# S3-11　連続抽出によるPFAS汚染土壌の溶出特性に関する検討

〇野島智也[1], 日野良太[2], 関友博[1], 町田瑞希[1], 西川直仁[2],日笠山徹巳[2]

[1] ユーロフィン日本環境株式会社, [2] 株式会社大林組

eurofins

## 1. BACKGROUND

### 1.1 PFASの化学的性質

・フッ素多置換の炭素鎖を有する特徴的な構造（Figure 1）
・優れた界面活性、耐薬品性や耐候性等が高い性質
　⇒ 降雨時の高移動性と土壌中の残留性を併せ持つと考えられる

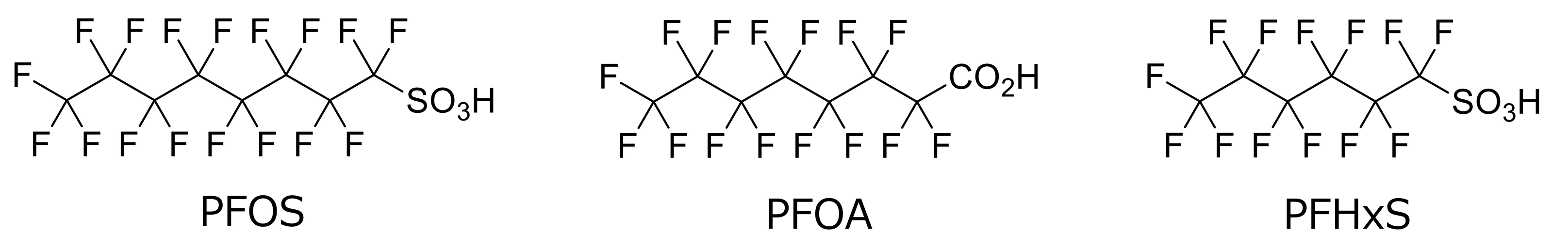


Figure 1. 今回の検討対象としたPFAS

### 1.2 課題

PFAS汚染土壌の不溶化処理に伴う課題
・PFASの土壌への吸着性や溶出挙動が未知である
・界面活性のあるPFASは複雑な作用により土壌と結合する
・土壌からの溶出挙動は、溶出水の化学的性質により異なる

### 1.3 本研究の目的

・改良BCR逐次抽出法[1)]を参考に、化学的性質が異なる溶出液を変えた連続抽出試験を実施する
　→ 化学的性質が異なる溶出液を用いて処理土壌の安定性を確認

## 2. METHODOLOGY

### 2.1 模擬汚染土壌の調製

・PFOS、PFOA、PFHxSを100 μg/L含む模擬汚染水を調製した。
・模擬汚染水に真砂土を1週間浸漬し、遠心分離後、残渣を風乾・篩がけしたものを模擬汚染土壌として用いた。

### 2.2 不溶化処理

・調製した模擬汚染土壌の一部に対し不溶化処理[2)]を実施した。
・次の試験で不溶化処理を行わなかった場合との比較した。

### 2.3 連続抽出試験

・調製した模擬汚染土壌ならびに不溶化処理土壌について、Figure 2のフローのとおり連続抽出を実施した。
・各画分の水溶液についてPFAS濃度をダイレクトインジェクション法[3)]により測定した。

### 2.4 環境庁告示46号溶出試験

・模擬汚染土壌ならびに不溶化処理土壌について、環境庁告示46号に従い溶出試験を実施し、溶出検液のPFAS濃度をダイレクトインジェクション法により測定した。

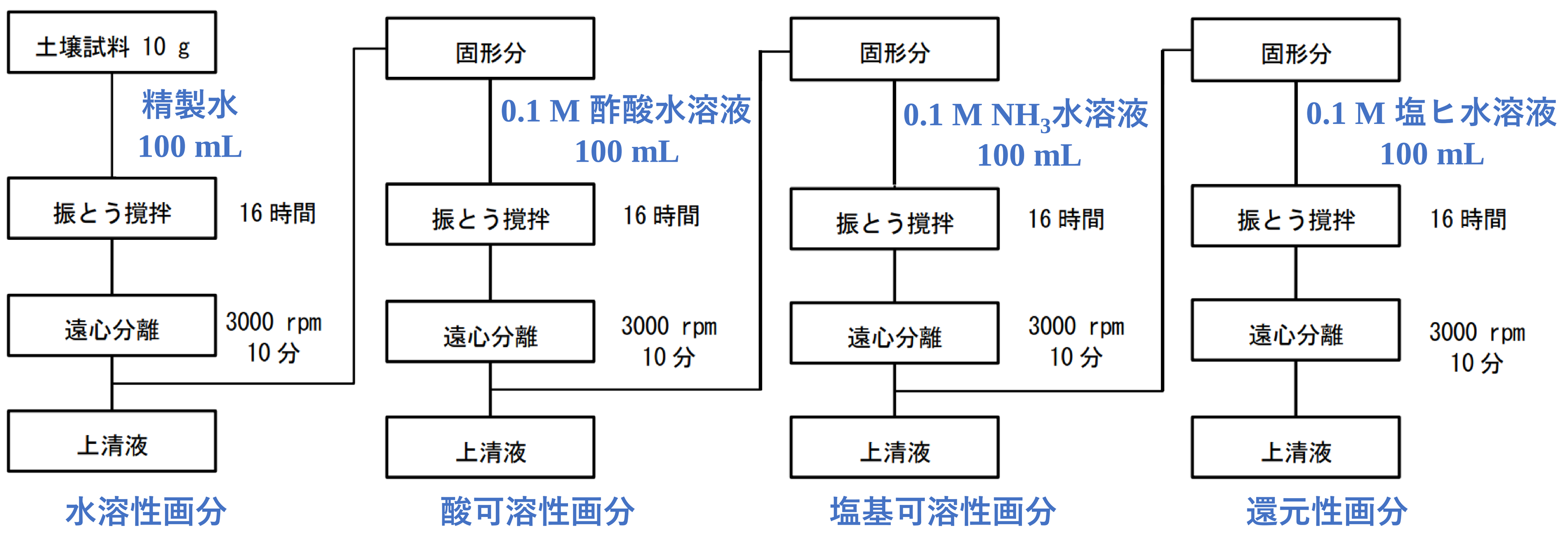


Figure 2. 連続抽出フロー

### 参考文献

1) 貫上佳則・毛利光男・加瀬隆雄 (2008) : 改良BCR逐次抽出法による汚染土壌中の重金属の形態と溶出特性の評価，土木学会論文集G Vol.64 No.4, 304-313

2) 日野良太・鎌田明秀・西川直仁・日笠山徹巳 (2024)：PFAS 汚染土壌の不溶化処理に関する適用可能性,第16回地盤改良シンポジウム論文集, pp.505-509.

3) Tshumah-Mutingwende Rosamond et.al (2021) : PFAS Screening test - An essential tool for analytical decision making, 29th Symposium on Environmental Chemistry (Osaka)

## 3. RESULTS

### 3.1 模擬汚染土壌の連続抽出結果

・模擬汚染土壌の連続抽出試験の結果をTable 1に示す。
（全ての画分溶出量の合計を100 %とした場合の各画分における割合）

Table 1. 連続抽出試験の結果（%）：模擬汚染土壌

| 測定項目 | 水溶性画分 | 酸可溶性画分 | 塩基可溶性画分 | 還元性画分 | 合計量 |
|---|---|---|---|---|---|
| PFOS | 89.6 | 4.8 | 5.6 | 0.1 | 100 |
| PFOA | 93.5 | 6.5 | 不検出 | 不検出 | 100 |
| PFHxS | 91.2 | 8.8 | 不検出 | 不検出 | 100 |

### 3.2 不溶化処理土壌の連続抽出結果

・不溶化処理土壌の連続抽出試験の結果をTable 2に示す。
（不溶化処理前の合計を100 %とした場合の溶出割合）

Table 2. 連続抽出試験の結果（%）：不溶化処理土壌

| 測定項目 | 水溶性画分 | 酸可溶性画分 | 塩基可溶性画分 | 還元性画分 | 合計量 |
|---|---|---|---|---|---|
| PFOS | 38.6 | 15.0 | 1.9 | 3.5 | 59.0 |
| PFOA | 61.3 | 12.2 | 1.9 | 3.4 | 78.8 |
| PFHxS | 49.7 | 10.7 | 不検出 | 5.7 | 66.1 |

### 3.3 溶出試験との比較

・環境庁告示46号溶出試験と連続抽出試験の結果をTable 3に示す。
（不溶化処理前土壌の連続抽出結果合計を100 %としたときの溶出割合)

Table 3. 環境省告示46号溶出試験と連続抽出試験の結果比較（%）

| 測定項目 | 46号溶出試験結果 | | 連続抽出試験合計値 | |
|---|---|---|---|---|
| | 不溶化処理前 | 不溶化処理後 | 不溶化処理前 | 不溶化処理後 |
| PFOS | 86.1 | 18.6 | 100 | 59.0 |
| PFOA | 90.5 | 48.0 | 100 | 78.8 |
| PFHxS | 78.1 | 38.1 | 100 | 66.1 |

## 4. DISCUSSION

### 4.1 模擬汚染土壌の連続抽出結果から

・有機物を含まない真砂土ではPFASがほとんど保持されず、水溶性画分で9割が溶出した。

### 4.2 不溶化処理土壌の連続抽出結果から

・不溶化処理により、特にスルホン酸2種について溶出量が減少した。
・還元性画分でも検出されており、自然地盤で溶出の可能性は低い。
・土壌残留性はPFOS＞PFHxS＞PFOAであった。

### 4.3 溶出試験結果との比較

・水のみで溶出試験を行う環境庁告示46号溶出試験では、含有するPFASが全量溶出しない可能性がある。
・不溶化処理土壌の環境庁告示46号溶出試験と連続抽出では溶出量の差が大きく、不溶化処理が一定の効果を上げていると考えられる。

## 5. SUMMARY

### 5.1 結論

　溶液の化学的性質を変えた連続抽出処理により、PFASの土壌からの溶出特性について評価が可能と考えられる。
　今後、抽出法の改善や性質の異なる土壌の試験を行い、更なる知見を収集する。

### 5.2 今後の方針

・PFOS、PFOA、PFHxS以外のPFASを含む土壌試料への適用による、より広範なPFASの溶出特性の評価
・土質の異なる土壌の試験
・消火剤などの薬剤を含んだ土壌の試験
・連続抽出溶媒の順番の変更等による改善