

ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア迅速計測技術と環境修復材料の開発（事後評価ヒアリング）

課題番号 1G-2102
体系的番号 JPMEERF20211G02
課題名 ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア迅速計測技術と環境修復材料の開発
課題代表者 山下信義
課題代表機関 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 環境創生研究部門
研究実施期間 2021-2023
研究体制
サブテーマ1リーダー
山下信義 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 環境創生研究部門
サブテーマ2リーダー
羽成修康 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター
サブテーマ3リーダー
東條 俊樹 大阪市立環境科学研究センター

ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア迅速計測技術と環境修復材料の開発（事後評価ヒアリング）

1. はじめに 研究の背景

1. PFOS/PFOAを含むペルフルオロアルキル化合物(PFAS)の使用削減・適正管理は過去10年以上ストックホルム条約(POPs条約)の重要議題となっている。
2. PFOSが2009年に規制対象となり、PFOAが2019年に条約追加、現在PFHxSが追加検討されている。関連物質も含めると数百種類の化学物質のリスクプロファイル作成が必要であり、現時点でも対策の目途が立っていない。
3. 2020年4月に沖縄米軍基地より漏洩した多量の泡消火剤に含まれるPFASについて発がん性を含む危険性が指摘され、日米間協議に問題が拡大している。国外では数百億円規模の政府・企業訴訟に発展しており、国内でも問題視する地域が増加している。

2. 研究開発目的

＜なぜPFAS対策が困難なのか？＞

1. 残留性・有害性が確認されているPFOS/PFOAの2物質については個別の規制・管理は可能。しかし、膨大な数量の関連物質(フルオロテロマー(FTOH)等の前駆体)が環境中で分解してPFOS/PFOAが二次生成するため、発生源推定が困難。揮発性前駆体の環境放出とPFOS等、有害な分解産物汚染との因果関係把握が難しい。
2. 4,730種類のPFAS関連物質が世界中で使用されており(OECD report, 2018)、全てを調査することは不可能に近い。
3. PFOS含有廃棄物の熱分解処理法はあるが、非常に幅広い物理化学性を持つPFASを環境から回収・安全処理する技術が国内には存在しない。

上の三つの問題を解決するために三つの研究を行う。

【サブテーマ1】主研究 (産総研 環境創生研究部門・株式会社竹中工務店・株式会社環境総合リサーチ)
ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化

【サブテーマ2】要素研究 (産総研 計量標準総合センター・フタムラ化学株式会社)
機能性を付加した活性炭材料によるペルフルオロアルキル化合物「群」の捕集および環境修復材料の開発

【サブテーマ3】応用研究 (大阪市立環境科学研究所 / 株式会社 東京久栄)
新技術を用いたペルフルオロアルキル化合物「群」汚染の全国実態調査

3. 研究目標及び研究計画

サブテーマ1

- 1) AI-TOFMS技術と高分解能質量分析計やタンデム質量分析計との比較、既存技術やISO21675・EPA法との相互比較性を確認する。
- 2) サブテーマ3で得られた実環境データをフィードバックする事で約1,500種類のPFASを数十分で同定・定量可能な技術を開発する。
- 3) 新技術はISO国際標準規格として提案を試みる。

サブテーマ2

- 1) 「大気中PFASのガス・粒子同時サンプラー」について、ユーザーのコメントを受けた改良を行い、国内5台、国外2台の目標販売台数を達成する。
- 2) 「水試料中のイオン性・中性PFASの全分析」について製品開発を行う。
- 3) 環境漏洩したPFASの回収処理が可能な環境修復材料を開発・検証する。
- 4) フッ素の回収も含め、PFAS環境修復吸着剤の実用化の目途をつける。

サブテーマ3

- 1) サブテーマ1及び2で開発した新技術を用いて、ISO21675の分析対象である30物質のPFASの全国調査を行う。
- 2) 上により、日本が国際会議の場で要求されるPOPs条約有効性評価のエビデンスや対策立案にも繋がる「全国PFAS汚染データベース」を構築する。

4. 研究開発内容 と 5. 結果及び考察

【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)

< PFAS調査技術の問題点1 >

4,730種類のPFAS関連物質が世界中で使用されているが、全てを調査することは不可能に近い。膨大な数量の前駆物質と有害な分解産物との因果関係把握が困難。

< 研究目標 >

飛行時間型質量分析計(TOFMS)を用いた網羅分析は過去10年程度研究されており、定性的な多成分分析の実績はあるが、定量性・測定感度に限界がある。特に1分析が100GBにもなる巨大なマススペクトルデータを人力だけで解析するのは難しい。

南京大学と開発した、人工知能・機械学習を用いた自動解析により、117種類の大気中PFASの一斉分析と未知の関連物質(new PFAS)の測定を2020年に実現した。

- ◆ 人工知能網羅分析(AI-TOFMS)を改良し、一般環境(水・大気)・市中製品・廃棄物中に存在する約1,500種類のPFASを数十分で同定・定量可能な計測技術を開発することを目標とする。

ENVIRONMENTAL
Science & Technology

pubs.acs.org/est

産総研



Nontarget Discovery of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Atmospheric Particulate Matter and Gaseous Phase Using Cryogenic Air Sampler

Nanyang Yu, Haozhe Wen, Xuebing Wang, Eriko Yamazaki, Sachi Taniyasu, Nobuyoshi Yamashita, Hongxia Yu, and Si Wei*



c&en



Read Online

ATMOSPHERIC CHEMISTRY

Method detects new PFAS in the atmosphere

Untargeted capture and analysis turns up previously unobserved airborne PFAS

by Katherine Bourzac

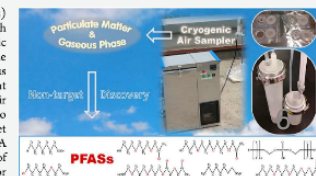
MARCH 13, 2020 | APPEARED IN VOLUME 99, ISSUE 10

Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) have been used as fire retardants and nonstick coatings for decades. Previous research has shown that some of the molecules can be

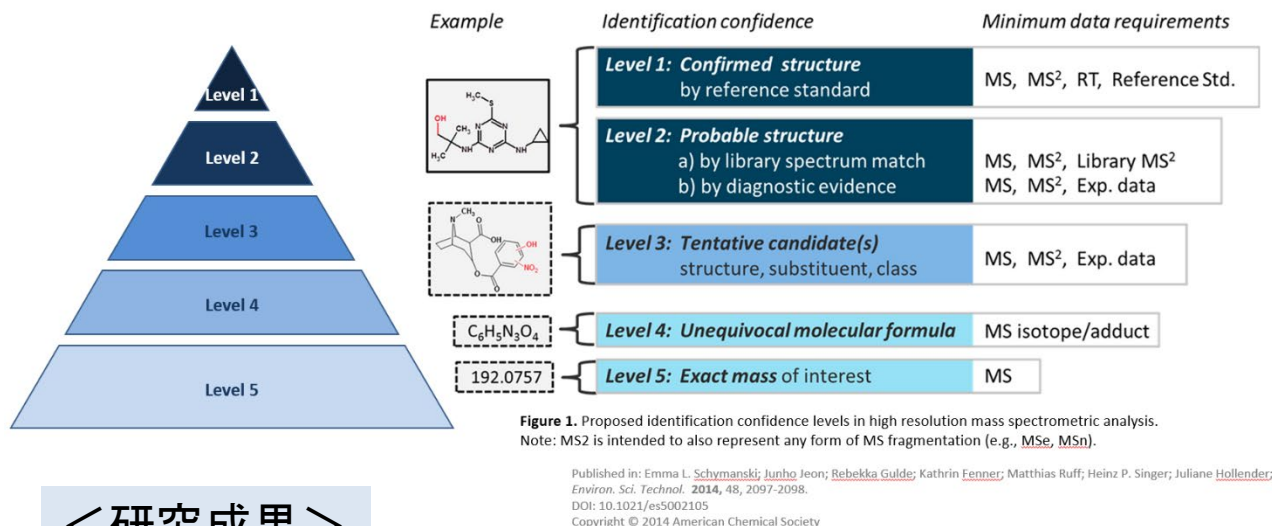


C₁₀ H-PFCA

As) ough teric i the equa what f air d to arget as. A 18 of 4 or



【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)



産総研/南京大学で開発している人工知能網羅分析技術(AI-TOFMS)とサーモフィッシャーサイエンティフィックのOrbitrap質量分析技術との相互比較研究により下記の成果が達成できた。

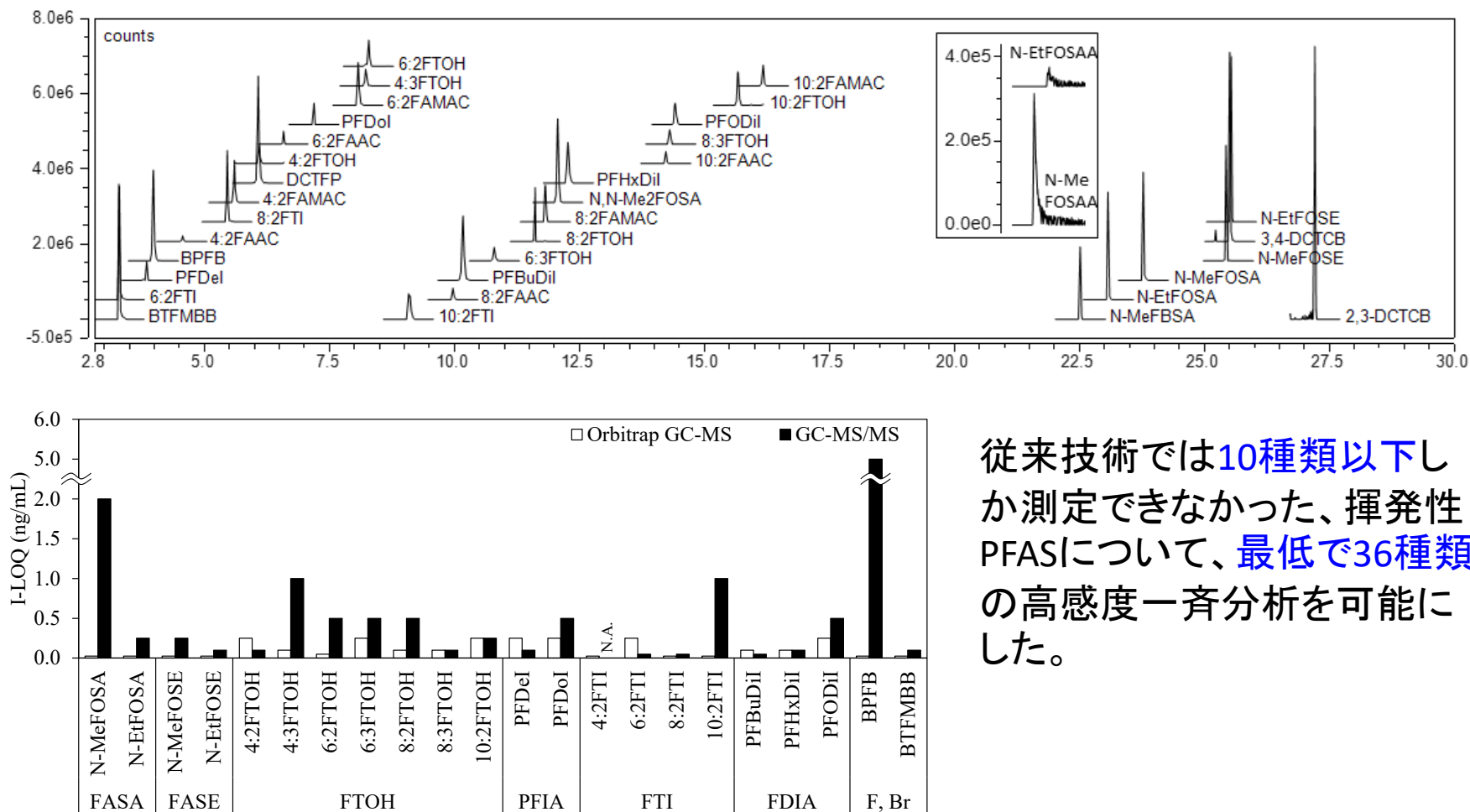
<研究成果>

1. 市場で使われている5000種類近いPFASの化学構造から、質量分析で生成する可能性のあるマスフラグメント(CF, CF 他)を特定し、その組み合わせから測定する条件を特定、SWATH-F技術と組み合わせることで、3000種類以上の潜在的PFASが測定可能となった。
2. 実際の環境試料を分析し、検出される化合物を解析した。水試料について最大400種類、大気試料は最大100種類しか検出されないことを確認した。
3. 市販の製品で5000種類以上のPFASが使用されていたとしても、水または大気中に残留するPFASは最大500種類程度にすぎないことが判明した。環境残留性から見て妥当な結果。

今後のPFAS対策の実効性を高める上で大きな進歩が得られた。

【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)

4. 小数点以下5桁の高分解能質量分析が可能なOrbitrap高分解能質量分析により、**36種類の大気中揮発性PFAS**の超高感度分析技術を開発した。これは既存のGCMSMS法と同等以上の高感度で、より信頼性の高い化合物同定が可能な新技術である。



従来技術では**10種類以下**しか測定できなかった、揮発性PFASについて、**最低で36種類**の高感度一斉分析を可能にした。

【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)

< PFAS調査技術の問題点2 >

水試料についてはISO21675で39種類のPFAS一斉分析が可能になったが大気試料等、他の媒体についてはいまだに標準分析法が存在しない。

< 研究成果 >

産総研が2007年に開発した超高感度燃焼イオンクロマトグラフ(CIC-F)と機能性活性炭を組み合わせたISO国際標準分析法を2022年5月に新規提案した(2025年末までにISO規格化予定)。

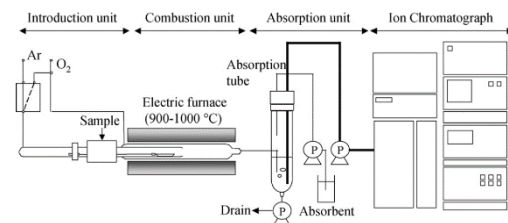
Determination of adsorbable organically bound fluorine, chlorine, bromine and iodine (AOF, AOCl, AOBr, AOI) by combustion ion chromatography (CIC) in water”(ISO/TC 147/SC 2 N 2112)

製品中 17ng/g のフッ素が測定できればREACH指令に対応可能。



Determination of adsorbable organic fluorine from aqueous environmental samples by adsorption to polystyrene-divinylbenzene based activated carbon and combustion ion chromatography

Andrea Wagner^a, Brigitte Raue^a, Heinz-Jürgen Brauch^a, Eckhard Worch^b, Frank T. Lange^{a,*}



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Journal of Chromatography A, 1143 (2007) 98-104

JOURNAL OF CHROMATOGRAPHY A

www.elsevier.com/locate/chroma

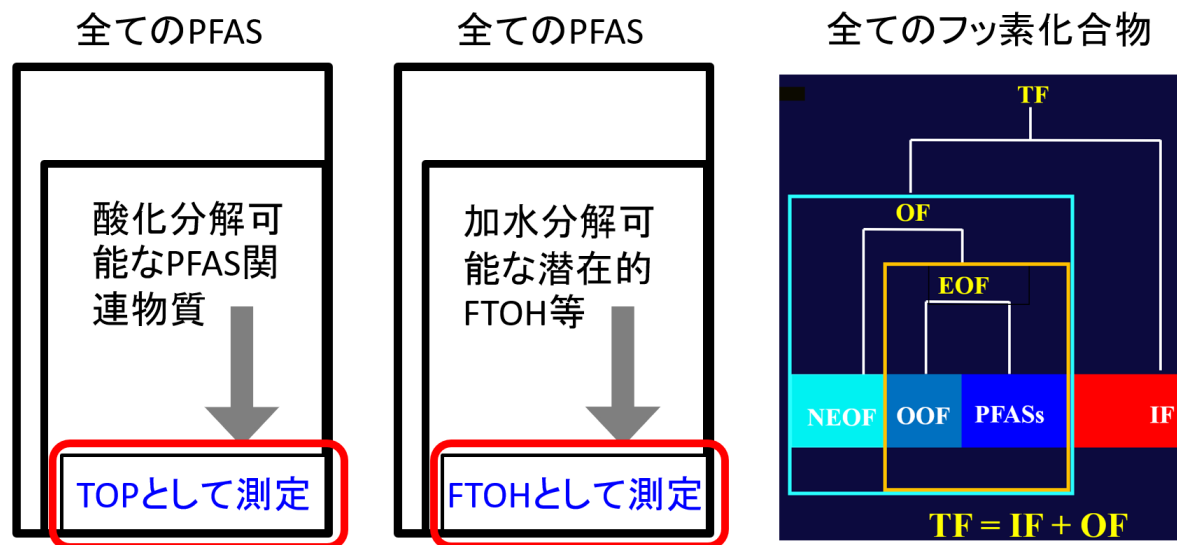
Determination of trace levels of total fluorine in water using combustion ion chromatography for fluorine: A mass balance approach to determine individual perfluorinated chemicals in water

Yuichi Miyake^a, Nobuyoshi Yamashita^{a,*}, Paweł Rostkowski^{a,b}, Man Ka So^{a,c}, Sachi Taniyasu^d, Paul K.S. Lam^c, Kurunthachalam Kannan^{d,e,**}

【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)

国外では、5000種類を超えるPFASの個別分析の限界は周知されている。
その代わり、特定の化学構造を持つグループとしてPFAS全体のインベントリーを把握するアプローチ(バルク分析/マスバランス解析技術)が急速に進んでいる。

- 下左 : TOP (Total Oxidisable Precursor) assay
下中央図 : 製品中の潜在的FTOHを全て加水分解する方法(Vladimir, 2021)
下右 : 全ての技術の基本となるマスバランス解析技術(CIC-F)



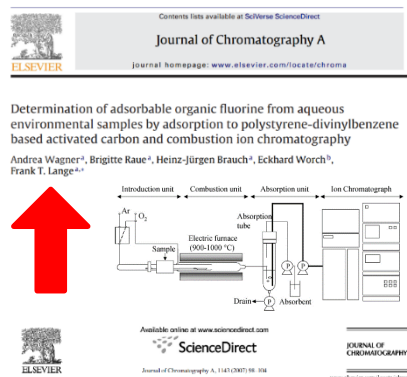
マスバランス解析技術とは、総フッ素、無機フッ素、有機フッ素の超高感度分析とPFASの個別分析を併用することで、**フッ素化合物全体に占める個々のPFASの寄与率**を指標として環境挙動・汚染状況を評価できる、産総研が2007年に開発した技術。

5000種類以上のPFASの個別分析を行わなくても**PFAS全体のインベントリー評価が可能**。

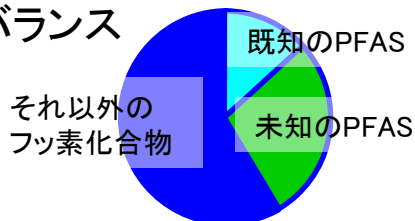
ISO25101, ISO21675に続き、3つ目のPFAS国際標準分析法である、吸着態有機フッ素(AOF)分析法のISO国際規格(ISO/TC 147/SC 2 N 2112)でも産総研開発技術が使われるため、PFAS研究分野での**日本の発言力強化に直結**する成果が得られた。

【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)

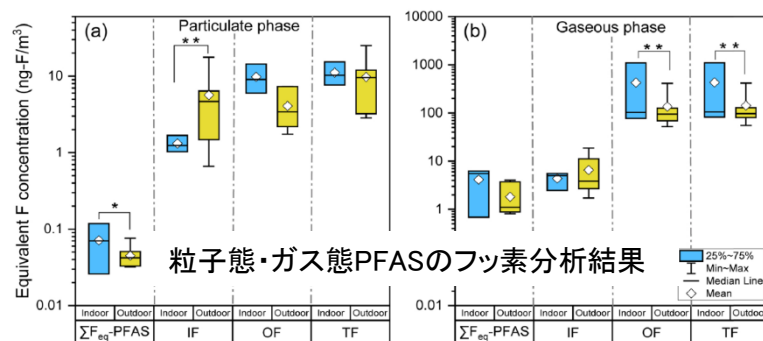
水試料・血液中PFASのマスバランス解析技術が2007年に開発され、土壌などにも応用されている。



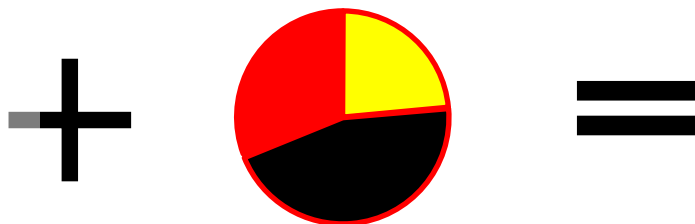
水中・土壌中PFASマスバランス



2022年に大気試料中PFASのマスバランス解析技術を新たに開発し、IF : 10.58の国際誌に掲載した。



大気中PFASマスバランス



Research Paper

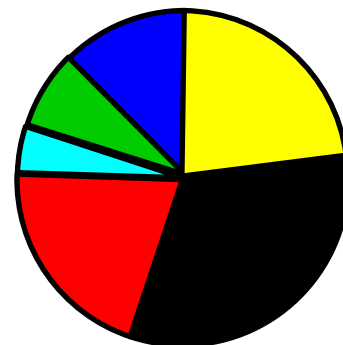
Fluorine mass balance analysis and per- and polyfluoroalkyl substances in the atmosphere

Huiju Lin^{a,b}, Sachi Taniyasu^b, Eriko Yamazaki^c, Rongben Wu^a, Paul K.S. Lam^{a,d}, Heesoo Eum^c, Nobuyoshi Yamashita^{b,*}



平成30年度戦略的基盤技術高度化支援事業で開発した ガス粒子一斉捕集装置 (NS20, 柴田科学製)

環境中の全てのPFASマスバランス



本技術により、水・大気・土壌・生物中に存在する、揮発性・不揮発性の全てのPFASが、全てのフッ素化合物に占める寄与率の解析が可能になった。今後のPFASインベントリー評価の標準技術になると期待される。

【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)

<予想以上の研究成果>

活性炭系材料のPFAS吸着特性を明らかにする過程で、PFAS対策技術用トリポラスを開発した。

天然材料活性炭

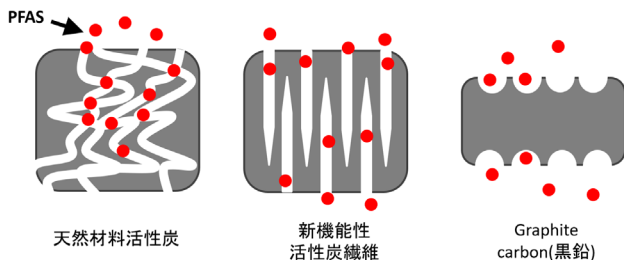
長鎖のPFASは吸着できるが脱離は困難、短鎖のPFASは吸着できない。フッ素ブランクが高い。

新機能性活性炭繊維

4:2FTOH等、高揮発性揮発性PFASの吸着ができる。フッ素ブランクが低い。臭素ブランクが高い。

グラファイトカーボン

PFASは吸着しないためクリンナップに使用する。



<https://www.sony.com/ja/SonyInfo/triporous/>

Accumulation of perfluoroalkyl substances in lysimeter-grown rice in Japan using tap water and simulated contaminated water

Eriko Yamazaki ^{a,b}, Sachi Taniyasu ^b, Kosuke Noborio ^c, Heesoo Eun ^d, Pooja Thaker ^{b,e}, Nirmal J.I. Kumar ^c, Xinhong Wang ^d, Nobuyoshi Yamashita ^{b,c}

^a College of the Environment & Ecology, Xiamen University, Xiamen, 361102, China

^b National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8565, Japan

^c Department of Agriculture, Meiji University, 1-1-1 Higashi-Mita, Kawasaki, Kanagawa, 214-8571, Japan

^d Chemical Analysis Research Center, National Institute for Agro-Environmental Sciences, 3-1-3 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8604, Japan

^e Institute of Science & Technology for Advanced Studies & Research (ISTAR), Sardar Patel Centre for Science and Technology, Vallabh Vidyanagar, Anand, Gujarat, 388-120, India

HIGHLIGHTS

- Lysimeter-grown rice was irrigated with tap water alone or added contamination.
- PFASs were analyzed for rice plant.
- PFOS and PFDA were not detected in white rice.
- PFASs were accumulated in unhulled rice, rice bran, straw and roots.
- PFOSA had the highest transfer factor from soil to rice, similar to N and P.

GRAPHICAL ABSTRACT



PFASを吸着したもみ殻を原料にしたPFAS対策材料の開発は欧州グリーンディール政策に合致する。

ソニーグループが開発し、産総研技術コンサルタント制度によりISO21675の分析対象である30種類のPFASをトリポラスを用いる事で99%近く除去できることを確認した。



【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)

Biochar from paddy field, a solution to reduce PFAS pollution in the environment.

Nobuyoshi Yamashita^{1*}, Leo Yeung², Eriko Yamazaki³, Sachi Taniyasu¹, Nobuyasu Hanari³

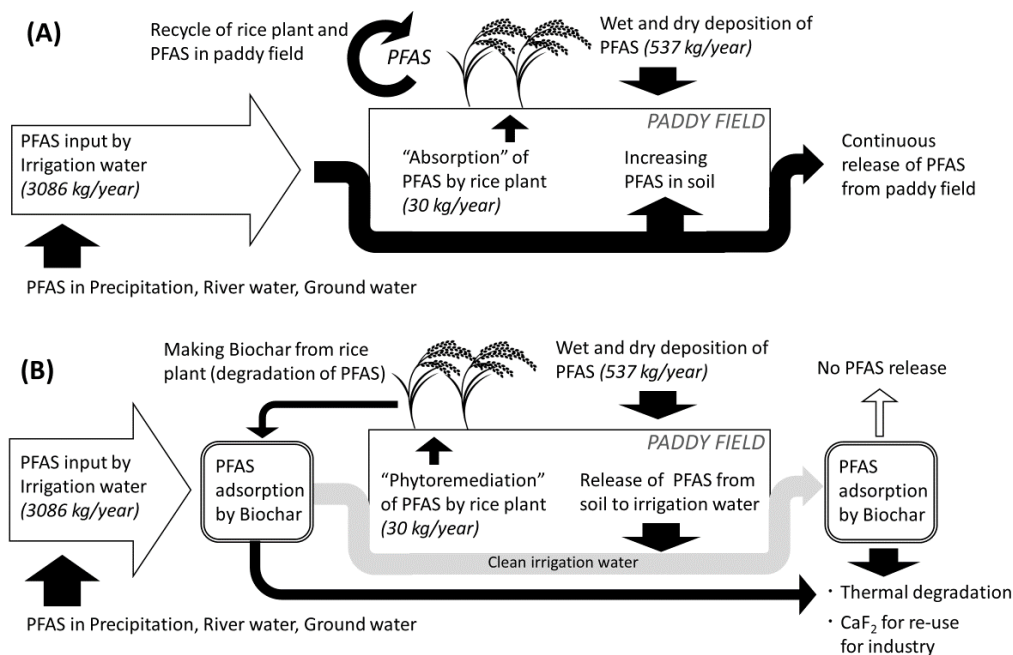


Fig. Nationwide, annual flux of Σ_{32} PFAS in Paddy field in Japan – “Paddy field as PFAS remove chamber”
(A) Current rice cultivation system, (B) New rice cultivation system with phytoremediation of PFAS and continuous production of Biochar.

PFAS環境調査・リスク評価など、対策の初期段階で足踏みするのではなく、「広域環境からPFASを取り除く」、具体的技術を提案した。

特に、アジア経済・文化の基幹である「稲作農業」を有効利用する事で、PFAS汚染の拡大を防ぎ、効率的なPFAS環境修復を可能にする技術を、ソニーグループ製もみ殻活性炭であるTriporous-PFASとPhytoremediation (植物を用いた環境修復)の組み合わせで実現した。

本成果により欧州に大きく後れを取っている日本のPFAS対策技術が、アジアにおけるPFAS対策技術の基幹技術として世界に注目される契機となる。

【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)

サブテーマ間連携(2)

サブテーマ3で予定していた「新技術普及のための産業界連携体制の確立」について、産業界だけではなく、産学官連携も可能な産総研コンソーシアム、「PFAS対策技術コンソーシアム」として2021年6月に設立した。2024年現在、農林水産省、環境省、経済産業省(化学物質管理課)を含む、PFAS関連団体52機関、110名の会員が入会し、活発な情報交換と、新技術普及のための活動を行っている。特に、PFASの分解処理と環境修復が実現可能なテクノロジーであることを初めて国内に紹介、ガラパゴス化した国内のPFASリスク問題を正常化させる契機になっている。

Consortium for analysis and remediation of per- and poly-fluoroalkyl substances

PFAS対策技術コンソーシアム



トップページ
2022/6/14更新

お知らせ
2022/6/21更新

運営会則
2021/7/7更新

入会申込
2021/7/9更新

データベース
2022/6/17更新

Q&A
2021/9/21更新

・分解(degradation) :

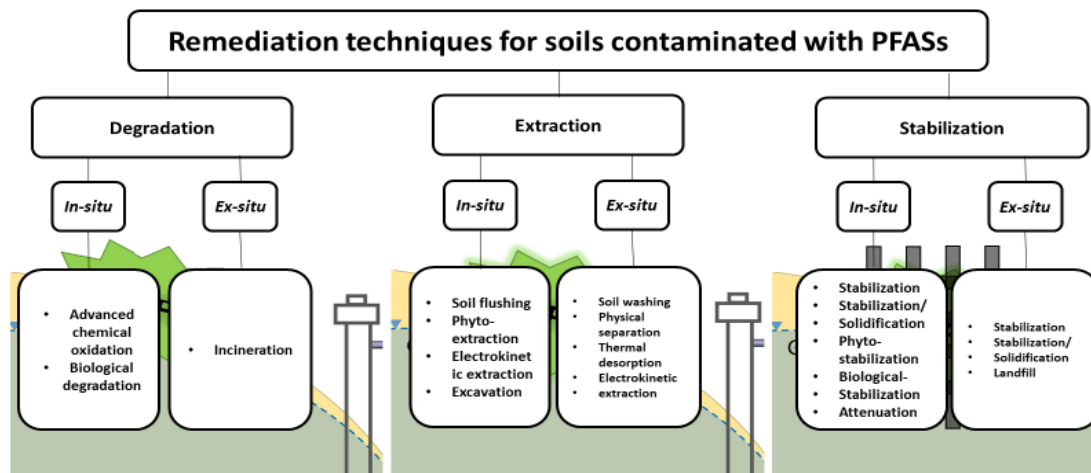
熱分解・光分解・化学分解・生物分解

・回収(extraction) :

吸着・脱離が可能な材料を用いてPFASを回収する。

・安定化(stabilization) :

汚染土壌などに含まれるPFASを安定な状態にすることで環境流出や生物吸収を防ぐ。



【サブテーマ1】ペルフルオロアルキル化合物「群」のマルチメディア人工知能解析技術開発と国際標準化 (主研究)

Discovery of novel PFASs in waterproof products from Japan via two-layer homolog network and retrospective database mining

Zhaoyu Jiao, Sachi Taniyasu, Nanyang Yu, Xuebing Wang, Nobuyoshi Yamashita, and Si Wei

PFAS-AI、すなわちPFAS分子ネットワークを利用したデータマイニング技術を用いて日本製撥水剤から未知のPFAS分子を多数発見した。

南京大学が開発した人工知能網羅分析技術(NTS)を初めて日本製品に適用した報告であり、NTSの基幹技術が中国と日本の共同研究から開発されたことを世界に示す研究報告。

環境修復材料を用いたPFAS汚染地下水の吸着試験

■ 実験条件

振とう速度・時間：150rpm、1時間

使用地下水：国内某所より採取

使用吸着材

Triporous TP-AC010（Sony製）

※もみ殻系活性炭

※粒径 D_{50} 60 μm

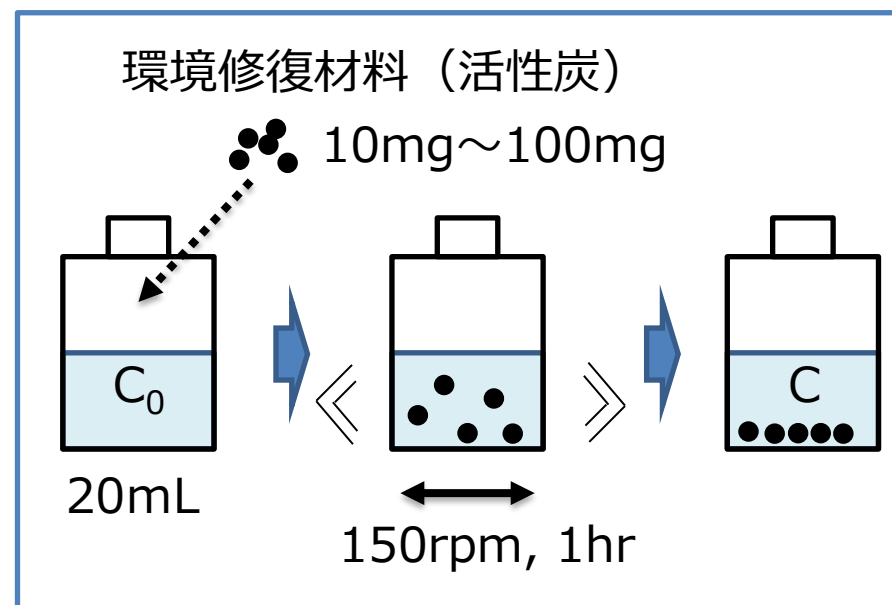
Fitrasorb400（Calgon Carbon製）

※石炭系活性炭

※粒径：0.55-0.75mm程度

■ PFAS分析方法：ISO 21675:2019

吸着試験概念図



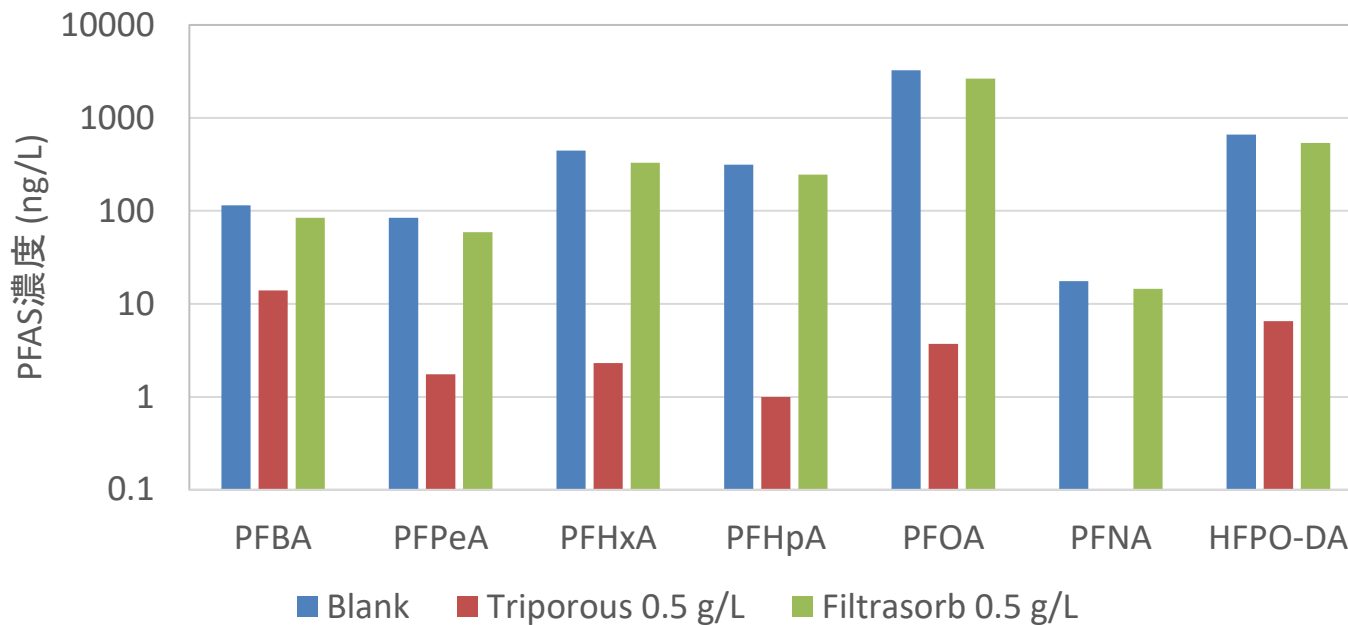
供試地下水中PFAS濃度

種類	濃度 (ng/L)
PFBA	110
PFPeA	83
PFHxA	440
PFHpA	310
PFOA	3100
PFNA	16
HFPO-DA	540

※PFBS、PFHxS、PFHpS、PFOS、PFDS、FOSA、N-MeFOSA、N-EtFOSA、N-MeFOSAA、N-EtFOSAA、6:2FTSA、8:2FTSA、9Cl-PF3ONS、PFDA、PFUnDA、PFDoDA、PFTrDA、PFTeDA、PFHxDA、PFOcDA、8:2FTUCA、8:2diPAP、DONAは定量下限以下

PFAS汚染地下水の吸着試験 ①活性炭の違いによる影響

■ PFAS濃度の変化



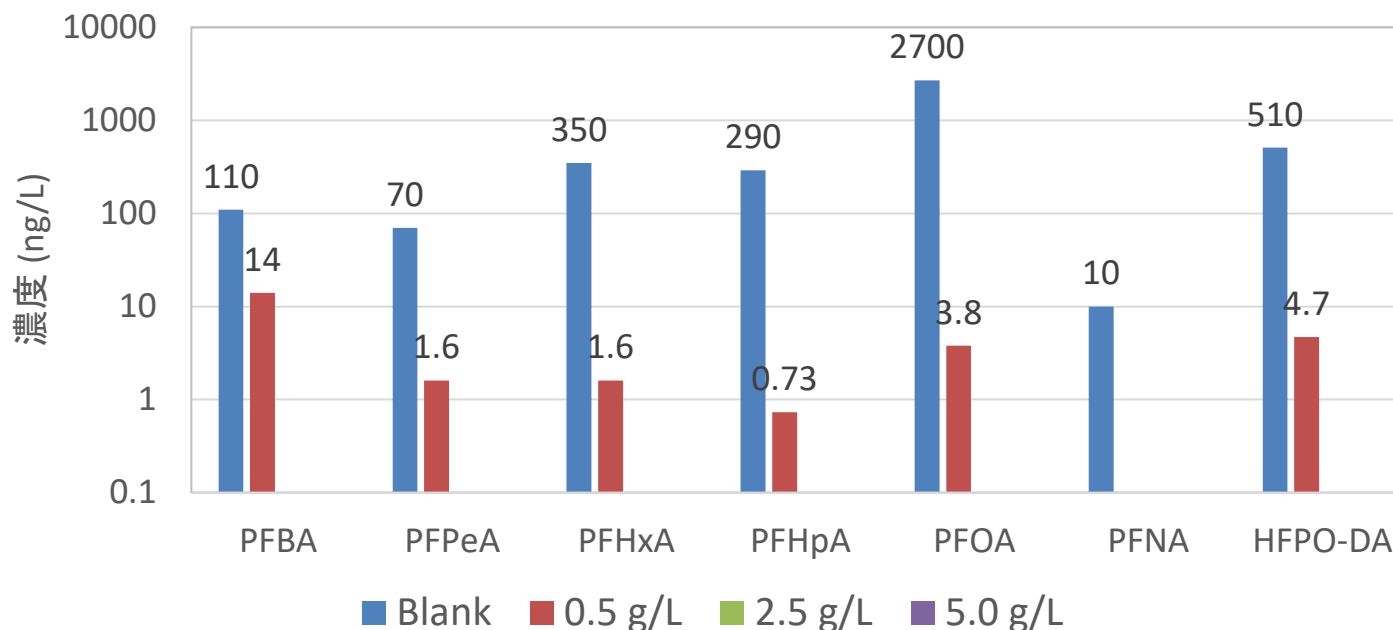
■ 除去率(%)

	Triporous TP-AC010 0.5 g/L-地下水	Filtrasorb400 0.5 g/L-地下水
PFBA	87.8%	26.5%
PFPeA	97.9%	29.8%
PFHxA	99.5%	25.8%
PFHpA	99.7%	22.2%
PFOA	99.9%	18.5%
PFNA	100%	17.1%
HFPO-DA	99.0%	18.2%

Triporous活性炭で高いPFAS除去率を示す

PFAS汚染地下水の吸着試験 ②添加量の影響

■ PFAS濃度の変化



■ 除去率(%)

	Triporous TP-AC010 0.5 g/L-地下水	Triporous TP-AC010 2.5 g/L-地下水	Triporous TP-AC010 5.0 g/L-地下水
PFBA	87.3%	>95.5%	>95.5%
PFPeA	97.7%	>99.3%	>99.3%
PFHxA	99.5%	>99.9%	>99.9%
PFHpA	99.7%	>99.8%	>99.8%
PFOA	99.86%	>99.98%	>99.98%
PFNA	>94.8%	>94.8%	>94.8%
8:2diPAP	>95.2%	>95.2%	>95.2%
HFPO-DA	99.1%	>99.6%	>99.6%

活性炭添加量2.5 g/L-地下水で全てのPFASが定量下限以下まで除去された

環境修復材料を用いたPFAS汚染土壌の安定化試験

■ 実験条件

攪拌速度・時間：65rpm、10分

使用土壌：国内某所より採取

使用吸着材

Triporous PS (Sony製)

※もみ殻系活性炭

※粒径 2~4 μ m

分散材

ポリアクリル酸Na 0.75 g/L-土壌

■ PFAS分析方法

土壌含有量：農水RS法準用

土壌溶出量：前処理(環境庁告示46号)

溶出液分析：ISO21675

安定化試験概念図

環境修復材料（活性炭）



攪拌

(65rpm、10分)

養生

(2Week)

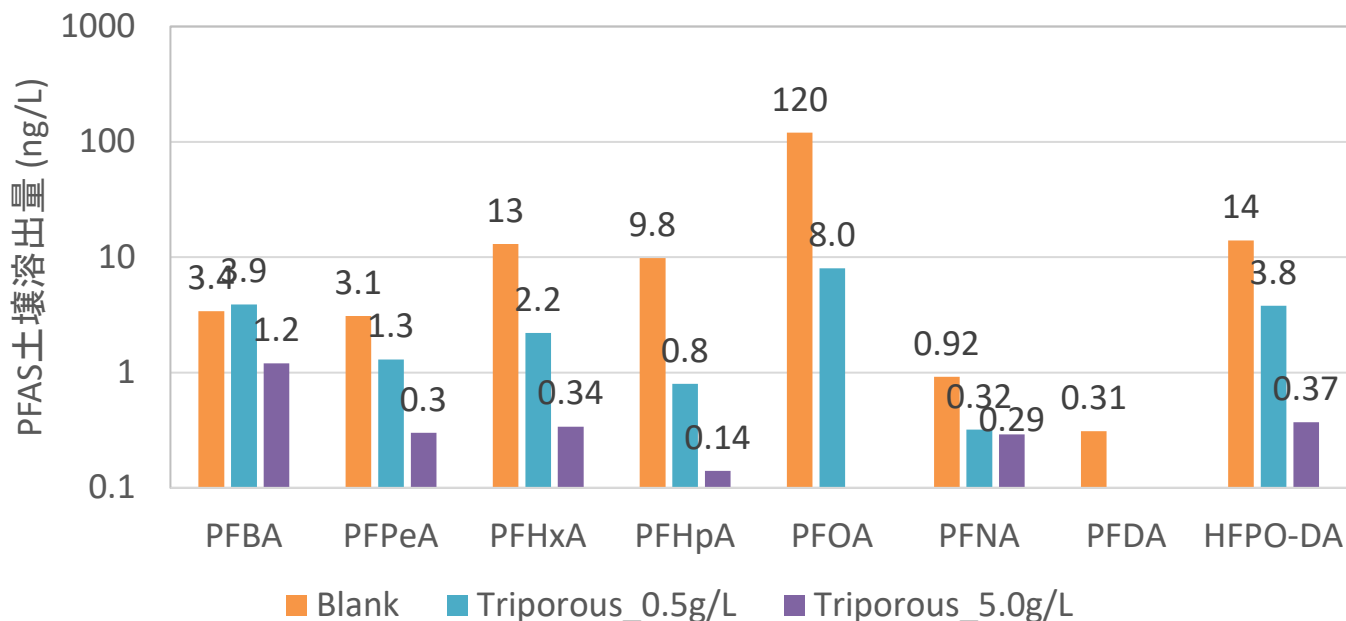
供試土壌中PFAS濃度（土壌溶出量）

種類	濃度 (ng/L)
PFBA	3.4
PFPeA	3.1
PFHxA	13
PFHpA	9.8
PFOA	120
PFNA	0.92
PFDA	0.31
HFPO-DA	14

※PFBS、PFHxS、PFHpS、PFOS、PFDS、FOSA、N-MeFOSA、N-EtFOSA、N-MeFOSAA、N-EtFOSAA、6:2FTSA、8:2FTSA、9Cl-PF3ONS、PFUnDA、PFDoDA、PFTTrDA、PFTEdA、PFHxDA、PFOcDA、8:2FTUCA、8:2diPAP、DONAIは定量下限以下

PFAS汚染土壌の安定化試験 ①添加量の影響

■ PFAS土壌溶出量の変化



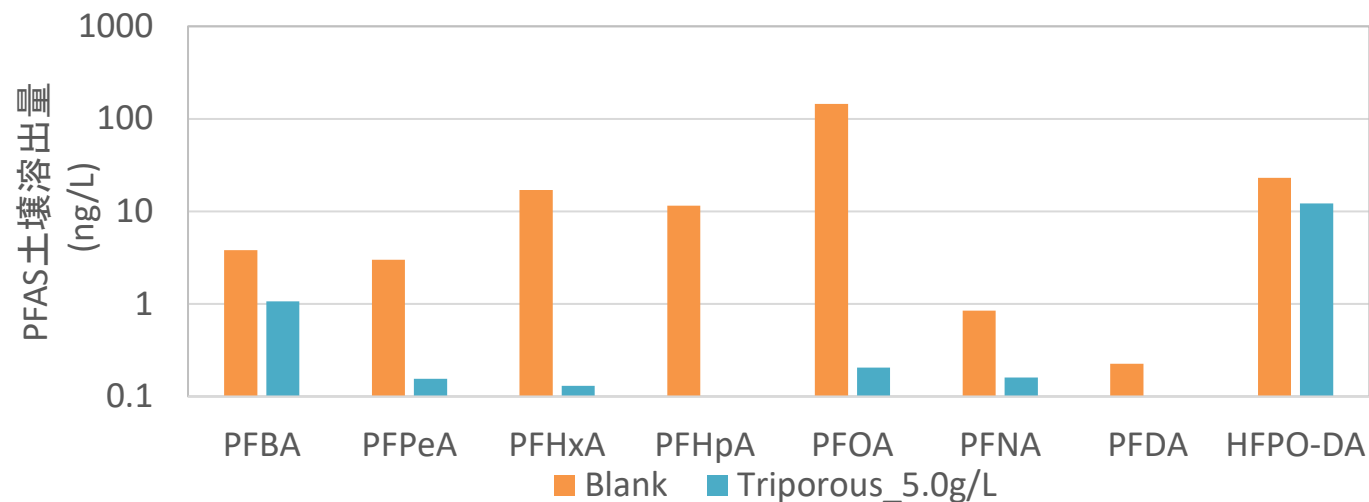
■ 低減率(%)

低減率(%)	B_Triporous PS 0.5g/L	C_Triporous PS 5.0g/L
PFBA	0.0%	64.7%
PFPeA	58.1%	90.3%
PFHxA	83.1%	97.4%
PFHpA	91.8%	98.6%
PFOA	93.3%	>99.7%
PFNA	65.2%	68.5%
PFDA	>67.7%	>67.7%
HFPO-DA	72.9%	97.4%

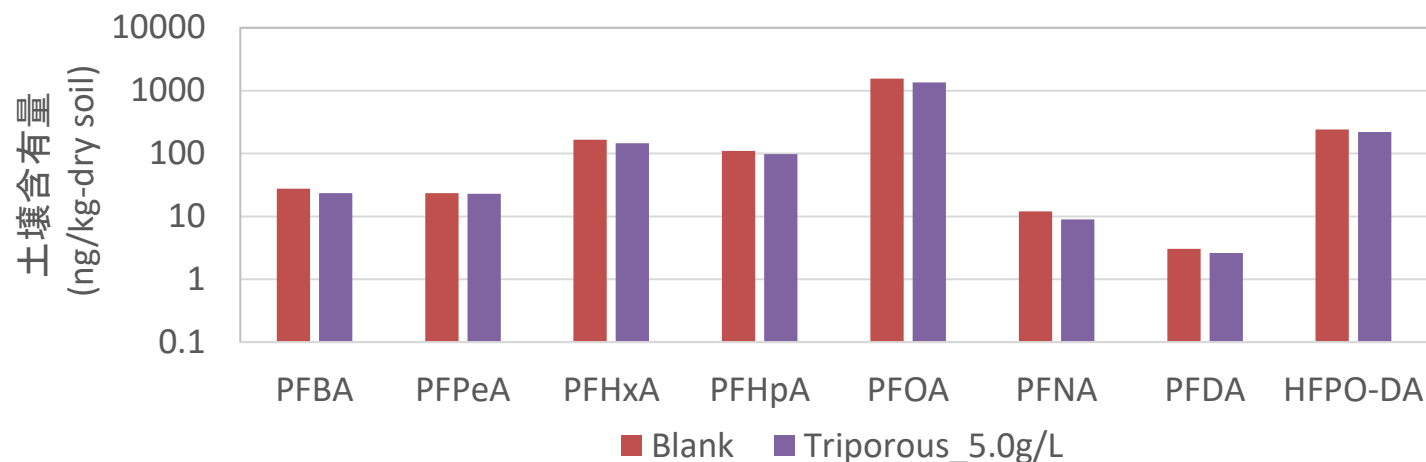
活性炭添加量0.5g/L-土壌で93.3%、5.0g/L-土壌で>99.7%のPFOA溶出量低減効果

PFAS汚染土壌の安定化試験 ②土壌溶出量、土壌含有量

■ PFAS土壌溶出量（≡地下水へ溶け出す形態のPFAS量）



■ PFAS土壌含有量の変化（≡土壌に含まれるPFAS総量）



環境修復材料により土壌中PFASを地下水へ溶出しない形態に安定化しリスク低減が可能となった (2024年9月土木学会大会にて発表予定)

【サブテーマ2】機能性を付加した活性炭材料によるペルフルオロアルキル化合物「群」の捕集および環境修復材料の開発 (要素研究) (産総研計量標準総合センター・フタムラ化学)

2021年度

- **2-1** 2020年度に販売開始したFM4のユーザーコメントを反映した改良FM4 ver2を作成する。(フ)
- **2-2** 水分析用GAIACの特許化と販売を開始する。(フ・NMIJ)
- **2-3** 環境修復用GAIACを開発しHPLC法など、性能を確認できる実験データを得る。(フ・NMIJ)

2022年度

- **2-4** FM4及び水分析用製品についてユーザーコメントを反映した改良製品を作成する。(フ)
- **2-5** 環境修復用GAIACについて実環境を想定した吸着・脱離処理(連続ライン)での性能評価と製品化の目途をつける。(フ・NMIJ)

2023年度

- **2-6** 使用後のGAIACの最終処理法を確定する。(フ、PFAS含有廃棄物処理マニュアル参照)
- **2-7** GAIACに吸着されたフッ素の回収技術を開発する。(フ、CICを使用する)

【サブテーマ2】機能性を付加した活性炭材料によるペルフルオロアルキル化合物「群」の捕集および環境修復材料の開発（産総研 計量標準総合センター・フタムラ化学株式会社）

＜最終年度計画：捕集および環境修復材料の開発＞

GAIACは既存活性炭とは異なり、吸着したPFASの脱離・再利用が可能であるが、製品寿命により、最終的には吸着剤自体の廃棄処理が必要である。そのため廃棄物として安全に処理を行うと同時に、産業資源であるフッ素の回収も可能な技術を開発する。

＜研究成果＞

2-5 環境修復用GAIACについて実環境を想定した吸着・脱離処理(連続ライン)での性能評価と製品化の目途をつけている。

2-6 使用後のGAIACについての最終処理法を、PFAS含有廃棄物処理マニュアルに基づき、対象PFASの分解率を評価し、目標を達成した。

2-7 GAIACに吸着されたPFASのフッ素として回収技術进行评估している。

2-5 環境修復用GAIACについて実環境を想定した吸着・脱離処理(連続ライン)での性能評価と製品化の目途をつける。

- 最適な処理法(HPLC法ベース)を確立(材料C'と超高温水による脱着)
※GAIACの再生利用が可能
- 実験室スケール、パイロットスケール、実装スケールと処理水量を増大
※0.1 L → 5.0 L → 50 L
※対象PFASはスルホン酸・カルボン酸・テロマーアルコール
(実装スケールではPFOS、PFOAのみ)



【サブテーマ2】機能性を付加した活性炭材料によるペルフルオロアルキル化合物「群」の捕集および環境修復材料の開発（産総研 計量標準総合センター・フタムラ化学株式会社）

2-5 環境修復用GAIACについて実環境を想定した吸着・脱離処理(連続ライン)での性能評価と製品化の目途をつける。

- ・ 9割程度以上を回収(長鎖カルボン酸類は一部ポリフルオロアルカンに変化)
- ・ 水道水では、PFASの吸着効率が大きく減少(含有する他有機物がGAIACに吸着されるため)

実験スケール (処理水量)	対象PFAS	回収率	処理水
0.1 L	TFA、PFOA	100% ～ 105%	Milli-Q
5.0 L	27種(スルホン酸11種、カルボン酸14種、テロマーアルコール2種) ※N-MeFOSA、N-EtFOSA、N-MeFOSAA、N-EtFOSAA、10:2FTUCA、8:2diPAP、8:2FTOH、10:2FTOHは参考情報	87% ～ 127%(長鎖カルボン酸類は一部ポリフルオロアルカンに変化)	Milli-Q
50 L	PFOS、PFOA	性能評価中	水道水他

【サブテーマ2】機能性を付加した活性炭材料によるペルフルオロアルキル化合物「群」の捕集および環境修復材料の開発（産総研 計量標準総合センター・フタムラ化学株式会社）

2-6 使用後のGAIACの最終処理法を確定する。

- PFOS及びPFOA含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項は、泡消火剤の焼却炉処理のため、方法を一部カスタマイズ（JIS M 88131参照）
※対象PFASをスルホン酸・カルボン酸・テロマーアルコールに拡大
- 99.999%以上の分解率を達成

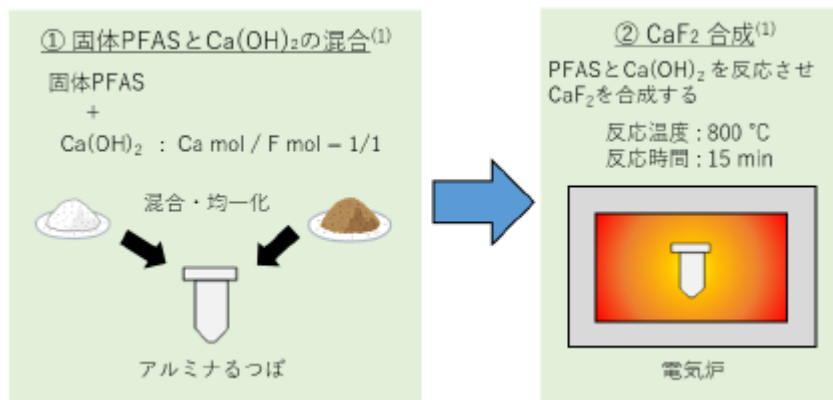
—→ 電気炉に入る前のガスの流れ
—→ 電気炉を出た後のガスの流れ



PFAS分類	対象PFAS	分解率
スルホン酸	PFBS	99.9999%
	PFOS	99.9999%
	N-EtFOSA	99.9998%
カルボン酸	PFBA	99.9996%
	PFOA	99.9998%
	PFDoDA	100.0000%
テロマーアルコール	4:2FTOH	99.9992%
	6:2FTOH	99.9992%

2-7 GAIACに吸着されたフッ素の回収技術を開発する。

- 水酸化カルシウムを用いてフッ化カルシウムとして回収（論文参照）
※電気炉でPFASと水酸化カルシウムを混ぜて加熱（800℃、15分）
- PFOSは9割以上変換、PFOAは5割程度（追加検討）**
※GAIACに吸着されたPFOS・PFOA/脱着液中のPFOS・PFOAのフッ素回収も検討予定



変換対象	対象PFAS	フッ素変換率
原体	PFOS	92%
	PFOA	47%
GAIAC	PFOS	実施中
	PFOA	実施中
脱着液	PFOS	実施予定
	PFOA	実施予定

【サブテーマ 3】新技術を用いたペルフルオロアルキル化合物「群」汚染の全国実態調査
(応用研究) (大阪市立環境科学研究所 / 株式会社 東京久栄)

＜研究目標＞

- ◆ サブテーマ1, 2で開発する新技術を用い、大阪市立環境科学研究所を中心とする地方環境研究所ネットワーク(環境省全国調査に参加)により大気・河川水中PFASの全国調査を行う。

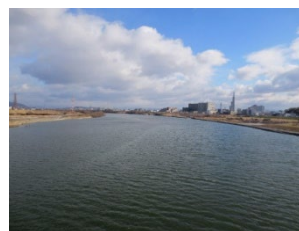
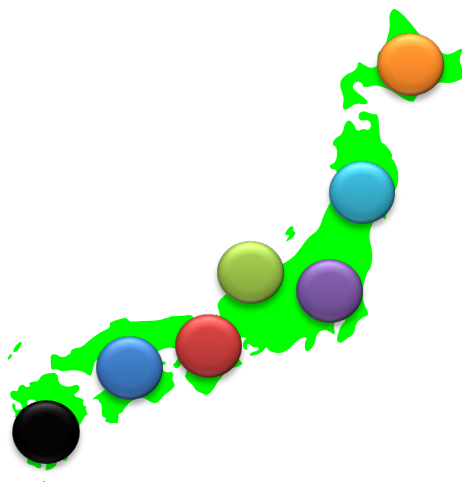
サブ3 研究計画

新技術を用いたペルフルオロアルキル化合物「群」汚染の全国実態調査

大阪市立環境科学研究センター

地方環境研究所のネットワークを利用した新技術を用いた実環境調査を行う

水質・大気のサンプリングについては、
地方環境研究所のネットワークを利用して
各自治体に依頼して行う。



サブ3 水質

一部PFASにおけるサロゲート回収率低下要因の解明

- 河川水分析時の $^{13}\text{C}_3$ -PFBS, $^{13}\text{C}_4$ -PFBA, $^{13}\text{C}_5$ -PFPeA及び $^{13}\text{C}_5$ -PFHxAにおけるサロゲート回収率の低下要因について検討
- 固相抽出時及びLC-MS/MS分析時の妨害の有無を調べるため、異なる試料量及び最終液の希釈によるサロゲート回収率の比較を実施

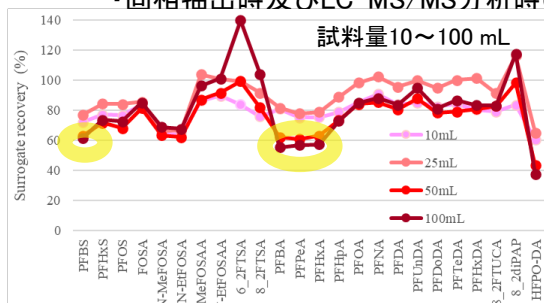


Fig. 1 Comparison of PFAS surrogate recovery depending on sample volume (Neya river: advanced water pollution)

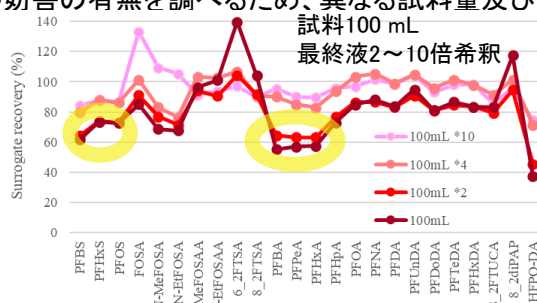


Fig. 2 Comparison of PFAS surrogate recovery depending on dilution factor of sample extracts (Neya river, sample vol. 100 mL)

- Fig. 1 試料量増→ 一部PFAS,サロゲート回収率低下
 Fig. 2 試料量が多い場合も、最終液の希釈によりサロゲート回収率は改善
 ↓
 一部PFASにおけるサロゲート回収率の低下要因
 ✕ 固相抽出時の妨害
 ○ LC-MS/MS分析時のサプレッションが原因

超純水及び河川水を用いた添加回収試験結果

- (a) Native回収率 (超純水) (b) 河川水 (無添加) (c) 河川水+ St1ng /L (d) Native回収率 (河川水)

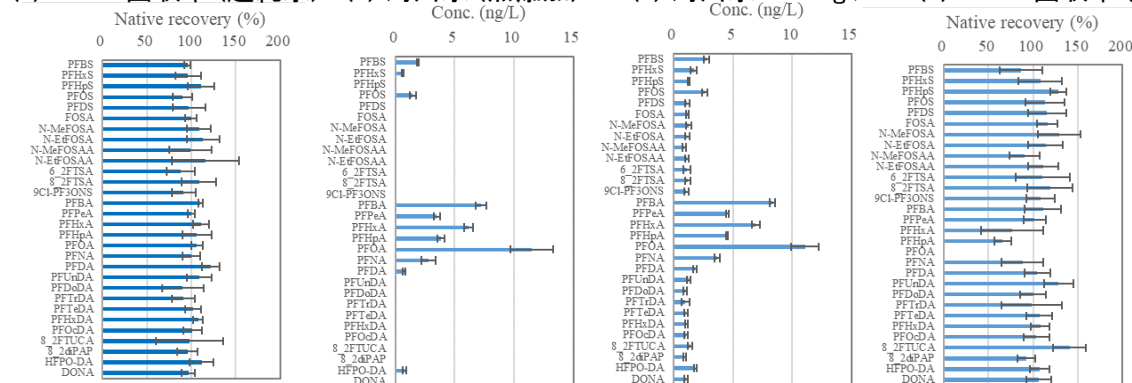


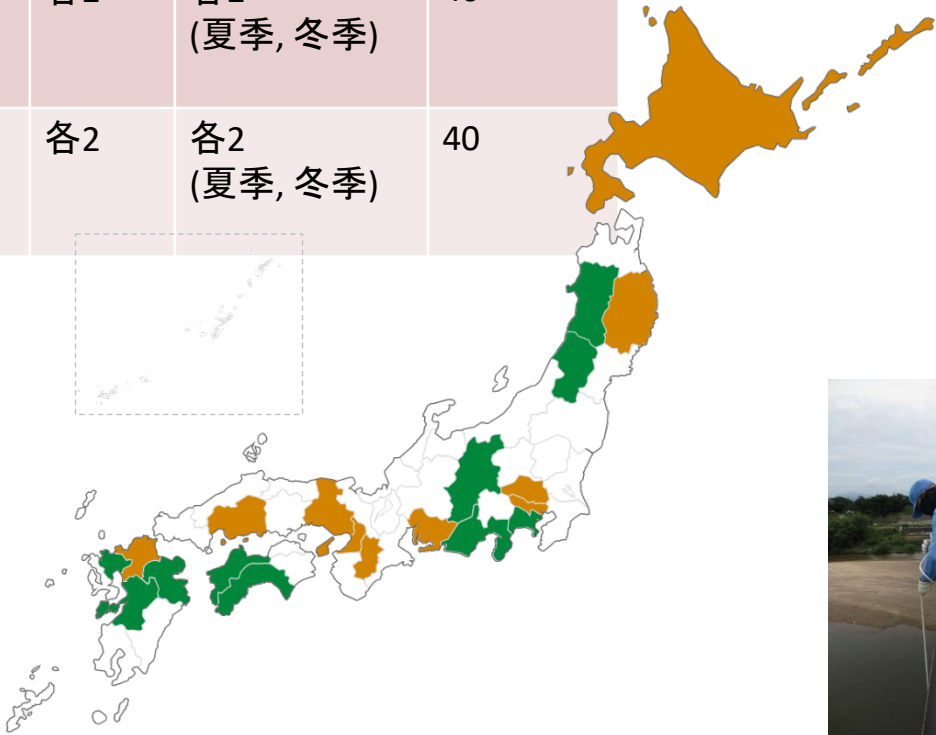
Fig. 3 Recovery experiments of PFAS in ultrapure water and river water ($n = 5$). (a) recovery of ultrapure water, (b) PFAS concentrations of river sample, (c) PFAS concentrations of spiked river sample, (d) recovery of river sample excluding PFOA. Error bar indicated standard deviations.

- Fig. 3 超純水及び河川水に +St1 ng/Lとなるよう
 添加回収試験を実施。Native回収率は
 ○ 超純水 (88~122%, 平均102%) Fig. 3 (a)
 ○ 河川水 (66~141%, 平均107%) Fig. 3 (d)
 いずれも良好な回収率
 →分析精度の堅牢性が確認

サブ3 PFAS全国調査計画(水質)

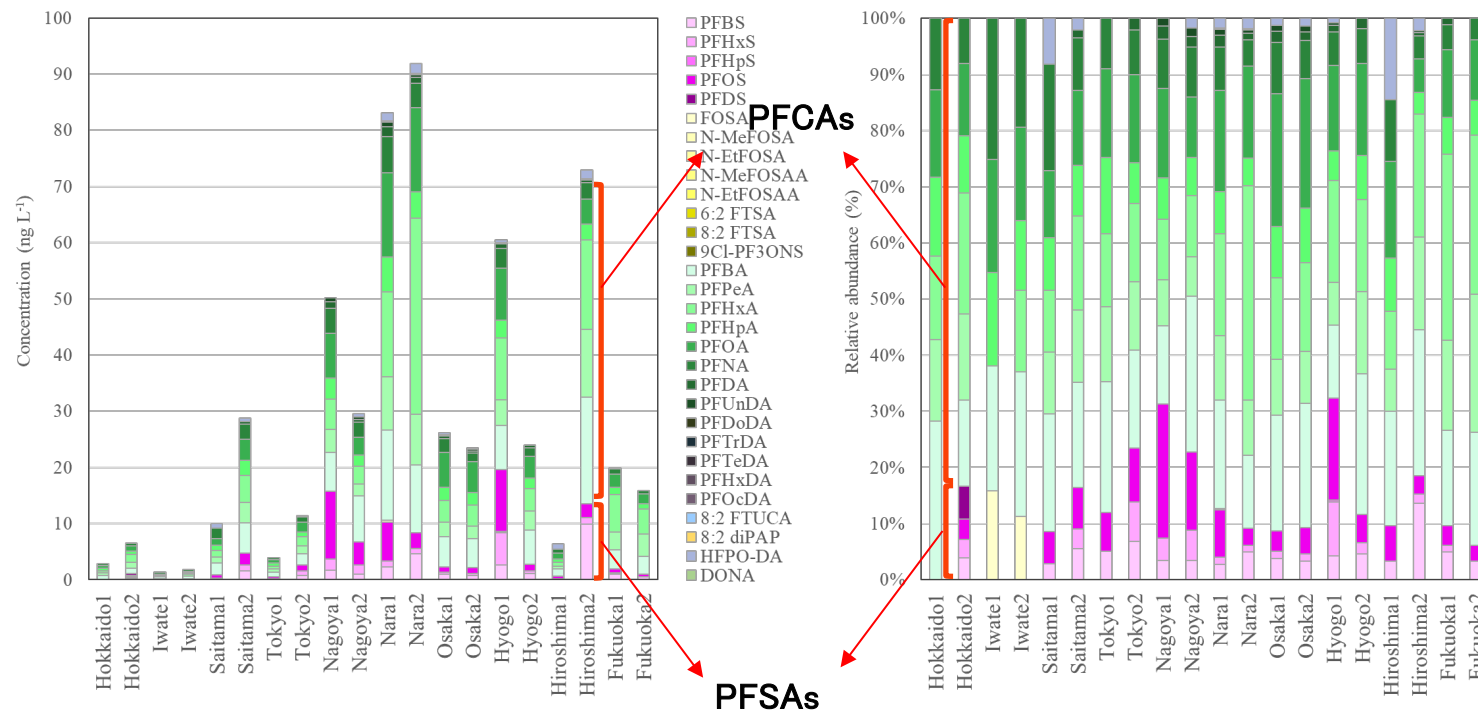
年度	都道府県数	地点数	サンプリング回数	サンプル総数
2022	10 北海道, 岩手, 埼玉, 東京, 愛知, 大阪, 兵庫, 奈良, 広島, 福岡	各2	各2 (夏季, 冬季)	40
2023	10 秋田, 山形, 長野, 神奈川, 静岡, 愛媛, 高知, 大分, 佐賀, 熊本	各2	各2 (夏季, 冬季)	40

2022年度 ■
2023年度 ■
PFAS全国調査(水質)
調査都道府県



サブ3 水質

2022年夏季 全国調査結果

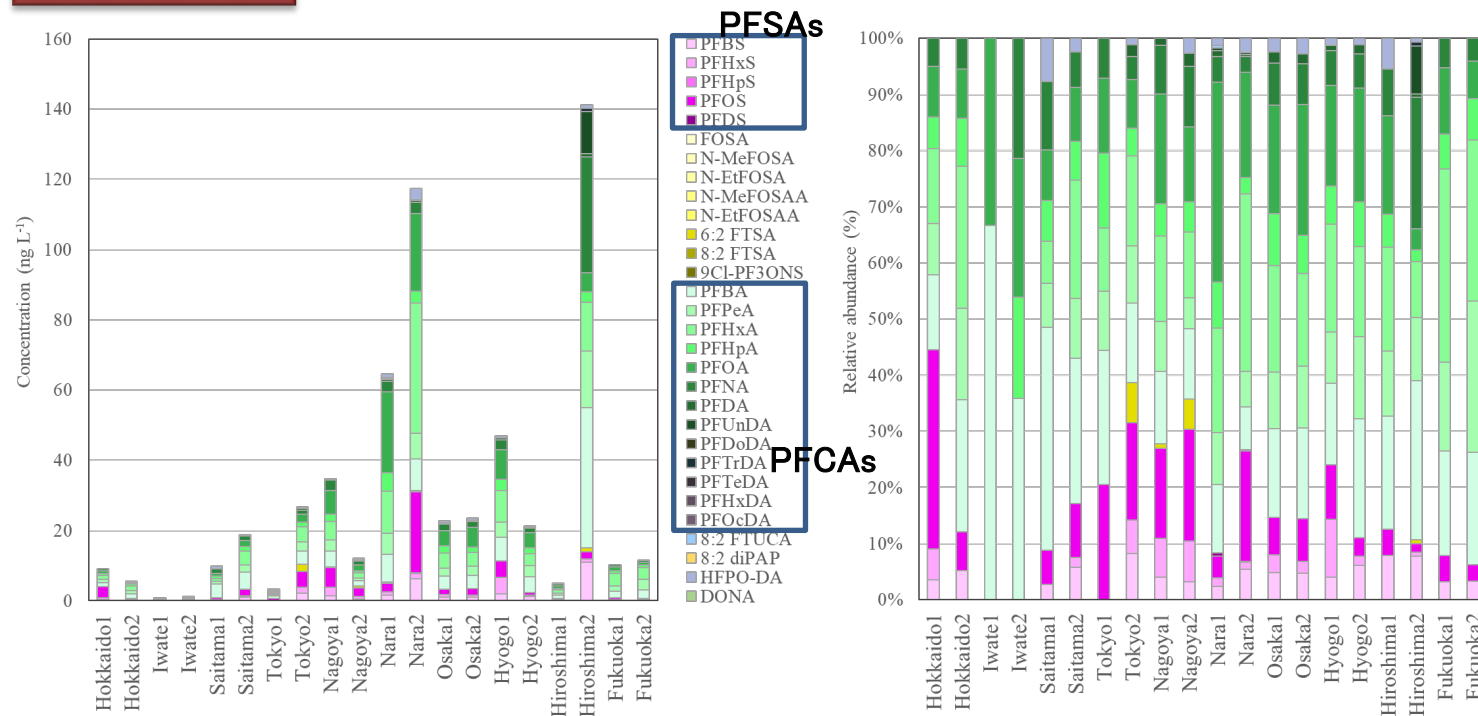


10都道府県, 各2試料
=計20試料分析

- ・ISO21675調査対象である30PFAS中, 16PFASを検出
- ・イオン性PFAS合計濃度: 1.4—92 ng/L (PFCA's: 1.2—82 ng/L, PFSA's: <0.2 — 20 ng/L)
- ・全成分に対するPFCA'sの割合: 67—100%, PFSA'sの割合: 0—32%
- ・同じ都道府県でも最大11倍の濃度差が見られた。

サブ3 水質

2022年冬季 全国調査結果

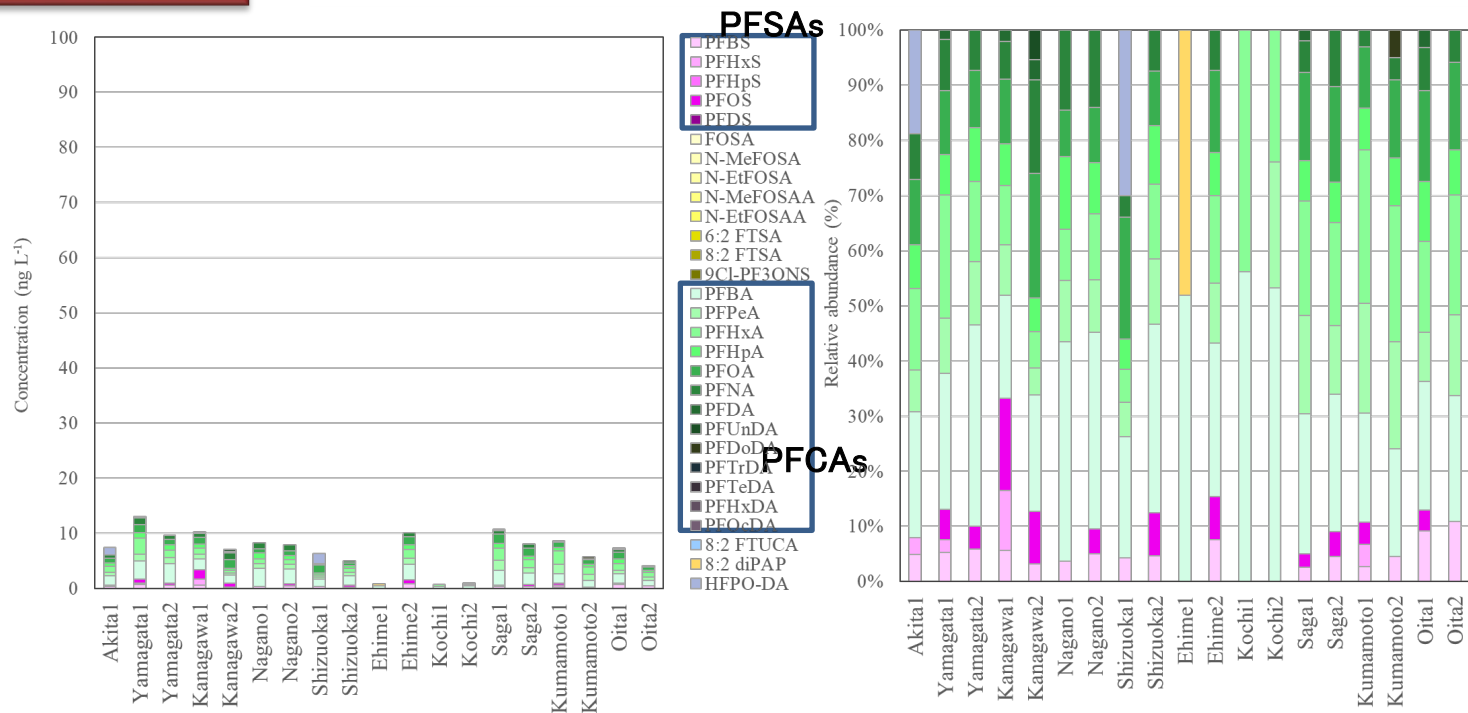


2022夏季と同一地点

- ・ISO21675調査対象である30PFASs中, 17PFASsを検出
- ・イオン性PFASs合計濃度: 0.81 – 140 ng/L (PFCAs: 0.81 – 130 ng/L , PFASs: <0.2 – 31 ng/L)
- ・全成分に対するPFCAsの割合: 55 – 100%, PFASsの割合: 0 – 45%
- ・夏季調査結果と比べ、季節の違いによる明確な傾向は見られなかった

サブ3 水質

2023年夏季 全国調査結果

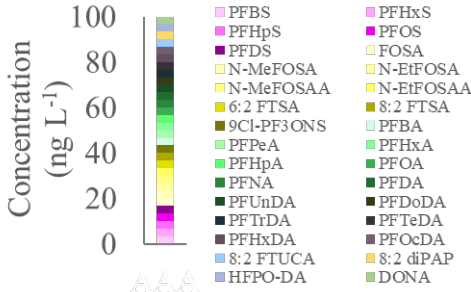
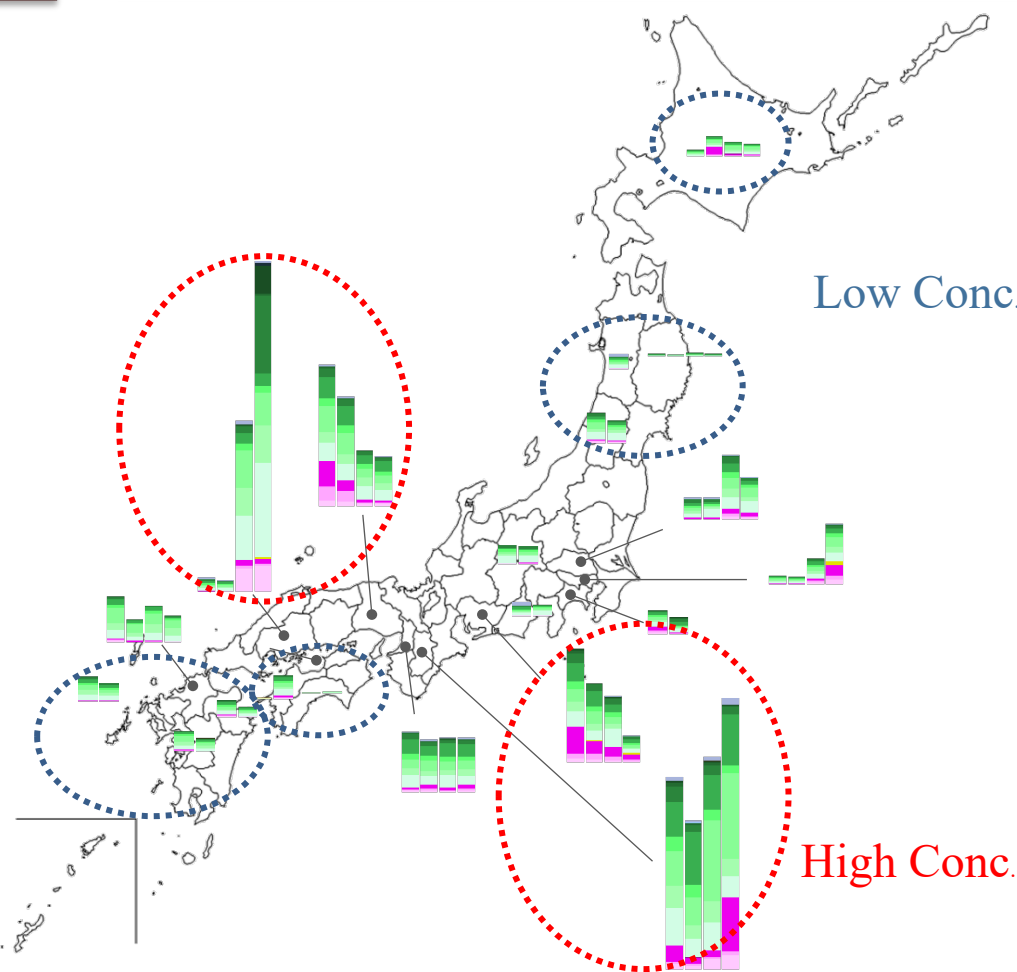


2022年と異なる
10都道府県, 19地点

- ・ISO21675調査対象である30PFASs中, 14PFASsを検出
- ・イオン性PFASs合計濃度: 0.64—13 ng/L (PFCAs: 0.40—11 ng/L, PFASs: <0.2 — 3.4 ng/L)
- ・全成分に対するPFCAsの割合: 52—100%, PFASsの割合: 0—33%

サブ3 水質

2022-2023年 全国調査結果



- ・北海道, 東北, 四国, 九州
→比較的低濃度
- ・中部, 関西, 中国
→比較の高濃度

サブ3 水質

2022-2023年 全国調査結果【PFOS, PFOA】抜粋

50

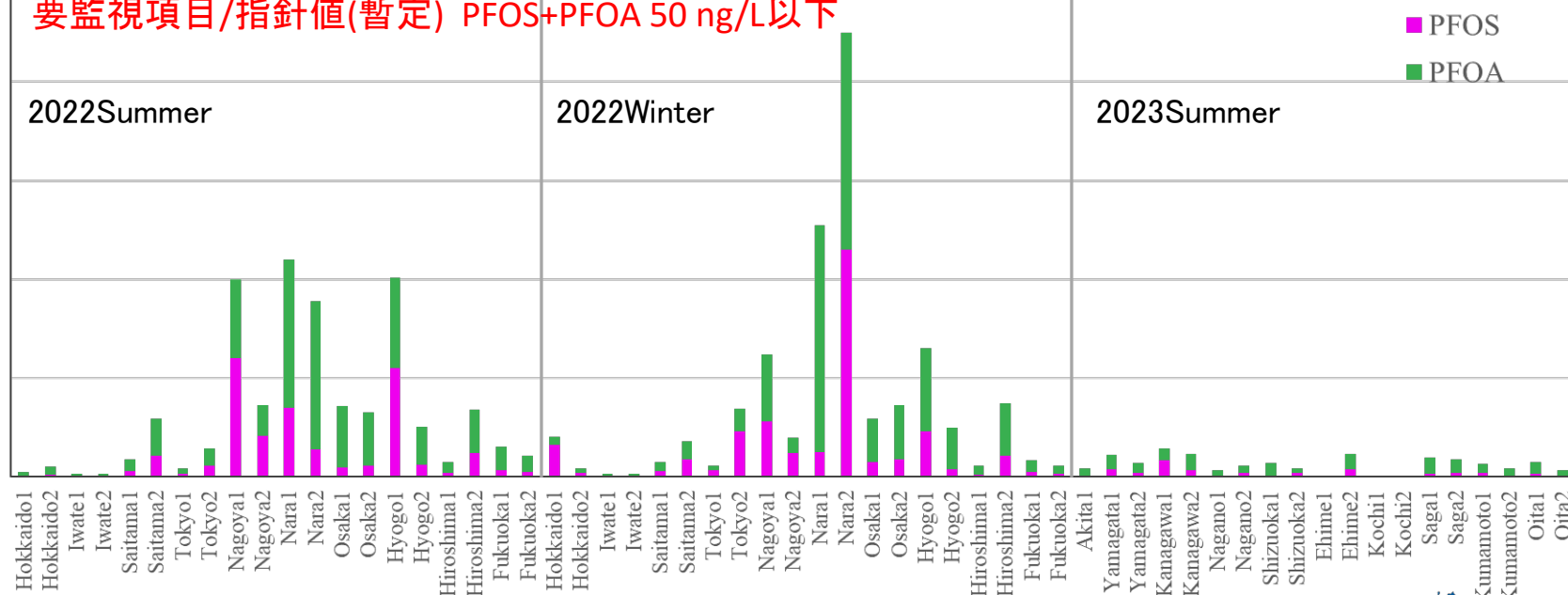
要監視項目/指針値(暫定) PFOS+PFOA 50 ng/L以下

Concentration (ng L⁻¹)

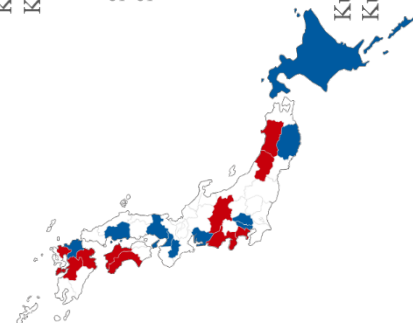
2022Summer

2022Winter

2023Summer

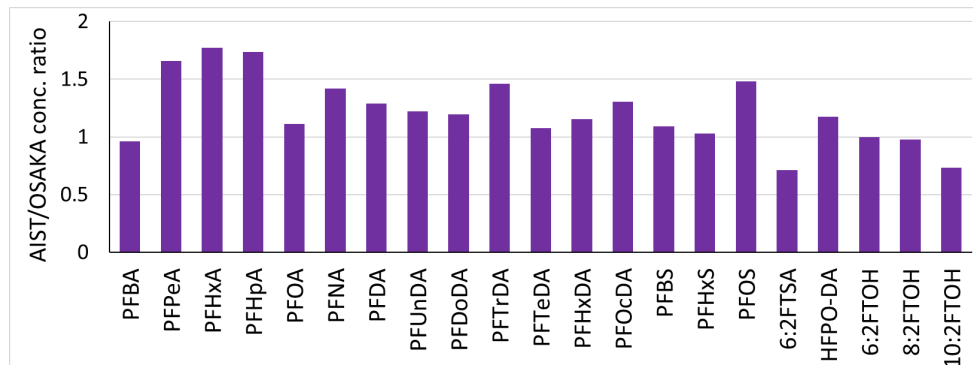


- ・2022年夏季, 冬季, 2023年夏季の計59試料中,
公共用水域における要監視項目 指針値(暫定)である
PFOS+PFOA 50 ng/Lを超過した試料はなかった



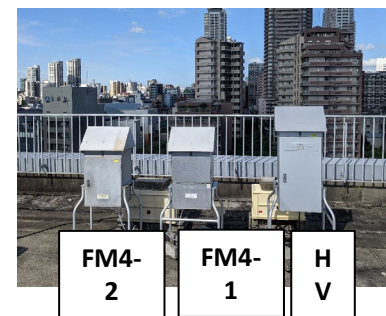
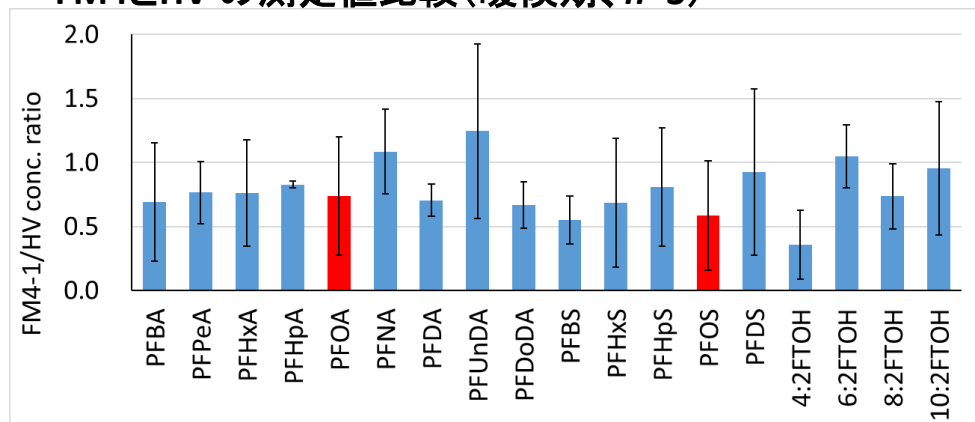
サブ3 大気

AISTとのLC-MS/MS、GC-MS/MSクロスチェック (n=2)



FM4_GAIAC法

FM4とHV の測定値比較 (暖候期、n=3)



Average ± SD (n=3)

産総研と大阪市立環境科学研究センターのクロスチェック結果は概ね一致
新技術・FM4は従来法・HVと一定程度互換性がある

サブ3 PFAS全国調査計画(大気)

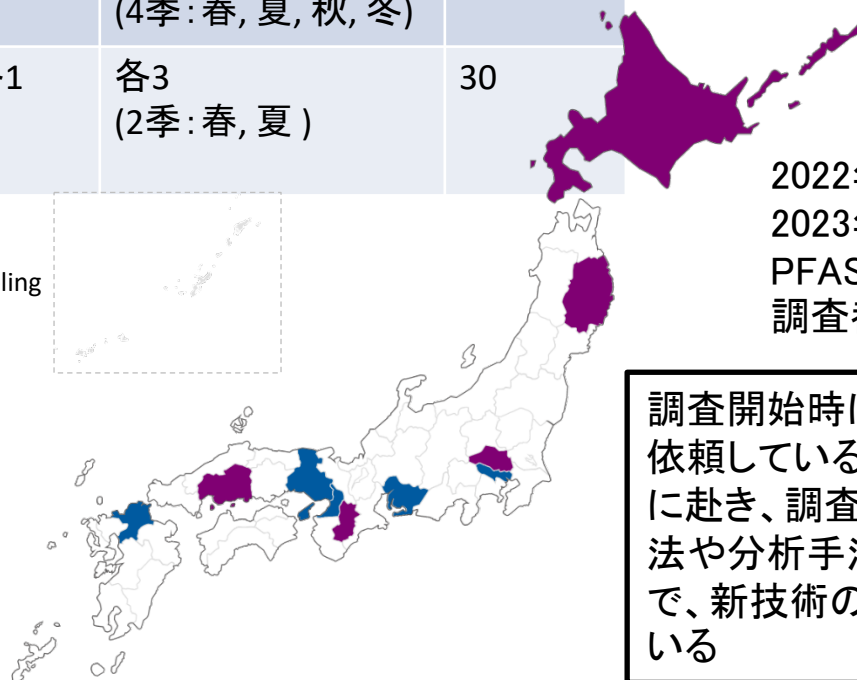
年度	都道府県数	地点数	サンプリング回数	サンプル総数
2022	5 東京, 愛知, 大阪, 兵庫, 福岡	各1	各3 (4季: 春, 夏, 秋, 冬)	60
2023	5 北海道, 岩手, 埼玉, 奈良, 広島	各1	各3 (2季: 春, 夏)	30

・Flow rate: 20 L/min

・Sampling period: 48h (n=3)

・Sampling month and mean temperature (°C) during sampling

	Spring	Summer	Autumn	Winter
Tokyo	May/June 20.5	Aug./Sept. 25.9	Nov./Dec. 12.1	Feb. 6.1
Aichi	June 21.4	Sept./Oct. 24.2	Nov./Dec. 10.8	Jan./Feb. 5.3
Osaka	May/June 23.3	Aug. 28.5	Dec. 10.1	Feb. 5.7
Hyogo	May 21.5	Sept. 27.4	Nov. 16.6	Jan./Feb. 5.8
Fukuoka	June 28.9	Sept. 24.2	Dec. 5.9	Feb. 6.3



2022年度 ■

2023年度 ■

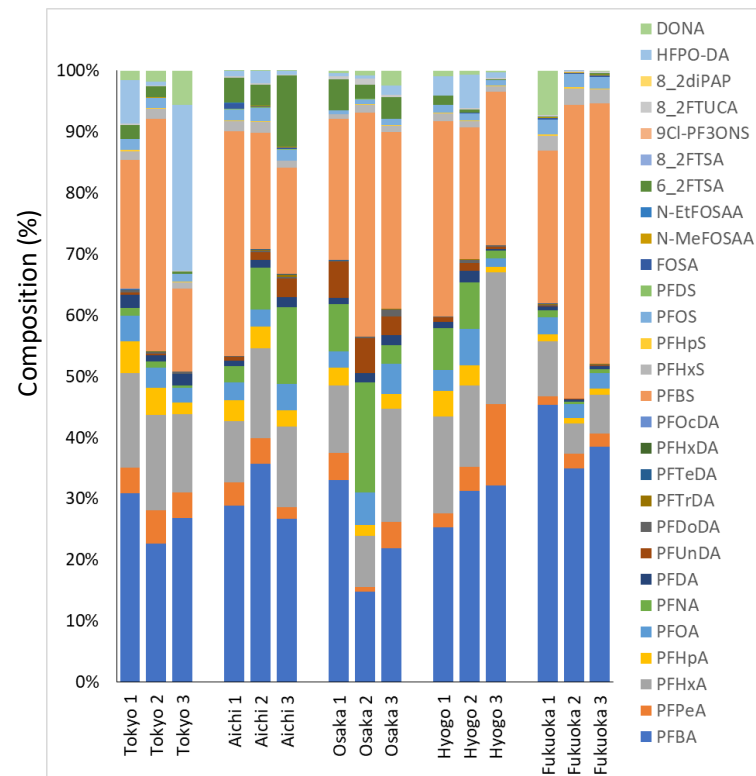
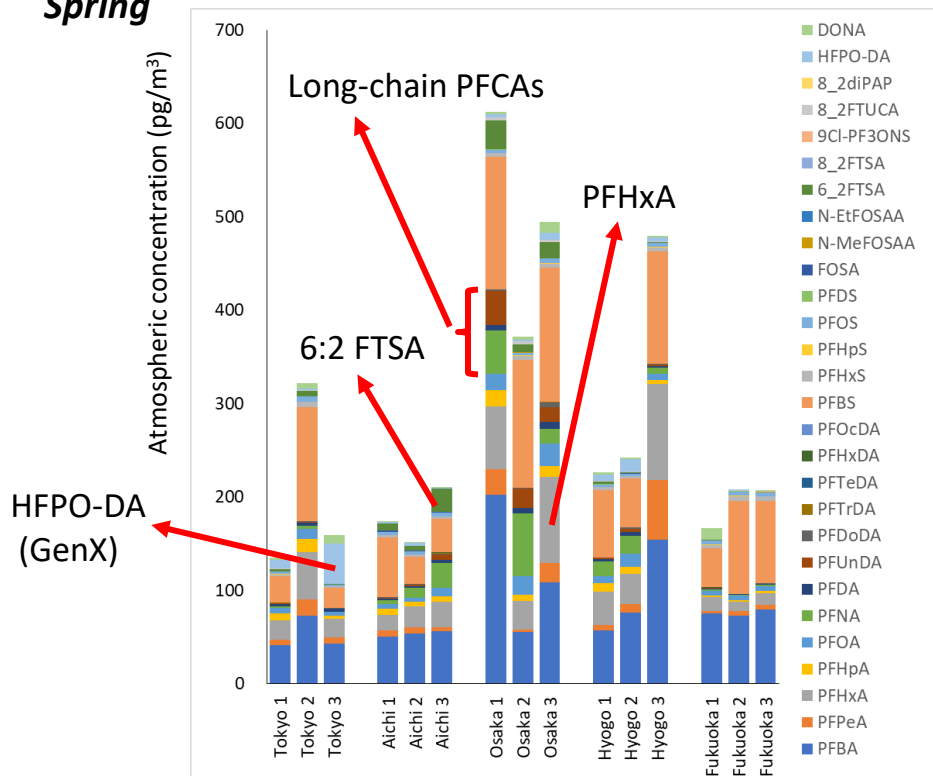
PFAS全国調査(大気)
調査都道府県

調査開始時には、試料採取を依頼している地方環境研究所に赴き、調査資材の取扱い方法や分析手法の説明を行うことで、新技術の普及につながっている

サブ3 大気

イオン性 PFASs

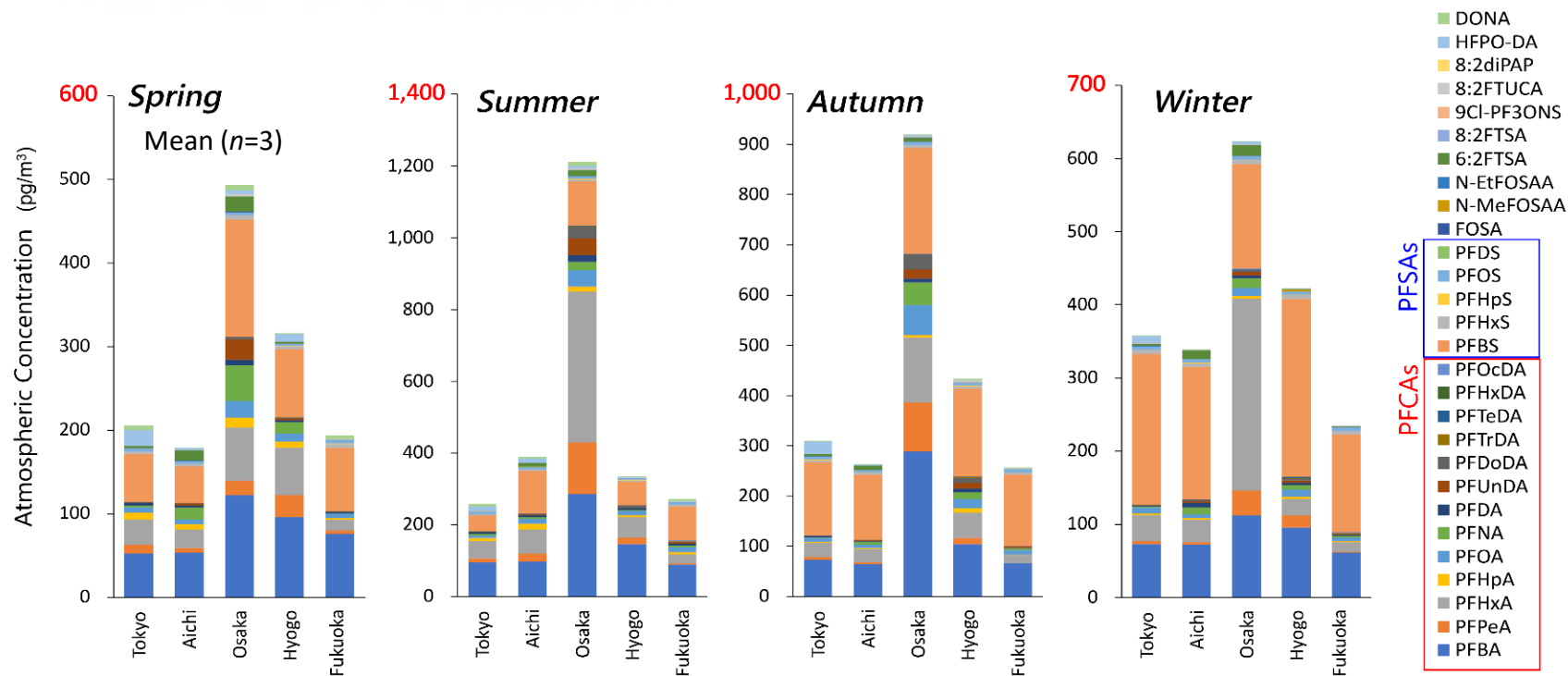
Spring



- ✓ 春季調査において19－24種類のイオン性 PFASs が検出され、PFBA, PFHxA, PFBSが優先的
- ✓ 大気中PFASsの成分組成は、地域によって異なる特徴

サブ3 大気

イオン性 PFASs

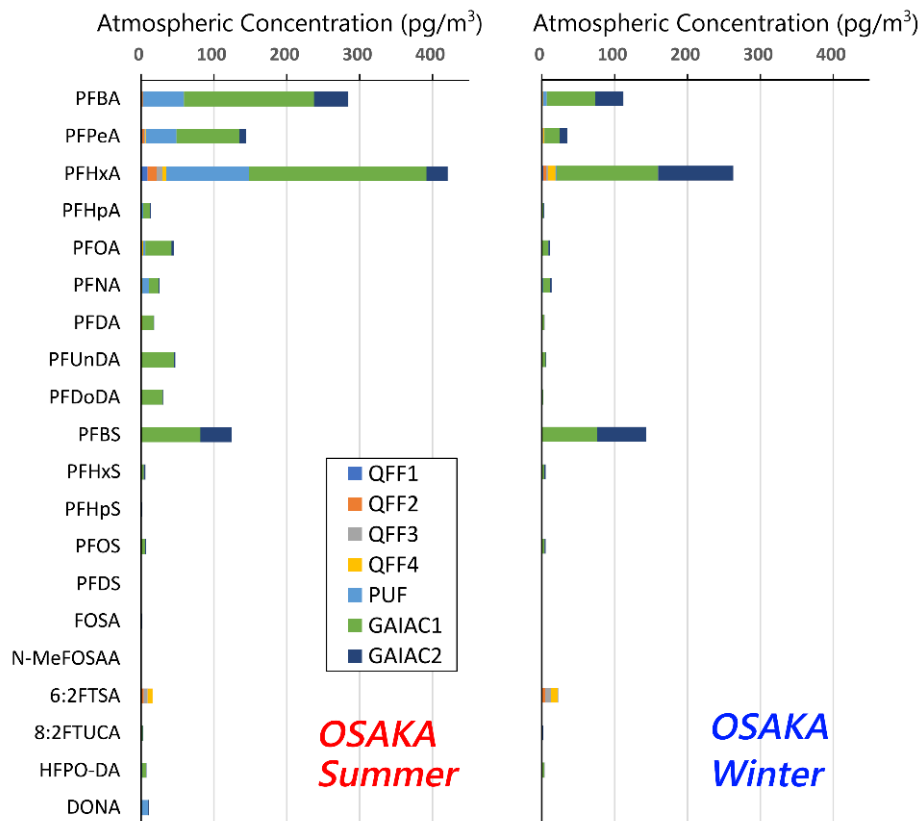


- ✓ 4季調査において30種類のイオン性 PFASs が検出され、合計濃度は180－1,200 pm³
- ✓ PFOA (4.5 – 59 pg/m³)およびPFOS (3.3 – 6.6 pg/m³)濃度は、環境省のモニタリング調査(エコ調査)におけるHV法による測定値の範囲内

サブ3 大気

イオン性 PFASs

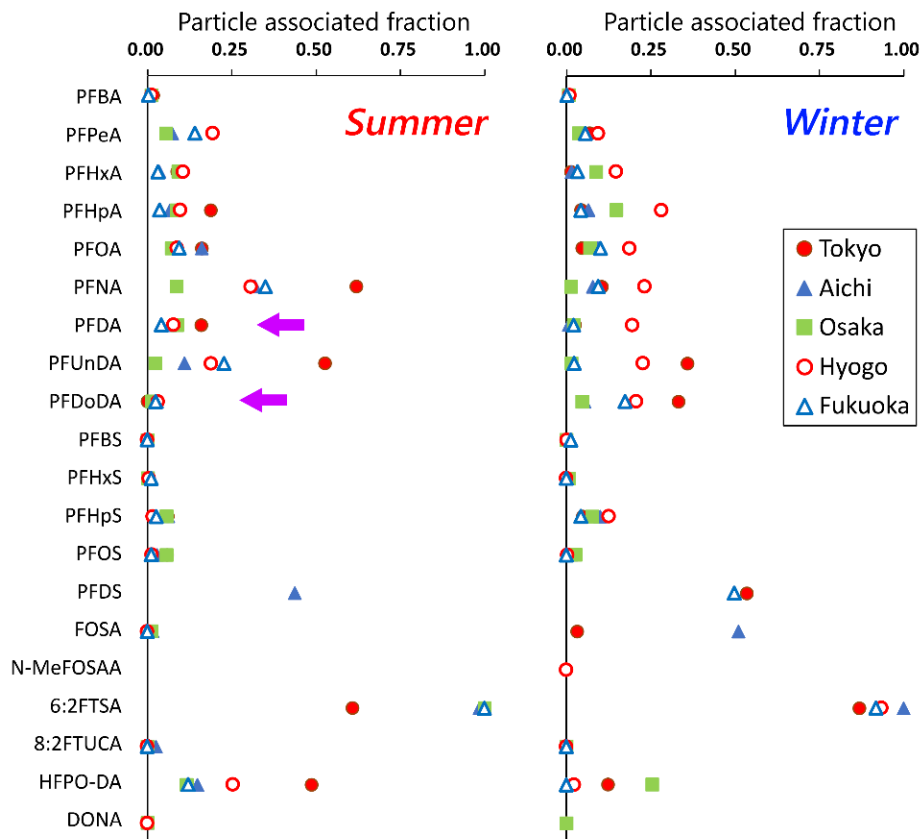
Particle size and phase distributions



- ✓ イオン性PFASは6:2FTSAを除き、PUFおよび活性炭フィルター（GAIAC™）からほぼ検出された
- ✓ 活性炭フィルターはPFASsのサンプリングに不可欠である
- ✓ PFCAsおよびPFSAsは、主に中性の形態で大気中に存在する可能性がある（Ahrens et al. 2012）
- ✓ 冬季調査でもQFFからの検出濃度は低く、QFFで捕集されたPFASsがサンプリング中に揮発してPUFおよび活性炭フィルターに移行した可能性は低い

イオン性 PFASs

Gas-particle partition coefficients



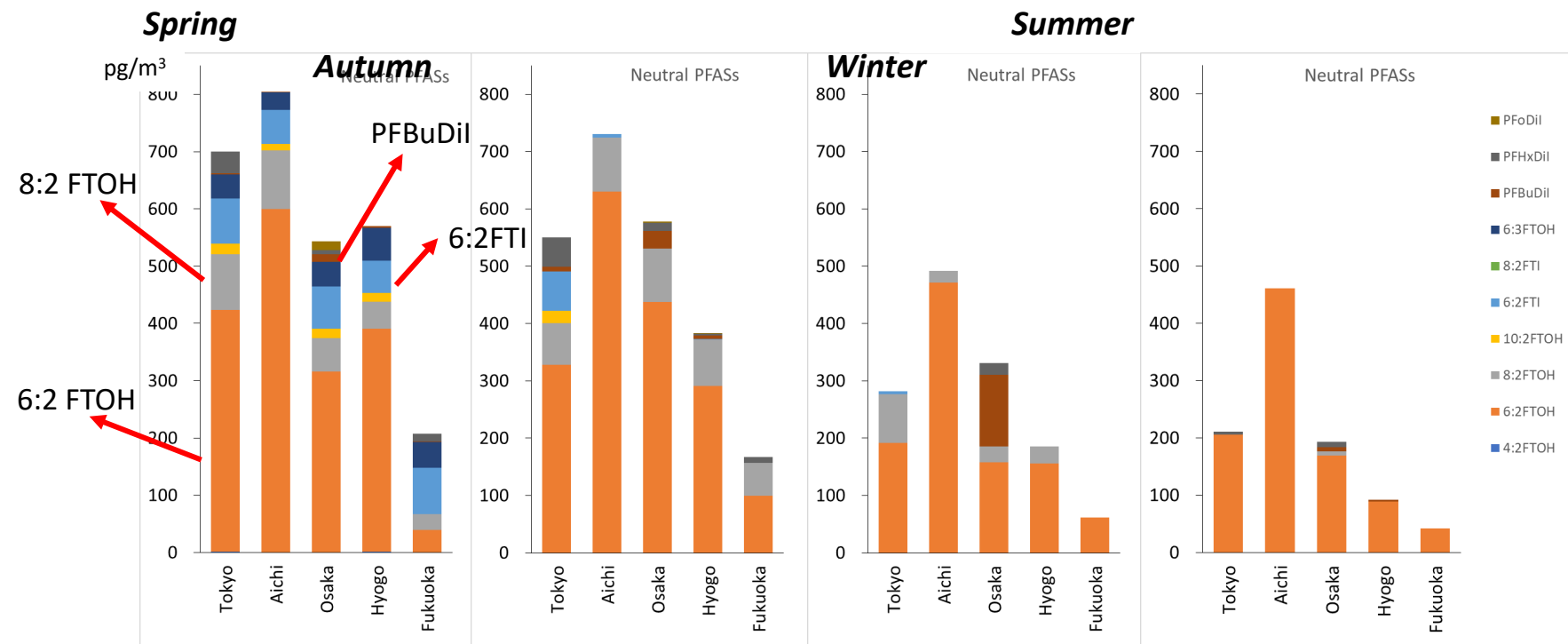
Particle associated fraction

$$= \frac{\text{Particulate PFAS}}{\text{Particulate PFAS} + \text{Gaseous PFAS}}$$

- PFCA類の粒子への分配割合は、炭素鎖長が4(PFBA)から9(PFNA)へと長くなるにつれて増加した
- 本研究の値は既報(Ahrens et al. 2012)よりも若干低い値であった
 $PFOA : 0.06$ 、 $PFNA : 0.14$ 、 $PFDA : 0.14$ 、 $PFUnDA : 0.36$ 、 $PFDoDA : 0.28$
- PFDA(C10)およびPFDoDA(C12)の粒子への分配割合は、冬季を除き、PFNA(C9)およびPFUnDA(C11)よりも低い
- PFCAsの前駆体であるフルオロテロマーアルコール(FTOHs)がPUFや活性炭フィルターに吸着し、サンプリング期間中にPFCAsに酸化された可能性がある

サブ3 大気

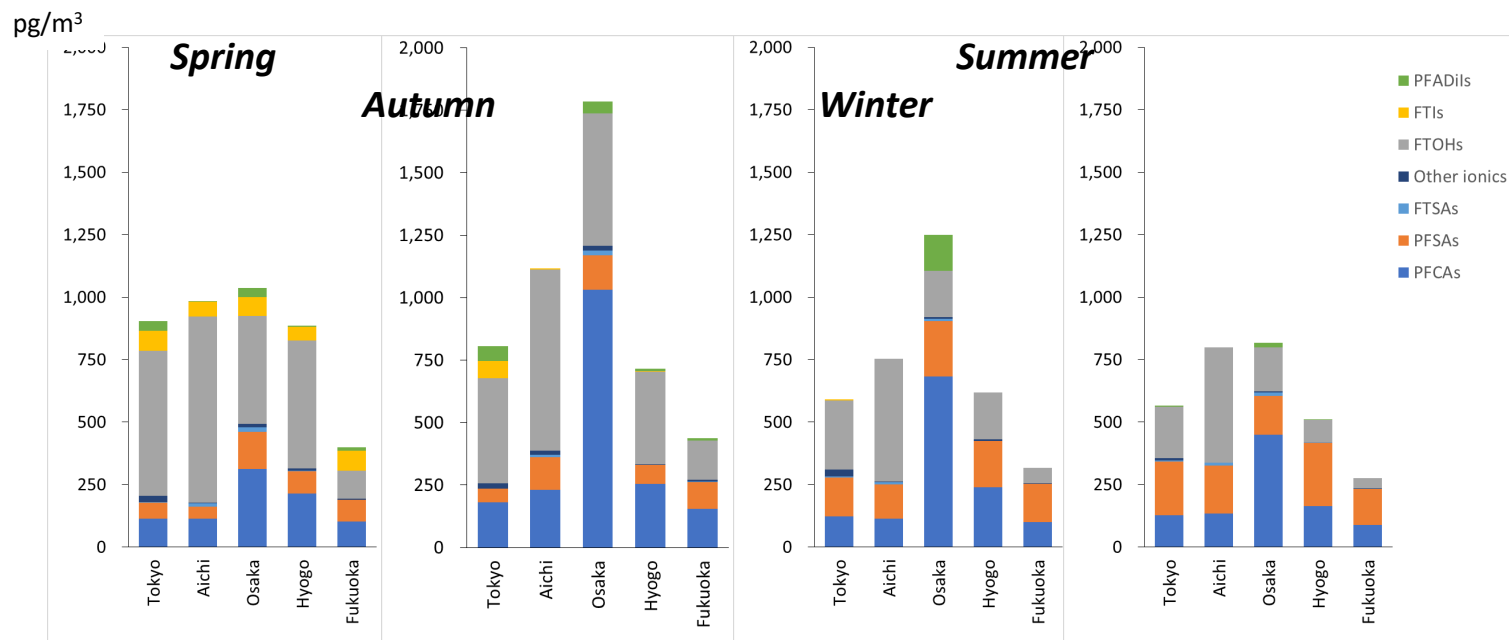
中性 PFASs



- ✓ 温暖期の方が寒冷期よりも多種類のPFASsが検出(18物質中平均4.5物質(春)3.7物質(夏)> 1.8物質(秋)1.4物質(冬))
- ✓ 気温と濃度レベルの関係は、気温が高いほど濃度が高くなる傾向

サブ3 大気

イオン性+中性 PFASs

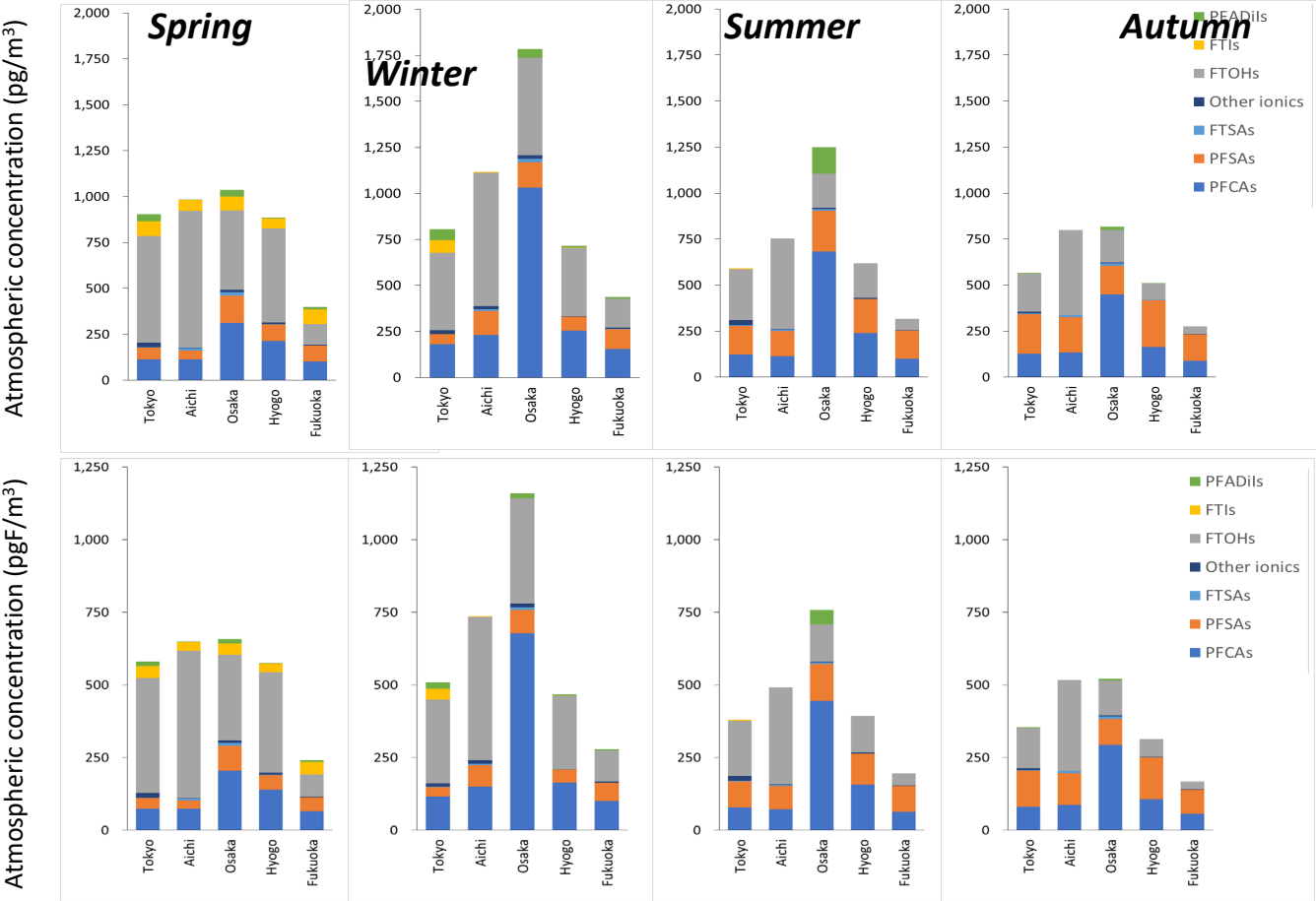


Annual mean

	ionic	neutral	sum (Pg/m ³)
Tokyo	283	436	718
Aichi	292	622	914
Osaka	812	411	1,220
Hyogo	376	308	684
Fukuoka	239	119	359

サブ3 今後の展開

Sum of the PFASs:
276-1,790 pg/m³



Sum of **F** of the PFASs:
169-1,160 pg F/m³

サブ3 研究成果および今後の展開

PFAS水質全国調査結果 データベースイメージ

PFAS Water_database.xlsx • この PC に保存済み																		
ファイル ホーム 挿入 ページレイアウト 数式 データ 校閲 表示 自動化 ヘルプ																		
G1																		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1																		
2									ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	ng/L
3	No.	記号	地方	都道府県	河川名	地点名	水域	採水日	PFBS	PFHxS	PFHpS	PFOS	PFDS	FOSA	N-MeFOSe	N-EtFOSe	N-MeFOSe	N-EtFOSe
4	S1	NGY	北海道	北海道	石狩川	永山橋	淡水域	2022/09/15	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
5	S2	ISK	北海道	北海道	石狩川	石狩大橋	淡水域	2022/09/15	0.25	0.22	<0.2	0.23	0.38	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
6	S3	WAG	東北	岩手県	和賀川	和賀橋	淡水域	2022/08/24	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
7	S4	HRO	東北	岩手県	和賀川	広巻橋	淡水域	2022/08/24	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
8	S5	SNH	関東	埼玉県	荒川	越前橋	淡水域	2022/08/26	0.29	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
9	S6	CSI	関東	埼玉県	荒川	治水橋	淡水域	2022/08/26	1.6	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
10	S7	NGT	関東	東京都	多摩川	永田橋	淡水域	2022/09/27	0.20	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
11	S8	HIN	関東	東京都	多摩川	日野橋	淡水域	2022/09/27	0.78	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
12	S9	OMR	中部	愛知県	矢野川	大森橋	淡水域	2022/09/14	1.7	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
13	S10	KSN	中部	愛知県	荒川	津新橋	汽水域	2022/09/14	1.0	1.0	<0.2	4.1	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
14	S11	NKT	関西	奈良県	生保川	額田部高橋	淡水域	2022/08/16	2.3	1.0	0.2	7.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
15	S12	FJI	関西	奈良県	大和川	藤井	淡水域	2022/08/16	4.6	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
16	S13	HRK	関西	大阪府	淀川	枚方大橋	淡水域	2022/08/23	0.98	0.3	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
17	S14	SGW	関西	大阪府	淀川	富原橋北大橋	淡水域	2022/08/23	0.77	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
18	S15	RKR	関西	兵庫県	播磨川	利島橋	淡水域	2022/09/16	2.6	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
19	S16	KMS	関西	兵庫県	加古川	上野橋	淡水域	2022/09/16	1.1	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
20	S17	YNM	中国	広島県	荒瀬川	米瀬川上流	淡水域	2022/09/29	0.21	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
21	S18	HNT	中国	広島県	荒瀬川	地の橋	淡水域	2022/09/29	9.9	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
22	S19	HND	九州	福岡県	運河川	日の出橋	淡水域	2022/09/01	0.99	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
23	S20	MMT	九州	福岡県	筑後川	豆渡橋	淡水域	2022/09/01	0.52	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
24	W1	TOK	北海道	北海道	千歳川	車光橋	淡水域	2022/12/16	0.32	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
25	W2	ISK	北海道	北海道	石狩川	石狩大橋	淡水域	2022/12/16	0.29	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
26	W3	WAG	東北	岩手県	和賀川	和賀橋	淡水域	2023/01/30	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
27	W4	HRO	東北	岩手県	和賀川	広巻橋	淡水域	2023/01/30	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
28	W5	SNH	関東	埼玉県	荒川	越前橋	淡水域	2023/02/07	0.27	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2

・PFAS全国調査結果について、Excelを用いて

データベース化を実施

→必要データの迅速な検索・抽出が可能

- 本課題において20都道府県の環境研究機関の協力体制を確立できた
- 全国調査において公共用水域における要監視項目指針値を超過する地点も確認されており、多成分を測定する手法は発生源究明に繋がる可能性があり、公的環境研究機関からのニーズも大きい
- 今後ともこれらの機関との円滑な研究協力が可能であり、分析手法や調査結果の共有化などを通じてPFASによる環境汚染対策に貢献できる

6. 目標の達成状況と環境政策等への貢献

サブテーマ1 (目標を大きく上回る成果をあげた)

- 1) AI-TOFMS技術のプロトタイプについて、高分解能質量分析計やタンデム質量分析計との比較、既存技術やISO21675・EPA法との相互比較性を確認した (達成度100%)
- 2) サブテーマ3で得られた実環境データをAI-TOFMSにフィードバックし、ディープラーニングを併用する事で分析精度を向上させた (達成度100%)
- 3) SWATH-Fと人工知能網羅分析技術により3000種類以上のPFASの予見的測定が可能となり、目標である約1,500種類のPFASを大きく超える成果を得た。(測定可能数3000種類として目標数の2倍で達成度200%)
- 4) 成果2と成果7で開発した大気中PFASマスバランス解析技術について、ISO/TC146(大気)の新規提案草案をドイツ標準化組織と打ち合わせ、ドイツ技術と合わせて共同提案計画を進めている。ISO/TC147(水質)では吸着体有機フッ素(AOF)分析法をISO/TC 147/SC 2 N 2112として提案済み。さらに抽出体有機フッ素(EOF)の標準分析法の規格化をスウェーデン規格協会と連携して進めている。(1件の規格提案が目標のため、3件で達成度300%)
- 5) 想定外の研究成果として、ソニーグループと行ったPFAS対策技術用トリポールの開発や、株式会社竹中工務店・株式会社環境総合センターのPFAS環境修復材料実用化等はサブテーマ2の達成目標70%を十分埋め合わせ、予想をはるかに超える研究成果に繋がった。特に、2024年度推進費課題「5-2401 環境中PFAS の包括的評価を目指した総PFAS スクリーニング測定技術の開発(環境省推薦課題)」等、新規・継続事業に本研究成果が採用されている。

6. 目標の達成状況と環境政策等への貢献

サブテーマ2 (目標通りの成果をあげた)

- 1)機能性活性炭を用いた「大気中PFASのガス・粒子同時サンプラー」について、ユーザーのコメントを受けた改良を行い、目標販売台数国内5台、国外2台について、研究期間中に国内15台、国外6台の販売台数を達成した(達成度100%)。
- 2)「水試料中のイオン性・中性PFASの全分析」について製品開発を行い関連特許の内容補正を実施した(達成度70%)。
- 3)環境漏洩したPFASの回収処理が可能な環境修復材料を開発・検証し、これに基づいた技術の特許申請を3件行った(達成度100%)。
- 4)PFAS環境修復吸着剤の実用化の目途をつける事ができた。PFASを含有した活性炭廃棄物を焼却処理することで、PFASの分解率99.999%以上を実現し、フッ素の回収技術としてフッ化カルシウムとしての回収を実証した(達成度100%)。

6. 目標の達成状況と環境政策等への貢献

サブテーマ3 (目標を上回る成果をあげた)

1) サブテーマ1及び2で開発した新技術を用いて、ISO21675の分析対象である30物質のPFASの全国調査を行った。特に大気中PFASの全国調査は国内初の試みである。(達成度100%)。

2) 上により、日本が国際会議の場で要求されるPOPs条約有効性評価のエビデンスや対策立案にも繋がる全国PFAS多成分存在状況データベースを構築した (達成度100%)

調査地域は、北海道、岩手県、埼玉県、東京都、愛知県、大阪府、奈良県、兵庫県、広島県、福岡県、秋田県、山形県、神奈川県、長野県、静岡県、愛媛県、高知県、佐賀県、熊本県、大分県である。

特にコロナ禍による共同実験の困難さを乗り越えるために、多大な時間を要する機関調整や分析試料の輸送・現地調査など、常時では想定できない問題を解決する事で、ISO21675を用いた全国PFAS多成分存在状況データベースを国内で初めて構築できた。

6. 目標の達成状況と環境政策等への貢献

事業全体の達成状況は(目標を大きく上回る成果をあげた、5段階評価の5+)。

特に、本事業では研究開始直後よりコロナ禍が本格化し、対面での共同実験が不可能になるだけでなく、予定していた留学生受け入れの停止、産総研に事業提案を要請した企業分担者がメンタルヘルス案件により脱退するなど、通常であれば事業中止を検討すべき事態となった。しかし、本事業内容に賛同する国内外の専門家の協力や、特に、2021年6月に設立した「PFAS対策技術コンソーシアム」を有効活用する事で、当初の研究計画をわずかに変更(サブテーマ間の連携強化と研究分担機関の追加)するだけで3年間の事業完遂だけでなく、3件の国際規格提案など、想定を大きく超える研究成果を実現できた。

また、コロナ下の移動自粛・対面での共同実験の中止・留学生の受け入れ中止など、様々な困難を乗り越えて、20都道府県以上の協力を確保し、「ISO21675を用いたPFAS多成分存在状況データベース」を確立したことは、国内PFAS対策の円滑な推進のための貴重な知見となった。

さらに、ソニーグループと行ったPFAS対策技術用トリポーラスの開発や、株式会社竹中工務店・株式会社環境総合センターのPFAS環境修復材料実用化等、予想をはるかに超える研究成果に繋がったため、本事業を深化させた新規プロジェクト提案を環境省担当より推薦いただき、2024年度推進費課題「5-2401 環境中PFAS の包括的評価を目指した総PFAS スクリーニング測定技術の開発」等、新規・継続事業に本研究成果が採用されている。

7. 研究成果の発表状況

査読付き論文：	9
査読付き論文に準ずる成果発表（人文・社会科学分野）：	0
その他誌上発表（査読なし）：	0
口頭発表（国際学会等・査読付き）：	7
口頭発表（学会等・査読なし）：	13
知的財産権：	3
「国民との科学・技術対話」の実施：	3
マスコミ等への公表・報道等：	1
研究成果による受賞：	2
その他の成果発表：	3

7. 研究成果の発表状況 (主な査読付き論文発表等)

成果 番号	主要な成果(10件まで)
1	Sachi Taniyasu, Leo W.Y. Yeung, Huiju Lin, Eriko Yamazaki, Heesoo Eun, Paul K.S. Lam, Nobuyoshi Yamashita, Quality assurance and quality control of solid phase extraction for PFAS in water and novel analytical techniques for PFAS analysis, Chemosphere, 2021. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132440
2	Huiju Lin, Sachi Taniyasu, Eriko Yamazaki, Rongben Wu, Paul K.S. Lam, Heesoo Eun, Nobuyoshi Yamashita, Fluorine Mass Balance Analysis and Per- and Polyfluoroalkyl Substances in the Atmosphere. Journal of Hazardous Materials, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129025
3	Heesoo Eun, Eriko Yamazaki, Yu Pan, Sachi Taniyasu, Kosuke Noborio, Nobuyoshi Yamashita, Evaluating the Distribution of Perfluoroalkyl Substances in Rice Paddy Lysimeter with an Andosol. Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19(16), 10379
4	Heesoo Eun, Kodai Shimamura, Eriko Yamazaki, Sachi Taniyasu, Nobuyoshi Yamashita, Removal of perfluoroalkyl substances from water by activated carbons: Adsorption of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoic acid, Environmental Monitoring and Contaminants Research, 2022 Volume 2 Pages 88-93, https://doi.org/10.5985/emcr.20220010
5	Eriko Yamazaki, Heesoo Eun, Sachi Taniyasu, Toshihiro Sakamoto, Nobuyasu Hanari, Hideyuki Inui, Rongben Wu, Huiju Lin, Paul K.S. Lam, Jerzy Falandysz, and Nobuyoshi Yamashita, Residue Distribution and Daily Exposure of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Indica and Japonica Rice. Environ. Sci. Technol., 2023. https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.est.2c08767
6	Eriko Yamazaki, Dipa Lalwani, Yuefei Ruan, Sachi Taniyasu, Nobuyasu Hanari, Nirmal J.I. Kumar, Paul K.S. Lam, Nobuyoshi Yamashita, Nationwide distribution of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in road dust from India. Science of The Total Environment, 2023, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164538
7	谷保佐知,山崎絵理子,羽成修康,山本五秋,山下信義, GC-Orbitrap-HRMSを用いた日本及び中国環境大気中の揮発性ペル及びポリフルオロアルキル化合物分析法の開発, 分析化学、2023 年 Vol.72, No.7-8, pp.307-316, https://doi.org/10.2116/bunsekikagaku.72.307
8	山崎絵理子, 谷保佐知, 羽成修康, 三木芳恵, 金子蒼平, 山下信義, 液状活性炭注入による黒ボク土中PFAS安定化技術のISO21675を用いた評価, 分析化学、2024 年 73 巻 1.2 号 pp. 31-37, https://doi.org/10.2116/bunsekikagaku.73.31
9	市原真紀子, 浅川大地, 東條俊樹, 谷保佐知, 山下信義、ISO 21675に基づくPFAS水質分析におけるサロゲート回収率低下要因の検討及び大阪市内河川調査, 環境化学, 2024, 34巻 pp48-60
15	Daichi Asakawa, Toshiki Tojo, Makiko Ichihara, Sachi Taniyasu, Nobuyasu Hanari, Nobuyoshi Yamashita: Atmospheric concentrations and phase distributions of ionic per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in five regions of Japan, 43rd International Symposium on Halogenated Persistent Organic Pollutants (2023), Maastricht

成果2はIF 10.58の国際誌、成果3は環境化学会論文賞受賞、成果7はOrbiTrap新技術のキラーアプリケーション登録(東洋経済取材予定)、成果8は土壤中PFAS安定化技術についての国内初の報告

7. 研究成果の発表状況 (知財と受賞)

成果番号	発明者	出願者	名称	出願以降の番号	出願年月日
30	羽成修康、中村圭介、島村紘大、浅野拓也、堀千春	フタムラ化学／産業技術総合研究所	「活性炭からのペル及びポリフルオロアルキル化合物の脱離方法」	特願2023-070368	2023年4月21日
31	羽成修康、中村圭介、島村紘大、浅野拓也、堀千春	フタムラ化学／産業技術総合研究所	「ペル及びポリフルオロアルキル化合物吸脱着活性炭」	特願2023-070360	2023年4月21日
32	羽成修康、中村圭介、島村紘大、浅野拓也、堀千春	フタムラ化学／産業技術総合研究所	「ペル及びポリフルオロアルキル化合物吸脱着活性炭」	特願2023-070348	2023年4月21日

成果番号	【サブテーマ1】の研究成果による受賞
37	第39回富山賞、谷保佐知、2022年5月受賞
38	第30回環境化学論文賞、2023年3月受賞 (成果番号4)