

日射環境から建物形状を決定するシミュレーション技術の開発

設計初期段階における省エネ・創エネの計画支援

庄司 研^{*1}・佐藤 大樹^{*1}・大黒 雅之^{*1}

Keywords : solar environment, energy saving, energy creation, ZEB, simulation

日射環境, 省エネルギー, 創エネルギー, ZEB, シミュレーション

1. はじめに

1.1 背景

近年, CO₂ 排出量削減の観点から, 世界的に ZEB (Zero Energy Building) への取り組みが進められてきている¹⁾。日本では 2009 年 9 月に 2050 年までの CO₂ 排出量削減目標として 1990 年比-25%を表明していること等もあり, その実現のために, 建築の省エネルギーをより一層進めると共に化石燃料に頼らないエネルギー利用に関する様々な検討が行われている。

ZEB 実現に向けた各種技術の採否の決定は, その技術内容に応じて建築計画のさまざまなフェーズで行われるが, 本報で着目するエネルギー消費の基となる負荷を低減する外皮での負荷抑制(日射・伝熱の熱負荷低減, 昼光利用)と, 外皮に設置してエネルギーを創出する太陽光発電パネルや太陽熱集熱器は, どちらも太陽との位置関係による太陽光の受け方の違いにより影響を受けるものであり, 初期の検討が必要なものである。

1.2 シミュレーション方法

日射と建築のエネルギーの関係には, 日射熱負荷削減による空調用エネルギーの削減(省エネ)の視点と, 太陽光発電等の再生可能エネルギーの利用(創エネ)という視点がある。前者については, 日射環境を考慮して建物の熱負荷・エネルギー解析を行う手法として, 例えば著者らが開発している一連のシミュレーション技術がある²⁾。

1.3 検討方針

本報では, 後者の創エネルギー解析方法について述べ, これらの解析手法を用いて, 省エネと創エネの双方が大きくなる建物形状を検討した。

ZEB を実現するための各種省エネ・創エネ技術の適用に関して現時点でなされている検討は, いずれもモデル建物として直方体等のシンプルな形状が採用されることが多い³⁾。

この検討方針は, 各種技術の効果に関する一般的な知見を得る手段として有効であるが, 建物の形状自体の変更も熱負荷や創エネ量に影響を及ぼすことは明らかである。さらに, 建築形状に関して, 省エネ推進(負荷最小化)では表面積最小化が求められ, 創エネ推進(発電電力量, 熱利用量最大化)ではパネル表面積最大化が求められるというトレードオフの関係にもあり, 両者の合計で最大の効果を発揮できる建築形状を検討することは, ZEB 化を考える上で重要なアプローチの 1 つであると考えられる。

そこで, 著者らが文献 4 にて示した「バーチャル環境配慮ビル」の形状を決定する過程(図-1)を, 日射環境に特化して検討した結果を報告する。

2. 日射に係る再生エネルギー利用量計算

2.1 太陽光発電パネルの発電電力量

発電電力量 E_p [kWh] は計算で得られた斜面日射量から式(1)にて計算する⁵⁾。

$$E_p = I_{TG} / \alpha \times A_p \times \eta_p / 100 \quad (1)$$

ここで, I_{TG} : 斜面日射量[MJ/m²・h], α : 電力量の熱量換算値[MJ/kWh], A_p : 太陽光発電面積[m²], η_p : 太陽光発電の発電効率[%]

2.2 太陽熱集熱器の集熱量計算

集熱量 Q_p [MJ/h] は, 外気温度による集熱効率の変化はないものとし, 式(2)で計算する。ここで, 集熱効率とは温水配管や貯湯槽の熱ロスを想定している。エネ

*1 技術センター 建築技術研究所 環境研究室

ルギー解析²⁾では、一種の熱源として機能し、貯湯槽容量や熱量の需要とのバランスが考慮され、最終的に熱利用量が求められる。

$$Q_p = I_{TG} \times A_c \times \eta_c / 100 \quad (2)$$

ここで、 I_{TG} : 斜面日射量[MJ/m²・h], A_c : 太陽熱集熱器の集熱面積[m²], η_c : 太陽熱集熱器の集熱効率[%]

3. 解析概要

3.1 解析手順

本解析では、建物形状の効果に着目するため、周辺建物は考慮せずに建物1棟のみを対象とし、標準気象データ⁶⁾を用いた熱回路網計算、及び太陽光発電計算を行った。一方で、複雑な形状における外壁の熱負荷を正確に扱うため、図-1に示す3次元形状モデルを作成⁷⁾し、特に曲面を細分化し、各面の外壁面の方位を

正確に設定したモデルを作成した。太陽光パネルの下部の壁面はパネルの影になり日射が当たらないものとした。熱回路網計算にはTRNSYS⁸⁾を用いた。

3.2 解析ケースと解析条件

図-1に各解析ケースの建物外観を示す。各ケース共、10階建て、階高4m、延床面積約35,000m²、全面ガラスのカーテンウォールという点は共通とした。

ケース1を標準形として整形な建物とし、事前の検討により解析ケースを設定した。ケース2, 3は熱負荷削減の視点で計画したものであり、ケース2は日射負荷削減のため東西方向に長くし、ケース3は表面積を小さくするために円筒形とした。ケース4, 5は日射利用の視点から計画したものであり、ケース4は昼光利用を最大限行うことを考え、太陽の方位・高度を考慮しながら北側壁面を冬季にも採光可能な角度に計画した。本論文では特に熱に着目しているため、昼光利用による照明エネルギー削減の定量評価結果は考慮しなかった。ケース5は、太陽光発電パネルを設置できる

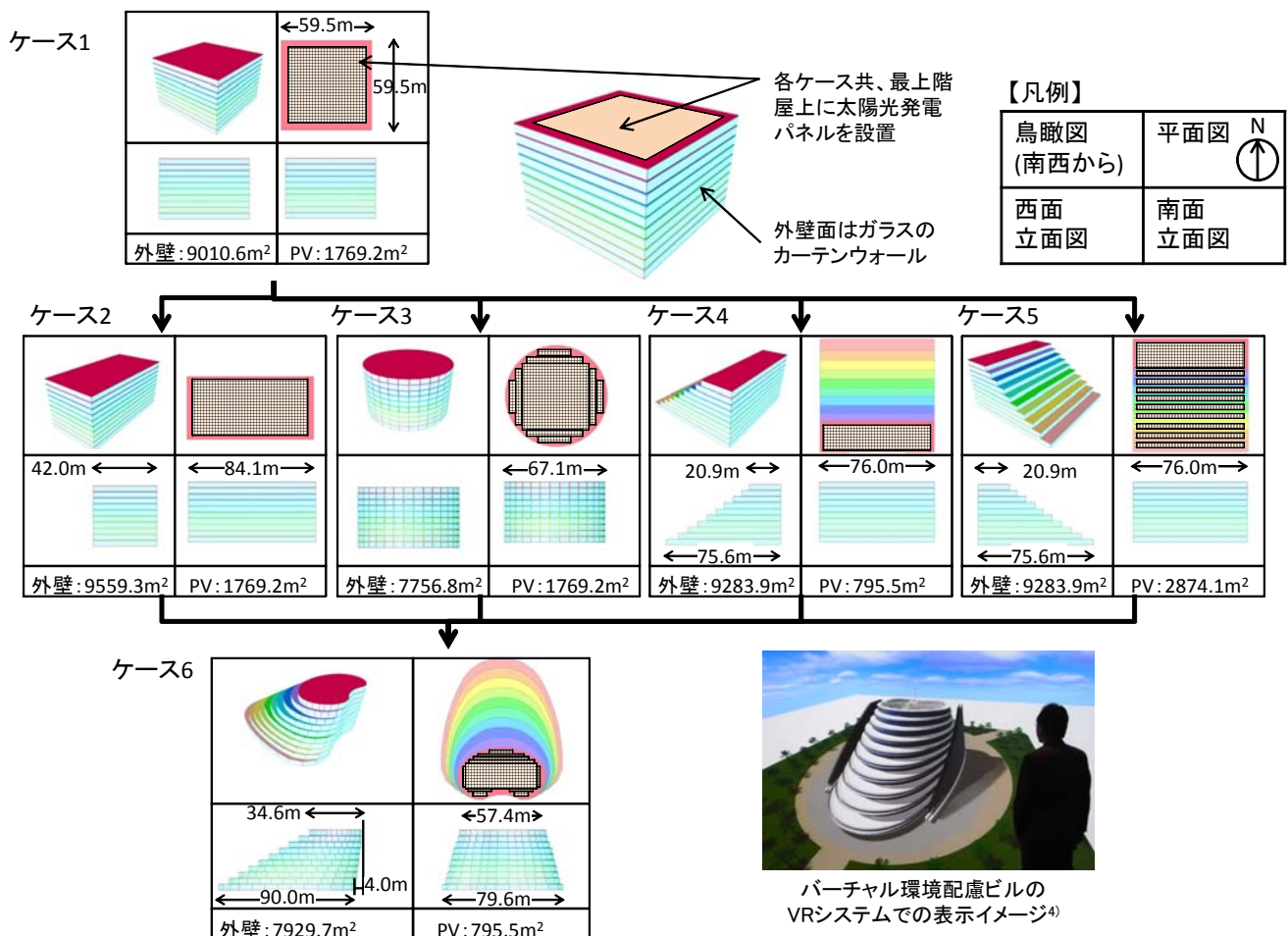


図-1 解析ケース
Fig.1 Simulation cases

面積を大きくするため南側に階段状とし、各階の屋上にも太陽光発電パネルを設置した。以上の各方針を総合的に勘案し、最終的にケース 6(バーチャル環境配慮ビルに相当)を設定した。

また、建物形状は同じでガラスの仕様を 2 種類設定した。(a: Low-E ペアガラス, b: フロートガラス) 主な仕様を表-1 に示す。

建物は事務用途とし、表-2 に代表的な躯体の熱物性値を、表-3 に空調条件を、図-2 に内部発熱スケジュールを示す。建物形状は設計初期のボリュームスタディの段階で決定するため、詳細な空調ゾーニングは設定せず、各階 1 ゾーンのみとした。

太陽光パネルの角度は任意に設定可能であるが、今回は勾配を付けない設定とした。また、式 (1) における発電効率 η_p を 15% と仮定し、年間の発電電力量を算出した。

表-1 窓ガラス仕様
Table.1 Specification of window glass

	熱貫流率[W/m ² ·K]	日射熱取得率[-]
a: Low-E ペアガラス	1.82	0.58
b: フロートガラス	5.43	0.84

表-2 壁・屋根・床の熱貫流率
Table.2 Heat transmission coefficient of wall, roof and floor

部位	熱貫流率 [W/m ² ·K]
外壁	0.997
屋根	0.573
内壁	1.997
内床	1.941

表-3 空調条件
Table.3 Air conditioning settings

負荷原単位		空調設定		
人員密度	0.05 [人/m ²]	冷房	28[°C]	60[%]
照明発熱	10 [W/m ²]	暖房	20[°C]	40[%]
機器発熱	10 [W/m ²]			

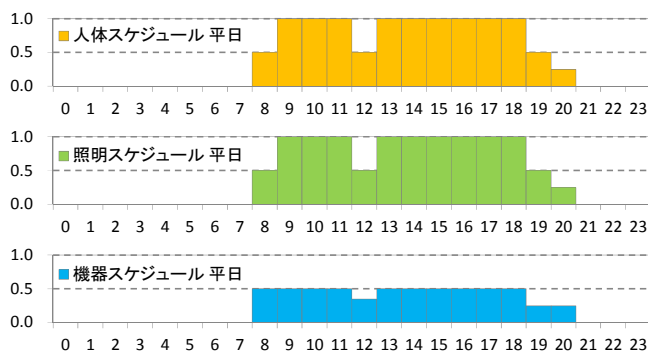


図-2 内部発熱スケジュール
Fig.2 Schedules of heat gain

4. 解析結果

4.1 年間の空調顕熱負荷

図-3 に Low-E ペアガラスの場合の年間の空調顕熱負荷を示す。ケース 1_a からケース 3_a までは、暖房負荷が小さく、冷房負荷が大きい結果となり、ケース 4_a からケース 6_a までは、冷房負荷、暖房負荷が同程度となった。前者は各階ともに同じ平面形状であることから、最上階とその他の階という 2 パターンの負荷の傾向がある。一方後者は、最上階が最も面積が小さい階段状で、階が上がるに従い床面積に対する屋根面積の割合が大きく、外気に熱が逃げやすい。このような建物形状の特徴による差により、冷房、暖房の負荷の傾向が異なっていると考えられる。

また、建物表面積を小さくするため曲面による平面形状としたケース 3, ケース 6 は、空調負荷がやや小さくなった。

結果として、暖房と冷房の合計は、ケース 1_a が最も大きく、ケース 6_a が最も小さい結果となった。

図-4 にフロートガラスの場合の年間の空調顕熱負荷を示す。図-3 の Low-E ペアガラスと比較すると、冷房負荷に比べて暖房負荷の増加が大きい。このことから、ガラスの性能は暖房負荷への影響が大きいと言える。

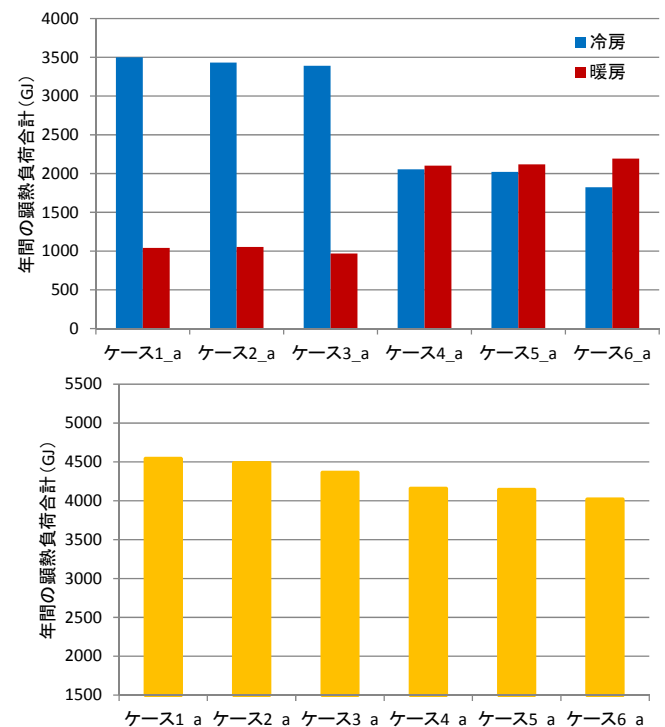


図-3 年間空調顕熱負荷 (Low-E ペアガラス)
(上: 冷・暖別, 下: 冷・暖合計)

Fig.3 Annual sensible heat load (Low-E pair glass)

4.2 熱負荷と太陽光発電電力量

図-5にLow-Eペアガラスの場合の年間の空調顕熱負荷と太陽光発電電力量を、図-6にフロートガラスの場合の結果を示す。グラフの左上が空調負荷が小さく、発電電力量が大きいことから、望ましい形状であることがわかる。

太陽光発電パネルの設置場所を、今回は屋根面のみとしたため、設置面積を最も広く確保できるケース5_a、ケース5_bが最も発電電力量が多い。省エネルギー性能については、図-3、図-4で示した通り、ケース6_a、ケース6_bが最も良い結果となった。

CO₂ 排出量に換算するため、2010 年度の使用端 CO₂ 排出原単位⁹⁾ (0.350kg-CO₂/kWh) を用い、また、COP=3 と仮定して負荷を電力換算をすると、例えば、最も発電電力量の多いケース5_aでは、空調顕熱処理で134.2t-CO₂の排出量、太陽光発電パネルの発電で205.8t-CO₂の削減量となる。一方、最も発電電力量の小さいケース6_aでは、空調顕熱処理で130.2t-CO₂の排出量、太陽光発電パネルの発電で57.0t-CO₂の削減量となる。

図-5、図-6にCOP=2, COP=3, COP=4の場合に、空調顕熱負荷と太陽光発電電力量のそれぞれのCO₂排出量換算値が同一になる点上に直線を記載した。この線よりも上にプロットされた場合、太陽光発電による創エネによるCO₂削減の方が顕熱負荷によるCO₂排出よりも大きいことを表している。

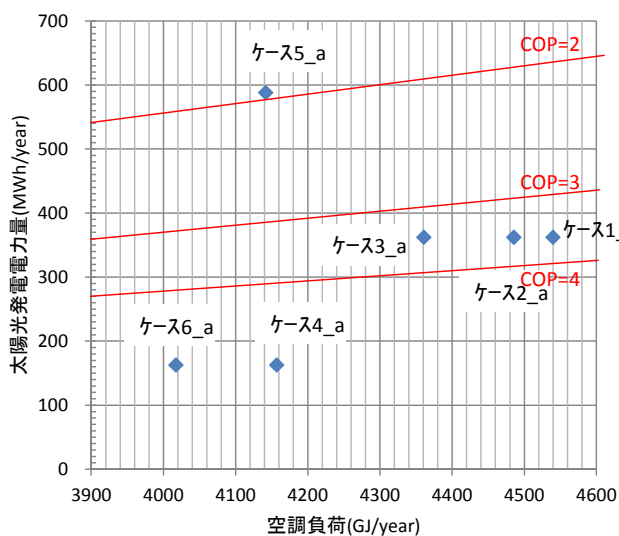


図-5 年間の空調顕熱負荷 (Low-E ペアガラス) と太陽光発電電力量

Fig.5 Annual sensible heat load (Low-E pair glass) and amount of solar power

5. まとめ

日射に係る再生可能エネルギー利用量計算について報告するとともに、日射の影響に特化して省エネと創エネの双方から建物形状を検討した事例を示した。今後、昼光利用による内部負荷削減などを含めて計画するためのシミュレーション技術の開発を進めていく予定である。

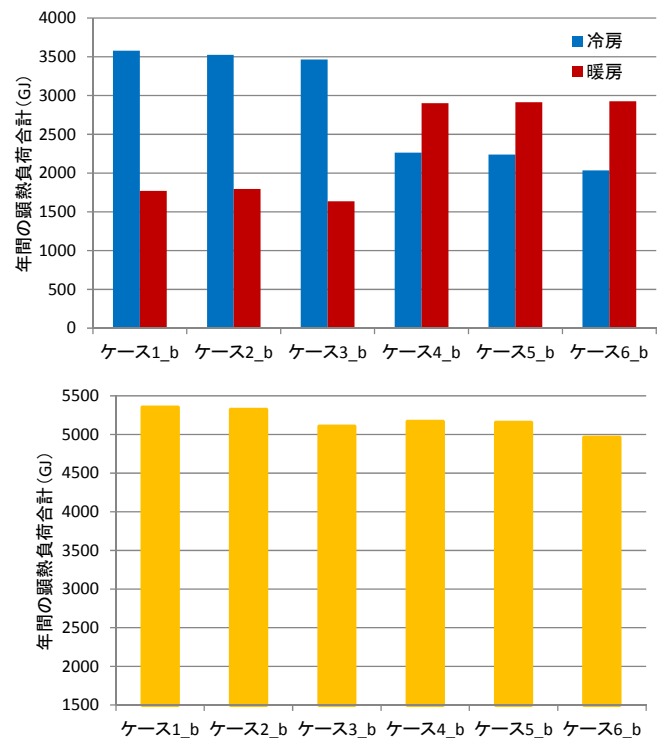


図-4 年間空調顕熱負荷 (フロートガラス)
(上: 冷・暖別, 下: 冷・暖合計)

Fig.4 Annual sensible heat load (Float glass)

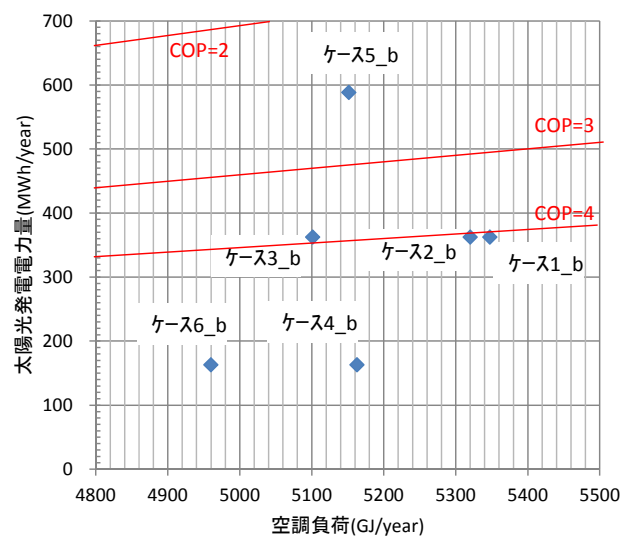


図-6 年間の空調顕熱負荷 (フロートガラス) と太陽光発電電力量

Fig.6 Annual sensible heat load (Float glass) and amount of solar power

参考文献

- 1) ZEB の実現と展開に関する研究会（経済産業省）：ZEB（ネット・ゼロ・エネルギービル）の実現と展開について ～2030 年での ZEB 達成に向けて～，2009 年 11 月
- 2) 浦野他：低炭素型の建築・街区計画支援のためのシミュレーション手法の開発(その 6, 7)，日本建築学会学術講演梗概集，2012.9
- 3) 有吉他：自然エネルギーを活用したゼロエネルギービルに関する研究（その 1）ーエネルギー使用量削減ポテンシャルの試算ー，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1183-1184，2010.9
- 4) 森川他：建築・都市の総合的性能予測評価のための VR システムの開発(その 10)，環境性能から建築形状を決定するプロセスの試行，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1215-1216，2009.7
- 5) 小柳他：建物・街区エネルギーシステム総合評価プログラムの開発，大成建設技術センター報，第 42 号，pp.43-1～43-8，2009
- 6) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ，1981-2000，2005
- 7) 庄司他：低炭素型の建築・街区計画支援のためのシミュレーション手法の開発(その 3)，日本建築学会学術講演梗概集，pp.937-938，2011.8
- 8) 内海他：TRNSYS による熱・空気シミュレーションについて その 1 TRNSYS によるシミュレーションの概要，日本建築学会学術講演梗概集，pp.985-986，2000.9
- 9) 電気事業連合会：電気事業における環境行動計画，2011 年 9 月