

では PCDDs と PCDFs の生成割合をみると、PCDDs の方が多かった。これに対して RUN4 は PCDFs の生成割合の方が圧倒的に多く、RUN5 はほぼ同じ程度であった。図 4.20 と比べると RUN4 のパターンがもっともよく似ていた。異性体分布は全ての RUN とともに O8CDD、O8CDF の生成が顕著で、実態調査結果とも符合していた。

5.2.2 他のガスおよび温度との関係

表 5.3 に他のガス濃度および温度の測定結果を示した。図 5.3～5.7 までは各 RUN ごとの連続測定結果を示した。4 章までの実態調査結果から関連のあると考えられるダスト濃度、一酸化炭素濃度とダイオキシン類濃度の関係を図 5.8、図 5.9 に示した。連続測定結果からは、どの条件についても一酸化炭素、窒素酸化物の発生の仕方がよく似ていた。相関図からはダスト濃度、一酸化炭素濃度については濃度が高くなるほどダイオキシン類濃度が高くなる傾向があった。図 5.10 には温度などの経時変化を示し、図 5.11～5.13 に排ガス温度、主燃焼室温度、再燃焼室温度とダイオキシン類濃度の関係を示した。排ガス温度、主燃焼室温度については傾向ははっきりとは掴めなかった。再燃焼室温度との関係では再燃焼室最大温度については温度が高い方がダイオキシン類濃度が低い傾向がみられたが、平均温度についてははっきりしなかった。いずれにせよ、データ数が少ないため結論づけることはできないが、各指標とダイオキシン類濃度の関係は実態調査と同様の傾向を示していた。

5.2.3 火葬への棺および副葬品燃焼の寄与

4.6 で一人当たりの火葬から発生するダイオキシン類排出量を求めたのと同じ考え方で、RUN1～5 のダイオキシン類（実測量、毒性等量）、ダスト、塩化水素、一酸化炭素、窒素酸化物の排出量を求めた。また、棺および副葬品の燃焼が完了した時間（測定時間）が No.17 の実態調査結果における全体の火葬時間（1 回目：77 分、2 回目：61 分）のどのくらいに当たるかを算出した。つまり、RUN1 を例にとると、棺の燃焼完了時間が 20 分であったので、1 回目の火葬に対してはその時間は 26% に当たった。表 5.4 に示した割合は、それぞれの物質において、棺および副葬品の燃焼が 1 つの火葬あたりにどの程度の寄与を持っているのかを表している。つまり、火葬時間中の濃度変動がない場合は時間の割合と同じになるはずである。割合が時間を超える場合は、棺および副葬品の燃焼において発生する量が以降の御遺体の火葬時に比べて多いことを示す。

まず、ダイオキシン類であるが、各 RUN によってばらついており、棺および副葬

品の燃焼時の排出が全体の 10～90%にあたった。これは、棺および副葬品からだけでなく、人体の燃焼からもダイオキシン類が発生していることを意味している。また、逆にこの結果は棺および副葬品のコントロールを行うことでいくらか排出を削減できる余地があることも示している。一酸化炭素については、棺および副葬品の燃焼時にほぼすべての量が排出されていることがわかる。このことは火葬炉においては一酸化炭素濃度とダイオキシン類濃度の相関がはっきりしないことを表しており、一酸化炭素を指標としてダイオキシン類を制御することは難しいといえる。塩化水素および窒素酸化物については、全ての条件で測定時間の割合を下回った。ゆえに、人体から発生する量も大きいことが推測された。

実態調査時の棺および副葬品を完全に再現しているわけではないので、断言することはできないが、棺や副葬品の燃焼時のみダイオキシン類が発生するわけではないことがわかり、これらの燃焼時間である最初の 20～30 分以降も、主燃焼室や再燃焼室の温度管理を徹底せねばダイオキシン類の排出抑制はできないことが示唆された。

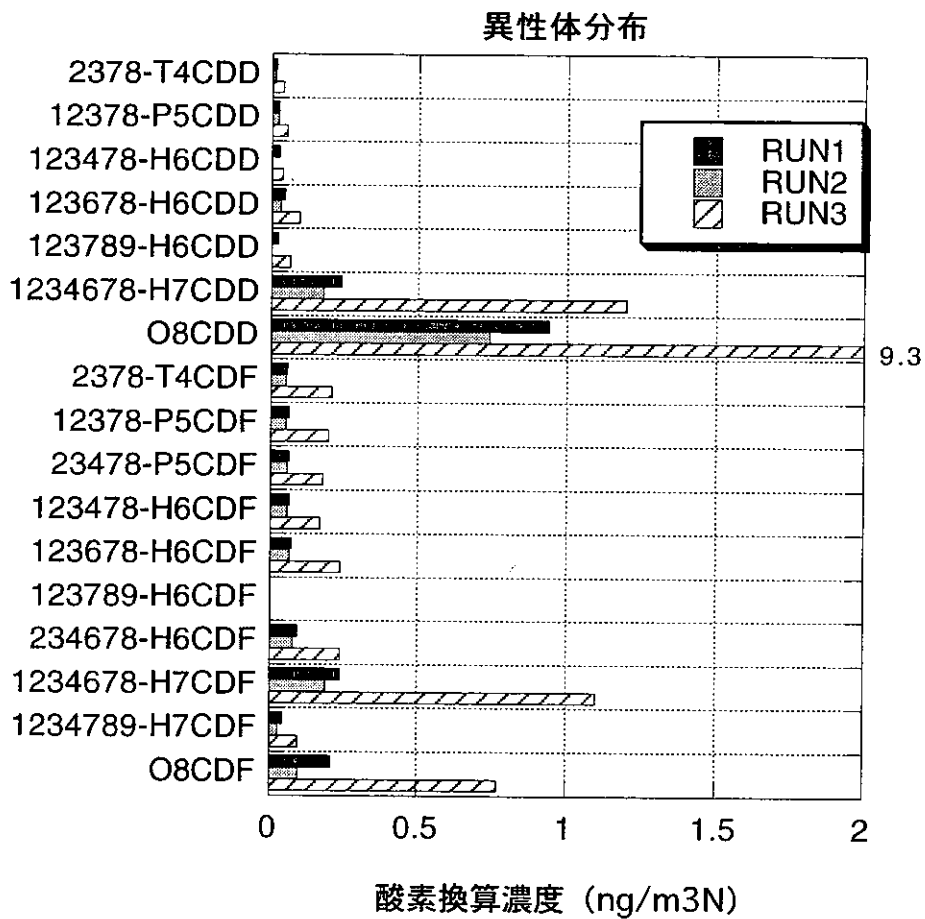
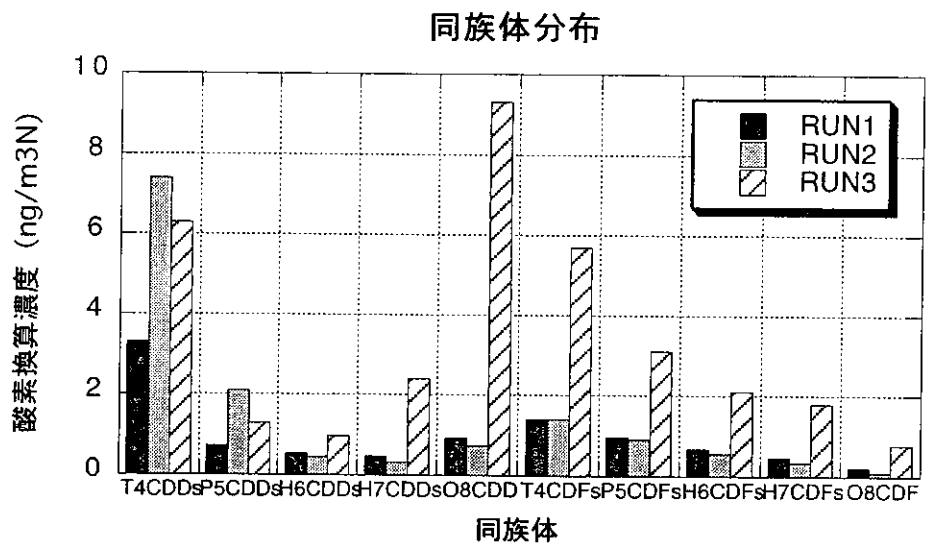


図5.1 棺および副葬品燃焼実験における同族体分布および異性体分布 (RUN1~RUN3)

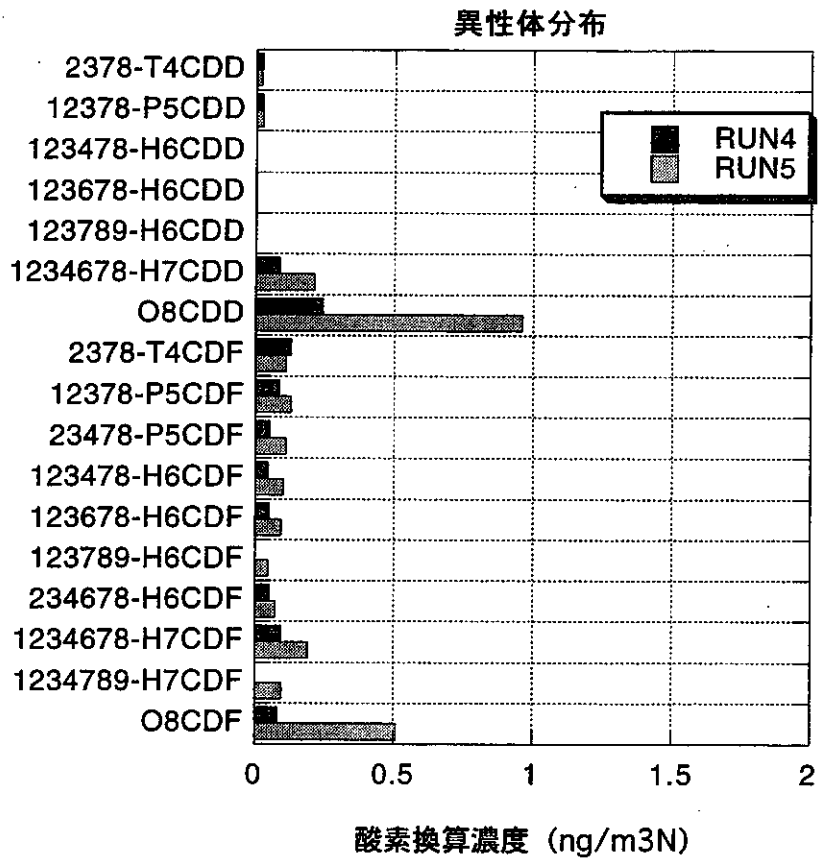
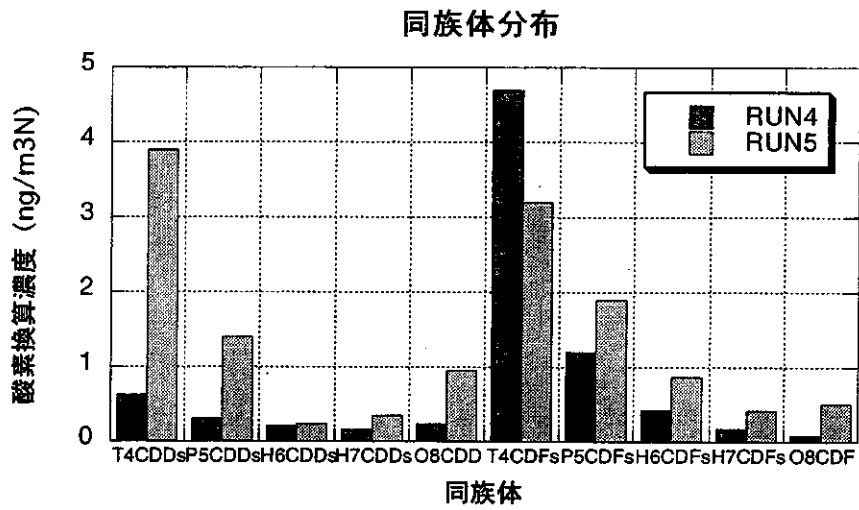


図5.2 棺および副葬品燃焼実験における同族体分布および異性体分布 (RUN4、RUN5)

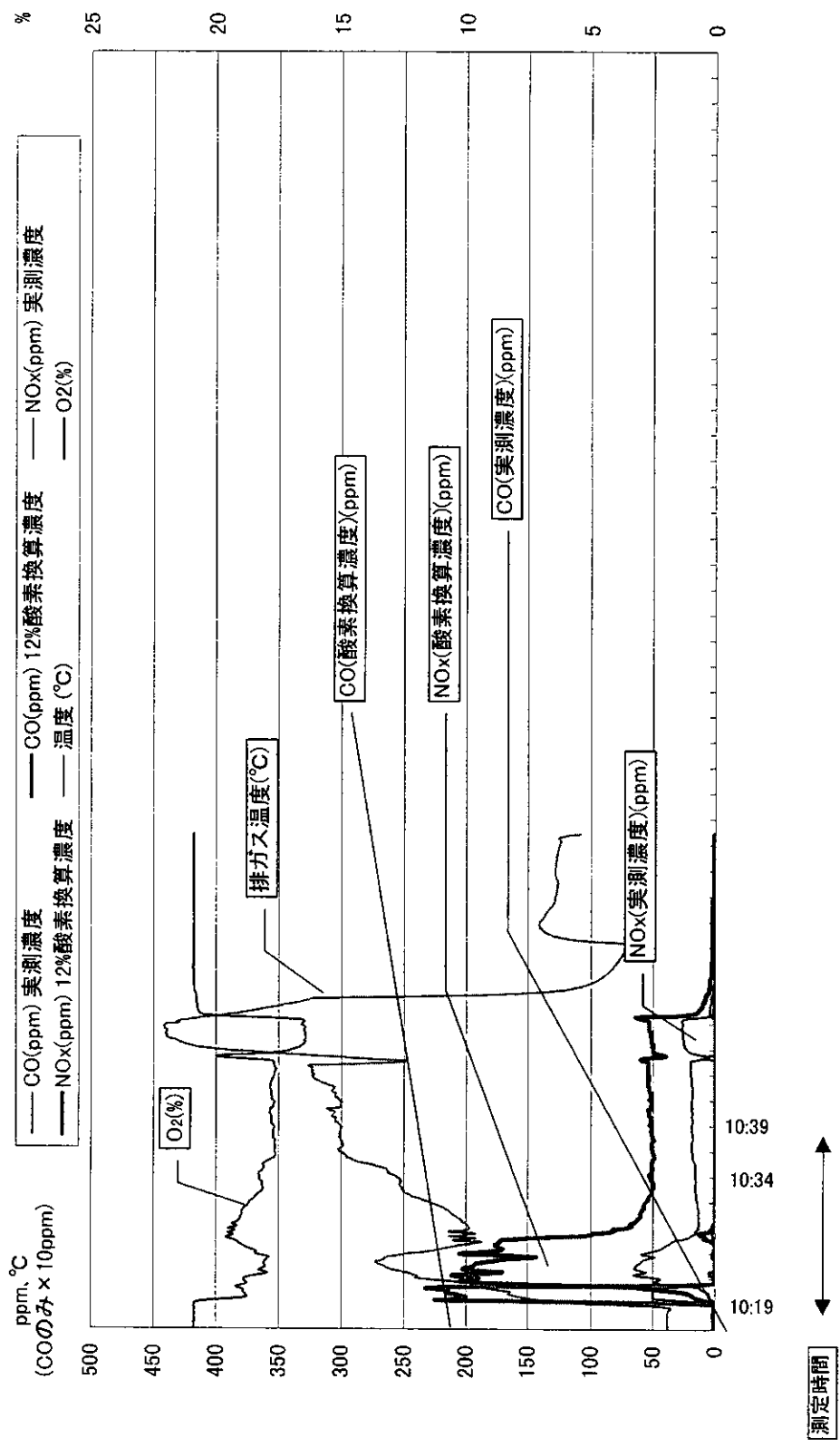


図5.3 棺の燃焼実験(RUN1:通常棺で内張、仏衣あり)

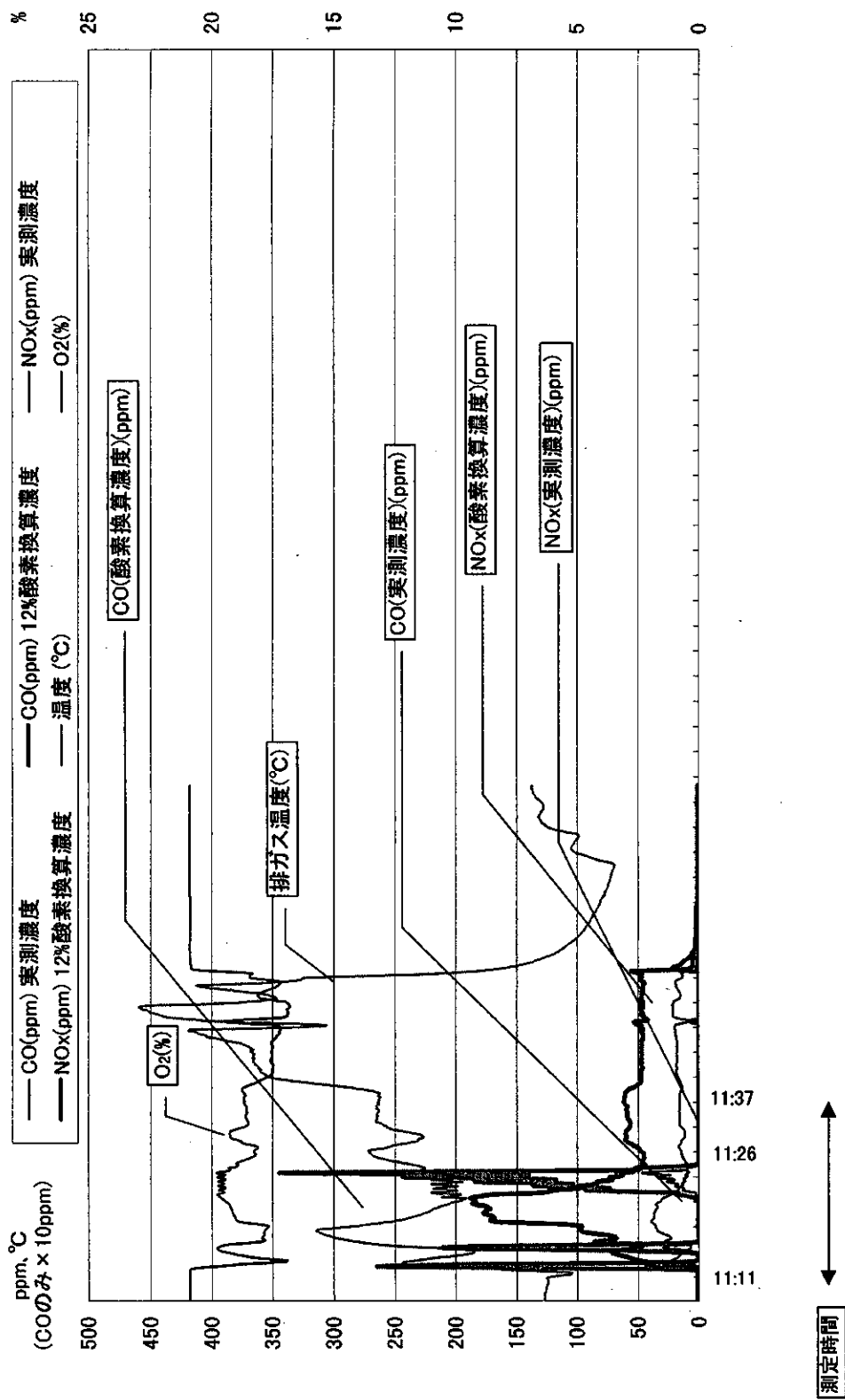


図5.4 棺の燃焼実験(RUN2:桐製白木棺で内張、仏衣あり)

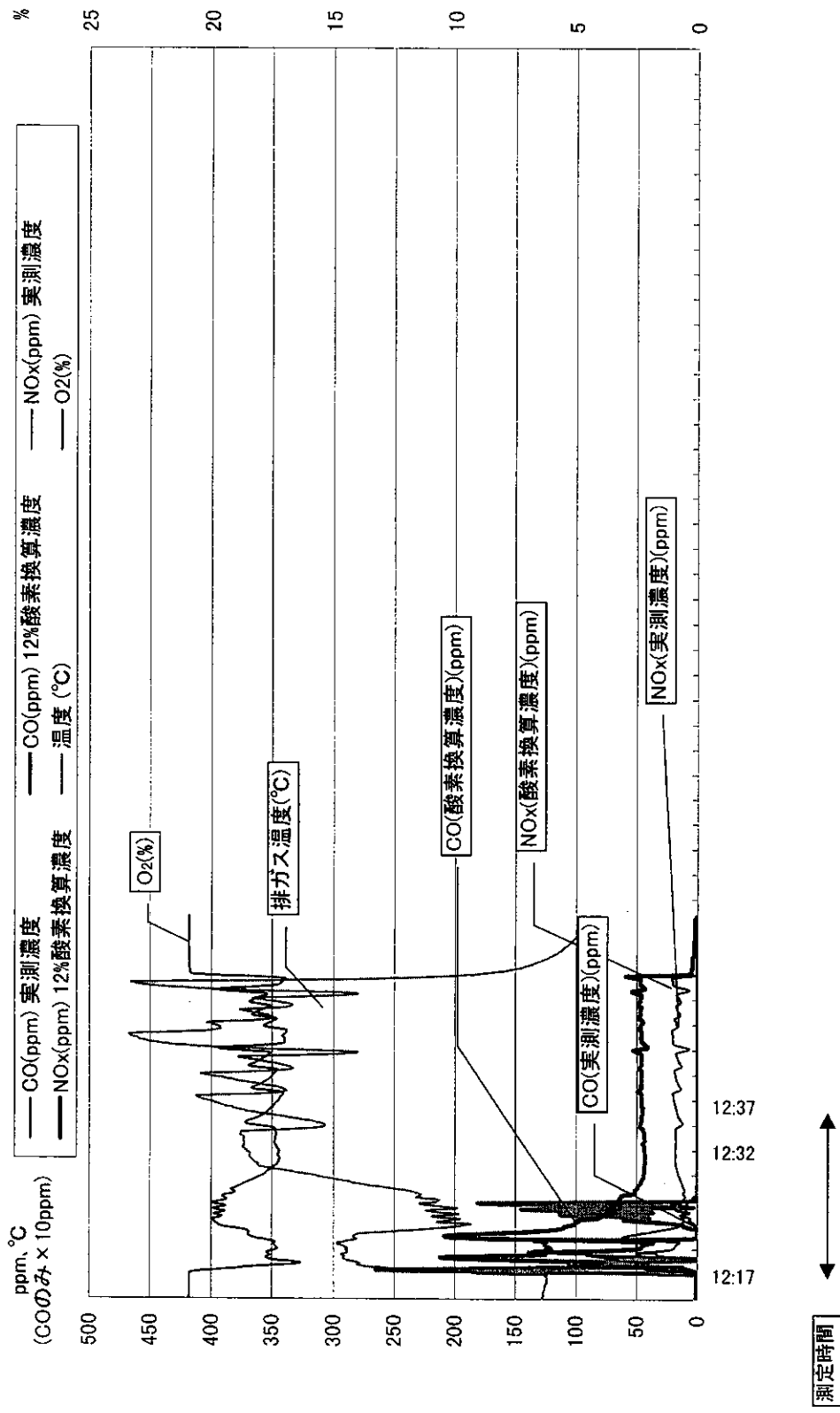


図5.5 棺の燃焼実験(RUN3:通常棺でレーヨン製内張、仏衣あり)

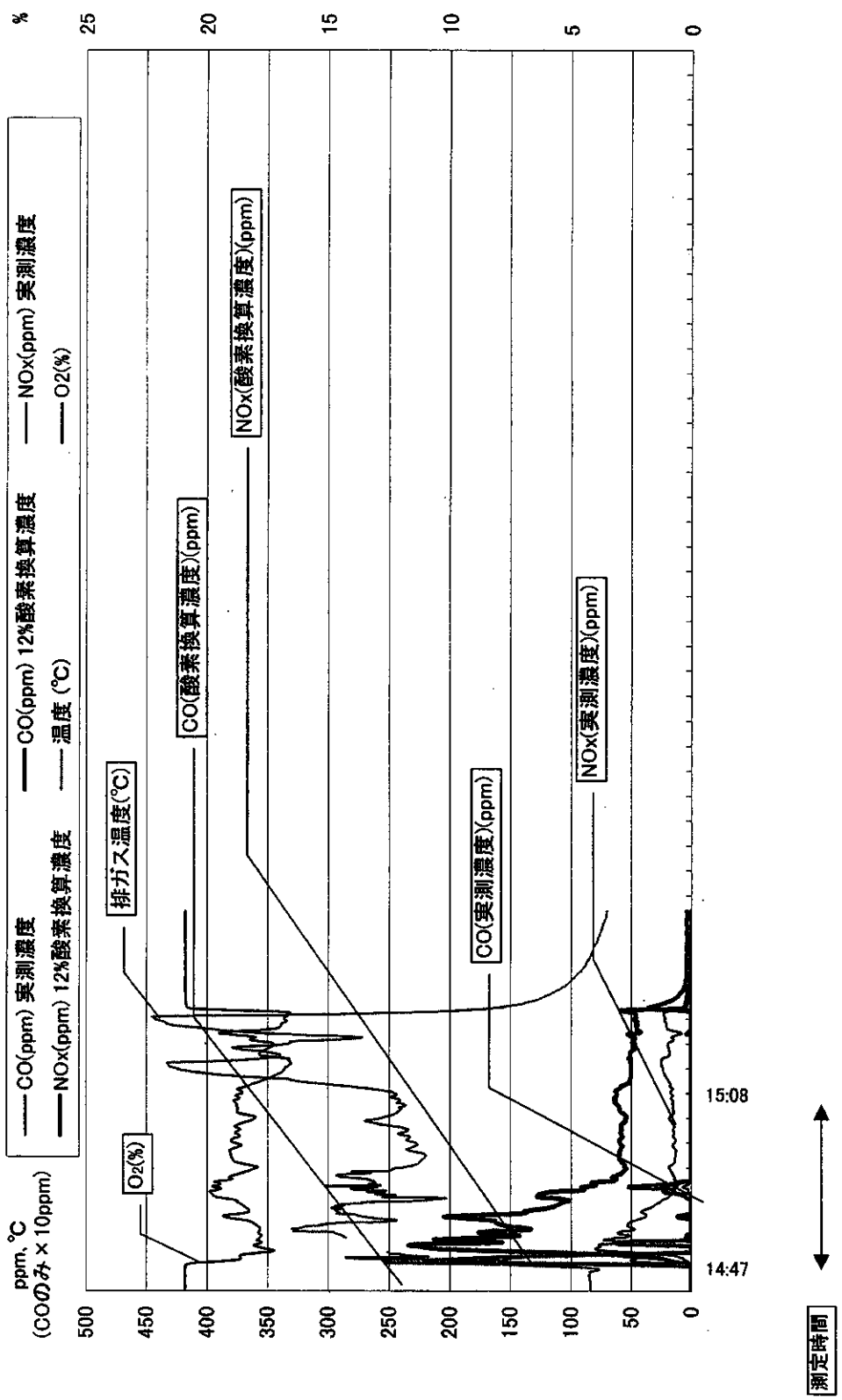


図5.6 棺の燃焼実験(RUN4:通常棺で内張りあり、副装品としてげた、位牌、3角布、背広)

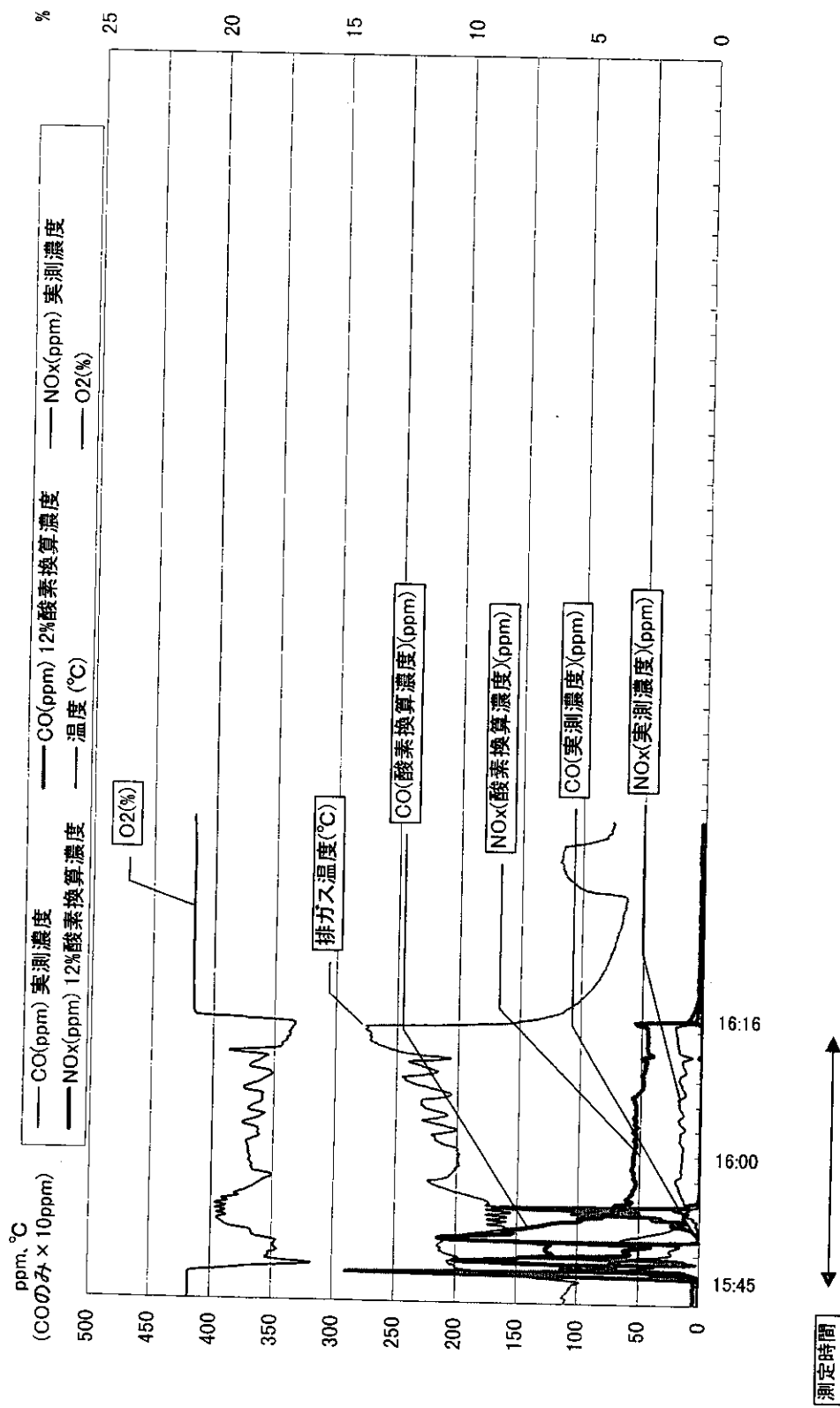


図5.7 棺の燃焼実験(通常棺で内張あり、副製品としてドライアイス、ぬいぐるみ、くだもの)

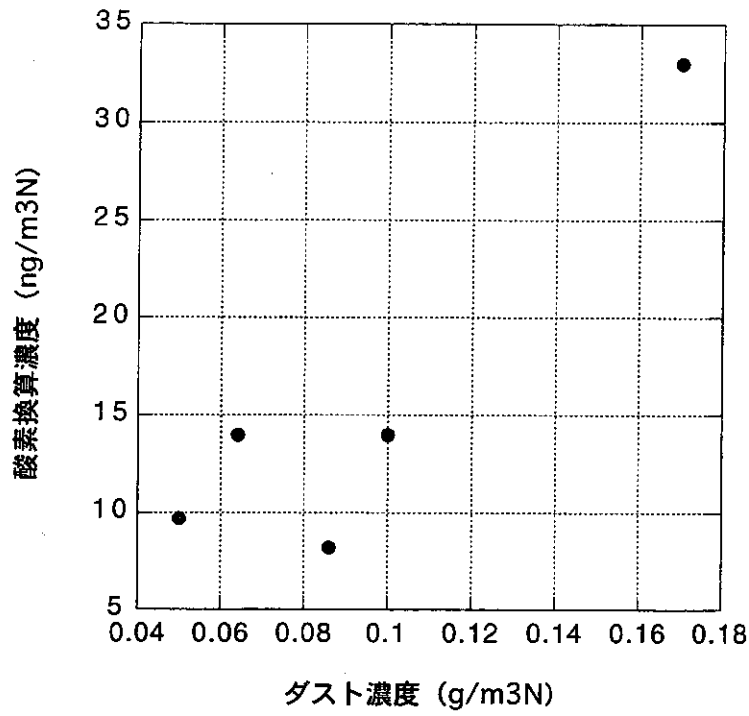


図5.8 棺および副葬品の燃焼実験におけるダスト濃度とダイオキシン類酸素換算濃度の関係

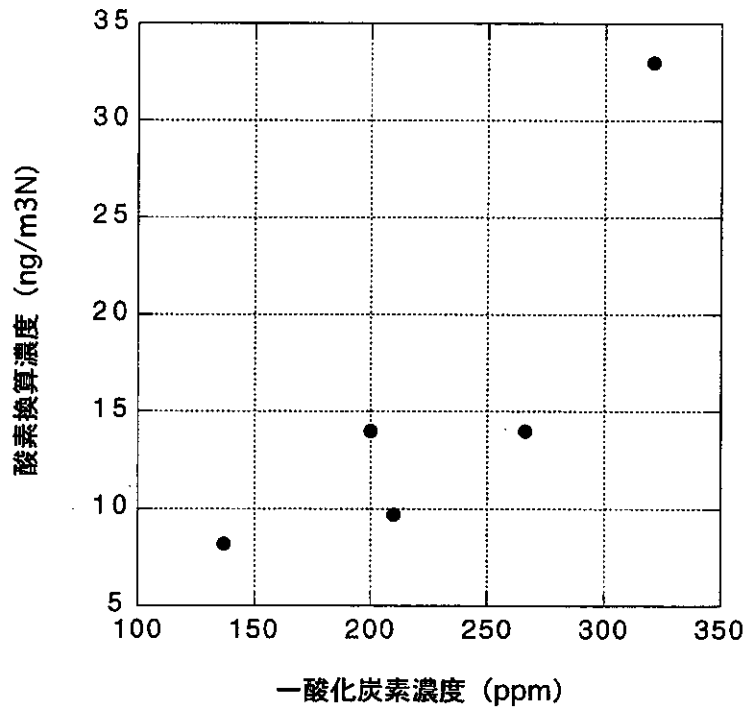


図5.9 棺および副葬品の燃焼実験における一酸化炭素濃度とダイオキシン類酸素換算濃度の関係

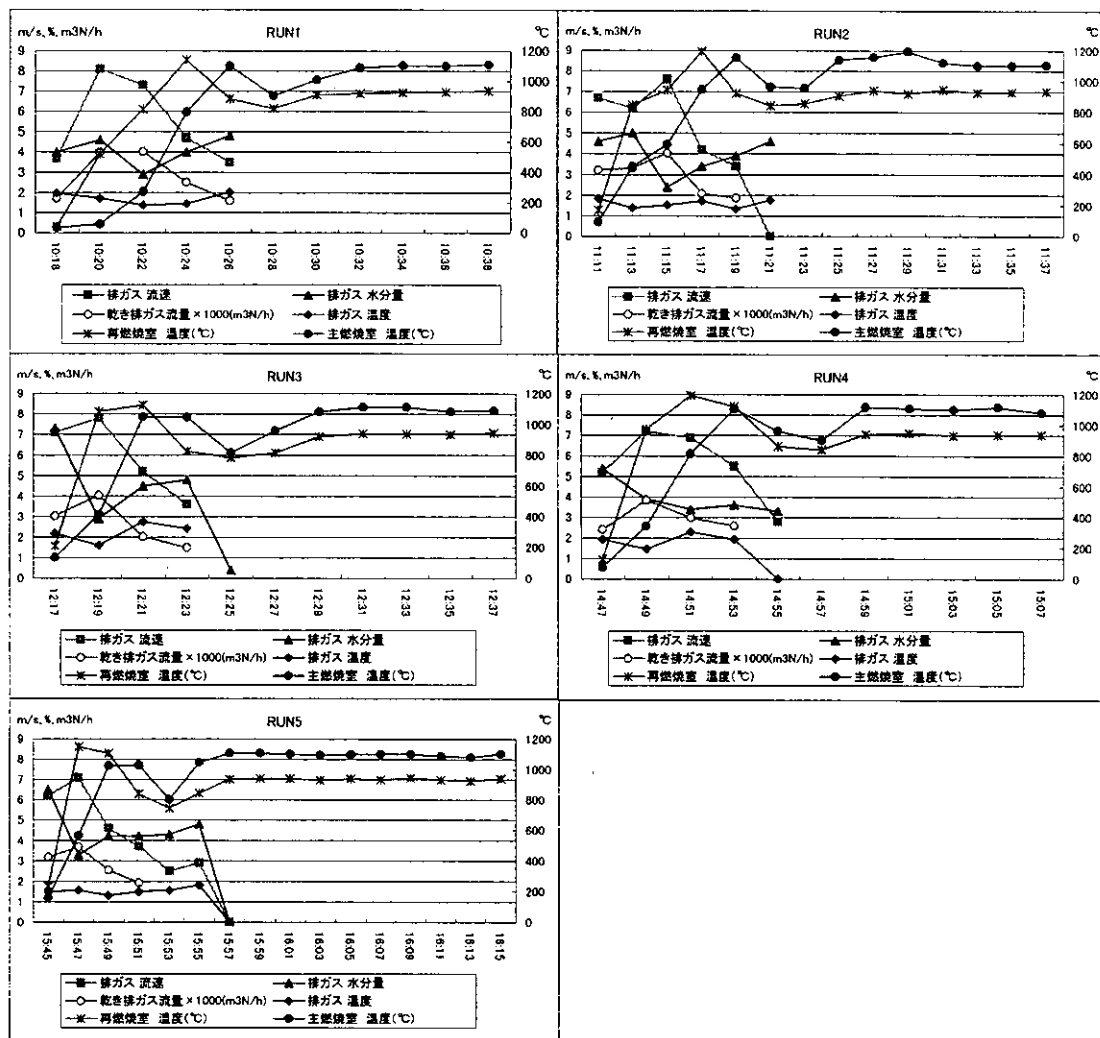


図 5.10 棺の各燃焼実験における流速、流量、水分、各部の温度の経時変化

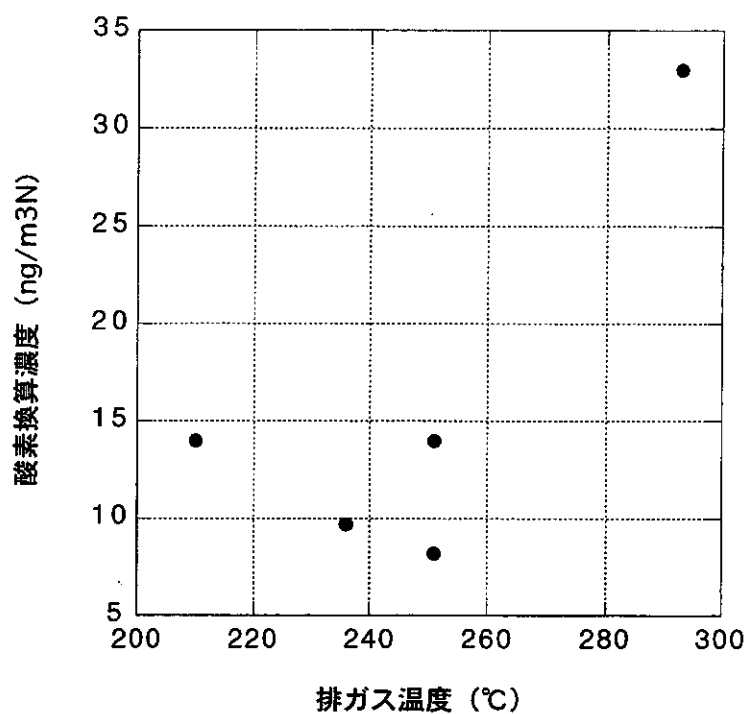


図5.11 棺および副葬品の燃焼実験における排ガス温度とダイオキシン類酸素換算濃度の関係

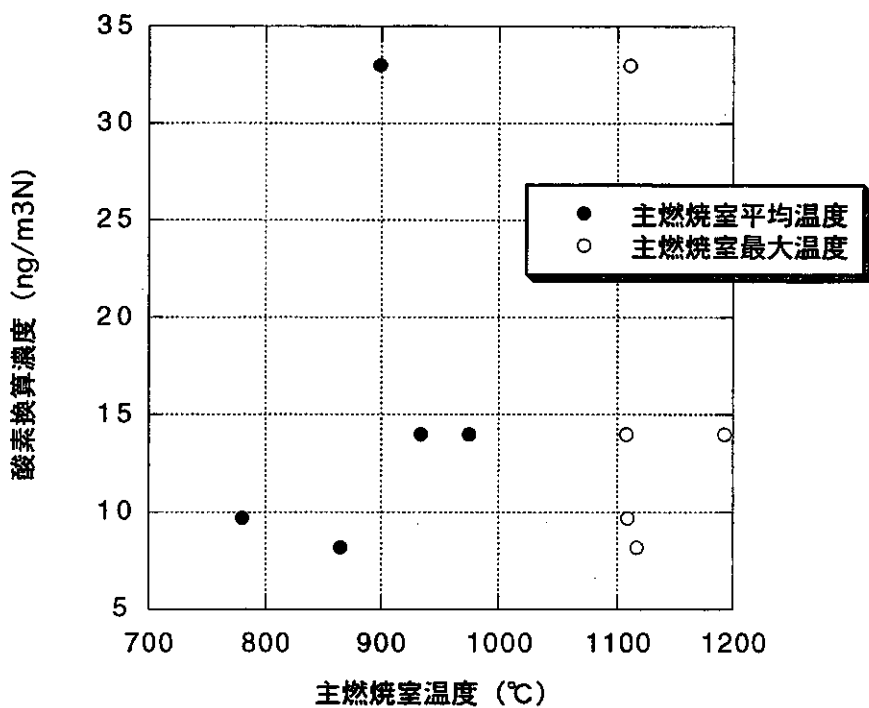


図5.12 棺および副葬品の燃焼実験における主燃焼室温度とダイオキシン類酸素換算濃度の関係

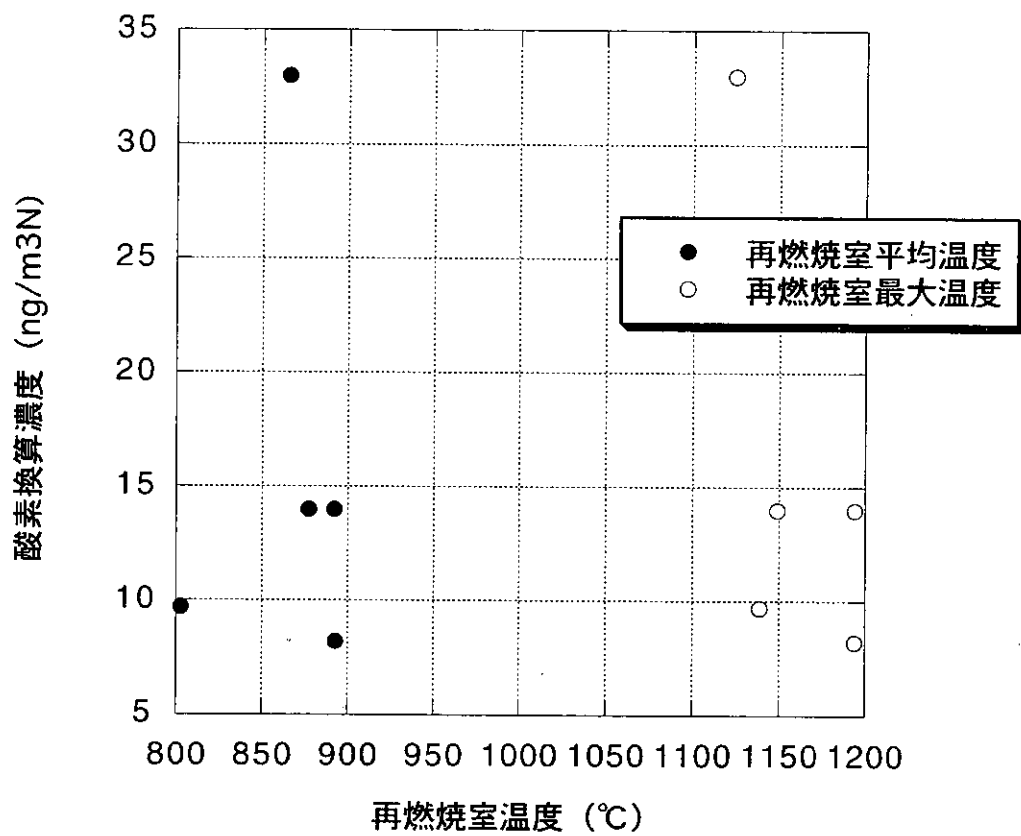


図5.13 棺および副葬品の燃焼実験における再燃焼室温度とダイオキシン類酸素換算濃度の関係

表5.1 棺および副葬品の燃焼実験

	棺	内張り	仏衣	副葬品	備考
RUN1	通常 (合板)	通常	レイヨン	無し	棺のみ実験
RUN2	白木 (桐)	豪華	不明	無し	
RUN3	通常 (合板)	別製	レイヨン	無し	
RUN4	通常 (合板)	通常	無し	げた 模擬位牌 3角布 背広 (毛70%、PE30% 裏地PE100%)	棺+副葬品の実験
RUN5	通常 (合板)	通常	無し	ドライアイス 1kg×8 ぬいぐるみ 2匹 バナナ 1房6本 グレープフルーツ 3個 リンゴ 6個	

表5.2 棺および副葬品の燃焼実験における排ガス中のダイオキシン類濃度

サンプル名 炭素濃度 サンプル量 単位	RUN1			RUN2			RUN3			RUN4			RUN5		
	炭素換算濃度 18.5% 0.415m ³ ng/m ³	毒性等量 18.5% 0.415m ³ ng-TEQ/m ³	毒性等量 18.8% 0.598m ³ ng-TEQ/m ³	炭素換算濃度 18.8% 0.598m ³ ng/m ³	毒性等量 18.8% 0.598m ³ ng-TEQ/m ³	毒性等量 18.3% 0.462m ³ ng-TEQ/m ³	炭素換算濃度 18.7% 0.519m ³ ng/m ³	毒性等量 18.7% 0.519m ³ ng-TEQ/m ³	炭素換算濃度 18.7% 0.519m ³ ng/m ³	毒性等量 18.7% 0.519m ³ ng-TEQ/m ³	炭素換算濃度 18.2% 0.71m ³ ng/m ³	毒性等量 18.2% 0.71m ³ ng-TEQ/m ³			
2378-T4CDD	0.017	0.017	0.011	0.011	0.011	0.04	0.025	0.019	0.025	0.019	0.019				
12378-P5CDD	0.024	0.012	0.023	0.023	0.0115	0.053	0.012	0.027	0.012	0.027	0.0135				
123478-H6CDD	0.026	0.0026	<0.005	<0.005	0	0.037	0	<0.005	0	<0.005	0				
123678-H6CDD	0.047	0.0047	0.031	0.031	0.0031	0.097	0	<0.005	0	<0.005	0				
123789-H6CDD	0.022	0.0022	<0.005	<0.005	0	0.063	0	<0.005	0	<0.005	0				
1234678-H7CDD	0.24	0.0024	0.18	0.18	0.0018	1.2	0.0086	0.21	0.0086	0.21	0.0021				
O8CDD	0.94	0.00094	0.74	0.74	0.00074	9.3	0.00024	0.96	0.00024	0.96	0.00096				
Total PCDD TEQ	-	0.04184	-	-	0.02814	-	0.0381	-	-	-	0.03556				
2378-T4CDF	0.058	0.0058	0.053	0.053	0.0053	0.21	0.013	0.11	0.013	0.11	0.011				
12378-P5CDF	0.061	0.00305	0.053	0.053	0.00265	0.2	0.0043	0.13	0.0043	0.13	0.0065				
23478-P5CDF	0.061	0.0305	0.057	0.057	0.0285	0.18	0.0255	0.11	0.0255	0.11	0.055				
123478-H6CDF	0.065	0.0065	0.057	0.057	0.0057	0.17	0.0047	0.1	0.0047	0.1	0.01				
123678-H6CDF	0.072	0.0072	0.065	0.065	0.0065	0.24	0.0051	0.093	0.0051	0.093	0.0093				
123789-H6CDF	<0.005	0	<0.005	<0.005	0	<0.005	0	0.048	0	0.048	0.0048				
234678-H6CDF	0.094	0.0094	0.078	0.078	0.0078	0.24	0.0051	0.074	0.0051	0.074	0.0074				
1234678-H7CDF	0.24	0.0024	0.19	0.19	0.0019	1.1	0.0094	0.19	0.0094	0.19	0.0019				
1234789-H7CDF	0.043	0.00043	0.028	0.028	0.00028	0.097	0	0.096	0	0.096	0.00096				
O8CDF	0.21	0.00021	0.1	0.1	0.0001	0.77	0.00082	0.51	0.00082	0.51	0.00051				
Total PCDF TEQ	-	0.06549	-	-	0.05873	-	0.058722	-	-	-	0.10737				
Total TEQ	-	0.11	-	-	0.087	-	0.097	-	-	-	0.14				
T4CDDs	3.3	-	7.4	-	-	6.3	-	3.9	-	3.9	-				
P5CDDs	0.72	-	2.1	-	-	1.3	-	1.4	-	1.4	-				
H6CDDs	0.54	-	0.45	-	-	0.97	-	0.24	-	0.24	-				
H7CDDs	0.47	-	0.33	-	-	2.4	-	0.35	-	0.35	-				
O8CDD	0.94	-	0.74	-	-	9.3	-	0.96	-	0.96	-				
Total PCDDs	6	-	11	-	-	20	-	6.9	-	6.9	-				
T4CDFs	1.4	-	1.4	-	-	5.7	-	3.2	-	3.2	-				
P5CDFs	0.97	-	0.9	-	-	3.1	-	1.9	-	1.9	-				
H6CDFs	0.68	-	0.57	-	-	2.1	-	0.87	-	0.87	-				
H7CDFs	0.47	-	0.34	-	-	1.8	-	0.42	-	0.42	-				
O8CDF	0.21	-	0.1	-	-	0.77	-	0.51	-	0.51	-				
Total PCDFs	3.7	-	3.3	-	-	13	-	6.9	-	6.9	-				
Total PCDD/DFs	9.7	-	14	-	-	33	-	14	-	14	-				

表5.3 RUN1~5における他のガス濃度および温度の測定結果

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	No.17-1	No.17-2
測定時間	20	26	20	21	31	77	61
ダスト濃度	0.05	0.1	0.17	0.086	0.064	0.13	0.12
HCl濃度	18	8.2	9.3	23	12	51	34
CO濃度	210	266	321	137	200	48	93
NOx濃度	2329	3446	2635	2524	2880	2528	4148
平均	89	74	67	91	66	143	153
最大値	212	188	212	234	215	295	339
O2濃度	18.5	18.8	18.3	18.7	18.2	18.5	17.5
排ガス温度	236	251	293	251	210	119	181
主燃焼室平均温度	780	934	899	865	975	1016	978
最大値	1109	1193	1111	1117	1108	1164	1173
再燃焼室平均温度	803	877	865	893	892	927	942
最大値	1139	1194	1124	1194	1149	1106	1160
乾きガス量	2762	2910	2648	2958	2840	2624	2467

表5.4 棺および副葬品の燃焼由来の各物質量が全火葬中の物質量に占める割合

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5
時間-1	26.0	33.8	26.0	27.3	40.3
酸素換算-1	%				
TEQ-1	11.0	19.2	38.9	9.7	28.5
ダスト-1	9.4	9.0	27.4	8.6	21.4
HCl-1	10.5	25.3	37.0	18.7	24.0
CO-1	9.6	5.3	5.2	12.8	11.5
NOx-1	119.6	182.6	189.3	80.7	203.3
	17.0	17.1	13.3	18.0	22.5
時間-2	32.8	42.6	32.8	34.4	50.8
酸素換算-2	%				
TEQ-2	25.4	44.2	89.6	22.2	65.5
ダスト-2	19.2	18.3	56.1	17.5	43.7
HCl-2	10.9	26.3	38.5	19.4	25.0
CO-2	13.9	7.6	7.4	18.3	16.5
NOx-2	59.2	90.4	93.7	40.0	100.7
	15.3	15.3	11.9	16.1	20.2

注) : -1は実態調査No.17-1を基準として算出。-2は実態調査No.17-2を基準として算出

例 : RUN1、No.17-1において、

ダイオキシン類酸素換算濃度は9.7、24ng/m³N

排ガス量は0.212%を考慮すると767、729m³/N/h

測定時間は20、77分間

$RUN1 = 9.7 \times 767 \times 20 \div 60 = 2480 \text{ng}$

$No.17-1 = 24 \times 729 \times 77 \div 60 = 22453 \text{ng}$

RUN1では、 $2480 \div 22453 \times 100 = 11.0\%$

したがって、棺および副葬品の燃焼由来のダイオキシン類は全火葬中の約11%を占めると計算される。

6. 結論

火葬炉から排出されるダイオキシン類の実態調査および棺・副葬品の燃焼実験より、以下の知見が得られた。

- 1) 吸引ガス量が少なく、比較的濃度の低い火葬炉排ガス中のダイオキシン類の測定方法については、前処理操作において最終検液への濃縮倍率を上げることによってガス濃度としての定量下限値を下げる事が可能であり、基本的には厚生省マニュアルに準拠した方法で行えばよいことがわかった。
- 2) 火葬炉排ガス中のダイオキシン類濃度は、酸素 12% 換算濃度で 4.9~1200ng/m³N、毒性等量で 0.064~24ng-TEQ/m³N の範囲であった。毒性等量の算術平均値は 2.4ng-TEQ/m³N、幾何平均値は、1.0ng-TEQ/m³N であった。1 施設における 2 回のサンプリングで両方とも 1.0ng-TEQ/m³N を下回っていたのは 17 施設中 6 施設であった。集じん灰中のダイオキシン類毒性等量は、0.0046~62ng-TEQ/g、残骨灰中の毒性等量は 0.00017~0.0021ng-TEQ/g であった。残骨灰の濃度は低いので問題は生じないが、集じん灰についてはごみ焼却飛灰中の濃度と比べても高いものがあり、今後は別途処理が必要であると考えられた。コプラナー PCBs の毒性等量は、排ガス中において 0.000034~1.2ng-TEQ/m³N の範囲であった。ダイオキシン類毒性等量と非常に高い相関があり、ダイオキシン類に対して約 4.4% の毒性等量に値した。
- 3) 火葬炉排ガス中に共存する他のガス成分および燃焼温度などの運転条件とダイオキシン類の関係を整理すると、御遺体の性別、年齢などの個体差よりも集じん装置の設置の有無や主燃焼室および再燃焼室の温度による影響が大きい傾向があった。主燃焼室、再燃焼室ともに温度が高くなるほどダイオキシン類濃度が低くなる傾向があった。火葬中の主燃焼室平均温度、再燃焼室平均温度を常時 800℃ 以上に保つことによって、ダイオキシン類濃度は酸素換算濃度で 50ng/m³N (毒性等量で 1ng-TEQ/m³N) 以下にすることが可能であると示唆された。飛灰中のダイオキシン類濃度が高いことから、排ガス中のダイオキシン類はダストに付着している方が多いと考えられ、簡易的な集じん装置ではダスト濃度の低減効果が小さく、高度な集じん装置を設置する必要があると考えられた。また、排ガス温度とダイオキシン類濃度の関係から、集じん装置部分でのダイオキシン類の再合成を

防ぐために、低温化が必要であることが示唆された。

- 4) 測定データから現時点での年間排出量を推定すると、1.8～3.8g-TEQ/年となった。
将来的には死亡者数の増加により本研究で得られた原単位を用いると、平成 48 年には 3.2～6.9g-TEQ/年となり、他の排出源と比べると将来的には相対的に大きな寄与を占めることが予想され、早急な排出抑制対策が必要であると考えられた。
- 5) 棺および副葬品の燃焼実験では、0.087～0.31ng-TEQ/m³N 程度のダイオキシン類濃度が排出された。今回の調査からは棺、副葬品の材質による違いについては言及できなかった。棺および副葬品の燃焼が 1 火葬当たりのダイオキシン類排出量のうち 10～90%を占めることがわかった。これは人体の燃焼由来のダイオキシン類も発生していることを意味し、火葬前半だけでなく、すべての時間にわたって燃焼状態の管理が必要であることが示唆された。

これらの知見から、既設火葬炉においては、

- ・ 再燃焼温度、主燃焼温度を常時 800℃以上に維持すること
- ・ 集じん装置がある場合は集じん装置部分での再合成を抑制するために低温化してから集じんすること

以上が、排出抑制対策として有効であると考えられた。新設火葬炉については、既設炉の対策に加えて次の対策をとることが望ましいと考えられた。

- ・ 1つの主燃焼炉に対して1つの再燃焼炉を備えること
- ・ 高度な集じん装置を備え、ダスト濃度を 0.01g/m³N 以下に抑えること
- ・ ダイオキシン類等のモニタリングできる測定孔を設けること

参考文献

- 1) 島崎昭: 火葬概論、(社) 日本環境斎苑協会、1997
- 2) The Working Group of Subcommittee Air/Technology of the Federal Government Federal States Pollution Control Committee, Germany: Determination of Requirements to Limit Emissions of Dioxins and Furans, pp.127-132, 1994
- 3) O. Hutzinger, H. Fiedler: From Source to Exposure: Some Open Questions, *Chemosphere*, Vol. 27, Nos.1-3, pp.121-129, 1993
- 4) S. Eguchi, N. Takeda, S. Sakai: PCDDs/PCDFs Emissions from a Crematory, *Organohalogen Compounds*, Vol.27, pp.127-132, 1996
- 5) N. Takeda, M. Takaoka, T. Fujiwara, H. Takeyama, S. Eguchi: Research on PCDDs/DFs Emissions from Crematories in Japan, *Organohalogen Compounds*, Vol.36, pp.167-170, 1998
- 6) 厚生省生活衛生局水道環境部環境整備課: 廃棄物処理におけるダイオキシン類標準測定分析マニュアル、1997.2
- 7) J. Boers, E. de Leer, L. Gramberg, J. de Koning: Level of Coplanar PCBs in Flue Gases of High Temperature Processes and Their Occurrence in Environmental Samples, *Organohalogen Compounds*, Vol.11, pp.233-236, 1993
- 8) S. Sakai, M. Hiraoka, N. Takeda, K. Shiozaki: Coplanar PCBs and PCDDs/PCDFs in Municipal Waste Incineration, *Chemosphere*, Vol.27, Nos.1-3, pp.233-240, 1993
- 9) S. Sakai, M. Hiraoka, N. Takeda, K. Shiozaki: Formation and Emission of Non-ortho CBs and Mono-ortho CBs in Municipal Waste Incineration, *Chemosphere*, Vol.29, Nos.9-11, pp.1979-1986, 1994
- 10) S. Sakai, M. Hiraoka, N. Takeda, K. Shiozaki: Behavior of Coplanar PCBs and PCNs in Oxidative Conditions of Municipal Waste Incineration, *Chemosphere*, Vol.32, No.1, pp.79-88, 1996
- 11) 国立社会保障・人口問題研究所: 日本の将来推計人口(平成9年1月推計)、(財) 厚生統計協会、1997.4