



環産発第 100930001 号  
平成 22 年 9 月 30 日

社団法人 日本消火装置工業会 御中  
社団法人 日本消火器工業会 御中  
財団法人 日本消防設備安全センター 御中  
写真感光材料工業会 御中  
日本感材銀工業組合 御中  
社団法人 電子情報技術産業協会 御中  
社団法人 全国解体工事業団体連合会 御中

環境省廃棄物・リサイクル対策部

適正処理・不法投棄対策室長



### 「PFOS 含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項」について

廃棄物行政の推進につきましては、かねてから御尽力いただき、厚く御礼申し上げます。

さて、平成 21 年 5 月に開催された残留性有機汚染物質 (POPs) に関するストックホルム条約 (以下「POPs 条約」という) 第 4 回締約国会議において、新たにペルフルオロ (オクタン-1-スルホン酸) (別名 PFOS。以下「PFOS」という。) 又はその塩等の 9 種類の物質 (12 物質) の条約附属書への追加が採択されました。これを受けて、我が国においては、平成 22 年 4 月にこれらの物質を化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律の第一種特定化学物質に指定し、製造及び輸入の許可制、使用の制限等の措置を講じています。

ただし、新たに追加された物質のうち、PFOS 又はその塩については一部に代替不可能な用途があるため、附属書改正後も引き続き製造・使用等が認められています。

POPs 条約においては、当該物質を含む製品及び物品の廃棄にあたり、POPs の特性を示さなくなるように破壊又は不可逆的に変換されるような方法で処分されることを規定していることから、今般、別添のとおり、「PFOS 含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項」を策定しました。本技術的留意事項は、PFOS 含有廃棄物を適正に処理するために必要な保管、処理委託、収集運搬及び分解処理に関する手法について取りまとめたものです。

つきましては、本技術的留意事項を貴団体に所属する会員等に周知していただくとともに、PFOS含有廃棄物の適正処理の確保に努めていただきますようお願いいたします。また、本マニュアルは環境省ホームページ (<http://www.env.go.jp/recycle/misc/guideline.html>) に掲載していますので、周知の際に御活用下さい。

なお、各都道府県及び政令市の廃棄物担当部局に対しては、別途通知済みであることを申し添えます。

# 「PFOS含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項」の概要について

平成22年9月

環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部

平成21年5月に開催された残留性有機汚染物質（POPs）に関するストックホルム条約第4回締約国会議において、ペルフルオロ（オクタン-1-スルホン酸）（別名PFOS。以下「PFOS」という。）又はその塩等の9種類（12物質）を新たに同条約の廃絶・制限の対象物質とすることが決定された。これを受けて、我が国においては、平成22年4月にこれらの物質を化学物質審査規制法の第1種特定化学物質に指定し、製造及び輸入の許可制、使用の制限等の措置を講じている。ただし、PFOS又はその塩については、一部に代替不可能な用途があることから、引き続き製造・使用等が認められている。

POPs条約においては、当該物質を含む製品及び物品の廃棄に当たっては、POPsの特性を示さなくなるように破壊又は不可逆的に変換されるような方法で処分されることを規定していることから、PFOS又はその塩を含有する廃棄物の環境上適正な処理を確保するために必要な技術的留意事項を取りまとめたものである。

概要は以下のとおり。

## 1. 対象 【技術的留意事項：2. 対象 参照】

PFOS使用製品の製造、使用段階等から排出されるPFOS又はその塩を含有する固形状又は液状の廃棄物。

## 2. 保管 【技術的留意事項：3. 保管 参照】

保管の場所は、囲い及び掲示板を設け、PFOS含有廃棄物が飛散・流出・地下浸透・悪臭発散の防止及び他の物が混入するおそれのないように仕切り等の措置を講ずること。保管に用いる容器は、密閉でき、収納しやすくかつ損傷しにくいものを用いること。

## 3. 処理委託 【技術的留意事項：4. 処理委託 参照】

PFOS含有廃棄物の収集運搬又は処分を委託する場合には、処理業者であって、PFOS含有廃棄物の分類がその事業の範囲に含まれている者に対して行うとともに、PFOS含有廃棄物の取扱いに関して十分な知識及び技術を有するものであることを確認すること。また、排出事業者は、処理業者に対して、PFOS含有廃棄物であること、数量、種類・性状、荷姿、取り扱う際に注意すべき事項を通知すること。

## 4. 収集運搬 【技術的留意事項：5. 収集運搬 参照】

PFOS含有廃棄物の収集運搬に当たっては、PFOS含有廃棄物が飛散、流出しないようにするとともに、人の健康又は生活環境に係る被害が生じないようにすること。また、運搬容器に収納し、飛散流出対策を講ずるものとする。また、PFOS含有廃棄物が、

その他の物と混合するおそれのないように、他の物と区分して収集運搬すること。

**5. 分解処理** 【技術的留意事項：6. 分解処理 参照】

(1) 分解処理方法

分解処理方法は、PFOS又はその塩が確実に分解され、かつ、PFOS含有廃棄物の分解処理に伴い生じる排水、残さ中のPFOS又はその塩の濃度並びに排ガス、排水中のフッ化水素の濃度が排出目標を超えない方法であること。

(2) 分解処理時に達成すべき分解率と排出目標

- ① PFOS含有廃棄物の分解率が99.999%以上であること。
- ② 分解処理に伴い生じる排水、残さ中のPFOS又はその塩の濃度が以下の数値を超えないこと
  - ア 排水 2 μg/L
  - イ 残さ 3 mg/kg
- ③ 分解処理に伴い生じる排ガス、排水中のフッ化水素濃度が以下の数値を超えないこと。なお、その他条例等で上乘せされた規制がある場合にはその値によること。
  - ア 排ガス 5 mg/m<sup>3</sup>N
  - イ 排水 海域以外の公共用水域 8 mg/L  
海域 15mg/L

(3) 分解処理に当たっての分解率及び排出目標の達成状況確認時期

分解処理時の分解率及び排出目標の達成状況の確認は、性状が一定とみなすことのできるPFOS含有廃棄物に対して、本格的な分解処理を開始する前に行うこと。また、PFOS含有廃棄物の性状が目標範囲を外れた等の理由により再設定する必要が生じた場合等にも行うこと。

時 期	分解率	PFOS濃度*	HF濃度
本格的分解処理開始前の確認試験時	○	○	○
投入条件の再設定時（性状変更等）	○	○	○
分解処理時（一定性状のPFOS含有廃棄物を連続して分解処理する場合）			
6ヶ月未満→処理期間中1回以上		○	○
6ヶ月以上→6ヶ月に1回以上		○	○

※ 排水及び残さ中のPFOS又はその塩の濃度に加え、排ガス中のPFOS又はその塩の濃度についても測定することが望ましい。

**【参考】**

「PFOS含有廃棄物の処理に関する技術的留意事項」については環境省ホームページ参照  
<http://www.env.go.jp/recycle/misc/guideline.html>

PFOS含有廃棄物の処理に関する  
技術的留意事項

平成22年9月

環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部

## はじめに

残留性有機汚染物質（POPs：Persistent Organic Pollutants）に関するストックホルム条約（POPs条約）では、環境中での残留性、生物蓄積性、人や生物への毒性が高く、長距離移動性が懸念されるPCB、DDT等のPOPsの製造及び使用の廃絶、排出の削減、これらの物質を含む廃棄物等の適正処理等を締約国が協調して行うべきことを規定している。

平成21年（2009年）5月に開催されたPOPs条約第4回締約国会議において、ペルフルオロ（オクタン-1-スルホン酸）（別名PFOS。以下「PFOS」という。）又はその塩等の9種類の物質（12物質）を新たに同条約の廃絶・制限の対象物質とすることが決定された。これを受けて、我が国においては、平成22年（2010年）4月にこれらの物質を化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律の第一種特定化学物質に指定し、製造又は輸入の許可制、使用の制限等の措置を講じている。ただし、PFOS又はその塩については、一部に代替不可能な用途があることから、引き続き製造・使用等が認められている。

POPs条約においては、当該物質を含む製品及び物品の廃棄に当たっては、POPsの特性を示さなくなるように破壊又は不可逆的に変換されるような方法で処分されることを規定していることから、PFOS又はその塩を含有する廃棄物（以下「PFOS含有廃棄物」という。）の環境上適正な処理方策を取りまとめ、関係者への周知を図ることが必要とされたものである。

本技術的留意事項は、このような状況を踏まえ、PFOS含有廃棄物の適正処理方策について、廃棄物処理法に基づいた法的・技術的検討を行うことを目的とした「POPs廃棄物適正処理等検討会」（資料1 委員名簿参照）における議論を取りまとめたものである。

本技術的留意事項に基づき、PFOS含有廃棄物の環境上適正な処理が一層推進されることが望まれる。

なお、PFOS又はその塩については、必ずしも知見が十分でないことから、今後、国内外の関連情報等の新たな知見が集積された段階で、必要に応じ本技術的留意事項を見直すこととする。

平成22年9月  
環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部

## 目次

1. 背景と目的 .....	1
2. 対象 .....	3
3. 保管 .....	5
3.1 保管 .....	5
3.2 保管容器 .....	7
4. 処理委託 .....	8
5. 収集運搬 .....	9
6. 分解処理 .....	10
6.1 分解処理方法 .....	10
6.2 分解処理時の遵守事項 .....	13
6.3 処理施設の構造 .....	14
6.4 処理施設の維持管理 .....	17
7. その他 .....	20

### (参考資料)

資料1 平成22年度POPs廃棄物適正処理等検討会委員名簿 .....	21
資料2 分解率の算出方法 .....	22
資料3 分解処理に伴い生じる排ガス中のPFOS又はその塩の濃度の定量下限値 ...	24
資料4 分解処理に伴い生じる排水及び残さ中のPFOS又はその塩の濃度の目安 ...	25
資料5 PFOS含有廃棄物の燃焼実験における分析方法 .....	29

## 1. 背景と目的

本技術的留意事項は、平成 21 年（2009 年）5 月に開催された残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約（以下「POP s 条約」という。）第 4 回締約国会議（COP 4）において新たに条約附属書への追加が採択されたペルフルオロ（オクタン-1-スルホン酸）（別名 PFOS。以下「PFOS」という。）又はその塩について、当該物質を使用した製品（以下「PFOS 使用製品」という。）の製造、使用段階等から排出されたものが廃棄物になったもの（以下「PFOS 含有廃棄物」という。）について、その適正な処理を確保するために必要な技術的留意事項を、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和 45 年法律第 137 号。以下「廃棄物処理法」という。）等に従い具体的に解説することにより、PFOS 含有廃棄物の適正な処理を確保し、もって生活環境の保全及び公衆衛生の向上を図ることを目的とする。

### 【解説】

POP s 条約は、平成 13 年（2001 年）5 月 22 日に採択され、平成 16 年（2004 年）5 月 17 日に発効し、残留性有機汚染物質（以下「POP s」という。）の製造・使用の原則禁止、ストックパイルの適正な管理、廃棄物の適正な処分等を規定している。

平成 21 年（2009 年）5 月に開催された POP s 条約第 4 回締約国会議（COP 4）においては、新たに 9 種類の物質（12 物質）の条約附属書への追加が採択された。ただし、新たに追加された 9 種類の物質（12 物質）のうち、ペルフルオロ（オクタン-1-スルホン酸）（別名 PFOS）又はその塩（以下「PFOS 又はその塩」という。）とペルフルオロ（オクタン-1-スルホニル）=フルオリド（別名 PFOSF）については、現時点で代替の見通しが立たない用途があることから、附属書 B（製造・使用、輸出入の制限）に追加することとし、代替技術の開発状況を見ながら、将来的な廃絶に取り組んでいくこととされた。附属書 B（製造・使用、輸出入の制限）への追加についての概要を表 1 に示す。

表 1 POP s 条約第 4 回締約国会議において採択された附属書 B への追加

物質名	主な用途	決定された主な規制内容
ペルフルオロ（オクタン-1-スルホン酸）（PFOS） 又はその塩、ペルフルオロ（オクタン-1-スルホニル）=フルオリド（PFOSF） CAS No: 1763-23-1 CAS No: 307-35-7	撥水撥油剤、 界面活性剤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・製造・使用等の禁止 （以下の目的・用途を除外する規定あり）</li> <li>-写真感光材料</li> <li>-半導体用途</li> <li>-フォトマスク</li> <li>-医療機器</li> <li>-金属メッキ</li> <li>-泡消火剤</li> <li>-カラープリンター用電気電子部品</li> <li>-医療用 CCD カラーフィルター など</li> </ul>

出典：環境省報道発表資料「POP s 条約第 4 回締約国会議（COP 4）の結果について」（平成 21 年 5 月 12 日）

我が国においては、平成 22 年(2010 年) 4 月 1 日に、PFOS 又はその塩を化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律(以下「化学物質審査規制法」という。)の第一種特定化学物質に指定し、製造及び輸入の許可制、使用の制限等の措置を講じている。ただし、代替の見通しが立たないことから、例外的に PFOS 又はその塩を使用できる用途として、エッチング剤の製造等を定めている。また、当該物質が使用されている製品を業として取り扱う場合には、省令で定める技術上の基準<sup>1</sup>に従わなければならない、また、それらを譲渡、提供する際には、告示<sup>2</sup>で定める表示義務が課されている。

POPs 条約においては、当該物質を含む製品及び物品の廃棄に当たり、含有量が少ない場合等を除き、POPs の特性を示さなくなるように破壊又は不可逆的に変換されるような方法で処分されることを規定していることから、PFOS 含有廃棄物は分解処理されるべきものであって、その他の廃棄物で実施されているような脱水等の分解処理を行わない性状で埋立処分されることは、POPs 条約に照らして不適切である。

本技術的留意事項は、廃棄物処理法に基づいて、PFOS 含有廃棄物を適正に処理するために必要な保管、処理委託、収集運搬及び分解処理に関する手法を記述したものであるが、今後、PFOS 含有廃棄物について新しい知見が集積された段階で、必要に応じて見直すこととする。

注) 本技術的留意事項では、以下の略号を用いた。

法 : 廃棄物の処理及び清掃に関する法律(昭和 45 年法律第 137 号)

令 : 廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令(昭和 46 年政令第 300 号)

規則 : 廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則(昭和 46 年厚生省第 35 号)

<sup>1</sup> 「化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律施行令附則第三項の規定により読み替えて適用する同令第三条の三の表 PFOS 又はその塩の項第四号に規定する消火器、消火器用消火薬剤及び泡消火薬剤に関する技術上の基準を定める省令」(平成 22 年 9 月 3 日 総務省、厚生労働省、経済産業省、国土交通省、環境省、防衛省令第一号)

「PFOS 又はその塩及び化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律施行令第三条の三の表 PFOS 又はその塩の項第一号から第三号までに定める製品に関する技術上の基準を定める省令」(平成 22 年 5 月 26 日 厚生労働省、経済産業省、環境省令第四号)

<sup>2</sup> 「PFOS 又はその塩又は化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律施行令附則第三項の規定により読み替えて適用する同令第三条の三の表 PFOS 又はその塩の項第一号から第四号までに規定する製品で PFOS 又はその塩が使用されているものの容器、包装又は送り状に当該第一種特定化学物質による環境の汚染を防止するための措置等に関し表示すべき事項」(平成 22 年 9 月 3 日 厚生労働省、経済産業省、環境省告示第二十三号)

## 2. 対 象

本技術的留意事項の対象とする廃棄物は、PFOS使用製品の製造、使用段階等から排出されるPFOS又はその塩を含有する固形状又は液状の廃棄物である。

### 【解説】

1. PFOS又はその塩が付着した容器等についても、PFOS含有廃棄物に準じて取り扱うものとする。
2. PFOS使用製品の製造、使用段階等から排出される排水、残さについては、6. 1分解処理方法(2)に示すPFOS又はその塩の濃度未満のものは、本技術的留意事項の対象から除くものとする。
3. 一部を除きPFOS使用製品には以下の【参考】に示すとおり、化学物質審査規制法の表示義務が課せられるが、PFOS又はその塩を使用しているおそれのある製品を廃棄物として処理する際には、当該表示がない場合においても、製造元等にPFOS又はその塩の含有の有無を確認する必要がある。

### 【参考】

化学物質審査規制法の適用について

#### (1) 技術上の基準への適合義務について

業としてPFOS又はその塩並びに(3)に示すPFOS使用製品を取り扱う者は、これらを取り扱う場合においては、省令で定める技術上の基準に従わなければならない。

(参照 化学物質審査規制法 第17条第2項(平成23年4月以降は第28条第2項))

#### (2) 表示義務について

業としてPFOS又はその塩並びに(3)に示すPFOS使用製品を取り扱う者は、これらを譲渡し、又は提供するときにはその容器、包装又は送り状に、当該物質による環境の汚染を防止するための措置等に関する事項を表示しなければならない。

(参照 化学物質審査規制法 第17条の2第2項(平成23年4月以降は第29条第2項))

#### (3) 上記(1)(2)に従わなければならない製品としては、以下の4製品が定められている。

- ・ 半導体用のレジスト
- ・ エッチング剤(圧電フィルタ又は無線機器が3メガヘルツ以上の周波数の電波を送受信することを可能とする化合物半導体の製造用)
- ・ 業務用写真フィルム
- ・ 消火器、消火器用消火薬剤及び泡消火薬剤

(参照 化学物質審査規制法施行令 第3条の3及び附則)

※ 上記4製品の排出事業者及びPFOS含有廃棄物の種類は表2のとおりである。

表2 4製品の排出事業者及びPFOS含有廃棄物の種類

(半導体用のレジスト)

区分	排出事業者	廃棄物の種類
ライン残、洗浄溶剤、充填時ロス	レジストメーカ	廃プラスチック類
廃レジスト液	半導体メーカ	廃プラスチック類
廃現像液	半導体メーカ	廃酸・廃アルカリ
剥離工程排水		

(エッチング剤(圧電フィルタ又は無線機器が3メガヘルツ以上の周波数の電波を送受信することを可能とする化合物半導体の製造用))

区分	排出事業者	廃棄物の種類
廃エッチング液	半導体メーカ	廃酸・廃アルカリ
洗浄排水	半導体メーカ	廃酸・廃アルカリ

(業務用写真フィルム)

区分	排出事業者	廃棄物の種類
廃フィルム	製造メーカ 現像処理業者 エンドユーザ	廃プラスチック類
製造廃液	製造メーカ	廃酸・廃アルカリ
廃現像液・定着液	現像処理業者 エンドユーザ	廃酸・廃アルカリ
現像済フィルム	現像処理業者 エンドユーザ	廃プラスチック類

(消火器、消火器用消火薬剤及び泡消火薬剤)

区分	排出事業者	廃棄物の種類	
泡消火設備	点検、訓練、実災害に伴い放出された泡消火薬剤	設備所有者又は点検業者	汚泥又は廃酸・廃アルカリ
	廃薬剤	設備所有者又は解体業者	汚泥又は廃酸・廃アルカリ
消火器	点検、訓練、実災害に伴い放出された泡消火薬剤	機器所有者又は点検業者	汚泥又は廃酸・廃アルカリ
	廃薬剤	機器所有者又は解体業者	汚泥又は廃酸・廃アルカリ
パッケージ用消火設備等	点検、訓練、実災害に伴い放出された泡消火薬剤	設備・機器所有者又は点検業者	汚泥又は廃酸・廃アルカリ
	廃薬剤	設備・機器所有者又は解体業者	汚泥又は廃酸・廃アルカリ

### 3. 保管

#### 3. 1 保管

保管は、次に掲げる要件を満たす場所で行うこと。

- (1) 周囲に囲いが設けられていること。
- (2) 見やすい箇所に次に掲げる要件を備えた掲示板が設けられていること。

ア 縦横 60cm 以上であること。

イ 次に掲げる事項を表示したものであること。

- ・ PFOS 含有廃棄物の保管場所である旨
- ・ 保管する PFOS 含有廃棄物の種類
- ・ 積み上げ高さ
- ・ 保管の場所の管理者の氏名又は名称及び連絡先
- ・ その他必要事項

※ 具体的な掲示方法は【解説】3. 参照

- (3) 保管の場所から PFOS 含有廃棄物が飛散し、流出し、及び地下に浸透し、並びに悪臭が発散しないよう適切な措置を講ずること。
- (4) ねずみが生息し、及び蚊、はえその他の害虫が発生しないようにすること。
- (5) PFOS 含有廃棄物に他の物が混入するおそれがないように仕切りを設ける等必要な措置を講ずること。

(参照 令第6条第1項、規則第8条、規則第8条の13)

#### 【解説】

1. PFOS 含有廃棄物は、速やかに分解処理することが望ましいが、分解設備の都合等により保管することが必要になった場合には、その種類、数量、性状、状態等を確認し、当該 PFOS 含有廃棄物を適切に保管する必要がある。

また、定期的に保管状況の目視による監視を行うとともに、必要に応じて周辺環境中での PFOS 又はその塩のモニタリングを行うことが望ましい。

2. 保管の基準については、廃棄物処理法に定める規定を遵守する必要があるほか、つぎの措置を講じることが必要である。

- (1) 関係者以外が容易に立ち入ることができない場所に保管すること。
- (2) 雨水等による PFOS 含有廃棄物等の流出を防止するため、屋内に保管し、床面をコンクリートとする措置又は合成樹脂等により被覆する措置を講ずること。

3. 掲示内容は以下のとおりとする。

60cm 以上

PFOS含有廃棄物の保管場所	
保管するPFOS含有廃棄物の種類	△△△△△
積み上げ高さ	〇m
管理者の氏名又は名称	〇〇 〇〇 (□□課)
連絡先	TEL ×××-××××
注意事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・PFOS含有廃棄物(△△△△△)の保管場所につき関係者以外立ち入り禁止</li> <li>・許可なく△△△△△の持ち出し禁止</li> </ul>

60cm 以上

図1 保管場所の表示の例

### 3. 2 保管容器

P F O S含有廃棄物の保管に際しては、次の要件を満たしている保管容器を用いること。

- (1) 密閉できること。
- (2) 収納しやすいこと。
- (3) 損傷しにくいこと。

(参照 規則第1条の11)

#### 【解説】

1. 保管容器の基準については、廃P C B等の基準を準用したものである。

(参照 規則第1条の11)

2. 保管容器は、P F O S含有廃棄物の性状、保管期間、移動時の取扱い、保管後の分解処理方法等に応じて適切な材質及び大きさの保管容器を選択すること。

3. P F O S含有廃棄物を収納した保管容器には、P F O S含有廃棄物である旨を表示するものとする。

(参照 令6条の5第1項第1号、令第4条の2第1号ニ、規則第1条の10)

#### 4. 処理委託

(1) PFOS含有廃棄物の運搬又は処分を委託する場合には、他人の産業廃棄物の運搬又は処分を業として行うことができる者であって、委託しようとするPFOS含有廃棄物の分類がその事業の範囲に含まれている者に対して行うこと。

(参照 令第6条の2)

(2) PFOS含有廃棄物を産業廃棄物として運搬又は処分を委託する際には、産業廃棄物管理票（以下「マニフェスト」という。）を交付し、収集運搬、中間処理、最終処分等の各段階で終了後に返送されたマニフェストの内容を確認の上、5年間保存しなければならない。

(参照 法12条の3、規則8条の30)

#### 【解説】

1. PFOS含有廃棄物の収集、運搬又は処分を委託する場合には、PFOS含有廃棄物の取扱いに関して十分な知識及び技術を有する者であることを確認すること。
2. 委託契約については、PFOS含有廃棄物の種類に応じて、廃棄物処理法の関係する規定を遵守して、締結する必要がある。
3. 排出事業者は、処理業者に対してあらかじめ以下の事項を通知するものとする。
  - (1) PFOS含有廃棄物であること
  - (2) 数量
  - (3) 種類・性状
  - (4) 荷姿
  - (5) PFOS含有廃棄物を取り扱う際に注意すべき事項

これは、特別管理産業廃棄物の委託基準を準用して整理したものである。

(参照 令第6条の6第1号、規則第8条の16)

(5) に関しては、製品安全データシート (MSDS) 等により取り扱う際の注意事項を把握した上で、廃棄物情報の提供に関するガイドライン (WDSガイドライン) ※等を使用して処理業者に知らせる必要がある。

※ <http://www.env.go.jp/recycle/misc/wds/index.html>

## 5. 収集運搬

収集、運搬に当たっては以下の事項を遵守すること。

- (1) PFOS含有廃棄物が飛散し、及び流出しないようにすること。
- (2) 収集又は運搬に伴う悪臭、騒音又は振動によって生活環境の保全上支障が生じないように必要な措置を講ずること。
- (3) 運搬車及び運搬容器はPFOS含有廃棄物が飛散し、及び流出し、並びに悪臭が漏れるおそれのないものであること。
- (4) PFOS含有廃棄物が、その他の物と混合するおそれのないように、他の物と区分して収集し、又は運搬すること。

(参照 令第6条第1項第1号、令第6条の5第1項第1号)

### 【解説】

収集、運搬時の飛散、流出及び暴露を防止する観点から、PFOS含有廃棄物の性状等を踏まえ、以下の事項にも留意する必要がある。

1. PFOS含有廃棄物は、それぞれの状態に応じて、可能な限り分別して保管（運搬）容器への収納作業を行うこと。
2. 積み込み及び積み卸しに当たっては、運搬容器を破損しないように、注意深く荷役を行うこと。
3. 積み込み及び積み卸し時に、立会いを行う者や作業従事者は、容器からの内容物の漏洩及び容器の損傷等の有無を目視により確認すること。
4. PFOS含有廃棄物の収集運搬車両等には、運搬時の事故に際して適切な措置を講じるために必要な物品を携行し、又は必要な設備を備え付けること。

## 6. 分解処理

### 6. 1 分解処理方法

(1) 分解処理方法は、PFOS又はその塩が確実に分解され、かつ、PFOS含有廃棄物の分解処理に伴い生じる排水、残さ中のPFOS及びその塩の濃度並びに排ガス、排水中のフッ化水素の濃度が排出目標を超えない方法であること。

(2) 分解処理時に達成すべき分解率及び排出目標

① PFOS又はその塩の分解率が99.999%以上であること。

② 分解処理に伴い生じる排水、残さ中のPFOS又はその塩の濃度が以下の数値を超えないこと。

ア 排水 2 µg/L

イ 残さ 3 mg/kg

③ 分解処理に伴い生じる排ガス、排水中のフッ化水素（フッ素及びその化合物として）の濃度が、以下の数値を超えないこと。なお、その他条例等で上乘せされた規制がある場合はその値によること。

ア 排ガス 5 mg/m<sup>3</sup>N

（CFC破壊処理ガイドライン（平成11年3月改訂）に基づく排出基準）

イ 排水 海域以外の公共用水域 8 mg/L

海域 15mg/L

（水質汚濁防止法に基づく排水基準）

#### 【解説】

##### 1. 分解処理方法

PFOS含有廃棄物は、上記(2)①、②及び③の要件を満たすことができる能力が確認された方法により分解処理すること。

現時点では、焼却（約1,100℃以上）はこれらの要件に該当すると考えられるが、この場合であっても、個々の分解処理施設において実際に処理するPFOS含有廃棄物を用いた確認試験を実施し、事前に上記の分解率及び排出目標の要件を満たすことを確認する必要がある。

なお、上記の分解率及び排出目標の要件を満たすことが確認されている技術であれば、焼却（約1,100℃以上）以外による分解処理を排除するものではない。

##### 2. 分解率及び排出目標の考え方、分析方法等について

###### ① 分解率について

具体的な指標である分解率（ $(1 - (\text{総排出量} \div \text{投入量})) \times 100$ ）に関しては、POPs廃棄物技術ガイドライン作成に当たって、99.999%（5ナイン）又は99.9999%（6ナイン）以上であることが議論されていたことから、99.999%を達成していることとする。

分解率の算出方法を資料2に示す。

分解率の算出において、PFOS含有廃棄物の処理量（投入量）が少ない等の場合、計算上、分解率が99.999%を達成できない場合が想定される。このため、分解率の確認に際

しては、分析精度の向上により定量下限値を下げたり、PFOS含有廃棄物の投入量を増加するなどの配慮が必要となる。

ただし、燃焼温度が1,100℃以上の焼却施設において、各媒体の定量下限値と投入できるPFOS含有廃棄物試料中のPFOS又はその塩の量の関係から分解率が99.999%以上であることの確認が出来ない場合においては、上記(2)②③の排出目標を達成していること、排水、残さ中のPFOS又はその塩の量のみで計算した分解率が99.999%以上であること及び排ガス中のPFOS又はその塩が検出されないこととする。ただし、この場合の定量下限値は、8ng/m<sup>3</sup>Nとする。

なお、分解処理に伴い生じる排ガス中のPFOS又はその塩の濃度の定量下限値の考え方を資料3に示す。

② 分解処理に伴い生じる排水、残さ中のPFOS又はその塩の濃度について

分解処理に伴い生じる排水、残さ中のPFOS又はその塩の濃度の目安の試算を資料4に示す。PFOS又はその塩の濃度については、分解処理に伴い生じる排水、残さについて設定したが、生活環境保全上の観点から、排ガス中のPFOS又はその塩の濃度についても測定を行い、検出されないことを確認することが望ましい。

PFOS又はその塩の分析方法例を資料5に示す。PFOS又はその塩の分析方法については、ISO25101(2009)(水質)及び要調査項目等マニュアル(水質、底質、水生生物)も参考とすること。

③ 分解処理に伴い生じる排ガス中のフッ化水素の濃度について

分解処理に伴い生じる排ガス中のフッ化水素の濃度については、PFOS又はその塩と類似するフロン破壊処理時に遵守すべき基準を準用している。ただし、大気汚染防止法においては、アルミニウムの精錬の用に供する電解炉における排ガス中のフッ化水素の排出基準を1mg/m<sup>3</sup>Nとしていることから、より低い値を目標とすることが望ましい。

3. 分解処理にあたっての分解率及び排出目標の達成状況確認時期

PFOS含有廃棄物の分解処理時の分解率及び排出目標の達成状況の確認は、性状が一定とみなすことのできるPFOS含有廃棄物に対して、本格的な分解処理を開始する前に行うこと。また、PFOS含有廃棄物の性状が目標範囲を外れた等の理由により投入条件を再設定する必要が生じた場合等にも行う必要がある。

なお、分解処理に当たっての分解率及び排出目標の達成状況の確認時期を表3に示す。

表3 PFOS含有廃棄物の分解処理に当たっての分解率、排出目標の達成状況確認時期

時 期	分解率	PFOS濃度*	フッ化水素濃度
本格的分解処理開始前の確認試験時	○	○	○
投入条件の再設定時 (性状変更等)	○	○	○
分解処理時 (一定性状のPFOS含有廃棄物を連続して分解処理する場合)			
6ヶ月未満→処理期間中1回以上		○	○
6ヶ月以上→6ヶ月に1回以上		○	○

※ 排水及び残さ中のPFOS又はその塩の濃度に加え、排ガス中のPFOS又はその塩の濃度についても測定することが望ましい。

維持管理におけるPFOS又はその塩の排出濃度等の確認については、「6.4 処理施設の維持管理」を参照すること。

また、これらの分解率及び排出目標の確認に用いたデータについては、記録の上、3年間保存すること。

## 6. 2 分解処理時の遵守事項

分解処理は、次のように行うこと。

- (1) PFOS含有廃棄物が飛散、流出しないようにすること。
- (2) 分解処理に伴う悪臭、騒音、振動によって生活環境の保全上支障を生ずるおそれのないよう必要な措置を講ずること。
- (3) PFOS含有廃棄物の分解処理のための施設を設置する場合には、生活環境の保全上支障を生ずるおそれのないよう必要な措置を講ずること。

(参照 法第6条第1項第2号)

### 【解説】

1. 容器からの取出し、分解処理設備への投入等の工程においてPFOS含有廃棄物が飛散・流出することのないよう、必要な部分に囲い、仕切り、流出防止堤等の措置を講ずること。  
また、作業場所における周辺環境中のPFOS又はその塩の定期的なモニタリングを行うことが望ましい。
2. PFOS含有廃棄物には、泡消火薬剤のように発泡性のものもあることから、投入に際しては留意が必要である。また、PFOS又はその塩の熱分解により強い腐食性を有するフッ化水素が副生成することから、時間当たり投入量の設定に際しては、留意が必要である。
3. 分解処理に先立ち前処理が必要な場合等で、別の設備等を使用する場合には、その設備等に関しても飛散、流出、悪臭、騒音、振動の防止対策を講ずること。

(参照 令6条第1項第2号)

### 6. 3 処理施設の構造

(1) PFOS含有廃棄物の処理施設の技術上の基準は以下のとおりとする。

- ① 自重、積載荷重その他の荷重、地震力及び温度応力に対して構造耐力上安全であること。
- ② PFOS含有廃棄物の分解処理に伴い生ずる排ガス及び排水、施設において使用する薬剤等による腐食を防止するために必要な措置が講じられていること。
- ③ PFOS含有廃棄物の飛散及び流出並びに悪臭の発散を防止するために必要な構造のものであり、又は必要な設備が設けられていること。
- ④ 著しい騒音及び振動を発生し、周囲の生活環境を損なわないものであること。
- ⑤ 施設から排水を放流する場合は、その水質を生活環境保全上の支障が生じないものとするために必要な排水処理設備が設けられていること。
- ⑥ PFOS含有廃棄物の受入設備及び分解処理されたPFOS含有廃棄物の貯留設備は、施設の処理能力に応じ、十分な容量を有するものであること。

(参照 規則第12条)

(2) 焼却施設にあっては次の要件を備えていること。

- ① 外気と遮断された状態で、定量ずつ連続的にPFOS含有廃棄物を燃焼室に投入することができる供給装置が設けられていること。ただし、環境大臣が定める焼却施設（ガス化燃焼方式又は処理能力が2トン/時未満）にあっては、この限りでない。
- ② 次の要件を備えた燃焼室が設けられていること。
  - ア 燃焼ガスの温度が1,100℃以上の状態でPFOS含有廃棄物を焼却することができるものであること。
  - イ 燃焼ガスが1,100℃以上の温度を保ちつつ、2秒以上滞留できるものであること。
  - ウ 外気と遮断されたものであること。
  - エ 燃焼ガスの温度を速やかにアに掲げる温度以上にし、及びこれを保つために必要な助燃装置が設けられていること。
  - オ 燃焼に必要な量の空気を供給できる設備（供給空気量を調節する機能を有するものに限る。）が設けられていること。
- ③ 燃焼室中の燃焼ガスの温度を連続的に測定し、かつ、記録するための装置が設けられていること。
- ④ 集じん器に流入する燃焼ガスの温度をおおむね200℃以下に冷却することができる冷却設備が設けられていること。ただし、集じん器内で燃焼ガスの温度を速やかにおおむね200℃以下に冷却することができる場合にあっては、この限りでない。
- ⑤ 集じん器に流入する燃焼ガスの温度（④のただし書の場合にあっては、集じん器内で冷却された燃焼ガスの温度）を連続的に測定し、かつ、記録するための装置が設けられていること。

- ⑥ 焼却施設の煙突から排出される排ガスによる生活環境保全上の支障が生じないようにすることができる排ガス処理設備（ばいじんを除去する高度の機能を有するものに限る。）が設けられていること。
- ⑦ 焼却施設の煙突から排出される排ガス中の一酸化炭素の濃度を連続的に測定し、かつ、記録するための装置が設けられていること。
- ⑧ ばいじんを焼却灰と分離して排出し、貯留することができる灰出し設備及び貯留設備が設けられていること。ただし、当該施設において生じたばいじん及び焼却灰を熔融設備を用いて熔融し、又は焼成設備を用いて焼成する方法により併せて処理する場合は、この限りでない。
- ⑨ 次の要件を備えた灰出し設備が設けられていること。
- ア ばいじん又は焼却灰が飛散し、及び流出しない構造のものであること。
- イ ばいじん又は焼却灰の熔融を行う場合にあっては、次の要件を備えていること。
- (ア) ばいじん又は焼却灰の温度をその融点以上にするものであること。
- (イ) 熔融に伴い生ずる排ガスによる生活環境の保全上の支障が生じないようにすることができる排ガス処理設備等が設けられていること。
- ウ ばいじん又は焼却灰の焼成を行う場合にあっては、次の要件を備えていること。
- (ア) 焼成炉中の温度が1,000℃以上の状態でばいじん又は焼却灰を焼成することができるものであること。
- (イ) 焼成炉中の温度を連続的に測定し、かつ、記録するための装置が設けられていること。
- (ウ) 焼成に伴い生ずる排ガスによる生活環境の保全上の支障が生じないようにすることができる排ガス処理設備等が設けられていること。
- エ ばいじん又は焼却灰のセメント固化処理又は薬剤処理を行う場合にあっては、ばいじん又は焼却灰、セメント又は薬剤及び水を均一に混合することができる混練装置が設けられていること。
- ⑩ 事故時における受入設備からのPFOS含有廃棄物の流出を防止するために必要な流出防止堤その他の設備が設けられ、かつ、当該設備が設置される床又は地盤面は、PFOS含有廃棄物が浸透しない材料で築造され、又は被覆されていること。

(参照 規則第4条第1項第7号、第12条の2第5項)

#### 【解説】

1. 廃棄物処理施設の技術上の基準についてPFOS含有廃棄物の分解処理施設を対象として整理したものである。
2. PFOS含有廃棄物の焼却施設は、液状、発泡性薬剤等の性状でも確実に熱分解される構造であることが必要である。燃焼実験においては、ロータリーキルン方式が用いられた。

3. PFOS含有廃棄物の燃焼実験においても、所要の性能を発揮する燃焼室中の燃焼ガス温度には変動があり、最低温度が1,100℃程度であったことから、原則として1,100℃以上としているものであるが、本格的な分解処理に先立ち各施設において、排ガス、排水、残さ等のPFOS又はその塩の濃度等を確認した上で適切な設定温度を決定する必要がある。

## 6. 4 処理施設の維持管理

- (1) PFOS含有廃棄物の分解処理施設の維持管理の技術上の基準は以下のとおりとする。
- ① 受け入れるPFOS含有廃棄物の種類及び量が当該施設の処理能力に見合った適正なものとなるよう、受け入れる際に、必要なPFOS含有廃棄物の性状の分析又は計量を行うこと。
  - ② 施設へのPFOS含有廃棄物の投入は、当該施設の処理能力を超えないように行うこと。
  - ③ PFOS含有廃棄物が施設から流出する等の異常な事態が生じたときは、直ちに施設の運転を停止し、流出したPFOS含有廃棄物の回収その他の生活環境の保全上必要な措置を講ずること。
  - ④ 施設の正常な機能を維持するため、定期的に施設の点検及び機能検査を行うこと。
  - ⑤ PFOS含有廃棄物の飛散及び流出並びに悪臭の発散を防止するために必要な措置を講ずること。
  - ⑥ 蚊、はえ等の発生の防止に努め、構内の清潔を保持すること。
  - ⑦ 著しい騒音及び振動の発生により周囲の生活環境を損なわないように必要な措置を講ずること。
  - ⑧ 施設から排水を放流する場合は、その水質を生活環境保全上の支障が生じないものとするとともに、定期的に放流水の水質検査を行うこと。
  - ⑨ 施設の維持管理に関する点検、検査その他の措置の記録を作成し、3年間保存すること。

(参照 規則第12条の6)

(2) 焼却施設にあつては次の要件を備えていること。

- ① ピット・クレーン方式によって燃焼室にPFOS含有廃棄物を投入する場合には、常時、ごみを均一に混合すること。
- ② 燃焼室へのPFOS含有廃棄物の投入は、外気と遮断した状態で、定量ずつ連続的に行うこと。ただし、環境大臣が定める焼却施設（ガス化燃焼方式又は処理能力が2トン/時未満）にあつては、この限りでない。
- ③ 燃焼室中の燃焼ガスの温度を1,100℃度以上に保つこと。
- ④ 焼却灰の熱しゃく減量が10パーセント以下になるように焼却すること。ただし、焼却灰を生活環境の保全上支障が生ずるおそれのないよう使用する場合にあっては、この限りでない。
- ⑤ 運転を開始する場合には、助燃装置を作動させる等により、炉温を速やかに上昇させること。
- ⑥ 運転を停止する場合には、助燃装置を作動させる等により、炉温を高温に保ち、PFOS含有廃棄物を燃焼し尽くすこと。
- ⑦ 燃焼室中の燃焼ガスの温度を連続的に測定し、かつ、記録すること。

- ⑧ 集じん器に流入する燃焼ガスの温度をおおむね 200℃以下に冷却すること。ただし、集じん器内で燃焼ガスの温度を速やかにおおむね 200℃以下に冷却することができる場合にあつては、この限りでない。
- ⑨ 集じん器に流入する燃焼ガスの温度（⑧のただし書の場合にあつては、集じん器内で冷却された燃焼ガスの温度）を連続的に測定し、かつ、記録すること。
- ⑩ 冷却設備及び排ガス処理設備にたい積したばいじんを除去すること。
- ⑪ 煙突から排出される排ガス中の一酸化炭素の濃度が 100ppm 以下となるように P F O S 含有廃棄物を焼却すること。
- ⑫ 煙突から排出される排ガス中の一酸化炭素の濃度を連続的に測定し、かつ、記録すること。
- ⑬ 煙突から排出される排ガス中のダイオキシン類の濃度が規則別表第二の上欄に掲げる燃焼室の処理能力に応じて同表の下欄に定める濃度以下となるようにごみを焼却すること。
- ⑭ 煙突から排出される排ガス中のダイオキシン類の濃度を年 1 回以上、ばい煙量又はばい煙濃度（硫黄酸化物、ばいじん、塩化水素及び窒素酸化物に係る物に限る）を 6 ヶ月に 1 回以上測定し、かつ、記録すること。
- ⑮ 排ガスによる生活環境保全上の支障が生じないようにすること。
- ⑯ 煙突から排出される排ガスを水により洗浄し、又は冷却する場合は、当該水の飛散及び流出による生活環境保全上の支障が生じないようにすること。
- ⑰ ばいじんを焼却灰と分離して排出し、貯留すること。ただし、当該施設において生じたばいじん及び焼却灰を溶融設備を用いて溶融し、又は焼成設備を用いて焼成する方法により併せて処理する場合は、この限りでない。
- ⑱ ばいじん又は焼却灰の溶融を行う場合にあつては、灰出し設備に投入されたばいじん又は焼却灰の温度をその融点以上に保つこと。
- ⑲ ばいじん又は焼却灰の焼成を行う場合にあつては、焼成炉中の温度を 1,000℃以上に保つとともに、焼成炉中の温度を連続的に測定し、かつ、記録すること。
- ⑳ ばいじん又は焼却灰のセメント固化処理又は薬剤処理を行う場合にあつては、ばいじん又は焼却灰、セメント又は薬剤及び水を均一に混合すること。
- ㉑ 火災の発生を防止するために必要な措置を講ずるとともに、消火器その他の消火設備を備えること。
- ㉒ P F O S 含有廃棄物が地下に浸透しないように必要な措置を講ずるとともに、構造基準により設けられた流出防止堤その他の設備を定期的に点検し、異常を認めた場合には速やかに必要な措置を講ずること。

(参照 規則第 12 条の 6、規則第 12 条の 7、法第 4 条の 5 第 1 項第 1 号)

【解説】

1. 産業廃棄物処理施設の維持管理の技術上の基準についてPFOS含有廃棄物の分解処理施設を対象として整理したものである。
2. 維持管理の技術上の基準では、基本的に廃PCB等の維持管理基準を準用しているが、PFOS含有廃棄物の場合、同一性状のPFOS含有廃棄物の分解処理が6ヶ月以上継続する場合は少ないと考えられることから、分解処理期間が6ヶ月以内の場合は分解処理期間中に1回以上、6ヶ月を超える場合は、6ヶ月に1回以上の頻度でPFOS又はその塩及びフッ化水素濃度の排出目標の確認を行うことが望ましい。

(参照 規則第12条の7、第5項第2号ロ)
3. PFOS含有廃棄物を他の廃棄物と混合する場合は、PFOS含有廃棄物の飛散及び流出のおそれがないように対策を講じる必要がある。

## 7. その他

産業廃棄物の焼却施設は、処理能力又は規模によって廃棄物処理法上の施設の設置許可が不要となるが、高度な分解処理技術が要求されることから、許可対象施設で行うことが望ましい。

### 【解説】

産業廃棄物の処理施設で施設の設置許可が必要な焼却施設は、つぎのいずれかに該当する施設である（汚泥、廃油、廃プラスチック類及びその他の焼却施設）。

- ・ 処理能力が 5 m<sup>3</sup>/日以上  
（ただし、汚泥及び廃油の焼却施設のみ。廃油の焼却施設は 1 m<sup>3</sup>/日を超えるもの）
- ・ 処理能力が 200kg/時以上  
（ただし、廃プラスチック類を焼却する場合には、100kg/日を超えるもの）
- ・ 火格子面積が 2 m<sup>2</sup>以上

(参照 令第7条)

なお、許可対象施設への該当の有無は、都道府県、政令市の廃棄物担当課へ確認すること。

## 参考資料



資料1 平成22年度POPs廃棄物適正処理等検討会委員名簿

(敬称略、五十音順)

大塚 直	早稲田大学法務研究科 教授
(座長) 酒井伸一	京都大学環境保全センター 教授
柴田康行	独立行政法人国立環境研究所化学環境研究領域 領域長
野馬幸生	独立行政法人国立環境研究所 客員研究員
細見正明	東京農工大学大学院工学研究院化学システム工学科 教授
堀 久男	神奈川大学理学部化学科 教授

## 資料2 分解率の算出方法

分解処理時におけるPFOS又はその塩の分解率は、次の式により算出する。

$$A = (1 - (E \div I)) \times 100$$

A：PFOS又はその塩の分解率（%）

E：PFOS又はその塩の総排出量

総排出量は、分解処理に伴い生じる排ガス、排水、残さ等の媒体毎の容量（あるいは重量）に、PFOS又はその塩を乗じた量の合計値とし、PFOS又はその塩の濃度が定量下限値未満である場合は、定量下限値を用いる。

I：PFOS又はその塩の投入量

PFOS又はその塩の投入量とは、処理しようとするPFOS含有廃棄物中に含まれるPFOS又はその塩の量とする。

### 【分解率の算出例】

(前提条件)

- 処理方式 : 焼却 (処理に伴い排ガス、飛灰、焼却残さが発生)
- 処理対象廃棄物 : 泡消火薬剤 (PFOS又はその塩含有率 0.67%)
- 処理量 : 100 t (1 t (泡消火薬剤) + 99 t (他の廃棄物))
- 媒体の排出量 : 排ガス量 (40,000 m<sup>3</sup>N/t)、飛灰量 (150 kg/t)、焼却残さ量 (200 kg/t)、排水 (0.2 kL/t)
- 総量 : PFOS又はその塩の投入総量 (1 t × 0.67% = 6.7 kg)、排ガス量 (40,000 m<sup>3</sup>N/t × 100 t = 4,000,000 m<sup>3</sup>N)、飛灰 (150 kg/t × 100 t = 15,000 kg)、焼却残さ (200 kg/t × 100 t = 20,000 kg)、排水 (0.2 kL/t × 100 t = 20 kL)
- 測定値
  - 排ガス (μg/m<sup>3</sup>N) : 定量下限未満 (<0.008)
  - 飛灰 (mg/kg) : 定量下限未満 (<0.1)
  - 焼却残さ (mg/kg) : 定量下限未満 (<0.1)
  - 排水 (μg/L) : 0.02
- 定量下限値 : 排ガス (0.008 μg/m<sup>3</sup>N)、飛灰及び焼却残さ (0.1 μg/kg)、排水 (0.00006 μg/L)

(計算)

$$\begin{aligned} A &= (1 - \text{PFOS又はその塩排出量} \div \text{PFOS又はその塩の投入量}) \times 100 \\ &= (1 - ((\text{①排ガス量} \times \text{排ガス中濃度}) + (\text{②飛灰量} \times \text{飛灰中濃度}) + (\text{③焼却残さ量} \times \text{焼却残さ中濃度}) + (\text{④排水量} \times \text{排水中濃度})) \div (\text{⑤PFOS含有廃棄物処理量} \times \text{PFOS又はその塩含有率})) \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= [1 - \{(\text{①})=4,000,000 \text{ m}^3\text{N} \times 0.008 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N} + (\text{②})=15,000 \text{ kg} \times 0.1 \mu\text{g}/\text{kg} + (\text{③})= \\
&\quad 20,000 \text{ kg} \times 0.1 \mu\text{g}/\text{kg} + (\text{④})=20\text{kL} \times 0.02 \mu\text{g}/\text{L}\} \div (\text{⑤})=1\text{t} \times 0.67\%)] \times 100 \\
&= (1 - (\text{①})32\text{mg} + \text{②}1.5\text{mg} + \text{③}2\text{mg} + \text{④}0.4\text{mg}) \div (\text{⑤}6.7\text{kg}) \times 100 \\
&= (1 - (35.9\text{mg} \div 6,700,000\text{mg})) \times 100 \\
&= 99.999464 > 99.999
\end{aligned}$$

以上から、分解率は99.999464となり、99.999以上であることから分解率目標を達成したと評価される。

**【分解率：99.999%が確認できないケース】**

分解率：99.999%を確認するためには、PFOS又はその塩の投入量及び分析上の定量下限値に留意する必要がある。

上述の試算例において分解率99.999%以上を確認するために必要となるPFOS又はその塩の投入量は、つぎのとおりとなる。

$$I = E \div ((A/100) - 1)$$

A：PFOS又はその塩の分解率(99.999%)

E：PFOS又はその塩の総排出量(35.9mg)

I：PFOS又はその塩の投入量

$$I = 35.9\text{mg} \div ((99.999/100) - 1)$$

$$= 3,590,000 \text{ mg} = 3.59\text{kg}$$

この例では、分解率99.999%以上を確認するためには、PFOS又はその塩の投入量は3.59kg以上(泡消火薬剤(PFOS又はその塩含有量0.67%とする)換算で535.8kg)が必要であることとなる。

また、投入量が確保できても分析上の定量下限値が高いと分解率99.999%以上が確認できない場合がある。これは、計測において定量下限値未満の場合は、定量下限値を用いるとしているためであり、上述の試算例において、排ガス中PFOS濃度の定量下限値が0.008 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ から10倍の0.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ であると仮定すると、つぎのとおりとなる。

$$\begin{aligned}
A &= [1 - \{(\text{①})=4,000,000 \text{ m}^3\text{N} \times 0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N} + (\text{②})=15,000 \text{ kg} \times 0.1 \mu\text{g}/\text{kg} + (\text{③}) \\
&\quad =20,000 \text{ kg} \times 0.1 \mu\text{g}/\text{kg} + (\text{④})=20\text{kL} \times 0.02 \mu\text{g}/\text{L}\} \div (\text{⑤})=1\text{t} \times 0.67\%)] \times 100 \\
&= (1 - (\text{①})320\text{mg} + \text{②}1.5\text{mg} + \text{③}2\text{mg} + \text{④}0.4\text{mg}) \div (\text{⑤}6.7\text{kg}) \times 100 \\
&= (1 - (323.9\text{mg} \div 6,700,000\text{mg})) \times 100 \\
&= 99.99517 < 99.999
\end{aligned}$$

この例では、排ガスの定量下限値が高いために分解率99.999%以上を確認することができない。

分解率99.999%以上を確認するためには、実験計画において、以上の事項に留意し、分析上の定量下限値を踏まえた十分な量の投入量を確保することが必要である。

### 資料3 分解処理に伴い生じる排ガス中のPFOS又はその塩の濃度の定量下限値

排ガス中のPFOS又はその塩の濃度の測定に関する公定法が知られていないことから、排ガス中PFOS又はその塩の濃度の定量下限値については、ISO25101 (2009) (水質) 及び要調査項目等マニュアル (水質、底質) の方法を利用して設定した。

設定は、それぞれの方法に記載されている事項から分析装置の定量下限値を逆算し\*、この装置の下限値を基に排ガス分析時の前処理パラメータ及び排ガス試料採取量などから算出した排ガスにおけるPFOS又はその塩の定量下限値に換算した。その結果は、つぎのとおりである。

- ・ ISO25101 (2009) による定量下限値：80ng/m<sup>3</sup>N
- ・ 要調査項目等マニュアル (水質、底質) による定量下限値：8 ng/m<sup>3</sup>N

\* : ISO25101 では「1. Scope」に記載されている適用可能な試料中PFOS最小濃度 (2.0ng/L) から、要調査項目等マニュアルは試料中の目標定量下限値 (0.1ng/L) から逆算

両者による定量下限値の違いは、分析に使用する水試料量の違い (ISO25101 では500mL、要調査項目等マニュアルでは1L) や記載事項 (適用可能な濃度か目標定量下限値か、ISO25101 では適用可能な濃度範囲を2.0ng/L~10,000ng/L と高濃度まで測定対象としたため最小濃度を低く設定しなかった等) の違いによるものである。これらから、最も低濃度まで測れるのは8 ng/m<sup>3</sup>Nとなる (定量下限値：8 ng/m<sup>3</sup>N)。

#### 資料4 分解処理に伴い生じる排水及び残さ中のPFOS又はその塩の濃度の目安

PFOS含有廃棄物の分解処理時に達成すべき排出濃度の目標（以下「排出目標」という。）については、「POPs廃農薬の処理に関する技術的留意事項」（平成21年8月改訂）（環境省廃棄物・リサイクル対策部適正処理・不法投棄対策室）における検討を参考とし、摂取経路毎に以下の方法で試算した。なお、PFOSは水溶性が高く、今回の燃焼実験においても排ガスへの移行はほとんど確認されていないことから、排ガスに関する排出目標は検討していない。

##### 1. 排水に関する排出目標

排水に関する排出目標の検討に当たっては、PFOS又はその塩を含む排水の処理施設から排出される処理水が地下水等に浸透し、これを摂取することによる健康影響を考慮した。

許容一日摂取量については、国際的にも得られる評価は少ないが、環境省の環境リスク初期評価（「科学物質の環境リスク評価（第6巻）」（平成20年5月）において評価された許容一日摂取量（ADI： $0.3\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ ）及びドイツの飲料水基準である健康関連指針値の根拠となる無毒性量（NOAEL=ADI： $0.10\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ ）を比較して、安全側である $0.10\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ を用いて、以下の試算を行った。

$$\begin{aligned}\text{飲料水中濃度の目安} &= \text{ADI} \times \text{体重} (50.0\text{kg}) \times \text{水への経路配分} (0.1) \div \text{一日摂水量} (2\text{L}) \\ &= 0.10\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day} \times 50.0\text{kg} \times 0.1 \div 2\text{L} \\ &= 0.25\mu\text{g}/\text{L} \\ &\approx 0.2\mu\text{g}/\text{L}\end{aligned}$$

これを基に、水質汚濁防止法における排出基準算出の考え方に基づき、希釈濃度10として、

$$\begin{aligned}&= 0.2\mu\text{g}/\text{L} \times 10 \\ &= 2\mu\text{g}/\text{L}\end{aligned}$$

## 2. 残さに関する排出目標

残さに関する排出目標の検討に当たっては、PFOS又はその塩を含む残さ（焼却残さ、汚泥）を土壌とみなし、これを直接人が摂食するとともに皮膚への接触を通じて吸収されることによる人の健康影響に考慮した。1.と同様に、許容一日摂取量 $0.10 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ を用いて、「埋設農薬調査・掘削等マニュアル（平成20年1月17日環境省水大気環境局土壌環境課農薬環境管理室）」におけるPOPs廃農薬の環境管理指針値の計算方法等に基づき、残さ中濃度を試算すると以下のとおり。

$$\begin{aligned} \text{残さ中濃度の目安} &= \text{ADI} (0.10 \mu\text{g}/\text{kg}) \times \text{体重} (50.0\text{kg}) \times \text{土壌への経路配分} (0.1) \\ &\div \{ \text{生涯平均一日土壌摂食量} (108.6\text{mg}) + \text{生涯平均一日土壌皮膚接触量} (463.8\text{mg}) \times \text{吸収率} (0.1) \} \\ &= 3.2\text{mg}/\text{kg} \\ &\approx 3\text{mg}/\text{kg} \end{aligned}$$

各パラメータの設定根拠は以下のとおり。

- ・生涯平均一日土壌摂食量 = (一日土壌摂食量(子供) (200 mg/日) × 6 (年) + 一日土壌摂食量(大人) (100mg/日) × 64(年)) ÷ 生涯年数(70年)
- ・生涯平均一日土壌皮膚接触量 = {皮膚面積当り一日土壌接触量(0.5mg/m<sup>2</sup>/日) × 皮膚面積(子供) (2800 cm<sup>2</sup>) × 晴天率(0.6) × 屋外で土に触れる率(子供毎日) (7/7) × 6 (年) + 皮膚面積当り一日土壌接触量(0.5mg/m<sup>2</sup>/日) × 皮膚面積(大人) (5000 cm<sup>2</sup>) × 晴天率(0.6) × 屋外で土に触れる率(大人週末) (2/7) × 64(年)} ÷ 生涯年数 (70年)
- ・吸収率：PFOSの皮膚からの吸収は少ないとされるが、吸収率に関する情報が得られていないため、ここでは、米国環境保護庁で用いられているデフォルト値を用いた。

出典：USEPA: RAGS, Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment, Interim Guidance, 2001.

### 3. 排出濃度の目安の検証

ここで試算した排出濃度の目安について、分析技術上の定量下限値、排出濃度及び環境濃度の測定事例との比較を行った。この結果、試算による排出濃度の目安は、分析技術上の定量下限値を超え、発生源における実測値（燃焼実験を含む）を上回るものであった。また、排水に関して試算に用いた飲料水中濃度の目安は、諸外国の飲料水基準（暫定値含む）と比較して近似した値であり、環境中の実測値を上回るものであった。

表2 排出濃度の目安の試算結果と分析技術上の定量下限値及び測定事例の比較

比較項目	排水関連	残さ関連
試算された濃度の目安	2. $\mu\text{g/L}$ (飲料水中濃度の目安: 0.2 $\mu\text{g/L}$ )	3 mg/kg
分析技術上の定量下限値 (燃焼実験による)	0.0002 $\mu\text{g/L}$	0.47 $\mu\text{g/kg}$
諸外国の事例	[米国] 飲料水に対するPFOSの暫定健康勧告: 0.2 $\mu\text{g/L}$ 1) [ドイツ] HRIV*: 0.3 $\mu\text{g/L}$ (飲料水) 2) [英国] 監視開始基準: 0.3 $\mu\text{g/L}$ (飲料水) 3)	[米国ミネソタ州] 9) 居住地: 2 mg/kg 工業地域: 14 mg/kg [POPs 廃棄物技術ガイドライン] 10) 低POPs含有量: 50 ppm
国内における実測例 (排出濃度)	半導体製造工場処理水 最大 1.6 $\mu\text{g/L}$ 4) 下水処理場処理水 0.042-0.635 $\mu\text{g/L}$ 5) 下水処理場処理水 0.003-0.15 $\mu\text{g/L}$ 5) 最終処分場処理水 <0.001-0.0043 $\mu\text{g/L}$ (PFOA) 6)	[燃焼実験結果] 分解残さ 検出下限 (0.068 $\mu\text{g/kg}$ ) 未 満 脱水汚泥 5-11 $\mu\text{g/kg}$
国内における実測例 (環境濃度)	0.0007~0.16 $\mu\text{g/L}$ (2002) (淡水) 7) 0.0073~0.011 $\mu\text{g/L}$ (2005) (海水) 8)	底質 (淡水) 11), 12) <0.000096~0.0043 mg/kg 底質 (海水) 8), 11) <0.000096~0.00035 mg/kg

※HRIV: permanent tolerable, health-related indication value

出典:

- 1) USEPA: Provisional Health Advisories for Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS), January 8, 2009
- 2) Ministry of Health at the Federal Environment Agency: Provisional evaluation of PFT in drinking water with the guide substances perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonate (PFOS) as examples, Statement by the Drinking Water Commission (Trinkwasserkommission) of the German, June 21, 2006 (revised July 13, 2006)
- 3) DRINKING WATER INSPECTORATE: Guidance on the Water Supply (Water Quality) Regulations 20001 specific to PFOS (perfluorooctane sulphonate) and PFOA (perfluorooctanoic acid) concentrations in drinking water, October 2009
- 4) 社団法人電子情報技術産業協会資料
- 5) 小侯貴寛、高島佑一、西野貴裕、佐々木裕子、北野大: 下水道水および事業所排水の調査によるPFCsの発生源の

特定、第 18 回環境化学討論会予稿集、544-545、2009

- 6) 八木正博、山路章、渋谷一郎: 廃棄物最終処分場浸出水の処理過程における有機フッ素化合物の挙動、第 18 回環境化学討論会予稿集、558-559、2009
- 7) K.Harada, N. Saito, K. Inoue, A. Koizumi: Perfluorooctane Sulfonate Contamination of Drinking Water in the Tama River, Japan: Estimated Effects on Resident Serum Levels. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 71:31-36., 2003
- 8) 環境省環境保健部環境安全課: 平成 17 年度化学物質環境実態調査結果、2007
- 9) Helen Goeden: Issues and Needs for PFAA Exposure and Health Research: A State Perspective, 2008
- 10) Basel Convention: Updated general technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs)
- 11) 環境省環境保健部環境安全課: 平成 15 年度化学物質環境実態調査、2005
- 12) 大阪府: 神崎川水域におけるパーフルオロオクタン酸 (PFOA) 等に係る水質調査結果等について、2007

## 資料5 PFOS含有廃棄物の燃焼実験における分析方法

### 1. 測定対象物質

ペルフルオロ（オクタン-1-スルホン酸）（以下「PFOS」という。）又はその塩

### 2. 定量下限

定量下限は液状廃棄物試料（PFOS使用製品由来の廃棄物）で $19,000 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、固体廃棄物（非PFOS使用製品由来の廃棄物）・残さ・汚泥試料で $0.47 \mu\text{g}/\text{kg-dry}$ 、水試料で $0.2\text{ng}/\text{L}$ 、排ガス試料で $1.8\text{ng}/\text{m}^3$ である。

### 3. 分析法概要

液状廃棄物試料はメタノールで希釈して分析する。固体廃棄物・残さ・汚泥試料はメタノールを加え、ギ酸酸性条件下、振とう抽出および超音波抽出を行い、固相カートリッジによる精製後分析する。水試料はろ過を行い、ろ紙は超音波抽出後、ろ液と合わせて固相カートリッジで抽出を行い分析する。排ガス試料は、円筒ろ紙部は超音波抽出後、ドレン水・吸収液と合わせて固相カートリッジで抽出を行い分析する。

### 4. 試薬（測定対象物質の分析に妨害を生じないものに限る）

- (1) メタノール
- (2) アセトニトリル
- (3) 25%アンモニア水
- (4) ギ酸
- (5) 酢酸アンモニウム
- (6) 精製水

超純水製造装置で製造した超純水を固相カートリッジ（OASIS® WAX）に通水したもの

- (7) 標準物質  
ペルフルオロ（オクタン-1-スルホン酸）ナトリウム
- (8) 内標準物質  
 $^{13}\text{C}_4$ -ペルフルオロ（オクタン-1-スルホン酸）ナトリウム
- (9) 検量線溶液

標準物質及び内標準物質をメタノールに溶かしたもので、下記例のように内標準物質の濃度が一定であり、標準物質の濃度が5段階以上となるよう設定したもの

（検量線溶液の例）

ア. 標準物質

0.1 ng/mL 以上 20 ng/mL 以下とする

イ. 内標準物質

2 ng/mL 程度とする

5. 器具及び装置（試薬とともに空試験を行い、測定対象物質の分析に影響を及ぼす妨害を含まないことが確認されたものに限る。）

(1) 目盛りつき試験管

容量が 10mL のもの

(2) 遠沈管

ポリプロピレン製で容量が 50mL のもの

(3) 固相カートリッジ

OASIS® WAX

(4) 遠心分離機

(5) メスフラスコ

容量が 100mL および 200mL のもの

(6) ガラス繊維ろ紙

(7) 桐山ロート

(8) 三角フラスコ

容量が 1L および 500mL のもの

(9) ホールピペット

0.5mL のもの

(10) 高速液体クロマトグラフ (HPLC)

(11) HPLC カラム

ODS 系 (C18 系) のカラムで PFOS の溶出位置が判明しているもの

(12) タンデム質量分析計 (MS/MS)

6. 測定手順

(1) 試料

[固体廃棄物・残さ・汚泥試料]

廃棄物・残さ・汚泥試料 5g を遠沈管に量りとり、メタノール 20mL 加える。ギ酸を滴下し、酸性であることを確認する。

[水試料]

水試料 0.5L をメスシリンダーに入れ、内標準を添加する。ろ過を行い、ろ液を 1L 三角フラスコに受ける。ろ紙上残さについては、遠沈管にハサミで細かく刻んで入れ、試料が浸かるまでメタノールを入れた後、ギ酸を添加する。

[排ガス試料]

予め、500mL 三角フラスコに吸収液及びドレン水を入れ、内標準を添加する。円筒ろ紙は遠沈管にハサミで細かく刻んで入れ、試料が浸かるまでメタノールを入れた後、ギ酸を添加する。

## (2) 抽出

### [液状廃棄物試料]

100mL メスフラスコに 0.1g 量りとり、標線までメタノールを加える。この溶液を 0.5mL ホールピペットで分取し、100mL メスフラスコに移し、標線までメタノールを加える。この希釈液を LC 用分析バイアルに 1 mL 分取し、内標準を加えて分析する。

### [固体廃棄物・残さ・汚泥試料]

試料の入った遠沈管を振とう機にセットし、30 分間振とう抽出を行う。振とう後、30 分間の超音波抽出を行い、次いで遠心分離を行う (3,000rpm、10 分)。上澄みを別の遠沈管に移し、残さにはメタノール 20mL 加え、ギ酸を滴下し、30 分間の振とう抽出を行う。同様に超音波抽出および遠心分離を行い、上澄みを別の遠沈管に移す。この作業を合計 3 回行い、得られたメタノール溶液を粗抽出液とする。

### [水試料]

ろ紙の入った遠沈管については 30 分間の超音波抽出を行い、遠心分離 (3,000rpm、10 分) 後、ろ液の入った三角フラスコへ移す。残さにメタノール及びギ酸を加えて、再び超音波抽出を行う。合計 3 回の超音波抽出を行い、ろ液と合わせる。

ろ液を 0.1%アンモニア/メタノール 10mL、メタノール 10mL および精製水 10mL で予めコンディショニングした OASIS® WAX カートリッジに 10 mL/min の速度で通水する。通水後、固相カートリッジにメタノール 10mL を通して洗浄し、次いで 0.1%アンモニア/メタノール 4 mL で対象物質を溶出させ、試験管に受ける。窒素ガスを吹き付けて 1 mL に定容し、LC/MS/MS で測定する。

### [排ガス試料]

円筒ろ紙の入った遠沈管については 30 分間の超音波抽出を行い、遠心分離 (3,000rpm、10 分) 後、上澄みをドレン水および吸収液の入った三角フラスコへ移す。残さにメタノール及びギ酸を加えて、再び超音波抽出を行う。合計 3 回の超音波抽出を行い、ドレン水および吸収液と合わせる。

この混合液を 0.1%アンモニア/メタノール 10mL、メタノール 10mL および精製水 10mL で予めコンディショニングした OASIS® WAX カートリッジに 10 mL/min の速度で通水する。通水後、固相カートリッジにメタノール 10mL を通して洗浄し、次いで 0.1%アンモニア/メタノール 4 mL で対象物質を溶出させ、試験管に受ける。窒素ガスを吹き付けて 1 mL に定容し、LC/MS/MS で測定する。

## (3) 精製

### [固体廃棄物・残さ・汚泥試料]

粗抽出液を、一定量試験管に分取し、内標準を添加する。精製水で 2 倍程度に希釈後、0.1%アンモニア/メタノール 10mL、メタノール 10mL および精製水 10mL で予めコンディショニングした OASIS® WAX カートリッジに負荷する。負荷後、固相カートリッジにメタノール 10mL を通して洗浄し、次いで 0.1%アンモニア/メタノール 4 mL で対象物質を溶出させ、試験管に受ける。窒素ガスを吹き付けて 1 mL に定容し、LC/MS/MS で測定する。

#### (4) 同定及び定量

##### [検量線]

検量線用標準溶液は、0.1～20 ng/mL の範囲にわたる4種類以上の濃度で作成する。各濃度の標準溶液には2 ng/mL の濃度となるように内標準物質を添加する。

内標準物質のみを添加した溶媒ブランクを含めて、5種類以上の検量線用標準溶液 10  $\mu$ L を LC/MS/MS に導入して分析する。溶媒ブランク試料からは被検物質のピークが検出されないことを確認する。得られる各クロマトグラムにおいて、標準物質のピーク面積を内標準物質のピーク面積で割って得られる比を計算し、検量線の縦軸とする。分析した検量線用標準溶液に含まれる標準物質の濃度を内標準物質の濃度で割って得られる比を計算し、検量線の横軸とする。重み付けなしで、最小二乗法により、検量線を作成し、関係式及び寄与率 ( $r^2$ ) を計算する。寄与率が 0.995 以上であることを確認する。

##### [定量]

試料液 10  $\mu$ L を LC/MS/MS に導入して分析する。得られた被検物質のピーク面積を内標準物質のピーク面積で割った比から、検量線を基にして、被検物質濃度を内標準物質濃度で割った比 ( $R$ ) を求める。

##### [濃度の算出]

###### ・液状廃棄物試料

試料中の濃度  $C$  ( $\mu$ g/kg) は次式により算出する。

$$C = R \cdot Q/V \cdot A/a$$

$R$  : 検量線から求めた被検物質濃度を内標準物質濃度で割った比

$Q$  : 試料中に添加した内標準の量 (ng)

(= 添加する内標準の濃度 (ng/mL)  $\times$  添加する内標準の容量

$V$  : 試料量 (g)

$A$  : 粗抽出液量 (mL)

$a$  : 分取量 (mL)

・固体廃棄物・残さ・汚泥試料

試料中の濃度  $C$  ( $\mu\text{g}/\text{kg-dry}$ )は次式により算出する。

$$C = R \cdot Q/V \cdot A/a$$

$R$  : 検量線から求めた被検物質濃度を内標物質濃度で割った比

$Q$  : 試料中に添加した内標準の量 (ng)

(= 添加する内標準の濃度 (ng/mL)  $\times$  添加する内標準の容量

$V$  : 試料量 (乾重) (g-dry)

$A$  : 粗抽出液量 (mL)

$a$  : 分取量 (mL)

・水試料

試料中の濃度  $C$  (ng/L)は次式により算出する。

$$C = R \cdot Q/V$$

$R$  : 検量線から求めた被検物質濃度を内標物質濃度で割った比

$Q$  : 試料中に添加した内標準の量 (ng)

(= 添加する内標準の濃度 (ng/mL)  $\times$  添加する内標準の容量

$V$  : 試料量 (L)

・排ガス試料

試料中の濃度  $C$  (ng/m<sup>3</sup>)は次式により算出する。

$$C = R \cdot Q/V$$

$R$  : 検量線から求めた被検物質濃度を内標物質濃度で割った比

$Q$  : 試料中に添加した内標準の量 (ng)

(= 添加する内標準の濃度 (ng/mL)  $\times$  添加する内標準の容量

$V$  : 補正後の試料量 (m<sup>3</sup>)

測定条件の例を以下に示す

使用機器

HPLC Shimadzu LC-20システム (島津製作所製)

MS/MS装置 API 3200 (AB Sciex社製)

HPLC条件

分析カラム Inertsil ODS-SP 2.1×150 mm, 3 μm (ジールサイエンス製)

HPLC移動相 A : 10mM 酢酸アンモニウム、B : アセトニトリル

グラジエント条件 0.0~2.0分 A : B = 60 : 40

2.0~7.0分 A : 60→20, B : 40→80

7.0~10.0分 A : B = 40 : 80

10.0 ~ 15.0 A : B = 60 : 40

分

流量 0.2 mL/min

カラム温度 40 °C

注入量 10 μL

MS/MS条件

イオン化法 ESI (Negative)

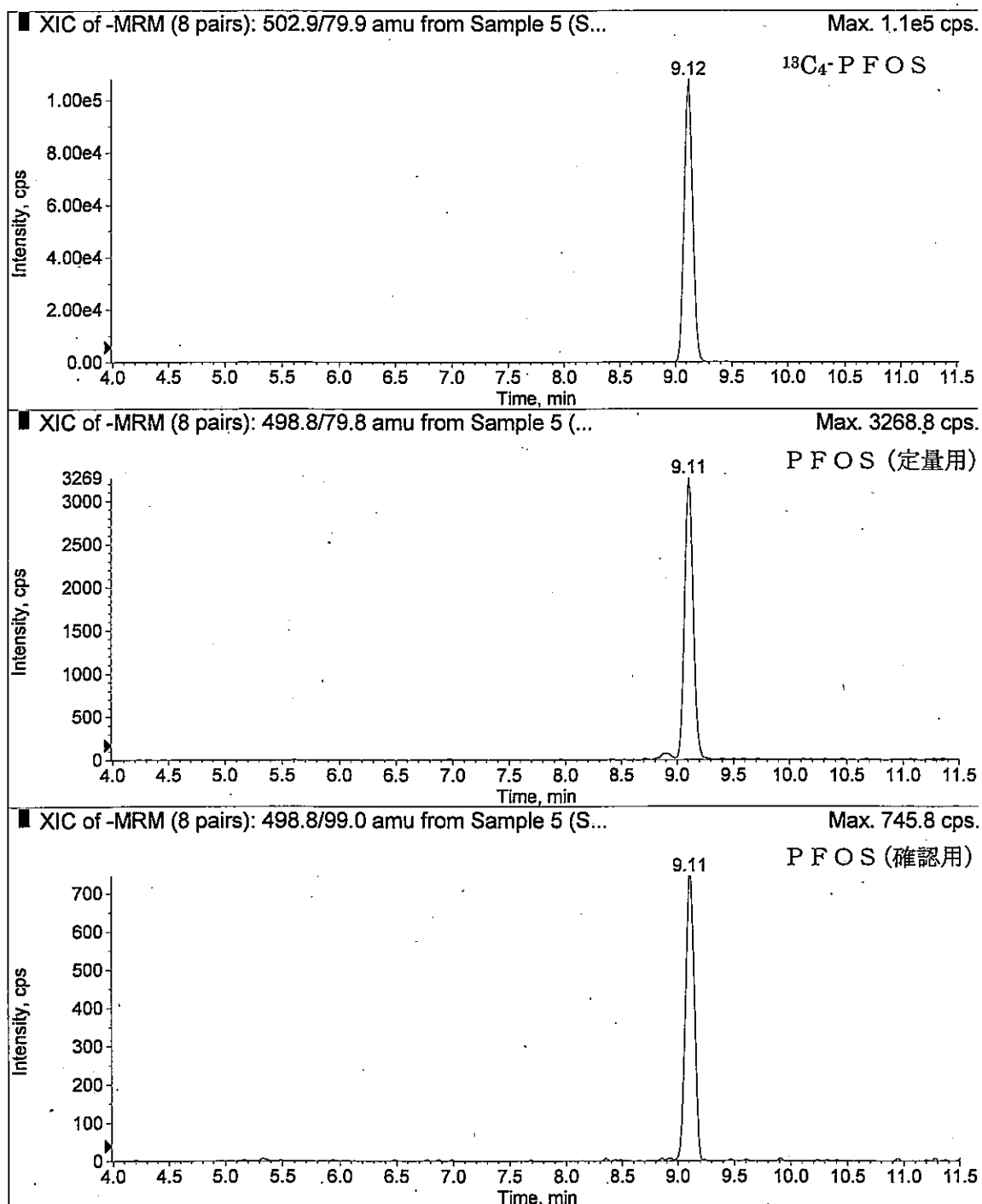
モニターイオン : P F O S

498.8→79.8 (定量用) 498.8→99.0 (確認用)

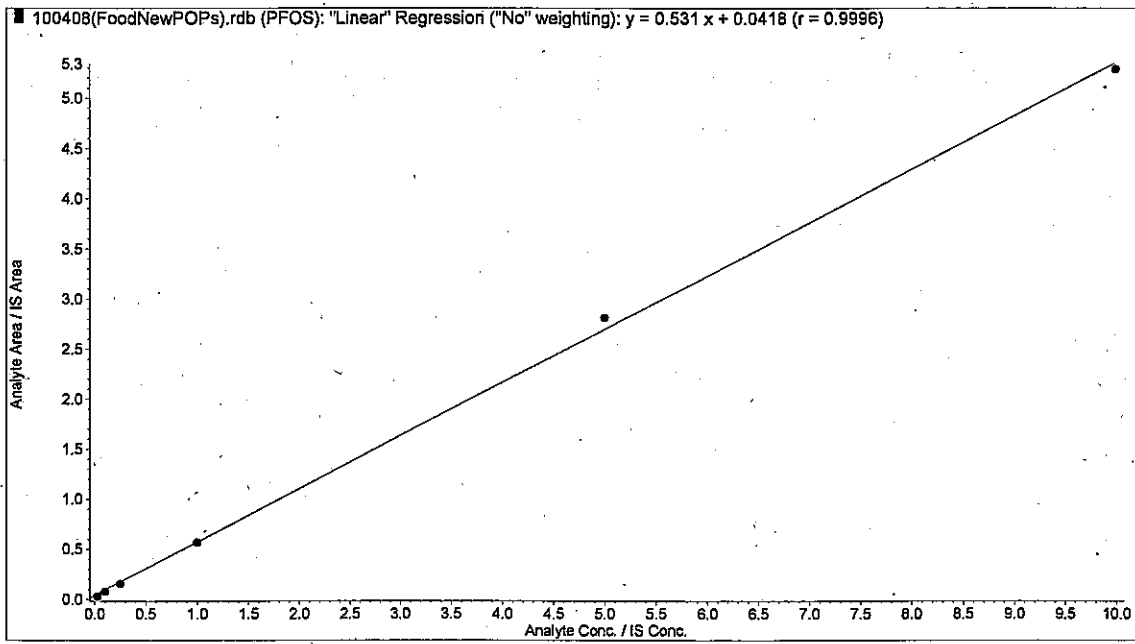
モニターイオン : <sup>13</sup>C<sub>4</sub>-P F O S

502.9→79.8

1. クロマトグラム (検量線最低濃度 0.1 ng/mL のクロマトグラム)



## 2. 検量線 (一例)



(濃度範囲: 0.1~20 ng/mL、内標準濃度 2 ng/mL)