

令和 3 年度
臭素系ダイオキシン類排出実態等調査
結果報告書

令和 4 年 3 月
環境省 水・大気環境局 総務課

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.....	4
4. 分析方法.....	6
4.1 分析方法.....	6
4.2 試料採取概要.....	6
4.3 分析フロー.....	6
4.4 測定条件.....	12
4.5 検出下限値.....	19
5. 調査結果（総括表）.....	23
6. まとめ及び考察.....	32
6.1 難燃繊維加工施設（A 施設）.....	32
6.2 旧難燃剤取扱施設（B 施設）.....	44
7. 臭素系ダイオキシン類暫定排出インベントリー.....	50
別表-1 調査結果（個別結果）.....	53
別図-1 調査施設概要 （製造工程フロー、排ガス・排水処理フロー・試料採取箇所）.....	66
別図-2 媒体別同族体組成.....	69
別図-3 媒体別異性体組成.....	72
参考資料 国内の難燃剤需要推移（推定）.....	75

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	: ホリブプロモジベンゾ-パラ-ジオキシン/ジベンゾフラン
PBDDs	: ホリブプロモジベンゾ-パラ-ジオキシン
PBDFs	: ホリブプロモジベンゾフラン
TeBDDs	: テトラブプロモジベンゾ-パラ-ジオキシン
PeBDDs	: ペンタブプロモジベンゾ-パラ-ジオキシン
HxBDDs	: ヘキサブプロモジベンゾ-パラ-ジオキシン
HpBDDs	: ヘプタブプロモジベンゾ-パラ-ジオキシン
OBDD	: オクタブプロモジベンゾ-パラ-ジオキシン
TeBDFs	: テトラブプロモジベンゾフラン
PeBDFs	: ペンタブプロモジベンゾフラン
HxBDFs	: ヘキサブプロモジベンゾフラン
HpBDFs	: ヘプタブプロモジベンゾフラン
OBDF	: オクタブプロモジベンゾフラン
PCDD/Fs	: ホリクロロジベンゾ-パラ-ジオキシン/ジベンゾフラン
Co-PCB	: コプラナーホリクロロビフェニル
PBDEs	: ホリブプロモジフェニルエーテル
MoBDEs	: モノブプロモジフェニルエーテル
DiBDEs	: ジブプロモジフェニルエーテル
TrBDEs	: トリブプロモジフェニルエーテル
TeBDEs	: テトラブプロモジフェニルエーテル
PeBDEs	: ペンタブプロモジフェニルエーテル
HxBDEs	: ヘキサブプロモジフェニルエーテル
HpBDEs	: ヘプタブプロモジフェニルエーテル
OBDEs	: オクタブプロモジフェニルエーテル
NoBDEs	: ノナブプロモジフェニルエーテル
DeBDE	: デカブプロモジフェニルエーテル
TBBPA	: テトラブプロモビスフェノール A
PBPhs	: ホリブプロモフェノール
MoBPhs	: モノブプロモフェノール
DiBPhs	: ジブプロモフェノール
TrBPhs	: トリブプロモフェノール
TeBPhs	: テトラブプロモフェノール
PePh	: ペンタブプロモフェノール
HBCDs	: ヘキサブプロモシクロデカン
DBDPE	: デカブプロモジフェニルエタン
HxBBz	: ヘキサブプロモベンゼン
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が多い施設として、過去DeBDEを使用していた施設のうち、大気系への排出では旧難燃剤取扱施設、水系への排出では難燃剤製造・取扱施設及び難燃繊維加工施設があげられる。

今年度は、化審法によるDeBDE規制効果の確認をするために、過去DeBDEを使用・取扱い、水系への臭素系ダイオキシン類の排出濃度が高かった難燃繊維加工施設及び旧難燃剤取扱施設をそれぞれ1施設ずつの排出実態調査を実施した。

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

表 2-1 対象施設概要

	難燃繊維加工施設 (A 施設)	旧難燃剤取扱施設 (B 施設)
難燃加工製品	自動車用内装材	過去 DeBDE 及び HxBBz (ヘキサブロモベンゼン) を製造
DeBDE 使用終了時期	2017 年 8 月	2016 年 7 月
使用難燃剤	・リン系難燃剤 ・デカブロモジフェニルエタン (DBDPE)	現在、臭素系難燃剤製造はないが、数種類の臭素化合物を製造
排水処理フロー	活性汚泥法 原水槽→調整槽→pH 調整→曝気槽→沈殿槽→放流水	生物膜→凝集沈殿法 ・ 原水槽→中和槽→曝気槽→散水濾床塔(生物膜)→回転円盤接触(生物膜)→中和槽→凝集沈殿槽→汚泥沈殿槽→BOD 処理水 ・ 地下水→沈砂槽→沈砂処理水→廃地下水 ・ BOD 処理水、工業用水・雨水及び廃地下水を混合→放流水
過年度調査	・ 平成 15 年度(2003 年度)及び平成 17 年度～平成 19 年度(2005 年度～2007 年度)の B-2 施設、 ・ 平成 25 年度(2013 年度)A 施設	平成 18 年度(2006 年度)A-2 施設

2.2 調査媒体

(1) 難燃繊維加工施設(A 施設)

- ・ 総合排水(処理前、処理後)、脱水汚泥、返送汚泥

(2) 旧難燃剤取扱施設(B 施設)

- ・ 工程水(処理前、BOD 処理水、廃地下水)、総合排水(処理後)、脱水汚泥、難燃剤*

※ 現在、製造していないが、過去製造していたため調査対象とした。

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

(6) デカブロモジフェニルエタン (DBDPE) ※A 施設のみ測定

(7) ヘキサブロモベンゼン (HxBBz) ※B 施設のみ測定

(8) 塩素化ダイオキシン類 (PCDD/Fs, Co-PCB)

a. PCDD/Fs の 2,3,7,8-位塩素置換異性体

2,3,7,8-TeCDD、1,2,3,7,8-PeCDD、1,2,3,4,7,8-HxCDD、
1,2,3,6,7,8-HxCDD、1,2,3,7,8,9-HxCDD、1,2,3,4,6,7,8-HpCDD、OCDD、
2,3,7,8-TeCDF、1,2,3,7,8-PeCDF、2,3,4,7,8-PeCDF、1,2,3,4,7,8-HxCDF、
1,2,3,6,7,8-HxCDF、1,2,3,7,8,9-HxCDF、2,3,4,6,7,8-HxCDF、
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF、1,2,3,4,7,8,9-HpCDF、OCDF

b. PCDD/Fs の同族体

TeCDDs、PeCDDs、HxCDDs、HpCDDs、OCDD、
TeCDFs、PeCDFs、HxCDFs、HpCDFs、OCDF

c. Co-PCB

3,4,4',5'-TeCB (#81)、3,3',4,4'-TeCB (#77)、3,3',4,4',5'-PeCB (#126)、
3,3',4,4',5,5'-HxCB (#169)、
2',3,4,4',5'-PeCB (#123)、2,3',4,4',5'-PeCB (#118)、2,3,3',4,4'-PeCB (#105)、
2,3,4,4',5'-PeCB (#114)、2,3',4,4',5,5'-HxCB (#167)、
2,3,3',4,4',5'-HxCB (#156)、2,3,3',4,4',5'-HxCB (#157)、
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (#189)

3. 試料概要

3.1 採取試料一覧

(1) 難燃繊維加工施設 (A 施設)

表 3-1 採取試料一覧表

試料名	採取箇所	採取方法
総合排水 (処理前)	原水調整槽	原水調整槽から、約 1 時間毎に 3 回採取
返送汚泥	返送汚泥 計量槽	各沈殿槽の返送汚泥計量槽から、それぞれ 1 回採取
総合排水 (処理後)	放流口	処理前総合排水採取後、滞留時間の約 20 時間前後、 放流口から、約 1 時間毎に 3 回採取
脱水汚泥	脱水コンテナ	脱水汚泥コンテナから、約 1 時間毎に 2 回採取

※ 複数箇所から採取した試料及び複数回採取した試料はコンポジットして、1 試料とした。

(2) 旧難燃剤取扱施設 (B 施設)

表 3-2 採取試料一覧表

試料名	採取箇所	採取方法
総合排水 (処理前)	原水槽	原水槽から、約 30 分毎に 3 回採取
BOD 処理水	BOD 処理水配管出口	凝集沈殿処理した後の処理水を BOD 処理水配管出口から、約 30 分毎に 3 回採取
廃地下水	沈砂処理水槽	沈砂処理水槽から、約 30 分毎に約 3 回採取
総合排水 (処理後)	最終放流水槽	処理前総合排水採取後、滞留時間の約 18 時間前後、放流口から、約 30 分毎に 3 回採取
脱水汚泥	脱水コンテナ	脱水汚泥コンテナから、約 30 分毎に 2 回採取
難燃剤 (製品)	—	難燃剤 (ヘキサブロモベンゼン) を施設からご提供。 ※過去製造していたが、現在製造していない。

※ 複数箇所から採取した試料及び複数回採取した試料はコンポジットして、1 試料とした。

3.2 試料採取状況

(1) 難燃繊維加工施設 (A 施設)

表 3-3 排水試料の概況 (1)

試料名	採取回数	天候	pH	水温	電気伝導度	酸化還元電位	透視度
				(°C)	(mS/m)	(mV)	(cm)
総合排水 (処理前)	1 回目	曇り	8.34	30.6	35.8	71	2.0
	2 回目	曇り	7.18	32.0	30.1	65	2.2
	3 回目	曇り	7.02	31.9	25.7	53	2.0
総合排水 (処理後)	1 回目	曇り	6.98	28.0	75.6	37	5.0
	2 回目	曇り	6.92	28.5	72.3	20	4.8
	3 回目	曇り	6.88	28.4	68.0	19	5.4

表 3-4 排水試料の概況 (2)

試料名	臭化物イオン(mg/L)	SS(mg/L)	外観	臭気
総合排水 (処理前)	0.2	32	茶褐色	薬品臭
総合排水 (処理後)	0.3	35	淡黄色	薬品臭

表 3-5 返送汚泥試料の概況

試料名	汚泥容量指標(SVI)	活性汚泥沈殿率 (SV30)		活性汚泥沈殿率 (SV24)	
	(mL/g)	(%)		(%)	
返送汚泥	270	100	100	65	60

※ 汚泥容量指標 (SVI) とは、活性汚泥の沈降性を示す指標。

※ 活性汚泥沈殿率とは、活性汚泥の沈降性を示す指標。SV30 は 30 分後、SV24 は 24 時間後の汚泥沈殿率。

表 3-6 脱水汚泥試料の概況

試料名	含水率 (%)
脱水汚泥	82.9

(2) 旧難燃剤取扱施設 (B 施設)

表 3-7 排水試料の概況 (1)

試料名	採取回数	天候	pH	水温	電気伝導度	酸化還元電位	透視度
				(°C)	(mS/m)	(mV)	(cm)
総合排水 (処理前)	1 回目	晴れ	7.36	17.2	36.6	152	>30
	2 回目	晴れ	7.73	17.3	34.9	160	>30
	3 回目	晴れ	7.76	17.5	34.5	173	>30
BOD 処理水	1 回目	晴れ	7.50	17.6	79.8	172	>30
	2 回目	晴れ	7.43	17.9	90.2	140	>30
	3 回目	晴れ	7.60	18.0	117.4	121	>30
廃地下水	1 回目	晴れ	7.13	23.5	4,790	111	>30
	2 回目	晴れ	7.14	23.4	4,750	116	>30
	3 回目	晴れ	7.19	24.4	4,790	71	>30
総合排水 (処理後)	1 回目	晴れ	7.26	21.6	3,490	103	>30
	2 回目	晴れ	7.31	21.6	3,420	95	>30
	3 回目	晴れ	7.31	21.4	3,380	97	>30

表 3-8 排水試料の概況 (2)

試料名	臭化物イオン (mg/L)	SS (mg/L)	外観	臭気
総合排水 (処理前)	0.7	17	黄褐色	弱薬品臭
BOD 処理水	18	1.2	透明	無臭
廃地下水	150	14	淡黄色	無臭
総合排水 (処理後)	97	10	淡黄色	無臭

表 3-9 脱水汚泥試料の概況

試料名	含水率 (%)
脱水汚泥	87.0

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、DBDPE、HxBBz

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。

(3) PCDD/Fs 及び Co-PCB

排水試料は JIS K 0312 (2020)、汚泥等は厚生省告示 192 号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 4-6 により測定を行った。

4.2 試料採取概要

(1) 排水（工程水、総合排水）

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) 脱水汚泥及び返送汚泥

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。

返送汚泥は、採取場所において、ステンレス製バケツ類により返送汚泥を採取し、褐色ガラス瓶の 10%の空間が残る程度まで採取場所の返送汚泥を採取した。

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 4-6 に示す。

(1) 排水水（工程水、総合排水）及び返送汚泥

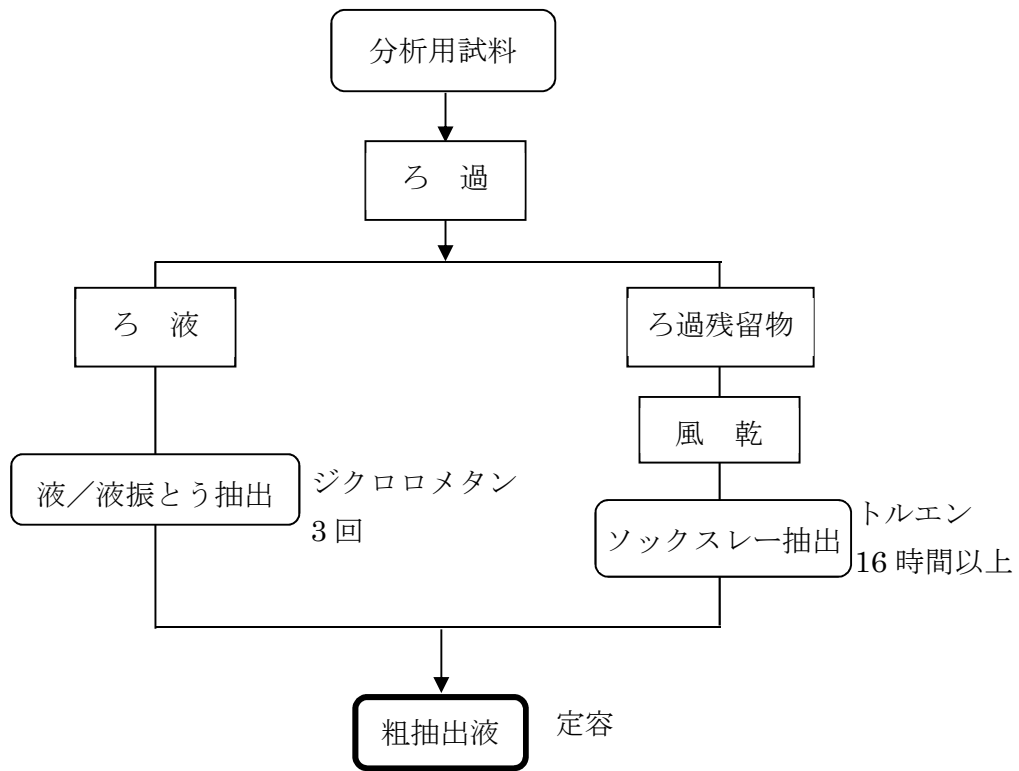


図 4-1 工程水等抽出分析フロー

(2) 脱水汚泥

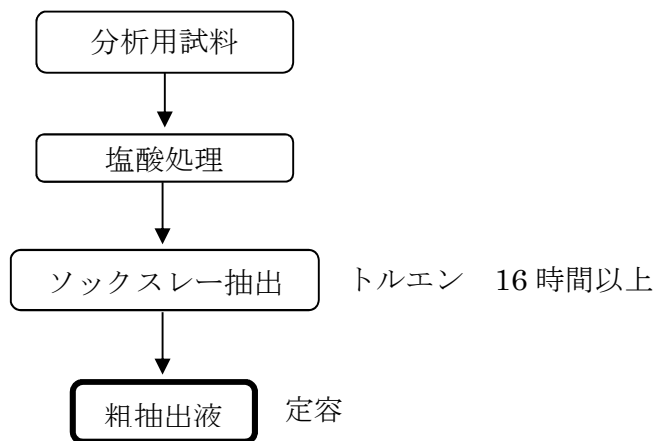


図 4-2 汚泥抽出分析フロー

(3) 難燃剤

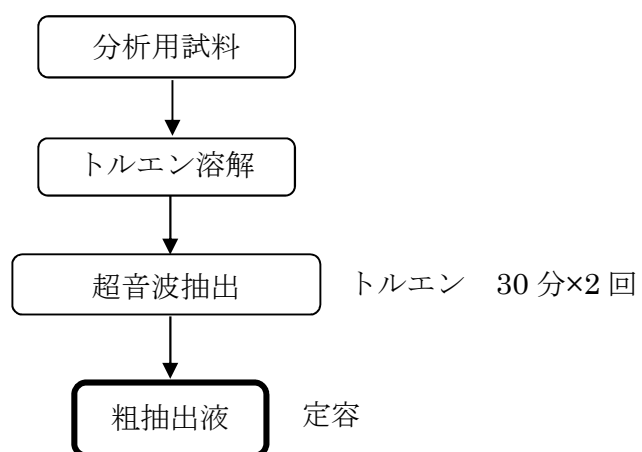


図 4-3 難燃剤抽出分析フロー

(4) 各媒体共通分析フロー

① PBDD/Fs

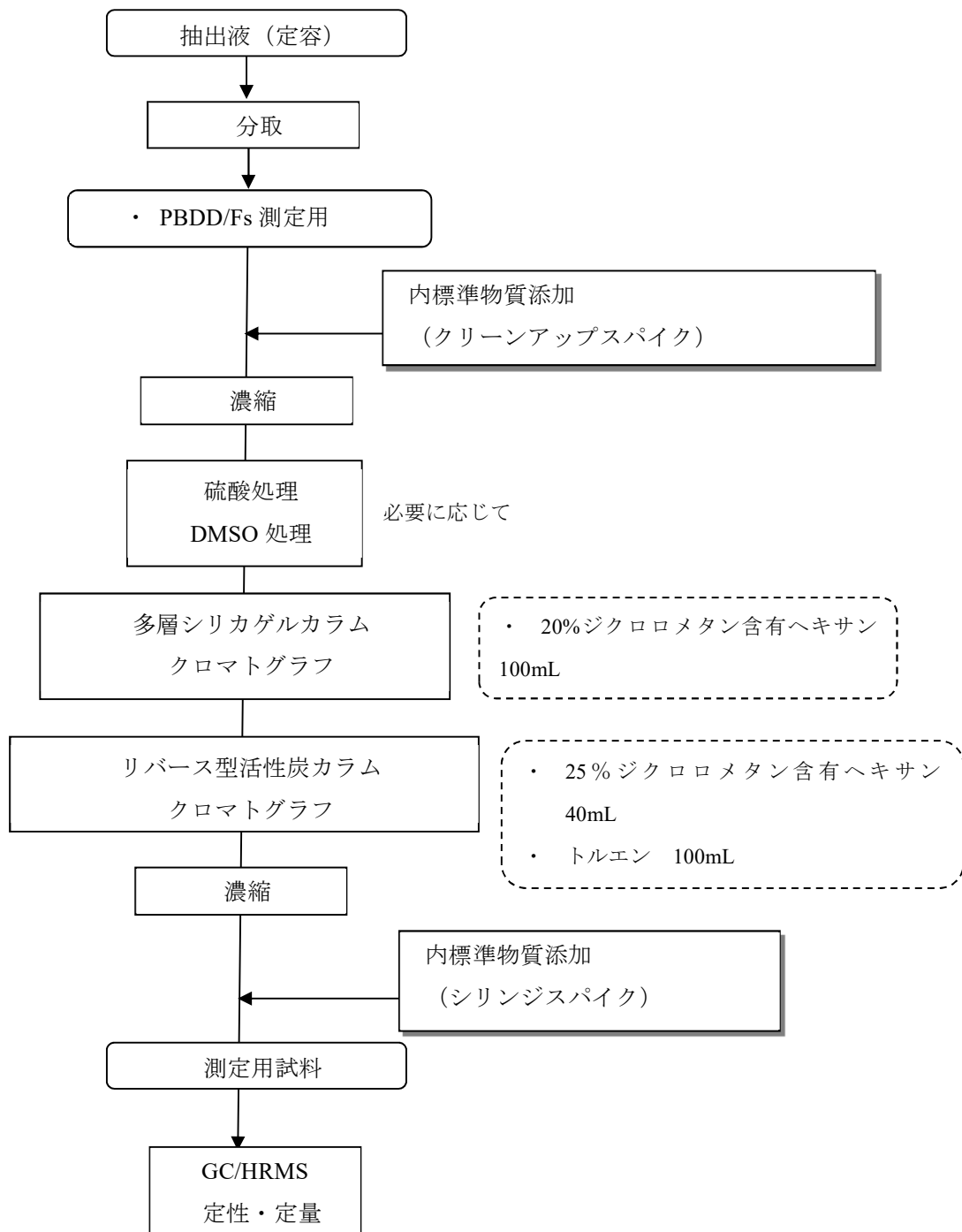


図 4-4 各媒体共通分析フロー(1)

② PBDEs、TBBPA、PBPhs、HBCDs、DBDPE、HxBBz

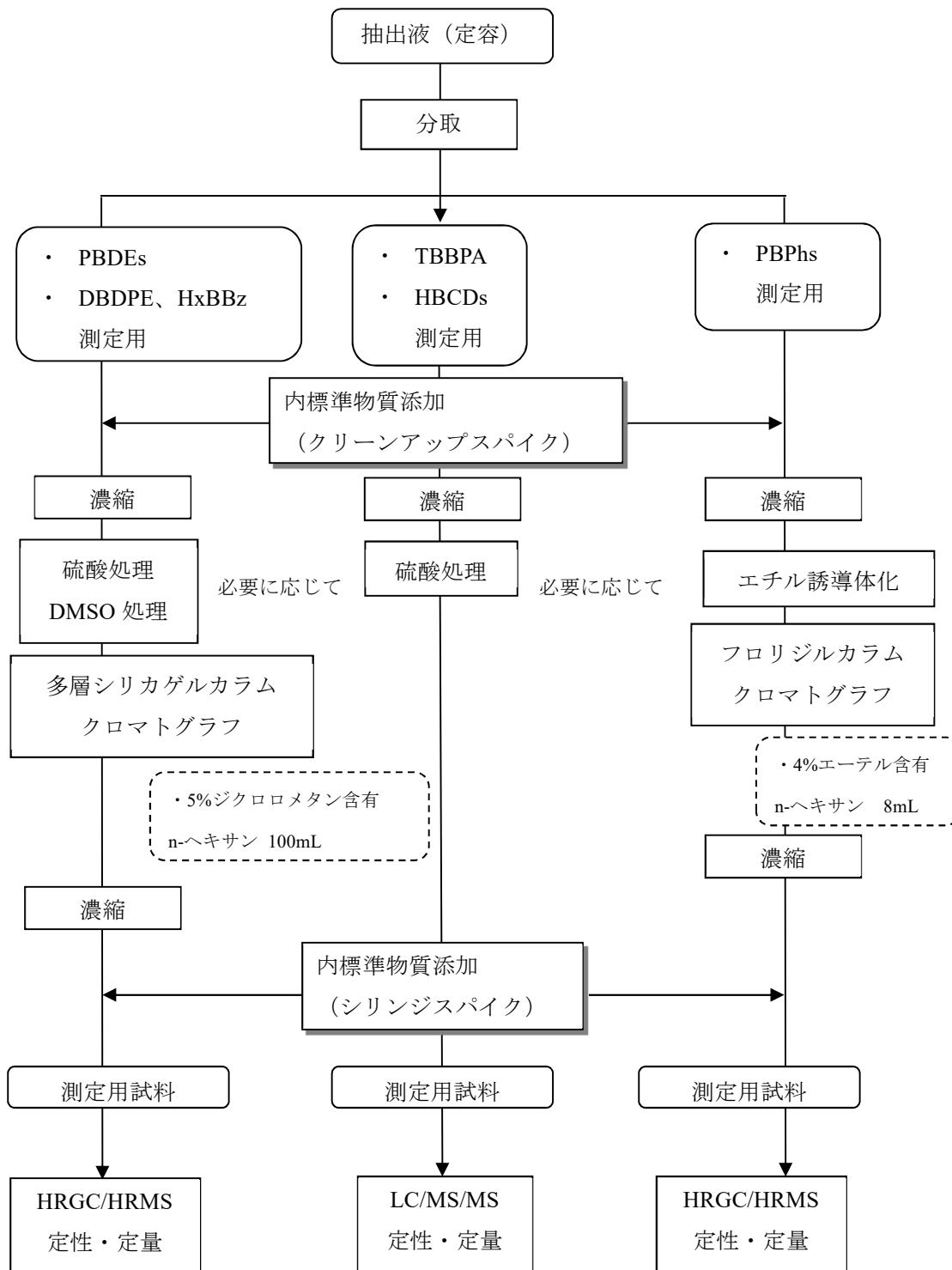


図 4-5 各媒体共通分析フロー (2)

③ PCDD/Fs、Co-PCB

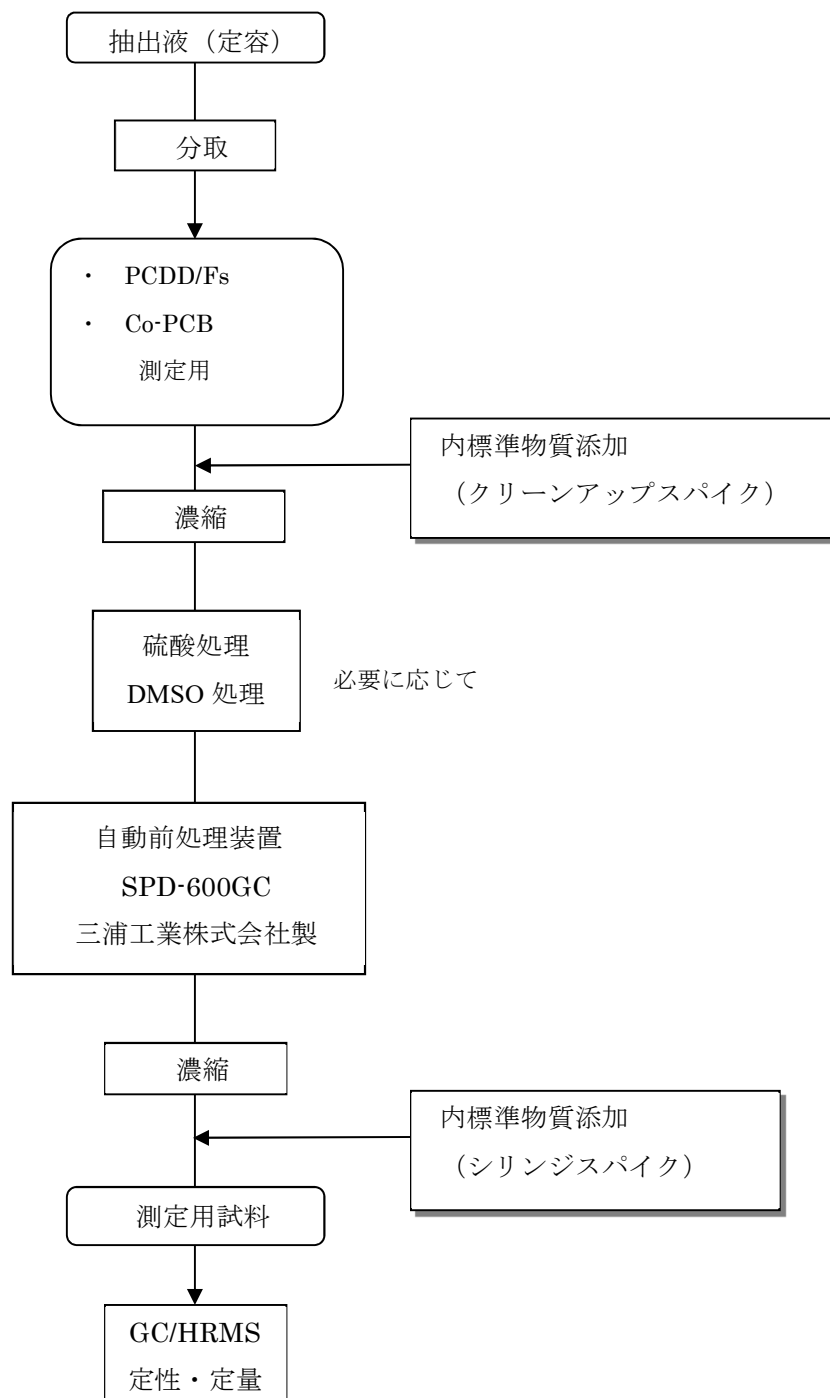


図 4-6 各媒体共通分析フロー (3)

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、DBDPE 及び HxBBz

a. 分析装置

GC: HP-7890 (Agilent 社製)

MS: JMS-800D UltraFOCUS (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°C (2min hold) →10°C/min→190°C→5°C/min→
280°C (13min hold) →15°C/min→310°C (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：150℃（1.5min hold）→15℃/min→260℃→10℃/min→310℃（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℃
イオン源温度	280℃
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℃
イオン源温度	280℃
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
DBDPE		*[(M+4)-C ₇ H ₂ Br ₅] ⁺ 484.6032		*[(M+6)-C ₇ H ₂ Br ₅] ⁺ 486.6012		
HxBBz			549.5059	551.5039		

*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
¹³ C ₁₄ -DBDPE	*[(M+4)-C ₇ H ₂ Br ₅] ⁺ 491.6267			*[(M+6)-C ₇ H ₂ Br ₅] ⁺ 493.6246		
¹³ C ₆ -HxBBz				557.5240	559.5220	

*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
カーテングス (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
<i>d</i> 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: AutoSpec-Ultima NT (Waters 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℃ (1min hold) →15℃/min→220℃→25℃/min
→320℃ (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℃
イオン源温度	250℃
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

(5) PCDD/Fs 及び Co-PCB

a. 分析装置

GC: HP-7890 (Agilent 社製)

MS: AutoSpec-Premier (Waters 社製)

b. GC 部条件

① BPX-DXN 測定

- ・分離カラム : BPX-DXN (SGE 社製)

fused silica capillary column 60m×0.25mm (id) ,膜厚
不明

- ・カラム温度 : 130°C (1min hold) →15°C/min→210°C→3°C/min
→310°C→5°C/min→320°C (8min hold)

- ・注入方法 : スプリットレス法

② RH-12ms 測定

- ・分離カラム : RH-12ms (Invetx 社製)

fused silica capillary column 60m×0.25mm (id) ,膜厚
不明

- ・カラム温度 : 130°C (1min hold) →15°C/min→210°C→4°C/min
→310°C→5°C/min→320°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 4-15～表 4-18 に示す。

① BPX-DXN 測定

表 4-15 MS 設定条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	35eV
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

② RH-12ms 測定

表 4-16 MS 設定条件

イオン化方法	EI
イオン化電圧	35eV
イオン化電流	500 μ A
加速電圧	10kV
インターフェース温度	250 $^{\circ}$ C
イオン源温度	250 $^{\circ}$ C
分解能	10,000 以上

表 4-17 設定質量数

	M ⁺	(M+2) ⁺	(M+4) ⁺
TeCDDs	319.8965	321.8936	
PeCDDs	353.8576	355.8546	
HxCDDs		389.8156	391.8127
HpCDDs		423.7767	425.7737
OCDD		457.7377	459.7348
TeCDFs	303.9016	305.8986	
PeCDFs		339.8597	341.8568
HxCDFs		373.8207	375.8178
HpCDFs		407.7818	409.7788
OCDF		441.7428	443.7398
TeCBs	289.9224	291.9194	
PeCBs		325.8804	327.8775
HxCBs		359.8415	361.8367
HpCBs		393.8025	395.7995

表 4-18 設定質量数 (内標準物質)

	M ⁺	(M+2) ⁺	(M+4) ⁺
¹³ C ₁₂ -TeCDDs	331.9368	333.9339	
¹³ C ₁₂ -PeCDDs	365.8978	367.8949	369.8919
¹³ C ₁₂ -HxCDDs	399.8589	401.8559	403.8530
¹³ C ₁₂ -HpCDDs		435.8169	437.8140
¹³ C ₁₂ -OCDD		469.7780	471.7750
¹³ C ₁₂ -TeCDFs	315.9419	317.9389	
¹³ C ₁₂ -PeCDFs		351.9000	353.8970
¹³ C ₁₂ -HxCDFs		385.8610	387.8580
¹³ C ₁₂ -HpCDFs		419.8220	421.8191
¹³ C ₁₂ -OCDF		453.7830	455.7801
¹³ C ₁₂ -TeCBs	301.9626	303.9597	
¹³ C ₁₂ -PeCBs		337.9207	339.9178
¹³ C ₁₂ -HxCBs		371.8817	373.8788
¹³ C ₁₂ -HpCBs		405.8428	407.8398

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 (μ L)

v : 測定試料の液量 (μ L)

V_E : 抽出液量 (mL)

V'_E : 抽出液の分取量 (mL)

V : 試料量

表 4-19 PBDD/Fs 検出下限値一覧表

試料の種類	工程水	返送汚泥	放流水	脱水汚泥	難燃剤
試料量	20 L	1 L	40 L	20 g-dry	0.01 g
単位	pg/L	pg/L	pg/L	ng/g-dry	ng/g
2,3,7,8-TeBDD	0.04	0.8	0.02	0.0001	0.7
1,2,3,7,8-PeBDD	0.1	2	0.06	0.0003	2
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.6	10	0.3	0.001	10
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.7	10	0.4	0.002	10
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.5	10	0.3	0.001	10
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.4	9	0.2	0.001	8
OBDD	1	20	0.6	0.003	20
2,3,7,8-TeBDF	0.04	0.8	0.02	0.0001	0.8
1,2,3,7,8-PeBDF	0.2	4	0.09	0.0005	3
2,3,4,7,8-PeBDF	0.2	5	0.1	0.0006	4
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.5	10	0.3	0.001	9
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.5	9	0.2	0.001	9
OBDF	1	30	0.6	0.003	20

※ 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 4-20 PBDEs、DBDPE、H_xBBz、TBBPA、HBCDs 検出下限値一覧表

試料の種類	工程水	返送汚泥	放流水	脱水汚泥	難燃剤
試料量	20 L	1 L	40 L	20 g-dry	0.01 g
単位	ng/L	ng/L	ng/L	ng/g-dry	ng/g
MoBDEs	0.003	0.06	0.001	0.03	10
4,4'-DiBDE (#15)	0.003	0.06	0.001	0.03	10
DiBDEs	0.003	0.06	0.001	0.03	10
2,4,4'-TrBDE (#28)	0.004	0.09	0.002	0.04	20
TrBDEs	0.005	0.09	0.002	0.05	20
2,2',4,4'-TeBDE (#47)	0.004	0.08	0.002	0.04	20
TeBDEs	0.008	0.2	0.004	0.08	30
2,2',4,4',6'- PeBDE (#100)	0.004	0.09	0.002	0.04	20
2,2',4,4',5'- PeBDE (#99)	0.006	0.1	0.003	0.06	20
PeBDEs	0.006	0.1	0.003	0.06	20
2,2',4,4',5,6'- HxBDE (#154)	0.005	0.1	0.003	0.05	20
2,2',4,4',5,5'- HxBDE (#153)	0.008	0.2	0.004	0.08	30
HxBDEs	0.01	0.3	0.007	0.1	50
2,2',3,4,4',5,6'- HpBDE (#183)	0.01	0.2	0.005	0.1	40
HpBDEs	0.01	0.2	0.005	0.1	40
OBDEs	0.007	0.1	0.003	0.07	30
NBDEs	0.02	0.3	0.008	0.2	60
2,2',3,3',4,4',5,5', 6,6'-DeBDE (#209)	0.02	0.5	0.01	0.2	80
DBDPE	0.06	2	0.06	0.6	
H _x BBz	2		2	400	7000000
α-HBCD	0.3	6	0.1	0.3	600
β-HBCD	0.1	2	0.06	0.1	200
γ-HBCD	0.3	6	0.2	0.3	600
TBBPA	0.3	5	0.1	0.3	500

※ 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 4-21 PBPhs 検出下限値一覧表

試料の種類	工程水	返送汚泥	総合排水	脱水汚泥	難燃剤
試料量	20 L	1 L	40 L	20 g-dry	0.01 g
単位	ng/L	ng/L	ng/L	ng/g-dry	ng/g
2-bromophenol	3	60	0.3	3	6000
3/4-bromophenol	3	60	0.3	3	6000
2,6-dibromophenol	3	60	0.3	3	6000
2,5/3,5-dibromophenol	3	60	0.3	3	6000
2,4-dibromophenol	3	60	0.3	3	6000
3,4-dibromophenol	3	60	0.3	3	5000
2,3-dibromophenol	3	60	0.3	3	5000
2,4,6-tribromophenol	3	60	0.3	3	6000
2,3,6-tribromophenol	3	60	0.3	3	6000
2,4,5-tribromophenol	2	50	0.2	2	4000
2,3,5-tribromophenol	2	50	0.2	2	4000
3,4,5-tribromophenol	2	50	0.2	2	4000
2,3,4-tribromophenol	2	50	0.2	2	4000
2,3,4,5-tetrabromophenol	2	50	0.2	2	5000
2,3,4,6-tetrabromophenol	2	50	0.2	2	4000
2,3,5,6-tetrabromophenol	2	50	0.2	2	5000
2,3,4,5,6-pentabromophenol	2	50	0.2	2	4000

※ 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 4-22 PCDD/Fs 及び Co-PCBs 検出下限値一覧表

試料の種類	工程水	返送汚泥	総合排水	脱水汚泥	難燃剤
試料量	20 L	1 L	40 L	20 g-dry	0.01 g
単位	pg/L	pg/L	pg/L	ng/g-dry	ng/g
2,3,7,8-TeCDD	0.2	3	0.2	0.0004	0.4
1,2,3,7,8-PeCDD	0.2	3	0.2	0.0008	0.7
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.2	3	0.2	0.0005	0.5
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.2	4	0.2	0.0008	0.8
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	3	0.1	0.0007	0.7
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.1	3	0.1	0.0005	0.4
OCDD	0.3	7	0.3	0.001	1
2,3,7,8-TeCDF	0.08	2	0.08	0.0007	0.6
1,2,3,7,8-PeCDF	0.2	3	0.2	0.0004	0.3
2,3,4,7,8-PeCDF	0.09	2	0.09	0.0003	0.3
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.2	4	0.2	0.0005	0.4
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	2	0.1	0.0007	0.7
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	2	0.1	0.001	1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.05	0.9	0.05	0.0004	0.4
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.07	1	0.07	0.0008	0.8
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.1	3	0.1	0.001	0.9
OCDF	0.3	6	0.3	0.002	2
3,4,4',5'-TeCB(#81)	0.07	1	0.07	0.0003	0.3
3,3',4,4'-TeCB(#77)	0.05	1	0.05	0.0003	0.3
3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	0.09	2	0.09	0.0007	0.6
3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	0.09	2	0.09	0.0006	0.6
2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	0.08	2	0.08	0.0003	0.3
2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	0.04	0.8	0.04	0.0003	0.3
2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	0.1	2	0.1	0.0006	0.5
2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	0.03	0.6	0.03	0.0003	0.3
2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	0.07	1	0.07	0.0008	0.7
2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	0.08	2	0.08	0.0004	0.4
2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	0.07	1	0.07	0.0006	0.5
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	0.09	2	0.09	0.0004	0.4

※ 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）

① 難燃繊維加工施設（A 施設）

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	総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
PBDDs	0.24	5.9	0.26
	0.082	3.0	0.098
PBDFs	2.6	52	1.3
	2.6	51	1.3
PBDD/Fs	2.8	58	1.6
	2.6	54	1.4

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	総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
PBDDs	37	1,300	17
PBDFs	850	24,000	440
PBDD/Fs	890	26,000	450

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	0.00078
	0.00038
PBDFs	0.027
	0.027
PBDD/Fs	0.028
	0.028

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	11
PBDD/Fs	11

② 旧難燃剤取扱施設（B 施設）

a. 排水

表 5-5 排水の分析結果（毒性等量相当値）（pg-TEQ/L）

物質名	総合排水 (処理前)	BOD 処理水	廃地下水	総合排水 (処理後)
PBDDs	0.12	0.091	0.27	0.094
	0.024	0.0055	0	0.0086
PBDFs	1.9	0.75	0.61	0.81
	1.9	0.75	0.53	0.81
PBDD/Fs	2.1	0.84	0.88	0.90
	2.0	0.76	0.53	0.82

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 5-6 排水の分析結果（実測濃度）（pg/L）

物質名	総合排水 (処理前)	BOD 処理水	廃地下水	総合排水 (処理後)
PBDDs	41	2.3	ND	9.8
PBDFs	360	160	36	110
PBDD/Fs	400	160	36	120

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 5-7 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	0.0068
	0.0064
PBDFs	3.5
	3.5
PBDD/Fs	3.5
	3.5

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 5-8 汚泥の分析結果（実測濃度）（ng/g-dry）

物質名	脱水汚泥
PBDDs	13
PBDFs	580
PBDD/Fs	600

c. 製品

表 5-9 製品の分析結果（毒性等量相当値）（ng-TEQ/g）

物質名	難燃剤（製品）
PBDDs	2.9
	0
PBDFs	1.2
	0
PBDD/Fs	4.1
	0

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 5-10 製品の分析結果（実測濃度）（ng/g）

物質名	難燃剤（製品）
PBDDs	ND
PBDFs	ND
PBDD/Fs	ND

注）表中の「ND」は、検出下限値未満であることを示す。

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

① 難燃繊維加工施設（A 施設）

a. 排出水

表 5-11 排出水の分析結果（ng/L）

物質名	総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
PBDEs	810	74,000	650
DeBDE	750	71,000	620
DBDPE	45	10,000	58
TBBPA	ND	ND	ND
PBPhs	26	150	19
HBCDs	5.1	240	3.3

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 5-12 汚泥の分析結果（ng/g-dry）

物質名	脱水汚泥
PBDEs	21,000
DeBDE	17,000
DBDPE	2,200
TBBPA	ND
PBPhs	41
HBCDs	75

注）表中の「ND」は、検出下限値未満であることを示す。

② 旧難燃剤取扱施設 (B 施設)

a. 排水水

表 5-13 排水水の分析結果 (ng/L)

物質名	総合排水 (処理前)	BOD 処理水	総合排水 (処理後)
PBDEs	210	68	36
DeBDE	200	62	33
HxBBz	9,700	180	130
TBBPA	0.7	0.3	ND
PBPhs	5.4	220	160
HBCDs	3.1	4.8	2.7

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 5-14 汚泥の分析結果 (ng/g-dry)

物質名	脱水汚泥
PBDEs	590,000
DeBDE	570,000
HxBBz	870,000
TBBPA	0.7
PBPhs	500
HBCDs	1,900

c. 製品

表 5-15 製品の分析結果 (ng/g)

物質名	難燃剤 (製品)
PBDEs	ND
DeBDE	ND
HxBBz	970,000,000
TBBPA	ND
PBPhs	660,000
HBCDs	ND

注) 表中の「ND」は、検出下限値未満であることを示す。

(3) 塩素化ダイオキシン類 (PCDD/Fs、Co-PCB)

① 難燃繊維加工施設 (A 施設)

a. 排出水

表 5-16 排出水の分析結果 (毒性等量値) (pg-TEQ/L)

物質名	総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
PCDDs	0.23	3.8	0.23
	0	0.22	0.00054
PCDFs	0.30	14	0.44
	0.26	13	0.39
Co-PCB	0.0071	0.17	0.0074
	0.0013	0.038	0.0016
PCDD/Fs、Co-PCB	0.53	18	0.68
	0.26	13	0.39

注 1) TEF は、WHO/IPCS(2006)の TEF を適用した。

注 2) 毒性等量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 5-17 排出水の分析結果 (実測濃度) (pg/L)

物質名	総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
PCDDs	14	580	18
PCDFs	23	970	35
Co-PCB	25	600	27
PCDD/Fs、Co-PCB	62	2,200	80

b. 汚泥

表 5-18 汚泥の分析結果 (毒性等量値) (ng-TEQ/g-dry)

物質名	脱水汚泥
PCDDs	0.00073
	0.0000090
PCDFs	0.0032
	0.0030
Co-PCB	0.000052
	0.0000081
PCDD/Fs、Co-PCB	0.0040
	0.0030

注 1) TEF は、WHO/IPCS(2006)の TEF を適用した。

注 2) 毒性等量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 5-19 汚泥の分析結果（実測濃度）（ng/g-dry）

物質名	脱水汚泥
PCDDs	0.16
PCDFs	0.29
Co-PCB	0.099
PCDD/Fs、Co-PCB	0.55

② 旧難燃剤取扱施設（B 施設）

a. 排出水

表 5-20 排出水の分析結果（毒性等量値）（pg-TEQ/L）

物質名	総合排水 (処理前)	BOD 処理水	総合排水 (処理後)
PCDDs	0.29	0.13	0.13
	0.060	0.00069	0.0060
PCDFs	0.075	0.073	0.073
	0.0011	0	0
Co-PCB	0.057	0.0062	0.20
	0.057	0.00034	0.00085
PCDD/Fs、Co-PCB	0.42	0.21	0.21
	0.12	0.0010	0.0068

注 1) TEF は、WHO/IPCS(2006)の TEF を適用した。

注 2) 毒性等量値の表中の上段は、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 5-21 排出水の分析結果（実測濃度）（pg/L）

物質名	総合排水 (処理前)	BOD 処理水	総合排水 (処理後)
PCDDs	130	2.8	23
PCDFs	3.6	ND	ND
Co-PCB	37	8.7	23
PCDD/Fs、Co-PCB	170	11	46

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 5-22 汚泥の分析結果（毒性等量値）（ng-TEQ/g-dry）

物質名	脱水汚泥
PCDDs	0.0016
	0.00092
PCDFs	0.0018
	0.0018
Co-PCB	0.0090
	0.0090
PCDD/Fs、Co-PCB	0.012
	0.012

注 1) TEF は、WHO/IPCS(2006)の TEF を適用した。

注 2) 毒性等量値の表中の上段は、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 5-23 汚泥の分析結果（実測濃度）（ng/g-dry）

物質名	脱水汚泥
PCDDs	1.9
PCDFs	0.59
Co-PCB	2.4
PCDD/Fs、Co-PCB	4.9

c. 製品

表 5-24 製品の分析結果（毒性等量値）（ng-TEQ/g）

物質名	難燃剤（製品）
PCDDs	0.67
	0
PCDFs	0.29
	0
Co-PCB	0.039
	0
PCDD/Fs、Co-PCB	0.99
	0

注 1) TEF は、WHO/IPCS(2006)の TEF を適用した。

注 2) 毒性等量値の表中の上段は、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 5-25 製品の分析結果（実測濃度）（ng/g）

物質名	難燃剤（製品）
PCDDs	ND
PCDFs	ND
Co-PCB	ND
PCDD/Fs、Co-PCB	ND

注）表中の「ND」は、検出下限値未満であることを示す。

6. まとめ及び考察

本調査では、過去 DeBDE を使用・取扱していた難燃繊維加工施設及び旧難燃剤取扱施設を調査した。難燃繊維加工施設の DeBDE の代替難燃剤は、主にリン系難燃剤だが、極少量のデカブロモジフェニルエタン (DEDPE) も使用していた。旧難燃剤取扱施設では、現在、臭素系難燃剤は取扱っていなかったが、いくつかの臭素化合物を製造していた。

難燃繊維加工施設では、排水は活性汚泥処理により処理している。前回の調査以降、排水処理施設の処理方法や施設の変更はなかった。施設での排水処理効果を把握するために、処理前の総合排水、処理後の総合排水を採取した。汚泥試料として、排水処理施設の汚泥沈殿槽から発生する余剰の脱水汚泥、活性汚泥処理で発生する返送汚泥試料を採取した。なお、平成 15 年度 (2003 年度) 及び平成 17 年度～平成 19 年度 (2005 年度～2007 年度) の B-2 施設、平成 25 年度 (2013 年度) A 施設と同じである。

旧難燃剤取扱施設では、排水は、散水ろ床 (生物膜) → 回転円盤接触 (生物膜) → 凝集沈殿により処理していた。前回の調査以降、排水処理施設の処理方法や施設の変更はなかった。前回の調査では、処理後の総合排水において、高濃度の臭素系ダイオキシン類が検出されており、その原因調査として排水処理施設において、臭素化合物プラントから流入する総合排水 (処理前)、排水処理後の BOD 処理水及び廃地下水、最終的に放流する総合排水 (処理後) を採取した。汚泥試料として、凝集沈殿後の汚泥処理槽から発生する脱水汚泥を採取した。また、過去、臭素系難燃剤として DeBDE 以外にヘキサブロモベンゼン (HxBBz) を取扱っていたため、HxBBz の難燃剤 (製品) も合わせて調査した。なお、平成 18 年度 (2006 年度) A-2 施設と同じである。

6.1 難燃繊維加工施設 (A 施設)

(1) 排出水

a. PBDD/Fs

PBDD/Fs 実測濃度は、処理前総合排水 890 pg/L、処理後総合排水 450 pg/L であり、毒性等量相当値 (ND=0) は、処理前総合排水 2.6 pg-TEQ/L、処理後総合排水 1.4 pg-TEQ/L であった (図 6-1)。過去実施した同施設の 2013 年度調査データと比較すると、処理前総合排水では 2 桁低く、処理後総合排水では 1 桁低い濃度レベルであった (図 6-1、図 6-2、表 6-1)。

PBDD/Fs 同族体組成は、処理前総合排水及び処理後総合排水では、低臭素化体が主体であり、脱水汚泥及び返送汚泥では OBDF が主体であった (図 6-3)。PBDD/Fs 異性体組成は、OBDD、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)。

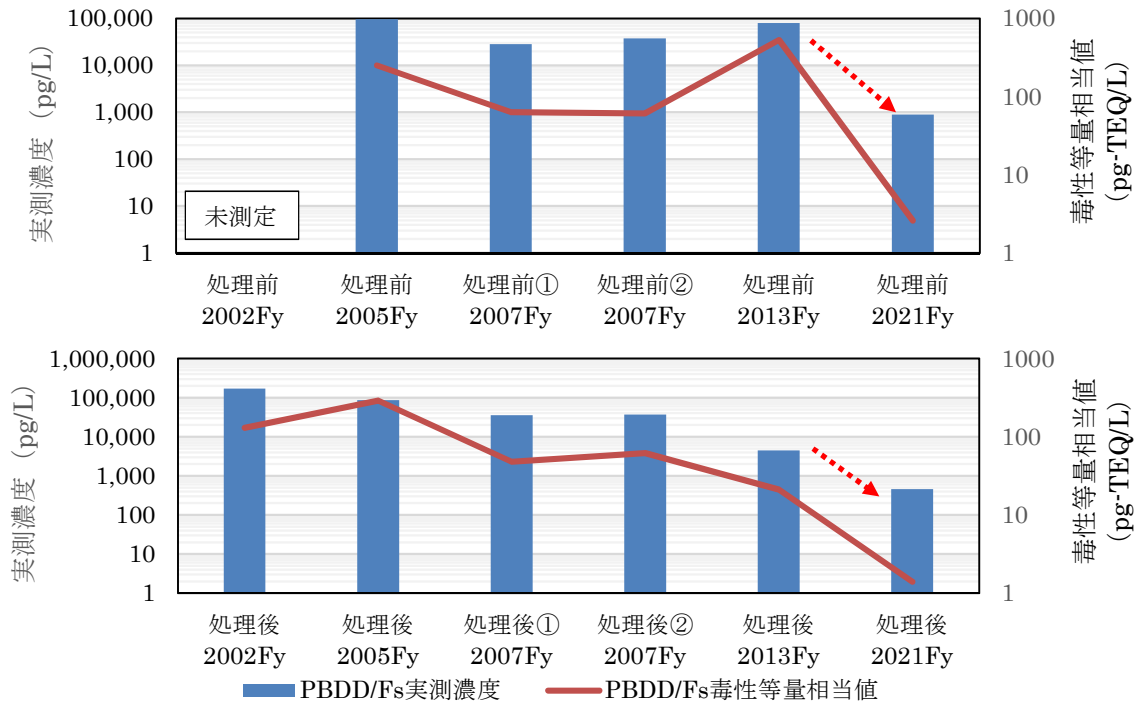


図 6-1 同一難燃繊維加工施設における排水中の PBDD/Fs 濃度比較

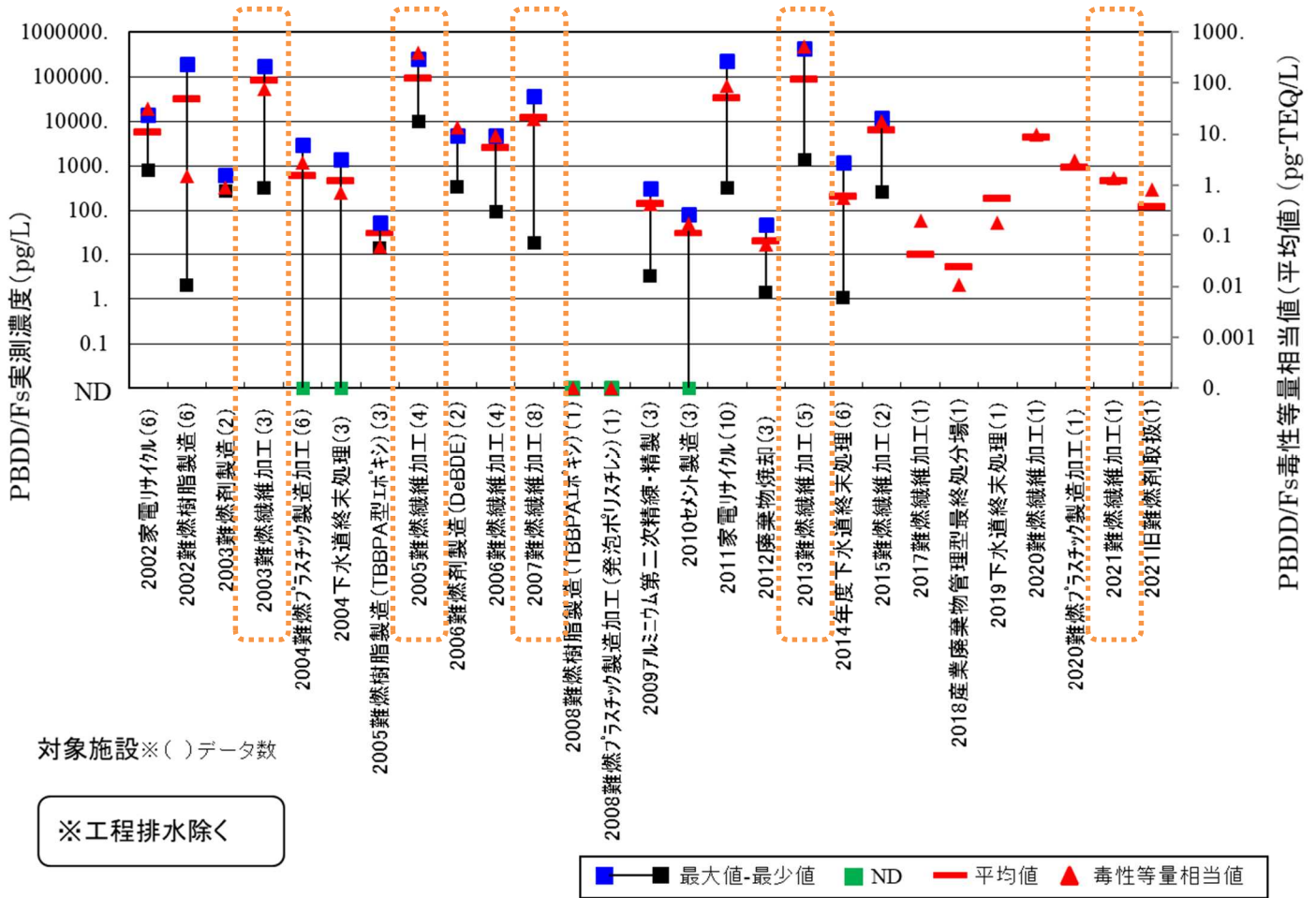


図 6-2 排水における PBDD/Fs 検出状況

表 6-1 難燃繊維加工施設における処理後排水中の PBDD/Fs 調査データ

調査年度	施設名	PBDD/Fs		使用難燃剤	排水処理法
		pg/L	pg-TEQ/L		
2002 年度 (H15 年度)	B-1	320	3.6	HBCDs	活性汚泥
	B-2	170,000	130	DeBDE,HBCDs	活性汚泥
	B-3	70,000	97	HBCDs	活性汚泥
2005 年度 (H17 年度)	B-1	11,000	57	HBCDs	活性汚泥
		250,000	1,200	HBCDs	
	B-2	85,000	290	DeBDE,HBCDs	活性汚泥
2006 年度 (H18 年度)	B-1	95	0.37	HBCDs	活性汚泥
		1,100	1.7	HBCDs	
	B-3	4,300	16	HBCDs	活性汚泥
		4,700	19	HBCDs	
2007 年度 (H19 年度)	B-1	91	0.21	HBCDs	活性汚泥
		18	0.15	HBCDs	
		280	0.57	HBCDs	
		110	0.43	HBCDs	
	B-2	35,000	48	DeBDE,HBCDs	活性汚泥
		37,000	62	DeBDE,HBCDs	
	B-3	13,000	26	HBCDs	活性汚泥
12,000		23	HBCDs		
2013 年度 (H25 年度)	A	4,400	21	DeBDE,HBCDs	活性汚泥
	B	1,400	2.3	他の BFRs	活性汚泥→下水道放流
		2,900	2.7		
	C	420,000	2,500	DeBDE	未処理→下水道放流
D	1,400	2.0	DeBDE	活性汚泥→凝集沈殿→加圧浮上	
2015 年度 (H27 年度)	A	12,000	36	DeBDE	加圧浮上→活性汚泥
	B	270	0.34	DeBDE	凝集沈殿→砂ろ過→生物活性炭
2017 年度 (H29 年度)	A	10	0.019	DeBDE,DBDPE	凝集沈殿→砂ろ過→生物活性炭
2020 年度 (R2 年度)	A	4,400	10	DBDPE	加圧浮上→活性汚泥
2021 年度 (R3 年度)	A	450	1.4	リン系難燃剤, DBDPE	活性汚泥

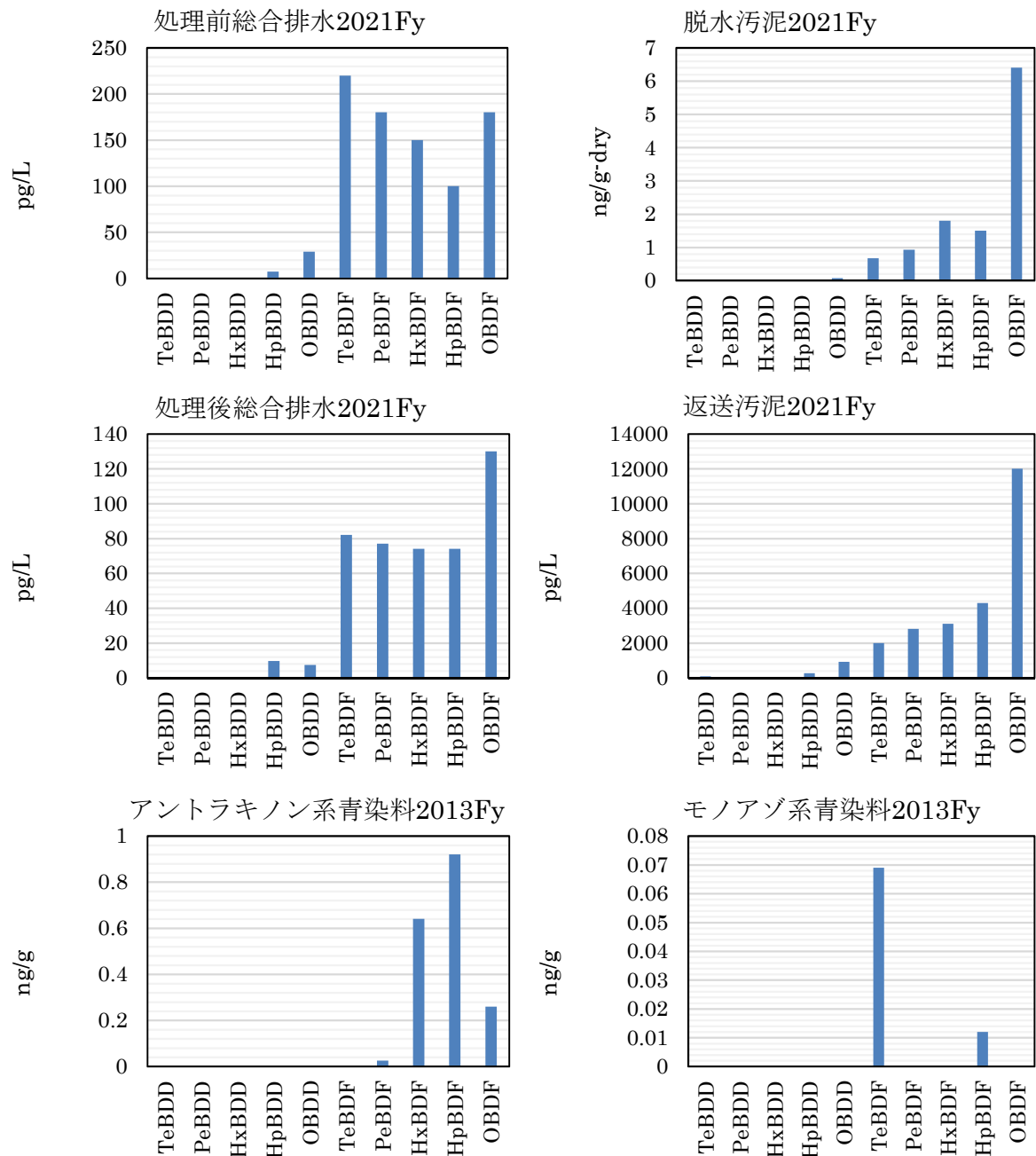


図 6-3 PBDD/Fs 同族体組成 (難燃繊維加工施設)

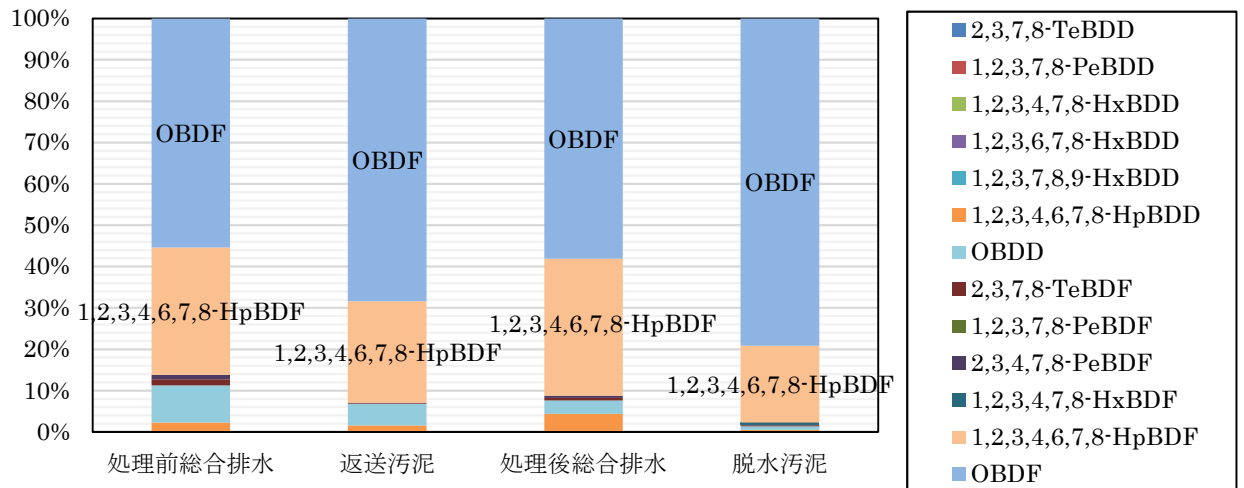


図 6-4 PBDD/Fs 異性体組成 (難燃繊維加工施設)

b. PCDD/Fs 及び Co-PCB

PCDD/Fs 及び Co-PCB 実測濃度は、処理前総合排水 62 pg/L、処理後総合排水 80 pg/L であり、毒性等量値(ND=0)は、処理前総合排水 0.26 pg-TEQ/L、処理後総合排水 0.39 pg-TEQ/L であった。

PCDD/Fs 及び Co-PCB 同族体組成は、処理前総合排水及び処理後排水では、HxCDDs、TeCDFs、PeCDFs 及び PeCBs が主体であり、脱水汚泥及び返送汚泥では、TeCBs が主体であり、処理後総合排水では HxCDDs 及び TeCDFs が主体であった(図 6-5)。PCDD/Fs 及び Co-PCB 異性体組成では、TeCB(#77) 及び PeCB(#118) が主体であった。

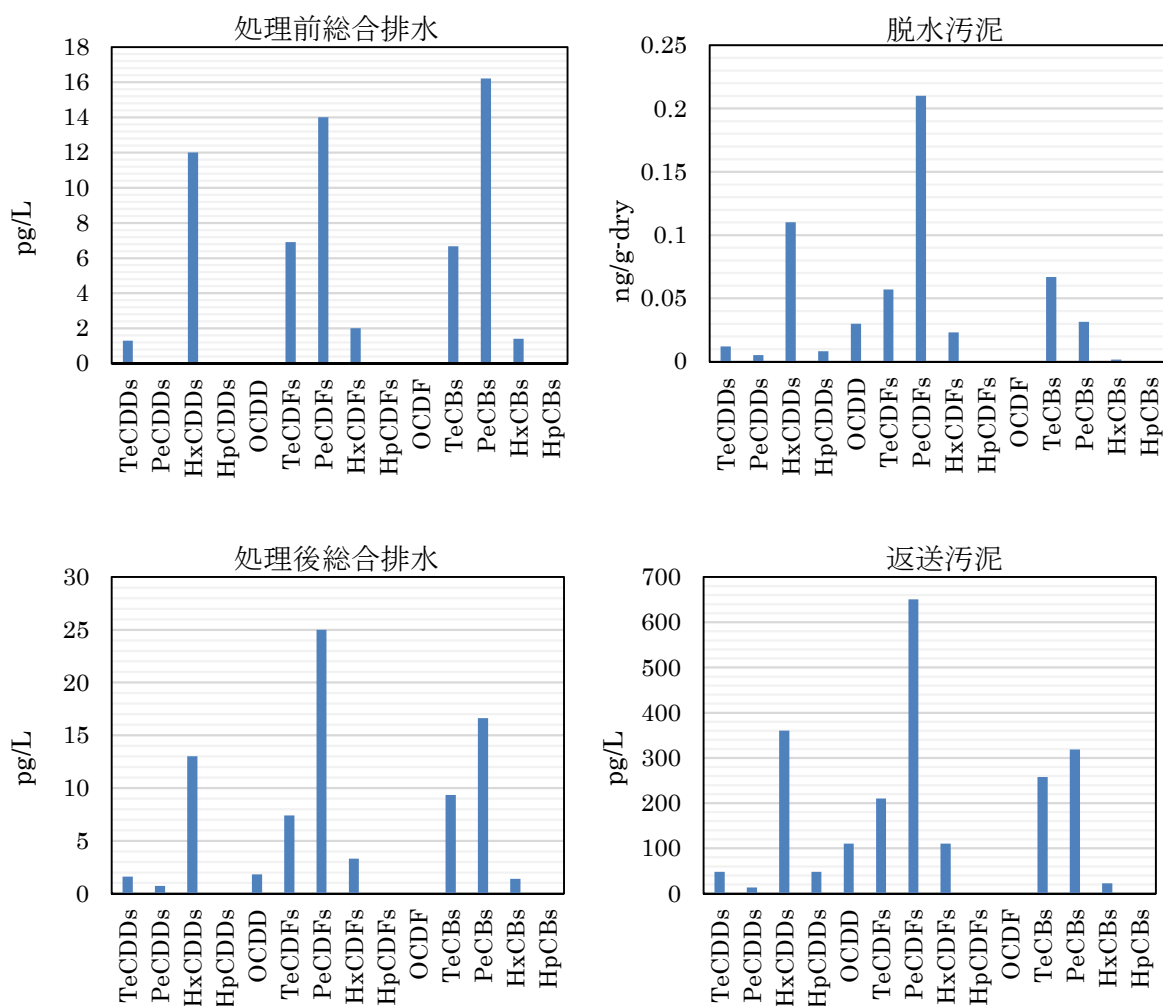


図 6-5 PCDD/Fs 及び Co-PCB 同族体組成 (難燃繊維加工施設)

c. PBDEs

PBDEs 実測濃度は、処理前の総合排水 810 ng/L、処理後の総合排水 650 ng/L であった(図 6-6)。同施設の 2013 年度調査データと比較すると、3 桁低い濃度レベルであった(図 6-6、図 6-7、表 6-2)。

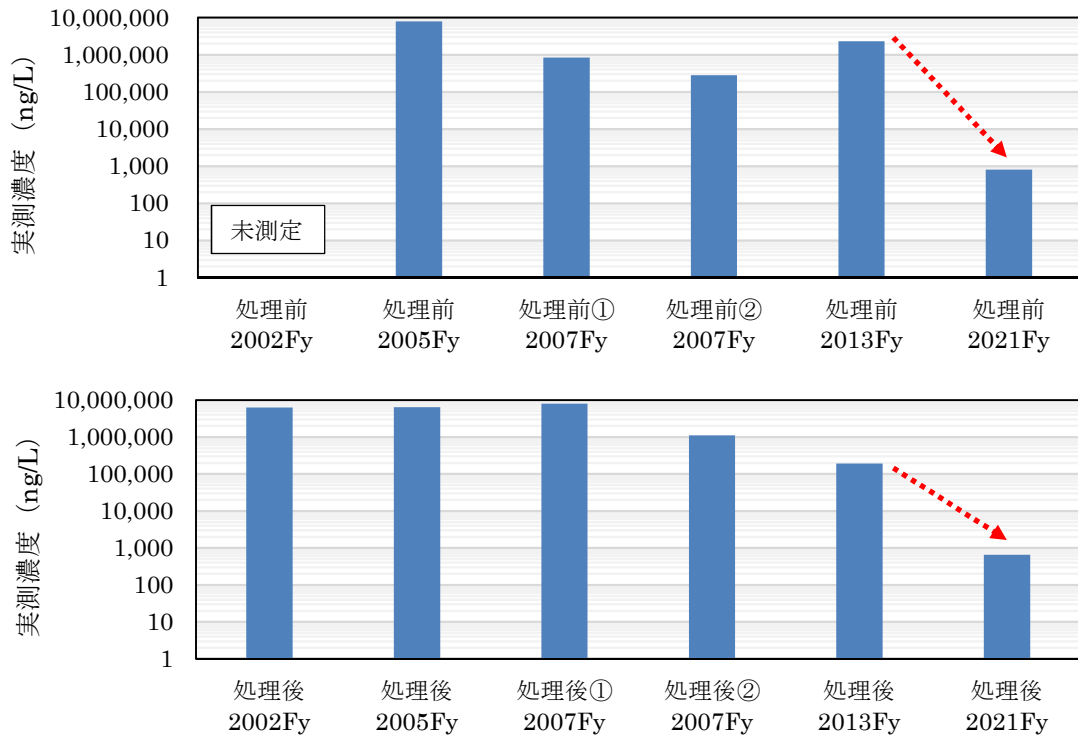


図 6-6 同一難燃繊維加工施設における排水中の PBDEs 濃度比較

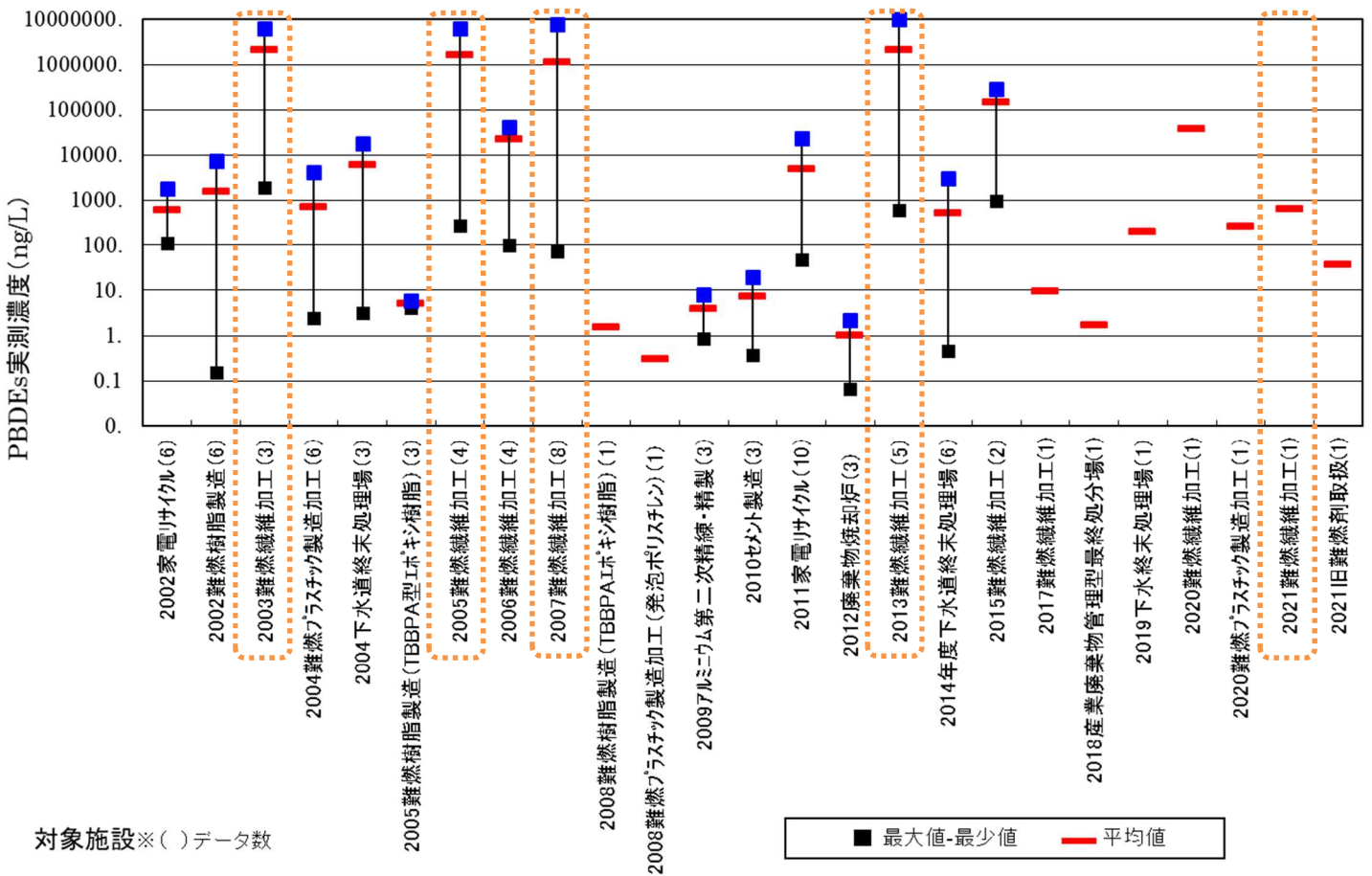


図 6-7 排水における PBDEs 検出状況

表 6-2 難燃繊維加工施設における処理後排水中の BFRs 調査データ

調査年度	施設名	PBDEs	HBCDs	TBBPA	PBPhs	使用難燃剤
		ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	
2002 年度 (H15 年度)	B-1	1,900	180,000	540	未測定	HBCDs
	B-2	6,200,000	2,000,000	61	未測定	DeBDE、HBCDs
	B-3	240,000	1,400,000	710	未測定	HBCDs
2005 年度 (H17 年度)	B-1	6,900	8,100,000	8.7	未測定	HBCDs
		270	610,000	7.9	未測定	HBCDs
	B-2	6,400,000	2,200,000	6.2	未測定	DeBDE、HBCDs
	B-3	100,000	4,400,000	3.7	未測定	HBCDs
2006 年度 (H18 年度)	B-1	99	未測定	未測定	未測定	HBCDs
		14,000	未測定	未測定	未測定	HBCDs
	B-3	33,000	未測定	未測定	未測定	HBCDs
		42,000	未測定	未測定	未測定	HBCDs
2007 年度 (H19 年度)	B-1	72	780,000	未測定	510	HBCDs
		140	340,000	未測定	230	HBCDs
		150	2,100,000	未測定	160	HBCDs
		160	1,500,000	未測定	540	HBCDs
	B-2	7,900,000	410,000	未測定	91	DeBDE、HBCDs
		1,100,000	620,000	未測定	140	DeBDE、HBCDs
	B-3	29,000	780,000	未測定	92	HBCDs
		23,000	630,000	未測定	81	HBCDs
2013 年度 (H25 年度)	A	190,000	100	0.43	未測定	DeBDE、HBCDs
	B	620	0.63	ND	未測定	他の BFRs
		24,000	2.2	ND	未測定	
	C	10,000,000	970	2.2	未測定	DeBDE
D	23,000	1.1	ND	未測定	DeBDE	
2015 年度 (H27 年度)	A	290,000	5.1	0.88	20	DeBDE
	B	1,000	1.6	4.6	11	DeBDE
2017 年度 (H29 年度)	A	9.3	3.2	3.7	290	DeBDE、DBDPE
2020 年度 (R2 年度)	A	38,000	0.19	12	4.0	DBDPE
2021 年度 (R3 年度)	A	650	3.3	ND	19	リン系難燃剤 DBDPE

※ ND は検出下限未満を示す。

PBDEs 同族体組成は、全ての試料において DeBDE が 90 %以上を占めた組成であった (図 6-8)。DeBDE 以外の PBDEs 異性体組成は、#153-HxBDE、#148/#154-HxBDE、#175/#183-HpBDE が主要な異性体であった (図 6-9)。

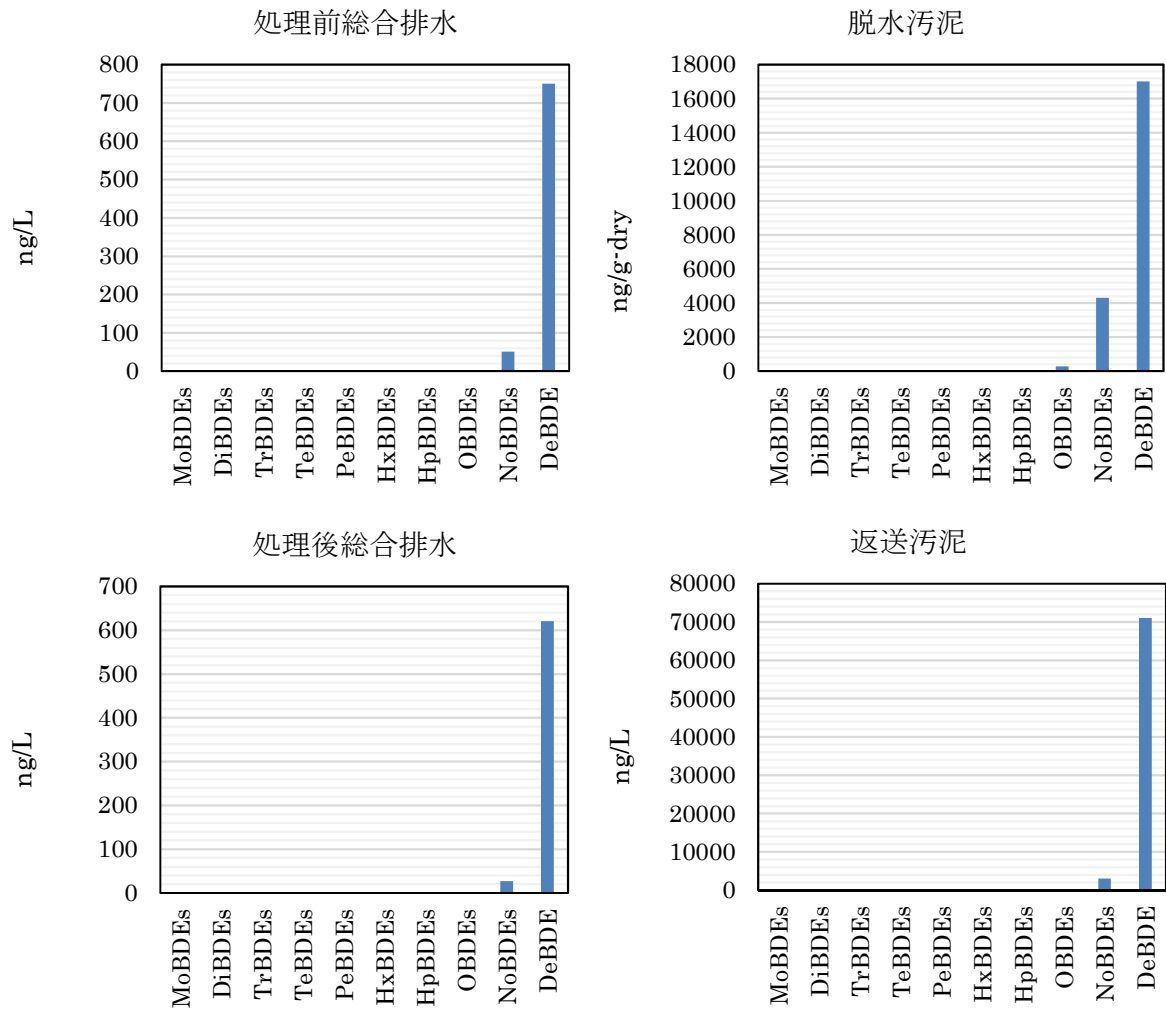


図 6-8 PBDEs 同族体組成 (難燃繊維加工施設)

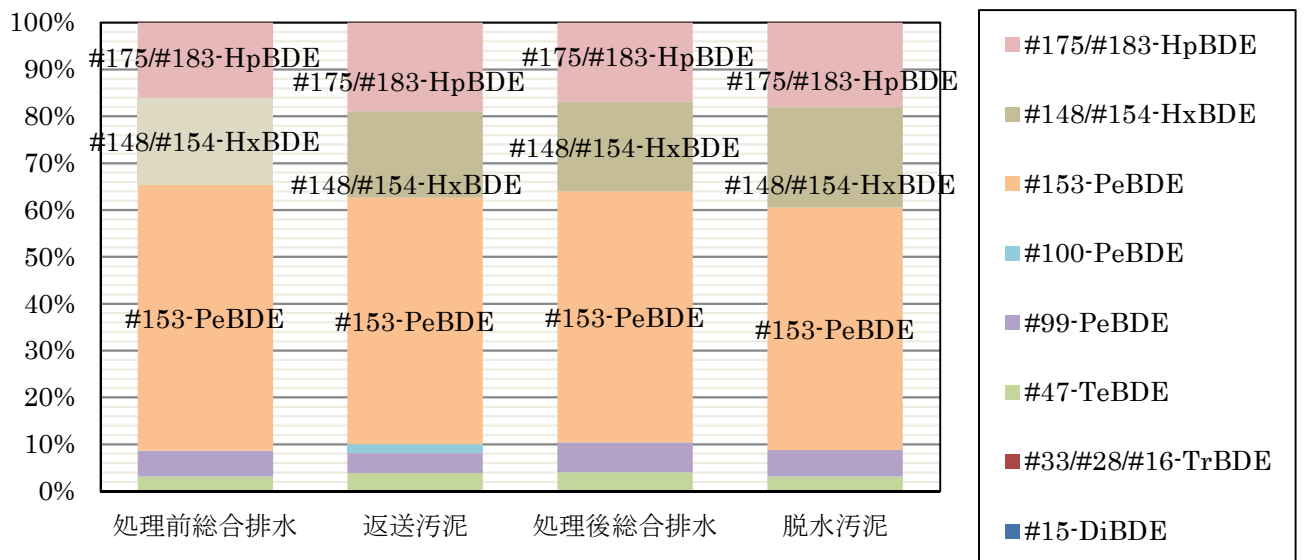


図 6-9 PBDEs 異性体組成 (難燃繊維加工施設) (DeBDE 以外)

d. TBBPA

TBBPA 実測濃度は、処理前総合排水 ND ng/L、処理後総合排水 ND ng/L であった。

e. HBCDs

HBCDs 実測濃度は、処理前総合排水 5.1 ng/L、処理後総合排水 3.3 ng/L であった。同施設の 2013 年度調査データと比較すると、2 桁低い濃度レベルであった(表 6-2)。

f. PBPhs

PBPhs 実測濃度は、処理前総合排水 26 ng/L、処理後総合排水 19 ng/L であった。

PBPhs 異性体組成では、処理前総合排水では、2-MoBPh 及び 3/4-MoBPh が主体であったが、処理後総合排水、返送汚泥及び脱水汚泥では、2,4,6-TrBPh が主要な異性体であった(図 6-10)。

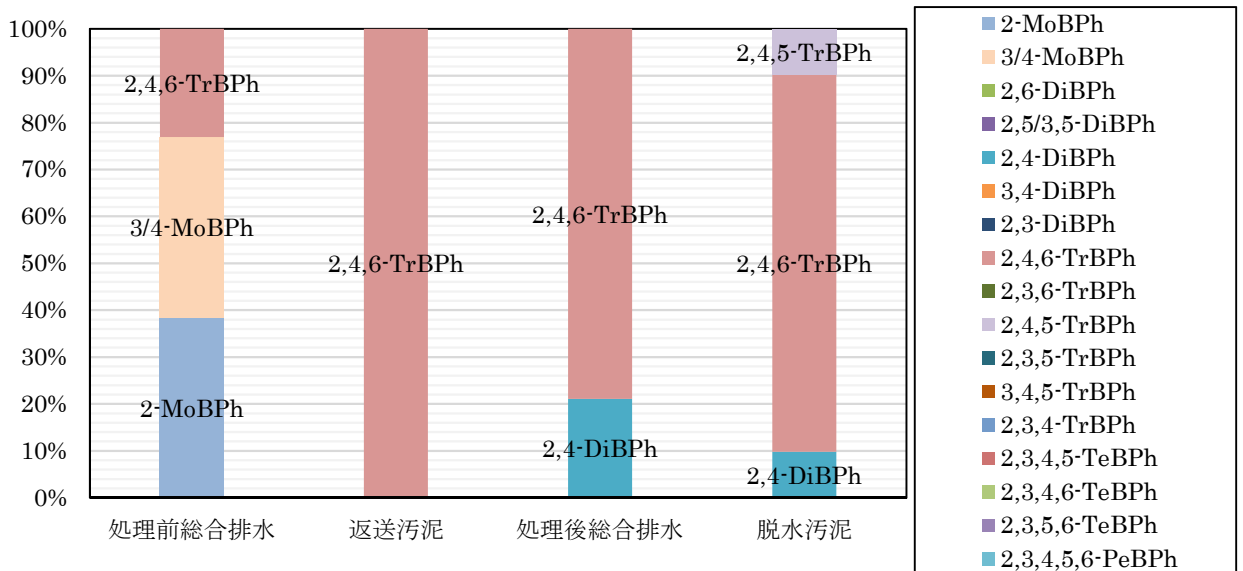


図 6-10 PBPhs 異性体組成 (難燃繊維加工施設)

g. DBDPE

DBDPE 実測濃度は、処理前総合排水 45 ng/L、処理後総合排水 58 ng/L であった。

(2) 汚泥

a. PBDD/Fs

脱水汚泥中の PBDD/Fs 実測濃度は 11 ng/g-dry、毒性等量相当値 (ND=0) は 0.028 ng-TEQ/g-dry であり、返送汚泥中の PBDD/Fs 実測濃度は 26,000 pg/L、毒性等量相当値 (ND=0) は 54 pg-TEQ/L であった。

過去データと比較すると、脱水汚泥は 2019 年度の下水終末処理施設の A 施設と 1 桁高い濃度レベルであり、返送汚泥は 2006 年度の難燃繊維加工施設の

B-1 施設と同レベルであった(表 6-3)。

返送汚泥と脱水汚泥の同族体組成はほぼ同じ組成であることから、返送汚泥中の PBDD/Fs が排水処理によって除去され、SS に吸着し汚泥に移行していると考えられる。処理後総合排水の同族体組成は、HpBDF 及び OBDF の比率が高くなっているところから、施設内に残留している活性汚泥の影響を受けていることが示唆された。

b. PCDD/Fs 及び Co-PCB

脱水汚泥中の PCDD/Fs 及び Co-PCB 実測濃度は 0.55 ng/g-dry、毒性等量値(ND=0)は 0.0030 ng-TEQ/g-dry であり、返送汚泥中の PCDD/Fs 及び Co-PCB 実測濃度は 2,200 pg/L、毒性等量相当値(ND=0)は 13 pg-TEQ/L であった。過去データと比較すると、2020 年度 A 施設と同レベルであった(表 6-3)。

c. PBDEs

脱水汚泥中の PBDEs 実測濃度は 21,000 ng/g-dry であり、返送汚泥中の PBDEs 実測濃度は 74,000 ng/L であった。過去データと比較すると、脱水汚泥では 2019 年度 A 施設と同レベルであり、返送汚泥では 2006 年度 B-1 施設と同レベルであった(表 6-3)。

d. TBBPA

脱水汚泥中の TBBPA 実測濃度は ND ng/g-dry であり、返送汚泥中の TBBPA 実測濃度は ND ng/L であった。

e. HBCDs

脱水汚泥中の HBCDs 実測濃度は 75 ng/g-dry であり、返送汚泥中の HBCDs 実測濃度は 240 ng/L であった。

f. PBPhs

脱水汚泥中の PBPh 実測濃度は 41 ng/g-dry であり、返送汚泥中の PBPh 実測濃度は 150 ng/L であった。

g. DBDPE

脱水汚泥中の DBDPE 実測濃度は 2,200 ng/g-dry であり、返送汚泥中の DBDPE 実測濃度は 10,000 ng/L であった。過去データと比較すると、脱水汚泥及び返送汚泥とともに、2020 年度 A 施設よりも 3 桁低い濃度レベルであった(表 6-3)。

表 6-3 難燃繊維加工施設等の排水処理施設における汚泥中の調査データ

調査年度	施設名	種類	PBDD/Fs		PCDD/Fs/Co-PCB		PBDEs	HBCDs	TBBPA	PBPhs	DBDPE	使用 BFRs 等	
			返送汚泥 左：pg/L、右：pg-TEQ/L 脱水汚泥 左：ng/g-dry、右：ng-TEQ/g-dry				返送汚泥 : ng/L 脱水汚泥 : ng/g-dry						
2006 年度 (H18 年度)	難燃繊維加工	B-1	返送汚泥	34,000	210	54,000	360	94,000	未測定	未測定	未測定	未測定	HBCDs
				30,000	200	45,000	350	75,000	未測定	未測定	未測定	未測定	
				21,000	140	51,000	300	47,000	未測定	未測定	未測定	未測定	
				19,000	160	37,000	190	41,000	未測定	未測定	未測定	未測定	
2020 年度 (R2 年度)	A	返送汚泥	1,200,000	2,700	400,000	730	5,900,000	未測定	未測定	未測定	未測定	HBCDs	
6,600,000			13,000	3,400	1.1	110,000,000	290	13,000	9,300	38,000,000	DBDPE		
2021 年度 (R3 年度)	A	返送汚泥	26,000	54	2,200	13	74,000	240	ND	150	10,000	リン系難燃剤、DBDPE	
2004 年度 (H16 年度)	下水処理	B-3	脱水汚泥	170	0.29	4.2	0.011	500,000	52,000	37	未測定	未測定	DeBDE 未処理排水が流入
2014 年度 (H26 年度)		D		560	7.4	未測定	未測定	670,000	23	21	7	未測定	DeBDE 未処理排水が流入
2019 年度 (R1 年度)		A		0.84	0.0021	7.4	0.0053	16,000	9.6	19	5.9	未測定	過去 DeBDE 未処理排水が流入
2017 年度 (H29 年度)	難燃繊維	A	脱水汚泥	7.0	0.053	未測定	未測定	36,000	27	ND	140	18,000	DeBDE、DBDPE
2020 年度 (R2 年度)		A		140	0.21	0.92	0.00079	210,000	81	150	120	5,300,000	DBDPE
2021 年度 (R3 年度)		A		11	0.028	0.55	0.0030	21,000	75	ND	41	2,200	リン系難燃剤、DBDPE
2021 年度 (R3 年度)	難燃剤	B	脱水汚泥	600	3.5	4.9	0.012	590,000	1,900	0.7	500	未測定	過去 DeBDE、HxBBz 使用

(3) 考察

本施設は、過去 DeBDE を使用していた難燃繊維加工施設であり、DeBDE は 2017 年 8 月末で使用を終了し、DeBDE の代替物質は主にリン系難燃剤であった。排水処理は、活性汚泥処理法により処理されていた。

脱水汚泥及び返送汚泥の PBDD/Fs の組成に着目すると、脱水汚泥は返送汚泥の組成を反映していた。処理後総合排水の PBDD/Fs の組成は、処理前総合排水では低臭素化体の PBDFs が主体であったが、処理後排水では、OBDF の比率が大きくなっていることから、PBDEs 及び DBDPE と同様に、HpBDF 及び OBDF が主体である返送汚泥の影響を受けていることが示唆された。

脱水汚泥は産廃処理されていたが、DeBDE 使用終了後約 4 年以上経過しているが、今もなお、排水処理施設内の返送汚泥には PBDD/Fs 及び PBDEs が残留していた。過去に使用した DeBDE 以外にも、染色工程に用いられている染料中には、前回の調査では PBDEs や PBDD/Fs が検出されており、染料使用量も多いので、それらの要因も考えられる。

次に、本施設の排水処理効果の有効性を確認するために、処理前総合排水濃度と処理後総合排水濃度から各物質の除去率を表 6-4 に示す。本施設の活性汚泥処理法は、SS 濃度の除去率に着目すると、過去に幾度も処理前と処理後の逆転現象が観察されている。この要因として、活性汚泥の沈降率を調査してみると、沈降率が悪いことがわかった。つまり、活性汚泥の沈降率が悪いということは、汚泥沈殿槽で汚泥と処理水を分離する際に、SS 分が十分に分離されないで、SS 分に吸着している PBDD/Fs や PBDEs が流出し、処理後排水の濃度が高くなっていることが示唆された。

使用する難燃剤が DeBDE からリン系難燃剤に替わることにより、総合排水中の PBDD/Fs 毒性等量相当値は 2013 年度調査と比較して約 90%低くなり、塩素化ダイオキシン類の排水基準相当値 10 pg-TEQ/L と比較すると、排水基準相当値以下であり、化審法の DeBDE 規制効果が確認できた。

表 6-4 同一施設の排水処理における除去率 (%)

	PBDD/Fs 実測濃度	PBDD/Fs 毒性等量 相当値	PBDEs 実測濃度	HBCDs 実 測濃度	SS 濃度	備考
2005 年度 (H17 年度)	10.5	-16.0	19.0	-200	-289	DeBDE,HBCDs 使用
2007 年度 (H19 年度)	-25.0	23.8	-951	57.7	0	DeBDE,HBCDs 使用
	0	-1.6	-392	0	14.2	
2013 年度 (H25 年度)	94.4	96.0	91.7	-217	-973	DeBDE,HBCDs 使用
2021 年度 (R3 年度)	49.4	46.1	19.7	35.3	-9.3	リン系難燃剤、 DBDPE 使用

6.2 旧難燃剤取扱施設 (B 施設)

(1) 排水

a. PBDD/Fs

PBDD/Fs 実測濃度は、処理前総合排水 400 pg/L、処理後総合排水 120 pg/L であり、毒性等量相当値 (ND=0) は、処理前総合排水 2.0 pg-TEQ/L、処理後総合排水 0.82 pg-TEQ/L であった。排水処理後の排水中の PBDD/Fs 濃度レベルは、2006 年度調査時より 1 桁低い濃度レベルであり、毒性等量相当値でも 1 桁低い濃度レベルであった (図 6-11、表 6-5)。

PBDD/Fs 同族体組成は、排水処理前では、HxBDF、HpBDF 及び OBDF が主体であったが、処理後排水では、BOD 処理水、工業用水、及び廃地下水を混合して放流するので、排水量が多い廃地下水の影響を受け、TeBDF の比率が高くなっていた (図 6-12)。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 6-13)。

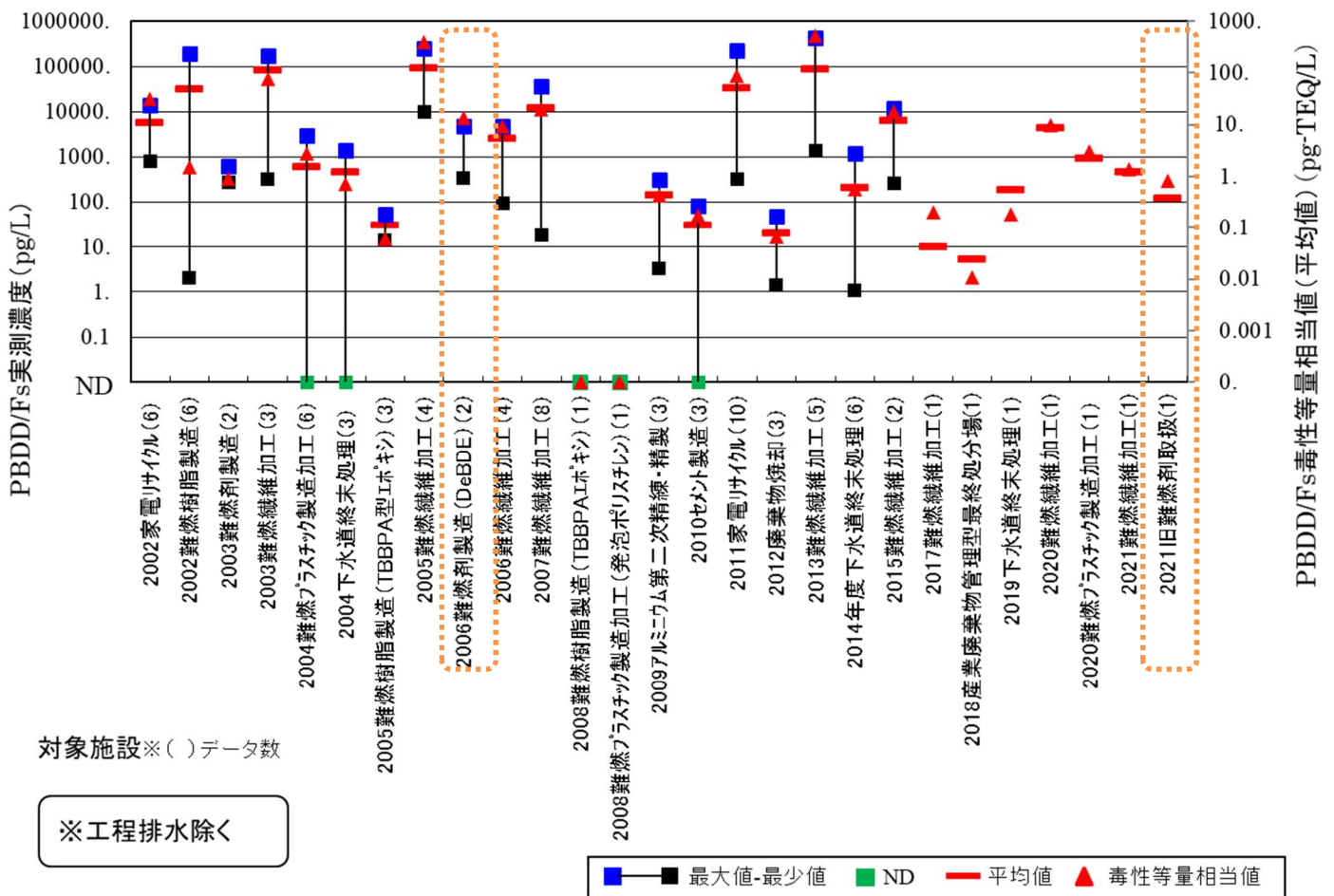


図 6-11 排水における PBDD/Fs 検出状況

表 6-5 同施設の旧難燃剤取扱施設における排水調査データ

	2021 年度 B 施設				2006 年度 A-2 施設	
	総合排水 (処理前)	BOD 処理水	廃地下水	総合排水 (処理後)	工業用水	総合排水 (処理後)
PBDD/Fs 実測濃度 (pg/L)	400	160	36	120	11	4,900
PBDD/Fs 毒性等量相 当値 (pg-TEQ/L)	2.0	0.76	0.53	0.82	0.0011	27
PCDD/Fs/Co-PCB 実測濃度 (pg/L)	170	11	未測定	46	1,600	2,400
PCDD/Fs/Co-PCB 毒 性等量値 (pg-TEQ/L)	0.12	0.0010	未測定	0.0068	1.9	3.0
PBDEs 実測濃度 (ng/L)	210	68	未測定	36	未測定	未測定
TBBPA 実測濃度 (ng/L)	0.7	0.3	未測定	ND	未測定	未測定
HBCDs 実測濃度 (ng/L)	3.1	4.8	未測定	2.7	未測定	未測定
PBPhs 実測濃度 (ng/L)	5.4	220	未測定	160	未測定	未測定
HxBBz 実測濃度 (ng/L)	9,700	180	未測定	130	未測定	未測定

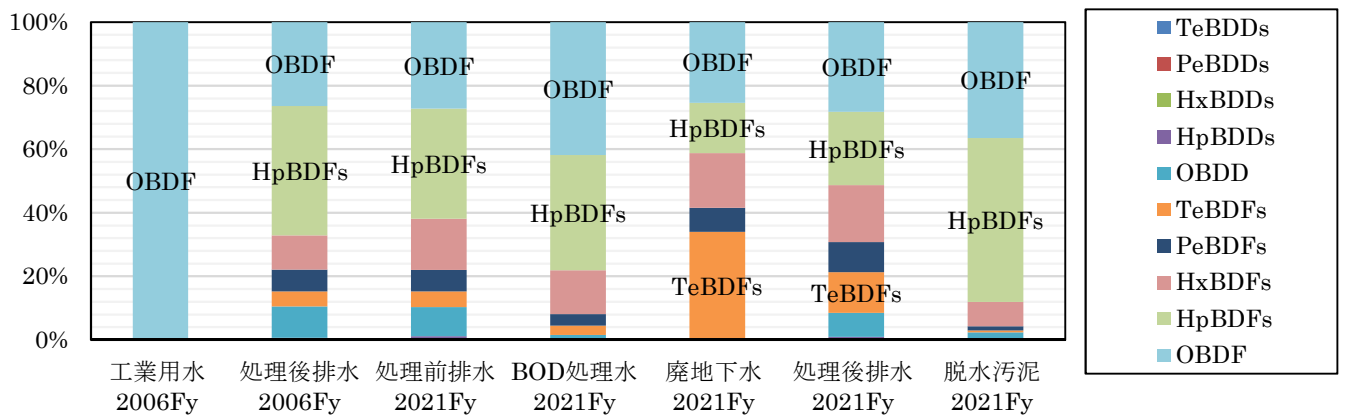


図 6-12 PBDD/Fs 同族体組成 (旧難燃剤取扱施設)

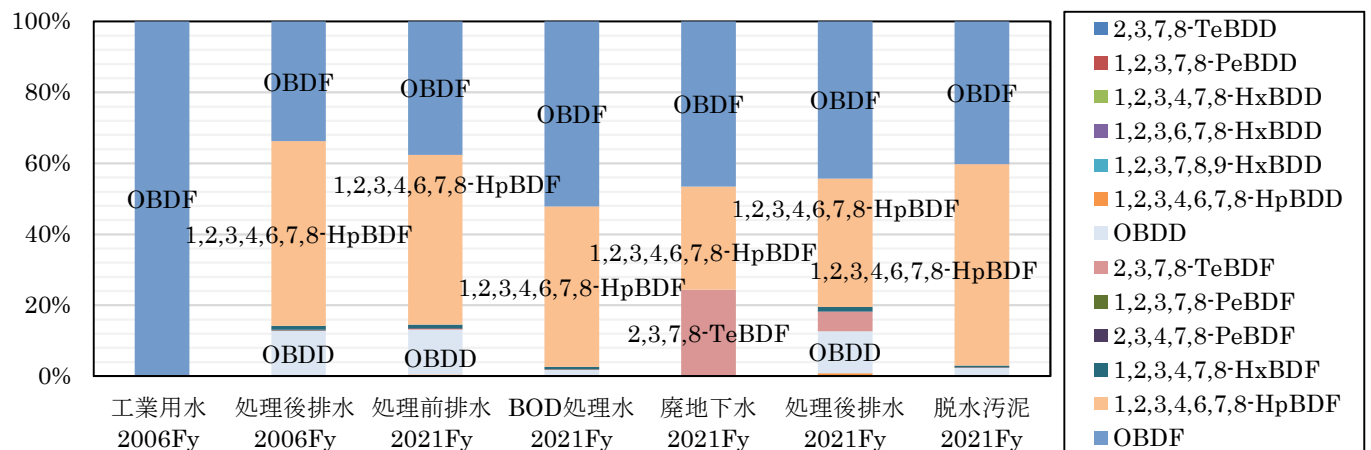


図 6-13 PBDD/Fs 異性体組成 (旧難燃剤取扱施設)

b. PCDD/Fs、Co-PCB

PCDD/Fs 及び Co-PCB 実測濃度は、処理前総合排水 170 pg/L、処理後総合排水 46 pg/L であり、毒性等量値 (ND=0) は、処理前総合排水 0.12 pg-TEQ/L、処理後総合排水 0.0068 pg-TEQ/L であった。2006 年度調査の過去データと比較すると、2 桁低い濃度レベルであった(表 6-5)。

c. PBDEs

PBDEs 実測濃度は、処理前総合排水 210 ng/L、処理後総合排水 36 ng/L であった。

PBDEs 同族体組成は、DeBDE が約 90%を占めた(図 6-14)。DeBDE 以外の PBDEs 異性体組成では、処理前総合排水では、#15-DiBDE 及び#153-HxBDE の比率が高かったが、処理後排水では、#153-HxBDE の比率が高かった(図 6-15)。

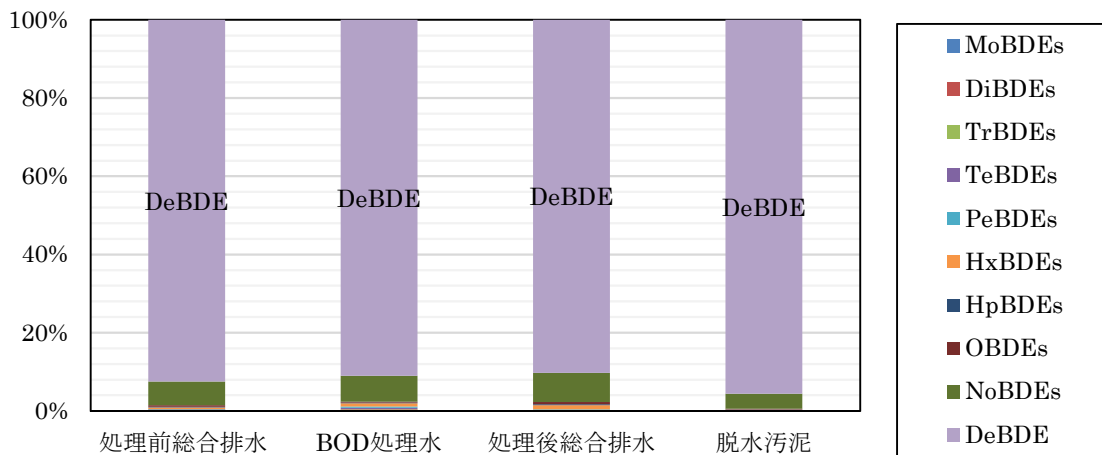


図 6-14 PBDEs 同族体組成 (旧難燃剤取扱施設)

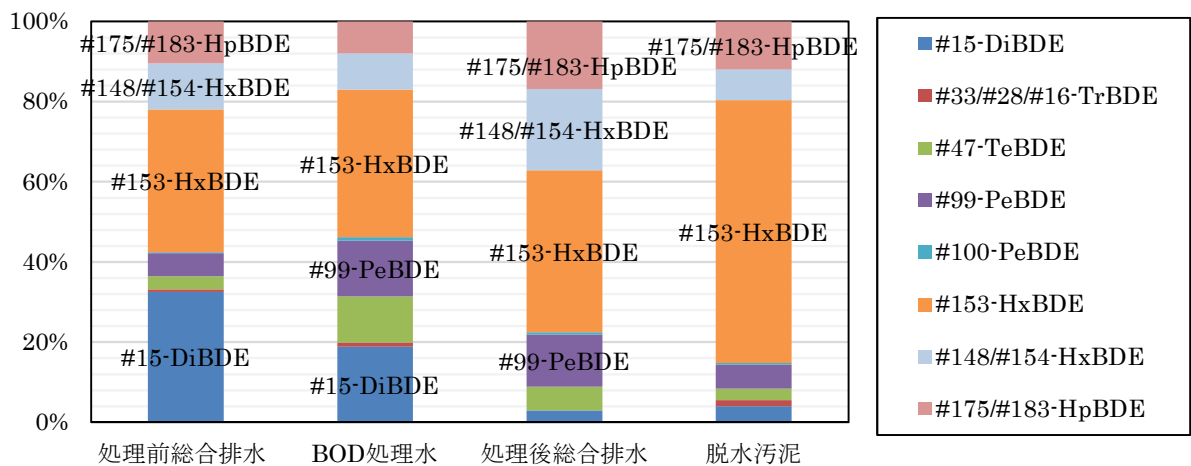


図 6-15 PBDEs 異性体組成 (旧難燃剤取扱施設) (DeBDE 以外)

d. TBBPA

TBBPA 実測濃度は、処理前総合排水 0.7 ng/L、処理後総合排水 ND ng/L であった。

e. HBCDs

HBCDs 実測濃度は、処理前総合排水 3.1 ng/L、処理後総合排水 2.7 ng/L であった。

f. PBPhs

PBPhs 実測濃度は、処理前総合排水 5.4 ng/L、処理後総合排水 160 ng/L であった。

PBPhs 異性体組成は、処理前総合排水及び脱水汚泥では、2,4,6-TrBPh 及び 2,3,4,5,6-PeBPh 約 9 割を占めていたが、BOD 処理水及び処理後総合排水では、3/4-MoBPh 及び 2,4-DiBPh が約 6~8 割を占めていた(図 6-16)。

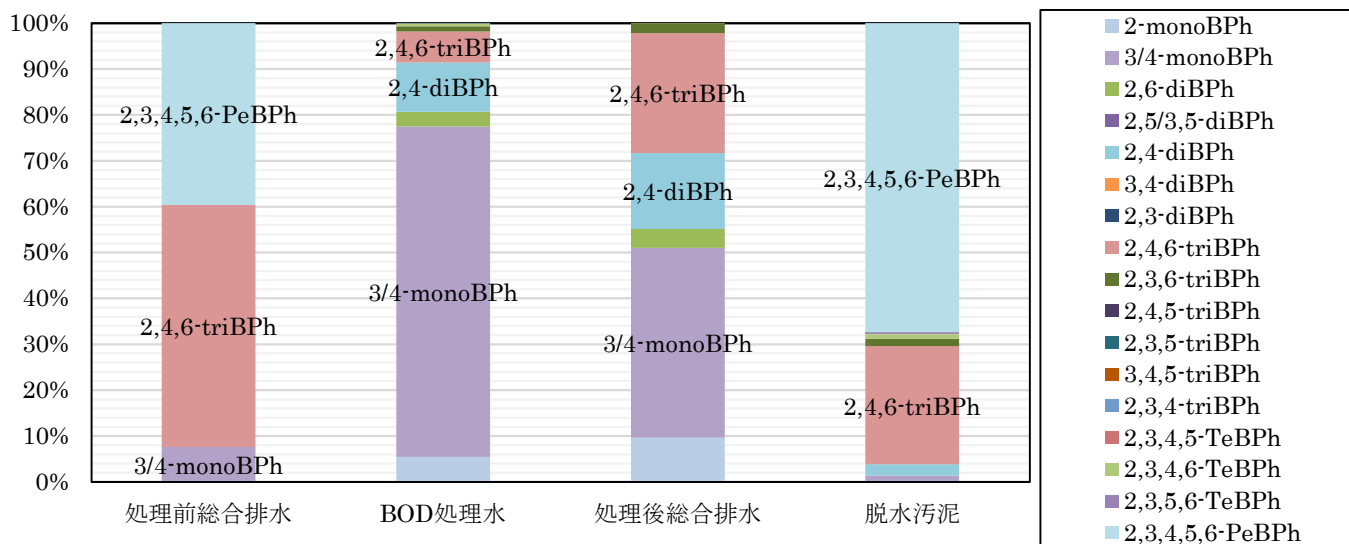


図 6-16 PBPhs 異性体組成 (旧難燃剤取扱施設)

g. HxBBz

HxBBz 実測濃度は、処理前総合排水 9,700 ng/L、処理後総合排水 130 ng/L であった。

(2) 汚泥

a. PBDD/Fs

脱水汚泥の PBDD/Fs 実測濃度は 600 ng/g-dry であり、毒性等量相当値 (ND=0)は 3.5 ng-TEQ/g-dry であった。過去データと比較すると、2014 年度 D 施設と同レベルであった(表 6-3)。

PBDD/Fs 同族体組成は、処理前総合排水とほぼ同様な組成であり、PBDDs よりも PBDFs の比率が高く、HpBDF 及び OBDF が主要な同族体であった(図

6-12)。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 6-13)。

b. PCDD/Fs 及び Co-PCB

脱水汚泥の PCDD/Fs 及び Co-PCB 実測濃度は 4.9 ng/g-dry であり、毒性等量値(ND=0)は 0.012 ng-TEQ/g-dry であった。過去データと比較すると、2004 年度 B-3 施設と同レベルであった(表 6-3)。

c. PBDEs

脱水汚泥の PBDEs 実測濃度は、590,000 ng/g-dry であった。過去データと比較すると、2004 年度 B-3 施設及び 2014 年度 D 施設と同レベルであった(表 6-3)。

d. TBBPA

脱水汚泥の TBBPA 実測濃度は、0.7 ng/g-dry であった。

e. HBCDs

脱水汚泥の HBCDs 実測濃度は、1,900 ng/g-dry であった。過去データと比較すると、2004 年度 B-3 施設より 1 桁低い濃度レベルであった(表 6-3)。

f. PBPhs

脱水汚泥の PBPhs 実測濃度は、500 ng/g-dry であった。PBPhs 異性体組成は、2,4,6-TrBPh 及び 2,3,4,5,6-PeBPh が約 9 割を占めていた(図 6-16)。

g. HxBBz

脱水汚泥の HxBBz 実測濃度は、870,000 ng/g-dry であった。

(3) 難燃剤

難燃剤中の PBDD/Fs、PCDD/Fs、Co-PCB、PBDEs、TBBPA 及び HBCDs の実測濃度は、ND であった。PBPh 実測濃度は、660,000 ng/g、HxBBz は、970,000,000 ng/g であった。

(4) 考察

本施設では、過去に DeBDE や HxBBz を取扱っていた施設である。過去の調査では、処理後総合排水中の PBDD/Fs 濃度は塩素化ダイオキシン類の排水基準相当値(10 pg-TEQ/L)を上回る濃度が検出されていたが、今回の調査では、十分に下回る濃度まで低減していることが確認された。

本施設の排水処理は、散水ろ床(生物膜)→回転円盤接触(生物膜)→凝集沈殿により処理されていた。凝集沈殿後の処理水を BOD 処理排水として、排水処理設備における除去率を表 6-6 に算出した。PBDD/Fs 濃度及び PBDEs 濃度の除

去率が他と比較してやや低いものの、他の物質では除去率が約 90%以上得られており、SS 濃度除去に伴い、SS に吸着している成分も除去されていると推察される。

前述の通り、排水処理施設で発生する汚泥のほとんどは、凝集沈殿で生じる汚泥となり、排水処理施設内で濃縮されずに、脱水汚泥として絶えず抜かれていた。凝集沈殿の汚泥沈殿槽の容量から推察すると、約 3～4 日分の汚泥が溜まっていることとなる。排水中の PBDD/Fs 濃度や PBDEs 濃度が低くなっていたにもかかわらず、今回、排水処理施設で発生した脱水汚泥には、高濃度の PBDEs、HxBBz 及び PBDD/Fs が検出された。前回の調査では、排水中の PBDEs 濃度や汚泥まで調査をしていないので、単純に比較できないが、施設で DeBDE 取扱いを終了して約 5 年経過しているにもかかわらず、今回の調査で脱水汚泥中の高濃度の PBDEs、HxBBz 及び PBDD/Fs が検出されたことは、過去の DeBDE 等使用によるものか、現在製造している臭素化合物によるものか原因は不明である。処理後総合排水では低濃度であり、汚泥は適切に産廃処理されていたが、高濃度な汚泥の影響により排水濃度に影響を与える可能性もあるため、追加調査が必要であると考えらる。

表 6-6 排水処理設備における除去率 (%)

総合排水（処理前）と BOD 処理水との比較	2021 年度 B 施設
	散水ろ床→生物膜→凝集沈殿
PBDD/Fs 実測濃度	60.0%
PBDD/Fs (TEQ [*])	62.0%
PCDD/Fs/Co-PCB 実測濃度	93.5%
PCDD/Fs/Co-PCB (TEQ [*])	99.2%
PBDEs 実測濃度	67.6%
HxBBz 実測濃度	98.1%
PBPh 実測濃度	97.7%
SS 濃度	92.9%

^{*}毒性等量又は毒性等量相当値は、ND=0 として計算

7. 臭素系ダイオキシン類暫定排出インベントリー

今年度測定した臭素系ダイオキシン類のデータを用いて、PBDD/Fs の水系への年間排出量を表 7-1 にまとめ、PBDD/Fs の大気系への年間排出量を表 7-2 にまとめ、臭素系ダイオキシン類暫定排出インベントリーを表 7-3 に更新した。

今年度は、水への大きな排出源として、難燃繊維加工施設及び旧難燃剤取扱施設の調査を実施して、DeBDE の規制効果を確認した。

化審法の DeBDE 規制効果により、DeBDE を使用していた難燃繊維加工施設の総合排水中の PBDD/Fs 濃度は約 90%低くなっており、難燃繊維加工施設の PBDD/Fs 排出量は約 90%減少した。

旧難燃剤取扱施設の PBDD/Fs 排出量推計では、推計量の変更により単純に比較はできないが、過去調査した施設のもう一つの施設の排水量がかなり大きいため、旧難燃剤取扱施設の PBDD/Fs 排出量はそこまで減少しなかった。

2019 年度から化審法により DeBDE の使用製造禁止になり、今年度の調査を含めて 5 施設だけのデータであるが、DeBDE 由来の水系への PBDD/Fs 排出量は減少していた。

今後、臭素系ダイオキシン類の暫定排出インベントリーを更に充実させるためには、化審法の DeBDE 規制効果を確認する調査、未測定業種の調査、調査施設数の増加により、ある程度の調査データ数の確保が必要と考える。

表 7-1 PBDD/Fs の水系への年間排出量

		(mg-TEQ/年)
難燃剤製造・取扱施設	DeBDE、TBBPA、HxBBz	426.9153
	TBBPA ポリカーボネートオリゴマー	—
難燃樹脂製造施設	TBBPA エポキシ樹脂	6.69
	TrBPhs 末端処理 TBBPA 型エポキシ樹脂	7.06
難燃プラスチック製造加工施設	DBDPE 使用	30.6
	発泡ポリスチレン	0.234
難燃繊維加工施設 (DeBDE、DBDPE)		145.35
家電リサイクル施設		2.17
アルミニウム二次精錬・精製施設		1.10
セメント製造施設		29.4
廃棄物焼却施設	一般廃棄物焼却炉	0.948
	産業廃棄物焼却炉	4.32
下水道終末処理場		619
最終処分場	一般廃棄物管理型最終処分場	—
	産業廃棄物管理型最終処分場	0.674

表 7-2 PBDD/Fs の大気系への年間排出量

		(mg-TEQ/年)
難燃剤製造・取扱施設	TBBPA	1.08
	TBBPA ポリカーボネートオリゴマー	1.87
	DeBDE	2.07
難燃樹脂製造施設	TBBPA エポキシ樹脂	0.00163
	TrBPhs 末端処理 TBBPA 型エポキシ樹脂	0.760
難燃プラスチック製造加工施設	DBDPE 使用	462
	発泡ポリスチレン	3.95
難燃繊維加工施設		0.766
家電リサイクル施設		1.14
アルミニウム二次精錬・精製施設		55.9
製鋼用電気炉		82.2
セメント製造施設		510
廃棄物焼却施設	一般廃棄物焼却炉	179
	産業廃棄物焼却炉	166
下水道終末処理場		19.7

表 7-3 臭素系ダイオキシン類暫定排出インベントリー

PBDD/Fs (2003～2021 年度調査)		年間排出量 (g-TEQ/年)				
		DeBDE 規制前	調査 年度	DeBDE 規制後	調査 年度	最新値
大 気 へ の 排 出 源	セメント製造施設 (廃棄物焼却炉として)	0.51	2010Fy	—	—	0.51
	難燃プラスチック製造加 工施設 (BFR)	1.03	2004Fy	0.462	2020Fy	0.46
	一般廃棄物焼却炉	0.18	2012Fy	—	—	0.18
	産業廃棄物焼却炉	0.17	2012Fy	—	—	0.17
	製鋼用電気炉	—	—	0.082	2019Fy	0.082
	アルミニウム第二次精 練・精製施設	0.056	2009Fy	—	—	0.056
	下水道終末処理場 (汚泥焼却炉として)	0.020	2014Fy	—	—	0.020
	小計	1.96				1.48
水 へ の 排 出 源	下水道終末処理場	1.05	2014Fy	0.62	2019Fy	0.62
	難燃剤製造・取扱施設 (BFR)	0.59	2006Fy	0.426	2021Fy	0.43
	難燃繊維加工施設 (BFR)	1.37	2013Fy 2017Fy	0.145	2019Fy 2020Fy 2021Fy	0.15
	難燃プラスチック製造加 工施設 (BFR)	0.045	2004Fy	0.031	2020Fy	0.031
	セメント製造施設	0.029	2010Fy	0.029	—	0.029
	難燃剤樹脂製造施設 (BFR)	0.0071	2008Fy	0.0071	—	0.0071
	小計	3.08				1.27
合計	5.0				2.8	

別表 - 1

調査結果(個別結果)

表 1 排水水及び返送汚泥中のPBDD/Fs分析結果(実測濃度) (pg/L)

物質名	A 施設		
	総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
2,3,7,8-TeBDD	ND	ND	ND
TeBDDs	0.36	80	0.48
1,2,3,7,8-PeBDD	ND	ND	ND
PeBDDs	ND	ND	ND
1,2,3,4,7,8-HxBDD	ND	ND	ND
1,2,3,6,7,8-HxBDD	ND	ND	ND
1,2,3,7,8,9-HxBDD	ND	ND	ND
HxBDDs	ND	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	7.3	270	9.6
HpBDDs	7.3	270	9.6
OBDD	29	920	7.4
Total PBDDs	37	1300	17
2,3,7,8-TeBDF	4.9	41	1.4
TeBDFs	220	2000	82
1,2,3,7,8-PeBDF	ND	ND	ND
2,3,4,7,8-PeBDF	3.4	ND	1.2
PeBDFs	180	2800	77
1,2,3,4,7,8-HxBDF	ND	ND	ND
HxBDFs	150	3100	74
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	100	4300	74
HpBDFs	100	4300	74
OBDF	180	12000	130
Total PBDFs	850	24000	440
Total (PBDDs+PBDFs)	890	26000	450

表 2 排水水及び返送汚泥中のPBDD/Fs分析結果(毒性等量相当値) (pg-TEQ/L)

物質名	A 施設		
	総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
2,3,7,8-TeBDD	0.02	0.4	0.02
1,2,3,7,8-PeBDD	0.05	1	0.05
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.03	0.5	0.03
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.035	0.5	0.035
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.025	0.5	0.025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.073	2.7	0.096
OBDD	0.0087	0.276	0.00222
2,3,7,8-TeBDF	0.49	4.1	0.14
1,2,3,7,8-PeBDF	0.003	0.06	0.003
2,3,4,7,8-PeBDF	1.02	0.75	0.36
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.025	0.5	0.025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	1.0	43	0.74
OBDF	0.054	3.6	0.039
Total TEQ (下限×1/2)	2.8	58	1.6
Total TEQ (ND=0)	2.6	54	1.4

*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			
	総合排水 (処理前)	BOD処理水	廃地下水	総合排水 (処理後)
2,3,7,8-TeBDD	ND	ND	ND	ND
TeBDDs	1.5	0.14	ND	0.06
1,2,3,7,8-PeBDD	ND	ND	ND	ND
PeBDDs	0.16	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	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	1.3	0.5	ND	0.6
HpBDDs	2.8	0.5	ND	1.0
OBDD	37	1.7	ND	8.8
Total PBDDs	41	2.3	ND	9.8
2,3,7,8-TeBDF	0.55	0.08	4.7	4.1
TeBDFs	20	4.7	12	15
1,2,3,7,8-PeBDF	0.2	0.10	ND	ND
2,3,4,7,8-PeBDF	0.5	0.2	ND	0.1
PeBDFs	27	5.9	2.7	11
1,2,3,4,7,8-HxBDF	2.9	0.8	ND	0.9
HxBDFs	65	22	6.1	21
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	140	58	5.6	27
HpBDFs	140	58	5.6	27
OBDF	110	67	9.0	33
Total PBDFs	360	160	36	110
Total (PBDDs+PBDFs)	400	160	36	120

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			
	総合排水 (処理前)	BOD処理水	廃地下水	総合排水 (処理後)
2,3,7,8-TeBDD	0.01	0.01	0.03	0.01
1,2,3,7,8-PeBDD	0.035	0.03	0.1	0.03
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.015	0.015	0.045	0.015
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.02	0.015	0.05	0.015
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.015	0.015	0.04	0.015
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.013	0.005	0.0035	0.006
OBDD	0.0111	0.00051	0.0003	0.00264
2,3,7,8-TeBDF	0.055	0.008	0.47	0.41
1,2,3,7,8-PeBDF	0.006	0.003	0.0045	0.00135
2,3,4,7,8-PeBDF	0.15	0.06	0.045	0.03
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.29	0.08	0.035	0.09
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	1.4	0.58	0.056	0.27
OBDF	0.033	0.0201	0.0027	0.0099
Total TEQ (下限×1/2)	2.1	0.84	0.88	0.90
Total TEQ (ND=0)	2.0	0.76	0.53	0.82

*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 排水水及び返送汚泥中のPCDD/Fs・Co-PCB分析結果(実測濃度) (pg/L)

物質名		A 施設		
		総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	ND	ND	ND
	TeCDDs	1.3	48	1.6
	1,2,3,7,8-PeCDD	ND	ND	ND
	PeCDDs	ND	13	0.7
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND	ND	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND	ND	ND
	HxCDDs	12	360	13
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ND	19	ND
	HpCDDs	ND	48	ND
	OCDD	ND	110	1.8
Total PCDDs		14	580	18
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	1.3	43	1.0
	TeCDFs	6.9	210	7.4
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.9	52	1.9
	2,3,4,7,8-PeCDF	ND	ND	ND
	PeCDFs	14	650	25
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.2	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.2	ND	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND	ND	ND
	2,3,4,6,7,8+1,2,3,6,8,9-HxCDF	0.63	71	2.3
	HxCDFs	2.0	110	3.3
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ND	ND	ND
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND	ND	ND
	HpCDFs	ND	ND	ND
	OCDF	ND	ND	ND
Total PCDFs		23	970	35
Total PCDD/Fs		37	1500	53
Co-PCB	3,4,4',5'-TeCB(#81)	0.26	7	0.34
	3,3',4,4'-TeCB(#77)	6.4	250	9.0
	3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	ND	ND	ND
	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	ND	ND	ND
	Total non-ortho CBs	6.6	260	9.3
	2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	ND	ND	0.52
	2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	12	230	11
	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	4.2	88	4.7
	2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	ND	ND	0.40
	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	0.55	8	0.43
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	1.4	22	1.1
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	ND	ND	0.29
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	ND	ND	ND
Total mono-ortho CBs		19	350	18
Total Co-PCB		25	600	27
Total PCDD/Fs・Co-PCB		62	2200	80
毒性等量 (pg-TEQ/L)	Total PCDD/Fs	0.26	13	0.39
	Total Co-PCB	0.0013	0.038	0.0016
	Total PCDD/Fs・Co-PCB	0.26	13	0.39

* 毒性等量は、検出下限未満を「0」として算出した値である。

表 6 排水水中のPCDD/Fs・Co-PCB分析結果(実測濃度)(pg/L)

物質名	B 施設			
	総合排水 (処理前)	BOD処理水	総合排水 (処理後)	
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	ND	ND	ND
	TeCDDs	6.4	0.5	1.7
	1,2,3,7,8-PeCDD	ND	ND	ND
	PeCDDs	0.5	ND	ND
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND	ND	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND	ND	ND
	HxCDDs	0.5	ND	ND
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	2.4	ND	ND
	HpCDDs	5.9	ND	1.0
	OCDD	120	2.3	20
Total PCDDs	130	2.8	23	
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	ND	ND	ND
	TeCDFs	ND	ND	ND
	1,2,3,7,8-PeCDF	ND	ND	ND
	2,3,4,7,8-PeCDF	ND	ND	ND
	PeCDFs	ND	ND	ND
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	ND	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	ND	ND	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND	ND	ND
	2,3,4,6,7,8+1,2,3,6,8,9-HxCDF	ND	ND	ND
	HxCDFs	ND	ND	ND
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ND	ND	ND
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND	ND	ND
	HpCDFs	ND	ND	ND
	OCDF	3.6	ND	ND
Total PCDFs	3.6	ND	ND	
Total PCDD/Fs	130	2.8	23	
Co-PCB	3,4,4',5'-TeCB(#81)	ND	0.10	ND
	3,3',4,4'-TeCB(#77)	2.8	0.76	2.4
	3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	0.5	ND	ND
	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	0.2	ND	ND
	Total non-ortho CBs	3.5	0.85	2.4
	2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	ND	ND	ND
	2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	18	4.8	11
	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	10	2.5	7.6
	2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	0.66	ND	ND
	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	1.0	0.18	0.34
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	2.8	0.42	0.94
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	0.80	ND	0.30
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	0.4	ND	ND
Total mono-ortho CBs	34	7.8	20	
Total Co-PCB	37	8.7	23	
Total PCDD/Fs・Co-PCB	170	11	46	
毒性等量 (pg-TEQ/L)	Total PCDD/Fs	0.061	0.00069	0.0060
	Total Co-PCB	0.057	0.00034	0.00085
	Total PCDD/Fs・ Co-PCB	0.12	0.0010	0.0068

* 毒性等量は、検出下限未満を「0」として算出した値である。

表7 排水水及び返送汚泥中のPBDEs,DBDPE分析結果(実測濃度)(ng/L)

物質名	A 施設		
	総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
MoBDEs	ND	ND	ND
4,4'-DiBDE(#15)	ND	ND	ND
DiBDEs	ND	ND	ND
2',3,4/2,4,4'/2,2',3-TrBDE(#33/#28/#16)	ND	ND	ND
TrBDEs	ND	ND	ND
2,2',4,4'-TeBDE(#47)	0.025	0.73	0.014
TeBDEs	0.093	2.1	0.014
2,2',4,4',5-PeBDE(#99)	0.045	0.8	0.023
2,2',4,4',6-PeBDE(#100)	ND	0.36	ND
PeBDEs	0.24	5.7	0.09
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	0.46	10	0.19
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	0.15	3.5	0.068
HxBDEs	0.98	21	0.41
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE(#175/#183)	0.13	3.6	0.06
HpBDEs	0.26	7.4	0.12
OBDEs	2.1	91	1.3
NoBDEs	51	3000	27
DeBDE	750	71000	620
Total PBDEs	810	74000	650
DBDPE	45	10000	58

表8 排水水及び返送汚泥中のHBCDs,TBBPA及びPBPhs分析結果(実測濃度)(ng/L)

物質名	A 施設		
	総合排水 (処理前)	返送汚泥	総合排水 (処理後)
α -HBCD	2.7	110	2.0
β -HBCD	0.3	4.7	ND
γ -HBCD	2.2	120	1.3
Total HBCDs	5.1	240	3.3
TBBPA	ND	ND	ND
2-MoBPh	10	ND	ND
3/4-MoBPh	10	ND	ND
MoBPhs	20	ND	ND
2,6-DiBPh	ND	ND	ND
2,5/3,5-DiBPh	ND	ND	ND
2,4-DiBPh	ND	ND	4
3,4-DiBPh	ND	ND	ND
2,3-DiBPh	ND	ND	ND
DiBPhs	ND	ND	4
2,4,6-TrBPh	6	150	15
2,3,6-TrBPh	ND	ND	ND
2,4,5-TrBPh	ND	ND	ND
2,3,5-TrBPh	ND	ND	ND
3,4,5-TrBPh	ND	ND	ND
2,3,4-TrBPh	ND	ND	ND
TrBPhs	6	150	15
2,3,4,5-TeBPh	ND	ND	ND
2,3,4,6-TeBPh	ND	ND	ND
2,3,5,6-TeBPh	ND	ND	ND
TeBPhs	ND	ND	ND
2,3,4,5,6-PeBPh	ND	ND	ND
Total PBPhs	26	150	19

表9 排出水中のPBDEs,HxBBz分析結果(実測濃度)(ng/L)

物質名	B 施設		
	総合排水 (処理前)	BOD処理水	総合排水 (処理後)
MoBDEs	0.022	ND	ND
4,4'-DiBDE(#15)	0.62	0.23	0.016
DiBDEs	0.62	0.27	0.018
2',3,4/2,4,4'/2,2',3-TrBDE(#33/#28/#16)	0.012	0.013	ND
TrBDEs	0.012	0.021	ND
2,2',4,4'-TeBDE(#47)	0.063	0.14	0.032
TeBDEs	0.084	0.23	0.037
2,2',4,4',5-PeBDE(#99)	0.11	0.17	0.071
2,2',4,4',6-PeBDE(#100)	0.005	0.010	0.003
PeBDEs	0.15	0.21	0.074
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	0.68	0.45	0.22
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	0.22	0.11	0.11
HxBDEs	0.97	0.59	0.38
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE(#175/#183)	0.20	0.098	0.092
HpBDEs	0.27	0.098	0.092
OBDEs	0.95	0.17	0.23
NoBDEs	13	4.5	2.7
DeBDE	200	62	33
Total PBDEs	210	68	36
HxBBz	9700	180	130

表10 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		
	総合排水 (処理前)	BOD処理水	総合排水 (処理後)
α -HBCD	1.1	3.7	0.7
β -HBCD	0.27	0.39	0.26
γ -HBCD	1.7	0.7	1.7
Total HBCDs	3.1	4.8	2.7
TBBPA	0.7	0.3	ND
2-MoBPh	ND	12	15
3/4-MoBPh	0.4	160	65
MoBPhs	0.4	180	80
2,6-DiBPh	ND	7.0	6.4
2,5/3,5-DiBPh	ND	ND	ND
2,4-DiBPh	ND	24	26
3,4-DiBPh	ND	ND	ND
2,3-DiBPh	ND	ND	ND
DiBPhs	ND	31	33
2,4,6-TrBPh	2.8	15	41
2,3,6-TrBPh	ND	2.5	3.2
2,4,5-TrBPh	ND	ND	ND
2,3,5-TrBPh	ND	ND	ND
3,4,5-TrBPh	ND	ND	ND
2,3,4-TrBPh	ND	ND	ND
TrBPhs	2.8	17	44
2,3,4,5-TeBPh	ND	ND	ND
2,3,4,6-TeBPh	ND	1.2	0.2
2,3,5,6-TeBPh	ND	ND	ND
TeBPhs	ND	1.2	0.2
2,3,4,5,6-PeBPh	2.1	0.3	ND
Total PBPhs	5.4	220	160

表 11 汚泥中のPBDD/Fs分析結果(実測濃度) (ng/g-dry)

物質名	A 施設	B 施設
	脱水汚泥	脱水汚泥
2,3,7,8-TeBDD	ND	ND
TeBDDs	0.0015	0.16
1,2,3,7,8-PeBDD	ND	ND
PeBDDs	ND	0.027
1,2,3,4,7,8-HxBDD	ND	ND
1,2,3,6,7,8-HxBDD	ND	ND
1,2,3,7,8,9-HxBDD	ND	ND
HxBDDs	ND	0.11
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.036	0.25
HpBDDs	0.036	0.52
OBDD	0.072	13
Total PBDDs	0.11	13
2,3,7,8-TeBDF	0.014	0.085
TeBDFs	0.67	3.8
1,2,3,7,8-PeBDF	ND	0.10
2,3,4,7,8-PeBDF	0.016	0.14
PeBDFs	0.93	8.0
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.042	2.4
HxBDFs	1.8	46
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	1.5	310
HpBDFs	1.5	310
OBDF	6.4	220
Total PBDFs	11	580
Total (PBDDs+PBDFs)	11	600

表 12 汚泥中のPBDD/Fs分析結果(毒性等量相当値) (ng-TEQ/g-dry)

物質名	A 施設	B 施設
	脱水汚泥	脱水汚泥
2,3,7,8-TeBDD	0.00005	0.00005
1,2,3,7,8-PeBDD	0.00015	0.00015
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.00005	0.00005
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.0001	0.0001
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.00005	0.00005
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.00036	0.0025
OBDD	0.0000216	0.0039
2,3,7,8-TeBDF	0.0014	0.0085
1,2,3,7,8-PeBDF	0.0000075	0.003
2,3,4,7,8-PeBDF	0.0048	0.042
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.0042	0.24
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.015	3.1
OBDF	0.00192	0.066
Total TEQ (下限×1/2)	0.028	3.5
Total TEQ (ND=0)	0.028	3.5

*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 13 汚泥中のPCDD/Fs・Co-PCB分析結果(実測濃度)(ng/g-dry)

物質名		A 施設	B 施設
		脱水汚泥	脱水汚泥
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	ND	ND
	TeCDDs	0.012	0.16
	1,2,3,7,8-PeCDD	ND	ND
	PeCDDs	0.0052	0.016
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND	ND
	HxCDDs	0.11	0.020
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ND	0.044
	HpCDDs	0.0082	0.10
	OCDD	0.030	1.6
Total PCDDs		0.16	1.9
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	0.011	0.0051
	TeCDFs	0.057	0.11
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.017	0.0012
	2,3,4,7,8-PeCDF	ND	0.0018
	PeCDFs	0.21	0.034
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.0010	0.0025
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	ND	0.0012
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND	ND
	2,3,4,6,7,8+1,2,3,6,8,9-HxCDF	0.013	0.0019
	HxCDFs	0.023	0.028
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ND	ND
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND	ND
	HpCDFs	ND	ND
	OCDF	ND	0.42
Total PCDFs		0.29	0.59
Total PCDD/Fs		0.45	2.4
Co-PCB	3,4,4',5'-TeCB(#81)	0.0019	0.042
	3,3',4,4'-TeCB(#77)	0.065	0.27
	3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	ND	0.084
	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	ND	0.016
	Total non-ortho CBs	0.067	0.41
	2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	0.0032	0.079
	2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	0.020	1.0
	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	0.0081	0.67
	2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	ND	0.066
	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	ND	0.044
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	0.0016	0.12
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	ND	0.039
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	ND	0.016
	Total mono-ortho CBs	0.033	2.0
Total Co-PCB		0.099	2.4
Total PCDD/Fs・Co-PCB		0.55	4.9
毒性等量 (ng・TEQ/g-dry)	Total PCDD/Fs	0.0030	0.0027
	Total Co-PCB	0.0000081	0.0090
	Total PCDD/Fs・Co-PCB	0.0030	0.012

* 毒性等量は、検出下限未満を「0」として算出した値である。

表 14 汚泥中のPBDEs,DBDPE,HxBBz分析結果(実測濃度) (ng/g-dry)

物質名	A 施設	B 施設
	脱水汚泥	脱水汚泥
MoBDEs	ND	74
4,4'-DiBDE(#15)	ND	73
DiBDEs	ND	99
2',3,4/2,4,4'/2,2',3-TrBDE(#33/#28/#16)	ND	27
TrBDEs	ND	48
2,2',4,4'-TeBDE(#47)	0.12	53
TeBDEs	0.33	75
2,2',4,4',5-PeBDE(#99)	0.22	110
2,2',4,4',6-PeBDE(#100)	ND	6.6
PeBDEs	1.1	140
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	2.0	1200
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	0.83	140
HxBDEs	4.3	1400
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE(#175/#183)	0.7	220
HpBDEs	1.6	220
OBDEs	270	820
NoBDEs	4300	23000
DeBDE	17000	570000
Total PBDEs	21000	590000
DBDPE	2200	
HxBBz		870000

表 15 汚泥中のHBCDs,TBBPA及びPBPhs分析結果(実測濃度) (ng/g-dry)

物質名	A 施設	B 施設
	脱水汚泥	脱水汚泥
α -HBCD	36	360
β -HBCD	1.6	110
γ -HBCD	38	1500
Total HBCDs	75	1900
TBBPA	ND	0.7
2-MoBPh	ND	ND
3/4-MoBPh	ND	7
MoBPhs	ND	7
2,6-DiBPh	ND	ND
2,5/3,5-DiBPh	ND	ND
2,4-DiBPh	4	12
3,4-DiBPh	ND	ND
2,3-DiBPh	ND	ND
DiBPhs	4	12
2,4,6-TrBPh	33	130
2,3,6-TrBPh	ND	8
2,4,5-TrBPh	4	ND
2,3,5-TrBPh	ND	ND
3,4,5-TrBPh	ND	ND
2,3,4-TrBPh	ND	ND
TrBPhs	37	140
2,3,4,5-TeBPh	ND	ND
2,3,4,6-TeBPh	ND	5
2,3,5,6-TeBPh	ND	2
TeBPhs	ND	7
2,3,4,5,6-PeBPh	ND	340
Total PBPhs	41	500

表 16 製品中のPBDD/Fs分析結果(実測濃度) (ng/g)

物質名	B 施設
	難燃剤 (製品)
2,3,7,8-TeBDD	ND
TeBDDs	ND
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	ND
HpBDDs	ND
OBDD	ND
Total PBDDs	ND
2,3,7,8-TeBDF	ND
TeBDFs	ND
1,2,3,7,8-PeBDF	ND
2,3,4,7,8-PeBDF	ND
PeBDFs	ND
1,2,3,4,7,8-HxBDF	ND
HxBDFs	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	ND
HpBDFs	ND
OBDF	ND
Total PBDFs	ND
Total (PBDDs+PBDFs)	ND

表 17 製品中のPBDD/Fs分析結果(毒性等量相当値) (ng-TEQ/g)

物質名	B 施設
	難燃剤 (製品)
2,3,7,8-TeBDD	0.35
1,2,3,7,8-PeBDD	1
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.5
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.5
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.5
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.04
OBDD	0.003
2,3,7,8-TeBDF	0.04
1,2,3,7,8-PeBDF	0.045
2,3,4,7,8-PeBDF	0.6
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.45
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.045
OBDF	0.003
Total TEQ (下限×1/2)	4.1
Total TEQ (ND=0)	0

* 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*

* 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 18 製品中のPCDD/Fs・Co-PCB分析結果(実測濃度) (ng/g)

物質名		B 施設
		難燃剤 (製品)
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	ND
	TeCDDs	ND
	1,2,3,7,8-PeCDD	ND
	PeCDDs	ND
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND
	HxCDDs	ND
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ND
	HpCDDs	ND
	OCDD	ND
	Total PCDDs	ND
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	ND
	TeCDFs	ND
	1,2,3,7,8-PeCDF	ND
	2,3,4,7,8-PeCDF	ND
	PeCDFs	ND
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND
	2,3,4,6,7,8+1,2,3,6,8,9-HxCDF	ND
	HxCDFs	ND
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ND
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND
	HpCDFs	ND
	OCDF	ND
Total PCDFs	ND	
Total PCDD/Fs		ND
Co-PCB	3,4,4',5'-TeCB(#81)	ND
	3,3',4,4'-TeCB(#77)	ND
	3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	ND
	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	ND
	Total non-ortho CBs	ND
	2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	ND
	2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	ND
	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	ND
	2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	ND
	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	ND
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	ND
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	ND
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	ND
	Total mono-ortho CBs	ND
Total Co-PCB		ND
Total PCDD/Fs・Co-PCB		ND
毒性等量 (ng-TEQ/g)	Total PCDD/Fs	0
	Total Co-PCB	0
	Total PCDD/Fs・ Co-PCB	0

* 毒性等量は、検出下限未満を「0」として算出した値である。

表 19 製品中のPBDEs,HxBBz分析結果(実測濃度) (ng/g)

物質名	B 施設
	難燃剤 (製品)
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)	ND
TeBDEs	ND
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)	ND
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	ND
HxBDEs	ND
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6-HpBDE(#175/#183)	ND
HpBDEs	ND
OBDEs	ND
NoBDEs	ND
DeBDE	ND
Total PBDEs	ND
HxBBz	970000000

表 20 製品中のHBCDs,TBBPA及びPBPhs分析結果(実測濃度) (ng/g)

物質名	B 施設
	難燃剤 (製品)
α -HBCD	ND
β -HBCD	ND
γ -HBCD	ND
Total HBCDs	ND
TBBPA	ND
2-MoBPh	ND
3/4-MoBPh	ND
MoBPhs	ND
2,6-DiBPh	ND
2,5/3,5-DiBPh	ND
2,4-DiBPh	ND
3,4-DiBPh	ND
2,3-DiBPh	ND
DiBPhs	ND
2,4,6-TrBPh	ND
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	ND
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	660000
Total PBPhs	660000

別図-1

調査施設概要

(製造工程フロー、排水処理フロー、試料採取箇所)

調査施設概要 (A施設)

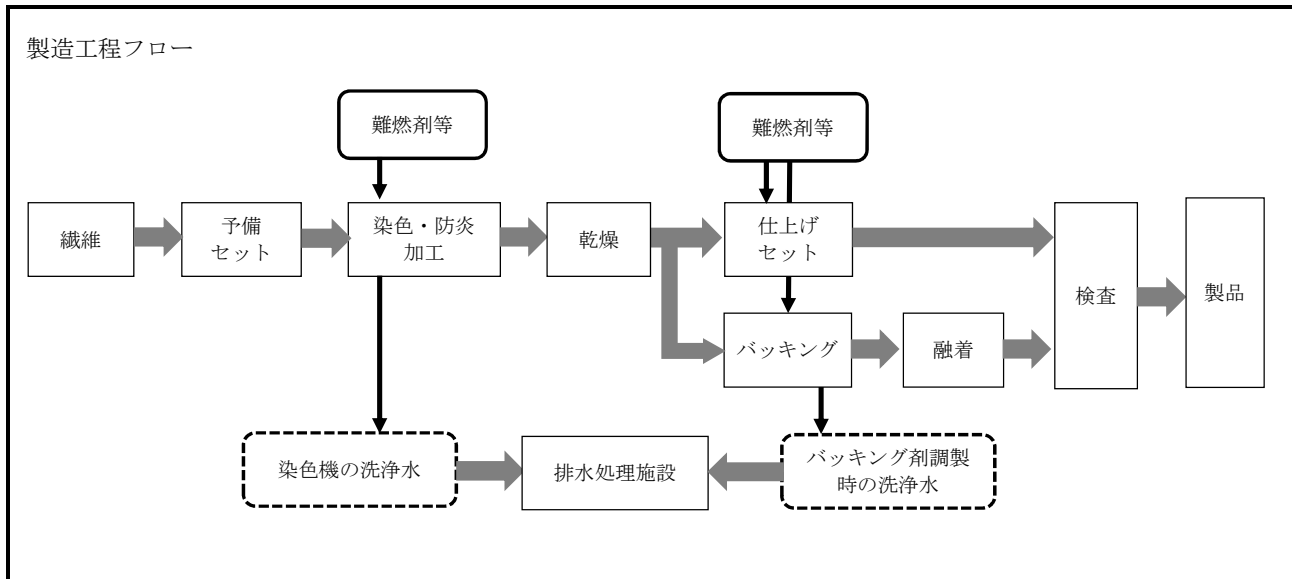


図-1 製造工程フロー

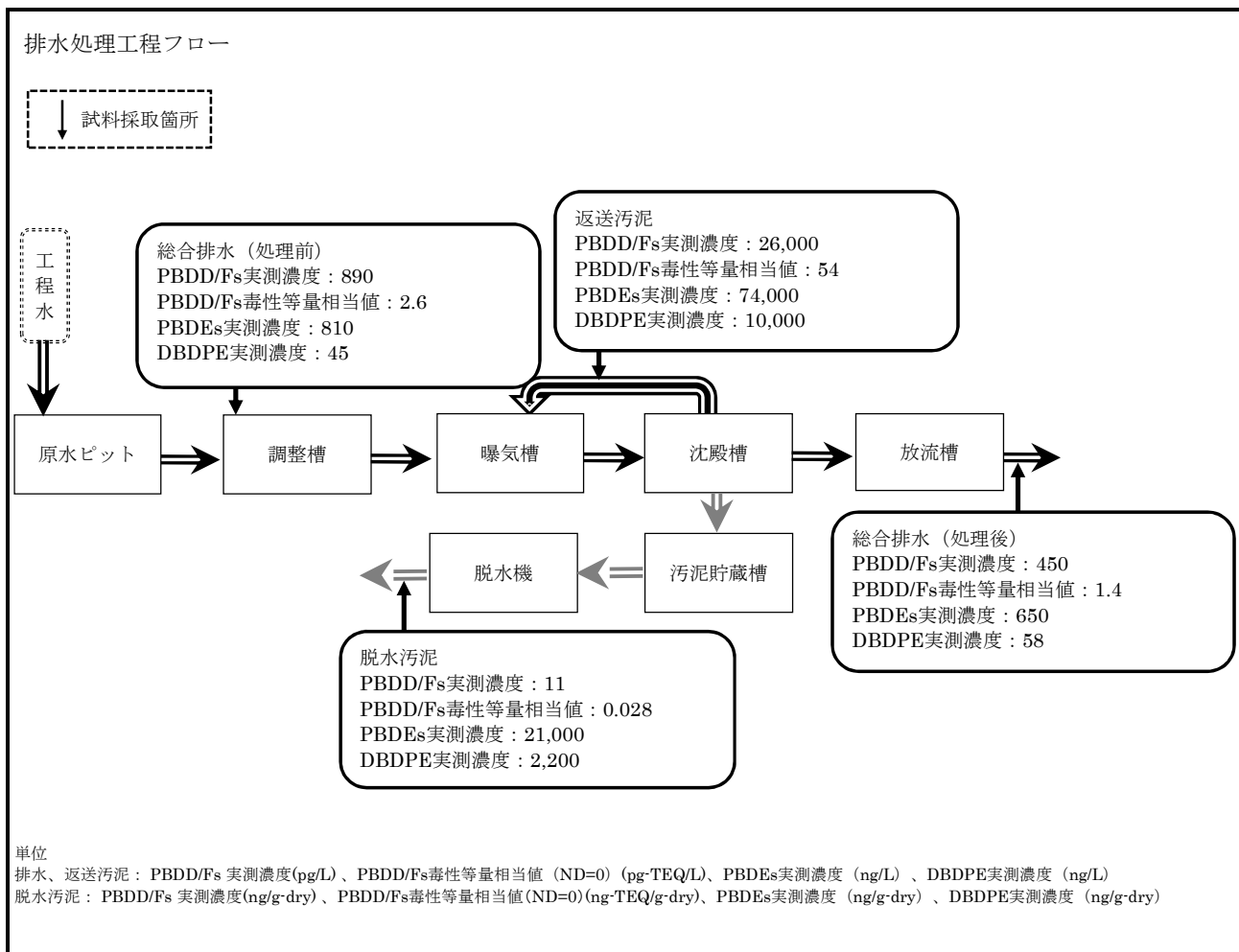


図-2 排水処理工程フロー

調査施設概要 (B施設)

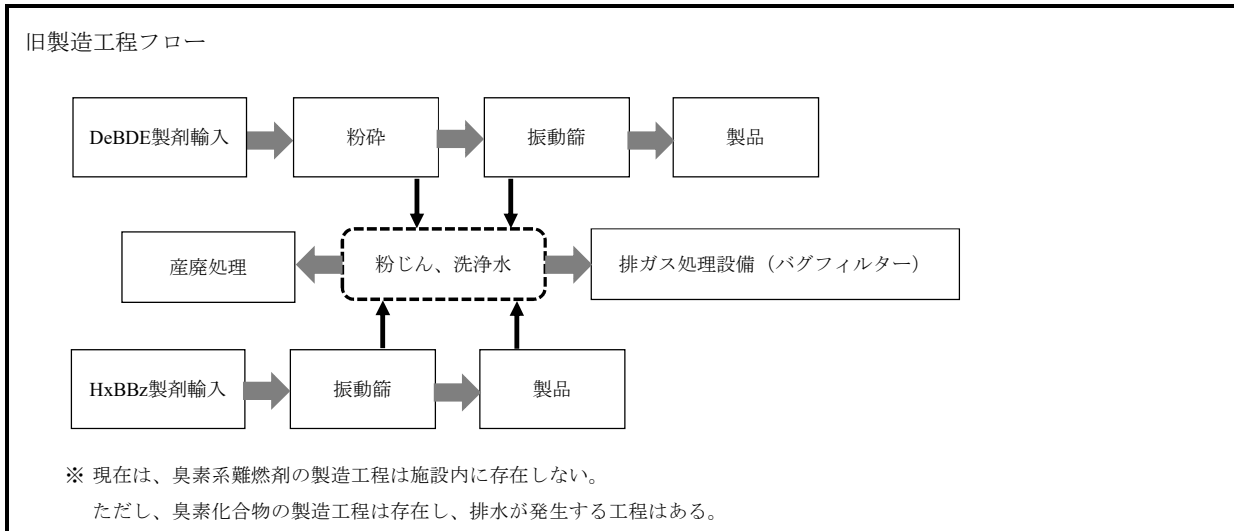


図-3 旧製造工程フロー

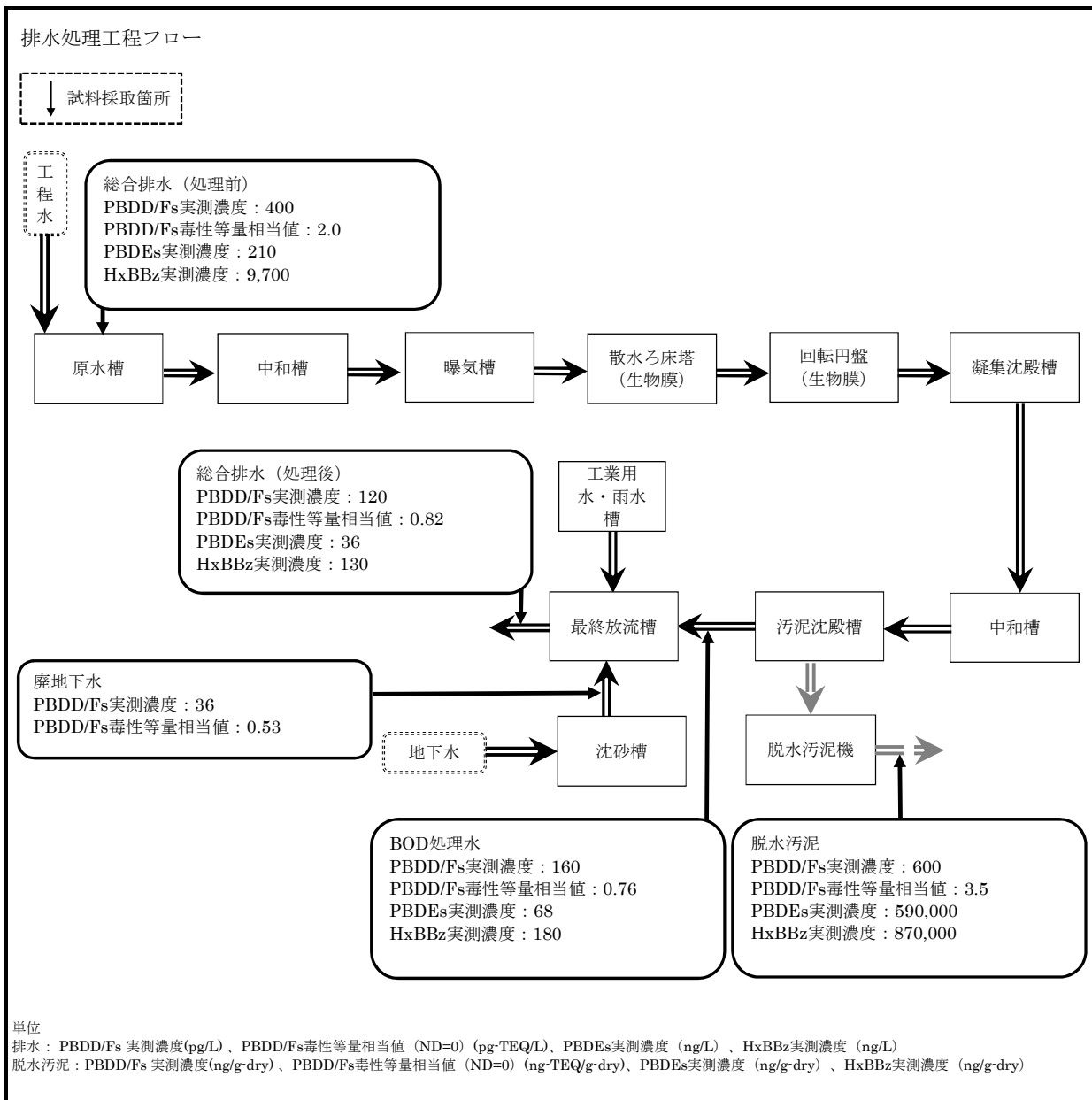


図-4 排水処理工程フロー

別図-2

媒体別同族体組成

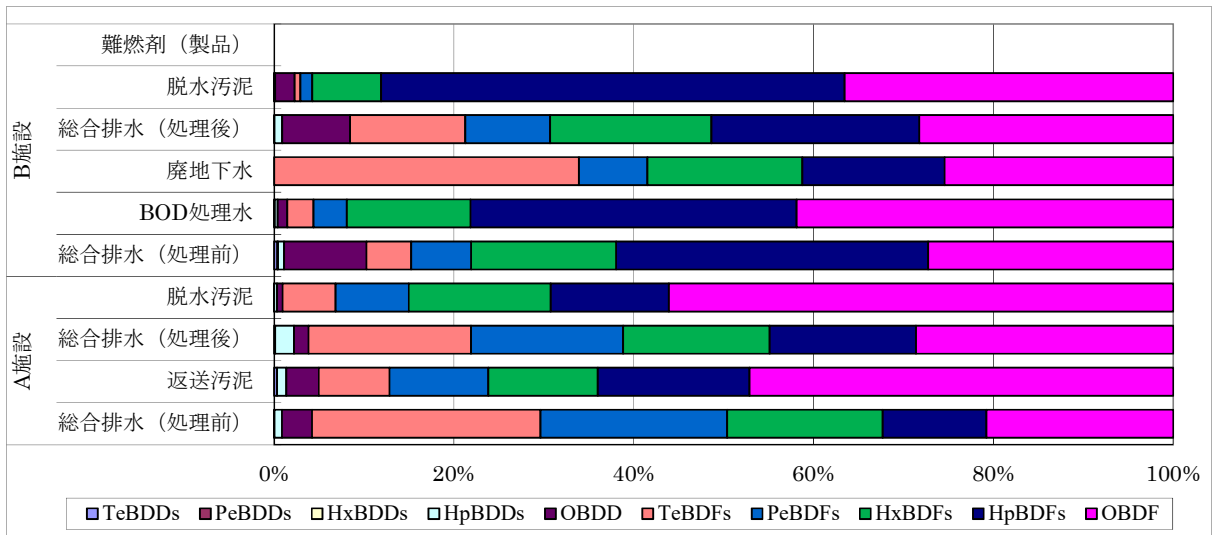


図1 PBDD/Fs同族体組成 (%)

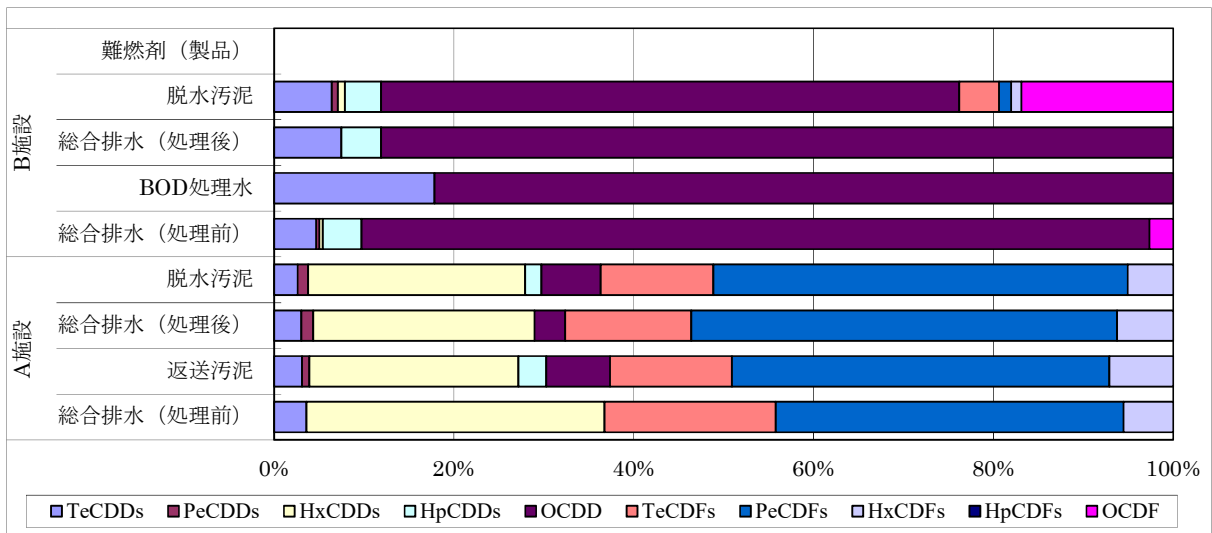


図2 PCDD/Fs同族体組成 (%)

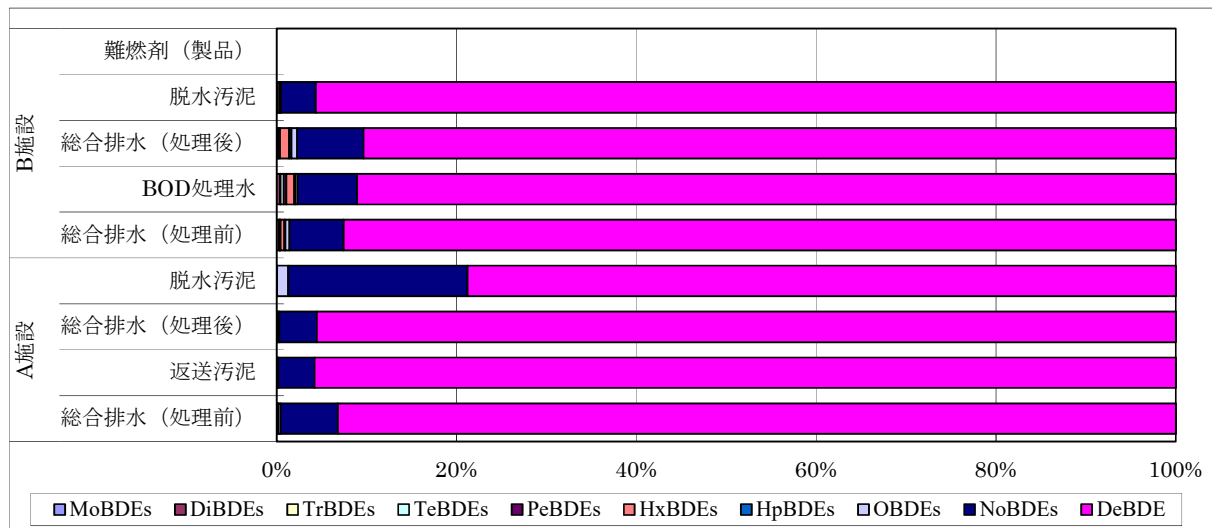


図3 PBDEs同族体組成 (%)

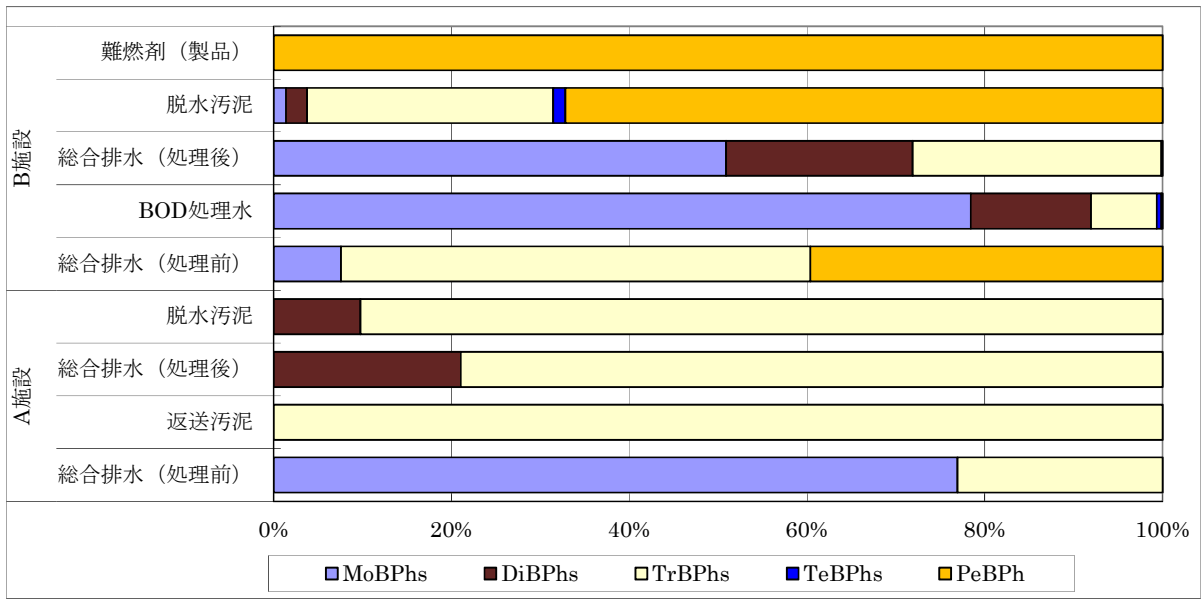


図4 PBPhs同族体組成 (%)

別図-3

媒体別異性体組成

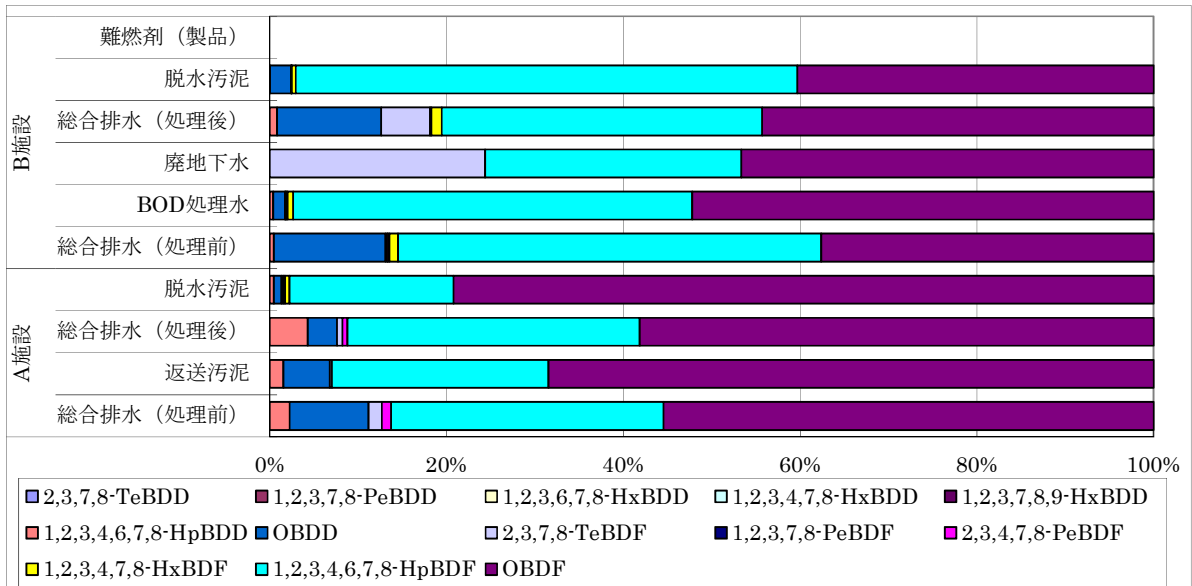


図1 PBDD/Fs異性体組成 (%)

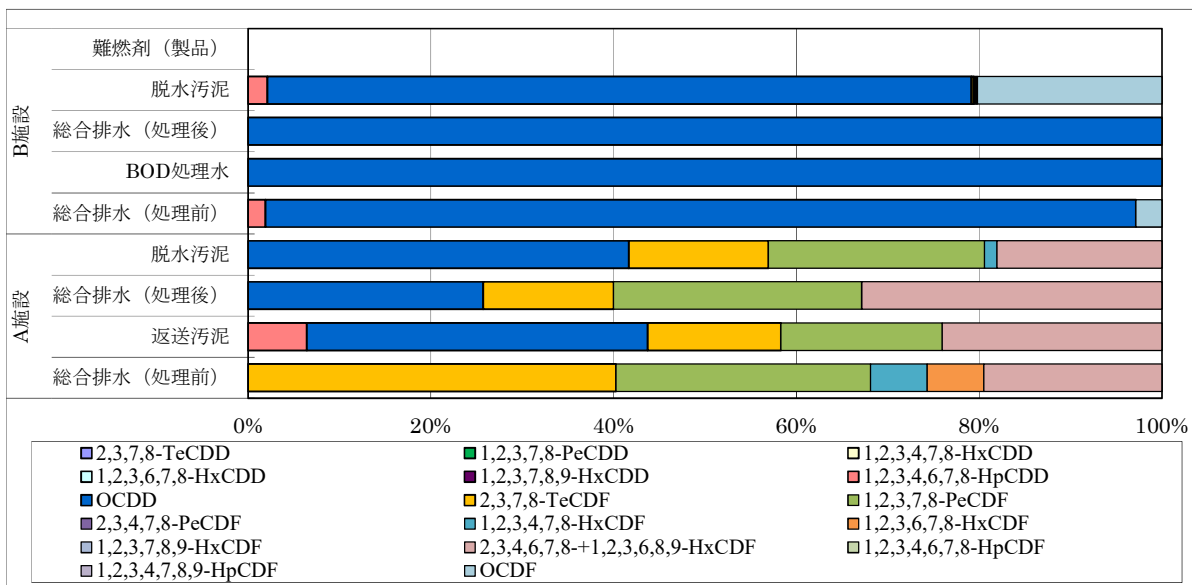


図2 PCDD/Fs異性体組成 (%)

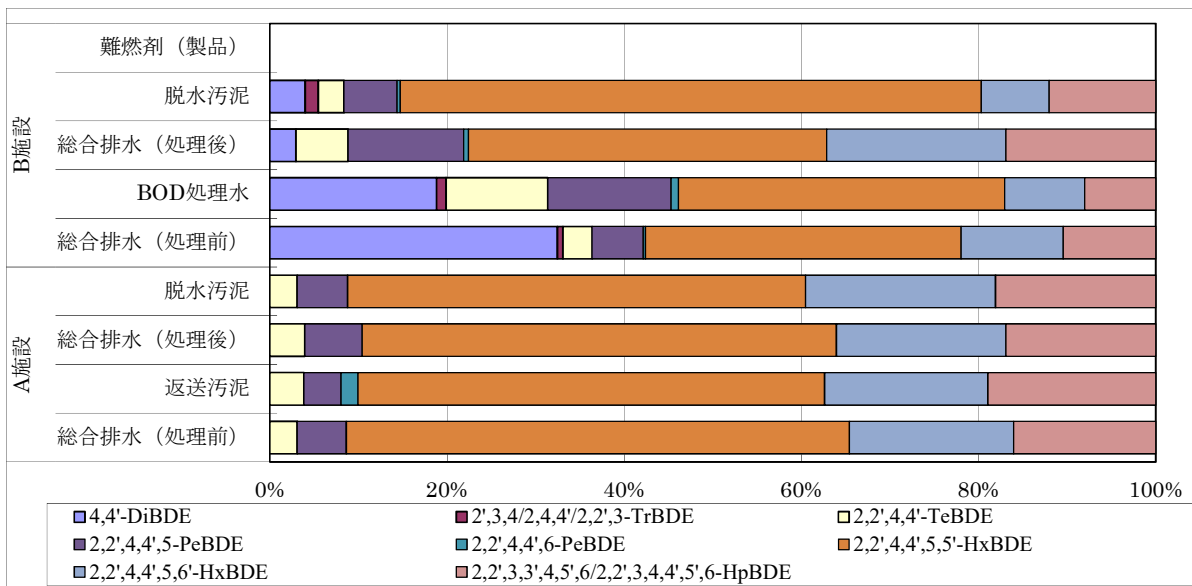


図3 PBDEs異性体組成 (%)

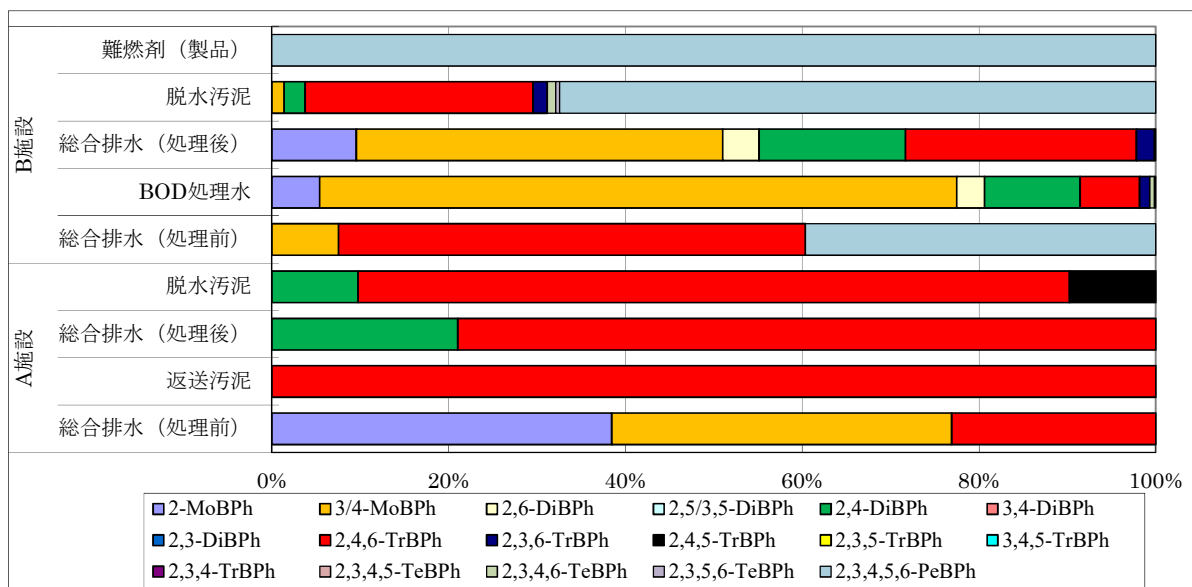


図 4 PBPhs異性体組成 (%)

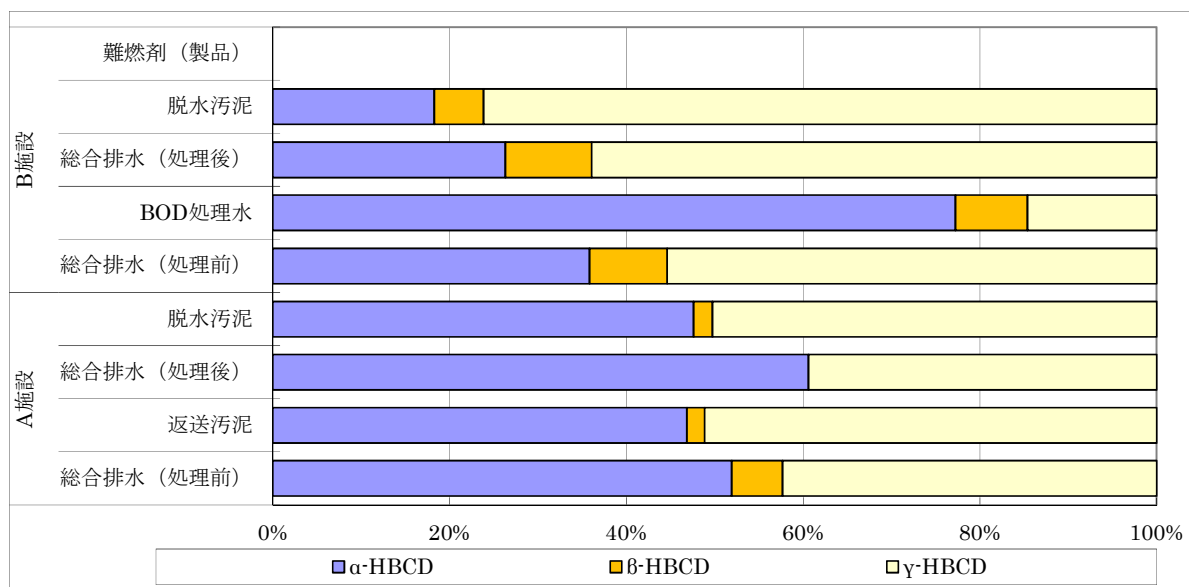


図 5 HBCDs異性体組成 (%)

参考資料

国内の主な難燃剤需要量推移(推定)
及び世界の臭素生産量(推定)

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	2018	2019	2020	
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	12,000	10,000	9,000	
デカブロモフェニルエーテル(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	0	0	0	
オクタブロモフェニルエーテル(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	0	0	0	
エチレンビス(テトラブロモアタリミド)	—	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	900	900	850	
トリプロモフェノール	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	2,500	2,400	2,400	
ビス(トリプ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	2,200	2,000	1,800
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	4,400	4,400	4,000	
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	4,200	4,000	3,600	
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	7,200	7,200	6,500	
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	1,300	1,200	1,100	
ポリジプ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	—	—	—	—	—	—	—	—	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
ペンタブロモベンジルポリアクリレート	—	160	160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,000	550	800	1,000	1,200	1,200	1,400	1,400	1,400	980	1,000	1,200	1,080	1,080	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,000	1,000	
臭素化芳香族トリアジン	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	800	1,000	1,100	900	1,000	1,000	1,800	2,000	2,000	2,500	2,250	1,500	1,000	1,200	1,200	1,200	1,200	1,000	1,000	1,000	1,000	
臭素化ブタジエンステレン共重合	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,000	1,500	1,500	1,500	1,500
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	38,650	35,950	33,100	

(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

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	2018	2019	2020	
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	4,300	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,500	3,500	—	—	—	
	パークロロシクロペンタデカン	300	400	400	400	400	600	600	600	600	600	660	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	300	390	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	5,200	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	20,000	24,000	24,000	24,000	25,000	20,000	19,000	20,000	20,000	20,000	19,000	19,000	19,000	19,000	19,000	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	4,000	2,500	2,500	2,500	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	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	1,000	1,000	1,000	
	APP以外のイントメッセント系	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	200	200	200	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	500	500	500	500
	ホスファエナントレン系	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	1,000	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	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	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	27,700	27,700	27,700	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	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	8,900	7,800	7,000
	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	10,000	10,000	10,000	
	ホウ酸亜鉛	400	400	400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	窒素化ガニジン	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	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	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	14,000	12,500	10,000	10,000	10,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	10,000	10,000
	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	28,900	27,800	27,000	

(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