

第 4 章

参加機関の研究成果

「光硬化FRPシートを用いた太陽電池設置工法の開発」

旭化成ケミカルズ株式会社

I. 目的

太陽電池の新規設置工法及び設置用部材の開発

土木建築用途向けでの使用実績のある光硬化FRPシート（商品名：AFRシート、旭化成ジオテック（株））の技術に応用し、太陽電池（主にフレキシブルモジュール）の貼付け設置工法を開発し、これまで設置対象とならなかった場所に基礎工事や孔を開けることなく太陽電池を施工する技術を開発する。

※AFRシートの土木建築向け用途：トンネル内や高架橋のコンクリート剥落防止ライニング、老朽化した下水道のライニング、ガソリタンク漏洩防止ライニングなどに使用中。

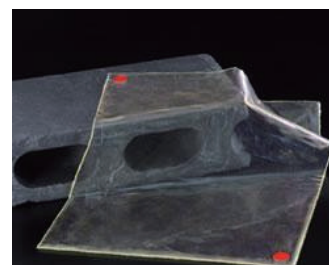


写真-1

光照射20分で硬化・接着するAFRシート

II. 研究開発目標

1. 太陽電池の貼付け施工に適するよう透明性を高めた試作シート（AFR-PV）の特性調査

- (1) 太陽電池発電効率に与える影響調査
- (2) 屋外曝露試験による耐環境性調査
- (3) 加速耐光性試験によるシート寿命の推定
- (4) シートの水蒸気透過率計測

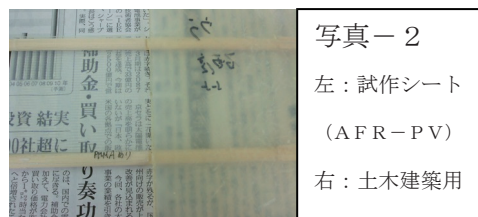


写真-2

左：試作シート
(AFR-PV)
右：土木建築用

2. コンクリート板への施工及び、屋外曝露試験（九州センター）の開始

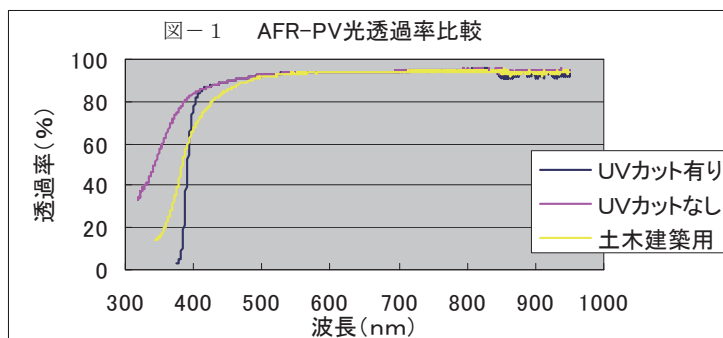
- (1) 曲面を持つコンクリート板へフレキシブルモジュールを貼付け施工
- (2) 軽量気泡コンクリート板へフレキシブルモジュールを貼付け施工

III. 研究開発の成果

1. 透明性を高めた試作シート（AFR-PV）の特性調査

(1) 太陽電池発電効率に与える影響調査

産総研ソーラーシミュレータ及び分光光度計（当社持込機器）を用いて光透過率を計測した結果を図-1に示す。



400～900nmの平均光透過率93.0%を得た。

既製品の土木・建築用AFRシートに比べ、短波長側の透過率が改善されていた。

モジュール表面にAFR-PV貼付け及び、UVカットコート等を塗布して出力変化を計測し、シートの影響を見ることが出来ると思われるISC（短絡電流）とEff（発電効率）について以下の結果を得た。〔コンソーシアム標準 単結晶単セルモジュール使用〕

表-1 出力変化 産総研ソーラーシミュレータ（YSS）使用

モジュール表面加工状態	ISC保持率	Eff保持率	試験数
AFR-PV貼付け	98.1%	99.0%	n=4
AFR-PV貼付け+UVカットコート	97.2%	97.8%	n=5
最表面防汚コーティング施工	変化なし	変化なし	n=5

(2) 屋外曝露試験による耐環境性調査

表-1の実験に使用した、表面にAFR-PV等を貼付けたモジュールを使用し、屋外曝露試験を行った。出力端子間はオープン。

約1ヶ月毎にソーラーシミュレータにてI-Vの計測を行い、1年間の経時変化の調査を行った。

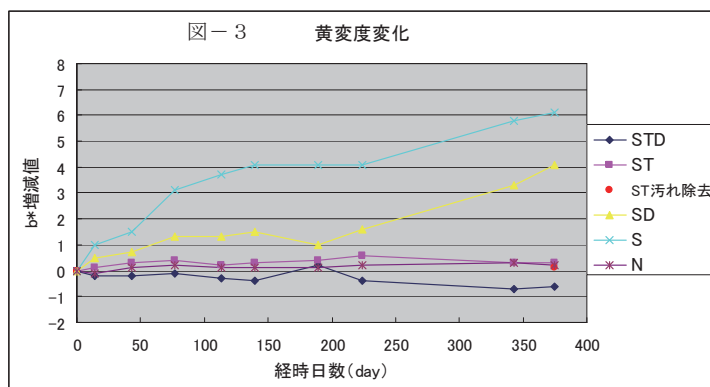
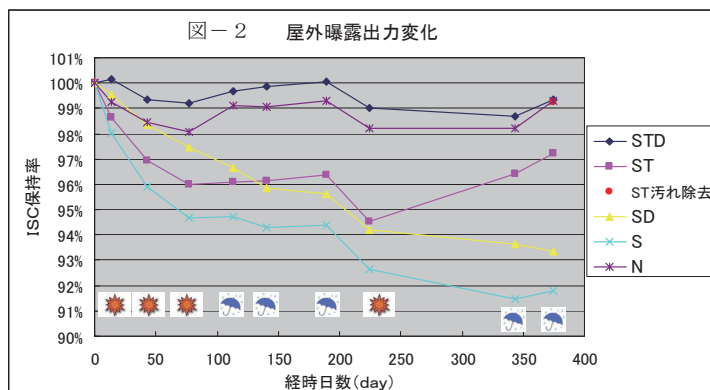
※I-V測定時は防汚コート材の効果を調べるため、表面の汚れは拭取らずに実施した。

ISC保持率の変化を図-2に示す。

L*a*b*表色系による黄変度の変化を図-3に示す。



写真-3
産総研屋上 屋外曝露試験設置状況（太陽光追尾架台使用）



記号の説明

- N：単セルモジュールのみ
 - S：表面にAFR-PV貼付け
 - T：UVカットコート塗布
 - D：防汚コート塗布
 - ☀：晴れの日が続いた後に測定
表面に砂埃あり
 - ☔：測定当日又は前日に雨
表面の埃が洗い流されていた
 - ST汚れ除去：1年経時後ST品（AFR-PV貼付け+UVカットコート塗布）の表面を洗浄剤入りウエスで汚れを拭取った後に計測
- 〔2010年6月9日から2011年6月22日まで曝露〕

今回試作したAFR-PVシートは、図-3に見られるようにUVカットコートを施さないで1年の屋外曝露でも黄変を引き起こし、数%のISCの低下が発生することが確認された。

UVカットコートを施したものは、見た目の黄変はないが表面に汚れが付きやすく、晴れが続いたときは4%程度、雨で汚れが洗い流された後でも2%程度のISCの低下が見られる。

試験に使用したUVカットコートは、ウレタン2液型であり、フッ素系1液コート材より耐候性が良好な実績があるが、今回の試験に用いたのは更に耐候性の優れた硬化剤と組み合わせた試作品である。

図-3のST、STDのデータより、本UVカットコート材を使用することで1年の屋外曝露では黄変を抑えることが出来ていた。

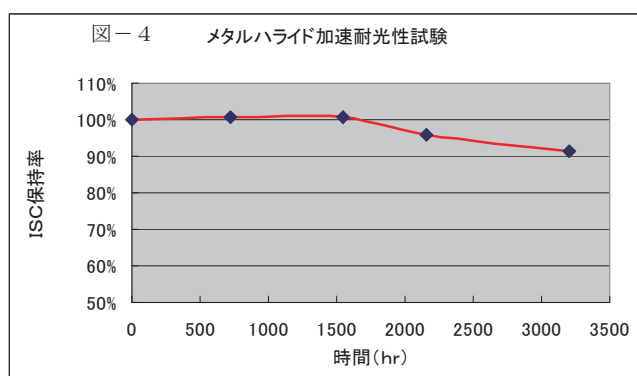
防汚コートは、光触媒配合の親水性コート材を用いた。(親水性であり、シート表面の帯電防止により埃の吸着を防ぎ、付着した汚れは雨で洗い流す効果と光触媒効果による分解除去の効果がある。九州センター屋外曝露試験では、試験品の上に鳥の糞を落とされたが2ヶ月で消滅した。)晴れが続いた日でも表面汚れの付着が目立たず、図-2のSTDのデータで汚れによるISCの低下がほとんど見られない効果があることが判った。

※黄変度の計測はコニカミノルタ製CR-13測色計を使用

L*a*b*表色系については、コニカミノルタのホームページを参照。

(3) 加速耐光性試験によるシート寿命の推定

耐光性試験は産総研のダイプラ・メタルウェザーSuper Win Miniを用いた。試験条件は、メタルハライド照射5UV、温度63℃、湿度コントロールなし。



3200hrまで試験を実施した結果、ISCが9%低下した。屋外曝露との黄変速度比から約30倍の加速試験と推定される。(屋外11年相当)

図-4に示すとおり、1500hrまではISCの変化は無かったが2100hr経過時には黄変の進行が見られ、ISCが低下していた。



写真-4
1年曝露後ST品の表面汚れ

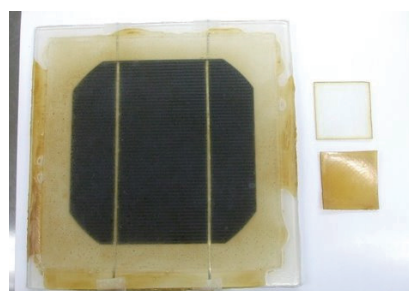


写真-5
左：3200hr試験後のAFR-PV貼付けモジュールUVカットコート処理
右上：UVカットコート処理AFR-PV
右下：UVカット処理なしAFR-PV

但し、黄変はモジュールやAFR-PVシートではなくシートの貼付け作業の容易化や接着強度の向上を目的としたプライマーによるものであった。

写真-5の右上に見られるUVカットコートを施したAFR-PVシート単品（4cm角）は3200hr経過後も黄変の進行は少ないため、耐光性の良いプライマーを使えば更なる寿命の延伸が期待できる。

（４）シートの水蒸気透過率計測

測定は、産総研所有のイリノイ製 Model 7000 を用い下記の結果を得た。

- ・AFR-PV（厚み1mm）：平均1.34g/m²・day n=2
- ・AFR-PV+UVカットコート：平均1.46g/m²・day n=2

2. コンクリート板への施工及び、屋外曝露試験（九州センター）の開始

2010年12月より、産総研九州センター屋外曝露試験場にてコンクリート板へ市販フレキシブルモジュールをAFR-PVを用いて貼付け施工した試作品の試験を開始した。

写真-6は2011年7月に追加設置した試験品である。

プライマーは高耐光性品に変更済み。

曲面の付いたコンクリート板及び、軽量気泡コンクリート（旭化成建材製ヘーベルライト）へ施工を行った。

今後、外観の変化と可搬式I-Vテスターで出力測定の実験を長期に行う。

尚、架台前で旭化成ジオテック（株）が販売している防草シートの試験設置も行っており、メガソーラー発電所などの長期の雑草対策に有効ではないかと考えている。



写真-6
産総研九州センター屋外曝露試験
場で試験中のAFR-PV貼付け
モジュールと防草シート

IV. まとめ

コンソーシアム第I期への参加目的は、新たに考えた設置工法用の部材の評価（フィージビリティスタディの検討）であり、弊社では太陽光発電の試作評価設備を持たないため、産総研の設備を利用し試験を行うことになった。

試作したAFR-PVシートを試験した結果、フレキシブルモジュールの設置に十分使える能力があり、土木建築用シートの実績から今まで太陽電池が設置出来なかった場所（壁面や脆弱な屋根）への設置を可能にし、太陽光発電の普及拡大に役立つ技術であると認識することが出来た。目標達成度としては満点を与えたい。

今後の課題としては、信頼性試験を継続して評価していくと共に、屋外の高所作業に適した製品仕様を確立してAFR-PVを早期に市場に出したいと考えている。

「ガラスシールによる太陽電池モジュールの長寿命化」

旭硝子株式会社

I. 目的

太陽光発電は地球温暖化問題、資源枯渇問題を解決するための有力な次世代エネルギーであり、本発電システムが大幅に普及するためには、グリッドパリティ(既存電力と等価になること)の実現が不可欠である。このためには変換効率の向上や材料コストの低減に加え、太陽電池 (PV) モジュールの信頼性向上および長寿命化が極めて重要となる。ここで、PV モジュールの信頼性低下原因としては、これまでの研究により^{1),2)}、モジュール内部への水分浸入が強く関与していることが報告されている。したがって、モジュール内部への水分浸入を抑制することにより、モジュールの長期信頼性向上および長寿命化が可能となると考えられる。

図1(a), (b)に、現行薄膜シリコン太陽電池の構造概略図を示す。本構造において、バックシートとして樹脂材料が用いられる場合(図1(a))、材料自身の水蒸気透過度が極めて高いことから、バックシートを介してモジュール内部に水分が浸入する。また、図1(b)に示すように、樹脂バックシートの代替として水蒸気透過度が極めて低いガラス³⁾基板を用いた構造とすることにより、バックシート面からの水分浸入は防止可能となるものの、依然、端面からの水分の浸入を抑制することは困難である。現行太陽電池モジュールの多くは、ブチルゴムやシリコーンゴムなどの樹脂材料をベースとした端面シール材が付与されているが、これらのシール材の水蒸気透過度は $10^{-1} \sim 10 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ ⁴⁾と高く、モジュール内部への水分浸入抑制は不十分、というのが現状である。

そこで、当社ではガラス材料をエッジシール材として用いた完全ガラス封止構造を提案している。表1と図1(c)に樹脂シールに対するガラスシールの特徴およびそのモジュール構造を示す。ガラスシールの最大の特徴は、水蒸気透過度が $10^{-6} \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ と樹脂シールと比較して格段に低い点である³⁾。したがって、本封止構造を用いれば、原理的に外部からの水分浸入を完全に防ぐことが可能となり、太陽電池モジュールの長期信頼性向上実現が可能となると考えられる。本コンソーシアムでは、完全ガラス封止構造による太陽電池モジュールの長期信頼性向上効果について検討を実施する。

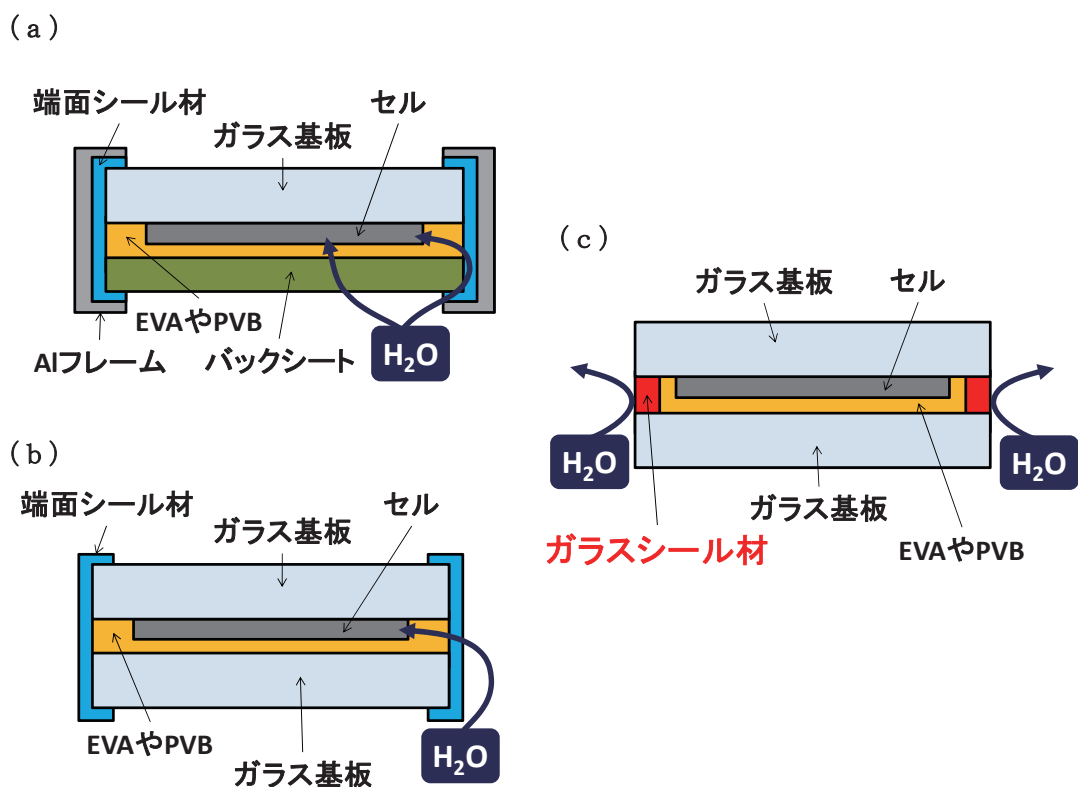


図1 (a) 現行の薄膜シリコン太陽電池モジュール構造 [ガラスバックシート構造]
 (b) 現行の薄膜シリコン太陽電池モジュール構造 [ガラスーガラス構造]
 (c) ガラスシールを用いた薄膜シリコン太陽電池モジュール構造

表1 樹脂およびガラスシール材の比較³⁾

項目	シール方法	樹脂シール	ガラスシール
水蒸気透過度(g/m ² ・day)		10 ⁻³ ~10 ⁻¹	~10 ⁻⁶
Ca 腐食法による信頼性試験 60℃、90%RH 雰囲気下		300 時間以下*	10,000 時間以上*

* Ca 膜の初期透過率の変化率が 100%を超えた時間を耐久時間と定義した

II. 研究開発目標

ガラスシールモジュールとコンソーシアム標準モジュール⁵⁾の Damp Heat 試験 (恒温恒湿試験; 85℃/85%RH) の結果を比較検討することにより、完全ガラス封止構造による太陽電池モジュールの信頼性向上および長寿命化効果について研究する。

Ⅲ. 研究開発成果

【評価サンプルの作製】

図2に評価サンプルの作製プロセスを示す。まず、ガラスシールエリアを確保するため、コンソーシアム支給薄膜シリコン太陽電池（185×185×5mm）の端部をウェットエッチングで除去した（エッチング除去幅：25mm）。エッチング後の太陽電池の写真を図3（左）に示す。次に、あらかじめガラスシール材を塗布・乾燥しておいた対向基板（185×185×2.8mm）と薄膜シリコン太陽電池基板とを貼り合わせた。ここで、本研究で用いたガラスシール材の軟化温度は400～500℃近傍であることから、太陽電池セルへの熱ダメージを避けるため、ここでは局所加熱によりガラスシール材を選択的に溶融し基板ガラスと融着させた³⁾。ガラスシール後の太陽電池の写真を図3（右）に示す。これにより、太陽電池セルに熱ダメージを全く与えることなく気密封止することに成功した。

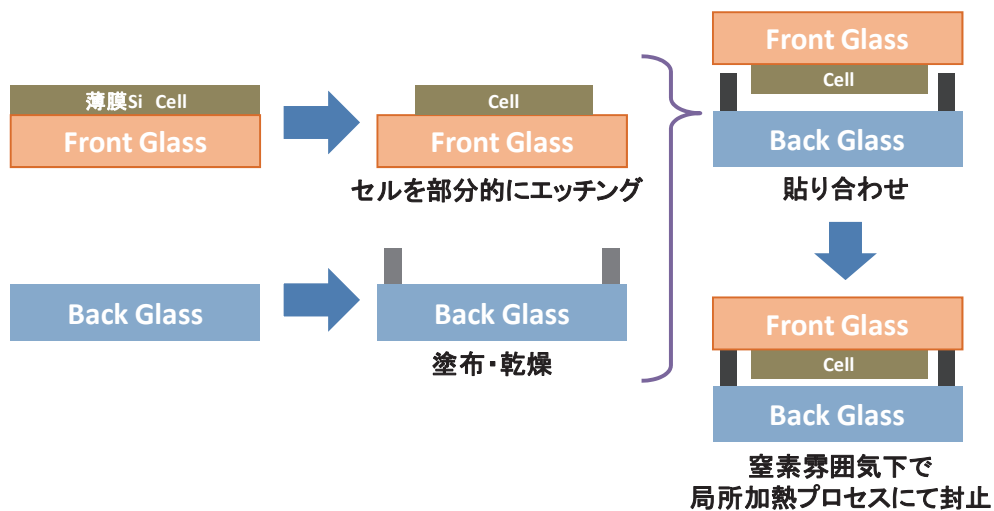


図2 ガラスシール薄膜シリコン太陽電池サンプルの作製プロセス

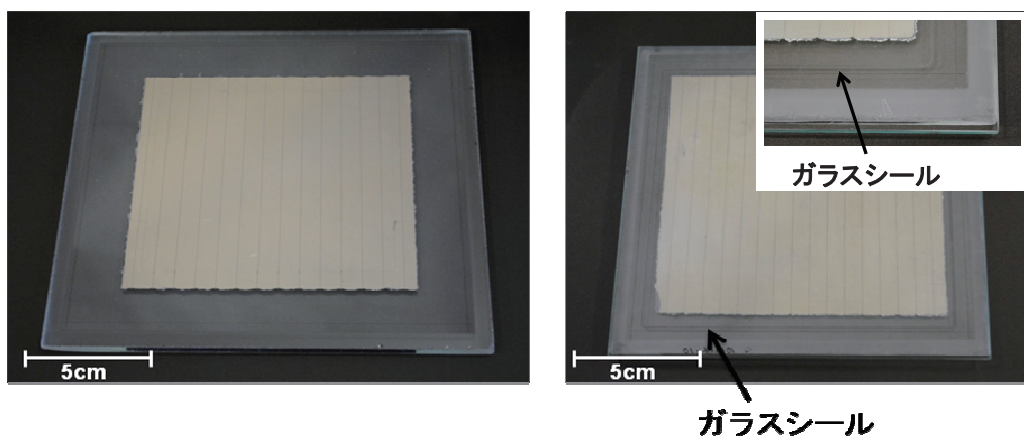


図3 (左)セルを部分的にエッチングした後の写真
(右)ガラスシール後の写真 (右上) シール部の拡大写真
* 太陽電池の裏面電極側から撮影している

【信頼性試験 (Damp Heat 試験)】

現在、ガラスシールしたサンプルの Damp Heat 試験 (85℃/85%RH) を実施しており、継続試験中である。標準モジュールは Damp Heat 試験 2000h で劣化が確認されていることから (図 4)、ガラスシールサンプルも Damp Heat 試験を 2000h 実施した後、電池特性を評価して、標準モジュールと比較する予定である。

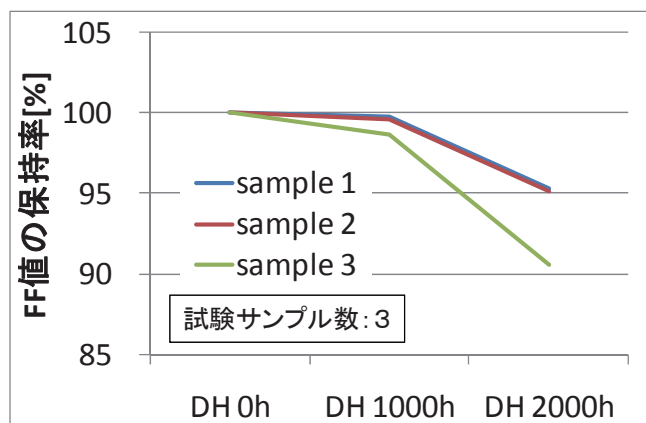


図 4 標準モジュール (薄膜シリコン) の Damp Heat 試験結果⁵⁾

モジュールタイプ: 40cm サイズ薄膜 Si、封止材: ファストキュアタイプ EVA (標準部材)
バックシート: Al 封止 (標準部材)、インターコネクタ: 日立電線製 (標準部材)

IV. まとめ

本研究では、完全ガラス封止構造による PV モジュールの信頼性向上効果について検討を進めており、外部からの水分浸入防止効果が PV 長期信頼性に及ぼす影響を明確にするため、EVA および PVB 等の充填樹脂および取出し電極のないモデル的なモジュール構造で実験を行っている。これにより、ガラスシールのみの効果が明確化できよう。そして、本研究で得られた知見および成果が、今後、太陽電池モジュールの長期信頼性向上および長寿命化実現に役立ち、発電コストの更なる低減・太陽電池の普及に結びつくことを期待する。

参考文献

- 1) T. J. McMahon, *Prog. Photovolt.: Res. Appl.* 2004; **12**:235-248.
- 2) C. R. Osterwald, et al., *Presented at the National Center for Photovoltaics and Solar Program Review Meeting*, 2003; NREL/CP-520-33567.
- 3) 竹田諭司、大河原雅夫; 「工業材料」(日刊工業新聞社)、2011年4月号, pp. 39-41.
- 4) 藤井浩喜ら、公開特許公報(A) 特許出願公開番号 特開 2011-86841.
- 5) コンソーシアム事務局により作製・評価されたモジュールの試験結果.

「太陽電池モジュールの信頼性向上・長寿命化」

株式会社アルバック

I. 目的

a) 太陽電池モジュールには更なる低コスト化 高信頼性化が要求される為に 構造、材料選定を含め 長期信頼性の検証を行う。

※各部材メーカーとのコラボレーションも必要。

b) 結晶系・薄膜系のモジュール製造技術を取得する。

c) モジュール性能評価方法の検証を行う。

IEC 規格に定められた評価方法・基準だけではなく 更なる追加試験・新規試験の必要性の有無や判断基準の検討を行う

II. 研究開発目標

太陽電池モジュールの信頼性向上・長寿命化を図る

a) 現状の標準部材の信頼性レベル調査・確認を行う

b) 屋外曝露試験、各種信頼性試験を実施し、信頼性低下モードの調査を行う

1) 不具合の調査 原因究明を実施し低下モードを予測する

2) 過去の事例 不具合モジュール調査情報との比較を実施する

c) 得られた信頼性低下モードや過去の事例より加速試験方法の検討を行う

d) 新材料の評価・新構造を新規試験で検討・検証を行う。

III. 研究開発の成果

<研究開発の内容>

第一段階として、現状の信頼性レベルを把握する為に、弊社選定部材とコンソーシアム標準部材の長期信頼性の比較を行った。

薄膜型太陽電池素子を使用し、製品と同じ大型サイズ（1100mm×1400mm）とした。

<評価モジュール構造>

モジュール構造はスーパーストレート型構造とし、封止材およびバックシートにて封しし、エッジシールを施し、アルミ製のフレームで固定。配線リボン材を配置し裏面から引き出し、J.BOXへ接続した構造とした。

評価モジュールの部材構成を表1に示す。

コンソーシアム標準セルと弊社試作セルを用い、更に使用する材料の構成により、合計6水準とした。

表1 モジュール部材構成表

Pattern	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
セル	標準部材	標準部材	標準部材	アルバック	アルバック	アルバック
リボン	標準部材	アルバック	他社※	標準部材	アルバック	他社※
封止材	標準部材	アルバック	アルバック	標準部材	アルバック	アルバック
バックシート	標準部材	アルバック	アルバック	アルバック	アルバック	アルバック
J.BOX	標準部材	標準部材	標準部材	標準部材	標準部材	標準部材
エッジシール	標準部材	標準部材	標準部材	標準部材	アルバック	アルバック
フレーム	標準部材	標準部材	標準部材	標準部材	アルバック	アルバック

※他社 : リボンメーカーとの共同研究

※破線枠内 : 本来弊社部材とすべきところだが、標準部材を使用した。

<長期信頼性>

1) IEC61646 に準じた、信頼性試験を行った。

試験1・・・高温高湿試験 85℃85%RH

試験2・・・温度サイクル試験 -40℃~85℃

現在、九州センター内の信頼性試験装置で試験中である。

2) 屋外曝露試験

環境試験と比較するべく、屋外にて実稼働下にて実曝試験を実施する。今後、産総研・九州センター（佐賀県・鳥栖市）に設置し、2011年10月より評価開始予定である。

<初期 I-V 特性>

初期電気特性を九州センター内のソーラーシミュレーターにて測定を実施した。結果を変動率として図1・図2に示す。モジュール構成『1-1』もしくは『2-1』を基準としている。

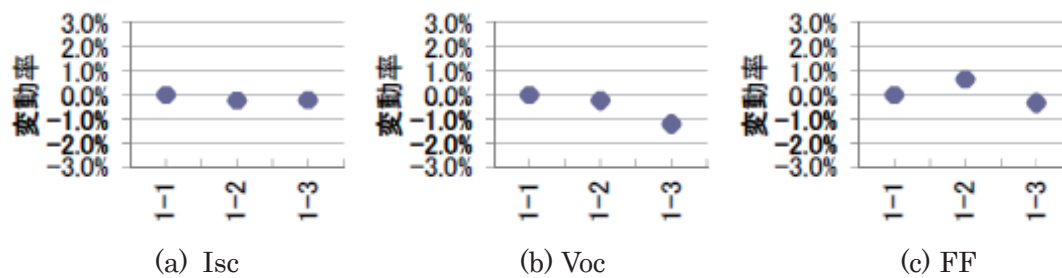


図1 セル：標準部材

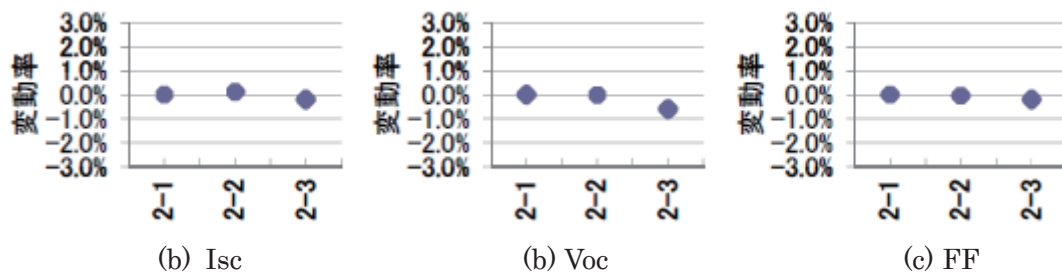


図2 セル：弊社選定部材

<Wet-Leak 試験>

初期の Wet-leak 試験の結果を表 2 に示す。

試験方法としては、IEC61646 に準じ実施。装置は、絶縁耐電圧試験機を使用した。

表 2 Wet-Leak 試験結果一覧表

Pattern	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3
Wet-Leak	193MΩ 合格	171MΩ 合格	167MΩ 合格	150MΩ 合格	101MΩ 合格	162MΩ 合格

IV. まとめ

<長期信頼性>

- 1) 高温高湿試験・温度サイクル試験は試験中のため、今後も継続して電気的な性能や外觀の変化を確認していく。
- 2) 屋外曝露試験を開始し、変化を確認していく。

<初期 I-V 特性>

測定結果から初期特性が同等であることが分かる。今後、6水準のモジュール性能の変化を継続して確認していく。

<Wet-Leak 試験>

測定結果から初期特性が同等であることが分かる。今後、信頼性試験後の確認を継続して行い、試験時間に対しての変化を確認していく。

第一段階としてモジュールを製造し信頼性の評価を行うところであるが、試験を開始した段階である。各評価を継続し比較検証を行っていく。

今後は、第Ⅱ期・A 会員に参画することで、継続的に評価を進めていきたい。

評価に時間を要する内容であるが目標に向け継続検討を行っていきたい。

—謝辞—

共同で研究を進めさせて頂くことができ、多くの刺激と示唆を得ることができました。モジュール製造・評価に御協力いただきました皆様に感謝致します。

「急速温度サイクル試験による結晶系太陽電池モジュールの劣化加速検討」

エスペック株式会社

I. 目的

温度変化に起因する熱サイクル疲労は、モジュールの直列抵抗増加を引き起こし、モジュールの発電出力に顕著な影響を与える重要な故障モードのひとつと考えられる。国際試験規格 (IEC 61215/61646) では温度サイクル試験 (200 サイクル、温度勾配: 100°C/h 以下) で評価しているが、市場での劣化 (20 年以上) は長期の温度サイクル試験 (400~1500 サイクル) に相当するとの報告もある。しかし、この長期試験は 3 ヶ月以上もの時間を要し現実的ではない。そこで短期間に評価可能な試験方法を立案することを目的とした。

II. 研究開発目標

熱疲労寿命を評価する方法として、急速温度サイクル試験および劣化の初期兆候を捉えるための抵抗値連続測定による評価の有効性を検証し、試験時間を 1/4 に短縮する手法の開発を行なうことを目標とした。

III. 研究開発の成果

1. 試験方法

コンソーシアム標準モジュール (以下標準モジュール) に先行して、図 1 に示すミニモジュールを用いた熱サイクル疲労試験を行なった (先行試験)。その後、標準モジュールにおいても同様の試験を行ない、本試験法の有効性を確認した。

急速温度サイクル試験装置として、ダンパーにより加熱空気と冷却空気を入れ替えることが可能な急速温度サイクル試験装置 (エスペック TSA-101S) を用いた。高温時および低温時の設定温度は、国際試験規格と同様に -40~85°C とし、温度移行時間は約 400°C/h とした。

モジュールの劣化挙動評価方法として、図 2 に示す導体抵抗評価システム (エスペック AMR-040-PA) を用いて、試験期間中の抵抗値連続測定を行った。また、試験前後のモジュール発電特性評価などを行い、モジュール劣化の状況の評価・解析した。

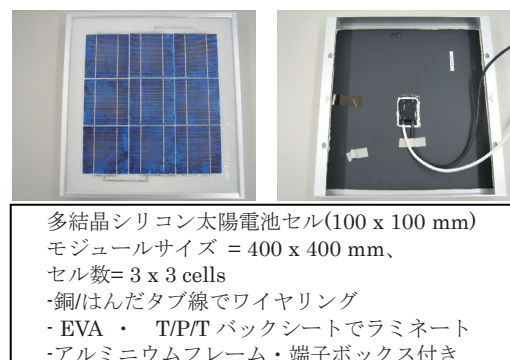


図 1 先行試験モジュールの外観と仕様

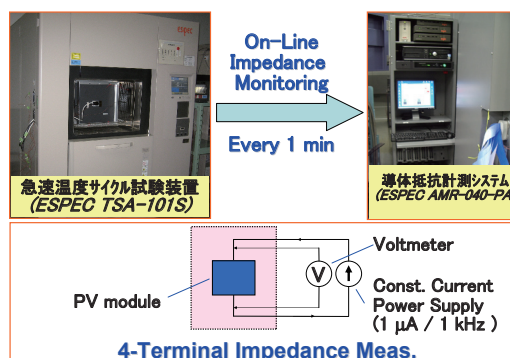


図 2 試験装置と測定システム

2. 先行試験の結果と考察

2. 1. 抵抗値の変化挙動

図 3 に温度サイクル環境下の抵抗値経時変化を示す。最初の顕著な抵抗値増加は、200～300 サイクル目に見られた。この際、抵抗値は高温変温時に増加し、低温時には低い抵抗値に復帰した。抵抗値増加は、以後も高温変温時に合わせて発生し、発生間隔の短縮をとまなう頻発が観測された。

試験途中にモジュールを取り出した場合には、試験再開後の一定期間にわたり抵抗増加が生じない傾向にあった。これは、槽外へのモジュール取り出しによるアニーリング効果によって、再度の抵抗値増大が抑制されたものと考えられる。このように、劣化の初期兆候の検出においては、本測定法のようにモジュールを移動せずに一定試験環境に保持してオンライン・リアルタイム検出を行うことがアニーリング効果を抑制することに重要であることが示唆された。

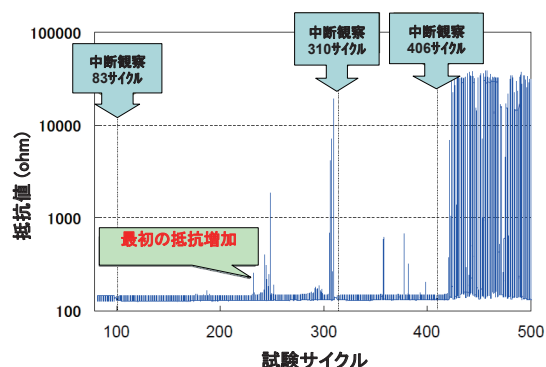


図 3 急速温度サイクル下の抵抗変化

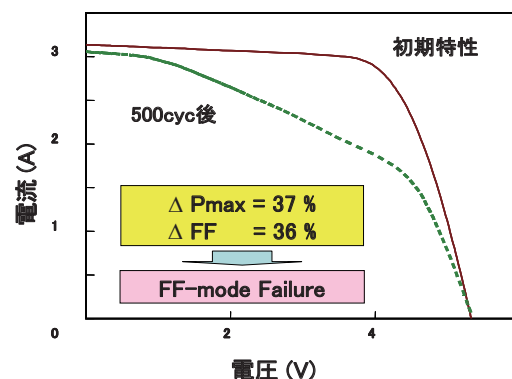


図 4 電流電圧特性 (I-V 特性) の変化

2. 2. 電流電圧特性の変化

試験前後のモジュール発電特性を図 4 に示す。試験前に対して最大出力 (Pmax) は 37% 低下しており、FF モードによる劣化が生じているものと考えられる。この FF 劣化の原因はモジュール内の直列抵抗の増加であると考えられるため、配線箇所のいずれかでの接合部損傷が疑われた。そこで、非破壊解析による故障箇所の特定を行なった。

2. 3. 熱画像観察による劣化箇所の推定

試験後に、モジュールの短絡電流値 (Isc) に相当する順方向電流を負荷した状態で、サーモグラフィー (アビオニクス TVS-500) による発熱箇所の確認を行なった。その結果を図 5 に示す。2 箇所のセル部域で片側半分が発熱せず、もう片側半分が高発熱する相補的な温度上昇が確認された。さらに、セルを連結しているインターコネクタのはんだ接

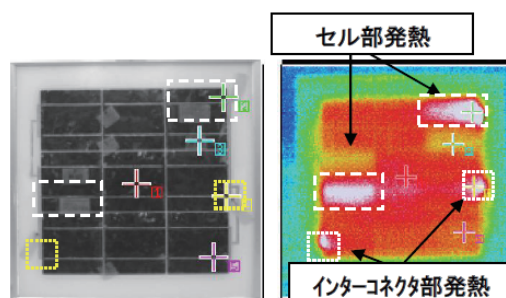


図 5 試験後のモジュール熱画像

合部で発熱箇所が観察された。このことから、2箇所のセルの発熱変化は、セル間のインターコネクタはんだ接合部の破断、あるいはセル/インターコネクタはんだ接合部の破断、またはセルの不全に起因することなどが推察された。

2. 4. 電流密度分布マッピングによる劣化箇所の確認

電流負荷状態の EL 強度、およびセル発電出力の分布状態を確認する電流密度分布測定（レーザーテック MP50）にて、劣化箇所の確認を行った。熱画像解析で観察された無発熱箇所でセルの発電出力が低下しており、インターコネクタ間のはんだ接合部やセル/インターコネクタの接合部が破断している可能性が高いと考えられた（図 6）。また、d)のようにセル上の銀フィンガーの断線が複数箇所で見られたが、c)の出力低下箇所と相関せず、フィンガー断線は出力低下には直接影響しないと考えられる。

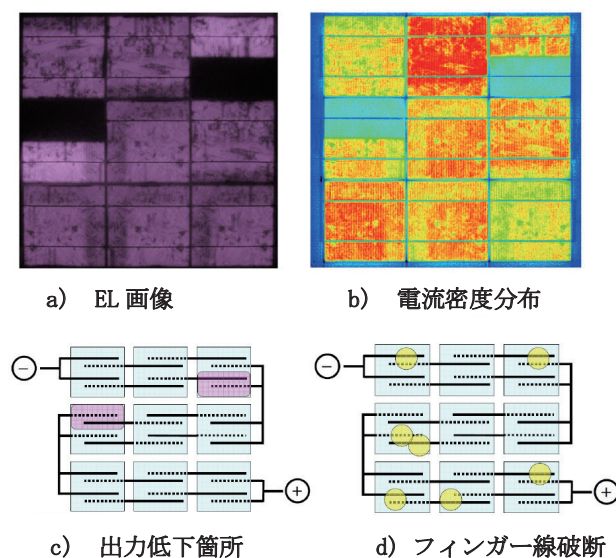


図 6 画像マッピング解析結果

3. 標準モジュールの急速温度サイクル試験

標準モジュールにおいて、上記と同様の試験を行なった。試験した 2 試料において、いずれも約 2,000 サイクルから抵抗値増加が現れた（図 7）。また、2,000 サイクル以降では、 $P_{max} \cdot FF$ が初期の 90%以下となり（図 8）、図 9・図 10 で示すように、インターコネクタ発熱および EL 強度低下が、セル部域の片側で見られた（2,000 サイクル以降）。なお、1 試料（No.1 モジュール）では、抵抗値増大の初期に EL 強度低下は観察されていない（2,181 サイクル）。これは、導通不良初期での断線と再接触の繰返しを反映したものと考えられる。また、先行試験に比べて抵抗値増大に至る熱サイクル期間が長かったが、従来試験方法の長期化では明確化できなかった熱サイクル疲労劣化が確実に生じる点や、モジュール作製方法などの差異による同劣化の違いが生じる点を明確にできた。

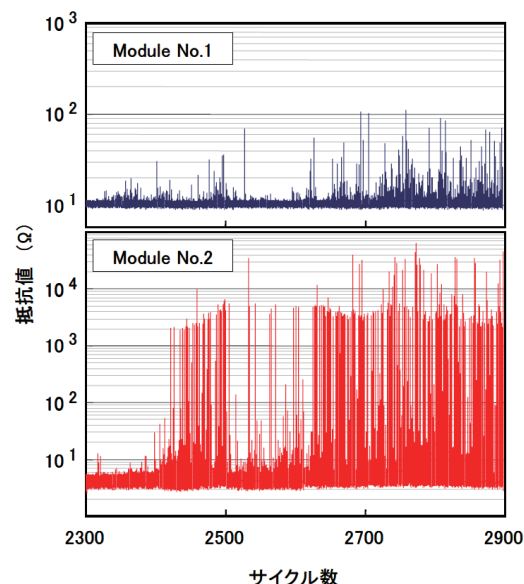


図 7 標準モジュールの抵抗値変化

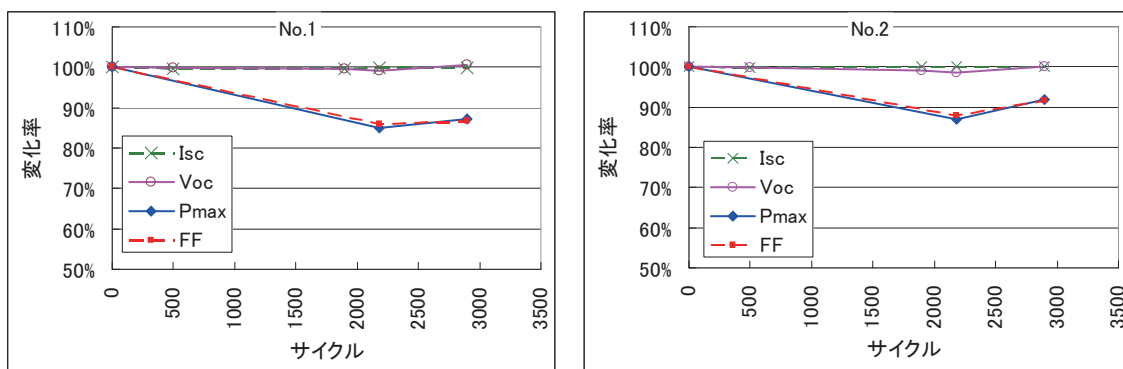


図8 標準モジュールの特性変化

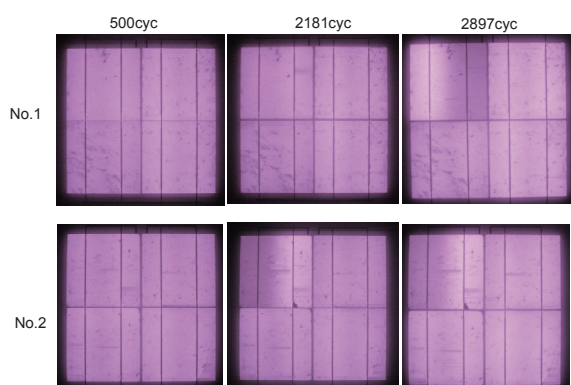


図9 標準モジュールのEL特性

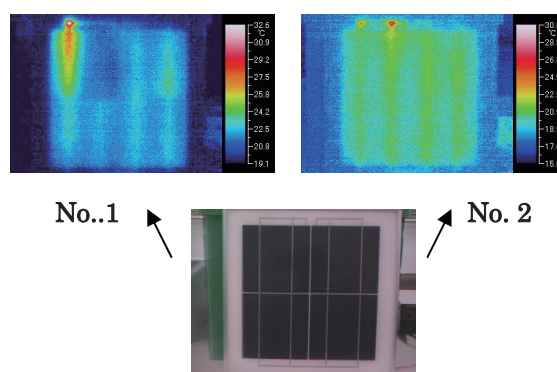


図10 標準モジュールの熱画像 (Isc 通電時)

IV. まとめ

本試験方法は、太陽電池モジュールの熱疲労劣化を短期間に評価できる新しい試験方法となる可能性が示された。上記の知見などを総合して、特許：1件を出願した（産総研と共同）。今後の課題は、種々のモジュールについての評価結果を蓄積することで、市場故障・国際試験規格との相関性を明確にし、標準化に向けた基盤知見を集積することにある。

「モジュール化による自社製部材の性能評価」

大倉工業株式会社

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更なる低コスト化や高効率化等が求められており、低コスト化のためには、太陽電池モジュールの長寿命化や信頼性の向上が必要となる。そこで、コンソーシアムでは自社製封止材及びバックシートを用いたモジュールを作製評価し、モジュール化した際の各部材の性能、耐久性評価を行い、その結果を更なる改良に活かし、モジュールの長寿命化に繋げていくことを目的とした。また、同時に結晶系及び薄膜系モジュールにおける、バックシートに要求される水蒸気バリア性の評価も行い、それぞれのモジュールにおける最適なバックシートの構成を見出すことも目的とした。

はじめにバックシートの研究開発目標、成果、まとめについて説明する。

II. 研究開発目標

フルサイズモジュールにおいて、DH（高温高湿試験）、TC（温度サイクル試験）、HF（結露凍結試験）後に、コンソーシアム標準部材であるバックシートの TPT（結晶系）やアルミタイプ品（薄膜系）と同等以上の性能、耐久性を有すること。

III. 研究開発の成果

自社製高耐久性ポリエステルフィルム『ESR2』を使用したバックシートを用いてモジュールを作製し評価を行った。

[評価方法]

結晶系では 1 セル及び 4 セル、薄膜系では 18cm 及び 40cm 角モジュールを作製し、DH、TC、HF 前後の出力変化、外観変化等を調べ、モジュール構成部材としてのバックシートの性能、耐久性評価を行い、得られた結果を基にフルサイズモジュールの作製評価に繋げて行くこととした。

[評価結果]

結晶系 4 セルモジュール及び薄膜系 40cm 角モジュールでの評価結果を以下に示す。

・結晶系 4 セルモジュール

表 1 に示してある水蒸気透過率を有する自社製バックシートとコンソーシアム標準部材である TPT を使用し評価を行った。なお、EVA はサンビック製ファーストキュアを使用した。

表 1 結晶系 4 セルモジュール用バックシートの水蒸気透過率（測定方法：JIS K7129B）

バックシート種類	①	②	③	TPT (コンソ標準部材)
水蒸気透過率(g/m ² ・24h)	2.0 × 10 ⁻²	1.1 × 10 ⁻¹	2.9	—

DH後の出力測定結果を図1に示す。3000時間経過後においても大きな出力低下は発生せず、自社製バックシートとコンソーシアム標準部材であるTPT間においても明確な差は発生しなかったことから、3000時間経過時点では自社製バックシートがTPTと同等の性能、耐久性を有していることがわかった。また、バックシートの水蒸気透過率がモジュールに与える影響についても3000時間経過時点では表れなかった。外観の変化としては、全てのモジュールにて、2000時間経過後よりインターコネクターの変色、EVAの黄変、ジャンクションボックス周辺部の膨らみ等が確認された。TC50&HF10、TC200については、現在試験中であり終了次第評価を行っていく予定である。

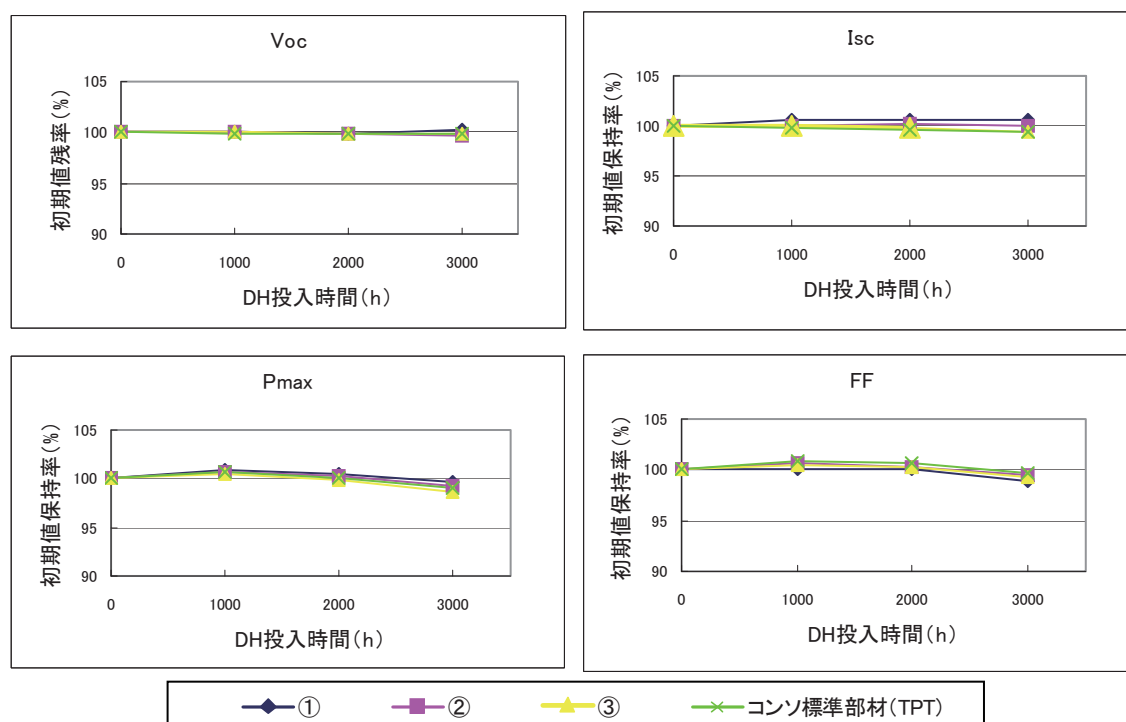


図1 結晶系4セルモジュールにおけるDH後のVoc、Isc、Pmax、FFの初期値保持率

・薄膜系40cm角モジュール

表2に示してある水蒸気透過率を有する自社製バックシート及びコンソーシアム標準部材であるアルミタイプのバックシートを使用したモジュールを作製し評価を行った。EVAは結晶系と同様、サンビック製ファーストキュアを使用した。

表2 薄膜系40cm角モジュール用バックシートの水蒸気透過率（測定方法：JIS K7129B）

バックシート種類	④	⑤	⑥	アルミタイプ (コンソ標準部材)
水蒸気透過率 (g/m ² ・24h)	1.8 × 10 ⁻²	7.0 × 10 ⁻³	<1.0 × 10 ⁻³ (アルミ使用品の為)	—

DH 後の出力測定結果を図 2 に示す。④及び⑤のバックシートを使用したモジュールにて、 P_{max} 、FF の低下、 R_s の増加が発生し、水蒸気透過率の高いバックシートほどそれらの値の変化率が大きくなり、逆にアルミタイプのバックシートでは変化がなかったため、バックシートの水蒸気透過率とモジュールの出力低下に関係性があることが考えられる。また、外観については試験前後にて変化はなかった。

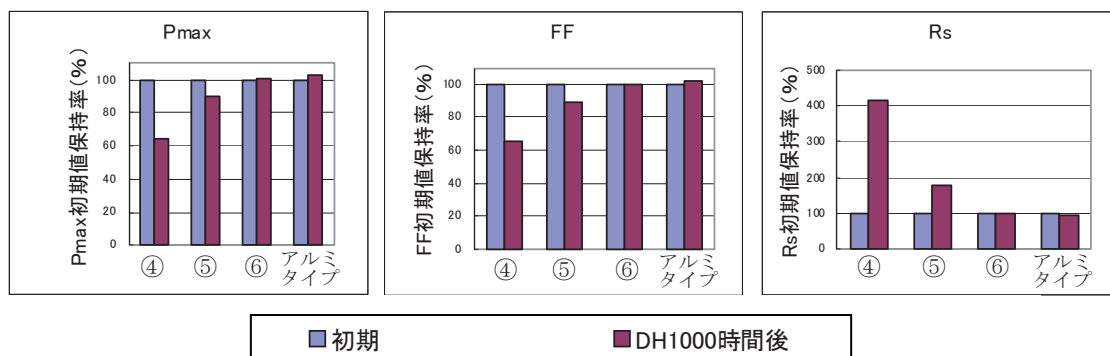


図 2 薄膜系 40cm 角モジュールにおける DH1000 時間後の P_{max} 、FF、 R_s の初期値保持率

IV. まとめ

結晶系モジュールでは DH3000 時間経過後においても、大きな出力低下は見られず、現時点では自社品がコンソーシアム標準部材である TPT と同等の性能、耐久性を有していることが確認できた。対して薄膜系モジュールでは DH1000 時間後に水蒸気透過率の高いバックシートを使用したモジュールで大幅な出力低下が発生した。この結果から、従来から言われているように薄膜系モジュールが水分の影響を受けやすいことが確認できた。今後は、結晶系、薄膜系とも DH、TC、HF 試験を継続し評価を行っていく予定である。さらに、フルサイズモジュールも作製し DH、TC、HF、屋外曝露試験を行っていく予定である。

次いで、封止材の研究開発目標、成果について説明する。

II. 研究開発目標

フルサイズモジュールにおいて、初期及び DH（高温高湿試験）での性能維持率が EVA 封止材と同等以上であること。

III. 研究開発の成果

開発コンセプト：非架橋タイプ封止材

EVA ファーストキュア（FC）封止材と同条件でラミネート可能であること。

表3 結晶系4セルモジュール DH 試験後の評価 (ソーラーシミュレーター)

	開発部材		EVA (FC タイプ)	
	初期	DH 試験 1000 時間後	初期	DH 試験 1000 時間後
最大電力 Pmax [W]	15.07	14.85	14.94	14.92
フィルファクタ FF	0.70	0.70	0.70	0.70
効率 Eff [%]	9.1	9.0	9.0	9.0

・開発部材を使用したモジュールの初期値は、標準 EVA 封止材 (FC タイプ) と同程度であった。

DH 試験による変色

試験方法：モジュールのガラス面側から、バックシート部分の色彩 (L*a*b*) を分光色差計 (日本電色工業㈱製) にて測定する。

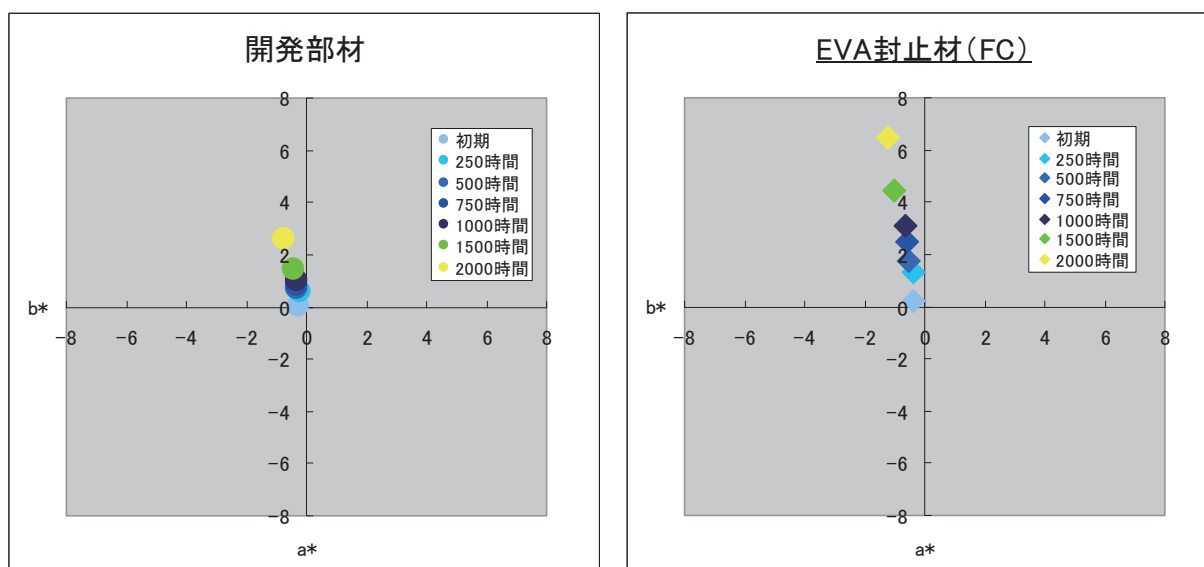


図3 DH 試験による、封止材の変色

開発部材は、標準 EVA 封止材 (FC タイプ) よりも DH 試験による変色の度合いが小さい。

IV. まとめ

結晶系ミニモジュールにおいて、初期及び DH 試験 1000 時間後の性能が確認できた。

今後は、更に長期間の DH 試験を実施するとともに、DH 試験以外の耐久試験並びに、非架橋タイプの特性を活かしたラミネート条件 (時間短縮等) の検討を行う。

「カネカ封止材、バックシートの耐久性評価」

株式会社カネカ

I. 目的

弊社は薄膜シリコン系太陽電池モジュールメーカーであり、更に関連会社で EVA 封止材などの太陽電池モジュール用の周辺材料を製造・販売している。本コンソーシアムでも EVA 封止材が標準材料として採用されている。一方、太陽電池モジュール用周辺材料について、従来品とは異なるコンセプトの製品（封止材、バックシート）を数種類開発している。

産総研の「高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム」にて推奨しているモジュール成型法・耐久性評価法にて、標準材料と開発材料の耐久性能比較を実施し、その優劣を見極める。また、モジュール成型条件が封止材耐久性に影響しないかを併せて調査する。

II. 研究開発目標

「高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム」の推奨評価水準に基づき、DH（85℃85%高温高湿）の長時間試験（1000hr×n回）、TC（冷熱サイクル）50回&HF（結露凍結試験）10回および連続してTC200回の繰返し試験を実施し、耐久性能を評価する。

①EVA（エチレン酢酸ビニル系）-FC（ファーストキュアタイプ）封止材について、真空ラミネーターで成型温度を変えて調査する（モジュール成型条件調査）。

②開発品（封止材12種類、バックシート5種類）について、標準材料と比較し優劣を調査する。

①は結晶4セルモジュール構成で8個作製し評価した。②は結晶4セルモジュール構成で76個、アモルファス40角モジュール構成で13個、結晶42セルフルサイズモジュール構成で12個（予定）、CIGS構成で3個作製、いくつかを除き評価した。

III. 研究開発の成果

III. - 1. EVA 封止条件とモジュール耐久性の関係調査

実験と結果1：DH試験による評価

- 「モジュール構成」全てコンソ標準材料、4セルモジュール構成

結晶セル（Q-Cells社製、27^g）、

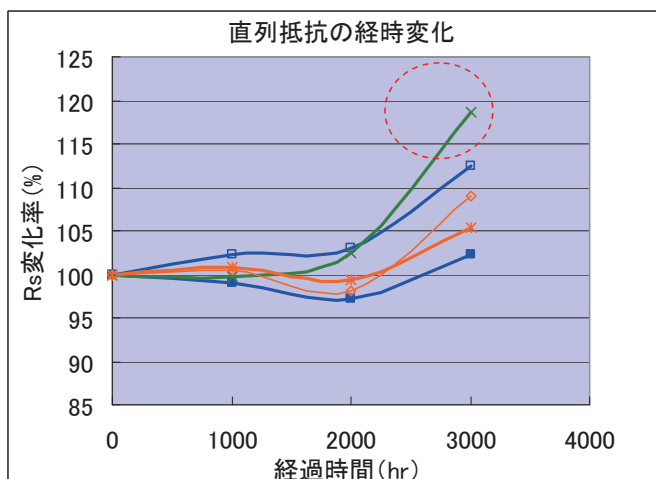
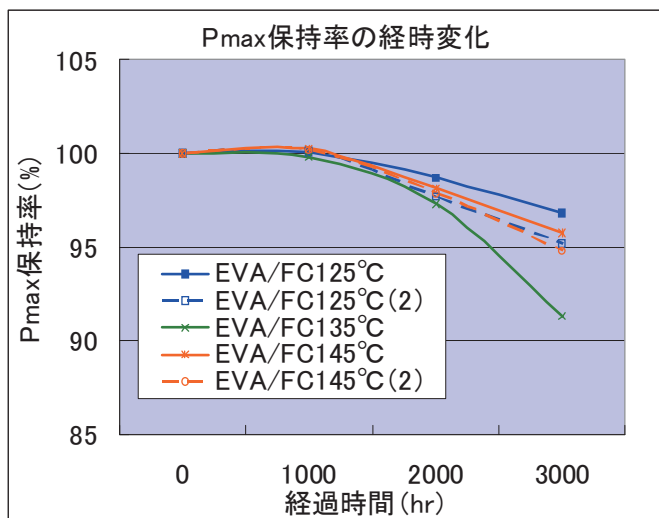
封止材（サビック社製 EVA-FCタイプ）、バックシート（TPT）、

MC社製端子BOX（ホッティング剤は試験後に除去）、端面シール、アルミフレーム

- 「成形条件」：温度を変えて調査

NPC社製真空ラミネーターを用い、真空5分、低速プレス1分、プレス保持15分の工程を固定し、ラミネート温度125℃、135℃（標準条件）、145℃と変化させてモジュール化を実施した。モジュール化直後の外観について、得られたモジュールのうち、145℃で成型した

ものの一部はバックシート部に膨れ（デラミネーション）が発見されたが、その他のモジュールについては異常は見られなかった。これらのモジュールについてDHを実施した。



2000hr まで、125、135、145°Cいずれの成形温度で作製したモジュールも Pmax を保持していた。3000hr では、標準成形温度 135°Cで成型したモジュールは劣化した。

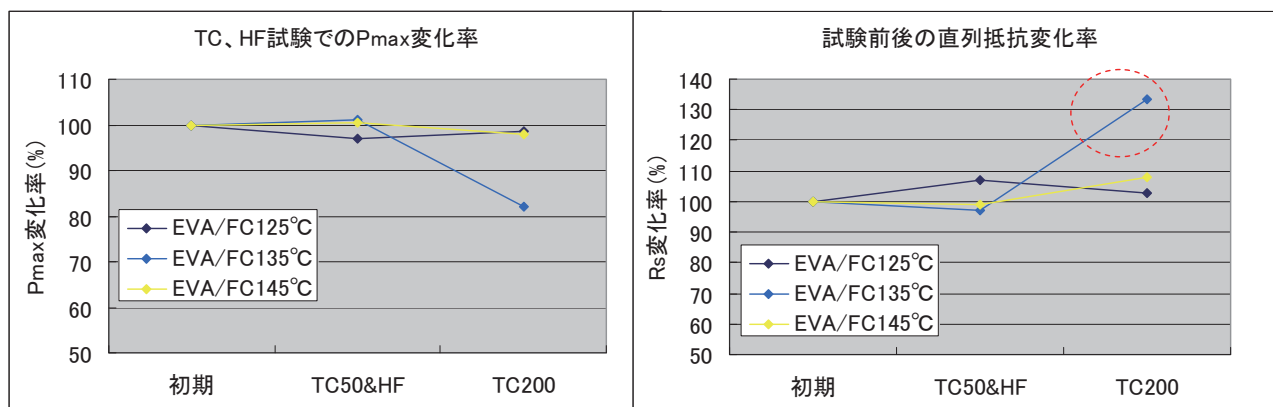
また、145°C成型モジュールは試験前にデラミネーションが発見されたが、殆ど劣化に影響していないことが分かった。また、3000hr 経過サンプルは全て黄変していた (DH1000、2000 は未確認)。劣化の原因について、Voc、Isc、FF、Rs、Rshなどを追跡調査した。各要素で殆ど変化がなかったが、135°C成型モジュールの Rs は 3000hr で抵抗が増大しており、配線が外れた可能性がある (ハンダ不慣れによる人的要因と推定)。

実験と結果 2 : TC&HF 試験による評価

実験 1 と同様の構成、成型方法でモジュールを作製した。実験 1 同様に 145°Cで成型したものはデラミネーションが発見されたが、その他のモジュールについては異常は見られなかった。これらのモジュールについて TC&HF 試験を実施した。

TC50&HF10 の結果は、125、135、145°Cいずれの成形温度で作製したモジュールも Pmax を保持していた。更に追加で TC200 を実施した結果は、標準成形温度 135°Cで成型

したモジュールは劣化した。また、145℃成型モジュールは試験前にデラミネーションが発見されたが、殆ど劣化に影響していないことが分かった。また、TC200 後のサンプルは全て黄変していた。劣化の原因については、135℃成型モジュールの R_s が TC200 後に増大しており、配線が外れた可能性がある（ハンダ不慣れによる人的要因と推定）。



III. - 2. 開発品（封止材 2 種類、バックシート 5 種類）についての評価

実験と結果 1：結晶 4 セルモジュール評価

● 「モジュール構成」:

評価材料以外は全てコンソ標準材料とした（封止材を評価する場合は EVA-FC を差し替える、バックシートを評価する場合は TPT を差し替える）。

モジュール使用材料

結晶セル（Q-Cells 社製、2 ｸﾞ or 3 ｸﾞ）、

封止材（サビック社製 EVA-FC タイプ or 開発品）、バックシート（TPT or 開発品）、

端子 BOX（MC 社製 or オナンパ社製）、端面シール、アルミフレーム

● 「成形条件」: バックシート検討は EVA-FC の真空ラミネート条件で実施し、封止材検討は適宜真空ラミネート温度のみを変更した。総計 76 個を作製した。

● 「評価方法」: DH 試験、TC 試験、HF 試験、耐電圧試験などを実施した。III. - 1. の結果より、標準材料（EVA-FC/TPT）の耐久レベルを DH の場合 3000hr 以上で合格、TC と HF 複合の場合、TC50+HF10+TC200 以上で合格（DH、TC 系試験それぞれの耐電圧試験も合格が必須要件）として、優劣を判断した（DH、TC 合格とは初期出力 14W 以上で、試験後出力保持率が 95%以上であるものとした）。

結果、耐久性能が EVA-FC/TPT の耐久レベル同等以上の開発品として、封止材 2 種類が確定した。評価途中のものも多くあるが、封止材が端面剥離して耐電圧が不合格となったものも多い。また、バックシートに関して、その多くは評価途中であり、DH は 2000hr、TC200 まで合格確認できたものが 1 種ある。

実験と結果 2：アモルファス 40 cm 角モジュール評価

● 「モジュール構成」: 評価部材以外は全てコンソ標準部材とした（封止材を評価する場合

は EVA-FC を差し替える、バックシートを評価する場合は PAP を差し替える)。

使用部材

アモルファス 40 cm 角セル (カネカ社製)、

封止材 (サバルック社製 EVA-FC タイプ or 開発品)、バックシート (PAP or 開発品)、

端子 BOX (オナン社製)、端面シール (ブチル有 or 無)、アルミフレーム

●「成形条件」: バックシート検討は EVA-FC の真空ラミネート条件で実施し、封止材検討は適宜真空ラミネート温度のみを変更した。総計 13 個を作製した。

●「評価方法」: DH 試験、TC 試験、HF 試験、耐電圧試験などを実施した。標準部材の合格レベルに関しては設定できていないため比較はできない (セル数に制限があったため)。パスできた試験レベルに関して結果を示す。

結果、封止材に関して DH は実施しておらず、TC200 まで合格したものが 1 種類ある (結晶 4セルで DH、TC 結果の良好な 2 種のうちから 1 種類選んだもので実施)。評価途中のものは多くある。一方、不合格品の多くは端面部からの剥離により湿潤漏れ電流が不合格となったものが多い。また、バックシートに関してはその多くは評価途中であり、優劣に関する結果は得られていない。

実験と結果 3 : 結晶 4 セルフルサイズモジュール評価

現在、封止材 1 種類、バックシート 1 種類で DH、TC50&HF10 評価を開始すべく、モジュールを作製中である。真空ラミネート直後のモジュールに異常は見られなかった。

実験と結果 4 : CIGS ミニモジュール評価

封止材 1 種類、バックシート 1 種類、薄膜標準部材の 3 種類でモジュールを作製した。真空ラミネート直後に異常は見られなかった。これらについて DH 評価を開始した。

IV. まとめ

IV. - 1. EVA 封止条件とモジュール耐久性の関係調査

標準部材 (EVA-FC や TPT) を使用して、推奨ラミ温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ で結晶 4セルモジュールを作製、各種耐久性試験を実施したが、多くは合格し、今回の実験温度範囲内で有意差は見られなかった。標準部材は信頼性の高い材料であると言える。

IV. - 2. 開発品 (封止材 1 2 種類、バックシート 5 種類) についての評価

結晶 4セルモジュールに関して、開発封止材 2 種類が EVA-FC 同等以上の性能であることが確定した。他の開発品に関しては測定中、もしくは EVA-FC より劣っていた。

アモルファス 40 cm 角モジュールに関して、開発封止材 1 種類 (結晶 4セルで良好な 2 種から 1 種類選んだもの) が EVA-FC 同等以上の性能であることが確定した。

今後は測定中の試験を継続し、封止材、バックシートの耐久性を評価する。

また、劣化したモジュールについて、Isc、Voc、FF などの面からの解析と、EL 画像測定や MP50 画像測定を実施し、劣化の原因の推定を行っていく。

「高信頼性 PVB の開発・PVB を封止材とした各種モジュールの耐久性調査」

株式会社クラレ

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

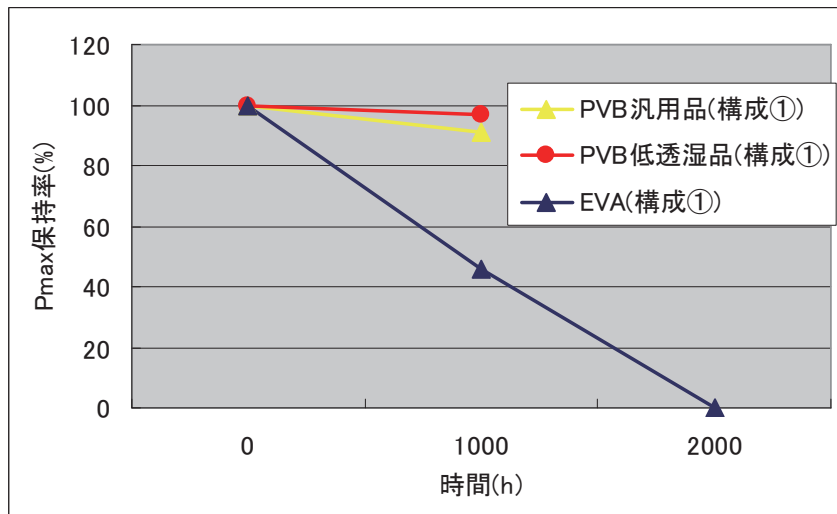


図 1.DH 試験

図 1 に示したように、PVB 汎用品と比較して、PVB 低透湿品は耐久性の向上が見られている。一方で、EVA を使用したモジュールは DH1000h で 50%程度の最大出力(Pmax)低下となった。

これらのモジュールの EL 画像を図 2 に示す。


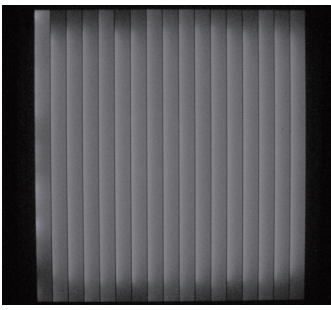
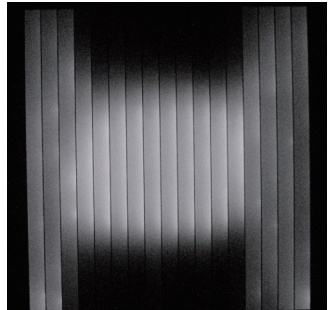
	PVB汎用品	PVB低透湿品	EVA
DH1000h			

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。

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 (g/m ² ・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

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、DH1000h 後の Pmax の差、EL 画像に見られるエッジからの暗部の距離差はこれに基づくものと推測している。

また、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。

②サーマルサイクル(TC)試験

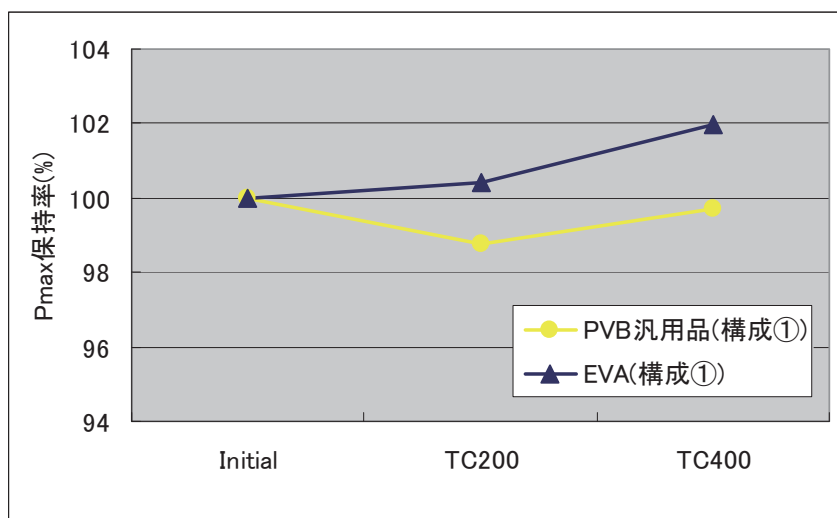


図 3.TC 試験

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

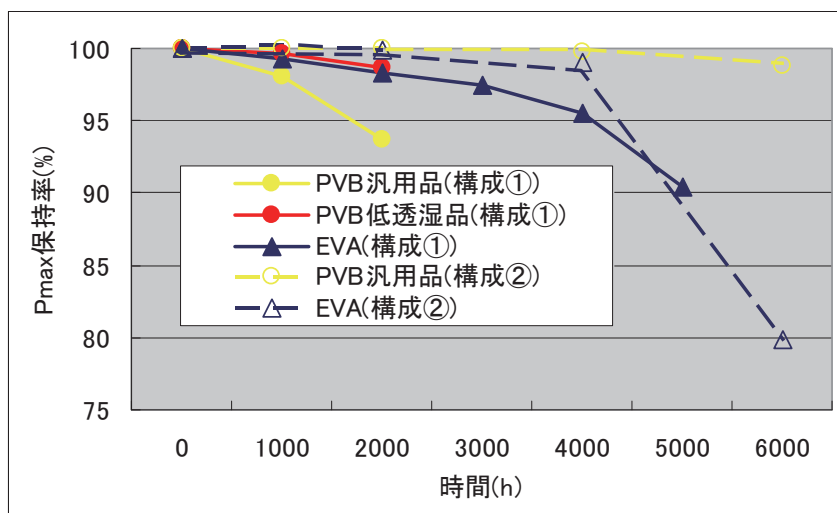


図 4.DH 試験

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、水分の浸入が早く、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、Pmax 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 Pmax 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ことができず、その結果、酸の影響で Pmax の低下が進行したものと推測する[1]。

②TC 試験

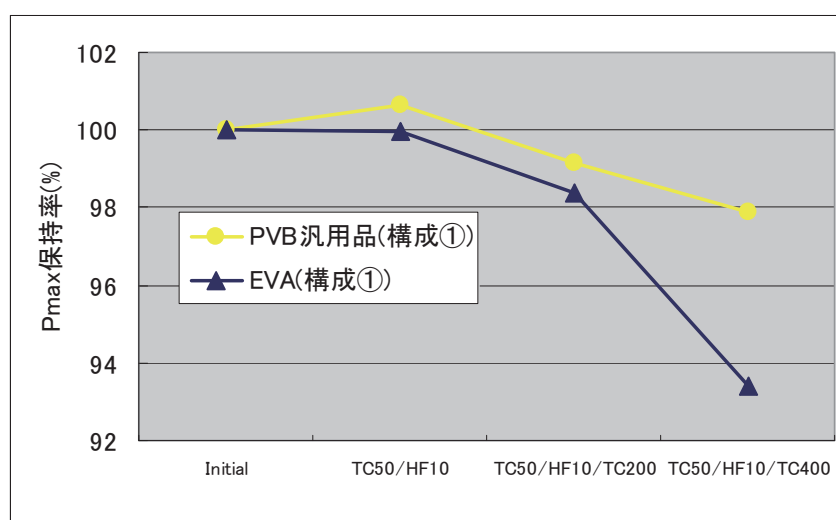


図 5.TC 試験

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、Pmax 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.

「剥離強度と発電性能の相関性」

シーアイ化成株式会社

I. 目的

太陽電池モジュールにおいてガラスと封止材界面の接着性は、時間の経過により徐々に低下していく。この接着性の低下がモジュール端部からの水分浸入等を引き起こし、太陽電池としての電気的特性に少なからず悪影響を及ぼすことが予想される。

ガラス・封止材界面の接着性評価に剥離強度試験を行い、同時に発電性能評価に I-V 測定を行うことで、接着性が発電性能にどのように影響するのかを確認する。また、剥離強度が封止材性能に占める割合について再確認する。

II. 研究開発目標

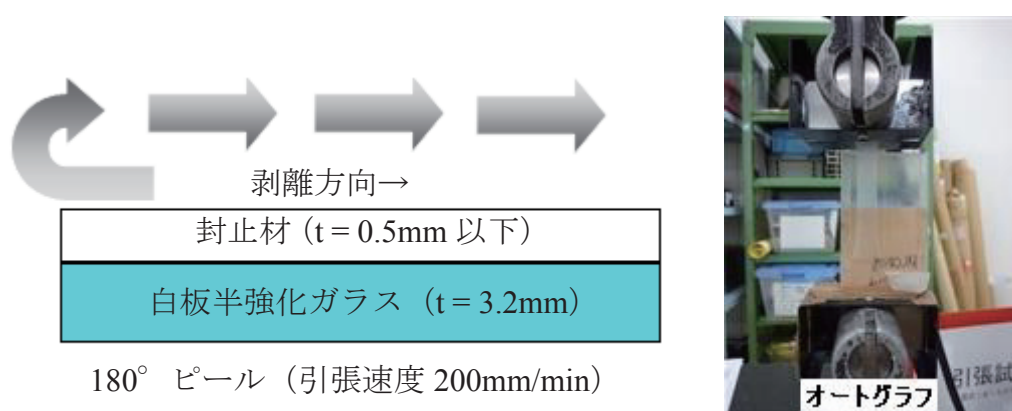
太陽電池封止材の社内品質管理としてシーアイ化成で実際に取組んでいる剥離強度試験の結果をもとに、その封止材を使用したモジュールの発電性能の経時変化をあらかじめ予想できるかどうかを検討する。

剥離強度と発電性能の相関を取り、相関性が見られるようならばモジュールの先行評価試験としてより実践的なシステム化を図る。そのシステムを用いることでモジュール作製にかかる労力・コスト等の低減に努める。

III. 研究開発の成果

1. 試験方法

シーアイ化成試作封止材 A、B、C、D を用いて発電性能を確認する単セルモジュールと剥離強度を確認する剥離試験サンプルを作製した。図Ⅲ-1 に剥離試験サンプルの作製・測定方法を示す。



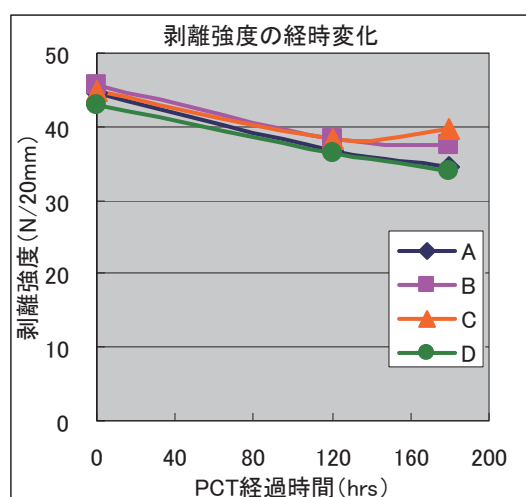
図Ⅲ-1. 剥離試験の様子

ラミネートするとき、応力が集中するサンプル端部の厚みは薄くなる。そのため、サンプルの端部左右 5mm ずつを取り除いたものを剥離試験サンプルとした。

単セルモジュールと剥離試験サンプルを加速試験にて劣化させた。加速試験にはプレッシャー・クッカー（2atm、121°C、100%RH、以下 PCT）を用い、各時間の発電性能と剥離強度を確認した。なお、図Ⅲ-1 の試験法において PCT240 時間でほぼ全ての封止材の剥離強度が激減し、試験が成り立たなくなるという経験則があり、剥離試験は PCT180 時間までとしている。

2. 剥離試験結果

図Ⅲ-2 に剥離試験の結果を示す。図Ⅲ-2 から PCT120 時間まではいずれも大差ないが、PCT180 時間で剥離強度にばらつきが生じ始めた。また、C が最も剥離強度を維持し、D が最も強度低下していることが分かった。

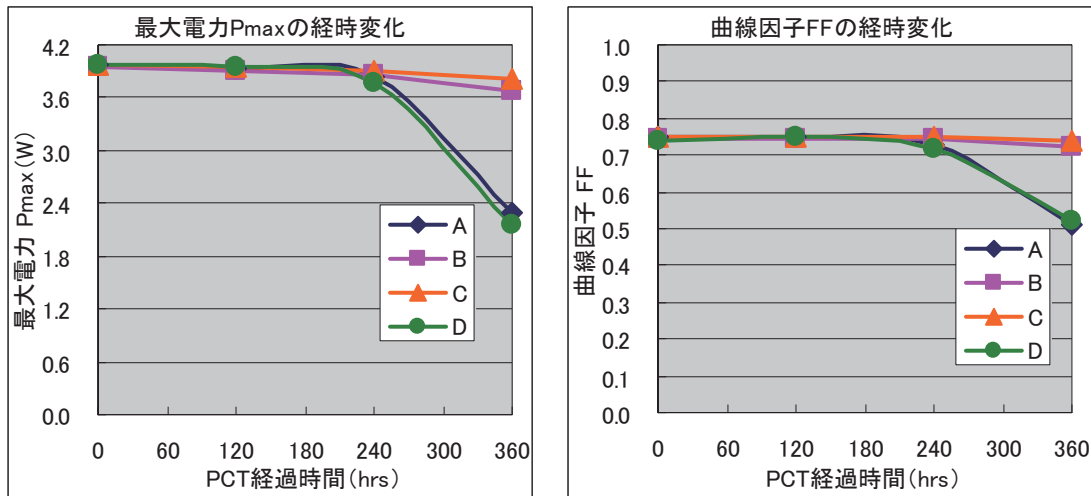


図Ⅲ-2. PCTによる剥離強度の変化

3. 発電性能測定結果

図Ⅲ-3 に I-V 測定の結果を示す。開放電圧 $V_{oc}(V)$ に変化はなく、短絡電流 $I_{sc}(A)$ 、曲線因子 FF が最大電力 $P_{max}(W)$ （及び発電効率）に比例しているようであった。

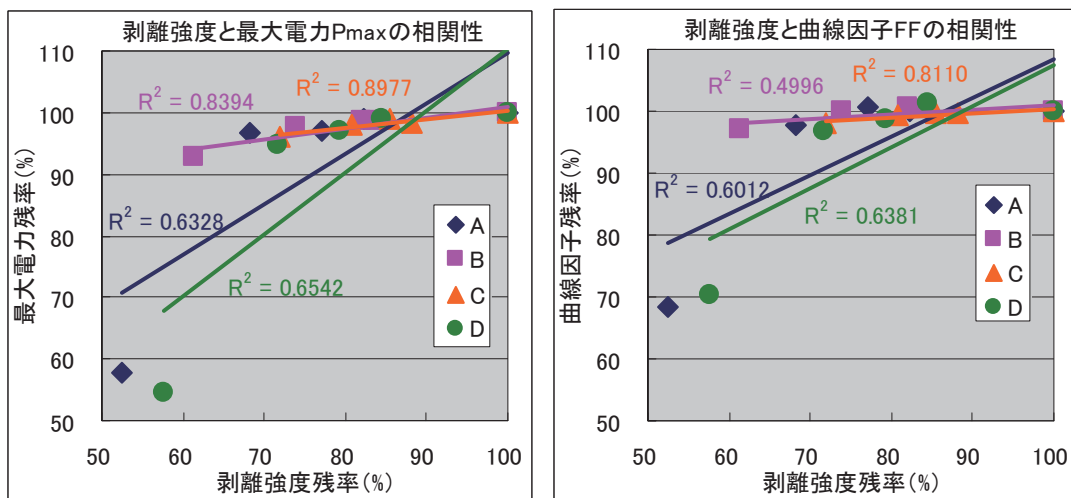
図Ⅲ-3 から PCT240 時間で微小にモジュール毎の性能差が出始め、PCT360 時間ではその差が完全に開いた。また、C が最も発電性能を維持し、D が最も発電性能を低下させていることが分かった。



図Ⅲ-3. 経過時間による最大電力 Pmax(W)と曲線因子 FF

4. 剥離強度と発電性能の相関性

図Ⅲ-4 に剥離強度と発電性能の相関性のグラフを示す。最大電力 Pmax(W)、 曲線因子 FF において剥離強度と相関は取れているようであった。



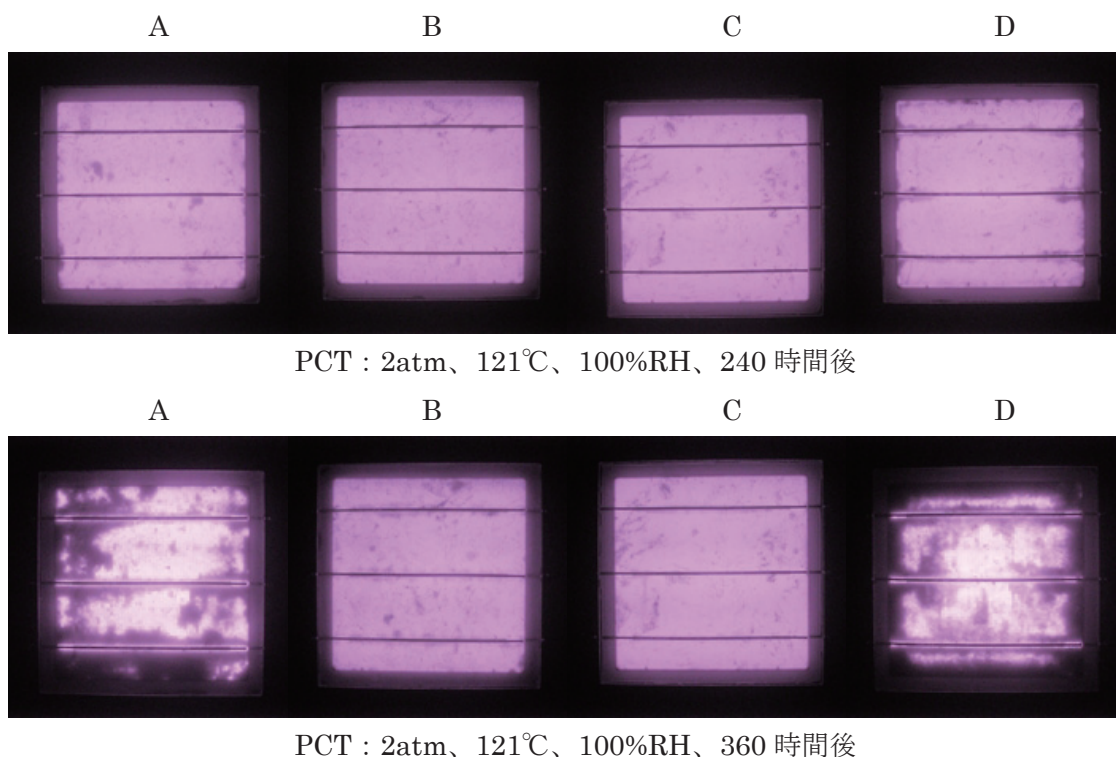
図Ⅲ-4. 剥離強度と発電性能の相関性グラフ

5. 考察

2、3から、C>B>A>Dの順に剥離強度と発電性能を高く維持していることが分かり、4から2、3で得られた結果の相関が取れていることが分かった。これらのことから、剥離試験にて剥離強度を高く維持できた封止材ほど、発電性能を高く維持できる可能性があるという結果が得られた。

剥離強度を高く維持することが発電性能を高く維持することにつながる理由については、

モジュール端部からの水分浸入を防ぎ、漏れ電流の増大及び並列抵抗 R_{sh} の低下を抑える効果等が考えられる。図Ⅲ-5 に PCT240、360 時間後の EL 画像を示す。PCT240 時間後で A、D の端部が若干暗くなっていること、PCT360 時間後で暗部が中央に向けて拡大していること等が 3 の発電性能低下と一致しており、端部からの接着性低下、水分浸入が原因と考えられる。



図Ⅲ-5. PCTによるEL画像の変化

IV. まとめ

- ・ 剥離強度と発電性能（変換効率、最大電力、曲線因子等）に相関性はある。剥離強度を高く維持しているものほど、発電性能を高く維持する傾向がある。

PCT180 時間までの剥離試験結果から、PCT360 時間までの発電性能を大まかではあるが予想することができる。ただし、これは剥離強度にのみ限ったことであり、発電性能は当然ながらその他の影響（体積固有抵抗等）も受けて変化する。

今後は PCT180 時間以降の強度差がより明確に見分けられる時間を見つけ、経時剥離試験データを収集し、経時発電性能予測システムを確立させる。また、剥離強度以外の発電性能に影響を与える要素からもアプローチをかけ、高耐久性封止材の開発に努める。

「UV 硬化型シート状接着剤による封止検討」

株式会社スリーボンド

I. 目的

太陽電池セルの封止材として、UV硬化型シート状接着剤の可能性を検証する。現行封止材であるEVAとUV硬化型シート状接着剤の封止信頼性試験を実施し、太陽電池モジュールの特性比較を行い、UV硬化型シート状接着剤のこの用途での適用可能性を検証する。

II. 研究開発目標

UV 硬化型シート状接着剤と現行封止材 EVA を用いて太陽電池を作製し、初期の最大電力、変換効率、接続抵抗の差異があるか確認を行う。また、DH、TC などの信頼性試験を実施し、長期間放置後のそれぞれの封止材を用いた太陽電池モジュールの外観変化の有無、変換効率、接続抵抗の差異を確認する。生産性、密着性、アウトガスの発生が少ないなどのメリットがある UV 硬化型シート状接着剤が、現行 EVA の封止性能に対して優位性があるのか判断する。(UV 硬化型シート状接着材を UV シートと略す。)

III. 研究開発の成果

1. 多結晶 Si モジュール

多結晶 Si セルにて弊社の UV 硬化型シート状接着剤により EVA/Si セルの密着性に対してどのように影響を与えるか確認を行った。試験は小型 4 セルモジュールを用い、信頼性評価として DH 試験 (85°C×85%) 及び TC 試験 (-40°C⇔85°C, 6h/cycle) による各出力特性の変化を SPI 測定により確認した。

検討モジュール構成

I D	封止材		備考
	ガラス基板側	バックシート側	
B217FFAC	標準 EVA+UV シート	標準 EVA	DH 試験用
B218FFAC	標準 EVA+UV シート	標準 EVA	
B219FFAC	標準 EVA+UV シート	標準 EVA	

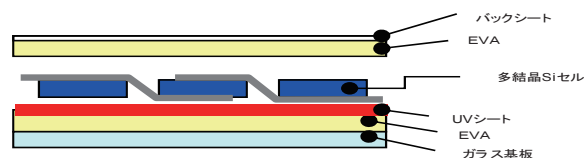


fig.1 検討構成

1-1.DH 試験結果 (DH の後の数字は時間を表す)

①最大電力 Pmax(単位：W)

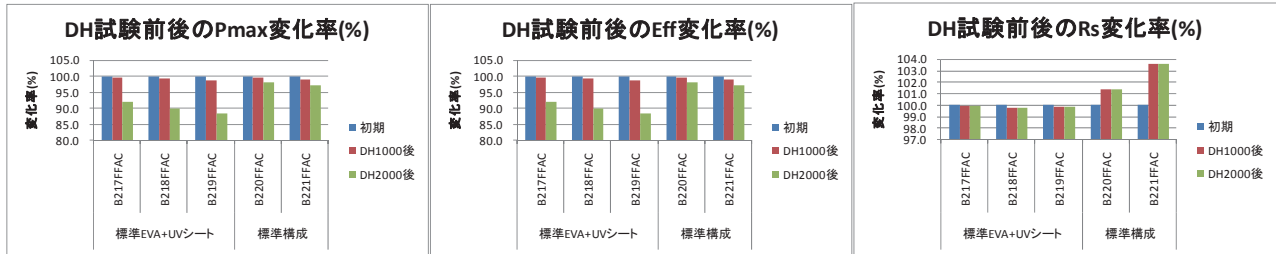
ID	初期	DH1000 後	DH2000 後	備考
B217FFAC	14.85	14.78	13.66	標準 EVA+UV シート
B218FFAC	14.79	14.69	13.28	
B219FFAC	14.84	14.66	13.14	
B220FFAC	14.75	14.67	14.45	標準構成
B221FFAC	14.68	14.54	14.26	

②変換効率 Eff(単位：%)

ID	初期	DH1000 後	DH2000 後	備考
B217FFAC	8.97	8.92	8.25	標準 EVA+UV シート
B218FFAC	8.93	8.87	8.02	
B219FFAC	8.96	8.85	7.93	
B220FFAC	8.91	8.86	8.72	標準構成
B221FFAC	8.86	8.78	8.61	

③直列抵抗 R_s (単位: Ω)

ID	初期	DH1000 後	DH2000 後	備考
B217FFAC	0.054	0.054	0.054	標準 EVA+UV シート
B218FFAC	0.055	0.055	0.055	
B219FFAC	0.055	0.055	0.055	
B220FFAC	0.054	0.055	0.055	標準構成
B221FFAC	0.055	0.057	0.057	



1-2.TC 試験結果 (TC 後の数字はサイクル数を表す)

①最大電力 Pmax(単位: W)

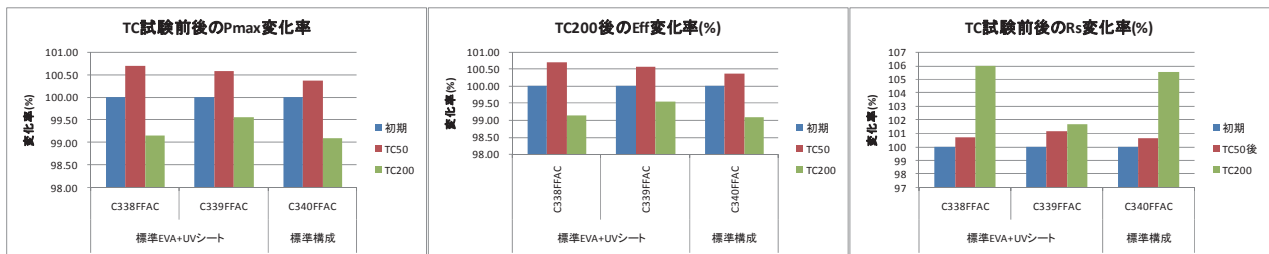
ID	初期	TC50	TC200	備考
C338FFAC	14.64	14.74	14.52	標準 EVA+UV シート
C339FFAC	14.66	14.74	14.59	
C340FFAC	14.80	14.85	14.67	標準構成

②変換効率 Eff(単位: %)

ID	初期	TC50	TC200	備考
C338FFAC	8.84	8.90	8.76	標準 EVA+UV シート
C339FFAC	8.85	8.90	8.81	
C340FFAC	8.93	8.97	8.85	標準構成

③直列抵抗 R_s (単位: Ω)

ID	初期	TC50	TC200	備考
C338FFAC	0.055	0.055	0.058	標準 EVA+UV シート
C339FFAC	0.055	0.056	0.056	
C340FFAC	0.055	0.055	0.058	標準構成

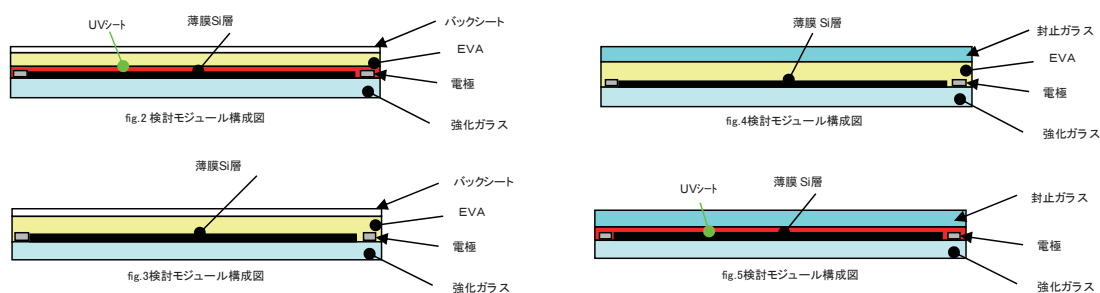


2. 薄膜モジュール

薄膜アモルファス Si セルでも同様に UV 硬化型シート状接着剤により EVA/Si セルの密着性に対してどのように影響を与えるか確認を行った。また、薄膜モジュールでは UV 硬化型シート状接着剤のみでの封止およびバックシートの代わりにガラスでの封止を検討した。なお、信頼性評価は DH 試験のみ実施した。

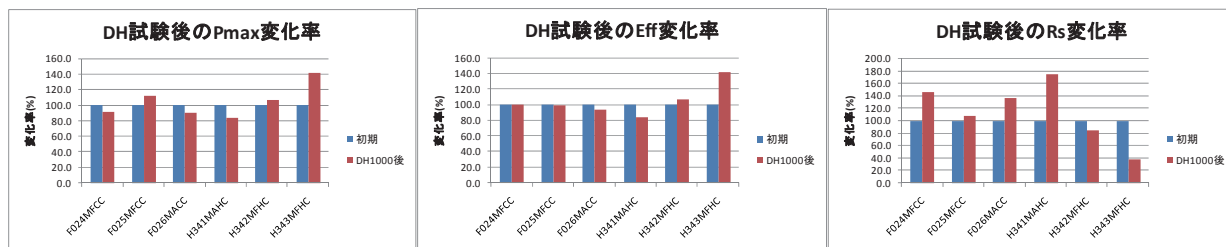
2-1. 検討モジュール構成

ID	封止剤	バックシート	備考
F024MFCC	標準 EVA+UV シート A	AL バックシート	fig.2
F025MFCC	標準 EVA+UV シート A	AL バックシート	fig.2
F026MACC	標準 EVA	AL バックシート	fig.3
H341MAHC	標準 EVA	2.0mm ガラス	fig.4
H342MFHC	UV シート A	2.0mm ガラス	fig.5
H343MFHC	UV シート B	2.0mm ガラス	fig.5



2-2. 試験結果

ID	Pmax 変化率		Eff 変化率		Rs 変化率		備考
	初期	DH1000	初期	DH1000	初期	DH1000	
F024MFCC	100.0	91.4	100.0	99.8	100.0	145.5	
F025MFCC	100.0	112.1	100.0	99.1	100.0	107.1	
F026MACC	100.0	90.7	100.0	94.0	100.0	136.5	
H341MAHC	100.0	83.4	100.0	83.4	100.0	173.5	
H342MFHC	100.0	106.4	100.0	106.4	100.0	84.0	
H343MFHC	100.0	141.4	100.0	141.4	100.0	37.9	



3. 実験結果のまとめ

①初期状態

UVシートを用いた多結晶4セルモジュール、薄膜アモルファスSiモジュールの初期状態は標準モジュールと最大電力、変換効率、直列抵抗値において大きな差はなかった。

②多結晶4セルモジュール信頼性試験結果

DH試験1000時間までは、標準モジュール、検討モジュールでの差はないが、2000時間後でUVシートを用いた検討モジュールの最大電力、変化効率の低下が測定された。一方、標準モジュールでは直列抵抗値の上昇があった。また、TC試験後では、標準モジュールと検討モジュールの変化の差は確認されなかった。

③薄膜アモルファスSiモジュール信頼性試験結果

DH試験1000時間後までの比較では、標準モジュールにおいて直列抵抗値の上昇がみられた。UVシートを用いたガラス封止では、抵抗値の上昇はみられず、最大電力、変換効率の低下はなかった。(H343MFHCは初期に接続不良があり、試験中に接続が回復した可能性あり。)

4. 考察

①多結晶Si検討モジュールDH試験2000時間後の最大電力、変換効率の低下

この現象は、当初UVシートの吸湿による白濁が原因であると考えられた。UVシートは吸湿すると白濁し、光透過率が低下するが、今回の試験では外観上の白濁は見られなかった。原因は他にある可能性がある。

②直列抵抗値の変化

標準モジュールでは、多結晶Si、薄膜アモルファスSiのどちらでも直列抵抗値の上昇があり、UVシートを用いた検討モジュールでは、その変化が小さい。これは、封止材としてUVシートは柔軟であり、その結果、接続材料へ物理的な力を与えないためと考えられる。

③薄膜アモルファスSiモジュール

薄膜アモルファスSiモジュールでは、UVシートを用いた検討モジュールの直列抵抗値の上昇が少なく、最大電力、変換効率の良いモジュールもあった。UVシートの柔軟性が関与しているものと思われる。

④EVAから発生する腐食性アウトガスの影響

今回の実験からは腐食性アウトガスの影響は観察されなかった。

⑤UVシート適用可能性

UVシートは下記の表にあるように、物性面では柔軟性、アウトガスの点で優れている。また、生産性の面ではUV硬化により低温短時間硬化が可能である。現行の封止構造では、厚膜のシートが必要なためコスト面で適用困難であるが、吸湿性などを改善し、ロール to ロールなどの生産プロセスには最適であると考えられる。

比較項目	UVシート	現行EVA
生産性	◎	○
密着性	◎	○
腐食性のアウトガス	◎	△
透湿性(吸水率)	△	◎
太陽電池セル封止信頼性	1000時間~2000時間	2000時間以上

「封止材・バックシートによる結晶およびアモルファスシリコン太陽電池への信頼性影響について」

積水化学工業株式会社

I. 目的

弊社ではモジュール製造のプロセス改善やバリア性向上によるモジュール長寿命化を目的に封止材およびバックシートの開発を行っている。開発には以下のような課題があった。

- ①新規材料への置きかえを判断する信頼性の基準が持てない事
- ②最終製品である太陽電池モジュールとしての評価実施が困難である事

コンソーシアムには、自社開発アイテムに対する信頼性評価環境の整備を第一の目的に参画し、検討を行った。

II. 研究開発目標

コンソーシアム 1 期では、以下の目標に取り組んだ

- ①結晶シリコン太陽電池を対象とした自社評価サンプルの高温高湿試験等、信頼性評価実施を完了し、封止材設計と信頼性評価結果の相関を明確にする事
- ②アモルファスシリコン太陽電池、化合物系太陽電池を対象とした自社評価サンプルの信頼性評価を完了し、封止材・バックシート設計と信頼性評価結果の相関を明確にする事

なお、以下に記載する実験は材料の変更以外、すべて産総研標準手順に基づいて作製したモジュールを用いた

III. 研究開発の成果

1) 結晶シリコン太陽電池における封止材設計と信頼性評価

a) 概要

結晶シリコン太陽電池は既に 20 年以上の実績がある製品であるが、その開発は太陽電池性能の向上を優先的に進められていた。その結果、発電効率は飛躍的に向上し市場に受け入れられるレベルになってきた。しかし、補助金制度や欧州におけるフィードインタリフの導入などの追い風による部分は否めず、例えば太陽光発電ロードマップ(PV2030+)に示されているようにその発電コスト(円/kWh)低減が急務となっている。

発電コスト低減には、主に①部材コストの削減、②製造固定費の削減、③製品の長寿命化、④設置コストの削減、が必要となる。弊社では、顧客のプロセス時間を短縮できる封止材を開発することで製造固定費を削減し、発電コストの低減実現を目標に開発に取り組んだ。現状の結晶シリコン太陽電池で使用されている封止材は実曝実績がある材料の為、同程度以上の信頼性が必須の要求品質項目となる。今回の検討では封止材の構成因子変更がモジュールの長期信頼性へ与える影響をまずは確認し、材料の設計変更が可能な範囲を

明確にする事にある。

b) 検討内容－1 結晶シリコン太陽電池における自社材料評価

社内にて結晶シリコン太陽電池モジュール製造プロセス改善を目的にサンプル①～⑧を作製した。サンプルは封止材の主な構成因子からプロセス改善に繋がる物を4点選び（表1）、そのマトリクスを図1の様に組んで行った。

表1 封止材構成因子の選択

構成部材	因子
EVA	モノマー比
	MFR※
	分子量
	シーケンス
架橋剤	種類
	配合量
架橋助剤	種類
	配合量
添加剤	種類
	配合量

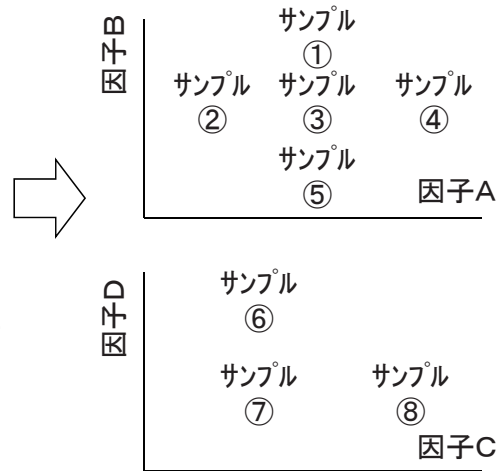
※MFR:マルチフローレート

・因子A
・因子B
・因子C
・因子D

選択

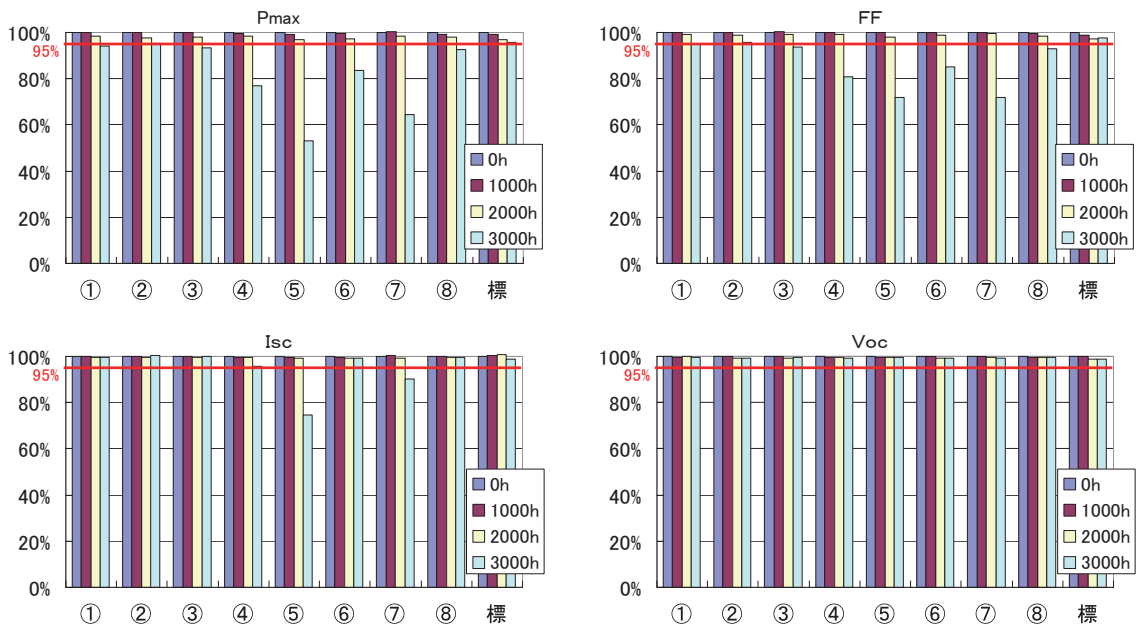
プロセス改善に繋がる構成因子

図1 サンプルの作製



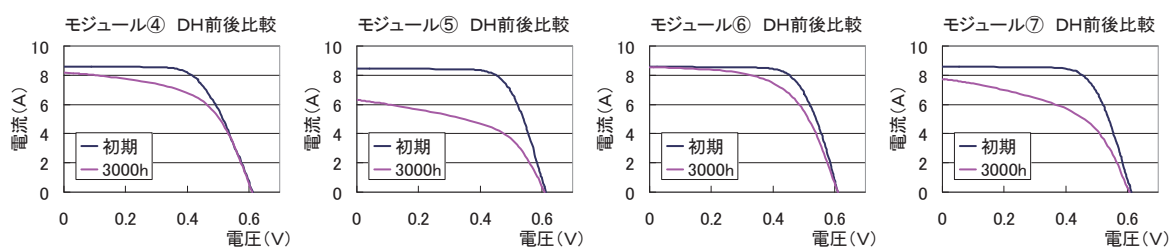
得られた8点のサンプルに、産総研標準サンプルを加えた9点に対して高温高湿試験を実施した。結果を図2に示した。

図2 結晶シリコンモジュール高温高湿試験結果



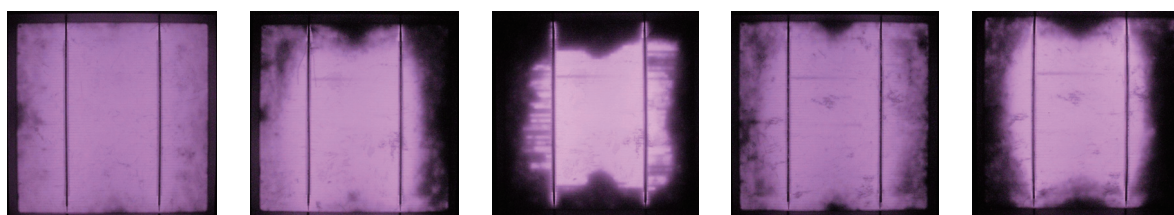
2000時間までは全てのモジュールで95%以上の性能保持が確認された。しかし、3000時間後には大幅に性能が低下している物が何点か確認された。大幅に性能低下が確認されたサンプル④～⑦については、劣化モードを確認するために、耐久前後のI Vカーブを図3に示した。

図3 性能低下モジュールの耐久前後I Vカーブ比較



性能低下が大きかった⑤や⑦ではIscの低下や並列抵抗の顕著な劣化が確認された。外観観察では、出力低下に関与するような黄変や剥離は見られなかった。図4には3000時間後に観察したEL画像を示した。

図4 モジュール高温高湿3000時間後 EL画像



モジュール① モジュール④ モジュール⑤ モジュール⑥ モジュール⑦

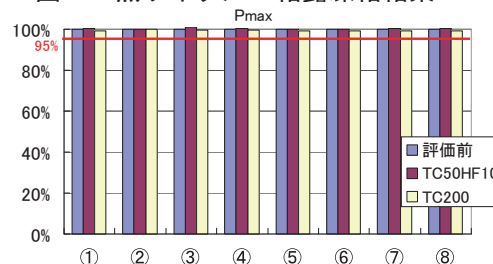
モジュール⑤ではフィンガー電極を境界とするような特徴的な暗部が確認された。この形状からセル自身ではなく、フィンガー電極の劣化により発光に必要な印加が出来ていない可能性が考えられる。一方、モジュール⑦は周辺部から徐々に性能劣化が起きていることが伺える。同様の劣化は④～⑥全てに確認された。

モジュール⑤と⑦の性能低下が別要因によるものか、⑦をさらに促進させると⑤になるのかを明確にするのは材料設計の上で重要である。I Vカーブの挙動などからは劣化速度の違いのようにも見えるが、詳細を明らかにするには更なる検討が必要である。

図5には熱サイクル試験および、結露凍結試験後のPmax変化値を示した。封止材構成因子の変更による、信頼性への影響は確認されなかった。

以上の結果から、封止材の設計変更における信頼性への影響をある程度推定し、設計可能領域を予測することが可能となった。

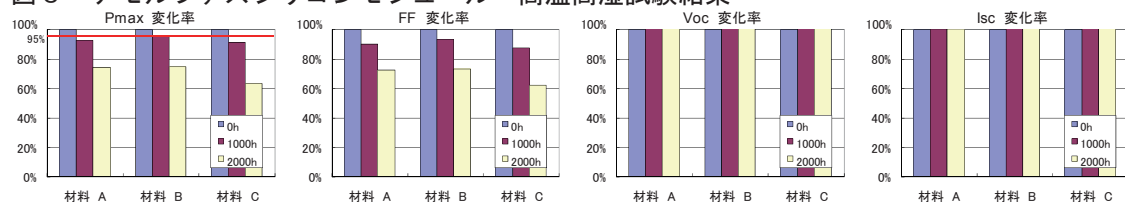
図5 熱サイクル・結露凍結結果



c) 検討内容－2 アモルファスシリコン太陽電池における自社材料評価

アモルファスシリコン太陽電池を用いた評価では、バックシートの性能が長期信頼性へ与える影響を確認することを目的に実施した。検討はバックシートを変更するために接着性を最適化した封止材の選定から行った。図6に封止材種による比較を行った信頼性評価結果を示した。

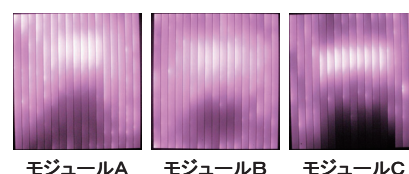
図6 アモルファスシリコンモジュール 高温高湿試験結果



いずれも1000時間後既に5%前後の性能低下が発生し、2000時間後には20%以上の性能劣化が確認された。I-Vカーブの比較からは大幅な直線抵抗の劣化が確認された。図7は2000時間後のEL画像であるが、何れも端子ボックスの部分に影が確認された。なお、熱サイクル試験では性能劣化は確認されなかった。

これらの結果から性能低下の原因として、選定した封止材とポッティング剤自身、若しくはそこから透過した水分との相互作用による抵抗増加が示唆される。残念ながら、封止材設計が完了しなかったため、自社のバックシート評価を行うことは出来なかった。

図7 高温高湿試験後EL画像



IV. まとめ

当初目的であった、モジュールでの評価を結晶シリコン、アモルファスシリコン何れのモジュールでも実施することが出来た。また、結晶シリコン太陽電池モジュールの評価においては、材料変更による信頼性への影響を確認し、設計変更可能な領域が明確になった。アモルファスシリコンでは目標としたバックシート性能との相関を得るには至らなかったが、結晶系と同じように封止材構造による信頼性への影響が確認できた。

現在、信頼性へ影響を及ぼした構成因子については、そのメカニズム解析を材料の単体評価を中心に進め、得られた知見を製品設計へ展開して開発を推進している。

また、コンソーシアムで得た知識や技術を活かし、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出来た。これもまたコンソーシアムで得られた成果であると考えている。

最後に、コンソーシアムでの研究開発活動を行うにあたって、多大なるご協力を頂きました産業技術総合研究所スタッフの皆様、参画企業の皆様にこの場をお借りしてお礼申し上げます。

「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」

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、導電性フィルム(Solar Cell Conductive Film)※を用いて結晶系セルとタブ線を接続する方法を新たに提案している。(※Solar Cell Conductive Film を以降 SCF と略して記載する。) この SCF 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、セルの薄型化が可能。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。SCF 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、従来のはんだ接続と同等またはそれ以上であることを確認することを目的とした。

II. 研究開発目標

SCF を使用した結晶・薄膜ミニモジュールにて信頼性試験を高温高湿環境 (85°C – 85%RH) 3,000 時間、温度サイクル試験 (-40°C ⇄ 85°C) 600 サイクル、結晶・薄膜フルサイズモジュールにて高温高湿環境 (85°C/85%RH) 1,000 時間、温度サイクル試験 (-40°C ⇄ 85°C) 200 サイクル評価を実施することを目標とした。また、既存の SCF を元に、より長期信頼性が期待できる材料の検討を行い、開発を行った。

III. 研究開発の成果

III-1. SCF 評価サンプル

本研究には以下の SCF 評価サンプルを使用した。

表 1 評価 SCF サンプル

評価 SCF サンプル	圧着条件	特徴
SCF-A	180°C, 2MPa, 15sec	既存品
SCF-B	180°C, 2MPa, 15sec	バインダ変更品
SCF-C	180°C, 2MPa, 15sec	粒子変更品
SCF-D	180°C, 2MPa, 15sec	バインダ、粒子変更品

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

SCF を使用した結晶セルストリング作製を以下の順番で行った(図 1)。

Step 1. 太陽電池セル両面の集電電極部分に SCF 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。

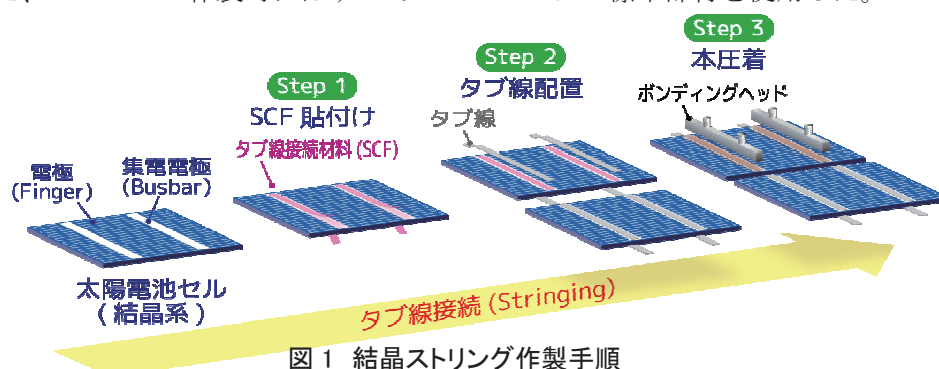


図1 結晶ストリング作製手順

III-2-2. 薄膜系モジュール作製方法

結晶系同様に太陽電池セルにSCFの貼り付け、タブ線配置、本圧着を行い太陽電池セルとタブ線の接続を行った。モジュール作製時には結晶系同様、すべてコンソーシアム標準部材を使用した。

III-3. 結晶系単セルモジュール評価

SCF-AとSCF-B、リファレンスとしてはんだ接合を行った単セルモジュールを作製し、SCFのバインダ種類、接続方法による信頼性の優位差を見るため、周辺のサイドシールがない状態で高温高湿環境(85°C-85%RH)を行った。その結果、3,000時間ですべてのモジュールで初期値から最大出力(Pmax)の低下が見られた(図2)。また、3,000時間後のモジュールではEL画像(図3)でセルの端に暗輝度部分が見られ、モジュールの耐熱テープ貼り付け位置と一致しているため、テープがセルの劣化を引き起こしたことが考えられる。このテープはラミネート時にガラス、EVA、バックシートなどを固定するために使用していた。この結果より、すべてのモジュールで2,000時間まではんだ接続と同等の結果が得られ、SCFのバインダ種類、接続方法による差異は確認されなかった。

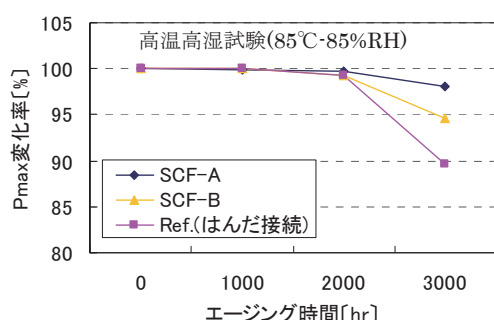


図2 単セルモジュール DH 試験

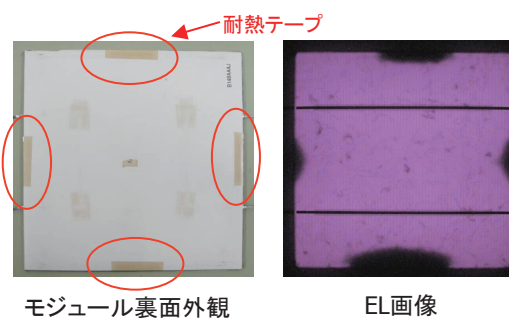


図3 単セルモジュール EL 画像

III-4. 結晶系4セルモジュール評価

III-4-1. 長期信頼性試験

SCF-A、SCF-B、SCF-Dを使用し、端面シール材やアルミフレームでサイドシールを

行った 4 セルモジュールを作製し、SCF のバインダ、粒子違いによる信頼性の差異を見るため、高温高湿環境(85°C-85%RH)と、温度サイクル試験(-40°C⇔85°C)を 50 サイクル、温湿度サイクル試験(85°C-85%RH⇔-40°C)を 10 サイクル行った後に、温度サイクル試験(-40°C⇔85°C)を行う計 2 種類の試験条件で評価を行った。その結果、高温高湿環境 3,000 時間後の SCF -A、B で初期値から 5%程度の最大出力(Pmax)の低下が見られ、4,000 時間後では 10%以上の低下が見られた(図 4)。サイクル試験では 600 サイクルまで経過したサンプルにおいても初期値からの最大出力(Pmax)の低下は 5%未満となっており、大きな低下はみられなかった(図 4)。また、接続方法による信頼性の優位差を見るため、AIST 作製のはんだ接続モジュールと比較したところ、SCF-A、B と同様、出力の低下が見られた。はんだ接続モジュールの高温高湿環境 2,000 時間と 3,000 時間を比較すると 3,000 時間経過したモジュールの EL 画像で各太陽電池セルの周囲で暗輝度な部分が見られた(図 5)。サイドシールを行ったにも関わらず、出力の低下、EL の暗輝度部分の発生が見られたことから、タブ線接続部自体には問題はなく、長時間の高温高湿環境でモジュール内に水分が浸入し、セルの劣化が起こったと考えられる。今回の結果から、4 セルモジュール評価においても、はんだ実装と同等の結果が得られ、SCF の種類、接続方法による差異はなかった。

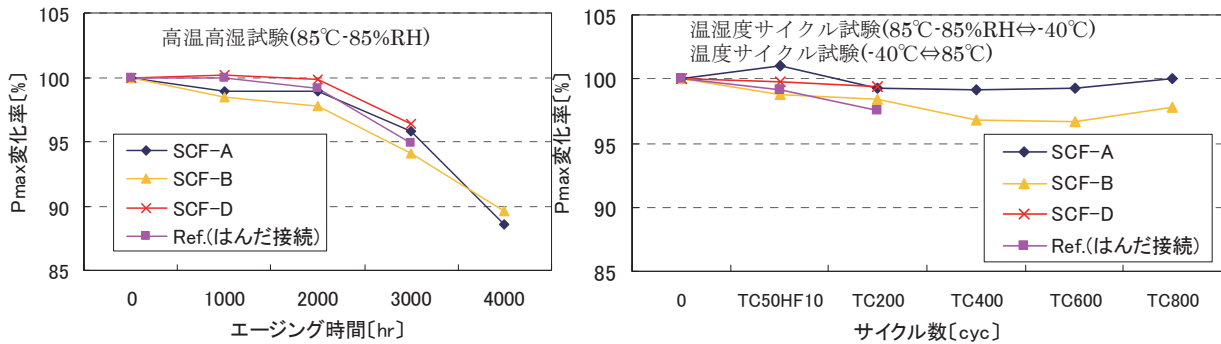


図 4 結晶 4 セルモジュール長期信頼性試験

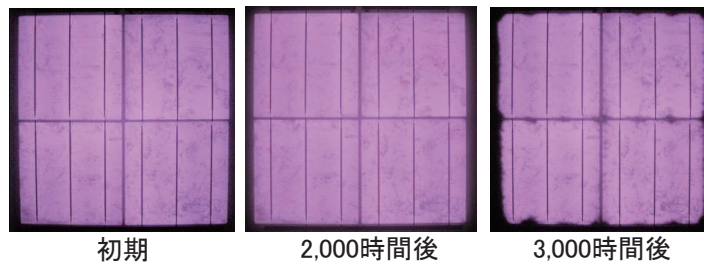


図 5 高温高湿試験後のはんだ接続モジュール EL 画像

III-5. 薄膜系ミニモジュール (180mm 角セル、400mm 角セル) 評価

III-5-1. 初期特性

薄膜系モジュールにおいても接続方法の優位差を確認するため SCF 接続、はんだ接続それぞれのモジュールを作製し、初期特性の比較を行ったが、180mm 角、400mm 角いずれのモジュールも、セルごとに最大出力(Pmax)、FF のばらつきが見られ、FF の低いセ

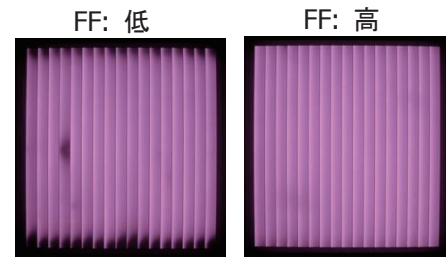


図 6 180mm 角 薄膜セル初期 EL 画像

ルは EL 画像で暗輝度部分が見られた(図 6)。

このばらつきはセルを作製する際に起きたばらつきであると考え。そこで薄膜系モジュール評価においては、初期特性では比較は行わず、信頼性試験後の初期値からの最大出力(Pmax)の変化率をみることにした。

III-5-2. 長期信頼性試験

SCF 接続、はんだ接続により作製した 400mm 角モジュールを高温高湿環境(85℃-85%RH)と温度サイクル試験(-40℃⇔85℃)の試験条件で評価を行った。その結果、高温高湿環境、温度サイクル試験ともに試験後のモジュールの EL 画像で端子ボックス付近に暗輝度部分が発生し、高温高湿環境 2,000 時間後のモジュールについては SCF 接続、はんだ接続ともに 50%程度の大幅な最大出力(Pmax)の低下が見られ(図 7)、EL 画像においても暗輝度部分が拡大していた(図 8)。薄膜系モジュールは早期にセルの劣化が確認され、接続方法による差異を確認出来なかった。今回の結果より、モジュールの端子ボックス周辺からモジュール内に水分が浸入し、セルの劣化を引き起こしたことが考えられる。

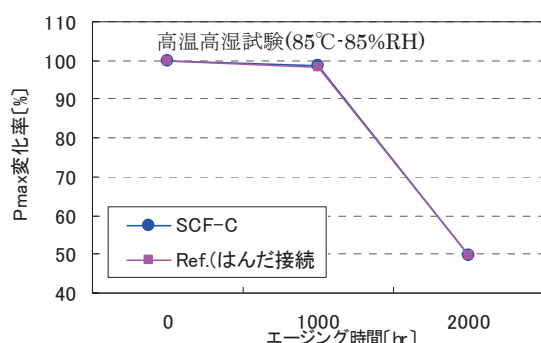


図 7 400mm 角薄膜モジュール DH 試験

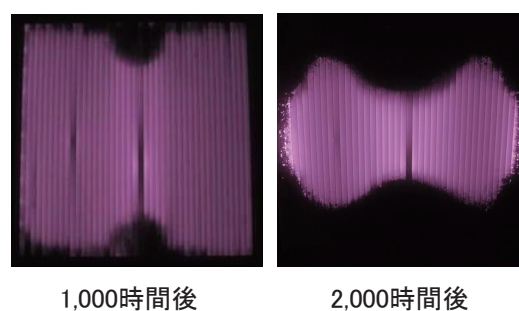


図 8 400mm 角薄膜モジュール DH 試験後 EL 画像

IV. まとめ

コンソーシアム全体において、部材の調達の遅れや準備不足などがあり、当初の評価スケジュールからの大幅な遅れが出た。特に薄膜系モジュール、フルサイズモジュールについては十分な評価ができなかったため、第 2 期も継続して評価を行っていききたい。また、薄膜系モジュールについてはモジュールの構造がセルの劣化を引き起こした可能性があるため、モジュール構造の再検討を行う必要があると考える。結晶モジュール評価においては、SCF 接続ははんだ接続と同等の信頼性があることがわかった。また、高温高湿環境(85℃-85%RH)の 3,000 時間以降ですべてのモジュールで初期値から 5%程度の最大出力(Pmax)の低下が見られ、モジュールの信頼性には水分による影響が大きいということが分かった。第 1 期ではモジュール破壊分析などに制限があったため、モジュール劣化現象の把握、劣化原因の推測にとどまり、劣化原因の解明までには至らなかった。長期信頼性モジュール開発を行っていく上では劣化原因を解明し、各部材開発に活かしていく必要があると考える。第 2 期ではさらなる長寿命モジュールの開発を行うため、標準部材以外の組み合わせでモジュールを作製し、より長期間の試験や、急速温度サイクル試験などの厳しい条件下で信頼性評価を行い、より信頼性の高い SCF の開発を行っていききたい。

「高性能 長期信頼性バックシート（BS）部材の特性評価」

ダイキン工業株式会社

I. 目的

太陽電池（PV）の耐用年数の延長はトータル・コストダウンに直結するため、耐用年数（寿命）内での故障現象について研究が進められている。中でも経時による「劣化故障」が耐用寿命を大きく決定しており、モジュールを構成する樹脂（保護シート、封止材、端面シール材）などの劣化等がそれを誘発しているとされている。

本研究開発の目的は、フッ素素材の「高耐久性（耐候性、耐加水分解性、難燃性）」「高機能性（水蒸気バリア性、絶縁性）」を利用した太陽電池用部材をPVモジュールに適用した際の高信頼性確保への可能性検証を行うことにある。より具体的には、

1. 高耐久性BS部材__検討①：フッ素樹脂塗料をコートしたBS
2. 低透湿BS部材 __検討②：低透湿フッ素樹脂フィルムを用いたBSを用いた時の長期信頼性評価を行う。

II. 研究開発目標

平成23年3月の目標について、特性評価項目および数量等を以下に記す。

高性能 長期信頼性BS部材の特性評価では、「検討①：フッ素コーティング系BSと従来のテドラーBSとの長期信頼性の比較評価」を「結晶Siモジュール」において、「DH試験（85℃×85%RH）」にて行う。但し従来のIECで定められている1000hr評価ではなく、更なる長時間（5000hr）で、有意差確認を行う。さらに「TC試験（-45℃⇔85℃サイクル）」でのモジュールの耐久性を検証するため、本コンソで行われている200サイクルを上限にその影響の有意差を確認する。また「UV照射試験」では、モジュールへは通電はせず、コンソで行われている標準試験方法（3UV×582hr）にてUV光での劣化挙動を検証する。

一方「薄膜Si系」に対しても同様に、BS素材を「検討②：フッ素樹脂フィルム」に適用し、「結晶Siモジュール」と同じ「DH試験」にて素材の耐久性検証を行う。最後に得られた知見をもとに選別した素材を用いてフルサイズでのモジュール試作（メートル角サイズ）を行い、屋外曝露試験への準備を行う。

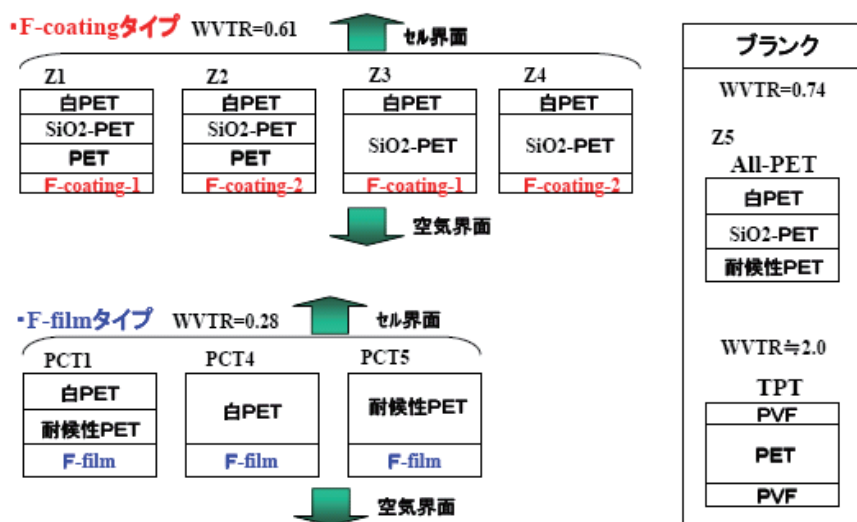
III. 研究開発の成果

研究開発の成果について、以下に記す。

- ・実験：今回、特性評価に用いたモジュールの種類／枚数を以下の表に記す。

	c-Si(結晶系)	a-Si(薄膜系)	
単セルサイズ*(18cm角相当)	45	5	
4セルサイズ*(40cm角相当)	14	4	
フルモジュールサイズ*(100cm角)	6	0	
計	65	9	74

高性能 長期信頼性 B S 部材としては以下のものを用いた。



1. 結晶系モジュール：

1. 1. 単セルでの評価：

上記 B S 部材を用いて DH 試験を行った。その結果を図 1 に示す。

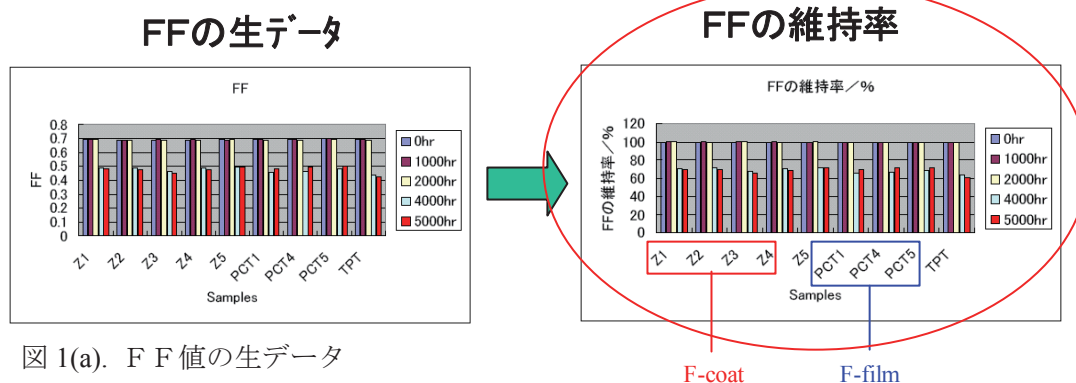


図 1(a). F F 値の生データ

図 1(b). F F 値の維持率

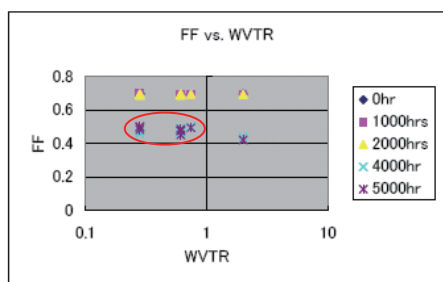


図 1(c). 水蒸気透過率と F F 値

図 1. DH 試験_ F F 値の生データ/維持率、水蒸気透過率と F F 値との関係

「DH 試験」の結果、「結晶系モジュール」では従来 IEC で定められている 1000hr では有意差が確認できなかつた。一方、「4000hr 以降」では劣化の程度が 5% を上回り、信頼性としては「Fail」だったが、B S がテドラー系 (水蒸気バリア性[WVTR=2]) よりも、「低透湿な B S 素材 (WVTR=0.74, 0.61, 0.28)」で「F F 値 (フィルファクタ)」が若干緩和される傾

向（図1(c) 赤丸）にあったことが示唆された。今後は「WVTR= 0.28」よりも小さい値のBS部材で劣化の程度が5%以内を維持し、かつ素材選別可能な特性評価が必要と考えられる。

1. 2. 四セルでの評価：

(DH試験)：

四セルモジュールにて上記BS部材を用いてDH試験を行った。その結果を図2に示す。その結果、試験槽への投入タイミングの都合から2000hrまでしか行えず、この範囲では5%以上の劣化の有意差は見られなかった。

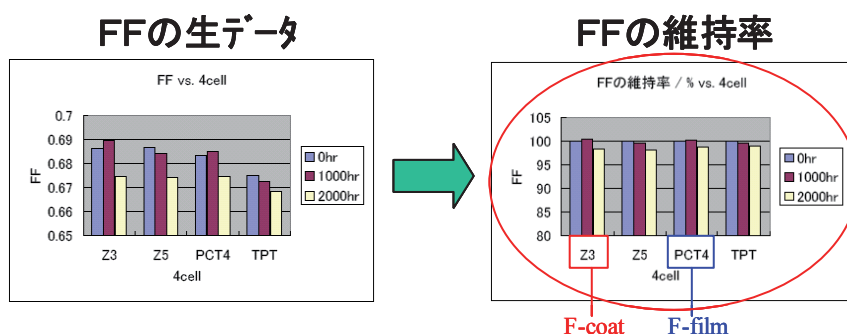


図2. DH試験_FF値の生データ/維持率の関係(四セル)

(TC200試験)：

次に、上記BS部材を用いてTC試験を行った。その結果を図3に示す。その結果、「TC200試験」でも影響の有意差が確認できなかった。そのため、更なる長期試験での選別が必要と考えられる。

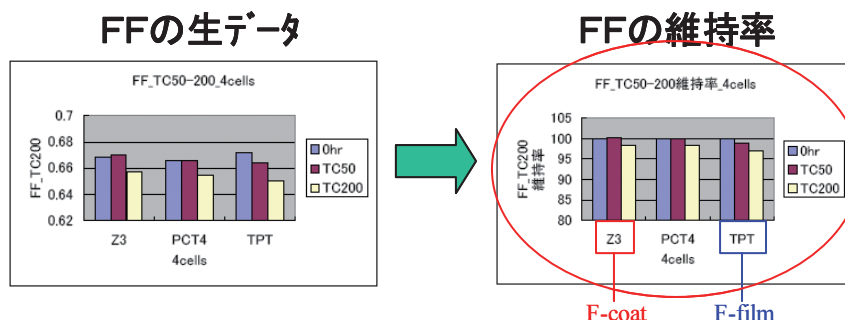


図3. TC200試験_FF値の生データ/維持率の関係

(UV試験)：

さらに、上記BS部材を用いてUV試験を行った。その結果を図4に示す。

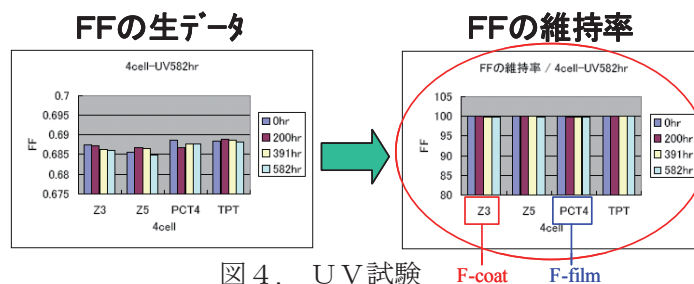


図4. UV試験 F-coat F-film

本試験では 582hr 間にわたり UV 照射しても、モジュールの劣化は確認できなかった。今後は光照射と同時に「電力」をかけることが素材選別の判断には必要と考えられる。

2. 薄膜系モジュール：

(DH試験)：

上記 B S 部材を用いて DH 試験を行った。その結果を図 5 に示す。

試験 1000hr で既に、B S が「テドラー系（水蒸気バリア性[WVTR=2]）」、「低透湿な B S 素材（WVTR=0.61[F-coat], 0.28[F-film]）」「Si 蒸着 PET」で「F F 値（フィルファクタ）」の劣化の程度（維持乖離率）が 5% を大きく上回り、正しい測定が不能であった。このことから、薄膜系モジュールについては、従来の素材に水蒸気透過をさらに抑制した素材開発が必要である（例：DH 1000hr では WVTR=10⁻² g/m²day 以下、DH 2000hr では WVTR=10⁻⁵ g/m²day 以下など）。

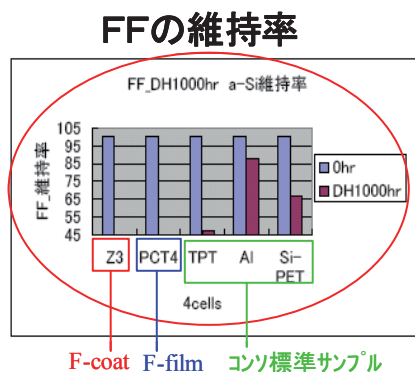


図 5. DH試験__F F 値 維持率の関係（薄膜 約 1 8 c m 角）

IV. まとめ

研究開発の成果として「目標達成度」は「DH 試験」の結果、従来の IEC で定められている 1000hr では有意差が確認できないが、「4000hr 以降」で「結晶系モジュール」では B S がテドラー系（水蒸気バリア性[WVTR=2]）よりも、「低透湿な B S 素材（WVTR=0.74, 0.61, 0.28）」で「F F 値（フィルファクタ）」が若干緩和される傾向にあったことが示唆された点にあり、試験選別可能である傾向があった。さらに「TC200 試験」では影響の有意差が確認できないため、更なる長期試験「TC300~600」での選別が必要と考えられる。

また「UV 照射試験（UV_582hr）」では間接照射なため、劣化が確認できなかった。このため光照射と同時に「電力」をかけることが選別判断には必要と考えられる。

「今後の課題」として、結晶 Si 系のみならず、薄膜 Si 系においても劣化モジュールの非破壊／破壊 試験を通じて、劣化・不良要因を部材レベルでマイクロに調査分析するとともに、劣化要因を分類化し解明することが挙げられる

さらに、そこから得られるモジュールの性能劣化（発電効率低下）に対する B S を含む保護シートの影響の度合い、すなわち、保護シートがモジュールの長寿命化・信頼性向上に果たすべき役割を『耐久性のある新規部材』と直結し、P V モジュールレベルとしてメカニズムを可視化し、かつ、最適な要求特性を数値化することが必要である。

I. 目的

太陽電池モジュールの組み立ての際に、現在、セルの接続はハンダ溶融メッキをほどこした銅平角線をセルとハンダ付けすることによって行なわれている。ハンダ付けは電氣的接続と金属同士の融着接合を同時に行なうことのできる合理的な技術である。しかし近年の Si 資源節約・低価格化などによる、セル厚みの低減傾向の中で、ハンダクラック・接合部周辺のセルクラックなど接合部の不具合などが問題となってきた。

ハンダ接合に伴う熱歪みやハンダ材料に起因するクラックなどによるモジュール信頼性の低下を起こさないために、応力緩和性能に優れた新たな接合工法を検証することが本研究の目的である。

II. 研究開発目標

導電接着材を用いて接合を行なった太陽電池モジュールの変換効率などの初期性能が、通常のハンダ接合タイプと同等以上であることを検証する。

導電接着材料に有機系材料である特長を活かした接合部の応力緩和性能を付与することにより、ハンダ接続では回避できないインターコネクター／セル間の歪みを低減し、その効果として、導電接着材工法が従来のハンダ接合に比べ、モジュール寿命を延長できることを、各種加速試験にて検証する。

III. 研究開発の成果

III.1 ハンダ接合の課題と導電接着接合のコンセプト

結晶系セルとインターコネクターのハンダ接合は、ハンダ溶融点から常温に冷却する際に、接合部には表 1 に示す各構成材料の線膨張係数の差と弾性率から内部応力が生じる。

表. 1 モジュール構成材料の線膨張係数とヤング率

	CTE / ppm/°C	Young modulus / GPa
Cu	16.2	110
Solder	23.4	31
Si	2.6	185

さらに、接合部がセルの全長にわたるものであること、および、表面裏面の両面ハンダ付けであることから変形による応力緩和が無く、その内部応力は非常に大きいものと推測される。

このことは、ハンダ接合不良がモジュールの主要不良要因とされることと大きな相関性があると推測される。また、ハンダ付けの際に使用されるフラックスは、残渣となってバスバー付近のセル表面に付着し、封止材(EVA)との接着阻害によるデラミネーションを引き起こす原因やマイグレーション経路となることで、モジュールの性能低下の要因となっていることも推測される。

これらの要因を低減するための導電接着工法のコンセプトとしては、応力緩和性能を

重視し、低弾性率の接着材を設計した。本研究で使用した接着材の線膨張係数はハンダに比べ約 10 倍になるものの、弾性率は約 1000 分の 1 であり、このことで接着材層がセルとリード線の線膨張の差による歪み・応力の緩和層として機能させることを意図した。

また、工程温度を真空ラミネート時の 150℃以下で接着を行なえるようにバインダー樹脂の配合設計を行ない、ハンダ付け温度に対して約 100℃以上低くして、熱歪みそのものを低減することもねらった。

さらに導電性の付与は接着工程でのセル破損などを防止するため圧着圧力を可能な限り低く設定できるように、ルーズコンタクトでも導電性の良好な粒子を選定した。

III. 2 接続性能

基板上に形成した 100 μm 幅の Ag 電極パターンと 100 μm 幅の Cu 箔をハンダ付けもしくは本研究に用いた導電接着材で接合し、日置電機ミリオームメーター 3540 をもちい、4 端子法で接続抵抗を比較した(図 1)。ハンダに対して相対比較すると導電接着材による接続抵抗は、金属結合による導通ではないため、いずれもおおよそ 2 倍から 10 倍大きいものとなった(表 2)。

表. 2 接着剤の特性

	相対接続抵抗	特徴
ハンダ	1	
A-1	2.1	接着発現性
A-2	2.2	接着性
A-3	6.2	導電安定性
A-4	8.4	耐熱性

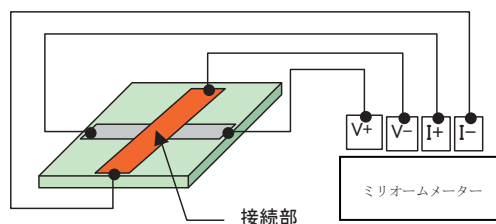


図. 1 接続抵抗測定

III. 3 モジュール作製

導電接着材によるモジュール作製工程は、通常のハンダ付けによるものと基本的には同じであるが、セルストリングの接続の際にインターコネクターとセルのバスバーの間に導電接着材をセットする工程が追加される。その後セルと配線を 150℃で圧着する。この際の圧着圧力は 1.0Mpa 以下で行なった。

配線材料以外のモジュール構成材料は、基本的にはコンソーシアム標準品を使用した。リボン線は標準品のハンダメッキ線以外に、数種の特殊処理を行なった銅線を使用した。

III. 4 モジュール初期性能

4 セルミニモジュールでの初期の相対出力・直列抵抗を表 2 に示した相対接続抵抗に対してプロットしたものを、図 2 に示す。相対出力は接続抵抗の低いものほど高い傾向にある。しかし性能の高かった接着材 A-1 においても、標準品に比べ約 1~2%変換効率率は低い。

これは、接着材の接続抵抗がハンダ付けよりも高いことと、さらに接着材の貼り付け工程を十分に標準化できていなかったこと、接着圧力・温度の不均一、貼り付け位置精度

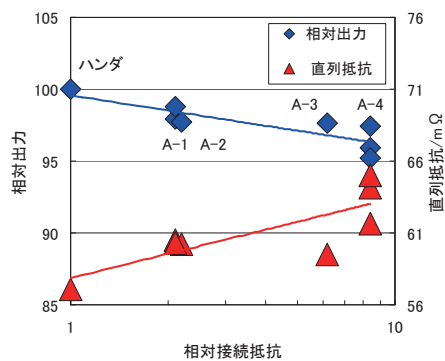


図. 2 4セルモジュールの初期性能比較

などの複合的な原因により発生したと考える。

フルサイズモジュールでは、この接着工程をある程度標準化して行なったので、ここではデータを割愛したが、標準品に対しての比較はこの結果がより確からしいと考える。A-1 接着材を用いたモジュールでは標準品に対し約 0.9%出力が低かった。しかしながら、EL 測定の結果および肉眼観察では接着材はみ出し・セル割れなどがあり、真の実力値はいま少し高いものと考えている。

III. 5 モジュール加速試験結果

4セルモジュールの加速試験は下図に示すように、高温高湿(DH)試験では導電接着材工法に明確なメリットが現れなかったが、温度サイクル(TC)試験では、データは充分でないものの、性能保持が良好な傾向が見られた。

DH 試験では連続的な高温付加と吸湿が起こるが、セル接合部の不具合を誘引する原因としては小さく、ハンダ付け・接着接合の間で有意な差が現れなかったものと考えられる。

一方、TC 試験においては、温度サイクルにおける膨張収縮は、ハンダ接合部では疲労破壊・脆性破壊による導通不良が起きるが、導電接着接合では応力緩和し接合部の破断が発生しないため性能保持が良好であると推定できる。

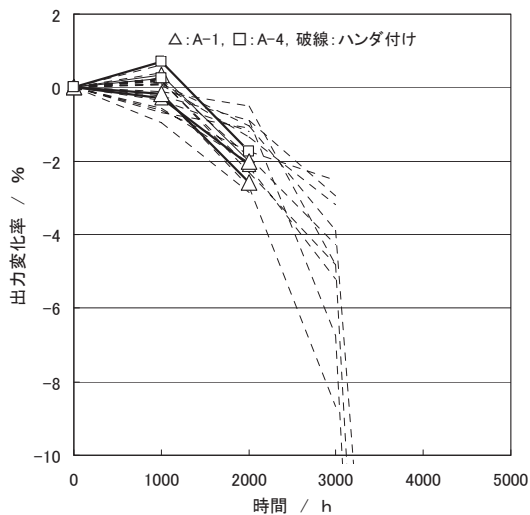


図. 3 4セルモジュールの高温高湿試験

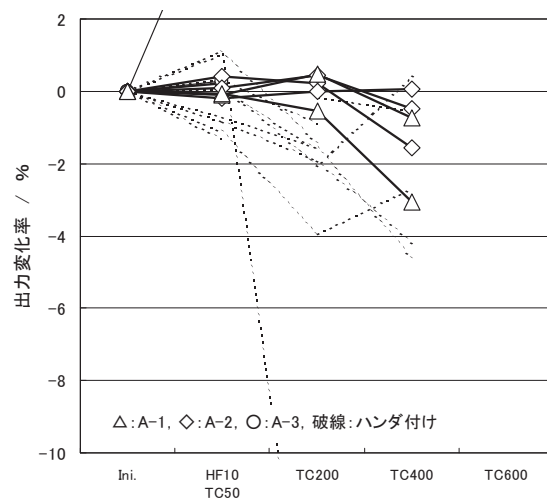


図. 4 4セルモジュールの温度サイクル試験

フルサイズモジュールにおいては、加速試験はほとんど行なわれておらず詳細データは割愛するが、DH1000h の結果は標準モジュールに対して、約 2.5%の出力低下が見られた。しかし、EL 測定からモジュールあたり 1セルの接続部近傍以外のクラックなどによる暗部が観察され、明らかにモジュール作製・セルストリング作製の際の不良に起因しているも

のと考えられる。

また、凍結結露サイクル後のモジュールでは、まったく性能低下は見られない。これらは、今後の継続測定で劣化挙動をあきらかにしていきたい。

III.5 特殊表面加工インターコネクタの適用検討

表面に凹凸形状を形成し、入射する太陽光を斜め方向に反射し、保護ガラス内面を経てセル上に導き、インターコネクタ上の光も有効利用する新規な配線材料がある。この配線材料は構造上ハンダメッキが困難であり、導電接着工法での適用が期待されている。

この配線材料を用いて、単セルモジュールを作製し、初期効率の比較を行なった、比較サンプルとしては、表面の平滑な同一厚みの平角線とした。結果は、相対値で約 2.7%の変換効率向上が認められた。このモジュールをレーザーテック MP-50 によって電流密度の分

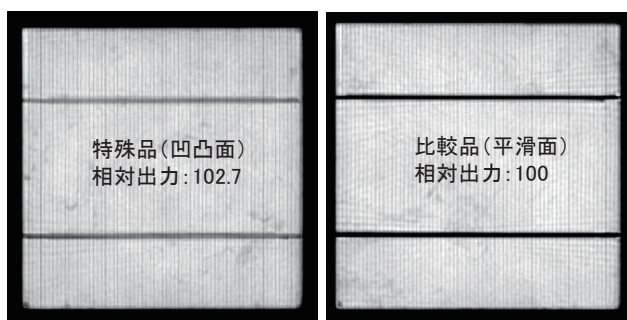


図. 5 特殊表面加工インターコネクタの出力特性・分布

布を観察すると、凹凸面を有する配線では、配線上においても発電が行なわれているように見える。これは配線上の光が、乱反射してセルの他の部分で発電量として出力されることによるものであり、この配線材料の性能が確認された。

IV. まとめ

導電接着によるセル接続を行なったモジュールは、ハンダ接合に対して、約 1%の初期性能の低下が見られ、初期の開発目標であるハンダ付け同等以上の性能は得られなかった。これは、導電接着材での接続抵抗がハンダ付けに対して、約 2 倍以上高いことが、主要因であると考えられるが、工程条件などの要因もあると思われる。本研究では、接着工程を十分に標準化できなかつたことから、定量的な性能の不足は十分に考察は出来なかつた。今後は、接着材の組成・構成の最適化とともに接合条件の最適化をも進めていく必要があることが明らかになった。

また、本研究で用いた接着材・条件においても、特殊表面加工したインターコネクタを用いることで、初期の発電効率をハンダ付けよりも向上可能なことも明らかとなった。

モジュールの耐久性は、十分に考察できるだけの実験が終了していないが、傾向的には高温高湿(DH)試験においては、ハンダ付けと同様の劣化挙動であり、温度サイクル(TC)試験では、ハンダ付けより、やや良好な性能保持が見られることが言える。

この TC 試験によるモジュール性能保持の向上傾向は、接着材の応力緩和性による寿命向上という、本研究のコンセプトが有効であることを定性的に立証できたものとする。

「バックシートに求められる物性調査及び、新規封止材の検討」

ダイセル化学工業株式会社

I. 目的

1. モジュールの長期信頼性を得るためバックシートに求められる物性を、調査、把握する。
2. 自社開発封止材、およびバックシートの評価を行う。

II. 研究開発目標

自社開発中の部材の特性を把握する。

III. 研究開発の成果

1. バックシートに求められる物性調査

① バックシートの反射率

実験；標準部材又は、ダブルガラス構造、BSレス、各種透明フィルムBSで単セルモジュールを作製し、ソーラーシミュレーターにて評価を行った。

結果；

Table1.各種構成でのソーラーシミュレーター評価結果

	開放電圧 Voc(V)	短絡電流 Isc(A)	フィルファクタ FF	効率 Eff(%)
標準1	0.61	8.4	0.70	11.0
標準2	0.61	8.4	0.70	11.1
標準3	0.61	8.4	0.70	11.1
標準4	0.61	8.4	0.70	11.1
Dガラス	0.61	8.1	0.70	10.8
Dガラス	0.61	8.2	0.70	10.9
BSレス1	0.61	8.1	0.70	10.8
BSレス2	0.61	8.1	0.70	10.7
透明フィルムA	0.61	8.2	0.70	10.8
透明フィルムB	0.61	8.1	0.70	10.7
透明フィルムC1	0.61	8.1	0.70	10.8
透明フィルムC2	0.61	8.1	0.71	10.9
透明フィルムD1	0.61	8.1	0.70	10.7
透明フィルムD2	0.61	8.2	0.70	10.8
透明フィルムG1	0.61	8.1	0.70	10.8
透明フィルムG2	0.61	8.2	0.70	10.8

注) 封止材はいずれも標準EVA (FC)

考察；標準部材の効率が11.1%前後であるのに対して、BSレス、Dガラス（ダブルガラス構造）、透明フィルムを用いた場合の効率は10.8%前後と低い結果になった。単セルモジュールの場合、フルモジュールなどに比べてセル周囲の空間が相対的に広いこと、BSでの反射による光再利用の効果が大きくなったと考えられる。透明フィルムDを用いた場合を除いて外観は良好であったが、透明フィルムDを用いたモジュールではBSフィルムにクラックが見られた。透明フィルムDは他に比べて、靱性の低い材料を用いたフィルムであるため、ラミネートの際のセルの段差、タブ線の段差などの歪によってクラックが入ったものと考えられ、BS用材料に用いるためにはある程度の靱性が要求されることがわかった。

② 各種シートを用いた場合の耐電圧試験とソーラーシミュレーター評価

実験；単セルにて耐電圧試験を行うために、作製方法を工夫しアルミフレームと端子ボックスを取り付けた。(下記写真参照) 検討は、標準部材を含めて、BSレス、各種厚みのPETフィルム、TAC(トリアセチルセルロース)フィルムでモジュールを作製し、耐電圧試験及び、DH1000 前後の出力特性評価をソーラーシミュレーターで行った。



結果と考察；

Table2. 耐電圧試験結果

BS	封止材	DCW(絶縁試験) μA	IR(絶縁抵抗試験) GΩ	IR(湿潤漏れ電流試験) GΩ
TPT	EVA	0	99.9	35.3
TPT-傷あり	EVA	0	99.9	260MΩ (82V,1.5sec)
188PET	EVA	0	99.9	33.3
100PET	EVA	0	99.9	28.6
なし	EVA	40(1.97kV,4.7sec)	99.9	260MΩ (26V,1.5sec)
80TAC	EVA	0	99.9	27.3(40分後22.2)
TPT	自社封止材	0	99.9	99.9
なし	自社封止材	40(2.11kV,4.7sec)	99.9	260MΩ (23V,1.5sec)

注) 材料の前の数字は厚み、188PET、100PET、80TACは透明フィルム

- ・ TPT-BSであっても、傷があると湿潤漏れ電流試験はNGであり、BSの水透過性が湿潤時の絶縁性能に重要であることがわかった。
- ・ BSレスのモジュールはいずれも絶縁性が不十分であり、絶縁性確保のためにBSは必要であることがわかった。ラミネート時に封止材が熔融流動することにより、絶縁に必要な厚みが十分確保できなかったことが原因と推察される。
- ・ 水蒸気透過性の高いTACフィルムであっても、絶縁性は合格であったが、水中で40分放置後湿潤漏れ電流試験を行うと抵抗値が低下する現象が見られ、水蒸気透過率の高さが湿潤環境下での絶縁性を低下させる要因であることが確認できた。
- ・ 自社検討中のオレフィン系の封止材を用いると、湿潤漏れ電流試験時の抵抗値が高いことがわかった。EVAに比べて疎水性樹脂であることが湿潤時の抵抗値を上げているものと考えられる。

Table3. DH1000 前後のソーラーシミュレーター効率比較結果

BS	封止材	試験前	DH1000後	保持率 (%)
		Pmax(W)	Pmax(W)	
TPT-傷あり	EVA	2.8	2.8	101
188PET	EVA	2.8	2.8	101
100PET	EVA	2.8	2.8	102
なし	EVA	2.7	2.8	101
80TAC	EVA	2.8	2.8	102
TPT	自社封止材	2.8	2.8	100
なし	自社封止材	2.8	2.8	101

・アルミフレームなしに比べて出力が全般的に低いのは、アルミフレームがセルの大きさぎりぎりであるため光の再利用がほとんどなかったことが原因と予想される。

・いずれの場合もDH1000の加速試験の範囲では出力低下は見られなかった。特に、BSなしの場合であっても、出力低下はみられなかったことから、DH試験 - ソーラーシミュレーターによりBSのバリア性などの性能を評価することが難しい可能性が示唆された。

・DH試験後のEVA封止材を用いたモジュールで、EVAの白濁が観察された。DH試験後にいずれもEffが上昇しているが、このEVAの白濁による光の拡散効果が効率上昇に寄与した可能性が考えられるが、DH試験中にかかった熱により架橋が進行し透過率が上昇した可能性も考えられるので、原因を明らかにするにはさらなる検討が必要である。

まとめ

- ・BS部分での拡散反射により、セル開口部の光再利用が起こることで、発電効率上昇に寄与することが確認できた。
- ・絶縁性を確保するためにBSは必要であり、湿潤漏れ電流試験をパスするためにはある程度のバリア性が必要である。
- ・オレフィン系の封止材を用いた場合、湿潤漏れ電流試験の抵抗値が大きい結果になった。

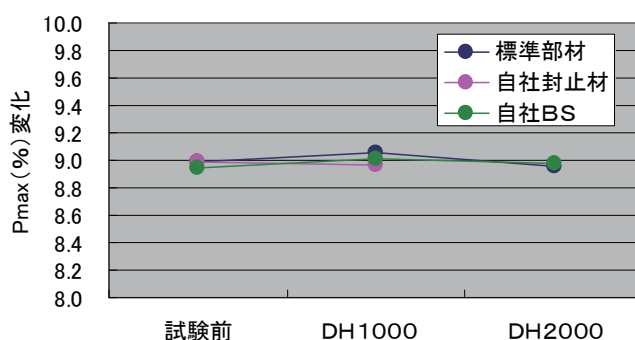
2. 自社開発封止材、およびバックシートの評価

① DH試験後の評価結果

実験；標準部材のみの構成、自社封止材と封止材以外は標準部材の構成、自社開発BSとBS以外は標準部材の構成でDH試験を行い、その前後の変化を評価した。

結果と考察；

Fig.1. DH試験前後のPmax変化



- ・ 自社BSに関してはDH2000、自社封止材に関してはDH1000 においても出力低下は見られなかった。

Table4. DH試験前後の耐電圧試験結果

			試験前	DH1000	DH2000
標準セル	DCW(絶縁試験)	(μA)	0	0	1
	IR(絶縁抵抗試験)	($G\Omega$)	>99.9	>99.9	>99.9
	IR(湿潤漏れ電流試験)	($G\Omega$)	8	5.26	1.57
自社封止材	DCW(絶縁試験)	(μA)	0	0	-
	IR(絶縁抵抗試験)	($G\Omega$)	>99.9	>99.9	-
	IR(湿潤漏れ電流試験)	($G\Omega$)	99.9	99.9	-
自社BS	DCW(絶縁試験)	(μA)	0	0	1
	IR(絶縁抵抗試験)	($G\Omega$)	>99.9	>99.9	>99.9
	IR(湿潤漏れ電流試験)	($G\Omega$)	7.32	5.04	1.45

- ・ いずれのサンプルもDH試験後の各種耐電圧試験にパスしている。標準セル、自社BSのサンプルでDH試験後の湿潤漏れ電流試験の抵抗値が低下傾向を示した。この現象については温度依存性による可能性があり、現在検証中である。
- ・ 一方、自社封止材ではDH1000 までではあるがいずれの値も変化は見られず、特に湿潤漏れ電流試験の抵抗値は、EVA封止材に比べて、単セルでの試験の時と同様高い結果になった。

IV. 成果まとめ

- ・ 光の再利用、絶縁性という観点からBSの必要性を実験的に確認した。
- ・ 自社BSを用いた構成において、DH2000 の範囲で出力低下は全く見られず、標準部材のTPTを用いた場合とほぼ同等の結果であった。
- ・ 吸湿性の低いオレフィン系の封止材を用いた構成においてDH1000 の範囲では出力の低下は見られなかった。また、EVA封止材に比べて湿潤環境での絶縁性が向上することが確認できた。

I. 目的

弊社では、太陽電池用部材として、バックシートと封止材の開発を行っている。コンソーシアムでは、高信頼性太陽電池モジュールの開発に向けて、自社製品である(1)高反射バックシート、(2)バリアバックシートについて研究した。従来の評価では、材料単体での評価が中心であり、材料の特徴、物性、付加機能が実際の太陽電池モジュールへ、どのように影響するのか、またはその効果を自社で確認することができなかった。このコンソーシアムにて、弊社の機能性バックシートを用いて、太陽電池モジュールでの評価を行うことにより、太陽電池モジュールへの影響や効果を確認し、高信頼性太陽電池モジュールの開発へ貢献する。

II. 研究開発目標

高反射バックシート、バリアバックシートに関してミニモジュールおよび大型モジュールにて評価を行い、標準品と比較して、自社製品が長寿命化、高効率化に貢献できる部材であるかを調査する。また、長寿命化、高効率化への影響因子を確認する。

III. 研究開発の成果

(1)高反射バックシート

太陽電池モジュールは発電に寄与するセル部分が約 90%の面積を占め、約 10%程度が隙間となっている。その隙間部分に照射した光を効率的に使用するために、弊社では反射率を高めた高反射バックシートを開発した。反射率の異なるバックシートを用いて、結晶 4セルモジュールを作製し、発電量への効果を確認した。また、長寿命化に向けてバックシートと封止材の密着を高めた仕様としている。これらのモジュールに対して DH (85℃, 85%RH)試験を実施した。

初期評価

各バックシートの反射率から算出した反射エネルギー値(eV)と Voc, Isc, FF, Pmax の関係を Figure.1~4 に示す。

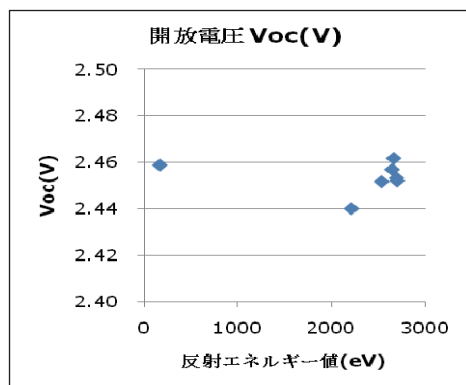


Figure.1

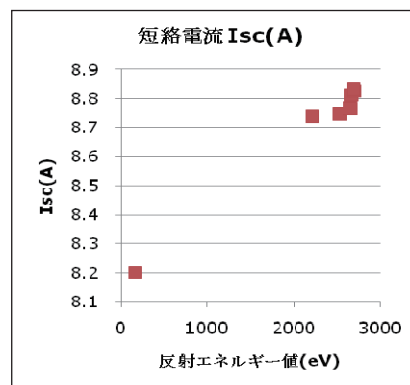


Figure.2

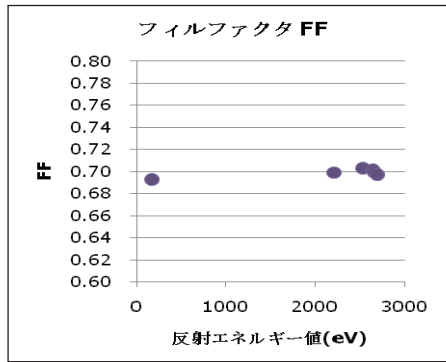


Figure.3

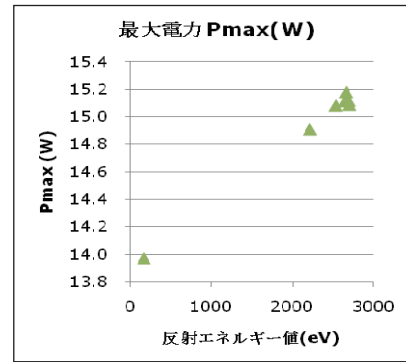


Figure.4

Voc, FFはモジュール毎に大きな有意差は確認されないが、Iscは反射エネルギーが高いほど増加する傾向が確認され、セルの光の取り込み量が増加したと考えられる。これよりバックシートの反射率を高めることでモジュールの変換効率を上げることができることを確認した。最も効果のあったモジュールでは、コンソーシアム標準部材バックシートと比較して約 1.8%, Pmax が増加した。

DH(85°C, 85%RH)保存結果

結晶シリコン4セルモジュールの Voc, Isc, FF, Pmax 維持率の結果を Figure.5~8 に示す(カッコ内はタブ線種類、端子 Box 種類を記載)。

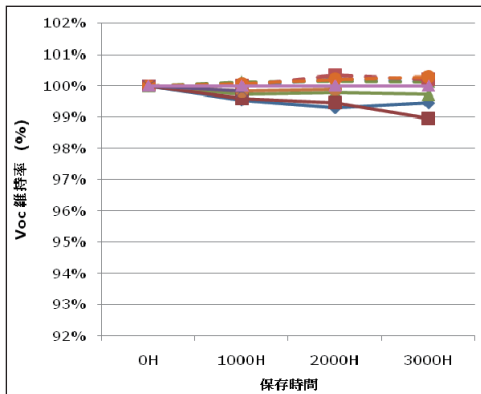


Figure.5

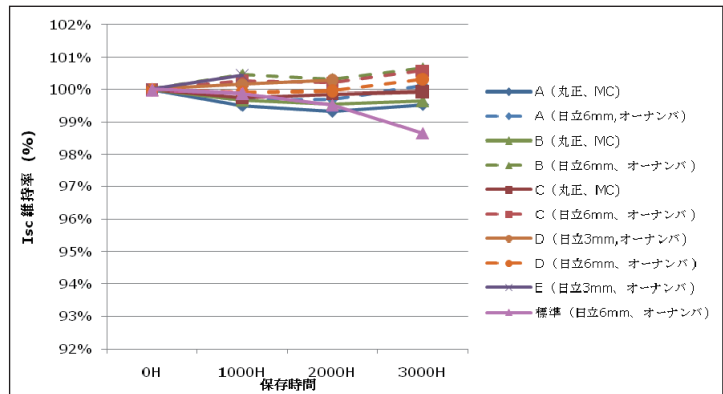


Figure.6

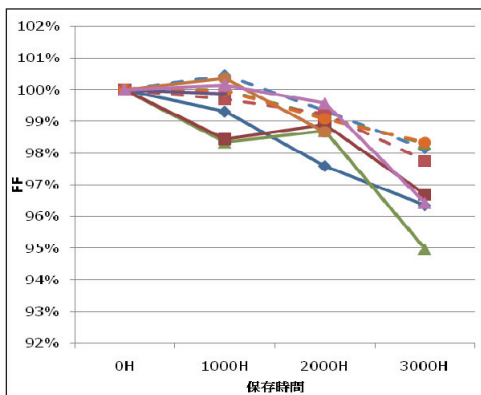


Figure.7

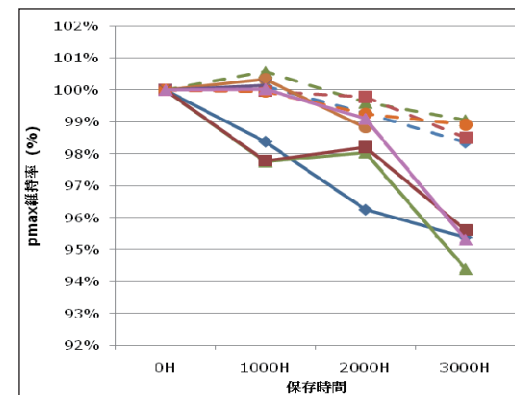


Figure.8

DH 試験結果より、Voc, Isc はほぼ初期値を維持しているが、FF に劣化が確認された。DH2000H 以降では目視で EVA 由来と思われる黄変も確認されているが、Isc に大きな変

化は確認されなかった。全てのモジュールにおいて IEC61730 で規定されている DH1000H では Pmax 維持率は 95%以上であり、問題ない。MC 製の端子 Box を用いたモジュール(以下、MC モジュール)では、ポッティング材の不具合により DH1000H 以降ポッティング材を除去している。MC モジュールでは、DH3000H 後に FF 劣化により Pmax の維持率 95-96%となった。オーナンバ製の端子 Box ではポッティング材が変更されており、弊社バックシートを用いたモジュールでは DH3000H での FF、Pmax は改善されている。産総研の標準モジュールでは MC モジュール同様、FF 劣化により Pmax の維持率 95-96%と劣化が大きく、おそらく EVA との密着力の違いによる、モジュール内部への水分浸入などが影響していると考えられる。

EL 測定結果

DH3000H 保存後のモジュール(MC モジュール)に関して EL 測定を行った。EL 結果を Figure.9 に示す。

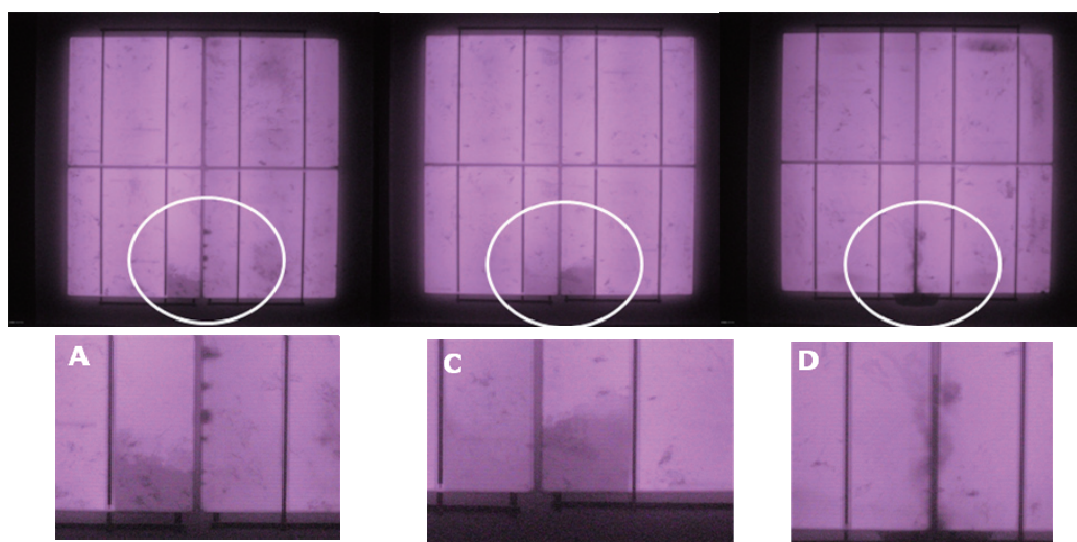


Figure.9

DH3000H 経過した 3 モジュール全てで端子 Box 付近に劣化が確認された。ポッティング材除去の影響も考えられるため、ポッティング材料を変更したオーナンバ製端子 Box 使用モジュールについては端子 Box 付近の劣化は改善された。

(2)バリアバックシート

薄膜アモルファスシリコンモジュールはセルおよび電極部分が水分で劣化するため、アルミニウムを含むバックシートが一般的に使用されている。しかし、絶縁性の観点より脱アルミニウムが求められており、弊社ではバリアバックシートの開発を進めている。この研究では、薄膜アモルファスシリコンモジュール用バックシートに求められる水蒸気透過度と開発中バリアバックシートの実際の性能について確認する。弊社のアルミニウム使用バックシート F、40°C、90%RH での水蒸気透過度 0.06, 0.04, 0.02 g/m²・day バックシート G, H, I を用いて、40cm 角薄膜アモルファスシリコンモジュールを作製し、DH 試験に保存後、発電効率測定、EL 測定、効率分布(MP-50)測定を実施し、評価した。

DH(85°C, 85%RH)保存結果

DH 試験 500H まで完了した時点での Voc, Isc は初期値と比較して維持率 100~101%程度

であり、DH 保存によるアニール効果でわずかに上昇していると考えられる。FF についてはアルミニウム使用バックシートで維持率 98%に対して、バリアバックシートで 98-101%の維持率であり、DH500H ではアルミニウム使用と同程度の結果となった。

EL 測定・効率分布(MP-50)測定

EL 測定結果を Figure.10 に示す。


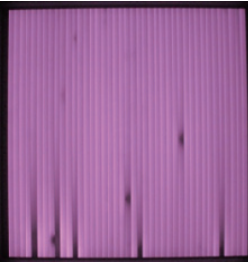
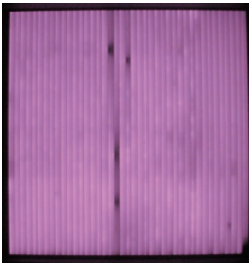
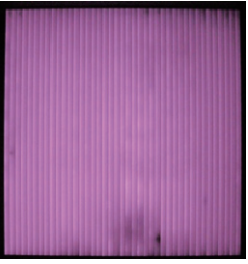
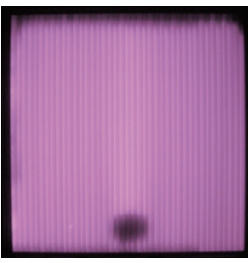
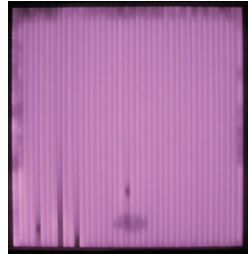

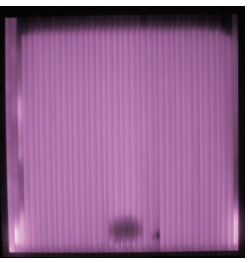
	F	G	H	I
OH				
DH 500H				

Figure.10

効率分布(MP-50)についても同様の結果であった。アルミニウム使用バックシートは絶縁性確保のため、タブ線の外部取り出し穴が大きく、端子 Box 付近の劣化が大きい。またわずかに端面からの劣化も確認された。バリアバックシートに関しては端子 Box 付近および端面からの水分侵入による劣化が大きい。端子 Box 付近はアルミニウム使用モジュールよりは劣化が小さかった。バックシートの水蒸気透過度の $0.02\sim 0.06 \text{ g/m}^2 \cdot \text{day}$ の有意差は DH500H まででは判断できない。また、端面からの水分劣化が共に確認されているため、端面封止技術を向上させることによる、モジュール寿命の向上が必要と思われる。こちらについては継続して評価を実施する予定である。

IV. まとめ

高反射バックシートの開発に関しては、バックシートの反射率を高めることで結晶シリコンモジュールの発電効率向上に寄与できることを確認した。また、弊社バックシートはコンソーシアム標準バックシートよりも DH3000H の FF, Pmax の維持率が良好であり、長寿命であることを確認した。バリアバックシートの開発では、弊社ハイバリアバックシートは薄膜アモルファスモジュール DH500H でアルミニウム使用バックシートと同程度であることを確認した。今後も継続評価予定。薄膜アモルファスモジュールでは、DH 後に端面からの水分侵入により、モジュール劣化が確認された。現状の端面封止技術よりも水分透過を減少させることで、大きな改善が得られると考えられる。

「太陽電池保護材（バックシート、フロントシート）向け表面保護コート材の適用性評価」

DIC株式会社

I. 目的

DIC 株式会社保有する「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。

本研究開発の目的は、該コート材としての適用性の評価を、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、の各観点から検討を行うことである。以下各目的に対する検討結果を報告する。

II. 研究開発目標

本開発材料の達成目標は、部材の光及び水分による要因に着目し、1. コート材の塗膜が耐久試験後劣化の見られないようにすること、2. 塗膜及び塗膜によって保護されているカバーフィルムの変色などの劣化を防止すること、の2点を目標として、モジュールの発電効率を評価基準として検討を行った。

III. 研究開発の成果

III-(1) 検討方法

＜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種々作製した。

＜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、単セル太陽電池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。

＜キセノン光照射試験によるモジュールの耐光性評価＞

上述の方法にて作製したモジュールの耐光性を評価するために、産総研所有のキセノン光照射試験装置（スガ試験機製）を使用して、カバーフィルム面に光照射される様モジュールを設置し、初期に対する発電効率を比較することで、保護コート材としての評価を行った。試験装置の運転条件は 85℃、湿度 65RH%、ランプ照度 180(W/m²)で行った。

＜光照射試験装置の加速性推算＞

UV 照射強度；太陽光の 3 倍

モジュールへの水分供給量；常温 25℃の飽和水蒸気量は 23.06(g/m³)であり、85℃のそれは

351.89(g/m³)であることから、85°C65%RH での水分供給量は常温の 9.92 倍と見積もられる。ただし部材の温度変化による水分透過性の増大は考慮していない為、実際の水分供給加速度は更に高いと予想される。85%RH に比べ 65%RH の水蒸気量は 76.5%に相当するため、仮に DH1000 が屋外曝露 10 年相当とすれば本条件は 7.65 年の屋外曝露に相当する。

<モジュールの発電効率評価>

モジュール電気特性の初期値、及び試験後 200 時間毎の値を測定し、発電効率、短絡電流、開放電圧、直列抵抗、フィルファクタ (FF) などの値を取得した。

<表 1 試験されたモジュールの構成>

モジュール No.	端子条件	パターン&光照射面	備考
F941	オープン	1 セル受光面に光照射	透明コート材付 PET フィルム
F942	ショート	1 セル受光面に光照射	透明コート材付 PET フィルム
F944	ショート	1 セル受光面に光照射	コート材無し PET フィルム
F947	ショート	1 セル受光面に光照射	透明フッ素フィルム

III-(2) 検討結果

<短絡有無の影響>

F941、F942 は各々、電極端子を接続していない（オープン）、及び接続した状態（ショート）で耐光試験を行ったモジュールである。共に初期から最終的に 1000 時間試験後のデータと比較しても、IV 特性はほとんど変化が見られなかった。耐光試験中も太陽電池が発電して電流を発生させながら試験を行う場合とそうでない場合との間では、信頼性に与える影響の差が無いことを示していると考えられる。

図 1 F941（開回路）の IV カーブ

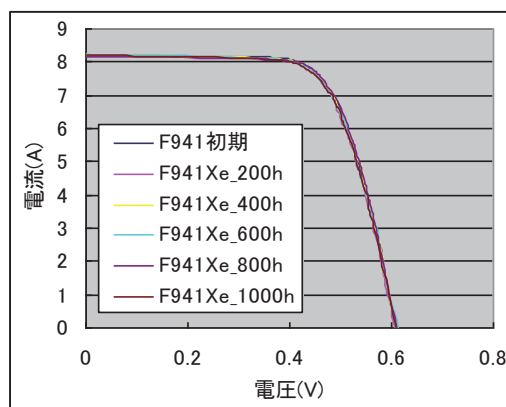
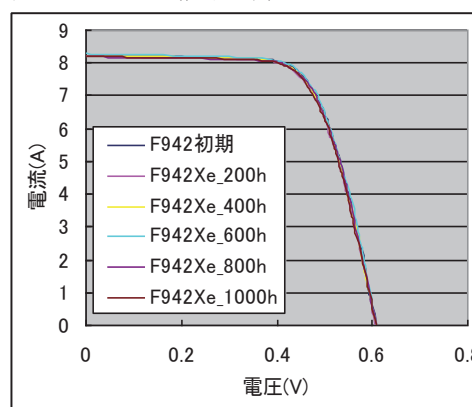


図 2 F942（閉回路）の IV カーブ



<外観変化>

モジュール F944 は、200 時間経過後からカバーフィルム面側が黄色味を呈し始め、徐々にその色味が強くなる傾向が見られた。その他のモジュールについては目だった変化を観測することができなかった。コート材を塗工したカバーフィルムについては、表面の塗膜はがれ等の不具合は観察されず、試験後も良好に基材と密着していることが確認された。

＜各特性値の評価結果＞

以下の図3～7は、200時間毎に得られたモジュールの各特性値評価結果を比較したものであり、それらの特徴を以下に記載する。

発電効率；F944 以外は全て初期とほぼ同等の値を維持していた。

開放電圧；全てのモジュールで初期と同等の値が得られた。

短絡電流；F944 以外は全て初期と同等の値を維持していた。F944 の短絡電流が低下する様子は発電効率の低下と類似した傾向を有していた。

フィルファクタ；全てのモジュールが試験後も初期と比較して 98%以上の値を維持していた。

直列抵抗；各モジュールとも、測定値の精度が不足しているため、値の変化に一定の傾向を見出すことができないものの、概して試験時間が長くなると抵抗の値が上昇しているとも解釈できる。

図 3 発電効率

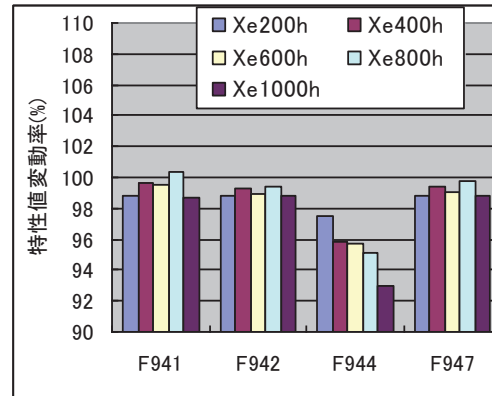


図 4 開放電圧

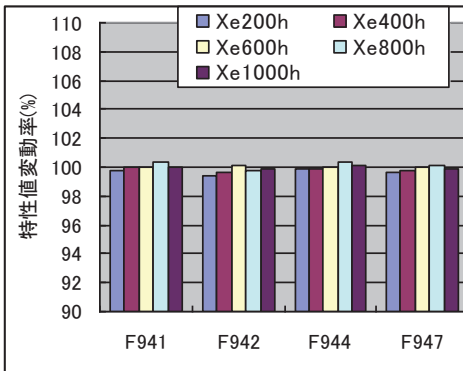


図 5 短絡電流

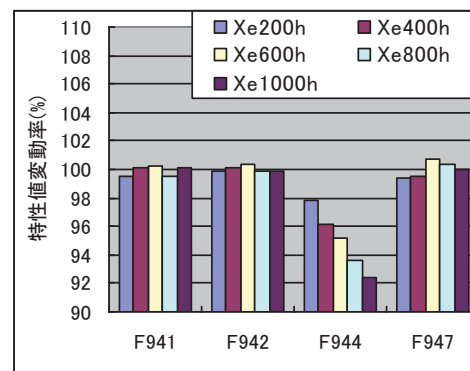


図 6 フィルファクタ

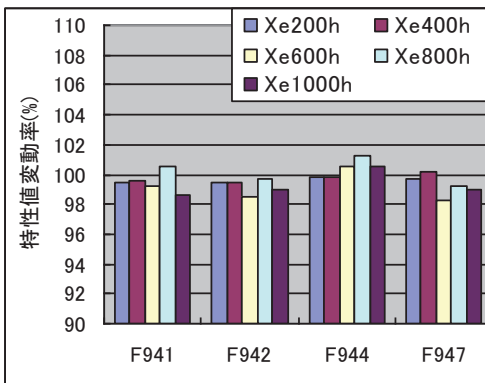
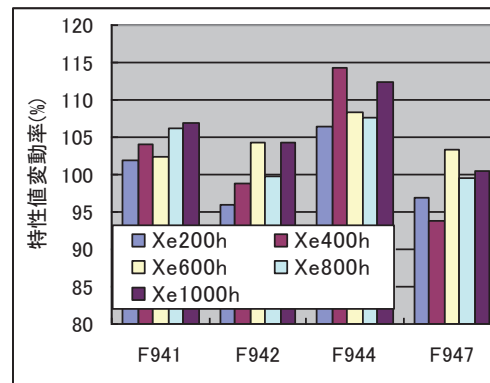


図 7 直列抵抗



III-(3) 検討結果の解析・考察

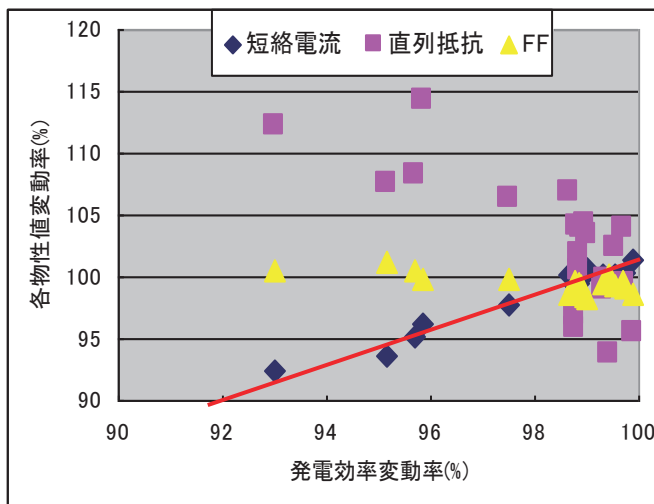
図8は、各物性の変動と発電効率の変動との関係を示したものである。以下読み取れる傾向について記載する。

発電効率と短絡電流；直線的な相関を有しており、短絡電流の低下と共に発電効率が低下している。短絡電流が低下しているモジュールは、受光面側が黄色くなっていることから、発電に寄与する光の透過が受光面部材の変色により抑制され、結果として発電効率が低下したものと考えられる。

発電効率とフィルファクタ；発電効率の低下に伴い、フィルファクタが変化しているとは言えない。FFモードの劣化により性能が低下したとは考えにくい。

発電効率と直列抵抗；相関にばらつきがあるものの、発電効率の低下と共におよそ直列抵抗も上昇している傾向がある、と読み取ることも可能である。ただし、抵抗の増加がFFの低下を及ぼすほどではないため、発電効率の低下に対する主要因ではないと考えられる。

図8 各物性の変動と発電効率の変動との関係



III-(4) 結論

以上のことより、本検討にて性能が低下したモジュールは、直列抵抗がわずかに上昇したにもかかわらず、FFの低下が無く、かつ短絡電流が低下しているため、水分よりも部材の黄変を抑える方が、モジュールの信頼性向上に効果がある。言い換えると、太陽電池セルに入射する紫外光を抑制することが、水分遮断よりも信頼性向上に寄与することができる。

IV. まとめ

DICの開発したUV硬化型有機無機ハイブリッド樹脂により、太陽電池保護シートの変色を抑制し、セルに入射する光の強度を低下させること無く、太陽電池の発電効率を維持させ信頼性向上に寄与する可能性があることが分かった。またこの結果から、受光面からの入射を遮らないようなセルフクリーニング性等の技術も今後重要になることが予想される。本検討で適用した樹脂が有するセルフクリーニング性の評価を推進し、信頼性に与える影響を定量評価することが、今後の課題と位置づけられる。

「高信頼性・長期耐久性バックシート及びモジュールの開発」

デュポン株式会社

I. 目的

一般的に太陽電池モジュールのバックシートへの要求特性には、水蒸気バリア性、電気絶縁性、耐候性（耐 UV、耐湿・熱、耐塩害等）、機械的特性（引張強度、伸び、引裂強度等）、耐薬品性、寸法安定性、対封止材接着性等が挙げられる。本研究では、高信頼性太陽電池モジュールの構築に向けて、水蒸気バリア性・対封止材接着性・寸法安定性・電気絶縁性・耐候性が異なる PVF 系、PET 系、シリカ蒸着 PET 系のバックシート材料を用いてコンソーシアム標準部材と組み合わせ結晶シリコン(c-Si 系)4セルモジュールを作製し、バックシート材料の特性とモジュールの長期信頼性の関係を検証することで、新規材料開発に向けて必要な知見を得ることを目的としている。

II. 研究開発目標

供試サンプルとして、水蒸気バリア性・対封止材接着性・寸法安定性・電気絶縁性・耐候性が異なる PVF 系、PET 系、シリカ蒸着 PET 系の計 6 種類のバックシートを用いた 4セルモジュールについて、国際標準規格 IEC の環境試験項目である Damp Heat 試験 2000 時間以上（認証水準の 2 倍に当たる）、及び新規複合環境試験として紫外線+温度サイクル試験 1000 時間以上を実施する。環境試験後のモジュール出力測定（低下率：5%以内）と外観及びセル欠陥観察により、高信頼性バックシートに要求される物性水準を検討する。

III. 研究開発の成果

III-1 試験条件

1) 供試バックシート

表 1：供試バックシートの構成と物性（PVF-std.と SiP-std.は、コンソーシアム標準部材）

サンプル名称	層構成 (厚み：μm)	バックシート特性 (*印は初期値)			
		水蒸気バリア性*	対封止材接着性*	電気絶縁性*	耐候性
SiP-std. (標準部材)	PET+SiO _x /PET	+	N/A	0	0
PVF-std. (標準部材)	PVF(38)/PET(250)/PVF(38)	0	+	+	++
PVF-BS (自社)	PVF(25)/PET(250)/PVF(25)	0	++	+	++
PET-BS-(1) (自社)	PET(250)/PEN(50)	0	0	0	+
PET-BS-(2) (自社)	PET(250)/PET(50)	0	0	0	0
PET-BS-(3) (自社)	PET(50)/PET(50)	-	0	-	0

注) PET-BS-(2)の物性値を基準とし、[0]基準と同等, [+]基準より優, [++]基準よりかなり優, [-]基準より劣

2) モジュール構成。

表 2 : c-Si 系 4 セルモジュールの構成部材 (※作製時期によって型式が異なる)

部材	構成
ガラス	AGC 製 白板強化ガラス 180mm 角
セル	Q-Cells 製 多結晶シリコンセル 156mm 角 2 本/3 本バスバー ※
インターコネクタ	日立電線製 半田ディップ銅線 ※
封止材	サンビック製 ファストキュア EVA (FC-EVA) / スタンダードキュア EVA (SC-EVA)
端子ボックス	オーナンパ製/マルチコンタクト製 ※
ポッティング材	東レ・ダウ製 CY51-038/SE9185 ※
シール材	東レ・ダウ製 SE9185/SH780 ※
フレーム	400mm 角用 通常フレーム

3) 環境試験条件

(a)Damp Heat(DH)試験 : 85°C/85% , (b)UV+TC 試験 : -20°C/dark~85°C/3UV, 2h/cycle

4) 評価項目

(a)出力測定 (I-V) , (b)耐電圧測定, (c)外観観察, (d)セル欠陥観察(EL/MAP)

III-2 研究成果

1) バックシートの水蒸気バリア性の影響について

FC-EVA を用い、表 1 の 6 種類のバックシートで作製したモジュールの DH 試験後のモジュール出力変化を示す (図 1)。いずれのサンプルも 2000 時間では出力変動が 5%以内であり差異はほとんどないが、3000 時間後から PVF-std.の出力低下が観察された。PVF-std.と PVF-BS を比較すると、PVF-std.は 4000 時間で 25%以上出力が低下し、EL 及び MAP 画像でもセル周辺部が暗輝度となっている様子が観察された (図 2)。一方、同構成でシート厚が薄い PVF-BS は、4000 時間後も出力変動 5%以内であり性能保持した。対封止材接着性及び寸法安定性 (ラミネート成形性) が高いためと考えられる。対封止材接着性及び寸法安定性は、モジュール作製プロセスと密接に関係する特性であることから、実環境で長期使用実績がある PVF-std.の場合、今回の試験でプロセス条件が最適化されていないことにより出力低下したことが考えられる。DH 試験で本来確認できる材料自体の劣化評価を、モジュール耐久性評価と結びつけるには、プロセス条件の最適化が重要であることを示唆している。次に、これらの結果をバックシート単体の水蒸気バリア性と比較すると、SiP-std.が高バリア性 (約 1.0g/m²・day 以下) であるのに対し、PVF-std.及び PVF-BS、PET-BS-(1)~(2)は中程度 (約 1.0~3.0g/m²・day)、PET-BS-(3)がやや低い (約 3.0g/m²・day 以上) が、モジュール性能としては PET-BS-(3)が認証水準の 3 倍に当たる 3000 時間、PVF-BS が 4000 時間まで保持している。従って c-Si 系モジュールの場合、バックシートの初期水蒸気バリア性が 1.0~3.0g/m²・day 程度あれば、DH 試験において出力性能に影響がないと考えられる。また、DH 試験後のモジュールのバックシート内層 PET にクラックが入る現象

が PET-BS-(1)~(3)では 1000 時間後、PVF-std.と PVF-BS では 3000 時間後に観察された。PET の加水分解による機械的強度低下が原因と推測される。今回の試験では、クラック発生と出力低下に相関は見られず、クラックが内層部に留まり外層材に及んでおらず、ある程度のバリア性が維持されているためと考えられる。但し、温湿度に加え温度衝撃や紫外線等の複合的因子が付加される環境下では、さらにクラック発生が促進する可能性もある。

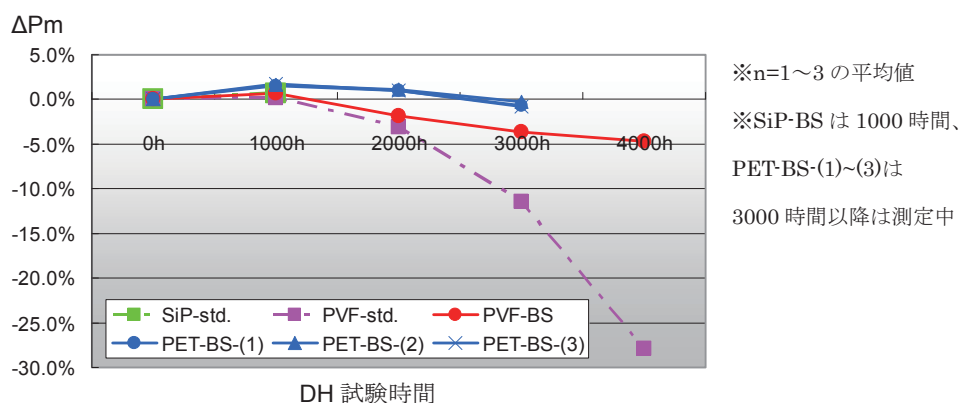


図1：DH試験後のモジュール出力変化（封止材：FC-EVA）

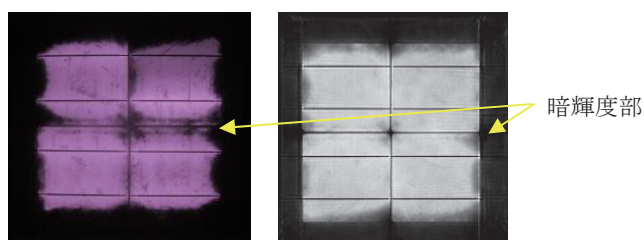


図2：DH4000h経過後のPVF-std.モジュールのEL像（左）、MAP像（右）

2) バックシートの電気絶縁性の影響について

バックシートの電気絶縁性の違いによるモジュールの耐電圧試験結果を示す。表3に示す通り、今回の試験時間内において、絶縁試験、絶縁抵抗試験、湿潤漏れ電流試験とも、基準値を下回るサンプルは観察されなかった。UV+TC試験においても同様の傾向であった。

表3：DH試験後のモジュールの耐電圧特性（判定基準：絶縁$40\mu A$，絶縁抵抗>math>260\mu\Omega</math>，湿潤漏れ電流>math>260\mu\Omega</math>）

バックシート種類	BS電気絶縁性	封止材種類	DH試験時間	モジュール試験結果		
				絶縁	絶縁抵抗	湿潤漏れ電流
SiP-std.	0	FC-EVA	~1000 hrs	合格	合格	合格
PVF-std.	+	SC-EVA	~3000 hrs	合格	合格	合格
PVF-BS	+	SC-EVA	~3000 hrs	合格	合格	合格
PET-BS-(1)	0	FC-EVA	~3000 hrs	合格	合格	合格
PET-BS-(2)	0	FC-EVA	~3000 hrs	合格	合格	合格
PET-BS-(3)	-	FC-EVA	~3000 hrs	合格	合格	合格

3) バックシートの耐候性の影響について

一般に、紫外線が樹脂材料の劣化を引き起こすことが知られているが、屋外環境で用いられるモジュールの長期信頼性をより実環境に近い条件で評価するには、UV 特性を考慮した評価条件が必要であると考えられる。そこで本研究では、TC と UV を組み合わせた新規環境試験条件で、耐候性の異なるバックシート材料を用いたモジュールの出力特性の評価を試みた。今回の試験では、予定していた試験時間まで至らず、有意差が見られていないが(図 3)、テドラー®フィルムに代表される PVF 系バックシートは実際のモジュールで 25 年を越える使用実績があることから、実環境において高い耐久性を持つことが言える。

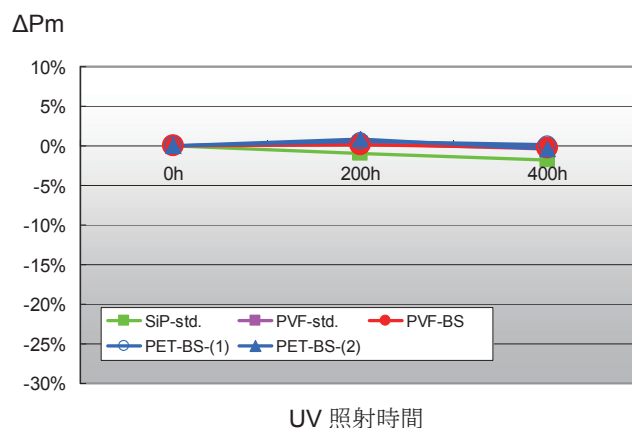


図 3 : TC+UV 試験後のモジュール出力変化 (封止材 : FC-EVA) ※n=1

IV. まとめ

- c-Si 系モジュールの場合、バックシートの初期水蒸気バリア性が $1.0\sim 3.0\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ 程度あれば、DH 試験において出力性能に影響がないと考えられる。又、バックシートの層構成材料の特性(加水分解性)が、クラック発生に影響する可能性が示唆された。
- バックシートの寸法安定性(ラミネート成形性)や対封止材接着性が、モジュールの出力特性低下に影響を及ぼす可能性が示されたことから、モジュール作製のプロセス条件の最適化が重要であることが示唆された。
- 今回の環境試験時間内においては、バックシートの電気絶縁性及び耐候性の違いによる、モジュール性能への影響は見られなかったが、長期耐久性を評価する上では紫外線や複合因子による影響を考慮する必要があると考えられる。

以上より、高信頼性モジュールに寄与するバックシートの設計には、シートの初期水蒸気バリア性だけでなく、温湿度・温度衝撃・紫外線等による材料劣化を十分に考慮する必要があると言える。但し、今回のコンソーシアム第 I 期の活動範囲で、現象解明まで十分に実施することができなかつたため、今後の課題として、材料自体や界面で起こっている現象の化学的分析、今回十分な試験時間を確保できなかったバックシートの耐候性の違いによるモジュール性能への影響検討、実環境で暴露されたモジュールで発生している現象との比較、フルサイズでの再現性検証を実施する予定である。

1. 目的

現行の太陽電池封止材に用いられている EVA（エチレン-酢酸ビニル共重合体）樹脂は、酢酸の遊離問題をはじめ電気絶縁性や耐湿性が低いことから、太陽電池モジュールの信頼性向上をはかるために、新しい封止材料が求められている。EVA 樹脂はシリコンセル保護に必要である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、繊細かつ複雑であり、架橋処理で発生する発泡、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熱可塑性封止材が期待できる。従って、本コンソーシアムにて、SE 樹脂の太陽電池封止材への適用、またそれに伴う信頼性向上効果、製造コストダウン効果について検討した。

2. 研究開発目標

本研究では、以下の目標を設定し、SE 封止材を用いた太陽電池モジュール（単セル、4セル）の試作と各種評価を行った。

- ① 真空ラミネーター装置を用いた現行封止工程への適用可否及びモジュール初期特性の把握
- ② 非架橋、封止時間の短縮化、封止材薄膜化等、EVA 樹脂と比較した製造コストダウン可能性の検討
- ③ 各種封止条件で製造したモジュールにおける EVA 封止材と比較した信頼性向上効果の検討

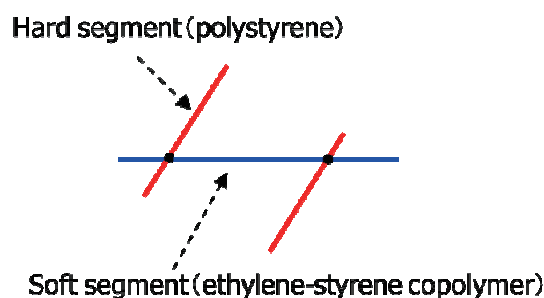


Figure 1. Molecular structure of SE polymer

3. 本研究の背景

3.1 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

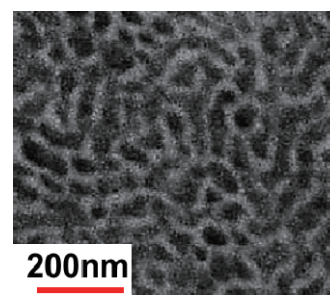


Figure 2. TEM micrograph of SE polymer

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。

3.2 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。

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 に化学的安定性、電気絶縁性、耐湿性、接着性、及び軟質性を示す。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。

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

次に、SE 樹脂の熱可塑性封止材としての可能性を耐熱性と軟質性の観点から説明する。Figure 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、熔融することがわかる。そのため、架橋処理を加えることにより、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 100–120°C) 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、100–120°C 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 (ポリスチレン側鎖) の T_g (~100°C) 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) により制御できる。

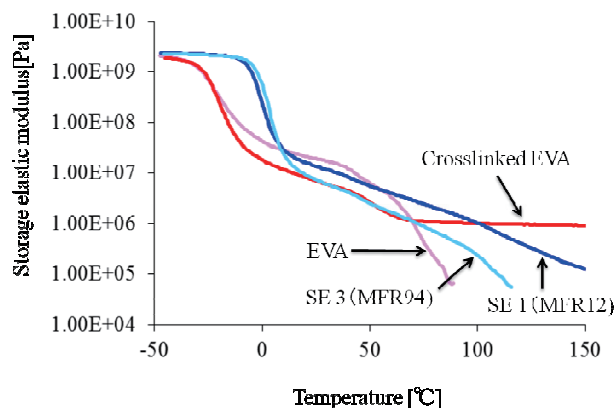


Figure 3. Relations between storage elastic modulus and temperature

4. 本研究の成果

4.1 モジュールの試作

Table 3 に示すように、3 種類の MFR を有する SE 樹脂を用い、EVA 樹脂と同一の封止条件に加え、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行った。外観観察と EL 測定結果 (Figure 4) から、全モジュールが、空隙やセル割れの問題なく、完全に封止できていることを確認した。

Table 3. Encapsulation conditions and appearance

Run	Module size	Thickness	Conditions of Encapsulant	Appearance
EVA(SC)	Single cell	0.4mm	150°C, 30min	OK
EVA(FC)	↑	↑	135°C, 15min	OK
SE 1(MFR12)	↑	↑	135°C, 15min	OK
SE 2(MFR46)	↑	↑	↑	OK
SE 3(MFR94)	↑	↑	↑	OK
SE 2-A	↑	↑	150°C, 10min	OK
SE 2-B	↑	↑	150°C, 5min	OK
SE 2-C	↑	↑	150°C, 3min	OK
SE 2-D	↑	0.2mm	135°C, 10min	OK
SE 2-E	↑	↑	135°C, 5min	OK
SE 2-F	↑	↑	135°C, 3min	OK
EVA(SC)	4 cells	0.4mm	150°C, 30min	OK
SE 2	↑	↑	↑	OK

単セルモジュールの初期発電特性を Table 4 に示す。同一条件で封止した SE 封止材品と EVA 封止材品は、同等の初期発電特性を示した。また SE2-A ~ F において、封止時間の短縮化、封止材の薄層化を検討した。封止時間 3 分、封止材厚 0.2mm で試作したモジュールの初期発電特性も、EVA 封止材品と同等の結果が得られた。また、4 セルモジュールにおいても、SE 封止材品と EVA 封止材品とに差が見られなかった。



Figure 4. EL image of SE2-A

Table 4. I-V characteristics of the trial modules

Run	Module size	Voc[V]	Isc[A]	Pmax[W]	FF
EVA(SC)	single cell	0.607	8.588	3.856	0.740
EVA(FC)	↑	0.608	8.547	3.869	0.745
SE1	↑	0.603	8.341	3.742	0.744
SE2	↑	0.606	8.462	3.789	0.739
SE3	↑	0.608	8.430	3.820	0.745
SE2-A	↑	0.613	8.661	3.974	0.748
SE2-B	↑	0.612	8.653	3.896	0.735
SE2-C	↑	0.608	8.541	3.878	0.747
SE2-D	↑	0.610	8.688	3.925	0.741
SE2-E	↑	0.608	8.573	3.874	0.741
SE2-F	↑	0.612	8.657	3.910	0.738
EVA(SC)	4cells	2.443	8.652	14.880	0.703
SE2	↑	2.443	8.551	14.657	0.702

4.2 モジュールの耐熱性試験

SE 封止材の耐熱性を Figure 5 に示す方法で評価した。タブ線でモジュールを吊し、ガラスの荷重を直接封止材にかけた状態で 120℃、24 時間熱処理した。試験後にモジュールの変位変形は無く、発電特性にも変化は認められなかった。

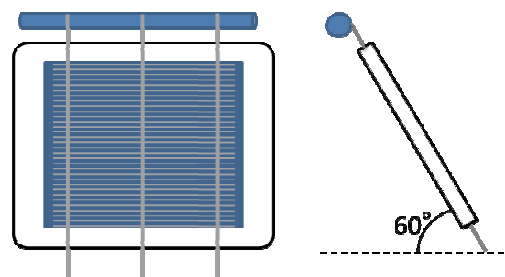


Figure 5. Creep resistance test

4.3 モジュールの耐久性試験

試作した各種モジュールの耐久性試験を実施した。Table 5 に、DH 試験(85℃、RH85%、1000、2000h)、または TC50HF10 試験(-40～85℃、50 サイクル、-45℃～85℃、RH85%、10 サイクル)、更に TC200 試験(-40～85℃、200 サイクル)を追加した試験の結果を示す。発電特性は、初期値を 1.000 とした相対値で示し、サンプル数が $N \geq 10$ の場合は標準偏差を、 $N < 10$ は最大値と最小値を表中に記載した。比較例となる EVA 封止材を用いた 4 セル標準モジュールの評価結果は、産総研コンソーシアムでの集約データを引用した。(第 I 期の総括と第 II 期への展望 2011 年 6 月 13 日 第 II 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発足式 増田淳 発表資料) SE 封止材品は 4 セル (N 数は少ないが)、単セル共に、EVA 封止材を使用した標準品より発電性能低下が小さく、より信頼性に優れることが示唆された。

Table 5. Results of durability test [Change of fill factor values]

		0h	DH1000	DH2000	0h	TC50HF10	+TC200
SE 4 cells modules	number	3	3	/	4	4	/
	average	1.000	1.005		1.000	0.997	
	standard deviation	0.00%	1.003[minimum] 1.008%[maximum]		0.00%	0.991[minimum] 1.005[maximum]	
SE single cell modules	number	25	25	9	27	27	15
	average	1.000	1.000	1.003	1.000	0.999	0.994
	standard deviation	0.00%	0.73%	0.998%[minimum] 1.023%[maximum]	0.00%	0.49%	0.47%
EVA Standard 4 cells modules	number	26	26	21	21	19	12
	average	1.000	0.996	0.980	1.000	0.993	0.966
	standard deviation	0.00%	0.95%	4.96%	0.00%	1.00%	4.09%

5. まとめ

SE 樹脂を封止材として用い、真空ラミネーターでモジュール試作を行ったところ、現行封止条件で問題なく封止が可能であった。得られたモジュールは、EVA 封止材品と同等の初期発電特性を示した。封止時間の短縮化、封止材の薄層化においても、封止、初期特性ともに良好であり、SE 樹脂の使用による製造コストダウン効果が示唆された。また、耐久性試験においても、EVA 封止材品同等以上の発電特性の維持率を示し、信頼性向上効果も充分期待できる。今後、コンソーシアム第二期では、4 セルモジュールの耐久性試験に注力し、信頼性に関わる統計的データの収集を進める。また SE 封止材を用いたフルサイズモジュールの試作と評価を進めていく予定である。

「自社バックシート使用モジュールの性能評価」

東洋アルミニウム株式会社

I. 目的

太陽電池モジュールの発電性能及び長期信頼性と、バックシート個々の性能との相関関係について、同条件で評価を行うことでより明確にすることを目的とする。本研究では、自社バックシートと標準バックシートを用いた試験モジュールの作製・評価を行い、バックシートの性能がモジュールの発電性能及び長期信頼性へどう影響を及ぼすかを検証する。

II. 研究開発目標

結晶シリコン系モジュール及びアモルファスシリコン系モジュールを対象として、10台/月を作製、DH テストなどの耐候性試験評価を実施していく。モジュールメーカーへ採用実績のあるものも含めた自社バックシートを用い標準バックシートとの性能比較評価を行っていくことで、各系統太陽電池へ必要とするバックシートの性能スペックを確立するとともに、自社バックシートの優位性について評価を進める。

III. 研究開発の成果

i)c-Si 系 4cell モジュール

① 評価対象

cell: Q-Cells 2 本バスバー

EVA: サンビックファーストキュア

タブ線: 日立電線

バックシート:

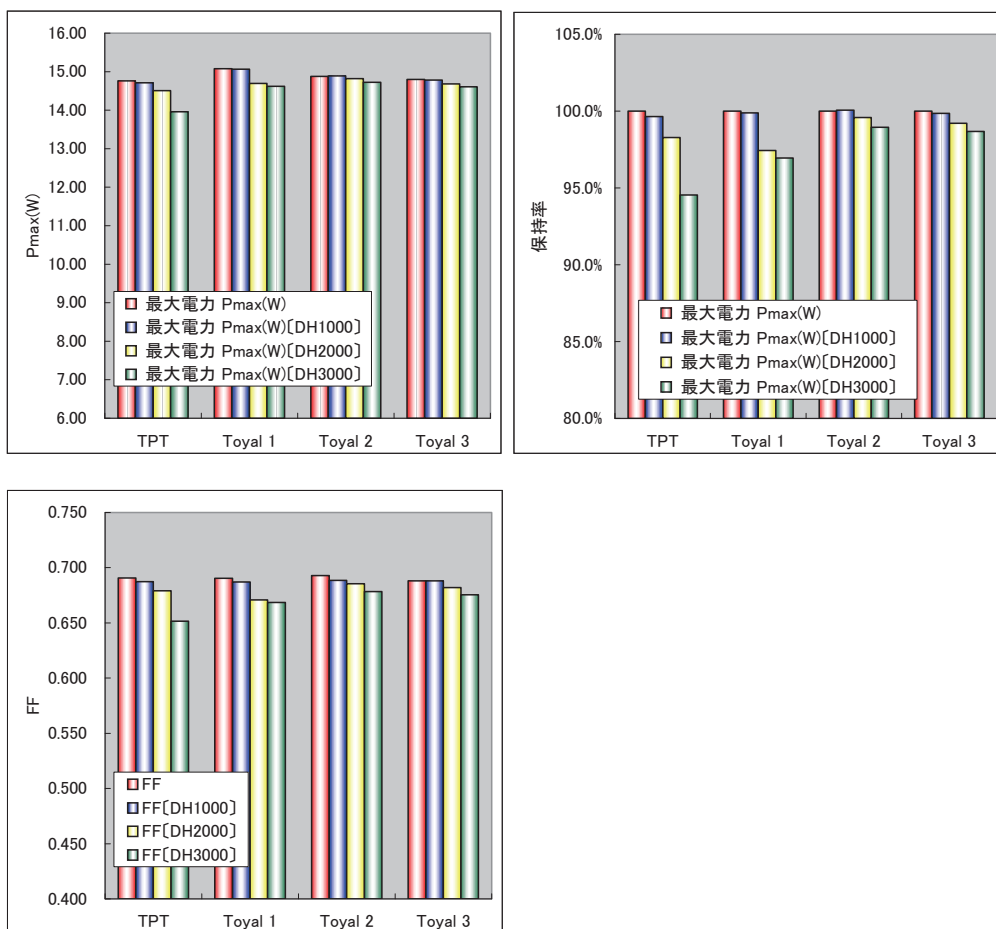
	バックシート	バリア性(g/m ² ・day)
AIST 標準	TPT	2
Toyal Solar 1	蒸着膜有り	0.5
Toyal Solar 2	蒸着膜無し	1.8
Toyal Solar 3	蒸着膜無し	1.7

上記仕様でバックシート別に 4cell モジュールを作製。環境試験前後の性能変化の比較評価を行った。

② 評価結果 DH3000

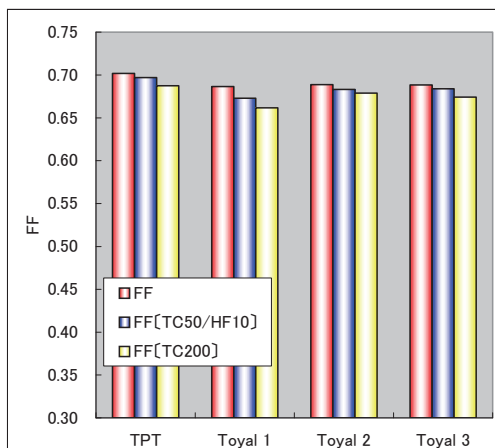
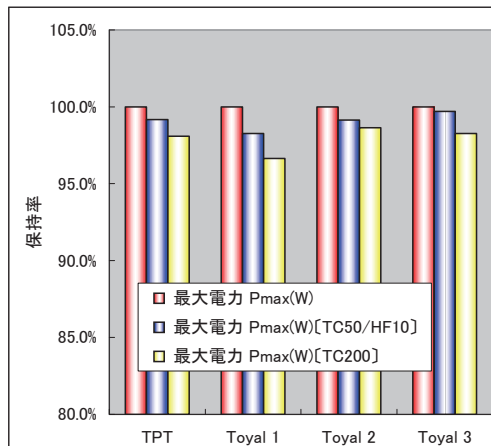
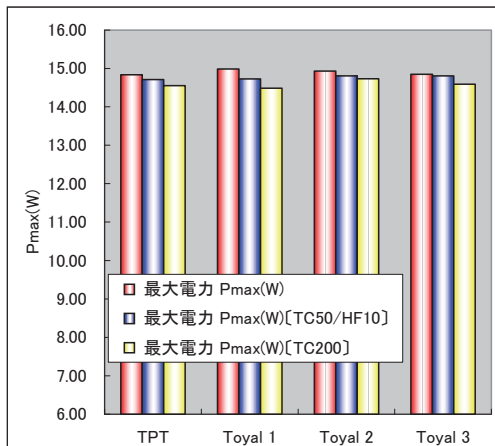
ダンプヒート試験(DH: 85°C × 85%)の環境試験に投入し、1000hr ごとのモジュール性能を測定、比較を行った。下図に示すように、標準バックシート“TPT”を使用したモジュールが DH3000hr 後に Pmax が初期値の 95%以下まで低下したのに対して、自社バックシート 3 種類を

使用したモジュールはいずれも 95%以上を保つ結果となった。また、バックシートのバリア性と発電性能の維持についての相関関係は得られなかった。



③ 評価結果 TC50+HF10 ⇒ TC200

温度サイクル試験 (TC: 85°C ⇄ -40°C)、結露凍結試験 (HF: 85°C + 85% ⇄ -40°C) の組み合わせにて湿度と冷熱サイクルの耐性について比較評価を行った。TC50 サイクル+HF10 サイクル試験、その後TC200 サイクル試験へ投入を行い、各サイクル試験後における発電性能の評価を行った。各モジュールに有意差はみられず、バリア性と発電性能に相関関係はみられなかった。



ii) a-Si 系モジュール

① 評価対象

cell: 40cm 角 a-Si(配線済み)

EVA: サンビックファーストキュア

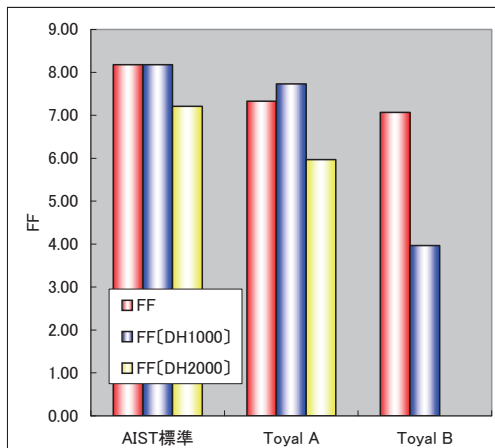
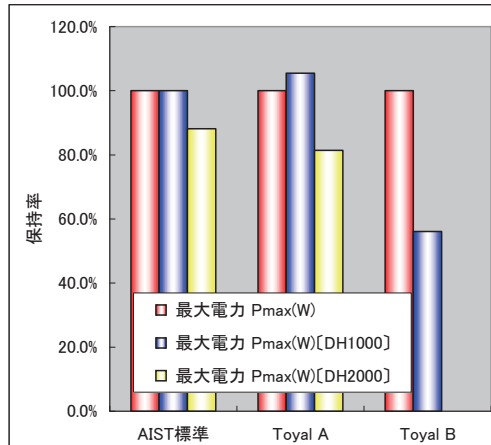
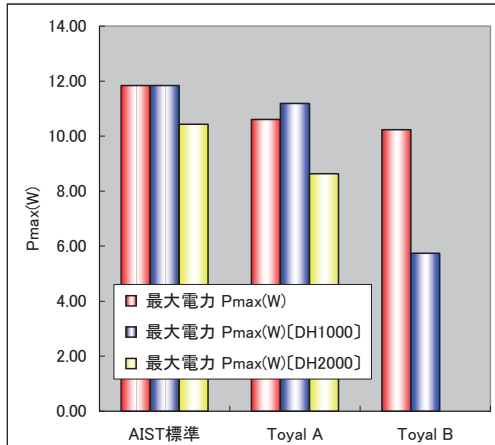
タブ線: 日立電線

バックシート:

	バックシート	バリア性(g/m ² ・day)
AIST 標準	Al 層有り	0
Toyal Solar A	Al 層有り	0
Toyal Solar B	蒸着系	0.5

② 評価結果 DH2000

ダンプヒート試験(DH: 85°C × 85%)の環境試験に投入、1000hr ごとのモジュール性能を測定、比較を行った。バリア層に蒸着系フィルムを用いたバックシートを使用した Toyal B タイプのモジュールは DH1000hr で発電効率が 6 割以下にまで著しく低下し、継続投入することができなかった。バリア層に Al を使用した 2 構成についても、DH2000hr 後では発電性能が 8 割程度に低下し、性能を保持することができなかった。



IV. まとめ

c-Si 系太陽電池の評価については、DH3000,TC/HF⇒TC200 において、いずれのモジュールに関しても顕著な発電性能の低下はみられなかった。ただし、DH3000hr において標準バックシート“TPT”に比べて自社バックシートは発電性能の保持に優れる結果となった。今後は、実サイズ評価を進めるなかで、自社バックシートの優位性に関するメカニズムについて検証していく。

a-Si 系太陽電池の評価については、バリア性が高い Al 層を有するバックシートを用いたモジュールでも DH2000hr 以上の耐久性を付与することが出来なかった。a-Si 系の耐湿熱性については、バックシートのバリア性以外にセルそのものの耐久性及び他部材のバリア性の向上が求められると考えられる。今後も引き続き 40cm 角及び実サイズ評価を並行し検証を行っていく。

「太陽電池用高信頼性バックシート部材の開発」

東洋紡績株式会社

I. 目的

自然エネルギー活用への要求が高まりを見せる中で、太陽電池が大きな期待を集めている。太陽電池のさらなる普及・定着には、発電コストの低減が不可欠であり、モジュールの製造コスト低減や発電効率向上だけでなく、モジュールの寿命向上や故障率低減のための信頼性・耐久性の確立・向上が求められている。

弊社は、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おり、本コンソーシアムの活動を通じて部材の要求特性の明確化を図り、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する。

II. 研究開発目標

弊社の耐加水分解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たモジュールで標準モジュールを上回るモジュール信頼性を実現できることを確認すると共に、更なる信頼性向上のための方策を探る。

III. 研究開発の成果

III-1. 実験

III-1-1. モジュール作製

弊社製耐加水分解性ポリエステル(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 に示した部材を用いて作製したものを中心に、表 III-1-1-2 に示した層構成のバックシートを用意した。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の標準モジュールと同じ部材構成、手順で行った。

表 III-1-1-1. バックシート部材用フィルム

名称	材料基本構成	EVA易接着コート	タイプ	厚み[μm]
AT1	耐加水分解性PET		透明	50
AT2	耐加水分解性PET		透明	188
AW1	耐加水分解性PET	○	白色	50
AW2	耐加水分解性PET		白色	50
AW3	耐加水分解性PET	○	白色	125
GT1	一般PET		透明	250
GT2	一般PET		透明	50
GW1	一般PET	○	白色	188
GW2	一般PET	○	白色	250
GW3	一般PET	○	白色	50
GW4	一般PET		半透明	50
GB	一般PET	○	黒色	50
BT1	水蒸気バリアコートフィルムA		透明	12
BT2	水蒸気バリアコートフィルムB		透明	12
BT3	水蒸気バリアコートフィルムC		透明	12

本コンソーシアム期間中に弊社が作製したモジュールは結晶シリコン単セルモジュール 74 枚、結晶シリコン 4 セルモジュール 19 枚、薄膜アモルファスシリコンモジュール 6 枚の計 99 枚であった。

表 III-1-1-2. 作製したモジュールのバックシート層構成と試験項目

バックシート 名称	バックシート構成 (最外層/中間層/EVA側層)	作製したモジュール構成と実施中の加速劣化試験						
		c-Si単セル		c-Si4セル			薄膜a-Si 小	
		DH	TC	DH	TC	複合加速	DH	TC
TPT	コンソ標準TPT (PVF/PET/PVF)	○	○	○	○	○		
GW2	単層フィルム	○						
AW1	単層フィルム	○	○					
AW3	単層フィルム		○					
GW3	単層フィルム		○					
GW4	単層フィルム		○					
GB	単層フィルム		○					
M1	AT1/GT1/AW1	○	○	○	○			
M2	AW2/GT1/AW1	○	○	○	○			
M3	フッ素系フィルム/GT1/AW1	○	○	○	○			
M4	AT1/-/AW1	○	○	○	○			
M5	AW2/-/AW1			○				
M6	GT2/GT2/GW1	○	○	○	○	○		
M7	AT1/AT2/AW1	○	○	○	○	○		
M8	AT1/BT1/AT1 (EVA易接着コート)						○	予定
M9	AT1/BT2/AT1 (EVA易接着コート)						○	予定
M10	AT1/BT3/AT1 (EVA易接着コート)						○	予定

III-1-2. 加速劣化試験

モジュールの加速劣化試験として表 III-1-2-1 に示した試験を実施した。モジュール構成ごとの加速劣化試験実施状況は表 III-1-1-2 を参照。結晶シリコンモジュールの DH 試験は最長で 1000 時間処理を 4 回まで経過しており、TC 試験は初期の TC50/HF10 サイクル処理の後、TC200 サイクル処理を 3 回経過したものまでが最長である。薄膜アモルファスシリコンモジュールは DH 試験 1000 時間処理が終了している。

表 III-1-2-1. 加速劣化試験

試験名称	試験条件	評価タイミング
ダンプヒート (DH) 試験	85°C、85%RH	1000hr 毎
熱サイクル (TC) 試験	-40°C⇔85°C	初回50サイクル、以降200サイクル毎
結露凍結 (HF) 試験	85°C、85%RH⇔-40°C	初回のTC50試験後に10サイクルのみ
複合加速試験	[3UV、27°C]⇔[dark、-22°C]、端子開放	100サイクル (約200hr) 毎

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 特性評価、EL 画像評価、電流密度分布測定、絶縁抵抗試験等により劣化状況の評価を行った。

III-2. 結果と考察

III-2-1. 発電特性

これまでに行った結晶シリコンモジュールの加速劣化試験の経過では、モジュールの最大出力

は DH 試験、TC 試験ともに試験が進むにつれて低下する傾向にはあるが、ほとんどのモジュールにおいてその程度は小さく、バックシートの部材構成の違いによる明確な傾向の違いも現れていない。最大出力の低下は主に直列抵抗の増加による FF モードの劣化によるものであり、配線接続部の抵抗増加が主因であると考えられる。薄膜アモルファスシリコンモジュールの DH 試験結果は本報告書作成時点で評価中である。

III-2-2. モジュール外観変化

弊社の研究はバックシートによるモジュール信頼性への影響に関するものであり、バックシートの剥がれや膨れ、割れなどの外観変化はモジュールの保護機能に直接影響を与える問題と考え、モジュールの外観変化に注目した。

(1)結晶シリコン単セルモジュール

弊社の耐加水分解性 PET 白色フィルム (AW1) と一般 PET 白色フィルム (GW2) をそれぞれ単層フィルムのままでバックシートとして作製した単セルモジュールを用いて DH 試験を実施したところ、2000hr 経過時点までは両者とも外観上の異常は見られなかったが、3000hr 経過時点で GW2 バックシートにはヒビ割れが複数発生した (図 III-2-2-1)。AW1 バックシートには DH3000hr 経過時点でも異常は見られなかった。比較として評価したコンソーシアム標準部材である TPT バックシートは表層の PVF 層には特に劣化は見られないものの、フレームのないモジュール端部に見えるバックシート内部の中間 PET 層は DH2000hr 時点から既に黄変と脆化を生じており、DH3000hr 時点では、脆化の進行が顕著であった (図 III-2-2-2)。

これらの結果から、弊社耐加水分解性 PET フィルムは一般 PET フィルムやコンソ標準バックシートに使われている PET フィルムに比べて高い信頼性を維持しているといえる。

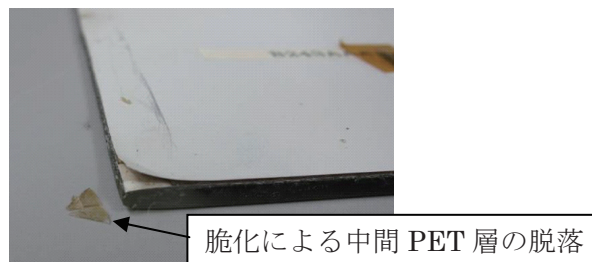
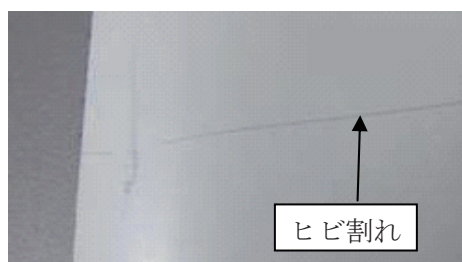


図 III-2-2-1. 一般 PET(GW2) DH3000hr 図 III-2-2-2. TPT バックシート DH3000hr

(2)結晶シリコン 4 セルモジュール

4セルモジュールでは、積層構成のバックシートを用いて加速劣化試験を行った。

三層構成の積層バックシート M1 の場合、DH3000hr 終了時点で中間層の一般 PET フィルム (GT1) にヒビ割れが生じているのが確認できたが、最外層の弊社耐加水分解性 PET フィルム (AT1) にはヒビ割れは発生していなかった (図 III-2-2-3(a))。最外層に同じく弊社耐加水分解性 PET フィルムの白色タイプ (AW2) を用いた M2 では、最外層が白色フィルムであるために外部からは中間層が直接見えないが、モジュールの余白部分の表側からライトを当てて光を透過させると、内部の中間層 PET フィルムにスジが見えるのが確認でき、M1 と同様に中間層にヒビ割れが生じていることが分かった (図 III-2-2-3 (b))。

最外層にフッ素系フィルム(PVFではない)を用いた M3 ではDH3000hr 終了時点で内部の PET 層にヒビ割れが発生しており、さらにヒビ割れの一部は最外層にも達して、表面のフッ素系フィルムにもヒビ割れが生じていた(図 III-2-2-3 (c))。ヒビ割れ周辺ではバックシートの構成部材の層間に剥離による気泡のような痕跡も見られた。

弊社耐加水分解性 PET フィルム 2 層のみで構成した M4、M5 は、DH3000hr 時点でヒビ割れの発生は見られなかった。

コンソーシアム標準部材の TPT バックシートを使用したモジュールでは、DH3000hr 終了時点でモジュール裏面の黄変が進んでいた。最外層の PVF 層にヒビ割れはないものの、モジュールの余白部分にライトの光を透過させると中間層の PET フィルムにヒビ割れが生じていることが分かった。また、透過光は光源の青白い光に比べると黄色系に着色しており、バックシート内部で黄変していることが示唆された(図 III-2-2-3 (d))。

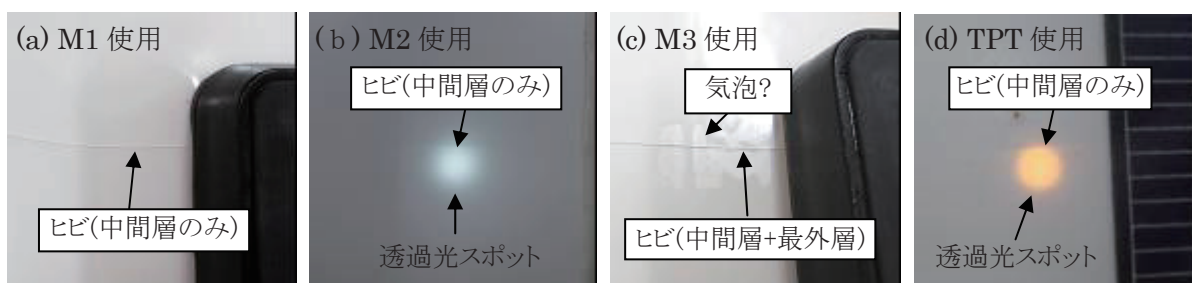


図 III-2-2-3. 積層バックシート使用 4 セルモジュール DH3000hr 試験後

上記の DH3000hr 試験後のバックシートの劣化状態を表 III-2-2-4 にまとめた。これより、弊社耐加水分解性 PET フィルム部材はヒビ割れに至る劣化は生じておらず、また、黄変も生じていないことから、これら弊社部材のバックシートの各構成要素への適用により、コンソ標準の TPT バックシートに優る耐久信頼性を実現できるバックシート構成の提案が可能である。

表 III-2-2-4. DH3000hr 試験後のバックシートの劣化状態

バックシート名称	M1		M2		M3		M4		M5		TPT	
	部材	状態	部材	状態	部材	状態	部材	状態	部材	状態	部材	状態
最外層	AT1	◎	AW2	◎	フッ素系	●	AT1	◎	AW2	◎	PVF	◎
中間層	GT1	●	GT1	●	GT1	●	なし	-	なし	-	PET	●黄変
EVA側層	AW1	◎	AW1	◎	AW1	◎	AW1	◎	AW1	◎	PVF	◎

状態の説明 ◎：ヒビ割れなし（EVA側層は外観から見える範囲） ●：ヒビ割れあり

IV. まとめ

弊社耐加水分解性ポリエステルフィルムをバックシート用部材として適用した結晶シリコンモジュールの加速劣化試験を行った結果、発電特性と外観の双方を勘案してコンソーシアム標準モジュールに優る耐久信頼性のモジュールを実現できるバックシート構成の提案が可能であることを確認した。

今後は、コンソーシアム第 I 期の継続延長期間を通じて、中間層にも耐加水分解性ポリエステルフィルムを適用したバックシートの耐久信頼性の確認の他、バックシートの水蒸気バリアー性の要求特性の把握などの課題に取り組む。

I. 目的

太陽電池モジュールの裏面を保護する構成部材『バックシート』はモジュール内部への水蒸気浸入の抑制、電気絶縁性などの保護機能を主に司る部材である。通常、複数枚の樹脂フィルムを組み合わせるバックシートも屋外に設置され稼動する太陽電池モジュールの一部材として光、熱、湿度を始めとするストレスに曝され、劣化するが、太陽電池モジュールの信頼性に及ぼす影響は知られていない。そこで、下記の通り本研究の目的を定め、太陽電池モジュール作製及びその信頼性評価を行った。

- ① バックシートの耐久性とそれを適用したモジュールの信頼性との相関検証
- ② 耐加水分解性 PET フィルムを含むバックシートの適用とモジュール長寿命化の実証

II. 研究開発目標

バックシートの耐久性とモジュールの信頼性に着目した次の研究開発目標を掲げ、本研究を推進した。

- ① 自社製部材を適用した結晶シリコン系 4セルミニモジュールでの高信頼性実証
加速試験種、試験時間：DH試験～3000hr、TC試験、HF試験
目標値：DH試験3000hr後のPmax保持率95%以上
- ② 自社製部材を適用した結晶シリコン系フルサイズモジュールでの高信頼性実証
加速試験種、試験時間：DH試験～2000hr、TC試験、HF試験
目標値：DH試験2000hr後のPmax保持率95%以上
- ③ 加速試験法の提案とその方法における自社バックシート適用モジュールの優位性実証

III. 研究開発の成果

当社の太陽電池関連事業の1つに、バックシート用PETフィルム事業が挙げられ、色、耐加水分解性、耐候性などが異なる複数の製品が使用されている（図1）。

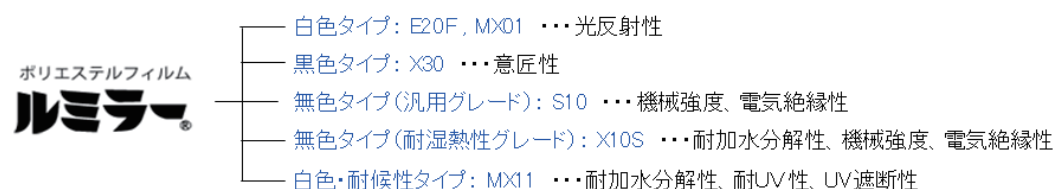


図1 バックシートに使用される当社製 PET フィルムの主要品種

バックシートは太陽電池セル種、設置形態（屋根置き、地上設置など）及びモジュールシステム電圧などに応じて種々の設計がなされている。表1に結晶シリコン型モジュール向けバックシートの主要品種の構成をその特徴と併せて示す。耐候性に優れる PVF フィルムを両面に配したことを特徴とし、本コンソーシアムでも標準部材として使用された

“TPT” 構成 (図 1 (A)) は最もポピュラーな構成である。また、フッ素樹脂層がコーティング法で形成されたタイプ (図 1 (B)) も広く用いられているが、両設計ともに PET フィルムは汎用タイプが使用されている。屋外曝露環境下では PET フィルムの加水分解が進行し、機械強度の低下などを生じる。この弱点を補う設計の 1 つとして『耐加水分解性 PET フィルム』の使用が挙げられ、当社関係会社である東レフィルム加工 (株) は図 1 (C) の設計に代表される構成の耐 UV 性と耐湿熱性に優れたバックシートを上市・販売している。

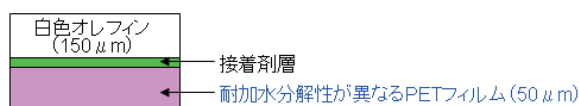
表1 結晶シリコン型モジュール用バックシートの主な構成と特徴

構成	(A)	(B)	(C)
Cell-side	“Tedlar” (38 μm)	白色オレフィン (100 μm)	白色オレフィン (150 μm)
接着剤層	一般PET (250 μm)	一般PET (125 μm)	耐加水分解性PET (125 μm)
Out-side	“Tedlar” (38 μm)	耐候性フッ素コート	耐候性コート
タイプ	“TPT” (global standard)	フッ素コートタイプ	耐加水分解性PET使用タイプ
耐UV性	◎	○	○
耐湿熱性	△	△	◎

当社は本研究において、結晶シリコン型モジュールの作製・評価に注力し、特にバックシートの耐湿熱性及び水蒸気透過率に着目して研究を行った。まず、バックシートの耐湿熱性に優劣がある場合にそのバックシートを用いたモジュールが DH 試験において I-V 特性変化の挙動に差を生じるのか検証した結果を示す。

本検証に用いたバックシートの代表例とその耐湿熱性をシートの破断伸度で定量化した結果を図 2 に示す。一方、耐湿熱性が大きく異なる 3 種のバックシートを適用した各モジュールは表 2 に記載の I-V 特性変化 (Pmax、FF のみ記載) を示した。

【バックシート構成】



【バックシート type Noと使用したPETフィルム】

- No.8 : 汎用PET“ルミラー” S10 (50 μm)
- No.9 : 耐加水分解性PET①“ルミラー” X10S (50 μm)
- No.10 : 耐加水分解性PET② (50 μm)

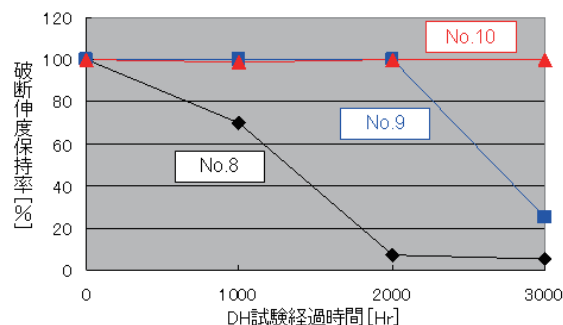
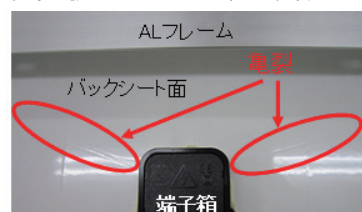


図2 耐湿熱性に関する検証に用いたバックシートの構成と耐湿熱性

表2 耐湿熱性が異なるバックシートを装着したモジュールの信頼性試験データと外観不具合

	最大出力(Pmax) 及びフィッファクター(FF) 保持率					
	H403FAHC_BS No.8		H404FAHC_BS No.9		H405FAHC_BS No.10	
	Pmax [%]	FF [%]	Pmax [%]	FF [%]	Pmax [%]	FF [%]
0Hr	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1000Hr	100.3	100.0	100.3	99.4	100.3	100.3
2000Hr	100.0	99.7	100.2	100.2	100.4	100.0
3000Hr	98.9	98.9	98.7	98.7	98.7	98.8

バックシートに亀裂発生



モジュール信頼性試験の結果、3台いずれのモジュールもDH試験3000Hrを経過した後も初期出力 (Pmax) の95%以上が保持されていることを確認した。

ところが DH 試験が 2000Hr を経過した時点で、汎用 PET を最外層とするバックシート (No.8) が配されたモジュールには、『バックシートに亀裂が入る』という不具合が発生した。これは汎用 PET 層の湿熱劣化が大きく、靱性や伸度が極端に低下したためと推定する。なお、発電に影響するバックシートの光線反射率や信頼性に影響すると推定される水蒸気透過率といった特性は、PET フィルム層 (バックシート外層側) に亀裂を生じても内層側の白色オレフィン層が保持しているために出力は保持されているものと推定する。

しかし、亀裂の発生という外観不良を生じた後、さらに環境ストレスを受けた場合にもこのような不具合を示すのか、この点は興味深く、湿熱試験を継続中である。

次に新たな加速試験方法の検討として行った『DH 試験と TC 試験の組み合わせ』加速試験について記す。結晶シリコン型モジュールに対する型式認証について定めた規格 (IEC61215) における温度、湿度に関する負荷試験は下記の 3 試験である。

- ① 高温高湿 (DH) 試験 1000Hr
- 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

上記の現行規格に対して、『湿熱劣化した状態のモジュールに対する温度変化のストレス』が加わることは屋外曝露下でも想定される。その場合、バックシートの耐湿熱性に依存して、モジュールの信頼性に差異を生じるのではと考え、検証を行った。なお、DH 試験と TC 試験の組み合わせ試験はモジュールに対する新たな加速試験方法として、また、より高い信頼性を実証するための評価方法として、Fraunhofer 研究所、NREL なども実施・提案している。図 3 に本検証に用いたバックシートの種類、構成と加速試験スキームを示す。

Cell side→	“Tedlar” (38 μm)	白色オレフィン (150 μm)	白色オレフィン (150 μm)	【加速試験スキーム】 Step1 DH試験 1000Hr ↓ Step2 DH試験 1000Hr (合計DHT2000Hr) ↓ Step3 TC試験 200サイクル
BS構成	汎用PET (250 μm)	“ルミラー” X10S (125 μm) 耐候性コート層	“ルミラー” MX11 (125 μm)	
Out side→	“Tedlar” (38 μm)			
BS No	No.1_TPT	No.2_耐湿熱性構成①	No.3_耐湿熱性構成②	
DHT2000Hr後 破断伸度 [%]	3	104	101	

図3 DH 試験/TC 試験の組み合わせ試験に用いたバックシートの構成と試験スキーム

加水分解しやすい汎用 PET フィルムを中間層とする“TPT” (No.1、コンソーシアム標準バックシート) に対して、No.2、3 のバックシートはいずれも当社製耐加水分解性 PET フィルムを適用した耐湿熱性に優れるシート設計であり、DH 試験 2000Hr の湿熱処理を施すと“TPT”は靱性が損なわれる (破断伸度: 3%) のに対して、耐湿熱性構成のバックシートはいずれも十分な靱性及び破断伸度を保持している。

このように耐湿熱性に差がある 3 種類のバックシートをそれぞれ装着したモジュールについて、考案した加速試験スキームに従って信頼性試験を進めた。その結果、“TPT”を適用したモジュールにおいて、『バックシートの割れ』が外観変化として観察された (図 4)。このことから、汎用 PET 層の外側に耐候性に優れる層 (TPT の場合は Tedlar フィルム層) を形成しても、汎用 PET 層を保護することはできないことがわかる。

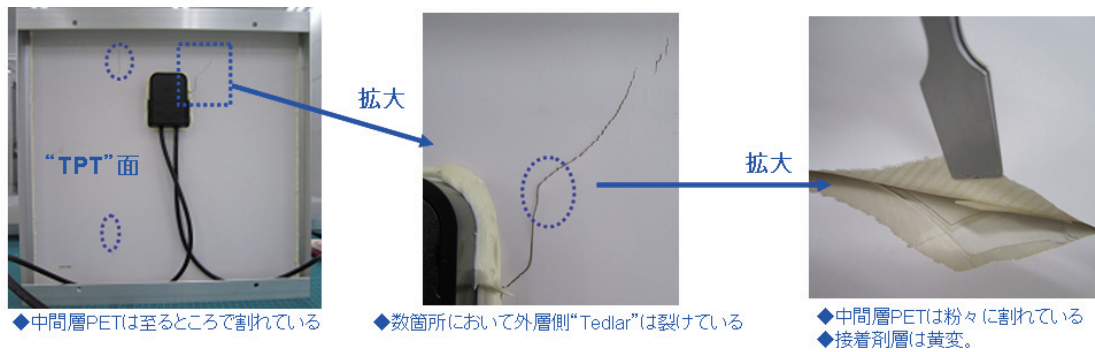


図4 DH試験/温度サイクル試験の組み合わせ試験後に観察された外観不具合

次に、加速試験のステップ毎に行った I-V 測定の結果を図 5-A に、TPT をバックシートとする 4 台のモジュール（うち 3 台は産総研スタッフが作製・評価）が TC 試験の繰り返しにおいて示した I-V 特性の変化を図 5-B にそれぞれ示す。図 5-A から、DH 試験 2000Hr 後に温度サイクル (TC) 試験 200 サイクルを施した結果、外観不良を生じた“TPT”適用モジュールは、温度サイクル試験 200 サイクルに伴う Pmax の低下が 5.5% と他の 2 台と比較して大きいことがわかる。一方、TPT 適用モジュールについて、温度サイクル試験を 200 サイクル（温度サイクル試験：50 サイクル、結露凍結試験：10 サイクル後）行った場合の Pmax の変化は 0.3~2.8% であり、DH 試験 2000Hr 処理後の温度サイクル試験では ΔP_{max} が顕著に大きいことがわかる。つまり、バックシートが湿熱劣化した状態に温度変化のストレスが加わった場合には、部材の破損と同時にモジュールの発電特性が低下する懸念があることが示唆された。

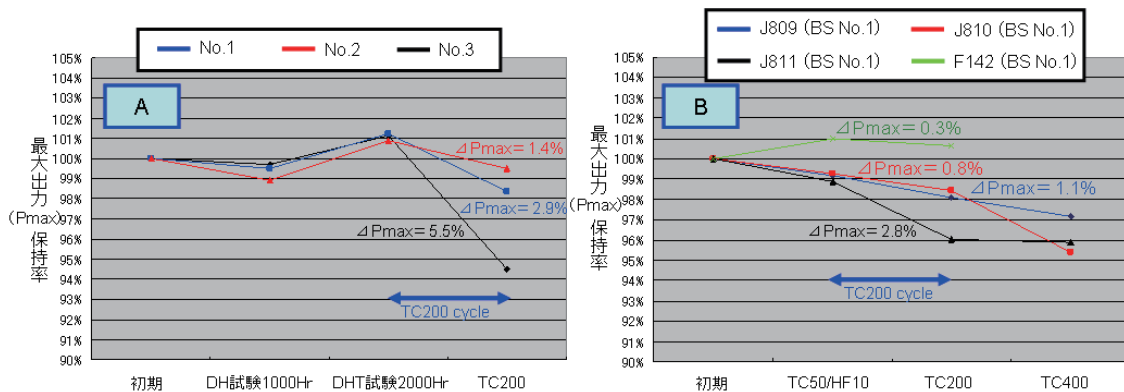


図5 信頼性試験に伴う Pmax の変化 (A: DH 試験/TC 試験、B: TC 試験)

IV. まとめ

本報告では、研究成果の一部について記すに留めた。再現性確認、メカニズム解明などを課題は残すが、本研究を通じて得られた結果、知見は下記の通り総括することができる。

- ①耐加水分解性 PET フィルムを構成部材とするバックシートを適用し、DH 試験 3000Hr 後も初期出力 (Pmax) の 95% 以上を保持可能なことを確認した。
- ②耐湿熱性に乏しいバックシートは DH 試験あるいは DH 試験と温度サイクル試験の組み合わせ試験において、外観不良や顕著な出力低下を示すことを確認した。

「無機封止膜によるセル直接封止技術」

東レエンジニアリング株式会社

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) モジュールの全面/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) 電極接合部の信頼性向上

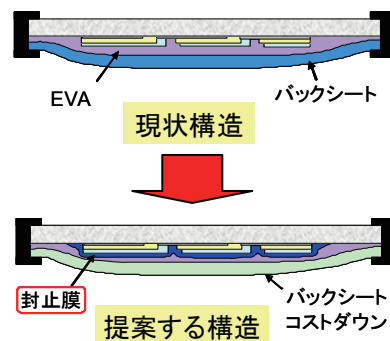


図1 提案構造

II. 研究開発目標

コンソーシアムで提供される部材を使った薄膜太陽電池モジュールと比較し、2倍以上の長寿命効果のあ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) 提案する構造での信頼性向上の確認
- (2) 高バリア封止膜の最適化
- (3) 電極接合部の応力構造、電極取出部の最適化

III. 研究開発の成果

(1) 序論

従来 OLED 用に開発中のプラズマ CVD で製膜する封止膜を太陽電池用途へ展開する。当社封止膜は無機バリア膜と応力緩和用の無機バッファ膜の積層構造(図2)である。バリア性については、水蒸気透過率が $10^{-5} \text{g/m}^2/\text{day}$ 以下で、透明性については、光の透過率が 90% 以上の高透明性の膜であることが特徴である(図3)。この封止膜を使用し、薄膜太陽電池セル上に直接封止膜を製膜し、封止膜効果の評価を行った。

また、太陽電池の信頼性向上のためには、取出電極部の保護も必要である。そのため、取出電極部も封止膜で覆う必要があることから、当社保有の真空印刷充填技術を用いて電極部を覆い(図4)、その上から封止膜で全面を覆い取出電極部もカバーする構造とする。

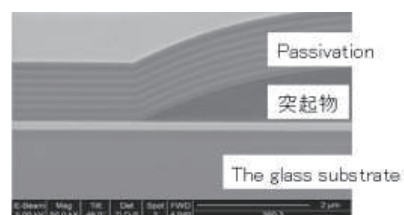


図2 封止膜(積層)の断面写真

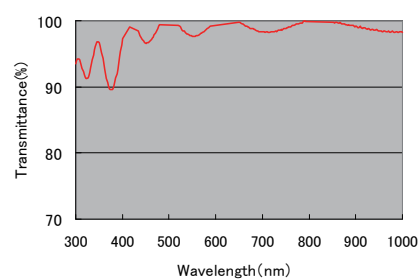


図3 封止膜(積層)の光透過率

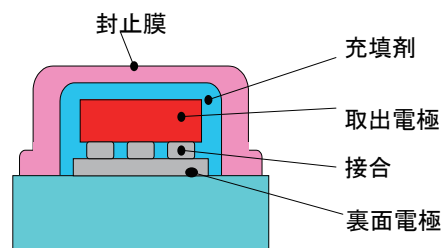


図4 電極部の断面構造

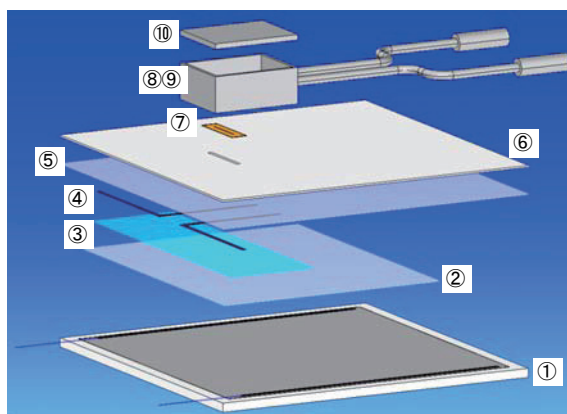
(2) 実験内容

以下の評価サンプルを作製し、評価を行った。評価数は $n=1$ である。

表 1 テストサンプル水準

No.	名称	特徴
1	サンプル 1 (図 5)	薄膜セル (□185mm 角)、他部材は供給品を使用 Al フレームは使用していない
2	サンプル 2 (図 6)	封止膜は無機バリア膜と無機バッファ膜の積層膜 薄膜セル (□185mm 角)、他部材は供給品を使用 Al フレームは使用していない

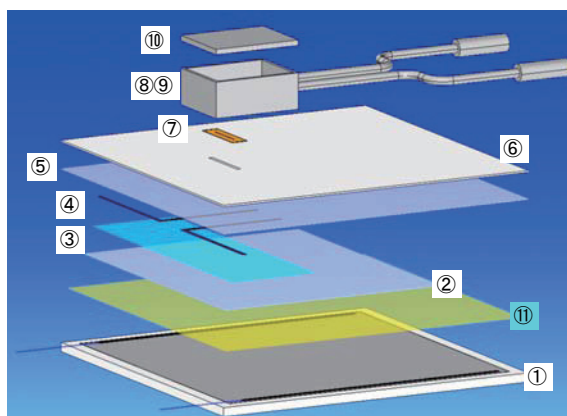
上記表のサンプル 1 は封止膜を使用していないもので、図 5 に示す形状のものである。使用したセルはアモルファスシリコンの薄膜太陽電池セルの 185mm×185mm サイズのものである。使用部材は全てコンソーシアムで供給された部材を使用した。



名称
① セル
② EVA
③ 絶縁フィルム
④ インターコネクタ (タブ線)
⑤ EVA
⑥ バックシート
⑦ カブトンテープ
⑧ 端子ボックス
⑨ ポッティング剤
⑩ 端子ボックス蓋

図 5 サンプル 1 形状

サンプル 2 は封止膜を用いたもので、図 6 に示す形状のものである。サンプル 1 と同サイズの薄膜太陽電池セル上に直接プラズマ CVD により封止膜を製膜した。サンプル 1 との違いは、薄膜太陽電池セル上に封止膜を製膜したことだけで、他の部材はサンプル 1 と同様にコンソーシアムで供給された部材を使用した。



名称
① セル
② EVA
③ 絶縁フィルム
④ インターコネクタ (タブ線)
⑤ EVA
⑥ バックシート
⑦ カブトンテープ
⑧ 端子ボックス
⑨ ポッティング剤
⑩ 端子ボックス蓋
⑪ 封止膜

図 6 サンプル 2 形状



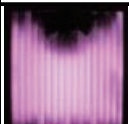
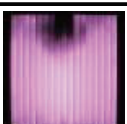
このサンプル 1、2 の信頼性評価試験として高温高湿試験 (DH) を行った。

なお、本評価では封止膜を付けることによる効果を見ることをまずは目標としているため、より劣化差がみやすいように Al フレームを使用しない形状で評価を行っている。

(3) 試験結果及び考察

(2)の試験結果を表 2 に記載する。初期評価において具体的数値は記載していないが、封止膜を付けたサンプル2は、サンプル 1 と比較し、特に劣化する因子は無かった。また、EL 検査においても良好であった。この初期評価結果は、封止膜を製膜することにより薄膜太陽電池に悪影響を与えないことを意味している。

表 2 評価結果

		サンプル1	サンプル2
初期評価	EL写真		
DH2500	短絡電流 I_{sc} (DH2500後/初期)	0.859	1.015
	開放電圧 V_{oc} (DH2500後/初期)	1.020	1.008
	曲線因子 FF (DH2500後/初期)	0.874	0.878
	最大出力 P_{max} (DH2500後/初期)	0.765	0.896
	変換効率 η (DH2500後/初期)	0.766	0.894
	EL写真		

高温高湿試験 2500 時間経過時 (DH2500) の評価結果について、変換効率の劣化比を図 7 に示す。サンプル 1 は初期から 23%程劣化しているのに対して、封止膜を製膜したサンプル2は10%程の低下にとどまった。

また、EL 結果については、サンプル 1、2 ともに端子ボックス取付部が暗くなっている。特に封止膜が無いサンプル 1 については暗い範囲が大きくなっている。これは端子ボックス取付のために、バックシートに開口部があり、そこからの水分浸入により、薄膜太陽電池セルに悪影響が出ていると考えている。サンプル 1 と比較するとサンプル 2 の劣化程度は小さい。

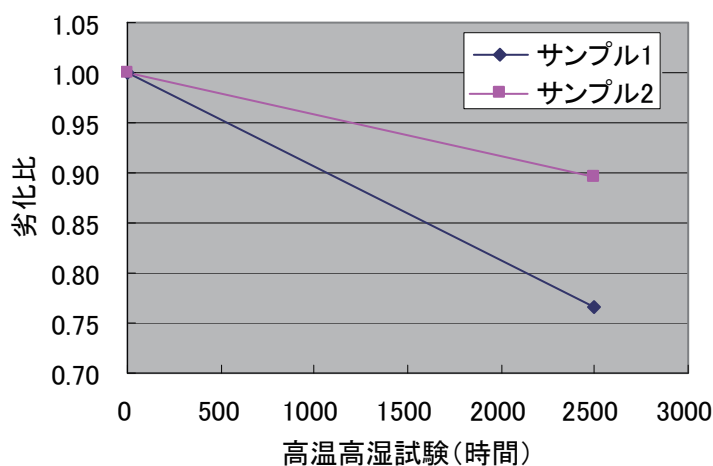


図 7 変換効率劣化比

今回の結果から、バリア性のある封止膜は水分による薄膜太陽電池の劣化を抑えられることがわかった。ただし、本試験では高温高湿試験のみであったため、水分による薄膜太陽電池セルの劣化のみの評価であったが、封止膜への期待は EVA の紫外線による変質劣化が薄膜太陽電池セルに与える影響の防止もある。そのため今後 UV 光を当て EVA の変質劣化も含めた複合試験での評価も行っていく必要がある。

加えて、本評価は $n=1$ で行っていることもあり、データの信頼性を得るためには、評価数を増やす必要がある。

なお、充填剤を使用した電極部への信頼性評価は、今回は十分に行えなかったため割愛した。

IV. まとめ

(1) 研究成果

- ・提案する薄膜太陽電池構造による劣化の低下確認
- ・参画企業間での情報交換及び基礎知識習得

(2) 今後の課題

- ・評価数を増やし、データの信頼性向上
- ・複合試験評価
- ・充填剤の効果確認
- ・フルサイズの薄膜太陽電池での評価

「バックシートのバリア性が太陽電池モジュール信頼性に及ぼす影響の研究」

凸版印刷株式会社

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1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

結晶シリコン、薄膜シリコンの太陽電池を対象として、水蒸気バリア性が 3×10^{-3} ～数 $g/m^2 \cdot day$ 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。

高温高湿環境下や温度サイクルなどの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の相関があるか確認する。

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(以下、バリアBS)を作製した。また、ガスバリア層を形成せず、それ以外は同様にした凸版試作品バックシート(以下、バリア層なしBS)も作製した。

凸版試作品バックシートの厚みは全て約 $230 \mu m$ 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、 3×10^{-3} ～数 $g/m^2 \cdot day$ ($40^\circ C$ 90%RH)とした。

ガスバリア層以外の構成、例えば使用したPETフィルムやラミネート方法などは、全バックシートで統一しており、バックシートの代表的特性である機械的特性や耐湿熱性などは、本研究の成果に影響を及ぼすほどの違いはないとした。

■ 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、結晶シリコンおよび薄膜シリコンの太陽電池ミニモジュールを作製した。前者は多結晶タイプのセルを1枚使用した単セルモジュール(約 $18cm$ 角)とし、後者はアモルファスシリコンセルを使用したミニモジュール(約 $18cm$ 角)とした。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バックシート(標準TPT、標準シリカBS、標準アルミBS)を使用したミニモジュールも作製した。

■ 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 $85^\circ C$ 85%RH高温高湿(DH)試験および温度

サイクル(TC)試験 [85℃⇔-40℃] を実施した。なお、TC試験を実施する全モジュールに関して、事前にTC試験50回(TC50)および結露凍結試験 [85℃85%RH⇔-40℃] 10回(HF10)を実施し、モジュール最大出力低下が5%以内(コンソ劣化基準内)であることを確認した。

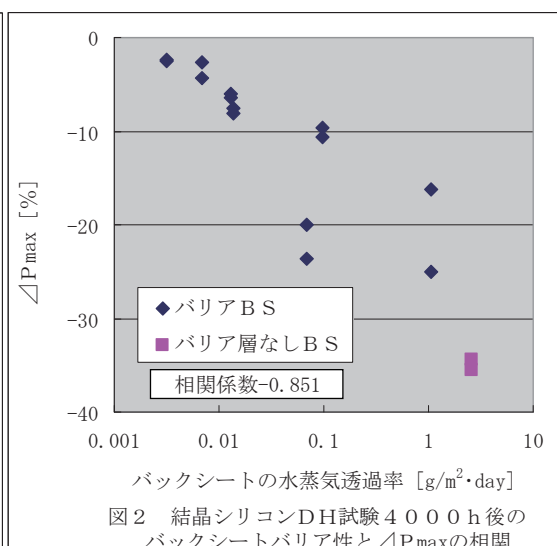
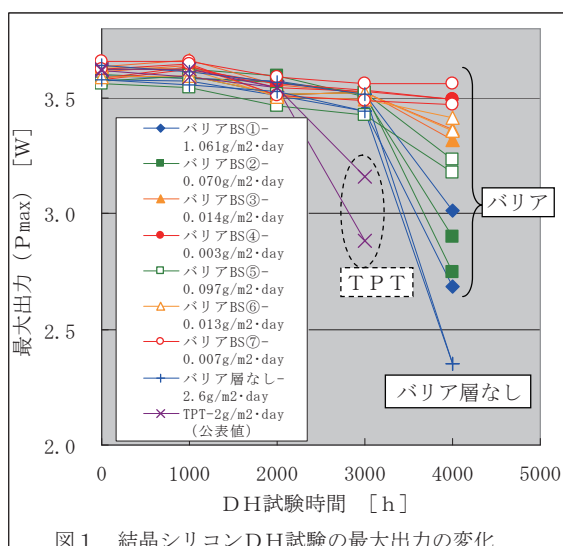
【結果および考察】

■ 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(バリアBS7種類、バリア層なしBS)もしくは標準TPTを使用した結晶シリコンミニモジュールではDH試験2000hまでは P_{max} がコンソ劣化基準内であった。しかし、3000hで標準TPTがコンソ劣化基準を超える出力低下となり、さらに4000hではバリア層なしBSで最も大きな出力低下を示したほか、バリアBSにおいてもその多くがコンソ劣化基準を超える出力低下となった(図1)。

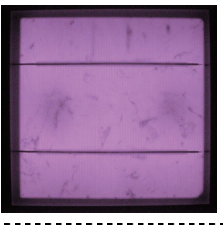
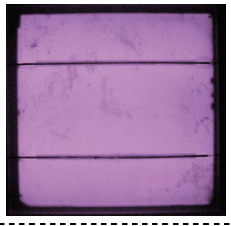
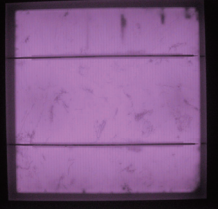
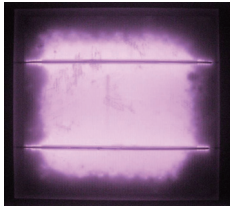
このDH試験4000hにおいて、バックシートのバリア性と最大出力の変化率(ΔP_{max})には相関が確認され、バックシートの水蒸気透過率が大きくなるほど P_{max} の低下が大きくなる傾向となった(図2)。また、このDH試験4000hにおいてコンソ劣化基準内であったミニモジュールは、水蒸気透過率 $0.01\text{ g/m}^2\cdot\text{day}$ 以下の凸版試作品バックシートを使用したもののみとなった(図2)。DH試験後のEL画像を確認してみると、コンソ劣化基準内であったバリアBS④では3000hと4000hとで違いが見られなかったが、出力低下が最も大きいバリア層なしBSでは3000hから4000hにかけてモジュール端部から暗輝度部の侵食が確認された(表1)。



凸版試作品バックシート(バリアBS5種類)もしくは標準TPTを使用したミニモジュールのTC試験では、TC600(トータル試験時間3165h)まで実施したものの全てのミニモジュールにおいてコンソ劣化基準内であった(図3)。なお、上述したDH試

験では4000hで顕著な P_{max} 低下が確認されており、TC試験でもトータル試験時間を4000hまで実施しておきたいため、現在TC800(同4065h)を試験中である。

表1 DH試験後のEL画像

	バリアBS④	バリア層なしBS
DH3000h		
DH4000h		

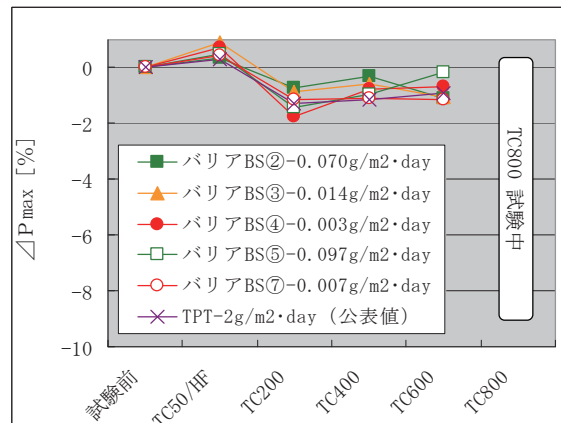


図3 結晶シリコンTC試験における ΔP_{max} の変化

次に、凸版試作品バックシート（バリアBS9種類、バリア層なしBS）もしくは標準シリカBSを使用した薄膜シリコンミニモジュールのDH試験では、半数以上のミニモジュールが1000hでコンソ劣化基準を超える出力低下となった。また、このDH試験1000hでは、バックシートのバリア性と ΔP_{max} の間には相関が確認され、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(図4)。

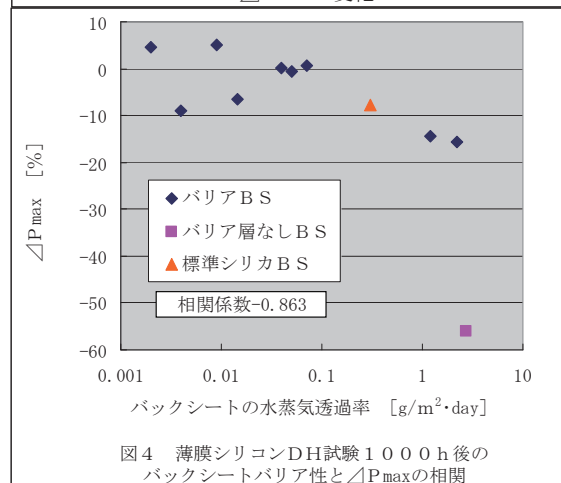


図4 薄膜シリコンDH試験1000h後のバックシートバリア性と ΔP_{max} の相関

なお、標準アルミBS(水蒸気バリア性：不明)を使用したミニモジュールのDH試験1000hでもコンソ劣化基準を超える出力低下が確認されており、約-7%であった。

■ モジュール出力低下の推定原因

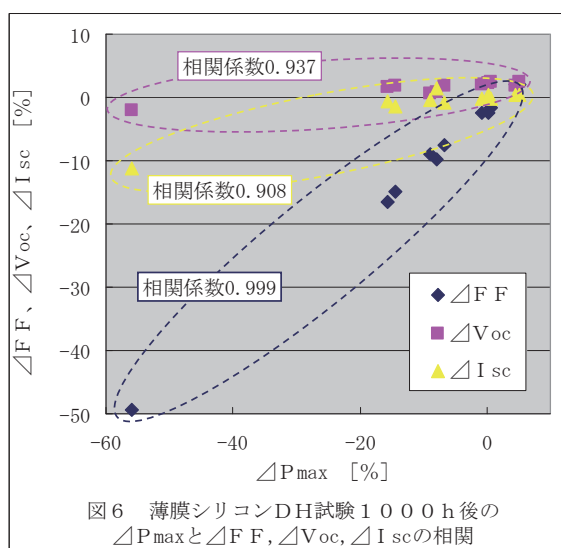
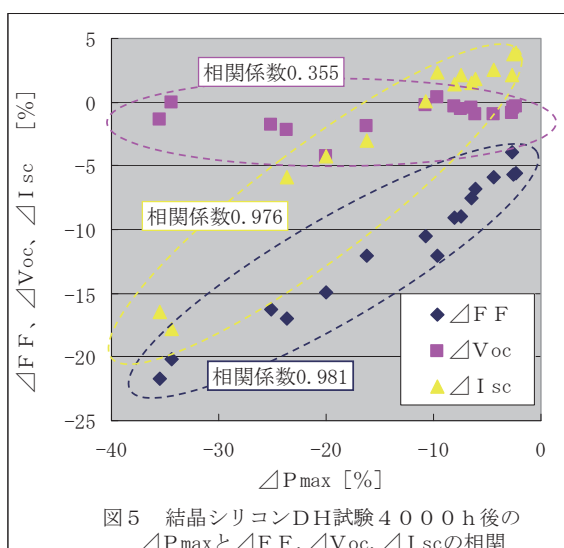
図5、図6に結晶シリコンおよび薄膜シリコンのミニモジュールの ΔP_{max} と曲線因子の変化率(ΔFF)、開放電圧の変化率(ΔVoc)、短絡電流の変化率(ΔIsc)との相関を表す散布図を示した。

まず、結晶シリコンでは、 FF 、 Isc の低下によって P_{max} が低下していることが確認された。ここで、結晶シリコンモジュールの P_{max} 低下を3種類の劣化モードに分類した、阪本先生の研究(文献1)を参考にして、 P_{max} 低下の原因を推定してみる。まず1つ目の FF モードは、モジュールの直列抵抗が増加する劣化であり、本研究の結晶シリコンでも、同様な直列抵抗の増加が確認されているため(図示せず)、 FF 劣化モードの可能性はある。次に2つ目の $I-V$ モードは Isc だけでなく Voc も低下する劣化であり、シリコンセル自

身に問題が発生していると考えられている。本研究では I_{sc} の低下は確認されているが、 V_{oc} の低下は確認されていないため、 $I-V$ モードの可能性は低いと考えられる。最後の剥離モードはセルと充填剤（EVA）との界面の接着強度が低下して剥離にいたる劣化である。しかし本研究では、このような剥離現象で見られる白濁箇所が確認されていないため、剥離モードの可能性は低いと考えられる。

本研究では上述したように、バックシートの水蒸気バリア性が低いほど、即ちバックシート側からモジュール内部に水蒸気が浸入しやすいほど、 P_{max} 低下が大きくなる傾向が確認されている。従って、バックシート側から浸入した水分が何らかの影響を及ぼし、モジュール内部素子の抵抗成分である直列抵抗を増加させたのではないかと推定した。但し、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、これらは第二期のコアテーマ①『長期曝露モジュール詳細調査』にて行う予定である。

また、薄膜シリコンでも FF 、 I_{sc} の低下によって P_{max} が低下することが確認されており、特に FF 低下の影響が顕著であった。こちらも結晶シリコン同様、更なる詳細調査を行うためには、破壊分析などを行う必要があると考えている。



IV. まとめ

水蒸気バリア性が $3 \times 10^{-3} \sim$ 数 $g/m^2 \cdot day$ のバックシートを使用して作製したミニモジュールでは、結晶シリコンでDH試験4000h、薄膜シリコンではDH試験1000hでバックシートの水蒸気バリア性とモジュール最大出力 (P_{max}) の低下に相関が確認された。また、結晶シリコン4000hで P_{max} の低下が5%以内であったモジュールは、水蒸気透過率 $0.01 g/m^2 \cdot day$ 以下の水蒸気バリア性が良好なバックシートを使用したもののみとなった。モジュールの P_{max} 低下は、直列抵抗が増加して曲線因子 (FF) が低下したことが原因の1つであると推定されるが、更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なう必要があると考えている。

《文献1》 阪本, 応用物理, 第79巻, 第5号, (2010年) pp. 440-443.

I. 本コンソーシアムでの研究目的

本コンソーシアムにおいて、弊社の提案材料は、塗布型太陽電池セル保護材料であり、(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で効果を発揮する。それぞれの材料の目的について、下記に記載する。

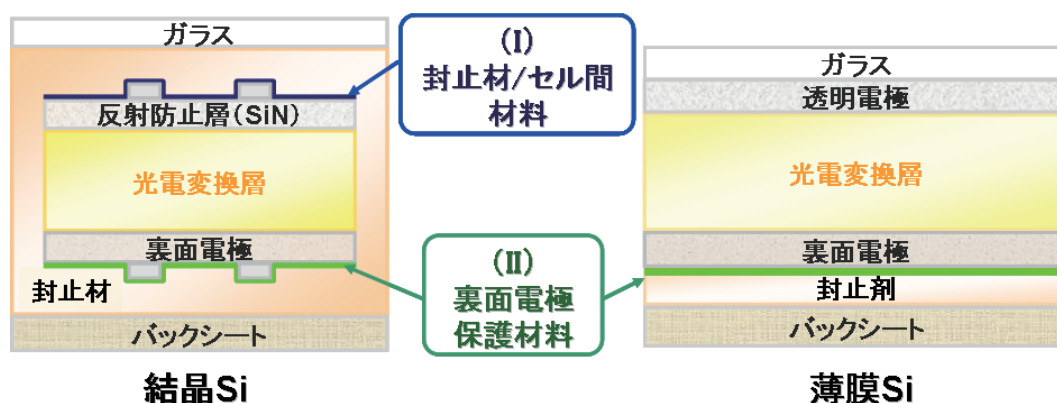


図1 各モジュールの断面図と提案材料

(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へ物理的破壊が起こり、モジュールの長期信頼性が損なわれる。このため、この提案材料の目的は、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事である。

(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、この提案材料の目的は、酸性ガスの曝露を防ぎ、裏面電極の腐食を抑制する事と、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事である。

なお、I期では、封止材／セル間塗布材料を中心に検討を行った。このため、裏面電極保護材料はII期以降の検討課題とした。また、試験途中のモジュールについては、II期以降に開示する。

II. 研究開発目標

<目標と性能>

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、初期値からPmaxが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。

<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 : 43台 (2次試験終了16台, その他 : 27台)
- ・ 弊社塗布材料 : サンプルA~G(合計7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5回測定し、測定値を平均化して算出した。

III. 研究開発の成果

III-1 : セルの性能の確認について

弊社塗布材料は、長期安定性の他にIscの向上等、2次的効果も期待できる。このため、セルのlot差を確認するため、塗布前のタブ付セル18台のIscとPmaxを確認し、平均値と比較した(図2, 3)。

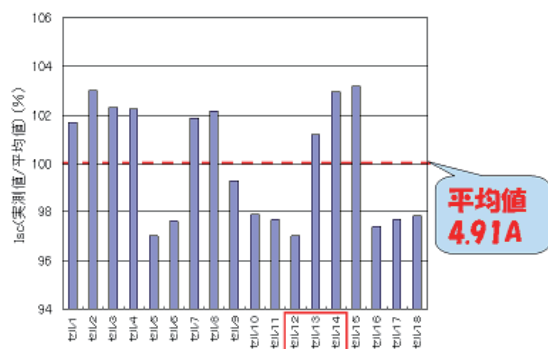


図2.各セルのIsc

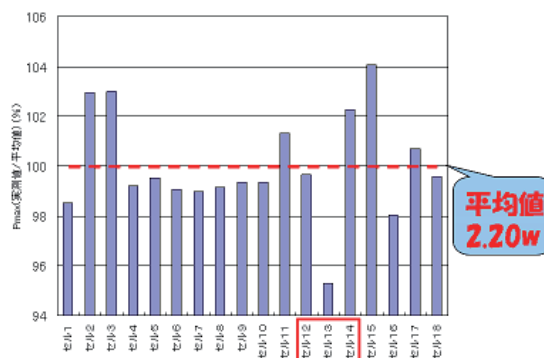


図3.各セルのPmax

この結果、いずれも平均値から大きく異なっている事が判明した。Iscは平均値と比較して、98%（セル5, 6, 10, 11, 12, 16, 17, 18）と102%（セル1, 2, 3, 4, 7, 8, 13, 14, 15）の二つに分布していた。更に、Pmaxは平均値から5%程度低いもの（セル13）が見られた。このため、このセルと、他のセルのI-Vカーブを比較した結果、Rsh由来によるIVカーブの低下が確認された（図4）。以上の結果より、初期段階でセルのlot差が激しいため、セル間を比較することは非常に難しいと判断した。このため、2次的効果の確認を断念し、当初の目標のように、単体のモジュールの長期保存安定性を確認することとした。

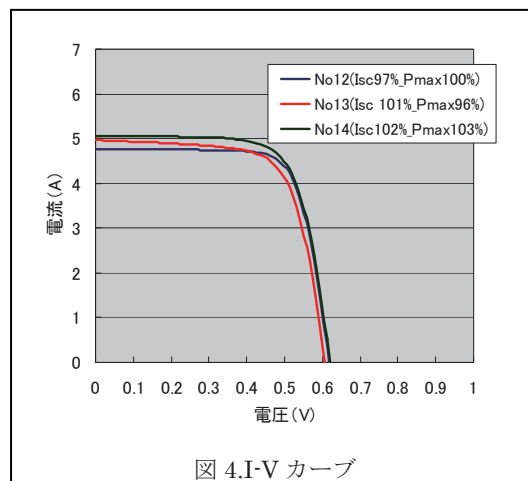


図 4.I-V カーブ

III-2：弊社塗布材料の性能の確認について

弊社塗布材料を搭載したシングルモジュールと標準部材使用シングルモジュール（以下、BMSモジュール）について、それぞれ加速試験を行った。得られた各試験後のIscとPmaxの変化率を下記に示す（図5, 6）。

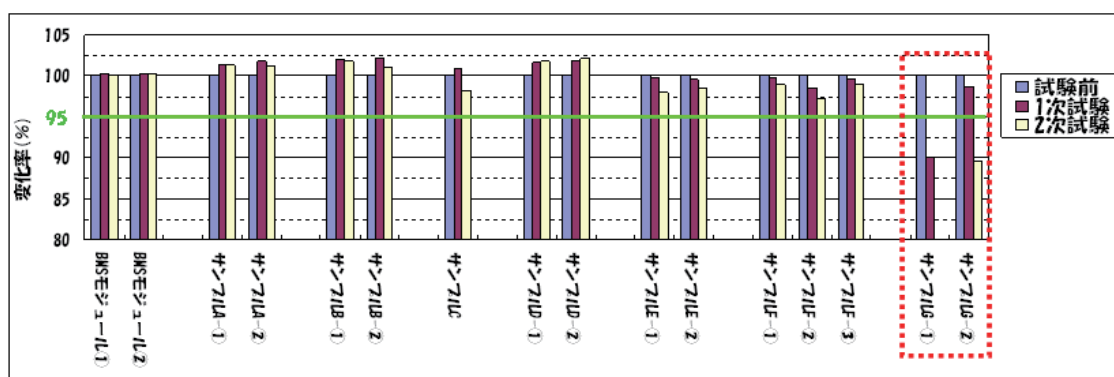


図6 各モジュールの加速試験前後のIsc

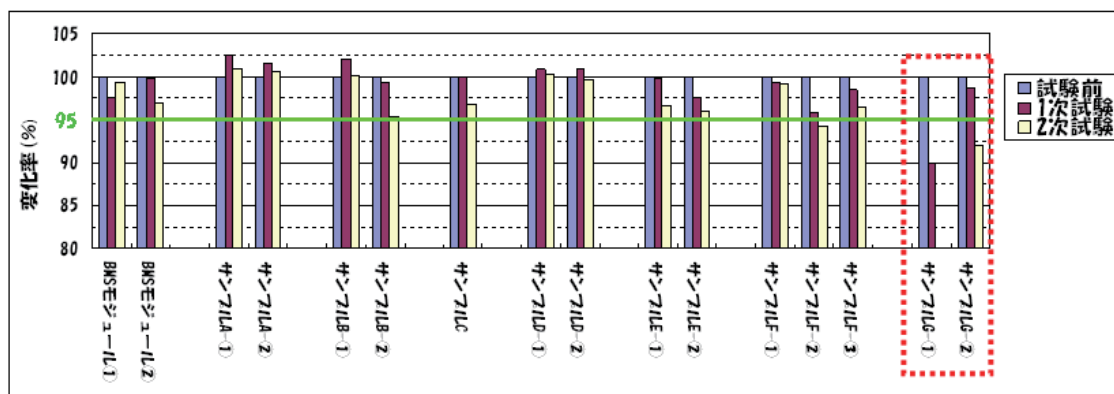


図6 各モジュールの加速試験前後のPmax

この結果、**BMS**シングルモジュールとサンプルA～Fを搭載したモジュールに、変化は見られなかった。弊社塗布材料の効果を確認するためには、更なる加速試験が必要である。一方、サンプルGを搭載したモジュールは、大きな劣化が見られた。試験後の**BMS**シングルモジュール-①とサンプルG-②のモジュールの概観を示す（図7）。

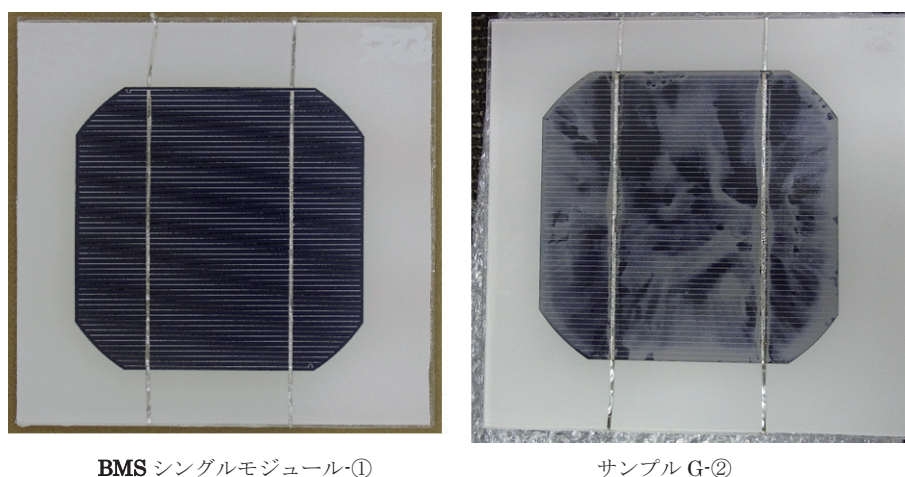


図7：各モジュールの概観（2次試験後）

サンプルG-②は、セル自体に大きな変化は見られないが、表面全体が白濁している。この現象は、**BMS**シングルモジュールでは確認されないため、塗布材料由来の剥離現象と判断した。この現象により、モジュールへの入射光がセルへ十分に届かないため、 I_{sc} と P_{max} が低下したと予想される。

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長期信頼性の検討を行った。加速試験の結果、用いた塗布材料（サンプル G）で、剥離現象による大幅な劣化が見られた。各材料の界面間の密着性と塗布膜の強度が原因と推測されるが、詳細な要因については今後の検討課題である。一方、他の塗布材料では目標を達成した。しかし、**BMS**シングルモジュールと差が見られないため、今後、更なる加速試験が必要である。このため、II期コンソーシアムにて更に長期試験を検討する予定である。また、裏面電極保護材料について本コンソーシアムでは未検討のため、II期以降の検討を行う予定である。

「高信頼性太陽電池モジュールへのテープ材料・工法の適用」

日東電工株式会社

I. 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きた。本コンソーシアムでは、太陽電池での一連の評価技術の習得、さらに弊社のテープ材料のモジュールへの適用と新規なテープ工法の提案を目的とした。

II. 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

現行材料のシリコンコーキング/ホットメルトブチルと同等もしくはそれ以上の信頼性を示すことができ、かつ工程の簡略化ができる。

「結晶/薄膜Si系モジュールにおいて、DH試験で最大出力（Pmax）を初期値の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

現行工法のはんだ工法と同等もしくはそれ以上の信頼性を示すことができ、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）を初期値の95%以上維持しているサイクル数が現行材料と同等以上」

III. 研究開発の成果

III-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）：
- ・日東電工社製内部配線材（以下日東内部配線材）：



III-2.成果

結晶Si系：

(日東) 端面シール材の検討

- ・(日東) 端面シール材を用いた結晶系モジュールの長期信頼性試験 (DH 試験) を実施。

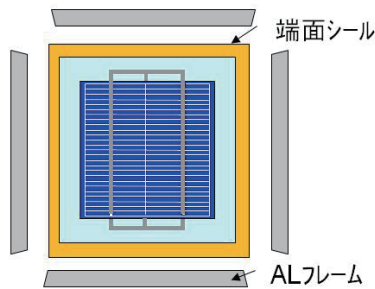


図2. 結晶Si系検討モジュール構成図

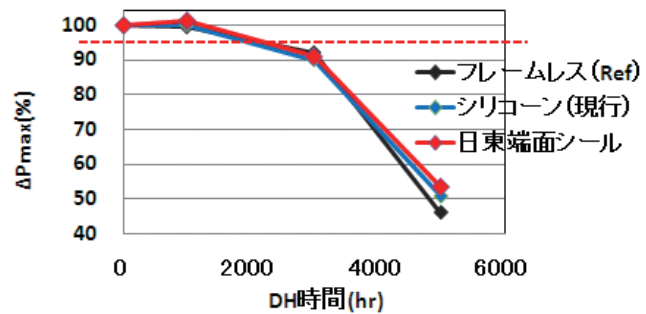


図3. DH試験での端面シール材の ΔP_{max} 比較

⇒ DH 試験において、端面シール材の有無、種類による差は無く、5000 時間経過で最大出力変化率 ΔP_{max} が試験合格レベルの 95%以下まで大きく低下した (図 3)。これは、使用した現行バックシート (現行品 : TPT 構成) の水蒸気バリア性が低く、端部に比べ、バックシートからの水分浸入が非常に多くなったためと考えられる。つまり、少なくとも、現行バックシートの劣化が起こっている 5000 時間までは、日東端面シールは現行シリコン系シール材と同等以上の特性が示されたと考えられる。

⇒ 超長寿命化の観点から、ハイバリアバックシートと日東端面シールの組合せでの寿命 UP も考えられるが、第 I 期中での検討としては、標準バックシートでの検討までとした。

薄膜Si系：

(日東) 端面シール材の検討

- ・(日東) 端面シール材を用いた薄膜 Si 系モジュールの長期信頼性試験 (DH 試験) を実施。

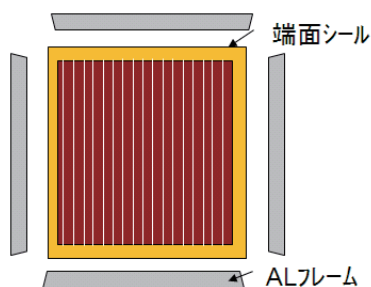


図4. 薄膜Si系検討モジュール構成図
(40cm□サイズモジュール)

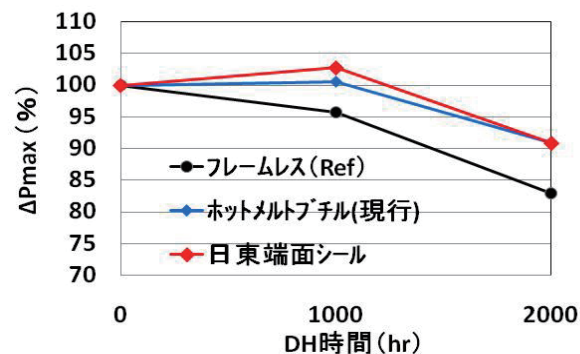


図5. DH試験での端面シール材の ΔP_{max} 比較

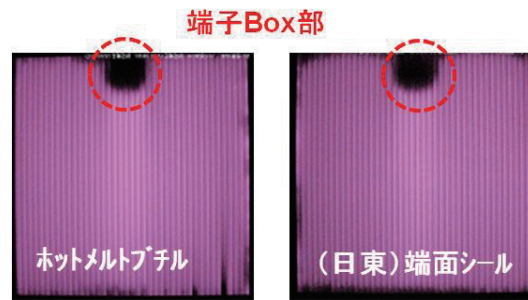


図6. DH2000後モジュールEL画像

⇒ DH 試験を 2000 時間行った結果 (図 5)、フレームレス (端面シールレス) に比べ、フレームタイプ (端面シール有: ホットメルトブチル、日東端面シール) では ΔP_{max} 低下が小さく、端面シール材の効果が示された。また日東端面シール材は、現行ホットメルトブチルと同等の傾向を示し、日東材料の信頼性が示された。今後試験継続し、長期試験での信頼性確認を進める。

⇒ 現行ホットメルトブチル、日東端面シール材共に、DH2000hr での最大出力変化率 ΔP_{max} が 95%以下まで低下したため、EL 測定を行った結果、図 6 のように端子 Box 付近からの劣化が観察された。詳細な原因は不明であるが、端子 Box 取付部からの水分の浸入によるセルの劣化と予想しており、薄膜 Si 系構成材料の再選定が課題と考えられる。

(日東) 内部配線材の検討

- ・(日東) 内部配線材を用いた薄膜 Si 系モジュールの長期信頼性試験 (TC 試験) 実施。

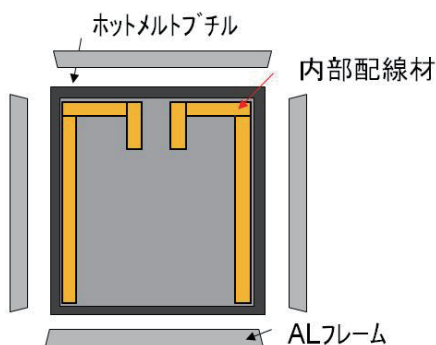


図7. 薄膜Si系検討モジュール構成図 (40cm□サイズモジュール)

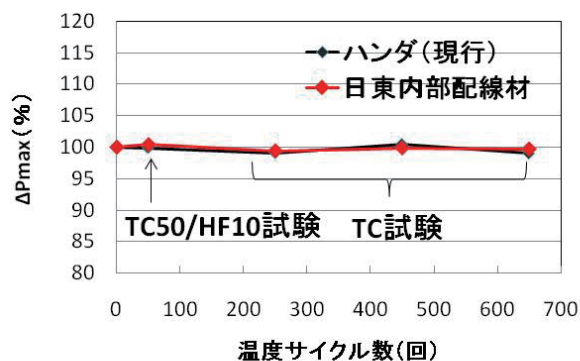


図8. TC試験での内部配線材の ΔP_{max} 比較

⇒ 温度サイクル試験 (TC50/HF10→TC200) を行った結果、日東内部配線材は現行ハンダ工法と同様に初期値をキープできており、端面シール材同様、日東材料の信頼性が示された。今後は試験継続し、長期での優位性・信頼性確認を進める。

IV. まとめ

結晶 Si 系での日東端面シール材の検討により、現行構成（特に現行バックシート）では日東端面シール材は、現行シリコン系シール材と同等以上の信頼性を示すことができた。

また、薄膜 Si 系での日東端面シール材、内部配線材の検討を行った結果、現行材料（端面シール材：ホットメルトブチル、内部配線材：ハンダ工法）と同等の信頼性を示すことができた。但し、薄膜 Si 系セルの調達遅れにより、長期での信頼性試験（DH5000、TC800 程度）が行うことができなかったため、目標達成度は 90%とする。

今後は試験の長期継続による弊社材料の信頼性を見極めを進めるとともに、本報告書にも記載した薄膜 Si 系での端子 Box 部付近の劣化を課題として挙げ、原因究明と対策を進める予定とする。

「はんだ代替導電性接着フィルムによるタブ線の低温接続技術」

日立化成工業株式会社

I. 目的

結晶系の太陽電池では、セル原材料であるシリコンのコストが大きな比率を占め、部材コストの低減にはセルの薄型化が必須である。一方、セル薄型化に伴いタブ線はんだ接続時の応力が増加し、セル割れ等の製造歩留り低下が顕在化しつつある。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性接着フィルムの適用を検討した。本研究では、導電性接着フィルムを用いた4セルモジュールを試作し、初期特性から各種信頼性試験における特性劣化状態を従来のはんだモジュールと比較して調べた。さらに、市販サイズの大面積モジュールへの適用試作も行った。

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きた。

- ① 産総研が提供する標準モジュール部材を用いたモジュール製作、評価技術の構築
- ② 導電性接着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、はんだモジュールとの比較検証
- ③ 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

導電性接着フィルムを用いた接続プロセス

導電性接着フィルム（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。相互の電氣的接続は、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 °C 以下の低温で熱圧着（圧着荷重：1~2 MPa）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、今後の薄型化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。

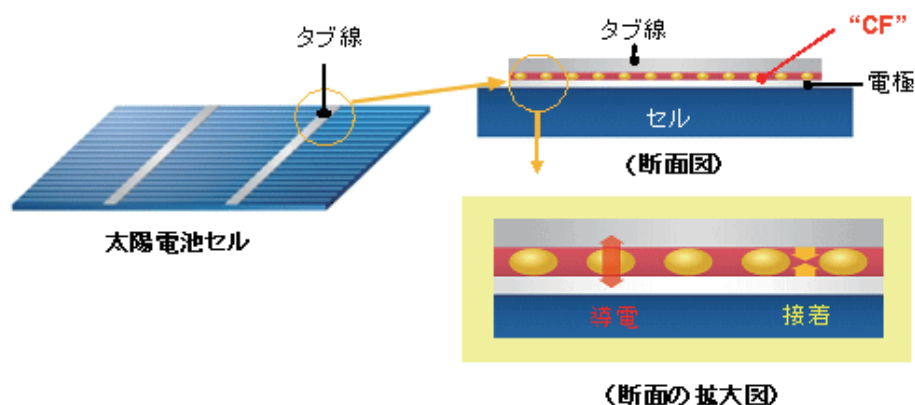


図1 導電性フィルム (CF) による太陽電池セルのタブ線接続

4 セルモジュールの初期特性

表1に、試作した4セルモジュールの初期特性一覧を示す。表中にはCFと、従来のはんだ接続で試作したモジュールのI-V特性測定結果の平均値とその標準偏差が示されている。CFモジュールは、標準タブ線とCF接続に適した改良タブ線を用いた。はんだモジュールはコンソーシアム標準仕様である。標準タブ線を用いたCFモジュールの初期特性は、はんだモジュールとはほぼ同等であった。サンプル間の測定バラつきを示す標準偏差もCFモジュールの方が小さい傾向にあり、特にシリーズ抵抗に対して安定した接続が達成されていることを確認した。さらに導電性粒子の捕獲率を高めた改良タブ線を用いた場合、初期特性が改善されることがわかった。

表1 試作した4セルモジュール初期特性比較 (CF接続とはんだ接続)

特性値	CF				はんだ	
	標準タブ線 n=9	σ	改良タブ線 n=6	σ	標準タブ線 n=16	σ
開放電圧 Voc (V)	2.456	0.005	2.456	0.005	2.448	0.006
短絡電流 Isc (A)	8.678	0.019	8.743	0.050	8.670	0.069
最大出力 Pmax (W)	14.916	0.052	15.113	0.064	14.892	0.065
シリーズ抵抗 Rs (Ω)	0.051	0.0005	0.050	0.0004	0.050	0.002
F.F.	0.700	0.002	0.704	0.003	0.702	0.007
効率(セル総面積) %	15.323	0.053	15.525	0.065	15.298	0.067

4 セルモジュールの信頼性試験結果

次に、IEC規格(IEC61730-1)に定める試験条件の中で、DH(Dump Heat: 85℃/85%RH)試験とTC(Thermal Cycle: -40/85℃)試験を実施した後のI-V特性変動を調べた。なお、今回試験したCFモジュールは、標準タブ線を用いた仕様である。初期のI-V特性取得後にIEC規格に定める絶縁抵抗試験並びに湿潤漏れ電流試験を行い、規格を満たすことを確認した後に各信頼性試験に投入した。図2は、DH試験による最大出力(Pmax)、曲線因子(F.F.)、および短絡電流(Isc)の試験時間に対する初期特性からの変化率を示す。図中にはCF接続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。DH試験では、2000時間まではほぼ同等の低下率で推移してきたが、3000時間ではんだモジュールの出力が大きく低下し、IEC規格で定める出力低下の許容値(-5%)を超える結果となった。同様に図3は、TC試験における試験サイクル数に対する初期特性からの変化率を示す。TC試験では、IEC規格に定める結露凍結試験(Humidity freeze test/ 85℃/85%RH、20時間 \leftrightarrow -40℃)とTC試験/50サイクル実施した後と、さらに200サイクル経過ごとに測定した結果である。図3よりCFモジュールの出力及びFFの低下は、はんだモジュールに比べ若干小さいことがわかる。以上の結果から、CFモジュールはIEC規格に定める信頼性基準をクリアした

けでなく、半田モジュール同等以上の信頼性を確保できることを確認した。

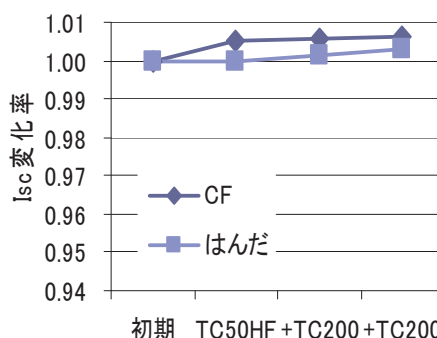
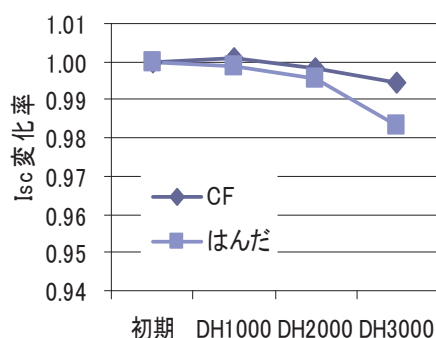
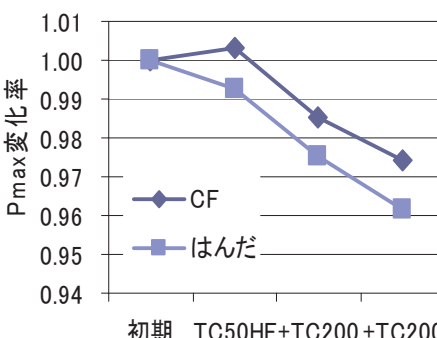
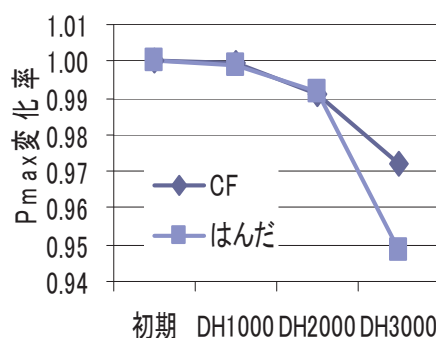
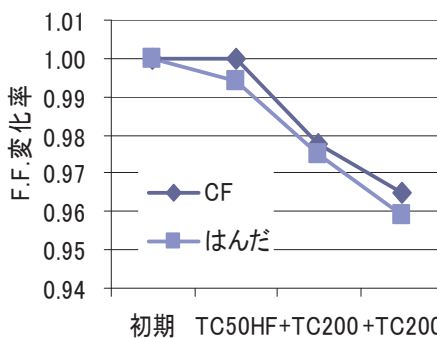
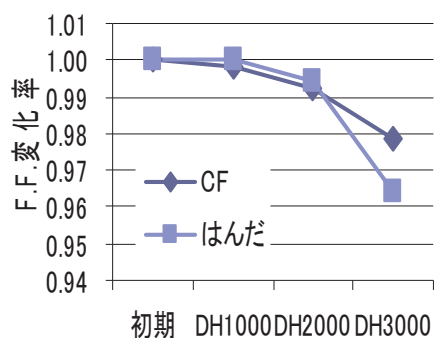


図2 DH試験時の特性変化率

図3 TC試験時の特性変化

図4はDH試験1000時間と3000時間後に撮影したモジュールのEL画像である。3000時間後にセルの周辺端部を中心にEL発光しない領域が生じており、特にはんだモジュールにおいて顕著に表れている。その結果、Pmax低下が生じたものと考えられる。この原因については、接続部材やそのプロセス差に影響するものか、単にセル自身の劣化によるものかは明確でなく、今後、劣化メカニズムを明らかにしていく必要がある。なお、TC試験においては、最終段階においてもEL画像の変化は確認できず、TC試験に伴う特性低下要因を究明するに至らなかった。

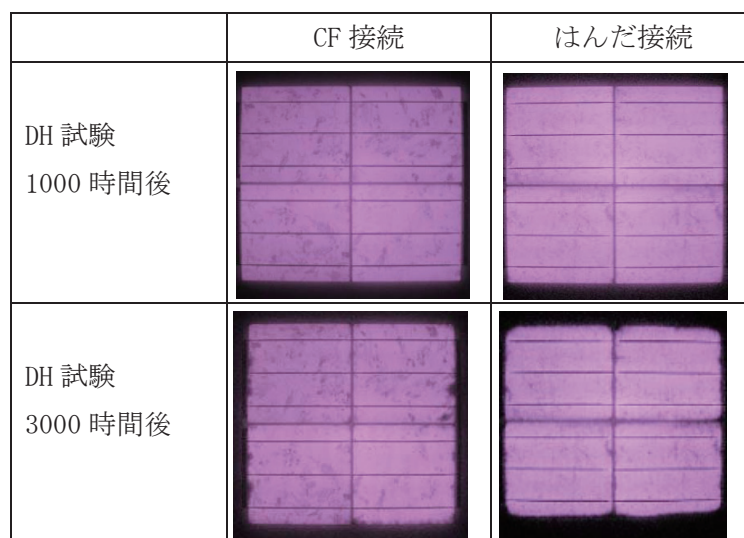


図 4 DH1000 時間後と 3000 時間後の EL 観察結果

大面積モジュールの初期特性

最後に試作した 6×7 列の大面積モジュールの初期特性測定結果を表 2 に示す。大面積においても CF 接続ははんだ接続に比べ I-V 特性が同等であることが確認された。

表 2. 試作した大面積モジュールの I-V 特性 (N=3 平均値)

特性	CF 接続	はんだ接続
開放電圧 V_{oc} (V)	25.88	25.92
短絡電流 I_{sc} (A)	8.74	8.73
最大出力 P_{max} (W)	170.70	170.97
シリーズ抵抗 R_s (Ω)	0.335	0.331
F.F.	0.754	0.756
効率(モジュール総面積) %	14.74	14.76

IV. まとめ

はんだ代替の低応力接続部材の開発を目的に、導電性接着フィルムを用いたモジュール試作および信頼性評価を行った。その結果、初期特性並びに信頼性試験結果は、はんだ接続モジュールと同等であり、特にタブ線接続状態に影響するシリーズ抵抗は、はんだモジュール以上に安定していることを確認した。大面積モジュールに対しても、今後信頼性試験を実施し、劣化、故障モードを検証していく予定である。

最後にコンソーシアム活動に対し、多大なご助言、ご支援をいただいた産総研の先生方やスタッフの皆様に改めて感謝の意を表したい。

「薄膜シリコン太陽電池モジュールの性能と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

化合物系や薄膜シリコン系太陽電池は、結晶シリコン系と比べ水蒸気に弱いとされるため、バックシート（以下 BS）にも水蒸気バリア能が求められている。この目的には、一般に AL 箔が用いられているが、樹脂フィルムとの貼り合せ、モジュール化時の絶縁処理等、加工に手間がかかるという問題がある。

上記問題のため、AL 箔レスの水蒸気バリアフィルムの使用が検討されている。従来の水蒸気バリアフィルムは、食品業界などではレトルト用包材等で使用されており、その水蒸気透過率は $10^0 \sim 10^2$ [g/m²/day] 程度のものである。主に樹脂フィルムに金属酸化物を蒸着するなどの手法で作られているため、BS としては絶縁処理が不要で加工が容易であるが、水蒸気透過率は AL 箔と比べると及ばないレベルである。

弊社は従来のものよりもバリア性の高いハイバリア透明フィルムの開発をしており、水蒸気透過率を調整したフィルムを作製可能である。

本研究の目的は、薄膜シリコン太陽電池用水蒸気バリアフィルムに求められる水蒸気透過率を、弊社バリアフィルム作製技術、並びに産総研の知見とインフラを活用して明らかにすることである。

II. 研究開発目標

薄膜シリコン太陽電池モジュール（以下 a-Si モジュール）の性能に BS の水蒸気透過率が与える影響を調査し、a-Si モジュールに必要な水蒸気透過率を決定する。

具体的には、弊社で準備した水蒸気透過率の異なる BS を、産総研 PV コンソのインフラを活用して a-Si モジュールに組み込み、初期/湿熱経時^{*)} 後のモジュール性能を評価する。

^{*)} IEC の定めるモジュール認証用試験（Damp Heat 試験：DH 試験）の条件 85°C/85%RH

III. 研究開発の成果

1. 概要

本研究では 18cm 角 a-Si 太陽電池ミニモジュールのみを対象とした。BS の水蒸気透過率がモジュール性能に及ぼす影響を評価した。DH 試験 1000hr 後にモジュールの発電性能の低下を 5%以内に維持するためには、BS の初期水蒸気透過率は 10^{-2} [g/m²/day] レベル以下が必要であり、さらに DH 試験 2000hr 後にも維持するためには 10^{-5} [g/m²/day] よりもさらに低いレベルが必要であることが明らかになった。以下第 2 項では、実験方法や実験を行うに当たり採用したモジュール構造、水準について記す。第 3 項では実験結果、および考察について記載する。

2. 実験方法

本実験では水蒸気バリア能の異なる BS を用いて a-Si 太陽電池ミニモジュールを作製し、湿熱経時による発電性能の変化を追跡した。BS の水蒸気バリア能は、弊社準備品についてはカップ法もしくはモコン法もしくはカルシウム法によって求めた（いずれも 40°C /90%RH での測定）。モジュールの発電性能はソーラーシミュレータおよび EL 発光分布画像観察により行った。なお本実験では、モジュールに水蒸気が及ぼす影響が BS の違いによってのみ生じるように、産総研 PV コンソ標準形態のモジュール構造ではなく、端子ボックス不使用の構造とした。

・モジュール構造詳細

a-Si セルに到達する水蒸気量を極力 BS からのみ影響されるようにするため、BS に穴あけの必要な端子ボックスは不使用とした（図 1A）。*) 電極は、a-Si セルの両極の引き出しタブ線を、セルの透明電極や BS の端部、アルミフレームとの絶縁を透明テドラーやカプトンテープで確保した上で、モジュールの側面から裏面に折り返して外部に取り出した。

本実験に用いたモジュールでは、Fast Cure タイプ EVA、絶縁フィルム、および AL フレームは産総研コンソ標準品を使用した。また、モジュールのエッジ部は、水蒸気の透過が少ないとされるブチルゴムによる封止に統一した。モジュールの作製および評価は、すべて産総研（つくば）施設内にて実施した。

*) 後日の産総研情報では、BS に穴あけをして端子ボックスを取り付けたモジュールで、湿熱経時試験後に当該部が発電しなくなっている様子が EL 観察で見られている（図 1B）。



図 1A 試作モジュールでの配線引き出しの様子
セルのエッジ部で絶縁を確保した上で両極のタブ線を折り返して外部に引き出した



図 1B 端子ボックス付き産総研モジュールの初期(左)と DH1000 後(右)の EL 画像
DH1000 後には端子ボックス付近で発光がなくなっている

・実験水準

BSの水蒸気バリア能をパラメータとするため、産総研PVコンソ標準品のAL箔入りBSを含めて、4水準の水蒸気透過率のバリアフィルムを準備した（表1）。

表1 実験水準表

BS	概要	初期水蒸気透過率 [g/m ² /day]	
FF-01-BS	弊社準備品 (汎用 PEN、t=100 μm)	1.7 × 10 ⁰	低バリア能 ↑ ↓ 高バリア能
FF-02-BS	弊社準備品	2 × 10 ⁻²	
FF-03-BS	弊社準備品	2 × 10 ⁻⁴	
AL箔入りBS	産総研コンソ標準品	10 ⁻⁵ レベル	

3. 実験結果および考察

図2にソーラーシミュレータで各モジュールを測定した結果を示す。測定はDH試験(85°C/85%RH)500hr毎に行い、最大電力(Pmax)の初期値からの変化率と、BSの初期水蒸気透過率の関係をプロットした。また測定したモジュールのDH試験1000hr前後でのPmaxの変化率と、開放電圧(Voc)・短絡電流(Isc)・フィルファクター(FF)の相関データを図3に、DH試験前後での各モジュールのEL発光分布画像を図4に示す。

水蒸気バリア能が付与されていないPENフィルムをBSとして組み込んだモジュールでは、DH試験1000hr後にはPmaxが大きく低下した。一方、水蒸気透過率が10⁻²[g/m²/day]レベル以下の水蒸気バリア能を付与したフィルムをBSとして組み込んだものでは、DH試験1000hr後でもPmaxに変化は見られなかった。さらにDH試験を2000hrまで継続した結果からは、BSの初期水蒸気透過率が10⁻⁵[g/m²/day]レベルであってもPmaxが5%以上低下しており、10⁻⁵[g/m²/day]レベルの水蒸気バリア能では不足である。

EL発光分布画像からも、DH試験1000hr後には水蒸気透過率10⁰[g/m²/day]レベルで面の大部分にて発光が見られなくなっている（発電能力がなくなっている）のに対して、10⁻²[g/m²/day]レベル以下のBSの場合には発電能力が残っていることがわかる。またDH試験2000hr後には水蒸気透過率10⁻⁵[g/m²/day]レベルでも面内に暗輝度部が発生している。

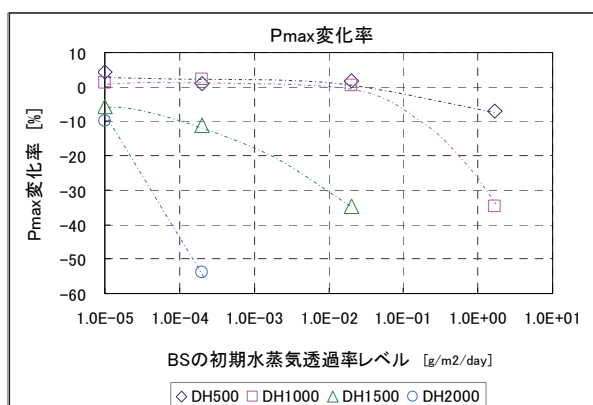


図2 DH試験後のPmax変化率

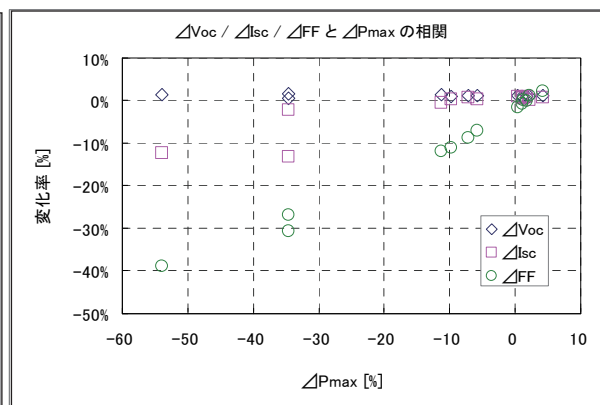


図3 ΔPmaxとΔVoc, ΔIsc, ΔFFの相関

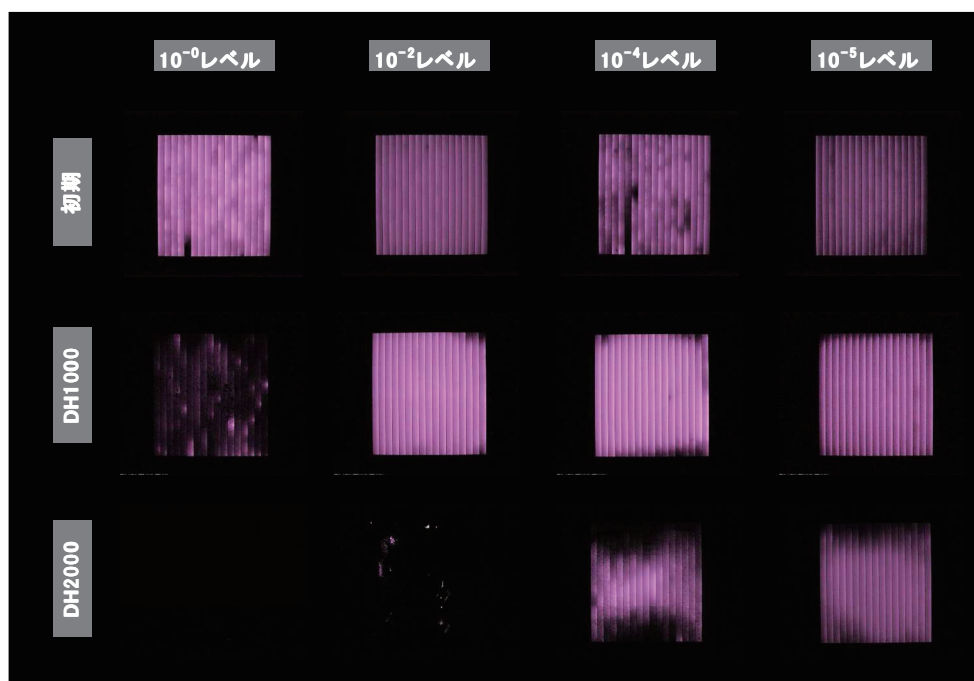


図4 初期・DH試験後でのEL発光分布観察結果 画像一覧

これらの様子は P_{max} 測定値と同じ傾向である。一方、EL画像で特異的に判明したこととして、モジュール端部での暗輝度発生がある。DH試験1000hr後の水蒸気透過率 $10^{-2}[\text{g}/\text{m}^2/\text{day}]$ レベル以下のBSの場合においても、モジュール端部では輝度が低くなっている部分があり、ブチルゴム+ALフレームでも十分な湿熱耐久性は得られていない可能性が示唆されている。すなわち本実験において、 $a\text{-Si}$ モジュールに対してBSの面方向から及ぼされる水蒸気影響の評価を試みたが、側面方向からの水蒸気影響も含まれていた可能性がある。より本実験の精度を上げるためには、この部分は改善点である。

なお、本実験で見られた P_{max} の低下は、図3のデータよりFFの劣化との相関が強いことがわかる。これは P_{max} が低下したモジュールでは直列抵抗が増加していることを意味している。この原因は解析できていないが、 $a\text{-Si}$ セルの裏面Ag電極が湿熱経時により劣化を生じ、モジュールの P_{max} 低下につながったと推定している。

IV. まとめ

BSの初期水蒸気透過率を $10^{-2}[\text{g}/\text{m}^2/\text{day}]$ レベル以下とした $a\text{-Si}$ モジュールは、DH試験1000hrであれば P_{max} の低下やEL画像での暗輝度部分発生は見られなかった（端子ボックスがない場合）。しかしDH試験2000hrまで湿熱経時を継続すると、 $10^{-5}[\text{g}/\text{m}^2/\text{day}]$ レベルのBSが組み込まれたモジュールでも P_{max} の低下が見られた。よって $a\text{-Si}$ モジュールの性能を維持させるために必要なBSの初期水蒸気透過率は、DH試験1000hrまでなら $10^{-2}[\text{g}/\text{m}^2/\text{day}]$ レベル以下、DH試験2000hrまでなら $10^{-5}[\text{g}/\text{m}^2/\text{day}]$ よりもさらに低いレベルである。

「結晶系太陽電池におけるバックシートの劣化ファクターの導出」

藤森工業株式会社

1. 目的

・弊社は、太陽電池のバックシートの市場に参入するべく、産総研の「高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム」に参加して、市場ニーズで最も高い「部材コスト低減を確立する為の要求仕様の明確化」を把握し、更に太陽電池モジュール自体を高寿命化させる事によるトータルコストの低下を導くべく、劣化ファクターの導出を目的として、データ採取を実施した。

・バックシートにおいては、PET 系及び非 PET 系(PET フィルムを使用しないタイプ)及び封止材との接着強度が異なるタイプを、封止材については、非 EVA タイプについても、DH-1000,2000 及び TC200 での信頼性評価を実施し、劣化ファクターを考察する。

2. 研究開発目標

・H23.3月までの目標は、

- ① 弊社開発品のバックシート性能については、バックシート標準サンプル(TPT)以上であり、コスト的に優位な非 PET 系のバックシートの可能性を見極める事。
- ② 高信頼性太陽電池モジュールの確立を目的として、バックシートや封止材を原因とする性能劣化ファクターを明確にして、高寿命化の為に必要なパッケージ方法を導出する事。を目標として開発を進めた。

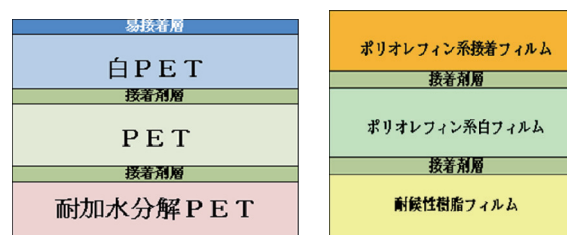
3. 研究開発の成果

・実験方法について:

結晶系シリコン太陽電池(Q-Cells 社製)を用いて、単セル 18cm 角、アルミフレーム無し、コーキング無しの条件で、バックシート、封止材とガラスとを組み立てて、DH-1000,2000 と TC200 の条件で、単セルの性能変化を評価した。

・使用したバックシートと封止材について

弊社で試作したバリヤ層の無い PET 系バックシート(耐加水分解性 PET/PET/白 PET 易 EVA 接着)とこれもバリヤ層の無い非 PET 系バックシート(耐候性フィルム/ポリオレフィン系シート)の 2 点と新型封止材 1 点を選定した。

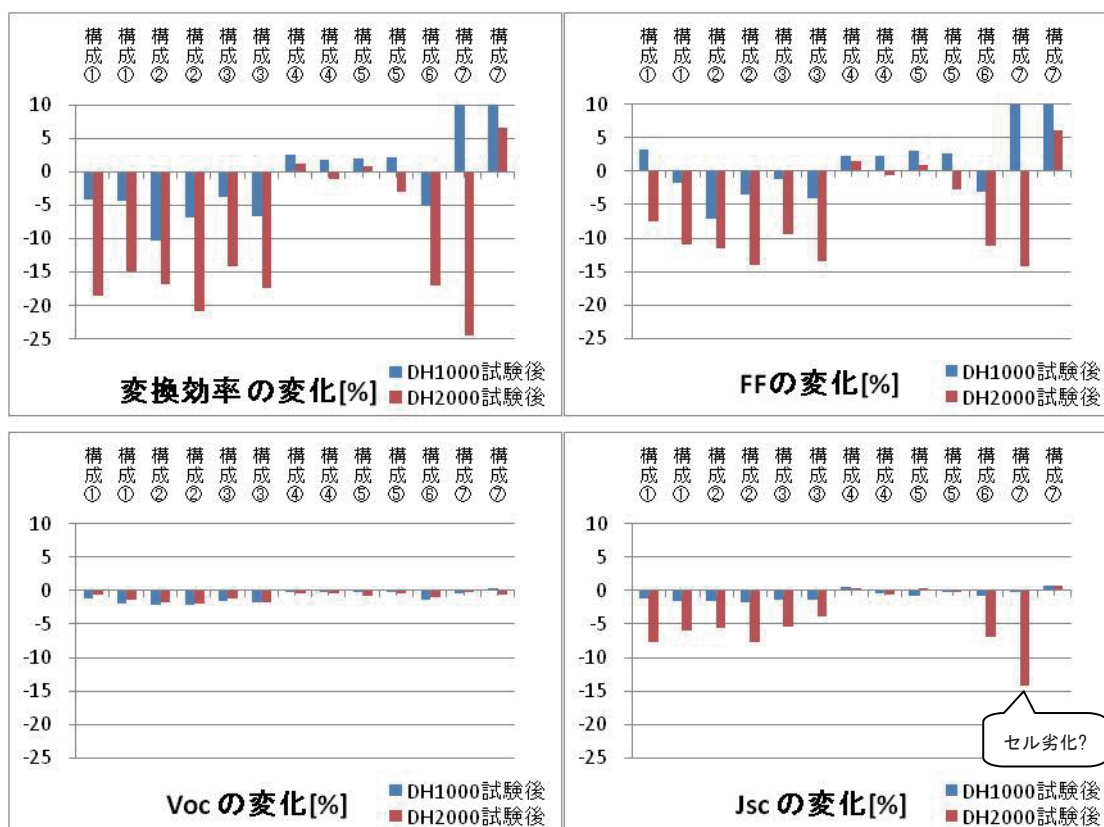


実験に使用したバックシートのフィルム構成

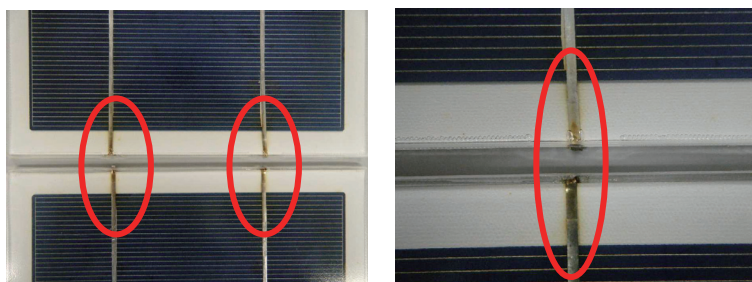
そこで、単セルに組んで下表の組合せで性能評価を行った。

	構成①	構成②	構成③	構成④	構成⑤	構成⑥	構成⑦
BS	PET系	非PET系	PET系	非PET系	PET系	TPT	PET系
封止材	新型	新型	新型	標準EVA	標準EVA	新型	標準EVA
セル	Q-Cells						Motech

上記表の構成で単セルを作製し、DH-1000,2000 と TC200 前後の発電性能を比較した。基本的には、Q-Cells のセルで評価したが、比較として、Motech のセルでも評価した。標準部材構成（TPT/EVA/Q-Cells 製セル）を基準に相対変化として下図に示す。

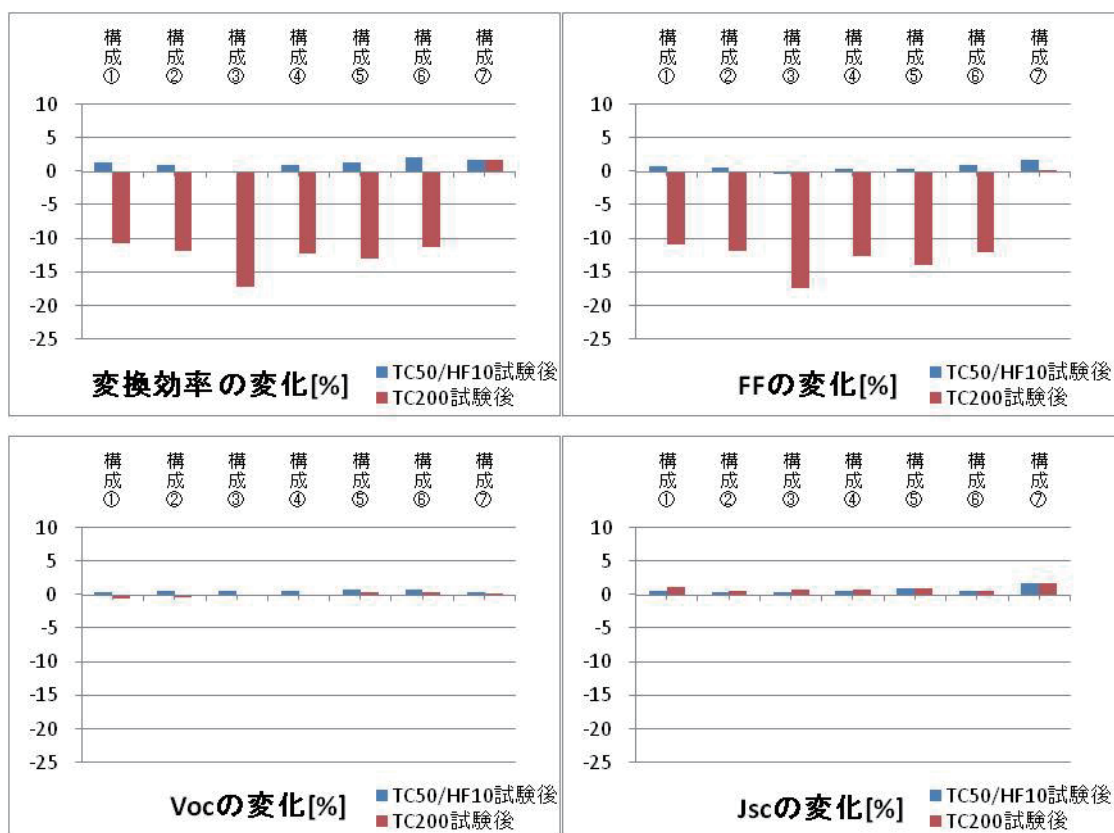


上記の結果より、Voc や Jsc に変化が少ない事から、セル自体の劣化は無いと考察できる。但し、FF が大きく変化している=変換効率が劣化しているサンプルがある事より、配線部が劣化していると考察できる事から、サンプルを確認した所、配線部の劣化(赤錆)を観察した。(下の写真を参照)

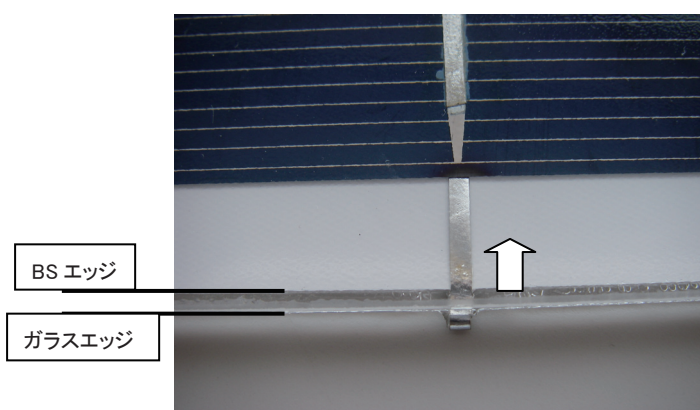


DH2000 後の外観写真

次に、TC200 の評価結果を、標準部材構成（TPT/EVA/Q-Cells 製セル）を基準に相対変化として下図に示す。

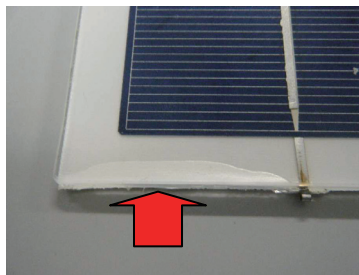


TC200 において、標準部材構成に対して、弊社の提供するバックシートや封止材の組合せは、劣化が激しい。このサンプルを観察した所、DH-2000 の様な配線の錆は無かったが、バックシートが収縮している事が解った。(下の写真)



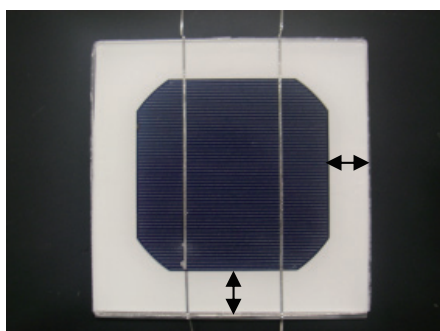
上記の写真から観察できる様に、バックシートの収縮による配線部の劣化の可能性がある。また、上記の不具合以外に、PET 系バックシートにおいて、EVA(標準サンプル)との間でのデラミの発生やガラスと EVA(標準サンプル)間でのデラミの発生が観察された。(次頁の写真、参照)

PET系バックシートの易接着層とEVAのデラミについては、DH-2000条件でエッジ部の発生であり、一か所のみでの発生であり、他のサンプルは発生していないことから、理由は不明であるも、対策が必要である。

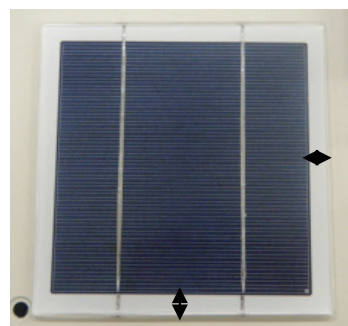


DH-2000でのバックシートとEVA(標準サンプル)とのデラミ現象

また、今まではQ-Cellsのセルでの評価であったが、Motechのセルで同様な実験を実施したが、セルが小さい為、エッジからの距離が長く、劣化の差が無いデータであった。この事からも、エッジから水分が入り、セルの結線部に錆が発生し劣化する事や、バックシート自体の熱収縮に寄り、結線部が劣化して、性能劣化が発生すると考察できる。



Motechの単セル



Q-Cellsの単セル

4.まとめ

- ・結晶系シリコン太陽電池において、劣化が速いのは、端面からの水分浸入による結線部の劣化と予想する。

- ・バックシート及び封止材を両方とも標準サンプルとしたサンプルにおいても、弊社の実験では、DH-1000においてFFのみが劣化していることから、エッジからの水分バリア性を高める事で、より長期性能の維持ができ、高耐久性の太陽電池モジュールが作製できると考察する。

- ・封止材については、水分バリア性が必要である。弊社の用意した封止材は、EVA(標準サンプル)より、水分透過性が高い為、この封止材を使用したセルは、すべて性能が標準サンプル以上に落ちている。この事から、封止材の水分バリア性は、重要であると考察する。

- ・今後は、水分バリア性の高い封止材の検討、及び結線部の劣化(FF値)を抑える方法を見出す事が最も重要である。これにより、結晶系シリコン太陽電池においては、長期寿命性能のある高信頼性太陽電池モジュールの確立が可能となると予想する。

以上

「薄膜太陽電池向け新規封止材の開発」

三井化学株式会社

I. 目的

薄膜太陽電池モジュールは、低コスト化への可能性が大きいことから、メガソーラーといった大規模発電用途において成長が期待されている。しかし、薄膜太陽電池セルは、結晶セル等に比較して、水分・湿度等によって劣化しやすいといった長期信頼性への懸念を有している。そこで本検討は、低コスト、且つ長期信頼性という点を主眼におき、薄膜太陽電池モジュールに適した新規封止材の開発を行うことを目的とした。

II. 研究開発目標

研究開発目標は、当社で持ち込んだ新規封止材で封止したサンプルモジュールの耐久試験を行い、封止材が薄膜太陽電池モジュールの信頼性に及ぼすパラメータを明らかにすることを第1の目的とした。

耐久試験は、DH試験、及び当社内の試験槽にて通電DH試験をそれぞれ1000時間行った。評価方法として、I-V測定による電気特性の変化を確認した。また、EL評価及びMP50を用いてセルの劣化についての解析も行った。

但し、サンプルモジュールに、透湿バリア性が比較的低い結晶太陽電池用部材のシリカ蒸着をベースとしたバックシートを用いることで、より厳しい環境下での試験を行った。また、プロセスコストの低減を意識し、ラミネート時間を標準条件よりも短縮した。

III. 研究開発の成果

(部材、作製条件、等)

- ・ 薄膜 Si セル 40cm 角を使用。但し、異なるロットが混在。
- ・ 封止材は、全て当社の持ち込み部材。
- ・ バックシートは、アルミ入りではなく、全てシリカ蒸着を使用。
- ・ その他の部材は以下の通り。
 - インタコネクタ；日立電線 アルミフレーム；簡易版
 - 端子ボックス；オーナンバ シーラント；ブチル ポッティング；PV7321
- ・ ラミネートは 150℃×真空 3分+加圧 9分（トータル 12分）で統一。
 - 当社内の事前検討では、ガラス/PET 等の組み合わせにおいて、上記の真空時間及び加圧時間でも問題なくラミネートできることを確認していた。
- ・ モジュールの作製は、'10/9月及び10月の2回に分けて実施。
- ・ 耐久試験は、DH（@AIST）及び通電 DH（@三井化学）を実施。
 - 通電 DH 試験では、各サンプルモジュールの Pmax となる電流を印加した。

(初期特性)

セルロットが、納入後かなり時間が経過したものを使用したことから、モジュール化前のセル単体とラミ後のモジュール（但し、端子ボックス取り付け前）での I-V 評価を行い、セルの品質を事前に確認した。表 1 に示す通り、セル単体よりもラミ後に明らかに特性が向上している。ラミ時の加熱によりセルが安定化したと考えられるが、直列抵抗 (R_s) 及び並列抵抗 (R_{sh}) を確認したところ、 R_s が低抵抗化していることから、裏面電極、もしくは配線材とのコンタクトが安定化したと推測される。

	J688MDAC		J689MDAC	
	セル単体	ラミ後	セル単体	ラミ後
Voc(V)	100.0%	100.2%	100.0%	101.2%
Isc(A)	100.0%	101.0%	100.0%	100.0%
FF	100.0%	120.7%	100.0%	104.8%
$R_s(\Omega)$	100.0%	38.9%	100.0%	83.1%
$R_{sh}(\Omega)$	100.0%	124.2%	100.0%	101.7%

表 1 ラミ前後の特性： ラミ前（セル単体）の特性を 100%とした。

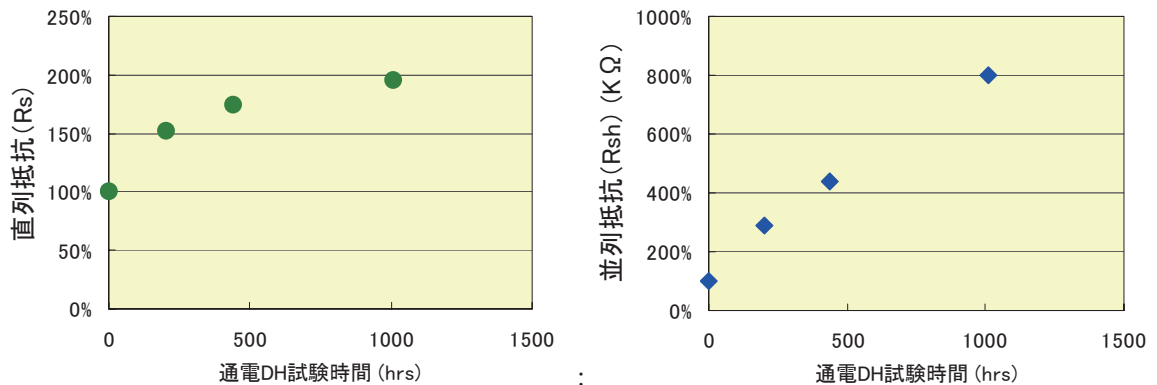
(耐久試験結果)

次に、初期及び DH 及び通電 DH 試験 1000 時間後の特性を評価したところ、表 2 に示す通り、I-V 特性が大きく低下した。上記ラミ前後の結果とは逆に、FF 及び直列抵抗が大きく劣化している。

	J688MDAC		J689MDAC	
	初期	DH後	初期	通電DH後
Voc(V)	100.0%	測定不可	100.0%	98.8%
Isc(A)	100.0%	測定不可	100.0%	95.7%
FF	100.0%	測定不可	100.0%	63.7%
$R_s(\Omega)$	100.0%	測定不可	100.0%	258.7%
$R_{sh}(\Omega)$	100.0%	測定不可	100.0%	53.9%

表 2 耐久前後の特性： 耐久前(初期)の特性値を 100%とした。

更に、通電 DH を行ったサンプルについて“暗時”での直列抵抗 (R_s) 及び並列抵抗 (R_{sh}) の経時変化をトレースした。グラフ 1 に示す通り、直列、並列抵抗共に徐々に増加しており、直列抵抗の増加は、裏面電極、もしくは配線材とのコンタクトが徐々に劣化したためと考えられる。一方、並列抵抗の増加はセルの安定化とも考えられるが、EL 及び MP50 でセルの変化を確認したところ、初期と耐久試験後の比較において、図 1 に示す通り、全体に大きく様子変化している。この結果からアニールによりセルが安定化したとは言い切れない。



グラフ 1 耐久試験後の暗時の抵抗値変化 (Rs、Rsh)

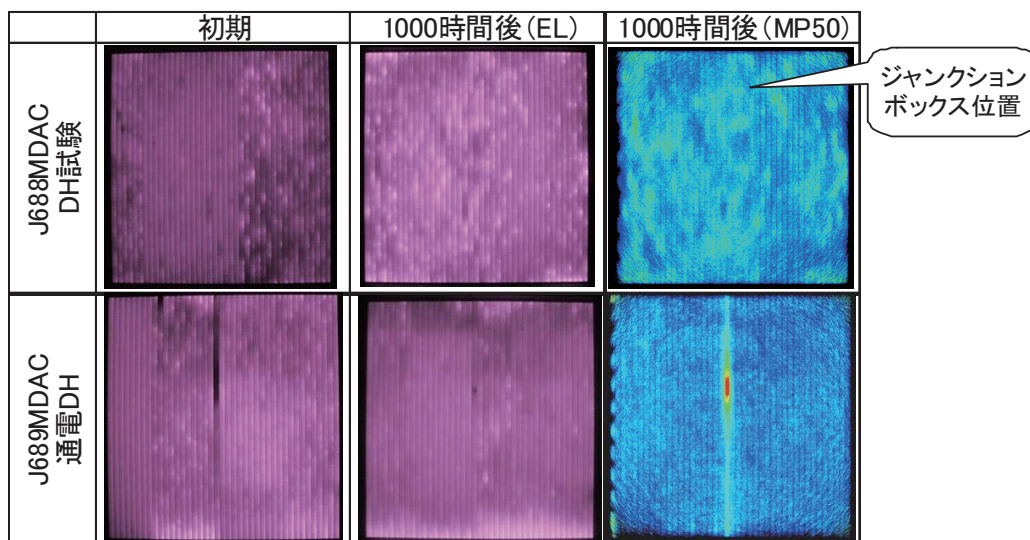


図 1 DH、及び通電 DH1000hr 後の EL、MP50 のイメージング画像

次に、耐久試験後のモジュールを一部分解して、配線材（横タブ線、ジャンクションボックス）の断線もしくは劣化を確認した。図 2 に示す通り、導通は取れており配線材自体には問題なかったが、バックシートを剥がすと封止材の全面に気泡が発生しており、裏面電極は初期状態と外観が異なりやや黒ずんでいた。即ち、耐久試験において水分が浸入し、この気泡部分が水溜りとなって裏面電極を劣化させたものと考えられる。気泡については、封止材自体からの揮発成分はないことから、ラミネート時の真空時間が短いために十分な脱気が出来ず、初期より存在していたと推測される。

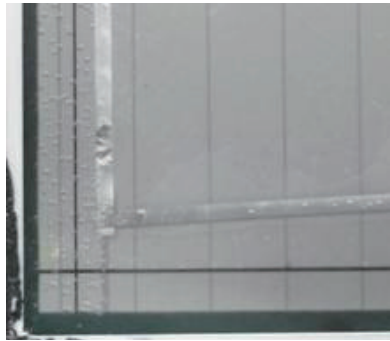


図2 横タブ線接合部

気泡発生の状況（バックシート剥離）

IV. まとめ

今回の検討では、モジュール作製における習熟度、及びラミネート条件の最適化が不十分だったため、ラミネート時に問題が発生し、想定した評価ができなかった。十分な評価は出来ていないが、薄膜太陽電池モジュールの信頼性には裏面電極の安定性が大きく影響しており、裏面電極を保護することで耐久信頼性を向上できると考えている。

「ハイミランESを使用したモジュールの実証試験」

三井・デューボン®リケカル株式会社

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は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。その報告と共に封止材の透明性や光透過性が発電能力に及ぼす影響について調査したので報告する。

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, A1 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
- ・ 大型モジュールによる実証試験
- ・ 超加速試験や新規耐久性試験
- ・ 開発中封止材の評価
- ・ ホットスポット影響試験

III. 研究開発の成果

<長期耐久試験>

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て長期試験(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途は 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/A1 フレーム
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①モジュールは DH4000 時点で Pmax. 低下率<5%を維持していることを確認した。

図1. DH試験の影響 (Pmax.)

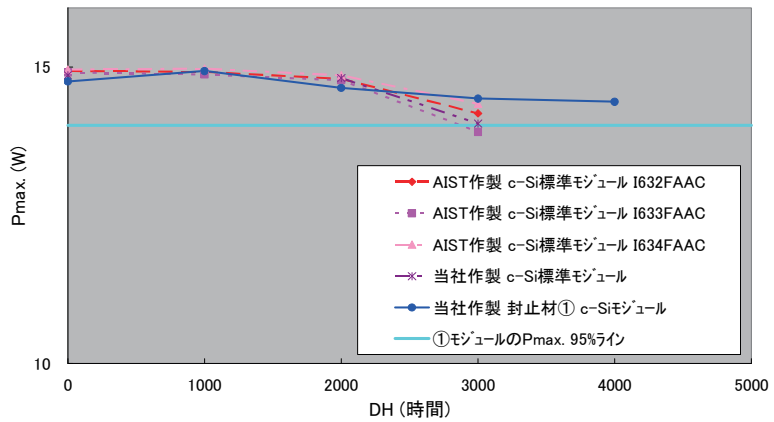


表1. ①モジュールのDH試験

DH 時間	Pmax	
	W	変化率 %
0	14.76	-
1000	14.93	1.15
2000	14.65	-0.75
3000	14.47	-1.96
4000	14.41	-2.37

(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, TC200 時点で Pmax. 低下率は5%以内の維持が確認され、
 通電(初期 I_{pm} 8.04A)有りでも 600 サイクルまで性能維持が確認された。

図2. TC/HF試験の影響 (Pmax.)

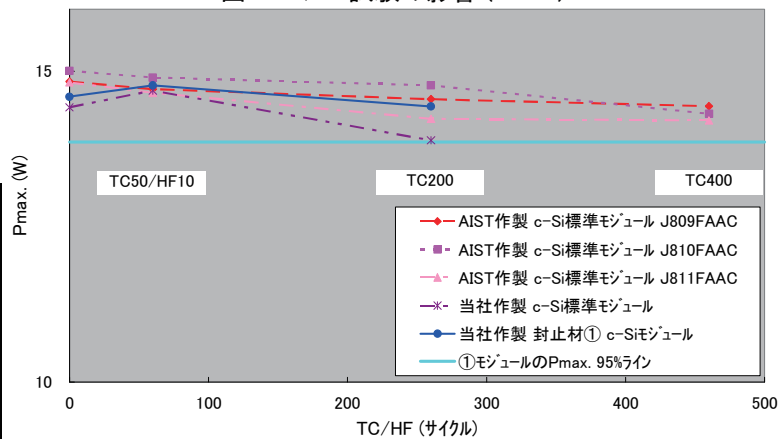


表2. ①モジュールのTC/HF試験

サイクル	Pmax	
	W	変化率 %
0	14.59	-
TC50 /HF10	14.77	1.23
TC200	14.43	-1.10

図3. TC(通電)の影響 (Pmax.)

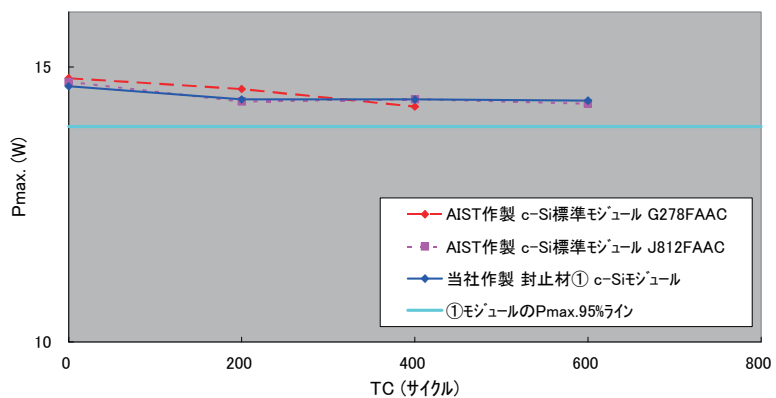


表3. ①モジュールのTC(通電)試験

TC サイクル	Pmax	
	W	変化率 %
0	14.65	-
200	14.41	-1.64
400	14.41	-1.61
600	14.39	-1.81

<封止材の透明性, 光透過性が発電性能に及ぼす影響調査>

<c-Si モジュール> 表 4, 図 4

透明性を調整した封止材を c-Si セルの入光側に使用することでの発電能力への影響を探った。

(試験モジュールの構成概略)

白板半強化ガラス / 「入光側 封止材」 900 μ m / c-Si セル(156mm 角) \times 4 / 封止材 / TPT

表 4. 封止材の透明性, 全光線透過率が発電能力に及ぼす影響

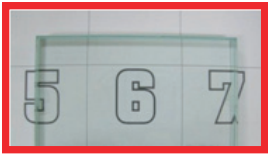
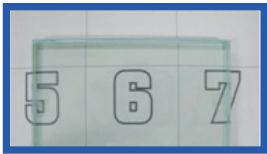
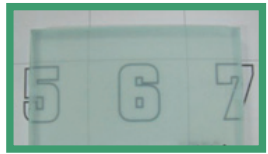
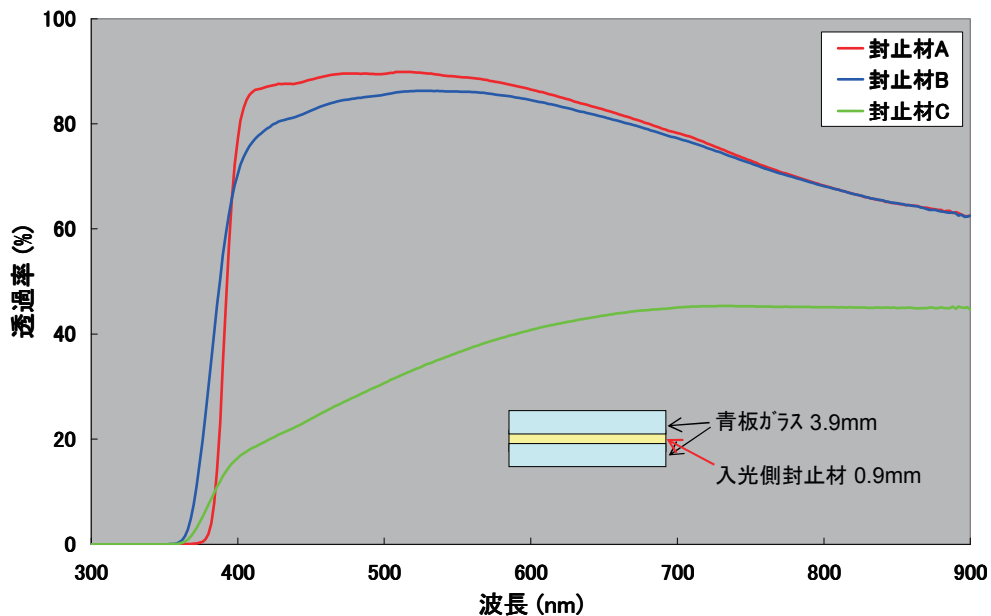
	封止材 A	封止材 B	封止材 C
合せガラス外観			
<合せガラスの光学性>			
全光線透過率	87.7 %	86.1 %	73.7 %
Haze	0.3 %	2.0 %	52.7 %
<c-Si 4セルモジュール IVデータ>			
Pmax.	14.82 W	14.75 W	14.60 W

図 4. 合わせガラスの光線透過率



Haze 値に代表される見た目の透明性は大きくは影響せず、全光線透過率に依存する傾向が

確認されたが、A, B, C の差は 1~2% であり明確ではなかった。

〈a-Si モジュール〉 表 5

同様に a-Si セルの前にガラス / 封止材を追加ラミネートして a-Si セルへの入光波長が発電能力に及ぼす影響を探ろうとしたが、追加ラミネートの加熱がセル能力を向上させ、実験目的を達成出来なかった。

その代用として封止材の 0.5mm プレスシートを a-Si (180mm) モジュールの前に置いてマスクングすることでの発電能力の影響を探った。

マスクング a-Si 系モジュール 180mm 角

入射光 ⇒ プレスシート(0.5mm) // (ガラス)a-Si セル / 封止材 / PAP

表 5. a-Si モジュールのマスクングによる発電能力

	マスクング			
	無し	封止材 A	封止材 B	封止材 C
〈0.5mm プレスシートの光学性〉				
全光線透過率	(100%)	92.5%	92.0%	87.0%
Haze	(0.0%)	1.3%	1.5%	17.2%
〈a-Si モジュール マスクングによる発電能力〉				
Pmax.比率	100%	91.5%	92.0%	87.6%

a-Si 系のマスクング試験では最も光透過率の低い封止材 C の封止材 A, B に対する Pmax. の差が顕著に現れた (Pmax. 最大差は約 4.5%)。

IV. まとめ

当社封止材①を用いた c-Si モジュールでは DH4000, TC50/HF10+TC200, TC(通電)600 を経過しても、Pmax 低下率は 5% 以内に維持され、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。

封止材の光透過性が c-Si や a-Si 太陽電池の発電能力に及ぼす影響を探ったところ、封止した c-Si 系では見た目の透明性は大きな影響を受けなかったが、マスクングした a-Si 系では明確な傾向が確認された。

第 I 期での a-Si モジュール実験ではラミネート後の加熱による能力向上が起こり、長期耐久試験に変動があった為、十分なデータを揃えることは出来なかった。第 II 期では、a-Si 系の発電能力を飽和させる対策を実施して長期耐久試験のデータを採取していく予定である。

以上

「バリアフィルムが太陽電池モジュール性能に与える影響因子の評価・解析」

三菱樹脂株式会社

I. 目的

太陽電池モジュールは屋外での使用用途が主であり、発電効率の低下やモジュール経時劣化による火災などを防ぐための一つの手段として、これらの発生起因である水蒸気の浸入を抑制することが考えられる。そこで、当社が開発を進めているバリアフィルムを有する保護シートが太陽電池モジュールに与える影響因子を調べ、高信頼性太陽電池モジュールの設計思想を得ることを目的とする。

II. 研究開発目標

結晶系モジュール、a-Si モジュールそれぞれにおいて以下の目標を達成する。
両モジュール共通事項として作製技術の修得を行なう。

II-1. 結晶系モジュール

- 一次評価：4セルモジュールにより、当社バックシートおよび産総研標準バックシート（TPT、Al バックシート）を用い、モジュール作製に必要な要求項目の確認を行なう。
- 二次評価：モジュール性能や外観において DH3000h 後においても経時劣化の少ないバックシートの設計・選定を行なう。

II-2. a-Si モジュール

- 一次評価：バリア性能の異なる弊社バックシートおよび産総研標準バックシート（TPT、Al バックシート）でのモジュール性能確認の実施。
- 二次評価：一次評価の結果から最適なバリアフィルム性能の見極めを行ない、モジュール性能や外観において DH3000h 後においても経時劣化の少ないバックシートの設計・選定を行なう。

III. 研究開発の成果

結晶系モジュール、a-Si モジュールそれぞれにおいて以下の成果が得られた。なお、下記記載のバリア性能は当社品バックシートにおいては当社独自測定法、標準バックシートにおいてはフッ素系樹脂およびアルミシートの標準的な水蒸気バリア性能を表すものであり推測値も含まれていることをご了承いただきたい。

III-1. 結晶系モジュール

モジュール作製にあたり、4セルモジュールを選び当社のモデルバックシート（バリア性能： 10^{-1} g/m²/day レベル）、産総研標準 TPT バックシート（バリア性能： 10^0 g/m²/day レベル）、および産総研標準 Al バックシート（バリア性能： 10^{-5} g/m²/day レベル）を用い、作製時のプロセス温度での耐熱性や真空ラミ後のシワ発生などを調査した。EVA はサンビック製 fast cure タイプを用いた。その結果、サンプル作製時のハンドリングは良好であり、150°C15分の真空

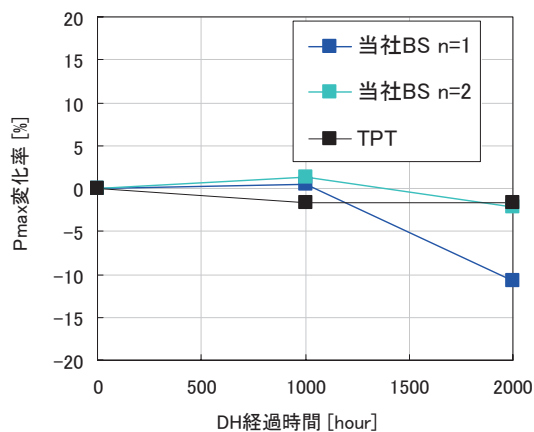


図 1. DH 経過時間と Pmax 変化率の関係

ラミ条件下においてもシワ発生なくモジュール作製を行なうことができた。後述するバックシートの引張応力について産総研バックシートと比較して当社品は低い値であるが、標準的な作製条件での差は表れなかった。

次に、各バックシートを用いて作製した4セル結晶モジュールの性能比較とDH条件での経時における外観比較の結果について述べる。図1に、DH経過時間に対するPmaxの変化率をプロットした結果を示した。Pmaxの変化率を2000時間まで確認したところ、TPTを使用したモジュールでは2000時間で変化率2%、当社バックシートでも同様のオーダーであり、モジュールの発電に関わる因子への影響はバリア性に因らず安定している結果であった。また、当社バックシートを用いた構成ではn=2で測定を行なったが一方でPmaxが8%低下したモジュールも見られた。この結果についての考察としてはモジュール作製時の不具合によるものと推察されるが具体的な原因については分からなかった。主要な劣化モードの抽出を解析するため、当社バックシートおよびTPTを使用したモジュールのDH経過時間にもなう $-\Delta P_{max}$ と他の特性低下率($-\Delta I_{sc}$ 、 $-\Delta V_{oc}$ 、 $-\Delta FF$)をプロットした結果を図2に示した。その結果、FFと相関を持つFF劣化モードと認められ、主要因としてセルとセルを結合しているバスライン結合部のはんだ劣化問題であると推察される。このFF劣化モードの原因としては、①水分および酸素による導線・接合部での腐食発生、②水分とEVAから発生する微量の酸による導線、接合部での腐食進行によって、徐々に抵抗上昇が起こった後に出力低下するといった理由が考えられる。

以上の考察から結晶系モジュールの信頼性を向上するための一つの方策として原因発生の主要因と思われる水分(水蒸気)の浸入を抑制することが考えられる。そこで、TPTに対して1オーダー高い水蒸気レベルである当社バックシートを用いることで上記現象の発生を抑制できると予想し、水蒸気浸入によるモジュール外観やバックシート性能への影響を調べることにした。図3はバックシートのバリア性の有無によるDH2000時間経過後の配線周りの違いを示した写真である。図3を見て違いが分かるように、高い水蒸気レベルである当社バックシートを

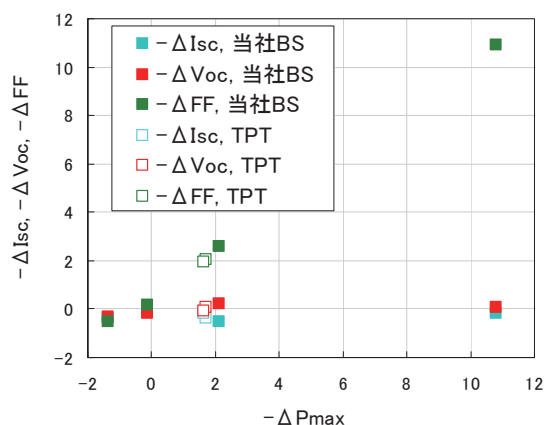


図2. $-\Delta P_{max}$ と他特性低下率との相関関係

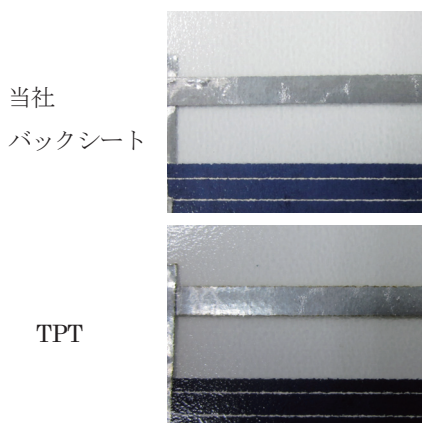


図3. DH2000h後のモジュール配線周りの写真

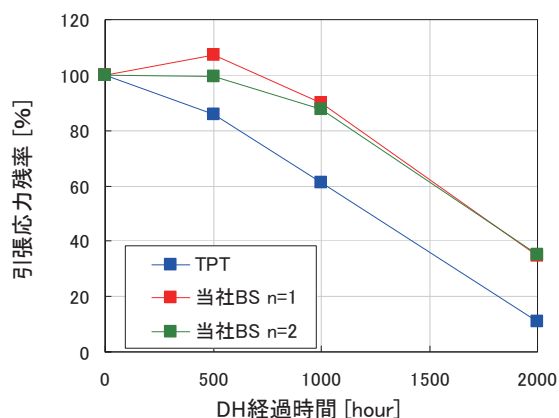


図4. DH経過時間と引張強度保持率の関係

使用したモジュールでは配線周りの劣化は見られず、写真は載せていないが追加実験として当社ラボでさらに DH3200 時間まで経過を追って外観を確認したが、それでも配線周りの劣化は見られなかった。一方で、TPT のようなバックシートにバリア性が付与されていないシートを用いた場合、発電に関わる因子への影響は少ないものの、配線周りでの錆びが見られ、モジュール内部では EVA がガラスと剥がれ始めるといった長期信頼性の観点から見ると好ましくない結果であった。図 4 は、DH 経過時間に対するバックシートの引張応力保持率をプロットした図である。当社バックシートおよび TPT はどちらも中層に PET を有するため、引張応力の保持は PET シートの性能保持と言ってもよい。結果から、当社バックシートではバリアフィルムによりバックシート全体の機械的強度を決める PET の物性維持が達成できていることが分かる。これらの結果から見ても、バリアフィルムをバックシート構成に有することで長期信頼性が担保できることが確認できた。

III-2. a-Si モジュール

発電効率に対し、より水分浸入による影響を受けることが予測される a-Si モジュールのバックシートとして、バリア性能の異なる当社バックシートを用意し、DH 経過時間においてバリア性能の見極めを調査した。用意したバックシートはバリア性能 (TPT を 1 とした場合の規格化水蒸気バリアが 0.01~0.1) および積層構成の異なる当社バックシートおよび産総研標準バックシート (TPT、Al) である。a-Si モジュール作製においても外観はシワなく作製することが可能であった。

図 5 は、DH1000h 経過にともなう Pmax 変化率とバックシートの規格化した水蒸気バリア性をプロットした図である。DH1000h 以降のデータについては、Pmax 変化率が 5%以上であったことや評価開始時期の関係でデータ取得が間に合わなかったことがあり、プロットができなかった。規格化水蒸気バリアが 0.05 に満たないバックシートでは DH1000h で Pmax 変化率は 5%を超える結果となった。規格化水蒸気バリアが 0.05 以下では Pmax 変化率は 5%以内で収まっており、a-Si ではより高い水蒸気バリア性が必要であることが確認できた。

結果的に、評価開始時期が遅れてしまったことで実際のモジュール性能とバリアフィルム性能の相関関係取得が不十分となってしまう、必要バリア性能への落とし込みまでは未達となったことから、得られたデータをもとに DH3000h 経過でも Pmax 変化率が 5%以内に収まるための必要バリア性能を考察することとした。必要バリア性能を求めるために、①水蒸気透過率から水蒸気透過量への変換、②初期から DH1000 時間経過後までの積算水蒸気透過量の算出、③積算水蒸気透過量と Pmax 変化率の相関関係から $\Delta P_{max} < 5\%$ を達成するための浸入水蒸気量を算出、といった手順で算出を行なった。(前提として、1. 初期水蒸気透過率と DH3000h 経過までのバリア劣化は直線的变化である、2. バリアフィルム前面からの影響のみである、3. $\Delta P_{max} < 5\%$ = ボーダーラインである、ことを含んでいる。)

図 6 に Pmax 変化率と DH1000 時間経過後の積算水蒸気透過量との関係図を示した。

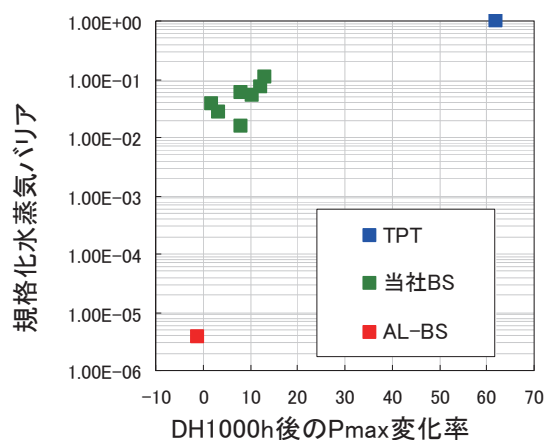


図 5. ΔP_{max} と規格化水蒸気バリアとの相関関係

点数が少ないため多少強引ではあるが得られたプロットから直線を引き、 ΔP_{max} が 5%となる積算水蒸気透過量を求めたところ 0.033 g/m^2 であった。バリア劣化を直線的とみなすと DH3000 時間後に ΔP_{max} が 5%となるために必要な積算水蒸気量は上記の 3 分の 1 の 0.011 g/m^2 となる。ここで、バリアフィルムの劣化特性について下記のような 3 つの仮定を立て、各場合での初期バリア性能としての必要値を概算で求めた。

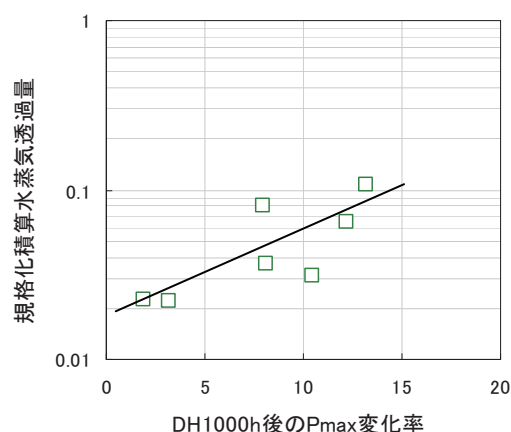


図 6. ΔP_{max} と積算水蒸気透過量の相関関係

Case A : 現行バリア材と同等のバリア性能劣化と仮定した場合

Case B : 現行バリア材よりもバリア性能劣化率を半減できたと仮定した場合

Case C : バリア劣化が全くないと仮定した場合

各 Case で算出された結果について述べる。Case A では初期水蒸気バリア値が $10^{-5} \text{ g/m}^2/\text{day}$ を達成したとしても積算水蒸気量は 0.011 g/m^2 を超えることが分かった。また、Case B では初期水蒸気バリア値が $1.0 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2/\text{day}$ 以下であれば積算水蒸気量は 0.011 g/m^2 以下を達成できることが分かった。一方で、Case C では初期水蒸気バリア値が $3.0 \times 10^{-2} \text{ g/m}^2/\text{day}$ 以下であれば積算水蒸気量は 0.011 g/m^2 以下を達成できることが分かった。これらの述べてきた前提および仮定の条件の下での概算結果から、DH3000 時間でもモジュール性能を維持するのに重要な設計指針としては、初期バリア値を極端に改善するよりも、バリア性能を劣化させずに維持することに主眼を置くべきであることが言えるのではないかと考える。

IV. まとめ

当社バリアフィルムを有するバックシートを用いての本研究開発の成果を下記にまとめた。

- ・ 結晶系モジュールではバリア性を有するバックシートで保護することにより、DH3000 時間経過後においてもモジュール配線の腐食やガラス-EVA 間の剥離を防ぐ結果となった。これらの結果から、バリア性を有するバックシートの使用することで結晶系モジュール高信頼性向上への効果が証明された。
- ・ a-Si モジュールでの性能維持にはハイバリアバックシートが必要であることが改めて証明された。具体的にはバリア性能が $10^{-3} \text{ g/m}^2/\text{day}$ レベルで且つバリア経時劣化を抑制する設計とすることで DH3000 時間経過においても十分な性能維持を達成することが可能であることが分かった。

「樹脂シートを用いた太陽電池モジュールの開発」

三菱レイヨン株式会社

I. 目的

現在、結晶シリコン系太陽電池モジュールのトップシートの材料としては、ほぼ全てにガラスが使用されている。しかしながら、ガラスの比重は約 2.5g/cm^3 と大きいため、トップシートはモジュール重量の約 60~70%を占めることになる。トップシートの軽量化ができれば、更なる市場の拡大が期待できる。そこで、アクリル樹脂（比重は 1.2g/cm^3 ）の特徴である高透明性、高耐候性を活かし、ガラス代替部材として用いることで、軽量化を図り、設置コストの低減、および結晶シリコン系太陽電池モジュールの普及拡大に寄与することを目的とし、アクリル樹脂をベースとしたモジュールの開発に着手した。

II. 研究開発目標

アクリル樹脂をベースとした太陽電池モジュールの開発において、工程通過性、耐候性、耐熱性、難燃性、そして水蒸気バリア性など、ガラスの代替とした場合に懸念される問題点がいくつか考えられた。それらの問題を解決するため、樹脂製太陽電池モジュールの作製工程を確立すると共に、IEC の定める太陽電池モジュールの認証規格を基準とし、温度サイクル、結露凍結試験(TC50/HF10)、高温高湿試験(DH1000)の認証規格を満たす樹脂モジュールの各部材の物性値を明らかにし、最適な部材構成を見出すことを本コンソーシアムの開発目標とした。

III. 研究開発の成果

1.真空ラミネーターを用いた樹脂製4セルモジュールの作製

最初に、樹脂製太陽電池モジュールの作製法について検討を行った。トップシートおよびバックシートにアクリルシートを用いた。材料詳細を以下に示す。

【材料と作製手順】

- ・ トップシートおよびバックシート：透明アクリルシート(400 mm x 400 mm x 1.5 mm, 三菱レイヨン社製) ※バック側はタブ線引き出し用に 15 x 30 mm の楕円状の穴を開けた
- ・ 封止材：エチレン/酢酸ビニル共重合体(EVA, 400 mm x 400 mm x 0.45 mm, ファストキユアタイプ、サンビック社製)
- ・ 4直セル：多結晶シリコン太陽電池セル(6インチセル, 200 μm厚, Q-Cells)

モジュール作製作業は、本コンソーシアムの標準モジュールの作製マニュアルに則って実施し、ラミネートは標準プロトコル(真空引き 5分、急速プレス 1分@1気圧、プレス保持 15分)で行った。

【結果および考察】

最初の検討として、標準のプロトコルにてモジュールをラミネートしたところ、冷却工程中にモジュール端部に 10-20 mm 程度の反りが生じた。また、セルの割れが目視で確認された。これらの不具合の原因を調べるために、ラミネート時の各部材の温度変化を測定した(図 1)。その結果、ガラスモジュールにおいては、真空引きの工程でバックシート側の EVA(4)の温度が 73°Cまで上昇しているのに対し、アクリルでは 62°Cと低いことが示された。このプロトコルでは、EVA が十分に軟化していない温度でプレス工程に入り、セルに多大の応力がかかることで割れを引き起こしている、と考えられる。この原因としては、ガラスとアクリルの熱伝導率が異なること、シート厚みが違うことが挙げられる(表 1)。この差を補うためにプレス前の真空引き時間を 10 分に延長したところ、プレス時に 73°Cと EVA の軟化点以上まで温度が上昇し、セル割れを回避することに成功した。また、モジュールの反りに関しては、冷却時にガラスクロスシートの上から重しを乗せることで解消された。

モジュール作製後の発電特性は、最大出力電力値が標準モジュールと比較して約 3 %低かった。これはバックシートに透明な部材を用いたことによる反射光成分が減少した影響である、と考えられた(白色のアクリル板を用いると同等レベルに向上)。また、耐電圧試験では、絶縁、絶縁抵抗、そして湿潤漏れ電流試験のいずれも規格を満たすものであることが確認された。

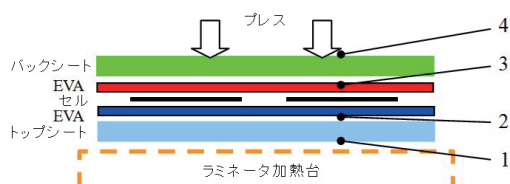


図 1. ラミネート温度プロファイル測定図
(数字は各部材温度測定時の熱電対の測定位置を示す。)

表 1. アクリルとガラスの熱伝導率と部材厚み

	アクリル**	ガラス***
熱伝導率(W/m·K)*	0.19	0.75
厚み (mm)	1.5	3.2

(*: 試験法は ASTM C 177, **: 三菱レイヨン社データより, ***: 旭硝子社hpより)

以上のように、アクリル樹脂をトップシート、バックシートとした太陽電池モジュールは、標準ガラスモジュールと同様の作業工程において反りおよびセル割れなく作製することに成功した。さらに、産総研九州センターにおいて、20 直セル(5 ストリングス x 4 列)、680 x 860 mm サイズの大型モジュールを 4 セルモジュールと同じ部材構成にて作製し、同じ作業工程で大型の太陽電池モジュールが作製できることを確認した。

2. 樹脂製太陽電池モジュールの環境試験

次に樹脂製太陽電池モジュールを用いて、TC50/HF10 および DH1000 試験を実施した。試験は、IEC61730-2 および IEC61215 に基づいて実施した。

TC50/HF10 試験では、TC50 試験初期の数サイクルの段階でモジュールに反りが生じ、全試験終了後にはモジュール全体が波打つような大きな歪みが生じていた。そして、モジュール内部では、タブ線の歪み、断線、およびセル割れが目視で確認された(図 2)。また、TC50/HF10 試験後の発電特性はタブ線が断線し、電気的回路としてつながっていないこと

から測定できなかった。

DH1000 試験においては、モジュールの反りが観察され、さらに、全体がやや白化しているのが観察された（時間をおくと白化は改善されていく）。また、目視でセルの割れが確認された。発電特性については、最大電力は初期値の 95 %以上を保持していた。

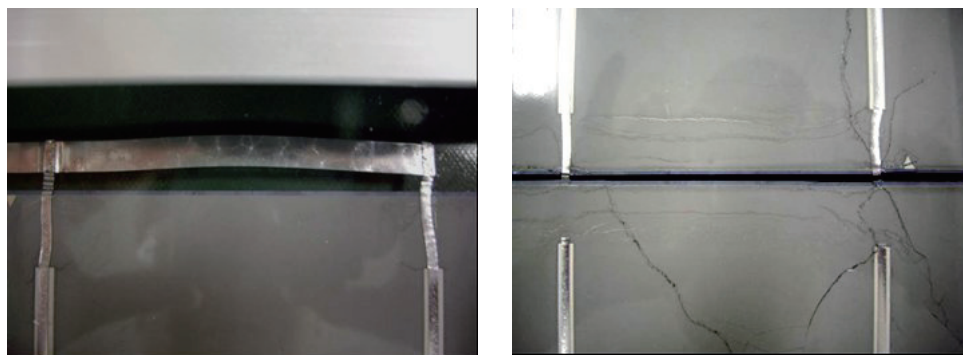


図 2. TC50/ HF10 試験後における樹脂製モジュールの外観写真(左: 4セルモジュール横タブ配線付近、右: 4セルモジュールにおける2ストリングスセル接続部付近)

TC50/HF10 試験においては、温度の昇降によってアクリルシートが熱膨張、収縮を繰り返す、さらに、セルが導入されている部分は変形しにくいために、波打つような反りが生じたと考えられた。また、シートの膨張・収縮に伴う応力がセルやタブ線などモジュール内の部材にダメージを与えていることが推察された。そこで、この部材構成で、25℃から85℃に昇温した場合のモジュールのサイズ変化とセルにかかる応力を、各種部材の物性よりシミュレーションし、両面ガラスモジュールの場合と比較した（4セルモジュールの1/4単位を想定して計算）。その結果、変形量はモジュール全体でガラス0.11 mm に対し、アクリルでは0.72 mm と大きく、セル1枚にかかる応力は、ガラスが48 MPa に対して、アクリルは299 MPa と相対的に大きな力がかかっていることが明らかとなった。

以上のことから、環境試験に合格するためには部材構成の変更、又は、シート自体の物性改良によって、応力を緩和または低減することが必要である、と考えた。

3. EVA との密着性を変更したモジュールの検討

まず、アクリルシートと EVA の層間密着性を変化させることで、シートの熱膨張・収縮による応力の伝達を低減させることができるか、検討した。

1 および 2 に示したモジュールでは、アクリルシート表面にコーティングを施すことで、EVA との密着性をガラスと同程度に調整していた。本検討では、密着性を低減するために表面コーティングなしのシートを用いて単セルモジュールを作製し（密着性は1/3から1/4程度に低下）、TC50/HF10 試験を行った。

その結果、表面コーティングありのシートを用いたモジュールにおいては試験後に7%の最大出力電力の低下が見られたのに対して、コーティングなしの場合では0~0.6%程度と殆ど変化がなく、改善がみられた。また、EL像にもセルの割れ等の欠陥は確認されなかった。さらに、コーティングなしの場合でも、試験後にシート/EVA 間でのデラミネーシ

ヨンは目視で確認されなかった。

これらのことから、アクリルシートと EVA の密着性を下げることでセルに伝達する応力を低減させる効果が得られたと考える。

4. シリコーン樹脂を封止材に用いたモジュールの検討

アクリルシートの熱膨張、熱収縮による応力を緩和する目的で、封止材の弾性率が EVA(約 50 MPa)よりも低いシリコーン樹脂(ヤング率: 約 1 MPa, 約 0.01 MPa, 東レ・ダウコーニング社製)を使用し、単セルモジュールを用いて TC50 試験を行った。モジュールは、表裏のシートの周辺部をスペーサーで貼り合わせた後に、側面から硬化前のシリコーン樹脂を注入し、オープン内で熱処理(硬化)することで作製した。

その結果、セル割れ、タブ線の断線、歪みが抑制された(図 3 に TC50 試験後の EL 像)。このことから、EVA と比較して弾性率が低い部材を用いることでアクリルシートの熱膨張・収縮に起因する応力が緩和され、セルやタブ線に与えるダメージを軽減する効果が得られたといえる。今後、4セルモジュールによる評価を行っていく予定であるが、通常のラミネートによるモジュール作製工程は適用することができないため、新たなプロセスの開発も必要である。

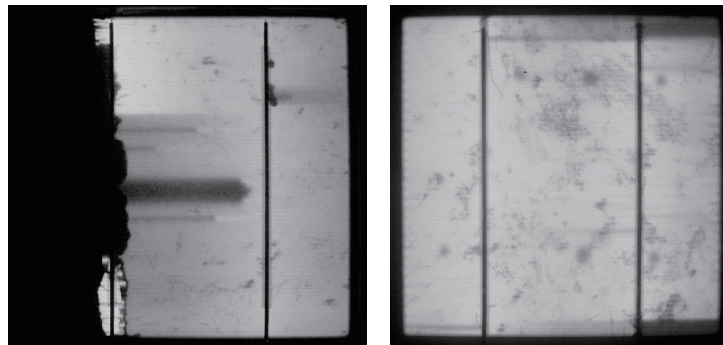


図 3. TC50 試験後の樹脂製単セルモジュールの EL 像
(封止材種 左: EVA、右: シリコーン樹脂)

IV. まとめ

トップシートをガラスからアクリル樹脂に替えた太陽電池モジュールの作製において、ラミネート工程の変更により、セル割れ等の不具合のないプロトコルを確立した。しかしながら、環境試験において、モジュールの反りやセル割れ、タブ線の歪み、断線など、樹脂材料の特性である線膨張係数の大きさを反映するような問題が起こった。これらの問題を解決するため、①シート/EVA の密着性を低減する、②封止材を EVA より弾性率の低いシリコーン樹脂を用いる、という二通りの検討を行ったところ、TC50 試験後の単セルモジュールにおいて、上記に示した不具合が解消された。

今後は、本構成での 4セルモジュールを用いた TC50/HF10 および DH1000 試験を実施し、さらに、トップシート、封止材それぞれの物性を変えながら検討を進めていく予定である。

「バックシートの劣化挙動とモジュール出力への影響について」

リンテック株式会社

I. 目的

弊社は、PV モジュールのバックシート（以下 BS と示す）製品の製造・販売をワールドワイドに展開している。該コンソーシアムでは、標準部材の BS と弊社製 BS を使用した PV モジュールを作製し、DH をはじめとする複合加速試験によって、部材の劣化挙動・特性変化と I-V カーブなどの光電変換効率変化の相関関係の有無を確認し、その現象について検証・考察を行い、因果関係を把握する。

また、その結果をコンソーシアムの目的である高耐久・長寿命化を達成する PV モジュール用 BS の開発指針として活用する。

II. 研究開発目標（当初目標として）

- 1) 標準評価用 PV ミニモジュールである 4 セルモジュール及び単セルモジュール部材と加速試験結果との相関関係の把握（c-Si, a-Si とともに）：産総研の先行評価結果を参照
- 2) DH 試験前後の PV モジュール特性の測定・評価及びその原因究明：BS 積層構成部材別で 4 種類、4 セルモジュールで N1, 単セルモジュールで N1
- 3) HF+TC50（継続で TC200xN 回）試験前後の PV モジュール特性の測定・評価及びその原因究明：BS 積層構成部材別で 4 種類、4 セルモジュールで N1, 単セルモジュールで N1
- 4) Xe 耐光性試験前後の PV モジュール特性の測定・評価及びその原因究明：BS の反射率を変更した 6 種類、単セルモジュールで N1
- 5) 上記知見から高信頼性・高耐久性を達成するための知見・Spec を BS 設計指針として盛り込む。また、並行してフルサイズモジュールを作製し、スケールアップによる影響、屋外曝露試験を進める。

III. 研究開発の成果

弊社 BS の基本構成・各層の役割を図 1 に、各 BS の特徴を表 1 に示す。Al 積層品は、PET 層とコート層間に Al 層がある構成。水蒸気バリア性測定は、ASTM F1249-90 に準ずる（40℃, 90%RH における防湿性を MOCON 社製 PERMATRAN にて測定）。

EVA フィルム層	…封止材との接着性, 反射特性(変換率向上)
接着剤層	…高信頼性
PET フィルム層	…高絶縁性
特殊 F 系 Coating 層	…高耐候性, UV カット性

図 1 リンテック製 BS 構成と各層の役割

表 1 弊社検討 BS の特徴

弊社 BS	BS1	BS2	BS3	BS4
特徴・効果	高耐候性・高反射性	BS1 の低耐候性	弊社 Standard	Al 積層品
水蒸気バリア性 WVTR: g/m ² /24h	2.79	2.44	2.0-2.3	0.005

PV モジュールは、BS 以外は全てコンソーシアムの標準部材で統一し、4 セルタイプ、単セルタイプを作製した。主な使用部材を表 2 に示す (赤字が主な差異)。

表 2 PV モジュール作製用標準部材

4セルタイプ	単セルタイプ
<ul style="list-style-type: none"> ・PV セル：Q-cells 製 c-Si 2 本バスバー ・ガラス：AGC 製白板半強化ガラス ・封止材：サンビック製ファストキュアタイプ ・配線：日立電線製 A-SPS(2AG)など ・端子 Box：マルチコンタクト製 途中よりオーナンパ製に変更(報告内容は上記製) ・Al フレーム：KIS 製通常タイプ ・その他：シール材，ポッティング材 	<ul style="list-style-type: none"> ・PV セル：Q-cells 製 c-Si 2 本バスバー ・ガラス：AGC 製白板半強化ガラス ・封止材：サンビック製ファストキュアタイプ ・配線：日立電線製 A-SPS(2AG)など ・端子 Box：無，配線曝露 ・Al フレーム：無のためシール材，ポッティング材 未使用

考察は、全て観察された事象と弊社 BS の特性値を元に記述した (分解分析・解析が不可なため)。実際には 4 セルと単セルには、作製に時間的なズレがあり、その理由は後述する。紙面の関係上、DH 試験の評価結果を中心に報告する。図 2、3 に 4 セルタイプの I-V 特性変化 (Pmax, FF)を示す。

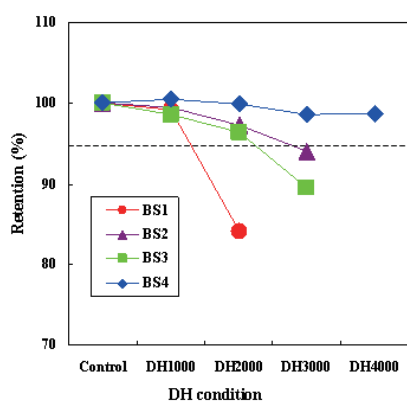


図2 4セルモジュールDH試験後のPmax保持率

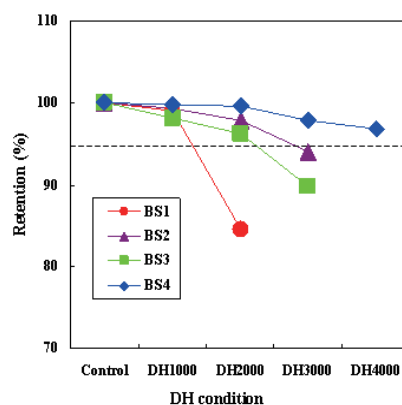


図3 4セルモジュールDH試験後のFF保持率

BS1 では DH2000 後に I-V 特性の著しい変化が観察されたが、EL 測定及び MP50 測定により多結晶セル 4 枚の内の 1 枚が発光していないことが分かった (図 4)。また、その原因をサーモ画像で撮影し、ショートと思われる箇所があることが観察された (図 5)。PV セル上のバスバー/配線部分であるが、詳細原因については調査中である。その他の BS では、Al 積層品である BS4 が DH4000 まで I-V 特性を保持している。BS4 を使用したモジュール

ルは耐電圧測定上の不具合から複数枚作製，DH 試験に投入・評価したが，全てのモジュールで I-V 特性を同等レベルで維持していた。そのため BS4 特有の物性値に起因するものであり，筆者は水蒸気透過率の差によるものと考えている。この根拠は，BS4 と他の BS の特性値（フィルム強度など）に水蒸気透過率以外の顕著な違いが無いためである。

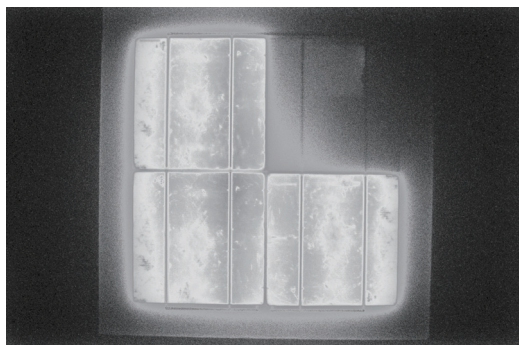


図4 BS1, DH2000 後の EL 画像

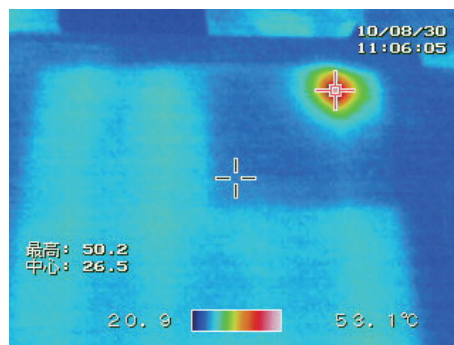


図5 BS1, DH2000 後のサーモ画像

次に BS1 の評価リカバリー，モジュール作製時間短縮及び N 数増を目的に単セルタイプで同様の評価を行った（図 6, 7）。まずは N 数 1 で作製した。結果は DH3000 までであるが，4 セルタイプと同様の傾向が得られた。また，その保持率も 4 セルタイプと類似しており，単セルタイプ（AI フレーム無，積層エッジシール無，インターコネクタ曝露）での加速試験においても十分信頼性及び再現性のあるデータが得られることが分かった。

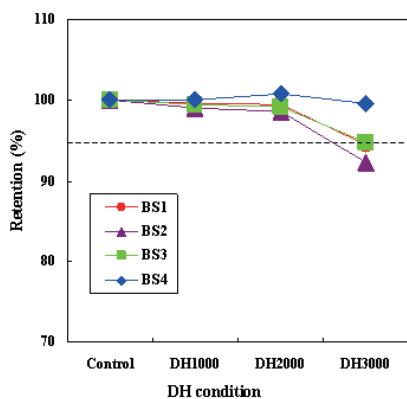


図6 単セルモジュールDH試験後のPmax保持率

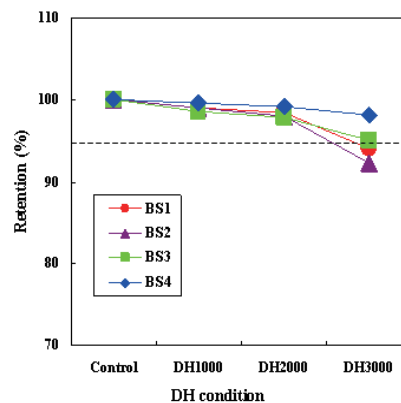


図7 単セルモジュールDH試験後のFF保持率

データでは，BS1 と BS2 で一部 I-V 特性が逆転している結果が得られている。そのため N 数増での評価が必要と判断し，産総研標準 BS をコントロールとして改めて加えて BS1，BS4 及び新たに BS5（BS1 の PET 部材の高耐久性タイプ）の計 4 タイプの BS を用いた単セルを N 数 5 で作製した。まだ加速試験途中で考察できるデータが蓄積されていないが，このモジュールを用いてより高精度及び再現性の高い評価結果が得られると考えている。単セルタイプ作製の途中から，測定機器として EL 測定と MP50 測定が新たに加わった。この測定データもコントロールを含めて測定しており，より総合的な考察が可能になっている。但し，単セルタイプでは配線が曝露しているため，加速試験における劣化が懸念点と

してあり、I-V 特性への影響の程度を考える必要がある。

Xe 耐光性試験では、反射率（最大 10%差）の異なる 6 種類の BS を用いて評価継続中である。現時点で 200h 毎に 600h までの I-V 特性、EL 測定及び MP50 測定を終了している。同時に DH 試験と TC 試験も実施しており、N 数 1 での試験であるが弊社反射率向上設計に有効なデータが得られるものと期待している。

薄膜モジュールでは、18cm サイズを作製して BS4 をコントロールに低水蒸気透過率 PET を用いた BS (BS6, 7) の性能比較を DH にて検討した (図 8, 9)。結果は、DH1000 で顕著な差が観察された。原因は不明であるが、使用した PET の信頼性に起因 (蒸着層のクラックや経時での水蒸気透過率性能の低下) しているものと推測している。

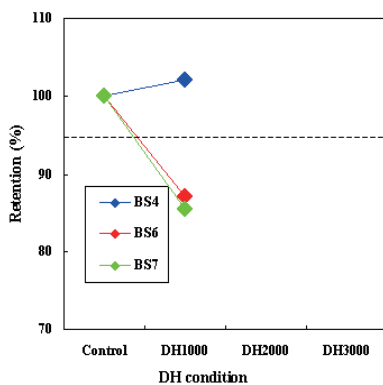


図8 a-SiモジュールDH試験後のPmax保持率

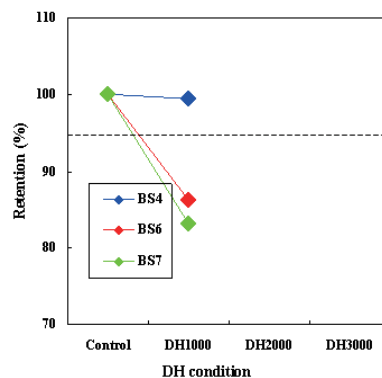


図9 a-SiモジュールDH試験後のFF保持率

IV. まとめ

- ・ c-Si 系モジュール：BS の水蒸気透過率の違いにより I-V 特性の信頼性に差が観察された (DH 試験)。TC 試験は、積層 BS 及び PV モジュール積層材料との CTE (熱膨張係数) ミスマッチが支配的であると考えられる。
フルサイズモジュールは、BS1, BS3 で作製、DH 試験 1000 時間を終了している (測定未実施)。
- ・ a-Si 系モジュール：低水蒸気透過率 PET を用いた BS での DH 試験後の特性低下が顕著であった。原因究明と対策を検討する。

第 II 期コンソーシアムでは、以下の検討項目を掲げたい。

- ・ N 数増での単セルモジュール促進試験継続と評価
- ・ 屋外曝露評価用フルサイズモジュールの作製
- ・ 高信頼性 BS 開発のための新規知見の探索

「屋外曝露試験モジュールの解体調査」

株式会社コベルコ科研

I. 目的

異なる外観異常が発生した 2 種類の屋外曝露試験モジュールの不良解析および、EL 発光分布・温度分布異常が認められた屋外曝露試験モジュールの不良解析を行う。解析結果からこれらの不良の発生メカニズムを考察し、今後開発される太陽電池モジュールでの不良発生を抑制することを目的とする。

II. 研究開発目標

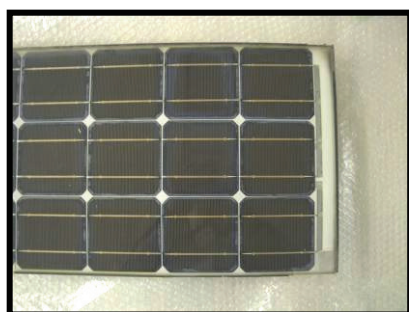
外観異常モジュール 2 検体、EL 発光分布・温度分布異常モジュール 1 検体、合計 3 検体の不良モジュールの解析を行う。本報告書では 2 種類の外観異常モジュールの解析結果を報告する。

III. 研究開発の成果

【不良モード 1：フィンガー電極周辺部外観異常】

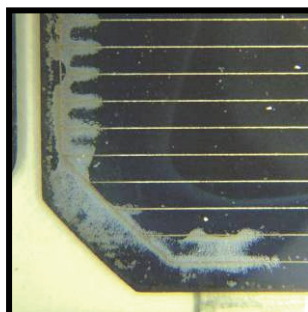
以下に外観異常の内容の概略および、図 1 に解体前のモジュール外観写真を示す。

- ・現象：ウエハ端部のフィンガー電極パターンに沿って白濁模様が発生
- ・分布：モジュール全面で発生。ウエハ面内ではウエハ外周部で発生
- ・その他の特徴：封止樹脂の変色、ウエハ外周部での Si ウエハの変色、インターコネクタ・バスバー部表面の白濁および変色



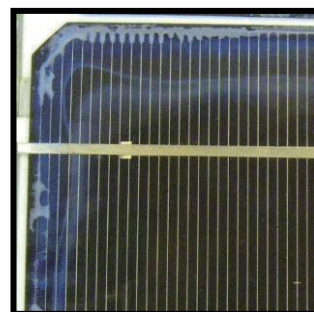
【モジュール面内分布】

ほぼモジュール全面で外観不良が発生



【ウエハ面内分布】

ウエハ外周部フィンガー電極付近で発生



【その他の異常】

ウエハ外周部に向けて変色

図 1 モジュール外観

■解析結果

①光学顕微鏡観察、SEM-EDX による断面・剥離面観察および組成分析

異常部、正常部からそれぞれサンプリングを実施し、封止樹脂と Si 基板界面を光学顕微鏡、SEM-EDX にて調査した。結果、白濁状に見えていた箇所は封止樹脂が大きく減肉しており、封止樹脂表面に瘡蓋状の変質が認められた（図 2）。封止樹脂の変質部と正常部を EDX で調べた結果、両方で検出元素に差は認められない。Si 基板側の異常部付近で Na、Ca、P が検出された（図 3）。

②SEM-EDX による Si ウエハ側面の付着物の評価

外観異常が発生しているウエハの側面部を SEM-EDX にて調査した。結果、側面部に数百～数十 nm 程度の微粒子が点在しており、EDX 分析の結果 Ag の粒子であることが判明した（図 4）。Ag 粒子の由来調査のため、外観異常が認められた箇所のフィンガー電極を正常部と比較し、その体積が減少していないか調査を実施した。比較手法として、表面からの寸法測長および電極材断面 SEM 像の二値化画像解析による断面積測定を実施した。正常部、異常部のフィンガー電極幅をそれぞれ 15 点測長した結果、電極幅は異常部が平均 $116 \mu\text{m}$ (Min. $102 \mu\text{m}$ 、Max. $140 \mu\text{m}$)、正常部が平均 $123 \mu\text{m}$ (Min. $111 \mu\text{m}$ 、Max. $136 \mu\text{m}$)

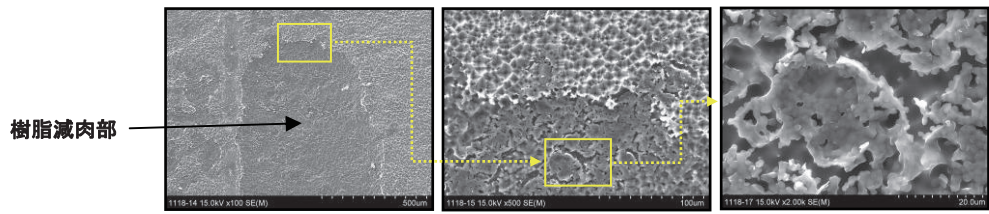


図2 封止樹脂側異常部 SEM観察像

外観異常箇所は大きく樹脂が減肉しており、瘡蓋状に変質していることがわかる

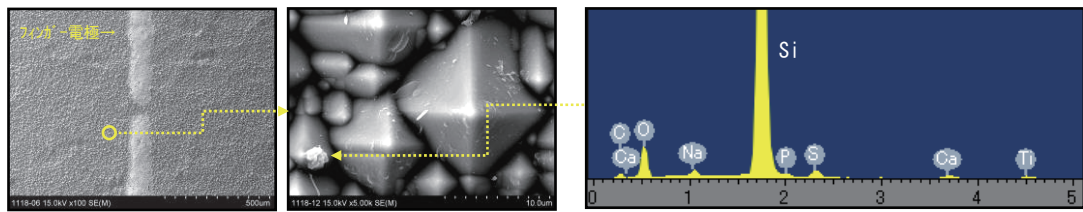


図3 Si基板側異常部 SEM観察像およびEDXチャート

Si基板表面の付着物からわずかながらNa, P, Ca, Sを検出

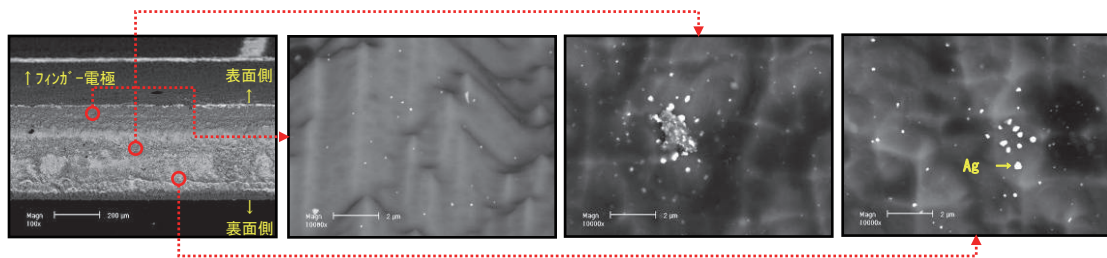


図4 Si基板側面 SEM観察像

Si基板側面部には裏面電極側・表面側の間でAgの微粒子が点在

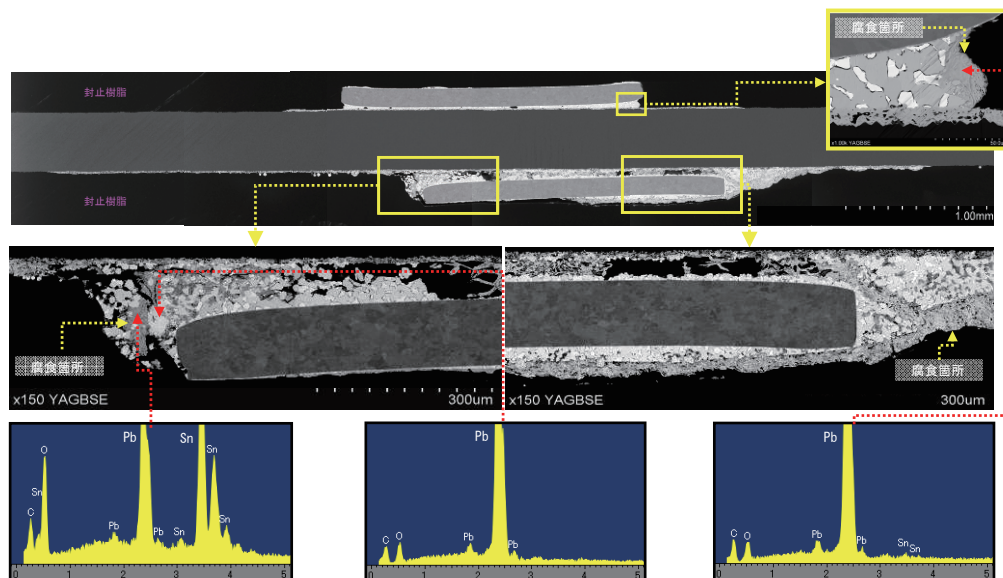


図5 インターコネクタ／電極接続部 断面SEM観察像

ハンダ表面およびクラック内部まで腐食されていることがわかる

と、異常部が細い傾向にあるが、その差は標準偏差内であることから有意とはいえない。断面二値化画像解析結果については、正常部のフィンガー電極の面積が $969.1 \mu\text{m}^2$ であるのに対し、異常部のフィンガー電極の面積値は $696.9 \mu\text{m}^2$ と、明らかに小さい。ただし、今回の異常箇所データの 1 断面しかないため必ずしも異常部のフィンガー電極材が減少しているとは言えない。

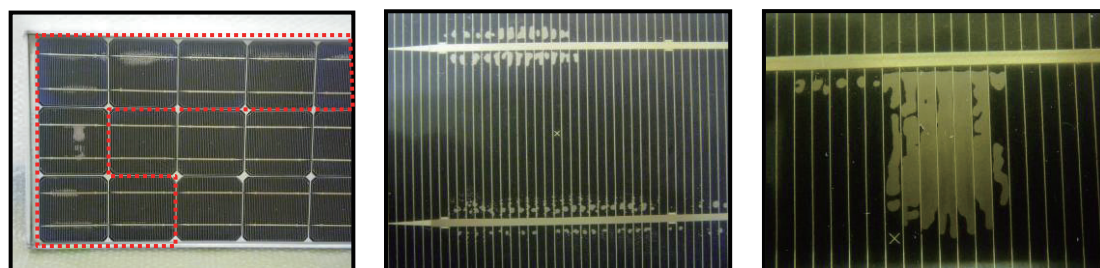
③インターコネクタ部の腐食

その他の外観異常として、インターコネクタ表面の外観異常を確認するため SEM-EDX による断面分析を行った (図 5)。その結果、電極表面側のハンダ層の変質よりも、裏面側インターコネクタ部のハンダ腐食が激しく、ハンダクラックによりインターコネクタが外れた上に、クラック内部まで腐食している。

【不良モード 2 : インターコネクタ周辺部外観異常】

以下に外観異常の内容の概略および解体前のモジュール外観写真 (図 6) を示す。

- ・現象：インターコネクタ周辺からフィンガー電極に沿って白濁模様が発生
- ・分布：主にモジュール外周部ウエハで発生。ウエハ面内ではインターコネクタ周辺に分布。ただし、インターコネクタから数 mm 離れたところからフィンガー電極に沿って発生。
- ・その他の特徴：封止樹脂の変色など。



【モジュール面内分布】
モジュール外周部ウエハで発生

【ウエハ面内分布】
インターコネクタ周辺部で発生

【その他の異常】
フィンガー電極に沿って伸展

図6 モジュール外観

■解析結果

①光学顕微鏡観察、SEM-EDX による断面・剥離面観察および組成分析

外観異常部の Si 基板側、封止樹脂側剥離面にはサンプリング前に観察された液滴状の様子が認められ、封止樹脂側ではその液滴模様の輪郭部の封止樹脂が繊維状に変質している (図 7-8)。また、異常部近傍で直径 $1-2 \mu\text{m}$ 程度の析出物が認められる。EDX の分析結果から析出物は Na および P を含む物である事が判明した。また Si 基板側でも部分的に Na および P が認められる (図 9)。

②TOF-SIMS によるマッピング評価

外観異常部の Si 基板側表面 (剥離面) を TOF-SIMS にて評価した結果、Na、 PO_x がほぼ全面で検出されたほか、Pb のインターコネクタ側からの拡散が認められた (図 10)。

IV. まとめ

これまでの解析の結果、外観異常箇所近傍で Na、P が検出されたほか、不良モード 1 ではハンダの腐食、Ag の拡散が認められた。今回の 2 モジュールの外観異常の発生原因は外部からの水分の浸入によって引き起こされたと考えられ、バックシートなどの構成部材の違いから水分の浸入経路が異なることにより発現する現象が異なることと推測される。

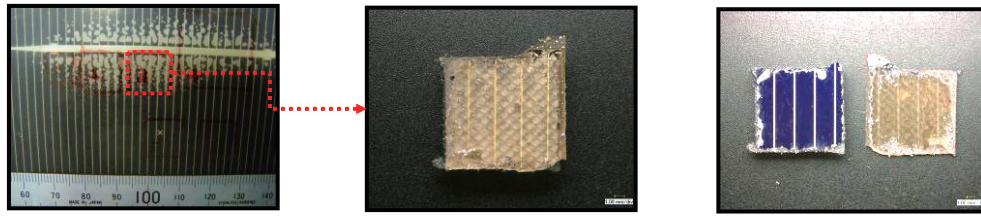


図7 抽出サンプル外観写真
異常箇所を10x10mmサイズで封止樹脂をつけたまま抽出

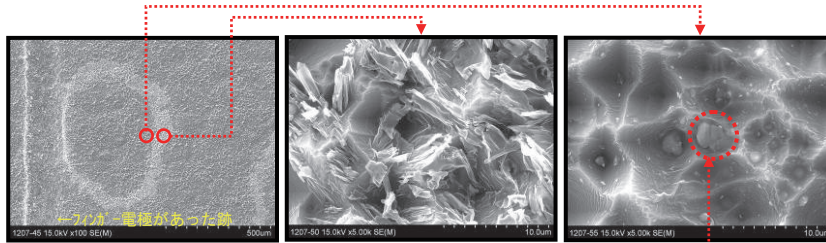
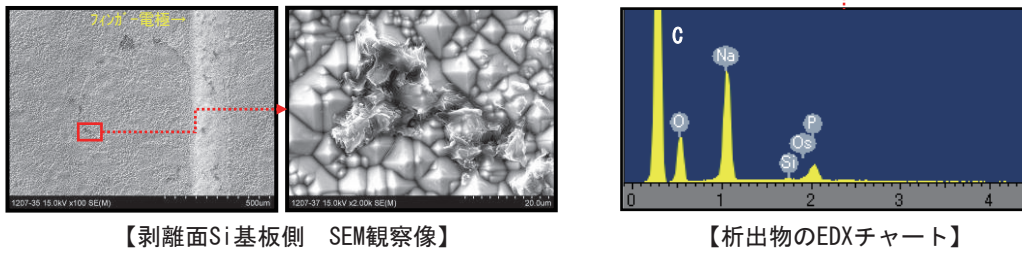


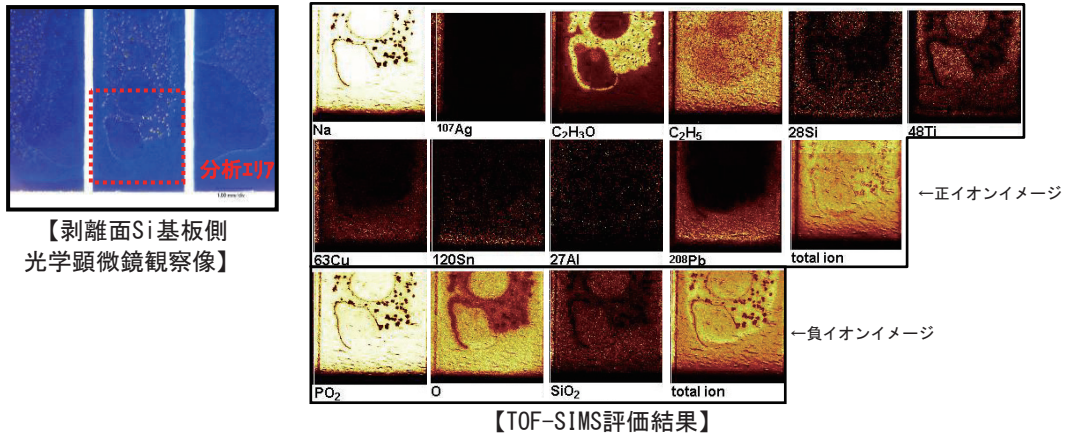
図8 剥離面封止樹脂側 SEM観察像
外観異常箇所は樹脂が分解しているほか、樹脂側凹部に析出粒子からNa, Pを検出



【剥離面Si基板側 SEM観察像】

【析出物のEDXチャート】

図9 異常部 SEM観察結果およびEDXチャート



【TOF-SIMS評価結果】

図10 TOF-SIMSによるマッピング評価

Pbがインターコネクタ側から拡散してきているように見えるほか、Na, PO₂はほぼ全面で検出

またその他の分析結果からも、太陽電池モジュールの経年劣化はただ単に有機部材が劣化するだけではなく、有機部材の劣化と他の構成部材の劣化が相互に影響を与えている可能性が示唆される。

ページの都合上、本報告書では紹介できなかったが、配線材やそのほかの部材でも興味深い分析結果が得られており、現在解析を進めている。これらについては第2期のコンソーシアムにて報告したいと考えている。

「高耐久性端面シール材 "BDry" の開発」

サエス・ゲッターズ S.p.A ジャパンブランチ

I. 目的

サエス・ゲッターズではコアプラットフォーム技術である“吸着材料”を融合した高耐久性端面シール材について研究に取り組んでおり、現在商品化されている結晶シリコン系、及び薄膜シリコン・化合物系の薄膜太陽電池用途だけでなく、次世代太陽電池技術とされている有機系太陽電池モジュールなどに要求される封止技術・長期信頼性の向上に貢献し、部材メーカーとして太陽電池産業の発展に貢献する事を目指している。

本報告書では、コンソーシアムの活動を通じて得た知見と共に、サエス・ゲッターズでの製品開発、評価の進捗状況について報告する。

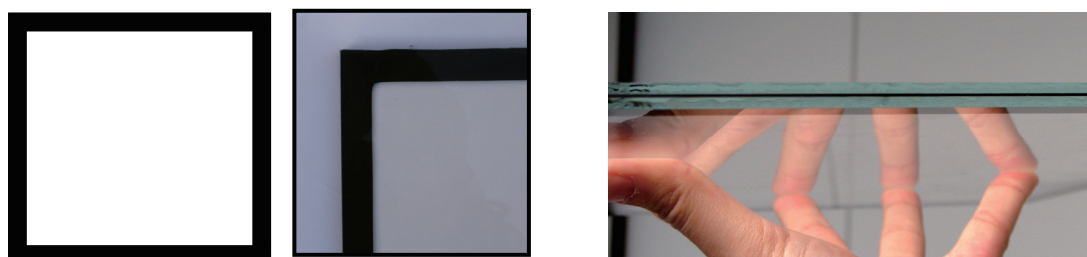
II. 研究開発目標

製品概要：吸湿材を融合した高耐久性端面シール材

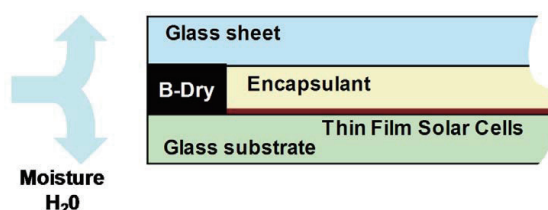
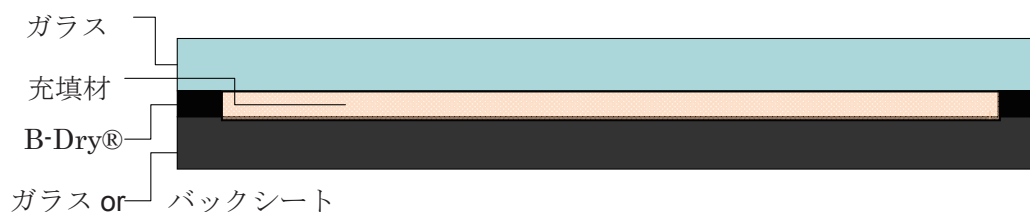
特徴：

- ①DHT 85C/85% 3,000 時間に耐え得る高耐久性シール材 (特にガスバリア性)
- ②ガラス・ガラス封止、ガラス・バックシート構造に適合
- ③既存の EVA, PVB, TPO 充填材の封止プロセス条件に適合

封止構造例：



パネル周辺部に設置 コーナー部 ガラス・ガラス封止断面イメージ



III. 研究開発の成果

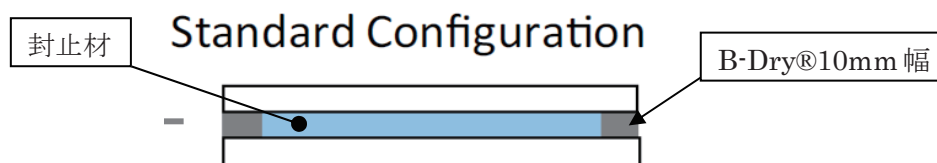
本コンソーシアムの主題である太陽電池モジュールの長期信頼性、安定性については昨今注目を浴びており、特に薄膜太陽電池モジュールの安定性については、多くの議論が学会でも取り上げられている。しかしながら 25 年や 30 年、更にそれ以上の長期信頼性、耐久性が求められている太陽電池モジュールを、実際に屋外曝露試験にて耐久性評価を実施するのは実質的に困難であり、高温高湿試験 (Damp Heat Test) が太陽電池モジュールの耐久性を評価する加速試験の主な指標として用いられているのが現状である。

本研究ではサエス・ゲッターズの高耐久性端面シール材 B-Dry® を搭載した 30 x 30 cm CIGS 薄膜太陽電池モジュールに高温高湿試験 (DHT : 85 °C ・ 85 %RH) を 3,000 時間まで実施・評価した結果を報告する。弊社日本支店では評価装置を保有していないため、本研究にて使用したパネルは、ドイツ ZSW 研究所にて弊社の端面シール材 B-Dry® を、欧州クラレ GmbH 社製の PVB 充填材 TROSIFOL と共に薄膜 CIGS モジュール (30 cm x 30 cm) 内に搭載し、ラミネートしたものである。作製した全ての薄膜 CIGS モジュールについては、高温高湿試験 (DHT : 85 °C ・ 85 %RH) を実施する前に IEC 61646 規格に基づいたいくつかの焼成工程を実施した。

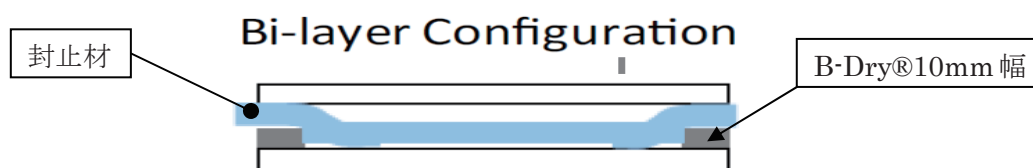
作製したミニモジュールに高温高湿試験 (DHT : 85 °C ・ 85 %RH) を 3,000 時間まで実施すると共に、欧州クラレ研究所にて PVB のみ (つまり弊社 B-Dry® 無し) で封止した、太陽電池セル無しダミーモジュールの端面からの水分浸入量についても Reflection Analyzer (PIER-ELECTRONIC 社製) を用いて評価を実施した。

評価には下記 2 つのパネル構造を用いたモジュールを作製し、3,000 時間に至るまで 1,000 時間毎にモジュールの特性について測定を実施した。

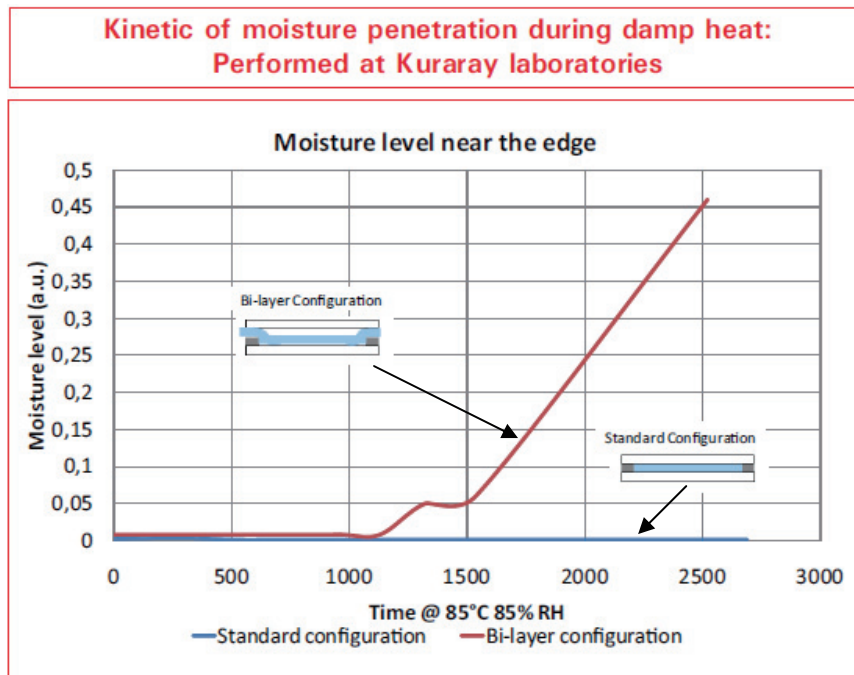
- ① 標準構造：ガラス基板より端面シール材を搭載する箇所を残し、小さいサイズにカットされた充填材をガラス基板に挟み込み、ラミネートしたもの



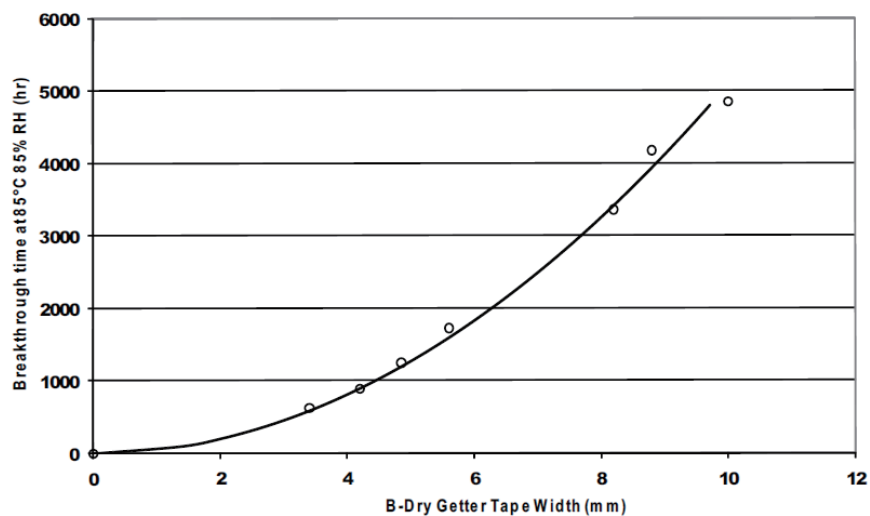
- ② 二重構造：ガラス基板と同じサイズにカットされた充填材をガラス基板に挟み込み、端面シール材 B-Dry® を重ねてラミネートしたもの (ラミネート時に充填材は外部に押し出される)



30 cm x 30 cm ダミーモジュール端面シール付近のPVB内湿度測定結果は下記の通りとなった。使用した B-Dry®は 10mm 幅、吸湿レベルの測定に関しては Reflection Analyzer (PIER-ELECTRONIC 社製)を用いた。



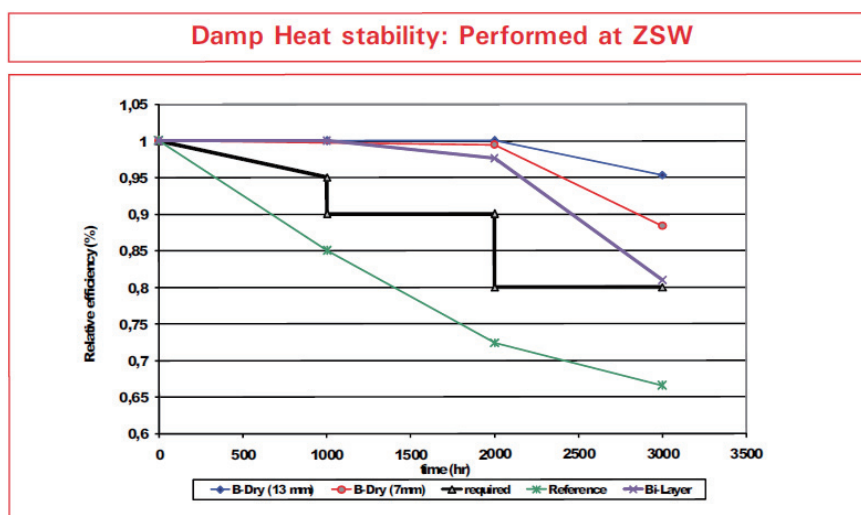
考察としては、“標準構造”、“二重構造”共に耐湿性に一定の効果がある事が検証されたが、“二重構造”の場合は 1,500 時間後付近で端面シール内の湿度飽和が起り、モジュール内部への水分浸入が観測された。また、同時に数種類の幅を持った B-Dry®を用いてブレイクスルータイム（水分が B-Dry®のパネル内端面まで到達し、パネル内まで水分が浸入してくるまでの時間）を測定した結果は下記の通りとなった。



本結果からは、高温高湿試験（DHT：85℃・85%RH）にて2,300から2,500時間辺りまでの耐湿性を持たせたい場合は、7mm幅のB-Dry®を用いれば達成可能であり、DHT 4,000時間以上の耐湿性を求めるのであれば10mm、もしくは12mm幅のB-Dry®を使用すれば可能となることがわかる。また二重構造（PVB充填材とB-Dry®を重ねてラミネートした場合）に於いても、1,500時間の耐湿性能を担保可能であるという事が確認された。

最後に1,000時間毎にLight Soakingを実施した後に測定した発電効率をプロットしたグラフを下記に示す。

- ・青線が13 mm幅のB-Dry®
- ・赤線が7 mm幅のB-Dry®
- ・紫線が13 mm幅のB-Dry®重ね合わせ構造
- ・緑線が端面シール材無しの場合
- ・黒線が欧州のPVモジュールメーカーから提示された要求品質レベルの指標



考察としては、耐久性（防湿性能）については、端面シール材の幅に依存しているのが確認されると共に、二重構造に於いても、ある程度の耐久性が確認された。またいずれの仕様にも、欧州のCIGSパネルメーカーから設定された品質目標設定値を満たす性能を確保する事ができた。

IV. まとめ

今回サエス・ゲッターズでは、ミニ薄膜CIGSモジュールを使用したテープ型高耐久性端面シール材B-Dry®の耐久性実証実験を実施し、欧州パネルメーカーから提示された品質目標設定値を十分に満たす性能を達成する事が可能であることを確認した。また一方で、高温高湿試験に於いて、概ね3,000時間より劣化が確認されたことが、本コンソーシアムにおける成果の一つとして報告されているが、弊社の検証においても同様の傾向にあることが確認された。弊社としては、今後本コンソーシアムにおいて、より長寿命、高信頼性を獲得するための、封止構造も含めた弊社材料の使い方についての検討を進めていきたい。

「太陽電池変換効率分布測定機 MP50 を使用したミニモジュールの測定」

レーザーテック株式会社

I. 目的

産総研、高信頼性太陽電池モジュール 開発・評価コンソーシアムで作製したミニモジュールを、太陽電池変換効率分布測定機 MP50 で測定する参加企業の測定補助と、装置の改良を行う。

II. 研究開発目標

- ・モジュールで発生している現象を MAP 法で解析する手法の改良。
- ・各社の測定を通しての装置の改良。

III. 研究開発の結果

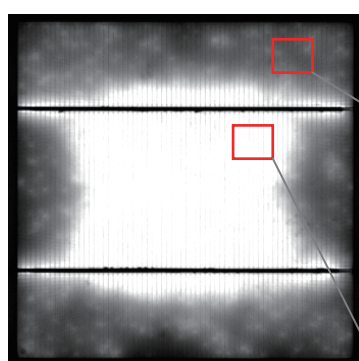
モジュールの特性を MAP 法で解析した手法を下記に示す。

1. セル内部の I-V 特性を Area I-V 機能で評価する。

外周部より劣化の進んだセルの変換効率を、Area I-V 測定機能で劣化部と未劣化部で比較測定する。



外観

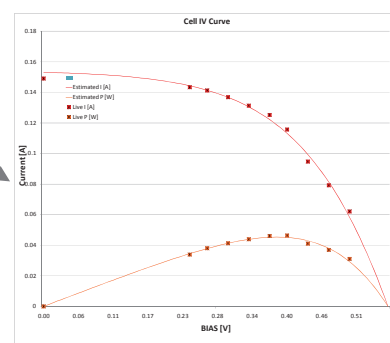


MAP 画像

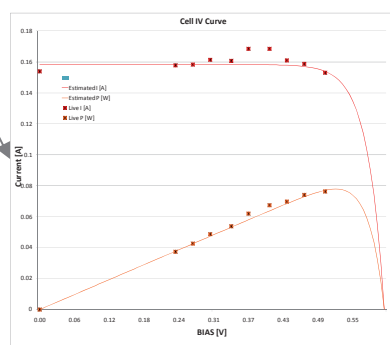
外観からは劣化は確認出来ない。 外周部より劣化が確認出来る。

(図 1. 1 Area I-V 機能)

AreaI-V 特性より、劣化部の Rsh の減少と Rs の増加が確認出来た。



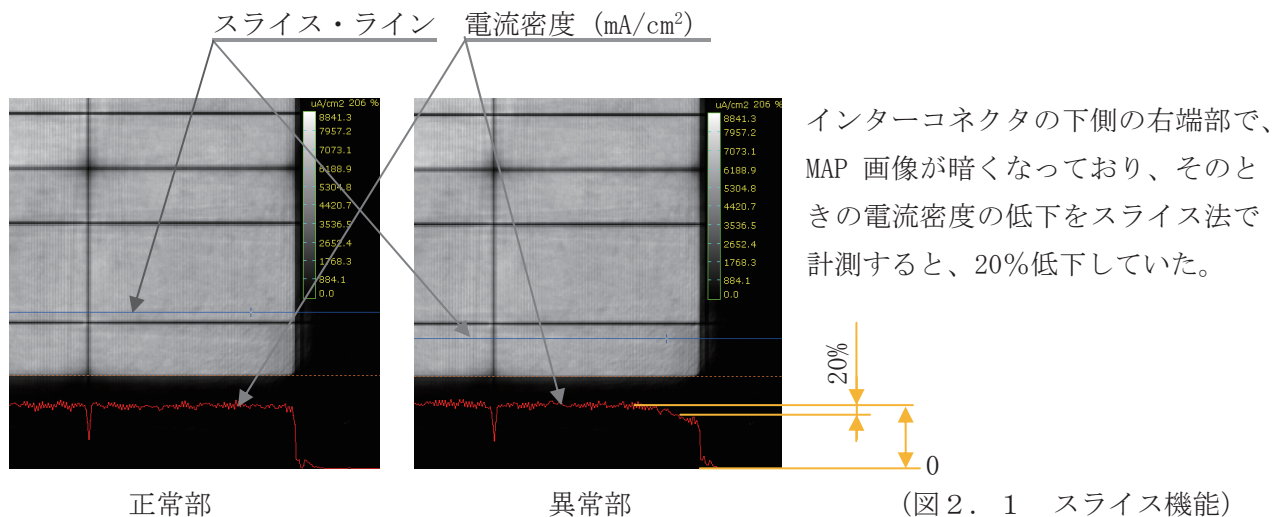
劣化部



未劣化部

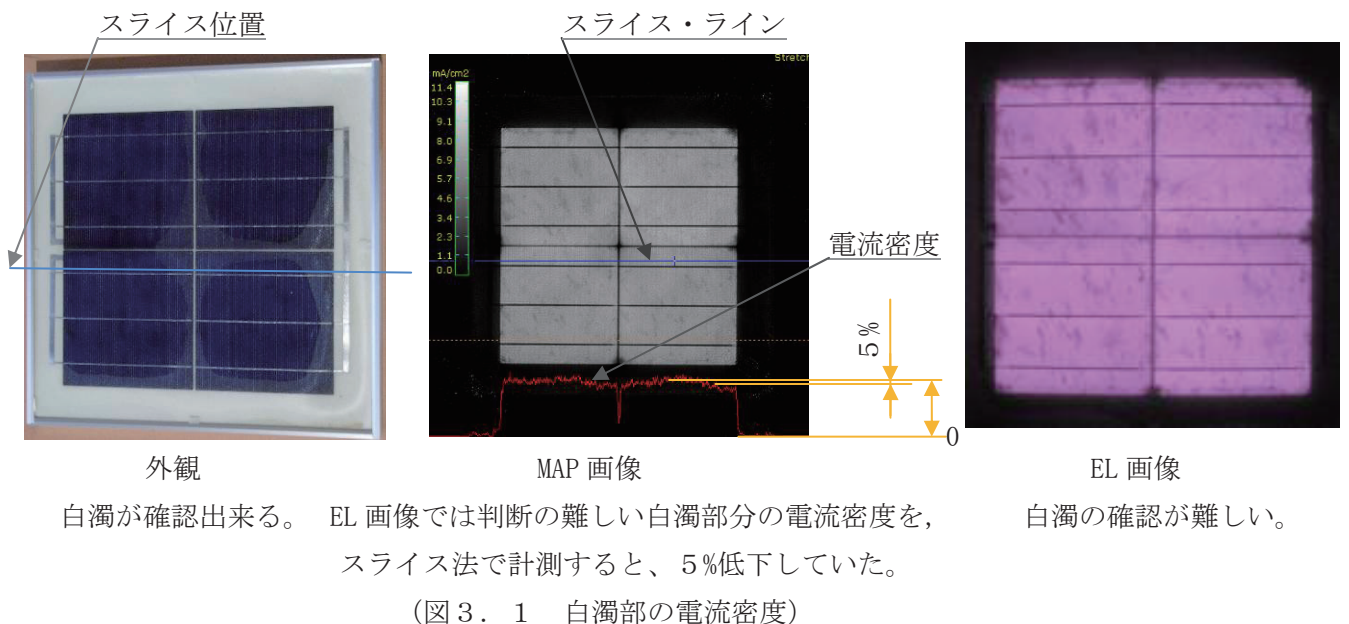
2. セル内部の電流密度を、スライス機能で測定する。

電流密度を比較したい部分をスライス・ライン (図 2. 1 青ライン) で指定して、ライン上の出力電流密度 (mA/cm^2) (図 2. 1 赤ライン) を表示させ、測定結果を評価する。



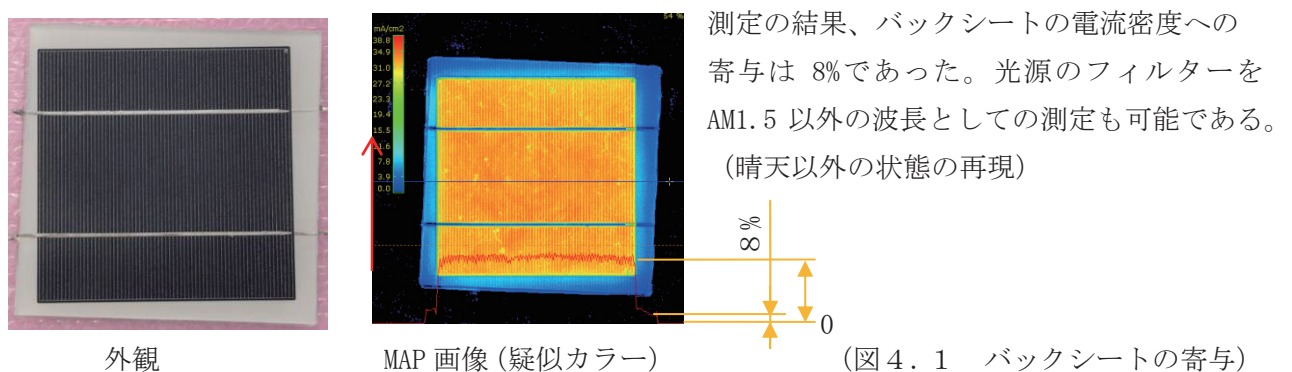
3. 白濁による電流密度の低下

EL 画像からは読み取りづらい白濁による電流密度の低下を、MAP 法で評価する。



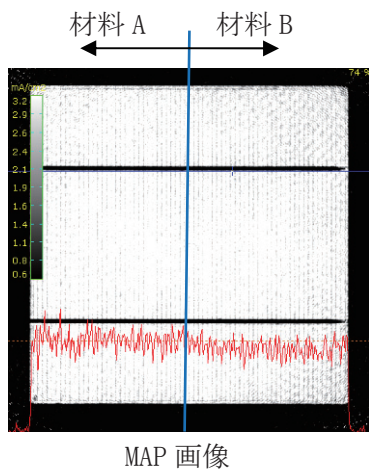
4. バックシートの変換効率向上への寄与

バックシートからの反射光がセルに届くことによる発電効率への影響を、スライス機能で実測する。

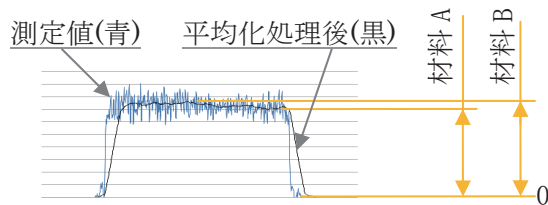


5. 充填材の比較評価

ソーラーシュミレータの誤差やモジュールごとのばらつきをキャンセルして、材料の比較を行う。



左図青ラインの左右で充填材の種類を変えてラミネートし、加速試験後に電流密度の差をスライス機能で評価する。微妙な違いは、測定結果を CSV ファイルで出力し平均化処理（単純移動平均、データ数:20）をした。

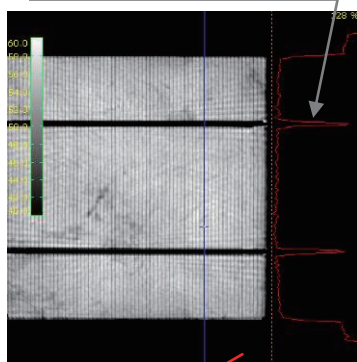


(図 5. 1 充填剤の比較評価)

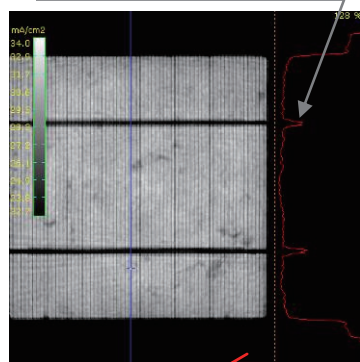
6. 構成部品の反射による影響

特殊な表面処理を行ったインターコネクタの効果を確認する。

通常のインターコネクタによる電流密度の落ち込み



処理をしたインターコネクタによる落ち込み



表面の反射をコントロールした材料を使用すると、インターコネクタの影による出力の低下を軽減することが出来た。

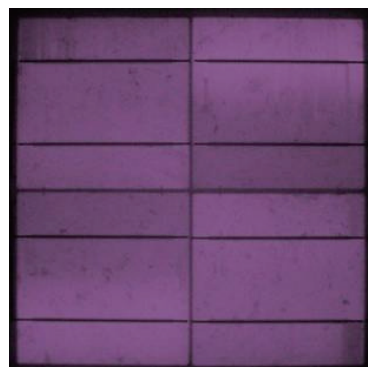
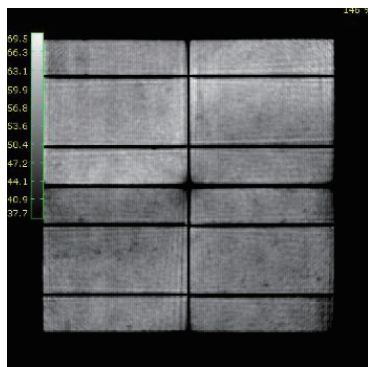
出力レベル 0

出力レベル 0

(図 6. 1 構成部品の表面反射)

7. インターコネクタのボンディングの評価

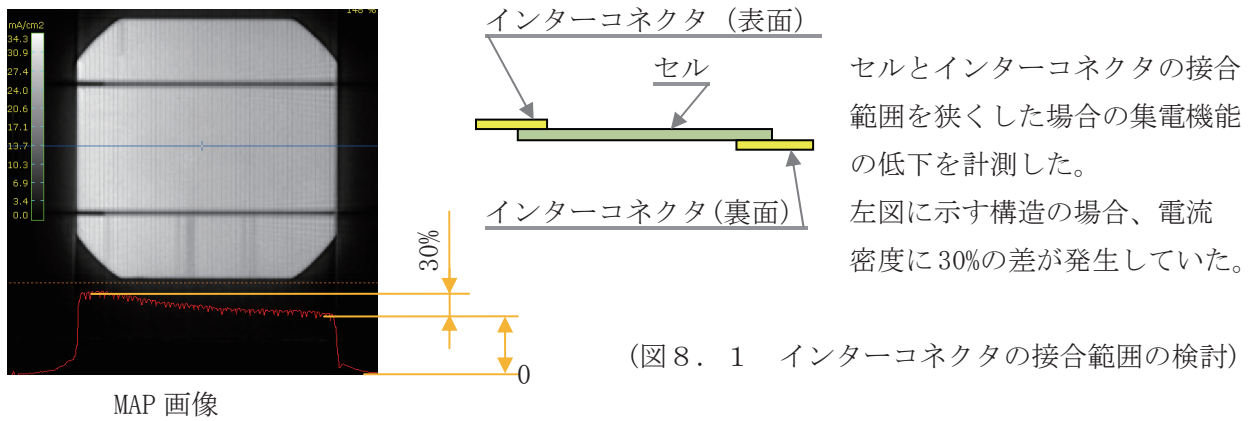
インターコネクタの集電状態のばらつきを確認する。



MAP 画像で、右上・左下に示すセルはセル内で電流密度がばらついていた。またばらつきの具合は EL 画像と一致していた。インターコネクタとセルの接合方法はモジュールの性能を左右していた。

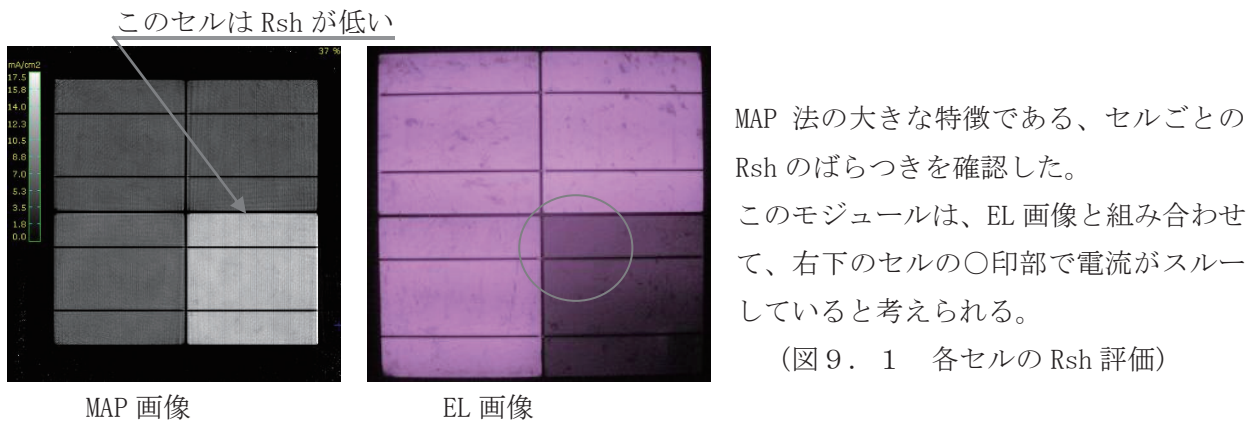
(図 7. 1 集電状態のばらつき)

8. インターコネクタの接合範囲の検討

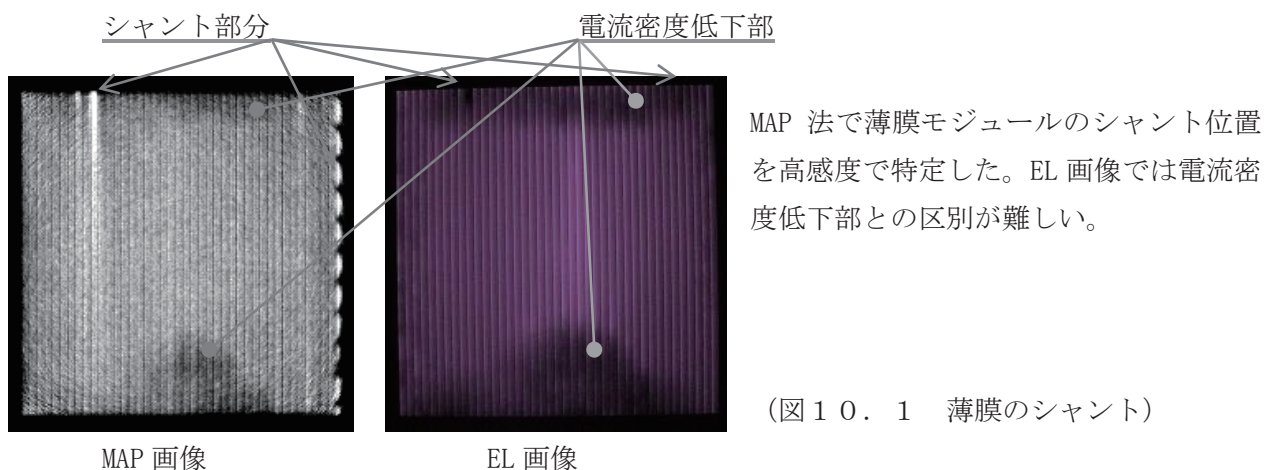


セルとインターコネクタの接合範囲を狭くした場合の集電機能の低下を計測した。左図に示す構造の場合、電流密度に30%の差が発生していた。

9. モジュールの Rsh のばらつき



10. 薄膜のシャント (Rsh の低下)



IV. まとめ

- ・各社の測定を補助することにより、モジュール測定の知見を深めた。
- ・参加研究員より、装置改良の貴重なご要望を受けた。

(追記) 各測定結果は、産総研及び参加企業のご厚意によりご提供をいただいた。