

令和3年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「次世代太陽光発電向け円筒型太陽電池システムの研究開発」

研究開発成果等報告書

令和4年5月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 公益財団法人 北九州産業学術推進機構

目 次

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

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-2-1 研究組織・管理体制

1-2-2 研究者指名・協力者

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

最終章 全体総括

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

平成24年導入の再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT法）により、我が国の太陽光発電所は急増し、近年の太陽電池導入量は約8GW/年となっている（図1）。

このような太陽光発電所の急激な増加に伴い、国内では太陽電池の適切な設置場所が減少しており、森林伐採（図2）や廃棄による環境汚染、住民の意向を無視した乱開発による争い増加、景観破壊、また発電パネルによる太陽光の反射によるQOL（Quality of Life）低下などが問題視されている。



図1 発電量規模ごとの設置量予測
(JPEA : Japan Photovoltaic Energy Association)

今後、太陽光発電の導入量は急激に減少すると予想されており（図1：JPEA 予測）、新たな技術開発による上記の課題解決により太陽光発電市場の更なる発展が必要と考えられる。

現在主流として利用されているSi（シリコン）太陽電池セルをガラスで固定した平型太陽電池は、技術、価格、市場とも成熟しているが、設置場所の制限やメンテナンス、リサイクル性に拘る課題がある。一方、近年開発されているガラス基板を用いないフレキシブル太陽電池（図3）は軽量であり、新たな用途展開が期待されているが、価格および寿命に課題を持つため、十分に市場拡大が進んでいない状況である。



図2 森林伐採を伴う太陽光発電所の開発

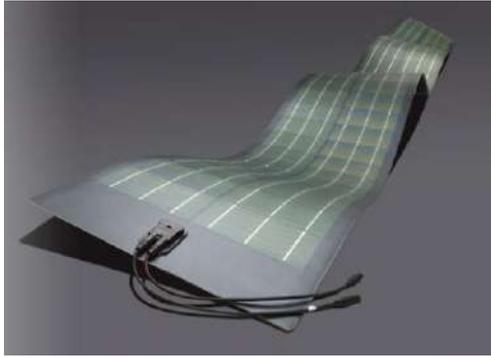


図3 フレキシブル太陽電池
(グローバルソーラー社)



図4 円筒型太陽電池((株)フジコー試作品)

本事業では、次世代太陽電池として、フレキシブル発電シートを蛍光灯と同等形状の透明ガラス管内に完全密閉封入した円筒型太陽電池(図4)の研究開発・実用化を図り、太陽光発電の新たな市場を創出することを狙いとされている。

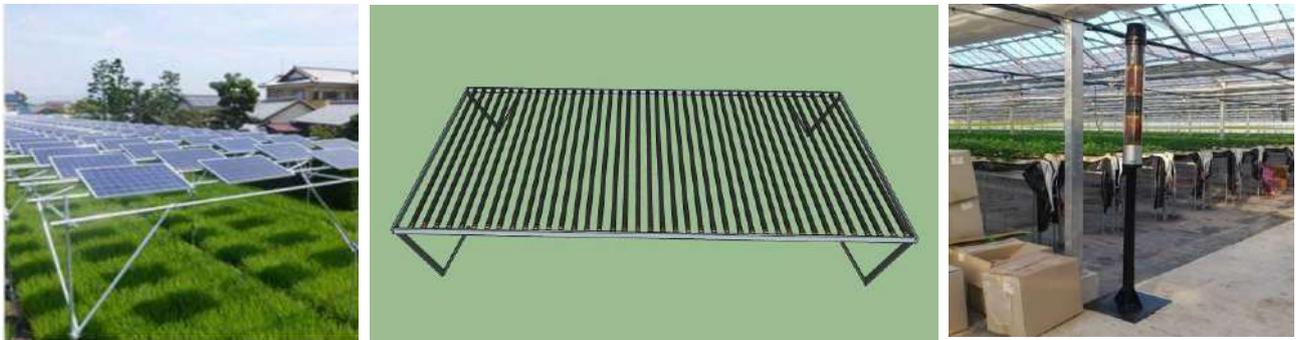
早瀬研究室(～平成30年度：九州工業大学、令和元年度～：電気通信大学)は平成21年よりJST/Sイノベプロジェクトでフレキシブル太陽電池、円筒型太陽電池に関する研究を開始し、平成27年～令和元年3月まで、(株)フジコー/CKD(株)/早瀬研究室グループで円筒型色素増感太陽電池※の研究開発を行ってきた。小型(低出力)円筒型太陽電池の基礎的実証は終わっており、本事業では長尺(高出力)円筒型太陽電池の実用化により用途・市場の拡大を狙う。

○平板型太陽電池・フレキシブル太陽電池の課題と次世代向け円筒型太陽電池による 課題の解消

1-1-1 平板形状と円筒形状

平板型はその形状から風雪等の対候性に劣るが、円筒形状は暴風に強く、雪も積り難い。千葉大学と地域持続研究所の行った、全国の農業委員会へのアンケートでは積雪による破損(青森)、台風による破損(沖縄)と営農型発電に対する懸念が挙がっている。円筒形状はこの課題を解決出来る。また、農地上部空間に設置した際(図5a)、平板型は陰が発生するため作物に十分な日光が当たらず、営農型太陽光発電用途には限界がある。(農林水産省食料産業局 営農型発電について 平成30年6月) 一方、円筒型太陽電池は細長い円筒形状であるため、適切な間隔を設けることで(図5b)太陽光の透過と発電の両立が可能である。みずほ情報総研による「太陽光発電における新市場拡大に関する調査」では耕作地、ビニルハウ

ス・ガラス室，耕地けい畔と耕作放棄地を合計した太陽電池の導入ポテンシャルは436GWと試算されており、農地の有効活用により新規太陽光発電設置場所が確保できる。更に、円筒形状は縦型設置（省スペース可：図5c）により受光量が1.5倍となり（図6）、横型と縦型の組合せ設置により電力の安定供給も可能となる。



a) 平板営農型発電

b) 円筒型太陽電池（横型設置）

c) 円筒型太陽電池（縦型設置）

図5 平板太陽電池と円筒型太陽電池モジュールの外観

図6は円筒型の水平設置と垂直設置及び平板型の太陽光の受光量の測定例（北九州市八幡）である。円筒型は平板型より受光量が多く、また、垂直（縦型）設置時は受光量の最大ピークとなる時刻がシフトする。

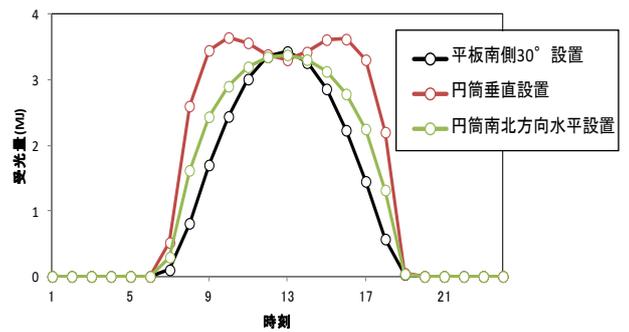


図6 平板型と円筒型太陽電池の受光量比較

1-1-2 架台・設置コストとランニングコスト

円筒型太陽電池は蛍光灯で使われるようなガラス管内にフレキシブル発電シートが封入された構造であるため、平板型太陽電池に比べて軽量である。そのため、強固な設置用架台が不要となり、持ち運びも容易である上、蛍光灯と同様な形状を持つことでユーザーが容易に設置・交換可能となる。これらにより、架台・設置工事コストの大幅削減が可能となる。



図7 蛍光灯をモデルとした円筒型太陽電池の製造方法

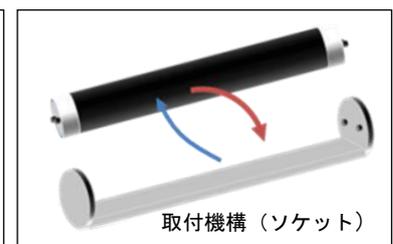


図8 蛍光灯のように設置交換可能な円筒型太陽電池

1990年代から本格的設置が始まった太陽光発電だが、近年の火災事故が示唆するように太陽電池は決してメンテナンスフリーではなく、定期メンテが必要である。平板型太陽電池の点検・保守は専門業者が行う。円筒型太陽電池については、モジュールの故障箇所を検出・通知するシステムを本事業にて開発し、故障した発電ユニットを特定出来るため、ユーザー交換が可能となり、メンテコストは大幅削減する。

1-1-3 3R(Reuse, Reduce, Recycle : リユース・リデュース・リサイクル)

寿命となる平板型太陽電池パネルの廃棄処理需要が年々高まっている。平板型発電パネルは EVA (Ethylene-Vinyl Acetate:エチレン酢酸ビニル) などの封止材でガラスと強固に接着されており、発電シートと基板(ガラス等)の完全分離は甚だ困難である。一方、円筒型太陽電池は封止材を使用しないため、ガラス管端部切断で容易に発電シートが回収できる。ペロブスカイト発電シートは有機溶剤に溶かすことで、鉛などの有害物質やレアメタルの回収、部材中の高価な透明導電膜付フィルムの再利用も可能である。水銀を含む蛍光灯の回収、運搬方法を踏襲すれば良く、リサイクルの基盤構築は容易と言える。

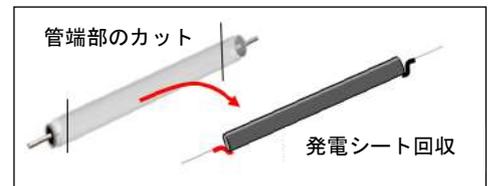


図9 円筒型太陽電池からの発電シートの回収

1-1-4 フレキシブル太陽電池の寿命と価格のトレードオフ

既存のフレキシブル太陽電池は、発電層を水分・酸素から保護し、寿命確保のために高額なバリアフィルムを必要とする。高出力化で電池面積を大きくするとフィルム面積も大きくなり高価格化し、寿命とコストはトレードオフの関係にある。円筒型太陽電池はバリアフィルム・封止材の代わりに安価なガラス管を用いる。ガラス管は水分・酸素を完全遮断するため、高寿命と低価格が両立出来る。ガラス管の封止は蛍光灯で確立された技術の応用であり信頼性が高く、高出力化(長尺化)でも低価格・高品質・高寿命を確保できる(図10)。



図10 円筒型太陽電池ユニットの概要

1-1-5 フレキシブル太陽電池の発電効率

フレキシブル太陽電池の発電効率は平板型に比べて低いため市場は広がらなかった。しかし、フレキシブル太陽電池は低温で製造出来るため、樹脂基板上でも高効率を得られるペロブスカイト（以後 PVK という）太陽電池材料の登場により状況は一変した。フレキシブル PVK 太陽電池は小型サイズでは、

表1 事業化ステップ

15%以上の発電効率を得られている。高額なバリアフィルム不要とする円筒型 PVK 太陽電池が実現すれば、高効率、高寿命、軽量、低コストの理想的太陽電池であり、

	事業化第1弾	事業化第2弾
使用発電シート	アモルファスシリコン太陽光発電シート	ペロブスカイト太陽光発電シート
発電効率	7~8%	15%以上
大型化	現状技術でも容易	追加研究開発により達成可能
狙い	円筒型太陽光発電システムの早期事業化	高効率シートによる更なる事業拡大

既存の太陽電池を置換できるポテンシャルが有ると考えられる。PVK は大型化が課題だが、PVK 層の薄膜、均一成膜が必要であり、実用化にはやや時間を要する。そこで本事業では、フレキシブルアモルファスシリコン太陽電池を用いた円筒型太陽電池事業を事業化第1弾として早期開始し、第2弾として円筒型 PVK 太陽電池の投入により、市場の急拡大を狙う。

1-1-6 円筒型色素増感太陽電池（小型・低出力型）の基礎的実証試験結果

本事業で円筒型太陽電池の研究開発を行うにあたり、現在までに実施して来ている基礎的実証試験の結果を示す。

a) 円筒型色素増感太陽電池（小型・低出力型）のプロトタイプ製作（下図）

JSTのS-イノベにて構築。共同研究者であるCKD株式会社殿の封止技術を用いる事により、ガラス管長さ 20cm



図 11 S-イノベで製作した小型円筒型太陽電池のものを製作し、外気との完全遮断（両端封止）の実現を確認した。

b) 上記プロトタイプ品の実証試験

円筒形アグリセンサーネットワーク（農業用センサーネットワーク）設備用電源として、上記プロトタイプを用いて、長期実証試験を行ってきている。結果として、屋外暴露 10,000 時間で性能低下 10%未満を達成している。

- ・設置場所：福岡県北九州市 株式会社フジコー 若松響工場
- ・設置期間：平成 29 年 5 月 12 日～令和元年 9 月

- 設置状況：以下写真参照
- 試験結果：円筒型太陽電池のPCE（Power Conversion Efficiency:エネルギー変換効率）の低下が2台のプロトタイプ（PV1, PV2）でそれぞれ97%, 94%と目標値の90%以上を維持していることが確認された。（右グラフ）

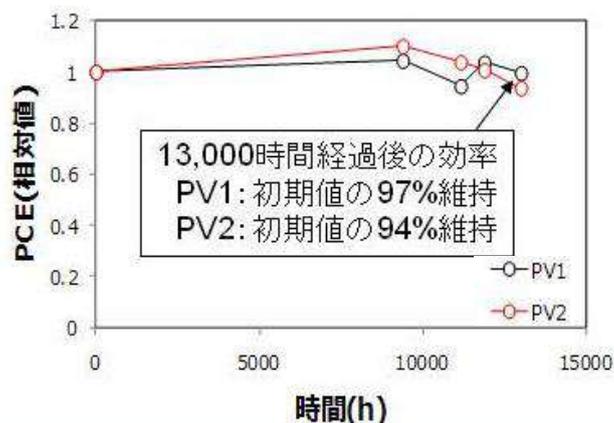


図 12 小電力センサー用途で開発した円筒型色素増感太陽電池プロトタイプ

c) ガラスサイズ毎の発電量目安

現在、円筒型色素増感太陽電池（小型・低出力型）プロトタイプにおいて、ガラス管径φ15mm、ガラス管長20cm、効率5%で、目標の定格発電量0.17Wを得た。これにより本事業において、ガラス管径φ20mm、ガラス管長120cm、効率15%で、定格発電量5.4Wが達成出来ると期待される。（右表のA,B,C,Dは本事業における狙いの仕様）

表 2 効率毎の発電量目安

仕様	長さ (mm)	定格発電量(W)*			
		効率:5%	効率:10%	効率:15%	
現状	200L	φ15 0.17	φ20 0.23	φ20 0.45	φ20 0.68
A	300L	0.34	0.45	0.91	1.35
B	600L	0.68	0.90	1.81	2.7
C	900L	1.02	1.35	2.72	4.05
D	1200L	1.36	1.8	3.63	5.4

*定格発電量:AM1.5, 光強度100mW/cm²時の発電量

以上より円筒型太陽電池の実用化の可能性大と判断される。以下に本事業におけるサブテーマを設定して、実用化に向けて解決すべき研究課題の明確化を図った。

○サブテーマ(解決すべき研究課題)

- S1 円筒型太陽電池ユニットの実現
- S1-1 製造プロセスの開発
- S1-2 発電ユニットの製作
- S1-3 発電ユニットの実証試験

S2 全体システムの実現

S2-1 発電モジュールの設計・試作及び評価

S2-2 全体システム（運転及びメンテナンス）の開発

S2-3 全体システムの実証試験

S3 更なる低コスト化の実現

S3-1 透明導電膜レスペロブスカイト太陽電池の開発

○新技術を実現するために解決すべき研究課題

（一）デザイン開発に係る技術に関する事項

1 デザイン開発に係る技術において達成すべき高度化目標

（3）川下分野横断的な共通の事項

①川下製造者等の共通の課題及びニーズ

ウ.製品・サービスのユーザビリティ

オ.環境負荷への対応

S1 円筒型太陽電池ユニットの実現（担当：株式会社フジコー）

S1-1 製造プロセスの開発

(a)アモルファスシリコン太陽電池電池向け長尺封止技術の開発

封止技術はガラス管長さ 20cm までの実績しかなく、本事業では最大 120cm のガラス管封止技術を確立する。新規封止装置を CKD 株式会社アドバイスの下、製作する。今までは電解液を合わせて封入する円筒型色素増感太陽電池※向けに封止装置を用いていたが、本事業では円筒型アモルファスシリコン向けの封止装置を製作する。



a) 色素増感太陽電池向け半自動封止装置



仕様	長さ (mm)	定格発電量 (W) [*]			
		効率: 5%		効率: 10%	
		φ15	φ20	φ20	φ20
現状	200L	0.17	0.23	0.45	0.68
A	300L	0.34	0.45	0.91	1.35
B	600L	0.68	0.90	1.81	2.7
C	900L	1.02	1.35	2.72	4.05
D	1200L	1.36	1.8	3.63	5.4

※定格発電量: AM1.5, 光強度100mW/cm²時の発電量

b) 完全封止を実現した円筒増感太型色素太陽電池

c) ガラスサイズ毎の発電量目安

図 13 ガラス管長尺化による小電力発電用途から中・大規模発電用途への展開

表 3 製造タクトタイムに関する開発目標

(b) 製造タクトタイムの短縮

今までは、製作プロセスの大部分をグローブボックス内で実施のため、高品質を維持していたが、製造タクトタイムが長く大量

	現在	1年目	2年目以降
作業環境	Glove box	大気	Dry Room
酸素・水分の遮断	◎	△	◎
タクトタイム	×	○	○

製作には不向きであった。本事業では封止前工程までを大気環境下で実施により製造タクトタイムを短縮させる。封止工程においてガラス管内を窒素雰囲気置換し、次工程でも同環境で円筒型太陽電池を製作する。ドライルームを導入し、事業2年目からは封止前工程をドライルーム内で実施することにより酸素・水分の混入を防止し、生産性の高い製造プロセスを構築する。封止工程に於いて、グローブボックス内作業をドライルームに置き換える事に依り 25 分の時間短縮を目標とする。製造プロセスに必要な時間、人数を算出する。

S1-2 発電ユニットの製作

(a) 電流・電圧出力の最適化されたアモルファスシリコン(α-Si)太陽電池発電シートの製作

平成 30 年度までガラス管はφ16.5mm を用いたが、本事業ではφ20mm を用いる。汎用ガラス管で長径化を図ることで、部材価格は低減出来る。長さは、蛍光灯の規格にあわせて、30cm、60cm、90cm、120cm のものを製作する。電圧はユーザー交換を想定して、安全上 30V 未満とする(図 14)。発電量および変換効率は外部機関に依頼し測定する。



ユニット長さ	定格出力(α -Si)		
	V	mA	W
cm			
30	26	18.5	0.5
60	27	37	1.0
90	27	55	1.5
120	28	74	2.0

図 14 30cm、60cm、90cm、120cm 円筒型太陽電池の電流・電圧設計

(b)ワンタッチで装着可能なソケットの製作

図 8 で示したユーザーが交換可能な蛍光灯類似構造を持つソケット開発を行う。発電ユニットとの固定方法・配線方法の確立、脱着性及び IP66 以上のソケット防水性を考慮した形状・材質設計を行う。

S1-3 発電ユニットの実証試験

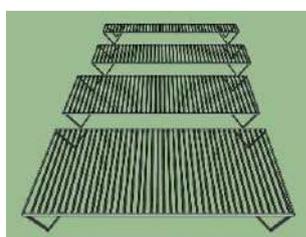
実証試験として屋外での発電量評価及び恒温恒湿層内での加速試験を行う。ウシオ電機アドバイスの下、屋外耐久性評価用のオフグリッドセンサー技術を開発しており、評価に利用する。センサーや非常時電源として利用することを想定して、ガラス管内部に蓄電機能を有する定電圧(5V)出力電源を内蔵した発電ユニットを製作して、同様に評価する。平板型太陽電池を同時測定することで、発電量・発電時間の推移を比較評価する。加速試験は 30cm ユニットの用いて実施する。JIS 規格「熱サイクル試験(-40℃ ⇔ 85℃,10 サイクル)、耐熱試験(85℃,1000 時間)、耐湿性試験(85℃,85%Rh,1000h)、耐光性試験(1SUN,47℃,500h)を実施する。IV(電流・電圧)特性評価は耐候性試験機の疑似太陽光(クラスC)を用いて評価する。屋外に於ける耐久試験は令和2年度は 5000 時間、令和3年度は 10000 時間とする。目標値は、各試験後初期値の 90%以上の効率維持。

S2 全体システムの実現 (担当：株式会社フジコー)

S2-1 発電モジュールの設計・試作及び評価

円筒型太陽電池モジュールイメージ図、出力目標を以下に示す。各長さの円筒型太陽電池ユニットを 40 本並べた形を想定している。1-2(b)で開発したソケット形状を基にウシオ電機殿協力の下、架台設計を行う。故障品の交換を想定して、ユニットを取り外してもユーザーの安全確保するモジュール構造を設計する。円筒型太陽電池に対する評価規格はまだ確

立されていないため、性能認証規格 JIS C61215 および安全性認証規格(JIS C61730-2)等を参考に感電危険・火災危険・機械的応力試験等の安全性評価を実施する。ユニット毎の出力ばらつき±5%以内を目標とする。



仕様	出力 (W)	サイズ(mm ³)	ユニット長さ (cm)	想定重量 (kg)
a	20	1600W×380L×50H	30	3
b	40	1600W×680L×50H	60	5
c	60	1600W×980L×50H	90	6.5
d	80	1600W×1280L×50H	120	8

図 15 円筒型太陽電池モジュールイメージと仕様

S2-2 全体システム（運転及びメンテナンス）の開発

円筒型太陽電池モジュールに蓄電池およびコンバーターを組み合わせることで、定電圧出力可能なシステムを開発する。システム開発はウシオ電機のアドバイスの下、開発を進める。故障箇所診断特定のシステムは、保有技術であるオフグリッドセンサー技術を応用して開発を進める。円筒型太陽電池ユニットのインピーダンス及び温度等をモニタリングしながら、基準値および故障と判断する数値範囲の選定を実施する。太陽電池ユニットの性能 10%低下時の検知率 90%以上を目指す。

S2-3 全体システムの実証試験

施設園芸(トマト栽培等)に円筒型太陽電池を設置して、環境制御機器用電力としての稼働試験を実施する(図 16)。施設園芸環境制御装置は下表の通りであり、低装備～中装備向け電源(消費電力 100～500W)としてのシステム実証試験を実施する。これにより、システムが正常に稼働していること、並びに円筒型太陽電池のメリットが確保されるかについての確認を行う。



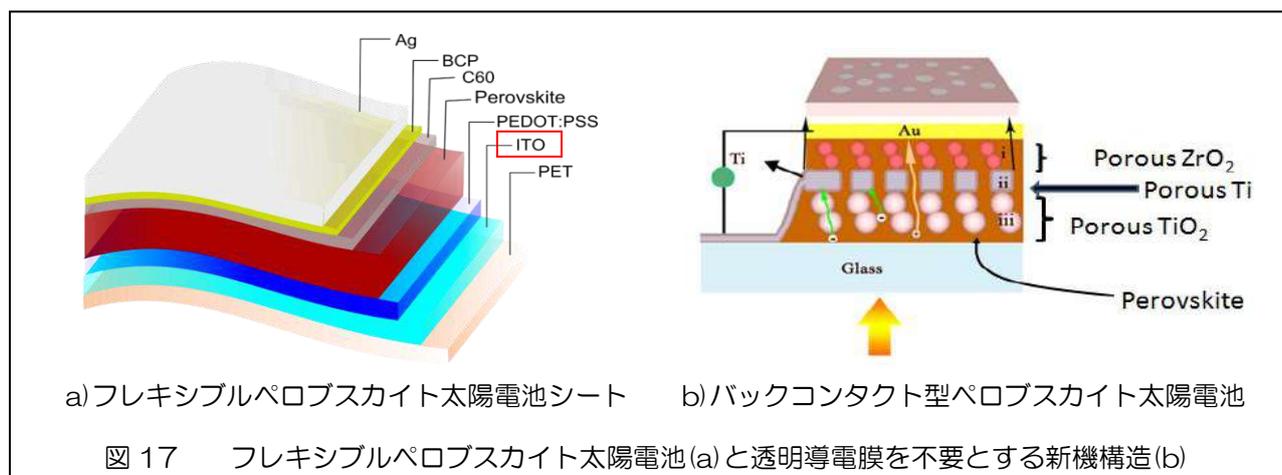
環境制御機器	定格消費電力 (W)	設置個数	
		モデル温室 (300m ²)	10a 温室
天窗開閉	200	2	12
遮光カーテン	100	1	1
換気扇	447	3	8
フォグ	1500	1	2
給液ポンプ	130	6	12
ヒートポンプ	3760	1	4

図 16 円筒型太陽電池独立系電源システムの設置例と実証試験で用いる環境制御機器

S3 更なる低コスト化の実現（担当 電気通信大学）

S3-1 透明導電膜レスペロブスカイト太陽電池の開発

円筒形に成型できる透明導電膜付シート(例 ITO※:Indium Thin Oxide 付シート)を使わない透明導電膜レスペロブスカイト太陽電池構造を提案する。バリアフィルムを除き、透明導電膜シートの部材価格は全体コストの 46%を占めていると試算され、透明導電膜レス（無し）が実現出来れば大幅な部材価格低減が実現出来る。透明導電膜不要なバックコンタクト構造はガラス基板では出来ており、基板をフィルムに変更出来るように材料および構造設計する。1年目5%、2～3年目10%を目標とし、発電機能を実証する。



○高度化目標

(一) デザイン開発に係る技術に関する事項

(3) 川下分野横断的な共通の事項

②高度化目標

ウ.製品・サービスのユーザビリティ向上

オ.環境負荷の低減

円筒型太陽電池は、蛍光灯を模した構造設計になっており、ユーザーが容易に設置交換出来ることを特長としている。故障箇所診断システムにより、ユーザー保守を可能とする。円筒型太陽電池は従来に無い新規技術であるため、JIS 規格化，国際標準化（ISO,IEC 等）を進めて行く。また、販売/設置/回収のリサイクルモデルを構築することで、適切なリサイクルを可能とする。

○技術的目標値

表4 技術的目標値

サブテーマ名		目標値			根拠
		令和元年度	令和2年度	令和3年度	
1	1-1 製造プロセスの開発	封止装置のリーク無し	ドライルーム環境下での製造プロセス確立		20cm 長さ円筒型太陽電池製造基礎技術は開発済み
	1-2 発電ユニットの製作	長さ 30, 60, 90, 120cm 発電ユニットの開発(出力 0.5, 1, 1.5, 2W)		/	発電シートは自由なサイズにカット可能であるため、大型化の実現性は高い
	1-3 発電ユニットの実証試験	屋外暴露試験及び JIS に規格される加速試験で初期性能の90%以上維持			α-Si は耐熱性には問題無く、酸素・水分の完全遮断が実現出来れば達成出来る
2	2-1 発電モジュールの設計・試作及び評価	JIS の性能認証規格・安全性認証規格をパスする架台設計		/	ウシオ電機・CKD がアドバイザーとして協力
	2-2 全体システム(運転及びメンテナンス)の開発	故障箇所を診断できる円筒型太陽電池/コンバータ/蓄電池一体システムの構築			ウシオ電機がアドバイザーとして協力
	2-3 全体システムの実証試験	施設園芸での中装備向電源としての機能			ウシオ電機がアドバイザーとして協力
3	3-1 透明導電膜レスペロブスカイト太陽電池の開発	変換効率 5% (小型セル)	変換効率 10% (3年目: 5cm×5cm セル)		基礎構造は実証済み (特許出願中)

実施結果を下記に示す。

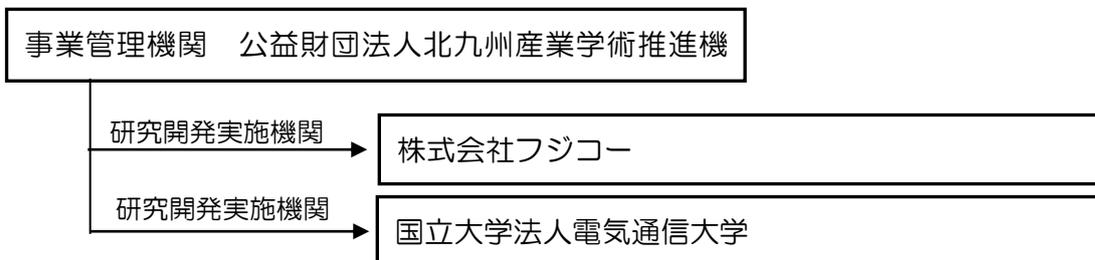
表5 実施目標値と達成度

サブテーマ	目標値	達成度	達成根拠	達成に係るコメント
1-1 製造プロセスの開発	①封止装置の完成 ②ドライルームの導入 ③製造タクトタイム25分の短縮	100%	円筒型α-SiPVユニットの封止技術および製造プロセスを確立した。	創エネ分野での展開では、3D型Si-PVユニットの開発が必要であるが封止装置およびドライルームは同様に活用が可能
1-2 発電ユニットの製作	①出力0.5~2.0Wの30~120cmユニット製作 ②ワンタッチで装着可能なソケットの開発 ③PVユニットの各種加速試験	100%	開発したユニットは目標値通りの定格出力を得た。PVユニットは耐湿性試験、熱サイクル試験、耐光性試験後において、初期効率の90%以上を維持した。	ユニット一本毎に交換可能な設計は、コスト、重量、シール性に課題があり、断念した。早期製品化を目指している3DSi-PVユニットは変換効率21.4%が得られている。
1-3 発電ユニットの実証試験	①蓄電デバイス内蔵ユニットの試作評価 ②割れ防止の施策 ③蓄電デバイス内蔵ユニットの実用性評価	90%	蓄電デバイス内蔵ユニット(30cm,120cm)は屋外環境下で蓄電および5V定圧出力可能であることを実証。PCカバーを用いた割れ防止実施。	環境制御機器システムと組み合わせた蓄電デバイス内蔵モジュール設置済み。継続して実証評価中。
2-1 発電モジュールの設計・試作及び評価	太陽電池の性能・安全認証規格同等基準を達成するモジュールの設計・製作・評価	80%	評価用モジュール完成。2月7日~15日に認証規格に順じた品質・安全性評価を外部で実施。	安全認証規格の一部に不合格。現状の問題点を把握出来たため、課題を解決する新規モジュールを設計・開発する。
2-2 全体システムの開発	不良検知システムの設計・製作	100%	不良検知システムの設計・製作完了	高品質を保つユニットから鑑み、一本毎の検査は不要と判断した。モジュールごとの不良検知を実施する
2-3 全体システムの実証試験	全体システムの実用性評価	80%	不良検知の実証データは蓄積。蓄電デバイス内蔵モジュール完成。	環境制御機器システムと併せて、実証評価中。
3-1 透明導電膜レスペロブスカイトPVの開発	①構造設計 ②効率10%(小型セル) ③大型化	70%	50mm x 50mm モジュールを作製。1セルが5mm x 50mm 8直列、動作実証。小面積セルで効率10.65%	TCO-LESS構造でPEDOT-PSSにダメージを与えない素子分離する方法を見出した。今後、塗布、スクライパー装置を使うことで2022年度上期までに目標達成見込み。

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-2-1 研究組織・管理体制



令和元年度総括研究代表者 (PL)：株式会社フジコー 技術開発センター副センター長 姜 孝京

令和2～3年度総括研究代表者 (PL)：株式会社フジコー 常務取締役 永吉 英昭

令和元～3年度副総括研究代表者 (SL)：国立大学法人 電気通信大学

i-パワードエネルギー・システム研究センター 特任教授 早瀬 修二

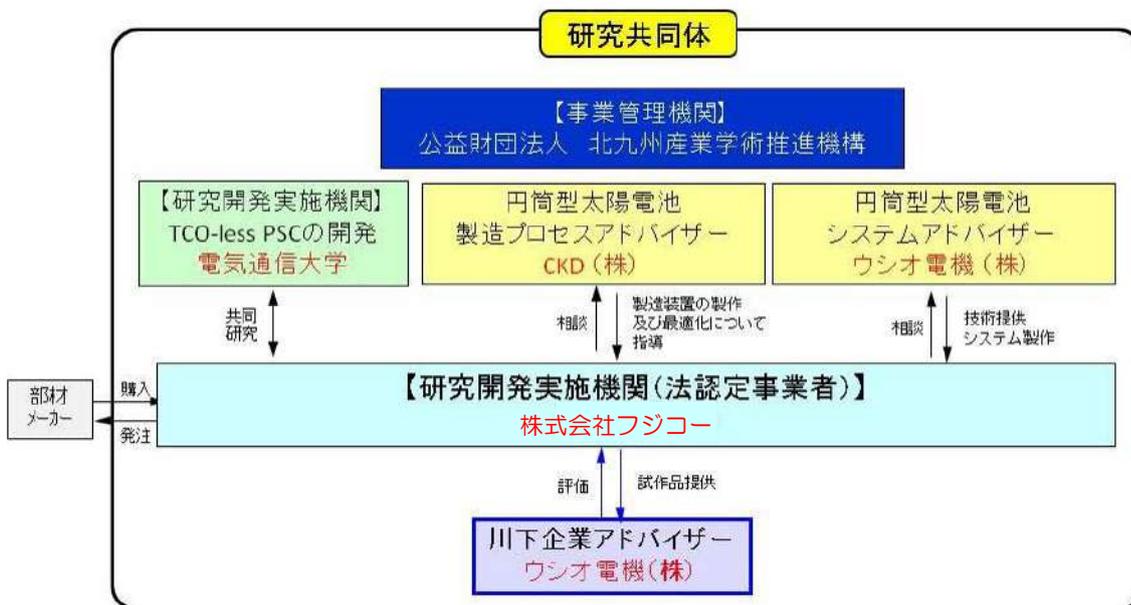


図 18 研究実施体制図

1-2-2 研究者氏名・協力者

【事業管理機関】 公益財団法人北九州産業学術推進機構

氏名	所属・役職	実施内容
牧田 厚雄 熊高 宏之 泉 正恵	産学連携統括センター 産学連携担当部長 事業管理担当課長 事業管理担当課	事業管理 事業管理 事業管理

【研究開発機関】 株式会社フジコー

氏名	所属・役職	実施内容
永吉 英昭 姜 孝京 野村 大志郎 廣谷 太佑 牟 用煥 大庭 里美 園 勇哉	常務取締役 副センター長(～令和元年度) 第三開発室 チームリーダー 第三開発室 第三開発室 主任技師 第三開発室 開発管理室 試作・評価係	サブテーマ1,2 サブテーマ1,2 サブテーマ1,2 サブテーマ1,2 サブテーマ1,2 サブテーマ1,2 サブテーマ1,2

【研究開発機関】 国立大学法人電気通信大学

氏名	所属・役職	実施内容
早瀬 修二	i-パワードエネルギー・システム研究センター 特任教授	サブテーマ3

【協力者】

氏名	機関名または指名、所属・役職	備考
林 雅博	CKD株式会社 新規事業開発室 プロジェクトリーダー	アドバイザー
中村 雅規	ウシオ電機株式会社 R&D本部 パワーシステム部 エグゼクティブスペシャリスト(～令和三年度)	アドバイザー

1-3 成果概要

1-3-1 円筒型太陽電池ユニットの実現【令和元年9月～令和3年9月】

1-3-1-1 製造プロセスの開発： 担当 株式会社フジコー

(a) アモルファスシリコン太陽電池向け長尺封止技術の開発

【令和元年9月～令和2年2月】

- ・ガラス旋盤および複数のバーナーを組み合わせた封止技術を開発した。

(b) 製造タクトタイムの短縮【令和元年9月～令和3年2月】

- ・ドライルームを導入し、目標の露点温度下で円筒型太陽電池を作製出来ることを確認した。
- ・グローブボックスを必要としない製造プロセス下で、製造タクトタイムを算出した。

1-3-1-2 発電ユニットの製作： 担当 株式会社フジコー

(a) 電流・電圧出力の最適化された α -Si太陽電池ユニットの製作

【令和元年9月～令和2年9月】

- ・電流・電圧出力がデザインされた 30, 60, 90, 120cm 長さの円筒型太陽電池を製作した。設計値と同等の電流・電圧出力が得られ、ユニット毎のばらつきは $\pm 8\%$ 以内であった。

(b) ワンタッチで装着可能なソケットの製作 【令和元年9月～令和2年9月】

- ・感電防止対策を設けた電極ソケット一体型の円筒型太陽電池ユニットを製作した。
- ・円筒型太陽電池の加速試験を実施した結果、耐湿性試験(85°C, 85%Rh 環境下で 1,000 時間保持)、熱サイクル試験(-40°C \leftrightarrow 90°C, 200 サイクル)、耐光性試験(1SUN, 47°Cで 500 時間保持)の試験において、効率低下が 10%未満であることを実証した。

1-3-1-3 発電ユニットの実証試験： 担当 株式会社フジコー

【令和元年9月～令和3年9月】

- ・5V 定電圧出力可能な蓄電デバイス内蔵円筒型太陽電池を開発した。
- ・蓄電デバイス内蔵円筒型太陽電池を直列・並列接合した、円筒型太陽電池モジュールを開発した。

- ・実用性評価のための実証試験は事業期間中に完了せず、継続実施中。
- ・ポリカーボネートカバーを用いた割れ防止策を実施した。より安価な施策が必要。

1-3-2 全体システムの実現【令和元年9月～令和4年2月】

1-3-2-1 発電モジュールの設計・試作及び評価 : 担当 株式会社フジコー

【令和2年4月～令和4年2月】

- ・架台取り付け後に、ユニットを一本ずつ容易に取り付け可能な発電モジュールを開発した。
- ・故障診断可能な電流センサー付き円筒型太陽電池ユニットを開発した。
- ・R3年度は、発電モジュールを改良し、第三者機関でモジュール安全性試験(JIS C61730-2)を実施した。現状の容易に取り付け可能なモジュール設計では、一部試験で電氣的絶縁性不足、円筒型太陽電池モジュール構造に起因する機械的強度不足が露見した。

1-3-2-2 全体システム(運転及びメンテナンス)の実現 : 担当 株式会社フジコー

- ・R2年度に、劣化診断不良検知システム搭載の円筒型太陽電池全体システムを設計・製作した。
- ・R3年度は、ローカル PLC 通信により、データ監視可能なネットワークを形成し、発電量をリアルタイムモニタリングすることで、環境制御機器向き電源の実用性を評価した。
- ・事業終了後も実証評価を継続中である。

1-3-3 更なる低コスト化の実現【令和2年4月～令和4年2月】

【令和元年9月～令和4年2月】

1-3-3-1 透明導電膜レスペロブスカイト太陽電池の開発 : 担当 電気通信大学

- ・透明導電膜レスペロブスカイト太陽電池の構造・材料設計を行った。
 - ・作製した同太陽電池は小面積セルで効率 10.65%を得た。
 - ・透明導電膜レス構造で、ホール輸送層にダメージを与えず、素子分離する方法を見出した。
- 今後、塗布装置、スクライバー装置を使うことで、5cm×5cm モジュールで、効率 10%以上を達成できる見込みである。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社フジコー

技術開発センター 第三開発室新規開発第一チーム

チームリーダー：野村 大志郎

Tel：093-701-4500 Fax：093-701-4501

E-mail：d-nomura.fujico@kfjc.co.jp

第2章 本論

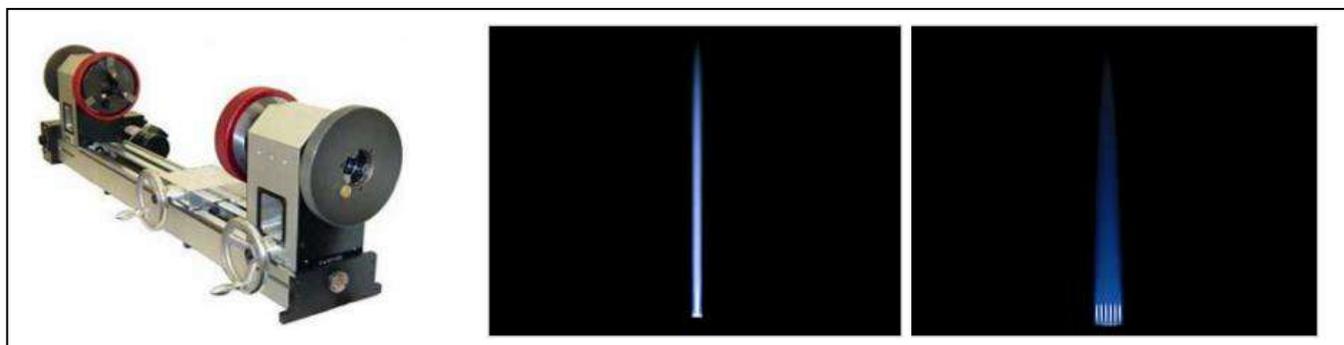
2-1 円筒型太陽電池ユニットの実現【令和元年9月～令和3年9月】

2-1-1 製造プロセスの開発： 担当 株式会社フジコー

(a) アモルファスシリコン太陽電池向け長尺封止技術の開発

【令和元年9月～令和2年2月】

長尺封止技術は、ガラス旋盤、加熱用バーナーおよびアニール用バーナーを組み合わせることで構成した。



ガラス旋盤

加熱バーナー

アニールバーナー

図 19 長尺封止技術の概要

(b) 製造タクトタイムの短縮【令和元年9月～令和3年2月】

製造タクトタイム短縮に向けて、従来のグローブボックスに比べて生産性に優れるドライルームを選定し、導入した。設置・試運転は令和2年2月13日に完了し、作業員2名入室状態で30分後の室内露点温度は -36.1°C であり、目標値であった、 -30°C 以下の低湿度環境が確保出来た。



図 20 導入したドライルームの外観

令和 2 年度は従来のグローブボックス環境とドライルーム環境で製作した円筒型太陽電池ユニットの製造タクトタイムを算出することで、従来に比べ、25 分のタクトタイム短縮が実現出来ることを実証した。

2-1-2 発電ユニットの製作 : 担当 株式会社フジコー

(a) 電流・電圧出力の最適化された α -Si 太陽電池発電シートの製作

【令和元年9月～令和2年9月】

ユニット長さ毎の屋外環境下で想定している出力は以下の通りである。

ユニット長さ	定格出力(α -Si)		
	V	mA	W
30	26	18.5	0.5
60	27	37	1.0
90	27	55	1.5
120	28	74	2.0

図 21 円筒型太陽電池ユニットの想定出力

電流・電圧制御された 30, 60, 90, 120cm 長さの円筒型太陽電池を下図の通り、製作した。直列・並列数は下表の通りである。

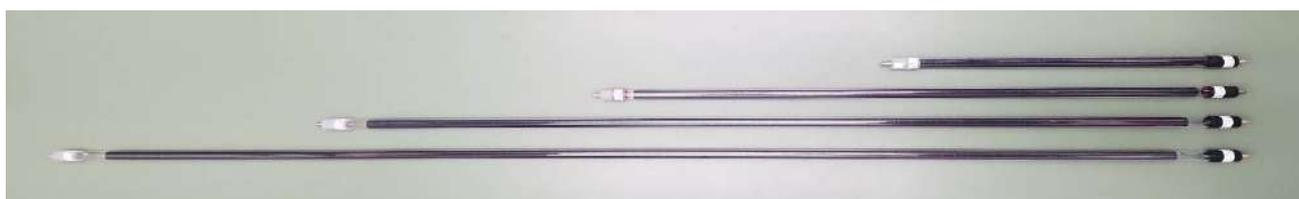


図 22 製作した円筒型太陽電池ユニットの外観

表 6 ユニットの長さ毎の直列・並列設計

ユニット長さ	直列数	並列数
30cm	22 直列	1 並列
60cm	22 直列	2 並列
90cm	22 直列	3 並列
120cm	22 直列	4 並列

フレキシブル α -Si 発電シートの接合方法を最適化し、配線抵抗および接触抵抗の最小化を実現した。令和2年4月13日～14日に外部機関のソーラーシミュレータを使用して、作製した円筒型太陽電池ユニットのIV特性を評価した。30cm,60cm長さのユニットについては、品質のばらつき $\pm 5\%$ から外れるサンプルが測定されたが、これは購入した発電シートの性能差に起因することを確認しており、また、全サンプルでばらつき $\pm 8\%$ に収まる事を確認した。

表 7 製作した円筒型太陽電池ユニットの変換効率測定結果

4/13~14測定			10/7測定		1/27測定		4/13~14測定	
太陽電池長さ(cm)	変換効率(%)	屋外想定値(W)	太陽電池長さ(cm)	合格率(%)	合格数÷評価数	合格率(%)	合格数÷評価数	合格率(%)
30	7.1 \pm 0.36	>0.53	30	66	4/5	80	49/57	86
60	7.4 \pm 0.37	>1.1	60	100	5/5	100	40/44	91
90	-	-	90	0	4/4	100	-	-
120	7.3 \pm 0.37	>2.18	120	-	3/5	66	4/4	100

※平均変換効率 $\pm 5\%$ に収まるサンプルを合格とした。 $\pm 8\%$ 以内とした時、合格率 100%であった。

(b)ワンタッチで装着可能なソケットの製作 【令和元年9月～令和2年9月】

ソケット電極は、素材の屋外耐候性が不十分であること、円筒型太陽電池ユニットを交換する際に、感電する危険性が生じる構造であることが課題であった。

素材は、吸水性が高いナイロン素材から、シリコンゴム素材に変更することで、感電の危険性は電極部を凸形状から凹形状に変更することで、指先が電極部に接触しない様設計した。

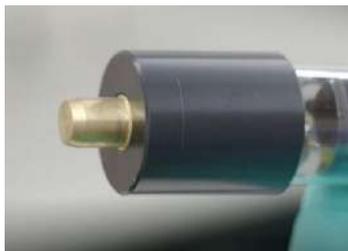


図 23 電極凸形状



図 24 電極凹形状

凹形状を取り付けた円筒型太陽電池ユニットを作製し、JIS C 61215 に順じた各種加速試験を実施した。具体的には、耐湿性試験(85℃, 85%Rh 環境下で 1,000 時間保持)、熱サイクル試験(-40℃⇔90℃, 200 サイクル)、耐光性試験(1SUN, 47℃で 500 時間保持)の加速試験を実施した。太陽電池長さは 30cm 長さのものを用いた。耐湿性試験は 3 本評価し、全サンプルで 1000 時間経過後も効率低下が全くないことを実証した。熱サイクル試験はソケット無し円筒型太陽電池ユニット 3 本を評価し、全サンプルにおいて、効率低下が発生しないことを確認した。昇温・降温パターンは下図の通りである。

耐光性試験は初期 200 時間の期間で効率低下が観察されたが、光照射 200 時間以降は 700 時間まで効率低下は観察されず、目標値である初期効率の 90%以上を達成した。使用したアモルファスシリコン太陽電池は光照射により欠陥(未結合手)が発生することが知られており、初期の効率低下はこの現象が要因と考えられる。

以上より、平板型太陽電池の品質に係る既存の認証規格を用いた評価において、開発中の円筒型 PV は同等の耐熱性・耐湿性・耐光性を有する可能性が期待されると言える。今後、引続き屋外発電量評価の継続評価を行い、円筒型 PV の性能寿命を見極めていく予定である。

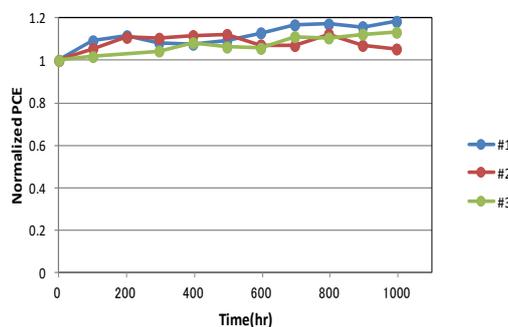


図 25 耐湿性試験における光電変換効率の経時変化(相対値)

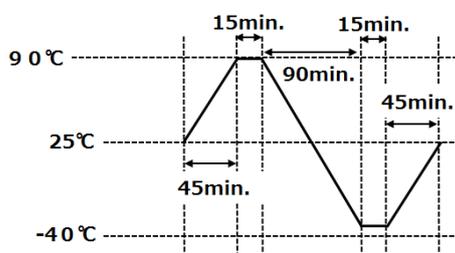


図 26 熱サイクル試験のサイクルパターン

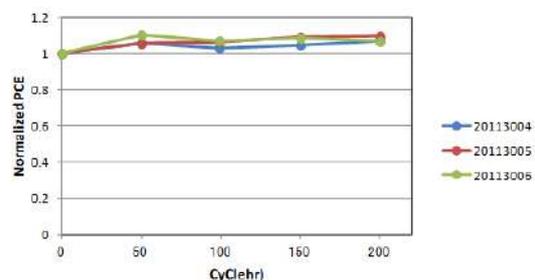


図 27 熱サイクル試験における光電変換効率の変化(相対値)

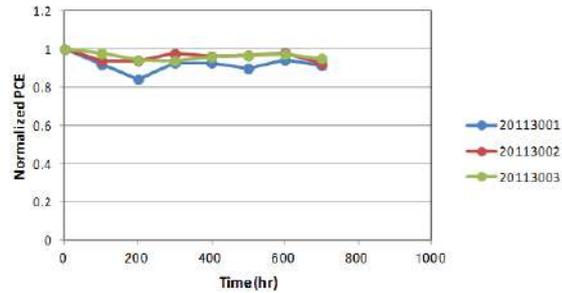


図 28 耐湿性試験における光電変換効率の経時変化(相対値)

円筒型 PV はガラス管の完全封止により酸素・水分が遮断されており、また、金属電極部も耐候性の高い材料を使用している。また発電フィルムは封止材フリーであり劣化原因となる封止材の分解による酸の生成が起こらない。以上のことから、周辺部材の容易な交換が可能であれば、ライフサイクルコストについては従来の太陽電池と比べ優位性が確保できると想定される。この点も引続き試験を継続して、具体的なライフサイクルコストの算定を目指していく。

2-1-3 発電ユニットの実証試験【令和元年9月～令和3年9月】：担当(株)フジコー

近年の多発する災害により、円筒型太陽電池ユニットをスタンドアロン電源としてセンサーや非常時用電源として利用することが求められて来ている。そこで発電ユニット内に内蔵可能な蓄電機能を有する小型定電圧出力電源を試作した。ガラス管内に蓄電デバイスと DC/DC コンバータを含んだ基板の配置は可能であるが、限られたスペース内に配線を設けることは技術的難易度が高く、ウシオ電機殿の協力を得ながら配線部材の選定および設計を進めてきた。30cm ガラス管長さあたりに電気二重層キャパシタ6個を一組としたユニットを形成し、直列・並列接合しつつ、表面を絶縁処理することにより、この課題は解決できた。また、円筒形太陽電池の屋外設置時の温度は過去 30,000 時間以上モニタリングしており、その結果を基に、蓄電デバイスの耐熱温度を選定した。円筒型太陽電池内蔵定電圧出力電源を下図に示す。



図 29 回路の概略と実装イメージ

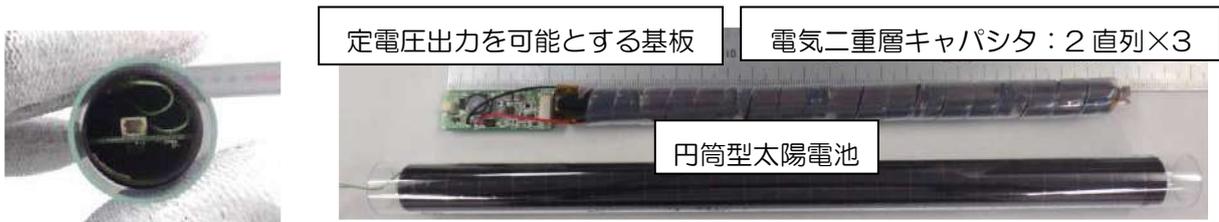


図 30 円筒型太陽電池内蔵定電圧出力電源

ガラス管に封入された発電ユニット内蔵用電源の耐久性評価のために高温・高湿度下の充放電試験を実施した。フジコー社内での評価は困難なため、アドバイザーであるウシオ電機殿に評価を依頼した。3 並列に接続した電気二重層キャパシタをガラス管内に封入した。ガラス管内雰囲気は窒素雰囲気(大気圧) および真空雰囲気とした。充放電加速試験は 100°C, 90%Rh 環境下で、直流電源を用いて充放電を繰り返すことで実施した。充電は CC/CV モードで 5V, 6A, 3 分印加することで満充電させた後に端子ショートで 4 分間放電させた。電気二重層キャパシタの容量評価は直流電源を用いて 2.6V0.5A を単体で充電させた時の 1V から 2V になるまでに要する時間から相対評価した。所要時間が短くなるほど、容量が低下していると判断した。同条件において、ガラス管封止した電気二重層キャパシタは封止無しのキャパシタに比べ、容量低下に要する時間が長く、耐久性が向上していることが分かった。一方、80°C, 90%Rh で実施したサンプルは、ガラス管封止による耐久性の向上は観察されなかった。試験後サンプルのガス分析を実施したところ、ガラス管内に電気二重層キャパシタの電解液成分が検出されており、電気二重層キャパシタからの電解液漏洩が性能低下の原因であると結論付けた。



図 31 ガラス管封止した電気二重層キャパシタ(2 直列×3 並列)

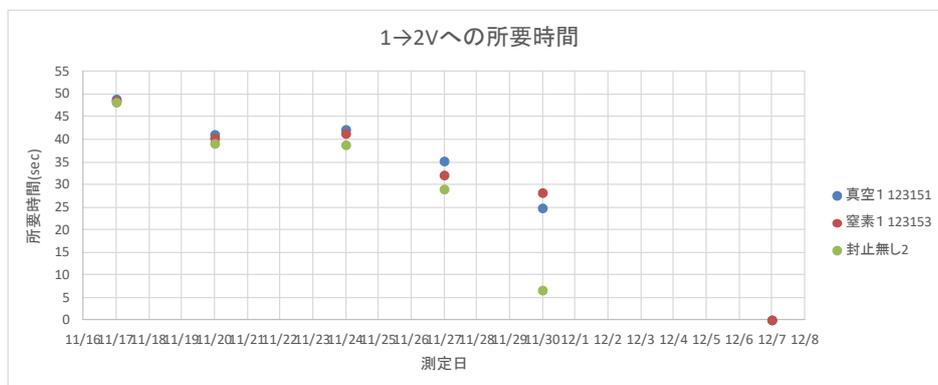


図 32 加速充放電試験による容量の経時変化

ガラス管の強度向上のためにポリカーボネート保護カバー一体型円筒型太陽電池を試作した。耐光性試験を実施した結果、1SUN 相当の光照射 500 時間で初期値の 90%以上の光透過率を維持することを確認した。



図 33 保護カバー一体型円筒型太陽電池の外観

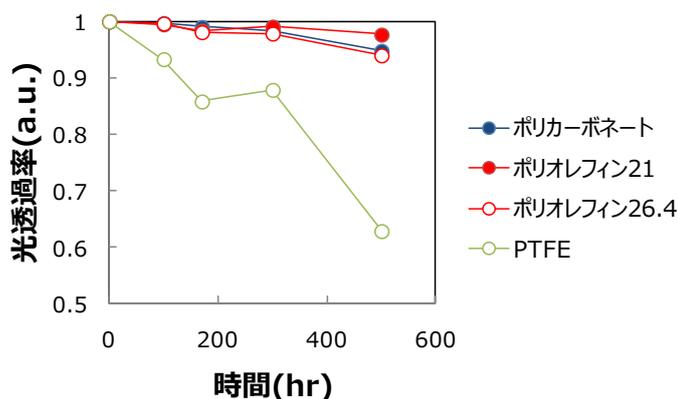


図 34 光照射下でのポリカーボネート管の光透過率の経時変化

ポリカーボネート一体型太陽電池モジュールを屋外設置して、発電量をモニタリングしたところ、ポリカーボネートを使用することにより、発電量が低下する現象が観察された。これは、ガラス層とポリカーボネート層の間に隙間が生じていることに起因していると考えられる。また、ポリカーボネート管はガラス管に比べて高価であり、発電量を低下させず、安価な保護技術の開発が今後の課題である。

2-2 全体システムの実現【令和2年4月～令和4年2月】

2-2-1 発電モジュールの設計・試作及び評価 : 担当 株式会社フジコー

円筒型太陽電池ユニットを 40 本一組でモジュール化する架台を製作した。モジュールは防水防塵性能 IP65 以上、耐塩水仕様を達成出来ることを目指した。また、円筒型太陽電池ユニットはユーザーが安全に設置交換出来るようにモジュール構造設計した。モジュール毎の出力ばらつき±5%以内を目標とした。

フジコー敷地内に設置した円筒型太陽電池モジュールを下図に示す。令和 2 年度は 60cm 長さのユニットを 40 本並列接合したモジュールを作製した。ユーザーが容易に設

置交換できることを想定して、架台取り付け後に、ユニットを一本ずつ取り付けることが可能である。故障箇所診断システムと接続出来るように設計されており、電流センサー(LED)付きソケットを開発して、ユニット一本毎に取り付けている。試作した電流センサーは0.5SUN程度で点灯するよう設計されている。モジュール一台は30V以下の出力電圧であるため、一般ユーザーの設置交換を可能にしている。PVコネクタはオスメス形状のMC4コネクタを用いており、誤接続を防止出来るように設計した。



ユニット取り付け前



60cmユニットを40本取り付け後
〈フジコー技術開発センターの屋外に設置した試作機〉



〈ユニットを容易に取り付け・取り外し可能なモジュール設計〉



電流センサー(LED)搭載ソケット



誤接続を防止するPVコネクタ

図 35 ユニートを一本毎に取り付け可能な円筒型太陽電池モジュール試作機

円筒型 PV モジュール(40 本並列)は、季節により異なるが、平板型 PV に比べて、投影面積で 1.3~1.7 倍の発電量が得られた。夏場では水平設置が、冬場では垂直設置で高発電

量が得られた。

下図に令和3年1月31日の発電量推移の比較を示す。(モジュール面積が異なるため、単位投影面積当たりの発電量で比較) 水平設置した円筒型 PV モジュールはサポインタイプ (30V 出力ユニットを 40 本並列接合、ユニット管径 20mm、管ピッチ 20mm) と参考に別事業で開発した高電圧出力タイプ (NEDO 事業で作製。60V 出力ユニットを 40 本並列接合、管ピッチはサポインタイプと同様) を示した。平板型 PV は円筒型 PV で用いるのと同じ α -Si 発電シートを平板形状としている。水平設置した平板型 PV の一日の投影面積当たりの発電量は $0.75\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$ であったのに対し、水平設置した円筒型 PV は $1.02\text{MJ}/\text{m}^2/\text{day}$ であり、1.36 倍の発電量が得られている。平板型太陽電池が日中をピークに朝方と夕方は発電量が低下するのに対し、円筒型は 9:30~15:00 の間で、時間当たりの発電量のばらつきが少ないことが分かる。平板型太陽電池に比べて円筒型太陽電池は安定電源として機能することが分かる。

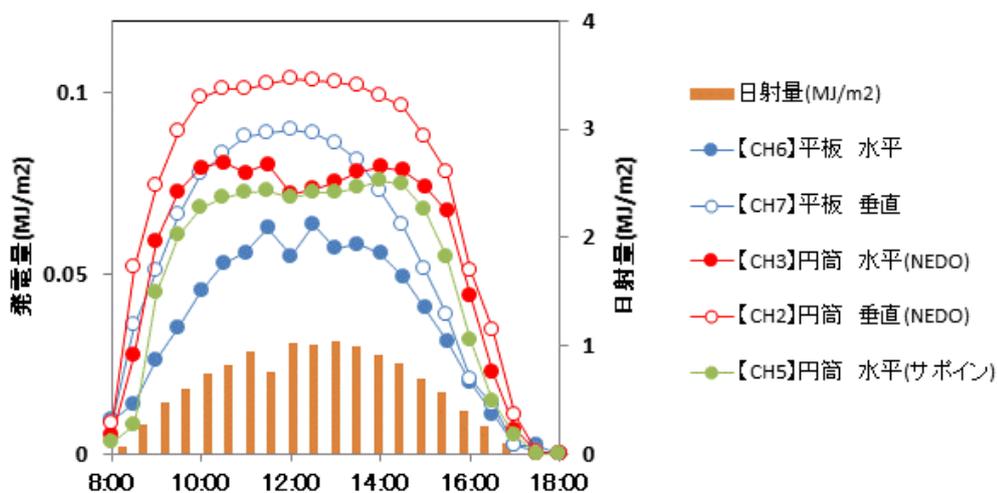


図 36 令和3年1月31日の屋外発電量比較



サポインタイプ円筒型 PV



NEDO タイプ円筒型 PV



水平設置平板型 PV

図 37 水平設置太陽電池(PV)モジュール

測定値より円筒型太陽電池と平板型太陽電池の発電量/m²を単純比較すると、ガラス管による光の反射・散乱が考慮しない場合、円筒型太陽電池ユニット間の隙間を単位面積当たり30%相当にすることで両者の発電量/単位面積が同等になることが分かる。一方で、ユニット間の隙間を無くすことでユニットの直達光を受光出来る範囲が狭くなるため、ユニット一本当たりの発電量は低下すると考えられる。円筒型太陽電池は用途に応じて、モジュール設計を最適化する必要がある。

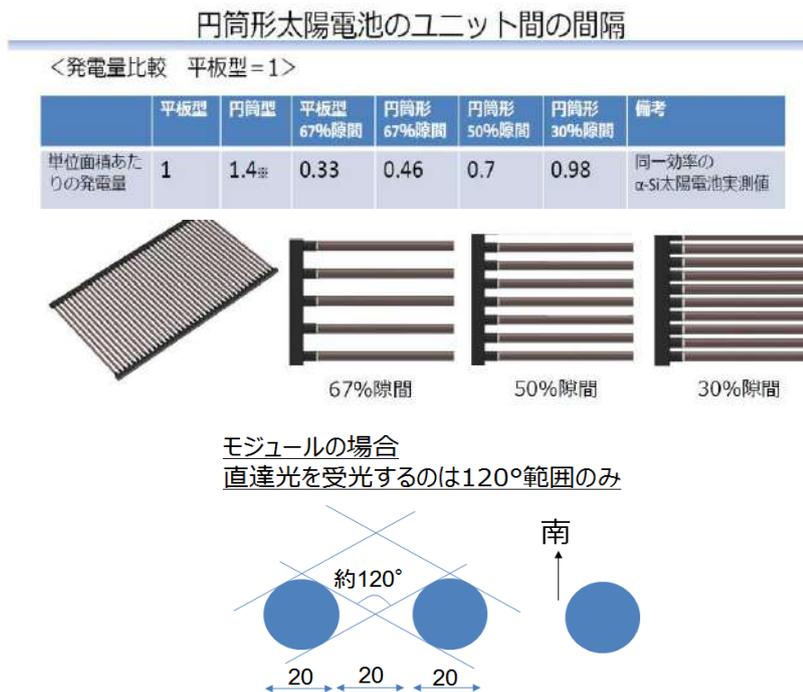


図 38 円筒型 PV のユニット間間隔と 50%隙間の場合の直達光受光角度

円筒型 PV の最適な市場を示す。市場投入初期段階においては、円筒型 PV は平板型 PV と競合するのではなく、平板型 PV が上手く機能せず、結果として市場が広がらない分野へ投入することを想定している。

表 8 円筒型太陽電池の優位に働くと想定される市場

市場	平板型太陽電池	フレキシブル太陽電池	円筒型太陽電池	円筒型の優位性
メガソーラー	◎	×	△	PVパネルの価格が最も重要であり、円筒型PV少量生産時には適さない
住宅向けPV	◎	△	○	平板型太陽電池の設置手法が既に確立されている。設置重量に制限がある場合は機能する可能性有り。
ビルへの設置	○	○	◎	軽量・設置が容易、設置面積辺りの高い発電量
ソーラーシェアリング	△	△	◎	日陰を作らない。容易に設置・解体可能。風雪に強い
スタンドアロン電源	△	△	◎	コンパクト(垂直設置可能)。

令和3年度は、120cm ユニットの並列接合した円筒型太陽電池モジュールを開発した。令和2年度に開発した円筒型太陽電池モジュールは、ユニット一本毎の交換を容易にした上で、ユニットと電極取り出し口間のシール性を担保するために、構造が複雑になり、部材価格が高くなる課題があった。左記を踏まえ、令和3年度はモジュール設計を見直した。

令和2年度モジュール設計を踏襲したものと、新たにモジュール設計を見直したものの外観と特性は下記の通りである。

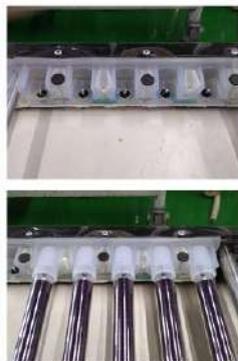
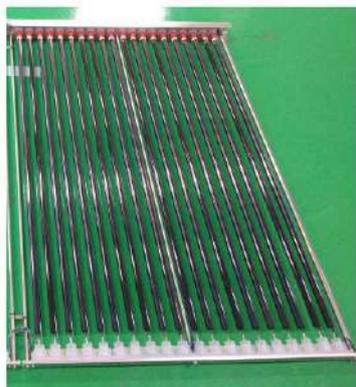


図 39 令和2年度モジュール設計

図 40 令和3年度モジュール設計

表9 作製した円筒型太陽電池モジュールの特性

特性比較	令和二年度モジュール	令和三年度モジュール
部材価格	△	○
重量	16kg	11.4kg
シール性	△	○
一本毎の交換	可能	不可能
分割	×	○(2分割可能)

令和3年度設計したモジュールを用いて、外部機関で、JIS C61730-2 のモジュール安全性評価試験を実施した。合否結果を下表に示す。実際の試験方法は、各項目の単一試験ではなく、複合的な試験であるが、結果・課題を分かりやすくするために、単一試験毎の合否で表記した。5項目について、課題が残った。開発した円筒型太陽電池モジュールを系統連系する場合には、各評価試験の合格が必須となる。開発および製品化の方向性を調整中である。

表 10 評価試験項目と合否

	試験項目	試験記号	合否
①	等電位ボンディング連続性試験	MST13	×
②	絶縁試験	MST16	×
③	湿潤漏れ電流試験	MST17	×
④	衝撃破壊試験	MST32	×
⑤	静的破壊的荷重試験	MST34	×
⑥	目視検査	MST01	○
⑦	最大出力の測定	MST03	○
⑧	接近性試験	MST11	○
⑨	インパルス電圧試験	MST14	○
⑩	ホットスポット試験	MST22	○
⑪	火災伝ば試験	MST23 (JIS 8993)	○
⑫	燃焼ブランド試験	MST23 UL1703	○
⑬	温度試験	MST21	○
⑭	逆電流負荷試験	MST26	○

2-2-2 全体システム(運転及びメンテナンス)の開発 : 担当 株式会社フジコー

【令和2年度の実施項目】

円筒型太陽電池モジュール 8台(モジュール1台は円筒型太陽電池ユニット 40本で構成)をベースとしたエネルギー管理システムを構築した。円筒型太陽電池モジュールに蓄電池及びコンバーターを含む制御ユニット

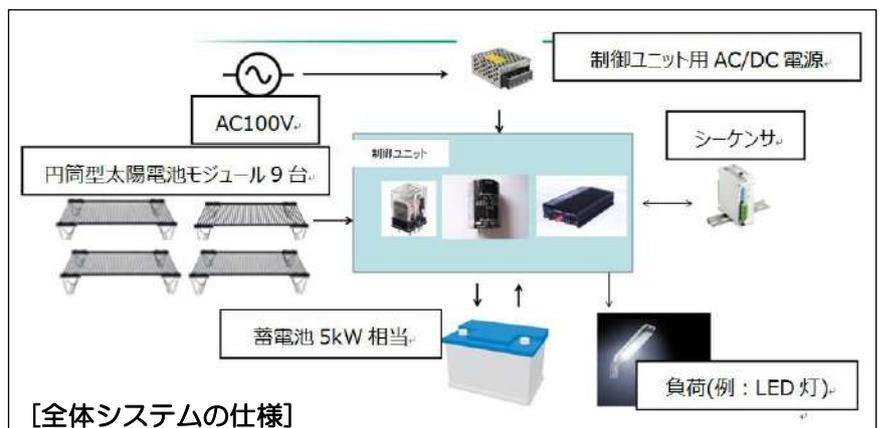


図 41 全体システムの仕様

を組み合わせることで、モジュール評価用システムを構築する。更に、円筒型太陽電池ユニット毎に LED 搭載の電流センサー計測、また、モジュールごとに瞬間発電量をモニタリングすることで、故障診断システムを構築した。



図 42 水平設置した円筒型太陽電池モジュール 図 43 垂直設置した円筒型太陽電池モジュール



図 44 設置した不良検知制御ボックスと三相三線式のパワーコンディショナー・蓄電システム

瞬間発電量は、不良検知システム内の PLC 内にデータを蓄積しているが、今回は、状況を誰でもモニタリングできるように、文字表示器を取り付けて、各モジュールの発電量をモニタリング出来るようにした。

更に、全体システムに接続可能な分散電源システムを構築した。各システムはローカル PLC 通信によりデータ監視可能なネットワークを構成している。1-3. 発電ユニットの実証試験のため、蓄電デバイスと DC/DC コンバータ内蔵型円筒型太陽電池を搭載した分散システムをそれぞれ製作し、実用性を評価中である。通常モジュールは前記の円筒型太陽電池ユニットを 20 並列に接合した上で、AC100V に変換して、発電量をモニタリングしている。蓄電デバイス内蔵モジュールは 5V 出力のユニットを 9 直列×2 並列で接続しており、DC45V 出力を AC100V に変換した発電量をモニタリングしている。



図 45 分散電源用モジュール



図 46 通常モジュール
(DC/AC100V 変換)



図 47 蓄電デバイス内蔵モジュール
(DC/AC100V 変換)



図 48 PLC 通信を利用した発電量のモニタリング

2-3 更なる低コスト化の実現【令和元年9月～令和4年2月】

2-3-1 透明導電膜レスペロブスカイト太陽電池の開発 : 担当 電気通信大学

まずは円筒形太陽電池を構成するフレキシブルペロブスカイト太陽電池を試作した。小型セルながら、光電変換効率は16.06%が得られた。

令和2年度は、TCO レス構造の詳細構造(下図)を設計し、小型セルを作製した。最高効率は、 J_{sc} : 21.39mA/cm², V_{oc} : 0.90V, FF : 0.54, Eff. : 10.41%が得られた。令和3年度は、効率が 10.65%まで改良した。

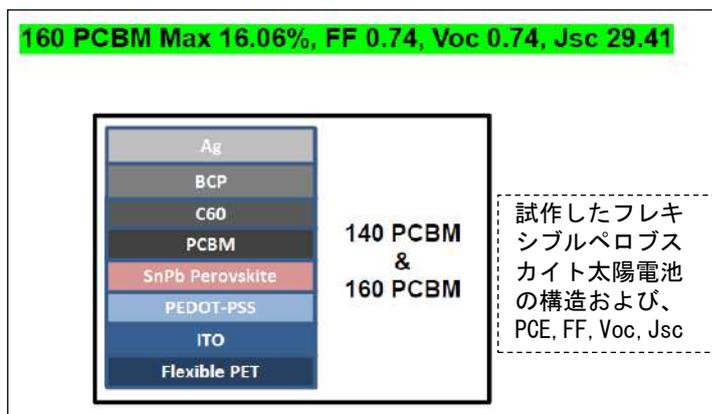


図 49 フレキシブル PVK 太陽電池の構造

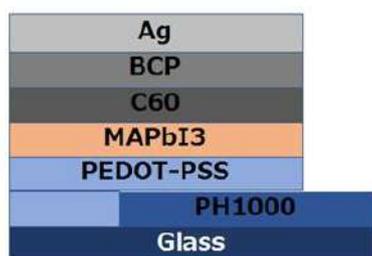


図 50 TCO レスペロブスカイト太陽電池の構造

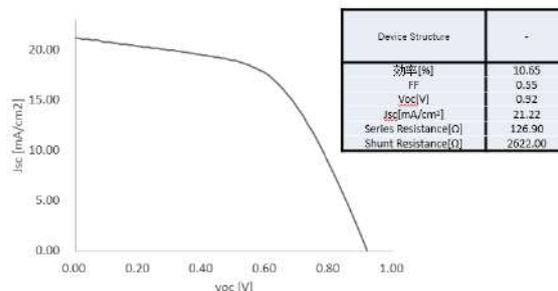


図 51 令和3年度に小型セルで得られた IV 特性

更に、令和3年度は 5cm×5cm のペロブスカイト太陽電池セルを作製し、溶剤を含むメカニカルスクライブにより、選択的なエッチング、素子分離が可能なことを検証した。

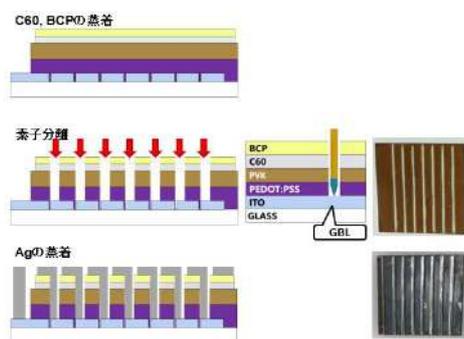


図 52 メカニカルスクライブの検証方法

素子分離を行い、8 直列に接合したペロブスカイト太陽電池モジュールと各素子の電圧を下記に示す。ペロブスカイトモジュールの開放電圧は 6.96V であったのに対し、8 セルの開放電圧の合計は、7.14V であったことから、素子分離が可能であることを実証した。

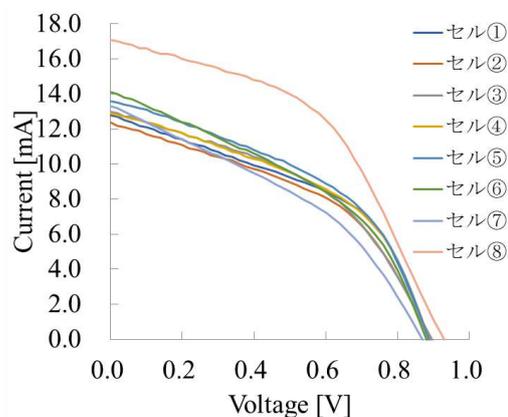
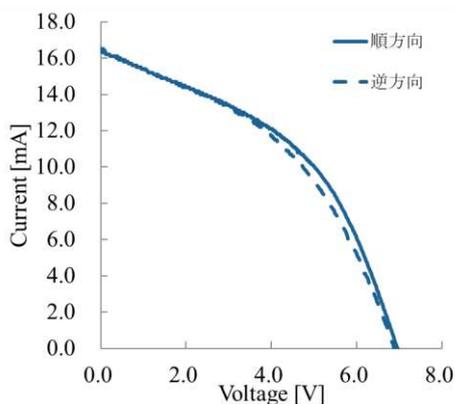


図 53 8直列モジュール(5cm×5cm)のIV 特性

図 54 各セル(5cm×0.625cm)のIV 特性

現在は、スクライプ作業を手作業で実施しているが、別事業で開発している大面積均一成膜可能な塗布装置および、スクライパーを導入することで、5cm×5cm の TCO レスペロブスカイト太陽電池モジュールで効率 10%が達成できる見込みが得られた。

最終章 全体総括

複数年の研究開発成果およびアドバイザーによる講評は下記の通りである。

【研究開発成果】

表 11 研究開発成果

サブテーマ	目標値	達成度	達成根拠	達成に係るコメント
1-1 製造プロセスの開発	①封止装置の完成 ②ドライルームの導入 ③製造タクトタイム25分の短縮	100%	円筒型α-SiPVユニットの封止技術および製造プロセスを確立した。	創エネ分野での展開では、3D型Si-PVユニットの開発が必要であるが封止装置およびドライルームは同様に活用が可能
1-2 発電ユニットの製作	①出力0.5~2.0Wの30~120cmユニット製作 ②ワンタッチで装着可能なソケットの開発 ③PVユニットの各種加速試験	100%	開発したユニットは目標値通りの定格出力を得た。PVユニットは耐湿性試験、熱サイクル試験、耐光性試験後において、初期効率の90%以上を維持した。	ユニット一本毎に交換可能な設計は、コスト、重量、シール性に課題があり、断念した。早期製品化を目指している3DSi-PVユニットは変換効率21.4%が得られている。
1-3 発電ユニットの実証試験	①蓄電デバイス内蔵ユニットの試作評価 ②割れ防止の施策 ③蓄電デバイス内蔵ユニットの実用性評価	90%	蓄電デバイス内蔵ユニット(30cm,120cm)は屋外環境下で蓄電および5V定圧出力可能であることを実証。PCカバーを用いた割れ防止実施。	環境制御機器システムと組み合わせた蓄電デバイス内蔵モジュール設置済み。継続して実証評価中。
2-1 発電モジュールの設計・試作及び評価	太陽電池の性能・安全認証規格同等基準を達成するモジュールの設計・製作・評価	80%	評価用モジュール完成。2月7日~15日に認証規格に順じた品質・安全性評価を外部で実施。	安全認証規格の一部に不合格。現状の問題点を把握出来たため、課題を解決する新規モジュールを設計・開発する。
2-2 全体システムの開発	不良検知システムの設計・製作	100%	不良検知システムの設計・製作完了	高品質を保つユニットから鑑み、一本毎の検査は不要と判断した。モジュールごとの不良検知を実施する
2-3 全体システムの実証試験	全体システムの実用性評価	80%	不良検知の実証データは蓄積。蓄電デバイス内蔵モジュール完成。	環境制御機器システムと併せて、実証評価中。
3-1 透明導電膜レスペロブスカイトPVの開発	①構造設計 ②効率10%(小型セル) ③大型化	70%	50mm x 50mm モジュールを作製。1セルが5mm x 50mm 8直列、動作実証。小面積セルで効率10.65%	TCO-LESS構造でPEDOT-PSSにダメージを与えない素子分離する方法を見出した。今後、塗布、スクライパー装置を使うことで2022年度上期までに目標達成見込み。

【アドバイザーによる講評】

・ウシオ電機株式会社：

[中村様]：当初より、円筒型という世の中に無いPVを早く市場に出すため、具体的に活動して問題を着実に出し、それによってどう戦っていくかを考えて行く必要があると思っていた。今回のフェーズでは色々な試作やものづくりを通して、だいぶ内容が分ってきたといえる。PVユニットの脱着容易な構造に関して補足する。太陽光発電システムコストにはO&M（Operation and Maintenance）と撤去・廃棄費用が含まれ、年間10～15%程度である。平型PVはEVA（エバ：エチレン酢酸ビニル樹脂）シートで強固に固められており、PVパネルの分解が困難であり、廃棄され易いという問題がある。円筒型PVは分解・問題箇所の取外し、修理が容易であり、O&M・廃棄費用の削減メリットがある。

[平見様]：製品開発および品質安全性評価のしっかりした進捗が確認できた。円筒型の優位性（発電量、営農時収穫量）が定量的に確認できてきており、大きな前進といえる。ソーラーシェアリングを社内敷地内で積極的に検証・PRをされており、今後、認知度が上がることも期待できると思う。

・CKD株式会社：

[林様]：今回、より実用化に向けた枠組みが出来上がってきていることが実感できた。ソーラーシェアリングや北九州市東田スーパーシティでの実証が準備されており、成功させて認知度が高まることを期待する。CKDはガラス管径Up（Φ20→30mm）による発電効率向上とコストダウン並びにペロブスカイトの塗布を進めることで協力していきたい。

[野村様]：今後の外部でのサンプル評価として、10,000本の目標が具体的に掲げられた。その供給のハードルは低くはない本数であるが、CKDは全面的な生産協力をしていく。

事業終了後の事業化展開は下記の通りである。

【事業化展開】

表 12 事業化展開

製品等の名称		円筒型太陽電池ユニット、モジュール、システム				
開発事業者		株式会社フジコー				
想定するサンプル出荷先		農業用途・ウシオ電機・ICT用途・ZEB、ZEH、非常用電源用途				
スケジュール	事業年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度	令和8年度
	サンプルの出荷・評価	→				
	追加研究					→
	設備投資					→
	製品等の生産					→
	製品等の販売					→
	特許出願		→			
	出願公開					→
	特許権設定					→
	ライセンス付与					→
売上見込	売上高（千円）			32,000	150,000	350,000
	販売数量			8	27	35
	売上高の根拠	令和6年度 スタンドアローン電源販売 400万円×8台 令和7年度 スタンドアローン電源システム販売 400万円×25台 農地発電システム販売 2500万円×2台 令和8年度 スタンドアローン電源システム販売 400万円×25台 農地発電システム販売 2500万円×10台				