



CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY - © Eurofins Scientific (Ireland) Ltd, 2015. All rights reserved. This document contains information that is confidential and proprietary to Eurofins Scientific SE and / or its affiliates and is solely for the use of the personnel of Eurofins Scientific SE and all its affiliates. No part of it may be used, circulated, quoted, or reproduced for distribution outside companies belonging to the Eurofins group. If you are not the intended recipient of this document, you are hereby notified that the use, circulation, quoting, or reproducing of this document is strictly prohibited and may be unlawful.

PFAS対策と多項目分析の必要性 - 最新の分析技術動向のご紹介 - (TOPA、AOF、USC-PFAS、OTMなど)

2026/2/17 ユーロフィン日本環境

PFASの属する化学物質は1万種以上あると言われており、その毒性が明確になっているものはごく少数の物質です。また、OECDの報告によると環境中のPFASの90%は前駆体として存在し、分解により将来的にPFOS、PFOA等に変化するものがあると言われています。

そのため、PFASの処理を考える上ではPFOS、PFOAのみならず、幅広い物質を考慮することが求められます。

欧米ではリスクマネジメントの観点から以下の分析手法について研究が進んでいます。今回はその概略についてご紹介いたします。

1. TOP-Assay(TOPA)
2. 総PFAS (TF、AOF、EOF)
3. 超短鎖PFAS (USC-PFAS)
4. 排ガス、大気中のPFAS

- 1. TOP-Assay(TOPA)**
- 2. 総PFAS (TF、AOF、EOF)**
- 3. 超短鎖PFAS (USC-PFAS)**
- 4. 排ガス、大気中のPFAS**

1. **TOP-Assay(TOPA)**
2. **総PFAS (TF、AOF、EOF)**
3. **超短鎖PFAS (USC-PFAS)**
4. **排ガス、大気中のPFAS**

➤ TOP Assay (Total Oxidizable Precursor Assay)

日本語に訳すと全酸化可能前駆体分析法。

試料中の前駆体化合物を酸化分解することにより、主に毒性評価が進んでいるペルフルオロカルボン酸 (PFCA; **PFOA**もこのカテゴリーに入る) に変え、LC-MS/MSで定量する方法。

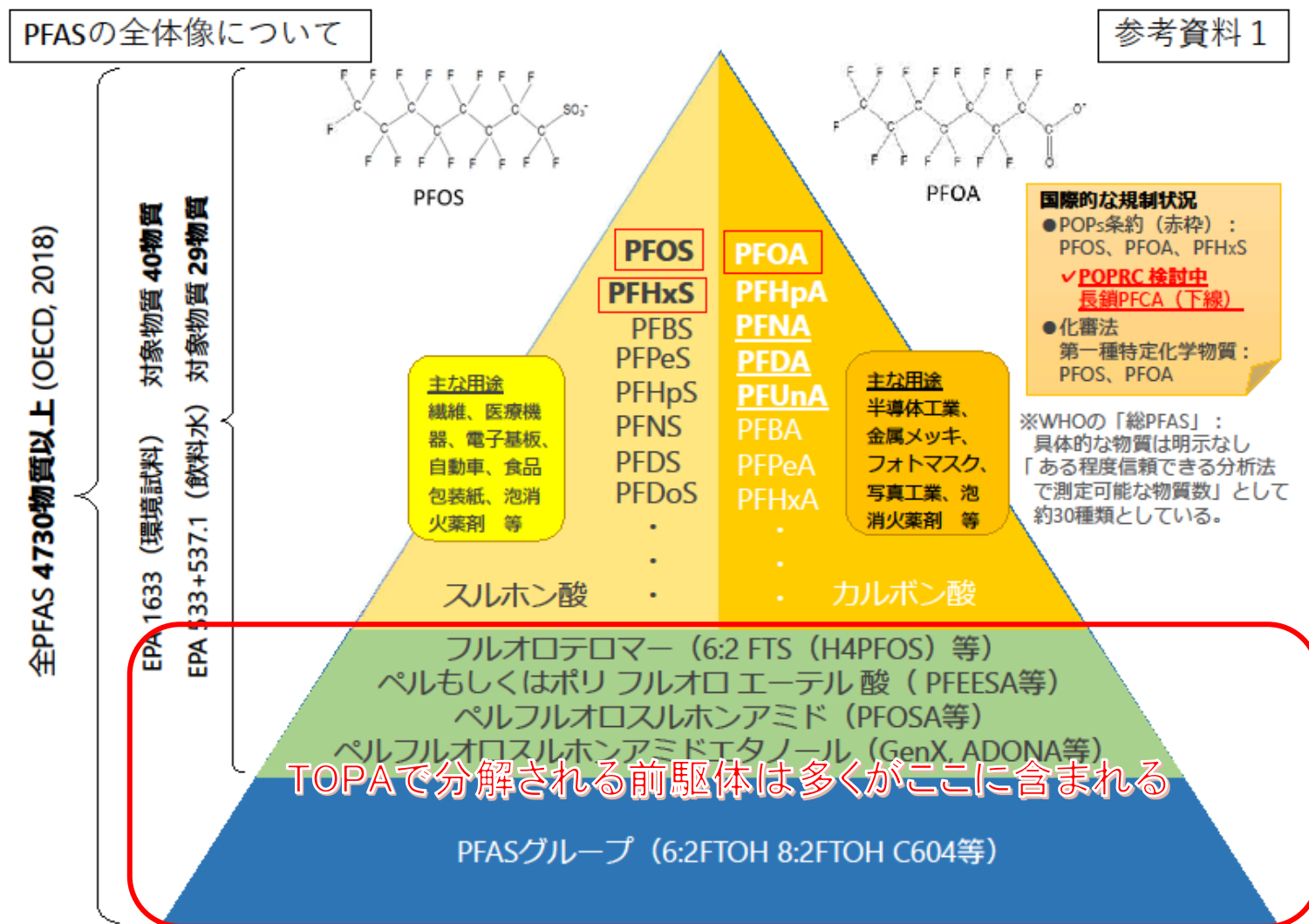
➤ TOPAの必要性とは

OECDの報告によるとPFASは**環境中において、90%以上が前駆体**によって蓄積されていると推定されている。

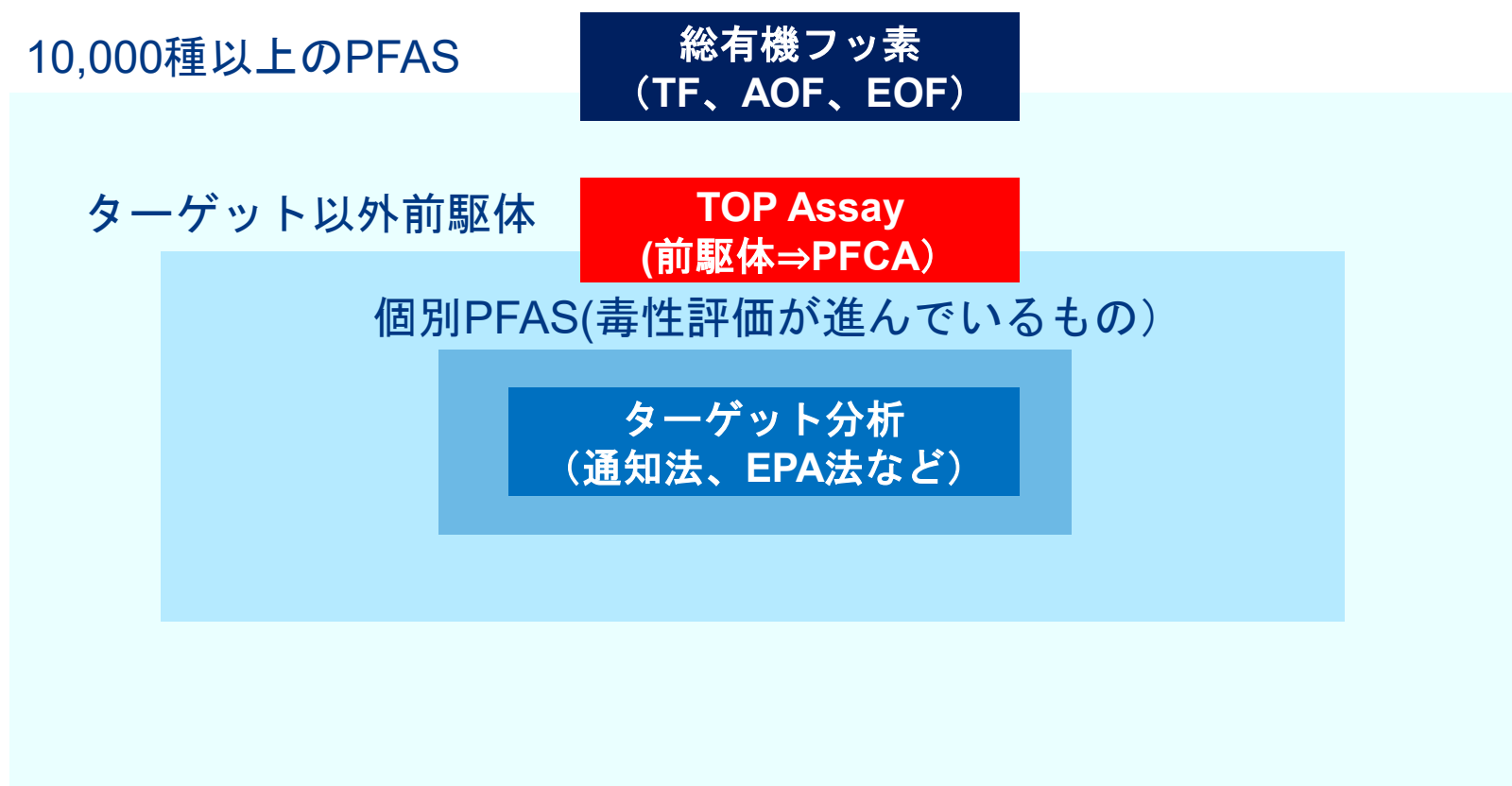
リスクベースの考え方が浸透している欧米では、前駆体がPFCAに変化するリスクを評価しない場合、正しく汚染実態を把握できないとする考えもあり、研究が進んでいる。

⇒ドイツでは**DIN 3608:2024-08**として規格化

(PFASに対する総合戦略検討専門家会議 参考資料 1)

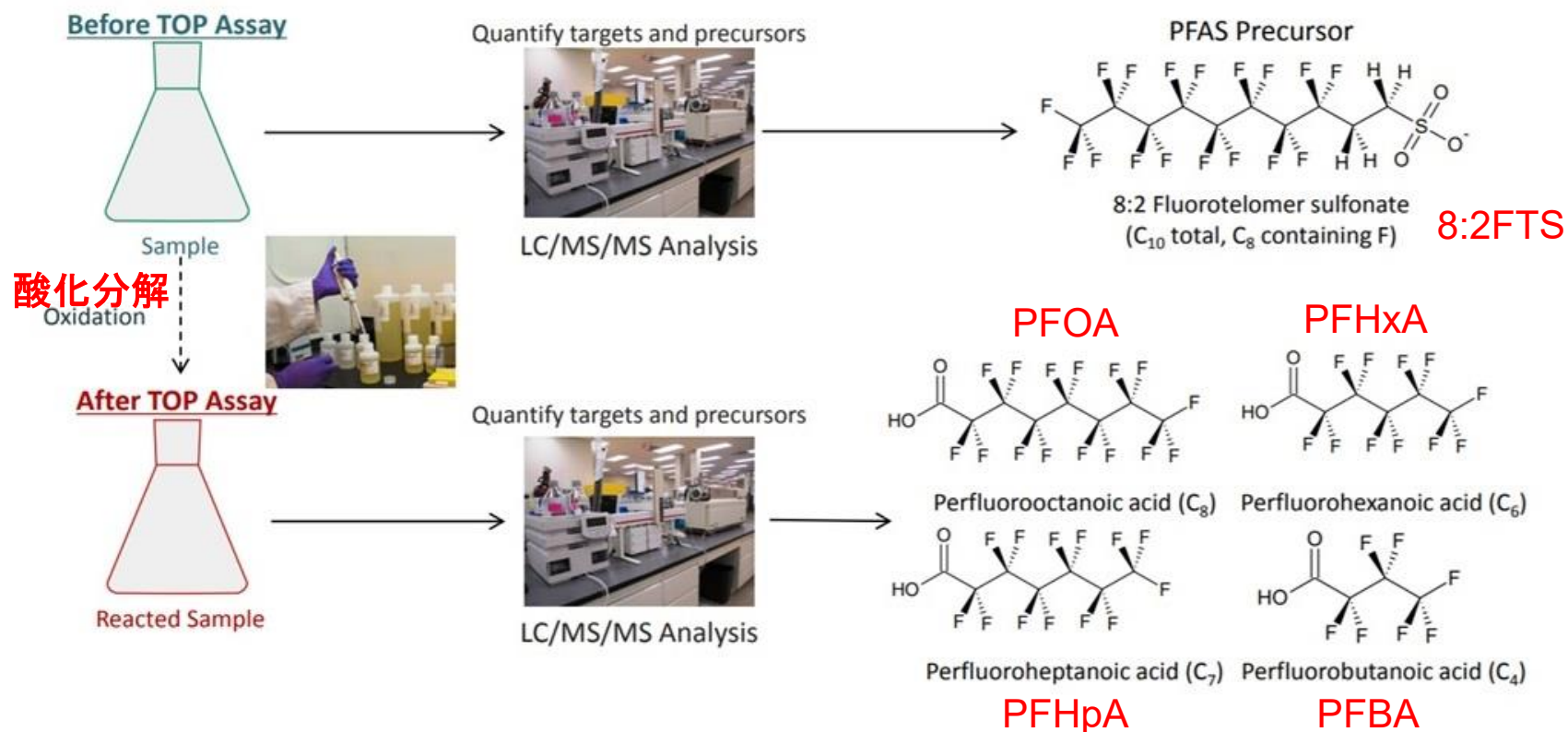


出典：ITRCのPFASホームページ図2-16 (<https://pfas-1.itroweb.org/2-3-emerging-health-and-environmental-concerns/>)を改変



いかに最大のリスクを考慮して汚染状況を把握するかが検討されている

- TOP Assayでは、酸化分解前後のサンプルのPFASを測定し、比較することによりそのリスクを評価する。Houtz and Sedlakが2012年に論文で発表した方法※をベースに現在も研究が進んでいる。

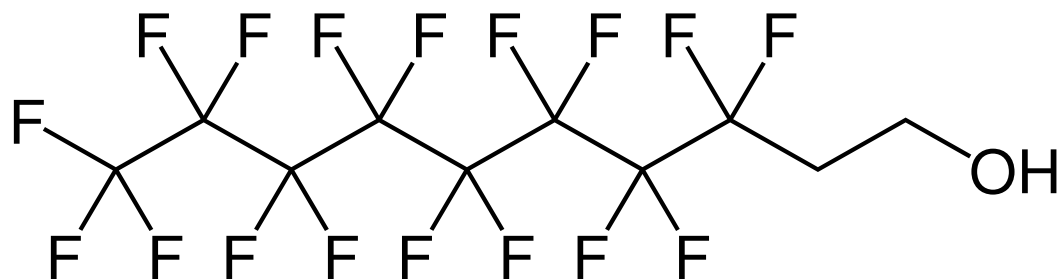


※Houtz, E.F. and Sedlak, D.L. (2012). Environ. Sci. Technol., 46, 9342-9349

CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY - © Eurofins Scientific (Ireland) Ltd, 2015. All rights reserved. Any use of this material without specific permission of an authorised representative of Eurofins Scientific SE is strictly prohibited.

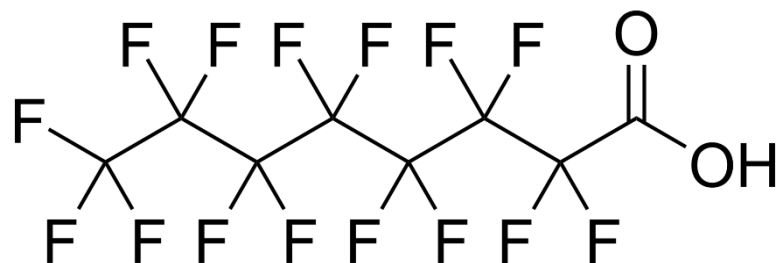
- 化審法では8:2FTOHがPFOA関連物質として第一種特定化学物質に指定された。

8:2FTOH

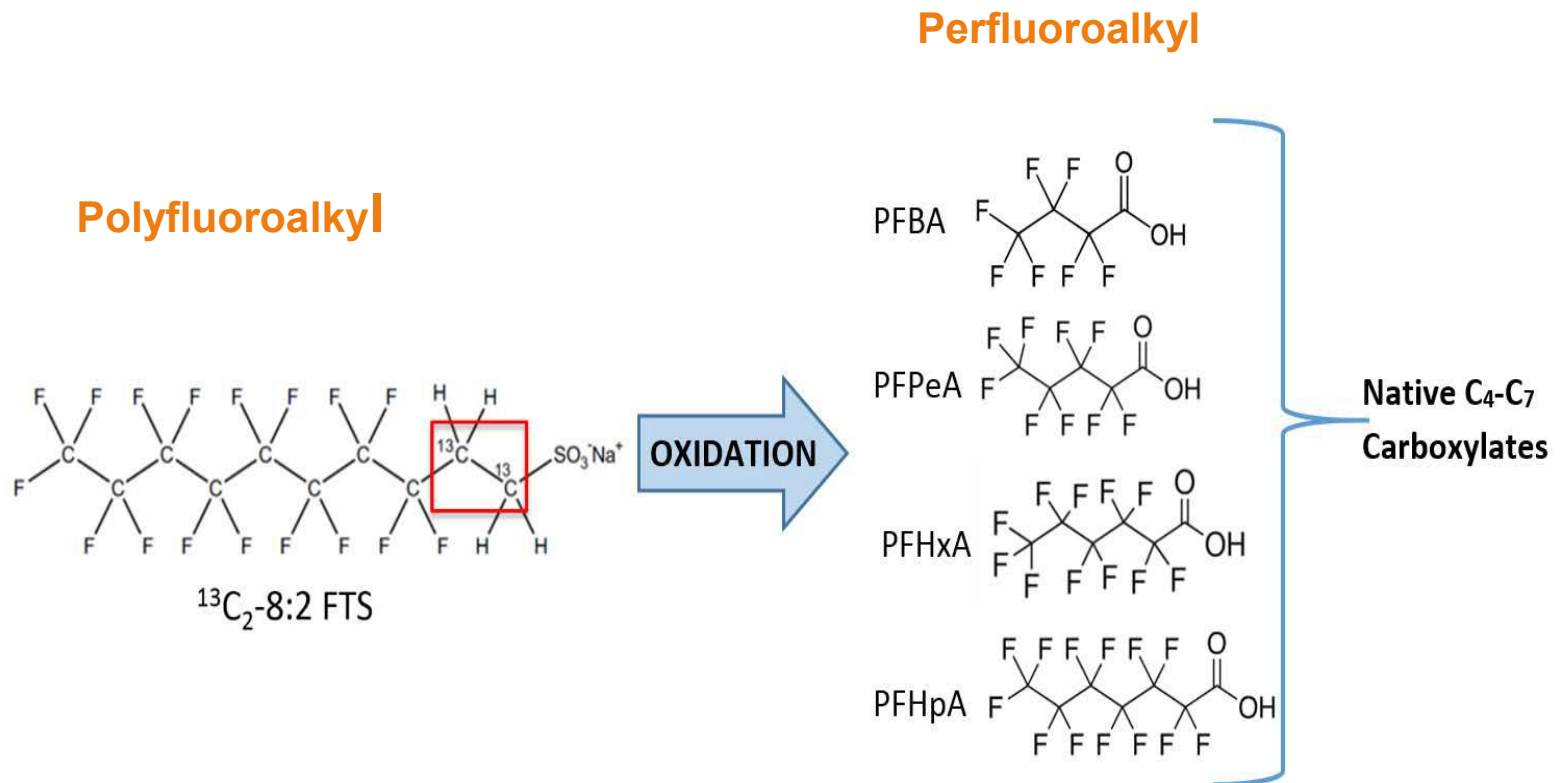


分解

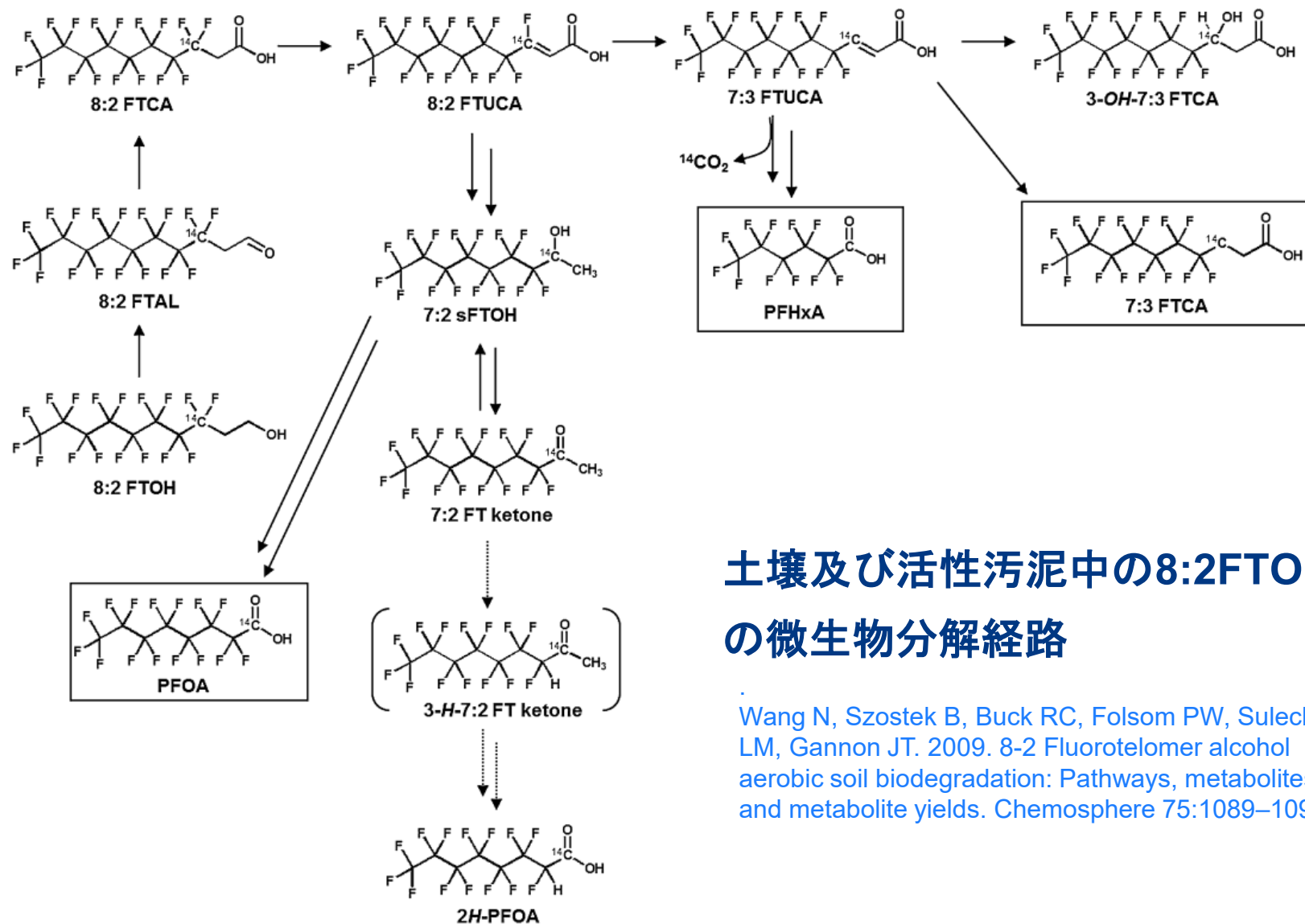
PFOA



- 消火剤に含まれる**8:2FTS**も以下のように分解されることが知られている。（**6:2FTS**からも同様にC5以下のPFASが生成される。）



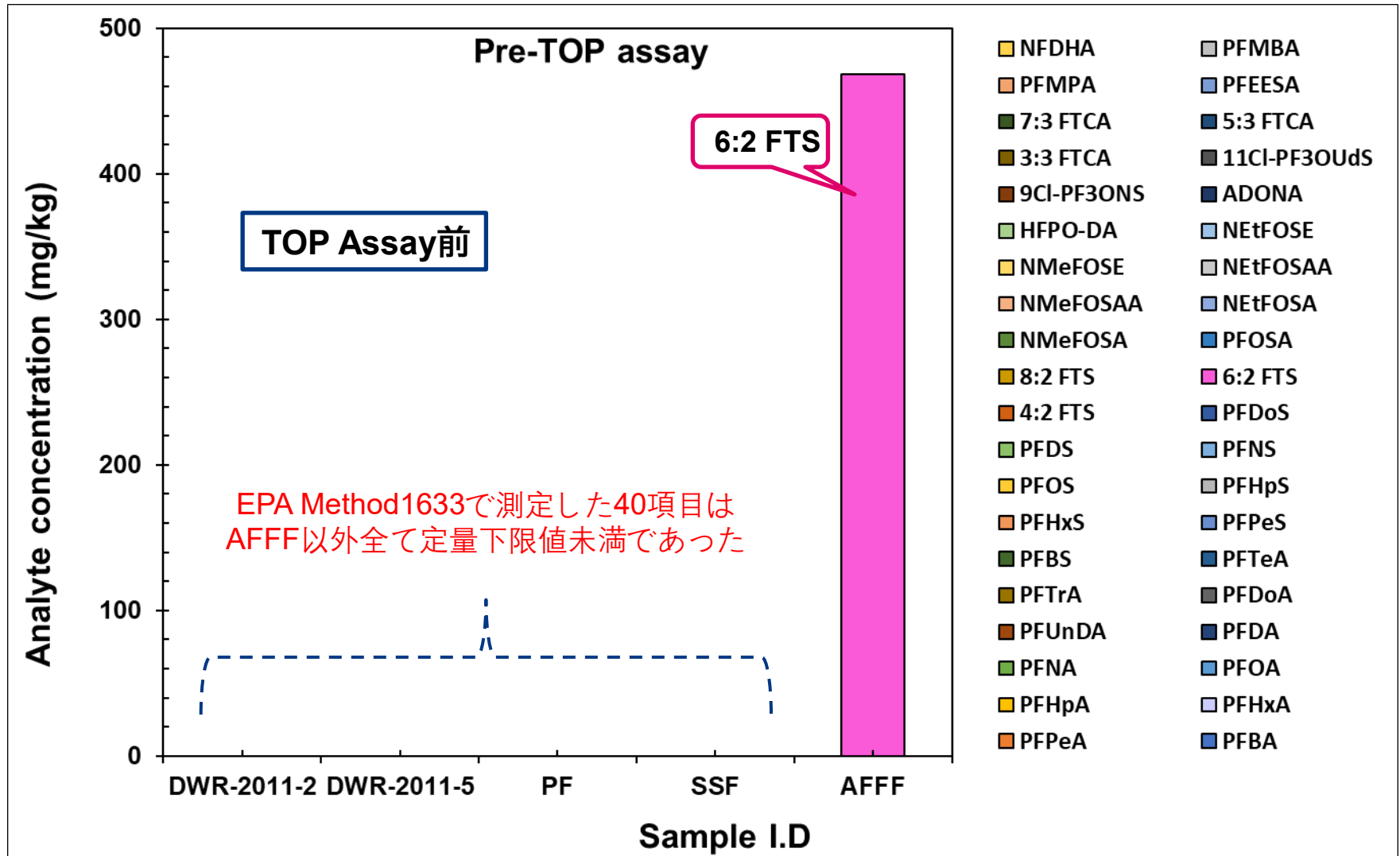
- 要検討項目である**PFBA、PFPeA、PFHxA、PFHpA**なども生成



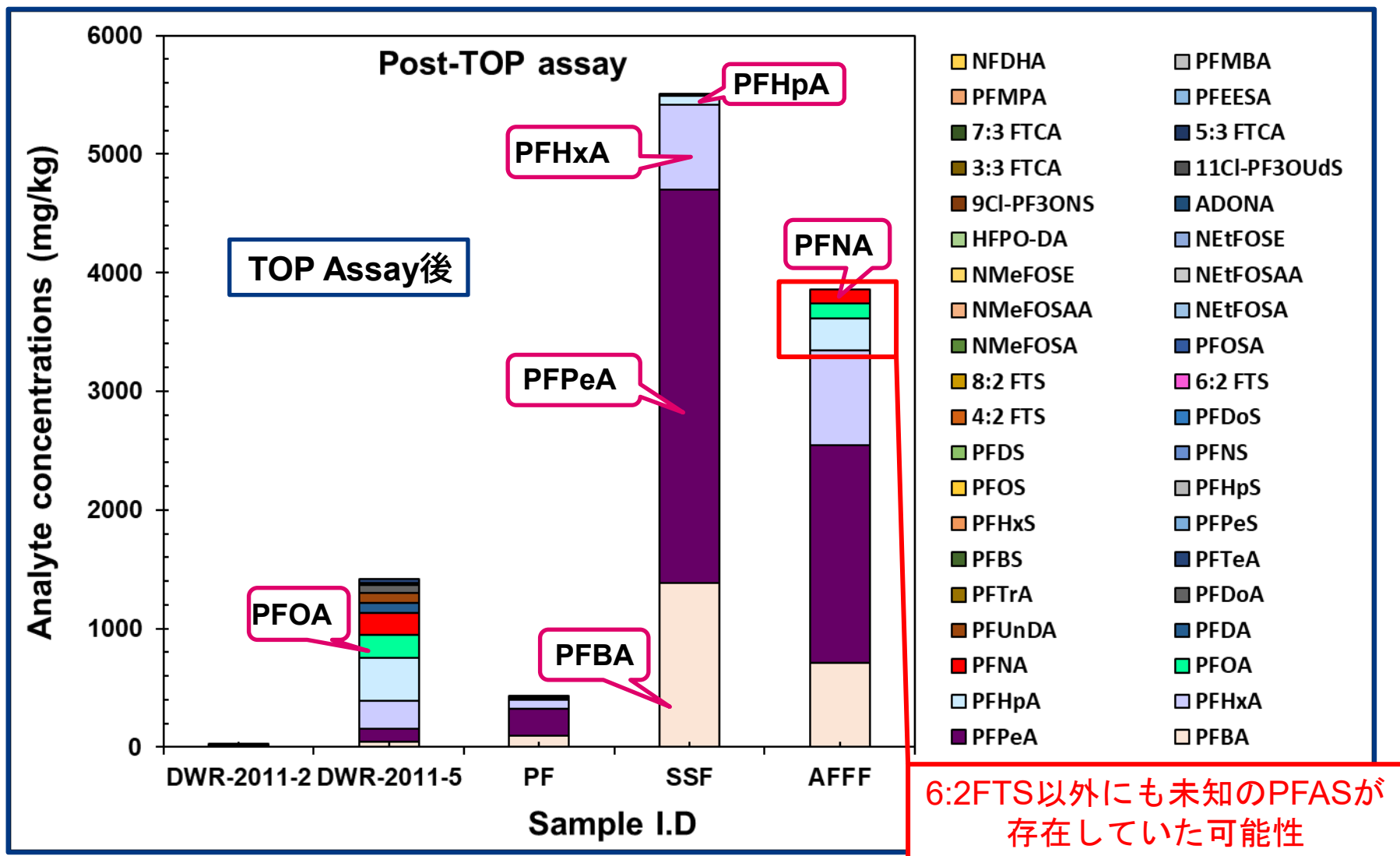
土壌及び活性汚泥中の8:2FTOH の微生物分解経路

Wang N, Szostek B, Buck RC, Folsom PW, Sulecki LM, Gannon JT. 2009. 8-2 Fluorotelomer alcohol aerobic soil biodegradation: Pathways, metabolites, and metabolite yields. Chemosphere 75:1089–1096.

TOPAによる分析実施例；撥水剤（DWR）及び 泡消火剤（PF、SSF、AFFF、）への適用（分解前）



TOPAによる分析実施例；撥水剤（DWR）及び 泡消火剤（PF、SSF、AFFF、）への適用（分解後）



1. TOP-Assay(TOPA)
2. 総有機フッ素 (TF、AOF、EOF)
3. 超短鎖PFAS (USC-PFAS)
4. 排ガス、大気中のPFAS

10,000種以上のPFAS

総有機フッ素
(TF、AOF、EOF)

ターゲット以外前駆体

TOP Assay
(前駆体⇒PFCA)

個別PFAS(毒性評価が進んでいるもの)

ターゲット分析
(通知法、EPA法など)

いかに最大のリスクを考慮して汚染状況を把握するかが検討されている

➤ **燃烧イオンクロマトグラフィー**（Combustion Ion Chromatography: **C-IC**）を用いて、フッ素化合物を完全燃焼し、フッ化物イオンとして測定

⇒未知のPFASを含め有機フッ素化合物の総量を把握可能

⇒測定装置がイオンクロマトグラフであるため**下限値が高くなる**

高：ppm(mg)台

中：ppb(μg)台

低：ppt(ng)台

測定濃度

製品

総有機フッ素

個別PFAS
(C4~C21+前駆体)

個別PFAS
(C4~C21)

環境

総有機フッ素

個別PFAS
(C4~C10+前駆体)

TOP Assay
(前駆体⇒PFCA)

➤ TF分析（総フッ素分析）

前処理を一切せず、土壌や水試料を直接C-ICで燃焼して分析

✗濃縮等ができないため下限値が高くなる

✗試料中の無機フッ素（IF）も分析される（正のバイアス）

○AOF・EOFでは吸着・抽出が難しいと考えられるPFAS（超短鎖PFASやポリマー）を含めあらゆる有機フッ素化合物を測定可能

C-IC装置の例



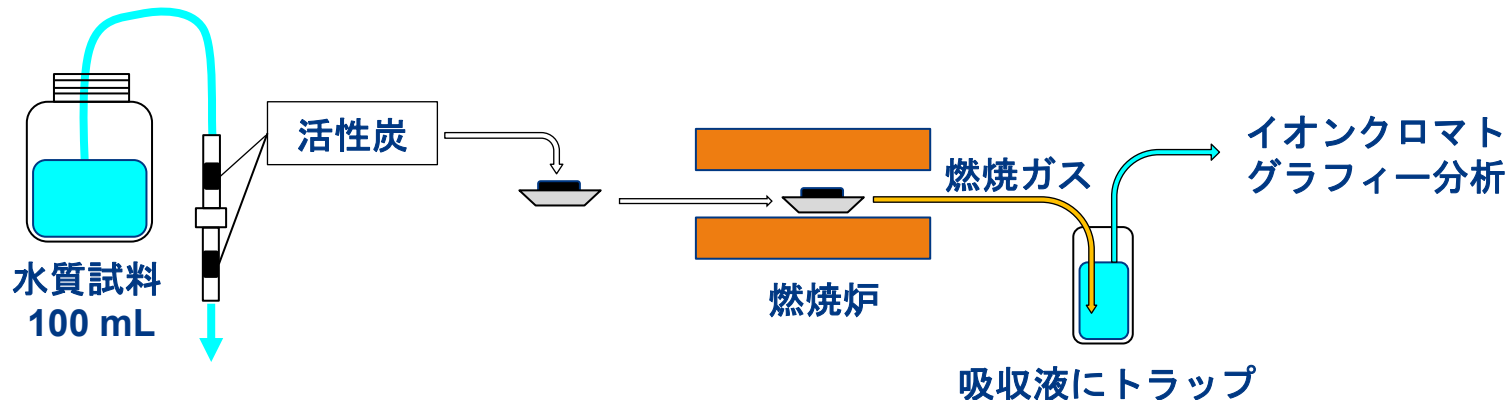
➤ 活性炭カラムに試料を通水し有機フッ素化合物を吸着させ、C-ICで測定する方法（水質試料対象）

○活性炭により有機フッ素化合物を選択的に抽出可

✕短鎖のイオン性PFASは活性炭に吸着しにくく測定できない。

⇒**USEPA Method 1621**として公定法化された（工場排水）

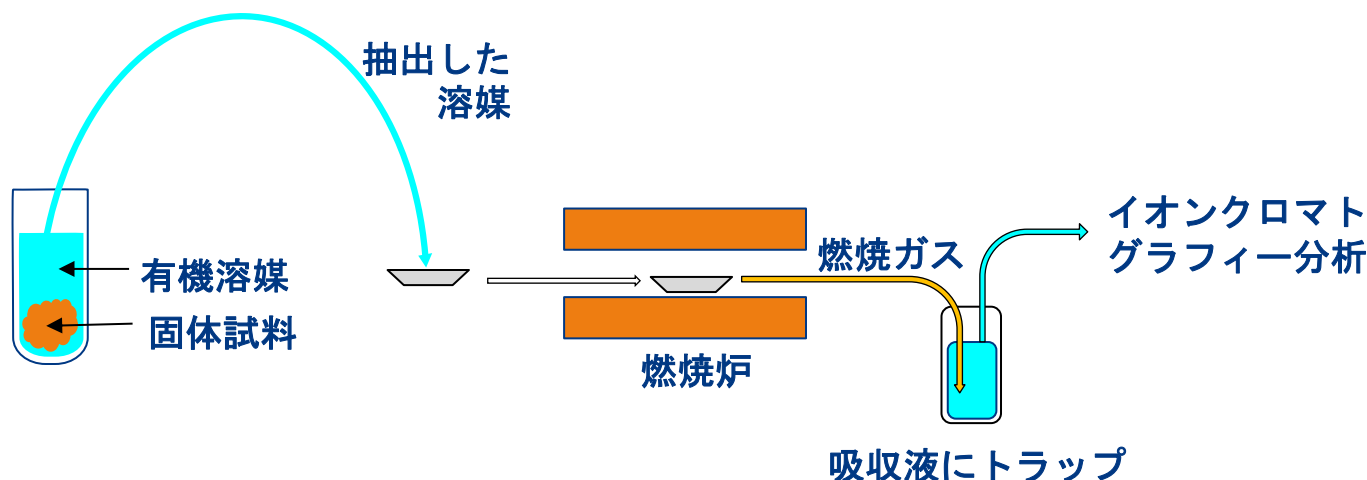
⇒EUでは吸着性有機ハロゲン（AOX）として**DIN 38409-59** および **ISO/DIS 18127**に規格化されている。



➤ 固相抽出、または有機溶媒による固-液抽出を行い、抽出液をC-ICで分析

○ 有機溶剤に可溶な有機フッ素化合物を選択的に抽出可

✕ 短鎖のイオン性PFASなど、有機溶剤に溶けにくい物質は測定できない



1. TOP-Assay(TOPA)
2. 総PFAS (TF、AOF、EOF)
3. 超短鎖PFAS (USC-PFAS)
4. 排ガス、大気中のPFAS

Ultra Short Chain ⇒ USC PFAS と呼ばれることが多い

- 超短鎖（C1～C3）、短鎖（C4～C6）、長鎖（C7以上）に分けられることが多いが、しっかりと定義されているわけではない。
- 現在の公定法（EPA法、ISO法）で測定されていない、炭素鎖が1～3のPFASを超短鎖PFASと言うことが多い。
- 長鎖PFASの分解物として生成される場合がある。
- 毒性に関してはまだ調査中だが、欧州では規制化に向けた議論が進んでいる。
- 環境中の濃度はかなり高濃度であると言われている。

PFASの鎖長（CF基の数）と構造

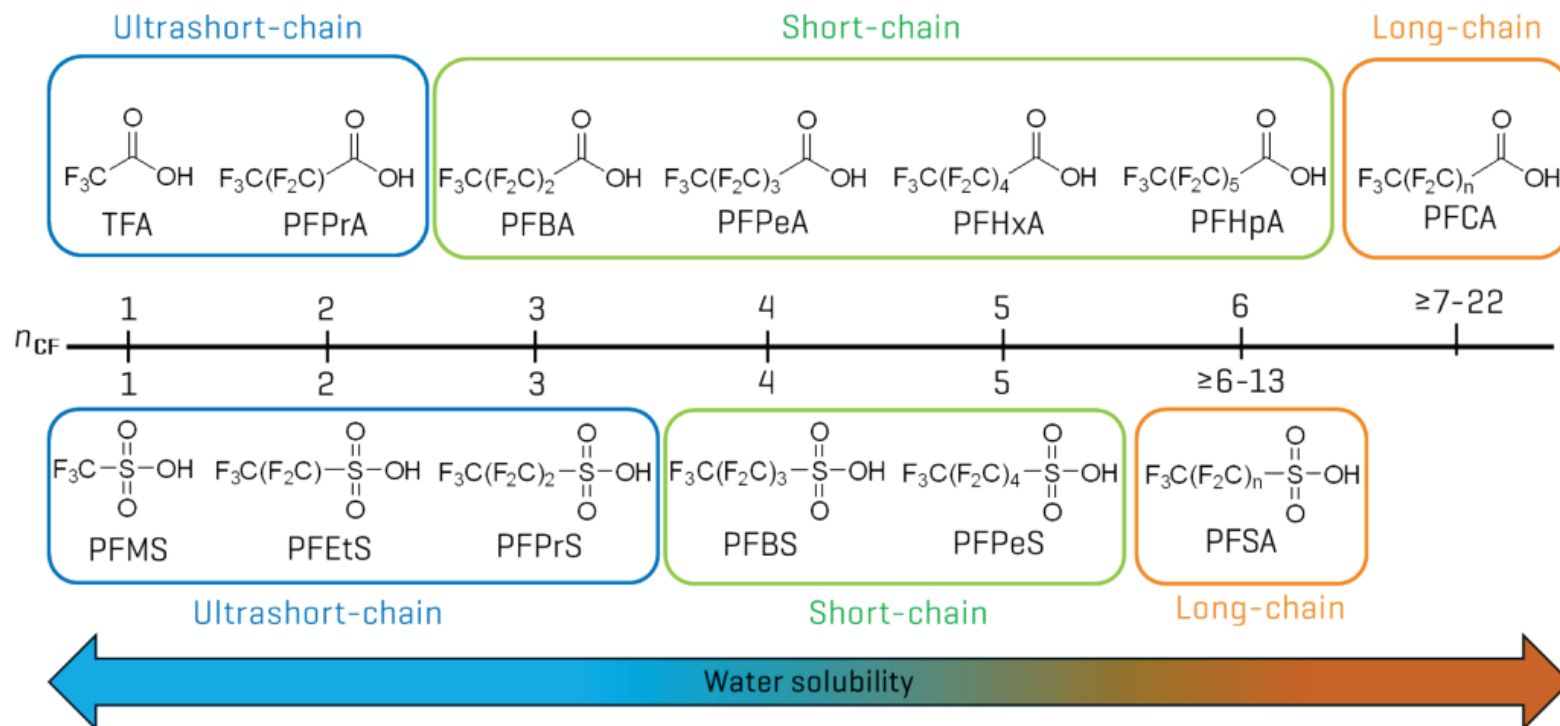
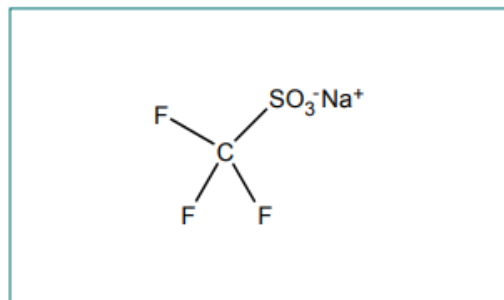


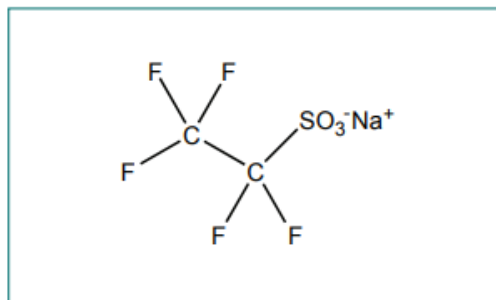
Figure 2. A structural overview of ultrashort-, short- and long-chain PFAAs. The varying chain length of perfluoroalkyl carboxylic acids [PFCAs, top] and perfluoroalkane sulfonic acids [PFSAs, bottom] is demonstrated by the number of C_F in their structures. The water solubility of the PFAA is inversely correlated with the number of C_F in the fluorinated chain.

出典：SCIEX社アプリケーションノート、“Quantitation of ultrashort- and short-chain PFAS in beverages by a direct injection LC-MS/MS method” (Holly Lee, et al.)

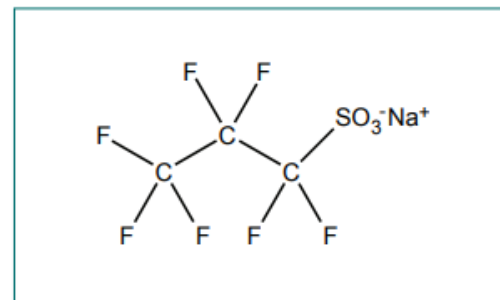
➤ スルホン酸



PFMeS

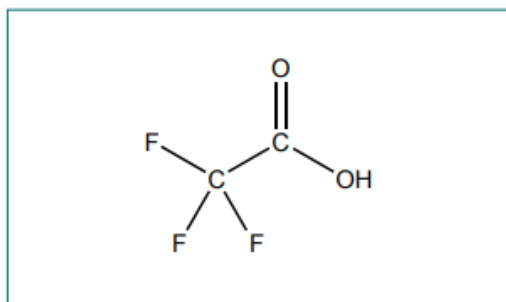


PFEtS

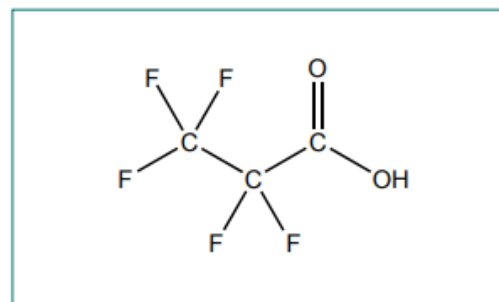


L-PFPrS

➤ カルボン酸



TFA



PFPrA

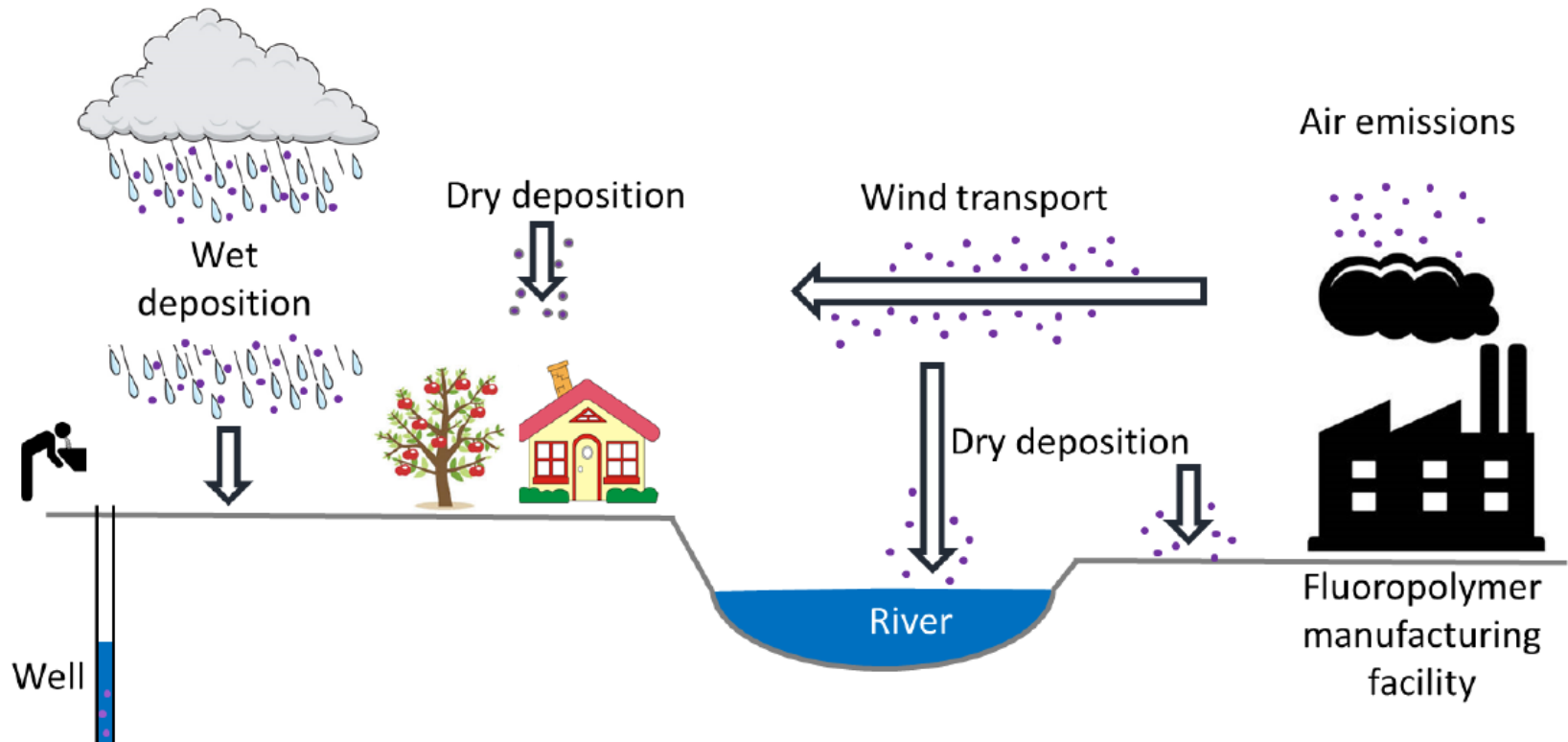
出典：ウェリントン・ラボラトリーズ社 有機フッ素化合物 標準品カタログ

CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY - © Eurofins Scientific (Ireland) Ltd, 2015. All rights reserved. Any use of this material without specific permission of an authorised representative of Eurofins Scientific SE is strictly prohibited.

- 現状、超短鎖PFASの分析規格はDIN38407-53とASTM D8628-25（2025/12発行）の2つの方法のみである。
- DINは濃縮等の前処理を行わないダイレクトインジェクション分析法であり、ASTMは超短鎖PFASをSPEで濃縮して分析するメソッドである。
- 同時濃縮が可能になれば、超短鎖PFASとC4以上のPFASの同時分析が可能になる可能性がある。
（EPA Method1633、ISO21675等との同時分析）
- C1～C18を同時分析できる方法として、分析用カラムとしてODS（C18）に表面電荷をもたせたミックスモードカラムを使用する研究が進んでいる。

1. TOP-Assay(TOPA)
2. 総PFAS (TF、AOF、EOF)
3. 超短鎖PFAS (UTC-PFAS)
4. 排ガス、大気中のPFAS

欧米の事例では大気経由の拡散と沈着、降雨によるウォッシュアウト (stormwater) による土壌や地下水の広域汚染が報告されている。

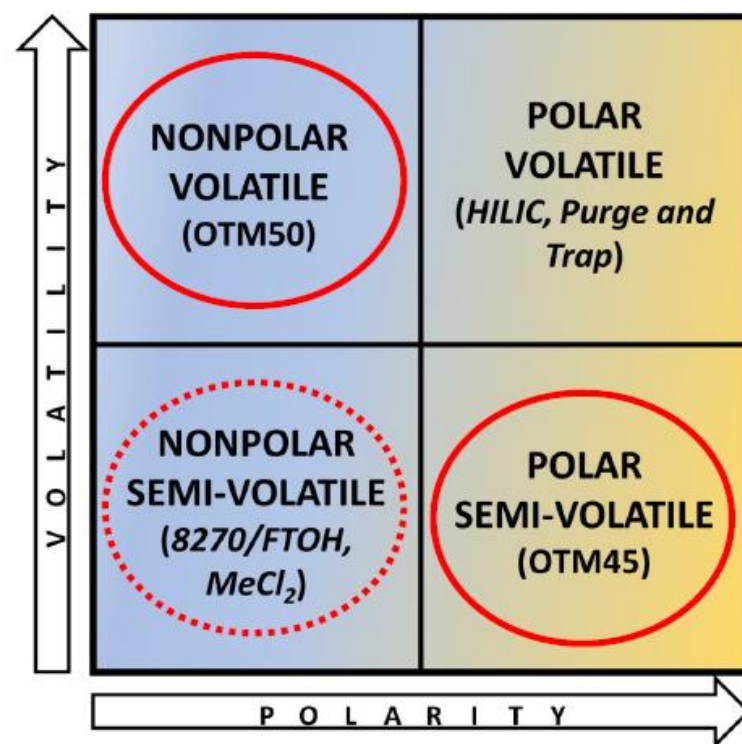


出典 : EPA Tools & Resources Webinar: EPA's PFAS Air Emissions Measurement Methods, Stephen R. Jackson, PhD, Oct. 16, 2024, Adapted from Davis et al., Chemosphere, 2007

CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY - © Eurofins Scientific (Ireland) Ltd, 2015. All rights reserved. Any use of this material without specific permission of an authorised representative of Eurofins Scientific SE is strictly prohibited.

US EPAでは排ガスの暫定的な測定方法としてOther Test Method (OTM)を公開しており、試験的な調査・分析が続けられている。

- **OTM-45**
ダイオキシン用サンプリングセットを改良した**C4以上のイオン性及び中揮発性PFAS**の分析
- **OTM-50**
VOC（TO-15A）用キャニスターを用いた**揮発性PFAS**の分析
- Method 0010 sampling with 8270 GC-MS analysis (**将来的なOTM-55**)
固相捕集-過熱脱着-GC/MS法による**FTOH**の分析



出典：EPA Tools & Resources Webinar: EPA's PFAS Air Emissions Measurement Methods, Stephen R. Jackson, PhD, Oct. 16, 2024

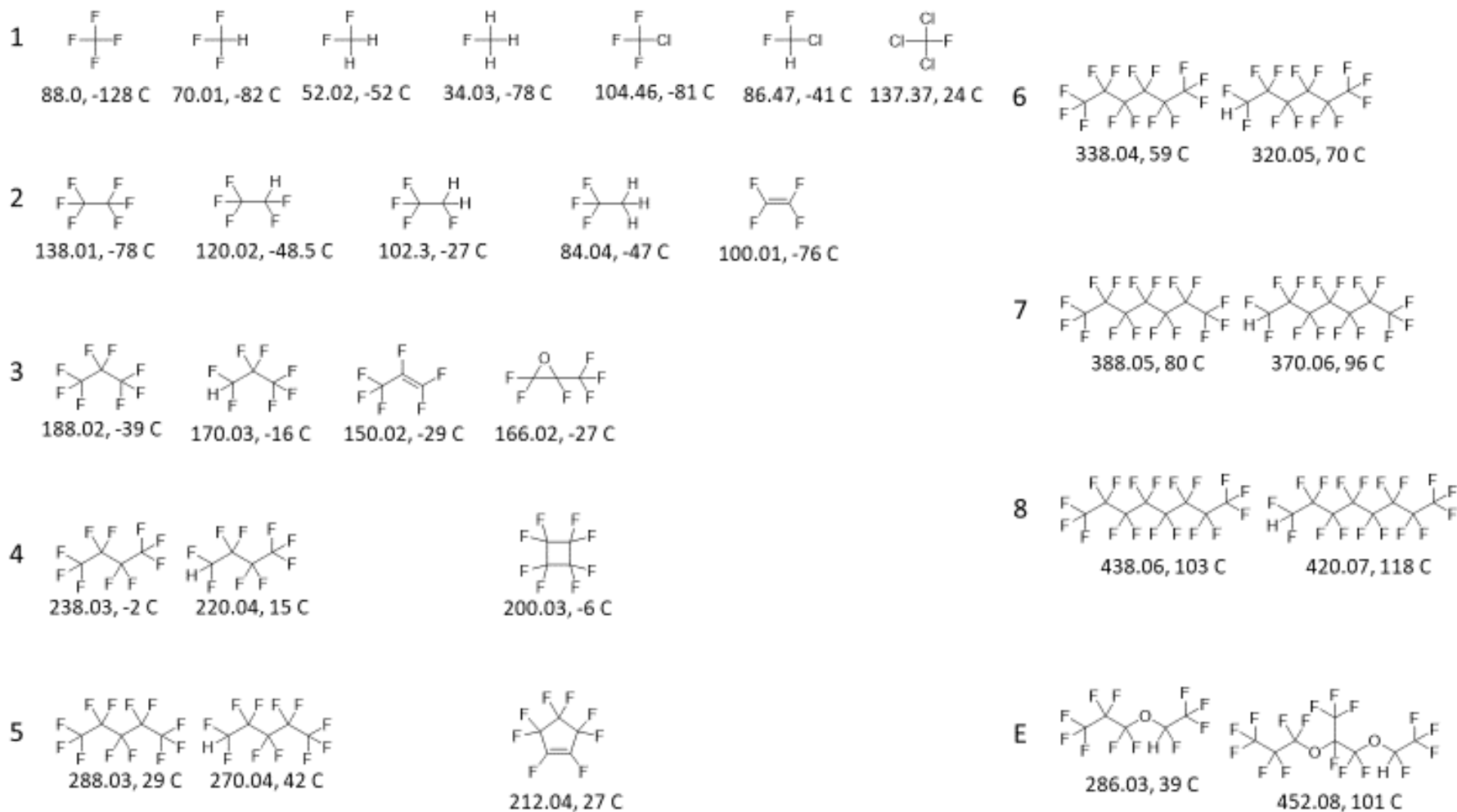
CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY - © Eurofins Scientific (Ireland) Ltd, 2015. All rights reserved. Any use of this material without specific permission of an authorised representative of Eurofins Scientific SE is strictly prohibited.

OTM-45測定対象項目の他法との比較



種別	OTM-45	Method 1633A	ISO 21675
PFCA	13種 C4-C14, C16, C18	11種 C4-C14	13種 C4-C14, C16, C18
PFSA	8種 C4-C10, C12	8種 C4-C10, C12	5種 C4, C6-C8, C10
FOSA	3種	3種	3種
FOSE	2種	2種	-
FOSAA	2種	2種	2種
FTS	4種 4:2, 6:2, 8:2, 10:2	3種 4:2, 6:2, 8:2	2種 6:2, 8:2
代替物質	4種 ADONA, Gen-X, 他	4種 ADONA, Gen-X, 他	3種 ADONA, Gen-X, 他
追加項目	13種	7種	2種
合計	49種	40種	30種

OTM-50の測定対象項目



出典 : EPA Tools & Resources Webinar: EPA's PFAS Air Emissions Measurement Methods, Stephen R. Jackson, PhD, Oct. 16, 2024

CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY - © Eurofins Scientific (Ireland) Ltd, 2015. All rights reserved. Any use of this material without specific permission of an authorised representative of Eurofins Scientific SE is strictly prohibited.

環境省の測定対象多項目化の動きと 弊社の商品について

「令和5年度環境水中における有機フッ素化合物の分析調査業務」

2. 業務の内容

(1) 水環境中の PFAS の分析法の検討

国内の水環境中での適用を想定し、PFAS の分析法 (44 物質程度、別記表 1) の検討を進め、『要調査項目等調査マニュアル』(<https://www.env.go.jp/water/chosa/index.html>) に準じてまとめる。検討に当たっては、EPAMethod1633、

⇒44項目の測定法として要調査項目等調査マニュアルに掲載予定

「令和7年度土壌中のPFASの分析調査方法等検討業務」

(2) 土壌中のその他 PFAS の測定方法に係る検討（分析法開発）

暫定測定方法（溶出試験）は PFOS、PFOA 及び PFHxS を対象としているが、昨今国内外において PFAS に関する関心が高まっている事を踏まえ、PFOS、PFOA 及び PFHxS 以外の PFAS (44 項目、表 1) に対する暫定測定方法（溶出試験）の適用可能性について検討を行う。なお、検討の実施方法等については以下の内容も含めるものとする。

環境省が検討している44項目について



種別	Method 1633A	ISO 21675	環境省検討中の44項目
PFCA	11種 C4-C14	13種 C4-C14, C16, C18	13種 C4-C14, C16, C18
PFSA	8種 C4-C10, C12	5種 C4, C6-C8, C10	8種 C4-C10, C12
FOSA	3種	3種	3種
FOSE	2種	-	2種
FOSAA	2種	2種	2種
FTS	3種 4:2, 6:2, 8:2	2種 6:2, 8:2	3種 4:2, 6:2, 8:2
代替物質	4種 ADONA, Gen-X, 他	3種 ADONA, Gen-X, 他	4種 ADONA, Gen-X, 他
追加項目	7種	2種(8:2 FTUCA, 8:2 diPAP)	9種 (1633A+ 8:2 FTUCA, 8:2 diPAP の2種)
合計	40種	30種	44種

当社のPFAS環境分析対応状況



試料	分析法	項目数	納期
水質（公共用水・地下水）	国内通知/暫定法 EPA 537.1 mod EPA 1633 ISO21675（水質）	4項目 22項目 40項目 30項目	7営業日/特急5営業日
土壌			15営業日/特急10営業日
底質			15営業日
排ガス	独自法 (OTM-45 based)	最大35項目	15営業日
	OTM-45（分析は米国ラボで実施）	49項目	ご相談ください
水質/土壌	独自迅速法	PFOS/PFOA/ PFHxS/PFHxA (最大44項目)	5営業日/特急3営業日 (多項目への対応は個別にご相談ください)
TOPA AOF TF USC-PFAS	独自法 EPA 1621 独自法 独自法	最大40項目 — — 5項目	プロジェクトベースでの 受託となります

赤字で示したEPAメソッドに対して、ISO17025の認定取得済み

- グループ会社のユーロフィン・プロダクトテストティングで受託しています。

試料	分析法	項目数	納期
繊維 紙 樹脂 包装材 薬品…等	CEN/TS15968:2010 自社法 (CIC) AOF (CIC)	総有機フッ素 個別最大41項目	11営業日

樹脂・材料中のPFASについてISO17025の認定取得済み

PFAS MEDIAでPFASに関する基本的な情報から最新情報まで発信中



EPA（米国環境保護庁）はどんな組織？PFAS規制の内容と併せて解説

投稿日：2024年5月21日



日本において、PFAS（有機フッ素化合物）の規制は環境省が主体となって行われていますが、アメリカではEPA（米国環境保護庁）が主体となって進めています。同国における

END