

排水処理施設におけるマイクロプラスチック排出実態の現地調査



宮崎 悠爾 ①

要旨

マイクロプラスチックは5mm以下の微小なプラスチックと定義されており、その小ささと普遍性から、水中のマイクロプラスチックを摂取した魚介類への生物濃縮および人間への健康影響が危惧されている。

排水処理施設からの放流水に含まれるマイクロプラスチックは水環境に影響を与える要因の一つと考えられる。よって、当社納入設備の排出実態の調査は、今後マイクロプラスチック問題へ対処する上で必要となる。今回、国内の水処理施設6件、海外実証施設1件を調査したので、その結果を報告する。

原水のマイクロプラスチック濃度は施設の種類によって大きく異なり、プラスチック製品を扱うリサイクル施設および、原水の固形物濃度が高い汚泥再生処理センターについては濃度が高くなっていた。また、処理フローごとのマイクロプラスチック除去性能については、砂ろ過、繊維ろ過の効果が大きく、処理水は1m³あたり数個程度になっていた。このろ過に使われる繊維ろ材からの剥離繊維の流出についても調査した結果、処理水への影響は小さいと判断できる。

キーワード

マイクロプラスチック、排水処理

1. 緒言

マイクロプラスチックは5mm以下の微小なプラスチックであり、これら微細なプラスチック粒子は、製品の原料もしくは製品に配合される一次マイクロプラスチックと、日常生活のあらゆる場面で使用されているプラスチック製品が分解されることにより生じる二次マイクロプラスチックに大別される。海域のマイクロプラスチック汚染¹⁾や魚介類の体内からマイクロプラスチックが検出される事例²⁾が知られており、水環境でのマイクロプラスチックの実態調査が進められている。

マイクロプラスチックの表面は疎水性であり、残留性有機汚染物質等の環境中の有害物質を吸着する。マイクロプラスチックは食物連鎖を通じて水生生物に蓄積され、それを摂取した人間への健康影響が懸念されている。また、環境省重点施策集³⁾では環境中に排出されたマイクロプラスチックは回収困難であるため、排出抑制のあり方を検討するとしている。

このような背景から、自治体等でもマイクロプラス

チックへの注目が高まっており、排水処理施設からのマイクロプラスチックの排出についての知見を得ることは重要である。

そこで、本調査では当社が施工した水処理設備について実態調査を行い、マイクロプラスチックの排出実態および、既存フローでの除去性能を調べた。

2. マイクロプラスチックの問題の現状

2.1 調査事例

水中のマイクロプラスチックについては海域、河川・湖沼の他、水処理施設では下水処理場が多く調査されている。調査方法については、マイクロプラスチック調査ガイドライン^{4), 5)}が作成されており、手法は概ね統一されている。

国内では、環境省により日本沿岸および、河川・湖沼でのマイクロプラスチックの存在実態の調査が進んでいる^{6), 7)}。環境省による調査結果をまとめたものを表1に示す。日本沿岸および河川のマイクロプラスチック濃度の平均は5.9個/m³と6.5個/m³であり、同程度であった。一方、湖沼は1.3個/m³と低くなっていた。

① 環境事業本部 開発センター WS水処理プロジェクトグループ

表1 環境中のマイクロプラスチック濃度

調査対象	マイクロプラスチック濃度
沿岸	5.9 個/m ³ (2.5～11.2 個/m ³)
河川	6.5 個/m ³ (0.6～20.5 個/m ³)
湖沼	1.3 個/m ³ (0.5～2.1 個/m ³)

海外においても、様々な海域で調査が行われている。海洋汚染は地球規模で広がっており、南極・北極でもマイクロプラスチックが検出されたという報告がある。

国内下水処理場の調査では、下水処理工程で流入マイクロプラスチックの99%が除去されていると報告⁸⁾されており、既存の水処理フローでの除去性能の調査が進んでいる。

2.2 規制動向

一次マイクロプラスチックについては、化粧品等に含まれるマイクロビーズを筆頭に世界的に規制が進んでいる。二次マイクロプラスチックは、発生量の把握について取り組みが始まっている。また、発生抑制への対策として、EUにおいて使い捨てプラスチック容器の使用禁止が進められている。国内では、廃棄物の管理、リサイクルの促進も対策として挙げられる。

一方、排水への規制については、現状では事例が無い。これは、マイクロプラスチックが人体に及ぼす影響が明らかでないことから、明確な基準値を定められないことや、分析作業が煩雑であり熟練した作業員が必要なこと、排水中のマイクロプラスチック負荷の調査が十分でないことが理由と考えられる。

3. 現地調査

3.1 調査施設

当社が施工した国内水処理施設6件および、タイ王国での実証試験装置1件を調査した。表2に内訳と処理フローを示す。

3.2 調査方法

現地調査は、環境省による河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン⁵⁾に則って実施した。日間変動の影響を避けるため、各施設は数日の間を空けて計三回サンプリングした。

3.2.1 採水方法

水中ポンプによる揚水もしくは配管からの直接採水により対象水を一定量採取し、ネット（目合0.1 mm）でろ過を行いサンプリングした。

ネットに捕捉された粒子をステンレス製のサンプル瓶に分取して持ち帰り、分析を行った。

3.2.2 分析方法

分析手順を図1に示す。マイクロプラスチック分析は、以下の手順で行った。

- (1) 分析前処理 各試料を、0.1 mmの篩にかけ、篩上に残った試料について30%過酸化水素水および硫酸鉄(Ⅱ)を用いて酸化処理を行うことで夾雑物を除去した。
- (2) 分析 実体顕微鏡（マイクロネット社製 ズン太2 YS02Z2）観察等により、マイクロプラスチックの可能性ある粒子を拾い出した。拾い出したマイクロプラスチックの可能性ある粒子について、写真撮影を行い、画像解析ソフト（ImageJ）を用いて粒子数を計数するとともに各粒子の長径、短径、面積を計測した。その後、フーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR：株式会社島津製作所 IRAffinity-1S）を用いて粒子の材質同定を実施した。マイクロプラスチックの略号と名称を表3に示す。

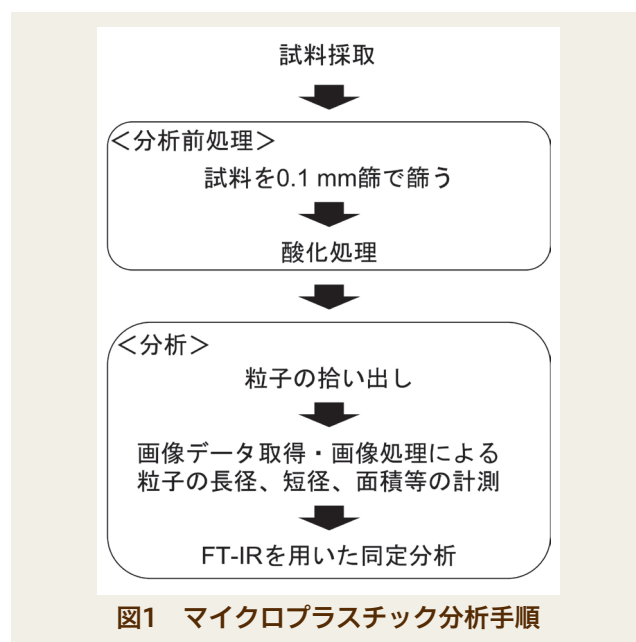


図1 マイクロプラスチック分析手順

表2 各施設の内訳および処理フロー

施設名	処理フロー
下水処理場 A	沈殿→生物処理→沈殿→まりもろ過
下水処理場 B	沈殿→生物処理→沈殿
汚泥再生処理センターA	スクリーン→生物処理→脱水→凝集沈殿
汚泥再生処理センターB	スクリーン→生物処理→膜ろ過→凝集沈殿→砂ろ過→活性炭ろ過
リサイクル施設	生物処理→凝集沈殿→砂ろ過→活性炭ろ過
ごみ焼却施設洗煙排水	凝集沈殿→砂ろ過→キレート・ホウ素吸着
ごみ焼却施設プラント排水	生物処理→凝集沈殿→砂ろ過
浄水処理施設	凝集沈殿→浮上ろ材ろ過→けまりろ過

表3 マイクロプラスチックの略号と名称

略号	名称
TALC/PE	タルク/ポリエチレン複合体
PBT	ポリブチレンテレフタレート
SI	シリコーン樹脂
PVC	ポリ塩化ビニル
PVAc	ポリ酢酸ビニル
PU	ポリウレタン
PTFE	ポリテトラフルオロエチレン
PS	ポリスチレン
PP	ポリプロピレン
PMMA	アクリル樹脂
PET	ポリエチレンテレフタレート
PE	ポリエチレン
PC	ポリカーボネート
PA	ポリアミド
EP	エポキシ樹脂
ABS	ABS 樹脂
EVA	エチレン酢酸ビニル

4. 結果と考察

4.1 下水処理施設

下水処理場A、Bの原水、処理水組成を図2に、マイクロプラスチック濃度を図3に示す。原水のプラスチックの種類としては、両処理場ともPETが最も多かった。原水、処理水の組成、濃度とも下水処理場を調査した既往報告⁸⁾と近い結果であった。

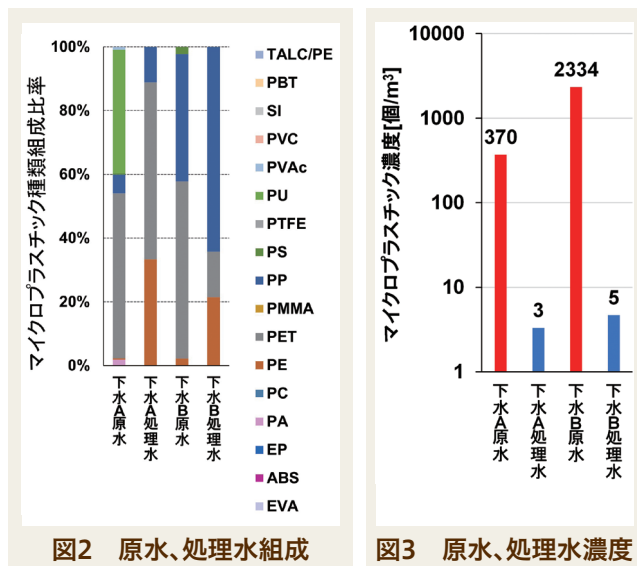


図2 原水、処理水組成

図3 原水、処理水濃度

4.2 汚泥再生処理センター

汚泥再生処理センター A、Bの原水、処理水組成を図4に、マイクロプラスチック濃度を図5に示す。汚泥再生処理センター Aの原水は、マイクロプラスチック濃度が17.8万個/m³と高かった。これは、汚泥再生処理センターの原水は希釈されていない生し尿や浄化槽汚泥で構成されており、固形物濃度が高いためマイ

クロプラスチック濃度も高くなったと考えられる。処理水濃度は、高度処理を行っている汚泥再生処理センター Bの方が低くなっていた。

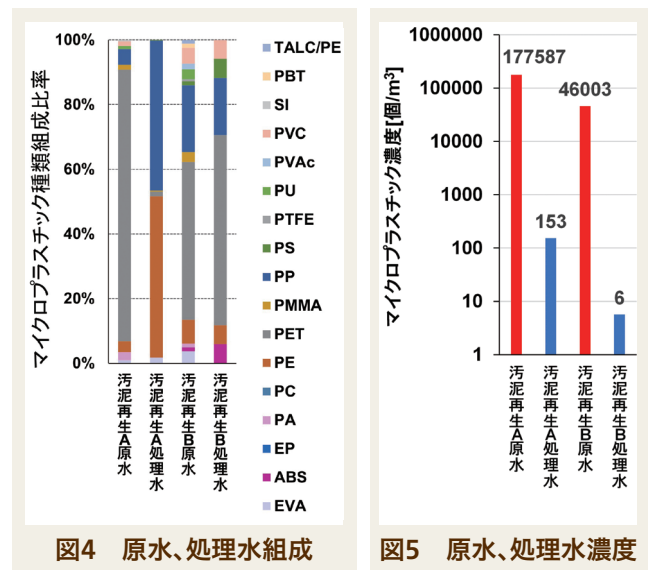


図4 原水、処理水組成

図5 原水、処理水濃度

4.3 リサイクル施設

リサイクル施設の原水、処理水組成を図6に、マイクロプラスチック濃度を図7に示す。リサイクル施設の原水は、14.2万個/m³と高かった。当施設ではプラスチック製品を受け入れており、破碎装置の洗浄水が原水に含まれるためと考えられる。

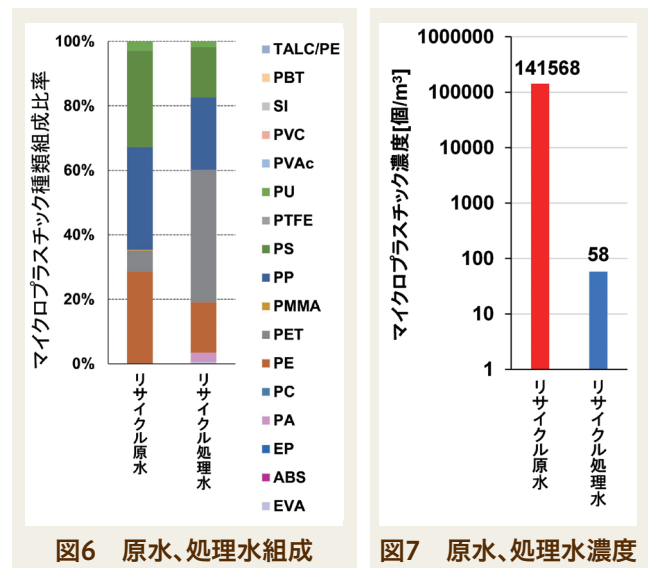


図6 原水、処理水組成

図7 原水、処理水濃度

4.4 ごみ焼却施設

ごみ焼却施設の洗煙排水、プラント排水の原水、処理水組成を図8に、マイクロプラスチック濃度を図9に示す。洗煙排水、プラント排水は同じごみ焼却施設で採取したものである。

ごみ焼却施設では、洗煙排水、プラント排水ともに原水濃度は低かった。これは、原水にプラスチックが混入する経路が少ないためと考えられる。

4.5 浄水処理施設

浄水処理施設の原水、処理水組成を図10に、マイクロプラスチック濃度を図11に示す。浄水処理施設は原

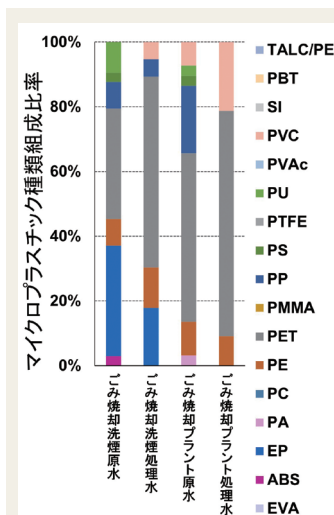


図8 原水、処理水組成

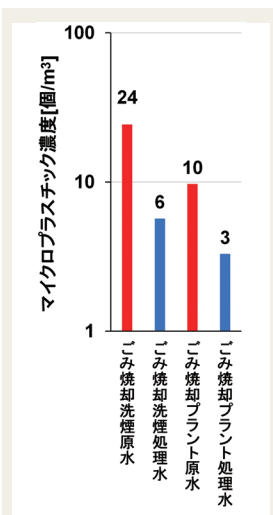


図9 原水、処理水濃度

水が河川の表流水であり、原水濃度は低かった。組成としては、国内の排水処理施設と比べて原水のPVCの割合が多くなっていた。PVCは配管などに多く使われており、摩耗してマイクロプラスチックとなった粒子が河川に流入したと考えられる。

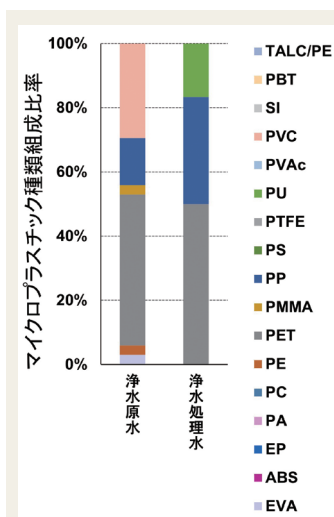


図10 原水、処理水組成

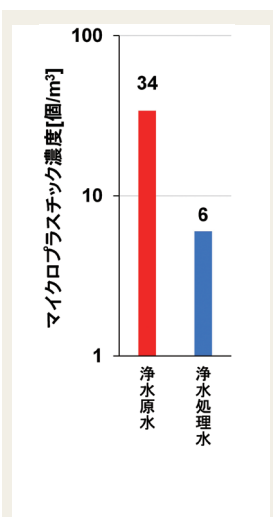


図11 原水、処理水濃度

4.6 各施設の比較

各施設のマイクロプラスチックの組成、濃度は施設種類ごとに異なっていた。そこで、各施設の原水、処理フローについて比較し、マイクロプラスチックの特性を考察した。

4.6.1 原水性状

施設の原水組成のまとめを図12に示す。ほとんどの施設の原水でPETの割合が最も大きかった。

下水処理場、污泥再生処理センターについては、化学繊維の衣服に多く用いられるポリエステル（PET繊維）が、洗濯時に繊維くずとして大量に排水に混入することが報告されており¹⁾、これがPETの割合が多い原因と考えられる。また、浄水処理施設についても原水である河川水に洗濯排水の影響があると思われる。リサイクル施設については、前述のとおり施設が受け

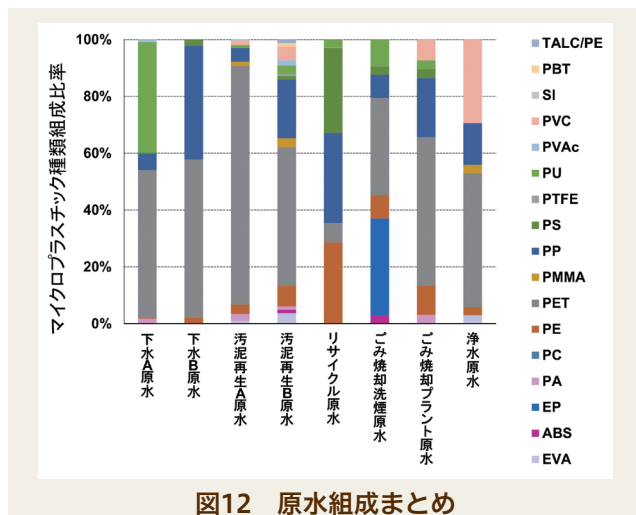


図12 原水組成まとめ

入れている搬入物の影響が大きいと考えられる。ごみ焼却施設は調査事例が少なく、組成に影響する要因が明確ではないが、搬入物や施設の処理工程に影響を受けている可能性がある。

PET以外のマイクロプラスチックでは、PP、PEが多く見られた。PP、PEは2023年のプラスチック原材料生産の過半数を占めており⁹⁾、それに比例して排出量も多くなったと推定される。

原水マイクロプラスチック濃度のまとめを図13に示す。污泥再生処理センター、リサイクル施設の原水濃度が高くなっていた。これは、前述のとおり、污泥再生処理センターでは原水が濃厚であること、リサイクル施設では大量のプラスチック製品を受け入れており、破碎等のマイクロプラスチック片が発生しやすい処理工程が存在することが原因として挙げられる。下水処理場は、生活排水の内、マイクロプラスチック濃度が低いと思われる風呂、トイレの排水が多く含まれるため、污泥再生処理センターの原水と比較して低濃度になっていると考えられる。

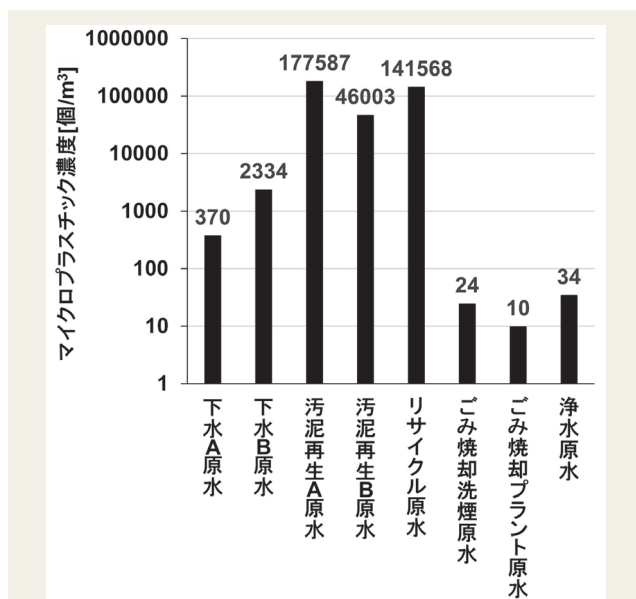


図13 原水濃度まとめ

表4 各施設の処理フローおよび処理水マイクロプラスチック濃度

施設名	処理フロー	処理水濃度	除去率
下水処理場 A	沈殿→生物処理→沈殿→ けまりろ過	3.3 個/m ³	>99%
下水処理場 B	沈殿→生物処理→沈殿	7.0 個/m ³	>99%
汚泥再生処理センターA	スクリーン→生物処理→ 脱水→凝集沈殿	153 個/m ³	>99%
汚泥再生処理センターB	スクリーン→生物処理→ 膜ろ過→凝集沈殿→ 砂ろ過→活性炭ろ過	5.7 個/m ³	>99%
リサイクル施設	生物処理→凝集沈殿→ 砂ろ過→活性炭ろ過	57.7 個/m ³	>99%
ごみ焼却施設洗煙排水	凝集沈殿→砂ろ過→ キレート・ホウ素吸着	5.7 個/m ³	77%
ごみ焼却施設プラント排水	生物処理→凝集沈殿→ 砂ろ過	3.3 個/m ³	62%
上水処理施設	凝集沈殿→浮上ろ材ろ過→ けまりろ過	6.0 個/m ³	82%

4.6.2 処理フローごとの除去性能

各施設の処理フローおよび処理水マイクロプラスチック濃度を表4に示す。施設によっては放流水をろ過後に再利用しているものもあるため、放流水のマイクロプラスチック濃度も併せて表中に示した。

繊維ろ過、砂ろ過を含む処理フローでは、原水マイクロプラスチック濃度が高かったリサイクル施設を除き、処理水のマイクロプラスチック濃度は数個/m³程度であった。放流水のマイクロプラスチック濃度については、現在基準値は決められておらず、人体への影響も明確でないことから評価は難しい。しかし、この数値は、環境省による河川水の調査結果の平均値⁴⁾と同程度であることから、放流による環境中への影響は小さいと考えられる。

4.7 繊維ろ過によるマイクロプラスチック除去

ろ過工程に使われる繊維ろ材は、化学繊維で作られているため、ろ材から剥離した繊維はマイクロプラスチックにカウントされる。この剥離した繊維が処理水に混入した場合、処理水のマイクロプラスチック濃度が上昇してしまう恐れがある。そこで、繊維ろ材の材質であるプラスチック種がろ過前後で増加していないか確認した。顕微鏡観察の結果、繊維ろ材からの剥離繊維と、通常の繊維状のマイクロプラスチックは形状に違いが無く識別ができなかったため、材質プラスチック種の濃度で判断することとした。なお、繊維ろ材のまりもは下水処理場A、けまり、浮上ろ材は浄水処理施設のデータである。

各繊維ろ材のろ過前後の材質プラスチックのマイクロプラスチック濃度の変化を表5に示す。まりも、けまりの材質プラスチックはPET一種、浮上ろ材の材質プラスチックはPP、PEの二種である。

調査した全てのろ材でろ過前後の材質プラスチックは減少していた。この結果から繊維ろ材からの剥離繊維により処理水のマイクロプラスチック濃度が上昇する可能性は小さいと考えられた。

表5 ろ過前後の材質プラスチック濃度

繊維ろ材(材質)	ろ過前濃度	ろ過後濃度
まりも(PET)	5.3 個/m ³	1.7 個/m ³
けまり(PET)	6.0 個/m ³	3.0 個/m ³
浮上ろ材(PP)	5.0 個/m ³	1.0 個/m ³
浮上ろ材(PE)	2.0 個/m ³	0.0 個/m ³

5. 結 言

本調査により、以下の知見が得られた。

- 施設によって原水のマイクロプラスチック濃度、組成が大きく異なっており、特にプラスチック製品を扱うリサイクル施設および、原水の固形物濃度が高い汚泥再生処理センターについては濃度が高くなっていた。また、施設への流入水、搬入物により組成が変わると考える。
- 通常の水処理フローでもマイクロプラスチック濃度を大きく低下させられることがわかった。
- 砂ろ過、繊維ろ過はマイクロプラスチックの除去性能が高く、原水が高濃度であったリサイクル施設を除き、ろ過処理水のマイクロプラスチック濃度は河川水と同程度になっていた。
- 繊維ろ過の前後では、処理水に含まれる繊維ろ材の材質プラスチックは原水よりも少なく、繊維ろ過によるろ過処理水へのマイクロプラスチックの混入は小さいと考える。

これまでの調査結果から、既存の水処理施設においてマイクロプラスチックは十分に除去できており、ろ過処理によって河川水レベルまでマイクロプラスチック濃度を低下させられることがわかった。

本調査の成果により、当社納入設備のマイクロプラスチック除去性能が明らかになり、今後のマイクロプラスチック問題への対応の基礎となる知見が得られた。

謝 辞

本研究において、多大なご協力をいただきました各施設の皆様に心よりお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 高田秀重：マイクロプラスチック汚染の現状，国際動向および対策，廃棄物資源循環学会誌，**2018**，Vol.29，No.4，261-269.
- 2) 五十嵐敏郎：マイクロプラスチックの実態と解決案，マテリアルライフ学会誌，**2019**，Vol.31，1-7.
- 3) 環境省：令和3年度環境省重点施策集，**2020**，61.
- 4) 環境省：漂流マイクロプラスチックのモニタリング手法調和ガイドライン，**2020**.
- 5) 環境省：河川・湖沼マイクロプラスチック調査ガイドライン，**2023**.
- 6) 環境省：令和4年度沿岸海域におけるマイクロプラスチックを含む漂流ごみ実態把握調査業務報告書，**2023**，33-128.

- 7) 環境省：令和5年度河川・湖沼におけるプラスチックごみの海洋への流出実態調査等業務報告書，**2024**，89-170.
- 8) 田中修平，垣田正樹，雪岡聖ほか：下水処理工程におけるマイクロプラスチックの挙動と琵琶湖への負荷量の推定，**2019**，土木学会論文集G（環境），Vol.75，No.7，Ⅲ_35-Ⅲ_40.
- 9) 日本プラスチック工業連盟：プラスチック原材料・製品の生産、販売実績（2023年），**2024年**8月26日参照.

文責者

カナデビア株式会社 環境事業本部
開発センター WS水処理プロジェクトグループ
宮崎悠爾
E-mail : hitzgiho001@kanadevia.com

Field Survey of Microplastic Discharge at Wastewater Treatment Facilities

Abstract

Microplastics are defined as plastics smaller than 5 mm. Because of their small size and ubiquity, there are concerns about the health effects on fish that ingest microplastics, mainly in water, and subsequent bioaccumulation in humans.

Discharged water from wastewater treatment facilities is considered to be one of the sources of microplastics emissions into the aquatic environment. Investigating the actual status of microplastic emissions from the wastewater treatment facilities we supply will be necessary to address the microplastic problem in the future. We surveyed six water treatment facilities in Japan and one overseas demonstration facility, and report the results here.

The concentration of microplastics in raw water varied greatly by facility type, with higher concentrations in raw water from recycling facilities that handle plastic products and sludge treatment centers with high concentrations of solids in raw water. In terms of microplastic removal performance for individual treatment processes, sand filtration and fiber filtration were highly effective, with only a few microplastics per cubic meter of treated water. The effect on the treated water of fibers detaching from the fiber media was considered to be small.

Author

Yuji Miyazaki (Kanadevia Corporation, E-mail : hitzgiho001@kanadevia.com)