

フラットな両面受光型太陽電池パネルと設置方法の開発

Development and application of bifacial solar panels electrically connected at the end face

技術開発部 プロジェクト研究科 小野裕道 三瓶義之 松本聖可

会津若松技術支援センター 産業工芸科 原朋弥

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (AIST) 福島再生可能エネルギー研究所 (FREA)

高遠秀尚、白澤勝彦、立花福久、伊野裕司

東北芸術工科大学 堀内芳明

福島双羽電機株式会社 本田剛

アンフィニ株式会社 木村太亮 根本克広 阿部正範

太陽光発電のさらなる普及には、太陽電池パネルの市街地への設置が求められている。近年普及しつつある両面受光型太陽電池パネルは、垂直に設置する例が多く、設置箇所の拡大が期待される。このため、ハイテクプラザと県内企業2社、東北芸術工科大学、産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所と共同でフラットな両面受光型太陽電池パネルを開発し、設置形態の考案に取り組んだ。本年度は、パネル端面での電線取出し口と放熱性を高めたバイパスダイオード、太陽電池パネルの加飾手法を開発したので報告する。

Key words: 両面受光型太陽電池パネル、バイパスダイオード、デザイン

1. 緒言

再生可能エネルギーで発電した電力の固定価格買取制度 (FIT) の導入により、再生可能エネルギー発電設備は増加を続けている。これに加え、本県は「福島新エネ社会構想¹⁾」の実現に向け、再生可能エネルギー関連産業の支援に取り組んでいる。

再生可能エネルギー発電設備の中で、比較的発電量の予測が容易な太陽光発電は、メガソーラーなど大規模発電設備を中心に導入が進み、県内に設置された太陽光発電施設の設備容量は、令和2年度には2846[MW]に達した²⁾。これは平成25年の県内の太陽光発電施設の設備容量に比べ10倍にあたる。他方、市街地での太陽電池パネルの設置は、住宅やビルの正味のエネルギー消費量を削減するZEH (Net Zero Energy House) やZEB (Zero Energy Building)³⁾の電源として関心が高まっているものの、広い設置面積が必要なことから、あまり進んでいないのが現状である。

これに対し両面で受光し発電する両面受光型太陽電池パネルは、垂直に設置しても総発電量の低下が少ないため、設置面積が小さくて済み、市街地での設置拡大が期待されている。

これまでハイテクプラザでは、パネル裏面に取り付けられていたジャンクションボックス内のバイパスダイオードをパネルに内蔵させ、裏面がフラットなパネルを製造する技術を開発してきた。

この技術を両面受光型太陽電池パネルに適用すれば、パネル両面がフラットになり、これまでガラスやプラスチックで作られていた屋外の仕切り板や看板、案内板などに両面受光型太陽電池パネルを使用できるようになり、用途の拡大が見込まれる。また、意匠性の向

上も期待され、廉価な海外品と差別化できる。

そこで、ハイテクプラザでは福島県内の企業2社と産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所 (FREA)、東北芸術工科大学と共同で、フラットな両面受光型太陽電池パネルの開発と、その市街地向けの設置形態の考案に取り組んだ。

本研究では、太陽電池パネルの設置に必要なパネル端面での電線取出し口及び放熱性を高めたバイパスダイオードを開発し、これらを組み込んだ太陽電池パネルの加飾手法を開発した。

2. 実験及び結果

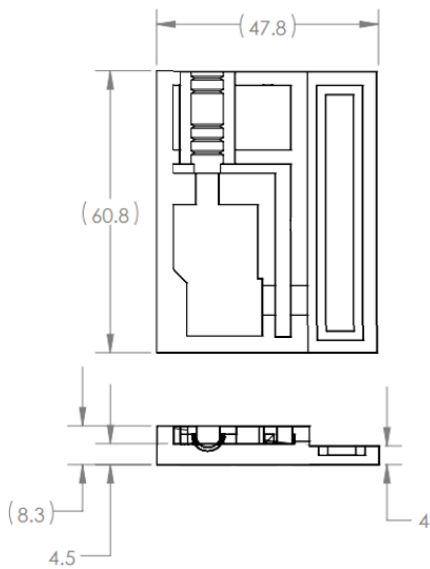
2. 1. 電線取出し口の水没試験

市街地への太陽電池パネル設置を考えると、電線取出し口とケーブルは通行者の手に触れられないよう露出を抑えることが求められる。

太陽電池パネルの出力電流は10[A]を超えるため、接続の信頼性確保のために、電線は内部配線のタブ線とはんだ付けする必要がある。タブ線と電線を接続するジャンクションボックスは、太陽電池パネルの裏面に配置されることが多い。開発する両面受光型太陽電池パネルは、受光の妨げにならないよう電線取出し口を、太陽電池パネルの端面に取り付け、設置時には柱に内蔵される仕様とした。また、試作・評価に用いる太陽電池パネルは太陽電池セルが4枚入る1辺400[mm]の小型の太陽電池パネルとした。



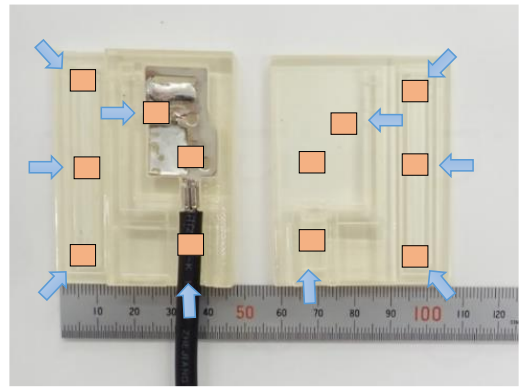
(a) 電線取出口の外観



(b) 電線取出口の詳細図

図1 電線取出口の設計

これまで設計した太陽電池パネルと柱に内蔵させる電線取出口の外観を図1(a)に⁴⁾、この電線取出口の詳細図を図1(b)に示す。昨年度の設計に比べ、水の浸入を妨げる箇所を減らし、47.8[mm]×60.8[mm]に小型化した。電線は太陽光発電設備に使うケーブルとした。この取出口は、漏電故障を起こさぬよう、IPX7 (JIS C 0920) の防水性能が求められる。そこで取出口を試作し、電線取出口内部に太陽電池パネルのガラス面やケーブルまわりの浸水が起こらないか観察した。



← 浸水経路 □ 水濡れ検知シート

図2 造形した電線取出口と水濡れ検知シートの貼り付け位置

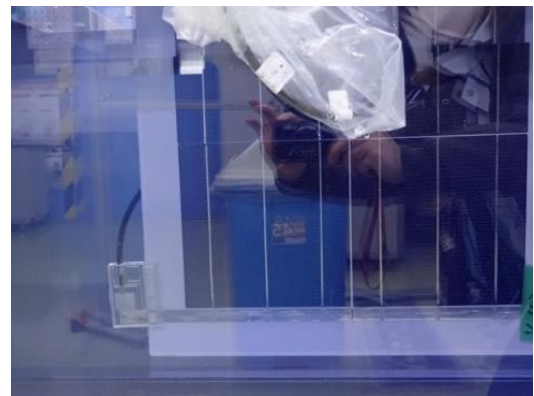
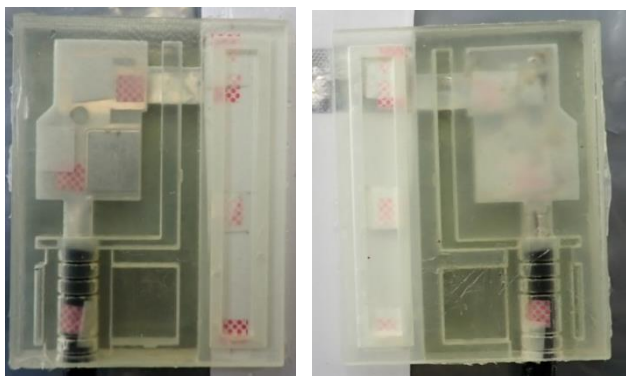


図3 水没させた端子取出口

電線取出口は3Dプリンタ(株式会社キーエンス社製アジリスタ)により造形した。2つの部品で太陽電池パネルのガラス板を挟む構造であり、部品とガラス、ケーブルをシリコン接着剤で固定した。水の浸入経路は、シリコン接着剤と各部品との界面であると考えられるため、それらの界面に水濡れ検知シートを設置した。図2に電線取出口を示し、想定した水の浸入経路を青矢印で、水濡れ検知シートの貼り付け位置を橙色の四角形で示す。水濡れ検知シートは、表面がシリコンゴムで覆われるとインクが濡れ広がらず水濡れを検知できない。このため、水濡れシートの上にもろ紙を重ねて接着し、シートが濡れると、ろ紙にインクが移り、検知できるようにした。接合には透明なシリコン接着剤を使用し、外側からインクのにじみを観察できるようにした。

図3に示すように試料を水槽の水深30[cm]に沈め60[分]間静置した。太陽電池パネルの配線が引っ張られることを想定し、電線は90度に屈曲させた。観察結果を図4に示す。水濡れ検知シートが赤色に反応したところはなかった。また、電線とタブ線のはんだ付け部に水が流れ込むこともなかった。電線取出口は良



(a) 表面 (b) 裏面

図4 水没後の水濡れ検知シートの観察

好に防水できていたと考えられるが、量産する場合、組み立てを簡単にするため、ケーブルと電線取出口の間にシリコン接着剤を塗らない場合などが考えられる。また、電線取出口は本試作より小型にすることも求められる。これらは今後の課題である。

2. 2. インラミネート型ダイオードの開発

2. 2. 1. ダイオードの開発

両面受光型太陽電池パネルは、図5に示すようにガラス板の間にはんだ付けした太陽電池セルとインターコネクタ、タブ線をエチレン・酢酸ビニル共重合体 (Ethylene-vinyl acetate copolymer 以下EVA) フィルムに挟んで、ラミネートされた構造である。太陽電池パネルにバイパスダイオードを内蔵させるためには、太陽電池セルとインターコネクタを合わせた厚さと同程度の0.9[mm]以下の厚さであることが求められる。また、ダイオードは内部保護のため樹脂で封止されることが一般的であるが、バイパスダイオードは電流を迂回させた際の発熱を逃がすために放熱性も必要である。そこで放熱性の向上を重視し、樹脂で封止しないタイプのインラミネート型バイパスダイオードを試作した。これは、太陽電池パネルのラミネート加工時に、EVA樹脂で封止することで内部の保護を図っている。条件を満たすバイパスダイオードの試作は、福島双羽電機株式会社が取り組んだ。

開発したインラミネート型バイパスダイオードを図6に示す。内部のはんだは、クリームはんだをスクリーンで印刷し、リフロー炉で接合した。

太陽電池パネル内のインターコネクタは、昼夜の温度変化により伸縮する。このため、バイパスダイオードの電極を、変位を吸収するばね形状にプレス加工した。ばね形状を加えたインラミネート型バイパスダイオードを図7に示す。

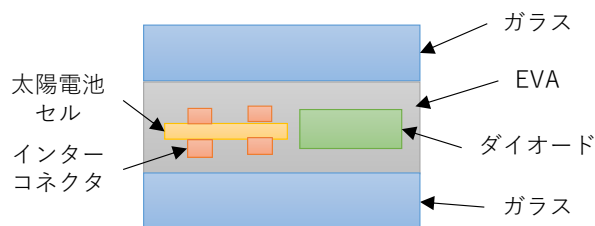


図5 両面受光型太陽電池パネルの構造

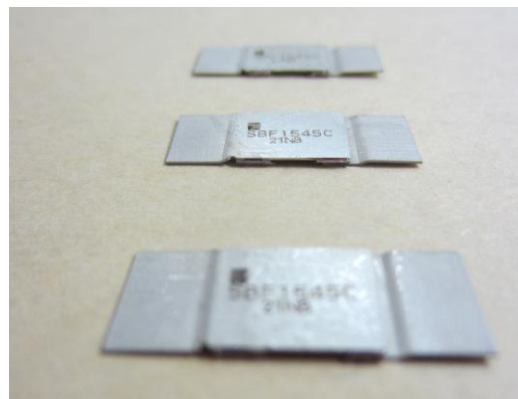


図6 インラミネート型バイパスダイオード



図7 ばね構造付きバイパスダイオード

2. 2. 2. ラミネート試験

試作したインラミネート型バイパスダイオードは、太陽電池セルと共にEVA樹脂で封止して使用する。ダイオードは電極間に隙間があり、そこにEVA樹脂が充填される構造である。隙間にあった空気がモジュール外に排出されず気泡として残れば、ダイオードの絶縁不良など故障の要因となる。

開発したインラミネート型バイパスダイオードを太陽電池パネルを模擬してラミネートし、気泡の有無を確認した。ガラスの上にEVA、ダイオード、EVA、透明バックシートの順にのせ真空中で加温ラミネートする。ラミネート後の外観を図8に示す。また気泡による樹脂の配向を観察するため、偏光板により観察した結果を図9に示す。どちらの結果からも、ダイオードの隙間に気泡が発生せず、良好にラミネートされていることが分かった。



図8 ラミネートしたバイパスダイオード

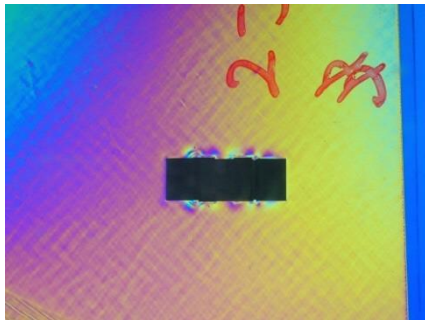


図9 ラミネート試料の偏光板観察

2. 2. 3. 超音波顕微鏡による樹脂剥離観察実験

太陽電池パネルは屋外に設置されることから、季節や気温の変化で熱膨張の影響を受けるため、導線とEVA樹脂が剥離することがある。この剥離を非破壊で検査するため、超音波顕微鏡 (IS-350 インサイト社製) 観察を行った。

太陽電池パネルにラミネートされたダイオードを模した試料を作製するため、厚さ 0.2mm の銅板を EVA で挟みラミネート加工した。断面の構造を図 10 に、外観を図 11 に示す。

この試料の樹脂の配向を観察するため、偏光板で観察した。また、超音波顕微鏡を用い超音波を PET film 側から入射し、反射波の |Peak| (Peak の絶対値) と TOF (Time of Flight) の 2 種類の方法で観察した。観察条件を表 1 に示す。ここで、|Peak| は観察したい反射波の最大振幅の絶対値を、TOF はトリガーから観察したい反射波までの時間差を測定している。

2. 2. 4. 超音波顕微鏡による樹脂剥離観察結果

試料を偏光板で観察した結果を図 12 に示す。右側の銅板の周囲でガラスと EVA 樹脂の界面に剥離が発生していることが確認できた。また、超音波顕微鏡で観察した結果を図 13 に示す。|Peak| 測定より TOF 測定の方が反射界面をコントラスト良く確認できた。

本測定では、超音波顕微鏡の TOF は PET film 表面からの反射波をトリガーとして Peak までの時間差を示す。EVA とガラスの界面で剥離が発生することによ

り EVA の層厚が変化したと考えられ、この層厚の差を観察したため、コントラスト良く観察されたと推測される。

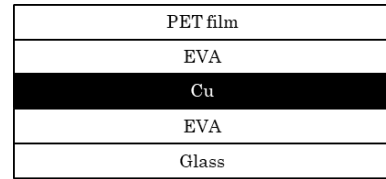


図10 ラミネート試料の断面図

太陽電池パネルの電極 (銅板)



図11 ラミネートした電極の外観

表1 超音波顕微鏡の観察条件

Transmission frequency	50MHz
Gain	20dB
Range of measurement	40mm×10mm



図12 偏光板による樹脂の観察



(a) |Peak|による観察



(b) TOFによる観察

図13 超音波顕微鏡観察像

2. 3. 太陽電池パネルの設置法の開発

2. 3. 1. 加飾によるホットスポットの観察

太陽電池パネルを市街地に設置するため、設置手法とそのデザインを、東北芸術工科大学が開発した。太陽電池パネルにデザイン性を付与するため、受光面に模様を加飾すると、影となった太陽電池セルは発熱し、

表2 単結晶シリコン太陽電池の仕様

品名	単結晶シリコン太陽電池
配列	36直列
定格出力	50W
解放電圧	22.2V
短絡電流	3A

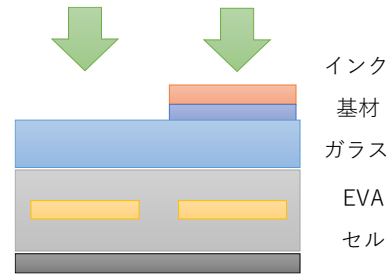


図14 加飾シートを貼った太陽電池パネルの断面

局部的に高温となるホットスポットが発生する。

単結晶シリコン太陽電池セルを短絡させた際の短絡電流 I_{sc} は、セルの受光量に比例する。単結晶シリコン太陽電池パネル内で各セルは直列に接続されるため、パネル内で最も電流量が減少したセルが抵抗となり、発熱する。発熱したセルは温度上昇により電気的な断線や封止している EVA 樹脂の炭化など故障を引き起こす。このため、セルごとの受光量が一定となるよう加飾することが必要である。

加飾とホットスポットの発生を確認するため、単結晶シリコンパネルの一部を加飾し温度上昇を測定した。実験に使用した市販の単結晶シリコン太陽電池パネルの仕様を表2に示す。この太陽電池のガラス面にシートを貼り付け加飾する。このシートは、屋外の窓などガラス面の加飾に使われるものである。このシートは図14に示すよう透明基材に接着剤が塗布されており、これをパネルのガラス表面に貼り付ける。太陽電池パネルのうち、1枚のセルを加飾シートで覆い屋外に設置し(図15)、パネルを短絡させ、サーモカメラで撮影した。図16に示すように、黒色の加飾シートを貼ったセルが発熱することが分かる。

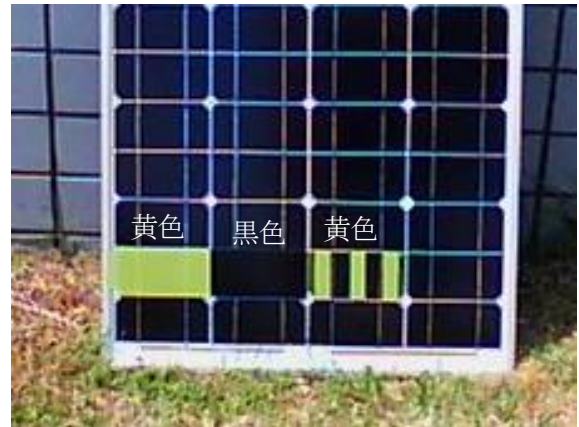


図15 試料の外観

2. 3. 2. カラー塗料による加飾

太陽電池パネルにホットスポットを発生しないよう加飾するには、太陽電池セルの受光量を減少させない必要がある。本研究では、太陽電池パネルが施工された後に、デザインが印刷された屋外加飾用の接着剤付きシートをパネルの受光面側に貼り付けることでデザイン性を付与することを目指す。

加飾はカラー印刷の要望があると考え、カラー画像をシアンとマゼンダ、イエロー、ブラックに分解して印刷するグラビア印刷を想定した。塗料は、青色、赤色、黄色、黒色、白色の5色を用い、太陽電池パネルに貼り付けた際の発色を観察した。

塗料は、透過性のない色塗料と透過性のある蛍光色塗料を選定し、柄は評価を簡単にするため太陽電池パネルを覆う全面印刷とした。表3に試料の作製条件を示す。印刷した加飾シートを単結晶シリコン太陽電池パネルに貼り付け、屋内灯のもとで観察した。図17

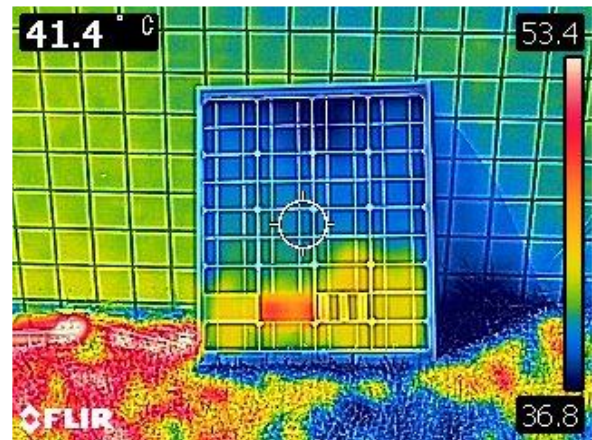


図16 ホットスポットの観察(黒色シート)

表3 加飾シートの作製条件

シート	屋外加飾用接着剤付きシート (リンテック(株)製)
塗料色	白色, 青色, 赤色, 黄色, 黒色
塗料濃度	色塗料 100%, 蛍光色塗料 100%
印刷柄	全面印刷 (ベタ印刷)

に加飾した太陽電池パネルの外観を示す。黄色の加飾シートに着目すると、透過性のない色塗料は、塗料の色であったのに対し、蛍光色塗料は太陽電池パネルの

濃紺が加わった緑がかかった色になっている。これは、塗料の透過率が高いため、塗料の色と太陽電池パネルの受光面の濃紺色が混ざる透過混色が発生したためである。透過混色が発生しない加飾手法が、今後の課題である。

3. 結言

フラットな両面受光型太陽電池パネルと、その市街地向けの設置形態の考案に取り組んだ。太陽電池パネルの設置に必要なパネル端面での電線取出し口及び放熱性を高めたインラミネート型バイパスダイオードを開発し、これらを組み込んだ太陽電池パネルのこれらを組み込んだ太陽電池パネルの加飾手法を開発した。

これにより、次の結果を得た。

- ・太陽電池パネルの端面に取り付ける電線取出し口を設計し、3Dプリンタで試作した。これを小型太陽電池パネルに取り付け、水没試験を行った結果、浸水は見られなかった。
- ・放熱特性に優れたインラミネート型バイパスダイオードを試作し、太陽電池セルと共にラミネート加工したところ、気泡なく封止できることが分かった。
- ・太陽電池パネルにダイオードをラミネートした際のEVA樹脂とダイオードの密着性は、超音波顕微鏡のTOFモード観察が適していた。
- ・太陽電池パネルに加飾シートを貼り付けて発電させると、遮光された面積が大きなセルが発熱した。
- ・太陽電池パネルの受光量を減らさぬよう透過率の高い塗料を用いると、太陽電池セル表面の濃紺が透過して見え、透過混色が発生した。

今後は、ホットスポットの発生を抑制した加飾手法の開発に取り組む。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業（東北大学微細加工プラットフォーム）の支援を受けて実施しました。（JPMX09F(A)-F21-TU-0054）

参考文献

- 1) 福島新エネ社会構想実現会議. "福島新エネ社会構想". 経済産業省. https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/fukushima_vision/. (参照 2022-02-28).
- 2) 福島県企画調整部. "令和2(2020)年度 福島県内における再生可能エネルギー導入実績". 福島県. <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11025c/re-dounyu.html>. (参照 2022-02-21).

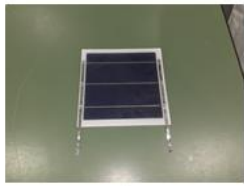
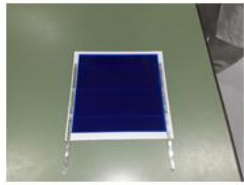
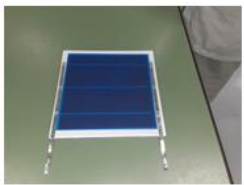


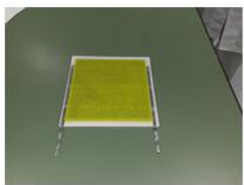

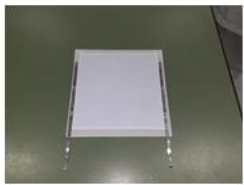
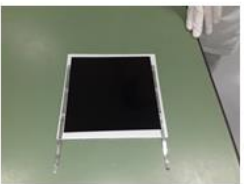
	色塗料 100%	蛍光色塗料 100%
透明 (印刷無し)		
青色		
赤色		
黄色		
白色		
黒色		

図 17 塗料の種類と加飾した太陽電池パネルの外観

- 3) 経済産業省資源エネルギー庁. "省エネポータルサイト". 経済産業省. https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/index.html. (参照 2022-03-25).
- 4) 小野裕道, 他. フラットな両面受光型太陽電池パネルと設置方法の開発. 令和2年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告. 2021. p.25-31.