

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199）

## 本ツールの自然換気計算と換気回路網計算の比較検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 199)

### Comparison between Natural Ventilation Calculation of this Tool and Network Simulation

正会員 ○相沢 則夫（大林組）

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）

Norio AIZAWA\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup> Hisaya ISHINO\*<sup>3</sup> Kimiko KOHRI\*<sup>4</sup>

\*<sup>1</sup>Obayashi Corporation \*<sup>2</sup>Institute for Building Environment and Energy Conservation

\*<sup>3</sup>Tokyo Metropolitan University \*<sup>4</sup>Utsunomiya University

Natural ventilation rate is calculated under the simple conditions where airflow balance is not solved in the BEST program. This paper shows comparison between this program and airflow network simulation of natural ventilation volume and energy saving effect of natural ventilation system.

#### 1. はじめに

本ツールの自然換気計算では、風量収支を解かず中性帯位置を仮定する方法を採用することにより、簡単な入力条件で自然換気の省エネルギー効果や熱環境を評価することができる<sup>1)2)3)</sup>。実測値との比較により有用性の確認も行っているが、風量収支計算との比較検討例はまだ少ない。

本報では、換気回路網シミュレーションプログラムを用いて各階多数室の風量収支計算を行い、本ツールとの比較検討を行ったので報告する。

#### 2. 換気回路網シミュレーションプログラム

換気回路網シミュレーションプログラムの結果を動的熱負荷計算プログラム NewHASP/ACLD に取り込み期間時刻別熱負荷計算を行う換気メタシミュレーションプログラム<sup>4)</sup>（以降、換気回路網計算と略す）を利用した。

#### 3. 検討モデル

##### 3.1 モデル建物概要

自然換気利用建物には図-1 に示す3種類のものが多い。本報ではシャフト型を取上げ、本ツールと換気回路網計算の比較を行った。

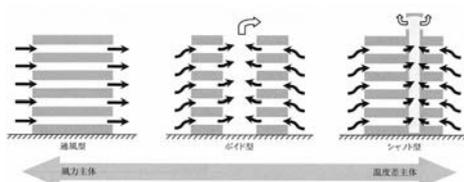
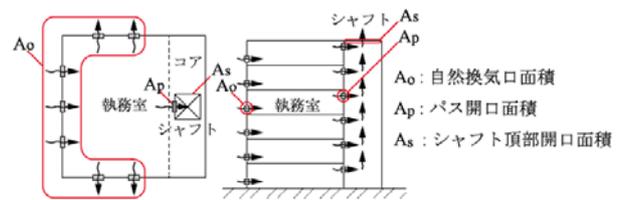


図-1 自然換気利用建物の形態<sup>5)</sup>

自然換気建物の自然換気口面積等を調査した論文<sup>6)</sup>には、図-2 に示すシャフト型建物の各開口部面積（流量係数を掛けた有効開口面積）について分析している。事務室の床面積を  $A_f$  とすると自然換気口面積率  $A_o/A_f$  は、全体の7割以上が1.0%未満、6割が0.5%未満となっており、パス開口面積率  $A_p/A_f$  は、0.2%未満が全体の3分の1、0.5%未満が過半数となっている。



シャフト型建物における平面図及び断面図

図-2 シャフト型建物における各開口部面積の概要<sup>6)</sup>

本報では、シャフト型自然換気建物の主流と考えられる自然換気口面積率 0.05%~0.5% ( $5\text{cm}^2/\text{m}^2 \sim 50\text{cm}^2/\text{m}^2$ ) の範囲で検討モデルをいくつか設定して、開口率の違いによる本ツールと換気回路網計算との比較を行った。

表-1 に概要を示したモデル建物（文献<sup>5)</sup> を参考にして8階建てとし、熱負荷計算条件<sup>4)</sup>を加えた）を基準ケースとした。検討ケースを表-2 に示す。また表-3 に本ツールと換気回路網計算の2つの計算法の特徴と計算条件の一致する点と異なる点を記載した。本ツールでは無風時の中性帯高さを建物高さの2/3と仮定しているため、換気回路網計算を行う検討モデルでも中性帯高さを概ね2/3とした。

表-1 シャフト型の検討モデル建物概要

基準階平面図 建物断面図			
換気開口条件	有効開口面積 (流量係数) (換気口面積) (換気口個数)	0.3 m <sup>2</sup> (床面積に対して0.06%) 0.45 0.04 m <sup>2</sup> /個 16 個	南面のみ
部材条件	ガラス	52 m <sup>2</sup>	普通透明 8 mm
	外壁		
	南	108 m <sup>2</sup>	普通コンクリート 150 mm
	東・西・北	64 m <sup>2</sup>	吹付硬質ウレタン 25 mm
	内壁	144 m <sup>2</sup>	普通コンクリート 120 mm
	床・天井	500 m <sup>2</sup>	コンクリート 175 mm
			半密閉空気層 - mm
			(R=0.086 m <sup>2</sup> ·K/W) mm
			岩綿吸音板 15 mm
内部発熱条件	人員密度	0.2 人/m <sup>2</sup>	9時-18時 100 %
	照明密度	15 W/m <sup>2</sup>	9時-18時 100 %
	機器密度	20 W/m <sup>2</sup>	9時-18時 100 %
	内部発熱期待率		
	自然換気時	100 %	
	室内熱容量		
	顕熱	40 kJ/(m <sup>2</sup> ·K)	
	潜熱	80 kJ/(m <sup>2</sup> ·g/kg(DA))	
室内温湿度条件	自然換気時	26°C/50%	
空調条件	空調時間	10 時間	8時-18時
	室使用時間	9 時間	9時-18時
	外気導入量	0 自然換気時	
	週休	2 日	
気象データ	地点	東京	
	1991-2000年標準年拡張アメダス気象データ		
自然換気制御	自然換気期間: 4、5、6、10、11月、空調時間のみ		
	外気温度: 下限 16°C、上限 26°C(室温)		
	外気相対湿度: 上限 90%RH、 上限外部風速: 10m/s		
	室内外エンタルピー差考慮(空調時間中 26°C、50%)		
	冷房中の自然換気有り(ハイブリッド空調)		

表-2 検討ケース

	ケース1 (表-1)	ケース2	ケース3
自然換気口有効面積率 (P)	0.06%	0.2%	0.5%
バス開口有効面積率	0.06%	0.2%	0.5%
シャフト頂部有効開口面積率	0.3%	1.0%	2.5%
シャフト面積 [m <sup>2</sup> ]	1.0	4.0	9.0

(備考)

- 開口面積率は、執務室床面積 A<sub>r</sub> に対する比率
- 自然換気口面積率  $p=A_r/A_t$
- シャフト頂部開口面積は無風時の中性帯以下を5フロアと想定して自然換気口有効面積の5倍と設定

## 4. シミュレーション結果

### 4.1 自然換気風量

図-3~5 に、2、4、6 階の各ケースの自然換気風量を示す。本ツールではハイブリッド空調計算時に、室温下限値より低くならないように開口率調整を行って換気量を制限するように計算される(開口率は開口率 100%での換気口開放時間率に相当)。一方、換気回路網計算では開口率 100%固定での計算となっている。従って、自然換気口面積率の大きいモデルでは、本ツールでは開口率調整により風量が室温維持に必要な分だけに絞られるので、換気回路網計算の方が大きい自然換気風量になる。今回の本ツ

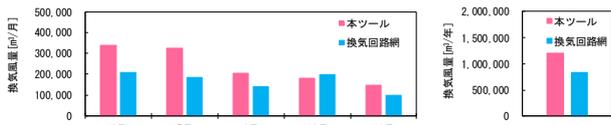
表-3 2つの計算法の特徴と計算条件の比較

熱・換気計算法
【本ツール】
・風量収支は解かない 無風時の中性帯高さを 2/3 に固定 外部風による室内圧変化量を対象開口面の風圧と 180° 反対面の風圧の平均と想定 差圧計算用の室温は前時間ステップの値を使用
・開口率調整による室温制御計算を行う
【換気回路網計算 (NewHASP 拡張)】
・建物全体の風量収支を解く
・NewHASP と換気回路網計算ツール (大林組自社開発ソフト <sup>7)</sup> ) の統合による熱換気平衡計算
・換気回路網計算ツール概要 各ゾーンを代表点 1 点で表現するモデルとし、それぞれのノードで空気質量の収支を満たす圧力を Newton-Raphson 法にて求める。
自然換気制御条件とその計算法の特徴
【本ツール】
・表-1 の条件の他に以下がプログラム内で設定 室内外温度差考慮 (室温>外気温の時に許可) 加熱時不許可
・表-1 に加えて、自然換気無しの室内温湿度を基に自然換気許可判定を行う
・フル自然換気により室温が下限値より下がる時は開口率調整計算
【換気回路網計算 (NewHASP 拡張)】
・表-1 の条件のみ (気象条件) を基に自然換気許可判定を行う (表-1 の室内エンタルピーは空調条件の温湿度より設定)
・自然換気を行う時は開口率 100%固定
建物モデル
【本ツール】
・計算ゾーン: 8 空調室 (相互影響: 上下階の隣室温度差係数を設定 (空調室と同温度)) シャフト温度は隣室温度差係数を設定 (空調室と同温度)
【換気回路網計算 (NewHASP 拡張)】
・計算ゾーン: 8 空調室、シャフトを階毎に分割して 8 つ設定、計 16 ゾーン (ゾーン間の相互影響: NewHASP の多数室計算のゾーン間換気を使用) シャフトのフロア間の有効開口面積として、摩擦損失による抵抗を設定 (計算式は文献 5) を利用)

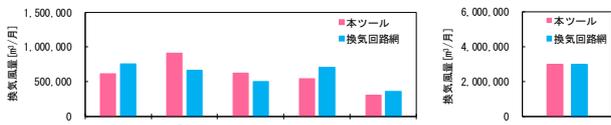
ールの計算では、年間平均開口率はケース 1~3 それぞれ 99%、80%、50%であった。ケース 3 の風量が本ツールより換気回路網計算の方が大きいのは開口率 50%による影響が主と考えられ、仮に開口率を 50%から 100%とすると (2 倍)、本ツールと換気回路網計算の値は近い値になる。また自然換気口面積率 p が小さいケース 1、2 の 2 階、4 階 (中性帯以下) では、月による差はあるが概ね近い範囲に納まっていると考えられる。

中性帯以上である 6 階では、風量の絶対量は少ないが本ツールと換気回路網計算の差の割合が大きい結果になっている。中性帯以上の階では風向・風速により、流入、流出が切り替わるが、本ツールと換気回路網計算の計算式の違い (例えば風圧係数 (図-6) など) によるものと考えられる。しかしながら中性帯以上の階の風量は中性帯以下の階より少なく、自然換気の検討対象とする階ではないので本ツール使用上の影響は少ないと考える。

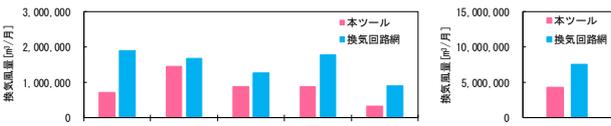
北向きの建物モデル (表-1 のモデルを南北反対) の結果 (p=0.06%) を図-7 に示す。本ツールの計算結果と換気回路網計算を比較すると、南向き建物と同様、中性帯以下の階では、月により差は見られるものの概ね近い値になっていると考えられる。



(a) ケース 1 (自然換気口面積率  $p=0.05\%$ )

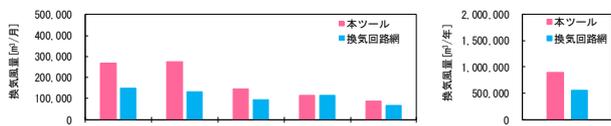


(b) ケース 2 (自然換気口面積率  $p=0.1\%$ )

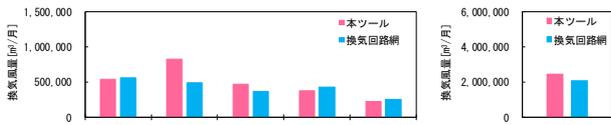


(c) ケース 3 (自然換気口面積率  $p=0.5\%$ )

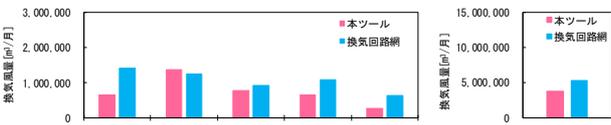
図-3 換気風量 (2階)



(a) ケース 1 (自然換気口面積率  $p=0.05\%$ )

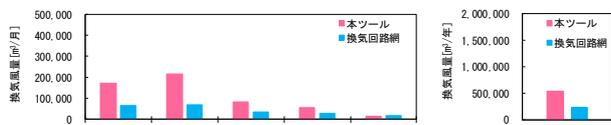


(b) ケース 2 (自然換気口面積率  $p=0.1\%$ )

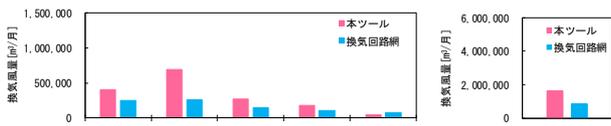


(c) ケース 3 (自然換気口面積率  $p=0.5\%$ )

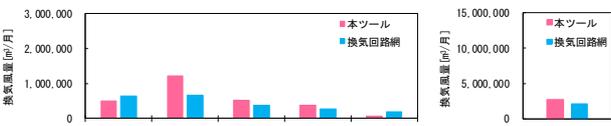
図-4 換気風量 (4階)



(a) ケース 1 (自然換気口面積率  $p=0.05\%$ )



(b) ケース 2 (自然換気口面積率  $p=0.1\%$ )



(c) ケース 3 (自然換気口面積率  $p=0.5\%$ )

図-5 換気風量 (6階)

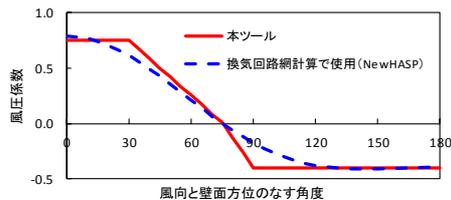
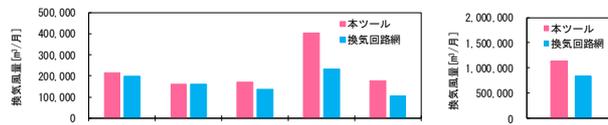
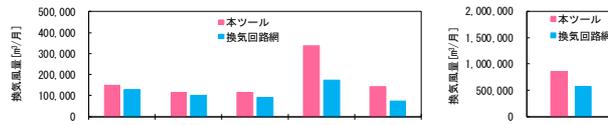


図-6 風圧係数

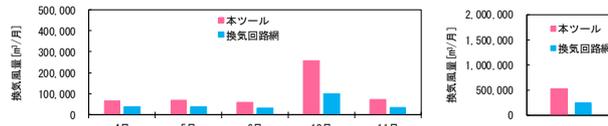
表-4 に各月の外気温、風向を示す。南向きの建物モデルの結果 (図-3~5 のケース 1 :  $p=0.06\%$ ) では4月、5月に本ツールの風量が多めになっており、北向きの建物モデルの結果 (図-7) では10月に本ツールの風量が多めになっている。これは4月、5月は南風が多く、10月は北風が多いことが一因と考えられ (11月の風量が少ない理由は外気温が低いために自然換気許可条件を外れる時間が多いため)、本ツールの方が風力換気の感度が高い傾向が見受けられる。



(a) 2階



(b) 4階



(c) 6階

図-7 北向き建物モデルの換気風量  
(ケース 1 : 自然換気口面積率  $p=0.06\%$ )

表-4 外気温、風向 (平日の空調時間 9時~18時)

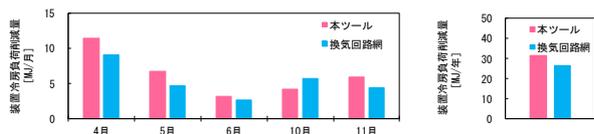
	4月	5月	6月	10月	11月
平均気温 [°C]	17	21.5	22.9	22.1	14.4
南方向の風向発生頻度 ※1	51%	65%	62%	31%	10%
北方向の風向発生頻度 ※2	38%	22%	15%	49%	66%

※1 南東~南西の風向の発生時間 ÷ 月合計時間

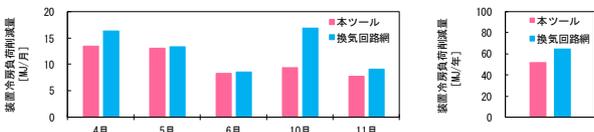
※2 北東~北西の風向の発生時間 ÷ 月合計時間

## 4.2 熱負荷削減量

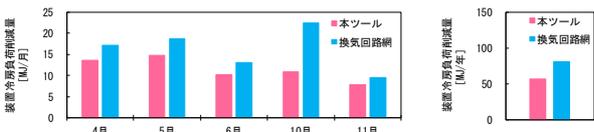
装置冷房負荷 (全熱) の削減量の結果を図-8~10 に示す。削減熱量は自然換気無しの熱負荷計算結果との差としている。本ツールの熱負荷は、開口率を考慮した計算 (室温が下限値以下にならないように換気量を調整) 結果である。換気回路網計算では開口率 100%での換気量の



(a) ケース 1 (自然換気口面積率  $p=0.05\%$ )

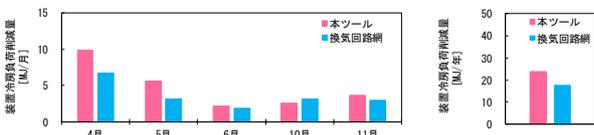


(b) ケース 2 (自然換気口面積率  $p=0.1\%$ )

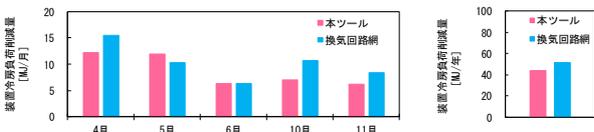


(c) ケース 3 (自然換気口面積率  $p=0.5\%$ )

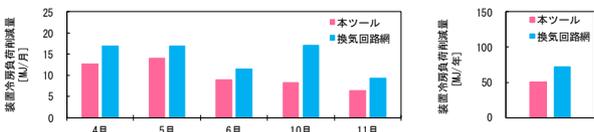
図-8 装置冷房負荷削減量 (2階)



(a) ケース 1 (自然換気口面積率  $p=0.05\%$ )

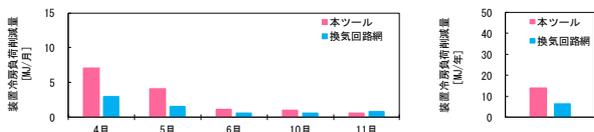


(b) ケース 2 (自然換気口面積率  $p=0.1\%$ )

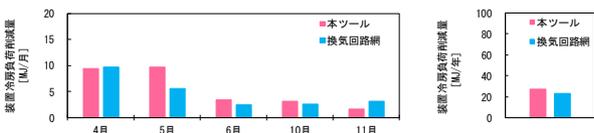


(c) ケース 3 (自然換気口面積率  $p=0.5\%$ )

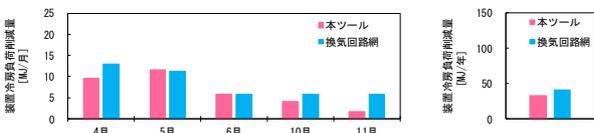
図-9 装置冷房負荷削減量 (4階)



(a) ケース 1 (自然換気口面積率  $p=0.05\%$ )



(b) ケース 2 (自然換気口面積率  $p=0.1\%$ )



(c) ケース 3 (自然換気口面積率  $p=0.5\%$ )

図-10 装置冷房負荷削減量 (6階)

ため、室温を保つための冷房負荷処理分以上の過剰な風量に対しては暖房負荷が発生する計算となっているが、自然換気による冷房負荷削減効果としては本ツールと比較できるものである。

各ケースに共通して、月により違いは見られものの年間合計では近い値となっている。また、前項に示した風量と同様の傾向が確認できる。ケース間の比較では、開口面積率が大きくなると熱負荷削減量は大きくなっているが、本ツールの方が増加の割合は小さい。また、下階ほど本ツールと換気回路網計算に近い傾向があるが、開口面積率の大きいケース (ケース 2、3) になると、換気回路網計算の値の方が大きくなっている。これらは本ツールが開口率調整計算により適正換気量になっていることが一因と考えられる。

## 5. まとめ

シャフト型自然換気建物について、自然換気開口面積率を  $0.06\% \sim 0.5\%$  で変えたモデルを設定し、換気回路網計算を行い、本ツールとの比較を行った。今回の開口面積率では本ツールと換気回路網計算結果は、月毎に差は見られるものの年間合計では概ね近い値となった。

今後は、軒高 (階数) や自然換気口の方位を変えたケースについても検討し、本ツールの自然換気計算使用時に有効な知見を整理したいと思う。

### 【参考文献】

- 1) 郡他: 自然換気併用外気制御システムをもつ空調室の熱負荷計算法に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第 82 巻、第 732 号、175-181、2017. 2
- 2) 郡他: 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 132) 自然換気制御の計算法、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp. 9-12、2014. 9
- 3) 郡他: 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 158) 解法に応じた自然換気制御の想定法、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp. 21-24、2015. 9
- 4) 相賀他: NewHASP を核としたメタシミュレーション技術に関する研究 (第 2 報) 換気メタシミュレーションモデル、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp. 105-108、2016. 9
- 5) 日本建築学会: 実務者のための自然換気設計ハンドブック、pp. 88-91、(2013. 8)
- 6) 宇高他: 自然換気建物における開口部面積と換気性能の実態に関する調査研究 (その 2) 各開口部面積の分析及び換気回路網計算との比較、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp. 205-208、2016. 9
- 7) 土屋他: 煙突効果による隙間風の実測と換気回路網計算の比較 (その 2) 換気回路網計算と実測の比較、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 679-680、2013. 8

### 【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: 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)、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)、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、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)、事務局: 生稲清久、石田真理 (建築環境・省エネルギー機構)