

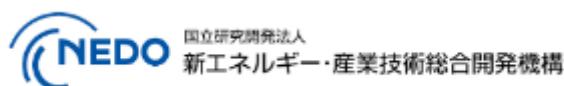
壁面設置太陽光発電システム

日射熱取得率高精度評価に関する技術文書

2024 年度版

この成果物は、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）の委託業務「太陽光発電主力電源化推進技術開発/太陽光発電の新市場創造技術開発/壁面設置太陽光発電システム技術開発（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）」の結果として得られたものです。

2025 年 03 月 31 日



はじめに

本技術文書は、建材一体型太陽光発電設備の日射熱取得率の測定を、国際規格の要求事項に適合し、かつ高精度でコスト低減可能な装置構成とその特長、関連規格の要求事項の比較、規格の適正化に資する推奨事項、関連する要素技術の検証結果と現時点における測定結果の国際一致度を収録した附属書の提供を目的として、建築設計事業者、電気工事事業者、太陽電池製造事業者、試験装置製造業者、試験事業者、アカデミアなどを対象に作成したものである。

経済産業省資源エネルギー庁からは、2015年12月に「ZEBの定義」と「実現・普及に向けたコードマップ」が公表され、2020年12月に公表されたグリーン成長戦略では、ZEBの普及推進の必要性が述べられた。「2021年10月に閣議決定された「第6次エネルギー基本計画」においては、『2030年度以降に新築される建築物についてZEB基準の水準の省エネルギー性能の確保を目指す』とし、「2030年には新築建築物の平均でZEBを実現」とZEB(Net-Zero Energy Building)の実現・普及目標が設定された。経済産業省資源エネルギー庁は、ZEBの定義上、基準一次エネルギー消費量からのエネルギー削減量に応じて、ZEB(再生可能エネルギーも含め100%以上)、Nearly ZEB(再生可能エネルギーも含め75%以上100%未満)、ZEB Ready(50%以上75%未満)、ZEB Oriented(建物用途別に30%以上、40%以上50%未満)の4段階にZEBを分類している。ZEBを実現するには、新築時からBIPV(Building Integrated Photovoltaics:建材一体型太陽光発電設備)に代表される再生可能エネルギー源を建築の外壁や屋根に適用するか、既築でZEB等に満たない建築物へBIPVやBAPV(Building Attached or Applied Photovoltaics:添付型太陽光発電設備)を後から適用することで、ZEBへ導くことも想定される。建築物省エネ法においては、ZEBの評価に住宅・建築物の一次エネルギー消費量の基準であるBEI(Building Energy Index)という指標を用いている。建築外皮にBIPVを適用すること、BIPV本来のエネルギー創出機能に加え、BIPVのセル部での日射遮蔽効果と光電変換による発電時のエネルギー移動効果による日射熱取得率(*g*値)の低減(夏季の空調負荷低減等)が期待でき、BEIが有利にカウントされる。そのため、ZEB実現や脱炭素に必要不可欠なアプリケーションとして、BIPVは今後益々重要度が増していくものと予測される。

なお、既存の日射熱取得率測定に関する国際規格は、窓及びドアを対象とし、BIPVに適用する記述は附属書に数行しかない。規格で例示されている装置構成では導入コスト・ランニングコストが高価となり、長期的な維持管理面や性能面に課題が残る可能性も想定される。新たに開発した日射熱取得率評価試験装置のソーラシミュレータ(疑似太陽光源)は、ランプ灯数を従来比1/3とする特殊光学系によりコストを抑えながら、基準太陽光へのより優れた近似度、照射の均一性・時間安定性を実現した。(以上は、NEDO壁面設置太陽光発電システム設計・施工ガイドライン2024年版より一部を再録し、本技術文書向けに加筆修正したものである)。

「第1章 目的と適用範囲」では、本技術文書が「BIPV単体(枠などを含まない)の日射熱取得率評価(屋内、水平照射(入射角0°)の高精度化に関する」ことを明示し、目的と適用範囲を解説した。「第2章 日射熱取得率の定義、測定方法を規定する国内外の規格の調査」では、日射熱取得率の定義、日射熱取得率の測定方法を規定する規格(JIS、ISO、NFRC)等の概要と適用

範囲、例示されている日射熱取得率評価試験装置の基本構成と要求性能、試験条件、定常状態の判断方法・判断基準を解説した。また日射熱取得率を計算する方法を規定する規格とその内容を示すとともに、日射熱取得率に対する境界条件の影響を詳細に試算した。「第3章 BIPV の日射熱取得率評価に関する文献の紹介」では、1)日射熱取得率評価用光源とその光学特性に関する文献、2)日射熱取得率評価における BIPV の電気的負荷状態に関する文献、3)評価装置の構成と BIPV の日射熱取得率評価結果に関する文献、4)日射熱取得率の計算モデルと実測結果の関係についての文献、を基準として先行研究を選別して要旨を示した。「第4章 各国の日射熱取得率評価用試験装置及び測定条件等の比較」では、各国の所有する装置の仕様、測定法の種類、基準・規格、測定条件、光源の種類や測定誤差、国際規格への適合性と BIPV の評価実績を詳細に示した。「第5章 BIPV の日射熱取得率高精度評価試験装置の性能と高精度化に向けた推奨事項」では、本事業で開発した高精度評価用試験装置の主要な特性を詳述し、高精度化に向けた技術的要件と関連規格の改正に向けた推奨事項を解説した。

日射熱取得率の測定方法を規定する規格(本技術文書の表 2-1 参照)は制定されているが、これらの規格では BIPV の評価に関する規定が不十分であったため、本技術文書に BIPV の日射熱取得率測定に有益な追加情報を附属書 A～附属書 D として収録した。「附属書 A. 日射熱取得率評価用ソーラシミュレータの光学系設計に関するケーススタディ」では、世界の主要機関が採用している光源の特性を光学シミュレーションで検証し、最適設計を条件とすれば、何れも規格に適合可能であることを示した。「附属書 B. 熱流計の規格適合性評価結果(日射透過率、日射反射率、日射吸収率の実測値)の紹介」では、国産熱流計の光学特性を測定して、各製品(熱流計)の規格適合性と、製品仕様書には記載されていない特性値を開示した。「附属書 C. 太陽電池のIV 測定と MPPT 制御に及ぼす光源の分光放射照度及び点灯方式の影響」では、MPPT を適正に行うための IV 測定条件を光源の点灯方式ごとに示した。「附属書 D. 日射熱取得率の国際比較(日本、ドイツ、フランス、韓国)」では、主要 4 機関による共通仕様 BIPV 試験体の日射熱取得率の比較測定結果を紹介した。

本技術文書は、太陽光発電技術研究組合(PVTEC)が受託した NEDO 委託事業「太陽光発電主力電源化推進技術開発/太陽光発電の新市場創造技術開発/壁面設置太陽光発電システム技術開発(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)」の一環で作成した。垂直設置 PV 基盤技術検討委員会「日射熱取得率高精度測定技術の開発(省エネ性能)」分科会の委員各位、諮問委員会の委員各位、JIS、ISO、IEC 規格からの引用を許諾された一般財団法人日本規格協会、装置特性の測定と国際比較測定データの精度維持に尽力された株式会社ケミトックス(新庄試験センター)の田宮裕太郎氏、恒温槽と熱計測箱の特性評価や改良について議論いただいた株式会社大西熱学の奥山 徹氏、岡野正樹氏、山口正巳氏、など多くの方々のご支援ご協力を賜りました。この場をお借りして、厚くお礼を申し上げます。

「壁面設置太陽光発電システム」に関するガイドラインについて

2024 年度は「壁面設置太陽光発電システム」に関する以下のガイドラインが公開されているので、参考までに紹介する。

- ・「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」(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)

建築物の外壁と外壁に付随する部分や屋根等の建築外皮に適用する BIPV モジュールおよびシステムに関して、建築分野と電気分野の双方から、お互いの分野にアプローチしやすいように、包括的に必要と考えられる項目に焦点を当て纏めている。

- ・「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)

壁面設置太陽電池モジュールの光入射角依存性を考慮した高精度発電電力量推定技術について解説している。

- ・「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)

建物の屋根や壁面への設置に関する具体的な設計・施工方法をまとめており、主に構造耐力的安全性(風荷重、積雪荷重、地震耐性、など)と電気的安全性(電気配線、接続方法、など)について詳述している。

本書作成関係委員会(敬称略)

壁面設置太陽光発電システム技術開発(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)

基盤技術検討委員会「日射熱取得率高精度測定技術の開発(省エネ性能)」分科会

分科会長 猪狩 真一 (国立研究開発法人産業技術総合研究所)

委員 石井 久史 (株式会社 LIXIL)

近藤 道雄 (学校法人早稲田大学)

萩原 伸治 (一般財団法人建材試験センター)

望月 三也 (株式会社ケミトックス)

オブザーバー 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

諮問委員会

委員 秋元 孝之 (学校法人芝浦工業大学)

大岡 龍三 (国立大学法人東京大学)

清家 剛 (国立大学法人東京大学)

田辺 新一 (学校法人早稲田大学)

森 太郎 (国立大学法人北海道大学)

事務局 池田 祐一 (太陽光発電技術研究組合)

寺川 朗 (太陽光発電技術研究組合)

筒 博司 (太陽光発電技術研究組合)

田中 誠 (太陽光発電技術研究組合)

目次

第 1 章 目的と適用範囲	7
1.1 目的	7
1.2 適用範囲	7
第 2 章 日射熱取得率の定義、測定方法を規定する国内外の規格の調査	8
2.1 日射熱取得率の定義	8
2.2 日射熱取得率の測定方法を規定する規格	9
2.3 日射熱取得率の計算方法を規定する規格	17
2.4 日射熱取得率を求めるときの境界条件の影響について	19
第 3 章 BIPV の日射熱取得率評価に関する文献の紹介	23
3.1 日射熱取得率評価用光源とその光学特性についての文献	
文献 1	23
文献 2	24
3.2 BIPV の電気的負荷状態と日射熱取得率の関係についての文献	
文献 3	24
文献 4	25
文献 5	25
3.3 評価装置の構成と BIPV の日射熱取得率評価結果についての文献	
文献 6	26
文献 7	27
文献 8	27
文献 9	28
3.4 日射熱取得率の計算モデルと実測結果の関係についての文献	
文献 10	29
文献 11	29
第 4 章 各国との日射熱取得率評価用試験装置及び測定条件等の比較	32
4.1 日射熱取得率評価用試験装置の概要	32
4.2 測定法の種類と各国の準拠する基準・規格	33
4.3 各国における日射熱取得率の測定条件等	34
4.4 各国との日射熱取得率評価用試験装置の光源	34
4.5 各国との日射熱取得率評価の測定誤差等	36
4.6 ISO 19467 等への適合性と BIPV の評価実績	36

第5章 BIPV の日射熱取得率高精度評価試験装置の性能と高精度化に向けた推奨事項 …	39
5.1 本事業で開発したBIPVの日射熱取得率高精度評価用試験装置の性能	39
5.1.1 装置の構成と平面配置図	39
5.1.2 日射熱取得率評価用ソーラシミュレータについて	41
5.1.3 热計測箱の断熱性・気密性	47
5.1.4 周囲環境の整備	48
5.2 BIPV の日射熱取得率評価の高精度化に向けた推奨事項	54
附属書	
A. 日射熱取得率評価用ソーラシミュレータの光学系設計に関するケーススタディ	57
B. 热流計の規格適合性評価結果(日射透過率、日射反射率、日射吸収率の実測値)の紹介	66
C. 太陽電池のIV測定とMPPT制御に及ぼす光源の分光放射照度及び点灯方式の影響	75
D. 日射熱取得率の国際比較(日本、ドイツ、韓国、フランス)	89
結言	97
索引	98

第1章 目的と適用範囲

本技術文書は、壁面設置太陽光発電システムの日射熱取得率高精度評価に関するものである。日射熱取得率は、JIS R 3106²⁻¹⁾の箇条 3.5 では、「窓ガラス面に垂直に入射する日射について、ガラス部分を透過する日射の放射束とガラスに吸収されて室内側に伝達される熱流束との和の、入射する日射の放射束に対する比率」と定義されている。また、注記として、「この規格の日射熱取得率は、窓サッシなどの枠にはめ込まれた窓ガラスの中央部の日射熱取得率をいい、窓全体の日射熱取得率を計算する場合は、窓サッシ枠の影響を考慮する」とある。簡単に表現すると、日射熱取得率は、開口部に侵入する熱(日射)に対する室内に侵入する熱の割合を示し、0~1 の数値で表現される。数値が 1 に近い場合には室内に侵入する熱流量が大きく、0 に近い数値の場合には室内に侵入する熱流量が小さいことを意味する。この日射熱取得率は JIS A 1493 では η 、ISO 19467 では g 、NFRC 201 では $SHGC$ とそれぞれ記号が異なるが、本技術文書では、NEDO「壁面設置太陽光発電システム 設計・施工ガイドライン 2024 年版」と整合するために日射熱取得率もしくは g 値とした。(本技術文書 第2章から採録・加筆)

1.1 目的

本技術文書は、建築物の外壁と外壁に付随する部分や屋根等に適用する建材一体型太陽光発電設備(以下 BIPV: Building Integrated Photovoltaics)の日射熱取得率を評価するにあたり、日射熱取得率の定義、測定方法を規定する国内外の規格の比較、高精度評価に向けた技術課題の抽出のための文献紹介、各国の日射熱取得率評価用試験装置及び測定条件等の比較による国際標準化の状況を判りやすく解説する、また、本事業において開発した日射熱取得率高精度評価設備の特長を示すとともに、発電状態によって変化するという特徴を持つ BIPV の日射熱取得率の評価の高精度化に向けた推奨事項を分かりやすく解説する。今後の BIPV の日射熱取得率高精度評価の実施、国内外での標準化の推進、将来の国際相互承認への取り組みのための理解の一助としていただくことが、本技術文書作成の目的である。

1.2 適用範囲

BIPV の「データシート」上の熱貫流率(U 値)は、等価な建築部材の熱貫流率(U 値)とほぼ同じであるが、実際の熱貫流率は、境界条件、特に、室内外の温度、室内外の熱伝達係数、放射照度に大きく影響され、日射熱取得率(g 値)は BIPV の部材の透明度(幾何学的透明度: Geometric Transparency Degree: GTD)に依存して大きく異なってくる。また、温度係数ならびに日射係数の決定には、グレージングの構造が最も重要である³⁻³⁾。また BIPV の日射熱取得率が日射の入射角度に大きく依存することも報告されている³⁻⁶⁾。境界条件と各国機関の測定条件の違いについては第2章、第3章で詳述する。日射の入射角度による BIPV の日射熱取得率の違いを評価することについては今後の課題とし、本技術文書では、枠などを含まない BIPV 単独での日射熱取得率評価を屋内において水平照射(入射角 0°)で行う場合の高精度化に関する内容を対象範囲とする。

第2章 日射熱取得率の定義、測定方法を規定する国内外の規格の調査

本章では、日射熱取得率の定義、日射熱取得率の測定方法を規定する規格 (JIS,ISO,NFRC) 等の概要と適用範囲、例示されている日射熱取得率評価試験装置の基本構成と要求性能、試験条件、定常状態の判断方法・判断基準を解説した。また日射熱取得率を計算する方法を規定する規格とその内容を示すとともに日射熱取得率を求めるときの境界条件の影響を試算した結果を紹介した。

2.1 日射熱取得率の定義

日射熱取得率は、JIS R 3106²⁻¹⁾の箇条 3.5において、「窓ガラス面に垂直に入射する日射について、ガラス部分を透過する日射の放射束とガラスに吸収されて室内側に伝達される熱流束との和の、入射する日射の放射束に対する比率」と定義されている。また、注記として、「この規格の日射熱取得率は、窓サッシなどの枠にはめ込まれた窓ガラスの中央部の日射熱取得率をいい、窓全体の日射熱取得率を計算する場合は、窓サッシ枠の影響を考慮する」とある。簡単に表現すると、日射熱取得率は、開口部に侵入する熱(日射)に対する室内に侵入する熱の割合を示す。この日射熱取得率を模式的に表現したものが図 2-1 であり、この状態は数式では式(2-1)、または式(2-2)で表現される。日射熱取得率は 0~1 の数値で表現される。数値が 1 に近い場合には室内に侵入する熱流量が大きく、0 に近い数値の場合には室内に侵入する熱流量が小さいことを意味する。日射熱取得率の記号は、JIS A 1493 では η 、ISO 19467 では g 、NFRC 201 では $SHGC$ である。ここで、 $SHGC$ は Solar Heat Gain Coefficient の頭文字を取った略語である。

$$g = \tau_s + N \cdot \alpha_s \quad \text{式(2-1)}$$

$$g = \frac{q_{in}}{q_{solar}} \quad \text{式(2-2)}$$

ここに、

g : 日射熱取得率 (—)

τ_s : 日射透過率 (—)

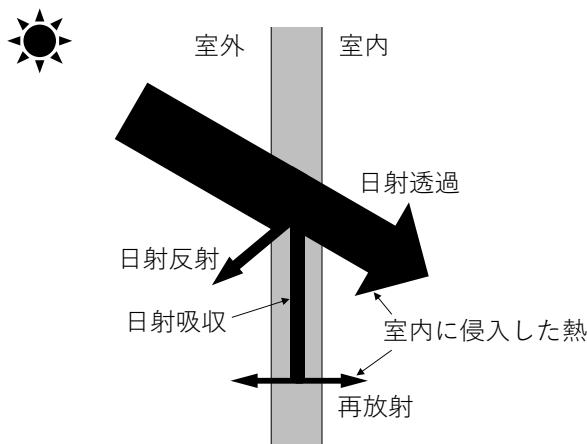
α_s : 日射吸収率 (—)

N : 係数(吸収成分のうち室内側に再放射される割合)

q_{in} : 室内へ侵入する熱流量 (W/m²)

q_{solar} : 日射による照射熱量 (W/m²)

注: 日射熱取得率の記号は、JIS A 1493 では η 、ISO 19467 では g 、NFRC 201 では $SHGC$ 、を用いているが、ここでは g を用いた。



2.2 日射熱取得率の測定方法を規定する規格

(1) 規格の概要

日射熱取得率の測定方法を規定している規格には、JIS A 1493、ISO 19467 および NFRC 201 がある。現在開発途中の規格として ASTM WK80979 があるが、WK:Working Item:(検討文書)のステージであるため、以降の調査からは除外した。各規格の名称は次のとおりである。

- ① JIS A 1493: 窓及びドアの熱性能—ソーラシミュレータを用いた日射熱取得率の測定
- ② ISO 19467: Thermal performance of windows and doors — Determination of solar heat gain coefficient using solar simulator
- ③ NFRC 201: Procedure for Interim Standard Test Method for Measuring the Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration Systems Using Calorimetry Hot Box Methods
- ④ ASTM WK80979 : New Test Method for Measuring the Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration Systems Using Calorimetry Hot Box Methods(審議中・未発行)

各規格の概要を表 2-1 に、目次を表 2-2 に示す。

適用範囲は概ね同じであるが、NFRC 201 は屋外での測定についても言及している点が JIS A 1493 および ISO 19467 とは異なる。本章では、NFRC 201 の屋内測定を検討対象とした。各規格とも建物の窓やドアなどの開口部を測定対象としており、開口部に取り付けられる日除け部材なども含めた状態も測定対象としている点は共通している。

JIS A 1493 および ISO 19467 は測定方法における基本的事項を規定した内容となっており、NFRC 201 はこの2つの規格よりも使用する機器、校正および測定について詳しく規定している内容となっている。また、NFRC 201 は屋外条件にも触れているため、ページ数が多くなっている。

各規格の内容としては、規定するすべての内容を記載せずに引用規格に委ねている箇所があるため、多少はすっきりとして読み易くなっている。ただし、NFRC 201 は JIS A 1493 および ISO 19467 と比較して引用規格が多いこともあり、引用規格の内容も含め、測定方法を適切に理解し、把握するのは専門知識がないと難しいと思われる。各規格とも、機器の仕様、試験条件の設定の難しさ、結果を算出するまでの手順の複雑さなど、結果が得られるまでは容易ではない内容となっている。これは、日射熱取得率の測定が容易ではないことを示しているとも言える。

表 2-1 各規格の概要

規格	JIS A 1493 ²⁻²⁾	ISO 19467 ²⁻³⁾	NFRC 201 ²⁻⁴⁾
発行団体	日本規格協会 (JSA)	国際標準化機構 (ISO)	米国開口部性能認定機関 (NFRC)
最新版の発行年	2021	2017	2023
適用範囲	フレームを含む窓及びドア全体 日射遮蔽物(ブラインド、スクリーン等)が取り付けられたものも対象とする 出窓、カーテンウォール、産業用ドア等には適用しない	フレームを含む窓及びドア全体 日射遮蔽物(ブラインド、スクリーン等)が取り付けられたものも対象とする 垂直ではない窓、カーテンウォール、産業用ドア等には適用しない	フレームを含む窓及びドア全体 日射遮蔽物(カーテン、ブラインド、スクリーン等)が取り付けられたものも対象とする 晴天条件(屋外)での測定と、人工光源(屋内)を用いた測定を規定している
引用規格数	ISO:2 JIS:7	ISO:5 IEC:1	ISO:6 ASTM:13 ASHRAE:2 NFRC:4
規格ページ数 (表紙、目次等含む)	58	60	85
備考	ISO 19467 を対応国際規格とし、技術的内容を変更して作成された JIS	JIS A 1493 の 2014 年版を基に作成された ISO 規格	—

表 2-2 各規格の目次

JIS A 1493 ²⁻²⁾ 、ISO 19467 ²⁻³⁾	NFRC 201 ²⁻⁴⁾
1 適用範囲	1 適用範囲
2 引用規格	2 引用規格
3 用語及び定義	3 用語
4 記号及び添え字	4 重要性と使用
5 測定原理	5 校正
5.1 一般	5.1 全体的な校正要件
5.2 照射日射がある場合の熱流量の測定	5.2 機器の構成
5.3 熱貫流による熱流密度の決定	5.3 システム特性
5.4 照射日射がない場合の熱流量の測定	5.4 システム特性試験
6 試験装置及び試験体	5.5 システム検証試験
6.1 試験装置の構成及び概要	6 試験装置と計測機器
6.2 ソーラシミュレータ	6.1 日射熱取得測定の概要
6.3 恒温室	6.2 計測箱の概要
6.4 計測箱	6.3 日射量測定の概要
6.5 試験体取付パネル	6.4 周囲条件の測定
6.6 校正板	7 試験手順
6.7 温度及び照射日射の測定位置	7.1 試験体の設置
6.8 試験体	7.2 試験条件
7 測定手順	7.3 定常状態の決定
7.1 測定	8 計算手順
7.2 参照条件での結果の表現	8.1 計算手順の概要
8 試験報告	8.2 計測箱を通過する熱伝達
8.1 報告書の内容	8.3 流体熱抽出システムによる熱除去
8.2 不確かさの測定	8.4 ファンとポンプによる熱出力
附属書 A(規定)表面熱伝達率の決定	8.5 試験体を通過する熱伝達
附属書 B(規定)温度差が小さい場合の熱貫	8.6 試験体への日射照射
流率の決定	8.7 日射熱取得率の計算
附属書 C(規定)測定した日射熱取得率の補	9 試験報告
正手順	10 精度と偏り
附属書 D(参考)試験装置の設計例	11 キーワード
附属書 E(参考)温度測定の例	附属書(必須情報)
附属書 F(参考)太陽エネルギー利用機構を	A 日射熱伝達率メータ
もつ開口装置の測定ガイドライン	B 計測箱の壁面熱流の校正
附属書 G(参考)測定及び不確かさの分析の	C 取付パネルの回り込み熱量の校正
例	D 試験システムの時定数の推定に関する推
附属書 H(参考)JIS R 3106 及び類似のソ	奨方法
ラシミュレータスペクトルによるスペクトル	E 伝達校正の標準試験
重み付け手順	F 計測箱の校正および取付パネルの設計と
附属書 JA(参考)JIS と対応国際規格との対	構造
比表	G チューブ状採光装置の設置とテスト
附属書 JB(参考)技術上重要な改正に関する	参考文献
新旧対照表	索引
注: JIS A 1493 は ISO 19467 と IDT である。附属書 JA と附属書 JB は JIS A 1943 のみ。	

(2) 試験設備の概要

JIS A 1493 および ISO 19467 で規定する試験装置を図 2-2 に示す。主な構成は、ソーラシミュレータ、恒温室および熱計測箱である。また、JIS A 1493 および ISO 19467 では、その附属書 D (参考)において、図 2-3 に示すような試験装置の具体的な全体構成の例示がある。

NFRC 201 の試験装置を図 2-4 に示す。JIS A 1493 および ISO 19467 では表現は異なるが、主要な装置類はそれらと概ね同じである。

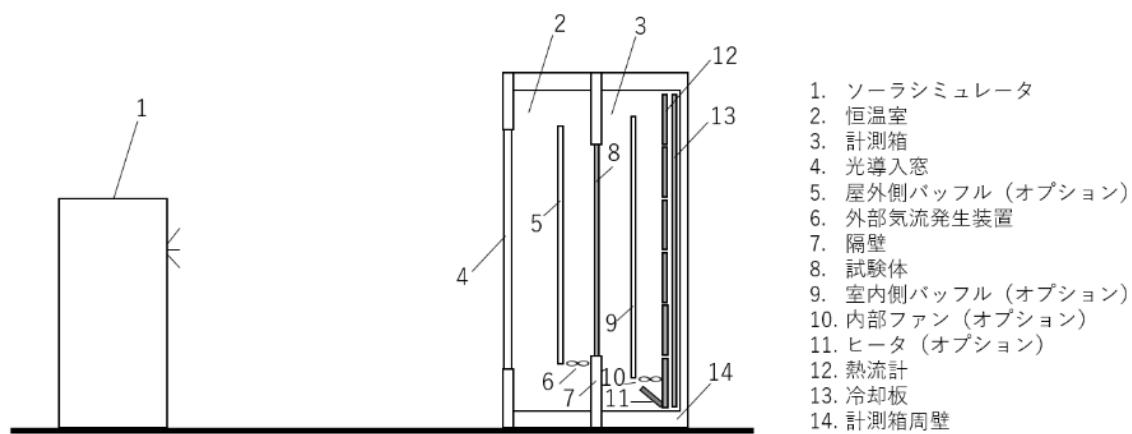


図 2-2 日射熱取得率評価試験装置の概要(ISO 19467²⁻⁴⁾をもとに作図)

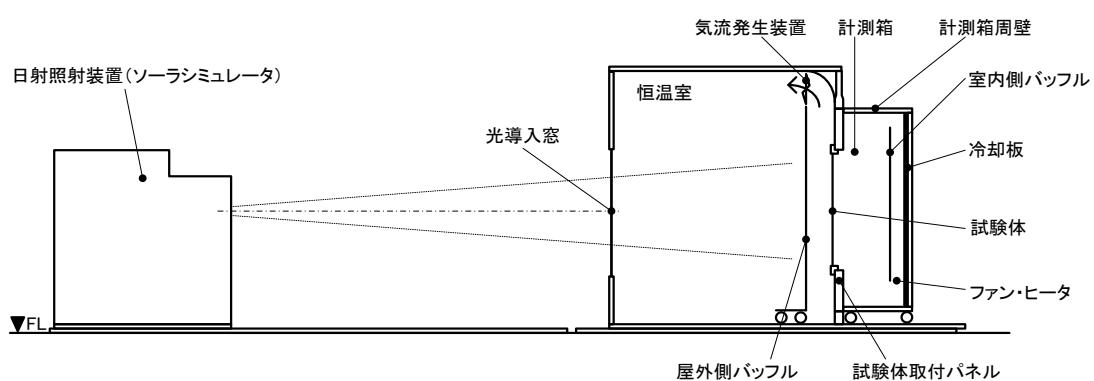


図 2-3 日射熱取得率評価試験装置の概要(JIS A 1493²⁻²⁾をもとに作図)

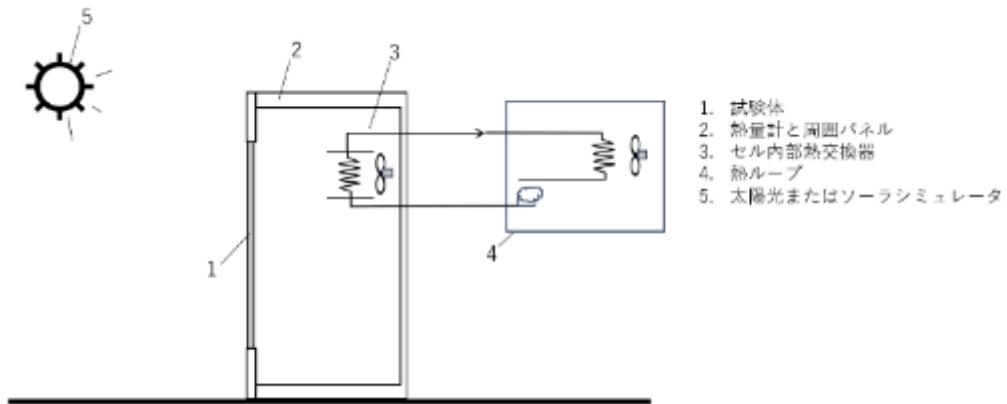


図 2-4 日射熱取得率評価試験装置の概要(NFRC 201²⁻⁴⁾をもとに作図)

ソーラシミュレータの概要を表 2-3 に示す。JIS A 1493 および ISO 19467 は定常光形を規定しているが、NFRC 201 には特に記載がない(規定されていない)。なお、JIS A 1493:2014 ではショートアークキセノンランプを光源として規定していたが、他の光源を排除してしまうことと、対応国際規格である ISO 19467 との整合を図り、JIS A 1493:2021 では光源の種類を特定していない。

ソーラシミュレータの照射スペクトル(分光放射照度)は各規格とも Air mass1.5 であるが、JIS A 1493 は直達日射、ISO 19467 と NFRC 201 は全天日射である。また、スペクトル分布は表 2-4 に示すように、9 つの波長範囲の総照射日射に対する割合が示され、スペクトル合致度は全ての波長範囲で 0.55~1.45 を満足することと規定している。表 2-4 に示す総照射日射に対する単位波長当たりの割合をエネルギー比率として図 2-5 に示す。エネルギー比率は可視域(380 nm~780 nm)で高く、近赤外域(780 nm~2,500 nm)では波長が長いほど低い分布となっている。

光源の照射日射の測定と調整に使用する機器は、各規格とも放射強度計(実際は全天日射計)を用いることを規定している。なお、NFRC 201 では、使われるべき全天日射計は ISO 9060:1990 の“Secondary Standard”(ISO 9060:2018 では、Spectrally Flat Class A)と明記されている。

表 2-3 ソーラシミュレータ(日射照射装置)に対する要求事項の概要

規格	JIS A 1493	ISO 19467	NFRC 201
種類	定常光形	定常光形	記載なし
基準太陽光(光源の分光放射照度を近似させる対象)の引用規格	ISO9845-1 直達日射 Air mass 1.5D	ISO9845-1 全天日射 Air mass 1.5G	ISO9845-1 全天日射 Air mass 1.5G
光源に近似を要求する波長範囲	300~2,500 nm	300~2,500 nm	300~2,500 nm
照射むら(均一性)	±5 %以内	±5 %以内	均一であること: 定量的な数値規定 は無い
照射光の時間変動率	5 %以内	5 %以内	5 %を超えないこと
照射の最大入射角	10° 以内	10° 以内	—
照射日射測定	放射強度計	放射強度計	放射強度計 ISO9060:1990 の Secondary Standard

表 2-4 照射スペクトルの合致度に対する要求

波長範囲 (nm)	300 nm～2,500 nm の波長範囲における日射の割合(%) (全波長を 100%としたときの各波長における日射の割合)		
	JIS A 1493	ISO 19467	NFRC 201
300～400	2.9	4.6	4.6
400～500	11.3	14.1	14.1
500～600	14.1	15.4	15.4
600～700	13.5	14.0	14.0
700～800	11.8	11.3	11.3
800～900	10.1	9.4	9.4
900～1100	13.5	12.2	12.2
1100～1700	16.8	14.1	14.1
1700～2,500	5.9	4.8	4.8

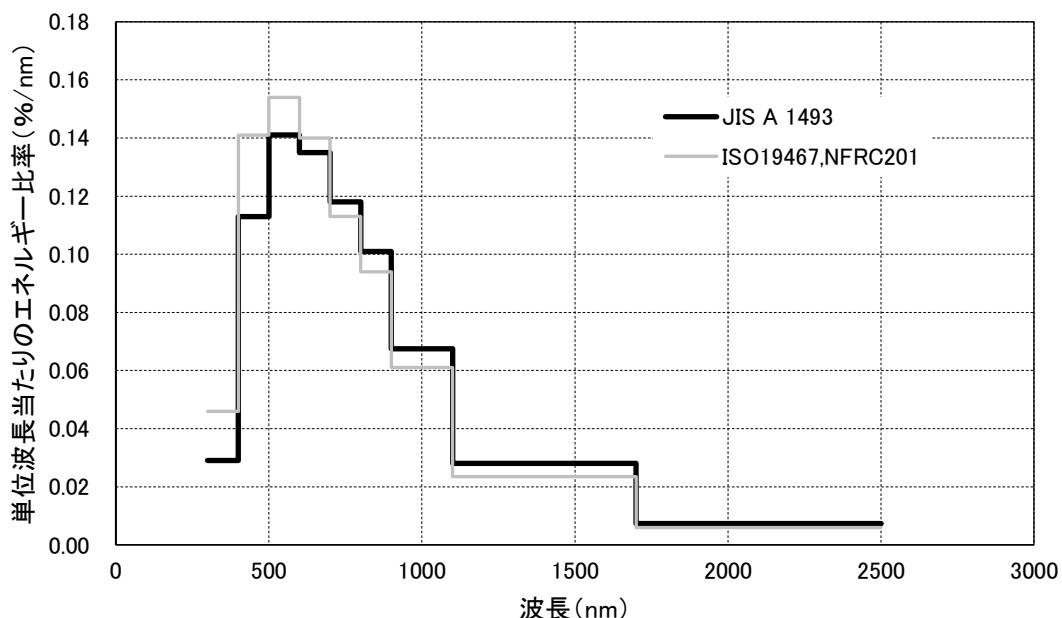


図 2-5 照射光の単位波長当たりのエネルギー比率の分布

(3) 試験条件の概要

試験条件の概要を表 2-5 に示す。JIS A 1493 は夏期 1 条件および冬期 1 条件の計 2 条件を規定している。ISO 19467 は夏期 2 条件および冬期 2 条件の計 4 条件を規定している。また、NFRC 201 は 1 条件を規定している。なお、JIS A 1493 は、ISO 19467 で規定している ISO 15099 準拠の条件を引用する形式となっている。

表 2-5 試験条件の概要

規格	JIS A 1493		ISO 19467			NFRC 201	
			ISO 15099 準拠		ISO 52022-3 準拠		
	夏	冬	夏	冬	夏	冬	
室内側空気温度(°C)	25	20	25	20	25	20	24
室外側空気温度(°C)	30	0	30	0	25	5	32
室内側表面熱伝達率[W/(m ² ·K)]	8	8	8	8	8	8	7.7
室外側表面熱伝達率[W/(m ² ·K)]	14	24	14	24	14	23	— 風速 2.75 m/s
照射熱量(W/m ²)	500	300	500	300	500	300	783

注 1 JIS A 1493 および ISO 19467 の室内外の表面熱伝達率:許容差は±10 %である。

注 2 NFRC 201 の室内側表面熱伝達率:許容差は±5%である。

各規格とも、熱的に安定した定常状態において測定を実施することを規定している。表 2-6 に示すように、各規格の定常状態の判定基準は若干異なるが、有効な測定を行う前に必要な作業である。試験体を通過する熱流量、所定の温度を維持するための加熱制御及び冷却制御によって、周囲環境の熱的な条件が変化しない状態を確認する必要がある。不安定な状態(非定常状態)で得られた測定値からは正確な試験体の性能を把握できないため、定常状態を確認することは重要な作業のひとつである。JIS A 1493 では、7.1 の a)~d)に定常状態の判定条件および測定時間などの要件を具体的に示しているため、ISO 19467 および NFRC 201 に比べて運用しやすいと思われる。

表 2-6 定常状態の判断方法・判断基準について

規格	定常状態の判断概要
JIS A 1493 7.1	<p>a)対象のパラメータは室内外の空気温度差、試験体を通過する熱流密度</p> <p>b)測定可能な最短の間隔で a)のパラメータを 10 分測定し、時間平均値を得る</p> <p>c)5 分以上のインターバルをおき、b)を計 3 回行う</p> <p>d)得られた 3 回の値と平均値との偏差が 1 %以内、変化の方向が一様でない場合、定常状態と判断する</p> <p>定常状態に達してから、結果を得るために必要なデータを測定する。</p>
ISO 19467	<p>有効な測定を行う前に、熱的に安定した条件に到達させる</p> <p>定常状態に達する時間は、種々の影響によって変わるために、一つの基準を決めるることはできない。</p> <p>一例として次の条件を示す。</p> <p>最低 10 分の連続しない 3 回の測定の平均とする。結果の偏差が 3 つの平均から 1 %以内の場合、熱的に安定した条件であると仮定できる。</p>
NFRC 201	<p>照射熱量、温度、電力、流量、風速などを測定し、各数値が所定の条件を満たすことで定常状態と判断する。計測箱、周囲のパネル、試験体の時定数によって定常状態を判断する時間(期間)が変わる。</p> <p>少なくとも、5 回連続して 10 分間の時間平均を使用して定常状態を確認する。</p> <p>測定された日射熱取得率が測定期間中に一方向に変化しないこととする。</p> <p>照射熱量、温度、電力、流量、風速などの測定は、少なくとも 1 分間隔で記録する。</p>

(3) 日射熱取得率の算出方法

日射熱取得率は、定常状態が確保された条件で得られた測定結果から算出する。JIS A 1493 および ISO19467 は式(2-3)で、NFRC 201 は式(2-4)で求めることとなっている。

この 2 つの式は、照射される日射のうち室内に侵入する熱と、室内外の空気温度差による熱移動(熱貫流による熱損失または熱取得)の合計が日射熱取得率を決定することを示している。

$$g = \frac{q_{in} - q_{in}(q_{solar} = 0)}{q_{solar}} \quad \text{式(2-3)}$$

$$g = \frac{Q_s - Q_{U-factor}}{A_s \cdot E_s} \quad \text{式(2-4)}$$

ここに、

g : 日射熱取得率 (一)

q_{in} : 照射日射がある場合に試験体を通過する正味の熱流密度 (W/m^2)

$q_{in}(q_{solar} = 0)$: 照射日射がない場合に熱貫流によって試験体を通過する熱流密度 (W/m^2)
[このとき、室内外温度差は($\theta_{ne} - \theta_{ni}$)である。]

q_{solar} : 正味の入射放射強度 (W/m^2)

Q_s : 試験体を通過する熱流 (W/m^2)

$Q_{U-factor}$: 空気温度差による熱流 (W/m^2)

A_s : 試験体の投影面積 (m^2)

E_s : 試験体に入射する照射日射量 (W/m^2)

注: 日射熱取得率の記号は、JIS A1493 では η 、ISO 19467 では g 、NFRC 201 では $SHGC$ を用いているが、ここでは g を用いた。

照射される日射のうち室内に侵入する熱(試験体を通過する熱)は、式(2-5)によって求められる。屋外から照射日射によって試験体を通過する熱は、冷却装置によって除去される。また、計測箱周壁を移動する熱、計測箱内部の気流調整に用いたファンの熱、計測箱内部の温度調整のために消費した加熱装置の熱、試験体を取り付けているパネルを通過する熱なども計測し、これら全てが計測箱における熱収支の算出に寄与する。この式(2-5)は JIS A 1493 および ISO 19467 の内容を示したものである。一方、NFRC 201 では表現は異なるが、この式と同様に試験体を通過する熱を求める目的は同じであり、計測箱における熱収支を計算する手順を採用している。

$$q_{in} = \frac{\Phi_{in}}{A_s} = \frac{\Phi_C - \Phi_F - \Phi_H - \Phi_P}{A_s} \quad \text{式(2-5)}$$

ここに、

- Φ_{in} : 照射日射がある場合に試験体を通過する正味の熱流量 (W)
- Φ_C : 照射日射がある場合に冷却装置によって除去される熱流量 (W)
- Φ_B : 照射日射がある場合に計測箱周壁面を通過する熱流量 (W)
- Φ_F : 照射日射がある場合に室内ファンによって供給される熱流量 (W)
(室内ファンを設置しない場合は 0)
- Φ_H : 照射日射がある場合に加熱装置によって供給される熱流量 (W)
(加熱装置を設置しない場合は 0)
- Φ_P : 照射日射がある場合に試験体取付パネルを通過する熱流量 (W)

熱貫流によって試験体を通過する熱は、式(2-6)によって求められる。試験条件では表 2-5 に示すとおり、試験体の内外に温度差が生じているため、この温度差によって熱移動が生じる。この熱移動を考慮して、日射熱取得率を算出する手順となっている。この熱貫流による熱移動を考慮する点は、各規格とも共通である。

$$q_{in}(q_{solar} = 0) = \frac{\Phi_{in}(q_{solar} = 0)}{A_s} = U_N \cdot (\theta_{ne} - \theta_{ni}) \quad \text{式(2-6)}$$

ここに、

- $\Phi_{in}(q_{solar} = 0)$: 照射日射がない場合に試験体を通過する正味の貫流熱量
[このとき、室内外温度差は $(\theta_{ne} - \theta_{ni})$ である。] (W)
- U_N : 照射日射がない場合の試験体の熱貫流率 [W/(m²·K)]
- θ_{ne} : 照射日射がある場合の屋外環境温度 (°C)
- θ_{ni} : 照射日射がある場合の室内環境温度 (°C)

2.3 日射熱取得率の計算方法を規定する規格

日射熱取得率の測定結果と比較される規格類としては、表 2-7 に示す JIS R 3106 および ISO 9050 の規格が挙げられる。両規格とも板ガラスを測定対象としている。50mm□～100 mm□程度の試験片を用いて分光光度計で測定を行い、得られた分光透過率および分光反射率の測定結果から、日射熱取得率を計算によって求めるものである。なお、JIS R 3106 は対応国際規格である ISO 9050 の技術的内容を変更して作成された JIS である。

JIS R 3106 と ISO 9050 の両規格に従って得られた板ガラスの日射熱取得率の計算結果を JIS A 2103 または ISO 15099 に適用することによって、窓やドアなどの開口部の日射熱取得率を求め

することができる。ここでは簡易的な比較を目的として JIS R 3106 および ISO 9050 について述べる。

①JIS R 3106:板ガラスの透過率・反射率・放射率の試験方法及び建築用板ガラスの日射熱取得率の算定方法

②ISO 9050:Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance, and related glazing factors

表 2-7 計算方法の規格の概要

規格	JIS R 3106 ²⁻⁵⁾	ISO 9050 ²⁻⁶⁾
発行団体	日本規格協会(JSA)	国際標準化機構(ISO)
最新版	2019 年確認	2003 年発行
適用範囲	板ガラスの透過率・反射率・吸収率および放射率の試験方法について規定。また、日射熱取得率の算定方法について規定。	板ガラスの透過率・反射率・吸収率の試験方法について規定。また、日射熱取得率の算定方法について規定。
日射スペクトル	ISO 9845-1 直達日射 Air mass 1.5D	ISO 9845-1 全天日射 Air mass 1.5G
規定する光源の波長範囲	300 nm～2,500 nm	300 nm～2,500 nm
備考	ISO 9050 を対応国際規格として、技術的内容を変更して作成された JIS	

日射熱取得率を計算するときの各種条件の概要を表 2-8 に示す。JIS R 3106 は夏期 1 条件および冬期 1 条件の計 2 条件、ISO 9050 は 1 条件を規定している。

表 2-8 日射熱取得率を計算する際の各種条件の概要

規格	JIS R 3106		ISO 9050
	夏	冬	
室内側空気温度(°C)	30	20	—
室外側空気温度(°C)	25	0	—
室内側表面熱伝達率[W/(m ² · K)]	6.3 ε +3.9 (9.2) ^{a)}	5.6 ε +3.3 (8.0) ^{a)}	3.6+4.4 ε /0.837 (8.0) ^{a)}
室外側表面熱伝達率[W/(m ² · K)]	6.5 ε +12.2 (17.6) ^{a)}	5.1 ε +16.3 (20.6) ^{a)}	23 ^{b)}
照射熱量(W/m ²)	500	300	—
記号 ε : 修正放射率			
注 a) ()内は、フロート板ガラスを想定し、修正放射率 ε =0.837 として算出した数値			
注 b) 風速 約 4m/s、修正放射率 ε は 0.837 を想定			
関連規格 ISO 10292 では、 $h_e=10.0+4.1v$ 、v:風速(m/s)と規定			

板ガラスが 1 枚の場合、日射熱取得率は式(2-7)および式(2-8)によって求められる。なお、式(2-7)は式(2-1)と同じ内容を違った形式で表現している。

$$g = \tau_s + N \cdot \alpha_s$$

式(2-7)

$$N = \frac{R_e}{R_e + R_i}$$

式(2-8)

ここに、

g : 日射熱取得率 (—)

τ_s : 日射透過率 (—)

α_s : 日射吸収率 (—)

N : 係数(吸収成分のうち室内側に再放射される割合)

R_e : 室外側表面熱伝達抵抗(室外側表面熱伝達率の逆数) ($m^2 \cdot K/W$)

R_i : 室内側表面熱伝達抵抗(室内側表面熱伝達率の逆数) ($m^2 \cdot K/W$)

注: 日射熱取得率の記号は、JIS R 3106 では η 、ISO 9050 では g を用いているが、ここでは g を用いた。

2.4 日射熱取得率を求めるときの境界条件の影響について

日射熱取得率を求めるときには、室内外の表面熱伝達率、室内外の温度、および照射日射量の影響を受ける。特に影響が大きい条件としては、室内外の表面熱伝達率である。表面熱伝達率は、放射成分と対流成分の合計によって決定される。放射成分は、周辺からの放射による影響を受けることになるが、JIS A 1493 および ISO 19467 では日射吸収率が 0.90 以上の艶消しの仕上げ、NRFC 201 では日射吸収率が 0.94 以上および放射率が 0.90 以上の材料となっているため、概ね安定した環境が確保できているといえる。一方、対流成分は、試験体周辺の気流を調整することによって規定値を満足する必要があるが、規定の温度条件および温度むらが生じない程度に空気循環をしなければならないため、制御が難しい。そのため、各規格では、表面熱伝達率の規定値に、JIS A 1493 と ISO 19467 では $\pm 10\%$ 、NRFC 201 では $\pm 5\%$ の許容差を設定している。

ここでは、JIS A 1493 の表面熱伝達率の規定値に対する $\pm 10\%$ の影響が、測定結果である日射熱取得率にどの程度の影響が生じるかを JIS R 3106 の計算式を用いて試算する。

JIS A 1493 の表面熱伝達率について、 $\pm 10\%$ の許容差を考慮すると、次の範囲となる。

・夏期 室内側; 8 [$W/(m^2 \cdot K)$] → 7.2 ~ 8.8 [$W/(m^2 \cdot K)$]

　　室外側; 14 [$W/(m^2 \cdot K)$] → 12.6 ~ 15.4 [$W/(m^2 \cdot K)$]

・冬期 室内側; 8 [$W/(m^2 \cdot K)$] → 7.2 ~ 8.8 [$W/(m^2 \cdot K)$]

　　室外側; 24 [$W/(m^2 \cdot K)$] → 21.6 ~ 26.4 [$W/(m^2 \cdot K)$]

影響の検討を行うに当たっては、下記の材料を想定した。サンプル A は、フロート板ガラスに相当する材料である。サンプル C は黒色の不透明な板、サンプル B はサンプル A と C の中間程度の日射透過率(日射吸収率)を想定する。なお、日射反射率は、すべて板ガラス面を想定し、同一の数値を設定した。

- ・サンプル A 日射透過率 τ_s ; 86 %、日射反射率 ρ_s ; 8 %、日射吸収率 α_s ; 6 %
- ・サンプル B 日射透過率 τ_s ; 50 %、日射反射率 ρ_s ; 8 %、日射吸収率 α_s ; 42 %
- ・サンプル C 日射透過率 τ_s ; 0 %、日射反射率 ρ_s ; 8 %、日射吸収率 α_s ; 92 %

注)各サンプルとも修正放射率は 0.837(フロート板ガラス相当)とする。

日射熱取得率の計算は式(2-7)および式(2-8)を用いて行う。上記のサンプル A～C について、表面熱伝達率の許容差 10 %が生じた場合の上限値または下限値における日射熱取得率への影響を試算する。日射熱取得率が最大となる表面熱伝達率の条件は、室外側が小さく、室内側が大きいときである。一方、日射熱取得率が最小となる表面熱伝達率の条件は、室外側が大きく、室内側が小さいときである。この組み合わせで、各サンプルについて試算する。

なお、比較用として、JIS R 3106 に基づく計算も合わせて行った。このときの表面熱伝達率は、JIS R 3106 の規定どおりの設定とした。

各条件での日射熱取得率の試算結果を表 2-9～表 2-14 に示す。

表 2-9 夏期条件での日射熱取得率の試算結果、サンプル A(τ_s ; 86 %, ρ_s ; 8%, α_s ; 6%)

項目	JIS R 3106	JIS A 1493		
		最小	標準	最大
室外側表面熱伝達率 h_e [W/(m ² ·K)]	17.6	15.4	14.0	12.6
室内側表面熱伝達率 h_i [W/(m ² ·K)]	9.2	7.2	8.0	8.8
日射熱取得率 g —	0.88	0.88	0.88	0.88

表 2-10 夏期条件での日射熱取得率の試算結果、サンプル B(τ_s ; 50 %, ρ_s ; 8 %, α_s ; 42 %)

項目	JIS R 3106	JIS A 1493		
		最小	標準	最大
室外側表面熱伝達率 h_e [W/(m ² ·K)]	17.6	15.4	14.0	12.6
室内側表面熱伝達率 h_i [W/(m ² ·K)]	9.2	7.2	8.0	8.8
日射熱取得率 g —	0.64	0.63	0.65	0.67

表 2-11 夏期条件での日射熱取得率の試算結果、サンプル C($\tau_s; 0\%、\rho_s; 8\%、\alpha_s; 92\%$)

項目	JIS R 3106	JIS A 1493		
		最小	標準	最大
室外側表面熱伝達率 h_e [W/(m ² ·K)]	17.6	15.4	14.0	12.6
室内側表面熱伝達率 h_i [W/(m ² ·K)]	9.2	7.2	8.0	8.8
日射熱取得率 g —	0.32	0.29	0.33	0.38

表 2-12 冬期条件での日射熱取得率の試算結果、サンプル A($\tau_s; 86\%、\rho_s; 8\%、\alpha_s; 6\%$)

項目	JIS R 3106	JIS A 1493		
		最小	標準	最大
室外側表面熱伝達率 h_e [W/(m ² ·K)]	20.6	26.4	24.0	21.6
室内側表面熱伝達率 h_i [W/(m ² ·K)]	8.0	7.2	8.0	8.8
日射熱取得率 g —	0.88	0.87	0.88	0.88

表 2-13 冬期条件での日射熱取得率の試算結果、サンプル B($\tau_s; 50\%、\rho_s; 8\%、\alpha_s; 42\%$)

項目	JIS R 3106	JIS A 1493		
		最小	標準	最大
室外側表面熱伝達率 h_e [W/(m ² ·K)]	20.6	26.4	24.0	21.6
室内側表面熱伝達率 h_i [W/(m ² ·K)]	8.0	7.2	8.0	8.8
日射熱取得率 g —	0.62	0.59	0.61	0.62

表 2-14 冬期条件での日射熱取得率の試算結果、サンプル C($\tau_s; 0\%、\rho_s; 8\%、\alpha_s; 92\%$)

項目	JIS R 3106	JIS A 1493		
		最小	標準	最大
室外側表面熱伝達率 h_e [W/(m ² ·K)]	20.6	26.4	24.0	21.6
室内側表面熱伝達率 h_i [W/(m ² ·K)]	8.0	7.2	8.0	8.8
日射熱取得率 g —	0.26	0.20	0.23	0.27

以上の結果から夏期条件について整理したものを表 2-15 に、冬期条件について整理したものを表 2-16 に示す。夏期条件および冬期条件に共通して、サンプル A の日射透過率が大きい条件(日射吸収率が小さい条件)では表面熱伝達率の影響を受けにくく、日射熱取得率に差がほとんど生じないことがわかる。一方、サンプル C の日射透過率が小さく、日射吸収率が大きい条件では表面熱伝達率の影響で、標準条件の表面熱伝達率で得られる日射熱取得率の数値に対して、±10 %を超える差が生じている。

この結果は、あくまで表面熱伝達率の影響を簡易的に検討したものである。実際の測定では日射吸収により試験体表面の温度上昇が生じ、また試験体周辺の境界条件も照射日射の影響により変化する。また、内外温度差による試験体の熱貫流も生じる。ここでは、これらを考慮していな

い条件で、表面熱伝達率のみに着目した簡易的な試算である点に注意することが必要である。

なお、JIS A 1493 および ISO 19467 によって得られた測定結果を、JIS R 3106 または ISO 9050 による計算結果と比較するときには、そもそも境界条件が違う点のほか、上記のような影響を受けている可能性もある点を考慮に入れて、比較・検討することが望ましい。

表 2-15 試算結果の一覧(夏期条件)

設定条件				日射熱取得率 計算結果			
サンプル	日射透過率 τ_s	日射反射率 ρ_s	日射吸収率 α_s	JIS R 3106	JIS A 1493		
					最小	標準	最大
A	0.86	0.08	0.06	0.88	0.88	0.88	0.88
B	0.50	0.08	0.42	0.64	0.63	0.65	0.67
C	0.00	0.08	0.92	0.32	0.29	0.33	0.38

表 2-16 試算結果の一覧(冬期条件)

設定条件				日射熱取得率 計算結果			
サンプル	日射透過率 τ_s	日射反射率 ρ_s	日射吸収率 α_s	JIS R 3106	JIS A 1493		
					最小	標準	最大
A	0.86	0.08	0.06	0.88	0.87	0.88	0.88
B	0.50	0.08	0.42	0.62	0.59	0.61	0.62
C	0.00	0.08	0.92	0.26	0.20	0.23	0.27

引用文献

- 2-1) JIS R 3106:2019(板ガラスの透過率・反射率・放射率の試験方法及び建築用板ガラスの日射熱取得率の算定方法)
- 2-2) JIS A 1493:2021(窓及びドアの熱性能—ソーラシミュレータを用いた日射熱取得率の測定)
- 2-3) ISO 19467:2017(Thermal performance of windows and doors — Determination of solar heat gain coefficient using solar simulator)
- 2-4) NFRC 201:2023(Procedure for Interim Standard Test Method for Measuring the Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration Systems Using Calorimetry Hot Box Methods)
- 2-5) JIS R 3106:2019(板ガラスの透過率・反射率・放射率の試験方法及び建築用板ガラスの日射熱取得率の算定方法)
- 2-6) ISO 9050:2003(Glass in building — Determination of light transmittance、solar direct transmittance、total solar energy transmittance、ultraviolet transmittance and related glazing factors)

第3章 BIPV の日射熱取得率評価に関する文献の紹介

本章では、BIPV の日射熱取得率評価の高精度化に関する本事業の開発における技術的ポイントと関連性のある先行研究文献の要旨を紹介する。1)日射熱取得率評価用光源とその光学性に関するもの、2)日射熱取得率評価における BIPV の電気的負荷状態に関するもの、3)計測箱に関する推奨を含むもの、4)シミュレーションモデルと実際の測定結果の一致にかんするもの、を文献選別の基準とした。これらの文献から、①ソーラシミュレータの光源として使用されているランプの特徴、②屋外で BIPV を使用する場合の部分的な日陰や不均一な照度分布による損失、誤作動を減らすための追加的推奨事項の存在すること、③BIPV の発電量に対する陰の影響を抑制するためには、BIPV を「最大電力点追従制御」(Maximum Power Point Tracking: MPPT)を行うことが有効であること、④BIPV の日射熱取得率は BIPV の回路状態により変化するため、MPPT がなされた状態で評価することが適当であること、⑤ソーラシミュレータによる日射熱取得率の評価結果には、基準太陽光に対するソーラシミュレータの合致度と、熱計測箱内部に貼付される熱流計の日射吸収率とその平坦性が顕著に影響すること、⑥測定結果の妥当性はシミュレーションモデルでの計算結果との比較によって行われていること、などを把握した。

3.1 日射熱取得率評価用光源とその光学特性についての文献

【文献 1】³⁻¹⁾

Time-resolved spectra of solar simulators employing metal halide and xenon arc lamps

メタルハライドランプ、キセノンランプを光源とするソーラシミュレータの分光放射照度の時間変動

キーワード：メタルハライドランプ、キセノンランプ、放射照度の時間変動

ソーラシミュレータの光源として代表的に使用されているメタルハライドランプ(6kW)とキセノンランプ(5kW)の放射を高速応答型フォトダイオードで計測して得たそれぞれの分光放射照度の時間変動が報告されている。メタルハライドランプの放射照度の振幅はピーク強度の約 60%であり、振動周波数は AC 電源周波数の 2 倍、(ここでは 100 Hz)である。キセノンアークランプはスイッチング DC 電源で点灯され、放射照度の振幅はピーク強度の 9 %である。放射強度の変動振幅の違いは、主に電源の方式の違いによるものである。増感 CCD カメラと 350 nm～900 nm で測定可能な分光放射計を組み合わせ、ランプと同期させて位相分解スペクトルを得た。キセノンアークランプは DC 電源を使用しているため、メタルハライドランプよりも分光放射照度が安定で、かつ時間変化に対する各波長域の変化も少ない。一方、メタルハライドランプでは、発振サイクルの全体において、特に 550 nm 以下の短波長域で分光放射照度の変化が大きく、各位相に依存して大きく変化する。特に、位相が 0 の時と(強度が最小)と π の時(強度がピーク時)の差が大きい(ピーク時に強度が強くなる)。メタルハライドランプを採用したソーラシミュレータの分光放射照度は、400 nm～700 nm の波長域のエネルギーが支配的である。一方、キセノンアークランプでは位相への依存性は低く、全波長に亘って分光放射照度の変動が小さい。

【文献 2】³⁻²⁾

Light Source selection for a Solar simulator for Thermal applications: A Review

熱利用分野でのソーラシミュレータ用光源の選択について:レビュー

キーワード:熱利用、ソーラシミュレータ、合致度、効率、長期信頼性、コスト、寿命

熱利用分野におけるソーラシミュレータで利用されてきた、あるいは利用可能な光源とされてきたアルゴンアークランプ、メタルハライドランプ、ハロゲンランプ、及びキセノンアークランプのレビューを行った。比較検討の基準は、光源の分光放射照度分布、太陽光の分光放射照度との合致度、光源の放射照度、寿命、コスト、安定性、耐久性、及び使用に伴い危険性などである。メタルハライドランプ及びキセノンアークランプが太陽光への合致度が高いという点で優位である。キセノンアークランプは高輝度の点光源であり、また、より安定で高強度の平行光を実現できる。一方、電源が複雑かつ高価であり、加えて、輝線のフィルタリングが必要である。さらに、点灯中の管圧がメタルハライドランプの最大動作圧より 5 気圧高く、40 気圧に達するため、安全対策を考慮する必要がある。これらの点から、メタルハライドランプが代替品として使用されているが、総合的には、変換効率、長期信頼性、コスト、その他の要件、寿命等の追加的特徴を考慮して選択する必要がある。

3.2 BIPV の電気的負荷状態と日射熱取得率の関係についての文献

【文献 3】³⁻³⁾

Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) products and systems: A review of energy-related behavior

建材一体型太陽光発電(BIPV)製品とシステム設備:エネルギー関連挙動に関するレビュー

キーワード:建築エネルギー性能、電気的状態、動作温度、部分的日陰、不均一な照度分布

BIPV とシステムの主要なエネルギー関連特性を熱的側面、日射的側面、光学的側面、電気的側面に分類し、最適な建築エネルギー性能を達成するための手法をレビューしている。BIPV の電気的状態は、その熱性能や日射熱取得率に影響を及ぼす。また BIPV モジュールの温度も、その熱性能と電気的特性に影響を及ぼす。BIPV 及びシステムの据付構造や構成は、通風を制限し、動作温度を大幅に上昇させることがある。電気的な特性は温度上昇に比例して低下するが、PV 出力に対して支配的な影響を及ぼす放射照度に比べると、温度の影響は他の損失と同様、二次的なものに過ぎない。様々な理論的アプローチや実験手法を用いて BIPV の熱貫流率と日射熱取得率が測定されているが、そのほとんどが熱量計システムに基づいている。BIPV の「データシート」上の熱貫流率(U 値)は、等価な建築部材のそれとほぼ同じであるが(実際の熱貫流率は、境界条件(特に、室内外の温度、室内外の熱伝達係数、放射照度に大きく影響される。その日射熱

取得率(g 値)は BIPV の部材の透明度に依存して大きく異なってくる。ただし、温度係数ならびに日射係数の決定には、グレージングの構造が最も重要である。BIPV システムの設計及び設置を良好に行うためには、通常のガイドラインに従う必要があるが、さらに、部分的な日陰や不均一な放射照度分布によって引き起こされる損失や誤作動を減らすための追加的推奨事項についても考慮する必要がある。

【文献 4】³⁻⁴⁾

Intelligent Approach for Improvement of BIPV Systems Performance: Case Study

BIPV システムの性能向上のための情報処理的な手法：事例研究

キーワード：数値モデル MPPT アルゴリズム、発電の最適化、陰の影響、エネルギー利得

複雑な都市部の住宅用建築物に設置される BIPV の効率を高めるために考案された数値モデルによる MPPT のアルゴリズムとコントローラの使用による発電の最適化が述べられている。MATLAB/Simulink と Excel の作業環境で開発した数値モデルが導入され、入力データは Energy Plus ソフトウェアから取得したものである。陰の度合いが太陽光発電の電力に及ぼす影響、及び BIPV システムの性能に及ぼす影響を分析し、BIPV システムの運転を最適化すための最小限の陰の度合いとすることは従来の方法では達成できず、MPPT を使用した場合のみ有効であり、実際に陰の部分が多くなる実際の条件下で本手法のアルゴリズムによる MPPT を適用した際のエネルギー利得を検証している。この分析により、建築市場における全てのタイプの BIPV 用途に適用可能な BIPV システムの適切な寸法を事前に決定することが可能となり、また、この手法は、ハイブリッド太陽光発電システム(太陽光風力発電、太陽光ディーゼル発電など)や熱/太陽光発電システム(BIPVT)にも応用可能としている。

【文献 5】³⁻⁵⁾

A maximum power point tracking strategy applied to building integrated photovoltaics.

建材一体型太陽光発電設備に適用される最大電力点追跡手法

キーワード：恒久的な日陰、MPPT、IV 曲線、單一ダイオードモデル、POT、GMPP

BIPV に対する恒久的な日陰の問題を解決する MPPT 制御手法の提案である。太陽電池の電流-電圧(IV)曲線と放射照度の間の一意的対応関係を單一ダイオードモデルで示し、放射照度の変化と固有の最大電力点(MPP)探索範囲の対応が解析された。BIPV の MPP 電圧(V_{pmax})、 I_{pmax} 、 V_{oc} 、 I_{sc} の間の近似的な関係から MPP 電圧(V_{pmax})が位置する電圧領域を決定し、この領域で電力三角形(Power Operating Triangle:POT)手法を利用して包括的最大電力点(Global Maximum Power Point: GMPP)を決定している。具体的には GMPP 包括的最大電力点の探索範

囲を理論計算で 2 つの異なる領域に分割し、GMPP が存在する領域を決定し、POT 手法を用いてこの領域で GMPP を見つけることができる。MATLAB で実施したシミュレーションにより、理論的な正確性と実現可能性が検証されている。シミュレーションの結果、本論文で提案したアルゴリズムの MPPT を BIPV に適用した場合、太陽電池ストリングスの平均効率を 1.125 % 改善できることが判った。本手法の誤差及びオーバーシュートは、ともに許容範囲内で、低照度でも高い効率を維持ができることが主な長所の一つである。

3.3 評価装置の構成と BIPV の日射熱取得率評価結果についての文献

【文献 6】³⁻⁶⁾

Solar heat gain coefficient measurement of semi-transparent photovoltaic modules with indoor calorimetric hot box and solar simulator

熱計測箱とソーラシミュレータを用いた半透過太陽電池モジュールの日射熱取得率の屋内測定

キーワード: 人工光源、発散角、均一性、照射距離、分光放射照度、分光反射率、補正

SERIS の熱計測箱とソーラシミュレータを用いた測定環境では、発散角と均一性を向上させるために大型一灯式のメタルハライドランプを採用し、試料面への照射距離を 10 m とした。グレージングの日射熱取得率は照射光の分光放射照度(スペクトル)に依存する。屋内測定では人工光源が用いられるが、その分光放射照度は基準太陽光から著しく逸脱したものが殆どである。屋外測定でも、実際の自然太陽光の分光放射照度は基準太陽光のそれとは一致しない。従来、それらの分光放射照度を実際に測定して日射熱取得率の値を補正する報告はなかった。屋内での日射熱取得率の測定結果には、主にソーラシミュレータのスペクトル(基準太陽光に対する合致度)と熱流計の分光反射率の(平坦性)の影響が著しい。一方、屋外温度と日射量の変動の影響は少ない。補正係数を適用した複層ガラス(ダブルグレージング)と単層ガラス(シングルグレージング)の日射熱取得率は、NFRC 公認のシミュレータ プログラムによるシミュレーション結果と良く一致した。以上から、高精度な測定値(1 % 以内)の提供が可能となった。半透過型 PV(Semi-transparent PV: STPV)の日射熱取得率は日射の入射角度に大きく依存する。熱帯におけるファーサードの典型的な入射角である 45° を超えると、標準設定である 0° に比べて日射熱取得率は大幅に小さくなる。電気的な負荷を接続した場合の日射熱取得率の減少は僅かであったが、PV が高効率である場合は熱の再放射には変換されず、より多くのエネルギーが光電変換されるため、日射熱取得率はより、小さくなる。

【文献 7】³⁻⁷⁾

Evaluation of in-situ thermal transmittance of innovative building integrated photovoltaic modules: Application to thermal performance assessment for green mark certification in the tropics

建材一体型太陽光発電モジュールの現場における熱貫流率の革新的評価：熱帯地域におけるグリーンマーク認証のための熱性能評価への応用

キーワード: ISO 8990、ASTM 1363-05、熱貫流率(*U*値)、外皮熱貫流率(ETTV)、WWR、窓割り

建築物の総合的なエネルギー性能を高信頼化する上で、建築外皮の熱性能を評価することの重要性が強調されている。ISO 8990 と ASTM 1363-05 に準拠して SERIS が開発した校正済みの熱計測箱を用いて①多結晶 Si_All black with black back sheet、②多結晶 Si_Black with white back sheet、③多結晶 Si_Black semi-transparent glass-glass、④単結晶 Si_Colored glass-glass、⑤単結晶 Si_Semi-transparent glass-glass の 5 種類の BIPV の *U* 値を測定した結果が報告されている。同時に、テスト対象の BIPV がシンガポールの GM 認証要件に適合することを確認するため、Envelope Thermal Transfer Value: ETTV(外皮熱貫流率)の感度分析を詳細に実施している。さらに、5 つの異なる外皮(クラッド)と 3 種類の窓割り(フェネストレーション)を評価、比較した。ETTV 感度分析の結果、テスト対象の BIPV モジュールの熱性能は標準的なアルミクラッドや従来の窓割り(フェネストレーション)よりもはるかに優れていることが判明した。様々な技術のなかでは、BIPV クラッディングと Low-E ガラス窓の組み合わせが最も良い結果をもたらした。また、WWR 比を 0.1~0.9 として 5 つの外皮(クラッド)と 3 種類の窓割り(フェネストレーション)との組み合わせによるに合計 720 のテスト事例の結果が報告されている。

【文献 8】³⁻⁸⁾

Measurement of solar heat gain coefficient for semi-transparent building-integrated photovoltaics in the tropics

熱帯地域における半透過建材一体型太陽光発電の太陽熱取得率の測定

キーワード: 窓割り、ETTV、日射熱取得率、WWR、高温気候用の熱計測箱、屋内測定

熱帯気候の建築外装は、年間を通して大量の日射を継続的に受け、屋根、壁及び窓割り(フェネストレーション)設備に使用される建材の断熱特性に依存して、建物の空調負荷やエネルギー利用に大きな影響を与える。とりわけ、フェネストレーション設備は、推奨される ETTV(外皮熱貫流率)を達成するために、シンガポールの建築建設当局(BCA)などの建築基準法や規制に準拠して、日射熱取得率(*g* 値)が低いことが必要である。安定状態にある校正済の高温気候用の熱計測箱を用いた日射熱取得率屋内測定により、「日本の竹すだれ」設計の STPV の特性を国際規格に従って評価した。更に、ETTV 感度分析に基づき、このようなガラス-ガラス BIPV をフェネスト

レーション設備に組み込むことで、最大 0.51 の WWR(窓と壁の比率)でゴールド、0.40 でゴールドプラス、0.36 でプラチナグリーンマークを達成することが可能となった。即ち、BIPV の熱的特性が、熱帯地方で一般的に使用されている代表的なフェネストレーション材料と同等かそれ以上であることが示されている。

【文献 9】³⁻⁹⁾

g-value indoor characterization of semi-transparent photovoltaic elements for building integration: New equipment and methodology

半透過太陽光発電素子の建材一体化のためのg値の屋内特性評価:新しい装置と方法論

キーワード: Solar factor、Solar control system、STPV、GTD、電気的動作点、日射遮蔽特性

温暖気候区では過熱を予防するため、低い Solar factor で Solar control system として機能することが建築物のグレーディングに要求されるが、STPV のデータシートに日射熱取得率の記載が無いことが頻繁にある。屋内試験装置(*g-box*)と提案する手順で半透過型 PV(STPV)の日射熱取得率測定値の不確かさを低減できた。評価試験装置は定常光形ソーラシミュレータと熱量計システムの組み合わせからなり、様々な条件で運転した結果、日射熱取得率の変動の詳細な分析を行うに十分な感度がある。セル対ガラスの比率:セル占有率=幾何学的透明度(Geometric transparency degree:GTD)が異なる 3 種の mc-Si STPV を含む複数のグレーディング素子で検証した結果、異なる幾何学的特性(幾何学的透明度)による日射熱取得率の大きな変化のみならず、PV の電気的動作点(短絡、開放、最大電力点)の違いにより生じる小さな変化をも適切に評価できることを確認した。同じ STPV の日射熱取得率が、短絡状態(SC)から最大電力点(MPP)状態の間で、最大 11% 变化することが示された。従って、信頼できる日射遮蔽特性(Actual sun shading properties)を設計者に提供するためには、日射熱取得率は最大電力点(MPP)での動作状態で測定した日射熱取得率を記載すべきである。また、実使用状態では、電気的動作状態と日射量の両方が STPV の日射制御特性(Solar control properties)を変動させるため。一意的な値として日射熱取得率を小さくしても、グレーディングの挙動を適切に見積もれないことに注意が必要である。

3.4 日射熱取得率の計算モデルと実測結果の関係についての文献

【文献 10】³⁻¹⁰⁾

On the analytical calculation of the solar heat gain coefficient of a BIPV module

BIPV モジュールの日射熱取得率の解析計算について

キーワード: 積層ガラス製 BIPV、日射熱取得率、解析計算、EN50583、既存熱モデルとの等価性

積層ガラス製 BIPV の日射熱取得率に関する閉形解析式を、日射が垂直入射の場合について第一原理から構築した。この式は、熱伝達問題の対流・伝導成分と放射成分を複数の温度ノードから切り離すことにより簡略化した計算を行う際に有効である。このため、熱収支の非線形方程式を解くための複雑な反復計算を必要としない。本解析式は、関係する物理パラメータの規格値または設計値を使用することができる。この手法は、最も普及しているグレージング規格、ひいては BIPV と設備に関する最近の EN 50583 規格に即したものである。グレージング、ファサード、及び BIPV から通常の要求される日射熱取得率の事前の計算も可能である。BIPV の透明部分では、導出された日射熱取得率(g 値)の式と、EN 410/ISO 9050 規格のものを含むその他の既存の熱モデルとの間の等価性が確認された。規格化された境界条件の使用に課される制限を克服するために、古典的手法、即ち、対流-放射複合熱伝達方程式の線形処理、或いは非線形状況に対する逐次法の使用によって、提案のモデルを非規格化(規格化されていない)境界条件の場合にも適用することができる。この日射熱取得率の解析計算は、外部実験データと日射透過率の数値決定を含む実際の研究事例と非常によく一致することが示された。出力端開放(OC)と最大電力点(MPP)動作状態での日射熱取得率の違いに関する理論的予測も、実験結果と非常に良く一致した。

【文献 11】³⁻¹¹⁾

Coupled evaluation of the optical-thermal-electrical performance of customized building-integrated photovoltaic components

カスタム化された BIPV 部材の光学的・熱的・電気的評価

キーワード: GTD、セル配置、セル切断技術、ガラスの種類、光学的、熱的、電気的、物理的特性

分光透過率-反射率の測定、エネルギーバランスによる電圧-電流特性測定の実験的手法と計算的手法の統合により、BIPV の 5 つの主要な設計パラメータ、即ち、GTD(幾何学的透明度)、セル配置、セル切断技術、ガラスの種類、BIPV 部材の光学的、熱的、電気的、物理的特性(熱伝達係数、太陽熱取得係数、可視光透過率、及びピーク出力)、低放射(Low-E)コーティングの種類、が BIPV 部材の光学的、熱的、および電気物理的特性(熱伝達係数、日射熱取得係数、可視光透過率、およびピーク出力)に及ぼす影響が報告されている。要点を 1)~6) に示す。

- 1) BIPV の光学特性に対する 5 つの独立変量の影響には違いがあり、GTD の効果が最も重要で、次いでガラスの種類と低放射 (Low-E) コーティングの種類であり、セル配置とセルの切断技術の影響は最も少ない。
- 2) 熱特性は主に中空の層の数、充填ガス、BIPV 表面の放射率により、セル数やガラスの厚さにはよらない。
- 3) 電気的物性は主に GTD によって決まる。電流と電圧はセルの等分割数と直並列接続方法によって決まる。完全直列接続とセル分割により、動作電流が減少し、光電変換効率がわずかに向上する。
- 4) 温度分布の均一性、ピーク電力、日射熱取得係数、可視光透過率はすべて GTD と負の直線相関がある。
- 5) GTD が大きくなると 2 つの同じ試料の IV 曲線の類似性は増し、分割された試料同士の IV 曲線の類似性も高くなる。
- 6) ガラスの種類と低放射 (Low-E) コーティングの種類は、熱伝達係数と、屋内及び屋外の二次熱伝達に対するセルによって吸収される日射の割合に影響する。

引用文献

- 3-1) Xue Dong, Zhiwei Sun, Graham J. Nathan, Peter J. Ashman, Dahe Gu, Time-resolved spectra of solar simulators employing metal halide and xenon arc lamps, SOLAR ENERGY No.115, 2015 <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.03.017>
- 3-2) M. Tawfik, X. Tonnellier, C. Sansom, Light Source selection for a Solar simulator for Thermal applications: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 90, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.059>
- 3-3) Nuria Martin-Chivelet, Konstantinos Kapsis, Helen Rose Wilson, Veronique Delisle, Rebecca Yang, Lorenzo Olivieri, Jesus Polo, Johannas Eisenlohr, Benjamin Roy, Laura Maturi, Gaute Otnes, Mattia Dallapiccola, W. M. Pabasara, Upalakshi Wijeratne, Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) products and systems: A review of energy-related behavior, Energy & Buildings No.262, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111998>
- 3-4) Dan Craciunescu, Laurentiu Fara, Ana-Maria Dabija, Paul Sterian, Silvian Fara, Intelligent Approach for Improvement of BIPV Systems Performance: Case Study of Conference Series: Materials Science and Engineering No. 471, 2019 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/471/11/112015>
- 3-5) Jian Cui, Jianjun Fang, A maximum power point tracking strategy applied to building integrated photovoltaics, Clean Energy 2022 <https://doi.org/10.1093/ce/zkab054>
- 3-6) Fangzhi Chen, Stephon K. Wittkof, Poh Khai Ng, Hui Du, Solar heat gain coefficient measurement of semi-transparent photovoltaic modules with indoor calorimetric hot box and solar simulator, Energy and Buildings No.53, 2012 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.005>

3-7) Veronika SHABUNKO, Samyuktha Badrinarayanan, Dhanup S. Pillai, Evaluation of in-situ thermal transmittance of innovative building integrated photovoltaic modules: Application to thermal performance assessment for green mark certification in the tropics, Energy No.235, 2021
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121316>

3-8) Veronika Shabunko, Thomas Reindl, Measurement of solar heat gain coefficient for semi-transparent building-integrated photovoltaics in the tropics, 5th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition No.35, 2018
https://bipv.sg/wp-content/uploads/2019/11/6AO.7.6_paper-1.pdf

3-9) L. Olivien, F. Frontini, C. Polo-Lopez, D. Pahud, E. Caamano-Martin, *G*-value indoor characterization of semi-transparent photovoltaic elements for building integration: New equipment and methodology, 31th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition No.31, 2015 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.056>

3-10) T. Baenas, M. Machado, On the analytical calculation of the solar heat gain coefficient of a BIPV module, Energy and Buildings No.151, 2017 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.039>

3-11) Wenhao Zhang, Yimin Sun, Ahenghao Lin, Coupled evaluation of the optical-thermal-electrical performance of customized building-integrated photovoltaic components, Renewable Energy 2024 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.119994>

第4章 各国の日射熱取得率評価用試験装置及び測定条件等の比較

本章では、各国の日射熱取得率評価試験装置の比較結果と、日射熱取得率評価に関する国際規格に対する適合性を解説し、BIPV モジュールの日射熱取得率評価試験装置の実績の現状を示した。各国の装置の性能が一様ではない上に、日射熱取得率の計測法、ソーラシミュレータの構成や IV 測定方法、BIPV の負荷状況(MPPT の有無)などの違いにより、日射熱取得率の測定結果の一致度に影響が生じる可能性があることを示唆した。

4.1 日射熱取得率評価用試験装置の概要

本章では、各国の代表的な試験機関が保有する日射熱取得率評価用試験装置に関して、BIPV モジュールの日射熱取得率評価という視点で比較を行い、ISO 19467⁴⁻¹⁾および ISO 19467⁴⁻²⁾に対する適合度と特徴的な相違点等を示す。本章で記した内容は、H. Ishii et al.による研究⁴⁻³⁾からの引用を基調としている。

日射熱取得率評価には、計算法としての ISO 9050⁴⁻⁴⁾および ISO 15099⁴⁻⁵⁾と、測定法として ISO 19467⁴⁻¹⁾がある。しかしながら、BIPV モジュールの日射熱取得率は、発電時と非発電時で値が異なる^{4-6),4-7)}ため、その現象を考慮して評価する必要がある。その評価方法として文献⁴⁻⁸⁾等が提案されている。ここでは、BIPV モジュールの日射熱取得率評価をする場合において、測定方法にフォーカスして、各国の試験装置の比較を行う。対象国は、日本、ドイツ、シンガポール、フランス、韓国の 5 か国とした。日本の試験装置としては、ISO 19467⁴⁻¹⁾のベースとなった国土交通省 国立研究開発法人 建築研究所(以下、建築研究所)の装置⁴⁻⁹⁾、窓の日射遮蔽物の日射熱取得率及び日射遮蔽係数の試験に実運用されている一般財団法人 建材試験センター(以下、建材試験センター)の装置⁴⁻¹⁰⁾、及び、本事業において ISO 19467⁴⁻¹⁾に準拠して開発され、ケミトックス 新庄試験センター(以下、ケミトックス)に設置されている装置を対象とした。ドイツは、Fraunhofer ISE にある ISO 19467-2⁴⁻²⁾に準拠した装置⁴⁻¹¹⁾、シンガポールは、SERIS の装置^{4-12),4-13)}、フランスは、ISO 19467 に準拠した装置、韓国は、KS-L 9107⁴⁻¹⁴⁾に準拠した装置である。これらの装置の比較一覧を表 4-1 に示す。また、以下に、各国の日射熱取得率評価試験装置及び測定条件等の比較を項目ごとに記す。

表 4-1 各機関が保有する日射熱取得率評価試験装置の比較一覧 (文献 4-3)の表に加筆

国/地域/都市	茨城県 つくば市	埼玉県 草加市	ドイツ	シンガポール	フランス	韓国	山形県 新庄市
試験機関名	建築研究所	建材試験センター	Fraunhofer- ISE	SERIS	CSTB	KCL	ケミトックス
運用開始時期 (年)	2006	1993	2006	2012	2021	2013	2024
準拠規格	ISO 19467	JSTM K6101	ISO 19467-2	ASTM C1363, C1199, NFRC 201	ISO 19467	KS L 9107	ISO 19467
評価試験装置有効 開口寸法 m	1.693×1.373	1.00×1.00	0.95×0.95	0.95×0.95	0.95×0.95	1.50×1.50	1.00×1.00
季節別	夏/冬	N/A	夏/冬	N/A	夏/冬	夏/冬	夏/冬
恒温室 温度条件 (°C)	30/20	20	30/20	32	30/20	30/20	30/20
計測箱 温度条件 (°C)	25/0	20	25/0	24	25/0	25/0	25/0
屋外熱伝達率 (W/(m ² ·K))	14/23 or 24	18±2	14/23 or 24	18.0±10%	14/23 or 24	15±3 / 20±3	14±0.8 /23±0.3
ランプの種類※1	キセノン(S)	キセノン(L)	メタルハライド (S)	メタルハライド (S)	メタルハライド (S)	キセノン(S)	キセノン(S)
ランプの灯数 (灯)	4	2	4	1	5	4	2
定格ランプ電力 (kW)	6.5kW×4	0.5kW×1	-	18kW×1	-	7kW×4	5kW×2
近似波長範囲 (nm)	300-2,500	350-2100	300-1800	300-1678	300-2,500	400-1100	300-2,500
光源からの距離 (m)	6.5※2	1.5	4	10	N/A	6	4.4
光源からの発散角 (°)※3	9.9	N/A	3~12	8~15	N/A	10	9.9
ランプの点灯モード	定常光(DC)	断続光(AC)	断続光(AC)	断続光(AC)	断続光(AC)	定常光(DC)	定常光(DC)
季節別	夏/冬	N/A	夏/冬	N/A	夏/冬	夏/冬	夏/冬
放射照度 (W/m ²)	500/300	800	500/300	500	500/300	500/300	500/300
長時間安定性(%)			-	±0.4%	-	-	±0.2
照射面内均一性 (%)	±4.03	±24.8	±5	±5.4	-	±4.8	±2.9/±2.5
測定誤差	±0.06 [8]	±0.08~0.1	±0.02	±0.02, ±0.05	±0.02	±0.01	≤±0.04

※1 ランプの種類における(S)はショートアーク型、(L)はロングアーク型であることを示す。

※2 アウトプットレンズからの距離

※3 発散角と最大入射角が混在し、後者は定義が不明確であるため、単純比較はできない。

4.2 測定法の種類と各国の準拠する基準や規格⁴⁻³⁾

試験装置の測定法には、大別して 2 種類ある。1 つは熱箱法^{4-9),4-10),4-11),4-12),4-13)}であり、もう 1 つは熱流測定法^{4-11),4-14)}である。前者は、建築研究所⁴⁻⁹⁾、建材試験センター⁴⁻¹⁰⁾、SERIS^{4-12),4-13)}、CSTB および本事業でのケミトックスで用いられ、後者は、Fraunhofer ISE⁴⁻¹¹⁾と KCL⁴⁻¹⁴⁾で用いられている。各国の試験装置が準拠している基準や規格は、建築研究所と CSTB が ISO 19467⁴⁻⁴⁾であり、Fraunhofer ISE が ISO 19467-2⁴⁻¹⁰⁾、建材試験センターは自主規格の JSTM K 6101⁴⁻⁹⁾、SERIS は主に ASTM 等に準拠しており^{4-15),4-16),4-17)}、KCL は KS-L 9107⁴⁻¹⁴⁾をベースとしている。このうち、建築研究所の装置は、その仕様がほぼそのまま ISO 19467-1⁴⁻¹⁾の要求仕様とされており⁴⁻⁹⁾、Fraunhofer ISE の装置も、その仕様が ISO 19467-2⁴⁻²⁾の要求項目となっている⁴⁻¹¹⁾。ただし、両装置の測定原理は異なるものである

4.3 各国における日射熱取得率の測定条件等⁴⁻³⁾

各国の日射熱取得率評価用試験装置は、ソーラシミュレータ、恒温室、計測箱および冷却装置からなり、基本的な構成は同じであるが、表 4-1 に示すように 日射熱取得率 評価時の測定条件には違いがある。建材試験センター以外の機関の試験装置では、「夏」または「冬」などの境界条件としたとき、試験体を介して恒温室と計測箱間の温度差によって起こる熱伝達を考慮する。一方、建材試験センターの装置では、恒温室と計測箱との温度差が生じず、試験体を介した貫流熱の影響を受けない日射熱取得率評価法を適用している。貫流熱を考慮した試験条件は、実際の環境に近く、夏から冬にかけての環境変化を想定した日射熱取得率評価が可能である。その一方で、貫流熱を考慮しない試験条件では、余分な条件を省くことで、試験体そのものの日射熱取得率評価が可能となる点に大きな違いがある。また、熱伝達係数が大きいほど熱損失を促進する効果があるため、ISO 9050⁴⁻⁴⁾の基本式において、2 次輻射成分 q_i に直接関係し、日射熱取得率評価に大きな影響を与える。屋内と屋外の熱伝達係数は、「夏」と「冬」の 2 つの場合に分けられている。建材試験センターと SERIS 以外の試験装置では、季節要因を考慮して ISO 19467⁴⁻¹⁾ と ISO 19467-2⁴⁻²⁾ にリストアップされている ISO 15099⁴⁻⁵⁾ 並びに ISO 52022-3⁴⁻¹⁸⁾ の条件を推奨している。季節要因を考慮しない場合、この方法は建材試験センターおよび SERIS の試験施設で使用されており、恒温室と計測箱との間に温度差が無いことを意味する。

屋外側熱伝達係数は、建材試験センターと SERIS が同一である。屋内側熱伝達係数は建築研究所、Fraunhofer ISE、SERIS、CSTB 及びケミトックスでは同じだが、建材試験センターでは若干、高めの設定となっている。また、季節性を考慮した試験機関のなかでは、KCL のみが屋外・屋内熱伝達係数ともに他の機関よりも若干高めの設定となっている。

4.4 各国の日射熱取得率評価用試験装置の光源⁴⁻³⁾

各国の日射熱取得率評価用試験装置では、基準太陽光に対するスペクトル合致度、近似波長範囲の異なる分光放射照度(異なるスペクトル分布)のソーラシミュレータが照射光源とされている(表 4-1)。主な違いは、ショートアークキセノンランプ、ロングアークキセノンランプ、ショートアークメタルハライドランプ等、放電ランプの種類、定格消費電力、ソーラシミュレータから試験体表面までの距離である。

ISO 19467⁴⁻¹⁾の要求仕様に基本仕様がほぼそのまま採用されている建築研究所の装置は、太陽電池評価用高精度ソーラシミュレータ(ワコム電創製:廃業)を使用している。定照度制御可能な直流点灯方式の定常光形であるため長時間安定性に優れ、定常状態が得やすい。また、ショートアークキセノンランプからの分光放射照度を補正するための多層蒸着膜による干渉フィルタ(エアマスフィルタ)を付加することから、基準太陽光へのスペクトル合致度が高い。更にインテグレータレンズでコリメーションするため、照射面内の均一性が比較的高い。これらは、太陽電池評価用ソーラシミュレータの基本構成として長年の実績を有するもので、調査対象には含めていないが、国内の事業者が保有している日射熱取得率評価用光源としてのソーラシミュレータは、この装置を基本的に踏襲している。ただし、建築研究所の装置は、光源と試験体との距離を機械的

に移動させて(ソーラシミュレータの光源部をレール上で移動させて)放射照度の調整(季節対応)をしている点が特徴的である⁴⁻⁹⁾。ショートアークキセノンランプの平均寿命は800時間(残存率90%)でありこれらのソーラシミュレータでは面積に応じて4灯から6灯を用いるため、高い均一性を維持するためには、交換の都度、調整が必要となる他、エアマスフィルタやミラーなどの光学部品の消耗という点では、ランニングコストが高い構成である。国立研究開発法人 産業技術総合研究所(以下、産総研)が主導して本事業で開発し、ケミトックスに設置されたソーラシミュレータも、太陽電池評価用ソーラシミュレータメーカー(山下電装)が製造・納入したものであり、ISO 19467⁴⁻¹⁾の要求仕様に完全に適合した上で、それを上回る性能が実現されている。このソーラシミュレータは直流点灯方式の定常光形で、使用するショートアークキセノンランプを2灯のみで、光路変更用のミラーを使用しないなどの光学設計により、従来の課題であったランニングコストと調整の手間を大幅にカットできた点が特長である。定照度制御が可能であるため、長時間安定性に優れ、定常状態が得やすい。

建材試験センター⁴⁻¹⁰⁾のソーラシミュレータは、交流点灯方式のロングアークキセノンランプ2灯の周囲に反射板を配置した断続光形のソーラシミュレータである。電極安定型であるショートアークキセノンランプに対し、管壁安定型であるロングアークキセノンランプは、管内圧力が低く安定器も必要としないが輝度が低い。管長あたりの輝度を高くするために入力を増すと管壁温度が高温となるため、水冷方式とする必要がある。ロングアークキセノンランプは、本来、紫外放射に対する材料の耐光性試験において用いられる光源である。試料の温度調節に用いる水冷は水の分光透過率を利用した熱線吸収フィルタとしての機能も兼ねている。換言すると、水冷により近赤・赤外の放射が吸収されるため、基準太陽光に対する近似波長範囲が自ずと限定される。点光源に近いショートアークキセノンランプやショートアークメタルハライドランプに対して、面光源に近いロングアークキセノンランプは、コリメーション光学系を導入せずに大きな照射面を得られる点がコスト面での特長もあるが、面内均一性はやや低い傾向にある。

ショートアークメタルハライドランプは、ショートアークキセノンランプと同様、点光源に近い。また、高輝度、省電力、極めて長寿命(定格寿命5,000時間以上:残存率50%)であることから、利用される分野が広い。環境試験装置の光源として多灯式で構成したものなどもある。日射熱取得率評価においても、Fraunhofer ISE⁴⁻¹¹⁾、SERIS^{4-12),4-13)}、CSTBなど多くの試験機関で採用されている。全て交流点灯方式の断続光形であるため、定照度制御ができない。また、放射照度が特定の波長で振動するとともに、経時変化がショートアークキセノンランプよりも大きい。「メタルハライドランプ」と言っても、封入されているハロゲン化合物の種類・比率により、分光放射照度が大きく異なる。従って、目的に応じて適切な分光放射照度をもつランプを選択する必要がある。近年、EPA(アメリカ環境保護局)の規制に対する試験用光源として、従来よりも昼光への分光放射照度の近似波長範囲を拡大したメタルハライドランプの実用化も進められている。原理的に水銀とハロゲン化金属の混合蒸気中のアーク放電を利用するものであるが、水俣条約の規制対象外であるため、当面は入手可能であるものの、業界全体としてはLEDなどのSSL(Solid State Lighting)への移行期にある。また、電源には安定器が必要である。

ISO 19467⁴⁻¹⁾ では、IEC 60904-9⁴⁻¹⁹⁾に準拠し、追加の要求事項として波長範囲を 2500 nm までとした上で、基準太陽光に対するソーラシミュレータのスペクトル合致度を 0.55～1.45 の範囲内とすることが規定されている。ただし、2017 年に ISO 19467⁴⁻¹⁾が発行された以降、IEC 60904-9⁴⁻¹⁹⁾の改正版である IEC 60904-9:2020⁴⁻²⁰⁾が発行されている。Fraunhofer ISE などのソーラシミュレータも、上記のスペクトル合致度を満足している⁴⁻¹¹⁾が、建材試験センター⁴⁻⁹⁾および SERIS のソーラシミュレータは、ISO 19467⁴⁻¹⁾への適合を前提として設計・導入されたものではないため、ISO 19467⁴⁻¹⁾の要求するスペクトル合致度は満足していない。

ISO 19467⁴⁻¹⁾ および ISO 19467-2⁴⁻²⁾では、ランプの点灯方式や種類は規定されていない。そのため、直流点灯方式の定常光形であるショートアークキセノンランプを使用したものと、交流点灯方式の断続光形であるショートアークメタルハライドランプを使用したものが混在し、日射熱取得率の評価結果に違いが生じる可能性がある。

建築分野において、日射熱取得率値を測定する建築コンポーネントは、一般的に熱容量が大きく、測定機器の応答も緩やかなので、断続光であっても熱的には単純に平均化される。そのような観点から、交流点灯方式の断続光形(実質的に、ショートアークメタルハライドランプを使用するもの)で十分との見解が多い。一方、BIPV モジュールにおける日射熱取得率は、光源の特性状態で異なり、MPPT 状態での評価が現実的であることから、BIPV の最大電力(MPP/Pmax)点の正確な測定が必要である。直流点灯方式の定常光形では、BIPV の IV 特性を連続測定しながら極めて安定な MPPT を行うことが可能であるが、交流点灯方式の断続光の場合、交流周期の影響により IV 特性を正確に測定することが難しい。そのため、Pmax 測定の正確性が劣り、かつ安定な MPPT を行うことができない可能性が高い。これらから、太陽光発電分野では、直流点灯方式の連続光形(実質的に、ショートアークキセノンランプを使用するもの)が必要であるとされている。最近では商用周波数で点灯するメタルハライドランプ以外でも、矩形波で点灯制御するタイプのメタルハライドランプが販売されている。MPPT 状態での BIPV の日射熱取得率評価における光源の選択については、定量的な比較など、今後の継続的な研究が望まれる。

4.5 各国の日射熱取得率評価の測定誤差等⁴⁻³⁾

各国の試験装置における測定誤差は、0.01～0.1 と、差が大きいが、大半が 0.02～0.06 の範囲となっている。特に Fraunhofer ISE では、日射熱取得率(g 値)が 0.2 未満の場合、誤差は通常 ± 0.02 となるが、値が高いほど誤差は大きくなる傾向にある。誤差分析については文献⁴⁻²¹⁾が参考となる。また、SERIS では、均質な試験体かそうでないかによって、測定誤差に差が生じるとされている。均質な試験体の場合は ± 0.02 であり、不均質な試験体の場合は ± 0.05 とされている。

4.6 ISO 19467 等への適合性と BIPV の日射熱取得率評価実績⁴⁻³⁾

本節では、各国の日射熱取得率評価試験装置に関する比較を行い、ISO 19467 への適合度と BIPV の日射熱取得率評価実績の有無を確認した。日射熱取得率評価試験装置が ISO 19467⁴⁻¹⁾に準拠している試験装置としては、ISO 19467⁴⁻¹⁾で例示されている建築研究所の試験装置⁴⁻⁹⁾と

ISO 19467⁴⁻¹⁾に準拠して設置された CSTB の試験装置、本事業において産総研主導で開発されたケミトックスの設備が適合している。ただし、実際には、ソーラシミュレータの特性による違い(点灯方式、基準太陽光への近似程度、均一性、長時間安定性など)があるため、これらの違いが BIPV モジュールの日射熱取得率評価に影響を及ぼす可能性がある。

また、Fraunhofer ISE の試験装置⁴⁻¹¹⁾の仕様は、ISO 19467-2⁴⁻²⁾の要求仕様の元であるため、当然、ISO 19467-2⁴⁻²⁾に適合しているはずであるが、ISO 19467⁴⁻¹⁾に適合している建築研究所やケミトックス、CSTB の評価方法とは異なるため、これらの機関における BIPV モジュールの日射熱取得率評価に際しては、少なからず差が生じることが予測される。

一方、建材試験センター⁴⁻¹⁰⁾や SERIS^{4-12),4-13)}及び KCL⁴⁻¹⁴⁾の試験装置は、独自規格^{4-10),4-14)}や ISO 19467 以外の規格^{4-15),4-16),4-17)}を部分的に参照しているため、ISO 19467⁴⁻¹⁾や ISO 19467-2⁴⁻²⁾には適合していない。それらの機関の試験装置による評価結果と、国際規格に適合もしくは準拠している評価試験装置による評価結果の一致度については、今後、確認をしていく必要がある。

BIPV モジュールの日射熱取得率評価は、各試験機関で過去に実施されているが、その殆どが研究開発や調査目的の試験であり、実際のプロジェクト対応として実施した例は少ないようである。また、BIPV で発電時と非発電時で日射熱取得率が異なる点は、非常に重要なポイントであるが、発電時でも MPPT 制御装置を使用して、MPPT を行いながらの評価がなされていないケースもある。それらの違いが、BIPV モジュールにおける日射熱取得率評価結果の差に影響している可能性もあることから、今後の標準化が期待される。

引用文献

- 4-1) ISO 19467: Thermal performance of windows and doors – Determination of solar heat gain coefficient using solar simulator, 2017
- 4-2) ISO 19467-2: Thermal Performance of windows and doors –Determination of solar heat gain coefficient using solar simulator – Part 2: Centre of glazing, 2021
- 4-3) 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, 2024
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114843>
- 4-4) ISO 9050: Glass in building – Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance, and related glazing factors, 2003
- 4-5) ISO 15099: Thermal performance of windows, doors, and shading devices – Detailed calculations, 2003
- 4-6) H. Ishii: Thermal Performance (G-value and U-value) Evaluation of BIPV Applied to Glass Façade, EU PVSEC, 2017

4-7) H. Ishii: Evaluation of Thermal Properties for BIPV in Façade Part 2 Experimental Results of G value for Crystal Silicon BIPV Module according to ISO 19467, EU PVSEC, 2018

4-8) H. Ishii, M. Kondo, and S. Hagihara: Evaluation of Thermal Properties for BIPV in Façade Proposal of SHGC evaluation method for BIPV using ISO 19467, EU PVSEC, 2019

4-9) 倉山千春:開口部の総合熱性能評価法に関する研究, 2007 年

4-10) 一般財団法人建材試験センター:JSTM K6101 人工太陽による窓の日射遮蔽物(日除け)の日射熱取得率及び日射遮蔽係数試験方法, 1995 (2013 改定)

4-11) T. Kuhn: Calorimetric determination of the solar heat gain coefficient g with steady-state laboratory measurements, Energy and Buildings, 2014
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.021>

4-12) Fangzhi Chen, Stephen K. Wittkopf: Summer condition thermal transmittance measurement of fenestration systems using calorimetric hot box, Energy and Buildings, 2013
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.005>

4-13) Fangzhi Chen, Stephen K. Wittkopf: Poh Khai Ng, Hui Du: Solar heat gain coefficient measurement of semi-transparent photovoltaic modules with indoor calorimetric hot box and solar simulator, Energy and Buildings, 2013 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.005>

4-14) KS-L 9107:ソーラシミュレータによる日射熱取得率測定試験方法, 2014 年

4-15) ASTM C1363: Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus,

4-16) ASTM C1199: Standard Test Method for Measuring the Steady-State Thermal Transmittance of Fenestration Systems Using Hot Box Methods, 2010

4-17) NFRC 201: Standard Test Method for Measuring the Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration Systems, 2010

4-18) ISO 52022-3: Energy performance of buildings – Thermal, solar and daylight properties of building components and elements – Part 3: Detailed calculation method of the solar and daylight characteristics for solar protection devices combined with glazing.

4-19) IEC 60904-9:2007, Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements

4-20) IEC 60904-9:2020, Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements

4-21) EN 410, Glass in building – Determination of luminous and solar characteristics of glazing, 2011

第5章. BIPV の日射熱取得率高精度評価試験装置の性能と高精度化に向けた推奨事項

本章では、本事業で開発した BIPV の日射熱取得率高精度評価用試験装置の構成と性能、整備状態を示す。JIS A 1493 並びに ISO 19467 の規定の各項目に対する説明と、引用されるべき規格、本事業における BIPV の日射熱取得率の高精度化の展開において得られたソーラシミュレータ、校正板、放射強度計(全天日射計)、熱流計の日射吸収率、結線方法、熱計測箱の気密性の評価指針、計測のリニアリティ評価方法についての推奨事項を示す。

5.1 本事業で開発した BIPV の日射熱取得率高精度評価用試験装置の特性

5.1.1 装置の構成と平面配置図

本装置は、①ソーラシミュレータ(疑似太陽光照射光源)、②恒温室(室外環境)、③熱計測箱(室内環境)、④熱流計(熱計測箱内)、で構成され、放射照度の測定は全天日射計で行い、ソーラシミュレータの分光放射照度の測定は、分光放射計で測定する。試験体(BIPV)の IV 特性の連続測定と MPPT 制御が可能である。図 5-1 に平面配置図を示し、図 5-2 に疑似太陽光導入窓、恒温室、制御盤の外観を示す。図 5-3 は恒温室と制御盤、熱計測箱の外観である。なお評価用試験装置の、計測箱周囲の温度変動および電源を含む室内温度の安定化を図るために行った措置については、後述する。

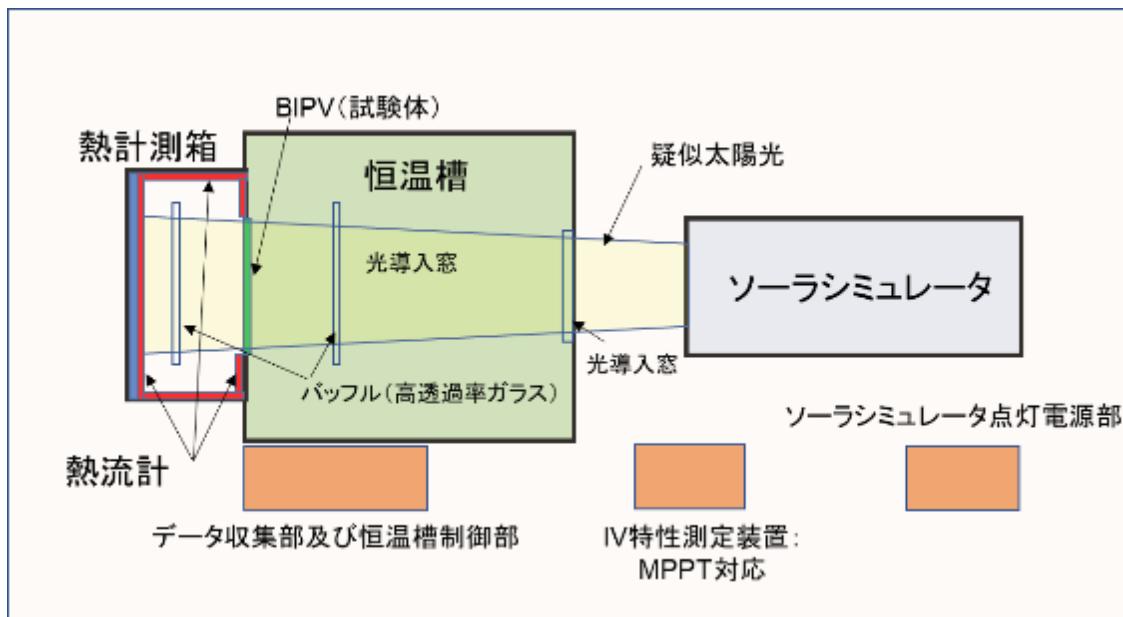


図 5-1 本事業で開発した BIPV の日射熱取得率高精度評価用試験装置の平面配置図



図 5-2 疑似太陽光導入窓、恒温室、制御盤の外観



図 5-3 恒温室、制御盤、熱計測箱の外観

5.1.2 日射熱取得率評価用ソーラシミュレータについて

「はじめに」で述べたように、本事業の目的は、ISO 19467 の要求事項への完全適合をはじめ、BIPV の日射熱取得率 測定の高精度化を目的としたソーラシミュレータの高品質化と、将来の試験ラボによる適合性認定事業への橋渡しを前提とした低ランニングコスト化の両立である。

本章では、本事業で開発した日射熱取得率評価用ソーラシミュレータの製作仕様を次の①～⑧に示し、実際の重要な特性を後述する。各試験機関・研究機関が保有する日射熱取得率評価試験装置に対する性能と消費電力等の優位性については、4 章の表 4-1 を、熱伝達率の設定精度が測定結果与える影響については 2.4 章を参照されたい。図 5-4 にソーラシミュレータの光源部の寸法を、図 5-5 に導入窓を通じた疑似太陽光照射の模様を、図 5-6 にソーラシミュレータの電源部を、図 5-7 に IV 特性評価試験装置(MPPT 対応)の外観を示す。

- ① 使用ランプ: キセノンショートアークランプ 5 kW × 2 灯
- ② 有効照射面サイズ: 1,000 mm × 1,000 mm
- ③ スペクトル分布: AM1.5G 基準太陽光に近似(IEC60904-3 Ed.4.0)
- ④ 放射強度: 300 W/m^{2,500} W/m²: 插入するメッシュフィルタの切り替えによる
- ⑤ 照射光: 定常光
- ⑥ 照射方向: 水平照射
- ⑦ 放射照度場所むら: ±3 %以内
- ⑧ 放射照度時間変動度: ±1 %以内



図 5-4 ソーラシミュレータの光源部(寸法)



図 5-5 ソーラシミュレータの光源部(導入窓を通じた光照射時)



図 5-6 ソーラシミュレータの電源部



図 5-7 IV 特性評価試験装置(MPPT 対応)

- ① 測定電圧電流範囲 : $\pm 40\text{ V}$ ・ $\pm 15\text{ A}$
- ② 測定機能:IV 計測、 P_{max} 連続測定
- ③ 測定点数:最大 1000 点
- ④ 測定速度:100 $\mu\text{sec}/\text{点}$ ~ 100 msec/点
- ⑤ 測定・表示項目:IV カーブ、P-V カーブ、サンプル温度
 $I_{sc}, J_{sc}, V_{oc}, P_{max}, I_{pm}, V_{pm}, FF, Eff, R_s, R_{sh}$
- ⑥ 掃引方向: $I_{sc} \rightarrow V_{oc}$ 、 $V_{oc} \rightarrow I_{sc}$
- ⑦ MPPT 機能:最大電力点となる最電圧を自動で求め、連続的に一定制御することが可能。

以降に、ソーラシミュレータの主要性能と、それらの ISO 19467 の要求事項との比較を示す。

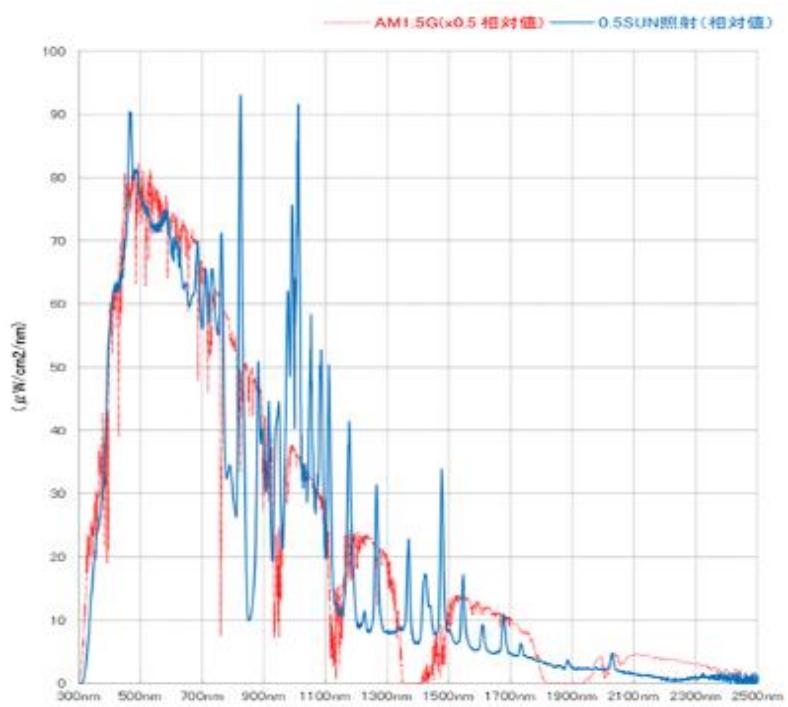


図 5-8 基準太陽光とソーラシミュレータの分光放射照度(夏条件:500W/m²)

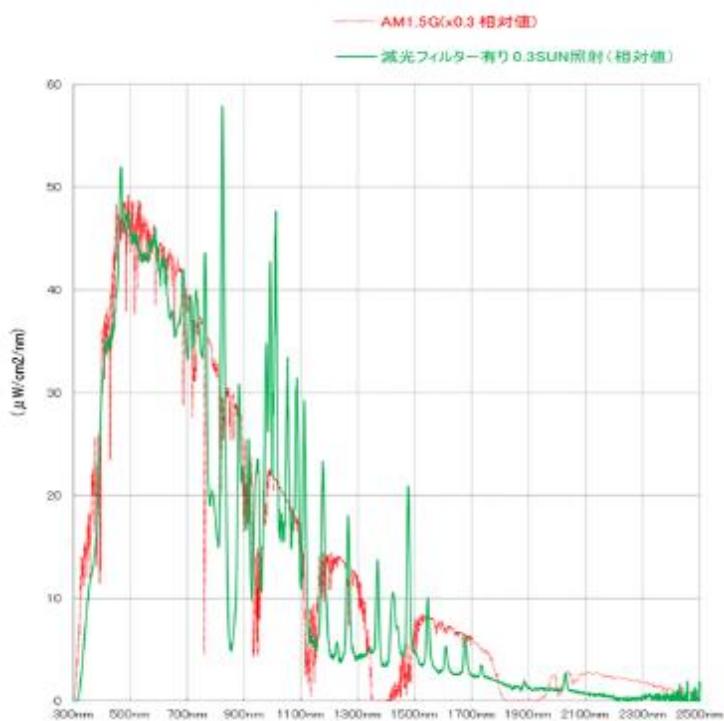


図 5-9 基準太陽光とソーラシミュレータの分光放射照度(冬条件:300W/m²)

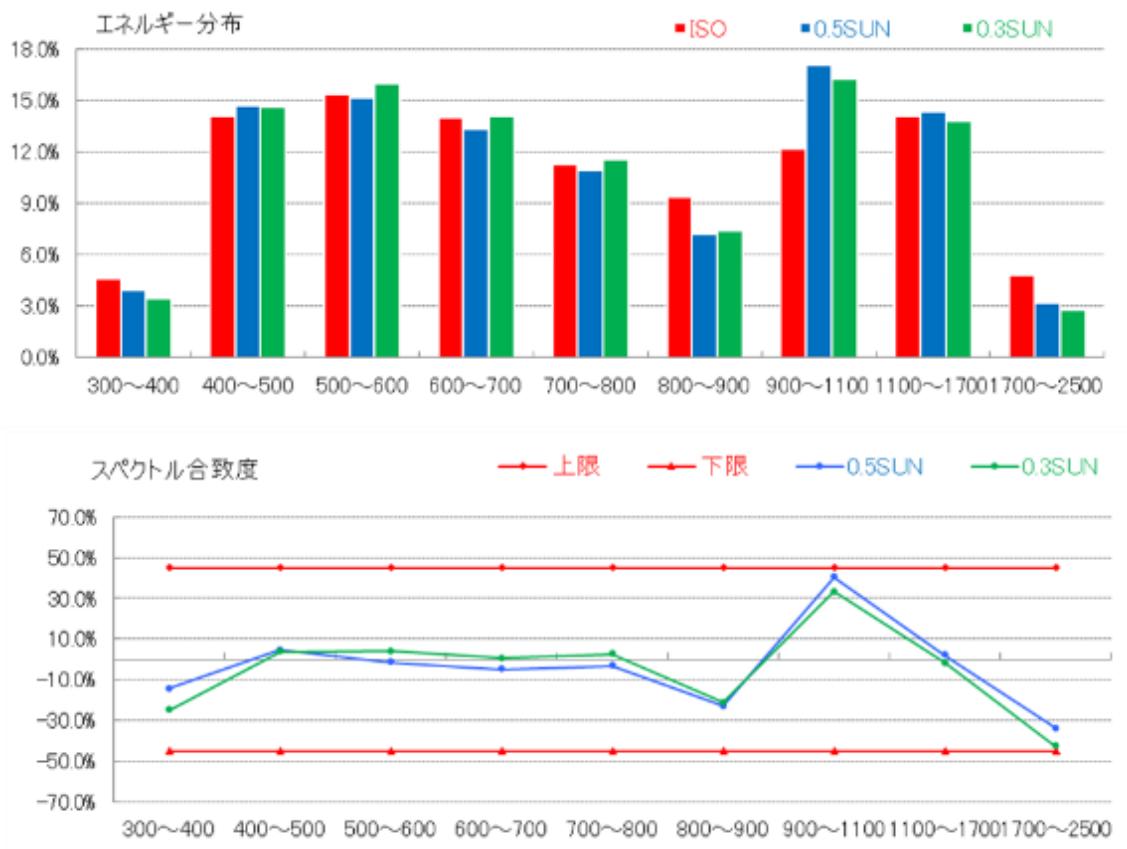


図 5-9 基準太陽光との比較（上：エネルギー分布 下：スペクトル合致度）

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	166.54	170.91	168.87	168.03	167.89	168.18	170.00	166.15
2	166.93	167.90	166.23	166.05	166.17	166.19	167.38	164.79
3	165.67	166.47	165.82	166.05	166.14	165.91	165.79	163.39
4	165.41	166.38	166.26	166.55	166.60	165.75	165.82	163.37
5	165.86	166.74	166.75	167.08	167.13	165.92	166.29	164.15
6	166.78	167.43	167.26	167.37	166.93	166.37	166.88	165.27
7	166.72	168.77	167.86	167.29	166.82	166.90	167.72	166.62
8	163.95	167.89	166.63	165.89	164.71	165.55	166.85	161.38
最大 = 170.91mA		最小 = 161.38mA						
平均 = 166.51mA								
照度分布 = $(\text{MAX} - \text{MIN}) / (\text{MAX} + \text{MIN}) \times 100$								
測定結果 = $\pm 2.87\%$		仕様範囲 ±3%以下		合格				

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	97.36	100.46	99.36	98.90	98.84	99.19	100.21	98.02
2	98.28	98.74	97.91	97.87	97.87	97.93	98.76	96.97
3	97.76	98.32	97.73	97.78	97.95	97.83	97.63	96.88
4	97.41	98.15	98.14	98.15	98.26	97.97	97.76	96.39
5	97.72	98.39	98.17	98.46	98.60	98.18	98.11	97.46
6	98.23	98.88	98.61	98.68	98.55	98.05	98.64	97.03
7	99.29	99.80	99.14	99.09	98.95	98.68	99.35	98.35
8	97.33	99.54	98.69	98.28	98.18	98.02	98.87	95.53
最大 = 100.46mA		最小 = 95.53mA						
平均 = 98.28mA								
照度分布 = $(\text{MAX} - \text{MIN}) / (\text{MAX} + \text{MIN}) \times 100$								
測定結果 = $\pm 2.51\%$				仕様目標 スペクトル合致度と場所むらに極力影響が出ない事				

図 5-11 ソーラシミュレータの照射面内均一性（左：500W/m² 右：300W/m²）

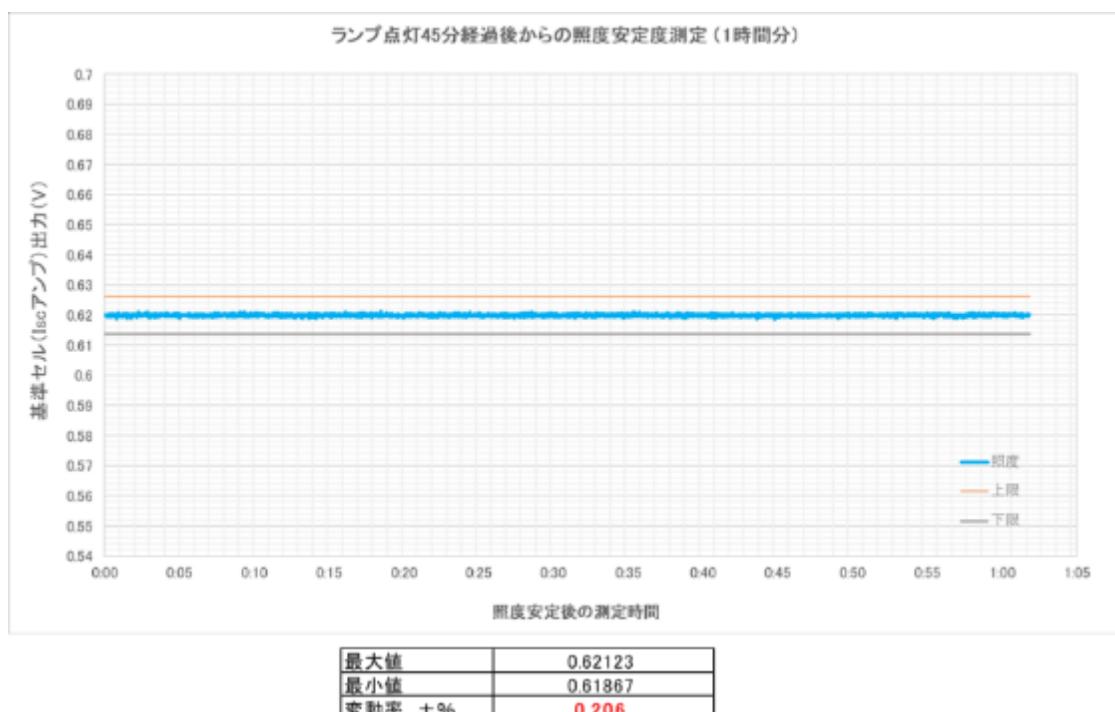


図 5-12 ソーラシミュレータの放射照度の時間変動率

表 5-1 ソーラシミュレータの照射角度

コリメーション半角 (a)	3.95°
デクリネーション角 (b)	5.97°
最大入射角 (実測値) (a) + (b)	9.92°

表 5-2 ISO19467/ JIS A 1943 の要求性能と本事業で開発したソーラシミュレータの性能

項目	ISO/JIS規格要求値	シミュレータ	合否
スペクトル合致度	下記波長範囲全てで±45%以内 300-400, 400-500, 500-600, 600-700, 700-800, 800-900, 900-1100, 1100-1700, 1700-2500 (nm)	±40.3% (0.5SUN) ±42.8% (0.3SUN)	合
場所むら	±5%以内	±2.9% (0.5SUN) ±2.5% (0.3SUN)	合
時間変動率	±5%以内	±0.2%/時	合
最大入射角	10° 以内	9.9° (0.5SUN/0.3SUN)	合

5.1.3 热計測箱の断熱性・気密性

JIS A 2201:2017「送風機による住宅等の気密性試験方法」に準拠して差圧計:MT-210(横河電機製)とFAN:EC-04S-R1A3(昭和電機製)を使用し、熱計測箱内を段階的に加圧(JIS A 2201では減圧)して漏れ量を測定し、JIS A 4702:2015「ドアセット」/JIS 4706:2000「サッシ」の断熱等級との比較と相当隙間面積(C値)の評価を行った。JIS A 4702/4706の気密性等級では最上級であるA-4等級が、100 Pa 加圧した際の1分間あたりの漏れ量 0.33 m^3 であるのに対して、150 Pa 加圧(ただし規格では減圧が条件)した際の1分間あたりの漏れ量を 0.007 m^3 とすることができた。JIS A 2201(:ISO 9972-15 MOD)に準拠して算出した相当隙間面積(C値)は、0.048となった。また、改造後の差圧が50 Paのときの通気量(Building Leakage)は $0.18 \text{ m}^3/\text{h}$ である。C値が0に近いほど、理想的な気密性能である。ちなみに、熱計測箱の相当隙間面積は、熱収支の矛盾を抑える点から、C値や差圧50 Paのときの通気量などの指標を定めておくことも良いと考えられる。ちなみに、住宅の場合は、気密性が良い目安はC値が1.0とされている。

(日本住環境株式会社のHP <https://www.njkk.co.jp/blog/?itemid=50&dispmid=764> より)

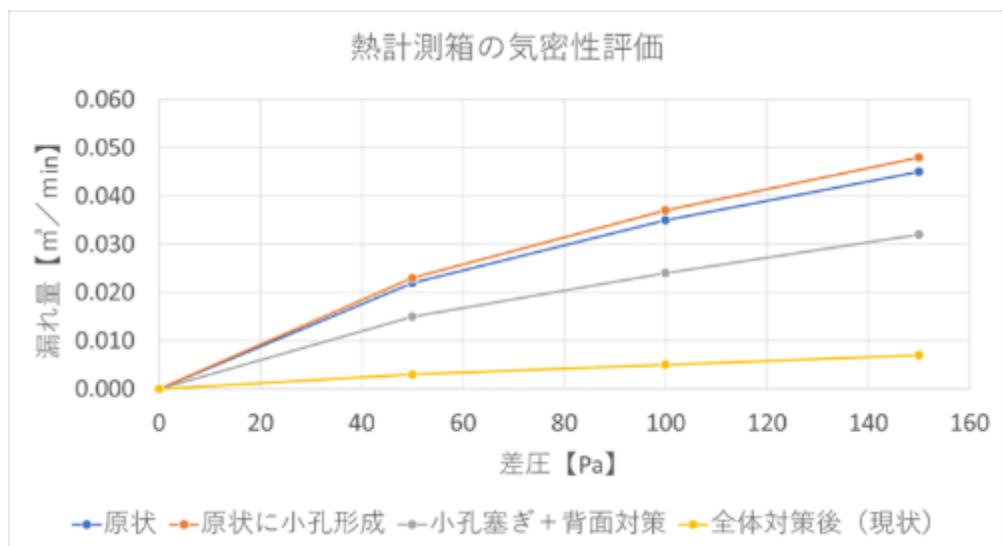


図 5-13 差圧に対する熱計測箱からの漏れ量

表 5-3 热計測箱の相当隙間面積

熱計測箱の気密性能 C値	改造前	改造後
総相当隙間面積 αA [cm ²]	0.314	0.035
実質延べ床面積 S [m ²]	0.732	0.732
相当隙間面積 C値 [cm ² / m ²]	0.429	0.048

5.1.4 周囲環境の整備

試験体枠部接続部の固定を金属から樹脂に変更することによる熱橋の排除、熱電対の取り付けテープの変更(アルミテープからカプトンテープ)、計測箱とタイト材の間の隙間の解消、熱計測箱背面の断熱及びエアコンからの直接風の防止、データロガーボックスへの排熱口施工、背面の熱流計16枚についての従来の全直列接続から1枚毎の出力取り出しへの接続変更、などを実施するとともに、装置設置環境における年間を通じた計測箱周囲の温度変動および電源を含む室内温度の安定化のための環境整備を実施した。これにより、通年で±4°C以上あった温度変動を±2°C以内とし、更に変動幅そのものの抑制を実現することができた。

5.1.4.1 断熱壁間仕切工事(施設中央)

夏季の電源のオーバーヒート、恒温室、熱計測箱周辺の高温を防止するため、施設の空間が効率よく空調できるように、装置設置スペースと作業スペースを断熱壁で仕切った。

断熱材仕様： ガラスウール(16 K / 100 mm)



図 5-15-1 断熱壁による施設中央の間仕切り



図 5-15-2 断熱壁による施設中央の間仕切り

5.1.4.2 断熱壁間仕切工事(計測箱周辺)

計測箱の周囲の温度変動が小さくなるように周囲を断熱壁で仕切った。

断熱材仕様: ガラスウール(16 K / 100 mm)



図 5-16-1 断熱壁による熱計測箱周辺の間仕切り



図 5-16-2 断熱壁による熱計測箱周辺の間仕切り

5.1.4.3 電源上部へのエアコン設置

5.1.4.1 で仕切った装置設置スペースの空調を行うため、エアコンを設置した。

エアコン仕様：ダイキン工業(株)製、SZRUC140BY(天井埋込カセット形)、5 馬力



図 5-17 ソーラシミュレータの電源上部へのエアコン設置

5.1.4.4 ソーラシミュレータ周囲暗幕修正

壁の仕切り位置に合わせて、暗幕を修正した。



図 5-18 ソーラシミュレータ(光源部)周囲の暗幕修正

熱計測箱周辺の温度変動: 計測箱内温度 25.0°C、ダーク

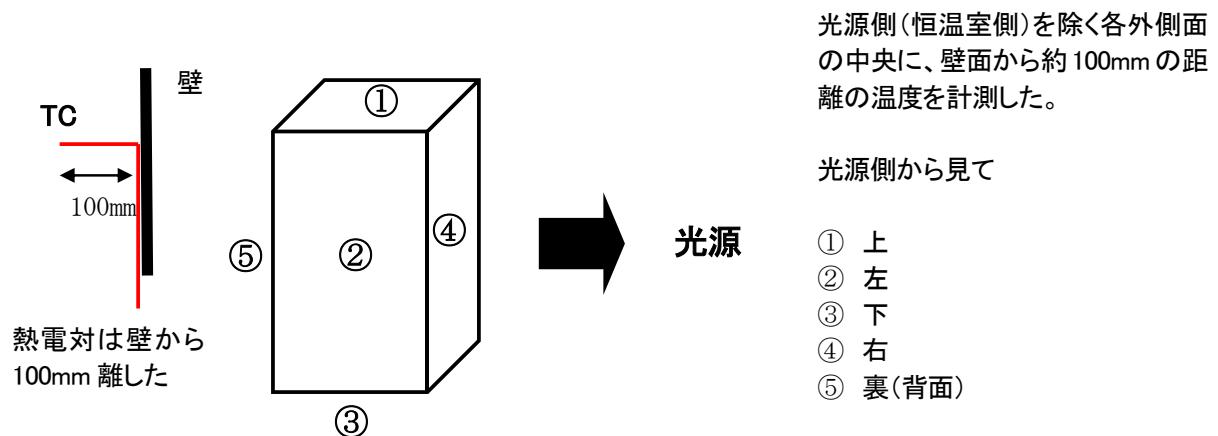


図 5-19 热計測箱周囲の温度変動測定の概略

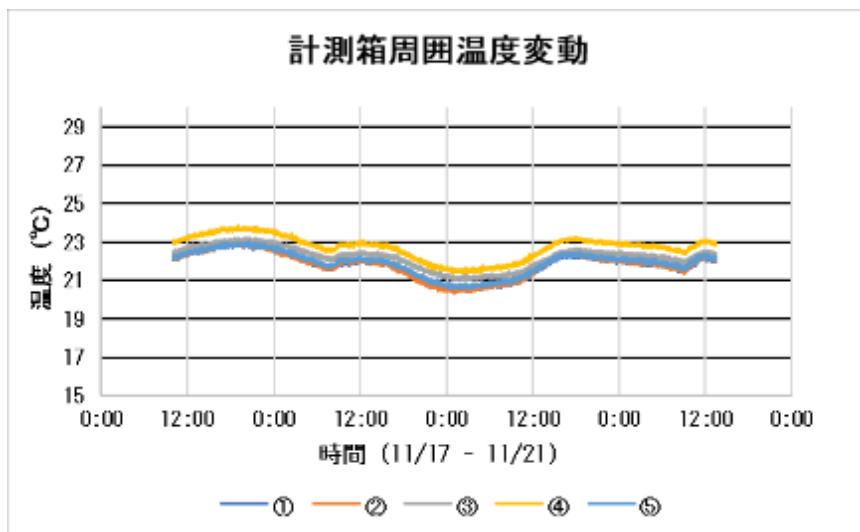
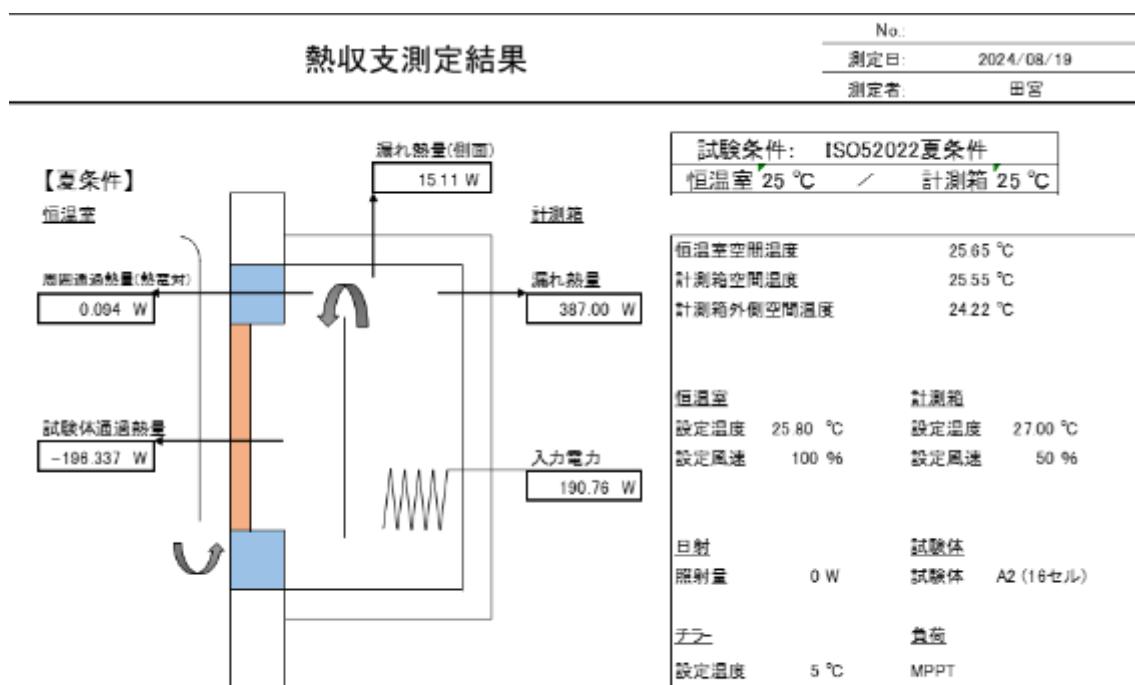


図 5-20 計測箱周囲温度の変動(3 日間)

表 5-4 計測箱の周辺温度(3 日間)

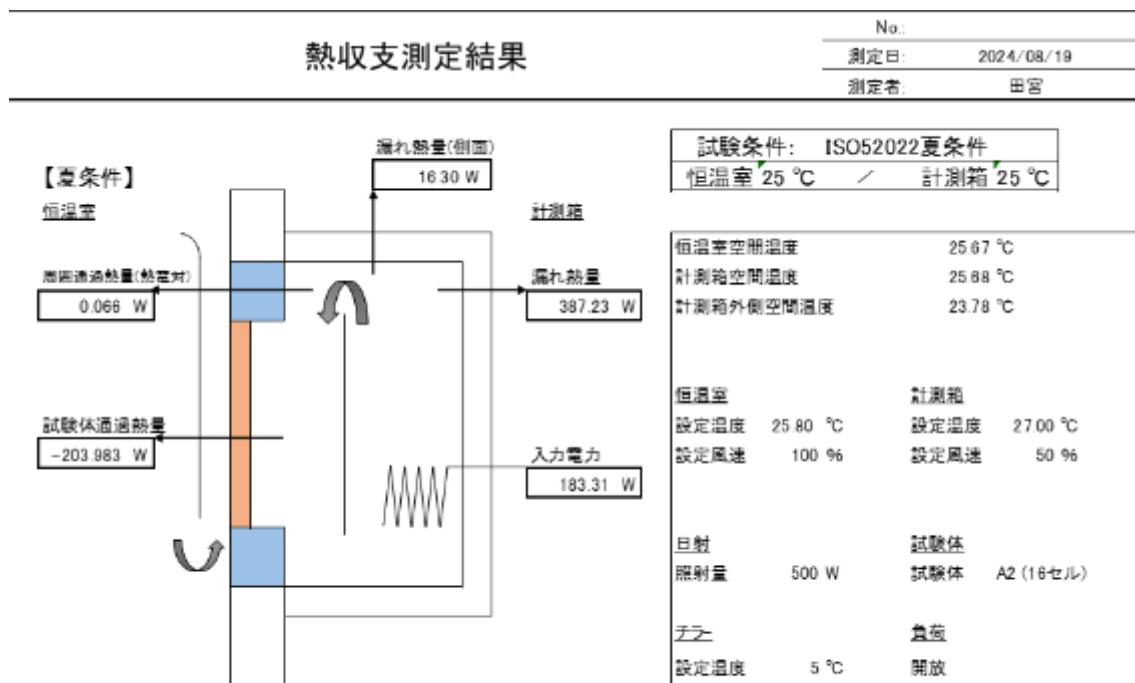
	計測箱周辺温度(°C)				
	①	②	③	⑤	⑥
平均	21.81	21.83	22.22	22.73	21.92
最高	22.97	22.98	23.21	23.85	23.00
最低	20.39	20.37	21.00	21.40	20.56
最高－最低	2.58	2.61	2.21	2.45	2.44

図 5-20 及び表 5-4 に示す通り、一定制御状態での 3 日間の周囲温度 5 点の再現性は 3 °C 以内である。実際の日射熱取得率の測定に要する時間は約 2 時間であり、測定中の 5 点の温度は 1 °C の範囲に収めることができた。この状態で評価したダーク状態での熱収支を図 5-21 に、夏条件である 500 W/m² の光照射を行った状態での熱収支を図 5-22 に示す。どちらの場合でも熱収支の矛盾は無視できる結果となった。



漏れ熱量側面(-) + 周面通過熱量 + 試験体通過熱量 + 入力電力 = 漏れ熱量
 $(-15.11 + 0.094 + 196.337 + 190.76 = 372.081) \approx 387.00$

図 5-21 熱収支の測定結果(光照射無:ダーク)



漏れ熱量側面(-) + 周面通過熱量 + 試験体通過熱量 + 入力電力 = 漏れ熱量
 $(-16.3 + 0.066 + 203.983 + 183.31 = 371.059) \approx 387.23$

図 5-22 熱収支の測定結果(光照射有:夏条件 500 W/m²)

5.2 BIPV の日射熱取得率評価の高精度化に向けた推奨事項

5.2.1 引用されるべき規格について (JIS A 1943 の 4.1 項)

5.2.1.1 ソーラシミュレータ

引用している JIS C 8904-9⁵⁻¹⁾は、廃止された。従って、対応国際規格である IEC 60904-9 Ed3.0⁵⁻²⁾を引用することが望ましい。

5.2.1.2 基準太陽光

ISO 9845-1⁵⁻³⁾は ASTM E 891-92⁵⁻⁴⁾及び ASTM E 892-92⁵⁻⁵⁾に基づき 1992 年に制定されたもので、ISO 9050⁵⁻⁶⁾及び ISO 9050 に基づいて制定された JIS R 3106:2019⁵⁻⁷⁾でも引用されている。ISO 9845-1 に基づいて制定された JIS R 3106 の表 4 に日射透過率、日射反射率及び日射吸収率を計算するための重価係数を規定して日射熱取得率の算定に用いられているが、ISO 9845-1 と JIS R 3106 とでは、日射波長域の規定と累積放射照度が異なっている。ちなみに JIS K 5602⁵⁻⁸⁾における重価係数も ISO 9845-1 に拠り、日射波長域の規定は JIS R 3106 と同じであるが、異なる累積放射照度で規定されている。

一方、基準太陽光の分光放射照度を規定する ASTM 並びに IEC 規格は 1992 年以降、観測結果に基づく太陽光の生成モデル、大気パラメータの更新、波長刻、累積放射照度、波長範囲の変更などにより、数度の改正がなされている。

関連規格の引用する基準太陽光は、最新の IEC 60904-3 Ed.4⁵⁻⁹⁾に置き換えていくことが望ましい。なお、IEC 60904-3 のベースである ASTM G 173-03 は 2023 年に改正されて ASTM G173-23⁵⁻¹⁰⁾が発行した。これに伴い、ASTM G 173-23 と整合化する方向で 2027 年に向けて IEC 60904-3 の改正 (Ed5.0) が行われる予定である。

5.2.1.3 放射強度計

全天日射計と明記することが望ましい。全天日射計の国際規格である ISO 9060:2018⁵⁻¹¹⁾ “Solar energy — Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation”.を引用することが望ましい。ISO 9060:2018 では、ISO 9060:1990 から大な変更と改善がなされている。

5.2.2 装置等に対する推奨について

5.2.2.1 ソーラシミュレータ (JIS A 1493 6 項)

- a) JIS C 8904-9/IEC 60904-9 でソーラシミュレータのスペクトル合致度を判定するための基準太陽光は IEC 60904-3 である。JIS A 1493⁵⁻¹²⁾の表 3 の 200nm～2,500nm の波長範囲での総照射日射の割合は、ISO 9845-1 ではなく IEC 60904-3 によることが望ましい。
- b) 照射日射の場所むらは、5%以内よりも±5%以内が正確で誤解を生じない(計算式と矛盾しない)
- c) 照射日射の時間変動率は、Long-term instability (LTI)である。これも±5 %以内とする方が正確で誤解を生じない。Short-term instability (STI)についての規定はないが、照射日射の場所むらを測定する場合や放射強度の設定の再現性、を考慮すると、STI は±2 %以内の時間変動

率であることが望ましい。STI と LTI は、BIPV の MPPT に影響を与える。

d)照射日射の最大入射角の規定 10° 以内と規定しているが、発散角なのか、コリメーションアンダル及びデグリネーションアングルの合計なのか、デグリネーションアングルなのか定義が明確でないことと、特定装置の仕様が採用されていて実現性に乏しいこと、a)～c)に比べて試験結果への影響度は極めて小さいことから、IEC 60904-9 Ed3.0 で規定する 15° 以内とすれば、キセノンランプを採用したソーラシミュレータの普及を阻害しないと考えられる。

5.2.2.2 校正板について(JIS A 1493 6.6 項)

校正板は、試験する試験体の断熱性に応じて用意されるものとし、試験体とほぼ同様な大きさとすることが規定されている。しかし、サッシ関係でも同等サイズの校正板を校正することはできないため、測定対象と同一ロットの材料から校正可能な小サイズ校正板を製作し、その校正値を測定対象と同等サイズの校正板(校正されていない)に適用する運用がなされている。国内の事情に合わせ、JIS A 4706:2021⁵⁻¹³⁾に規定するサッシと同等の熱抵抗を持つ校正板(単板、複合板)の例示が JIS A 4710:2015⁵⁻¹⁴⁾ 附属書 C に示されている。測定対象の熱貫流抵抗が必ずしも規格の校正板と同じとは限らないので、例えば厚さ 10mm のアクリル樹脂で校正板を製作して校正して使用するなどの運用もなされているようである。国内では、建材試験センター 中央研究所が、熱伝導率に関する国際 MRA 対応 JCSS 認定事業者であり、JIS A 1412-1:2016⁵⁻¹⁵⁾の試験体 1 枚方式の均質材料(断熱材単体)を国家計量標準にトレーサブルな校正を保護熱板法(GMP 法)で実施している。測定温度条件の認定範囲は:平均温度 10 °C～40 °Cである。また、類似校正として、ガラスを積層した校正板(複合板)や上述の厚さ 10mm のアクリル樹脂で作製した校正板(単板)の校正証明書(JCSS 認定範囲外)も発行可能である。

5.2.2.3 温度及び照射日射の測定位置(JIS A 1943 6.7 項)

b)入射放射強度を測定する「放射強度計」の定義及びそれに対する要求事項が規定されていない。この放射強度計は全天日射計を用いるべきであり、ISO 9060:2018⁵⁻¹¹⁾ “Solar energy – Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation”で規定されている Spectrally Flat Class A(旧 Secondary standard)の全天日射計を選択し、気象庁検定等により WRR スケールにトレーサブルな校正を行うことが望ましい。また、年単位での定期的な再校正が推奨される。なお、全天日射計で入射放射強度を測定する際は、全天日射計のフードを取り外して測定すると光学的特性が校正条件と異なる事、又、ボディ温度の上昇を引き起こして計測結果に影響を及ぼすため、行ってはいけない。

5.2.2.4 热計測箱(JIS A 1943 6.4 項:2014 年版では 5.4 項)

1) 热流計の日射吸収率について

JIS A 1943:2014 5.4)では、計測箱内部の表面に貼付する熱流計について日射吸収率 0.90 以上及び艶消し仕上げであることが規定されていた。改正版の JIS A 1943:2021 では ISO 19467⁵⁻¹⁶⁾との整合性から、「熱流計などの適切な熱流評価試験装置を用いる」として熱流計の性能規定が削除されている。一方、NRFC 201⁵⁻¹⁷⁾では日射吸収率が 0.94 以上および放射率が 0.90 以上という規定がある。国内で日射吸収率をデータシートに記述している製品は無い。そこで、国内の

代表的な熱流計について日射吸収率を評価した結果、英弘精機の HS-30S(300 mm × 300 mm)では、0.954 江藤電気の L33-A(300 mm × 300 mm)では 0.948、株式会社プリードの PHL-100(83 mm × 30 mm)では 0.966、英弘精機の MS-180(42 mm × 20mm)では 0.934、江藤電気の M55A(50 mm × 50 mm)では 0.948 となった。近赤外から赤外に高い反射率を持つ英弘精機の MS-180 を除くと、平坦な分光反射率を有している。基準太陽光への合致度が高くない光源を使用する場合は、日射吸収率の分光反射率の平坦性も考慮して熱流計を選択することが望ましい。日射吸収率の有効桁を小数点以下2桁とすれば、1枚当たりの面積が実用的な英弘精機の HS-30S と江藤電気の L33-A は NFRC 201:2023 の要求も満足しているといえる。(2024 年 8 月までに江藤電気の L33-A は製造中止されている)。提供される感度定数には、校正の不確かさが記載されていない。

2) 热流計の結線方法

JIS A 1493/ISO 19467 では、熱流計の結線方法の規定はない。熱流計には、1枚、1枚、固有の感度定数が GHP 法で校正されているが、データロガーのチャンネル数など設備上の制限から、熱流計を直列接続して感度定数の平均値と熱流計の総出力電圧から熱流束密度を算出する方法が慣習的に行われてきたが、感度定数にバラツキがある場合に適用することの妥当性は検証されていない。全ての熱流計を並列接続して個別の感度定数と個別の出力から熱流束密度を測定することが正確であり、熱流計の破損や感度定数の再校正を行うといった運用面からも望ましい。

3) 热計測箱の断熱性・気密性について

熱計測箱の熱的性能としての断熱性と気密性について JIS A 1493/ISO 19467 では触れられていないが、例えば、JIS A 4702:2015⁵⁻¹⁸⁾「ドアセット」/JIS 4706:2000⁵⁻¹³⁾「サッシ」の断熱等級や JIS A 2201:2017⁵⁻¹⁹⁾「送風機による住宅等の気密性試験方法」に準拠して差圧計:MT-210(横河電機製)と FAN:EC-04S-R1A3(昭和電機製)を使用し、熱計測箱内を段階的に変圧させて得られる相当隙間面積(C 値)は、熱収支の矛盾がある場合の気密性の影響評価に使用できる。

4) 計測のリニアリティ評価について

JIS A 1493/ISO 16947 に規定は無いが、セル占有率の異なる \neq GTD(幾何学的透明度)の異なる3種類以上のモジュールの日射熱取得率を測定し、GTD との関係をリニアフィットして決定係数を算出することにより、試験装置における日射熱取得率の計測のリニアリティが評価できる。

5) その他

基準太陽光の生成モデルと歴史的な変遷については、Y. Xue, S. Igari: " Reference Solar Spectra and Their Generation Models " ⁵⁻²⁰⁾ に詳述されているので参照されることを推奨する。

引用文献

- 5-1) JIS C 8904-9:2017, 太陽電池デバイス—第9部:ソーラシミュレータの性能要求事項 (2023 年廃止)
- 5-2) IEC 60904-9 Ed3.0:2020 Photovoltaic devices – Part 9: Classification of solar simulator characteristics Part 1: Direct normal and hemispherical solar irradiance for air mass 1,5

5-3) ISO 9845-1:Ed.2.0: 2022 Solar energy – Reference solar spectral irradiance at the ground at different receiving conditions (ISO 9845-1:Ed.2.0 1993 は廃止)

5-4) ASTM E 891-91 Tables for Terrestrial Direct Normal Solar Spectral Irradiance Tables for Air Mass 1.5 (Withdrawn 1999) 廃止

5-5) ASTM E 892-92 Tables for Terrestrial Solar Spectral Irradiance at Air Mass 1.5 for a 37-Deg Tilted Surface (Withdrawn 1999) 廃止

5-6) ISO 9050:2003 Glass in building – Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors (2023 年確認)

5-7) JIS R 3106:2019 板ガラスの透過率・反射率・放射率の試験方法及び建築用板ガラスの日射熱取得率の算定方法

5-8) JIS K 5602:2008 塗膜の日射反射率の求め方

5-9) IEC 60904-3:2019 Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data (2026 年まで有効)

5-10) ASTM G 173-23 Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface

5-11) ISO 9060:2018, Solar energy – Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation (2024 年確認)

5-12) JIS A 1493:2021 窓及びドアの熱性能—ソーラシミュレータを用いた日射熱取得率の測定

5-13) JIS A 4706:2021 サッシ（対応国際規格無し）

5-14) JIS A 4710:2015 建具の断熱性試験方法 対応国際規格 ISO 12567-1:2010 , Thermal performance of windows and doors — Determination of thermal transmittance by the hot-box method—Part 1: Complete windows and doors (MOD)

5-15) JIS A 1412-1:2016, 热絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法—第 1 部: 保護熱板法 (GHP 法) (対応国際規格 ISO 8302:1991)

5-16) ISO 19467:2017(2022 確認) Thermal performance of windows and doors — Determination of solar heat gain coefficient using solar simulator

5-17) NFRC 201:2023 (Procedure for Interim Standard Test Method for Measuring the Solar Heat Gain Coefficient of Fenestration Systems Using Calorimetry Hot Box Methods)

5-18) JIS A 4702:2021 ドアセット（対応国際規格無し）

5-19) JIS A 2201:2017 送風機による住宅等の気密性能試験方法 (2022 年確認) 対応国際規格 ISO 9972:2015 Thermal performance of buildings -- Determination of air permeability of buildings -- Fan pressurization method (MOD)

5-20) Y. Xue, S. Igari: Reference Solar Spectra and Their Generation Models, Journal of Science and Technology in Lighting, 2023 Volume 46 Pages 6-18

<https://doi.org/10.2150/jstl.IEIJ22000657>

附属書A

日射熱取得率評価用ソーラシミュレータの光学系設計に関するケーススタディ

主要機関(独、仏、シンガポール、日本)が設備する多灯メタルハライドランプ、1灯(大型)メタルハライドランプ、2灯キセノン(ショートアーク)ランプの3種の光源で光学系を構成した場合の放射照度、均一性、コリメーション角、デグリネーション角、最大入射角のシミュレーションを行った。解析の結果、何れの場合も最適設計で規格の要求事項を満足するが、基準太陽光への近似度や長時間安定性をも加味すると、比較的低コストである2灯キセノン(ショートアーク)ランプ式が総合的に最も高精度となる。

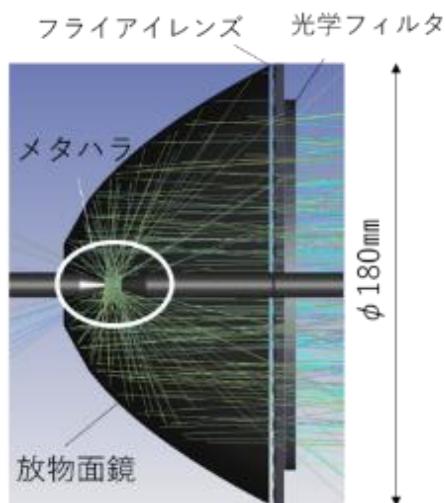
【目的】

日射熱取得率試験で用いられるソーラシミュレータは、大別して3種類の構成である。これらのソーラシミュレータで規定距離・規定照度を実現する場合のコリメーション角、デクリネーション角、最大入射角、均一性のシミュレーションに基づく規格適合度の確認が本附属書の目的である。

1. メタルハライドランプ(以下、メタハラ)多灯(9灯)光学系

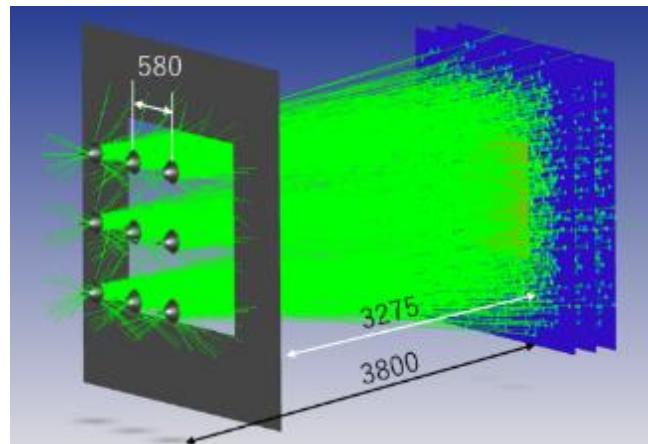
1-1. 構成とレイアウト

ドイツのISEやフランスCSTBの採用しているソーラシミュレータの構成に準拠している。ショートアークメタルハライドランプ1kW(OsramHQI-TS-1000W D/S/Pro)の電極が光軸方向に沿うように放物面鏡の焦点位置に配置し、その前にフライアイレンズ等で構成される投影光学系とスペクトル補正用の光学フィルタ(LA20)を配置する構成の光学系である(図A-1-1)。放物面鏡は $\phi 180\text{mm}$ を使用しているが、光学系の有効径は $\phi 150\text{mm}$ である。



図A-1-1 メタルハライドランプを用いた光学系の基本構成

この光学系を9灯並列させ、照射面上の1m□で均一な照度分布を得る。配列方法は、図A-1-1-2に示すように3×3の9灯並列で、間隔は580mmとした。この配列間隔は、照射面で要求される照度に応じて調整する必要がある。



図A-1-2 1kW メタルハライドランプ9灯構成の光学系レイアウト

1-2.推定される放射照度と照度分布

光学系の反射率、透過率およびフィルター(LA20)の透過率を考慮すると、照射面での放射照度は、 677W/m^2 と計算される。1m□を64分割した1領域125mm□単位の放射照度を積算した放照度分布を図A-1-3に示す。光源は $\phi 320\text{mm}$ の面発光光源で、片面がフライアイレンズで、反対面が凸球面のレンズを手前に配置していると仮定した。

	1	2	3	4	5	6	7	8	補正前 放射照度(W/cm ²)
1	0.116	0.117	0.117	0.117	0.117	0.116	0.117	0.115	平均 0.117
2	0.117	0.115	0.116	0.118	0.118	0.116	0.115	0.117	Max 0.120
3	0.117	0.116	0.117	0.119	0.119	0.117	0.116	0.117	Min 0.115
4	0.117	0.118	0.119	0.120	0.120	0.119	0.118	0.117	均一性 2.1%
5	0.117	0.118	0.119	0.120	0.120	0.119	0.118	0.117	
6	0.117	0.117	0.117	0.119	0.119	0.117	0.116	0.117	
7	0.117	0.115	0.116	0.118	0.118	0.116	0.115	0.117	
8	0.115	0.117	0.117	0.117	0.117	0.116	0.117	0.115	

図A-1-3 1kW メタルハライドランプ9灯構成の光学系による照度分布と均一性

なお、図 A-1-1-3 で示した放射照度は、投影光学系とスペクトル補正用の光学フィルタ(LA20)光学系の透過率を考慮する前の放射照度である。ここで、均一性は分布内の最大値(Max)と最小値(Min)から $(Max-Min)/(Max+Min)$ で算出される。透過率の波長依存性は無視した。なお、モンテカルロシミュレーションに使用した光線本数は約 2800 万本である。各領域に到達する本数がポアソン分布になると仮定して光線本数の標準偏差を σ 、各領域の平均本数を μ とすると、均一性のシミュレーション誤差は $\sigma/\mu = 1/\sqrt{\mu}$ (ポアソン分布)で与えられる。つまり、この光学系での均一性は $\pm 2.1\%$ で、シミュレーション誤差は $1/\sqrt{(28000000/64)} = 0.0015 = 0.15\%$ となるため、実際の均一性は、 $\pm 1.85\% \sim \pm 2.25\%$ の範囲内となることが推定される。

1-3. 照射面での角度分布

照射面の中心と 1m□の隅部 1 箇所(500,500)の位置の 2カ所における照射面に入射する光線の角度分布を図 A-1-4 に示す。

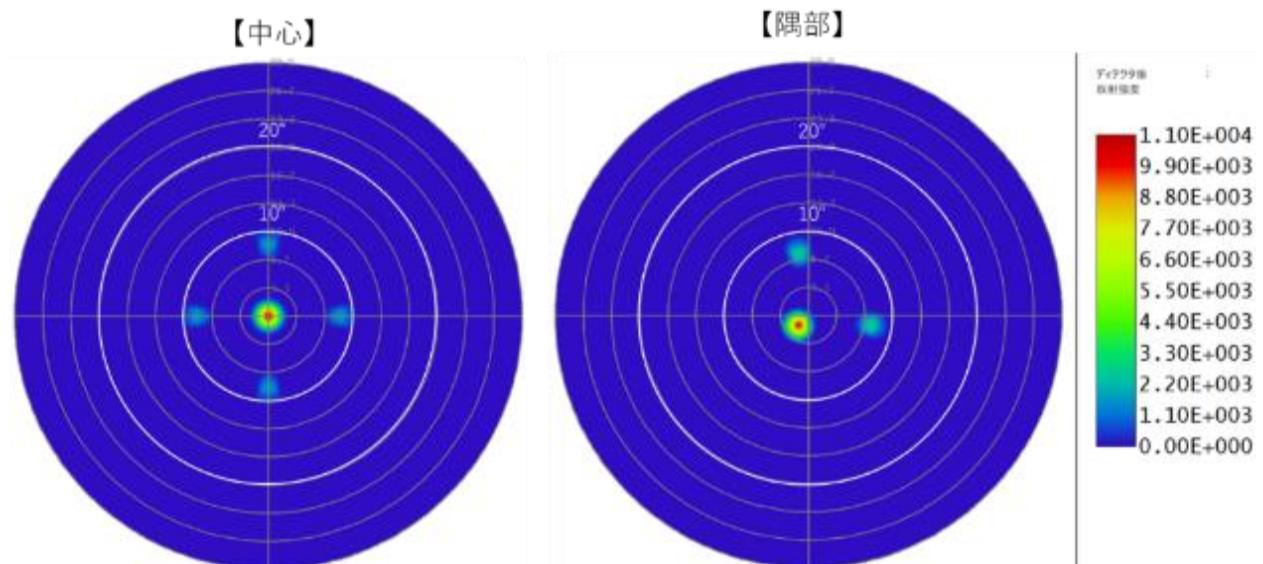


図 A-1-4 1kW メタルハライドランプ 9 灯構成の光学系による照射面への光線の角度分布

この図から、コリメーション角は 10° 以内、デクリネーション角は 3 つの光源の重心と考えると 3.3° 以内と推定され、最大入射角は両者の合計である 13.3° 以内となると推定される。

2. 大型メタルハライドランプ1灯光光学系

2-1 構成とレイアウト

シンガポール SERIS の日射熱取得率評価試験装置のソーラシミュレータ光源として採用されているもので、ARRI 社製メタルハライドランプ 18 kW 「ARRIMAX18」という製品である。現在は入手が困難である。



図 A2-1 ARRIMAX18 の外観(ARRIMAX 社カタログより)

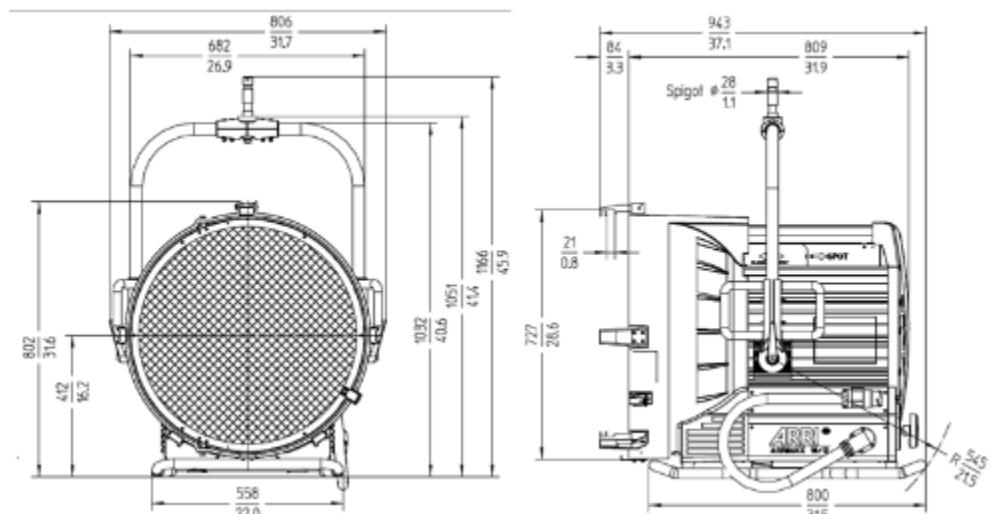


図 A2-2 ARRIMAX18 の構造・寸法(ARRIMAX 社カタログより)

図 A-2-1 で観察されるように、この光源は、表面にマイクロミラーを配置したフレネル型の複合反射鏡を採用しているが、光学データの詳細が不明(非公開)である。そこで、図 A-2-2 の寸法とカタログに記載されている配光角仕様(15° のスポットの場合、15m で $\phi 3.9m$)を参考として光学有効径と配光角はカタログの値とした。さらに、片面がフライアイレンズでその反対面が凸球面レンズである透過光学系を配置して 1 m□を照射する推定用光学系を設計して適用した。レイアウトを図 A-2-3 に示す。光源は $\phi 320$ mm の面発光光源と想定した。

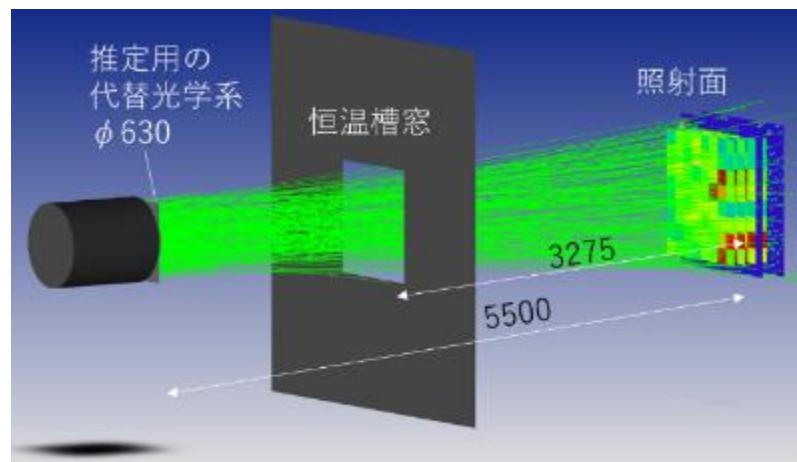


図 A-2-3 推定用光学系のレイアウト

2-2. 推定される放射照度と照度分布

この光学系では、放射照度分布と照射面における角度分布は推定できるが、表面にマイクロミラーを配置したフレネル型の複合反射鏡の詳細な光学特性が不明である。放射照度と均一性や照度は推定できないが、参考として 推定される照度分布を図 A-2-3 に示す。

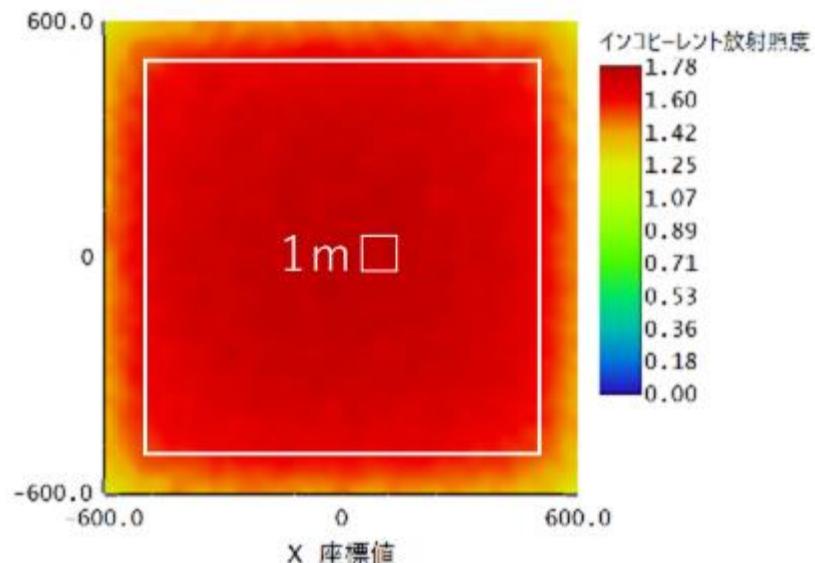


図 A-2-3 照度分布(参考)

2-3. 照射面での角度分布

図 A-2-3 示す構成の光学系による照射面の中心と 1 m□の隅部 1 箇所(500,500)の位置の 2 力所における光線の角度分布を図 A-2-4 に示す。

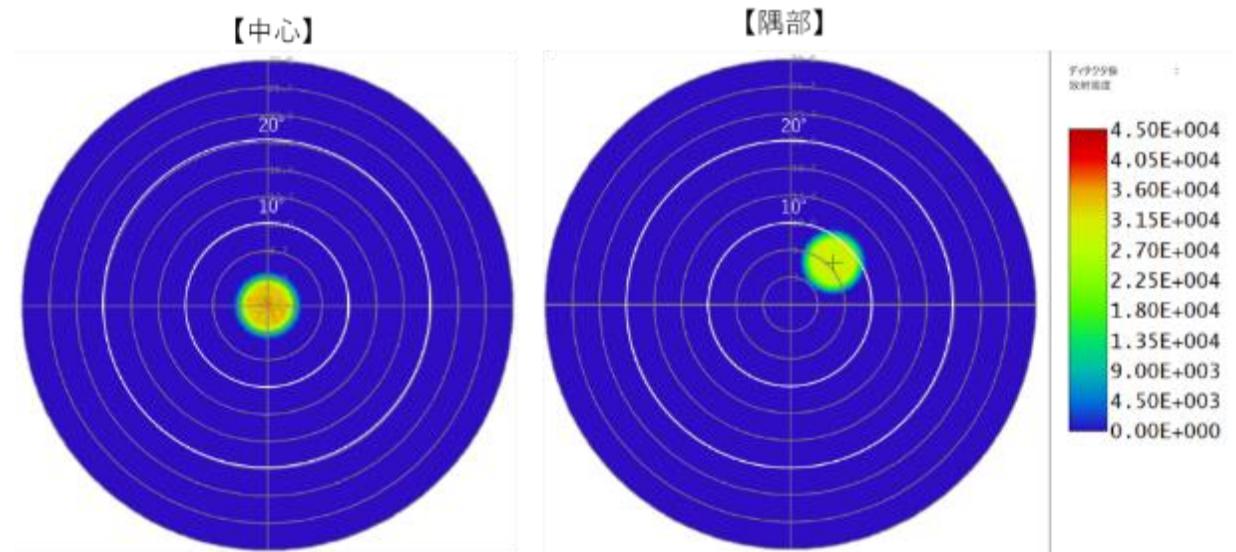


図 A-2-4 大型メタルハライドランプ1灯と複合反射鏡による照射面への光線の角度分布

この図から、コリメーション角は 4° 以内、デクリネーション角は 7.5° 以内と推定され、最大入射角は両者の合計である 11.5° 以内となると推定される。

3. ショートアークキセノンランプ(以下、キセノン)多灯式

3-1. キセノン 5 kW 2 灯合成系

1) 構成とレイアウト

本事業で開発・導入した試験装置のソーラシミュレータである。図 A-3-1 に、光学系の基本構成を示す。これは、太陽電池評価用のソーラシミュレータの基本構成である。5 kW のショートアークキセノンランプの電極先端の発光部を楕円鏡の焦点位置に配置し、反射集光する光を 50 mm のインテグレータに入射させ、 $\phi 400\text{ mm}$ の DK7 で製作された投影レンズで照射面に導光する。光学系は $4,500\text{ mm}$ 離れたところで 1 m を含む領域を照射する。

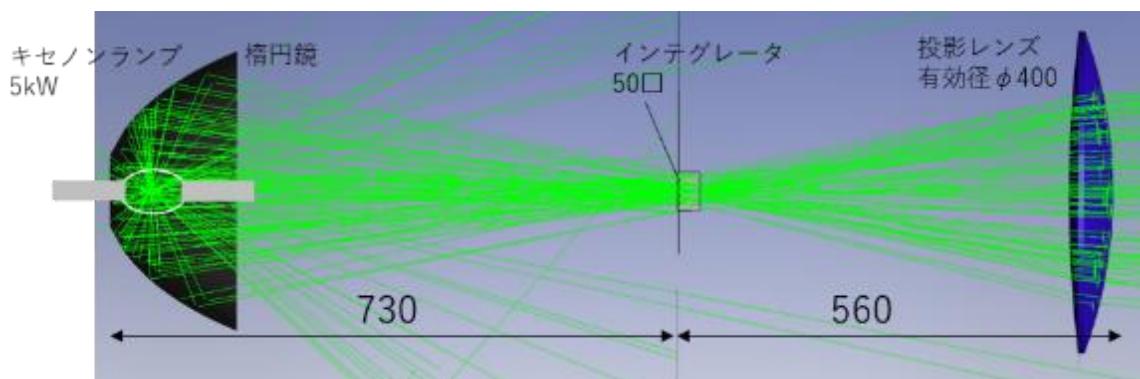


図 A-3-1 ショートアークキセノンランプとインテグレータレンズによる光学系の基本構成

この光学系を、2灯、図 A-3-2 に示すように、照射位置で各光学系の光軸が交わるようにして僅かに水平方向に傾けて配置する。

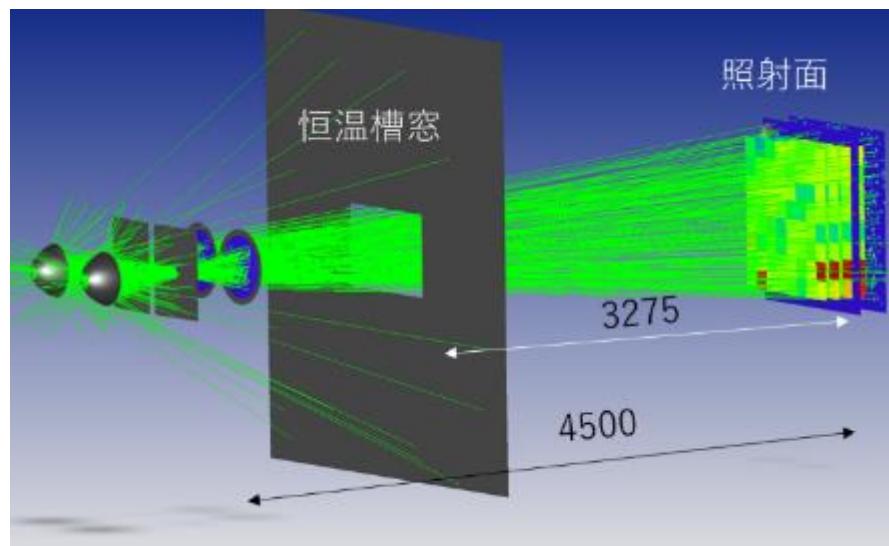


図 A-3-2 5 kW キセノンランプ 2 灯構成の光学系レイアウト

3-2. 推定される放射照度と照度分布

図 A-3-2 に示すレイアウトの光学系で、透過率等を考慮した放射照度の推定値は、ランプ電流を最大とした時の放射照度とスペクトル補正フィルタの透過率による減衰を考慮して 920 W/m^2 という高い放射照度が得られる。メタルハライドランプと比較したキセノンランプの保証寿命は短いが、照射面で 500 W/m^2 を得るにはこの状態でランプ電流を絞って 700 W/m^2 とすれば良く、それによりランプ寿命の延長が可能となる。

照射面での $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 内の放射照度分布を図 A-3-3 に示す。シミュレーションに用いた光線本数は 2200 万本であり、均一性は $\pm 1.4 \text{ \%}$ と推定される。均一性のシミュレーション誤差は 0.17 \% と推定されることから、均一性は、 $\pm 1.23 \text{ \%} \sim \pm 1.61 \text{ \%}$ の範囲内となると推定される。

	1	2	3	4	5	6	7	8	補正前 放射照度(W/cm ²)
1	0.446	0.445	0.443	0.442	0.442	0.442	0.445	0.446	平均 0.440
2	0.445	0.440	0.438	0.439	0.439	0.438	0.441	0.445	Max 0.446
3	0.442	0.439	0.437	0.436	0.435	0.436	0.438	0.442	Min 0.433
4	0.441	0.439	0.436	0.434	0.434	0.436	0.438	0.441	
5	0.442	0.438	0.436	0.433	0.433	0.436	0.438	0.442	均一性 1.4%
6	0.443	0.438	0.437	0.436	0.435	0.437	0.438	0.442	
7	0.445	0.441	0.438	0.439	0.438	0.439	0.441	0.446	
8	0.446	0.446	0.443	0.441	0.441	0.441	0.445	0.446	

図 A-3-3 5kW キセノンランプ 2 灯構成の光学系による照度分布と均一性

3-3.照射面での角度分布

図 A-3-2 に示す構成の光学系による照射面の中心と 1 m□の隅部 1 箇所(500, 500)の位置の 2 力所における光線の角度分布を図 A-3-3 に示す。

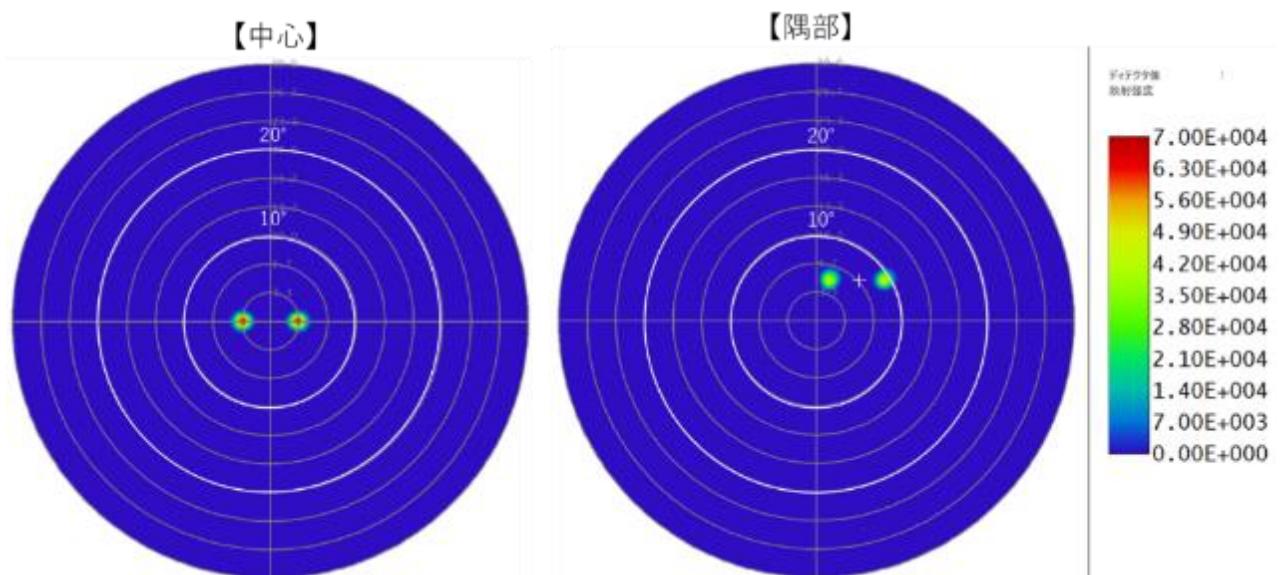


図 A-3-3 キセノンランプ2灯合成系による照射面への光線の角度分布

1灯のみのコリメーション角は 0.85° であるが、2灯合成系では隔たり角も含める必要がある。コリメーション角は 4.2° 以内、デクリネーション角は2灯の重心として 6.7° 以内と推定すると、最大入射角は両者の合計である 10.9° になると推定される。

【まとめ】

JIS A 1493/ISO 19467 における日射熱取得率評価試験装置の光源として要求事項が規定されているソーラシミュレータの光学系について、代表的な試験機関・研究機関で導入されている3通りの光学系をモデルとして放射照度、均一性、コリメーション角、デクリネーション角、最大入射角についてシミュレーションを行い、検討を行った。解析の結果、何れの光学系でも、照射面までの距離が $4\text{ m} \sim 6\text{ m}$ で、恒温槽の入射窓の位置において 700 W/m^2 程度の放射照度が得られる。上記の特性については、設計の最適化によっていずれの光学系も規格に対する適合性は満足することができると考えられる。基準太陽光への合致度、ソーラシミュレータの時間安定性については、本ケーススタディでは対象としていないため、今後、別途、比較検討・検証が必要である。

附属書B

熱流計の規格適合性評価結果(日射透過率、日射反射率、日射吸収率の実測値)の紹介

日射熱取得率の測定法を定めた規格等(JIS、ISO、NFRC)では、熱流計に対する要求特性をそれぞれ規定している。しかし、熱流計メーカーは、重要な特性の一つである「日射吸収率」を公開していない。本附属書では、各種熱流計の特性を実測して規格適合性を示し、一部製品、の特性が規格不適合であること、規格適合していても誤差要因となる因子を記載した。

【目的】

JIS A 1943:2014 5.4)では、計測箱内部の表面に貼付する熱流計について日射吸収率 0.90 以上及び艶消し仕上げであることが規定されていた。改正版の JIS A1943:2021 では ISO 19467 との整合性から、「熱流計などの適切な熱流評価試験装置を用いる」として性能規定が削除されている。一方、NFRC 201:2023 では日射吸収率 0.94 以上で放射率 0.90 以上と規定されている。日射吸収率をデータシートに記述している製品は無いため、国産の代表的な熱流計の日射透過率、日射反射率、日射吸収率を実測評価した結果して参考に供することが本附属書の目的である。

B-1 英弘精機製 HS-30S 300 mm × 300 mm

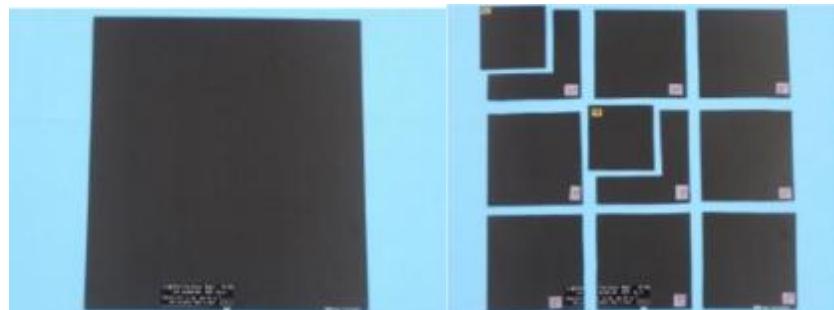


図-B-1-1 HS-30S 300 mm × 300 mm:英弘精機製

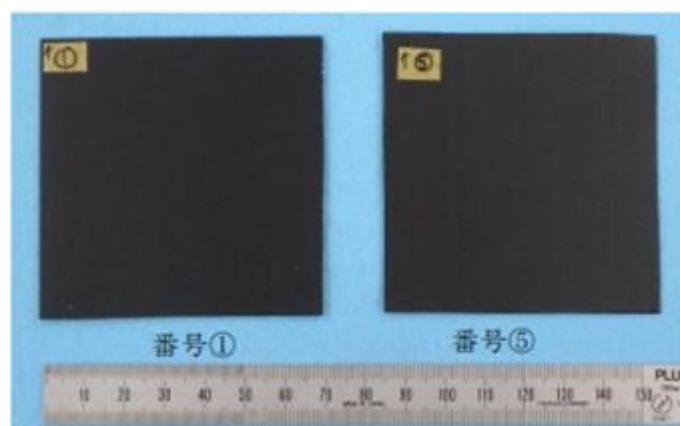


図 B-1-2 9分割して中心と隅部から抽出した評価用の試料片

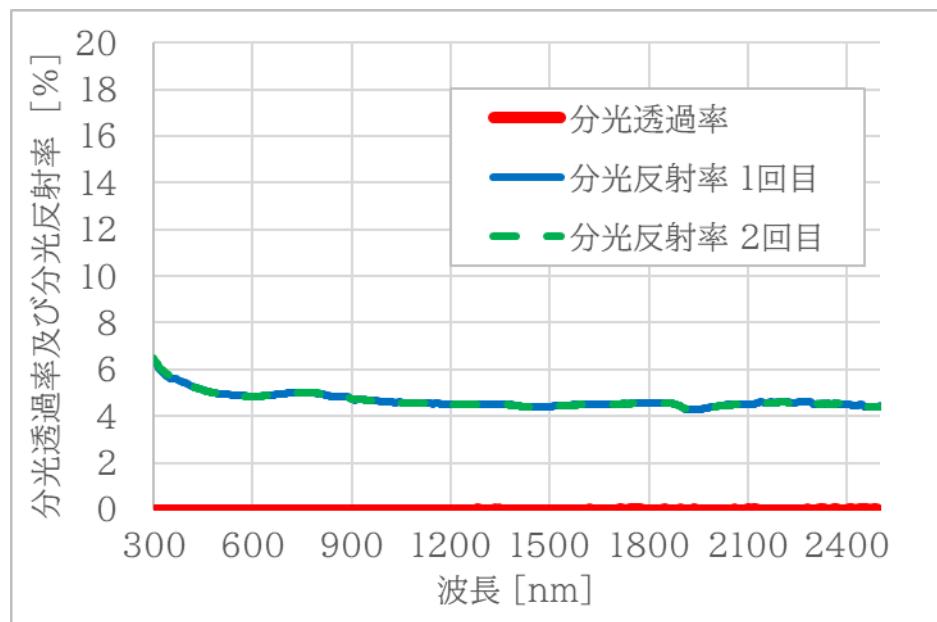


図 B-1-3 隅部の分光透過率と分光反射率特性

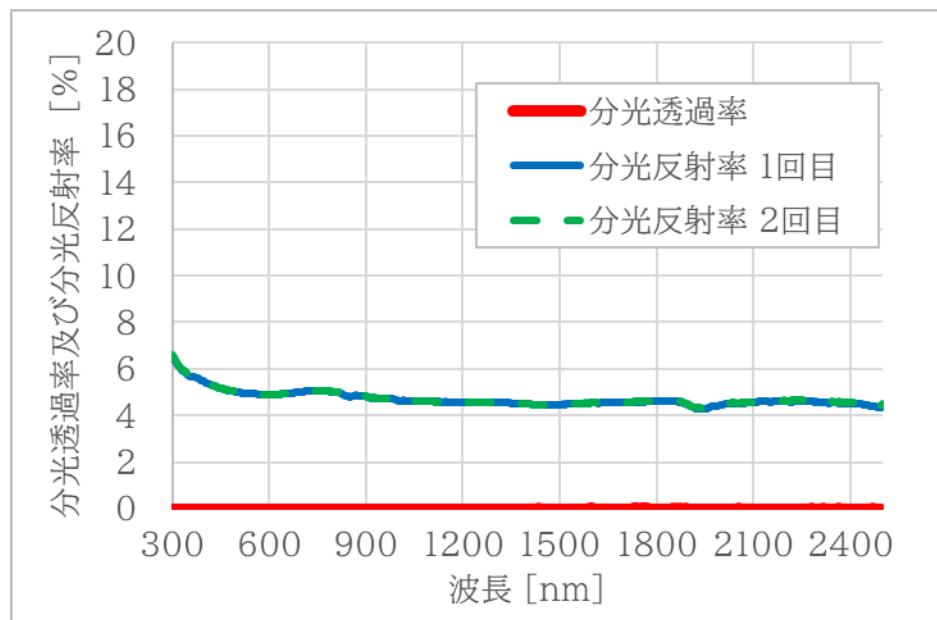


図 B-1-4 中心部の分光透過率と分光反射率

B-2 江藤電気製 L33A 300 mm × 300 mm



図-B-2-1 L33 300 mm × 300 mm: 江藤電気製

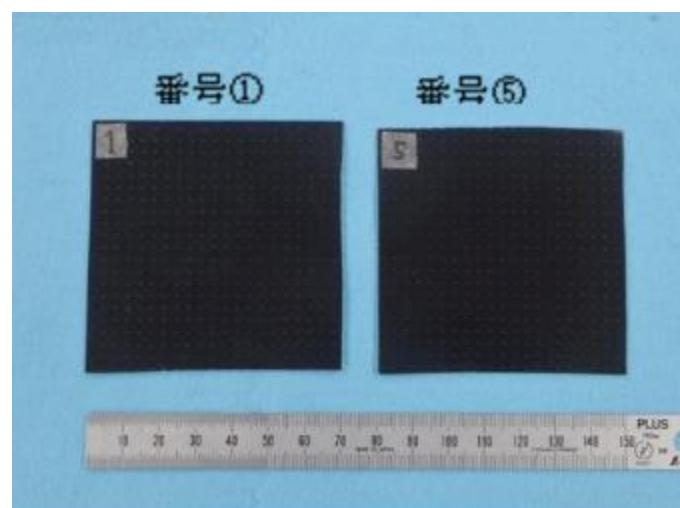


図 B-2-2 9分割して中心と隅部から抽出した評価用の試料片

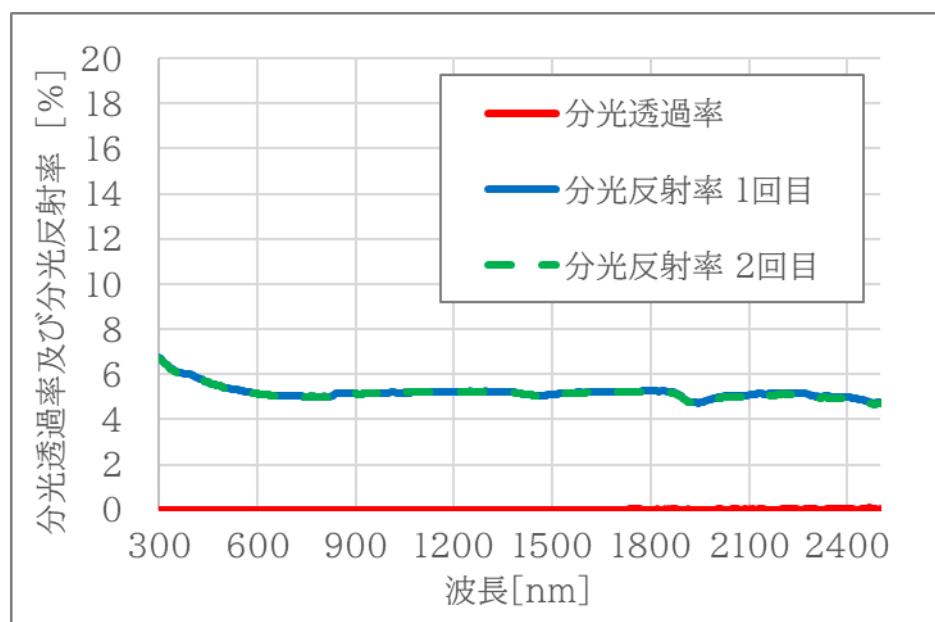


図 B-2-3 隅部の分光透過率と分光反射率特性

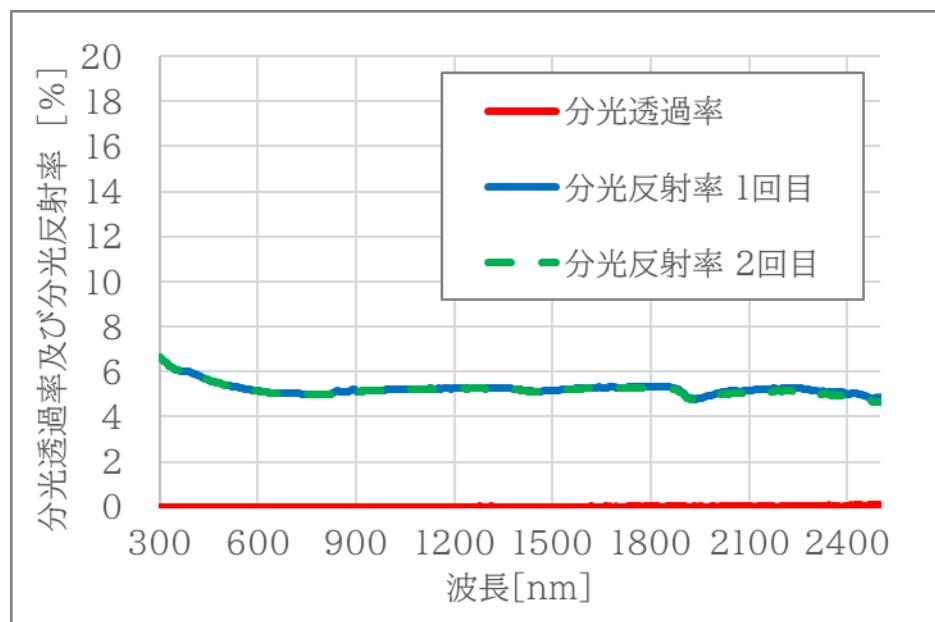


図 B-2-4 中心部の分光透過率と分光反射率

B-3 英引精機製 MF-180 42mm × 20mm



図 B-3-1 MF-180 4 2mm × 20 mm: 英弘精機製

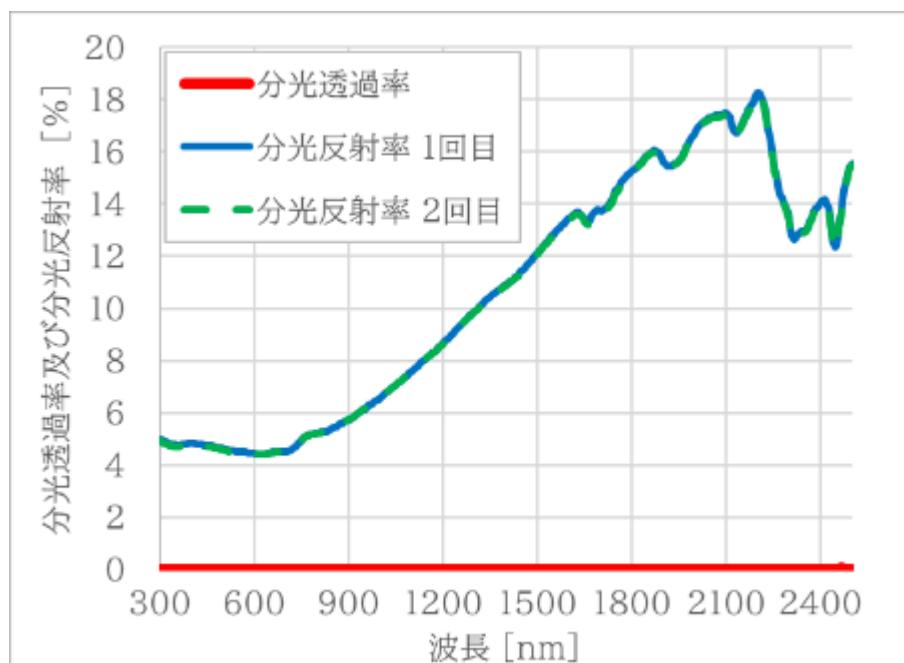


図 B-3-2 MF-180 の分光透過率と分光反射率

B-4 江藤電気製 M55A 50 mm × 5 0mm

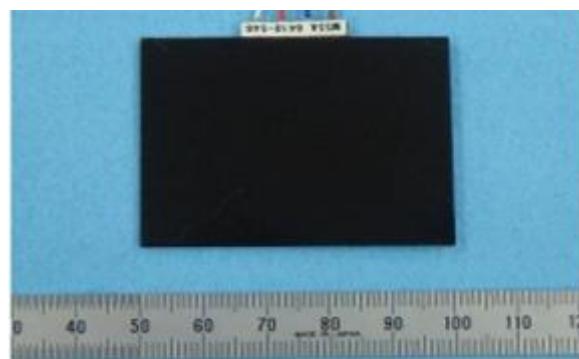


図 B-4-1 M55A 50mm × 50mm : 江藤電気製

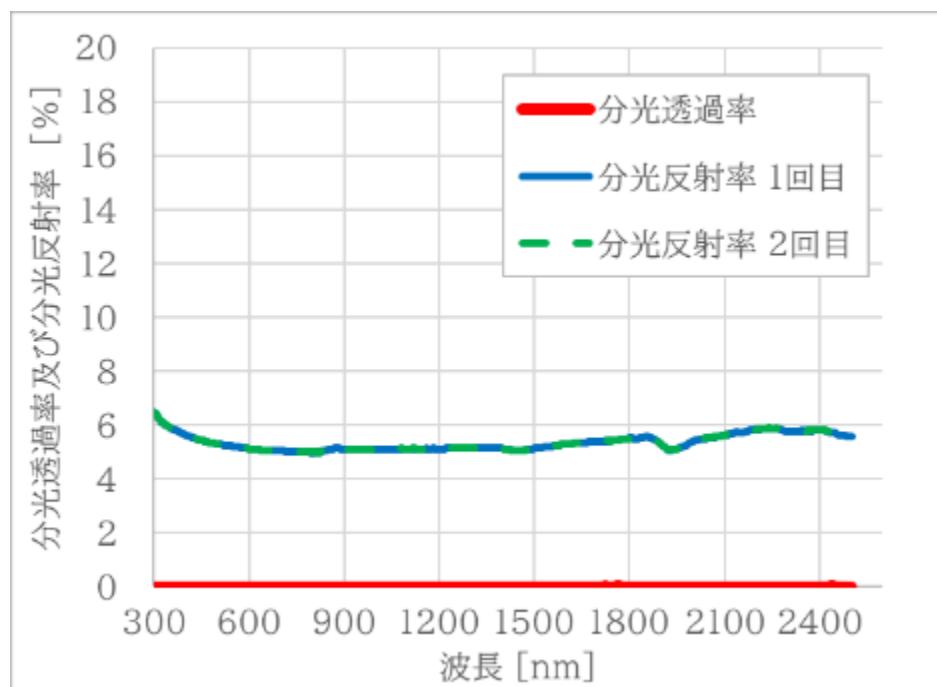


図 B-4-2 M55A の分光透過率と分光反射率

B-5 プリード製 PHF-100L 83 mm × 30 mm 被覆材: ブラックシリコン



図 B-5-1 PHF-100L 83 mm × 30 mm 江藤電気製

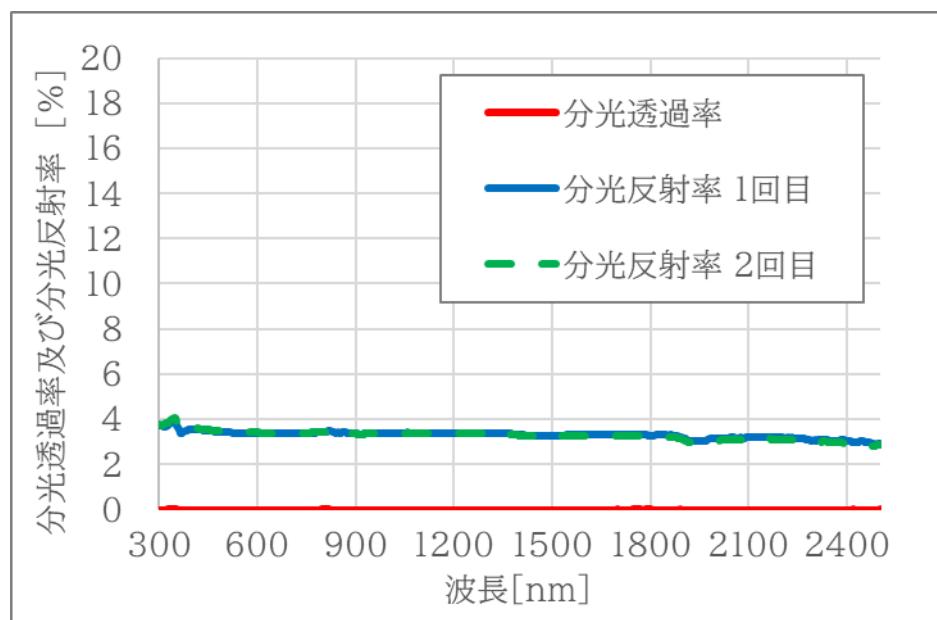


図 B-5-2 PHF-100L の分光透過率と分光反射率

表 B-1 熱流計の日射透過率、日射反射率、日射吸収率(大型)

試験片名		日射 透過率 (%)	日射反射率 (%)			日射 吸収率 (%)
			1回目	2回目	3回目	
HF-30S	番号①	0.0	4.8	4.8	4.8	95.2
	番号②	0.0	4.9	4.9	4.9	95.1
L33A	番号①	0.0	5.2	5.2	5.2	94.8
	番号⑤	0.0	5.2	5.2	5.2	94.8

表 B-2 熱流計の日射透過率、日射反射率、日射吸収率(小型)

試験片名	日射 透過率 (%)	日射反射率 (%)			日射 吸収率 (%)
		1回目	2回目	平均	
MF-180	0.0	6.6	6.6	6.6	93.4
M55	0.0	5.2	5.2	5.2	94.8
PHL-100F	0.0	3.4	3.4	3.4	96.6

【まとめ】

国産5モデル全ての熱流センサが、ISO/JIS の要求性能とされていた 90%以上の日射吸収率を持っていることが実測で確認できた HF-30S と PHL-100F は、NRFC の要求する日射吸収率 95%も満たしている。国産5モデルでは、殆どが比較的フラットな分光反射率を持つが、MF-180 のように、近赤～赤外に高い反射率を持つモデルもあるため、注意する必要がある。300 mm × 300 mm の熱流センサ2モデルの日射吸収率には面内で有意な場所ムラが無かった。また、メーカーの提供する感度定数には、校正の不確かさが記載されていない。この情報は、日射熱取得率の不確かさを評価する上で必要不可欠であるため、メーカーにおいては今後の改善事項として取り組んでいただきたい。

附属書C

太陽電池のIV測定とMPPT制御に及ぼす光源の分光放射照度及び点灯方式の影響

BIPV の日射熱取得率は、BIPV の発電状態によって異なり、出力端開放で最大となり、最大電力点で最小となる。雲やの部分陰の影響下で最大電力を得るために、実使用状態でBIPVを最大電力点制御(MPPT)することが行われている。従って、BIPV の日射熱取得率は MPPT 制御した状態で測定したデータから計算することが求められるが、固有の感度帯域を持つ BIPV においては、測定する光源のスペクトル合致度、点灯条件(直流、交流、PWM 制御)により最大電力点(MPP)は一致しない。本附属書では、これらの違いを最小化するための条件を検証するとともに、本事業で開発した日射熱取得率評価試験装置が最も優れた性能を有していることを示す。

【目的】

BIPV の日射熱取得率評価用光源として使用が想定される点灯方式の異なるメタルハライドランプ3種類及び本事業での開発装置で採用した光源と近似のソーラシミュレータ(ショートアークキセノンランプ、直流点灯・定照度制御)の基準太陽光に対する合致度、全天日射計で同一の放射照度に調節した際の基準太陽光換算照度、IV 测定における積分時間の影響と MPPT を行った際の P_{max} の変動を比較検証することが目的である。

【実験に用いた光源】

- ① 岩崎電気 MT400LSH/BH+H4C2A352: 交流点灯式メタルハライドランプ(50 Hz 正弦波)
ランプ定格: 400 W(入力 200 V) 品名:FEC マルチハイエース + 安定器
- ② ハタヤリミテッド MLV-405K5: 交流点灯式メタルハライドランプ(50 Hz 正弦波)
ランプ定格: 400 W(入力 100 V) 品名:400W 型メタルハライド
- ③ 日動工業 MHN-150MS-S: PWM 信号制御方式メタルハライドランプ(高周波数 矩形波)
ランプ定格: 150 W(入力 100 V) 品名:クイックリーメタハラ
- ④ 山下電装製 YSS-180S-1K: 直流点灯・定照度制御ソーラシミュレータ(キセノンランプ)
ランプ定格: 1200 W(入力 200V) 品名:太陽電池セル評価用ソーラシミュレータ

C-1 分光放射照度の基準太陽光に対する合致度

校正された全天日射計(KIPP & ZONEN社 CMP-3)で各光源の放射照度を $1,000 \text{ W/m}^2$ に調節した状態での分光放射照度をグレーティングモノクロメータ方式の分光放射計(プリード製 MSR-7000)で測定し、IEC 60904-3 基準太陽光との比較を行った結果を図 C-1-1～図 C-1-4 に示し、基準太陽光下での短絡電流が産総研で校正されている結晶シリコン系の基準太陽電池セルの短絡電流を測定し、校正值との比較によって換算した放射照度を表 C-1 に示す。

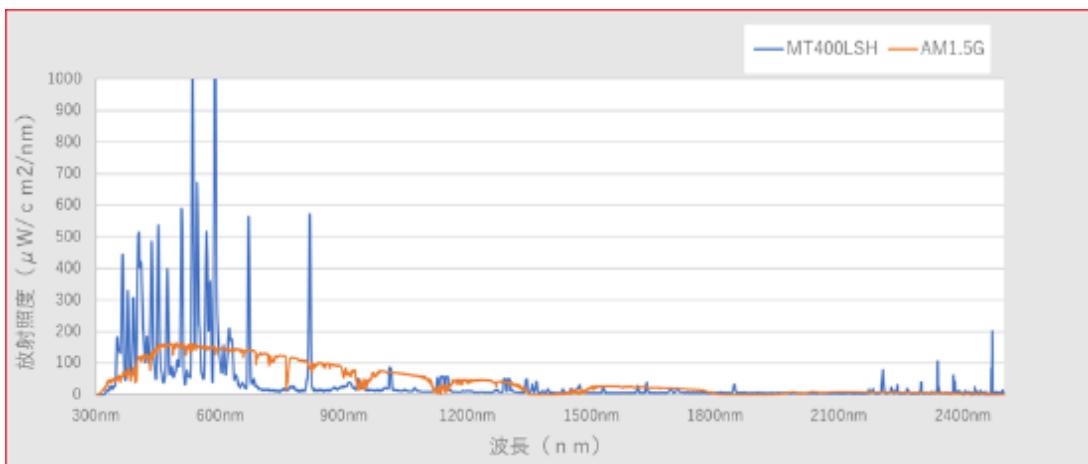


図 C-1-1 交流点灯式メタルハライドランプ MT400LSH／BHの分光放射照度

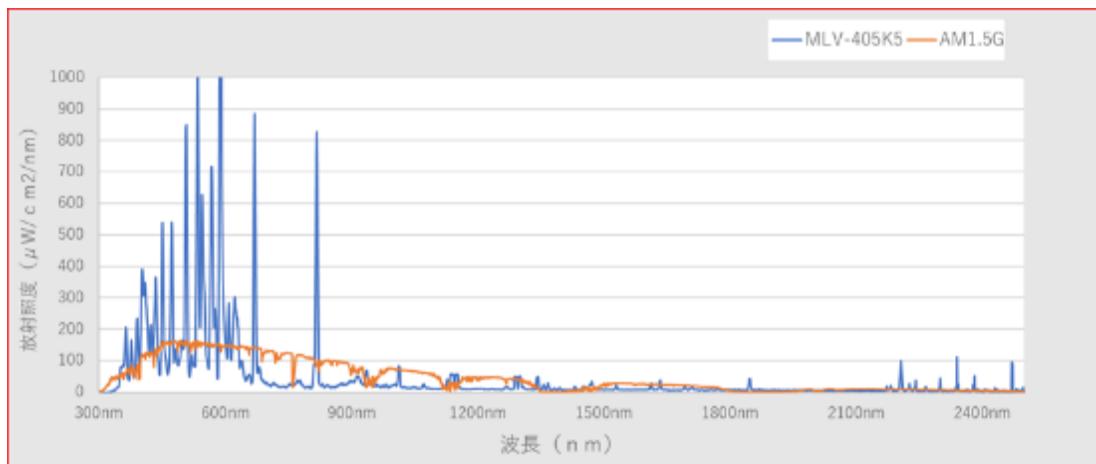


図 C-1-2 交流点灯式メタルハライドランプMLV-405Kの分光放射照度

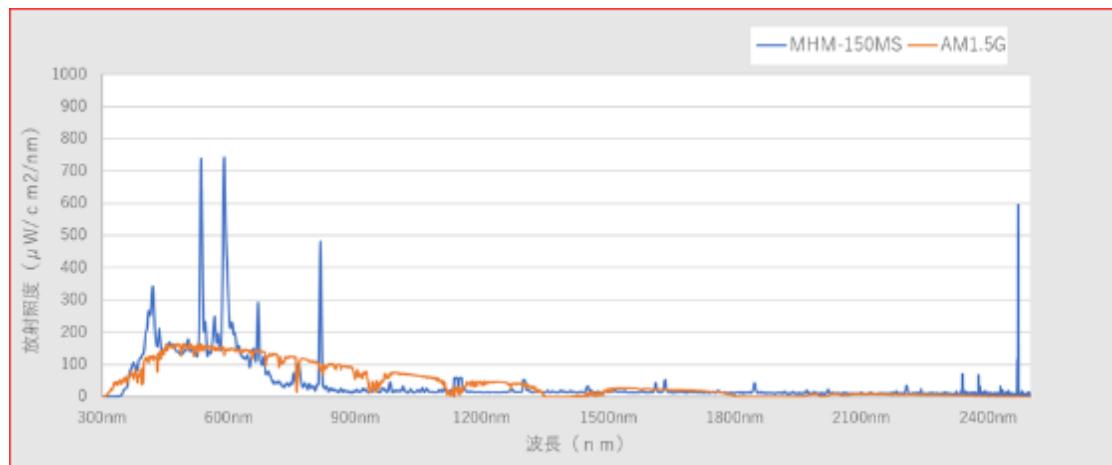


図 C-1-3 PWM 信号制御方式メタルハライドランプ MHN-150MS-Sの分光放射照度

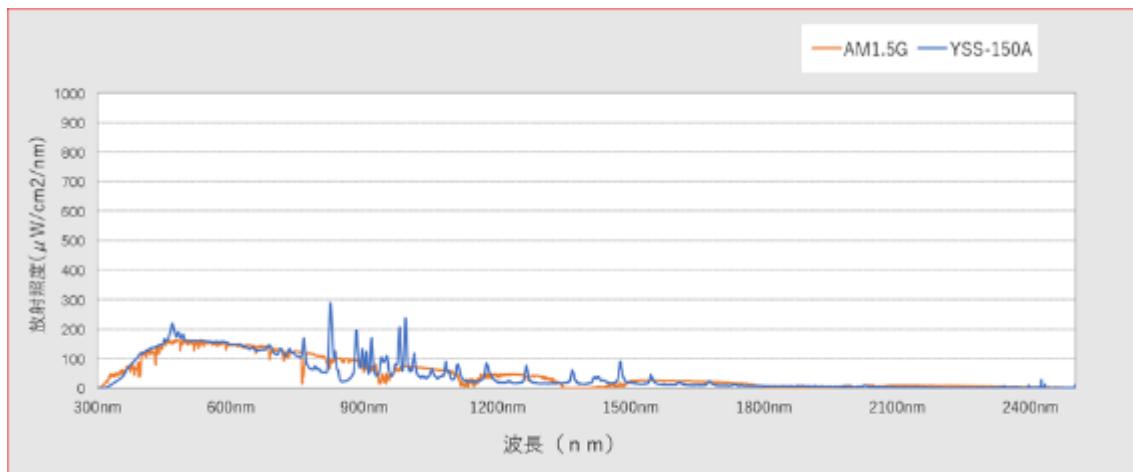


図 C-1-4 直流点灯・定照度制御ソーラシミュレータ(キセノンランプ)の分光放射照度

C-2各光源の点灯中の発光波形データ

各光源照射中の基準太陽電池セルの出力をオシロスコープに入力することで、各光源の発光波形データを取得した。結果を図 C-2-1～図 C-2-4 に示す。

交流点灯方式(50 Hz、正弦波)のメタルハライドランプでは、全波整流後の正弦波に近い特有の発光波形が観測されるが、PWM 信号制御方式(高周波数、矩形波)のメタルハライドランプでは、それらは観測されない。高周波点灯のスイッチングノイズの影響はあるものの、概ね直流点灯・定照度制御したキセノンランプとほぼ同等の発光波形が観測された。

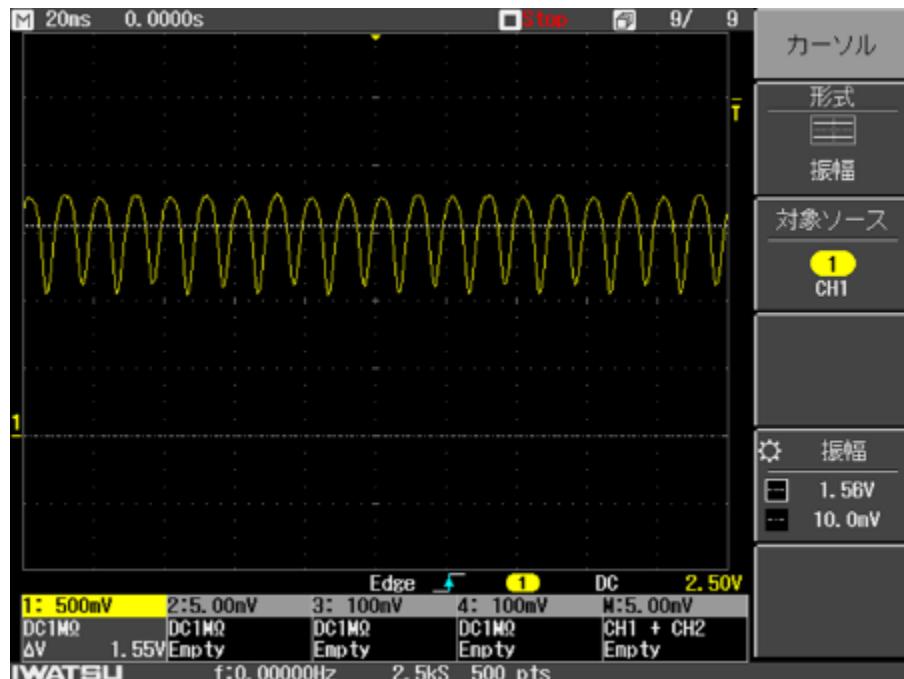


図 C-2-1 交流点灯式メタルハライドランプ MT400LSH/BHの発光波形

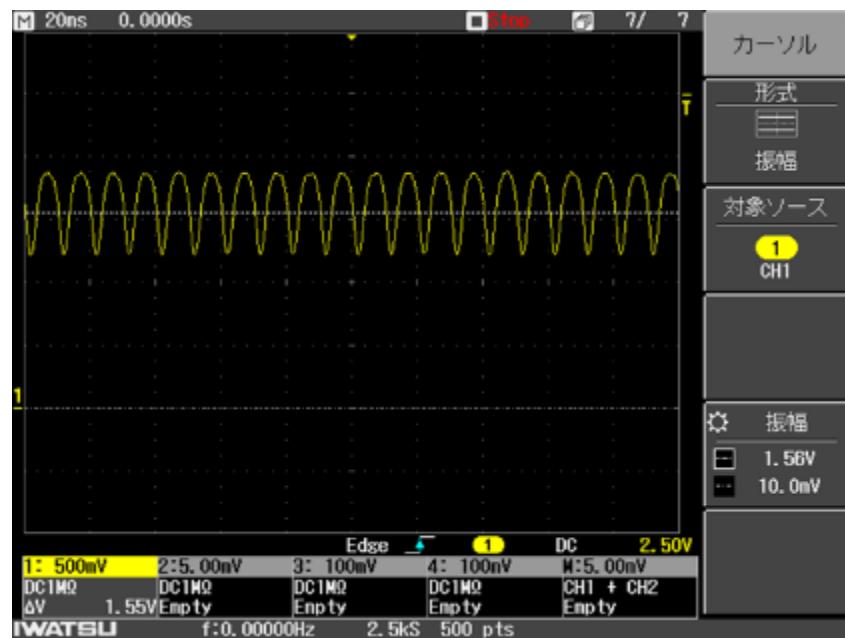


図 C-2-2 交流点灯式メタルハライドランプMLV-405Kの発光波形

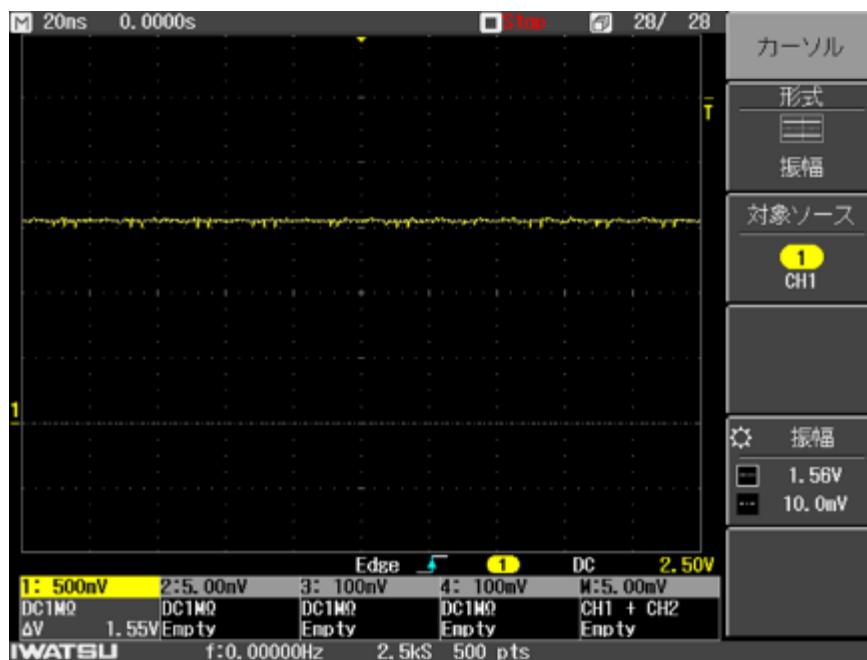


図 C-2-3 PWM 信号制御方式メタルハライドランプ MHN-150MS-Sの発光波形



図 C-2-4 直流点灯・定照度制御ソーラシミュレータ(キセノンランプ)の発光波形

C-3 各光源照射下における太陽電池の IV 曲線の積分時間依存性

裏面温度をチラーで温度制御した結晶シリコン系太陽電池セルについて、積分時間を 1 ms から 10 ms に変えて測定した IV 曲線を図 C-3-1-1～図 C-3-4-2 に示す。

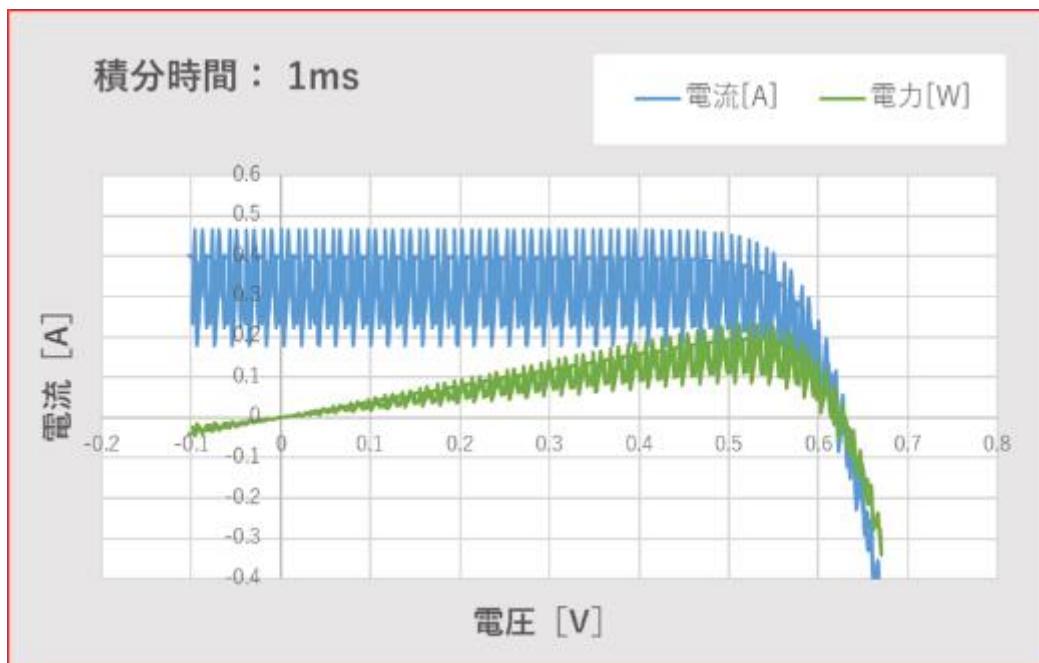


図 C-3-1-1 交流点灯メタルハライドランプ MT400LSH/BH 積分時間 1 ms

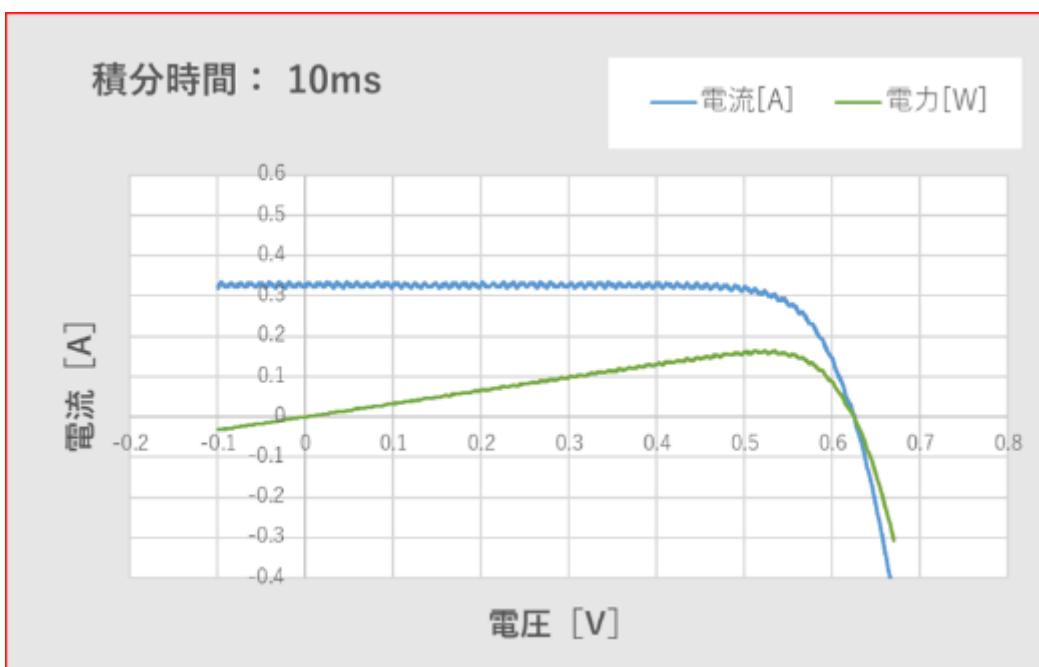


図 C-3-1-2 交流点灯メタルハライドランプ MT400LSH/BH 積分時間 10 ms

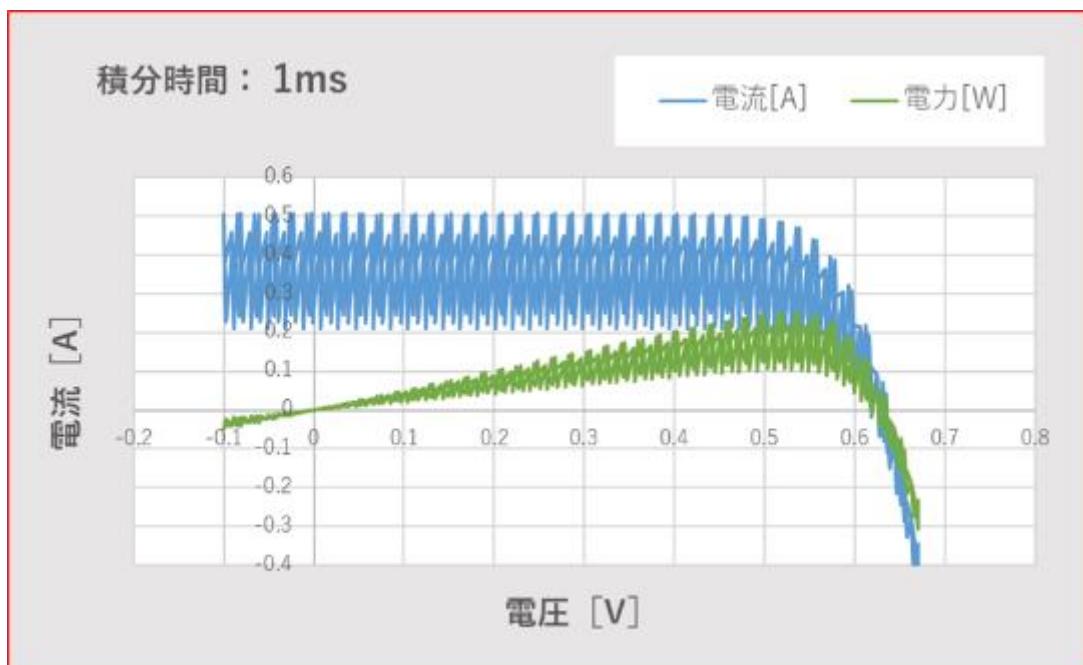


図 C-3-2-1 交流点灯メタルハライドランプ MLV-405K5 積分時間 1 ms

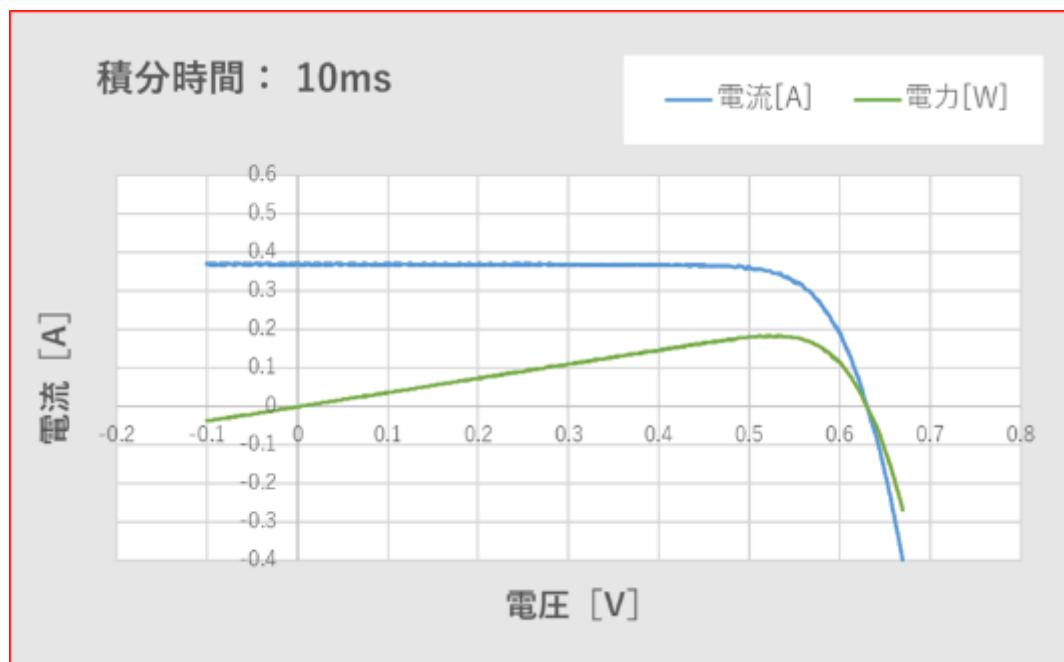


図 C-3-2-2 交流点灯メタルハライドランプ MLV-405K5 積分時間 10 ms

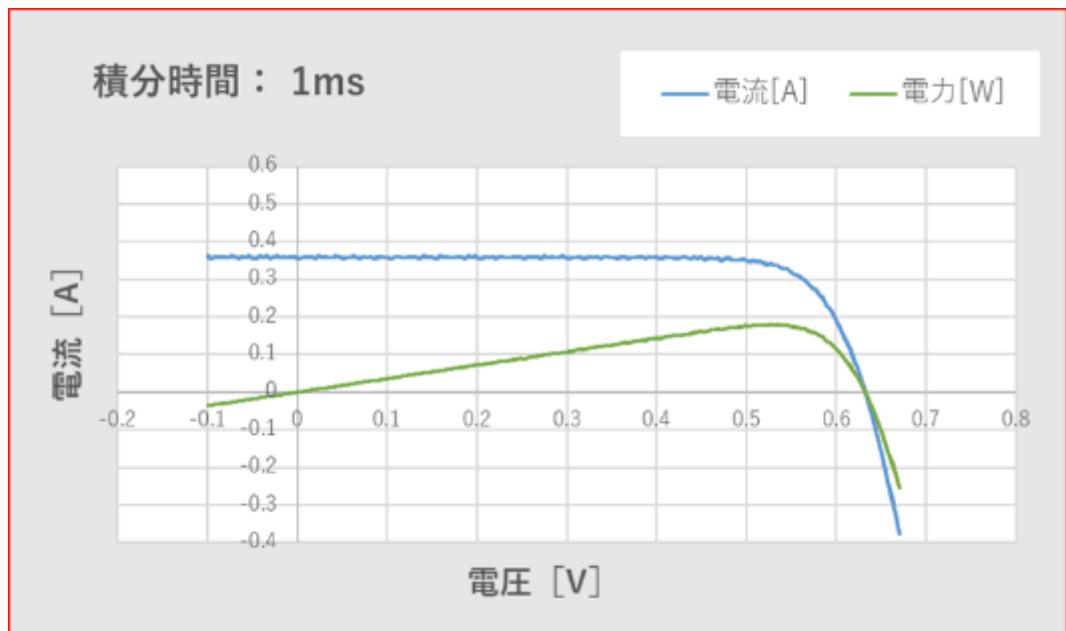


図 C-3-3-1 PWM メタルハライドランプ MHN-150MS-S 積分時間 1 ms

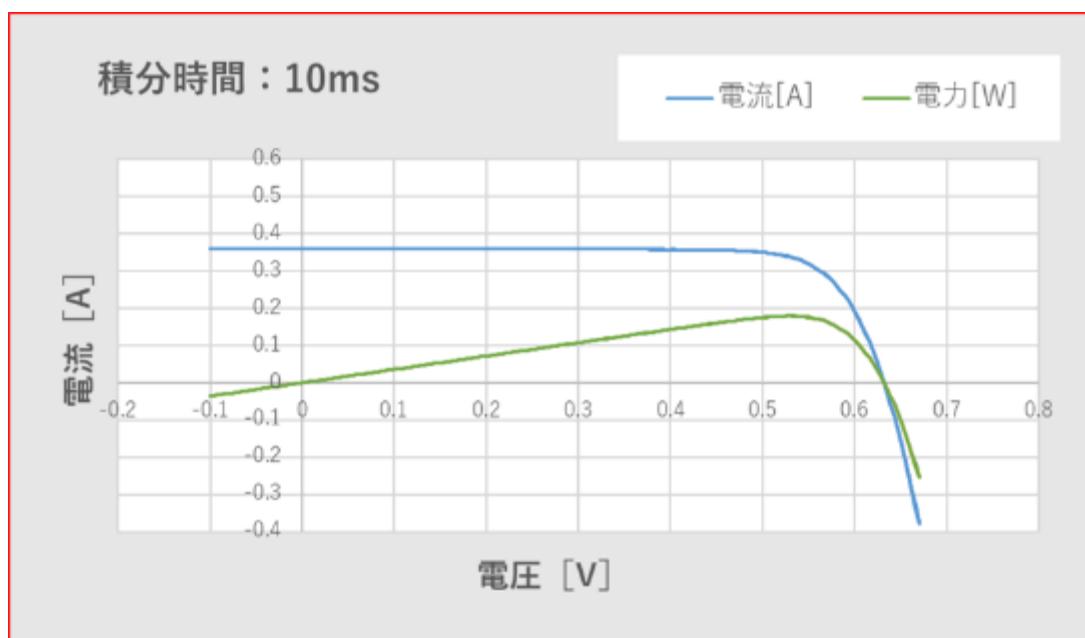


図 C-3-3-2 PWM メタルハライドランプ MHN-150MS-S 積分時間 10 ms

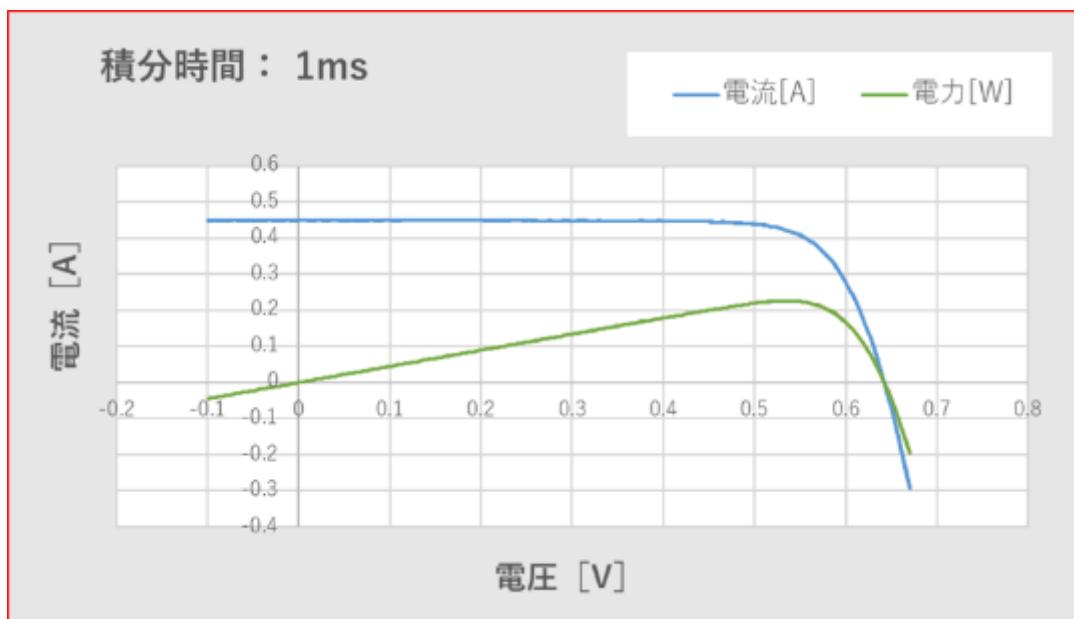


図 C-3-4-1 直流点灯・定照度制御キセノンランプ YSS-180S-1K 積分時間 1 ms

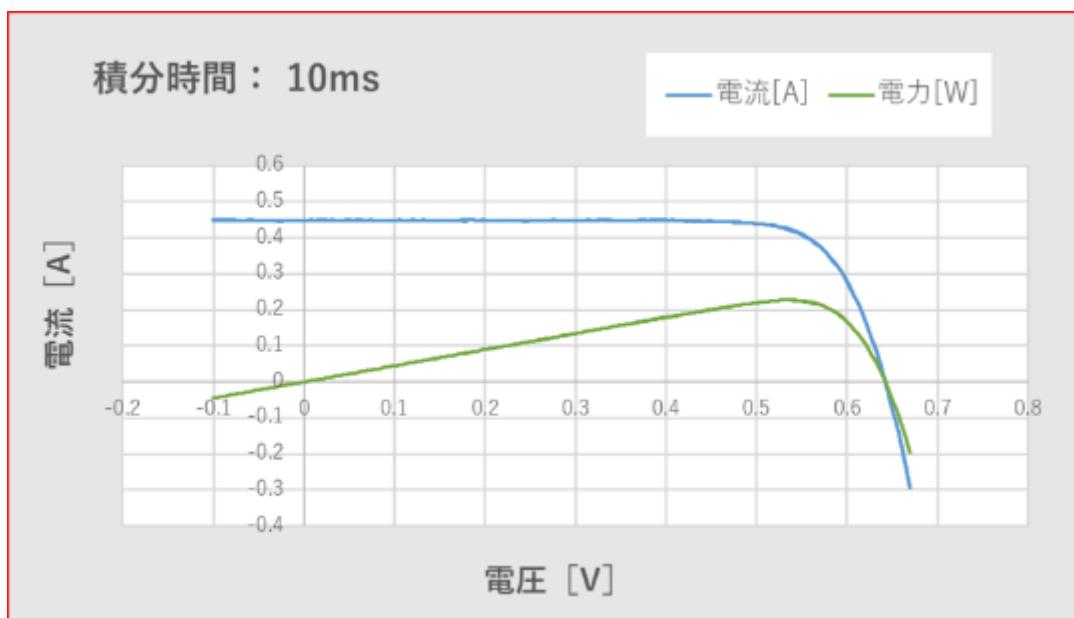


図 C-3-4-2 直流点灯・定照度制御キセノンランプ YSS-180S-1K 積分時間10 ms

C-4 各光源照射下における太陽電池 P_{max} の MPPT 中の挙動

裏面温度をチラーで温度制御した結晶シリコン系太陽電池セルについて、積分時間を 1 ms と 10 ms とに変えて MPPT した際の P_{max} の挙動を図 C-4-1-1～図 C-4-4-2 に示す。

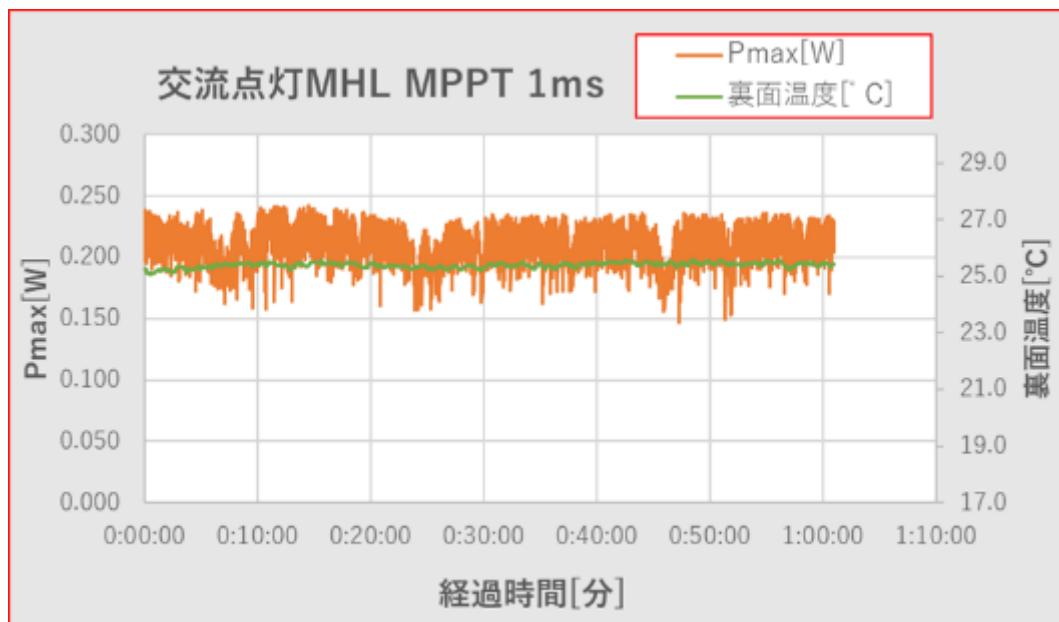


図 C-4-1-1 交流点灯メタルハライドランプ MT400LSH/BH 積分時間 1 ms

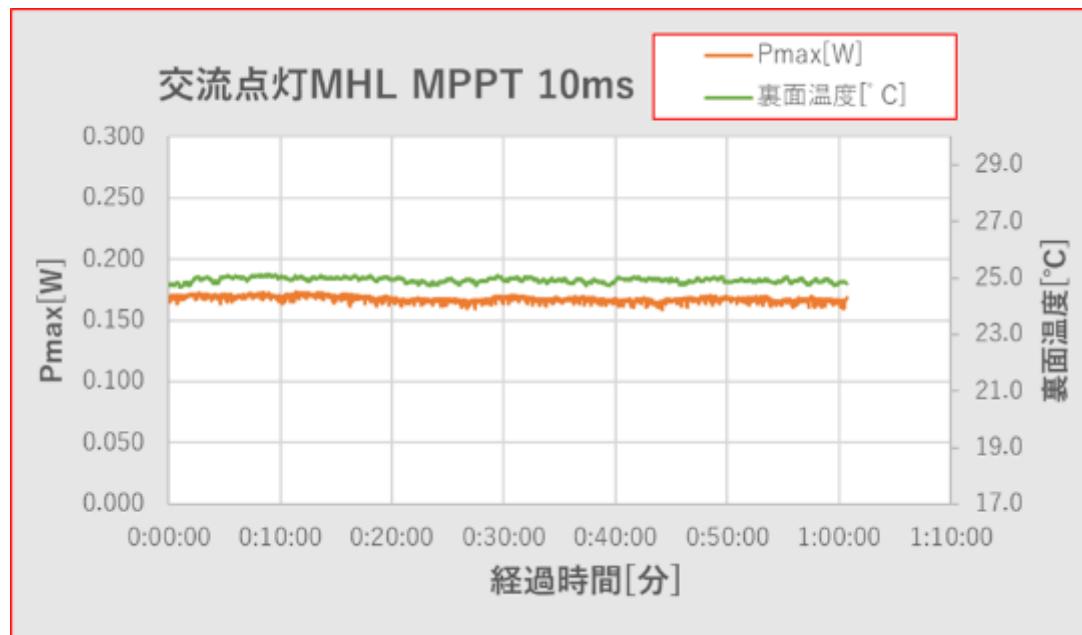


図 C-4-1-2 交流点灯メタルハライドランプ MT400LSH/BH 積分時間 10 ms

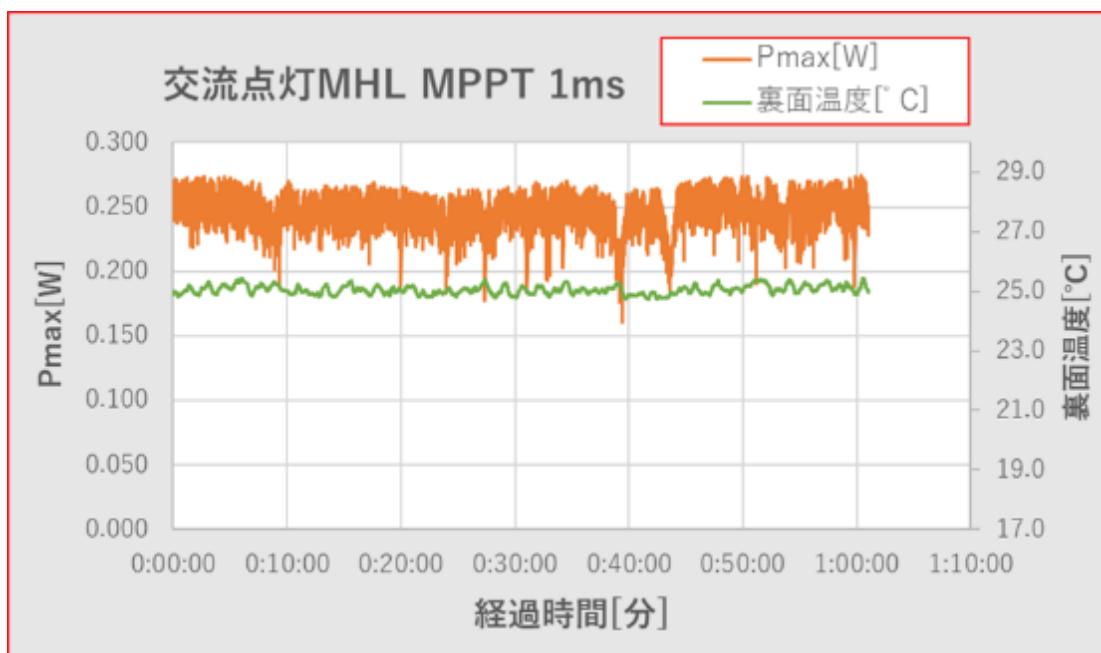


図 C-4-2-1 交流点灯メタルハライドランプ MLV-405K5 積分時間 1 ms

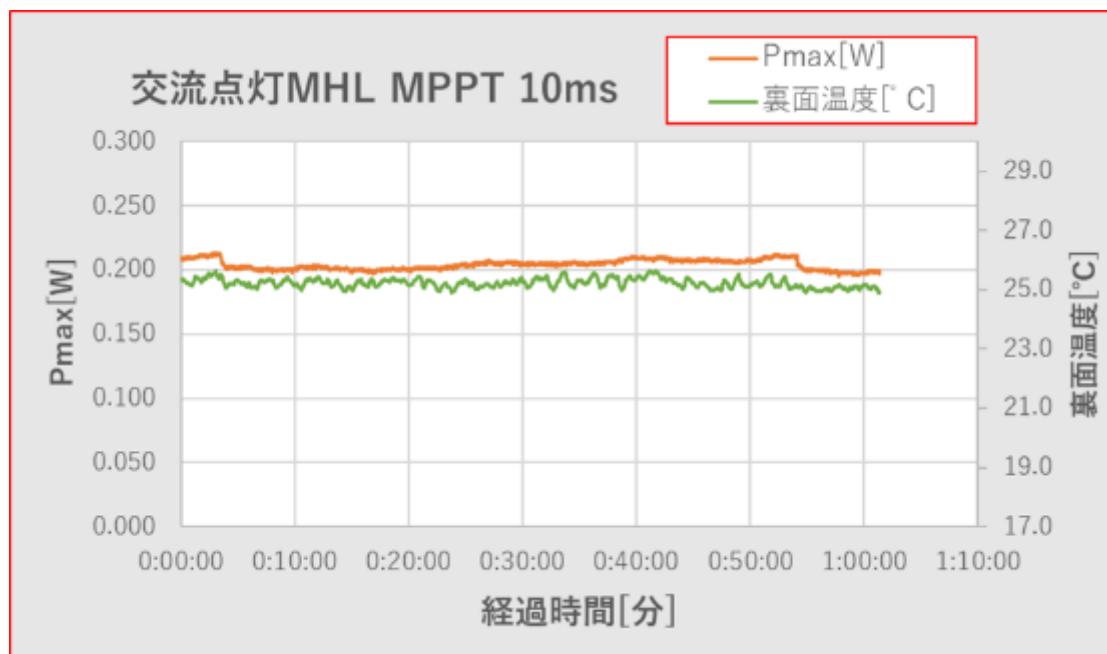


図 C-4-2-2 交流点灯メタルハライドランプ MLV-405K5 積分時間 10 ms

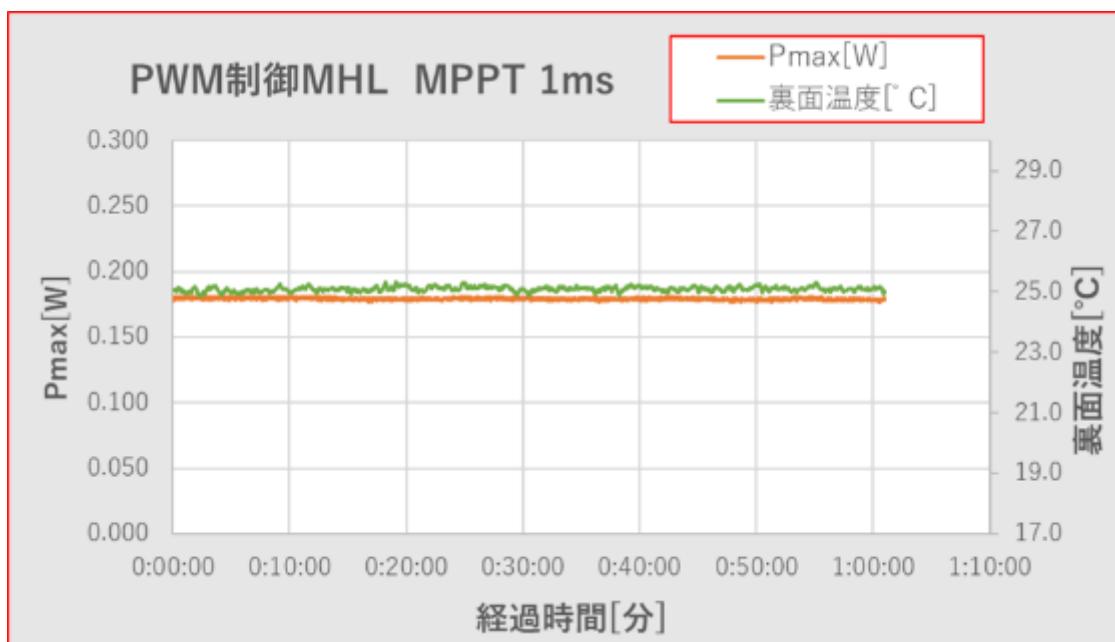


図 C-4-3-1 PWM メタルハライドランプ MHN-150MS-S 積分時間 1 ms

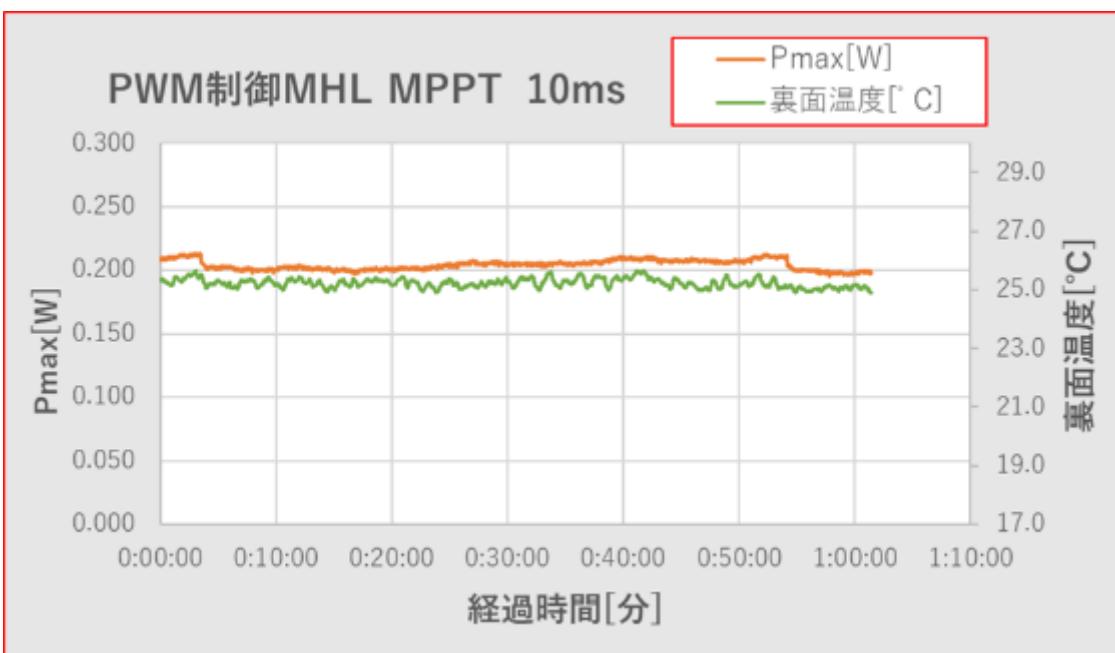


図 C-4-3-2 PWM メタルハライドランプ MHN-150MS-S 積分時間 10 ms

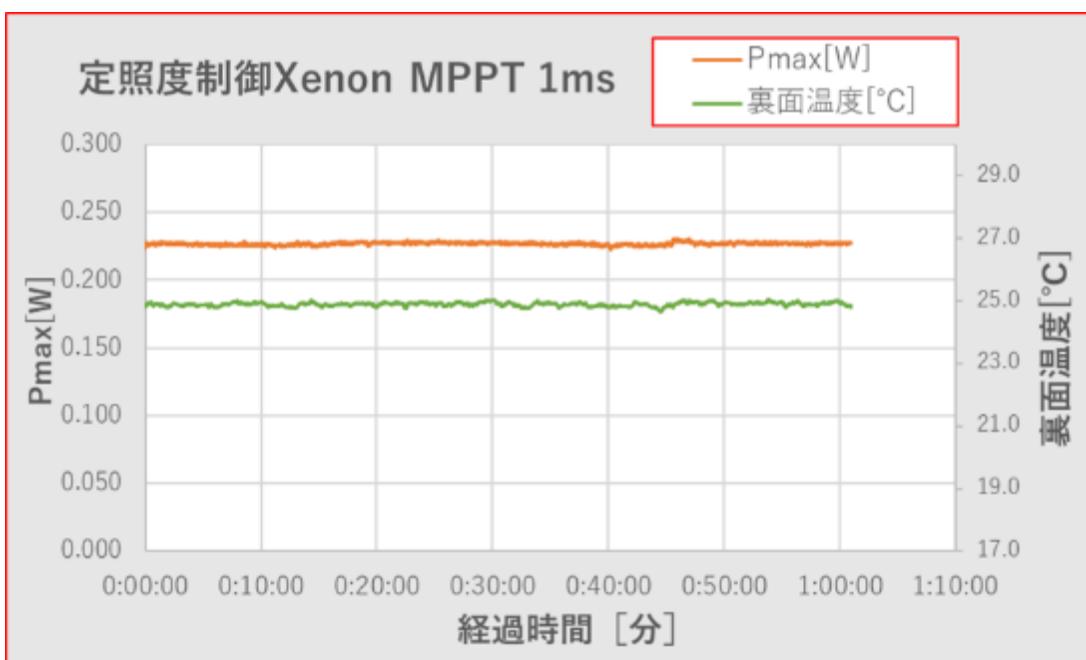


図 C-4-4-1 直流点灯・定照度制御キセノンランプ YSS-18S-1K 積分時間 1 ms

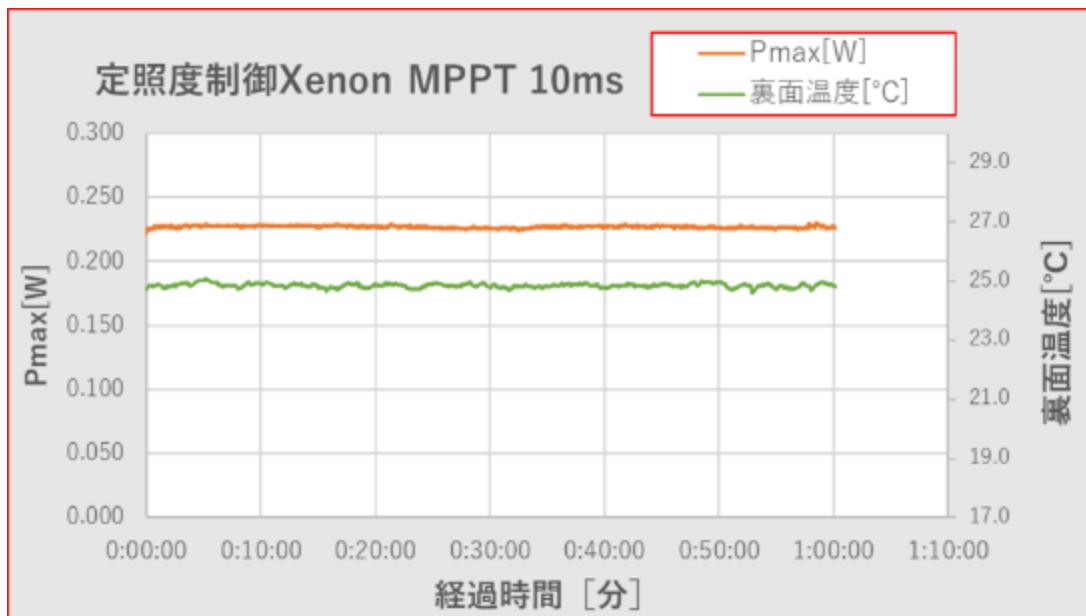


図 C-4-4-2 直流点灯・定照度制御キセノンランプ YSS-18S-1K 積分時間 10 ms

【まとめ】

点灯方式を問わず、メタルハライドランプ分光放射照度は紫外域から可視域の一部にエネルギーが偏り、近赤外域から赤外域のエネルギーは極めて少ないため、基準太陽光への合致度は低い。ショートアークキセノンランプを用いた太陽電池用のソーラシミュレータは、基準太陽光への合致度が高い。全天日射計の感度定数で放射照度を $1,000 \text{ W/m}^2$ に調整した状態での結晶 Si 太陽電池の感度帯域における基準太陽光換算強度は、キセノンランプが 840 W/m^2 であるのに対してメタルハライドランプでは、 700 W/m^2 前後である。これらの差には、基準太陽光に対する合致度の差が反映されている。50Hz 正弦波の交流点灯方式のメタルハライドランプは全波整流後の正弦波に近い発光波形であるが、点灯電流に AC 電源の波形が重畠し、光量はその電源の周波数に同期して常に変動、また電源電圧の変動による影響を受ける。高周波数 矩形波の PWM 信号制御方式のメタルハライドランプでは、高周波点灯のスイッチングノイズの影響はあるものの、直流点灯・定照度制御したキセノンランプと、ほぼ同等の発光波形である。

交流点灯式のメタルハライドランプは、積分時間を 10ms にすれば IV 曲線の振動は抑制でき、MPPT した際の P_{max} の変動係数を $1/7$ に抑制できることが分かった。PWM 信号制御方式のメタルハライドランプでは、IV 曲線に対する積分時間の影響は顕著ではないが、MPPT した際の P_{max} の変動係数は積分時間を 10ms とすると、交流点灯方式とは逆に 1ms の場合の 5 倍となった。キセノンランプを用いたソーラシミュレータでは IV 曲線も MTTP した際の P_{max} の変動係数も、ほぼ同じである。キセノンランプなどの直流点灯式では電流制御を精密に行うが、交流点灯式では精密には行われず、光量は入力電圧に大きく依存。それが MPPT を行う際の IV 測定の結果に影響を及ぼしている可能性が高い。最適な条件を設定することで、いずれの光源でも MPPT を適用してデータを測定することはできるが、メタルハライドランプの場合は、光学的な補正で基準太陽光への合致度を改善させることが必須となる。固有のスペクトル分布から自ずと限界があり、コストパフォーマンスの点からも優位性が失われることに注意する必要がある。

注) PWM

:パルス幅変調制御: PWM 制御

ある波形を得るために基本波の 1 周期中に、パルス列の幅若しくは周波数又はその両方を変調するパルス制御。

JIS C 60050-551 番号 551-16-30

付属書 D

BIPV モジュールの日射熱取得率に関する比較研究・比較測定

各国の試験機関で共通仕様の BIPV 試験体の日射熱取得率を非発電時(OC)および発電時(MPPT)で測定した。測定結果から、全ての試験機において OC 及び MPPT 状態での日射熱取得率と PV セル被覆率(セル占有率)との間に高い線形相関が得られた。日射熱取得率は、PV セル被覆率(セル占有率)に依存して変化し、発電時におけるその低減効果も確認された。これらの知見から、BIPV の日射熱取得率評価ではて発電時に MPPT しての測定が重要である。

【目的】

本附属書では、建材一体型太陽光発電(BIPV)モジュールの日射熱取得率において、各国の研究試験機関が保有する国際規格等に準拠した測定装置で非発電時および発電時の日射熱取得率を共通仕様の試験体を用いて比較し、本事業で開発した測定装置との差異を検証する。

1. 試験概要

BIPV モジュールの日射熱取得率の比較測定にあたり、日射熱取得率測定の国際規格である ISO 19467、19467-2 に準拠した測定装置、または国際規格に近い規格(KSL 9107)に準拠した測定装置を保有する研究・試験機関で実施した。参加した機関は、Fraunhofer ISE:ドイツ、KCL:韓国、CSTB:フランス、そして今回、新たに高精度な日射熱取得率測定装置を本事業で導入したケミトックス:日本(ケミトックス)の 4 機関である。表 D-1-1 には、各機関が保有する日射熱取得率測定装置に関する項目別比較一覧を示す。測定法は各試験機関で異なり、熱箱法と冷却プレートによる熱流測定法の 2 つの方法で運用されている。

2. 試験体および試験条件等

2. 1 試験体と試験条件

BIPV モジュールの日射熱取得率測定は、各機関における測定装置別の特性差(表 4-1)を除き、同じ条件を付して試験を実施した。具体的には、試験体(WH 寸法、厚さ、構成、種類)、測定有効開口寸法、恒温室温度と計測箱温度、放射照度および内外熱伝達係数を共通条件としている。表 D-2-1 に試験測定条件(表中網掛部)を示す。また、日射熱取得率の変化要因は、主に BIPV モジュール内の PV セル被覆率(セル占有率)による違い、非発電時と発電時の差などが考えられるため、これらを踏まえ A1～A3 で非発電時と発電時、ベンチマークとして A0 を加えた7試験パラメータとした。試験パラメータ(表中網掛部)と試験体図および発電特性を表 D-2-2 に示す。表中、OC は非発電時を、MPPT は発電時を表す。

2. 2 試験体設置要件

各試験機関の日射熱取得率測定装置は有効開口寸法や有効測定寸法に違いがあり、それを無くすことに加え、IGU 試験体のグレージング部(デシカント剤+封着部)における複雑さや不均一

さ排除の目的で棒状に加工した断熱フレームを試験体の恒温室側と計測箱側の双方に対となるよう配置した(図 D-2-1)。ただし、KCL の装置は開口部が大きいため、試験体周囲を断熱材で密に塞いだ上で同じ条件の断熱フレームを用いた。

表 D-1-1 各機関が保有する日射熱取得率測定装置の比較一覧 (文献 4-3)の表に加筆

国/地域/都市	ドイツ	フランス	韓国	日本
試験機関名	Fraunhofer- ISE	CSTB	KCL	ケミトックス
運用開始時期 (年)	2006	2021	2013	2024
準拠規格	ISO 19467-2	ISO 19467	KS L 9107	ISO 19467
測定方法	冷却プレート法	熱箱法	冷却プレート法	熱箱法
測定装置有効開口寸法 m	0.95×0.95	0.95×0.95	1.50×1.50	1.00×1.00
季節別	夏/冬	夏/冬	夏/冬	夏/冬
恒温室 温度条件 (°C)	30/20	30/20	30/20	30/20
計測箱 温度条件 (°C)	25/0	25/0	25/0	25/0
屋外熱伝達率(W/(m ² ·K))	14/23 or 24	14/23 or 24	15±3 / 20±3	14±0.8/23±0.3
ランプの種類※1	メタルハライド(S)	メタルハライド(S)	キセノン(S)	キセノン(S)
ランプの灯数 (灯)	4	5	4	2
定格ランプ電力 (kW)	-	-	7kW×4	5kW×2
近似波長範囲 (nm)	300-1800	300-2,500	400-1100	300-2,500
光源からの距離 (m)	4	N/A	6	4.4
光源からの発散角(°)※3	3~12	N/A	10	9.9
ランプの点灯モード	断続光(AC)	断続光(AC)	定常光(DC)	定常光(DC)
季節別	夏/冬	夏/冬	夏/冬	夏/冬
放射照度 (W/m ²)	500/300	500/300	500/300	500/300
長時間安定性(%)	-	-	-	±0.2
照射面内均一性 (%)	±5	-	±4.8	±2.9/±2.5
測定誤差	±0.02	±0.02	±0.01	≤±0.04

表 D-2-1 試験時測定条件と各国の試験装置比較一覧 (文献 4-3)の表に加筆

試験機関名	試験条件	Fraunhofer- ISE	CSTB	KCL	ケミトックス
試験体寸法 m	1.0×1.0	0.95×0.95	0.95×0.95	1.50×1.50	1.00×1.00
測定有効開口寸法 m	0.95×0.95	0.95×0.95	0.95×0.95	1.50×1.50	1.00×1.00
恒温室 温度条件 (°C)	25.1	30/20	30/20	30/20	30/20
計測箱 温度条件 (°C)	25.0	25/0	25/0	25/0	25/0
放射照度 (W/m ²)	500	500/300	500/300	500/300	500/300
屋外熱伝達率(W/(m ² ·K))	14	14/23 or 24	12.7~13.2	15±3 / 20±3	20.3~25
屋内熱伝達率(W/(m ² ·K))	8	7.7±1	12.3~12.5	9±1	8.1

表 D-2-2 試験体図および試験パラメータ合わせガラス(A シリーズ)

合わせガラス	A0	A1	A2	A3
試験体構成	JPT5+PVB+PT5			
PV セル枚数(枚)	0	25	16	9
PV セル被覆率	0.000	0.698	0.447	0.251
最大出力 Pm (W)	-	112.8	71.5	39.9
短絡電流 Isc (A)	-	8.8	8.8	8.8
開放電圧 Voc (V)	-	16.8	10.7	6.0
最大出力動作電流 Ipm (A)	-	8.5	8.5	8.4
最大出力動作電圧 Vpm (V)	-	13.2	8.4	4.7
開放状態:OC	A0-BM	A1-OC	A2-OC	A3-OC
最大動作点状態:MPPT	-	A1-MPPT	A2-MPPT	A3-MPPT

注記 JPT:高透過強化ガラス、PVB:中間膜、TP:強化ガラス

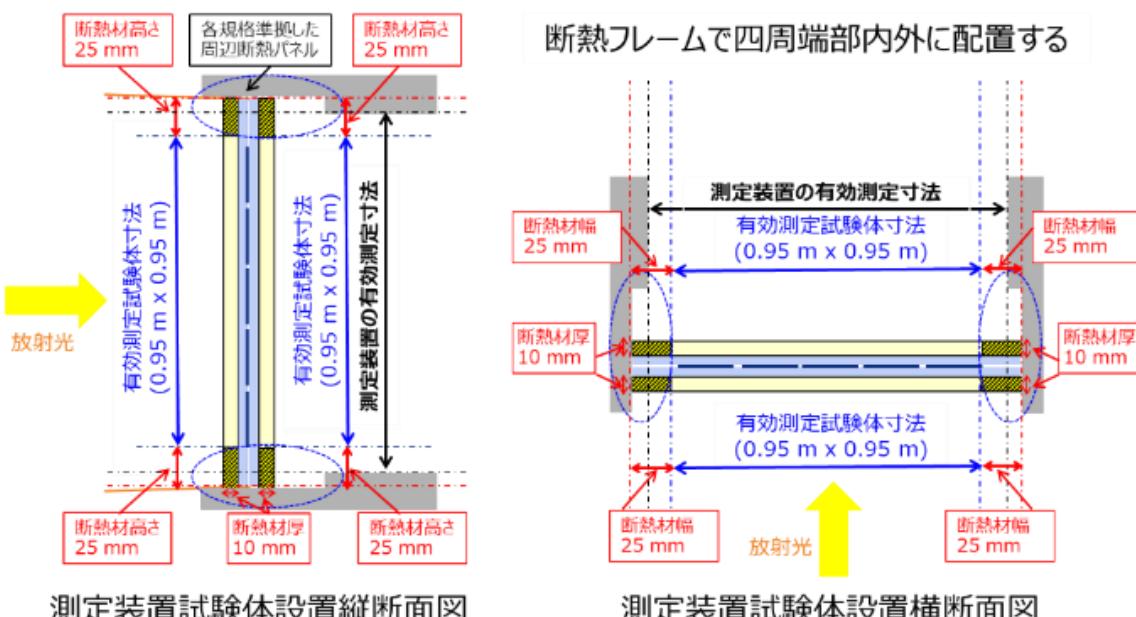


図 D-2-1 測定装置の違いによる有効測定試験体寸法の調整概要

断熱材は熱伝導率 $\lambda = 0.035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ のものを指定した。また、断熱フレームは試験体と同様にソーラーシミュレーターにより長時間照射されるため、照射される表面部(垂直面と斜め照射による受光面)にのみ指定のアルミテープでマスクし(図 D-2-2 参照)吸収成分を抑制した。恒温室側と計測箱側にアルミテープによるマスク付き断熱フレームとすることで、各機関における日射熱取得率測定装置の有効開口面積が同じとなるようにした。

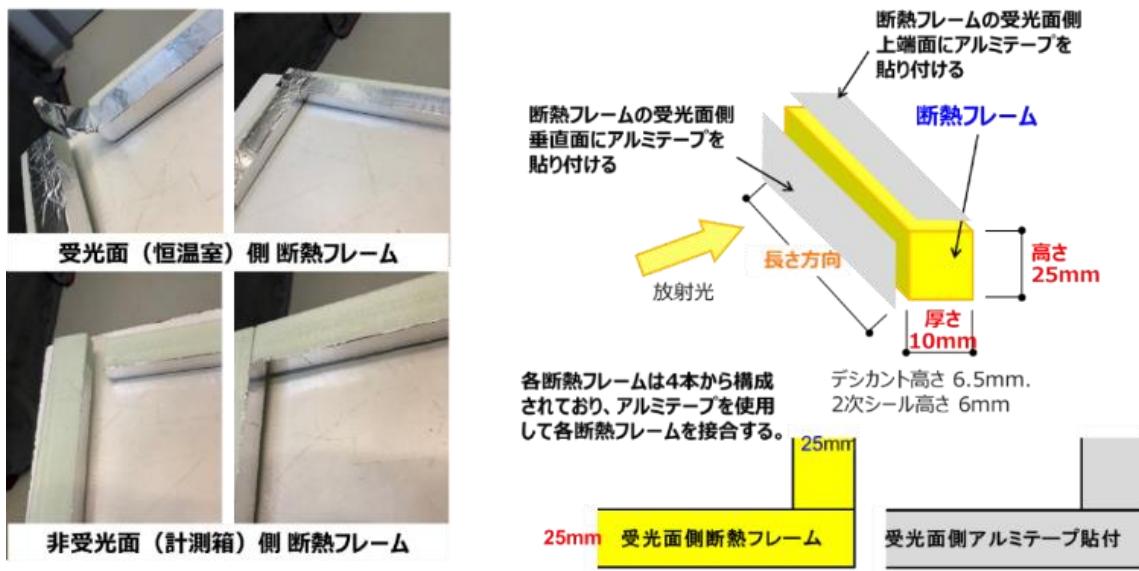


図 D-2-2 断熱フレーム詳細

2. 3 ベンチマーク試験

BIPV モジュールは、PV セルやバスバー、バスワイヤ等が複雑に配置されているため、日射熱取得率測定を実施する際に測定装置や測定方法による特性差が生じやすいことが既往の研究(文献 4-3)より明らかとなっているため、そのため、従来の日射熱取得率試験で各試験機関における測定誤差が大きく生じていないことを事前に確認しておく必要がある。そこで、透明合わせガラス(表 D-2-2 中の A0)による試験を実施した。また、ISO 9050 により分光特性を測定して算定した日射熱取得率の結果も参考として比較を行った。詳細には 1 m 角の試験体の測定結果と分光特性測定による計算結果とは、境界条件などの違いから若干差は生じるはずだが、確認する上で一つの目安となる。ISO 9050 に準拠した分光特性を測定する試験体は、1 m 角の試験体と全く同じ素材、厚さ、構成となるように 50 mm 角小型試験片を用意(図 D-2-3)し、光学特性値を測定することで日射熱取得率を計算により算定した。その際、修正放射率は、ISO 9050 により 0.837 とした。日射熱取得率は、測定結果を用いて ISO 9050 に従って求めた。日射熱取得率の算出にあたり、ISO 9050 及び ISO 10292 に準拠して、室外側の表面熱伝達率 $he = 23\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 、室内側の表面熱伝達率 $hi = 8\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ とした。加えて測定試験では室外側の表面熱伝達率を $he = 14\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ を採用していたため、同じ表面熱伝達率として計算した。

測定結果と計算結果を表 D-3-1 に示す。ベンチマークである A0 試験体(透明ラミネートガラス)

の測定結果を比較すると、ケミトックス、Fraunhofer ISE、CSTB の 3 機関における結果は誤差が少なく、よく一致している。一方、KCL は他の試験機関より明らかに g 値が低く、その原因是現時点では不明なため、測定時における詳細情報を入手した上で、今後分析を進める。また、参考として g 値を算定した ISO 9050 での計算結果と比較すると、測定条件と同様に外部側熱伝達係数を $he = 14W/(m^2\cdot K)$ とした計算結果は $g = 0.782$ となり、Fraunhofer ISE の A0 測定結果が $g = 0.768$ と最も近く、その差は 0.014 であった。Fraunhofer ISE の測定許容誤差は ± 0.02 であり誤差範囲内となる。他の試験機関における A0 の測定結果は、0.032 以上の差となったが、ケミトックスでの測定許容誤差は ± 0.04 のため、これも誤差範囲内となる。KCL を除く 3 試験機関共に差が最大で 0.026 と小さかったため、A0 の測定結果における g 値は、0.742～0.768 の範囲に分布し、概ね妥当な結果であると考えられる。

測定条件とは異なるが、ISO 9050 に準拠した室外側表面熱伝達係数 $he = 23W/(m^2\cdot K)$ における計算結果では、 g 値が 0.758 となり A0 の測定結果と比較すると CSTB、Fraunhofer ISE、ケミトックスで近い値を示し、どれも許容誤差の範囲内であった。測定法と計算法とでは評価方法や境界条件に違いがあり、一概に比較できるわけではないが、室外側熱伝達率に違いのある測定 ($he = 14W/(m^2\cdot K)$) と計算 ($he = 23W/(m^2\cdot K)$) において、そこまで差が生じなかった理由は、測定時の熱伝達係数の変化や熱伝達率の許容設定値誤差 ($\pm 10\%$) などが関係しているのではないかと現時点では推察する。



図 D-2-3 小型試験片 (50 mm 角)

3. 結果BIPVモジュール試験体の測定結果

各試験機関個別の測定結果を図 D-3-1 に、各試験機関間の比較を図 D-3-2 に示す。グラフは縦軸が g 値で横軸は有効測定試験体面積に対する PV セル被覆率(セル占有率)を示す。

表 D-3-1 各試験期間個別の g 値の測定結果と計算結果の比較一覧表

試験パラメータ		A0	A3		A2		A1	
		0.000	0.251		0.447		0.698	
評価方法	評価期間 + 条件	—	OC	MPPT	OC	MPPT	OC	MPPT
		ケミトックス 日本	0.742	0.562	0.562	0.503	0.485	0.364
測定結果	Fraunhofer ISE ドイツ	0.768	0.649	0.639	0.556	0.539	0.436	0.410
	KCL 韓国	0.670	0.600	0.610	0.520	0.500	0.430	0.400
	CSTB フランス	0.750	0.600	未提出	0.485	未提出	0.410	未提出
	he=23, hi=8	0.758	—	—	—	—	—	—
計算結果	he=14, hi=8	0.782	—	—	—	—	—	—

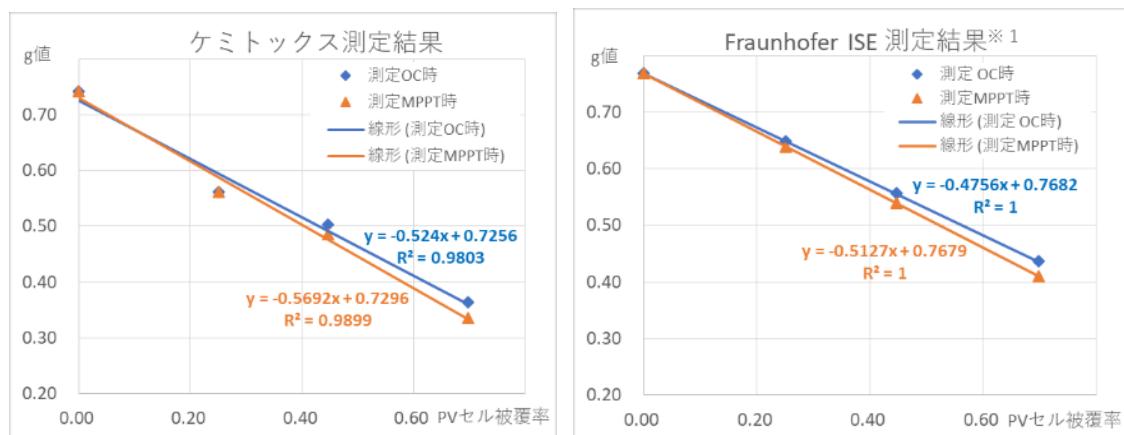
測定結果から全ての試験機関において、OC と MPPT 状態の日射熱取得率(g 値)と PV セル被覆率(セル占有率)との間に良好な線形相関が得られており、 g 値は PV セル被覆率(セル占有率)に依存して変化している。一方で、A1 試験体ではケミトックス以外が、A2 試験体では Fraunhofer ISE 以外が、そして A3 試験体ではケミトックスと Fraunhofer ISE 以外の g 値が近い値となった。しかしながら、現時点では、各試験機関の測定プロセスや測定結果を詳細に分析ができていないことから、今後、定量的な比較分析を行っていく予定である。

一方、ケミトックス、Fraunhofer ISE および KCL では、MPPT による g 値の低減効果が 6 %～8 % となっている(CSTB を除く)。この低減効果は、光起電力効果により PV セルで光電変換することで、その分室内側への二次放射が低下する(文献 4-3)ことを意味する。したがって、PV セル被覆率(セル占有率)が増すと g 値も低くなるため、BIPV モジュールにおける日射熱取得率(g 値)評価では、MPPT の状態での測定が必要となる。ただし、Fraunhofer ISE は相関係数 $R^2=1$ となるように補正しているため、真の実力値(測定精度)ではない。Fraunhofer ISE の測定装置は、BIPV モジュールのような不均質(透明ガラス部と PV セル部の混在)な試験体の測定には向きな特徴を有している(文献 4-3)。そのため、PV セル被覆率(セル占有率)の高い A1 試験体を用い、全面が PV セルで覆われていることを模擬して g 値を決定している。また、MPPT 状態での測定は、 g 値測定中の最大電力の測定結果から発電効率を決定しており、その値を用いて MPPT 状態の g 値を算出している。したがって、純然たる測定結果ではないことから、BIPV モジュールにおける g 値の評価としては同じ条件での比較とはならないことに注意が必要である。

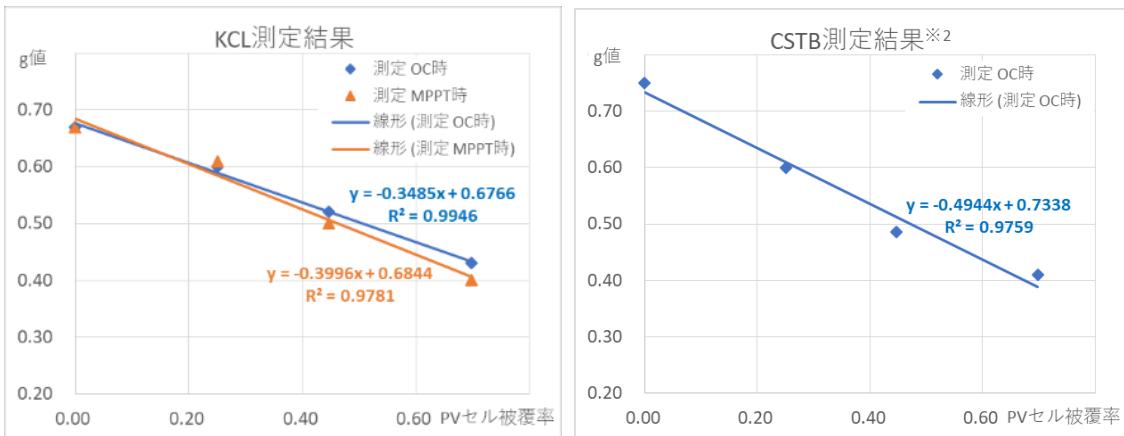
KCL の A0 における測定結果は、 g 値 = 0.670 で計算値(表 D-3-1)よりもやや低い。そのため、線形相関の勾配も他の試験機関と比較して小さい。実測定量値は、ラボラトリバイアス(固有の補正計算式など)の影響を受けている可能性がある。CSTB の測定結果は、発電状態(MPPT)での測定結果が得られておらず、ISO 19467 に準拠する高性能な日射熱取得率評価試験装置を保有する機関であっても、PV の評価経験が乏しいと発電状態での実測が必ずしも容易ではない。

ケミトックスの測定結果は、A1、A2 共に OC より MPPT 時に g 値が確実に低下する現象を捉えている。OC と MPPT における g 値の差が大きいほど、受光面の照度の不均一性が低く MPPT が適正に実現できていると思われる。具体的には、A1 測定結果において、MPPT による低減効果係数 P_e は 8 % に相当し、同じく KCL で 7 %、Fraunhofer ISE で 6 % (測定値ではないため参考値) となる。この結果から、本事業で開発した日本の評価試験装置は、他の測定装置と比較して、BIPV モジュールのように不均質な試験体への適用性と MPPT 制御が正確に反映された測定装置であると現時点では考えている。ただし、A3 のみ OC と MPPT とで g 値に差が生じていないため、測定条件や抽出データおよび算出プロセス等を確認する必要がある。このような観点から、本技術資料は今後増加が見込まれるであろう BIPV モジュールの日射熱取得率評価(O.C と MPPT 状態の双方で測定できる)には、有意義であると考える。

今後は、定量値および MPPT 測定時の g 値低減効果に関して各試験機関における差の原因分析、DC 光源と AC 光源の違いが与える影響などについて、Task15 Phase3(2024-27 年)で国際比較データ論議を継続し、共同レポート作成する計画である(2026 年)。



※1 Fraunhofer ISE の A0 と A1 のみ実測した結果であり、A2 と A3 は面積加重による算出のため $R^2=1$ となっている



※2 CSTB の測定結果は OC 時のみ

図 D-3-1 各試験機関の g 値測定結果

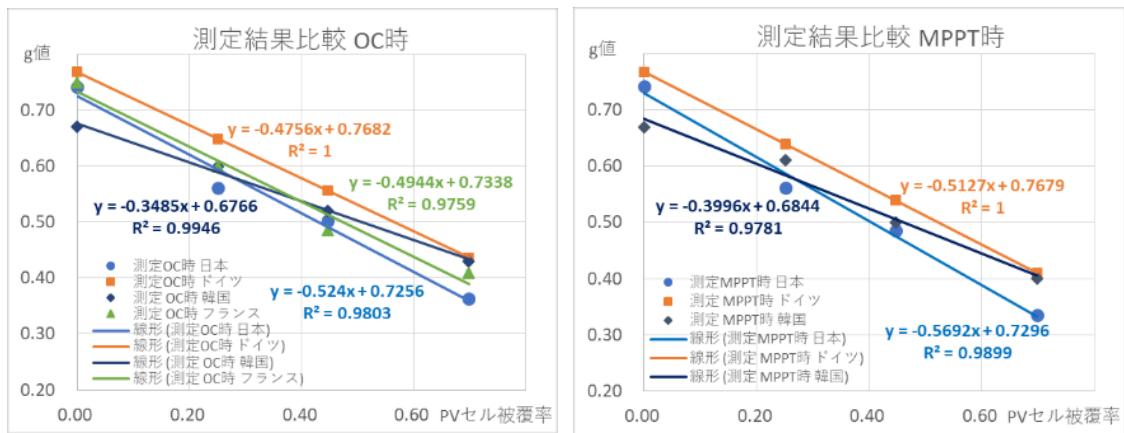


図 D-3-2 各試験機関別測定結果の比較

【まとめ】

本附属書では、建材一体型太陽光発電(BIPV)モジュールの日射熱取得率測定において、各國の研究試験機関が保有する国際規格等に準拠した測定装置により、非発電時(OC)および発電時(MPPT)状態での日射熱取得率を共通仕様試験体で定量測定し、本事業で開発した測定装置との差異を検証した。その結果、日射熱取得率においてOCとMPPTによる差が6%～8%ほど生じており、BIPVの日射熱取得率測定におけるMPPT状態における実測の重要性を再確認できた。一方、一部の機関ではMPPT状態での測定が適正に行えなかった。これは、日射熱取得率評価試験装置を保有して建材の評価実績のある機関でも正確なMPPT状態の実現が出来ない可能性を示唆している。本事業で開発したBIPV高精度日射熱取得率評価試験装置は、試験体の不均一性に対応すべく放射照度の均一性が高いソーラシミュレータ、日射吸収率が高く波長依存性の無い熱流計を用いてデータ取得している点、および安定なMPPT状態を実現できる点においては、他機関の測定装置よりも優れていると思われるが、ここでのデータは測定速報値であるため、測定データや測定プロセスなど詳細な情報やデータ収集ならびに分析が今後必要となる。その上で、定量値の差異等については、国際論議を継続していく予定である。

結言

既存の SHGC 国際規格は窓及びドアを対象とし、BIPV に適用する記述は附属書(参考)の数行のみである。国際規格で例示する BIPV 用の装置構成は、導入・ランニングコストが高価で維持が困難、かつ性能的にも不十分であるため、国際規格に適合する高精度・低ランニングコスト評価環境整備が求められている。新たに開発した評価試験装置の光学系では、ランプ灯数を従来比 1/3 としてランニングコストを抑えながら、より優れた近似度、均一性・時間安定性を実現した。

本技術文書は、BIPV 用 SHGC 評価装置として標準仕様となりえる構成と特長、国際的な合致度向上、規格適正化に資する推奨事項、BIPV の日射熱取得率評価に関連した検証結果を収録した附属書の提供、などを目的とした。

建材用の日射熱取得率(評価技術としては、「計算方法」「実測方法」ともに国内規格・国際規格が存在するが、発電状態の太陽電池(BIPV)をMPPTしながら日射熱取得率を評価するための実用的な国際規格は存在しない。例えば、ISO 9050:ガラス(開口部材料)では、測定された光学特性データから日射熱取得率を計算することが可能であるが小面積に限られる。また、ISO 15099:ガラス(開口部材料)+遮蔽物(窓枠、ブラインド、など)では、構造が単純な場合は開口部と遮蔽物の各日射熱取得率の面積加重平均で計算可能であるが、構造が複雑になると不確かさが大きくなる可能性が高い。BIPV の日射熱取得率に関する計算手法については独 Fraunhofer ISE が中心となって研究開発中であるが、いずれにせよ、その妥当性確認については、高精度に実測された日射熱取得率との比較検証が必要不可欠である。なお、本技術文書で優れた特性を示した高精度日射熱取得率装置と高精度化に向けた提言は、国内事業者による利活用とともに、日本提案の国際規格 IEC 63092-3 NP(METI 事業)での採用を目指している。

最後に、本技術文書は、枠などを含まない BIPV 単独での日射熱取得率評価を屋内において水平照射(入射角 0°)で行う場合の高精度化に関する内容を対象範囲としたものであり、枠などを含むケースや、日射の入射角度による BIPV の日射熱取得率の違いの評価を可能とする環境整備が今後の課題である。また、国内では、国プロの枠組みで複数企業が次世代 BIPV 技術開発と事業化を進めているなかで、それらの日射熱取得率の値を明らかにすることが求められる状況が生じるであろうことから、本事業で開発された高精度日射熱取得率評価試験装置の活用による実測の需要拡大を期待する。また、壁面設置 BIPV は、PV 分野と建築分野の融合技術であるため、本事業で形成された産業界、国研、アカデミアの PV 分野および建築分野の専門家からなる研究コミュニティの存在は非常に貴重である。壁面設置 BIPV の本格普及導入に向けて、何等の形で、活動が継続されることが望ましい。関係各位のご理解ご協力を希望する。

索引(用語集)

A

Air Mass p.13、p.18、p.56、p.57

:エアマス (Air Mass)

地球大気に入射する直達太陽光が通過する路程の、標準状態の大気(標準気圧1013hPa)に垂直に入射した場合の路程に対する比。AMと略することが多い。

JIS C 8960 番号 152

B

BAPV p.1

:添付型太陽光発電設備(Building Attached or Applied Photovoltaics)

建物の外溝に取り付けられている PV モジュール。この場合、建物設置形とみなされ、建物一体形 PV の基準は満たしてはいない

JIS C 61730 3.3.1

BEI p.1

:ビルディング・エナジー・インディックス(Building Energy Index)

建物の利用に伴う直接的なエネルギー消費量。一次エネルギー消費性能=設計一次エネルギー消費量(設計仕様) ÷ 基準一次エネルギー消費量(基準仕様)。BEI の数値が小さいほど省エネの程度は大きい。

<http://www.what-myhome.net/45eigo/1BEI.htm>

BIPV (多数につき、貢省略)

:建材一体型太陽光発電設備(Building Integrated Photovoltaics)

屋根材、壁材などの建築用部材として一体化した太陽電池モジュール。

JIS C 8960 番号 254

:建物一体形 PV 機械的剛性及び構造的完全性 – 主要な気象影響からの保護 – 遮光、採光、断熱などの省エネルギー – 防火 – 防音、の一つ以上の 建物の機能を備える建築構成部分を形成する PV モジュール

JIS C 61730 3.3.2

C

Comparative Study (追加予定)

:比較研究・比較測定(Comparative Study)

2 つ以上のグループ、変数、または現象を比較して類似点と相違点を特定する研究手法。

<https://ja.statisticseasly.com/%E7%94%A8%E8%AA%9E%E9%9B%86/%E6%>

AF%94%E8%BC%83%E7%A0%94%E7%A9%B6%E3%81%A8%E3%81%AF%E4%BD%95%E3%81%8B%EF%BC%9F%E8%A9%B3%E7%B4%B0%E3%81%AA%E6%A6%82%E8%A6%81/

D

E

ETTV p.27

: 外皮熱貫流率(Envelope Thermal Transfer Value) 外皮平均熱貫流率(UA 値)
住宅の内部から外壁、屋根、天井、床及び開口部などを通過して外部へ逃げる熱損失の合計を外皮面積の合計で除した値(住宅の断熱性能を表す数値)。

<https://www.eneboss.com/heattransmission.html>

F

G

GTD p.7、p.28、p.29、p.30、p.56

: 幾何学的透明度(Geometric Transparency Degree)
透明さを表す指標。

GHP p.56、p.57

: 保護熱板(Guarded Hot Plate:)/ 保護熱板法(GHP 法)
平板状の熱絶縁材について、定常状態の下で温度、電力(熱流量)及び厚さを測定して、熱抵抗、熱伝導率などの伝熱特性を求める絶対測定法又は標準的な測定法
JIS A1412-1

GMPP p.25

: 包括的最大電力点(Global Maximum Power Point)

H

I

IV p.25、p.30、p.43

: 電流電圧特性(current-voltage characteristic) I-V 特性(曲線)、I-V カーブ
太陽電池の出力電圧に対する出力電流の関係を示す特性。

JIS C 8960 番号 317

J

JCSS p.55

: 計量法校正事業者認定制度(Japan Calibration Service System)

JCSS(じえいしーえすえす、英: Japan Calibration Service System の略称) : 計量法に基づく計量法トレーサビリティ制度。

<https://www.nite.go.jp/iajapan/jcss/outline/index.html>

K

L

LTI p.54

: 長時間変動率(Long -term instability)

I-V 特性曲線全体を得るのに必要な時間(I-V 測定の場合)における時間変動率。

耐光性評価に必要な光照射時間(光照射試験の場合)における時間変動率。

JIS C 8960 番号 317

Low-E Glass p.27, p.29, p.30

: 低放射(Low Emissivity)ガラス 表面に Low-E 膜といわれる特殊な金属膜(酸化錫や銀)をコーティングしたガラスのことで、複層ガラスへ主に用いられている。

<https://shinku-glass.jp/contents/knowledge/lowe-eco/>

M

MPP p.25, p.28, p.29

: 最大電力点(Maximum Power Point) / 最大出力

太陽電池が発電する時に出力を最大化できる最適な電流×電圧の値(最大電力点、あるいは最適動作点)。

JIS C 8960 番号 305

MPPT p.25, p.26

: 最大電力点追従制御(maximum power point tracking)

太陽電池が発電する時に出力を最大化できる最適な電流×電圧の値(最大電力点、あるいは最適動作点)を自動で求めることができる制御。

JIS C 8960 番号 448

N

O

OC p.29

:出力端開放(Open Circuit)

回路の出力端が開放され、途切れた状態。

P

POT p.25

:電力三角形:パワートライアングル(power operating triangle)

パワートライアングルは直角三角形で、斜辺が皮相電力 S を表し、底辺が有効電力 P、高さが無効電力 Q であり、有効電力を皮相効電力で除したものが力率である。

<https://hegtel.com/denryoku-sankakukei.html>

Q

R

S

SHGC p.8

:日射熱取得率(Solar Heat Gain Coefficient)

照射日射取得熱量の照射日射熱量に対する比

JIS R 3106 3.5

STI p.54

:短時間変動率(Short -term instability)

I-V ポイント 1 点をサンプリングする間の放射照度の変動

JIS C 8904-9 解説 4.2

STPV p.26, p.27, p.28

:半透過型 PV(semi-transparent photovoltaic module)

可視光透過率が 60%以上の透明な太陽電池

T

U

V

W

WRR p.55

: 世界放射基準 (World Radiometric Reference)
国際的な太陽放射照度の単位を示す計測標準。

https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/radiation/rrc_rad.html

WWR p.27, P28

: 窓と壁の比率 (Window-to-Wall Ratio)
 $WtWr = \text{総窓面積 (GWA)} / \text{総外壁面積 (GEWA)}$
ここで、総窓面積は建物の正面にある窓の合計面積を指し、総外壁面積は建物の外壁の合計面積を指す。

https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201902228437976221

X

Y

Z

ZEB p.27, P28

: ゼブ (Net-Zero Energy Building)
年間の一次エネルギー消費量が正味ゼロまたはマイナスの建築物のこと。

<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9766998/www.meti.go.jp/press/2015/12/20151217002/20151217002-1.pdf>

あ

アーク放電 p.35

Arc discharge。陰極からの二次電子放出が熱電子放出よりも大きい放電。

JIS Z 8113 番号 07077

い

インテグレータレンズ p.34、p.64

LCD、半導体、PCB 等の露光装置、疑似太陽光発生装置等に用いられる四角形、または六角形のレンズを組み合わせて均一に光を照射させるための重要な光学部品。

http://integrate-inc.co.jp/item_01.html

う

え

エアマスフィルタ p.34、p.35

キセノンランプなどの人工光源の光を太陽光の分光分布に近づけるための多層蒸着膜フィルタ。

お

か

開口(部) p.7、p.8、p.9、p.10、p.11、p.17、p.33、p.38、p.64

外部に面した壁ではない部分。窓や扉の付いている部分のこと。

http://kenchikuyogo.com/?page_id=2962#google_vignette

外皮(クラッド) p.27

熱的境界(外気と室内の温度環境を区分する境界)になる住宅の外周部分を指す。

JIS A 2201 3.1.2

外皮熱貫流率 p.27

外皮熱貫流率(Envelope Thermal Transfer Value) 外皮平均熱貫流率(UA 値)

住宅の内部から外壁、屋根、天井、床及び開口部などを通過して外部へ逃げる熱損失の合計を外皮面積の合計で除した値(住宅の断熱性能を表す数値)。

<https://www.eneboss.com/heattransmission.html>

可視光透過率 p.29、p.30

ガラス面に垂直に入射する昼光の光束について、入射光束に対する透過光束の比率。

JIS R 3106 3.1

干渉フィルタ p.34

薄膜の干渉現象を利用し、ある特定の波長領域の光だけを透過して、他の波長の光は通さないようにしたフィルタ。

ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典 - 干渉フィルタ

き

幾何学的透明度 p.2、p.7、p.28、p.29

Geometric Transparency Degree : (GTD) 透明さを表す指標。

基準太陽光 p.13、p.23、p.26、p.34、p.35、p.36、p.41、p.44、p.45、p.54

太陽電池セル・モジュールの特性を共通の条件で表現するために、放射照度及び分光放射照度分布を規定した、仮想の太陽光。

JIS C 8960 番号 355

キセノン(アーク)ランプ (多数・省略)

主としてキセノンガスの励起によって発光する放電ランプ。

JIS Z 8113 番号 07042

気密性 p.5、p.39、p.47、p.56、p.57

実際の室内外を隔てる外周部分(外皮)又は建物の部位で内外を隔てる部分の密閉性の程度。

JIS A 2201 3.1.2

く

グレージング p.7、p.25、p.26、p.28、p.29

窓やドアを構成するガラスなどの透過性のある面材。

JIS A 2103 3.1.1

計測箱

冷却装置、屋内側バッフル、加熱装置及び屋内ファンで構成し、屋内側環境を維持でき、熱流計などの適切な熱流評価試験装置を用いて計測箱全体を通過する熱流量を測定できるもの。

JIS A 1493

建材一体型(太陽電池) p.1、p.7、p.24、p.25、p.27

太陽電池モジュールと壁建材とを接着剤、ボルトなどで一体化構造にしたもの、太陽電池モジュールと壁建材とを物理的に分割することが可能である。

JIS C 8960 番号 625

二

校正板 p.11、p.39、p.55

熱伝導率又は熱抵抗率が既知で均質の材料で表面の性状が試験体と類似にしたもので、熱抵抗又は熱伝導率を測定したもの。表面熱伝達率、試験体取り付けパネルの熱抵抗などの試験条件を設定するために用いる。

JIS A 4710 5.3 に基づき編集

光電変換(効率) p.26、p.30

照射された(太陽)光のエネルギーを電力に変換すること(変換の効率)。

さ

最大電力点(最大出力点) p.23、p.25、p.28、p.29、p.36、p.43

太陽電池セル・モジュールの電流電圧特性曲線上で電流と電圧との積が最大になる点での出力。

JIS C 8960 番号 305

最大入射角 p.13、p.33、p.55

有効照射面上の任意の点に入射する光線が、それらの入射点を起点とする法線となす角度のうちの最大値。

JIS C 8904-9 3.3A 廃止

し

(長)時間変動率	p.13、p.46、p.54
I-V 特性曲線全体を得るのに必要な時間(I-V 測定の場合)における時間変動率。	
・耐光性評価に必要な光照射時間(光照射試験の場合)における時間変動率。	
JIS C 8904-9 3.11 b) :廃止	
重価係数	p.54
基準太陽光の分光放射照度[W/(m ² ·nm)]を、規定の波長域において、波長で積分した放射照度 [W/m ²]。	
JISK 5602 3.4	
照射熱量(放射照度)	p.8、p.15、p.18
表面の単位面積当たりに、単位時間に、太陽又は人工光源から入射する放射エネルギー。	
JIS C 8960 番号 341	
照射むら	p.13
照射される面内における放射照度の不均一性。	
ショートアークランプ	p14、p36、p37、p38、p39、p47
電極間距離が 1~10mm 程度で、一般に超高圧のアークランプ。	
JIS Z 8113 番号 07032	
人工光源	p.10、p.26
人工光源による照明。	
JIS Z 8113 番号 09006 人工照明	
す	
スペクトル合致度	p.13、p.34、p.35、p.36、p.45、p.54
ある波長帯でのスペクトルの合致度。	
JIS C 8960 番号 363	
せ	
積層ガラス(複層ガラス)	p.29

2枚以上の板ガラス 1),加工ガラス又はそれらの表面に光学薄膜を形成したものを材料板ガラスとし,一定の間隙をおいて並置し,その間隙(中空層)に,大気圧に近い圧力の乾燥気体を満たし,その周辺を封止したもの。

JIS R 3209 3.1

セル占有率 p.2, p.28, p.56
太陽電池モジュール表面積に対してセルの面積の占める割合。

全天日射 p.13, p.18, p.39, p.54, p.55
直達日射と散乱日射を合わせた日射。

JIS C 8960 番号 335

大気圏を透過して地上に直接到達する日射(直達日射),及び空気分子,じんあいなどによって散乱,反射又は再放射され天空から地表に到達する日射(天空日射)の総和。

JIS K 5602 3.1

そ

相当隙間面積 p.47, p.56
総相当隙間面積を外皮内の実質延べ面積で除したもの。

JIS A 2201 3.1.9

ソーラシミュレータ (多数・省略)
試験目的に応じて要求される放射照度、均一性、及びスペクトル合致度を満足する、太陽電池などへの照射光源。

JIS C 8960 番号 393

た

大気パラメータ p.54
大気の状態を表す要素。

耐光性試験 p.35
短時間に耐光性の一部の性質を調べるために、太陽光に近似した人工光源の照射を行う試験。

JIS B 7754 1 適用範囲の備考

(太陽電池)ストリングス p.26

太陽電池アレイ又は太陽電池サブアレイが所定の出力電圧を満足するように、太陽電池モジュールを直列に接続した回路。

JIS C 8960 番号 634

多層蒸着膜 p.34

誘電体や半導体や金属の薄膜を複数層重ね、有用な特性を持たせたもの。

ち

長時間安定性 p.33、p.34、p.35、p.37

1枚の太陽電池セル・モジュールのIV特性の全データを採取するのに必要な時間又は、耐光性評価に必要な光照射時間を基準として、ソーラシミュレータの受け渡し当事者間の協定で指定する時間内の放射照度の変動率。

JIS C 8904-9 3.11 b) :廃止

直達日射 p.23、p.18

太陽から地表に直接到達する日射。

JIS C 8960 番号 337

つ

て

定常光 p.13、p.28、p.33、p.34、p.35、p.36、p.41

定常光とは、時間とともに強さや方向が変化しない光のことで、その性質から「連續光」とも呼ばれる。<https://fushimi.blog/life/hobby/photo-bible/photo-knowledges/continuous-lighting-in-photography%E2%86%92-a-comprehensive-guide/>

低放射(Low-E)ガラス p.29、p.30

低放射(Low Emissivity)ガラス 表面にLow-E膜といわれる特殊な金属膜(酸化錫や銀)をコーティングしたガラスのことで、複層ガラスへ主に用いられている。

<https://shinku-glass.jp/contents/knowledge/lowe-eco/>

デグリネーションアングル p.55

光源中心から来る光と照射面の法線(光軸)がなす角度(照射面内最大値)。

点光源 p.24、p.35

照明など放射に関する計算や測定において、照射を受ける面までの距離に比べて大きさが無視できる程度に小さい放射源。

JIS Z 8113 番号 01021

電力動作三角形 p.25

: 電力三角形: パワートライアングル (power operating triangle)

パワートライアングルは直角三角形で、斜辺が皮相電力 S を表し、底辺が有効電力 P 、高さが無効電力 Q であり、有効電力を皮相効電力で除したものが力率である。

<https://hegtel.com/denryoku-sankakukei.html>

と

ドアセット p.47、p.56、p.57

あらかじめ枠と戸とが製作・調整されていて、現場取付けに際して一つの構成材として扱うことができるもの。

JIS A 4702 3.1

な

に

日射熱取得率 (多数・省略)

窓ガラス面に垂直に入射する日射について、ガラス部分を透過する日射の放射束とガラスに吸収されて室内側に伝達される熱流束との和の、入射する日射の放射束に対する比率。

JIS R 3106 3.5

日射遮蔽(物) p.10、p.28、p.32、p.38 JIS A 2103 3.1.3

窓に平行に配置され日射を遮蔽する効果をもつもの(ブラインド、スクリーン、紙障子、日射調整フィルムなど)。

JIS A 2103 3.1.3

ね

熱流束密度 p.7、p.8、p.56

単位時間に単位面積を通過する熱流量。

JIS A 0202 番号 1103

熱貫流抵抗 p.55

熱貫流率の逆数。熱貫流の現象における熱の移動しにくさを示す。

JIS A 0202 番号 1113

熱貫流率 p.7、p.11、p.17、p.24、p.27

個体壁の両面が流体に接するとき、単位面積の個体壁を通過して、単位温度差をもつ高温側流体から低温側流体へ単位時間に伝わる熱流量。

JIS A 0202 番号 1112

熱伝達係数 p.7、p.24、p.29、p.30、p.34

一般に総合熱伝達率の略称で、定常状態において、ある表面における熱流密度をその表面温度と周囲の流体温度との差で除した値。

JIS A 0202 番号 1111

熱流密度 p.11、p.15、p.16

単位時間に単位面積を通過する熱流量。

JIS A 0202 番号 1103

熱流計 p.24、p.28

熱的に安定した熱抵抗もつ薄い平板材料でできており、試験体と熱流計自身を断面方向に流れる熱流によって、熱流計の両面に発生する温度差による起電力を測定し、試験体を通過する熱流量密度を求める計器。

JIS A 1412-1 2.3.1

の

は

発散角 p.26、p.33、p.55

拡がりの程度を表すパラメータ。

半透過型 PV p.26、p.27、p.28

: 半透過型 PV (semi-transparent photovoltaic module)。可視光透過率が 60% 以上の透明な太陽電池

ひ

(表面)熱伝達抵抗 p.19

熱伝達率の逆数。

JIS A 0202 番号 1111-A

表面熱伝達率 p.11、p.15、p.18、p.19、p.20、p.21

板ガラスの室外側の表面温度と室外温度との差、又は板ガラスの室内側の表面温度と室内温度との差 1K 当たりの熱流束。

JIS R 3107 3.4

ふ

フェネストレーション p.27、p.28

窓、ドア、天窓など、建物のファサードに意図的に開口部を設けることを指す。

複層ガラス(積層ガラス) p.26

2 枚以上の板ガラス 1)加工ガラス又はそれらの表面に光学薄膜を形成したものを材料板ガラスとし、一定の間隙をおいて並置し、その間隙(中空層)に、大気圧に近い圧力の乾燥気体を満たし、その周辺を封止したもの。

JIS R 3209 3.1

不確かさ p.27、p.28

測定結果に付随した、合理的に測定対象量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴付けるパラメータ。

JIS Z 8404 3.1.4

ブラインド p.10

日よけや目隠しなどの目的で、窓や出入り口に取り付けるおおいのことである。

フロート板ガラス p.26、p.27、p.28

フロート方式によって製造した透明な板ガラス。

JIS R 3202 3.1

分光放射照度 (多数・省略)

多数の波長成分を含有する放射照度のうちの特定の波長成分だけを分離して示す、波長幅当たりの放射照度。

JIS C 8960 番号 374

へ

(壁面)熱流(量) p.11

ある系へ、又はある系から移動する単位時間当たりの熱量。

JIS A 0202 番号 1102

ほ

放射強度計 p.13、p.39、p.54

標準ランプ又は絶対放射計で校正した、熱電対又は熱電堆を用いた、波長依存性がない熱型計測器。

JIS C 8960 番号 396

放射束 p.7、p.8

放射束として放出される、伝達される、又は受け入れられるパワーで、ある時間要素間の放射エネルギーを、その時間要素で除した量。

JIS Z 8113 番号 01033

ま

窓割り(フェネストレーション) p.27

建物の外壁にある様々な開口部を表す言葉。

み

む

め

メタルハライドランプ (多数・省略)

光の大部分が、金属蒸気及びハロゲン化合物の解離生成物の混合物から発生する高輝度放電ランプ。

JIS Z 8113 番号 07040

ゆ

ら

り

る

累積放射照度(積分放射照度) p.54

ある一定期間の放射照度の積分値。

JIS C 8960 番号 334

れ

ろ

ロングアーク(ランプ) p.33, p.35

電極間距離が長く、アークは放電管全体に広がって、それによって安定化する一般に高圧力のアークランプ。

JIS Z 8113 番号 07033