

# 廃棄物に含まれる有機フッ素化合物の溶出特性

栗原 正憲 吉澤 正

## 1 はじめに

これまでの調査<sup>1)</sup>により最終処分場の浸出水には有機フッ素化合物 (PFCs) が含まれていることが確認された。PFOS, PFOA は今後の排出量の低下が予想されるが、製品残渣の廃棄物が搬入される最終処分場からは浸出水として流出が継続すると考えられる。廃棄物からの PFCs 溶出の特徴を観察するために 2010 年度に行った連続溶出試験の結果について報告する。

## 2 方法

産業廃棄物の溶出試験, 溶媒抽出による含有量測定を実施した。試料は 2002 年に産業廃棄物最終処分場の埋立地から採取した柱状のボーリングコアから, 汚泥 2 か所, 混合廃棄物 1 か所 (焼却灰と破砕物の混合物) を採取して用いた。汚泥は風乾の後, 2mm 目のふるいを通じて試料とした。混合廃棄物は風乾の後, 大阪ケミカル株式製の粉砕機ワンダーブレンダーで粉砕し, 試料の長辺を 5mm 以下, 2mm 以下に調整した 2 試料を作成した。

### 2・1 連続バッチ溶出試験

試料 15g に水 150mL を加え, 250mL のポリ容器で 6 時間連続して振とうした。3000rpm で 10 分間遠心分離し, 上澄みを孔径 1.0 $\mu$ m のガラス繊維濾紙でろ過して溶出液とした。残渣は吸引ろ過により水分を極力除去し, 再び純水 150mL を加え溶出操作を合計 5 回繰り返し行った。溶出液 2mL, 50mL を Oasis WAX plus で 1mL に濃縮し LC/MS/MS で定量した<sup>1)</sup>。塩化物イオン濃度をイオンクロマトグラフィーで測定し, PFCs の挙動と比較した。

### 2・2 溶出平衡時間の確認

振とう時間を 10 ~ 360 分で変化させて溶出液を作成し, 溶出が完了するのに必要な時間を確認した。

### 2・3 含有量測定

試料をメタノールで超音波抽出し<sup>2)</sup>, 抽出された PFCs 量を含有量とした。

## 3 結果

### 3・1 連続バッチ溶出試験

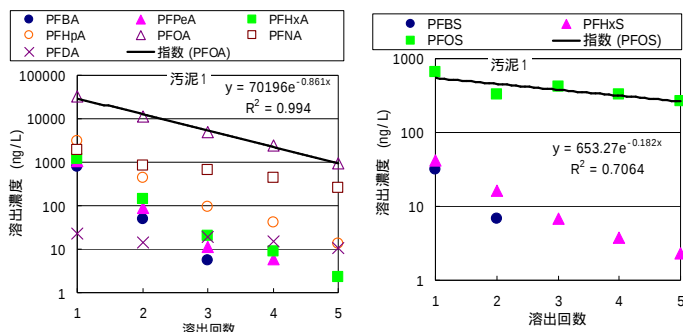
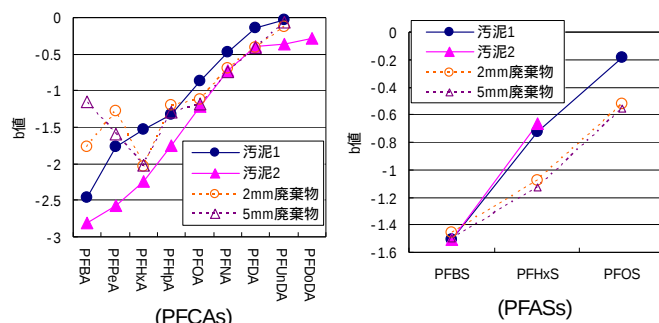


図1 PFCAs 溶出濃度

図2 PFASs 溶出濃度



(PFCAs: パーフルオロカルボン酸類, PFASs: パーフルオロスルホン酸類)

図3 PFCs の濃度減少速度

連続 5 回の繰り返し溶出を行った際の, PFCs の濃度変化を図 1, 2 に示した。溶出回数が進むにつれ溶出濃度は低下した。また, 濃度低下の挙動は指数関数に近似できるものが多かった。溶出  $n$  回目の濃度を  $[C]$  として,  $[C]=a \cdot \exp(b \cdot n)$  に近似した際の乗数  $b$  を濃度の減少速度と考え, 比較したものが図 3 である。PFBA と PFPeA の一部のデータを除き, 炭素数が少ないもののほど  $b$  の絶対値は大きく, 炭素数の多いもののほど  $b$  の絶対値は小さい傾向にある。PFHxA の  $b$  値は -2.2 ~ -1.5 であり, 塩化物イオンの  $b$  値 (-2.2 ~ -1.9) とほぼ同程度あった。塩化物イオンは廃棄物との相互作用が小さく溶出の早い物質のひとつと考えられることから, 炭素数が 6 以下の PFCAs の濃度は浸出水に含まれる化学物質の中でも比較的早く低下する傾向にあると思われた。一方で, PFDA の  $b$  値は -0.4 ~ -0.2 と絶

対値が小さく濃度減少は遅かった。この傾向から，PFDAの濃度低下にはPFHxAや塩化物イオンに比べて4～6倍の時間を要すると思われた。

PFHxA～PFDoDAおよびPFOSのb値を，オクタノール/水分配係数( $\log K_{ow}$ )<sup>3)</sup>と比較したものが図4である。b値と $\log K_{ow}$ には相関関係が見られ，オクタノールに分配されやすいものほど濃度減少速度が遅い傾向にあった。

溶出濃度には，溶解度の他に溶出速度（溶出平衡までの時間）も影響していることが考えられる。振とう時間を変えて溶出液を作成し，溶出が完了するのに必要な時間を確認した。（図5）溶出濃度は振とう開始から約10分でほぼ頭打ちとなり，数十分で溶出平衡に達するものと思われた。このことから，溶出時間を6時間に設定した今回の溶出試験において，PFCsの溶出濃度への溶出速度の影響は少なく，主として廃棄物と水との分配により支配されていたことが確認された。

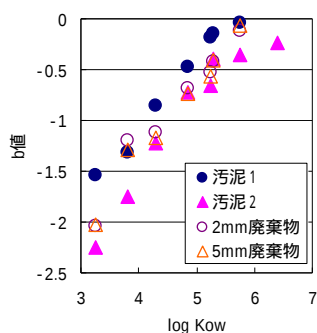


図4 オクタノール/水  
分配係数とb値の比較

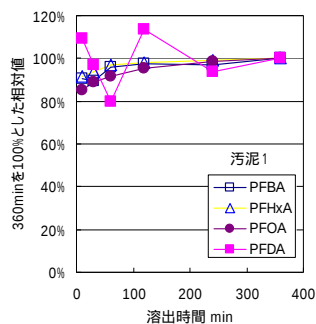


図5 溶出時間と  
溶出濃度の関係

### 3・2 溶出量と含有量の比較

5回の溶出操作で溶出したPFCs量と含有量を比較すると，炭素数が9以下のPFCAsとPFHxSはおおむね近い値であった。一方で，PFDA, PFUnDAとPFOSは溶出量が含有量より低い傾向にあり，5回の溶出作業では廃棄物から完全に溶出していないと思われた。炭素数が多く水への溶解度が低いPFCsが廃棄物から完全に溶出するには，より多くの水量，溶出回数が必要だと考えられた。

5回の溶出操作で廃棄物は50倍量の水と接触したことになるが，実際の最終処分場では数十年かかってもわずかに廃棄物の2～3倍の水が浸透するのみである<sup>4)</sup>。そのため，最終処分場からのPFCsの溶出はかなりの長期間継続すると予想された。

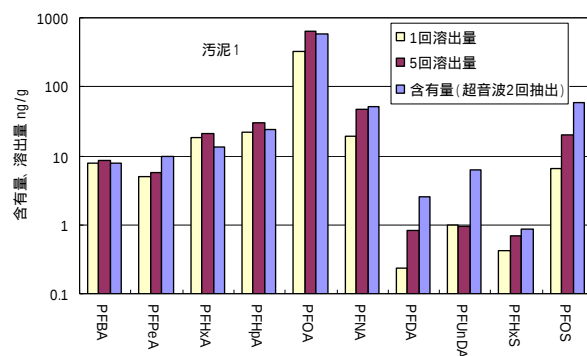


図6 含有量と溶出量の比較

### 4 まとめ

廃棄物の連続バッチ溶出の結果，PFCs溶出は廃棄物と水の分配傾向に影響されており，親油性の高いものは廃棄物に分配される傾向が強かった。浸出水中の炭素数の多いPFCsの濃度低下には長期を要し，環境への負荷が長期間に及ぶと思われた。

- ・産業廃棄物のバッチ式連続溶出では，溶出濃度は溶出回数が進むにつれ低下する傾向にあった。また，その濃度低下の傾向は指数関数に近似できた。
- ・濃度の減少速度（指数関数の乗数）は炭素数の多いものほど絶対値が小さく，オクタノール/水分配係数と相関が認められた。
- ・炭素数が9以下のPFCAsとPFHxSは，5回の溶出操作でおおむね溶出が完了したが，炭素数の多いものは溶出が継続した。
- ・PFCsの溶出は主として廃棄物と水との分配傾向により支配され，炭素数の多いPFCsは最終処分場から長期間継続して流出すると考えられた。

### 参考文献

- 1) 吉澤正，栗原正憲，大石修，清水明，杉山寛：一般廃棄物最終処分場の浸出水中の有機フッ素化合物およびその水処理，水環境学会誌，Vol.34，No.7，p.95-101（2011）
- 2) 栗原正憲，吉澤正：廃棄物に含まれる有機フッ素化合物の含有量測定方法の検討，千葉県環境研究センター年報，vol.10,(2010)
- 3) 村上道夫，滝沢智：フッ素系界面活性剤の水環境汚染の現状と今後の展望，水環境学会誌，Vol.33，No.8，p103～114(2010)
- 4) 栗原正憲：最終処分場浸出水の成分濃度の時系列変化と降水量との関係，千葉県環境研究センター年報，vol.6，p102-103(2006)