

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198) 自然換気併用ハイブリッド空調の省エネルギー効果に関する検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST

(Part 198) Study on Energy Saving Effect of Hybrid Ventilation system

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

\*<sup>1</sup> Nihon Sekkei, Inc. \*<sup>2</sup> Institute for Building Environment and Energy Conservation

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

The simulation analysis of natural and hybrid ventilation systems was conducted using the BEST program. The reduction rate of the cooling load and energy consumption by natural ventilation were calculated, and the results showed that there was a significant difference between these. The main reason for this difference appears to be the low efficiency of the air conditioning system at partial cooling heat load. Therefore, it was found that it is effective to use an air conditioning system with a higher partial load efficiency, or to make the control stop the air conditioning system during natural ventilation.

はじめに

自然換気併用空調システムは国内でも多くの事例が見られるが、自然換気の実態調査<sup>1)</sup>により様々な運用阻害要因が存在することが確認されている。運用実態調査では、VAV センサーの不具合やエアバランスの問題など、自然換気の導入が空調設備システムの不具合に繋がる事例が確認された。これらの問題を解決し、持続的活用性を向上させるためには自然換気の併用が空調システムに与える影響を明確にする必要がある。また、自然換気を併用した場合の省エネルギー効果に疑問があるとの管理者からの意見も見られた。自然換気と機械空調を完全に切り替えて運用することが可能な場合は、確実な省エネルギーとなるが自然換気時の快適性や換気量の確保などが課題となる。一方、自然換気と機械空調を同時に行い、不安定な自然換気駆動力を最低限の空調消費エネルギーで補助するような工夫がある。これはハイブリッド換気と呼ばれ、多くの研究や建物への導入がなされている。

自然換気やハイブリッド換気による省エネルギー効果に関する既往研究として、三坂ら<sup>2)</sup>は、自然換気・ナイトパージシステムを導入した事務所ビルにおいて、効果の試算と実測値との比較を行った。中間期の代表日における負荷削減効果を約 65% (自然換気 26.8%・ナイトパージ 37.7%) と試算したのに対し、実際には自然換気で月別に 4~23%、年間では 5% の負荷削減効果、ナイトパージでは年間負荷の 37% の削減効果であることを BEMS データにより確認した。また、水出ら<sup>3)</sup>は、実測と年間熱負

荷シミュレーションにより自然換気モードで 6%、自然換気+シーリングファンモードで 14%、合計 20% の冷房負荷削減効果と試算している。さらに、三浦ら<sup>4)</sup>は超高層オフィスビルに導入された自然換気併用空調システムに対して実測調査と熱換気回路網によるシミュレーション解析を行った。実測調査により自然換気実行時間は 97.1 日であることを確認し、自然換気が適切に運用されていることを確認した。更にシミュレーション解析により外気温度下限値 15°C での冷房負荷削減効果は 21% であり、外気温度下限値を 12°C に変更することにより 24% に上昇することを示した。ただし、自然換気により室が過剰に冷却されるため暖房処理熱量が増加していることが確認された。省エネルギー効果について、以上のような既往研究が存在するが、自然換気の省エネルギー効果と空調システムの関係について一般化された研究は少なく、設計のための知見が不足していると言える。自然換気の効果は冷房負荷削減効果によっても評価できるが、同一の自然換気システムを導入していたとしても空調 1 次エネルギー消費量としては空調システムの特性によって、その効果が大きく変化する可能性がある。

以上の背景より、本報では、省エネルギー効果と快適性を実現させるために導入された自然換気併用空調システムの省エネルギー特性を明らかにすることを目的とし、建築物総合シミュレーションツール BEST 専門版の連成計算機能を用いて省エネルギー効果を評価する。

## 1. 検討モデル

### 1.1 モデルビル概要

図1に検討モデル平面図、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の2ゾーンモデルとした。ペリメータ空調機の対象は外皮負荷とペリメータ部分の内部発熱とし、奥行き2mをペリメータ範囲として設定した。軒高は30mであり、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している。解析対象室は1階の南側執務室とした。また、ペリメータに自然換気口を経由して外気を導入し、ゾーン間換気によりインテリアにも外気冷房効果を反映する設定としている。このような設定により、インテリアは自然換気と空調を同時に行うような自然換気併用ハイブリット空調として計算を行った。

### 1.2 空調システム概要

空調システム概念図を図2に示す。熱源は空冷ヒートポンプチラーとし、2次ポンプはインバータ制御とした。熱源システムは4管式対応で熱源・2次ポンプは2台設けている。2次側はインテリア、ペリメータそれぞれに専用の空調機を設定し、インテリアに外気を導入している。最低外気量は630CMH (2CMH/m<sup>2</sup>)としており、空調機の給気風量は温度差10°Cとしてピーク冷房負荷より算出した。インテリア給気風量の下限值は外気量630CMHとした。また、ペリメータ給気風量の下限值はVAV制御下限を15%と仮定し、1,000CMHとした。ペリメータ空調機は4管式、インテリア空調機は2管式としている。

## 2. 検討結果

### 2.1 自然換気時間数と平均換気回数

月別の自然換気時間数と平均換気回数を図3に示す。給気口有効開口面積は40cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>とし、自然換気有効判断は外気露点温度19°C以下、外気温15°C以上26°C以下、相対湿度95%RH以下とした。自然換気の利用時間数は4~6月、10月に多い結果であり、昼間の月別時間数は153~229時間/月であった。室全体の平均換気回数は2.7~4.0回/hであった。

### 2.2 自然換気による冷房負荷削減効果

表3に検討ケース概要を示す。給気口有効開口面積及び自然換気許可条件の外気下限温度をパラメータとしてケーススタディを行った。評価期間は暖房負荷が発生しなかった4月~11月としている。図4に各ケースの自然換気による冷房負荷削減効果を示す。基準ケース「自然換気」では空調時に対して23.4%の冷房負荷削減効果となった。

給気口有効開口面積としての開口部の面積を2倍にしたケースの冷房負荷削減率は25.7%であり、基準ケースと大きな差は見られなかったが、開口部の面積を半分に

表1 モデル建物概要

	設定
地域	標準年 EA気象データ 東京
天井高	3.2m
床面積	インテリア 212.2 m <sup>2</sup> ペリメータ 90.4 m <sup>2</sup>
ゾーン間換気	125m <sup>3</sup> /h・m
室温設定	中間期 24°C
ピーク冷房負荷	インテリア 66W/m <sup>2</sup> ペリメータ 243W/m <sup>2</sup>
負荷/人員密度	照明7.5W/m <sup>2</sup> 、内部発熱12W/m <sup>2</sup> 、人員0.15人/m <sup>2</sup>

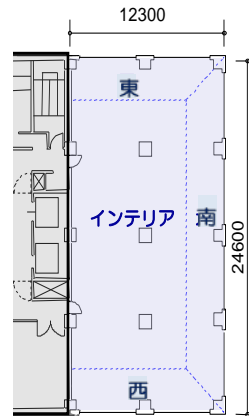


図1 モデル平面図

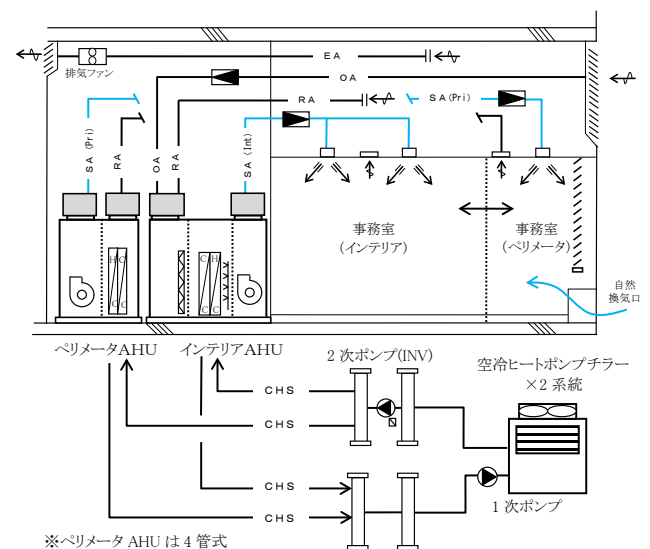


図2 空調システム概念図

表2 機器仕様

機器	仕様
熱源	空気熱源ヒートポンプ/スクロール/インバータ 冷却能力 55kW 加熱能力 55kW (冷水 7°C、温水 40°C)、消費電力 13.5kW 1次ポンプ/60L/min
2次ポンプ	流量 80L/min、渦巻きポンプ、揚程 200kPa 推定末端圧インバータ制御、高効率インバータ制御 (10~50Hz)、冷水温度 7°C、温水温度 45°C、往還温度差 10°C、配管圧力損失 0.4kPa/m
インテリア空調機	2管式VAV方式、冷却能力17kW、冷温水流量23L/min、外気量630m <sup>3</sup> /h、給気風量4,200m <sup>3</sup> /h (最小630m <sup>3</sup> /h)、機外静圧400Pa、還気風量3,600m <sup>3</sup> /h、機外静圧300Pa、プラグファン (標準)
ペリメータ空調機	4管式VAV方式、冷却能力59kW、冷温水流量32L/min、外気なし、給気風量6,400m <sup>3</sup> /h (最小1,000m <sup>3</sup> /h)、機外静圧400Pa、還気風量6,000m <sup>3</sup> /h、機外静圧300Pa、プラグファン (標準)
VAV	インテリア・ペリメータ系統毎に1台
排気ファン	風量630m <sup>3</sup> /h、機外静圧250Pa、シロッコ片吸込み

した場合は削減率の低下が大きかった。また、外気下限温度を15°Cから13°Cに下げた場合の削減率の差は2.1%の増加であり、18°Cに上げた場合は4.6%の低減と

なった。外気下限温度の変更は自然換気時間数と負荷削減効果の両方に関係するため影響が大きいと考えられる。以上の結果より、基準ケースの開口部の面積設定が最適に近いことを示し、基準ケース「自然換気」の設定条件の妥当性を確認した。また、パラメータを変化させた場合の自然換気による冷房負荷削減効果を示した。

### 2.3 空調 1 次エネルギー消費量削減効果

図 5 に 4~11 月の冷房を対象とした自然換気併用時の空調 1 次エネルギー消費量の検討結果を示す。空調設備のみで冷房を行った場合を基準とし、自然換気を併用した場合は 10.7~14.2%の省エネルギー効果であった。基準モデルにおける給気口有効開口面積  $40\text{cm}^2/\text{m}^2$  に対して給気口有効開口面積を変化させた場合は、面積が大きくなるに従って省エネルギー効果が向上する結果となった。外気下限温度の変更は、自然換気時間数と負荷削減効果の両方に影響を与えるため、1 次エネルギー削減量に対する影響も大きい。ただし、外気下限  $15^\circ\text{C}$  から  $13^\circ\text{C}$  に変更することによる削減率の変化は 0.8%であり、コールドドラフトのリスクを考慮するとメリットは小さいと言える。  $18^\circ\text{C}$  に変更することによる削減率の変化は 2.1%であり、安全側の設定値の変更による省エネルギー効果への影響としては大きいと言える。図 4 の冷房負荷削減効果と比較すると、同じケースであっても空調 1 次エネルギー消費量削減効果の削減率は 10%程度少ない結果となった。この原因としては、自然換気による低負荷の時間数が増加し、空調設備システムの部分負荷運転時間が増えることで効率が低下することが考えられる。

### 2.4 機器別の空調 1 次エネルギー消費量

基準である「空調」と「自然換気」の両ケースにおける設備別の空調 1 次エネルギー消費量を図 6 に、月別の消費量を図 7 に示す。熱源補機や水搬送の電力に大きな差はなく、自然換気併用空調は熱源と空気搬送に対する削減効果が高いことを確認した。しかし、冷房負荷の削減率が 23.4%に対して熱源の 1 次エネルギー消費量削減率は 13%であり、空調搬送は 14%であった。月別の効果については、冷房負荷の傾向と同様に外気温との関連が見られ、外気温の低い 4 月、5 月、10 月の削減効果が大きいことが確認された。

### 2.5 自然換気による冷房室負荷特性の変化

自然換気による冷房室負荷の変化を確認するため、外気温と時刻別の冷房室負荷の関係を分析した。図 8 に自然換気を行わないケースの冷房室負荷の散布図を示す。また、図 9 に自然換気併用時の冷房室負荷を示す。冷房室負荷には外気負荷は含まれていない。図 8,9 とも外気  $30^\circ\text{C}$  以上のピーク冷房室負荷は  $40\text{kW}$  前後であるのに対し、外気温  $15\sim 26^\circ\text{C}$  の中間期においては空調時が  $5\sim 20\text{kW}$ 、自然換気併用時が  $0\sim 10\text{kW}$  と差が見られる。

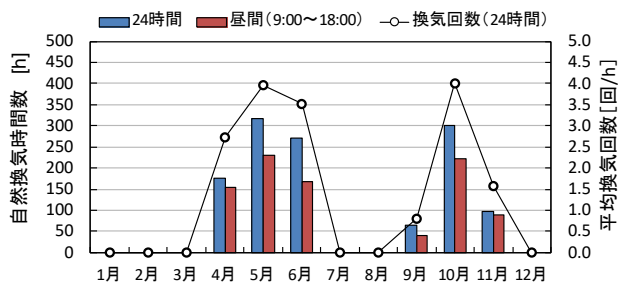


図 3 自然換気時間数と平均換気回数

表 3 検討ケース概要

ケース名	概要
空調	空調設備のみで冷房を行った場合
自然換気 (基準ケース)	自然換気併用、給気口有効開口面積: $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 $15^\circ\text{C}$
開口 2 倍	自然換気併用、給気口有効開口面積: $80\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 $15^\circ\text{C}$
開口半分	自然換気併用、給気口有効開口面積: $20\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 $15^\circ\text{C}$
下限 $18^\circ\text{C}$	自然換気併用、給気口有効開口面積: $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 $18^\circ\text{C}$
下限 $13^\circ\text{C}$	自然換気併用、給気口有効開口面積: $40\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、外気下限温度 $13^\circ\text{C}$

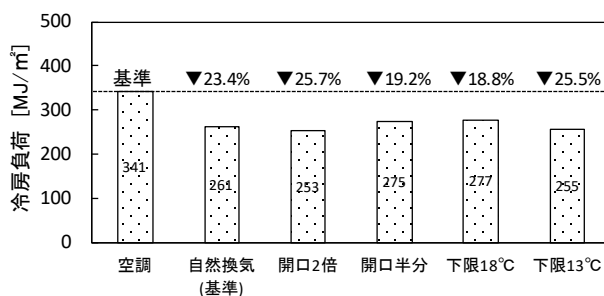


図 4 冷房負荷削減効果 (4 月~11 月)

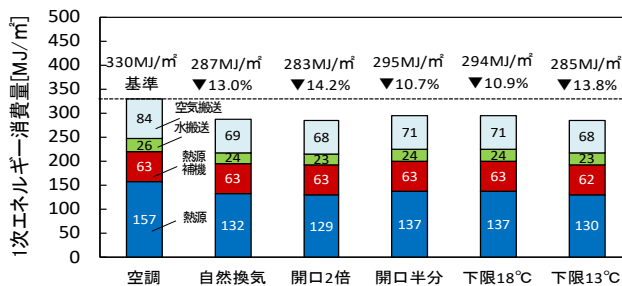


図 5 空調 1 次エネルギー消費量削減効果 (4 月~11 月)

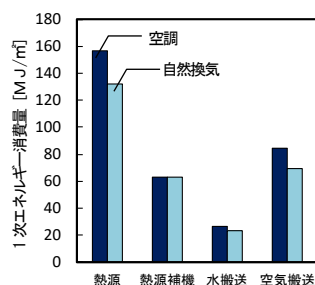


図 6 設備別の削減効果

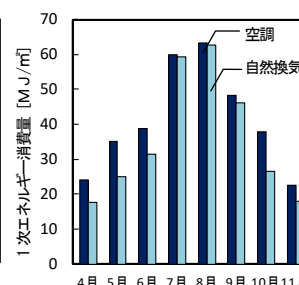


図 7 月別の削減効果



外気負荷も含めたピーク負荷で選定した熱源容量が55kWであるため、中間期における熱源の部分負荷率は空調時で部分負荷36%以下、自然換気併用時で18%以下となった。

### 3. 空調システム特性と自然換気の省エネ性能の関係

基準ケースに対して、空調システムの部分負荷特性を変化させた場合の影響を確認した。図10にVAV風量下限値を15%から30%に変更させた場合、図11に熱源容量をピーク負荷の2倍かつ25%以下の低負荷時の入力値を一定にした場合の結果を示す。VAV風量下限値の変更や熱源の部分負荷効率低下により基準ケースでの消費エネルギー削減率13%と比較して自然換気による省エネルギー効果が低減する結果となった。これは、自然換気による冷房負荷削減により低負荷域が多くなるため、空調システムの部分負荷効率によって省エネルギー効果が変化することを示している。以上の検討より、自然換気併用空調によって高い省エネルギー効果を確保するためには、補助冷房装置の設置や空調機を同一系統に複数台設置して台数制御するなど、部分負荷効率の高い空調システムの構築や外皮性能の向上によってピーク負荷を抑えることが必要であると考えられる。

### 4. まとめ

自然換気併用空調の省エネルギー効果を明らかにするため、BEST専門版の連成計算機能を用いて空調機を用いた中央熱源方式の空調システムにおける自然換気併用ハイブリッド空調の熱負荷削減効果と省エネルギー効果を算出した。検討の結果、標準ケースである給気口有効開口面積40cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>の開口を設けた場合、冷房負荷削減率が23.4%、冷房1次エネルギー消費量の削減率は13%となった。冷房負荷削減率と比較して省エネルギー効果が少ない理由として空調システムの部分負荷効率の影響が大きいことを示し、熱源自体の部分負荷効率やVAV下限値の設定による影響について確認した。これらの検討により自然換気による冷房室負荷低減効果は大きい、空調システムにより省エネルギー効果に大きな差があることが明らかとなった。自然換気による省エネルギー効果を向上させる方法としては部分負荷効率の高い空調システムの構築や外皮性能の向上によるピーク負荷削減などが考えられる。

#### 参考文献

- 1) 自然換気システムの運用実態に関する調査, 日本建築学会環境系論文集, 第619号, pp.9-16, 2007.9, 山本 佳嗣, 久保木 真俊, 鈴木 宏昌, 田辺 新一
- 2) 三坂育正, 樋口祥明, 高橋紀行, 迫博司, 高井啓明, 半澤久: 自然換気・ナイトパーズシステムを導入した事務所ビルにおける省エネルギー効果の予測と実測評価, 空気調和・衛生工学会論文集, No.82(2001-7), pp.39-48

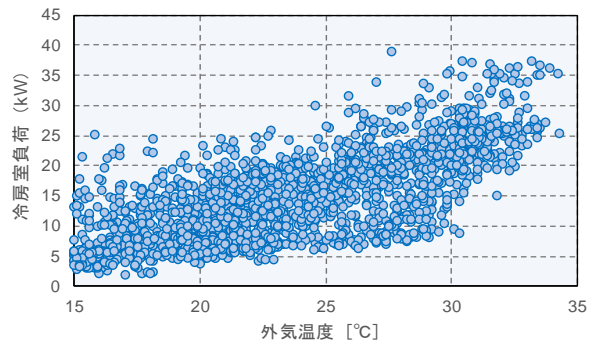


図8 中間期の外気温と冷房室負荷(空調時)

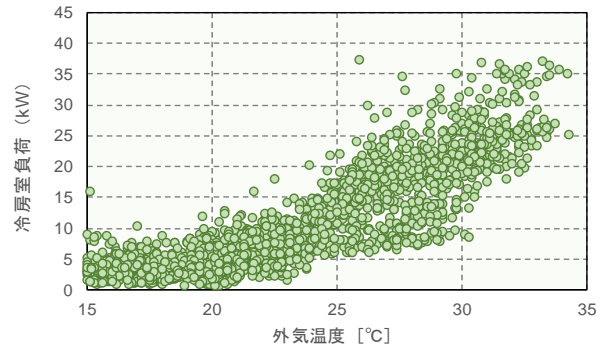


図9 中間期の外気温と冷房室負荷(自然換気併用時)

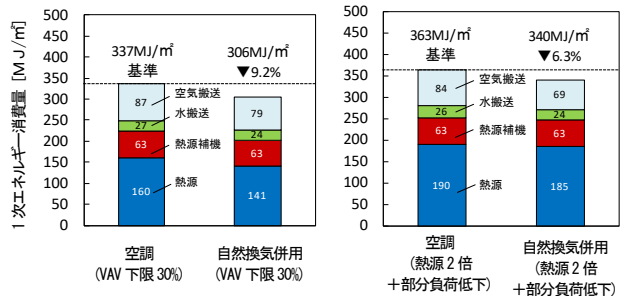


図10 VAV 制御性の影響

図11 熱源効率の影響

- 3) 水出喜太郎, 石野久彌, 郡公子, 永田明寛, 長井達夫, 大高一博, 大原千幸: 自然換気・シーリングファンを併用した空調換気システムの制御手法と性能評価に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第604号, pp.69-76, 2006
- 4) 三浦克弘, 武政祐一, 吉田治典: 自然換気併用空調システムがもたらす空調負荷削減効果と室内環境に与える影響の評価, 日本建築学会環境系論文集, 第660号, pp.159-168, 2011

#### 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)、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、川津行弘(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)