

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197）  
 外皮性能と外気導入手法による負荷削減効果と室内環境品質への影響  
**Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 197)**  
**Load Reduction and Indoor Environmental Quality by Combination of Facade and Outdoor Air Control System**

正会員 ○品川 浩一（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） 正会員 郡 公子（宇都宮大学）  
 正会員 柳井 崇（日本設計） 正会員 川津 行弘（日本設計）

Koichi SHINAGAWA \*1 Shuzo MURAKAMI \*2 Hisaya ISHINO \*3

Kimiko KOHRI \*4 Takashi YANAI \*1 Yukihiro KAWAZU \*1

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

\*3 Tokyo Metropolitan University \*4 Utsunomiya University

At the planning stage of the facade performance, it is important to evaluate not only the annual heat load (e.g. PAL\*) but also the maximum thermal load, the indoor environmental quality, and the load factor characteristics. This paper shows the method of setting model building and the results we estimate the heat load reduction and indoor environmental quality by combination of facade performance and outdoor air control system.

## 1.はじめに

外皮性能の設計段階の評価は、PAL や PAL\* といった年間積算負荷での評価が従来から行われてきた。しかし、空調負荷計算にはそれ他にも重要な評価軸があり、「ピーク熱負荷」は設備機器容量（≒電力デマンド）に、「ペリメータの温熱環境」は室内環境品質（IEQ）、「負荷率特性」は機器台数分割や自動制御方法（≒省エネ設計）、といった計画時の検討として重要な要素である。

BEST（以降、本プログラム）の特徴として、最大・年間熱負荷計算と同時に、室内温湿度だけでなく OT や PMV などの室内環境を評価できることがある。加えて、DSF（ダブルスキン）などの高性能外皮だけでなく、自然換気や外気冷房・CO<sub>2</sub>制御・全熱交換器などの導入効果も計算可能となった。本報では、オフィスビルの基準階を対象とし、高断熱・窓システム・自然換気などの建築手法、CO<sub>2</sub>制御などの外気導入手法による最大熱負荷、年間熱負荷、および、室内環境品質について、本プログラムの ver1705 による感度解析をおこなう。

## 2.対象モデルおよびシミュレーション概要

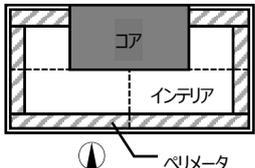
表-1 に共通計算条件、表-2 に示す 2 ケースの外皮仕様と内部発熱の組合せ、5 ケースの外気導入手法について計算を行った。ただし、BEST 専門版における建築熱負荷計算の最小外気量制御は、外気量を在室率に比例し調整する計算であるが、外気および室内 CO<sub>2</sub>濃度、人体の CO<sub>2</sub>発生量を考慮すると、より外気負荷を削減することも可能

である。本報で検討した CO<sub>2</sub>制御は BEST の標準の計算機能ではないが、設計外気量と人員スケジュールによってモデル化したケースである。なお各ゾーンの装置容量は、BEST 最大負荷計算結果の結果を用いた。

## 3. 外皮仕様および外気導入手法のポテンシャル評価

「基準仕様+通常の外気導入（以降、基準建物）」と、「高性能仕様+外気導入手法の全てを採用（以降、高性能建物）」を比較し、外皮仕様の高性能化および外気導入手法の導入効果の交互作用によるポテンシャルを検討した。

表-1 共通計算条件

	仕様
気象	拡張アメダス標準年気象データ 2010 年東京
建築	約 55m×27m(有効率:75%) 階高:4.5m、天高:3.0m 地上 11 階(対象 5 階) 隙間風:全ゾーン 0.1 回/h ブラインド:直達日射により操作 家具顕熱熱容量:15J/lit・K ゾーン間換気:250CMH/m 計算時間間隔:20 分 
PMV	代謝量:1.1Met、着衣量:0.6clo(夏期)、0.8clo(中間期)、1.0clo(冬期)、気流速度:0.15m/sec
空調※	夏期:26℃・50%(冷却/除湿)、冬期:22-26℃・40%(冷却/加熱/加湿)、中間期:22-26℃(冷却/加熱)、空調:冬期 12-3 月・夏期 6-9 月、空調:7-21 時、外気導入:8-21 時、
最大負荷計算	最大負荷計算条件:季節係数(内部発熱補正):冷房=1.1/暖房=0.3、予熱時間:30 分、気象:BEST 設計用データ(2000 年) ※外気処理は全てインテリア系統にて行い、加湿はインテリア系統のみおこなう

### 3.1.年間装置負荷の影響

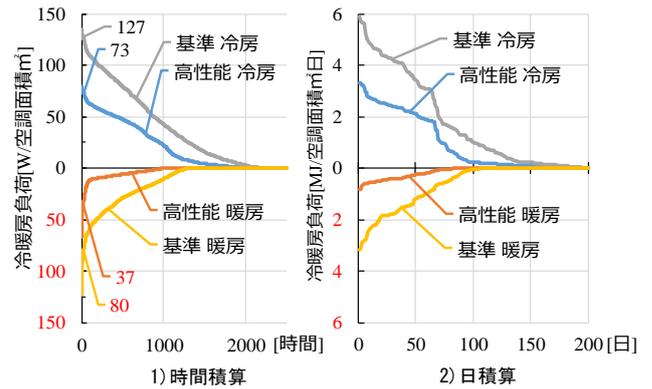
図-1 に建物全体の冷暖房負荷の比較結果を示す。最大負荷を年間負荷の上位 20 番目（超過危険率＝年基準 1% 相当）として算出すると、冷房で 42%、暖房で 54%が削減される。年間負荷は、冷房で 47%、暖房で 79%が削減される。冷暖房とも、デューレーションカーブおよび負荷発生時間に変化しており、高性能建物の暖房負荷は大半が低負荷域となる。こうした負荷の変化は、機器容量低減、ダウンサイジング、スペース効率向上、付随して負荷率改善、電源容量の低減、空調騒音対策の軽減等、経済面でもその波及範囲は広い。つまり、こうしたシミュレーションを活用すればピークを抑えたコンパクトな設計をおこなうことができ、これは今後とても重要な視点となる。

図-2 に負荷種別・潜顕比・ウォーミングアップの冷暖房負荷の比較結果を示す。年間冷暖房負荷の構成比率は、高性能仕様によってペリメータ負荷が大きく削減しており、暖房負荷の大半が外気負荷となる。この高性能仕様の外気負荷は、潜熱負荷（＝加湿負荷）が大半を占めることになることから、加湿器の選定や制御方法が室内環境のために重要となる。また、ウォーミングアップは暖房時の高断熱化の効果で大きく削減している。

図-3 に外気温と年間装置負荷の関係を、図-4 に室内環境変化の比較を示す。冷房負荷は両仕様共に外気温との傾きが大きいが、高性能仕様の暖房負荷は小さく、中間期の暖房負荷はほとんどない。中間期の 8～12℃において、基準建物は暖房、高性能建物は冷房負荷となる時間がある。これは、高性能建物における高断熱化とゼロエネルギーバンド制御により室温および OT が高くなるためである。

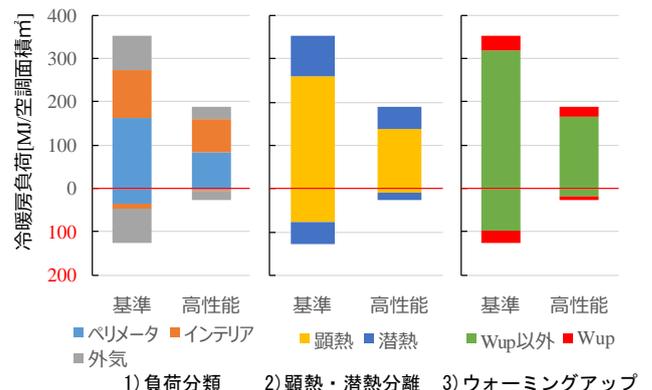
表-2 計算条件

基準仕様	外皮仕様	透明単板、窓面積率 40%、外壁 U 値=1.7W/m <sup>2</sup> K
	内部発熱	照明 16.3 W/m <sup>2</sup> 、機器 12 W/m <sup>2</sup> 、人員密度 0.1 人/m <sup>2</sup> 、事務室スケジュール <sup>1)</sup>
高性能仕様	外皮仕様	単層 DSP(外側透明単板+Low-E 高日射遮蔽)、窓面積率 60%、外壁 U 値=0.8 W/m <sup>2</sup> K
	内部発熱	照明 11.0 W/m <sup>2</sup> 、機器 8 W/m <sup>2</sup> 、人員密度 0.1 人/m <sup>2</sup> 、事務室スケジュール <sup>1)</sup>
通常	通常	5CMH/m <sup>2</sup>
外気導入手法	NV	自然換気 自然換気期間・時間:4-11月・24時間、下限外気温:15℃、上限外気相対湿度:90%、上限外気露点温度:空調時 19℃、上限屋外風速:10m/sec、内外エンタルピチェックあり、冷房中も許可、下限室温:空調時 24℃・非空調時 22℃、(換気口)単位外皮長さあたり有効開口面積: 0.005 m <sup>2</sup> /m(風圧考慮)
	OAC	外気冷房 下限外気温:8℃、内外エンタルピチェックあり、外気露点温度:上限 19℃・下限 0℃、下限室温:夏期・中間期 24℃・冬期 26℃、最大外気量:15CMH/m <sup>2</sup> (空調面積当たり)
	AHEX	全熱交換器 内外エンタルピー、内外温度チェックあり 熱回収効率:全熱交換効率 30%、下限外気量比:0.25
	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> 制御(CO <sub>2</sub> 濃度) 室内外 CO <sub>2</sub> 濃度差設定:650ppm、人体からの CO <sub>2</sub> 発生量 0.02 m <sup>3</sup> /(h・人)、下限外気量比(設計外気量に対する比):0.1 (0.6CMH/m <sup>2</sup> )



注 黒字は冷房、赤字は暖房を示す

図-1 デューレーションカーブの比較



注 黒字は冷房、赤字は暖房を示す

図-2 年間装置負荷の比較

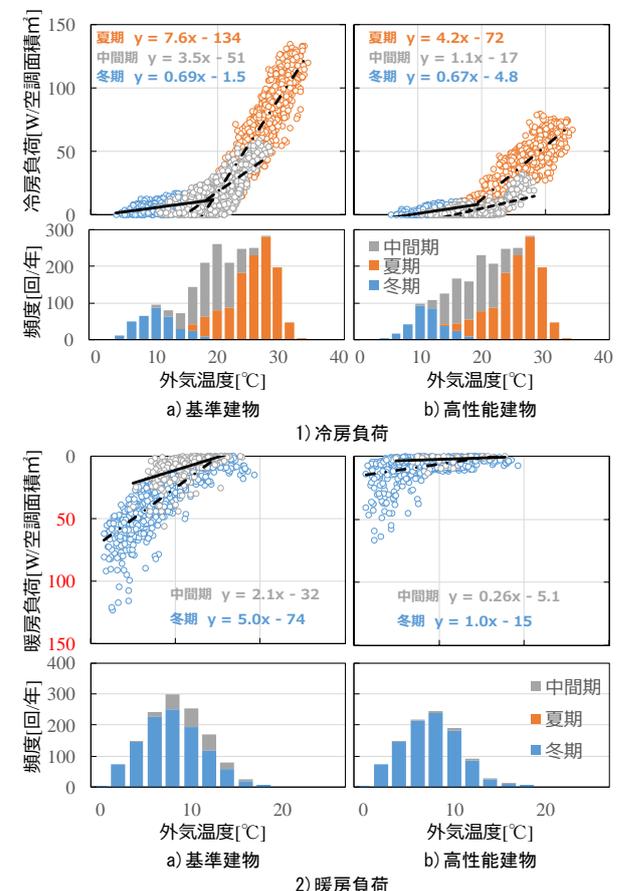


図-3 外気温と年間装置負荷の関係

### 3.2.冷暖房日積算最大日における影響

図-5 に建物全体の日積算負荷が最大となる日における、ペリメータにおける室温、作用温度、およびPMVの変化を示す。ただし、各値は全ペリメータの平均値である。窓面積が大きくなったにもかかわらず、空調時のOT、PMVは高性能建物の方が改善されている。また、非空調時にその差は大きくなり、空調立ち上がり時に最大となる。外皮性能の向上は、立ち上がり負荷の削減に加えて、非空調時の自然室温・熱環境に改善につながる。これは、BCP 対策としても外皮性能向上が重要であることがわかる。

### 4.外気導入手法の比較

外気導入手法のそれぞれの優位性について検討するために、基準仕様・高性能仕様において、外気導入手法を一つだけ導入した効果と、全導入したものから一つだけ取り除いた場合の負荷削減効果を比較した。各ケース設定を表-3 に示す。

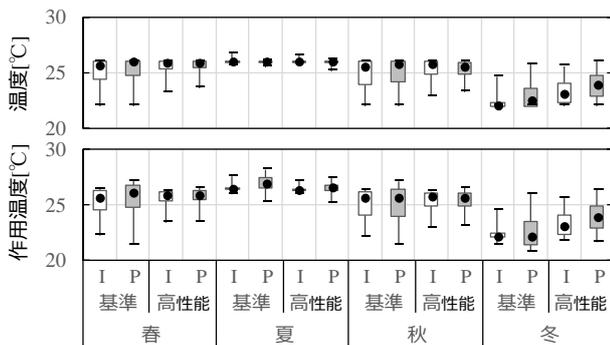


図-4 室内環境変化の比較 (上：室温・下：OT)

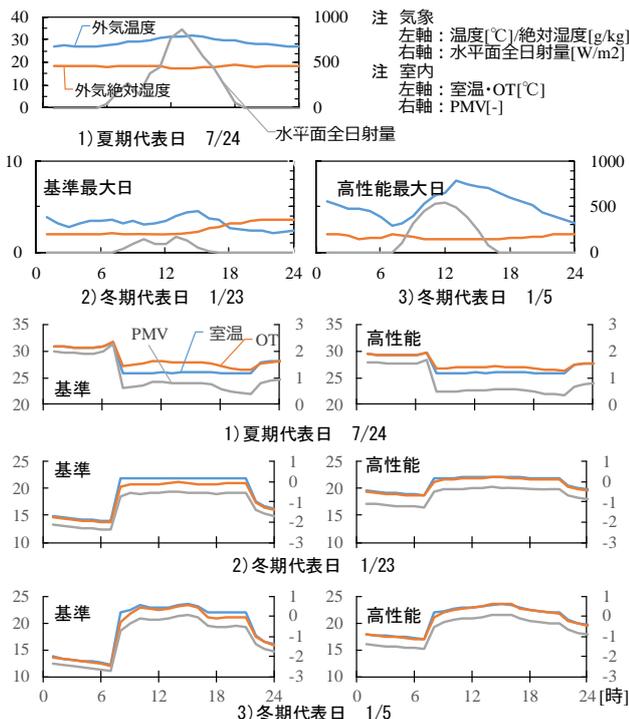


図-5 冷暖房負荷最大日のペリメータ環境の比較

### 4.1.年間装置負荷の影響

図-6 に基準仕様・高性能仕様それぞれの通常と全導入における年間の装置負荷の比較を示す。インテリアおよびペリメータ負荷は、高性能仕様の方が外気制御導入削減効果は大きい。ただし、暖房ペリメータ負荷は建物仕様の影響が大きく、外皮仕様の高性能化によって暖房負荷の大半が外気負荷となる。

図-7 に各外気導入手法の通常・全導入に対する負荷削減量を示す。自然換気、外気冷房といった外気量を増加させる手法はインテリア・ペリメータに対して効果が大きい。

表-3 ケース設定

ケース名	外気導入手法				
	通常	NV	外冷	AHEX	CO <sub>2</sub>
通常基準	○				
NV		○			
OAC			○		
AHEX				○	
CO <sub>2</sub>					○
全導入基準		○	○	○	○
A-NV		○	○	○	○
A-OAC		○	○	○	○
A-AHEX		○	○	○	○
A-CO <sub>2</sub>		○	○	○	○



図-6 年間装置負荷の比較

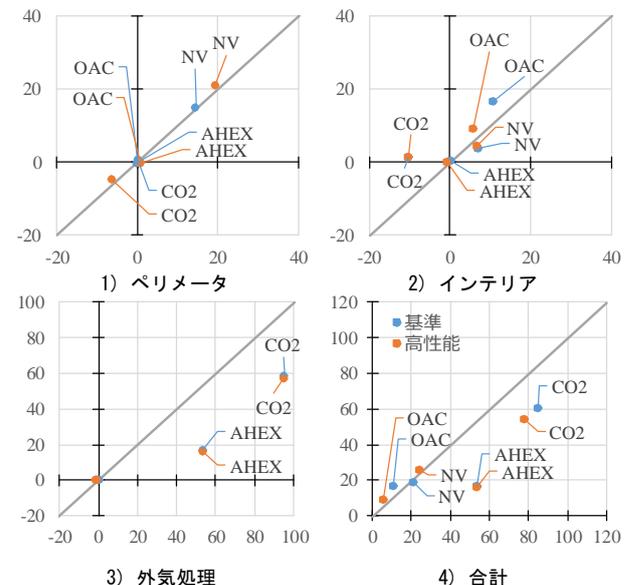


図-7 外気制御導入効果の比較

い。基準・高性能の両者の全導入に対する効果が大きいいため、ZEBを目指し様々な省エネ手法を導入している建築では必須の手法であるといえる。また、自然換気は基準に比べ高性能の方が通常・全導入共に導入効果が高いため、外皮仕様の高性能化はとても重要である。

CO<sub>2</sub> 制御および全熱交換器といった外気量削減手法は、外気負荷にその導入効果の大半が影響を与えているが、CO<sub>2</sub> 制御はインテリア・ペリメータの冷房負荷が増加するといった逆の影響を与える。

図-8 に冷房負荷のデュレーションカーブにおいて CO<sub>2</sub> 制御の有無による差を、図-9 に基準建物における CO<sub>2</sub> 制御による室温変化の箱ひげ図を示す。0-1,000 時間は外気処理負荷が削減されているが、1,000-2,000 時間はインテリア負荷が増加している。外気量を削減することによって、インテリアが冷房の場合は室温が制御の上限となる。よって、ペリメータはゾーン間換気と日射により冷房負荷が増えると考えられる。ただし、図-4 の高性能建物で示されているように、CO<sub>2</sub> 制御と他の制御を組み合わせることによって、中間期の室温を改善することができる。

#### 4.2. 制御時間の影響

図-10 に外気導入手法の運転時間数の比較を示す。手法が単独の場合は、ナイトパージおよび全熱交換器の制御時間が長い。自然換気は全てのケースで時間数は同じである。また、外気冷房は「全導入とその組合せ」>「単独」となっており、交互作用によって運転時間が増加する。逆に、全熱交換器・CO<sub>2</sub> 制御は単独の方が制御時間は長く、交互作用によって運転時間が減少する。

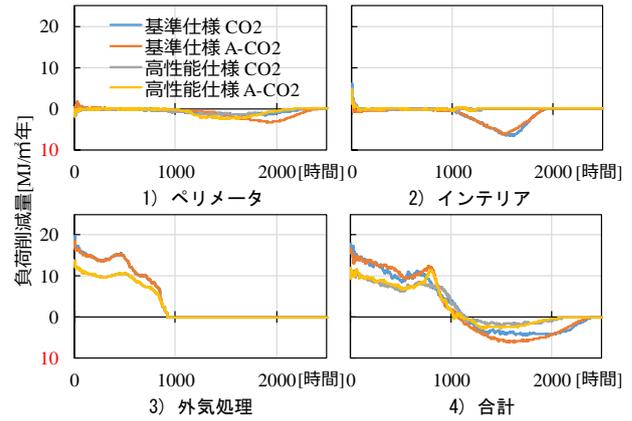
#### 4.3. 室内環境の影響

外気導入手法によって室内環境が大きく変化するのは、CO<sub>2</sub> 制御に加えて、自然換気である。図-11 に自然換気による基準の OT 変化を箱ひげ図としたものを示す。自然換気を行っている中間期のペリメータ室温が改善され、その影響はインテリアの改善にもつながる。また、夏期においてもナイトパージによる最高温度・最低温度の改善が認められる。

#### まとめ

外気性能と外気導入手法による空調負荷および室内環境品質の影響を示した。エネルギー消費量に関しては、変風量などの空調システムや制御設定値によって、大きく影響を受けるため、連成計算が必要となってくる。また、図-3、図-6 および図-7 を組み合わせることで、外装・外気導入手法を考慮した年間冷暖房負荷の概算に利用でき、ZEB を目指す建築では重要である。

【謝辞】本報は、(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 企画委員会(村上周三委員長)」、「統合化 WG(石野久彌主査)」、「建築 SWG(郡公子主査)」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。



注 黒字は負荷削減、赤字は負荷増加を示す

図-8 デュレーションカーブの比較

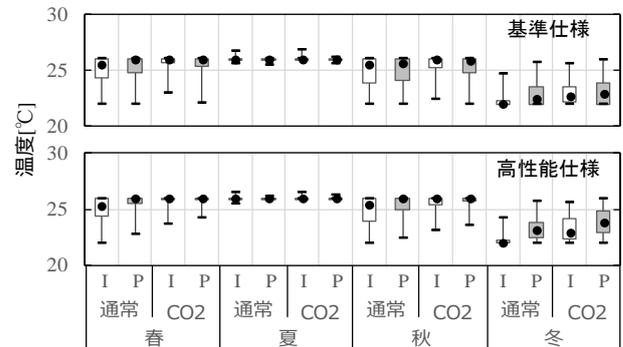


図-9 CO<sub>2</sub> 制御の室温への影響 (通常基準)

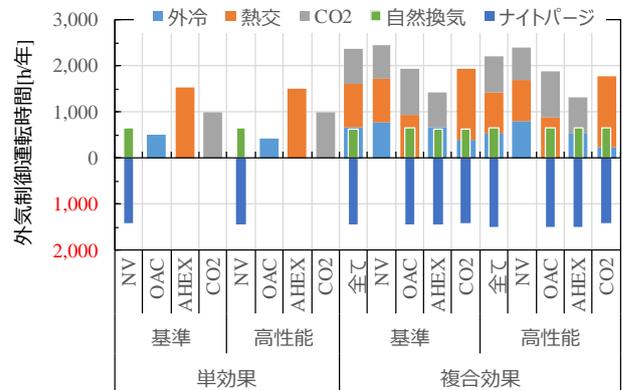


図-10 外気導入手法時間数の比較

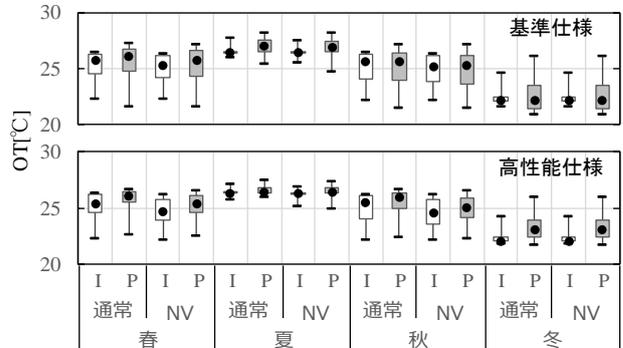


図-11 自然換気制御の影響 (通常基準)

#### 参考文献

- 1) 非住宅建築物のエネルギー消費性能の評価方法に関する技術情報報 標準室使用条件  
[http://www.kenken.go.jp/becc/building.html#PGM\\_manual](http://www.kenken.go.jp/becc/building.html#PGM_manual)