

「永遠の化学物質」PFASとは

―特性から健康影響、利用状況、代替技術・除去技術、規制動向まで―



三井物産戦略研究所
技術・イノベーション情報部インダストリーイノベーション室
佐藤佳寿子

Summary

- PFASには多数の種類があり、耐久性や耐熱性といった特徴を有していることから多くの産業にて利用されてきたが、一部のPFASはWHOより発がん性物質と報告されている。
- 各国で規制が進む中、PFAS代替技術および除去技術の需要が高まっている。例えば代替品として天然由来ポリマーを活用した高耐久性の食品包装材などがある。
- 用途によっては代替品の開発が難しいものもあり、例外的に使用が認められるケースがあるため、取り扱う国・地域の規制動向を注視する必要がある。

1. PFASとは

PFAS (Per- and Polyfluoroalkyl Substances) は、有機フッ素化合物のうち、ペルフルオロアルキル化合物およびポリフルオロアルキル化合物を総称するものである。これらは炭素―フッ素 (C-F) 結合を持ち、物理的、化学的安定性を保有しているため、工業用途や日用品に広く使用されてきた。しかし、近年その難分解性や高蓄積性などが明らかになり、環境や人体への影響が懸念されることから、「永遠の化学物質」¹とも呼ばれ、規制強化が進んでいる。本レポートでは、PFASの特性やリスク、代替技術の進展、規制動向について述べる。

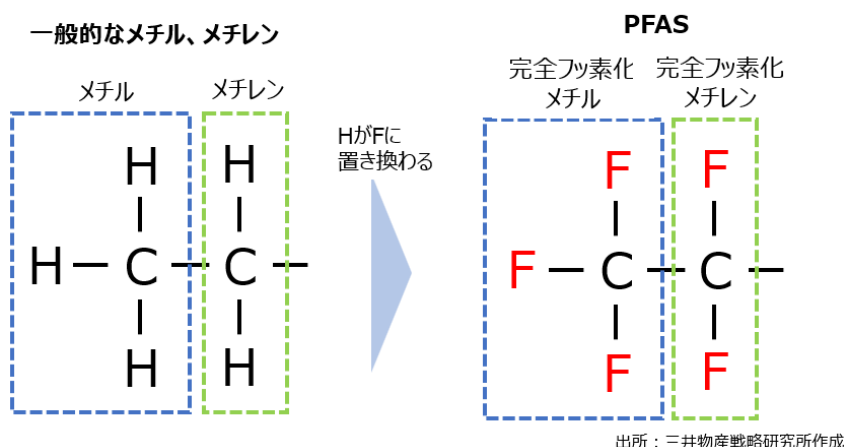
1-1. PFASの種類

PFASには国際的に統一された定義はないが、経済協力開発機構 (OECD) では「PFASは、少なくとも1つの完全にフッ素化されたメチル (-CF₃) 炭素原子または完全にフッ素化されたメチレン (-CF₂-) 炭素原子を含むフッ素化物質のことを指す。(炭素原子にH/Cl/Br/I原子が結合していない)」と報告している

¹ ハーバード大学公衆衛生大学院のJoseph G. Allen氏が2018年にWashington Post紙に投稿したOp-edの中で、警鐘を鳴らすために「Forever Chemicals」の言葉を用いたのが始まりといわれ、本呼称が広く利用されるようになった。

(図表1)²。CAS番号³上では4,730種類のPFASが確認されており、うち256種類が商業・工業用に使用されているとの報告がある⁴。このように多数あるPFASだが、残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約 (POPs条約) において規制されているのは、PFOA (パーフルオロオクタン酸)、PFOS (パーフルオロオクタンスルホン酸)、PFHxS (パーフルオロヘキサンスルホン酸) の3種類である (図表2)⁵。

図表1：PFASの一般的な構造



図表2：ストックホルム条約により規制されているPFAS

略称	PFOA	PFOS	PFHxS
名称	パーフルオロオクタン酸	パーフルオロオクタンスルホン酸	パーフルオロヘキサンスルホン酸
構造式	$\begin{array}{ccccccccccc} & F & F & F & F & F & F & F & F & F & \\ & & & & & & & & & & \\ F & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C(=O)OH \\ & & & & & & & & & & \\ & F & F & F & F & F & F & F & F & F & \end{array}$	$\begin{array}{ccccccccccc} & F & F & F & F & F & F & F & F & F & \\ & & & & & & & & & & \\ F & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -S(=O)(OH) \\ & & & & & & & & & & \\ & F & F & F & F & F & F & F & F & F & \end{array}$	$\begin{array}{ccccccc} & F & F & F & F & F & \\ & & & & & & \\ F & -C & -C & -C & -C & -C & -S(=O)(OH) \\ & & & & & & \\ & F & F & F & F & F & \end{array}$
主な用途	フッ素ポリマー加工助剤、界面活性剤、防汚加工剤等	半導体用反射防止剤・レジスト、金属めっき処理剤、泡消火剤等	泡消火剤等 (PFOS代替として用いられていたが環境残留性が高く規制対象になる)

出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

1-2. PFASの人体への影響

WHOは、国際がん研究機関 (IARC) における調査結果より、PFOAは発がん性物質であり、PFOSは発がん性を保有している可能性がある」と発表している⁶。ただしIARCの分類は、「どの程度の確実さで発がん性

² Zhanyun Wang et al.: A New OECD Definition for Per- and Polyfluoroalkyl Substances. Environ. Sci. Technol. 2021, 55, 15575-15578

³ CAS番号 (CAS Registry Number) : 化学物質を特定するための国際的な識別番号で、米国化学会 (ACS) のCAS (化学情報検索サービス機関) が管理している

⁴ OECD: (Organisation for Economic Co-operation and Development). Toward a new comprehensive global database of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): Summary report on updating the oecd 2007 list of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). 2018

⁵ POPs条約 (METI/経済産業省)

⁶ IARC Monographs evaluate the carcinogenicity of perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS). 2023

があるか」という「証拠の強さ」に基づいているものである。そのため、PFOAと同じく発がん性があると評価されるグループに加工肉やアルコール飲料のように日常的に摂取されているものも含まれる点に注意が必要である。また、2024年6月に発表された内閣府食品安全委員会の報告ではPFOA、PFOSの健康影響について、科学的知見が精査されている。本報告によると、「科学的知見を活用可能な根拠として動物試験における出生児への影響がある」と述べられているが、発がん性への影響評価に関しては「証拠は限定的」「証拠は不十分」と記載されている⁷。以上のように多数の研究結果から人体への影響が示唆されているものの、明確に因果関係が示されているものは少なく、今後の研究によるところが大きいと言える。

2. PFAS利用分野と代替技術、除去技術

2-1. PFASの利用分野

耐熱性・耐化学薬品性、撥水性・撥油性^{はっすい はつゆ}、低摩擦性等の有用な特性があるため、多様な産業分野および用途で利用されている（図表3）⁸。多い用途としては耐熱性・耐化学薬品性を活用した半導体製造工程での材料や自動車産業における部品がある。また、撥水性・撥油性を活用した食品包装材や衣料・繊維用品、調理器具へのコーティング剤などが挙げられる。

図表3：主要産業分野とその他の用途カテゴリー

産業分野	主な用途	用途カテゴリー	主な用途
半導体	エッチング剤、フォトレジスト、シリコンウェハ洗浄	自動車	ワックス、エンジンシール、ガソリン揮発防止
エネルギー	リチウム電池、太陽光パネル	調理器具	撥油コーティング
石油・ガス	掘削液、貯蔵における揮発防止	化粧品・パーソナルケア	防水性向上剤
化学	重合補助剤、発泡調整剤、耐摩耗添加剤、離型剤	医療機器	カテーテル
金属加工	めっき、鋼板防食	紙・包装	撥水・防油コーティング
食品	食品包装、ろ過膜	スポーツ用品	防水・防汚コーティング
繊維	防水・防汚加工	電線・ケーブル	絶縁材、耐熱材料
医薬品	コーティング剤、医療機器	消火剤	消防用フォーム
建設	耐火コーティング、絶縁材	出所：Glüge J, Scheringer M, Cousins I T, DeWitt J.C., Goldenman G, Herzke D et al.: An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Environ Sci Process Impacts, 2020;22: 2345-73から三井物産戦略研究所作成	

⁷ 有機フッ素化合物（PFAS）の食品健康影響評価について 2024年6月25日 内閣府 食品安全委員会

⁸ Glüge J, Scheringer M, Cousins I T, DeWitt J.C., Goldenman G, Herzke D et al.: An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Environ. Sci. Process Impacts, 2020;22: 2345-73

2-2. 代替技術

現在、PFAS代替製品を用いて販売されているものに、食品包装材料、繊維等がある。これらは代替製品の開発が比較的容易であり、消費者が直接触れるものから規制導入が進んでいる点が、関係していると考えられる。（英）Notplaは、PFASの代わりに海藻から抽出した天然ポリマーを用いた食品包装材料用の撥水・撥油コーティング剤を開発している（図表4）⁹。また（スイス）Archromaは、綿、ポリエステル等への適用が可能なPFAS代替繊維処理剤を開発している。同社は（米）Chemoursとの共同開発により、繊維用途にPFASフリーのTeflonブランド「Teflon EcoElite™」の販売を行っている¹⁰。

図表4：NotplaのPFAS代替材料

海藻から製造された食品包装材料用
撥水・撥油コーティング剤



撥水・撥油コーティング剤を塗布した紙から
作られた食品包装材料



出所：Notpla ウェブサイト 画像右 <https://www.notpla.com/sustainable-food-containers>
画像左 <https://www.notpla.com/>

2-3. 除去技術

現在、重要な課題になっているのは、飲料水や土壌中に残存するPFASの除去である。これらは有害性が明らかになる前に排出されたPFASが土壌に蓄積し地下水に流出しており、人々が摂取するリスクがあるため、除去技術が強く求められている。除去技術には活性炭、イオン交換樹脂、膜ろ過、^{ほうまつ}泡沫分離等がある（図表5）。例えば（英）Puraffinityは、POPs条約にて規制されているPFOA、PFOS、PFHxS だけではなく、その他の種類のPFASも除去できるセルロースとポリアミンを用いた新たな吸着剤技術の特許出願している¹¹。

⁹ [Notplaウェブサイトおよび製品紹介ページ](#)

¹⁰ [Technical Expertise Empowers the Shift to Fluorine-free Rain and Stain Protection - Archroma](#)

¹¹ [低分子量アミン表面官能化に基づく収着剤セルロース材料 特願2022-562754](#)

図表5：PFAS除去方法と主な企業

除去方法	概要	主な企業
活性炭	疎水性相互作用と多孔質構造を利用し、PFASを選択的に吸着・除去	(日) クラレ (米) Regenesis
イオン交換樹脂	樹脂の官能基とPFASの電荷を利用し選択的に吸着・除去	(独) Lanxess (日) 宝町ケミカル
膜ろ過	ろ過や逆浸透膜を用いてPFAS分子を選択的に分離・除去	(加) Saltworks、 (蘭) NX filtration
泡沫分離	PFASを微細気泡に付着させ、水表面にできた泡沫とともに回収	(豪) Epoc Enviro (日) 清水建設
新規吸着剤	活性炭、イオン交換樹脂とは異なる独自の吸着剤を開発	(英) Puraffinity (米) Cyclopure

出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

3. 規制動向

3-1. 各国のPFAS関連規制

3-1-1. 日本

日本においてPFOA、PFOS、PFHxSは、化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）に基づき第一種特定化学物質に指定されており、製造および輸入が原則禁止されている¹²。PFOSは2010年、PFOAは2021年、PFHxSは2024年に指定された¹³。PFOSは2018年以降に全ての用途において製造・輸入等（使用、提供などの行為が含まれる）が原則禁止となっているが、PFOA、PFHxSについては試験研究等の例外用途が認められている。

飲料水中のPFASに関しては水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準等によりPFOA、PFOSが要監視項目に追加され、指針値（暫定）としてその合計値を「50ng/L以下」としている¹⁴。これらは環境基準の1つであり目標値であるため罰則とはならない。

3-1-2. 欧州（EU）

EUにおけるREACH規制¹⁵では、PFAS全般を制限対象に含めることが検討されている。現在は用途カテゴリーごとに評価が進められており、これまでに化粧品、スキー用ワックス、金属めっき・金属製品製造、繊維、食品用包装材料等の評価が実施された。今後、エレクトロニクスや半導体関連についても評価が実施される予定である。当初の予定では、最終的な評価完了が2025年中とされていたが、用途カテゴリーの

¹² [化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）](#)

¹³ [経済産業省「第一種特定化学物質」](#)

¹⁴ [有機フッ素化合物に関するQ&A - 神奈川県ホームページ](#)

¹⁵ REACH規制（Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals）：EU域内で製造・輸入される化学物質の登録・評価・認可・制限を義務付ける制度で、企業は安全性データの提出とリスク管理が求められる

増加によりEU規制として導入されるのは2027年以降となる見込みである¹⁶。EU規制成立までに時間がかかることから、独自にPFAS規制法案を成立させる国もある。例えばフランスでは2026年1月1日からPFAS含有の化粧品、衣類などの製造、輸出入、市場投入を禁止する法律が2025年2月28日に公布された¹⁷。また、デンマークでもPFAS規制法案が成立している¹⁸。EU規制が成立、導入されるまでは、各国独自の規制が有効となるためEU加盟国ごとの規制動向について確認が必要となる。

3-1-3. 米国

現在、米国環境保護庁（EPA）は、「PFAS Strategic Roadmap」を策定しており、2021年から2024年までにとるべき PFAS に関する具体的なアクションを公開している。その中では¹⁹、PFASを製造・輸入する際には報告義務が課されている。すでに連邦法では「有害物質規制法」、「国家一次飲料水規制」など PFASに関する複数の規制が整備されている²⁰。そのため、米国内でPFASを取り扱う際には関連する連邦法を確認する必要がある。さらに、米国では州ごとにPFAS規制が定められている場合もあり、規制が連邦法よりも厳しいケースも見られる。EPAのウェブサイトでは、現在21州のPFAS規制状況が掲載されており、製品を取り扱う際には州法の確認も別途必要となる²¹。

図表6：各国のPFAS規制状況

国		概要
日本		• PFOA、PFOS、PFHxSは、化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）に基づき第一種特定化学物質に指定されている • 「水質汚濁に係る人の健康の保護に関する環境基準」においてPFOA、PFOSは「要監視項目」に指定されており暫定的な目標値が定められている
EU		• REACH規制では、PFAS全般を制限対象に含めることが検討されており、用途カテゴリーごとに評価を実施中 • 独自にPFAS規制法案を成立させており、EU法が決定するまでの間、各国の規制が有効となるためEU加盟国ごとの規制動向について確認が必要
米国	連邦	• 米国環境保護庁（EPA）は、「PFAS Strategic Roadmap」を策定しており、PFASを製造・輸入する際には報告義務がある • 「有害物質規制法」、「第一種飲料水規則」等、PFAS関連の規制が複数ある
	州	• 米国では州ごとにPFAS規制が定められているケースもあり、州法の規制が連邦法よりも厳しい場合がある

出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

¹⁶ [ECHA publishes PFAS restriction proposal](#)

¹⁷ [2026年1月1日からフランスでPFAS含有の化粧品、衣類などの製造、輸出入、市場投入を禁止 \(EU、フランス\) | ビジネス短信 — ジェトロの海外ニュース — ジェトロ](#)

¹⁸ [PFAS-handlingsplan: Regeringen vil indføre dansk forbud mod PFAS i tøj og sko - Miljø- og ligestillingsministeriet](#)

¹⁹ [PFAS Strategic Roadmap EPA's commitments to Action 2021-2024](#)

²⁰ [カリフォルニアPFAS関連規制解説セミナー JETRO 2023年4月27日開催](#)

²¹ [U.S. State Resources about PFAS](#)

3-2. 今後の規制動向

世界各国で規制の制定が検討されている。一方で、代替製品の開発が難しいという観点からPFASの利用を一定程度、認める動きも見られる。例えば米国では国防総省、エネルギー省が「PFASの規制は不可避ではあるものの、半導体、医療、航空宇宙分野では代替が難しく、慎重な対応が必要である。しかし、建築や一般産業では、徐々に代替技術の導入が可能」との見解を示している²² ²³。日本でも、特例用途が存在するように、産業ごとに利用可否が異なるケースが多い。前述の通り、欧州でも用途ごとの評価が進められており、今後の規制動向については、単なる物質のみとしてだけでなく、用途における影響を正確に捉えることが、事業継続や製品開発の観点から極めて重要となる。

4. PFASの今後

有害性が未解明なPFASもあり、今後の研究によって新たな規制対象が増える可能性がある。規制の範囲が広がる中で、すでに環境中に残留しているPFASへの対応として、除去技術の重要性も一層高まると考えられる。代替技術や無害化技術の開発が進むことで、特定用途でのPFAS依存は徐々に低下していくと見込まれるが、過去の排出による蓄積リスクは依然として残る。

多様な産業・製品に関わるPFASに対しては、用途ごとのリスク評価と規制動向の把握を通じて、調達・製造・販売の各段階で柔軟かつ戦略的な対応が求められる。加えて、将来的な規制拡大や顧客・社会からの持続可能性要請に備え、代替素材の探索やサプライチェーン上流との連携強化、さらにはトレーサビリティ確保、環境影響の見える化といった取り組みも、中長期的な競争力の鍵となる。

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一的な見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。

²² [Report on Critical Per- and Polyfluoroalkyl Substance Uses. Pursuant to Section 347 of the James M. Inhofe National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2023 \(Public Law 117-263\)](#)

²³ [Assessment of Fluoropolymer Production and Use With Analysis of Alternative Replacement Materials. January 2024 SRNL-STI-2023-00587, Revision 0](#)