

図 C.2.1 PBPK モデルの検証結果

左：血中濃度の時間的変化 右：一日当たりの尿中排泄量の時間的変化

きが大きいものの、計算結果は実測の最大値と最小値の幅に収まっており、妥当なものであると考えられる。

以上の結果から、良好な PBPK モデルが構築できたといえる。

#### D. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- ・ 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を行い、本年度は9検体のアマルガム採取、ヒアリングデータが得られた。アマルガム充填物の重量は56～231mg(算術平均116mg)であったが、経過年数とともに重量は減少する傾向がわずかに見られた。
- ・ アマルガム充填物の減少傾向から、イギリスよりも日本の方がアマルガム処置歯あたりの水銀量は少ない可能性と、経過年数とともに口腔内アマルガム中の水銀が減少している可能性が示唆された。
- ・ 次年度は更に収集を続けるとともに、採取したアマルガム中の水銀を分析する予定である。
- ・ ラットを用いた水銀投与実験結果を基に、蒸気水銀についてのヒトのPBPKモデルを構築した。無機水銀の各臓器への移動係数等、生化学的パラメータは、ラットとヒトの臓器表面積比を用いることで推定し、さらに実測データに適合するようフィッティングすることで決定した。ここで構築したPBPKモデルを実際に人に蒸気水銀を曝露したデータを用いて検証を行った結果、実測データをよく表現しており、モデルの妥当性が確認された。

- ・ 次年度は、このPBPKモデルを用いて、歯科用アマルガム由来の水銀あるいは大気中から吸入する水銀について体内動態の評価および、健康リスク評価を行う予定である。

#### E. 研究発表

該当なし(平成21年3月現在)

#### F. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし(平成21年3月現在)

#### 【参考文献】

- 1) 食品安全委員会における食品健康影響評価書(魚介類等に含まれるメチル水銀について)<http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/suigin/dl/050812-1-04-1b.pdf>
- 2) 堂本真吾、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)
- 3) 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)
- 4) Allan Mills: Mercury and Crematorium Chimneys, *Nature*, Vol.346, p.16 (1990)
- 5) 鈴木継美：環境汚染物質(特にメチル水銀)に対するヒトの適応能、産業医学レビュー、Vol.2, pp.25-36 (1989)
- 6) Piikivi, L. and H. Hanninen: Subjective symptoms and psychological performance of chlorine-alkali workers. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, Vol.15, No.1, pp.69-74 (1989)
- 7) Fawer, R.F., Y. de Ribaupierre, M.P. Guillemin, M. Berode, and M. Lob.: Measurement of hand tremor induced by industrial exposure to metallic mercury. *British Journal of Industrial Medicine*, Vol.40, No.2, pp.204-208 (1983)
- 8) Farris, F.F., Dedrick, R.L., Allen, P.V., and Smith, J.C.: Physiological Model for the Pharmacokinetics of Methyl Mercury in the Growing Rat. *Toxicology and Applied Pharmacology*, Vol.119, No.1, pp.74-90 (1993)
- 9) ICRP.: Publication89 Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. *Annals of ICRP* (2002)

- 10) Ramsey, J.C. and Andersen, M.E.: A Physiologically Based Description of the Inhalation Pharmacokinetics of Styrene in Rats and Humans. *Toxicology and Applied Pharmacology*, Vol.73, No.1, pp.159-175 (1984)
- 11) 岡本明、子田晃一、岩久正明、細田裕康：各種市販アマルガムの金属組織学的研究、*歯科材料・器械*、Vol.2, No.5, pp.548-563 (1983)
- 12) I.Shake: Mass Balance and Systemic Uptake of Mercury Released from Dental Amalgam Fillings, *Water, Air and Soil Pollution*, Vol.80, pp.59-67 (1995)
- 13) Sandborgh-Englund, G., Elinder, C-G., Johanson, G., Lind, B., Skare, I., and a, J.E. The Absorption, Blood Levels, and Excretion of Mercury after a Single Dose of Mercury Vapor in Humans. *Toxicology and Applied Pharmacology*, Vol.150, pp.146-153 (1998)

## 付 録

- 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

## 研究計画書

## 申請者

所属 口腔外科学第一講座  
 職名 教授  
 氏名 森田 章介 印

## 研究課題

歯科用アマルガム充填材の経年変化および健康リスクの評価

## 研究目的

歯科用アマルガム充填材は過去に歯科材料の一つとして多用されてきた。最近の火葬時排ガス中の水銀測定研究により、最終的な患者の保有するアマルガム中の水銀量が歯科材料統計や工業統計からのアマルガム量と大きく異なることが指摘されている。これは、文献で報告されている歯科用アマルガム充填量の原単位が異なること、あるいは充填材として保有している間に水銀が体内に摂取され、代謝されていることなどが原因として考えられる。歯科用アマルガム充填材による健康リスクが明らかになれば、本充填材の対処について評価できるとともに、国連環境計画が作成しているグローバルマーキュリーアセスメント（世界的水銀評価・管理）にも寄与する。

## 方法（対象・方法）詳細に

1. 対象：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を対象とする。
2. ヒアリングデータ：抜去歯の歯科用アマルガム充填の時期を聴取する。
3. 抜去歯からの歯科用アマルガム充填材の採取：歯科用タービン、バーを用いて充填材を採取する。
4. 採取した充填材中の水銀量を分析：加熱気化全自動水銀測定装置を用いて測定する。
5. ヒアリングデータと水銀量の分析結果から、本充填材の経年変化を明らかにするとともに、排出量推計値を見直す。
6. これらの結果から、体内動態評価モデルによる充填材からの水銀健康リスク評価を行う。

&lt;第1号様式&gt;

※受付番号

平成 年 月 日

大阪歯科大学

医の倫理委員会委員長 殿

実施責任者（申請者）

所 属 口腔外科学第一講座

職 名 教授

氏 名 森 田 章 介 印

## 研究等審査申請書

下記について、審査を申請します。

## 記

1. 課題名	歯科用アマルガム充填材の経年変化および健康リスクの評価
2. 所属長（氏名・印）	森 田 章 介 印
3. 研究責任者（氏名・印）	森 田 章 介 印
4. 研究等担当者（所属・氏名）	大阪歯科大学口腔外科学第一講座 森田章介、井関富雄、田伏 信、松本和浩、福地和秀 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 森澤眞輔、米田 稔、高岡昌輝、中山亜紀
5. 研究等の概要	<p>1) 目的</p> <p>過去に充填された歯科用アマルガム充填材中の水銀を分析し、本充填材の経年変化を明らかにすることにより、水銀による健康リスクを評価する。</p> <p>2) 背景および意義</p> <p>歯科用アマルガム充填材は過去に歯科材料の一つとして多用されてきた。最近の火葬時排ガス中の水銀測定研究により、最終的な患者の保有するアマルガム中の水銀量が歯科材料統計や工業統計からのアマルガム量と大きく異なることが指摘されている。これは、文献で報告されている歯科用アマルガム充填量の原単位が異なること、あるいは充填材として保有している間に水銀が体内に摂取され、代謝されていることなどが原因として考えられる。歯科用アマルガム充填材による健康リスクが明らかになれば、本充填歯の対処について評価できるとともに、国連環境計画が作成しているグローバルマーキュリーアセスメント（世界的水銀評価・管理）にも寄与する。</p>

## 3) 対象および報奨の有無

本倫理委員会承認後、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を対象とする。抜去歯の試料は連結不可能匿名化する。

報奨は無である。

## 4) 方法

過去に充填された歯科用アマルガム充填材中の水銀を分析し、本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、水銀による健康リスクを評価する。平成 20 年度は、抜去歯からの歯科用アマルガム充填材の採取および充填材中の水銀分析を行なう。また、ヒアリングデータを収集し、整理するとともに、体内動態評価モデルを作成する。平成 21 年度も歯科用アマルガム充填材中の水銀分析を行なうとともに、これらのデータとヒアリングデータとを対応させ、アマルガム中の水銀含有量に原単位を求める。さらに体内動態評価モデルによる充填材からの水銀健康リスク評価を行う。

## 5) 期間

平成 20 年度大阪歯科大学・医の倫理委員会承認後～平成 22 年 3 月 31 日

## 6) 資金

平成 20 年度厚生労働科学研究費

## 7) 審査を希望する理由

治療目的で抜去された歯を用いるため。

## 6. 研究等の実施場所

大阪歯科大学附属病院本館 4 階口腔外科診療室

## 7. 研究等における歯学・医学、倫理的および社会的配慮

## 1) 研究等の対象となる個人の権利および福祉を守るための配慮

ヘルシンキ宣言最新版の諸原則に従い、連結不可能匿名化された試料を取り扱う。よって試料提供者のプライバシーが侵害されることはない。

## 2) 研究等の対象となる個人にもたらされると予測される利益と不利益

試料提供者に直接もたらされる利益も不利益もない。

## 3) 研究等によってもたらされると予測される歯学・医学的並びに社会的利益

歯科用アマルガム充填材による健康リスクが明らかになれば、アマルガム充填歯の処置について評価でき、今後の治療に有用である。更に患者の QOL の向上につながる。

## 4) 研究等の対象となる個人に理解を求め同意を得る方法

説明文書を用いて説明し、理解が得られたことを確認した後、書面にて同意を得る。

## 5) その他考慮すべき事項（研究等の社会的影響）

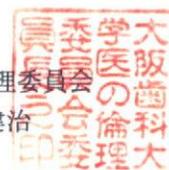
特になし。

8. その他の参考事項（本課題に関連した国内外の事情、文献等）

1. Mills A. Mercury and crematorium chimneys. *Nature* 346 : 615 1990.
2. 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* 41 : 309-319 2006.
3. SKARE I. Mass balance and systemic uptake of mercury released from dental amalgam fillings. *Water, Air and Soil Pollution* 80 : 59-67 1995.

# 承 認 証

大阪歯科大学 医の倫理委員会  
委員長 覚道 健治



本学「医の倫理委員会」規程に基き会議の議を経て承認を得たことを証明します。

承認番号： 大歯医倫 080506 号

承認年月日： 平成 20 年 5 月 14 日

課 題 名： 「 歯科用アマルガム充填材の経年変化および健康リスクの評価 」

所属長： 森田章介

所属： 口腔外科学第一講座

職名： 教授

申請者： 森田章介

所属： 口腔外科学第一講座

職名： 教授

研究等担当者

所属： 口腔外科学第一講座

氏名： 森田章介、井関富雄、田伏 信、松本和浩、福地和秀

所属： 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻

氏名： 森澤眞輔、米田 稔、高岡昌輝、中山亜紀

## 説 明 文 書

研究題目： 歯科用アマルガム充填材の経年変化および健康リスクの評価

はじめに

本研究は大阪歯科大学・医の倫理委員会の承認を得て実施される研究です。あらかじめ本研究について正しく理解したうえで、あなた自身の自由な意志に基づいて本研究に参加するか否かの判断をしてください。研究の内容等について具体的に説明しますので、不明な点があれば遠慮なく質問してください。

### 1. 研究を目的とすることおよび研究の目的

過去に充填された歯科用アマルガム中の水銀を分析し、歯科用アマルガム充填材の経年変化を明らかにし、水銀による健康リスクを評価することを目的としています。

### 2. 研究の意義

歯科用アマルガム充填材による健康リスクが明らかになれば、アマルガム充填処置について評価できるとともに、また国連環境計画が作成しているグローバルマーキュリーアセスメント（世界的水銀評価・管理）にも寄与します。

### 3. 研究の方法

提供いただいた歯科用アマルガム充填材中の水銀量を測定すること、および充填材の履歴について調査することにより、歯科用アマルガム充填材の経年変化を明らかにします。また、この結果を用いて、歯科用アマルガム充填材の健康リスクを評価します。

### 4. 費用負担および研究資金

研究については厚生労働省科学研究費を用いて行っています。治療に関わる費用はご負担していただきます。

### 5. 被験者に予測される利益と不利益

本研究に参加されても、あなたには直接的な利益はありません。抜去歯を用いますので直接的な不利益が生じることもありません。さらに、連結不可能匿名化して（組織の提供者が誰であるかわからないようにして）研究を行いますので、あなたのプライバシーも守られます。

### 6. 研究に参加する期間および報奨の有無

本研究は平成 20 年 6 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日まで実施されますが、あなた自身が研究に参加するために要する期間は、治療のための処置時のみで、それ以外にはありません。また、報奨はありません。

#### 7. 健康被害が発生した場合の対処

要抜去歯と診断され、抜去した歯の歯科用アマルガム充填材を利用した研究のため、研究に参加することによる健康被害が発生することはありません。

#### 8. プライバシーの保護

本研究から得られた情報・成果が教育のために使用されたり、学術目的で発表されたりすることがあります。しかし、氏名をはじめとしてあなた個人を特定できるような情報が公表されることはありません。あなたのプライバシー保護については十分に配慮します。

#### 9. 研究の中止

本研究の担当者あるいは責任者が研究の継続に問題があると判断した場合、研究の一部もしくは研究全体が中止されます。

#### 10. 研究に係るその他の必要事項

本研究の成果が直接的に経済的利益をもたらす可能性はありません。したがって、この研究によって知的所有権が発生する可能性はほとんどありませんが、知的所有権が発生した場合には、その権利は本学に帰属します。

#### 11. 研究参加の自由

本研究の内容についてよく理解していただいたうえで、あなた自身の判断で研究に参加するかどうか決定してください。研究に参加しなくとも何ら差し支えはありません。また、研究に参加しないからといってあなたが不利益を受けることはありません。

#### 12. 研究参加撤回の自由

研究への参加に一度同意された場合でも、いつでもこれを撤回できます。また、そうされたからといってあなたが不利益を受けることはありません。ただし、試料の連結不可能匿名化後は、撤回できないことになります。

#### 13. 説明を求める自由

研究についての説明を求めたいときや、研究中に心配なことがありましたら、いつでも遠慮なく申し出てください。

## 14. 研究に関する問い合わせ先及び研究責任者・研究担当者氏名

研究責任者	大阪歯科大学 口腔外科学第一講座	森田章介
研究担当者	大阪歯科大学 口腔外科学第一講座	井関富雄
	大阪歯科大学 口腔外科学第一講座	田伏 信
	大阪歯科大学 口腔外科学第一講座	松本和浩
	大阪歯科大学 口腔外科学第一講座	福地和秀
	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻	森澤真輔
	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻	米田 稔
	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻	高岡昌輝
	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻	中山亜紀

540-0008 大阪市中央区大手前 1-5-17

大阪歯科大学口腔外科学第一講座 電話 06-6910-1076

615-8540 京都市西京区京都大学桂

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 電話 075-383-3336

# 同 意 書

殿

研究題目： 歯科用アマルガム充填材の経年変化および健康リスクの評価

1. 研究を目的とすることおよび研究の目的
2. 研究の意義
3. 研究の方法
4. 費用負担および研究資金
5. 被験者に予測される利益と不利益
6. 研究に参加する期間および報奨の有無
7. 健康被害が発生した場合の対処
8. プライバシーの保護
9. 研究の中止
10. 研究に係るその他の必要事項
11. 研究参加の自由
12. 研究参加撤回の自由
13. 説明を求める自由
14. 研究に関する問い合わせ先および研究責任者・研究担当者氏名

私は「歯科用アマルガム充填材の経年変化および健康リスクの評価」の研究に協力するにあたり、研究担当者 \_\_\_\_\_ より上記について説明を受け十分に理解しました。 \_\_\_\_\_  
 ついては、納得した上で研究に参加することを同意致します。

平成 \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日

同意者氏名（署名/記名・印） \_\_\_\_\_

住所 \_\_\_\_\_

代理人氏名（署名/記名・印，続柄） \_\_\_\_\_

研究担当者氏名 \_\_\_\_\_ 印

研究責任者氏名 森 田 章 介 印

### III. 研究成果の刊行に関する一覧表

#### 1. 書籍

該当なし

#### 2. 雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
武田信生 高岡昌輝 大下和徹	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	環境工学 研究論文集	Vol.45	259-270	2008

#### IV. 研究成果の刊行物・別刷

武田信生、高岡昌輝、大下和徹  
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  
環境工学研究論文集、Vol.45, pp.259-270 (2008)

# 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<sup>1</sup>・高岡 昌輝<sup>2\*</sup>・大下 和徹<sup>2</sup>

<sup>1</sup>立命館大学エコ・テクノロジー研究センター (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

<sup>2</sup>京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

\* E-mail: takaoka@environ.mbox.media.kyoto-u.ac.jp

火葬場から排出される有害物質の実態を調査し、排出抑制策を検討することを目的とし、4箇所の火葬炉にて、排ガスや灰中の塩素化・臭素化ダイオキシン類、水銀、六価クロムなどの測定を行った。

その結果、排ガス中ダイオキシン類は、算術平均で $0.42\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ( $\text{O}_2$ 12%換算)であり、この結果から、排出インベントリは最大 $1.1\text{g-TEQ}/\text{年}$ と試算され、現在の試算値の1/5程度まで低減されていると推定された。排ガス中水銀は、JIS法ではほとんどが定量下限以下であったが、形態別水銀連続分析では過去の調査と同様に歯科アマルガム由来と考えられる $\text{Hg}^0$ が大きな寄与を占めることが確認された。灰中の重金属は、全試料で六価クロムの溶出量が、土壤環境基準の180~1200倍となり対策が必要であると考えられた。

**Key Words :** crematorium, dioxin, mercury, emission control, hexavalent chromium compounds

## 1. 研究目的

わが国の火葬率は平成18年度で約99.7%であり、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、著者らは、火葬場から排出されるダイオキシン類実態調査を行った<sup>3) 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 $4,800\text{ng-TEQ}/\text{人}$ )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>。「火葬炉からの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や<sup>9)</sup>、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、火葬炉における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。具体的には、対象施設として代表的な4箇所の火葬炉を選定し、排ガスについては、塩素化ダイオキシン類、臭素化ダイオキシン類、水銀濃度測定を行い、現状の火葬場からの排出実態を明らかにした。また、ガスサンプル以外の残骨灰、集じん灰については、水銀、六価クロム、フッ素、ホウ素における、含有量および溶出量を調べ、基準値との比較を行った。

## 2. 研究方法

### (1) 対象施設

本研究で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-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。

施設を選定するにあたっては、現在の全国の火葬炉数や形式を基に決定すべきであるが、現在公表されていて本研究にて入手できた全国の火葬炉のデータは平成11年の厚生省調査<sup>9)</sup>によるものであり、他の報告においても<sup>11)</sup>、この調査を最新として引用している。しかし、これは9年前のデータであり、「火葬炉からのダイオキシン類排出抑制ガイドライン」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、施設を選定は、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、平成11年の厚生省調査<sup>9)</sup>から平均的な位置づけにあるものを選定すること、「火葬炉からのダイオキシン類排出抑制ガイドライン」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比較的新しい施設と、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、以上の2つの観点により行った。これにより、火葬炉からの有害物質排出傾向の大枠を現状に即した形で把握できると考えられる。

表-1 対象とした火葬炉と測定条件

火葬炉	施設A		施設B		施設C		施設D	
	再燃焼炉	有	有	有	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) サンプリング、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-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が終了した約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-2に示す。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>12)</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。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、排ガス温度を測定し、排ガス流量(湿り、乾き)を求めた。

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4月17日までの約10週間にわたり計44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℃に加熱した。形態別水銀連続測定装置は北米で広く用いられているOntario Hydro Methodをベースとして開発されたもので、金属状(0価)と2価の水銀に分けることができ、検出下限は0.1μg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>である<sup>13)、14)</sup>。再燃焼炉の着火と同時に連続分析計の測定を開始し、主燃焼炉の着火から主燃焼炉の消火までを濃度測定時間とした。また、水銀の連続分析中は、同時に同様のサンプリング箇所におけるO<sub>2</sub>濃度を連続分析した。

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>12)</sup>。また、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、水銀、六価クロム、フッ素、ホウ素については、土壤環境基準に基づいた試験を行った。具体的には、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。

表-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 形態別水銀連続分析装置((日本インスツルメンツ社:MS-1A, DM-6B))
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		

### 3. 結果, および考察

#### (1) ばいじん, CO, NOx

排ガス組成の測定結果を表-3に示した。まず, ばいじん濃度は, 集じん機が設置されている施設A, Bにおいては,  $0.03\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 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,  $0.14\sim 0.17\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であり, 比較的高い値を示した。ただし, 施設Dにおいても集じん機は設置されていなかったが,  $0.041\sim 0.064\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であり, 比較的低い値を示した。したがって, ばいじん濃度に関しては, 集じん機がなくても炉構造などにより変化してくるものと推測された。またCOに関しては, 施設A, およびBでは $30\sim 120\text{ppm}$ であり, 施設C, および施設Dにおいては $64\sim 360\text{ppm}$ であって, 施設AおよびBの方が全体的に低い傾向であった。COに関しては, 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が, 表-1より施設A, およびBでは燃料として都市ガスが, 施設C, Dでは灯油が使用されており, 液体燃料よりも気体燃料のほうが燃料由来のCOが生成しにくいことが一つの理由として考えられた。NOxに関しては, すべての施設で $50\sim 130\text{ppm}$ であり大きな差は見られなかった。

#### (2) ダイオキシン類, 臭素化ダイオキシン類

ダイオキシン類, および臭素化ダイオキシン類に関連する分析結果を表-3に示した。

##### a) 排ガス中ダイオキシン類濃度

表-3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 $4.7\sim 75\text{ng}/\text{m}^3_{\text{N}}$ , 毒性等量で $0.00012\sim 1.2\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ の範囲であった。それぞれ算術平均では $28\text{ng}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ,  $0.42\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ となり, 平成9・10年度における筆者らの調査結果( $2.9\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ )<sup>4)</sup>と比較すると1/5以下に低減される結果となった。

2回の測定で, ともに約 $0.1\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 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「火葬炉からのダイオキシン類排出抑制ガイドライン」の新設炉における指針値は $1.0\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であり<sup>9)</sup>, その値を下回った。一方,  $1.0\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 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古く, 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, 「火葬炉からのダイオキシン類

排出抑制ガイドライン」の既設炉における指針値は $5.0\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であり<sup>9)</sup>, その値は下回っていた。

施設Dの2回目では,  $0.096\text{ng-TEQ}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 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を示唆された。

##### b) 排ガス中臭素化ダイオキシン類濃度

臭素化ダイオキシン類は, 表-3より, 施設Dで $0.031\sim 0.045\text{ng}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 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, 主として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。

##### c) 残骨灰, 集じん灰中ダイオキシン類濃度

表-3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 $0.012\sim 0.184\text{ng}/\text{g}$ , 毒性等量で $0.00000061\sim 0.0038\text{ng-TEQ}/\text{g}$ 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 $530\text{ng}/\text{g}$ , 毒性等量で $15\text{ng-TEQ}/\text{g}$ , 施設Bにおいて実測濃度で $71\text{ng}/\text{g}$ , 毒性等量で $1.6\text{ng-TEQ}/\text{g}$ であった。平成9・10年度における筆者らの調査結果では, 集じん灰中ダイオキシン類の毒性等量は算術平均で $21\text{ng-TEQ}/\text{g}$ , 中央値で $8.4\text{ng-TEQ}/\text{g}$ 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ていた<sup>9)</sup>。サンプル数が2検体でありはつきりとは言えないが, 10年前のデータと比較すると, 排ガス中ダイオキシン類は大きく低減されているものの, 集じん灰中のダイオキシン類は排ガスほどの低減はされていないと考えられる。

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, 集じん灰は, 10年前の調査結果や都市ごみ焼却飛灰と比較しても依然として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などの対策が必要であろう。

##### d) 残骨灰, 集じん灰中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-3より, 施設Dで $0.0038\text{ng}/\text{g}$ であり, その他は検出下限値以下(N.D.)であった。また, 集じん灰は,  $0.068\sim 0.072\text{ng}/\text{g}$ であり, 塩素化ダイオキシン類に比較して, 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。

##### e) 火葬炉からのダイオキシン類総排出量

排ガス中ダイオキシン類の測定結果より, 火葬炉からのダイオキシン類排出量を推定した。推定

表-3 排ガス組成, ダイオキシン類, 臭素化ダイオキシン類測定結果

項目	測定時間	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							
						排ガス			残骨灰			集じん灰			排ガス			残骨灰	
単位	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	毒性等量	O <sub>2</sub> 12%換算濃度	実測濃度	毒性等量	実測濃度	毒性等量	
A	分	g/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	%	ng/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/g	ng-TEQ/g	ng/g	ng-TEQ/g
A-1	42	<0.003	<20	100	17.9	5.8	16	0.11	0.020	0.0000011	520	15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.072	N.D.
A-2	46	<0.009	<30	50	20.0	0.52	4.7	0.00012							N.D.	N.D.	N.D.		
B	分	g/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	%	ng/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/g	ng-TEQ/g	ng/g	ng-TEQ/g
B-1	68	0.028	120	84	19.7	1.3	9.0	0.0059	0.012	0.00000061	71	1.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.068	N.D.
B-2	61	<0.005	35	120	19.2	3.6	18	0.014							N.D.	N.D.	N.D.		
C	分	g/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	%	ng/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/g	ng-TEQ/g	ng/g	ng-TEQ/g
C-1	71	0.17	260	84	18.4	21	75	1.2	0.18	0.0038	—	—	—	—	N.D.	N.D.	N.D.	—	—
C-2	66	0.14	360	130	18.6	11	41	0.72							N.D.	N.D.	N.D.		
D	分	g/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	%	ng/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/g	ng-TEQ/g	ng/g	ng-TEQ/g
D-1	90	0.041	250	91	15.0	36	54	1.2	0.044	0.0000021	—	—	—	—	0.03	0.045	0.0038	—	—
D-2	71	0.064	64	99	15.2	3.68	5.60	0.096							0.02	0.031	0.0038	—	—
最大値			360	130	20.0	36	75	1.2	0.18	0.0038	520	15	0.03	0.045	0.03	0.045	0.0038	0.072	0.068
最小値			<0.003	<20	15.0	0.52	4.7	0.00012	0.012	0.00000061	71	1.6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	—	—
中央値			0.035	92	18.5	4.7	17	0.10	0.032	0.0000016	300	8.3	—	—	—	—	—	—	—
算術平均値			0.058	142	18.0	10	28	0.42	0.064	0.00095	300	8.3	—	—	—	—	—	—	—
幾何平均値			0.026	89	17.9	5.1	18	0.057	0.038	0.0000086	190	4.9	—	—	—	—	—	—	—

※ばいじん, CO, NOx濃度はO<sub>2</sub>12%換算濃度, 中央値, 算術平均値, 幾何平均値は, 定量限界以下の値は, 定量限界値として算出。  
 ※臭素化ダイオキシン類濃度は, 定量下限値以下はN.D., 中央値, 算術平均値, 幾何平均値は算出せず。