

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 226) 自然換気・ハイブリッド換気時のゼロエネルギーバンド設定値に関する検討  
**Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST  
 (Part 226) Study on zero energy band setting in hybrid ventilation and natural ventilation**

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

\*<sup>1</sup> Tokyo Polytechnic University. \*<sup>2</sup> Institute for Building Environment and Energy Conservation

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

In natural ventilation, zero energy band setting that does not perform air conditioning at the time of natural ventilation becomes important. Therefore, in this paper, we first conduct thermal environment measurement survey and questionnaire survey at natural ventilation in the environment-friendly office building, and confirm the allowable room temperature range at natural ventilation. Next, simulation of zero energy band setting is performed using the BEST program.

## はじめに

自然換気による省エネルギーを最大化するためには、自然換気のみで室内環境を維持することで空調を停止する時間数を確保することが重要となる。しかし、換気量が変動する自然換気によって室温を一定に保つことは困難であり、自然換気のみで空調を行わない室温域の設定(ゼロエネルギーバンド設定)が必要となる。ゼロエネルギーバンド設定の幅は省エネの観点からは極力大きくすることが求められるが、居住者の快適性観点から限界がある。既往研究において、自然換気時には機械空調時に比べ許容室温の幅が拡大する Adaptive model が提案されている。Adaptive model は自然換気の研究において用いられることも多いが、この適用については、暖房は許可されているが冷房用の空調設備が設置されていないことを条件としている。よって、冷房用の空調設備導入が前提となる現代のオフィスビル等において単純に Adaptive model を適用することはできない。しかしながら、冷房用設備が設置されている部屋に対しても、自然換気時の許容室温域がある程度拡大することは予想されるため、その許容室温域について検討が必要と考える。

以上の背景を踏まえ、本報ではまず某環境配慮庁舎の専用部において自然換気時の温熱環境実測調査とアンケート調査を行い、自然換気時の許容室温域について確認する。次に、BEST 専門版を用いてゼロエネルギーバンド設定の感度解析を行う。評価指標は自然換気時間数・自然換気による処理負荷・自然換気時の平均室温を用いた。

## 1. 自然換気時の熱的快適性に関する実測調査

### 1.1 実測概要

某環境配慮型庁舎において、自然換気・ハイブリッド換気時の室内温熱環境の実測とアンケート調査を行った。実測は対象建物の 10F と 11F で行い、11F は自然換気とハイブリッド換気を適切に組み合わせ、外気温の低い午前中は自然換気窓の開放のみ、午後からはハイブリッド換気によって環境を制御した。10F は機械空調のみで制御することを前提とし、自然換気窓の開放は居住者の判断によるものとした。図 1 に測定対象である 11F 平面図と温湿度の測定点を示す。各点の温湿度を比較した結果、中央の 1 点を平均値として分析を行った。また、今回の実測で用いたハイブリッド換気の設定を図 2 に示す。庁舎であるため中間期は極力熱源を停止する運用を行っており、実測日は熱源を稼働していない状態であったが、冷温水コイルのバルブを閉鎖し、確実に冷温水が流れない状態とした。その上で、各フロアに 1 台設置されている外調機と空調機の外気冷房制御を有効とし、CO<sub>2</sub> 濃度制御は設定値を下げることで無効になるように設定した。これらの設定により、外調機は 6,000m<sup>3</sup>/h の最大風量で運転され、空調機は最小風量である 4,800m<sup>3</sup>/h の外気送風運転とした。実測日は 2019 年 5 月 15 日(水)であり、晴天で降雨なしの状態であった。外気温湿度の変化を図 3 に示す。執務が開始される 8 時の外気温は 18.8℃、最高気温は 12 時から 13 時の 22.1℃であった。

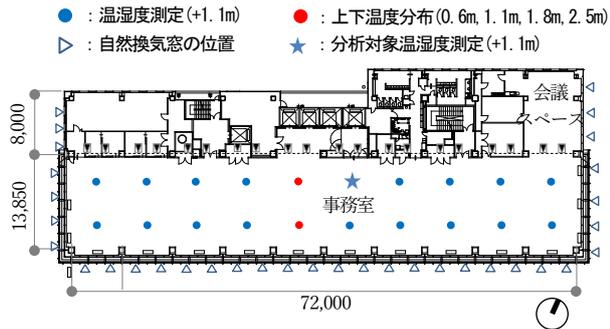


図1 実測項目と実測点 (11F 平面図)

## 1.2 実測結果

実測期間中の10F 室中央部の室内温湿度を図4に、11F 室中央部の室内温湿度を図5に示す。10F は自然換気窓を行わず、空調運転で環境制御しているが、この日は熱源が稼働していないために冷水コイルは機能していない。その結果、空調機での外気冷房運転では空調熱負荷の処理が十分ではなく、室内温度が高めに推移している。午前中は25.5°C~26.5°C、午後は26.3°C~27.1°Cであった。10F についても手動での自然換気窓の開放は禁止していないが、一部の開放に留まり、積極的に全面開放されることはなかった。対して11F は、9時の段階で東西面の自然換気口各4ヶ所と南面の10ヶ所を全面開放し、機械空調は停止した状態で運用した。その結果、18°C前後の冷涼な外気の導入により、午前中の室温は24.1~25.9°Cで推移していた。外気温が上昇する午後は、ハイブリッド換気へと切り替えて運用を行った。その結果、午後の室温は実測を終了する17時までの間に25.3~25.7°Cで推移した。

室内湿度に関しては、換気による外気の絶対湿度の影響もあり、10F・11Fとも40~50%RHの適切な湿度環境であった。10Fと11Fを比較すると、10Fは午前中より積極的に空調機で外気冷房を行っていたが、11Fと比較して室温が高くなったと評価される。午後は10Fと11Fで1.3°C程度の差が見られ、10Fの室内温度が高めであったことが確認できる。

## 1.3 アンケート調査結果

執務者の快適性アンケート結果を各階、午前午後で分けて分析したものを図6~9に示す。グラフ内の数字は回答数であり、外出等により回答者数は変動するが10・11Fともおよそ100名からの回答を得た。図6は温熱感について質問しており、10Fは1日を通してやや暖かい・暖かい・暑い側の申告が50%を越え、11Fは午前が35%、午後が44%であった。10F・11Fとも寒いという申告はなかった。図7では快適性について質問しており、10Fでは午前41%、午後49%が不快、やや不快と申告した。また、11Fでは午前22%、午後32%が不快、やや不快と申告した。10Fの午前中では快適、やや快適と申告する割合

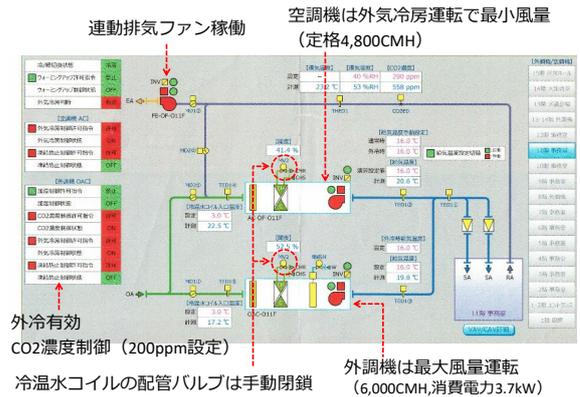


図2 実測日のハイブリッド空調概要

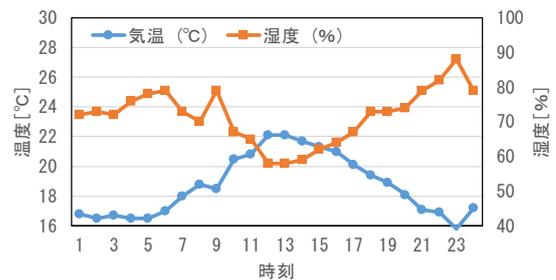


図3 実測日 (2019年5月15日) の外気条件

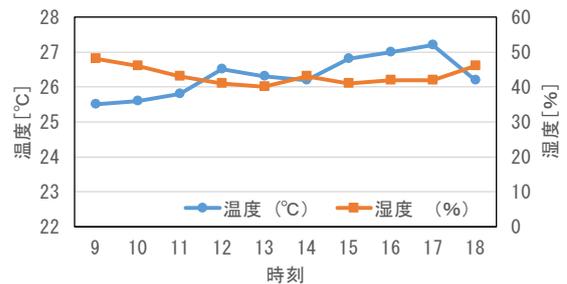


図4 10F 執務室中央部の室内温湿度

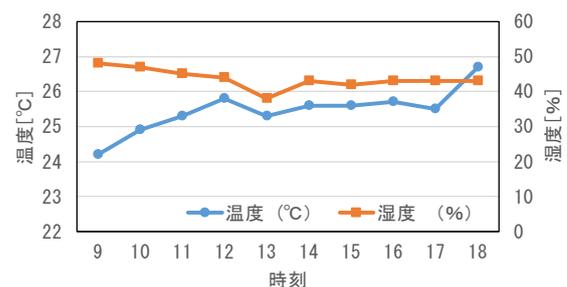


図5 11F 執務室中央部の室内温湿度

Q2. 本日の暖かさや寒さについて、どのように感じましたか?

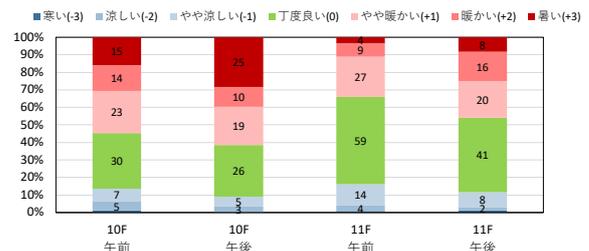


図6 アンケート結果①

が33%程度見られた。

更に、快適性の要因について質問した結果を図8に示す。室温が原因であるとする割合が多いが、11Fに関しては湿度や気流の要因も多く挙げられている。室内の温熱環境の許容について質問した結果を図9に示す。11Fの午前については、不快側の申告が22%に対して、受け入れられない・やや受け入れられないと答えた割合は11%であった。午後については18%まで上昇した。10Fについては、受け入れられない・やや受け入れられないと答えた割合は午前28%、午後33%であった。

以上の実測調査とアンケート調査により、積極的に自然換気を行っている状態においては、室温24~26℃の変動は執務者の許容率が80%であり、26~27℃では許容率が70%に低下することが明らかになった。

## 2. BEST 専門版による検討

### 2.1 ゼロエネルギーバンド設定の感度分析

実測調査とアンケート調査によって、室温24~26℃の変動は80%が許容されることは確認されたが、ゼロエネルギーバンド設定は室温上限を上げるほど省エネに繋がると考えられる。そこで、ゼロエネルギーバンドの設定値の変化が自然換気のパフォーマンスに与える影響についてBEST 専門版を用いてシミュレーションを行った。

### 2.2 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10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、解析対象室は南側執務室とした。本検討では、BEST 専門版の自然換気計算法のうち換気回数法を用いて、自然換気有効時に一定の換気量が確保できるものとして計算を行っている。

### 2.3 室温設定と自然換気の効果

図11~15にゼロエネルギーバンド設定（自然換気時に空調を禁止する下限室温と上限室温）と自然換気回数を変化させた場合の自然換気時間数、自然換気による処理負荷、自然換気時の平均室温の結果を示す。分析は平日の空調時間帯（9:00~22:00）のデータを対象に行った。グラフのケース名はゼロエネルギーバンド設定値を示している。換気回数を増加させることによって、自然換気時間数と処理負荷は増加していくが、1回/h換気と2回/h換気の差が特に大きい。平均室温にも違いがあり、換気回数が少ない場合は平均室温も上限室温に近くなる。換気回数5回/hになると上限室温より1℃程度低い平均室温となっている。つまり、換気回数が少ない場合は自然換気時間数も処理負荷も少ない上に平均室温も高めとなるため、換気回数の確保が重要であることが分かる。

Q3. 室内空気環境に関する快適性はいかがでしたか？

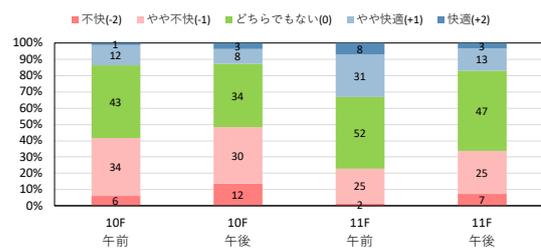


図7 アンケート結果②

Q4. Q3. のように感じた原因は何だと思いますか？ (複数回答可)

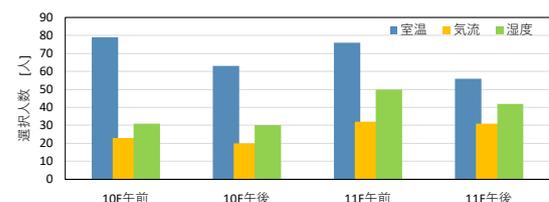


図8 アンケート結果③

Q5. 執務環境として、本日の室内環境は受け入れられますか？

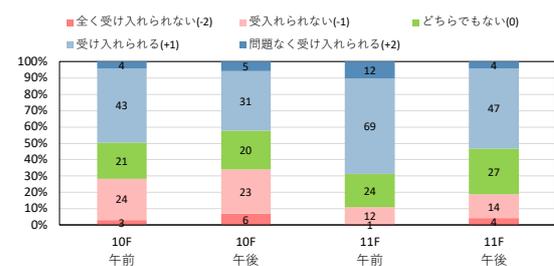


図9 アンケート結果④

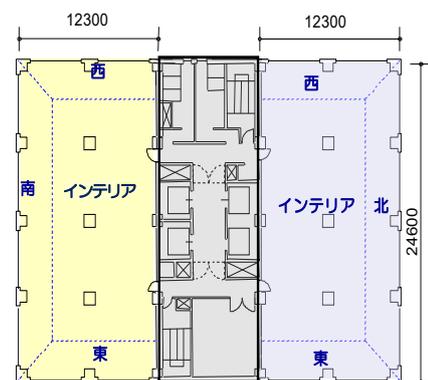


図10 モデル平面図

表1 基準モデル概要

地域	東京 2010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㎡, 外壁面積64㎡, 窓面積132.8㎡
外皮性能	外壁熱貫流率1.0W/㎡K, ガラス熱貫流率4.09W/㎡K, 日射熱取得率0.41
負荷/人員密度	照明10W/㎡, 内部発熱15W/㎡, 人員密度0.15人/㎡
その他	隙間風0.2回/h, 最小外気取入れ3.75CMH/㎡ (隙間風と合計で1.2L/人sと設定)

同じ換気回数の場合、上限温度を27℃から25℃に下げることによって、時間数・処理負荷は半減するが、平均室温は25℃付近から24℃付近に低下し、温熱環境は改善されることが考えられる。上限温度を24℃以下にした場合は、自然換気時間数がほとんど確保できないという結果となった。

換気回数3回/hで比較すると、ゼロエネルギーバンド設定が22~27℃の場合に比べ、実測とアンケート調査により導かれたゼロエネルギーバンド設定24~26℃では、自然換気時間数・処理負荷とも28%減少している。

しかし、ゼロエネルギーバンド設定24~26℃であっても5回/h換気を確保できれば同等以上の自然換気時間数と処理負荷を確保でき、平均室温も0.8℃程度低下する。以上の結果より、快適性を考慮する場合はゼロエネルギーバンド設定が24~26℃とすることが望ましいが、自然換気の効果を確保するためには、換気回数の確保が必要であり、自然換気時の設計により換気口面積を確保することに加え、実測時に行ったハイブリッド換気などを活用することが必要である。

### 3. まとめ

自然換気のみで室内環境を制御する場合、空調機を停止させる条件であるゼロエネルギーバンド設定（室温の上下限値）について検討を行い、以下の知見を得た。

- ・某環境配慮庁舎の執務フロアにおいて行った実測調査とアンケート調査により、積極的に自然換気を行っている状態においては、室温24~26℃の変動は執務者の許容率が80%であり、26~27℃では許容率が70%に低下することが明らかになった。
- ・ゼロエネルギーバンドの設定値の変化が自然換気のパフォーマンスに与える影響についてBEST 専門版を用いて感度解析を行った
- ・換気回数3回/hでゼロエネルギーバンド設定が22~27℃の場合と換気回数5回/hでゼロエネルギーバンド設定24~26℃では、同等以上の自然換気時間数と処理負荷を確保でき、平均室温も0.8℃程度低下する結果となった。

【謝辞1】本報のシミュレーション検討部分は、(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 企画開発委員会(村上周三委員長)」、「BEST プログラム開発委員会(石野久彌主査)」、「建築WG(郡公子主査)」、「BEST 非住宅版開発委員会(石野久彌委員長)」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。

【謝辞2】本報の実測調査については科研費19K21099「空調システムの併用を前提とした自然換気と機械空調の統合的省エネ制御手法の開発」の助成を受けて行われた。

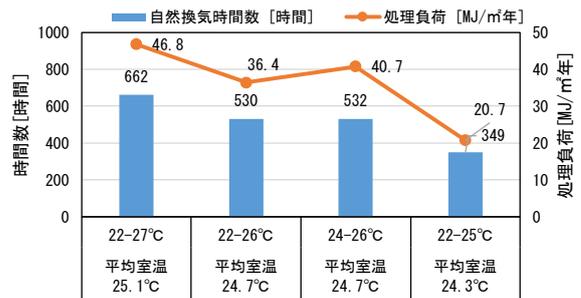


図 11 室温設定と自然換気の効果 (5回/h換気)

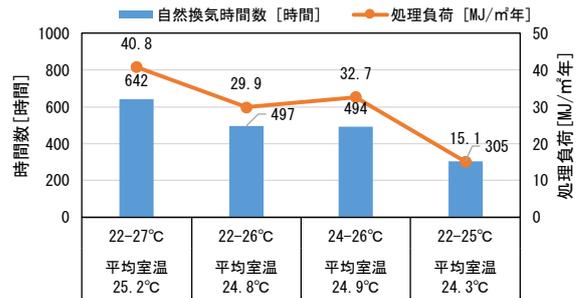


図 12 室温設定と自然換気の効果 (4回/h換気)

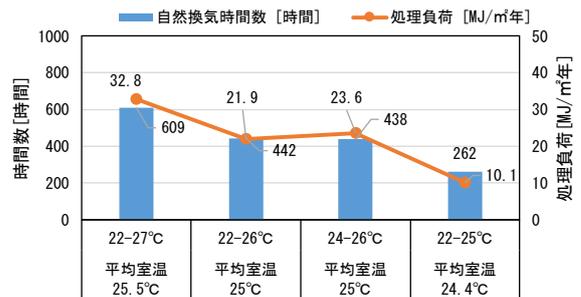


図 13 室温設定と自然換気の効果 (3回/h換気)

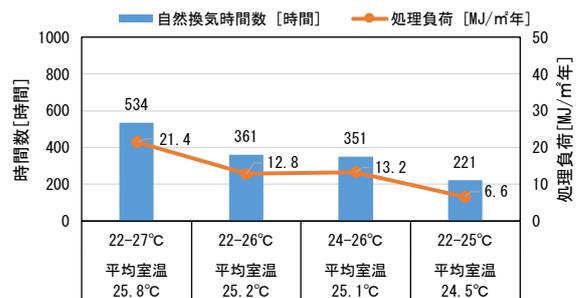


図 14 室温設定と自然換気の効果 (2回/h換気)

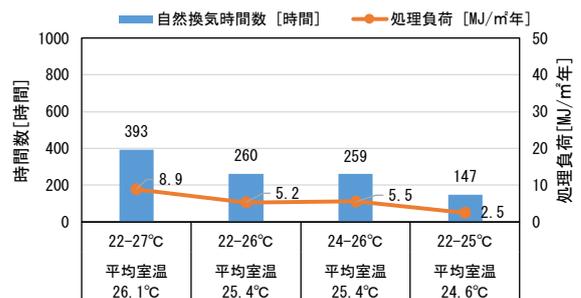


図 15 室温設定と自然換気の効果 (1回/h換気)