

配布先:文部科学記者会、科学記者会、松本市政記者会、長野市政記者、地方新聞記者会

令和5年3月31日
国立大学法人信州大学

超音波によるマイクロプラスチックの100倍濃縮回収技術開発に成功

ポイント

- マイクロプラスチック^{*1)}の排出抑制技術の開発が早急に求められていますが、メッシュによる濾過に限定されており、メッシュより細かいものは回収が困難でした。
- 超音波を利用した音響収束^{*2)}によりプラスチック粒子を流路中央に集め濃縮回収する技術がありますが、濃縮率が低いという問題がありました。
- この音響収束による濃縮回収機構を四連続で設けることで、100倍濃縮回収可能な流体デバイスを新たに開発しました。
- 開発した装置は、10 μm ~200 μm ^{*3)}のプラスチック粒子懸濁液を毎分1mLで処理し、その90%以上を回収できました。
- 今後は、流路を並列化することで処理流量を向上させることで、特に、洗濯機から排出されるマイクロプラスチックの濃縮回収装置の開発を目指します。

概要

信州大学学術研究院繊維学系の秋山佳丈教授および森脇洋教授らの研究グループでは、近年環境問題として注目されているマイクロプラスチックの濃縮回収法として、超音波による音響収束を用いることを提案し研究を進めています。今回、この音響収束による分離機構を四連続で設けることで、様々なサイズのプラスチック粒子を100倍濃縮可能な装置の開発に成功しました。

現在、マイクロプラスチックの回収は、一般にメッシュによる濾過により行われていますが、メッシュサイズより小さいマイクロプラスチックは回収できていませんでした。そこで、我々は、流路中で適切な周波数の超音波を照射すると、プラスチック粒子が流路中央に集まる音響収束という現象を利用し、マイクロプラスチックを濃縮回収する技術開発を進めています。従来は、濃縮率は3倍程度と低いことが問題でしたが、今回、この分離機構を四連続で設けたガラス製流体デバイスを開発しました。このデバイスを用いて、10 μm ~200 μm のプラスチック粒子懸濁液を毎分1mLで処理し、その90%以上を回収することに成功しました。

今後は、流路を並列化し、処理流量をアップすることで実用化を目指します。特に、国内唯一の繊維学部所属する研究グループとして、洗濯排水に含まれる繊維由来のマイクロプラスチックの回収デバイス開発に取り組んで行く予定です。

なお、本研究成果は、Separation and Purification Technology 誌オンライン版に令和5年3月26日に公開されました。

<背景>

環境におけるプラスチック問題としては、プラスチック袋や釣り糸など比較的大きなゴミが海洋生物や鳥類へ与える影響が知られていましたが、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が新たな地球規模の生態学的問題として広く認識されるようになりました。マイクロプラスチック自体は直接的には生物相に大きな影響を与えないかもしれませんが、多くのプラスチックには製造効率を上げるために有害な添加物が含まれていることや、汚染された環境下で有害化学物質を吸着し、そのベクターとして働く可能性もあることから、その影響が世界的にも懸念されています。

これらマイクロプラスチックの調査や分析は多方面より進められていますが、そのサンプリングには、メッシュサイズが約 0.1 mm (100 μm) 程度のプランクトン用ネットが広く用いられています。そのため、メッシュサイズより小さいものは回収されず、その実態が不明でした。より微小なマイクロプラスチックの回収にはメッシュを細かくする必要がありますが、細かくすればするほど目詰まりが発生しやすくなります。そして、メッシュで回収したマイクロプラスチックは、分析に向けて人間がひとつひとつピンセットでピックアップし集める必要がありますが、微小なものはその作業そのものが困難でした。そこで、微小なものを含めたマイクロプラスチックを連続回収可能な技術開発が求められていました。

<研究成果>

秋山らの研究グループでは、微細な流路中で超音波を照射すると微小な粒子を流路中央に集められる「音響収束」と呼ばれる技術に着目し、マイクロプラスチック濃縮回収デバイス開発に向けて、研究を進めていました。今回は、音響収束による分離機構を四連続で設けた流体デバイスを開発することで、マイクロプラスチックを高濃度に濃縮できることを実証しました。例えば、**図 1** に示すように、3 分岐の中央の流路への流量比を 1.1 : 1 : 1.1 とすれば、全体の 3.2 分の 1 の量が中央流路に流れ込みます。このとき、音響収束によりプラスチック粒子を中央に集めておけば、3.2 倍に濃縮された粒子懸濁液を中央流路から回収することができます。そこで、**図 2 (上)** のように、この分岐を四連続で設けることで、3.2 の 4 乗で 105 倍の濃縮を行う四連続分離デバイスを設計しました。入口から入った粒子懸濁液は、分岐を経るごとに 3.2 倍濃縮され、最終的に 105 倍に濃縮された懸濁液として出口 1 から排出されます。一方、粒子が除去された浄化水は、両サイドの流路を経て、出口 2 からまとめて排出されます。特に、中央流路では分岐後の細い幅のままの部分長くして流体抵抗を上げ、左右流路では深くすることで流体抵抗を下げることで、全ての分岐において狙った流量比なるように設計されています。実際に作製したガラス製流路デバイスの写真を **図 2 (下)** に示します。音響収束を起こすために、圧電素子^{*4)} (PZT) を接着剤で貼り付けています。この圧電素子を、流路幅 1.5 mm に対応した 500 キロヘルツで振動させることで、粒子を音響収束させました。

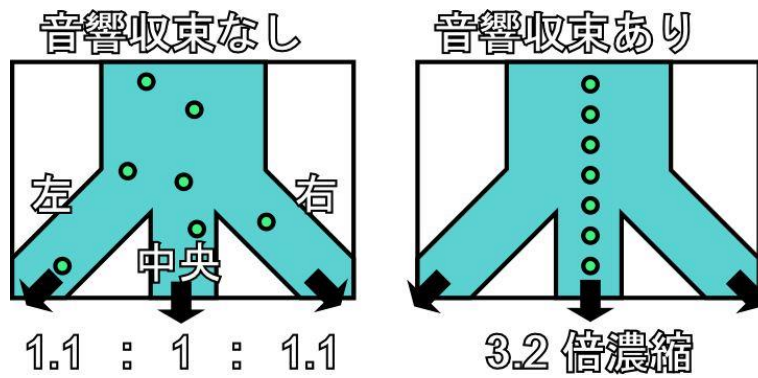


図1 音響収束による濃縮原理

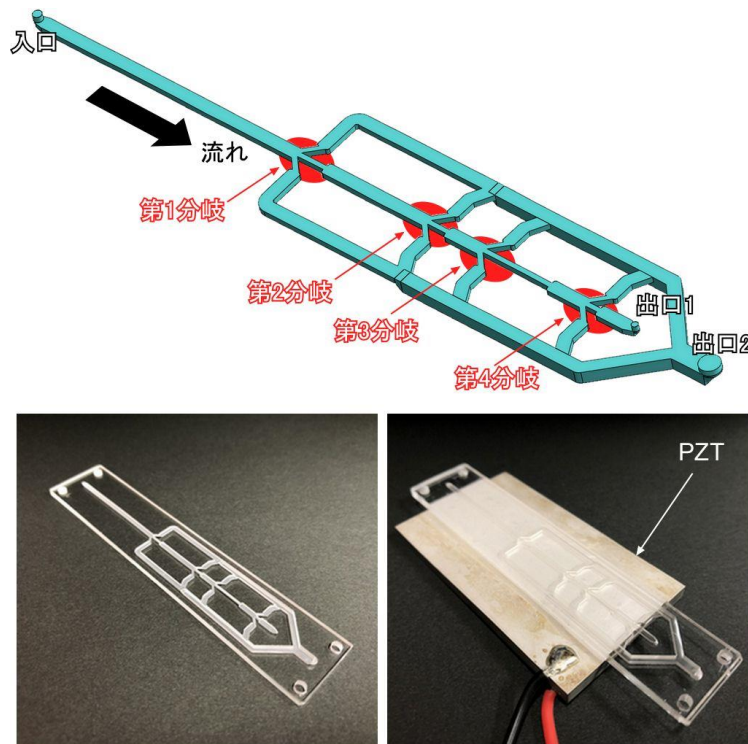


図2 四連続分離デバイスの概要（上）と写真（下）

まず、ガラス製の四連続分離デバイスが設計通り機能することを、直径 $50 \mu\text{m}$ のポリスチレン粒子懸濁液を用いて確認しました。デバイス全体における収束状態を評価するために、流入口から流出口まで中央流路全体を動画撮影し、それら重ね合わせて作成した画像を図3に示します。音響収束なしの場合は、粒子は全ての分岐部でだいたい均等に分かれて、それぞれの流路に流れ込んでいることが分かります。一方で、音響収束ありの場合は、すべての粒子が各分岐で中央流路に流れ込んでいます。その結果、ほぼ 100 % の粒子が手前の出口1から濃縮回収されました。また、出口1と出口2から回収される液量を測定したところ、10分間で0.08 mLと10 mLでした。これらの結果から、本デバイスの回収率と濃縮率を概算すると、100 %と126倍となります。特に、濃縮率は設計値の105倍を若干上回っていました。

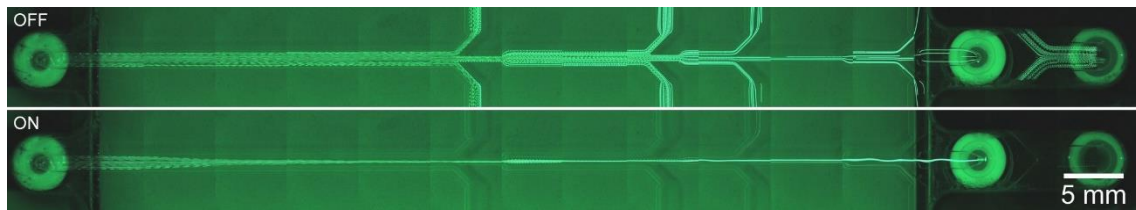


図3 ポリスチレン粒子の音響収束（上：超音波オフ、下：超音波オン）

次に、本デバイスで、サイズの異なるプラスチック粒子（直径 $5\ \mu\text{m}$ ～ $200\ \mu\text{m}$ ）懸濁液の濃縮回収実験を行いました。その結果、直径 $10\ \mu\text{m}$ 以上の粒子は、圧電素子への印加電圧を最適化することで 90% を越える回収率で濃縮回収することができました。一方、直径 $5\ \mu\text{m}$ の粒子は、電圧を $35\ \text{V}$ まで上げたものの十分な音響収束が得られず、回収率は 10 % と十分に濃縮回収できているとは言えませんでした。以上から、本デバイスは、直径 $10\ \mu\text{m}$ ～ $200\ \mu\text{m}$ のプラスチック粒子を濃縮回収できることが示されました。

最後に、環境中のサンプルを模した実験として、直径が 25 、 50 および $200\ \mu\text{m}$ の粒子からなる微小マイクロプラスチック懸濁液と、直径が 10 、 15 および $25\ \mu\text{m}$ の粒子からなる超微小マイクロプラスチック懸濁液を作製し、本デバイスで濃縮回収を行いました。その結果を、図4に示します。微小マイクロプラスチック懸濁液については、全粒子について 80% を越える回収率が得られました。また、超微小マイクロプラスチック懸濁液においては、直径 $10\ \mu\text{m}$ 粒子においてのみ回収率が 70 % 程度低下してしまいましたが、それ以外は 80% 以上の回収率が得られました。これは、第1分岐までに直径 $10\ \mu\text{m}$ 粒子が十分に音響収束されておらず、左右の流路に流れ込んでしまったことが原因と考えられます。今後、流量も含めて圧電素子の駆動電圧を最適化することで、回収率の向上を図りたいと考えています。

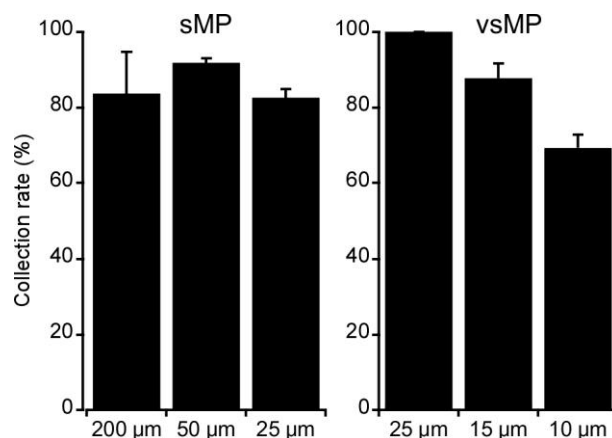


図4 混合粒子懸濁液における回収率

（左：微小マイクロプラスチック懸濁液、右：超微小マイクロプラスチック懸濁液）

<今後への期待>

本研究では、音響収束による分離を四回連続で行う流体デバイスを開発することで、比較的大きい200 μmの粒子から、従来の濾過では回収が難しかった10 μmの微小な粒子まで高濃度に濃縮回収できることを示しました。現在の処理流量は毎分1 mLと小さいですが、今後は、流路を大量に並列化することで、実用的な処理流量を達成したいと考えています。特に、国内唯一の繊維学部に所属する研究グループとして、洗濯排水に多く含まれる繊維に由来するマイクロプラスチックファイバーをターゲットとし、濃縮回収する装置開発を目指します。

<謝辞>

本研究の一部は、NEDO による若手研究者発掘支援事業、JSPS 科研費 20K21863 および JKA 研究補助の助成を受けて行われました。

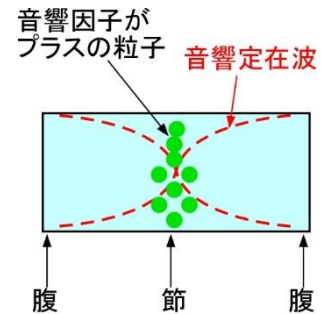
<用語解説>

*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。5 mm（定義によっては 1 mm）以下とされる。

*2) 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、音響因子がプラスとなる粒子は、その定在波の節（この場合、流路中央）に集まる現象のこと。流路断面における音響定在波と粒子の収束を右図に示す。本研究では、圧電素子を 500 キロヘルツで振動させたので、音波の 1 波長は、水中の音速(1500 m/s) ÷ 振動数(500,000 ヘルツ) = 3 mm となる。そのため、音響収束を行う流路の幅は、その半波長である 1.5 mm とした。



*3) 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。

*4) 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、500 キロヘルツの正弦波により振動させた。

<論文情報>

【著者】 Tatsuki Jonai, Yuimaru Ohori, Tadahiko Fujii, Akemi Nakayama, Hiroshi Moriwaki, Yoshitake Akiyama

【論文タイトル】 “A collection device for various-sized microparticles that uses four serial

acoustic separations: working toward microplastic emission prevention”

【掲載誌情報】 Separation and Purification Technology (Elsevier 社),

DOI: 10.1016/j.seppur.2023.123697

Web サイト : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586623006056>

<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)

Tel : 0268-21-5517

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

森脇 洋 (もりわき ひろし)

信州大学学術研究院繊維学系 (繊維学部 応用生物科学科)

Tel : 0268-21-5333

E-mail : moriwaki@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