

S1-01 PFOS、PFOA及びPFHxSによる土壌・地下水汚染の調査・対策技術の現状

鶴岡 佑樹¹・大石 雅也¹・鈴木 義彦¹・松本 直樹¹・○森 一星¹・潜在的規制物質の調査・対策スキームの検討部会¹
¹土壌環境センター

1. 背景・目的

ペルフルオロオクタンスルホン酸(以下、PFOS)やペルフルオロオクタン酸(以下、PFOA)は、水道水や公共用水域・地下水について暫定的な管理目標値・指針値が設定されている(表1)。近年、東京都や沖縄県の水道水源井戸でこれらの物質が国の暫定指針値以上の濃度で検出され、社会的な問題となっている。また水道水源井戸での検出が相次いでいることから、土壌・地下水についても潜在的に相当数の汚染サイトが存在し今後顕在化することが予想される。これらの状況を踏まえ、PFOS/PFOA、及びこれらの代替品として用いられ類似した性質を持つペルフルオロヘキサンスルホン酸(以下、PFHxS)による土壌・地下水汚染の調査・対策方法の検討を目的として国内外の関連文献の調査を行った。今回は調査・対策方法の検討の第一歩として、これらの物質による土壌・地下水汚染の遭遇機会及び、土壌・地下水での挙動について考察するとともに、調査・対策技術の開発動向について整理したので報告する。

2. 規制動向

表1 PFOS/PFOA/PFHxSの主な規制動向

年	月	規制対象			規制内容
		PFOS 及び その塩	PFOA 及び その塩	PFHxS	
2009	10	●			化学物質審査規制法(化審法)の第一種特定化学物質へ指定
	4	●			製造等の原則禁止
2010	5	●			使用製品の輸入禁止
	10	●			泡消火剤等の使用における技術基準の適合義務の施行
2019	4			●	POPs条約に基づく検討委員会が附属書Aへの追加を勧告
2020	4	●	●		水道水質暫定管理目標値が設定
	5	●	●		公共用水域及び地下水暫定指針値が設定
2021	4		●		化審法の第一種特定化学物質へ指定
2022	10		●		製造等の原則禁止、 使用製品の輸入禁止、 泡消火剤等の使用における技術基準の適合義務等の規制施行

3. 使用用途と遭遇機会

各物質の使用用途を整理し、土壌・地下水汚染への遭遇機会を考察した。

(1) 主な使用用途

PFOS : 泡消火剤、レジストの感光剤、金属メッキ、半導体製造¹⁾等

PFOA : 泡消火剤、フッ素ポリマー加工助剤、界面活性剤、

コーティング剤、半導体製造²⁾等

PFHxS : 泡消火剤、研磨剤・洗浄剤、コーティング剤、

含浸・補強材(湿気、真菌などからの保護用)、金属メッキ、織物、

革製品・室内装飾品、電子機器・半導体製造等³⁾

(2) 想定される遭遇機会

PFOS/PFOA/PFHxSを直接製造していた事業所または、上記の用途で使用・保管していた事業場での遭遇が想定される。

その他、泡消火剤としての用途から、火災履歴のある事業場などでは消火作業により環境中に放出されている可能性がある。その他、火災履歴はなくとも消火訓練などでの放出も想定される。

1) 環境省(2010): 中央環境審議会水環境部会環境基準健康項目専門委員会(第14回)資料

2) (財)化学物質評価研究機構(2019): 平成28年度化学物質安全対策(残留性有機汚染物質等に関する調査)報告書

3) 環境省(2021): 中央環境審議会水環境・土壌農業部会環境基準健康項目専門委員会(第19回)資料

4. 主な物性及び想定される土壌・地下水での挙動

PFOS/PFOA/PFHxSの物性値(表2)を整理し、文献調査結果を踏まえPFOS/PFOAの土壌・地下水での挙動(図1,2)について想定した。なお、図2については水相中で解離していない塩形態を想定しており、PFOS/PFOA塩が地下水中で解離した場合は図1の挙動を示すことが想定される。このことから、実際の土壌・地下水ではこれらが複合したより複雑な挙動を示すことが想定され、より一層の知見の収集が必要である。PFHxSはその物性値からVOCsと比較しPFOS/PFOAと類似の挙動を示すことが推察されたが、土壌・地下水で挙動に関する報告が少なく挙動の想定には至らなかった。

表2 PFOS/PFOA/PFHxSの物性値

物質	物性値	分子量 (分子式)	比重	溶解度 mg/L	ヘンリー定数 Pa・m ³ /mol	オクタノール /水分配係数 logKow	蒸気圧 kPa
	-						
ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS)		500.13 (C ₈ HF ₁₇ O ₃ S)	1.25	370	2.00 × 10 ⁻⁶ ~3.00 × 10 ⁻⁴	6.28	8.5 × 10 ⁻⁴
ペルフルオロオクタンスルホン酸カリウム (PFOS塩) [*]		538.22 (C ₈ F ₁₇ KO ₃ S)	0.6	519	3.09 × 10 ⁻⁴	-1.08	1.9 × 10 ⁻¹²
ペルフルオロオクタン酸 (PFOA)		414.07 (C ₈ HF ₁₅ O ₂)	1.79	9.5 × 10 ³	2.30 × 10 ⁻¹ ~20.3	6.3	2.3 × 10 ⁻³
ペルフルオロオクタン酸アンモニウム (PFOA塩) [*]		431.1 (C ₈ H ₄ F ₁₅ NO ₂)	0.6~0.7	易溶	7.88 × 10 ⁻⁶	0.7	8.1 × 10 ⁻⁶
ペルフルオロヘキサンスルホン酸 (PFHxS)		400.11 (C ₆ F ₁₃ HO ₃ S)	1.841	6.2	40.5	3.16	6.1 × 10 ⁻⁴

^{*}代表的なPFOS塩、PFOA塩として、最も製造・輸入量の多いPFOSカリウム塩、PFOAアンモニウム塩を選定した。

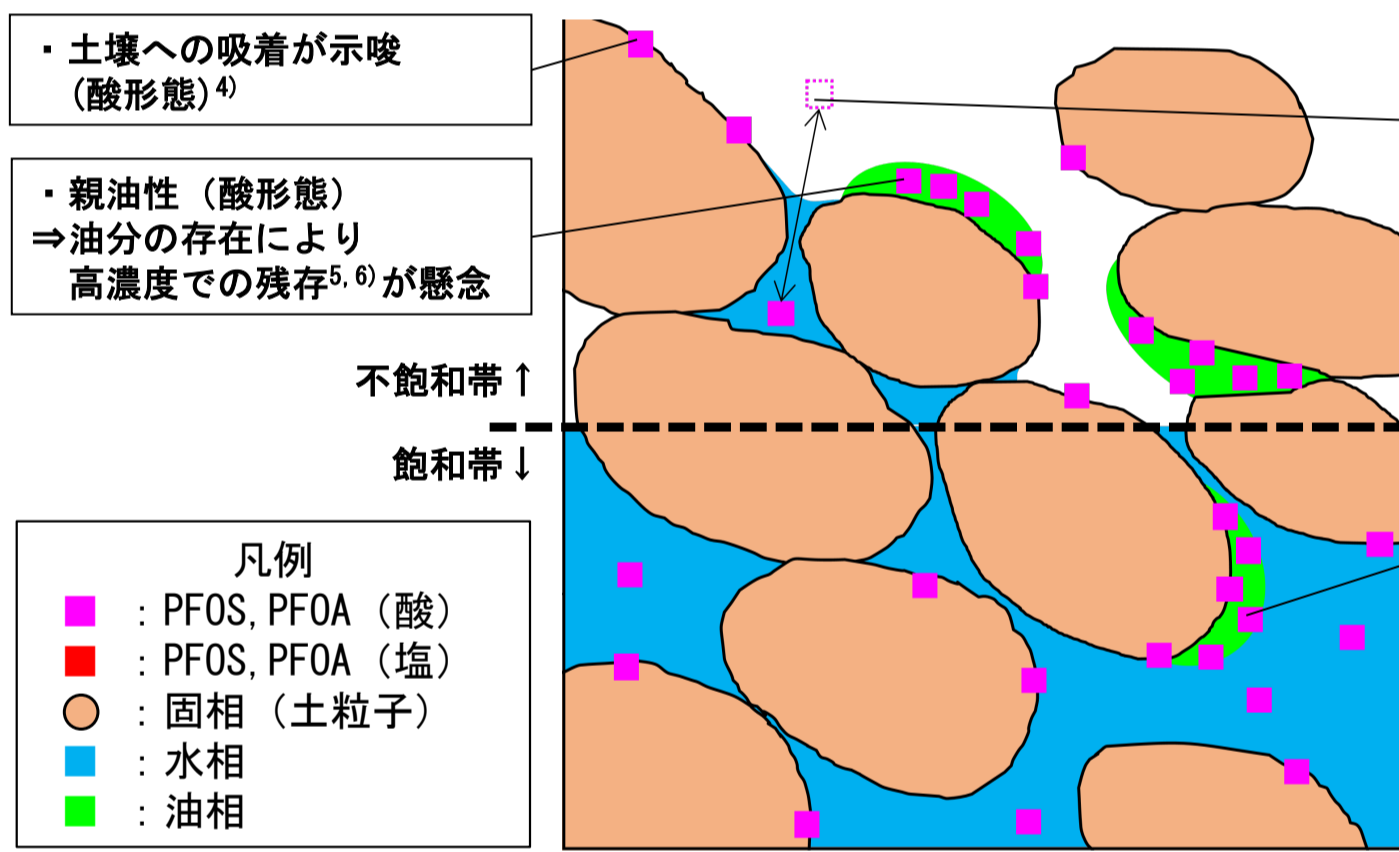


図1 想定される土壌・地下水での挙動(酸形態)

4) 西野ら(2015): 環境科学, Vol.25, No.3, p.149-160.、5) 吉澤ら(2008): 平成19年度千葉県環境センター年報第3号, p.149-160.、6) Wanzekら(2020): SERDP & ESTCP 2020 Symposium、7) 環境省環境保健部環境リスク評価室(2008): 化学物質の環境リスク評価 第6巻

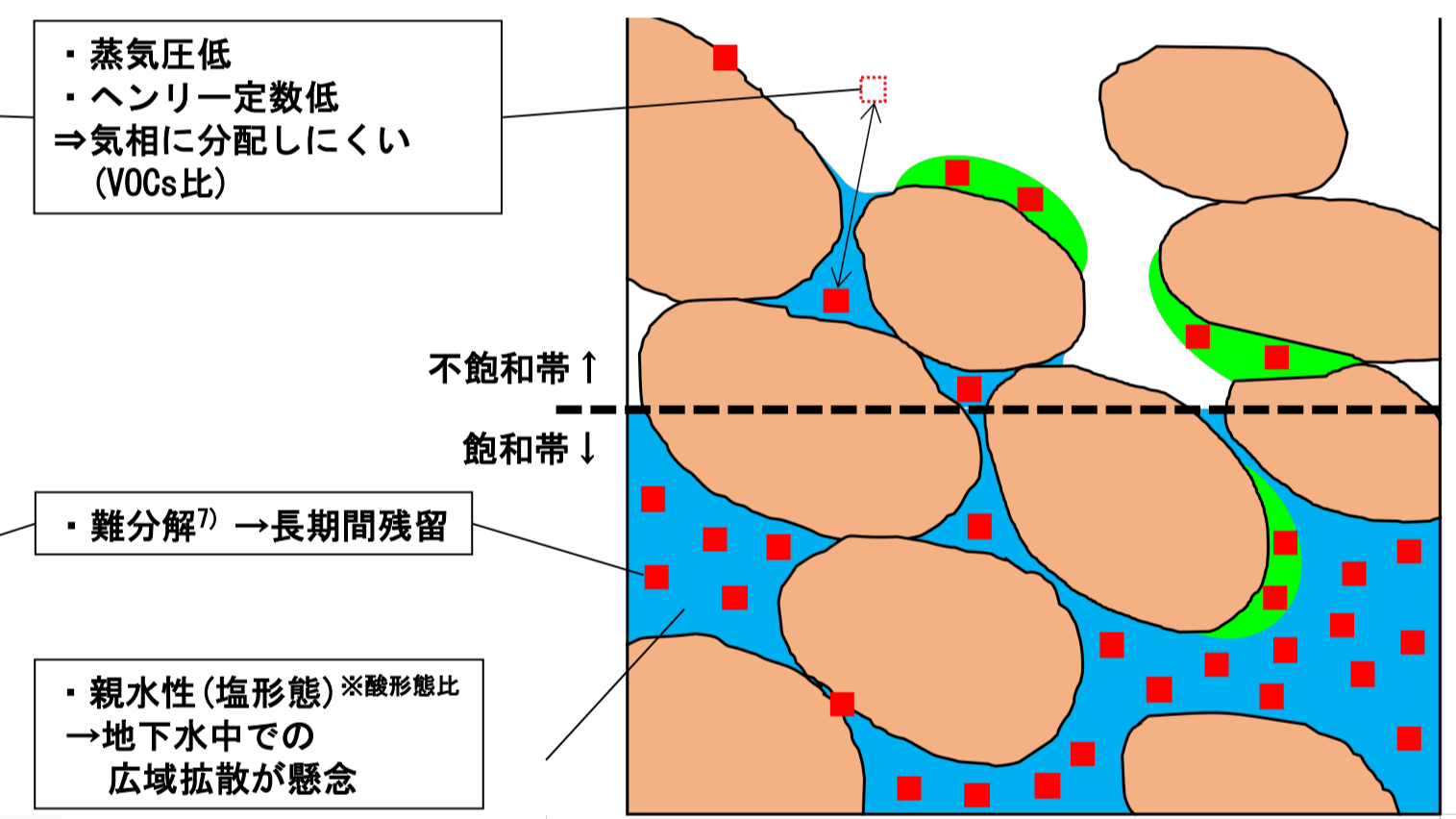


図2 想定される土壌・地下水での挙動(塩形態)

5. 調査技術の開発動向

(1) 試料採取

想定された土壌・地下水で挙動及び、文献調査結果から現在土壌・地下水汚染調査に用いられている各試料採取方法の適用性について考察した。

●土壌ガス: VOCsと比較し気相に分配されにくい性質が想定されるため、現在VOCsに適用されている土壌ガス採取法は適用困難と考えられる。

一方、試料採取・分析方法の検討による適用可能性は残されており、更なる知見の収集が必要である。

●土壌(溶出・含有): 難分解性、不飽和土壌中での残留性⁴⁾から、浸透源把握として表層土壌調査の適用性があると考えられる。

深度方向の土壌調査については更なる知見の収集が必要である。

●地下水: 既に井戸水などで調査実績がある。

^{*}各試料の採取・保管容器には気・液密性のあるポリエチレン及びポリプロピレン製品が適する^{8,9,10)}(ガラス・テフロン製品への吸着性が示唆¹¹⁾。

(2) 分析方法

文献調査結果から適用可能と考えられる分析方法を整理した。(表3)

表3 PFOS/PFOA^{*}の分析方法

物質名	分析対象	分析機器	参考とした資料
PFOS /PFOA	土壌溶出	固相抽出-LC/MS またはLC/MS/MS	平成15年環告18号 ・ 検液の測定方法は地下水と同様 ・ 前処理は平成3年環告46号に準じる
	土壌含有	【前処理】 メタノール超音波抽出 【分析】 固相抽出-LC/MS またはLC/MS/MS	要調査項目等調査マニュアル(底質) ¹²⁾
	地下水	固相抽出-LC/MS またはLC/MS/MS	要調査項目等調査マニュアル(水質) ¹²⁾ ・ ろ過は平成15年環告17号に準じる

^{*}類似した性質を持つPFHxSについても適用できる可能性がある

8) Smithら(2016): Concawe Soil and Groundwater Taskforce (STF/33), Concawe, Brussels, June

9) 西野ら(2008): 第11回日本水環境学会シンポジウム講演集, Vol.11, p.153.

10) 長澤ら(2011): 第14回日本水環境学会シンポジウム講演集, Vol.14, p.199-200.

11) 今井ら(2012): 水環境学会誌, Vol.35, No.3, p.57-64.

12) 環境省水・大気環境局水環境課(2008): 要調査項目等調査マニュアル(水質、底質、水生生物)

6. 対策技術の開発動向

Rossら(2018)の文献¹³⁾を引用し、PFOS/PFOA土壌・地下水汚染の対策技術を実用性と技術段階で整理した(図3,4)。これらは、PFOS/PFOAと類似した性質を持つPFHxS汚染対策にも適用できる可能性がある。

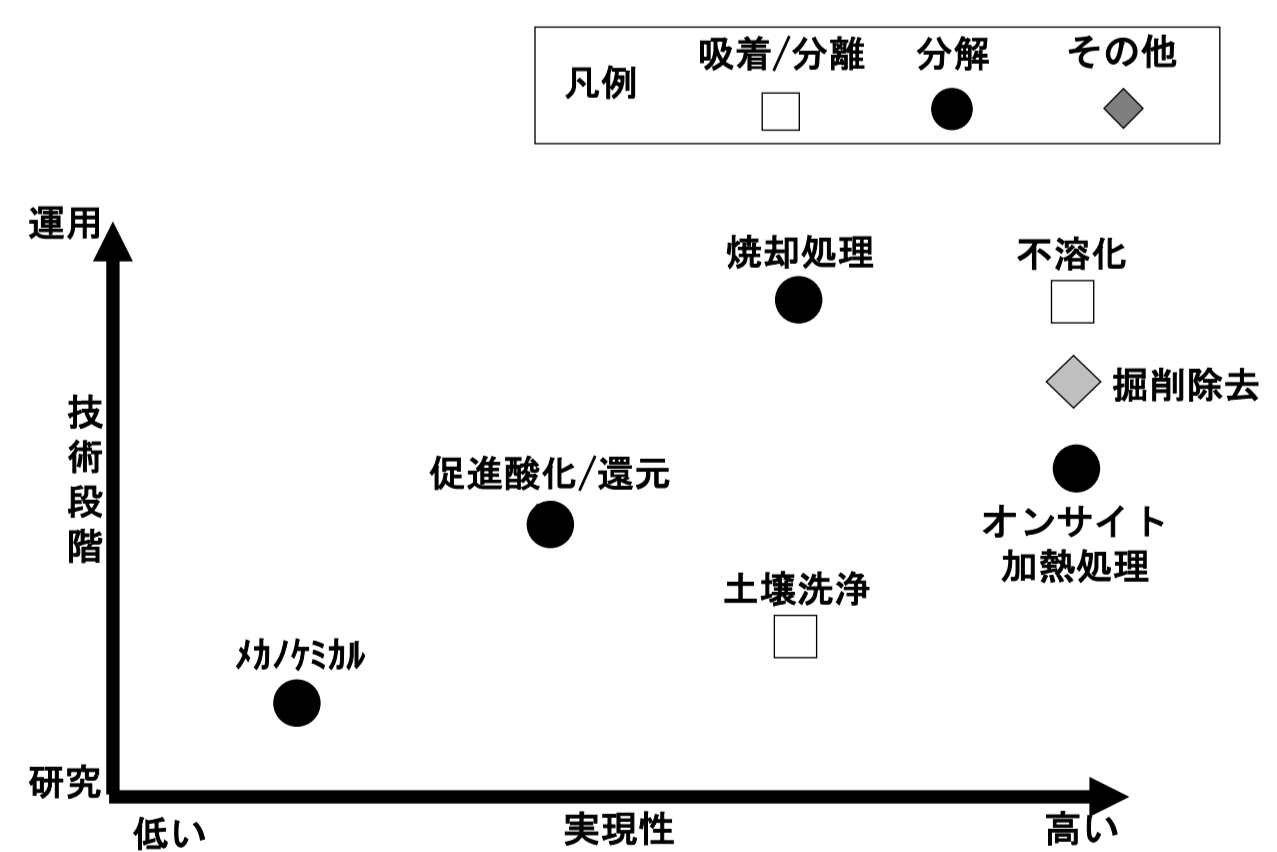


図3 PFOS/PFOA土壌汚染の対策技術

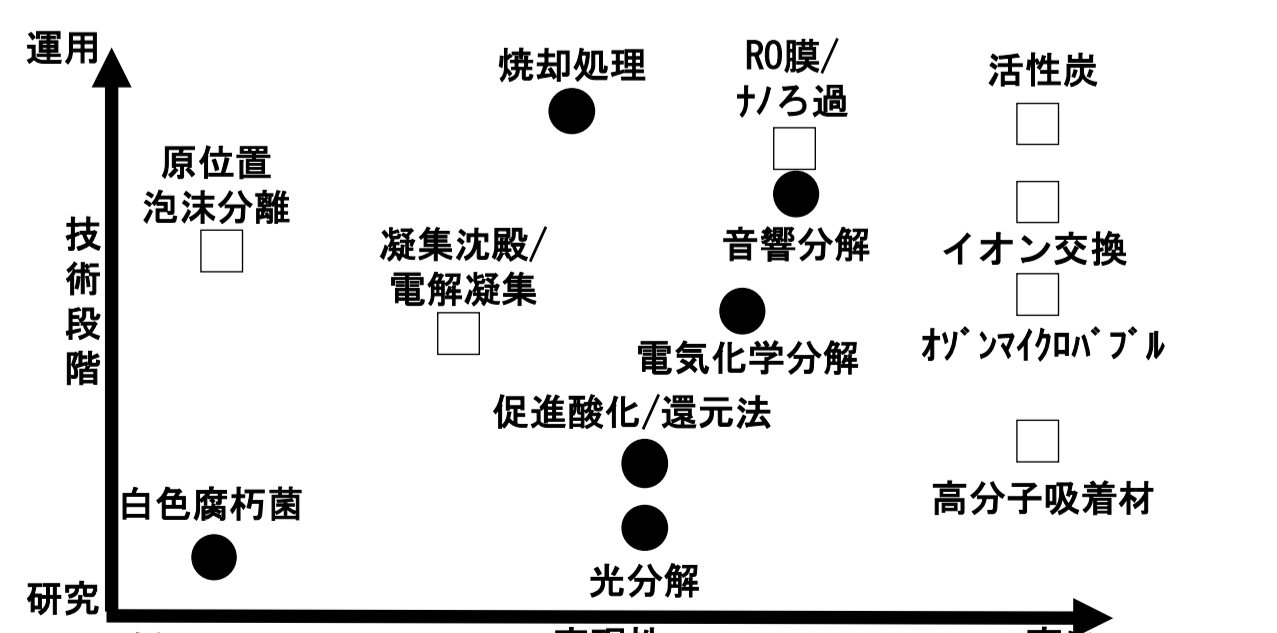


図4 PFOS/PFOA地下水汚染の対策技術

13) Rossら, (2018): A review of emerging technologies for remediation of PFASs, Remediation28

7. おわりに

今回、PFOS/PFOA/PFHxSによる土壌・地下水汚染の規制動向及び主な使用用途、遭遇機会、その土壌・地下水での動態、調査・対策技術の開発状況について国内外の知見を調査し整理した。今後の課題として、環境中での実態把握や動態解明、実効性の高い調査・対策方法の提案などが挙げられる。