

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 小林翼 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 (FRE A)
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、市街地への設置数を増やすことが求められている。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口と放熱性を高めたバイパスダイオード、それらを組み込んだ太陽電池パネルの加飾デザインを考案したので報告する。

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。本県は「福島新エネ社会構想」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による発電の中で、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んでいる。他方、市街地での太陽電池パネルの設置はゼロ・エネルギー・ハウス (ZEH) やゼロ・エネルギー・ビル (ZEB) の電源として関心が高まっているものの、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、市街地での設置箇所の拡大が期待されている。

これまでハイテクプラザは、従来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。

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 (FRE A)、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デザインを考案した。

2. 実験及び結果

2. 1. 電線取出口の水没試験

市街地への設置を考えると、電線取出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。

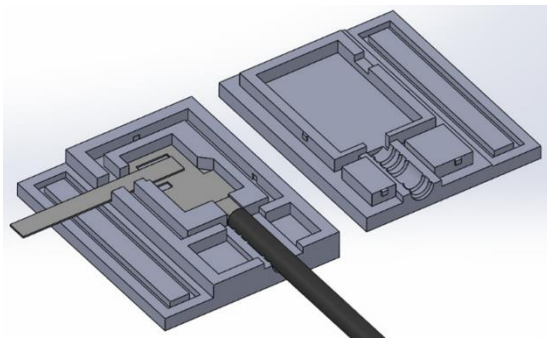
太陽電池パネルの出力電流は10[A]を超えるため、接続の信頼性確保のために、電線は内部配線のタブ線とはんだ付けする必要がある。タブ線と電線を接続する電線取出口は、太陽電池パネルの端面に取り付けることとし、設置時には柱に内蔵される仕様とした。また、試作・評価に用いる太陽電池パネルは太陽電池セルが4枚入る1辺400mmの小型の太陽電池パネルとした。

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、取出口の詳細を図1(b)に示す。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、漏電故障を起さぬよう、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。

電線取出口は3Dプリンタ(株式会社キーエンス社



(a) 電線取出し口の外観



(b) 電線取出し口の詳細図

図1 電線取出し口の設計

製アジリスタ)により造形した。これは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、それぞれの界面に水濡れ検知シートを設置した。想定した水の浸入経路と水濡れ検知シートの貼り付け位置を図2に示す。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ろ紙を重ねて接着し、シートが水濡れすれば、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に沈め 60[分]間静置した後に、水濡れ検知シートを観察した。ガラス板と電線取出し口の界面に変色が見られたので、分解して観察すると、図4のように水濡れがあったことが分かる。このように水濡れがあった場所は1ヶ所で、それより内部の電線側に濡れ広がることはなかった。また、

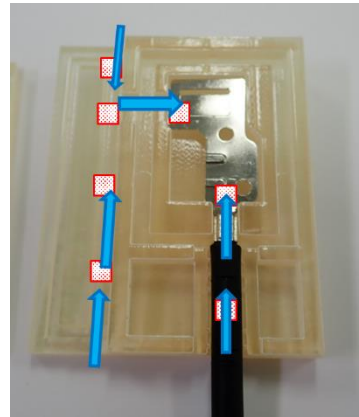


図2 造形した電線取出し口と水濡れ検知シートの貼り付け位置

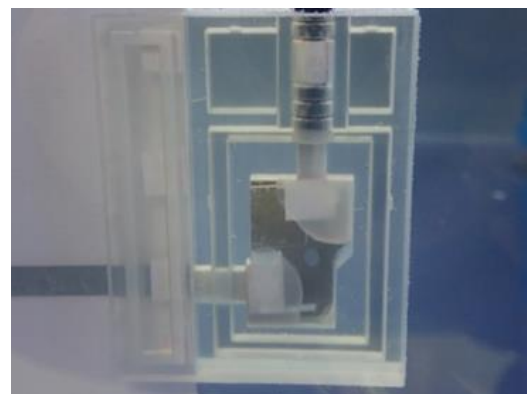


図3 水没させた端子取出し口

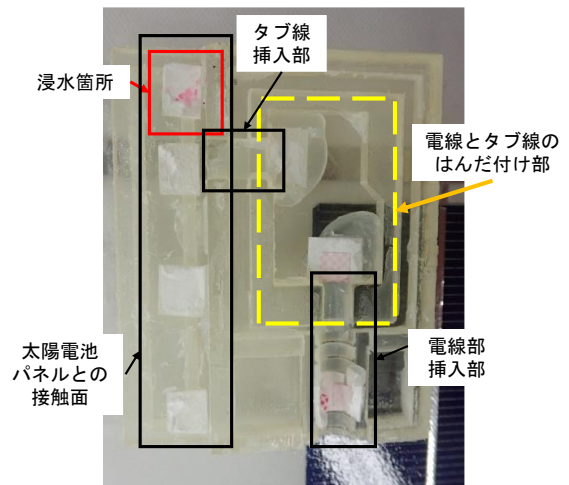


図4 水没後の水濡れ部の観察

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。電線取出し口は良好に防水できていたと考えられるが、量産される場合、組み立てを簡単にするため、ケーブルと電線取出し口の上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、電線取出し口は本試作より小型にすることも求められる。今後は、これらの課題に取り組む。

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

太陽電池パネルは、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、これらと同等の 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望ましいが、バイパスダイオードは電流を迂回させた際に発熱を逃がすための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行った。開発したインラミネート型バイパスダイオードを図5に示す。



図5 インラミネート型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。ダイオードの電極間には隙間があるが、ここに樹脂が充填されることで水分等の浸入などを防ぐ。この隙間の間隔は 0.2mmほどである。

EVA樹脂がこの厚さ 0.2mmの隙間に充填されることが求められる。インラミネート型バイパスダイオードの電極板は平板でないため隙間の観察が難しい。そこで、観察を容易にするため、インラミネート型バイパスダイオードの隙間を模擬した試料を作製した。太陽電池パネルに使用する幅 6[mm]で厚さ 0.2[mm]のタブ線を図6に示すように、3層に積層し、この中間層に隙間を設けた。

試料はラミネート後に X線撮影と超音波顕微鏡により観察した。その後、切断砥石で切断し、研磨して試料の断面を観察した。

X線透視撮影した結果を図7に超音波顕微鏡による反射波の観察結果を図8に示す。なお、図8は方向を合わせるため左右反転している。X線透視撮影では内部のはんだ付け構造は把握できたが、EVA樹脂は X線の透過率が高いため隙間への浸入の有無は観察できなかった。銅板と EVA樹脂界面からの反射を期待した超

音波顕微鏡観察では、はんだ付け構造は把握できたものの銅箔と EVA樹脂の界面の反射波は振幅が小さく、銅板も変形し反射波の到達時間も定まらないため、空隙を示す信号を判断できなかった。

この試料を図6の点線位置で切断砥石により切断し、樹脂埋め後に研磨して断面を観察すると、図9のように樹脂は中心付近まで侵入していた。開発したインラミネート型バイパスダイオードは中心に半導体があるため、樹脂は 2[mm]ほど侵入すれば半導体を封止できる。確認のため、同じ条件でラミネート加工したインラミネート型バイパスダイオードの断面を観察すると、EVA樹脂はダイオードを隙間なく封止していた。

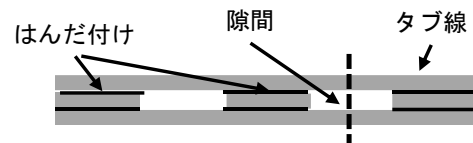


図6 ダイオードを模擬した試料の断面

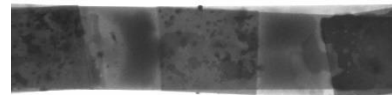


図7 模擬試料の X線撮影結果

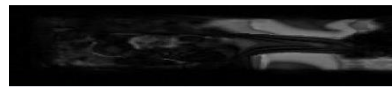


図8 超音波顕微鏡による観察結果

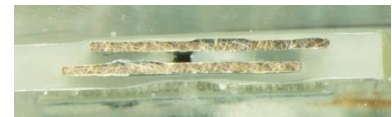


図9 模擬試料の断面観察結果

2. 2. 3. 放熱特性の測定

太陽電池セルに影などがかり発電量が低下すると、バイパスダイオードに電流が流れ始め、太陽電池セルの発熱を低減する。この際、バイパスダイオードは流れた電流により発熱する。太陽電池パネルは日向に設置されるが、電流が流れて発熱があったとしても、バイパスダイオード内の半導体素子は動作温度範囲である 150[°C]以下に保たれてい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に上昇した温度を測定し、消費電力と温度の傾きである熱抵抗 R_{th} [K/W]を算出して評価する。これと同様にインラミネート型バイパスダイオードについても、熱抵抗を求め、ラミネート後の放熱特性を評価した。

また、バイパスダイオードに電流が流れた際の発熱量は、ダイオードの電気特性により異なる。電気特性

の異なる4種類のバイパスダイオード (M9-4、M9-5、M10-3、M10-4) を試作し、太陽電池パネルにラミネート加工し、定格電流 10[A] を定電流電源より付加した。その際、ダイオードと共にラミネートした熱電対でダイオードのカソード端子側の温度を測定した。電気特性の違う4種類のバイパスダイオードの消費電力と温度上昇の関係を図10に示す。ダイオードに12[mm]幅のタブ線を付けると、熱抵抗は13.9[K/W]で、10[A]の電流が流れた際の温度上昇は61.6[°C]であった。これは、ジャンクションボックス内に内蔵するバイパスダイオードと同程度の温度上昇であり、これまで開発してきたインサート成形された薄型バイパスダイオードを上回る放熱特性を示した。ダイオードの電気特性の違いによる放熱特性の差は見られなかった。ダイオードの電気特性が異なっても、流れた電流が同じであれば、発熱量はおおよそ等しいことを示している。

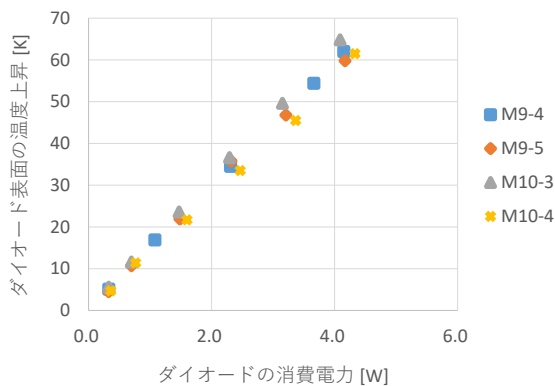


図10 ラミネートしたダイオードの熱抵抗

2. 3. 太陽電池パネルの設置法の開発

2. 3. 1. 市街地に適したデザインの開発

太陽光発電の大規模発電設備は郊外の整地された面積の大きな土地に建てられる。本研究では、大規模発電設備以外の用途として、「市街地」に適したデザインを考案した。両面受光型太陽電池パネルは、垂直に設置しても両面から光を受けて発電可能である。このため、小さな面積の土地や建物壁面への設置が期待される。これを活用したデザインの考案とデザインモデルの制作については、東北芸術工科大学が取り組んだ。

まず、共同研究者間でブレインストーミングによるアイデア発想を行った。市街地で想起される場所や建物を書き出し分類すると、「市街地中心地」と「郊外」に大別され、代表的な場所としては、「市街地中心地」には駅前や商店街、「郊外」には学校や公園があげられた。

図案の考案の前に、先のアイデアに具体的な場所と使用シーンを設定した。その結果、「学校や公園など公共の場での境界となる設置」と「駅や観光地などでの照明や案内表示となる設置」の2つが選ばれた。パネ

ルのサイズについては、これらはいずれも間仕切りの機能を有することから、大型のサイズが好ましいと考え、市販サイズの太陽電池パネルを使用することとした。

この2つのシーンのうち、「駅や観光地などでの照明や案内表示となる設置」では、照明に加え案内表示として利用するため、様々な角度からパネルが見えることが重要になる。平面から見てジグザグに太陽電池パネルを配置し、様々な角度からパネルを見ることができ、上下の梁にLEDライトを仕込み、照明としての機能も備えることとした。考案したデザインを図11に示す。

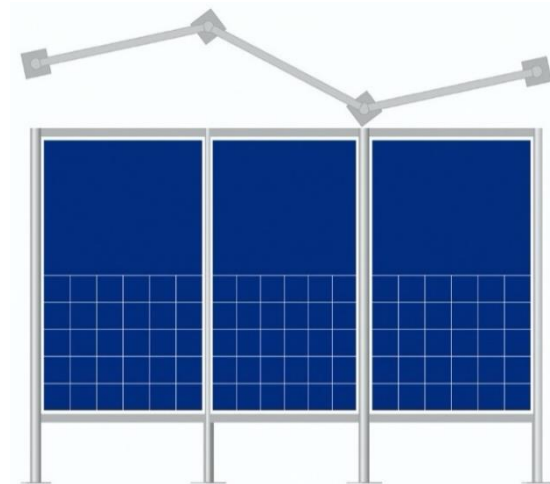


図11 駅や観光地などでの照明や案内表示を想定したデザイン

この案内板には、太陽電池パネルに加飾することで、デザイン性を付与することを試みた。設置される場所により適した加飾図柄は変わると考えられるが、加飾例として伝統的な図柄を採用した。加飾は、金粉や銀粉で絵模様を作る会津塗の蒔絵技法を応用した。加飾する図柄は2[m]離れた地点から視認することを想定し、線の太さは0.75[mm]以上とした。加飾デザインはAdobe社製IllustratorCCを使用した。複数の伝統柄の中から、面内の図柄が均一な「松」を選定した。加飾図柄を図12に示す。

デザイン確認のため、縮尺1/5のデザインモデルを作成した。架台は3DCADソフトウェアのRobert McNeel & Associates製Rhino7を使用して3D造形した。ABSフィラメントを素材としてFDM方式の3Dプリンタ(Flashforge製DreamerNX)で造形出力した。

伝統柄の「松」を加飾柄とし、会津若松技術支援センターにて、エポキシ樹脂を用いて3mmの透明アクリル版にスクリーン印刷し、アルミ粉で蒔絵を施した。デザインモデルを図13に示す。

また、実物のパネルでの視認性を確認するために、

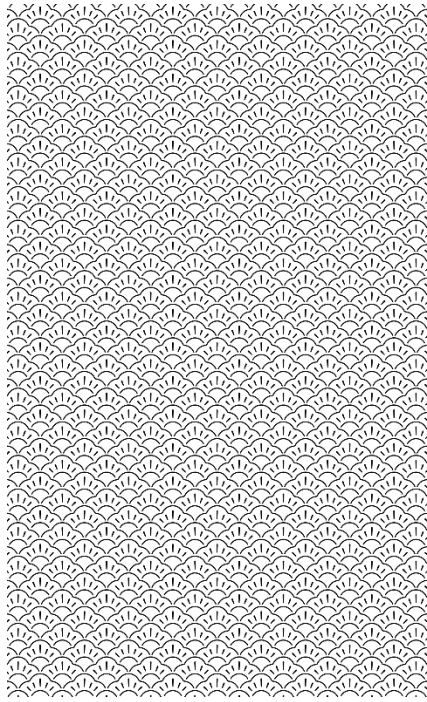


図12 加飾図柄 松

小型太陽電池パネルのガラス面に、実寸大の図柄をスクリーン印刷で印刷した。これは、図14に示すように、背景に太陽電池セルがあっても、十分な視認性が得られることを確認できた。

太陽電池パネルの加飾は、受光部に影を作り発電量を下げってしまう。本研究は、太陽電池パネルの発電量を少し下げても、加飾し新しい価値を付与することが目的である。単色で無機質な印象の太陽電池パネルに、見る人の目線を意識した加飾により華やかな印象の太陽電池パネルに変化させることができた。この加飾手法は、案内などの情報を印刷することもできることから、新たな機能を付与した太陽電池パネルの可能性を提案できた。

この反面、加飾部は太陽電池パネルに影を作ることから、太陽電池セルが温度上昇するホットスポットの発生が懸念される。今後、ホットスポットを発生しにくい加飾技法を検討する。これにより太陽電池パネルにグラフィックデザインや広告デザイン、アートを組み合わせることが可能となり、新しい太陽電池パネルが生まれると期待できる。

2. 3. 2. パネルのひずみ測定

屋外に設置された太陽電池パネルは、昼夜の温度変化や風圧により応力を受ける。ガラス板の固定方法の違いにより、かかる応力が異なることから、太陽電池パネルを屋外に設置してガラス板に生じるひずみを測定した。

屋外に測定用の架台を作製し、小型太陽電池パネル



図13 デザインモデル

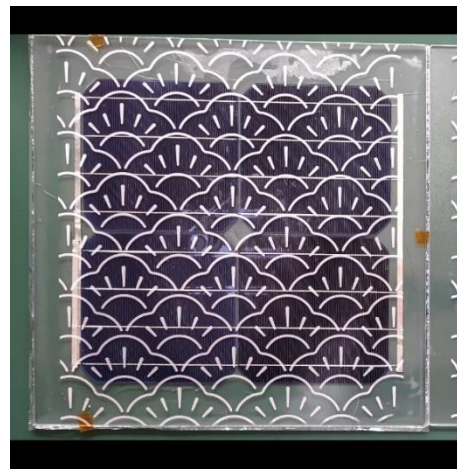


図14 太陽電池パネルの加飾

を固定した。ひずみゲージの貼り付け位置を決定するために太陽電池パネルのガラスの4辺を固定し、受光面に分布荷重を受けた場合の、最大応力の位置をCAE(Solid Works Simulation)により計算した。分布荷重は太陽電池パネルの規格にある雪氷の積載(JIS C 8990)を想定し5400 [Pa] とした。解析結果を図15に示す。図中の緑色の矢印部分は固定とし、赤色の矢印部分が分布荷重を与えて計算している。固定部近くで各辺の中央部に最大引張応力が発生することが分かったため、この部分にひずみゲージを貼り付けて測定した。

ひずみの測定に使用した測定器を表1に示す。温度変化の大きな屋外でひずみゲージを使用すると、温度変化により測定結果がドリフトする。このドリフトを抑制するため、測定物の線膨張係数に適したひずみゲージを選定し、ケーブルの温度変化の影響を受けない3線法で測定した。ひずみゲージの貼り付け位置と測定器のチャンネルを図16に示す。

図17に示すようにパネルの中央にプッシュプルゲージで98[N]の荷重を繰り返し加え、ひずみを測定した。太陽電池パネルの4辺の測定結果を図18に示す。

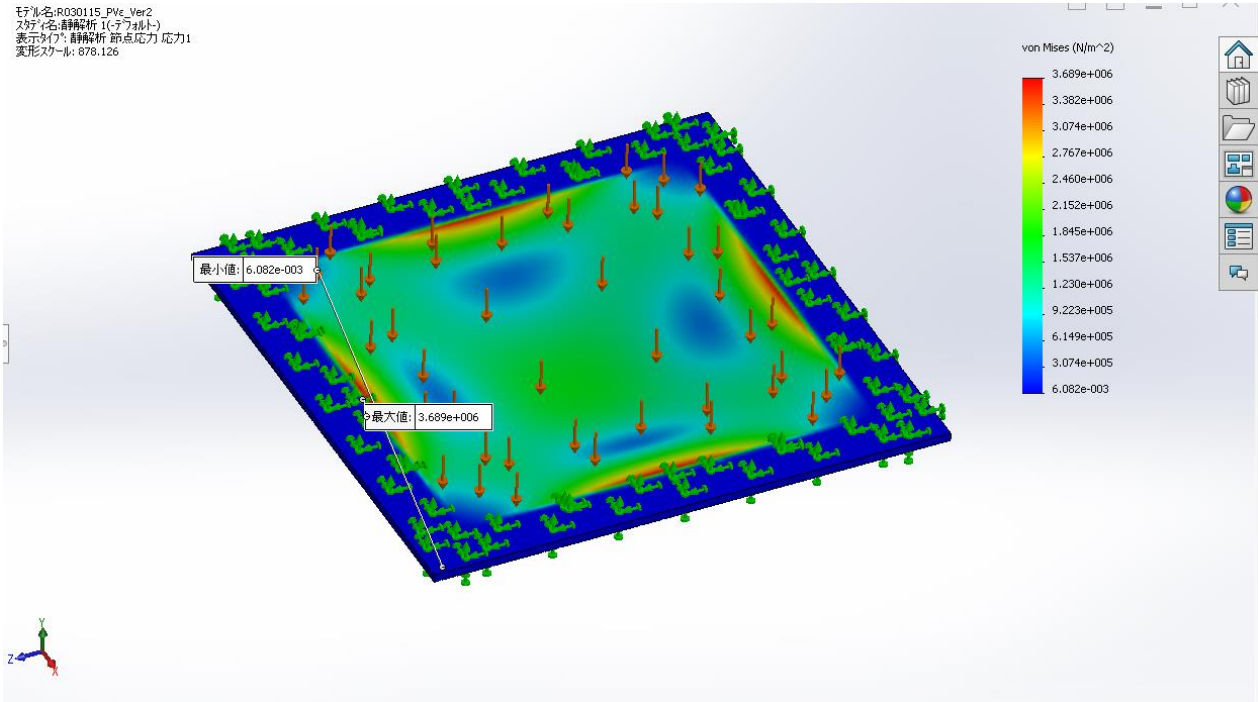


図15 ガラス板の主応力分布

表1 ひずみ測定装置

		EDX (共和電業(株)製)
構成	Amp	EDX-14A
	A/D	EDX-10B
	Softwear	DCS-100A
分解能	24bit (0.003 $\mu\epsilon$)	
応答周波数	DC-2kHz	
通信	有線 (USB)	

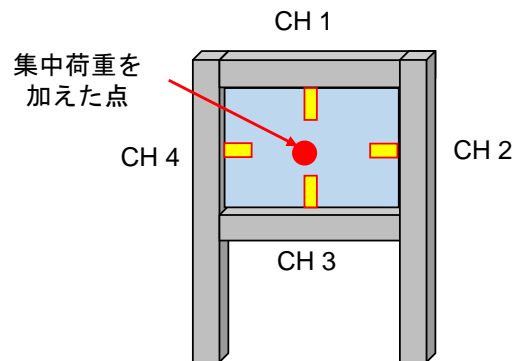


図16 ひずみゲージ貼り付け位置と測定チャンネル

温度補償のある接続法であったため、4方向のうち3方向は測定中の温度ドリフト等を抑えてひずみを測定できたが、1方向は5[分]間で約50[$\mu\epsilon$]ほどドリフトした。この要因には、測定器の接地不良やひずみゲージの接着不良などが考えられるが、特定には至らなかったため、追実験を行う予定である。

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加飾デザインを考案した。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



図17 ひずみ測定実験

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。ダイオードの密封を確認するために、バイパスダイオードを模擬した試料をラミネート加工し、断面を観察した結果、隙間に樹脂が入り込み、試料は密封されていることが分かった。
- ・インラミネート型バイパスダイオードをラミネート加工し、放熱特性を測定したところ、熱抵抗はジャンクションボックス内のバイパスダイオードと同等の13.9[K/W]であった。
- ・市街地に適した太陽電池パネルの設置方法を検討し、太陽電池パネル表面を加飾した案内板を考案し、そのデザインモデルを制作した。
- ・屋外に太陽電池パネルを設置し、ひずみゲージとケーブルの温度補償を得られる測定法でひずみ測定を行うと、温度変動のある屋外でも太陽電池パネルに発生するひずみの測定が可能であった。

今後は、電線取出し口とパネルの接着強度や防水性を評価する。その上で、これを取り付けて、インラミネート型バイパスダイオードを内蔵した両面受光型太陽電池パネルを開発する。

また、太陽電池パネルの加飾による影部とホットスポットの関係を明らかにし、太陽電池パネルを加飾した案内板の開発に取り組む。

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されました。(JPMX09F(A)-F20-TU-0050)

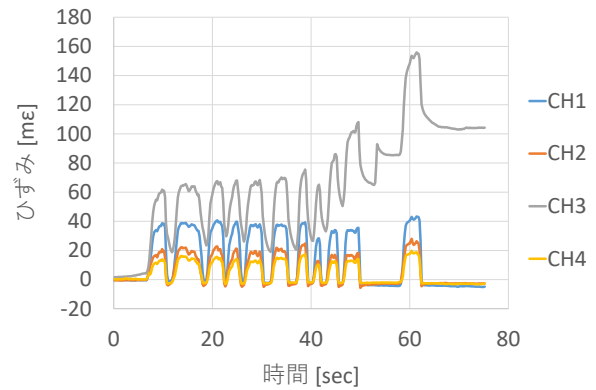


図18 屋外に設置した太陽電池パネルのひずみ測定