

一般廃棄物焼却施設の水銀物質フロー推計モデルの構築と排出削減への応用

門 木 秀 幸

1. はじめに

水銀及び水銀化合物の人為的な排出から人の健康及び環境を保護することを目的とした「水銀に関する水俣条約」が2013年10月に採択され、平成29年8月に発効した。これに伴い我が国では水銀の環境排出や水銀含有廃棄物に関する新たな規制が大気汚染防止法、廃棄物処理法の改正によりなされている。国連環境計画（UNEP）が2002年に公表した報告書（UNEP, 2002）によると、環境中に排出される水銀（年間5,500～8,900トン）のうち人為的排出は約30%、自然的発生は約10%、再排出・再移動は約60%であり、水銀の人為的排出の削減は、将来的に環境中を循環する水銀量を削減するために極めて重要であるとされている。世界では、石炭火力発電・工業用ボイラー、住宅暖房/その他燃焼、人力・小規模金生産が大気への環境排出源として重要（UNEP, 2010）とされている。一方、我が国を見ると環境省が公表している水銀大気排出インベントリー（環境省、2016年版）では、1/3が廃棄物焼却施設、1/3がセメント製造施設が占めており（図1）、こうした水銀排出施設における水銀排出削減のための適正な施設管理が重要となっている。一般廃棄物の焼却施設は、市町村の事務として行われていることから、大気汚染防止法で規定されている排出基準の遵守は自治体にとって重要な課題となっている。

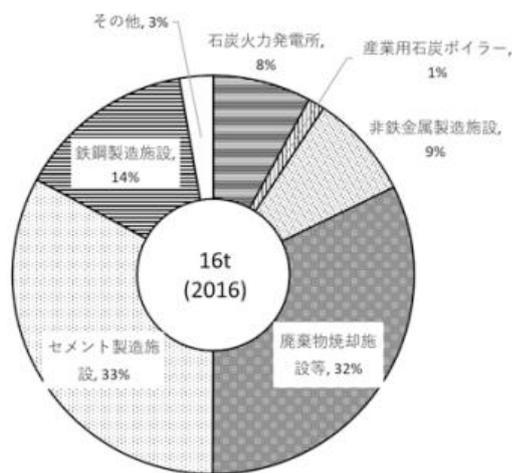


図1 我が国の水銀排出インベントリー（環境省水銀排出インベントリー 2016年版より作成）

一方、一般廃棄物焼却施設では、原料となる廃棄物の組成が複雑でばらつきが大きく、焼却物中の水銀含有量の把握を行うことが困難である。水銀排出量の削減には原料中の水銀量の推計及び焼却施設における水銀の物質フローについて把握し、適正な分別や施設の維持管理を図ることが重要と考え

られる。また、災害時等のように非定常時における水銀の排出の予測や対策を講じなければ、非定常時における焼却施設の稼働に支障が生じ、地域の廃棄物処理や市民生活に大きな支障が生じることが予測される。

そこで我々は、一般廃棄物焼却施設の水銀の物質フローを明らかにすることを目的として、入り口側、出口側の詳細な水銀量の調査及びそれに基づくフローモデルの構築を行い、廃棄物の質の変動の影響や適正な施設管理の基礎となるデータの構築を試みている。本報告では、その手法の概要について取りまとめる。

2. 一般廃棄物焼却施設の処理フロー

一般廃棄物の可燃ごみの質は地域で行われている分別方法により影響を受けるが、一般的な、可燃ごみの組成は、環境省通知「一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項」により、①紙・布類、②ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類、③木・竹・ワラ類、④厨芥類（動植物性残渣、卵殻、貝殻を含む）、⑤不燃物類、⑥その他（孔眼寸法約5mmのふるいを通過したもの）に分けることができる。地域によっては、プラスチックを分別回収し再資源化に取り組む自治体、厨芥類すなわち生ごみを分別回収して再資源化に取り組んでいる自治体もあり、これらの地域で排出される可燃ごみの組成は異なってくる。すなわち、組成が複雑で、変動も大きいことが予測され、また地域性があることが特徴である。

次に、大気汚染防止法で規定される水銀の排出規制から廃棄物中の水銀含有量について考える。ここでは、一般廃棄物焼却施設の集じん設備の水銀除去率90%（高岡、2005）とし、都市ごみの平均的な発熱量9200kJ/kgの燃焼時の湯きガス量が $4.55\text{m}^3/\text{kg}$ （タクマ環境技術研究所、2017）として仮定する。ごみに含まれる水銀の含有量を、排出基準から算出すると、改正大気汚染防止法において、既設の施設に対して適用される排出基準値： $50\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ では、ごみに含まれる水銀含有量は $2375\mu\text{g}/\text{kg}$ 、新設の施設に対して適用される排出基準値 $30\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ では、 $1425\mu\text{g}/\text{kg}$ となる。この含有濃度を環境中の土壌と比較して考えると、例えば我が国の非汚染土壌中の水銀の含有量は $10\sim 100\mu\text{g}/\text{kgDW}$ 程度⁵⁾とされており、廃棄物中の水銀は環境中の土壌より1桁程度高い数値まで許容されると言える。しかし、実際の廃棄物は、多様な組成を有しており、また個々のごみ組成ごとの水銀の含有量は把握されておらず、水銀含有製品の混入による寄与も不明である。排出量削減には、元の詳細な把握が重要となるとともに、焼却処理過程で、水銀の分配、すなわち廃棄物側か排出ガス側の割合を把握する必要があると考えられる。

3. 一般廃棄物焼却施設における水銀フローの調査

図2に我々が取り組んでいる研究の概要について示す。本研究では、入口側の水銀量を把握するために、焼却するごみのごみ組成調査を行なっている。ごみの組成は、前述の6分類とし、①～⑥に基づいて行っている。採取したごみは、全体の重量割合、水分含有量を測定する。また、各組成の含有量を分析する。分析方法は、底質調査方法（環境省 水・大気環境局、平成24年8月）による方法を採用している。

入口側の水銀量は、得られた各ごみ組成中の水銀含有量及び運転管理情報である年間焼却量から各組成に含まれる水銀量を以下の式で求めることができる。

$$M_i = C_i \times W_{i\text{-dry}}$$

ここで、

M_i : 組成*i*に由来する年間の水銀量 (mg/年)

C_i : 組成*i*の水銀含有量 (mg/kg-dry)

$W_{i\text{-dry}}$: 各組成の年間焼却量 (kg-dry/年)

また、廃棄物に含まれる全水銀量に対する各組成の寄与率を次式で求めることができる。

$$R_i = M_i / \sum M_i \times 100$$

ここで、

R_i : 組成*i*に含まれる水銀の寄与率 (%)

$\sum M_i$: 廃棄物に含まれる水銀の総量 (mg/年)

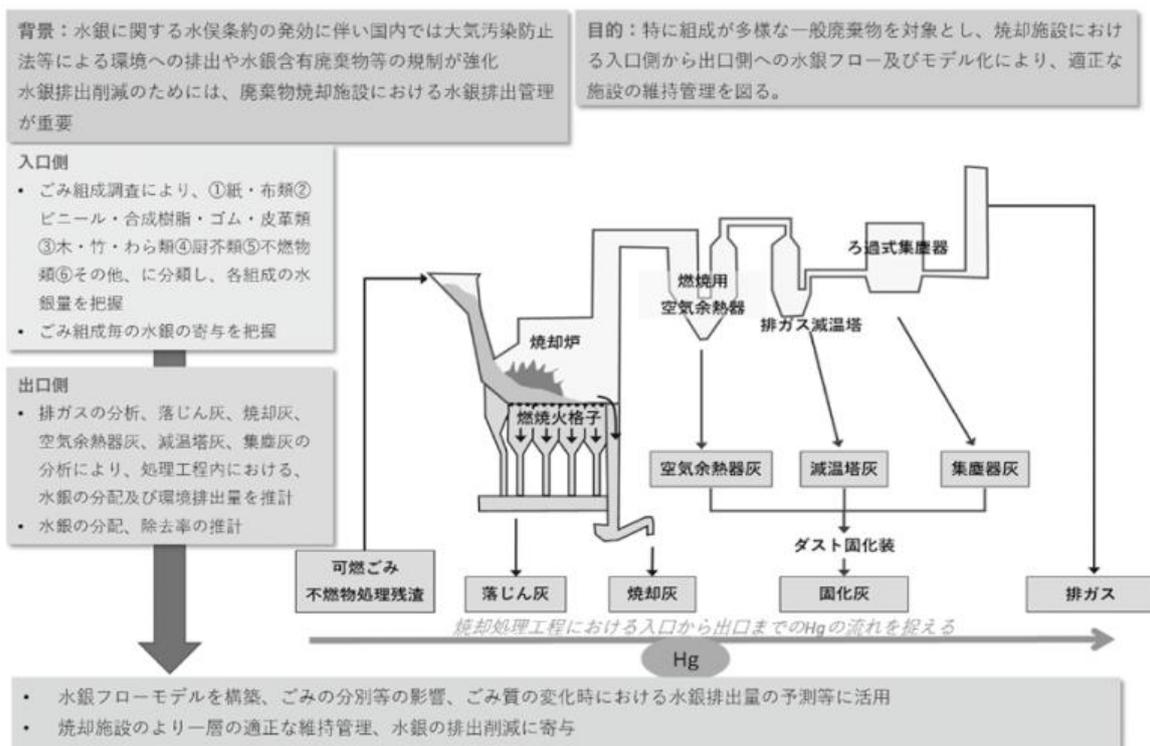


図2 研究の概要

出口側の水銀の物質フローについては、廃棄物と排ガスとしての排出がある。排出ガスとしての排出量は、「排ガス中の水銀測定方法」(環境省告示第94号)により測定されたデータと施設の運転情報より推計が可能である。一方、廃棄物としての排出には、焼却灰及びばいじんとがある。焼却灰は、施設によっては、落じん灰と落じん灰以外の焼却灰に分別され、また、ばいじんは、バグフィルター

で捕集された集じん灰の他、空気余熱器灰、減温塔灰に分けられる。ばいじんは、特別管理一般廃棄物として、重金属類が不溶化処理され、埋立処分されている。このように入り口で投入された水銀は、焼却施設の内部で、複数の排出先に分配し、最終的には排出ガスあるいは廃棄物として最終処分場に埋め立てられ、環境に戻される。水銀の科学的な特性上、燃焼行程では、焼却灰よりは燃焼ガス側に多くが分配する。焼却施設のバグフィルターにおける水銀の補修効率は、90%程度とされており、結果として集じん灰に移行するものの割合が大きいと考えられる。燃焼室での水銀の揮発率、集じん設備での水銀の除去率により、焼却施設内での分配が決定される。

実際の調査では、ばいじん、焼却灰中の水銀濃度は、底質調査方法⁷⁾による含有量分析により把握する。また、施設の運転管理状況から、水銀の排出量を推計する。

4. 今後の課題について

家庭から排出される一般廃棄物には、体温計、電池等の水銀含有製品が含まれる。しかし、これらの廃棄物は不燃ごみとして排出されるために、定常状態での焼却施設の運転では水銀源としては、少ないと考えられる。しかし、実際の廃棄物にどの程度混入しているのか、あるいは、他の組成の寄与がどの程度なのかは、その地域の分別の状況によっても異なる。処理施設内での挙動も異なると考えられる。本研究では、具体的な施設を対象として、物質フローを把握し、モデル化を行うことに取り組んでいる。

しかし、一方可燃ゴミの組成は、多様で複雑であることから、精度の高いデータを得ることは難しいことが課題として上げられる。図3に実際にごみ質として調査した写真を掲載する。



図3 ごみ質調査におけるサンプリングの様子：最初に約500kgのごみを採取し四分法によって縮分する

一般廃棄物の中身は非常にバラツキが大きいことは外観上も予測できる。一方、底質調査方法により水銀を分析する場合、分析に供される試料量は、数グラムのオーダーであることから、可燃ごみの中から代表的な分析値を得るだけでも、難しい調査となる。このため、より正確なデータを元にしたフローモデルを構築するためには、基礎となる分析データの蓄積が大きな課題と考えられる。このことは、ばいじん、焼却灰の水銀の分析でも同様であり、継続的な調査が不可欠と考える。

参考文献

- [1] 浅見輝男、データで示す－日本土壌の有害金属汚染、(株)アグネ技術センター、2010.
- [2] 厚生省環境衛生局水道環境部環境整備課長、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11月4日付環整95号.
- [3] 環境省、水銀大気排出インベントリー（2016年度対象）、環境省webページ、<http://www.env.go.jp/air/suigin/2016inventory.pdf>、2019年6月13日閲覧.
- [4] 環境省 水・大気環境局、底質調査方法、pp.226-229、平成24年8月.
- [5] 高岡昌輝、廃棄物燃焼過程における水銀の挙動と制御、廃棄物学会誌、Vol.16、No.4、pp.213-222、2005.
- [6] タクマ環境技術研究所、基礎からわかるごみ焼却技術、オーム社、平成29年.
- [7] UNEP、Global Mercury Assessment、2002.
- [8] UNEP、Study on mercury sources and emissions and analysis of cost and effectiveness of control measures “UNEP Paragraph 29 study”、2010.