

高耐久性と環境負荷低減を実現する モノシート型太陽電池バックシートの開発

松永 直裕*, 伊藤 忠**, 白倉 幸夫***, 川島 敦****, 牧野 純一*****

Development of Monosheet-Type Photovoltaic Backsheet for High Durability and Environmental Impact Reduction

Naohiro MATSUNAGA*, Tadashi ITO**, Yukio SHIROKURA***, Atsushi KAWASHIMA****, and Junichi MAKINO*****

Abstract

Fujifilm has developed a highly durable photovoltaic backsheet. This photovoltaic backsheet is composed of a highly durable PET substrate, and a water-based functional layer (weather-resistant layer and EVA adhesive layer) coated onto the PET substrate. This photovoltaic backsheet is capable of ensuring long durability of the solar cell. Its lifetime is approximately 1.5 times longer than that of conventional photovoltaic backsheets, and this photovoltaic backsheet enables the reduction of environmental effects (greenhouse gas emissions, air pollution, resource consumption, and landfill waste) to approximately two-thirds per unit power generation amount in the life cycle.

1. INTRODUCTION

太陽光発電市場は、エネルギー・資源問題や地球環境問題への対応の重要性から急速に拡大しており、2010年の太陽光発電導入規模は20GW/年であったが、2020年には90GW/年に達すると予測されている。太陽光発電市場は、太陽光発電の導入を支援する各国のエネルギー政策に支えら

れ、販売数量は毎年拡大推移しており、世界太陽光発電の需要地は、欧州から、日本・中国等のアジアや米国へと拡大している。

また、太陽光発電市場の拡大に伴い、後述する太陽電池部材であるバックシート需要も拡大しており、2010年のバックシート世界販売量は130百万 m^2 であったが、2020年には480百万 m^2 に達すると予測されている (Fig. 1)¹⁾。

本誌投稿論文 (受理2015年12月8日)

*富士フイルム (株) R & D 統括本部
高機能材料研究所

〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

**Highly Functional Materials Research Laboratories
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa
250-0193, Japan

***富士フイルム (株) R & D 統括本部
高機能材料研究所
〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

**Highly Functional Materials Research Laboratories
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8577, Japan

***富士フイルム (株) R & D 統括本部
生産技術センター
〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210

*** Production Engineering & Development Center
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa
250-0193, Japan

****富士フイルム (株) 富士宮工場
機能性材料技術部
〒418-8666 静岡県富士宮市大中里200

**** Functional Materials Technical Division
Fujinomiya factory
FUJIFILM Corporation
Onakazato, Fujinomiya, Shizuoka
418-8666, Japan

*****富士フイルム (株)
産業機材事業部 産業材料・機器グループ
〒107-0052 東京都港区赤坂9-7-3

***** Industrial Material and Equipment Group
Industrial Products Division
FUJIFILM Corporation
Akasaka, Minato-ku, Tokyo
107-0052, Japan

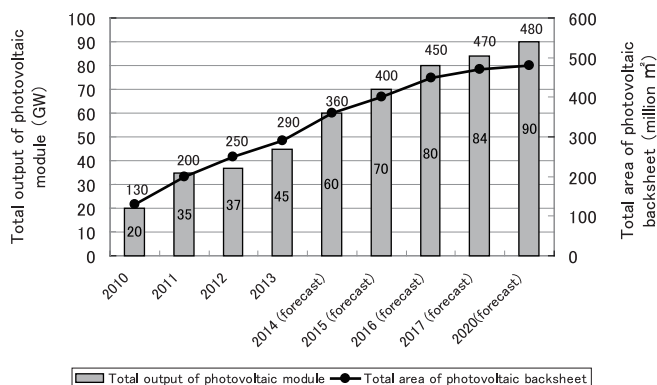


Fig. 1 Change of the world wide photovoltaic module and photovoltaic backseat market

このような市場拡大の背景には、太陽光発電システムが、既存の火力発電などに比べ、発電時に温室効果ガスや化石燃料燃焼に伴う大気汚染物質が発生しないという利点や、太陽光という半永久的に確保可能な自然エネルギーから電力を得られる利点を有しており、石油資源枯渇への対策としての期待が大きい点が挙げられる。例えば、住宅用太陽光発電システムのライフサイクルにおける単位発電量あたりのCO₂発生量は、多結晶Si系太陽電池であれば、日本平均電力の約1/7～1/8以下に低減できるとの報告がある²⁾。

今後、より一層の環境負荷低減に向け、太陽電池の材料となる物質（化石資源・希少金属など）の消費量や廃棄物の発生量を低減すべく、太陽電池の耐用年数の向上が望まれている。

この太陽電池の耐用年数に大きく関与する部材として、太陽電池バックシートがある。太陽電池バックシートは、太陽電池モジュールの裏面に使用され、太陽電池セルを風雨や紫外線等から保護している。また、太陽電池モジュールの軽量化のために高分子フィルムが使われている。

従来の太陽電池バックシートは、一般的なPETを支持体とし、耐候性フィルム、封止材EVA易接着フィルムからなり、PET支持体を挟み込む形で貼り合わせた構成である。このため、長期間にわたる屋外の厳しい環境下でのPET支持体の劣化によるヒビ割れなどによって、太陽電池セルの寿命が低下するリスクがあり、太陽電池の耐用年数向上の観点で、その解決手段が強く求められていた。また、従来のバックシートは、環境負荷の大きな有機溶剤やフッ素樹脂を多く用いて生産されており、この観点での環境負荷低減を実現する生産プロセスが求められていた。

以上のような背景から、われわれは、太陽電池モジュールの耐用年数向上による環境負荷低減、および太陽電池バックシートの生産プロセス革新による環境負荷低減を目的に新規太陽電池バックシートの開発を行った。

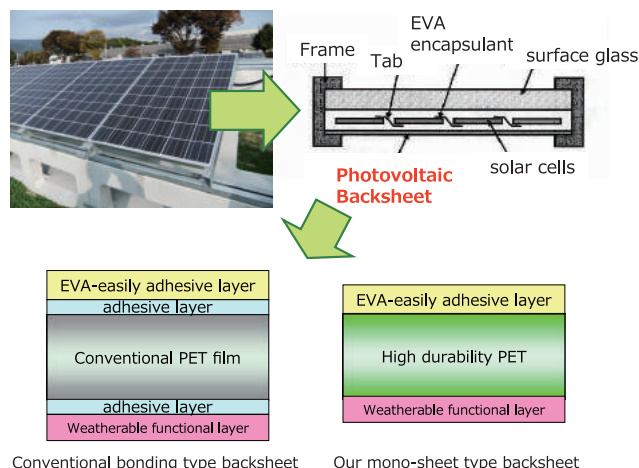


Fig. 2 Photovoltaic module and constitution image of our photovoltaic backseat

2. DEVELOPMENT and TECHNIQUE

われわれは、超高耐久PET支持体により、太陽電池モジュールの耐用年数を向上させ、同時に、環境負荷の大きい有機溶剤を無くし、オール水系の耐候性樹脂層とEVA易接着層の一貫塗布による生産プロセス革新によって、高耐久性と環境負荷低減を実現する太陽電池バックシートの開発に成功した³⁾。

Fig. 2に、通常使われている太陽電池モジュールの断面、および従来の貼り合わせ型バックシートと、今回開発したモノシート型バックシートの構成イメージを示す。

太陽電池モジュールは、表側から、ガラス、EVA（エチレン酢酸ビニル共重合体）封止材、太陽電池セル、太陽電池バックシートから構成されており、本太陽電池バックシートは、超高耐久PET支持体に、耐候性機能層とEVA易接着層を塗設した構成になっている。

以下に、新たに開発した高耐久性モノシート型太陽電池バックシートに搭載した技術について説明する。

2.1 超高耐久PET支持体技術（太陽電池モジュールの耐用年数向上による環境負荷低減）

超高耐久PET支持体技術は、PETの加水分解反応の原因となるPET分子の末端カルボキシル基の極少化技術（一次構造制御）と、加水分解しにくい分子配向制御技術（高次構造制御）の2つから構成される。これらの構造制御は、PET樹脂の重合処方最適化と固相重合、および新規に開発した製膜プロセス技術により実現した。

2.1.1 PET分子の末端カルボキシル基の極少化技術（一次構造制御）

PETの加水分解反応は、Fig. 3で示す反応式で進行するが、末端のカルボン酸がエステルの加水分解反応の酸触媒としてPETの加水分解を促進し、この加水分解によって、PETの分子量が低下して、力学強度の低下を引き起こす。このため、

末端のカルボン酸を低減することで PET の耐加水分解性を向上させることが可能となる。

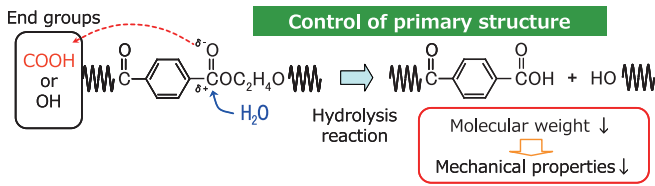


Fig. 3 Hydrolysis reaction of the PET

超高耐久性PETに使用するPET樹脂は、熔融重合と固相重合の2段階で作製する。熔融重合では、従来から使われているSbのような重金属触媒ではなく、環境に優しく、かつ高触媒活性な新規軽金属キレート化合物を採用した。この触媒と、他の添加剤類との組み合わせにより、末端カルボキシル基を低減させ、高耐熱性を有するPET樹脂を実現した。加えて、このPET樹脂を固相重合させることで、高分子量化と同時に末端カルボキシル基を極小化した（従来比約1/3）。このPETは、Fig. 4に示すように湿熱試験後の破断伸度保持率を従来比で約10倍に向上している。

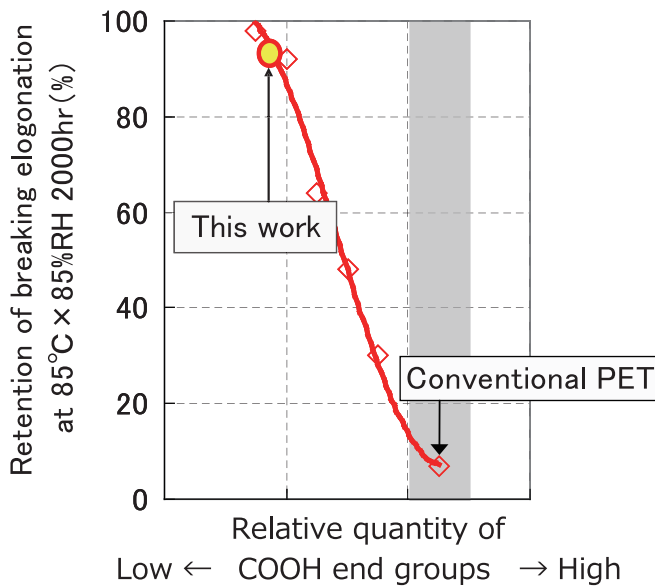


Fig. 4 Change of retention of breaking elongation of PET after humidity and heat test by the control of primary structure of PET

2.1.2 分子配向制御（高次構造制御）

さらに、PETの耐久性を向上させるために行ったPETの高次構造制御について説明する。一般によく知られているように、PETは非晶部と結晶部から成り、運動性の高い非晶部が加水分解されやすくなる。このため、PETを高延伸することで、この非晶部を高配向にし、PETのガラス転移温度（Tg）を高くした結果、運動性を低減させて耐加水分解性を向上させること成功した。Fig. 5に高延伸PETの生産イメージを、Fig. 6に高延伸PETによる湿熱試験後の破断伸度保持率の改良効果を示す。

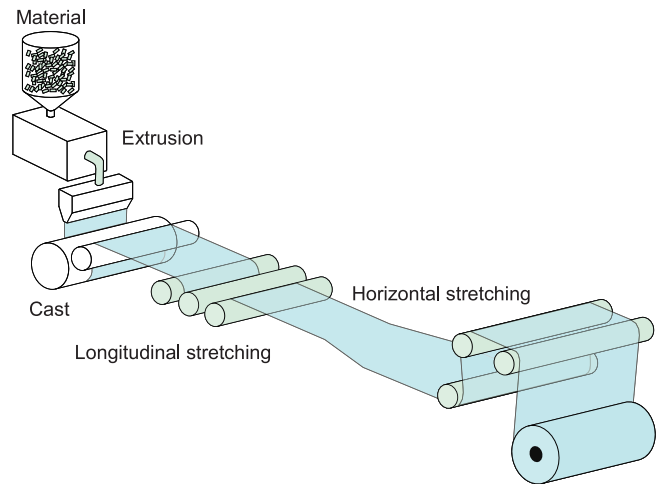


Fig. 5 Production image of high orientated PET

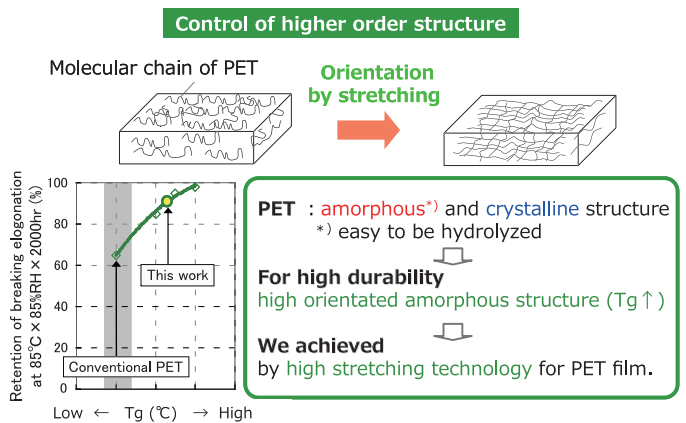


Fig. 6 Change of retention of breaking elongation of PET after humidity and heat test by the control of higher order structure of PET

なお、Fig. 5において、PETは押出機内でスクリーにより熔融、押し出され、回転ドラム上にキャストされシート状とし、縦方向、次いで横方向に延伸することでフィルム化する。本プロセスにおいて、独自の専用スクリーや精密温度制御等を盛り込むことで、熔融押し出し時のPETの劣化による末端カルボキシル基の増加を従来プロセスの約1/3以下に抑制している。

2.2 耐候性機能層/EVA易接着層技術（太陽電池用バックシートの生産プロセス革新による環境負荷低減）

前述のFig. 2に示したように、従来の太陽電池バックシートは、一般のPET支持体に、フッ素樹脂からなる耐候性フィルムや封止材EVA易接着フィルムを貼り合わせて作製している。

一方、われわれは、従来のバックシートに対し、PET支持体上にこれらの機能を有する層（耐候性機能層/EVA易接着層）をオール水系塗布で設け、有機溶剤の排出がなく、環境負荷の大きいフッ素樹脂の使用量を削減し、かつ貼り合わせ工程がない、環境負荷を大きく低減可能な太陽電池バックシートを開発した。

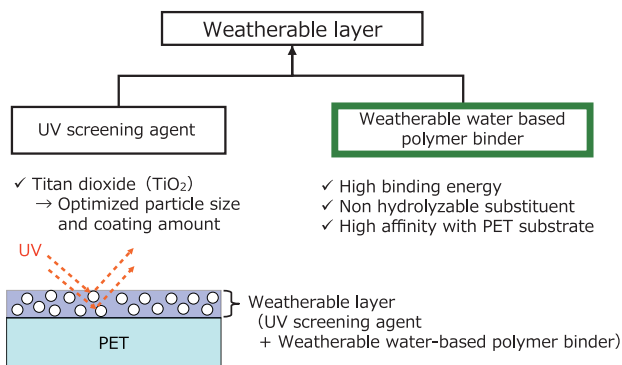


Fig. 7 Design concept of weatherable functional layer

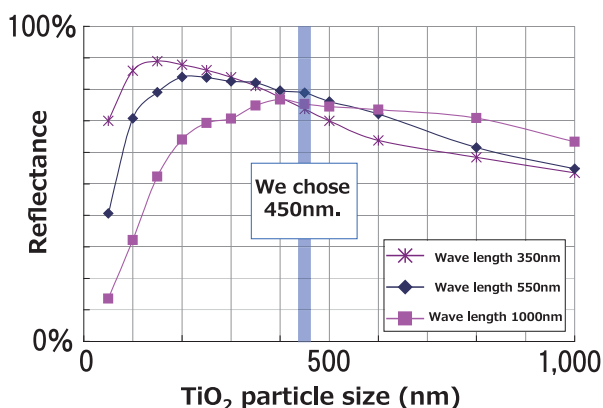


Fig. 9 Relationship between TiO₂ particle size and reflectance by using optical simulation

2.2.1 耐候性機能層技術

耐候性層に必要な、UV遮蔽剤と耐候性水系バインダーの設計について、Fig. 7に示す。

UV遮蔽剤は、Fig. 8に示すように、結晶Si太陽電池の分光感度が高い可視域～近赤外域の反射（発電効率）が最大となるように設計する必要がある。UV遮蔽剤に酸化チタンを用い、この反射率が最大となる酸化チタン（TiO₂）の粒子径を光学シミュレーションにて導出した結果、約450nmとなった（Fig. 9）。この最適粒子径で、UV遮蔽に必要な酸化チタン塗設量を決定した。

次に、前述のTiO₂を包含する、耐候性水系バインダーの選択について説明する（Fig. 10）。

まず、UV光耐性は、自然光の最大UV波長の光エネルギー411kJ/molよりも、高い結合エネルギー構造を持つバインダーの観点から、Si-Oを選択した。また、湿熱経時での耐加水分解性については、エステルのような加水分解しやすい構造を持たない、PET基材と親和性の高いバインダーを設計した。これらによって、環境負荷の大きいフッ素樹脂の使用量を大きく削減することに成功した。

前述の耐候性水系バインダー技術によって得られた耐候性機能層の性能を、耐久性加速試験後のクロスカットテープ法で密着評価した。

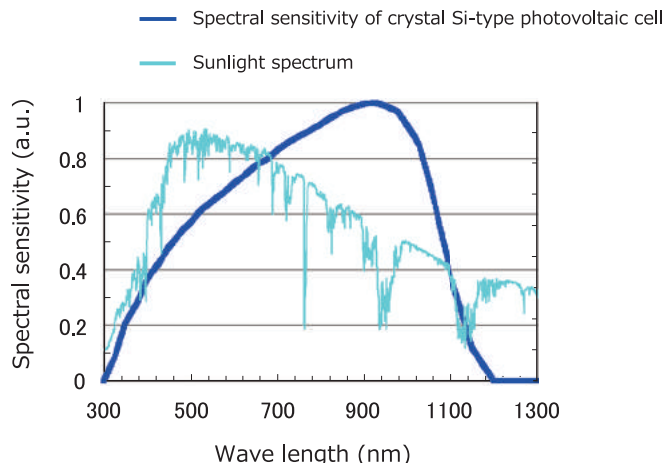


Fig. 8 Spectral sensitivity of crystal Si-type photovoltaic cell

Weatherable water-based polymer binder

(1) UV resistance

- ✓ polymer binder, which has a higher binding energy than the maximum light energy of natural UV light

	Binding energy [kJ/mol]		Binding energy [kJ/mol]
C-H	416	O-O	145
C-C	357	C-F	489
C-O	329	Si-O	444

Maximum light energy of natural UV light : 411 kJ/mol

(2) Hydrolysis resistance (Heat and humidity resistance)

Hydrolysis linking agents (ex.)

<easily> ester > <hardly> urethane > amide

↓

✓ We designed the polymer binder, without hydrolyzable substituents.

Fig. 10 Design concept of binder in weatherable functional layer

	Our mono-sheet type	Conventional bonding type I	Conventional bonding type II
Heat/Humidity test @120°C×100%RH ×60hr.	Good	Bad	Bad
UV resistance test @65°C×50%RH ×UV75mW/cm ² ×1000hr.	Good	Good	Bad/Yellowing

Fig. 11 Cross-cut adhesion test after accelerated durability (heat/humidity and UV resistance) test

クロスカット法は、ナイフで基盤の目の切込みを入れて、その上にテープを貼って剥がすことでフィルムの密着性を評価する方法である。

Fig. 11に示す通り、120°C、100%RH、60時間の湿熱試験、65°C、50%RH、UV光75mW/cm²、1000時間の耐光試験においても、従来の貼り合わせ型バックシートに比べ、本太陽電池バックシートは、変色もなく、優れた密着性能を有していることがわかる。

2.2.2 EVA 易接着層技術

前述の通り、従来の太陽電池バックシートは、封止材EVA易接着フィルムをPET支持体に貼り合わせる工程が必要であったが、環境負荷低減の観点から、本バックシートは、貼り合わせ工程を不要にするモノシート型とした。

モノシート型にするためには、封止材EVAとの接着、PETとの接着の2つの機能が必要であることから、EVA易接着層バインダーとして、それぞれ、接着仕事、破断伸度の観点で探索し、特定のオレフィン系バインダーを選択した。

上記で選択したオレフィン系バインダーを用いたEVA易接着層を搭載した本太陽電池バックシートは、Fig. 12に示す通り、湿熱試験後も封止材EVAとの高い密着力を維持していることがわかる。

		Our mono-sheet type	Conventional bonding type I	Conventional bonding type II
Adhesive strength (N/mm) @Glass/EVA Peeling test	Condition1	9.4	9.5	6.3
	Condition2	8.9	0 fracturing	0 fracturing

Condition1 : Fresh

Condition2 : 120°C×100%RH×60hr

Fig. 12 Adhesive strength evaluation between the EVA easily adhesive layer and the EVA

3. RESULT and DISCUSSION

前述した技術を搭載した、本太陽電池バックシート、および既存の太陽電池バックシートを用いて作製した太陽電池モジュールに対し、125°C、100%RH、96時間の湿熱耐久試験を行った結果をFig. 13に示す。本バックシートを用いた太陽電池モジュールは、PETの湿熱劣化に伴うクラックが全く発生しておらず、他のバックシートに比べて、耐久性が高いことがわかる。

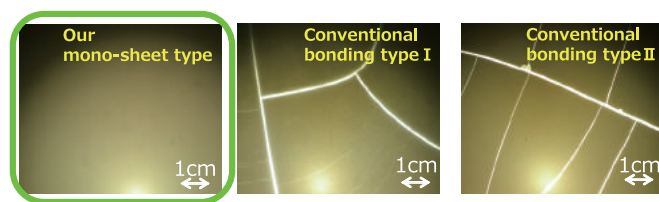


Fig. 13 Appearance of photovoltaic module after accelerated durability (humidity and heat ;125°C × 100%RH × 96hr) test observed by the photograph under high output lamp

さらに、Fig. 14は、本太陽電池バックシートを用いた太陽電池モジュールに対して、85°C、85%RHでの湿熱試験での太陽電池モジュールの出力 (Pmax) の時間変化を示す。本太陽電池バックシートを用いた太陽電池モジュールは、初

期の発電性能を長期間維持し、耐用年数が従来比約1.5倍に向上していることが分かる。

これは、従来品の耐用年数が20年相当であれば、30年相当に向上することを意味している。

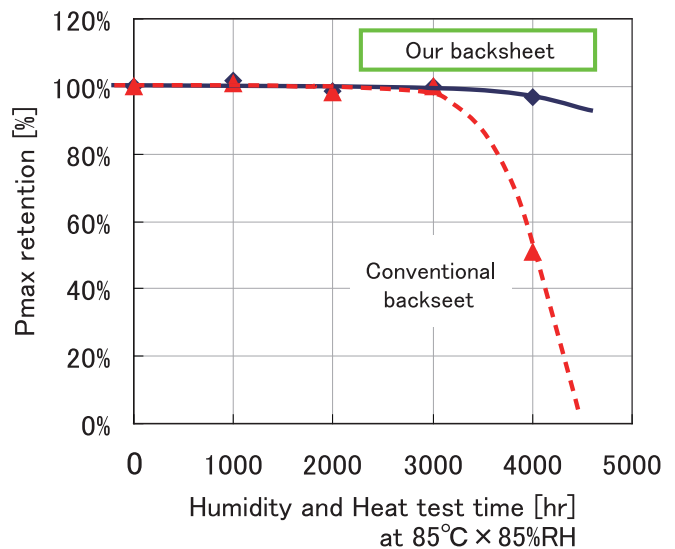


Fig. 14 Change of generated maximum power (Pmax) of photovoltaic module after accelerated durability (humidity and heat ;85°C × 85%RH) test

今回開発した高耐久モノシート型太陽電池バックシートを用いた太陽電池は、従来型のバックシートを用いたものに対して、約1.5倍の耐用年数の向上が可能であり、太陽光発電システムのライフサイクルにおける単位発電量あたりの環境負荷²⁾(温室効果ガス、大気汚染、資源消費、埋立廃棄物)を約2/3に削減可能である。

また、バックシート単体の環境負荷の観点でも、本バックシートは、超高耐久PET支持体に耐候性機能層やEVA易接着層をオール水系塗布プロセスにより付与したモノシート型の構成であるため、従来の貼り合せ型バックシートのような貼り合せ工程が不要で、廃材の発生がなく、製造プロセスでの有機溶剤廃液や排気ガスの発生がほとんどない。このため、バックシート単体での比較でも、本バックシートは、従来型のバックシートと比べ、CO₂排出量を約1/4に削減可能であり、環境負荷低減に貢献している。

さらに、本太陽電池バックシートは、第三者認証機関で以下の①～③の認証を取得しており、高い信頼性を実現できることが認められている。

- ① 通常認証の3倍の過酷条件で評価される、TÜV SÜDでの、本太陽電池バックシートを用いた太陽電池モジュールのプレミアム認証。
- ② 太陽電池バックシートとしてのJETの部材認証。
- ③ TÜV SÜD, TÜV Reinlandでの太陽電池バックシートとしての部分放電電圧1000V試験。

Application of this technology to other fields

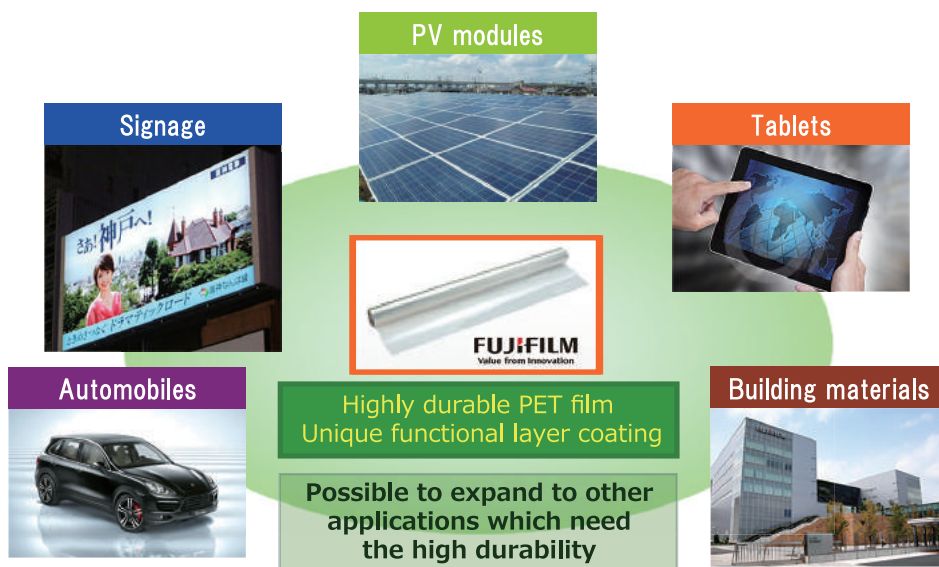


Fig. 15 Possibility of Application of this technology to other fields

4. CONCLUSION

最後に、これまで説明してきた技術内容および成果についてまとめる。

(1) 環境負荷の低減

超高耐久PET技術、水系塗布の耐候性技術を駆使した、高耐久性モノシート型太陽電池バックシートの開発により、

- ・太陽電池モジュールの耐用年数を、従来比約1.5倍に向上させ、生産に関わるCO₂排出量を従来比約2/3に削減することを可能した。
- ・太陽電池バックシート自体の生産に関わるCO₂排出量を、従来バックシート比約1/4に削減することを可能にした。

(2) 技術、研究の発展性

今回開発した、超高耐久PET支持体技術、水系塗布の耐候性技術は、太陽電池バックシートだけでなく、タブレット、建材、自動車、サイネージ等の他の用途への展開が可能であり、高耐久性付与や環境負荷低減等に大きく期待される (Fig. 15)。

現在、当社の太陽電池バックシートは、日本国内で一貫製造した後、太陽電池の主力生産地である中国を中心に販売を開始しており、本バックシートを搭載した太陽電池が全世界に向けて出荷されている。本バックシートの高い耐久性、信頼性が、多数の顧客から好評を得ており、その販売数量を大きく伸ばしている。今後、さらに顧客の期待や要望に応えるべく、性能向上を追及していきたい。

最後に、本研究を進める上で、ご指導頂いた方々および本材料の開発に携わり、ご協力頂いた方々に厚く感謝いたします。

参考文献

- 1) 大阪マーケティング本部第三事業部 調査・編集. 太陽電池関連技術・市場の現状と将来展望. 2014年版, 富士経済, 2014, 224p.
- 2) みずほ情報総研. “平成19年度—平成20年度成果報告書 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究報告書”, NEDO成果報告書, 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 2009,(報告書年度 2007-2008: 管理番号 20090000000073).
- 3) 山崎一樹, 白崎裕一, 川島敦, 白倉幸夫, 伊藤忠. 第3回 JACI/GSC シンポジウム予稿集. 東京, 2014-5-22/23. 新化学技術推進協会.

商標について

- ・本論文中で使われている会社名, システム・製品名は, 一般に各社の商標または登録商標です。