

平成 30 年度
臭素系ダイオキシン類排出実態等調査
結果報告書

平成 31 年 3 月
環境省 水・大気環境局
総務課 ダイオキシン対策室

目次

1. 調査目的.....	1
2. 調査概要.....	1
2.1 調査対象施設.....	1
2.2 調査媒体.....	2
2.3 分析項目.....	2
3. 試料概要.....	3
3.1 採取試料一覧.....	3
3.2 試料採取状況.....	3
4. 分析方法.....	4
4.1 分析方法.....	4
4.2 試料採取概要.....	4
4.3 分析フロー.....	5
4.4 測定条件.....	9
4.5 検出下限値.....	14
5. 調査結果（総括表）.....	18
6. まとめ及び考察.....	20
別表-1 調査結果（個別結果）.....	29
別図-1 調査施設概要 （排水処理フロー・試料採取箇所）.....	36
別図-2 媒体別同族体組成.....	38
別図-3 媒体別異性体組成.....	41
参考資料 国内の難燃剤需要推移（推定）.....	44

略語一覧

本調査報告書に使用した主な略語の説明を以下に示す。

PBDD/Fs	: ホリブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o -パラ ^o -ジ ^o オキシ ^o ン/ジ ^o ベンゾ ^o フラン
PBDDs	: ホリブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o -パラ ^o -ジ ^o オキシ ^o ン
PBDFs	: ホリブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o フラン
TeBDDs	: テトラブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o -パラ ^o -ジ ^o オキシ ^o ン
PeBDDs	: ヘンタブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o -パラ ^o -ジ ^o オキシ ^o ン
HxBDDs	: ヘキサブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o -パラ ^o -ジ ^o オキシ ^o ン
HpBDDs	: ヘプタブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o -パラ ^o -ジ ^o オキシ ^o ン
OBDD	: オクタブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o -パラ ^o -ジ ^o オキシ ^o ン
TeBDFs	: テトラブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o フラン
PeBDFs	: ヘンタブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o フラン
HxBDFs	: ヘキサブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o フラン
HpBDFs	: ヘプタブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o フラン
OBDF	: オクタブ ^o ロモジ ^o ベンゾ ^o フラン
PCDD/Fs	: ホリクロロジ ^o ベンゾ ^o -パラ ^o -ジ ^o オキシ ^o ン/ジ ^o ベンゾ ^o フラン
Co-PCB	: コプラナーホリクロロビフェニル
PBDEs	: ホリブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
MoBDEs	: モノブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
DiBDEs	: ジブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
TrBDEs	: トリブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
TeBDEs	: テトラブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
PeBDEs	: ヘンタブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
HxBDEs	: ヘキサブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
HpBDEs	: ヘプタブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
OBDEs	: オクタブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
NoBDEs	: ノナブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
DeBDE	: デカブ ^o ロモジ ^o フェニルエーテル
TBBPA	: テトラブ ^o ロモビスフェノール A
PBPhs	: ホリブ ^o ロモフェノール
MoBPhs	: モノブ ^o ロモフェノール
DiBPhs	: ジブ ^o ロモフェノール
TrBPhs	: トリブ ^o ロモフェノール
TeBPhs	: テトラブ ^o ロモフェノール
PePh	: ヘンタブ ^o ロモフェノール
HBCDs	: ヘキサブ ^o ロモシクロ ^o デカン
TEQ	: 毒性等量(または毒性当量)
TEF	: 毒性等価係数
GC/HRMS	: 高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計
LC/MS/MS	: 液体クロマトグラフ質量分析計

1. 調査目的

本調査は、ダイオキシン類対策特別措置法附則第二条の「政府は、臭素系ダイオキシンにつき、人の健康に対する影響の程度、その発生過程等に関する調査研究を推進し、その結果に基づき、必要な措置を講ずるものとする」との検討規定に基づき、臭素系ダイオキシン類の排出実態等を把握することを目的とする。

2. 調査概要

臭素系ダイオキシン類の暫定排出インベントリーによると、臭素系ダイオキシン類の排出量は、水試料の方が相対的に多い。今年度の排出実態調査では、臭素系ダイオキシン類の排出源として想定される産業廃棄物管理型最終処分場を調査対象とした。産業廃棄物管理型最終処分場の浸出液処理施設において、臭素系ダイオキシン類の除去効果を把握し、排出対策手法の検証を行った。

分析項目は、臭素系ダイオキシン類以外に、それ自体は臭素系ダイオキシン類ではないが、臭素系ダイオキシン類の発生に当たり、臭素の供給源となりうる物質である臭素系難燃物質等についても調査を行った。

2.1 調査対象施設

臭素系ダイオキシン類の除去効果の大きい施設選定を行うために、6つの施設について、浸出液の簡易測定法による事前調査を行った。その結果等を踏まえて、6施設の内1施設の浸出液処理施設を詳細調査対象施設として選定をした。対象施設概要を表 2-1 に示す。

調査対象施設の選定に当たっては、浸出液における臭素系ダイオキシン類の処理効果を把握するため、ある程度浸出液における臭素系ダイオキシン類が検出される施設であり、施設の規模や浸出液処理施設から、標準的な施設を選定した。

表 2-1 対象施設概要

施設名	産業廃棄物管理型最終処分場(A 施設)
施設概要	事業者から排出され、中間処理された産業廃棄物を最終処分として埋立処分される。産業廃棄物に含有している有害物質が雨水により溶出し浸出液となり、浸出液は浸出液処理施設により排水処理後、公共用水域に放流水として排出される。
供用開始年月	2001年11月
埋立容量(m ³)	約530,000(2018年9月末時点の埋立容量の実績)
年間搬入量(t/年)	約200,000
浸出液処理フロー	浸出液→凝集沈殿→生物処理(脱窒素処理)→砂ろ過→活性炭→放流水
調整槽容量(m ³)	10,000
浸出液量(m ³ /日)	8.3(m ³ /h)×24(h/日)≒200
浸出処理設備滞留時間(日)	9

2.2 調査媒体

- ・ 排水水(浸出液、工程処理水、放流水)、脱水汚泥

2.3 分析項目

(1) 臭素化ダイオキシン類 (PBDD/Fs)

a. 2,3,7,8-位臭素置換異性体

2,3,7,8-TeBDD、1,2,3,7,8-PeBDD、1,2,3,4,7,8-HxBDD、
1,2,3,6,7,8-HxBDD、1,2,3,7,8,9-HxBDD、1,2,3,4,6,7,8-HpBDD、OBDD、
2,3,7,8-TeBDF、1,2,3,7,8-PeBDF、2,3,4,7,8-PeBDF、
1,2,3,4,7,8-HxBDF、1,2,3,4,6,7,8-HpBDF、OBDF

b. 同族体

TeBDDs、PeBDDs、HxBDDs、HpBDDs、OBDD、
TeBDFs、PeBDFs、HxBDFs、HpBDFs、OBDF

(2) ポリブロモジフェニルエーテル類 (PBDEs)

a. PBDEs の異性体

4,4'-DiBDE (#15)、2,4,4'-TrBDE (#28)、2,2',4,4'-TeBDE (#47)、
2,2',4,4',5'-PeBDE (#99)、2,2',4,4',6'-PeBDE (#100)、
2,2',4,4',5,5'-HxBDE (#153)、2,2',4,4',5,6'-HxBDE (#154)、
2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE (#183)、DeBDE (#209)

b. PBDEs の同族体

MoBDEs、DiBDEs、TrBDEs、TeBDEs、PeBDEs、HxBDEs、HpBDEs、
OBDEs、NoBDEs、DeBDE

(3) テトラブロモビスフェノール A (TBBPA)

(4) ブロモフェノール類 (PBPhs)

a. PBPhs の異性体

2-MoBPh、3/4-MoBPh、2,6-DiBPh、2,5/3,5-DiBPh、
2,4-DiBPh、3,4-DiBPh、2,3-DiBPh、2,4,6-TrBPh、
2,3,6-TrBPh、2,4,5-TrBPh、2,3,5-TrBPh、3,4,5-TrBPh、2,3,4-TrBPh、
2,3,4,5-TeBPh、2,3,4,6-TeBPh、2,3,5,6-TeBPh、2,3,4,5,6-PeBPh

b. PBPhs の同族体

MoBPhs、DiBPhs、TrBPhs、TeBPhs、PeBPh

(5) ヘキサブロモシクロドデカン (HBCDs)

α -HBCD、 β -HBCD、 γ -HBCD

3. 試料概要

3.1 採取試料一覧

表 3-1 採取試料一覧表

試料名	採取ポイント	採取方法
浸出液	原水調整槽出口	原水槽から、ステンレス製バケツにて、約 3 時間間隔毎にガロン瓶 4 本ずつ 3 回採取
工程処理水-1 (凝集沈殿後)	第一凝集沈殿槽出口	第一凝集沈殿槽から、ステンレス製バケツにて、約 3 時間間隔毎にガロン瓶 4 本ずつ 3 回採取
工程処理水-2 (生物処理後)	汚泥沈殿槽出口	汚泥沈殿槽から、ステンレス製バケツにて、約 3 時間間隔毎にガロン瓶 4 本ずつ 3 回採取
工程処理水-3 (砂ろ過後)	砂ろ過塔出口	砂ろ過塔出口から、ステンレス製バケツにて、約 3 時間間隔毎にガロン瓶 4 本ずつ 3 回採取
放流水	放流槽出口	放流槽から、大量採取装置にて約 3 時間で約 200L 採取
脱水汚泥	脱水汚泥機	脱水汚泥コンテナから、約 4 時間間隔毎に 2 回採取

※ 浸出液・工程処理水の排水試料及び汚泥試料は、複数回採取した試料をコンポジットして、一つの試料として測定した。

3.2 試料採取状況

表 3-2 排水試料の概況 (1)

試料名	採取回数	pH	水温	電気伝導度	酸化還元電位	溶存酸素	透視度
			(°C)	(S/m)	(mV)	(mg/L)	(cm)
浸出液	1 回目	7.02	14.7	4.35	453	9.10	7.0
	2 回目	7.06	14.0	3.53	440	9.35	7.5
	3 回目	6.92	14.4	4.14	418	9.29	7.0
工程処理水-1 (凝集沈殿後)	1 回目	8.13	14.4	4.23	265	7.24	>30
	2 回目	8.11	13.6	4.16	265	7.28	>30
	3 回目	8.08	14.3	4.18	268	7.20	>30
工程処理水-2 (生物処理後)	1 回目	6.70	15.1	4.31	479	6.47	>30
	2 回目	6.61	15.2	4.16	479	6.48	>30
	3 回目	6.61	15.2	4.13	480	6.50	>30
工程処理水-3 (砂ろ過後)	1 回目	6.39	13.7	2.15	484	8.43	>30
	2 回目	6.31	14.3	4.14	489	7.71	>30
	3 回目	6.31	13.8	4.09	488	8.41	>30
放流水	1 回目	6.31	13.7	4.15	481	5.41	>30
	2 回目	6.69	13.7	4.19	488	5.25	>30
	3 回目	6.30	13.3	4.18	489	5.32	>30

表 3-3 排水水試料の概況 (2)

試料名	臭化物イオン	SS	外観	臭気
	(mg/L)	(mg/L)		
浸出液	230	83	茶褐色	薬品臭
工程処理水-1(凝集沈殿後)	220	5.8	透茶褐色	薬品臭
工程処理水-2(生物処理後)	220	2.6	透茶褐色	薬品臭
工程処理水-3(砂ろ過後)	220	1.5	透茶褐色	薬品臭
放流水	220	0.9	透茶褐色	薬品臭

表 3-4 汚泥試料の概況

試料名	採取回数	含水率
		(%)
脱水汚泥	1回目	54.1
	2回目	54.8

4. 分析方法

4.1 分析方法

(1) PBDD/Fs

「ポリブロモジベンゾ-パラ-ジオキシン及びポリブロモジベンゾフランの暫定調査方法」(平成19年3月環境省水・大気環境局総務課ダイオキシン対策室)により測定を行った。各媒体別の試料抽出フロー図4-1～図4-3により抽出後、各媒体共通分析フロー図4-4により測定を行った。

(2) PBDEs、TBBPA、HBCDs、PBPhs

各媒体別の試料抽出フロー図4-1～図4-3により抽出後、各媒体共通分析フロー図4-5により測定を行った。

4.2 試料採取概要

(1) 浸出液及び工程処理水

採水場所において、ステンレス製バケツ類により水をくみ取り、褐色ガラス瓶の10%の空間が残る程度まで採取場所の水を採水した。採取回数は複数回採水した。

(2) 放流水

放流水は、採取場所において、ポンプで水を毎分1.0～1.5L程度で200L程度吸引して、懸濁態をろ紙により捕捉した後、溶存態をポリウレタンフォームに吸着捕集した。

(3) 脱水汚泥

脱水汚泥は、採取場所において、ステンレス製スコップにより褐色ガラス瓶に採取した。採取回数は複数回採取した。

4.3 分析フロー

各媒体別の試料抽出フローを図 4-1～図 4-3 に示す。また、各媒体共通の分析フローを図 4-4～図 4-5 に示す。

(1) 排水水（浸出液及び工程処理水）

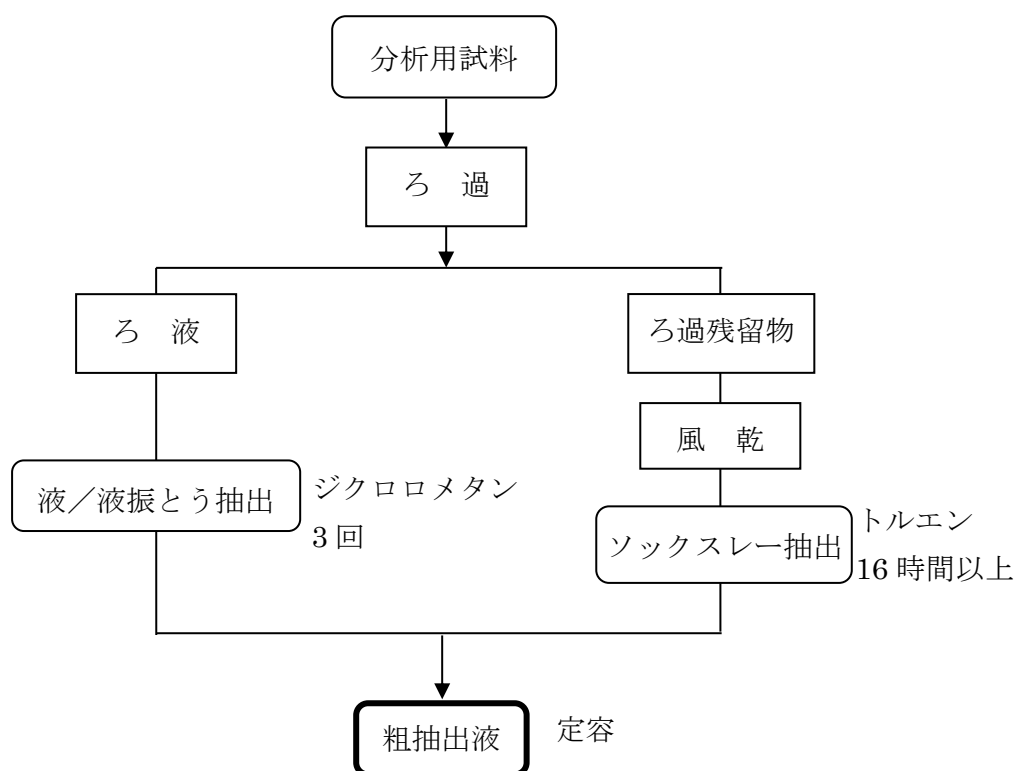


図 4-1 排水水（浸出液及び工程処理水）抽出分析フロー

(2) 排水水（放流水）

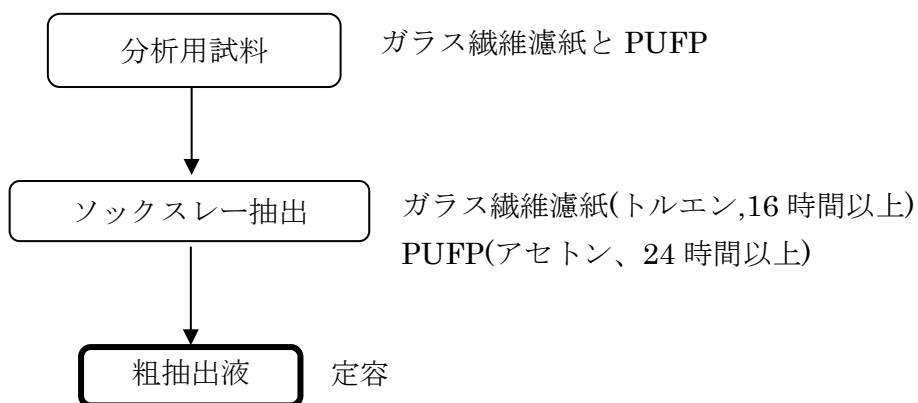


図 4-2 排水水（放流水）抽出分析フロー

(3) 脱水汚泥

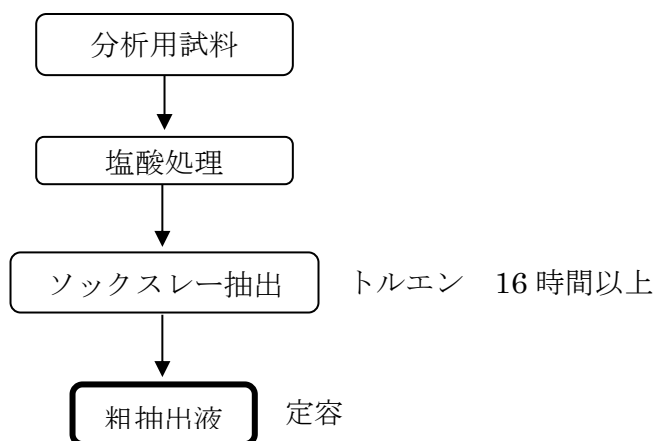


図 4-3 脱水汚泥抽出分析フロー

(4) 各媒体共通分析フロー

① PBDD/Fs

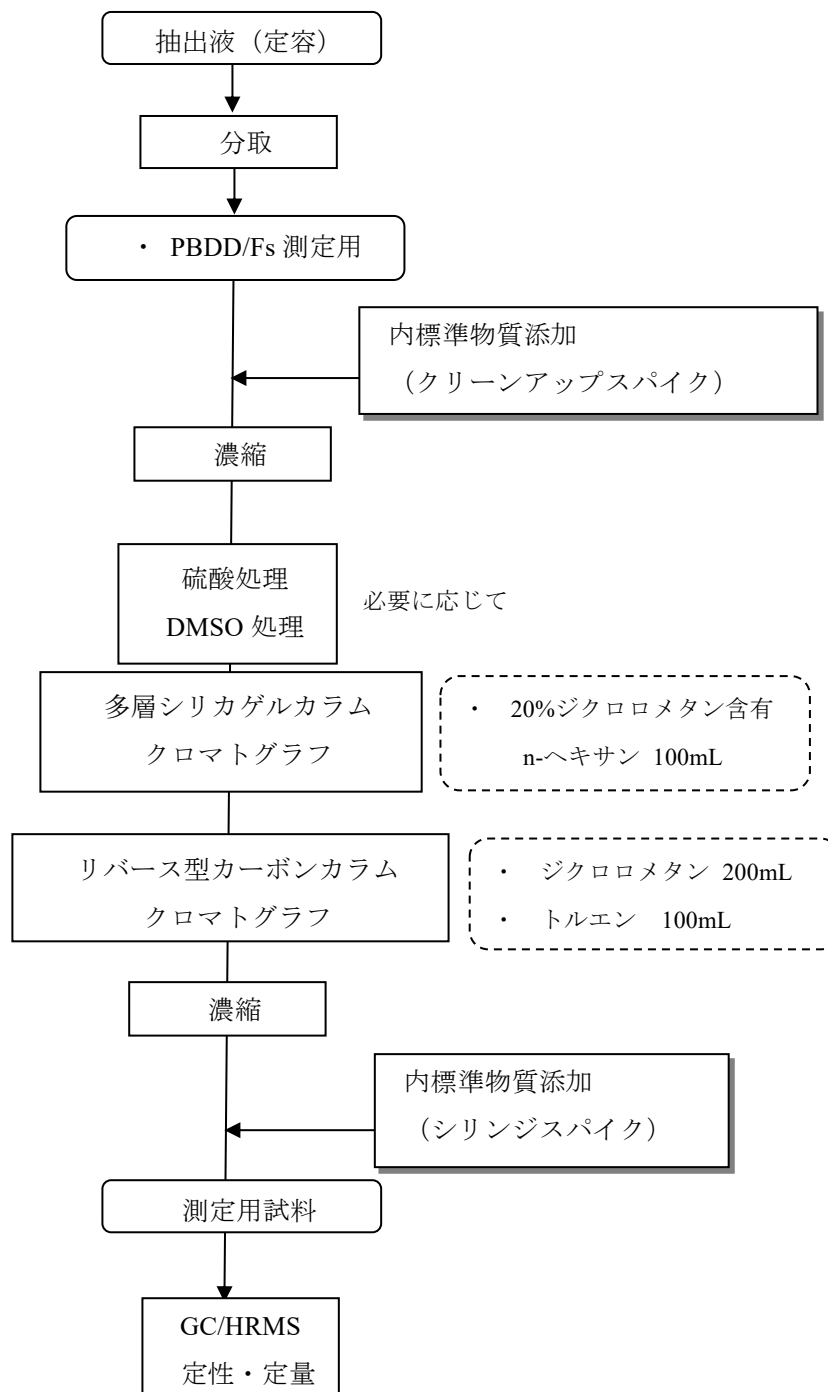


図 4-4 各媒体共通分析フロー(1)

② PBDEs、TBBPA、PBPhs、HBCDs

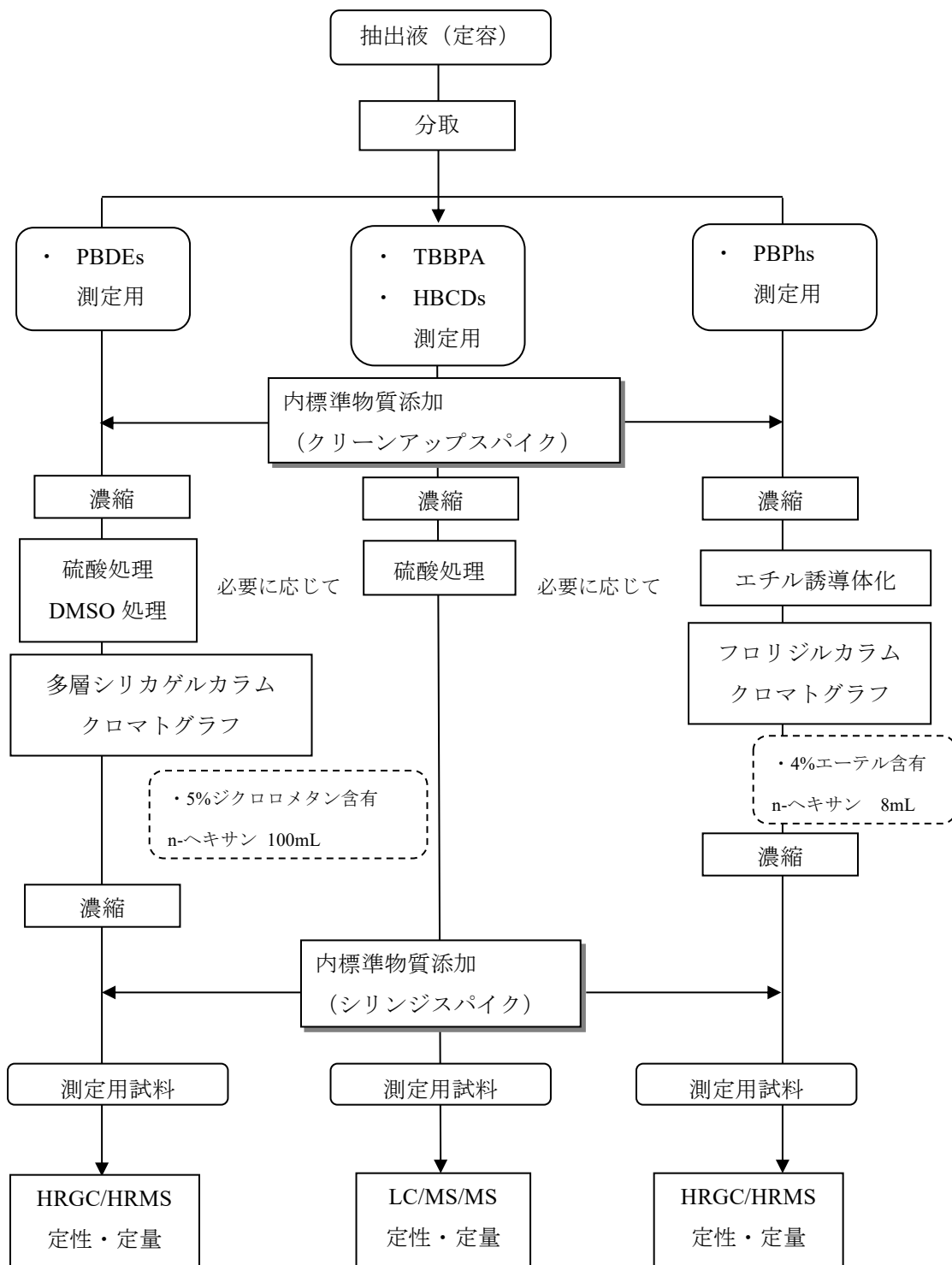


図 4-5 各媒体共通分析フロー (2)

4.4 測定条件

(1) PBDD/Fs

a. 分析装置

GC: Agilent-7890 (Agilent 社製)

MS: JMS-800D UltraFOCUS (日本電子社製)

b. GC 部条件

① 4~6 臭素化体

- ・ 分離カラム : DB-17HT (J&W 社製)

fused silica capillary column 30m×0.25mm (id) ,0.15μm

- ・ カラム温度 : 150°C (2min hold) →10°C/min→220°C→5°C/min→
280°C (20min hold) →20°C/min→310°C (14min hold)
- ・ 注入方法 : スプリットレス法

② 7~8 臭素化体

- ・ 分離カラム : DB-5MS (J&W 社製)

fused silica capillary column 15m×0.25mm (id) ,0.10μm

- ・ カラム温度 : 170°C (1min hold) →15°C/min→260°C→10°C/min→
310°C (8min hold)
- ・ 注入方法 : スプリットレス法

c. MS 部条件

MS 設定条件及び設定質量数を表 4-1~表 4-4 に示す。

① 4~6 臭素化体

表 4-1 MS 設定条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	38eV
イオン化電流	500μA
加速電圧	10kV
インターフェース温度	280°C
イオン源温度	280°C
分解能	10,000 以上

② 7~8 臭素化体

表 4-2 MS 設定条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	38eV
イオン化電流	500μA
加速電圧	9kV
インターフェース温度	280°C
イオン源温度	280°C
分解能	10,000 以上

表 4-3 設定質量数

	(M+2) +	(M+4) +	(M+6) +	(M+8) +
TeBDDs	497.6924	499.6904		
PeBDDs		577.6009	579.5989	
HxBDDs		655.5114	657.5094	
HpBDDs			735.4199	737.4179
OBDD			813.3304	815.3284
TeBDFs	481.6975	483.6955		
PeBDFs		561.6060	563.6039	
HxBDFs		639.5165	641.5145	
HpBDFs			719.4250	721.4230
OBDF			797.3355	799.3335

表 4-4 設定質量数 (内標準物質)

	(M+2) +	(M+4) +	(M+6) +	(M+8) +
¹³ C ₁₂ -TeBDDs	509.7327	511.7307		
¹³ C ₁₂ -PeBDDs		589.6412	591.6391	
¹³ C ₁₂ -HxBDDs		667.5517	669.5496	
¹³ C ₁₂ -HpBDDs			747.4601	749.4581
¹³ C ₁₂ -OBDD			825.3706	827.3686
¹³ C ₁₂ -TeBDFs	493.7378	495.7357		
¹³ C ₁₂ -PeBDFs		573.6462	575.6442	
¹³ C ₁₂ -HxBDFs		651.5568	653.5547	
¹³ C ₁₂ -HpBDFs			731.4653	733.4632
¹³ C ₁₂ -OBDF			809.3757	811.3737

(2) PBDEs

a. 分析装置

GC: HP-6890 (Agilent 社製)

MS: JMS-700 MStation (日本電子社製)

b. GC 部条件

① 1~7 臭素化体

- ・ 分離カラム : HP-5MS (Agilent 社製)

fused silica capillary column 30m×0.25mm (id) ,0.25μm

- ・ カラム温度 : 90℃ (2min hold) →10℃/min→190℃→5℃/min→
280℃ (13min hold) →15℃/min→310℃ (20min hold)
- ・ 注入方法 : スプリットレス法

② 8～10 臭素化体

- ・ 分離カラム : DB-5MS (J&W 社製)
fused silica capillary column 15m×0.25mm (id) ,0.10μm
- ・ カラム温度 : 170°C (1min hold) →15°C/min→260°C→10°C/min→
310°C (8min hold)
- ・ 注入方法 : スプリットレス法

c. MS 部条件

MS 設定条件及び設定質量数を表 4-5～表 4-8 に示す。

① 1～7 臭素化体

表 4-5 MS 設定条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	38eV
イオン化電流	500μA
加速電圧	10kV
インターフェース温度	280°C
イオン源温度	280°C
分解能	10,000 以上

② 8～10 臭素化体

表 4-6 MS 設定条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	38eV
イオン化電流	500μA
加速電圧	9kV
インターフェース温度	280°C
イオン源温度	280°C
分解能	10,000 以上

表 4-7 設定質量数

	M+	(M+2) +	(M+4) +	(M+6) +	(M+8) +	(M+10) +
MoBDEs	247.9837	249.9816				
DiBDEs	325.8942	327.8921				
TrBDEs		405.8027	407.8006			
TeBDEs		483.7132	485.7111			
PeBDEs			563.6216	565.6196		
HxBDEs			641.5321	643.5301		
HpBDEs				721.4406	723.4386	
OBDEs		*[(M+6)-2Br] +641.5145	*[(M+8)-2Br]+643.5125		801.3491	803.3471
NoBDEs		*[(M+8)-2Br] +719.4250	*[(M+10)-2Br]+721.4230		879.2596	881.2576
DeBDE		*[(M+8)-2Br] +797.3355	*[(M+10)-2Br]+799.3335		957.1701	959.1681

*フラグメントイオン

表 4-8 設定質量数 (内標準物質)

	M ⁺	(M+2) ⁺	(M+4) ⁺	(M+6) ⁺	(M+8) ⁺	(M+10) ⁺
¹³ C ₁₂ -MoBDEs	260.0239	262.0219				
¹³ C ₁₂ -DiBDEs	337.9344	339.9324				
¹³ C ₁₂ -TrBDEs		417.8429	419.8409			
¹³ C ₁₂ -TeBDEs		495.7534	497.7514			
¹³ C ₁₂ -PeBDEs			575.6619	577.6599		
¹³ C ₁₂ -HxBDEs			653.5724	655.5704		
¹³ C ₁₂ -HpBDEs				733.4809	735.4789	
¹³ C ₁₂ -OBDEs	*[(M+4)-2Br]+651.5568		*[(M+6)-2Br]+653.5547		813.3894	815.3874
¹³ C ₁₂ -NoBDEs	*[(M+8)-2Br]+731.4652		*[(M+10)-2Br]+733.4632		891.2999	893.2979
¹³ C ₁₂ -DeBDE	*[(M+8)-2Br]+809.3757		*[(M+10)-2Br]+811.3737		969.2104	971.2084

*フラグメントイオン

(3) TBBPA 及び HBCDs

a. 分析装置

LC: 1200 シリーズ (Agilent 製)

MS/MS: Triple Quad 5500 (AB SCIEX 社製)

b. LC 部条件

- ・ 分離カラム : Develosil C30-UG-5 2.1mm×150mm (野村化学製)
- ・ 移動相 : A:10mM 酢酸アンモニウム溶液 B:CH₃CN
A:B=65 : 35 (1min) → (15min) → 0 : 100 (5min)
- ・ 流速 : 0.2mL/min
- ・ カラム温度 : 40℃
- ・ 注入量 : 10μL

c. MS/MS 部条件

MS/MS 設定条件及び設定質量数を表 4-9～表 4-11 に示す。

表 4-9 MS/MS 設定条件

インターフェース	エレクトロスプレー
モード	negative
カーテンガス (CUR)	40psi
イオンスプレー電圧 (IS)	-4,500V
プローブ温度 (TEM)	600℃
コリジョンガス (CAD)	5psi
イオンソースガス 1	50psi
イオンソースガス 2	40psi

表 4-10 設定質量数

	プレカーサーイオン	プロダクトイオン
TBBPA	542.5	78.8
HBCDs	640.3	81.0

表 4-11 設定質量数 (内標準物質)

	プレカーサーイオン	プロダクトイオン
¹³ C ₁₂ -TBBPA	554.6	80.7
¹³ C ₁₂ -HBCDs	652.5	78.9
d ₁₆ -BPA (ビスフェノール A)	241.0	141.9

(4) PBPhs

a. 分析装置

GC: HP-6890 (Agilent 社製)

MS: JMS-700 MStation (日本電子社製)

b. GC 部条件

- ・分離カラム : HP-5MS (Agilent 社製)
fused silica capillary column 30m×0.25mm (id) ,0.15μm
- ・カラム温度 : 60°C (1min hold) →15°C/min→220°C→25°C/min
→320°C (5min hold)
- ・注入方法 : スプリットレス法

c. MS 部条件

MS 設定条件及び設定質量数を表 4-12～表 4-14 に示す。

表 4-12 MS 設定条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	38eV
イオン化電流	500μA
加速電圧	10kV
インターフェース温度	250°C
イオン源温度	250°C
分解能	10,000 以上

表 4-13 設定質量数

	M ⁺	(M+2) ⁺	(M+4) ⁺	(M+6) ⁺
MoBPhs	171.9524	173.9504		
DiBPhs	249.8629	251.8609		
TrBPhs		329.7714	331.7693	
TeBPhs		407.6819	409.6798	
PeBPh			487.5903	489.5883

表 4-14 設定質量数 (内標準物質)

	M ⁺	(M+2) ⁺	(M+4) ⁺	(M+6) ⁺
¹³ C ₆ -MoBPhs	177.9725	179.9705		
¹³ C ₆ -DiBPhs	255.8830	257.8810		
¹³ C ₆ -TrBPhs		335.7915	337.7894	
¹³ C ₆ -TeBPhs		413.7020	415.6999	
¹³ C ₆ -PeBPh			493.6104	495.6084

4.5 検出下限値

検出下限算出方法

$$C_{DL} = MDL \times \frac{v}{v_i} \times \frac{V_E}{V'_E} \times \frac{1}{V}$$

C_{DL} : 試料における検出下限 (pg (ng) / 試料単位)

MDL : 測定方法の検出下限 (pg (ng))

v_i : HRGC/HRMS (LC/MS/MS) への注入量 (μL)

v : 測定試料の液量 (μL)

V_E : 抽出液量 (mL)

V'_E : 抽出液の分取量 (mL)

V : 試料量

表 4-15 PBDD/Fs 検出下限値一覧表

試料の種類	浸出液及び 工程処理水	放流水	汚泥
試料量	20L	200L	20g-dry
単位	pg/L	pg/L	ng/g-dry
2,3,7,8-TeBDD	0.02	0.004	0.0001
1,2,3,7,8-PeBDD	0.06	0.01	0.0003
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.3	0.06	0.001
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.4	0.07	0.002
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.3	0.05	0.001
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.2	0.04	0.001
OBDD	0.6	0.1	0.003
2,3,7,8-TeBDF	0.02	0.004	0.0001
1,2,3,7,8-PeBDF	0.09	0.02	0.0005
2,3,4,7,8-PeBDF	0.1	0.02	0.0006
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.3	0.05	0.001
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.2	0.05	0.001
OBDF	0.6	0.1	0.003

※ 検出下限値は、試料量及び分取量により異なる場合がある。

表 4-16 PBDEs、TBBPA、HBCDs 検出下限値一覧表

試料の種類	浸出液及び 工程処理水	放流水	汚泥
試料量	20L	200L	20g-dry
単位	ng/L	ng/L	ng/g-dry
MoBDEs	0.001	0.0003	0.003
4,4'-DiBDE (#15)	0.001	0.0003	0.003
DiBDEs	0.001	0.0003	0.003
2,4,4'-TrBDE (#28)	0.002	0.0004	0.004
TrBDEs	0.002	0.0005	0.005
2,2',4,4'-TeBDE (#47)	0.002	0.0004	0.004
TeBDEs	0.004	0.0008	0.008
2,2',4,4',6'-PeBDE (#100)	0.002	0.0004	0.004
2,2',4,4',5'-PeBDE (#99)	0.003	0.0006	0.006
PeBDEs	0.003	0.0006	0.006
2,2',4,4',5,6'-HxBDE (#154)	0.003	0.0005	0.005
2,2',4,4',5,5'-HxBDE (#153)	0.004	0.0008	0.008
HxBDEs	0.007	0.001	0.01
2,2',3,4,4',5,6'-HpBDE (#183)	0.005	0.001	0.01
HpBDEs	0.005	0.001	0.01
OBDEs	0.003	0.0007	0.007
NBDEs	0.008	0.002	0.02
2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-DeBDE (#209)	0.01	0.002	0.02
α -HBCD	0.05	0.01	0.1
β -HBCD	0.01	0.002	0.02
γ -HBCD	0.05	0.01	0.1
TBBPA	0.07	0.01	0.01

※ 検出下限値は、試料量及び分取量により異なる場合がある。

表 4-17 PBPhs 検出下限値一覧表

試料の種類	浸出液及び 工程処理水	放流水	汚泥
試料量	20L	200L	20g-dry
単位	ng/L	ng/L	ng/g-dry
2-bromophenol	0.2	0.03	0.3
3/4-bromophenol	0.2	0.03	0.3
2,6-dibromophenol	0.2	0.03	0.3
2,5/3,5-dibromophenol	0.2	0.03	0.3
2,4-dibromophenol	0.1	0.03	0.3
3,4-dibromophenol	0.2	0.03	0.3
2,3-dibromophenol	0.1	0.03	0.3
2,4,6-tribromophenol	0.1	0.03	0.3
2,3,6-tribromophenol	0.2	0.03	0.3
2,4,5-tribromophenol	0.1	0.02	0.2
2,3,5-tribromophenol	0.1	0.02	0.2
3,4,5-tribromophenol	0.1	0.02	0.2
2,3,4-tribromophenol	0.1	0.02	0.2
2,3,4,5-tetrabromophenol	0.1	0.02	0.2
2,3,4,6-tetrabromophenol	0.1	0.02	0.2
2,3,5,6-tetrabromophenol	0.1	0.02	0.2
2,3,4,5,6-pentabromophenol	0.1	0.02	0.2

※ 検出下限値は、試料量及び分取量により異なる場合がある。

5. 調査結果（総括表）

(1) 臭素化ダイオキシン類（PBDD/Fs）

a. 排出水

表 5-1 排出水の分析結果（毒性等量相当値）（pg-TEQ/L）

物質名	浸出液	工程処理水-1 （凝集沈殿 後）	工程処理水-2 （生物処理 後）	工程処理水-3 （砂ろ過後）	放流水
PBDDs	0.097	0.091	0.091	0.091	0.018
	0.007	0	0	0	0.0016
PBDFs	0.45	0.035	0.037	0.037	0.016
	0.44	0.003	0.004	0.005	0.0095
PBDD/Fs	0.55	0.13	0.13	0.13	0.033
	0.45	0.003	0.004	0.005	0.011

注1) PBDD/Fs (TEQ) は、WHO/IPCS(2006)による PCDD/Fs の TEF により算出した参考値である。

注2) 毒性等量相当値の表中の上段は検出下限値未満を検出下限値の 1/2 として算出したもの、下段の数値は検出下限値未満を「0」として算出したものである。

表 5-2 排出水の分析結果（実測濃度）（pg/L）

物質名	浸出液	工程処理水-1 （凝集沈殿 後）	工程処理水-2 （生物処理 後）	工程処理水-3 （砂ろ過後）	放流水
PBDDs	56	0.29	0.28	0.13	0.6
PBDFs	89	1.1	1.7	1.0	4.5
PBDD/Fs	150	1.4	2.0	1.1	5.1

b. 汚泥

表 5-3 汚泥の分析結果（毒性等量相当値）（ng-TEQ/g-dry）

物質名	脱水汚泥
PBDDs	0.00042
	0.00002
PBDFs	0.00092
	0.00092
PBDD/Fs	0.0013
	0.00093

注1) PBDD/Fs (TEQ) は、WHO/IPCS(2006)による PCDD/Fs の TEF により算出した参考値である。

注2) 毒性等量相当値の表中の上段は検出下限値未満を検出下限値の 1/2 として算出したもの、下段の数値は検出下限値未満を「0」として算出したものである。

表 5-4 汚泥の分析結果（実測濃度）（ng/g-dry）

物質名	脱水汚泥
PBDDs	0.11
PBDFs	0.16
PBDD/Fs	0.27

(2) 臭素系難燃物質（PBDEs、TBBPA、PBPhs 及び HBCDs）

a. 排水

表 5-5 排水の分析結果（ng/L）

物質名	浸出液	工程処理水-1 （凝集沈殿 後）	工程処理水-2 （生物処理 後）	工程処理水-3 （砂ろ過後）	放流水
PBDEs	20	0.46	3.2	0.97	1.7
DeBDE	18	0.43	3.1	0.94	1.6
TBBPA	0.61	ND	ND	ND	0.14
PBPhs	46	550	730	27	26
HBCDs	2.5	ND	ND	ND	ND

注) 表中の「ND」は、検出下限値未満であることを示す。

b. 汚泥

表 5-6 汚泥の分析結果（ng/g-dry）

物質名	脱水汚泥
PBDEs	26
DeBDE	23
TBBPA	2.9
PBPhs	6.9
HBCDs	5.0

6. まとめ及び考察

本調査では、産業廃棄物管理型最終処分場における浸出液処理施設において、原水調整槽の浸出液原水、凝集沈殿処理後の工程処理水-1、生物処理後の工程処理水-2、砂ろ過後の工程処理水-3、活性炭処理後の放流水を採取した。

また、第一凝集沈殿槽、汚泥沈殿槽及び第二凝集沈殿槽から発生した汚泥についても、汚泥濃縮器に濃縮後、汚泥脱水機により脱水した試料を採取した。

本施設での浸出液処理フローは、浸出液→凝集沈殿→生物処理→砂ろ過→活性炭→放流水の順で浸出液の排水を処理しており、浸出液処理施設における各処理工程別の臭素系ダイオキシン類の処理効果を確認した。

(1) 排水水

a. PBDD/Fs

PBDD/Fs 実測濃度は、処理前の浸出液 150 pg/L、処理後の放流水 5.1 pg/L であった。処理工程別では、浸出液 150 pg/L→凝集沈殿後 1.4 pg/L→生物処理後 2.0 pg/L→砂ろ過後 1.1 pg/L→放流水 5.1 pg/L であった。毒性等量相当値(ND=0)は、処理前の浸出液 0.45 pg-TEQ/L、処理後の放流水 0.011 pg-TEQ/L であった。

放流水中の PBDD/Fs 濃度レベルは、過去実施した他施設の調査データと濃度レベルを比較すると、低い値であった(図-6-1)。

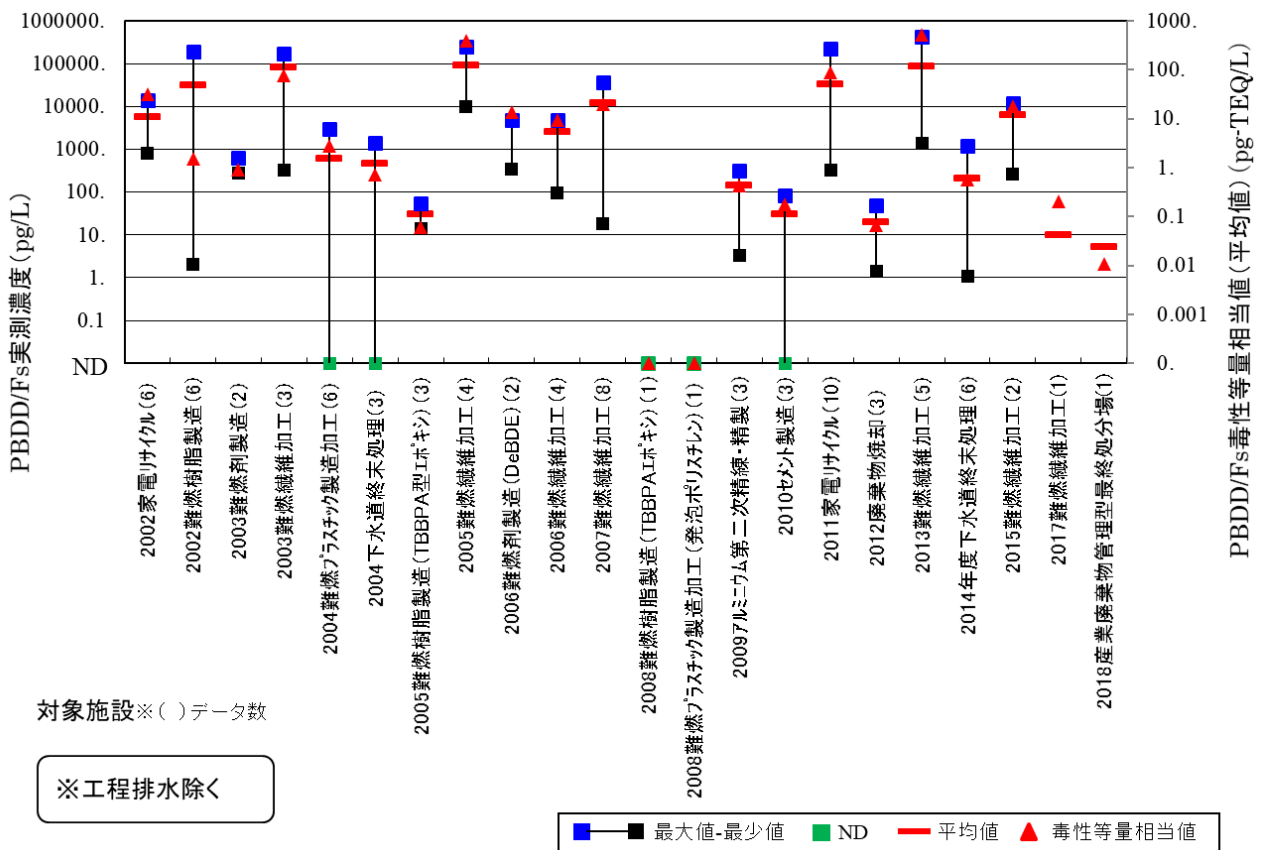


図 6-1 排水における PBDD/Fs 検出状況

浸出液処理施設におけるPBDD/Fs濃度とSS濃度の関係を図-6-2に示す。SS濃度は、浸出液 83 mg/L→凝集沈殿後 5.8 mg/L→生物処理後 2.6 mg/L→砂ろ過後 1.5 mg/L→放流水 0.9 mg/Lであり、処理前の浸出液と処理後の放流水で除去率 98.9%であった。

PBDD/Fs同族体組成を図-6-3に示す。浸出液中のPBDD/Fsは、凝集沈殿によりSS分に吸着しているHpBDFsやOBDFsは除去され、TeBDDs、TeBDFs、PeBDFsの低臭素化体が主体の組成に変化した。生物処理後はPBDD/Fs濃度は増加し、再びHpBDF、OBDFの高臭素化体が優先となった。砂ろ過後は、高臭素化体と低臭素化体の割合は半々になった。さらに、活性炭後の放流水ではOBDFが再び検出され、その他物質濃度も増加しPBDD/Fs濃度は増加した。PBDD/Fs異性体組成は、1,2,3,4,6,7,8-HpBDF及びOBDFが主要な異性体であった(図-6-4)。

今回の活性炭処理後の放流水でPBDD/Fs濃度が増加している一因として、放流水試料は他の処理工程における排水試料と比較して、試料量を約5倍多く採水しているため、PBDD/Fsの検出下限が低くなって検出されやすくなっていること、流入する排水におけるPBDD/Fs濃度の時間的な変動などの要因が考えられるが、詳細については不明であった。

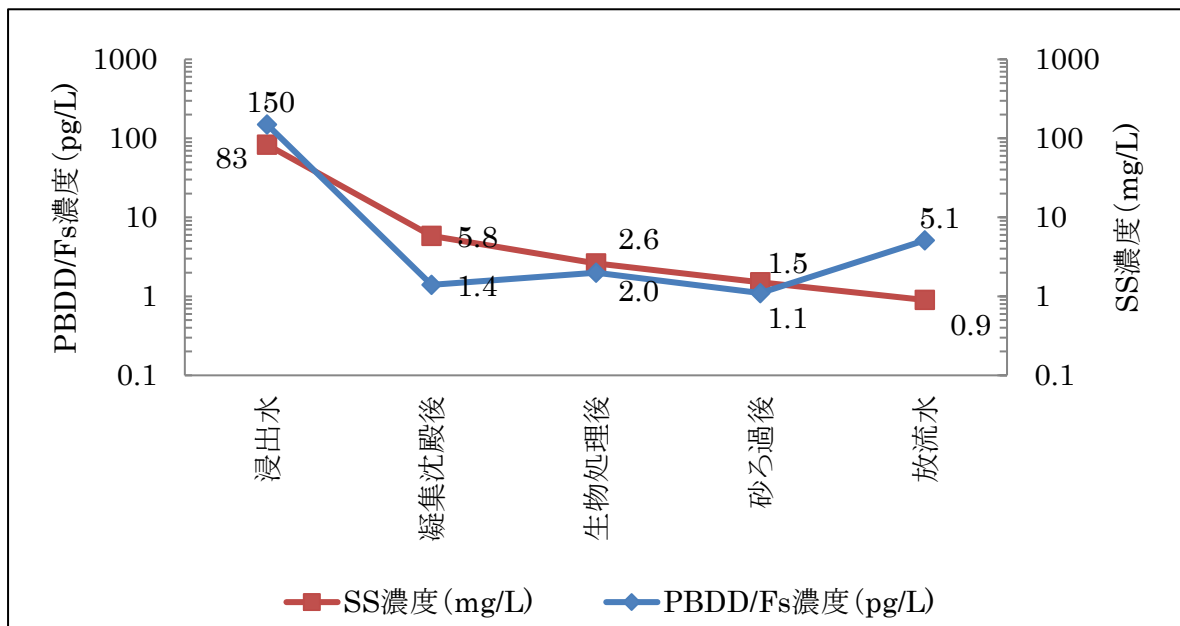


図 6-2 浸出液処理施設における PBDD/Fs 濃度と SS 濃度の関係

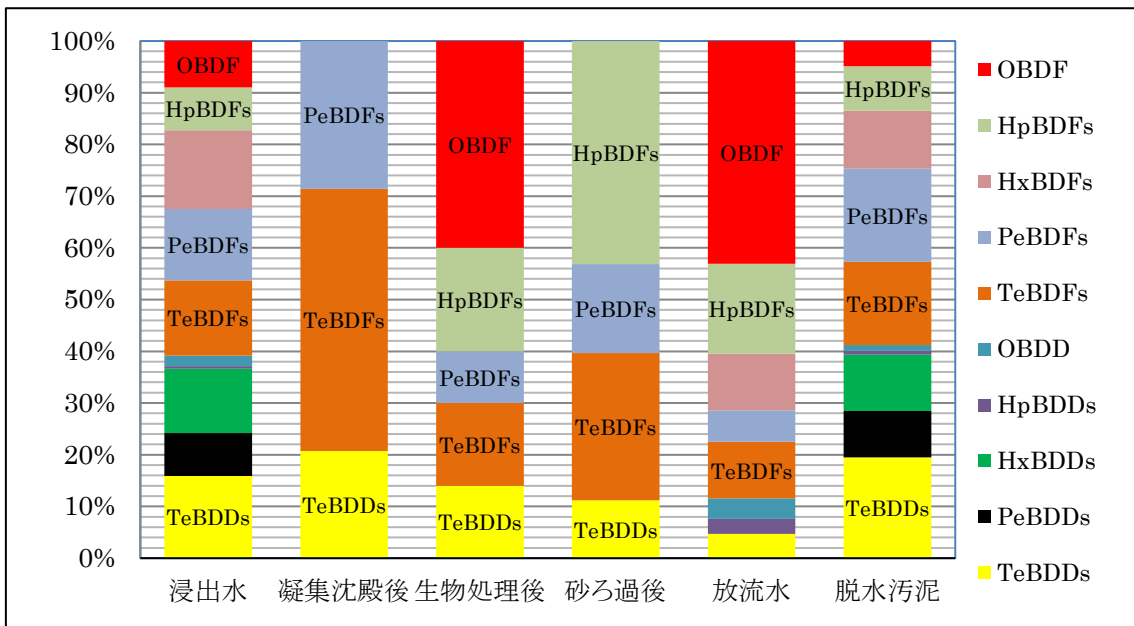


図 6-3 PBDD/Fs 同族体組成

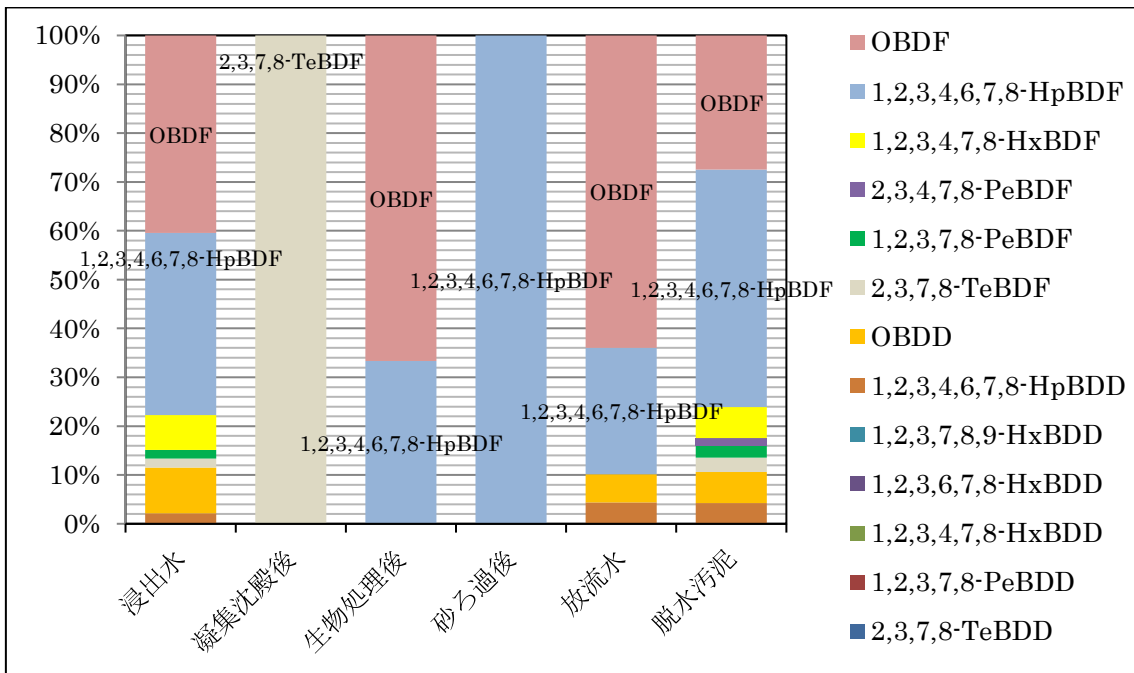


図 6-4 PBDD/Fs 異性体組成

b. PBDEs

PBDEs 実測濃度は、処理前の浸出液 20 ng/L、処理後の放流水 1.7 ng/L であった。処理工程別では、浸出液 20 ng/L→凝集沈殿後 0.46 ng/L→生物処理後 3.2 ng/L→砂ろ過後 0.97 ng/L→放流水 1.7 ng/L であった。排水中の PBDEs 濃度レベルは、過去の調査データと比較しても低い濃度レベルであった(図-6-5)。

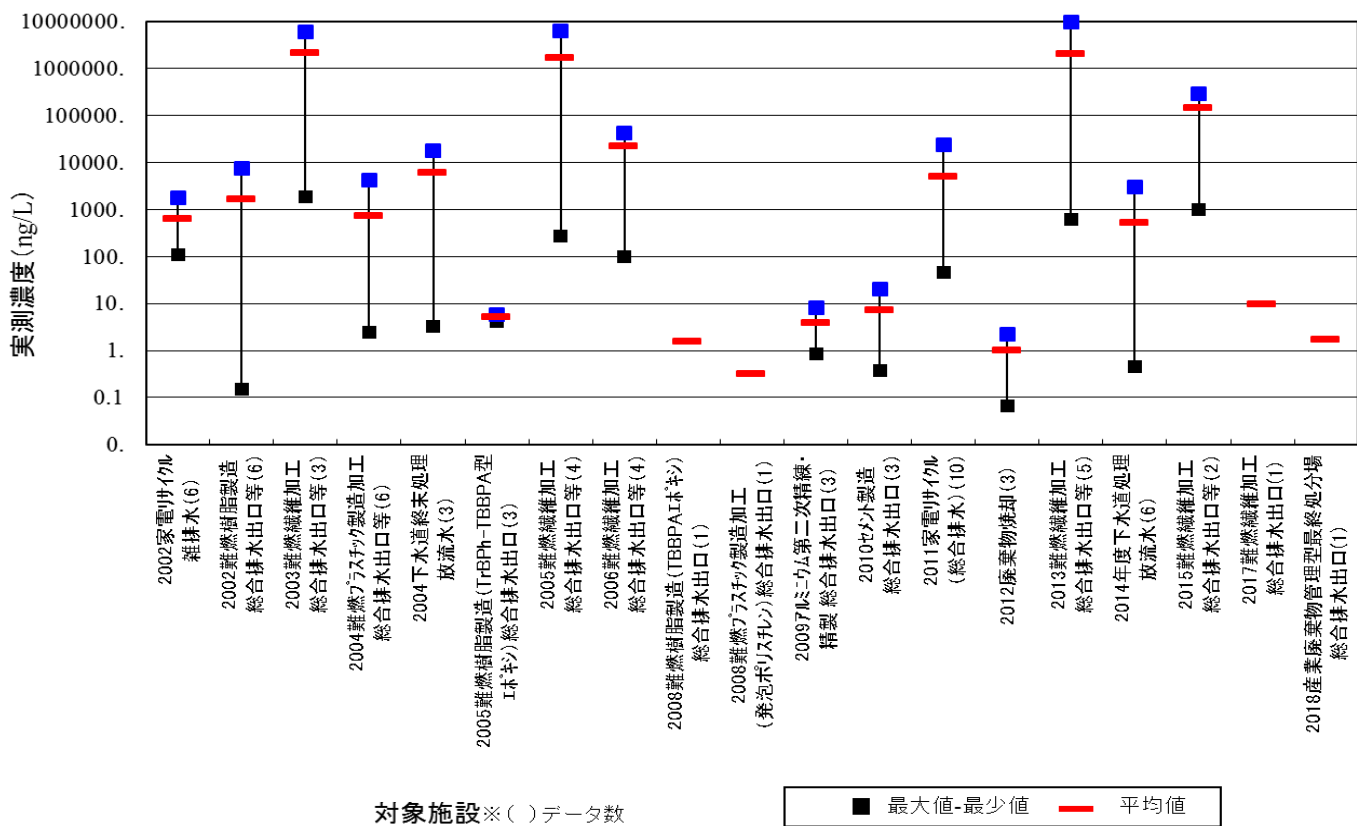


図 6-5 排水における PBDEs 検出状況

浸出液処理施設における PBDEs 濃度と SS 濃度の関係を図-6-6 に示す。PBDEs の挙動は PBDD/Fs と同様な傾向を示した。

PBDEs 同族体組成を図-6-7 に示す。全ての試料において DeBDE が約 90 % 以上を占めた組成であった。浸出液中の DeBDE 以外の PBDEs は、PBDD/Fs と同様な組成変化を示した。DeBDE 以外の PBDEs 異性体組成では、#47-TeBDE、#99-PeBDE、#175/#183-HpBDE が主要な異性体であった(図-6-8)。

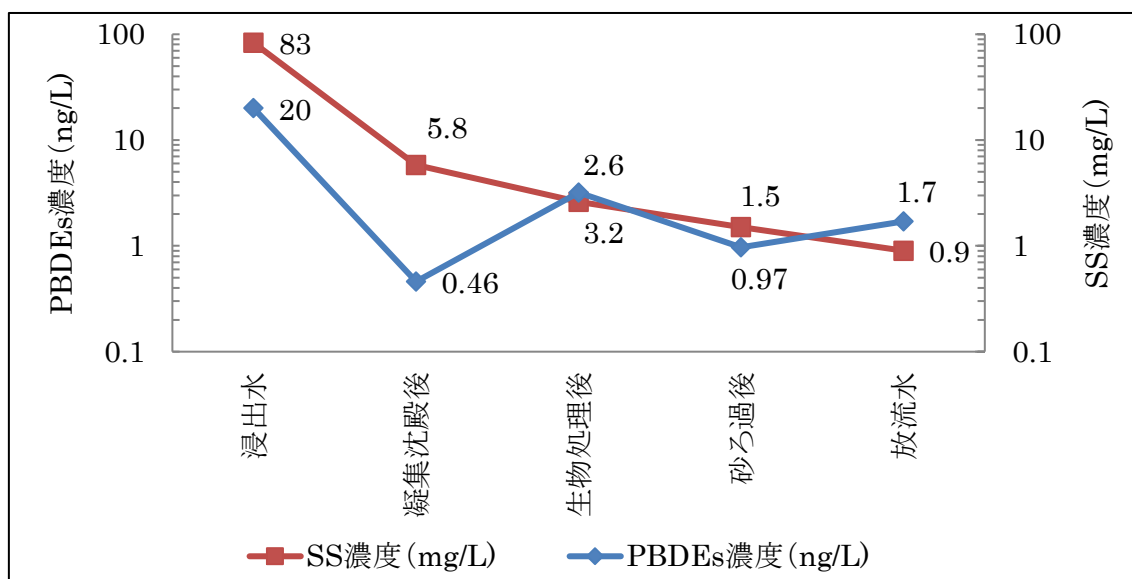


図 6-6 浸出液処理装置における PBDEs 濃度と SS 濃度の関係

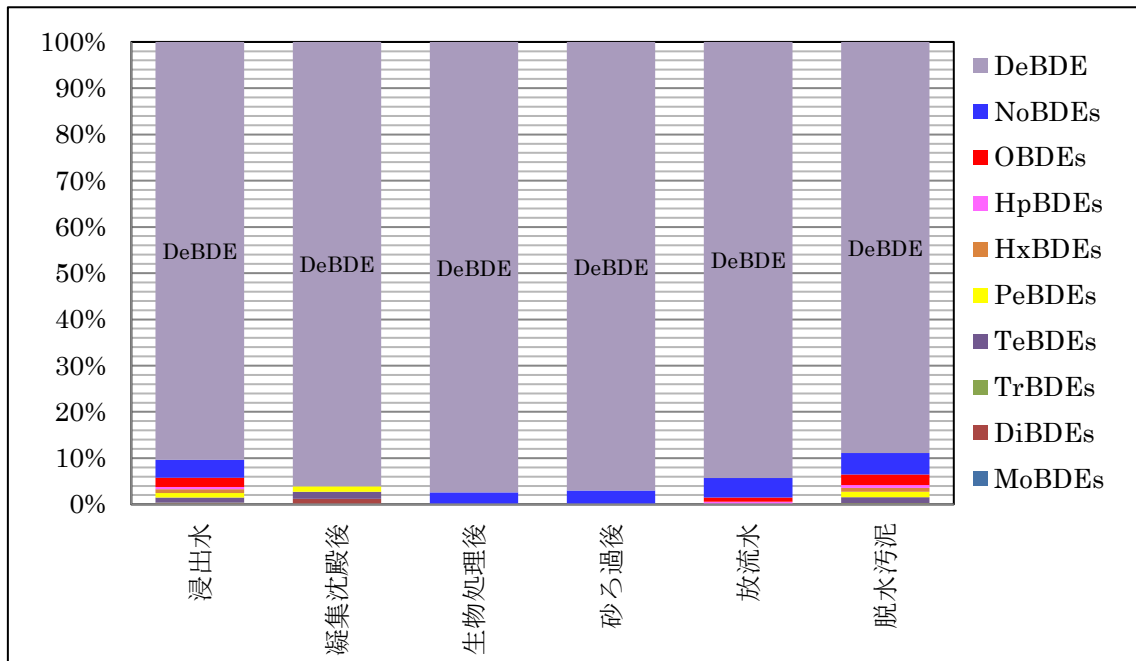


図 6-7 PBDEs 同族体組成

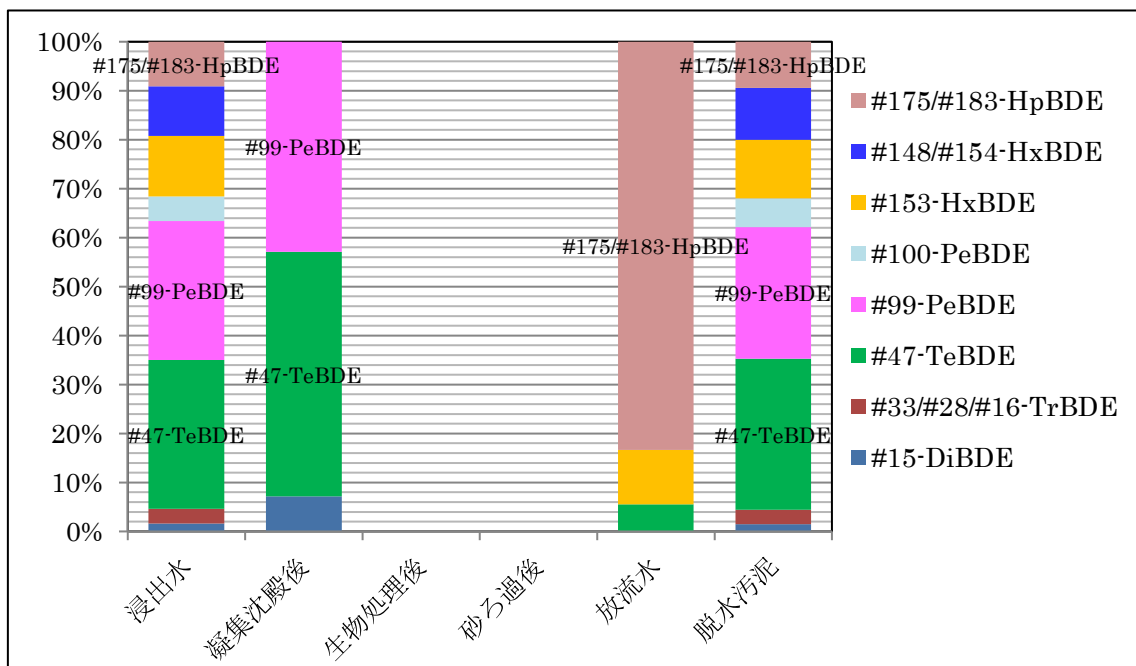


図 6-8 PBDEs 異性体組成 (DeBDE 以外)

c. TBBPA

TBBPA 実測濃度は、処理前の浸出液 0.61 ng/L、処理後の放流水 0.14 ng/L であった。

d. HBCDs

HBCDs 実測濃度は、処理前の浸出液 2.5 ng/L、処理後の放流水 ND ng/L であった。

e. PBPhs

PBPhs 実測濃度は、処理前の浸出液 46 ng/L、処理後の放流水 26 ng/L であった。処理工程別では、浸出液 46 ng/L→凝集沈殿後 550 ng/L→生物処理後 730 ng/L→砂ろ過後 27 ng/L→放流水 26 ng/L であった。

浸出液処理施設における PBPhs 濃度と SS 濃度の関係を図-6-9 に示す。PBPh 濃度と SS 濃度の挙動は、PBDD/Fs や PBDEs と異なる挙動を示した。処理前の浸出液から凝集沈殿後に約 12 倍濃度が上昇し、生物処理後もさらに約 1.3 倍濃度が増えたが、砂ろ過処理後には、96.3 %除去された。

PBPh 異性体組成を図-6-10 に示す。検出された同族体は MoBPBs が主体であり、砂ろ過処理工程後から放流水にかけて MoBPBs の比率が下がっていった。検出された主要な異性体は、2-MoBPb、3/4-MoBPb、2,4-DiBPb、2,4,6-TrBPb であった。

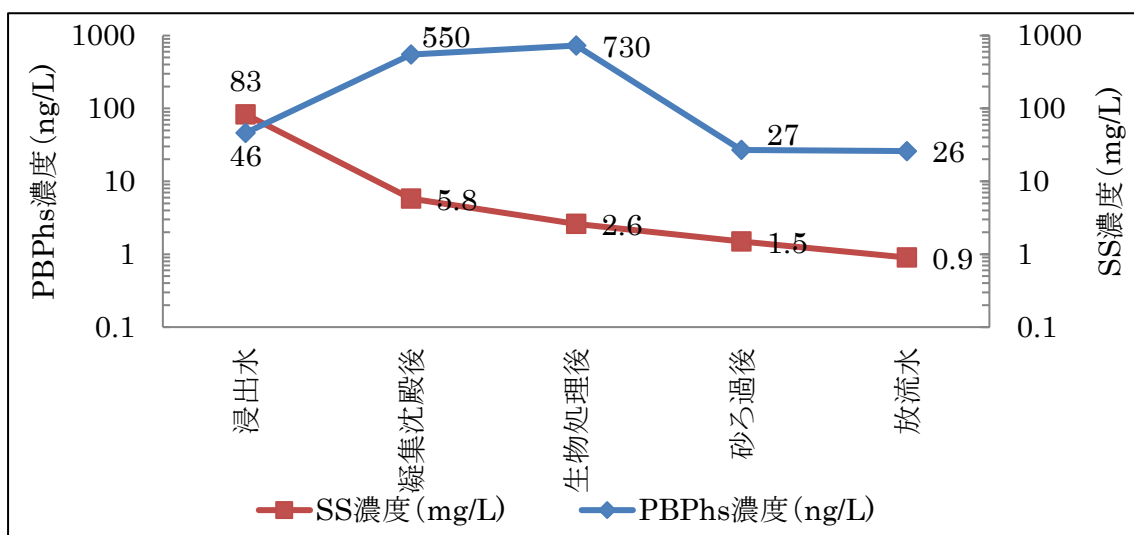


図 6-9 浸出液処理装置における PBDEs 濃度と SS 濃度の関係

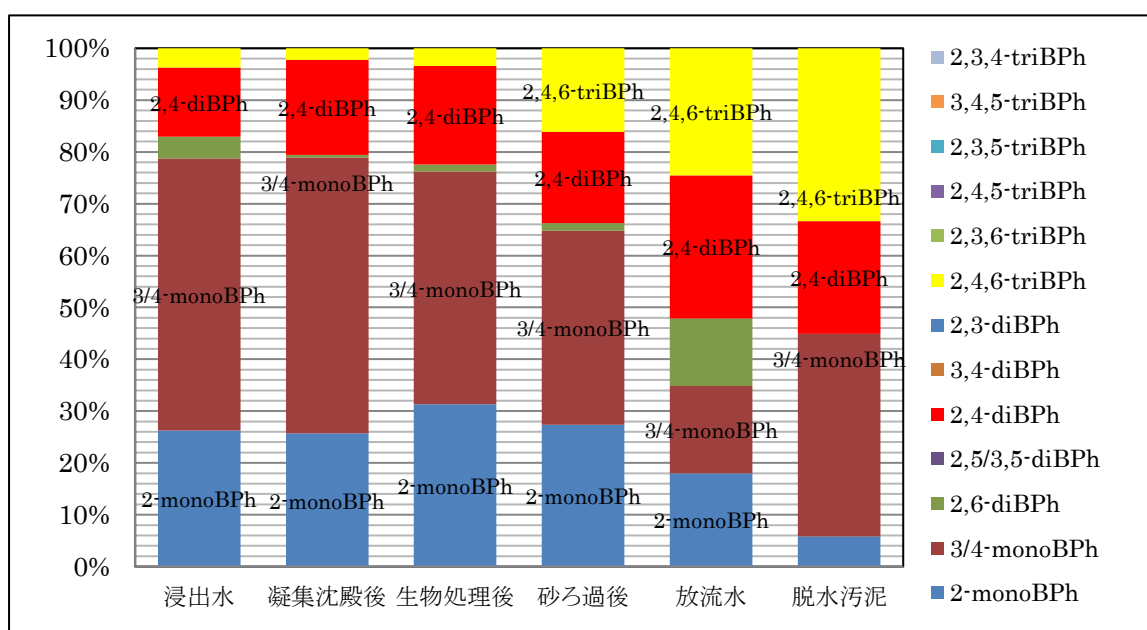


図 6-10 PBPh 異性体組成 (MoBPb~TrBPb)

(2) 汚泥

a. PBDD/Fs

汚泥中の PBDD/Fs 実測濃度は 0.27 ng/g-dry、毒性等量相当値 (ND=0) は 0.00093 ng-TEQ/g-dry であった。過去の調査データと比較すると、2004 年度下水終末処理施設 (0.15 ng/g-dry、0.67 ng/g-dry) と同程度であり、2017 年度難燃繊維加工施設 (乾燥前 7ng/g-dry、乾燥後 65ng/g-dry) よりも低い濃度であった。

浸出液と脱水汚泥の PBDD/Fs 同族体組成は類似しており、浸出液中の PBDD/Fs は、凝集沈殿処理によって除去された SS 分に吸着し汚泥に移行濃縮していることが示唆された。なお、浸出液処理施設で発生した脱水汚泥は、処分場内にそのまま埋立処分されていた。脱水汚泥発生量は約 40t/年、処分場の受入廃棄物量は約 20 万 t/年であり、総量に対して脱水汚泥の寄与率は約 0.02%であった。

b. PBDEs

汚泥中の PBDEs 実測濃度は 26 ng/g-dry であり、過去の調査データと比較すると、2004 年度下水終末処理施設 (1,000 ng/g-dry、2,200 ng/g-dry、500,000 ng/g-dry)、2014 年度下水終末処理施設 (670,000 ng/g-dry、1,500 ng/g-dry) よりも 2~4 桁低い濃度であった。

c. TBBPA

汚泥中の TBBPA 実測濃度は 2.9 ng/g-dry であった。過去の調査データと比較すると、2004 年度下水終末処理施設 (49 ng/g-dry、30 ng/g-dry、37ng/g-dry)、2014 年度下水終末処理施設 (21 ng/g-dry、39 ng/g-dry) よりも 1 桁低い濃度であった。

d. HBCDs

汚泥中の HBCDs 実測濃度は 5.0 ng/g-dry であった。過去の調査データと比較すると、2004 年度下水終末処理施設 (39 ng/g-dry、91 ng/g-dry、52,000ng/g-dry)、2014 年度下水終末処理施設 (23 ng/g-dry、14 ng/g-dry) よりも 1 桁程度低い濃度であった (2004 年度の 1 施設データを除く)。

e. PBPhs

汚泥中の PBPhs 実測濃度は 6.9 ng/g-dry であった。過去の調査データと比較すると、2014 年度下水終末処理施設 (7 ng/g-dry、8 ng/g-dry) と同程度の濃度であった。

(3) 考察

浸出液処理方法の違いによる PBDD/Fs 及び PBDEs 除去特性について、SS 濃度と関係を中心に考察した。

・凝集沈殿処理(浸出液の最初の処理工程)

PBDD/Fs 実測濃度では、処理前の浸出液 150 pg/L、凝集沈殿処理後 1.4 pg/L で除去率は 99.0 %であった。PBDEs 実測濃度では、処理前の浸出液 20 ng/L、凝集沈殿処理後 1.7 ng/L で除去率は 91.5 %であった。SS 濃度では、処理前の浸出液 83 mg/L、凝集沈殿処理後 5.8 mg/L で除去率は 96.3 %であった。

凝集沈殿処理により浸出液中の SS が除去され、その SS に吸着している PBDD/Fs や PBDEs なども除去されていることが示唆された。

・生物処理(凝集沈殿処理後の処理工程)

PBDD/Fs 実測濃度では、処理前の凝集沈殿処理後 1.4 pg/L、生物処理後 2.0 pg/L で 42 %増加した。PBDEs 実測濃度では、処理前の凝集沈殿処理後 0.46 ng/L、生物処理後 3.2 ng/L で約 7 倍増加した。SS 濃度では、処理前の凝集沈殿処理後 5.8 mg/L、生物処理後 2.6 mg/L で除去率は 55.1 %であった。

生物処理により SS 分は 55 %除去されていたが、PBDD/Fs 濃度や PBDEs 濃度は増加しており、濃度が増加した要因は不明であった。

・砂ろ過処理(生物処理後の処理工程)

PBDD/Fs 実測濃度では、処理前の生物処理後 2.0 pg/L、砂ろ過後 1.1 pg/L で除去率は 45.0 %であった。PBDEs 実測濃度では、処理前の生物処理後 3.2 ng/L、凝集沈殿処理後 0.97 ng/L で除去率は 69.6%であった。SS 濃度では、処理前の生物処理後 2.6 mg/L、砂ろ過後 1.5 mg/L で除去率は 42.3%であった。

砂ろ過処理では、生物処理後に残存している SS や微細な微粒子がろ過作用により除去され、その SS 等に吸着している PBDD/Fs や PBDEs なども除去されていることが示唆された。

・活性炭処理(砂ろ過処理後の処理工程)

PBDD/Fs 実測濃度では、処理前の砂ろ過処理後 1.1 pg/L、活性炭処理後 5.1 pg/L で 4.6 倍増加した。PBDEs 実測濃度では、処理前の砂ろ過処理後 0.97ng/L、活性炭処理後 1.7 ng/L で除去率は 1.7 倍増加した。SS 濃度では、処理前の砂ろ過処理後 1.5 mg/L、活性炭処理後 0.9 mg/L で除去率は 40.0 %であった。

活性炭処理では、一般的に水溶解度が低い疎水性物質が吸着され易く、PBDD/Fs や PBDEs も活性炭に吸着されやすい物質であるが、いずれの物質も活性炭処理後、SS 濃度は減少したにも関わらず濃度が増加しており、その要因は不明であった。

昨年度の難燃繊維加工施設の排水処理施設におけるPBDD/Fs濃度、PBDEs濃度とSS濃度の関係を図6-11～図6-12に示す。

難燃繊維加工施設の排水処理（凝集沈殿→砂ろ過→生物活性炭）では、PBDD/Fs実測濃度の除去率は99.8%であった。産業廃棄物管理型最終処分場の排水処理（凝集沈殿→生物処理→砂ろ過→活性炭）では、PBDD/Fs実測濃度の除去率は96.6%であった。両施設とも、排水中のPBDD/Fs濃度はSS濃度とほぼ同じ挙動を示した。処理工程別では、両施設とも凝集沈殿処理の効果が非常に大きく、凝集沈殿により排水中のSS分が除去され、SS分に吸着したPBDD/Fsが除去されており、凝集沈殿により汚泥に移行したPBDD/Fsは、原水中の組成をよく反映しており、排水中のPBDD/Fsは、SSとともに汚泥に濃縮されていた。

以上のことから、臭素系ダイオキシン類の排出抑制対策として、排水中のSS濃度を除去することにより、PBDD/F濃度の低減が可能なが示唆された。昨年度の難燃繊維加工施設の排水処理施設と同様に、産業廃棄物管理型最終処分場の浸出液処理施設もPBDD/Fs濃度低減に十分に処理効果があると考えられる。

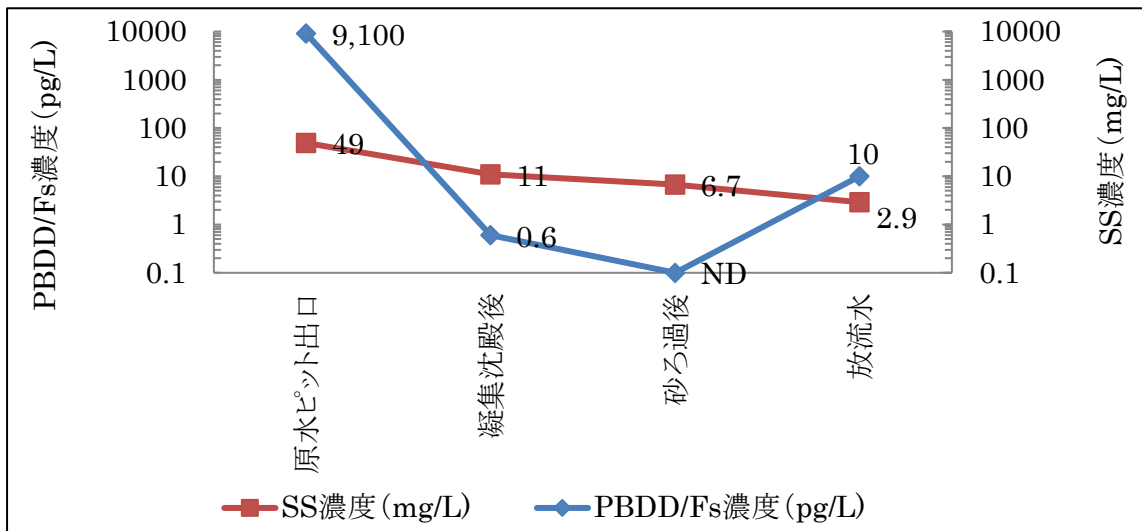


図6-11 排水処理施設におけるPBDD/Fs濃度とSS濃度の関係(2017年度調査)

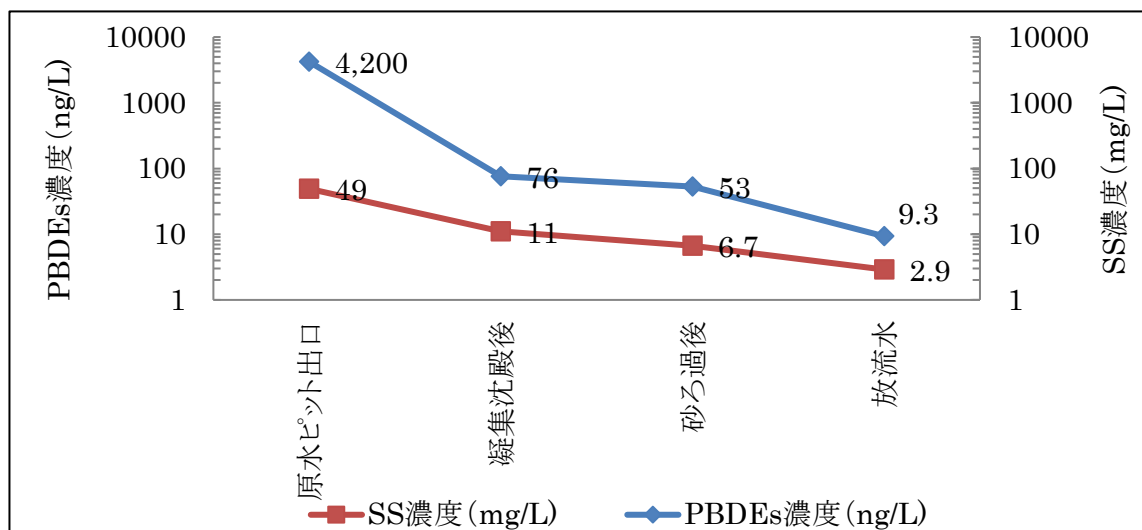


図6-12 排水処理施設におけるPBDEs濃度とSS濃度の関係(2017年度調査)

別 表 - 1

調査結果(個別結果)

①排水水

表-1 排水水中のPBDD/Fs分析結果(実測濃度) (pg/L)

物質名	B 施設			
	浸出液	工程処理水-1 (凝集沈殿出口)	工程処理水-2 (生物処理出口)	工程処理水-3 (砂ろ過出口)
2,3,7,8-TeBDD	ND	ND	ND	ND
TeBDDs	23	0.29	0.28	0.13
1,2,3,7,8-PeBDD	ND	ND	ND	ND
PeBDDs	12	ND	ND	ND
1,2,3,4,7,8-HxBDD	ND	ND	ND	ND
1,2,3,6,7,8-HxBDD	ND	ND	ND	ND
1,2,3,7,8,9-HxBDD	ND	ND	ND	ND
HxBDDs	18	ND	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.7	ND	ND	ND
HpBDDs	0.7	ND	ND	ND
OBDD	3.0	ND	ND	ND
Total PBDDs	56	0.29	0.28	0.13
2,3,7,8-TeBDF	0.60	0.03	ND	ND
TeBDFs	21	0.71	0.32	0.33
1,2,3,7,8-PeBDF	0.56	ND	ND	ND
2,3,4,7,8-PeBDF	ND	ND	ND	ND
PeBDFs	20	0.4	0.2	0.2
1,2,3,4,7,8-HxBDF	2.3	ND	ND	ND
HxBDFs	22	ND	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	12	ND	0.4	0.5
HpBDFs	12	ND	0.4	0.5
OBDF	13	ND	0.8	ND
Total PBDFs	89	1.1	1.7	1.0
Total (PBDDs+PBDFs)	150	1.4	2.0	1.1

表-2 排水水中のPBDD/Fs分析結果(毒性等量相当値) (pg-TEQ/L)

物質名	B 施設			
	浸出液	工程処理水-1 (凝集沈殿出口)	工程処理水-2 (生物処理出口)	工程処理水-3 (砂ろ過出口)
2,3,7,8-TeBDD	0.01	0.01	0.01	0.01
1,2,3,7,8-PeBDD	0.03	0.03	0.03	0.03
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.015	0.015	0.015	0.015
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.02	0.02	0.02	0.02
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.015	0.015	0.015	0.015
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.007	0.001	0.001	0.001
OBDD	0.00089	0.00009	0.00009	0.00009
2,3,7,8-TeBDF	0.060	0.003	0.001	0.001
1,2,3,7,8-PeBDF	0.017	0.0014	0.0014	0.0014
2,3,4,7,8-PeBDF	0.015	0.015	0.015	0.015
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.23	0.015	0.015	0.015
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.12	0.001	0.004	0.005
OBDF	0.0039	0.00009	0.00024	0.00009
Total TEQ (下限×1/2)	0.55	0.13	0.13	0.13
Total TEQ (ND=0)	0.45	0.003	0.004	0.005

* 毒性等量相当値は、WHO-TEF(2006)によるPCDD/FsのTEFに準じて算出した参考値である。

* 毒性等量相当値は、検出下限未満を検出下限の1/2として算出した値である。

表-3 排出水中のPBDD/Fs分析結果(実測濃度) (pg/L)

物質名	B 施設
	放流水
2,3,7,8-TeBDD	ND
TeBDDs	0.24
1,2,3,7,8-PeBDD	ND
PeBDDs	ND
1,2,3,4,7,8-HxBDD	ND
1,2,3,6,7,8-HxBDD	ND
1,2,3,7,8,9-HxBDD	ND
HxBDDs	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.15
HpBDDs	0.15
OBDD	0.2
Total PBDDs	0.6
2,3,7,8-TeBDF	ND
TeBDFs	0.56
1,2,3,7,8-PeBDF	ND
2,3,4,7,8-PeBDF	ND
PeBDFs	0.31
1,2,3,4,7,8-HxBDF	ND
HxBDFs	0.56
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.89
HpBDFs	0.89
OBDF	2.2
Total PBDFs	4.5
Total (PBDDs+PBDFs)	5.1

表-4 排出水中のPBDD/Fs分析結果(毒性等量相当値) (pg-TEQ/L)

物質名	B 施設
	放流水
2,3,7,8-TeBDD	0.002
1,2,3,7,8-PeBDD	0.005
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.003
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.0035
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.0025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.0015
OBDD	0.00006
2,3,7,8-TeBDF	0.0002
1,2,3,7,8-PeBDF	0.0003
2,3,4,7,8-PeBDF	0.003
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.0025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.0089
OBDF	0.00065
Total TEQ (下限×1/2)	0.033
Total TEQ (ND=0)	0.011

* 毒性等量相当値は、WHO-TEF(2006)によるPCDD/FsのTEFに準じて算出した参考値である。

* 毒性等量相当値は、検出下限未満を検出下限の1/2として算出した値である。

表-5 排出水中のPBDEs分析結果(実測濃度) (ng/L)

物質名	B 施設			
	浸出液	工程処理水-1 (凝集沈殿出口)	工程処理水-2 (生物処理出口)	工程処理水-3 (砂ろ過出口)
MoBDEs	ND	ND	ND	ND
4,4'-DiBDE(#15)	0.008	0.001	ND	ND
DiBDEs	0.041	0.009	ND	ND
2',3,4/2,4,4'/2,2',3'-TrBDE(#33/#28/#16)	0.015	ND	ND	ND
TrBDEs	0.050	ND	ND	ND
2,2',4,4'-TeBDE(#47)	0.15	0.007	ND	ND
TeBDEs	0.20	0.007	ND	ND
2,2',4,4',5'-PeBDE(#99)	0.14	0.006	ND	ND
2,2',4,4',6'-PeBDE(#100)	0.025	ND	ND	ND
PeBDEs	0.20	0.006	ND	ND
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	0.061	ND	ND	ND
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	0.050	ND	ND	ND
HxBDEs	0.16	ND	ND	ND
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE(#175/#183)	0.045	ND	ND	ND
HpBDEs	0.10	ND	ND	ND
OBDEs	0.41	ND	0.003	ND
NoBDEs	0.77	0.008	0.082	0.029
DeBDE	18	0.43	3.1	0.94
Total PBDEs	20	0.46	3.2	0.97

表-6 排出水中のHBCDs,TBBPA及びPBPhs分析結果(実測濃度) (ng/L)

物質名	B 施設			
	浸出液	工程処理水-1 (凝集沈殿出口)	工程処理水-2 (生物処理出口)	工程処理水-3 (砂ろ過出口)
α -HBCD	1.1	ND	ND	ND
β -HBCD	0.58	ND	ND	ND
γ -HBCD	0.79	ND	ND	ND
Total HBCDs	2.5	ND	ND	ND
TBBPA	0.61	ND	ND	ND
2-MoBPh	12	140	230	7.3
3/4-MoBPh	24	290	330	10
MoBPhs	36	430	560	17
2,6-DiBPh	1.9	2.6	9.8	0.4
2,5/3,5-DiBPh	ND	ND	ND	ND
2,4-DiBPh	6.1	100	140	4.7
3,4-DiBPh	ND	ND	ND	ND
2,3-DiBPh	ND	ND	ND	ND
DiBPhs	8.1	110	150	5.2
2,4,6-TrBPh	1.7	12	25	4
2,3,6-TrBPh	ND	ND	ND	ND
2,4,5-TrBPh	ND	ND	ND	ND
2,3,5-TrBPh	ND	ND	ND	ND
3,4,5-TrBPh	ND	ND	ND	ND
2,3,4-TrBPh	ND	ND	ND	ND
TrBPhs	1.7	12	25	4.3
2,3,4,5-TeBPh	ND	ND	ND	ND
2,3,4,6-TeBPh	ND	ND	ND	ND
2,3,5,6-TeBPh	ND	ND	ND	ND
TeBPhs	ND	ND	ND	ND
2,3,4,5,6-PeBPh	ND	ND	ND	ND
Total PBPhs	46	550	730	27

表-7 排出水中のPBDEs分析結果(実測濃度) (ng/L)

物質名	B 施設
	放流水
MoBDEs	ND
4,4'-DiBDE(#15)	ND
DiBDEs	ND
2',3,4/2,4,4'/2,2',3-TrBDE(#33/#28/#16)	ND
TrBDEs	ND
2,2',4,4'-TeBDE(#47)	0.0006
TeBDEs	0.0006
2,2',4,4',5-PeBDE(#99)	ND
2,2',4,4',6-PeBDE(#100)	ND
PeBDEs	ND
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	0.0012
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	ND
HxBDEs	0.0012
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6-HpBDE(#175/#183)	0.009
HpBDEs	0.009
OBDEs	0.015
NoBDEs	0.072
DeBDE	1.6
Total PBDEs	1.7

表-8 排出水中のHBCDs,TBBPA及びPBPhs分析結果(実測濃度) (ng/L)

物質名	B 施設
	放流水
α-HBCD	ND
β-HBCD	ND
γ-HBCD	ND
Total HBCDs	ND
TBBPA	0.14
2-MoBPh	4.7
3/4-MoBPh	4.4
MoBPhs	9.1
2,6-DiBPh	3.4
2,5/3,5-DiBPh	ND
2,4-DiBPh	7.2
3,4-DiBPh	ND
2,3-DiBPh	ND
DiBPhs	11
2,4,6-TrBPh	6.4
2,3,6-TrBPh	ND
2,4,5-TrBPh	ND
2,3,5-TrBPh	ND
3,4,5-TrBPh	ND
2,3,4-TrBPh	ND
TrBPhs	6.4
2,3,4,5-TeBPh	ND
2,3,4,6-TeBPh	ND
2,3,5,6-TeBPh	ND
TeBPhs	ND
2,3,4,5,6-PeBPh	ND
Total PBPhs	26

②汚泥

表-9 汚泥中のPBDD/Fs分析結果(実測濃度) (ng/g-dry)

物質名	B 施設
	脱水汚泥
2,3,7,8-TeBDD	ND
TeBDDs	0.052
1,2,3,7,8-PeBDD	ND
PeBDDs	0.024
1,2,3,4,7,8-HxBDD	ND
1,2,3,6,7,8-HxBDD	ND
1,2,3,7,8,9-HxBDD	ND
HxBDDs	0.029
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.002
HpBDDs	0.002
OBDD	0.003
Total PBDDs	0.11
2,3,7,8-TeBDF	0.0014
TeBDFs	0.043
1,2,3,7,8-PeBDF	0.0012
2,3,4,7,8-PeBDF	0.0007
PeBDFs	0.048
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.003
HxBDFs	0.030
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.023
HpBDFs	0.023
OBDF	0.013
Total PBDFs	0.16
Total (PBDDs+PBDFs)	0.27

表-10 汚泥中のPBDD/Fs分析結果(毒性等量相当値) (ng-TEQ/g-dry)

物質名	B 施設
	脱水汚泥
2,3,7,8-TeBDD	0.00005
1,2,3,7,8-PeBDD	0.00015
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.00005
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.0001
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.00005
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.00002
OBDD	0.0000010
2,3,7,8-TeBDF	0.00014
1,2,3,7,8-PeBDF	0.000036
2,3,4,7,8-PeBDF	0.00020
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.0003
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.00023
OBDF	0.0000040
Total TEQ (下限×1/2)	0.0013
Total TEQ (ND=0)	0.00093

* 毒性等量相当値は、WHO-TEF(2006)によるPCDD/FsのTEFに準じて算出した参考値である。

* 毒性等量相当値は、検出下限未満を検出下限の1/2として算出した値である。

表-11 汚泥中のPBDEs分析結果(実測濃度) (ng/g-dry)

物質名	B 施設
	脱水汚泥
MoBDEs	ND
4,4'-DiBDE(#15)	0.011
DiBDEs	0.049
2',3,4/2,4,4'/2,2',3-TrBDE(#33/#28/#16)	0.022
TrBDEs	0.046
2,2',4,4'-TeBDE(#47)	0.23
TeBDEs	0.30
2,2',4,4',5-PeBDE(#99)	0.20
2,2',4,4',6-PeBDE(#100)	0.044
PeBDEs	0.28
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	0.089
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	0.079
HxBDEs	0.23
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6-HpBDE(#175/#183)	0.07
HpBDEs	0.17
OBDEs	0.6
NoBDEs	1.2
DeBDE	23
Total PBDEs	26

表-12 汚泥中のHBCDs,TBBPA及びPBPhs分析結果(実測濃度) (ng/g-dry)

物質名	B 施設
	脱水汚泥
α-HBCD	2.3
β-HBCD	1.2
γ-HBCD	1.5
Total HBCDs	5.0
TBBPA	2.9
2-MoBPh	0.4
3/4-MoBPh	2.7
MoBPhs	3.1
2,6-DiBPh	ND
2,5/3,5-DiBPh	ND
2,4-DiBPh	1.5
3,4-DiBPh	ND
2,3-DiBPh	ND
DiBPhs	1.5
2,4,6-TrBPh	2.3
2,3,6-TrBPh	ND
2,4,5-TrBPh	ND
2,3,5-TrBPh	ND
3,4,5-TrBPh	ND
2,3,4-TrBPh	ND
TrBPhs	2.3
2,3,4,5-TeBPh	ND
2,3,4,6-TeBPh	ND
2,3,5,6-TeBPh	ND
TeBPhs	ND
2,3,4,5,6-PeBPh	ND
Total PBPhs	6.9

別 図 - 1

調査施設概要

(排水処理フロー、試料採取箇所)

調査施設概要 (A施設) : 産業廃棄物管理型最終処分場

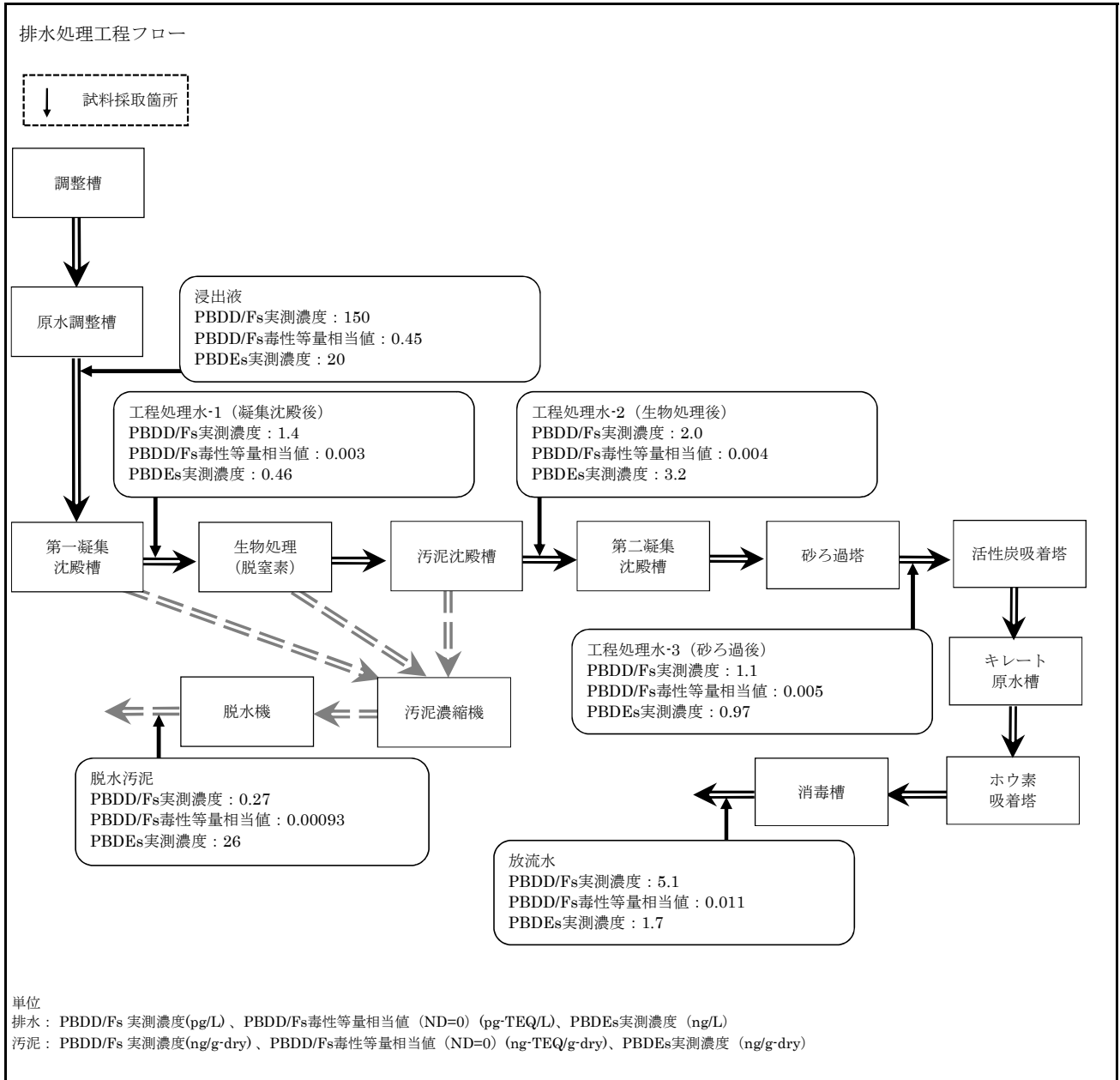


図-1 排水処理工程フロー

別 図 - 1

媒体別同族体組成

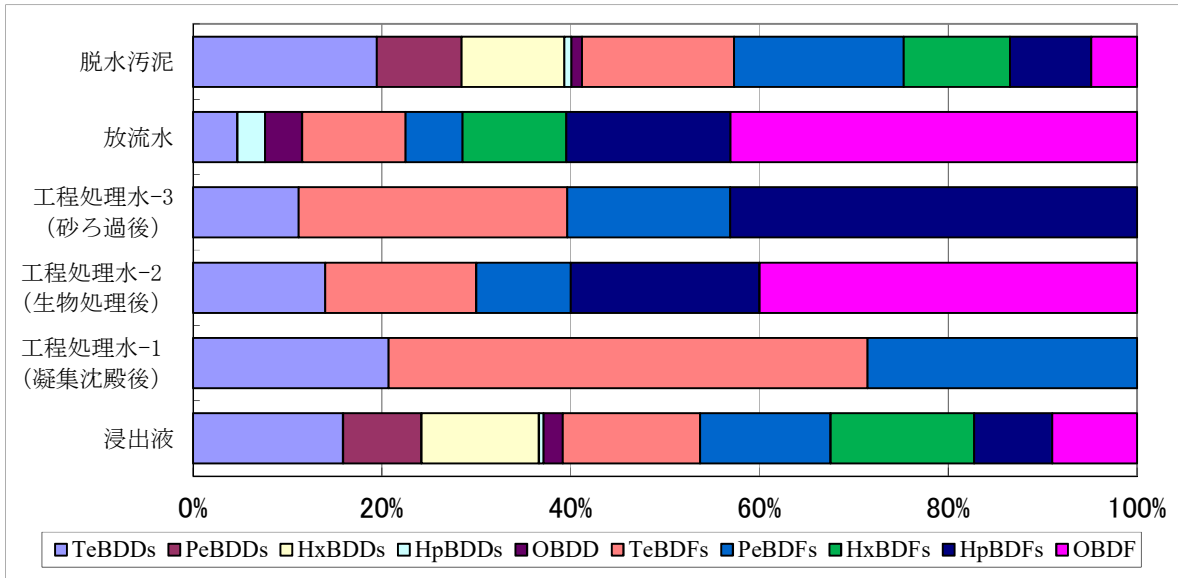


図-1 排水水及び汚泥中のPBDD/Fs同族体組成 (%)

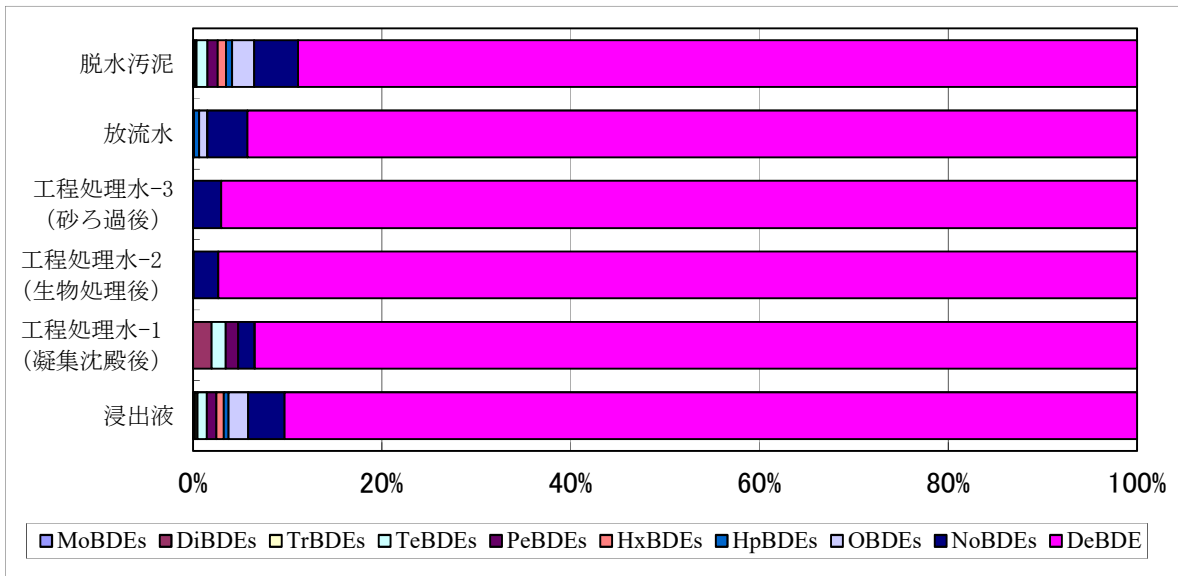


図-2 排水水及び汚泥中のPBDEs同族体組成 (%)

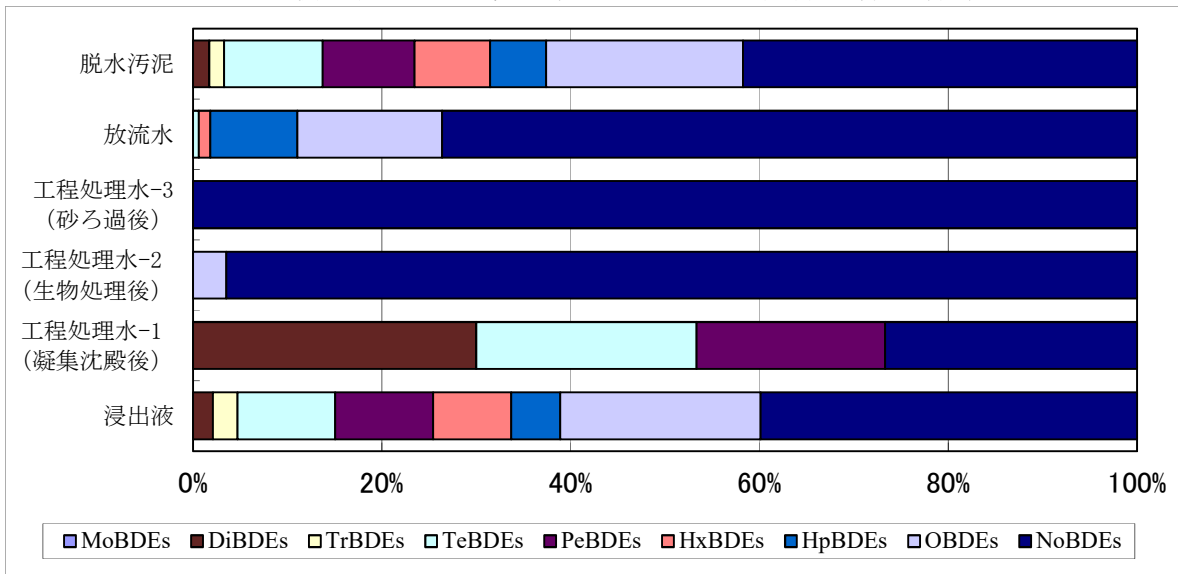


図-3 排水水及び汚泥中のPBDEs同族体組成 (DeBDE除く) (%)

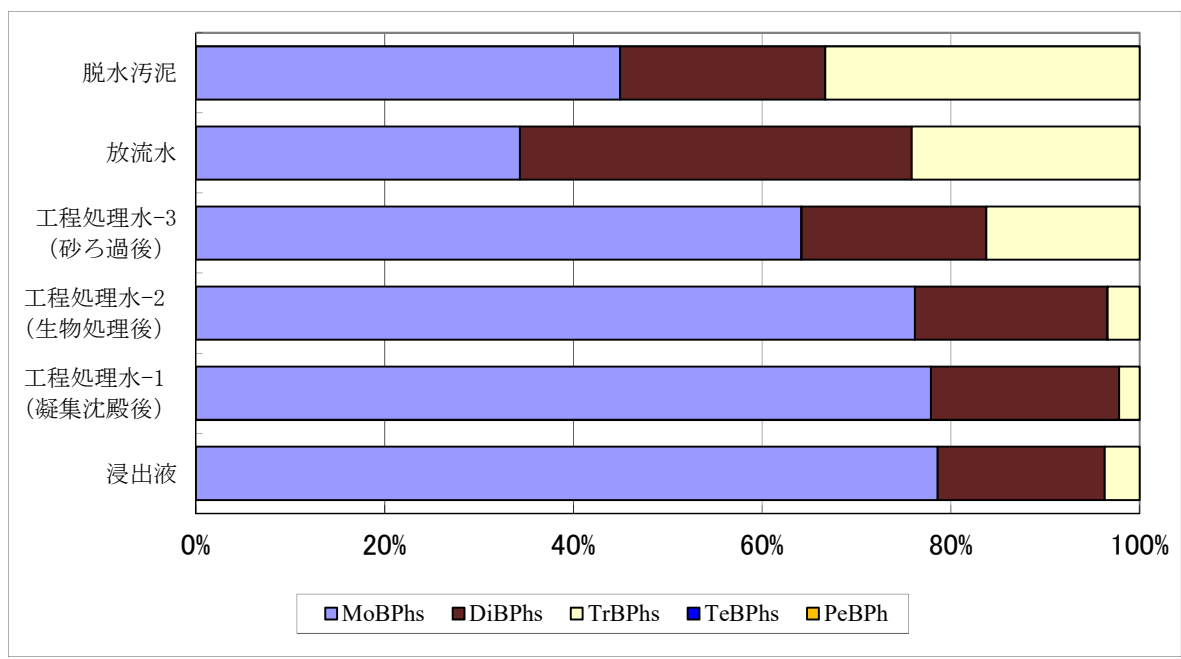


図-4 排水水及び汚泥中のPBPhs同族体組成 (%)

別 図 - 2

媒体別異性体組成

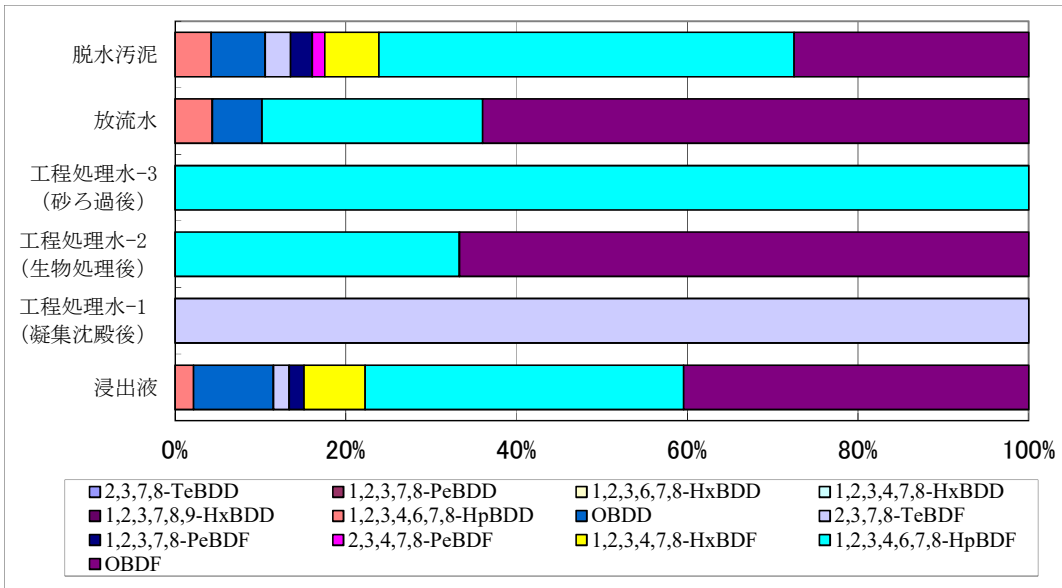


図-1 排水及び汚泥中のPBDD/Fs異性体組成 (%)

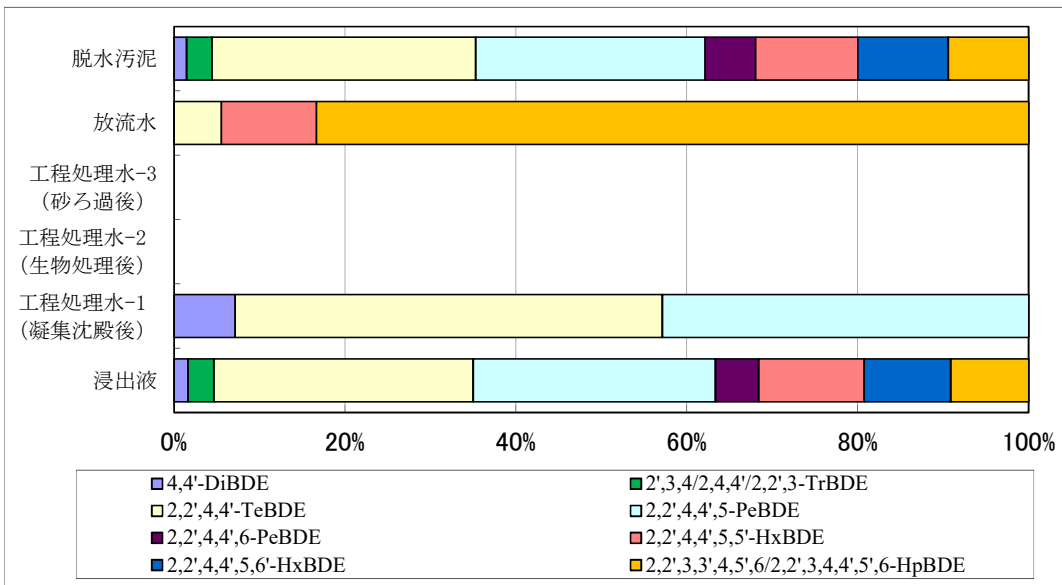


図-2 排水及び汚泥中のPBDEs異性体組成 (DeBDE除く) (%)

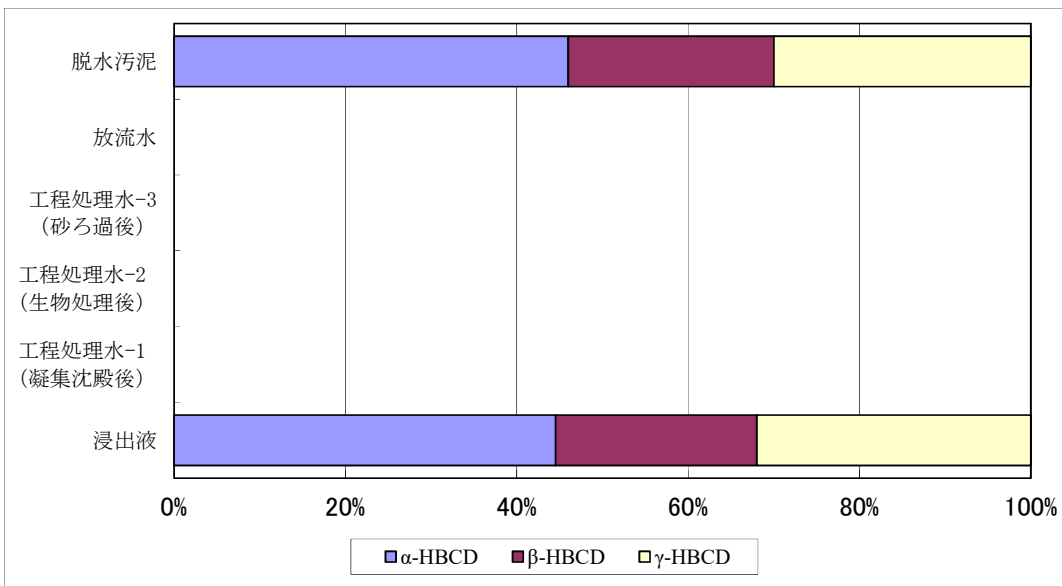


図-3 排水及び汚泥中のHBCDs異性体組成 (%)

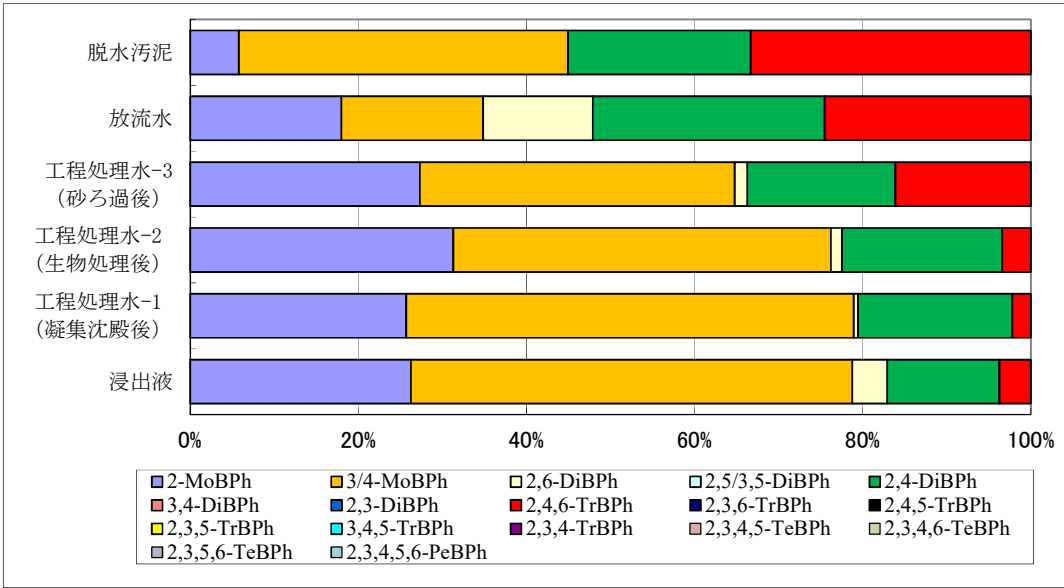


図-4 排出水及び汚泥中のPBPhs異性体組成 (%)

参考資料

国内の主な難燃剤需要量推移（推定）

表1 国内の主な臭素系難燃剤の需要推移(推定) (単位:t/年)

化合物	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
テトラブロモビスフェノールA(TBBPA)	12,000	14,000	18,000	20,000	23,000	24,500	23,000	22,000	24,000	30,000	29,000	31,000	29,500	31,000	32,300	27,300	31,000	32,000	35,000	30,000	29,000	25,000	22,500	17,000	18,000	16,200	15,000	14,000	14,000	14,000	11,000	12,000	
デカブロモジフェニルエーテル(DeBDE)	3,000	4,000	5,000	6,000	10,000	9,800	6,300	5,800	5,500	4,900	4,200	4,450	4,000	3,800	2,800	2,500	2,200	2,200	2,000	1,800	1,700	1,700	1,600	1,300	1,100	990	990	900	800	700	500	100	
オクタブロモジフェニルエーテル(OBDE)	500	1,000	1,100	1,100	1,100	1,500	1,100	900	500	300	280	250	75	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
テトラブロモジフェニルエーテル(TeBDE)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ヘキサブロモシクロデカン(HBCD)	600	600	700	700	700	1,000	1,400	1,600	1,600	1,800	2,000	2,000	1,850	1,950	2,000	2,200	2,400	2,400	2,600	2,600	2,600	3,000	3,000	2,300	2,800	2,800	2,600	1,500	0	0	0	0	
エチレンビス(テトラブロモフタルイミド)	—	400	600	600	1,000	1,200	1,300	1,300	2,500	2,500	2,500	2,500	2,000	2,000	2,000	1,750	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,300	1,000	1,000	1,000	900	900	900	900	900	900	
トリブロモフェノール	100	250	450	450	450	1,500	2,000	2,700	3,500	4,000	4,100	4,300	4,300	4,300	4,300	3,600	3,800	4,150	4,150	4,150	4,000	3,500	3,150	2,600	2,700	2,400	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,400	
ビス(トリブロモフェノキシエタン)	400	400	400	400	400	1,000	1,000	900	900	750	500	400	100	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
TBBPAポリカーボネートオリゴマー	—	—	—	—	—	2,500	2,500	2,500	2,500	2,750	3,000	3,000	3,000	2,800	2,900	1,800	2,500	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	2,500	2,500	2,500	2,500	2,000	2,200
プロモポリスチレン	—	—	—	—	—	1,300	1,300	1,300	1,300	1,500	1,600	2,000	2,000	3,500	3,300	2,500	2,800	3,000	5,100	6,000	7,500	7,500	7,000	5,000	7,000	7,000	6,000	6,000	6,500	4,000	4,000	4,400	
TBBPAエポキシオリゴマー	—	—	—	1,000	3,000	4,700	6,000	6,500	7,000	7,450	9,000	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	9,000	12,000	12,000	12,000	10,000	9,000	6,000	7,000	6,200	5,400	5,000	5,000	5,000	4,000	4,200	
ビス(ペンタブロモフェニル)エタン	—	—	—	—	—	—	—	1,000	1,600	2,600	3,000	4,600	4,600	5,000	5,000	4,500	5,000	5,000	5,000	5,000	6,000	6,000	5,500	6,000	7,000	6,700	5,500	5,900	6,000	6,000	6,500	7,000	
TBBPA-ビス(ジプロモプロピルエーテル)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	700	1,750	1,750	2,000	1,000	1,350	1,200	1,000	900	800	800	700	490	490	490	1,000	1,500	1,500	1,500	1,200	1,300	
ポリジブロモフェニルエーテル	100	170	200	—	—	—	—	—	—	—	200	200	400	400	800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ヘキサブロモベンゼン	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
ペンタブロモベンジルポリアクリレート	—	160	160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
臭素化芳香族トリアジン	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
臭素化ブタジエン-スチレン共重合	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
その他	2,300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
合計	20,000	21,980	27,610	31,250	40,650	49,000	45,900	46,500	51,450	59,100	59,930	64,450	62,825	65,275	67,250	57,550	63,300	65,700	73,900	69,500	71,650	65,750	60,500	48,520	53,690	49,830	44,320	42,830	41,850	41,250	36,250	38,450	

(注) TBBPAは他のTBBPA系難燃剤(TBBPAポリカーボネートオリゴマー、TBBPAエポキシオリゴマー、TBBPA-ビス(ジプロモプロピルエーテル))の原料としても使用されるため、TBBPAの需要量には、TBBPA系難燃剤の原料分が含まれ、合計の需要量はその分ダブルカウントされている。

出典:化学工業日報社調査資料より作成

表2 国内の主な塩素系・リン系・無機系難燃剤の需要推移(推定) (単位:t/年)

化合物	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
塩素系	塩素化パラフィン	4,000	4,000	4,500	4,500	4,500	4,500	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,300	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,500	3,500	
	パークロシクロペンタデカン	300	400	400	400	400	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
	テトラクロロ酸無水フタル酸	150	150	150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	クロレンド酸	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	390	300	300	300	300	300	300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	合計	4,750	4,850	5,350	5,200	5,200	5,400	5,400	5,200	5,200	5,200	5,260	5,200	5,290	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,100	4,100
リン系	リン酸エステル系	4,000	4,000	4,200	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,000	4,400	4,600	22,000	22,000	22,000	20,000	20,000	20,000	24,000	24,000	24,000	25,000	20,000	19,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	19,000	19,000	
	含ハロゲンリン酸エステル系	2,900	2,900	3,000	3,000	3,000	3,100	3,100	3,100	3,100	3,300	3,100	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	
	ポリリン酸塩系(アンモニウム)(APP)	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	3,000	3,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,500	1,500	1,000	1,000	1,000	
	APP以外のイントメッセント系	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	200	200
	赤リン系	225	225	250	250	250	310	310	310	310	310	400	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
	ホスファフェナントレン系	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,500	1,500	3,000	3,000	4,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
	ホスファゼン系	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
合計	8,625	8,625	8,950	9,150	9,150	9,310	9,310	9,310	10,810	10,410	9,100	9,200	28,000	28,500	28,500	26,500	26,500	26,500	30,500	30,500	30,500	33,500	28,500	27,500	28,500	29,500	29,000	29,000	28,500	28,000	27,700	
無機系	三酸化アンチモン	8,300	13,000	15,000	15,000	16,000	18,500	18,500	17,000	17,000	18,000	19,100	17,000	16,000	16,000	14,000	14,000	14,000	17,000	15,000	15,000	14,700	11,000	7,900	9,500	9,540	8,830	8,380	9,137	8,400	8,500	9,400
	水酸化アルミニウム	48,000	30,000	33,000	35,000	37,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	—	10,000
	ホウ酸亜鉛	400	400	400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	窒素化ガアニジン	4,000	4,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	—
	五酸化アンチモン	数100	数100	数100	300	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	700	700	1,000	700	700	700	700	700	—
	水酸化マグネシウム	2,000	2,000	2,200	2,400	2,400	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	5,000	7,000	8,000	14,000	14,000	14,000	14,000	12,500	10,000	10,000	10,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000
	ジルコニウム系	200	200	140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
合計	62,900	49,600	55,740	57,700	61,400	69,500	69,500	68,000	68,000	68,000	70,000	71,100	69,000	68,000	68,000	67,000	69,000	70,000	79,000	77,000	77,000	76,700	71,500	65,600	67,200	67,540	67,530	67,080	67,837	67,100	25,200	30,400

(注)塩素化パラフィンは、可塑剤用も含む数量
(注)リン酸エステル系は、可塑剤向け含まず
(注)ポリリン酸アンモニウムは、非難燃剤を含む。

出典:化学工業日報社調査資料より作成