

# Evaluation of Power Generation of Building Wall Mounted PV System

Junichi NAKAMURA<sup>\*‡</sup>Mitsuru ICHIKAWA<sup>\*</sup>Kenji YAMAMOTO<sup>\*</sup>

## ビル壁面設置太陽光発電システムの発電量評価

中村 淳一<sup>\*‡</sup>市川 満<sup>\*</sup>山本 憲治<sup>\*</sup>

### Abstract

We have evaluated annual change of the power generation of the solar module installed on the wall of the actual operating building. According to this evaluation, the power output of the solar module installed on the wall surface tends to increase in winter and decrease in summer on the southeast and southwest faces facing south, while on the northeast surface facing north, the power output in winter decreases and power output in summer tends to increase. From these results, we can demonstrate that it is possible to supplement the amount of power generation in winter or morning and evening hours, which decreases with modules installed horizontally on the roof of the building and provide a more stable power generation throughout the year by installing PV modules throughout the building where it is actually in operation.

**Keywords:** solar cell, BIPV, wall mounted module

キーワード: 太陽電池, BIPV, 壁面設置モジュール

## 1. まえがき

近年の太陽光発電システムは大幅なコスト低減により本格的な普及の段階に入っており、2021年度までに全世界で累積942GW、日本では累積78.2GWのシステムが実績として導入されている<sup>1)</sup>。日本の2021年における新規導入量は6.5GWと高い水準を維持しているが、一般社団法人太陽光発電協会(JPEA)が提言している「PV Outlook 2050」ビジョンにおいては2030年までに100GW、2050年までには標準ケースでも200GW(ACベース)、最大化ケースにおいては300GW(ACベース)の導入量が想定されており、今後も更なる太陽光発電システムの導入拡大が必要とされている<sup>2)</sup>。その一方で太陽光発電を導入可能な場所は限られており、導入のための用地確保が大きな課題となっている<sup>3)</sup>。

上記のような要請により、現在ビル等の建物への導入量を拡大する案が経済産業省により審議されており<sup>3)</sup>、実際に外壁と一体化した発電システムが開発されている。我々はこれまで、電力用太陽電池としてバックコンタクト型ヘテロ接合シリコン太陽電池モジュールを開発してきた<sup>4,5)</sup>。

これまで太陽電池を壁面に適用した際の発電量推移に関しては、主に太陽光パネル一枚分の測定データや建物に部分的に設置した太陽電池モジュールのデータ<sup>6,7)</sup>等はあるものの、実際に稼働しているビルの壁面全面にシステムとして設置して発電量の計測を行った事例はほとんどみられない。

今回我々は、これまで開発してきたバックコンタクト型ヘテロ接合太陽電池の高効率化技術を活用して、意匠性に優れた太陽電池モジュールを大成建設株式会社と共同開発し、大成建設株式会社の技術センター内にある“人と空間のラボ”の壁面にBIPV(Building integrated photovoltaics)技術の検証用プロトタイプとして適用した。ビルの壁面に設置したBIPVの発電量の実態と、その優位性を確認することを目的に、システムの実発電量を測定、記録して評価したのでその結果について報告する。

## 2. 壁面設置太陽電池システムの概要

### 2.1 太陽電池モジュール

壁面設置の太陽電池として、我々はこれまで防眩タイプの薄膜シリコン太陽電池や、薄膜・結晶シリコンシーサル

\* Photovoltaic & Thin Film Device Research Laboratories, Kaneka Corporation, 5-1-1, Torikai-Nishi, Settsu Osaka 566-0072, Japan  
‡ e-mail: Junichi.Nakamura@kaneka.co.jp

Received: September 20 2023, Accepted: December 5 2023

\* 株式会社カネカ 太陽電池・薄膜研究所  
(〒566-0072 大阪府摂津市鳥飼西 5-1-1)  
‡ e-mail: Junichi.Nakamura@kaneka.co.jp  
(原稿受付: 2023年9月20日, 受理日: 2023年12月5日)



Fig. 1. Appearance of the installed solar module  
 図1 設置した太陽電池モジュールの外観

一太陽電池等、各種太陽電池を開発してきた<sup>8)</sup>。さらに我々は、高効率を実現できる太陽電池としてバックコンタクト型ヘテロ接合シリコン太陽電池モジュールを開発している。今回、ZEB (Zero Energy Building) への適用を視野に入れた壁面設置用の太陽電池として、我々が開発してきたバックコンタクト型ヘテロ接合シリコン太陽電池の技術を活用し、壁と一体化して意匠性に優れた太陽電池モジュールを大成建設株式会社と共同開発した。

開発した太陽電池モジュールの外観写真を Fig. 1 に示す。今回開発したバックコンタクト型ヘテロ接合シリコン太陽電池は電極が太陽電池セルの裏面側にまとめられているため、モジュール表面からセルの電極や配線構造が見えず外観が黒一色となり、意匠性に優れ、また、壁面との

一体感が得られる。さらに、バックコンタクト型ヘテロ接合シリコン太陽電池は先述の通りセル表面に電極が設置されないため、セルへの光入射を妨げるものが表面に無く発電効率に優れる。今回の太陽電池モジュールに用いたセルの変換効率 (AM1.5, 1kW/m<sup>2</sup>) は、最大で 24% である。

今回のシステムは既設の建築物へ設置するため、設置する太陽電池はサイズを建物の構造に合わせて多種 (24 種類) のサイズで作製する必要があった。この多種のモジュールサイズに対し、太陽電池セルは同一のサイズのものを用いたため、モジュールのサイズによってはセルを効率的に配置することができず、モジュール内のセル面積充填率が 8 割を下回る設計も発生した。その結果として、今回設置したモジュールの平均発電効率はセルの変換効率を大きく下回る約 18% となった。

## 2.2 システム設計

今回の太陽光発電システムについては、神奈川県横浜市にある大成建設株式会社技術センター内の“人と空間のラボ”の壁面に太陽電池モジュールを設置した。Fig. 2 に、設置したシステムの外観写真と建物、壁面の方位、及び後述する全天日射計の設置場所を示す。

“人と空間のラボ”は南北の方向に対して約 45 度の角度をもって建設されているため、幅が長い面が南東および北西方向を向き、幅が短い面が南西および北東を向く配置となっている。太陽電池モジュールは、カーテンウォール方式の壁部分に、建物の全ての階 (1~3 階) 及び屋上階に設置した。各面のモジュール設置枚数は南東面 187 枚、南西面 90 枚、北東面 94 枚であり、設置容量は南東面が 34.6 kW、南西面が 16.4 kW、北東面が 17.0 kW、総計で 68.0 kW である。また、南西面および北東面には 10 m 程度離れた位置に同等の高さの建物が同様の方位で建っており、低階側では影や光反射の影響が発生することが想定された。



Fig. 2. Photo and direction of “Human Space Lab” at Taisei Corporation where solar modules are installed  
 図2 太陽電池モジュールを設置した大成建設株式会社の“人と空間のラボ”の写真とその方位

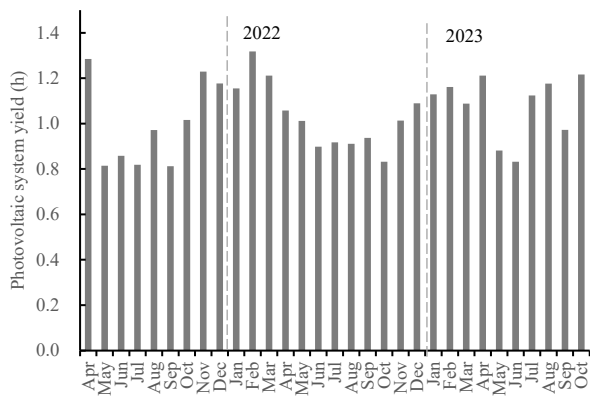


Fig. 3. Monthly average of daily photovoltaic system yield  
 図3 等価日システム稼働時間の月平均

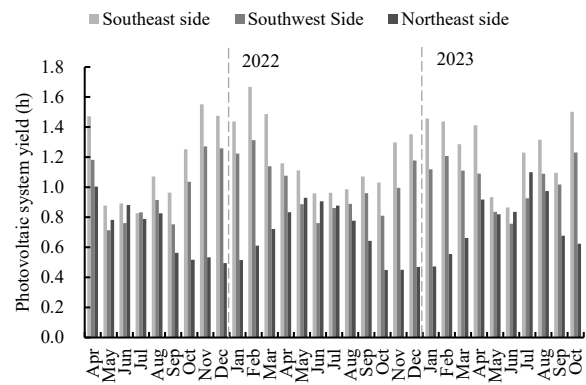


Fig. 5. Monthly average of daily photovoltaic system yield on each side  
 図5 各面における等価日システム稼働時間の月平均

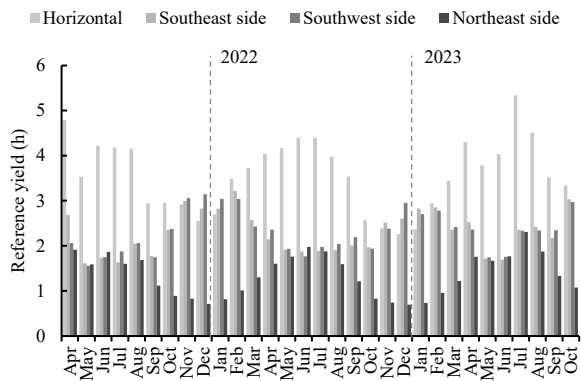


Fig. 4. Monthly average of daily reference yield on each side  
 図4 各面における等価日太陽日照時間の月平均

今回のシステムでは SolarEdge 社製のパワーオプティマイザを用い、各面、階層ごとに個別のパワーコンディショナを配置してパワーオプティマイザを直接接続した。このようなシステム構成とすることで、各モジュールの直流発電量および各パワーコンディショナにおける変換後の交流発電量をモニターして、設置面および設置階の差異による発電量変化を比較することを可能とした。発電量データは 15 分単位で蓄積しており、それぞれの時間における太陽電池モジュールの電流・電圧の瞬時値、および電力量、パワーコンディショナにおける瞬時電力、電力量などのデータを取得している。さらに、壁面が受ける日射量を測定、記録するため、壁面モジュールと同じ方向に向けた全天日射計（英弘精機社製：MS602）を Fig. 2 に示した各面中央付近の屋上階最上部の 3 ヶ所に設置したほか、水平面方向の日射を測定する全天日射計も屋上に設置した。また、各面、各階の代表的なモジュールの裏面に熱電対を貼り付けてモジュール温度の変化を建物全体（南東面：6 か所×4 階分、南西面・北東面：各 3 か所×4 階分）で記録できるようにした。なお、日射量・モジュール温度の計測データは 1 分単位で蓄積している。

### 3. 発電量評価

#### 3.1 発電量の推移分析

本稿では 2021 年 4 月から 2023 年 10 月までの 2 年 7 ヶ月間の発電量推移について評価を行った結果について議論する。

2021 年 4 月からのシステム全体の発電量推移を Fig. 3 に示す。図の横軸は 2021 年 4 月からの各月を示し、縦軸は等価日システム稼働時間の月毎の平均値を示す。等価日システム稼働時間は、1 日の総発電量を太陽電池モジュールの定格出力の合計で除算したものであり、その日に太陽光発電システムが実質的に（定格出力に相当する発電量で）発電した時間を示すものである。発電量には、パワーコンディショナにおける変換後の交流発電量を用いた。図から、発電量が高いのは 11 月から 4 月辺りの冬季となっており、夏季は全体的に発電量が低くなっていることが確認できる。一般的な水平設置のシステムでは夏季に発電量が多くなるが、今回の壁面設置のシステム全体では逆の傾向となった。この傾向は各面における日射量の変化に起因しており、これを示すものとして、Fig. 4 に各面における等価日太陽日照時間の月毎の平均を示す。等価日太陽日照時間とは、その日の総日射量を 1sun に相当する日照が得られた時間として示したものである。本図では、南東面と南西面の日射量が夏季に少なくなり、冬季に多くなっていることが確認できる。同図には水平面方向の等価日太陽日照時間も併せて示しているが、水平面の日射量は夏場に多く、壁面と比較すると倍程度の日射量が照射しているのに対し、冬季ではほぼ同程度の日射量か、あるいは 12 月、1 月にはむしろ南東面および南西面の壁面日射量の方が多くなっている。これは、冬季は全体的に太陽高度が低く、壁面の太陽電池モジュールに入射する光の入射角度が垂直に近くなるのに対し、夏季は太陽高度が高くなり壁面の太陽

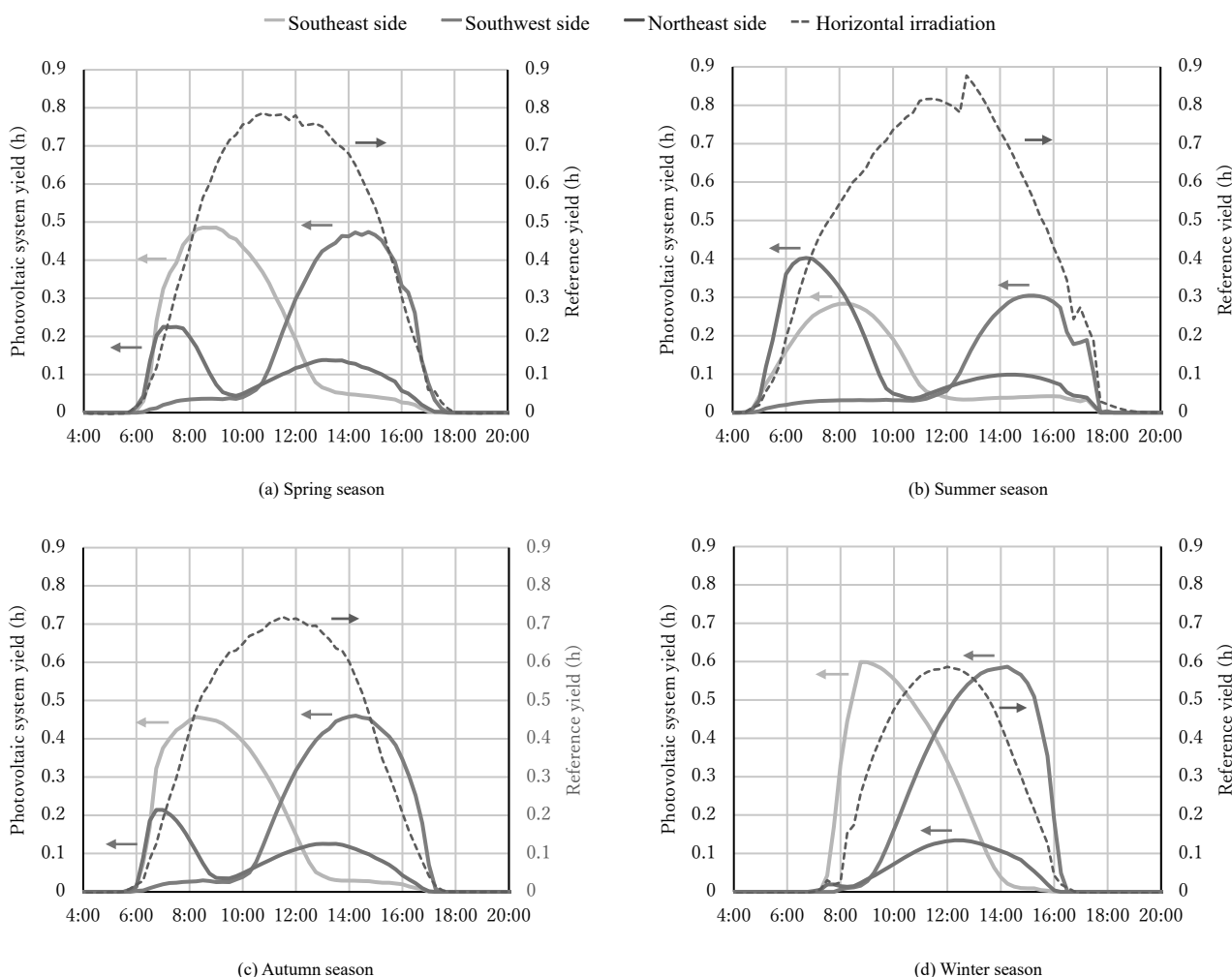


Fig. 6. Daily trends on the system yield and reference yield of horizontal plane in each season  
 図6 各季節における等価システム稼働時間及び水平面等価太陽日照時間の一日の推移

電池モジュールに対する光の入射角度がモジュール面に平行に近くなるために実質的な日射量が低減していると考えられる。さらに、システムの発電量に関して、設置面別に等価日システム稼働時間を比較した結果を Fig. 5 に示す。本図からも、面毎の等価日太陽日照時間でも確認したように、比較的南を向いた南東面および南西面では、発電量が冬季に多く、夏季に少なくなる傾向が見られる一方で、比較的北を向いた北東面では冬季には発電量が少なく、夏季には発電量が増える傾向がみられている。

このような傾向から、ビル屋上などに水平設置したモジュールでは冬季の発電量が他の季節に比べ減少するが、太陽電池モジュールを南向きの壁面に設置することでこれを補完し、一年を通じた発電量の安定化に寄与できることが分かる。

また、一般に北を向いた太陽電池は発電量が少ないと考えがちであるが、垂水らの報告<sup>9)</sup>でも述べられているように、夏になると太陽が真東よりも北側から昇るため有意な日射が得られる。Fig. 5 で確認できるように、今回のシステムによる評価でも北東面で有意な発電量が確認でき、そ

の等価システム稼働時間は全体の 24% を占めた。

さらに、それぞれの面における太陽光発電システムの発電量に関して、春夏秋冬各季節のそれぞれの一日の発電傾向を確認した。Fig. 6 には、各季節において天気の良かった日に取得した、各面における等価システム稼働時間の一日の推移を示す。同グラフには、各発電データを取得した日の日照状況を示すものとして、水平面における等価太陽日照時間を併せて示したが、春分(a)、夏至(b)、秋分(c)、冬至(d)に近い終日天気が良かった日を選択しており、測定した各発電量は、概ね季節変動による変化の特徴を表している。

図から、南東面、南西面はどの季節でも正午を境にして対称的な発電量を示していることが分かるが、これは、この建物が南北の方角に対して約 45 度の角度をもって建てられていることで、南西面と南東面の太陽電池モジュールが正午を境に対称的な日射量を受けたことによると考えられる。また、同図から、これら南東面と南西面は太陽高度が低い朝夕の時間帯に発電量が多いことも分かるが、これは、南東面の太陽電池モジュールは日が昇る東向き、南



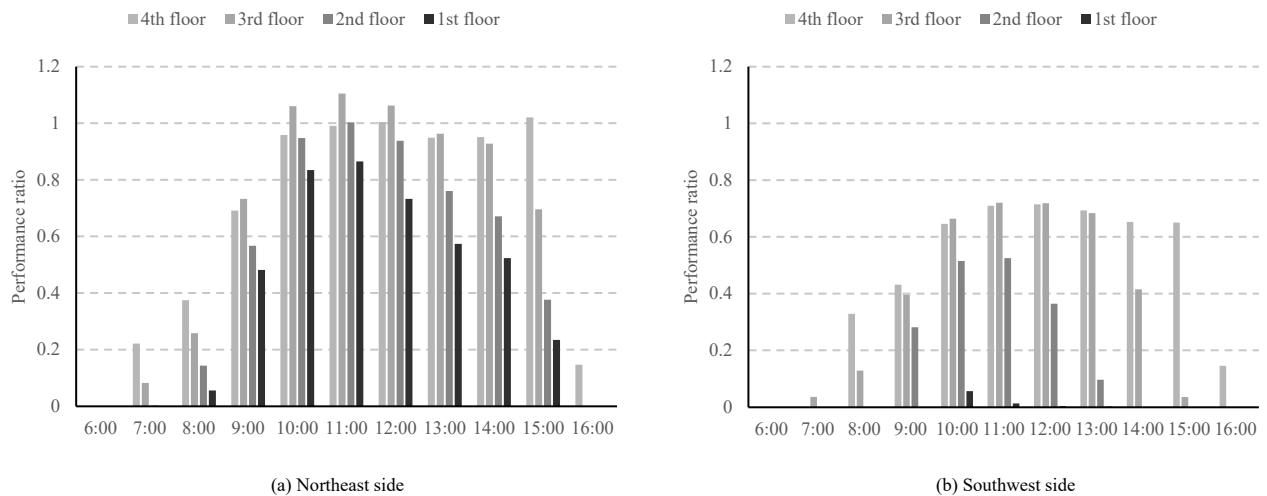


Fig. 7. Daily trends on the performance ratio at winter season

図7 冬季におけるシステム出力係数の時間推移

西面のものは日が沈む西向きに近く、地面に垂直に設置されていることで、モジュールへの光入射がそれぞれ朝夕、夕方に多かったことによると考えられる。このことは垂水らによる報告<sup>6)</sup>でも述べられており、南東面で発電が得られる時間帯が、春分、秋分の頃で6:00頃から13:00頃までという点でも概ね一致している。

さらに、北東面は朝の早い時間帯に太陽光が入って発電をした後、一度発電量が下がっているが、午後になると再度発電量が上がる傾向がみられている。これは、周囲にある建物の壁からの反射光を受けて発電しているものであり、周囲の建物からの反射光であっても全体の発電量増加に寄与することを示している。これを裏付けるデータとして、Fig. 7に、Fig. 6(d)の等価システム稼働時間を用いて求めたシステム出力係数を縦軸にしたグラフを示す。システム出力係数は、太陽電池モジュールの等価システム稼働時間(実質的な発電時間)を等価太陽日照時間(実質的な日照時間)で除算して求めたものであり、今回の等価太陽日照時間には2.2章で述べた屋上最上部に取り付けた日射計による測定値を用いている。図の(a)には北東面の発電データを階毎に分けたデータを示し、(b)には南西面の発電データを階毎に分けたデータを示している。図から北東面のシステム出力係数が南西面のデータと比較して高く、北東面3階では1を超える値が確認された。システム出力係数は、前述の通り、太陽電池モジュールの等価システム稼働時間を等価太陽日照時間で割って算出したが、これが1を超える状況は、太陽電池モジュールが日射計により測定した日射量よりも多くの光量を受けたことを示す。これは、北東面に正対する建物による反射の存在に加え、日射計と太陽電池モジュールの設置高さの違いが原因と考えられる。北東面に正対する同程度の高さの建物による反射光が、北東面3階のモジュールには入射したのに対して、屋上階最上部に設置した日射計には入射し難かったと

考えられる。このような現象は(b)図の南西面では確認されず、値は最大0.7程度となっている。尚、Fig. 7(b)において1階および2階のシステム出力係数が極端に低いが、これは、当該ビル南西面の向かい側に隣接して同程度の高さの建物が建てられており、特に太陽高度の低い冬季には最上部にある日射計には日が当たり易いのに対し、低層階には当たり難い状況となっていることによる。

また、Fig. 6(b)では、夏季の発電においては太陽高度が高くなり壁面設置モジュールへの入射角が大きくなるために南東面、南西面で発電量が低下している一方で、日の出の頃に太陽に正対する北東面では朝方に発電量が多くなることが確認でき、前述した、Fig. 5において北東面で有意な発電量が確認された根拠を支持するデータとなっている。また、Fig. 6(d)に示す冬季の発電量については、南東面および南西面の発電量がそのほかの季節と比較して全体的に多くなっており、冬に発電量が多くなる状況が確認できた。

これらの壁面設置した太陽電池モジュールによる発電の傾向は、ビルの屋上等に水平に近い状態で設置するモジュールでは発電量が比較的減少する朝夕の時間帯や冬季の昼間等の発電量を底上げすることに役立つと考えられ、年間を通したより安定的な電力の供給に寄与できると考えられる。

尚、2.2章で述べたように、本検討では発電量や日射量の他に、各面、各階の代表的な太陽電池モジュールの裏面に取り付けた熱電対でその温度を測定、記録したが、これまでの確認、検証では、温度の変動範囲や温度変化に対する挙動に通常の屋上設置や地上設置との大きな違いは認められなかった。

#### 4. むすび

本稿では、実際に稼働しているビルの壁面全体に太陽電池モジュールを設置した太陽光発電システムを構築し、これにより、壁面に設置した太陽電池モジュールの発電特性の季節変動や一日の中での変動、方位別の挙動を評価し、分析した結果について述べた。今回の評価により、南側を向いた南東面および南西面の発電量は、冬季に高くなり夏季は下がる傾向が見られること、また、比較的北を向いた北東面でも特に夏季の朝方を中心に有意な発電量が得られること、また、南西面と南東面は朝夕の時間帯に発電量が多く、さらに、北東面では、周囲の建物からの反射光が発電に寄与することも確認できた。

これらの結果から、太陽電池モジュールを壁面を含めたビル全体に設置することで、ビル屋上などに水平設置したモジュールでは減少する朝夕の時間帯や冬季の発電量を補完して、より安定的な電力の供給を可能にし得ることが確認できた。

#### 謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）との共同研究事業（JPNP20015）の結果得られたものです。

また、本稿に記載した壁面向け太陽電池システムの開発に協力いただき、設置する機会を提供いただいた大成建設株式会社様に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) IEA PVPS Snapshot of Global PV Markets 2022 (accessed September 2023), [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/04/IEA\\_PVPS\\_Snapshot\\_2022-vF.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/04/IEA_PVPS_Snapshot_2022-vF.pdf)
- 2) JPEA ビジョン・PV OUTLOOK 2050 (accessed September 2023), [https://www.jpea.gr.jp/wp-content/themes/jpea/pdf/pvoutlook2050\\_2020.pdf](https://www.jpea.gr.jp/wp-content/themes/jpea/pdf/pvoutlook2050_2020.pdf)
- 3) 経済産業省 資源エネルギー庁 “次世代型太陽電池に関する国内外の動向等について” (accessed November 2023), [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green\\_innovation/green\\_power/pdf/003\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/green_power/pdf/003_04_00.pdf)
- 4) K.Yoshikawa H.Kawasaki, W.Yoshida, T.Irie, K.Konishi, K.Nakano, T.Uto, D.Adachi, M.Kanematsu, H.Uzu, K.Yamamoto: “Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26%”, *Nature Energy* 2, 17032 (2017), (DOI; <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.32>)
- 5) K.Yamamoto K.Yoshikawa, H.Uzu, D.Adachi: “High-efficiency heterojunction crystalline Si solar cells”, *Jpn. J. Appl. Phys.* 57 08RB20 (2018), (DOI; <https://doi.org/10.7567/JJAP.57.08RB20>)
- 6) 垂水弘夫, 山口翔太: “鉛直面8方位における日射及び太陽光パネル発電データの解析” *日本建築学会技術報告集* 19(42), 635-638 (2013), (DOI; <https://doi.org/10.3130/aijt.19.635>)
- 7) A.Nagaoka, Y.Ota, K.Sakai, K.Araki, H.Matsuo, N.Kadota, K.Maeda, A.Nakajima, K.Nishioka: “Performance evaluation and spectrum-based analysis of a wall-mounted photovoltaic system for zero-energy building”, *Renewable Energy* 174, pp.147-156 (2021), (DOI; <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.079>)
- 8) 中島昭彦: “ZEB 実現を目指した次世代 BIPV の開発.” *電気設備学会誌* 40(5), 273-276 (2020)