マイクロプラスチック - 見えない敵に立ち向かう

CAS
A division of the
American Chemical Society

はじめに

プラスチック汚染は、グローバルな深刻な問題です。比較的新しい現象でありながら、プラスチックが環境に与えるダメージの大きさは、すでに十分に立証されています。ペットボトル、使い捨てビニール袋、使い捨て医療用品などのプラスチックのパッケージングは、その代表的なものです。こういった大きなプラスチック片（マクロプラスチック）の除去とリサイクルは、近年ますますその優先度が高まってきています。マイクロプラスチック（直径 1μm から 5mm の小さなプラスチック片や粒子）は、水、食物、空気、土壌にひそかに入り込んでいましたが、ずっと無視されてきました[1]。科学者は、降雨や北極の雪、人間の細胞に至るまで、ほぼすべての場所でマイクロプラスチックを発見しています[2]。その偏在する性質から、研究者は微小なプラスチック片がもたらすグローバルな影響について調査するようになりました。

本ホワイトペーパーは、CAS コンテンツコレクション™を解析し、発展するマイクロプラスチック分野の研究トレンドの概要を提供することで、この分野における全般的な進歩、および研究とイノベーションを推進している素材の区分や概念について理解することを目的としています。

マイクロプラスチックはどこからやってくるのか

マイクロプラスチックが、どのように世界中で発見されるようになったのかを理解するためには、その由来を考えることが重要です。「マイクロプラスチック」という用語は、直径5mm以下のプラスチック粒子を表す言葉として2004年に初めて使用されました[2]。マイクロプラスチックは、一次マイクロプラスチックと二次マイクロプラスチックに大別されます。

一次マイクロプラスチックは、5mm以下の小さなプラスチック粒子として意図的に製造されたものです。これには、ハンドクレンザーやフェイシャルスクラブなどに含まれるマイクロビーズや、研磨特性を有する洗浄剤などが挙げられます[3,4]。一次マイクロプラスチックはマイクロファイバー、つまり直径が10μm（人間の髪の毛の直径の約100分の1）未満の合成繊維の形をとるものも含まれます[5]。これらは一般的に合成素材に見られ、ポリエステル、ナイロン、アクリルで作られています。繊維からは、製造や洗濯の際に放出されます[6,7]。

二次マイクロプラスチックは、より大きなプラスチックの小片が分解することで発生します。分解は、一般的に太陽光などの環境要因にさらされることで生じます。化学的、物理的、生物学的な暴露もまた、二次的なマイクロプラスチックの形成に寄与する可能性があります[8]。次の例が挙げられます。

- 自動車のタイヤが路面で摩耗することで生じる小さな破片（天然ゴム、スチレンブタジエンゴム、ポリブタジエンゴム、ブチルゴム）[4,9]
- 塗料、道路標識、船舶用塗料の劣化により放出される微粒子[10]
- 繊維業界からマイクロファイバーの形で出るポリエステル、アクリル、ポリプロピレン繊維[9]

大気、海、土壌 - マイクロプラスチックの広範な分布

マイクロプラスチックの発生源は多岐にわたるため、この汚染物質がいかに環境中に蔓延しているかを理解するのは難しい事ではありません。洗顔から車の運転まで、日々の行動がマイクロプラスチックの放出につながっているのです（**図 1**）。マイクロプラスチックの影響が及ぶ範囲を理解するため、CAS では海や土壌そして他の発生源に関する研究から得られた主なエビデンスについて調査しました。

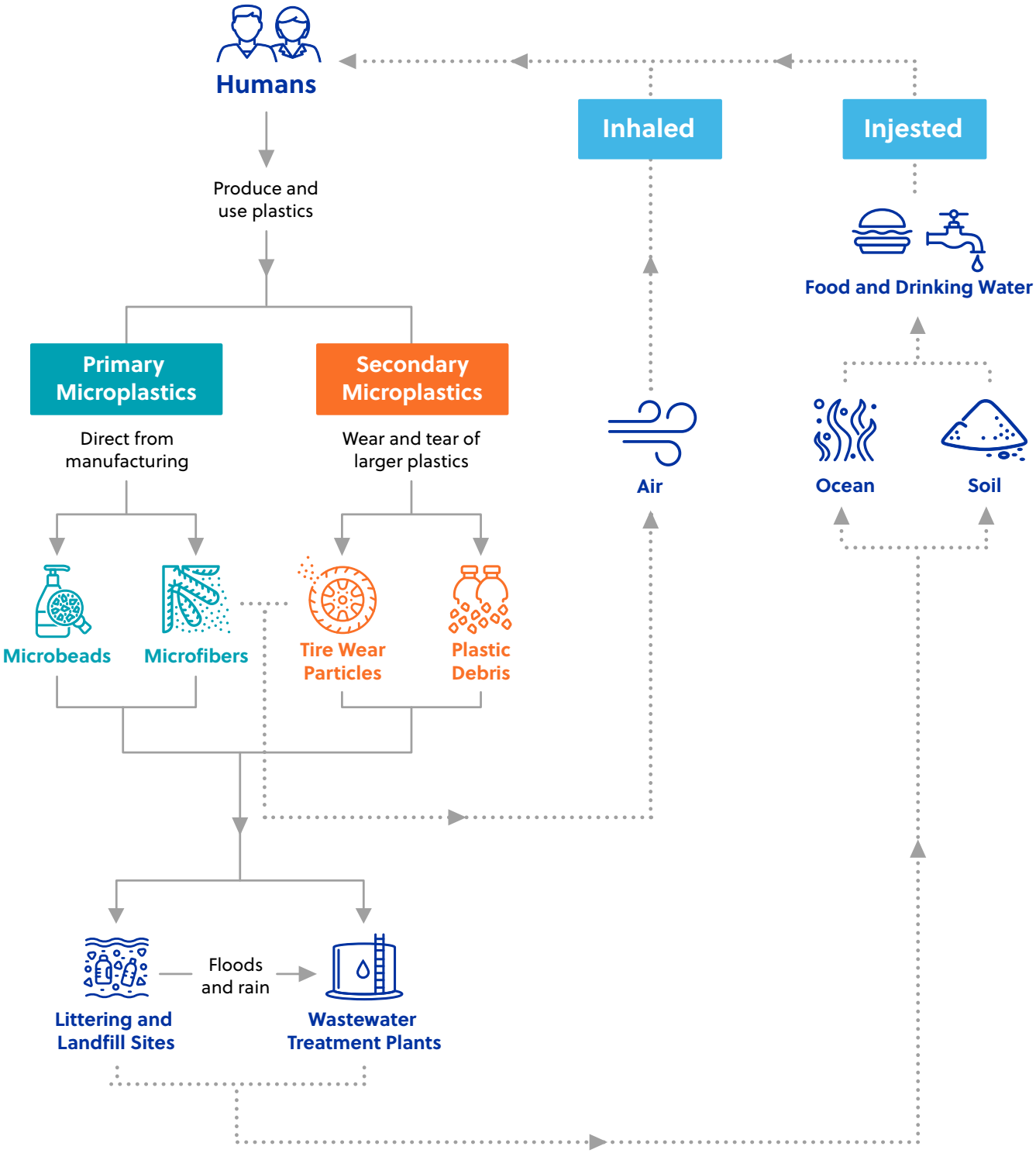

図 1. 広範囲に及ぶマイクロプラスチックの汚染

海

水中のマイクロプラスチックの存在は広く研究され、確立されています。2010 年には、海洋に 49 万トンのプラスチックが存在すると推定されました[11]。しかし、食品容器やペットボトルのキャップのような大型のプラスチックごみが主な原因であると一般的に考えられている一方で、プラスチック汚染の多くを占めているのは実際は世界の海に浮遊するマイクロプラスチックです[12]。自然の海水中で、水 1,000L あたり 400 個のマイクロプラスチック粒子が検出された一方、北太平洋亜熱帯循環（北太平洋の海洋ごみの集合体）のマイクロプラスチック濃度は水 1,000L あたり約 33 個（または 250mg マイクロプラスチック /m^3）でした[13,14]。

マイクロプラスチック汚染は、他のプラスチック汚染と同様、陸上から発生します。主に家庭や商業施設から排出され、下水道や排水処理場（WWTP）から海に流入します[15,16]。現在までに海洋で検出されたマイクロプラスチックの最小サイズは直径 1.6 μm です。しかし、見つかった粒子の形状が不揃いであることから、さらなる細分化の可能性が示唆されています[15]。海洋のマイクロプラスチックの大部分（69–85%）は二次的なもので、より大きなプラスチックの破片に由来します。残りの 15–31% は一次マイクロプラスチックと推定され、主に織物繊維（35%）、タイヤ摩耗粒子（28%）、化粧品（2%）に由来します[17]。

土壌と堆積物

マイクロプラスチックは、液体中のもののほうがより広範に研究されてきましたが、固体、特に土壌、堆積物、下水汚泥も、マイクロプラスチック汚染源のひとつです。マイクロプラスチックは、ブラジルの浜辺やインドの船舶解体場、そしてタスマニアの堆積物に至るまで、さまざまな場所で存在が記録されています[14]。さらに、北米とヨーロッパの下水汚泥からは年間 70 万トンのマイクロプラスチック廃棄物が、そして中国では農業用フィルムから年間 15 万トンのプラスチックが土壌に投入されていると推定されています[18]。

大気

マイクロプラスチックは大気中も運ばれます[19–21]。そして雪や雨、埃の多い風などによって地上に降下します。また、降水や風によって、リソスフェア（岩石圏）/地殻に運ばれることもあります。フランスのピレネー山脈の奥地や、フラム海峡（グリーンランドとスヴァールバルの間）の雪からも、小さなプラスチック粒子や繊維が発見されています。これらはおそらく都市部から空中を経由して運ばれたものと考えられています。予備データによると、大気中のマイクロプラスチックは雲の形成に影響を与え、その場所によっては大気を暖めたり冷やしたりすることで気候変動に影響する可能性さえあります[22]。

飲料水

厄介なことに、マイクロプラスチックは私たちの飲料水にも入り込んでいます。960 μm ほどの大きさのマイクロプラスチック[23,24] が、1,000L あたり粒子約 5,500 個の濃度で水道水から検出されています[11]。ペットボトルの水はもっときれいであるという認識がありますが、より小さなマイクロプラスチック（測定されたものの 90%が 5μm 未満）[23,24] は、飲料水の処理施設がマイクロプラスチックの除去に対して完全に有効ではないということを示しています[25]。

食品と食物連鎖

マイクロプラスチックは食物連鎖を通じて人体に入り込むことができます。食卓塩やハチミツ、ティーバッグ、ビールなどにも存在が記録されています[26]。全体として 1 人あたり年間 39,000–52,000 個のマイクロプラスチック粒子が食品（食品自体と食器上の空気中粒子）と共に摂取されると推定されています[27,28]。実際、ある研究では平均的な成人の場合、食塩の摂取だけで、年間 2,000 個のマイクロプラスチックを摂取していると推定されています[26]。

マイクロプラスチックが人体の健康と自然生態系に与える影響

マイクロプラスチック汚染の全容が認知されるようになったとはいえ、その影響が及ぶ全範囲はまだ明らかになっていません。しかし、マイクロプラスチックがヒトや動物の健康に及ぼす有害な影響に関する研究は蓄積されつつあります。私たちはマイクロプラスチックを絶え間なく吸入そして摂取しています。科学界は今、その健康への影響を把握すべく懸命に取り組んでいます。

動物

マイクロプラスチックがもたらす影響は、さまざまな水生単細胞生物や多細胞生物で研究されてきました。研究を通じ、科学者は光合成の阻害から生殖・繁殖の減少まで、さまざまな悪影響を観察してきました[11,13,14,29–38]。

有害な影響はマウスモデルでも観察されており、マイクロプラスチックはマイクロバイオームの乱れから粘液産生にいたるまで、胃腸障害を引き起こすことが示されています。また、マウスを使った研究では、マイクロプラスチックが肝毒性を引き起こし、生殖障害を引き起こし、さらには神経毒性を引き起こす可能性があることが示されています[21,39]。

こうした有害な影響のメカニズムはまだ明らかになっていないものの、マイクロプラスチックは相乗的なプロセスを通じて、有害化合物（フタル酸エステル、未反応モノマー、難燃剤、残留性有機汚染物質（POP）、医薬品、金属など）を輸送できる可能性があることをエビデンスが示しており、健康被害をさらに加速させることが考えられます[30]。エビデンスにおいて、この現象が、胃腸の炎症（ムール貝）[37]、摂餌量の減少（ゴカイ）[33]、脂質代謝の変化（ヨーロッパスズキ）[36] などの有害な生物学的プロセスに関与していることを示唆しています。

食物連鎖におけるマイクロプラスチック汚染の累積的影響を考慮することは重要です。貝類やその他の水生生物は、マイクロプラスチックを受け止める役割を担うと同時に、環境やそれらを捕食する動物にとってマイクロプラスチックの供給源としても存在しています。例えば、ムール貝は湿潤重量 1kg あたり 0 ～ 4,600 個の粒子を含むと報告されています。中国のムール貝は、ヨーロッパのムール貝より多くの粒子を含んでいます[13,40]。

ヒト

ヒトは絶えずマイクロプラスチックを吸入そして摂取しています。しかし、マイクロプラスチック摂取に関連する統計には、ばらつきがあります。例えば、ある研究では1人当たり1日に14～714mg のマイクロプラスチックを摂取すると推定しています[41]。また、あるシミュレーション手法では、年間 10 万個ものマイクロプラスチック粒子が個人によって吸い込まれていると推定しています[27,42]。マイクロプラスチックは、摂取、吸入、皮膚への曝露により生物に取り込まれます。一度取り込まれたマイクロプラスチックは、膜間移行あるいは胎盤や上皮組織、上皮細胞の隙間、そしてエンドサイトーシスによって細胞内に輸送されます[43]。

マイクロプラスチックが体内に入る方法は、吸入や摂取だけではありません。ヒトやその他の哺乳類によってプラスチックを含有するインプラントを使用することがマイクロプラスチック沈着の原因になっていることは以前から知られていました。この結果、近接する間接部位のフィブリン沈着や壊死につながったり、マクロファージがポリマーを取り込んだりすることにつながっていきます。実際に 18 か月前にインプラントを受けた犬の大動脈からマイクロプラスチック粒子が見つかっており、十分に小さなマイクロプラスチック粒子であれば、体内の離れた部位に運ばれる可能性があることを示しています[44]。

マイクロプラスチックとそれに関連する化学物質や添加物は、人間の健康に数多くの悪影響を及ぼしていると考えられており、慢性の炎症性疾患やがんの発症に寄与しています[45,46]。マイクロプラスチックに含まれる化学添加物（可塑剤や難燃剤など）は、発がん性や内分泌かく乱作用など、有害な生物学的影響を引き起こす可能性があります。肺病変では、ガラスの粒やマイクロファイバー、そしてマイクロプラスチックの存在が観察されており、マイクロプラスチックの数は、年齢およびがんの発見と正の相関関係があることが確認されました[45]。さらに、炎症性腸疾患（IBD）の人の糞便を分析したところ、IBD でない人の糞便と比較して、小さなマイクロプラスチック粒子（<30μm）が存在していることが明らかになりました。重要なのは、糞便内の粒子の数が IBD の重症度と正の相関を示していたことです[46]。

CAS コンテンツコレクション - マイクロプラスチックの文献トレンドの調査

マイクロプラスチックがもたらす広範な被害と、環境やヒトの健康への影響は、最大の懸念事項です。出版公表された科学知識を、精選・収集した世界最大のデータベースである CAS コンテンツコレクションのデータを活用して 2011 年から 2021 年までの学術文献や特許文献を分析し、この分野の研究トレンドを探りました。CAS コンテンツコレクションは、世界中の幅広い分野から 5 万を超える学術誌の出版物を網羅しています。CAS の検索式[a] に基づき調査した結果、最終的に 9,403 件（学術論文 7,789 件、特許 1,614 件）の文献が集まりました。

これを解析したところ、過去 10 年間においてマイクロプラスチックの研究が急増していることが明らかになりました。マイクロプラスチックに関する論文は 2011 年（n=81）が 2021 年（n=2,811）になり、この 10 年で 30 倍以上増加したのです。それとは対照的に、特許に関連した文献はこのような急激な伸びは見せていません。特許に関連した文献は 2015 年（n=104）から 2020 年（n=283）で、ほぼ 3 倍の増加ではありますが、2021 年には件数が若干減少しています（**図 2**）。

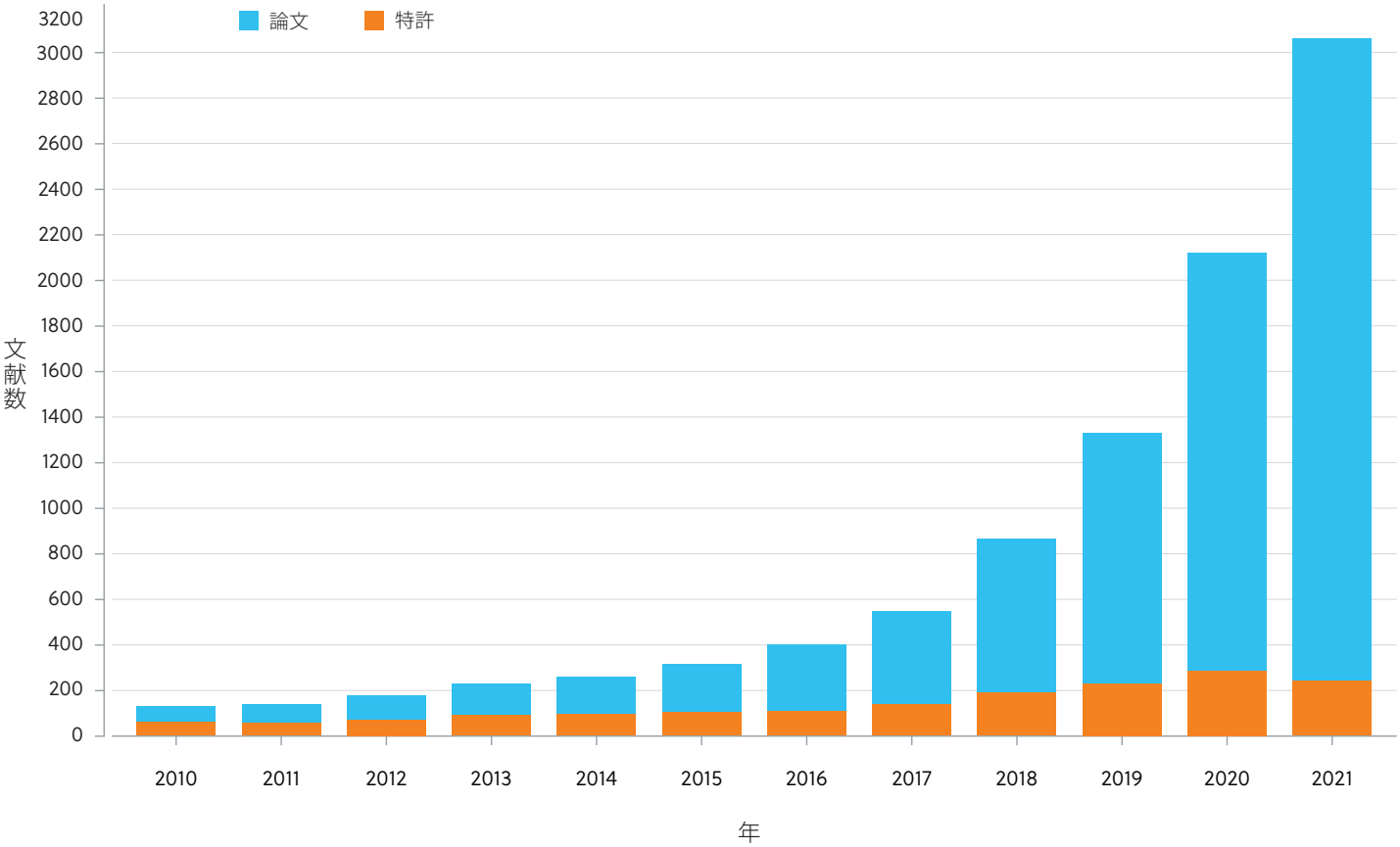

図 2 学術論文と特許の出版トレンド、2010 年～ 2021 年

[a] 解析のための完全検索クエリーは以下のとおり (((microfiber? or microplastic? or micro-plastic? or nanoplastic?) and (pollu? or sustainab? or contamin? or health or "synthetic polymeric fiber" or dyes or waste or "synthetic fiber" or "eco-friendly" or toxicity or environment? or ingestion or "fast fashion" or textile or ecosystem or vector or wastewater or soil or remed? or blood or feces or fecal or "human body" or inflamm? or microbi? or recycl? or aquatic or metal or inhal? or indoor or freshwater or circular or seawater or marine or bioaccumul?)) not (fragrance or inhibitor or sensor or cof or "covalent organic framework" or spinning or electrospinning or surgery) and 2010-2022/py)

さらに出版物の国別の分布も調査しました（**図 3**）。マイクロプラスチックのデータの文献発表では中国がトップで、アメリカ、ドイツ、韓国、イタリアがそれに続いています。2011 年から 2021 年にかけて、中国は論文（n=2,291）と特許（n=715）の両方で最多の公開数であり、文献に関連する特許譲受人 15 のうち 10 が中国であることも判明しています。学術論文と特許で上位にランクされた他の組織としては、米国（Biomass Energy Enhancements LLC とノースカロライナ州立大学）、英国（GE Healthcare UK Limited）、そしてドイツ（Carl Freudenberg KG）がありました。

一般的に、特許公報では学術機関は依然として優勢であり、民間企業の貢献は少ないことがわかりました。これは、マイクロプラスチック問題の解決に関連した、経済的インセンティブがないためかもしれません。

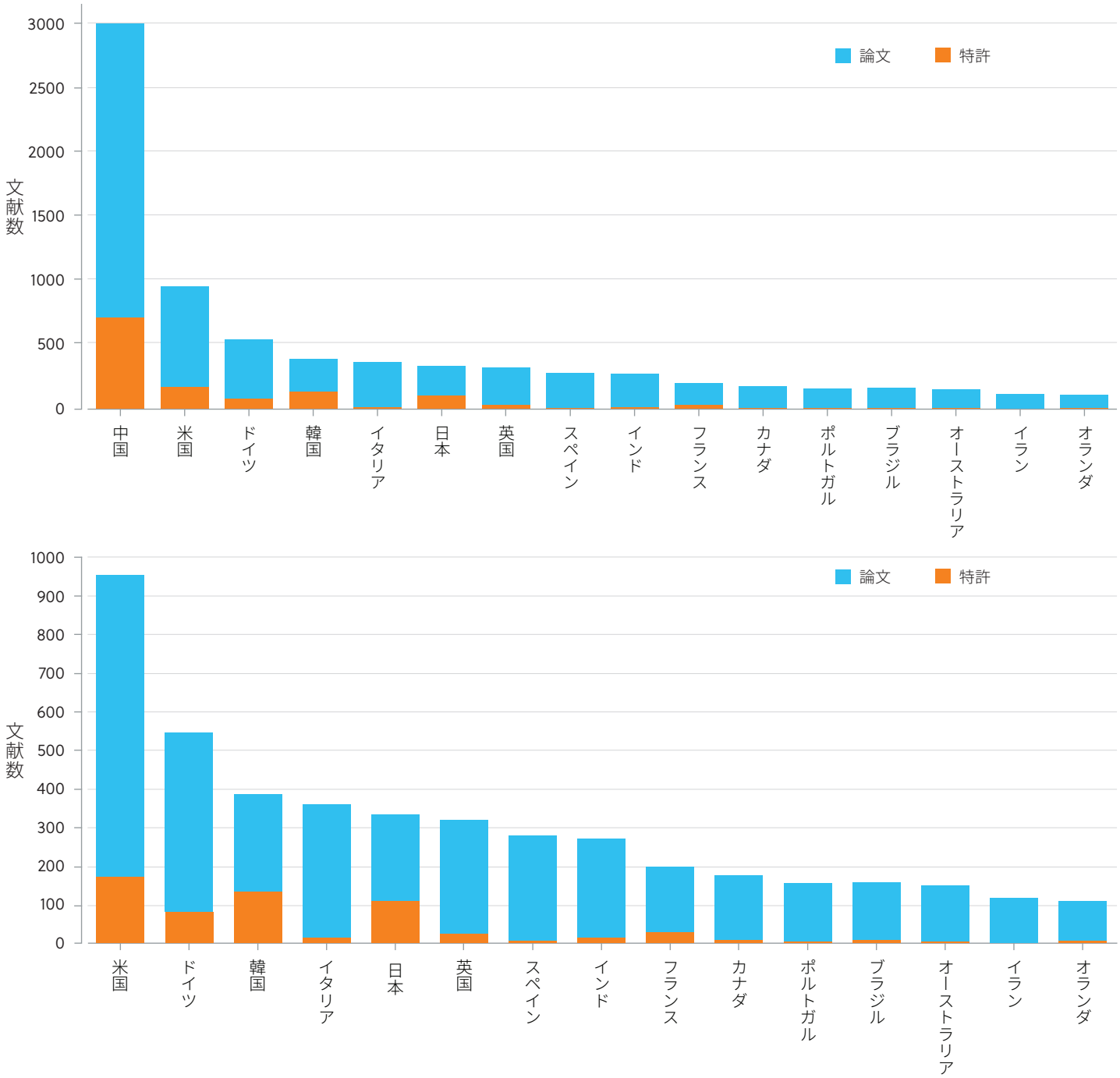

図 3 マイクロプラスチックに関する論文および特許出版物の上位公開数（組織の国・地域別）。中国を含む場合（A）、および中国を除く場合（B）とを両方掲載

CAS コンテンツコレクションのデータを使用し、マイクロプラスチックの論文で最も言及されている物質は何かを調べました（**図 4**）。その結果、各登録物質について、学術論文数が特許公開数を大きく上回っていることが明らかになりました。上位 5 つの物質は、エテンホモポリマー(ポリエチレン)、ポリスチレン、1-プロペンホモポリマー（ポリプロピレン）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリ塩化ビニル（PVC）でした。これら 5 つの物質は、偶然にも環境マイクロプラスチックに最もよく見られるポリマーと同じです[47-49]。

6 番目はセルロースで、これも複数の研究ではマイクロプラスチックとみなされている物質です[50–52]。ただし、この物質がリストに入っているのは、エレクトロニクスや繊維、そしてサステナブルなバイオマテリアルなどの用途における合成ポリマーの代替品としての試みがあるためである可能性もあります。セルロースについては、環境からマイクロプラスチックを除去する潜在的能力についても研究されています[53–58]。

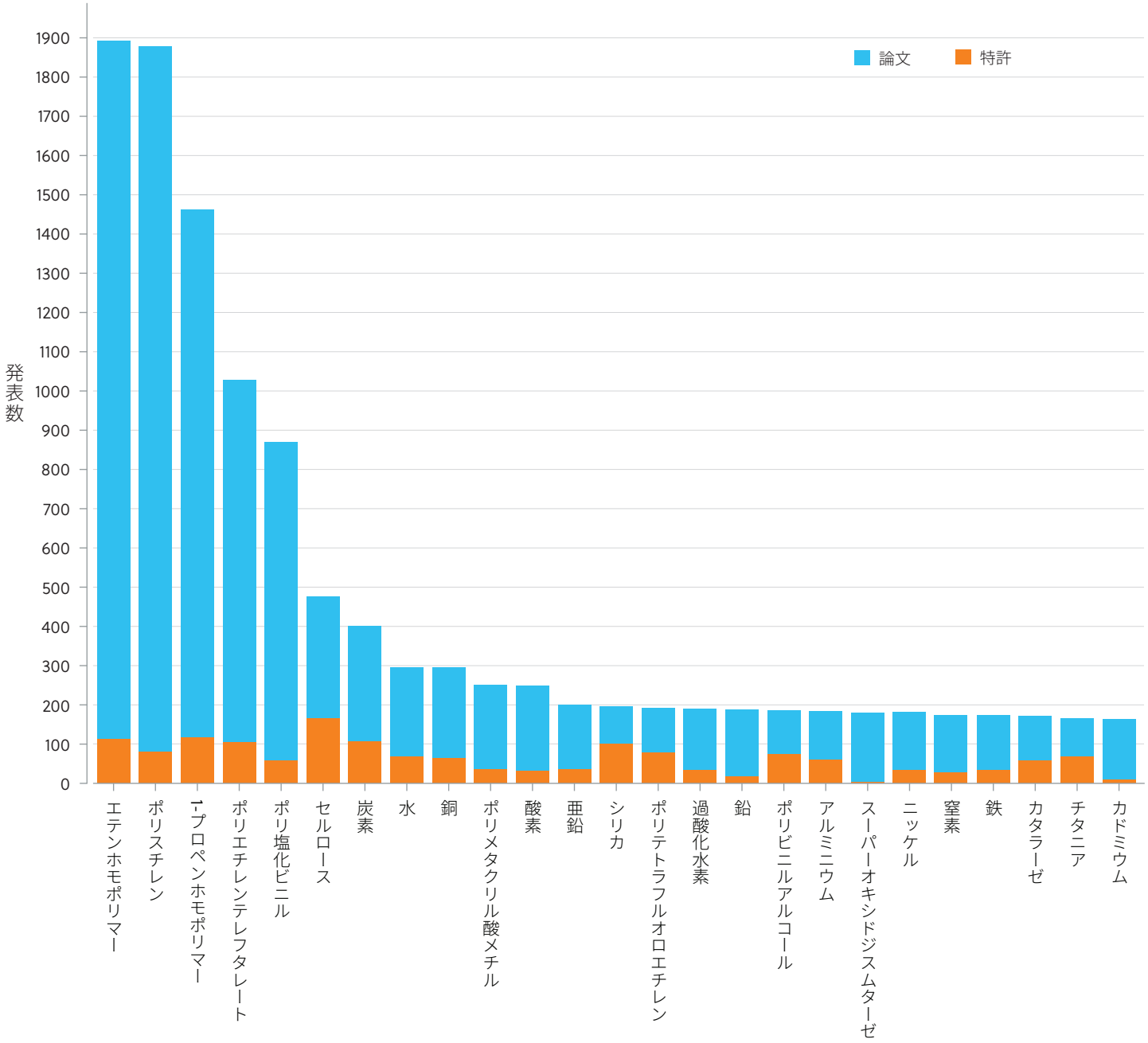

図 4 マイクロプラスチックに関する出版物に登場する上位の物質

年間に記録された物質の総数における物質分類分布を分析すると、いくつかの研究トレンドが明らかになりました（**図 5**）。ポリマーの記録数は著しく増加しており、これはマイクロプラスチックを現象として研究することに対する関心の高まりを反映しています。そんな中、研究に対する関心が最も増加した物質分類は、2017 年以降は有機/無機小分子でした。これは、マイクロプラスチックの分解に伴って放出される小分子やモノマーの同定と測定、マイクロプラスチックを介した環境から生物への汚染物質の移行、そしてマイクロプラスチックから染み出す可能性のある個々のプラスチック化学添加物に関する研究など、いくつかの要因による可能性があります[59–64]。

研究活動が活発になっているもうひとつの物質分類は元素です。2020 年と 2021 年に論文数が大幅に増加しています。これは、マイクロプラスチックの除去を含む水処理と浄化のための炭素（特に活性炭）への関心が高まっているためと思われます[65]。炭素はまた、複数の多様なマイクロプラスチック文献で言及されており、それは炭素循環などこの必須元素が関与するプロセスに、マイクロプラスチックが影響しているためと考えられます[66–70]。なお、As、Cd、Cr、Cu、Pb、Mn、Zn などの他の元素も、マイクロプラスチック研究で取り上げられています。これは、マイクロプラスチックが特定元素の媒介物質であると確認されたことに起因する可能性があります[71,72]。

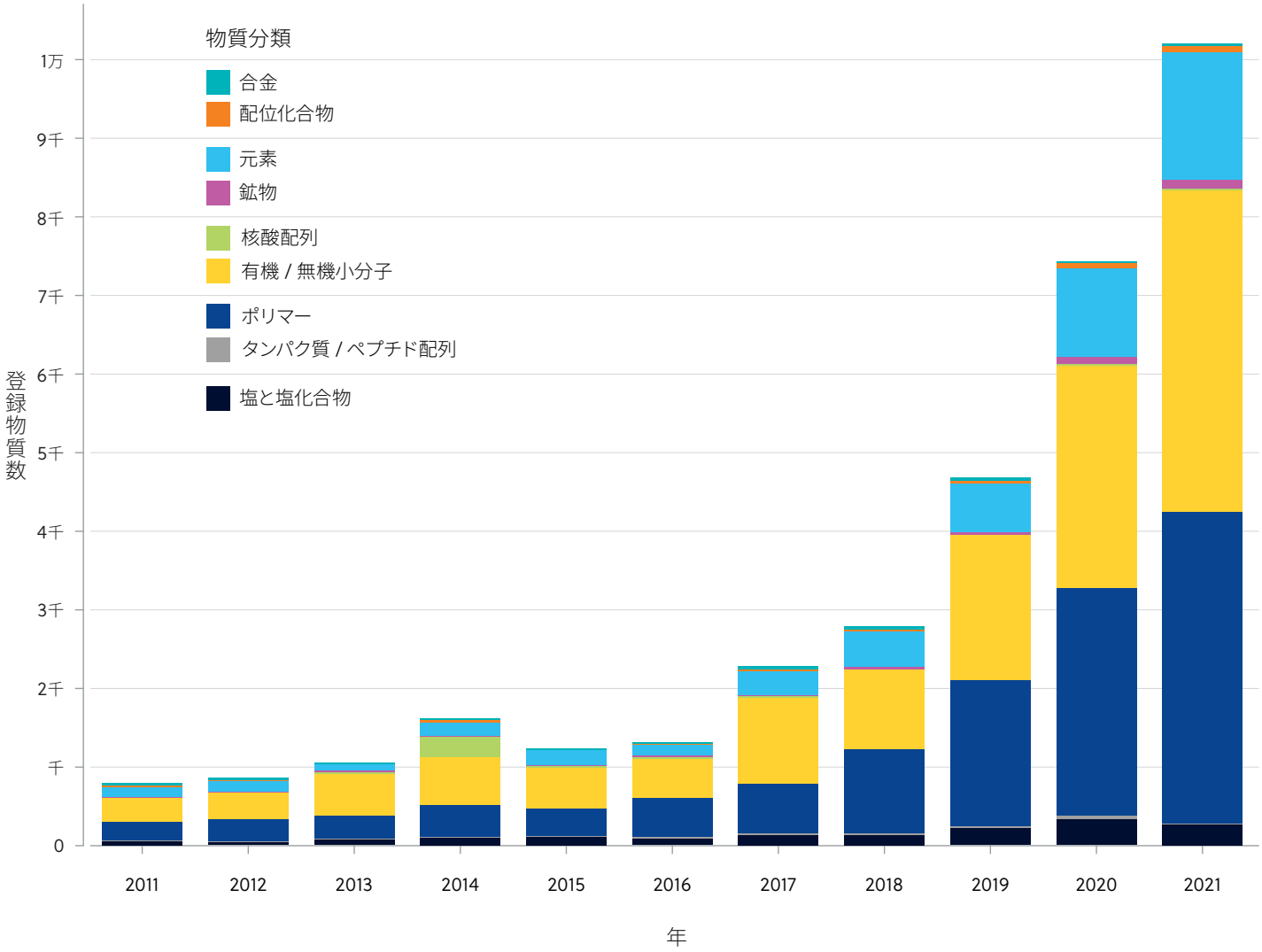

図 5. マイクロプラスチック研究における 1 年の登録物質総量に対する物質分類の分布、2011 年～ 2021 年

マイクロプラスチックの影響を測る

CAS コンテンツコレクションの分析では、マイクロプラスチックに関する研究は増加していることが示されています。分析結果は、現在どのような研究が実施されているか示してはいるものの、マイクロプラスチックの真の影響を測定するのはより困難です。

マイクロプラスチックは、飲料水から空気中まで、至る所に存在しています。しかし、摂取されてから排出される分の割合と、生体系の中に残ったままになっている分の割合を定量化することは困難です。マイクロプラスチックは、胆汁、尿、呼気、脳脊髄液、そして母乳まで、さまざまな方法で排出されることがわかっています[44]。

マイクロプラスチックの取り込みは完全には解明されていませんが、マイクロプラスチック粒子の形状や表面機能化は、その取り込み、体内での生物学的活性、そしてその毒性に影響を与えると考えられます。小さな粒子は大きな粒子に比べて取り込まれやすいことがわかっています。形状も、その保持率に影響する重要な要素で、粒子は繊維よりも保持されやすいと考えられています[44,73]。したがって、より小さなマイクロプラスチック粒子（ナノプラスチック）を検出し定量化する分析ツールを改良することは、暴露と影響を確認するためには不可欠です。

環境からのマイクロプラスチックの排除

マイクロプラスチック研究で重要な優先課題は、既に存在しているマイクロプラスチックを環境から除去する「修復」(remediation) です。しかしこれは実現可能な目標なのでしょうか。水に関しては、マイクロプラスチック除去に特化した方法が次に記述するようにいくつか提案されています。

- 貨物船にマイクロプラスチック捕捉フィルターを追加し、船の航行中にマイクロプラスチック粒子を回収する[74]
- 船舶のバラストシステムを利用し、海に排水する前にマイクロプラスチックをろ過する[75–77]
- 海や川の水面に浮かべてプラスチックごみを回収する「インターセプター」というシステムを使用する。このシステムは、マイクロプラスチック専用に設計されたわけではないものの、一定の大きさ（0.5cm 以下）の粒子を捕捉するのには効果があると考えられています[78]
- ムール貝を使用する方法で、マイクロプラスチックを摂取後、その排泄物がペレットの形で水面に浮くため、簡単に回収できるようになります[79]

これらの技術で有望な結果が得られたとはいえ、膨大な量の海水から直接マイクロプラスチックを除去するには、膨大な時間と労力が必要です。さらに、この分野の関連研究は多くはありません。より実現可能なアプローチは、そもそもマイクロプラスチックが環境に流入しないようにすることに焦点を当てることかもしれません。これに関して文献で記述されている方法として、以下のような例があります。

- マイクロプラスチック除去での有効性が証明されている、廃水処理プラント。特に第三次レベル（例えば、加圧浮上法、急速砂ろ過、膜分離バイオリアクター）。ただし、完全に除去できる見込みはありません。例えば、下水に流されたマイクロプラスチックは、再び上水道に流れ込むことになります[80–82]
- 合成繊維がマイクロファイバーとなって排水されることを防ぐ洗濯機用付属品[83]
- 衣服の製造工程の見直し。摩擦を最小限に抑え、衣服の機械的完全性を改善させ、プラスチックではなく生分解性の素材を使用するなど[84,85]

図 6 は、マイクロプラスチック除去に関連するさまざまなキーワードを含む文献数を示しています。ほとんどのキーワードにおいて、該当する文献の数は 2010 年代半ばから急増しており、マイクロプラスチック問題に対する意識の高まりを示唆しています。その結果として、マイクロプラスチックの除去に関する文献の増加も確認されました。ただし、データの解釈を歪めかねない微妙なニュアンスに注意することは重要です。例えば、「ろ過」や「WWTP」といった用語は、特にマイクロプラスチックの除去に関係しない他の研究と重複しているため、誤解を招く可能性があります。それでも、その傾向から、さまざまな方法に対する研究上の興味の度合いを知ることができます。中でも、膜分離バイオリアクターが複数の研究で取り上げられており、この新しく高効率の除去方法の人気を示唆しています。それとは対照的に、「凝固」「浮遊」「凝集」に関する文献数は少なく、これら基本的な除去技術への関心の低さを反映しています。

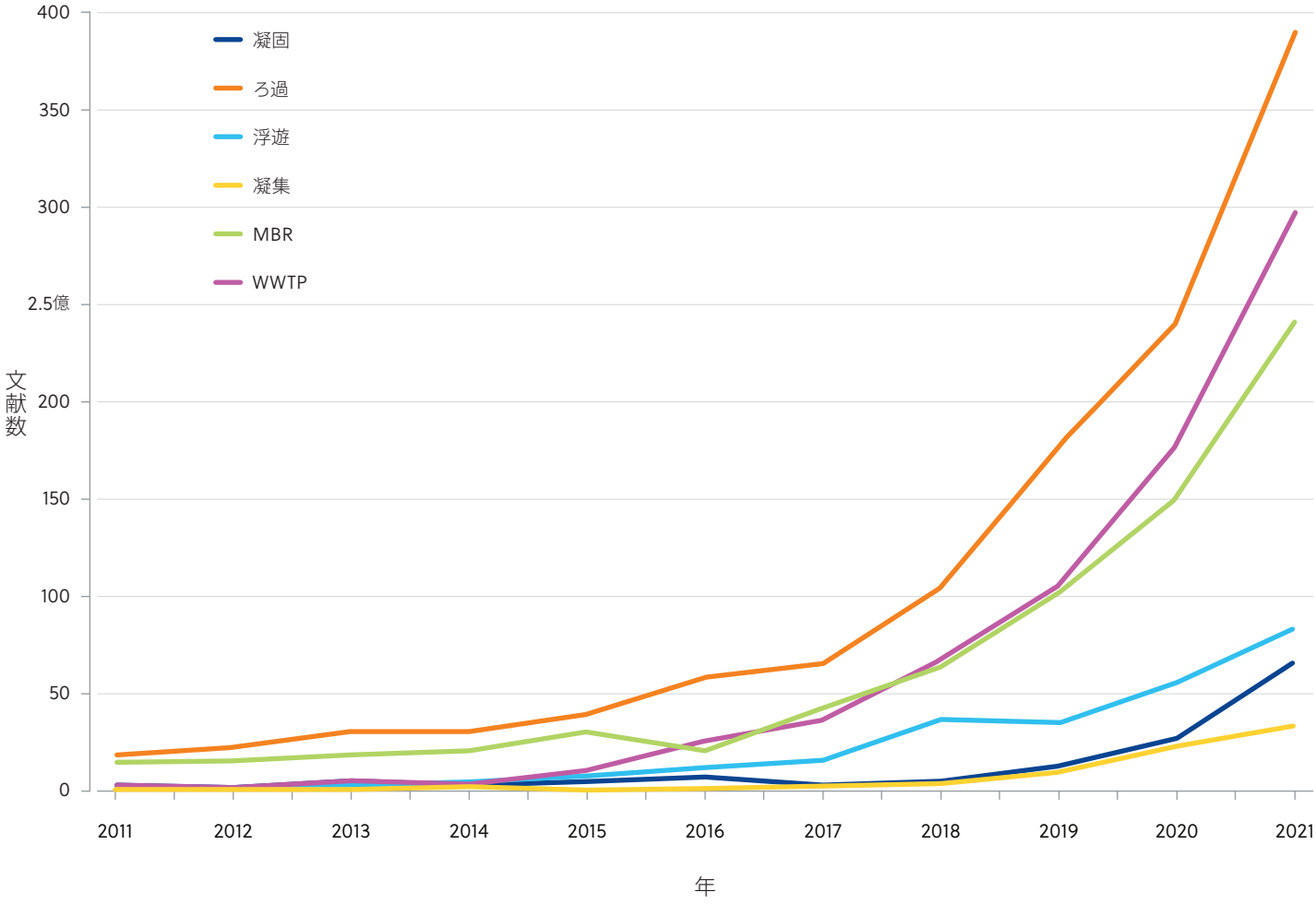

図 6. マイクロプラスチック除去技術のいくつか（MBR/ 膜分離バイオリアクター、WWTP/排水処理場）に関連している文献の数

マイクロプラスチックの生産と使用への規制

ここ数年、プラスチック使用に関する正式な規制が複数の国で可決されています。これには、米国をはじめ、中国、カナダ、EU の一部の国が含まれています。ここで注目すべきマイルストーンは、プラスチック製マイクロビーズを含む化粧品や医薬品の禁止または制限が現れたことです[86–88]。ただ、マイクロビーズは一次マイクロプラスチックのわずか 2%を占めているだけであり、しかもそれ自体も全マイクロプラスチックの 20 ～ 30%になっているに過ぎません[83]。合成マイクロファイバーは一次マイクロプラスチックの 35%を占めているにもかかわらず、これに関する規制は存在しません。唯一の例外が、2025 年までに新品の洗濯機にマイクロファイバーフィルターを取り付けることを義務づけたフランスの法律があるのみです[89]。

プラスチック製品の製造、使用、リサイクルを規制することは、二次的なマイクロプラスチック規制の重要な側面です。プラスチックが劣化するに伴い、時間の経過とともに環境中に現れるものだからです。ストロー、皿、ポリスチレン製カップ／容器などの使い捨てプラスチックは、現在多くの国で禁止されています[90]。一方でレジ袋に対する課税は一般的に実施されています[91,92]。これらの規制が二次プラスチックの問題解決の一助となることが期待されています。

まとめ

水、塩、食品、土壌、そして空気中にさえも含まれるマイクロプラスチックは、世界的な問題となっています。新たに登場したエビデンスでは、この微小粒子とその関連化学物質は、動物やヒトの健康に有害であることを示唆しています。しかしながら、正確な原因や被害の大きさはまだ明らかになっていません。

専門家により精選された情報源である CAS コンテンツコレクションを使うことで、マイクロプラスチック関連の文献を定量分析しました。経時的な分析に加え、国や地域、特定の研究分野、そして物質を横断的に調査しています。この分析では、マイクロプラスチックの研究において憂慮すべきイノベーションの欠如が見られます。文献全体に占める特許の割合がわずかでしかありません。さらに、論文と特許の両方とも学術機関によるものが優位を占めており、産業界からの投資が全般的に不足していることを示しています。しかし、マイクロプラスチック汚染と闘うには、科学者、企業家、政府、そして一般の人々が一丸となって取り組む必要があります。

参考文献

1. Thompson, R. C.; Olsen, Y.; Mitchell, R. P.; Davis, A.; Rowland, S. J.; John, A. W. G.; McGonigle, D.; Russell, A. E. Lost at sea: Where is all the plastic? *Science.* **2004**, *304* (5672), 838–838. DOI: 10.1126/science.1094559.
2. *Nature.* https://www.nature.com/articles/d41586-021-01143-3（アクセス日 2022-10-12）
3. Rochman, C. M.; Kross, S. M.; Armstrong, J. B.; Bogan, M. T.; Darling, E. S.; Green, S. J.; Smyth, A. R.; Veríssimo, D. Scientific Evidence Supports a Ban on *Microbeads. Environ. Sci. Technol.* **2015**, *49* (18), 10759–10761. DOI: 10.1021/acs.est.5b03909.
4. Verschoor, A.; Depoorter, L.; Dröge, R.; Kuenen, J.; Devalk, E. Emission of microplastics and potential mitigation measures: Abrasive cleaning agents, paints and tyre wear. 2016. https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/617930/2016-0026.pdf?sequence=3.（アクセス日 2022-10-12）
5. Mishra, S.; Rath, C. C.; Das, A. P. Marine microfiber pollution: A review on present status and future challenges. *Mar. Pollut. Bull.* **2019**, *140*, 188–197. DOI: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.039.
6. Ramasamy, R.; Subramanian, R. B. Synthetic textile and microfiber pollution: a review on mitigation strategies. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, *28* (31), 41596–41611. DOI: 10.1007/s11356-021-14763-z.
7. Hartline, N. L.; Bruce, N. J.; Karba, S. N.; Ruff, E. O.; Sonar, S. U.; Holden, P. A. Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Aged Garments. *Environ. Sci. Technol.* **2016**, *50* (21), 11532–11538. DOI: 10.1021/acs.est.6b03045.
8. Zhang, K.; Hamidian, A. H.; Tubić, A.; Zhang, Y.; Fang, J. K. H.; Wu, C.; Lam, P. K. S. Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environ. Pollut. (Oxford, U. K.)* **2021**, *274*, 116554. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116554.
9. Halle, L. L.; Palmqvist, A.; Kampmann, K.; Khan, F. R. Ecotoxicology of micronized tire rubber: Past, present and future considerations. *Sci. Total Environ.* **2020**, *706*, 135694. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135694.
10. Scudo, A.; Liebmann, B.; Corden, C.; Tyrer, D.; Kreissig, J.; Warwick, O. *Intentionally added microplastics in products - final report of the study on behalf of the european commission;* 2017.
11. Dhaka, V.; Singh, S.; Anil, A. G.; Sunil Kumar Naik, T. S.; Garg, S.; Samuel, J.; Kumar, M.; Ramamurthy, P. C.; Singh, J. Occurrence, toxicity and remediation of polyethylene terephthalate plastics. A review. *Environ. Chem. Lett.* **2022**, *20* (3), 1777–1800. DOI: 10.1007/s10311-021-01384-8.
12. Rhodes, C. J. Plastic pollution and potential solutions. *Sci. Prog. (London, U. K.)* **2018**, *101* (3), 207–260. DOI: 10.3184/003685018X15294876706211（アクセス日 2022-10-12）
13. Van Cauwenberghe, L.; Claessens, M.; Vandegehuchte, M. B.; Janssen, C. R. Microplastics are taken up by mussels (Mytilus edulis) and lugworms (Arenicola marina) living in natural habitats. *Environ. Pollut.* **2015**, *199*, 10–17. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.01.008.
14. Anbumani, S.; Kakkar, P. Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2018**, *25* (15), 14373–14396. DOI: 10.1007/s11356-018-1999-x.
15. Galgani, F.; Hanke, G.; Werner, S.; De Vrees, L. Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. *ICES J. Mar. Sci.* **2013**, *70* (6), 1055–1064. DOI: 10.1093/icesjms/fst122（アクセス日 2022-10-13）
16. Gatidou, G.; Arvaniti, O. S.; Stasinakis, A. S. Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants. *J. Hazard. Mater.* **2019**, *367*, 504–512. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.12.081.
17. Gruber, E. S.; Stadlbauer, V.; Pichler, V.; Resch-Fauster, K.; Todorovic, A.; Meisel, T. C.; Trawoeger, S.; Hollóczki, O.; Turner, S. D.; Wadsak, W.; et al. To Waste or Not to Waste: Questioning Potential Health Risks of Micro- and Nanoplastics with a Focus on Their Ingestion and Potential Carcinogenicity. *Exposure Health* **2022**. DOI: 10.1007/s12403-022-00470-8.
18. Sajjad, M.; Huang, Q.; Khan, S.; Khan, M. A.; Liu, Y.; Wang, J.; Lian, F.; Wang, Q.; Guo, G. Microplastics in the soil environment: A critical review. *Environ. Technol. Innovation.* **2022**, *27*, 102408. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102408.
19. Brahney, J.; Mahowald, N.; Prank, M.; Cornwell, G.; Klimont, Z.; Matsui, H.; Prather, K. A. Constraining the atmospheric limb of the plastic cycle. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2021**, *118* (16), e2020719118. DOI: 10.1073/pnas.2020719118（アクセス日 2022-10-13）

20. How the atmosphere transports microplastics. *C&EN.* **2021**, *99* (14), 5–5. DOI: 10.1021/cen-09914-scicon2.
21. Chasing atmospheric plastic. *C&EN.* **2022**, *100* (7), 18–21. DOI: 10.1021/cen-10007-feature1.
22. Scientists race to study microplastic pollution in the atmosphere. *C&EN.* **2022**, *100* (7),
23. Oßmann, B. E.; Sarau, G.; Holtmannspötter, H.; Pischetsrieder, M.; Christiansen, S. H.; Dicke, W. Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Res.* **2018**, *141*, 307–316. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.027.
24. Kosuth, M.; Mason, S. A.; Wattenberg, E. V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLOS ONE.* **2018**, *13* (4), e0194970. DOI: 10.1371/journal.pone.0194970.
25. Belzagui, F.; Gutiérrez-Bouzán, C. Review on alternatives for the reduction of textile microfibers emission to water. *J. Environ. Manage.* **2022**, *317*, 115347. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115347.
26. Kim, J.-S.; Lee, H.-J.; Kim, S.-K.; Kim, H.-J. Global Pattern of Microplastics (MPs) in Commercial Food-Grade Salts: Sea Salt as an Indicator of Seawater MP Pollution. *Environ. Sci. Technol.* **2018**, *52* (21), 12819–12828. DOI: 10.1021/acs.est.8b04180.
27. Prata, J. C.; da Costa, J. P.; Lopes, I.; Duarte, A. C.; Rocha-Santos, T. Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Sci. Total Environ.* **2020**, *702*, 134455. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455.
28. Cox, K. D.; Covernton, G. A.; Davies, H. L.; Dower, J. F.; Juanes, F.; Dudas, S. E. Human Consumption of Microplastics. *Environ. Sci. Technol.* **2019**, *53* (12), 7068–7074. DOI: 10.1021/acs.est.9b01517.
29. Rochman, C. M.; Kurobe, T.; Flores, I.; Teh, S. J. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Sci. Total Environ.* **2014**, *493*, 656–661. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.051.
30. Chae, Y.; An, Y.-J. Effects of micro- and nanoplastics on aquatic ecosystems: Current research trends and perspectives. *Mar. Pollut. Bull.* **2017**, *124* (2), 624–632. DOI: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.070.
31. Alimba, C. G.; Faggio, C. Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* **2019**, *68*, 61–74. DOI: https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001.
32. Avio, C. G.; Gorbi, S.; Milan, M.; Benedetti, M.; Fattorini, D.; d'Errico, G.; Pauletto, M.; Bargelloni, L.; Regoli, F. Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environ. Pollut.* **2015**, *198*, 211–222. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.021.
33. Besseling, E.; Wegner, A.; Foekema, E. M.; van den Heuvel-Greve, M. J.; Koelmans, A. A. Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm Arenicola marina (L.). *Environ. Sci. Technol.* **2013**, *47* (1), 593–600. DOI: 10.1021/es302763x.
34. Browne, Mark A.; Niven, Stewart J.; Galloway, Tamara S.; Rowland, Steve J.; Thompson, Richard C. Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity. *Current Biology.* **2013**, *23* (23), 2388–2392. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.10.012.
35. Jin, Y.; Xia, J.; Pan, Z.; Yang, J.; Wang, W.; Fu, Z. Polystyrene microplastics induce microbiota dysbiosis and inflammation in the gut of adult zebrafish. *Environ. Pollut.* **2018**, *235*, 322–329. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.088.
36. Barboza, L. G. A.; Vieira, L. R.; Branco, V.; Figueiredo, N.; Carvalho, F.; Carvalho, C.; Guilhermino, L. Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, Dicentrarchus labrax (Linnaeus, 1758). *Aquat. Toxicol.* **2018**, *195*, 49–57. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.12.008.
37. Paul-Pont, I.; Lacroix, C.; González Fernández, C.; Hégaret, H.; Lambert, C.; Le Goïc, N.; Frère, L.; Cassone, A.-L.; Sussarellu, R.; Fabioux, C.; et al. Exposure of marine mussels Mytilus spp. to polystyrene microplastics: Toxicity and influence on fluoranthene bioaccumulation. *Environ. Pollut.* **2016**, *216*, 724–737. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.039
38. Souza-Silva, T. G. d.; Oliveira, I. A.; Silva, G. G. d.; Giusti, F. C. V.; Novaes, R. D.; Paula, H. A. d. A. Impact of microplastics on the intestinal microbiota: A systematic review of preclinical evidence. *Life Sci.* **2022**, *294*, 120366. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lfs.2022.120366.

39. Mortensen, N. P.; Fennell, T. R.; Johnson, L. M. Unintended human ingestion of nanoplastics and small microplastics through drinking water, beverages, and food sources. *NanoImpact.* **2021**, *21*, 100302. DOI: https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100302.

40. Mishra, S. R.; Ahmaruzzaman, M. Microplastics: Identification, Toxicity and Their Remediation from Aqueous Streams. *Sep. Purif. Rev.* **2022**, 1–22. DOI: 10.1080/15422119.2022.2096071.

41. Senathirajah, K.; Attwood, S.; Bhagwat, G.; Carbery, M.; Wilson, S.; Palanisami, T. Estimation of the mass of microplastics ingested - A pivotal first step towards human health risk assessment. *J Hazard Mater.* **2021**, *404* (Pt B), 124004. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.124004 From NLM.

42. Vianello, A.; Jensen, R. L.; Liu, L.; Vollertsen, J. Simulating human exposure to indoor airborne microplastics using a breathing thermal manikin. *Sci. Rep.* **2019**, *9* (1), 8670. DOI: 10.1038/s41598-019-45054-w.

43. Kumar, R.; Manna, C.; Padha, S.; Verma, A.; Sharma, P.; Dhar, A.; Ghosh, A.; Bhattacharya, P. Micro(nano)plastics pollution and human health: How plastics can induce carcinogenesis to humans? *Chemosphere.* **2022**, *298*, 134267. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134267.

44. Wright, S. L.; Kelly, F. J. Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51* (12), 6634–6647. DOI: 10.1021/acs.est.7b00423.

45. Chen, Q.; Gao, J.; Yu, H.; Su, H.; Yang, Y.; Cao, Y.; Zhang, Q.; Ren, Y.; Hollert, H.; Shi, H.; et al. An emerging role of microplastics in the etiology of lung ground glass nodules. *Environ. Sci. Eur.* **2022**, *34* (1), 25. DOI: 10.1186/s12302-022-00605-3.

46. Yan, Z.; Liu, Y.; Zhang, T.; Zhang, F.; Ren, H.; Zhang, Y. Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status. *Environ. Sci. Technol.* **2022**, *56* (1), 414–421. DOI: 10.1021/acs.est.1c03924.

47. Yu, J.; Tang, D.; Wang, S.; He, L.; Pathira Arachchilage, K. R. L. Spatial Distribution and Composition of Surface Microplastics in the Southwestern South China Sea. *Frontiers in Marine Science.* **2022**, *9*, Original Research. DOI: 10.3389/fmars.2022.830318.

48. Hendrickson, E.; Minor, E. C.; Schreiner, K. Microplastic Abundance and Composition in Western Lake Superior As Determined via Microscopy, Pyr-GC/MS, and FTIR. *Environ. Sci. Technol.* **2018**, *52* (4), 1787–1796. DOI: 10.1021/acs.est.7b05829.

49. Yaseen, A.; Assad, I.; Sofi, M. S.; Hashmi, M. Z.; Bhat, S. U. A global review of microplastics in wastewater treatment plants: Understanding their occurrence, fate and impact. *Environ. Res.* **2022**, *212*, 113258. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113258.

50. Yang, D.; Shi, H.; Li, L.; Li, J.; Jabeen, K.; Kolandhasamy, P. Microplastic Pollution in Table Salts from China. *Environ. Sci. Technol.* **2015**, *49* (22), 13622–13627. DOI: 10.1021/acs.est.5b03163.

51. Gies, E. A.; LeNoble, J. L.; Noël, M.; Etemadifar, A.; Bishay, F.; Hall, E. R.; Ross, P. S. Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. *Mar. Pollut. Bull.* **2018**, *133*, 553–561. DOI: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.006.

52. Rowenczyk, L.; Cai, H.; Nguyen, B.; Sirois, M.; Côté-Laurin, M. C.; Toupoint, N.; Ismail, A.; Tufenkji, N. From freshwaters to bivalves: Microplastic distribution along the Saint-Lawrence river-to-sea continuum. *J. Hazard. Mater.* **2022**, *435*, 128977. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128977.

53. Hamedi, M. M.; Hajian, A.; Fall, A. B.; Håkansson, K.; Salajkova, M.; Lundell, F.; Wågberg, L.; Berglund, L. A. Highly Conducting, Strong Nanocomposites Based on Nanocellulose-Assisted Aqueous Dispersions of Single-Wall Carbon Nanotubes. *ACS Nano.* **2014**, *8* (3), 2467–2476. DOI: 10.1021/nn4060368.

54. Zhu, H.; Luo, W.; Ciesielski, P. N.; Fang, Z.; Zhu, J. Y.; Henriksson, G.; Himmel, M. E.; Hu, L. Wood-Derived Materials for Green Electronics, Biological Devices, and Energy Applications. *Chem. Rev.* **2016**, *116* (16), 9305–9374. DOI: 10.1021/acs.chemrev.6b00225.

55. Shah, N.; Ul-Islam, M.; Khattak, W. A.; Park, J. K. Overview of bacterial cellulose composites: A multipurpose advanced material. *Carbohydr. Polym.* **2013**, *98* (2), 1585–1598. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.018.

56. Morin-Crini, N.; Lichtfouse, E.; Fourmentin, M.; Ribeiro, A. R. L.; Noutsopoulos, C.; Mapelli, F.; Fenyvesi, É.; Vieira, M. G. A.; Picos-Corrales, L. A.; Moreno-Piraján, J. C.; et al. Removal of emerging contaminants from wastewater using advanced treatments. A review. *Environ. Chem. Lett.* **2022**, *20* (2), 1333–1375. DOI: 10.1007/s10311-021-01379-5.

57. Kostag, M.; El Seoud, O. A. Sustainable biomaterials based on cellulose, chitin and chitosan composites - A review. *Carbohydr. Polym. Technol. Appl.* **2021**, *2*, 100079. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100079.

58. Santos, A. S.; Ferreira, P. J. T.; Maloney, T. Bio-based materials for nonwovens. *Cellulose.* **2021**, *28* (14), 8939–8969. DOI: 10.1007/s10570-021-04125-w.

59. Zhu, K.; Jia, H.; Sun, Y.; Dai, Y.; Zhang, C.; Guo, X.; Wang, T.; Zhu, L. Enhanced cytotoxicity of photoaged phenol-formaldehyde resins microplastics: Combined effects of environmentally persistent free radicals, reactive oxygen species, and conjugated carbonyls. *Environment International.* **2020**, *145*, 106137. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106137.

60. Zhang, H.; Zhou, Q.; Xie, Z.; Zhou, Y.; Tu, C.; Fu, C.; Mi, W.; Ebinghaus, R.; Christie, P.; Luo, Y. Occurrences of organophosphorus esters and phthalates in the microplastics from the coastal beaches in north China. *Sci. Total Environ.* **2018**, *616–617*, 1505–1512. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.163 From NLM.

61. Sørensen, L.; Groven, A. S.; Hovsbakken, I. A.; Del Puerto, O.; Krause, D. F.; Sarno, A.; Booth, A. M. UV degradation of natural and synthetic microfibers causes fragmentation and release of polymer degradation products and chemical additives. *Sci. Total Environ.* **2021**, *755*, 143170. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143170.

62. Pastorino, P.; Nocita, A.; Ciccotelli, V.; Zaccaroni, A.; Anselmi, S.; Giugliano, R.; Tomasoni, M.; Silvi, M.; Menconi, V.; Vivaldi, B.; et al. Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements, Persistence of NDL-PCB, PAHs, and Microplastics in the Translocated Edible Freshwater Sinotaia quadrata (Gasteropoda, Viviparidae): A Case Study from the Arno River Basin (Central Italy). *Exposure Health.* **2021**, *13* (4), 583–596. DOI: 10.1007/s12403-021-00404-w.

63. Borges-Ramírez, M. M.; Escalona-Segura, G.; Huerta-Lwanga, E.; Iñigo-Elias, E.; Osten, J. R.-v. Organochlorine pesticides, polycyclic aromatic hydrocarbons, metals and metalloids in microplastics found in regurgitated pellets of black vulture from Campeche, Mexico. *Sci. Total Environ.* **2021**, *801*, 149674. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149674.

64. Klöckner, P.; Seiwert, B.; Wagner, S.; Reemtsma, T. Organic Markers of Tire and Road Wear Particles in Sediments and Soils: Transformation Products of Major Antiozonants as Promising Candidates. *Environ. Sci. Technol.* **2021**, *55* (17), 11723–11732. DOI: 10.1021/acs.est.1c02723.

65. Jjagwe, J.; Olupot, P. W.; Menya, E.; Kalibbala, H. M. Synthesis and Application of Granular Activated Carbon from Biomass Waste Materials for Water Treatment: A Review. *J. Bioresour. Bioprod.* **2021**, *6* (4), 292-322. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.03.003.

66. Yang, L.; Zhang, Y.; Kang, S.; Wang, Z.; Wu, C. Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Sci. Total Environ.* **2021**, *780*, 146546. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146546.

67. Zhou, C.-Q.; Lu, C.-H.; Mai, L.; Bao, L.-J.; Liu, L.-Y.; Zeng, E. Y. Response of rice (Oryza sativa L.) roots to nanoplastic treatment at seedling stage. *J. Hazard. Mater.* **2021**, *401*, 123412. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123412.

68. Kovochich, M.; Parker, J. A.; Oh, S. C.; Lee, J. P.; Wagner, S.; Reemtsma, T.; Unice, K. M. Characterization of Individual Tire and Road Wear Particles in Environmental Road Dust, Tunnel Dust, and Sediment. Environ. *Sci. Technol. Lett.* **2021**, *8* (12), 1057–1064. DOI: 10.1021/acs.estlett.1c00811.

69. Wang, C.; Sun, R.; Huang, R.; Wang, H. Superior fenton-like degradation of tetracycline by iron loaded graphitic carbon derived from microplastics: Synthesis, catalytic performance, and mechanism. *Sep. Purif. Technol.* **2021**, *270*, 118773. DOI: https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118773.

70. Xie, H.; Chen, J.; Feng, L.; He, L.; Zhou, C.; Hong, P.; Sun, S.; Zhao, H.; Liang, Y.; Ren, L.; et al. Chemotaxis-selective colonization of mangrove rhizosphere microbes on nine different microplastics. *Sci. Total Environ.* **2021**, *752*, 142223. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142223.

71. Selvam, S.; Jesuraja, K.; Venkatramanan, S.; Roy, P. D.; Jeyanthi Kumari, V. Hazardous microplastic characteristics and its role as a vector of heavy metal in groundwater and surface water of coastal south India. *J. Hazard. Mater.* **2021**, *402*, 123786. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123786.

72. Sarkar, D. J.; Das Sarkar, S.; Das, B. K.; Sahoo, B. K.; Das, A.; Nag, S. K.; Manna, R. K.; Behera, B. K.; Samanta, S. Occurrence, fate and removal of microplastics as heavy metal vector in natural wastewater treatment wetland system. *Water Res.* **2021**, *192*, 116853. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116853.

73. Getting a grip on microplastics' risks. *C&EN.* **2022**, *100* (19), 20–25. DOI: 10.1021/cen-10019-cover.

74. Magloff, L. *Ships' Scrubbers Used To Remove Ocean Microplastics.* **2022**. https://www.springwise.com/innovation/sustainability/a-new-filter-system-for-ocean-microplastics (アクセス日 2022-10-13)

75. Naik, R. K.; Chakraborty, P.; D'Costa, P. M.; N, A.; Mishra, R. K.; Fernandes, V. A simple technique to mitigate microplastic pollution and its mobility (via ballast water) in the global ocean. *Environ. Pollut.* **2021**, *283*, 117070. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117070.

76. Mochizuki, A. *Flocculation and magnetic separation device, ship equipped therewith, and method of operating same.* JP2021079930, 2021.

77. Raza, R. *MOL Initiates a Test of the System to Filter Microplastics From the Ocean.* **2022**. https://www.fleetmon.com/maritime-news/2022/38813/mol-initiates-test-system-filter-microplastics-oce/ (アクセス日 2022-10-13)

78. Cleanup., T. O. *The Ocean Cleanup.* **2022**. https://theoceancleanup.com/ (accessed 2022-10-13).

79. McDonagh, S. *Mussel poo could be the secret to removing microplastics from the oceans.* **2021**. https://www.euronews.com/green/2021/07/20/mussel-poo-could-be-the-secret-to-removing-microplastics-from-the-oceans#:~:text=Mussel%20poo%20could%20be%20the%20secret%20weapon%20in%20the%20fight,and%20remove%20from%20the%20sea. (アクセス日 2022-10-13)

80. Sun, J.; Dai, X.; Wang, Q.; van Loosdrecht, M. C. M.; Ni, B.-J. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Res.* **2019**, *152*, 21–37. DOI: https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.050

81. Iyare, P. U.; Ouki, S. K.; Bond, T. Microplastics removal in wastewater treatment plants: a critical review. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.* **2020**, *6* (10), 2664–2675, 10.1039/D0EW00397B. DOI: 10.1039/D0EW00397B.

82. Tang, K. H. D.; Hadibarata, T. Microplastics removal through water treatment plants: Its feasibility, efficiency, future prospects and enhancement by proper waste management. *Environmental Challenges.* **2021**, *5*, 100264. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100264.

83. Boucher, J. F., Damien. Primary microplastics in the oceans: *A global evaluation of sources;* International Union for Conservation of Nature. **2014**. DOI: 10.2305/iucn.ch.2017.01.en.

84. De Falco, F.; Gentile, G.; Avolio, R.; Errico, M. E.; Di Pace, E.; Ambrogi, V.; Avella, M.; Cocca, M. Pectin based finishing to mitigate the impact of microplastics released by polyamide fabrics. *Carbohydr. Polym.* **2018**, *198*, 175–180. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.062.

85. Caicedo, C.; Pulgarin, H. L. Study of the Physical and Mechanical Properties of Thermoplastic Starch/Poly(Lactic Acid) Blends Modified with Acid Agents. *Processes.* **2021**, *9* (4). DOI: 10.3390/pr9040578

86. *14th Congress Microbead-Free Waters Act of 2015. H.R.1321,* **2015**. https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/1321/text. (アクセス日 2022-10-13)

87. Kentin, E.; Kaarto, H. An EU ban on microplastics in cosmetic products and the right to regulate. *Review of European, Comparative & International Environmental Law.* **2018**, *27* (3), 254–266, https://doi.org/10.1111/reel.12269. DOI: https://doi.org/10.1111/reel.12269 (アクセス日 2022-10-13)

88. Canada, H. Government of Canada. *MIcrobeads.* **2018**. https://www.canada.ca/en/health-canada/services/chemical-substances/other-chemical-substances-interest/microbeads.html#shr-pg0 (アクセス日 2022-10-13)

89. Susnjara, N. *France The First To Introduce Mandatory Microfibre Filters On Washing Machines From 2025.* **2021**. https://blog.planetcare.org/france-microfibre-filters-washing-machines/#:~:text=June%205%2C%202021-,France%20The%20First%20To%20Introduce%20Mandatory%20Microfibre%20Filters%20On%20Washing,clothes%20from%20polluting%20our%20waterways. (アクセス日 2022-10-13)

90. The Library of Congress. *European Union: Ban on Single-Use Plastics Takes Effect.* **2021**. https://www.loc.gov/item/global-legal-monitor/2021-07-18/european-union-ban-on-single-use-plastics-takes-effect/. (アクセス日 2022-10-13)

91. Romer, J. *Round-Up of Statewide Bag Laws and Preemption.* **2021**. https://www.surfrider.org/coastal-blog/entry/round-up-of-statewide-bag-laws-and-preemption (アクセス日 2022-10-13)

92. Commission, E. *England becomes the latest EU country to introduce plastic bag charges.* **2022**. https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/englandplasticbag/ (アクセス日 2022-10-13)

環境中のマイクロプラスチックに関する研究状況および課題についての詳細は、ACS Nanoに掲載されたCASの論文をご覧ください。
cas.org/microplastics

CAS は、世界中のイノベーターと提携し科学の進歩を加速する科学情報ソリューションのリーダーです。CAS では、未知との関連性を明らかにするために、1400 人の専門家が科学的知識を精選、連結、分析しています。100 年以上もの間、科学者や特許専門家、そしてビジネスリーダーは、hindsight（過去分析）、insight（洞察）、そして foresight（先見の明）を獲得し、過去の知識を基盤としたより良い未来を発見するために、CAS のソリューションと専門知識を信頼してきています。CAS は、米国化学会の情報部門です。

詳細は cas.org をご覧ください。

CAS
A division of the
American Chemical Society

© 2023 American Chemical Society. All rights reserved.

CASGENENGWHP100912230803-A4