

壁面設置型 BIPV の現状と今後の展望

Current Status and Future Prospects of Wall-mounted BIPV

寺川 朗*

1. はじめに

1.1 BIPV の登場と発展

1970 年代のエネルギー危機を契機として、再生可能エネルギーの必要性が広く認識され、世界各国において太陽光発電の研究開発が進展した。1980 年代においては、太陽光発電設備のコスト削減を目的とし、建築用建材としての機能を備えた「建材一体型太陽電池（狭義の BIPV：Building Integrated Photovoltaics）」の概念が生まれた。1990 年代以降には、日本および欧米諸国において太陽光発電の系統連系が開始され、屋根材一体型太陽電池が普及するとともに、特殊な用途として壁材および窓材一体型太陽電池も出現した（図 1）。

建材一体型太陽電池（狭義の BIPV）は建材と統合された特別な仕様設計を要する一方で、量産仕様

の PV モジュールを利用可能な「建物据付型太陽光発電（BAPV：Building Attached Photovoltaics）」は既存建築物への追加設置において、より柔軟性が高く、費用対効果の優れたソリューションとして 2000 年代以降普及が進行した。新築または大規模改修時に採用される建材一体型太陽電池（狭義の BIPV）と、既存建築物の改修に適した建物据付型太陽光発電（BAPV）は、いずれも建築環境における再生可能エネルギーの利用促進に寄与する重要な技術であるが、この両者を包含する概念が「建築一体型太陽光発電（広義の BIPV）」である。

1.2 壁面設置型 BIPV の重要性

現在、世界のエネルギー需要の約 70% は都市部に集中しており、建築物を含む民生部門における二酸化炭素（CO₂）排出量は全体の約 30% を占める。近年、カーボンニュートラルの実現に向けた取り組みが加速する中、建築物の省エネ・脱炭素化は極めて重要な社会課題と認識されている。我が国においては、今後、太陽光発電パネルの設置に適した土地の減少が予測されることから、建築物の外壁や屋根などの建築外皮に太陽光発電を組み込む建築一体型太陽光発電（広義の BIPV）の導入拡大が求められている。特に、従来から利用されてきた建築物の屋根に加え、都市部における建築物の壁面の活用可能性が注目されている。

我々は、NEDO 事業（2020-24 年度）の一環として、壁面設置太陽光発電システムに関連する以下の 3 文書を策定・公開したので、本稿ではその概要を紹介する。

- ・「壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドライン 2024 年度版」²⁾
- ・「日射熱取得率高精度評価に関する技術文書 2024

* 太陽光発電技術研究組合（PVTEC）



図 1 初期の壁面設置型 BIPV
（上図：シースルー窓型、1993 年、三洋電機¹⁾
下図：大規模壁面型、2001 年、三洋電機）

年度版」³⁾

- ・「壁面設置型太陽光発電 発電電力量推定方法に関するガイドライン～入射角依存性を考慮した推定方法～」⁴⁾

2. 壁面設置太陽光発電システム技術関連文書

2.1 「設計・施工ガイドライン」

太陽光発電システムに関する既存の設計・施工ガイドラインとして、「住宅屋根設置型」および「地上設置型」などが既に公表されているが、建築物外壁への設置に特化したガイドラインはこれまで整備されていなかった。太陽電池であると同時に建材としての機能も有するBIPVは、建築分野とPV分野の融合技術であり、いずれか一方の分野から視点のみではその全体像を把握することができない。我々は、建築分野とPV分野の専門家で構成される基盤技術検討委員会を組織して、壁面設置型BIPVに特化した世界初のガイドライン策定を進め、2023年度末に「壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドライン 2023年度版」を公開した(図2)⁵⁾。2024年度には、ウェビナー、建築系/PV系学会・研究会、および個別ヒアリングなどの機会を通じて、同ガイドラインの国内浸透を図るとともに、国内有識者から寄せられた多様な意見を改定に反映させた「壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドラ

イン 2024年度版」を策定・公開した²⁾。

2024年度版ガイドラインの目次を図3に示す。本ガイドラインは、材料選択、設計、製作、取付施工、検査、維持管理、といった壁面設置型BIPVのライフサイクル各工程における建築視点及びPV視点における留意事項を整理して記載している。「第1章 目的と対象」では、建築分野、PV分野、双方の専門家が活用できるように、本ガイドラインの目的、用語の定義および適用範囲を明示した。「第2章 性能および安全性」では、壁面設置型BIPVの建築外皮および太陽電池としてのそれぞれの性能および安全性について解説した。着色PVモジュールの色調に関して、CIE(国際照明委員会)が定める

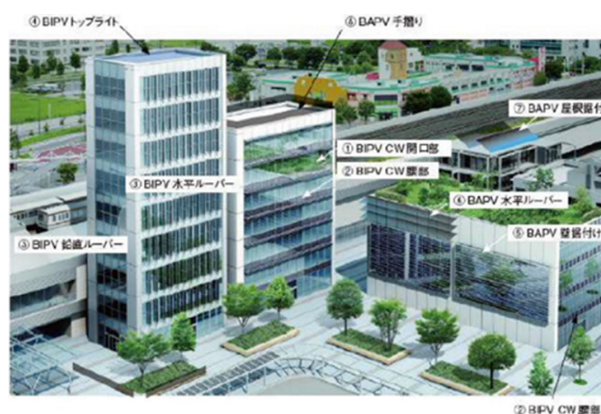


図2 壁面設置太陽光発電システムの例^{2, 5, 6)}

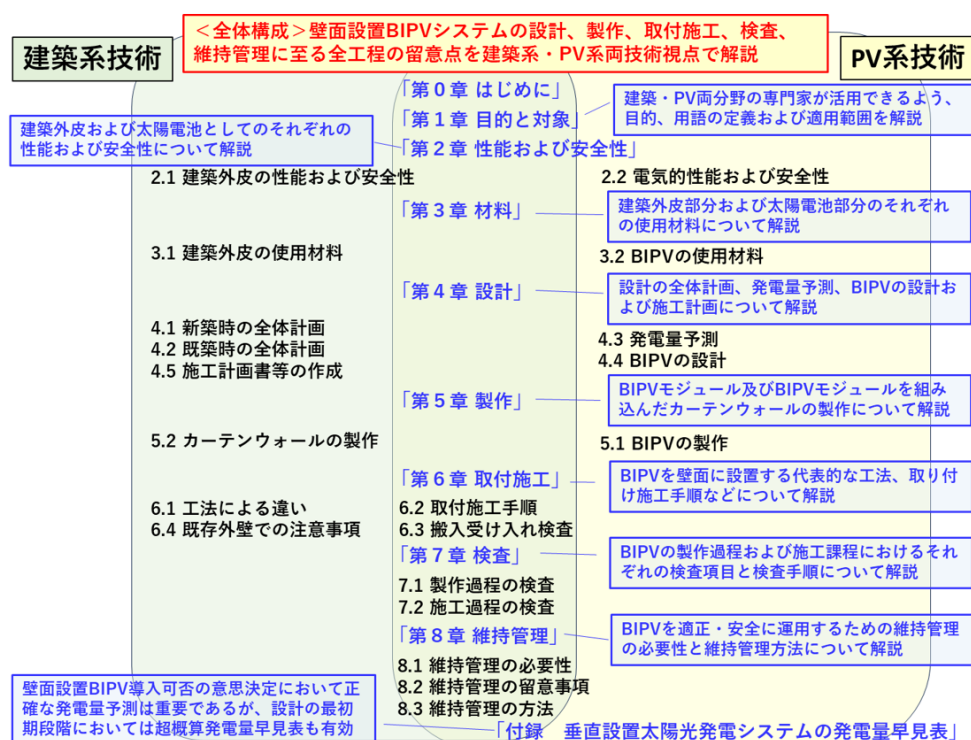


図3 「壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドライン 2024年度版」目次

方法に準じて、測色計で計測した $L^*a^*b^*$ 色空間座標で表示することにより、定量的な評価が可能であることを例示し、第2章（2.2.6.3 意匠性）に記載した。「第3章 材料」では、壁面設置型 BIPV の建築外皮部分および太陽電池部分の使用材料について解説した（図4）。

壁面設置型 BIPV 導入可否の検討は、新築建物では建築設計の初期段階から、既築建物への設置では外壁改修設計の初期段階から、それぞれ開始する必要がある。「第4章 設計」では、建築的視点では「建物新築時及び既築建物改修時の全体計画における BIPV 導入可否の検討手順や BIPV システム施工計画」について、電気的視点では「BIPV のシステム構成（図5）」などについて、それぞれを解説した。「第5章 製作」では、BIPV モジュールの製作及び壁面設置型 BIPV の代表的事例として BIPV モジュールを組み込んだメタルカーテンウォールの製作工程を紹介した。「第6章 取付施工」では、BIPV を壁面に設置する代表的な工法および取付施工手順を例示した。

壁面設置型 BIPV を適正、かつ安全に運用するためには、施主への引渡し前の検査と引き渡し後の維持管理が重要である。「第7章 検査」では、壁面設置型 BIPV の製作および施工過程におけるそれぞれの検査項目と検査手順を例示した。「第8章 維持管理」では、壁面設置型 BIPV を適正、かつ安全に運用するための具体的な維持管理方法の指針を示した。

2024 年度版の主な改訂点は、索引・用語集の追記（約 240 語）、用語定義の加筆と用語統一、国内浸透イベントにおける意見の反映などである。2024 年度改訂作業の中で論点となったが本改訂版で対応できなかったこともいくつかある。例えば、「BIPV の3性能（水密、気密、耐風圧）を建築サイドと PV サイドのいずれが担保するのか？」という質問

が出たが、責任範囲は個々の商取引条件に依存するので一般化はできないことから、本ガイドラインへの記載は見送った。また、「新型太陽電池（ペロブスカイト系、フレキシブル、など）」の情報も記載して欲しいとの要望も多く寄せられたが、太陽電池メーカー各社と協議の結果、ガイドラインに次世代型太陽電池の技術情報を掲載するのは時期尚早との結論に至ったので、将来の改定時の課題とした。

2024 年には、BIPV 関連の以下2文書も公開されているので、参考までに記しておく。

- ・「建物設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2024 年版」⁷⁾
- ・「BUILDING-INTEGRATED PHOTOVOLTAICS: A Technical Guidebook」⁸⁾

2.2 日射熱取得率高精度評価に関する技術文書

壁面設置型の中でも特に窓設置型 BIPV の効率的な活用においては、太陽電池としての発電性能に加えて、建築材料としての重要な省エネ性能指標である日射熱取得率（窓材料を通過して屋内に取り込まれる太陽熱の割合、SHGC: Solar Heat Gain Coefficient）を考慮する必要がある。例えば、夏季においては、日射熱取得率が低い方が冷房に必要な空調エネルギーを削減できるため、結果的に建物全体のエネルギー効率が向上する。国内 BIPV メーカー／ユーザー各社にも、BIPV 製品の性能仕様数値として「日射熱取得率」を記載したいというニーズがある。建材としての窓材料の日射熱取得率評価法は、計算法（ISO 9050⁹⁾、ISO 15099¹⁰⁾）、実測法（ISO 19467¹¹⁾）ともに国際規格が公開されているが、太陽電池の発電によるエネルギー移動を考慮する必要がある BIPV の日射熱取得率高精度評価技術は、計算法、実測法ともに研究開発途上であり、未だ国際合意や標準化がなされていない。

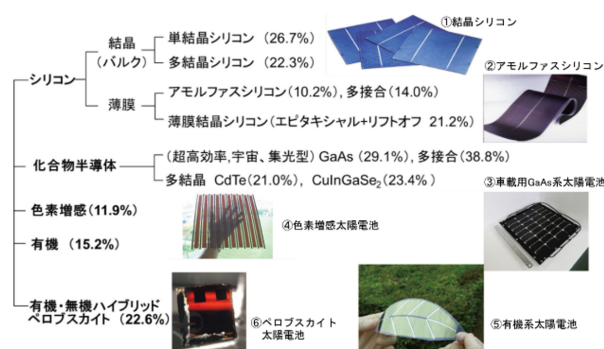


図4 各種太陽電池セル²⁾

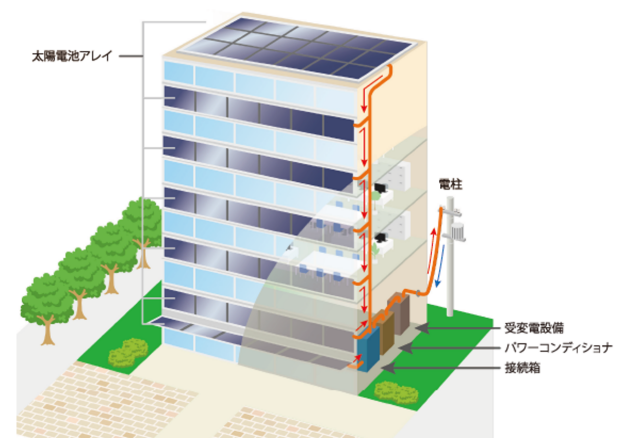


図5 壁面設置型 BIPV システムの構成例²⁾

我々は、太陽電池の計測技術において高度な知見を有する産業総合技術研究所と共同で、BIPV 用日射熱取得率高精度評価装置及び評価技術を開発してきた。当該評価装置は、発電状態で日射熱取得率を実測できる日本国内で唯一の評価装置であるが、ISO 19467に準拠した高精度主要コンポーネント（熱計測系（高気密熱計測箱方式）、ソーラーシミュレータ系（新型低コスト2灯キセノンショートアーク型）、MPPT 計測系（産総研方式（高精度 I-V 測定装置 MPPT モード））を採用した日射熱取得率評価装置を構築した（図6）。本評価装置により、日射熱取得率評価の繰り返し再現性で、JIS / ISO 規格で規定する要求性能を実証し（JIS A 1493/ISO 19467では「繰り返し再現性の不確かさ<2.9%」を要求）、その成果を「壁面設置太陽光発電システム日射熱取得率高精度評価に関する技術文書 2024 年度版」を策定・公開した³⁾。一例として、透光型 BIPV モジュールの開放電圧状態／発電状態における日射熱取得率（g 値）のセル占有率依存性を図7に示す。g 値とセル占有率が良好な線形相関が見られるが、これは高い測定再現性の証左でもある。また、発電状態（MPPT）の g 値は開放状態よりも低く、セル占有率が増加するとともにその差異が拡大している。これは、BIPV の発電によるエネルギー移動によるものであり、日射熱取得率の高精度評価には発電状態での測定が必要であることを示している¹²⁾。

現在、IEA PVPS Task15 (Enabling Framework for the Development of BIPV) Phase3 (2024-27 年) 活動の枠組みを活用して、日射熱取得率の国際比較試験（参画国（機関）：日本（PVTEC：太陽光発電技術研究組合）、ドイツ（FhISE：フラウンホーファー研究所）、フランス（CTBS：建築科学センター）、韓国（KCL：韓国適合試験所））を日本主導で推進中である。その結果、各国とも日射熱取得率評価の

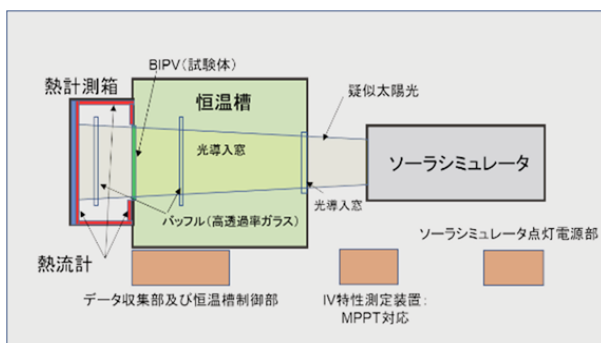


図6 BIPV 用日射熱取得率評価装置の構成図³⁾

繰り返し再現性（定性値）は一定水準以上であるものの、その定量値については各国機関の間で5-10%以上の差異があることを確認している。国際規格、国内規格とも定量的精度に関する定めはまだ無いが、日射熱取得率高精度評価技術の国際論議を推進して国際合意を形成してゆくには、日本および海外各国の評価技術が内包するラボラトリーバイアスの可能性の確認・改善作業を並行して進める必要がある。

2.3 発電電力量推定方法に関するガイドライン

屋根設置型などの通常の PV システムにおける発電電力量推定方法としては、JIS C 8907:2005¹³⁾ が公表されている。しかし、壁面設置型 BIPV においては、特有の留意事項を考慮した推定手法が体系化された規格や文献は存在しなかった。本研究では、特に低角度入射の比重が大きい壁面設置型 BIPV において重要となる太陽光の入射角特性を新パラメータとして採用し、発電電力量推定の精度向上を目指した。片面発電と両面発電、防眩処理の有無といった様々なタイプの BIPV モジュールを準備して、それらの屋外発電量を実測した（図8）。また、各タイプ BIPV モジュール発電性能の光入射角依存性を計測し（図9）、入射角依存性を考慮した発電量推定モデルを構築した。屋外実発電量とシミュレーションによる発電量推定値を比較して、その乖離要因分析を通じて発電量推定の計算モデルを改良した結果、入射角依存性を考慮した新推定技術によって、発電量推定誤差が改善されることを実証した（積算発電量推定値/実測値:<従来技術>1.039から1.011

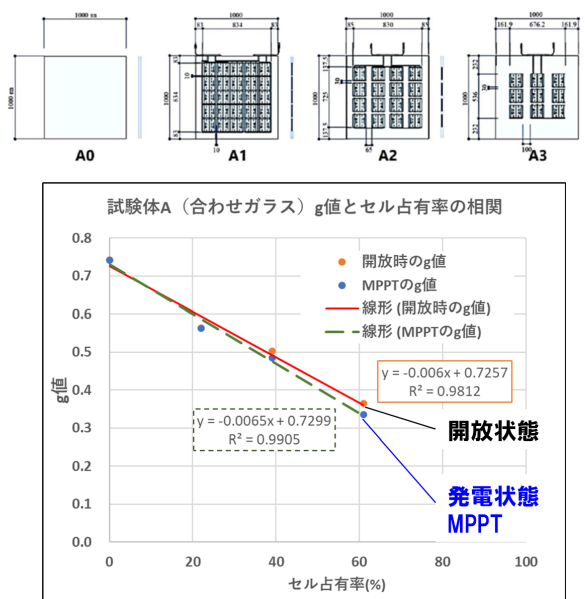


図7 BIPV 日射熱取得率のセル充填率依存性³⁾

へと良化, 月別標準偏差推定値/実測値: <従来技術> 0.022 から <本技術> 0.011 へ良化) (図 10). これらの研究結果に基づき, 「壁面設置型太陽光発電 発電電力量推定方法に関するガイドライン～入射角依存性を考慮した推定方法～」を策定・公開した⁴⁾.

壁面設置型 BIPV (建物一体型太陽光発電) の発電電力量推定は, 屋根設置型 PV と比較して, 今回着目した光入射角度以外にもいくつかの特有の複雑性を持つ. まず, 壁面設置型 BIPV は自己影や周辺建物, 構造物による影の影響を受けやすい点が挙げられる. さらに, 壁面設置型 BIPV は隣接する建物や地表面からの反射光の影響を受ける可能性があり, 特



図 8 各タイプ BIPV モジュールの屋外計測⁴⁾

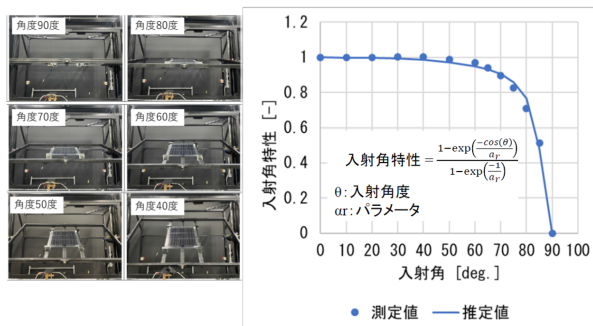


図 9 BIPV モジュールの光入射角特性計測⁴⁾

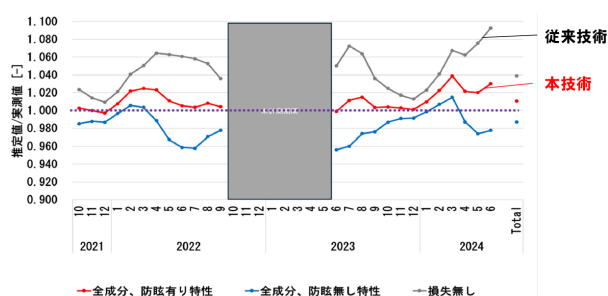


図 10 壁面設置 BIPV の発電電力量推定値/実測値⁴⁾

に両面発電モジュールを採用する場合, 裏面に入射する反射光も考慮する必要がある. こうした課題を克服し発電電力量推定精度を向上させるためには, 建物の 3D モデルを構築する BIM (Building Information Modeling) との組み合わせが有効である. これにより, 追加的な変数を計算モデルに統合し, 発電電力量推定の精度を向上させることが期待される.

3. 差別化と標準化

壁面設置型 BIPV 技術は未だ発展途上であり, 都市部の建築物という限られた空間でエネルギーを効率的に生成するという独自の価値をさらに高めるためには, 発電効率のさらなる向上や多機能化 (軽量性, 柔軟性, 透光性, 断熱性, 外観審美性) などの差別化技術の開発が求められる. 一方で, 壁面設置型 BIPV の大量導入を目指すには, 製品の標準化 (規格の統一, 設計・施工ガイドライン) とその周辺環境の整備が不可欠である. 新たな差別化技術の開発と新技術にも対応した国際標準化. この両者をバランスよく進めることによって, 壁面設置型 BIPV のさらなる普及が期待される.

4. まとめ

太陽光発電技術研究組合が NEDO 事業の一環として取り組んできた壁面設置型 BIPV に関する技術開発と関連する以下の公開文書の概要を紹介した.

- ・「壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドライン 2024 年度版」
- ・「日射熱取得率高精度評価に関する技術文書 2024 年度版」
- ・「壁面設置型太陽光発電 発電電力量推定方法に関するガイドライン～入射角依存性を考慮した推定方法～」

これらの公開文書の浸透が, 国内の BIPV コミュニティ (建築系 + PV 系) における共通認識の醸成と対話の活性化に寄与し, さらに壁面設置型 BIPV の国際標準化論議における日本のイニシアティブとリーダーシップの強化に繋がることを期待している.

謝辞

本研究は, 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) 事業「壁面設置太陽光発電システム市場拡大のための共通基盤技術の開発とガイドライン策定」の一環として太陽光発電技術

研究組合（PVTEC）が実施したものであり、再委託先研究員である猪狩眞一氏、大関崇氏（産業技術総合研究所）、基盤技術検討委員会 委員長 近藤道雄氏（早稲田大学）、「設計・施工ガイドライン」分科会長 石井久史氏（LIXIL）、同委員 宮崎淳氏（日本設計）、水野英範氏、松井卓矢氏（産業技術総合研究所）、萩原伸治氏（建材試験センター）、及び関係各位に感謝する。

参考文献

- 1) 中野昭一「太陽光発電の現状と将来展望」：第23回 先端放射線利用研究会（1995）<http://onsa.gdgdg.jp/7ken1.pdf>
- 2) 壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドライン 2024年度版（2025年3月公開，<https://www.pvtec.or.jp/deliverables/view/425>，作成：太陽光発電技術研究組合，発行元：太陽光発電技術研究組合）
- 3) 壁面設置太陽光発電システム 日射熱取得率高精度評価に関する技術文書（2025年3月公開，<https://www.pvtec.or.jp/deliverables/view/427>，作成：太陽光発電技術研究組合，産業技術総合研究所，発行元：太陽光発電技術研究組合）
- 4) 壁面設置太陽光発電システム 発電電力量推定方法に関するガイドライン～入射角依存性を考慮した推定方法～（2025年3月公開，<https://www.pvtec.or.jp/deliverables/view/428>，作成：太陽光発電技術研究組合，産業技術総合研究所，発行元：太陽光発電技術研究組合）
- 5) 壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドライン 2023年度版（2024年3月公開，<https://www.pvtec.or.jp/backnumber/view/380>，作成：太陽光発電技術研究組合，発行元：太陽光発電技術研究組合）
- 6) LIXIL「BIPV「Solar Through：ソーラースルー」カタログ，2013」
- 7) 建物設置型太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2024年版（2024年8月公開，<https://www.nedo.go.jp/content/100981448.pdf>，作成：産業技術総合研究所，構造耐力評価機構，太陽光発電協会，大成建設（株），大阪公立大学，

発行元：新エネルギー・産業技術総合開発機構）

- 8) Building-Integrated Photovoltaics : A Technical Guidebook, edited by IEA PVPS Task15, <https://iea-pvps.org/key-topics/book-building-integrated-photovoltaics-a-technical-guidebook/>
- 9) ISO 9050:2003 Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors (2003)
- 10) ISO 15099 : 2003 Thermal performance of windows, doors and shading devices — Detailed calculations (2003)
- 11) ISO 19467-2 : 2021 Thermal Performance of windows and doors — Determination of solar heat gain coefficient using solar simulator (2021)
- 12) H. Ishii, H. R. Wilson, S. Hagihara, U. Amann, V. Shabunko, S. Boddaert, International inter-laboratory comparison of solar heat gain coefficient of building-integrated photovoltaic modules - results of tests with or without power generation and tests with PV cell coverage ratios. Energy and Buildings, 329 (15), 114843, (2025) (<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114843>)
- 13) JIS C 8907 : 2005「太陽光発電システムの発電電力量推定方法」https://kikakurui.com/c8/C8907-2005-01.html#google_vignette

著者略歴



寺川 朗（テラカワ アキラ）

1990年3月 京都大学工学部精密工学科卒業。同年4月 三洋電機（株）入社。太陽電池の研究開発に従事。1997年4月京都大学大学院工学研究科博士後期課程入学（電子物性工学専攻）。1999年5月 同修了。2012年1月 会社統合によりパナソニック（株）に編入。2021年4月 太陽光発電技術研究組合（PVTEC）に出向。工学博士。IEA PVPS Task15 Expert.