

# 建築環境シミュレーション技術を活用した ゼロエネルギービルの試設計

## Trial Designing of net Zero Energy Building With Enviroment Simulations

岩下将也\*

### 要 旨

2015 年 12 月に、経済産業省により ZEB の定量的定義が定められたことで、ZEB を設計目標とした具体的な設計検討ができるようになった。ZEB の設計にあたって、建物のエネルギー消費量の予測方法が用意されているが、周辺の建物等によって形成される日影の影響や、省エネルギー技術の導入による室内環境の変化については、汎用的なエネルギー算定プログラムでは評価することができない。本検討では、ZEB の設計精度を高めることを目的とし、市街地の複合ビルをモデルケースにした ZEB の試設計を行った。3D モデルを用いて、建物への日射の到達状況を予測し、太陽光発電パネルの発電量と開口部の熱負荷を算定し、ZEB の評価に必要なエネルギー算定に反映させた。また、選定した省エネルギー技術が、室内環境を満足することを確かめ、ZEB が実現できることを確認した。

キーワード：ZEB、ペリメーターレス、温度分布、照度分布、シミュレーション

### 1. はじめに

経済産業省がネット・ゼロ・エネルギー・ビル（以下 ZEB）のビジョンを掲げて以降、各企業・団体によって ZEB の実現性が検討されている。2015 年 12 月には、「ZEB のロードマップとりまとめ」<sup>1)</sup> が発表され、これまでは曖昧であった ZEB の考え方が具体的に定められた。ここには ZEB の施策上の分類と定量的定義（表 1）が示されており、建物規模等に合わせて設計目標を立てることができる。また、ZEB の実現性が確認できるエネルギーの算定プログラムも整備されて<sup>2)</sup>、具体的な設計検討が可能となっている。

ZEB の実現のためには太陽光発電パネルの発電量や、建物の熱負荷の算定が必要となり、建物への日射の到達状況を詳細に検討する必要がある。しかし、一般的なエネルギー算定プログラムでは、日射の到達状況を考慮した算定をすることができない。また、省エネルギー技術の導入にあたっては、エネルギー消費量の算定だけでなく、その技術が室内環境に与える影響も考慮する必要がある。

本検討では、周辺建物の日影の影響を考慮した太陽光発電パネルの発電量、開口部の熱負荷、および省エネ

表 1 ZEB の施策上の分類と定量的定義<sup>1)</sup>

分類	定義
『ZEB』	再生可能エネルギーを除き、基準一次エネルギー消費量から50%以上の一次エネルギー消費量削減、かつ再生可能エネルギーを加えて、基準一次エネルギー消費量から100%以上の一次エネルギー消費量削減
nearly ZEB	再生可能エネルギーを除き、基準一次エネルギー消費量から50%以上の一次エネルギー消費量削減、かつ再生可能エネルギーを加えて、基準一次エネルギー消費量から75%以上100%未満の一次エネルギー消費量削減
ZEB Ready	再生可能エネルギーを除き、基準一次エネルギー消費量から50%以上の一次エネルギー消費量削減

ル技術の室内環境に与える影響を評価することを目的とし、市街地の複合ビルを対象とした ZEB の試設計を行った。3D モデルを用いて周辺建物による日影面積を算定し、太陽光発電パネルの発電量、開口部の熱負荷を予測した。エネルギー消費量の算定プログラムにその結果を反映させた。また、選定した省エネルギー技術のもたらす温熱・光環境を解析によって評価し、ZEB の実現性を確認した。

\*技術研究所

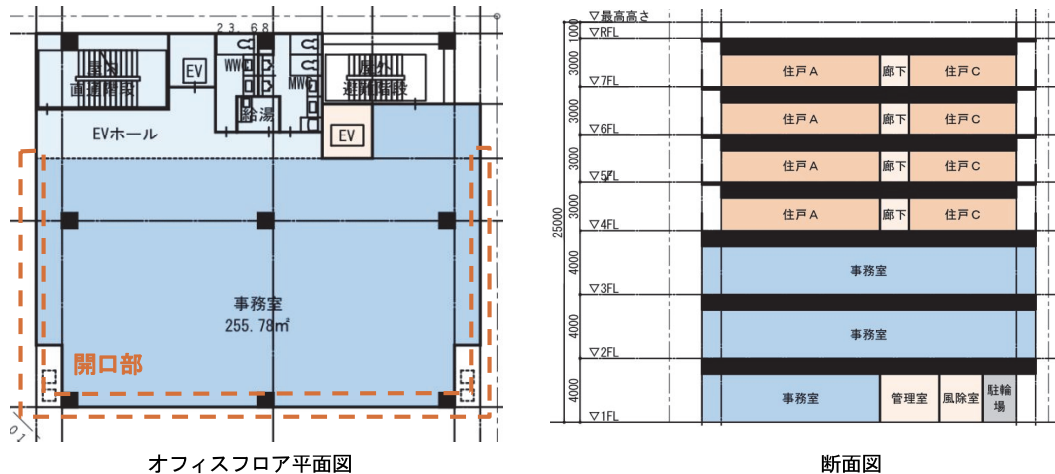


図-1 対象建物の概要

## 2. 対象建物

対象とする建物は地上7階建ての複合ビルで、1～3階がオフィスフロア、4～7階がマンションフロアとなっている。建物概要を図-1、採用する省エネルギー技術を表-2、建物の配置図を図-2に示す。オフィスフロアをZEBの試設計対象とする。東西南面は、室内の解放感を得る目的から、ガラスの開口部となっている。

ZEBの実現には再生可能エネルギーの供給が必要であることから、屋上に太陽光発電パネルの設置を計画した。

また、建物の西側には高層建物、南側の中層建物があるため、屋上や開口部に到達する日射が部分的に遮られることが想定される。採用する省エネルギー技術のうち、日射の到達に大きく影響を受ける技術（太陽光発電パネルの発電量、開口部の熱負荷）については、日影を考慮した検討が必要である。また、開口部の高性能化、タスクアンビエント照明については、室内環境の設計目標を満足させる必要がある。

これらの検討には、汎用的なエネルギー算定プログラム以外に、日影の到達状況、熱、気流、光のシミュレーションが必要となる。以下では3Dモデルに基づく解析によって、表-2に示す①②③の項目について検討した。その結果をエネルギー算定プログラムへ反映させ、さらに周辺環境・室内環境を考慮したZEBの試設計をした。

## 3. 太陽光発電パネルの発電量推定

建物屋上にはキュービクル・室外機等の設備を除いた全面に太陽光発電パネルを配置している。西側の高層建物が西日をささげること、太陽光発電パネルの一部が日影となり、発電量が少なくなることが想定される。そのため、月別・時刻別のパネルへの日射の到達状況を3Dモデル<sup>3)</sup>によりシミュレーションした。シミュレーション結果を図-3に示す。周辺建物の日影があるもの

表-2 採用する省エネルギー技術

①太陽光発電パネル	・地中熱利用空調
②タスクアンビエント照明	・昼光利用による省エネ
③開口部の高性能化	・トイレの人感センサ
・高効率照明(LED)	・外壁の高断熱化
・高効率空調機器	



図-2 配置図

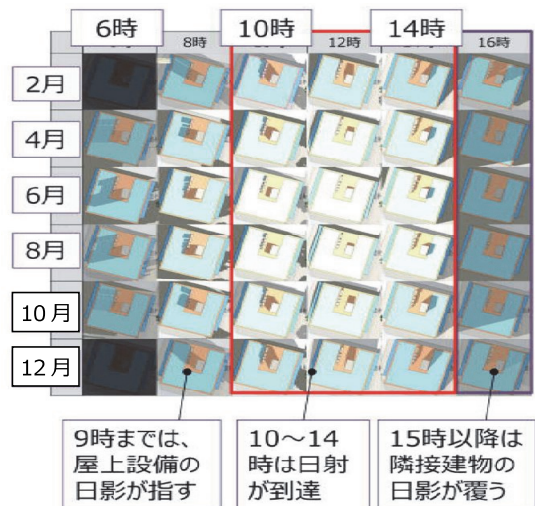


図-3 屋上日射到達面(月別・時刻別)

の10時～14時にかけては、年間を通してほぼ全面に日射が到達していることが確認できる。シミュレーションで得られた時刻別の日射到達面積に、各時刻の平面日射量<sup>3)</sup>を乗じ、JIS C 8907に規定される方法で年間発電量を推定した。その結果、年間で34,000kWhの発電が可能である試算を得た。

#### 4. 開口部の熱負荷と快適性

##### 4.1 検討概要

対象建物は、東西南面が全面開口部であるため、建物規模に比して開口部の面積が大きく、外皮からの熱負荷の増大が懸念される。

また、小規模オフィスでは外皮・開口部の近傍まで座席が配置されることが多く、日射の影響で開口部近傍の温熱環境が変化し、執務者の快適性を損なうことが考えられる。熱負荷の低減効果が高く、かつ、開口部近傍でも快適性が確保できるペリメーターレスな開口部が求められる。検討する開口部の対策案は図-4に示す3案とし、開口部近傍の体感温度と熱負荷を熱気流解析によって求めた。

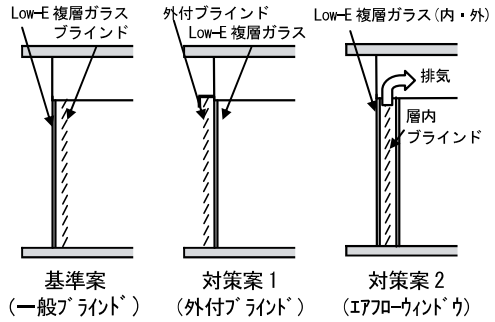


図-4 開口部の各対策案

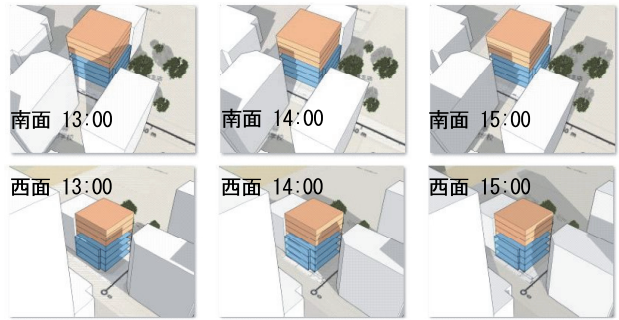


図-5 各壁面への日射到達状況

##### 4.2 開口部への日射の到達状況

建物東・南面および建物南・西面への日射の到達状況を図-5に示す。部分的に日影が形成されるが、周辺建物の隙間から日射が到達していることが分かる。この結果とアメダス気象データ（標準年）をもとに、到達日射量と外気温の年間発生時間分布を、各開口面ごとに作成した。図-6に建物南面の、日射量と外気温の年間発生時間分布を示す。図中の数字は、日射量と外気温の年間発生時間を示す、例えば30℃、600Wの環境は年間で2時間発生することを示している。

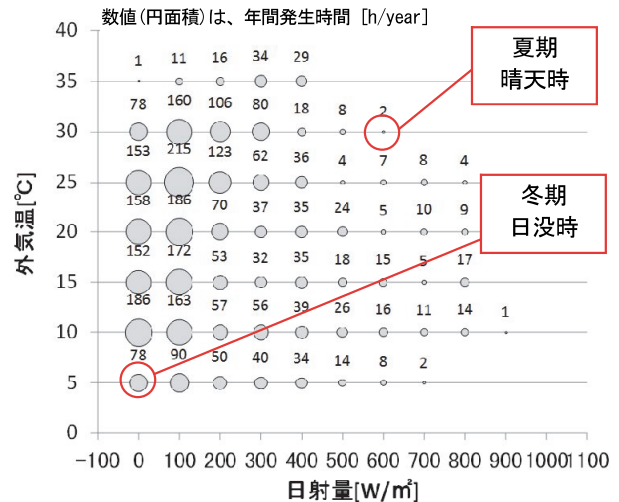


図-6 日射量・外気温年間発生時間分布

##### 4.3 温熱快適性の解析

夏期および冬期の設計目標を以下のように設定した。夏期においては、日射が到達した際も、開口部近傍の体感の温度上昇が1℃を超えないこととした。その評価方法として、開口部から5.0m（インテリアゾーン境界）と開口部から0.5m（開口部近傍）の体感温度の差を適用した。体感温度には、輻射温度も考慮された作用温度を用いた。

冬期においては、コールドドラフトの影響がないこととし、その評価方法は、ISO7730に従い、開口部近傍で上下温度差が3.0℃を超えないことを設計目標とした。それぞれの状況が最も発生しやすいと想定される気象分布を図-6より2点（夏期晴天時、冬期日没時）選定し、各気象状況・各案ごとに熱気流解析をした。解析には樹ソフトウェアクレイドルの熱気流解析ソフト STREAM V12を使用した。

解析結果を図-7に示す。夏期晴天時の温熱環境は、基準案で評価値1.5℃となったが、対策案1で0.9℃、対

策案2で0.6℃にとどまり、2つの対策案はいずれも設計目標を満たすことがわかった。冬期の解析では、基準案の評価値は1.3℃、その他で1℃程度となり、いずれの案も設計目標を満たした。

##### 4.3 熱負荷の算定

快適性の評価の際に得られた熱負荷と、各方位別の温度・日射量分布より、各対策案の年間外皮負荷の削減効果を推定した。図-8に、南面における推定結果を示す。対策案1は基準案に対し、冷房負荷が低減しているものの、暖房負荷は増大している。これは日射によって暖められたブラインドの熱が外で放熱されるため、暖房の補助エネルギーとして使うことができないためである。対策案2は、冷房負荷・暖房負荷とも基準案と比較し大きく熱負荷が低減する結果となった。夏期は、各 Low-E

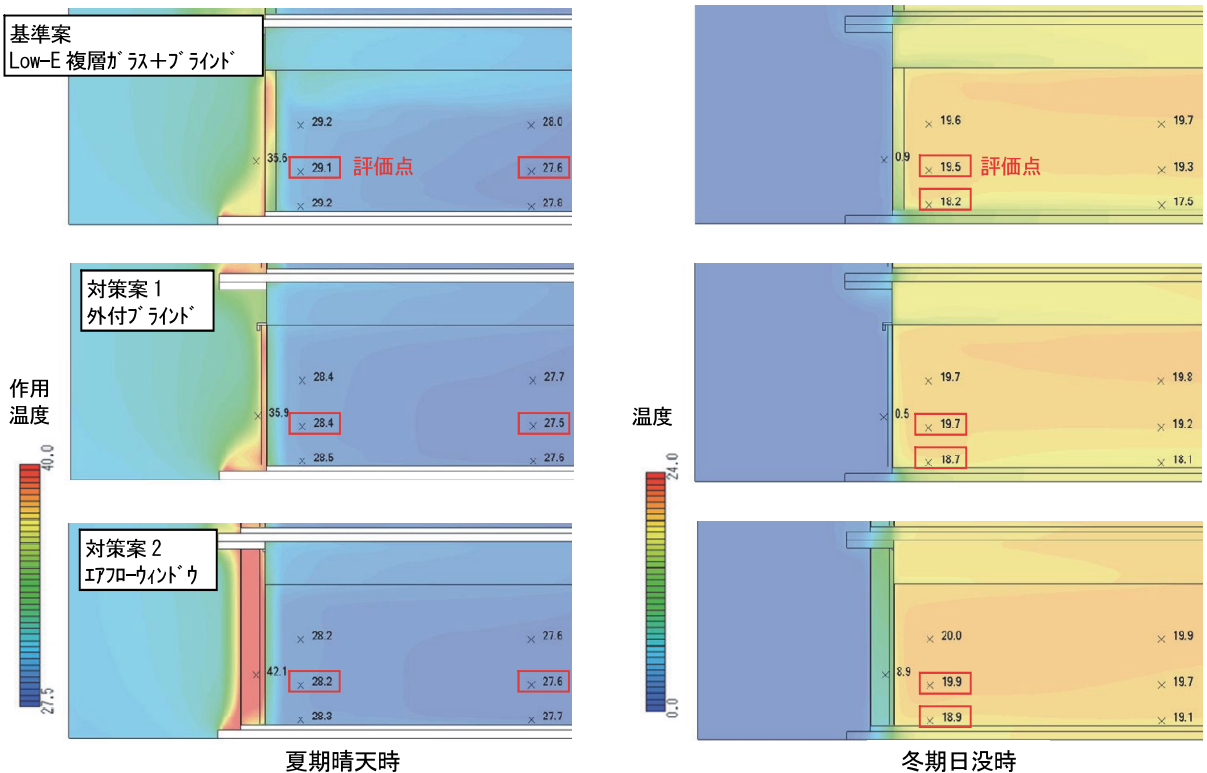


図-7 開口部近傍の温熱環境の解析結果

複層ガラスが日射をさえぎり、かつ、層内で熱伝達を防いでいるため、冬期は断熱性によって、室内の熱が伝熱しないためと考えられる。

各案の快適性と熱負荷の解析結果より、開口部の仕様には対策案2エアフローウィンドウを採用することとした。

### 5. タスクアンビエント照明の照度分布と電力量

照明のエネルギー消費量は、建物全体のエネルギー消費量の3~4割を占める。照明設備の省エネルギー対策は、発光効率の高い照明器具を選定することが基本となる。ZEBなどの大きな省エネルギー効果が求められる建物においては、空間内の照度分布の最適化などの設計技術による省エネルギー対策も重要となる。

タスクアンビエント照明は、執務空間をタスクエリア(机の配置されているエリア)とアンビエントエリア(それ以外のエリア)に分割し、各エリア別に必要照度を確保することで、照明エネルギーを削減する技術である。対象建物のように執務面積の割合が大きい建物においては大きな省エネルギー効果が期待できる。

一般的なタスクアンビエント照明は、パーティションと机が一体となりパーティションにタスクライトが取り付けられる方式、天井からの吊り下げ照明でタスクエリアの照度を確保する方式などがある。これらの方式は発光効率の高い製品が少ないことや、机のレイアウトや机そのものの仕様変更が困難である欠点もある。

検討したシステムは発光効率の高い調光タイプの汎用

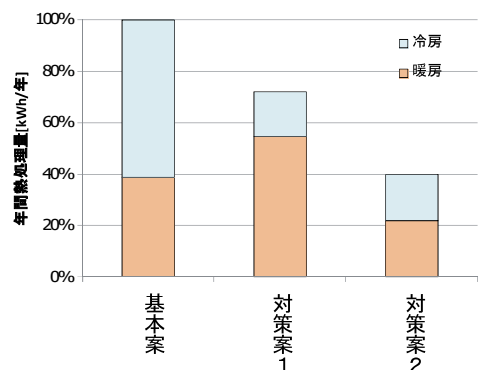


図-8 各対策の年間負荷

的なベース照明と、机上においたタスクライトで各エリアの照度を確保する方式である。ベース照明は全般照明を想定して設計し、器具ごとの調光によってエリア分けをする。ベース照明の調光とタスクライトのON/OFFによって、タスクエリアとアンビエントエリアの照度を調整することができ、机のレイアウト変更にも対応が可能である。目標照度は、タスクアンビエント照明での運用を想定した場合は机上面 750lx、その他床面 300lx、全般照明での運用を想定した場合に机上面 750lxとした。3次元照度分布解析ソフト DiaLux ver 4.0 (DIAL社)を使い、器具の選定・配置と解析から、設計目標を満たす器具配置を模索した。

照明点灯パターン別の照度分布とエネルギー消費量を図-9、表-3に示す。図-9(a)の机配置のもと、全般照明(図-9(b))とタスクアンビエント照明(図-9(c)、(d))の解析をした。(b)でタスクライトを使わな



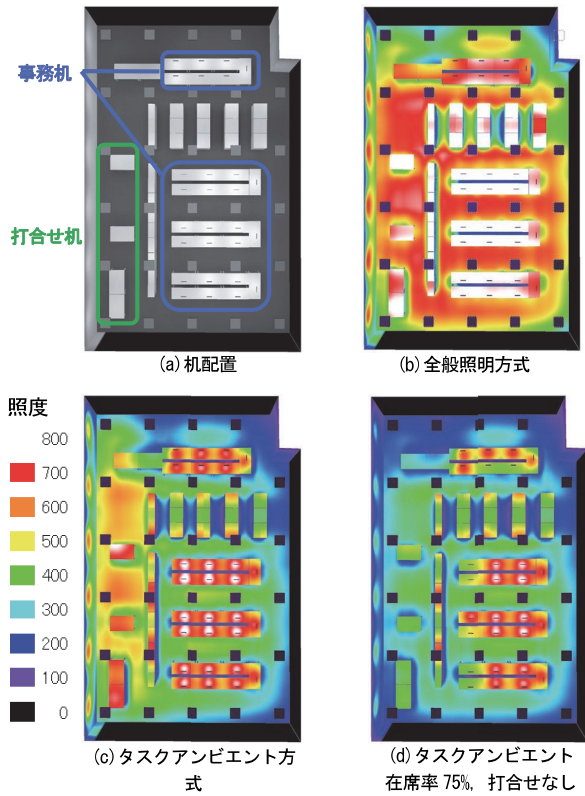


図-9 照明稼働パターンごとの照度分布

表-3 照明稼働パターンごとと電力量

照明モード	用途	減光率	器具数 台	電力 W/台	電力 W	電力 W	省エネ 効果
全館照明	アビエントライト (全29台)	100%	29	61	1769	1,769	0%
	タスクライト (全28台)	OFF	28	12	0		
タスク アンビエント	アビエントライト (全29台)	100%	6	61	366	1,404	21%
	タスクライト (全28台)	ON	28	12	336		
タスク アンビエント	アビエントライト (全29台)	50%	29	61	884.5	1,137	36%
	タスクライト (全28台)	ON	21	12	252		
	タスクライト (全28台)	OFF	7	12	0		

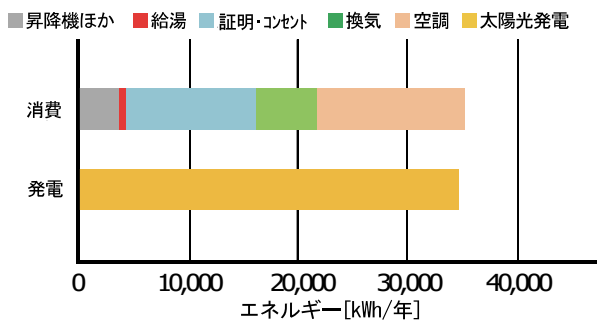


図-10 年間エネルギー消費と発電量

い全館照明方式である。(c)はすべての事務机および打合せ机に照明を点灯させた場合である。(d)は発生頻度の高い状況として在席率75%で打合せがない場合を想定して一部のタスクライトと、打合せ机上部のベース照明を消灯した場合である。すべての解析の場合で設計目

標を満足知ることを確認した。また、全館照明図-9(b)と比較してタスクアンビエント照明図-9(d)は、36%の削減効果が得られることが分かった。

## 6. 対象建物のZEBの実現性

4、5節の結果および汎用的なエネルギー算定プログラム<sup>4)</sup>を利用し、次のように建物全体のエネルギー消費量を算定した。

- i. エアフローウィンドウの熱負荷低減効果は、各方位の開口部の熱負荷をLow-E 複層ガラス+ブラインドでモデル化し、4節で計算した外皮負荷の削減率を熱負荷に反映させた
- ii. タスクアンビエント照明の照明熱負荷を、表-3および年間の稼働スケジュールから算定した
- iii. 表-1に示すその他の省エネルギー技術を、プログラムの標準機能から算定した

すべての計上した年間エネルギー消費量と、3節の太陽光発電パネルの年間発電量を図-10に示す。年間エネルギー消費量が、年間発電量と同等となっており、設計段階でのZEBが実現できることを確認した。

## 7. まとめ

小規模オフィスのZEBの実現性を確認し、以下の知見が得られた。

- i. エアフローウィンドウを適用することで、年間の外皮の熱負荷を半減し、開口部近傍の体感温度を0.9℃低減する効果が得られた
- ii. タスクアンビエント照明を適用することで、全館照明と比較して、36%の省エネルギー効果が得られた
- iii. エネルギー消費量の内訳は、空調・換気が最も大きな割合を占めた

今後はより大規模な建物でZEBが実現できるよう、空調設備の省エネルギー技術について模索する必要がある。

### 【参考文献】

- 1) 経済産業省「ZEBロードマップ検討委員会とりまとめ」、2015.12.17
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所他「一次エネルギー消費量WEB算定プログラム」
- 3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構「年間月別日射量データベース(Monsola 11)」
- 4) (財)省エネルギーセンター、「業務用ビルのエネルギー原単位管理ツールESUM ver.5.0」