

令和 7 年 6 月 3 日
国立大学法人信州大学

超音波による洗濯排水から 高効率マイクロプラスチック濃縮回収装置の開発に成功

ポイント

- 超音波によるマイクロプラスチック^{*1)}の高効率濃縮回収装置を開発
- 化学薬品不要・連続運転・メンテナンス低減・多様な粒子サイズ・形状に対応
- 100 mL/min の高流量処理、1000 倍以上の高濃縮、回収効率 90% 以上
- 実際の洗濯排水サンプルでも有効性を実証
- 今後はさらなる並列化・大規模化で、家庭やクリーニング工場での展開を目指す

概要

信州大学学術研究院繊維学系の 秋山 佳丈 教授らの研究グループは、NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業のもと、スズキ株式会社、日本特殊陶業株式会社、日本繊維製品品質技術センター（QTEC）と信州大学が連携した共同研究として、近年社会問題化しているマイクロプラスチックの高効率な濃縮回収技術の開発に成功しました。

従来、マイクロプラスチックの回収は主にフィルターやメッシュによる濾過法が一般的ですが、メッシュより小さい粒子や繊維状のマイクロプラスチックは十分に回収できず、頻繁な目詰まりや高いメンテナンス負担も課題でした。

本研究グループは、圧電素子^{*2)}を用いて流路内に超音波を照射することで、プラスチック粒子や繊維を流路中央へ効率的に集めて分離する「音響収束^{*3)}」を活用し、10 本並列化した流路デバイスと 3 段直列濃縮モジュールを組み合わせた新システムを開発しました。その結果、従来比で大幅な処理量・濃縮率の向上（100 mL/min の高流量、1000 倍以上の高濃縮）を実現しました。

本装置では、フィルターや凝集剤、界面活性剤などの化学添加物を一切使わず、さまざまな大きさや形状のマイクロプラスチック粒子や繊維を、90% 以上の高効率で連続的に濃縮回収することに成功しています。加えて、家庭の洗濯排水や実際の排水サンプルを用いた実証でも有効性を確認し、デバイス自体も A4 用紙の半分以下・厚さ 2 cm 程度と非常にコンパクトで、今後の現場展開や家庭用排水処理への応用も期待されます。

今後は、さらなる流路の並列化や専用駆動ユニットの開発を通じて実用化・大規模化を進め、特に繊維学部の強みを活かし、洗濯排水に多く含まれる繊維由来マイクロプラスチックの回収システム開発に取り組んでまいります。

なお、本研究成果は、Chemical Engineering Journal 誌オンライン版に令和 7 年 5 月 30 日に公開されました。

<背景>

プラスチックごみ問題としては、従来、レジ袋やペットボトル、釣り糸など比較的大きなプラスチック廃棄物が海洋生物や鳥類などに与える影響が広く知られてきました。しかし近年、「5 mm 以下の微小なプラスチック片（マイクロプラスチック）」が新たな地球規模の生態学的問題として注目されています。

特に近年では、洗濯時に合成繊維の衣類から発生する「マイクロプラスチックファイバー^{*4)}」が、海洋や河川などの水環境に流出する主要なマイクロプラスチックの汚染源となっており、国際的にもその影響が大きな懸念となっています。マイクロプラスチックファイバーは、細長く柔軟な形状ゆえ、従来のメッシュフィルター等では十分に捕集できず、水処理過程を経ても多くが環境中へ放出されてしまうことが指摘されています。

当初、マイクロプラスチックの人体への影響は限定的と考えられ、プラスチック製品に使用される有害な添加剤の溶出や環境中で有害化学物質を吸着して「ベクター」として働くことが懸念されていました。しかし、マイクロプラスチック自体が、動脈硬化の進行に寄与する可能性や心筋梗塞や脳卒中の死亡リスクが高まることが報告されており、そのリスクが注目されています。このため、マイクロプラスチックの調査・分析、さらにその環境中での動態や回収技術の開発が急務となっています。

こうした背景から、「ファイバーも含めてマイクロプラスチックを効率的かつ連続的に回収可能な新しい技術」の開発が、世界的に強く求められています。

<研究成果>

秋山佳丈教授らの研究グループは、化学薬品を一切用いずにファイバーを含むマイクロプラスチックを高効率で高濃度に濃縮回収できる新しい音響分離装置の開発に成功しました。

まず、超音波による「音響収束現象」を利用し、ステンレス円管中でマイクロプラスチック粒子や繊維を流路中央に集め、高流量で回収できる技術を確認しました。**図 1** に示すように、ステンレスチューブを 1 MHz で超音波振動させ、円管内を流れる蛍光プラスチック微粒子（ポリスチレン製、直径 13 μm ^{*5)}）を中央に収束させました。そして、円管出口において、**図 2** に示すようにプラスチック微粒子の集められた中央部分の液体のみを別途回収することで、10 倍濃縮することができました。この結果、円管 1 本と比較して、ガラス製マイクロ流路チップで行なわれていた先行研究における流量 1 mL/min かつ濃縮倍率 3 倍程度を大きく上回る流量 10

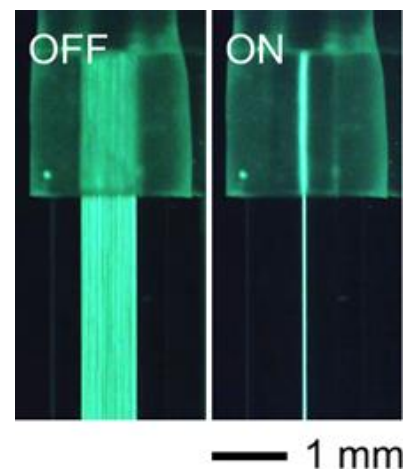


図 1 ステンレス円管の出口における音響収束様子

mL/min と濃縮倍率 10 倍を達成しました。

次に、このステンレス円管による濃縮回収系を、10 本並列化かつ 3 段直列化することで、100 mL/min という高流量と 1000 倍の高濃縮を実現したマイクロプラスチック濃縮回収装置を開発しました（図 3）。この装置の各出口から排出された液体を 1 分間回収したボトルの写真を図 4 に示します。左の 3 つのボトルにはプラスチック微粒子は見られず、ほぼすべてのプラスチック微粒子が濃縮水として回収されていることが分かります。このときの回収率はほぼ 100% でした。また、全液体量 100 mL に対し、濃縮水は 0.1 mL であったことから 1000 倍濃縮できていることも確認できました。

次に、異なるサイズのプラスチック微粒子（13、50 および 100 μm ）およびファイバーを想定したポリエステルファイバー（直径 10 μm 程度、長さ 200 μm ）の混合液を、この装

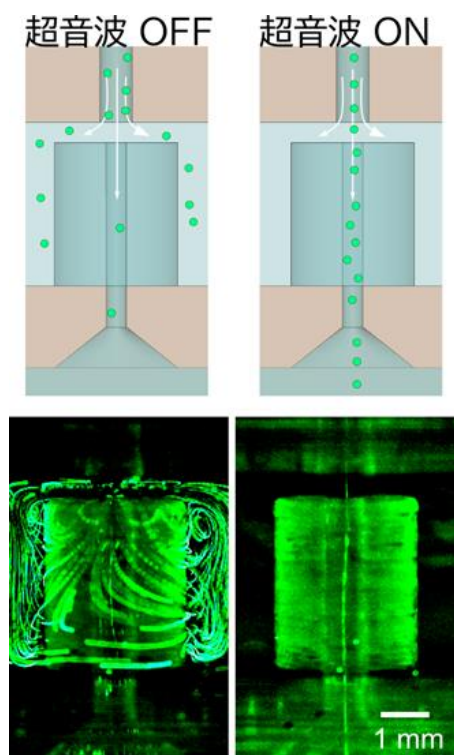


図 2 マイクロプラスチック分離部機構の模式図(上)と粒子の軌跡(下)

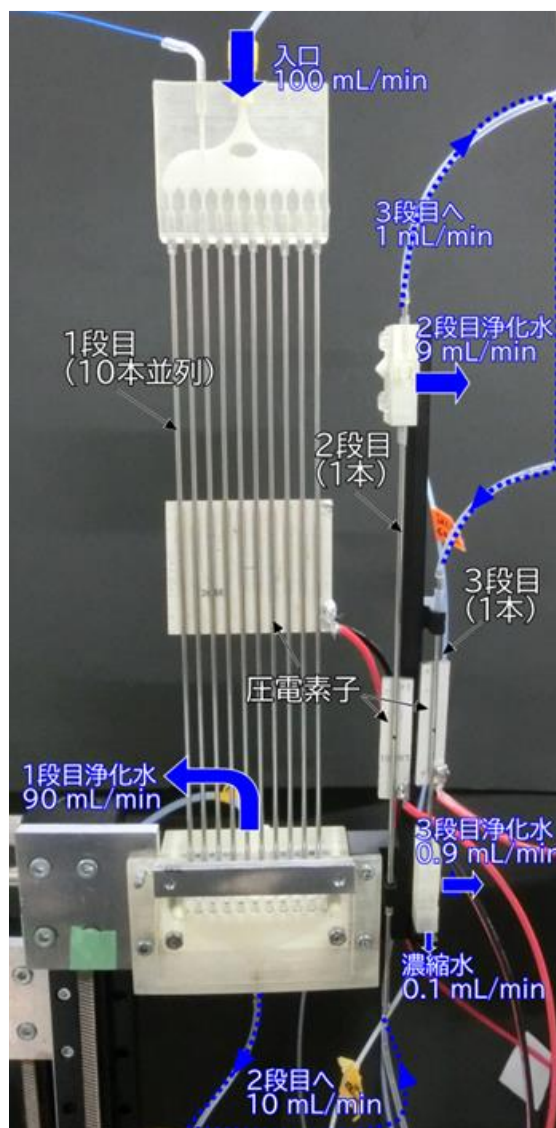


図 3 直列化および並列化された音響収束装置

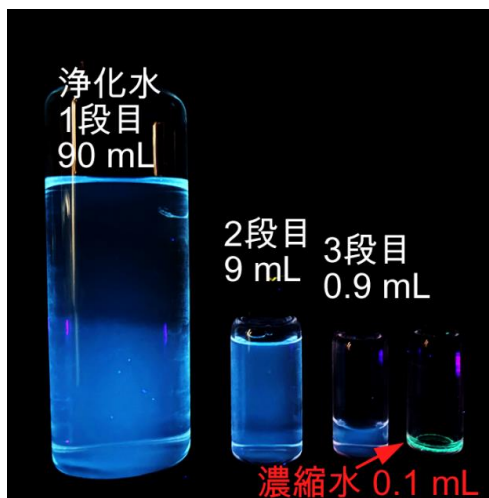


図4 各出口からは排出された浄化水と濃縮水

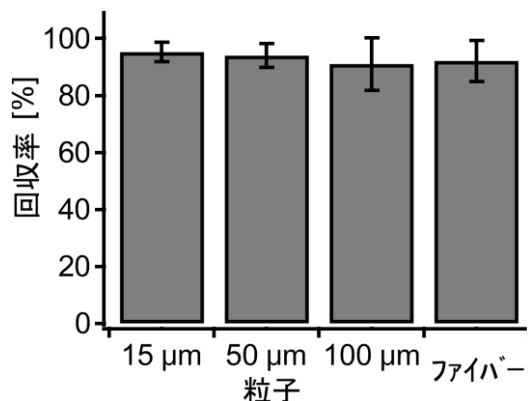


図5 各種マイクロプラスチックサンプルの回収率

置で処理しました。その結果、すべてのプラスチック微粒子およびポリエステルファイバーに対して、90%以上の回収率が得られました（図5）。従って、本装置は、サイズや形状の異なるマイクロプラスチックを高い回収率で濃縮回収できることが確認できました。

最後に、市販のポリエステル製Tシャツを洗濯した際の排水に含まれるファイバーの濃縮回収にトライしました。ただし、本装置は従来のメッシュで回収できないような微細なマイクロプラスチックの回収を目指しているため、洗濯排水を予め100 μmのメッシュで濾し、大きな繊維くずは除去したものを用いました。サンプルとして用いた蛍光染色したファイバーの写真を図6に示します。このような洗濯排水中のファイバーに対しても90%以上の回収率を達成し実用性を確認できました。

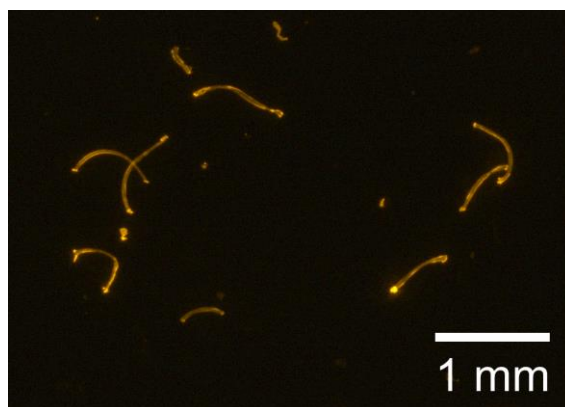


図6 蛍光染色した洗濯排水中のファイバー

以上より、本装置は化学薬品を一切使用せず、連続運転・高流量処理が可能で、実環境の排水サンプルにも適用できる実用的なマイクロプラスチック回収技術であることが実証されました。

<技術の優位性と今後の展望>

本技術は、従来のフィルター等による濾過では十分に捕集できなかった微細なマイクロプラスチックやファイバーも、化学薬品を使わずに高効率で回収できる点が最大の特長で

す。連続運転が可能で、目詰まりやメンテナンス負担も大幅に軽減されます。さらに、A4 用紙の半分以下（約 2 cm 厚）というコンパクト設計のため、省スペースでの設置が容易であり、家庭やクリーニング工場、下水処理施設など多様な現場での導入が想定されます。

今回開発したシステムでは、10 本並列流路と 3 段直列濃縮モジュールの組み合わせにより、従来法を大きく上回る 100 mL/min の高流量処理および 1000 倍以上の高濃縮を実現し、さまざまなサイズ・形状のファイバーを含むマイクロプラスチックを 90% 以上の高効率で濃縮回収できることを実証しました。

今後は、さらなる装置の並列化や大規模化、自動化技術の開発を通じて、工業用排水や家庭用洗濯排水など実用現場での大量処理に対応し、持続可能な水環境保全技術として社会実装を目指します。特に、繊維学部の知見を活かし、洗濯排水に多く含まれる繊維由来のマイクロプラスチックファイバーの効率的な回収技術の確立と普及に注力していきます。将来的には、クリーニング工場や下水処理施設、家庭排水システムなど幅広い現場への展開を図り、マイクロプラスチック問題の解決に貢献することを目指します。

<謝辞>

本研究は、NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業（23200222-0）の下で、スズキ株式会社、日本特殊陶業株式会社および日本繊維製品品質技術センター(QTEC)の 3 社と信州大学の共同研究により行なわれました。また、本研究の一部は、JKA 研究補助の助成を受けて行われました。

<用語解説>

*1) マイクロプラスチック

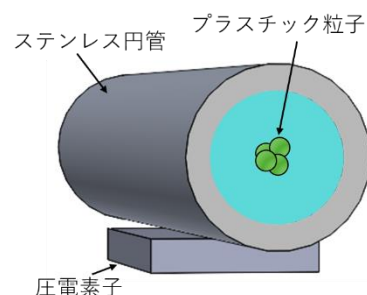
環境中に存在する微小なプラスチック片の総称。一般的には 5 mm 以下（定義によっては 1 mm 以下）とされています。発生源や形状は多様で、海洋や河川、湖沼などあらゆる水環境に広く分布しています。

*2) 圧電素子

電圧を印加することで伸び縮みする素子。ピエゾ素子とも呼ばれる。本研究では、約 1 MHz（メガヘルツ、1 秒間に 100 万回）の正弦波により振動させました。

*3) 音響収束

微細な流路において、その流路幅が 1/2 波長となるような振動を起こし音響定在波を発生させると、プラスチックのような硬い粒子は、その定在波の節となる円管中央に集まる現象のこと。本研究では、ステンレス円管に接着した圧電素子を 1 MHz で振動させることで、音響定在波を発生させました。



*4) マイクロプラスチックファイバー

マイクロプラスチックの中でも、合成繊維製品などから発生する細長い繊維状のプラスチックを指します。主に衣類の洗濯や産業排水などが発生源となっています。

*5) μm

マイクロメートル。1 マイクロメートルは、千分の 1 ミリメートル。

<論文情報>

【著者】 Yuimaru Ohori, Yuki Iwadare, Akemi Nakayama, Yoshitake Akiyama

【論文タイトル】 High-Efficiency and Chemical-Free Microplastic Recovery from Laundry Effluent Using Parallel and Series Acoustic Focusing Systems

【掲載誌情報】 Chemical Engineering Journal (Elsevier 社),

DOI: 10.1016/j.cej.2025.164303

Web サイト: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.164303>

<本研究成果に関するお問い合わせ先>

秋山 佳丈（あきやま よしたけ）

信州大学学術研究院繊維学系（繊維学部 機械・ロボット学科）教授

Tel : 0268-21-5517

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

<報道に関する問い合わせ先>

国立大学法人 信州大学 総務部総務課広報室

TEL: 0263-37-3056

FAX: 0263-37-2182

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