

Estimation of PV System Performance in Urban ZEB-Certified Buildings Considering Shadows from Surrounding Structures

SungKi SONG^{*1}Kazuki NAKATSUKA^{*2}

ZEB 認証の都心部建物における周辺建物の日影を考慮した太陽光発電システムの発電量の検討

宋 城基^{*1}中塚一喜^{*2}

Abstract

This study examined the power generation of a photovoltaic system installed on a ZEB-certified urban building, accounting for shading effects from surrounding buildings. The results showed that, under the existing surrounding building conditions, the power generation of panels with a tilt angle of 30° was reduced by approximately 82% compared with that in the case without surrounding buildings. It is necessary to consider and implement a more realistic method for estimating photovoltaic power generation within the ZEB certification program.

Keywords: ZEB, PV System, Building Shade, Electricity Generation, Simulation, Urban Building

キーワード: ZEB, 太陽光発電システム, 日影, 発電量, シミュレーション, 都心部建物

1. はじめに

現在, 世界規模では異常気象が発生し, 大規模な自然災害が増加するなど, 気候変動問題への対応は喫緊の課題となっている. この対策として日本では「2050 年カーボンニュートラル」を目指しており, 事務所ビルや商業施設などの建物における CO₂ 排出量を 2013 年度比 51%削減することを目指す「地球温暖化対策計画」が策定された. この計画達成には省エネルギーと創エネルギーによる ZEB (Net Zero Energy Building) の普及が必要であり, 特に建物が多く集中している都心部においてエネルギー使用量の多い建物や大規模建築物の ZEB 化は必要不可欠である. 既往の研究では, 立地条件や気候による ZEB 達成難易度の研究¹⁾, LCEM ツールや熱源改修などを用いた省エネ, 太陽光発電シミュレータによる創エネなどの研究^{2), 3)}, 新たな太陽光発電システムの開発とその優位性⁴⁾や, 影部分を考慮した太陽光発電シミュレータによる創エネの検討⁵⁾, 気象データを活用した太陽光発電のシミュレーション⁶⁾が行われてきた. しかし, これらの研究は, 周辺建物が中低層の場合の検証が多く, 都心部などの高層建物を想定した検討が不十分であり, 特に, 周辺建物の高さや隣接距離や太陽光発電システムのパネル傾斜角度などによ

る発電量(創エネルギー)の検討がされていないなどの改善点がある. 著者は⁷⁾ZEB 認証された都心部の建物において周辺の高い建物により太陽高度が高い夏季4か月の正午と13時のみ直達日射が当たることを想定したシミュレーションがおおよそ実測結果に追従することを確認し, 周辺建物がない場合に比べて周辺建物があると発電量は最大約1/10となることを示した. この研究は, 周辺建物の高さや隣接距離による発電量などは検討されていない.

そこで本研究では, 大阪市内にある ZEB 認証を受けた都市型建築物における太陽光発電システムを対象に, 隣接建物の日影の影響による発電量について明確にすることを目的とする. 本稿では対象建物の発電実績と周辺建物有無およびパネル傾斜有無による発電量, 対象建物の南側隣接建物の高さや隣接距離による発電量について検討した.

2. 建物と設備の概要

表1に建物概要と太陽光発電システムに関する各種諸元を示す. 研究対象建物は大阪府大阪市内に所在する事務所ビル兼研修施設で, 2019年10月に竣工され大阪市内で初めてとなる「ZEB」である. 2022年度の建物の稼働時間は8:30~17:30, 年稼働日数は約250日で, 常駐人数は作

^{*1} Professor, Department of Architectural Design, Hiroshima Institute of Technology

✉e-mail: s.song.wt@it-hiroshima.ac.jp

^{*2} Sanko Air Conditioning Co. Ltd.

Received: May 1 2026, Accepted: July 8 2026

^{*1} 広島工業大学建築デザイン学科 教授

(〒731-5143 広島県広島市佐伯区三宅 2-1-1)

✉e-mail: s.song.wt@it-hiroshima.ac.jp

^{*2} 三晃空調

(原稿受付: 2026 年 5 月 1 日, 受理日: 2026 年 7 月 8 日)

業員 4 人である。建物は延床面積 287.84 m²の鉄骨造地上 2 階建てで、主方位は西向きとなっている。図 1 に示すように研究対象建物は、東側に 10 階建て、南側に 8 階建て、西側の道路を挟んだ向かい側に地上 12 階建てのマンションとビルがあるため、太陽の直達日射が周辺建物に遮られると考えられる。また、建物は東西に長く、1 階の床面積と天井高はそれぞれ 148 m²と 2.6 m（階高 3.6 m）で、1 階西側には吹き抜けのエントランスホール、北側には作業室、南側には更衣室・給湯室・シャワー室・休憩室などがある。2 階の床面積と天井高はそれぞれ 139.84 m²と 2.9 m（階高 3.73 m）で、2 階東側には事務室、西側に展示室と吹き抜け、東側には最大 30 人収容できる会議室がある。なお、一般的な建物に比べて開口部の面積が小さく、数も少ない。

Table 1 Outline of Building and PV-system

Address	Osaka City, Osaka Prefecture	Average temperature [°C] (1991~2020)	17.1
Site Area[m ²]	287.23	Number of Resident Workers	4
Construction Area [m ²]	148	Exterior wall area [m ²]	550
Total Floor Area [m ²]	287.84	Floor area ratio [%]	100
Structure	Steel Structure	Power received	Electric power company
Floor	2 floors	PV Area[m ²]	75.1
Building Uses	Office etc	PV Capacity [kW]	13.8
Completion	2019.9.1	PV Direction & Angle	South・30°



Fig 1 Subject building and surroundings

空調設備はセパレート型エアコンが作業室、展示室、事務室に 2 台ずつ、ルームエアコンが 1 階の休憩室に 1 台設置されており、空調の設定温度や使用時間は使用者が自由に設定できるようになっている。照明設備は人感検知やタイムスケジュール制御できる高効率 LED、換気設備は全熱交換型換気装置、給湯設備は貯湯槽約 370ℓ の小型業務用ヒートポンプ型給湯器が使用されている。このようにこの建物はオール電化となっている。また、建物の屋上に

は傾斜角 30 度・南向きの架台設置型の太陽光発電システムが設置されており、設置面積と定格発電量はそれぞれ約 75.1 m²と約 13.8kW で、307W のモジュールが 45 枚ある。なお、建物の一括管理には BEMS が導入されている。

3. シミュレーション概要

周辺建物の位置関係などから太陽光発電システムには影が生じるため、影の部分とその部分があるモジュールなどでは発電ができないか発電量がシステムに伝わらないのが現状である。今回のシミュレーションでは日影を考慮した太陽光発電システムのパネル（以下、パネル）に入射する全日射量を求め、システムの発電効率などを乗じて発電量を算出した。ここで、発電効率は導入された太陽光発電システムの定格効率 14%や既往研究の参考値 9.7%⁸⁾を用いた。また、太陽光発電システムのパネルに入射される全日射量は周辺建物の日影が考慮された直達日射と拡散日射であると想定しており、周辺建物や地面からの反射日射は考慮していない。まず、シミュレーションの再現性を確認するため、北側を除いた 3 方向に実際と同じ高さの建物と同じ隣接距離に設け、パネルに入射する全日射量を算出した。また、東側と西側の建物はそのままにし、南側のみの隣接建物の高さや隣接距離の違いによる太陽光発電システムの発電量について検討した。建物形状の造形は 3DCAD ソフト Rhinoceros を使い、対象建物と周辺建物の平面形状と高さ情報から図 2 に示すように単純化した建物を設けた。また、シミュレーションによる発電量は、東側と西側の建物を含めた造形モデルを用い、Rhinoceros に実装されている図 3 の Grasshopper のプラグイン計算ツールから算出されるパネルの入射日射量（対象建物の屋上有効面積 74 m²の太陽光発電パネルに当たる日射量）とシステム発電効率から算出される。ここで、Grasshopper プラグインツールはパネルの入射日射量計算には周辺環境を考慮した日照計算、日影計算、快適性評価などができる Ladybug を用いた。また、日射量の計算には 2020 年の EPW 気象データを、発電量計算にはシステム発電効率を用いた。

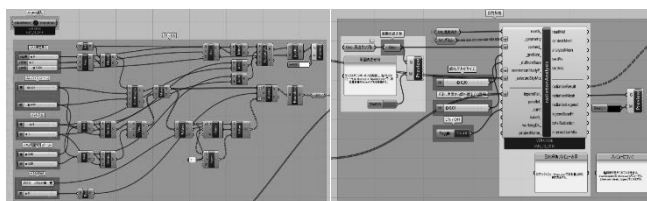
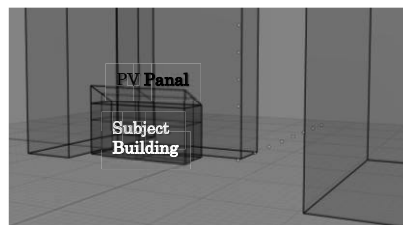


Fig 2 Simulation Model (Top: Building, Bottom: Calculation)

4. 太陽光発電システムの発電量

4.1 再現性検討：実績とシミュレーションの発電量

図3に2020年度の気象庁の水平全日射量(W-data)と実績(Measure)とシミュレーションによる月積算発電量を示す。まず、年間日射量は約1450kWh/m²で、月積算日射量は5月が最大182kWh/m²、12月が最小67kWh/m²であった。また、実測による年間発電量は2976kWh/年で、月積算発電量は4月の258kWh/月から6月にかけて約639kWh/月に増加し、12月にかけて約587kWh低下し52kWh/月となり、再び1月から3月にかけて約139kWh/月まで増加した。これに対し、システム発電効率14%(Sim(η =14%))のシミュレーションにおける年間発電量は約3040kWh/年で、月積算発電量は4月の298kWh/月から6月にかけて約542kWh/月に増加し、7月をピークに12月にかけて約495kWh低下し、60kWh/月となり、再び1月から3月にかけて約83kWh/月まで増加した。なお、システム発電効率9.7%(Sim(η =9.7%))における年間発電量は約2106kWh/年であった。また、最大日射量が5月に対し最大発電量が6月となったのは6月の太陽高度が高いためと推測する。このことから、システム発電効率14%のシミュレーションの発電量は5月と6月を除けば、実績に比べ毎月やや多いものの、毎月の発電傾向はほぼ同じで、年間発電量はわずか2%程度多いことが分かる。また、システム発電効率9.7%のシミュレーションの発電量は実績に比べ毎月少なく、年間約30%少ないことが分かる。ここで、実測に対する発電効率14%および9.7%におけるシミュレーションによる月積算発電量を切片なし直線近似した結果、傾きはそれぞれ約0.893と約0.619となり、決定係数R²はいずれも約0.94であった。従って、システム発電効率14%のシミュレーションは実現象の再現計算がおおよそできていると言える。以降、シミュレーションによる発電量の検討はシステム発電効率14%を用いる。

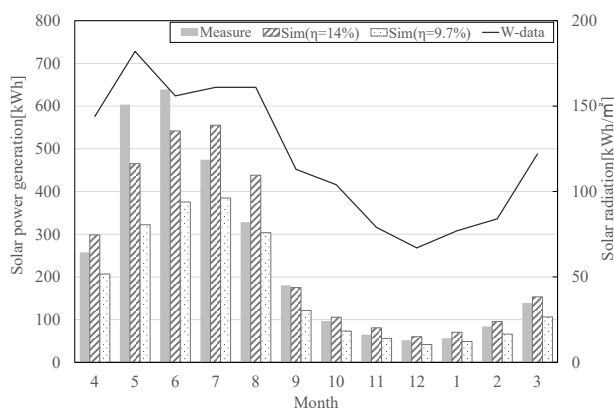


Fig 3 Measured and Simulated Solar Power Generation

4.2 周辺に建物が無い場合の発電量

図4に周辺建物がない場合におけるパネル傾斜角30度(sim(30°))と水平(sim(0°))および4.1節のパネル傾斜角30

度(O-sim(30°))の月積算発電量を示す。ここでは、周辺建物有無やパネル傾斜有無にかかわらず、パネルの面積は対象建物の屋上有効面積である74m²を用いた。パネル傾斜角30度と水平の年間発電量はそれぞれ16687kWhと15022kWhで、5月が最大でそれぞれ1844kWhと1886kWh、12月が最小で1026kWhと694kWhであった。このことから、パネル傾斜角30度は水平に比べ、年間発電量は約12%多く、夏季(6月～9月の合計)発電量はほぼ同じで、冬季(12月～3月の合計)と中間期はそれぞれ約32%と約13%多くなることが分かった。また、現状の周辺建物がある場合は周辺建物がない場合に比べて、パネル傾斜角30度の発電量は約82%少なくなることが分かった。

また、パネル傾斜角30度の発電量は4月の1564kWh/月から5月にかけて増加、6月に約321kWhと低下し、8月にかけて緩やかに増加し1709kWh/月となった後、12月にかけて再び低下し1026kWh/月となった。1月には再び増加し1150kWh/月となり、3月には約383kWhと急激に増加し1502kWh/月となった。また、パネルが水平の発電量は4月の1492kWh/月から5月にかけて増加、6月に約270kWh低下し、8月にかけて緩やかに増加し1668kWh/月となった後、12月にかけて急激に低下し694kWh/月となった。1月には再び増加し798kWh/月となり、3月には約394kWhと急激に増加し1264kWh/月となった。このことから、パネル傾斜角30度の発電量は水平に比べ、5月～7月の3か月は2～6%少なく、他の9か月は2～48%多くなることが分かった。

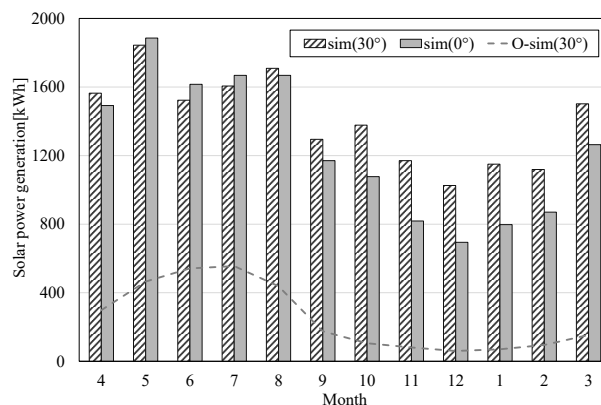


Fig 4 Power Generation in the Absence of Surrounding Buildings

4.3 周辺建物の高さや距離による発電量

シミュレーションの建物モデルにおいて、東側と西側の隣接建物は4.1節と同様に実際の高さと距離に簡略化した箱型建物を設けた。また、日影により発電量に大きな影響を及ぼす南側の隣接建物は対象建物の高さ(7.2m)に対して1倍から5倍(周辺建物の中で最も高い建物の高さ36m想定)までの7通り、隣接距離は0.5mから42.5m(道路で区切られたブロックの長さ想定)までの8通りを想定した箱型建物を設けた。図5に東側と西側の周辺建物を除い

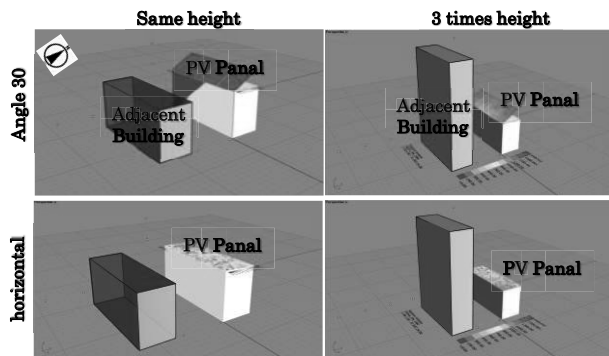
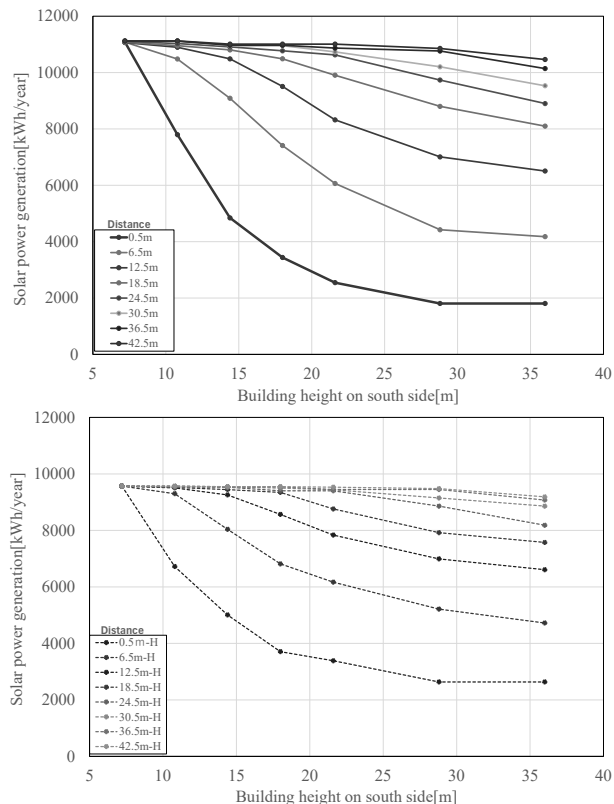


Fig 5 Adjacent building distances and heights
(Other-direction adjacent buildings are omitted)

た太陽光発電システムのパネル傾斜角 30 度と水平における対象建物と南側のみの隣接建物の高さと同接距離の一例を示す。

図 6 に太陽光発電システムのパネル傾斜角 30 度と水平における南側のみの隣接建物の高さと同接距離別のシミュレーションによる年間発電量を示す。まず、対象建物に対し南側隣接建物の高さが同じ (7.2 m) の場合、西側と東側の隣接建物のみが太陽光発電システムのパネルに日影をもたらすと予想され、この時のパネル傾斜角 30 度と水平の発電量はそれぞれ 11125kWh と 9570kWh となった。このことから、南側隣接建物による日影の影響がない場合、パネル傾斜角 30 度の発電量は水平に比べて約 16% 多くなることが分かった。また、4.2 節の周辺建物がない場合に比べてみると、パネル傾斜角 30 度と水平の発電量はそれぞれ約 33% と約 36% 少なくなる結果であった。このことから、南側隣接建物の日影の影響がなく、東側と西側の隣接建物の影響により、発電量はパネル傾斜角 30 度と水平ともに約 3 割少なくなることが分かった。

パネル 30 度における隣接距離別の年間発電量をみると、隣接距離が一番遠い 42.5 m と 36.5 m の場合、南側隣接建物の高さが 4 倍 (高さ 28.8 m) までの発電量は同じ高さ (7.2 m) の発電量 (11125kWh) と比べてほぼ同じかそれぞれ約 2% と約 3% 低下したが、高さ 5 倍ではそれぞれ約 4% と 9% 低下した。隣接距離 30.5 m と 24.5 m の場合、南側隣接建物の高さが 3 倍 (高さ 21.6 m) までの発電量はそれぞれ約 3% と約 4% 低下したが、高さ 5 倍 (36 m) ではそれぞれ約 14% と 20% 低下した。隣接距離 18.5 m と 12.5 m および 6.5 m の場合、南側隣接建物の高さがそれぞれ 2.5 倍 (高さ 18 m) と 2 倍 (14.4 m) および 1.5 倍 (10.8 m) までの発電量は三つともに約 5% 低下したが、高さ 5 倍ではそれぞれ約 27% と 41%, 62% 低下した。隣接距離 0.5 m の場合、南側隣接建物の高さが 1.5 倍から急激に発電量は低下し、高さ 4 倍以上では 84% 低下となり、5 倍になっても同じ低下となった。このことから、南側隣接建物の隣接距離 24.5 m 以上の場合、隣接建物高さ 3 倍までは発電量の低下が 4% 以下にとどまり、隣接距離 6.5 m と 12.5 m および 18.5 m の場合、それぞれ 1.5 倍、2 倍、2.5 倍以下の隣接



Height(m)	7.2	10.8	14.4	18	21.6	28.8	36
Times(-)	1	1.5	2	2.5	3	4	5

Fig 6 Power Generation Based on Adjacent Building
Distance and Height (Top: Panel Angle 30°, Bottom:
Horizontal)

建物高さで発電量の低下が 5% 以下になることが分かった。また、隣接距離 0.5 m の場合、発電量の低下は隣接建物の高さ 1.5 倍で 30%, 高さ 4 倍未満までは急激に低下し、高さ 4 倍以上になるとそれ以上低下しないことが分かった。

水平パネルにおける隣接距離別の年間発電量をみると、隣接距離が一番遠い 42.5 m と 36.5 m の場合、南側隣接建物の高さが 4 倍 (高さ 28.8 m) までの発電量は同じ高さ (7.2 m) の発電量 (9570kWh) と比べてほぼ同じか両方ともに約 1% 低下したが、高さ 5 倍ではそれぞれ約 4% と 5% 低下した。隣接距離 30.5 m と 24.5 m の場合、南側隣接建物の高さが 3 倍 (高さ 21.6 m) までの発電量はそれぞれ約 1% と約 2% 低下したが、高さ 5 倍 (36 m) ではそれぞれ約 7% と 14% 低下した。隣接距離 18.5 m と 12.5 m および 6.5 m の場合、南側隣接建物の高さがそれぞれ 2.5 倍 (高さ 18 m) と 2 倍 (14.4 m) および 1.5 倍 (10.8 m) までの発電量は三つともに約 4% 未満低下したが、高さ 5 倍ではそれぞれ約 21% と 31%, 51% 低下した。隣接距離 0.5 m の場合、南側隣接建物の高さが 1.5 倍から急激に発電量は低下し、高さ 4 倍以上では 72% 低下となり、5 倍になっても同じ低下となった。このことから、南側隣接建物の隣接距離 24.5 m 以上の場合、隣接建物高さ 3 倍までは発電量の低下が 2% 以下にとどまり、隣接距離 6.5 m と 12.5 m および 18.5 m の場

合、それぞれ 1.5 倍、2 倍、2.5 倍以下の隣接建物高さで発電量の低下が 3% 以下になることが分かった。また、隣接距離 0.5 m の場合、発電量の低下は隣接建物の高さ 1.5 倍で 30%、高さ 4 倍未満までは急激に低下し、高さ 4 倍以上になるとそれ以上低下しないことが分かった。

また、傾斜角 30 度の発電量は水平に比べてほとんどの場合多くなるが、隣接距離 0.5 m で高さ 2 倍以上、隣接距離 6.5 m で高さ 3 倍以上、隣接距離 12.5 m で高さ 5 倍においては水平の発電量がそれぞれ 104~544kWh、165~828kWh、104kWh 多くなった。このことから、隣接建物の距離と高さの関係により、傾斜角 30 度に比べて水平パネルの発電量が逆に多くなることが分かった。

5. おわりに

本研究は、既往研究で十分に検討されてこなかった都心部の周辺建物による日影が太陽光発電量に及ぼす影響を定量的に示し、ZEB 認証における発電量算出には大きな誤差が生じ得ることを明らかにした。特に、パネル傾斜角や建物間距離を変化させた感度分析の結果は、設計者が太陽光発電の配置計画を行う際の実務的な参考指針として有用であると考えられる。以下の本研究で得た知見を示す。

- 1) システム発電効率 14% のシミュレーションの発電量は毎月の発電傾向はほぼ同じで、年間発電量はわずかに 2% 程度多いことから実現象の再現計算がおおよそできたと判断できる。
- 2) 周辺建物がない場合、パネル傾斜角 30 度の年間発電量は水平に比べ約 12% 多く、夏季はほぼ同じで、冬季と中間期はそれぞれ約 32% と約 13% 多かった。現状の周辺建物がある場合、周辺建物がない場合に比べて、パネル傾斜角 30 度の発電量は約 82% 少なかった。
- 3) 南側隣接建物の日影の影響を受けない場合、パネル傾斜角 30 度の発電量は水平に比べて約 16% 多かった。なお、東側と西側の隣接建物の影響を受ける場合、パネル傾斜角 30 度と水平ともに発電量は約 3 割少なかった。
- 4) パネル傾斜角 30 度において、南側隣接建物との距離 24.5 m 以上の場合は隣接建物高さ 3 倍までであれば、発電量の低下は 5% 以下にとどまった。隣接距離 6.5 m、12.5 m、18.5 m の場合もそれぞれ高さ 1.5 倍、2 倍、2.5 倍までは発電量の低下が 5% 以下であった。また、隣接距離 0.5 m の場合は高さ 1.5 倍で発電量の低下が 30% となり、高さ 4 倍未満までは急激に低下したが、4 倍以上ではさらなる低下は生じなかった。
- 5) 水平パネルにおいてもパネル傾斜角 30 度と同様な傾向であったが、発電率の低下はやや小さかった。ところが、隣接距離 0.5 m で高さ 2 倍以上、隣接距離 6.5 m で高さ 3 倍以上、さらに隣接距離 12.5 m で高さ 5 倍の場合において、パネル傾斜角 30 度の発電量に比べて水平パネルの発電量は逆にそれぞれ 104~544 kWh、165~828 kWh、104 kWh 多かった。

6) 本研究から、周辺建物の日影の影響が大きいと、ZEB 認証プログラムで算出される太陽光発電量が実際より過大に算出されることが明らかとなった。今後、より現実的な発電量算出手法の検討と導入が必要であろう。

7) 今後は、西側および東側の隣接建物を含めた日影影響の評価、日射量が異なる地域における適用性の検証、さらに反射日射やパネル温度上昇を考慮した解析を進め、太陽光発電システムの設計に資する評価指標の提示を目指す必要がある。また、シミュレーションによる月発電量の再現精度を高めるため、時間単位や日単位での詳細な解析を行うことも今後の課題である。

謝辞

研究解析に多大な貢献をしてくれた本研究室卒業生の岡林慶有君にここで謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉岡沙野、坂井友香、丹羽英治、田中英紀：ZEB 指向建築の熱源改修における LCEM ツールの適用検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 265-268、2016 年 9 月
- 2) 稲子雄大、林立也：事務所ビルにおける周辺建物や気候条件の違いによる ZEB 実現可能性、日本建築学会大会学術梗概集、pp. 1807-1808、2021 年 9 月
- 3) 河原光、その他 8 名：公共研究施設の ZEB 化実現に関する研究—第 3 報冷房運転における熱源システムのエネルギー性能評価—、空気調和・衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集、pp. 111-114、2021 年 3 月
- 4) 中村淳一、市川溝、山本憲治：ビル壁面設置太陽光システム発電量評価、Journal of Japan Solar Energy Society、pp. 23-28、2024 年 2 月
- 5) 宮城佑麻、浦崎直光：住宅用太陽光発電システムで部分影の影響を考慮した発電量の算出が可能な太陽光発電シミュレータの構築、Journal of Japan Solar Energy Society、pp. 57-63、2022 年 11 月
- 6) 村松遼太、新藤幹、猪飼健、小川裕太郎、斎藤友希、田崎未空、田辺新一：CityGML を活用した都心街区における太陽光発電ポテンシャルの推計、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp. 493-496、2022 年 10 月
- 7) 宋城基：ZEB 認証の都心部建物におけるエネルギー消費実態と太陽光発電システムの発電量について、太陽エネルギー学会、pp. 57-60、2024 年 11 月
- 8) 松本咲良、宋城基：ZEB 認証の都市型建物における竣工後の実績と改善、日本建築学会中国支部研究報告集、NO. 46、pp. 299-302、2023 年 3 月