

## 燃えにくくて軽量な、信頼性の高い太陽電池モジュールを開発 — 車載用などの新たな用途での導入や設置・利用法の多様化を目指して —

平成 28 年 9 月 5 日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
 信越化学工業株式会社

### ■ ポイント ■

- ・ シリコンゴムシート封止材、アルミ合金板などからなる新しい太陽電池モジュールを開発
- ・ 難燃性や軽量化のみならず、破損しにくく、簡易に設置することが可能
- ・ 新たな用途や、従来にない設置・利用法での太陽電池の導入に期待

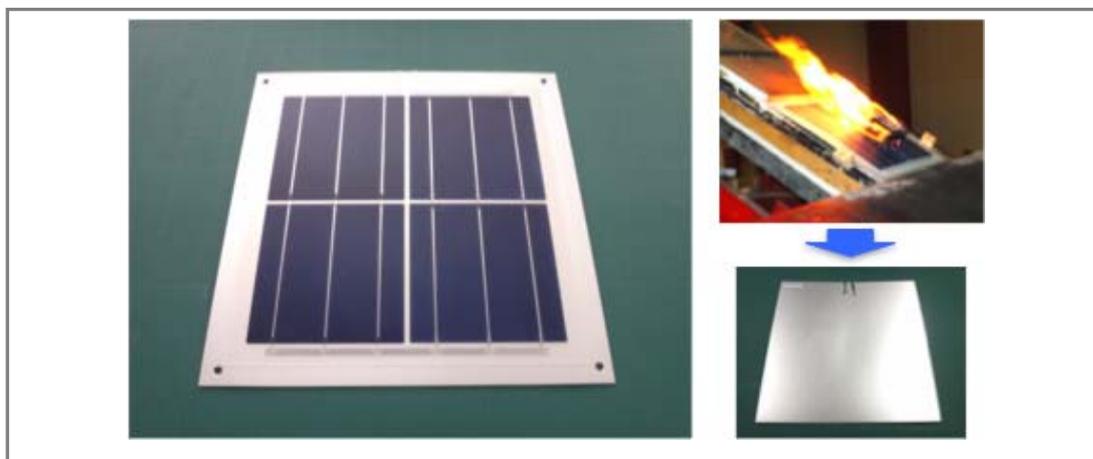
### ■ 概要 ■

国立研究開発法人 産業技術総合研究所【理事長 中鉢 良治】（以下「産総研」という）太陽光発電研究センター【研究センター長 松原 浩司】モジュール信頼性チーム【研究チーム長 増田 淳】原 浩二郎 上級主任研究員らは、信越化学工業株式会社【代表取締役社長 斉藤 恭彦】（以下「信越化学」という）と共同で、シリコンゴムでできたシート状の封止材を用いた新たな結晶シリコン太陽電池モジュールを開発した。

開発した新しい太陽電池モジュールは、従来型の太陽電池モジュールで用いられていた高重量のガラス基板や可燃性の有機部材を用いていない。また、長期信頼性を確認するための評価試験を行ったところ優れた信頼性を示し、高い難燃性や、軽量化、非破損（割れない）、簡易に設置できるなどのメリットを生かして、新たな用途や従来とは異なる設置・利用法での導入が期待される。例えば、電気自動車（EV）などの車載用の太陽電池としての使用や、住宅の屋根材一体型としての結晶シリコン太陽電池の利用や壁面への設置などにより、スマートハウスへの利用拡大やネット・ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH）の実現に貢献できる可能性がある。

なお、この技術の詳細は、2016 年 9 月 13 日～16 日に朱鷺メッセ（新潟県新潟市）で開催される第 77 回応用物理学会秋季学術講演会で発表される。

\_\_\_\_\_は【用語の説明】参照



開発した太陽電池モジュールの外観(左)と、燃焼試験中の様子(右上)、試験後の裏面(右下)

## ■ 開発の社会的背景 ■

太陽光発電システムは、2012年7月から導入された再生可能エネルギーの固定価格買取制度により普及が急速に進んでおり、今後は太陽電池モジュールやシステムの長期信頼性や安全性がますます重要となる。例えば、住宅用の太陽光発電システムでは、モジュールの難燃性を高めることや破損を防ぐことにより、火災時における安全性をさらに高めることができると考えられる。

しかしながら、太陽電池モジュールは厳しいコスト競争にさらされており、一般的に、高コスト化につながる新しい高信頼性モジュールの開発や難燃性部材などの新部材の導入は難しいのが現状である。

## ■ 研究の経緯 ■

産総研 太陽光発電研究センター モジュール信頼性チームでは、これまで太陽電池モジュールの信頼性や寿命を向上させ、長期にわたり発電を維持するとともに、発電コストを低減するために、既存の太陽電池モジュールの劣化メカニズムの解明や、高信頼性のモジュールや部材の開発、信頼性評価技術の開発などを、民間企業や大学、公的機関と共同で実施してきた。

シリコン封止材は、1980年代に製作された初期の市販の太陽電池モジュールに用いられた実績があり、当時のシリコン封止材を使用した太陽電池モジュールは、設置から現在まで約30年の屋外設置においても安定して発電量を維持している報告例もある。信越化学は、従来のモジュール製造装置や工程が利用できる太陽電池用のシリコンゴムシート封止材を開発し、産総研と共同で太陽電池モジュールを作製し、信頼性評価を実施してきた。その結果、開発したシリコン封止材を用いたモジュールは屋内環境試験において優れた信頼性を示すことを明らかにした(2015年6月22日プレス発表)。しかしながら、シリコン封止材は一般的に用いられるEVA封止材よりも比較的高コストでありEVA封止材の代替とするとモジュールコストの増加を伴うため、シリコン封止材の導入が困難であった。

そこで、両者はシリコン封止材の使用によるモジュールコストの増加を抑制するとともに、難燃性などのシリコンの特長を活かした新しい太陽電池モジュールの開発と信頼性の評価を共同で行い、太陽電池の新たな用途や設置・利用法の開拓を目指すこととした。

## ■ 研究の内容 ■

従来型の結晶シリコン太陽電池モジュールと、今回開発した新モジュールの模式図を図1に示す。一般的な従来型のモジュールは、結晶シリコン太陽電池を厚さ約3mmの白板強化ガラスでできた表面材、EVA封止材、バックシート(裏面材)で封入したスーパーストレート構造を取り、反り防止や架台への設置・固定などのためにアルミフレームが取り付けられている。これに対して、今回作製したモジュールは、厚さ約500 $\mu$ mのシリコンゴムシート封止材と、厚さ約50 $\mu$ mの難燃性の高分子フィルム表面材、裏面材に絶縁処理をしたアルミ合金板で構成され、ガラス表面材を用いないサブストレート構造であるのが大きな特徴である。

新モジュールではアルミフレームを用いず、アルミ合金の裏面材により直接かつ簡単にモジュールを固定して設置することができる。従来型のモジュールに用いられるガラスやバックシート、アルミフレームなどの部材を削減することで、比較的に高コストのシリコン封止材を利用した場合のモジュール全体のコストの増加を抑制する狙いがある。

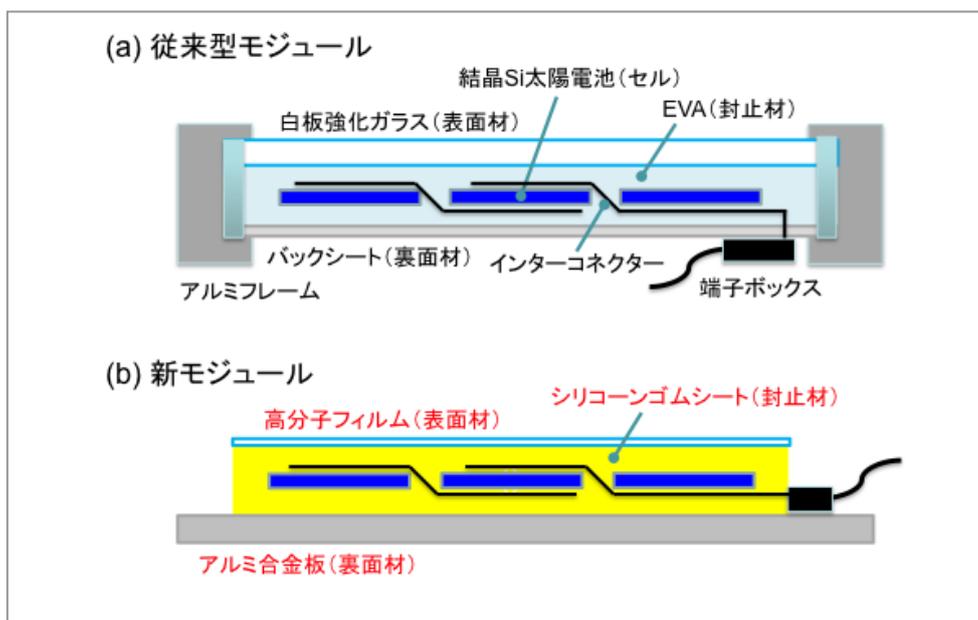


図 1 従来型モジュール(a)と開発した新モジュール(b)の模式図

また、難燃材料であるシリコン封止材や高分子フィルム表面材と、金属のアルミ合金裏面材を用いることで、モジュール全体を難燃化することができ、さらには、アルミ合金板の厚さを抑えることで軽量化することもできる(今回の試作モジュールは、同じサイズの従来型モジュールの約半分の重量)。例えば、難燃性や軽量性、非破損(割れない)などの新たな特長を活かした、車載用や屋根材一体型、壁面設置などでの太陽電池の利用が考えられ、スマートハウスへの利用拡大、ZEHの実現などにも貢献できる可能性がある。

次に、開発した新モジュールを用いて、耐衝撃強度、耐荷重強度、燃性評価、高温・高湿下での長期信頼性を確認するための評価試験を行った。

まず、開発したモジュールの耐衝撃強度を評価するために、鋼球落下試験を行った。鋼球(直径 38 mm、重さ約 225 g)を高さ 1 m からモジュールの表面に合計 3 回落下させ、試験前後の出力とエレクトロルミネセンス特性を評価した(図 2)。その結果、落下試験により従来型モジュールではセル割れが見られ、出力が初期値の 87 %に低下した。一方、新モジュールでは鋼球落下の衝撃により局所的にわずかな暗所部が見られるが、出力の低下はほぼ見られなかった。これは、シリコン封止材のゴム弾性により、鋼球の衝撃がセル全面に広がらなかったことが原因であると考えられる。

また、小型モジュール(40 cm 角)での試験ではあるが、荷重試験を実施したところ、モジュール表面へ約 88 kg の荷重(圧力で約 5400 Pa に相当)をかけても試験後にセル割れによる出力の低下は見られなかった。これらの結果から、試作モジュールが十分な耐衝撃強度や耐荷重強度を有し、今後の最適化により、長期の屋外設置でも十分に利用できる可能性があると考えられる。

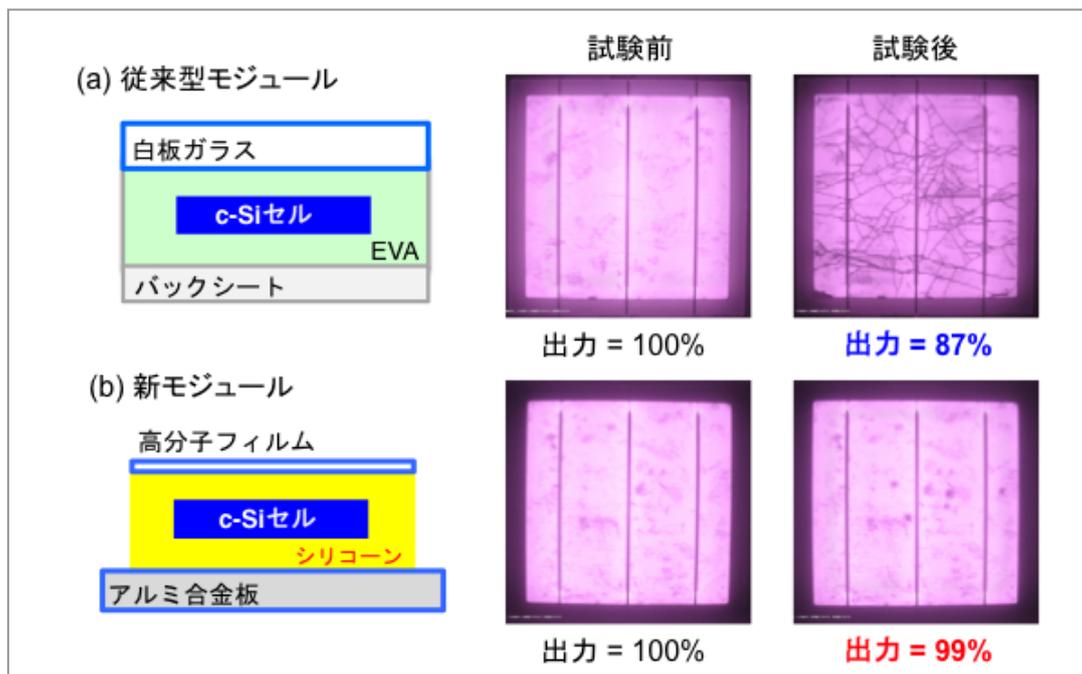


図 2 従来型モジュール(a)と新モジュール(b)の  
鋼球落下試験前後の相対出力とエレクトロルミネセンス画像

次に、新モジュールの燃性を評価するために、建築基準法第63条に基づく燃焼・飛び火試験を実施した。火種(木製、大きさ 80 mm × 80 mm × 60 mm)をそれぞれのモジュール上で燃焼させ、部材の燃焼や溶融、破損などの外観上の変化をチェックした(図 3)。白板強化ガラス、EVA 封止材、バックシートからなる従来型モジュールでは、試験によりガラスが割れ、火種下部の EVA 封止材とバックシートが燃焼し、ガラスや可燃性の有機部材への影響が大きいことがわかった(図 3(a))。これに対して、新モジュールでは、火種から生じた灰や樹脂成分が表面に付着していたが、シリコン封止材、フィルム表面材、アルミ合金板には大きな変化は見られなかった(図 3(b))。従来型モジュールも、実際に使用する際には設置環境での防火対策が施されているが、難燃性に優れた新モジュールを用いれば、火災時の安全性をこれまで以上に高めることができる。

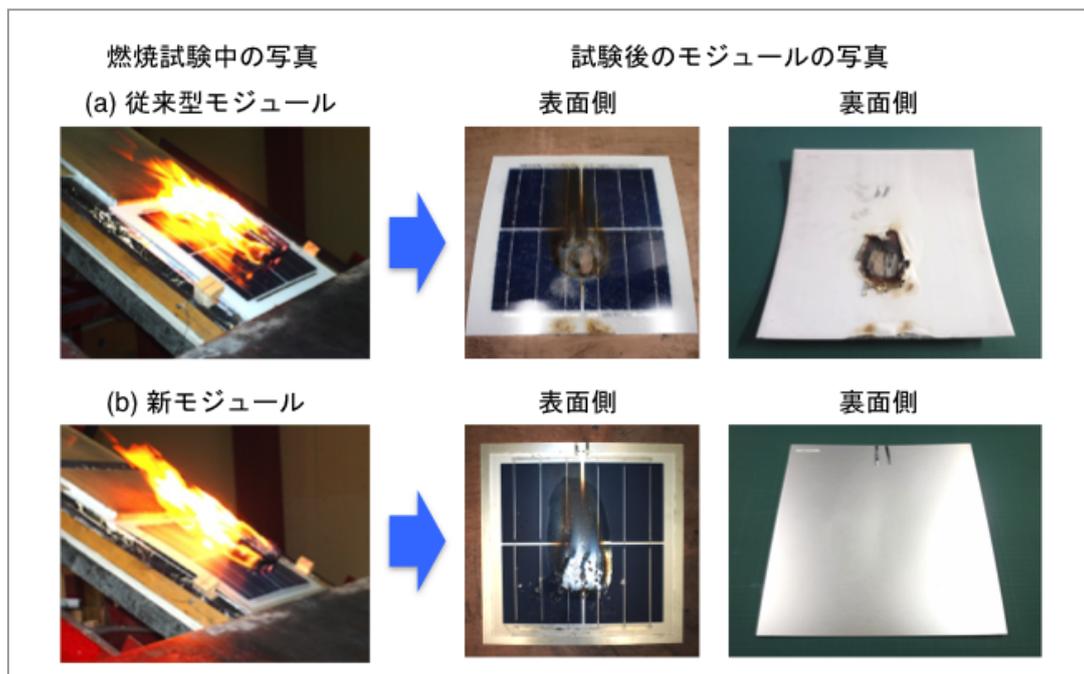


図3 従来型モジュール(a)と新モジュール(b)の燃焼試験中の様子と試験後の外観写真

さらに、新モジュールの高温・高湿条件下での長期信頼性を評価するために、温度 85 °C、湿度 85 %の条件下で高温・高湿(DH)試験を行った。その結果、3000 時間の DH 試験終了時点でも出力は低下しておらず、高温・高湿下での優れた長期安定性を示した。また、シリコン封止材とガラス表面材、バックシートからなるガラス型モジュールでは、DH 試験を 8000 時間実施した後においても出力は低下せず、試験前後のシリコン封止材の赤外吸収スペクトルを測定したところ、化学的な構造変化は全く見られなかった。これは、シリコン分子を形成するシリコン-酸素結合(Si-O)、あるいは、シリコン-炭素結合(Si-C)が、一般的な有機化合物の炭素-炭素結合(C-C)や炭素-酸素結合(C-O)よりも結合エネルギーが大きいことから、シリコン封止材は、長期の高温・高湿条件においても化学的に安定であり、これがモジュールの優れた長期安定性につながったものと考えられる。

以上の結果から、試作した太陽電池モジュールは太陽電池の新たな用途での利用や、設置・利用法の多様化の可能性を示すものと考えられる。

#### ■ 今後の予定 ■

今後は、現在実施中の温度サイクル試験(-40 °C~85 °C)や紫外線照射試験などの信頼性評価結果も踏まえて、実用途を想定したモジュールの開発へと展開していきたい。例えば、EV などの車載用太陽電池モジュールや、住宅の屋根材・建材一体型、外壁面へ設置できる太陽電池モジュールとしての用途を想定し、モジュールサイズや構造、部材の最適化、必要な信頼性試験などを、製造企業などとも協力して実施していく予定である。

---

**■ 本件問い合わせ先 ■**

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

太陽光発電研究センター モジュール信頼性チーム

上級主任研究員 原 浩二郎 〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町 807-1  
TEL:0942-81-3675 FAX:0942-81-3677  
E-mail:k-hara@aist.go.jp

信越化学工業株式会社

シリコン電子材料技術研究所

主席研究員 大和田 寛人 〒379-0224 群馬県安中市松井田町人見 1-10  
TEL:027-384-5310 FAX:027-384-5305  
E-mail:hiroto-oozawa@shinetsu.jp

---

**【産総研 再生可能エネルギー取材に関する窓口】**

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所  
産学官連携推進室 安田、池西  
〒963-0298 福島県郡山市待池台 2-2-9  
TEL:024-963-0813 FAX:024-963-0824 E-mail:frea-contact-ml@aist.go.jp

**【信越化学 取材に関する窓口】**

信越化学工業株式会社  
広報部 小石川 哲也、花岡 博文  
〒100-0004 東京都千代田区大手町 2-6-1  
TEL:03-3246-5091 FAX:03-3246-5096 E-mail:sec-pr@shinetsu.jp

## 【用語の説明】

### ◆シリコーン

無機のシロキサン結合を主骨格に持ち、側鎖に有機基がつながった構造をしている高分子化合物で、ポリジメチルシロキサン、 $(-\text{Si}(\text{CH}_3)_2-\text{O}-)_n$  などがある。化学的に安定で、ゴム材料、放熱材料、LED 材料、化粧品材料など、幅広く用いられる。

### ◆封止材

太陽電池セルの保護やガラスなどの部材との密着の目的で、モジュールに用いられる高分子材料。一般的には、無色透明のシート状の材料が用いられる。

### ◆結晶シリコン太陽電池

結晶シリコンをベースとする太陽電池。単結晶や多結晶のシリコンウエハーをスライスして(大きさ5インチ角、あるいは6インチ角、厚さは約200 μm)、発電に必要なp-n接合、集電のための電極、光の反射防止層などを形成して用いる。普及している太陽電池モジュールの9割以上が結晶シリコン太陽電池を用いている。

### ◆スマートハウス

ホーム・エネルギー・マネジメント・システムと呼ばれる家庭のエネルギー管理システムにより、家電、太陽光発電システム、蓄電池、電気自動車などを一元的に管理する住宅。

### ◆ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス(ZEH)

ゼロ・エネルギー・ハウスとも呼ばれる。省エネルギー設備に加えて、太陽光発電システムなどの導入により、創るエネルギー量が消費するエネルギー量と同等、あるいは上回る住宅。

### ◆屋内環境試験

太陽電池モジュールを屋外曝露して長期信頼性を評価する代わりに、屋内において比較的短期間で信頼性や不具合を評価する試験。例えば、温度85℃+湿度85%での高温・高湿試験、-40℃から85℃の温度サイクル試験、PID試験、荷重試験、絶縁試験などが行われている。

### ◆EVA

エチレンと酢酸ビニルの共重合体。一般的に、シリコンセルの保護、ガラスやバックシートとの密着などの目的でシート状のものが太陽電池モジュールの封止材として用いられる。

### ◆バックシート

太陽電池モジュールの裏面側に用いられるシート。一般的には、ポリエチレンテレフタレート(PET)やフッ素系の高分子フィルム、アルミ箔(はく)などからなる多層フィルムが用いられる。

#### ◆スーパーストレート構造

太陽電池モジュールの構造の一種で、太陽電池セルの受光面側に白板強化ガラスなどの支持基板があり、その下に透明な封止材で太陽電池セルを封入する方式。封止材への紫外線の影響や耐衝撃強度の観点から、一般的な市販モジュールで採用されている。

#### ◆サブストレート構造

太陽電池モジュールの構造の一つで、太陽電池セル裏側に支持基板があり、その上に透明な封止材で太陽電池セルを封入する方式。支持基板の選択により、モジュールを軽量化しやすいのが特長の一つであるが、封止材は紫外線の影響を受けやすい。

#### ◆エレクトロルミネセンス

ここでは、太陽電池モジュールに外部から電流を流し、太陽電池セルからの発光を観測することにより、セル割れや電極の剥離、劣化などを評価する技術を指す。

#### ◆ゴム弾性

ゴムなどの高分子物質が示す特異な弾性で、小さい力で大きな変形が起こり、力を除くと直ちにもとに戻る性質。または、伸縮のよい性質。

#### ◆建築基準法第 63 条

建築基準法は、建築物の敷地・設備・構造・用途についてその最低基準を定めた法律であり、第 63 条には、市街地において、火の粉による建築物の火災の発生・延焼を防止するために、屋根に必要とされる性能が定められている。

#### ◆高温・高湿(DH)試験

太陽電池モジュールの認証試験の一つで、Damp-heat (DH) 試験と呼ばれる。モジュールを、温度 85 °C、湿度 85 % の条件下で 1000 時間曝露し、試験後に初期出力の 95 % 以上を維持することと定められている。試験により EVA 封止材から生成し、残存する酢酸量と、長期屋外曝露したモジュール中の酢酸量との比較から、DH 試験 1000 時間は屋外曝露の 7~10 年に相当すると考えられている(試験モジュールや屋外環境条件に依存する)。

#### ◆赤外吸収スペクトル

有機化合物などの赤外線領域における吸収特性を測定したもの。分子に固有の吸収波長と強度から、物質の分子構造や化学反応後の構造変化の確認などに用いられる。