

厚生労働科学研究費補助金

厚生労働科学特別研究事業

火葬炉から排出される  
有害物質の実態調査とその抑制対策

平成19年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 武田 信生 (立命館大学)

平成20 (2008) 年 3月

## 目 次

I . 総括研究報告	1
火葬炉から排出される有害物質の実態調査とその抑制対策 武田信生	
II . 分担研究報告	19
1. 火葬場からのダイオキシン類排出実態調査 大下和徹	21
2. 火葬場からの水銀排出実態調査 高岡昌輝	51
3. 火葬場からの六価クロム、フッ素、ホウ素排出実態調査 武田信生	65
III . 研究成果の刊行に関する一覧表	73
IV . 研究成果の刊行物・別刷	73
謝辞	74

厚生労働科学研究費補助金

厚生労働科学特別研究事業

火葬炉から排出される  
有害物質の実態調査とその抑制対策

平成19年度 総括研究報告書

主任研究者 武田 信生 (立命館大学)

平成20 (2008) 年 3月

厚生労働科学研究費補助金（厚生労働科学特別研究事業）

総括研究報告書

火葬炉から排出される有害物質の実態調査とその抑制対策

主任研究者 武田信生 立命館大学エコテクノロジー研究センター センター長

研究要旨

本研究の目的は、火葬場から排出される有害物質の濃度、総量、排出形態について、その実態を明らかにし、排出抑制策を検討することにある。平成19年度は、対象施設として代表的な4箇所の火葬炉を選定し、排ガス中のダイオキシン類や水銀などについて測定を行い、火葬場のデータを収集した。また、残骨灰および集じん灰中についてもダイオキシン類の濃度や、水銀を含む重金属などの溶出量、含有量に関する調査を行った。

本研究の結果、排ガス中のダイオキシン類に関しては、酸素12%換算濃度の算術平均で、 $0.42\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であり、この結果から、火葬炉における排出原単位は、算術平均で $1,000\text{ng-TEQ}/\text{人}$ と見積もられた。さらに、平成17年度の火葬炉の排出インベントリーは $1.1\text{g-TEQ}/\text{年}$ と試算され、10年前の調査の結果、現在試算されている排出インベントリーの1/5程度まで削減され、排出抑制ガイドラインの効果がうかがえた。また臭素化ダイオキシン類に関しては、排ガス、灰ともに塩素化ダイオキシン類に比較して濃度が低く、多くのサンプルで検出下限値以下となったことから、環境に与える影響は小さいと考えられた。

排ガス中の水銀に関しては、一サンプルのみ $0.008\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ を示し、他の多くは定量下限値（ $<0.006\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ）となった。水銀挙動の調査では過去の調査事例と同様の傾向である歯科アマルガム由来による発生が大きな寄与を占めることが確認された。

残骨灰および集じん灰の重金属などの溶出量、含有量に関しては、全てのサンプルで六価クロムの溶出量が、基準の180～1200倍であり、含有量に関しても基準超過するケースが見られたことから、残骨灰、集じん灰に関しては、まず六価クロムに対する対策が必要であると考えられた。さらに、フッ素、ホウ素、水銀に関しては集じん灰について全て溶出量が基準値以上となっていたため、集じん灰に関しては六価クロムに加えて、これらの元素に対する対策の必要性が示唆された。

分担研究者 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 准教授 高岡昌輝  
京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 助教 大下和徹

## A. 研究目的

わが国の火葬率は、平成18年度で約99.7%であり<sup>1)</sup>、かつ死亡人口が年々増加していることから<sup>2)</sup>、火葬数は増大傾向にある。火葬場から排出される排ガスや集じん灰、残骨灰等は、宗教上の観点から大気汚染防止法や廃棄物処理法などの対象外であるが、安全・安心な火葬を続けていくためには、火葬炉から排出される有害物質に関する実態調査およびその排出抑制対策が必要となる。

従来、国内外を問わず、火葬場から排出される排ガス、集じん灰や残骨灰等の実態についてはほとんど調査されてこなかったが、平成9・10年度厚生科学研究事業において、主任研究者らは、火葬場から排出されるダイオキシン類の実態調査を行った<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>。これらの調査では、全国の火葬場から27施設を選定し、ダイオキシン類の排出濃度を測定し実態を明らかにした。その結果、火葬炉排ガス中ダイオキシン類の毒性等量の算術平均値は $2.9\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であることを示し、また、排出原単位として、1回の火葬において排出されるダイオキシン類の量（算術平均値 $4,800\text{ng-TEQ}/\text{人}$ ）を明らかにし、これら調査結果および統計値から火葬炉からのダイオキシン類排出量を算定した<sup>4)</sup>。これらにより、平成12年には火葬炉からの「ダイオキシン類排出抑制ガイドライン」<sup>5)</sup>が定められたうえ、排出原単位は、日本におけるダイオキシン類の排出インベントリーの算出に用いられている<sup>6)</sup>。

「ダイオキシン類対策特別措置法」の効果によってわが国全体のダイオキシン類排出量は急減したが、10年前に求めた排出原単位を用いている火葬炉からの排出量だけはむしろ増加傾向を示している<sup>6)</sup>。「ダイオキシン類排出抑制ガイドライン」の効果を検証し、最新の排出量を見積るためには、再度実態調査を実施し排出原単位の見直しが必要である。また、現在では燃焼過程から排出される臭素化ダイオキシン類が新たな問題とされており、副葬品や棺などが同時に燃焼される火葬炉において、臭素化物の寄与についても調査しておく必要がある。

また、水銀についてはUNEPの世界水銀アセスメントが公表されており、人の健康と環境に害を及ぼす水銀によるリスク軽減の取り組みが提言されてきている。水銀は、様々な発生源から排出されていることが知られているが、火葬炉からの水銀排出実態に関するデータは極めて少ない。世界的にはイギリスにおいて研究が進んでおり、イギリスの火葬場では2020年までに1995年の水銀排出量の1.67倍になり、2035年にピークを迎えると見積もられ、2020年にはイギリス全体の大気への水銀排出量の11-35%の寄与をもつとして規制的な対策を打ち出している<sup>7)</sup>。また、スウェーデンにおいても人為的発生源のうち1995年時点で火葬炉からの排出が最も寄与が高いと見積もられ<sup>8)</sup>、世界的には重要な水銀の人為排出源として認知されており、日本における火葬炉からの水銀排出

量を測定し、将来動向を推定することは極めて重要なことといえる。

さらに、火葬炉から排出される残骨灰中に六価クロムが多量に含まれるとの新聞報道があったこと<sup>9)</sup>、や一部の調査では灰中の六価クロムの原因として火葬炉内で棺を載せるステンレス製架台が考えられるとの報告がある<sup>10)</sup>、また、六価クロムだけでなく、棺、副葬品によってはフッ素、ホウ素などの物質も基準を超過する可能性がある。しかし、これらに関しては、現在のところ知見が乏しく、実態はほぼ把握されていない。したがって、早急な実測データの収集による実態解明と、その対策の検討が求められている。

以上のような背景の下で、本研究では、対象施設として代表的な4箇所の火葬炉を選定し、以下の3つの実態調査を行って火葬場から排出される有害物質の濃度、総量、排出形態について、その実態を明らかにし、排出抑制策を検討することを目的とした。

### 1. 火葬場からのダイオキシン類排出実態調査

塩素化ダイオキシン類および臭素化ダイオキシン類について測定を行い、火葬場のデータを集めることによって、現状のわが国の火葬場からのダイオキシン類排出量を見直すとともに、臭素化ダイオキシン類の寄与を明らかにした。

具体的には、排ガスについては排ガスサンプリングを行い、そのダイオキシン類、および臭素化ダイオキシン類濃度を調べ、得られた統計値を用いて、排出量、排出原単位を明らかにした。また同時にガスサンプル以外の残骨灰および集じん灰についても実態調査を行った。

### 2. 火葬場からの水銀排出実態調査

まず第一に4施設を対象に水銀の排出濃度をJIS法により測定し、各施設における水銀排出実態を明らかにした。次に、水銀排出挙動についてもこれまでの別の研究結果と比較し、新たな傾向があるかどうかを確認するため、1施設において連続分析計を用いて火葬中の水銀の挙動を調査した。

### 3. 火葬場からの六価クロム、フッ素、ホウ素排出実態調査

施設から得られた残骨灰、集じん灰について、六価クロム、フッ素、ホウ素について、データの集積により実態を把握し、削減対策の検討を行う。

具体的には、残骨灰・集じん灰について含有量および溶出量を調べ、基準値との比較を行った。残骨灰・集じん灰については廃棄物ではなく、必ずしも最終保管場所が周辺環境への影響を考慮されているかどうかはわからないため、土壤環境基準に基づいた溶出試験、含有量試験で評価した。

## B. 研究方法

### 1. 対象施設

本年度の調査対象とした火葬場は4施設であり、その火葬場の一覧を表B.1に示した。以下施設名については、施設A、施設B、施設C、および施設Dで記述する。4施設の全てが、主燃焼室1室に対し、再燃焼室1室を有しており、排気方式も排風機による強制排気方式であるが、施設D以外は、排気系列が2炉1系列となっている。集じん機は、施設A、および施設Bがバグフィルターであり、それぞれの後段に触媒装置、活性炭吸着設備を有している。施設C、施設Dではともに集じん機を有しない。

表B.1 対象とした火葬炉と測定対象

火葬炉	施設A		施設B		施設C		施設D	
	再燃焼炉	有		有		有		有
主燃焼室：再燃焼室	1:1		1:1		1:1		1:1	
集じん機	バグフィルター		バグフィルター		なし		なし	
集じん機後段の排ガス処理	触媒装置		活性炭吸着設備		なし		なし	
排気方式（炉：系列）	強制（2:1）		強制（2:1）		強制（2:1）		強制（1:1）	
燃料	都市ガス 13A		都市ガス 13A		灯油		灯油	
実験番号	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2
火葬日	2008/2/27	2008/2/27	2008/2/28	2008/2/28	2008/3/11	2008/3/12	2008/3/13	2008/3/17
火葬開始時間	11:17	13:30	11:02	13:11	12:57	13:20	12:35	13:37
火葬終了時間	11:59	14:16	12:10	14:12	14:08	14:26	14:05	14:48
火葬時間	0:42	0:46	1:08	1:01	1:11	1:06	1:30	1:11
火葬遺体数	1	1	1	1	1	1	1	1
年齢	81歳	83歳	69歳	87歳	84歳	65歳	74歳	90歳
性別	女性	男性	男性	男性	女性	男性	女性	女性

### 2. 測定項目および測定方法

4箇所の火葬場を対象に、1箇所の火葬場で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、火葬場の火葬スケジュールや天候により、施設C、施設D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)。排ガスサンプリングは、全ての火葬場で排風機の後段、排気塔の前段にある測定孔にて行った。

排ガスのサンプリング時間は一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Dを除く全ての火葬場では、排気系列が2炉1系列となっているが、2炉同時に稼働させず、どちらか一方の炉のみの稼働とした。

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、施設Bでは集じん灰（集じん機で捕集された灰）を採取した。

測定項目、および測定方法の一覧を表 B.2 に示した。

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」に準拠し行い、臭素化ダイオキシン類の測定は、環境省の暫定調査方法に準拠して行った<sup>1)</sup>。また、上記以外に、ばいじん、一酸化炭素、酸素、窒素酸化物の濃度を測定した。一酸化炭素、酸素、窒素酸化物は連続分析計により測定した。さらに、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。

排ガス中の水銀は JIS K0222 に基づいて測定した。また、詳細な水銀排出挙動調査は施設 D で行った。水銀連続分析計（湿式の形態別水銀連続測定装置：日本インスツルメンツ社製 MS-1A +DM-6B）を用いて排気塔出口前において Hg<sup>0</sup>濃度および Hg<sup>2+</sup>濃度を 2008 年 1 月 31 日から 2 月 22 日までの 8 件の火葬について測定した。排気塔出口前から水銀連続分析計までのサンプリングラインはおおよそ 20m 程度あったが、後半部分の 10m については加熱導管を用いて 180°C に加熱した。

また、残骨灰と集じん灰の固体サンプルに対しては、ダイオキシン類については、環境省告示 80 号に基づく方法で、臭素化ダイオキシン類の測定は、環境省の暫定調査方法に準拠して行った<sup>1)</sup>。また、水銀、六価クロム、フッ素、ホウ素について、環境省告示 18 号に基づく溶出量試験と環境省告示 19 号に基づく含有量試験を行い、溶出量および含有量を評価した。

（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。

表 B. 2 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）
	O <sub>2</sub>	JIS K 0301 ジルコニア方式（連続分析）
	NO <sub>x</sub>	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
	臭素化ダイオキシン類	環境省暫定調査方法 ガスクロマトグラフ-質量分析法
	水銀	JIS K 0222 過マンガン酸カリウムによる測定
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
	臭素化ダイオキシン類	環境省暫定調査方法 ガスクロマトグラフ-質量分析法
	水銀	環境省告示 18、19 号に規定される溶出量試験、含有量試験
	六価クロム	
	フッ素	
ホウ素		



## C. 研究結果、および考察

### 1. ダイオキシン類、および臭素化ダイオキシン類

ダイオキシン類、臭素化ダイオキシン類と関連項目の調査結果一覧を表C.1に示した。

#### 1.1 排ガス中のダイオキシン類濃度

表C.1より各施設における、排ガス中のダイオキシン類濃度は、酸素12%換算濃度で4.7～75ng/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、毒性等量で0.00012～1.2ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>の範囲であった。

それぞれ算術平均では28ng/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、0.42ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、中央値で17ng/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、0.10ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、幾何平均で18ng/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、0.056ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>となった。最も高かったのは、施設Cの1回目で75ng/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、1.2ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、最も低かったのは施設Aの2回目で4.7ng/m<sup>3</sup><sub>N</sub>、0.00012ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>であった。

2回の測定で、ともに約0.1ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>以下で、低い値を示していたのは、施設Aと施設Bであった。これらの施設は平成14年以降に運用開始され、比較的新しく、集じん機としてバグフィルターが設置された上に、施設Aでは触媒装置、施設B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。平成12年に提示された排出抑制ガイドラインにおける新設炉における指針値は1.0ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>であり<sup>9)</sup>、その値を大幅に下回る結果となった。一方、1.0ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>以上の比較的高い値が現れたのは、施設Cと施設Dであり、これらの施設は比較的早く、昭和50年代に運用開始され、集じん機が設置されていなかった。ただし、排出抑制ガイドラインにおける既設炉における指針値は5.0ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>であり<sup>9)</sup>、その値は大幅に下回っていた。

しかし、施設Dの2回目では、0.096ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>程度に抑えられ、1回目と大きく濃度が異なる結果となっており、同じ炉構造であっても御遺体や副葬品により燃焼条件がかなり異なってくることが示唆された。

#### 1.2 排ガス中の臭素化ダイオキシン類濃度

臭素化ダイオキシン類は、表C.1より、施設Dで0.031～0.045ng/m<sup>3</sup><sub>N</sub>で、同施設の塩素化ダイオキシン類に比較して1/1000～1/200程度の値であり、これらは、4臭素化物であるTeBDFs由来であった。また、他施設では全て検出下限値以下(N.D.)であった。

したがって、塩素化ダイオキシン類に比較し、臭素化ダイオキシン類の寄与は十分に低いものと考えられた。

#### 1.3 残骨灰、集じん灰中のダイオキシン類濃度

表C.1より、残骨灰中のダイオキシン類の濃度範囲は、実測濃度で0.012～0.184ng/g、

表 C.1 測定結果一覧

項目	測定時間	ダイオキシン類										臭素化ダイオキシン類										ばいじん	CO	NOx	O <sub>2</sub>				
		ダイオキシン類					臭素化ダイオキシン類					ダイオキシン類					臭素化ダイオキシン類												
		排ガス		残骨灰			排ガス		残骨灰			排ガス		残骨灰			排ガス		残骨灰										
実測濃度	O <sub>2</sub> 12%換算濃度	毒性等量	実測濃度	毒性等量	実測濃度	毒性等量	実測濃度	毒性等量	実測濃度	毒性等量	実測濃度	O <sub>2</sub> 12%換算濃度	毒性等量	実測濃度	毒性等量	実測濃度	O <sub>2</sub> 12%換算濃度	毒性等量	実測濃度	毒性等量									
ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	ng/g	ng-TEQ/g	ng/g	ng-TEQ/g	ng/g	ng-TEQ/g	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	ng/g	ng-TEQ/g	ng/g	ng-TEQ/g	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng-TEQ/m <sup>3</sup>	ng/g	ng-TEQ/g	ng/g	ppm	ppm	%	
A	A-1	42	5.76	16.47	0.11	0.020	0.0000011	523	15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.07	<0.003	<20	100	17.9											
	A-2	46	0.52	4.70	0.00012																								
B	B-1	68	1.32	9.00	0.0059	0.012	0.0000061	71	1.6	N.D.	N.D.	N.D.	0.068	<0.009	<30	50	20.0												
	B-2	61	3.60	18.20	0.014																								
C	C-1	71	21.40	74.80	1.2	0.18	0.0038																						
	C-2	66	10.77	40.90	0.72																								
D	D-1	90	35.70	53.60	1.2	0.44	0.0000021																						
	D-2	71	3.68	5.60	0.096																								
	最大値		35.70	74.80	1.2	0.18	0.0038	523	15	0.03	0.045	0.038	0.07	0.064	360	130	20.0												
	最小値		0.52	4.70	0.00012	0.012	0.0000061	71	1.6	N.D.	N.D.	N.D.	0.07	<0.003	<20	50	15.0												
	中央値		4.72	17.34	0.10	0.032	0.0000016	297	8.3	0.025	0.038		0.07	0.064	185	95	18.5												
	算術平均値		10.34	27.91	0.42	0.064	0.00095	297	8.3	0.025	0.038		0.07	0.089	182	95	18.0												
	幾何平均値		5.06	18.12	0.057	0.038	0.0000086	193	4.9	0.024	0.037		0.07	0.071	136	92	17.9												

毒性等量で0.00000061～0.0038ng-TEQ/gであった。この値は非常に低いといえる。

次に、集じん灰は施設Aにおいて、実測濃度で530ng/g、毒性等量で15ng-TEQ/gであり、施設Bにおいて実測濃度で71ng/g、毒性等量で1.6ng-TEQ/gであり、都市ごみ焼却炉飛灰と同レベルの濃度が検出された。

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同レベルであるため、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だろう。

#### 1.4 残骨灰、集じん灰中の臭素化ダイオキシン類濃度

残骨灰中の臭素化ダイオキシン類は、表C.1より、施設Dで0.0038ng/gであり、その他は検出下限値以下(N.D.)であった。また、集じん灰に関しては、0.068～0.072 ng/gであり、同じ集じん灰中の塩素化ダイオキシン類と比較して、1/10000～1/1000のレベルであった。

以上より、残骨灰、集じん灰中の臭素化ダイオキシン類濃度は低く、その影響は少ないと考えられた。

#### 1.5 火葬炉からのダイオキシン類の総排出量

測定データより、火葬炉からのダイオキシン類排出量を推定した。推定の方法は、以下の(C.1)式により御遺体一体あたりのダイオキシン類排出量を算出した。なお乾き排ガス量は酸素12%換算した値を用いた。

$$\begin{aligned} \text{一体あたりのダイオキシン類排出量(ng-TEQ/人)} = \\ \text{ダイオキシン類毒性等量(ng-TEQ/m}^3_{\text{N}}) \times \text{乾き排ガス量(m}^3_{\text{N}}/\text{h)} \times \text{火葬時間(h/人)} \end{aligned} \quad (\text{C.1})$$

推定の結果を、表C.2に示した。今回の測定結果からは0.096～3,800ng-TEQ/人の範囲でダイオキシン類が排出されていることがわかった。算術平均値は1,000ng-TEQ/人となった。

平成9・10年度に実施した厚生科学研究における調査結果を基にすると、算術平均値は4,800ng-TEQ/人と算出される。これらの値と本研究での値を比較すると、現状は、約10年前の排出原単位よりも、算術平均値で約1/5まで低減され、「ダイオキシン類排出抑制ガイドライン」により、適切に施設が運営されるとともに、燃焼・排ガス設備の高度化がなされてきた効果がうかがえた。

表 C. 2 ダイオキシン類の排出原単位試算結果

項目		測定時間	ダイオキシン類 毒性等量	O <sub>2</sub> を考慮した 乾き排ガス量	ダイオキシン類 排出原単位
		分	ng-TEQ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	ng-TEQ/人
A	A-1	42	0.11	3200	234
	A-2	46	0.00012	1000	0.096
B	B-1	68	0.0059	2100	14
	B-2	61	0.014	2900	41
C	C-1	71	1.2	1800	2600
	C-2	66	0.72	1700	1300
D	D-1	90	1.18	2200	3800
	D-2	71	0.096	2100	240
最大値					3800
最小値					0.096
中央値					240
算術平均値					1000
幾何平均値					120

平成17年度の火葬炉の排出インベントリーは2.4～5.3g-TEQ/年<sup>6)</sup>で報告されているが、本研究結果のデータと平成17年度(2005年)の火葬件数の実績1,112,178体/年<sup>7)</sup>とを合わせ、幾何平均～算術平均の範囲で表すと、ダイオキシン類は、0.13～1.1g-TEQ/年まで低減されている結果となった。

ただし、本研究での結果は4箇所の調査結果に依存しているため、今後、より多くの火葬場での調査を行って、より正確な排出量原単位、排出インベントリーを算出していく必要がある。

## 2. 水銀

### 2.1 排ガス中の水銀濃度

各施設における、水銀濃度測定結果を表 C.3 に示す。定量下限値 (< 0.006mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>) を超えたものについては施設 A の1件 (0.008mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>) だけであった。水銀濃度はもちろん被火葬物中に含まれる水銀に大きく依存するが、火葬時間にも依存する。すなわち、今回の測定時間は1火葬あたりとしている(主燃焼室の着火から消火まで)ので、A-1の条件はもっとも短い時間(38分)であったことも影響していると思われる。もし、施設 D のように火葬に長時間かかり、例えば2倍の時間がかかったとすれば、濃度はおおよそ半分となり、定量下限値を下回る。つまり、今後、水銀についてガイドライン等の行政指導する場合はサンプリングを含めた分析方法・結果の示し方についても言及する必要があると思われる。

表 C. 3 各施設における水銀濃度測定結果

	水銀実測濃度 (mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )	O <sub>2</sub> 12%換算 (mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )	排ガス流量 (m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /hr)	O <sub>2</sub> 濃度 (%)	時間 (分)	排出量 (mg/人)
A-1	0.008	0.023	9210	17.9	38	47
A-2	<0.006	<0.054	9210	20	42	<39
B-1	<0.006	<0.042	14600	19.7	66	<96
B-2	<0.006	<0.030	14600	19.2	54	<79
C-1	<0.006	<0.021	6210	18.4	66	<41
C-2	<0.006	<0.023	6210	18.6	58	<36
D-1	<0.006	<0.009	3250	15	81	<26
D-2	<0.006	<0.009	3250	15.2	71	<23

## 2.2 残骨灰、集じん灰中の水銀濃度

表C.4に各施設における残骨灰および集じん灰中水銀の溶出・含有量結果を示した。まず、水銀の残骨灰中の含有量は、すべて0.05mg/kg未満であった。集じん灰中の水銀含有量は、2.2、6.2mg/kgであった。土壤汚染汚染対策法における含有量基準は15mg/kgであることから、残骨灰については全く問題はない。集じん灰については基準値以下であったが施設によっては超える場合もありうる濃度であった。

溶出量についても、残骨灰すべては0.0005mg/L未満であり、土壤環境基準(0.0005mg/L)を下回っていたが、集じん灰は0.090mg/L、0.0027mg/Lと上回っていた。特にAについては基準の180倍であった。

表 C. 4 各施設における残骨灰  
および集じん灰(飛灰)中水銀の溶出・含有量結果

	溶出量(環境省告示18号試験) (mg/L)		含有量(環境省告示19号試験) (mg/kg)	
	残骨灰	飛灰	残骨灰	飛灰
A	<0.0005	0.090	<0.05	2.2
B	<0.0005	0.0027	<0.05	6.2
C	<0.0005	-	<0.05	-
D	<0.0005	-	<0.05	-

## 2.3 連続分析による排ガス中水銀濃度

表C.5に水銀連続分析計による測定結果を示す。連続計のデータは負の値をすべて0に直し、補正した。8回の平均濃度は総濃度で1.5μg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>であった。結果は酸素換算されて

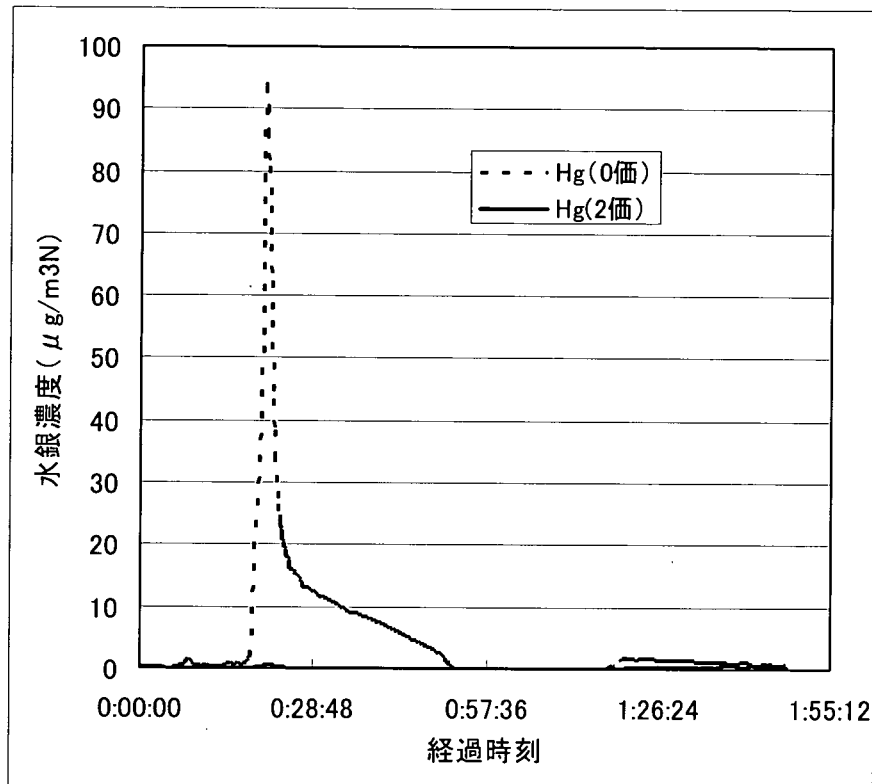
表 C.5 施設 D における水銀排出量

	総水銀濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ )	排ガス流量 ( $\text{m}^3_{\text{N}}/\text{hr}$ )	火葬時 間 (分)	排出量 ( $\text{mg}/\text{人}$ )
1月31日	4.7	3250	100	25
2月2日	0.9	3250	87	4.2
2月5日	2.7	3250	85	12
2月6日	1.1	3250	91	5.4
2月11日	1.2	3250	74	4.8
2月16日	0.4	3250	92	2.0
2月20日	0.7	3250	105	4.0
2月22日	0.4	3250	107	2.3
平均	1.5			7.6

いないが、燃焼時間における連続計における酸素濃度は約18%程度であったことから、 $\text{O}_2$ 12%換算濃度値は約3倍の値、つまり $4.5\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であった。総濃度 $1.5\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ は、2005年度の別の施設の調査では $4.3\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であったことから約1/3の濃度であった<sup>12)</sup>。また上記の実態調査結果からすると、JIS法では $6\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であったこととも合致する。都市ごみ焼却炉排ガスと比べると同程度であるといえる<sup>13)</sup>。

今回の排ガス中水銀濃度が他施設よりも低かった理由としては2つのことが考えられる。一つは、排ガスサンプリングにおいて損失があった可能性がある。これはサンプリングの位置等の制約から加熱導管が10mでは不足したこと、今回の排ガスはスが多かったことから、吸着等の損失が想定された。しかし、サンプリングラインにおいて吸着損失がある場合、次の測定時に温度の高い排ガスが導入された際に、ピークを生じることがしばしば認められる。今回の測定では再燃焼炉着火から主燃焼炉着火までの期間にピークが認められなかったことから、この損失はそれほど大きくないと考えられる。

もう一つは、平均濃度は火葬時間および排ガス流量に左右される。今回の8回の測定では、歯科アマルガム由来の水銀排出が明確に認められたのは、1月31日の火葬のみであった。その結果を図C.1に示す。瞬間最大濃度は $95\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であったが、総水銀濃度は $4.7\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であった。過去に調査した施設では火葬時間が約1時間程度であったことから、本施設では約2倍かかっていることになる。したがって、総排出量(濃度×排ガス流量×火葬時間)が同じであっても、火葬時間が長ければ濃度が低くなることが一因であるといえる。各施設における水銀実態調査においては定量下限値が $6\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 以下であったことから、図C.1のような場合( $4.7\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ )であってもJIS法では定量下限値と表現される



図C.1 施設Dにおける1月31日の水銀濃度の経時変化

ことになり、この点は今後の検討課題となろう。

また、このアマルガム由来の水銀排出は1月31日のサンプル以外では、2月16日および2月22日でもピークは小さいながらほぼ10-20分後にピークが出現する傾向があった。したがって、3/8の確率であり、過去の研究事例(1/2)との比較ではやや出現頻度は低かった。

#### 2.4 連続分析による水銀形態について

火葬排ガス中総水銀に占める0価水銀の割合を求めた結果を表C.6に示す。2月16日、2月20日、2月22日の2価水銀については平均濃度が $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 未満であったため、計算上は $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ とした。0価水銀の割合は44-98%で平均では72%となった。つまり、0価水銀の方が多かった。過去の研究事例でもこの割合はかなりばらついているが、歯科アマルガム由来と考えられる大きなピークが認められる場合は、0価水銀が圧倒的に大きいことから、高排出濃度である場合は0価水銀の形態であるといえる。

表 C. 6 火葬排ガス中水銀濃度結果

	Hg <sup>0</sup> 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ )	Hg <sup>2+</sup> 濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ )	総水銀濃度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ )	Hg <sup>0</sup> の割合 (%)
1月31日	4.6	0.1	4.7	98
2月2日	0.6	0.3	0.9	67
2月5日	1.2	1.5	2.7	44
2月6日	0.6	0.5	1.1	55
2月11日	0.9	0.3	1.2	75
2月16日	0.3	<0.1	0.4	75
2月20日	0.6	<0.1	0.7	86
2月22日	0.3	<0.1	0.4	75
平均	1.1	0.4	1.5	72

### 3. 六価クロム、フッ素、ホウ素

#### 3.1 溶出量

表 C.7 に溶出量試験の結果を示す。まず、六価クロムに関しては、全ての残骨灰、集じん灰で、土壤汚染対策法により規定されている溶出量基準の180～1,200倍の濃度が検出された。フッ素、ホウ素に関しては、残骨灰では、一部ホウ素が1.8mg/Lで溶出量基準を超過していたが、それ以外は全て溶出量基準以下であった。しかし、集じん灰では、フッ素で2.6mg/L、6.4mg/L、ホウ素で2.1mg/L、2.6mg/Lであり、溶出量基準を全て超過していた。

したがって、残骨灰、集じん灰にかかわらず、六価クロムに関しては何らかの対策が必要であるといえ、フッ素、ホウ素に関しては集じん灰について対策を講じなければならないことが示唆された。

表 C. 7 残骨灰、集じん灰の溶出量結果(mg/L)

	A残骨灰	B残骨灰	C残骨灰	D残骨灰	A集じん灰	B集じん灰	溶出量基準
六価クロム化合物	30	9	13	9	16	60	0.05
フッ素およびその化合物	<0.1	0.17	0.13	0.1	6.4	2.6	0.8
ホウ素およびその化合物	0.18	1.8	0.24	<0.01	2.6	2.1	1

溶出量基準は、「土壤汚染対策法施行規則」環境省令第29号(平成14年)による。



### 3.2 含有量

表 C.8 に含有量試験の結果を示す。ここでいう含有量は土壤汚染対策法で規定されている方法によるもので 1N 塩酸により溶出する量を示している。集じん灰中のフッ素、ホウ素含有量は、それぞれ 350～1,300mg/kg、および 69 mg/kg 以下であった。土壤汚染対策法におけるフッ素、ホウ素の含有量基準はともに 4,000mg/kg であることから、これらの元素に関しては全く問題ないと考えられる。しかし、六価クロムに関しては、A 残骨灰、D 残骨灰、B 集じん灰で、含有量基準(250mg/kg)を超過するケースが見られた。したがって、六価クロムに関しては、溶出量と同様に何らかの対策が必要であろうと考えられる。

表 C. 8 残骨灰、集じん灰の含有量結果(mg/kg)

	A残骨灰	B残骨灰	C残骨灰	D残骨灰	A集じん灰	B集じん灰	含有量基準
六価クロム化合物	250	58	110	310	140	460	250
フッ素およびその化合物	820	430	1300	1000	1200	350	4000
ホウ素およびその化合物	12	48	<10	15	69	57	4000

含有量基準は、「土壤汚染対策法施行規則」環境省令第29号(平成14年)による。

### D. 結論

本研究では火葬炉からのダイオキシン類、臭素化ダイオキシン類や、水銀、六価クロムなどの重金属の排出挙動を調査した。得られた知見を以下に示す。

- ・ 火葬炉における排ガス中ダイオキシン類の濃度は、毒性等量の算術平均では 0.42ng-TEQ/m<sup>3</sup><sub>N</sub> であった。これらは、排出抑制ガイドラインにおける指針値を下回っていた。
- ・ 排ガス中の臭素化ダイオキシン類は、同施設の塩素化ダイオキシン類に比較して 1/1000～1/200 程度の値であり、その寄与は十分に低いものと考えられた。
- ・ 残骨灰中のダイオキシン類の濃度範囲は、毒性等量で 0.00000061～0.0038ng-TEQ/g であり。この値は非常に低いといえ、環境に与える影響は大きくないといえる。一方、集じん灰は、毒性等量で 1.6～15ng-TEQ/g であり、都市ごみ焼却飛灰と同程度であった。したがって、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。
- ・ 残骨灰中の臭素化ダイオキシン類は、1施設で 0.0038ng/g であり、その他は検出下限値以下であった。一方、集じん灰に関しては、塩素化ダイオキシン類の 1/1000 以下であった。以上より、残骨灰、集じん灰中の臭素化ダイオキシン類濃度は低く、その影響は少ないと考えられた。
- ・ 本研究の調査結果から、ダイオキシン類の排出原単位の算術平均値は 1,000ng-TEQ/人 であり、10年前の調査結果に比較して、約 1/5 となっており「ダイオキシン類排出抑

制ガイドライン」による効果がうかがえた。

- 平成17年度の火葬炉からの排出インベントリーを試算した結果、現在の報告値：2.4～5.3g-TEQ/年に比較して、0.13～1.1g-TEQ/年まで低減されている結果となった。ただし、本研究での結果は4箇所の調査結果に依存しているため、より多くの火葬場での調査を行って、排出インベントリーの精度を高める必要がある。
- 4施設における水銀濃度実態調査では、排ガスにおいては、1サンプルのみ0.008 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>を示し、他の多くは定量下限値 (< 0.006mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>) となった。
- 集じん灰中水銀について、含有量については土壤汚染対策法の基準以下であったが、溶出量は基準値を超えており、取扱いに注意が必要であることがわかった。残骨灰については問題なかった。
- 水銀挙動の調査では、1か所の施設において連続分析計を用いて経時変化を測定した。その結果、挙動については過去の調査事例と同様の傾向であり、歯科アマルガム由来による発生が大きな寄与を占めることが確認された。Hg<sup>0</sup>とHg<sup>2+</sup>の占める割合はHg<sup>0</sup>の方が大きかった。
- 今回の水銀測定において、JIS法では定量下限値以下のデータが多かったため、サンプリングを含む分析方法の検討も必要であることがわかった。
- 溶出量試験の結果から、六価クロムに関しては、全サンプルで基準の180～1,200倍の濃度が検出された。フッ素、ホウ素に関しては、集じん灰のみで溶出量基準を全て超過していた。したがって、六価クロムに関しては何らかの対策が必要であるといえ、フッ素、ホウ素に関しては集じん灰について対策を講じなければならないことが示唆された。
- 含有量試験の結果から、フッ素、ホウ素に関しては全く問題ないと考えられるが、六価クロムに関しては含有量基準(250mg/kg)を超過するケースが見られ、六価クロムに関しては、溶出量と同様に何らかの対策が必要であろうと考えられる。

#### E. 健康危険情報

なし

#### F. 研究発表

該当なし

#### G. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

## 【参考文献】

- 1) 厚生労働省統計表データベースシステム：衛生行政報告例(旧 厚生省報告例(衛生関係))表 埋葬及び火葬の死体・死胎数並びに改葬数  
<http://www.dbtk.mhlw.go.jp/toukei/index.html> (2008.3.21情報取得)
- 2) 厚生労働省大臣官房統計情報部：平成19年人口動態統計の年間推計、第1表－人口動態総覧の年次推移  
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suikai07/index.html> (2008.3.21情報取得)
- 3) 武田信生(主任研究者)：火葬場から排出されるダイオキシン類の実態調査、平成9年度厚生科学研究費補助金(厚生科学特別研究事業)報告書(1998)
- 4) 武田信生(主任研究者)：火葬場からのダイオキシン類の排出抑制対策の検討、平成10年度厚生科学研究費補助金(厚生科学特別研究事業)報告書(1999)
- 5) 火葬場から排出されるダイオキシン削減対策検討会：火葬場から排出されるダイオキシン削減対策指針(2000)
- 6) 環境省：ダイオキシン類の排出量の目録(排出インベントリー)、p.2、p.8(2006)
- 7) Department for Environment Food and Rural Affairs, UK.; Mercury emissions from crematoria Second consultation <http://www.defra.gov.uk/corporate/consult/crematoria-two/consultation.pdf>
- 8) Lesley Sloss: 国内外における微量成分の排出状況, Trace Element Workshop2000, pp.47-59(2000)
- 9) 読売新聞、東京夕刊22面(2006.12.8)
- 10) 江口正司：火葬炉の燃焼制御と環境負荷低減に関する研究、京都大学博士論文、pp.117-125(2007)
- 11) 環境省水・大気環境局総務課ダイオキシン対策室：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(2007)
- 12) 堂本真吾, 江口正司, 高岡昌輝, 松本忠生, 大下和徹, 武田信生：火葬炉における水銀の排出挙動調査, 大気環境学会誌, Vol.41, No.6, pp.309-319(2006)
- 13) Masaki Takaoka, Nobuo Takeda, Takeshi Fujiwara, Masato Kurata, Tetsuo Kimura: Control of Mercury Emission from a Municipal Solid Waste Incinerator in Japan, *Journal of Air & Waste Management Association*, Vol.52, August 2002, pp.931-940(2002)

厚生労働科学研究費補助金

厚生労働科学特別研究事業

火葬炉から排出される  
有害物質の実態調査とその抑制対策

平成19年度 分担研究報告書

平成20（2008）年 3月