

# S2-18 PFASによる土壌・地下水汚染の海外事例紹介

○椎根大¹・渡辺菜月¹・中村太郎¹・藤崎幸市郎¹・平尾壽啓¹  
PFOS等およびその前駆体を対象にした土壌・地下水汚染の挙動評価に関する検討部会¹  
¹土壌環境センター



部会HP  
関連情報掲載中

## 1. はじめに (本ポスターの内容には報文投稿後の検討結果等を含んでおります)

- 海外のPFAS汚染事例に関し、より詳細に汚染状況が把握され、それぞれのサイトに応じた対策技術を具体的に紹介している事例について、PFASによる土壌・地下水汚染の挙動評価を行うための基礎情報を収集するために、文献調査を行った。
- 海外の公的な機関が公開情報として公式のWebサイトに掲載している情報をサイト毎に整理した。

サイト	国	PFAS汚染の原因
コテージ・グローブサイト	米国	ミネソタ州A社(化学メーカー)の事業所における、PFAS製品の製造、場内廃棄、実証試験
オークデールサイト	米国	ミネソタ州A社(化学メーカー)の廃棄物埋立処分場における、PFAS廃棄物の埋め立て
エディンバラ空軍基地	豪州	南オーストラリア州の空軍基地内におけるPFAS含有泡消火剤を用いた消火作業や消火訓練

## 2. コテージ・グローブサイト【PFAS含有製品の製造や廃棄等の事業活動によるPFAS汚染事例】

### 【概要】

- 事業場として1947年から稼働し、PFAS含有製品の製造を目的に、1950年代～2002年に炭素数8のPFAS(PFOS, PFOA, PFOSの前駆体)を生産
- PFAS生産工程の廃棄物や廃水処理スラッジは1970年代まで対象地内に廃棄
- 2004年のミネソタ州における飲用水調査でPFOA等の検出をきっかけに地下水汚染が発覚



図1 コテージ・グローブサイト周辺マップ※

※ Minnesota Water Research Digital Library公開資料を基に作成

エリア	年代	地盤に関する説明
D1エリア (事業場の南東部)	1960年代半ば 1970年代初め	HF含有廃棄物を貯蔵するコンクリート製貯蔵槽を設置 上記貯蔵槽を撤去
D2エリア (D1西側)	不明	廃水処理施設で発生するスラッジの廃棄を開始
D5エリア (事業場の南部)	1973～1975年	廃棄場を閉鎖し、埋め立て
D9エリア(D2西側)	1970年代初め	固形廃棄物の焼却を行うためのピットを設置
	不明	ピットを埋め立て(現在は地表面にピットの形跡はない)
	不明	スラッジを廃棄するためのピットを設置
消火訓練場 (事業場の西部)	1968～1971年	泡消火剤の試験を行うための消火訓練場を設置 消火訓練によって生じた廃水は下水へ排水
	1972年	消火訓練で生じた廃水を貯蔵するための貯蔵池を設置
	1981年	消火訓練で生じた廃水を貯蔵するため貯蔵池を設置 貯蔵池内廃水は事業場内の廃水処理施設に搬送し処理

### 【浄化対策】

- 2010年から浄化対策が実施され、現在も継続中
- これまでに約30,500 m³のPFAS汚染土壌を掘削し、場外の埋め立て処分場へ搬出。地下水は井戸から揚水後、粒状活性炭による浄化後に事業場で冷却水等として利用後、ミシシッピ川へ放流

### 本サイトの特徴と有用と考えられる情報

- 国内ではまだ事例の少ない事業場を汚染源としたケースでの、汚染の拡散状況が明らかにされている
- 媒体(土壌/水)の違いによる、PFASの検出状況の違いが、環境中でのPFASの挙動を理解する上での参考になり得る

### 【調査結果】

- ミネソタ州は2007年にSoil Reference Values(土壌汚染参照値)としてPFOS 2,000 µg/kg, PFOA 4,000 µg/kgを設定。地下水保護法のもと、飲料水中のPFAS濃度に対するHealth Risk Limits(地下水の健康リスク濃度)として、PFOS 0.3 µg/L, PFOA 0.035 µg/L, PFHxS 0.047 µg/L, PFBS 0.1 µg/L, PFBA 7 µg/Lを設定
- 2006年から土壌、地下水調査を実施。調査の結果、D5、D9、消火訓練場エリアで土壌汚染参照値を超過(PFOSとPFOAの各最高濃度:D9エリアで104,000 µg/kg、21,800 µg/kg)。地下水については、全てのエリアで地下水の健康リスク濃度を超過(PFOSとPFOAの各最高濃度:D5エリアでPFOS 28 µg/L、D2エリアでPFOA 619 µg/L)
- ミシシッピ川の下流域(事業場から最大約64 km)の底質では、土壌汚染参照値の超過は認められなかった。河川水ではPFOS, PFOA, PFHxS, PFBSが地下水の健康リスク濃度を超過していた(最下流地点でPFOS不検出、PFOA 0.0693 µg/L)

## 3. オークデールサイト【廃棄物処分場跡地におけるPFAS汚染事例】

### 【概要】

- ミネソタ州ヘネピン郡の処分場跡地、非連続の3つの地区で構成
- 1940年から1960年代にA社が液体・固体の産業・一般廃棄物を地区内の掘削溝に埋め立て
- 2002年に既存の地下水回収システムからPFASが検出、A社がオークデールサイト内の複数場所へPFAS含有廃棄物を埋め立てていた履歴を報告
- 2005年に追加のサンプリングと補足評価プログラムを、2006年12月に追加現地調査を行い、既存地下水回収システムの有効性の評価と土壌浄化のための調査を実施
- 2007年に、A社と州はオークデールサイトを含めたPFAS廃棄物処分場における浄化調査及び対応措置に関する合意書を締結。PFAS動態モデルを構築し、将来のPFAS拡散状況を予測

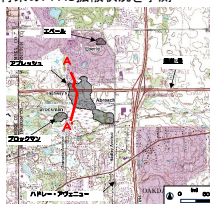


図2 オークデールサイト周辺マップ※

※ Minnesota Pollution Control Agency公開資料を基に作成

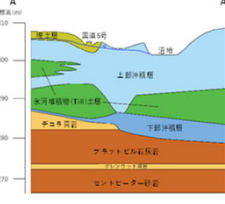


図3 オークデールサイトの地盤構造図※

※ Minnesota Pollution Control Agency公開資料を基に作成

### 【調査結果】

2005年11月から2006年3月にかけ、15カ所でのボーリングを実施し、以下の土壌又は地下水におけるPFAS濃度を報告

試料名	PFAS(PFO)	PFOS	PFOA	PFBS	PFBA	PFHxS
単位	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
国道5号北側 表面土壌	25～1,500	0.8～19	ND～2.8	ND～13	ND～2.8	
2006年12月調査 全土壌試料	21～110,000	0.8～19,000	ND～220	1,600	ND～5,600	
国道5号南側 ボーリング試料	0.99～9,200	ND～1,400	ND～2.5	—	ND～13	
単位	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
国道5号北側地下水	5.6～2,900	36～24,000	2.5～39	—	1.6～59	
国道5号南側地下水	5.5～8,300	4.4～2,700	0.20～190	—	0.45～7.0	
プラントビル層地下水	ND～0.23	—	—	—	—	
セントピーター層地下水	ND～0.040	—	—	—	—	

### 【浄化対策】

PFAS汚染土壌は、濃度分布や汚染深度状況から3種類の掘削除去計画を提案

- ① 深度約1.2 mの土壌のみ ② PFOS>30 µg/kg ③ PFOS>6 µg/kg

PFAS汚染地下水は、2種類の暫定対策を提案

- ① 揚水対策(活性炭吸着処理) ② 暴露経路遮断とモニタリングの組み合わせ

### 本サイトの特徴と有用と考えられる情報

- シミュレーションにより、無対策の場合は深層地下水にも汚染が拡大する懸念が示された

## 4. エディンバラ空軍基地【軍事基地での泡消火剤使用によるPFAS汚染事例】

### 【概要】

- 豪州の国家環境管理計画に基づき実施
- 泡消火剤(水成膜泡消火剤)を軍用機火災の消火や訓練に使用
- 地盤調査において想定された汚染源

### 消火作業を起因とするエリア

- 消火作業場所、消火訓練エリア
- 泡消火剤流出記録があるエリア
- 消火剤廃水貯留タンク

### その他エリア

- 燃料貯蔵施設廃棄物埋立地
- 焼却施設
- 表層水の排水経路等(雨水や消火後の排水等)
- 揚水地下水を散布した補給エリア(二次汚染源の可能性と評価)

### 基地と関係のないエリア

- 敷地外の車両火災の消火活動現場
- 現地地盤情報(図5)として、第4紀層にQ1～Q4帯水層の4つの帯水層があり、Q1及びQ2帯水層の地下水流向は主に西から南西



図4 エディンバラ空軍基地周辺マップ※

※ Australian Government Department of Defence公開資料を基に作成



図5 エディンバラ空軍基地内の地盤構成図※

※ Australian Government Department of Defence公開資料を基に作成

### ● 地表水および地下水

- Q1帯水層 RWC: 890～4,210 kg、MLC: 420～2,580 kg
- Q2帯水層 RWC: 1,170～2,880 kg、MLC: 650～1,750 kg

### 【浄化対策】

- 土壌: PFAS濃度の高いエリアで浄化対策を実施
- 消防訓練エリアのPFAS汚染土壌1,359 m³(約2,200 t)を掘削⇒土壌洗浄実証試験  
土壌を80 mm超過、5～80 mm、0.15～5 mm、0.15 mm未満の4分面に分級・洗浄  
PFASカルボン酸塩で97.1%、PFASスルホン酸塩で94.9%の除去率  
粘性土壌では90%以上、砂質土壌では99%以上が洗浄廃液に移行  
廃液中のPFASは99.9%が粒状活性炭およびイオン交換樹脂によって除去  
処理済み土壌の99.7%⇒消防訓練エリアに埋立
- 高濃度洗浄残渣等⇒焼却処分(実証試験後、洗浄プラントは2022年5月に解体)
- 以後、高濃度汚染土壌⇒焼却処分  
低濃度汚染土壌⇒粒状活性炭を土壌に混合する土壌安定化処理を実施  
合計約34,000 tの土壌を処理
- 地下水: Q2帯水層の地下水を揚水  
⇒地下水からPFASを除去し、Q2帯水層へ再注入(2019年から稼働)  
2023年6月時点で、1億1,400万 L以上を処理⇒約24 kgのPFASを除去

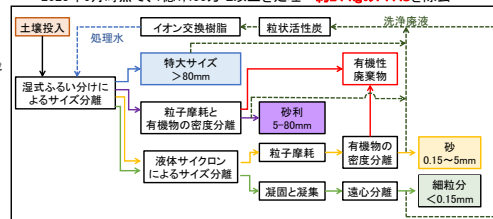


図6 土壌洗浄処理フロー※

※ Australian Government Department of Defence公開資料を基に作成

### 本サイトの特徴と有用と考えられる情報

- 国内では明らかとされていない基地内の汚染場所において、汚染の拡散状況が明らかにされている
- 訓練を含む泡消火剤の使用箇所だけではなく、下水処理場や射撃訓練場が汚染源となり得ることを把握できた
- 土壌洗浄の有効性が示されていることが対策検討のうえで参考になる

## 5. おわりに

本報では、米国と豪州の汚染事例について整理した。海外で公開されている汚染状況からは、汚染源から数km以上離れた広範囲な場所においてもPFASによる地下水汚染が確認された。汚染深度も数十mまで達している様子が見られた。PFAS濃度も距離で薄減するのではなく、局所的な高まりが存在していた。また、汚染対策については、履歴の確認や地下水モニタリングを細やかにいながら、汚染源対策や拡散域の汚染対応に取り組むことで改善している様子が確認できている事例もあった。本部会ではさらに、汚染拡散の実態や調査・対策方法の深掘りを行うことで、汚染状態の評価や挙動の解明に繋がる現象把握に向けた検討を行う予定である。

【参考: 当部会の他の発表】

S2-17 PFASによる土壌・地下水汚染の国内事例紹介