

有機フッ素化合物

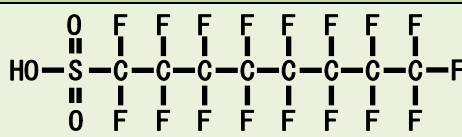
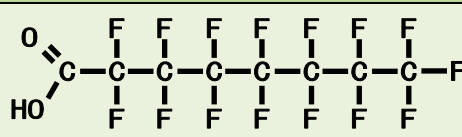
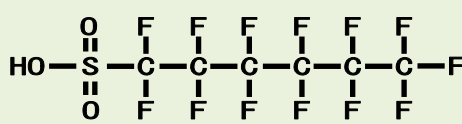
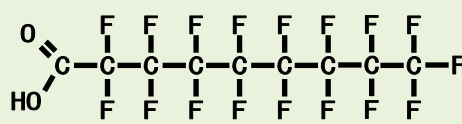
はじめに

近年、日本各地の河川などから水道水の暫定目標値を上回る有機フッ素化合物(以下 PFAS)が検出され問題になっています。最近では、2023 年 10 月に岡山県吉備中央町の円城浄水場で国の暫定目標値の 28 倍の濃度の PFAS が検出されました¹⁾。今回は度々注目を集める PFAS についての概要と規制、弊財団で実施している分析方法についてご紹介します。

PFAS とは

PFAS とは²⁾有機フッ素化合物の総称で非常に数多くの物質が存在します。PFAS について国際的に統一された定義はありません。経済協力開発機構(OECD)は、「少なくとも 1 つの完全にフッ素化されたメチル又はメチレン基(フッ素が結合している炭素原子に、H, Cl, Br, I 原子が結合していないもの)を含むフッ素化物質」³⁾と定義しています。代表的な PFAS を表-1 に示します。

表-1 代表的な PFAS

パーフルオロオクタンスルホン酸(PFOS)	パーフルオロオクタン酸(PFOA)
	
パーフルオロヘキサンスルホン酸(PFHxS)	パーフルオロノナン酸(PFNA)
	

PFAS は疎水性と親水性の両方の機能を持つため、カーペット、家具、紙、布コーティング、フッ素樹脂、消火用泡など、日常的に使用する製品に広範に使用されています。PFAS は、化学的に非常に安定な構造のため、環境中における残留性が高く、動物やヒトは環境及び食物等により非意図的にばく露され、血液から検出されています⁴⁾。

世界保健機関(WHO)傘下の国際がん研究機関(IARC)が 2023 年 11 月 30 日に、PFOA をグループ 1 に、PFOS をグループ 2B に分類しました⁵⁾。IARC による発がん性の分類を表-2 に示します。

表-2 IARC による発がん性分類

グループ	評価内容
1	ヒトに対して発がん性がある
2A	おそらくヒトに対して発がん性がある
2B	ヒトに対して発がん性がある可能性がある
3	ヒトに対する発がん性について分類できない

PFAS に関する規制

国際的な規制

PFAS の製造・使用・輸出入については「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)」で国際的に規制されています。2009 年に PFOS 及びその塩が附属書 B(制限)に追加され、2019 年には PFOA とその塩類及び PFOA 関連物質が附属書 A(廃絶)に追加されました⁶⁾。さらに、2022 年には PFHxS が附属書 A(廃絶)に追加されました⁷⁾。

日本の規制

水道水中の PFAS については、厚生労働省が 2020 年に水質管理目標設定項目に位置付け PFOS と PFOA の含量で 50 ng/L 以下とする暫定目標値を定めました⁸⁾。また、PFHxS についても、2021 年 4 月 1 日に要検討項目として位置づけられました。

米国の規制

米国環境保護庁(EPA)は、2024 年 4 月 10 日に最終化された PFAS に関する飲料水規制を公表しました。飲料水規制の概要を表-3 に示します。公共用施設は今後 3 年以内に飲料水中の下記 PFAS のモニタリングを開始し、2027 年より測定値に関する情報を公開することが求められています。また、モニタリングより基準超過が認められた場合は 5 年以内(2029 年まで)に削減措置を講じることが求められています⁹⁾。

表-3 飲料水規制の概要

対象物質	最大汚染レベル目標値※1	最大汚染レベル (規制実施可能なレベル)
PFOA	0	4 ng/L
PFOS	0	4 ng/L
PFHxS	10 ng/L	10 ng/L
PFNA	10 ng/L	10 ng/L
GenX	10 ng/L	10 ng/L
混合物 (PFHxS, PFNA, GenX, PFBS)	1※2	1※2

※1 健康にリスクがないと知られているか、期待されている値。ただし規制値ではない。

※2 実測値をそれぞれの指標値*で除して得た割合の合計

*PFNA: 10 ng/L, PFHxS: 10 ng/L, PFBS: 2000 ng/L GenX: 10 ng/L

$$\frac{[GenXwater]}{10} + \frac{[PFBSwater]}{2000} + \frac{[PFNAwater]}{10} + \frac{[PFHxSwater]}{10}$$

欧州の規制

EU 飲料水指令 2020/2184 では、PFAS の総量を 0.1 μg/L に設定しています。対象となる物質は C=4~13 の 20 種類の PFAS です。さらに EU 規則 2023/915 では、動物性食品中の PFAS の最大値基準値を設定しています。EU 2023/915 から一部抜粋した最大基準値を表-4 に示します¹⁰⁾。

表-4 EU 2023/915 動物性食品中の最大基準値 (μg/kg wet weight)

対象食品	PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS	合計
卵	1.0	0.30	0.70	0.30	1.7
魚筋肉*	2.0	0.20	0.50	0.20	2.0
甲殻類と二枚貝	3.0	0.70	1.0	1.5	5.0
牛, 豚, 鶏筋肉	0.30	0.80	0.20	0.2	1.3

*乳幼児向け食品の製造を目的する場合など

食品中の PFAS 分析

現在国内では食品中の PFAS 規制はありませんが、EU ではすでに規制が進んでいます。2024 年 4 月 26 日には、農林水産省が国内で流通する各種食品中の PFAS (PFOS, PFOA, PFNA 及び PFHxS) の含有実態調査を行うことを公表¹¹⁾しており、今後も食品中の PFAS 分析の需要は高まっていくと思われます。

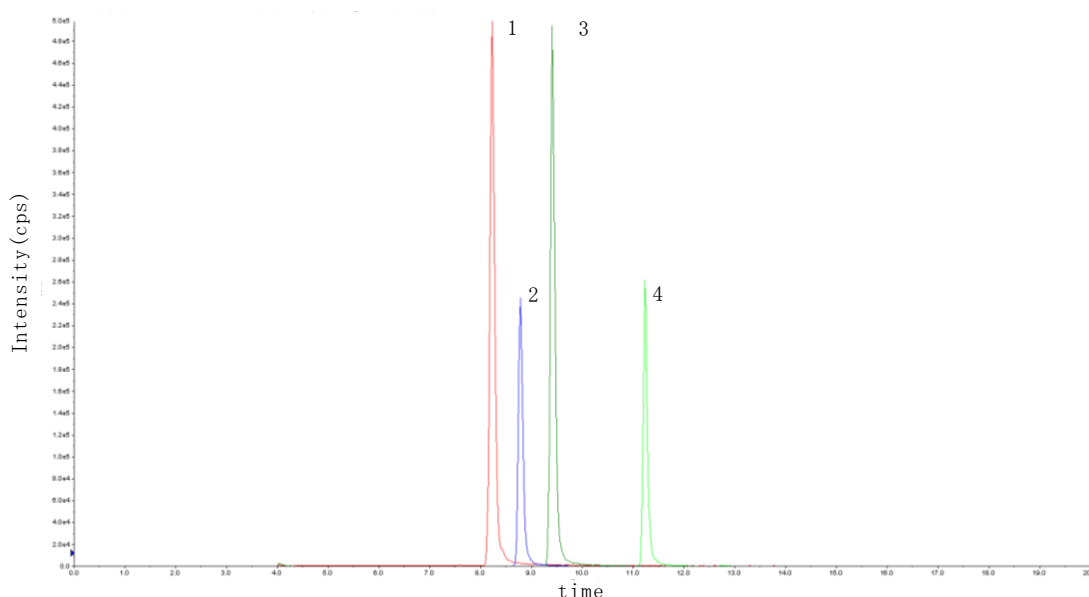
弊財団で行っている食品中の PFAS 分析の一例をご紹介します。

食品中の PFAS 分析では、QuEChERS 法を採用しています¹²⁾¹³⁾。QuEChERS 法とは塩類や精製用の充填剤をサンプルとともに振り混ぜ、遠心分離する分散固相抽出 (dSPE) による前処理法のことです。この方法の特徴である迅速 (**Quick**)、簡単 (**Easy**)、低価格 (**Cheap**)、効果的 (**Effective**)、堅牢性 (**Rugged**)、安全 (**Safe**) の頭文字から QuEChERS 法と呼ばれています。

採取した試料にサロゲート物質を添加し、水、アセトニトリル、ぎ酸を加え振り混ぜます。そこに塩類を含んだ QuEChERS 試薬を加えます。本試薬を加え振り混ぜ、遠心分離すると試薬の塩析効果により、アセトニトリル層に PFAS が抽出されます。次に、このアセトニトリル層を dSPE 吸着剤 (MgSO₄ PSA GCB を含む) に加えて振り混ぜることで精製を行います。遠心分離後、上清を分取し濃縮乾固後定容して LC-MS/MS へ注入します。標準溶液のクロマトグラムの一例を図-2 に示します。



図-1 食品中の PFAS 分析法の試験工程



1. PFOA 2. PFHxS 3. PFNA 4. PFOS

図-2 PFAS の標準溶液クロマトグラムの一例

おわりに

PFAS の概要、規制及び弊財団での試験法についてご紹介しました。日本国内では食品の規制がまだ始まっていませんが、目標値や分析法開発の検討は進んでいます。諸外国では日本に比べ規制値が厳しく、今後諸外国に追随して国内の規制も見直される可能性があります。

弊財団では、ご紹介した食品以外の PFAS 分析も受託しておりますのでお気軽にお問い合わせください。

参考文献(参考資料)

- 1) 吉備中央町 円城浄水場有機フッ素化合物等の検出について
<https://www.town.kibichuo.lg.jp/uploaded/attachment/9064.pdf> (参照 2024-08-14).
- 2) 環境省 PFOS、PFOA 以外の PFAS に係る国際動向
<https://www.env.go.jp/content/000123227.pdf> (参照 2024-08-14).
- 3) A New OECD Definition for Per- and Polyfluoroalkyl Substances
<https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.est.1c06896> (参照 2024-08-14).
- 4) PFAS の規制動向と対応技術 第 18 節 食品中に含まれる PFAS の分析
- 5) 食品安全委員会 PFOA (パーフルオロオクタン酸) 及び PFOS (パーフルオロオクタンスルホン酸) に対する国際がん研究機関 (IARC) の評価結果に関する Q&A
https://www.fsc.go.jp/foodsafetyinfo_map/pfoa_and_pfos_faq.html (参照 2024-08-14).
- 6) 環境省 PFAS に対する総合戦略検討専門家会議 参考資料 1 「PFOS、PFOA に係る国際動向」
<https://www.env.go.jp/content/000150402.pdf> (参照 2024-08-14)
- 7) 経済産業省 ニュースリリース
<https://www.meti.go.jp/press/2022/06/20220621004/20220621004-1.pdf> (参照 2024-08-14).
- 8) 水道基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等について 平成 15 年 10 月 10 日健発第 1010004 号 [最終改正 令和 4 年 3 月 31 日生食発 0331 第 3 号] 別添 1 水質管理目標設定項目
- 9) 食品安全委員会 米国環境保護庁 (EPA) の PFAS に関する飲料水規制について
<https://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kai20240426sol&fileId=140> (参照 2024-08-14).
- 10) Commission Regulation (EU) 2023/915
<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/915/oj> (参照 2024-08-14).
- 11) 農林水産省 報道発表資料
<https://www.maff.go.jp/j/press/syouan/seisaku/240426.html> (参照 2024-08-14).
- 12) Guidance Document on Analytical Parameters for the Determination of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food and Feed (Version 1.2 EURL POPs)
- 13) Determination of 30 Per and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food and Feed using Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS) (Version 2024. US FDA)