

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

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 132)

A Simulation Method of Control of Natural Ventilation

技術フェロー ○郡 公子（宇都宮大学） 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 長井 達夫（東京理科大学） 特別会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）

Kimiko KOHRI*¹ Hisaya ISHINO *² Tatsuo NAGAI*³ Shuzo MURAKAMI *⁴

*¹ Utsunomiya University *² Tokyo Metropolitan University *³ Tokyo University of Science

*⁴ Institute for Building Environment and Energy Conservation

The simplified techniques for simulations of thermal load and environment in naturally ventilated spaces were presented. These techniques enable to evaluate the effects of the hybrid system with mechanical cooling and natural ventilation. The simulation results in cases of office spaces as well as a residential house with natural ventilation were shown and the usefulness of the simulation tool was confirmed for evaluating the energy saving effects of natural ventilation.

1. 序

オフィスビルは、発熱密度が高くなり冷房の必要な期間が長くなったことから、自然換気は、省エネルギー化のためにまず検討される手法の1つとあってよい。しかし、自然換気による熱負荷低減効果を推定するには、建物全体の熱・換気平衡計算を行うことが原則となり、そのための計算ツールはあるものの手軽に計算できるとはいえない。また種々の開口や隙間の通気性能データが十分ではないことも問題である。

BEST では、風量収支や熱・換気平衡の計算を行わず、中世帯位置を仮定する方法により、簡単な入力条件に基づく自然換気計算機能を追加し、まず建築単独計算（熱負荷計算）において、自然換気の省エネルギー効果や自然換気時の熱環境を評価できるようにした。種々の自然換気許可条件を選択・考慮できるように配慮し、ハイブリッド空調の効果も試算可能とした。

本報では、自然換気の制御条件や計算上の取り扱いを述べ、オフィスビルでの試算例を示すとともに、住宅へ適用例も示した。

2. 自然換気許可条件と換気状態の決定法

表1に、自然換気制御法をまとめた。自然換気可能時間帯は、期間スケジュールや時刻スケジュールにより指定する。自然換気許可の必須条件として、空調機で加熱処理をしていない、室温が外気温より高いという項目があり、選択できる条件には、下限外気温、上限相対湿度、上限屋外風速、下限室温、内外エンタルピチェック、ハイブリッド空調許可がある。自然換気を許可する下限室温は、空調時間帯と非空調時間帯で異なる値を使い分けられるように、時刻変動設定もできるようにした。

換気口の開閉は、5分間隔程度の計算時間間隔である建築・設備連成計算の場合は、換気許可条件を満たせば開口率100%、満たさなければ0%という単純な仮定で十

分性な可能性があるが、建築単独計算の場合は1時間間隔程度の計算を想定する必要があるため、開口率調整を行う計算を導入することにした。すなわち、100%の開口率で自然換気を行うと、室温下限値を下回る場合、室温を下限値に近くするよう開口率を調整するものとする。計算上の開口率は、実際の運転での換気口の開放時間率と同等と考える。冷房中の自然換気を許可するハイブリッド空調に対しては、例えば、冷房設定室温は28℃だが、自然換気による室温低下は24℃まで許可するという計算が可能である。

図1は、建築単独計算の場合の換気状態の決定手順を示したものである。必要に応じて多数ゾーンの熱平衡計算を何回か繰り返して、各ゾーンの換気口の開口率を決定する。まず、全ゾーン非換気と想定した多数ゾーン計算を行い、その結果をもとに第1段階の自然換気許可判定を行う。次に、自然換気を許可されたゾーンについては開口率100%と想定し、改めて多数ゾーン計算を行う。その結果、室温が下限値を下回ったり加熱要求となるゾーンがある場合、開口率調整を行うものとして室温をほぼ下限値にする開口率を計算する。全ゾーンの開口率が決定したら、必要に応じて温度・熱負荷の最終状態を決める多数ゾーン熱平衡計算を改めて行う。

BEST に自然換気計算機能を付加するにあたり、専用のファイル出力も可能とし、各ゾーンの換気量や自然換気による冷却熱量、換気状態も得られるようにした。換気状態とは、表2に示す換気の許可・不許可の識別指標のことである。なお、本報で示した自然換気計算機能は、現在、建築単独計算の場合にのみ利用可能である。プログラムの構造上の課題が解決されれば、建築・設備連成計算においても、利用可能である。

3. 自然換気量の計算法

表1 自然換気制御表
(建築単独計算)

●自然換気許可条件

(必須条件)

- 1) 自然換気時間帯
- 2) 空調機で加熱していない
- 3) 室温*が外気温より高い

(選択条件)

- 1) 外気温が下限値以上
- 2) 外気相対湿度が上限値以下
- 3) 屋外風速が上限値以下
- 4) 室温が下限値以上
- 5) 室内エンタルピ*が外気より高い
- 6) 冷却中も換気可(ハイブリッド空調)

*室内状態値は非換気を想定したときの値を使用して判定

●換気口の開口率調整

開口率 100%とすると室温が下限値を下回る場合は、開口率調節により室温を下限値に保つものとする(開口率は、実際の運転での換気口の開放時間率に相当すると考える)。また、室温下限値は、ハイブリッド空調時の冷房設定室温より低く設定できる。

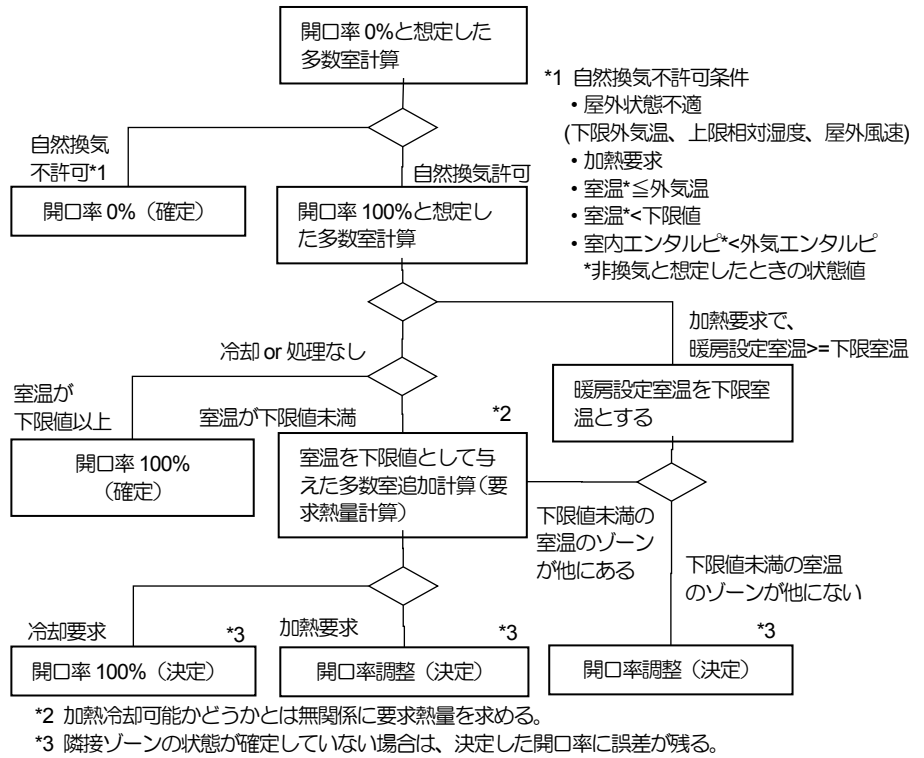


図1 建築単独計算での各ゾーンの換気状態(開口率)の決定手順

表2 換気状態の識別指標

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1: 換気、0以下: 非換気 | |
| 0: スケジュール上非換気 | -5: 室温 ≤ 外気温 |
| -1: 外気温 < 下限外気温 | -6: 室内エンタルピ ≤ 外気エンタルピ |
| -2: 外気相対湿度 > 上限相対湿度 | -7: 加熱中 |
| -3: 屋外風速 > 上限風速 | -8: 冷却中 |
| -4: 非換気時室温 < 下限室温 | |

表3 有効開口面積法の換気量計算法

換気口の方位角と有効開口面積を与えて計算する。計算上の主な仮定は以下の通り。

- ・無風時の中性帯高さを仮定する(建物高さの2/3の高さ)。
- ・各ゾーンの中央高さ(天井高の1/2)を差圧計算の代表点とする。
- ・差圧計算に用いる建物内空気温度は計算対象ゾーンの室温で代表させ、前時間ステップの値を使用する(建築単独計算)。
- ・風圧による室内圧変動は、風上側・風下側の風圧の平均とする。

表4 オフィスの主な計算条件

気象	EA標準年気象データ(東京)
自然換気	(自然換気許可条件) ・下限外気温: 15°C、上限外気相対湿度: 90%、 上限屋外風速: 10m/sec ・下限室温: 空調時間帯24°C・それ以外22°C ・内外エンタルピ差チェック: あり ・空調機冷却処理中の自然換気: 許可 (自然換気スケジュール) 換気期間: 4-11月、換気時間: 24時間 (建物) 8階建て(軒高32m)、計算対象室2階(換気口) 単位外皮長さあたり有効開口面積0.005m ² /m
ゾーン	・室: 中間階ペリメータ・インテリア2ゾーン断面(室奥行き15m、ペリメータ奥行き5m、階高4m) ・窓: Low-E複層ガラス・内側明色ブラインド、 窓面積率70% ・内部発熱(最大): 照明15W/m ² 、機器15W/m ² 、 在室者0.15人/m ²
空調	・空調時間8:00-20:00(室使用9:00-20:00) ・冷房設定室温(6-9月): 28°C ・外気導入: 3.75CMH/m ² ・空調機熱処理(6-9月): 冷却除湿
その他	・全体の計算法: 建築単独計算(インプリシット法) ・計算時間間隔: 空調時間帯は主に30分、非空調時間帯は主に60分、空調開始、停止直後は5分間隔

自然換気風量の計算法は、有効開口面積法と換気回数法のいずれかを選択できる。有効開口面積法では、表3に示すように、換気口の方位角と有効開口面積を与え、無風時の中性帯位置を仮定することにより、計算対象ゾーンの情報のみを使用して自然換気量を計算する。自然換気時のゾーンの風量収支は無視し、隣接ゾーン間の空気移動は、非換気時と同様に、別に指定するゾーン間換気量で決まるものとする。

4. 自然換気の計算例

自然換気制御の効果を確認するため、東京の8階建てビルの2階のペリメータ・インテリア2ゾーン断面オフィスを想定して試算を行った。計算条件を表4に示す。自然換気許可条件を満たせば24時間換気も可能なハイブリッド空調、ナイトパーズを行う。ペリメータゾーンの6月の状態値変動を図2に示す。比較のため、非換気の場合や外部風の影響を無視した自然換気の場合の結果も示した。6月の自然換気による外気侵入時間は80%、そのときの自然換気量は3~4回/hが多かった。休日や夜間の自然換気による室温低下は1~3K、自然換気により

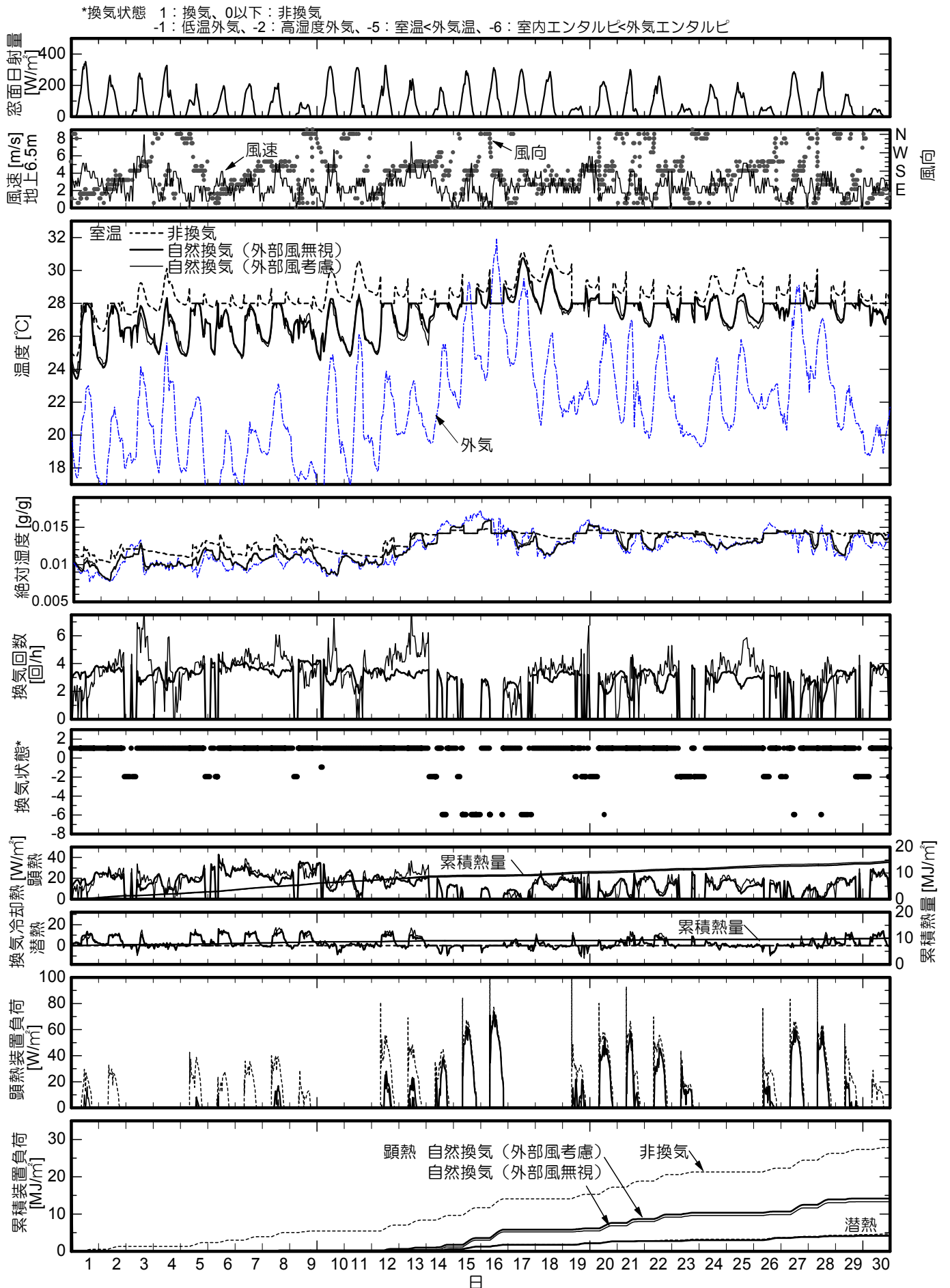


図2 オフィス基準階ペリメータゾーンの自然換気による状態値変動 (6月・南方位)

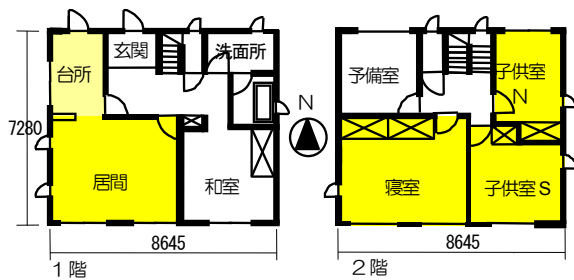


図3 戸建て住宅平面図(東京)

表5 戸建て住宅の主な計算条件

気象	EA標準年気象データ(東京)
自然換気	(自然換気許可条件) ・下限外気温: 15°C、上限外気相対湿度: 90%、 上限屋外風速: 10m/sec ・下限室温: 25°C、内外エンタルピチェック: なし ・空調機冷却処理中の自然換気: 不許可 (自然換気スケジュール) 換気期間: 5-10月、換気時間: 24時間 (換気口の方位と有効開口面積) 居間: S0.1㎡、W0.05㎡、台所: W0.05㎡、 和室: S0.1㎡、寝室: S0.1㎡、W0.05㎡、 子供室S、N: SあるいはN0.05㎡、E0.05㎡、 予備室: N0.05㎡
建物	・構造: RC造、外壁断熱: 35mm、窓: 透明ペア ・家族: 4人
空調	・冷房室温: 27°C ・冷房時間: 居間6-9時、12-14時、16-22時、 寝室: 21-23時、子供室: 20-23時 ・外気導入: 1回/h(冷房時間帯のみ)
その他	・全体の計算法: 建築単独計算(インプリシット法) ・計算時間間隔: 空調時間帯は主に30分、非空調時間帯は主に60分、空調開始、停止直後は5分間隔

6月の顕熱装置負荷は半分程度に低減された。外部風の影響を無視しても室温、装置負荷の差はそれほどなかった。

戸建て住宅において最大限自然換気を利用する場合の効果を確認するため、図3、表5の条件を想定して試算を行った。自然換気だけで室温を冷房設定値まで下げられない場合、自然換気は併用せずに冷房するものとした。9月の南風が吹いた日を含む3日間を代表日として状態値変動を図3に示す。1階居間の換気回数は、外部風の影響を無視すると6~8回/h、外部風の影響を考慮すると6~20回/hとなり、顕熱装置負荷は3割前後減少した。2階子供室Nは、風力換気のみが有効で、6~8回/hとなることが多い。風の影響を無視した場合、1階の自然換気の効果により2階室温も1K程度低下することが分かる。

5. 結

中性帯位置を仮定する簡易な自然換気計算法とするものの、種々の自然換気許可条件を考慮できる計算法を示した。今後は、計算上の固定条件や入力条件の影響を検討し、設定法の改良などを行う予定である。

【謝辞】

本報の一部の研究は科研費補助金 24560709 による。また、(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

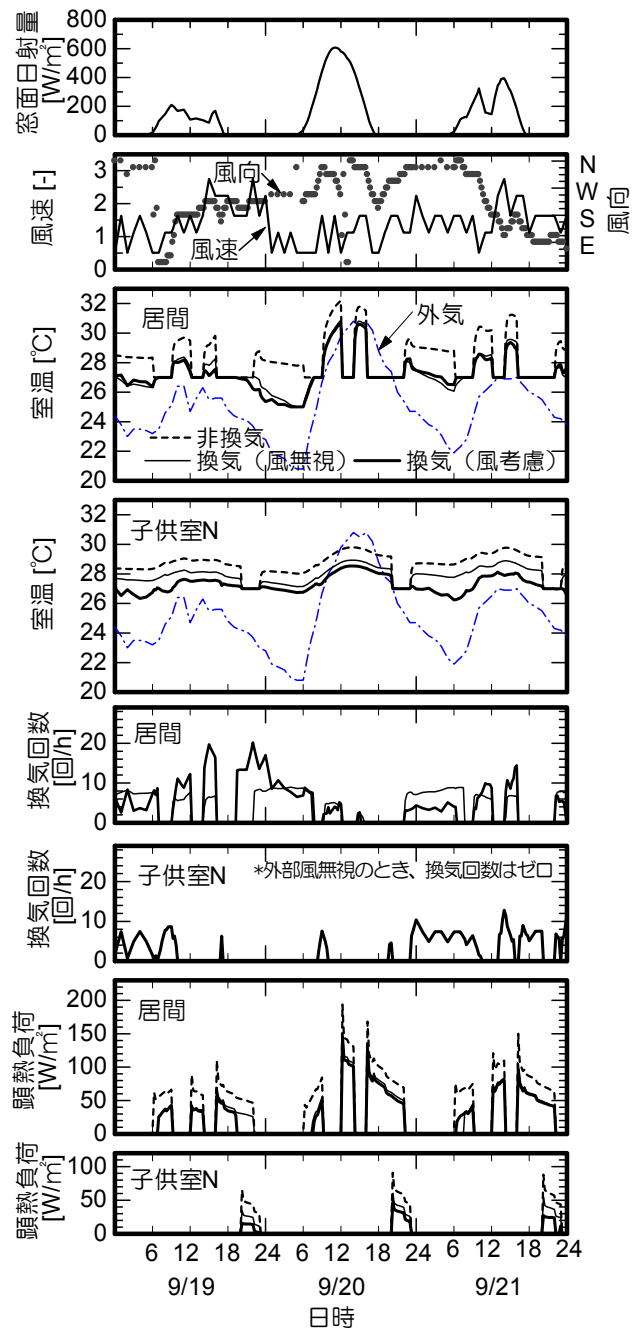


図3 戸建て住宅代表室の自然換気による状態値変動

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)、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)、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)

【文献】

- 1) 郡・石野・長井・村上: 建築総合エネルギーシミュレーションツール BEST のための建築シミュレーション法に関する研究、空調調和・衛生工学会論文集、No.162、pp.9-15、2010.9、
- 2) 郡・石野・長井・村上: 建築総合エネルギーシミュレーションツール BEST における設計用最大熱負荷計算法に関する研究、空調調和・衛生工学会論文集、No.164、pp.19-26、2010.11