

平成 2 1 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 2 2 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・・・・・・・・・・・・・・・・・・	19

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（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．全自動溶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

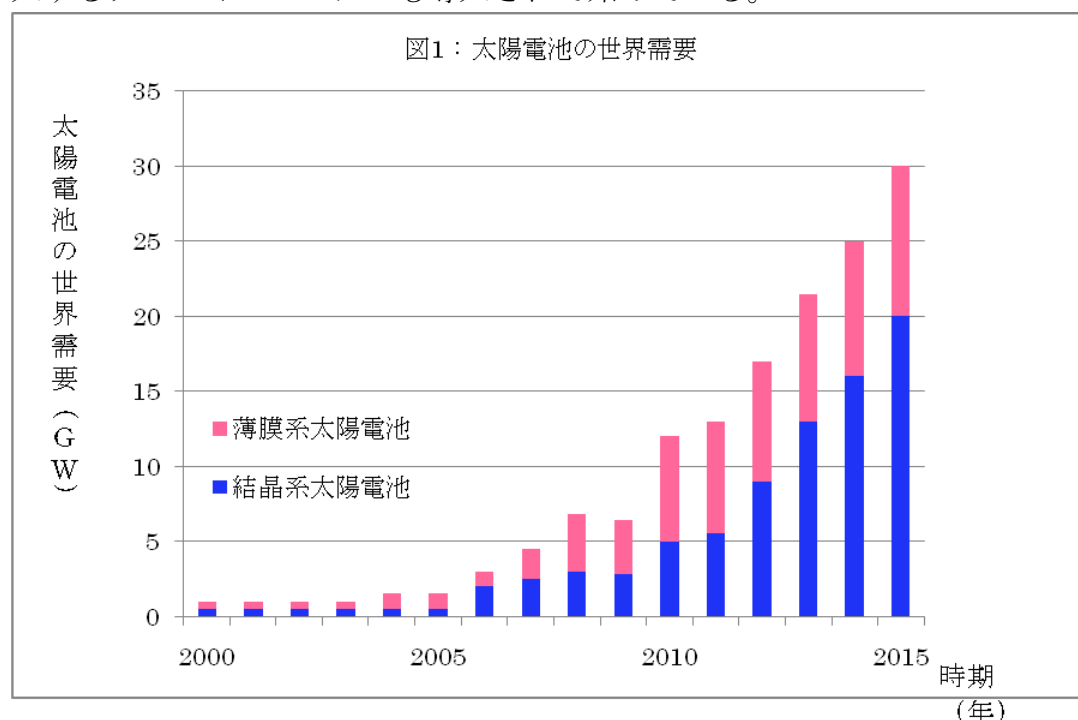
◆従来の太陽電池パネルの製造装置では、接触式による加熱や全面加熱による溶着が採用されていた。次世代太陽電池パネルでは、セルが 100 μm 以下となるため熱による変形、接触による割れ、カケが課題となる。

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%、CdTe 5.9%、CIS/CIGS 1.1%、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ことに伴い、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。



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、ホットエアー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。

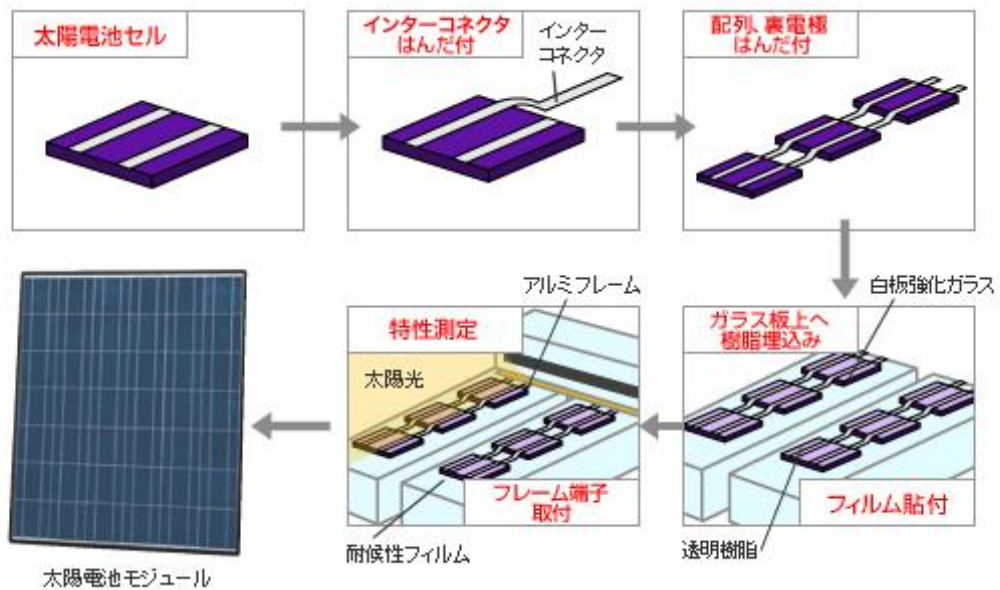


図 2：結晶型製造工程

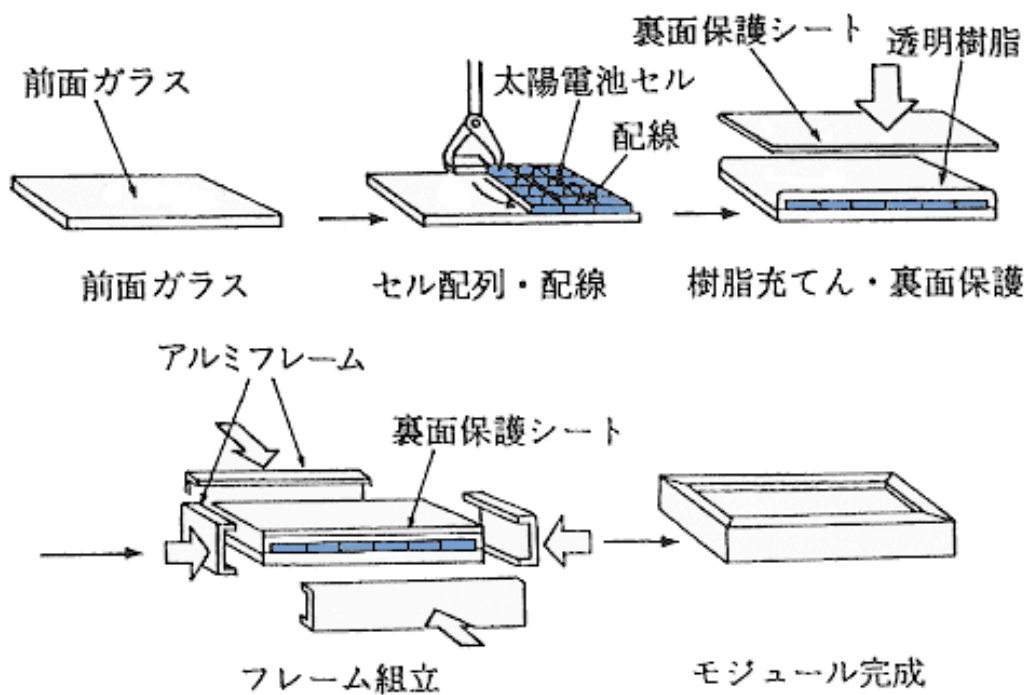


図 3：薄膜型製造工程

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、局部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进行矯正する。

④目標値：配線装置を設計、製作し変形除去状況を評価する。

【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。

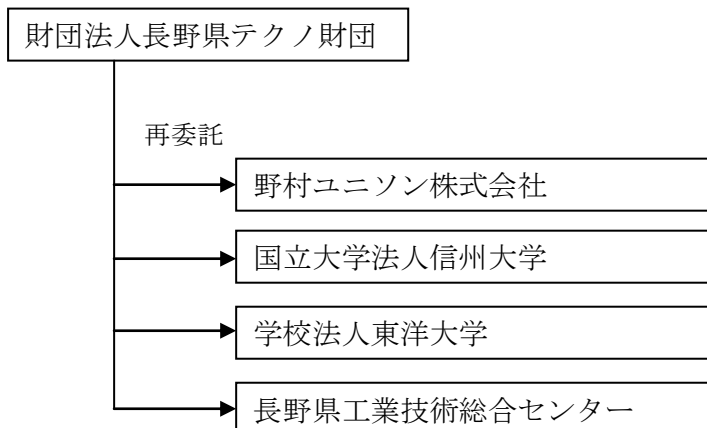
③解決手法：レーザー顕微鏡による溶着状況のデータと、破壊試験、SEMによる断面の観察データを収集して、画像診断システムを構築し非破壊での評価を可能とする。

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

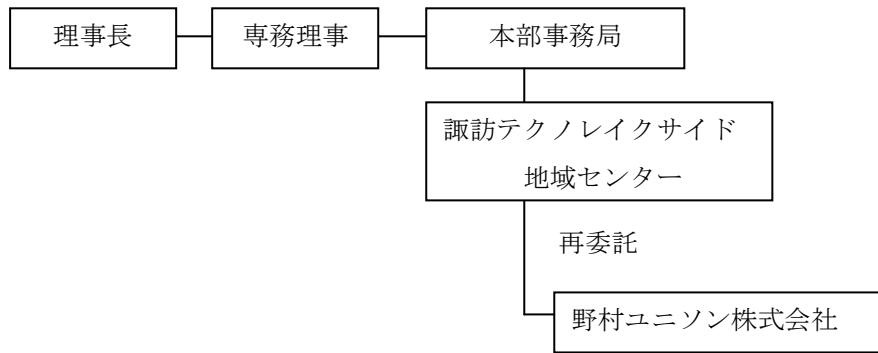
副統括研究代表者（SL）
野村ユニソン株式会社
型設計課担当課長 藤森吉紀

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

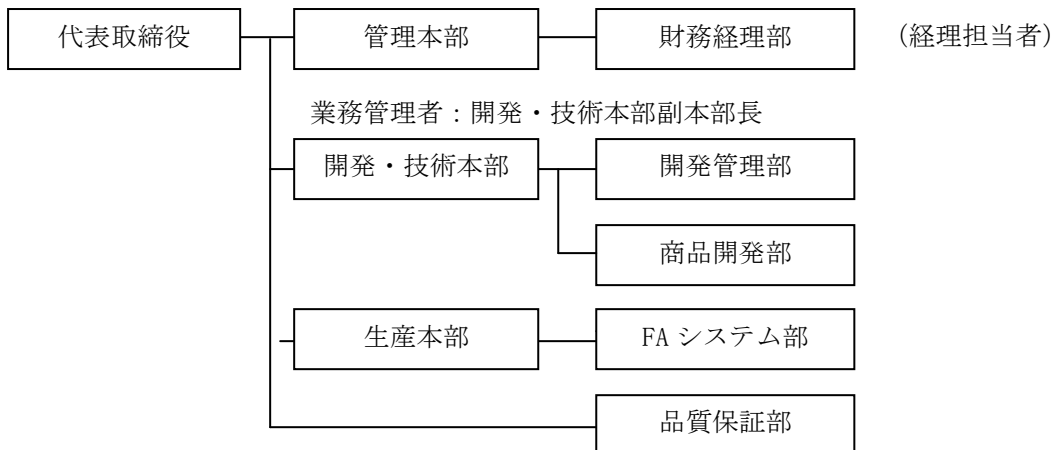
①事業管理者

〔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 システム部部長
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) 各ユニット概要説明

① レーザー発振ユニット及びレーザー加工ヘッド

レーザー発振ユニットに関しては、レーザーの発振方式についてから検討を進めた。レーザー発振方式には、主に YAG レーザーとファイバーレーザーがありそれぞれに、メリット・デメリットがある。レーザー発振器販売メーカーによりサンプル作製を実施し、溶着状況の品質的評価を実施した結果、同等であることを確認した。溶着に必要な仕様により入札を行った結果、価格が低い YAG レーザーを使用することとなった。YAG レーザー発振器用の加工ヘッドはシングルポイント及び、多点ポイントへの照射が可能である。

レーザー溶着の構成は、レーザー発振ユニットと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。

レーザーに関する主な仕様は、表 1 の通りである。

表 1：レーザー仕様

仕様項目	要求仕様
レーザー出力	Max：2kW 以上の出力が可能なこと
照射プロファイル	200 パターン以上
照射スポット径	φ 1.0mm～φ 2.0mm まで対応可能
照射範囲	320mm×190mm
その他	PF033 スキャナー装置 (f=450mm)

② 超音波半田付けユニット

超音波半田付けユニットに関しては、半田こてに超音波振動子を組み合わせ半田付けを検討したが、半田品質の安定性の問題と、タクトタイムが 30 秒以上必要なことから採用を断念し、超音波と同じ高周波を用いたコイル誘導加熱方法の検討を始めた。高周波誘導加熱は、コアに磁石を配置しその磁石にコイルを巻きつけた 3 本コイルを一体にしてモジュール化した。ユニットのコントロールは専用の高周波コントローラにより、出力（電流）と加熱時間により制御する。高周波コントローラ及び、ヘッドは高温になるため水冷による冷却が必要であり、循環ポンプにより冷却を行う。

③ プレート式半田付けユニット

プレート式半田付けユニットは、アルミ製のヒーターブロックにヒ-

ターを内蔵した加熱部と、冷却板から構成されている。ヒーターは5ブロック、冷却板は6枚あり、それぞれの制御は配線ユニットのコントロールシステムでコントロールされる。

④配線ユニット

配線ユニットは、インターコネクタの供給から矯正、カット、移載を行うとともに、装置全体の電気制御及びソフト制御を配線ユニットにて行う。

⑤密着ユニット

密着ユニットは、セル供給部にセットされたセルを1枚ずつ供給し、セルにフラックスの電極部分にフラックスを塗布し乾燥したのち、先に供給されているインターコネクタと位置決めセットを行う。

⑥システム架台・搬送ユニット

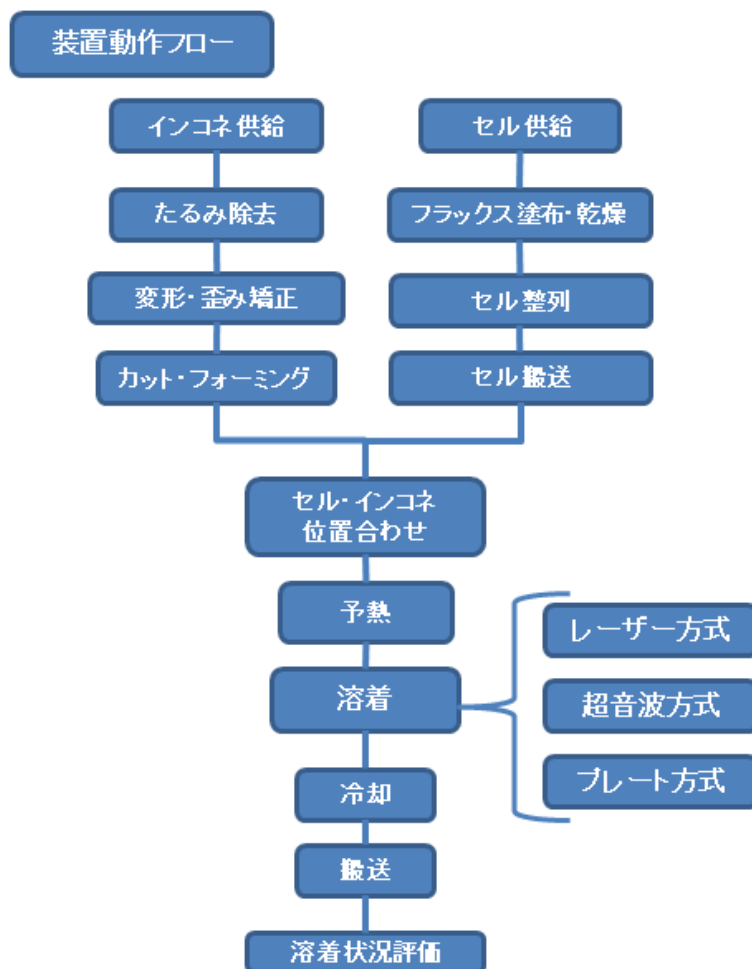
システム架台及び搬送ユニットは、本研究開発のベースとなるユニットであり、開発する他の各ユニットがシステム架台に搭載される。搬送ユニットは、太陽電池セルを運搬する部分にあたり、ベルトコンベアにより搬送するが、非常に薄く破損しやすい太陽電池セルを高速で搬送するためエアによる吸着等を利用して行う。

⑦溶着評価装置

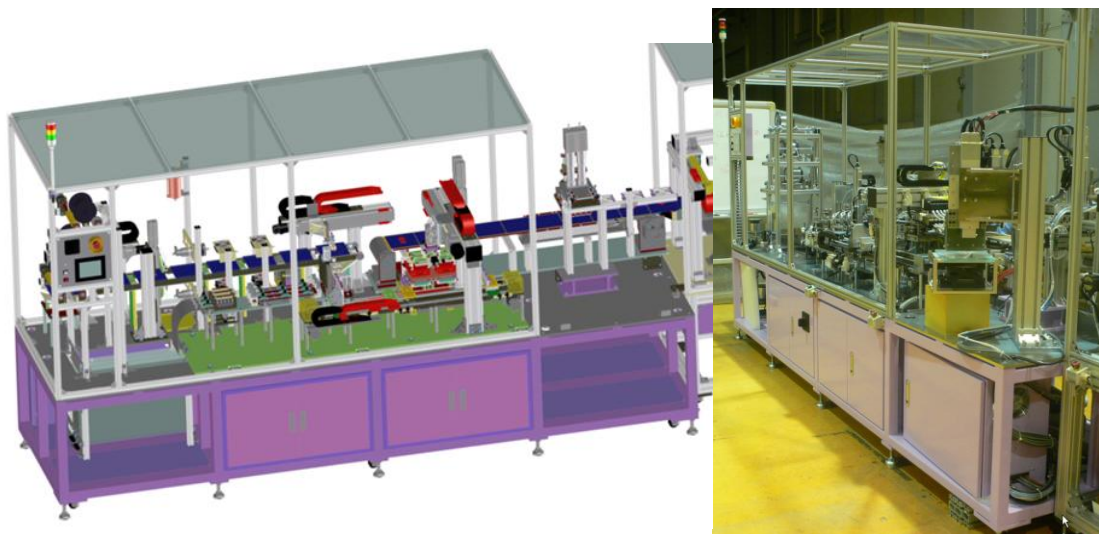
各溶着方式で溶着した太陽電池セルとインターコネクタを溶着部の表面状態を画像により評価する装置である。非接触・非破壊で評価するため、上面からの画像と、斜め45度からの画像により溶着状況を確認する。

○装置全体フロー

本研究開発で開発した装置全体の動作フローは図○の通りである。



図：装置動作フロー



(2) 目標値及び結果

本研究開発の課題及び目標値は下記の通りである。

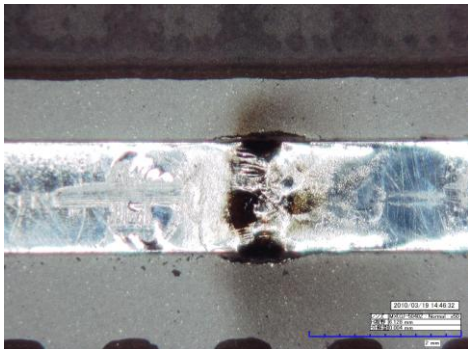
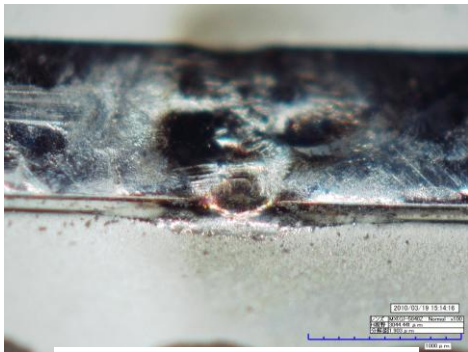
表 2：研究課題と目標値

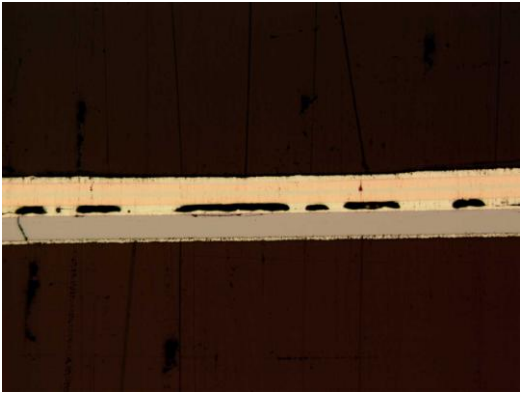
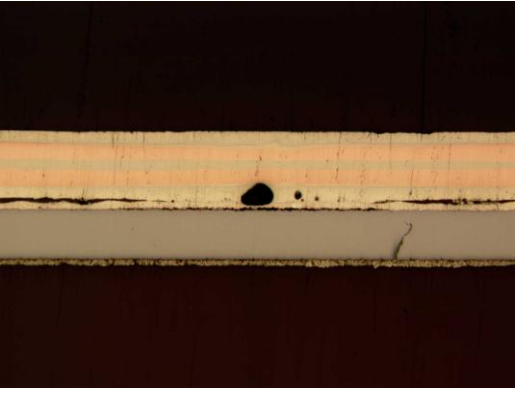
	課 題	目 標 値
1	溶着技術の開発	反り<0.5mm、割れ、カケ、ボイドなし
2	密着機構の開発	40～50 ポイントを押え圧±5%以内
3	配線装置の開発	①長さ方向寸法公差：±0.5mm ②軸方向平行度：<0.1mm ③軸方向平面度：<0.05mm
4	溶着品質評価方法の開発	非破壊でボイドの発生と溶着品質の評価
5	システム化技術の開発	①セル 1 枚 (40～50 ポイント) の溶着時間 5 秒 ②歩留まり 99%の実現

①溶着技術の開発

A. レーザー溶着方式

表 4：実験結果

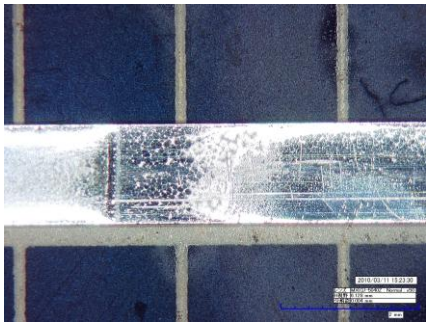
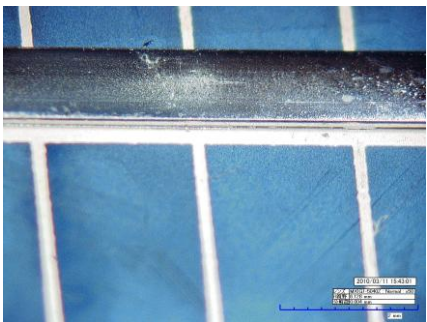
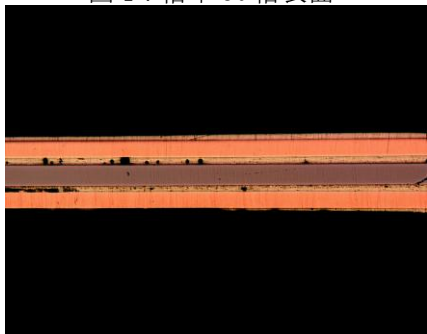
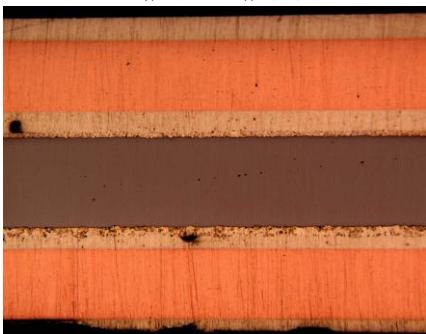
目標値	結果	条件
反り<0.5mm	反り：0.5mm	レーザー出力 600Wの 0.2S
割れ	なし	
カケ	なし	
ボイド	 図 1：倍率 50 倍裏面  図 2：倍率 50 倍裏面 角度	備考 ・ 図 1 ではレーザーを照射した部分の端が欠けているように見えるが、図 2 の角度 45 度で観察してみると欠けているのではなく、くぼんだ状態なのが確認できる。また角度 45 度で観察してみるとハンダが溶け込んでいる事も確認できる。

	 図 3：事前実験の切断観察  図 4：切断面 100 倍	・ 図3は事前実験を行った時のボイドを確認する為の切断面である。図4の今回の実験サンプルと比較してみてもボイドの数が減っていることが確認できる。 ・ ボイドの大きさとして約φ0.15mmであることも確認した。
--	--	---

B. 超音波方式（IH）

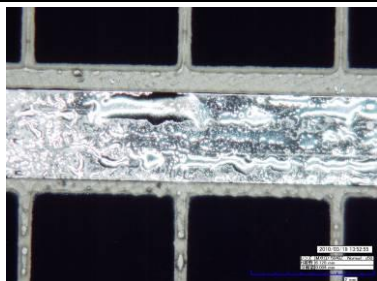
表 5：実験結果

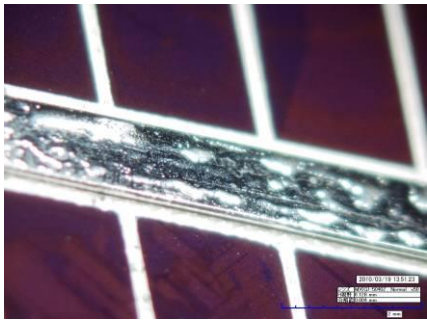
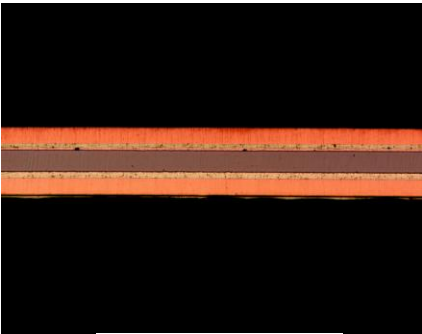
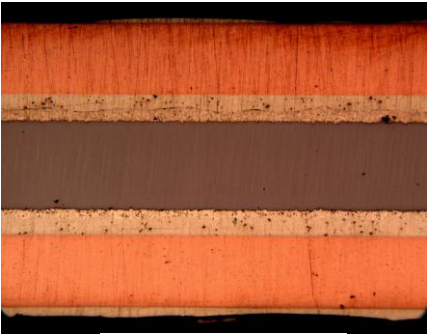
目標値	結果	条件
反り < 0.5mm	反り：5.0mm	出力：100A 加熱時間：2 秒
割れ	なし	
カケ	なし	

ボイド		
	図 1 : 倍率 50 倍表面	図 2 : 倍率 50 倍表面 45
		
	図 3 : 切断面	図 4 : 切断面 200 倍
備考		
・ I H方式によるボイドの観察を行ったところ、品質状問題があるボイドはなかった。ボイドの大きさは一番大きなボイドでφ0.12mmであることを確認した。		

C. プレート方式

表 6 : 実験結果

目標値	結果	条件	
反り < 0.5mm	反り : 0.3mm~0.8mm	ヒーターブロック①	290℃
割れ	なし	ヒーターブロック②	290℃
カケ	なし	ヒーターブロック③	290℃
ボイド		ヒーターブロック④	290℃
		ヒーターブロック⑤	290℃
		加熱時間	2.5 秒
		冷却時間	0.5 秒
		プレヒート	100℃
		ホットプレート	200℃
		図 1 : 倍率 50 倍	

	 図 2 : 倍率 50 倍 45 度  図 3 : 切断面  図 4: 切断面 200	備考 3つの方式の中で一番ボイドが少ないことが断面観察で確認できた。
--	--	---

②密着機構の開発

表 7 : 実験結果

目標値	結果
40～50 ポイントを押さえ圧 : ±5%以内	・プレート方式の溶着方法では、セル全体をロボットシリンダで押さえつけるため均一に押さえつけることができた。押さえ圧測定については、プレート下面にヒーターが内蔵されているため押さえ圧の数値的評価ができなかったため、溶着状況より押さえ状況を把握した。
判定	△

③配線機構の開発

表 8 : 実験結果

目標値	結果			
長さ方向寸法公差 : $\pm 0.5\text{mm}$	設定値 : $298\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 規格上限 : 298.2 規格下限 : 297.5			
	①	298.230	⑥	298.310
	②	298.250	⑦	298.280
	③	298.170	⑧	298.100
	④	298.150	⑨	298.130
	⑤	298.150	⑩	298.120
	MAX	298.100	MIN	298.120
	Ave	298.189	σ	0.073
	Cp	2.285	Cpk	1.421
	判定		○	
軸方向平行度 : $< 0.1\text{mm}$	①	0.030	⑥	0.021
	②	0.023	⑦	0.029
	③	0.017	⑧	0.030
	④	0.029	⑨	0.025
	⑤	0.031	⑩	0.030
	MAX	0.031	MIN	0.017
	Ave	0.026	σ	0.005
	Cp	1.697		
	判定		○	
軸方向平面度 : $< 0.05\text{mm}$	①	0.074	⑥	0.055
	②	0.065	⑦	0.048
	③	0.068	⑧	0.062
	④	0.073	⑨	0.067
	⑤	0.069	⑩	0.072
	MAX	0.074	MIN	0.048
	Ave	0.065	σ	0.008
	Cp	1.393		
	判定		○	

④溶着品質評価方法の開発

表 9 : 実験結果

目標値	結果
非破壊で溶着品質評価	・各溶着方式で溶着したサンプルを、表面状態の観察と溶着部を樹脂に埋め込みスライスした断面サンプルを比較し評価した。上面からの画像では半田の熔融状態が確認でき、斜め 45 度からの画像では、半田の溶け込み状態が確認できた。



図 1 : 倍率 50 倍表面

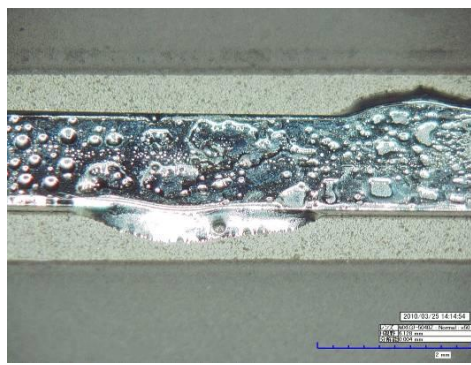


図 2 : 倍率 50 倍

判定	△
----	---

⑤システム化技術の開発

表 10 : 実験結果

目標値	結果
セル 1 枚 (40~50 ポイント) 溶着時間 : 5 秒	・ インターコネクタ供給時間 : 3.2 秒 ・ レーザー溶着時間 : 2 秒 ・ 超音波 (IH) 溶着時間 : 2 秒 (1 ライン) ・ プレート式溶着時間 : 2.5 秒 (冷却時間 1 秒) ・ セル搬送時間 : 3 秒
判定	○
歩留まり 99%の実現	・ 今回の研究開発では、各溶着方法での条件設定が主目的であったため、歩留まりの評価には至らなかった。
判定	△

(3) 考察

①溶着技術の開発

レーザー溶着については、事前に行った条件を基に実験を行った。レーザー出力と溶着時間については、事前実験と大きな差はなかった。しかし、多点を溶着する場合は、セルの位置決めとインコネとセルの密着のレベルが溶着の可否と、品質に大きくかかわることが分かった。特にインコネの歪みについては、歪みの矯正とセルとの密着度合いを管理する必要があることが判明した。

超音波 (IH) 方式については、非常に良好な結果が得られた。外観における溶着状況は、完全に目視で確認出来る状況と判定ができない状況と、2タイプに分かれたが、剥離試験については両方共にセルから割れるように剥離する為、問題はないと推測する。この2タイプの出る要因とし

て考えられるものとして溶着を行う際の密着状況と関係すると思われる。今回は試作評価の段階である為、手動での評価から調整レバーにてセットを行ったが、強すぎるとセルが割れ・カケが発生してしまい、弱すぎると溶着しない傾向にある。ムラのない溶着を確保するには圧力センサー等にて数値管理することによって一定な溶着が出来ると推測する。界面観察による溶け込みの確認においても両方共にセルにハンダが溶け込んでいるのが確認出来る。しかしボイドに関しては双方を比較すると完全に外観上にてハンダが溶け込んでいる方が良好であることが確認出来た。

反りに関しては現状の方式においては溶着時にセルが浮き上がる（約5mm程度）傾向にある。ホットプレート方式と同様に溶着時に全体を押さえ溶着箇所を一回で行うことより反りを分散させることが可能になると考える。

プレート方式については、溶着状況とタクトタイムについては良好な結果が得られた。溶着状況については、プレヒートテーブル温度とホットテーブルヒーター温度、ヒーターブロック温度、加熱時間が重要なファクターとなった。今後対象となるセルによって最適条件を決定する必要がある。ただし、溶着時間を短縮するためにヒーター温度を高くすると、セルへの影響が大きくセルの反りが大きくなり割れの原因となることが判明した。装置化への対応としては、短時間の運転では問題は発生しないが長時間運転させた場合のヒーター温度の安定性とヒーターブロック接触面の耐久性についても今後の確認課題となる。

②密着機構の開発

セルの位置決めについては、セル供給時のアジャスト機構により調整が可能になった。インコネとの位置合わせ精度も向上しているが、ベルトコンベアが動作する際に若干ずれる傾向がみられるため対策が必要である。また、セル搬送の際に吸着を行っているが、今後さらにセルの薄型化が実現された場合は、別方式による吸着方法が必要となると思われる。今後の継続研究により最薄セルを入手しさらなる研究を実施する。

③配線機構の開発

インコネの供給については、ボビンをローラーにより回転させ供給する方法が確立できた。ボビン外径による構造変更を最小に抑えることができた。供給時にボビンを自重で垂らして変形を矯正するがその際にインコネ検出用のファイバーセンサが、インコネを感知しない場合が発生

することが分かった。原因は、ボビンからのインコネ取出し位置の変化によって発生するため、今後センサの変更を含め構造の見直しが必要である。変形及び歪み矯正については問題ない。インコネ供給タクトタイムについては、3秒が可能となったが、安定性を考慮するとインコネカット後の搬送についてワークがバタつく場合があり改造が必要である。

④溶着品質評価方法の開発

レーザー方式、超音波(IH)方式、プレート方式について、セルとインコネの溶着状況を溶着評価装置(マイクロスコープ)により解析した。各方式のサンプルについて、溶着部の上面からと、斜め45度・55度の位置より観察した。斜めからの観察では、半田の溶け込み状況が確認できた。同じサンプルを断面観察により比較したが、外観状況から内部のボイド状況を推測することが可能であるが、今回の研究開発ではサンプル数が少ないため、継続研究によりデータの蓄積が必要である。

⑤システム化技術の開発

システム化技術では、溶着時間と歩留まりの向上を目標とした。溶着時間の目標値5秒は、溶着工程を基準に他の工程も5秒以下のタクトタイムをクリアするよう装置開発を行った。セルの供給とインコネの供給については、最速で3秒の供給が可能となった。同様にセルの搬送についても3秒をクリアした。仮付けの工程では、ヒーターの容量が小さく3秒で動作させると、ヒーター温度が下がってしまい温度上昇待ちが発生した。プレート式半田付けでは、ヒーター温度290℃、加熱時間2.5秒、ホットプレート温度200℃で溶着が可能なのことが確認できた。しかし、連続動作を行うとヒーターの温度低下により温度上昇待ちの時間が必要となる。今後は加熱温度と時間、冷却時間の関係を考慮し条件設定を実施する。レーザー方式では、溶着時間では40ポイントを1.5秒以内の溶着が可能である。今後はセルとインコネの密着性を考慮した治具により実験を行い、さらなる品質の向上を目指す。超音波(IH)方式では3ポイントの溶着を出力300A加熱時間2秒で溶着可能なことを確認した。セル全体を同時に加熱するには、加熱コイルの数を増やすことが必要である。今後は、加熱ヘッドの接触部分の耐久性、繰り返し精度、安定性が課題となる。

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 萩本 博幸

住所 〒380-0928 長野県長野市若里 1－1 8－1

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 開発・技術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