

図 C.2.3 集じん灰中ダイオキシン類濃度の異性体分布

3. 火葬炉からのダイオキシン類の排出量

ここでは、本研究での測定データ(2008)、および2007調査結果¹⁶⁾(2007)も含め、計11施設、22検体分の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.3.1)式により1検体あたりのダイオキシン類排出量を算出した。なおダイオキシン類毒性等量はWHO2006-TEFを用いたO₂12%換算値を用い、乾き排ガス量についてもO₂12%換算した値を用いた。

$$\begin{aligned} & \text{一検体あたりのダイオキシン類排出量 (ng TEQ-WHO}_{06}\text{/人)} = \\ & \text{ダイオキシン類毒性等量 (ng TEQ-WHO}_{06}\text{/m}^3\text{)} \times \text{乾き排ガス量 (m}^3\text{/h)} \\ & \times \text{火葬時間 (h/人)} \end{aligned} \quad (\text{C.3.1})$$

推定の結果を、表C.3.1に示した。

2007調査、2008の調査結果からは0.041～16,000 ng TEQ-WHO₀₆/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。この排出原単位の算術平均値は1,600 ng TEQ-WHO₀₆/人、幾何平均は110 ng TEQ-WHO₀₆/人、中央値は130 ng TEQ-WHO₀₆/人となった。

1999調査結果から得られている排出原単位⁵⁾を、WHO2006-TEFを用いて換算すると、算術平均値は4,200 ng TEQ-WHO₀₆/人、幾何平均値は1,900 ng TEQ-WHO₀₆/人と算出される(付録資料1、2)。これらの値と、2007調査、2008の調査結果からの値を比較すると、現状は、約10年前の排出原単位よりも、算術平均値で約2/5、幾何平均値で約1/20まで低減されていた。

ここで、一体あたりのダイオキシン類排出量原単位に関しては、諸外国においても、I-TEQ換算値として何例か報告されており^{4)、11)～13)、15)、23)}、本研究で得られた原単位との比較を行った。まず、比較を行うために、本研究で得られた原単位をI-TEQに換算したところ、算術平均は1,600 ng I-TEQ/人、幾何平均は170 ng I-TEQ/人であった(付録資料1、2)。諸外国との報告値との比較を表C.3.2に示した。諸外国に関しては、0.50～80 ng I-TEQ/人であり非常に広い範囲にわたっていた。また削減対策指針前の日本における値は、1.8～4.0 ng I-TEQ/人である⁴⁾。これらの範囲に比較して、本研究で求めた原単位は諸外国、あるいは削減対策指針前のわが国の原単位に比較して十分低い範囲にあると言える。

以上より、火葬炉において、本研究におけるダイオキシン類排出原単位と、削減対策指針前の国内のダイオキシン類排出原単位、および諸外国のダイオキシン類排出原単位との比較から、削減対策指針により、適切に施設が運営されるとともに、燃焼・排

表 C.3.1 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 ₂ 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-WHO ₀₆ /m ³ _N	m ³ _N /h	ng TEQ-WHO ₀₆ /人
2007-A	A-1	42	0.10	3200	210
	A-2	46	0.00005	1000	0.041
2007-B	B-1	68	0.0059	2100	14
	B-2	61	0.012	2900	35
2007-C	C-1	71	1.1	1800	2300
	C-2	66	0.62	1700	1100
2007-D	D-1	90	1.05	2200	3400
	D-2	71	0.084	2100	210
2008-A	A-1	58	0.011	1200	13
	A-2	57	0.00018	1400	0.240
2008-B	B-1	66	0.0036	2200	8.6
	B-2	59	0.010	2300	23
2008-C	C-1	48	0.025	3000	60
	C-2	68	0.0037	3000	13
2008-D	D-1	64	0.062	2500	170
	D-2	45	0.059	1900	83
2008-E	E-1	60	0.089	1500	130
	E-2	63	0.10	1200	130
2008-F	F-1	59	11	1500	16000
	F-2	64	1.7	1600	2800
2008-G	G-1	84	1.6	2400	5300
	G-2	64	1.7	2000	3700
最大値					16000
最小値					0.041
中央値					130
算術平均値					1600
幾何平均値					110

表 C.3.2 日本および諸外国のダイオキシン類排出原単位^{4)、11)~13)、15)、23)}

排出原単位 μg I-TEQ/人	報告年	文献	備考 (測定施設数等)	
ドイツ	28	1992	11)	1施設
オランダ	2.4~4.9	1994	12)	2施設
イギリス	2.4~80	1996	13)	不明
日本	1.8~4.0	1999	4)	17施設 幾何平均~算術平均
アメリカ	0.5	2001	23)	1施設
台湾	6.11~13.6	2003	15)	2施設
日本	0.17~1.6	2007-2008	本報告書	11施設 幾何平均~算術平均

ガス設備の高度化がなされてきた効果がうかがえた。

平成19年度の火葬炉からのダイオキシン類排出インベントリーは2.6～5.7 g TEQ-WHO₉₈/年⁶⁾で報告されているが、本研究結果のデータと平成19年度の火葬件数の実績1,193,967体/年⁷⁾とを掛け合わせ、幾何平均～算術平均の範囲で表すと、ダイオキシン類は、0.13～1.9 g TEQ-WHO₉₈/年まで低減されている結果となった。平成19年度の日本におけるダイオキシン類排出インベントリーは、286～307 g TEQ-WHO₉₈/年まで低減されており、火葬炉からの排出インベントリーの相対的な寄与はその0.25～2.0%まで増加していたが⁶⁾、本研究の結果から求めた相対的な寄与は概ね0.042～0.66%程度であることが分かった（より厳密な現在の相対的寄与は、平成19年度ダイオキシン類の排出インベントリー：286～307 g TEQ-WHO₉₈/年をWHO2006-TEFで換算する必要がある。）。

USEPAは、2000年の火葬炉からのダイオキシン類排出インベントリーとして、0.27g I-TEQ/年と報告している。同年のアメリカ合衆国における大気へのダイオキシン類排出インベントリーは1243.6 g I-TEQ/年であり、火葬炉の寄与としては、約0.02%と見積もられる²⁴⁾。またEUにおいては、火葬炉からのダイオキシン類排出インベントリーは、2000年で、9～19g I-TEQ/年であり、同年のEUにおける大気へのダイオキシン類排出インベントリーは2435～4660 g I-TEQ/年であった²⁵⁾。ここから、火葬炉の寄与としては、0.37～0.40%と試算された。

欧米諸国では火葬率が20～40%程度である一方で、我が国は99%以上であるとともに、絶対的な火葬数も、アメリカ合衆国、EUより1.5倍以上である²⁶⁾。このように火葬大国でありながらも、本研究で求めた、我が国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：0.042～0.66%と、アメリカ合衆国、あるいはEUにおける値とを比較すると、ほぼ同レベルであることがわかった。本研究による結果以前の原単位により求めた相対的な寄与は、0.25～2.0%まで上昇していたが、削減対策指針により減少し、欧米諸国と同レベルまで排出削減できていると考えられる。

次に、火葬場から排出されるダイオキシン類は火葬件数によるため、将来的な死亡者数の増加に伴い増加することを見込むため、排出インベントリーの将来推計を行った。将来的な火葬数は、火葬率と将来の死亡者数から求めるが、将来の死亡者数は、厚生労働省、国立社会保障・人口問題研究所の、日本の将来人口推計を用いた²⁷⁾。推計方法は、人口変動要因である出生、死亡、国際人口移動について仮定を設け将来の人口を、コーホート要因法により推計するものである。1999年調査においては、1997年の将来人口中位推計を用い、ダイオキシン類排出インベントリーの将来予測がなされていたが⁴⁾、本研究では、最新の2006年の将来人口推計（出生：中位仮定、死亡：中位仮定）

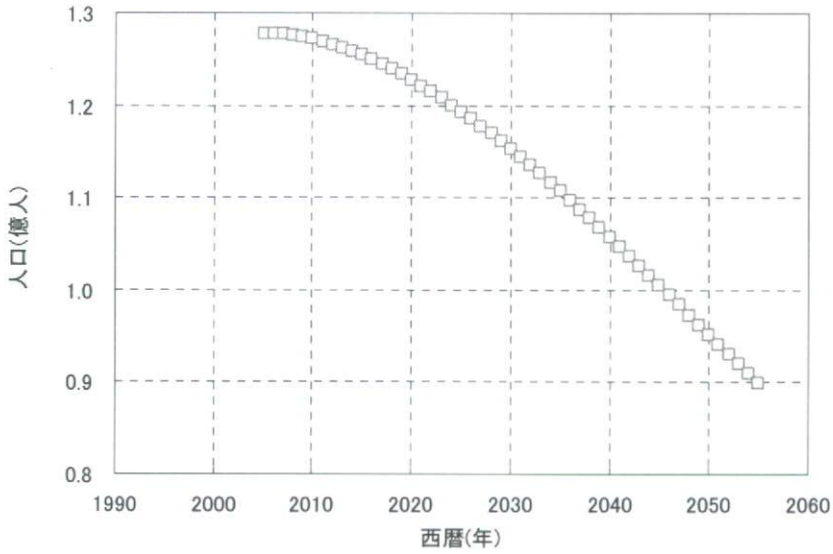


図 C.3.1 我が国における将来人口推計

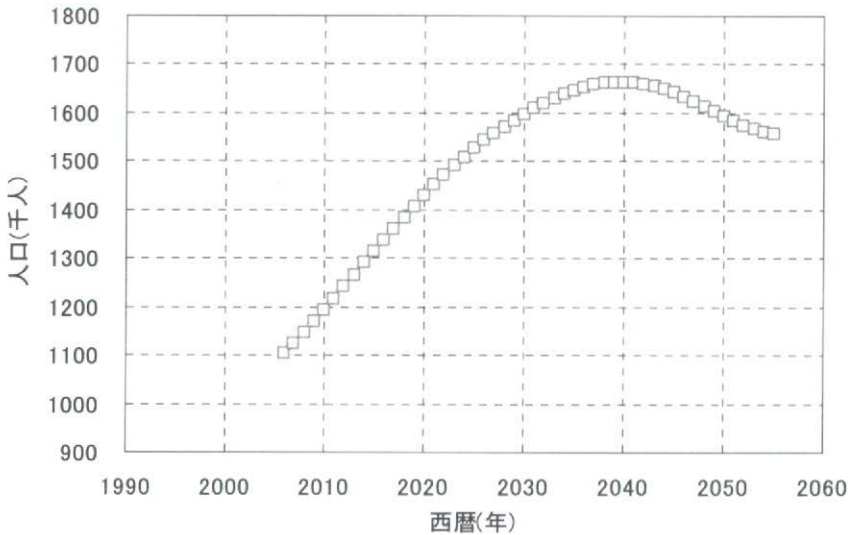


図 C.3.2 我が国における将来死亡者数推計

を用いた²⁷⁾。図 C.3.1 に、2006 年の前提に基づき試算された日本の将来人口、図 C.3.2 に日本の死亡者数の予測を示した。2006 年推計に基づけば、日本の将来人口は、2005 年に既に 1 億 2777 万人でピークに達しており、現在は長期の減少過程に入っている。死亡者数は、2006 年の 110 万人から一貫して増加を続け、2020 年の 142.9 万人を経て、2040 年にはピークの 166.3 万人に達する。

死亡者数の予測データ、火葬率、およびダイオキシン類排出量原単位($\text{ng TEQ-WHO}_{06}/\text{人}$)を掛け合わせ、火葬場から排出される将来排出量を求めた。火葬率は、2007 年で 99.9%であったことから、将来的な火葬率についてこの値を一律で用いた。

図 C.3.3 に、2007 調査結果および本研究での調査結果から得られた、ダイオキシン

類の排出インベントリーの将来排出量(2007-2008 予測)を、1999 調査結果を用いた将来排出量(1999 予測)と比較する形で示した。図から、1999 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/年と試算されたが、今後、死亡者数が増加したとしても、削減対策指針による対策により、2020年で0.19～2.3 ng TEQ-WHO₀₆/年、2040年で0.22～2.7 ng TEQ-WHO₀₆/年程度までの増加に抑えられると試算された。

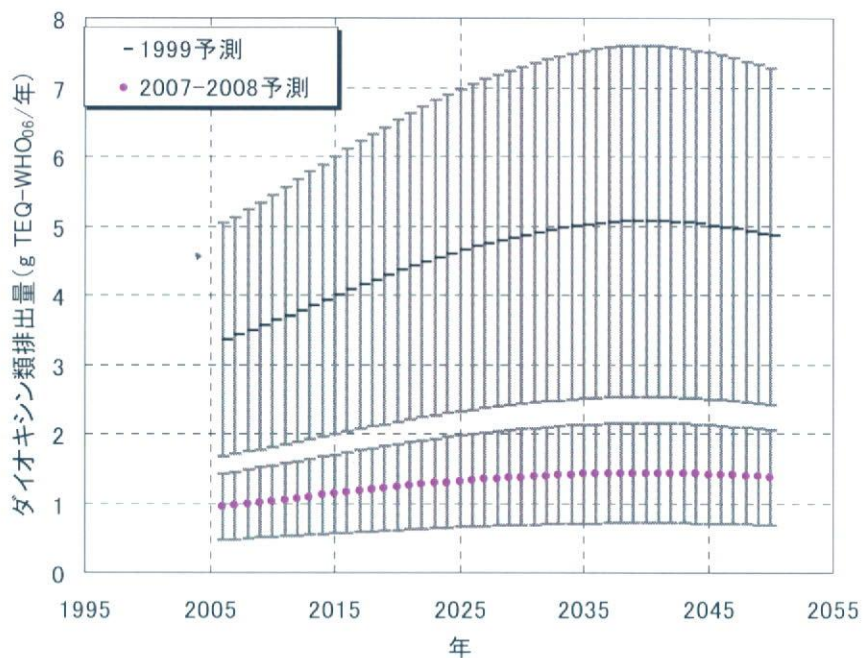


図 C.3.3 我が国における火葬炉からのダイオキシン類排出インベントリーの将来推計

D. 結論

本研究で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、酸素12%換算濃度で5.3～540ng/m³_N、毒性等量で0.00018～11 ng TEQ-WHO₀₆/m³_Nの範囲であり、毒性等量の算術平均では1.2 ng TEQ-WHO₀₆/m³_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-WHO₀₆/m³_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-WHO₀₆/m³_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、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。
- ・残骨灰中のダイオキシン類の濃度範囲は、実測濃度で0.0209～2.40ng/g、毒性等量で0～0.042 ng TEQ-WHO₀₆/gであった。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。
- ・集じん灰は、実測濃度で1.09～313 ng/g、毒性等量で0.014～5.0 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たことから、熱交換器部分で再合成が生じている可能性が示唆された。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、ダイオキシン類の排出原単位の算術平均値は1,600 ng TEQ-WHO₀₆/人であった。この値は1999調査結果に比較して約2/5となり、かつ諸外国の報告値に比較しても十分低い範囲にあることが示唆されたことから、「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19年度の火葬炉から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：2.6～5.7 g TEQ-WHO₉₈/年に比較して、0.13～1.9 g TEQ-WHO₀₆/年まで低減されている結果となった。我が国全体における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0.042～0.66%程度と試算され、1999調査結果からは低減された上、アメリカ合衆国、EUとほぼ同レベルであったことから、我が国は、火葬大国でありながらも、「ダイオキシン類削減対策指針」により、欧米諸国と同レベルまで排出削減できていると考えられる。
- ・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、本研究結果からは、今後、死亡者数が増加したとしても、「ダイオキシン類削減対策指針」により、2020年で0.19～2.3 ng TEQ-WHO₀₆/年、2040年で0.22～2.7 ng TEQ-WHO₀₆/年程度までの増加に抑えられると試算された。

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) 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19年度衛生行政報告例、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 <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001035603> (2009.2.5 情報取得)
- 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 <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（2006）
- 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)
- 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) 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)
- 20) 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(1997)
- 21) 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)
- 22) 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)

- 23) U.S.EPA: Database of Sources of Environmental Releases of Dioxin-like Compounds in the United States (EPA/600/C-01/012, March) (2001)
- 24) 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)
- 25) 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)
- 26) 島崎昭 : 5 訂版 火葬概論、特定非営利法人日本環境斎苑協会、p.31 (2007)
- 27) 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

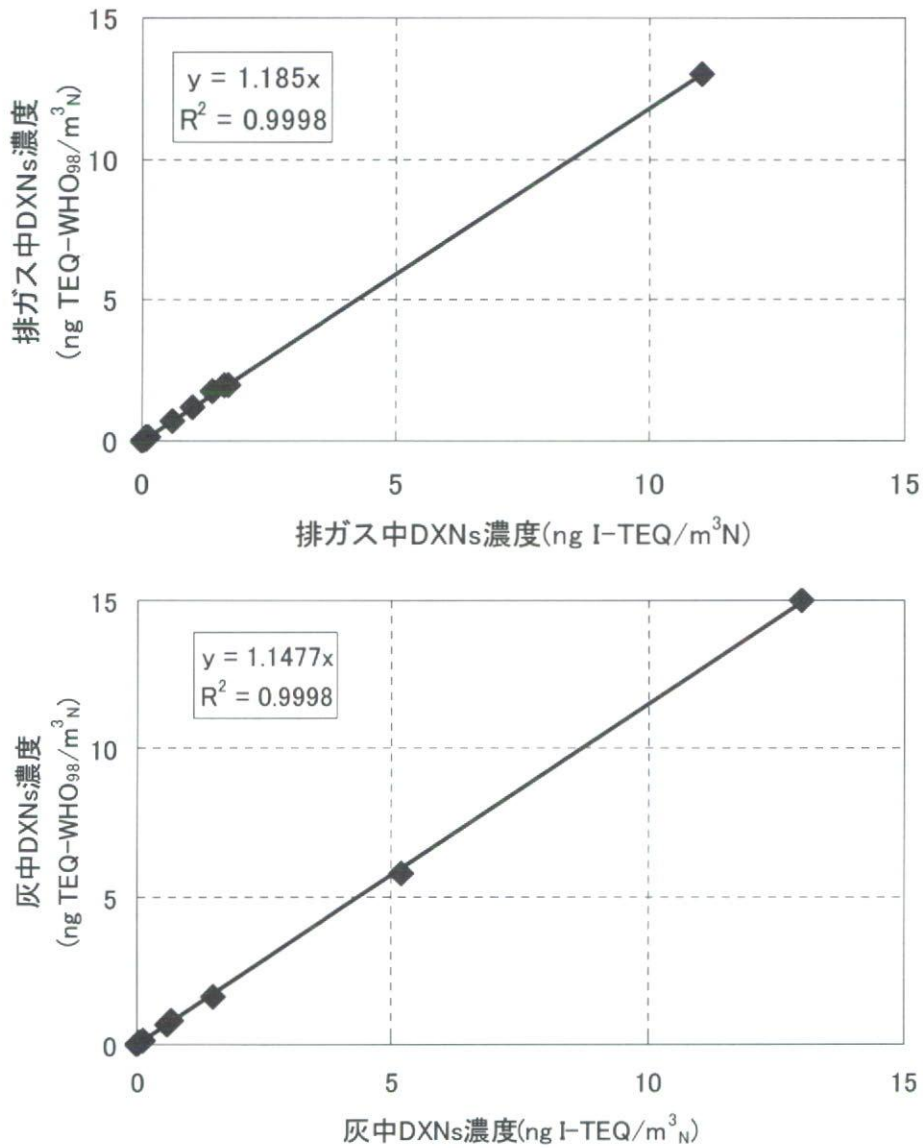
資料2 各種の毒性等価係数を用いた毒性等量値の相関

資料1 ダイオキシン類の毒性等価係数

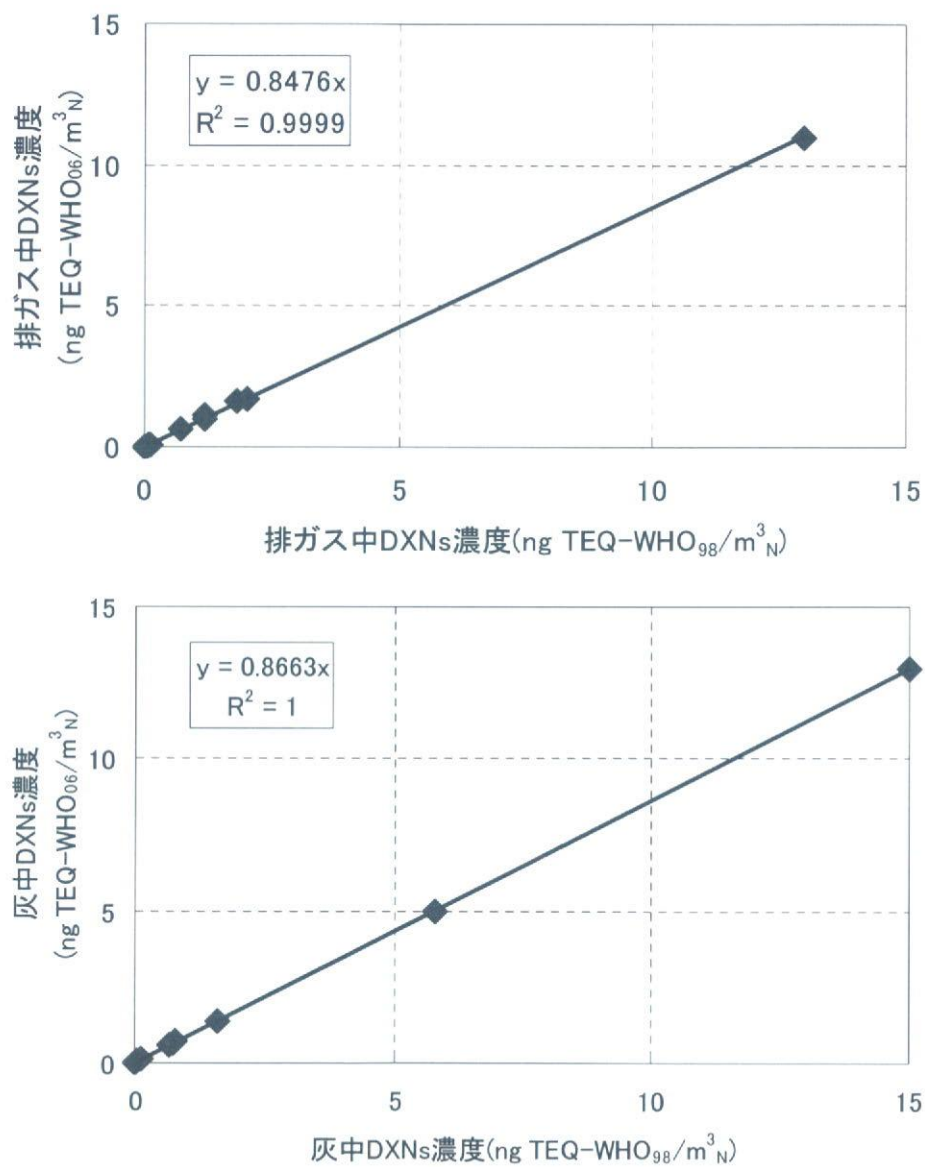
付表1 ダイオキシン類の毒性等価係数

	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

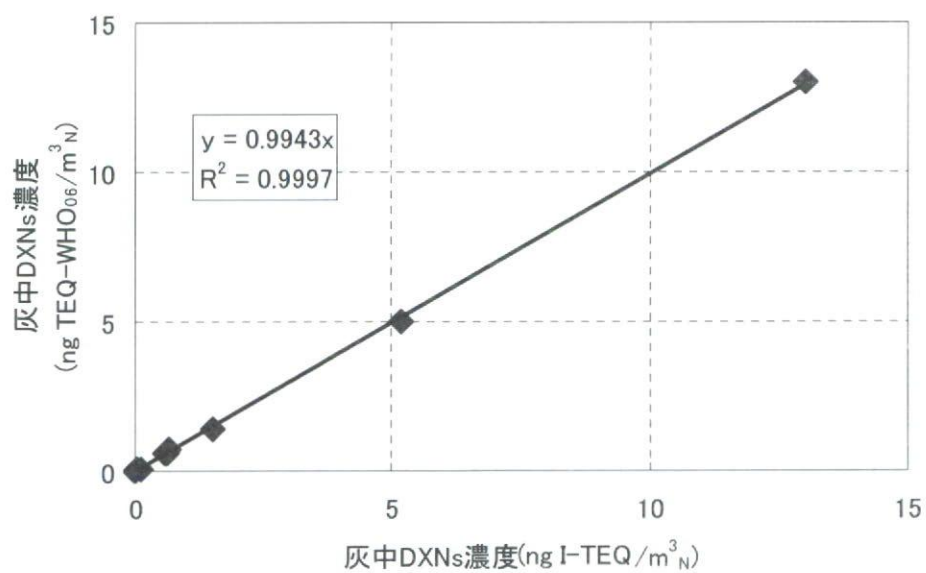
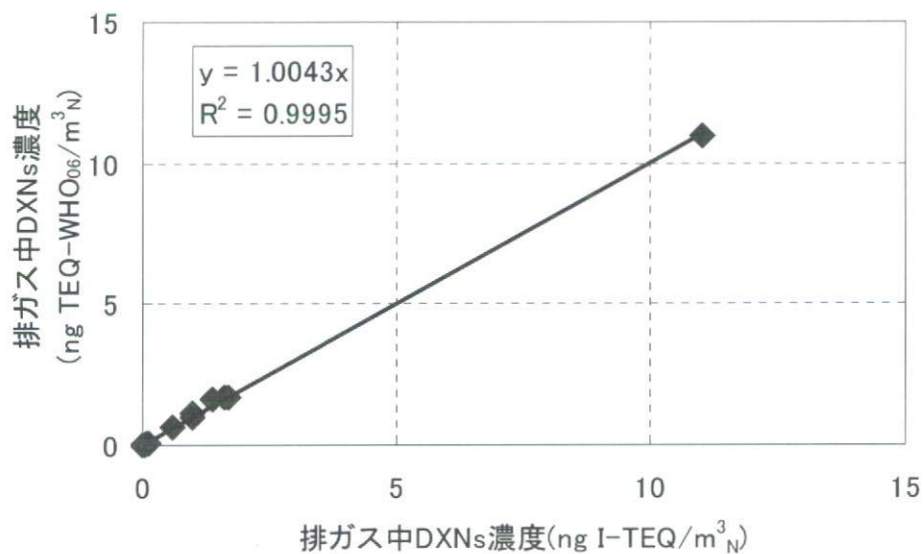
資料2 各種の毒性等価係数を用いた毒性等量値の相関



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)

分担研究報告書 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

研究代表者 武田信生（立命館大学）

分担研究者 高岡昌輝（京都大学）

厚生労働科学研究費補助金（厚生労働科学特別研究事業）
 分担研究報告書
 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

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
 分担研究者 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

研究要旨

本研究の目的は、火葬場から排出される排ガス中水銀の濃度、排出量、排出形態、および残骨灰、集じん灰中の重金属、フッ素、ホウ素について、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20年度は、対象施設として延べ8箇所の火葬炉を選定し、排ガス中水銀、残骨灰および集じん灰中の重金属、フッ素、ホウ素について測定を行い、データを収集した。

まず、7施設、14件の火葬において、JIS法による排ガス中水銀濃度は、 O_2 12%換算で $<0.010 \text{ mg/m}^3_N \sim 0.135 \text{ mg/m}^3_N$ であった。この場合、廃棄物焼却炉の自主目標値の値を大きく超えるケースも想定され、バグフィルターで除去しにくいことも推定されたため、活性炭吸着などの対策の必要性が示唆された。また、14検体中11検体は定量下限値以下となったため、正確な水銀濃度の把握、および排出量の見積のためには、定量下限値をさらに低くできるような方法を検討する必要がある。この結果を基にした水銀排出量の平均値は、 $37.8 \sim 73.8 \text{ mg/人}$ の範囲にあり、過去の調査結果の平均値も含まれる範囲であった。

次に、6施設において連続分析計を用いて計54件の火葬について経時変化を測定した結果、排出挙動は過去の調査と同様の傾向であり、いくつかの火葬で、歯科アマルガム由来と考えられる Hg^0 の高濃度ピークが認められ、この場合、排出濃度としても廃棄物焼却炉の自主目標値の値を大きく超えていた。全体として、排ガス中水銀の Hg^0 と Hg^{2+} の占める割合は Hg^0 の方が大きく、特に、歯科アマルガム由来の高濃度水銀排出が見られる場合では、 Hg^0 がそのほとんどを占めた。 Hg^0 はバグフィルター等で除去しにくいこと、歯科アマルガムを有する火葬対象者は、今後死亡者増加とともに2020年頃にピークを迎える予測があり、活性炭吸着などの排出抑制対策の必要性が改めて示唆された。

残骨灰、集じん灰中の水銀、フッ素、カドミウムに関しては、特に、集じん灰について、溶出量基準を超過する傾向があり、取扱いに注意が必要であることがわかった。

残骨灰、集じん灰中の六価クロムに関しては、全てのサンプルで溶出量基準の10～1,800倍の濃度が検出された。六価クロムの排ガスとしての大気への排出量を推定した結果、バグフィルターを有する施設においては、集じん機のない施設に比較して最大97%程度排出が抑制されていることが示唆された。六価クロムの由来としては、ステンレス架台や、炉内耐火物中のクロムが酸化されることによるものと予想されたが、炉内材のクロムフリー化対策によっても、依然として溶出量が高くなる可能性もあるため、今後、バグフィルター等による集じんをしっかりと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も視野にいれた調査が必要であると考えられた。

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¹⁾。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/日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、燃烧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。特に燃烧開始およそ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件あたりの平均水銀排出量(バグフィルター出口)は51.8mg/人であった。

さらに、2007年に研究代表者らは、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。また、2005年調査と同様に、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。

ところで、排ガス以外で、火葬場にて発生する残骨灰や集じん灰は、宗教上の観点から廃棄物処理法などの対象外である。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⁷⁾の火葬炉から得られた残骨灰(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)中の水銀、六価クロム、フッ素、ホウ素の安全性を、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、集じん灰中の六価クロムの溶出量が基準値の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、これまでの研究は延べ5施設のみにおけるデータであり、日本全国の火葬炉における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。

2. 研究の目的

以上のような背景の下で、本研究は、これまでの調査に加え、延べ8施設の火葬炉を対象に、排ガス中水銀、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。

具体的には、まず、7施設の火葬炉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、6施設の火葬炉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。

最後に、6施設の火葬炉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。

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8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～Hで記述する。8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A～Cは、排気系列が2炉1系列であり、施設Dは3炉1系列、施設E～Hは1炉1系列であった。集じん機は、施設A～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Dでは電気集じん機、施設Fではスクリーンが設置されており。施設E、施設G、および施設Hはともに集じん機が設置されていなかった。

2 測定項目および測定方法

各施設における測定項目を表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、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。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。

2.1 排ガス中水銀の排出濃度調査

施設A～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.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(以下、JIS法)。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A～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。