

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」

2023年度 研究活動報告書

家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発

都立多摩科学技術高等学校 科学研究部 生活科学班 マイクロファイバー班

1. 背景

マイクロファイバー（MF）は、主に衣類に含まれる8 μ m以下の化学繊維であり、1回の洗濯で約70万本から120万本が排出されている可能性がある。MFは下水処理場をすり抜けてしまうので、海洋マイクロプラスチック（海洋MP）の原因になっている。現在、世界全体の海洋MP排出量（約115t～241万t）の約35%を占めている。このMFを家庭内で抑えるために、洗濯時に使用するMF回収装置がいくつか商品化されている。しかし、多くの装置は海外製で、情報も少ないため、日本でのMF回収装置の普及率は非常に低く、MF排出の対策が行われていないことが現状だ。

2. 目的

本研究の目的は、日本の家庭内でMF回収を促進することだ。そのために、使用時の負担が少なく、日本の家庭内で導入をしやすいMF回収装置を作製することを目標とした。

3. 研究内容

1. MF回収装置の作製

洗濯時の手間を増やさずMF回収を行う解決策として、糸くずフィルターからMFも回収できる「設置型MF回収装置」を作製することを目指すことにした。具体的には、以下の4種類の装置を調査対象とした。

装置Ⅰ：既製品の糸くずフィルター

装置Ⅱ：MFを回収できる程の目の細かいフィルターに張り替えた
(海外製のMF回収装置で使用されているフィルターに変更)

装置Ⅲ：装置Ⅱよりも目の細かいフィルターに張り替えた

装置Ⅳ：ⅠとⅡのフィルターを二重にした

2. 回収能力の調査方法

本研究では、従来の洗濯環境（Ⅰ）と試作品（Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ）を比較して、洗濯水中に含まれるMF本数を調査した。また、糸くずフィルター本来の性能が損なわれていないかの確認をするため、洗濯水中に含まれるMF・繊維全体の質量も測定した。

洗濯物が一般家庭（4人家族）から出る日常の洗濯物とし、日による変動を抑えるために、各種類ごとに5日分の洗濯水を取得した。また、各日程で取得した洗濯水の計測は5回ずつ実証し、それぞれの装置ごとに5日×5回で合計25回ずつ、洗濯水中に含まれるMF本数、繊維全体の質量を測定した。以下にそれぞれの調査手順について記載する。

・洗濯水中に含まれる MF 本数

それぞれの装置を使用して洗濯を行い、すすぎ1回目が終了後、洗濯槽内から洗濯水（5 mL）を採水した。洗濯水はタンパク質（髪の毛、皮膚など）が含まれている。それらは正確な適量を行うために不必要だと考え、洗濯水と同量の水酸化ナトリウム（5 mL、2 mol/L）を混合し、除去した。溶液の条件を揃えるために、遠心分離を行い、沈殿物周辺の溶液（0.1 mL）を採水し、溶液中に含まれる MF の本数を実体顕微鏡で測定した。

・洗濯水中に含まれる繊維の質量

それぞれの装置を使用して洗濯を行い、すすぎ1回目が終了後、洗濯槽内から洗濯水を採水した。洗濯水（0.1 mL）と水酸化ナトリウム（5 mL、2mol/L）を混合した溶液をシリンジフィルターを用いてろ過した。乾燥時の環境を揃えるために、乾燥機内で乾燥させた後、質量を測定した。ろ過前後のシリンジフィルターの質量の差を求め、繊維の質量を測定した。

3. 分析方法

実験の結果を表1のフォーマットで集計した。この測定データは、「MF 本数」と「繊維の質量」の二軸を持つ分散図にまとめた。1つの装置で25回の計測を行うため、そのばらつきや傾向を視覚的にも把握しやすくなると考えた。

分散図のイメージを図1に表した。横軸はMF本数を示している。原点に近い方が洗濯水中のMF本数が少ないため、回収装置の効果が高いと判断できる。縦軸は、洗濯水中に含まれる繊維の質量を示している。こちらも原点に近い方が、回収装置が繊維を多く回収している。以上のことから、分散図の両軸で原点に近いパターンが最も回収能力が高いと評価できる。

5月8日採水	II を使用				
実験回数 (回)	1	2	3	4	5
本数 (本)	2	4	3	2	2
ろ過前	1.6949	1.6903	1.6973	1.6885	1.6946
ろ過後	2.00568	2.0107	2.0268	2.016	2.0044
前-後	0.31078	0.3204	0.3295	0.3275	0.3098

表1. 1日分の洗濯水での測定データサンプル

また、複数回の測定データを代表する数値は、平均値ではなく中央値を採用した。測定データの母数

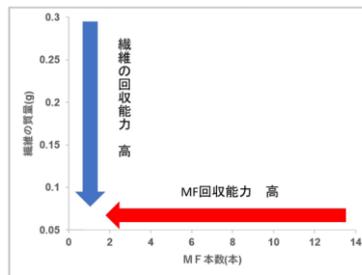


図1. 分散図のサンプル

がある程度あり、外れ値も確認できたため、中央値で判断するのが望ましいと考えた。

4. 結果

洗濯水（0.1 mL 中）に含まれる MF、繊維の質量の中央値を以下に記載する。

- I MF:8.0 本 繊維総量 : 0.2655g
- II MF:4.0 本 繊維総量 : 0.3275g
- III MF:3.9 本 繊維総量 : 0.3551g
- IV MF:3.5 本 繊維総量 : 0.1395g

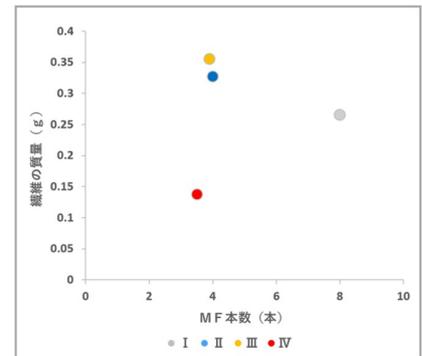


図2. 中央値の結果

図2の分散図を確認すると、単一のフィルターの大きさ（I>II>III）に比例して、MF回収能力は高まるが、糸くずを主にする繊維総量（以下糸くず）の回収能力が低くなるという関係が確認できた。

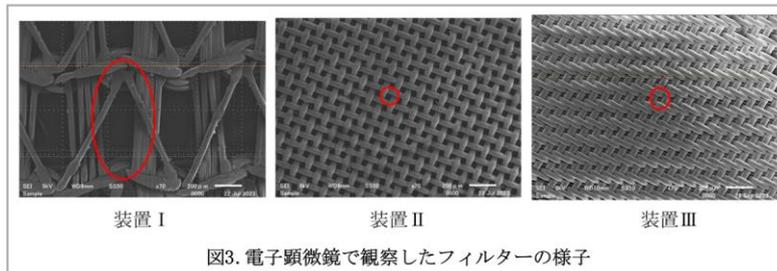
これに対し、IとIIにフィルターを二重化したIVにはこの関係が見られず、糸くず・MFとも回収能力が高められることができています。

この結果を受けて、(1)フィルターによる回収能力の違い、(2)二重化の効果と課題、(3)調査データの信頼性の3点について掘り下げた考察を以下に記載する。

5. 考察

(1) フィルターによる回収能力の違い

フィルターの違いによる回収能力の評価について、IよりもII、IIIの方が高いMF回収能力を持つことは仮説通り確認できたが、糸くずの回収能力が落ちることは想定外の結果だった。この原因を探るため、電子顕微鏡でそれぞれのフィルターを観察した。



Iで使用したフィルターは隙間が大きく、複数の糸が巻き付いて大きな結び目を作っている。そのため、洗濯水中に含まれる糸くずが網目に絡まりやすいと考えられる。一方、II、IIIで使用したフィルターは隙間が小さく、結び目が無く1本ずつ交差している。そのため、隙間よりも大きな糸くずが、壁に当たるように跳ね返されて回収できないと考えられる。

この仮説を検証するため、追加の素材を探すことにした。市販されているマイクロレベルのメッシュは非常に少なく、多くが受注生産になるため高額で調達が難しかった。その中で、調達可能な条件だった素材を購入し、装置IIIを作製した。

IIIで使用したフィルターを電子顕微鏡で図2と同じ倍率（70倍）にして観察した。（図3）

IIIのフィルターは糸の交差する構造がIIと同じだが、糸が詰まっており、隙間が非常に狭く、長方形をしている点が特徴だった。

フィルターの隙間の大きさを測定した結果が以下の数値である。それぞれの隙間の大きさと平均的な糸くず・MFの大きさを図4に同じ縮尺で示す。

I 603.461 μm \times 289.247 μm

II 45.646 μm \times 47.425 μm

III 1.0 μm \times 34.523 μm

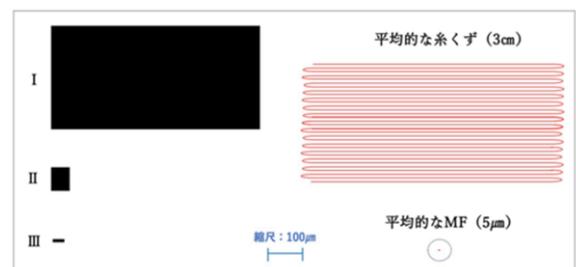


図4. 隙間の大きさのイメージ

その後行ったIIIの回収能力の調査では、IIと大きな違いを示すことがなかった。

しかし、図4が示す通り、隙間が小さくなるほど、MF回収能力が高くなり、糸くず回収能力が低くなることという関係が分かった。

このことから、単一の素材変更でMF回収装置の改良をすると、MFか糸くずのどちらかの回収能力が必ず下がることになり、洗濯機が本来持つべき特性（糸くず回収能力）と、本研究で新たに追加したい特性（MF回収能力）を同時に備えることは困難な見通しになることが考えられる。そこで、別のアプローチの解決策として、IとIIの素材を二重にした装置IVを作製した。

(2)二重化の効果と課題

IVは、既製品 I をベースに外側から II のフィルターを接着して制作した。本来であれば糸くずフィルターの内側にフィルターを貼り付けたいが、二重化するため I のフィルターを外すことができず、便宜的に外側から接着することにした。以下は I と II の調査結果の中央値を再掲する。

I MF:8.0本 繊維総量：0.2655g

IV MF:3.5本 繊維総量：0.1395g

IVの結果として調査前に行った仮説では、IにはMF回収能力が無いため追加では回収ができずI、II同様の4.0本になると考えた。また、糸くずはIでは多くが回収されているため、Iの質量から更にIIで回収できるのは、最大でII-Iの0.062gになると考えた。このことから、IVの仮説は以下になり、実際の結果を比較すると、結果が想定よりもかなり良い数値であったことが確認できる。

IV (仮説) MF:4.0本 繊維総量：0.2035g

IV (実績) MF:3.5本 繊維総量：0.1395g

仮説を上回る結果になった要因は、糸くずフィルター内側のIと外側のIVの間に新たな空間ができたため、その中に洗濯水が滞留して余分に回収ができたと考えた。そこで、I、II、IVで発生する水流をシミュレーションを用いて調査した。その結果、IVのできた新たな空間に着目すると、空間に入った始めは速度が上がっており後ろにいくにつれて速度が下がっていることが分かった。このことから、空間に入ってすぐに水流の速度が上がることで、糸くず、MFが絡まり大きな塊になった後、水流の速度が下がることで空間内に糸くず、MFが滞留することが考えられる。

(3)調査データの信頼性

本研究はMFという肉眼で見えないマイクロレベルの繊維片を研究対象としているため、測定データの信頼性については特に注意を払った。

調査結果の信頼性を高めるために、1日の洗濯水から異なるタイミングで5回の測定を行い、それを5日分繰り返して合計25回実施した。その実験結果として既製品の糸くずフィルター(I)で発見されたMFの中央値は0.1 mLあたり8.0本だった。これを4人家族の標準的な1日の洗濯量6.0kを洗濯するために必要な水量である140 Lに換算すると、1回の洗濯あたりのML排出数は112万本となる。

イギリスの研究結果によると1回の洗濯されるMFの排出数は70万本以上ということなので、今回の測定結果はこの範囲内に該当し、得られたデータには一定以上の信頼性があると考えられる。

6. 今後の展望

現在、作製した装置IV(図5)のできたフィルター間の新たな空間にMF・糸くずが滞留しているのかを調査するために装置V実証実験を行っている。この調査が終わった後は、本研究で使用した糸くずフィルター以外の種類でもMF・糸くずを回収できる改良品の作製を行う予定だ。

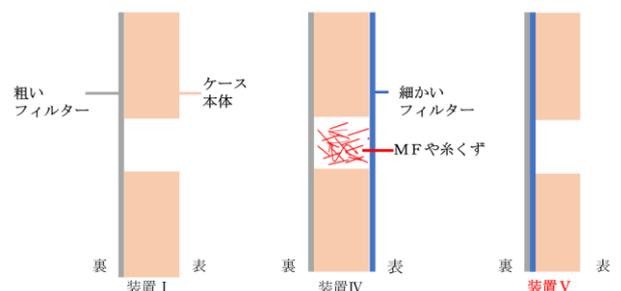


図5. 装置Vのイメージ

7. 参考文献

[1] Imogen E. Napper, Richard C. Thompson Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions 2016. 3. 9.

[2] Imogen E. Napper, Richard C. Thompson Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions 2016. 7. 13

- [3] NikoL, HartlineNicholas, J. BruceStephanie,
N. KarabaElizabeth, O. Ruff, Shreya. U. Sonar, Patricia. M. Holden
Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Used Garments 2016. 5. 21
- [4] Polyester Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand
Microfiber Release During Washing 2017. 2. 2
- [5] Imogen E. Napper, Richard C. Thompson Release of synthetic microplastic plastic fibres from
domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions 2016. 6. 1
- [6] 海洋マイクロプラスチック 永遠のごみの行方 保坂直紀 2020. 6. 10
- [7] 脱プラスチックへの挑戦 堅達京子 2020. 2. 10

4. 研究成果

4.1 研究成果の発表

- ①日時：2023年7月31日（月） 11時00分～13時00分
発表の場：シンガポール海外研修
発表題目：「Developing a product for reducing microfiber」
発表形態：口頭発表、ポスター発表
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ②日時：2023年8月18日（金） 11時00分～15時50分
発表の場：マリンチャレンジプログラム関東大会
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：口頭発表、ポスター発表
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ③日時：2023年9月9日（土） 13時15分～13時45分
発表の場：多摩未来祭（文化祭）
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：ポスター発表
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ④日時：2023年9月10日（日） 12時00分～12時45分
発表の場：多摩未来祭（文化祭）
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：口頭発表
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ⑤日時：2023年10月21日（土） 12時00分～16時40分
発表の場：多摩科学技オンラインシンポジウム
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：口頭発表
発表者名：菅野花鈴（2年）

- ⑥日時：2023年11月3日（金） 11時20分～16時40分
発表の場：SYRs シンポジウム
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：ポスター発表
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ⑦日時：2023年11月18日（土） 12時00分～17時00分
発表の場：サステイナブル研究発表会
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：口頭発表
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ⑧日時：2023年12月8日（金） 9時00分～18時40分
発表の場：COMSOL Conference 2023
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：ポスター
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ⑨日時：2023年12月16日（土） 9時00分～14時00分
発表の場：女子生徒による理系女子のための研究発表交流会
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：ポスター
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ⑩日時：2023年12月16日（日） 9時10分～15時40分
発表の場：東京都内 SSH 指定校合同発表会
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：口頭
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ⑪日時：2023年3月19日（火）（予定）
発表の場：課題研究発表会
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：口頭
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ⑫日時：2023年3月24日（日）（予定）
発表の場：関東近県 SSH 指定校合同発表
発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」
発表形態：ポスター
発表者名：菅野花鈴（2年）
- ⑬日時：2023年3月26日（火）（予定）
発表の場：化学クラブ発表会

発表題目：「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」

発表形態：ポスター

発表者名：菅野花鈴（2年）

4.2 受賞等

①「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」（日本財団・(株)リバネス）
奨励賞（2023年8月18日）

②「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」（朝日新聞）
入選（2023年12月26日）

③「家庭から排出されるマイクロファイバー回収装置の開発」（東京工科大学）
優秀賞（2023年12月26日）