

## 超音波による繊維くずを含む マイクロプラスチックの回収技術開発に成功

国立大学法人 信州大学 繊維学部  
株式会社 泉技研

### ポイント

- マイクロプラスチック<sup>\*1</sup> 汚染の実態解明が早急に求められているが、メッシュによる濾過で回収されているため、0.3 mm 程度以下のものはメッシュを通り抜けてしまい回収が困難であった。
- 今回、微小なマイクロプラスチックも含めて、微細な流路中で超音波を照射し集めることで、濃縮回収できることを実証した。
- 洗濯排水に含まれる合成繊維くずもマイクロプラスチックファイバーと呼ばれ問題視されているが、これらのファイバーも含めて回収可能であることを実証した。
- 今後は、洗濯機から排出されるマイクロプラスチックファイバーを濃縮回収する装置開発を目指す。

### 概要

信州大学 繊維学部の秋山佳丈准教授および森脇洋教授らの研究グループは、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回収法として、超音波を用いることを提案し、ファイバー状のものも含めて回収可能なことを実証しました。

マイクロプラスチックの分析調査のための回収は、一般にメッシュサイズが約 0.3 mm のプランクトン採取用ネットによる濾過により行われています。そのために、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。また、一方、メッシュを細かくすると細かい粒子まで回収できますが、目詰まり等の問題が発生します。そこで、我々は、微細な流路中で超音波によりマイクロプラスチックを集めて濃縮回収することを提案し、その有効性を実証しました。試作したデバイスにより、数  $\mu\text{m}^2$  の微小なプラスチック粒子まで回収することができることを確認しています。

また、洗濯排水に含まれる合成繊維のくずも、マイクロプラスチックファイバーと呼ばれ、マイクロプラスチックの主要な発生源の 1 つとされています。そこで、洗濯排水に多く含まれるようなマイクロプラスチックファイバーについても回収実験を行い、粒子同様に回収可能なことを確認しました。今後は、国内唯一の繊維学部の研究グループとして、洗濯排水に含まれる合成繊維くずであるマイクロプラスチックファイバー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、Sensors & Actuators B: Chemical 誌オンライン版に令和元年 11 月 10 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動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による影響の方がより深刻なのではないかということが国際的にも指摘されています。例えば、環境の浄化を担うプランクトンなどが、マイクロプラスチックを摂取すると、摂食器官および消化器官を閉塞し、場合によっては死に至ることが報告されています。また、マイクロプラスチック表面に吸着していた残留性有機汚染物質の溶出も懸念されています。これは、摂取した小動物だけに留まらず、この小動物が小型魚類、大型魚類と摂取されることで生物濃縮が起こり、我々人類への影響を及ぼす可能性があります。さらには、食塩やペットボトル水など食品への混入なども報告されており、その一刻も早い実態解明が待たれています。

また、マイクロプラスチックは、主に環境中で紫外線や熱等で劣化したプラスチックゴミが物理的に破碎されることで生成していると思われていましたが、洗濯排水に含まれる合成繊維くずも、その主要な発生源の 1 つであることが報告されています。特に、これらは、マイクロプラスチックファイバーと呼ばれており、標準的な 1 回の洗濯において、排水 100 L に 10 万個のマイクロプラスチックファイバーを排出するとされています。

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 0.3 mm (300  $\mu$ m) 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＞

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ことは、音響収束<sup>\*3</sup>と呼ばれ一部では知られていましたが、血液から細胞分離のような医療デバイスにしか用いられていませんでした。そこで、我々は、まず音響収束によりマイクロプラスチックを集めることができることを、理論的に確認しました。流路中央に集めるためには、硬さと密度により算出される音響因子という値がプラスである必要があります。一般的なプラスチックについて、音響因子を算出したところ、表 1 に示すように全てプラスの値を取ることが分かり、音響収束により回収可能であることが示唆されました。

次に、デバイスを試作し、微小なプラスチック粒子が回収可能であることを確認しました。試作したデバイスの概要を図 1 に示します。微細な流路を備えたガラスに、超音波振動を起こすための圧電素子<sup>\*4</sup>が貼り付けてあります。この圧電素子を 1 メガヘルツで振動

させた状態で、プラスチック微粒子の懸濁液が左から導入すると、流路の中を流れるうちに、音響収束により微粒子は流路中央に集まります。その結果、微粒子は、3 分岐の中央からのみ流出します。したがって、この三分岐において、全ての流路に等しく流れるようにすると、マイクロプラスチックは 3 倍に濃縮されることになります。将来的には、この分岐を複数連続に設けることで、高濃度に濃縮することを目指します。たとえば、この分岐を 7 段設けると 3 の 7 乗=2187 倍に濃縮することができます。

そして、このデバイスに、直径が 15  $\mu\text{m}$  のポリスチレン微粒子をサンプルとして流して回収率を評価しました。三分岐部付近の様子を 10 秒間撮影し、その各フレームを重ね合わせた画像を図 2 に示します。超音波振動を印加していない場合は、左から流れてきたポリスチレン微粒子は、均等に 3 つの流路に分散して流れていっています（図 2 左）。それに対し、超音波振動を印加すると、ほぼ全てが中央の流路に流れ込み回収されることが確認できます（図 2 右）。超音波振動印加時に、実際に流れる粒子をカウントしたところ、99 % の粒子が中央の流路へ流れ込み回収されました。また、超音波振動を印加した際に流路中央に集まる速度から見積もったところ、直径 5  $\mu\text{m}$  程度のポリスチレン微粒子まで回収できることが分かりました。これは、従来のメッシュによって回収されていたマイクロプラスチックよりも 2 桁小さく、マイクロプラスチックの調査研究に十分なサイズと言えます。

次に、洗濯排水に含まれる合成繊維くずを想定したナイロン 6 およびポリエチレンテレフタレート (PET) のファイバー（共に、直径 10  $\mu\text{m}$ 、長さ 200  $\mu\text{m}$  程度）をこのデバイスに流し、その回収率を評価しました。図 2 と同様に重ね合わせた画像を、図 3 に示します。ポリスチレン微粒子のときと同様にファイバーは中央に集まり、ほとんどのファイバーは中央の流路に流れ込みました。しかし、サイズが大きいため沈んで流路底面に貼り付くものや、一部のファイバーが流路の角に引っかかるものが見られました。そのため、回収率はともに 95%程度と若干低下しました。しかし、今後、流速を上げたり、流路底面を滑らかにしたりなどすることでこれらの問題を解決できると考えており、これらの改善によりポリスチレン微粒子と同様にほぼ全てのファイバーを回収できるよう改良していく予定です。

### < 今後への期待 >

本研究では、従来濾過しかなかったマイクロプラスチック回収において、音響収束を用いることを提案し、微小なマイクロプラスチックも含めて濃縮回収できることを示しました。さらに、マイクロプラスチックファイバーと呼ばれ問題視されている洗濯排水に含まれるような合成繊維くずも、本手法で回収可能であることを実証しました。今後、国内唯一の繊維学部に所属する研究グループとして、洗濯機から排出され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。

＜論文情報＞

【著者】Yoshitake Akiyama, Takatoshi Egawa, Kiyoshi Koyano, Hiroshi Moriwaki

【論文タイトル】“Acoustic focusing of microplastics in microchannels: A promising continuous collection approach”

【掲載誌情報】Sensors & Actuators B: Chemical (Elsevier 社),

DOI: 10.1016/j.snb.2019.127328

Web サイト: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925400519315278>

＜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）

国立大学法人 信州大学 繊維学部 機械・ロボット学科

Tel : 0268-21-5517

E-mail : [aki@shinshu-u.ac.jp](mailto:aki@shinshu-u.ac.jp)

森脇 洋（もりわき ひろし）

国立大学法人 信州大学 繊維学部 応用生物学科

Tel : 0268-21-5333

E-mail : [moriwaki@shinshu-u.ac.jp](mailto:moriwaki@shinshu-u.ac.jp)

＜謝辞＞

本研究を遂行するにあたり、金原パイル工業よりナイロンおよび PET のファイバーをご提供いただきました。また、本研究の一部は、日本学術振興会 科学研究費補助金（17H03202）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

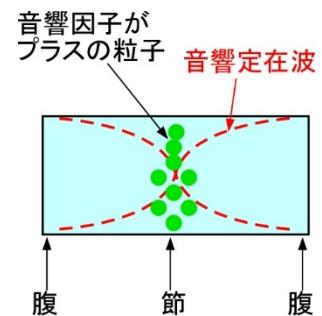
環境中に存在する微小なプラスチック片。5 mm（定義によっては 1 mm）以下とされる。

#### \*2 $\mu\text{m}$

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。

#### \*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、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。流路幅を、 $1/2$  波長に限らず、1 波長や 2 波長とすることでも可能。本研究では、圧電素子を 1 メガヘルツで振動させたので、音波の 1 波長は、水中の音速 ( $1500 \text{ m/s}$ )  $\div$  振動数 ( $100 \text{ 万ヘルツ}$ ) =  $1500 \mu\text{m}$  となる。そのため、半波長は  $750 \mu\text{m}$  となり、それに近い流路幅とした。



#### \*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、1 メガヘルツの正弦波により振動させた。

表 1 各種プラスチックの音響因子

| 材料名     | 音響因子     | 材料名                 | 音響因子 |
|---------|----------|---------------------|------|
| ナイロン 6  | 0.69     | ポリエチレンテレフタレート (PET) | 0.76 |
| ナイロン 66 | 0.86     | アクリル                | 0.73 |
| ポリエ     | 低密度 0.26 | ポリプロピレン             | 0.27 |
| チレン     | 中密度 0.46 | ポリスチレン              | 0.61 |
|         | 高密度 0.53 | テフロン (PTFE)         | 0.82 |

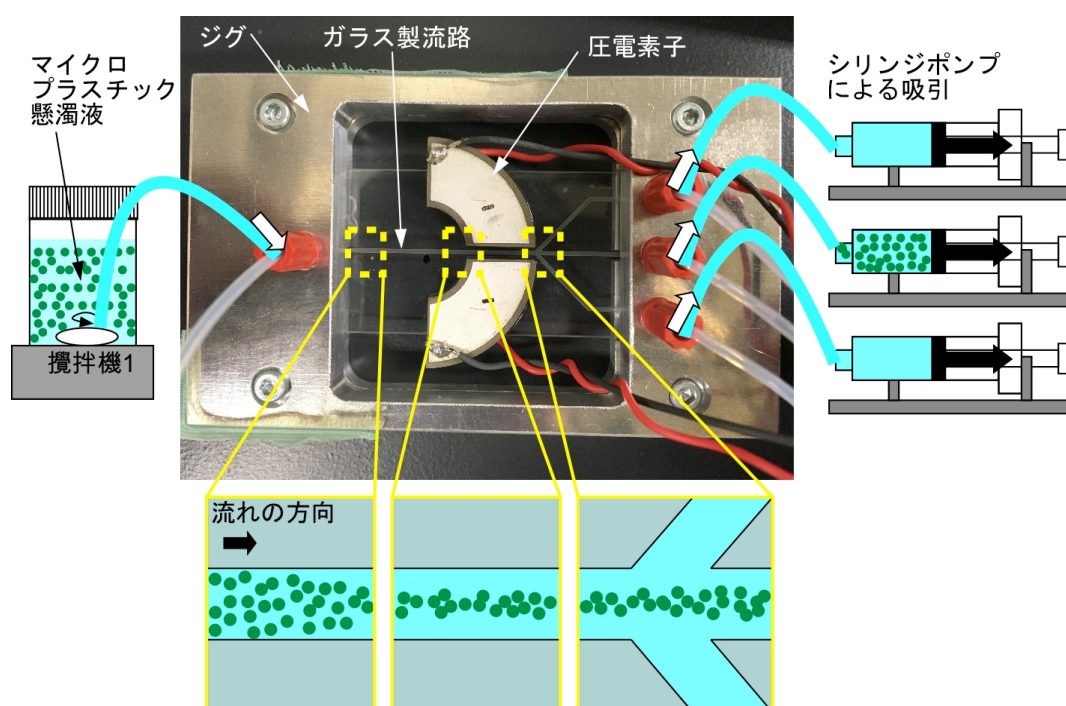


図 1 マイクロプラスチック回収デバイスの概要

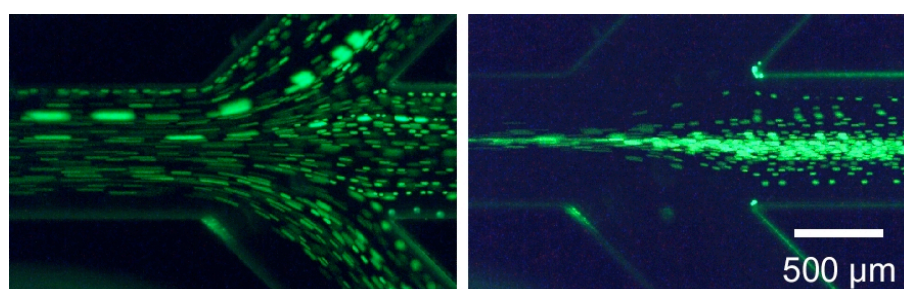


図 2 ポリスチレン微粒子の音響収束 (左: 超音波オフ、右: 超音波オン)



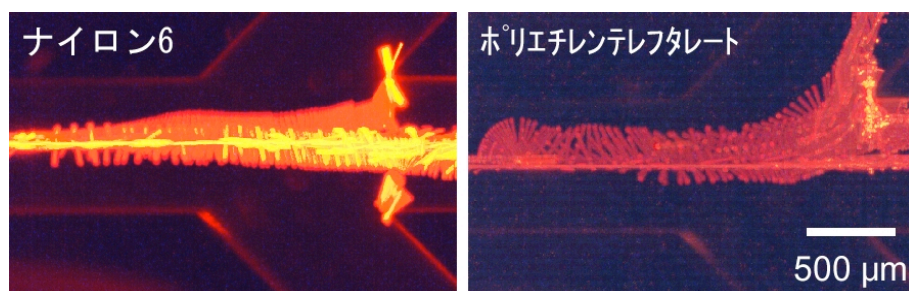


図 3 マイクロプラスチックファイバーの音響収束（共に、超音波オン）