

補助事業番号 2023M-404

補助事業名 2023年度 超音波による洗濯排水中マイクロプラスチックファイバー回収装置開発 補助事業

補助事業者名 信州大学 繊維学部 機械・ロボット学科 秋山佳丈

1 研究の概要

近年、微小なプラスチック片であるマイクロプラスチックによる汚染状況の調査が進むにつれて、合成繊維由来のマイクロプラスチックファイバーが問題視されつつある。そこで、マイクロプラスチックファイバーの回収装置の開発を目指す。まず、従来は高価なガラス製マイクロ流路中で行われていた音響収束によるマイクロプラスチック回収を、金属チューブ内へと適用し、音響収束の条件および収束後の分岐部の形状を最適化する。次に、金属チューブを10本並列化することで、高流量を目指す。加えて、金属チューブを直列に3段接続することで、3連続濃縮による高濃度濃縮を目指す。これらの並列化と直列化を組み合わせることで、高流量かつ高濃度濃縮が可能なデバイスを開発する。そして、最終的には、洗濯排水からのマイクロプラスチックファイバー回収に適用し、その有用性を検証する。

2 研究の目的と背景

近年、微小なプラスチック片であるマイクロプラスチックによる汚染状況の調査が進むにつれて、合成繊維由来のマイクロプラスチックファイバーが問題視されつつある。マイクロプラスチックファイバーは、海底の堆積物中のマイクロプラスチックの大半を占めているだけでなく、魚、エビ、プランクトン等の海洋生物の体内からも多く検出されている。さらに、一旦体内に取り込まれると長時間留まり摂食を阻害することで、成長と生殖を抑制すると報告されている。それらの発生源として、洗濯排水中のマイクロプラスチックファイバーが考えられる。洗濯排水は、下水処理場で処理されるものの、その数%程度は処理しきれずにから環境中へと排出されていると報告されている。そのため、各洗濯機のレベルで、マイクロプラスチックファイバーの排出を抑制するための回収技術の開発が強く望まれている。そこで、本研究では、環境中のマイクロプラスチックのうち、その多くを占めるとされる洗濯排出中のマイクロプラスチックファイバーの高効率かつ低コストなマイクロプラスチックファイバー回収装置を開発する。

3 研究内容

超音波による洗濯排水中マイクロプラスチックファイバー回収装置開発

(http://biohybrid.chips.jp/?page_id=950)

まず、金属円管を用いることで高効率な音響収束による回収が可能な系を確立した。図1aに示す内径0.8 mmの金属円管に圧電素子を貼り付け、この円管に15 μm のポリスチレン微粒子を流し、

収束状態を評価した。金属管の出口に接続したガラス管内の様子を図1bに示す。条件を最適化することで、従来用いていたガラス製マイクロ流路の10倍の流量である10 mL/minにおいてポリスチレン微粒子を50 μm 以下の幅に収束させることに成功した。そして、この収束状態において、中央の10分の1を分取することで10倍回収できることを確認した。

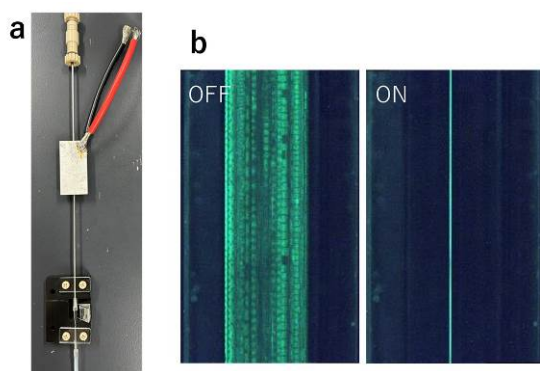


図 1 (a) 圧電素子を取り付けた金属管 (b) ポリスチレン粒子の収束の様子

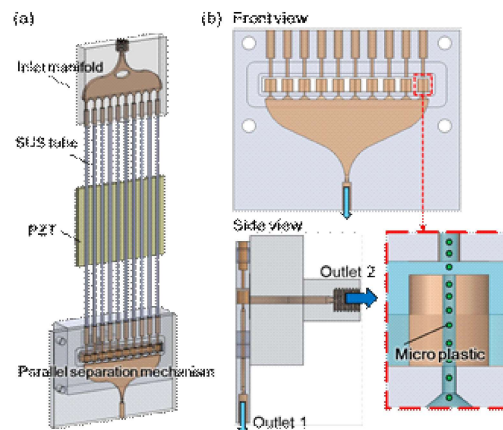


図 2 10 本並列デバイス概要

次に、この金属管を10本並列化することで、100 mL/minの処理流量を達成した。図2に示すように、流れを10本の金属管に分割し、音響収束後、それぞれから中央の10分の1を分取することで、高流量で処理できる系を確立した。音響収束がオフおよびオンのときの分離部の様子を図3に示す。また、音響収束をオンにした場合の濃縮側と分取側からの排出液を図4に示す。ほぼ全ての粒子が濃縮側から回収された。

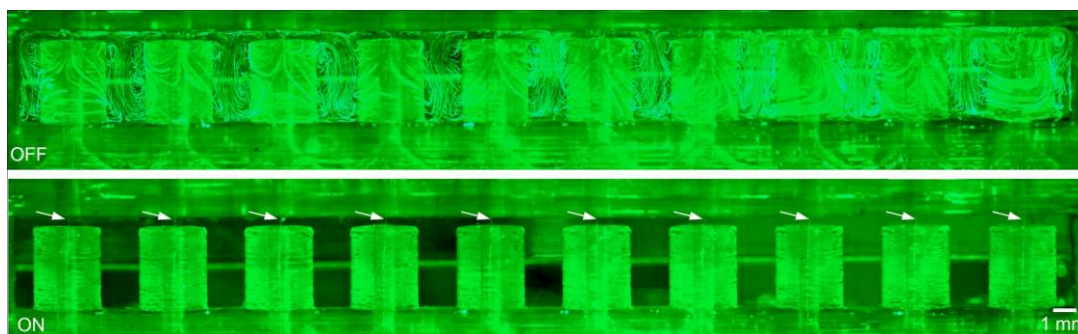


図 3 音響収束オフ(上)およびオン(下)のときの分離部の様子

そして、この10本並列化の後に、同じ音響収束による回収系を2段連続に設けることで10の3乗の1000倍濃縮が出来る装置を開発した。また、洗濯排水には図5に示すように大量のマイクロプラスチックファイバーが含まれることを確認した。そして、最後に、本デバイスより洗濯排水中のマイクロプラスチックファイバーの回収を90%以上回収できることを実証した。



図4 並列化デバイスからの排出液

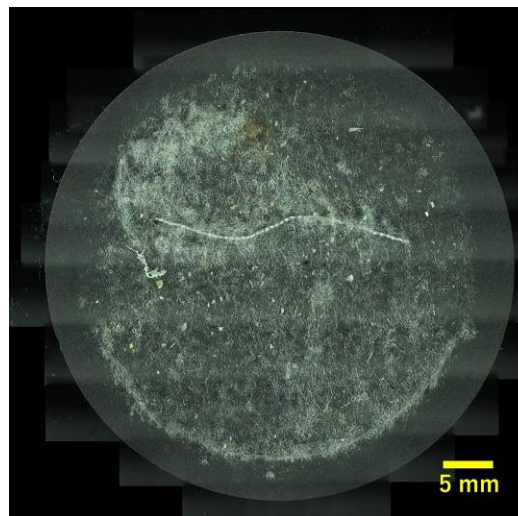


図5 洗濯排水中のマイクロプラスチックファイバー

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で開発した高流量・高濃度音響濃縮デバイスは、洗濯排水中に含まれる直径15~100 μm のマイクロプラスチックファイバーを高効率かつ高い回収率で除去可能であり、今後、洗濯機への内蔵や外付けデバイスとしての実装が期待される。構造がシンプルかつスケーラブルであることから、家庭用だけでなくコインランドリーやクリーニング工場などの業務用設備にも展開可能であり、洗濯由来のマイクロプラスチック排出を効果的に抑制する社会実装技術として大きな波及効果が見込まれる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者は博士後期課程より、マイクロ流体技術を応用した微粒子・細胞の高精度操作に関する研究に取り組んできた。10年近く前に、洗濯排水を起点とするマイクロプラスチックファイバー汚染の深刻さを認識し、マイクロ流体工学の視点からこの課題解決に貢献できる可能性を模索してきた。その過程で、音響力を用いた粒子操作の技術が、洗濯排水中のマイクロプラスチックを高効率で濃縮・分離できることを実証し、本研究では、100 mL/minの高流量かつ1000倍濃縮を実現するデバイスを開発・評価した。本成果は、従来の基礎的音響操作技術を、より複雑な実環境サンプルに対応した応用技術へと展開したものであり、今後の実用化研究および自動分析装置開発に向けた重要なステップとなる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

原著論文

Y. Ohori, Y. Iwaware, A. Nakayama, Y. Akiyama, High-Efficiency and Chemical-Free Microplastic Recovery from Laundry Effluent Using Parallel and Series Acoustic Focusing Systems, 査読中

解説論文

秋山 佳丈, 森脇 洋, マイクロプラスチック問題と回収技術開発への取り組み, マリンエンジニアリング, 58(6), 58-65.

学会発表

大堀結丸, 中山明美, 秋山佳丈, 円管内音響収束のアレイ化によるマイクロプラスチック回収の高流量化に向けた検討, 日本機械学会第14回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 6P5-PN-36, 2023/11/6.

岩垂祐樹, 秋山佳丈, プラスチック微粒子のフロー式顕微ラマン分光分析に関する研究, 日本機械学会年次大会, J024-04, 2024/9/9.

大堀結丸, 中山明美, 秋山佳丈, 音響収束を利用した並列化分離機構によるプラスチック微粒子の高効率回収, 日本機械学会第15回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 27P3-PN-76, 2024/11/26.

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 信州大学 繊維学部(シンシュウダイガク センイガクブ)

住 所: 〒386-8567

長野県上田市常田3-15-1

担 当 者: 教授 秋山佳丈(アキヤマヨシタケ)

担 当 部 署: 秋山研究室(アキヤマケンキュウシツ)

E-mail : aki@shinshu-u.ac.jp

URL : <https://biohybrid.chips.jp/>