

200942027B

厚生労働科学研究費補助金

健康安全・危機管理対策総合研究事業

火葬場における有害化学物質の
排出実態調査および抑制対策に関する研究

平成20年度～21年度 総合研究報告書

研究代表者 武田 信生 (立命館大学)

平成22 (2010) 年 3月

厚生労働科学研究費補助金
健康安全・危機管理対策総合研究事業

火葬場における有害化学物質の
排出実態調査および抑制対策に関する研究

平成20年度～21年度 総合研究報告書

研究代表者 武田 信生 (立命館大学)

平成22 (2010) 年 3月

目 次

I . 総合研究報告	1
火葬場における有害化学物質の排出実態調査および抑制対策に関する研究 武田信生	
第1章. はじめに	5
第2章. 火葬場から排出されるダイオキシン類等の実態調査	13
資料1 ダイオキシン類の毒性等価係数	
資料2 各種の毒性等価係数を用いた毒性等量値の相関	
第3章. 火葬場から排出される水銀をはじめとする重金属等の実態調査	73
第4章. 火葬場から排出される水銀排出起源に関する調査	147
資料1 大阪歯科大学 医の倫理委員会に提出した研究計画書	
資料2 大阪歯科大学 医の倫理委員会に提出した研究等審査申請書	
資料3 大阪歯科大学 医の倫理委員会 承認証	
資料4 患者への説明文章	
資料5 同意書	
資料6 採取したアマルガム充填物の表面拡大写真	
第5章. 火葬場における低煙突が拡散に与える影響に関する調査	179
資料1 モデル火葬場 A、B における水銀、六価クロムの 煙突からの拡散シミュレーション結果(煙突高さの影響)	
第6章. 火葬場の実態に関する統計とその比較	197
資料1 厚生労働省健康局生活衛生課：火葬場から排出される 有害化学物質に関するアンケート調査結果(グラフ集)	
第7章. おわりに	229
II . 研究成果の刊行に関する一覧表	239
III . 研究成果の刊行物・別刷	241
謝辞	281

厚生労働科学研究費補助金
健康安全・危機管理対策総合研究事業

火葬場における有害化学物質の
排出実態調査および抑制対策に関する研究

I. 総合研究報告

研究代表者 武田 信生 (立命館大学)

平成22 (2010) 年 3月

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）総合研究報告書

火葬場における有害化学物質の排出実態調査および抑制対策に関する研究

研究代表者 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

わが国の火葬率は99.9%であり、今後火葬数の増加が見込まれている。本研究では、安全・安心な火葬を続けていくため、火葬場から排出される有害物質の実態を明らかにし、その排出抑制策を検討することを目的とした。具体的には、延べ11箇所の火葬場での実態調査と、水銀の由来とされる歯科充填物の調査とそのヒトに対する健康リスク評価を実施するとともに、火葬場特有の低煙突における排ガス拡散シミュレーションを実施した。

まず、火葬場の実態調査により、ダイオキシン類は、大気への排出原単位として、本研究および2007年の先行調査結果から、加重平均を考慮し、1,000～2,390 ng TEQ-WHO₀₆/体と算出された。この値は、従来の排出原単位の約57%まで削減され、ダイオキシン類削減対策指針による効果がうかがえた。ダイオキシン類は特にバグフィルター、触媒装置等での除去効果が高かったが、熱交換器を導入しているケースでは、ダイオキシン類の再合成が生じ、排ガスや灰の濃度が高くなるため、注意が必要であると考えられた。水銀は、大気への排出原単位として、本研究、およびこれまでの研究を総合して、31.4～36.9mg/体と算出された。いくつかの検体で、歯科アマルガム由来と考えられる高濃度Hg⁰のピークがみられ、他の発生源における国内の排出基準の自主目標値を超過した。排ガス中の水銀の除去には、実態調査やパイロット式活性炭吸着試験から、バグフィルターの後段に、活性炭吸着設備を設置することが最も望ましいと考えられた。灰中の六価クロムは、特に溶出量で1検体を除く全てのサンプルで基準の1.4～1,800倍の濃度が検出され取扱に注意が必要であることが示された。その由来は、主に炉内のステンレス架台と予想されたが、その影響を排除しても、溶出量が基準を超過する可能性があり、今後、バグフィルター等による集じんをしっかり行い火葬炉外への排出を抑制し、別途灰の処理を検討することが必要であると考えられた。

次に、アマルガム充填物の調査により、アマルガム処置歯あたりの水銀量は91mg/本程度であり、時間経過とともに口腔内アマルガム中の水銀が5.5μg/day程度の割合で減少していることが示された。これを基に、歯科治療歴から求めた水銀の大気排出量を見直し、排ガス測定により求めた大気排出量との整合性を確認した。一方、体内へ移行する無機水銀の体内動態を評価するPBPKモデルを構築し、ヒトに対する健康リスク評価を実施した結果、WHOが人体に悪影響を及ぼす指標よりも少ないことが分かった。

また、火葬場の拡散シミュレーションにおいて、火葬場建物のダウンウォッシュ等の影響を考慮した場合、考慮しない場合に比較して、火葬場の新旧にかかわらず、最大着地濃度が高くなるとともに、出現地点も火葬場近傍になることが明らかとなった。また、煙突に遮蔽物が存在する場合においても、排ガスの拡散が妨げられ、最大着地濃度を高くする効果が認められた。これら、種々のケースを相対的に評価した結果から、実火葬場における煙突はできるだけ高くし、煙突遮蔽物も可能な限り設置しないほうが望ましいと考えられた。

最後に、補足として、2009年に厚生労働省が全国の火葬場に対して実施したアンケート結果と、10年前のアンケート結果とを比較した結果、有害化学物質の排出抑制のため、施設整備、および運転管理の両面から、ある程度火葬場の高度化が進んでいるが、高度排ガス処理設備、低煙突構造についてはあまり変化していないことがわかった。

分担研究者	森澤真輔	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻	教授
	森田章介	大阪歯科大学口腔外科学第一講座	教授
	米田 稔	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻	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	准教授
	中山亜紀	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	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻	助教

第1章 はじめに

A. 研究の背景

わが国の火葬率は、平成19年度で約99.9%であり、かつ人口は減少に転じ、死亡人口が年々増加していることから²⁾、火葬数は増大傾向にある。火葬場から排出される排ガス等については、現在のところ大気汚染防止法等の対象外であるが、安全・安心な火葬を続けていくためには、火葬場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、研究代表者らは、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^{3)・4)}。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 ng TEQ-WHO₉₈/m³_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 ng TEQ-WHO₉₈/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⁴⁾。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」⁵⁾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⁶⁾。

「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⁶⁾。しかし、現実には、削減対策指針後、火葬炉からのダイオキシン類排出量は、燃焼管理、排ガス処理の高度化により、減少しているものと推測される。「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、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1999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⁷⁾。また、スウェーデンにおいても人為的発生源のうち1995年時点で火葬場からの排出が最も寄与が高いと見積もられ⁸⁾、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⁹⁾、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¹⁰⁾、また、六価クロムだけでなく、棺、副葬品によっては、前述した水銀をはじめとする重金属、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。

そこで、研究代表者らは、平成19年度厚生労働科学特別研究事業において、4施設の火葬炉を選定し、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(以下、2007調査)。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。その結果、火葬炉における排ガス中ダイオキシン類の濃度は、 O_2 12%換算濃度の算術平均で $0.42 \text{ ng TEQ-WHO}_{98}/\text{m}^3$ であることがわかった。また、臭素化ダイオキシン類は、塩素化ダイオキシン類に比較してその寄与は十分低いことが確認された。これらの調査結果から、ダイオキシン類排出原単位の算術平均値は $1,000 \text{ ng TEQ-WHO}_{98}/\text{体}$ であり、10年前の調査結果に比較して、約1/5となっており削減対策指針による削減効果がうかがえた。排ガス中の水銀に関しては、JIS法における排ガス中水銀測定ではその大部分が定量下限値以下となったが、過去調査事例と同様に、歯科アマルガム由来による Hg^0 のピークが確認され、排出への寄与が大きいことが確認された。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180~1,200倍となり、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、まず六価クロムを念頭にした対策・適切な管理が必要であると考えられた¹¹⁾。

B. 研究の目的

これまで、研究代表者らは、火葬排ガス中のダイオキシン類や水銀、灰中の重金属等の実態について、2007年調査を中心に調査してきたが、これまでの研究は4施設のみにおけるデータであり、日本全国の火葬場における有害物質の排出状況をより正確に把握しようとするならば、できるだけ多くの施設における実測データを得ることが必要である。また、これまでの研究は、特に排ガスについて、煙突出口における実測調査が主であり、各排ガス処理プロセス(集じん機や、高度排ガス処理設備)でのダイオキシン類、水銀等重金属の除去効果は明らかとなっておらず、効果的な対策を検討するには、これらによる除去効

果の現状も明らかにしておく必要がある。また、問題となっている灰中の六価クロムについても、灰のみならず、火葬場からの大気への排出量や、その由来等を明らかにし、効果的な対策を検討する必要がある。

以上のような背景の下で、本研究では、2007調査における4施設での結果に加え、新たな数施設の火葬場を選定し、以下の①～②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、排出量、排出形態やその排ガス処理での除去効果について、その実態を明らかにし、排出抑制策を検討することを第一の目的とした。

また、研究代表者らは、2005年に1ヶ所の火葬炉において排ガス中水銀濃度の調査を行った結果、歯科医療に使用されたアマルガムに由来する無機水銀の排出が確認され、日本における火葬炉からの水銀排出量として57.0 kg/年が推測された。しかし、この値は、アマルガムの歯科統計・工業統計からの水銀排出量推測値に比較し、1/40～1/30倍であり、大きな隔たりがあった¹²⁾。この原因としては、口腔内アマルガムの時間経過に伴う減少と、初期に充填されたアマルガム中水銀量の過大評価(イギリスの原単位による¹³⁾の可能性が推定されたが、詳細は不明である。また、アマルガム中水銀が口腔内で減少していく場合には、体内に移行することが懸念されるため、人体への健康リスクを評価する必要がある。

そこで、本研究は、火葬場からの水銀の排出量をより正確に見積るため、③に示す水銀排出起源に関する調査を行って、火葬場からの水銀排出量推計値を見直すとともに、水銀による人体への健康リスクを評価することを第二の目的とした。

最後に、火葬場における煙突は、住民への配慮や、景観上の問題等から、やむを得ず煙突高さは低く設定されているケースが多く¹⁴⁾、排出された有害化学物質について、この火葬場特有の低煙突について拡散の評価が十分できていない状況にあることから、④に示す調査を行って、火葬場からの有害物質の排出、およびその拡散に関連して、低煙突の影響をシミュレーションにより推定し、抑制対策を検討することを第三の目的とした。

① 火葬場から排出されるダイオキシン類等の実態調査

火葬場から排出されるダイオキシン類について測定を行い、データを収集することで、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し、削減対策指針の効果を検証した。具体的には、対象施設として数箇所の火葬場を選定し、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濃度を調べ、2007調査の結果も加えて、得られた統計値を用いて、最新の排出原単位を明らかにした。また、排出原単位は、削減対策指針以前のデータとの比較を行って、削減対策指針の効果を検証した。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。

また、火葬炉の排ガス処理における熱交換器、集じん機、触媒装置、活性炭吸着設備等

の前後でのダイオキシン類濃度を測定し、それらのダイオキシン類除去効果を明らかにし、排出抑制対策を検討した。

② 火葬場から排出される水銀をはじめとする重金属等の実態調査

これまでの調査に加え、延べ4施設の火葬炉を対象に、排ガス中の水銀とクロム、および灰中の水銀、六価クロム等の重金属やフッ素、ホウ素について調査を行い、実態を明らかにするとともに排出抑制対策を検討した。

具体的には、まず、数施設の火葬炉を対象に水銀、クロムの排出濃度を測定し、各施設における水銀、クロムの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、延べ10施設の火葬場において形態別湿式連続分析計を用い火葬中の水銀排出挙動を調査した。また、各排ガス処理プロセスでの水銀・クロムの除去効果も調査するとともに、別途1施設で、パイロット式活性炭吸着実験装置を用いて、排ガス中の水銀の活性炭による除去効果を検討した。

最後に、火葬場から得られた残骨灰、集じん灰を対象に、その中の水銀、六価クロム、フッ素、およびホウ素に、カドミウムを加え、土壤汚染対策法に基づいた溶出試験、含有量試験により安全性を評価した。クロムに関してはその由来の調査も実施し、排出抑制対策について検討した。

③ 火葬場から排出される水銀排出起源に関する調査

過去に充填された水銀アマルガム充填材中の水銀を採取・分析し、水銀アマルガム充填材の経年変化を明らかにすることによって排出量推計値を見直すとともに、水銀による人体への健康リスクを評価することを目指した。具体的には、歯科患者からのアマルガム充填物の採取・分析およびヒアリングデータを収集し、アマルガム充填物中の水銀の経年変化を整理するとともに、無機水銀の人体での挙動を明らかにするため、体内動態評価モデルを作成し、健康リスク評価を行った。

④ 火葬場における低煙突が拡散に与える影響に関する調査

火葬場からの有害物質の排出、およびその拡散に関連して、火葬場特有の低煙突の影響をシミュレーションにより推定した。具体的には、新型、旧型のモデル火葬場を、これまで蓄積してきた実測データ、および文献等から想定し、METI-LISモデルを基本とした拡散シミュレーションを実施した。設定ケース毎のシミュレーション結果を比較することにより、煙突高さ、煙突上部における遮蔽物の有無が、ダイオキシン類、水銀、六価クロムの地表面等における濃度分布、最大着地濃度等に与える影響を明らかにした。

なお、補足として、2009年に厚生労働省が実施した火葬場における構造や有害物質の排出状況などのアンケート¹⁹⁾について、10年前に実施されたアンケート結果⁹⁾と比較し、近年の火葬場の動向やその変化について把握するとともに、ダイオキシン類排出削減ガイドラインの影響やその効果について考察した。

C. 本報告書の構成

本報告書は、7章から構成され、以下にその内容について述べる。

まず、第2章では、火葬場から排出されるダイオキシン類について、火葬場での実態調査、およびそれらの結果から求めた、最新のダイオキシン類排出原単位、我が国における火葬からのダイオキシン類排出インベントリーについて述べ、考察した。

第3章においては、水銀をはじめとする重金属、フッ素、ホウ素に着目し、火葬場での排ガス、灰における実態調査結果、排ガス処理プロセスでの除去効果を中心に述べた。特に六価クロムについては、その火葬炉におけるマスバランス調査や、模擬火葬灰の加熱実験により、その由来について言及した。

第4章においては、火葬排ガス中水銀の由来とされる、歯科アマルガム中水銀を、歯科患者から採取し、その中の水銀を分析した結果や、その経年変化から、現在の排出原単位の見直しを行った、さらに歯科アマルガムに由来する無機水銀の人体に対する健康リスク評価を実施した。

第5章においては、火葬場特有の低煙突構造について、第2章～第3章での実態調査結果を基に、ダイオキシン類、水銀、六価クロムについて拡散シミュレーションを行い、低煙突の影響について評価した。

第6章では2009年に厚生労働省が実施した火葬場における構造や有害物質の排出状況などのアンケートについて、10年前に実施されたアンケート結果と比較し、近年の火葬場の変化について考察した。

第7章では、本研究で得られた知見をまとめるとともに、主に本研究の成果を基として、火葬場からの有害物質排出抑制に関する対応策を作成し、総括した。

D. 健康危険情報

なし

(倫理面への配慮)

本研究のうち、火葬場の実態調査に関しては、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、調査を行った。

また、アマルガム充填物の採取、ヒアリング、および治療時のデータ収集については、ヒトの組織を対象としたものであるため、大阪歯科大学医の倫理委員会の承認を得た上で実施した。具体的な調査は、要抜去と診断された歯科用アマルガム充填歯を有する患者で、説明文章(第4章 資料4)により研究の主旨を説明し、同意書(第4章 資料5)に了解を得られた方のみについて実施した。

【参考文献】

- 1) 厚生労働省：統計一覽、保健・衛生行政業務報告(衛生行政報告例)、平成20年度衛生行政報告例、第23表 埋葬及び火葬の死体・死胎数並びに改葬数、都道府県一指定都市一中核市(再掲)別
- 2) 厚生労働省大臣官房統計情報部：平成20年人口動態統計の年間推計、第1表一人口動態総覧の年次推移
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suikei08/index.html>(2009.2.4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類削減対策指針(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(2009)
- 7) Department for Environment Food and Rural Affairs, UK: Mercury emissions from crematoria, Second consultation(2004)
<http://www.defra.gov.uk/ENVIRONMENT/ppc/old-consultations/crematoria-two/consultation.pdf>(2009.2.5 情報取得)
- 8) Lesley Sloss：国内外における微量成分の排出状況, Trace Element Workshop 2000, 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) 武田信生(主任研究者)：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・分担研究報告書(2008)

- 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) Allan Mills: Mercury and Crematorium Chimneys, *Nature*, Vol.346, p.16 (1990)
- 14) 日本環境斎苑協会：火葬場の建設・維持管理マニュアル、p.151(2002)
- 15) 厚生労働省健康局生活衛生課：火葬場から排出される有害化学物質に関するアンケート調査結果 (2010)

第2章 火葬場から排出されるダイオキシン類等の実態調査

A. 研究目的

1. 研究の背景

わが国の火葬率は、平成19年度で約99.9%であり¹⁾、かつ死亡人口が年々増加していることから²⁾、火葬数は増大傾向にある。火葬場から排出される排ガス等は、現在のところ大気汚染防止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、火葬場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（集じん機で捕集された灰）や残骨灰（収骨後に残った灰の一部）等の実態についてはほとんど調査されてこなかったが、約10年前にダイオキシン類が大きな社会問題となった際、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塩素化ダイオキシン類の実態調査を行った（以下1999調査）³⁾、⁴⁾。これらの調査では、全国の火葬場から施設規模、建設および改造年代、炉構造、排ガス処理方式、使用燃料などを考慮して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O₂12%換算濃度の毒性等量は0.074～29.2 ng TEQ-WHO₉₈/m³_Nの範囲で、その算術平均値は2.9 ng TEQ-WHO₉₈/m³_Nであることを示し、また、大気へのダイオキシン類排出原単位として、一体の火葬あたり排出されるダイオキシン類の量（算術平均値4,800 ng TEQ-WHO₉₈/体）を明らかにし、これらの調査結果および統計値から、火葬炉から大気へのダイオキシン類排出量を算定した⁴⁾。

これらにより、平成12年には火葬炉からの「火葬場から排出されるダイオキシン類削減対策指針」（以下、ダイオキシン類削減対策指針）⁵⁾が定められたうえ、大気への排出原単位は、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⁶⁾。「ダイオキシン類対策特別措置法」の効果によって、一般廃棄物焼却施設からの排出量を主として、わが国全体の大気へ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場からの排出量だけはむしろ増加傾向を示している⁶⁾。しかし、現実には、ダイオキシン類削減対策指針後、火葬場からのダイオキシン類排出量は、古くなった火葬炉の更新、燃焼管理、排ガス処理の高度化により、減少しているものと推測される。ダイオキシン類削減対策指針の効果を検証し、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。

2. 国内外の火葬炉におけるダイオキシン類調査

わが国における火葬炉におけるダイオキシン類に関するデータは、主任研究者らが平成9年以前に独自に測定したデータ⁷⁾、および1999調査において測定したデータ^{3)、4)、8)、9)}があるのみであり、排出実態調査はそれ以外全くといってよいほど行われていない。平成12年度以降においてはダイオキシン類削減対策指針が設定されたため、それぞれの自治体などでは測定例があると推測されるが、公表されている報告例はほとんどない。

海外においては、1990年前半頃から欧州を中心に、火葬炉から排出されるダイオキシン類に関する調査が進められてきている。ドイツ政府の大気汚染防止技術小委員会のワーキンググループではドイツ国内の13の火葬炉において、ダイオキシン類の排出濃度が0.1～14.4 ng I-TEQ/m³_Nの範囲にあることが報告されている¹⁰⁾。この他にJ.Jagerらが、ベルリンの火葬炉のダイオキシン類の平均排出濃度として8.0 ng I-TEQ/m³_Nを報告している¹¹⁾。オランダでは、H.J.Bremmerらが、2種類の形式の異なる火葬炉で、ダイオキシン類の排出濃度が1.6、および3.3 ng I-TEQ/m³_Nであったと報告している¹²⁾。また、イギリスでは、G.H.Eduljeeらが¹³⁾、火葬炉からの平均的な排ガス濃度として46 ng I-TEQ/m³_N (D. Mitchellらの報告値¹⁴⁾)を挙げている。さらに、日本以外のアジア圏では、Lin-Chi Wangらは、台湾において、2ヶ所の火葬炉において排ガス中のダイオキシン類濃度を調査し、2.36 ng I-TEQ/m³_N、および0.322 ng I-TEQ/m³_Nであったとの報告がある¹⁵⁾。

3. 研究の目的

以上のような背景の下で、平成19年度厚生労働科学特別研究事業において、武田らは、ダイオキシン類削減対策指針前、および後に設置された施設を、2施設ずつ、計4施設の火葬炉を選定し、これらを対象にダイオキシン類、および臭素化ダイオキシン類の排出実態調査を行った。(以下2007調査)。その結果、火葬炉における排ガス中ダイオキシン類の濃度は、O₂12%換算濃度で9.0～75 ng/m³_N、毒性等量で0.00012～1.2 ng TEQ-WHO₉₈/m³_Nの範囲であり、算術平均では0.42 ng TEQ-WHO₉₈/m³_Nであることがわかった。また、臭素化ダイオキシン類は、塩素化ダイオキシン類に比較してその寄与は十分低いことが確認された。これらの調査結果から、ダイオキシン類の排出原単位の算術平均値は1,000 ng TEQ-WHO₉₈/人であり、10年前の調査結果に比較して、約1/5となっており削減対策指針による削減効果がうかがえた¹⁶⁾。

本研究は、平成19年度の4施設での調査結果に加え、さらなる実態調査を行うことによって、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し、削減対策指針の効果を検証することを目的とした。具体的には、対象施設として代表的な10箇所の火葬場を選定し、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濃度を調べ、得ら

れた統計値を用いて、最新の排出原単位、排出インベントリーを明らかにし、削減対策指針以前のデータ、あるいは諸外国での報告値との比較を行って、削減対策指針の検証に加え、火葬大国・日本の世界における位置づけを検討した。

次に、3施設の比較的新しい火葬場において、その排ガス処理における熱交換器、集じん機、触媒装置、活性炭吸着設備等の前後でのダイオキシン類濃度を測定し、それらのダイオキシン類除去効果を明らかにし、排出抑制対策を検討した。

また、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て、現状を把握し、火葬炉構造との関連性について言及した。さらに、火葬灰へのダイオキシン類排出インベントリーを明らかにし、大気へのダイオキシン類排出インベントリーとの比較、およびその将来予測を行った。

B. 研究方法

1. 対象施設

(1) 対象施設の概要

本年度の調査対象とした火葬場は全10施設であり、その火葬場の一覧を表B.1.1に示した。以下施設名については、調査を実施した年を考慮して、施設2008-A～2008-G、施設2009-A～2009-Cで記述する（全て別の施設）。10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2008-A～2008-C、施設2009-B～2009-Cは、排気系列が2炉1系列であり、施設2008-Dは3炉1系列、施設2008-E～2008-G、施設2009-Aは1炉1系列であった。集じん機は、施設2008-A～2008-C、施設2009-A～施設2009-Cにはバグフィルターが設置され、それぞれの後段に触媒装置、あるいは活性炭吸着設備が設置されていた。施設2008-Dでは電気集じん機、施設2008-Fではスクリーンが設置されており。施設2008-E、および施設2008-Gはともに集じん機が設置されていなかった。

表B.1.1 対象とした火葬場仕様の一覧

火葬炉	再燃焼炉	主燃焼室 :再燃焼室	集じん機	高度排ガス処理	排ガス冷却方式	排気方式 (炉:系列)	燃料
2008-A	有	1:1	バグフィルター	触媒装置	熱交換器	強制(2:1)	都市ガス 13A
2008-B	有	1:1	バグフィルター	触媒装置	空気混合	強制(2:1)	都市ガス 13A
2008-C	有	1:1	バグフィルター	活性炭吸着設備	空気混合	強制(2:1)	灯油
2008-D	有	1:1	電気集じん機	なし	空気混合	強制(3:1)	都市ガス 13A
2008-E	有	1:1	なし	なし	空気混合	強制(1:1)	灯油
2008-F	有	1:1	スクリーン	なし	空気混合	強制(1:1)	都市ガス 13A
2008-G	有	1:1	なし	なし	空気混合	強制(1:1)	灯油
2009-A	有	1:1	バグフィルター	触媒装置	空気混合	強制(1:1)	天然ガス
2009-B	有	1:1	バグフィルター	触媒装置	熱交換器+空気混合	強制(2:1)	都市ガス 13A
2009-C	有	1:1	バグフィルター	活性炭吸着設備	空気混合	強制(2:1)	都市ガス 13A

(2) 施設の選定方法

施設を選定するにあたっては、大きく2つの考え方で選定した。

まず、施設2008-A～2008-Gに関しては、火葬場からのダイオキシン類の排出濃度を明らかにすることを主眼としており、基本的には、全国の火葬炉数や形式についての統計データを基に決定したが、以下の点を考慮した。2008年現在において、公表されており、本研究にて入手できた全国の火葬場の統計データは、平成11年度当時、厚生省が削減対策指針の作成時に、火葬実績のある1,558施設について行ったもの⁵⁾であった。当時は、他の報告においても¹⁾、この統計データを最新として引用していたが、これは10年前のデータであり、削減対策指針を受けて新設、改造、廃止が進められてきた火葬炉の現状を反映しているとは言い難い。そこで、施設の選定は、削減対策指針を反映していると考えられる集じん機やその後段の高度排ガス処理を有する新しい施設と、反映していないと想定される古い施設とを選定することを前提とし、その規模（1施設あたりの炉数）や主燃焼室に対する再燃焼室の比については、平成11年度の厚生省調査⁵⁾からできるだけ、平均的な位置づけにあるものを選定することにより行った。

厚生省が平成11年度行った火葬場の調査統計データ⁵⁾により、本研究で選定した施設の位置づけについて以下に具体的に説明する。着目した項目は、炉数、建設年度、主燃焼室に対する再燃焼室の比、集じん機の種類4つである。図B.1.1に平成11年度による調査結果を円グラフとして示し、今回選定した火葬炉（施設2008-A～2008-G）が対応するカテゴリーに数を記した。

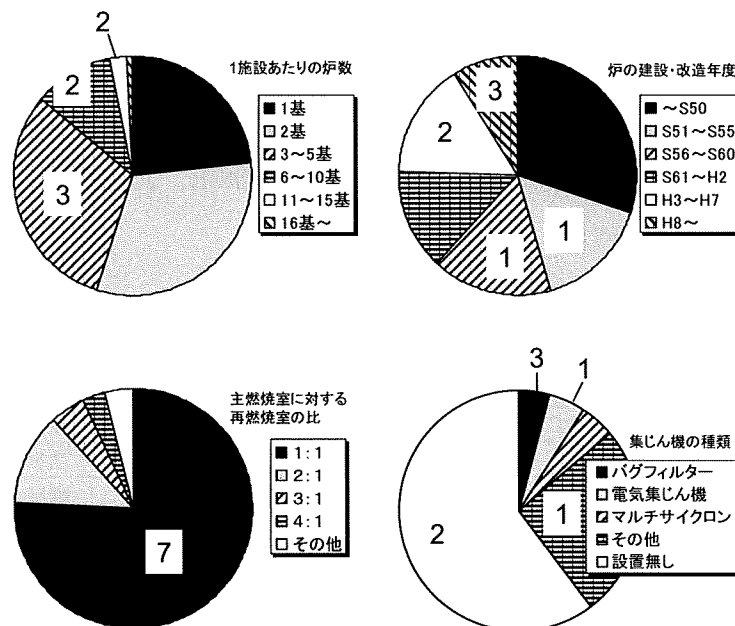


図 B.1.1 我が国の火葬炉の構成と本調査施設の位置づけ
(平成11年度厚生省調査⁵⁾より)

1 施設あたりの炉数は、3～15基の間に位置し、中規模～大規模の施設を中心に選定した。炉の建設年度に関しては、昭和60年以前の比較的古い施設を2施設と、平成3～7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、火葬場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。

また、施設2009-A～2009-Cを選定するにあたっては、この3箇所での調査は、排ガス処理プロセスにおけるダイオキシン類の除去効果を明らかにすることを主眼としていたため、集じん機や、触媒装置、活性炭吸着設備が設置されているような、ダイオキシン類対策指針後に新設・改造された施設を選定した。結果として、選定した3施設の全てが平成14年以降に新設された施設であった。

2. 測定項目および測定方法

10箇所の火葬場を対象に、1箇所の火葬場につき1～2回の排ガスサンプリングを行った。対象とした火葬の詳細について表B.2.1に示す。排ガスサンプリングは基本的に同一

表B.2.1 調査対象の火葬一覧

施設	番号	火葬日	火葬開始時間	火葬終了時間	火葬時間	年齢	性別
2008-A	1	2008/11/12	10:25	11:23	0:58	64歳	女性
	2	2008/11/12	13:59	14:56	0:57	75歳	女性
2008-B	1	2008/11/21	11:00	12:06	1:06	91歳	女性
	2	2008/11/21	14:15	15:14	0:59	79歳	女性
2008-C	1	2008/11/25	13:23	14:11	0:48	98歳	女性
	2	2008/11/25	15:13	16:21	1:08	85歳	女性
2008-D	1	2008/11/28	11:25	12:29	1:04	66歳	男性
	2	2008/11/28	14:40	15:25	0:45	80歳	女性
2008-E	1	2008/11/11	12:49	13:49	1:00	75歳	女性
	2	2008/11/12	12:29	13:32	1:03	88歳	男性
2008-F	1	2008/11/13	12:37	13:36	0:59	93歳	男性
	2	2008/11/13	14:23	15:27	1:04	91歳	女性
2008-G	1	2008/12/2	12:00	13:25	1:25	60歳	男性
	2	2008/12/2	14:21	15:25	1:04	67歳	男性
2009-A	1	2009/9/8	14:24	15:26	1:02	97歳	女性
2009-B	1	2009/11/12	11:22	12:07	0:45	86歳	女性
	2	2009/11/12	14:20	15:05	0:45	58歳	女性
2009-C	1	2009/12/4	11:15	12:40	1:25	52歳	男性
	2	2009/12/4	15:24	16:25	1:01	69歳	男性

日に実施したが、火葬場のスケジュールにより、施設2008-Eでは2日に分けて1回ずつサンプリングを行った。排ガスサンプリングは、まず、全ての火葬場で、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。

また施設2009-A～2009-Cについては、排ガス処理プロセスの各段階でのサンプリングを行った。排ガスサンプリング箇所を3施設の火葬場のフロー図とともに、図B.2.1に示した。これら3箇所の火葬場で、少なくともバグフィルターの前後段でサンプリングを行うとともに、施設2009-B～2009-Cでは再燃焼炉の後段（排ガス冷却器入口）でサンプリングを行った。なお、施設2009-Bにおけるバグフィルター後段（触媒装置入口）、煙突の前段（触媒装置出口）の2箇所は、サンプリングの都合により2体の火葬のうち最初の1体のみでの測定とした。具体的な実施は、各サンプリングポイントにおける測定孔にサンプリングチューブを挿入し実施した。測定孔がない場合は工事を行って増設した。

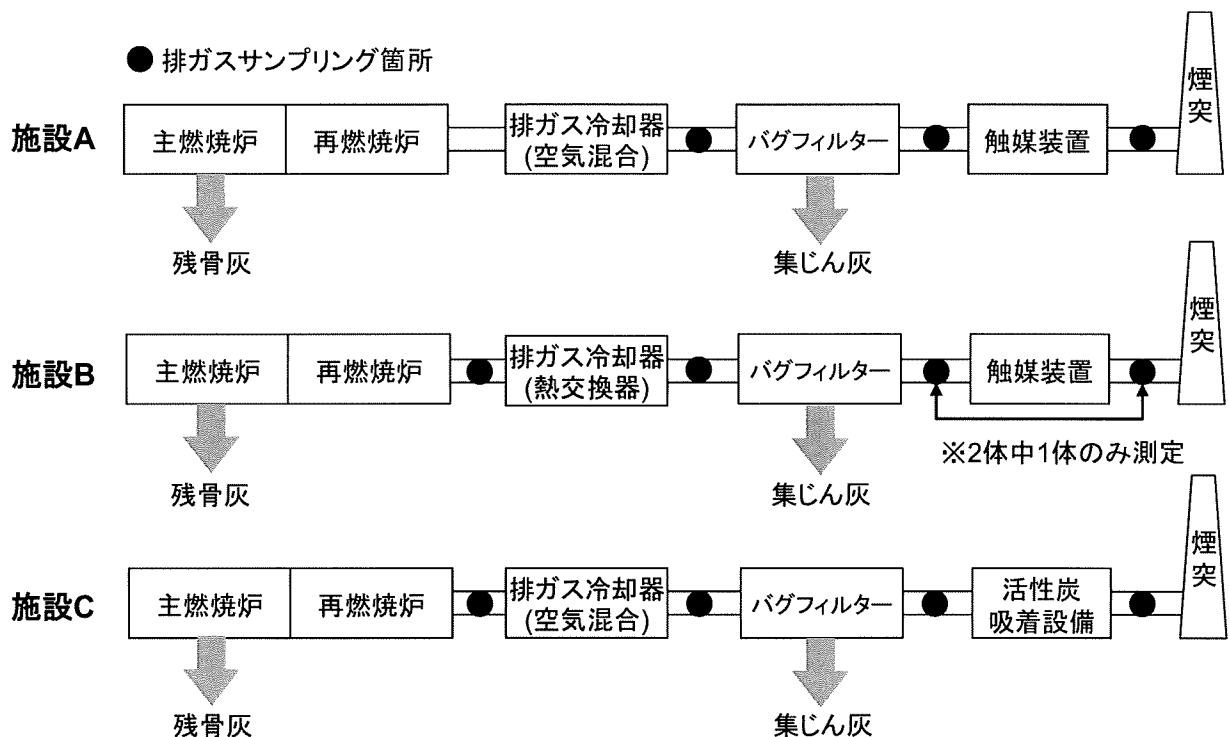


図 B.2.1 2009 年調査における各火葬場のフローとサンプリング箇所

測定項目、および測定方法の一覧を表B.2.2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2008-A～2008-D、施設2009-B～C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温度を熱電対により測定するとともに、排ガス中水分、流速を測定して、排ガス流量（湿り、乾き）を求めた。

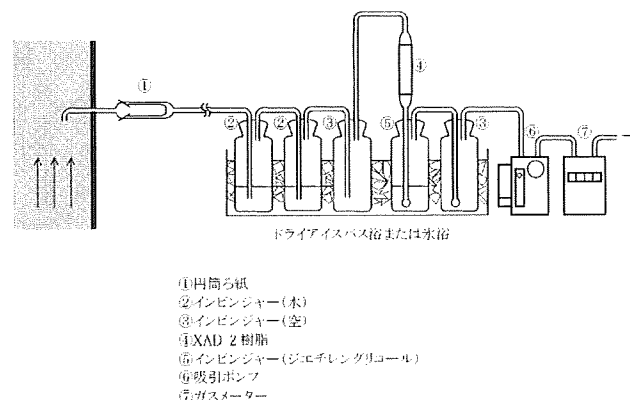
施設2008-Dを除く全ての火葬場で、全ての排ガスサンプリングが終了した約1時間後に、残骨灰を採取し、さらに、集じん機が設置されている施設では、集じん灰を採取した。これらの固体サンプル中のダイオキシン類濃度は環境省告示80号に基づいて行った。

表B.2.2 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)
	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



図B.3.1 排ガス中ダイオキシン類捕集装置

メタノール、およびジクロロメタンで洗浄し、洗液とした。

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。

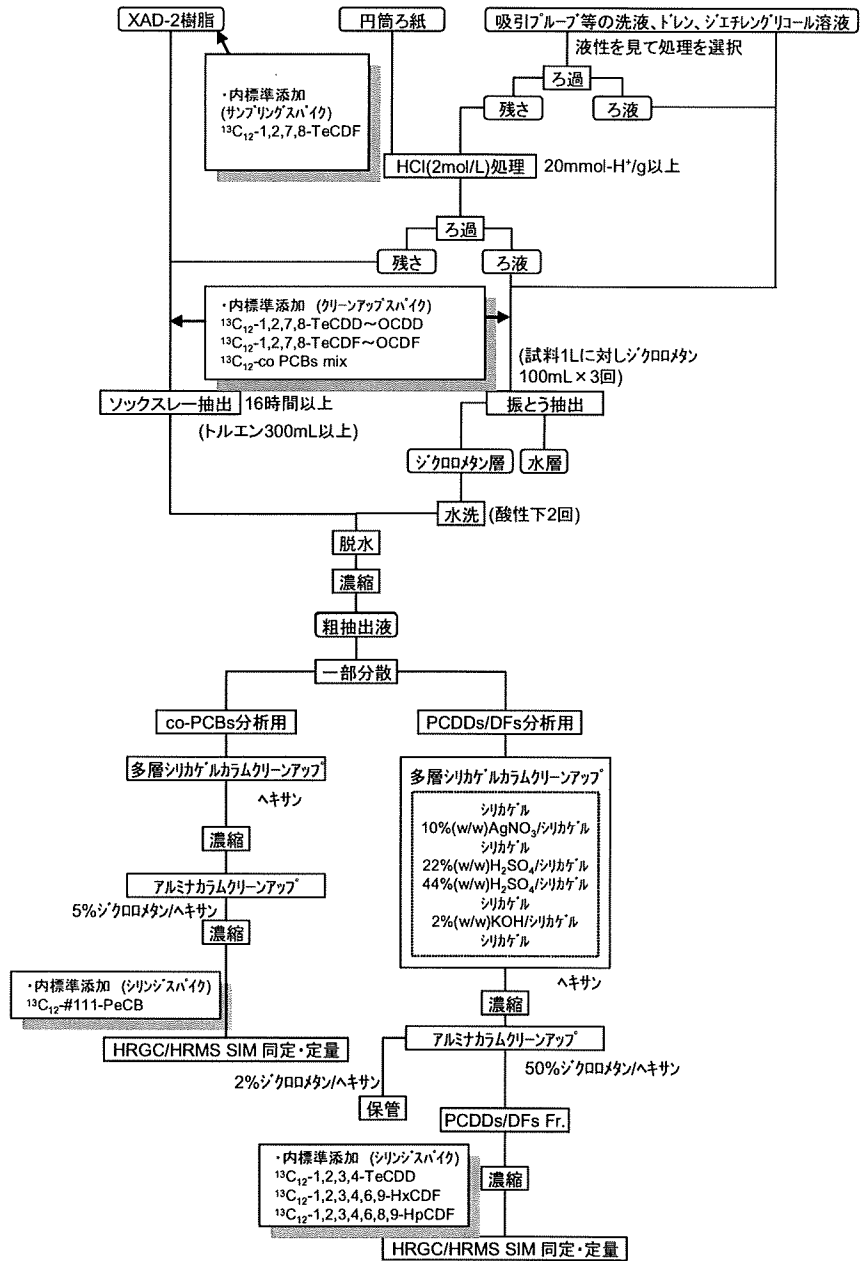


図 B.4.1 排ガス中ダイオキシン類
前処理方法のフローチャート