

図 4-7-1 各施設の物質収支

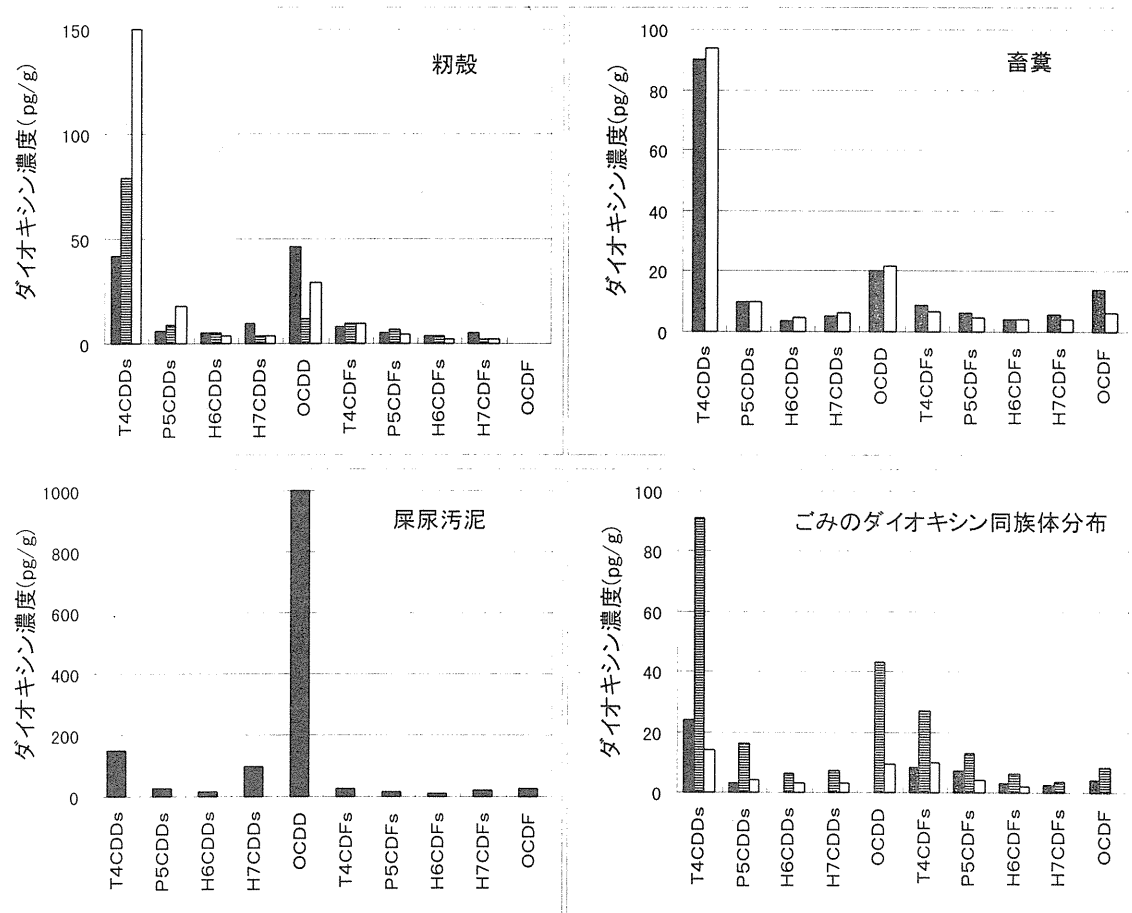


図 4-7-2 各原料のダイオキシン類同族体分布

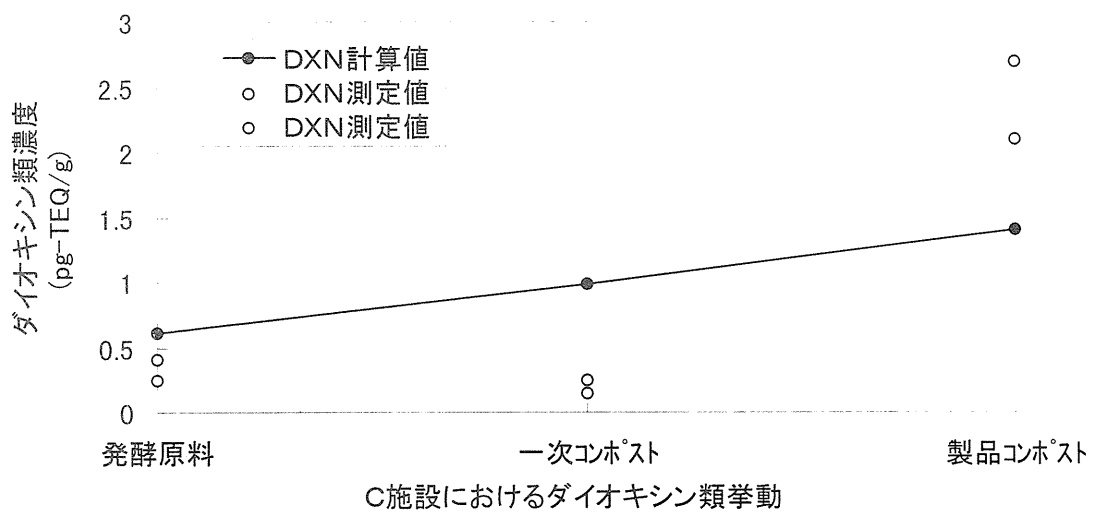
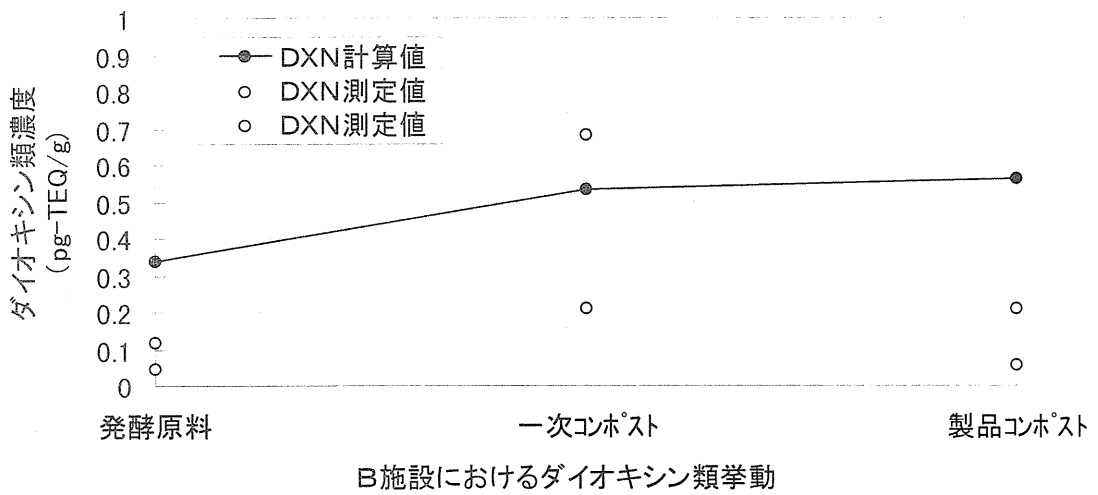
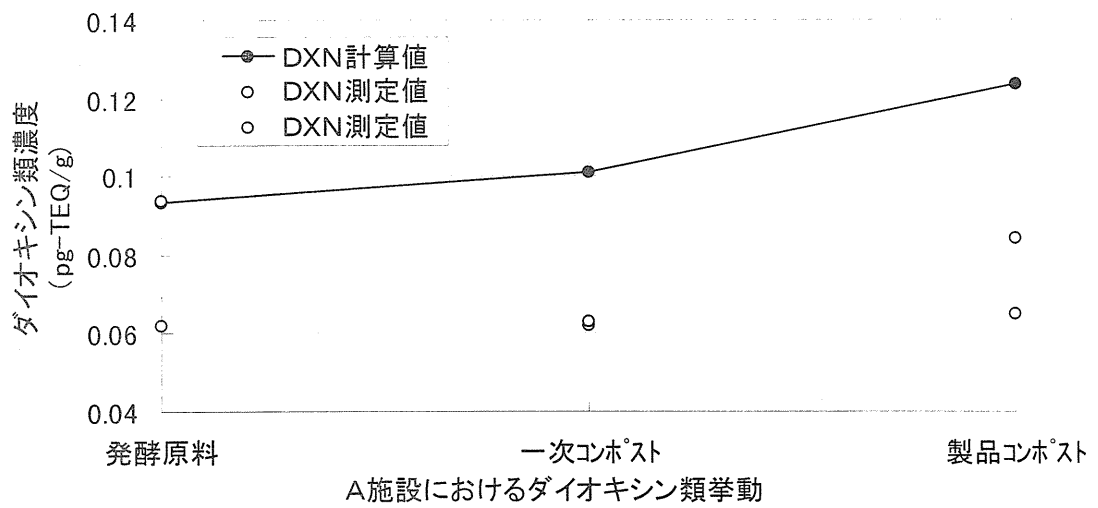


図 4-7-3 発酵過程におけるダイオキシン類毒性等価換算濃度変化

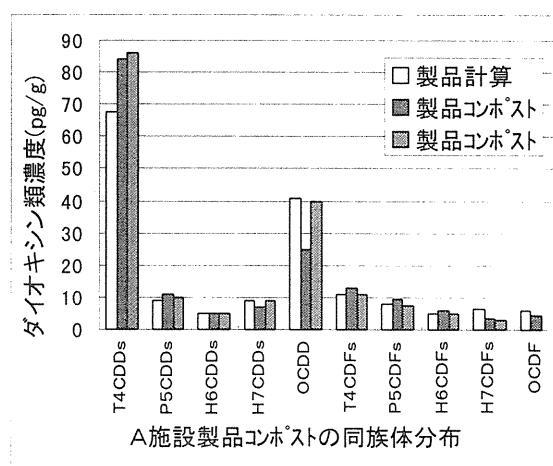
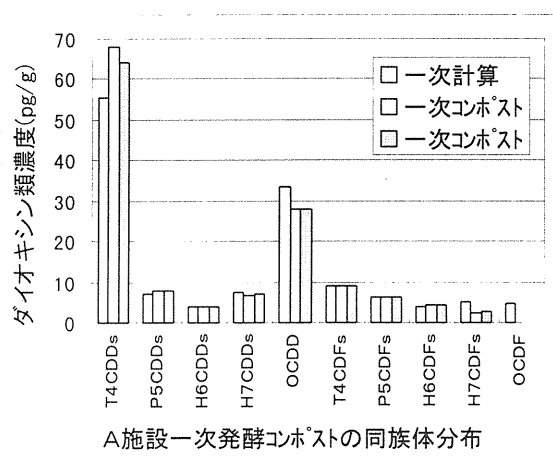
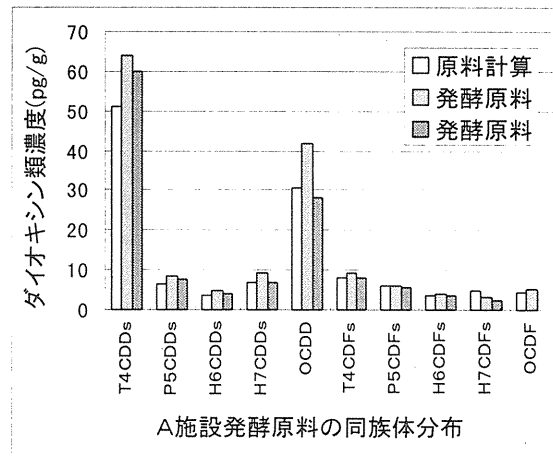
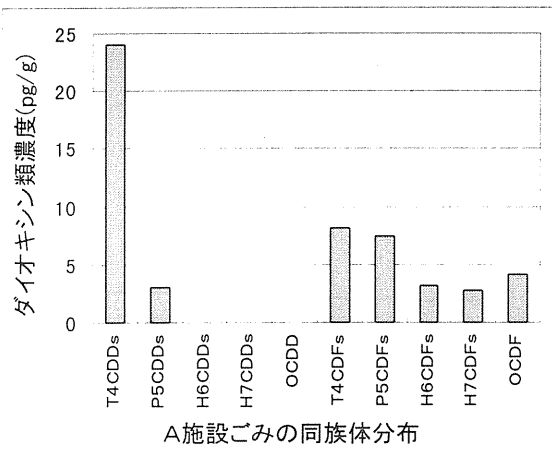
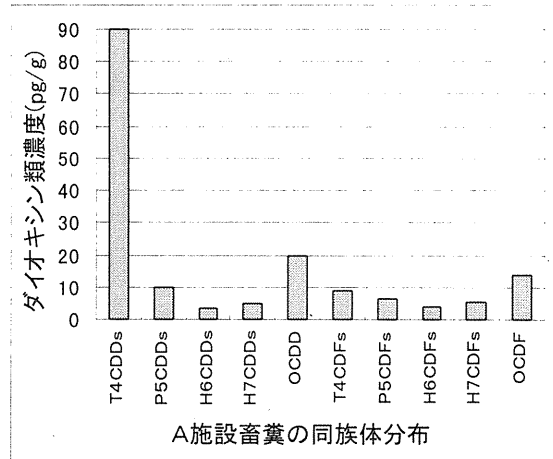
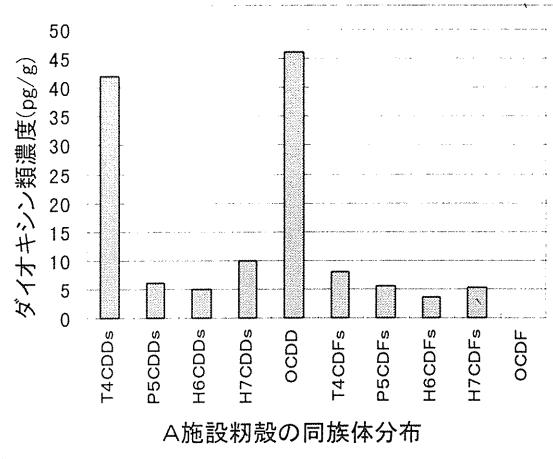


図 4-7-4 A施設におけるダイオキシン類同族体挙動

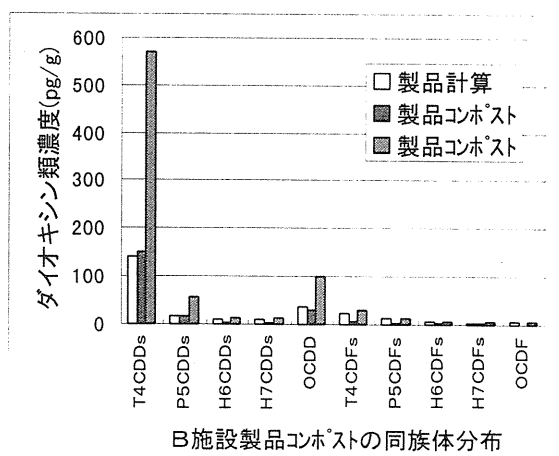
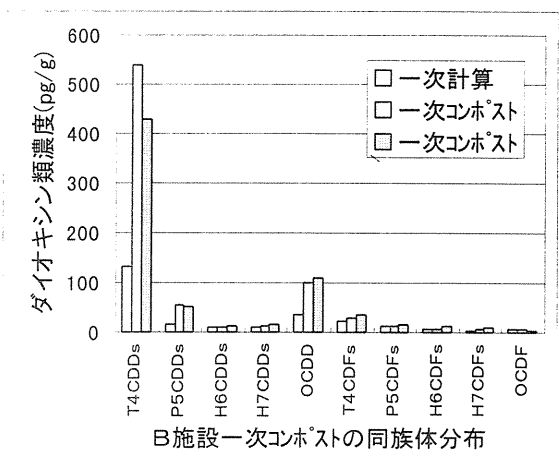
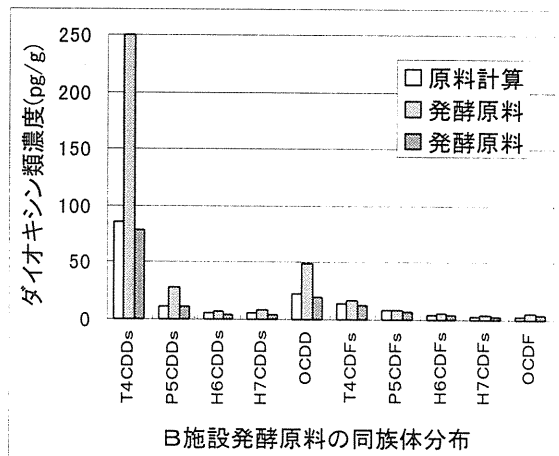
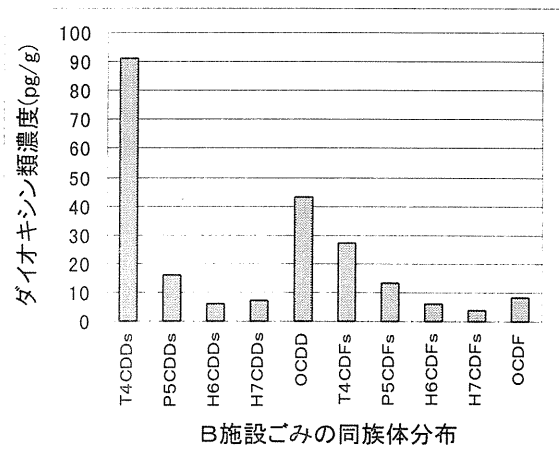
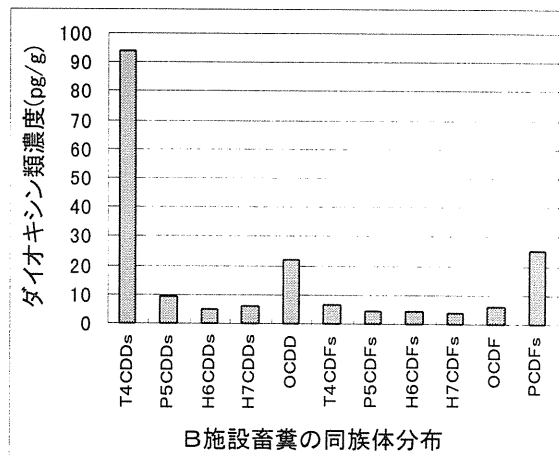
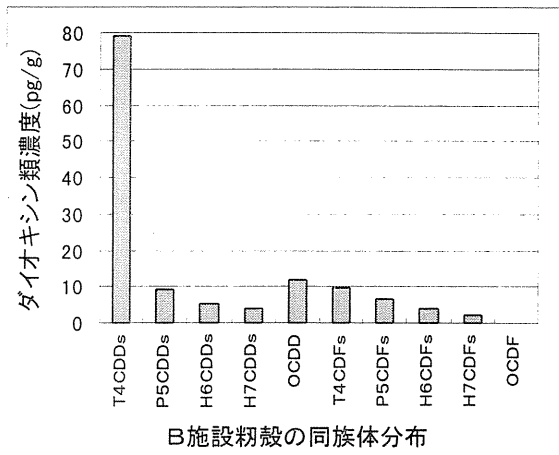


図 4-7-5 B施設におけるダイオキシン類同族体挙動

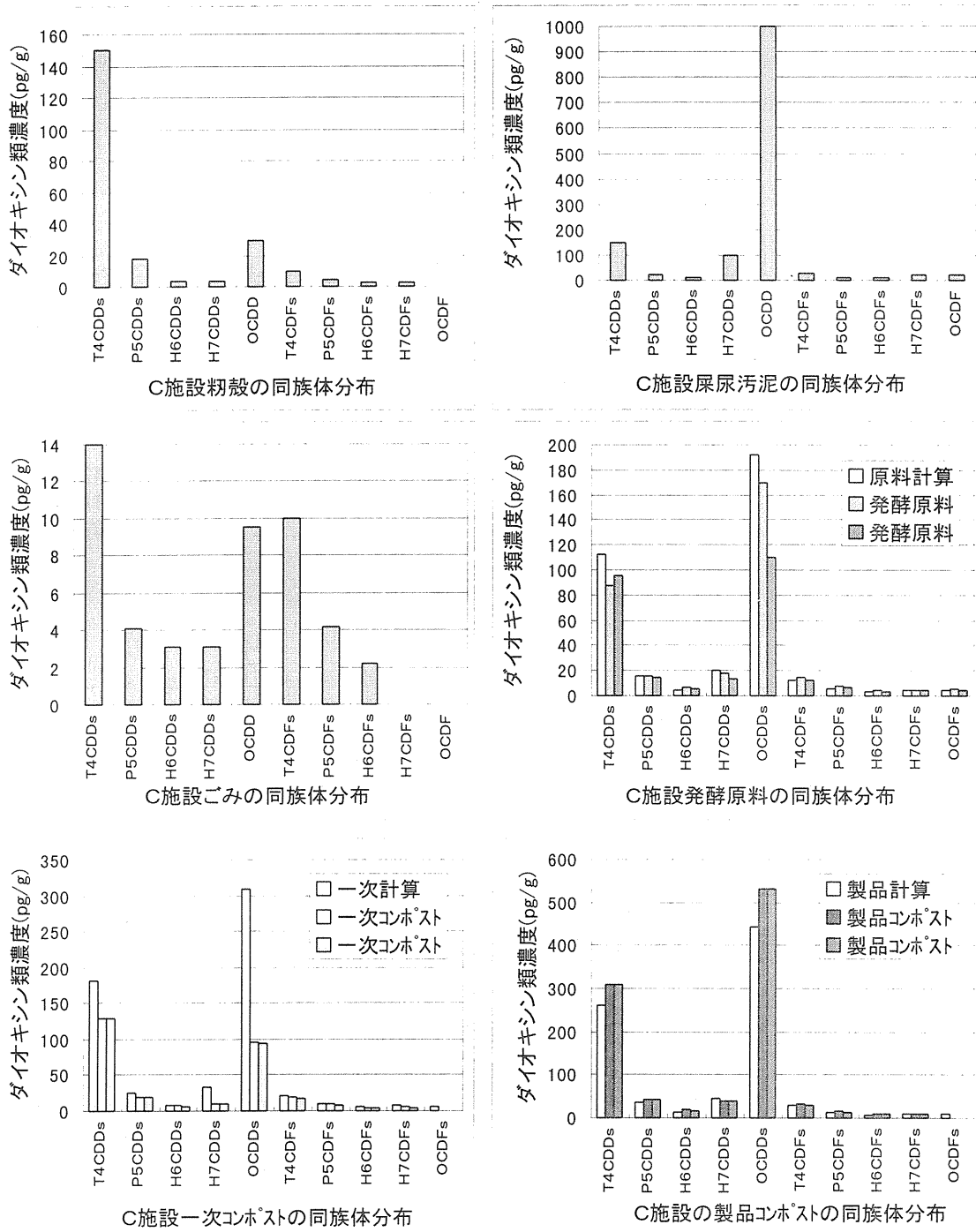


図 4-7-6 C施設におけるダイオキシン類同族体挙動

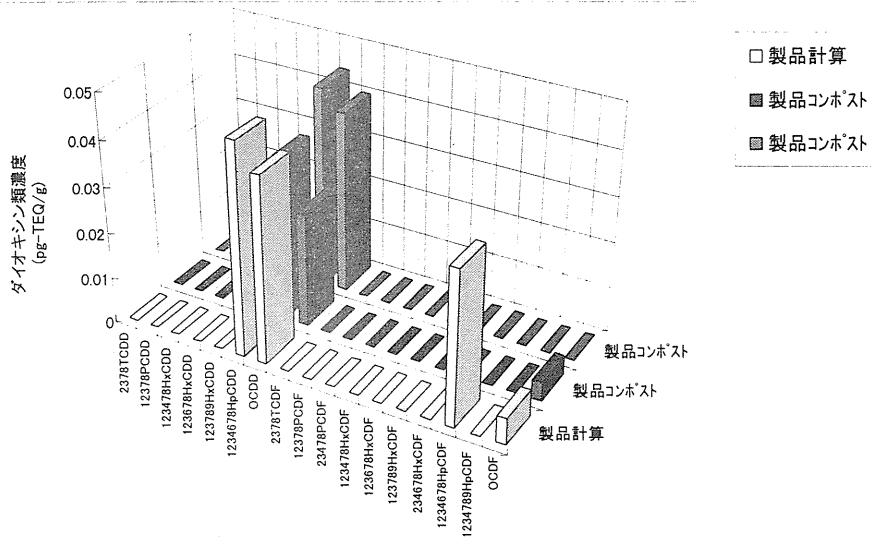
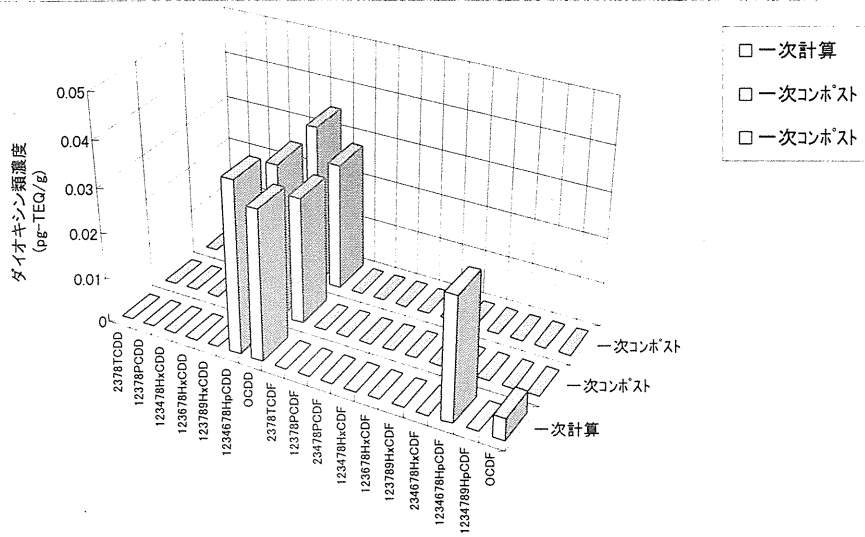
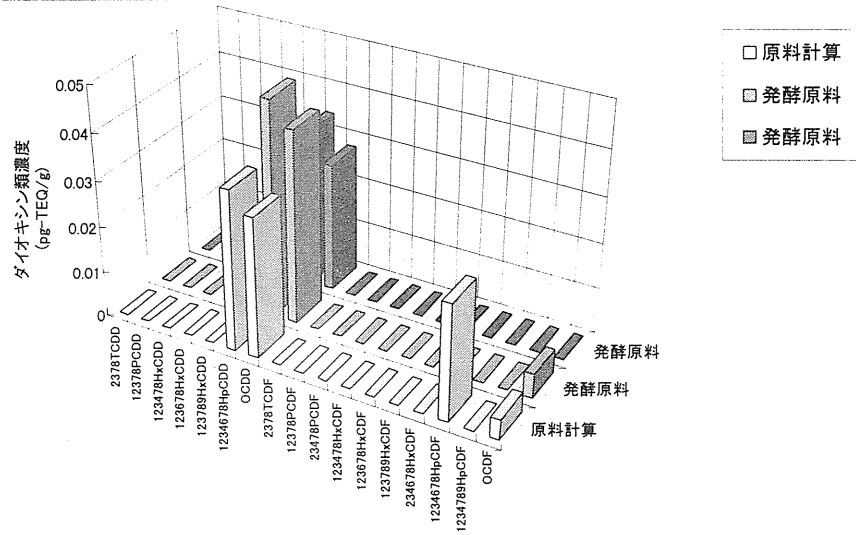


図 4-7-7 A施設におけるダイオキシン類異性体の挙動

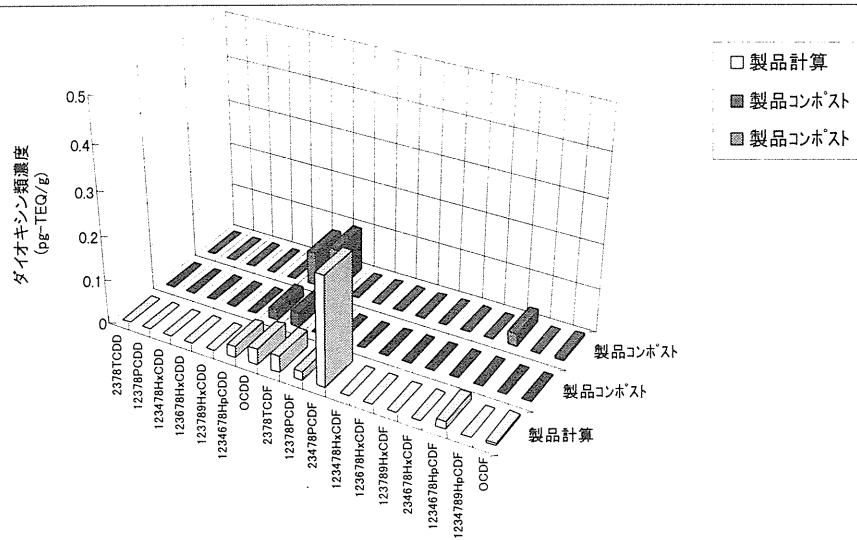
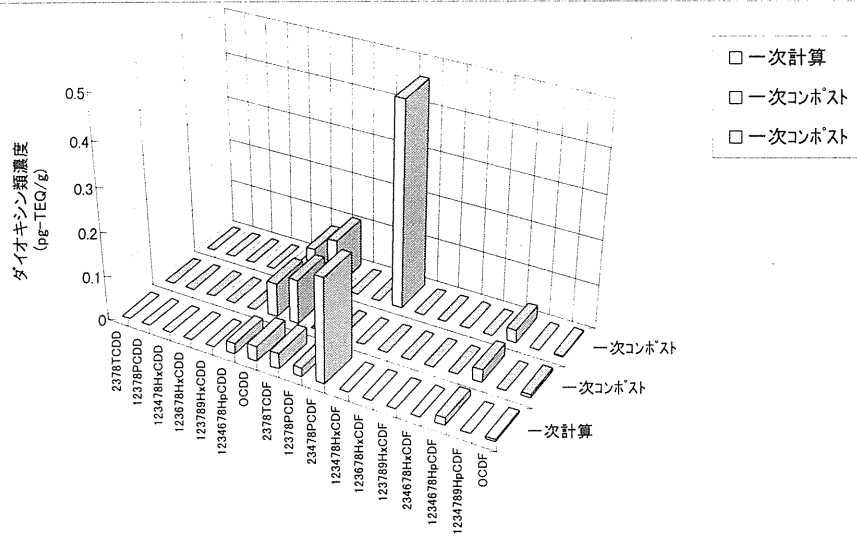
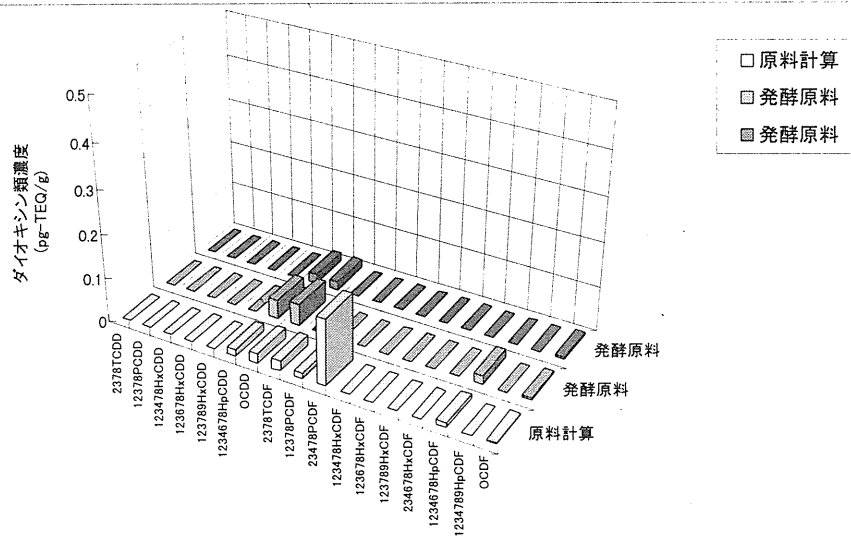


図 4-7-8 B施設におけるダイオキシン類異性体の挙動



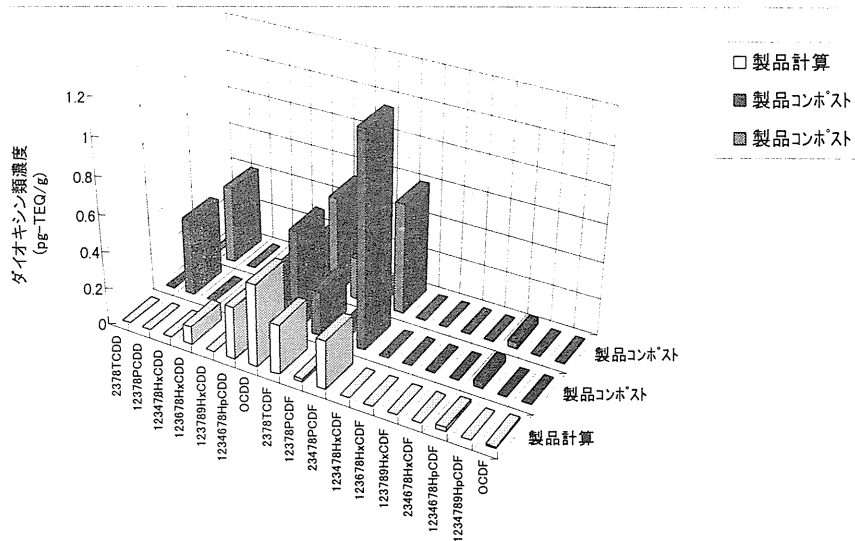
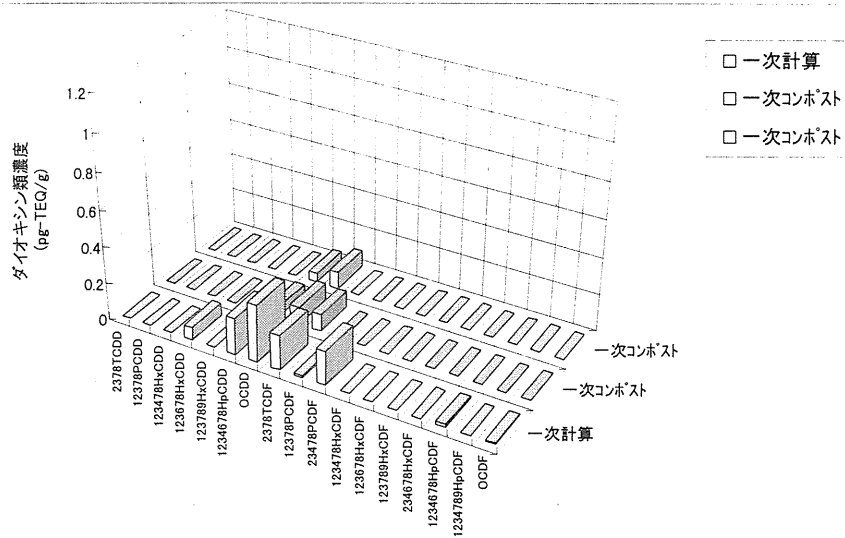
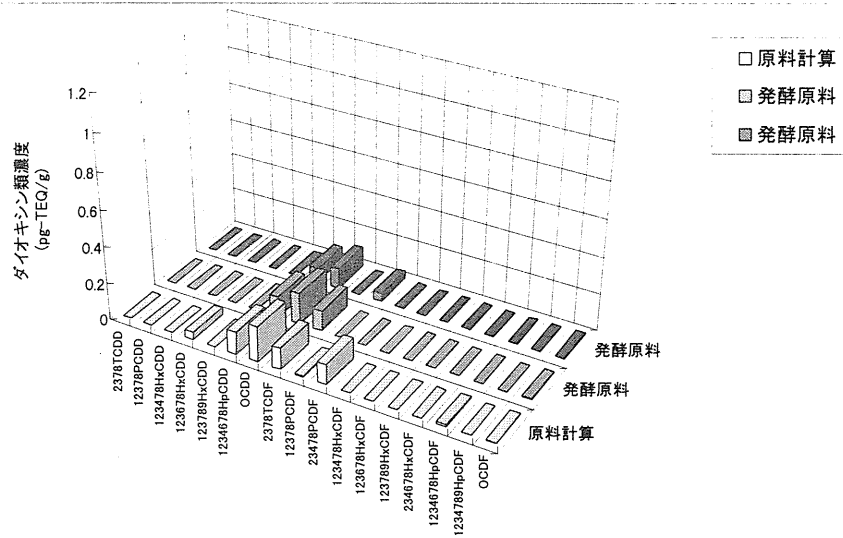


図 4-7-9 C施設におけるダイオキシン類異性体の挙動

第5章 ダイオキシンを含む灰の処理と  
リサイクルに関する研究

## 第5章 ダイオキシンを含む灰の処理とリサイクルに関する研究

### 5. 1 灰溶融施設におけるダイオキシン類発生量の把握及び発生メカニズムに関する研究

#### 5. 1 調査の概要

##### 1. 目的

一般廃棄物処理施設に付設された灰溶融設備及びガス化溶融施設を対象に、プラントの運転状況及びダイオキシン量のマスバランスを調査することにより、溶融条件、排ガス等の分析に基づき発生メカニズムの検討を行う。

##### 2. 調査方法

ガス化溶融施設及び灰溶融施設について、運転状況の調査及び排ガス等の分析を行いダイオキシン類の発生量について検討を行った。

施設の概要を表 5-1-1 に示す。

表 5-1-1 施設の概要

施設 No.	処理方式	処理量	竣工
1	流動層ガス化溶融	10t/d (ごみとして)	平成 10 年 4 月
2	プラズマ式溶融	52t/d (灰として)	平成 6 年 4 月
3	ロータリーキルン方式	12t/d (灰として)	平成 8 年 3 月

施設 No. 1, 3 は実証プラントで、No. 2 は本設プラントである。

また、施設 No. 1 はごみをガス化、発生するガスを利用し、不燃物を溶融処理を行い、残渣施設 No. 2, 3 は併設焼却炉より、焼却灰を搬入し溶融処理をしている。

溶融スラグ、溶融飛灰、最終排ガスの 3 点は必ず測定し、施設の状況に応じて測定箇所を増やした。測定結果の詳細は各章に記述している。

##### 3. 調査結果の概要

###### 1) 測定結果の概要

測定結果を表 5-1-2 に示す。各施設共、溶融スラグ中にはダイオキシン類はごくわずかしか存在していないことが分かる。また排ガス中濃度も低く 0~0.056 ng-TEQ/m<sup>3</sup>N の範囲であった。

表 5-1-2 ダイオキシン類濃度

施設 No.	原料灰	溶融スラグ	溶融飛灰	排ガス (処理後)
	(ng-TEQ/g)	(ng-TEQ/g)	(ng-TEQ/g)	(ng-TEQ/m <sup>3</sup> N)
1	--	0.00012	0.20	0 (<0.016)
2	0.018	0 (<0.0016)	0.016	0.000040
3	1.4	0 (<0.0016)	0.43	0.056

2) ごみ1ト当たりのダイオキシン発生量

表 5-1-3 に測定結果より計算したごみ1ト当たりのダイオキシン類発生量を示す。

表 5-1-3 ごみ1ト当たりのダイオキシン類発生量

施設 No.	原料灰	溶融スラグ	溶融飛灰	排ガス (処理後)	合計
	( $\mu$ g-TEQ)	( $\mu$ g-TEQ)	( $\mu$ g-TEQ)	( $\mu$ g-TEQ)	( $\mu$ g-TEQ)
1	--	0.0076	2.66	0	2.67
2	1.1	0	0.043	0.00014	0.043
3	118.9	0	1.25	0.0478	1.30

測定結果から灰 (ごみ) 中のダイオキシン類は大部分が分解され溶融スラグ中にはわず  
かしか残らず、処理中に発生するガスは排ガス処理により、溶融飛灰として回収され、排  
ガスとして系外に排出される量もごくわずかである。

施設 1 ではごみ1ト当たりの排出量は 2.67  $\mu$ g-TEQ である。

施設 2、3 では原料灰中のダイオキシン類の分解率は各々 96.1%、98.9% であり、灰中  
のダイオキシン類はほぼ完全に分解されていることがわかる。

この結果より灰溶融処理はダイオキシン類の分解、低減化に有効であることがわかる。

## 5. 1. 2 各プラントにおける調査内容

### 1. 流動層ガス化溶融炉

#### 1) 調査概要

本調査は、(株)栗本鐵工所、三機工業(株)、東レエンジニアリング(株)、ユニチカ(株)の4社が開発した流動層ガス化溶融炉実証プラント(平成10年4月竣工、処理能力:10t/日)において、一般廃棄物をガス化溶融したときの排ガス(ガス冷却室出口、バグフィルター出口)・スラグ・溶融残渣(不燃物、ガス冷却室ダスト、飛灰)・スラグ冷却排水中のダイオキシン類含有量を分析した。また、投入ごみ量と溶融処理後の排ガス量・スラグ量・溶融飛灰量から、ごみ1t当たりのダイオキシン類の発生量を算出した。なお、排ガス(バグフィルター出口)・溶融残渣・不燃物・スラグ冷却排水中のコプラナーPCBも合わせて分析した。

本実証プラントのフロー概略を図5-1-1に示す。

#### 2) 調査結果及び考察

各工程別試料のダイオキシン類及びコプラナーPCB測定結果を表5-1-4に示す。

これより本実証プラントから系外に排出されるダイオキシン類は、③バグフィルタ出口ガス、④不燃物、⑤溶融スラグ、⑦ガス冷却室ダスト、⑧溶融飛灰であり、これらのダイオキシン類量を合計すると、ごみ1t当たり $2.69\mu\text{g-TEQ/t}$ 排出されていることになる。

上記のダイオキシン類排出量内訳は、99%が⑧溶融飛灰から、残り1%が⑤溶融スラグと⑦ガス冷却室ダストから排出され、③バグフィルタ出口ガスと④不燃物からは排出されなかった。

また、表5-1-4より、本実証プラントから系外に排出されるコプラナーPCBは、前項と同様に③、④、⑤、⑦、⑧であり、これらのコプラナーPCB量を合計すると、ごみ1t当たり、 $0.33\mu\text{g-TEQ/t}$ 排出されていることになる。

上記のコプラナーPCB排出量内訳は、99.7%が⑧溶融飛灰から、残り0.3%が⑦ガス冷却室ダスト、③バグフィルタ出口ガス、④不燃物から排出され、⑤溶融スラグからは排出されなかった。

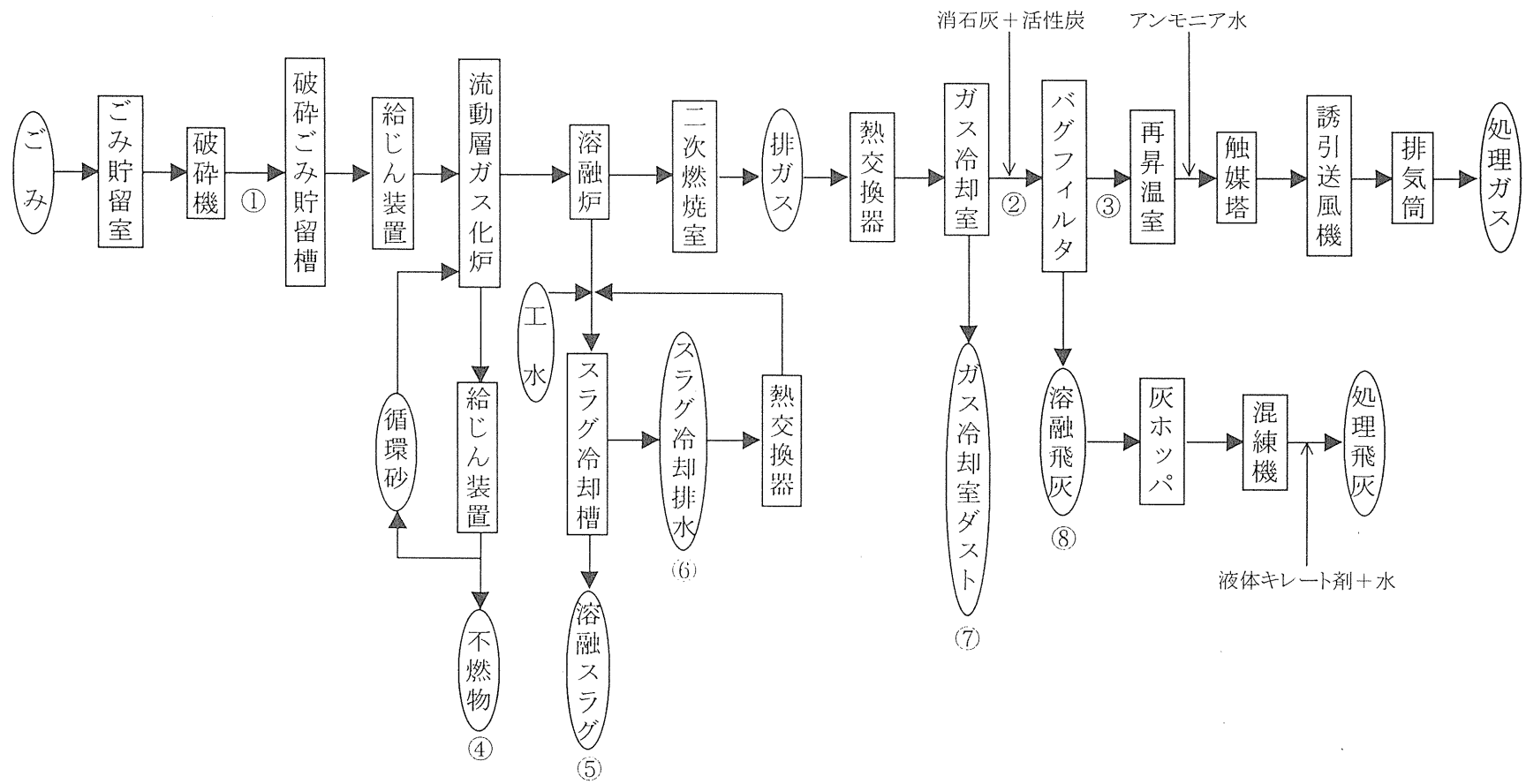


図 5-1-1 流動層ガス化溶融炉実証プラントフローシート (①～⑧は試料採取場所)

表 5-1-4 各工程別のダイオキシン類及びコプラナPCB測定結果

項目	試料名 採取場所	①破碎ごみ	②ガス冷却室出口ガス	③バグフィルタ出口ガス	④不燃物	⑤溶融スラグ	⑥スラグ冷却排水	⑦ガス冷却室ダスト	⑧溶融飛灰
		破碎機出口 コンベヤ	ガス冷却室 出口ダクト	バグフィルタ 出口ダクト	不燃物 排出口	スラグ冷却槽 出口コンベヤ	スラグ冷却槽 出口配管	ガス冷却室出口 ダスト排出口	バグフィルタ 出口コンベヤ
ダイオキシン類	2,3,7,8-T4CDD		0.020 $\mu\text{g-TEQ}/\text{m}^3$	0 $\mu\text{g-TEQ}/\text{m}^3$	0 $\text{ng-TEQ}/\text{g}$	0 $\text{ng-TEQ}/\text{g}$	0.019 $\text{ng-TEQ}/\text{L}$	0.00087 $\text{ng-TEQ}/\text{g}$	0.013 $\text{ng-TEQ}/\text{g}$
	1,2,3,7,8-P5CDD		0.032 "	0 "	0 "	0 "	0.0225 "	0.00235 "	0.034 "
	1,2,3,4,7,8-H6CDD		0.0048 "	0 "	0 "	0 "	0.0039 "	0.00062 "	0.0068 "
	1,2,3,6,7,8-H6CDD		0.014 "	0 "	0 "	0 "	0.0071 "	0.0040 "	0.029 "
	1,2,3,7,8,9-H6CDD		0.0085 "	0 "	0 "	0 "	0.0056 "	0.0020 "	0.012 "
	1,2,3,4,6,7,8-H7CDD		0.010 "	0 "	0 "	0.000043 "	0.0041 "	0.0036 "	0.015 "
	O8CDD		0.0020 "	0 "	0 "	0.0000079 "	0.00076 "	0.00080 "	0.0025 "
	PCDDs		0.0913 "	0 "	0 "	0.0000509 "	0.06296 "	0.01424 "	0.1123 "
	2,3,7,8-T4CDF		0.020 "	0 "	0 "	0 "	0.0074 "	0.00022 "	0.0052 "
	*2) 1,2,3,7,8-P5CDF		0.0145 "	0 "	0 "	0.0000405 "	0.0060 "	0.000245 "	0.0047 "
	2,3,4,7,8-P5CDF		0.115 "	0 "	0 "	0 "	0.070 "	0.00265 "	0.050 "
	1,2,3,4,7,8-H6CDF		0.023 "	0 "	0 "	0 "	0.014 "	0.00047 "	0.0084 "
	1,2,3,6,7,8-H6CDF		0.028 "	0 "	0 "	0 "	0.016 "	0.00074 "	0.0094 "
	1,2,3,7,8,9-H6CDF		0.0043 "	0 "	0 "	0 "	0.0017 "	0 "	0.00088 "
2,3,4,6,7,8-H6CDF		0.025 "	0 "	0 "	0 "	0.019 "	0.00080 "	0.011 "	
1,2,3,4,6,7,8-H7CDF		0.0070 "	0 "	0 "	0.000030 "	0.0047 "	0.00017 "	0.0019 "	
1,2,3,4,7,8,9-H7CDF		0.0016 "	0 "	0 "	0 "	0.0012 "	0.000036 "	0.00050 "	
O8CDF		0.00057 "	0 "	0 "	0 "	0.00043 "	0.0000099 "	0.00012 "	
PCDFs		0.23897 "	0 "	0 "	0.0000705 "	0.14043 "	0.0053409 "	0.09210 "	
Total PCDD/DFs		0.33 "	0 (<0.016) "	0 (<0.016) "	0.00012 "	0.20 "	0.020 "	0.20 "	
コプラナPCB	3,3',4,4'-T4CB			0 "	0.00000043 "	0 "	0.000027 "	0.0000008 "	0.000035 "
	3,4,4',5'-T4CB			0 "	0 "	0 "	0.0000085 "	0.0000004 "	0.000013 "
	3,3',4,4',5'-P5CB			0 "	0 "	0 "	0.021 "	0.00074 "	0.024 "
	3,3',4,4',5,5'-H6CB			0 "	0 "	0 "	0.00071 "	0.000045 "	0.00073 "
	2,3,3',4,4'-P5CB			0 "	0 "	0 "	0.000014 "	0.0000006 "	0.000019 "
	2,3,4,4',5'-P5CB			0 "	0 "	0 "	0.000018 "	0 "	0.0000305 "
	2,3',4,4',5'-P5CB			0.00000035 "	0 "	0 "	0.000014 "	0.0000005 "	0.00001 "
	2',3,4,4',5'-P5CB			0 "	0 "	0 "	0.0000033 "	0 "	0.0000042 "
	2,3,3',4,4',5'-H6CB			0 "	0 "	0 "	0.0000495 "	0.0000016 "	0.0000445 "
	2,3,3',4,4',5'-H6CB			0 "	0 "	0 "	0.0000285 "	0.0000015 "	0.000039 "
	2,3',4,4',5,5'-H6CB			0 "	0 "	0 "	0.0000004 "	0 "	0.0000003 "
2,3,3',4,4',5,5'-H7CB			0 "	0 "	0 "	0.0000079 "	0.0000003 "	0.0000071 "	
*1 Total Co-PCBs			0.00000035 "	0.00000043 "	0 (<0.056) "	0.022 "	0.00079 "	0.025 "	
1日当たりの 処理、排出量	9.4 t/d	78240 $\text{m}^3\text{N}/\text{d}$	83280 $\text{m}^3\text{N}/\text{d}$	56 kg/d	596 kg/d	循環使用	9.4 kg/d	125 kg/d	
ごみ1t当たりの PCDD/DFs量		2.75 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	0 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	0 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	0.0076 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	—	0.020 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	2.66 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	
ごみ1t当たりの Co-PCBs量			0.000031 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	0.0000037 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	0 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	—	0.00079 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	0.33 $\mu\text{g-TEQ}/\text{t}$	

(\*1) コプラナPCBの毒性等価係数は1997年のWHO/IPCSの値を用いた。

(\*2) いずれのカラムにおいても分離不可能な異性体であり、1,2,3,4,8-P5CDFを含んだ濃度を示している。

また、排ガス採取時の流量等の測定結果は表 5-1-5 に示すとおりである。

表 5-1-5 流速等の測定結果

測定場所	排ガス温度 (°C)	排ガス流速 (m/s)	排ガス圧力 (kPa)	排ガス水分量 (%)	排ガス流量		ダクト径 (m)	断面積 (m <sup>2</sup> )	CO (4hrs平均値)		O <sub>2</sub> (4hrs平均 (%))
					湿り (m <sup>3</sup> N/h)	乾き (m <sup>3</sup> N/h)			実測 (ppm)	O <sub>2</sub> 12% (ppm)	
ガス冷却室出口	190	22.2	-2.142	23.4	3260	2500	0.30	0.0706	24	17	10.4
バグフィルタ出口	161	16.5	-3.630	18.1	3470	2840	0.35	0.0962	21	18	12.2

なお、本実証プラントで処理したごみは、家庭から収集したものを約 50mm 角に破碎して用いた。破碎ごみ質分析結果を表 5-1-6 に、破碎ごみ組成分析結果を表 5.1.4 にそれぞれ示す。これらより、破碎ごみの低位発熱量は 8490J/g (2100cal/g) で、ごみ組成は紙、布が約 91%を占めている。

表 5-1-6 破碎ごみ質分析結果

		分析結果	
三成分	水分	%	39.1
	灰分	%	5.9
	可燃分	%	55.0
水素	湿ベース%		3.9
可燃物	J/g		17600
実測発熱量	(cal/g)		(4200)
高位発熱量	J/g		10700
	(cal/g)		(2550)
低位発熱量	J/g		8790
	(cal/g)		(2100)

表 5-1-7 破碎ごみ組成分析結果

	重量比		水分 (%)	灰分 (%)	可燃分 (%)
	湿り (%)	乾き (%)			
紙、布	90.7	90.5	39.3	4.7	56.0
プラスチック	2.0	2.4	27.7	6.1	66.2
木、竹、わら	1.9	1.4	56.1	0.7	43.2
厨芥	1.7	1.1	59.8	4.7	35.5
金属	0.0	0.0	0.0	0.0	100
その他不燃	0.3	0.4	12.2	87.8	0
細塵	3.4	4.2	23.5	33.7	42.8
合計	100.0	100.0	39.1	5.8	55.1

### 3. まとめ

1) ごみ 1t 当たりのダイオキシン類排出総量は、2.69 μg-TEQ/t で、その 99%が溶融飛灰から、残り 1%が溶融スラグとガス冷却室ダストからである。

2) ごみ 1t 当たりのコプラナ PCB 排出総量は、0.33 μg-TEQ/t で、その 99.7%が溶融飛灰から、残り 0.3%がガス冷却室ダスト、バグフィルタ出口ガス、不燃物からである。



## 2. プラズマ式灰溶融施設

### 1) 調査概要

併設のごみ焼却施設（300 t/日：100 t×24 h×3 炉 全連続燃焼式ストローカ炉〔平成6年4月竣工〕）より持ち込まれる焼却灰をプラズマ方式灰溶融炉（52 t/日）にて溶融処理を行っている。

試料は焼却炉より持ち込まれる原灰、溶融スラグ、排ガス（BF入口、脱硝塔出口）、溶融飛灰の5個所において採取した。

測定は平成11年3月4日に行った。

溶融施設フロー及び試料採取位置を図5-1-2に示す。

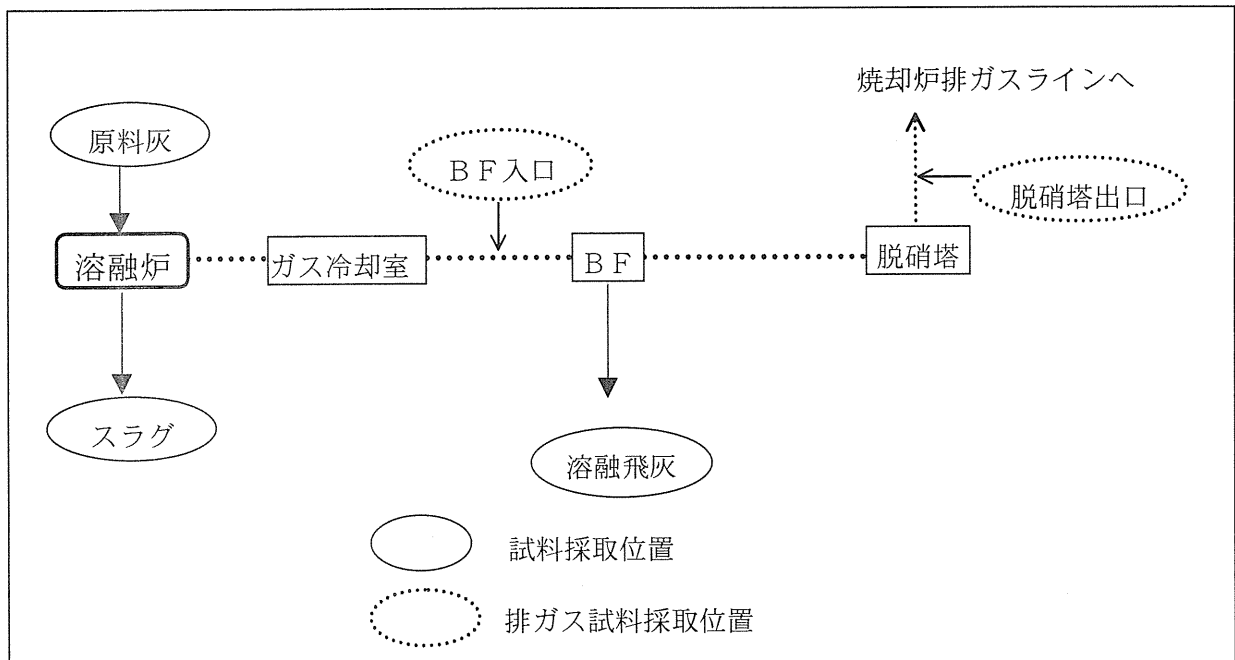


図 5-1-2 プラズマ方式灰溶融施設フローシート

### 2) 調査結果及び考察

各工程でのダイオキシン類測定結果を表5-1-9に示す。

ダイオキシン類の収支を表5-1-8に示す。

ダイオキシン類の収支を灰1トン当たりで計算してみると以下のようになる。

搬入される量は18.01  $\mu\text{g-TEQ}$  である。

本施設から系外に排出されるダイオキシン類はスラグ、溶融飛灰、脱硝出口排ガスであり、それぞれの量は0.071、0.00014  $\mu\text{g-TEQ}$  で、合計0.071  $\mu\text{g-TEQ}$  のダイオキシン類が排出されることになる。

表 5-1-8 ダイオキシン類の収支

	測定箇所	流入量	ダイオキシン類		
			濃度	流入量	灰 1 トン当たりの量
IN	原料灰	704kg/h	0.018ng-TEQ/g	12.68 $\mu$ g-TEQ/h	18.01 $\mu$ g-TEQ/t
OUT	排ガス (BF入口)	2650m <sup>3</sup> N/h	1.5ng-TEQ/ m <sup>3</sup> N	3.98 $\mu$ g-TEQ/h	5.65 $\mu$ g-TEQ/t
	排ガス (脱硝出口)	2430m <sup>3</sup> N/h	0.000040ng- TEQ/m <sup>3</sup> N	0.0001 $\mu$ g-TEQ/h	0.00014 $\mu$ g-TEQ/t
	スラグ	683kg/h	0ng-TEQ/g	0 $\mu$ g-TEQ/h	0 $\mu$ g-TEQ/t
	溶融飛灰	31kg/h	0.016ng-TEQ/g	0.50 $\mu$ g-TEQ/h	0.71 $\mu$ g-TEQ/t

この灰溶融施設全体で見たダイオキシン類の分解・除去率は 96.1%であった。

このごみ焼却施設でのごみの焼却量は 11.5t/h (測定日の運転記録より)であった。これよりごみ 1 トン当たりのダイオキシン類の発生量を試算してみると (排ガスとして排出される量は考慮しない) 溶融飛灰 0.50  $\mu$ g-TEQ/h / 焼却量 11.5t/h = 0.043  $\mu$ g-TEQ となる。

表 5-1-9 (1) ダイオキシン類濃度測定結果 (実測濃度)

サンプル名 サンプル量 単位	BF入口 1.353m <sup>3</sup> N ng/m <sup>3</sup> N	脱硝塔出口 3.117m <sup>3</sup> N ng/m <sup>3</sup> N	原料灰 40.0g ng/g	スラグ 91.54g ng/g	溶融飛灰 20.0g ng/g
2378-T4CDD	0.017	<0.008	0.0013	<0.0008	<0.0008
12378-P5CDD	0.14	<0.008	0.0021	<0.0008	0.00087
123478-H6CDD	0.26	<0.02	<0.002	<0.002	<0.002
123678-H6CDD	0.41	<0.02	<0.002	<0.002	0.0031
123789-H6CDD	0.41	<0.02	<0.002	<0.002	0.0024
1234678-H7CDD	7.8	<0.02	0.0092	<0.002	0.051
O8CDD	150	0.040	0.020	<0.004	0.64
2378-T4CDF	0.18	<0.008	0.017	<0.0008	0.0027
12378-P5CDF	0.48	<0.008	0.016	<0.0008	0.0073
23478-P5CDF	0.49	<0.008	0.018	<0.0008	0.0077
123478-H6CDF	1.1	<0.02	0.012	<0.002	0.015
123678-H6CDF	1.3	<0.02	0.012	<0.002	0.019
123789-H6CDF	0.16	<0.02	<0.002	<0.002	0.0027
234678-H6CDF	2.6	<0.02	0.017	<0.002	0.038
1234678-H7CDF	15	<0.02	0.033	<0.002	0.19
1234789-H7CDF	3.1	<0.02	0.0047	<0.002	0.020
O8CDF	64	<0.04	0.015	<0.004	0.27
T4CDDs	2.3	0.041	0.044	0.0010	0.025
P5CDDs	1.5	0.024	0.035	0.00084	0.015
H6CDDs	4.4	0.023	0.024	<0.002	0.031
H7CDDs	15	0.025	0.017	<0.002	0.097
O8CDD	150	0.040	0.020	<0.004	0.64
Total PCDDs	170	0.15	0.14	0.0018	0.81
T4CDFs	6.7	0.054	0.44	0.0012	0.094
P5CDFs	9.2	0.041	0.25	0.00096	0.10
H6CDFs	14	0.032	0.12	<0.002	0.18
H7CDFs	28	0.026	0.056	<0.002	0.30
O8CDF	64	<0.04	0.015	<0.004	0.27
Total PCDFs	120	0.15	0.88	0.0022	0.94
Total PCDD/DFs	290	0.30	1.0	0.0040	1.8

表 5-1-9 (2) ダイオキシン類濃度測定結果 (毒性等量)

サンプル名 サンプル量 単位		BF入口 1.353m <sup>3</sup> N ng-TEQ/m <sup>3</sup> N	脱硝塔出口 3.117m <sup>3</sup> N ng-TEQ/m <sup>3</sup> N	原灰 40.0g ng-TEQ/g	スラグ 91.54g ng-TEQ/g	溶融飛灰 20.0g ng-TEQ/g
	I-TEF <sup>1</sup>					
2378-T4CDD	1	0.017	0	0.0013	0	0
12378-P5CDD	0.5	0.070	0	0.00105	0	0.000435
123478-H6CDD	0.1	0.026	0	0	0	0
123678-H6CDD	0.1	0.041	0	0	0	0.00031
123789-H6CDD	0.1	0.041	0	0	0	0.00024
1234678-H7CDD	0.01	0.078	0	0.000092	0	0.00051
O8CDD	0.001	0.15	0.000040	0.000020	0	0.00064
Total PCDD TEQ		0.423	0.000040	0.002462	0	0.002135
2378-T4CDF	0.1	0.018	0	0.0017	0	0.00027
12378-P5CDF	0.05	0.024	0	0.0008	0	0.000365
23478-P5CDF	0.5	0.245	0	0.0090	0	0.00385
123478-H6CDF	0.1	0.11	0	0.0012	0	0.0015
123678-H6CDF	0.1	0.13	0	0.0012	0	0.0019
123789-H6CDF	0.1	0.016	0	0	0	0.00027
234678-H6CDF	0.1	0.26	0	0.0017	0	0.0038
1234678-H7CDF	0.01	0.15	0	0.00033	0	0.0019
1234789-H7CDF	0.01	0.031	0	0.000047	0	0.00020
O8CDF	0.001	0.064	0	0.000015	0	0.00027
Total PCDF TEQ		1.048	0	0.015992	0	0.014325
Total TEQ <sup>2</sup>		1.5	0.000040	0.018	0(<0.0016)	0.016

<sup>1</sup>I-TEF: International-Toxicity Equivalency Factor (WHO/IPCS, 1988)

<sup>2</sup>Total TEQは有効数字を2桁とした値です