

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「太陽光発電可能な次世代膜構造建築物を実現する発電テキスタイルの開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 公益財団法人ふくい産業支援センター

目 次

第 1 章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の目的および概要	1
	(1) 研究の目的	
	(2) 研究の概要	
	(3) 実施内容	
1-2	研究体制	6
	(1) 研究組織及び管理体制	
	1) 研究組織(全体)	
	2) 管理体制	
	(2) 管理員及び研究員	
	(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	
	(4) 推進委員会	
1-3	成果概要	11
1-4	当該研究開発の連絡窓口	11
第 2 章	太陽光の方向に依存せずにエネルギーを創出できる糸作り技術開発	12
2-1	エネルギー創出糸の試作開発	12
2-2	エネルギー創出糸製造装置の開発	15
第 3 章	エネルギー創出糸を利用した発電テキスタイル製造技術開発	16
3-1	エネルギー創出糸を利用した発電テキスタイルの開発	16
3-2	エネルギー創出糸を利用した発電テキスタイル製造装置の開発	17
第 4 章	次世代膜構造建築物用エネルギー創出機能膜材の開発	18
第 5 章	次世代膜構造建築物の試作と発電性能評価	22
第 6 章	全体総括	24

第 1 章 研究開発の概要

1-1 研究開発の目的および概要

(1) 研究の目的

本研究では、従来技術では実現できなかった、テキスタイルの特性を損なわずに太陽電池とテキスタイルが一体化した材料を開発する。この材料はフレキシブルで 3 次元曲面に対応できるので、太陽光による発電が可能な「次世代膜構造建築物」を構築でき、自然エネルギーを利用した電力供給量が増加することができる。

そこで、本研究では、膜構造建築物に適したエネルギー創出繊維による太陽光発電テキスタイルを開発するために、「太陽電池とテキスタイルの一体化」、「織物の特徴を損なわない(軽量・薄層・フレキシブル・各種強度・伸張特性など)」、「太陽の位置関係が変化しても、安定して受光できる発電特性」、「量産可能な生産技術」を目標に開発に取り組む。

(2) 研究の概要

テキスタイルの特性を損なわずに太陽電池とテキスタイルを一体化するために、太陽電池を糸状モジュールに加工したエネルギー創出糸を開発し、それを織り込む方法で発電テキスタイルを開発する。この発電テキスタイルは薄層・軽量・引張および引裂強度が高く柔軟で伸張性にも優れる特性を維持しながら発電性能を有する。これに防水と耐候性を付与した膜材料を開発し、太陽光発電可能な次世代膜構造建築物を実現する。

(3) 実施内容

① 太陽光の方向に依存せずにエネルギーを創出できる糸作り技術開発

(松文産業株式会社、スフェラーパワー株式会社、福井県工業技術センター)

①-1 エネルギー創出糸の試作開発

(松文産業株式会社、スフェラーパワー株式会社、福井県工業技術センター)

太陽光で発電するエネルギー創出糸は、球状太陽電池をフレキシブルな導電糸に連結する方法で構成する。テキスタイル生産工程で加工するには、基本的な繊維と同等の物性(引張強度、接着強度、屈曲耐久性等)が必要となるため、ハンダ剤や導電糸を検討して開発を行う。また、通常の太陽電池の評価試験機では発電力の小さいエネルギー創出糸の発電性能が評価できないため、発電量が小さくても評価できる測定方法を研究開発する。

平成 24 年度は、エネルギー創出糸の加工条件を検討して試作し、引張強度約 25N、接着強度約 110cN、270 度曲げ(10mm 径の治具)で 100 回屈曲しても破損しないテキスタイル加工工程に対応可能な物性のエネルギー創出糸を開発した。

平成 25 年度は引き続きエネルギー創出糸の安定加工条件、発電特性の評価方法について研究開発し、ハンダの改良により発電テキスタイルに適したエネルギー創出糸の開発を行った。

平成 26 年は引き続きエネルギー創出糸の安定加工条件、発電特性の評価方法について研究開発し、エネルギー創出糸の評価方法を確立した。

【目標】

- ・エネルギー創出系物性評価 → 引張試験:100cN以上、接着強度試験:20cN以上
屈曲耐久性試験:270°曲げで100回以上
- ・エネルギー創出系発電性評価 → エネルギー創出系の評価方法確立

①-2 エネルギー創出系製造装置の開発

(スフェラーパワー株式会社、福井県工業技術センター)

本項目では高品位で安定してエネルギー創出系を製造する装置の開発とその製造方法の確立をスフェラーパワー株式会社と福井県工業技術センターが行う。

具体的には、球状太陽電池を一定間隔で特定方向に並べ、球状太陽電池1個毎にディスペンサーでハンダを塗布して導電系と接続する方法で装置開発を行う。この製造原理で高品質で安定したエネルギー創出系を製造する技術を確立するために以下の内容で開発を進める。さらに、球状太陽電池で発電した電力を取り出す方法として、エネルギー創出系に電源接続用端子を搭載する方法も開発する。

平成24年度は、エネルギー創出系製造装置の開発および、エネルギー創出系に電源接続用端子を搭載する方法および装置を開発した。

平成25年度は安定した加工および生産効率が向上するように材料や加工条件等を検討し、ハンダを改良することにより発電テキスタイルに適したエネルギー創出系を加工できる条件を開発した。

平成26年は引き続きエネルギー創出系製造装置を安定的に加工するための装置や加工剤について開発を行った。

【目標1】エネルギー創出系製造装置の開発

- 球状太陽電池の方向性特定配列でき、配列間隔を任意に変更できること
- 2個/s以上の生産速度
- エネルギー創出系に適したハンダ剤の選定

【目標2】エネルギー創出系用端子材の開発

- 幅1mm×長2mm×厚1mm以内の端子が搭載された部材開発
- 自動的に連続して端子をエネルギー創出系に接続できる方法を確立

② エネルギー創出系を利用した発電テキスタイル製造技術開発

(松文産業株式会社、福井県工業技術センター)

②-1 エネルギー創出系を利用した発電テキスタイルの開発

(松文産業株式会社、福井県工業技術センター)

発電テキスタイルの開発は、松文産業株式会社と福井県工業技術センターが次の3項目を中心に実施する。

1) 発電テキスタイル規格の開発は、一般的膜材用の織物規格を基に、様々な織物規格を変更して発電効率の良いテキスタイル規格を開発する。特に、織物を構成する糸素材の

形状や材質、織物構造を変えることで、光の反射特性を制御し、エネルギー創出糸に集光する光の量が最適になる織物規格と織物構造を試作開発する。

2) 発電性能に合わせたエネルギー創出糸の配列方法は、エネルギー創出糸内の球状太陽電池の配列および数(密度)、エネルギー創出糸の直並列の配列を可変して行い、発電テキスタイルの発電量の設計および制御方法を開発する。

3) 発電した電力を取り出す電源ラインの設置方法は、発電テキスタイル内にたて糸に導電糸を配置して出力電源ラインとし、任意の電圧と電力で出力できる発電テキスタイル回路の設計・制御方法を研究開発する。

平成 24 年度は、試作したエネルギー創出糸を使用して、既存の織機を利用して手作業等の手段により発電テキスタイルを試作し、テキスタイル加工工程での課題を明確にした。また、エネルギー創出糸の配列により、12Vと 24Vの発電テキスタイルを設計した。

平成 25 年度は発電テキスタイル製造装置を使用して、エネルギー創出糸をよこ入れできる方法を開発し、織物密度を変更して発電テキスタイルを試作した。

平成 26 年度は繊維素材(糸種など)、密度、織組織等の織物規格を検討した。

【目標】・織物規格として、繊維素材(糸種、断面形状、光沢)、密度、織組織を検討する

・エネルギー創出糸の配列により、12Vと24Vの発電テキスタイルを開発する

・織物の一端で電力を出力できる発電テキスタイルを試作開発する

→ 全幅1m×長 10m 以上、発電性能 13w/m²以上、太陽電池重量 600g/m²以下

②-2 エネルギー創出糸を利用した発電テキスタイル製造装置の開発

(松文産業株式会社、福井県工業技術センター)

エネルギー創出糸をよこ糸に使用方法でテキスタイルに織り込んで、フレキシブルなシート状の発電テキスタイルを製造する新規装置およびその製造技術の開発は、松文産業株式会社と福井県工業技術センターが、特殊織機の技術を基にして、以下の4項目の技術開発ポイントを中心に開発を行う。

1) エネルギー創出糸のよこ糸挿入方法は、間欠よこ入れ機構に加え、ガイド等によりエネルギー創出糸の損傷を防ぐ新しい方式で開発する。

2) エネルギー創出糸のよこ糸位置制御方法は、高精度光学センサで位置を検知して、±2.5mm の精度でよこ入れ位置決めを行う「よこ入れ制御機構」を開発する。

3) 発電テキスタイルの導電糸配列方法は特殊クリールを開発して行う。

4) 発電テキスタイルの巻き取り方法は、特殊巻き取り部品を開発して行う。

平成 24 年度は特殊クリールを開発して発電テキスタイルの導電糸配列方法の研究を行い、エネルギー創出糸のよこ挿入方法やよこ糸位置制御方法を検討した。

平成 25 年度は発電テキスタイル製造装置を開発し、よこ糸にエネルギー創出糸を織り込む方法で製造した発電テキスタイルの巻き取りで球状太陽電池が破損せずに幅1mの発電テキスタイルを連続生産できる方法を開発した。

平成 26 年度は、発電テキスタイルを 95%以上揃った状態で精度よくよこ入れする方法を確立した。

【目標】発電テキスタイル製造装置の開発

- よこ糸にエネルギー創出糸を織り込めること
- 織り込み位置を±2.5mmの精度で配置できること
- 幅1mの発電テキスタイルを連続生産できること
- たて糸導電糸は、転がし式張力制御の移動型クリールであること
- 製造した発電テキスタイルの巻き取りで球状太陽電池が破損しないこと
- エネルギー創出糸の方向が95%以上揃った状態でよこ入れできること

③ 次世代膜構造建築物用エネルギー創出機能膜材の開発

(スフェラーパワー株式会社、ウラセ株式会社、

国立大学法人福井大学、福井県工業技術センター)

発電テキスタイルに耐候性に優れたテキスタイル加工技術を利用して、エネルギー創出機能膜材の開発を行う。これはスフェラーパワー株式会社、ウラセ株式会社、国立大学法人福井大学、福井県工業技術センターが行う。

エネルギー創出機能膜材に要求される「光透過性」、「防水」、「耐候性」に優れたコーティング加工技術を開発するために、主に「フッ素系(テフロンなど)」、「ウレタン系」、「塩ビ系」、「オレフィン系」の4種類の樹脂で研究開発を行う。特に、エネルギー創出糸を構成する球状太陽電池および導電性の電気特性を損なわない樹脂や加工条件を開発し、生産技術を確立する。

エネルギー創出機能膜材の評価は、膜構造建築物用膜材の必要物性試験で評価を行う。太陽電池としての評価方法は、標準試験条件での出力特性の評価ならびに環境試験を行う。ただし、エネルギー創出機能膜材は連続的に大面積を加工できることが特徴であり、また大面積で使用する。そこで、大面積での評価方法についても研究を行う。

平成24年度は、エネルギー創出機能膜材の開発の基礎試験として、「フッ素系(テフロンなど)」、「ウレタン系」、「塩ビ系」、「オレフィン系」および「シリコーン」等の樹脂での加工試験を行い、球状太陽電池および導電性の電気特性への影響を検討した。その結果「シリコーン」および「フッ素系(テフロンなど)」が適していることが分かった。また、量産性検討として造膜特性を検討した結果は、ウレタン樹脂が最もよく、発電テキスタイルにコーティング加工をすることができた。

平成25年度は樹脂溶液を工程紙に作成し、発電テキスタイルに貼り合わせる方法をウレタン樹脂で検討し、フィルム状になったフッ素樹脂、シリコーン樹脂、ウレタン樹脂のラミネート法や、外部での溶融塩ビ樹脂塗工などの加工法の調査も行い、発電テキスタイルの連続加工方法の検討および加工した発電テキスタイルの評価試験を行った。その結果フィルムラミネート方法により、発電性能を100%維持できる加工条件を見出した。

平成26年度は、「フッ素系(テフロンなど)」、「ウレタン系」の2種類の樹脂を使用して全幅1m×長20mのエネルギー創出機能膜材を連続加工できる加工条件を確立し、加工後の目標物性を達成できるエネルギー創出機能膜材を開発した。

【目標】「フッ素系(テフロンなど)」、「ウレタン系」、の2種類の樹脂で評価

「エネルギー創出機能膜材物性」

→ 発電性能 6.5W/m²以上、光の透過性 10%以上
引張強度 653N/cm以上、引裂強度 150N以上
伸張性 5%以上、曲面对応 多軸変形、薄層 3mm以下
軽量 2kg/m²以下、100回以上の折曲げ可能(折り畳み)
光の入射方向に依存しない

「防水性」 → 耐水圧1000mm以上

「耐候性」 → 屋外暴露5年分の耐候試験後の発電効率の低下が20%以下

「加工性」 → 全幅1m×長20mのエネルギー創出機能膜材を連続加工

④ 次世代膜構造建築物の試作と発電性能評価

(松文産業株式会社、スフェラーパワー株式会社)

エネルギー創出機能膜材で発電した電力を蓄電できる、次世代膜構造建築物発電システムを試作する。具体的に試作する建築物はキャノピーで、エネルギー創出機能膜材を施工して、施工性を評価する。エネルギー創出機能膜材で発電する電力は、直流で充放電できる制御回路を含む蓄電システムを試作設置し、発電性能の測定を行う。また、この建築物には防犯と夜間の照明を兼ねたLED照明を設置し、発電する電力を使用して実用性の評価も行う。特に、試験施工は北陸でも積雪の多い地域を予定しており、冬場の積雪でも雪が積もらない曲面形状にすることで、冬季も有効に発電できるシステムを考案する。

平成25年度は、次世代膜構造建築物発電システムを試作のための、電力蓄電システムやそれを利用した照明システムの設計を行った。

平成26年度は松文産業(勝山市)の4m×3.3mのスペースに敷地に次世代膜構造建築物の簡易建築物(キャノピー)を施工し、施工性、発電性能を評価した

【目標】松文産業(勝山市)の敷地に4m×3.3mのスペースで次世代膜構造建築物の簡易建築物(キャノピー)を施工し、施工性、発電性能を評価する。

【施工条件】LED照明(20W)を3台設置

発電した電力は12Vのリチウムイオンバッテリーに直流充電

【目標】通常手順で施工でき、施工後の屋根材の形状が変形しないこと

日中の発電量変動が少なく、太陽光発電でLED照明が1ヶ月以上点灯すること

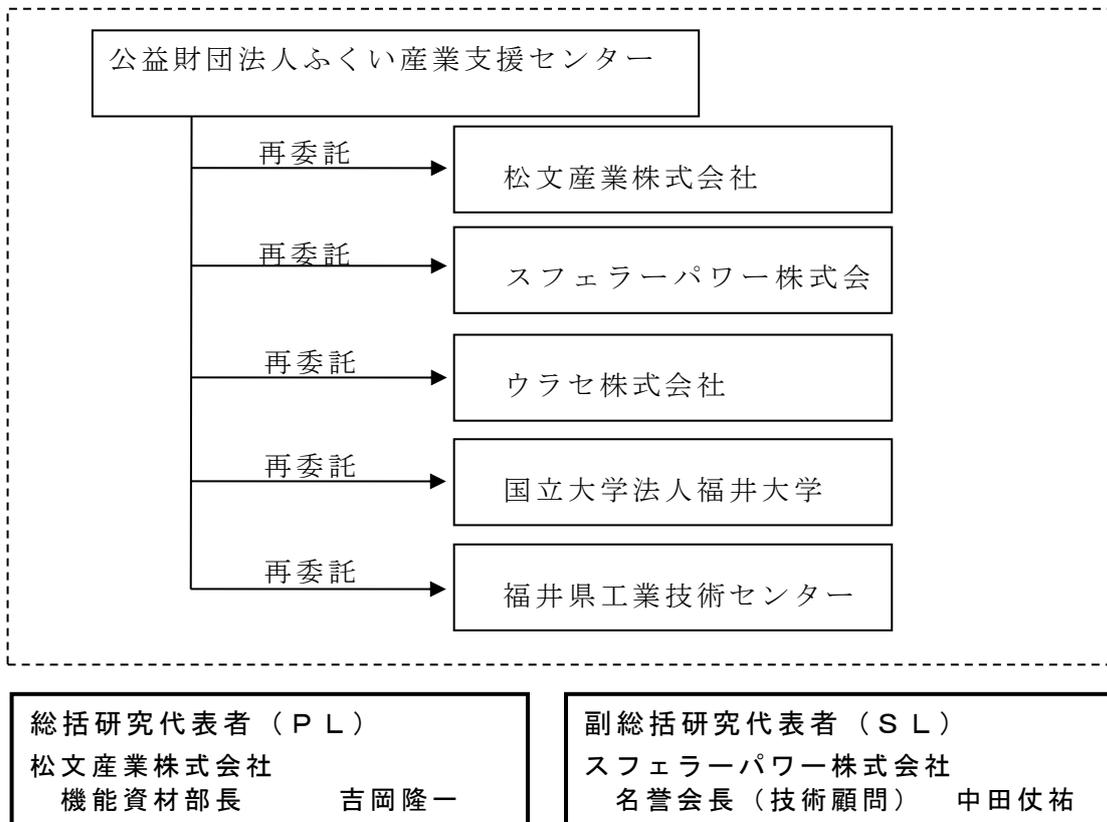
⑤ プロジェクトの管理・運営(公益財団法人ふくい産業支援センター)

再委託契約の締結業務、研究事業推進委員会の準備・開催、報告書の作成、国ならびに再委託先との連絡調整、委託費の管理・執行を行う。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

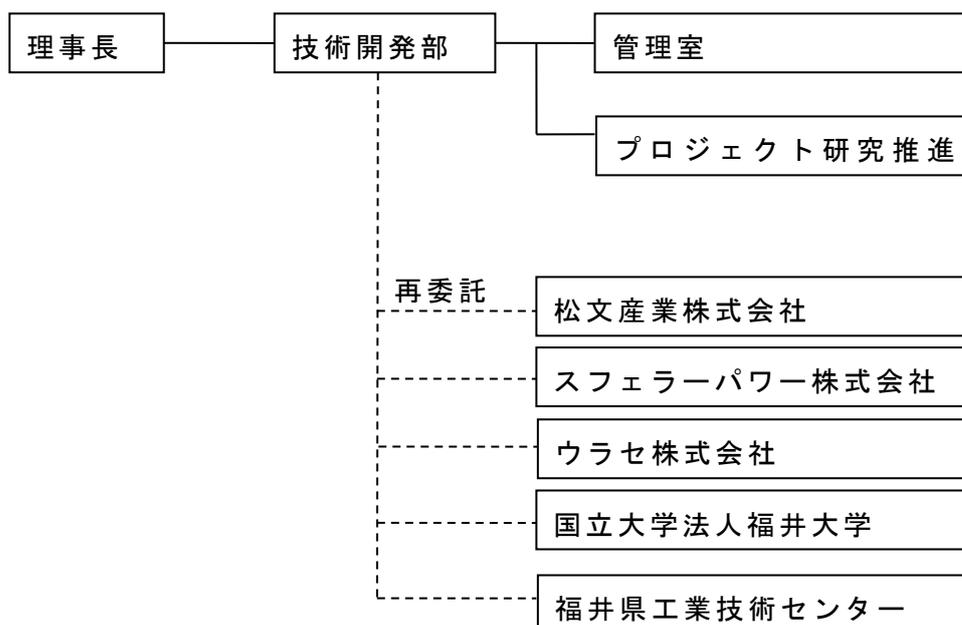
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

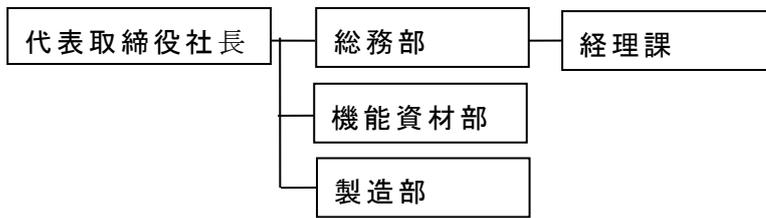
① 事業管理機関

[公益財団法人ふくい産業支援センター]

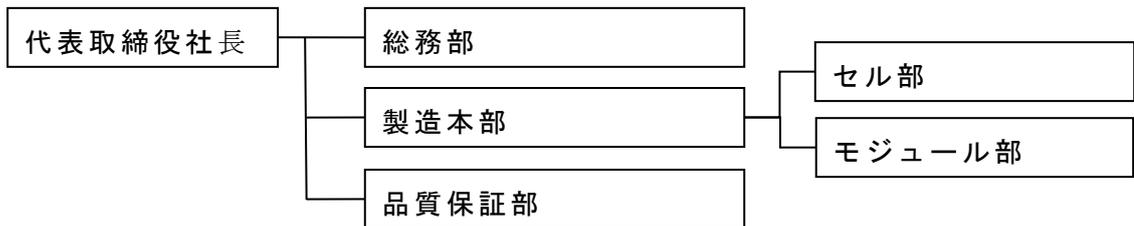


②（再委託先）

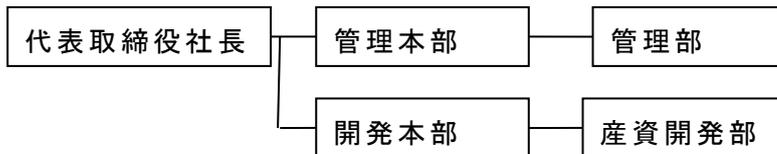
松文産業株式会社



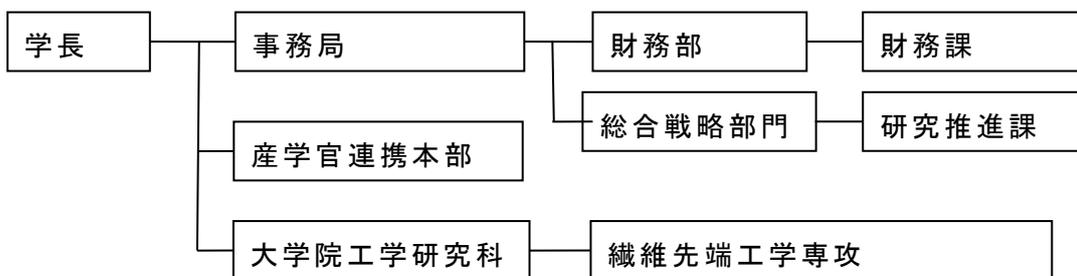
スフェラーパワー株式会社



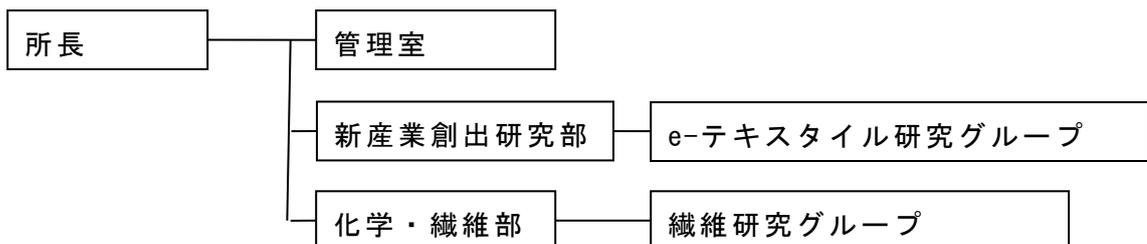
ウラセ株式会社



国立大学法人福井大学



福井県工業技術センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人ふくい産業支援センター
管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
松村 正三	技術開発部プロジェクト研究推進室 室長	⑤
木下 佳紀	技術開発部プロジェクト研究推進室 主任研究員	⑤
野尻 誠	技術開発部プロジェクト研究推進室 主任研究員	⑤
山田 卓司	技術開発部管理室 主査	⑤

【再委託先】

松文産業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
吉岡 隆一	機能資材部長	①、②、③、④
大澤 晴彦	専務取締役 勝山工場長	①、②、④
檜木 紳吾	機能資材部 研究員	①-1、②
出口 邦夫	製造部 研究員	②

スフェラーパワー株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
中田 丈祐	名誉会長	① ②、③、④
井本聡一郎	代表取締役社長	①、②、③、④
稲川 郁夫	取締役製造本部長	①
中村 英稔	製造本部 モジュール部部長	①、④
大谷聡一郎	品質保証部 シニアエンジニア	①-1、③
長友 文史	総務部部長	①、④

ウラセ株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
針井 知明	産資開発部 部長	③
岩崎 好博	産資開発部 新商品開発グループ長	③
谷屋 早紀	産資開発部 新商品開発グループ 研究員	③

国立大学法人福井大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
堀 照夫	産学官連携本部 客員教授	③
宮崎 孝司	大学院工学研究科 繊維先端工学専攻 教授	③
廣垣 和正	大学院工学研究科 繊維先端工学専攻 准教授	③

福井県工業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
増田 敦士	新産業創出研究部 e-テキスタイル研究グループ 主任研究員	①、②、③
村上 哲彦	化学・繊維部 繊維研究グループ 主任研究員	① ②
帰山 千尋	新産業創出研究部 e-テキスタイル研究グループ主事	①、②、③
辻 堯宏	新産業創出研究部 e-テキスタイル研究グループ主事	①、②、③

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人ふくい産業支援センター

(経理担当者) 技術開発部管理室 主査 山田 卓司
(業務管理者) 技術開発部プロジェクト研究推進室 室長 松村 正三

(再委託先)

松文産業株式会社

(経理担当者) 経理課 課長 寺本祐一郎
(業務管理者) 機能資材部 部長 吉岡 隆一

スフェラーパワー株式会社

(経理担当者) 総務部 飯島万紀子
(業務管理者) 総務部 部長 長友文史

株式会社ウラセ

(経理担当者) 管理本部 管理部長 通自 康一
(業務管理者) 開発本部 産資開発部 部長 針井 知明

国立大学法人福井大学

(経理担当者) 財務部 財務課 課長 小山 登
(業務管理者) 産学官連携本部 客員教授 堀 照夫

福井県工業技術センター

(経理担当者) 管理室 主事 和中 健史
(業務管理者) 所長 勝木 一雄

(4) 推進委員会

推進委員会委員

氏名	所属・役職	備考
吉岡 隆一	松文産業株式会社 機能資材部 部長	PL
中田 仗祐	スフェラーパワー株式会社 名誉会長	SL
小泉 信太郎	松文産業株式会社 代表取締役社長	
針井 知明	ウラセ株式会社 開発本部 産資開発部 部長	
堀 照夫	国立大学法人福井大学産学官連携本部客員教授	
宮崎 孝司	国立大学法人福井大学 工学研究科 教授	
増田 敦士	福井県工業技術センター 新産業創出研究部 e-テキスタイル研究グループ 主任研究員	
村上 哲彦	福井県工業技術センター 化学・繊維部 繊維研究グループ 主任研究員	
畠山 孝宏	太陽工業株式会社 開発企画部 部長	アドバイザー
豊田 宏	太陽工業株式会社 材料研究所 主事研究員	アドバイザー
細野 俊彦	フクビ化学工業株式会社 開発部	アドバイザー
渡辺 孝寛	公益財団法人ふくい産業支援センター 地域連携コーディネータ	アドバイザー

※他からの指導・協力者名（アドバイザー）及び指導・協力事項

氏名	機関名	指導・協力事項
畠山 孝宏	太陽工業株式会社	膜構造建築物用膜材についての加工方法のアドバイスを受ける。
豊田 宏	太陽工業株式会社	膜構造建築物用膜材についての評価方法のアドバイスを受ける。
細野 俊彦	フクビ化学工業株式会社	建築材料としての評価方法、製品開発についてアドバイスを受ける
渡辺 孝寛	公益財団法人ふくい産業支援センター	発電テキスタイルの製造方法、コーティング加工方法についてアドバイスを受ける

1-3 成果概要

エネルギー創出系の安定加工条件、発電特性の評価方法について研究開発し、エネルギー創出系の評価方法を確立した。また、昨年度に引き続きエネルギー創出系製造装置および端子搭載装置で安定的に加工するための装置や加工剤としてハンダの改良を行った。

繊維素材(糸種)、密度、織組織等の織物規格を検討した結果、エネルギー創出系の導電系間の短絡およびエネルギー創出系間の導通不良を改善できた。太陽光発電テキスタイルの試作では、全幅 1m×長 10m 以上発電テキスタイルを試作したが、製織前後でのエネルギー創出系からのセルの脱落が主な要因で 13W/m²以上の発電量は達成できなかった。このセル脱落対策については、前述のハンダ改良等の結果を適用して今後の研究課題として解決を目指す。また、太陽光発電テキスタイル製造装置の改良により、発電テキスタイルを 95%以上揃った状態で精度よくよこ入れする方法を確立できた。

「フッ素系」、「ウレタン系」の2種類の樹脂を使用して全幅 1mのエネルギー創出機能膜材を連続加工できる加工条件を確立した。加工後の目標物性としては、前述のように発電性能は目標を達成できていないが、それ以外の項目についてはほとんどの物性地について目標を達成できた。

松文産業(勝山市)の4m×3.3mのスペースに敷地に次世代膜構造建築物の簡易建築物(キャノピー)を施工した。今回開発したエネルギー創出機能膜材は施工性がよく、設置後発電性能があることは確認できた。膜材の試作が遅れたため、簡易建築物に設置した状態でのエネルギー創出機能膜材の評価は、今後の課題として行っていく。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人ふくい産業支援センター 技術開発部
〒910-0102 福井県福井市川合鷺塚町 61 字北稲田 10
TEL: 0776-55-1555 FAX: 0776-55-1878
連絡担当者
プロジェクト研究推進室 室長 松村 正三
E-mail: m.matsumura@fisc.jp

第2章 太陽光の方向に依存せずにエネルギーを創出できる糸作り技術開発

2-1 エネルギー創出糸の試作開発

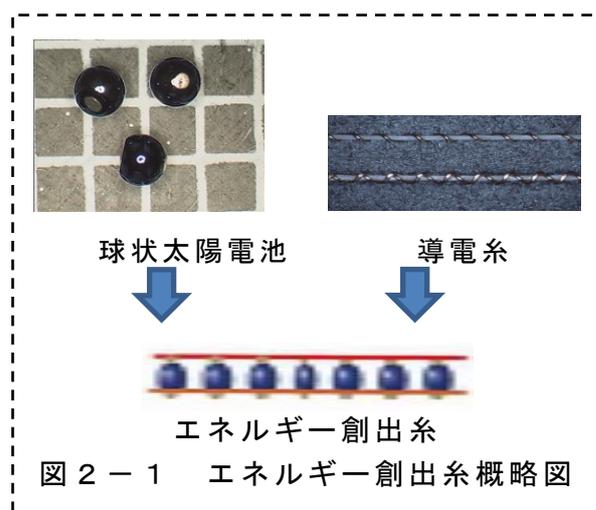
太陽光で発電するエネルギー創出糸は、球状太陽電池をフレキシブルな導電糸に連結する方法で構成する。テキスタイル生産工程で加工するには、基本的な繊維と同等の物性（引張強度、接着強度、屈曲耐久性等）が必要となるため、ハンダ剤や導電糸を検討して開発を行う。また、通常の太陽電池の評価試験機では発電力の小さいエネルギー創出糸の発電性能が評価できないため、発電量が小さくても評価できる測定方法を研究開発する。

①エネルギー創出糸の構成材料

エネルギー創出糸の概略を図 2-1 に示す。直径約 1.2mm の球状太陽電池セルの両端の電極に導電糸をハンダで接続する方法で試作する。今回使用した導電糸は図 2-1 にある導電糸の下の写真の構成の糸であり、ガラス繊維に錫メッキ銅線をダブルカバーリング加工した。これにより耐熱性と強度、導電性のある糸となる。

【試料】

- ・球状太陽電池セル $\phi=1.2\text{mm}$ (スフェラー製)
- ・導電糸
錫メッキ銅線 ($\phi=0.06\text{mm}$) のダブルカバーリング糸
- ・ハンダ ペーストハンダ (千住金属工業製)



②エネルギー創出糸の試作

試作したエネルギー創出糸の写真を図 2-2 に示す。球状太陽電池間のセル間隔は最小 2.5mm で試作した。拡大写真を図 2-2 に示すが、正極・負極の方向が揃った並列接続で導電糸に接続しており、図 2-1 の概略図と全く同じでほぼ設計通りのエネルギー創出糸が試作できている。実際正負極の方向性は現在ほぼ 100%できている。



図 2-2 エネルギー創出糸拡大写真
※球状太陽電池は上が正極、下が負極

③エネルギー創出糸の評価

エネルギー創出糸の評価は、物性試験（引張、剥離、屈曲耐久性）と発電性能で行った。

③-1 引張試験

引張試験機（島津製作所製：オートグラフ）を使用して、エネルギー創出糸の引張試験を行った。測定条件および測定結果を以下に記載する。導電糸の破断強度が 10N あり、エネルギー創出糸は導電糸 2 本分の強度が出ていると推測される。

なお、約 20～21N でセル脱落が発生しており、伸長に対するセルの脱落強度も 20N 以上あることが分かった

【測定条件】 引張速度：100mm/min，試料長：100mm(100%歪/min)，測定回数：3回

【測定結果】 強度：25.7N，伸度：3.0%

③-2 剥離試験(接着強度)

球場太陽電池セルと導電系の接着強度を測定する剥離試験も、引張試験機を使用した。

剥離強度試験の試料として、球場太陽電池セルを 1 個導電系に取り付けたサンプルを試作した。試験は、この試料の 2 本の導電系を引張試験機で上下に一定速度で引張り、セルが導電系から外れる時の試験力(強度)およびその時の伸びを計測した。セルが外れる強度は平均 112cN であり、目標の 100cN 以上の強度が得られていた。

【測定条件】 引張速度：200mm/min，測定回数：5 回

【測定結果】 剥離強度：112cN，剥離伸度：1%

③-3 屈曲耐久性試験

ストリングス評価試験機(図 2-3)を使用してエネルギー創出系の屈曲耐久性を評価した。

なお、試験条件は以下のとおり。

【試験条件】荷重：40cN，屈曲角度：±135°

【試験結果】

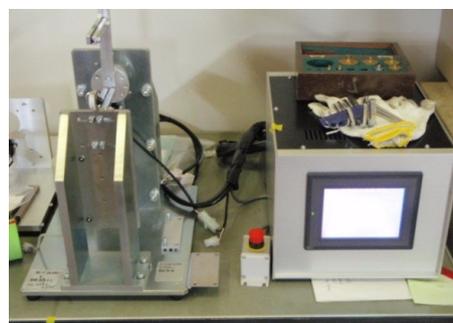


図 2-3 屈曲耐久性試験機

評価試験を行った結果を表 2-1 に示す。今回のエネルギー創出系試作に使用した導電系は屈曲耐久性がよく、200 回程度では破断しない。球場太陽電池セルと接続したエネルギー創出系も、今回の曲率では 200 回の屈曲で破断しないことがわかり、目標である 270° での屈曲 100 回は達成できた。なお、屈曲治具の曲率や間隔、試験荷重が屈曲耐久性に影響するため、今後も引き続き検討していく。

表 2-1 屈曲耐久性試験結果

試料	屈曲治具	50回	100回	200回
導電系単体	φ=10mm, 2mm 間隔	○	○	○
エネルギー創出系		○	○	○

③-4 エネルギー創出系の発電性能評価

試作したエネルギー創出系の発電性能は、標準試験条件(AM1.5、1,000W/m²)で、開発した治具を用い、最大発電電力 P_{max}、短絡電流 I_{sc}、開放電圧 V_{oc}、曲線因子 ff で評価した。

評価結果の例を表 2-2 に記す。このように専用治具の開発・固定方法の工夫及びエネルギー創出系の改良により、取り付けなどに手間がかかるものの、安定した評価が可能になった。

表 2-2 エネルギー創出系評価結果(例)

	Isc [mA]	Voc [V]	Pmax [mW]	Ipm [mA]	Vpm [V]	FF
1	69	0.519	10	39	0.308	0.336
2	67	0.520	10	38	0.298	0.329

エネルギー創出系は、三次元的な受光性を持つスフェラーセルを用いて作製していることから広い角度での受光性が期待できる。そこで、開発した角度依存性の測定治具を用いてエネルギー創出系単線(10cm 長)での角度依存性の評価を試みた。結果としては、図 2-5, 6 に示しているように、平行に回転時に高角度にて導電系の影に入ることを除けば、スフェラーセル単体に近い特性が得られることを確認できた。

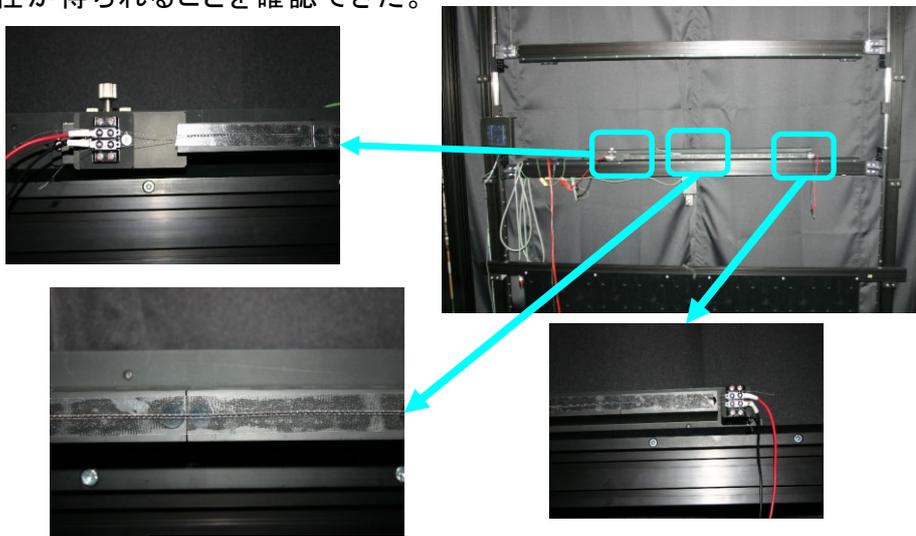


図 2-4 エネルギー創出系評価

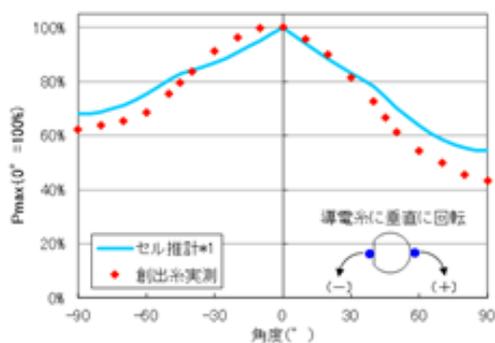


図 2-5 創出系角度依存性(1)

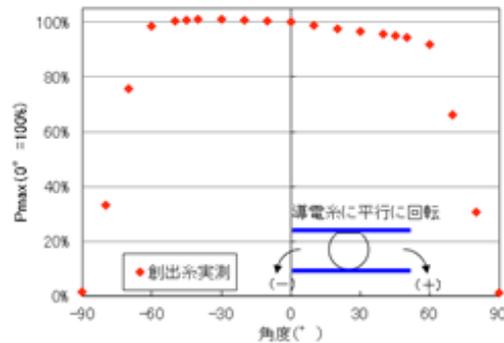


図 2-6 創出系角度依存性(2)

(*1 スフェラーセル単体での角度依存性を幾何学的に推計した結果)

以上のようにエネルギー創出系単線での評価方法を確立することは出来たものの、単線での評価であること、また取り付けなどに時間がかかるといった課題がある。実際創出系から発電テキスタイルを織り込むことを考慮すると、工程上測定可能な長さ(おおよそ 1m まで)毎に切断して評価するのは難しい。そのため、量産を想定したうえで創出系の検査を行うためには、製造装置と一体とするなどのさらなる工夫が必要となると考えている。

2-2 エネルギー創出系製造装置の開発

本項目では高品位で安定してエネルギー創出系を製造する装置の開発とその製造方法を確立した。

① エネルギー創出系製造装置

本研究開発では、エネルギー創出系製造装置を開発した。開発した装置の全体写真を図 2-7 に示す。

特に、開発装置はセルと導電系の接着加工精度を向上させるため、セル走行経路を工夫することでセルの方向性を特定しやすくするなどの開発を行い、生産速度2個/s以上を実現した。



図 2-7 エネルギー創出系製造装置写真

② エネルギー創出系に電源接続用端子を搭載する方法および装置の開発

エネルギー創出系に電源用接続端子する方法として、熱収縮チューブで導電系を覆う短絡を防ぐ絶縁被覆方法を考案した。実際に試作したサンプルを図 2-8 に、エネルギー創出系に取り付けるために開発した装置を図 2-9 に示す。黒い部分が絶縁被覆してあるところで、細くて柔軟であるため糸としての取り扱いにも支障がない。



図 2-8 絶縁材を装着した
エネルギー創出系



図 2-9 端子取り付け装置写真

③ 接続材（ハンダ）の改良

ハンダメーカーの協力で、エネルギー創出系に適したハンダ材の開発を行い、そのハンダを使用したエネルギー創出系および太陽光発電テキスタイルで評価試験をおこなった。

エネルギー創出系の試作加工性は、試作後のエネルギー創出系を顕微鏡下で観察し、全体のセル数に対しハンダでセルが導電系に接続していることを確認できたセル数の比を搭載率として評価した。その結果、搭載率にして5%以上向上できた。

この試作したエネルギー創出系（セル50個）をよこ糸に使用した太陽光発電テキスタイルをERレピアにて手織りで各々5枚試作し、製織評価試験を行った。これは、織物製織工程での衝撃耐久性、摩擦耐久性などが評価される実用的な試験である。その結果、改良ハンダは製織工程でのセルの脱落が非常に少なく（搭載率7%改良）、接着性が非常によいことがわかった。

今後の事業化では、生産能力の更なるスケールアップ、および試作機から量産機に向けて、品質の向上等が不可欠である。これらについて引き続き開発を行い、早期の製品化を目指す。

第3章 エネルギー創出糸を利用した発電テキスタイル製造技術開発

3-1 エネルギー創出糸を利用した発電テキスタイルの開発

①発電テキスタイルの試作および織物規格の検討

発電テキスタイルとして、まずは汎用繊維であるポリエステル繊維を経糸・緯糸に使用して試作を行った。また織物組織は、エネルギー創出糸をよこ糸として使用するの、製織後の取扱い性と光を効率的にエネルギー創出糸に当てることを考慮して、エネルギー創出糸が自組織の片側に緯2重組織とした。試作を行った織物規格を以下に記載する。

【織物規格】

経糸：ポリエステル仮撚加工糸 167dtex/48f

緯糸：ポリエステル仮撚加工糸 56dtex/24f

織組織：緯2重組織

エネルギー創出糸を上面に配置する地組織は、「平織」、「綾織(2/2)」、「4枚朱子織」で検討した。その結果、地組織は平織(図3-1)又は4枚朱子(図3-2)にするとエネルギー創出糸が整然と配列できることがわかった。



図3-1 地組織が平組織



図3-2 地組織が朱子

②発電テキスタイルの配列による発電テキスタイル設計

②-1 発電テキスタイルの試作

12Vおよび24Vの発電テキスタイルを作るために、エネルギー創出糸の接触抵抗による電圧低下等も考慮した設計で、12V用発電テキスタイルとしてエネルギー創出糸を30本直列配列したサンプルを、24V用発電テキスタイルとしてはエネルギー創出糸を50本直列配列で設計し、図3-4の写真のようにジャカード織機で試作した。試作した各サンプルの写真を図3-5および3-6に示す。試作したサンプルは、いずれもテキスタイルの特性であるフレキシブル性を有しており、手で握りつぶすようにくしゃくしゃに曲げたり、半分に畳むように折り曲げても外見上大きな問題はなかった。

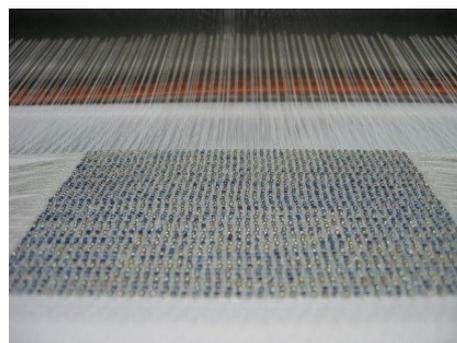


図3-4 24V用発電テキスタイルのサンプル試作写真

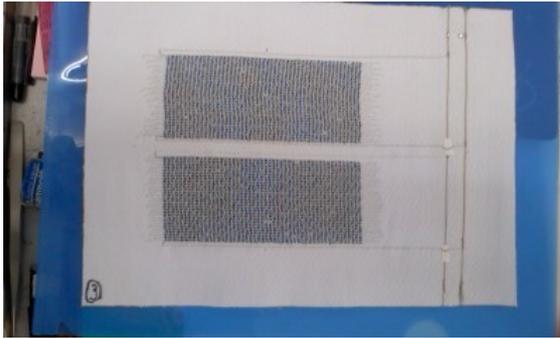


図 3-5 12V 用発電テキスタイル写真

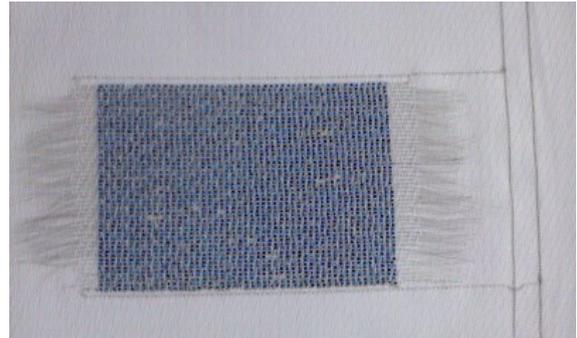


図 3-6 24V 用発電テキスタイル写真

②-2 発電テキスタイル試作

エネルギー創出糸を20本直列につなぎ、幅 1020mm長さ 420mmの発電テキスタイルを製織した。テキスタイルの重量は 416gで平米あたり 971g/m²になる。この試作をベースにして、キャンपी膜材用の太陽光発電テキスタイルは、エネルギー創出糸を30本直列配置にして、写真のように1m×1mサイズのテキスタイルを15枚作成した。

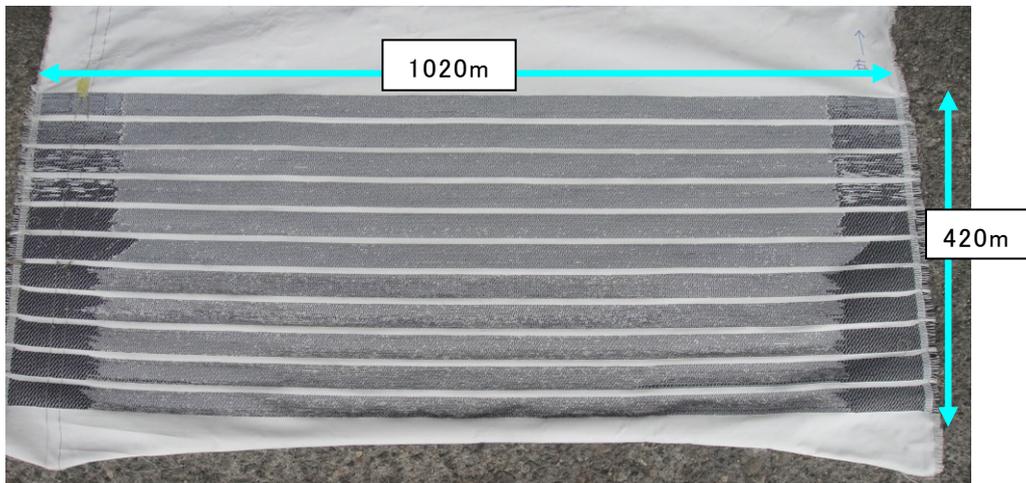


図 3-7 発電テキスタイル

②-3 電源ラインの開発

発電した電力をロス少なく集電するには電源ラインの抵抗を小さくする必要がある。その手段として導電糸の構造や複数本並列配置などの方法で開発を行った。電気抵抗が小さくなる導電糸構造の場合製織製が低下するため、この両者の条件を検討し、さらに織組織も開発して製織した電源ライン部分が図 3-9 である。キャンピー膜材用のテキスタイルでも、この電源ラインを使用して試作を行った。

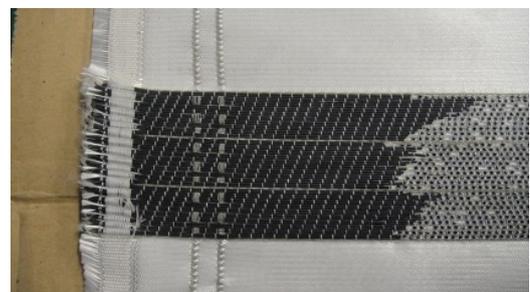


図 3-9 経糸の電源ライン織込

3-2 エネルギー創出糸を利用した発電テキスタイル製造装置の開発

エネルギー創出糸をよこ糸に使用方法でテキスタイルに織り込んで、フレキシブルなシート状の発電テキスタイルを製造する装置およびその製造技術の開発を行った。

①発電テキスタイル製造装置の設計・開発

エネルギー創出糸をよこ糸としてテキスタイルに挿入して発電テキスタイルを構成する。

様々な方法を検討したが、エネルギー創出糸は取り扱いが困難なうえに、糸の方向（正極・負極の方向）が逆になると性能が発揮できない。そのためにはエネルギー創出糸をねじることなくよこ入れできる技術が不可欠である。この種の技術としては、異なる緯糸を挿入可能な特殊織機であるICタグテキスタイル製造装置がある。この織機は通常の糸とフラットなテープ状の糸をねじることなく交織できる世界で唯一の織機である。この織機の特徴はよこ糸を搬送する2種類のレピアの駆動タイミングを切り替えて製織することで異なる糸の挿入を可能にしている。そこで、この機構をベースに設計開発を行った。

実際に開発した発電テキスタイル製造装置の全体写真を図3-10に示す。

また、試作した太陽光発電テキスタイルで発電した電力を外に取り出すための電源ラインも、発電テキスタイル製造時に同時にテキスタイル内に配置する。そのため、導電糸を織り込むための特殊クリール装置も開発を行った。開発した移動型クリールを実際に製織装置で使用している写真を示す。



図3-10 ビームを搭載した製織装置（前面）



図3-11 ビームを搭載した製織装置（背面）

第4章 次世代膜構造建築物用エネルギー創出機能膜材の開発

発電テキスタイルに耐候性に優れたテキスタイル加工技術を利用して、エネルギー創出機能膜材の開発を行う。具体的には、エネルギー創出機能膜材に要求される「光透過性」、「防水」、「耐候性」に優れたコーティング加工技術を開発するために、主に「フッ素系」、「シリコン系」、「塩ビ系」、「アクリル系」、「ウレタン系」の4種類の樹脂で研究開発を行った。その結果、「フッ素系」および「ウレタン系」フィルムのラミネート加工による加工条件を開発し、生産技術を確立した。

4-1 エネルギー創出機能膜材の性能評価

発電性能は、JISの太陽電池測定の標準条件（ $20^{\circ}\text{C} \times 1,000\text{W}/\text{m}^2$ ）として、キセノンランプのソーラーシュミレーター（株式会社三永電機製作所製、XES-155S1）、特性評価装置はADC社製6242を使用して行った。光の透過性は、分光光度計（株式会社日立ハイテクノロジーズU4100型）を利用して測定を行った。なお、光の透過率は可視光領域（ $400 \sim 700\text{nm}$ ）の平均値で計算している。

ラミネート加工を行ったエネルギー創出機能膜材の評価結果を表 4-1 に示す。ウレタン樹脂、フッ素系樹脂とも加工前と同等もしくは加工前より高い発電性能を示し、樹脂加工後も可視光領域の光の透過率 10% 以上を維持できていた。この結果より、「発電テキスタイルの発電性能を 85% 以上維持した状態で、均一に樹脂を塗布できる加工方法の開発」ができたことがわかる。

通常、ラミネート加工を行うことにより光の透過性が低下するため一般的な太陽光発電モジュール等はフィルムの可視光透過率に対応した発電量の低下が生じる。それに対し、今回のサンプルは加工後も発電性能が低下していない。これは、太陽光発電テキスタイルの場合表面で反射した光はそのまま外部に漏れてしまうが、エネルギー創出機能膜材の場合テキスタイル表面で反射した光が樹脂加工したフィルムで再度反射する等の現象により太陽光がエネルギー創出機能膜材内部に閉じ込められ、これが発電テキスタイルを構成する球状太陽光発電素子の側面より入光することで発電性能が向上している。この効果が、フィルムラミネートによる光の透過率低下と同等、もしくはそれより大きいため、樹脂加工後も発電性能が維持されていると推測される。

表 4-1 樹脂加工の性能評価結果

	ウレタン樹脂	ウレタン樹脂	フッ素系樹脂
発電性能比 (%) (加工後/加工前)	106	110	110
光の透過率 (%)	14.9	16.1	15.3

4-2 1 m巾のエネルギー創出機能膜材樹脂加工技術の開発および加工試作

熱ラミネート機（図 4-1 参照）を使用し、1 m巾の太陽光発電テキスタイル織物にフッ素フィルムをラミネート加工する研究を行った。加工速度や加工温度等の条件を検討した結果、フッ素フィルムを用いてエネルギー創出機能膜材を連続的に加工できる条件を確立できた。試作したサンプルを図 4-2 に示す。



図 4-1 熱ラミネート機
とそれを使用した加工試験



図 4-2 熱ラミネート機で加工したエネルギー創出機能膜材

4-3 エネルギー創出機能膜材の耐候性試験

カーボンアーク処理後の発電性能評価結果を表 4-2 に、図 4-3, 4 には各試料の最大発電電力 P_{max} と開放電圧 V_{oc} の変化を示す。屋外暴露 5 年相当の耐光試験後の発電性能は、コーティング無しで約 0%、ポリウレタン樹脂で 57.0%、フッ素フィルムで 51.4% と、いずれの場合も試験前に比べて低下している。 P_{max} はラミネート加工無しの試料では、試験時間 450 時間（屋外暴露 3 年相当）で全 2 試料とも発電しなくなっていた。一方フッ素系フィルム、ウレタン系フィルムの試料では試験時間 750 時間（屋外暴露 5 年相当）まで発電しており、ラミネート加工による耐候性改善効果があることが判明した。しかし、屋外暴露 5 年分の耐候試験後の発電性能は、目標値に到達していない。この要因としては、図 4-3, 4 より V_{oc} は耐光試験後もほとんど変化しておらず、太陽電池セルは耐光試験後も従来の性能を維持しているがその電力を外部に出力するまでに消費しているもしくは出力できていないと推測され、目視観察結果とあわせて配線部分が端部からの浸水により腐食して電気抵抗が増加して発電性能が損なわれていることがわかった。今後の事業化に向けて、配線部分が腐食しない対策が必要となる。

表 4-2 カーボンアーク試験前後の発電性能

	フッ素系		ウレタン系		加工無し	
	0h	750h	0h	750h	0h	750h
Isc (mA)	17.85	11.39	16.14	9.93	14.23	0.00
Voc (V)	4.74	4.46	4.72	4.52	4.06	0.00
P_{max} (mW)	56.71	29.17	49.94	28.48	37.69	0.00

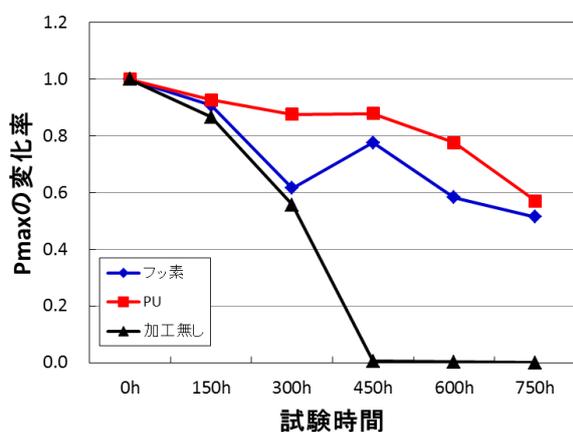


図 4-3 最大発電電力 P_{max} の試験前からの変化率

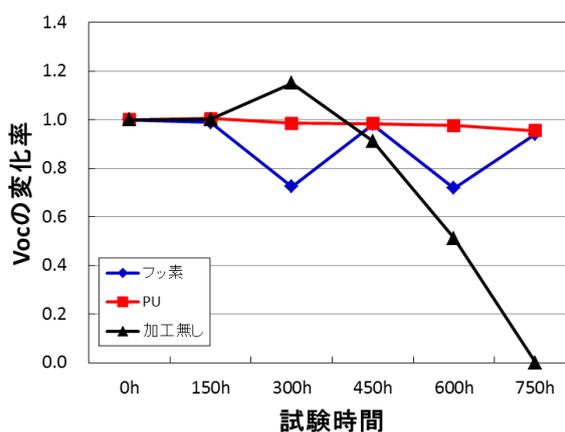


図 4-4 開放電圧 V_{oc} の試験前からの変化率

4-4 ラミネート加工後の発電性能評価

エネルギー創出系をもとに試作した発電テキスタイルは、スフェラーパワーの測定装置を用いて標準試験条件 (AM1.5、 $1,000W/m^2$) にて測定を行い、その結果を試作へとフィードバックしていった。図 4-5 は、キャンピー向けにエネルギー創出機能膜材を試作したものの測定時の写真で、その測定結果を表 4-3 に示す。

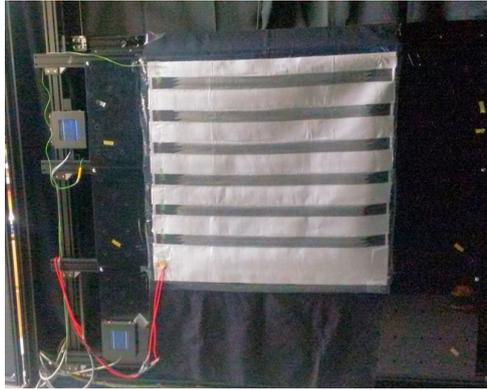


図 4-5 エネルギー創出機能
膜材試作サンプルの評価

表 4-3 エネルギー創出機能膜材

試作サンプル測定結果

	スフェラーパワー社 (2015/1/9) (モジュールテスター: AM1.5、1kW/m ²)			
	Isc [mA]	Voc [V]	Pmax [W]	FF
1222-1	387	11.84	2.2	0.480
1222-3	495	12.33	3.5	0.575

4-5 エネルギー創出機能膜材の物性測定結果

今回開発した次世代膜構造建築物用エネルギー創出機能膜材（上下に各2枚のフッ素系フィルムをラミネート加工）の評価結果を表4-4にまとめた。基本的な物性や防水性能についてはテキスタイルのJISに準じて測定している。

本材料の主機能である発電性能が太陽光発電テキスタイルの段階で十分な性能が得られていないために未達となったが、ほぼ次世代膜構造建築物用エネルギー創出機能膜材としての樹脂加工としては当初の目的を達成できた。未達の目標値については補完研究にて実施していく予定である。

表 4-4 試作したエネルギー創出機能膜材物性の目標値との比較表

目標	結果
発電性能 6.5 W/m ² 以上	3.5 W/m ² (6列) (未達)
光の透過性 10%以上	平成 25 年度達成
引張強度 653 N/cm 以上	675 N/cm (※糸のずれで破断はしていない。)
引裂強度 150 N 以上	170 N (※糸の抜けで裂けてはいない。)
伸張性 5%以上	7.5%
曲面对応 多軸変形	対応可能
薄層 3 mm 以下	2.0mm (セル部、生地部は 0.82mm)
軽量 2kg/m ² 以下	1.65~1.9 kg/m ² (6列)
100 回以上の折曲げ可能	対応可能
光の入射方向に依存しない	対応可能
耐水圧 1000 mm H ₂ O 以上	1000 mmH ₂ O 以上 (平成 26 年度達成)
屋外暴露 5 年分の耐候試験後の発電効率の低下が 20%以下	フッ素フィルムで約 40% (ウレタンフィルムも約 40%) ※屋外暴露 3 年分で発電効率の低下は 20%以内

第5章 次世代膜構造建築物の試作と発電性能評価

エネルギー創出機能膜材で発電した電力を蓄電できる、次世代膜構造建築物発電システムとしてキャノピーを試作し、エネルギー創出機能膜材の施工性およびエネルギー創出機能膜材の実用試験をおこなった。

5-1. キャノピーの設計

キャノピーとしては、カーポートもしくは屋根付き駐輪場の構造物とし、太陽光発電テキスタイルを張り、発電した電気は備え付けのバッテリーに充電した上で、夜間の照明に使用できるシステムとした。曲面形状の屋根に膜材をフレームで押さえつける方法で、フレーム自体は積雪にも十分耐えることができる強度で設計している。キャノピーサイズは4m×3.3mでキャノピー用膜材は約1m×1m角に分割した形状で配置していくことになる。

5-2. キャノピー用膜材の試作

キャノピー用膜材としては、開発している太陽光発電テキスタイルの最大幅が1035mmであり、これを約1mにカットして使用する。汎用的な充電システム対応を想定して、12V以上の電圧を発電できる仕様で、約6W/m²で設計した。なお、織り込むエネルギー創出糸の数を増やせば単位面積当たりの発電量を増やすことは可能である。

試作したキャノピー用膜材の写真を図5-1に示す。



図5-1 試作したキャノピー用膜材の写真

5-3. キャノピーの試作

キャノピーの試作試験の状況を図5-2に示す。まず、キャノピー用膜材を3枚フレームに設置する(図5-2②)。これがキャノピーのよこ1列に相当し、これを1列ごとに骨組みに合わせて設置していき(図5-2③)、簡単に張れることがわかった(図5-2④)。膜材を最初にフレームに設置しているため、簡単にキャノピーに設置でき、工場等であらかじめ設置してしまえば現場での施工性はよいことがわかった。



①キャノピーの骨組み



②膜材のフレームへの設置



③膜材付きフレームの設置



④膜材を設置したキャノピー(1列)

図5-2 キャノピーの試験施工写真

なお、最終的に12枚のキャンピー用膜材を設置した写真を図 5-3 に示す。

試作したキャンピーの充電システムの配線等を図 5-4 に示す。図中右側の黒い部品がリチウムイオンバッテリーで、今回の膜材でこのバッテリーに充電できていることが確認できた。



図 5 - 3 キャンピーの施工写真



図 5 - 4 試作したキャンピーの充電システム

5 - 4 . キャンピーでの発電性能評価

図 5-4 の充電システムで、キャンピー膜材全体の発電した電力を充電できることは確認できるが、各膜材の発電性能は不明である。そこで、各 12 枚の発電性能をポータブルI-V測定機で測定した。

その結果、11 枚のサンプルは当初の発電性能が施工後も得られていた。また、1 枚発電性能が得られていない膜材があった。この膜材は電源ラインとの接続が不安定で、樹脂加工後にキャンピー施工準備中に一度発電性能がなくなり補修したサンプルであった。実用時にはこうした補修等の対応も必要となるので、今後の課題である。

今後も定期的に充電システムでの発電状況モニタリングと、各膜材の発電性能評価を行うことにより、発電性能の変化および膜材の劣化(膜材の発電性能低下)について試験を行い、製品化に向けた基礎データを蓄積する予定である。

第6章 全体総括

試作品作成にむけて最後は慌ただしいスケジュールとなってしまったが、メンバーの協力ではほぼ目標通りの成果が得られた。一部の目標については補完研究で課題を解決す予定である。

具体的には、エネルギー創出糸の開発では糸の試作および装置開発ができた。さらに、製織時のセル脱落防止対策としてハンダ材の改良でセル接着強度向上に成功した。またエネルギー創出糸製造装置部品のメンテや加工条件も確立できた。補完研究では生産性の向上と品質安定のシステムについて検討を行い、事業化につなげたい。

発電テキスタイルの開発では、太陽光発電製造装置によるエネルギー創出糸をよこ糸に織り込む方法およびそれに適した織物規格の開発により、太陽光発電テキスタイルを製造する技術を確立できた。今後の補完研究では、各種用途に対応した太陽光発電テキスタイルの試作開発、さらには電源取り出し部を含めた一体製造技術の開発などについて引き続き開発を行い、様々な用途に向けた製品供給体制確立を目指す。

エネルギー創出機能膜材の開発では、コーティング剤の検討から始め、ポリウレタンとフッ素系の2種類の樹脂でのラミネート技術を確立できた。しかし、耐候性対策としての端部処理方法の開発や各種部材に適したサンプル形状の開発など、製品化に向けた研究課題はまだあるので、これらについて一つ一つ解決していく予定である。

次世代膜構造建築物の試作と発電性能評価としては、エネルギー創出機能膜材を設置したキャノピーを試作した。これについては実際のシステムとしての発電性能評価を複数年行う予定であり、これにより膜材の実用耐久性の評価が可能になると期待している。

本開発では、次世代膜構造建築物用のエネルギー創出機能膜材開発を目指し、一定の成果が得られた。これらの技術を活用して、次世代膜構造建築物用のエネルギー創出機能膜材の早期の実用化を目指す。