

色素増感太陽電池モジュールの屋外暴露試験

太陽光発電研究室 白井弘紀¹・岡田顕一¹・土井克浩¹・松井浩志²

Outdoor Endurance Test of Dye-sensitized Solar Modules

H. Usui, K. Okada, K. Doi, and H. Matsui

色素増感太陽電池は、従来の太陽電池に比べて低コストで環境にやさしい、次世代の太陽電池として期待されている。当社ではこれまでに水分の浸入を防ぐパッケージや、集電配線を腐食させない保護層などの技術を適用することによって、JIS規格に定められる耐久性評価項目をクリアできるセルの開発に成功した。今回、この技術をベースに開発したサブモジュールを直列に接続して、80×80cmサイズのモジュールパネルとして屋外暴露試験を行うことにより、その動作状況について調べた。

Dye-sensitized solar cells are expected to be the next-generation solar cells that lower-cost, more environmentally friendly than the conventional solar cells. We developed a package to keep out moisture, using protection layer of a metal line, and we could make cells pass the several durability evaluations of Japanese Industrial Standards (JIS). In this study, we prepared 80×80cm square module panels, with the sub-modules which was developed based on these technologies connected in series, and we investigated their performance during outdoor exposure.

1. ま え が き

化石燃料の枯渇問題、温室効果ガス削減の解決手段のひとつとして、太陽光発電の普及促進が求められており、次世代型の太陽電池として注目されているものの1つが色素増感太陽電池(DSC)である¹。DSCは従来のpn接合型太陽電池とは異なり、光合成に似た電子移動プロセスで発電する。また、製造プロセスにスクリーン印刷技術などを利用することができるため、目的や用途に合わせて容易に形状を変えることができ、さらに増感色素を変えることにより色を自由に選択することも可能である。DSCは結晶シリコンタイプの太陽電池と比べてコストを大幅におさえられる可能性があり、製造時に排出される二酸化炭素の量も少ないという特徴を持っている。小サイズのDSCでは、すでに実用化されているアモルファスシリコン太陽電池を凌ぐ発電効率が報告されるようになってきており²、セルサイズの大型化やモジュール化、長期信頼性向上などの課題解決が求められている。特に、長期信頼性の面では、世界的にも屋外における実証試験例は数が少なく³⁻⁵、実使用時の長期耐久性についての検証が求められている。

当社では、これまでにセルの大型化に必要な集電配線

による基板の低抵抗化や⁶、電解質の漏洩を抑えながら発電特性を向上させることが可能なナノコンポジットイオンゲル電解質などを開発し、DSCへと適用してきた⁷⁾⁸。さらに、配線保護層の改良や、水分の浸入を避けるパッケージを開発することで、JIS規格に定める耐久性試験をクリアした⁹。そこで、今回、これらの技術をもとにモジュールパネルを作製し、屋外における耐久性実証試験を開始した。

2. 大面積色素増感太陽電池の発電特性

DSCの作製においては、複数回のパターンニング印刷と焼成を繰り返す必要がある。たとえば、発電層となる酸化チタンナノ粒子を含んだペーストの印刷と焼成、集電配線を形成するためのAgペーストの印刷と焼成、形成した集電配線が電解液と触れて、腐食しないようにするために、低融点ガラスフリットペーストを用いた配線保護層の印刷と焼成などがあげられる。このように熱処理を繰り返し行うため、基板によっては変形等による印刷位置ズレが生ずる場合がある。また、印刷刷版に使用されるスクリーンの材質の違いによって、刷版の伸びが異なり、印刷サイズが大きくなると、印刷位置ズレが顕著となることもある。そのため、各印刷工程における適切な熱処理方法、印刷刷版の選定を行うことで印刷精度を向上させ、高開口率の大面積サブモジュールを試作し

1 太陽光発電研究室

2 太陽光発電研究室長

省略語・専門用語リスト

省略語・専門用語	正式表記	説明
DSC	Dye-sensitized Solar Cell	色素増感太陽電池

た．同一基板上に複数セルを作製して直列に接続したサブモジュールの外観写真を図1に示す

N749 色素(Black dye, RuL (NCS₃ TBA₃[L' = 4, 4' 4'-tetra-carboxy-2, 2' 2"-terpyridine, TBA = Tetrabutyl ammonium], Dyesol 社), 揮発性電解液を用いた, サイズの異なる DSC の IV 曲線を図2に示す. セルサイズを拡大しても, 変換効率に大きな差は生じず, 本質的な性能低下を引き起こさずに大面積セルを作製することができた



図1 セルを直列に接続したサブモジュール
Fig. 1. Sub-modules that connected cells in series.

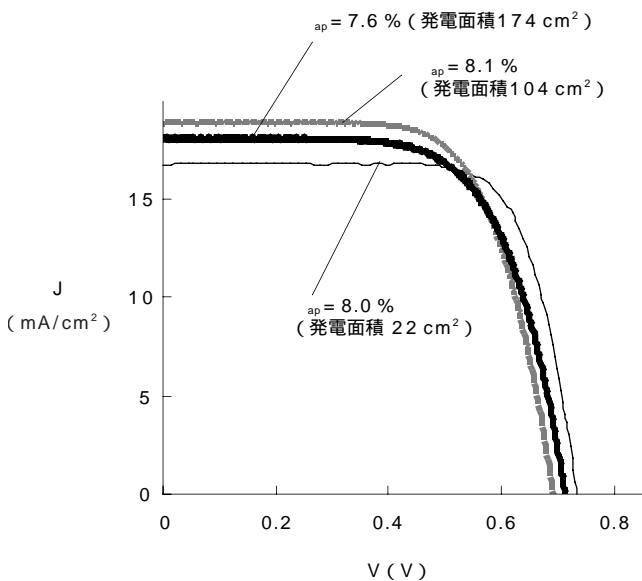


図2 異なるサイズのセルの IV 曲線
(Black dye, 揮発性電解液)
Fig. 2. IV curves of each different size cell
(Black dye, volatile electrolyte)

3.モジュールパネルの屋外暴露試験

当社では JIS C 8938「アモルファス太陽電池モジュールの環境試験方法および耐久性試験方法」に従った, 評価項目をクリアできるセルの開発に成功したが, 次のステップとして, 長期信頼性確保の課題抽出のために, 実際の屋外での実証試験を開始した. これにより, 複数のサブモジュールを接続したモジュールパネルを屋外で動作させた場合のモジュールパネルの構造や, 屋外環境変化など, ラボ内のテストのみでは評価しきれない様々な要素による影響の確認を行った. 今回, JIS 規格をクリアしたパッケージ構造の 20 × 20 cm サイズのサブモ

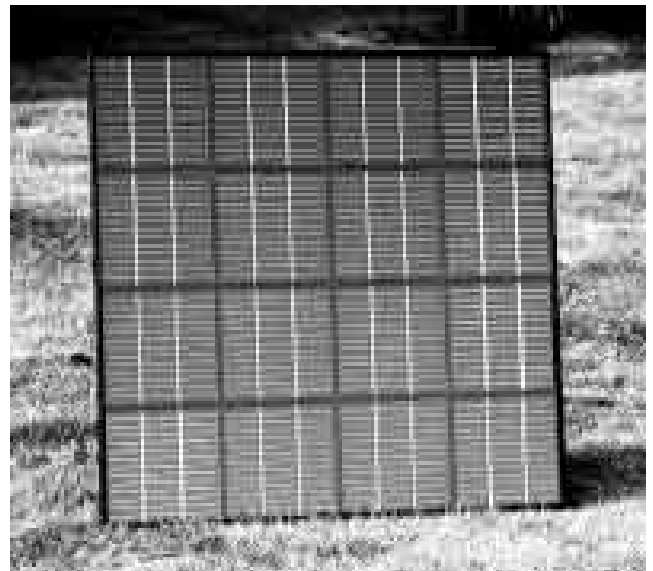


図3 80 × 80 cm モジュールパネル
Fig. 3. 80 × 80 cm module panel.



図4 モジュールパネルの屋外試験の様子
Fig. 4. Outdoor endurance test of module panels.

ジュールを16枚接続し、モジュールパネルを試作した。作製したモジュールパネルを図3に示す。モジュールパネルを発電特性測定機や充放電コントローラ、日射計とともに当社佐倉事業所内に設置して(図4)、屋外における発電特性の評価を行った。

3.1 紫外線の影響

屋外暴露試験を開始したところ、電解質にイオン液体電解液を用いたモジュールパネルは変換効率を維持していたが、揮発系電解液を用いたモジュールパネルは、変換効率の低下が見られた。変換効率が低下したモジュールパネルを観察したところ、色素の色落ち、配線の腐食は見られなかったが電解液が変色していた。UVカットガラスを組み込んだモジュールパネルを作製したところ、揮発系電解液を用いた場合も電解液が変色すること

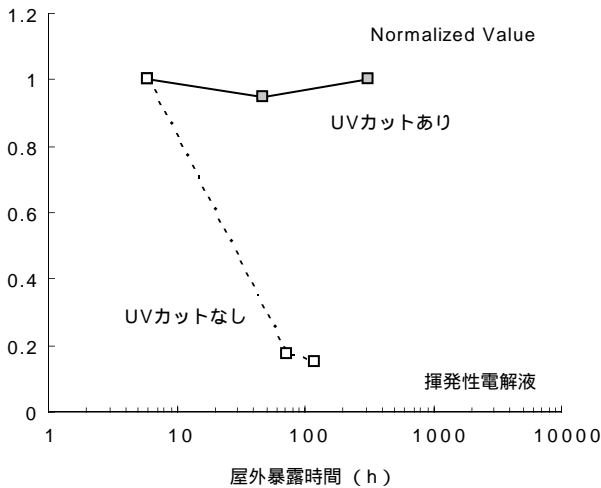


図5 紫外線の影響による変換効率の変化
Fig. 5. Conversion efficiency of module panels by the effects of ultraviolet.

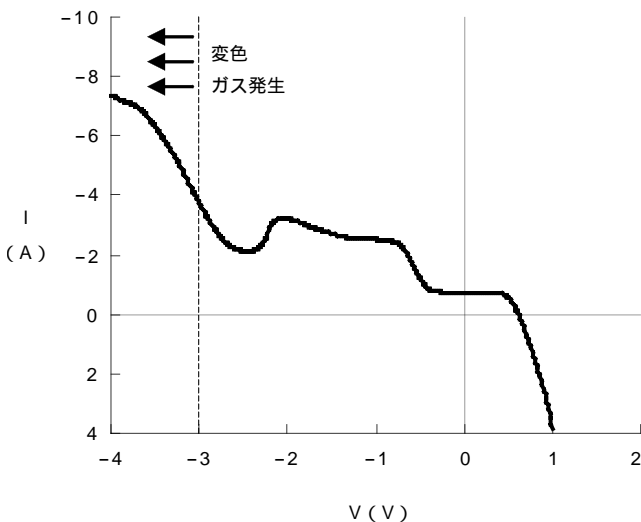
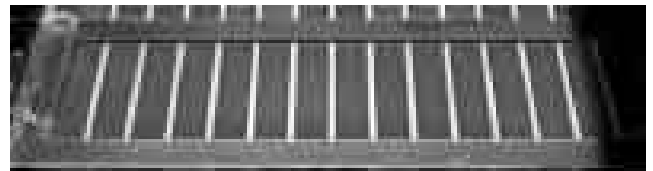


図6 セルに外部から電圧を加えたときのIV曲線
Fig. 6. IV curve of the cell to which voltage was applied externally.

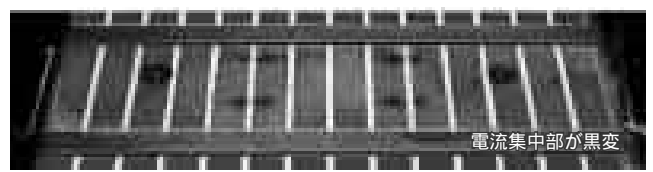
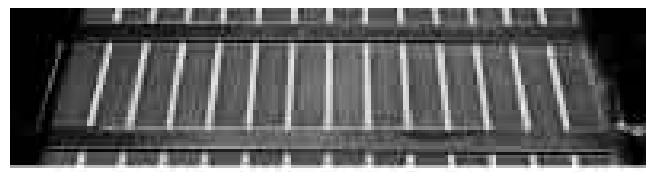
なく、変換効率を維持することができた(図5)。電解液の変色には紫外線が影響していることがわかったが現時点では変色した電解液成分の同定には至っておらず、評価継続中である。

3.2 ホットスポットの発生

一般的にホットスポットと呼ばれる現象は、太陽電池モジュールパネル内のセルが、落ち葉や鳥の糞などによって光をさえぎられたりする、様々な原因により発電量が低下した場合に、そのセルが抵抗体となってしまう。抵抗体となったセルに出力電圧が印加されて発熱し、焼損、故障が起こる現象である。初期のDSCモジュールパネルにもホットスポットと類似した現象が発生し、一部のセルに白色または黒色の斑点が観察された。このような白色または黒色の斑点が発生する原因を調べるため、光を照射しながら過度に電圧を印加してセルの挙動を調べた。対極にプラスを作用極にマイナスをつないで、外部から電圧を印加したときのIV曲線を図6に示



a) 外部から -3 V 印加
a) Externally applied -3 V.



b) 外部から -6 V 印加
b) Externally applied -6 V.

図7 外部から電圧を加えたときのセルの外観
Fig. 7. Appearance of the cells to which voltage was applied externally.

す。プラスに電圧を印加した場合、セルに変化は見られなかった。マイナスに電圧を印加した場合、限界電圧を超えると、セルが破壊されることがわかった。-3 Vあたりからセル内部でガスが発生し、一部が白色に変化した。さらに-6 V以上では黒色に変化した。この現象は電解液としてイオン液体電解液、揮発性電解液いずれを用いた場合にも見られた(図7)。このようなセルの故障を回避するために、ダイオード(バイパスダイオード)を逆方向になるようにサブモジュールと並列に接続した。これにより、過度の逆電圧が印加された場合でも電流がダイオード側にバイパスされるため、セルに高電圧が印加されることがなく、セルの破損を防止できるようになった。

4. 屋外耐久性

前述の対応に加えて、夕立時の基板ガラスの割れなど急激な温度変化に起因する熱ストレスの影響を抑えるため、モジュール構造の一部を再設計した。また、夜間などにバッテリーから太陽電池へ電流の逆流を防ぐための逆流防止回路などを追加した。このような改良を行ったモジュールパネルの屋外での動作状況を図8に示す。試験開始から200日近く経過しているが、発電特性の低下は見られていない。屋外暴露試験は今後も継続し、長期安定動作の検証を続けていく。屋外試験を行っている太陽

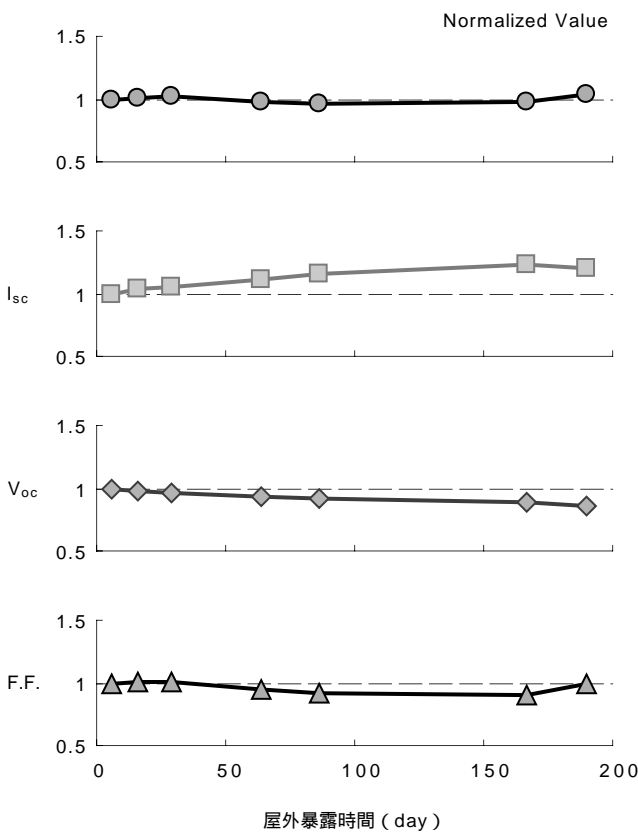
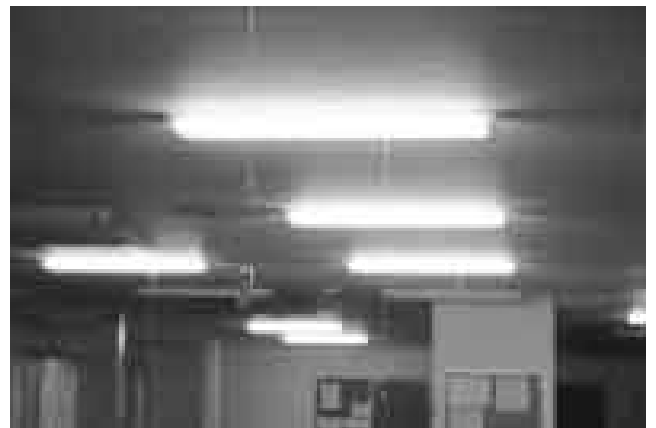


図8 屋外暴露試験結果
Fig. 8. Results of the outdoor endurance test.



a) 誘導灯
a) Guide lights in outdoor.



b) 事務所内の一部の蛍光灯
b) Some fluorescent lights in the office.

図9 発電した電力の利用
Fig. 9. Use of electricity generated by module panels.

電池が発電した電力は、図9に示すように環境・エネルギー研究所の屋外誘導灯と所内の一部の蛍光灯用電力として利用している。

5. 結び

JIS 耐久性試験をクリアしたパッケージ構造のサブモジュールを接続したモジュールパネルを用いて、屋外で実証試験を行った。その結果、紫外線による電解質の変色やホットスポットに似た現象などの問題が明らかになったため、UV カットやバイパスダイオードなどを導入した。引き続き屋外暴露試験を続け、Si 系太陽電池パネルとの比較を行い、年間トータル発電量や季節による

発電量の違いを調べていく。また、実用化に向けた DSC の製造技術の簡素化、安定化を目指す

本開発の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託研究、「新エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム未来技術研究開発 高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発」により実施した

参 考 文 献

- 1 B. O'Regan, and M. Graetzel : "A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films", Nature, No. 353, pp. 737-740, 1991
- 2 M. Graetzel : "Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells", J. Photochem. Photobiol. A, No. 164, pp. 3-14, 2004
- 3 S. Dai, et. al. : "The design and outdoor application of dye-sensitized solar cells", Inorganica Chimica Acta, No. 361, pp. 786-791, 2008
- 4 N. Kato, et. al. : "Degradation analysis of dye-sensitized solar cell module after long-term stability test under outdoor working condition", Solar Energy Materials & Solar Cells, No. 93, pp. 893-897, 2009
- 5 H. Tanaka, et. al. : "Long-term durability and degradation mechanism of dye-sensitized solar cells sensitized with indoline dyes", Solar Energy Materials & Solar Cells, No. 93, pp. 1143-1148, 2009
- 6 松井ほか : 「色素増感太陽電池」, フジクラ技報, 第104号 pp.37-41, 2003
- 7 松井ほか : 「ナノコンポジットイオンゲルを用いた色素増感太陽電池」, フジクラ技報, 第107号, pp.73-78, 2004
- 8 江連ほか : 「900 × 1,200 mm² 色素増感太陽電池モジュール」, フジクラ技報, 第110号, pp.37-41, 2006
- 9 岡田ほか : 「高耐久性色素増感太陽電池」, フジクラ技報 第114号, pp.48-53, 2008