

焼却施設における水銀物質フロー推計モデルの精度向上と

排出削減への応用

門木 秀幸*、遠山 碩*、成岡 朋弘**

* 公立鳥取環境大学環境学部

** 鳥取県衛生環境研究所

1. 研究背景

2013年10月に熊本市・水俣市で開催された外交会議において「水銀に関する水俣条約」が採択され2017年8月16日に発効¹⁾した。これを受けて、我が国では水銀による環境の汚染の防止に関する法律（平成27年法律第42号）、大気汚染防止法の一部を改正する法律（平成27年法律第41号）、廃棄物処理法施行令の一部を改正する政令（平成27年政令第376号）が公布され、水銀に関する一層の管理の徹底が図られている。このうち、大気汚染防止法では、水銀の排出基準の遵守が規定された。対象施設は、産業用石炭燃焼ボイラー、非鉄金属（銅、鉛、亜鉛及び工業金）製造に用いられる精錬及び焙焼の工程、廃棄物の焼却設備、セメントクリンカーの製造設備である。この内、国内の水銀の大気への排出の約3割は廃棄物焼却施設が由来している²⁾とされている。そして、焼却施設の適正管理には焼却する廃棄物に含まれる水銀量の把握が重要となる。しかし、一般廃棄物の可燃ごみは、組成が複雑であり多様であることから、各組成における水銀の含有量やその寄与割合は不明である。そこで、本研究では、一般廃棄物焼却施設1施設を対象とし、施設に搬入される水銀量（入口側）と、施設から排出される水銀量（排出側）について調査し、一般廃棄物焼却施設における水銀のマテリアルフローの推計について検討を行った。具体的には、入口側は、ごみ質分析、各組成の水銀含有量・水銀寄与率・その他の水銀起源を調査した。排出側は、焼却残渣中の水銀含有量調査・排ガスの水銀濃度分析・排出先への水銀分配割合の推計を行った。

2. 調査方法

2.1 入口側

入口側の調査として、一般廃棄物焼却施設に搬入される可燃ごみ中の水銀含有量を調査した。「一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について（昭和52年、環整95号）」19)に基づいて行った。まず、ごみピットから約500kgのごみを採取し、四分法により縮分した後、組成分類項目として「紙・布類」、「ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類」、「木・竹・わら類」、「厨芥類」、「不燃物類」、「その他」の6項目に分別した。水銀含有量は、底質調査方法(平成24年)³⁾における水銀分析方法のうち、硝酸-過マンガン酸カリウム還流分解法により行った。各ごみ質の水銀含有量と各組成の可燃ごみに占める割合から水銀の寄与割合を算出した。また、ごみ以外の水銀起源として、冷却水、消石灰の水銀含有量も調査した。

2.2 排出側

一般廃棄物焼却施設から排出された焼却残渣（焼却灰、落じん灰、固化灰）の水銀含有量を底質調査方法にて分析した。また、落じん灰は、一定期間（平成 30 年 9 月 14 日～平成 31 年 2 月 21 日）に搬出された落じん灰の実績と、その間に搬出された焼却灰の実績から、落じん灰と焼却灰の排出量の比率を算出し、各月の焼却灰の排出量から各月の落じん灰の搬出量を推計した。排ガスの水銀濃度データ（測定方法：環境省告示第 94 号）は施設設置者から提供を受けた。

2.3 溶出試験

焼却残渣中の水銀量の安全性を調査するため、環境省告示第 13 号にならない溶出試験を行った。

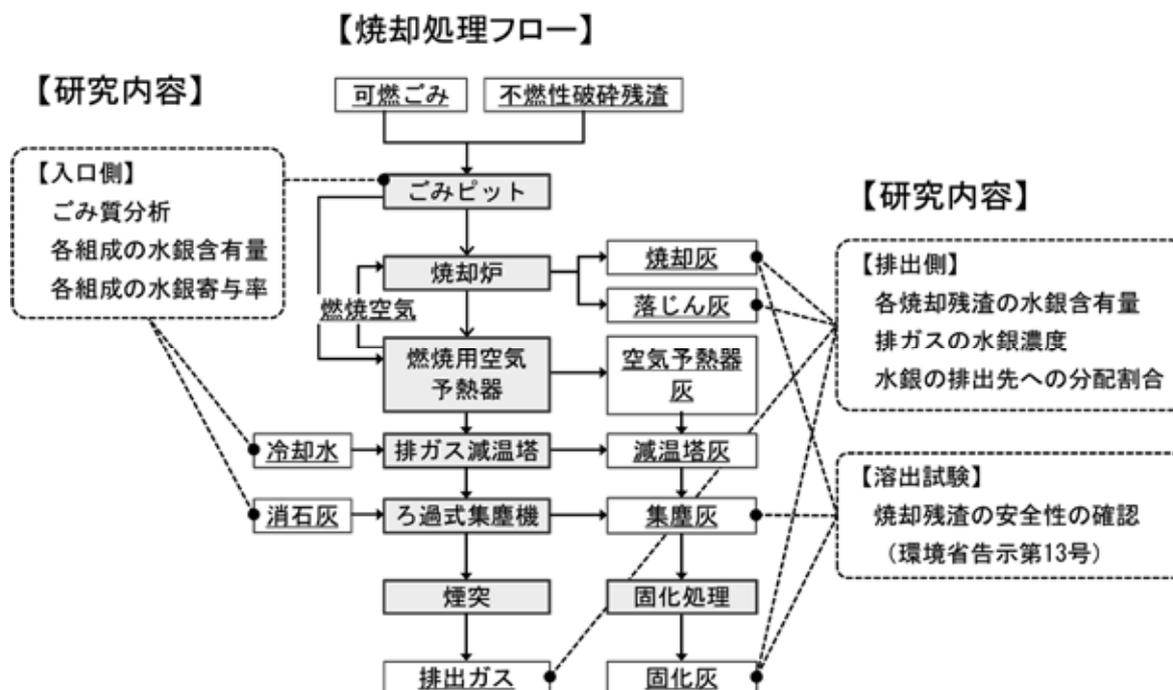


図 1 研究のフロー

「色付き: 廃棄物焼却処理プラント」

「二重線: 物質」

「点線: 研究内容」

3. 結果

本研究の調査期間は平成 30 年 4 月から平成 31 年 3 月の 1 年間とした。この間の焼却処理量は、31,015.1 t であった。

3.1 入口側

ごみ質分析及び水銀含有量の結果を表 1 に示す。乾燥ベースでは「紙・布類」が 34.9% と多く、次いで「木・竹・わら類」が 31.2% であった。湿ベースでは「厨芥類」が 39.8% と最も多く、次いで「木・竹・わら類」が 27.8% であった。

水銀含有量は、乾燥ベースでは「紙・布類」が最も高く 0.52 mg/kg-dry、次いで「その他」が 0.28 mg/kg-dry であった。湿ベースでは「紙・布類」が 0.33 mg/kg-wet と最も高く、次いで「その他」が 0.19 mg/kg-wet であった。しかしながら、一般的に家庭にも存在する水銀含有製品には、体温計、電池等が上げられるが、これらが混入する可能性のある「不燃物類」は、乾燥ベース、湿ベースとも水銀の含有量は最も低値であった。

表 1 ごみ質分析の結果

	組成割合		水銀含有量		水分
	%-dry	%-wet	mg/kg-dry	mg/kg-wet	%
紙・布類	34.9	24.8	0.52	0.33	36
ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類	10.1	5.6	0.032	0.027	17
木・竹・わら類	31.2	27.8	0.096	0.049	49
厨芥類	20.4	39.8	0.027	0.006	77
不燃物類	1.7	0.8	N.D.	N.D.	10
その他	1.7	1.2	0.28	0.19	33

図 2 に廃棄物に含まれる全水銀量に対する各組成の寄与率を示す。水銀の寄与率は「紙・布類」が 80.4%、「ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類」が 1.5%、「木・竹・わら類」が 13.4%、「厨芥類」が 2.5%、「その他」が 2.2%となった。「紙・布類」及び「木・竹・わら類」で全体の約 94%を占めていた。廃棄物中の水銀量は約 3,160 g/年と推計された。一方、ごみ以外の水銀起源の冷却水、消石灰の水銀含有量を調査した結果、合計で 0.63 g 程度とほとんど寄与しないことが確認された。

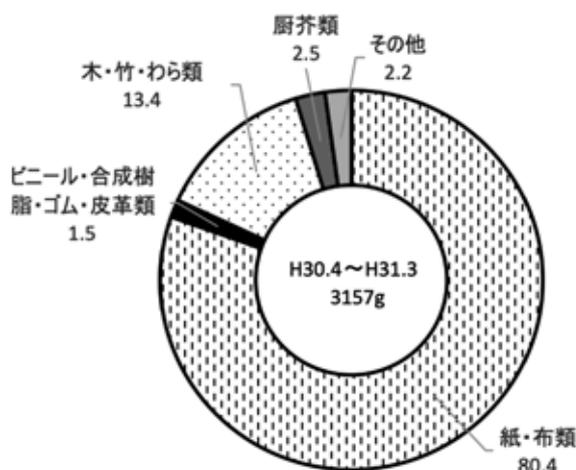


図 2 廃棄物中の全水銀量に対する各組成の水銀量の割合 (寄与率 / %)

3.2 排出側

表2に焼却残渣及び排ガスとしての水銀の年間排出量を示す。水銀の含有量のうち固化灰が9.3 mg/kgと最も多くの水銀を含有していた。次いで落じん灰は0.26 mg/kgの水銀を含有していた。分配割合も固化灰が、平均93%（最小89.1%、最大96.2%）と最も大きな割合を占めていた。次いで排ガスが平均6.4%（最小3.0%、最大9.9%）であった。

排出先への分配割合は固化灰が93%、排ガスが6.4%、焼却灰が0.7%、落じん灰が0.1%という結果であった。水銀排出量は固化灰が12,860 g、排ガスが900 g、焼却灰が106 g、落じん灰が19 gとなった。排出側の総水銀量は13,885 g/年と見積もった。この結果から、廃棄物焼却工程では、99%以上の水銀が燃焼ガス側に移行することが確認された。また、燃焼ガス中の水銀は排ガス処理工程（冷却、ろ過）で93%がばいじんとして捕集されることが確認された。

表2 水銀排出量及び各排出先への分配の割合

	排出量 /g	割合 / %
焼却灰	106	0.7
固化灰	12860	93
落じん灰	19	0.1
排ガス	900	6.4

3.3 溶出試験

表3に集塵灰、固化灰、焼却灰の溶出試験の結果を示す。

表3 溶出試験結果 (mg/L)

採取日	試料	pH	Hg
2018.6.29	集塵灰	—	0.041
	固化灰	—	<0.0005
	焼却灰	—	<0.0005
2018.9.28	集塵灰	—	0.053
	固化灰	—	<0.0005
	焼却灰	—	<0.0005
2018.12.20	集塵灰	12.3	0.12
	固化灰	12.2	<0.0005
	焼却灰	12.6	<0.0005
2019.3.22	集塵灰	12.3	0.099
	固化灰	12.2	<0.0005
	焼却灰	12.4	<0.0005

今回採取した焼却灰は溶出試験の結果、全て埋立て基準（0.005 mg/L）に適合していることが確認された。一方、集塵灰は溶出基準を超過していたが、集塵灰を固化処理した固化灰については、全て溶出試験の結果、溶出基準に適合していた。すなわち、燃焼ガス中の水銀は90%以上が捕集され、集塵灰（ばいじん）として排出される。しかし、集塵灰は固化処理により水銀を含めた重金属類が不溶化され、最終処分されていることが確認された。

4. まとめ

本研究により、入口側としてごみ質組成毎の水銀の寄与割合を明らかにした。紙・布類が最も寄与割合が高いことが確認された。排出側の水銀は、固化灰に90%以上分配することが確認された。溶出試験の結果、集塵灰に含まれる水銀は固化処理により不溶化され、最終処分されていることが確認された。しかし、水銀のマテリアルフローとして、入口側の水銀量が排出側の水銀量の1/4程度しかなく、収支バランスが整合しなかった。

この要因については、（1）ごみ質分析の回数が少ないことによるデータの不確かさ、（2）廃棄物、冷却水、消石灰以外の水銀の起源の可能性、（3）底質調査方法が定める試料の分解方法の不十分さ、が考えられる。特に（3）の底質調査方法の分解方法（硝酸-過マンガン酸カリウム還流分解法）では、プラスチック類、木、紙、布類が完全に分解できないことが考えられる。すなわち表面に付着している水銀は抽出されて分析できるが、試料内部に存在する水銀の抽出が不十分となる可能性がある。分解方法を変更して検証する必要がある。今後は、さらに分析方法の検証や他の水銀起源の調査などを継続して行い、データの精度の向上を図り、マテリアルバランスの改善を行う必要がある。

（本研究報告は、公立鳥取環境大学環境学部の遠山碩の卒業論文の内容を含むものである）

参考文献

- 1) 環境省：水銀に関する水俣条約の概要、<http://www.env.go.jp/chemi/tmms/convention.html>、2020年4月1日閲覧
- 2) 環境省：2016年度版環境省大気排出インベントリ、<http://www.env.go.jp/air/suigin/inventory.html>、2020年4月30日閲覧
- 3) 環境省水・大気環境局、底質調査方法、5.14.1.1 硝酸-過マンガン酸カリウム還流分解法、平成24年8月