

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
信州大学 繊維学部	教授	秋山 佳丈

研究テーマ

音響泳動によるマイクロプラスチックの高濃度濃縮回収技術の確立

研究報告

1. 研究の背景と目的

自然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動物や鳥類へ与える影響が知られていたが、近年、微細なプラスチック片(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することが国際的にも指摘されている。マイクロプラスチックがプランクトンなどの小動物に誤って摂取されると、摂食器官および消化器官を閉塞させてしまう。その結果、小動物の活動を低下させ、場合によっては死に至ることが既に報告されている。これらの小動物は海洋環境の浄化を担っているため、その影響が危惧されている。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指摘されている。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れり、我々人類への影響も懸念されている。

これまでの研究におけるマイクロプラスチックの研究のための回収は、ニューストーンネットと呼ばれるプランクトンを回収するためのステンレス製メッシュが使われてきた。しかし、その孔径は0.35 mmとマイクロプラスチックに対して大きく、1 mm以下のマイクロプラスチックはほとんど回収されておらず、その実態は不明であった。近年、より細かいメッシュを用いることで、微細なマイクロプラスチック(20 μm)まで回収可能な手法が提案されており、200 μm 以下のマイクロプラスチックが、環境中のマイクロプラスチックの80 %程度を占めていることが報告されている。そして、この結果は、より微細なマイクロプラスチックはさらに多く存在している可能性を示唆している。

そこで、本研究では、音響泳動による分離を連続的もしくは循環的に行うことで、微細なものも含めてマイクロプラスチックを高濃度に濃縮する方法について検討した。これまでに、音響泳動により3分岐流路の中央に集めることで、3倍濃縮できることは既に確認済みである。そこで、この3分岐を連続的に設けることで、マイクロプラスチックを高濃度に濃縮できる多段分離デバイスを作製し、評価した。

2. 研究成果および考察

(1) 連続分離機構の設計

音響泳動力によって流路中央へマイクロプラスチックを収束させ、かつ、そのとき三分岐中の中央の流路への流入量を全体の3.2分の1、すなわち流量比を1.1 : 1 : 1.1とすれば、マイクロプラスチック懸濁液を3.2倍濃縮できる。本研究では、図1に示すように三分岐を4段階設け、連続的にMP懸濁液を濃縮することによって、最終的に、3.2の4乗=約100倍の濃縮を行う連続分離デバイスを設計する。その結果、Inletより導入されたマイクロプラスチック懸濁液は、マイクロプラスチック濃縮液としてOutlet 1より回収され、マイクロプラスチックを取り除かれた浄化水は、Outlet 2より排出される。流路抵抗はマイクロ流路の電気回路へのアナロジーを用い決定した。

作成したモデルに対し、有限要素法による汎用解析ソフト(COMSOL Multiphysics, 計測エンジニアリング)を用い、連続分離機構における流体解析を行った。設計通り、3.2分の1が中央の流路に流れ込むとすると、その割合は31.3 %となる。この値に対し、各分岐における割合は、誤差1%以内となっており、要求仕様を満たす流路が設計できていることが確認できた。その結果、最終的な割合(Inletの流入量に対するOutlet 2の流出量の比)は、10

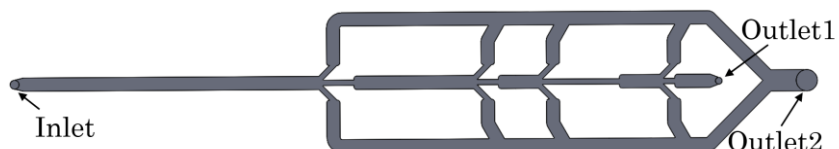


図1 連続分離機構のCADモデル

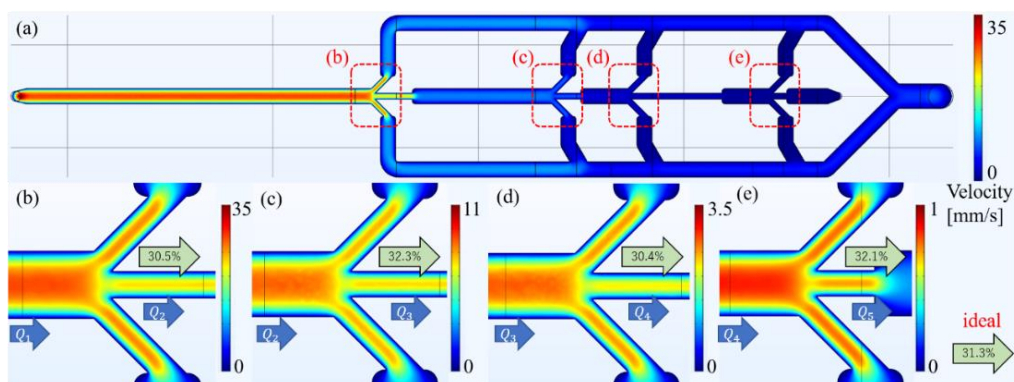


図2 有限要素解析による連続分離機構の流速分布。

4分の1と目標値である100分の1以下になることが確認できた。

(2) 連続分離機構を用いた実験

設計した連続分離機構を、ガラス基板を加工することで製作し、ポリスチレン微粒子およびナイロンファイバーを用いて評価した。音響泳動をおこなうために、共振周波数500 kHzの圧電素子をガラス基板に紫外線硬化樹脂を用いて接着し、これに500 kHzの正弦波を印加し、流路内に音響定在波を生成した。また、微粒子やファイバーの懸濁液は、圧力ポンプを用いて、0.9 mL/minで送液された。

まず、Inletへの流入量とOutlet 2からの流出量を比較したところ、103分の1とほぼ設計通りとなっていることが確認できた。そこで、次に微粒子およびファイバーの懸濁液を流し、ファイバーの挙動を評価した。その結果、微粒子は比較的スムーズに濃縮され流れていく様子が観察された。一方、ファイバーの場合は、各分岐部で音響収束によりファイバーは流路中央に集まる傾向が確認された(図3)。特に、第1分岐では、ほぼ100%のファイバーが中央流路に流れ込んだ。しかし、分岐を経るにつれて、流量が低下した結果、音響泳動力により、ファイバーが流路のエッジにトラップされてしまう現象が確認された。本機構では、回収を目指しているため、流路内にトラップされていても短期的には問題無いが、長期的には流路の閉塞を引き起こす可能性がある。そのため、今後、流量に応じて音響泳動力の強さを調整する必要があることが示唆された。

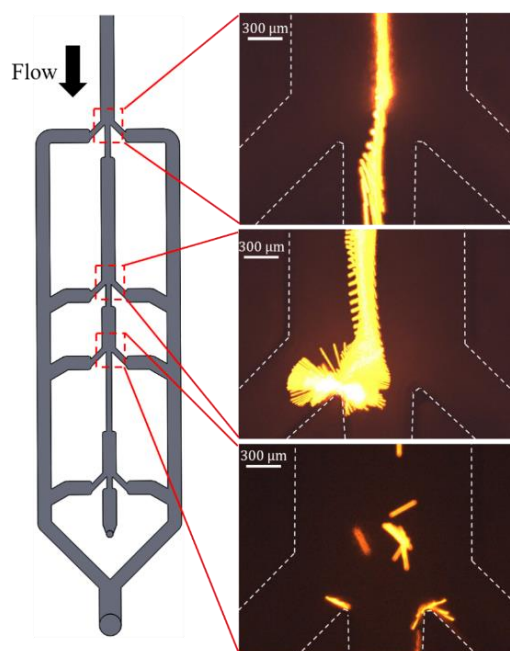


図3 各分岐におけるファイバーの様子

3. 将来展望

本研究で設計し作製した連続分離機構は、ほぼ設計通りの流量比で流れており、音響泳動によりプラスチック微粒子およびファイバーの中央への収束出来ていることも観察された。しかし、流量の低下による音響泳動力の影響が大きくなり、流路途中でトラップされてしまうファイバーが多く観察された。今後、音響泳動力の調整だけでなく、流路形状の最適化も行い、より長期的に安定してマイクロプラスチックを高濃度濃縮できる機構の確立を目指したい。

4. 研究発表

1. 田村和樹, 城内健希, 藤井忠彦, 森脇洋, 秋山佳丈 マイクロプラスチックの画像検出に向けた音響泳動による二次元収束の検討, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会SI2020, 2D2-04 2020(Dec. 17)
2. 藤井 忠彦, 森脇 洋, 秋山 佳, マイクロプラスチック回収のための音響泳動による連続分離機構の検討, 日本機械学会 2020年度年次大会, J02612 2020(Sep. 15)