



平成30～31年度  
福島県新エネ社会構想等推進技術開発事業  
産総研連携強化型技術開発事業

# 福島県ハイテックプラザ 研究報告書

Technical Reports of Fukushima Technology Centre

## バイパス回路内蔵太陽電池パネルの 実装技術の開発

Development of Assembly Technology for Solar Panel  
with Built-in Bypass Circuit

令和2年3月



## はじめに

地球温暖化対策として温室効果ガスの排出を抑制するため、再生可能エネルギーの利用や省エネルギー技術の導入が必要とされています。東日本大震災とそれに伴う原子力災害の発生以降、再生可能エネルギー発電の大量導入が進んでいます。福島県においても、総合計画「ふくしま新生プラン」を策定し、東日本大震災からの復興・再生の牽引役として再生可能エネルギーの飛躍的な導入推進を掲げています。

平成26年には再生可能エネルギーの国際的な研究開発拠点となることを目指し、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（以下 **FREA**）が郡山市に開所し、県内事業所が再生可能エネルギー関連産業に参入する基盤が整備されました。

福島県ハイテクプラザでは、福島県内事業者の技術シーズをもとに、**FREA** の支援を受け、再生可能エネルギー関連産業への参入を促進するため、平成30年度から平成31年度までの2年間にわたり、共同研究事業を実施してまいりました。県内に事業所をもつ企業2社と **FREA**、福島県ハイテクプラザが、「バイパス回路内蔵太陽電池パネルの実装技術の開発」に取り組み、太陽電池パネルの意匠性向上に寄与する薄型バイパスダイオードとその実装技術の開発を行いました。

本報告書は、企業及び各研究機関の2年間にわたる共同研究成果を取りまとめたものです。本県製造業の、再生可能エネルギー分野への取り組みの参考となれば幸いです。

終わりに、本事業の推進にあたり、大学・関係機関ならびに参画企業の皆様から暖かいご協力と貴重なご意見をいただきましたことを、心から厚くお礼申し上げます。

令和2年3月

福島県ハイテクプラザ

所長 大和田野 芳郎

# バイパス回路内蔵太陽電池パネルの 実装技術の開発

## 目次

第1章 研究概要	1
第2章 薄型バイパスダイオードの開発	
薄型バイパスダイオードとインターコネクタの開発	
福島双羽電機株式会社	3
第3章 バイパス回路内蔵太陽電池パネルの実装技術の開発	
薄型バイパスダイオード内蔵太陽光発電モジュールの放熱設計	
福島県ハイテクプラザ	9
難燃性ラミネート材による太陽光発電ミニモジュールの試作	
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	15
バイパスダイオード内蔵太陽光発電ミニモジュールの試作	
アンフィニ株式会社	19

# 第 1 章 研究概要



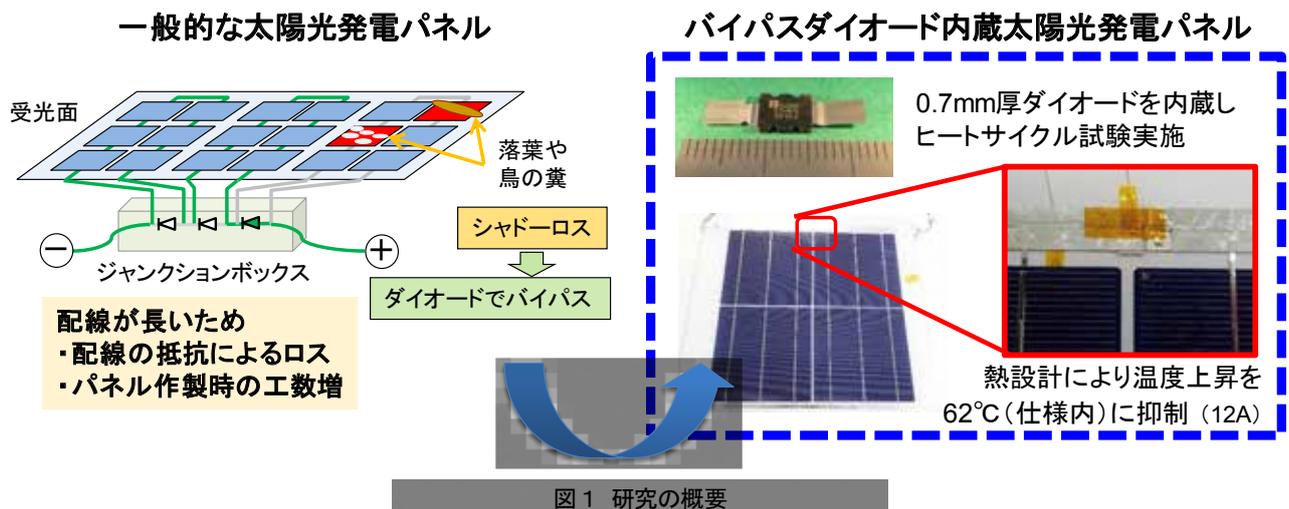
## 研究概要

福島県の推進する再生可能エネルギー推進ビジョンにおいて、2040年に県内のエネルギー需要量の100%以上を再生可能エネルギーで生み出すことを目指している。県内にはメガソーラーと呼ばれる大規模発電所の立地が進んでいるが、良好な立地場所が少なくなりつつある。さらなる太陽光パネルの普及には、分散型の設置が欠かせず、自動車への搭載や建材一体型にして施工工数を減らすなどの技術開発が必要である。

このような中、平成26年には国際的な再生可能エネルギーの研究開発拠点となることを目指し、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（以下 FREA）が郡山市に開所され、県内事業所が再生可能エネルギー関連産業に参入するための支援体制が整備された。

再生可能エネルギー関連産業への参入に関心のある県内事業所はあるものの、太陽光発電においては大規模発電所の発電パネルの多くが廉価な外国製が使用されており、国際的な競争のため新規参入は容易ではない。一方、車載型や建材一体型という分野では貼り付けによる施工が可能なパネルが求められており、参入の余地がある。しかし、多くの太陽電池パネルは裏面に凸部となるジャンクションボックスが設置されている。このジャンクションボックスの中には、太陽電池パネルに影がかかるなどの不具合が発生した際に、電流を迂回させて太陽電池セルを保護する役割のバイパスダイオードが内蔵されているため、単純に取り除くあるいは移動させることが出来ない。このことは、パネルの薄型化や設置自由度の障害になっている。

そこで、本研究では薄型のバイパスダイオードを内蔵した太陽電池パネルの実装技術の研究開発に取り組んだ。福島県ハイテクプラザと県内の企業2社が FREA の支援を受け、バイパスダイオードを内蔵させた太陽電池パネルを開発した。研究課題の概要を図1に示す。また研究の担当機関は以下のとおりである。



## 1. 薄型バイパスダイオードとインターコネクタの開発

これまでジャンクションボックス内に配置していたバイパスダイオードを太陽電池パネルに内蔵させるため、薄型バイパスダイオードを開発した。福島県ハイテクプラザが設計を支援し、福島双羽電機株式会社が薄型バイパスダイオードを試作した。その結果、定格電流 15A で厚さ 0.7mm のバイパスダイオードを開発した（図2、図3参照）。

### ○ 担当機関

福島双羽電機株式会社

福島県ハイテクプラザ

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



図2 薄型バイパスダイオード

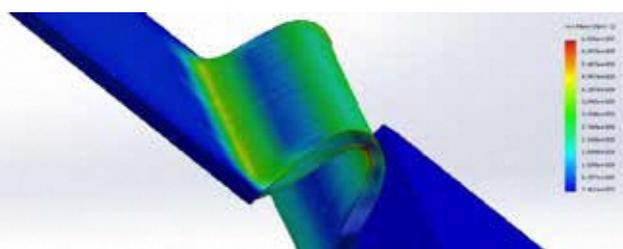


図3 端子のばね構造

## 2. バイパス回路内蔵太陽電池パネルの実装技術の開発

試作した薄型バイパスダイオードを単結晶シリコン太陽電池パネルに内蔵するための実装技術を開発した。内蔵したバイパスダイオードは動作時に発熱するためダイオード周辺の放熱設計を行った。また熱に耐えられるよう、難燃性のラミネート技術の開発を行った。これらの成果を量産用の装置でパネルを試作し、量産化する際の課題の抽出を試みた（図4、図5参照）。

### ○ 担当機関

福島県ハイテクプラザ

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

アンフィニ株式会社



図4 内蔵した薄型バイパスダイオード



図5 試作したミニモジュール

## 第2章 薄型バイパスダイオードの開発

薄型バイパスダイオードとインターコネクタの開発  
福島双羽電機株式会社



# 薄型バイパスダイオードとインターコネクタの開発

## Development of Thin Bypass Diode and Interconnector

福島双羽電機株式会社 本田剛  
福島県ハイテクプラザ 小野裕道 三瓶義之 小林翼 本田和夫 尾形直秀  
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  
高遠秀尚 白澤勝彦 水野英範 望月敏光  
アンフィニ株式会社 川崎俊弘 根本克広 木村太亮 根本篤

太陽光発電モジュールの裏面のジャンクションボックスを無くし、設置場所を拡大する。厚さ 0.7mm の薄型バイパスダイオードを開発し、その薄型バイパスダイオードを内蔵した太陽光発電モジュールを試作した。量産設備においても、バイパスダイオードを内蔵したモジュールを作製できることを確認した。

Key words: 太陽光発電モジュール、バイパスダイオード、内蔵

### 1. 緒言

太陽光発電モジュールには、影がかかるなどの不具合が発生した際に電流を迂回させて太陽光発電セルの異常過熱を防ぐバイパスダイオードが必要である。

多くの太陽光発電モジュールではバイパスダイオードを裏面のジャンクションボックス内に配置している。

このダイオードをセルとともにラミネートし、モジュール内に内蔵することができれば、裏面の凸部をなくした意匠性に優れた薄型太陽光発電モジュールを生産できる。

本研究では、太陽光モジュールに内蔵可能な、厚さ 0.7mm の薄型バイパスダイオードの開発に取り組んだので報告する。

### 2. 開発の目標

本研究では太陽光発電モジュールに内蔵可能な薄型のバイパスダイオードの開発に取り組んだ。

バイパスダイオードを太陽光発電モジュールに内蔵するためには、セルとともにラミネートできる厚さであること、屋外直射日光下での温度上昇に加えてバイパス動作時の通電に伴う発熱にも耐える高温耐性、長期使用時の信頼性などが課題となる。

それらの課題を解決するため、以下の項目について検討を行った。

- (1) バイパス動作時の発熱量を抑制したバイパスダイオードの構造を検討した。
- (2) バイパスダイオードからの放熱量を増加させるため、高熱伝導素材による端子の検討を含めた熱対策用新規構造の検討と試作を行った。
- (3) バイパスダイオードの通電時の発熱を放熱させるインターコネクタの形状を検討した。
- (4) 長期信頼性を向上させるため、薄型バイパスダイオードを熱硬化性樹脂によるインサート



図1 バイパスダイオードの外観

成形で封止することについて検討した。これらの検討をもとにバイパスダイオードを試作し、ハイテクプラザにおいて評価を行った。開発したバイパスダイオードの外観を図1に示す。

### 3. 実験

#### 3. 1. インターコネクタの開発

##### 3. 1. 1. 熱膨張の応力緩和構造の開発

バイパスダイオードは屋外直射日光による温度上昇に加えて、バイパス動作時にはダイオードを電流が流れ、抵抗加熱によりダイオードチップが発熱する。

バイパス動作の ON/OFF に加え、日中-夜間の温度変化による熱膨張-収縮は、ダイオードに引張・圧縮応力を加え破損させる恐れがある。

そこで、ダイオードの端子の形状について、図2のようにばね性により応力を緩和するための曲げを入れた構造について検討した。

この構造についてハイテクプラザで 3 次元 CAD SolidWorks によるシミュレーションを行い、その有効性を評価した。

解析条件は表1に示す。

ダイオードの両端子間を圧縮する方向に強制変位 0.2mm を与え、その変位の垂直方向の変位については

拘束した。

シミュレーションにより得られた薄型ダイオードのミーゼス応力とその集中した部位について図2に示す。

この結果より、単純な平板からなる端子では端子が破損する応力が掛かる条件であっても、曲げにより応力を分散することで、破損を避けることができることが確認できた。

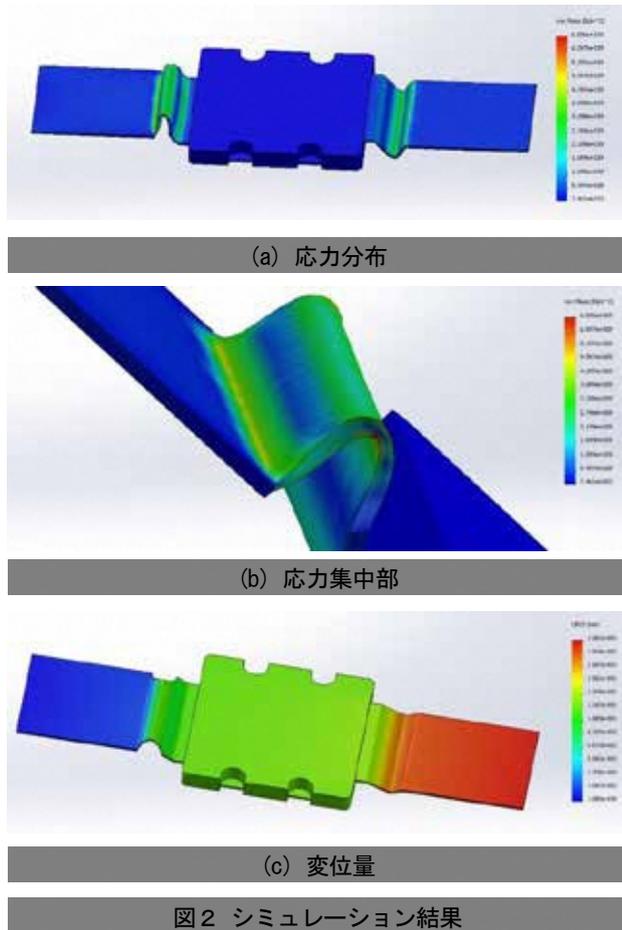


表1 構造シミュレーション条件

解析ソフトウェア	Solid Works Professional
端子形状	・M008-H2-01
解析条件	・静変形解析 ・表裏面の変形拘束 ・端子間に強制変位 0.2mm
表示	・ミーゼス応力 ・変位量

### 3. 1. 2. ダイオードの放熱構造の開発

外部からの入熱あるいはバイパス動作時の発熱により、バイパスダイオードの温度がダイオード内部のジャンクション温度を超えると整流作用が失われる。そのため、ダイオードチップで発生した熱は速やかに放

熱させる必要がある。

ダイオードチップからの放熱経路はインターコネクタ（ダイオードの端子）を通じたものと、モールド樹脂を通じたものとに大別され、前者のほうが伝熱量が多い。

従って、インターコネクタの熱伝導率（度）を大きくすることが放熱について効果的である考えられる。そこで、インターコネクタの素材を鉄入り銅からタフピッチ銅へと変更することで、熱伝導率の向上を図った。鉄入り銅とタフピッチ銅の特性を表2に示す。

表2 端子素材の特性表

材質	成分	比重 g/cm <sup>3</sup>	縦弾性 係数 kN/mm <sup>2</sup>	電気 伝導度 %IACS	熱 伝導度 W/(m·K)	線膨張 係数 x10 <sup>-6</sup> /K
	%					
鉄入り銅	Fe:0.1 P:0.034 Cu:BAL	8.9	125	90	364	17.5
タフピッチ銅	Cu:99.90	8.89	118	100	391	17.7

また、もう一つの伝熱経路であるモールド樹脂を通じた経路についても改善を試みた。

ダイオードのモールド樹脂内部ではインターコネクタがダイオードチップを挟み込んだ構造をとっている。この挟み込んだ外側に絶縁性と熱伝導性、耐環境性に優れた素材を接合すれば、この経路からも良好な放熱を期待できる。

そこで、インターコネクタに対してモールド樹脂の代わりに熱伝導性に優れた絶縁材である窒化アルミを接合したバイパスダイオードについても試作を行った。

窒化アルミ基板とタフピッチ銅のインターコネクタを図3に、概略図を図4に示す。また表3に窒化アルミの特性を示す。

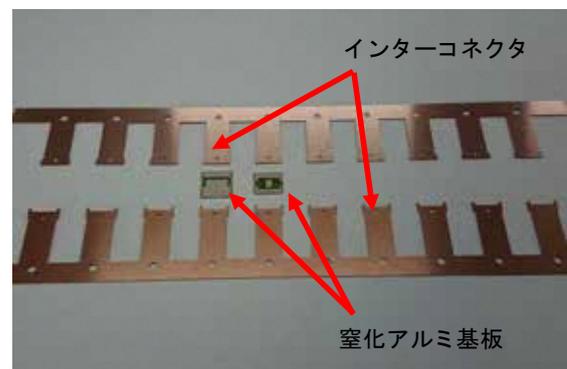


図3 窒化アルミ基板・インターコネクタ

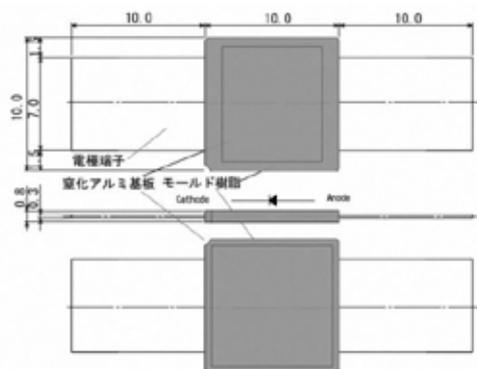


図4 窒化アルミ基板使用ダイオード概略図

表3 窒化アルミ基板特性

特性項目		窒化アルミ	アルミナ (参考)
熱伝導率	W/m・K (RT)	170	23~36
熱放射率	(100°C)	0.93	—
熱膨張係数	10 <sup>-6</sup> /°C	4.5	7.0~7.7
	(RT~400°C)		
絶縁抵抗	Ω・cm (RT)	>10 <sup>13</sup>	> 10 <sup>14-15</sup>
絶縁耐圧	kV/mm (RT)	15	10~15
誘電率	(1MHz)	8.8	9.5~9.7
誘電体損失	10 <sup>-4</sup> (1MHz)	5	—
曲げ強度	MPa	350	320~400
密度	g/cm <sup>3</sup>	3.3	3.85~
			3.99
Y (イットリウム)	wt%	3.4	—

### 3. 2. 薄型バイパスダイオードの開発

#### 3. 2. 1. 太陽電池内蔵バイパスダイオードの開発

太陽光発電モジュールのラミネート内には太陽電池セル(厚さ~300 $\mu$ m)、インターコネクタ(厚さ0.3mm)、タブ線(厚さ0.3mm)が入っている。バイパスダイオードを太陽光発電モジュールに内蔵させるためには、これらが重なる最大の厚さ、0.9mm以下の厚さであることが求められる。

また、屋外の直射日光下で長時間、設置されることが前提であるため、内部保護のためにダイオードチップは樹脂モールドで封止されていることが望ましい。

そこで、当社で以前に開発した薄型バイパスダイオードを開発母体として、太陽光発電モジュールに内蔵するために必要な特性を付与させる方向で開発に取り組んだ。

以前に開発した薄型バイパスダイオードの概略図を図5に示す。

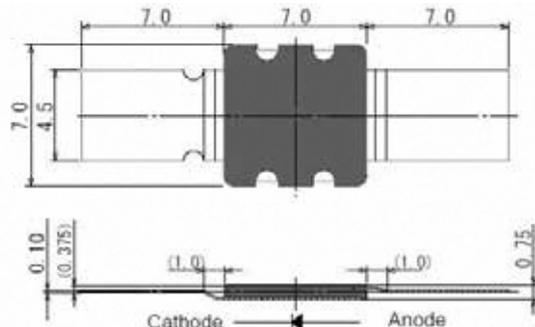


図5 当社開発薄型バイパスダイオード概略図

#### 3. 2. 2. 発熱量を抑制したバイパスダイオードの開発

バイパスダイオードは直射日光による影響よりも、通電時の発熱によってより温度が上昇することはすでに分かっている。通電による発熱量を低減させるためには、バイパスダイオードに内蔵されるダイオードチップの通電抵抗を小さくすることが有効と考えられる。

そこで、ダイオードチップを2個並列に内蔵したダイオードおよびより電流容量の大きいダイオードチップを内蔵したダイオードを試作し、当社でその電気特性を測定した。発熱特性についてはハイテックプラザで通電時の温度上昇について評価を行った。

使用したダイオードチップの特性を表4に、試作した薄型バイパスダイオードの外観を図6及び図7、電気特性グラフを図8及び図9に示す。

表4 使用ダイオードチップ特性

薄型バイパスダイオード型式 (モールドタイプ)	ダイオードチップ仕様
SBM2440	平均整流電流：12(A) 繰り返しピーク逆電圧：40(V) のダイオードチップ2個使用
SBM1545	平均整流電流：15(A) 繰り返しピーク逆電圧：45(V) のダイオードチップ1個使用



図6 SBM2440 外観

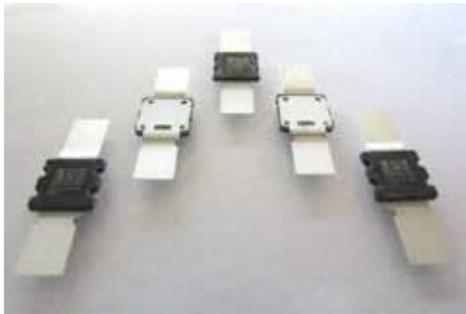


図7 SBM1545 外観

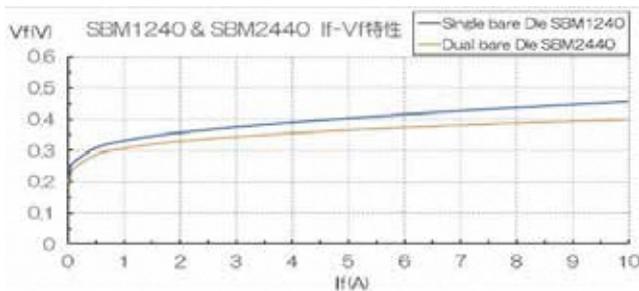


図8 SBM1240 と SBM2440 電気特性 (If-Vf)

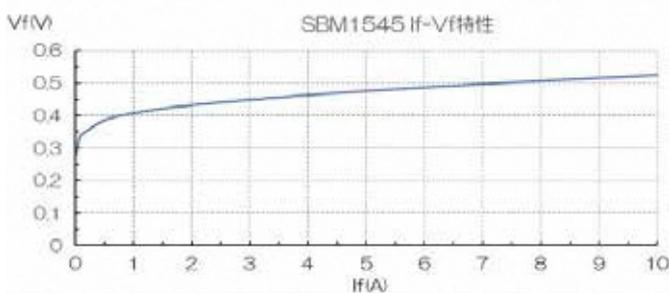


図9 SBM1545 電気特性 (If-Vf)

ハイテクプラザでの評価の結果、ダイオードチップを2個入れた物は、温度上昇が抑えられていることが確認された。これは、ダイオードチップを並列に入れたことにより抵抗が低下したと発熱源が分散されるために熱抵抗の面で有利に働いたことが原因と考えられる。

一方、より電流量の大きいダイオードチップを内蔵したダイオードでは、むしろ発熱量が上昇する傾向がみられた。

これは、電気特性からも分かるように耐電圧を大きくしたことで順方向の抵抗自体が上昇したためと考えられる。ハイテクプラザでの通電試験の熱画像を図10に示す。

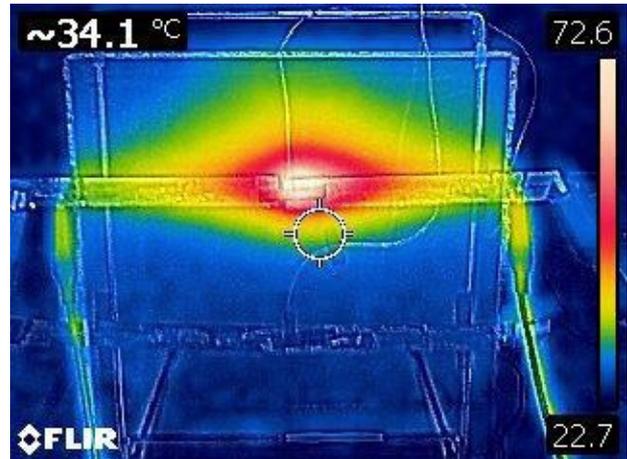
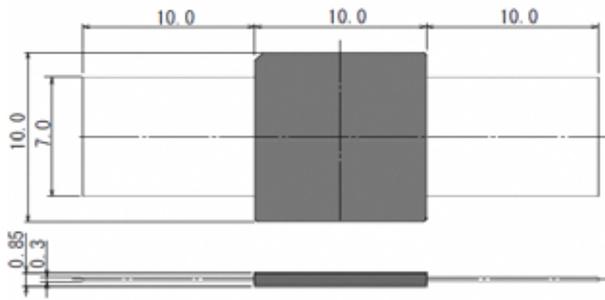


図10 通電試験時の熱画像

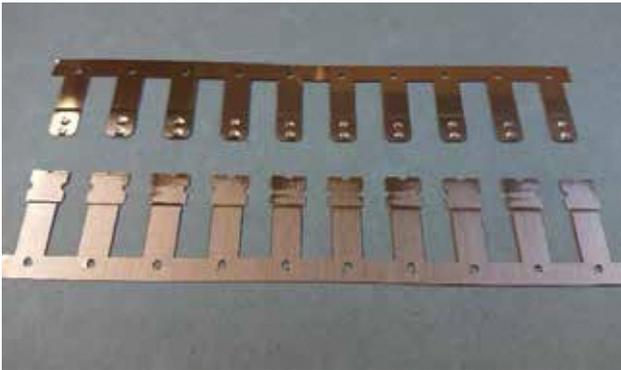
### 3. 2. 3. 高熱伝導のためのインターコネクタ構造の検討・開発

熱抵抗を低減させるためには、熱伝導経路の断面積を増加させることが有効である。

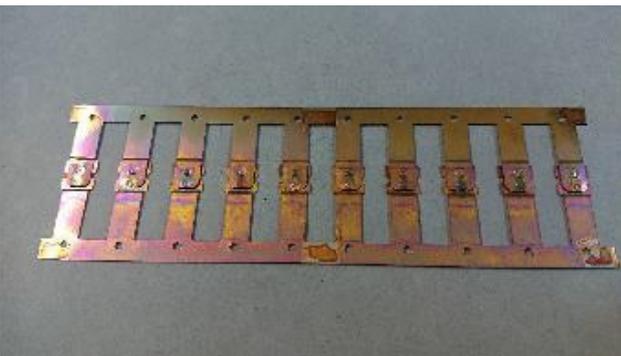
そのため、インターコネクタに用いていた0.1mm厚 x 4.5mm幅のタフピッチ銅について0.3mm厚 x 7mm幅に変更した。これにより断面積は約4.7倍となり、伝熱量を増加させることができた。さらに、この構造で内蔵するダイオードチップを2個並列とした薄型バイパスダイオードの試作を行った。図11にインターコネクタ、ダイオードチップ組込状態の外観及び概略図を示す。



(a) チップ2個組込みダイオード概略図



(b) 高熱伝導のためのインターコネクタ



(c) チップ2個組込みダイオード (モールド前)

図11 チップ2個組込み高熱伝導ダイオード

### 3. 2. 4. 耐熱型バイパスダイオードの開発

ハイテクプラザでの評価において、ダイオードの温度上昇抑制には、熱源であるダイオードチップにより近い場所の熱抵抗を低減させることが重要であることが分かっている。そのため、ダイオードのカソード側で露出しているインターコネクタとタブ線との間で高い熱伝導を実現することが有効と考えられる。この部位をハンダで接合することは電氣的・熱的に良好な結果が予想されるが、ダイオード内部でダイオードチップとインターコネクタは低温ハンダで接合されており、インターコネクタとタブ線とをハンダで接合した場合、ダイオード内部のハンダが再熔融してしまう恐れがある。

そこで、内部の接合に高温の無鉛ハンダを用いたダ

イオードの試作を行った。従来の内部接合ハンダと高温の無鉛ハンダの特性を表5に示す。このダイオードについては、ハイテクプラザにおいてハンダ接合及び内部接合の評価を行った。

表5 ダイオード内部接合使用ハンダ特性

	固相線 [°C]	比抵抗 [nΩ・m]	熱伝導率 [W/mK]
従来ハンダ	221	113	62.8
高温無鉛ハンダ	245	177	46.1

その結果、従来の導電性ペーストと同等の温度上昇であった。熱抵抗を図12に示す。これは、ダイオードとタブ線間のはんだ付けされた面積が、導電性ペーストで接着された面積よりも少なかったことが考えられる。はんだ付けが手作業であったためと考えられるため、接合面に一様にはんだ付けできるような条件を検討する必要がある。

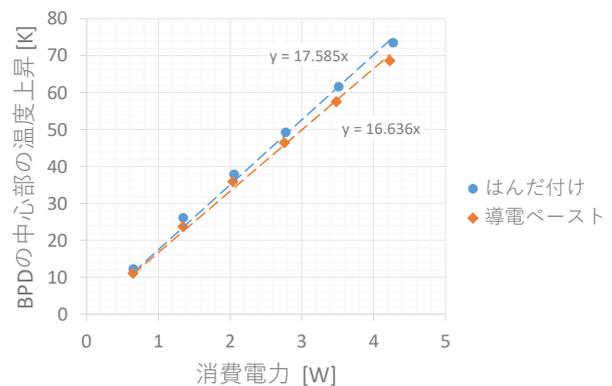


図12 接合方法による温度上昇の違い

## 4. まとめ

太陽光発電モジュールに内蔵させるための薄型バイパスダイオードを開発するために以下の項目について検討を行った。

- 曲げを入れることで熱膨張による応力を緩和させるインターコネクタの開発
- ダイオードチップの発熱を効果的に放熱させるインターコネクタの材質変更
- ダイオードチップの2個並列組込及びダイオードチップの大容量化による発熱量の低減
- ハンダによる外部との接続を可能とするための、高温無鉛ハンダによる内部接続

その結果、以下のことが分かった。

- ダイオードを長いタブ線に接続した状態では、熱膨張・収縮によりダイオードを破損させるほどの応力が発生するが、インターコネクタを曲げ加工し、ばね性を持たせることで破損を避けることができる。
- ダイオードチップの放熱性の向上には、インターコネクタの材質変更と断面積を増やすことが有効である。
- ダイオードチップを2個使用することは、熱源の分散、発熱量の低減ということで効果が大きい。
- 高温ハンダによる内部接続は、ハンダでの外部接続による放熱性向上のために有効である。

## 第3章 バイパス回路内蔵 太陽電池パネルの開発

バイパスダイオード内蔵太陽光発電モジュールの放熱設計  
福島県ハイテクプラザ

難燃性ラミネート材による  
太陽光発電ミニモジュールの試作  
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

バイパスダイオード内蔵太陽光発電ミニモジュールの試作  
アンフィニ株式会社



# バイパスダイオード内蔵太陽光発電モジュールの放熱設計

## Heat Dissipation Design of Photovoltaic Module with Built-in Bypass Diode

福島県ハイテクプラザ 小野裕道 三瓶義之 小林翼 本田和夫 尾形直秀  
福島双羽電機株式会社 本田剛  
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  
高遠秀尚 白澤勝彦 水野英範 望月敏光  
アンフィニ株式会社 川崎俊弘 根本克広 木村太亮 根本篤

太陽光発電モジュールの裏面のジャンクションボックスを無くし、設置場所を拡大させる。厚さ 0.7mm の薄型バイパスダイオードを開発し、その薄型バイパスダイオードを内蔵した太陽電池パネルを試作した。バイパスダイオードに電流が迂回するとダイオードは発熱する。上昇温度が定格内になるよう放熱経路を設計した。

Key words: 太陽光発電、放熱設計、熱伝導

## 1. 緒言

太陽光発電設備の安全性を確保するには、太陽光発電モジュールに影がかかるなどの不具合が発生した際に電流を迂回させて太陽光発電セルの異常過熱を防ぐバイパスダイオードが必要である。多くの太陽光発電モジュールはバイパスダイオードを裏面のジャンクションボックス内に配置しているが、これをモジュール内に内蔵すれば、裏面の凸部をなくした意匠性に優れた薄型太陽光発電モジュールを生産できる。

しかし、バイパスダイオードに電流が迂回するとダイオードは発熱するため、モジュール内に内蔵したバイパスダイオードの上昇温度は定格内に抑制する必要がある。

本報告では、電流が迂回した際の温度上昇を抑制する放熱経路を設計した。模擬モジュールを作製し、ダイオードの温度上昇を比較し、ダイオードの温度上昇が定格内に抑制できることを検証したので報告する。

## 2. 実験

### 2. 1. 薄型ダイオードのラミネート試験

薄型ダイオードをタブ線にはんだ付けし、太陽光発電モジュールと同様にエチレン・酢酸ビニル共重合体 (Ethylene-vinyl acetate copolymer 以下 EVA) フィルムではさみ真空加熱ラミネーターでガラス板にラミネート加工した。図1に示すように、熱電対の周辺にEVAの剥離があるものの、薄型ダイオード周辺にも気泡なくラミネートできることを確認した。また図1ではダイオードの温度を測定するため、カソード電極面側にシース型熱電対を同時にラミネートしている。

### 2. 2. ダイオードの熱抵抗の測定

太陽電池モジュールではバイパスダイオードに電流が迂回するとバイパスダイオードは発熱する。薄型ダイオードを太陽電池モジュールに使用するには、太陽

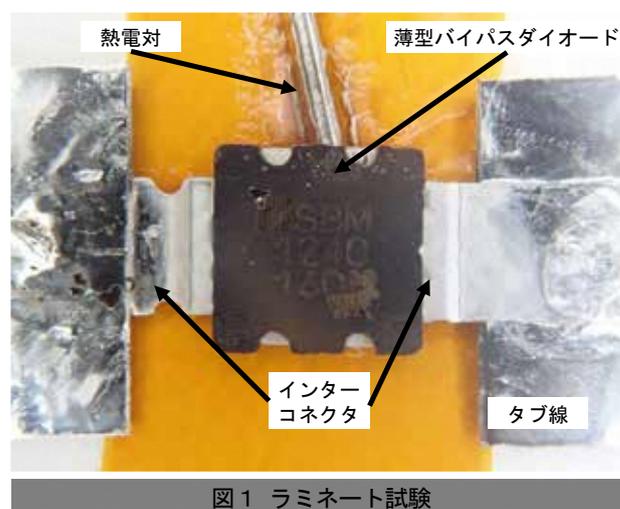


図1 ラミネート試験

電池モジュールが日中の日向に設置され、ラミネートされた薄型ダイオードから発熱があったとしても、ダイオードの動作温度範囲である 150℃以下に保つ必要がある。このためには、十分に放熱できることが求められる。

一般に、電子回路の熱設計では、素子の消費電力ごとの温度上昇を測定し、消費電力と温度上昇の傾きである熱抵抗 K/W を算出して評価する。これは薄型ダイオードの周辺の伝熱の状況により変わり、値が小さいほど放熱性に優れていることを示す。

薄型ダイオードの発熱の大部分はタブ線によりモジュール内を伝導すると考えられる。タブ線の幅の違いによる熱抵抗の測定のため、ダイオードとはんだ付けするタブ線の幅を 1.5mm と 6mm、12mm の 3 種類の試料を作製した。また、比較のため市販の外付けのジャンクションボックスに内蔵されたダイオードについても、試料を作製した。

太陽電池モジュールの定格電流を想定して定電流電源より表1に示す条件で電流を流し、熱電対でダイオードカソード端子側の温度上昇を測定した。消費電力

表 1 通電実験の実験条件

電源	定電流電源
電流値	3A, 5A, 7A, 10A, 12.5A
測温	ダイオードの温度 ラミネート熱電対 ガラスの表面温度 サーモカメラ

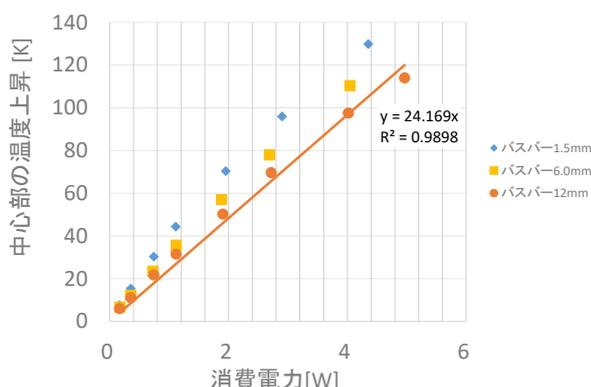


図 2 消費電力と薄型ダイオードの温度上昇

と薄型ダイオードの温度上昇を図 2 に示す。タブ線の幅が広くなると放熱量が大きくなり、温度上昇は抑制された。幅 12mm の熱抵抗は 24.2K/W で、12A を通電した際 120°C の温度上昇があった。これは日中の日向設置でパネル温度が 30°C 以上であれば、動作温度の 150°C を超えてしまい不具合の原因となる。そこで温度上昇を抑制する配置方法の開発に取り組んだ。

従来の外付けのジャンクションボックスに内蔵されたバイパスダイオードの熱抵抗は 14K/W であった。薄型ダイオードを太陽光モジュールにラミネートした場合も、外付けのジャンクションボックス内のダイオードと同程度の温度上昇に抑制することを目標とした。

### 2. 3. 薄型ダイオードの並列配置

薄型ダイオードが通電した際の発熱量を抑制するためには電流を減らすことが有効である。ショットキーバリアダイオードの電流－電圧特性は比例関係にない。ダイオードを 2 個並列に配置すれば、1 個あたりの消費電力は 1/2 以下になるため、発熱の総量は減少する。

図 3 に示すように薄型ダイオードを並列配置して、温度上昇を測定した。表 1 の条件で通電した時のラミネートしたダイオードの温度上昇を測定した結果を図 4 に示す。並列に 2 個配置したことで温度上昇を抑制し、熱抵抗は 16.9K/W であった。

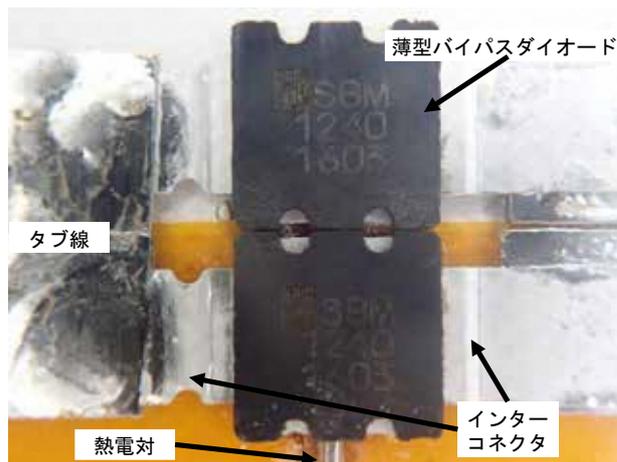


図 3 薄型ダイオードの並列配置

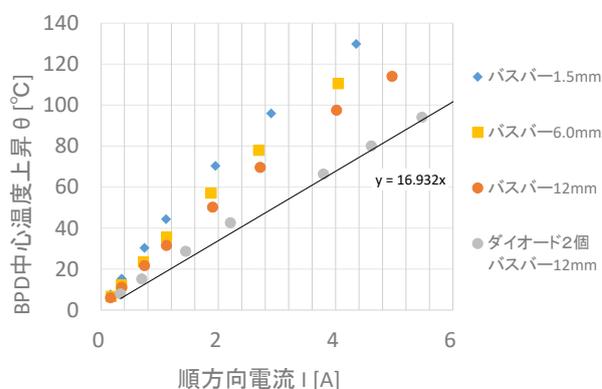


図 4 並列配置した薄型ダイオードの温度上昇

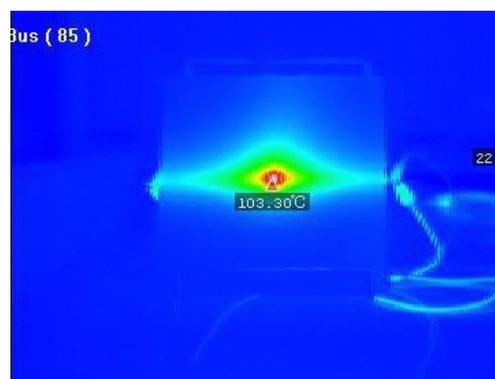


図 5 ガラス表面の温度分布

### 2. 4. 放熱経路の設計

薄型ダイオードに通電した際の熱を発散するためには、タブ線へ伝熱することが効果的である。しかし、ガラス板の表面の温度分布をサーモカメラにより観察すると、図 5 のとおりダイオード周辺部の温度勾配が急であることが分かる。この原因を探るため、ダイオードからタブ線までを図 6 のとおりモデル化し、CAE により温度分布を求めた。バイパスダイオードの発熱

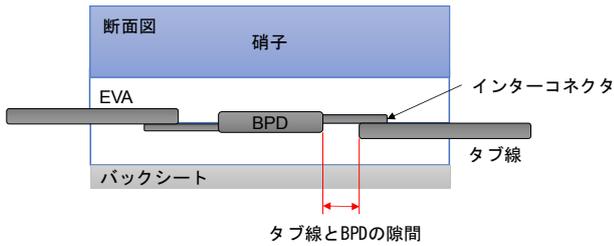


図6 バイパスダイオードの熱解析モデル

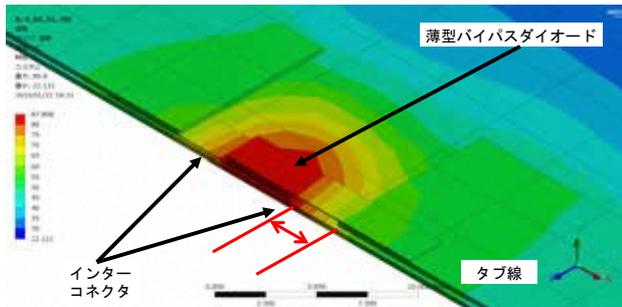


図7 ダイオード周辺の温度分布

は、厚さ 0.1mm のインターコネクタを介してタブ線へ伝熱する。また EVA を介してガラス板とバックシートへ伝熱し、ガラス板とバックシートから空気へ熱伝達する。解析したところ、図 7 に示す大きな勾配の温度分布が算出された。この原因は、発熱体であるダイオードとタブ線の接続を薄型ダイオードのインターコネクタとしたため、この部分で伝熱量が制限されたと考えられる。薄型ダイオードは樹脂成型した厚さを 0.7mm とするため、そのインターコネクタの厚みはタブ線より薄い。電極厚さの薄い部分を少なくするため、ダイオードとタブ線の距離を縮めて解析すると、伝熱量は増加しガラス表面の温度分布は図 8 のとおりとなり、温度勾配は解消した。

以上のように、薄型ダイオードの電極が熱伝導の律速である可能性があることから、薄型ダイオードとタブ線を熱的に接続することを試みた。薄型バイパスダイオードの外観は図 9 に示すとおり、中央は樹脂成型されているものの、カソード側の電極は露出している。図 10 に示すようにカソード電極とタブ線を熱的に接続できれば放熱量の増加が期待できる。はんだ付けやろう付けが熱伝導性に優れているが、薄型ダイオード内のダイオードチップとインターコネクタもはんだ付けされており再加熱することで内部はんだの再溶融が懸念される。そのため、温度上昇を伴わない導電性エポキシ接着剤を使用した。

## 2. 5. モジュールの製作

太陽電池モジュールに組み込んだ状態での温度上昇を評価するため、太陽光発電セルを 4 枚使ったミニモジュールを作製した。一般的なモジュールは太陽光発

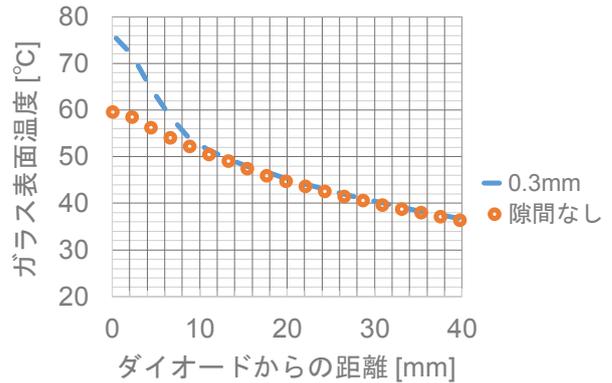
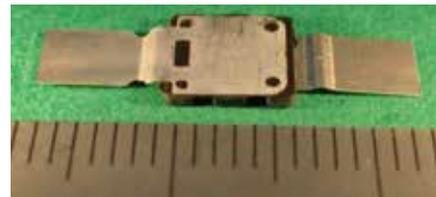


図8 薄型ダイオードとタブ線の温度勾配



(a) モールド側



(b) カソード端子側

図9 薄型ダイオードの外観

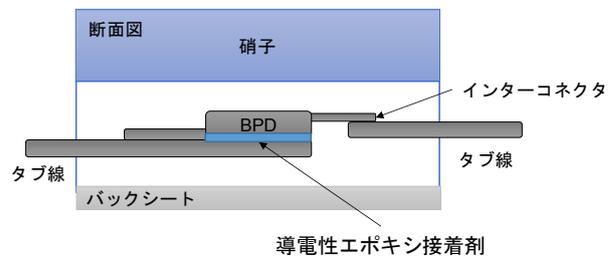


図10 カソード側電極熱接続の模式図

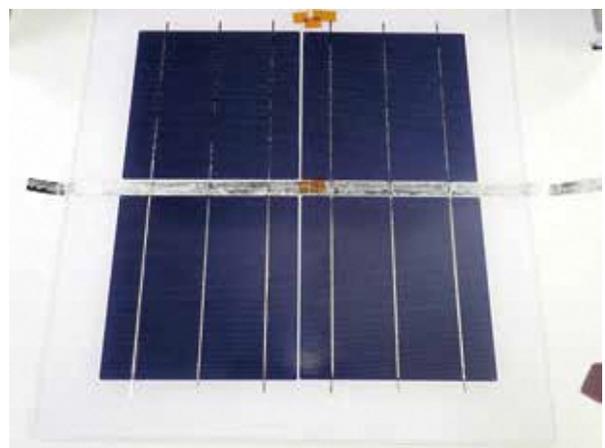


図11 温度測定用のミニモジュール

電セルが 60 枚程度直列に配置されるが、薄型バイパスダイオード周辺の配置を模擬して、温度分布を評価した。作製したミニモジュールを図 1 1 に示す。

## 2. 6. バイパスダイオードの配置

薄型バイパスダイオードの冷却には、図 9 に示すカソード端子側から熱を放散させることが有効であった。ダイオードの配置の模式図を図 1 2 に示す。このカソード端子を、図 1 2 (a) に示す裏面のバックシート側に配置した場合と図 1 2 (b) に示す受光面のガラス側に配置した場合を比較した。ダイオードの温度を測定するため、カソード端子側に熱電対を貼り付け、バイパスダイオードと共にラミネートした。

## 3. 結果

発熱素子は発熱量と放熱量が同量となれば、温度は一定になる。ダイオードの発熱量は電流値で決まり、放熱量は温度勾配と熱伝導路の材種と断面積で決まる。ダイオードの温度だけで放熱経路を評価することはできないため、電子機器の放熱設計の指標となる熱抵抗  $R_{th}[K/W]$  を算出した。これは、ダイオードの消費電力当たりの温度上昇から算出される。

バイパスダイオードに電流が迂回することを想定し、バイパスダイオードに順方向電流を通電し、消費電力当たりの温度上昇を測定した。市販品として多く使われている  $156\text{mm} \times 156\text{mm}$  の単結晶シリコン太陽光発電セルは、定格出力電流は 10A 程度が得られる。バイパスダイオードにも最大で同量の電流が迂回することから、12.5A の直流電流を負荷し試験した。実験条件を表 2 に、実験の外観を図 1 3 に示す。評価したミニモジュールの諸元と熱抵抗は表 3 に示す。

## 4. 考察

太陽電池セルは、住宅屋根上などに設置された場合、夏の日中に  $80^{\circ}\text{C}$  ほどまで温度が上昇する。この環境に設置されてもバイパスダイオードが正常に作動するには、ダイオードの定格温度の  $150^{\circ}\text{C}$  以下にする必要がある。

熱抵抗から算出される電流迂回時の温度上昇は  $65^{\circ}\text{C}$  程度となり定格温度とほぼ同じになる。夏の日向に設置されモジュール温度が上昇した場合の安全性を確保するには、より温度上昇を抑制する必要がある。

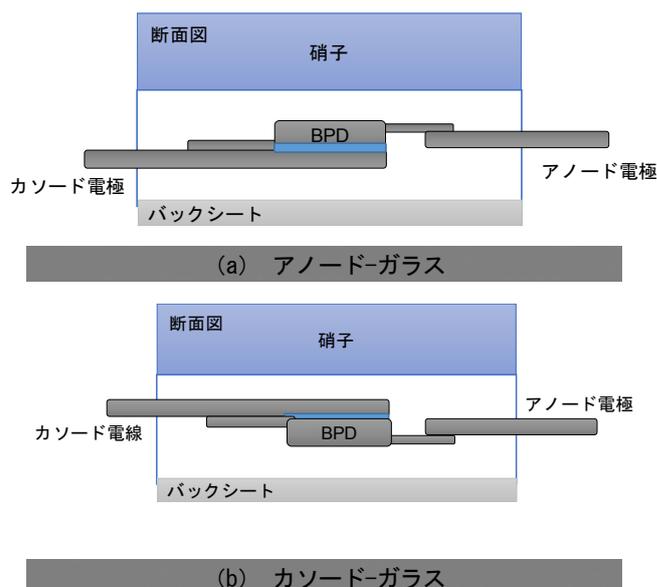


図 1 2 バイパスダイオードの配置

表 2 実験条件

印加方向	順方向
印加電流	6A, 12A, 12.5A
装置	直流電源 PAD55-20L (菊水電子工業(株)) デジタルマルチメータ PC500 (三和電気計器(株)) K熱電対
静定時間	6分
セル設置	$80^{\circ}$ に傾け

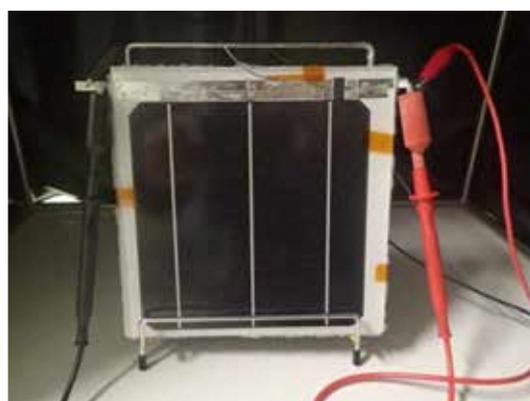


図 1 3 実験中の太陽光発電モジュール

表 3 ミニモジュールの諸元と熱抵抗

型式	個数	配線幅	硝子サイズ	BPD配置	熱抵抗	順方向印加電流		
						6A	12A	12.5A
SMB1240	2個並列	12mm	$180\text{mm} \times 180\text{mm}$	アノード-ガラス	14.8 K/W		67.6K	73.4K
	1個並列	6mm	$400\text{mm} \times 400\text{mm}$	カソード-ガラス	21.6 K/W	53.2K	85.9K	-
	2個並列	12mm	$400\text{mm} \times 400\text{mm}$	カソード-ガラス	14.1 K/W	30.7K	61.7K	65.1K

表4 裏面に屋根材を張り付けたミニモジュールの熱抵抗

型式	個数	配線幅	硝子サイズ	BPD配置	裏面の 鋼板	熱抵抗	順方向印加電流		
							6A	12A	12.5A
SMB1240	2個並列	12mm	180mm×180mm	アノード-ガラス	-	14.8 K/W		67.6K	73.4K
	1個並列	6mm	400mm×400mm	カソード-ガラス	-	21.6 K/W	53.2K	85.9K	-
					鋼板	16.8 K/W	42.4K	70.7K	-
	2個並列	12mm	400mm×400mm	カソード-ガラス	-	14.1 K/W	30.7K	61.7K	65.1K
鋼板					11.5 K/W	26.0K	51.8K	54.8K	

そこで屋根材と一体に施工することを想定し、表面が鋼材の屋根板に接着した。バイパスダイオードに近いバックシート部分に接着剤を塗布し、屋根材と接着して温度上昇を測定した。同様に表2の実験条件で熱抵抗を測定すると表4のとおり、温度上昇を55℃以内に抑制することが出来た。これはジャンクションボックス内に設置される従来のバイパスダイオードの温度上昇と同程度であった。

## 5. 結言

バイパス回路への通電時にラミネートした薄型バイパスダイオードの温度上昇を、動作上限温度以下に抑えるため、放熱経路を設計した。順方向電流12.5Aを流しても、温度上昇55℃以下に抑えることができた。屋根上に設置され80℃の環境で電流が迂回しても、ダイオードの温度は135℃となり、整流作用は保たれることが分かった。



# 難燃性ラミネート材による太陽光発電ミニモジュールの試作

## Trial Production of Photovoltaic mini-module using Flame Retardant Laminate

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

高遠秀尚 白澤勝彦 水野英範 望月敏光

福島県ハイテクプラザ 小野裕道 三瓶義之 小林翼 本田和夫 尾形直秀

福島双羽電機株式会社 本田剛

アンフィニ株式会社 川崎俊弘 根本克広 木村太亮 根本篤

太陽光発電モジュールの裏面のジャンクションボックスを無くし、設置場所を拡大させるため、厚さ 0.7mm の薄型バイパスダイオードを内蔵した太陽光発電モジュールを試作した。このバイパスダイオードは電流迂回時に発熱するため、難燃性材料を選定しバイパスダイオード内蔵太陽光発電モジュールを試作した。

Key words: 太陽光発電、封止材料、難燃性、ラミネート加工

## 1. 緒言

太陽光発電設備の安全性を確保するには、太陽光発電モジュールに影がかかるなどの不具合が発生した際に電流を迂回させて太陽光発電セルの異常過熱を防ぐバイパスダイオードが必要である。多くの太陽光発電モジュールはバイパスダイオードを裏面のジャンクションボックス内に配置しているが、これをモジュール内に内蔵すれば、裏面の凸部をなくした意匠性に優れた薄型太陽光発電モジュールを生産できる。

本報告では、バイパスダイオードの電流迂回時の発熱があっても燃焼の恐れが少ない難燃性ラミネート材料を選定し、バイパスダイオードを内蔵した太陽光発電モジュールを試作したので報告する。

## 2. 実験

### 2. 1. スtring の設計

太陽光発電セルに影がかかるなどして発電量が下がると、セルが発熱しホットスポットになる。バイパスダイオードはセルに流れていた電流を迂回させ、セルの発熱は減らすが、バイパスダイオード自体が発熱する。ダイオードの温度上昇によりモジュールの封止材が変性しないよう材種を選定する必要がある。

一般的な結晶シリコン太陽光発電モジュールの構造を図 1 に示す。太陽光発電セルに電極線をはんだ付けしたストリングは、封止材によりガラス板にラミネートされる。封止材はエチレン・酢酸ビニル共重合体 (Ethylen-vinyl acetate copolymer 以下 EVA) をフィルム形状にして使用されることが一般的だが、温度上昇時に発火する恐れが指摘されている。開発した薄型バイパスダイオードは封止材内で発熱するため、封止材も難燃性に優れていることが求められる。

近年、樹脂メーカーから難燃性に優れた封止材が提案されている。薄型バイパスダイオードは太陽光発電セルよりも厚く、ラミネート工程で気泡残りや封止材

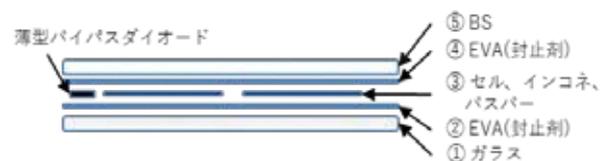


図 1 モジュールの断面構造

表 1 ミニモジュールの仕様

太陽光発電セル	単結晶シリコンセル アルミBSF型 4 枚
ガラス寸法	400mm × 400mm
薄型BPDの寸法	7mm × 7mm × 0.7mm
BPDの接合	タブ線厚さ0.3mmにはんだ付け タブ線幅 12mm
封止材	(1) EVAシート (2) 難燃性封止材シート

との剥離が発生する懸念がある。そこで従来の EVA と難燃性ラミネート材で封止試験を実施した。

試作した太陽光発電ミニモジュールの試料を表 1 に、配置図を図 2 に示す。バイパスダイオードからの放熱のため、横タブ線幅を 12mm とした。

### 2. 2. ラミネート試験

太陽電池セル 4 枚を直列配置し、セルとタブ線をはんだ付けしたストリングを作製した。これをそれぞれの封止材料で挟み、真空加熱ラミネーターでガラス板にラミネート加工した。表 2 に封止材ごとのラミネート条件を示す。

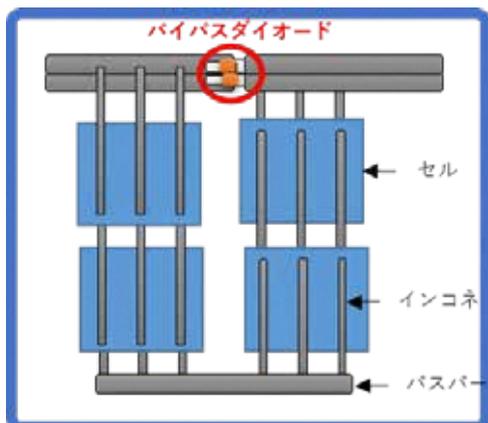


図2 ミニモジュールの組立図面

表2 ラミネート条件

	EVA	難燃性封止材
真空引き時間	12分	30分
処理温度	150°C	120°C

### 3. 結果

#### 3. 1. 外観検査

ラミネート後のミニモジュールの外観を図3示す。図3 (a) に示すEVAを封止材に使用したモジュールでは、気泡残りや変色は見当たらなかった。図3 (b) に示す難燃性封止材によるミニモジュールでは、薄型バイパスダイオードを内蔵した部分に気泡が残った。

#### 3. 2. 出力特性の評価

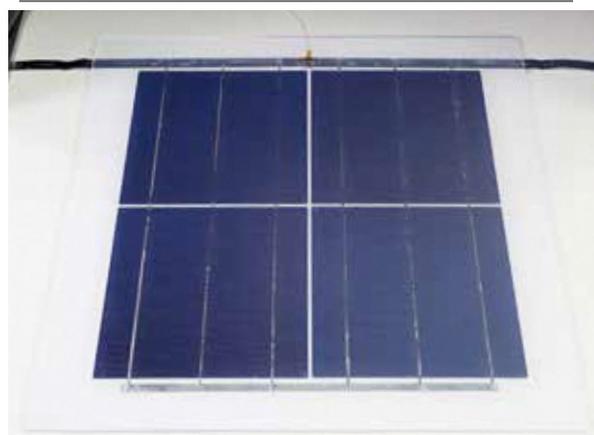
難燃性封止材で作製したミニモジュールの出力特性をソーラーシミュレーター(PVS1116)で測定した。測定条件を表3に、得られた出力特性を図4に示す。従来のEVA封止材と同等の出力が得られた。

### 4. 考察

試作した太陽光発電モジュールの薄型バイパスダイオードを内蔵した部分は、厚さ0.7mmのバイパスダイオードに、厚さ0.3mmのタブ線がはんだ付けされている。この部分の厚さ約1.0mmになり、気泡残りなどラミネート不良が発生する可能性があった。図5 (a) にEVAで封止した薄型バイパスダイオードを、(b) に難燃性材で封止した薄型バイパスダイオードを示す。それぞれ温度測定のため熱電対も封止されている。EVA



(a) EVA ラミネート



(b) 難燃性封止材ラミネート

図3 ミニモジュールの外観

表3 出力特性測定条件

セル面積	243.36cm <sup>2</sup>
モジュール面積	1600cm <sup>2</sup>
測定温度	24.9°C

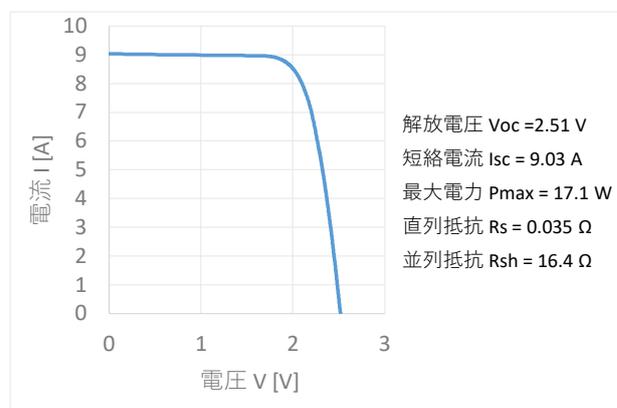


図4 ミニモジュールの出力特性

材では隙間なくラミネートできているが、難燃性封止材料では隙間が空いていることが分かる。これは難燃性封止材のバックシートに柔軟性が低かったためと考えられる。封止材の厚みとバックシートの柔軟性を検討する必要があった。

また、セルの受光面のタブ線周辺にも、図6に示すよう気泡が残っている部分が観察された。難燃性封止材料では、タブ線に凸部がある部分で気泡が残っているように見える。この点から、難燃性封止材料自体も変形しにくいことが推察された。

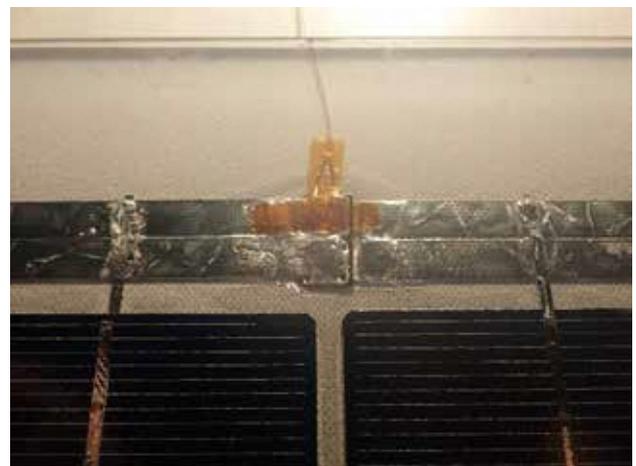
## 5. 結言

バイパスダイオードに電流迂回時の発熱があっても燃焼の恐れが少ない難燃性ラミネート材料を選定し、バイパスダイオードを内蔵した太陽光発電モジュールを試作した。従来のEVA封止材と同じように薄型バイパスダイオードが内蔵されていてもラミネート可能であったが、一部に気泡が残った。この要因は、封止材厚さ不足とバックシートの柔軟性不足が考えられた。

難燃性ラミネート材を用いたモジュールの出力特性は、従来のEVA封止材を用いたモジュールの出力特性と同等であった。



(a) EVA ラミネート



(b) 難燃性封止材ラミネート

図5 封止した薄型バイパスダイオード



図6 タブ線のラミネート不良



# バイパスダイオード内蔵太陽光発電ミニモジュールの試作

## Trial Production of Photovoltaic Mini-module with Built-in Bypass Diode

アンフィニ株式会社 川崎俊弘 根本克広 木村太亮 根本篤  
福島県ハイテクプラザ 小野裕道 三瓶義之 小林翼 本田和夫 尾形直秀  
福島双羽電機株式会社 本田剛  
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  
高遠秀尚 白澤勝彦 水野英範 望月敏光

太陽光発電モジュールの裏面のジャンクションボックスを無くし、設置場所を拡大するため、バイパスダイオードをモジュール内に蔵させた太陽光発電モジュールを開発する。厚さ 0.7mm の薄型バイパスダイオードを内蔵した太陽光発電モジュールを試作した。太陽電池パネルの製造ラインの中の量産設備においても、バイパスダイオードを内蔵したモジュールを作製できることを確認した。

Key words: 太陽光発電、太陽光発電モジュール、バイパスダイオード

### 1. 緒言

太陽光発電設備の安全性を確保するには、太陽光発電モジュールに影がかかるなどの不具合が発生した際に電流を迂回させて太陽光発電セルの異常過熱を防ぐバイパスダイオードが必要である。多くの太陽光発電モジュールはバイパスダイオードを裏面のジャンクションボックス内に配置しているが、これをモジュール内に内蔵すれば、裏面の凸部をなくした意匠性に優れた薄型太陽光発電モジュールを生産できる。

本報告では、薄型のバイパスダイオードを内蔵した太陽光発電モジュールを従来のモジュールの量産設備で試作し、作製手順の確認と試作品を試験したので報告する。

### 2. 太陽光発電ミニモジュールの設計

量産機でミニモジュールを試作するため、セルを 4 枚配置するミニモジュールを設計した。ミニモジュールの配置を図 1 に示す。薄型バイパスダイオード通電時の発熱を放熱するため、薄型バイパスダイオードは幅 12mm のタブ線と接続した。

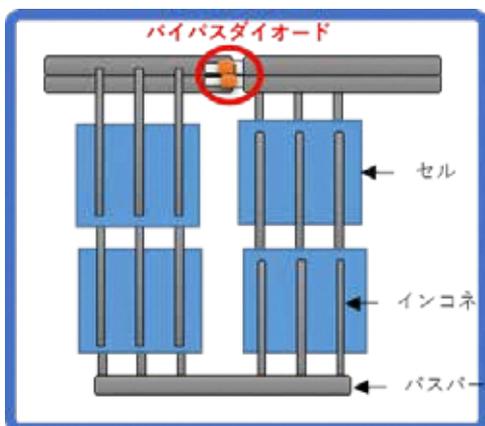


図 1 ミニモジュールの組立図面

### 3. 太陽光発電ミニモジュールの試作

#### 3. 1. スtring加工

太陽光発電セル 4 枚を直列に配置し、セルとタブ線をはんだ付けした String を製作した。セル配置は図 1 の図面の通りとし、セルとインターコネクタ、バスバー、薄型バイパスダイオードをはんだごてではんだ付けして接続した。

#### 3. 2. レイアップ加工

作製した String をエチレン・酢酸ビニル共重合体 (Ethylene-vinyl acetate copolymer 以下 EVA) フィルムを封止材として、レイアップした積層順を図 2 に、レイアップ後の試料の外観を図 3 に示す。

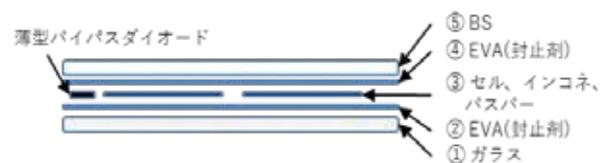
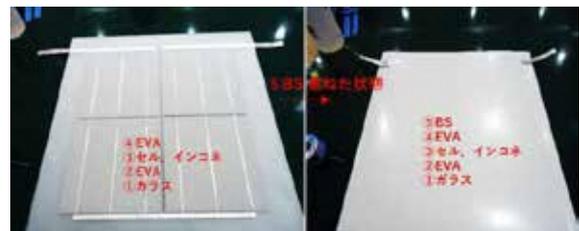


図 2 ミニモジュールの断面図



(a) バックシートなし (b) レイアップ完成品

図 3 レイアップ後の外観

### 3. 3. ラミネート加工

レイアップでセットアップしたミニモジュールを、ラミネート加工した。表1に示す条件で、ラミネーターのパラメーターを設定し、セットアップしたミニモジュールと評価用の試料をラミネーターに投入した。ラミネーター投入前後のモジュールを図4に示す。ラミネーターは量産機であり、太陽光発電セル60枚を並べたフルサイズのモジュールを処理できるよう設計さ

表1 ラミネーターの条件

試作実施日	2019/12/23
測定日	2019/12/24
EVAメーカー	HIUV (中国製)
BSメーカー	ZTT (中国製)

No.	1層目		2層目	
	設定値		設定値	
1	温度(°C)	142	151	
	時間(s)	150	450	
		圧力(kpa)	圧力(kpa)	
	真空			
	1段階	-20	-20	
	2段階	-15	-10	
	3段階	-10	-5	



(a) 投入前

(b) 投入後

図4 ラミネーター投入前後のモジュール



図5 バイパスダイオード内蔵ミニモジュール

れている。このためミニモジュールもフルサイズのモジュール用のガラス板に載せてラミネートした。ラミネート後のバイパスダイオード内蔵ミニモジュールの外観を図5に示す。薄型バイパスダイオードの内蔵部分にシート破損や発泡、断線は見当たらず、良好にラミネートできていた。

### 4. 評価試験

#### 4. 1. 剥離試験

ミニモジュールと同時にラミネートした評価用の試料にて、剥離強度を測定した。図6に示す試料内の6点を、バックシートをデジタルフォースゲージで引っ張り、剥離強度を測定した。剥離に至るまでのデジタルフォースゲージの引っ張り荷重の一例を図7に、各測定点の剥離強度を表2に示す。剥離強度の参考のため、太陽光発電セル60枚を直接に配置したフルサイズモジュールの剥離強度をあわせて記載した。社内基準は50N以上の剥離強度を求めており、この試料においても同等の剥離強度が得られた。ミニモジュールにおいても剥離強度が得られていると推測される。

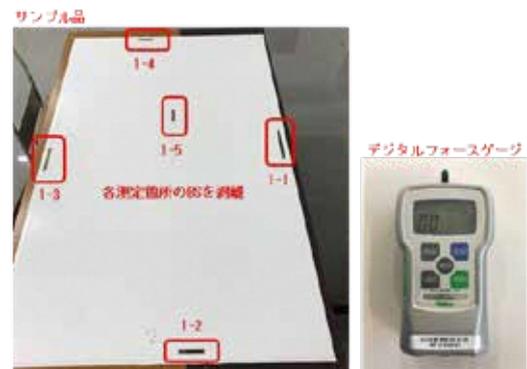


図6 剥離強度測定個所とデジタルフォースゲージ

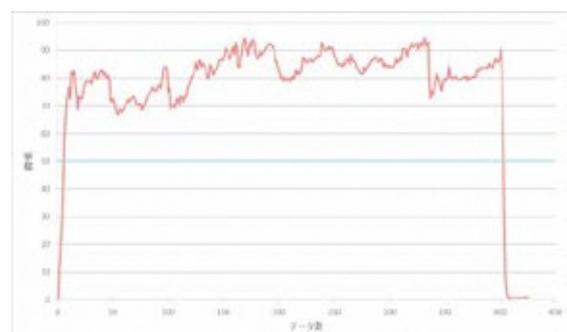


図7 剥離強度の荷重曲線 (測定点 1-2)

表2 各測定点の剥離強度

データNo	ミニモジュール 剥離強度 (N)	弊社60直280wモデル 剥離強度 (N)
1-1	93.871	83.841
1-2	82.436	73.621
1-3	67.127	88.274
1-4	66.324	78.501
1-5	65.923	86.163

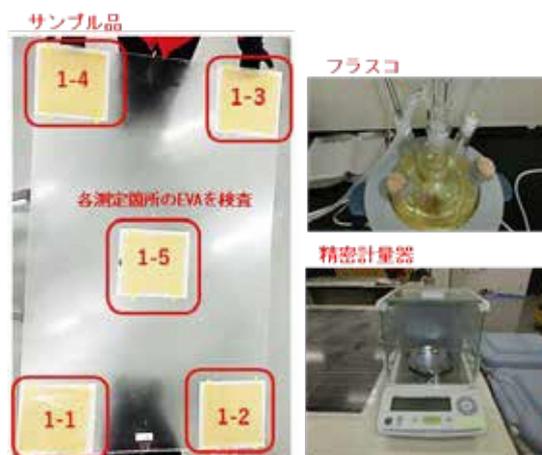


図8 サンプル採取箇所と測定装置

#### 4. 2. 架橋率試験

ラミネート後に EVA が架橋されていることを確認するため、試料内の 5 箇所からサンプルを採取し、溶剤に浸し、架橋率を測定した。試料を溶液に浸漬し、浸漬前後の重量の比を百分率で表す。数式は次のとおり。

【架橋率算出方法】

$$\text{架橋率} = \frac{\text{非溶解成分の重量}}{\text{溶解前の重量}} \times 100$$

サンプルの採取箇所と測定機器を図8に示す。各採取点の架橋率を表3に示す。架橋率の参考のため、太陽光発電セル 60 枚を直接に配置したフルサイズモジュールの架橋率をあわせて記載した。社内基準は 75% 以上の架橋率を求めており、どの採取点にサンプルも 60 直量産品と同等の架橋率が得られた。ミニモジュールにおいても十分な架橋率が得られていると推測される。

表3 試料の架橋率の測定結果

データNo	ミニモジュール 架橋率 (%)	弊社60直280wモデル 架橋率 (%)
1-1	78.065	79.375
1-2	78.205	78.481
1-3	78.846	80.982
1-4	78.710	78.125
1-5	79.355	81.169

#### 5. 結言

薄型バイパスダイオードを内蔵した太陽光発電ミニモジュールを設計し、外観上問題なく試作できることを確認した。

また、同工程で作製した評価用のミニモジュールに対し、剥離強度と架橋率の試験を行った。ミニモジュールに剥離強度と架橋率に影響はなかった。

今回、ミニモジュールの試作においては良好な結果を得ることができた。市販品向けに大量生産するには、薄型バイパスダイオードを内蔵したセル 60 枚直接サイズの太陽光発電モジュールを試作し、評価する必要がある。



## 謝 辞

本研究開発事業の推進にあたり、ご指導、ご支援をいただきました大学、関係機関の方々に対し、ここに改めて深く感謝申し上げます。

所 属 ・ 役 職	敬称略・順不同 氏 名
東北大学 マイクロシステム融合研究開発センター 副センター長 准教授	戸 津 健太郎
国立研究開発法人産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究所 テクニカルスタッフ	浅 尾 秀 一
山形県工業技術センター 置賜試験場 専門研究員	金 子 誠 也

福島県ハイテクプラザ研究報告書  
Technical Reports of Fukushima Technology Centre

福島新エネ社会構想等推進技術開発事業

# バイパス回路内蔵太陽電池パネルの 実装技術の開発

令和2年3月発行

発行

福島県ハイテクプラザ  
〒963-0297 福島県郡山市待池台一丁目12番地 郡山西武第2工業団地内  
TEL 024-959-1736 FAX 024-959-1761

編集

福島県ハイテクプラザ  
技術開発部 プロジェクト研究科





この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。



VEGETABLE  
OIL INK

紙へのリサイクル可。