

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174) 連成計算による自然換気・外気冷房の省エネ効果検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST
 (Part 174) Study on Energy Saving Effect of Ventilative Cooling Systems
 Using Natural Ventilation Calculation Function

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*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hisaya ISHINO*³ Kimiko KOHRI*⁴ Koichi SHINAGAWA*¹

*¹ Nihon Sekkei, Inc. *² Institute for Building Environment and Energy Conservation

*³ Tokyo Metropolitan University *⁴ Utsunomiya University

In recent years, natural ventilation system have attracted greater attention as an alternative to reduce building energy consumption. And natural ventilated buildings have been increasingly applied even in large office buildings. This paper shows the method of setting model building and the results we estimate the energy saving effect of natural ventilation system by the BEST program.

1. はじめに

自然換気と外気冷房は中間期の空調消費エネルギーを削減するための手法として、多くの採用事例があり、両手法とも外気による冷却効果を利用したものである。これらは一般的な省エネ手法であるが、自然換気と外気冷房の特性の違いについて比較した研究は少ない。そこで本論文では、The BEST Program (以下 BEST) の自然換気計算機能及び連成計算機能を利用して、省エネ効果を評価軸とした自然換気と外気冷房の特性検討を行った。本論文で扱う外気冷房制御とは、空調機のコイル負荷を最小化するように外気を最適に導入する制御である。図1に空気線図上での外気冷房制御の概念図を示す。空調機の給気(以下SA)温度は室内温湿度設定値(26°C, 50%RH)を実現するために16°C, 90%RH程度に設定されていることが多い(図中④)。外気冷房有効時に外気温が16~26°Cの範囲内にある場合(図中①)は、コイル通過風量における外気の割合を増やすことでコイル負荷を削減する事が可能である。つまり、図にある③を最低外気量と還気との混合点とすると、外気冷房で外気量を増やした場合は③のように混合点が移動し、SA吹出状態とのエンタルピー差は小さくなる。しかし、空調機の給気温度制御によりSA吹出の状態(④)までコイルで処理を行うため、全外気運転でも最低限のコイル負荷は発生することになる。ただし、外気が16°C以下の場合、外気量を調整することで④の状態に近づけることが可能である。また、外気冷房制御で考慮しなくてはならない点として

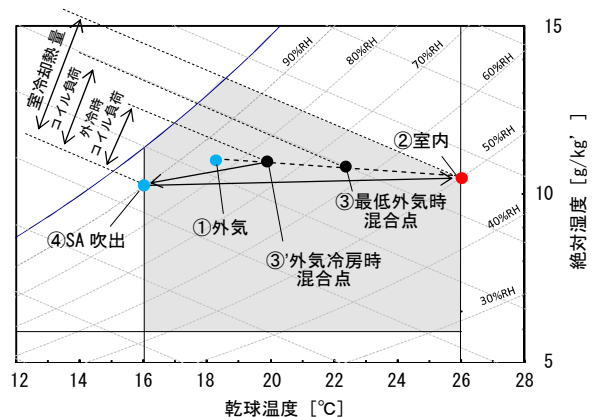


図1 空気線図による外気冷房制御概念図

VAV制御との関係が挙げられる。室内のピーク冷房負荷を100W/m²とし、ピーク冷房負荷かつ16°C吹き出し(Δt=10°C)でSA風量を決定した場合の外気冷房風量との関係を図2に示す。この図では設計外気量は6CMH/m²(0.2人/m²×30CMH/人)とし、外気冷房風量を仮に10CMH/m²としている。室負荷に応じたVAV制御によりSA風量が絞られると、室負荷が33W/m²を下回った段階でSA風量は10CMH/m²以下になり、外気冷房風量は必然的に制限されてしまう。このようなVAV制御により、外気冷房風量を多く確保した場合でも、中間期や冬季などの低負荷時には制限されてしまうことが分かる。また、通常VAVの最低風量は設計外気量を下限とすることが多く、この場合6CMH/m²を下回らないように設定されて

いる。よって $20\text{W}/\text{m}^2$ を下回る領域では SA 給気温度 16°C で送風すると過冷却になるため、ロードリセット制御により給気温度を上げて送風することになる。この状態では搬送動力としては効率が悪く、除湿も十分ではない。以上の考察より、空調機で VAV 制御を行う場合は、給気温度を 16°C として室内温湿度を設定値に制御し、VAV 制御により搬送動力を最小化することを優先させるため、外気冷房での外気導入量はある程度制限されてしまうと予想される。これに対して、自然換気では、設定室温に近い外気温 $18\sim 26^\circ\text{C}$ で自然換気駆動力による大量の換気を行うことにより、ある程度の室温に保つことができる。以上を踏まえて、本論文では外気冷房制御の特性と自然換気との併用に関するシミュレーション検討を行う。

2. 検討モデル

2.1 モデルビル概要

図3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を外皮負荷とし、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、ペリメータを自然換気すると同時にインテリアを空調するようなハイブリット空調も計算対象とした。

2.2 空調システム概要

空調システム概念図を図4に示す。熱源は空冷ヒートポンプチャラーとし、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 ($2\text{CMH}/\text{m}^2$) としており、外気冷房の最大風量はインテリア AHU の SA 風量である $4,200\text{CMH}$ ($14\text{CMH}/\text{m}^2$) とし、下限値は最低外気量の 630CMH とした。また、ペリメータ SA 風量の下限値は VAV 制御下限を 30% と仮定し、 $2,000\text{CMH}$ とした。本来は外気冷房風量により排気ファンの風量を増やす必要があり、排気側の搬送動力が増えるのが一般的である。しかし、排気動力の増加により省エネ効果が全く得られない場合も考えられるため、議論を単純化するために外気冷房時の排気ファン動力は増加しないものとした。具体的には、外気冷房分は自然換気用の排気シャフトに2種換気的に排気するシステムを想定する。本検討における自然換気の許可条件を表3に示す。外気冷房の許可条件については、表3における外気の下限温度を 10°C に変更した条件を用いた。自然換気時の外壁開口面積は $40\text{cm}^2/\text{m}^2 \times 312\text{m}^2$ を確保し、有効開口面積法を用いて計算を行った。

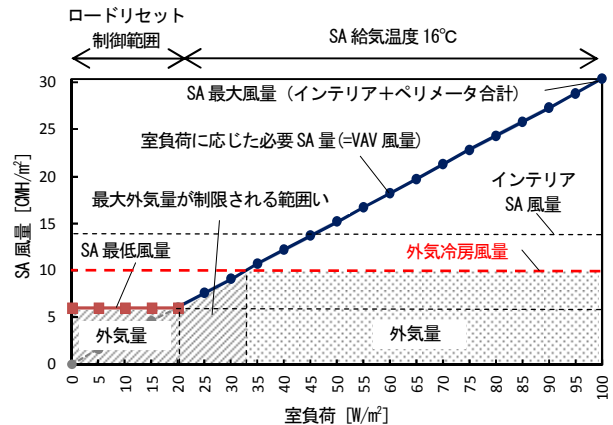


図2 VAV制御と外気冷房風量の関係

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^2 ペリメータ 90.4 m^2
ゾーン間換気	$125\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$
室温設定	中間期 24°C
ヒート冷房負荷	インテリア $66\text{W}/\text{m}^2$ ペリメータ $243\text{W}/\text{m}^2$
負荷/人員密度	照明 $7.5\text{W}/\text{m}^2$ 、内部発熱 $12\text{W}/\text{m}^2$ 、人員 $0.15\text{人}/\text{m}^2$

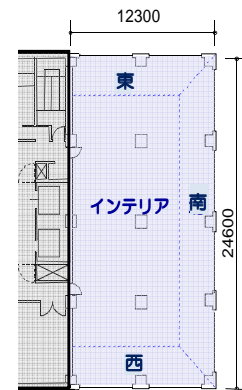


図3 モデル平面図

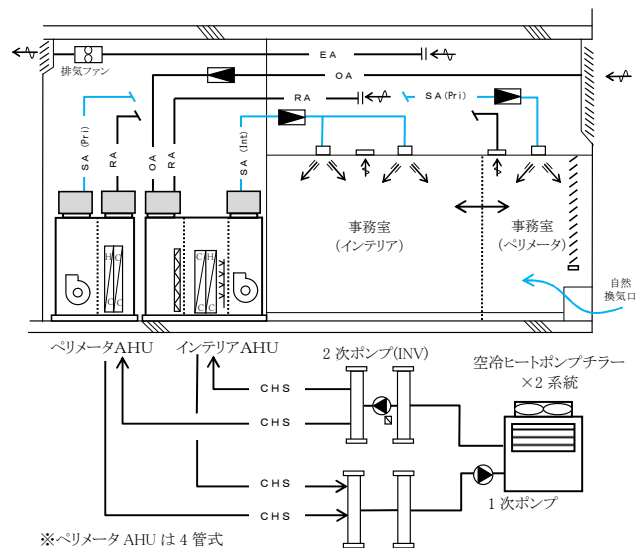


図4 空調システム概念図

表2 機器仕様

機器	仕様
熱源	空気熱源ヒートポンプチャラー/スクロール/インバータ 2台 冷却能力 59kW 加熱能力 59kW 消費電力 14kW 1次ポンプ / $169\text{L}/\text{min}$
2次ポンプ	流量 $169\text{L}/\text{min}$ 、推定末端圧インバータ制御 冷水温度 7°C 、温水温度 45°C
インテリア AHU	2管式/VAV方式、冷却能力 59kW 、冷房吹出温度 16°C 、外気量 $680\text{m}^3/\text{h}$ 、SA風量 $4,200\text{m}^3/\text{h}$ (最小 $630\text{m}^3/\text{h}$)
ペリメータ AHU	4管式/VAV方式、冷却能力 59kW 、冷房吹出温度 16°C 、SA風量 $6,400\text{m}^3/\text{h}$ (最小 $2,000\text{m}^3/\text{h}$)

表3 自然換気許可判断

外気温	15℃以上、26℃以下 (外気冷房時は下限10℃)
室温	下限室温22℃
湿度	露点温度19℃未満、相対湿度90%未満
その他	外気風10m/s以下、室内外エンタルピ比較

3. 室負荷と空調消費エネルギー特性

検討の前提として、モデルの熱負荷特性及び空調システムのエネルギー消費特性を解析した。図5に月別の室負荷の原単位を示す。オフィス用途であり内部発熱が多いため、年間を通して冷房負荷が発生していることが確認できる。

3.1 空調消費エネルギー特性

評価対象とする空調システムにおいて、CAV制御とした場合の月別の空調消費エネルギー原単位を図6に示す。熱源の消費エネルギーは季節により大きく変動するが、搬送動力はほぼ一定の消費エネルギー量であった。4.5,10月などの中間期でも熱源の消費エネルギーが比較的多いことが確認された。年間の冷房室負荷とVAV、CAV制御時の空調消費エネルギーを図7に示す。年間の冷房負荷に対する中間期の割合は31%であり、年間空調消費エネルギーに対する中間期の割合はVAV制御で33%、CAV制御で34%であった。

3.2 中間期における負荷発生頻度分布

本モデルにおいてVAV制御によりSA風量が削減される時間数を確認するため、外気冷房有効時の室負荷を抽出し、負荷発生頻度分布を作成した。図8より、室負荷40W/m²以下の低負荷域が全時間数の50%を占めることが明らかになった。室負荷40W/m²は10℃差送風時では12CMH/m²となり、外気冷房時間数の50%はそれ以下の風量に絞られて運転されると予想される。特に冬季の冷房室負荷はほぼ30W/m²以下に集まっており、最低外気量で送風する時間数もあるため、過大な外気量は必要ないことが分かる。

4. シミュレーションによる省エネ効果の検証

4.1 外気冷房による省エネ効果

中間期において、最低外気量2CMH/m²から最大外気量14CMH/m²で外気冷房を行った場合の空調消費エネルギーを図9,10に示す。最低外気量と最大外気量を比較すると中間期において、VAV制御時は3.7%削減、CAV制御時は18.1%削減であった(図9)。また、年間ではVAV制御時は1.9%削減、CAV制御時は8.2%削減であった(図10)。VAV制御に比べCAV制御時のエネルギー削減量が大きいことが確認され、VAV制御時に外気冷房効果が制限されていること予想された。

4.2 外気冷房と自然換気の併用

外気をインテリアSA風量まで導入可能として外気冷

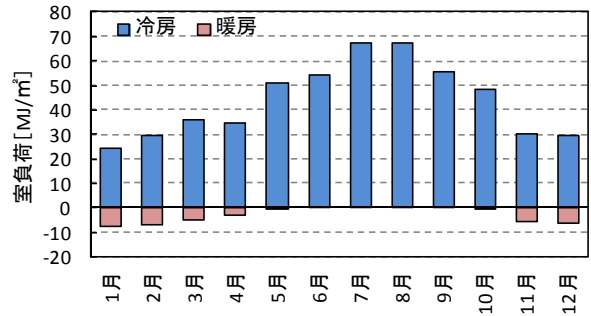


図5 月別室負荷原単位

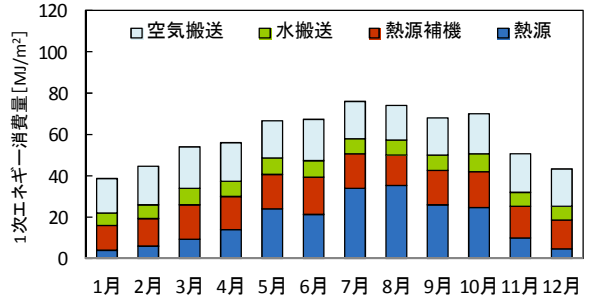


図6 月別空調消費エネルギー(CAV+外冷なし)

□ 冬季(1~3月,12月) ■ 中間期(4,5,10,11月) ■ 夏季(6~9月)

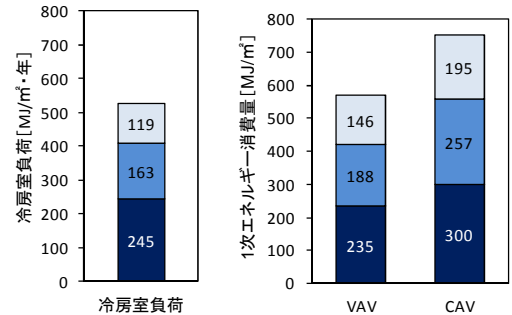


図7 年間冷房室負荷と空調消費エネルギー

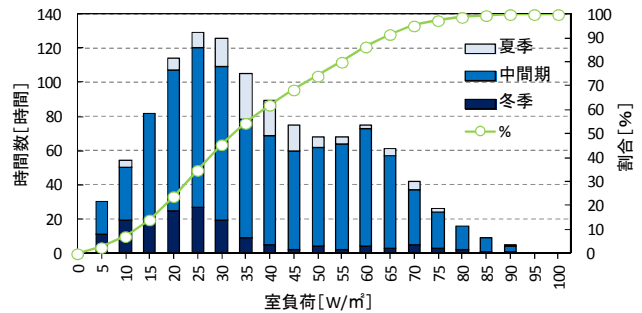


図8 外気冷房有効時の室負荷発生頻度

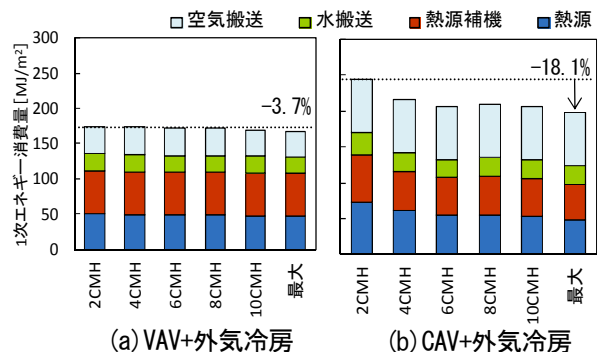


図9 外気冷房によるエネルギー削減量(中間期)

房制御を行った場合でも、自然換気の併用によって更なる省エネが可能であるかを検証した。結果を図 11 に示す。VAV 制御で最大限外気冷房を行ったケースに対して、自然換気の併用によって中間期で 3.4%、年間で 2.3% の削減効果があった。これは外気を導入しないペリメータ空調機に対して自然換気の負荷削減効果があったものと考えられるが、自然換気は換気駆動力によって外気が導入されるため VAV 制御のように搬送動力最小化のために風量を制限されることがないことも原因として考えられる。つまり、CAV 制御時と同様に十分な外気量が導入されることにより外気冷房効果が最大化されたと考えられる。なお、本検討では外気冷房により排気の搬送動力は増えないことと想定しているが、空調システムによっては外気量の増加により排気の搬送動力が大幅に増加する可能性がある。この点でも自然換気と併用することのメリットが考えられる。

5. 外気冷房と自然換気併用時の運転モード

以上の検討結果を踏まえ、外気冷房と自然換気を併用する場合の空調モードと切換え条件について考察した。図 12 にモードと切換え条件例を示す。この図は自然換気を優先的に活用することを前提として作成した。まず、省エネを最大化するために空調を停止して自然換気を行い、室温に近い外気を大量に導入することで室温を制御する。次に室内の温度分布の悪化や室温上昇を切換え条件として外気処理を行わない空調機による最小送風運転を併用する。更に室温が上昇する場合は、空調機による送風量を増やしていくか、通常の 16℃送風運転とし、VAV 制御と外気冷房を併用するかを選択となるが、この選択に関しては前者の搬送動力の増と後者の熱源動力の増を比較して判断する必要がある。更に外気温が 15℃を下回るなど自然換気許可条件を外れる場合は、自然換気を停止し、外気冷房も含めた空調機による制御を行う。以上のような運転モードにより自然換気と外気冷房併用による省エネ効果が最大化できると考えるが、詳細な切換え条件の検討や妥当性検証が今後の課題といえる。

6. まとめ

空調機による外気冷房制御を VAV 制御との関係に着目して評価し、BEST を用いた空調消費エネルギーシミュレーションを行った。シミュレーション結果により外気冷房が VAV 制御により制限される場合の省エネ効果と自然換気と外気冷房の併用による省エネ効果を明らかにした。また、自然換気と外気冷房の特性の違いを考察し、併用する場合の運転モードを検討した。自然換気が機械的な動力を消費せずに外気温近くに室温を制御するのに対し、外気冷房は空調機による室温制御においてコイル負荷を最小化することを目的としている。また、外気冷房はインテリア空調機に対する省エネ効果が大きく、

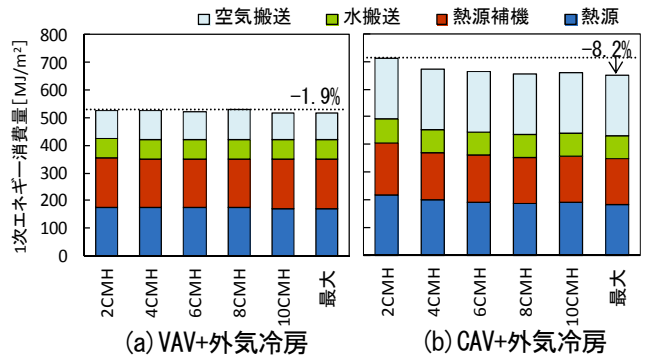


図 10 外気冷房によるエネルギー削減量 (年間)

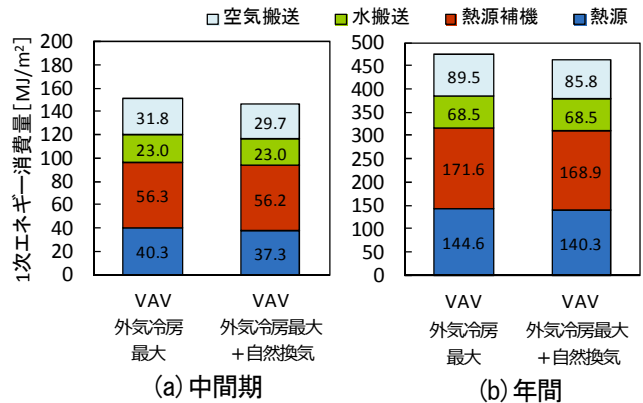


図 11 外気冷房と自然換気を併用した場合の効果



図 12 外気冷房と自然換気併用時の運転モード例

自然換気は外壁から取り入れるためペリメータ空調機への省エネ効果が大きいと考えられる。

【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)、菺田英晴(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)