

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「次世代太陽電池パネルに対応したセル配線技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成24年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 財団法人長野県テクノ財団

## 目 次

第 1 章 研究開発の概要	頁
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	5
1-3 成果概要	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	14

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

○溶接に係る技術において達成すべき高度化目標(川下製造業者等の抱える課題及びニーズ)

#### (十七) 溶接に係る技術

##### 1. 溶接に係る技術において達成すべき高度化目標

##### (3) 発電、工業用等プラントに関する事項

###### ①川下製造業者の抱える課題及びニーズ

###### ウ. 製造コスト削減及び短納期化

◆次世代太陽電池パネルとして薄型・薄膜型の開発が進んでいるが、現状の配線技術では反り、割れ、カケ、ボイド等の課題があり、歩留まりの低下による製造コストの高騰が課題となっている。

###### エ. 安全性及び信頼性の確保

◆現状の溶接品質の確認は、実際に溶着したものを剥がし破壊検査により確認している。これを非破壊で確認することにより信頼性の向上とコストの削減が可能となる。

##### (6) 電子機器に関する事項

###### ①川下製造業者の抱える課題及びニーズ

###### エ. 全自動ソルダリング機器の適用範囲の拡大

###### オ. 微細加工における接合技術の向上

◆従来の太陽電池パネルの製造装置では、接触式による加熱や全面加熱による溶着が採用されていた。次世代太陽電池パネルでは、セルが 100  $\mu$ m 以下となるため熱による変形、接触による割れ、カケが課題となる。

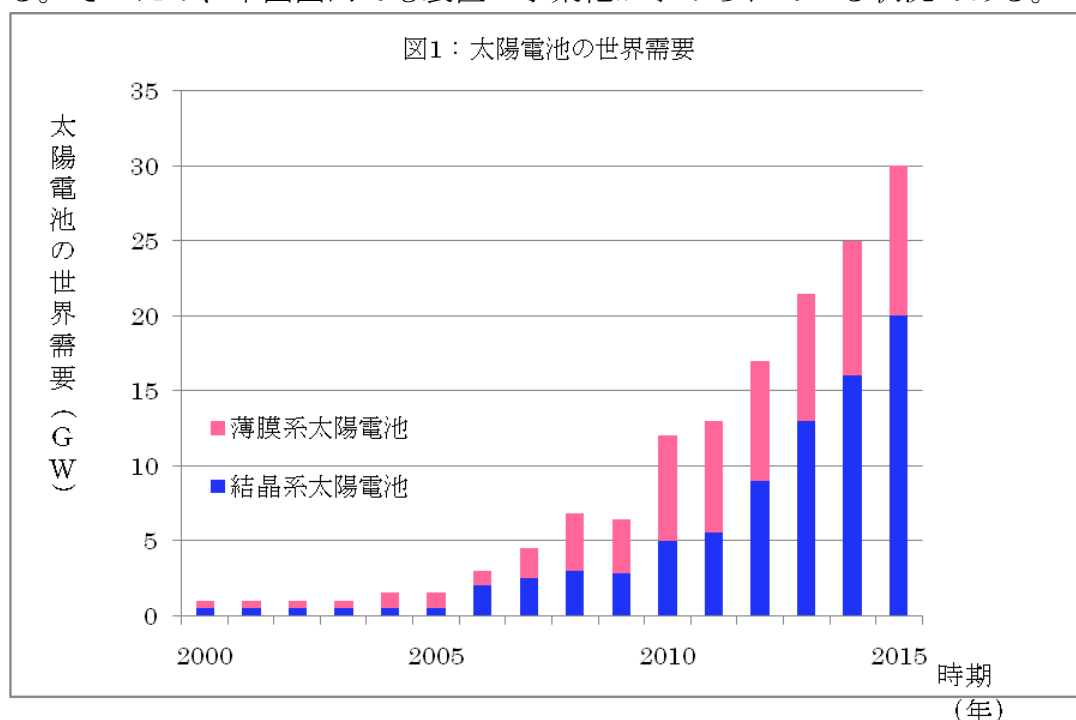
### 研究開発の背景

地球温暖化や化石燃料の高騰などのさまざまな理由から、太陽電池や風力発電などのクリーンエネルギーへの期待は高まっている。中でも太陽光発電は、近年もっとも注目を集めているエネルギー源であり、太陽から地球上に降り注ぐ光エネルギー1時間分で、人類が消費しているエネルギー1年分にも相当するといわれており、まさに無限のエネルギーである。

太陽電池の需要は世界規模で急速に増加しており(図1)、今後10年で10倍以上の規模になる見込みである。2007年頃からは、太陽電池セルの母材となるSi(シリコン)の不足・高騰により、薄型化や薄膜系、ハイブリッド型、それ以外のCIS/CIGS系薄膜型、有機薄膜型、色素増感型、量子ドット型などの

新しい太陽光発電方式が研究開発されている。2007年の太陽光発電方式別の比率は、単結晶Si太陽電池が32%、多結晶Si太陽電池49.2%、薄膜a-Si太陽電池4.3%、ハイブリッド薄膜Si太陽電池4.5%、CdTe5.9%、CIS/CIGS1.1%、その他3.0%であり、結晶系が81%と太陽電池の主力技術である。太陽電池メーカー各社とも原材料となるSiの使用量の低減のため、セルの薄型化や、薄膜系太陽電池、化合物太陽電池の開発を盛んに行っている。また、フィルム形状の太陽電池、高効率の太陽電池、低コストの太陽電池など用途が多様化しているに伴い、目的に応じた太陽光発電方法が重要となる。その他、需要の拡大により新規参入メーカーは製造設備のライン一式を装置メーカーから購入するターンキーシステムも導入されて始めている。

さらに事業の途中で発生した、東日本大震災による福島第一原発の事故により再生エネルギーが注目され、震災復興に向け関係機関も太陽電池産業の拠点を福島県に設置する計画などがあり、今後さらに成長が期待される業界である。その反面、EU諸国の経済破綻による影響で太陽電池モジュールの流通が鈍っている。また、中国での生産が増え太陽電池モジュールの価格競争が激化している。そのため、中国国内でも装置の事業化が求められている状況である。



しかし、太陽光発電の方法（セル）については、急速に研究開発が進んでいる一方で、セルを組み合わせるモジュール化するセル配線技術の開発は遅れている。従来の結晶型太陽電池モジュールの主な製造方法は次の通りである。太陽電池セル上の数か所の電極に、半田メッキされた帯状のタブリード（インターコネクタ）を切断して、セルの片面または両面に複数本位置合わせを行い、

コテや、加熱炉、ホットエア等により加熱して溶着する。その後タブリードで接続されたセルを組み合わせる太陽電池モジュールとなる(図2)。薄膜系太陽電池モジュールは、ガラス基板上に真空で蒸着された発電層の電極にインターコネクタを溶着する工程がある。こうした従来の製造工程は、セルの薄型化や、薄膜系太陽電池、フィルム型太陽電池などにそのまま適用した場合多くの技術課題があり、新たな研究開発が求められている。次世代パネルの製造工程での技術課題と必要となる研究開発項目を表1に示す。

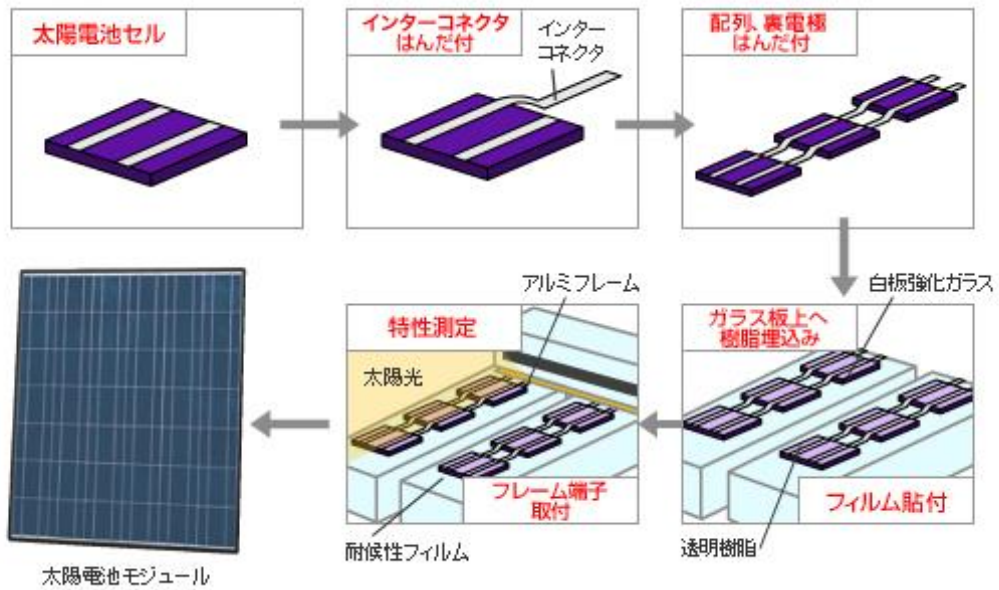


図2：結晶型製造工程

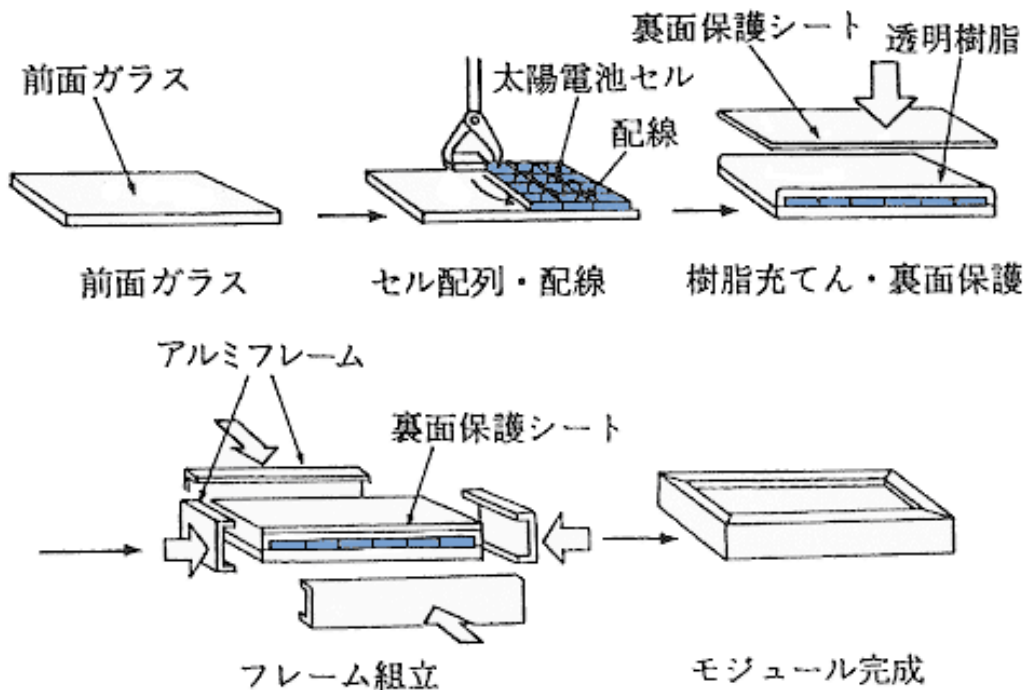


図3：薄膜型製造工程

表 1：次世代太陽電池パネルの製造工程での課題及び研究開発項目

次世代パネルでの課題	研究開発項目
①薄型化によるセルの変形、割れ、カケ、ボイド	溶着技術の開発・密着機構の開発・配線装置の開発
②加熱によるセルの変形、割れ、カケ、ボイド	
③薄膜用材料への溶着技術	溶着技術の開発・密着機構の開発・配線装置の開発
④溶着部材の密着性及び多点(40～50ポイント)対応	密着機構の開発
⑤溶着部の信頼性確保	溶着品質評価方法の開発
⑥製造コストの低減	システム開発
⑦歩留まりの向上	システム開発

表 1 に掲げた技術課題を解決し、顧客の様々な形状のセルに対応できる対応次世代太陽電池製造装置を開発する。

#### 研究開発の目標

##### 【1】レーザー細密溶接の開発

##### 【1-1】溶着技術の開発（セルとタブリードの溶着）

- ①従来方法：ホットエア方式、コテによる溶着方式により溶着している。
- ②研究開発課題：全面加熱によるセルの反り、割れ、カケが発生する。
- ③解決手法：局所加熱ができるレーザー方式、ランプヒーターによる均一加熱方式、高周波予熱方式の応用により課題解決する。
- ④目標値：装置開発を行い溶着可能なことを確認する。

##### 【2】製造装置開発

##### 【2-1】密着機構の開発（セルとタブリードの密着）

- ①従来方法：メカ機構を用い押さえつけている。
- ②研究開発課題：接触が不安定であると溶着が不安定になり、かつ、押さえ方によっては割れ、カケが発生する。
- ③解決手法：溶着箇所ごとに、局所的な押さえ方法でムラ無く押える空圧ダンパー方式等で加圧する。及び、熱伝導性の良い材料を使用することにより、割れ、カケの発生を防ぐ。
- ④目標値：密着機構の設計、製作と押え圧の評価を実施する。

##### 【2-2】配線装置の開発（タブリードの矯正、位置決め配線）

- ①従来方法：タブリードをボビンより引き出し定尺にカットしてから、溶着工程に供給している。
- ②研究開発課題：ボビンに巻かれていることにより曲がりがついている。
- ③解決手法：ボビンより引き出す際に洗浄し、カットする前に変形除去機構でテンションを加え曲がりを矯正する。
- ④目標値：配線装置を設計、製作し変形除去状況进行评估する。

### 【2-3】ライン化

- ①従来方法：太陽光発電方式により、専用のライン化がされていた。
- ②研究開発課題：太陽光発電方式ごとのライン構成となっている。
- ③解決手法：60%程度の工程が共通部分であるため、次世代太陽電池パネルに応じた、ユニット交換できる、フレキシブルなマルチラインを研究開発する。
- ④目標値：各ユニットを搭載したラインを設計、製作する。モデルワークを使用して動作確認を実施する。

### 【3】溶着診断技術の開発

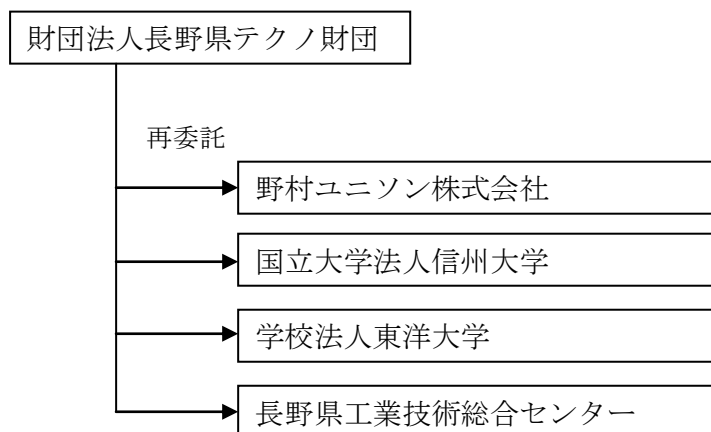
#### 【3-1】溶着状況評価方法の開発（セルとタブリードの非破壊検査）

- ①従来方法：剥離方式により目視で判断している。
- ②研究開発課題：定量評価と、非破壊での評価、ボイドの評価ができていない。
- ③解決手法：レーザー顕微鏡による溶着状況のデータと、破壊試験、SEMによる断面の観察データを収集して、画像診断システムを構築し非破壊での評価を可能とする。
- ④目標値：レーザー顕微鏡による表面観察データの収集を実施する。

## 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

### (1) 研究組織及び管理体制

#### ①研究組織（全体）



統括研究代表者 (PL)  
野村ユニソン株式会社  
商品開発課課長 神澤広樹

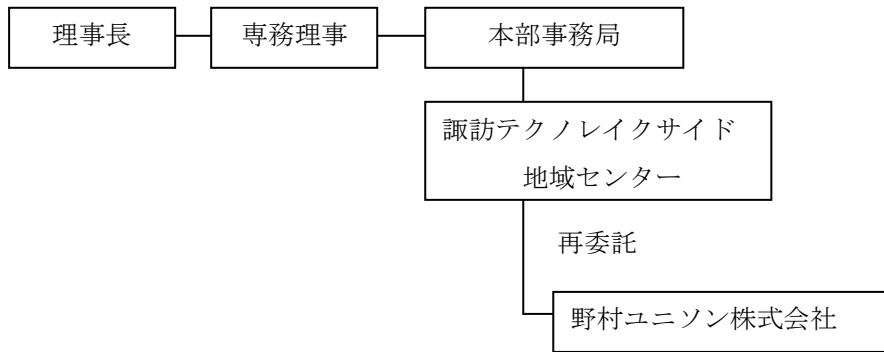
副統括研究代表者 (SL)  
野村ユニソン株式会社  
型設計課担当課長 藤森吉紀

副統括研究代表者 (SL)  
野村ユニソン株式会社  
FA システム部 原田淳一

2) 管理体制

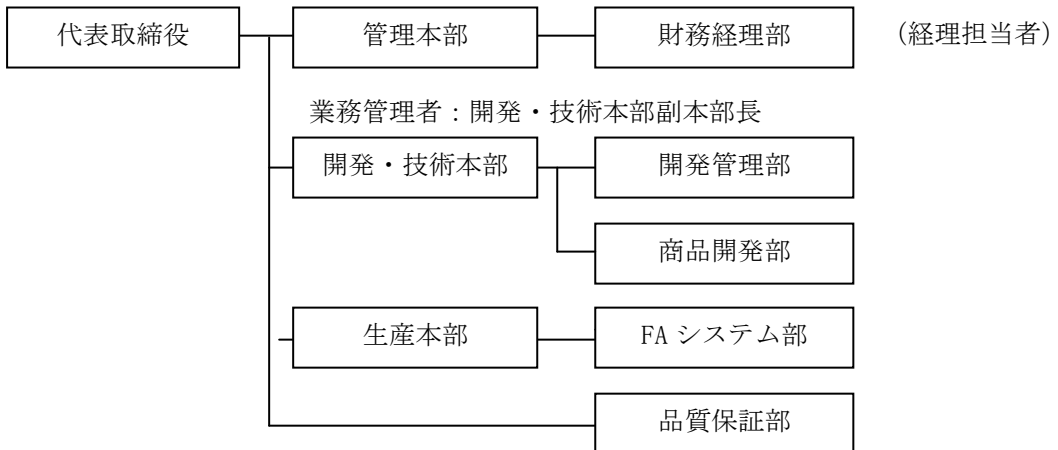
①事業管理者

[財団法人長野県テクノ財団] (業務管理者：事務局長)



② 再委託先

[野村ユニソン株式会社]





(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人長野県テクノ財団

①管理員

氏名	所属・役職
今井 敏夫	事務局長
中野 友美	職員

【再委託先】

(研究員)

野村ユニソン株式会社

氏名	所属・役職
神澤 広樹	商品開発課課長
藤森 吉紀	型設計課担当課長
山田 秀樹	FA システム部部长
原田 淳一	FA システム部次長
植松 光	品質保証課係長
小林 直樹	商品開発課主任
藤田 雅之	商品開発課主任
小笠原 洋	品質保証課
守矢 幸介	開発管理課

国立大学法人信州大学

氏名	所属・役職
橋本 佳男	工学部電気電子工学科教授

学校法人東洋大学

氏名	所属・役職
吉田 善一	理工学部長・教授

長野県工業技術総合センター

氏名	所属・役職
山岸 光	加工部研究員
新井 亮一	加工部研究員
上条 和之	測定部研究員
牧村 美加	金属材料部主任研究員
若林 優治	金属材料部研究員

### 1-3 成果概要

#### 1-3-1 溶着技術の開発（セルとタブリードの溶着）

○研究成果：下記の4種類の溶着方法を開発し評価した。

##### A. レーザー方式

レーザー方式は、レーザー発振ユニット、レーザー加工ヘッド、加工ヘッド取付け台、電圧変換トランス、発振ユニット冷却用チラー、レーザー出力測定用パワーメーターから構成される。今回の研究開発ではYAGレーザーを用いた。レーザーの出力600Wで1ヶ所当たり0.2秒の照射で溶着が可能であることを確認した。セルの反りについては、短時間で温度を加えるため最大で0.5mmと大きな反りが発生した。溶着条件を変更し出力を落とし照射時間を長くすることで解消すると思われるが、そうすると溶着時間が長くなってしまう。溶着については使用可能レベルであるが、装置としてのコストが高く現実的に使用することができない。今後新たな発電方法が開発されれば使用できる可能性がある。



レーザー加工部



レーザー発振ユニット



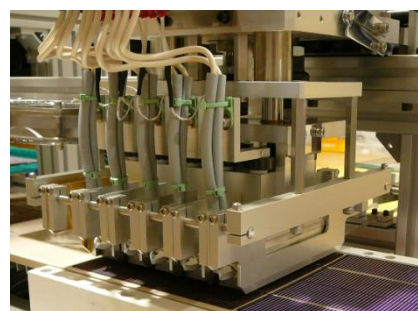
冷却用チラー

図4：レーザー方式溶着ユニット

##### B. プレート方式

プレート方式は、5ブロックに分割されたヒーターブロックにより加熱する方法である。ヒーターブロックは各々温度設定が可能となっており、微調整も可能で、各ブロックの間には冷却プレートが6枚あり、インターコネクタとセルの押えと冷却を行う。動作は、加熱ブロックが下降し

加熱したのち、冷却プレートが加工し加熱ブロックが上昇する。その後冷却プレートが上昇する。溶着条件は、下部ヒーターと組み合わせ、約280°Cのヒーター温度で、2～3秒加熱で溶着できることを確認した。溶着状況は、ボイドの発生は少ないが反りが最大で1 mm と大きい物であったが、割れやカケの発生は確認できなかった。



プリヒート及びホットテーブル

図5：プレート方式溶着ユニット

#### C. 洗浄機能付きプレート方式

洗浄機能付きプレート方式は、3か所のヒーターブロックに21ヶ所の押えプローブピンとエアによるセル表面の洗浄及び冷却機能を付加して実験を行った。エアによるセル表面洗浄の目的は、セルの電極部に塗布されているフラックスの洗浄と異物の除去である。特にフラックスの乾燥は、フラックスが乾かない状態でプレートで加熱した場合、フラックスがプレート表面に付着し腐食につながる。プレート表面の腐食は半田付け表面の状況にも大きな影響を与える。溶着結果は、反りは最大0.3mm、割れカケなし、ボイドの状況も非常に良好であった。しかし、ヒーターが常時ONしているため消費電力が大きくなっている。

#### D. 誘導加熱（IH）方式

誘導加熱方式については、当初超音波半田付けによる検討をしていたが、溶着時間が30秒以上と非常に長時間な為、途中で方針を変更し誘導加熱による溶着の検討を開始した。コイルメーカーのサンプルを利用しながら、コイル形状と出力の確認を実施し仕様を決定して試作を行った。試作機ではポイントによる溶着を行い、ステージを移動して数か所を溶着するように想定していたが、1ヶ所当たりの溶着に約3秒必要なことが判明したため、3ラインによる溶着方法に変更し改造を実施した。最終的には、ライン上に設置するべくコイル周辺の改造と、コンベア下のホッ

トテーブルの材質を誘導加熱により発熱しない材料へ変更し実験を行った。溶着結果は非常に良好で、反りは最大で 0.3mm 以内に押えられ、割れカケについても問題なくボイドの発生もなかった。しかし、加熱時間と出力を変化させると溶着条件が大きく変化するため、対象となるセルが変更になる場合は細かい設定が必要となる可能性がある。

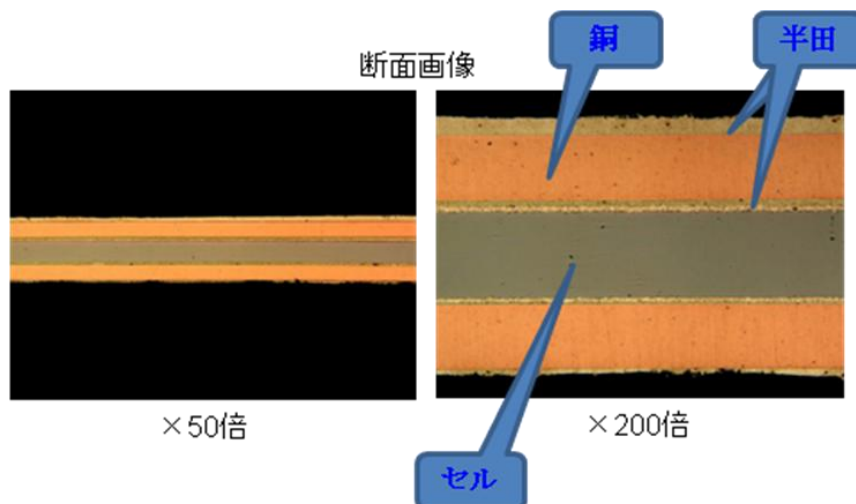


図6：プレート方式溶着ユニット

### 1-3-2 密着機構の開発（セルとインターコネクタの密着）

#### ○研究成果：

##### A. 押え方式

- ・プレート方式：プレート方式は、加熱プレートをそのままインターコネクタに押し付けることで押えを行った。押えの効果はあるが、プレート部がセルに接触するため、プレートにフラックスが付着し、頻繁にメンテナンスをする必要がある。メンテナンスを行わないと腐食の原因となることが判明した。
- ・コンタクトプローブ方式：引張りばねを用いた方式で、洗浄機能付きプレート方式に採用したが、動作のストロークが長くなってしまったため位置ずれが発生した。また、加熱部に近いため加熱による影響を大きく受ける結果となった。
- ・圧縮コイルばね方式：押えピンを圧縮バネにより加圧する方式であり、IH方式の溶着ユニットで採用した。調整ねじにより押え圧の微調整が可能で一番良い結果となった。IH方式のため熱の影響も最小限に抑えることができた。

##### B. 押え圧測定

- ・測定方法①：感圧導電性エラストマーセンサ+データロガー

感圧導電性エラストマーセンサを用いてプローブピンの押え圧を測定したが、センサの感圧部がドーム形状になっているためプローブの先端が頂点に当たるか、ずれてしまうかで測定値に差が発生した。参考値としては有効であったが、新しい方式による測定が必要となった。

・測定方法②：フィルムセンサ+オシロスコープ+専用計測ソフト

高分子圧膜フィルムを利用した圧力センサを用いて押え圧を測定することとした。複数個所の押え圧を測定できるようにオシロスコープによりリアルタイムで入力値を計測し、それを専用ソフトにより制御して表示できるように開発した。これにより川下企業から要求のあった、製造工程でセル表面に受ける荷重を数値的に測定することが可能となった。

### 1-3-3 配線装置の開発

○研究成果：

インターコネクタの供給に関しては、ボビンの送出し機構とインターコネクタ引出し機構を連動させ供給している。ボビンに巻かれたインターコネクタは使用開始時と減少時（取り替え直前）では送出し量が違うため、インターコネクタを垂らし光学センサにより送り出し量を計測して供給している。また、ボビンに巻かれたインターコネクタは巻癖がついており、これをローラーと押え溝により矯正している。この機構を用いることにより目標値を達成することができた。

### 1-3-4 溶着状況評価方法の開発（セルとインターコネクタの非破壊検査）

○研究成果：

A. 溶着評価装置

溶着ユニットによりセルとインターコネクタを半田付けされたサンプルを、マイクロスコープにより観察しその溶け込み状況の評価することができるようになった。今回の装置では、真上からの観察だけでなく斜めからの観察を可能にした。角度は、 $25^{\circ}$   $35^{\circ}$   $45^{\circ}$   $55^{\circ}$  に変更が可能である。斜めからの観察が可能になったことにより、半田の溶け込み状況の確認だけでなくマイクロクラックと半田ボールを発見することが可能となった。マイクロクラックの発生については、真上からの画像ではシリコンの結晶の模様とされていたものが斜めに観察することでマイクロクラックの発見につながった。

## B. ラミネータ

川下企業の要求により、評価結果を数値的に表してほしいとの依頼があり、シミュレータで太陽電池の特性評価をすることとしたが、セルだけではすぐに破損してしまうことと、実際のモジュールに近い状態で測定するため、経時変化による耐久性も評価するためにラミネータを開発した。ラミネータは、ストリング状になった太陽電池をガラス基板の上に、封止剤でサンドした状態でバックシートを置き、ホットプレートで加熱しつつ真空中で脱泡してモジュールを製作する装置である。



図7：ラミネータ

## C. シミュレータ

シミュレータは、太陽電池モジュールに疑似太陽光を照射し太陽電池の電流電圧特性を測定する装置である。モジュールサイズは  $156\text{mm} \times 156\text{mm}$  の太陽電池セルを 2 枚接続したストリングによりモジュール化した太陽電池が測定可能な大きさとした。太陽電池評価用シミュレータは JIS 規格により規定されており今回の開発装置は B ランクの仕様に基づき製作したが、現状 A ランクの性能を保持している。装置は、疑似太陽光源のメタルハライドランプを内蔵した照射ユニットと、太陽電池特性を測定する I-V カーブトレーサより構成され、PC によりデータを収集する。

### 1-3-5 システム化技術の開発（セル配線部複合装置）

#### ○研究成果：

本研究項目の最大の目標であったタクトタイムは 3 秒台を実現することができた。当初目標は 5 秒台であり川下企業からの要求で急遽目標値を変更することとなったが、試行錯誤の結果達成することができた。配線装置全体で時間が掛かる工程は、溶着工程であり時間をかけてゆっくり加熱すると品質的にも安定することが分かっている。それを加熱条件を変更することにより同品質で加熱時間を短縮することに成功した。

もう 1 つの目標である歩留まり 99%については、今回の研究開発では評価できなかった。評価できなかった理由は、消耗品である太陽電池セルの入手が難しくタクトタイム 3 秒のフルスペックで動作させると、約 8 時間の動作でも 10,000 枚のセルが必要となり、今回は評価できなかった。ただし、100 枚レベルの連続運転では 99%の歩留まりを達成している。



図 8：製造装置全体（赤枠内は電気制御ユニット）



図 9：製造装置（赤枠内は電気制御ユニット）

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理者 財団法人長野県テクノ財団  
代表者 理事長 市川 浩一郎  
住所 〒380-0928 長野県長野市若里 1-18-1  
担当者 今井 敏夫（諏訪テクノレイクサイド地域センター）  
連絡先 長野県諏訪市上川 1 丁目 1644-10  
TEL：0266-53-6000（内線 2665）  
FAX：0266-57-0281

再委託先 野村ユニソン株式会社  
担当者 生産革新本部商品開発部商品開発課 神澤 広樹  
住所 〒391-0001 長野県茅野市ちの 6 5 0 番地  
TEL：0266-72-7187  
FAX：0266-72-0800