

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230）
 大規模建築物における ZEB 実現のための省エネ手法に関する研究
Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 230)
Study on Energy Saving Method for Realizing ZEB in Large Scale Building

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）
 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

Taro MORI *⁵ Takashi YANAI *¹ Yukihiko KAWAZU *¹

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

*³ Tokyo Metropolitan University *⁴ Utsunomiya University *⁵ Kokkaido University

Energy simulation-based analysis considering the interaction between the energy saving measures is important in realizing the ZEB. In BEST designer's version, "Baseline Building Performance method" is used and detailed analysis of design building and baseline energy consumption and room environment can be simulated. In this report, energy saving, energy peak shaving, HVAC load saving, room temperature and humidity environment analysis in a large office building with popular or sophisticated energy saving measures are reported.

はじめに

BELS 認証や ZEB リーディングオーナー等の公開情報によると、設計時の ZEB を達成した建物は着実に増加をしている。ただし、こうした建物は、個別分散空調・中小規模建物が大半であり、大規模建築での実績は現在のところほとんどない。BELS 評価や省エネ適判に使用される建築物省エネ法に基づく計算プログラム（以下、省エネ計算）では、汎用的な省エネ技術の評価は整備されているが、すべての省エネ技術を評価できるわけではない。¹⁾²⁾

また、大規模複合建築物では建築計画上の制約から大半の建物で中央熱源が採用されており、エネルギー消費量の構成比率から中央熱源の省エネ化の重要度が高い。加えて、中央熱源の省エネ技術には、導入効果が大きく汎用的である技術も省エネ計算の評価対象となっていないものがある。

本報では、BEST 設計ツール ver3.0.1 を用いて建築、空調、照明、及び、運用改善に関する平成 28 年基準の省エネ計算における評価対象ではない技術で、ZEB 実現のために重要と思われる技術・手法（以下、ZEB 化手法）におけるポテンシャルを評価する。なお、BEST 設計ツールにおける基準一次エネルギー消費量の算出方法は、省エネ法の基準値を利用するのではなく、ASHRAE Standard 90.1 で定義されている“Baseline Building Performance”³⁾を参照しており、基準一次エネルギー消費量は、設計建物を標準仕様の建物に置換えて計算することにより省エネルギー評価を行っている。

1.対象モデル及びシミュレーション概要

本検討は、大規模複合建築物のうち、過半の面積を占めるオフィス部分の基準階のみを対象とし、その他の建物用途や基準階以外の共有部（受変電室・機械室など）は対象外とした。ここで、「省エネ」は、平成 28 年度基準の省エネルギー計算で評価可能な技術を網羅的に導入するものとし、「ZEB」は、省エネ建物に ZEB 化手法を全て導入したものとする。標準仕様による「ベース」を加えた 3 者を比較することで ZEB 化手法が ZEB 実現のために与える影響や、室内環境に与える影響を検討する。また、熱源制御の高度化としては、DHC の効率を変更することでモデル化するものとし、DHC 効率は温熱・省エネ設備機器等のポータルサイト⁴⁾を参考に設定した。表-1 に省エネ建物の計算条件、表-2 に標準仕様の計算条件、表-3 に ZEB 化手法とその設定条件を示す。

2. ZEB 化可能性の検討結果

2.1 省エネルギー性能

図-1 に年間及び月別の一次エネルギー消費原単位の比較を示す。BEI に相当する（コンセントを除く、設計一次エネルギー消費量÷基準一次エネルギー消費量）は省エネで 0.65、ZEB で 0.50 となり、ZEB を実現する可能性が高いことになる。エネルギー消費先別の削減量は、熱源のエネルギー消費の比率が、ベース：省エネ：ZEB=1.00：0.89：0.57、水搬送が、1.00：1.09：0.24、空気搬送が 1.00：0.37：0.26、照明の比率が 1.00：0.59：0.59 となる。省エ

表-1 省エネ建物の計算条件

仕様	
気象	拡張アメダス標準年気象データ 2010 年 東京
建築	対象用途:業務施設、約 93m×60m センターコア 専用部有効率:70%、階高:4.5m 天高:3.0m、計算対象面積 約 166,000 m ² 、(低層系統:7~23 階、高層系統:24~39 階)、共有部:廊下、便所、給湯室、附室、階段 非対象用途:商業施設・教育施設・宿泊施設・交流施設・供用施設(各種機械室・電気室・エントランス・地下駐車場) 高日射遮蔽型 Low-e ペアガラス 窓面積率 60% ひさし(東西面:垂直、南北面:水平)、ブラインド:直達日射により操作、外壁断熱 吹付ウレタンフォーム 25mm、室内運用条件:建築物省エネ法の事務所用途
空調	DHC(S-COP=冷房 0.9/暖房 0.73) 2次ポンプVWV(高効率電動機・吐出圧一定制御) VAV(プラグファン・高効率電動機・吐出圧一定制御) 外気冷房・予冷熱時外気カット・全熱交換器無し
照明	全てLED照明 専有部:初期照度補正・昼光利用照明制御・在室検知制御・タイムスケジュール制御 共有部:在室検知制御またはタイムスケジュール制御
換気	第3種換気(トイレ・給湯室)
給湯	貯湯式電気温水器(手洗い・給湯室)、節湯器具(手洗い)
昇降機	VVVF(電力回生なし)

表-2 標準仕様の計算条件

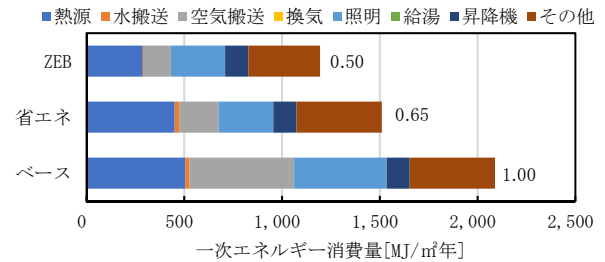
仕様	
建築	透明フロートガラス 窓面積率 40% ひさし無し 外壁断熱 スチレン発砲版 25mm
空調	DHC(S-COP=冷房 0.7353/暖房 0.7353) 2次ポンプVWV(標準電動機・台数制御) CAV(標準電動機) 外気冷房無し・予冷熱時外気カット無し・全熱交換器無し
照明	専有部:照明制御無し 共有部:照明制御無し
換気	第3種換気(トイレ・給湯室)
給湯	貯湯式電気温水器(手洗い・給湯室)、節湯器具無し
昇降機	VVVF(電力回生なし)

表-3 ZEB 化手法と設定条件

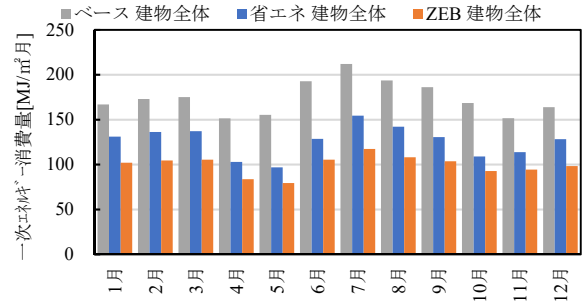
建築	自然換気:中間期及び夏期(ナイトページ) 換気量:室全体基準の 1 回/h をペリメータより導入	
空調	熱源	熱源制御の高度化(1次ポンプVWV・冷却塔ファンインバータ制御)(S-COP=冷房 1.1/暖房 0.73)
	搬送	空調ポンプの高度化(2次ポンプの末端差圧一定制御) 空調ファン制御の高度化(VAV 要求風量による制御)
	空調機	CO ₂ 濃度による外気量制御(外気 400ppm、室内設定値:1,000ppm)
照明	制御	照明のゾーニング制御(廊下) CEC/Lより補正係数=0.9と推定
運用	省電力機器 待機時電力を半減	

ネでは空気搬送・照明・熱源の順、ZEBでは、空気搬送・熱源・照明の順で削減量が大きくなる。また、季節別の変動をみると、夏期はベース:省エネ:ZEB=1.00:0.71:0.55、冬期は1.00:0.78:0.60、中間期は1.00:0.67:0.56となっており、年間を通じてほぼ同程度の削減率となる。

東京都の公表の省エネカルテ⁵⁾における事務所の2014~2016年の建物全体の一次エネルギー消費原単位の平均値は1,932MJ/(m²年)、その上位25%平均値は1,492MJ/(m²年)であるため、ベースは平均値程度、省エネが上位25%に相当する。



a) 年間一次エネルギー消費量

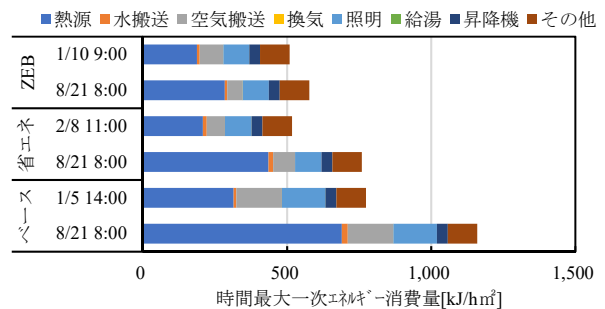


b) 月別一次エネルギー消費量

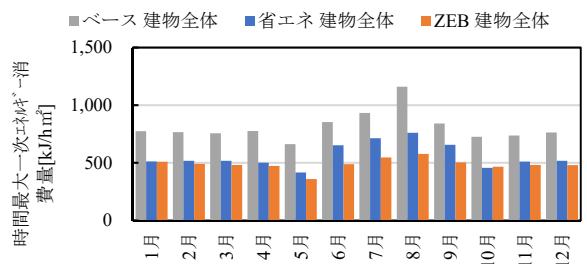
図-1 一次エネルギー消費量の比較

2.2 デマンドカット性能

図-2に夏期及び冬期の時間最大一次エネルギー消費量、及び、月別最大値の変動を示す。時間最大一次エネルギー消費量は、夏期はベース:省エネ:ZEB=1.00:0.65:0.50、冬期は1.00:0.67:0.66となる。なお夏期のピーク日時の変化ないが、冬期は導入手法の影響でピーク日時が異なる。また、夏期と冬期の時間最大一次エネルギー消費量の比率(夏期÷冬期)はベース:省エネ:ZEB=1.50:1.47:1.17となり、月別の時間最大値の変動でもZEB他に比べは月変動が小さい点から、エネルギー消費の平準化に寄与するといえる。



a) 時間最大一次エネルギー消費量



b) 月別の時間最大一次エネルギー消費量

図-2 ピーク時の一次エネルギー消費量の比較

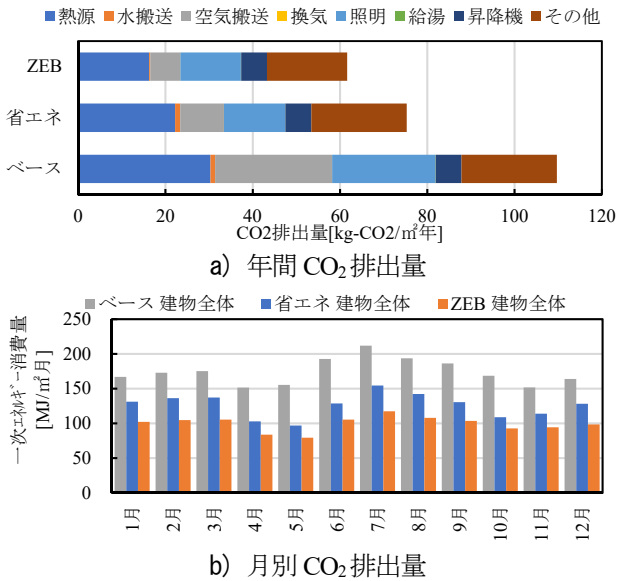


図-3 CO2排出量の比較

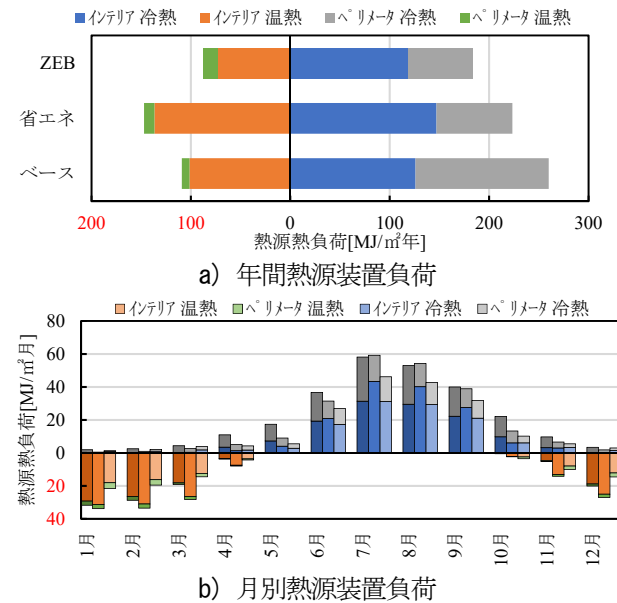
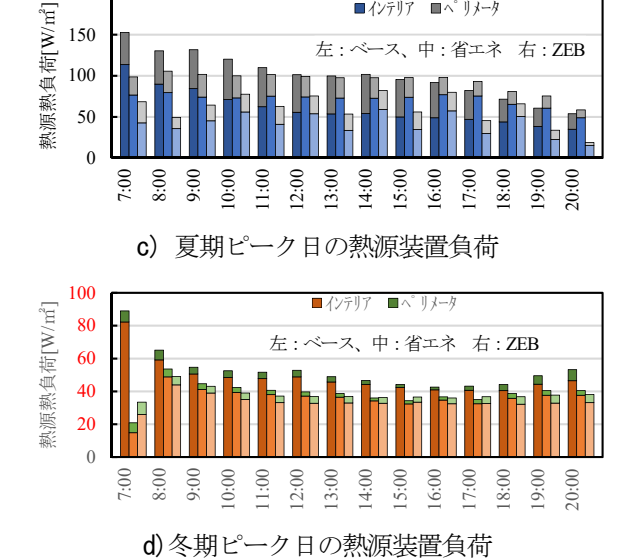


図-4 熱源装置負荷の比較



注：赤字は暖房負荷を表す。

図-4 熱源装置負荷の比較

2.3 低炭素化性能

図-3に年間のCO₂排出量の比較を示す。DHCのCO₂排出原単位は、0.06t-CO₂/GJとした。省エネカルテ⁵⁾における事務所の2014~2016年の平均値は95kg-CO₂/(m²年)、上位25%の平均は73kg-CO₂/(m²年)であるため、ベースが平均値の110%、省エネ建物が上位25%に相当する。熱源のCO₂排出原単位を3建物共同としたため、月変動は一次エネルギー消費量とほぼ同じである。

3.4 空調負荷削減

図-4に熱源装置負荷の年間・月積算の変化及びピーク日の時刻変動の比較を示す。冷暖房別の熱源負荷削減率は、ベース対省エネでは冷房：14%減・暖房：35%増・冷暖房：±0、省エネ対ZEBでは冷房：18%減・暖房：40%減・冷暖房：27%減となっている。

ベース以外で導入されている冷暖房予熱時の外気カットは、7時の空調負荷に大きな差となり、冬期のピークエネルギー消費量にもその影響がみられる。また、省エネとZEBの暖房負荷の差異は、内部発熱の低減の影響と考えられ、冬期ピーク時の立ち上がり時のインテリア影響がある。冬期の照明エネルギー削減量とDHCのCOPから

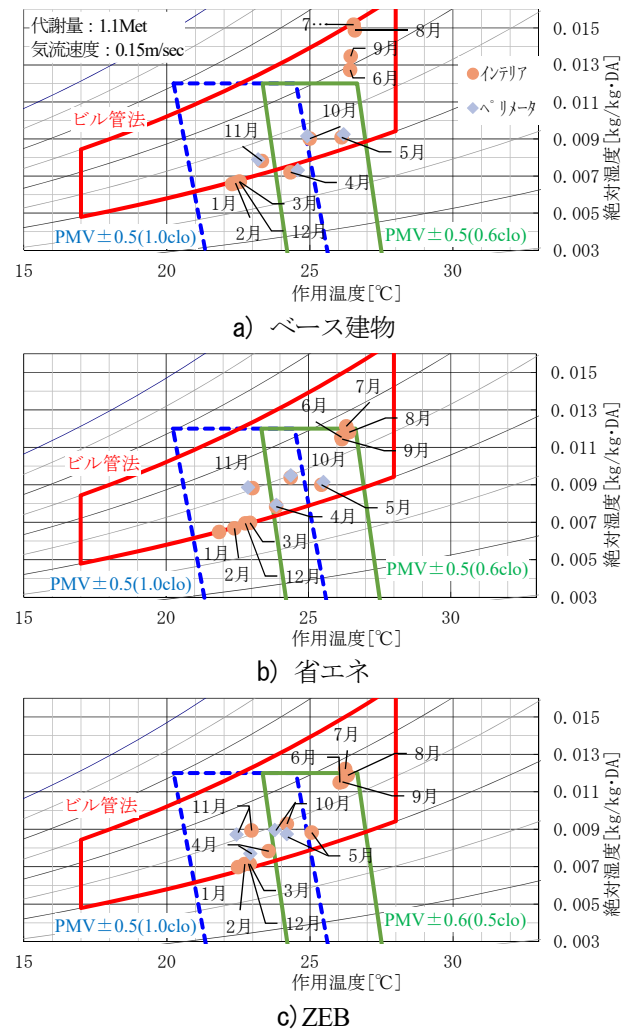


図-5 室内環境の比較

逆算した熱量が約 45MJ であり、年間負荷の差とほぼ同等である。ベースのインテリア冷房負荷に比べ、他の冷房負荷が同等またはそれ以上となっているのは、室内環境の影響と考えられ、3.5にてその詳細を分析する。

3.5 室内環境

図-5 に空調時間帯における各月・各ゾーンのインテリア（年間）およびペリメータ（中間期）の平均温湿度を示す。夏期においてベースは室温が 26°C に制御され、ビル管法の範囲に入っているが、PMV±0.5 の範囲に入っていない。ベースの定風量空調は低負荷時に冷却除湿ができないため、室内湿度が高くなるためである。この結果が夏期におけるインテリア装置負荷に影響を与えており、連成計算による影響である。省エネおよび ZEB は、変風量制御により定格より送風量が低減することにより低負荷でも除湿が行われ室内湿度が低下し、夏期は PMV±0.5 の範囲内となる。また、ZEB は自然換気およびナイトパーズによって、中間期のペリメータの作用温度がインテリアよりも約 0.5°C 低下している。

3. ZEB 化手法の評価

3.1 省エネルギー性能

図-6 に省エネおよび ZEB を対象とした、ZEB 化手法の省エネルギー効果の相関関係内訳を示す。全ての ZEB 化手法を導入すると、両建物における省エネルギー効果は同じ値の 315 MJ/(m²・年)となる。各手法の省エネ効果の単純な足し算は、ZEB で 234 MJ/(m²・年)、省エネで 258 MJ/(m²・年)となり、6 手法の交互作用による影響がある。両建物共に CO₂ 制御及び搬送の省エネルギー効果が高い。搬送の一次エネルギー削減量の内訳として、両建物共に空気搬送が約 80%と大半を占めている。また、熱源制御及び運用改善は省エネ建物で効果が高い。照明のゾーニング制御及び運用改善は、内部発熱による交互作用が多少発生するが、今回のケースでは大きな影響を及ぼしていない。本検討では省エネ・ZEB に導入効果の差異がある手法はなかった。本検討で削減効果の大きな CO₂ 制御は、本報では ZEB 化手法とはしていない外気冷房・全熱交換器などと交互作用により導入効果の差異が生じると考えられる。

3.2 デマンドカット性能

図-7 に省エネおよび ZEB を対象とした、ZEB 化手法のデマンドカット効果の相関関係を示す。全ての ZEB 化手法を導入すると、両建物におけるデマンドカット効果は同じ値の 183 kJ/(m²・h)となる。各手法のデマンドカット効果の単純な足し算は、ZEB で 136 kJ/(m²・h)、省エネで 233 kJ/(m²・h)となり、省エネルギー手法に比べて 6 手法の交互作用による影響が大きい。熱源制御を除く 5 つの手法は ZEB における効果が高い。また導入効果の順位も省エネルギー性能とは異なっている。

まとめ

ベースライン建物法を用いて、汎用的な省エネ手法、ZEB 化手法の導入による省エネルギー効果・デマンドカット性能・空調負荷削減効果・室内環境を試算し、オフィスビルの ZEB 化に対するポテンシャルを評価した。

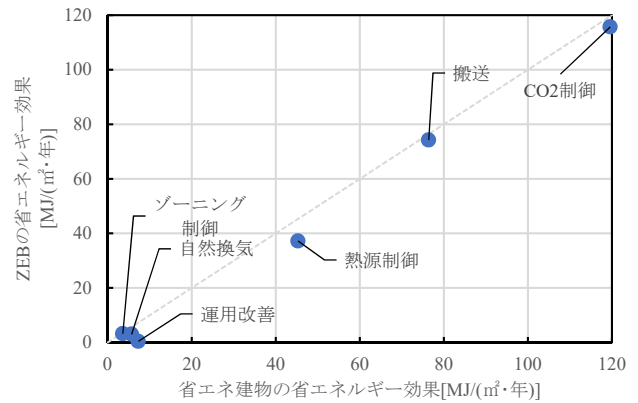


図-6 省エネルギー性能の比較

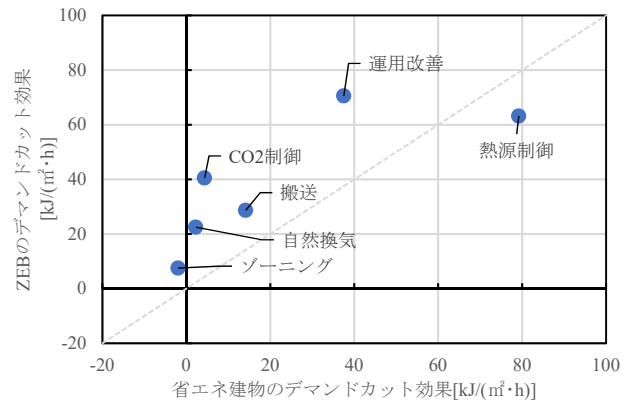


図-7 デマンドカット性能の比較

【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。

参考文献

- 1) エネルギー消費性能計算プログラム（非住宅版）における ZEB 化手法について、空気調和衛生工学会
- 2) ZEB 設計ガイドライン（中規模事務所編）、一般社団法人環境共創イニシアチブ
- 3) ASHRAE Standard 90.1 ASHRAE Standard 90.1-2010 “Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings” を参照
- 4) 温熱・省エネ設備機器等のポータルサイト 一社住宅性能評価・表示協会 <https://www2.hyoukakyokai.or.jp/hijutaku/info/>
- 5) 東京都★省エネカルテ、東京都地球環境エネルギー部 http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/climate/large_scale/data/karte.html