

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214）
 外皮性能による快適性と省エネ性の感度解析

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 214)
 Energy Saving and Indoor Environmental Quality by Combination of Facade and air-conditioning Control System

正会員 ○品川 浩一（日本設計） 名誉会員 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）
 技術フェロー 長井 達夫（東京理科大学） 正会員 森 太郎（北海道大学）
 正会員 柳井 崇（日本設計） 正会員 川津 行弘（日本設計）

Kohichi SHINAGAWA *1 Shuzo MURAKAMI *2 Hisaya ISHINO *3 Kimiko KOHRI *4 Tatsuo NAGAI *5
 Taro MORI *6 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 *5 Tokyo Univ. of Science *6 Kokkaido University

Evaluation of the facade performance for cooling and heating loads at the design stage has been conventionally carried out at annual cooling and heating loads such as PAL and PAL*. ZEB (Net Zero Energy Building) aims for energy conservation and comfortable indoor environment through high-performance facade design and advanced air-conditioning control. This report describes the results of sensitivity analysis of ZEB on the indoor environment and primary energy consumption.

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。ただし、外皮性能が空調負荷の削減効果だけで評価され、室内環境の評価には使用されていなかった。従前からの夏季 26°C・冬季 22°C40%RH といった前提条件より快適な条件で運用されれば、PAL*=エネルギー消費が増減するのである。特にペリメータゾーンでは外皮性能が、その影響を受けることは想像し易い。

BEST の連成計算の特徴として、空調制御に関しては室温制御だけでなく、作用温度 (OT) 制御、PMV 制御による空調システムシミュレーションを行うことができる。ここでは、ZEB を目指した様々な空調制御を導入したオフィスビルの基準階を対象とし、高断熱・高性能窓システムなどの建築手法、及び、空調制御対象の差異が、省エネルギー性能や快適性について与える影響について BEST1805 にて感度解析を行った結果を示す。

1. 計算条件

表-1 に計算条件、図-1 に基準階平面・空調ゾーニング・空調システム、表-2 に感度解析条件を示す。外皮性能は、単板ガラスによる基準仕様 (基準) と、Low-E ガラス (LE)、エアフローウィンドウ (AFW)、単層ダブルスキン (DS) の 4 種類とした。また、空調システム及び設備容量は各ケース共通で、中央熱源方式で検討可能な高度の空調制御として、2 次ポンプに末端差圧一定制御、空調機には

CO₂ 制御・全熱交換器・外気冷房を導入している。VAV による制御対象は、室温・OT・PMV の 3 つのケースについて行った。

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 ¹⁾	42.5m×35.5m(有効率: 75%)、階高: 4.0m、天高: 2.7m 地上 7 階(対象 3 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: 5 分
内部発熱 ¹⁾	照明 12 W/m ² 、機器 12 W/m ² 、人員密度 0.1 人/m ² 、事務室スケジュール(建築物省エネ法)
空調	空冷 HP×2+冷温水発生機、2 次ポンプ(変流量制御)、変流量単一ダクト(インテリア・ペリメータ共)、CO ₂ 制御・全熱交換器・外気冷房

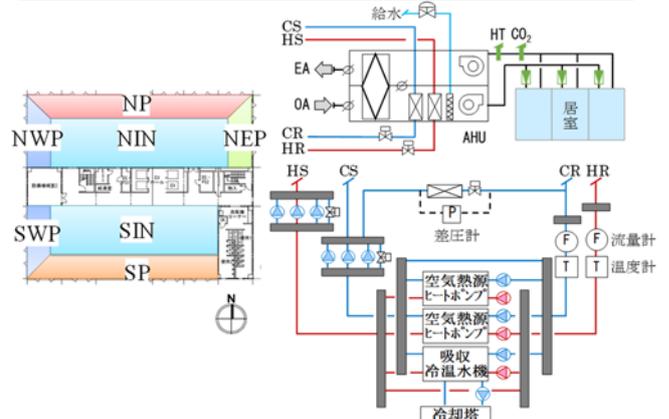


図-1 基準階平面・ゾーニング・空調システム¹⁾

表-2 感度解析条件

外皮仕様	基準	透明単板,窓面積率40%,外壁U値=1.33W/m ² K
	Low-E	Low-E高日射遮蔽,窓面積率60%,外壁U値=0.8W/m ² K
	AFW	内外とも透明単板ガラス・明色ブラインド内蔵,窓通気量:15lit/(sec・m ²),窓排気回収量:5lit/(sec・m ²),窓面積率60%,外壁U値=0.8W/m ² K
	DS	単層DSF(外側透明単板+Low-E高日射遮蔽),窓面積率60%,外壁U値=0.8W/m ² K
空調制御設定	室温・OT	夏期:26℃(冷却),冬期:22℃(加熱),中間期:24℃(冷却・加熱)
	PMV	年間:PMV=0,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

2. 室内環境

図-2に北側ペリメータの空調時間帯の室内温湿度の状態を示す。制御対象を室内<OT<PMVと高度化することにより、外皮仕様の差異による室内環境の差はほとんど無くなる。また、本検討の空調システムはすべて同一であり、外気冷房や変風量制御を行っているため、中間期の低湿度時の外気冷房や、冷房時の低風量によるコイル熱交換効率の向上によって除湿され、絶対湿度が低くなる。

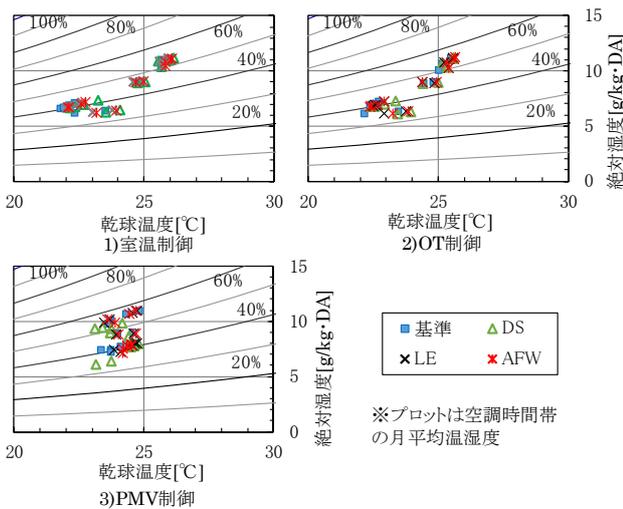


図-2 空調時間帯の室内環境の変化 (北側ペリメータ)

3. エネルギー消費

図-3に各ケースの空調設備に関する一次エネルギー消費量の変化を示す。各仕様とも熱源及び空気搬送の一次エネルギー消費量が、制御対象を室温<OT<PMVと高度化するにつれて大きく増加している。ただし、各仕様で増加量の一番大きなPMV制御では、DSがその増加比率は小さくなっている。これは、外皮性能の高性能化によって、室内での執務者による室内制御設定=快適性能向上の影響が小さいこととなるといえる。また、各ケースともエネルギー消費傾向をみると、空気搬送のエネルギー消費の比率・増減が大きくなっている。

図-4に熱源処理熱量と熱源システム全体のシステムS-COPの比較を示す。室温制御・OT制御は建築仕様によら

ず処理熱量・S-COPはほとんど差がなかった。また、PMV制御は温熱量が増加したため温熱源のS-COPが向上している。ただし、冷暖房全体のS-COPはほとんど変化がなく、台数分割や部分負荷効率の高い機器の影響である。言い換えれば、外皮性能によらず熱源台数制御を適切に行えば、熱源の高効率化は可能であるといえる。

図-5に空調機コイルの処理熱量とWTFの関係を示す。ここで、 $WTF = \Sigma \text{コイル処理熱量} \div \Sigma \text{2次ポンプ消費電力}$ とする。熱源とは異なりコイル負荷が増加するにつれて、冷房・暖房・冷暖房のすべてのWTFが低下している。制御の高度化により空気搬送のエネルギーが増えていることから、送風量の増加により送水温度差が小さくなった影響である。ただし、空調全体に占める水搬送の一次エネルギー消費量の比率は約1%であるため、全体の省エネルギー性に与える影響は小さい。

図-6に室内処理熱量とATFの関係を示す。ここで、室内処理負荷は室内と空調機吹出エンタルピー差と風量から算出し、 $ATF = \Sigma \text{室内処理熱量} \div \Sigma \text{ファン消費電力}$ (給

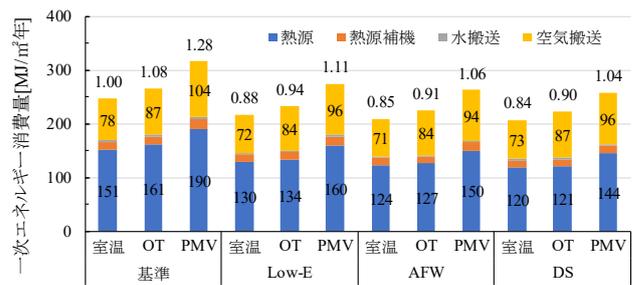


図-3 一次エネルギー消費量の変化

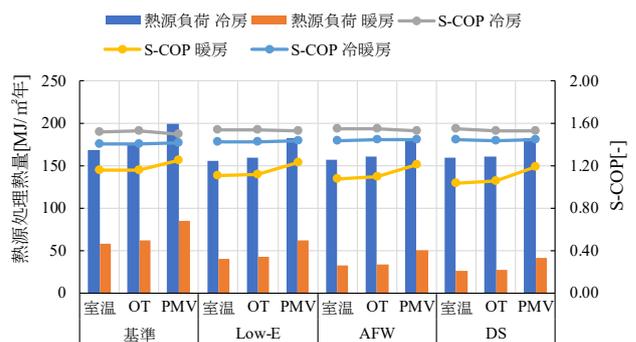


図-4 熱源処理熱量とS-COP

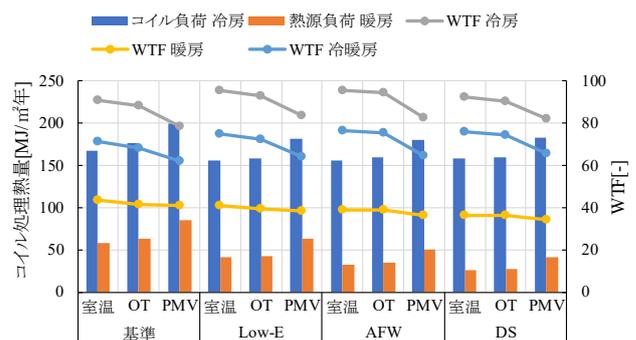


図-5 コイル処理熱量とWTF

気・還気ファン共) とする。冷房及び冷暖房は制御の高度化により ATF が低下しているが、暖房の ATF は向上している。制御の高度化により暖房の室内処理負荷が増加していることから、吹出と室内エンタルピーの差が大きくなったものと考えられる。

図-7 に各空調機別の年間一次エネルギー消費量の変化を示す。外皮仕様や制御対象によって一次エネルギー消費量が変化するが、それぞれの方位のインテリア:ペリメータの比率は一定(北側=5:5、南側=4:6)であった。外皮性能や空調制御により室内負荷の変化が生じたとして、大部屋で空調している場合は、インテリア・ペリメータそれぞれの送風量の変化は同じであることになる。

図-8 に各空調機の外気制御運転時間の比較を示す。各ケースにおいて、4 台の空調機の外気制御稼働時間は、ほぼ同じであったため、平均値として比較を行った。外皮仕様・制御対象による「外気冷房+CO₂制御」稼働時間変更はほとんどなく、制御対象が高度化するにつれ若干外気冷房時間が減少するが、その分 CO₂ 制御が行われている。自然換気+外気冷房は相殺しあう可能性があり、その効果を最大限とするためには制御・運用等に課題があると

思われるが、自然換気+CO₂ 制御であればその導入判定は自然換気ができない場合に CO₂ 制御となるため、両立すると考えられる。

4. 空調機制御性

図-9 にピーク週の変動を示す。ATF の変動の大きいものとして、冬期は基準仕様の室温制御と PMV 制御の比較、夏期は DS 仕様の室温制御と PMV 制御の比較とした。対象は北側ペリメータとした。ここで、送風量比率とは、定格送風量に対する比率である。

夏期は空調時間帯中、両制御共に最低吹出温度一定で推移しており、風量の変化で制御を行っている。室温制御は立ち上がり時に定風量近くまで増加し徐々に低下している。PMV 制御は月曜日中はほぼ定風量運転となっており、その他の曜日も 80%を超える送風量となっている。コイル処理熱量と送風量はほぼ同じ推移をしている。NEP は両者ともに立ち上がり時に設定に比べ高値を示しているが、空調時間帯はほぼ設定範囲となっている。

冬期は両制御ともに立ち上がりに送風量が増加している。室温制御は立ち上がり以外、最低風量で推移してお

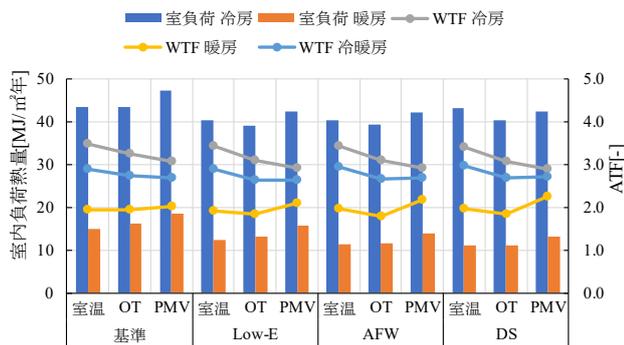


図-6 室負荷処理熱量と ATF

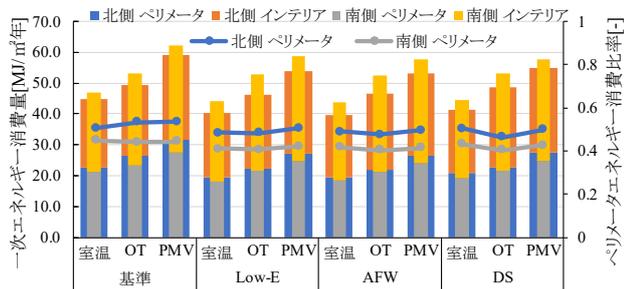


図-7 一次エネルギー消費量の変化 (空気搬送)

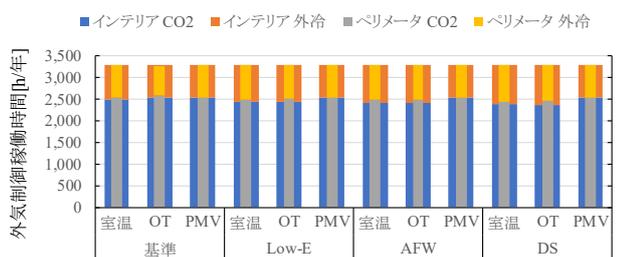
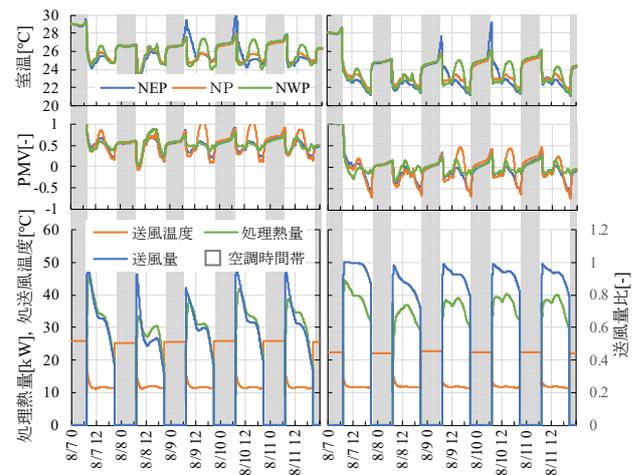
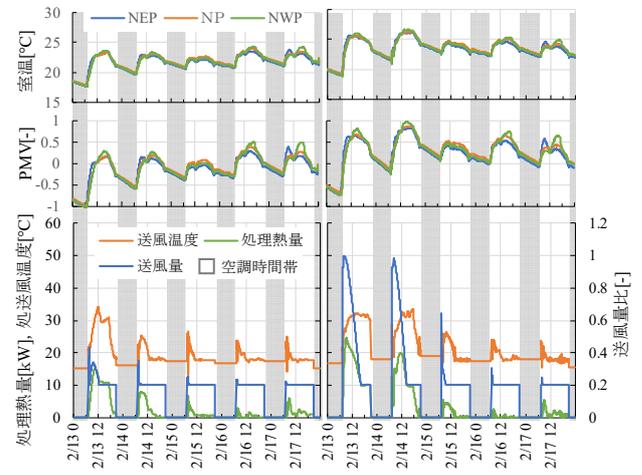


図-8 外気制御運転時間



1) 夏期 基準 (左 室温制御・右 PMV 制御)



2) 冬期 DS (左 室温制御・右 PMV 制御)

図-9 ピーク週変動(基準 北側ペリメータ)

り、送風温度で制御している。PMV 制御は送風量が火曜日まで高く、送風温度も 30℃ 付近となっている。NEP は両者ともに立ち上がり時に設定に比べ高値を示しており、空調時間帯は制御範囲の上限となっている。

図-10 に基準仕様における北側ペリメータ空調機の室温・OT 制・PMV 制御の送風量と送風温度の関係を示す。冷房時は、3 制御共にほぼ最低温度で吹出しており、送風量によって負荷制御を行っている。室温制御は風量比 0.6 以下が大半であるが、制御が高度化するにつれて風量比が高くなる。暖房時は、室温御・OT 制御はほぼ最低風量で吹出しており、送風温度によって制御されている。PMV 制御は吹出温度がその他の制御に比べ高い状態となっており、冷房同様に送風量によって制御されている。

図-11 に北側ペリメータと南側インテリア空調機の送風量と吹出温度の関係を箱ひげ図にて示す。北側ペリメータは、冷房時に最低温度中心に送風しており、室温・OT 制御は 5℃ 程度の幅があるのに対して、PMV 制御はほぼ最低温度となる。全ての制御において基準に比べその他の外皮では、送風量の幅・比率が小さく、吹出温度の幅・

比率が大きくなる。暖房時は室温・OT 制御は送風量がほぼ最低で、外皮性能により送風温度が変化しており、PMV 制御は送風量も変化する。ペリメータ空調機の運転状況は、冷房時は制御方法が、暖房時は外皮性能の影響が大きい。

南側インテリアは、冷房時は制御が高度化するにつれて送風量の幅・比率が大きくなる。室温・OT 制御の送風温度はほぼ同じだが、PMV 制御は送風温度の幅が低温側に小さくなり、若干であるが外皮性能による影響が見受けられる。暖房時は、外皮仕様・制御対象の差はわずかであるが、PMV 制御では送風温度が高くなる。インテリア空調機の運転状況は、冷房時は外皮性能が、暖房時は制御方法の影響が大きい。

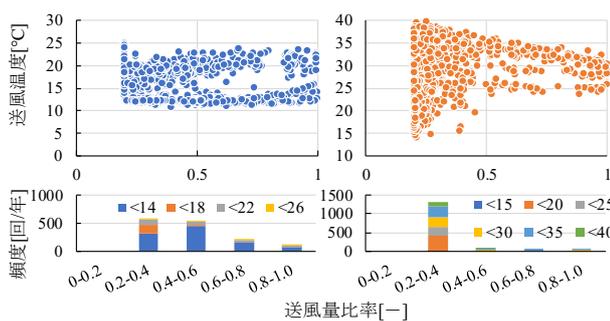
まとめ

外皮性能による快適性と省エネ性の感度解析について、示した。快適性を高めた制御によって、エネルギー消費量の中で、空気搬送が大きく増大する現象をシミュレーションにより確認した。外皮性能の高性能化・制御方式による影響は、ペリメータ側の暖房時において、高くなることを示した。

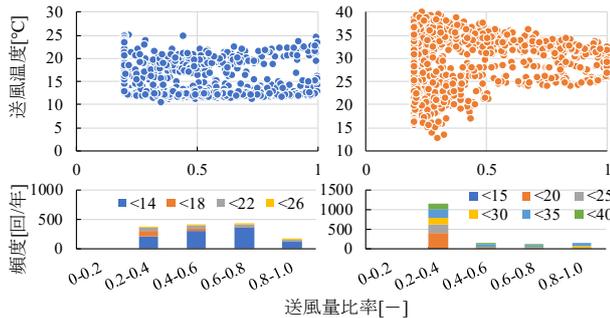
参考文献

- 1) 空調和衛生工学会、SHASE G 1008-2016 建物エネルギーシミュレーションツールの評価手法に関するガイドライン

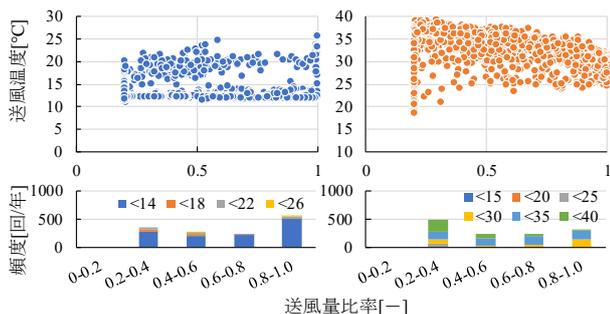
【謝辞】(一財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「企画委員会(村上周三委員長)」及びプログラム開発委員会(石野久彌主査)、建築 WG(郡公子主査)、空調システム連成 WG(長井達夫主査)の活動成果の一部である。関係各位に謝意を表す。



1) 室温制御 (左側: 冷房 右側: 暖房)

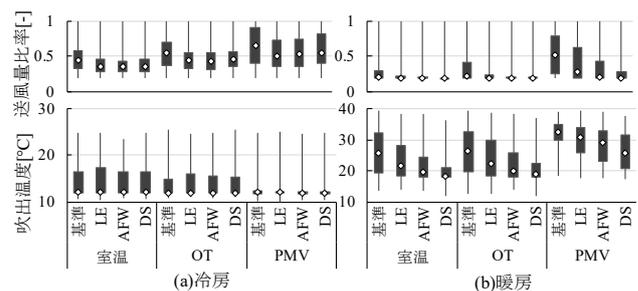


2) OT 制御 (左側: 冷房 右側: 暖房)



3) PMV 制御 (左側: 冷房 右側: 暖房)

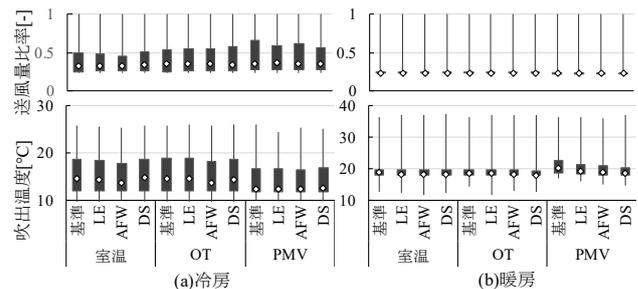
図-10 吹出状況 (基準仕様 北側ペリメータ)



(a) 冷房

(b) 暖房

1) 北側ペリメータ



(a) 冷房

(b) 暖房

2) 南側インテリア

図-11 送風量と吹出温度