

逆バイアス試験によるSi系太陽電池モジュール 加速劣化試験の検討

実用化加速チーム
金永模、池田一昭、土井卓也

目的

太陽電池モジュールの信頼性及び寿命を評価する加速試験方法の開発

- 屋外モジュールの外観的劣化症状の再現と発生メカニズムの解明
- 太陽電池の逆バイアス特性を用いた逆バイアス試験の加速試験手法としての適切性を判断する

何をやりたいのか

コンセプト

太陽電池モジュールは逆バイアス状態の発生を防ぐためバイパスダイオードが設置されているが、セルの不整合や影がかかった具合によってバイパスされない場合がある。

通電状態で逆バイアス特性を用いた加速試験は可能なのか？

予想される劣化症状

→ 温度の周期的な変化による熱膨張係数が違う材料の接合部の劣化

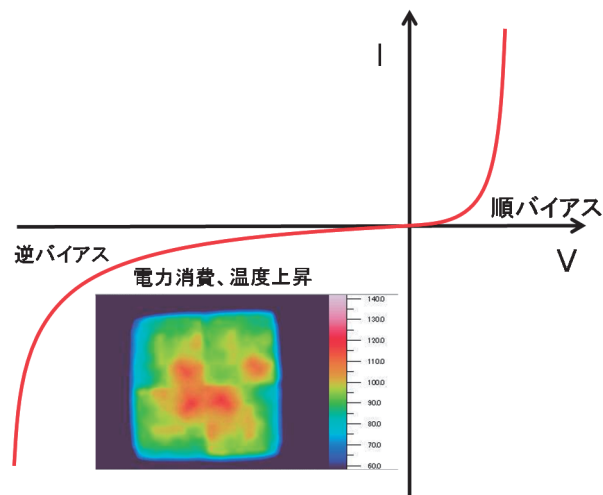
フィンガーとセル間、はんだとセル間、背面電極とセル間

→ 長時間熱的ストレスによる電極部材の劣化

フィンガー、はんだ、背面電極

熱膨張係数

はんだ	→	23.4 [ppm/K]
PVセル	→	2.62 [ppm/K]



試験方法

◆ サイクリック試験

太陽電池に逆バイアスと順バイアスを交互に印加し、

温度の周期的な変化を与える。

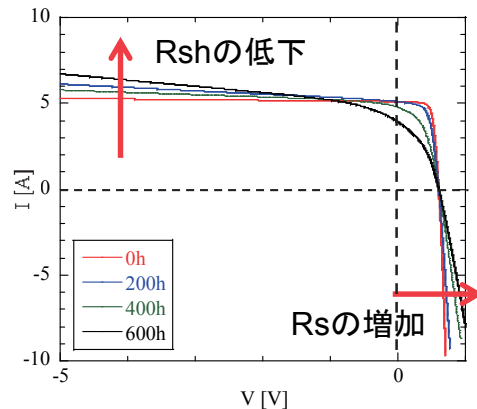
◆ 逆バイアス定電流試験

太陽電池に逆バイアスを印加し、電力を

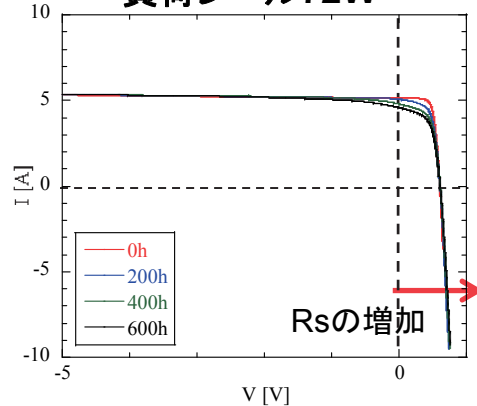
消費させ、長時間熱的ストレスを与える。

単セルモジュール試験での結果

逆バイアス定電流試験
負荷レベル70W



サイクリック試験
負荷レベル72W

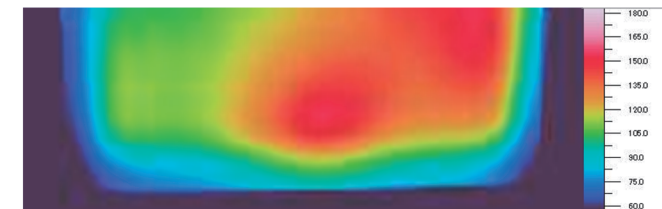
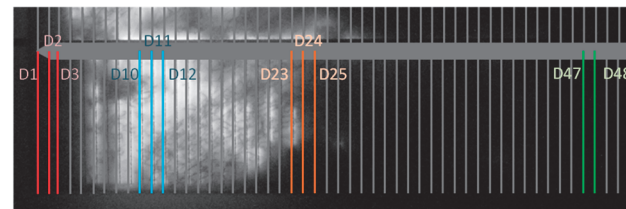


明らかになったこと(劣化モードと理由)

- ◆ 逆バイアス定電流試験ではRsの増加とRshの減少が同時に起こる。
- ◆ サイクリック試験ではRsの増加が発電特性劣化の主な原因である。

Rs抵抗はなぜ増加するか？

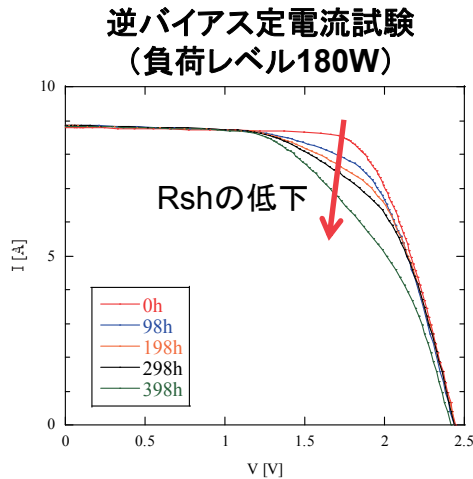
逆バイアス定電流試験後、試験体フィンガー電極の抵抗を測定



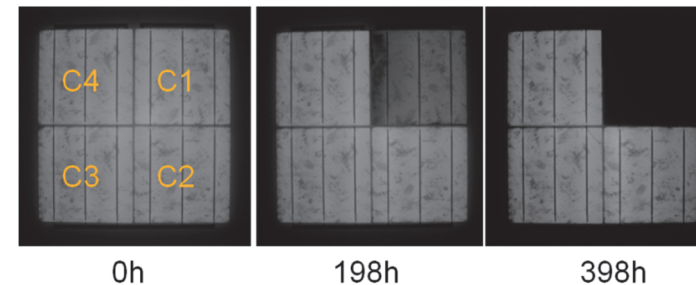
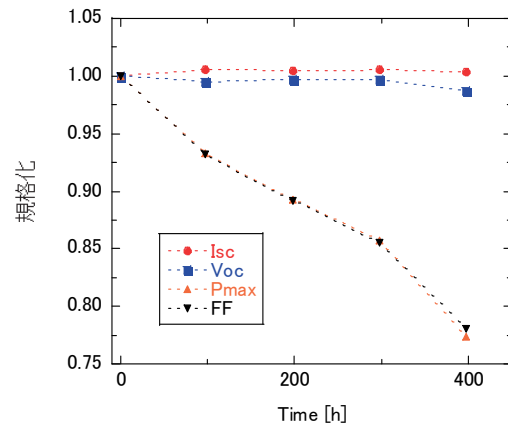
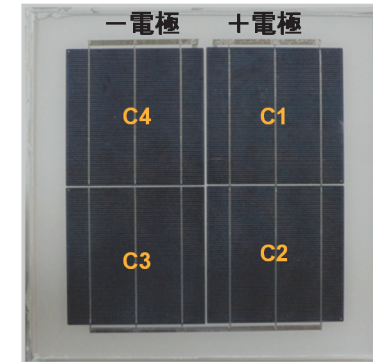
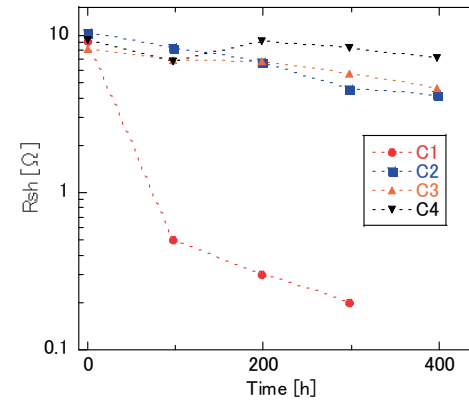
	Reference			Red area			Blue area			Orange area			Green area	
Number of fingers	A	B	C	D1	D2	D3	D10	D11	D12	D23	D24	D25	D47	D48
Resistance value (Ω/cm)	0.4	0.3	0.2	0.3	3.0	1.2	1.4	2.1	1.7	0.6	0.4	1.4	257	11.1

- フィンガー電極の劣化はRs増加原因の一つである。
- フィンガー電極の劣化は長時間熱的ストレスに起因する。

4セルモジュール試験での結果



セル毎の
特性解析



明らかになったこと(劣化モード)

- 単セルモジュールと違いRshの低下が発電特性劣化の原因。

今後の課題

- Isc 0.4%↑、Voc最後の試験で1.3%↓
- Pmax 5.3%/100h↓、FF 5.2%/100h↓
- 4セルモジュール発電特性の劣化モードは4セル特有のモードなのかを検証する。

金永模・池田一昭・土井卓也
産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター

研究の目的

研究背景

- ◆ 太陽光発電モジュールの寿命は20~30年だと言われるが、国内の出力保証は10年が一般的である。そこで短期間の試験で太陽電池モジュールの長期信頼性及び寿命を評価する技術の確立が強く求められている。
- ◆ 逆バイアス状況は屋外モジュールでも発生する現象として太陽電池モジュールの評価方法への応用可能性がある。

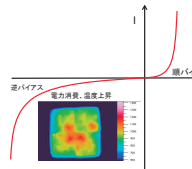
研究目的

- 太陽電池モジュールの信頼性及び寿命を評価する加速試験方法の開発
- 屋外モジュールの外観的劣化症状の再現と発生メカニズムの解明
- 太陽電池の逆バイアス特性を用いた逆バイアス試験の加速試験手法としての適切性を判断する

実験概要

コンセプト

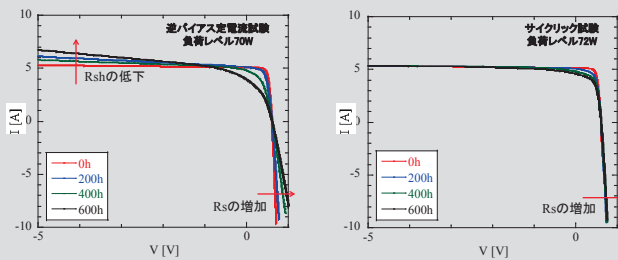
太陽電池モジュールは逆バイアス状態の発生を防ぐためバイパスダイオードが設置されているが、セルの不整合や影がかかった具合によってバイパスされない場合がある。
通電状態で逆バイアス特性を用いた加速試験は可能なのか？



- ◆ サイクリック試験
太陽電池に逆バイアスと順バイアスを交互に印加し、**温度の周期的な変化**を与える。熱膨張係数が違う材料の接合部の劣化(フィンガーとセル間、はんだとセル間、背面電極とセル間)が予想される。
- ◆ 逆バイアス定電流試験
太陽電池に逆バイアスを印加し、電力を消費させ、**長時間熱的ストレス**を与える。電極部材の劣化(フィンガー、はんだ、背面電極)が予想される。

結果及び考察

単セルモジュール

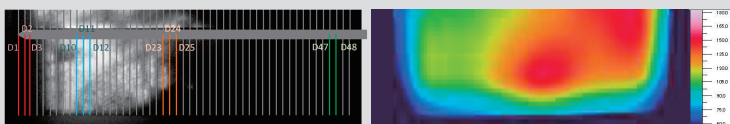


Rsh抵抗はなぜ増加するか？

明らかになったこと(劣化モードと理由)

- ◆ 単セルモジュール発電特性の劣化はRsの増加とRshの減少に起因する。
- ◆ 逆バイアス定電流試験ではRsの増加とRshの減少が同時に起こる。
- ◆ サイクリック試験ではRsの増加が発電特性劣化の主な原因である。

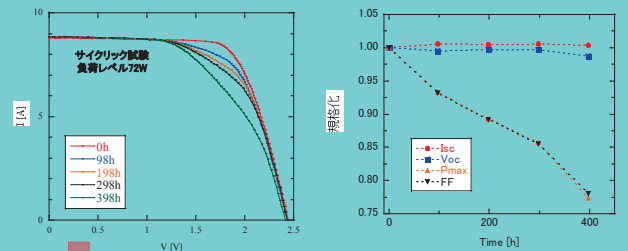
逆バイアス定電流試験後、試験体フィンガー電極の抵抗を測定



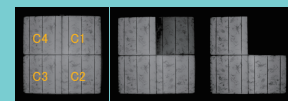
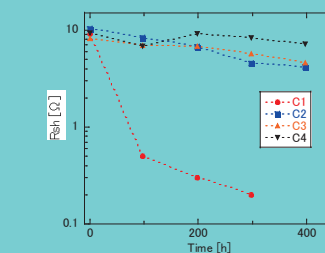
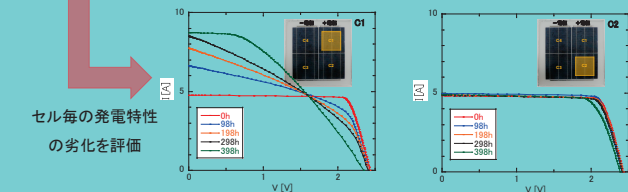
	Reference			Red area			Blue area			Orange area			Green area	
Number of fingers	A	B	C	D1	D2	D3	D10	D11	D12	D23	D24	D25	D47	D48
Resistance value (Ω/cm)	0.4	0.3	0.2	0.3	3.0	1.2	1.4	2.1	1.7	0.6	0.4	1.4	257	11.1

- フィンガー電極の劣化はRs増加原因の一つであり、長時間熱的ストレスに起因する。
- オレンジと青領域EL発光強度の比較からフィンガー電極の劣化以外にフィンガーとセル接合部の劣化可能性を示唆した。

ミニ4セルモジュール



セル毎の発電特性の劣化を評価



明らかになったこと(劣化モード)

- 4セルモジュール発電特性の劣化はRshの低下に起因する。
- +電極から1番目セルのRshの低下が著しい。

結論

逆バイアス試験のフルサイズへの適応のため、単セルから4セルミニモジュールにスケールアップし、発電特性の劣化モードの検証及び劣化原因の分析を行った。

単セルモジュール

- ◆ 単セルモジュール発電特性の劣化はRsの増加とRshの減少に起因する。
- ◆ 逆バイアス定電流試験ではRsの増加とRshの減少が同時に起こり、サイクリック試験ではRsの増加が発電特性劣化の主な原因である。
- ◆ フィンガー電極の抵抗測定はフィンガー電極の劣化を実証、フィンガーとセル接合部の劣化を示唆。

4セルモジュール(逆バイアス定電流試験)

- ◆ 4セルモジュール発電特性の劣化は単セルと違い、主にRshの低下に起因する。

今後の課題

- 4セルモジュールへのスケールアップによる特有の劣化特性の有無を検証する。

謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの受託研究「発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発」の一環として実施した成果の一部である。関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 土井ほか:「結晶系Si太陽電池セルへの順・逆方向電圧印加と発熱・破壊試験」, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2007 (2007), 445-448.
- (2) Y. Jin, K. Ikeda and T. Doi, "Reverse bias test of c-Si single-cell PV modules", Proc. SPIE 8112, 81120Y (2011)
- (3) Fuyuki, T., Kondo, H., Kajii, Y., Ogane, A., Takahashi, Y., "Analytic findings in the electroluminescence characterization of crystalline silicon solar cells", J. Appl. Phys. 101 (2007), 023711.
- (4) Hinken, D., Ramspeck, K., Bothe, K., Fischer, B., Brendel, R. "Series resistance imaging of solar cells by voltage dependent electroluminescence", Appl. Phys. Lett. 91 (2000), 182104.
- (5) 池田ほか:「等価回路モデルを用いたPVセル内の不具合解析」, 太陽/風力エネルギー講演論文集2010 (2010), 543-546.