

見えない微量のPFASを測る： PFAS分析の最前線

(一財)三重県環境保全事業団 古川浩司

現代社会に欠かせない有機フッ素化合物

防水服



フライパンなど調理器具



耐油性食品包装




化粧品・医薬品など




半導体製品



泡消火剤



化学試験・実験

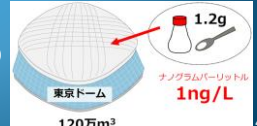


PFASやフッ素樹脂は、水や油をはじき熱に強いという特性があり、1940年代から産業利用されていて、焦げつきにくいフライパンや防水服、食品の包み紙などの身近な日用品から、航空機の火災などで使われる泡消火剤や半導体、自動車の部品にまで幅広く利用されてきました。



なぜPFAS分析は難しいのか

- 測るのは“極微量”
→ ng/Lやppb濃度レベルを正確に捉える必要があります
- 対象は“数ではなく群”
→ 多成分・多種のPFAS測定が求められる
- 身の回りに“常に存在”
→ 分析工程で汚染しやすい
(測定精度の確保がむずかしい)



東京ドーム
120万³

ナノグラム(10⁻⁹グラム)
1ng/L

水道水・環境水・排水の分析(固相抽出法)

塩類に強い方法(ただし、PFBA・PFPeAは測定不可)

水試料 10~1000mL ← サロゲート物質

固相抽出: Waters製HLB
コンディショニング: ①メタノール 10 mL ②精製水 10 mL
洗浄・精製水 10 mL
脱水: 吸引10分及び真空吸引20分
濃縮・定容(1 mL)
溶出: メタノール 6 mL

LC/MS/MS **環境水(特に海水)・排水**

塩類に弱い方法(ただし、PFBA・PFPeAは測定可能)

水試料 10~1000mL ← サロゲート物質

固相抽出: Waters製WAX
コンディショニング: ①塩化アンモニウム/メタノール 4 mL ②メタノール 10 mL ③精製水 10 mL
洗浄・精製水 10 mL
脱水: 吸引10分及び真空吸引20分
溶出: 0.1%アンモニウム/メタノール 5 mL

LC/MS/MS **水道水・飲料水・河川水(海水も対応可能になりました)**

・特徴 一定量下限値が0.1~5ng/Lと極微量分析
一排水、海水には、測定を妨害するマトリクスが複雑に混入

固相抽出法

試料通水



測定対象成分

溶剤で溶出



吸着させます

濃縮



乾燥



溶出



固相抽出法とは、液体試料中の目的成分を固体吸着材に保持させて分離・濃縮し、その後溶媒で溶出する前処理方法です。

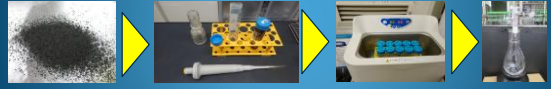
日本国内の水道水・環境水・排水の公定法

- 水道水 2026年3月まで
H15.10.10健水発第1010001号・厚生労働省健康局水道課通知準拠
2026年4月以降
H15年厚生労働省告示第261号
※水道水質基準に昇格のため、告示法に移行
- 環境水 R2.28.環水大発第2005281号・大気環境局長通知付表1
- 排水 JIS. K 0450-70-10:2011
または、
令和4年9月 環境省環境再生・資源循環局廃棄物規制課・PFOS
及びPFOA含有廃棄物の処理に関する 技術的留意事項

製品中PFAS:水の分析とは全く違う世界

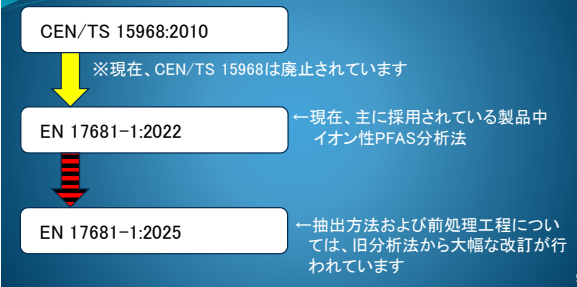
製品分析の特徴

- そのままでは測れないので、抽出・分解が前提
- 試料中には、測定を妨害するマトリックスが多量に存在します
- 水試料と比較しても、分析難易度が大幅に上がります

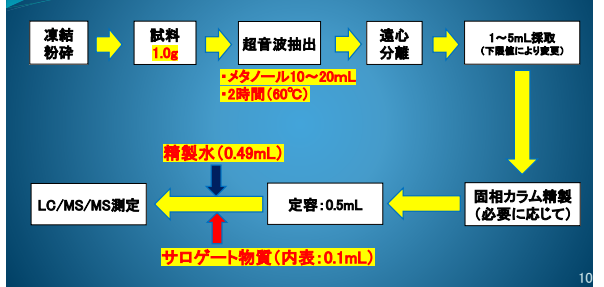


現在のところ、PFOAを中心としたPFCA_s化合物の公的な分析法は無いため、ヨーロッパの分析規格CEN/TS 15968、EN 17681-1:2022、EN 17681-1:2022などに準拠して分析されるのが一般的です。

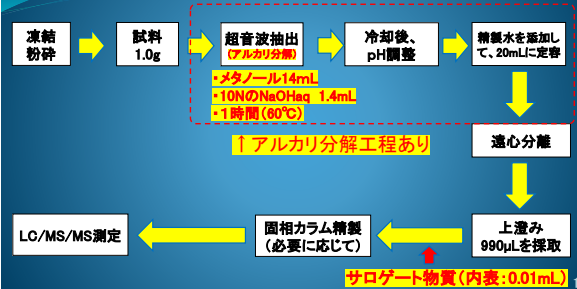
これまでの製品における一般的分析法



EN 17681-1:2022によるPFAS分析の全体フロー図

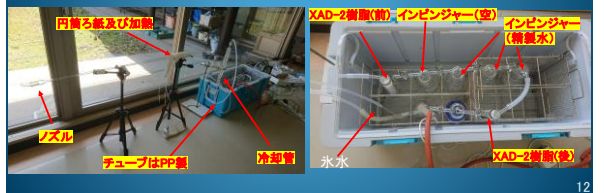


EN 17681-1:2025によるPFAS分析の全体フロー図


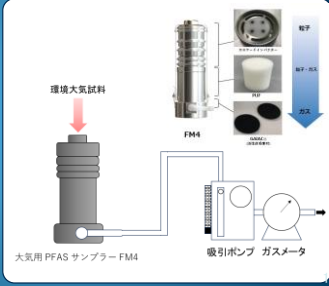


排ガス中のPFAS測定(サンプリング)

- ①PFOS及びPFOA含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項 (環境省)
- ②OTM-45 (US EPA)


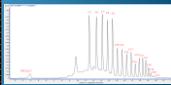


作業環境中PFAS測定(サンプリング)

LC/MS/MS装置で測定可能なPFAS


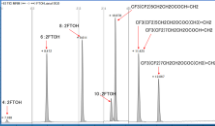
別称/商品名	別名	分子量	CASNo.	LC/MS/MS
PFAS-1	PFAS-1	338	1069-77-9	○
PFAS-2	PFAS-2	350	1069-78-0	○
PFAS-3	PFAS-3	362	1069-79-1	○
PFAS-4	PFAS-4	374	1069-80-2	○
PFAS-5	PFAS-5	386	1069-81-3	○
PFAS-6	PFAS-6	398	1069-82-4	○
PFAS-7	PFAS-7	410	1069-83-5	○
PFAS-8	PFAS-8	422	1069-84-6	○
PFAS-9	PFAS-9	434	1069-85-7	○
PFAS-10	PFAS-10	446	1069-86-8	○
PFAS-11	PFAS-11	458	1069-87-9	○
PFAS-12	PFAS-12	470	1069-88-0	○
PFAS-13	PFAS-13	482	1069-89-1	○
PFAS-14	PFAS-14	494	1069-90-2	○
PFAS-15	PFAS-15	506	1069-91-3	○
PFAS-16	PFAS-16	518	1069-92-4	○
PFAS-17	PFAS-17	530	1069-93-5	○
PFAS-18	PFAS-18	542	1069-94-6	○
PFAS-19	PFAS-19	554	1069-95-7	○
PFAS-20	PFAS-20	566	1069-96-8	○
PFAS-21	PFAS-21	578	1069-97-9	○
PFAS-22	PFAS-22	590	1069-98-0	○
PFAS-23	PFAS-23	602	1069-99-1	○
PFAS-24	PFAS-24	614	1069-100-2	○
PFAS-25	PFAS-25	626	1069-101-3	○
PFAS-26	PFAS-26	638	1069-102-4	○
PFAS-27	PFAS-27	650	1069-103-5	○
PFAS-28	PFAS-28	662	1069-104-6	○
PFAS-29	PFAS-29	674	1069-105-7	○
PFAS-30	PFAS-30	686	1069-106-8	○
PFAS-31	PFAS-31	698	1069-107-9	○
PFAS-32	PFAS-32	710	1069-108-0	○
PFAS-33	PFAS-33	722	1069-109-1	○
PFAS-34	PFAS-34	734	1069-110-2	○
PFAS-35	PFAS-35	746	1069-111-3	○
PFAS-36	PFAS-36	758	1069-112-4	○
PFAS-37	PFAS-37	770	1069-113-5	○
PFAS-38	PFAS-38	782	1069-114-6	○
PFAS-39	PFAS-39	794	1069-115-7	○
PFAS-40	PFAS-40	806	1069-116-8	○
PFAS-41	PFAS-41	818	1069-117-9	○
PFAS-42	PFAS-42	830	1069-118-0	○
PFAS-43	PFAS-43	842	1069-119-1	○
PFAS-44	PFAS-44	854	1069-120-2	○
PFAS-45	PFAS-45	866	1069-121-3	○
PFAS-46	PFAS-46	878	1069-122-4	○
PFAS-47	PFAS-47	890	1069-123-5	○
PFAS-48	PFAS-48	902	1069-124-6	○
PFAS-49	PFAS-49	914	1069-125-7	○
PFAS-50	PFAS-50	926	1069-126-8	○
PFAS-51	PFAS-51	938	1069-127-9	○
PFAS-52	PFAS-52	950	1069-128-0	○
PFAS-53	PFAS-53	962	1069-129-1	○
PFAS-54	PFAS-54	974	1069-130-2	○
PFAS-55	PFAS-55	986	1069-131-3	○
PFAS-56	PFAS-56	998	1069-132-4	○
PFAS-57	PFAS-57	1010	1069-133-5	○
PFAS-58	PFAS-58	1022	1069-134-6	○
PFAS-59	PFAS-59	1034	1069-135-7	○
PFAS-60	PFAS-60	1046	1069-136-8	○
PFAS-61	PFAS-61	1058	1069-137-9	○
PFAS-62	PFAS-62	1070	1069-138-0	○
PFAS-63	PFAS-63	1082	1069-139-1	○
PFAS-64	PFAS-64	1094	1069-140-2	○
PFAS-65	PFAS-65	1106	1069-141-3	○
PFAS-66	PFAS-66	1118	1069-142-4	○
PFAS-67	PFAS-67	1130	1069-143-5	○
PFAS-68	PFAS-68	1142	1069-144-6	○
PFAS-69	PFAS-69	1154	1069-145-7	○
PFAS-70	PFAS-70	1166	1069-146-8	○
PFAS-71	PFAS-71	1178	1069-147-9	○
PFAS-72	PFAS-72	1190	1069-148-0	○
PFAS-73	PFAS-73	1202	1069-149-1	○
PFAS-74	PFAS-74	1214	1069-150-2	○
PFAS-75	PFAS-75	1226	1069-151-3	○
PFAS-76	PFAS-76	1238	1069-152-4	○
PFAS-77	PFAS-77	1250	1069-153-5	○
PFAS-78	PFAS-78	1262	1069-154-6	○
PFAS-79	PFAS-79	1274	1069-155-7	○
PFAS-80	PFAS-80	1286	1069-156-8	○
PFAS-81	PFAS-81	1298	1069-157-9	○
PFAS-82	PFAS-82	1310	1069-158-0	○
PFAS-83	PFAS-83	1322	1069-159-1	○
PFAS-84	PFAS-84	1334	1069-160-2	○
PFAS-85	PFAS-85	1346	1069-161-3	○
PFAS-86	PFAS-86	1358	1069-162-4	○
PFAS-87	PFAS-87	1370	1069-163-5	○
PFAS-88	PFAS-88	1382	1069-164-6	○
PFAS-89	PFAS-89	1394	1069-165-7	○
PFAS-90	PFAS-90	1406	1069-166-8	○
PFAS-91	PFAS-91	1418	1069-167-9	○
PFAS-92	PFAS-92	1430	1069-168-0	○
PFAS-93	PFAS-93	1442	1069-169-1	○
PFAS-94	PFAS-94	1454	1069-170-2	○
PFAS-95	PFAS-95	1466	1069-171-3	○
PFAS-96	PFAS-96	1478	1069-172-4	○
PFAS-97	PFAS-97	1490	1069-173-5	○
PFAS-98	PFAS-98	1502	1069-174-6	○
PFAS-99	PFAS-99	1514	1069-175-7	○
PFAS-100	PFAS-100	1526	1069-176-8	○

GC/MS装置で測定可能なPFAS

○フルオロテロマー化合物:
 6:2FTOH, 8:2FTOH, 10:2FTOH,
 $CF_3(CF_2)_5CH_2CH_2I$, $CF_3(CF_2)_7CH_2CH_2I$,
 $CF_3(CF_2)_5CH_2CH_2OCOC(=O)CH_2$,
 $CF_3(CF_2)_7CH_2CH_2OCOC(=O)CH_2$,
 $CF_3(CF_2)_5CH_2CH_2OCOC(=O)CH=CH_2$,
 $CF_3(CF_2)_7CH_2CH_2OCOC(=O)CH=CH_2$,
 $CF_3(CF_2)_5CH_2CH_2OCOC(=O)C(CH_3)=CH_2$

○ペルフルオロアルキル基を有する化合物:
 $CF_3(CF_2)_nH$, $CF_3(CF_2)_nH$, $CF_3(CF_2)_nH$,
 $CF_3(CF_2)_nCH=CH_2$, $CF_3(CF_2)_nCH_2CH_3$,
 $CF_3(CF_2)_nI$, $CF_3(CF_2)_nI$, $CF_3(CF_2)_nI$

PFAS分析のコンタミ(汚染)対策

製品検査で1 ppb、環境水測定で0.1 ng/Lの定量下限値を確保するには、各工程でコンタミする各PFASのBLの総和を10 pg/mL以下にする必要があります。

$10 \text{ pg/mL} = 0.01 \text{ ng/mL} = 0.00001 \text{ } \mu\text{g/L} = 0.00000001 \text{ mg/mL} = 0.0000000001 \text{ g/L}$

ターゲット分析の限界: PFAS分析で見えるのほんの一部

規制対象PFAS
主にPFOA・PFOS

未規制・未知のPFAS
PFAS総数は10000以上
あるとされています

測れていない ≠ 存在しない

EUIにおけるPFAS規制における閾値と採用分析の対応づけ

規制上の閾値	対象/考え方	主な試験法・ポイント
25 ppb (単一PFAS)	個別PFASごとの上限。主に「意図せざる微量混入」管理	EN 17891-1:2022ターゲットなどによる分析(LC-MS/MS等)。高分子PFASはカウントしない。標準のあるPFASについて個別定量して25 ppbと比較。
250 ppb (合計)	複数PFASの合算上限。前処理で前駆体を酸化一先処理(PFAA)化して合算するアプローチも可	ターゲット分析の合算に加え、TOP Assay等の家畜法を採用して、見えていない前駆体も含めた真のPFAS合計に近づける。ただし25 ppb(単一)判定には使わない予定。
50 ppm (総PFAS)	高分子PFASを含む「総量」の上限。スクリーニングと執行用の実務値	総フッ素(TF)法で測定。50 mg F/kgを超えた場合、熱分解GC/MS等を用いてPFAS由来か非PFAS由来かの証明(情報要求)が発動。証明はサプライチェーン情報や追加分析(CF-/CF ₂ -確認等)で可。

TOP AssayによるPFASの包括的分析とは

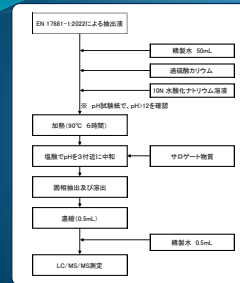
酸化性前駆体総濃度測定法 (total oxidizable precursor assay; TOPアッセイ) はPFAS測定法の一つで、ペルフルオロアルキル酸(PFAA)に酸化分解する物質の総濃度を測定する方法であり、環境水や排水、土壌などで検討されています。



PFASの包括的な測定が可能とされています

19

TOP Assayを用いたPTFE樹脂中のPFAS包括的分析法



20

配布資料(PDF)のダウンロードアドレス



https://www.mec.or.jp/k_bunseki/semina_mousikomi/nteraqua-2026-distribution-materials

