

フジシール財団 研究助成事業
成果報告書

公益財団法人フジシール財団
理事長 岡 崎 裕 夫 殿

報告日 2026 年 4 月 1 日

研究課題	廃ポリスチレンパッケージを材料とした電界紡糸強誘電エレクトレット 超極細繊維膜の研究	助成金額
		300 万円
助成名	特別長期研究助成・研究助成・若手研究助成	
ふりがな	いしい ゆうや	研究助成申請年度
研究者氏名	石井 佑弥	2025 年度
所属機関	京都工芸繊維大学	研究期間
		2025 年 4 月 1 日～2026 年 3 月 31 日
役 職	准教授	

下記の通り、研究成果を報告いたします。

記

1. 研究成果の概要

1-1. 本研究課題の背景と目的

パッケージの主要材料の一つであるプラスチックは、必需材料として社会に深く浸透しているが、海洋プラスチック問題や二酸化炭素の放出問題などの深刻な課題が顕在化してきている。本研究課題では、プラスチック全体の国内年間生産量(2021 年：総計 1045 万トン)の約 10%を占め、4 大汎用プラスチックに数えられるポリスチレン(PS)の斬新なマテリアルリサイクル(アップサイクル)に着目した。具体的には、使用済みの廃 PS パッケージの斬新なアップサイクル法として、当該パッケージを電界紡糸のワンステップでエレクトレット超極細繊維膜化したときの、当該繊維膜の帯電特性を世界に先駆けて明らかにし、さらに将来有望な応用展開も開拓する。

報告者はこれまでに「電界紡糸のワンステップで製造可能なエレクトレット超極細繊維膜の研究」に重点的に取り組んできた。特に、フィルムでは圧電特性を示さない PS などの非圧電性ポリマーが、電界紡糸のワンステップによる超極細繊維膜化のみにより、既成概念に反して圧電特性に酷似した疑似圧電特性を示すことを世界に先駆けて明らかにした。しかしこれまでに使用してきた PS は、試薬メーカーから購入した試薬グレードの PS を使用し、廃 PS は使用していなかった。そこで本研究課題では、以下を研究目的とした。

【本研究の目的】 廃 PS パッケージを材料とした電界紡糸エレクトレット超極細繊維膜の安定した作製法を確立し、当該繊維膜の帯電特性などの特性を明らかにする。加えて、当該繊維膜の応用展開例を提示する。

1-2. 研究成果①：廃 PS パッケージを材料とした電界紡糸超極細繊維膜の安定した作製法の確立

発砲スチレン(PS)シートから製造され、スーパーなどで食品皿に使われる無染色トレイの使用後のものを材料とし、電界紡糸超極細繊維膜の安定した作製法を確立した。具体的には、食料品店で食肉トレイとして使用されていた白色の食品トレイ(FLB-A15-30 W、株式会社エフピコ)の使用後のもの(廃 PS)を洗浄して材料として用いた。このトレイを 30 wt%の濃度で *N,N*-ジメチルホルムアミドに溶解させ、印加電圧+9.0 kV で電界紡糸超極細繊維膜を作製した。この結果、廃 PS が材料であるが、ビーズ状の不均一構造のない、比較的均一な直径の繊維

維が作製できることを明らかにした。走査型電子顕微鏡を用いて平均繊維直径を評価したところ、 $3.55 \pm 0.22 \mu\text{m}$ (エラーは標準偏差を表す)であった。

1-2. 研究成果②：廃 PS パッケージを材料とした電界紡糸超極細繊維膜の帯電特性と疑似圧電特性の解明

電界紡糸時間 7 分間で作製した電界紡糸廃 PS 繊維膜の 1 週間後の表面電位値を測定したところ、平均 $558 \pm 28 \text{ V}$ であり、当該繊維膜が帯電していることが示された。この帯電は、高湿度環境下においても 100 日以上保持することも明らかにした。当該繊維膜の表面から膜厚方向に異なる圧力を印加したときに生じる繊維膜のひずみと、発生電荷量の関係(疑似正圧電特性)を評価したところ、ひずみの増加にほぼ比例して、発生電荷量が増加することが明らかになった。したがって、廃棄 PS を材料とした電界紡糸繊維膜であっても、試薬 PS を材料とした場合と同様に疑似正圧電特性を示すことを明らかにした。

作製した電界紡糸廃 PS 繊維膜上に、上部電極として金箔を配置し、異なる周期的な電圧を印加したときの金箔の変位(疑似逆圧電特性)を測定した。おおむね印加電圧が -100 V から $+100 \text{ V}$ の領域において、変位が印加電圧にほぼ比例して変化することを明らかにした。この結果より、電界紡糸廃 PS 繊維膜が試薬 PS を材料とした場合と同様に疑似逆圧電特性と示すことが明らかにした。 $\pm 100 \text{ V}$ の領域のプロットの傾きから、見かけの圧電 d 定数(d_{app})を算出したところ、 $d_{\text{app}} > 32,000 \text{ pm/V}$ と、従来の圧電ポリマーフィルムと比べ非常に高い値が得られた。続いて、当該ファイバ膜にイソプロピルアルコールを噴射し乾燥させたところ、表面電位値が約 537 V から約 0 V に消失した。この結果は、当該繊維膜で発現した疑似圧電特性が、分極帯電によるものではなく真電荷帯電に由来することを示している。

1-3. 研究成果③：廃 PS パッケージを材料とした電界紡糸超極細繊維膜の応用展開例の開発

作製した電界紡糸廃 PS 繊維膜を、報告者らが開発しているマスク型音響センサの発電部位に使用している電界紡糸試薬 PS 繊維膜の代わりに導入し、このマスク型音響センサの動作特性を評価した。異なる周波数の正弦波状の音波をこのマスク型音響センサに照射したところ、測定した周波数において、ピーク出力電圧の平均値が照射音圧にほぼ比例して増加することを明らかにした。したがって、廃 PS が材料にもかかわらず、作製したマスク型音響センサが音響センサとして良好に動作することが示された。

続いて、当該マスク型音響センサの着用者が、喜び・怒り・普通の 3 種の感情のもとで「おはようございます」と発声したときの感情予測を、出力音声のスペクトログラム画像変換と畳み込みニューラルネットワーク(CNN)により試みた。この結果、3 つ感情(普通・うれしい・怒り)が高い確率で予測できる可能性を示した。当該マスク型音響センサと感情予測手法は、マテリアルリサイクルと、マスク着用が求められる医療・福祉・教育現場などでより円滑なコミュニケーションを実現することが期待される。

2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性

パッケージの主要材料の一つであるプラスチックは、必需材料として社会に深く浸透しているが、海洋プラスチック問題や二酸化炭素の放出問題などの深刻な課題が顕在化してきている。本研究課題では、プラスチック全体の国内年間生産量(2021年：総計 1045 万トン)の約 10%を占め、4 大汎用プラスチックに数えられるポリスチレン(PS)の斬新なマテリアルリサイクル(アップサイクル)に着目した。具体的には、使用済みの廃 PS パッケージの斬新なアップサイクル法として、当該パッケージを電界紡糸のワンステップでエレクトレット極細繊維膜化し、さらに当該繊維膜の帯電特性を世界に先駆けて明らかにした。さらに、当該電界紡糸廃 PS 極細繊維膜を報告者らが開発しているマスク型音響センサの発電部位に導入し、良好に動作することを示した。当該マスク型音響センサは「超高捕集性能と音響・呼吸センシング能を兼備可能なスマートマスク」(超高捕集性能は極細繊維膜とエレクトレットであるために発現)である。最近報告者らは、このマスク型音響センサが外部の音をほとんど検出せずに着用者の声のみを小声でも選択的に検出することを発見した。この特徴を生かすと、例えば、騒音の大きい製造現場や工事現場などで、かつマスク着用が必須の現場において、会話のコミュニケーションがとり難い課題を解決する新しいコミュニケーションツールとして活用できる。このような機能は、通常のマスク着用とスマートフォンを組み合わせた通話では不可能であり、唯一無二の応用展開が期待される。

現状の PS のマテリアルリサイクル率は約 23%に留まっている。本研究課題の成果による廃 PS のアップサイクル技術により、高付加価値を付与したマテリアルリサイクルが実現できるため、マテリアルリサイクル率の向上に貢献することが期待される。このため、社会的かつ産業的インパクトは大である考える。なお、PS のマテリアルリサイクル率を 1%向上させることが出来るだけでも、単純計算でおおよそ 1 万トン/年ものリサイクルが可能になる。

3. 学会発表、学会誌等への論文掲載、産業財産権出願などの実績（現時点で未発表・未掲載・未出願のため、上記「1. 研究成果の概要」、「2. 研究成果のパッケージ産業への貢献の可能性」の当財団ホームページ上の公開の延期を希望される場合、その旨 記載してください。）

- [1] 山田晃輔, 福山快翔, 山田和志, 石井佑弥, “廃ポリスチレンからなる電界紡糸ファイバ膜の帯電特性と疑似圧電特性”, (2D17) 2025 年繊維学会秋季研究発表会, 山形テルサ, 山形市, 山形県, 2025 年 10 月 28 日
- [2] 福山快翔, 山田晃輔, 桑原教彰, 石井佑弥, “廃ポリスチレンからなる電界紡糸ファイバ膜を用いたマスク型音響センサの動作特性と感情予測への応用”, (2B11) 2025 年繊維学会秋季研究発表会, 山形テルサ, 山形市, 山形県, 2025 年 10 月 28 日