

令和 5 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 6 年 3 月
環境省 水・大気環境局 環境管理課

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.....	1
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.....	5
4.1 分析方法.....	5
4.2 試料採取概要.....	5
4.3 分析フロー.....	6
4.4 測定条件.....	11
4.5 検出下限値.....	18
5. 調査結果（総括表）.....	22
6. まとめ及び考察.....	28
7. 臭素系ダイオキシン類暫定排出インベントリー（参考値）.....	42
別表-1 調査結果（個別結果）.....	47
別図-1 調査施設概要 （排水処理フロー・試料採取箇所）.....	61
別図-2 媒体別同族体組成.....	65
別図-3 媒体別異性体組成.....	69
参考資料 国内の難燃剤需要推移（推定）.....	73

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
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タンデム質量分析計
DMSO	: ジメチルスルホキシド

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、水系への排出では下水道終末処理施設、大気系への排出ではセメント製造施設が挙げられる。

今年度は、水系への排出量が多い下水道終末処理施設2施設について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

施設名	下水道終末処理施設	
	A 施設	B 施設
排除方式	合流（一部分流）	分流（一部合流）
排水処理方法	標準活性汚泥法	標準活性汚泥法+急速砂ろ過法
下水処理フロー	流入水→沈砂池→最初沈殿池→反応槽→最終沈殿池→塩素殺菌→放流水 ※ 処理場は 2 系統あり、放流口は 2 つ	流入水→沈砂池→分水井→最初沈殿池→反応タンク→最終沈殿池→急速砂ろ過池→塩素殺菌→放流水 ※ 流入水から 2 系統に分かれているが、急速砂ろ過前で合流し、放流口は一つ
汚泥処理法	汚泥は施設外の汚泥処理プラントで、他の下水処理場の汚泥と一緒に汚泥焼却炉で焼却処理	汚泥は汚泥固化燃料施設で乾燥後、固形燃料化物として、主にセメント施設に排出
備考	施設内に汚泥焼却炉はなし	臭素系化合物の未処理排水の流入あり

2.2 調査媒体

(1) 下水終末処理施設(A 施設)

- ・排水(流入水、放流水)、返送汚泥、脱水汚泥

(2) 下水終末処理施設(B 施設)

- ・排水(流入水、工程水、放流水)、返送汚泥、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. PBDD/Fs の同族体

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) 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) 下水終末処理施設(A 施設)

表 3-1 採取試料一覧表

試料名	採取箇所	採取方法
流入水-1	沈砂池-1 出口	1 時間毎に 1 回、3 回採取
返送汚泥-1	反応槽	30 分毎に 1 回、3 回採取
放流水-1	放流口-1	滞留時間を考慮し、大量採取装置を用いて約 1L/分で約 3 時間、200L を採水
流入水-2	沈砂池-2 出口	1 時間毎に 1 回、3 回採取
返送汚泥-2	反応槽	30 分毎に 1 回、3 回採取
放流水-2	放流口-2	滞留時間を考慮し、大量採取装置により約 1L/分で約 3 時間、200L を採水
脱水汚泥	施設外汚泥処理プラント	施設側で採取

※ 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) 下水終末処理施設 (B 施設)

表 3-2 採取試料一覧表

試料名	採取箇所	採取方法
流入水	主ポンプ場 No.1 主ポンプ場 No.2	<ul style="list-style-type: none"> 各ポンプ場のコンポジットサンプラーにより、滞留時間を考慮し、0.4L/5 分で 4 時間 48 回約 20L 採取 採取日時の主ポンプ場の流入比でコンポジットし、1 つの試料で分析
返送汚泥	反応タンク	1 時間毎に 1 回、3 回採取
工程水 (砂ろ過前)	最終沈殿池出口	1 時間毎に 1 回、3 回採取
放流水	放流口	滞留時間を考慮し、大量採取装置を用いて、約 0.5 L/分で約 6~7 時間、200L 採水
脱水汚泥	脱水汚泥機	1 時間毎に 1 回、3 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。

3.2 試料採取状況

(1) 下水終末処理施設

表 3-3 排水試料の概況 (1)

施設名	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)
A	流入水-1	1回目	曇り一時雨	7.07	27.5	67.3	-264	3.2
		2回目	曇り一時雨	7.19	27.7	86.6	-240	3.5
		3回目	曇り一時雨	6.56	28.2	52.9	-192	1.3
	放流水-1	1回目	晴れ	6.75	31.1	69.0	285	>30
		2回目	晴れ	6.66	30.8	68.8	273	>30
		3回目	晴れ	6.83	30.2	69.3	257	>30
	流入水-2	1回目	曇り一時雨	7.37	28.9	33.5	-241	6.2
		2回目	曇り一時雨	7.16	28.2	72.6	-235	4.2
		3回目	曇り一時雨	7.18	27.7	64.6	-232	3.9
	放流水-2	1回目	晴れ	6.83	30.4	40.8	249	>30
		2回目	晴れ	6.74	31.0	74.1	253	>30
		3回目	晴れ	6.74	30.9	74.5	246	>30
B	流入水	No.1	晴れ	6.91	23.3	116.1	-212	9.2
		No.2	晴れ	6.80	23.9	109.2	-241	5.0
	工程水 (砂ろ過前)	1回目	晴れ	6.30	29.4	96.7	107	>30
		2回目	晴れ	6.59	29.3	96.1	92	>30
		3回目	晴れ	6.78	29.2	95.7	117	>30
	放流水	1回目	晴れ	6.59	29.5	95.1	387	>30
		2回目	晴れ	6.63	29.4	92.6	401	>30
		3回目	晴れ	6.82	28.0	97.6	319	>30

表 3-4 排水試料の概況 (2)

施設名	試料名	臭化物イオン	SS	外観	臭気
		(mg/L)	(mg/L)		
A	流入水-1	0.1	280	黄白色	下水臭
	放流水-1	0.2	2.6	淡黄色	無臭
	流入水-2	<0.1	130	黄白色	下水臭
	放流水-2	0.2	1.8	淡黄色	無臭
B	流入水	5.6	20	黄白色	下水臭
	工程水 (砂ろ過前)	9.6	2.6	淡黄色	無臭
	放流水	13	<0.5	淡黄色	無臭

表 3-5 脱水汚泥試料の概況

施設名	試料名	含水率
		(%)
B	脱水汚泥	83.5

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。

(3) PCDD/Fs 及び Co-PCB

① 排水及び返送汚泥

「工業用水・工場排水中のダイオキシン類の測定方法」(JIS K 0312 : 2020)

② 脱水汚泥

「特別管理一般廃棄物及び特別管理産業廃棄物に係る基準の検定方法」(平成 4 年 7 月 3 日 厚生省告示第 192 号)

①～②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 (流入水、工程水)

採水場所において、ステンレス製バケツにより水をくみ取り、褐色ガラス瓶の 10%空隙が残る程度まで採水した。採取回数は複数回採水した。ただし、B 施設の流入水については、施設設置のコンポジットサンプラーにより採水した。

(2) 排水 (放流水)

放流水は、採取場所において、ポンプで水を毎分 0.5～1.5L 程度で 200L 程度吸引し、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。

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%空隙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（流入水、工程水）及び返送汚泥

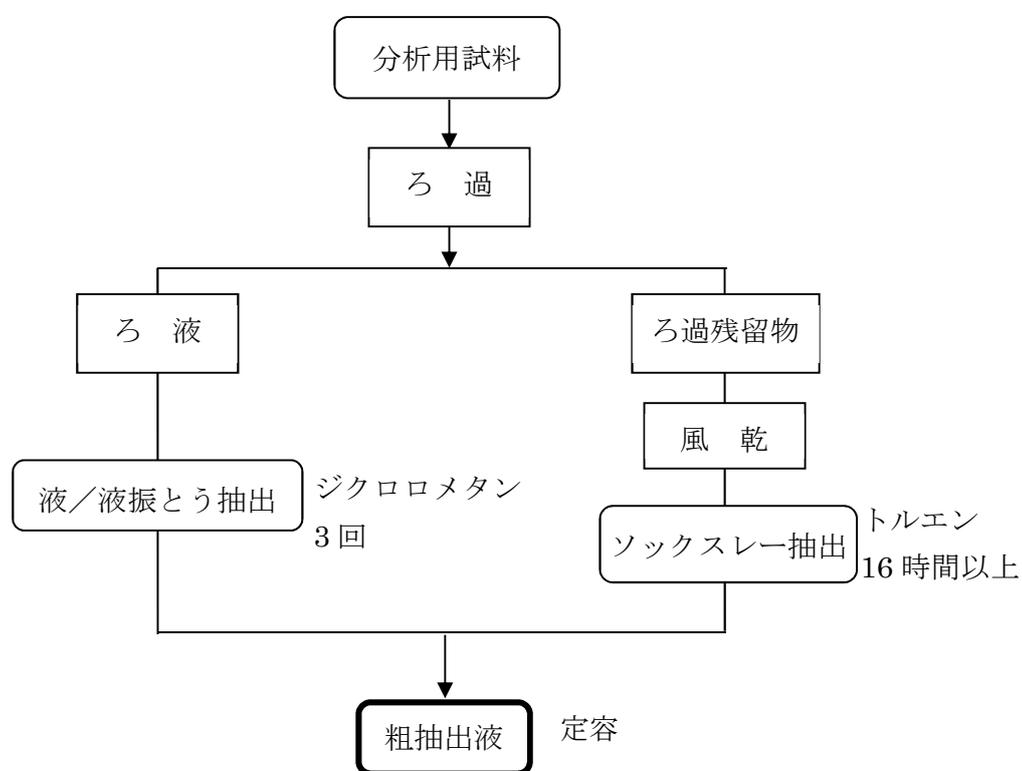


図4-1 排水抽出分析フロー

(4) 各媒体共通分析フロー

① PBDD/Fs

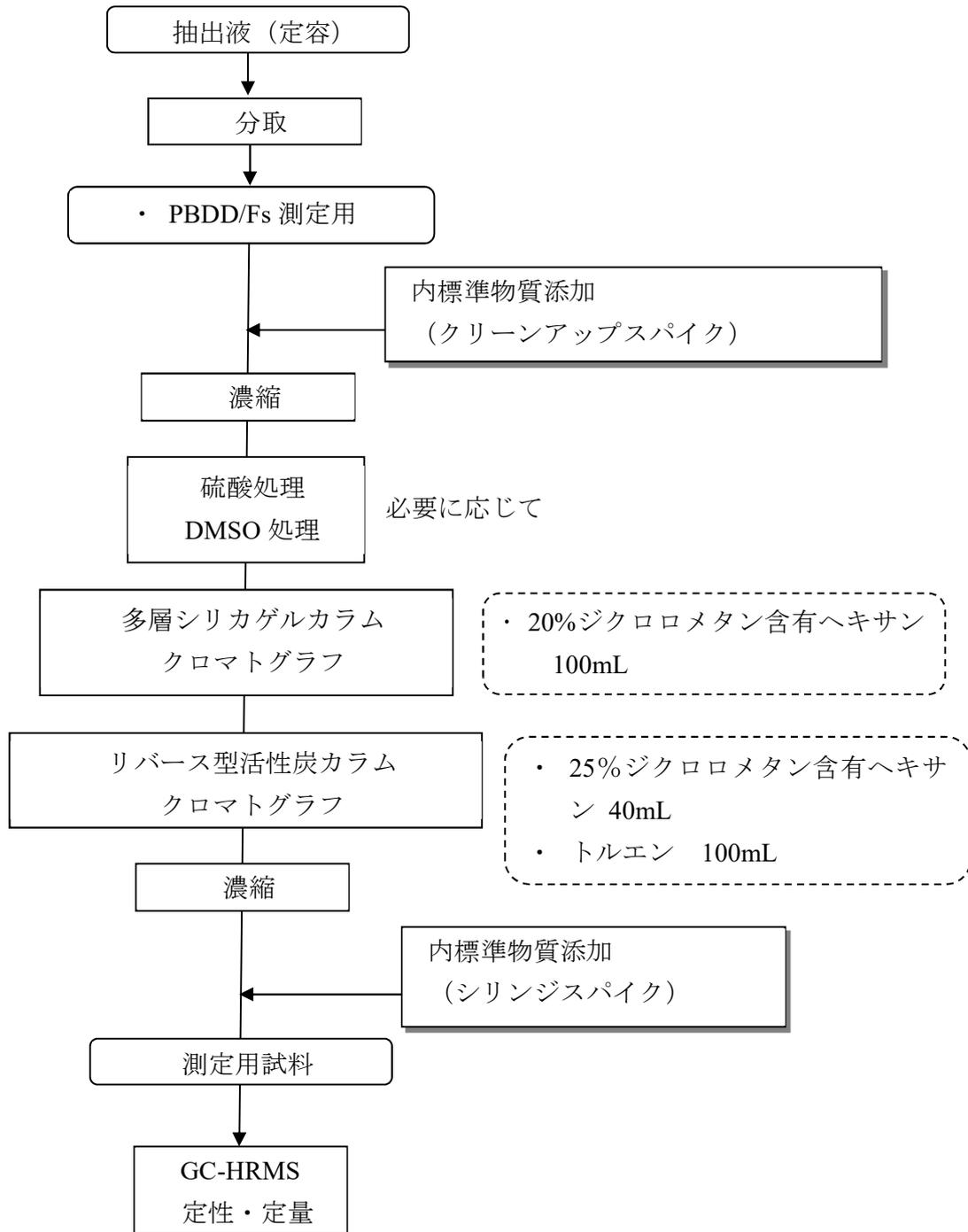


図 4-4 各媒体共通分析フロー(1)

② PBDEs、TBBPA、PBPhs、HBCDs

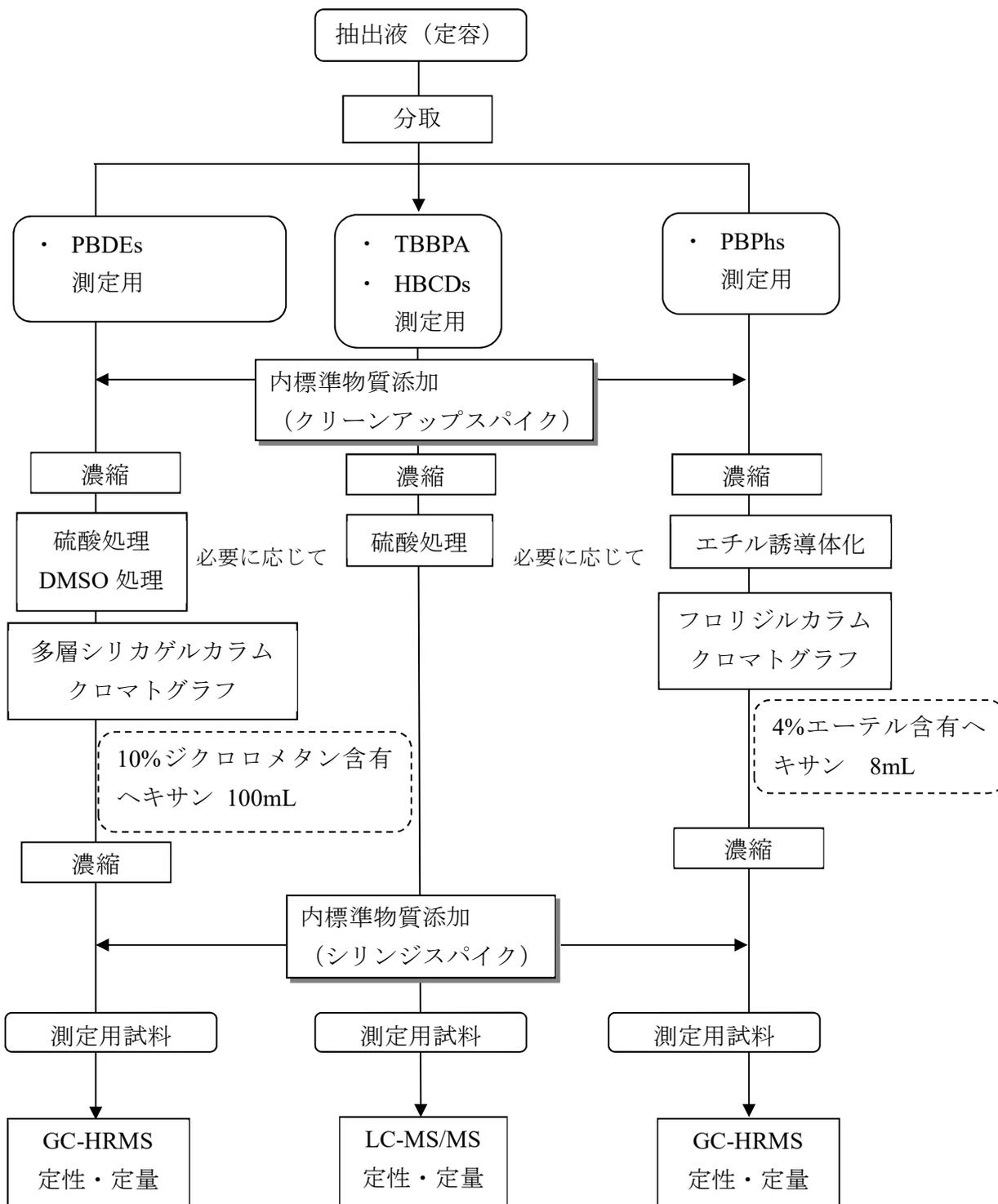


図 4-5 各媒体共通分析フロー (2)

③ PCDD/Fs、Co-PCB

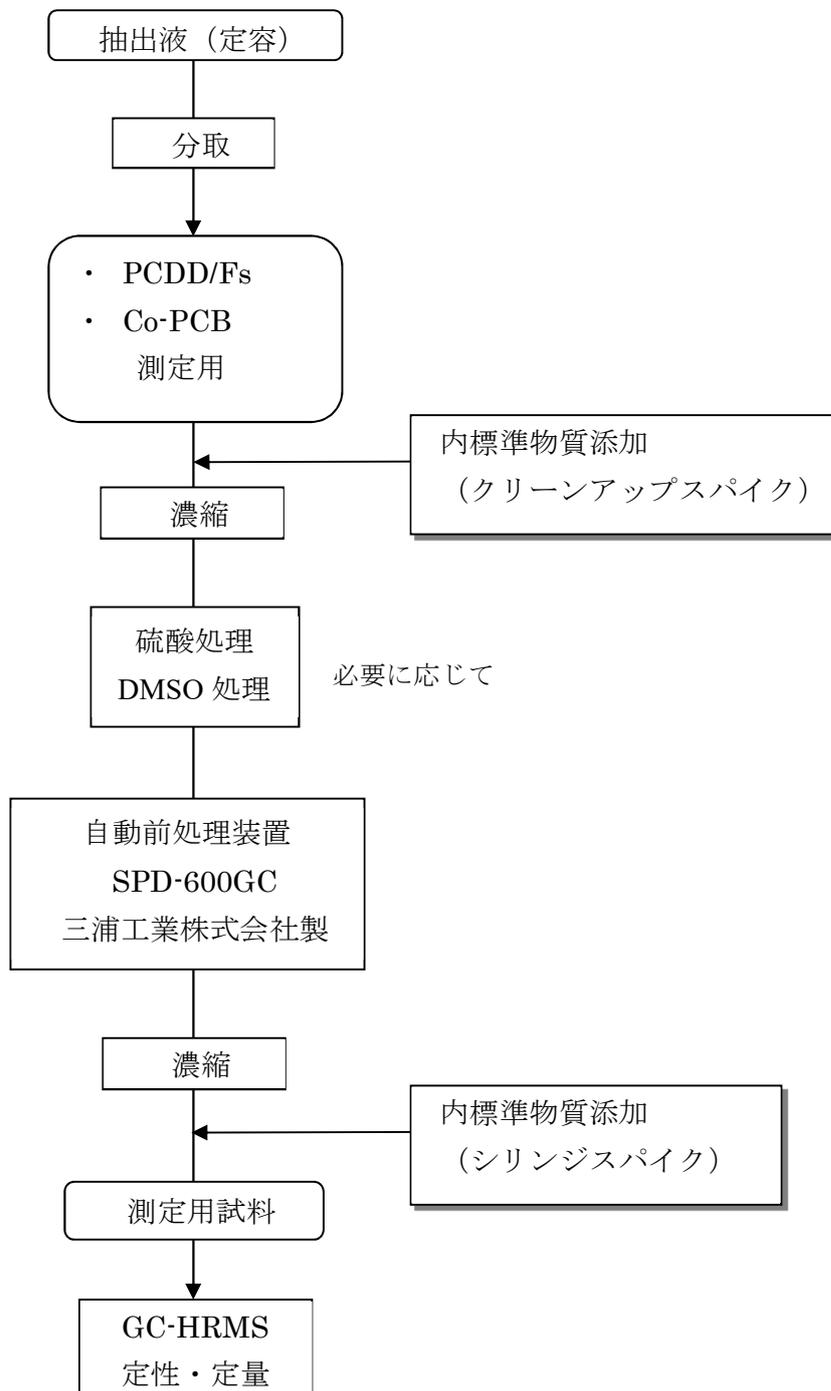


図 4-6 各媒体共通分析フロー (3)

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℃ (2min hold) →10℃/min→220℃→5℃/min→
280℃ (20min hold) →20℃/min→310℃ (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℃ (1min 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 4-1~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	38 eV
イオン化電流	500 μA
加速電圧	10 kV
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	38 eV
イオン化電流	500 μA
加速電圧	9 kV
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-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℃ (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：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	38 eV
イオン化電流	500 μA
加速電圧	10 kV
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	38 eV
イオン化電流	500 μA
加速電圧	9 kV
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 : 10 mM 酢酸アンモニウム溶液 B : CH₃CN
A : B = 65 : 35 (1min) → (15min) → 0 : 100 (5min)
- ・流速 : 0.2 mL/min
- ・カラム温度 : 40℃
- ・注入量 : 10 μL

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 (ESI)
モード	negative
カーテンガス (CUR)	40 psi
イオンスプレー電圧 (IS)	-4,500V
プローブ温度 (TEM)	600 °C
コリジョンガス (CAD)	5 psi
イオンソースガス 1	50 psi
イオンソースガス 2	40 psi

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	38 eV
イオン化電流	500 μA
加速電圧	10 kV
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

(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	35 eV
イオン化電流	500 μA
加速電圧	10 kV
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	35 eV
イオン化電流	500 μ A
加速電圧	10 kV
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 : GC-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 4-19 PBDD/Fs 検出下限値一覧表

試料の種類	流入水	放流水	返送汚泥	汚泥
試料量	20 L	200L	1L	20 g-dry
単位	pg/L	pg/L	pg/L	ng/g-dry
2,3,7,8-TeBDD	0.04	0.004	0.8	0.0004
1,2,3,7,8-PeBDD	0.1	0.01	2	0.001
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.6	0.06	10	0.006
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.7	0.07	10	0.007
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.5	0.05	10	0.005
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.4	0.04	9	0.004
OBDD	1	0.1	20	0.01
2,3,7,8-TeBDF	0.04	0.004	0.8	0.0004
1,2,3,7,8-PeBDF	0.2	0.02	4	0.002
2,3,4,7,8-PeBDF	0.2	0.02	5	0.002
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.5	0.05	10	0.005
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.5	0.05	9	0.005
OBDF	1	0.1	30	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 4-20 PBDEs、TBBPA 及び HBCDs 検出下限値一覧表

試料の種類	流入水	放流水	返送汚泥	汚泥
試料量	20 L	200L	1L	20 g-dry
単位	ng/L	ng/L	ng/L	ng/g-dry
MoBDEs	0.01	0.001	0.2	0.01
4,4'-DiBDE (#15)	0.01	0.001	0.2	0.01
DiBDEs	0.01	0.001	0.2	0.01
2,4,4'-TrBDE (#28)	0.02	0.002	0.4	0.02
TrBDEs	0.02	0.002	0.4	0.02
2,2',4,4'-TeBDE (#47)	0.02	0.002	0.3	0.02
TeBDEs	0.03	0.003	0.5	0.03
2,2',4,4',6-PeBDE (#100)	0.02	0.002	0.3	0.02
2,2',4,4',5-PeBDE (#99)	0.02	0.002	0.5	0.02
PeBDEs	0.02	0.002	0.4	0.02
2,2',4,4',5,6'-HxBDE (#154)	0.02	0.002	0.4	0.02
2,2',4,4',5,5'-HxBDE (#153)	0.03	0.003	0.6	0.03
HxBDEs	0.03	0.003	0.6	0.03
2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE (#183)	0.04	0.004	0.9	0.04
HpBDEs	0.04	0.004	0.8	0.04
OBDEs	0.02	0.002	0.5	0.02
NBDEs	0.05	0.005	0.9	0.05
2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-DeBDE (#209)	0.09	0.009	2	0.09
α -HBCD	0.5	0.05	10	0.5
β -HBCD	0.5	0.05	10	0.5
γ -HBCD	1	0.1	20	1
TBBPA	0.7	0.07	10	0.7

※ 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	流入水	放流水	返送汚泥	汚泥
試料量	20 L	200L	1L	20 g-dry
単位	ng/L	ng/L	ng/L	ng/g-dry
2-bromophenol	0.3	0.03	6	0.3
3/4-bromophenol	0.3	0.03	6	0.3
2,6-dibromophenol	0.3	0.03	6	0.3
2,5/3,5-dibromophenol	0.3	0.03	6	0.3
2,4-dibromophenol	0.3	0.03	6	0.3
3,4-dibromophenol	0.3	0.03	6	0.3
2,3-dibromophenol	0.3	0.03	6	0.3
2,4,6-tribromophenol	0.3	0.03	6	0.3
2,3,6-tribromophenol	0.3	0.03	6	0.3
2,4,5-tribromophenol	0.2	0.02	5	0.2
2,3,5-tribromophenol	0.2	0.02	5	0.2
3,4,5-tribromophenol	0.2	0.02	5	0.2
2,3,4-tribromophenol	0.2	0.02	5	0.2
2,3,4,5-tetrabromophenol	0.2	0.02	5	0.2
2,3,4,6-tetrabromophenol	0.2	0.02	5	0.2
2,3,5,6-tetrabromophenol	0.2	0.02	5	0.2
2,3,4,5,6-pentabromophenol	0.2	0.02	5	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。

表 4-22 PCDD/Fs 及び Co-PCBs 検出下限値一覧表

試料の種類	流入水	放流水	返送汚泥	汚泥
試料量	20 L	200L	1L	20 g-dry
単位	pg/L	pg/L	pg/L	ng/g-dry
2,3,7,8-TeCDD	0.1	0.1	2	0.0006
1,2,3,7,8-PeCDD	0.1	0.1	2	0.0007
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.07	0.07	1	0.0008
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.2	0.2	5	0.0006
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	2	0.0006
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.08	0.08	2	0.0009
OCDD	0.2	0.2	4	0.0007
2,3,7,8-TeCDF	0.1	0.1	3	0.0005
1,2,3,7,8-PeCDF	0.2	0.2	4	0.0005
2,3,4,7,8-PeCDF	0.1	0.1	3	0.0008
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1	3	0.001
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.2	0.2	3	0.0005
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.2	0.2	4	0.0006
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.2	0.2	4	0.0007
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.07	0.07	1	0.0009
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.2	0.2	4	0.0003
OCDF	0.2	0.2	4	0.0007
3,4,4',5'-TeCB(#81)	0.1	0.1	2	0.0005
3,3',4,4'-TeCB(#77)	0.2	0.2	3	0.0007
3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	0.1	0.1	2	0.0007
3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	0.1	0.1	2	0.0008
2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	0.1	0.1	3	0.0005
2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	0.1	0.1	3	0.0004
2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	0.2	0.2	3	0.0002
2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	0.2	0.2	4	0.0006
2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	0.09	0.09	2	0.0007
2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	0.1	0.1	3	0.0008
2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	0.09	0.09	2	0.0003
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	0.1	0.1	2	0.0004

※ 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 下水道終末処理施設

a. 排水及び返送汚泥

表 5-1 排水及び返送汚泥の分析結果（毒性等量相当値）（pg-TEQ/L）

物質名	A 施設			
	流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1	
PBDDs	0.20	3.1	0.016	
	0.040	0.17	0	
PBDFs	1.7	1.9	0.011	
	1.7	0.57	0.0051	
PBDD/Fs	1.9	5.0	0.027	
	1.8	0.74	0.0051	
物質名	A 施設			
	流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2	
PBDDs	1.7	2.9	0.016	
	0	0	0	
PBDFs	0.84	2.3	0.0079	
	0.24	0.95	0.0019	
PBDD/Fs	2.5	5.2	0.024	
	0.24	0.95	0.0019	
物質名	B 施設			
	流入水	返送汚泥	工程水 (砂ろ過前)	放流水
PBDDs	1.6	3.2	0.091	0.016
	0	0.26	0	0
PBDFs	0.78	6.2	0.035	0.010
	0.20	5.4	0.003	0.0042
PBDD/Fs	2.4	9.4	0.13	0.026
	0.20	5.7	0.003	0.0042

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 排水及び返送汚泥の分析結果（実測濃度）（pg/L）

物質名	A 施設			
	流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1	
PBDDs	28	150	0.045	
PBDFs	200	220	2.4	
PBDD/Fs	230	370	2.4	
物質名	A 施設			
	流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2	
PBDDs	3.0	74	0.043	
PBDFs	120	290	1.3	
PBDD/Fs	120	370	1.3	
物質名	B 施設			
	流入水	返送汚泥	工程水 (砂ろ過前)	放流水
PBDDs	580	1,900	1.2	180
PBDFs	48	1,300	0.7	1.1
PBDD/Fs	630	3,100	2.0	180

b. 脱水汚泥

表 5-3 脱水汚泥の分析結果（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
PBDDs	0.0017	0.0018
	0	0.00016
PBDFs	0.0014	0.0017
	0.00086	0.0011
PBDD/Fs	0.0031	0.0035
	0.00086	0.0013

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 脱水汚泥の分析結果（実測濃度）（ng/g-dry）

物質名	A 施設	B 施設
	脱水汚泥	脱水汚泥
PBDDs	0.020	4.5
PBDFs	0.30	0.35
PBDD/Fs	0.32	4.9

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

① 下水道終末処理施設

a. 排水及び返送汚泥

表 5-5 排水及び返送汚泥の分析結果 (実測濃度) (ng/L)

物質名	A 施設			
	流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1	
PBDEs	63	91	0.25	
DeBDE	58	79	0.20	
TBBPA	5.8	30	0.18	
PBPhs	41	45	1.1	
HBCDs	10	ND	ND	
物質名	A 施設			
	流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2	
PBDEs	100	130	0.17	
DeBDE	100	110	0.13	
TBBPA	3.6	30	0.29	
PBPhs	24	43	2.1	
HBCDs	18	90	1.2	
物質名	B 施設			
	流入水	返送汚泥	工程水 (砂ろ過前)	放流水
PBDEs	17	580	0.3	0.17
DeBDE	12	480	0.3	0.10
TBBPA	44	310	1.0	0.25
PBPhs	83	210	18	3.4
HBCDs	9	60	ND	ND

注) 表中の「ND」は、検出下限値未満であることを示す。

b. 脱水汚泥

表 5-6 脱水汚泥の分析結果 (実測濃度) (ng/g-dry)

物質名	A 施設	B 施設
	脱水汚泥	脱水汚泥
PBDEs	180	190
DeBDE	170	160
TBBPA	17	440
PBPhs	19	59
HBCDs	1.9	7.0

(3) 塩素化ダイオキシン類 (PCDD/Fs、Co-PCB)

① 下水道終末処理施設

a. 排水及び返送汚泥

表 5-7 排水及び返送汚泥の分析結果 (毒性等量値) (pg-TEQ/L)

物質名	A 施設			
	流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1	
PCDDs	0.61	2.9	0.12	
	0.56	0.61	0.00012	
PCDFs	0.63	12	0.084	
	0.62	12	0.010	
Co-PCB	0.43	1.8	0.012	
	0.43	1.7	0.00023	
PCDD/Fs、Co-PCB	1.7	17	0.21	
	1.6	14	0.010	
物質名	A 施設			
	流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2	
PCDDs	0.20	3.2	0.12	
	0.093	1.1	0.0011	
PCDFs	0.21	3.4	0.054	
	0.17	2.7	0	
Co-PCB	0.17	1.7	0.012	
	0.17	1.7	0.00028	
PCDD/Fs、Co-PCB	0.58	8.3	0.19	
	0.43	5.5	0.0014	
物質名	B 施設			
	流入水	返送汚泥	工程水 (砂ろ過前)	放流水
PCDDs	0.18	4.2	0.065	0.12
	0.069	2.1	0.00009	0.0019
PCDFs	0.18	4.9	0.036	0.079
	0.13	4.5	0	0
Co-PCB	0.15	4.4	0.0054	0.012
	0.15	4.4	0.00067	0.00028
PCDD/Fs、Co-PCB	0.51	13	0.11	0.21
	0.35	11	0.00076	0.0022

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 5-8 排水及び返送汚泥の分析結果（実測濃度）（pg/L）

物質名	A 施設			
	流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1	
PCDDs	110	320	0.4	
PCDFs	33	320	0.3	
Co-PCB	660	3,900	5.9	
PCDD/Fs、Co-PCB	810	4,600	6.6	
物質名	A 施設			
	流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2	
PCDDs	43	510	3.9	
PCDFs	14	180	1.0	
Co-PCB	260	3,700	6.7	
PCDD/Fs、Co-PCB	310	4,400	12	
物質名	B 施設			
	流入水	返送汚泥	工程水（砂ろ過前）	放流水
PCDDs	49	950	0.3	21
PCDFs	18	460	0.22	ND
Co-PCB	370	11,000	15	6.9
PCDD/Fs、Co-PCB	440	13,000	17	27

注) 表中の「ND」は、検出下限値未満であることを示す。

b. 脱水汚泥

表 5-9 脱水汚泥の分析結果（毒性等量値）（ng-TEQ/g-dry）

物質名	A 施設	B 施設
	脱水汚泥	脱水汚泥
PCDDs	0.0017	0.0020
	0.00059	0.00087
PCDFs	0.0017	0.0015
	0.0017	0.0014
Co-PCB	0.00071	0.00089
	0.00070	0.00089
PCDD/Fs、Co-PCB	0.0041	0.0044
	0.0030	0.0032

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 5-10 脱水汚泥の分析結果（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	0.29	0.50
PCDFs	0.36	0.11
Co-PCB	2.0	2.0
PCDD/Fs、Co-PCB	2.3	2.6

6. まとめ及び考察

今年度調査では、臭素系ダイオキシン類の暫定排出インベントリーにおいて、水系への排出量が多い下水道終末処理施設 2 施設（A 施設、B 施設）について排出実態調査を実施した。

(1) 排水（流入水、放流水）

a. PBDD/Fs

PBDD/Fs 実測濃度は、排水処理前の流入水では、A 施設で 230 pg/L 及び 120 pg/L、B 施設で 630 pg/L であり、毒性等量相当値（ND=0）は、A 施設で 1.8 pg-TEQ/L 及び 0.24 pg-TEQ/L、B 施設では 0.20 pg-TEQ/L であった。排水処理後の放流水では、A 施設で 2.4 pg/L 及び 1.3 pg/L、B 施設で 180 pg/L であり、毒性等量相当値（ND=0）は、A 施設で 0.0051 pg-TEQ/L 及び 0.0019 pg-TEQ/L、B 施設では 0.0042 pg-TEQ/L であった。

過去に実施した下水道終末処理施設データと比較すると、A 施設では、2014 年度 D 施設以外の施設と同濃度レベルであった（図 6-1、表 6-1）。B 施設は臭素系化合物の未処理排水が流入する施設であるが、実測濃度は 2019 年度 A と同レベルであり、毒性等量相当値は 1~2 桁低い濃度レベルであった（表 6-1）。

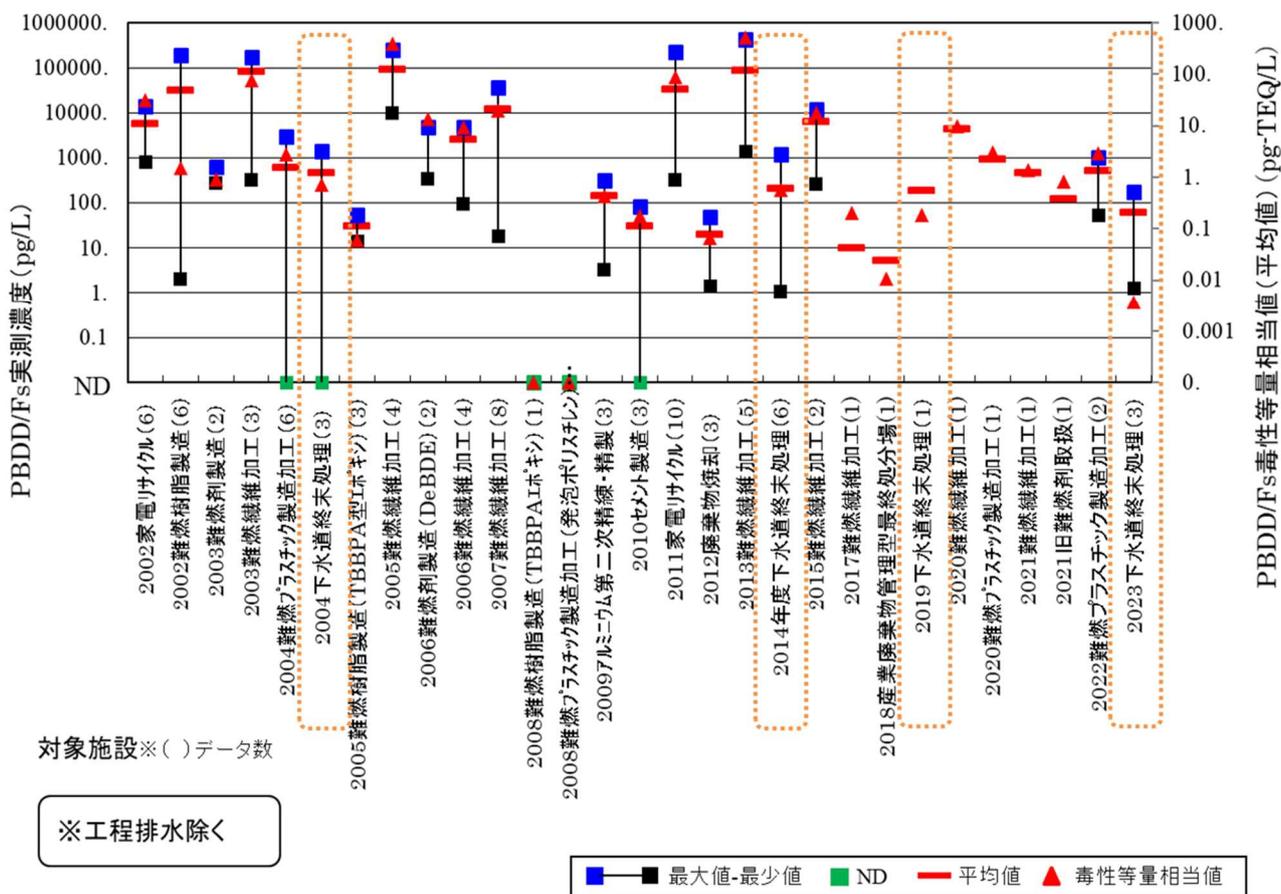


図 6-1 排水における PBDD/Fs 検出状況

表 6-1 下水道終末処理施設における排水中の PBDD/Fs 調査データ

(単位 実測濃度：pg/L、毒性等量相当値：pg-TEQ/L)

	2004 年度 (B-1 施設)		2004 年度 (B-2 施設)	
	流入水	放流水	流入水	放流水
PBDD/Fs 実測濃度	2,900	ND	110	ND
PBDD/Fs 毒性等量相当値	14	0	0.25	0
	2004 年度 (B-3 施設)		2014 年度 (A 施設)	
	流入水	放流水	流入水	放流水
PBDD/Fs 実測濃度	13,000	1,400	170	1.1
PBDD/Fs 毒性等量相当値	63	2.2	0.31	0.0065
	2014 年度 (B 施設)		2014 年度 (C 施設)	
	流入水	放流水	流入水	放流水
PBDD/Fs 実測濃度	44	3.4	92	6.3
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.14	0.034	0.78	0.011
	2014 年度 (D 施設)		2014 年度 (E 施設)	
	流入水	放流水	流入水	放流水
PBDD/Fs 実測濃度	170,000	1,200	77	1.4
PBDD/Fs 毒性等量相当値	200	3.2	0.39	0.0043
	2014 年度 (F 施設)		2019 年度 (A 施設)	
	流入水	放流水	流入水	放流水
PBDD/Fs 実測濃度	58	4.9	360	190
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.12	0.098	1.3	0.19
	2023 年度 (A 施設)			
	流入水-1	放流水-1	流入水-2	放流水-2
PBDD/Fs 実測濃度	230	2.4	120	1.3
PBDD/Fs 毒性等量相当値	1.8	0.0051	0.24	0.0019
	2023 年度 (B 施設)			
	流入水	放流水		
PBDD/Fs 実測濃度	630	180		
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.20	0.0042		

※ ND は検出下限未満を示し、毒性等量相当値は、ND=0 として計算。

※ 2019Fy A、2014Fy D、2004Fy B-3 は同一施設であり、旧 DeBDE 使用施設の未処理排水が流入。

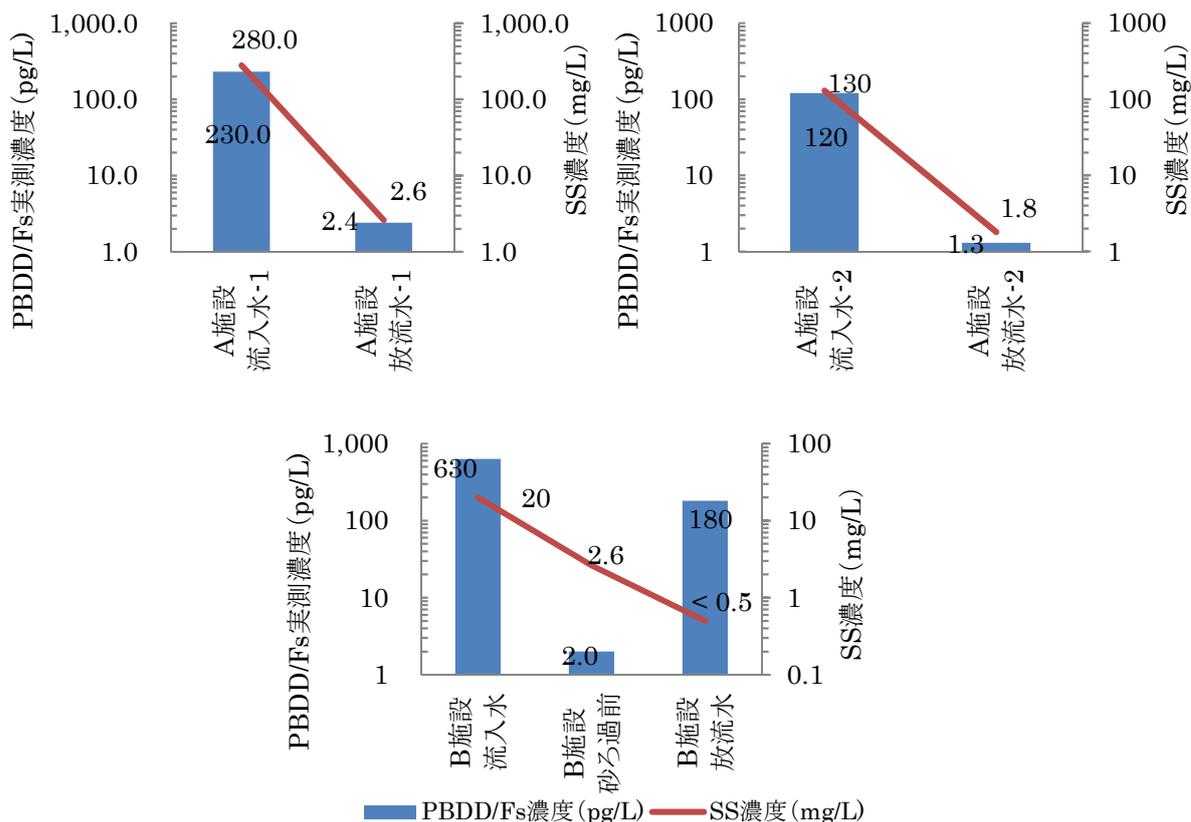


図 6-2 下水終末処理場における PBDD/Fs 実測濃度及び SS 濃度

下水終末処理場における PBDD/Fs 実測濃度及び SS 濃度の関係を図 6-2 に示す。排水処理による除去率は、実測濃度では、A 施設で 99.0%及び 98.9%、B 施設で 71.4%、毒性等量相当値 (ND=0) では、A 施設で 99.7%及び 99.2%、B 施設で 97.9%、SS 濃度では、A 施設で 99.1%及び 98.6%、B 施設で 97.5%であった。B 施設では、排水処理において急速砂ろ過処理をしており、その除去率は、実測濃度では-8,900%、毒性等量相当値 (ND=0) では-40.0%、SS 濃度では 80.8%であった。

PBDD/Fs 同族体組成は、A 施設の流入水では、HxBDFs、HpBDF 及び OBDF が主要な同族体であり、B 施設の流入水では、TeBDDs が主要な同族体であった(図 3)。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 4)。

流入水と排水処理後の脱水汚泥の組成を比較すると、ほぼ類似した組成であることから、PBDD/Fs は排水処理により SS に吸着し、汚泥として除去されていると考えられる。

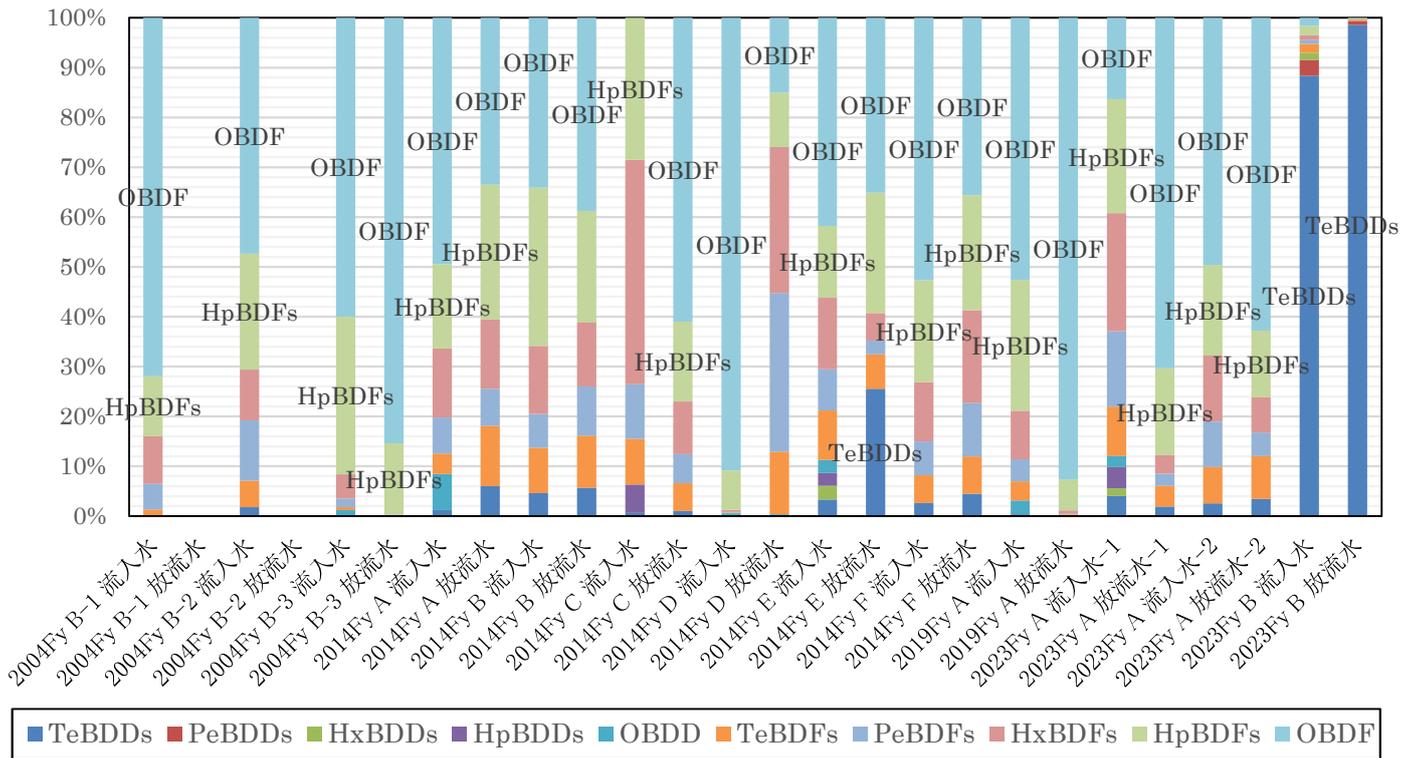


图 6-3 PBDD/Fs 同族体組成 (下水道終末処理施設)

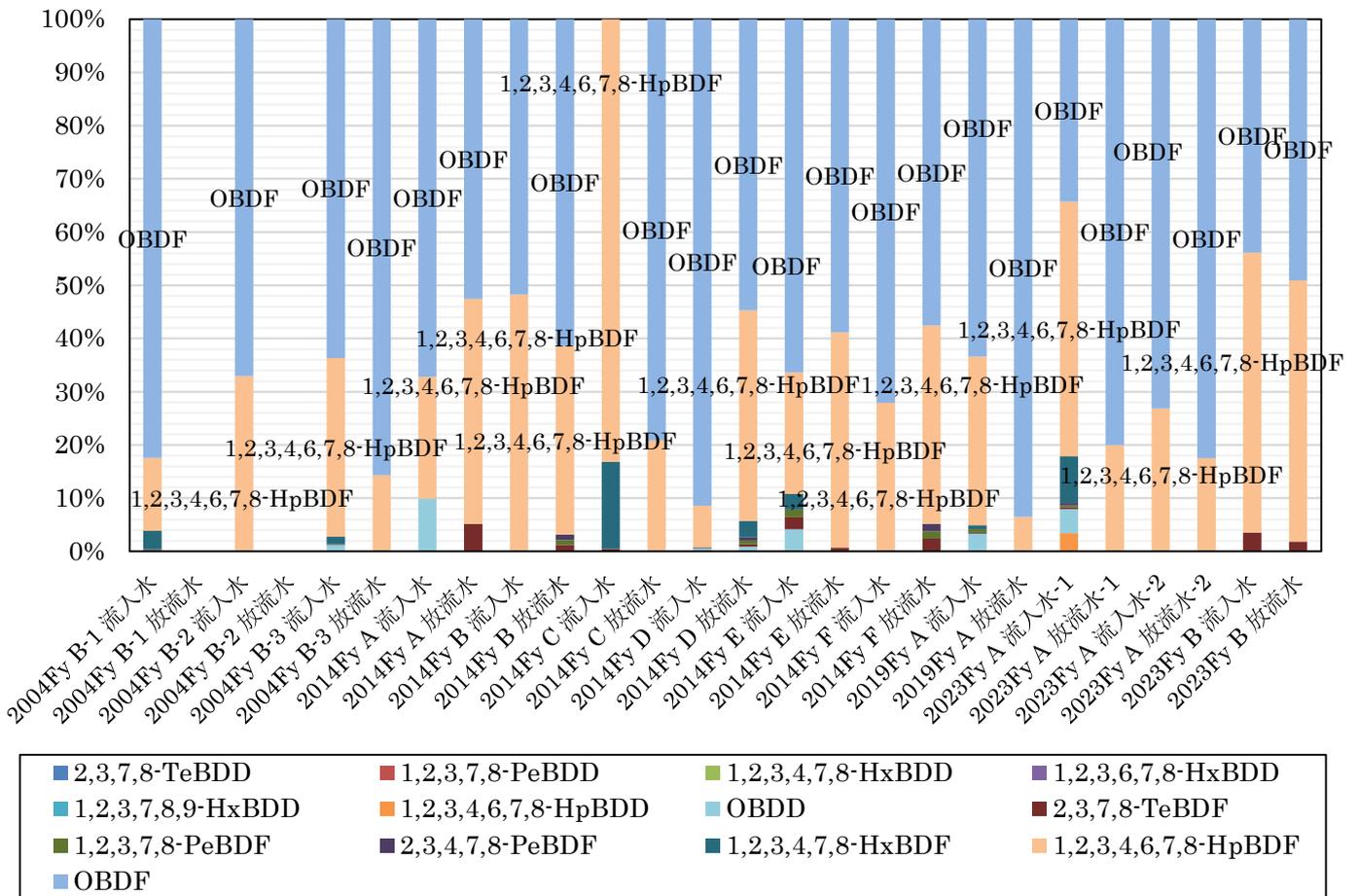


图 6-4 PBDD/Fs 異性体組成 (下水道終末処理施設)

b. PCDD/Fs 及び Co-PCB

PCDD/Fs 及び Co-PCB 実測濃度は、A 施設では、処理前の流入水-1 は 810 pg/L、流入水-2 は 310 pg/L、処理後の放流水-1 は 6.6 pg/L、放流水-2 は 12 pg/L、 B 施設では、処理前の流入水は 440 pg/L、放流水は 27 pg/L であった。毒性等量値 (ND = 0) は、A 施設では、処理前の流入水-1 は 1.6 pg-TEQ/L、流入水-2 は 0.43 pg-TEQ/L、処理後の放流水-1 は 0.010 pg-TEQ/L、放流水-2 は 0.0014 pg-TEQ/L、B 施設では、処理前の流入水は 0.35 pg-TEQ/L、放流水は 0.0022 pg-TEQ/L であった。

排水処理後の除去率は、実測濃度では、A 施設で 99.2%及び 96.1%、B 施設で 93.9%、毒性等量値 (ND=0) では、A 施設で 99.4%及び 99.7%、B 施設で 99.4% であった。

c. PBDEs

PBDEs 実測濃度は、A 施設では、処理前の流入水-1 は 63 ng/L、流入水-2 は 100 ng/L、処理後の放流水-1 は 0.25 ng/L、放流水-2 は 0.17 ng/L、 B 施設では、処理前の流入水は 17 ng/L、放流水は 0.17 ng/L であった。

過去実施した下水道終末処理施設調査データと比較すると、A 施設では、2014 年度 D 施設を除きほぼ同濃度レベルであった。B 施設は臭素系化合物の未処理排水が流入する施設であるが、過去の同様の施設 (2004 年度 B-3、2014 年度 D、2019 年度 A) と比較すると、1~2 桁低い濃度レベルであった (表 6-2)。

排水処理後の除去率は、実測濃度では、A 施設で 99.6%及び 99.8%、B 施設で 99.0%であった。

PBDEs 同族体組成は、A 施設及び B 施設ともに DeBDE が主要な同族体であった (図 6-5)。DeBDE 以外の PBDEs 異性体組成は、#47-TeBDE 及び#99-PeBDE が主要な異性体であった (図 6-6)。

d. TBBPA

TBBPA 実測濃度は、A 施設では、処理前の流入水-1 は 5.8 ng/L、流入水-2 は 3.6 ng/L、処理後の放流水-1 は 0.18 ng/L、放流水-2 は 0.29 ng/L、 B 施設では、処理前の流入水は 44 ng/L、放流水は 0.25 ng/L であった。

排水処理後の除去率は、実測濃度では、A 施設で 96.9%及び 91.9%、B 施設で 99.4%であった。

e. HBCDs

HBCDs 実測濃度は、A 施設では、処理前の流入水-1 は 10 ng/L、流入水-2 は 18 ng/L、処理後の放流水-1 は ND、放流水-2 は 1.2 ng/L、 B 施設では、処理前の流入水は 9 ng/L、放流水は ND であった。

排水処理後の除去率は、実測濃度では、A 施設で 93.3%であった。

f. PBPhs

PBPhs 実測濃度は、A 施設では、処理前の流入水-1 は 41 ng/L、流入水-2 は 24

ng/L、処理後の放流水-1は1.1 ng/L、放流水-2は2.1 ng/L、B施設では、処理前の流入水は83 ng/L、放流水は3.4 ng/Lであった。

PBPhs 異性体組成では、2,4,6-TrBPhが主要な異性体であった(図6-7)。

排水処理後の除去率は、実測濃度では、A施設で97.3%及び91.3%、B施設で95.9%であった。

表 6-2 下水道終末処理施設における過去からの排水中の BFRs 調査データ
(単位 実測濃度：ng/L)

	2004年度 B-1 施設		2004年度 B-2 施設		2004年度 B-3 施設	
	流入水	放流水	流入水	放流水	流入水	放流水
PBDEs 実測濃度	4,200	3.2	140	12	490,000	18,000
HBCDs 実測濃度	11	3.8	17	2.9	17,000	1,200
TBBPA 実測濃度	11	0.85	11	1.4	6.7	0.33
PBPhs 実測濃度	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定	未測定
	2014年度 A 施設		2014年度 B 施設		2014年度 C 施設	
	流入水	放流水	流入水	放流水	流入水	放流水
PBDEs 実測濃度	230	0.46	17	0.71	320	26
HBCDs 実測濃度	44	0.96	26	0.53	280	1.6
TBBPA 実測濃度	10	0.65	12	0.32	11	0.53
PBPhs 実測濃度	11	0.55	8.6	0.15	12	0.60
	2014年度 D 施設		2014年度 E 施設		2014年度 F 施設	
	流入水	放流水	流入水	放流水	流入水	放流水
PBDEs 実測濃度	210,000	3,100	120	1.2	29	1.8
HBCDs 実測濃度	68	0.40	85	0.59	45	0.73
TBBPA 実測濃度	7.2	0.24	8.2	0.21	9.6	0.70
PBPhs 実測濃度	21	1.6	4.8	0.05	21	0.69
	2019年度 A 施設		2023年度 A 施設			
	流入水-2	放流水	流入水-1	放流水-1	流入水-2	放流水-2
PBDEs 実測濃度	6,400	190	63	0.25	100	0.17
HBCDs 実測濃度	28	0.45	10	ND	18	1.2
TBBPA 実測濃度	6.4	1.6	5.8	0.18	3.6	0.29
PBPhs 実測濃度	380	1.5	41	1.1	24	2.1
	2023年度 B 施設					
	流入水	放流水				
PBDEs 実測濃度	17	0.17				
HBCDs 実測濃度	9	ND				
TBBPA 実測濃度	44	0.25				
PBPhs 実測濃度	83	3.4				

※ ND は検出下限未満を示す。

※ 2019Fy A、2014Fy D、2004Fy B-3 は同一施設であり、旧 DeBDE 使用施設の未処理排水が流入。

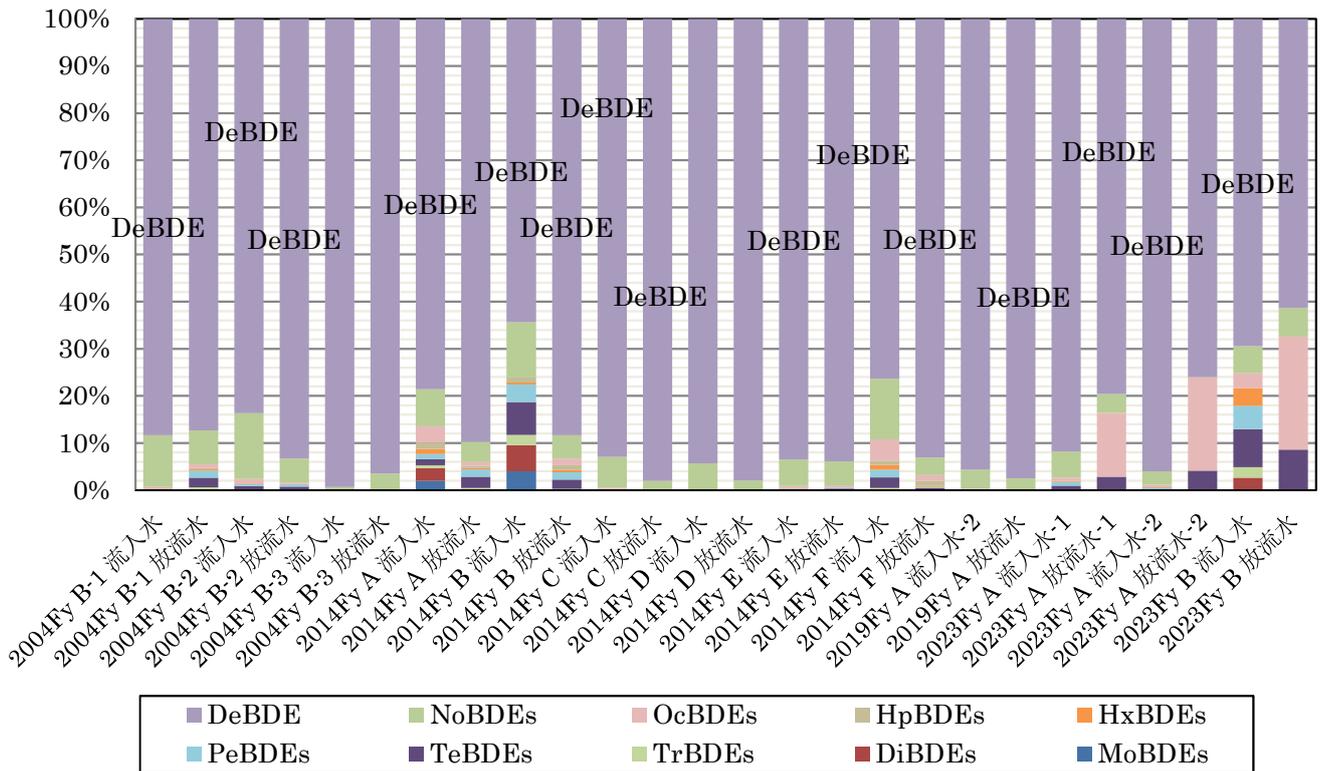


图 6-5 PBDEs 同族体組成 (下水道終末处理施設)

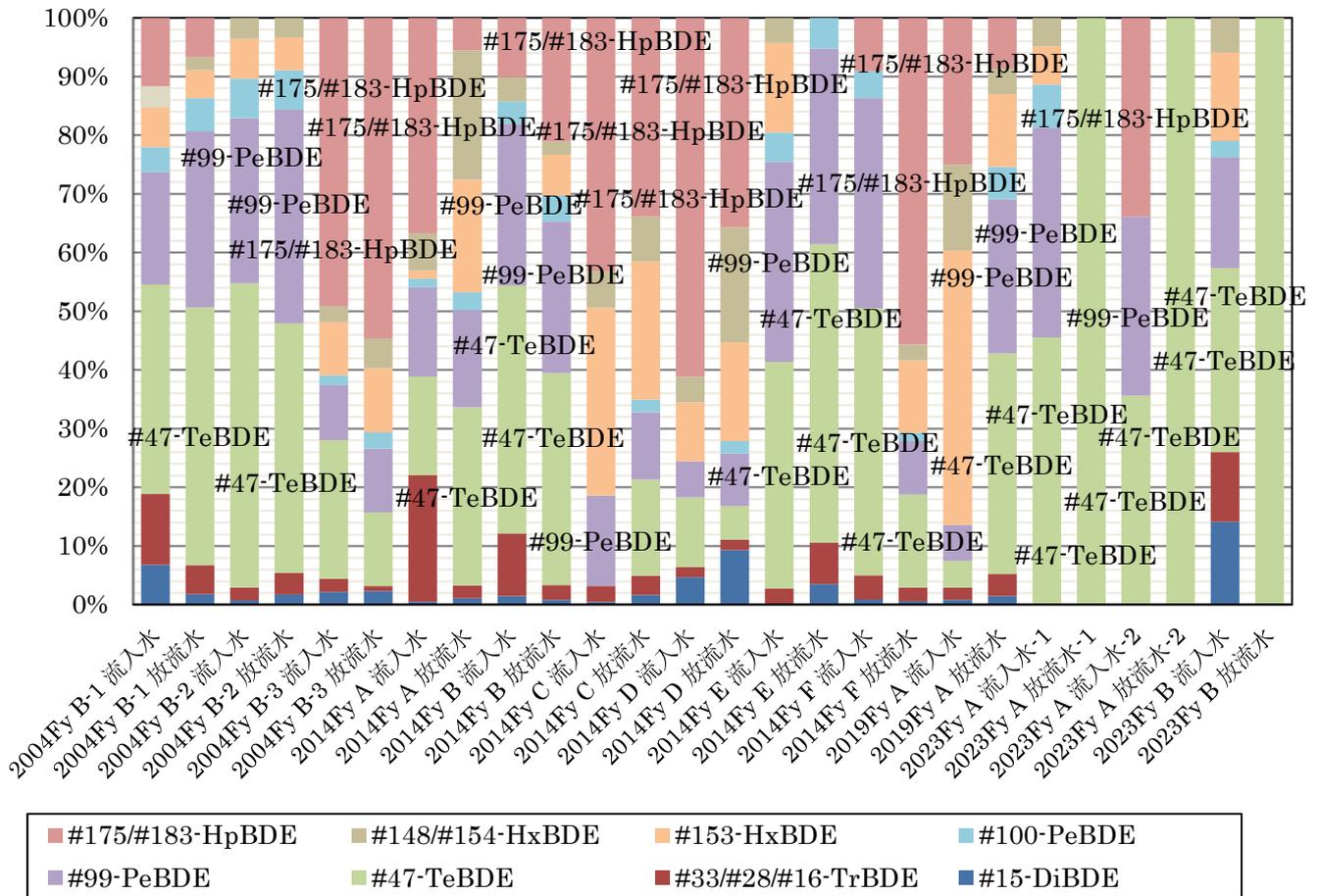


图 6-6 PBDEs 異性体組成 (下水道終末处理施設)

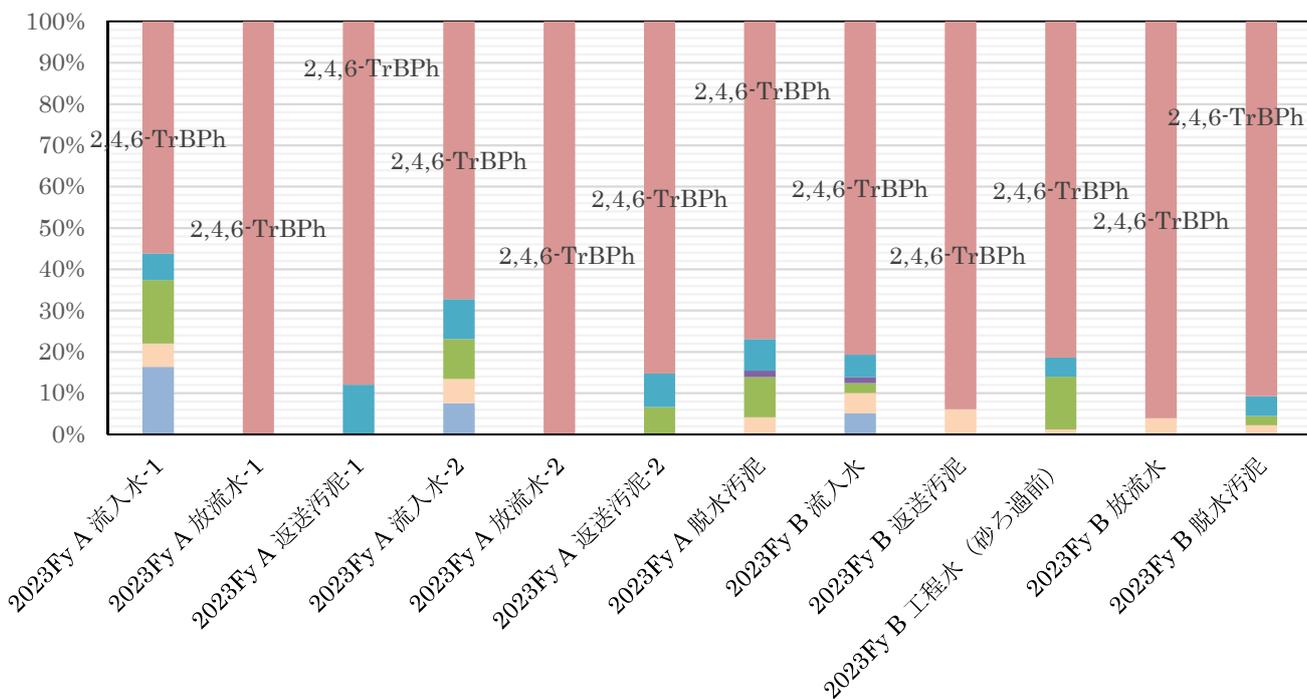


図 6-7 PBPhs 異性体組成 (下水道終末処理施設)

(2) 汚泥 (返送汚泥、脱水汚泥)

a. PBDD/Fs

返送汚泥では、PBDD/Fs 実測濃度は、A 施設で 370 pg/L 及び 370 pg/L、B 施設で 3,100 pg/L であり、毒性等量相当値 (ND=0) は、A 施設で 0.74 pg-TEQ/L 及び 0.95 pg-TEQ/L、B 施設では 5.7 pg-TEQ/L であった。脱水汚泥では、A 施設で 0.32 ng/g-dry、B 施設で 4.9 ng/g-dry であり、毒性等量相当値 (ND=0) は、A 施設では 0.00086 ng-TEQ/g-dry、B 施設では 0.0013 ng-TEQ/g-dry であった。

過去データと比較すると、A 施設では、脱水汚泥は 2004 年度の B-1 施設、B-2 施設、2014 年度 E 施設と同濃度レベルであった。B 施設では、過年度調査の臭素系化合物が流入水施設と比較すると、2 桁低い濃度レベルであった (表 6-3)。

PBDD/Fs 同族体組成は、A 施設では、HxBDFs、HpBDFs、OBDF が主要な同族体であり、B 施設では、TeBDDs が主要な同族体であった (図 6-8)。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 6-9)。

表 6-3 下水道終末処理施設における過去からの汚泥等の調査データ

調査年度	施設名	試料名	PBDD/Fs		PCDD/Fs, Co-PCB		PBDEs	HBCDs	TBBPA	PBPhs
			ng/g-dry	ng-TEQ/g-dry	ng/g-dry	ng-TEQ/g-dry	ng/g-dry	ng/g-dry	ng/g-dry	ng/g-dry
2004 (H16)	B-1	脱水汚泥	0.15	0.0011	4.2	0.010	1,000	39	49	未測定
	B-2	脱水汚泥	0.67	0.0076	12	0.020	2,200	91	30	未測定
	B-3	脱水汚泥	170	0.29	4.2	0.011	500,000	52,000	37	未測定
2014 (H26)	D	脱水汚泥	560	7.4	未測定	未測定	670,000	23	21	7
	E	脱水汚泥	0.59	0.0013	未測定	未測定	1,500	39	14	8
2019 (R1)	A	脱水汚泥	0.84	0.0021	7.4	0.0053	16,000	9.6	19	5.9
2023 (R5)	A	返送汚泥-1	370	0.74	4,600	14	91	ND	30	45
		返送汚泥-2	370	0.95	4,400	5.5	130	90	30	43
		脱水汚泥	0.32	0.00086	2.3	0.0030	180	1.9	17	19
	B	返送汚泥	630	0.20	13,000	11	580	60	310	210
		脱水汚泥	4.9	0.0013	27	0.0022	190	7.0	440	59

※ ND は検出下限未満を示し、毒性等量値又は毒性等量相当値は ND=0 として算出。

※ 2019Fy A、2014Fy D、2004Fy B-3 は同一施設であり、旧 DeBDE 使用施設の未処理排水が流入。

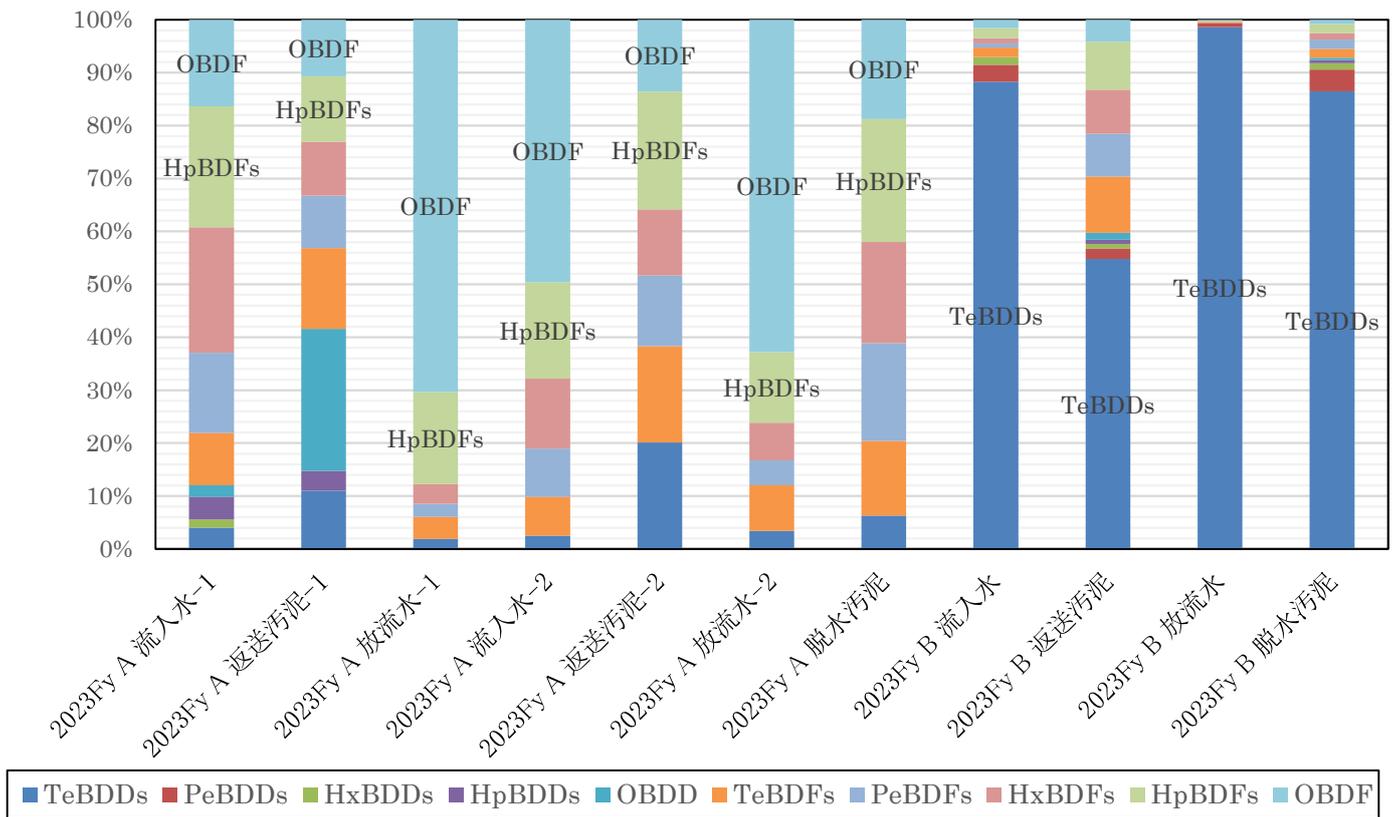


図 6-8 PBDD/Fs 同族体組成 (下水道終末処理施設)

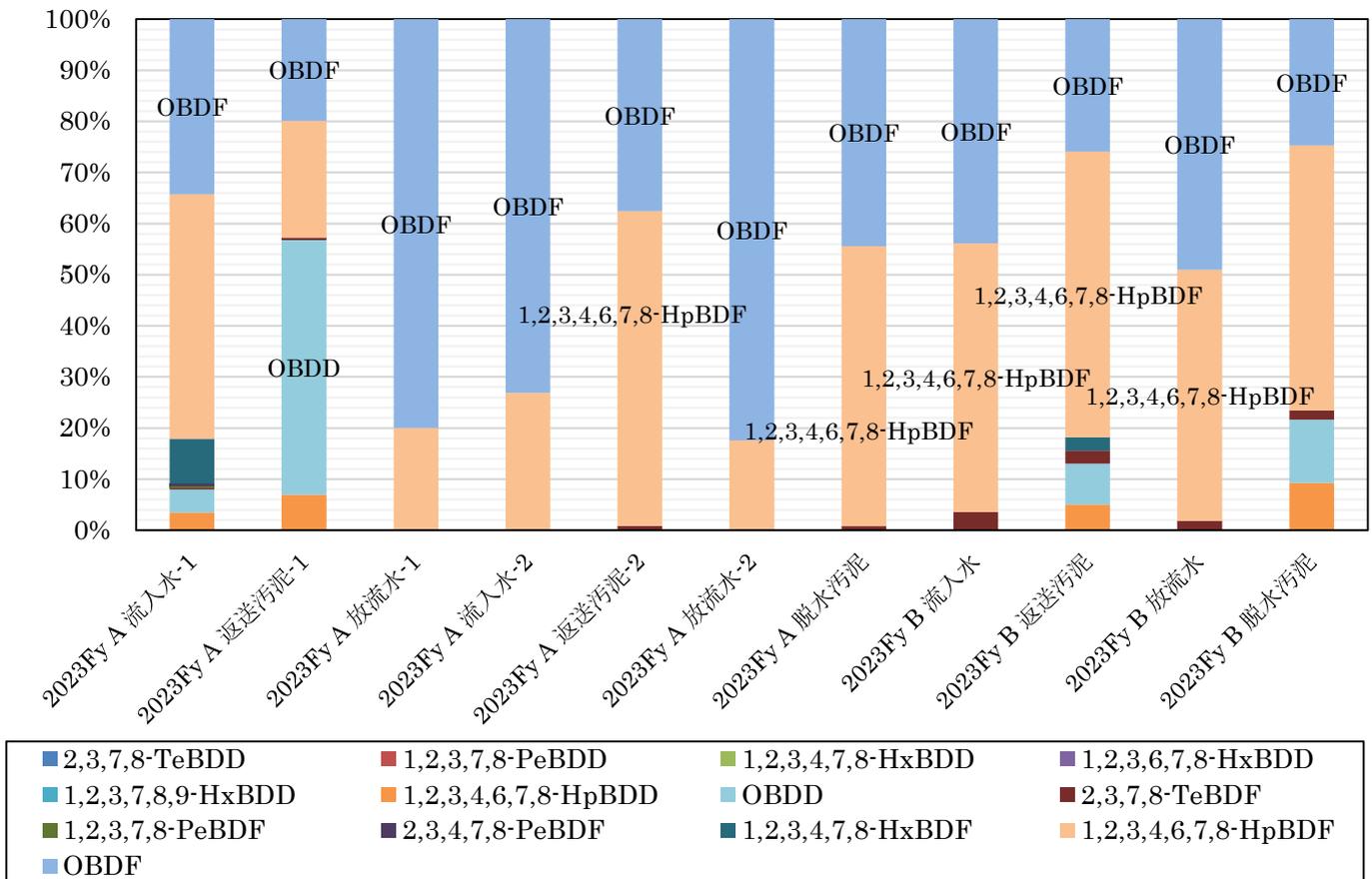


図 6-9 PBDD/Fs 異性体組成 (下水道終末処理施設)

b. PCDD/Fs 及び Co-PCB

返送汚泥では、PCDD/Fs 及び Co-PCB 実測濃度は、A 施設で 4,600 pg/L 及び 4,400 pg/L、B 施設で 13,000 pg/L であり、毒性等量値 (ND=0) は、A 施設で 14 pg-TEQ/L 及び 5.5 pg-TEQ/L、B 施設では 11 pg-TEQ/L であった。脱水汚泥では、PCDD/Fs 及び Co-PCB 実測濃度は、A 施設で 2.3 ng/g-dry、B 施設で 2.6 ng/g-dry であり、毒性等量値 (ND=0) は、A 施設で 0.0030 ng-TEQ/L、B 施設では 0.0032 ng-TEQ/g-dry であった。

c. PBDEs

返送汚泥では、PBDEs 実測濃度は、A 施設で 91 ng/L 及び 130 ng/L、B 施設で、580 ng/L であった。脱水汚泥では、A 施設で 180 ng/g-dry、B 施設で 190 ng/g-dry であった。

脱水汚泥の過去データと比較すると、A 施設では、2004 年度の B-1 施設、B-2 施設、2014 年度 E 施設と 1 桁低い濃度レベルであり、B 施設では、過年度調査の臭素系化合物が流入する施設と比較すると、2~3 桁低い濃度レベルであった (表 6-3)。

PBDEs 同族体組成は、全ての試料において DeBDE が主要な同族体であった (図 6-10)。DeBDE 以外の PBDEs 異性体組成は、A 施設では、#47-TeBDE、#99-PeBDE、B 施設では、#15-DiBDE、#47-TeBDE、#99-PeBDE、#153-HxBDE が主要な異性体であった (図 6-11)。

d. TBBPA

返送汚泥では、TBBPA 実測濃度は、A 施設で 30 ng/L 及び 30 ng/L、B 施設で、310 ng/L であった。脱水汚泥では、A 施設で 17 ng/g-dry、B 施設で 440 ng/g-dry であった。

e. HBCDs

返送汚泥では、HBCDs 実測濃度は、A 施設で ND 及び 90 ng/L、B 施設で、60 ng/L であった。脱水汚泥では、A 施設で 1.9 ng/g-dry、B 施設で 7.0 ng/g-dry であった。

f. PBPhs

返送汚泥では、PBPhs 実測濃度は、A 施設で 45 ng/L 及び 43 ng/L、B 施設で、210 ng/L であった。脱水汚泥では、A 施設で 19 ng/g-dry、B 施設で 59 ng/g-dry であった。

PBPhs 異性体組成では、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 6-7)。

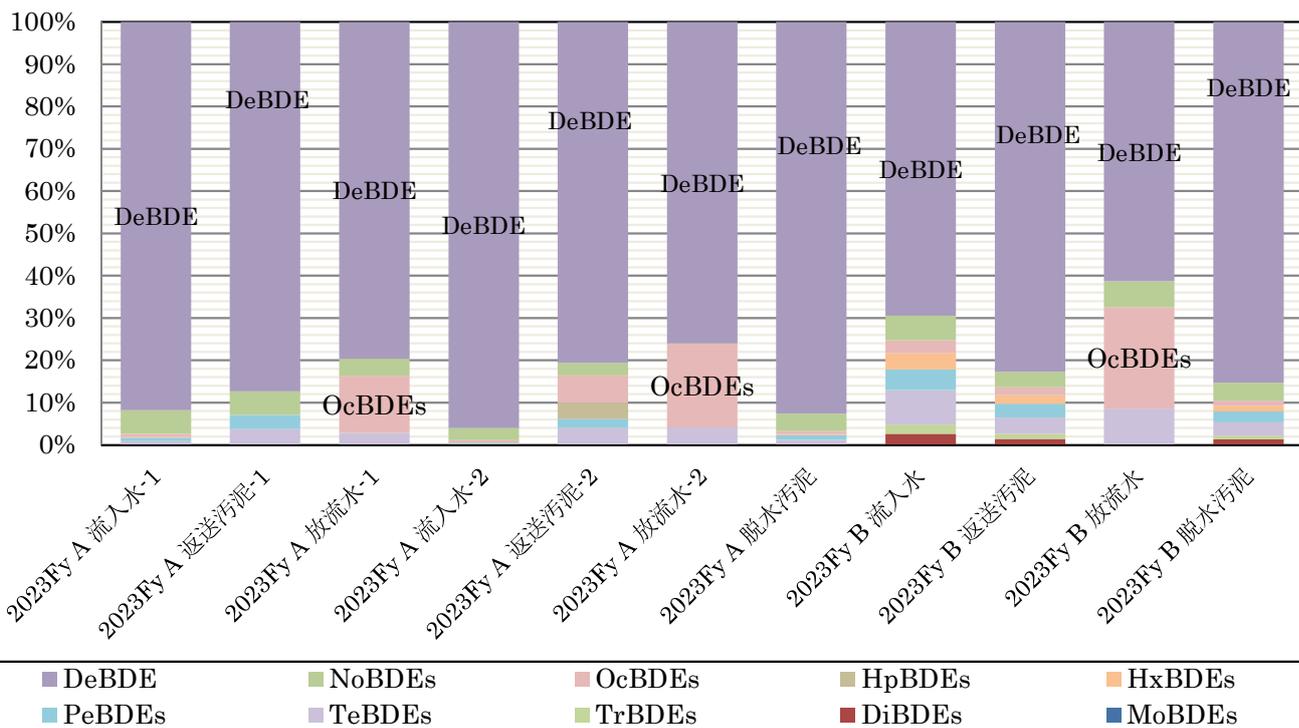


图 6-10 PBDEs 同族体組成 (下水道終末処理施設)

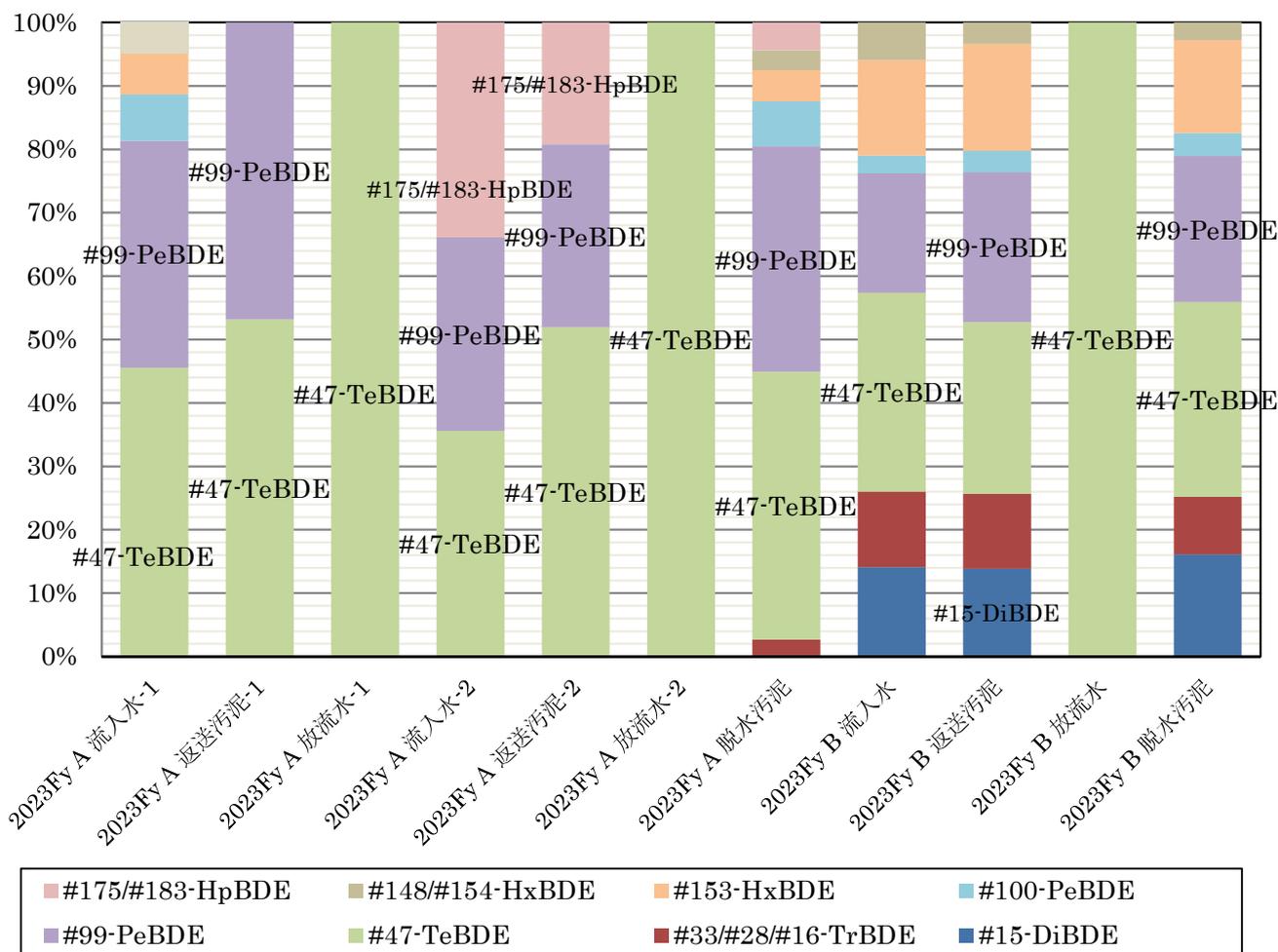


图 6-11 PBDEs 異性体組成 (下水道終末処理施設)

(3) 考察

下水道終末処理施設において、排水処理後の放流水の PBDD/Fs の実測濃度レベルは、2010 年度調査の D 施設を除き同濃度レベルであり、毒性等量相当値も塩素化ダイオキシン類の排水基準値（10 pg-TEQ/L）を十分に下回っていた。

下水道終末処理施設の排水処理設備における除去率を表 6-3 及び表 6-4 に示す。除去率をみると、一部 B 施設の PBDD/Fs 濃度は 71.4% やや低い数値であったが、他では 90% 以上の除去率であった。今年度調査を行った B 施設は、高度処理として活性汚泥処理後、砂ろ過処理が行われていた。B 施設の排水処理別の除去率を表 6-5 に示す。ろ過前までの活性汚泥処理の除去率は 90.0% 以上であったが、砂ろ過の PBDD/Fs の除去率は 8.900% となり、除去率が悪化した。砂ろ過後に濃度が高くなった異性体は 1,3,6,8-TeBDD、1,3,7,9-TeBDD などの TeBDDs 異性体であり、PCDDs の TeCDDs にも同様の傾向が見られた。サンプリングのタイミングによる流入水や放流水の組成変化なども考えられるが、これら異性体の濃度が高くなった理由の詳細は不明である。

今年度調査も含め過年度調査の下水道終末処理施設の PBDD/Fs の排水処理による除去率は、おおよそ 90% 以上であり、活性汚泥処理は十分に除去効果が見込まれる。

表 6-3 下水道終末処理施設の排水処理除去率 (単位: pg/L、pg-TEQ/L)

2023Fy A 施設	流入水-1	放流水-1	除去率(%)
PBDD/Fs 実測濃度	230	2.4	99.0
PBDD/Fs 毒性等量相当値	1.8	0.0051	99.7
PCDD/Fs, Co-PCB 実測濃度	810	6.6	99.2
PCDD/Fs, Co-PCB 毒性等量	1.6	0.010	99.4
SS 濃度	280	2.6	99.1
2023Fy A 施設	流入水-2	放流水-2	除去率(%)
PBDD/Fs 実測濃度	120	1.3	98.9
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.24	0.0019	99.2
PCDD/Fs, Co-PCB 実測濃度	310	12	96.1
PCDD/Fs, Co-PCB 毒性等量	0.43	0.0014	99.7
SS 濃度	130	1.8	98.6
2023Fy B 施設	流入水	放流水	除去率(%)
PBDD/Fs 実測濃度	630	180	71.4
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.20	0.0042	97.9
PCDD/Fs, Co-PCB 実測濃度	440	27	93.9
PCDD/Fs, Co-PCB 毒性等量	0.35	0.0022	99.4
SS 濃度	20	< 0.5	97.5

※ ND は検出下限未満を示し、毒性等量相当値又は毒性等量値は ND=0 として算出

※ SS 濃度の単位は mg/L

表 6-4 下水道終末処理施設の排水処理除去率 (単位：pg/L、pg-TEQ/L)

2014Fy A 施設	流入水	放流水	除去率(%)
PBDD/Fs 実測濃度	170	1.1	99.4
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.31	0.0065	97.9
SS 実測濃度	78	2.3	97.1
2014Fy B 施設	流入水	放流水	除去率(%)
PBDD/Fs 実測濃度	44	3.4	92.3
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.14	0.034	75.7
SS 実測濃度	180	3.8	97.9
2014Fy C 施設	流入水	放流水	除去率(%)
PBDD/Fs 実測濃度	92	6.3	93.2
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.78	0.011	98.6
SS 実測濃度	78	2.4	96.9
2014Fy D 施設	流入水	放流水	除去率(%)
PBDD/Fs 実測濃度	170,000	1,200	99.3
PBDD/Fs 毒性等量相当値	200	3.2	98.4
SS 実測濃度	12	1.8	98.5
2014Fy E 施設	流入水	放流水	除去率(%)
PBDD/Fs 実測濃度	77	1.4	98.2
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.39	0.0043	98.9
SS 実測濃度	120	1.2	99.0
2014Fy F 施設	流入水	放流水	除去率(%)
PBDD/Fs 実測濃度	58	4.9	91.6
PBDD/Fs 毒性等量相当値	0.12	0.098	18.3
SS 実測濃度	450	2.0	99.6

※ ND は検出下限未満を示し、毒性等量相当値は ND=0 として算出

※ SS 濃度の単位は mg/L

表 6-5 B 施設の排水処理別の除去率 (単位：pg/L)

	流入水	砂ろ過前	活性汚泥処理 除去率(%)	放流水	砂ろ過処理 除去率(%)
PBDDs 実測濃度	580	1.2	99.8	180	-14,900
TeBDDs 実測濃度	550	1.2	99.8	180	-14,900
PBDFs 実測濃度	630	0.7	99.9	1.1	-57.1
PCDDs 実測濃度	49	0.3	99.4	21	-6,900
TeCDDs 実測濃度	5.7	ND	—	14	—
PCDFs 実測濃度	18	0.22	98.8	ND	—
Co-PCB 実測濃度	370	17	95.4	6.9	59.4
SS 濃度	20	2.6	87.0	< 0.5	80.7

※ ND は検出下限未満を示し、毒性等量相当値は ND=0 として算出

※ SS 濃度の単位は mg/L

7. 臭素系ダイオキシン類暫定排出インベントリー（参考値）

7.1 臭素系ダイオキシン類排出量の推計

今年度調査した下水道終末処理施設における水系への PBDD/Fs 排出量を表 7-1 に示す。

表 7-1 下水道終末処理施設における水系への PBDD/Fs 排出量

	2023 年度推計	2019 年度推計
PBDD/Fs (pg-TEQ/L)	0.027、0.024、0.026 (2023Fy) 0.20 (2019Fy)	0.029、0.051、0.034、 0.026、0.11 (2014Fy) 0.20 (2019Fy)
推計方法	① 調査した施設の排水データから、年間排出量を算出。 ② 年間排出量を年間処理水量で除して、処理水量 1 トンあたりの排出原単位を算出。 ③ 排出原単位に全国の下水道年間処理水量を乗じて、年間排出量を推計。	
PBDD/Fs 排出量 (mg-TEQ/年)	515 ※ 下水道処理量は 2020 年度下水道統計データを使用	619 ※ 下水道処理量は 2017 年度下水道統計データを使用

7.2 臭素系ダイオキシン類の暫定排出インベントリー

7.1 で算出した臭素系ダイオキシン類の排出量のデータを用いて、PBDD/Fs の水系への年間排出量を表 7-2 に、PBDD/Fs の大気系への年間排出量を表 7-3 にまとめ、参考値として更新した臭素系ダイオキシン類暫定排出インベントリーを表 7-4 に示す。

今年度は、水系への大きな排出源として、下水道終末処理施設の調査を実施した。

今回の調査データを追加すると、下水道終末処理施設の水系への PBDD/Fs 排出量は約 17%減少した。

2018 年度から化学物質審査規制法(以下「化審法」という。)により DeBDE の使用製造が禁止となり、禁止以降の調査結果は、今年度の調査を含めて 10 施設だけのデータであるが、DeBDE 由来の水系及び大気系への PBDD/Fs 排出量は減少している。

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、引き続き、化審法の DeBDE 規制効果の確認調査、未測定業種の調査、排出量の多い業種の追加調査などを行い、調査データ数を確保することが必要と考える。

表 7-2 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	426.9
	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	23.3
	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		515
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 7-3 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	250
	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 7-4 臭素系ダイオキシン類暫定排出インベントリー（参考値）

PBDD/Fs (2003～2023 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	2010	—	—	0.51
	難燃プラスチック製造加 工施設 (BFR)	1.03	2004	0.250	2020 2022	0.250
	一般廃棄物焼却炉	0.18	2012	—	—	0.18
	産業廃棄物焼却炉	0.17	2012	—	—	0.17
	製鋼用電気炉	—	—	0.082	2019	0.082
	アルミニウム第二次精 練・精製施設	0.056	2009	—	—	0.056
	下水道終末処理場 (汚泥焼却炉として)	0.020	2014	—	—	0.020
	小計	1.96				1.274
水 へ の 排 出 源	下水道終末処理場	1.05	2014	0.515	2019 2023	0.515
	難燃剤製造・取扱施設 (BFR)	0.59	2006	0.426	2021	0.433
	難燃繊維加工施設 (BFR)	1.37	2013 2017	0.145	2019 2020 2021	0.15
	難燃プラスチック製造加 工施設 (BFR)	0.045	2004	0.0232	2020 2022	0.0232
	セメント製造施設	0.029	2010	—	—	0.029
	難燃剤樹脂製造施設 (BFR)	0.0071	2008	—	—	0.0071
	小計	3.08				1.15
合計	5.0				2.4	

7.3 臭素系ダイオキシン類の暫定排出インベントリー推計に係る課題

- ① 化審法による DeBDE 使用禁止により、PBDD/Fs の排出量は規制前より半減しているが、代替難燃剤である DBDPE (デカブロモジフェニルエタン) 使用施設の中には、排ガスや排水に比較的高濃度の PBDD/Fs が検出されていることから、DBDPE の使用施設の排出実態も注視して行く必要がある。
- ② PBDD/Fs 排出量推計において、活動指標として DeBDE の使用量または需要量等から PBDD/Fs 排出原単位を算出している施設があるが、今後、再調査した後、排出量が計算できなくなるため、推計方法を適宜見直す必要がある。未調査施設の排ガス量や排水量の情報がない場合、調査した施設の情報からの推計となるため、調査データが少ない場合、推計精度に欠ける可能性がある。
- ③ PBDD/Fs の排出源として網羅できていない可能性があり、かつ未測定の業種として、DeBDE 含有廃棄物の混入が疑われる「再生プラスチック製造施設」や「廃プラスチック再資源化施設」、BFR 含有廃基板の再資源化施設である「非鉄金属精錬施設」などがある。非鉄金属精錬施設としてアルミニウム二次精錬施設は過去に調査しているが、銅、亜鉛、鉛などの二次精錬施設は調査していない。
- ④ WHO-TEFs が 2022 年改正され、TEF が見直しされている。仮に臭素系ダイオキシン類の TEF を塩素化ダイオキシン類の新しい WHO-TEF (2022) をそのまま適用して TEQ を計算した場合、WHO-TEF (2005) と比較したところ、PBDD/Fs では、PBDFs 由来の高臭素化体由来が大きいため、今年度調査結果では、平均して約 2 倍の TEQ となった。臭素系ダイオキシン類の毒性については、2011 年 3 月 WHO/UNEP 合同専門家会議に塩素化ダイオキシン類の毒性とほぼ同じで、同等のリスク管理をすることが合意されているが、2022 年の WHO-TEF 改訂会議では、臭素系ダイオキシン類に関しては議論されていない。

別表 - 1

調査結果(個別結果)

表1 排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		
	流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1
2,3,7,8-TeBDD	ND	ND	ND
TeBDDs	9.2	41	0.045
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	3.6	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	3.8	14	ND
HpBDDs	10	14	ND
OBDD	5	100	ND
Total PBDDs	28	150	0.045
2,3,7,8-TeBDF	0.38	1.0	0.004
TeBDFs	23	57	0.10
1,2,3,7,8-PeBDF	0.4	ND	ND
2,3,4,7,8-PeBDF	0.5	ND	ND
PeBDFs	35	37	0.06
1,2,3,4,7,8-HxBDF	9.7	ND	ND
HxBDFs	55	38	0.09
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	53	46	0.42
HpBDFs	53	46	0.42
OBDF	38	40	1.7
Total PBDFs	200	220	2.4
Total (PBDDs+PBDFs)	230	370	2.4

表2 排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		
	流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1
2,3,7,8-TeBDD	0.02	0.4	0.002
1,2,3,7,8-PeBDD	0.05	1	0.005
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.03	0.5	0.003
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.035	0.5	0.0035
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.03	0.5	0.0025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.038	0.14	0.0002
OBDD	0.0015	0.03	0.000015
2,3,7,8-TeBDF	0.038	0.10	0.0004
1,2,3,7,8-PeBDF	0.012	0.06	0.0003
2,3,4,7,8-PeBDF	0.15	0.75	0.003
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.97	0.5	0.003
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.53	0.46	0.0042
OBDF	0.0114	0.012	0.00051
Total TEQ (下限×1/2)	1.9	5.0	0.027
Total TEQ (ND=0)	1.8	0.74	0.0051

*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		
	流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2
2,3,7,8-TeBDD	ND	ND	ND
TeBDDs	3.0	74	0.043
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	ND	ND	ND
HpBDDs	ND	ND	ND
OBDD	ND	ND	ND
Total PBDDs	3.0	74	0.043
2,3,7,8-TeBDF	ND	1.1	ND
TeBDFs	8.9	67	0.11
1,2,3,7,8-PeBDF	ND	ND	ND
2,3,4,7,8-PeBDF	ND	ND	ND
PeBDFs	11	49	0.06
1,2,3,4,7,8-HxBDF	ND	ND	ND
HxBDFs	16	46	0.09
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	22	82	0.17
HpBDFs	22	82	0.17
OBDF	60	50	0.8
Total PBDFs	120	290	1.3
Total (PBDDs+PBDFs)	120	370	1.3

表4 排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		
	流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2
2,3,7,8-TeBDD	0.2	0.4	0.002
1,2,3,7,8-PeBDD	0.5	1	0.005
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.3	0.5	0.003
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.35	0.5	0.0035
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.3	0.5	0.0025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.025	0.045	0.0002
OBDD	0.0015	0.003	0.000015
2,3,7,8-TeBDF	0.02	0.11	0.0002
1,2,3,7,8-PeBDF	0.03	0.06	0.0003
2,3,4,7,8-PeBDF	0.3	0.75	0.003
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.25	0.5	0.0025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.22	0.82	0.002
OBDF	0.018	0.015	0.00024
Total TEQ (下限×1/2)	2.5	5.2	0.024
Total TEQ (ND=0)	0.24	0.95	0.0019

*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 排水及び返送汚泥中のPBDD/Fs分析結果(実測濃度) (pg/L)

物質名	B 施設			
	流入水	返送汚泥	工程水 (砂ろ過前)	放流水
2,3,7,8-TeBDD	ND	ND	ND	ND
TeBDDs	550	1700	1.2	180
1,2,3,7,8-PeBDD	ND	ND	ND	ND
PeBDDs	20	62	ND	1.4
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	9	26	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	ND	25	ND	ND
HpBDDs	ND	25	ND	ND
OBDD	ND	40	ND	ND
Total PBDDs	580	1900	1.2	180
2,3,7,8-TeBDF	0.8	13	ND	0.011
TeBDFs	11	330	0.36	0.39
1,2,3,7,8-PeBDF	ND	ND	ND	ND
2,3,4,7,8-PeBDF	ND	ND	ND	ND
PeBDFs	5	250	0.1	0.08
1,2,3,4,7,8-HxBDF	ND	13	ND	ND
HxBDFs	6	260	ND	0.11
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	12	280	0.3	0.30
HpBDFs	12	280	0.3	0.30
OBDF	10	130	ND	0.3
Total PBDFs	48	1300	0.7	1.1
Total (PBDDs+PBDFs)	630	3100	2.0	180

表6 排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	B 施設			
	流入水	返送汚泥	工程水 (砂ろ過前)	放流水
2,3,7,8-TeBDD	0.2	0.4	0.01	0.002
1,2,3,7,8-PeBDD	0.5	1	0.03	0.005
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.3	0.5	0.015	0.003
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.35	0.5	0.02	0.0035
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.25	0.5	0.015	0.0025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.02	0.25	0.001	0.0002
OBDD	0.0015	0.012	0.00009	0.000015
2,3,7,8-TeBDF	0.08	1.3	0.001	0.0011
1,2,3,7,8-PeBDF	0.03	0.06	0.00135	0.0003
2,3,4,7,8-PeBDF	0.3	0.75	0.015	0.003
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.25	1.3	0.015	0.0025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.12	2.8	0.003	0.0030
OBDF	0.003	0.039	0.00009	0.00009
Total TEQ (下限×1/2)	2.4	9.4	0.13	0.026
Total TEQ (ND=0)	0.20	5.7	0.003	0.0042

*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7 排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		
		流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	ND	ND	ND
	TeCDDs	7.0	32	ND
	1,2,3,7,8-PeCDD	0.3	ND	ND
	PeCDDs	7.7	29	ND
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.21	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.8	3	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.5	ND	ND
	HxCDDs	8.1	22	ND
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	8.8	25	ND
	HpCDDs	16	44	ND
	OCDD	70	200	0.4
Total PCDDs		110	320	0.4
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	2.6	100	0.1
	TeCDFs	14	240	0.3
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.5	6	ND
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.4	4	ND
	PeCDFs	6.6	39	ND
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.5	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.6	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	0.9	4	ND
	HxCDFs	5.3	12	ND
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	2.0	8	ND
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND	ND	ND
	HpCDFs	3.6	8	ND
	OCDF	3.8	19	ND
Total PCDFs		33	320	0.3
Total PCDD/Fs		140	640	0.7
Co-PCB	3,4,4',5'-TeCB(#81)	2.1	13	ND
	3,3',4,4'-TeCB(#77)	51	290	0.7
	3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	3.9	16	ND
	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	0.50	ND	ND
	Total non-ortho CBs	58	320	0.7
	2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	6.9	41	ND
	2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	340	2100	3.5
	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	160	900	1.5
	2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	11	65	ND
	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	19	110	ND
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	55	290	0.25
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	13	58	ND
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	4.3	20	ND
Total mono-ortho CBs		610	3600	5.3
Total Co-PCB		660	3900	5.9
Total PCDD/Fs・Co-PCB		810	4600	6.6
毒性等量 (pg-TEQ/L)	Total PCDD/Fs	1.2	12	0.010
	Total Co-PCB	0.43	1.7	0.00023
	Total PCDD/Fs・Co-PCB	1.6	14	0.010

* 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8 排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		
		流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	ND	ND	ND
	TeCDDs	3.2	59	0.1
	1,2,3,7,8-PeCDD	ND	ND	ND
	PeCDDs	2.2	48	ND
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.3	7	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.2	ND	ND
	HxCDDs	3.5	51	ND
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	3.5	28	ND
	HpCDDs	6.9	62	ND
	OCDD	27	290	3.7
Total PCDDs		43	510	3.9
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	0.4	10	ND
	TeCDFs	5.8	93	1.0
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.3	ND	ND
	2,3,4,7,8-PeCDF	ND	ND	ND
	PeCDFs	2.7	16	ND
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.3	4	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.3	4	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND	ND	ND
	2,3,4,6,7,8+1,2,3,6,8,9-HxCDF	0.5	8	ND
	HxCDFs	2.7	43	ND
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	1.3	7	ND
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND	ND	ND
	HpCDFs	1.8	12	ND
	OCDF	1.4	11	ND
Total PCDFs		14	180	1.0
Total PCDD/Fs		57	690	4.8
Co-PCB	3,4,4',5'-TeCB(#81)	0.6	16	ND
	3,3',4,4'-TeCB(#77)	17	330	1.1
	3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	1.5	15	ND
	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	0.22	3	ND
	Total non-ortho CBs	19	360	1.1
	2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	2.5	37	ND
	2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	130	1800	3.8
	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	60	770	1.5
	2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	3.9	59	ND
	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	7.7	91	ND
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	24	510	0.28
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	4.7	55	ND
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	1.5	16	ND
Total mono-ortho CBs		240	3400	5.6
Total Co-PCB		260	3700	6.7
Total PCDD/Fs・Co-PCB		310	4400	12
毒性等量 (pg-TEQ/L)	Total PCDD/Fs	0.27	3.7	0.0011
	Total Co-PCB	0.17	1.7	0.00028
	Total PCDD/Fs・Co-PCB	0.43	5.5	0.0014

* 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9 排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		B 施設			
		流入水	返送汚泥	工程水 (砂ろ過前)	放流水
PCDDs	2,3,7,8-TeCDD	ND	ND	ND	ND
	TeCDDs	5.7	160	ND	14
	1,2,3,7,8-PeCDD	ND	ND	ND	ND
	PeCDDs	5.7	57	ND	4.3
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND	ND	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.3	7	ND	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND	6	ND	ND
	HxCDDs	3.2	65	ND	0.8
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	3.0	59	ND	0.17
	HpCDDs	6.1	130	ND	0.57
	OCDD	29	550	0.3	0.7
Total PCDDs		49	950	0.3	21
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	0.3	11	ND	ND
	TeCDFs	5.8	290	0.22	ND
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.2	12	ND	ND
	2,3,4,7,8-PeCDF	ND	4	ND	ND
	PeCDFs	1.9	88	ND	ND
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.3	5	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	ND	ND	ND	ND
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND	ND	ND	ND
	2,3,4,6,7,8+1,2,3,6,8,9-HxCDF	0.4	12	ND	ND
	HxCDFs	2.1	46	ND	ND
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	2.0	15	ND	ND
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND	ND	ND	ND
	HpCDFs	2.6	22	ND	ND
	OCDF	5.6	22	ND	ND
Total PCDFs		18	460	0.22	ND
Total PCDD/Fs		67	1400	0.6	21
Co-PCB	3,4,4',5'-TeCB(#81)	2.0	50	0.10	ND
	3,3',4,4'-TeCB(#77)	41	1200	2.0	1.1
	3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	1.3	37	ND	ND
	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	0.14	7	ND	ND
	Total non-ortho CBs	44	1300	2.1	1.1
	2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	4.4	140	0.17	ND
	2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	190	6100	8.9	3.9
	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	91	2500	3.8	1.8
	2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	7.2	260	0.31	0.1
	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	7.9	250	0.3	ND
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	24	750	0.88	ND
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	5.5	150	0.20	ND
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	1.6	49	ND	ND
Total mono-ortho CBs		330	10000	15	5.8
Total Co-PCB		370	11000	17	6.9
Total PCDD/Fs・Co-PCB		440	13000	17	27
毒性等量 (pg-TEQ/L)	Total PCDD/Fs	0.20	6.6	0.00009	0.0019
	Total Co-PCB	0.15	4.4	0.00067	0.00028
	Total PCDD/Fs・Co-PCB	0.35	11	0.00076	0.0022

* 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10 排水及び返送汚泥中のPBDEs分析結果(実測濃度) (ng/L)

物質名	A 施設		
	流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1
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)	0.56	3.4	0.007
TeBDEs	0.56	3.4	0.007
2,2',4,4',5-PeBDE(#99)	0.44	3	ND
2,2',4,4',6-PeBDE(#100)	0.09	ND	ND
PeBDEs	0.52	3	ND
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	0.08	ND	ND
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	0.06	ND	ND
HxBDEs	0.15	ND	ND
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE(#175/#183)	ND	ND	ND
HpBDEs	ND	ND	ND
OBDEs	0.42	ND	0.034
NoBDEs	3.5	5	0.01
DeBDE	58	79	0.20
Total PBDEs	63	91	0.25

表11 排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		
	流入水-1	返送汚泥-1	放流水-1
α -HBCD	4.8	ND	ND
β -HBCD	1.2	ND	ND
γ -HBCD	4	ND	ND
Total HBCDs	10	ND	ND
TBBPA	5.8	30	0.18
2-MoBPh	6.7	ND	ND
3/4-MoBPh	2.3	ND	ND
MoBPhs	9.1	ND	ND
2,6-DiBPh	6.3	ND	ND
2,5/3,5-DiBPh	ND	ND	ND
2,4-DiBPh	2.6	ND	0.13
3,4-DiBPh	ND	ND	ND
2,3-DiBPh	ND	ND	ND
DiBPhs	8.9	ND	0.13
2,4,6-TrBPh	23	45	0.95
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	23	45	0.95
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	41	45	1.1

表12 排水及び返送汚泥中のPBDEs分析結果(実測濃度) (ng/L)

物質名	A施設		
	流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2
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)	0.21	5.4	0.007
TeBDEs	0.21	5.4	0.007
2,2',4,4',5-PeBDE(#99)	0.18	3	ND
2,2',4,4',6-PeBDE(#100)	ND	ND	ND
PeBDEs	0.18	3	ND
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	ND	ND	ND
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	ND	ND	ND
HxBDEs	ND	ND	ND
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE(#175/#183)	0.2	2	ND
HpBDEs	0.2	5	ND
OBDEs	0.54	9	0.034
NoBDEs	3.0	4	ND
DeBDE	100	110	0.13
Total PBDEs	100	130	0.17

表13 排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		
	流入水-2	返送汚泥-2	放流水-2
α-HBCD	3.7	20	0.98
β-HBCD	1.1	ND	ND
γ-HBCD	14	70	0.2
Total HBCDs	18	90	1.2
TBBPA	3.6	30	0.29
2-MoBPh	1.8	ND	ND
3/4-MoBPh	1.4	ND	ND
MoBPhs	3.1	ND	ND
2,6-DiBPh	2.3	ND	0.14
2,5/3,5-DiBPh	ND	ND	ND
2,4-DiBPh	2.3	ND	0.17
3,4-DiBPh	ND	ND	ND
2,3-DiBPh	ND	ND	ND
DiBPhs	4.6	ND	0.31
2,4,6-TrBPh	16	43	1.8
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	16	43	1.8
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	24	43	2.1

表14 排水及び返送汚泥中のPBDEs分析結果(実測濃度) (ng/L)

物質名	B施設			
	流入水	返送汚泥	工程水 (砂ろ過前)	放流水
MoBDEs	ND	ND	ND	ND
4,4'-DiBDE(#15)	0.45	8.2	ND	ND
DiBDEs	0.45	8.2	ND	ND
2',3,4/2,4,4'/2,2',3-TrBDE(#33/#28/#16)	0.38	7.0	ND	ND
TrBDEs	0.38	7.0	ND	ND
2,2',4,4'-TeBDE(#47)	1.0	16	0.03	0.014
TeBDEs	1.4	22	0.03	0.014
2,2',4,4',5-PeBDE(#99)	0.60	14	ND	ND
2,2',4,4',6-PeBDE(#100)	0.09	2	ND	ND
PeBDEs	0.85	19	ND	ND
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	0.48	10	ND	ND
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	0.19	2.0	ND	ND
HxBDEs	0.66	12	ND	ND
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE(#175/#183)	ND	ND	ND	ND
HpBDEs	ND	ND	ND	ND
OBDEs	0.53	11	ND	0.039
NoBDEs	1.0	21	ND	0.01
DeBDE	12	480	0.3	0.10
Total PBDEs	17	580	0.3	0.17

表15 排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	B施設			
	流入水	返送汚泥	工程水 (砂ろ過前)	放流水
α -HBCD	4.3	ND	ND	ND
β -HBCD	1.0	ND	ND	ND
γ -HBCD	4	60	ND	ND
Total HBCDs	9	60	ND	ND
TBBPA	44	310	1.0	0.25
2-MoBPh	4.2	ND	ND	ND
3/4-MoBPh	4.1	13	0.2	0.13
MoBPhs	8.4	13	0.2	0.13
2,6-DiBPh	2.0	ND	2.2	ND
2,5/3,5-DiBPh	1.2	ND	ND	ND
2,4-DiBPh	4.5	ND	0.8	ND
3,4-DiBPh	ND	ND	ND	ND
2,3-DiBPh	ND	ND	ND	ND
DiBPhs	7.7	ND	3.0	ND
2,4,6-TrBPh	67	200	14	3.2
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	67	200	14	3.2
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	83	210	18	3.4

表16 脱水汚泥中の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	0.020	4.2
1,2,3,7,8-PeBDD	ND	ND
PeBDDs	ND	0.20
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	0.060
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	ND	0.015
HpBDDs	ND	0.029
OBDD	ND	0.02
Total PBDDs	0.020	4.5
2,3,7,8-TeBDF	0.0010	0.0029
TeBDFs	0.045	0.081
1,2,3,7,8-PeBDF	ND	ND
2,3,4,7,8-PeBDF	ND	ND
PeBDFs	0.059	0.085
1,2,3,4,7,8-HxBDF	ND	ND
HxBDFs	0.061	0.060
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.074	0.084
HpBDFs	0.074	0.084
OBDF	0.06	0.04
Total PBDFs	0.30	0.35
Total (PBDDs+PBDFs)	0.32	4.9

表17 脱水汚泥中の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	0.0002	0.0002
1,2,3,7,8-PeBDD	0.0005	0.0005
1,2,3,4,7,8-HxBDD	0.0003	0.0003
1,2,3,6,7,8-HxBDD	0.00035	0.00035
1,2,3,7,8,9-HxBDD	0.0003	0.00025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDD	0.000025	0.00015
OBDD	0.0000015	0.000006
2,3,7,8-TeBDF	0.00010	0.00029
1,2,3,7,8-PeBDF	0.00003	0.00003
2,3,4,7,8-PeBDF	0.0003	0.0003
1,2,3,4,7,8-HxBDF	0.00025	0.00025
1,2,3,4,6,7,8-HpBDF	0.00074	0.00084
OBDF	0.000018	0.000012
Total TEQ (下限×1/2)	0.0031	0.0035
Total TEQ (ND=0)	0.00086	0.0013

*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18 脱水汚泥中の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	0.019	0.055
	1,2,3,7,8-PeCDD	ND	ND
	PeCDDs	0.017	0.063
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND	ND
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.0019	0.0037
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.0010	ND
	HxCDDs	0.017	0.034
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.024	0.042
	HpCDDs	0.044	0.074
	OCDD	0.19	0.27
Total PCDDs		0.29	0.50
PCDFs	2,3,7,8-TeCDF	0.0076	0.0021
	TeCDFs	0.030	0.052
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.0014	0.0022
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.0013	0.0015
	PeCDFs	0.013	0.021
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.001	0.002
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.0014	0.0016
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND	ND
	2,3,4,6,7,8+1,2,3,6,8,9-HxCDF	0.0019	0.0030
	HxCDFs	0.013	0.017
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.0044	0.0057
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND	ND
	HpCDFs	0.0083	0.0086
	OCDF	0.0088	0.0090
Total PCDFs		0.073	0.11
Total PCDD/Fs		0.36	0.60
Co-PCB	3,4,4',5'-TeCB(#81)	0.0052	0.0091
	3,3',4,4'-TeCB(#77)	0.11	0.20
	3,3',4,4',5'-PeCB(#126)	0.0063	0.0077
	3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	ND	0.0014
	Total non-ortho CBs	0.12	0.21
	2',3,4,4',5'-PeCB(#123)	0.022	0.024
	2,3',4,4',5'-PeCB(#118)	1.0	1.0
	2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	0.49	0.43
	2,3,4,4',5'-PeCB(#114)	0.037	0.039
	2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	0.050	0.049
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#156)	0.15	0.17
	2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	0.033	0.036
	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	0.0099	0.012
	Total mono-ortho CBs		1.8
Total Co-PCB		2.0	2.0
Total PCDD/Fs・Co-PCB		2.3	2.6
毒性等量 (ng-TEQ/g-dry)	Total PCDD/Fs	0.0023	0.0023
	Total Co-PCB	0.00070	0.00089
	Total PCDD/Fs・Co-PCB	0.0030	0.0032

* 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 脱水汚泥中のPBDEs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	ND
4,4'-DiBDE(#15)	ND	2.3
DiBDEs	ND	2.4
2',3,4/2,4,4'/2,2',3-TrBDE(#33/#28/#16)	0.12	1.3
TrBDEs	0.24	1.6
2,2',4,4'-TeBDE(#47)	1.9	4.4
TeBDEs	1.9	6.0
2,2',4,4',5-PeBDE(#99)	1.6	3.3
2,2',4,4',6-PeBDE(#100)	0.32	0.51
PeBDEs	1.9	4.8
2,2',4,4',5,5'-HxBDE(#153)	0.22	2.1
2,2',4,4',5,6'-HxBDE(#154)	0.14	0.40
HxBDEs	0.35	2.5
2,2',3,3',4,5',6/2,2',3,4,4',5',6'-HpBDE(#175/#183)	0.2	ND
HpBDEs	0.2	ND
OBDEs	1.4	2.3
NoBDEs	7.5	7.9
DeBDE	170	160
Total PBDEs	180	190

表20 脱水汚泥中の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	1.9	7.0
β -HBCD	ND	ND
γ -HBCD	ND	ND
Total HBCDs	1.9	7.0
TBBPA	17	440
2-MoBPh	ND	ND
3/4-MoBPh	0.8	1.3
MoBPhs	0.8	1.3
2,6-DiBPh	1.9	1.3
2,5/3,5-DiBPh	0.3	ND
2,4-DiBPh	1.5	2.8
3,4-DiBPh	ND	ND
2,3-DiBPh	ND	ND
DiBPhs	3.7	4.1
2,4,6-TrBPh	15	53
2,3,6-TrBPh	ND	ND
2,4,5-TrBPh	ND	ND
2,3,5-TrBPh	ND	ND
3,4,5-TrBPh	ND	ND
2,3,4-TrBPh	ND	ND
TrBPhs	15	53
2,3,4,5-TeBPh	ND	ND
2,3,4,6-TeBPh	ND	ND
2,3,5,6-TeBPh	ND	ND
TeBPhs	ND	ND
2,3,4,5,6-PeBPh	ND	ND
Total PBPhs	19	59

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)

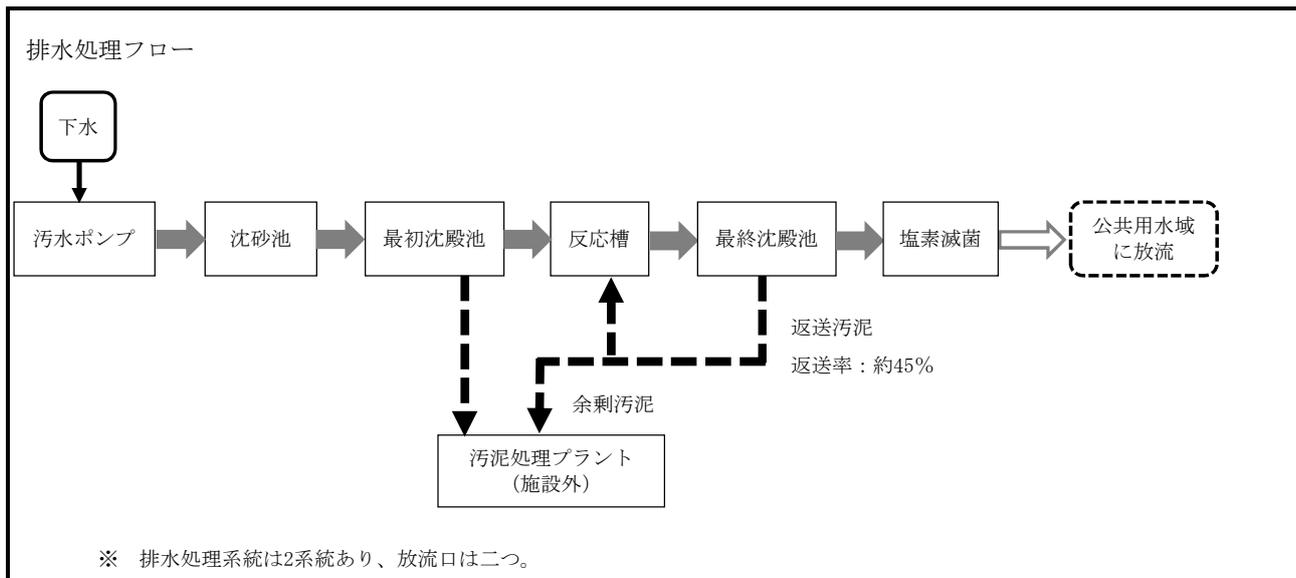


図-1 下水道排水処理フロー

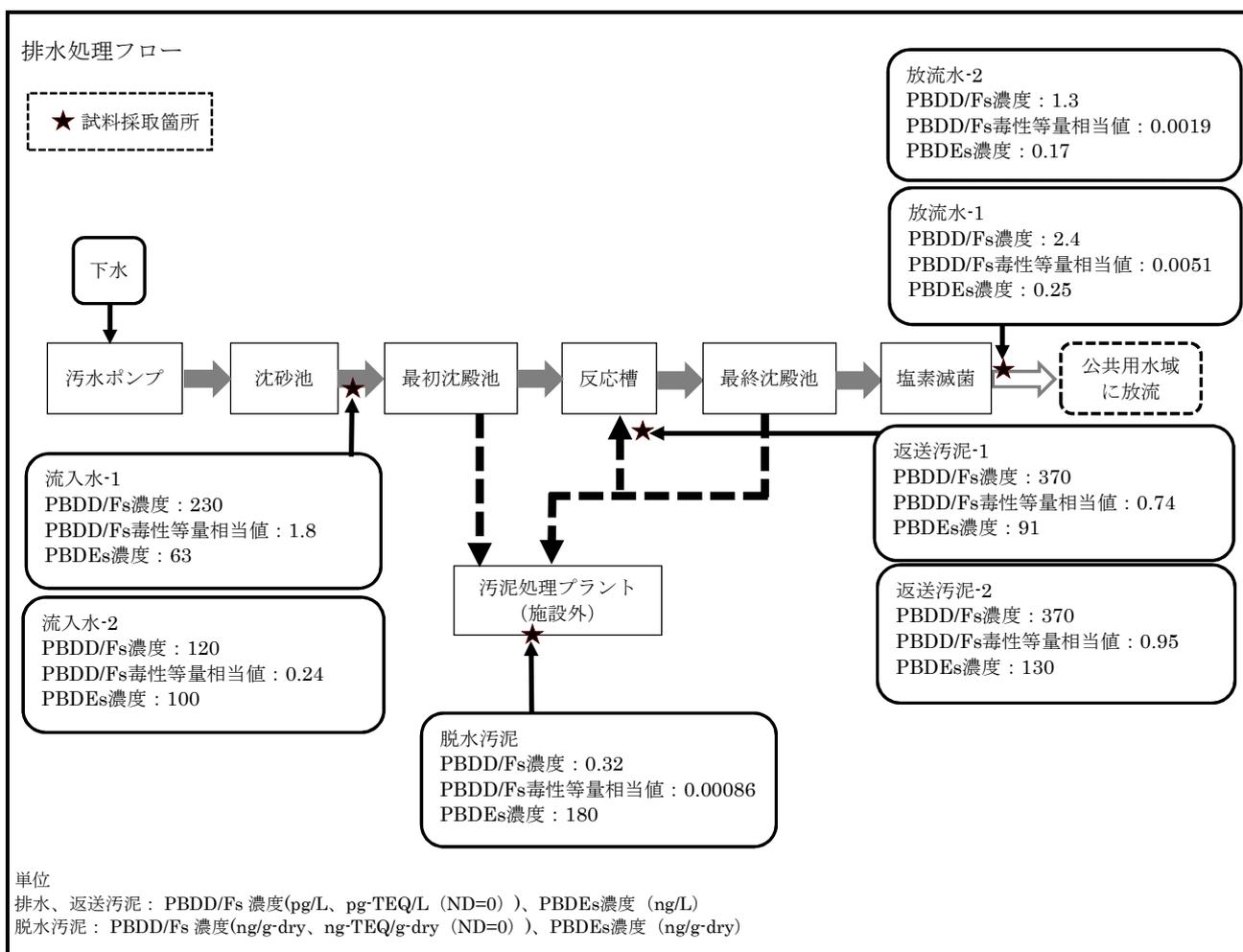


図-2 試料採取箇所

調査施設概要 (B施設)

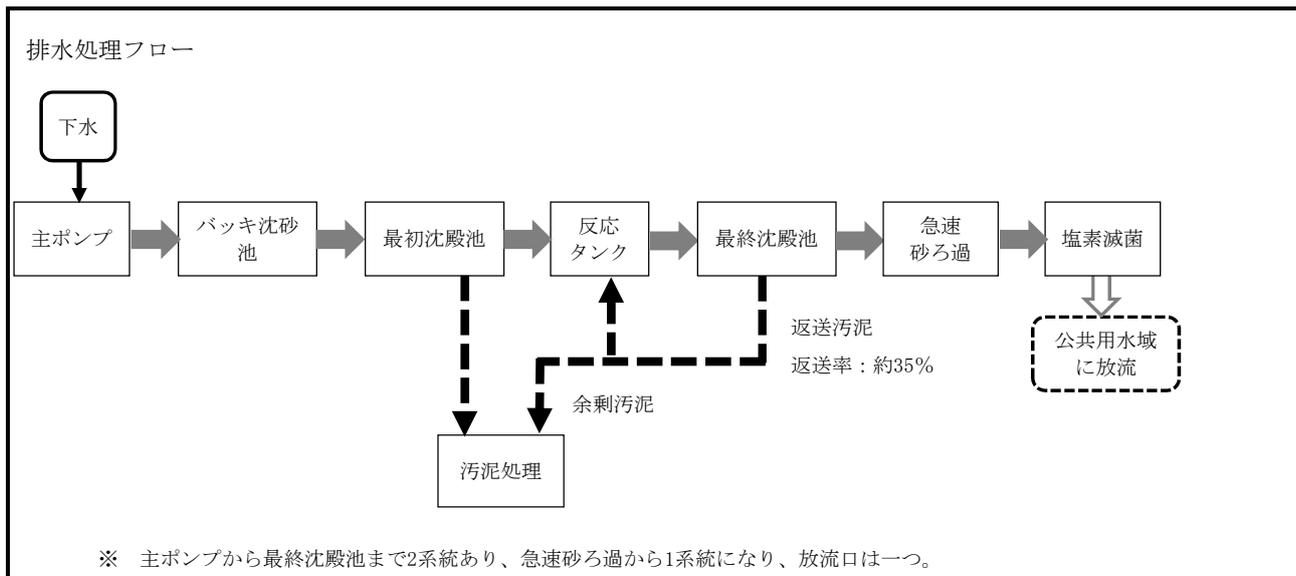


図-3 下水道排水処理フロー

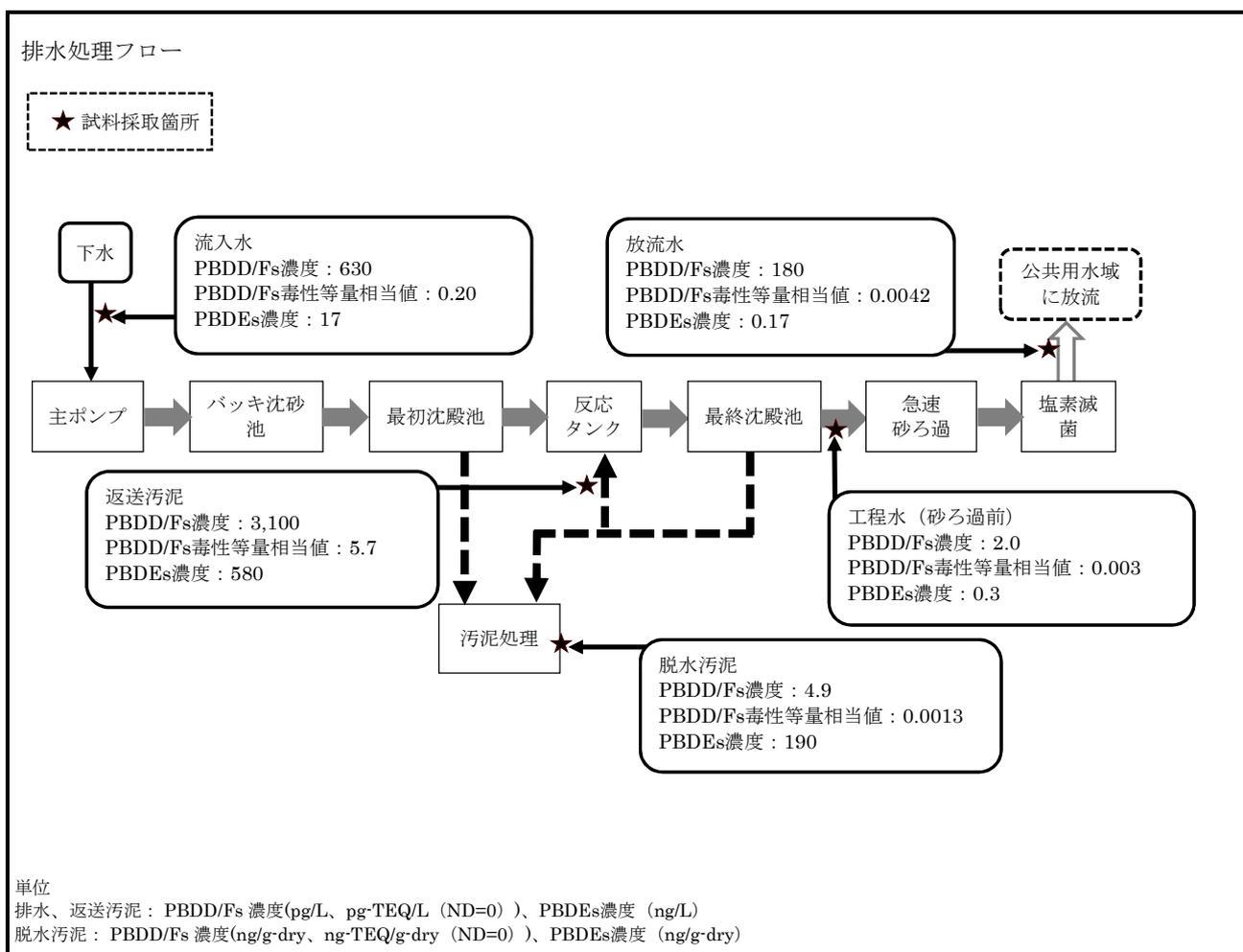


図-4 試料採取箇所

別図-2

媒体別同族体組成

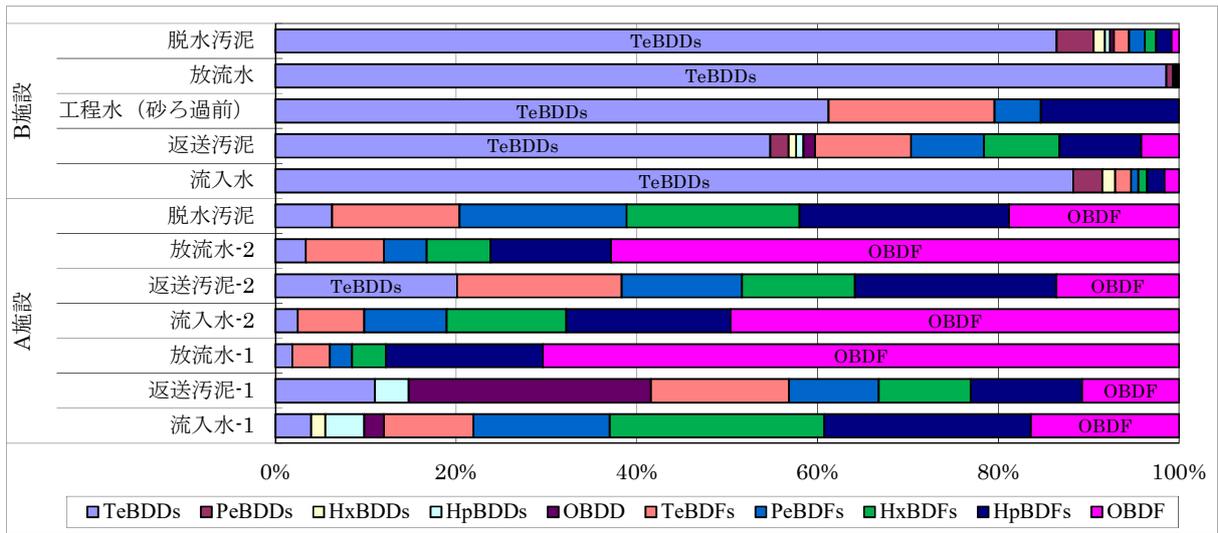


图 1 PBDD/Fs同族体組成 (%)

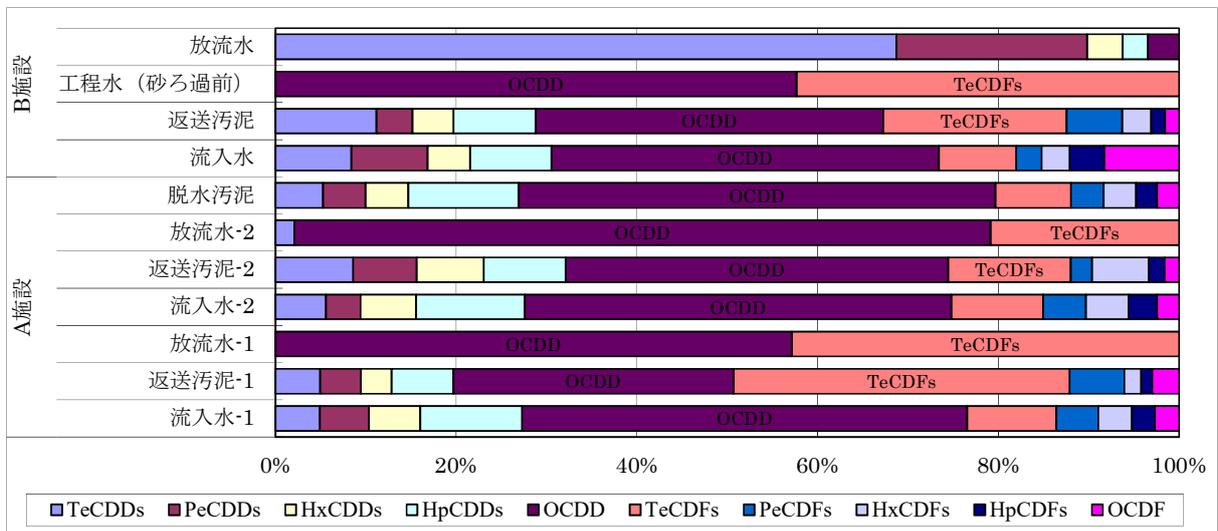


图 2 PCDD/Fs同族体組成 (%)

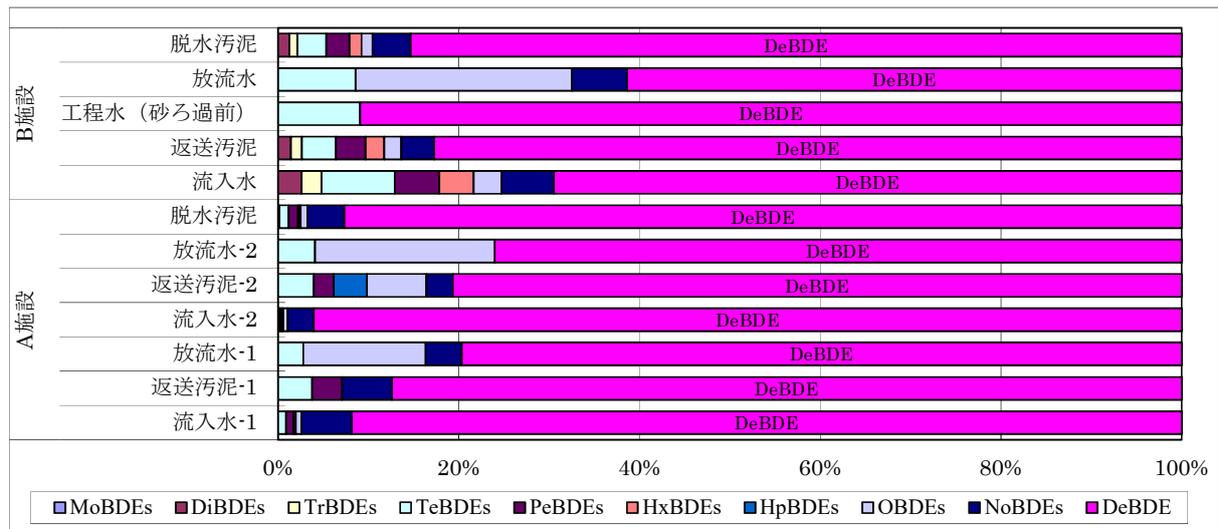


图 3 PBDEs同族体組成 (%)

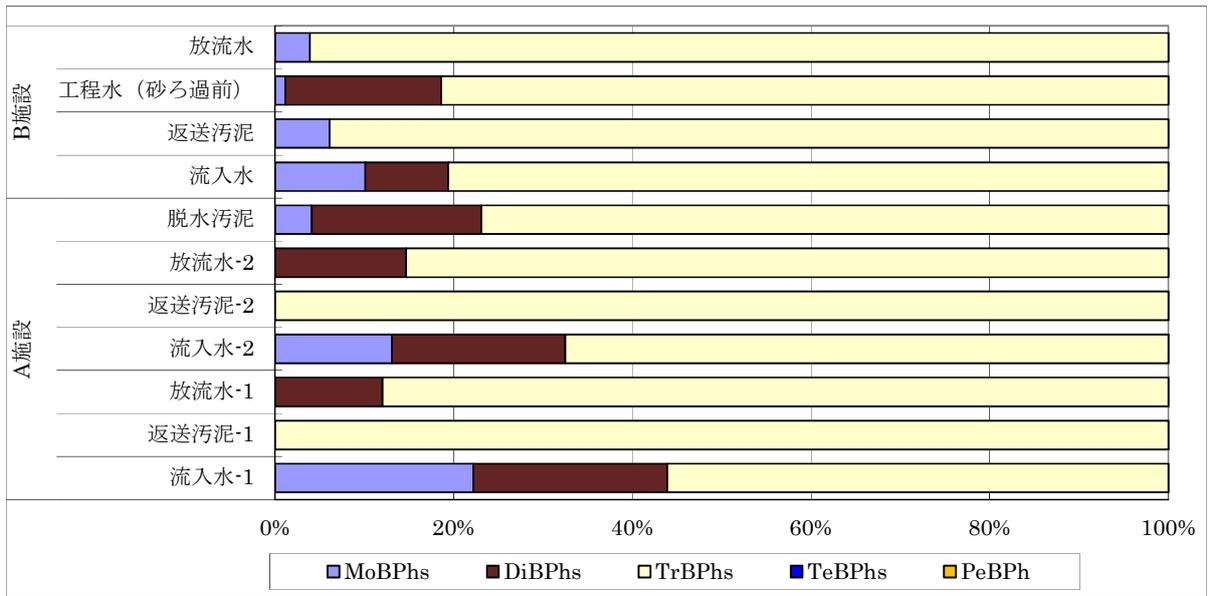


図 4 PBPhs同族体組成 (%)

別図-3

媒体別異性体組成

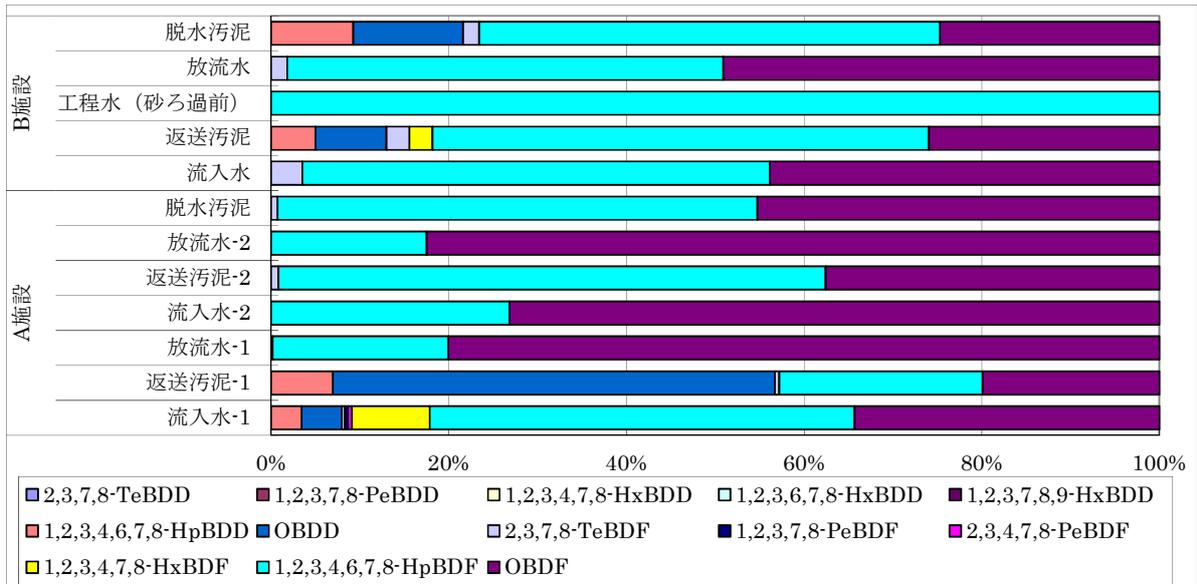


図1 PBDD/Fs異性体組成 (%)

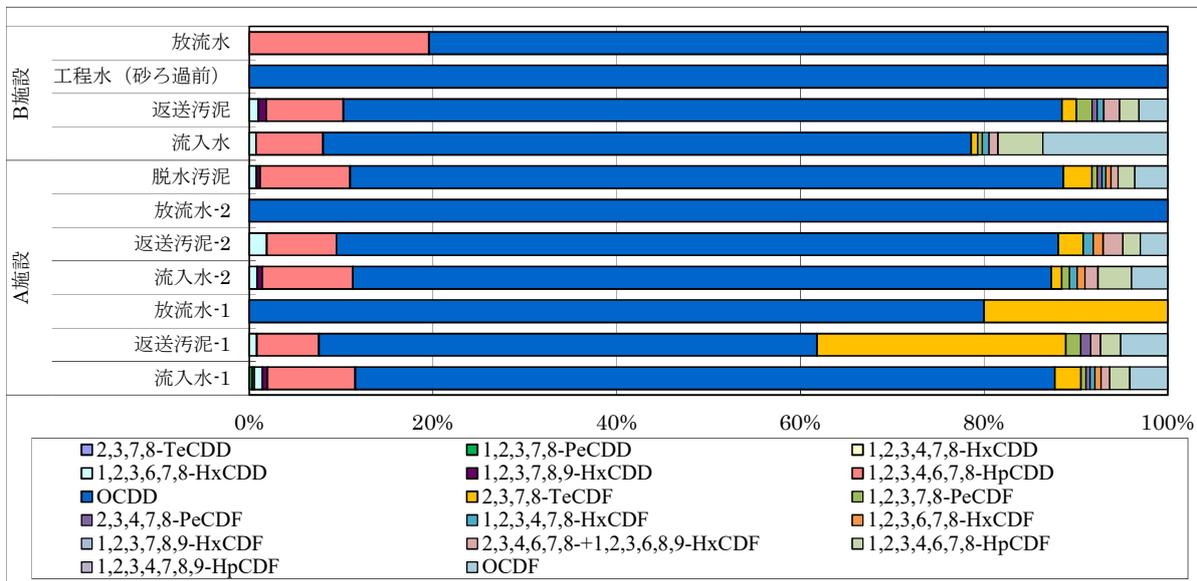


図2 PCDD/Fs異性体組成 (%)

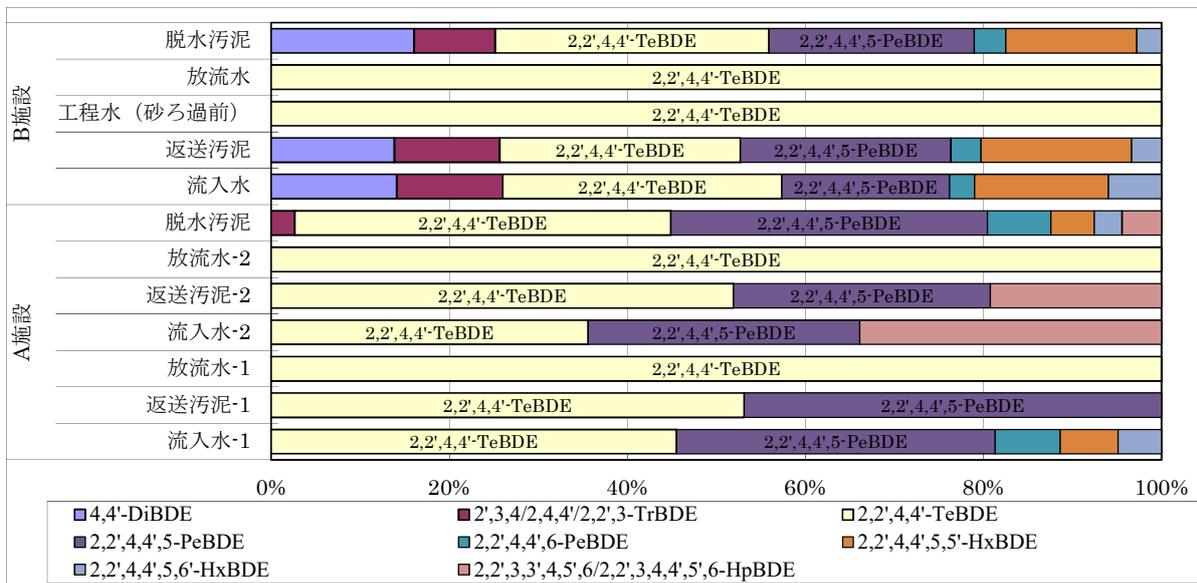


図3 PBDEs異性体組成 (%)

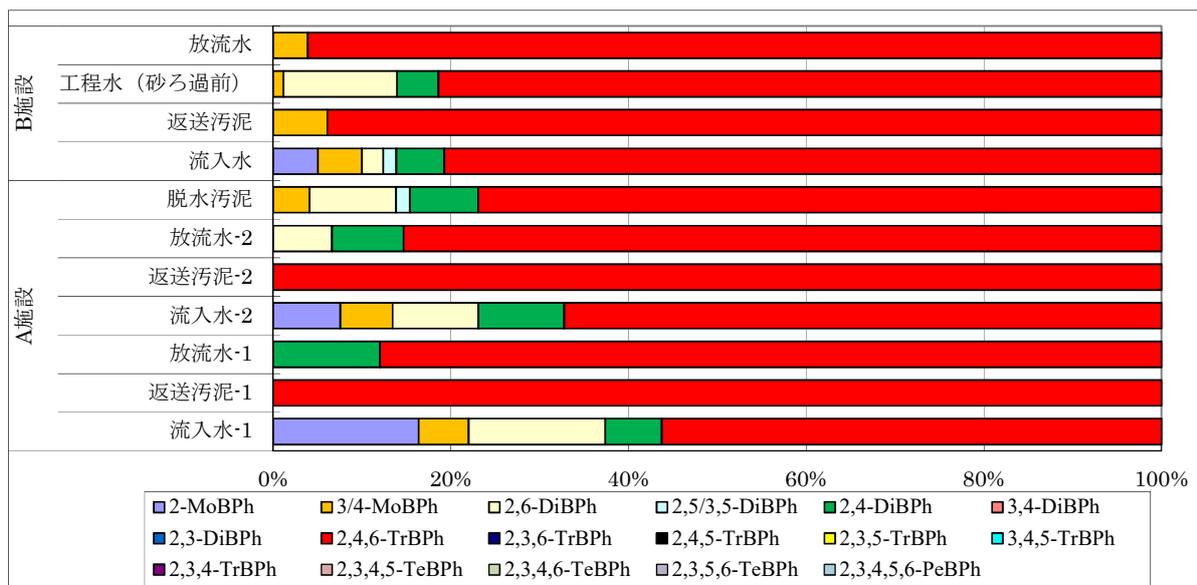


図4 PBPhs異性体組成 (%)

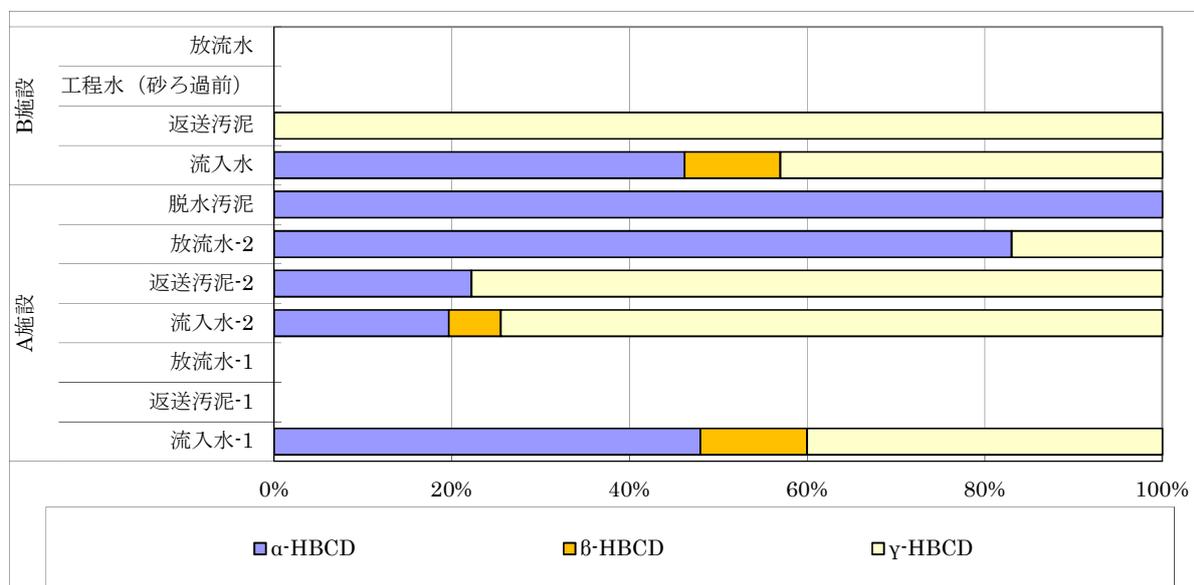


図5 HBCDs異性体組成 (%)

参考資料

国内の主な難燃剤需要量推移（推定）

国内の主な臭素系難燃剤の需要推移(推定) (単位:トン/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	2021	2022	
テトラブロモビスフェノールA(TBBrFA)	12,000	14,000	18,000	20,000	23,000	24,000	22,000	24,000	24,000	29,000	29,000	31,000	29,500	31,000	32,300	27,300	31,000	32,000	35,000	30,000	28,000	25,000	22,500	17,000	18,000	18,000	16,200	15,000	14,000	14,000	11,000	12,000	12,000	10,000	9,000	12,000	11,000	
テトラブロモビスフェノールA(1,4)diBrDE	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	4,000	3,800	2,800	2,200	2,200	2,000	1,800	1,700	1,700	1,600	1,500	1,300	1,100	990	900	800	700	500	500	100	0	0	0	0	
オクタブロモジフェニルエーテル(OBrDE)	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(TBrDE)	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ヘキサブロモシロキサン(HBrCSD)	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	2,500	2,800	2,800	2,600	1,500	2,500	2,500	2,000	2,000	2,200	2,000	1,800	2,200	2,100	2,100
エチルビス(トリプロプロモethyl)エーテル	400	400	600	600	1,000	1,200	1,300	1,300	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,000	2,000	1,750	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,300	1,000	1,000	900	900	900	900	900	900	900	900	850	600	400	400
トリプロプロエノール	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	2,000	2,400	2,500	2,400	2,400	3,000	3,000
ビス(トリプロプロエノール)	400	400	400	400	400	1,000	1,000	900	900	750	500	400	100	250	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TBBrFA/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	2,800	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	2,000	2,000	2,200	2,000	1,800	2,200	2,100
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	7,000	7,000	7,000	7,000	6,000	6,000	6,500	4,000	4,000	4,400	4,400	4,000	4,000	4,000	3,500
TBBrFA/ポリオキシエタン	—	—	—	—	—	3,000	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	10,000	10,000	9,000	6,000	6,000	6,000	6,200	5,400	5,000	5,000	5,000	5,000	4,200	4,200	4,000	3,600	4,000	3,700
ビス(ペンタプロモフェニル)エタン	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
TBBrFA/ビス(ジプロプロロビルエーテル)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ポリジプロプロフェニルエーテル	100	170	200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ヘキサプロプロベンゼン	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ペンタプロプロベンジルポリアクリレート	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
臭素化芳香族ポリアジン	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
臭素化ジブタジエン/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	46,300	51,450	59,100	59,930	64,450	62,825	65,275	67,250	57,550	65,700	65,700	75,900	69,500	71,650	65,750	60,500	48,520	53,680	49,830	44,320	42,830	41,850	41,250	36,250	38,450	38,650	35,950	33,100	35,750	33,350	

(注)TBBrFAは他のTBBrFA系難燃剤(TBBrFAポリカーボネートオリゴマー、TBBrFA/ビス(ジプロプロロビルエーテル)の原料としても使用されるため、TBBrFAの需要量には、TBBrFA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:トン/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	2021	2022	
塩素化パラフィン	4,000	4,000	4,500	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	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
ハロゲン化ペンタチタン	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	600	600	600	600	600	600	600
塩素系	150	150	150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
クロロドブレン	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	380	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	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	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	
リン酸エステル系	4,000	4,000	4,200	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400	4,600	22,000	22,000	20,000	20,000	20,000	20,000	24,000	24,000	24,000	24,000	25,000	20,000	19,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	
含ハロゲンリン酸エステル系	2,500	2,900	3,000	3,000	3,100	3,100	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	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	1,500	1,500	1,500	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	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
リン系	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
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	500	500	500
ホスファエントリン系	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	500	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,500	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	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	1,500	1,500	1,500
合計	8,625	8,625	8,950	9,150	9,150	9,310	9,310	9,310	10,410	10,410	11,100	9,200	28,500	28,500	26,500	26,500	26,500	26,500	30,500	30,500	30,500	33,500	28,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500	25,500
三酸化アンチモン	8,300	13,000	15,000	15,000	16,000	16,000	17,000	17,000	18,000	18,000	19,000	10,100	17,000	17,000	16,000	14,000	14,000	14,000	15,000	15,000	14,700	11,000	7,500	9,500	9,500	9,540	8,850	8,850	9,137	8,400	8,500	9,400	8,900	7,800	7,000	8,700	8,600	
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	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000	42,000
リン酸亜鉛	400	400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
無機系	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	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	
五酸化アンチモン	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	1,000	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	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	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
シリコン系	200	200	140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
合計	62,900	49,600	55,740	57,700	61,400	60,500	60,500	60,500	68,000	68,000	70,000	71,100	69,000	68,000	68,000	67,000	68,000	68,000	70,000	70,000	70,000	76,700	71,500	65,500	67,500	67,540	67,540	67,540	67,540	67,540	67,540	67,540	67,540	67,540	67,540	67,540	67,540	67,540

(注)塩素化パラフィン、可部利用も本社製
 (注)リン酸エステル系は、可部向け含まず
 (注)ポリリン酸塩系(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

