

一般セッション(口頭講演) | 16 非晶質・微結晶：16.3 シリコン系太陽電池

2025年3月16日(日) 13:30 ~ 17:15 会 K308 (講義棟)

[16p-K308-1~14] 16.3 シリコン系太陽電池

立花 福久(産総研)、河野 悠(立命館大)

13:30 ~ 13:45

[16p-K308-1]

封止剤を用いない結晶シリコン太陽電池モジュールにおける高熱伝導粒子混合層による昇温抑止効果 (II)

○傍島 靖¹、若園 光善¹、杉崎 悠人¹、大平 圭介² (1.岐阜大工、2.北陸先端大)

◆ 奨励賞エントリー

13:45 ~ 14:00

[16p-K308-2]

ポリカーボネートベースの封止材を用いない結晶Si太陽電池モジュールに対する高温高湿/温度サイクル複合試験の影響

○山川 耀¹、三上 癒太¹、岡田 靖寛²、小柏 陽平²、高橋 宏明²、木村 直史³、石河 泰明⁴、永原 光倫⁵、大平 圭介⁵、後藤 和泰^{1,6}、増田 淳^{1,6} (1.新潟大工、2.京セラ、3.オキツモ、4.青山学院大学、5.北陸先端大、6.新潟大カーボンセンター)

14:00 ~ 14:15

[16p-K308-3]

端部構造を改良した封止材とカバーガラスを使用しない結晶Si太陽電池モジュールへの高温高湿試験

○(M2)永原 光倫¹、小柏 陽平²、高橋 宏明²、Huynh Thi Cam Tu¹、大平 圭介¹ (1.北陸先端大、2.京セラ)

14:15 ~ 14:30

[16p-K308-4]

結晶シリコン太陽電池を用いたフレキシブルモジュールの加速劣化評価-その2

○立花 福久¹、白澤 勝彦¹、棚橋 克人¹ (1.産総研)

◆ 英語発表

14:30 ~ 14:45

[16p-K308-5]

Preparation of Honeycomb-Structured Light-Weight Photovoltaic Module with High Conversion Efficiency and Strength

○(DC)Taiyufei Liu¹, Michio Kondo^{1,2}, Hiroyuki Wada¹ (1.Science Tokyo, 2.Waseda Univ.)

14:45 ~ 15:00

[16p-K308-6]

透明ハニカムを用いた太陽電池モジュールの作製と評価

○藤原 朋貴¹、近藤 道雄^{1,2}、和田 裕之¹ (1.科学大物質、2.早大)

15:00 ~ 15:15

[16p-K308-7]

ハニカム構造材料及び潜熱蓄熱材を利用した太陽光発電モジュールの作製と温度特性評価

○池田 拓翔¹、近藤 道雄^{2,1}、和田 裕之¹ (1.科学大物質、2.早大)

15:30 ~ 15:45

[16p-K308-8]

佐賀県鳥栖市において屋外曝露された高効率結晶Si系太陽電池モジュールの屋内測定結果の年次推移(IV)

○千葉 恭男¹、佐藤 梨都子¹、崔 誠佑¹、秋富 稔¹、石井 徹之²、増田 淳³ (1.産総研、2.電中研、3.新潟大)

15:45 ~ 16:00

[16p-K308-9]

中東で38年間使用した太陽電池モジュール中のPVB封止材の劣化メカニズムの検討

○(M1)伊藤 一磨¹、佐藤 雄大¹、Mohammed Dahesh^{2,3}、Mohammed Al-Matwaki³、Marwan Dhamrin⁴、後藤 和泰^{1,5}、増田 淳^{1,5} (1.新潟大院自然、2.YSMO、3.Sana'a Univ.、4.大阪大院工、5.新潟大IRCNT)

16:00 ~ 16:15

[16p-K308-10]

誘導加熱を用いたBC型太陽電池セル間の電気的な接続の修復方法の開発

○河野 悠¹、岡本 親扶¹、峯元 高志¹ (1.立命館大理工)

◆ 英語発表

16:15 ~ 16:30

[16p-K308-11]

Potential-induced degradation of n-type front-emitter crystalline silicon photovoltaic modules with various encapsulants and cover materials

○(M2)Nguyen TranTrung Duc, Keisuke Ohdaira

16:30 ~ 16:45

[16p-K308-12]

結晶シリコンセル表面を導電層で部分被覆した太陽電池モジュールのシャント型電圧誘起劣化挙動

○米本 旭¹、秦 禎明¹、西野 耕平¹、Marwan Dhamrin²、大平 圭介³、後藤 和泰^{1,4}、増田 淳^{1,4} (1.新潟大自然研、2.大阪大、3.北陸先端大、4.新潟大IRCNT)

◆ 英語発表

16:45 ~ 17:00

[16p-K308-13]

White Building-Integrated Photovoltaics by Micron Textured Structure

○(D)Disong Zhao¹、Kaito Shishido¹、Michio Kondo^{1,2}、Hiroyuki Wada¹ (1.Science Tokyo., 2.Waseda Univ.)

17:00 ~ 17:15

[16p-K308-14]

建材一体型太陽光発電(BIPV)に向けた酸化チタンナノ粒子を用いた散乱体薄膜の光学特性評価

○佐藤 友哉¹、今井 啓太¹、近藤 道雄^{1,2}、和田 裕之¹ (1.科学大物質、2.早大)

封止材を用いない結晶シリコン太陽電池モジュールにおける 高熱伝導粒子混合層による昇温抑止効果 (II)

The operating temperature suppression effect by high thermal conductivity
particle composite layer on crystal silicon solar cell module without encapsulant (II)

岐阜大工¹, 北陸先端大² ◦傍島 靖¹, 若園 光善¹, 杉崎 悠人¹, 大平 圭介²

Gifu Univ.¹, JAIST², ◦Yasushi Sobajima¹, Kouzen Wakazono¹, Yuto Sugisaki¹, Keisuke Ohdaira²

E-mail: sobajima.yasushi.b2@f.gifu-u.ac.jp

再生可能エネルギーである太陽電池において、長期使用後のリサイクルは重要であり、重要課題の一つである。北陸先端大の中村ら^[1]により、リサイクル性を高めた EVA 等の封止材を用いない太陽電池モジュール構造が提案され、高い PID 抑止効果を有することが報告されている^[1]。我々は高熱伝導性粒子混合放熱材を使用した同モジュールへの放熱性能向上付与に関する研究について成果を本学会にて報告してきた^[2]。これまで粒子混合放熱材は下部基材表面に塗布し主に横方向への熱伝導性による放熱付与を行ったが、カバーガラス-基材間の封止への障害になる懸念があった。本研究では基材底部に貫通穴を適用し、粒子混合材を充填する事でセル底部から縦方向への放熱性能を向上させた新規構造について、検討を実施した。

今回試作したモジュール構造は図 1 に示す通りである。c-Si セル(15 x 15 mm²)は 基材(PLA 製, 55 x 55 mm²) を 3D プリンタで自作し、底部全体に 2mm φ の貫通穴を形成した。基材には熱伝導性粒子混合材を塗布の上、セルと Eagle XG (45 x 45 mm², 0.7 mm 厚) を疑似カバーガラスとして載せシリコンパテで封止した。セル-基材間は市販の熱伝導性シートで密着し、セルから粒子混合材までの熱伝導路を確保した。熱伝導性粒子混合材には熱伝導性フィラー粒子材である AlN および MgO(粒子径数 μm)を silicone 溶液中に混入し、粒子混合 silicone (AlN/silicone または MgO/silicone) を用いた。モジュール内の温度特性は、連続光照射(AM1.5, 100 mW/cm²)における開放電圧(V_{OC})の変化量と既存の c-Si のセル特性^[3]から推定した^[2]。

粒子混合材は一定液量に対しヘラを用いて均一に塗布した。断面 SEM 計測から塗布 1 回あたりの膜厚は約 100 μm 弱と前回^[2]の刷毛による塗布手法より増加した。図 2 に基材底部に貫通穴を持つ封止材を用いない結晶シリコン太陽電池モジュール上に未適用(a)と、MgO/silicone(b)、AlN/silicone(c)をそれぞれ塗布した場合における V_{OC} の光照射時間変化を示す。図より同一 c-Si セルを用いた場合、実験経過時間に対し V_{OC} は単調に低下しているが、未適用時と比較して、MgO(b) や AlN を用いた場合には連続光照射経過時の V_{OC} の低下量が小さくモジュール温度上昇が抑止されている事を示唆している。さらに MgO より AlN 粒子を使用した際の方が十分な放熱作用を示し、推定温度差は 11.5℃ となった。貫通穴使用時でも十分な放熱性能を示していることが分かる。

【謝辞】本研究は「NEDO 先端研究プログラム」として実施されました。

[1] S. Shimpo et al., Jpn. J. Appl. Phys. 62, (2023) SK1039.

[2] 傍島 他, 第 71 回応用物理学会春季学術講演会, 東京都市大, 24p-12M-20 (2024).

[3] E. Radziemska, Renewable Energy 28 (2003) 1.

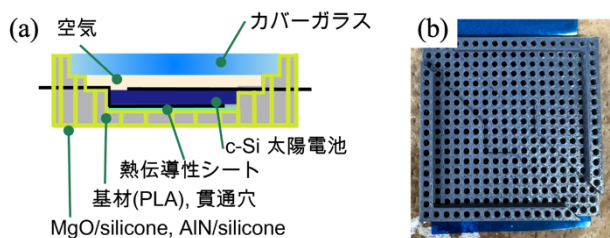


Fig.1 c-Si module structure without encapsulant used in this study.

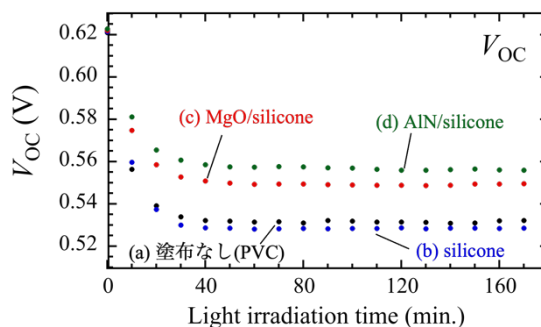


Fig.2 Changes in V_{OC} as a function of light irradiation time for c-Si solar cell modules with particle-mixed silicone layer on a base material.

ポリカーボネートベースの封止材を用いない結晶Si太陽電池モジュール に対する高温高湿/温度サイクル複合試験の影響

Influence of damp-heat and thermal cycling sequential test on reliability for unencapsulated crystalline Si photovoltaic modules with polycarbonate base

新潟大工¹, 京セラ², オキツモ³, 青山学院大⁴, 北陸先端大⁵, 新潟大カーボンセンター⁶

○(M2) 山川 耀¹, 三上 癒太¹, 岡田 靖寛², 小柏 陽平², 高橋 宏明², 木村 直史³, 石河 泰明⁴,
永原 光倫⁵, 大平 圭介⁵, 後藤 和泰^{1,6}, 増田 淳^{1,6}

Fac. Eng., Niigata Univ.¹, Kyocera Corp.², Okitsumo Inc.³,

Aoyama Gakuin Univ.⁴, JAIST⁵, IRCNT, Niigata Univ.⁶

○Yo Yamakawa¹, Yuta Mikami¹, Yasuhiro Okada², Yohei Ogashiwa², Hiroaki Takahashi²,

Naoshi Kimura³, Yasuaki Ishikawa⁴, Mitsunori Nagahara⁵,

Keisuke Ohdaira⁵, Kazuhiro Gotoh^{1,6}, Atsushi Masuda^{1,6}

E-mail: f23084e@mail.cc.niigata-u.ac.jp

結晶シリコン太陽電池モジュールに封止材として使用されるエチレン酢酸ビニル共重合樹脂 (EVA) は長期信頼性を損なう劣化要因となる。さらに封止された太陽電池モジュールの廃棄時、部材毎に分別することは非常に困難であるためリサイクル性に乏しい。これらの問題を回避するため、封止材を用いない太陽電池モジュールが提案され[1]、湿熱、熱機械的負荷に対し従来の封止されたモジュールと同等の耐性があることを確認した[2]。さらに、封止なしモジュールの多用途展開のためカバー・ベース材に用いる強化ガラス・テフロンをともにポリカーボネート (PC) に変えることで軽量・曲面追従性と低コスト化を図ったモジュールを設計した。本研究では本モジュールの長期信頼性を検証するため、高温高湿 (DH) 試験、温度サイクル (TC) 試験を交互に実施する複合試験を実施した。複数の劣化要因を組み合わせた試験による劣化は、単独試験における劣化の単純な足し合わせとはならず[3]、屋外曝露時の劣化現象をより正確に再現できるのではないかと考えられる。また、本モジュールではカバーとセル間に存在する屈折率の低い大気により入射光が反射し受光量が低下する。その抑止策として低屈折材料のフッ化マグネシウム (MgF₂) を PC 材にコーティングすることによる反射防止効果も検討した。

30×30 mm² の p 型単結晶 Si 太陽電池セルを導電性ペーストによりシングリング (瓦積み) 接続し、封止材を用いないモジュールを作製した。このモジュールに対して、DH/TC 複合試験を実施した。加えて、モジュールの PC 製カバー材に MgF₂ を電子ビーム蒸着し、短絡電流 (I_{sc}) を測定することで反射防止効果を検証した。

DH 試験積算 1800 時間、TC 試験積算 600 cycle までの太陽電池パラメータの変化を Fig. 1 に示す。試験後の性能低下は 7% 程度に収まった。また、PC カバー材により短絡電流が 30 mA 程度低下するのに対し、MgF₂ コーティングしたカバー材を用いることで、その低下が約 15 mA に抑制された。

本モジュールは湿熱・熱機械的負荷に対する信頼性が高いこと、カバー材への反射防止膜コートにより受光量低下の抑止が可能なが示唆された。

[謝辞]本研究は NEDO の委託により実施した。

[1] S. Shimpo et al., Jpn. J. Appl. Phys. **62**, SK1039 (2023).

[2] N. Imajo et al., Jpn. J. Appl. Phys. **62**, SK1025 (2023).

[3] A. Masuda et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 04ES10 (2016).

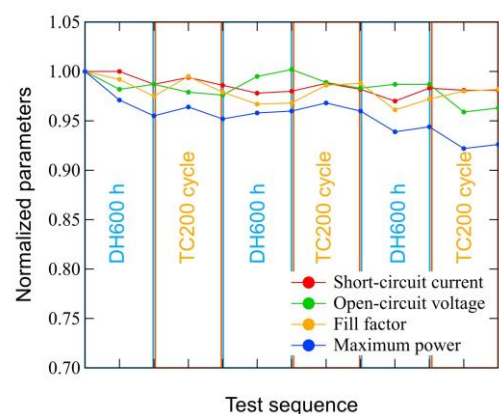


Fig. 1 Changes in solar cell parameters during sequential testing

端部構造を改良した封止材とカバーガラスを使用しない 結晶 Si 太陽電池モジュールへの高温高湿試験

Damp heat test on crystalline Si photovoltaic modules without encapsulation and cover glass with modified edge structures

北陸先端大¹, 京セラ²

(M2) 永原 光倫¹, 小柏 陽平², 高橋 宏明², Huynh Thi Cam Tu¹, 大平 圭介¹

JAIST¹, Kyocera Corp,²

Mitsunori Nagahara, Yohei Ogashiwa, Hiroaki Takahashi, Huynh Thi Cam Tu, Keisuke Ohdaira

E-mail: s2310118@jaist.ac.jp

太陽光発電の導入量は年々増加しており、使用済み太陽電池モジュールの埋め立て廃棄による最終処分場のひっ迫が問題視されている。従来型の太陽電池モジュールは、封止材により部材間が固着され、分別や部材リサイクルに課題を抱えている。また、重量が小さく、平面でない場所にも設置可能な太陽電池モジュールの開発も求められていることから、我々は封止材とカバーガラスを使用しない結晶 Si(c-Si)太陽電池モジュールの開発に取り組んでいる [1,2]。今回我々は、封止材とカバーガラスを使用せず、端部からの水分浸入を低減できる構造を有する小型モジュールに対し高温高湿(DH)試験を行ったのでその影響について報告する。

Fig. 1 に作製した封止材とカバーガラスを使用しない小型モジュールの外観を示す。端部に O リングを設置し、Al フレーム型クランプで固定することで太陽電池セルを水分浸入から

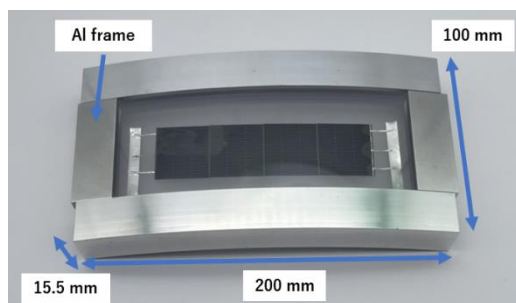


Fig. 1 Appearance of PV module without encapsulant and cover glass.

保護する。作製したモジュールの寸法は長辺 200 mm、短辺 100 mm、曲率 \sim 500 mm であった。シングリング接続したセルストリングをモジュール内部に入れ、85 °C、相対湿度 85% で DH 試験を行った。

Fig. 2 に 600 h の DH 試験前後のストリングのエレクトロルミネッセンス(EL)像を示す。DH 試験による EL 特性の劣化は確認されなかった。また、DH 環境では PC の加水分解による析出物が形成する可能性があるが [1]、モジュール内部での析出物発生は確認されなかった。講演では、2000 h の DH 試験による発電性能の特性変化や析出物形成の状況についても報告する予定である。

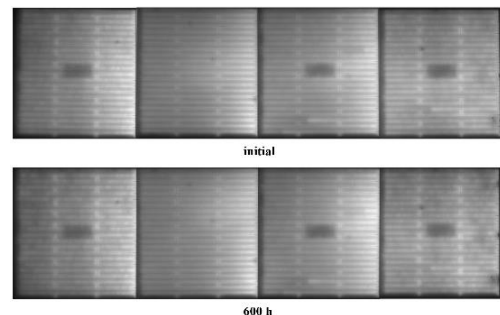


Fig. 2 EL images of strings before and after 600 h DH test

参考文献

[1] S. Shimpo et al., Jpn. J. Appl. Phys. 62, SK1039 (2023).

[2] 永原 他, 第 6 回フロンティア太陽電池セミナー, P32-77 (2024).

結晶シリコン太陽電池を用いたフレキシブルモジュールの加速劣化評価 -その2

Degradation analysis of flexible module with crystalline silicon solar cell

産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター

立花 福久, 白澤 勝彦, 棚橋 克人,

Renewable Energy Research Center, AIST

Tomihisa Tachibana, Katsuhiko Shirasawa, and Katsuto Tanahashi

E-mail: t-tachibana@aist.go.jp

【背景】太陽電池の利用拡大を目的とし、ビル壁面等の建物、重量制限のある屋根、移動体の表面などへの太陽光発電の導入の検討が近年盛んに進められている。これらの構造において太陽電池モジュールに求められる特徴の一つが柔軟性(フレキシブルモジュール)である。本研究では、結晶シリコンを用いてフレキシブルモジュールを作製した際の課題の抽出及び利用先拡大の探索を目的としている。今回は一枚のセルをモジュール化した1セルモジュールにおける加速劣化試験の結果について報告を行う。

【実験方法】156mm角の結晶シリコン太陽電池1枚使用して、モジュールを作製した。モジュール構造としては受光面側からポリエチレンテレフタレート(PET)フィルム/EVA/セル/EVA/バックシートである。比較対象として受光面側に3.2mm厚のガラス板を用いたモジュールを作製した。

初期特性を確認後、高温高湿試験(Damp heat: DH)試験装置を用いて温度85度、湿度85%の環境下で加速劣化を施した。フレキシブルモジュールは平置き治具および曲面治具に設置した。曲面治具の曲率半径は200mmとした。500時間ごとにIV特性、PLイメージング及びELイメージング、外観検査を行った。

【実験結果】FFの初期特性からの変化率をDH試験槽への投入時間で確認した結果を図1に示す。試験時間は6000時間まで行っている。図からわかる通り、試験時間が3000時間を越えたところでリファレンスであるガラス板を用いた1セルモジュールが初期特性から大きく低下を始め、6000時間を経過したところでは初期特性と比較して55%以下にまで低下した。一方で、PETを用いたフレキシブルモジュールでは平置き治具および曲面治具に設置したどちらのモジュールも98%以上を示していた。この結果から、曲面に取り付けた場合においても、DH試験による加速劣化には違いが無いことが明らかになった。

外観検査では受光面側のカバー材料として用いたPETフィルムの見た目に変化が表れた。講演ではこれらのデータを含めて議論を行う。

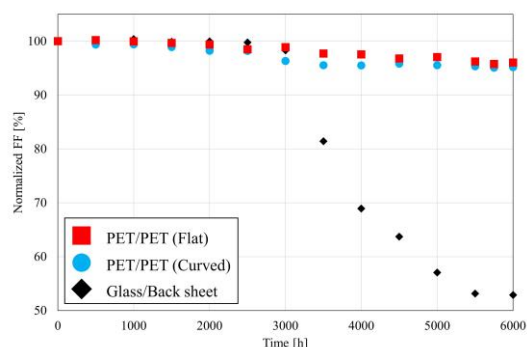


Fig. 1 Normalized FF properties of fabricated modules



Preparation of Honeycomb-Structured Light-Weight Photovoltaic Module with High Conversion Efficiency and Strength

Science Tokyo¹, Waseda Univ.² °(DC)Taiyufei Liu¹, Michio Kondo^{1,2}, Hiroyuki Wada¹

E-mail: liu.t.ddfb@m.isct.ac.jp

Building integrated photovoltaic (BIPV)^[1], the new concept in which the PV modules were designed to be placed around the building has been widely promoted in recent years. Unfortunately, the insufficient supporting weight of the building, the transportation and installation costs, and the energy efficiency restrict the application in the construction field. This research aims to address these limitations by designing a lightweight, energy-efficient, and structurally robust honeycomb-structured BIPV system that could expand its range of applications in construction and contribute to sustainable energy goals. Our results demonstrate that the new design significantly reduces the weight of the module while maintaining structural integrity, which made the panel lighter and portable.

Through both mathematical simulations and experimental testing, we assessed the electrical and mechanical properties of the proposed honeycomb-structured BIPV module. The mathematical results point out that the ratio between height and width of honeycomb is an important factor that will depend on the short-circuit current density J_{SC} . The conversion efficiency of conventional PV modules and honeycomb PV modules were measured based on solar simulator.

Although the conversion efficiency of PV modules at incident angle larger than 20° is affected by honeycomb structure, the experimental results have better efficiency than mathematical simulation was demonstrated in Figure 1. This improvement is attributed to the transmittance and reflective properties of paper used in the module. Future work will focus on strength simulations and long-term reliability tests to ensure its durability, aiming to promote sustainability and higher performance in the industry.

Acknowledgement: This work was financially supported by New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) under the Ministry of Economic, Trade, and Industries (METI).

References:

[1] Ballif, C., Perret-Aebi, LE., Lufkin, S. *et al.* Integrated thinking for photovoltaics in buildings. *Nat Energy* **3**, 438–442 (2018).

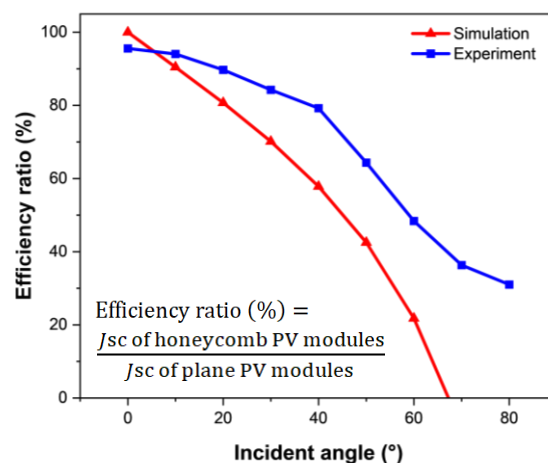


Figure 1 J_{SC} comparison between simulation and experiment.

透明ハニカムを用いた太陽電池モジュールの作製と評価

Making and evaluating solar cell modules with transparent honeycomb

科学大物質¹, 早大²

○藤原 朋貴¹, 近藤 道雄^{1,2}, 和田 裕之¹

Science Tokyo¹, Waseda Univ.²

○Tomoki Fujihara¹, Michio Kondo^{1,2}, Hiroyuki Wada¹

E-mail: fujihara.t.aa@m.titech.ac.jp

持続可能な社会を実現するためには、再生可能エネルギーの推進が重要である。環境省が発表している使用済み太陽光パネルの排出量推計^[1]によると、2030年代後半以降、年間50~80万tの太陽光パネルが排出されると想定されている。このため、太陽光発電を推進するためには、太陽電池のリサイクル技術の確立が求められる。本研究では、太陽電池モジュールにハニカムを組み入れた太陽電池モジュールを検討している。ハニカムを用いることで、易分解性と軽量高剛性を持つ太陽電池モジュールの開発を目指している。使用するハニカムの材質の光透過率が低いと、影により太陽電池セルに光が届きにくくなり、大きな発電効率の低下が懸念される。そこで、透明ハニカムを用いて、発電効率低下を抑えた太陽電池モジュールを検討している。

透明ハニカムまたは紙ハニカムを二枚のガラスで挟んでパネルを作製した。パネルをヘテロ結合型結晶シリコン太陽電池 (SHJ) の上に置き、短絡電流密度 (ΔJ_{sc}) を測定し、発電効率低下を算出した。0° から 75° まで 15° 刻みで角度をつけて測定した。

結果を Fig. 2 に示す。透明ハニカムは紙ハニカムと比較して発電効率の低下が抑えられていた。また、角度が増大するほど、両者発電効率が低下し、0~60° においてはその差が拡大した。これらの結果は、透明ハニカムが高い光透過率を持つため、太陽電池セルまで到達する光量の減少が抑制されたためと考えられる。

本研究は、国立研究開発法人産業技術総合研究所 (AIST) の齋 均 博士の支援、および、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務で得られた成果である。

[1] 環境省 再生可能エネルギー発電設備の廃棄・リサイクルに係る 現状及び課題について, (2023) 4.

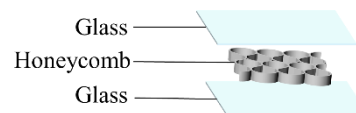


Figure 1. Schematic of honeycomb panel.

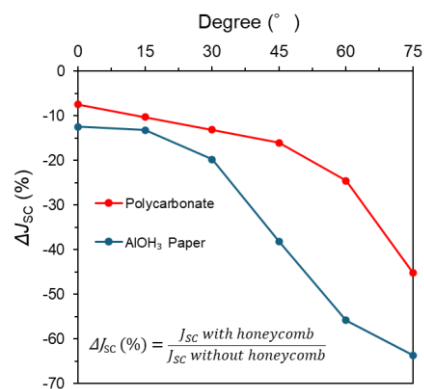


Figure 2. Irradiation-angle dependency of ΔJ_{sc} of transparent and paper honeycomb.

ハニカム構造材料及び潜熱蓄熱材を利用した 太陽光発電モジュールの作製と温度特性評価

Preparation and thermal property evaluation of photovoltaic module using honeycomb structural material and latent heat storage material

科学大物質理工¹, 早大² ◯池田 拓翔¹, 近藤道雄^{1,2}, 和田裕之¹

Science Tokyo¹, Waseda Univ.²

◯Takuto Ikeda¹, Michio Kondo², Hiroyuki Wada¹

E-mail: ikeda.t.bf@m.titech.ac.jp

太陽光発電は豊富なエネルギー源、CO₂排出量削減等の観点から近年注目を浴びている発電方法である¹⁾。一方、太陽光発電普及に伴う大量廃棄への対処法としてモジュールのリサイクル性向上は重要な課題である。そこで我々は紙ハニカムを利用することにより易分解性及び高剛性を持つ太陽光発電モジュールの開発を検討している。同時に太陽電池はセルの昇温に伴い発電効率が低下するため、セルの昇温を抑制する技術の開発も重要な課題である²⁾。そこで本研究ではハニカムを利用したモジュールの作製及び潜熱蓄熱材 (PCM) の吸熱を利用したセルの昇温抑制を目的とした。

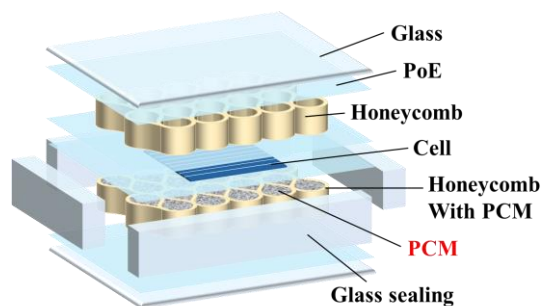


Fig.1. Structure of the module.

モジュールは Fig.1 に示すように各部材を積層し電気炉で封止を行い作製した。PCM は下ハニカムに充填した。ソーラーシミュレーターで 1 kW/m² の光を 30 分間照射しこの間のセルの温度を測定した。その後光照射を停止し、セルの温度が初期値に戻るまで同様に温度を測定した。

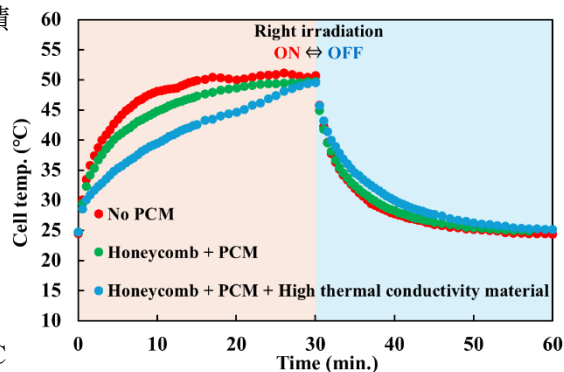


Fig.2. Result of the thermal property test.

結果はFig.2に示す。PCMの利用により 50 °C に達するまでのセルの昇温速度は 1/2 倍程度に抑制

された。さらに PCM 層内への高熱伝導物質の混入により昇温速度は 1/3 倍程度に抑制された。この結果より、PCM の利用によって太陽電池セルの昇温を抑制できることが明らかとなった。

本成果は、国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST)の齋 均様の支援、および、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務で得られた成果である。

- 1) 環境省, 太陽光発電の環境配慮ガイドライン, 令和 2 年, p11.
- 2) Lina M. Shaker et al., Examining the influence of thermal effects on solar cells: a comprehensive review, Sustainable Energy Research (2024).

佐賀県鳥栖市において屋外曝露された高効率結晶 Si 系 太陽電池モジュールの屋内測定結果の年次推移 (IV)

Annual Trends of Indoor Output Measurement Results of High-Efficiency Crystalline Silicon Photovoltaic Modules Exposed Outdoors in Tosu City (IV)

産総研¹, 電中研², 新潟大³ °千葉 恭男¹, 佐藤 梨都子¹, 崔 誠佑¹, 秋富 稔¹,
石井 徹之², 増田 淳³

AIST¹, CRIEPI², Niigata Univ.³, °Yasuo Chiba¹, Ritsuko Sato¹, Sungwoo Choi¹, Minoru Akitomi¹,
Tetsuyuki Ishii², Atsushi Masuda³

我々は、産総研九州センター(鳥栖市)の屋外曝露サイトに設置した各種太陽電池モジュールの発電量評価を実施している。これまで、設置された4種類のPERCモジュール(W-1C, W-1D, M-3E, M-3F)すべてにおいて、曝露初期の低下[1]や、LETID[2]に起因する夏季の特性の低下が示唆されたことを報告してきた[3-5]。今回、高効率結晶 Si 系太陽電池モジュールに対し、2024年12月までの屋内測定結果の年次推移をまとめたので報告する。屋内測定は、ソーラーシミュレータ(日清紡メカトロニクス社製 PVS1222i-L)を用いて、標準試験条件(1 kW/m², AM1.5G, 25°C)で測定した。Figure 1は、設置前の初期値で規格化した PERC モジュールの屋内測定結果(平均値)の年次推移を示している。屋内測定から2023年1月以降に、M-3EとM-3FのPERCモジュールにやや劣化傾向が見られた。詳細は、当日報告する。

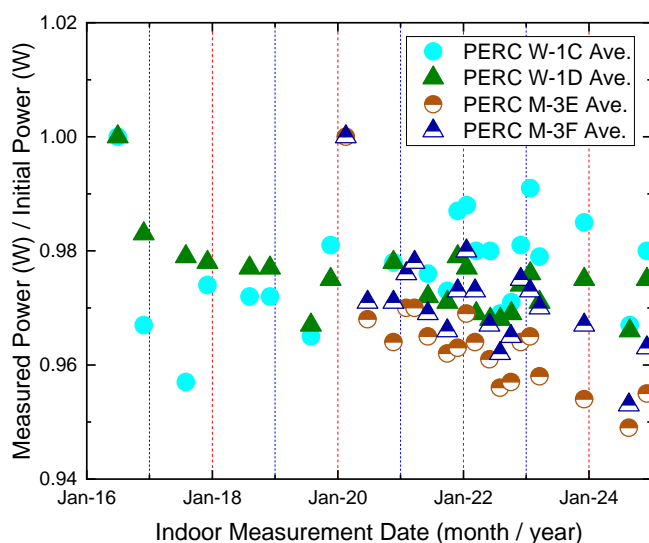


Figure 1. Summary of annual trends of PERC PV modules installed in our outdoor site.

【謝辞】本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託により行った。

【参考文献】 [1] 千葉 恭男他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 2021, 18p-Z29-9. [2] E. Fokuhl et al., EPJ Photovoltaics 12, 9 (2021). [3] 千葉 恭男他, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, 2022, 26a-F408-3. [4] 千葉 恭男他, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 2023, 17p-A403-5. [5] Y. Chiba et al., Jpn. J. Appl. Phys. 62, SK1036 (2023).

中東で 38 年間使用した太陽電池モジュール中の PVB 封止材の劣化メカニズムの検討

Degradation Mechanism of PVB Encapsulant in PV Modules Used Outdoors in the Middle East for 38 Years

新潟大院自然¹, YSMO², Sana'a Univ.³, 大阪大院工⁴, 新潟大 IRCNT⁵

°(M1)伊藤 一磨¹, 佐藤 雄大¹, Mohammed Dahesh^{2,3}, Mohammed Al-Matwakel³,
Marwan Dhamrin⁴, 後藤 和泰^{1,5}, 増田 淳^{1,5}

Grad. School Sci. Tech., Niigata Univ.¹, Yemen Standardization, Metrology and Quality Control Org.
(YSMO)², Fac. Sci. Sana'a Univ.³, Grad. School Eng., Osaka Univ.⁴, IRCNT, Niigata Univ.⁵

°Kazuma Ito¹, Yudai Sato¹, Mohammed Dahesh^{2,3}, Mohammed Al-Matwakel³,

Marwan Dhamrin⁴, Kazuhiro Gotoh^{1,5}, Atsushi Masuda^{1,5}

E-mail: f24c060b@mail.cc.niigata-u.ac.jp

太陽電池モジュールに使われる封止材は、湿熱環境や紫外光照射により黄変する。この黄変により、太陽電池への入射光量が低減することで、太陽電池の短絡電流が低下する。本研究で分析した太陽電池モジュールは、中東のイエメンの屋外環境において 38 年間使用したものであり、17 個あるモジュールの短絡電流は中央値で 17.59%低下した[1]。この太陽電池モジュールを解体し、封止材として使われているポリビニルブチラル(PVB)を化学的に分析して、太陽電池の性能低下の原因となる PVB の黄変の原因を解明することを本研究の目的とする。

屋外曝露された太陽電池モジュールを超音波カッターで切断し、PVB を取り出した。Fig. 1 に示すように太陽電池の部位によって PVB を通過する太陽光量や、PVB の温度が異なる。本研究では、太陽電池モジュールの部位によって PVB の劣化の程度に違いがあるのかを検証するために、セルの表側と裏側、さらにセルとセルの間にある PVB の計 3 種類のサンプルを取り出した。取り出した PVB は積分球を使った分光光度計で光透過率を、減衰全反射フーリエ赤外分光法 (FTIR-ATR) により分子の振動を測定した。

Fig. 2 には PVB サンプルの FTIR-ATR スペクトルを示す。紫外光が入射する部位の PVB は、セル裏側の PVB と比較して 3400 cm^{-1} 付近の水酸基由来[2]のピーク強度が弱く、逆に 1730 cm^{-1} のエステル結合由来[2]のピーク強度が強かった。このことから、紫外光により PVB の炭素骨格に含まれる水酸基が脱水縮合してエステル結合を形成したのではないかと考えられる。

[1] M. Dahesh et al., IEEE J. Photovoltaics 15, 137 (2025).

[2] B. Weller et al., Challenging Glass 2. Conf. Proc., 2010.

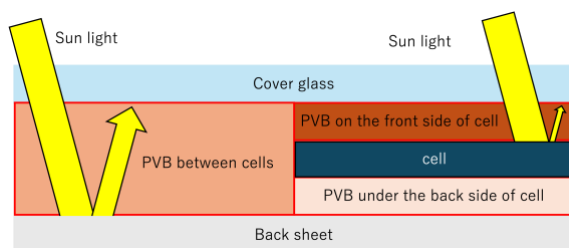


Fig. 1. Cross-sectional schematic of a PV module.

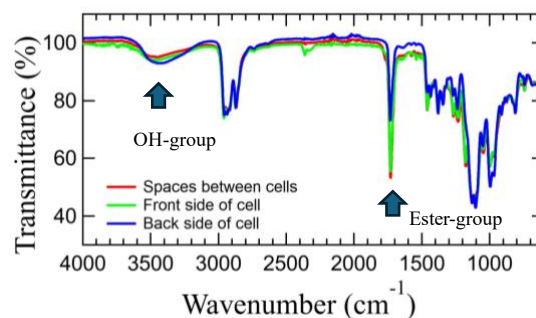


Fig. 2. FTIR-ATR spectra of PVB samples.

誘導加熱を用いたBC型太陽電池セル間の電氣的な接続の修復方法の開発

Development of a repair method for electrical connections

between BC silicon PV cells using induction heating

立命館大理工¹, °河野 悠¹, 岡本 親扶¹, 峯元 高志¹

Ritsumeikan Univ.¹, °Yu Kawano¹, Chikao Okamoto^{1,2}, Takashi Minemoto¹

E-mail: kawano@fc.ritsumei.ac.jp

太陽光発電(Photovoltaics, PV)は導入量を伸ばしている一方で、廃棄される PV モジュールは約 80 万トン/年に達する可能性が試算¹されており、その処理コストの増加が懸念される。本研究では廃棄される PV モジュールを減らすため、出力の低下した PV モジュールを非破壊・非接触かつオンサイトにて低コストで修復する技術の開発を行った。本研究で想定している故障モードは PV セル間の電氣的な接続に不具合が生じたもので、これを誘導加熱(Induction heating, IH)により修復を試みた。これまでに、PV セル間の電氣的な接続不良を模擬した試験体での修復技術の開発は報告例²があるものの、実際に劣化した PV モジュールを用いた研究は実施されてこなかった。そこで本研究では、2 直列のバックコンタクト(Back contact, BC)型シリコン PV モジュールを作製し、冷熱衝撃試験によりセル間の電氣的な接続不良を引き起こした BC 型 PV モジュールを準備し、それを IH によって修復可能か検証した。IH 装置には(WTS100-S-DP, 東レエンジニアリング(株), 3.5kW, 900kHz 仕様)を使用し、PV セル間の電氣的な接続の評価にはエレクトロルミネッセンス(Electroluminescence: EL)法と電流-電圧特性による直列抵抗の算出³を用いた。

右図に I-V 特性の評価結果を示す。(1)劣化加速試験前では光電変換効率(Eff.)21.2%、直列抵抗(R_s) 4.26 Ωcm^2 であった PV モジュールの性能が(2)劣化加速試験後には Eff. 19.2%、 R_s 18.0 Ωcm^2 まで低下した。これが(3)IH による修理後には Eff. 20.0%、 R_s 16.3 Ωcm^2 まで改善することを確認した。EL 法では、劣化加速試験に伴う電氣的な接続不良に伴い、特徴的な発光強度の分布が観察された。この分布は IH による修復後に改善する傾向が見られた。これらの結果より、IH により BC セル間の電氣的な接

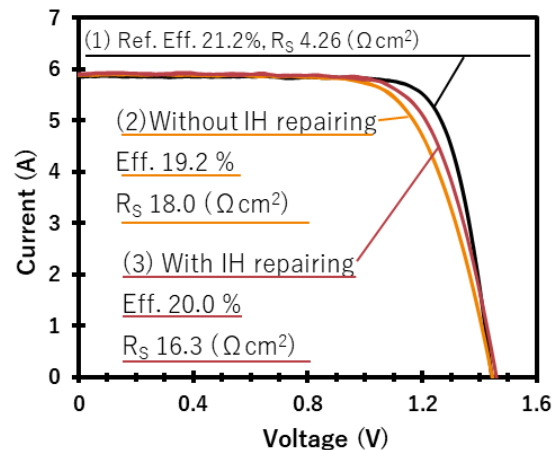


Fig. I-V characteristics of the (1) reference BC Si PV module, (2) before and (3) after repairing

謝辞 本研究は JSPS 科研費 24K20952 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 太陽光発電設備のリサイクル等の推進に向けたガイドライン, p.12, 環境省, 2016年3月
- 2) Y. Kawano et al., Sol. Energy 261, 55 (2023).
- 3) D. Pysch et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells 91, 1698 (2007).

Potential-induced degradation of n-type front-emitter crystalline silicon photovoltaic modules with various encapsulants and cover materials

JAIST

◦ Nguyen Tran Trung Duc and Keisuke Ohdaira

E-mail: s2210433@jaist.ac.jp

[Introduction] Potential-induced degradation (PID) phenomenon can significantly impact the performance and lifetime of photovoltaic (PV) modules.¹⁾ PID is the performance degradation of PV modules caused by an electrical potential difference between an Al frame and the cells. In the case of n-type crystalline silicon (c-Si) PV modules, PID occurs under a negative bias through the accumulation of positive fixed charges in a front silicon nitride (SiN_x) layer, known as polarization-type PID (PID-p), and is characterized by simultaneous reductions in the short-circuit current density (J_{sc}) and the open-circuit voltage (V_{oc}).²⁾ For more diverse applications and higher material recyclability of PV modules, the PID of c-Si PV modules with various encapsulants and cover materials should be investigated. We have thus far investigated the PID of p-type c-Si PV modules with various module materials.³⁾ In this study, we performed the PID test of n-type c-Si PV modules using polycarbonate (PC) as cover material and polyvinyl butyral (PVB) as the encapsulation layer as well as conventional cover glass and ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA).

[Methodology] Figure 1 shows the schematic structure of c-Si PV modules used in this study. We prepared n-type front-emitter c-Si solar cells from the commercial cells cleaved into $20 \times 20 \text{ mm}^2$. We used two types of encapsulant : EVA and PVB, and two types of cover material : glass and PC with a size of $45 \times 45 \text{ mm}^2$. The modules were formed by using a module laminator. The modules then received PID test by applying -1000 V to shorted module interconnector ribbons with respect to an Al plate placed on the cover glass of the modules in a chamber maintained at $85 \text{ }^\circ\text{C}$ with no humidity stress ($<2\% \text{RH}$) for up to 120 s. Current density–voltage (J – V) measurements were conducted in the dark and under 1-sun-illumination

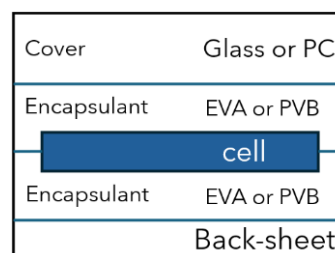


Figure 1. Schematic of the module structure.

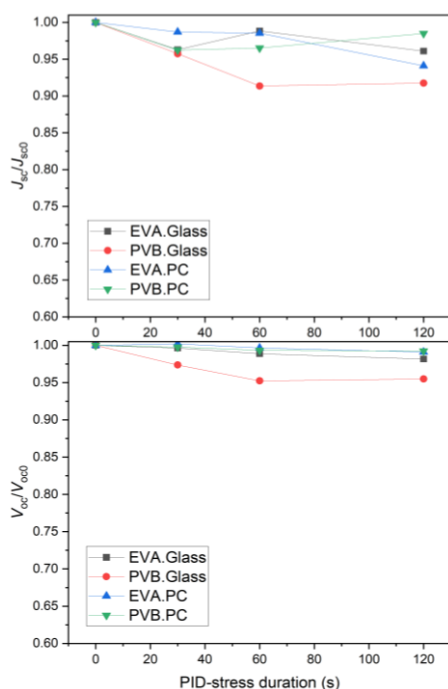


Figure 2. PID-stress duration dependence of J_{sc}/J_{sc0} and V_{oc}/V_{oc0} of 4 types of modules.

for the PV modules before and after the each PID tests.

[Results] Figure 2 shows the PID-stress duration dependence of J_{sc}/J_{sc0} and V_{oc}/V_{oc0} , where the subscript 0 indicates the initial value. The modules using EVA or PVB with cover glass shows decreases in V_{oc} and J_{sc} and their successive saturations. This is a typical behavior of the PID of n-type c-Si PV modules. In contrast, the modules with PC cover shows almost no decrease in V_{oc} . This clearly indicates that the use of PC as the cover of the PV modules can mitigate the PID-p of c-Si PV modules. Further experiments will be conducted to clarify to determine the duration for the saturation of the PID of the PV modules with PC cover.

[Acknowledgement] This work was supported by NEDO. PVB encapsulant was provided by Kyocera Corporation.

[References]

- 1) W. Lou et al., Energy Environ. Sci. 10, 43 (2017).
- 2) S. Yamaguchi et al., Sol. RRL 5, 2100708 (2021).
- 3) N. T. T. Duc et al., 令和6年度応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会講演予稿集, C11 (2024).

結晶シリコンセル表面を導電層で部分被覆した太陽電池モジュールの シャント型電圧誘起劣化挙動

Shunting-type potential-induced degradation behavior of photovoltaic modules with
crystalline silicon cell surfaces partially covered with a conductive layer

新潟大自然研¹, 大阪大², 北陸先端大³, 新潟大 IRCNT⁴

○(M2)米本 旭¹, (D)秦 禎明¹, (B)西野 耕平¹, Marwan Dhamrin², 大平 圭介³,
後藤 和泰^{1,4}, 増田 淳^{1,4}

Grad. School Sci. Tech., Niigata Univ.¹, Osaka Univ.², JAIST³, IRCNT, Niigata Univ.⁴

°Asahi Yonemoto¹, Yiming Qin¹, Kohei Nishino¹, Marwan Dhamrin², Keisuke Ohdaira³,
Kazuhiro Gotoh^{1,4}, Atsushi Masuda^{1,4}

E-mail: f23c088h@mail.cc.niigata-u.ac.jp

シャント型電圧誘起劣化(shunting-type potential-induced degradation: PID-s)現象では、カバーガラスとセル間に発電時に発生する電界とりわけ反射防止膜(ARC)に印加される電界[1]により、カバーガラス中の Na イオンがセル表面のエミッタ層まで到達しセル内に侵入し、セル性能が低下する。これまでに、ARC 表面を導電層で完全被覆することで ARC 内での電界の発生を防ぎ、PID-s を完全抑止できることが報告されている[2]。本研究では、導電層が ARC を部分的に被覆している場合の PID-s の挙動を調査するため、Ag ナノワイヤ(Ag NW)を結晶 Si セル表面にスピコートした太陽電池モジュールに対して PID 試験を実施した。

セル表面に Ag NW の IPA 懸濁液(0.5 wt %)を 100 μ L 滴下し、回転速度 200~1000 rpm でスピコートした後に、90°Cで 90 s 間アニールした。それらのセルを用いて作製したモジュールと、Ag NW を含まない Control モジュールにおいて、65°Cの試験槽内で p, n 電極間を短絡したセルに対して-1000 V を印加することで 240 h の PID 試験を実施した。

Fig. 1 には初期短絡電流密度(J_{sc})と PID 試験後の変換効率(PCE)の低下率を示す。Fig. 1 から、初期 J_{sc} が小さいモジュールの方が PID-s の発現による PCE の低下が少ない傾向にあることがわかる。また、初期 J_{sc} が 26.9 mA/cm^2 のモジュールは PID 試験 240 h でも性能低下を示さず、PID-s の発現が完全抑止された。

このことから、ARC 表面に堆積された Ag NW 間に入射光が透過できる空隙が存在する一方で、Ag NW 導電層が三次元ネットワークを組むことで電界を遮蔽し、Na イオンのセルへの侵入を抑止可能であることが示唆された。

[1] S. Jonai et al., Proc. 46th IEEE PVSC, 2019, p. 1969.

[2] 城内 紗千子他、特許第 7158024 号、2022.

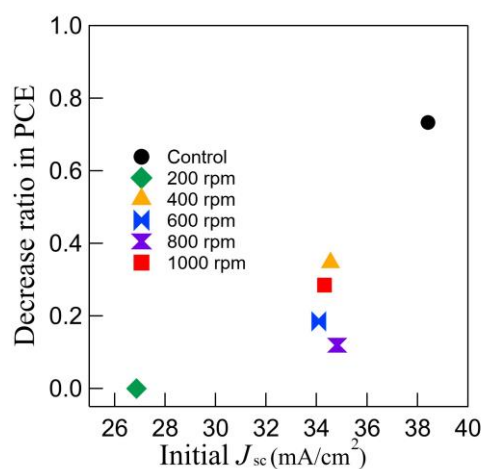


Fig. 1. PCE decrease ratio after 240 h of PID test against initial J_{sc} .

White Building-Integrated Photovoltaics by Micron Textured Structure

Science Tokyo¹, Waseda Univ.²

°(D)Disong Zhao¹, Kaito Shishido¹, Michio Kondo^{1,2}, Hiroyuki Wada¹

E-mail: zhao.d.ad@m.titech.ac.jp

Building-integrated photovoltaics (BIPV) are solar panels integrated into building facades, serving a dual purpose of generating renewable energy and enhancing aesthetic appeal.[1] Conventional solar cells, typically dark color, are often considered unaesthetic for architectural applications. To address this, white-colored BIPV have been developed. However, achieving a white appearance reduces light transmission and decreased conversion efficiency, as light is reflected rather than absorbed. Existing methods, such as adding optical films or mineral materials, can produce a whiter color but significantly reduce conversion efficiency.[2] Sandblasting the glass surface creates a textured layer that scatters incident light. By adjusting the grain size of the sand, textured glass with varying surface roughness can be fabricated.[3] Textured structure alters the angle of incident light, increasing the light path length within the solar cells. This study aims to use textured glass to achieve a white BIPV appearance while maintaining high conversion efficiency.

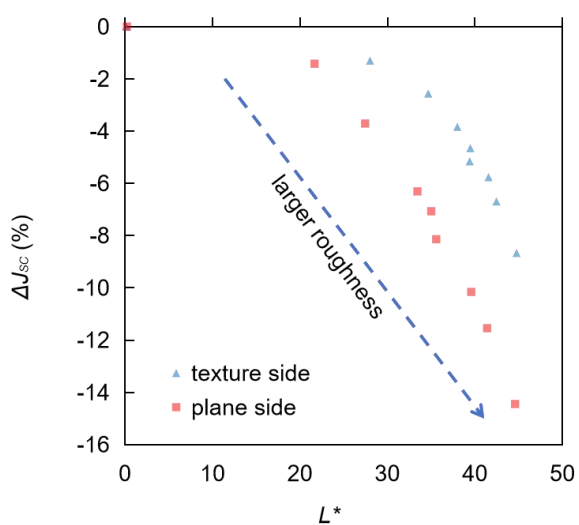


Figure 1. Relationship between L^* and ΔJ_{sc} .

maintaining a conversion efficiency exceeding 90%.

Acknowledgement: Authors thank Hitoshi Sai (AIST) for experimental support. This work was financially supported by New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), Japan.

Reference:

- [1] R. Kabilan, V. Chandran, J. Yogapriya et al., International Journal of Photoenergy, 1-11 (2021).
- [2] P. Bonomo, I. Zanetti, F. Frontini et al., EU PVSEC, (2017).
- [3] P. Construct, FP 7. ENERGY, 2, 1-4 (2011).

5 cm × 5 cm × 1 mm textured glass sheets were prepared by sandblasting different size of sand grids. Roughness (RMS) was assessed by Dektak analysis. Luminosity (L^*) and chroma (C^*) values evaluated the brightness of the PV modules. Short circuit current density loss (ΔJ_{sc}) evaluated the solar cell conversion efficiency under AM 1.5G illumination. Figure 1 depicts the relationship between L^* and ΔJ_{sc} . Means larger surface roughness makes larger luminosity, while reduce some conversion efficiency. Additionally, when light incidents at the textured surface, PV module can achieve 45 luminosity while

建材一体型太陽光発電 (BIPV) に向けた 酸化チタンナノ粒子を用いた散乱体薄膜の光学特性評価

Evaluation of Optical Properties of Scatterer Thin Films with TiO₂ Nanoparticles for Building Integrated Photovoltaics (BIPV)

科学大物質¹, 早大²

○佐藤 友哉¹, 今井 啓太¹, 近藤 道雄^{1,2}, 和田 裕之¹

Science Tokyo¹, Waseda Univ.²

○Yuya Sato¹, Keita Imai¹, Michio Kondo^{1,2}, Hiroyuki Wada¹

E-mail: sato.y.dh@m.titech.ac.jp

太陽電池による発電量は設置面積に比例するため、建材一体型太陽電池と呼ばれる、建物の壁面に取り付けられる太陽電池の開発が進められているが、従来の太陽電池の多くは暗い色であり、壁面に設置すると景観を損ねるという課題がある¹⁾。そこで、白色太陽電池の開発が進められている。当研究室では高透過率のマイカ（雲母）顔料を用いた散乱体薄膜を作製して白色太陽電池の実現を目指してきたが散乱が小さいことが課題であった²⁾。そこで、本研究では、散乱が大きいと考えられている酸化チタンナノ粒子を用いた散乱体薄膜を作製し、光学特性を明らかにすることを目的とした。

散乱体薄膜中の酸化チタンナノ粒子の粒径と濃度を変化させて特性を評価した。濃度を変化させた試料の作製には、酸化チタンナノ粒子（130 nm, 1~10 wt%）、シリコーンレジン、分散剤を用いた。これらを攪拌し、スピコートすることによって板ガラス表面に成膜し試料とした。試料は白さと発電効率について評価した。まず分光測色計（CM-36dG, コニカミノルタ）によって明度（ $L^*a^*b^*$ 色空間における L^* 値）を測定することで白さを評価した。発電効率の評価として短絡電流密度（ J_{sc} ）を測定した。

この結果、濃度を大きくするほど、明度が大きくなること、濃度を大きくするほど、明

度の増加量が小さくなることがわかった。明度と発電効率の関係を調べた結果を Fig.1 に示す。明度が大きくなるほど発電効率が低下することがわかった。さらに測定結果が3次式に近似できることがわかった。これは発電効率の低下が反射率に、明度が反射率の1/3乗に、それぞれ比例すること³⁾が原因であると考えられる。粒径を変化させた際の結果については当日発表する。

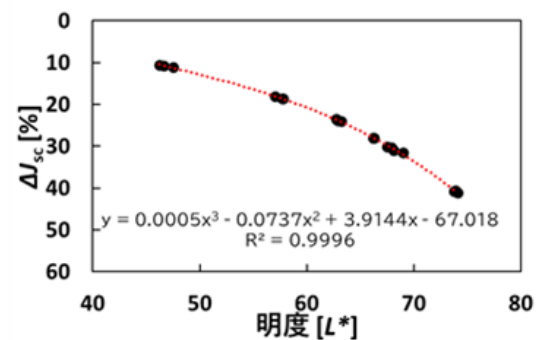


Fig. 1 明度と発電効率の関係

本成果は、産業技術総合研究所 齋 均 博士の支援、および、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務で得られた。

- 1)環境省, 太陽光発電の環境配慮ガイドライン, 2020.
- 2)今井啓太 他, 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会, 新潟, 2024.
- 3)János Schanda, Colorimetry: Understanding the CIE System, Wiley-Interscience. 2007, p. 61.