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。また、解析対象室は 1 階の南側執務室とした。軒高は 40m であり、BEST 専門版の自然換気計算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しているため中性帯との高低差は 24m となる。

表 1 基準モデル概要

地域	東京 2000 年版 EA 標準年気象データ
建築概要	階高 4.0m, 天井高 2.7m, 床面積 302.6 m ² , 外壁面積 64 m ² , 窓面積 132.8 m ² ,
外皮性能	外壁熱貫流率 1.0W/m ² K, ガラス熱貫流率 4.09W/m ² K, 日射熱取得率 0.41
室温設定	EN15251:2007 Adaptive model による
負荷/人員密度	照明 10W/m ² , 内部発熱 15W/m ² , 人員密度 0.15 人/m ²
その他	隙間風 0.2 回/h, 最小外気取入れ 3.75CMH/m ² (隙間風と合計で 1.2L/人 s と設定)

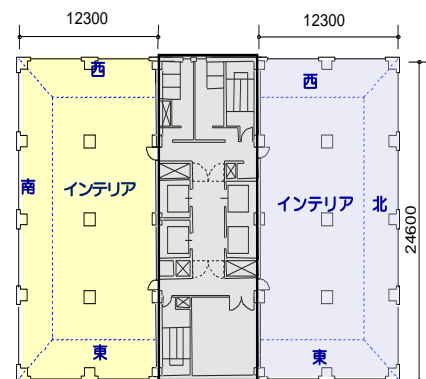


図 1 モデル平面図

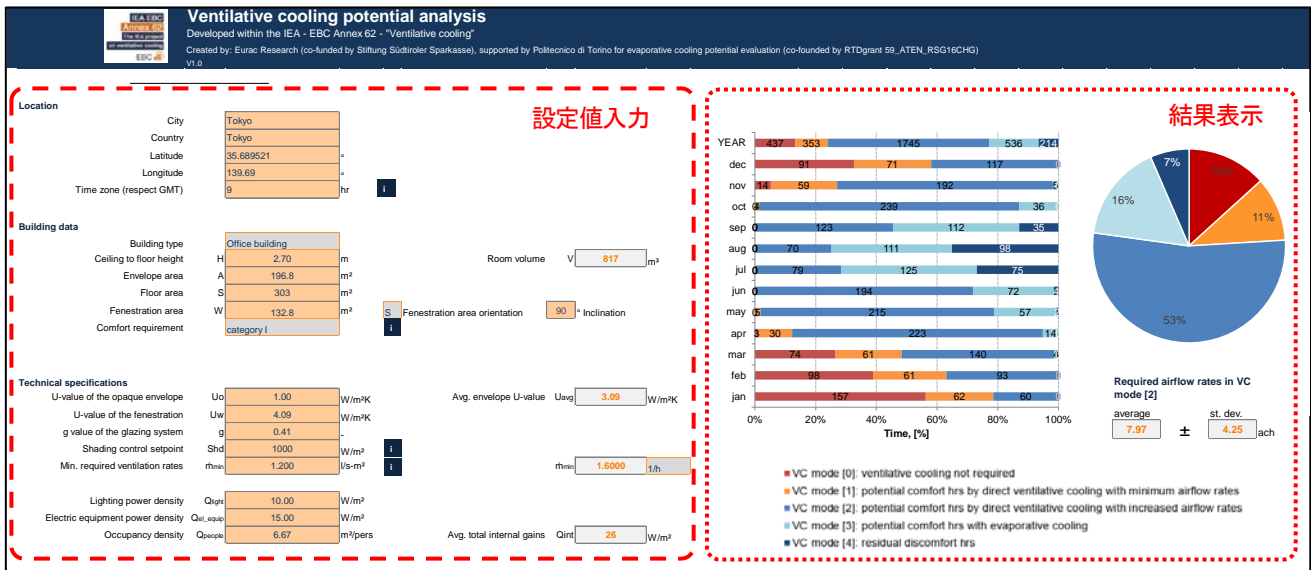


図2 VC ツール¹⁾ 入力と結果

2. VC ツールによる簡易自然換気検討

2.1 評価方法の概要

本ツールでは、定常状態を想定し、以下の式(1)のように、合計熱取得である冷房負荷 q_f 、最小換気量 m_{min} 、比熱 c_p 、外皮からの貫流熱量 ΣUA より、処理するために必要な室内外温度差を算出し、それを室温設定値から引いたものをヒートバランス外気温 T_{o-hbp} として算出する。このヒートバランス外気温と自然換気時の許容室温域を用いて、各時間の判定を行い、年間評価を行う。図2に設定値の入力画面と結果表示画面を示す。その他の入力項目としては時刻別の気象データ（乾球温度、湿球温度、相対湿度、日射量）がある。外気風速・風向は入力できるが現段階では計算に用いられていない。

$$T_{o-hbp} = T_{i-hsp} - \frac{q_i}{\dot{m}_{min} c_p + \sum UA} \quad \dots \text{式(1)}$$

許容室温域は EN15251:2007²⁾ の Adaptive model を用いて設定される。推奨範囲の中心である快適温度 T_{comf} に対して、Category I では $T_{comf} \pm 2^\circ\text{C}$ 、Category II では $T_{comf} \pm 3^\circ\text{C}$ 、Category III では $T_{comf} \pm 4^\circ\text{C}$ を熱的快適域推奨値としている。東京の気象データで算出した許容室温の変動を図3に示す。後述の BEST 専門版での計算では、この値を用いてゼロエナジーバンド設定値を決定した。

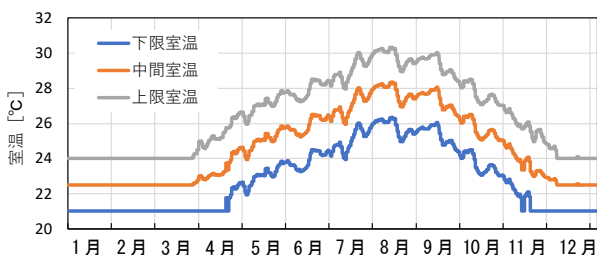


図3 EN15251:2007 による快適温度域 (Category I)

2.2 評価条件

VC ツールでは、昼間9時間/日において、5つのモードの時間数を算出する。以下に各モードの概要を示す。自然換気時間数として評価できるのは、最小換気の範囲も含めれば mode [1] と mode [2] の合計時間数である。

1) Ventilative Cooling mode [0]

式(2)のように、最小換気時のヒートバランス外気温が外気温 T_{o-db} より高く、外気温が発熱処理に必要な温度以下である状態で、暖房が必要となる領域である。

$$T_{o-db} < T_{o-hbp} \quad \dots \text{式(2)}$$

2) Ventilative Cooling mode [1]

式(3)のように、外気温が最小換気時のヒートバランス外気温より高いが、その温度差が室内許容温度幅以内の場合であり、最小換気時で対応できるが設定室温以上になる可能性がある領域である。

$$T_{o-hbb} \leq T_{o-db} < T_{o-hbp} + (T_{i-max} - T_{i-min}) \text{ then } \dot{m} \quad \text{ここで } \dot{m} = \min \quad \dots \text{式(3)}$$

3) Ventilative Cooling mode [2]

式(4)に示すように、外気温が mode [1] 以上で必要自然換気量を確保することによって上限室温以下に保つことが可能な領域である。

ただし、室内外温度差 $\Delta T_{crit} < 3\text{K}$ とする。

$$T_{o-hbp} + (T_{i-max} - T_{i-min}) \leq T_{o-db} < T_{i-max} - \Delta T_{crit} \text{ then } \dot{m} = \dot{m}_{cool} \quad \dots \text{式(4)}$$

$$\dot{m}_{cool} = \frac{q_i}{c_p (T_{i-max} - T_{o-db})}$$

4) Ventilative Cooling mode [3]

外気温が mode [2] 以上で、気化蒸発冷却器を活用することによって上限室温以下に保つことが可能な領域である。

5) Ventilative Cooling mode [4]

外気温が上限室温以上であり、外気冷房効果が期待できない領域である。

$$T_{o-hbp} > T_{i-max} - \Delta T_{crit} \text{ then } \dot{m} = 0 \dots \text{式(5)}$$

3. 検討結果

3.1 基準ビルにおける自然換気ポテンシャル評価

VC ツールによる基準ビルの自然換気ポテンシャル評価を図4に示す。年間においてmode [1] [2] の合計は1745時間/年であり、中間期(4~6月, 10月, 11月)では1161時間/年であった。mode [2] の時間数を確保するための必要自然換気回数は、平均で7.97回/h(±4.25回/h)であった。中間期の合計時間数1368時間に対して自然換気可能時間数が84.9%を占める結果となった。しかし、必要換気回数は一般的な居室の換気回数2回/h程度と比較すると大きな値となる。この結果より、VC ツールは自然換気ポテンシャルとしての時間数を最大化することを優先し、最大値が得られる換気回数を必要換気回数としている。よって、計算結果は各種条件を考慮した自然換気ポテンシャルを評価するには適しているが、建築条件の制約によって示された換気回数が実物件で確保できない場合には別の検討が必要となる。

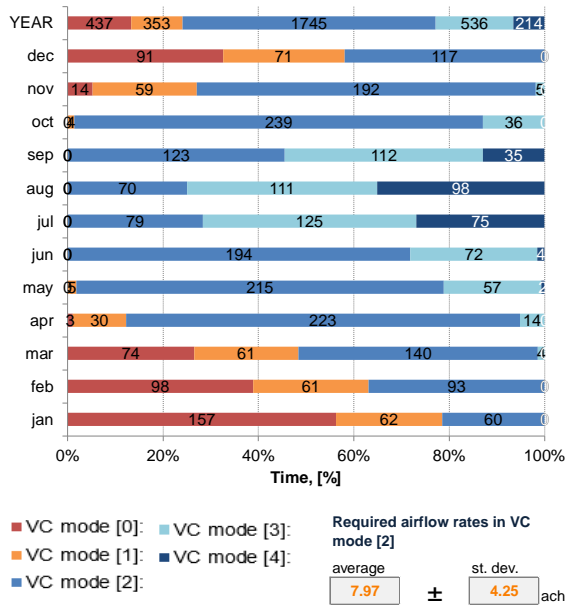


図4 自然換気ポテンシャル検討結果(東京)

3.2 設定値の感度分析

入力値である平均U値、日射熱取得率、開口率、平均内部発熱が自然換気時間数と必要換気回数に与える影響を検討した。自然換気時間数を図5に必要換気回数を図6に示す。冷房負荷の低減が自然換気に有利に働くことは明白であるが、冷房負荷の低減手法により暖房領域であるmode [0] や最小換気量のmode [1] の時間数が増え、mode [2] の時間数は低下していく傾向にあった。つまり、冷房負荷を低減することによって暖房時間数が

増え、自然換気の時間数自体は減少している。必要換気回数に関しては逆の傾向となり、冷房負荷の低減手法が必要換気回数の低減に与える影響が多い結果となった。外皮の熱性能が低いケースでは、換気量の変動幅が大きくなっている。一般的な自然換気的设计目標換気回数としては5回/h以下が現実的な目安となるが、ケース0~4までの単体のケースにおいては、6~10回/hの必要換気回数であり、ケース0~4までの手法を最適に組み合わせさせたケース5の場合のみ5回/hを下回った。必要換気回数の低減に影響の大きい入力項目を検討した結果を図7に示す。日射熱取得が最も影響が大きく、平均内部発熱、平均U値という結果となった。

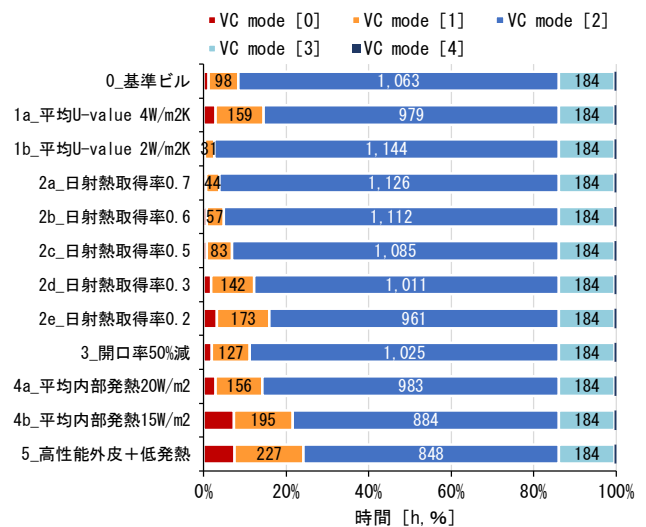


図5 中間期における各モード時間数

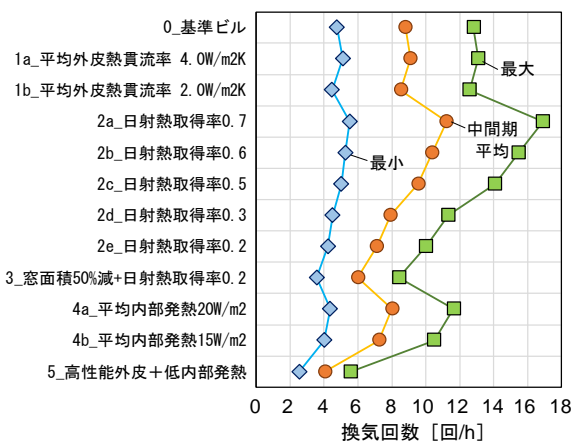


図6 中間期における必要換気回数

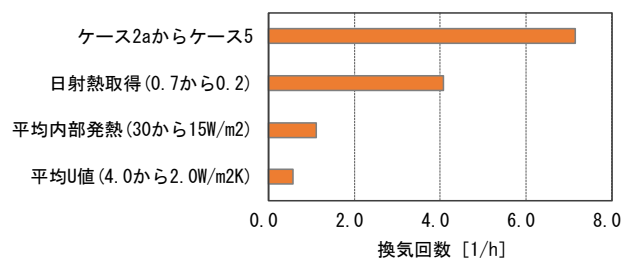


図7 入力条件と必要平均換気回数の関係

4. BEST 専門版による検討結果との比較

4.1 中間期の結果比較

基準ビルに関して BEST 専門版を用いて自然換気計算を行い、VC ツールとの比較を行った。VC ツールの入力値と同等の条件とするため、室内許容温度域に関しては表 2 に示す Adaptive model を考慮したゼロエネルギーバンド設定値を用いた。VC ツールと BEST 専門版の結果を図 8 に示す。BEST 専門版では自然換気の許可条件を設定することができるため、許可条件の有無による結果の違いも検討し、換気口は十分に大きい設定（ユニット倍率 300）としている。VC ツールが 1,116 時間に対して BEST 専門版では許可条件を考慮しない場合は 1,093 時間、許可条件を考慮した場合は 951 時間という結果であった。換気口面積を十分に確保し、許可条件を考慮しない場合は、BEST 専門版の結果と VC ツールの結果は時間数、換気回数とも同等になることを確認した。しかし、許可条件を考慮した場合は、BEST 専門版の時間数が小さな値となるが、実際の運用に近い結果を得るためには許可条件を考慮すべきである。

表 2 ゼロエネルギーバンド設定値

	下限室温 [°C]	上限室温 [°C]
4 月	21.0	24.3
5 月	22.6	26.6
6 月	23.9	27.9
10 月	24.4	28.4
11 月	22.8	26.8

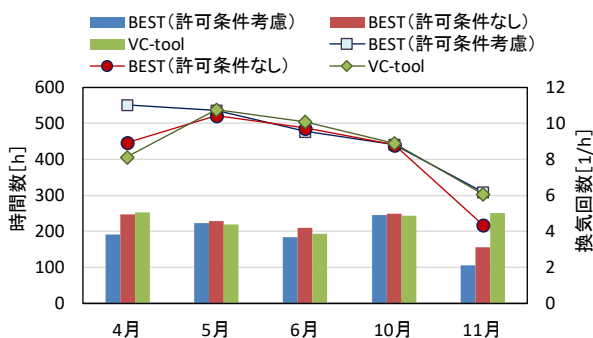


図 8 中間期における各モード時間数と換気回数

4.2 目標換気回数の変更による影響

VC ツールは自然換気ポテンシャルを最大限活用するために必要な換気回数を結果として示すが、算出した目標換気回数が確保できない場合、目標換気回数を再設定することによる自然換気ポテンシャルに与える影響を検討する必要がある。基準ビルに対して換気口面積を変化させた場合の BEST 専門版による検討結果を図 7 に示す。ユニット有効開口面積原単位は 0.005 m² であり、これにユニット倍率を乗じたものが有効開口面積となる。目標換気回数 8.8 回/h に対して、5 回/h 換気までは 10% 程度

時間数低減に留まっており、現実的な設計目標として 5 回/h 換気を選択することも考えられる。

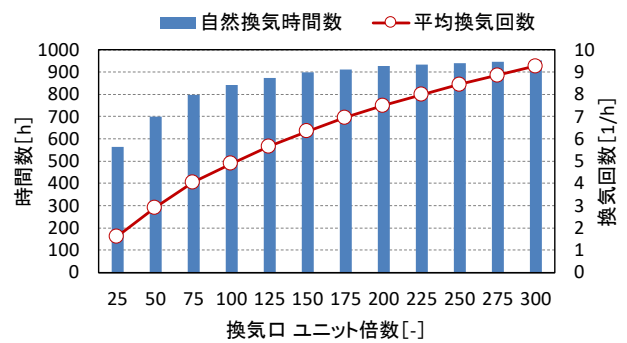


図 9 換気口面積と時間数・換気回数の関係

5. まとめ

- Annex62 において開発された Ventilative Cooling potential tool (VC ツール) と BEST 専門版を用いて自然換気時間数と設計時の目標換気回数について検討を行った。
- 換気口面積が十分に確保され許可条件を考慮しない場合は BEST 専門版と VC ツールの計算結果は同等となることを確認した。
- mode [1] [2] の年間合計は 1745 時間/年であり、中間期 (4~6 月, 10 月, 11 月) では 1161 時間/年であった。必要自然換気回数は年間平均 7.97 回/h となった。
- ケース 0~4 までの手法を最適に組み合わせたケース 5 では必要換気回数は 5 回/h となった。
- 検討したケースの中で必要換気回数に最も影響の大きい入力項目は日射熱取得であることを確認した。
- BEST 専門版において換気口面積と自然換気時間数、換気回数に関する検討を行い、その傾向を示した。

参考文献

- 1) The ventilative cooling potential tool (VC tool) User guide Ver 1.0, IEA - EBC Program - Annex 62 Ventilative Cooling, Annamaria Belleri, Giacomo Chiesa, <http://venticool.eu/annex-62-publications/deliverables/>
- 2) CEN:EN 15251 Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings - Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Light and Acoustics, Comite Europe en de Normalisation, 2007.

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: 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)、菟田英晴(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(以上、日建設計)、柳井崇、品川浩一(以上、日本設計)、山本佳嗣(東京工芸大学)、事務局: 生稲清久、石田真理(建築環境・省エネルギー機構)