

図B.1.1 我が国の火葬炉の構成と本調査施設の位置づけ
(平成11年度厚生省調査⁵⁾より)

～7年の施設を2施設、平成8年以降の施設を3施設選定した、特に平成8年以降に位置づけられた3施設は、削減対策指針(平成12年)後に設置されたものである。すなわち、削減対策指針を境に、広い年代にわたり施設を選定していることになる。集じん機の有無については、設置無しが2施設、バグフィルターが3施設、電気集じん機、およびその他(スクリーン)が各1施設である。再燃焼炉と主燃焼炉の比率は、全て75%以上を占める1:1に相当するものを選定した。総じて、施設は広い年代にわたるものであり、様々な集じん方式(設置無しも含む)を有し、規模、再燃焼炉、主燃焼炉の比率は平均的な火葬炉を選定した。これにより、火葬炉からのダイオキシン類の排出傾向を現状に即した形で概ね把握できると考えられた。

2. 測定項目および測定方法

7箇所の火葬場を対象に、1箇所の火葬場につき2回の排ガスサンプリングを行った。排ガスサンプリングは基本的に同一日に実施したが、火葬場のスケジュールにより、施設Eでは2日に分けて1回ずつサンプリングを行った(表B.1.1)。排ガスサンプリングは、全ての火葬場で排風機の後段で行った。具体的には、排気塔出口の前段にある測定孔、あるいは測定孔が無い場合は、排気塔出口から煙道に直接サンプリングチューブを挿入し実施した。

測定項目、および測定方法の一覧を表B.2.1に示した。本研究においては、ダイオキシン類以外に、ばいじん、一酸化炭素、二酸化炭素、酸素、窒素酸化物の濃度を測定した。排ガス中のダイオキシン類の測定は、JIS K 0311「排ガス中のダイオキシン類の測定方法」に準拠し行った。サンプリング時間は一火葬工程の燃焼時間の内、主燃焼バーナの点火時から、消火時までとし統一した。施設A～Dでは、排気系列が2炉1系列、あるいは3炉1系列となっているが、この場合、2炉以上は同時に稼働させず、1炉のみの稼働とした。一酸化炭素、酸素、二酸化炭素、窒素酸化物は連続分析計により測定した。また、あらかじめ、サンプリングポイントにおける排ガス中水分、流速を測定し、排ガス流量(湿り、乾き)を求めるとともに、排ガス温度を熱電対により測定した。

施設Dを除く全ての火葬場で、2回目の排ガスサンプリング終了の約1時間後に、残骨灰(収骨後に残った灰の一部)を採取し、さらに、施設A～C、施設Fでは集じん灰(集じん機で捕集された灰)を採取した。これらの固体サンプル中のダイオキシン類濃度は環境省告示80号に基づいて行った。

表B.2.1 測定項目、および方法

対象	測定項目	測定方法
排ガス	排ガス温度	JIS Z 8808 熱電対による連続測定
	排ガス流速	JIS Z 8808 ピトー管法
	水分	JIS Z 8808 吸収法
	ばいじん濃度	JIS Z 8808 円形ろ紙または円筒ろ紙法
	CO	JIS K 0098 赤外線吸収法(連続分析)
	CO ₂	JIS K 0304 赤外線吸収法(連続分析)
	O ₂	JIS K 0301 ジルコニア方式(連続分析)
	NO _x	JIS K 0104 化学発光方式(連続分析)
	ダイオキシン類	JIS K 0311 ガスクロマトグラフ-質量分析法
残骨灰、集じん灰	ダイオキシン類	環境省告示80号に規定される方法

3. 排ガス採取方法

排ガス中のダイオキシン類はフィルタ捕集部（円筒ろ紙）、液体捕集部（インピンジャー）と吸着捕集部（XAD-2樹脂）から構成される捕集装置により、各部をアルミホイルで遮光し、捕集した。捕集装置の概略図を図B.3.1に示した。試料採取後、それぞれの捕集液、捕集剤は密栓し、遮光した。なお採取器材、接続チューブは適量のメタノール、およびジクロロメタンで洗浄し、洗液とした。

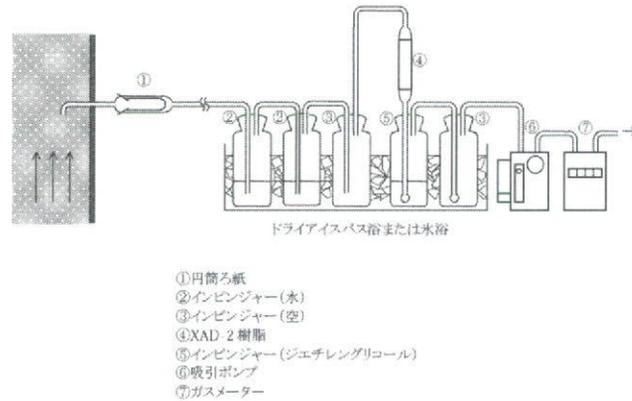


図 B.3.1 排ガス中ダイオキシン類捕集装置

4. ダイオキシン類の分析

前処理方法については、図B.4.1に排ガスサンプルにおけるフローチャートを、図B.4.2に集じん灰、残骨灰におけるフローチャートを示した。これらのフローチャートにしたがって前処理を行い、GC-MS への注入方法はオンカラム注入法で行った。

分析は、ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS) にてSIM(Select Ion Monitoring) 法により行った。ダイオキシン類のうち、表B.4.1にPCDDs/DFsの分析条件、表B.4.2にco-PCBsの分析条件を示した。

まず、ダイオキシン類の同定、および定量は各PCDDs/DFs、co-PCBsのイオン強度の強い M^+ 、 $(M+2)^+$ 、 $(M+4)^+$ のイオンの内、各塩化物について測定対象物質と、 $^{13}C_{12}$ -内標準物質についてそれぞれ2つをモニターし、全ての異性体の溶出する位置に相当するピークについて、各2つのイオンの面積比率が標準物質とほぼ同じで、塩素原子の同位体存在比から推定されるイオン強度比に対して $\pm 15\%$ 以内（検出下限の3倍以下の濃度では $\pm 25\%$ 以内）のものをPCDDs/DFs、co-PCBsとして同定した。これに加えて、PCDDs/DFsの2,3,7,8-塩素置換体異性体については対応する内標準物質とクロマトグラム上の保持時間が一致するものをPCDDs/DFsとして同定した。

同定した各PCDDs/DFs、co-PCBsを、検量線より求めた相対感度係数を用いて、内標

準物質の添加量を基準に内標準法によりS/N 3以上のピークについてピーク面積で定量した。またPCDDs/DFsについては、カラムにより異性体の分離特性があるため、2種類のカラムを使用し、各異性体によりそれぞれ最適な分離が得られたカラムの方の値を採用した。同定、定量に用いた標準物質はWellington Laboratories製（関東化学株式会社調製品）で表B.4.3に示した。また、本研究における各試料の検出・定量下限値を表B.4.4に示した。

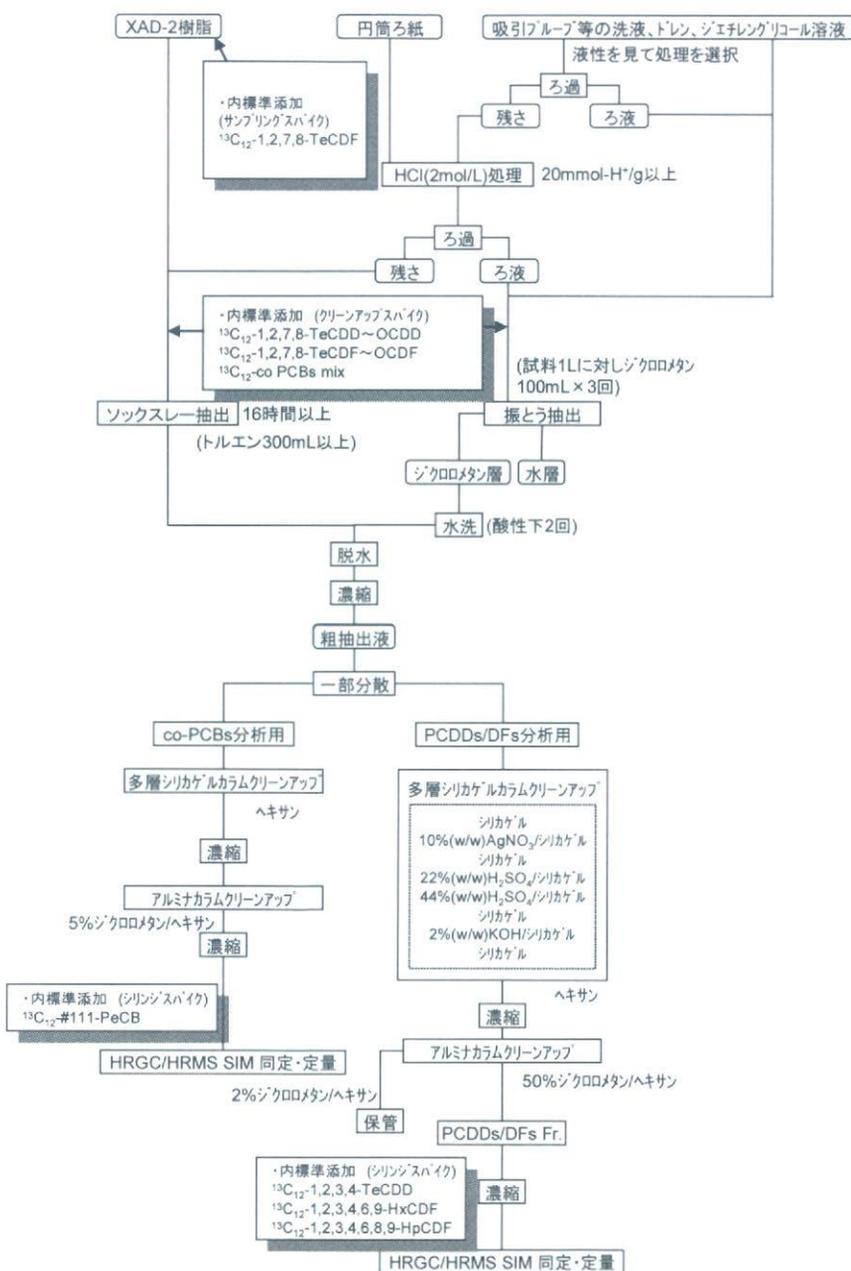


図 B.4.1 排ガス中ダイオキシン類
前処理方法のフローチャート

(倫理面への配慮)

火葬現場での測定を伴う研究であり、火葬される遺体や遺族の尊厳を尊重し、慎重な対応により、実態調査を行った。

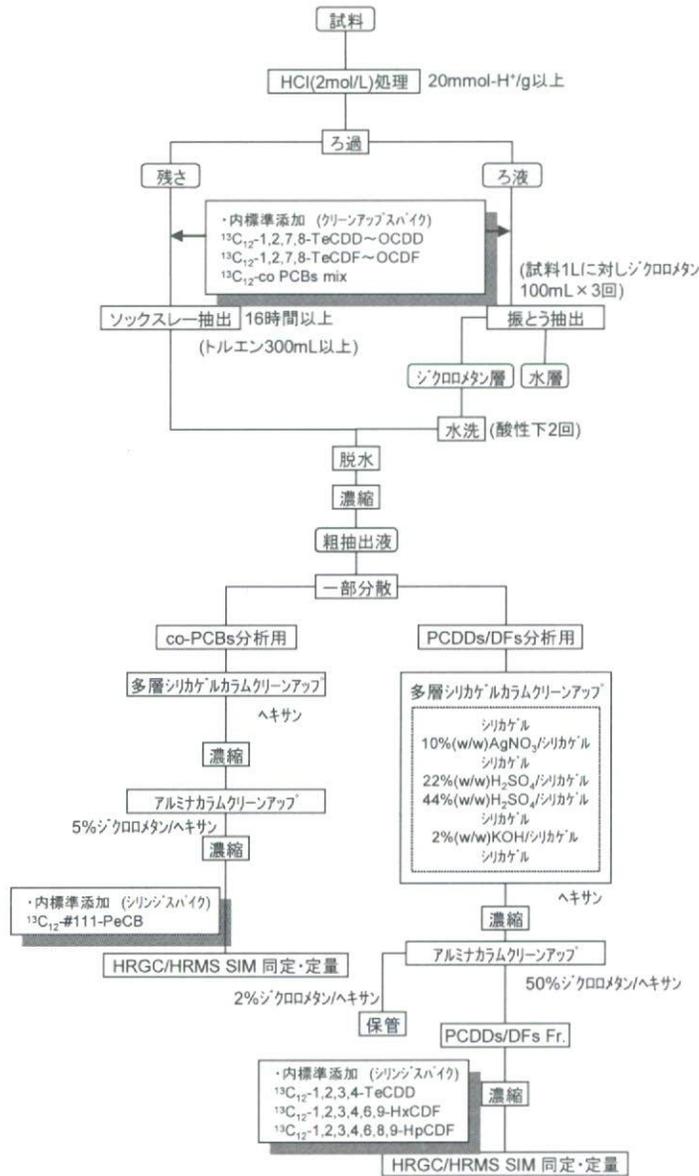


図 B.4.2 集じん灰、および残骨灰中ダイオキシン類前処理方法のフローチャート

表 B.4.1 PCDDs/DFs の分析条件

分析機器名	Waters/MICROMASS社製 ガスクロマトグラフ-質量分析計 AutoSpec-Ultima GC部 Agilent Technologies HP-6890		
GC部操作条件			
分離カラム(1)	SP-2331(SUPERCO) fused silica capillary column 60m × 0.32mm(id), 0.20 μm		
カラム温度(1)	160°C	→ 220°C	→ 260°C
	(1min)	(6°C/min)	(0min) (3°C/min) (30min)
分離カラム(2)	DB-17HT(Agilent Technologies/J&W) fused capillary column 30m × 0.32mm(id), 0.15 μm		
カラム温度(2)	130°C	→ 200°C	→ 250°C → 300°C
	(1min)	(20°C/min)	(0min) (3°C/min) (30min) (5°C/min) (3min)
オンカラム注入法			
MS部操作条件			
イオン化方法	EI		
イオン化電圧	35~40V		
イオン化電流	500 μA		
加速電圧	8kV		
インターフェース温度	295°C		
イオン源温度	290°C		
分解能	M/ Δ M > 10,000 (10% valley)		
設定質量数			
	M+	(M+2)+	(M+4)+
TeCDDs	319.8965	321.8936	
PeCDDs	353.8576	355.8546	357.8517
HxCDDs		389.8157	391.8127
HpCDDs		423.7768	425.7737
OCDD		457.7377	459.7348
TeCDFs	303.9016	305.8987	
PeCDFs		339.8597	341.8567
HxCDFs		373.8208	375.8178
HpCDFs	405.7847	407.7818	409.7789
OCDF		441.7428	443.7399
¹³ C ₁₂ -TeCDDs	331.9368	333.9339	
¹³ C ₁₂ -PeCDD	365.8978	367.8949	369.8919
¹³ C ₁₂ -HxCDDs		401.8559	403.853
¹³ C ₁₂ -HpCDD		435.8169	437.814
¹³ C ₁₂ -OCDD		469.7779	471.775
¹³ C ₁₂ -TeCDF	315.9419	317.9389	
¹³ C ₁₂ -PeCDFs		351.9	353.897
¹³ C ₁₂ -HxCDFs		385.861	387.858
¹³ C ₁₂ -HpCDFs		419.822	421.8191
¹³ C ₁₂ -OCDF		453.7831	455.7801

表 B.4.2 co-PCBs の分析条件

分析機器名(1)	Waters/MICROMASS社製 ガスクロマトグラフ-質量分析計 AutoSpec-Ultima GC部 Agilent Technologies HP-6890		
分析機器名(2)	日本電子 ガスクロマトグラフ-質量分析計 JMS-700(Mstation) GC部 Agilent Technologies HP-6890		
GC部操作条件			
分離カラム	HT8-PCB(SGE) fused silica capillary column 60m × 0.25mm(id)		
カラム温度	120°C	→ 180°C	→ 260°C → 300°C
	(1min)	(20°C/min)	(0min) (2°C/min) (0min) (5°C/min) (4min)
オンカラム注入法			
MS部操作条件			
イオン化方法	EI		
イオン化電圧	30~40V		
イオン化電流	500 μA		
加速電圧	8kV		
インターフェース温度	290~300°C		
イオン源温度	280~300°C		
分解能	M/ Δ M > 10,000 (10% valley)		
設定質量数			
	M+	(M+2)+	(M+4)+
TeCBs	289.9224	291.9195	
PeCBs		325.8805	327.8776
HxCBs		359.8415	361.8386
HpCBs		393.8025	395.7996
¹³ C ₁₂ -TeCB	301.9628	303.9597	
¹³ C ₁₂ -PeCBs		337.9207	339.9178
¹³ C ₁₂ -HxCB		371.8817	373.8788
¹³ C ₁₂ -HpCB		405.8428	407.8398

表 B.4.3 ダイオキシン類の分析に用いた標準物質

標準物質			標準物質		
TeCDDs	2,3,7,8-TeCDD		#81	344'5-T4CB	※
PeCDD	1,2,3,7,8-PeCDD		#77	33'44'-T4CB	※
HxCDDs	1,2,3,4,7,8-HxCDD		#105	233'44'-P5CB	※※
	1,2,3,6,7,8-HxCDD		#114	2344'5-P5CB	※※
	1,2,3,7,8,9-HxCDD		#118	23'44'5-P5CB	※※
HpCDD	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD		#123	2'344'5-P5CB	※※
OCDD	OCDD		#126	33'44'5-P5CB	※
TeCDFs	2,3,7,8-TeCDF		#156	233'44'5-H6CB	※※
PeCDFs	1,2,3,7,8-PeCDF		#157	233'44'5-H6CB	※※
	2,3,4,7,8-PeCDF		#167	23'44'55'-H6CB	※※
HxCDFs	1,2,3,4,7,8-HxCDF		#169	33'44'55'-H6CB	※
	1,2,3,6,7,8-HxCDF		#170	22'344'55'-H7CB	※※※
	1,2,3,7,8,9-HxCDF		#180	22'33'44'5-H7CB	※※※
	2,3,4,6,7,8-HxCDF		#189	233'44'55'-H7CB	※※※
HpCDFs	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF				
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF				
OCDF	OCDF				
内標準物質			内標準物質		
¹³ C ₁₂ -TeCDDs	¹³ C ₁₂ -1,3,6,8-TeCDDs	アルミナカラム分画確認用	#81	¹³ C ₁₂ -344'5-T4CB	※
	¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDDs		#77	¹³ C ₁₂ -33'44'-T4CB	※
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4-TeCDDs	シリジンスパイク	#105	¹³ C ₁₂ -233'44'-P5CB	※※
¹³ C ₁₂ -PeCDDs	¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDDs		#114	¹³ C ₁₂ -2344'5-P5CB	※※
¹³ C ₁₂ -HxCDDs	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDDs		#118	¹³ C ₁₂ -23'44'5-P5CB	※※
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDDs		#123	¹³ C ₁₂ -2'344'5-P5CB	※※
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDDs		#126	¹³ C ₁₂ -33'44'5-P5CB	※
¹³ C ₁₂ -HpCDDs	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDDs		#156	¹³ C ₁₂ -233'44'5-H6CB	※※
	¹³ C ₁₂ -OCDD		#157	¹³ C ₁₂ -233'44'5-H6CB	※※
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDDs		#167	¹³ C ₁₂ -23'44'55'-H6CB	※※
¹³ C ₁₂ -TeCDFs	¹³ C ₁₂ -1,3,6,8-TeCDDs	アルミナカラム分画確認用	#169	¹³ C ₁₂ -33'44'55'-H6CB	※
	¹³ C ₁₂ -1,2,7,8-TeCDDs	サンプリングスパイク	#170	¹³ C ₁₂ -22'344'55'-H7CB	※※※
	¹³ C ₁₂ -2,3,7,8-TeCDDs		#180	¹³ C ₁₂ -22'33'44'5-H7CB	※※※
¹³ C ₁₂ -PeCDFs	¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8-PeCDFs		#189	¹³ C ₁₂ -233'44'55'-H7CB	※※※
	¹³ C ₁₂ -2,3,4,7,8-PeCDFs		#111	¹³ C ₁₂ -233'55'-H5CB	シリジンスパイク
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDDs		※	non-ortho-PCBs	
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDDs		※※	mono-ortho-PCBs	
¹³ C ₁₂ -HxCDFs	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8-HxCDFs		※※※	di-ortho-PCBs	
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,6,7,8-HxCDFs				
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,9-HxCDFs	シリジンスパイク			
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,7,8,9-HxCDFs				
¹³ C ₁₂ -HpCDFs	¹³ C ₁₂ -2,3,4,6,7,8-HpCDFs				
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,6,7,8-HpCDDs	シリジンスパイク			
	¹³ C ₁₂ -1,2,3,4,7,8,9-HpCDDs				
¹³ C ₁₂ -OCDF	¹³ C ₁₂ -OCDF				

表 B.4.4 検出、定量限界

項目		排ガス:ng/m ³ _N		残骨灰、集じん灰:ng/g	
		定量下限値	検出下限値	定量下限値	検出下限値
		(実測濃度)	(実測濃度)	(実測濃度)	(実測濃度)
PCDDs/DFs	4-5塩素化物	0.008	0.002	0.0008	0.0002
	6-7塩素化物	0.02	0.005	0.002	0.0005
	8塩素化物	0.04	0.01	0.004	0.001
co-PCBs		0.02	0.005	0.002	0.0005

C. 研究結果、および考察

研究結果を示す前に、ダイオキシン類の毒性等価係数(TEF)の扱いについて触れる。2006年にWHOにより毒性等価係数の見直しがなされWHO2006-TEFが決定されており、日本においても、WHO2006-TEFを取り入れたダイオキシン類対策特別措置法施行規則の改正が2007年6月に行われ、改正された施行規則が、2008年4月から施行された¹⁸⁾。したがって、本研究で得られたダイオキシン類の毒性等量は、WHO2006-TEFを用いて算出した(付録資料1)。

調査結果の一覧を表C.1に示す。排ガス組成としては、ばいじん濃度、CO(平均値)、NOx(平均値)についてはすべてO₂12%換算値で示した。

ばいじん濃度は、バグフィルター、あるいは電気集じん機が設置されている施設A~Dにおいては、0.032 g/m³_N以下であり低く保たれていたが、集じん機のない施設Cでは、0.13~0.19 g/m³_Nであり、高い値を示した。施設Fにおいては集じん機としてスクリーン式が設置されていたが、0.10~0.15 g/m³_Nであり、集じん機のないケースとほぼ同等の値を示した。したがって、スクリーン式では、高い集じん効率は期待できないといえる。

COに関しては、最大270ppmであったが、各実験で大きく変動し、排ガス処理施設の影響等はあまりみられなかった。COには、炉構造に加えて、御遺体の状況や燃焼状況が大きく影響するものと考えられる。

NOxに関しては、全ての施設で82~130ppmであり施設ごとに大きな差は見られなかった。

また、ダイオキシン類に関しては、実測濃度、毒性等量、同族体、異性体について、以下で詳細に結果を示し、考察する。

1. 排ガス中のダイオキシン類濃度

各施設における、ダイオキシン類濃度と、その毒性等量を図C.1.1に示す。排ガス中のダイオキシン類濃度は、酸素12%換算濃度で5.3~540 ng/m³_N、毒性等量で0.00018~11 ng TEQ-WHO₀₆/m³_Nの範囲であった。

それぞれ算術平均では66 ng/m³_N、1.2 ng TEQ-WHO₀₆/m³_N、中央値で14ng/m³_N、0.061 ng TEQ-WHO₀₆/m³_N、幾何平均で23 ng/m³_N、0.061 ng TEQ-WHO₀₆/m³_Nとなった。最も高かったのは、施設Fの1回目で540 ng/m³_N、11 ng TEQ-WHO₀₆/m³_N、最も低かったのは施設Aの2回目で5.3ng/m³_N、0.00018 ng TEQ-WHO₀₆/m³_Nであった。

2回の測定で、ともに約0.1 ng TEQ-WHO₀₆/m³_N以下で、低い値を示していたのは、施設A~Dであった。施設A~Cは削減対策指針後に設置された比較的新しい施設であ

表C.1 測定結果一覧

項目	火葬 時間	排ガス温 度	排ガス 流量		ダイオキシン類														
			速り m ³ /h	乾き m ³ /h	排ガス					残骨灰					集じん灰				
					実測濃度 ng/m ³	O ₂ 12% 換算濃度 ng/m ³	毒性等量 ng TEQ-WHO ₀₆ /m ³	実測濃度 ng/g	毒性等量 ng TEQ-WHO ₀₆ /g	実測濃度 ng/g	毒性等量 ng TEQ-WHO ₀₆ /g	ばいじん g/m ³	CO ppm	NO _x ppm	CO ₂ %	O ₂ %			
単位		°C	m ³ /h	m ³ /h	ng/m ³	ng/m ³	ng TEQ-WHO ₀₆ /m ³	ng/g	ng TEQ-WHO ₀₆ /g	ng/g	ng TEQ-WHO ₀₆ /g	g/m ³	ppm	ppm	ppm	%	%		
A-1	58	144	9,540	9,160	1.62	0.011	0.042	2.40	0.042	313	5.0	<0.008	26	86	0.8	19.8			
A-2	57	147	8,010	7,780	0.945	0.00018						<0.006	56	110	1.2	19.4			
B-1	66	86	14,300	13,900	1.88	0.0036		0.115	0.00055	9.12	0.10	<0.007	<4	97	0.8	19.6			
B-2	59				2.79	0.010						<0.006	<3	120	0.9	19.5			
C-1	48	88	14,600	14,200	3.01	0.025	0	0.0291	0	37	0.61	0.005	<20	120	1.5	19.1			
C-2	68				1.18	0.0037						0.005	33	100	1.4	19.1			
D-1	64	166	11,500	11,200	5.52	0.062						0.032	<8	110	1.3	19.0			
D-2	45	144	10,200	9,880	2.57	0.059						0.032	32	100	1.1	19.3			
E-1	60	290	4,760	4,560	3.01	0.089		0.118	0.00067			0.13	<30	110	2.3	18.1			
E-2	63	296	3,770	3,590	3.28	0.10						0.16	<10	130	2.4	17.9			
F-1	59	247	3,890	3,700	2.18	1.1		0.0209	0.0000035	1.09	0.014	0.15	180	84	2.5	17.4			
F-2	64	230	5,150	4,860	2.77	1.7						0.10	<40	93	2.0	18.1			
G-1	84	400	4,440	4,130	48.9	1.6		0.31	0.0044			0.19	270	82	3.8	15.8			
G-2	64				41.6	1.7						0.17	77	110	1.9	16.6			
最大値	84	400	14,600	14,200	218	11		2.40	0.042	313	5.0	0.19	270	130	3.8	19.8			
最小値	45	86	3,770	3,590	0.945	0.00018		0.0209	0	1.09	0.014	0.005	<3	82	0.8	15.8			
中央値	62	166	8,010	7,780	3.01	0.061		0.117	0.00061	22.9	0.36	0.032	31	105	1.5	19.1			
算術平均値	61	203	8,200	7,905	25.8	1.2		0.498	0.0079	90.0	1.4	0.072	56	104	1.7	18.5			
幾何平均値	61	182	7,270	6,970	5.80	0.061		0.135	0.00047	18.4	0.26	0.030	27	103	1.5	18.4			

残骨灰のダイオキシン類毒性当量の幾何平均値は施設Cを除いた値
 定量下限値以下の値については、定量下限値とみなし、中央値、算術平均値、幾何平均値を算出
 ばいじん、CO、NO_xについてはO₂12%換算値

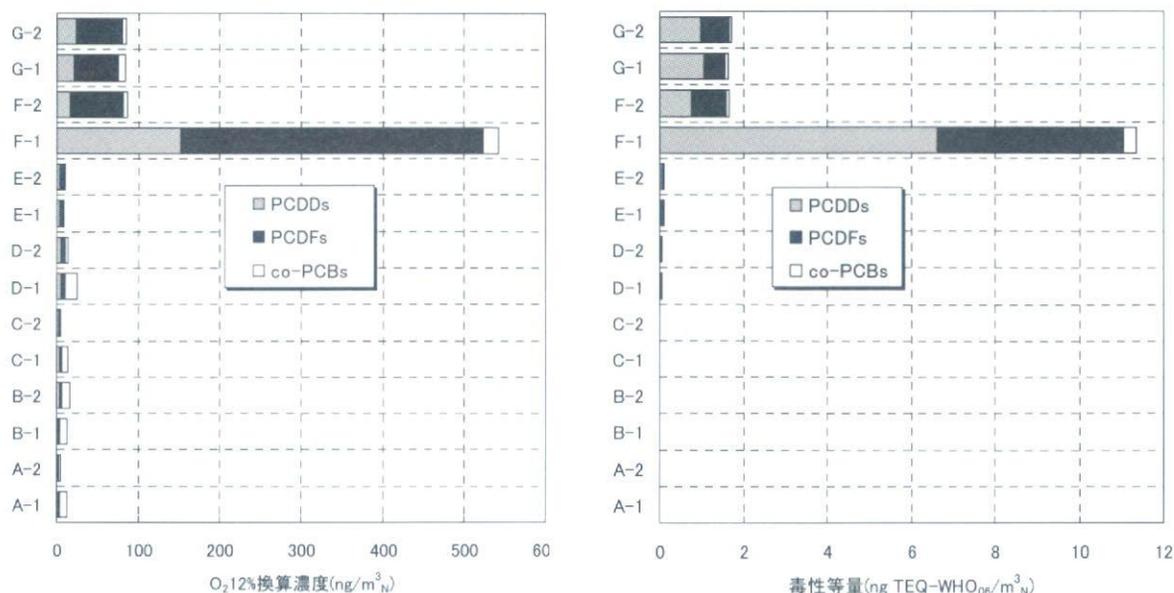


図 C.1.1 各施設における排ガス中ダイオキシン類の濃度と毒性等量

り、集じん機としてバグフィルターが設置された上、施設A、Bでは触媒装置、施設Cでは活性炭吸着設備が設置されていることによるものと考えられた。また、施設Dは削減対策指針前に設置されたものであるが、ダイオキシン類濃度は低く抑えられており、電気集じん機の集じん効果によるものと考えられた。平成12年に提示された削減対策指針における新設炉における指針値は $1.0 \text{ ng TEQ-WHO}_{06}/\text{m}^3_{\text{N}}$ で⁵⁾、これらの施設ではその値を大幅に下回る結果となった。

一方、 $1.0 \text{ ng TEQ-WHO}_{06}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 以上の高い値が現れたのは、施設Fと施設Gであり、これらは削減対策指針前に設置された比較的古い施設である。これらの施設には、集じん機が設置されていないか、設置されていても、前述のばいじん濃度の測定結果よりあまり集じん効果が認められないものであった。施設Fでの2回目、あるいは施設Gでは、 $1.6 \sim 1.7 \text{ ng TEQ-WHO}_{06}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であり、削減対策指針における既設炉における指針値： $5.0 \text{ ng TEQ-WHO}_{06}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ⁵⁾、は下回っていた。ただし、施設Fでの1回目では、 $11 \text{ ng TEQ-WHO}_{06}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であり本調査での最大値を示し、上記の指針値を上回っていた。表C.1から、施設Fの1回目での排ガス組成（ばいじん、CO、NOx）は、施設Gの1回目と大差はなく、燃焼状態が極端に悪いとは考えにくい。可能性としては集じん機での *de novo* 合成によるものと推測される。

以上の結果からは、ダイオキシン類排出抑制のために、バグフィルターあるいは電気集じん機の設置により集じん効率を確保することの重要性が確認された。しかし、施設Eでは、削減対策指針前に設置された比較的古い施設であるが、 $0.089 \sim 0.10 \text{ ng TEQ-}$

WHO₀₆/m³_N程度に抑えられ、ほぼ同様の構造であった施設Gと大きく濃度が異なる結果となっており、御遺体や副葬品により燃焼条件がかなり異なってくる場合もあることが示唆された。

図C.1.1においてPCDDs、PCDFs、およびco-PCBsの実濃度を比較すると、比較的排出濃度の低い施設A～Dにおいては、co-PCBsの割合が、全体の30～70%程度を占めていたが、比較的排出濃度の高い施設F、Gにおいては、co-PCBsの割合は、全体の10%以下であり、PCDDs/DFsが残りの90%を占めていた。これは、集じん機や触媒装置等により、ダイオキシン類全体として濃度は減少するが、co-PCBsはPCDDs/DFsに比較して、相対的に除去しにくいことを意味している。このような傾向は、高度に除去されたケースで顕著であり、あまり問題があるわけではないが、一般的にPCDDs/DFsよりも、co-PCBsの方が蒸気圧が高いとされ¹⁹⁾、凝縮、あるいは吸着等による除去効果が働きにくくなっていることによると考えられた。

次に、各サンプルでのPCDDs、PCDFsの同族体分布を施設毎に図C.1.2(1)、図C.1.2(2)に示した。同族体の絶対量としては、施設A、施設F、施設GでPCDFsが、PCDDsよりも高い傾向を示す一方で、施設B、Dでは逆にPCDDsが、PCDFsよりも高い傾向を示した。施設D、EではPCDDsとPCDFsがほぼ同等の量であった。

また、同族体分布の傾向としては、PCDFsについては全ての施設で、4塩素化物(TeCDFs)の濃度が最も高く、高塩素化物になるほど濃度が低くなるパターンであり、一般的な燃焼起源のパターンを示したが、PCDDsについては、以下の大きく3つのパターンに分けることができた。

- ① 8塩素化物(OCDD)が最も多く、4塩素化(TeCDDs)が最も少ないパターン。
施設A～D、施設Eの1回目：9検体
- ② 6塩素化物(HxCDDs)が最も多く、山型の分布を示すパターン。
施設Eの2回目：1検体
- ③ 4塩素化物(TeCDDs)が最も多く、8塩素化物(OCDD)が最も少ないパターン。
施設F、施設G：4検体

ここで、平成9・10年度厚生科学研究事業において、削減対策指針前に設置された17施設における調査結果（以下1999調査）と比較すると⁴⁾、PCDFsの傾向は同様であったが、PCDDsについては、パターン③が全体の2/3を占め、残りはパターン②のような、都市ごみ焼却排ガスでも良く見られるパターンであった。また、平成19年度厚生労働科学特別研究事業¹⁶⁾により、実施された4施設における調査の結果（以下2007調

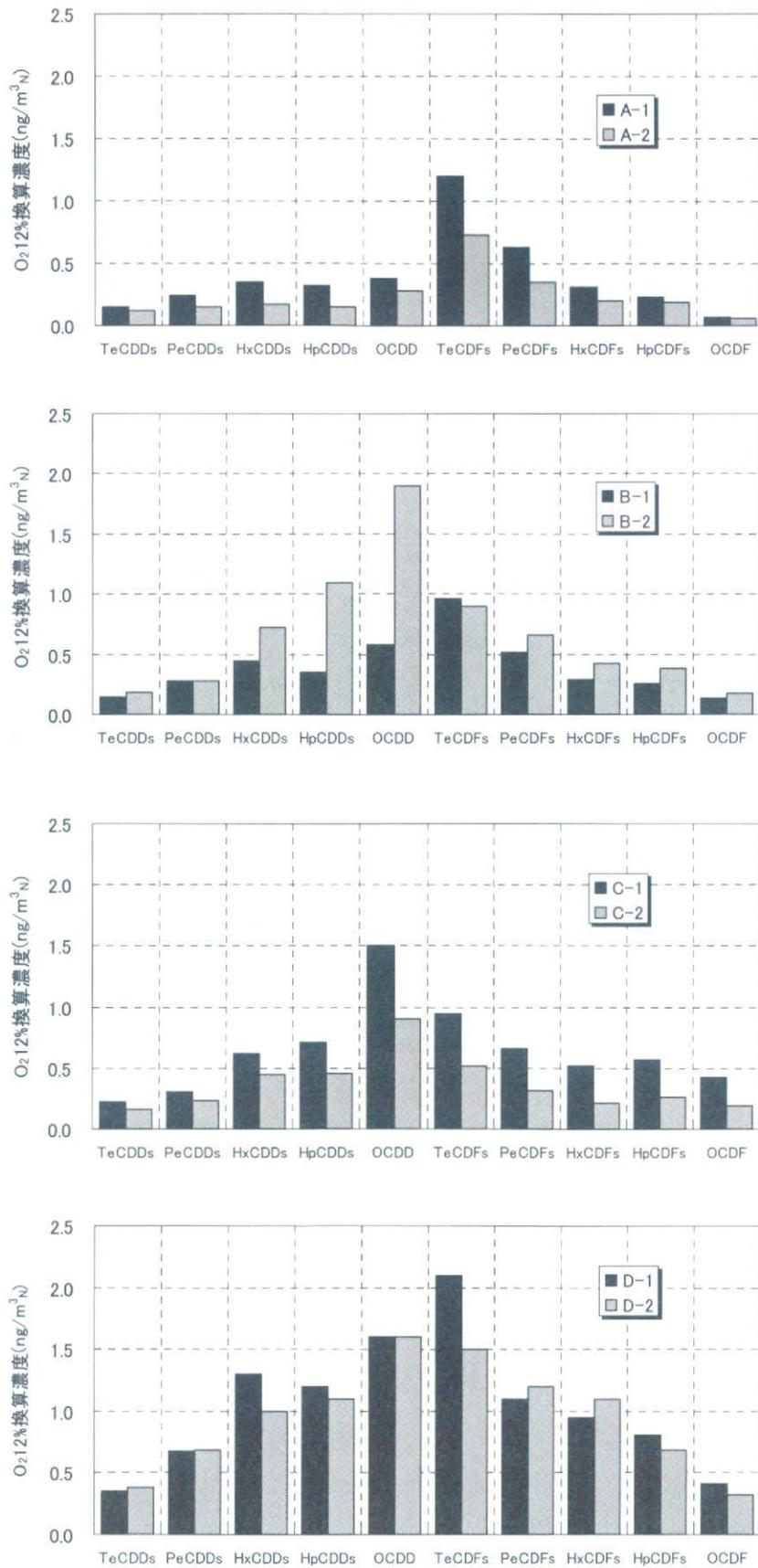


図 C.1.2(1) 排ガス中 PCDDs/DFs 濃度の同族体分布 (施設 A ~ D)

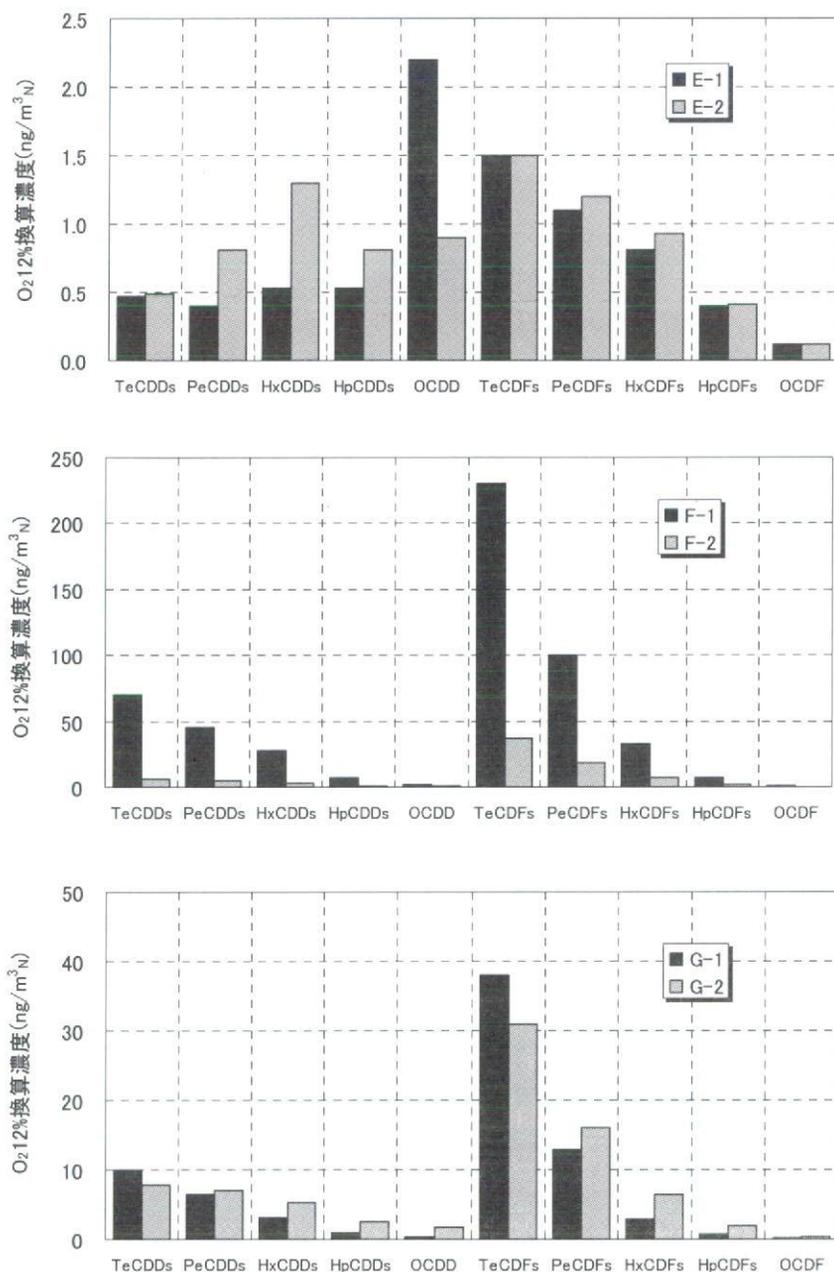


図 C.1.2(2) 排ガス中 PCDDs/DFs 濃度の同族体分布 (施設 E ~ G)

査)と比較すると、施設の新旧にかかわらず、PCDFsの傾向は同様であり、PCDDの場合は、全てパターン②であった。

本研究では、PCDDsの同族体パターンについて、過去の研究のいずれにも見られなかったパターン①が、比較的新しい施設A~Dで多く見られ、比較的古い施設F~Gでパターン③が見られた。これまでの調査結果と照らし合わせると、比較的新しい施設ではパターン①、およびパターン②が、古い施設ではパターン③、およびパターン②が発現し易い傾向がうかがえた。しかし、これらの違いが主に何に由来するのかはわからなかった。

次にPCDDsとPCDFsの17種、およびco-PCBsの12種の異性体分布を、それぞれ図C.1.3(1)～(2)、図C.1.4(1)～(2)に示した。PCDDsでは多くの場合、低塩素化物よりも、1,2,3,4,6,7,8-HpCDD、OCDDの濃度が高い傾向にあった。これは、1999調査での結果⁴⁾、および2007調査での結果¹⁶⁾の傾向と同様であった。ただし、比較的古い施設である、施設Fの1回目、および施設Gの1回目においては、低塩素化物である1,2,3,7,8-PeCDDsが最も高くなる傾向を示した。

PCDFsでは、PCDDsほど顕著ではないが、多くの施設で、1,2,3,4,6,7,8-HpCDF、OCDF等の高塩素化物の濃度が高い傾向が見られた。ただし、この場合も、施設F、施設Gにおいて、2,3,7,8-TeCDF、1,2,3,7,8-PeCDFs、2,3,4,7,8-PeCDFsについても濃度が高くなる傾向を示した。この傾向は、2007調査での結果¹⁶⁾において、比較的古い施設の2施設や、1999調査での結果⁴⁾のほとんどの施設についてもその傾向が見られていた。

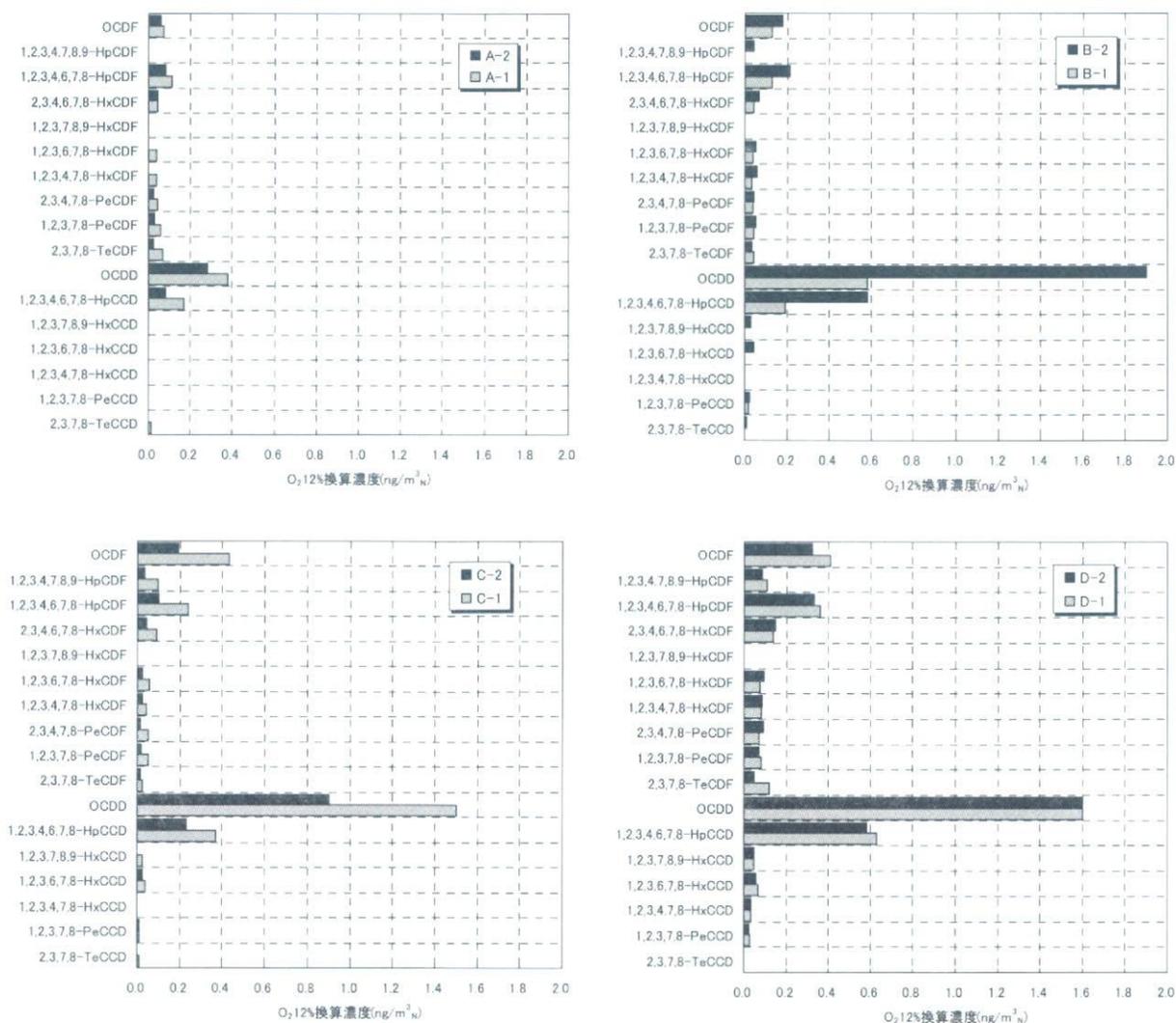


図 C.1.3(1) 排ガス中PCDDs/DFs濃度の異性体分布（施設A～D）

すなわち、削減対策指針後に設置された比較的新しい施設では、全体的にダイオキシン類が低減されていることに加え、毒性等価係数が大きく毒性が高いとされる低塩素化物がより高度に除去されていることにより毒性等量が低減していると考えられた。

co-PCBsの異性体分布に関しては、全てのサンプルで、ノンオルト体であるT4CB(#77)、モノオルト体であるP5CB(#118)、P5CB(#105)が高い傾向が見られ、ついで、P5CB(#126)、H6CB(#156)が比較的高くなる傾向が見られた。この傾向は、2007調査結果の傾向¹⁶⁾と同様の傾向であり、PCDDs/DFsのように施設の新旧の影響はあまりみられなかった。

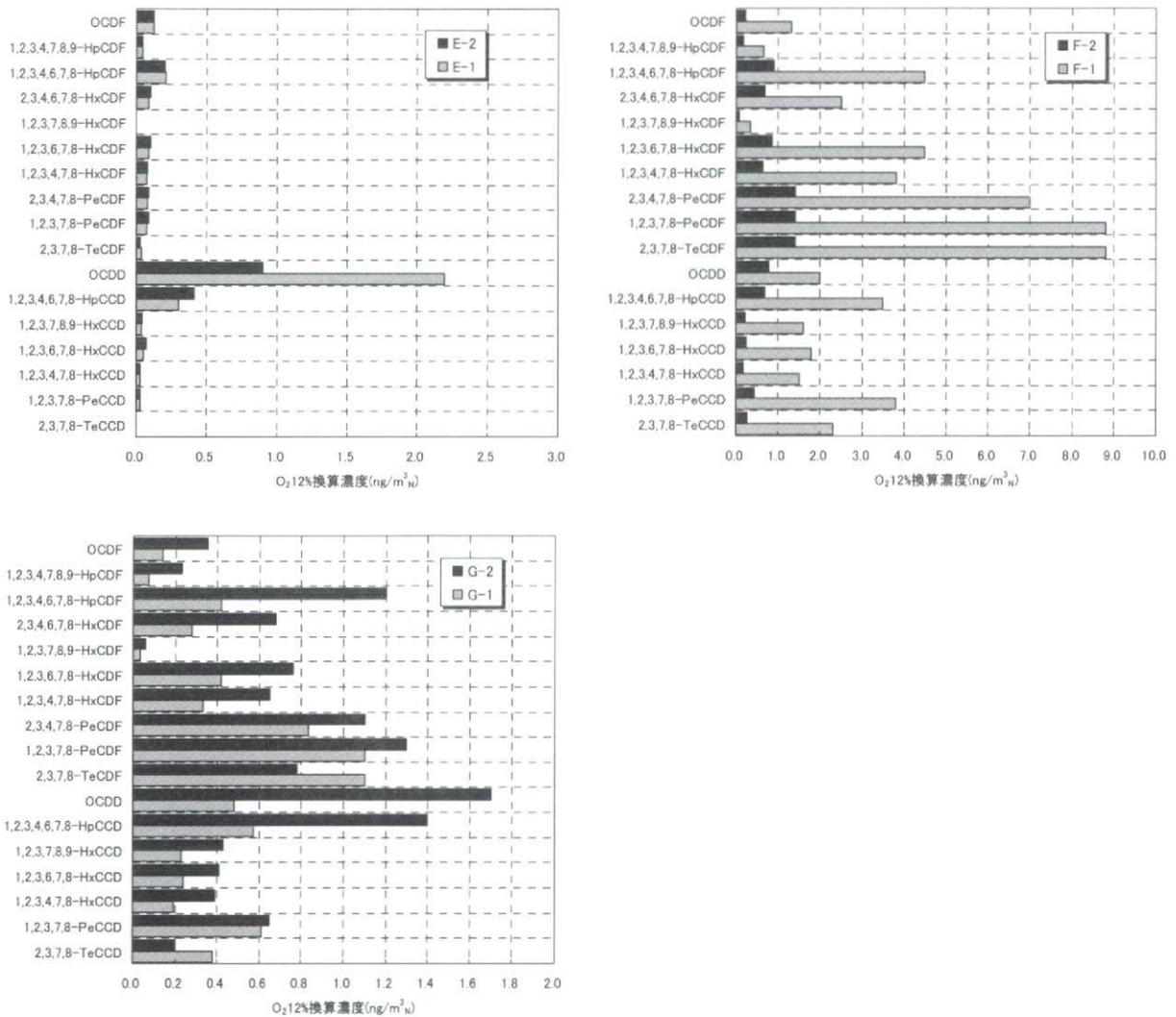


図 C.1.3(2) 排ガス中 PCDDs/DFs 濃度の異性体分布 (施設 E ~ G)

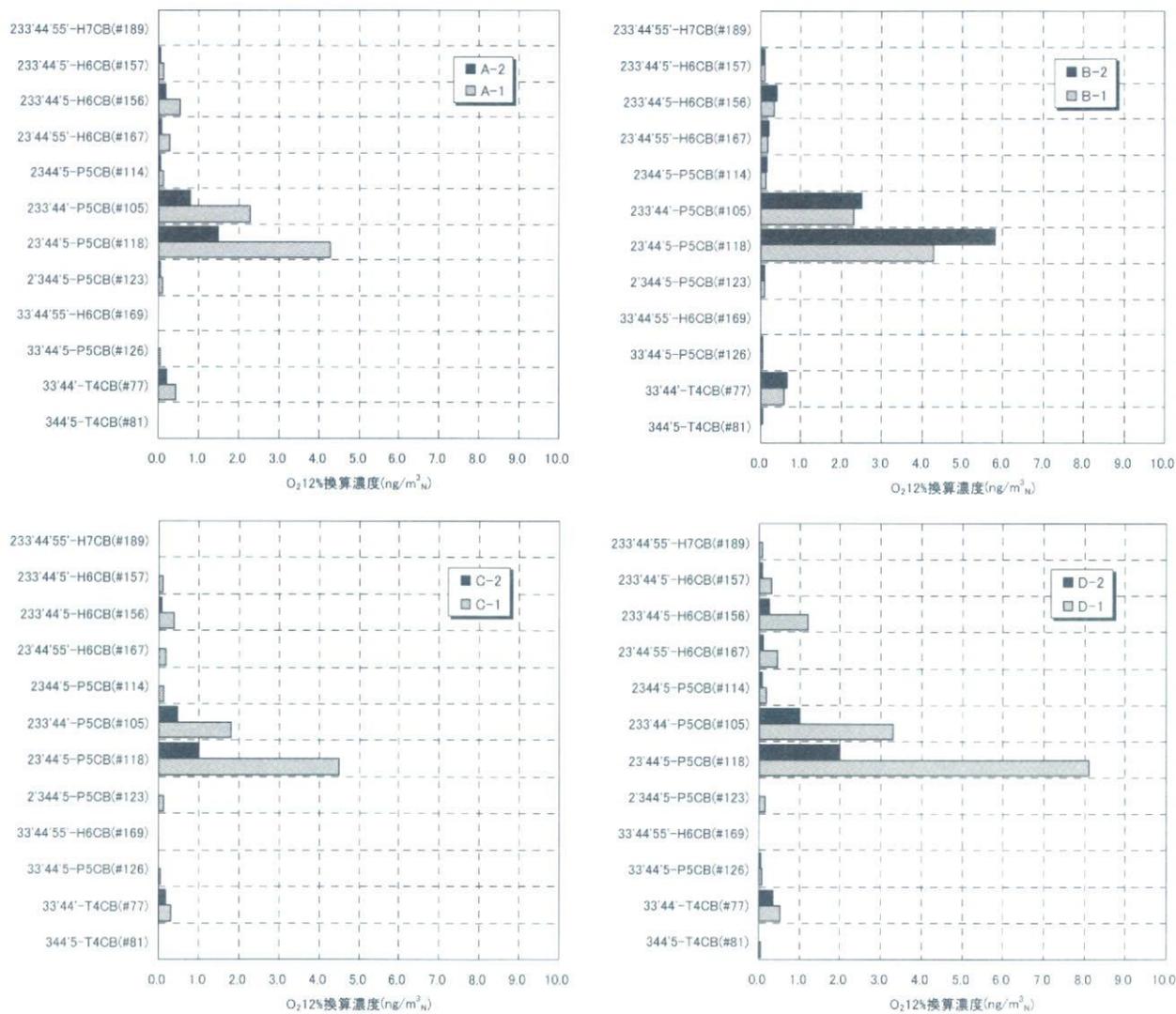


図 C.1.4(1) 排ガス中 co-PCBs 濃度の異性体分布 (施設 A ~ D)

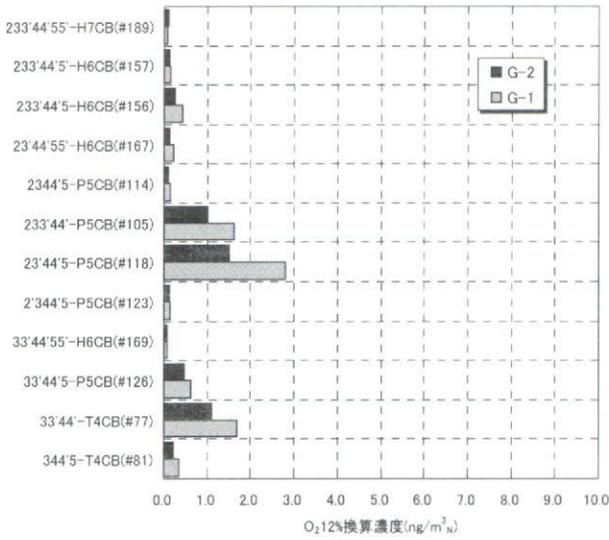
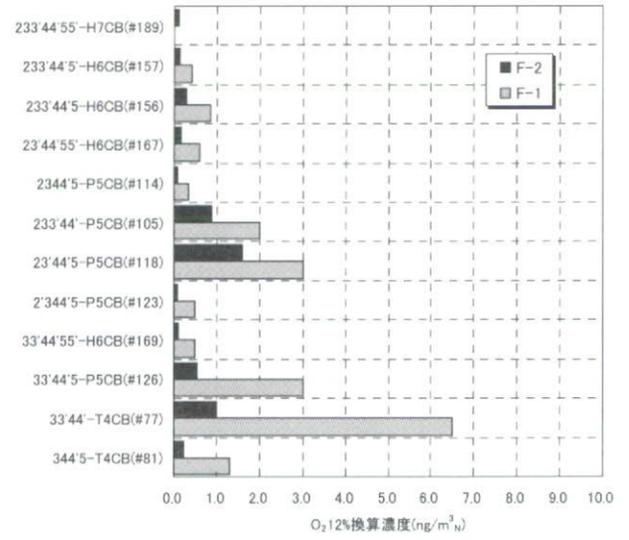
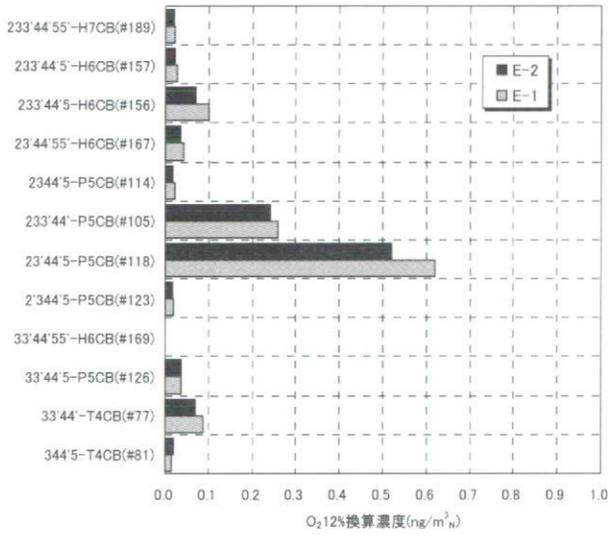


図 C.1.4(2) 排ガス中 co-PCBs 濃度の異性体分布 (施設 E ~ G)

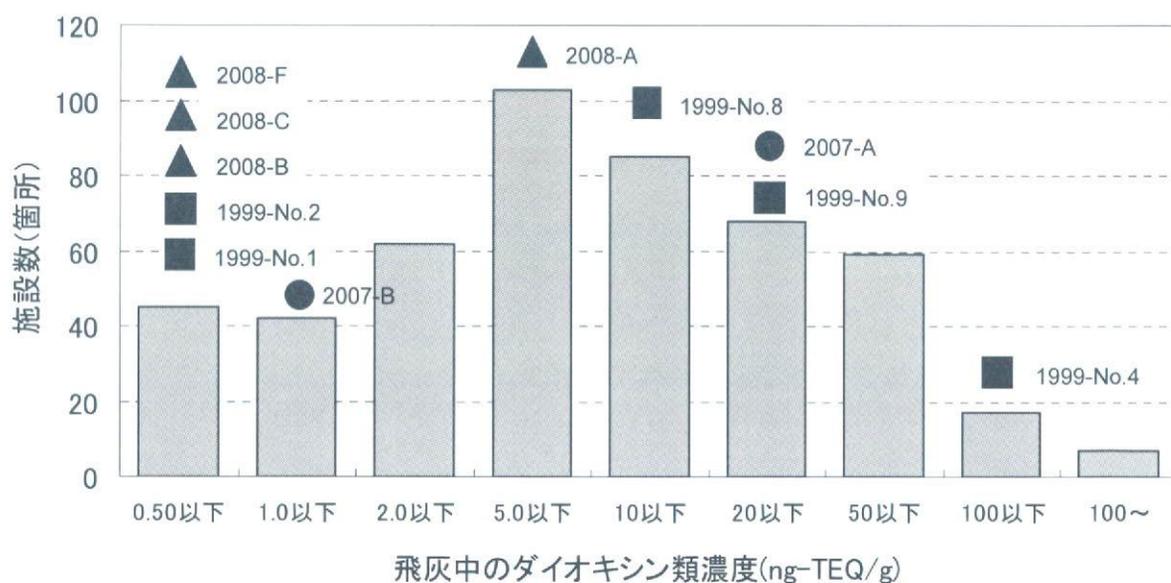
2. 残骨灰、集じん灰中のダイオキシン類濃度

残骨灰は施設Dを除く6施設全て、集じん灰は施設A~C、施設Fにおいて採取し、測定した。

残骨灰中のダイオキシン類の濃度範囲は、実測濃度で0.0209~2.40 ng/g、毒性等量で0~0.042 ng TEQ-WHO₀₆/gであった。2007調査結果¹⁶⁾では4施設における残骨灰中のダイオキシン類の濃度範囲は、実測濃度で0.012~0.184 ng/gであり、本研究での調査のほうがわずかに高い傾向であったが、これらの値は依然として非常に低いといえ、主燃焼室では御遺体を完全燃焼せねばならないことから、最終的に残る残骨灰中のダイオキシン類濃度が低くなったものと考えられる。

次に、集じん灰中のダイオキシン類の濃度範囲は、実測濃度で1.09~313 ng/g、毒性等量で0.014~5.0 ng TEQ-WHO₀₆/gであった。

図C.2.1に平成8年度に厚生省が実施したごみ焼却施設の飛灰中ダイオキシン類毒性等量の度数分布²⁰⁾を示し、本研究の結果(2008)が対応する濃度範囲にプロットし、比較を行った。また、2007調査結果¹⁶⁾、および1999調査結果⁹⁾についても、WHO2006-TEFにより換算し、対応する濃度範囲にプロットした(付録資料1、2)。ただし、ごみ焼却飛灰の毒性等量はPCDDs/DFsのみを対象にしていることや、毒性等価係数として1988年にNATO/CCMSが提唱したI-TEFを用いており、本研究における毒性等量とは10~20%程度値が低く見積もられている。したがって厳密な比較はできないが、本研



図C.2.1 都市ごみ焼却施設における
飛灰中ダイオキシン類濃度度数分布と本研究の比較

究における集じん灰中ダイオキシン類濃度は、都市ごみ焼却飛灰の濃度範囲にあり、施設 B、C、F は 0.5 ng TEQ-WHO₀₆/g 以下の比較的低い範囲、施設 A に関しては 2.0～5.0 ng TEQ-WHO₀₆/g で、比較的高い濃度範囲に位置しているといえる。1999 調査の場合と、2007 調査および本研究の場合とを比較すると、1999-No.4 のような 50～100 ng TEQ-WHO₀₆/g 程度の非常に高い濃度は発現されていないが、依然として、2007-A、2008-A のように 5.0 ng TEQ-WHO₀₆/g 以上を示す集じん灰が見受けられている。2007-A、2008-A に関しては、2007 調査結果¹⁶⁾、表 C.1 より、CO 濃度は比較的低いレベルで保たれていたことから、火葬中における燃焼状態は良好に保たれていたと考えられる。これら 2 つの施設は、ともに再燃焼後の排ガスの冷却に、熱交換器を用いた冷却方式が採用されており、2007～2008 年の調査で他の火葬炉は全て空気混合による冷却方式であった。したがって、この熱交換器において、ダイオキシン類が再合成されたことによるものと推測された。詳細には熱交換器部分の温度の確認等検討しなければならないが、熱交換器を用いた冷却方式を採用する場合には、灰中のダイオキシン類濃度に注意する必要があると考えられる。

集じん灰中 PCDDs/DFs の同族体分布を、図 C.2.2 に示した。PCDFs 総濃度と PCDDs 総濃度の大小は、施設により異なった。また全体的な傾向としては、PCDDs は 6-7 塩素化物をピークとする山型、PCDFs については 4-5 塩素化物をピークとする山型の分布を示していた。この傾向は、2007 調査結果¹⁶⁾、および 1999 調査結果⁴⁾ とほぼ同様であった。

集じん灰中の PCDDs と PCDFs の 17 種、および co-PCBs の 12 種の異性体分布を図 C.2.3 に示した。PCDDs/DFs については、全ての集じん灰で 1,2,3,7,8-PeCDD、2,3,4,7,8-PeCDF などの 5 塩素化物が高く、排ガス中の異性体分布の傾向と異なっていた。2007 調査結果¹⁶⁾、および 1999 調査結果⁴⁾ による、集じん灰中 PCDDs/DFs は、高塩素化物が多い傾向を示しており、本研究の結果と逆の傾向であったが、原因はわからなかった。また、co-PCBs に関しては、ノンオルト体である P5CB(#126)、H6CB(#169) が高い値を示しており、排ガス中では濃度の高かったモノオルト体の P5CB(#118)、P5CB(#105) は低い値であった。ごみ焼却飛灰において、ダイオキシン類の *de novo* 合成実験では、P5CB(#126) が、P5CB(#118) よりも優先的に生成することが報告されており^{21)、22)}、本研究においても集じん灰中で少なからず、*de novo* 合成が生じている可能性が確認された。特に施設 A のように、灰中のダイオキシン類濃度が高い場合には、排ガスの急冷や低温での集じんを徹底する必要があると考えられる。

以上より、残骨灰のダイオキシン類濃度は低く、環境に与える影響は大きくないといえるが、集じん灰にはごみ焼却飛灰と比較しても依然として同レベルのものも存在す

るため、排ガスの冷却方式に留意するとともに、低温での集じんを徹底して、再合成を抑制することが重要であると考えられる。また結果として、灰中のダイオキシン類濃度の高いものに関しては別途処理を検討する必要がある。

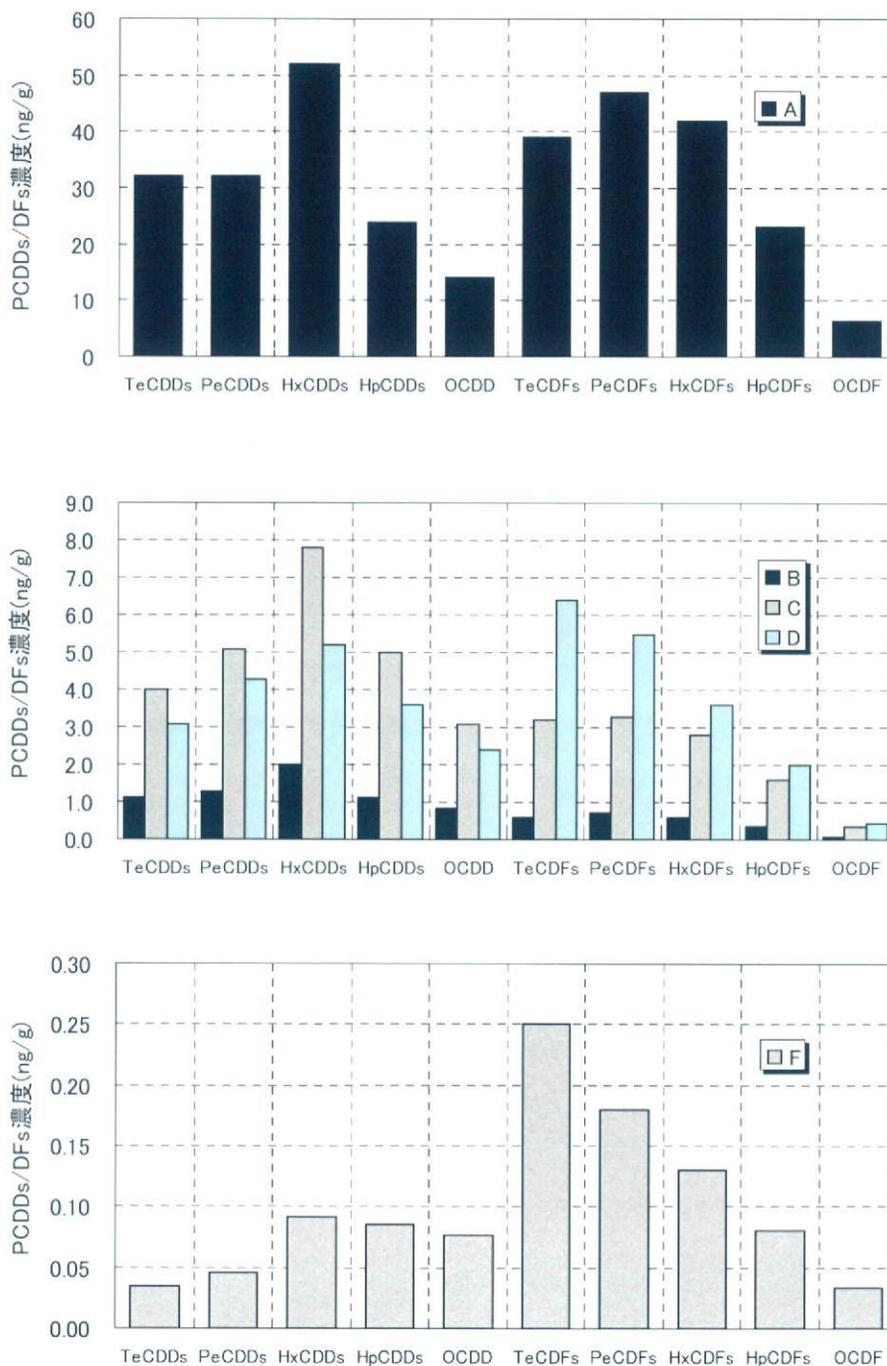


図 C.2.2 集じん灰中 PCDDs/DFs 濃度の同族体分布