

第 5 章

B 会員の研究成果

I. 目的

高信頼性P V封止材の開発

現在主流のP V封止材（E V A）には、モジュール化工程での架橋反応（キュア）を促進するために、パーオキサイドが含有されている。しかしながら、パーオキサイド、およびその残渣は長期信頼性に悪影響を及ぼすことが懸念される。

本研究では、有機過酸化物を含有せずとも長期信頼性に寄与し得る封止材を開発する。

光硬化F R Pシートを用いた設置工法の開発

第Ⅰ期で旭化成ケミカルズ（株）が開発していたフレキシブルモジュールの建築物・構造物への後付け設置工法の開発を、第Ⅱ期では旭化成（株）にて引き続き検討を行う。

コンクリート板へ施工した試験品の屋外曝露試験を継続調査するとともに、前回試験的に実施していたメガソーラー発電所向けの防草対策技術を、面積を拡大して実証検討する。

II. 研究開発目標

高信頼性P V封止材の開発

（1）平成24年9月までの中間目標

様々な組成のパーオキサイドを含有しない封止材の開発および、該封止材を用いた結晶モジュール品の長期耐久性試験における発電評価およびE L評価の実施、開発封止材の既存封止材に対する優位性の確認

（2）B会員研究終了時の最終目標

パーオキサイドを含有しないことで長期信頼性に寄与し得る封止材の開発、各種P Vモジュール品の長期耐久性試験における発電評価およびE L評価の実施、部材の要求特性の明確化、および部材劣化メカニズムの解明

光硬化F R Pシートを用いた設置工法の開発

（1）平成24年9月までの中間目標

2種類のコンクリート板と、2種類の貼付け工法を用いた試験品の屋外曝露による耐環境性の継続調査及び、メガソーラー発電所向け防草対策技術の試験施工

（2）B会員研究終了時の最終目標

複数メーカーのフレキシブルモジュールを用いた施工技術の確立、屋外曝露試験の実施及び、防草効果の確認と課題の抽出

III. 研究開発の成果

高信頼性PV封止材の開発

1. パーオキサイドを含有しない封止材の試作検討

より耐候性と信頼性を向上させるため、パーオキサイドを含有しないType Bを試作した。表1に試作封止材の特徴を示す。

試作封止材は、従来品（EVA）に比べ、1）貯蔵安定性が高い、2）加工適正に優れるといった特徴を有するため、太陽電池モジュールメーカーでの製造時間の短縮や製造コスト・メンテナンスコストの削減が可能となる。

さらに、ポリオレフィンベースであるため、分解による発生ガスが少なく、水蒸気バリア性が高いため、太陽電池セルの劣化原因である酸の発生や水蒸気の透過を抑制することが可能であると考えられる。

表—1 開発封止材の特徴

	Type B	従来品
ベース樹脂	PO(ポリオレフィン)	EVA
パーオキサイドの使用	なし	有
貯蔵安定性	室温にて長期保管可能	冷蔵所にて6ヶ月以内
加工(熱ラミネーション)適性	従来品より良い ・加工時間が短い。 ・装置汚染なし	—
分解による発生ガス	微量	有
水蒸気バリア性	高い	低い
耐候性(熱・光)	検討中	高い(公称:20年間)

2. 試作封止材を用いたPVモジュールの長期耐久性試験

Type B封止材を用いて4セル多結晶モジュールを作製し、初期I-V特性評価を行い、標準モジュールと同等であることを確認した。次に、これらのモジュールのDH試験を行った。図1にType B封止材使用モジュールおよび標準モジュールのDH試験結果を示す。

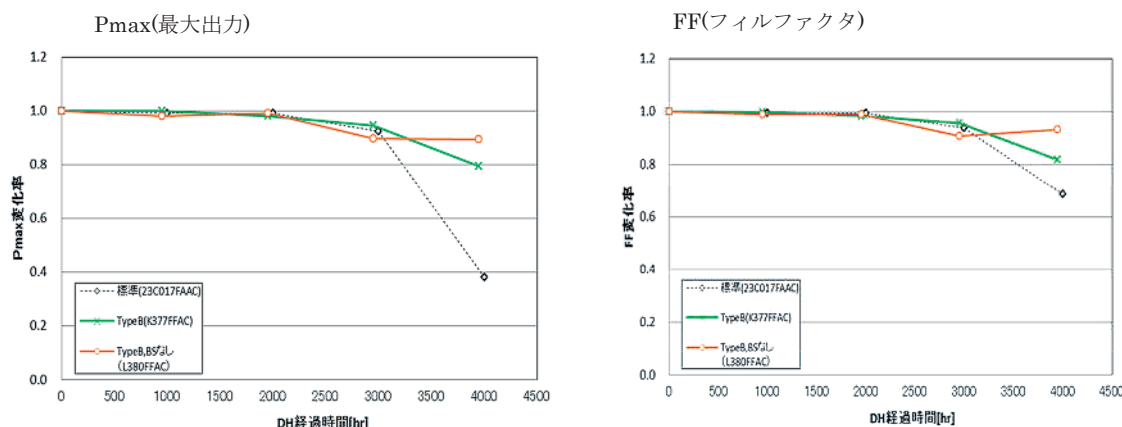


図1. DH試験結果

標準モジュールはDH4000時間で急激に性能が低下したのに対し、Type B封止材使用モジュールは性能低下が少なく、従来品よりも優れた高温・高湿度耐性を発現することを確認した。また図2にDH4000時間におけるEL評価結果を示す。EL評価においても標準モジュールに対するType B封止材使用モジュールの優位性を確認した。

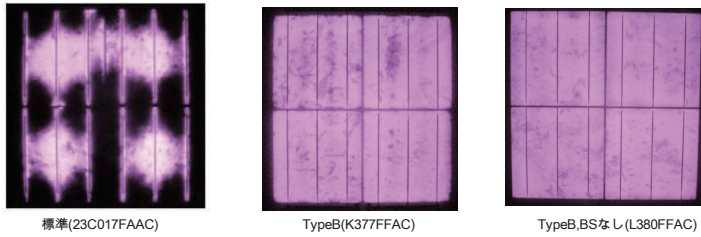


図2. EL評価結果(DH4000時間)

さらに、Type B封止材使用モジュールは、TC試験においても950サイクルを超える耐久性を確認した。

光硬化FRPシートを用いた設置工法の開発

1. 2011年7月より、九州センター屋外曝露試験場にてコンクリート母材2種類、貼付け工法2種類の屋外曝露試験を開始した。

母材1：押出成形コンクリート曲板R=433mm

母材2：軽量気泡コンクリート板（旭化成建材株式会社製ヘーベルライト®）

周囲固定方式工法：ETFEラミネートなど耐候性を有するモジュール固定用

全面被覆方式工法：表面保護を必要とするモジュール被覆固定用

使用モジュール：富士電機製フレキシブルモジュール 長さ1m 幅485mm



図3. 屋外曝露試験状況

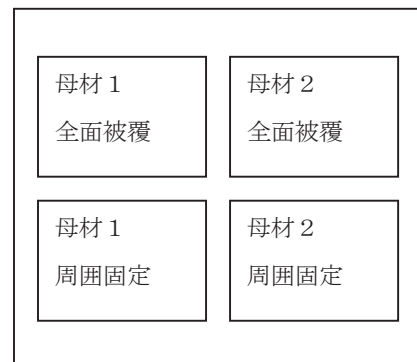


図4. 母材、工法配置図

[評価方法]

目視検査及び、晴天時に据え付けたままでの可搬式I-Vテスターを用いた出力計測

[評価結果]

(1) 目視検査結果

- ① 軽量気泡コンクリート板に貼り付けた2種類の工法は、外気温低下時に母材破壊が発生した。温度低下による収縮応力に母材が耐えることが出来なかったと考えている。
- ② 周囲固定方式はモジュール裏面を汎用の両面テープを用いて母材に接着し、光硬化FRPシートにて周囲のみ押さえつけたが、設置直後からモジュールの表面に皺が発生した。冬の時期はモジュール表面の皺が消失しているためモジュールの熱膨張による寸法変化を裏面接着の汎用両面テープで抑えることが出来なかったと思われる。

(2) 出力計測結果

I-V計測は、試験品形状・質量の点でソーラーシミュレーターを使用できないため可搬式のテスターを用い計測した。周囲固定方式を基準として表面を光硬化FRPで覆っている全面被覆方式の出力がどの程度低下するか比較調査した。設置1年2か月経過後でも両者の出力差は認められない。

表-2 母材1使用曝露品の可搬式I-Vテスターによる出力計測 Pmax

	H23年7月	H23年9月	H24年4月	H24年6月	H24年9月
全面被覆(W)	21.9	20.8	18.7	21.1	20.4
周囲固定(W)	22.0	20.9	18.3	21.1	20.5
外気温(℃)	未計測	29.7	23.1	30.5	28.2
日射量(W/m ²)	945	995	944	1039	1026

2. メガソーラー発電所向け防草対策技術実証試験

H22年12月より小面積で実施していた防草試験で効果が認められたため、H24年4月から別工法を追加し試験面積を拡大して試験を開始した。[旭化成ジオテック(株)取扱商品]

- (1) ポリオレフィン系不織布防草シート 図6. 右側緑色部分
- (2) 土系透水舗装 図6. 左側黄土色部分

土系透水舗装は、管理用道路や駐車場利用の実績があり晴天時は地中の水が蒸発時に気化熱を奪うため表面温度が上がりにくい。

例) H24年4月23日正午晴天時表面温度計測(前日雨天)

土系透水舗装: 29.9℃、防草シート: 43.8℃

アスファルト: 42.3℃、モジュール: 45.6℃



図5. 施工前



図6. 施工後

IV. まとめ

1. 高信頼性PV封止材の開発

パーオキサイドを使用しない封止材を試作し、DH試験、TC試験において標準モジュール以上の耐久性を確認した。今後、さらなる改良を継続するとともに、多結晶以外の太陽電池種についても評価を実施し、部材の要求特性を調査する予定である。

2. 光硬化FRPシートを用いた設置工法の開発

九州センターの屋外曝露試験場を利用することで、実環境下での施工品への影響について知見が得られつつある。今後、多くのフレキシブルモジュールメーカーの製品を用い屋外曝露試験を実施して本施工工法との適合性を調査する予定である。

I. 目的

太陽光発電の更なる普及のために、太陽電池モジュールの長寿命化や信頼性向上及び低コスト化が求められている。現在、弊社では封止材とバックシートの開発を行っており、コンソーシアムではそれらの部材を使用したモジュールを作製し、各部材の性能とモジュールの性能、耐久性の関係を調査し、開発に活かしていくことを目的とした。

II 研究開発目標

バックシート及び封止材それぞれについて下記内容を目標とした。

・バックシートについて

加速試験（主に DH）後においても、出力低下の小さいバックシートの構成、必要な性能を見付けること、及び結晶系モジュールにおけるバックシートに求められる水蒸気透過率の調査を行うこと。

・封止材について

結晶系 4セル及び薄膜系 40cm 角モジュールを作製し、初期及び高温高湿試験 [DH 試験 (85°C、85%RH)] での性能維持率が、コンソーシアム標準部材の EVA 封止材と同等以上であること。

III. 研究開発の成果

まず初めにバックシートの成果について説明する。

本研究では、下記部材を用いたモジュールを作製し、評価を実施した。なお、バックシートは表 1 にある水蒸気透過率を有するものを使用した。

評価モジュール：結晶系 4セルモジュール

封止材：ファーストキュアタイプ EVA（標準部材）

バックシート：TPT（標準部材）、自社品 3種類（非フッ素系）

その他部材：コンソーシアム標準部材

表 1 バックシートの水蒸気透過率

	BS①	BS②	BS③	TPT(標準部材)
水蒸気透過率 (g/m ² ・day)	2.7	0.1	2.2	2.0

DH3000 時間後の出力測定結果を図 1 に示す。BS③とコンソーシアム標準部材である TPT を使用したモジュールにて、Rs が増加し Pmax の低下が発生した。さらに EL 測定を実施したところ、セル周辺部に暗部が確認されたことから、フィンガー電極の腐食により、

Rs の増加が発生し、結果として Pmax が低下したと推測されるが、腐食の原因については、現時点では不明であり調査中である。

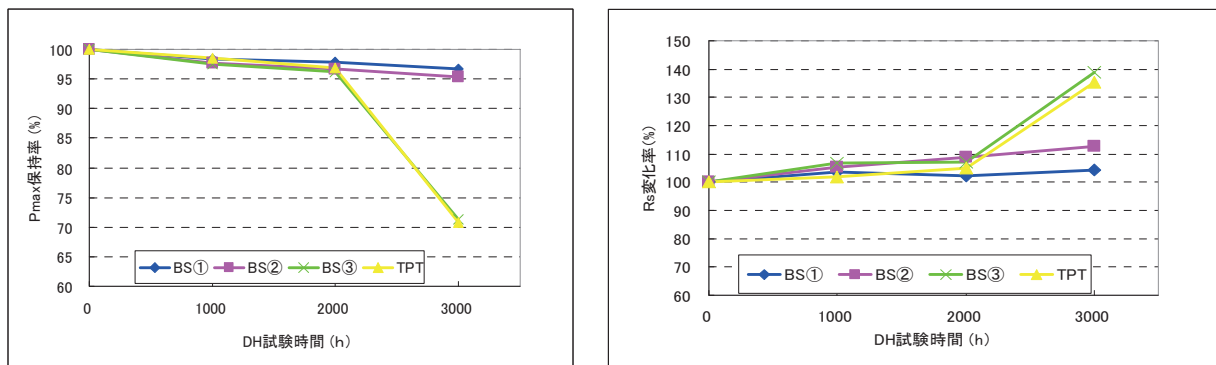


図 1 DH 試験後の Pmax 保持率及び Rs 変化率

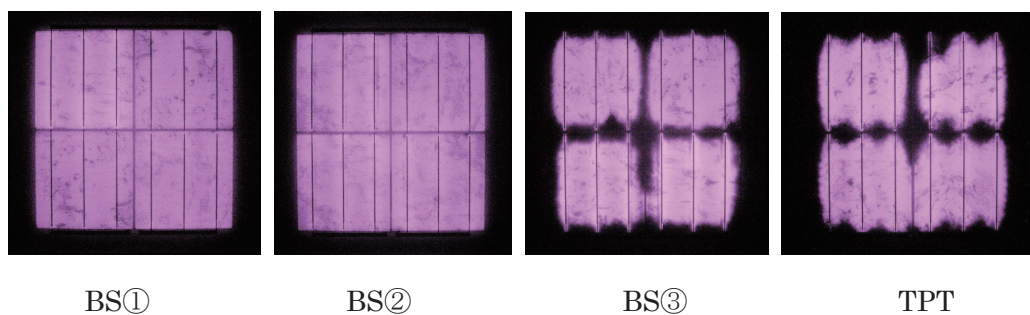


図 2 DH3000 時間後の EL 画像

モジュール黄変評価について

モジュールのガラス面からバックシート部を分光測色計（コニカミノルタ製）にて測色し、DH 試験後のモジュール黄変を YI（イエローインデックス）にて評価した。

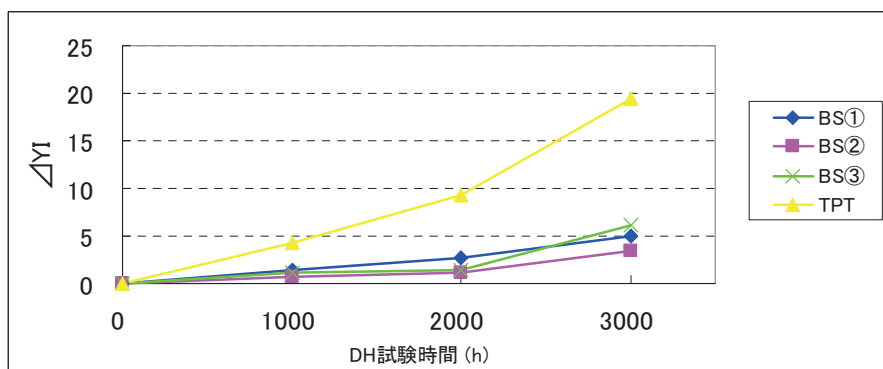


図 3 DH 試験とモジュール黄変の関係

標準部材である TPT は DH1000 時間後より目視で黄変が確認でき、2000 時間後からは黄変が顕著になりはじめたが、他のバックシートでは 3000 時間後に初めて目視で確認できる程度であった。水蒸気透過率の値は、BS①>BS③>TPT>BS②であったが、黄変度は、TPT>BS③>BS①>BS②となり、モジュールの黄変について水蒸気透過率が主たる要因ではないと推測されるが、詳細については現在調査中である。

次いで、封止材の成果について説明する。

開発コンセプト：非架橋タイプ封止材

表 2 に、封止材の物性値を示す。自社封止材は水蒸気透過率が低いことが確認できた。

表 2 封止材物性表

物性項目	単位	自社封止材	EVA封止材※
厚み	μm	600	450
水蒸気透過率	g/m ² ·day	2.2	29.1
光線透過率	%	90	92

※ 弊社で入手

[評価方法]

自社開発品の封止材を用いて結晶系 4 セル及び薄膜系 40cm 角モジュールを標準作業工程に基づき作製した。なお、封止材以外は標準部材を使用した。作製したモジュールの初期及び DH 試験後の最大電力 (Pmax) はソーラーシュミレータを用いて評価した。比較データは EVA 封止材 (コンソーシアム標準部材) とした。

[評価結果]

評価結果を図 4 に示す。自社封止材は DH3000 時間以降で EVA 封止材よりも高い最大電力保持率を示していた。

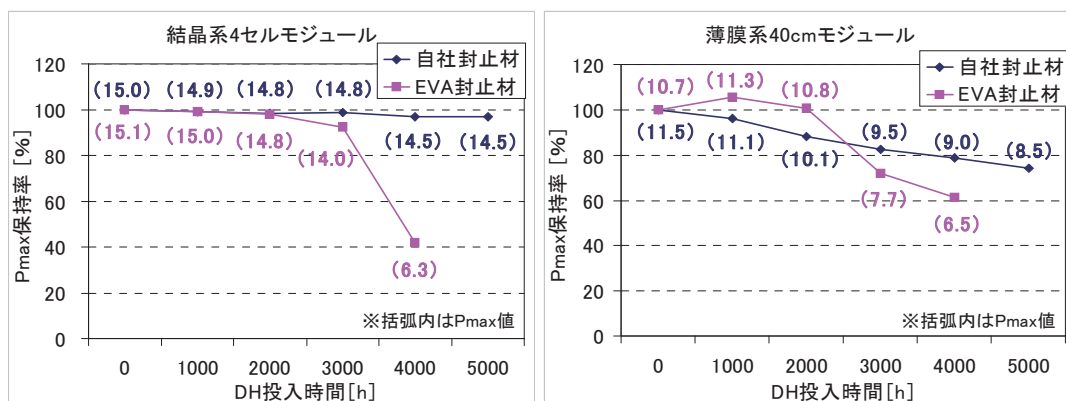


図 4 DH 試験後の Pmax の保持率

次いで、DH 試験後の封止材の変色について調査した。

[評価方法]

スライドガラス/封止材/バックシートの構成でサンビック社の EVA 封止材 (FC) の条件でラミネートした。作製したサンプルは DH 試験後に、色差を日本電色製 SE-2000 を用いて測定した。

[評価結果]

評価結果を図 5 に示す。DH 試験後の封止材の変色度合いは、EVA 封止材よりも少ないことが確認された。

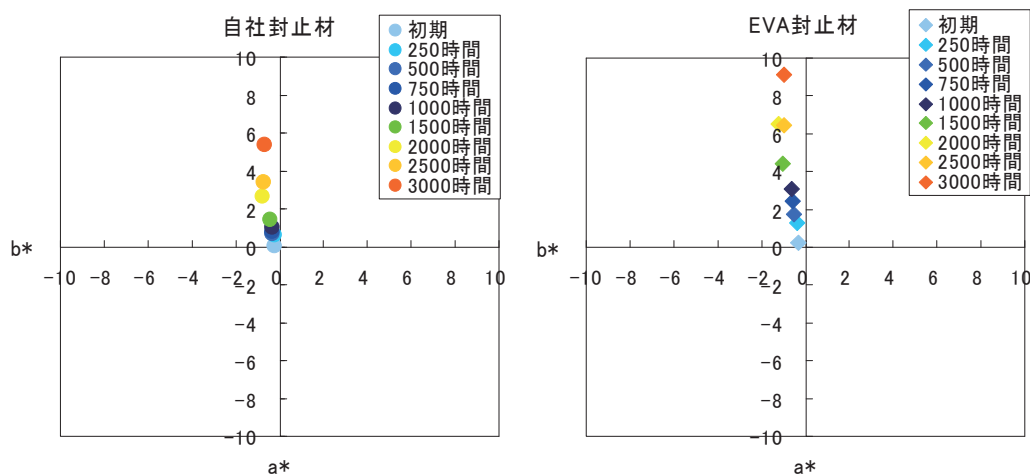


図 5 DH 試験後の封止材の変色

IV. まとめ

バックシートについては、DH3000 時間後においても、自社バックシートのうち 2 種類のもので出力低下が小さいことが確認できた。水蒸気透過率と DH 試験後の出力との関係については、同程度の水蒸気透過率を有するバックシートでも、出力低下率が異なる結果となった。今後は、その原因について調べ、最適なバックシートの構成を明らかにしていきたい。

封止材については、自社封止材の物性、DH 試験後の発電効率及び変色について EVA 封止材と比較すると水蒸気透過率、発電効率、および変色の観点から EVA 封止材より優位であることが確認できた。

I. 目的

当社が開発した吸湿フィルム“モイストキャッチ”について、太陽電池の劣化防止や長寿命化に役立つ機能性フィルムとしての効果を検討する。検討内容の一つは、セルやモジュールを保管する包装袋に当社吸湿フィルムを組み合わせることで、保管や輸送時の水分の影響を低減して電極の腐食や発電性能の低下などに防止効果があるかを調べる。もう一つは、モジュールへ吸湿フィルムを組み込むことで、モジュール内部に含まれたり、外部から浸入したりする水分を吸着させて、モジュールの長寿命化に対する効果について検討する。

II. 研究開発目標

吸湿フィルムを使って包装袋としたものに太陽電池セルを保管した場合、60°C95%RHでの保管条件で通常のアルミ袋に比べて電極等の金属部分の劣化防止や、発電効率に対する性能保持効果が得られるかを評価する。また、モジュールへ吸湿フィルムを組み込むことによる85°C85%RHの保管条件での発電性能に与える影響について調査する。吸湿フィルムを組み込むことによって、モジュール内に存在していたり、モジュール化後に浸入したりしてくる水分の除去が期待でき、水分除去による発電性能への影響を確認し、モジュールへの組込効果を見極める。

III. 研究開発の成果

III-1 吸湿フィルム“モイストキャッチ”について

吸湿フィルムであるモイストキャッチとは、乾燥剤を高含有量で樹脂に練り込んでフィルム化したものである。

湿気とガス成分を吸う性質があり、高機能材料としてさまざまな市場へむけて展開を進めるなか、医薬・電子部品分野では湿度やアウトガス対策用途への展開をおこなっている。このフィルムの特徴を次に示す。



図1 モイストキャッチ

・モイストキャッチの特徴

- ①水分やアウトガスの吸着剤を樹脂へ高含有化
- ②フィルム自体が吸湿性能を持ち、乾燥剤不要
- ③スペースの制約などで、乾燥剤を入れることができなかつた製品に使用可能
- ④フィルム、射出成形品などの広範囲な加工特性
- ⑤長期持続する優れた吸湿性

III-2 保管・輸送用機能性包装材への応用

モイストキャッチを包装材に用い、太陽電池セルの保管テストを実施した。モイストキャッチの吸湿性を利用して、モジュールまたはセル内部の水分や、外部から侵入してくる水分を吸着させることで、保管中の劣化防止対策への応用を検討した。

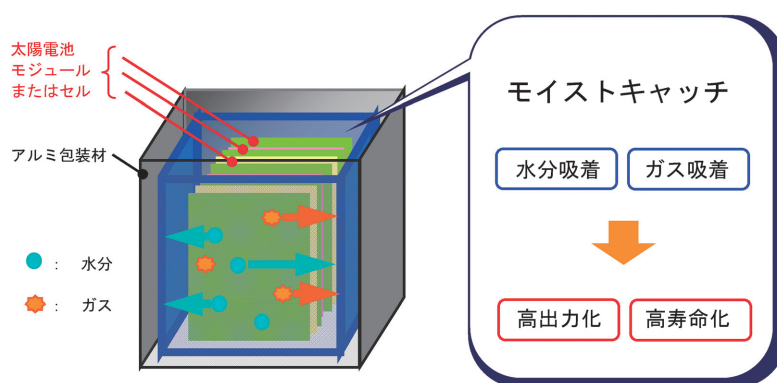


図 2 太陽電池保管材としての使用例

実験方法

薄膜 Si セルの保管に使う包装材として、モイストキャッチ袋、ポリエチレン (PE) 袋とアルミラミネート袋の 3 種類を用いた。袋の構成を表 1 に示す。各袋に薄膜 Si セルを入れてから開口部をヒートシールして、四方シール袋の状態です太陽電池モジュールの耐久性評価である 60°C95%RH 試験を 250, 500, 750, 1000 時間おこなった。

表 1 使用した袋の構成

サンプル	包装材の構成
PE 袋	PE (40 μ m)
AL 袋	PE (40 μ m) //アルミ (12 μ m) //PET (9 μ m)
ALMC 袋	モイストキャッチ (80 μ m) //アルミ (12 μ m) //PET (9 μ m)

結果

袋の中から取り出したセルを観察したところ、ポリエチレン袋で保管したセルで錆の発生が見られた。他の包装材で保管したセルでは、外観に変化は認められなかった。

I-V測定の結果を、図に示す。Pmax 等の変化は、いずれの保管方法でも認められなかった。今回の 1000 時間という保管期間では、外部からの水分浸入を防ぐためにアルミ袋を

使った防湿をおこなえば発電性能に変化は見られず、モイストキャッチのように保管環境の水分を積極的に吸湿するまでの性能は必要無い結果となった。

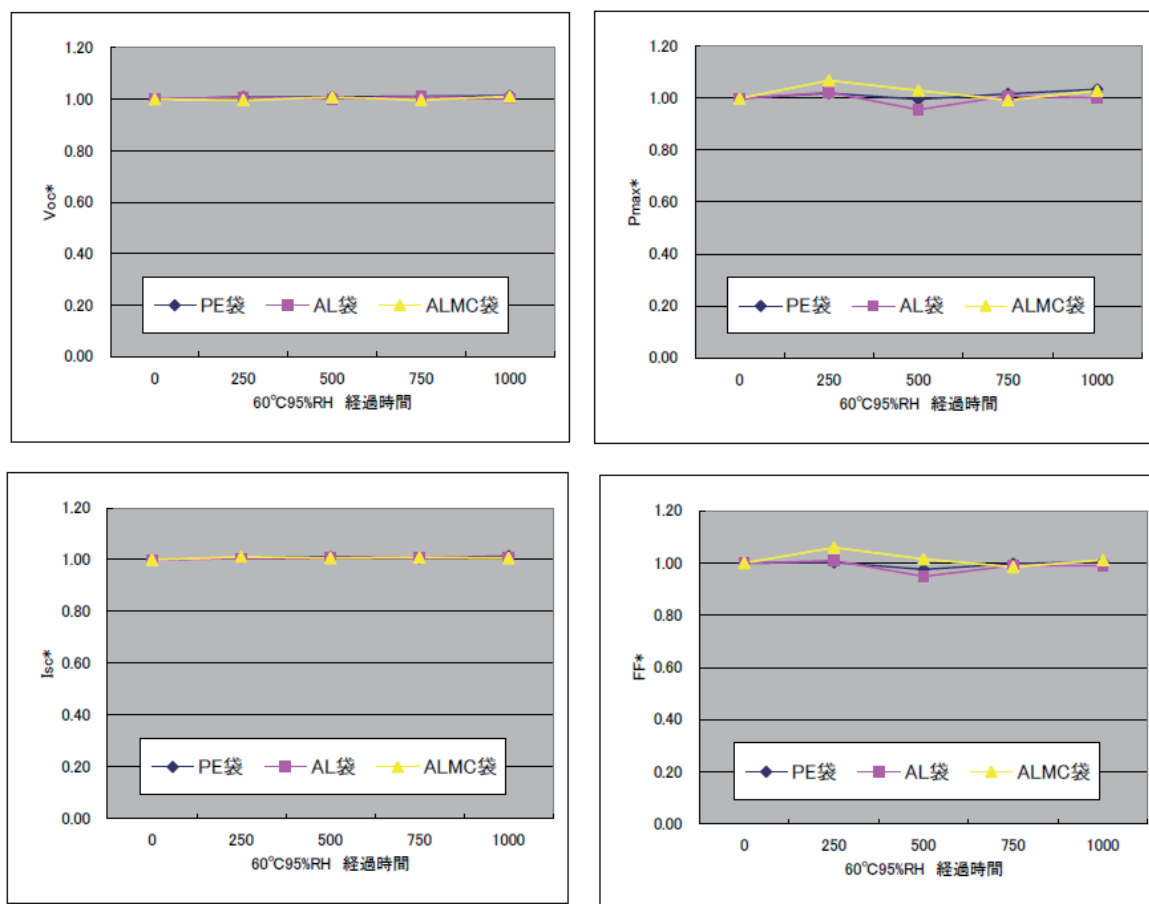


図3 I-V測定結果

III-3 モジュールへの組込

太陽電池モジュールの中に吸湿フィルムであるモイストキャッチを組み込んで、モジュールの高寿命化への効果を検討した。

実験方法

モジュールは、EVAフィルムとバックシートを使った構成を基本として(図4)、その構成に吸湿フィルムを組み込んでサンプルを作製した。使用した部材を表2に示す。

サンプルは、吸湿フィルムを組み込む位置や枚数を変えて作製して、それぞれでの効果の違いを評価する。サンプルの層構成を表3に示す。

表2 使用した部材

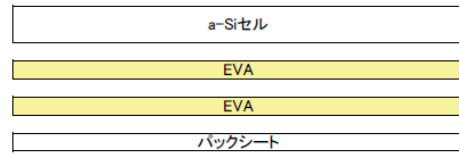
部材	使用したもの
セル	薄膜 Si
封止材	サンビック FC(標準部材)
バックシート	Al 封止 (標準部材)
フレーム	簡易版アルミフレーム

表3 サンプルの層構成

サンプル	組込位置	枚数
①	セルとEVAの間	1
②	セルとEVAの間	3
③	EVAとEVAの間	1
④	EVAとEVAの間	3
⑤	EVAとEVAの間	5
⑥	EVAとバックシートの間	1
⑦	EVAとバックシートの間	3
⑧	EVAとバックシートの間	5
⑨	組込無し (Ref.)	0

結果

85°C85%RH試験の500時間経過した段階では、いずれのサンプルでもPmax等の変化は認められなかった。現在、85°C85%RHでの試験を継続しており、今後得られる結果をみて、今回用いた吸湿フィルムの組込効果を検証したい。



(端子ボックス無し)

図4 モジュールの基本構成

IV. まとめ

今回、当社開発品であるモイストキャッチを太陽電池の劣化防止や長寿命化に貢献する機能部材としての可能性を検討した。セルの保管用としては、1000 時間程度の期間では吸湿フィルムを使わないアルミ袋でも性能の低下は起きず、保管環境内の積極的な水分除去まで必要がないことがわかった。

また、吸湿フィルムをモジュールへ組み込んだ場合については、現状ではその効果を確認できるまでの結果が得られていない。さらに評価を続け、モジュール内部の水分を減少させる吸湿フィルムの効果によって、太陽電池の長寿命化へ貢献できる結果が得られることを期待している。

I. 目的

太陽電池市場において、太陽電池モジュールの耐久性向上による長寿命化とプロセスの短縮、部材コストの圧縮によるモジュールコストの低減が必須である。

これらを達成するため、モジュールの高信頼性化に寄与できる PVB 封止材の開発を目的とする。

II. 研究開発目標

長期環境試験後の最大出力が、コンソーシアム標準部材を用いたモジュールと比較して上回ることを目標とする。

III. 研究開発の成果

1.a-Si 太陽電池モジュール

(1) モジュール構成

構成①：ガラス/a-Si/封止材/ガラス(エッジのシール材は不使用)

(2) 耐久性試験結果

① ダンプヒート(DH)試験

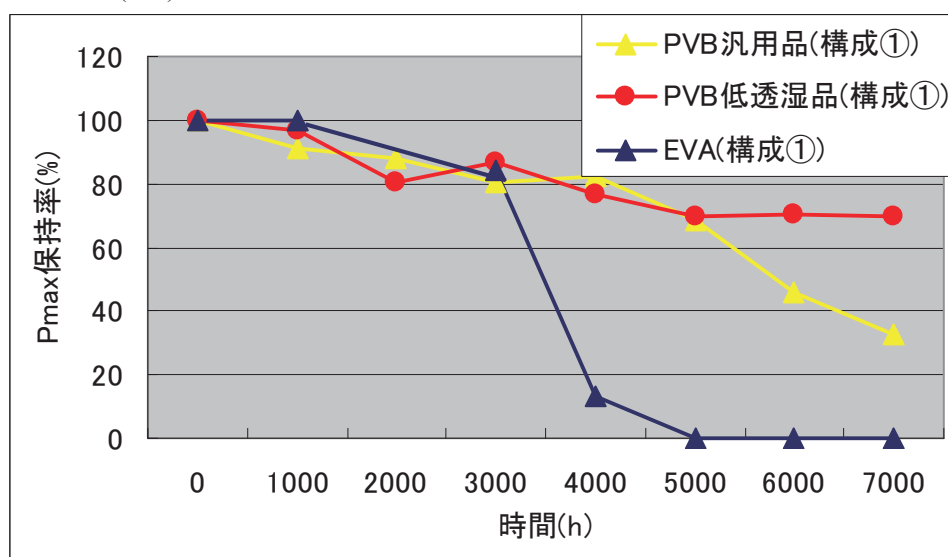


図 1.DH 試験

図 1 に示したように、評価を行った 3 つの封止材では、DH3000 時間まで大きな違いが見られなかった。しかし、EVA は DH4000h で 10%程度の最大出力(Pmax)保持率となり、PVB 汎用品は DH6000h で 40%程度の最大出力(Pmax)保持率となった。一方で、PVB 低透湿品は DH7000h においても、60%以上の最大出力(Pmax)保持率を示しており、長期耐久性が良い事が示される。

これらのモジュールの EL 画像を図 2 に示す。

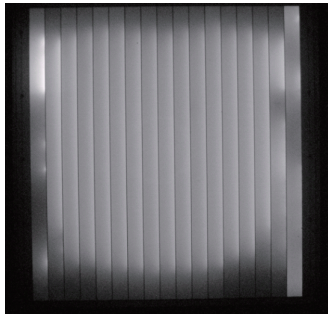
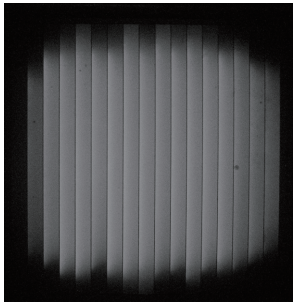
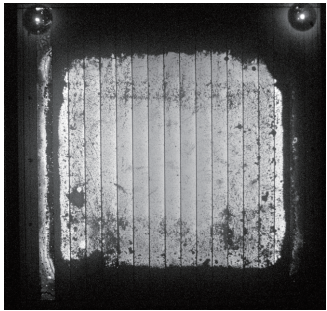
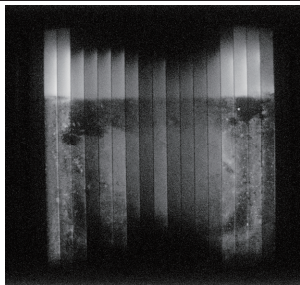
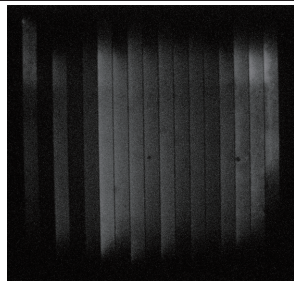
	PVB 汎用品	PVB 低透湿品	EVA
DH3000			
DH6000			測定不可

図 2.EL 画像

EL 画像の結果から、外周から輝度が低下していることがわかる。シールレス構成のため、モジュールのエッジから水分が浸入し、そこから劣化が始まっているものと推測する。また、劣化が早いモジュールでは、輝度ムラが発生しており、水分以外の劣化要因が存在する事が推測される。

表 1 に各モジュールに使用した封止材の透湿度と酸の発生データを示す。

表 1.封止材の透湿度、酸価

	試験条件	PVB 汎用品	PVB 低透湿品	EVA※
透湿度 ($\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$)	40°C90%RH	59	20	27
酸価 (KOH mg/g)	85°C1000h	0.2	0.1	1.3
	85°C2000h	0.3	0.2	5.4

※EVA のデータはコンソーシアム外の EVA を使用してデータを採取した

EVA における Pmax の低下は、表 1 に示した酸価(封止材を 85°C下で 1000h、または 2000h 純水に浸漬し、発生した酸の量を測定した)の結果より、EVA の酸発生量が多いため、劣化が進行したものと推測している。

PVB 汎用品と PVB 低透湿品の透湿度は表 1 に示した通りであり、DH6000h 後の Pmax の差、EL 画像に見られる輝度ムラは、封止材中に含まれる水分差により、酸の発生量が異なる事に基づくものと推測している。

②サーマルサイクル(TC)試験

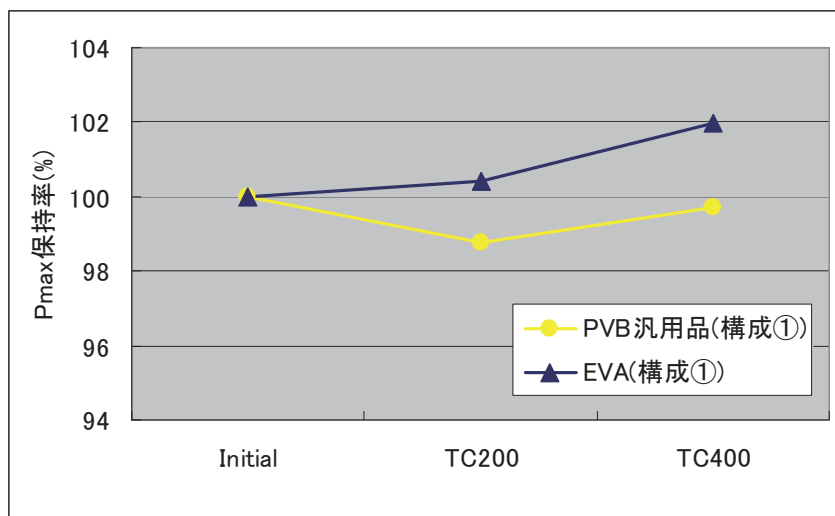


図 3.TC 試験

図 3 に示したように、TC400 では、いずれのモジュールも Pmax の低下が見られていない。長期信頼性という観点から、長期間の耐久性評価を実施予定。

2. c-Si 太陽電池モジュール

(1) モジュール構成

構成①：ガラス/封止材/c-Si/封止材/バックシート(コンソーシアム標準構成)

構成②：ガラス/封止材/c-Si/封止材/ガラス(エッジのシール材は不使用)

(2) 耐久性試験結果

①DH 試験

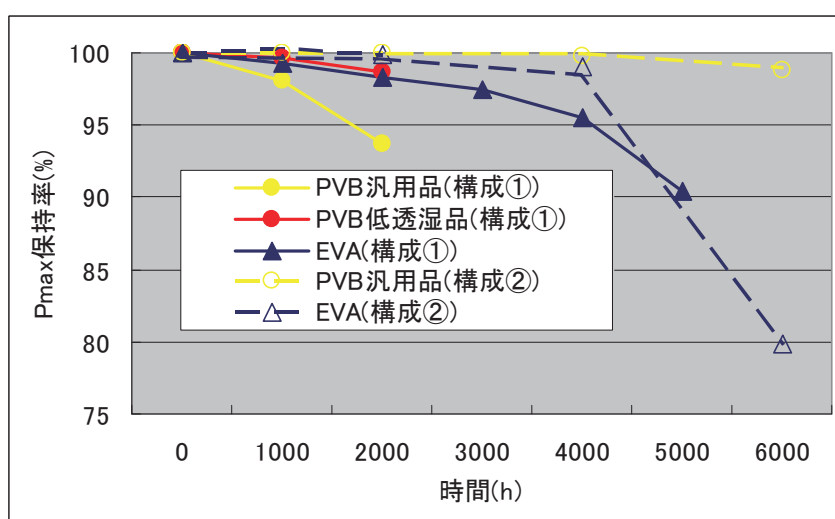


図 4.DH 試験

図 4 に示した通り、構成①では、PVB 汎用品と比較して、PVB 低透湿品は耐久性が向上していることがわかる。また、PVB の低透湿品と EVA の Pmax は DH2000h までは同じ傾向を辿っている。構成①と構成②を比較すると、構成①の Pmax が徐々に低下しているが、

これは、裏面がバックシートのため、構成②と比較して、水分の浸入が速く、劣化が見られているものと思われる。

一方で、構成②では DH4000h までは、封止材によらず、 P_{max} の低下はほとんど見られていない。構成②では裏面がガラスのため、水分の浸入が遅く、高耐久性であると思われる。しかしながら、DH6000h では EVA を使用したモジュールに P_{max} の低下が見られた。EVA を使用した構成②のモジュールでは、裏面がガラスのため、発生した酸が系外に逃げるができず、その結果、酸の影響で P_{max} の低下が進行したものと推測する[1]。

②TC 試験

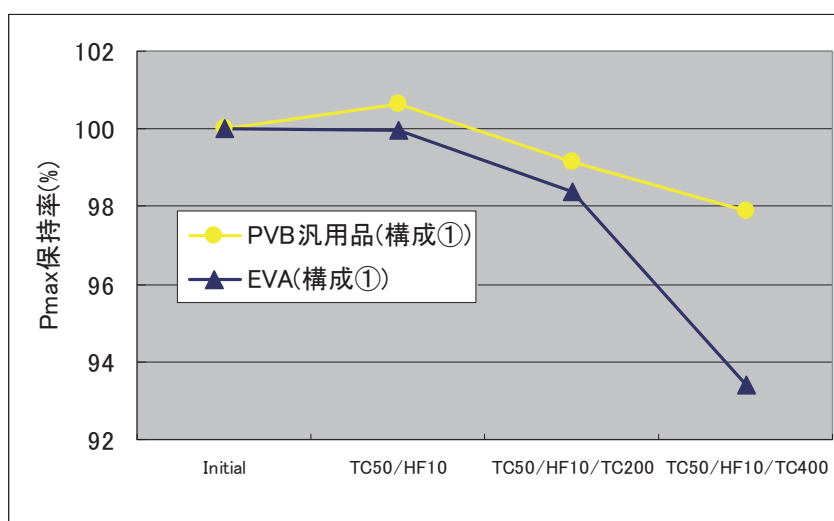


図 5.TC 試験

図 5 に示したように、いずれのモジュールも、TC を繰り返すごとに、 P_{max} の低下が見られている。今回の試験では EVA 使用モジュールの劣化が大きい結果となった。

DH 試験よりも TC 試験後の劣化が速いことから、TC に対する耐久性を向上させることが重要と考える。

IV. まとめ

- ・ a-Si 太陽電池において、PVB の透湿度向上が耐久性の向上につながることを確認した。
- ・ c-Si 太陽電池において、ダブルガラス構成のモジュールが耐久性が高いことを確認し、さらに、EVA よりも PVB を使用する方が、さらなる高耐久性を示すことを確認した。

V. リファレンス

[1] M.D. Kempe, G.J. Jorgensen, K.M. Terwilliger, T.J. McMahon, C. E. Kennedy, and T.T. Borek , “Ethylene-Vinyl Acetate Potential Problems for Photovoltaic Packaging”, Presented at the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-4) May 7-12, 2006.

I. 目的

太陽電池用封止材として、弊社シリコーンの特性・信頼性評価を実施する。シリコーン封止モジュールにおける光学特性、および加速劣化試験におけるシリコーンの特性変化を明確にすると同時に、長期間屋外曝露されたシリコーン封止モジュールを評価、解析し、シリコーン封止材が太陽電池モジュールに与える影響について考察する。

II. 研究開発目標

- ・シリコーンを封止材として用いた太陽電池モジュールの信頼性を検証する。
- ・屋外長期曝露されたシリコーン封止モジュールを評価し、不具合モードを調べる。シリコーンが与える影響について、不具合モードとの関連性を調査する。

III. 研究開発の成果

1. シリコーンの特性・信頼性評価

シリコーンとは、シロキサン結合(-Si-O-)を繰り返し単位とするポリシロキサンである。図-1にその基本構造を示す。多くのプラスチックは基本骨格が炭素主体であるのに対し、シリコーンは基本骨格がガラス、石英、ケイ酸塩と同じケイ素と酸素の結合からなっ

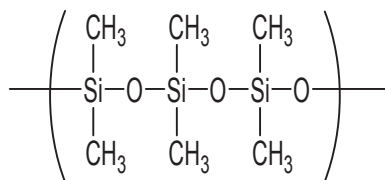


図-1 シリコーンの基本構造

ており、無機材料の一種とみなすことができる。ケイ素原子に有機基を結合させることによりユニークな特性を付与することができる。Si-Oの結合エネルギー(106kcal/mol)はC-C (85kcal/mol)やC-O (76kcal/mol)よりも大きく、高温でも化学的に安定で耐熱性、耐候性、絶縁性に優れる。

また、100%共有結合からなるC-C結合と比べ、Si-O結合は約50%のイオン結合性を有する

ため比較的小さいエネルギーで結合角度を変えることができる。典型的なジメチルポリシロキサンの分子構造は「らせん構造」をとっているが、ケイ素原子に2個結合したメチル基の嵩高さと、比較的大きな振幅の振動により隣接分子が近づきにくくなるという、分子間力が弱く耐寒性に優れる特徴を有する。ジメチルポリシロキサン硬化物は、ケイ素原子に直結したビニル基(Si-CH=CH₂)とケイ素原子に直結した水素原子を白金系触媒により付加反応させ、シルエチレン結合(Si-CH₂-CH₂-Si)を三次元的に形成する架橋形態をとるが、反応副生物が無いことが大きな特徴であり、可視～紫外光に対して高い光透過率を示す。

弊社ジメチルポリシロキサン硬化物(以下シリコーンと表記)の光透過率データを図-2に示す。また、DH試験(85°C/85%RH)1000時間後の透過率を併せて示す。

350nm以下の波長において、10%以上の低下が見られる。これは、水蒸気を取り込んだことによる光散乱が原因である。DH試験（85℃/85%RH）条件下で、600ppmの水蒸気を取り込んだ。この後、この試験サンプルを室温に戻したところ、水蒸気は排出され、透過率は回復した。

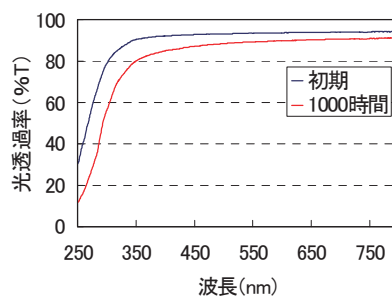


図-2 シリコンの光透過率 (85℃/85%RH)

次に、弊社シリコンの電気絶縁性について報告する。試験条件としては、DH試験（85℃/85%RH）

2000時間、TC試験（-40℃⇔105℃）2000サイクル、高温耐熱試験（105℃）2000時間である。その結果を図-3に示す。図に示すように、いずれの試験においても、2000時間或いは2000サイクル後の体積抵抗率の変化は小さい。また、最適化された弊社シリコンの耐熱環境下（180℃高温環境下に18000時間放置）における光透過率の変化を図-4に示す。この結果より、当材料においては180℃、18000時間の環境下におかれても90%以上の高い透過率を維持することがわかった。

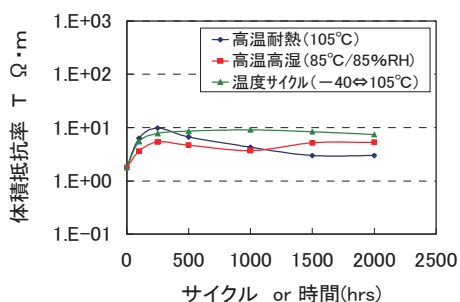


図-3 シリコンの絶縁特性

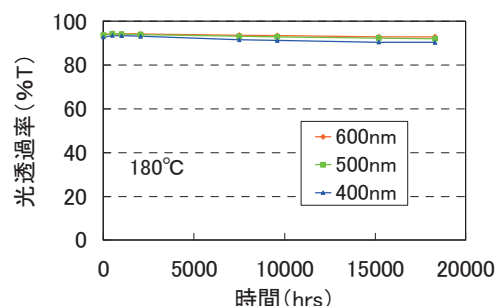


図-4 シリコンの光透過率

次に、弊社シリコンと EVA との比較結果を示す。弊社シリコンおよび EVA を、それぞれ白板ガラス（3.2mm厚）2枚の中に挟みこんで、透過率を測定した。その結果を図-5に示す。400nm以下の短波長領域で透過率に差が見られる。この材料でセル1枚を封止し、200×200mm サイズの両面ガラス構造モジュールで内部量子効率（IQE）を算定した結果を図-6に示す。セルは、短波長高感度セルを使用している。セルからモジュールにした場合の、

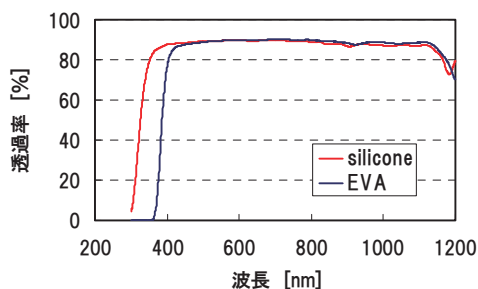


図-5 透過率比較 (対 EVA)

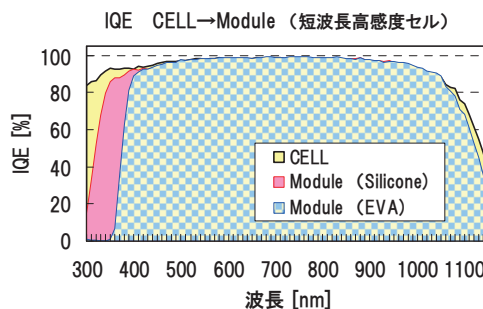


図-6 内部量子効率比較 (対 EVA)

内部量子効率のダウンは、弊社シリコン封止では 3.83%、EVA 封止では 9.59%であり、シリコン封止による短波長領域の透過性が、モジュール出力にプラスの影響を与えている。実際のモジュールの出力測定結果を図-7 に示す。シリコン封止モジュールは、EVA 封止に対して J_{sc} が 1.43%改善した（セルA）。また他のセルを用いた場合、 J_{sc} が 0.94%改善した（セルB）。これはセルの短波長感度の違いによるものと考えられる。

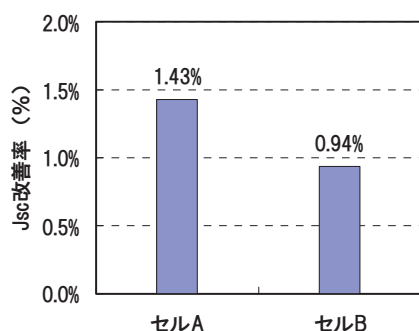


図-7 モジュール出力 (J_{sc} 改善率) <対 EVA 封止>

2. 長期間屋外曝露されたシリコン封止モジュールの評価・解析

奈良県高市郡高取町にある壺阪寺には、1983年に設置された太陽電池モジュール40台が、当時のままの状態に残っている。このモジュールは、シャープ（株）製で、4インチ単結晶セルが36直接続された構造で、定格は35Wのモジュールである。また現在よく使われているスーパーストレート構造で、なおかつ、この技術が国内で最初に適用されたものである。封止材はシリコンであり、弊社は2011年秋にこのモジュール全台数(40台)を取り外し、弊社内でIV測定、EL測定、IR測定を実施した。なお、このモジュールは全て元の場所に再設置し、現在でも使用されている。この壺阪寺モジュールの外観を図-8に示す。また、40台のモジュールIV特性の代表例を図-9に示す。

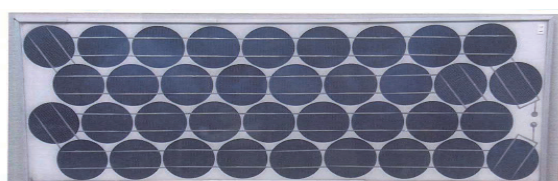
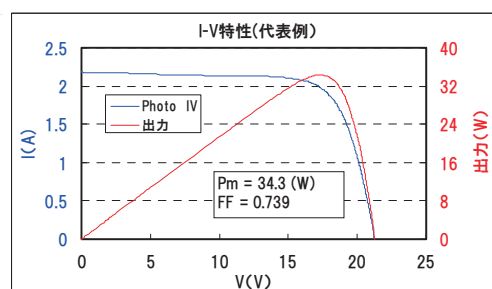


図-8 壺阪寺モジュール外観



全40枚平均	劣化率	劣化率/年
平均 32.75 (W)	-6.43%	-0.22%

図-9 壺阪寺モジュールの出力特性

このモジュールは、全40台ともに黄変等の変色がなく、外観上、問題は無かった。また28年経過後の出力低下は、全40枚平均で6.43%であり（定格値との差）、年間での劣化率にすると0.22%であった。壺阪寺モジュール40枚の群において、不具合箇所を項目毎にまと

めた結果を表-1 に示す。出力低下との関係では、タブ線はずれが顕著に見られた数枚のモジュールで出力低下が大きい。これを除くと、劣化率は8%以下に留まる。また、ほぼ全てのモジュールで、端部においてバックシートとシリコーンとの間の剥離が確認されている。しかし EL 測定による検査では、近傍セルの暗部が認められず、出力低下の影響は軽微であった。シリコーンは水分流入が懸念されるが、含水率が低くかつ同時に排出しやすい特徴も持っており、この特徴が、長期屋外曝露における優れた耐久性に影響している可能性がある。

表-1 壺阪寺モジュールの故障モード分類

モジュールNo. (劣化率順)	セル割れ タブ線はずれ	バックシート 穴開き	封止材 剥離 (裏面)	電極腐食	フィンガー線切 (初期)	周辺枠封止 樹脂部穴開き	ガラス くもり	封止材 剥離 (表面)	バックシート 焦げ	白濁 黄変	劣化率
1	×××	×××	×	×	×	×					39.26%
2	××		×		×××	×					35.28%
3	××	×	×		×	×	×				15.83%
4	×××	×	×		×	×	×				14.04%
5	×		×	××	××	×					8.39%
6	××		×	××	×	×					7.87%
7	×		×	×	×	×					7.69%
8	×		×	××	×	××					7.64%
9	×		×		×	×					7.50%
10	×		×		×	×					6.92%
11			×		××	×					6.77%
12			×		×	×					6.28%
13			×	×	×	×					5.44%
14	××		×		××	×	×				5.08%
15	×		×		×	×		×			5.04%
16	×	×	×		×	×					4.81%
17			×		×	×					4.60%
18	×		×		×	×					4.59%
19	×		×		×	×					4.57%
20			×		×	×					4.41%
21		×	×	×	×	×					4.41%
22	×		×		×	×					4.34%
23	×		×		×	×					4.09%
24	×		×	×	×	×					4.06%
25			×		×	×					3.34%
26	×	×	×		×	×					3.24%
27	×	×××	×	×	×	×					3.23%
28			×		×	×					3.18%
29		×	×		×	×					2.95%
30	×		×		×	×					2.89%
31			×	×	×	×					2.87%
32	×		×		×	×					2.86%
33			×	×	×	×					2.80%
34	×		×		×	×					2.26%
35		×	×		×	×					2.11%
36		×	×			×					2.00%
37			×			×					1.49%
38		×	×			×					1.23%
39		×	×		×	×					1.00%
40			×		×	×					0.81%

IV. まとめ

シリコーンの光透過率、電気絶縁性について、DH 試験、TC 試験等の環境下で確認し、良好な結果を得た。また 200×200mm サイズのモジュールを作製し、測定結果から内部量子効率を算出し EVA と比較した。短波長域での光透過率優位性を定量的に確認することができた。また、29 年間屋外に暴露されたシリコーン封止モジュール（壺阪寺）の評価を行い、劣化率が全 40 枚平均で 6.43%、年間あたりの劣化率が 0.22%であった。

（今後の方針）

4 直接続ミニサイズのシリコーン封止モジュールを作製し、各種加速試験を行い、EVA 封止モジュールとの比較を行う。

I. 目的

現在、弊社では産総研東北センターの蛭名チーム長の下で、粘土を用いた機能性フィルム開発の共同研究を行っている。今回、共同研究の中で開発した高耐候性、高水蒸気バリア性を有する粘土含有フィルムであるタフクレストを用いて、実際に結晶シリコン太陽電池4セルモジュールを作製し、各種耐候性試験を行い評価することでモジュールの劣化具合を比較した。比較用バックシートとして、コンソーシアム標準バックシートである TPT を用いた。

II. 研究開発の目標

タフクレストをバックシートとして用いて結晶シリコン太陽電池モジュールを作製し、耐候性試験（ダンプヒート試験、サーマルサイクル試験、紫外線照射試験）を行った後に性能を評価する。バックシートとして TPT を用いたモジュールと比べ、出力、セルやモジュールへの影響、絶縁性が同等以上の性能を有することを目標とする。

III. 研究開発の成果

耐候性試験に用いたタフクレストは粘土とポリイミドの単一フィルムである。試験には、同じ組成で厚みの異なる2種類のフィルムを用いた。更に比較対象として TPT を用いて、太陽電池モジュール（40cm 角）をそれぞれ15枚作製した。モジュール作製に際し用いた部材は、タフクレスト（バックシート）以外全てコンソーシアム標準部材を使用した。耐候性試験は3種類行い、 $n=5$ で行った（紫外線照射試験のみ、装置容量の関係により $n=2$ にて実施）。試験後の性能評価は、出力、EL、モジュール外観、耐電圧試験により行った。

表1 各バックシートの概要

バックシート	タフクレスト	タフクレスト	TPT (コンソーシアム標準)
膜厚み[μm]	50	140	340
水蒸気バリア性 [$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$]	1.41(※1)	5.6×10^{-1} (※1)	1.8(※2)

※1 差圧法（GTR テック社製ガス・水蒸気透過率装置 GTR-30XA1BD）により測定

※2 等圧法（イリノイ社製 水蒸気透過率測定装置 Model 7002）により測定

1. ダンプヒート試験（DH） [試験条件]：DH3000（85°C-85%RH、3000hr）

評価① 出力

DH3000hr 後、全てのモジュールについて P_{max} に緩やかな低下がみられ、タフクレスト_50 μm と TPT で約 3%、タフクレスト_140 μm で約 5%低下した。水蒸気バリア性の高いタフクレスト_140 μm の方が、出力が低かった理由としては、EVA の加水分解で生じた酢酸が、モジュール内部で滞留し易いためであると考えられる。

評価② EL とモジュール外観

EL による暗輝度部と試験後モジュールの外観を確認した（図1）。タフクレスト_50 μm のセルには暗輝度部がほぼ無く、非常に綺麗な状態であった。それに対して、タフクレスト_140 μm と TPT のセルには劣化がみられた。TPT はタフクレスト_50 μm と出力は同等であったが、

セルの劣化が最も激しくみられた。

モジュール外観は、タフクレーストを用いた2種類のモジュールでは色の変化は無く、タブ線等の劣化は非常に少なかった。それに対して、TPTではn=5全てのモジュールで、TPTもしくはEVAに明らかな黄変や汚れがみられ、タブ線にも激しい劣化がみられた(図1)。この結果より、セルの劣化に関しては、タフクレーストの方がTPTより優位性があると言える。この理由としてTPTの耐侯性が低く、DH3000hr試験中にフィルムの水蒸気バリア性が低下し、モジュール内部に水分が侵入したためと考えており、現在パーツ試験による検証中である。タフクレーストのパーツ試験では、9300hr後のフィルムでも水蒸気バリア性を保持することがわかっている(表2)。

表2 ダンプヒート(85°C-85%RH)試験時間と水蒸気バリア性(差圧法での測定値)

DH試験時間	タフクレースト 110 μm ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)	TPT ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)
0hr	1.1	4.9×10^{-1}
3000hr	1.5	(取得中)
6500hr	1.6	(取得中)
9300hr	1.4	(取得中)

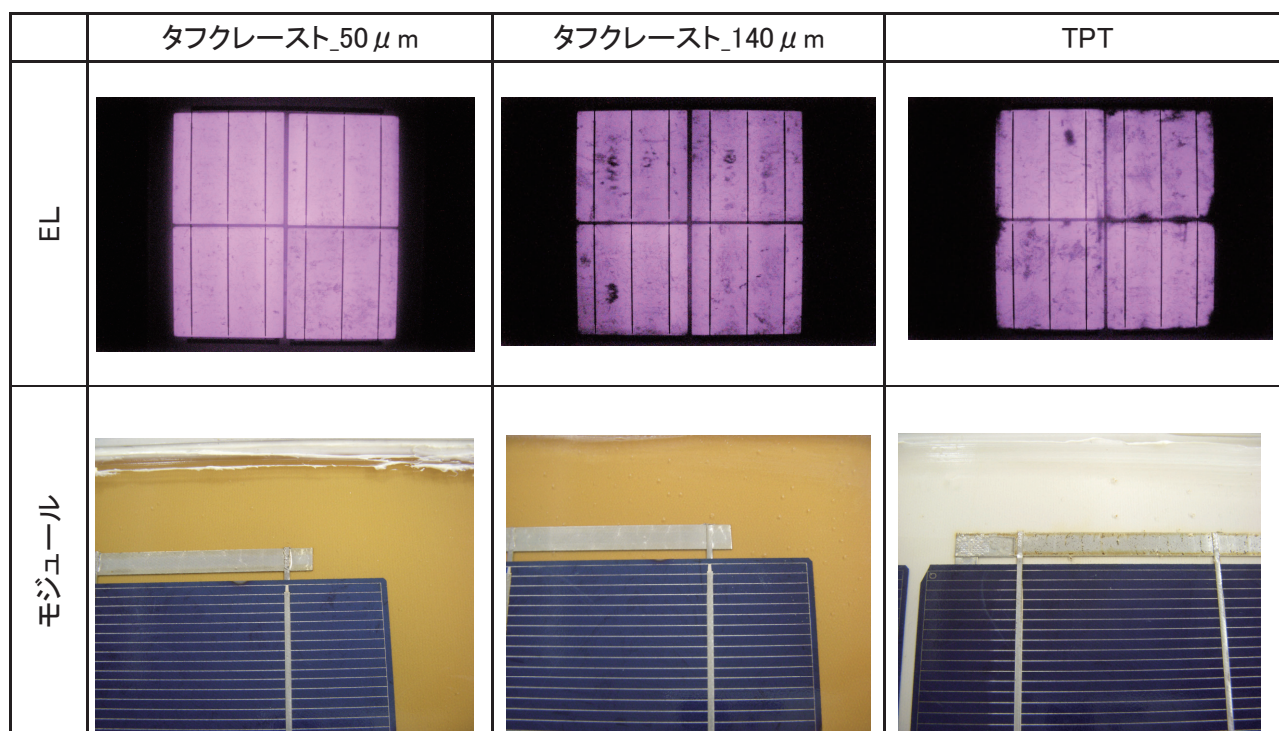


図1 DH3000hr後のELとモジュール(タブ線)の比較

評価③ 耐電圧試験

DCW/IR(空気中)ではDH3000hr後、全てのモジュールにおいて抵抗値は $>99\text{G}\Omega$ となり、試験前後で違いが無かった。しかし、表3に示すようにIR(湿潤もれ電流試験)ではタフクレーストはTPTに比べ抵抗値が低く、タフクレースト_50 μm においては抵抗値の測定できないサンプルが2点存在した。TPTに比べて抵抗値が低い原因として、タフクレーストの厚みや、用いたシール材(東レSH780)との接着性の差などの影響が考えられる。

表3 DCW/IR (空气中)、IR (湿潤もれ電流試験) による比較 (n=5 平均値)

	DCW/IR (空气中)			IR (湿潤もれ電流試験)			
	T60_50 μ m	T60_140 μ m	TPT	T60_50 μ m	T60_140 μ m	TPT	(測定時水温)
試験前	>99G Ω	>99G Ω	>99G Ω	5.3	4.6	7.0	13~15 $^{\circ}$ C
DH3000hr	>99G Ω	>99G Ω	>99G Ω	<0.2~0.5	0.5	1.8	21~22 $^{\circ}$ C

※湿潤もれ電流試験の抵抗値は水温によって変化するため、初期値と DH3000hr の比較はできない

2. サーマルサイクル試験 (TC)

[試験条件]: • TC50+HF10 (TC50: -40 $^{\circ}$ C \leftrightarrow 85 $^{\circ}$ C, 50cyc、 HF10: -40 $^{\circ}$ C \leftrightarrow 85 $^{\circ}$ C, 85%RH, 10cyc)
• TC200 (-40 $^{\circ}$ C \leftrightarrow 85 $^{\circ}$ C, 200cyc)

評価① I-V 特性

TC50HF10 後に TC200 を行った結果、TPT で約 1%、タフクレストで約 2%の Pmax の低下がみられたが、TPT との顕著な差はみられず、同等の出力性能を有することを確認した。今後、TC400 を行うなどして、出力低下の様子を確認する必要がある。

評価② 耐電圧試験

TC 試験後においても、DCW/IR (空气中) での電流値、抵抗値は試験前後で変化がなかった。IR (湿潤もれ電流試験) での抵抗値は、TPT モジュールに比べてタフクレストがいずれも低い結果となったが、これはバックシートの厚みに依存しているのみでタフクレストの劣化によるものではないと推測される。いずれの TC 試験後も同様に抵抗値が減少しており、TPT との差はないと考える (図 2)。

(測定時水温: blank:13-15 $^{\circ}$ C、TC50HF10: 12-15 $^{\circ}$ C、TC200:21-23 $^{\circ}$ C)

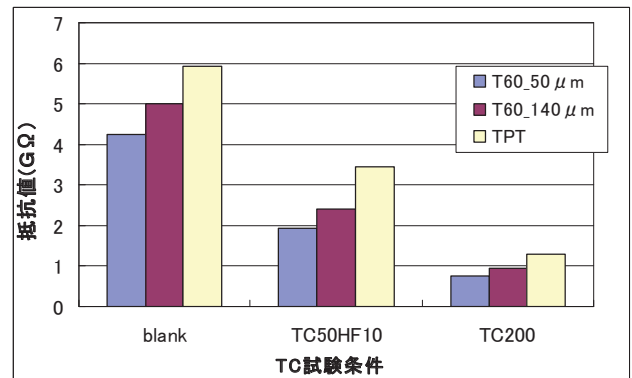


図 2 各モジュールの抵抗値比較 (湿潤もれ電流)

3. 紫外線照射試験

[試験条件]: 3UV, 27 $^{\circ}$ C (槽内), 200hr 連続照射 ※3UV (180W/m² 波長 300~400nm)

評価① I-V 特性 (200hr ごとに測定)

積算 400hr 後、全モジュールで Pmax が約 1%低下したが、その後積算 600hr ではほぼ変化は無く、他の項目においても TPT との差は今までのところみられていない (図 3)。更に試験を継続する。

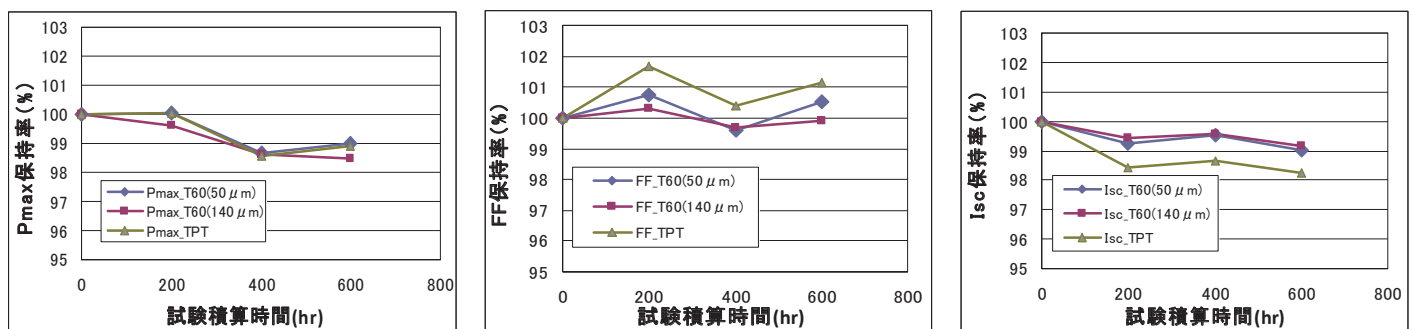
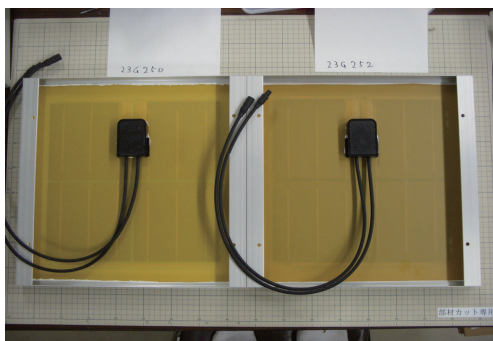


図 3 Pmax, FF, Isc の初期値保持率

評価② フィルムの色変化

試験積算 600hr のタフクレストの色を、試験前のものと比較した。結果、タフクレストの色が明らかに薄くなっていることを目視で確認した。一方、TPT に変色はみられなかった。タフクレストが紫外線照射による何らかの影響を受ける可能性がある (図 4)。

・タフクレスト_50 μ m



・タフクレスト_140 μ m

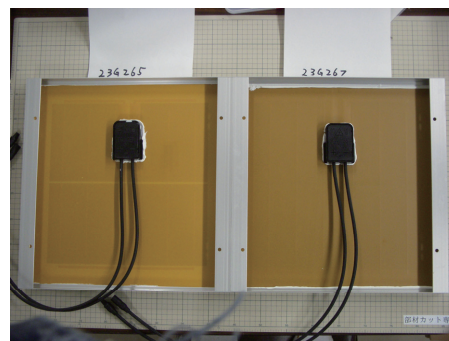


図 4 タフクレストの色変化 (左:積算 600hr 後 右:試験前)

評価③ 耐電圧試験

耐電圧試験空気中での電流値、抵抗値に試験前後で変化は無かった。湿潤もれ電流試験での抵抗値は、全ての積算時間において、TPT の抵抗値が僅かに高い結果となった。この差はバックシートの厚みに依存していると考えられ、TPT との差はほとんど変わらず、現時点で絶縁性能の差はほぼ無いと考えられる (図 5)。(測定時水温:blank 14 $^{\circ}$ C、積算 200hr:10-13 $^{\circ}$ C、積算 400hr:21-23 $^{\circ}$ C、積算 600hr:26 $^{\circ}$ C)

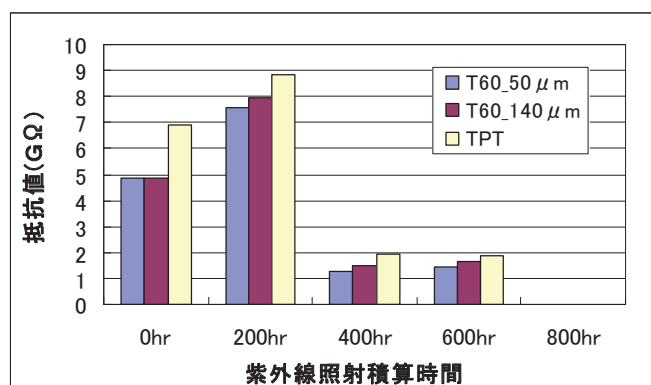


図 5. 各モジュールの抵抗値比較 (湿潤もれ電流)

IV. まとめ

各耐侯性試験における、タフクレストモジュールと TPT モジュールとの比較結果を示す。

1. ダンプヒート試験 (DH3000hr)

耐電圧試験では、湿潤もれ電流試験において TPT の抵抗値より低くなった。しかし、タフクレストモジュールのセルやタブ線の劣化具合は TPT に比べ非常に少なく、TPT に対するタフクレストの優位性がみられた。

2. サーマルサイクル試験 (TC50HF10, TC200)

湿潤もれ電流試験において TPT の抵抗値よりも低くなったが、現時点でタフクレストモジュールと TPT モジュールの性能はほぼ同等である。今後 TC400 など試験を継続する必要がある。

3. 紫外線照射試験 (UV 試験)

湿潤もれ電流試験において TPT の抵抗値よりも低くなったが、現時点でタフクレストモジュールと TPT モジュールの性能はほぼ同等である。試験後、タフクレストの色が薄く変化していたため、紫外線による何らかの影響が考えられる。更に試験を継続する。

I. 目的

保護シートに用いられる、弊社製品、あるいは、開発品であるフッ素樹脂コーティング材、および、フッ素樹脂フィルム、あるいは、弊社製品を用いて作られた他社製保護シートについて、これを太陽電池モジュール（結晶 Si 系）に組み込んだ状態で耐久試験を行い、太陽電池モジュールの長寿命化・信頼性向上という観点から標準品と比較して優劣を明らかにすると共に、弊社品の問題点が明確となった場合には、問題の原因を追究しこれを改良するための基盤データとする。

II. 研究開発目標

太陽電池モジュールは、屋外で長期間にわたって使用されるという性質上、紫外線や熱、水蒸気などの外的な劣化要因から保護される必要がある。その中でバックシートは、紫外線や水蒸気等の内部への浸入を防ぐために用いられている。

本研究では特に水蒸気による影響に注視し、バックシートの構成および部材の違いによって太陽電池の長期信頼性にどの程度の差があるのか明確にし、各構成および部材の固有性能である水蒸気透過率および耐加水分解等の化学的安定性との相関性を調べようと考えた。

III. 研究開発の成果

第 I 期コンソーシアムにて、弊社はコンソーシアム標準品を含めて 9 種類の構成のバックシートを用いて試験を実施した。詳細な結果は当該成果報告書を参照されたいが、簡潔に記すと、フィルファクター（以下 FF）の低下に若干の改善は見られたものの、全体としてはバックシートの構成の違いによる影響は期待されたほどは大きく現れなかった。上記の実験結果で用いたバックシートの層構成は、最外層がフッ素フィルムあるいは PET という構成であり、EVA 面には PET と接着層があるという点では共通点が多いが、一方で PVF 系とはその点において異なる構成である。

そこで第 II 期では PVF 系と比較するために、類似の層構成を持つバックシートを用いて実験を行った。その結果、第 I 期では見られなかった有意差を見出した（図 1）。各バックシートの水蒸気透過量はアルミ系バックシートを除いて、初期値として $1\sim 2\text{g/m}^2\cdot\text{day}$ 程度であり、水蒸気透過量以外にダンプヒート（以下、DH）試験において太陽電池モジュールが劣化する要因が存在することが示唆される。

なお、本報告における太陽電池モジュールは全て、多結晶 Si（Q-Cells 製）単セルモジュールを使用した。

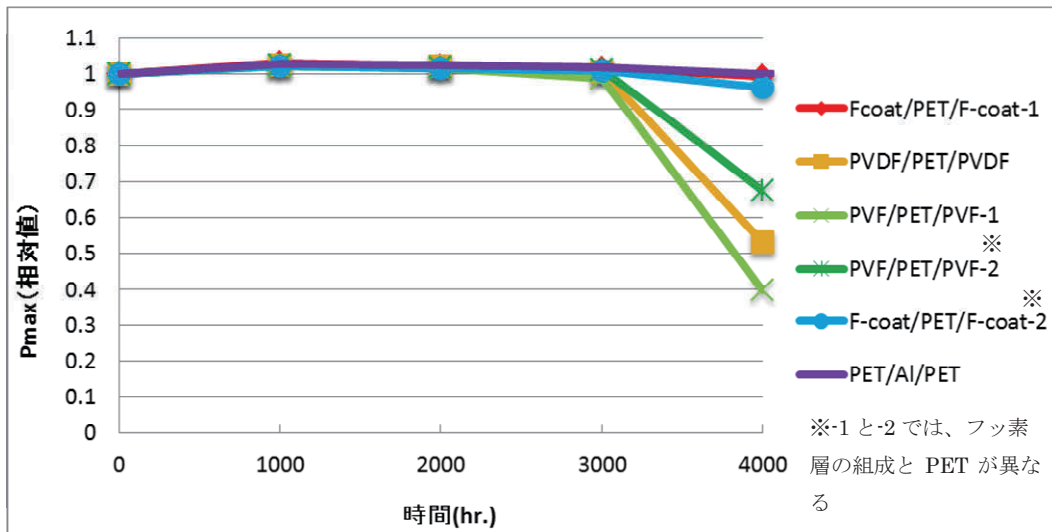


図1：第II期コンソーシアムで行ったDH試験時間と発電効率の維持率の関係

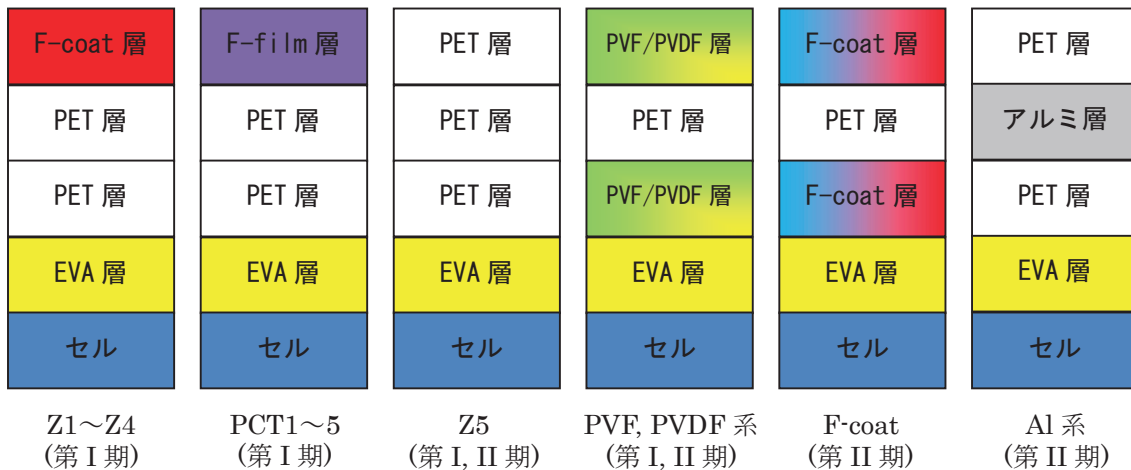


図2：コンソーシアムで作製した太陽電池モジュールのバックシートの層構成の概略図

フッ素コート（以下、F-coat）系のバックシートとアルミ入りバックシート（Al系）は、DH4000時間後でも、Pmaxが初期値から5%以内の低下率でとどまっている。一方で、PVF系はDH3000時間から4000時間にかけて急激にPmaxが低下する傾向を示しており、これらの事例はコンソーシアムの第I期の成果報告書でも報告されている。今回、PVDF系でも同様の傾向が見られた。

（図3）～（図5）に各構成体のI-Vカーブを示す。DH4000時間後でPmaxが落ちなかったF-coat系はI-Vカーブでも変化がなかった。一方、PVF系やPVDF系はDH3000時間～DH4000時間でPmaxが低下した時に、短絡電流Iscの低下が見られる。このことから、モジュールの直列抵抗の増加が起きていることが分かるので、配線まわりに何らかの異常が起きていると推測される。

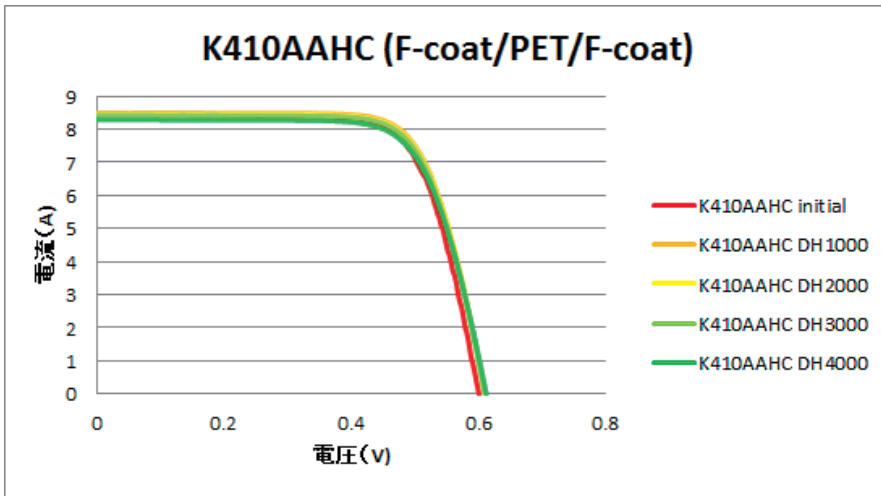


図 3 : I-V カーブ (F-coat 系)

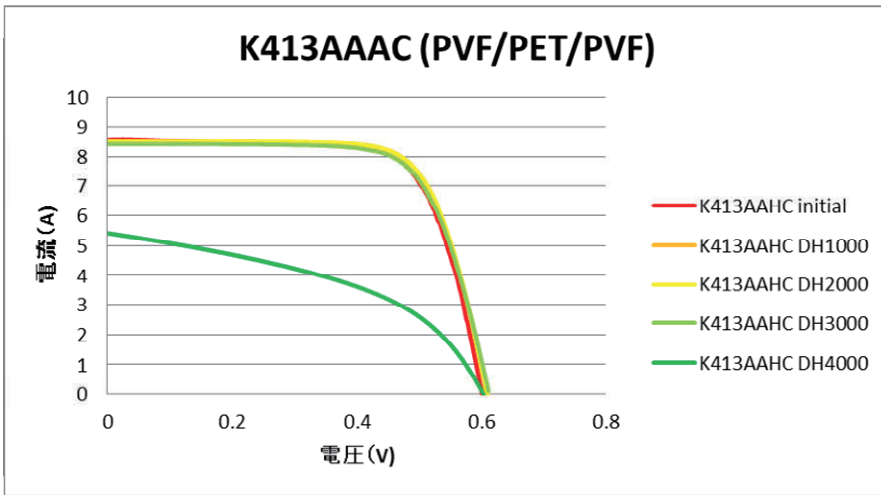


図 4 : I-V カーブ (PVF 系)

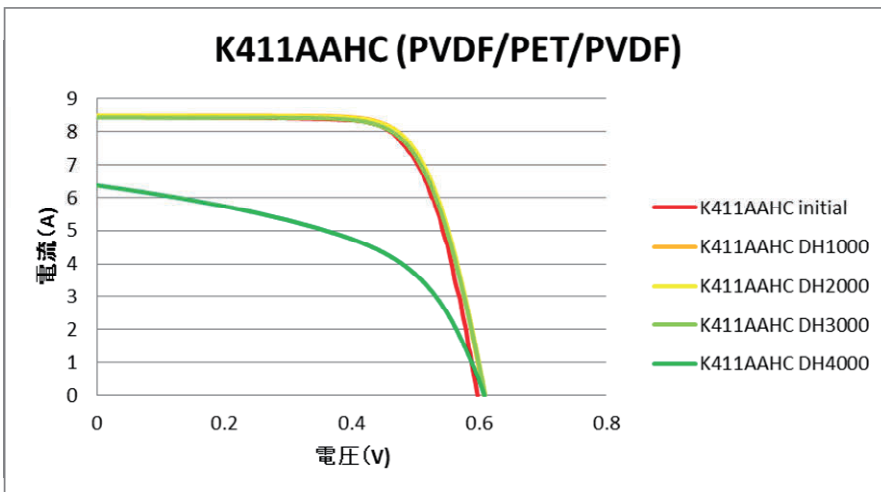


図 5 : I-V カーブ (PVDF 系)



図 6 : EL 画像 (F-coat 系 左から、DH1000,3000,4000 hr.)

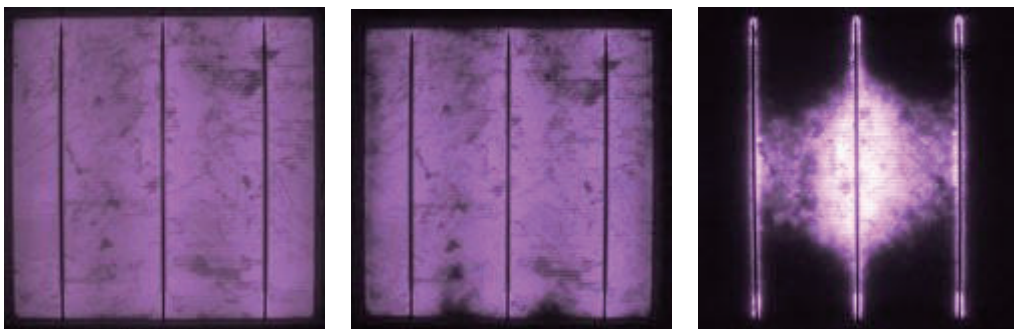


図 7 : EL 画像 (PVF 系 左から、DH1000,3000,4000 hr.)



図 8 : EL 画像 (PVDF 系 左から、DH1000,3000,4000 hr.)

EL 画像を撮影すると、 I_{sc} が低下したモジュールは周辺部から暗部が広がっている。ソーラーシミュレーターの結果とよく符合した結果である。

IV. まとめ

市場で用いられている、同等程度の水蒸気透過率を有するバックシートを搭載した太陽電池モジュールを DH 試験にて評価したところ、4000 時間にて有意な差を見出した。これはバックシートの水蒸気透過性以外の要因がモジュールの劣化に関わっていることを示すものと推察される。現在、さらに類似の構成体にて試験を行っており、さらなる検証を進めていると同時に、これらの現象のメカニズムの解明とモジュールの詳細な分析を進めていく。

「オレフィン系封止材を用いた太陽電池モジュールの発電効率と屋外曝露の比較」

大日本印刷株式会社

I. 目的

弊社では、太陽電池モジュール用の封止材とバックシートの製造販売を行っており、本コンソーシアムでは、高信頼性太陽電池モジュールに対応した（１）オレフィン系封止材、（２）オレフィン系白封止材を評価した。従来社内で行っていた封止材のガラスとの耐久密着試験や各種諸物性（光線透過率、水蒸気透過性、体積固有抵抗等）の測定に加え、封止材自身の機能がモジュールに対してどのように影響し、その効果がどの程度であるかを、本コンソーシアムにて透明と白封止材を用いた太陽電池モジュールを評価する事で封止材設計に反映させる事を目的とした。

II. 研究開発目標

本コンソーシアムではオレフィン系封止材、オレフィン系白封止材で、4セルモジュールを作製しEVAと比較して、ソーラーシミュレーターでの発電効率測定と屋外曝露試験による実際の発電特性の比較を行った。

III. 研究開発の成果

(1) オレフィン系封止材

太陽電池モジュールの多くはEVAが使用されているが、弊社では、EVAで想定される課題を克服するため、EVAで課題と想定される、酢酸ガスによるセルや配線に対して腐食が発生しやすい点、体積固有抵抗が低い点、水蒸気バリア性が低い点等を改善したオレフィン系封止材『CVF』（Table 1）を開発した。

Table 1 CVF 物性表

物性	項目	規格	単位	CVF	EVA
光学特性	全光線透過率	JIS K-7361	%	92	92
	Haze	JIS K-7136	%	3.6	2.0
	UVカット波長	—	nm	<350, <300	350
物理特性	水蒸気透過性	JIS K-7129	g/m ² ・day	2.1	13
	体積固有抵抗	JIS K-6911	Ω・cm	4.1 × 10E14	2.3 × 10E13
耐熱性	クープ特性	DNP法	mm	<0.1	<0.1
	130°C12時間				
その他	酸性ガスの発生	DNP法	銅腐食	○	×
	160°C16時間				

(2) オレフィン系白封止材

通常太陽電池モジュールの隙間部分は数%程度であるが、その隙間部分に照射した光を

反射させて効率的に使用するために、弊社では、反射率を高めたオレフィン系白封止材『CL-W』を開発した。Fig.1 に示す分光反射率のデータでは、EVA 越しに弊社高反射白バックシート VPEW の分光反射率のデータを測定した結果も示しているが、全ての波長域において CL-W がより高い反射率を示している。

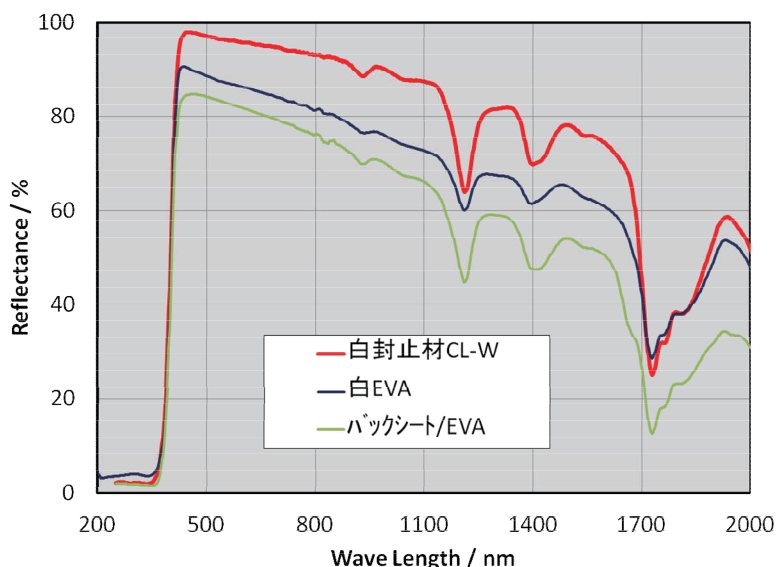


Fig.1 分光反射率データ

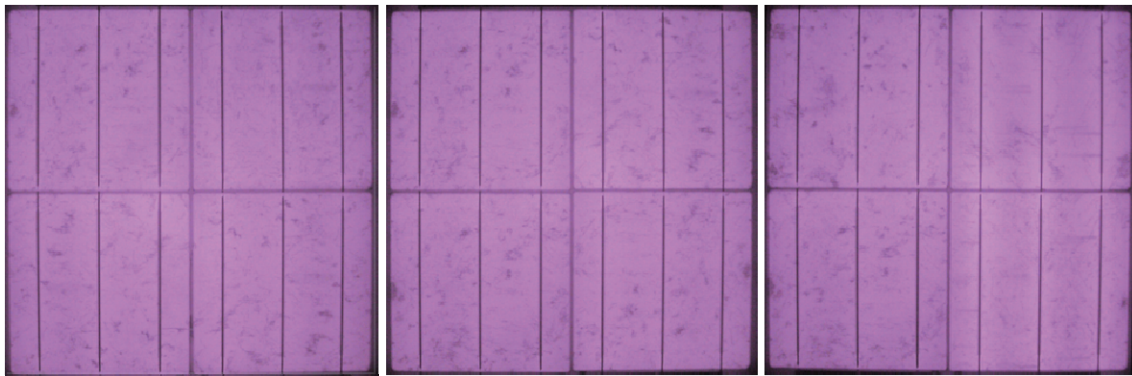
封止材、オレフィン系白封止材、及び EVA を使用し、太陽電池モジュールを作製した際の太陽電池特性のデータを Table 2 に示す。(尚、バックシートは全て弊社 VPEW を使用)

Table 2 発電効率測定結果

セル	封止材	開放電圧 Voc(V)	短絡電流 Isc(A)	最大電力 Pmax (W)	最適電圧 Vpm (V)	最適電流 Ipm (A)	直列抵抗 Rs (Ohm)	並列抵抗 Rsh (Ohm)	FF	効率 Eff (%)
Qcells,6in 3本バスバー (4セル)	CVF#400 CVF#400	2.431	8.792	14.769	1.818	8.122	0.052	19.192	0.691	8.916
	CVF#400 白開発品#300	2.433	8.579	14.411	1.813	7.951	0.055	16.649	0.690	9.007
	EVA EVA	2.420	8.268	14.101	1.829	7.711	0.052	25.798	0.705	8.813

モジュール化後の発電効率の差としては、表/裏:CVF/CL-W、CVF/CVF、EVA/EVA を比較すると、EVA より CVF の発電効率の向上が見られる。また、裏面に CL-W を用いたモジュールは更に発電効率の向上が見られる。この結果から、ソーラーシミュレーターの直線光での測定では CVF 及び CL-W が発電効率向上には有効であり、また、CL-W は分光反射率のデータが示す通り、弊社 VPEW の反射率より全波長域における反射率が高くなっている点から、発電効率向上には有効である事がわかる。

白顔料を入れた CL-W はラミネート時にセルに与える影響が懸念されるが EL 発光画像の写真を図.2 に示すように、セルのクラック等は見られず、適切にラミネートされている。



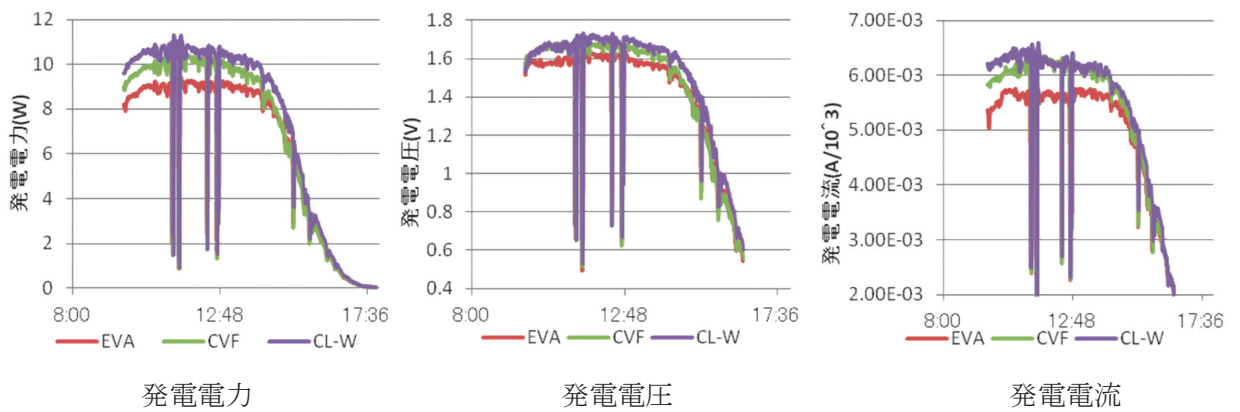
表/裏 CVF/CL-W

CVF/CVF

EVA/EVA

Fig.2 EL 発光画像

次に、社内で実施した屋外曝露の結果を Fig.3 に示す。



発電電力

発電電圧

発電電流

Fig.3 屋外曝露結果 (千葉県 柏市 2012年8月9日)

発電電力の結果を見ると、表/裏:CVF/CL-W > 表/裏:CVF/CVF > 表/裏:EVA/EVA の順で発電電力が大きくなっている。

CVFはEVAよりもヘイズ値(濁度)が高く、内部散乱をおこしやすい性質を持っており、その影響で、表/裏:CVF/CVFの表側のCVFの内部で拡散し斜めからの光を取り込みやすい状態になっていると推測される。

また、表/裏:CVF/CL-Wは、白封止材CL-Wの裏面側の高反射率の効果の影響も併せて、更に発電量が大きくなっていると考えられる。



Fig.4 屋外曝露に使用したモジュール

Fig.5 に本年 7 月~9 月に表/裏:CVF/CL-W と表/裏:EVA/EVA のモジュールを屋外曝露した結果を示す。

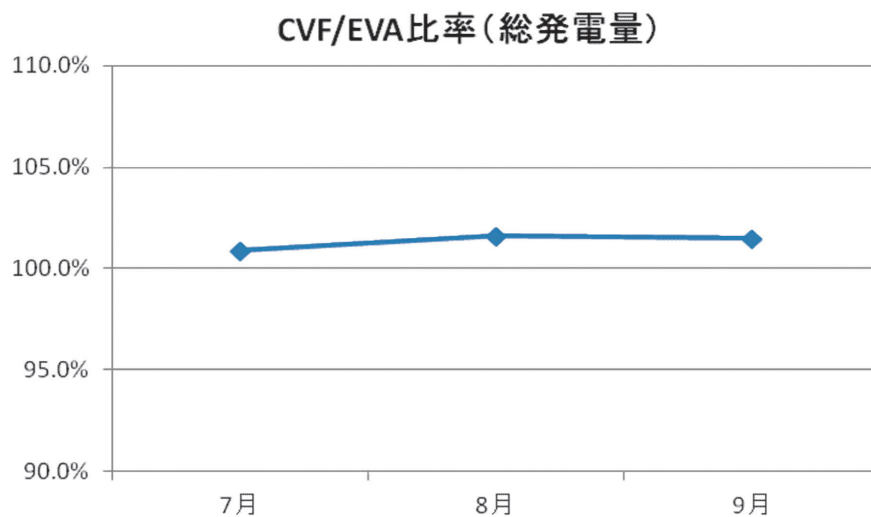


Fig.5 屋外曝露結果（千葉県 柏市 2012年7月~9月）

表/裏:EVA/EVA を 100%とした場合の表/裏:CVF/CL-W の発電量の比率で見た場合、屋外曝露を行った結果からも EVA よりも発電量が多くなっている事がわかる。

IV. まとめ

今回のソーラーシミュレーターと屋外曝露の結果で、EVA に対して表/裏:CVF/CL-W の組合せが、更に表/裏:CVF/CL-W の組合せとする事で発電効率が向上し、発電量が多くなる事が確認できた。

I. 目的

田中貴金属グループは、金地金をはじめ、さまざまな貴金属材料の開発や安定供給を行なう事業活動を通して、資源循環問題、エネルギー対策、環境汚染対策などにも積極的に挑戦し、持続可能な社会の実現へ貢献することに取り組んでいる。本コンソーシアムでは、貴金属の特性を利用し太陽電池モジュールの高効率化および長期信頼性に寄与することを目的とする。

II. 研究開発目標

貴金属のもつ高い伸展性により太陽電池セルとタブ線の線膨張係数の違い等に起因するセルの反りや破損を低減できる配線材料、良好な耐候性により変質の少ない配線材料、良好な電気伝導性により接触抵抗並びに配線抵抗の低い接合材料の開発を目指す。

開発する配線・接合材料により回路抵抗を低下させることで太陽電池モジュールの効率向上に貢献する。更に、セルとタブ線の接合性を向上することでモジュールの高信頼性、長寿命化に貢献することを目標とする。

低温硬化Ag接着剤を用い結晶ミニモジュールを作製し、EL画像およびソーラーシミュレータ（SS）にて評価を行った。

III. 研究開発の成果

III-1 Ag 接着剤

(1) 評価サンプル

以下の低温硬化 Ag 接着剤を使用した。

	比抵抗値 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Ag 含有率 (パーセント中)	特徴
W1	1.5×10^{-4}	86%	低抵抗・高熱伝導タイプ
W21	0.7×10^{-4}	75%	低温度・短時間硬化タイプ

(2) モジュール作製方法

モジュールは、コンソーシアムの標準部材を使用して次の手順で作製した。

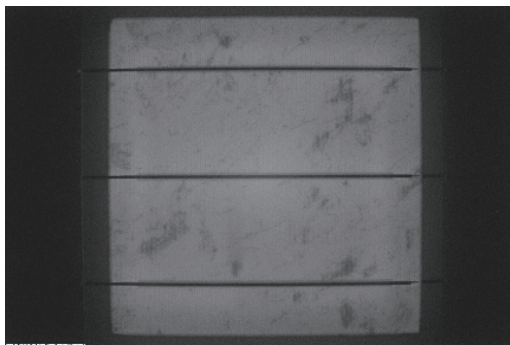
- ①セル表面に Ag 接着剤を塗布する。
- ②塗布した接着剤上にタブ線を配置する。
- ③焼成炉で加熱し、太陽電池セルとタブ線を接合する。
- ④ラミネートおよび配線

(3) モジュールの評価

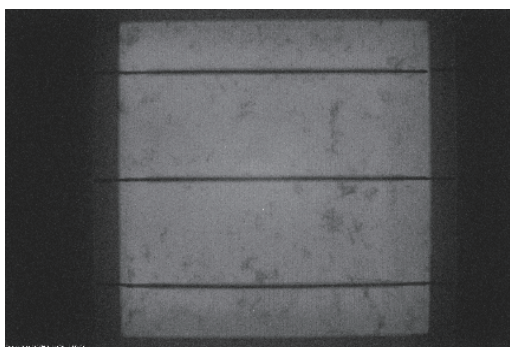
はんだ接合を行った単セルモジュールを作製し、Ag 接着剤の種類、焼成条件の違いによ

る優位差を比較した。

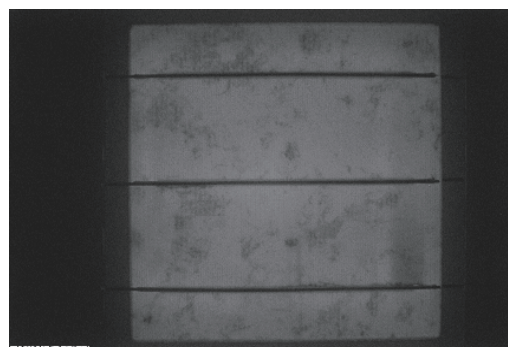
EL 画像（図 1）は、はんだ接合とほぼ同等で、種類、接合条件による有意差はないと判断した。SS 測定（図 2）において、接着剤 W1 を使用したモジュールにおいても、はんだ接合とほぼ同等の結果となった。



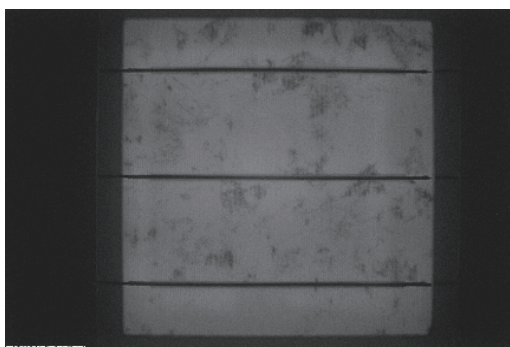
はんだ接合（コンソーシアム標準）



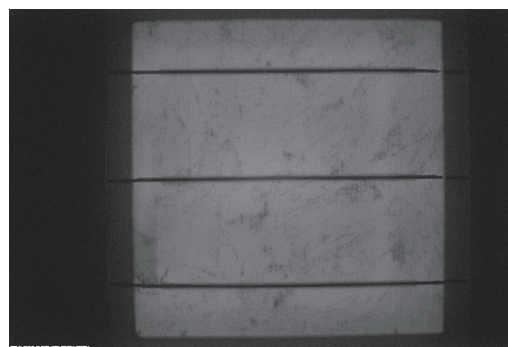
接着剤 W1 / 120 °C 焼成



接着剤 W1 / 150 °C 焼成



接着剤 W21 / 120 °C 焼成

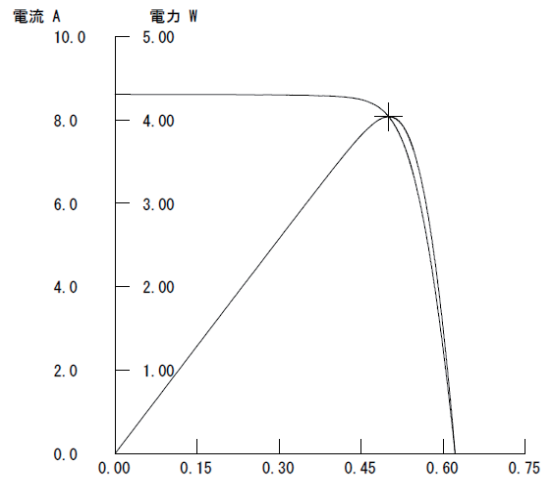


接着剤 W21 / 150 °C 焼成

図 1 単セルモジュールの EL 画像

はんだ接合

Voc 0.621 V
 Isc 8.613 A
 Pmax 4.038 W
 FF 0.7546
 Eff. 12.46%



接着剤 W1/120 °C焼成

Voc 0.616 V
 Isc 8.599 A
 Pmax 3.973 W
 FF 0.7504
 Eff. 12.26%

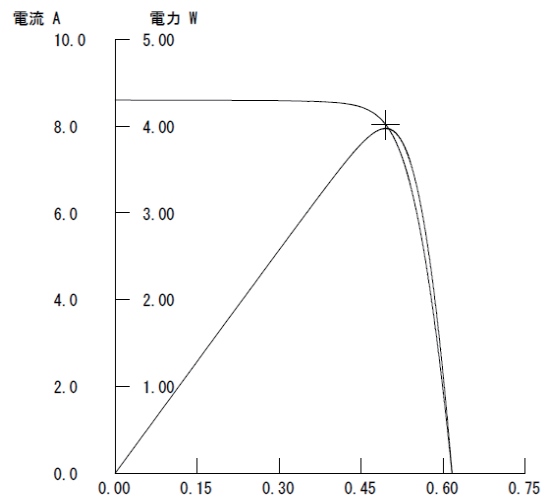


図2 ソーラーシミュレータの測定結果

III-2 アルミニウムリボンによる配線

(1) 評価サンプル

耐食性の優れたアルミニウムリボン TABR 2.0 mm 幅×0.2 mm 厚、1.5 mm 幅×0.2mm 厚を使用した。

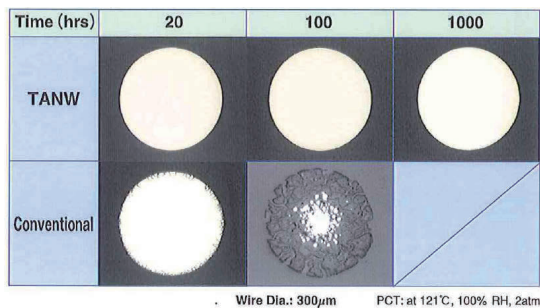


図3 耐食試験後のアルミニウムワイヤの断面写真

(2) モジュール作製方法

モジュールの作製は、III-1 (2)と同様な手順で行った。

(3) モジュールの評価

現在進行中であるため、ここでの報告は行わない。

IV. まとめ

Ag 接着剤は、太陽電池セルとタブ線の接合材として使えると判断する。現状のストリング方法での接合は難しいので、後期はプロセスも検討の対象としていきたい。

アルミニウムリボンを使用したセルの評価が進んでおらず、全体としてスピードアップをしていきたい。

銀地金相場が高騰しているため、太陽電池業界で銀離れの傾向が見受けられる。接合層を薄くするなど銀使用量の削減にも注力していきたい。

I. 目的

DIC 株式会社が保有する「有機－無機ハイブリッド樹脂」製品群は、屋外使用時の長期耐候性に極めて優れており、かつセルフクリーニング性を有しているため屋外使用高耐候防汚塗料の主成分としての普及が期待されている。更にその製品群の中でも UV 硬化型樹脂は、比較的低温硬化が可能であることから、太陽電池用カバーフィルム（バックシート・フロントシート）用保護コート材としての適用性を評価することができる。

第Ⅰ期コンソーシアムにて当社は、1. カバーフィルムの劣化防止、2. 保護コート材が構成部材の劣化や寿命伸長に与える影響の評価、3. 太陽電池の信頼性へ与える影響の定量、について促進耐光性試験を通じて実施してきたが、第Ⅱ期では屋外曝露試験を行い異なる劣化因子を受ける環境での性能変動を追跡した。本報ではそれらの結果及び考察について報告する。

II. 研究開発目標

当社が保有する屋外曝露試験場（千葉・大阪・沖縄）に設置した太陽電池モジュールが性能低下するかどうかについての評価を行った。

千葉 DIC 研究所内；湿気が滞留しやすい地形のため、湿度の影響を受けやすい。

大阪 DIC 堺工場敷地内；工場地帯のため、種々空気中の汚染物質などの影響を受けると予想される。

沖縄 DIC 曝露場（沖縄本島国頭郡恩納村）；紫外線が本州より強く、促進性の高い曝露サイトと言える。

III. 研究開発の成果

<開発部材の特徴と保護コート材付カバーフィルム>

本検討での有機無機ハイブリッド樹脂は、有機成分と無機成分とが共有結合し、無機成分が分子レベルで分散していることが構造上の特徴であり、この構造に起因して長期耐候性が発現すると考えられている。この有機無機ハイブリッド樹脂を主剤とする塗料を保護シートの上に塗工し、本検討に供する保護コート材付カバーフィルムを作製した。

<太陽電池の作製>

当社の検討部材の他は産総研より提供された標準部材を用い、単セル及び 4 セルモジュールを作製した。ラミネーターの運転条件は産総研推奨の条件に従った。

塗膜が発電性能に対してどのような影響を与えるかを評価するためには、塗膜が太陽光に積極的に曝されることが必要であると思われる。よって作製された太陽電池は、受光面側より「カバーフィルム－EVA－セル－EVA－ガラス」の順に積層された構成とした。ま

た比較用モジュールは、受光面側フィルムとして一般に使用されている透明フッ素系フィルムを用い、検討モジュールと同じ構成として評価を行った。本検討によるモジュールは裏面にガラスを配置しているため、4セルモジュールにおいてはガラスに穴をあけて配線を取り出すことはせず、モジュール辺部より配線を取り出し、ジャンクションボックスを取り付けない状態とした。

＜モジュールの設置方法＞

太陽電池は設置中配線せず静置しておくのみとし、設置中電氣的負荷などをかけることはしなかった。

＜各モジュールの発電特性変動について＞

1. 千葉に設置した太陽電池の場合

大きく発電効率が変動したモジュールを除いては、コート材付フィルムを使用した太陽電池の方がフッ素系フィルムを使用した太陽電池に比べて発電効率の変動が小さいことが分かった。

発電効率の保持率変化

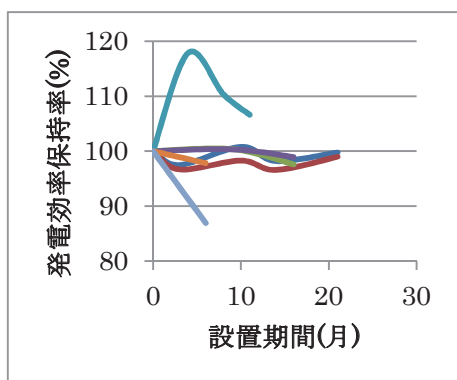


図1 コート材付フィルムによるモジュール

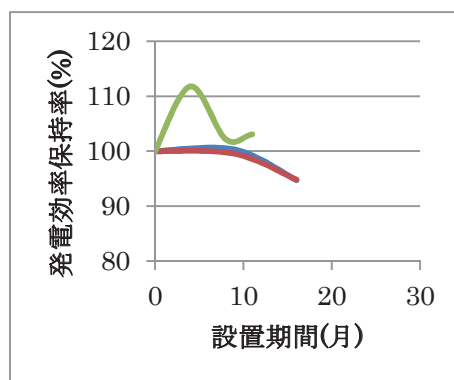


図2 フッ素系フィルムによるモジュール

短絡電流の保持率変化

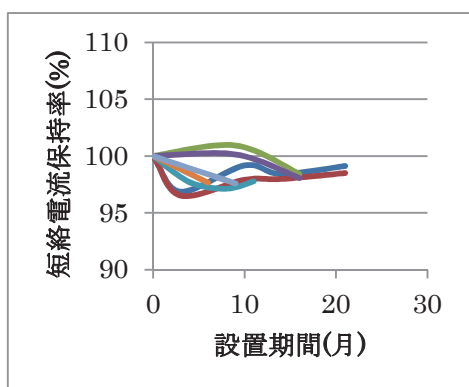


図3 コート材付フィルムによるモジュール

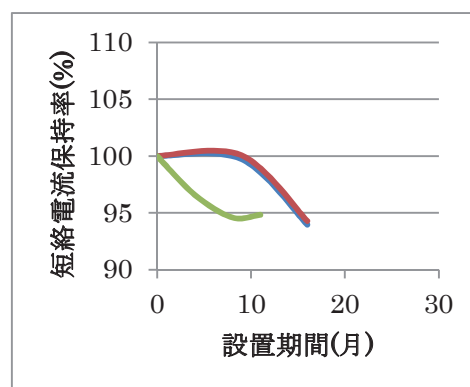


図4 フッ素系フィルムによるモジュール

2. 大阪に設置した太陽電池の場合

コート材付フィルムによるモジュールにて、性能が大きく低下したモジュールが確認された。その他については目立った特徴を見出すことができなかった。

発電効率の保持率変化

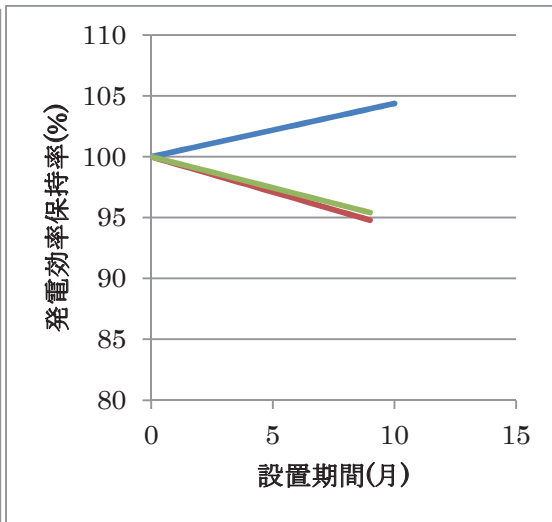
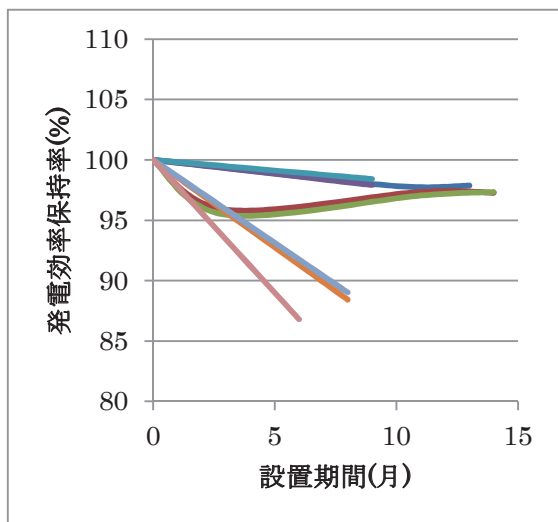


図5 コート材付フィルムによるモジュール

図6 フッ素系フィルムによるモジュール

短絡電流の保持率変化

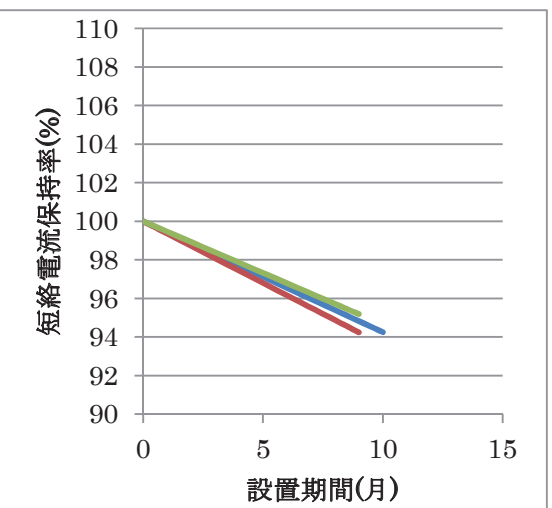
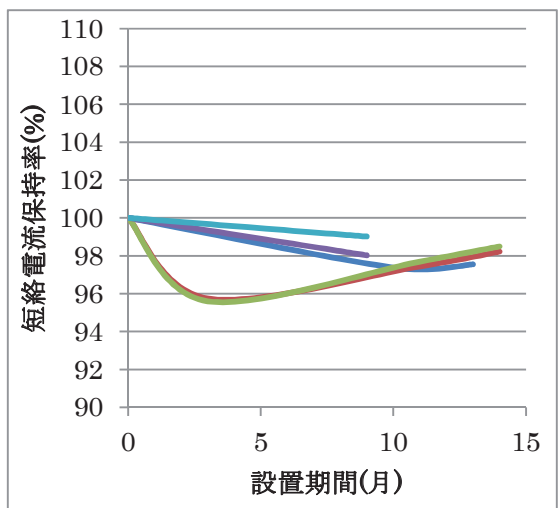


図7 コート材付フィルムによるモジュール

図8 フッ素系フィルムによるモジュール

3. 沖縄に設置した太陽電池の場合

コート材付フィルムによるモジュールにて、ここでも性能が大きく低下したモジュールが確認された。その他については大きな性能低下は確認されなかった。

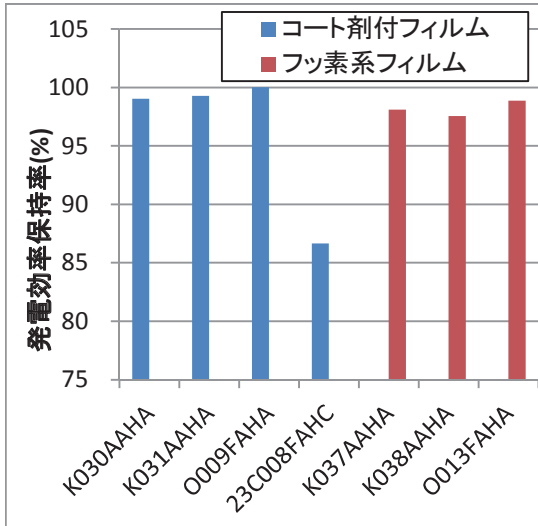


図9 発電効率の変動

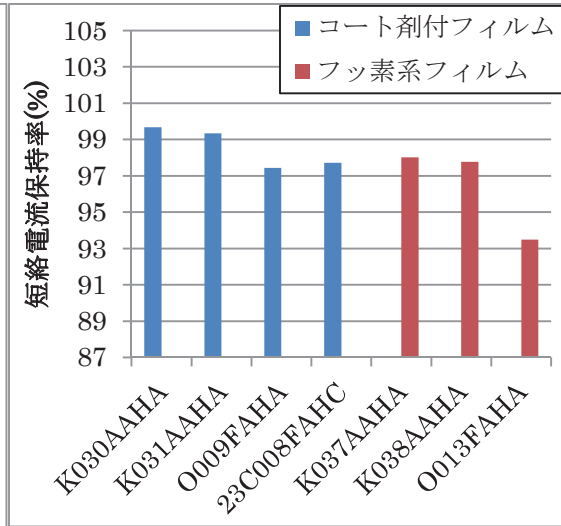
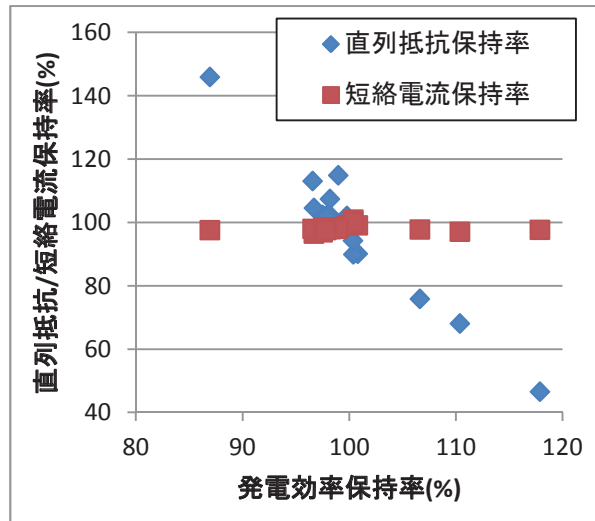


図10 短絡電流の変動

IV. 考察・まとめ

すべての曝露サイトにおいて、フッ素系フィルムによるモジュールの方がコート材付フィルムによるモジュールに比べて短絡電流の低下が大きいことが分かった。またその点については、フィルム表面の汚れ付着の程度に差があることが、このことと大きく関連していることが分かった。

設置した太陽電池の中には、大きく性能が変動・低下するものが散見されたが、この原因を把握するために短絡電流（表面汚染）と直列抵抗のどちらに影響を受けているかについて比較を行った（図11）。発電効率が変動しても短絡電流はほぼ変動がないと見られるが、その一方発電効率と直列抵抗との相関は非常に強いことが分かった。直列抵抗が初期に比べて低下し、それに伴い発電効率が上昇しているものについては、原因が明確にはなっていない。



今後モジュールの性能、外観などを追跡調査し、当社のコート材が長期信頼性に与える影響を把握していきたい。

「導電性フィルムを用いた太陽電池モジュールの開発および評価」

デクセリアルズ株式会社

(元ソニーケミカル&インフォメーションデバイス株式会社)

I. 目的

太陽電池モジュールにおいて、太陽電池用タブ線接合材料としての導電性フィルム(Conductive Film)※を用いて結晶系セルあるいは薄膜系セルとタブ線を接続する方法を新たに提案している。(※Conductive Film を以降 CF と略して記載する。)この CF は熱で硬化する接着剤であり、導電性を有する金属系の微粒子がフィルム内に均一に分散されているものである。

この接続方法は、従来の 200°C 以上で接合を行うはんだ接合に比べ、180°C 以下での低温接続が可能で、熱応力によるセルへのストレスが少なく、次世代の薄型化セルや HIT 型セルに対応可能な低温接合工法となる。また、集電電極の狭小化や安価な電極材の選択肢が広がる上、はんだ接合では難しかった厚タブ線の使用、鉛フリー、フラックスレスによる環境負荷低減などが期待できる。CF のような新たな接合材料を提案することで、コンソーシアムの目標とする長寿命モジュールの開発に貢献できると考えており、太陽電池接合材としての CF の優位性を確認することを目的とした。

なお第 I 期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアムに引き続き、CF を用いてセルとリボンを接合した太陽電池モジュールの開発および長期信頼性の評価を行うことに加え、新たなテーマとして薄膜太陽電池向けに新規開発したリボンと CF を一体型にした配線材(タブ線付き CF)を評価し、結晶系における CF と同様に優位性を確認することを目的とした。

II. 研究開発目標

CF を使用した結晶系フルサイズモジュールにて高温高湿環境(85°C/85%RH) 3,000 時間と温度サイクル試験(-40°C⇔85°C) 50 サイクル・温湿度サイクル試験(85°C/85%RH⇔-40°C) 10 サイクル・さらに温度サイクル試験 600 サイクル、タブ線付き CF を使用した薄膜系フルサイズモジュールにて温度サイクル試験 200 サイクルを実施する事を目標とした。

III. 研究開発の成果

III-1. CF 評価サンプル

本研究には以下の CF サンプルを使用した。

表 1 評価 CF サンプルと条件

評価CFサンプル	圧着条件	太陽電池種
CF-A	180°C, 2MPa, 15sec	結晶系
タブ線付きCF-B	60°Cで仮貼り, EVA封止工程で硬化	薄膜系

III-2. モジュール作製方法

III-2-1. 結晶系モジュール作製方法

CFを使用した結晶セルストリング作製方法を以下の順番で行った(図1)。

- Step 1. 結晶系太陽電池セル両面の集電電極部分に CF を貼り付ける。
- Step 2. タブ線を配置し、ストリングを作製する。
- Step 3. 本圧着(加熱・加圧)を行い太陽電池セルとタブ線を接合させる。

また、モジュール作製時にはすべてコンソーシアム標準部材を使用した。

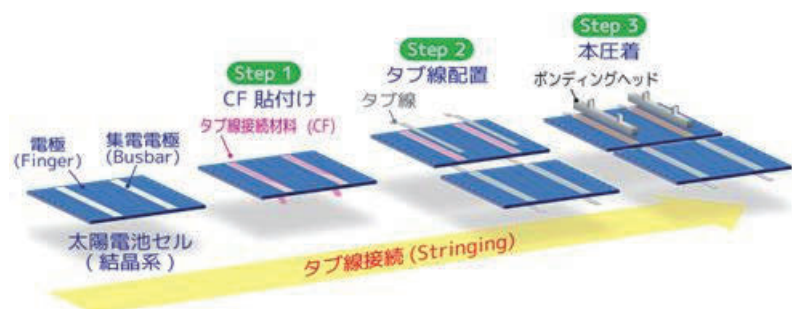


図1 結晶系セルのストリング作製手順

III-2-2. 薄膜系モジュール作製方法

薄膜系セル(アモルファス)へのタブ線付き CF 接続作業を以下の順番で行った(図2)。

- Step 1. 薄膜系太陽電池セルを加温ステージにて 60~80℃に加温する。
- Step 2. タブ線付き CF を太陽電池セルに貼り合わせる。
- Step 3. 封止樹脂・バックシートを積層し、通常のラミネート作業をすることで CF の本圧着(加熱・加圧)を行い太陽電池セルとタブ線を接合させる。

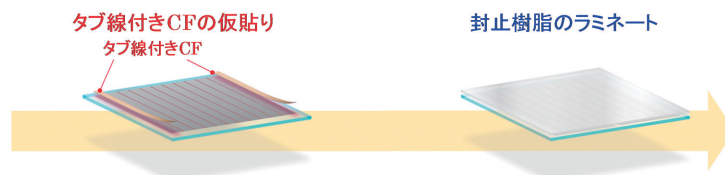


図2 薄膜系セルへのタブ線付き CF 接続作業手順

なおモジュール作製時には結晶系同様、配線材以外はすべてコンソーシアム標準部材を使用した。また配線材の仕様については、表2

表2 配線材仕様

配線材	配線材厚み
タブ線付きCF-B	35um
超音波ハンダ	180um(はんだ厚込み)

に示す。

III-3. 結晶系フルサイズモジュールの長期信頼性評価

III-3-1. 第I期コンソーシアム評価経過

第I期中にCF-Aを使用した結晶系フルサイズモジュールを作製し、はんだ接合を行った結晶系フルサイズモジュールと比較した。CF接続による信頼性の優位差を見るため、第I期中に①高温高湿環境試験を2,000時間、②温度サイクル試験を50サイクル、温湿度サイ

クル試験 10 サイクルを行う計 2 種類の試験で評価を行った。第 I 期における評価では、①・②いずれも CF-A とはんだにおける差異は確認されなかった。①においてはセル起因の最大出力(Pmax)の低下が確認されたため、第 II 期においては②について継続評価を実施した。

III-3-2. 温度サイクル継続試験

CF-A を使用した結晶系フルサイズモジュールを作製し、はんだ接合を行った結晶系フルサイズモジュールをリファレンスとして温度サイクル試験の継続評価を n=3 にて 600 サイクルまで実施した(図 3)。その結果、試験の経過とともに全モジュールについて Pmax の低下が確認されたが、初期値比にて 5%以上の出力劣化に至るものはなかった。一方、CF-A とはんだの接続方法の違いからは、試験の経過によって劣化するという点に差異は無いものの、劣化速度には一定の差異が確認され、温度サイクル試験 600 サイクル終了時、CF-A を使用したモジュールのほうが Pmax 変化率では 0.5~1.0%程度高いことがわかった。

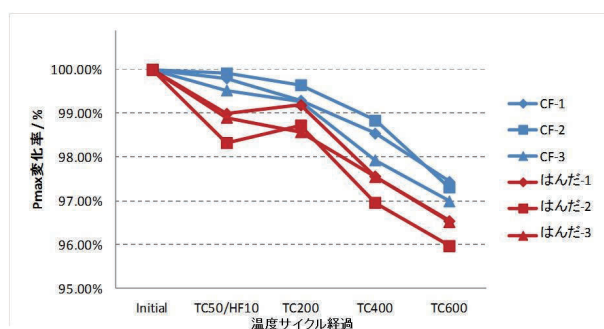
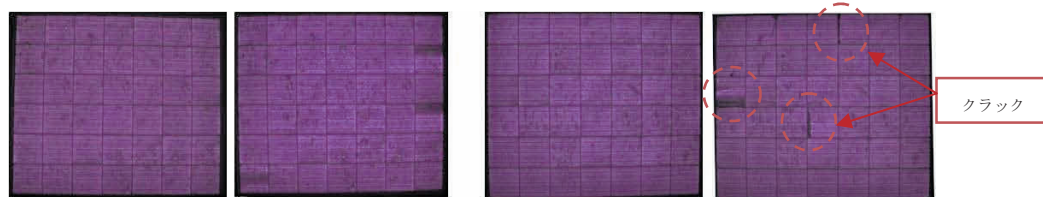


図 3 結晶系フルサイズモジュール 温度サイクル試験による Pmax 経過

つぎに各モジュールの EL 画像を確認した(図 4)。EL 画像においても、試験の経過とともに全モジュールについて輝度の違いが生じることが確認された。このことは図 3 における Pmax 低下の裏付けとなった。接続方法の違いに着目すると、CF-A において初期におけるセルの割れ(クラック)は確認されず、試験後はわずかなクラックが確認できるものの、輝度の違いが生じた場所はモジュール中のストリング末端のセルに集中していた。この原因はストリングと集電の横タブ線との接続起因である可能性が高い。本件については継続試験さらに分析評価が必要と考える。一方、はんだにおける初期の EL 画像ではすでに複数のクラックが確認できた。試験の経過とともにクラックはさらに増加し、試験後の輝度の違いではセルの一部が発光しないモジュールまで確認できた。これらの結果から、CF-A とはんだの接続方法による明瞭な差異を確認することができた。



CF-A(左:初期 右:TC50/HF10+TC600) ハンダ(左:初期 右:TC50/HF10+TC600)

図 4 結晶系フルサイズモジュール EL 画像

III-4. 薄膜系フルサイズモジュールの作製・信頼性評価

タブ線付き CF-B を使用した薄膜系フルサイズモジュールを作製し、温度サイクル試験による信頼性評価を $n=3$ にて実施した。

はじめに、出力特性 (P_{max}) および EL 画像を測定した (図 5・図 6)。薄膜系セルに対して、タブ線付き CF-B を配線材として利用可能なことが確認された。さらに、超音波はんだを使用したモジュールと比較しても P_{max} 値が高いことが確認された。タブ線付き CF-B のタブ線厚みは超音波はんだのタブ線の 1/5 程度の厚みしかない。配線抵抗が高いにも関わらず、超音波はんだ比で同等以上の P_{max} 値を確認できた理由として、EL 画像から電極全面での集電性による差が考えられる。配線前のセルの個体差による影響は否定できないが、モジュール四隅における輝度の違いは、少なからずこれらの差に起因していると考えられる。

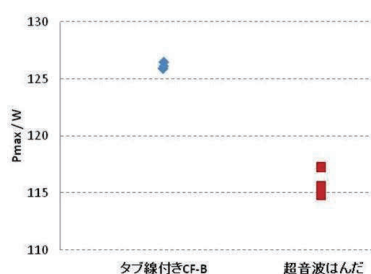


図 5 初期の P_{max} 値

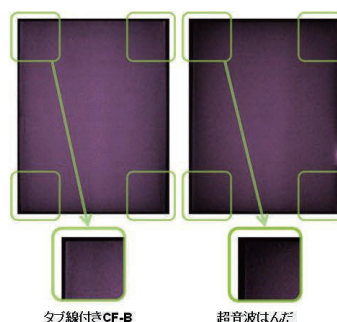


図 6 初期の EL 画像

つぎに温度サイクル試験の結果を示す (図 7)。タブ線付き CF-B では薄膜セル本体への水起因の劣化によって、配線材評価への影響が出ないよう温湿度サイクル試験の実施は見送った。試験結果から、タブ線付き CF-B において一定の信頼性を有することが確認された。



図 7 薄膜系モジュールの温度サイクルによる信頼性評価 (平均値プロット)

IV. まとめ

結晶系モジュールの CF 接続プロセスにおいて、温度サイクルの継続試験により信頼性の優位性を実証できた。また、薄膜系モジュールにおいても新規配線接続プロセスの適用実現性と一定の信頼性を実証できた。今後もさらなる長寿命モジュールあるいは次世代モジュールに適合した材料の開発に努め、太陽電池部材として貢献したい。

I. 目的

現行の太陽電池封止材である EVA（エチレン-酢酸ビニル共重合体）樹脂の酢酸遊離問題や低電気絶縁性、低耐湿性は太陽電池モジュールのさらなる信頼性向上のための課題とされている。最近の欧州メガソーラーにおける高電圧環境下での劣化現象（PID）も、モジュール中の水分が原因の一つとされている。これらの背景から太陽電池モジュールの信頼性向上のため新しい封止材料が求められている。また EVA 樹脂はシリコンセル保護に必要な軟質性には優れるが、そのままでは耐熱性が低いため封止工程において架橋処理が必須となる。架橋処理は繊細かつ複雑な工程であり、架橋処理で発生する発泡、酢酸の発生、収縮による収率低下、それを防止するための厳しい品質管理は、製造コスト高の一因となっていると考えられる。

一方、当社は、独自の重合技術を用い、炭化水素系ブロック共重合体樹脂（以下 SE 樹脂）の開発を行っている。本 SE 樹脂は、腐食物質を遊離せず、電気絶縁性、耐湿性ともに優れている。そのうえ、独特の分子構造に由来する耐熱性を有するため、架橋処理を必要としない新規熱可塑性封止材として期待される。本コンソーシアム第一期では、SE 樹脂封止材の基本特性、現行封止工程への適用可能性、および試作モジュールの初期発電特性が確認されている。第二期では、SE 樹脂封止材を用いたフルサイズを含む太陽電池モジュールの試作と耐久性評価を実施中である。

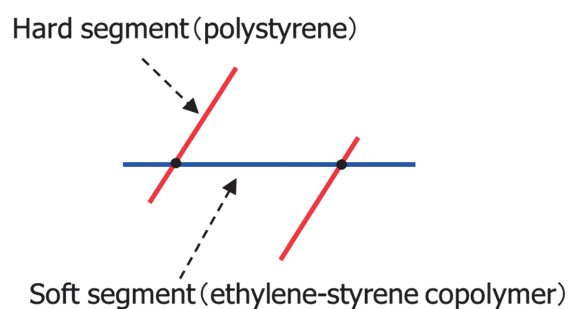


Fig. 1 Molecular structure of SE polymer.

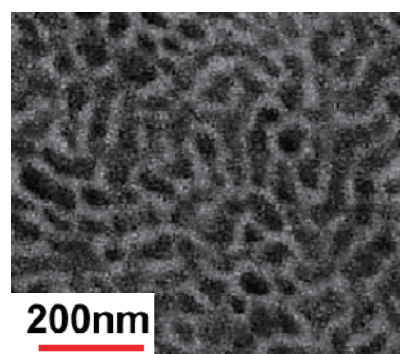


Fig. 2 TEM micrograph of SE polymer.

II. 研究開発目標

本研究の目標は以下の通りである。

- ① SE 封止材を用いたフルサイズモジュールの試作、初期特性評価
- ② 試作太陽電池モジュール（単セル、4セル、フルサイズモジュール）の長期耐久性試験（DH 試験および TC 試験）による耐久性評価

III. 本研究の背景

III.1 SE 封止材

SE 樹脂は、スチレンとエチレンを原料とし、当社独自の触媒技術により得られる、エチレン-スチレン共重合体主鎖（ソフトセグメント）とポリスチレン側鎖（ハードセグメント）を有する分岐型ブロック共重合体（Segregated star copolymer）である。本 SE 樹脂はブロック共重合体特有のナノ相分離構造を有し、透明、軟質な新規熱可塑性エラストマーである。

III.2 SE 封止材の基本特性

標準耐光処方を施した SE 封止材の耐光性試験結果を Table 1 に示す。耐光性試験 3000h 後においても、SE 樹脂の全光線透過率、力学物性に变化は認められなかった。透明性は EVA と同等である。Table 2 では封止材に求められる特性を比較した。化学的安定性(腐食防止性)、

Table 1. Light resistance test of SE polymer.

[Carbon-arc light irradiation 83°C in ambient air]

Irradiation time	0h	3000h
Total light transmittance [%]	89.1	89.4
Elongation at break [%]	540	640
Breaking strength [MPa]	23	24

Table 2. Properties of EVA and SE encapsulants

Encapsulant	EVA	SE
Corrosive	Acetic acid	No contain
Volume resistivity [$\Omega \cdot \text{cm}$]	8×10^{13}	8×10^{16}
Breakdown voltage [kV/0.5mm]	14	22
Moisture permeability JISZ208 [g/m ² ·24h·mm]	22	2
Glass adhesion [N/25mm]	>40	>40
Shore A hardness	65	65

電気絶縁性、耐湿性は EVA 封止材と比べ優れている。また、ガラス接着性、軟質性に関しては、EVA 封止材と同等である。

次に、SE 樹脂の熱可塑性封止材としての可能性を耐熱性の観点から説明する。Fig. 3 は、貯蔵弾性率と温度の関係を示し、EVA 樹脂は、融点（60°C）付近で貯蔵弾性率が急激に低下し、溶融していることがわかる。そのため、架橋処理を行うことにより、高温下での貯蔵弾性率を維持し、太陽電池の使用環境下（最高 100

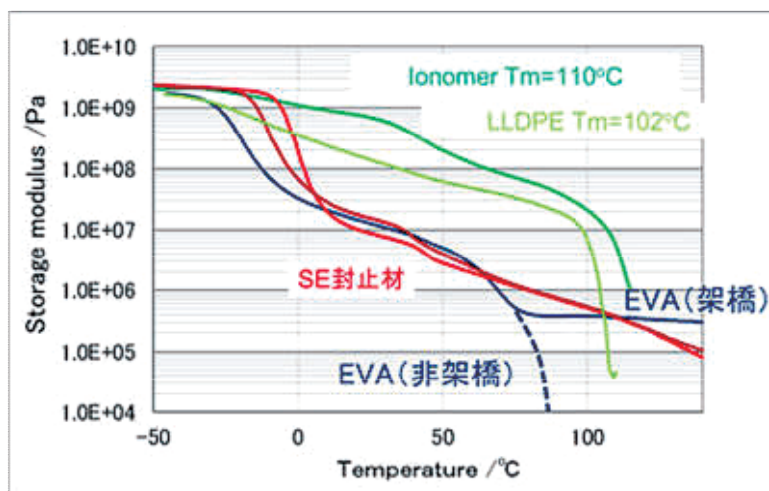


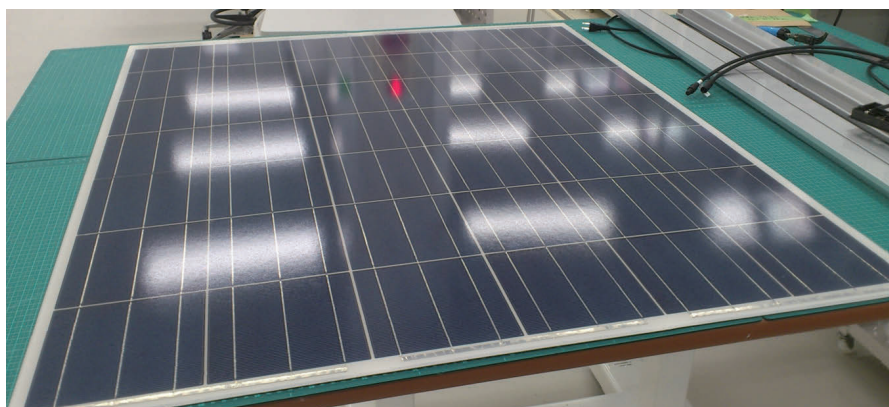
Figure 3. Relations between storage elastic modulus and temperature

～120℃)における耐熱性を確保している。一方、SE樹脂は、室温でEVA樹脂と同等の貯蔵弾性率(軟質性)を示すが、温度上昇に対する貯蔵弾性率の低下は小さく、100～150℃の範囲でも、架橋したEVA樹脂に近い貯蔵弾性率(耐熱性)を有する。この特性は、SE樹脂のハードセグメントであるポリスチレン側鎖のT_gと分岐型構造に由来する分子の絡み合いに基づいており、それぞれポリスチレン側鎖の含有量と樹脂の流動性(MFR)によって制御できる。最近熱可塑性封止材として提案されているエチレン系の各共重合体はその融点(100～120℃)以上の温度で急激に貯蔵弾性率が低下(溶解)するが、本SE樹脂はより優れた耐熱性を有し、非架橋、熱可塑性であるにも関わらず優れたホットスポット耐性を示す新規封止材としての可能性を有すると考えられる。

IV. 本研究の成果

IV.1 モジュールの試作

第一期コンソーシアムでは、プレス成形で得たSE樹脂封止材を用い、EVA樹脂と同一の封止条件下、封止温度、封止時間、封止材厚を変え、単セル、4セルモジュールの試作を実施、いずれも外観とEL、IV測定結果から、空隙やセル割れなく封止状態は良好で、初期発電特性はEVA封止材と同等であることを確認した(第一期成果報告書第4章、p95)。そこで第二期では、Tダイによる押し出し成形で得た1m幅、厚さ0.4mmの封止材シートを用い、鳥栖サイトにてフルサイズモジュールの試作を行った。試作した3枚のモジュールの封止状態はいずれも良好で、初期発電特性はEVAモジュールと同等であった(下記写真)。



IV.2 モジュールの耐久性試験

試作した単セル、4セル、フルサイズの各種モジュールの耐久性試験を実施した。TC50HF10試験(-40～85℃、50サイクル、-40℃～85℃、RH85%、10サイクル)、およびTC200試験(-40～85℃、200サイクル)を実施し、さらに繰り返し実施中であるが、現在までのところSE封止材およびEVA標準モジュールいずれも有意な発電特性の低下は認められていない。TC/HF試験ではモジュールの劣化が少ないことは産総研コンソ第一期の各社の研究結果でも確認されている。Fig. 4はDH試験(85℃、RH85%、最大5000hまで実施)結果を示す。グラフ中の各プロットはn数3～11の平均値を示している(フルサイズSE封止材のみn=1)。比較例と

なる EVA 封止材各種標準モジュールではいずれも 2000~3000h 以降急激な発電性能の低下が起きている。産総研コンソーシアムでの集約データ（第 I 期高信頼性太陽電池モジュール成果報告書、第 7 章）においても、EVA 標準モジュールで同様の発電性能の低下が報告されている。対照的に、SE 封止材モジュールでは単セル、4セル共に発電性能の低下は少ないことがわかった。5000h に達した単セル、4セルモジュールはいずれも高い発電性能を維持していたがこれ以上の耐久性試験は行っていない。フルサイズモジュールは現在 3000h の段階で発電性能を維持しており、今後の結果が期待される。

V. まとめ

SE 樹脂封止材は、化学的に安定で、電気絶縁性、防湿性に優れ、耐熱性も高いことから新規熱可塑性封止材としての高いポテンシャルを有すると考えられる。現行 EVA と同じ封止条件で単セル～フルサイズまでのモジュール試作が可能であり製造プロセス適合性も高い。SE 封止材を使用した各種モジュールは、EVA 標準品と同等の初期発電特性を示した。耐久性試験（DH 試験）においても、EVA 標準品より優れた発電特性の保持率を示し、信頼性向上が確認されたと考えている。今後コンソーシアム第二期後期では、n 数が少ないフルサイズモジュールの追加試作／耐久性試験を実施する。さらに、熱可塑性を活かした封止時間の短縮化、絶縁性、防湿性の高さを活かした封止材の薄層化等各種のコストダウン対策を行った 4セル、フルサイズモジュールを試作し耐久性試験を行っていく。最近欧州のメガソーラーで問題となっている PID 現象についても、絶縁性、防湿性に優れた SE 封止材は有利であると考えられ、対応する評価を行っていく予定である。（本稿では、産総研コンソーシアムでの試作、評価結果に自社内での試作、評価結果を加えて報告している。）

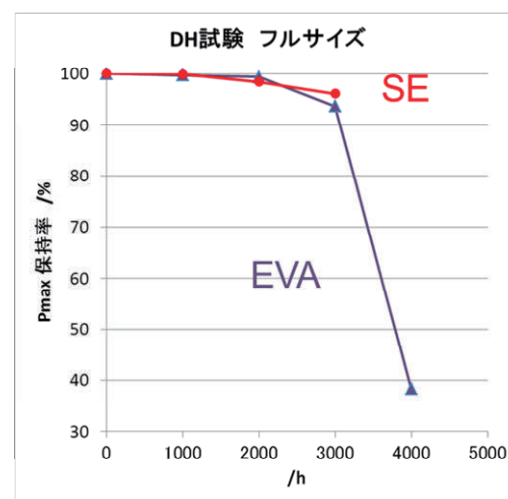
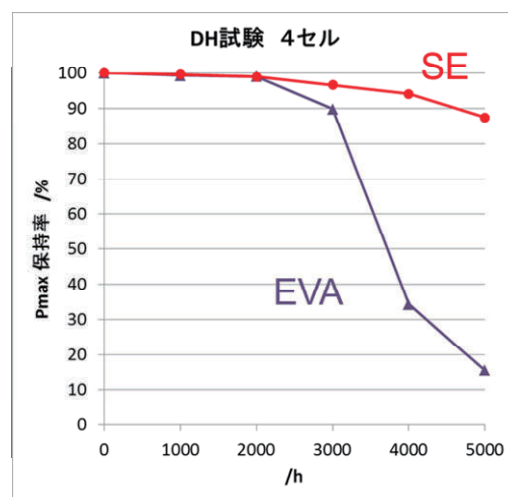
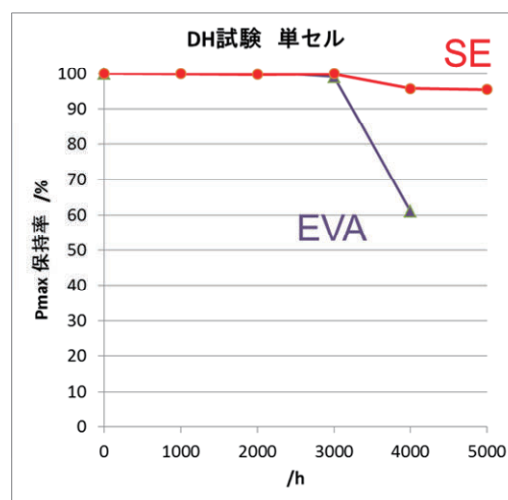


Fig. 4 Results of DH durability tests.

I. 目的

太陽電池（主に薄膜系太陽電池）製造工程において、弊社開発の超音波振動を利用した電極接合装置を用いて集電電極とモジュールを直接接合することにより、太陽電池接合部の信頼性評価を行い、弊社接合技術の改善・強化を目指す。

弊社開発の超音波電極接合法は、ハンダやペーストを用いない直接接合であり、接合の長期信頼性・長寿命化が期待できる。電極接合法とハンダなどの接合中間材を用いた接合法の発電特性の差異を評価し、発電特性への影響を確認する。

II. 研究開発目標

弊社開発の超音波電極接合法と従来法であるハンダ付けを比較した信頼性評価を行う。薄膜太陽電池フルモジュール（1100×1400mm サイズ）に集電電極を接合してラミネートし、シミュレータにより特性データを比較する。さらに、温度サイクル試験を行い 600 サイクル経過後の特性データを比較することで評価する。

III. 研究開発の成果

1. 超音波電極接合装置について

弊社開発の超音波電極接合装置について説明する。

(1) 原理

超音波接合とは、被接合素材の表面に圧力と超音波振動を与えることにより、表面層の酸化被膜を破壊除去し、更に接合界面の金属を塑性流動させ、原子同士相互に引力を及ぼす距離まで接近して接合（原子間結合）するものである。

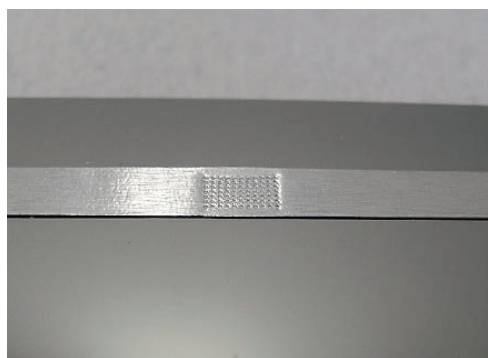


図1 Mo 成膜基板にアルミリボンを超音波電極接合

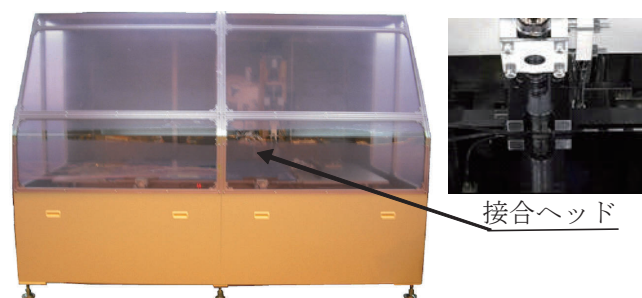


図2 電極接合装置プロトタイプ

(2) 特徴

超音波電極接合装置の特徴として、

- ① ハンダ、ペースト等の消耗品が不要
- ② 常温プロセス（省エネルギー）、メンテナンスも容易
- ③ 直接接合のため、低接触抵抗、接合の安定性向上

独自技術によりガラスへのダメージを大幅に軽減し、薄膜系太陽電池基板と集電電極材を直接接合することが可能。

(3) 装置仕様

- ① 対象モジュール： 薄膜太陽電池モジュール
成膜電極（Ag、Ti、Ni、Al、Mo、Cr、等）
- ② 対象基板サイズ： 幅 650～1100mm、長さ 1300～1650mm、厚さ 2～4mm
- ③ 電極材料： 材質 純アルミ、
リボンサイズ 幅 3～4mm、厚さ t 0.1～0.15mm
- ④ 接合パターン： 接合本数 3本同時接合可能、
接合ピッチ 任意設定
- ⑤ 配線精度： 幅方向 ±0.5mm、長さ方向 ±1mm

2. 信頼性評価

超音波電極接合法と従来法であるハンダ付けを比較するために、電極と接合方法が異なるモジュールを作製して評価を行った。

(1) 使用材料

- ① 基板： 薄膜太陽電池フルモジュール 1100×1400mm（産総研標準）
- ② モジュール： ハンダ付けしたモジュールを2枚、超音波電極接合したモジュールを6枚作製して比較した。作製条件を表1に示す。

表1 作製条件

モジュール No.	接合方式	モジュール	集電電極材	接合ピッチ (mm)
1	ハンダ付け	産総研標準	ハンダコート銅リボン 幅2mm	30
2				
3	超音波電極接合	弊社超音波電極接合装置で接合	アルミリボン 幅4mm	50
4				
5				70
6				
7				50 (1セル内側)
8				

③ 封止材、バックシート

- a) 封止材： サンビック FC（産総研標準）
- b) バックシート： Al封止（産総研標準）

④ 端面処理

- a) アルミフレーム、接続箱は取り付けなし、配線は直出し
- b) ラミネート後に端辺をトリミング

(2) 評価

- ① 測定装置 : 産総研のシミュレータ SPI-SUN SIMULATOR 1116N と EL を使用
- ② 温度サイクル試験条件 (標準条件)
条件 $85\pm 2^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow -40\pm 2^{\circ}\text{C}$ 各保持 30min 以上、270min サイクル
エスベック株式会社 (神戸試験所) に試験を委託して実施した。

(3) 測定結果

① 初期データ

ラミネート後にシミュレータで特性を初期データとして測定した。

超音波電極接合した各モジュールの特性の比を表 2 に示す。これらの値は、ハンダ付けしたモジュールの特性の平均値を 1 として規格化したものである。

表 2 初期データ比 (超音波/ハンダ付け)

モジュール No.	接合ピッチ (mm)	開放電圧 Voc (V)	短絡電流 Isc (A)	最大電力 Pmax (W)	フィルファクタ FF
3	50	1.002	0.994	0.989	0.993
4		1.000	1.009	1.042	1.033
5	70	1.012	1.011	1.027	1.005
6		1.006	1.004	1.031	1.021
7	50 (1セル内側)	0.999	1.002	0.996	0.995
8		0.992	1.002	0.993	0.999

FF の初期データに注目して各モジュールの比較結果を図 3 に示す。

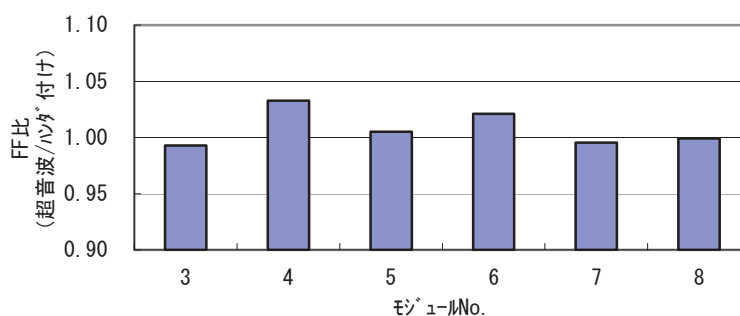


図 3 FF の初期値 (超音波/ハンダ付け)

この結果からは、超音波電極接合とハンダ付けとのデータに顕著な差は見られなかった。

モジュールの FF 値に個体差が見られ、測定データの絶対値では評価が困難なため、600 サイクルまでの温度サイクル試験を行い、測定データの変化で評価することにした。

②温度サイクル試験結果

600 サイクルまで試験を行い、初期から 200 サイクルごとに特性を測定した。

各サイクルにおいて、ハンダ付けデータの平均値を 1 として規格化した超音波接合のモジュールにおける FF を図 4 に示す。

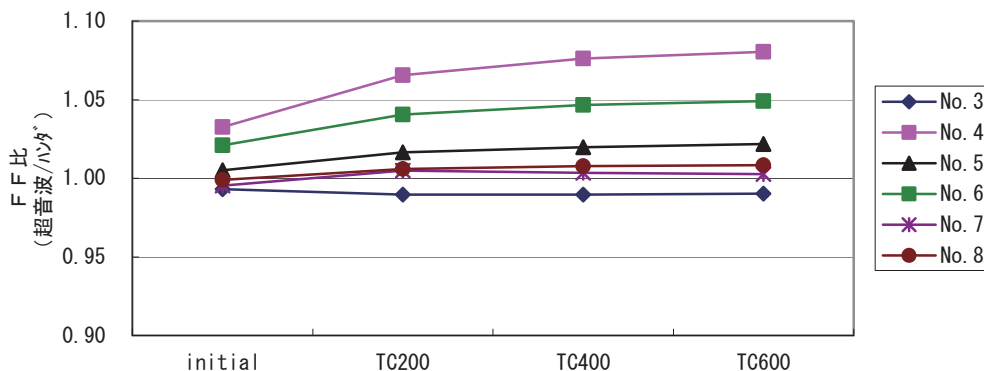
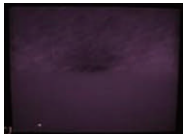





図 4 FF の変化

EL 画像として、初期と TC600 後の代表的な 2 つを表 3 に示す。

表 3 EL 画像

モジュール No.	接合方式	初期	TC600
1	ハンダ付け		
4	超音波電極接合		

これらの結果からも、超音波接合法とハンダ付けとのデータに顕著な差は見られない。また、接合ピッチを広くした影響もなく 600 サイクルまで安定した結果となっている。

IV. まとめ

超音波電極接合と従来のハンダ付けにより接合したモジュールについて温度サイクル試験の信頼性評価を行った結果、顕著な差異は見られなかった。したがって、超音波電極接合法は従来から適用されてきたハンダ付け法と同等の接合品質を有する電極接合法であると見なせ、弊社として製品適用を目指した活動を展開する。なお、初期個体差のあるモジュールを用いたことや温度サイクル試験の特性傾向に違いが見られたため、今後はアルミフレームと接続箱まで付けたモジュールを作製して比較評価する予定である。

I. 目的

第Ⅰ期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアムにおいては、当社バックシート（以下、BS と記す）の種別（バリア層有無など）によるモジュール性能評価、信頼性評価を、環境促進試験を中心的に行い、高いモジュール性能維持を発揮することが確認出来ている。

第Ⅱ期では、BS に機能性を付与させることで、モジュールの高効率化を図ることを検討する。具体的な BS の機能性として、【熱対策】、【高反射性】が挙げられ、フルサイズモジュール、屋外曝露における発電出力、モジュール実体温度などを測定することで、BS の機能性の有効性について検証する。

II. 研究開発目標

II-1) モジュールの温度上昇抑制について

発電素子である多結晶シリコンセルの発電効率は温度依存性が強く、モジュール自体が高温状態になるに従い発電効率が著しく低下することが言われている。モジュールの高温化抑制による発電出力向上は有効な手段になり得ると考えられ、そのアイデアとして BS に AL 箔などの熱伝導性の高い素材を設けることで、モジュールの温度上昇抑制が図れないかを検証する。

II-2) 高反射性について

一般的に BS には高反射特性が要求され、外観は白色である場合が多い。理由としては、BS の反射率がモジュールの発電効率にも影響を及ぼすことが言われているからである。一方、一般家庭の屋根に設置した場合などでは、対向家屋からは眩しい、と言った公害要因も聞かれる。また、欧米では、屋根とのコントラストを意識するため、BS は白色より黒色を好む傾向が強いが、黒色 BS では反射特性が見込めずモジュールの発電効率は低下してしまう。この課題を解決するため、黒色 BS でありながら反射特性を有する構造を開発し、発電出力寄与への検証を行う。

いずれの研究開発目標に対しても、フルサイズモジュール、屋外曝露での検証を行うことで、より実使用に即した結果が得られることを狙いとする。

III. 研究開発の成果

III-1) フルサイズモジュール作製内容

モジュールの実体温度測定を行うため、図 1 のように一部にダミーセルを設け、その下部に熱電対を埋め込んだモジュールを作製した。EVA、バスバーなどの部材については産

総研標準仕様品を用いた。使用する BS ならびに初期測定結果を表 1 に示す。

作製したモジュールは、図 2 に示す EL 検査を行い、ダミーセル部以外は正常に発電可能な状態を確認した。合せて、ソーラーシミュレーターによる初期発電効率の測定も実施した。

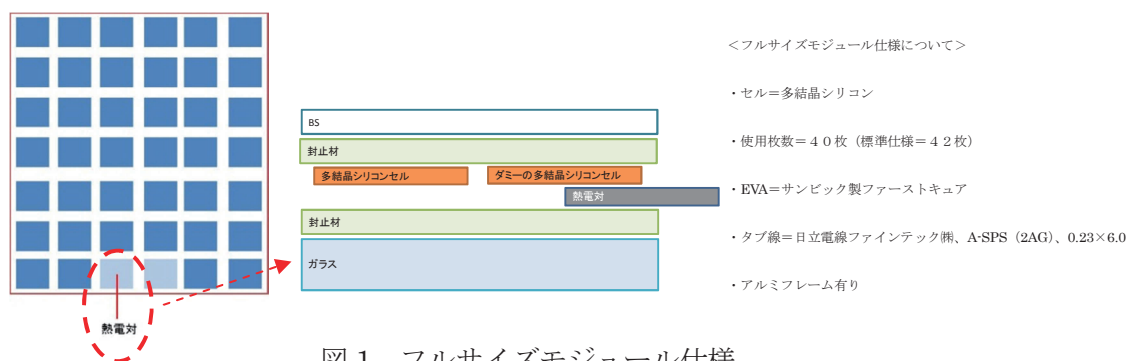


図 1. フルサイズモジュール仕様

表 1. 使用する BS

BS	Ⅱ-1) モジュール温度上昇抑制について			Ⅱ-2) 高反射性について		
	AIST標準TPT	ToySolar①	ToySolar②	ToySolar③	ToySolar④	ToySolar⑤
ハリア層	なし	AL(厚)	AL(薄)	AL(厚)	なし	なし
色	白	白	白	白	黒	黒
Pmax[W]*	160.01	160.74	161.03	160.10	157.60	158.30

*ソーラーシミュレーターによる測定値。

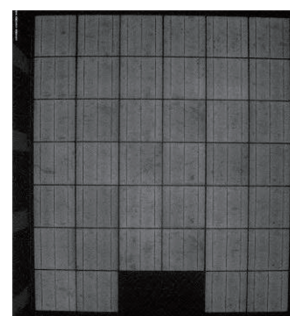


図 2. EL 検査画像

Ⅲ-2) 屋外設置における発電出力ならびに温度計測について

図 3 に作製モジュールの屋外設置状態を示す。産総研・九州センターの屋外曝露試験場に設置を行い、2012年9月12日～10月19日までの期間、発電出力と実体温度計測を行った。発電出力、実体温度を、個別でモジュール毎に、24時間常時モニタリング出来るシステムとした。



図 3. 屋外設置状態

Ⅲ-3) モジュール温度上昇抑制について

図 4 にモジュール実体温度の測定箇所について示す。各モジュールのトップガラス中央付近、セル内部、裏面中央付近の 3 点と決め、熱電対をカプトンテープで固定している。

結果を表 2 に示す。産総研標準 BS (TPT) を比較対象として、当社 BS (ToySolar) の比較を行った。記載している温度は、セル内部の値を採用した。

表 2.実体温度比較と発電出力比較

BS	AIST標準TPT	ToyalSolar①	ToyalSolar②	ToyalSolar③
ハリア層	なし	AL(厚)	AL(薄)	AL(厚)
色	白	白	白	白
最高到達温度[°C]*1	68.8	67.4	67.8	67.3
最高到達温度差[°C]	基準	-1.4	-1.0	-1.5
最高実体温度[°C]*2	59.9	57.9	57.8	55.3
最高実体温度差[°C]	基準	-2.0	-2.1	-4.6
積算Pmax[W]	145,760	145,825	146,514	139,408
積算Pmax差[W]	基準	65	754	-6352

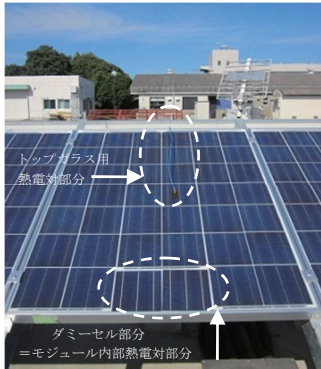


図 4. モジュールの
実体温度測定箇所

- *1 : 全測定日時における最高温度
2012年9月15日、12:40に記録
- *2 : 全測定日時からある1日をピックアップした際の、その日の最高温度
2012年9月28日、10:50に記録

産総研標準 BS (TPT) と ToyalSolar の最大の違いは BS 構成中の AL 箔の有無である。BS 構成中に AL 箔が有る場合、最高到達温度=約 1.0~1.5°C、実体最高温度差=約 2.0~4.5°C程度、温度が下がる傾向が確認された。

モジュール温度、セル温度が上昇する要因としては、太陽光照射による自然的蓄熱、発電に伴う熱量発生が挙げられる。BS 構成に AL 箔を用いることで、太陽光線、特に蓄熱に影響を及ぼす赤外線領域波長を高反射することに効果的である。更に、発電することでセル自体も蓄熱するが、高熱伝導体である AL 箔が有ることによって熱を拡散させる効果が出ているのではないかと考えている。

一方、モジュールの温度が低下する場合、発電出力は向上すると想定していたがそのような結果は得られなかった。ToyalSolar①②を用いたモジュールは、AIST 標準 TPT を用いた基準モジュールより高い積算 Pmax を記録したが、その差はモジュールの固体差程度であった。ToyalSolar③に至っては温度上昇は抑制されていたものの、基準モジュールより積算 Pmax は低くなった。これらは、実体温度測定位置によるものと考えている。今回の実験では、モジュールのフレームに近い位置で熱電対を設定したため、フレーム側への熱拡散が起り易い位置で測定を行っていた可能性が考えられる。モジュール中央付近の内部では熱電対で測定している箇所と比較し AL 箔有無による温度差が無かったのではないかと推察する。よって、屋外設置期間トータルでは、モジュール毎の温度差の有意は少なかったと推察する。

BS の機能性として、モジュールの温度上昇抑制から発電出力向上へ繋げるには更なる工夫が必要である。

III-4) 高反射性について

当社従来品とする黒色 BS (ToyalSolar④) を比較対象として、開発品黒色 BS (ToyalSolar⑤) を用いた場合のモジュール性能比較を行った。

結果を表3に示す。ToyalSolar④と⑤の最大の違いは、反射率である。多結晶シリコンセルの分光感度は約400～1,200nm波長域であるため、BS単体の反射率値も同波長域の平均値で示した。開発品黒色BS（ToyalSolar⑤）は、当社従来の黒色BSより約8倍の反射率を有するため、発電出力向上に繋がっていると考えられる。積算Pmaxを比較すると、約1ヶ月で約700Wの発電出力差が確認されている。

また、開発品黒色BS（ToyalSolar⑤）は、400～1,200nm波長域のみならず、赤外線領域波長でも反射特性を有するため、温度上昇要因となる赤外線を反射させることで、モジュールの温度上昇抑制効果にも寄与しているものと考えられる。図5は、2012年10月1日のモジュール実体温度推移を示したものである。開発品黒色BS（ToyalSolar⑤）の方が温度上昇を抑制していることが判る。

よって、開発品黒色BS（ToyalSolar⑤）を使用することで、当社の従来黒色BS（ToyalSolar④）と比較し、モジュールの性能向上が図れることが検証出来た。

表3. 黒色BSを用いたモジュール特性比較

BS	ToyalSolar④	ToyalSolar⑤
パリア層色	なし	なし
反射率[%]*1	5.7	43.2
最高到達温度[°C]*2	69.4	68.2
最高到達温度差[°C]	基準	-1.2
最高実体温度[°C]*3	63.1	60.9
最高実体温度差[°C]	基準	-2.2
積算Pmax[W]	139,369	140,086
積算Pmax差[W]	基準	716.5

- *1 : 400-1200nm 平均値
- *2 : 全測定日時における最高温度
2012年9月15日、12:40に記録
- *3 : 全測定日時からある1日をピックアップした際の
その日の最高温度
2012年9月27日、12:10に記録

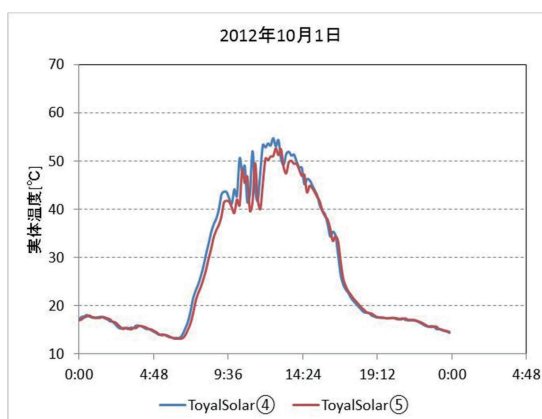


図5. 黒色BSを用いたモジュール実体温度推移

IV. まとめ

IV-1) モジュールの温度上昇抑制について

- ・BS構成にAL箔を用いることで、モジュールの最高到達温度および実体温度が約1.0～4.5°C程度抑制を図れることが検証出来た。
- ・モジュールの実体温度測定箇所によって温度差はあると想定され、発電出力との相関は更に検証が必要である。

IV-2) 高反射性について

- ・当社開発品黒色BSにおいてモジュールの高発電出力化が図れることを検証出来た。

今後も、長期信頼性をベースにした、モジュールの高効率化に寄与すべき部材開発を継続することで太陽光発電分野に貢献していきたい。

I. 目的

太陽電池モジュールの裏面保護の役割を担うバックシートを構成する部材には、その使用部位に応じて耐候性や封止材との密着性、水蒸気バリア性といった特性が求められている。当社は、保有する樹脂技術、加工技術を活かした耐加水分解性ポリエステルフィルムや、封止材易接着性ポリエステルフィルム、透明蒸着バリアフィルム等のバックシート用部材の開発、生産を通じて、太陽電池モジュールの信頼性向上に寄与することを目指している。本研究はバックシート用部材の要求特性を明確化し、バックシート用部材の開発・改善に活用することを目的として実施した。

II. 研究開発目標

当社は、当社の耐候性ポリエステルフィルム、封止材易接着性ポリエステルフィルム、透明蒸着バリアフィルム等のバックシート用部材を使用して、高い信頼性のモジュールを実現することを目標に、コンソーシアム第 I 期から継続して参画し、部材の信頼性評価、要求特性の把握を目指して活動を行っている。

当社のコンソーシアム第 I 期の研究では、当社製耐候性ポリエステルフィルム(商品名：シャインビーム®)をバックシートの最外層部材に用いたモジュールのダンプヒート(DH)試験(85°C/85%RH)を行い、耐候性ポリエステルフィルムが 4000 時間におよぶ長期の DH 試験でもクラックを生じない優れた耐湿熱性を有することを確認した。一方で、コンソーシアム標準部材である TPT (PVF/PET/PVF) バックシートの中間層の PET フィルムや、当社が本研究で用意したバックシートの一部に用いた一般グレードの PET フィルムは DH 試験 3000 時間で脆化によるクラックを生じることを確認し、外部環境に晒されるバックシート最外層だけでなく、直接外部環境には触れず、強度や絶縁性といったモジュール保護機能の重要な役割を担うバックシート中間層のフィルム部材にも湿熱による劣化の影響が及んでいる可能性が示された。

当社の第 II 期の研究では、第 I 期の成果を踏まえて、バックシートトータルでの信頼性向上を目指して当社部材適用の効果の検討を行った。

III. 研究開発の成果

III-1. 実験

III-1-1. モジュール作製

当社製耐候性ポリエステル(PET)フィルム(商品名：シャインビーム®)の透明タイプ(コンソーシアム内呼称：AT)、同白色タイプ(同 AW)をはじめとする表 III-1-1-1 に示したバックシート部材用フィルムを用意した。

表 III-1-1-1. バックシートに用いたフィルム

名称	材料基本構成	タイプ	EVA易接着コート	厚み[μm]
AT1	耐候性PETフィルム	透明		50
AT2	耐候性PETフィルム	透明		188
AW1	耐候性PETフィルム	白色	○	50
AW2	耐候性PETフィルム	白色		50
GT1	一般グレードPETフィルム	透明		250
GT2	一般グレードPETフィルム	透明		50
GW1	一般グレードPETフィルム	白色	○	188

表 III-1-1-1 に示したフィルムを用いて、表 III-1-1-2 に示した層構成のバックシートを作製した。BS1、BS2 はコンソーシアム第 I 期から引き続き検討しているバックシートである。BS3、BS4 は今期新たに作製したバックシートで、BS3 はセル側、モジュール裏面側の両外層を含めてすべて一般グレード PET フィルムで構成した。BS4 は中間層を含めてすべてのフィルム層を耐候性ポリエステルフィルムで構成した。バックシートのセル側で EVA との密着面になる PET フィルム表面には、当社の EVA 易接着性コート層を設けた。

比較として、コンソーシアム標準の TPT バックシートを用いた。

表 III-1-1-2. バックシートの層構成

バックシート呼称	BS1	BS2	BS3	BS4	TPT (比較用)
セル側					
層構成	AW1 50μm	AW1 50μm	GW1 188μm	AW1 50μm	PVF 38μm
	GT1 250μm	GT1 250μm	GT2 50μm	AT2 188μm	一般PET 250μm
	AT1 50μm	AW2 50μm	GT2 50μm	AT1 50μm	PVF 38μm
モジュール裏面側	外層：耐候性PET 中間層：一般PET	外層：耐候性PET 中間層：一般PET	全層一般PET構成	全層耐候性PET構成	コンソ標準 TPTバックシート

——— 当社EVA易接着コート層 ——— 層間接着剤層

試験モジュールの作製は、バックシートを変更したことを除いてコンソーシアム標準の多結晶シリコンセルモジュールと同じ部材構成で行った。なお、単セルモジュールについては、端子ボックスを用いずに、タブ線をモジュール端部から直接取り出す形とし、一部のモジュールについては、シリコーンシーラントを用いるアルミフレームの取り付けは行わなかった。

III-1-2. 加速劣化試験

加速劣化試験として 85°C×85%RH の DH 試験を実施した。第 I 期期間中に作製したモジュールの継続試験はコンソーシアム使用設備で実施し、第 II 期に作製したモジュールは当社が保有する恒温恒湿槽を用いて実施した。

III-1-3. モジュール評価

作製時初期及び加速劣化試験後のモジュールは外観観察の他に、コンソーシアム設備を使用した I-V 特性測定、EL 画像測定により劣化状況の評価を行った。

III-2. 結果と考察

第 I 期では、バックシート BS1、BS2 及びコンソーシアム標準 TPT バックシートを用いた 4 セルモジュールの DH 試験において、DH3000 時間経過時点で中間層 PET フィルムにクラックが生じた。今回、第 I 期でも評価した BS1、BS2 に加えて BS3、BS4 をバックシートに使用した単セルモジュールを作製し、3000 時間まで DH 試験を行った。

図 III-2-1 に DH 試験経時における最大出力保持率の変化を示した。BS1、BS2、BS3、BS4 いずれのバックシートを用いたモジュールでも DH3000 時間時点における最大出力保持率はすべて 98% 以上であり、DH 試験の経時による出力変化は小さかった。

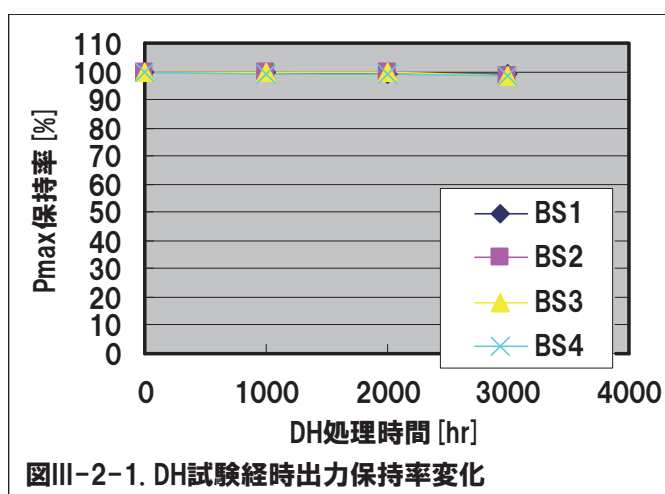


図 III-2-2 に DH3000 時間経過後のモジュールのバックシート面外観の写真を示した。写真では分かりにくいですが、最外層に一般グレードの PET フィルム GT2 を用いた BS3 の表面は黄変を生じていた。最外層が耐候性ポリエステルフィルムで構成された他の 3 つの水準では、顕著な色調の変化は見られなかった。特に BS1、BS4 は最外層、中間層が透明であり、バックシートの内部にも色調の変化がないことがわかる。



図 III-2-2. DH3000 時間処理済みモジュールのバックシート外観

BS1、BS2 を用いた第 I 期の 4 セルモジュールの DH 試験では、DH3000 時間経過時点で中間層の一般グレード PET フィルムにクラックが生じていたが、今回の単セルモジュール

ルの DH 試験では、この 2 種のバックシートのモジュールで DH3000 時間経過時も自発的なクラックの発生は見られなかった。しかし、バックシート面に外部から局所的な力を加えると、中間層にのみ容易にクラックが生じることが分かり（図 III-2-3）、最外層に耐候性ポリエステルフィルムを有する BS1、BS2 でも中間層の一般グレード PET フィルムは DH 試験により脆化が進行していることが示唆された。

3 層のフィルムすべてを一般グレードの PET フィルムで構成した BS3 では、最外層の PET フィルム GT2 にクラックを生じており、さらに反対面からの透過光で観察すると、セル側面の白色 PET フィルム GW1 や中間層の PET フィルム GT2 にもクラックが生じていることが確認できた（図 III-2-4）。



図 III-2-3. BS1 使用モジュールのクラック
(モジュール端部の透過光観察)

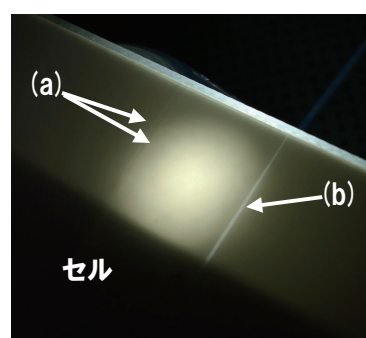


図 III-2-4. BS3 使用モジュールのクラック
(a) 中間層のクラック、(b) セル側層のクラック
(モジュール端部の透過光観察)

3 層をすべて耐候性ポリエステルフィルムで構成した BS4 では、外観を仔細に観察してもバックシートのいずれの層にもクラックの自発的な発生は認められず、BS1 や BS2 の中間層に用いた一般 PET フィルムのような脆化も見られないことから、BS4 バックシートは他の一般グレード PET フィルムを構成に含むバックシートや第 I 期で評価したコンソーシアム標準 TPT バックシートに比べても優れた耐久信頼性を有することが分かり、当社製耐候性ポリエステルフィルムはバックシートのいずれの層に使用してもその耐久信頼性が有効であることを確認した。

IV. まとめ

セル側層、中間層、最外層のすべてを当社の耐候性ポリエステルフィルムで構成したバックシートを用いた多結晶シリコン単セルモジュールの DH 試験を実施し、優れた耐久信頼性を有することを確認した。

コンソーシアム第 II 期（後期）は引き続き上記モジュールの DH 評価を継続して行うとともに、透明蒸着バリアフィルムなど他のバックシート部材を用いた太陽電池モジュールの信頼性評価も行う。

I. 目的

太陽電池モジュールの裏面を保護する「バックシート」は水蒸気浸入の抑制、電気絶縁性などの保護機能を主に司る材料である。第Ⅰ期コンソーシアム活動において当社では耐加水分解性 PET フィルムを含む自社製部材適用モジュールの高信頼性、並びに湿熱負荷（Damp Heat 試験：DH）＋温度サイクル負荷（Thermal Cycle 試験：TC）の組み合わせ試験における自社製部材適用モジュールの高信頼性について検討した。第Ⅱ期コンソーシアムでも湿熱負荷＋温度サイクル負荷による高信頼性に着目し、試験方法について詳細に調べることを目的として研究活動を行った。

II. 研究開発目標

高信頼性結晶系シリコン太陽電池モジュールの開発、並びに新規信頼性試験方法の提案に向けて次の目標を掲げ、研究活動を推進した。

中間目標

①DH＋TC の組み合わせ試験の精査

DH500&TC100 組み合わせ試験と DH1000&TC200 組み合わせ試験の比較

②DH＋TC 組み合わせ試験における水蒸気拡散挙動の調査

モジュールの吸湿、脱湿過程の可視化

最終目標

①新規加速試験方法の提案と自社部材優位性の立証

III. 研究開発の成果

現行の結晶シリコンモジュールに対する認証規格試験（IEC61215）において定められている温度、湿度負荷による環境試験は下記の通りである。

①高温高湿（DH）試験 1000 時間

②温度サイクル（TC）試験 50 サイクル → 結露凍結（HF）試験 10 サイクル

③温度サイクル（TC）試験 200 サイクル

DH 試験、TC 試験は太陽電池モジュール及び周辺部材の湿熱負荷や温度サイクル負荷に対する信頼性・耐久性を確認する上では有効な試験方法であるが、屋外使用環境下では湿熱・温度サイクルの負荷が複合的に作用している。単一試験だけで実使用環境下における信頼性を評価することは難しく、複合負荷における信頼性の確保が重要と考えている。そこで当社は第Ⅰ期コンソーシアムにて取り組んだ DH と TC の組み合わせ試験について、第Ⅱ期コンソーシアムでは更に詳細に検討を行った。

使用したバックシートは表1の通りである。参照・比較用としてコンソーシアム標準部材の Tedlar/PET/Tedlar (TPT)、自社製部材として耐湿熱 PET を含むバックシート①を使用した。ガラス、封止材 (EVA: Fast Cure タイプ)、セル、配線材、端子箱、ポッティング剤、シーリング剤、アルミフレーム等は全てコンソーシアムの標準部材を使用し、結晶4セルモジュールで評価を行った。

検討した試験方法を表2に示す。なお、DHとTCを組み合わせた試験は新たな加速試験方法として NREL、Fraunhofer 研究所なども実施しており、複合負荷におけるモジュールの信頼性に着目している。今回当社では DH&TC 組み合わせ試験について、表2の考案試験に記載の2つのスキームを検討し、DH・TCのRound完了毎に特性評価を実施した。

まず、DH500&TC100、DH1000&TC200の組み合わせ試験における BS No.1: TPT の外観変化を図1に示す。BS No.1: TPT ではいずれの組み合わせ試験においても累積 DH2000・TC400の時点でバックシートに亀裂が生じることが分かった。累積 DH2000の時点では亀裂は生じておらず、DHによる汎用 PET の脆化が進行した後、TCによる温度サイクル負荷によって亀裂が生じたものと推測している。BS No.2: 耐湿熱構成①では亀裂発生は無く、外観・安全性の保持において TPT のような汎用 PET 構成よりも耐湿熱 PET を含むバックシートのほうが優れていると言える。

まず、DH500&TC100、DH1000&TC200の組み合わせ試験における BS No.1: TPT の外観変化を図1に示す。BS No.1: TPT ではいずれの組み合わせ試験においても累積 DH2000・TC400の時点でバックシートに亀裂が生じることが分かった。累積 DH2000の時点では亀裂は生じておらず、DHによる汎用 PET の脆化が進行した後、TCによる温度サイクル負荷によって亀裂が生じたものと推測している。BS No.2: 耐湿熱構成①では亀裂発生は無く、外観・安全性の保持において TPT のような汎用 PET 構成よりも耐湿熱 PET を含むバックシートのほうが優れていると言える。

表1. DH/TC 組み合わせ試験で使用するバックシート

Cell side	“Tedlar” (38 μm)	白色オレフィン (150 μm)
BS構成	汎用PET (250 μm)	“ルミラー”X10S (125 μm)
Out side	“Tedlar” (38 μm)	耐候性コート層
BS No.	No.1 TPT	No.2 耐湿熱構成①
耐湿熱性	△	◎
水蒸気透過率 (40°C/90%RH)	1.86	1.21

表2. DH/TC 組み合わせ試験スキーム

	従来試験		考案試験		
	Damp Heat (DH)	Thermal Cycle (TC)	DH500 & TC100	DH1000 & TC200	
Round	1	DH1000	TC200	DH500	DH1000
	2	DH1000	TC200	TC100	TC200
	3	DH1000	TC200	DH500	DH1000
	4	DH1000	TC200	TC100	TC200



図1. DH&TC 組み合わせ試験による外観不具合

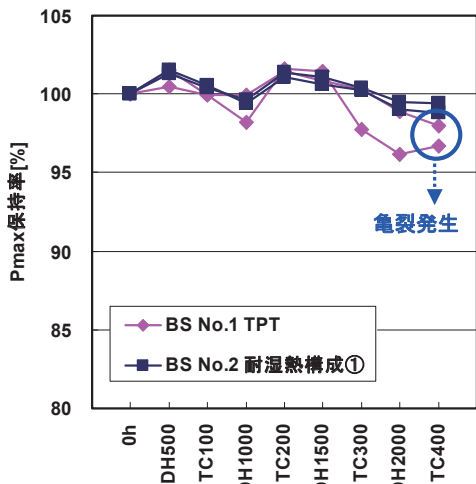


図2. DH500&TC100 組み合わせ試験の Pmax 保持率

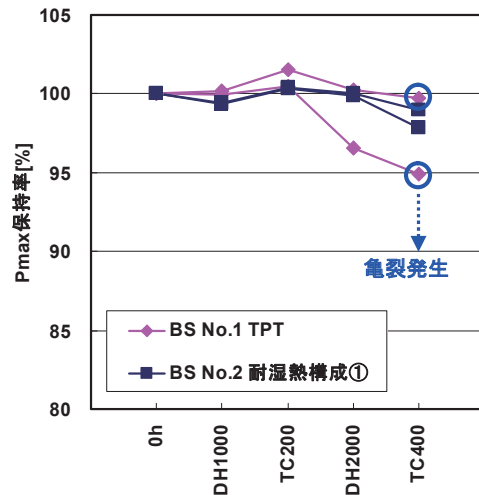


図3. DH1000&TC200 組み合わせ試験の Pmax 保持率

DH500&TC100 組み合わせ試験における Pmax 保持率を図 2 に、DH1000&TC200 組み合わせ試験における Pmax 保持率を図 3 に、DH500&TC100・DH1000&TC200 の組み合わせ試験の EL 画像を図 4 にそれぞれ示す。DH 試験を長時間継続した場合、およそ 2500～3000 時間経過した時点でセルの外周から暗部が発生し、徐々にセル中央に侵食する現象が確認されている。しかしながら、図 4 より DH1000&TC200 組み合わせ試験では DH1000→TC200 が完了した段階でセルにスポット状に暗部が発生することが分かった。一方、DH500&TC100 繰り返し試験ではスポット状の暗部の発生は見られず、累積で DH2000&TC400 完了時点においても EL 画像の変化は見られていない。累積の試験条件は同じでも DH と TC の組み合わせによって EL 画像の変化に違いが見られることが分かった。

BS	試験方法	初期	DH1000	DH1000×TC200	DH2000×TC200	DH2000×TC400
No.1 TPT	DH500 &TC100					
	DH1000 &TC200					
No.2 耐湿熱 構成①	DH500 &TC100					
	DH1000 &TC200					

図 4. DH&TC 組み合わせ試験による EL 画像変化：

DH1000&TC200 組み合わせ試験では DH1000→TC200 でスポット状の暗部発生

DH 試験における出力低下、EL 画像の暗部の発生は封止材に EVA を使用している場合、水蒸気の浸入によって発生した酢酸による配線材等の腐食が原因と考えられている。図 4 で見られるスポット状の暗部の発生の原因として、DH&TC 組み合わせ試験における水蒸気の拡散挙動が関係していると考えた。DH 試験時は水蒸気がモジュール内へ浸入するが、TC 試験時は湿度の負荷はなく、特に高温時はモジュールの乾燥が進むと考えられる。また、試験の組み合わせ方によってもモジュールの乾燥状態は異なることが予想される。そこで、モジュール内への吸湿、脱湿を可視化するため塩化コバルト試験紙を挿入した 1 セルモジュールを作製した。塩化コバルト試験紙は乾燥から吸湿によって、濃青色から赤色へ変色し、可逆性を有するためモジュール内の吸脱湿過程の可視化に有効と考えた。塩化コバルト試験紙を挿入した 1 セルモジュールについて DH500&TC100、並びに DH1000&TC200 の組み合わせ試験を行い、試験紙の外観変化を調べた。

DH500→TC100における試験紙の変色を図5に示す。DH500の後にTC100を経ることでセルの端(図5①)では水蒸気が抜けていくが、セル中央(図5②)へは水蒸気が広がっていく様子が分かる。湿熱負荷がかかっていないTC試験においてもDH500時点で浸入していた水蒸気がセル中央へ拡散していくことが示唆される。屋外曝露モジュールにおいても設置環境に応じて同様に乾燥、吸湿を繰り返していることが予想され、本試験のように複合的な負荷による評価が重要と考える。塩化コバルト試験紙を用いることで大まかに吸脱湿過程を可視化することは可能だが、モジュール内の詳細な水蒸気のプロフィールまで把握することは困難である。拡散方程式等を利用し数値的に解析することでDH&TC組み合わせ試験時における水蒸気拡散挙動について調べることを今後の課題としていきたい。また、得られたモデルを屋外の気象条件(温度、湿度等)に適用することで実曝露モジュールへの応用を目指す。

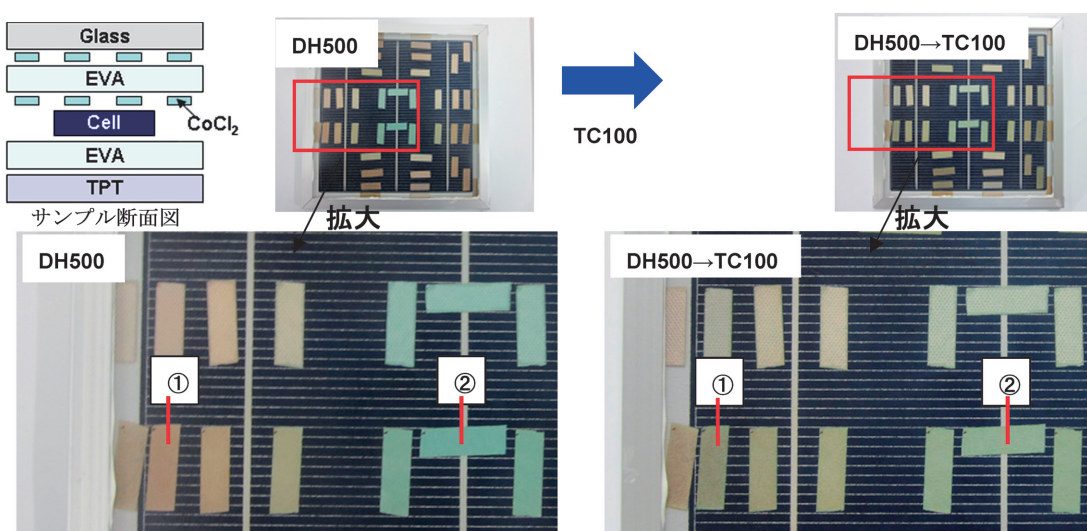


図5. DH&TC 組み合わせ試験による塩化コバルト試験紙の変化

IV. まとめ

本研究活動の中間成果を下記の通りまとめる。

- ・ DH&TC 組み合わせ試験について精査した。
- ・ DH と TC の組み合わせ方によって劣化の挙動に差が見られることを確認。
- ・ DH 後の TC によってセル中央への水蒸気の拡散を可視化。

今後の課題

- ・ DH&TC 組み合わせ試験による劣化メカニズムの解明 (スポット状暗部の発生原因解明)
- ・ DH&TC 組み合わせ試験での水蒸気の拡散モデルの確立と実曝露モジュールへの応用
- ・ 温湿度負荷による新規信頼性試験の提案

I. 目的

薄膜太陽電池長寿命化のために、図1に示す太陽電池セル上に高バリア性の封止膜を直接製膜した構造の薄膜太陽電池を提案する。本構造の期待する効果は以下である。

- (1) モジュール全面及びアルミフレームとの隙間から浸入する側面のバリア性向上
- (2) 劣化変質したEVAが薄膜太陽電池セルへ接触無
- (3) 封止膜を入れる構造によりバックシートのバリア性能低減（コストダウン）

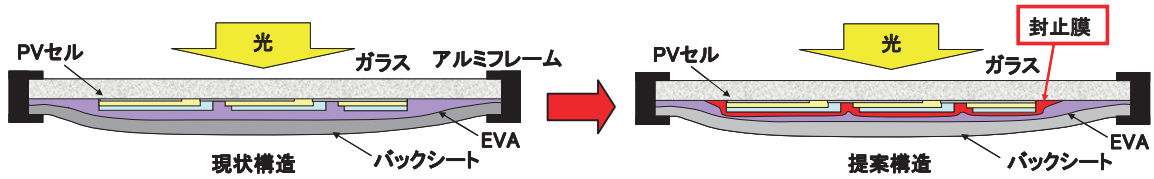


図1 提案構造

II. 研究開発目標

封止膜の効果を明確化し、コンソーシアムで提供される部材を用いた標準モジュールと比較し、長寿命（劣化低減）となる薄膜太陽電池モジュール構造を開発する。具体的には以下である。

- (1) 封止膜を用い、透明導電膜の抵抗値劣化防止
- (2) 薄膜太陽電池モジュールの発電効率劣化防止
- (3) サブストレート型太陽電池へ展開のため、封止膜の光透過率向上

III. 研究開発の成果

1)封止膜製膜概要

従来 OLED 用途に開発中のプラズマ CVD を用いて製膜する封止膜を薄膜太陽電池用途へ展開する。当社封止膜は図2に示すような積層膜であり、応力緩和用のバッファ膜とバリア性を持たせるバリア膜の無機膜の積層構造である。

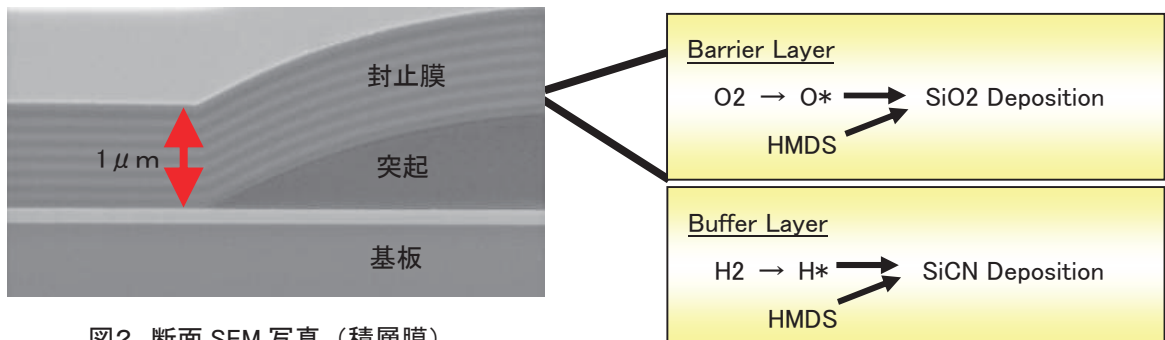


図2 断面 SEM 写真（積層膜）

本封止膜の性能として、水蒸気透過率及び光の透過性の測定例を図3、4に示す。水蒸気透過率はCa法で、定常状態時の測定で $10^{-5} \text{g/m}^2/\text{day}$ 台であり、光の透過率は90%以上となっている。ともに評価は保有する設備で行った。

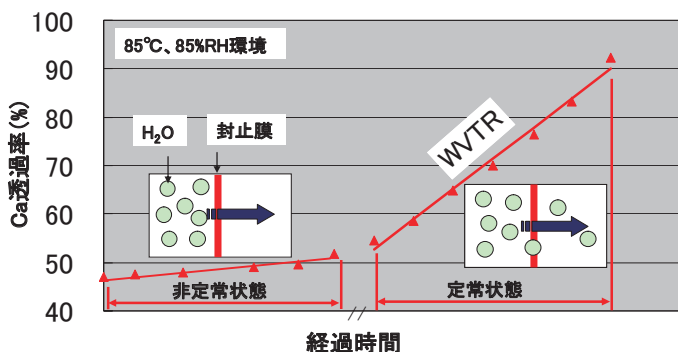


図3 封止膜の水蒸気透過率(Ca法)

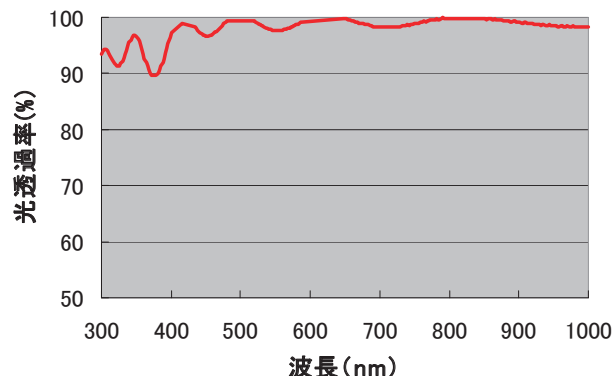


図4 光の透過率

2)透明導電膜への封止膜効果評価

図5に示すサンプル（自社作製）を用い、高温高湿試験（85°C、85%RH）において、封止膜の有無による透明導電膜の抵抗値劣化を評価した。使用した透明導電膜はZnOにAlをドープしたAZOとGaをドープしたGZOを用いた。それぞれのサンプルは高温高湿試験前のシート抵抗の初期値を100%とし、加速試験により大きくなっていくシート抵抗値をプロットした（図6参照）。時間の経過と共に基準サンプルは劣化が進み、それぞれ抵抗値が大きくなるが、封止膜付きはそれに比較し、劣化は進んでいない。これは封止膜により透明導電膜の抵抗値劣化が抑えられることを示している。

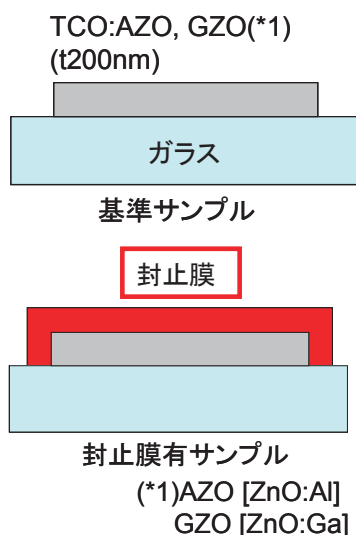


図5 評価サンプル形状

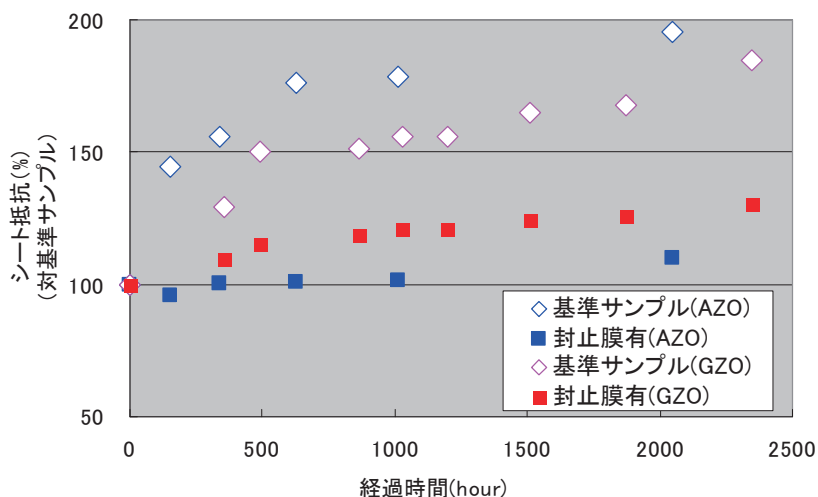


図6 透明導電膜のシート抵抗評価(高温高湿試験)

3) 薄膜PVセルを用いた評価

産総研コンソーシアム提供の部材を用い、封止膜有無の評価を行った。封止膜有りの評価形状は図7で、比較用の標準サンプルは図7の封止膜が入っていないものである。なお、セル周囲を囲むアルミフレームは取り付けずに行った。評価は高温高湿試験により行った。

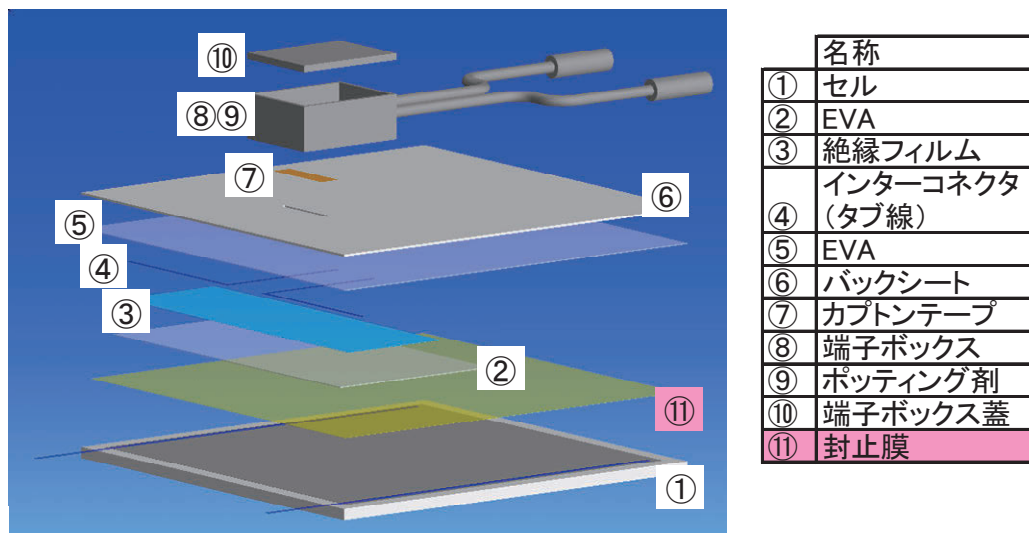


図7 薄膜PVセルの評価サンプル形状

試験結果を図8に示す。封止膜有は標準サンプルよりも劣化が遅く、3000時間経過後も初期値比 95%を保持することができ、封止膜の効果を確認することができた。

第I期では 2500 時間経過後、初期比 0.90 だったものを、第II期では封止膜構成を変更し、3000 時間経過後も 0.96 となる結果を得ることができ、より発電効率の低下を抑える膜構成とすることができた。

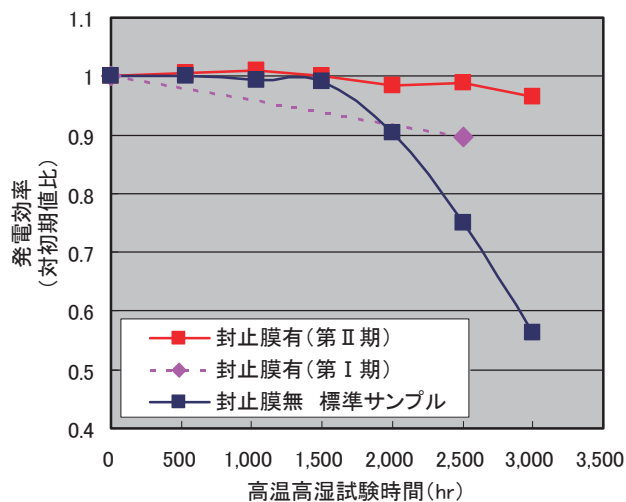


図8 薄膜太陽電池の高温高湿試験結果

4) 他用途展開

封止膜の他用途展開として、サブストレート構造(図9)も検討を行った。支給されているストレート構造(図1)との違いは、太陽電池の発電効率に関わる光透過量であり、封止膜に求められ

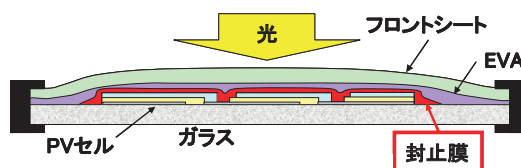


図9 サブストレート構造の提案

る仕様は光の透過量減少が無いことである。

そこで、図10に示すサンプルを自社で作製し、透明導電膜にはGZO膜(屈折率1.9)を用い、光の入射する方向に封止膜の有無のサンプルとし、封止膜有/基準サンプルにより光の透過量の比較評価を行った。本評価では、基準サンプルよりも光の透過量が多ければ100%を超え、基準サンプルより少なければ100%以下を表す。封止膜は膜構成により屈折率を変更した積層膜を3種類作製し、評価する光の波長は550nmとした。

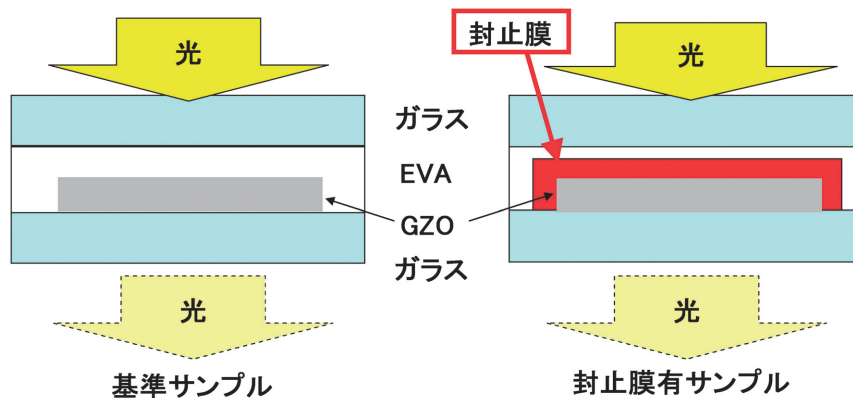


図10 評価サンプル形状

図11に評価結果を示す。封止膜の屈折率をGZOの屈折率に近づけていくことで透過率が高くなっていることがわかる。これは、封止膜を入れることで、EVAとGZOの異なる部材間での屈折率差を小さくし、光の反射をへらしたことによるものと考察している。この結果はサブストレート型太陽電池に封止膜を入れることで、発電層に入射する光の透過量が増えることを示しており、発電効率向上に効果がある可能性を示している。

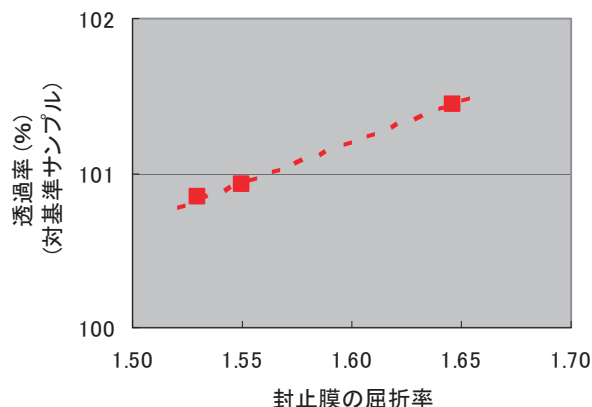


図11 光の透過量評価結果

IV. まとめ

コンソーシアムによる成果を以下に示す。

- (1) 透明導電膜及び薄膜太陽電池モジュールにおいて、封止膜により劣化防止効果が有ることを示した。
- (2) 透明導電膜上に封止膜を付けることにより光の透過率が向上し、サブストレート型太陽電池への適用効果を示した。

I. 目的

太陽電池モジュールにおけるバックシートの重要な役割の一つに、モジュール内に水分が浸入してセルや配線などが劣化するのを防ぐ保護機能がある。しかしながら、各種太陽電池に必要なバリア性能は十分に検証されていないため、バックシートの水蒸気バリア性がモジュール寿命に及ぼす影響を把握し、太陽電池モジュールに必要なバリア性を明確にすることを目的とする。

II. 研究開発目標

薄膜シリコン太陽電池を対象として、水蒸気バリア性が $10^{-3}\sim 10^{-1}\text{g/m}^2\cdot\text{day}$ のバックシートを試作し、コンソーシアム標準部材と組み合わせてミニモジュールを作製する。

中間目標は、加速劣化試験を行い試験後モジュールの出力低下とバックシートの水蒸気バリア性とに相関があるか確認することである。

また最終目標は、破壊分析などの手法を用いることも視野に入れ、モジュールの出力低下原因を調査することである。

III. 研究開発の成果

【実験方法】

■水蒸気バリア性の異なる凸版試作品バックシートの作製

PET フィルム片面にガスバリア層を形成したガスバリアフィルムを作製した。次に、このガスバリアフィルムの両面に PET フィルムをラミネートすることで本研究のための凸版試作品バックシートを作製した。

凸版試作品バックシートの厚みは、全て約 $240\mu\text{m}$ となり、その水蒸気バリア性は上記ガスバリアフィルムに形成されたガスバリア層の水蒸気透過率をコントロールすることで、 $10^{-3}\sim 10^{-1}\text{g/m}^2\cdot\text{day}$ ($40^\circ\text{C}90\%\text{RH}$) とした。

■評価用ミニモジュールの作製

凸版試作品バックシートを、コンソーシアム標準部材と組み合わせて、薄膜シリコン（アモルファスシリコン）の太陽電池ミニモジュール（約 18cm 角）を作製した。また比較用として、凸版試作品バックシートの代わりにコンソーシアム標準アルミバックシートを使用したミニモジュールも作製した。なおアルミバックシートの水蒸気透過率は測定していないが、最もバリア性が高いと考えられる。

■ミニモジュール加速劣化試験

ミニモジュールの加速劣化試験として $85^\circ\text{C}85\%\text{RH}$ 高温高湿（DH）試験を実施した。

【結果および考察】

■ バックシートの水蒸気バリア性とモジュール出力低下

本コンソーシアムでは、モジュール出力性能の劣化基準を最大出力（ P_{max} ）5%低下としており、これを以下「コンソ劣化基準」と記す。

凸版試作品バックシートを使用した薄膜シリコンミニモジュールは、DH試験500hまでは P_{max} がコンソ劣化基準内であった。しかし、1000hでバリア性の最も低い凸版試作品①がコンソ劣化基準を超える P_{max} 低下となり、DH試験が進むごとにバリア性の低いバックシートから P_{max} が低下していった（図1）。DH試験後はバックシートのバリア性と ΔP_{max} の間に相関が確認され、バックシートの水蒸気透過率が大きくなるほど P_{max} の低下が大きくなる傾向となった。一例として、DH1500h後の ΔP_{max} とバックシートのバリア性との相関を図2に示す。

なお、コンソ標準アルミバックシート（水蒸気透過率：不明）を使用したミニモジュールでも、DH試験2750hでコンソ劣化基準を超える P_{max} 低下が確認された。

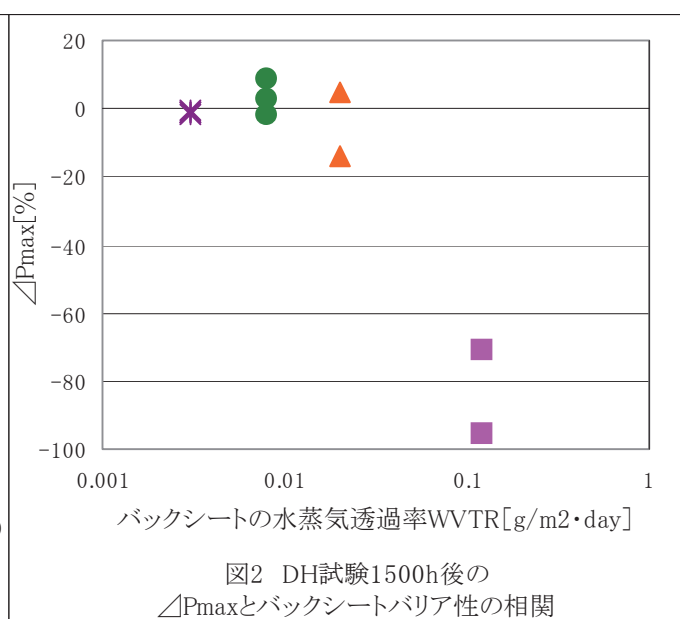
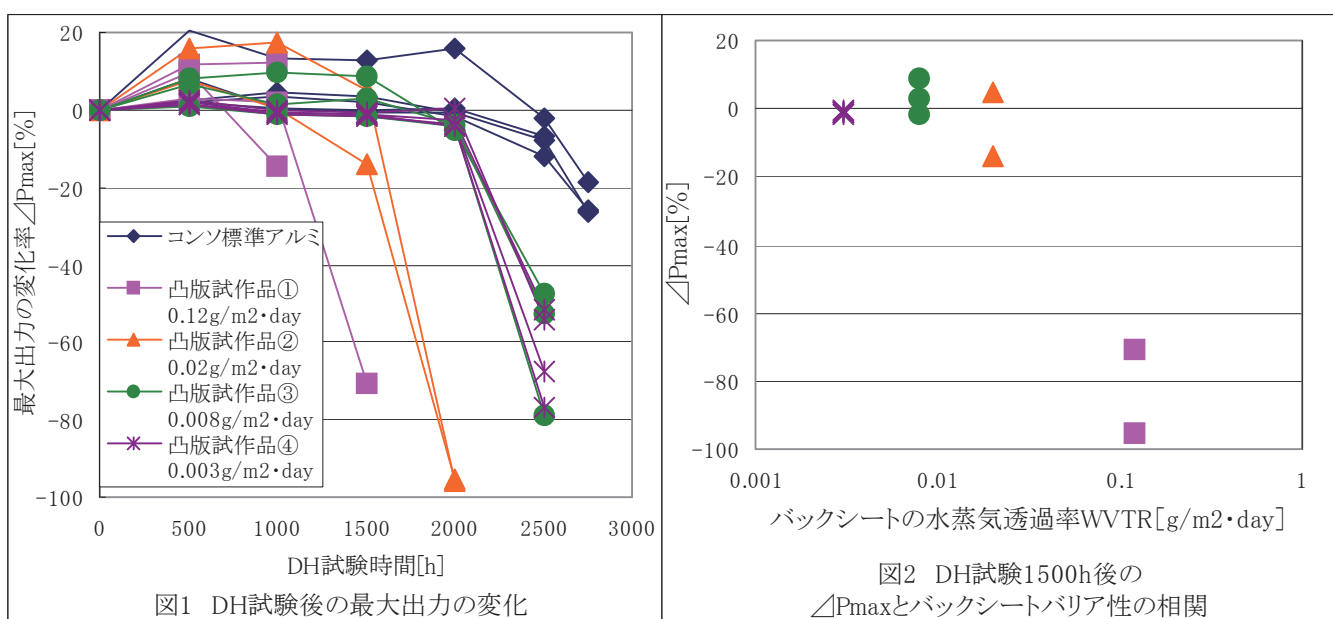
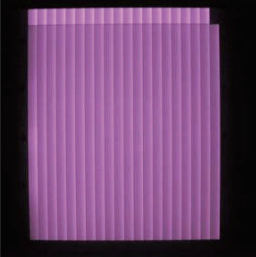
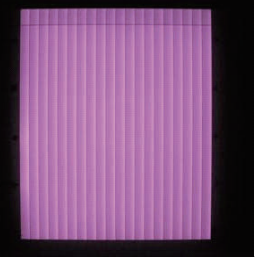
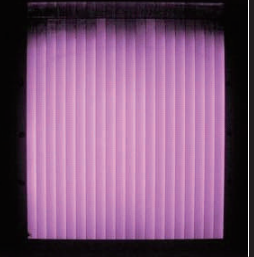
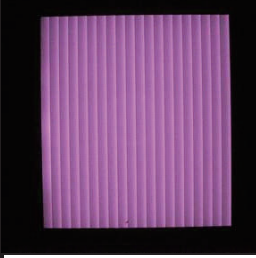
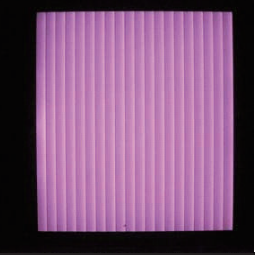
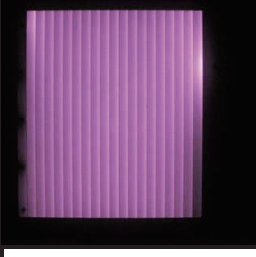
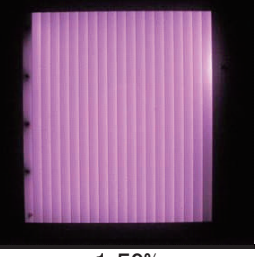
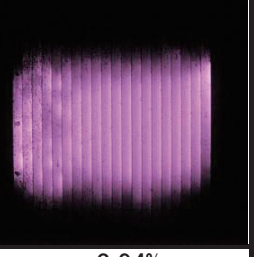
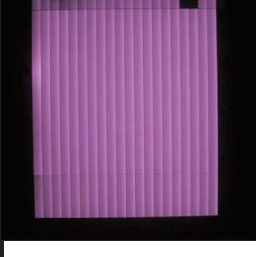
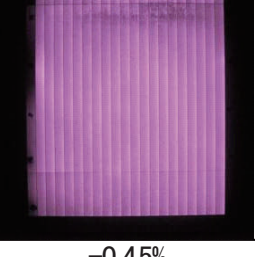
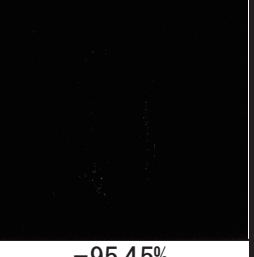
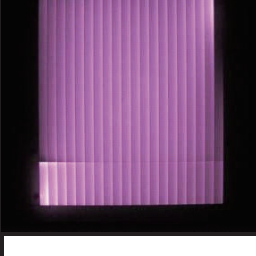
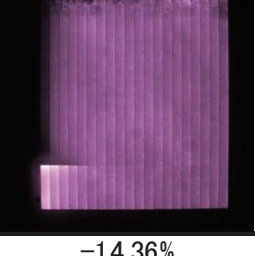


表1に、初期（DH0h）およびDH試験後のEL画像を、バックシートのバリア性が高い順に上から並べたものを示す。

DH試験後のEL画像を確認すると、出力低下の大きかったモジュール（凸版試作品①、②使用）は、初期と比べてモジュール全体に暗輝度が広がる様子が見られた。また比較的输出低下の小さいモジュール（コンソ標準アルミ、凸版試作品③使用）は、DH2000h後にモジュールの端面から暗輝度が侵食している様子が見られた。

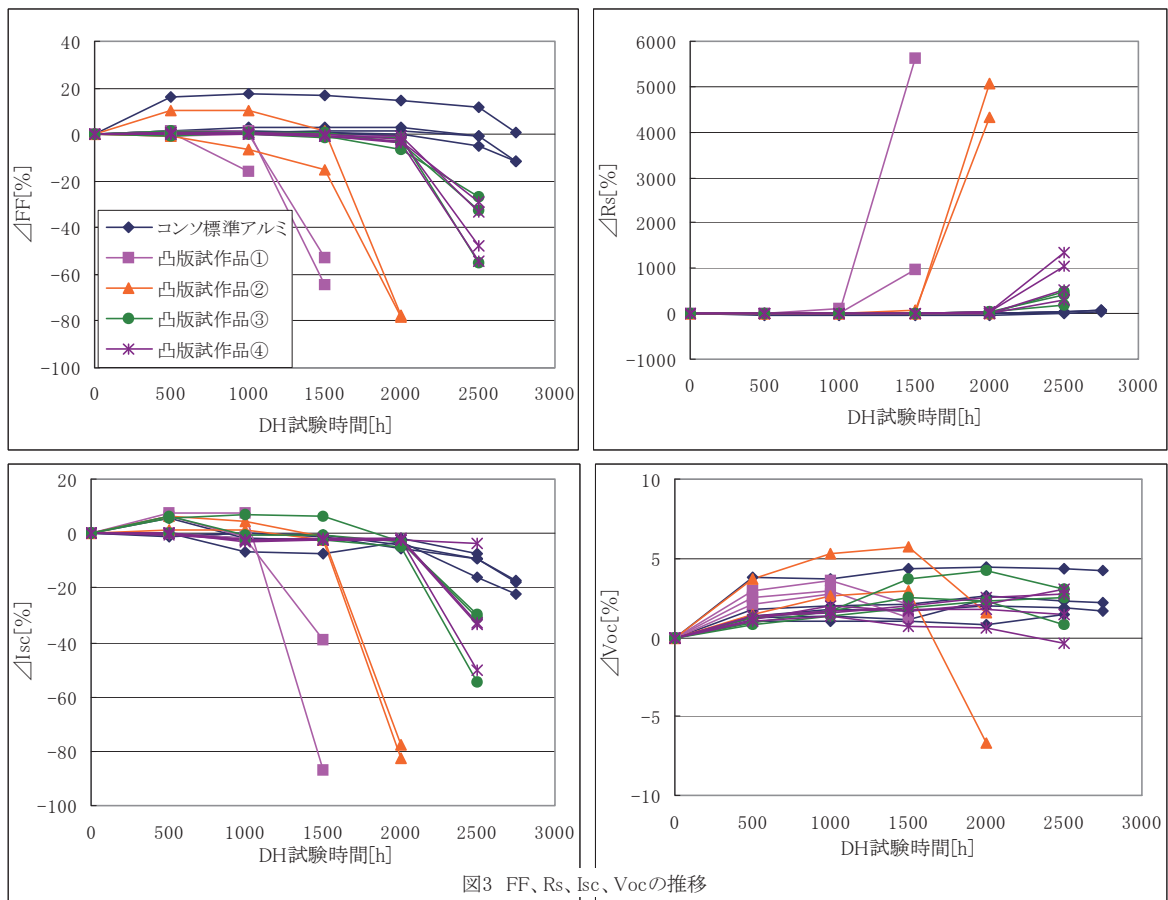
表1 DH試験後のEL画像

バックシート	初期	DH1000h	DH2000h
アルミBS			
ΔP_{max}		4.57%	-0.53%
バリアBS④ 0.003[g/m ² ·day]			EL画像未測定
ΔP_{max}		-0.27%	-0.46%
バリアBS③ 0.008[g/m ² ·day]			
ΔP_{max}		1.59%	-3.94%
バリアBS② 0.02[g/m ² ·day]			
ΔP_{max}		-0.45%	-95.45%
バリアBS① 0.12[g/m ² ·day]			DH試験未実施 (DH1500hで大きく出力低下のため)
ΔP_{max}		-14.36%	

■モジュール出力低下の推定原因

図3に薄膜シリコンミニモジュールの曲線因子の変化率 (ΔFF)、直列抵抗の変化率 (ΔR_s)、短絡電流の変化率 (ΔI_{sc})、開放電圧の変化率 (ΔV_{oc}) の推移を示す。

P_{max} が低下したモジュールでは、曲線因子 (FF) や短絡電流 (I_{sc}) の低下が確認された。直列抵抗 (R_s) の大幅な増加も見られることから、薄膜シリコンセルの接続不良、配線部のはがれやハンダ劣化、腐食などが生じている可能性がある。水蒸気透過率の大きいバックシートを用いたモジュールほど P_{max} が低下していることから、バックシート面から浸入した水分が直列抵抗値の増加に影響を与えていると推察される。しかし、実際にモジュール内部で起きている現象を確認するためには破壊分析などを行う必要があり、未着手である。



IV. まとめ

水蒸気バリア性が $10^{-3} \sim 10^{-1} \text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ のバックシートを使用して作製した薄膜シリコンミニモジュールは、DH試験後にバックシートのバリア性が低いモジュールほど P_{max} が低下した。 P_{max} の低下は、バックシート面から浸入した水分により、モジュールの直列抵抗が増加したことが原因の一つであると推察されるが、さらなる詳細調査のためにはモジュールの破壊分析などを行う必要があると考えられる。

I. 目的

本コンソーシアムにおける弊社の提案材料は、塗布型太陽電池セル保護材料であり、より具体的には (I) 封止材／セル間塗布材料、(II) 裏面電極保護材料の2種類である (図1)。いずれもセルに直接塗布し、モジュール化することにより効果を発揮する。それぞれの材料の目的について、下記に記載する。

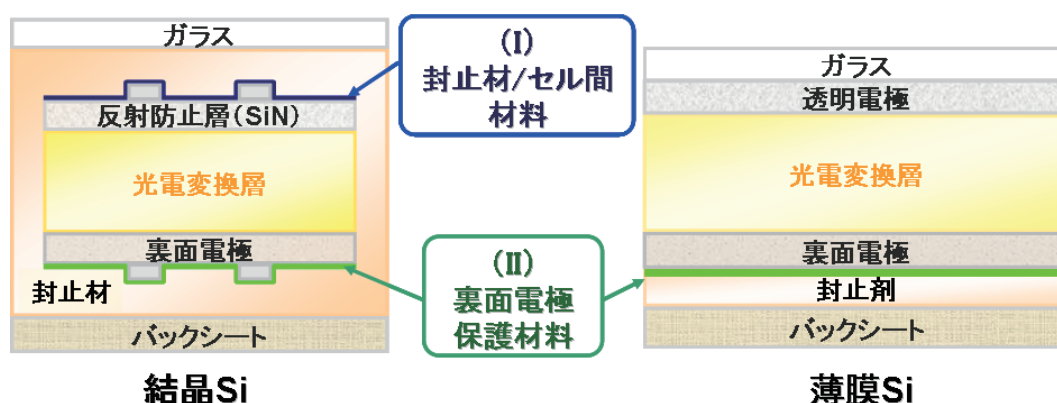


図1. 各モジュールの断面図と提案材料

(I) 封止材／セル間塗布材料

モジュールの長期信頼性を損なう要因の1つとして、封止材の剥離（デラミネーション）が挙げられる。この現象によって、発電力の低下とセルの物理的破壊が起これ、モジュールの長期信頼性が損なわれる。このため、本提案材料の目的は、剥離現象を完全に抑制し、長期に亘り高いモジュール特性を維持することである。

(II) 裏面電極保護材料

モジュールの長期信頼性を損なう要因の1つとして、電極腐食による高抵抗化が挙げられる。この原因は、電極自身が封止材と直接接触しているため、封止材由来の酸性ガス（酢酸）に長期間曝露されるためである。このため、本提案材料の目的は、酸性ガスの曝露を防ぎ、裏面電極の腐食を抑制することと、上記 (I) 同様に高密着性を付与することで、剥離現象による電極劣化を防ぐことである。

なお II 期では、I 期に引き続き (I) 封止材／セル間塗布材料を中心に検討を行った。このため (II) 裏面電極保護材料は今後の検討課題とした。

II. 研究開発目標

本研究の目的は、弊社材料搭載のモジュールの長期安定性向上である。このため、TC試験を中心として、1次試験（TC50/HF）と2次試験（TC200）を行い、2次試験終了後、 P_{max} が初期値の95%以上であり、且つ外観変化が見られないことを目標とした。しかし、弊社内における太陽電池部材開発の優先順位が低下したこともあり、Ⅱ期における活動は初期のI-V特性評価のみとなった。

III. 研究開発の成果

<使用部材>

弊社塗布材料以外は、すべてAIST標準部材を用いた。

- ・ セル : 125mm単結晶セル
- ・ タブ : 厚さ150 μ m Pbフリー型
- ・ フレーム : 未使用
- ・ 封止材 : ファストキュア
- ・ ガラス : 180mm強化ガラス
- ・ バックシート : 180mmTPT型
- ・ モジュール : シングルモジュール
- ・ 試験台数 : 9台
- ・ 弊社塗布材料 : サンプルA, B(合計2種)

<塗布材料使用方法>

タブ付セルに弊社材料を直接塗布した後、オープンにてキュアを行った。

<IV測定>

ソーラーシミュレータYSS-150を用いて6回測定し、測定値を平均化して算出した。

弊社塗布材料は、長期安定性の他に I_{sc} の向上等、2次的効果も期待できる。そこで、下記のモジュールを作製し、I-V特性を評価した（図2～4）。

- 標準部材のみで作製したモジュール（std-1～3）
- 弊社材料-Aを太陽電池セル表面側に塗布し、その後積層したモジュール（A-1～3）
- 弊社材料-Bを太陽電池セル表面側に塗布し、その後積層したモジュール（B-1～3）



図2. 評価モジュール

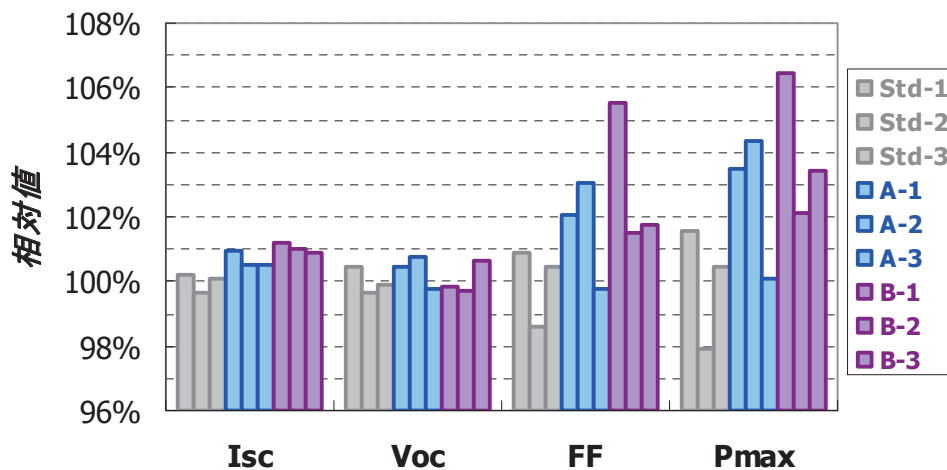


図3. I-V特性評価結果 (n = 3)

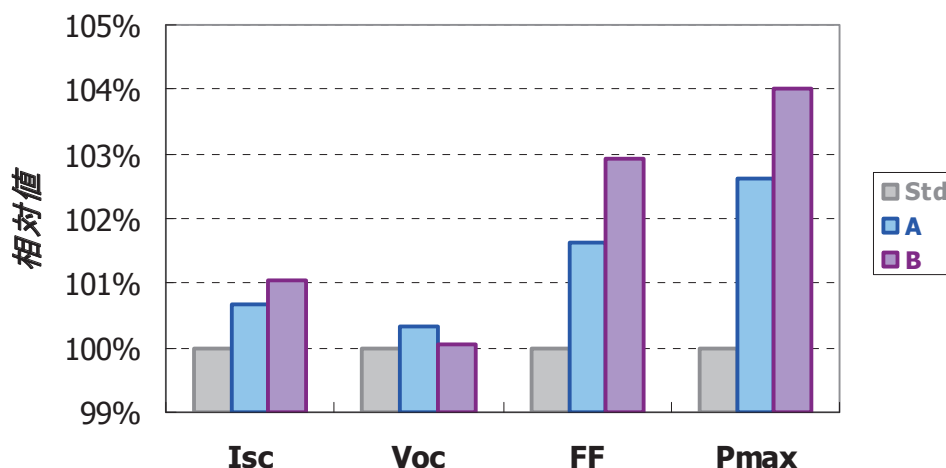


図4. I-V特性評価結果（平均値）

その結果、各モジュール間でバラつきはあるものの、弊社塗布材料-AおよびBを積層したモジュールは標準モジュールに比べ高いPmaxを示すことが明らかとなった。「 $P_{max} = I_{sc} \times V_{oc} \times FF$ 」であることを踏まえ、データを検証すると、弊社材料はIscとFFの向上に効果があると考察できる。Iscは屈折率制御による光取り込み効率向上であると推測できる。FFの向上は抵抗の低減によるものと推測できるが、詳細なメカニズムについては不明であり、今後の検討課題である。

IV. まとめ

本コンソーシアムでは、封止材／セル間塗布材料を中心に I-V 特性の確認を行った。その結果、弊社塗布材料-A および B を積層したモジュールは標準モジュールに比べ高い Pmax を示すことが明らかとなった。Pmax 向上の要因として Isc と FF の向上が大きく寄与していることを確認したが、特性向上の詳細なメカニズムおよび耐久性の評価は、今後の検討課題である。

1. 目的

太陽電池モジュールに使用される材料の選定において、モジュール製造プロセスへの適用性と実用評価特性の結果が重要視されている。特に新規な材料を採用するためには、太陽電池モジュールの状態で既存材料と同等あるいはそれ以上の長期信頼性を証明する必要がある。しかしながらモジュールでの長期信頼性評価は長時間を要するのみならず、長期信頼性を担保する材料の物性や機能がどのように影響するかが判断しにくいいため、現状は新規材料の長期信頼性の証明が難しい。そのため更なる長期信頼性を有する太陽電池を実現するためには、材料メーカーにおいてもモジュールを用いた実用的な評価と提案が必要となっている。第Ⅱ期コンソーシアムでは、第Ⅰ期にて検討が十分でなかった薄膜Si系モジュールに集中し、製造プロセスの簡略化と高信頼性化の価値を提供することができるテープ製品の提案を目的とした。

2. 研究開発目標

① 止水型粘着テープの端面シール材としての適用

薄膜系でのガラス/ガラス構成において、現行材料のホットメルトブチルと同等もしくはそれ以上の信頼性が得られ、かつテープ工法による工程の簡略化ができる。

「薄膜Si系モジュールにおいて、DH試験で最大出力（Pmax）が初期値の95%以上維持している試験時間が現行材料と同等以上」

② 導電性粘着テープの内部配線材としての適用

現行工法のはんだ付け工法と同等もしくはそれ以上の信頼性が得られ、かつ工程の簡略化ができる。

「薄膜Si系モジュールにおいて、温度サイクル(TC)試験で最大出力（Pmax）が初期値の95%以上維持しているサイクル数が現行材料と同等以上」

3. 研究開発の成果

3-1. 検討材料

・日東電工社製端面シール材（以下（日東）端面シール材）：

（日東）端面シール材

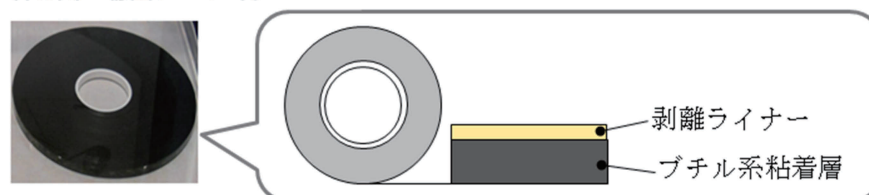


図1. （日東）端面シール材の外観写真と構成

- ・日東電工社製内部配線材（以下（日東）内部配線材）：

（日東）導電性粘着テープ

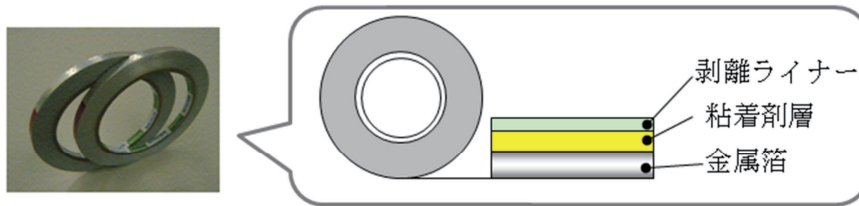


図2. （日東）導電性粘着テープの外観写真と構成

3-2. 成果

薄膜 Si 系モジュールでの（日東）端面シール材の検討

- ・下記構成での薄膜 Si 系モジュールを作製し、長期信頼性試験（DH 試験）を実施。

モジュール構成；

- ① 薄膜 Si 系セル/バックガラス+（日東）端面シール …… フレームレス構成
- ② 薄膜 Si 系セル/バックガラス（端面シールレス） …… フレームレス構成（Ref）
- ③ 薄膜 Si 系セル/バックシート+ホットメルトブチル …… Al フレーム付構成（Ref）

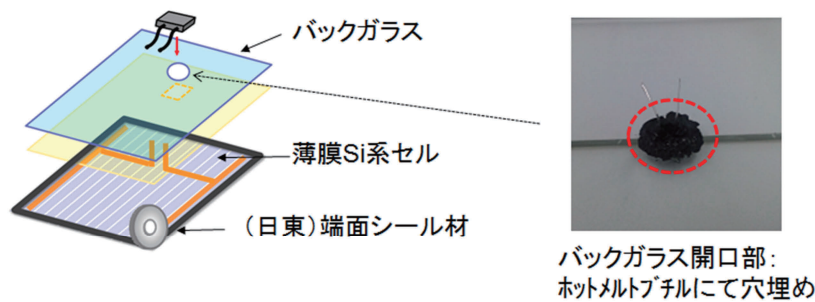


図3. 薄膜Si系フレームレスモジュール構成（①構成）

< DH（85°C/85%RH）試験結果 >

- ・表1、図4にDH試験後の P_{max} 維持率（ΔP_{max}）を示す。

表1. DH試験後P_{max}維持率(ΔP_{max})比較

	DH試験時間		
	1000hr	2000hr	3000hr
① フレームレス+ （日東）端面シール	106 %	65 %	測定不可
② フレームレス+ 端面シールレス	75 %	35 %	測定不可
③ Alフレーム+ ホットメルトブチル	107 %	82 %	測定不可

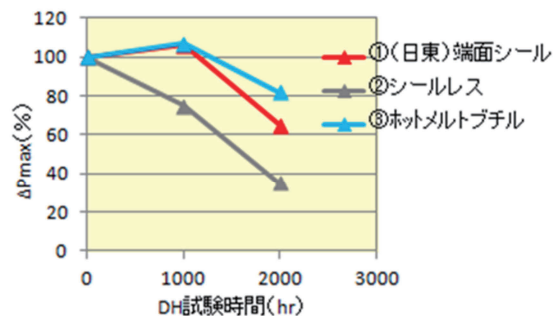


図4. DH試験後ΔP_{max}比較

図5にDH試験後のEL測定結果を示す。


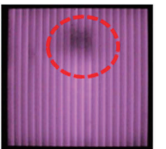
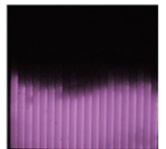

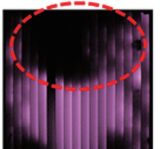
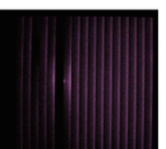
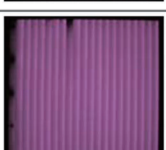
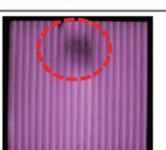
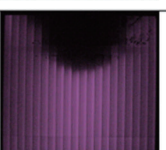
	初期	1000hr	2000hr	3000hr
①フレームレス+ (日東)端面シール				測定不可
②フレームレス +シールレス				測定不可
③フレーム付+ ホットメルトブチル				測定不可

図5. DH試験後EL測定結果

⇒ DH 試験を行った結果 (表1、図4)、1000 時間後では、②端面シールレスに比べ、①端面シールタイプや③フレームタイプ (ホットメルトブチル) では ΔP_{max} 低下がなく、端面シール材の有効性が示された。またEL測定結果 (図3) から、①端面シールレスの場合にのみ端部の暗部が観察されたことより、シール材による水分の浸入抑制が達成できていることが示唆された。

但し、2,000 時間後では ΔP_{max} が低下しており、EL 測定結果から、端子 Box 付近からの劣化が観察された。第I期での検証においても本現象が見られたため、図3に示すような配線取り出し開口部の止水対策を試みたが、DH 試験 1000 時間後から EL 測定結果に示すような端子 Box 部の劣化が観察され、2000 時間後では劣化が拡大し、さらに3000 時間後では、測定不可のレベルまで劣化が進行しており、今回のホットメルトブチルを用いた開口部の止水対策が十分でなかった結果と考えられる。

モジュール設計をするにあたっては、この端子 Box 部 (配線取り出し開口部) の止水対策が重要なポイントの1つであることが本検討を通じて分かった。

薄膜 Si 系モジュールでの (日東) 内部配線材の検討

・(日東) 内部配線材を用いた薄膜 Si 系モジュールを作製し、長期信頼性試験 (TC 試験) を実施した。

尚 400 サイクル以降は通電 TC 試験を実施した。通電条件としては、各モジュールの I_{pm} 相当の電流を連続印加した。

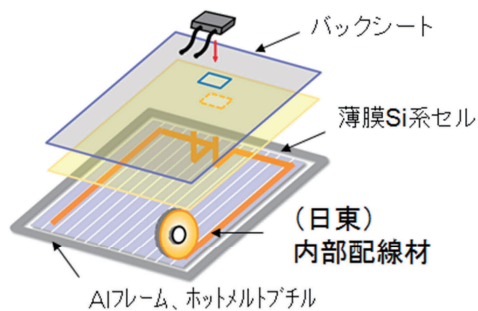


図6. 薄膜Si系モジュール構成

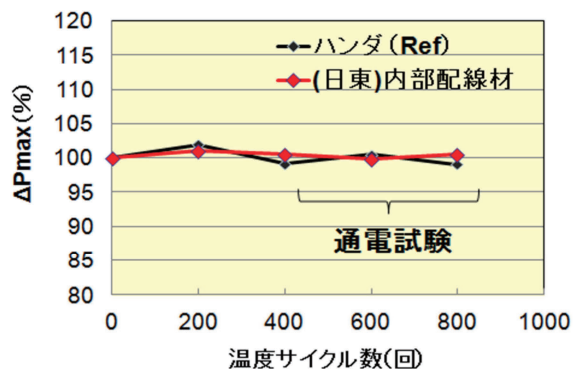


図7. TC試験後 ΔP_{max} 比較

⇒ 温度サイクル試験を行った結果、(日東)内部配線材は現行はんだ工法と同様に初期値をキープできており、日東材料の信頼性が示された。

また、実際の発電した状態を想定し、通電下での信頼性試験(400~800 サイクルまでの計 400 サイクルにて、 I_{pm} 相当の電流を印加した通電試験)を行った結果、(日東)内部配線材は、はんだと同様初期値を維持しており、実発電下での使用を想定した場合の信頼性についても確認された。

4. まとめ

第Ⅱ期コンソーシアムでは薄膜 Si 系モジュールに絞り、弊社端面シール材、内部配線材の検討を行った。

弊社端面シール材の検討では、DH 試験を行った結果、モジュール周辺部からの水分浸入による劣化は観察されず、端面シール材の有用性を確認することができた。但し、配線取り出し開口部の止水対策が十分でなく、長期での信頼性評価ができなかったことは残念であるが、モジュール設計の知見として得られたことは大きな成果である。

また、弊社内部配線材の検討では、TC 試験(400 サイクル+通電 400 サイクル)を行った結果、現行はんだ工法と同等の信頼性を確認することができた。

また、コンソーシアムで得た知見や技術を活かし、社内でもモジュール作製や信頼性評価を実施できる環境を整えることができた。これもまた、コンソーシアムで得た成果であると考えられる。今後は、この知見を活かし、さらなる信頼性向上を達成できる材料開発を行っていきたい。

I. 目的

結晶系の太陽電池の低コスト化を実現するためには、発電効率向上、製造コスト削減及び信頼性向上が必須とされる。セルの薄化に伴い、従来のはんだ接続ではタブ線接続時の熱応力がセル割れ等の要因となり、製造歩留まり低下が懸念されている。そこで、低応力かつ安定した導電接続を可能にするはんだ代替部材の開発を目的に、低温接続可能な導電フィルムの適用を検討した。本研究では、導電フィルムを用いた4セルモジュールについて長期信頼性試験を実施し、初期特性から各種信頼性試験における特性劣化を従来のはんだ接続モジュールと比較して調べた。さらに、耐候性についても評価した。

II. 研究開発目標

本研究では、以下の目標を掲げ、コンソーシアム活動に取り組んでいる。

- ① 導電フィルムを用いたモジュールの初期特性及び信頼性評価と、はんだ接続モジュールとの比較検証
- ② 各種信頼性試験における特性劣化要因と劣化メカニズムの解明

III. 研究開発の成果

導電フィルムを用いた接続プロセス

導電フィルム（以降 CF と呼ぶ）とは熱硬化性の接着フィルム内部に Ni 等の導電性粒子を分散させたもので、接着後に導電性が付与される。図1にCFを用いた太陽電池セルに対するタブ線接続について示す。相互の電気的接続は、CFをバスバー電極部へ仮圧着し（同時にカバーフィルム除去）、タブ線を供給して180℃以下の低温で熱圧着（圧着荷重：1～2MPa）することで達成される。はんだ接続に見られるフラックス残渣による周辺部汚染やはんだの濡れ不良など、信頼性に関わる初期不具合を起こすことがなく、かつ低温接続が可能であるので、今後の薄型セルへの低応力接続部材として有効であると考えられる。

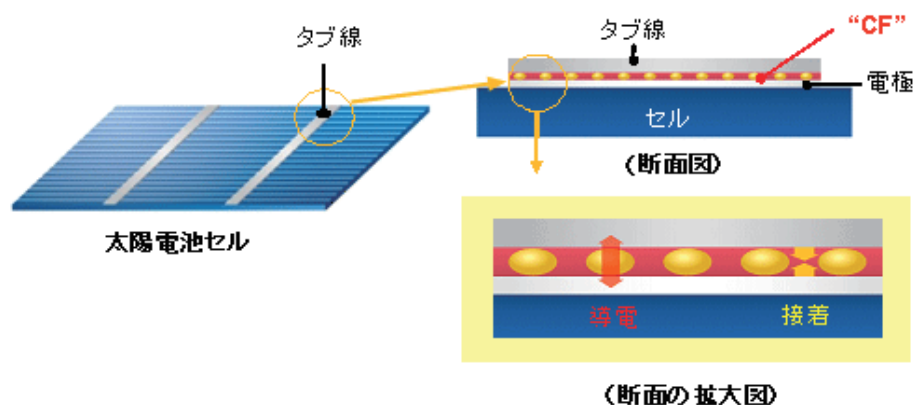


図1 導電フィルム（CF）による太陽電池セルのタブ線接続

4 セルモジュールの信頼性試験結果

IEC 規格 (IEC61730-1) に定める試験条件の中で、TC (Thermal Cycle: -40/85 °C) 試験を実施した後の I-V 特性変動を調べた。図 2 は、TC 試験による最大出力 (Pmax) 及び曲線因子 (F.F.) の初期特性を 1 としたときの変化を示す。TC 試験では、IEC 規格に定める TC 試験 50 サイクル (TC50) と HF 試験 (Humidity freeze test/ 85 °C/85%RH、20 時間⇔-40 °C) 10 サイクル実施し、その後は 200 サイクルずつ TC 試験を実施した。各試験終了の都度、特性を測定した。図中には CF とはんだ接続モジュール (各 N=3 の平均) を比較して示した。図 2 より TC50 と HF 後 TC800 サイクルまでの CF 接続モジュールの F.F. 及び Pmax の低下は、はんだ接続モジュールに比べ小さいことが分かった。

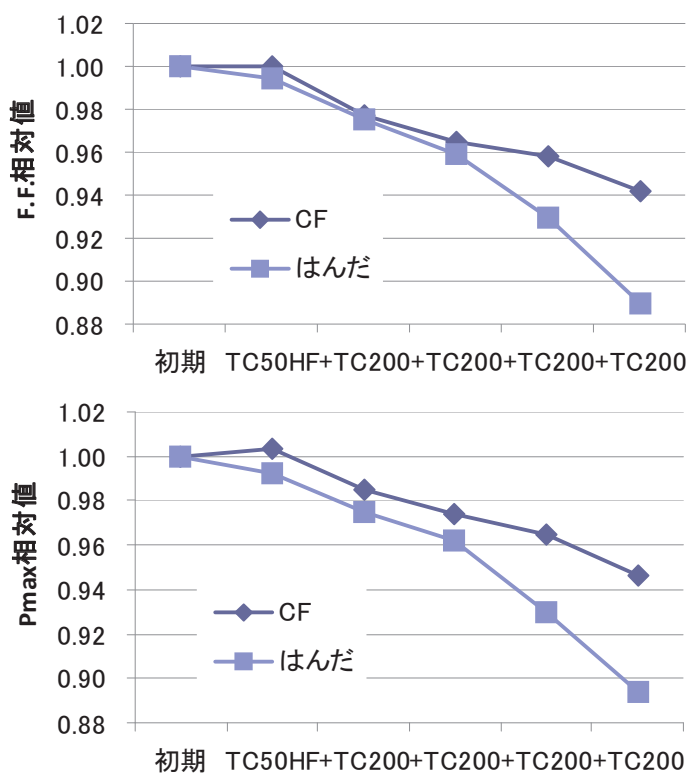


図 2 TC 試験時の特性変化

図3はTC試験の各試験サイクル数後に撮影したモジュールのEL画像である。CF接続モジュールA、B及びCについては、すべてのモジュールの各サイクルでEL画像の変化は見られないため、接続は安定な状態を保っているものとする。一方、はんだ接続モジュールについては、モジュールFでTC50とHFを実施後から部分的なEL暗部が生じ、モジュールEでTC50、HF及びTC400実施後から一部のタブ線周辺にEL暗部が生じている。このことは接続部分に何らかの劣化が生じていることを示唆するものである。

試験	CF			はんだ		
	モジュールA	モジュールB	モジュールC	モジュールD	モジュールE	モジュールF
初期						
TC50 後 HF						
+TC200						
+TC200						
+TC200						
+TC200						

図3 TC試験モジュールのEL画像

耐候性試験

最後に CF 接続モジュールの耐候性試験結果を図 4 に示す。3UV (180 W/m² (300-400 nm)) 800 時間照射において F.F.、Pmax 及び Isc に変化はなかった。

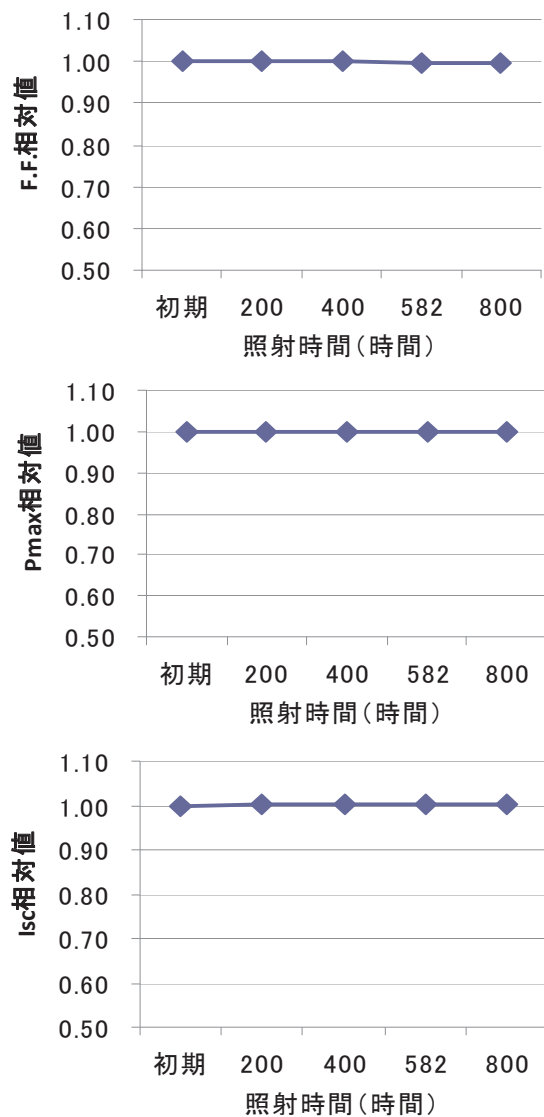


図 4 耐候性試験時の特性変化

IV. まとめ

はんだ代替の低応力接続部材の有効性を検証するために、導電フィルムを用いた 4 セルモジュールを試作し長期信頼性を評価した。その結果、TC 試験において CF 接続モジュールははんだ接続モジュールよりも特性劣化が少なく、EL 劣化が観られないことからはんだ接続モジュールと同等以上に安定した接続であることを確認した。また、耐候性試験について 3UV 800 時間における発電特性は、初期からの変化がないことを確認した。

「結晶シリコン太陽電池モジュールにおけるバックシートの水蒸気透過率に関する研究」

富士フィルム株式会社

I. 目的

第 I 期の高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム活動において、弊社は薄膜シリコン太陽電池モジュール（以下 a-Si モジュール）におけるモジュール性能とバックシート（以下 BS）の水蒸気透過率に関する研究を行い、a-Si モジュールにおいては、DH 試験 1000 時間までならば、 $10^{-2}\text{g/m}^2/\text{day}$ レベル以下、2000 時間までならば $10^{-5}\text{g/m}^2/\text{day}$ よりもさらに低いレベルが必要との結果を得た。^{*1)}

第 II 期の活動では、第 I 期に引き続き弊社のバリアフィルム作製技術と産総研の知見とインフラを活かしたテーマとして、結晶系シリコン太陽電池モジュール(c-Si モジュール)における水蒸気透過率とモジュール性能の関係に着目し、BS として必要な水蒸気透過率に対する基礎データを得ることを目的に活動を行っている。

II. 研究開発目標

c-Si モジュールの初期および湿熱(85°C85%)経時後の性能が、BS の水蒸気透過率によりどのような影響を受けるのか調査し、c-Si 向け BS の水蒸気透過率に対する設計指針を得ること。

具体的には、弊社で準備した水蒸気透過率を調整したフィルムを BS として産総研 PV コンソのインフラを使用して c-Si モジュールに組み込み、IEC の定めるモジュール認証用試験 (Damp Heat 試験 : DH 試験) に準じた 3000 時間以上の経時試験を行い、その前後でのモジュール性能の評価を行う。

III. 研究開発の成果

1. 実験

1-1)各モジュール共通条件

Q セルズ社製の 156mmx156mm 3 本バスバーの多結晶シリコンセルを使用し、産総研 PV コンソの標準部材である、AGC 社の 180mm 白板半強化ガラス、サンビック社の Fast Cure type EVA を使用して単セルモジュールを作製した。ラミネートは、産総研 PV コンソの標準条件にて行った。単セル・結晶用の標準アルミフレームを使用し、配線の引き出しは標準的な引き出し方法に従って、エッジ部分から取り出した。この際アルミフレームと配線はカプトンテープを使用して絶縁を確保した。アルミフレームとの封止は、側面からの水蒸気侵入の可能性を下げるため、c-Si 系モジュールで産総研 PV コンソの標準となっているシリコンではなく、ブチルゴムを使用した。

1-2)バックシート(BS)

今回の実験に使用した BS の基礎的な特性を表 1 に示す。弊社で準備した水蒸気透過率を調整した BS 3 種と、産総研 PV コンソ標準の c-Si 用の BS (TPT タイプ、Al 箔無し)をあわせて、合計 4 種類の BS を準備した。ここでは、接着剤の耐久性に与える影響を排除するため、バリアフィルム単体を BS として使用し、他部材との貼りあわせなどは実施しないこととした。DH 試験時間が長期間になることやセルの特性のばらつきを考慮し、水蒸気透過率を変更した BS(FF-04~06)については、それぞれ 3 枚ずつモジュールを作製した。TPT タイプは比較基準としての位置づけの為、モジュール作製枚数は 1 枚とした。

表 1. バックシートの特性一覧

BS	概要	初期水蒸気透過率 *a) (g / m ² ·day)
TPT	産総研 PV コンソ標準品	2 (公表値)
FF-04-BS	弊社準備品 (耐候性 PET 厚み 250um)	3×10 ⁰
FF-05-BS	弊社準備品	1×10 ⁻¹
FF-06-BS	弊社準備品	9×10 ⁻²

*a) カップ法もしくはモコン法による 40°C90%RH での測定値。

1-3)湿熱保存条件

弊社の恒温恒湿試験機を使用して DH 試験を行った。取り出しは 1000 時間ごとに行った。10 月時点で 3000 時間までの試験を終了した。

2. 結果

図 1、および表 2 に、DH 試験後のモジュール性能として、最大電力(Pmax)をソーラーシミュレーターにより測定した結果を初期値に対する相対値で示す。TPT タイプについては、作製した 1 枚のモジュールの相対値を Pmax 相対値とした。FF-04~06 については、それぞれ 3 枚ずつ作製したモジュールごとに相対値を計算し、その値を平均して

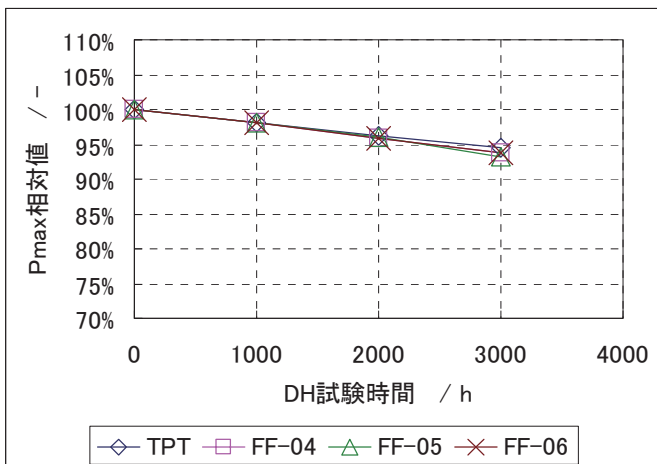


図 1. DH 試験後の Pmax の初期値に対する相対値

各 BS の Pmax 相対値とした。また、代表的なサンプルの EL 画像を図 2 に示す。

表 2. DH 試験後の Pmax の初期値に対する相対値

DH時間(h)	TPT	FF-04	FF-05	FF-06
0	100%	100%	100%	100%
1000	98%	98%	98%	98%
2000	96%	96%	96%	96%
3000	94%	94%	93%	94%

	23J480 (TPT)	23J481 (FF-04)	23J484 (FF-05)	23J487 (FF-06)
Initial				
DH1000				
DH2000				
DH3000				

図 2. DH 試験後の代表サンプルの EL 画像

DH3000 時間では、産総研 PV コンソの標準 TPT を含めいずれの BS も一樣に出力が低下しており、水蒸気透過率による影響は現時点では確認できなかった。また EL 画像も同様だった。

2-1) 今回作製品と過去作製品との比較による考察

今回の実験では、モジュールのエッジからの水分の浸入による BS の水蒸気透過率以外の影響を懸念して、ブチルゴムによる端面の封止を行った。この影響を確認するため、弊社が過去に産総研 PV コンソ標準 TPT を使用して作製した、標準的な単セルモジュール（端面をシリコンで封止）について DH 前後の Pmax の相対値の変化を図 3 および表 3 に整理した。

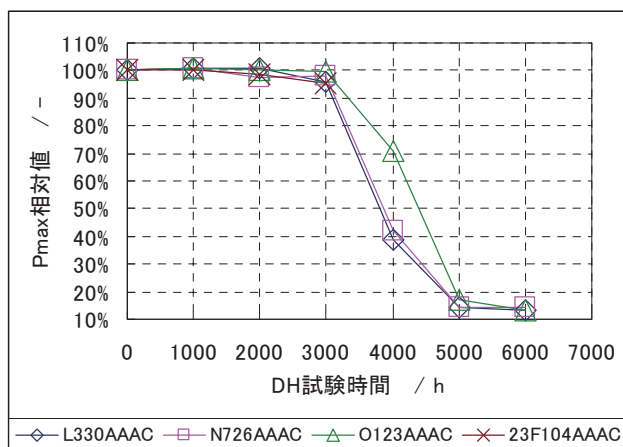


図 3. 過去の標準モジュールの DH 試験による Pmax 変化

表 3. 過去の標準モジュールの DH 試験による Pmax の相対値変化

	L330	N726	O123	23F104
0	100%	100%	100%	100%
1000	101%	101%	101%	100%
2000	101%	98%	100%	99%
3000	96%	98%	99%	96%
4000	39%	42%	71%	
5000	15%	15%	17%	
6000	14%	14%	13%	

今回の実験における産総研 PV コンソ標準 TPT 品の DH 前後の Pmax の相対値変化と比較すると、1000～3000 時間のいずれの測定においても今回作製のモジュールのほうが、過去のモジュールよりも Pmax の相対的な低下が約 2%大きかった。これは、ブチルによる側面封止の影響を示唆しているものと考える。

2-2) Pmax 変化についての考察

図 4 に、今回の DH 試験 3000h での Pmax の初期に対する変化率 (ΔP_{max}) に対する、開放端子間電圧の変化率 (ΔV_{oc})、短絡電流の変化率 (ΔI_{sc})、フィル・

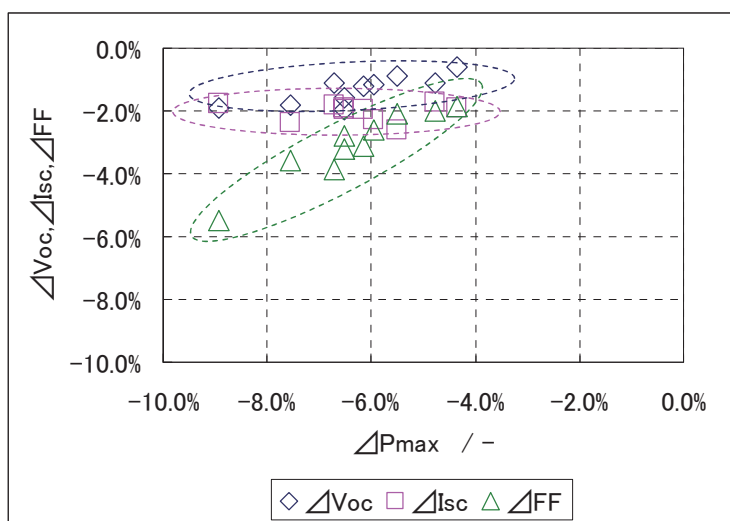


図 4. ΔFF と、各種パラメータとの関係

ファクタの変化率 (ΔFF) の各特性の相関関係を示したグラフを示す。相関関係を調べるため、 R^2 値を計算すると、 ΔP_{max} と ΔI_{sc} 、 ΔV_{oc} とはそれぞれ 0.005、0.67 であったのに対し、 ΔFF とは 0.90 となり、いわゆる FF モードでの劣化が進んでいることがわかった。これは、直列抵抗の増加が原因とされ、通常はバスラインの接合部半田の劣

化が原因とされている*2)。また、水蒸気透過率に差のあるサンプルを使用しているにもかかわらず、3000h まで Pmax の低下に差がでていないことから、少なくとも DH 試験 3000h までは、BS からの水蒸気透過以外の要因が律速過程となり直列抵抗の増加が進んでいるものと考える。

IV. まとめ

水蒸気透過率を調整したフィルム単体を BS としてモジュール化し、DH 試験によるモジュールの Pmax の変化を調査した。少なくとも 3000 時間までの試験結果では、いずれのサンプルも一様に Pmax が低下しており、BS の水蒸気透過率の差による影響は確認できなかった。

今後標準モジュールの出力劣化が本格的に始まる 4000h 以上のデータ取得を目指し、実験を継続する。

参考文献

- *1) 第 I 期 高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム 成果報告書
- *2) 阪本, 応用物理, 第 79 巻, 第 5 号, 2010 年 pp440-443

「ハイミラン ES を使用したモジュールの実証試験」

三井・デュポンポリケミカル株式会社

I. 目的

太陽電池封止材はセルの保護と同時に透明性や耐電圧性、長期耐久性が必要とされ、更にコスト低減の為に材料の汎用性とモジュールの生産効率が問題となる。当社は自社開発封止材「ハイミラン ES」を使用し、実際に太陽電池モジュールの長期耐久性を確認して、市場からの要望が強い長寿命化への展望を得られるどうかを確認する目的で本コンソーシアムに参加した。第Ⅱ期では一般的な、AI フレームを用いた封止材に EVA を使用した標準モジュールとの比較に加え、フレームの無い合わせガラス構成における調査も行ったため報告する。

II. 研究開発目標

当社封止材「ハイミラン ES」の性能確認

- ・成形条件の最適化(モジュールのラミネート条件)：セル割れ無し，残留気泡無し
- ・加速試験の実施：DH 試験, TC 試験(通電有無), HF 試験
- ・シール, フレーム無しでの性能影響確認
- ・バックシートの影響差 確認(水蒸気透過性の差, AI 層有無, ガラス使用)
- ・封止材の透明性, 光透過性が発電性能に及ぼす影響確認
- ・超加速試験や新規耐久性試験
- ・開発品の評価
- ・ホットスポット影響試験

III. 研究開発の成果

<(1)長期耐久試験:c-Si 4セル系モジュール>

提供標準部材の内、封止材「ファーストキュア EVA」のみ当社品「ハイミラン ES」に置き換えた c-Si 4セル系標準モジュールを作製し長期試験(ダンプヒート、サーマルサイクル、結露凍結)を実施。バスバー配線本数、インターコネクター、Box 等 若干の差がある中での比較。耐久試験における性能維持性の目安は Pmax. 低下率 < 5%とした。

[試験モジュールの構成概略]

白板半強化ガラス / 封止材 / c-Siセル(156mm 角)×4 / 封止材 / TPT
シリコンシール/AI フレーム有り
封止材:ファーストキュア EVA(比較品), 当社封止材①

【加速試験の実施 : DH 試験, TC 試験(通電有無), HF 試験】

(c-Si 4セル系 ダンプヒート試験) 表 1, 図 1

封止材にファーストキュア EVA を用いたモジュールの発電効率低下に比べ、当社封止材①モジュールは DH4000 時間時点で Pmax.低下率 5%以内を維持していることを確認した。

表 1. ①モジュールの DH 試験

	Pmax / W
初期	14.76
DH1000	14.93
DH2000	14.65
DH3000	14.47
DH4000	14.42
変化率/%*	-2.30

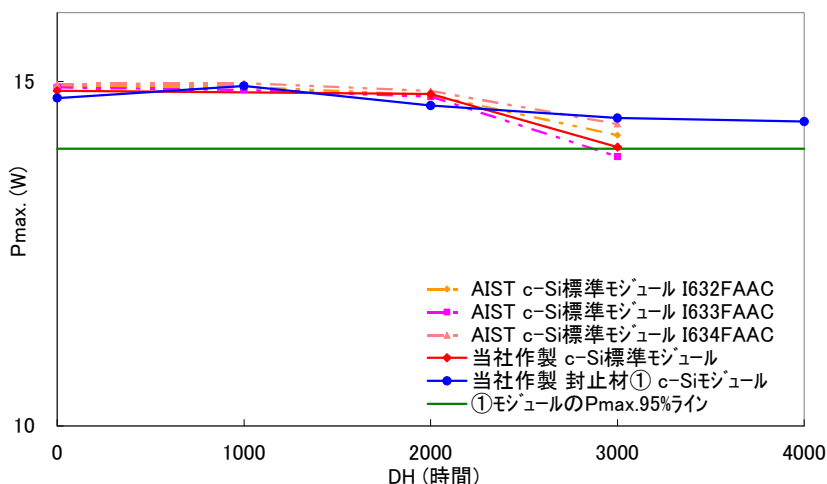


図1. DH試験の影響(Pmax.)

(c-Si 4セル系 サーマルサイクル(TC)/ 結露凍結(HF) 試験) 表 2, 図 2, 表 3, 図 3

通電無しでは TC50/HF10, TC400 時点で Pmax.低下率は 5%以内の維持が確認され、通電(初期 Ipm 8.04A)有りでも 600 サイクルまで性能維持が確認された。

表 2. ①モジュールの TC/HF 試験

	Pmax / W
初期	14.59
TC50/HF10	14.77
TC250	14.43
TC450	14.47
変化率/%*	-0.82

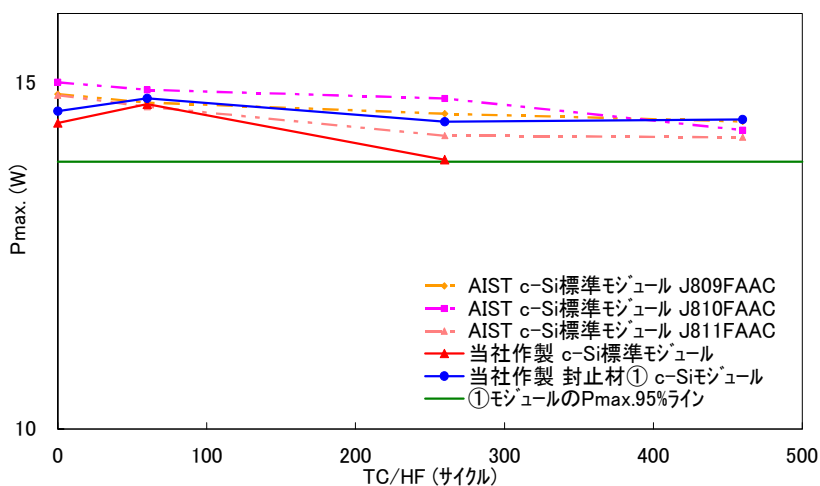


図2. TC/HF試験の影響 (Pmax.)

表 3. ①モジュールの TC(通電)試験

	Pmax / W
初期	14.65
TC200	14.41
TC400	14.41
TC600	14.39
変化率/%*	-1.77

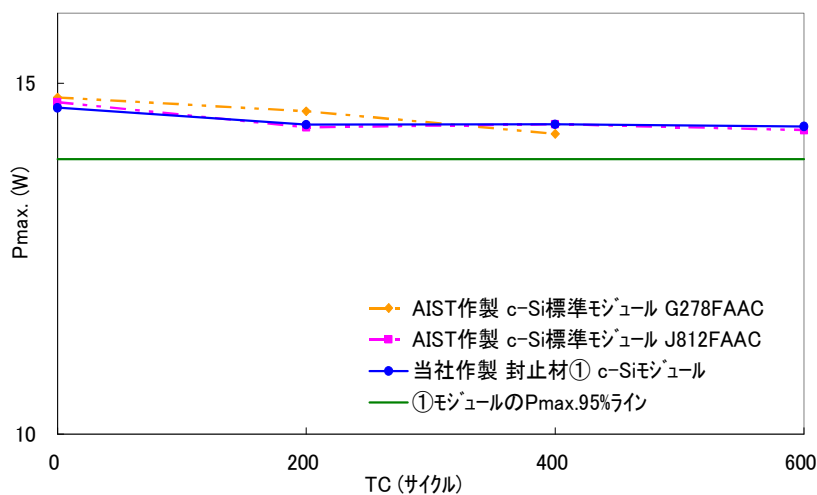


図3. TC(通電)の影響 (Pmax.)

<(2)長期耐久試験:フレーム無し、c-Si 1セル系モジュール>

提供標準部材の内、封止材「ファーストキュア EVA」のみ当社品「ハイラン ES」に置き換えた c-Si 1セル系合わせガラス構成のモジュールを作製し、長期試験(ダンプヒート、120°C加熱試験)を実施。シール剤、Al フレームの無い構成における発電効率の変化を調査。さら 120°Cで長期加熱試験によりホットスポットの影響を調査。耐久試験における性能維持性の目安は Pmax.低下率 < 5%とした。

[試験モジュールの構成概略]

白板半強化ガラス / 封止材 / c-Siセル(156mm角) / 封止材 / 白板半強化ガラス
封止材: 当社封止材② (開発品)

【加速試験の実施 : DH 試験, 120°C加熱試験】

(c-Si 1セル系 ダンプヒート試験, 120°C加熱試験) 表 4, 図 4

シール剤、Al フレームの無い合わせガラス構成のモジュールにおいて、当社封止材②モジュールは DH2000 時間時点で Pmax.の低下率 5%以内を維持していることを確認した。また、120°C加熱を継続した試験においても、当社封止材②モジュールでは性能劣化の無いことを確認した。

表 4. ②モジュールの DH、加熱試験

	Pmax / W	
	DH	120°C加熱
初期	3.515	3.460
DH500	3.760	3.725
DH1000	3.600	3.550
DH2000	3.605	3.505
変化率/%*	2.56	1.30

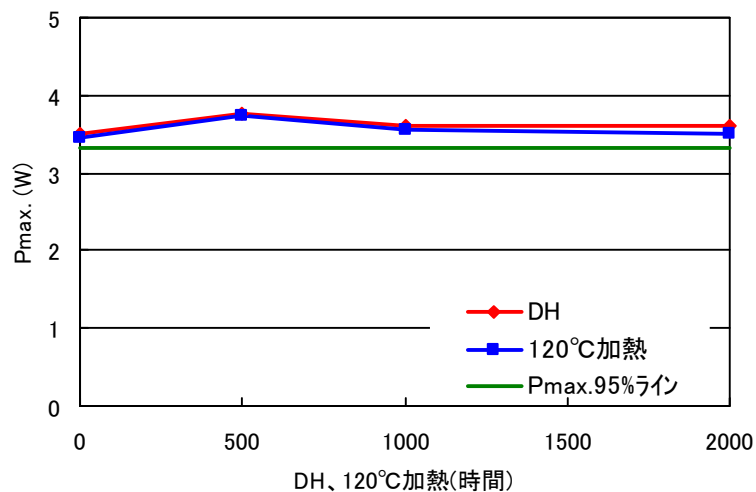


図4. DH試験、120°C加熱試験の影響(Pmax.)

$$* \text{変化率}/\% = \frac{\text{Pmax. (2000時間後)} - \text{Pmax. (初期)}}{\text{Pmax. (初期)}} \times 100$$

IV. まとめ

当社封止材①、②を用いた c-Si モジュールでは DH4000 時間, TC50/HF10+TC400, TC(通電)600 を経過しても、Pmax 低下率は 5%以内に維持された。また、フレームを使用していない合わせガラス構成においても DH2000 時間、あるいは 120°C加熱試験後の Pmax 低下率は 5%以内であり、c-Si 系モジュールに対する実用性が十分にあるとの裏付けが得られた。

今後、長期耐久試験を継続し、当社封止材のモジュールとしての耐久性に関して優位性を見出ししていく。

I. 目的

太陽電池モジュール部材であるバックシートに焦点を絞り、バックシート材料による発電への寄与あるいは、バックシートの劣化とモジュールの出力特性低下の相関について調査する。この調査によって得られた太陽電池モジュールの劣化挙動と劣化メカニズムをもとに、長期安定稼働に必要なバックシートの最適材料および構成について提案することを目的とする。

II. 研究開発目標

耐久性、反射率の異なるバックシート、および接着剤層を構成中に含まないバックシートの計 5 種類と産総研標準モジュール（バックシート：TPT）にて 4 セルモジュールを作製し、85°C85%RH の湿熱促進試験（以下、DH）を n=3 で実施、-40°C から 85°C の温度サイクル試験（以下、TC）、および -40°C から 85°C85%RH の結露凍結試験（以下、HF）を n=1 で実施する。また、各バックシートのフルモジュールを作製し、DH 試験を n=1、TC、HF 試験を n=1、屋外曝露を n=1 で実施する。

得られた結果からバックシートのモジュール性能への寄与やバックシートの部材劣化とモジュール出力特性との相関について調査し、最終目標としてバックシートの材料および構成とモジュールの出力低下因子との関係を見出す。

III. 研究開発の成果

1) サンプル内容

表. 1 バックシートの基本構成と特性

サンプル名	層構成	耐久性*1)	反射率*2)
構成①	特殊コート/PET①/特殊オレフィン①	2	2
構成②	特殊コート/PET②/特殊オレフィン①	1	2
構成③	特殊コート/PET①/接着剤/特殊オレフィン②	2	1
構成④	特殊コート/PET②/接着剤/特殊オレフィン②	1	1
TPT	PVF (38 μ m) /接着剤/PET (250 μ m) /接着剤/PET (38 μ m)	-	-

構成④を基準として評価し、基準：1、基準より優：2 で標記

*1) : バックシートを 85°C85%RH2000h に投入した際の引張伸度の保持率により評価

*2) : バックシートの 400nm-1200nm の反射率により評価

2) 4セルモジュール評価

4セルモジュールの初期の最大電力値 (P_{max}) を図1に示す。構成1、2が高く、TPT、構成3、4の順となった。 P_{max} のパラメーターの1つである開放電圧 (V_{oc}) はすべて同じ結果となったが、図2に示す短絡電流値 (I_{sc}) は、構成1、2 > 構成3、4 > TPTの順となった。 I_{sc} はセルに照射される光量に依存しており、反射率の結果(構成1、2 > 構成3、4)と同様な傾向を示したため、反射率の高いバックシート程、 I_{sc} 値が高くなったと考えている。一方で、構成3、4とTPTの P_{max} と I_{sc} の傾向が一致しなかった。そこで、図3に示すフィルファクタに着目すると、構成3、4が他の構成より低い値を示した。その理由として、FFは使用したセル、配線等の品質やはんだによる接続時の影響を受けるため、バックシートの反射率より使用した部材の影響が大きかったと考えている。

図4はDH1000h後の P_{max} の維持率を示す。 P_{max} は95%以上であり、FFも同等の結果となり、EL画像や外観上も不具合は確認されなかったため、継続して促進試験を行っていく。

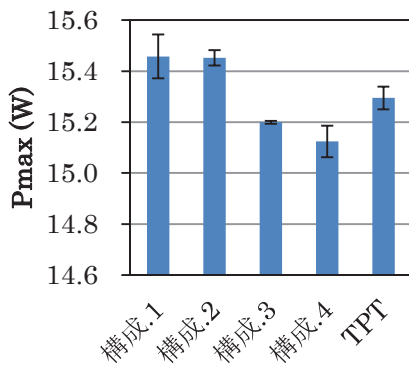


図1 初期の P_{max}

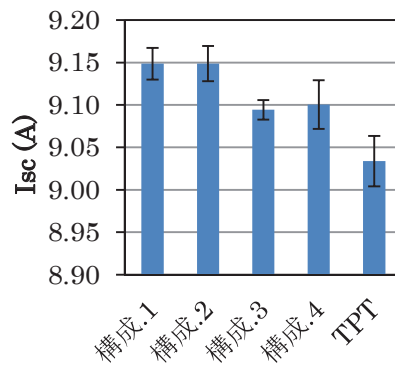


図2 初期の I_{sc}

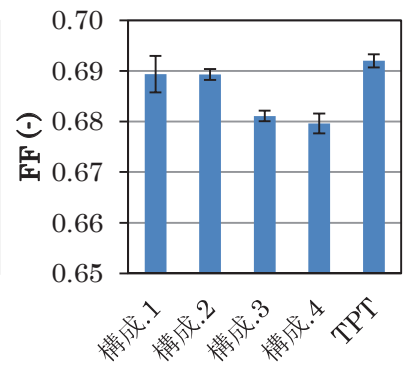


図3 初期の FF

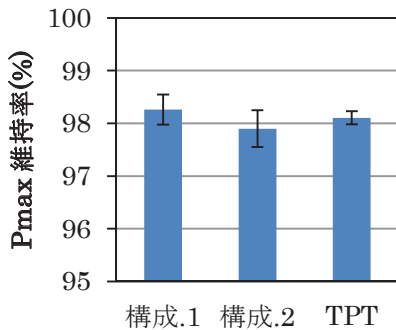


図4 DH1000h後の P_{max} 維持率

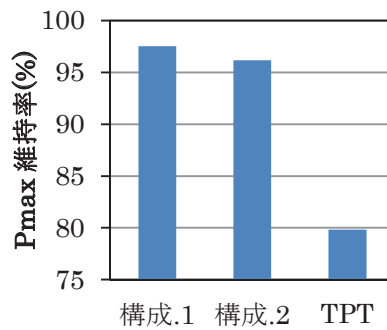


図5 TC/HF後の P_{max} 維持率

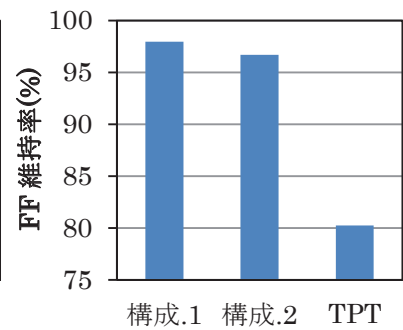


図6 TC/HF後の FF 維持率

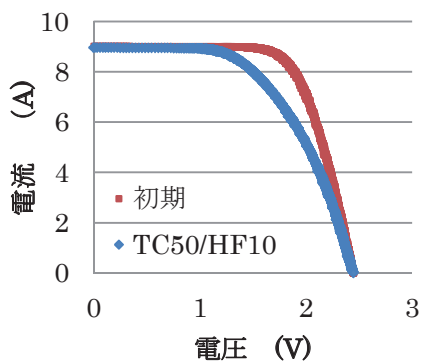


図7 TPTモジュールのIVカーブ

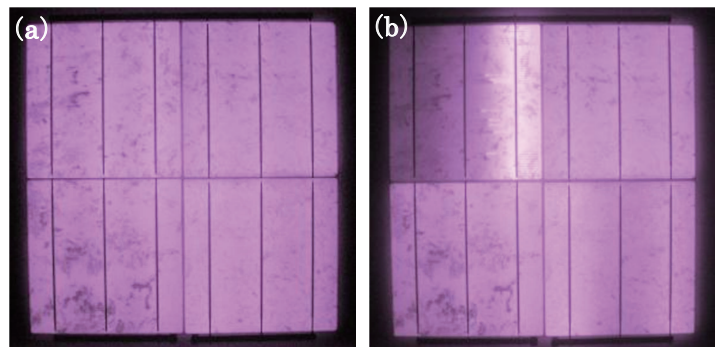


図8 TPTモジュールにおけるTC50/HF10前後のEL画像
(a) 初期、(b) TC50/HF10後

一方、TC50 サイクルと HF10 サイクル後では標準バックシート (TPT) を用いたモジュールのみ Pmax、FF の維持率に著しい低下が確認された (図 5、6 参照)。図 7 に示す IV カーブを確認すると、直列抵抗の増加に由来による IV カーブの変化が確認され、直列抵抗の値が 0.05Ω から 153Ω に増加していた。図 8 には、促進前後の EL 画像を示す。促進後の EL 画像を確認すると、左上セルの 3 本バスバーの左側付近が暗く、右側のバスバー付近は他のセルに比較して、明るくなっていることが観察された。促進試験により、バスバー上のタブ線接着部の不具合もしくは横タブ線のはんだ接合部の不具合が発生し、電流に偏りが生じたものと推測される。TPT を用いたモジュールのみで不具合が見られたが、バックシートの違いによる影響ではないと考えている。

TPT 以外のモジュールについては引き続き TC の試験に投入し、部材の劣化とモジュール特性の劣化について調査を行っていく。

3) フルモジュール

図 9 には、フルモジュールの Pmax 値を示す。4 セルモジュールの評価では反射率の高い構成 1 の Pmax が高かったにもかかわらず、フルモジュールの評価では反射率の傾向と

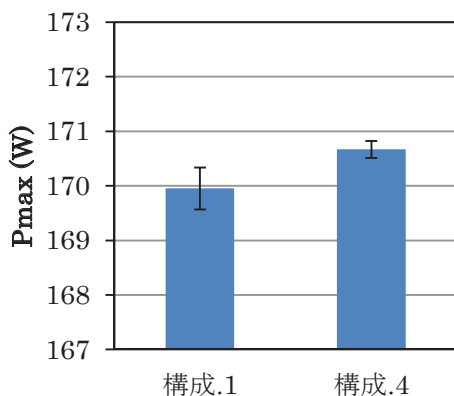


図9 初期の Pmax

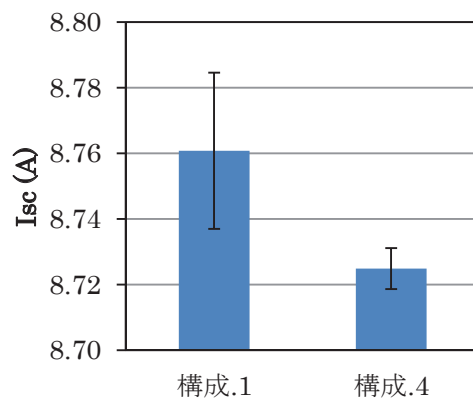


図10 初期の Isc

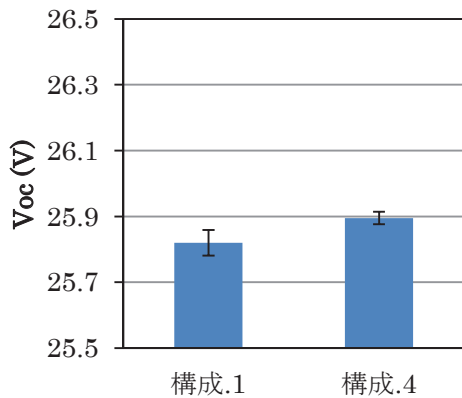


図 11 初期の Voc

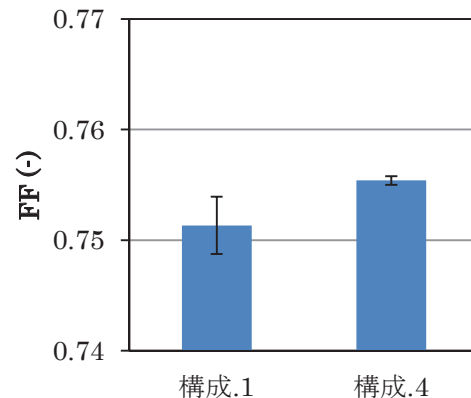


図 12 初期の FF

は異なる結果となった。図 10 に示す I_{sc} は反射率と同じ傾向であることから、図 11 や図 12 に示すように Voc や FF の方が P_{max} に対して大きな影響を与えたと考えている。フルモジュールは現在 DH および TC50/HF10 の促進試験に投入されており、4 セルモジュールとの比較を行っていく。また、実曝露へ投入し、促進試験と実曝露との相関性についても調査を行っていく。

IV. まとめ

4 種類の自社製バックシートと標準バックシート (TPT) を用いて 4 セルモジュールを作製した。また、2 種類の自社製バックシートを用いてフルモジュールの作製を行った。

初期特性を比較すると、反射率の高いバックシートほど I_{sc} が高くなり反射率との相関性が確認された。また、TC50/HF10 では標準モジュール (バックシート : TPT) で出力の低下が確認された。EL 画像の結果から、バスバー上のタブ線接着部の不具合もしくは横タブ線のはんだ接合部の不具合が発生したのではないかと推測される。TPT を用いたモジュールのみで不具合が見られたが、バックシートの違いによる影響ではないと考えている。

また、現段階では促進時間が短く、モジュールの性能劣化はまだ確認されていないため、引き続き促進試験を行なう。今後はバックシートの耐久性や接着剤層の有無によるモジュール性能への影響を中心に調査を行っていく。