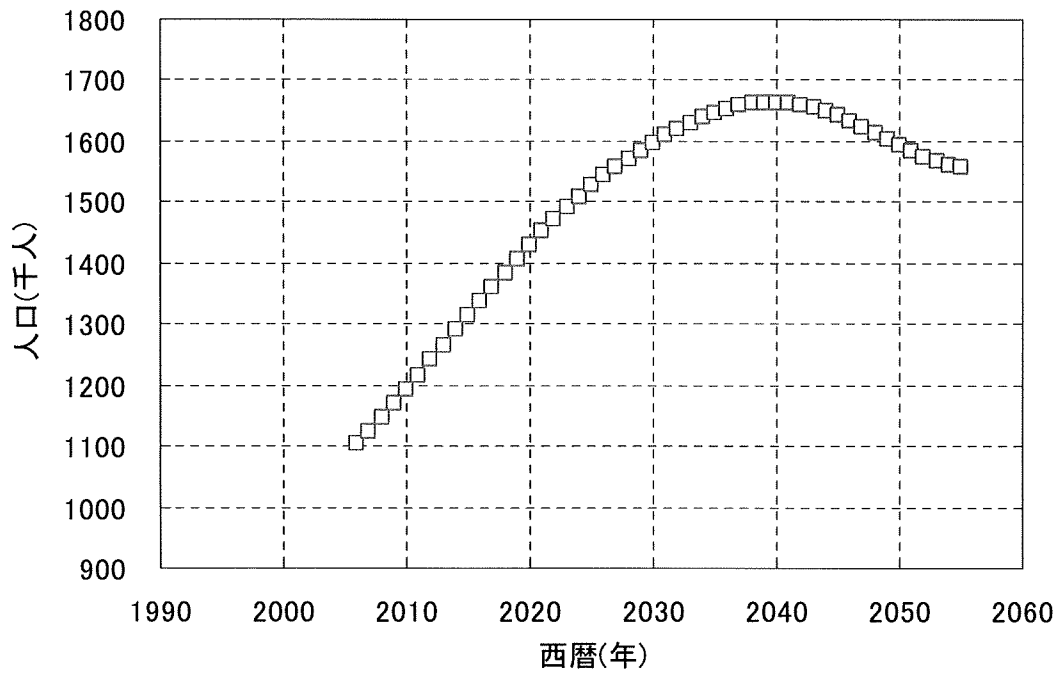
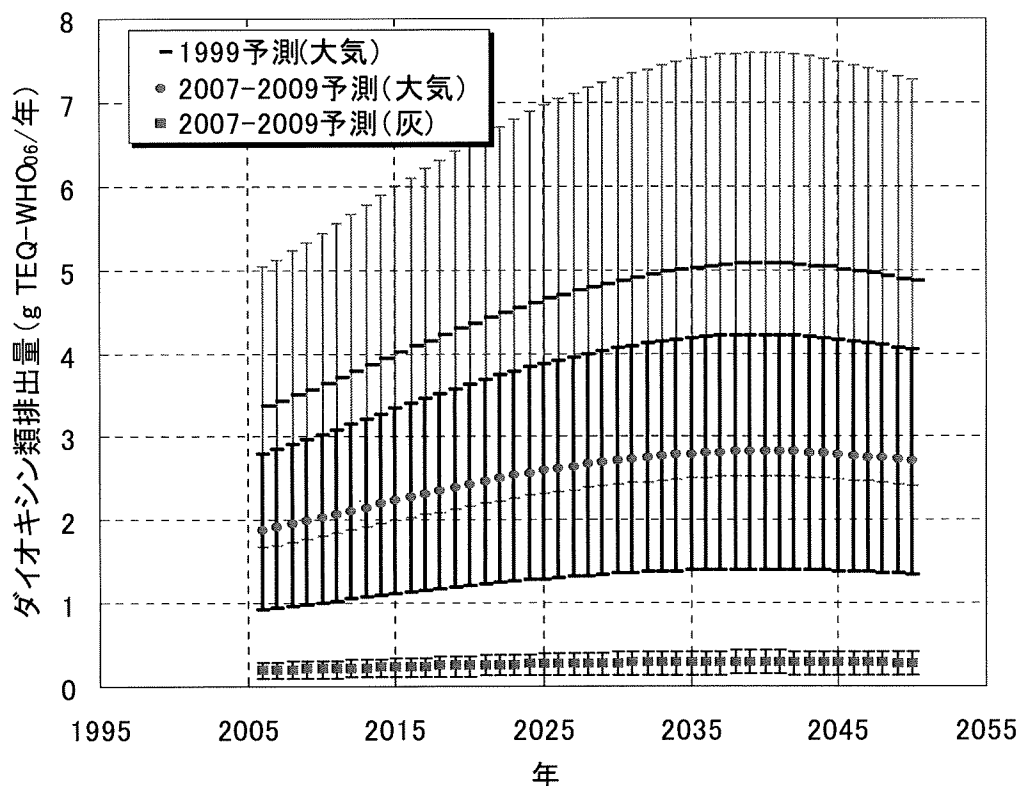


図C.6.3 我が国における将来人口推計



図C.6.4 我が国における将来死亡者数推計



図C.6.5 我が国における火葬場から大気へのダイオキシン類排出インベントリーの将来推計

D. 第2章のまとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・ 本研究で選定した火葬場における、大気排出分としての排ガス中ダイオキシン類濃度は、 O_2 12%換算濃度で4.2～540 ng/m^3_N 、毒性等量で0.00018～11 $ng\ TEQ-WHO_{06}/m^3_N$ の範囲であり、毒性等量の算術平均では、0.93 $ng\ TEQ-WHO_{06}/m^3_N$ であった。
- ・ 排ガス中ダイオキシン類濃度は、「ダイオキシン類削減対策指針」後に設置された火葬炉では、新設炉における指針値1.0 $ng\ TEQ-WHO_{06}/m^3_N$ を下回っていたが、「ダイオキシン類削減対策指針」前に設置された火葬炉では、比較的高く、既設炉における指針値5.0 $ng\ TEQ-WHO_{06}/m^3_N$ を2倍以上上回るケースも見られた。これらの結果と、施設の排ガス処理設備との関連から、確実に、ダイオキシン類の排出を抑制するためには、少なくとも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。
- ・ 各排ガス処理プロセスにおけるダイオキシン類の挙動に関しては、熱交換器でダイオキシン類の再合成が確認された。再合成されたダイオキシン類はバグフィルターでの除去がほとんどできなかったことから、触媒装置等を設置することが重要である。また、熱交換器のない設備ではバグフィルターにてダイオキシン類は毒性当量として、58%以上除去された。触媒装置においても90%以上のダイオキシン類が除去されたが、

触媒入口のダイオキシン類濃度が低い場合濃度が逆転するケースがあるため注意する必要がある。活性炭吸着設備では、本来高いダイオキシン類除去率が期待できるが、活性炭の吸着破過状況を把握し、適切に交換することが重要であると考えられた。

- ・ 残骨灰中のダイオキシン類の濃度範囲は、実測濃度で0.021～2.4 ng/g、毒性等量で0～0.042 ng TEQ-WHO₀₆/gであり、これまでの研究やアンケート結果による報告値と整合した。これら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。
- ・ 集じん灰中のダイオキシン類の濃度範囲は、実測濃度で1.1～419 ng/g、毒性等量で0.014～6.3 ng TEQ-WHO₀₆/gであった。集じん灰中のダイオキシン類濃度が高い火葬炉は、熱交換器を用いた冷却方式を有するものに限られ、熱交換器部分で再合成が生じていることが排ガス測定の結果からも裏付けられた。したがって、排ガスの冷却方式には注意が必要であり、低温での集じんを徹底し、再合成を抑制しつつ、濃度の高い集じん灰に関しては別途処理を検討する必要がある。
- ・ 本研究および2007年の調査結果から、大気へのダイオキシン類の排出原単位は、加重平均を考慮した場合、算術平均値は2,390 ng TEQ-WHO₀₆/体と算出された。この値は、1999調査による排出原単位の約57%程度まで削減された上、諸外国の排出原単位に比較して低い範囲にあり、「ダイオキシン類削減対策指針」による効果がうかがえた。
- ・ 平成20年度の火葬炉から大気へのダイオキシン類排出インベントリーを試算した結果、現在の報告値：2.2～4.9 g TEQ-WHO₀₆/年に比較して、1.2～2.8 g TEQ-WHO₀₆/年まで低減されている結果となった。我が国全体の大気へのダイオキシン類排出インベントリーに対する、火葬炉の寄与は、概ね0.54～1.3%程度と試算され、10年前の前提による試算結果に比べ低減された。しかし、欧米諸国と同レベルまでには低減されておらず、火葬数は今後も増加する傾向が予測されることから、排出原単位を下げるのが重要であると考えられた。
- ・ 本研究および2007年の調査結果から、火葬灰へのダイオキシン類の排出原単位を加重平均により求めた結果、148～185 ng TEQ-WHO₀₆/体と算出され、平成20年度の火葬灰へのダイオキシン類排出インベントリーは、0.17～0.23 g TEQ-WHO₀₆/年と見積もられた。これらの値は、大気へのダイオキシン類排出原単位、およびインベントリーの10%程度であることが明らかとなった。
- ・ 火葬炉から大気へのダイオキシン類排出インベントリーの将来予測は、1999年時点での予測では2020年で2.7～6.0 ng TEQ-WHO₀₆/年、2040年で3.2～7.0 ng TEQ-WHO₀₆/年と試算されていたが、本研究により、今後、死亡者数が増加しても、現状の火葬設備・運転を維持すれば、「ダイオキシン類削減対策指針」により、2020年で1.4～3.4 ng TEQ-WHO₀₆/年、2040年で1.7～4.0 ng TEQ-WHO₀₆/年までの増加に抑えられると試算された。

E. 研究発表

M. Takaoka, N. Takeda, K. Oshita, S. Eguchi, PCDDs/DFs and PBDDs/DFs Emissions from Crematory, *Organohalogen Compounds*, Vol.71, pp.848-853, 2009.

F. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし（平成22年3月31日現在）

【参考文献】

- 1) 厚生労働省：統計一覧、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—指定都市—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—人口動態総覧の年次推移（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) S.Eguchi, N.Takeda, S.Sakai: PCDDs/PCDFs Emissions from a Crematory, *Organohalogen Compounds*, Vol.27, pp.127-132（1996）
- 8) N.Takeda, M.Takaoka, T.Fujiwara, H.Takeyama, S.Eguchi: PCDDs/DFs emissions from crematories in Japan, *Chemosphere*, Vol.40, No.6, pp. 575-586（2000）
- 9) N.Takeda, M.Takaoka, T.Fujiwara, H.Takeyama, S.Eguchi: Measures to prevent emissions of PCDDs/DFs and Co-planer PCBs from crematories in Japan, *Chemosphere*, Vol.43, Nos.4-7, pp.763-771（2001）
- 10) 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）
- 11) J. Jager, M. Wilken, and B. Zeschmar-Lahl: Dioxin- und Furan-Emissionen in Berlin: eine Hochrechnung. *Staub. Reinhaltung der Luft* 52:33, pp.99-106, Springer（1992）

- 12) H.J. Bremmer, L.M. Troost, G. Kuipers, J. DeKoning, A.A. Sein, Emissions of dioxins in The Netherlands. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM) and Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO), Report No. 770501018, pp.68-70 (1994)
- 13) G. H. Eduljee and P. Dyke: An updated inventory of potential PCDD and PCDF emission sources in the UK, *The Science of the Total Environment*, Vol.177, pp. 303-321 (1996)
- 14) D. Mitchell and A. Loader: Investigation of pollutant emissions from crematoria. United Kingdom. Warren Spring Laboratory. Report No. LR908 (PA) (1993)
- 15) Lin-Chi Wang, Wen-Jhy Lee, Wei-Shan Lee, Guo-Ping Chang-Chien, and Perng-Jy Tsai: Characterizing the Emissions of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans from Crematories and Their Impacts to the Surrounding Environment, *Environmental Science and Technology*, Vol.37, No.1, pp.62-67 (2003)
- 16) 武田信生 (主任研究者) : 火葬場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)
- 17) 日本財団 : 『葬斎・火葬船』 構想 調査委員会調査報告書、p.11 (2008)
- 18) 環境省令第15号: ダイオキシン類対策特別措置法施行規則の一部を改正する省令(2007)
- 19) 福永勲 : 欧州における都市ごみ処理技術の動向、*廃棄物学会誌*、Vol.9、No.7、pp.487-495 (1998)
- 20) 環境省環境管理局総務課ダイオキシン対策室 : ダイオキシン類挙動モデルハンドブック、pp.66-68 (2004)
- 21) 宇治貞宏、廣嶺忠生、上島賢郎、船引隆宣 : 触媒によるダイオキシン類の分解特性について、第 19 回全国都市清掃研究発表会講演論文集、pp.208-210 (1998)
- 22) 古角雅行、青木敏春 : 選択的還元脱硝触媒を用いたダイオキシン低減技術の開発、第 4 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.827-830 (1993)
- 23) S. Komai, A. Satsuma, K. Tokura and T. Hattori : Oxidative Coupling of Phenol: A Possible Key Step of Dioxin Formation on deNOx Catalyst, *21st International Symposium on Halogenated Environmental Organic Pollutants and POPs*, pp.407-410 (2001)
- 24) 廃棄物学会編 : 廃棄物ハンドブック、オーム社、p.370 (1997)
- 25) 藤森崇 : 都市ごみ焼却飛灰中の微量金属による芳香族有機塩素化合物の生成促進機構の解明、京都大学博士論文、pp.25-27 (2010)
- 26) S. Sakai, M. Hiraoka, N. Takeda and K. Shiozaki: Behavior of coplanar PCBs and PCNs in oxidative conditions of municipal waste incineration, *Chemosphere*, Vol. 32, No.1, pp.79-88 (1996)

- 27) V. Pekárek, R. Grabic, S. Marklund, M. Punochá and J. Ullrich: Effects of oxygen on formation of PCB and PCDD/F on extracted fly ash in the presence of carbon and cupric salt, *Chemosphere*, Vol.43, Nos. 4-7, pp.777-782 (2001)
- 28) 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)
- 29) ごみ処理に係るダイオキシン削減対策検討会：ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止削減対策指針ダイオキシン類削減プログラムー (1997)
- 30) U.S.EPA: Database of Sources of Environmental Releases of Dioxin-like Compounds in the United States (EPA/600/C-01/012, March) (2001)
- 31) National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development: U.S. Environmental Protection Agency An Inventory of Sources and Environmental Releases of Dioxin-Like Compounds in the United States for the Years 1987, 1995, and 2000, pp.1-37~1-42 (2006)
- 32) North Rhine Westphalia State Environment Agency on behalf of the European Commission, Directorate General for Environment (DG ENV), Ulrich Quass, Michael Fermann, Günter Bröker: The European Dioxin Emission Inventory Stage II, Vol.1, p.41 (2000)
- 33) 酒井伸一、鵜飼隆広、浦野真弥、高月紘、中村一夫、木下小百合：都市ごみ焼却における PCDDs/DFs のマテリアルフロー、廃棄物学会誌論文集、Vol.9、No.4、pp.123-132 (1998)
- 34) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口 (平成 18 年 12 月推計) (2006)

付 録

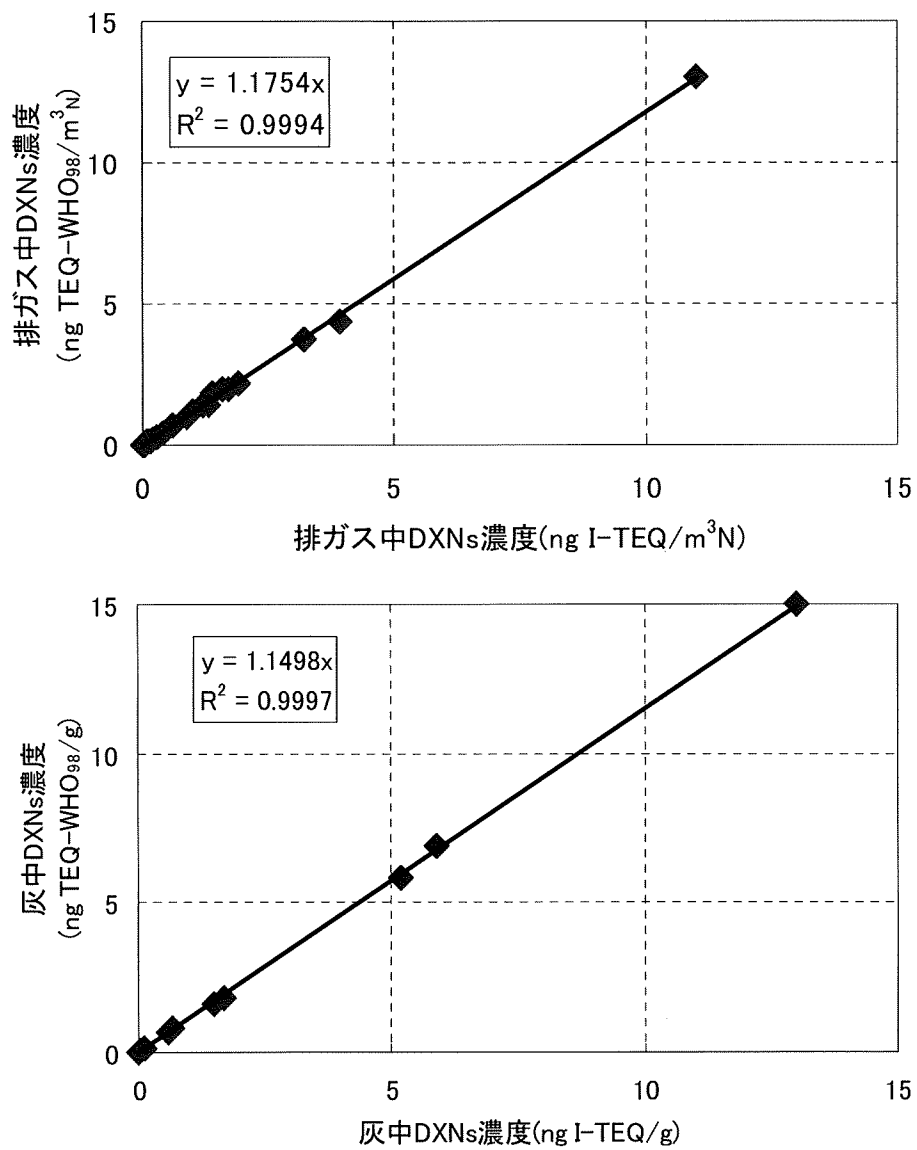
- 資料1 ダイオキシン類の毒性等価係数
- 資料2 各種の毒性等価係数を用いた毒性等量値の相関

資料1 ダイオキシン類の毒性等価係数

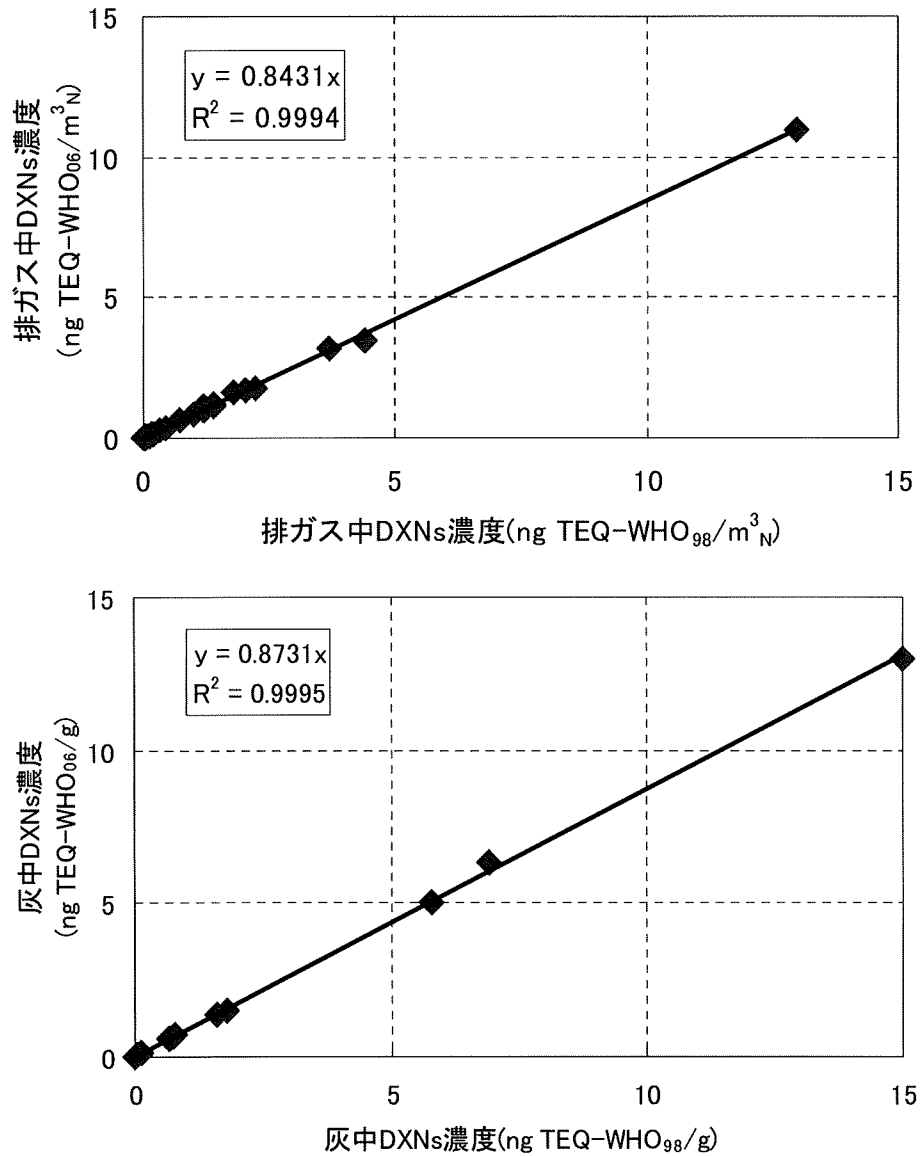
付表1 ダイオキシン類の毒性等価係数

	I-TEF	1998WHO	2006WHO
2,3,7,8-TeCDD	1	1	1
1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	1	1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01	0.01
OCDD	0.001	0.0001	0.0003
2,3,7,8-TeCDF	0.1	0.1	0.1
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.05	0.03
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.5	0.3
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1	0.1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01	0.01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01	0.01
OCDF	0.001	0.0001	0.0003
344'5-T4CB(#81)		0.0001	0.0003
33'44'-T4CB(#77)		0.0001	0.0001
33'44'5-P5CB(#126)		0.1	0.1
33'44'55'-H6CB(#169)		0.01	0.03
2'344'5-P5CB(#123)		0.0001	0.00003
23'44'5-P5CB(#118)		0.0001	0.00003
233'44'-P5CB(#105)		0.0001	0.00003
2344'5-P5CB(#114)		0.0005	0.00003
23'44'55'-H6CB(#167)		0.00001	0.00003
233'44'5-H6CB(#156)		0.0005	0.00003
233'44'5'-H6CB(#157)		0.0005	0.00003
233'44'55'-H7CB(#189)		0.0001	0.00003
22'344'55'-H7CB(#170)		0	0
22'33'44'5-H7CB(#180)		0	0

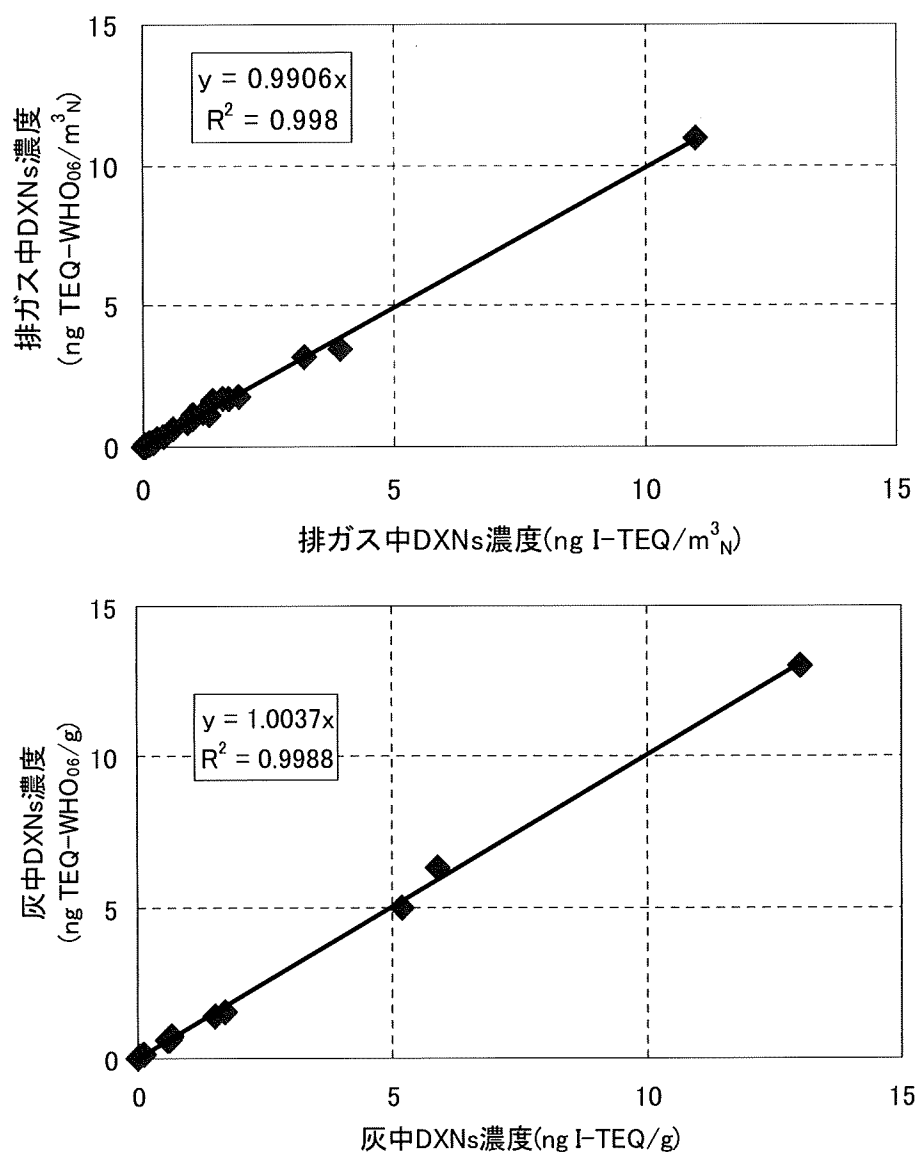
資料2 各種の毒性等価係数を用いた毒性等量値の相関



付図1 火葬炉における排ガス、および灰中ダイオキシン類の毒性等量 I-TEQ と TEQ-WHO₉₈ との相関 (上 : 排ガス、下 : 灰)



付図2 火葬炉における排ガス、および灰中ダイオキシン類の毒性等量 TEQ-WHO₉₈ と TEQ-WHO₀₆ との相関 (上: 排ガス、下: 灰)



付図3 火葬炉における排ガス、および灰中ダイオキシン類の毒性等量 I-TEQ と TEQ-WHO₀₆ との相関 (上: 排ガス、下: 灰)

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

A. 研究目的

1. 研究の背景

様々な発生源から環境大気中に排出された水銀は、各媒体で様々な変質を受け、やがて有機水銀として生物濃縮される。WHOは2003年に1週間あたりの許容摂取量を見直し、日本においても食品安全添加物委員会が2005年に従来の基準 $3.4\mu\text{g}$ から $2.0\mu\text{g}$ への見直しを行っている。このような動きとともに環境媒体中に存在する水銀を削減しようとする動きが国連環境計画などによりはじまっている。

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²⁾。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³⁾、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。

日本は、御遺体の99.8%が火葬されており、火葬数は110万人を超え、世界一の火葬大国となっている⁴⁾。過去に、日本では吉田らが火葬炉からの水銀排出を問題視し、その放出量を推定している⁵⁾。彼らは火葬場周辺の大気中水銀濃度を測定し、それらが一般大気中の水銀濃度と同等であることを報告した。また、水銀を含有するアマルガム処置歯数から、調査した火葬場では 26g/day の排出があることを推算した。その後、2005年に研究代表者らは火葬炉1施設において排ガス中水銀に関する調査(以下、2005調査)を行った⁶⁾。その結果、燃焼時間中の平均水銀濃度はバグフィルター出口で Hg^0 及び Hg^{2+} は共に同程度で、総水銀濃度は $4.3\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であった。特に燃焼開始およそ10分後に Hg^0 の高濃度ピークが観測されるケースがあり、その値は $1.5\sim 573.9\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ で、歯科用アマルガム由来であることが推測された。最終的に、火葬1体あたりの平均水銀排出量(バグフィルター出口)は 51.8mg/体 であった。

さらに2007年において、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施設の火葬場から排出される水銀の調査(以下、2007調査、)⁷⁾を行った。その結果、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。しかし、2005年調査と同様に、一部の検体では歯科アマルガム由来による Hg^0 の大きなピークが水銀の連続分析により確認され、排出への寄与が大きいことが確認された。

ところで、排ガス以外で、火葬場にて発生する残骨灰(収骨後に残った灰の一部)、集じん灰(集じん機で捕集された灰)等は、ともに、“供養の対象”、“宗教的感情を持って処理する場合”は、廃棄物にはならないが、単に廃棄するのであれば、廃棄物に該当する。それゆえに、これらに含まれる有害物質等の知見が乏しく、実態はほぼ把握されていない。このことから、研究代表者らは、上記の2007年調査において、4箇所の火葬炉から得られた残骨灰、集じん灰中の水銀、六価クロム、フッ素、ホウ素の安全性について、土壤汚染対策法に基づいた溶出試験、含有量試験により評価した。その結果、特に残骨灰、集じん灰の六価クロム溶出量が基準値の180~1,200倍の濃度で検出され⁷⁾、新聞でも報道されるなど⁸⁾、対策の必要性が示唆された。

以上のように、研究代表者らは、火葬炉排ガス中の水銀や、灰中の重金属の実態について、2007年調査を中心に調査してきた。しかしながら、これまでの調査は延べ5施設のみにおけるデータを得ることにとどまっており、日本全国の火葬場の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り、問題となるものについて対策を検討しなければならない。さらに、これまでの排ガスの調査は、煙突出口における実測が主であり、集じん機や、高度排ガス処理設備での水銀等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、これら排ガス処理プロセスによる除去効果の現状を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、火葬炉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。

2. 研究の目的

以上のような背景の下で、本研究では、これまでの調査に加え、延べ11施設の火葬場を対象として、排ガス中の水銀、クロム、および灰中の重金属、フッ素、ホウ素について調査を行い、実態を明らかにすることを目的とした。

水銀とクロムに着目し、排ガスとして排出濃度や、各排ガス処理プロセスでの除去効果を、また、灰として、主にその全含有量や、土壤汚染対策法に基づいた含有量、溶出量について調査を行い、実態を明らかにするとともに、その排出抑制対策について検討することを目的とした。

具体的には、まず、対象施設として7施設の火葬場にて、排ガス中の水銀濃度を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、これまでの調査結果と比較し、新たな傾向があるかどうか確認するため、6施設の火葬場において形態別湿式連続分析計を用いて、火葬中の水銀の排出挙動を調査した。さらに、比較的新しい3施設の火葬場において、これらの施設の排ガス処理プロセス(熱交換

器、集じん機、触媒装置、活性炭吸着設備等)の前後での水銀、全クロムを測定し、各処理プロセスでの除去効果を明らかにした。別途1施設においては、パイロット式活性炭吸着実験装置を用いて、水銀の活性炭による除去効果を検討した。

火葬灰に関しては、9施設の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、ホウ素、カドミウムについて、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。特に六価クロムに関しては、灰のみならず、大気への排出量、排出原単位を明らかにするとともに、その由来調査として、火葬炉でのマスバランス、模擬火葬灰による灰加熱実験も実施し、現状の把握と、クロムの由来について調査することで、効果的な対策を検討した。

B. 研究方法

1. 対象施設

本研究で調査対象とした火葬場は延べ11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、調査を実施した年を考慮して、施設2008-A～2008-H、施設2009-A～2009-Cで記述する(全て別の施設)。11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-H、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、施設2008-G～2008-Hはともに集じん機が設置されていなかった。

表B.1 調査対象とした火葬場の概要

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
2008-H	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 測定項目および測定方法

各施設における測定対象となった火葬、および測定項目を表B.2.1に示す。排ガス中の水銀については、JIS法による排出濃度調査と、形態別水銀湿式連続分析装置を用いた排出挙動調査を行った。また、形態別水銀湿式連続分析装置を2台使い、排ガスプロセスによる除去挙動の調査を行った。さらに、パイロット式活性炭吸着設備を用いて、実火葬排ガス中水銀の活性炭による除去実験を行った。

排ガス中のクロムについては、各排ガスプロセスの前後で、排ガスをサンプリングし、排ガスプロセスによる除去挙動の調査を行った。

また、残骨灰、および集じん灰について、水銀をはじめとする重金属やフッ素、ホウ素の土壤汚染対策法に基づいた溶出量、および含有量の調査を行った。

なお、一部の灰については、元素分析、およびクロム化合物の化合形態をX線吸収分光法(XAS)により推定することでキャラクタリゼーションを行った。さらに火葬灰中の六価クロムの由来を探るため、クロムを含む模擬火葬灰を作成し、加熱実験を行った。

表B.2.2にそれぞれの項目について、測定方法を示すとともに、以下で詳細に説明する。

表B.2.2 測定項目と測定方法

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
	O ₂	JIS K 0301 ジルコニア方式(連続分析)
	水銀	JIS K 0222 過マンガン酸カリウムによる測定 形態別連続湿式連続分析(MS-1A +DM-6B)
	クロム	ばいじん濃度測定方法と同様にサンプリングし、 円筒ろ紙を硝酸・過塩素酸で酸分解し、ICP発光分析
残骨灰、 集じん灰	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 一部の溶出量試験では検液のpHも測定
	六価クロム	
	フッ素	
	ホウ素	
	ガドミウム	
	全クロム	酸分解ーフッ酸処理+ICP発光分析 (Thermo Electron社製:ICP IRIS Intrepid Duo)
	全水銀	加熱気化法(日本インスツルメンツ社製:マーキュリー/SP-3D)
	その他灰中元素	蛍光X線分析(リガク製:ZSX PrimusII)、 ICP発光分析(Thermo Electron社製:ICP IRIS Intrepid Duo)
灰中クロムの形態	XAFS測定(SPring-8:BL01B1、およびPhoton Factory:BL-12C)	

表C.2.1 測定対象の火葬と測定項目一覧

施設	2008-A		2008-B		2008-C		2008-D		2008-E		2008-F		2008-G		2008-H		2009-A		2009-B		2009-C	
	08/11/12	08/11/12	08/11/21	08/11/21	08/11/25	08/11/25	08/11/28	08/11/28	08/11/28	08/11/28	08/11/28	08/11/28	08/11/28	08/11/28	08/11/28	08/11/28	08/11/28	09/09/08	09/11/12	09/11/12	09/12/04	09/12/04
火葬日	10:25	13:59	11:00	14:15	13:23	15:13	11:25	14:40	12:49	12:29	12:37	14:23	12:00	14:21	-	14:24	14:24	14:24	11:22	14:20	11:15	15:24
火葬開始時間	11:23	14:56	12:06	15:14	14:11	16:21	12:29	15:25	13:49	13:32	13:36	15:27	13:25	15:25	-	15:26	15:26	12:07	15:05	12:40	16:25	
火葬終了時間	0:58	0:57	1:06	0:59	0:48	1:08	1:04	0:45	1:00	1:03	0:59	1:04	1:25	1:04	-	1:02	0:45	0:45	0:45	1:25	1:01	
年齢	64歳	75歳	91歳	79歳	98歳	85歳	66歳	80歳	75歳	88歳	93歳	91歳	60歳	67歳	-	97歳	86歳	58歳	52歳	69歳		
性別	女性	女性	女性	女性	女性	女性	男性	女性	女性	男性	男性	女性	男性	男性	-	女性	女性	女性	女性	男性	男性	
排ガス中水銀分析(JIS法)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								
排ガス中形態別水銀濃度分析	●	●	●	●	●	●	●	●							●44検体				●	●	●	●
排ガス中水銀除去率調査																						
活性炭吸着設備による水銀除去率調査																						
排ガス中クロム除去率調査																						
灰中水銀含有量・溶出量調査	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	集じん灰	集じん灰	集じん灰	集じん灰	集じん灰
灰中六価クロム含有量・溶出量調査	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰
灰中フッ素含有量・溶出量調査	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰
灰中ホウ素含有量・溶出量調査	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰
灰中カドミウム含有量・溶出量調査	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰	残骨灰、集じん灰
灰中の元素組成分析(CRF、ICP-AES、Hg)																						
灰中のOの形態推定(MAFS)																						

※排ガス中水銀の除去率調査の詳細については図C.2.3を参照

2.1 排ガス中水銀の排出挙動調査

施設2008-A～2008-Gの7施設を対象に、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2008-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.2.1)。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。

本研究においては、排ガス中の水銀以外に、ばいじん、および酸素の濃度を測定した。水銀はJIS K0222に基づいて測定した(本報告書中ではJIS法とする)。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。また、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し、排ガス中水分、流速を測定した上で、排ガス流量(湿り、乾き)を求めた。

2.2 排ガス中水銀の排出挙動調査

詳細な水銀排出挙動調査は施設2008-A～2008-D、および施設2008-G、2008-Hで形態別水銀湿式連続分析計を用いて行った。

施設2008-A～2008-D、および施設2008-Gにおいては、2.1におけるJIS法による測定と同時に行い、1箇所の火葬場につき2回測定を行い、計10件の火葬(表B.2.1)について、それぞれ Hg^0 濃度および Hg^{2+} 濃度を連続測定した。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。施設2008-Hにおいては、排気塔出口前において Hg^0 濃度および Hg^{2+} 濃度を2008年1月31日から4月17日の約80日間について44件の火葬について連続測定した。また、2008年3月10日～3月17日の7件の火葬については、水銀連続分析と同時に酸素濃度を連続分析計により測定した。なお、施設2008-Hは、研究代表者らが平成19年度に実施した火葬炉調査(2007調査)⁷⁾の施設Dと同一施設である。

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、施設により10m以内に設置できる場合は、そのラインを加熱導管により180°Cに加熱したが、例えば、施設2008-Hの場合は20m程度あり、このような場合は、後半部分の10mについて加熱導管を用いて180°Cに加熱した。

連続測定は、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のMS-1A +DM-6B)を用いた。形態別水銀湿式連続測定装置の写真および前処理フローを図B.2.1および図B.2.2に示す。この装置は、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あり、フローに示されているように、排ガスはKCl溶液に水銀が溶解するかどうかにより、金属状(0価): Hg^0 と2価の水銀: Hg^{2+} に分けられるもので、最終的な検出方法は原子吸光法で検出下限は $0.1\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ である^{9) 10)}。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測定時間とした。



図 B.2.1 形態別水銀湿式連続分析計

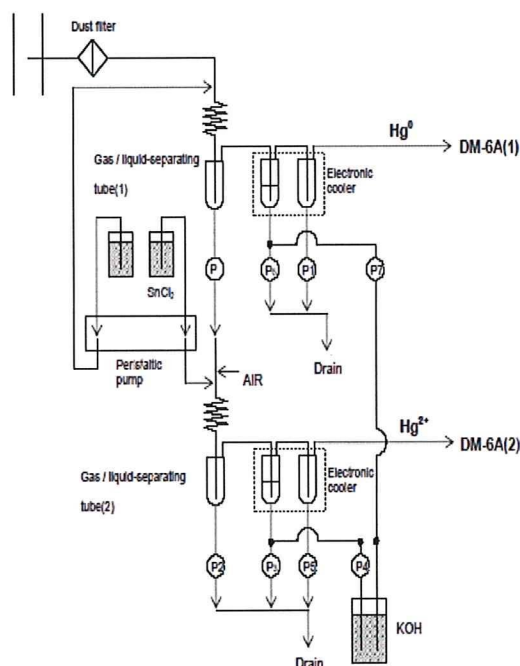


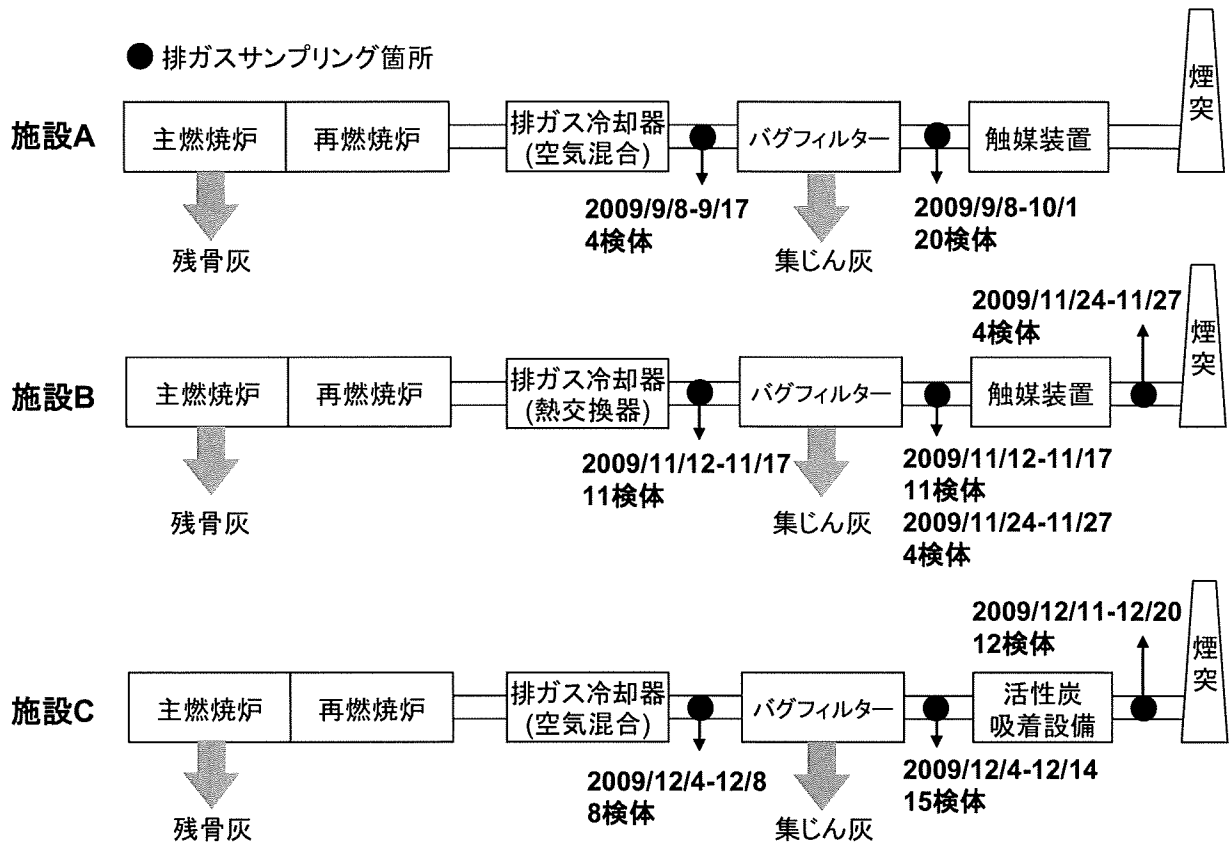
図 B.2.2 形態別水銀湿式連続分析計の前処理部フロー

2.3 排ガス中水銀の排出濃度、および挙動調査

施設2009-A～2009-Cの3施設を対象に、形態別水銀湿式連続分析計(日本インスツルメンツ社製のMS-1A +DM-6B)を2台用いて、それぞれ排ガス処理プロセスの前後で Hg^0 濃度および Hg^{2+} 濃度を連続測定した。サンプリング箇所を、3施設の火葬場のフロー、および実験期間、検体数とともに図B.2.3に示した。

施設2009-Aでは、バグフィルター前、バグフィルター後において2009年9月8日～9月17日の期間、計4検体分の測定を実施し、バグフィルターによる水銀の挙動を調査した。その後、2009年9月18日～10月1日の期間において、バグフィルター後のみ、計16検体分の排ガス中水銀濃度を連続分析した。

施設2009-Bでは、バグフィルター前、バグフィルター後、触媒装置後の3箇所です排ガス



図B.2.3 2009年水銀除去挙動調査における各火葬場のフローとサンプリング箇所、検体数、および期間

水銀濃度を連続分析した。まず、2009年11月12日～11月17日では、バグフィルター前後において、計11検体分の測定を実施し、バグフィルターによる水銀の挙動を調査した。その後、2009年11月24日～11月27日に、触媒装置の前後において、計4検体分の測定を実施し、触媒装置による水銀の挙動を調査した。

施設2009-Cでは、バグフィルター前、バグフィルター後、活性炭吸着設備後の3箇所ですべて排ガス水銀濃度を連続分析した。まず、2009年12月4日～12月8日の期間に、バグフィルター前後において、計8検体分の測定を実施し、その後、2009年12月11日～12月14日に、活性炭吸着設備の前後に置いて、計5検体分の測定を実施した。2009年12月9日～2009年12月11日には、バグフィルター後のみで、2検体の測定を実施した。さらに、2009年12月14日～12月20日の期間に活性炭吸着設備後のみで、7検体について、施設2009-Cからの水銀排出濃度を測定した。

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。施設2009-B、2009-Cでは、排気系列が2炉1系列となっているが、この場合、測定期間中2炉以上は同時に稼働させず、1炉のみの稼働とした。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、

施設により10m以内に設置できる場合は、そのラインを加熱導管により180°Cに加熱したが、施設の都合上、サンプリングライン10m以上とせざるを得ない場合は、装置に近い部分の10mについて加熱導管を用いて180°Cに加熱した。

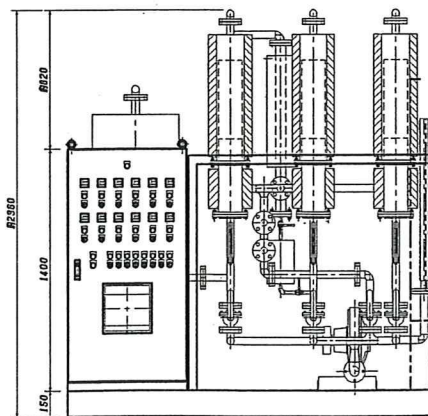
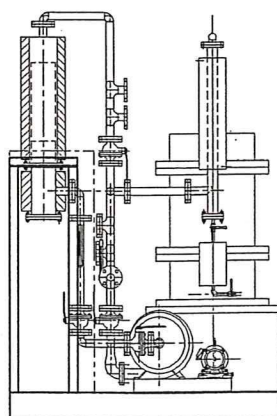
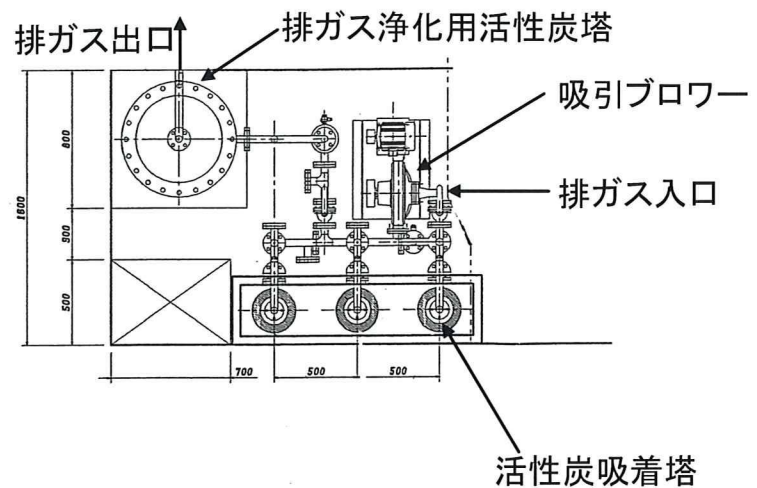
なお、測定結果を解析するにあたっては、再燃焼炉の着火と同時に連続分析計の測定を開始し、主燃焼炉の着火から主燃焼炉の消火までを測定時間とした。また、施設間の比較を実施するため、測定値をO₂12%換算したが、酸素濃度は各施設に付属したO₂濃度計の値を用いるか、付属していない場合は、連続測定開始日に測定したO₂濃度を用いた。

2.4 パイロット式活性炭吸着塔による水銀除去実験

集じん機や、高度排ガス処理設備を有しない、比較的古い施設2008-Hにて排ガスラインを分岐し、パイロット式の活性炭吸着塔を設置した(図B.2.4)。本吸着塔にて、吸着塔前後の排ガス中水銀を、2台の湿式形態別水銀連続測定装置を用いて測定し、活性炭吸着塔による水銀除去効果を調査した。実験期間は46日間連続で実施し、その間、計33体の火葬



正面写真



図B.2.4 パイロット式活性炭吸着実験装置