

特別寄稿

都市ごみ焼却処理施設より発生する

水銀の排出抑制対策

京都大学大学院地球環境学堂

教授 高岡 昌輝

1. はじめに

水銀は、常温で液体であり比重が高いことから体温計や血圧計等の測定機器に、蒸気圧が高いことから紫外線発生源として蛍光灯や水銀灯等に、この他には電池の添加材・歯科充填材等に利用されてきた。したがって、都市ごみ焼却処理施設からの排出を抑制するには、まずは入ってくる水銀量を減らす努力が必要である。蛍光灯にしても電池にしても製品当たりの水銀使用量は10年以上前に比べ、大きく減少しているが、国内の生産しているマンガン電池の無水銀化から20年以上が経過し、蛍光灯にしてもその含有量の低減は限界に近付いていることから今後劇的な削減は難しいと考えられるが、これらの製品は別途資源的な価値もあり、できるかぎり分別回収し、リサイクルに回すことが望ましい。

このように水銀を含有する製品は限られており、自治体によっては現実に分別回収がなされているが、残念ながらすべての家庭が協力してこれら廃製品が回収されているわけではない。また、自治体によっては様々な理由から混合収集されているところもある。収集された廃棄物のうち、不燃物の寄与は大きく、95%程度を占めることが報告されている¹⁾。また、不燃物の分別を行っている施設と行っていない施設では、廃棄物1トンあたりの値は5～8倍も異なることが知られている²⁾。この事実からもまずは分けることが重要といえるが、可燃ごみであ

る紙・布類、厨芥類、木・竹・わら類、塩化ビニル・合成樹脂類などにも非常に微量であるが含まれていることが過去の研究で報告されている^{1,3,4)}。つまり、可燃ごみのみを焼却している場合であっても、焼却排ガス中には水銀が含まれる可能性がある。したがって、水銀含有製品の一部が焼却施設に入ってくることを想定して、水銀排出抑制対策を考えねばならない。

水銀は、冒頭に述べたように、常温で唯一の液体金属であり、焼却炉の中では容易にガス状となり、排ガスに含まれる。世界的に見ても廃棄物焼却からの水銀排出は比較的大きく、水銀に関する水俣条約においても廃棄物焼却施設は附属書Dに記載され、大気規制の対象施設となっている⁵⁾。また、国内のインベントリーにおいては、都市ごみ焼却処理施設は現時点では1.3～1.9t/年を排出しており、セメント、鉄鋼施設、産業廃棄物焼却施設について、4番目の排出源となっている⁶⁾。

排ガス濃度としては、排ガス処理装置前において、1980年代の数 $100\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ であったのが、1990年代後半には $10\text{--}50\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ 程度に減少している⁷⁾。上記の国内インベントリーの総括排出係数は $42\text{--}61\text{mg}/\text{t}$ と報告されており⁶⁾、最近の都市ごみ焼却施設の排ガス量が $6000\text{--}7000\text{m}^3_{\text{N}}/\text{t}$ とすれば、最終煙突での濃度は $6\text{--}10\mu\text{g}/\text{m}^3_{\text{N}}$ と平均的には見込まれる。これらは石炭燃焼排ガス中水銀濃度に比べるとまだ同レベル以上にある⁷⁾。

都市ごみ焼却排ガスからの水銀の除去については1980年代半ばに社会的問題にまで発展した際に多くの技術が検討され、実用化された。その後、水銀に代わりダイオキシン類の排出問題が脚光を浴びるようになり、水銀の制御のみを対象とした除去技術の開発はほとんど見られなくなったが、水俣条約の採択を受け、排ガス規制が設けられる予定であり、新たな除去技術および運用技術の開発機運がある。以下では、著者の過去の拙稿⁷⁾を引用しつつ、最近用いられている都市ごみ焼却処理施設の排ガス中水銀除去技術の研究例を若干追加し、紹介する。

2. バグフィルタ

バグフィルタでの水銀除去に関しては、排ガス温度を低下させることにより除去率の向上が認められ、多くの研究から150℃以下にすることで70-90%の除去が可能であることがわかっている。実際のプラントではバグフィルタの運転管理の側面からもう少し高い温度で運転されることが多く、この場合ダイオキシン類との同時除去の観点から活性炭噴霧が行われている場合が多い。実施設においても活性炭噴霧が水銀除去に効果があることが確認されているおり⁷⁾、温度、活性炭噴霧濃度、バグフィルタ入口水銀濃度が大きな影響を及ぼすことがわかっている。また、現実には都市ごみ焼却施設では投入ごみに依存し、水銀濃度はピークを示す場合が多い。それゆえ、常に一定量の活性炭を噴霧するというよりは水銀連続分析計でモニターしつつ、検出された段階で活性炭を噴霧することが有効であり、強制的に逆洗してダストに吸着した水銀を排出することで、メモリー効果を早期に終結可能であることが最新の研究で報告されている⁸⁾。

活性炭以外の水銀除去剤としては、過去にスウェーデン、カナダなどで硫化ナトリウム(Na_2S)利用が検討され、その効果が報告され

ている⁷⁾。その他、最近では石炭火力発電所で検討されてきた技術で、臭素などのハロゲンを添着した活性炭の利用や臭素化合物を噴霧し、金属水銀を酸化させることで、飛灰や活性炭への吸着性を高めることも海外では検討されている⁹⁾。

3. 湿式スクラバー

湿式スクラバーにおいてその洗煙排水に水銀が含まれてくることから湿式スクラバーでの水銀除去機構が注目されるようになった。水銀除去率は30～87%でばらついているが、燃焼排ガス中の水銀種も考慮すると70%程度が洗浄液に移行するものと推定され、水銀除去には有効な技術である⁷⁾。

単なる洗浄水だけでは水銀除去率がばらつき、高率を保てないので、洗浄液に薬剤を添加する研究がいくつかなされている。液体キレートと銅塩もしくはマンガン塩を組み合わせた洗浄液では、入口水銀濃度にもよるが吸収率は92-97%であったことが報告されている⁷⁾。このようなキレート法とは別に水銀と窒素酸化物の同時除去の観点から、次亜塩素酸ナトリウムの添加による除去技術も開発されている。洗煙排水から水銀を回収する方法も検討され、実用化されたが⁷⁾、近年、施設によっては回収水銀量が極めて少ないためプロセスが停止されている。また、海外では水銀除去のために湿式スクラバーに過酸化水素水を添加し、金属水銀をスクラバー内で酸化し、高効率に除去するシステムが開発され、実働している¹⁰⁾。スクラバーにおけるダイオキシンの蓄積回避のために洗煙排水中に活性炭を入れる方法があるが、石炭燃焼施設においてスクラバー排水中水銀の除去を対象に実施例があり¹¹⁾、都市ごみ排ガスからの水銀除去にも効果があると考えられる。

4. 活性炭吸着塔

粉末活性炭をバグフィルタ前で噴霧するのではなく、集じん後の排ガスを活性炭系吸着材の充填塔に通過させ、ダイオキシン類や水銀を吸着除去する方法が実用化されている。活性コークスや活性炭が用いられ、空塔速度や温度、入口水銀濃度などの要素に水銀除去率は依存するが、多くの場合水銀除去率は90%以上であることが報告されている^{7),12)}。活性炭吸着塔の性能評価はダイオキシン類を中心に行われているが、水銀とダイオキシン類を比較すると、水銀の方が早く破過しやすいという報告もなされていることから⁷⁾、すべての微量有害物質を除去するにはダイオキシン類よりも水銀を高効率で捕捉するような工夫が今後求められる。

5. おわりに

都市ごみ焼却処理施設の水銀排出抑制対策としては、まずは、入口となる廃棄物中の水銀を減少させることである。血圧計などの多量の水銀を含む廃製品が混入すると、いくら後段の排ガス処理設備を高度化しても水銀は完全には除去できない。多量の水銀を含む廃製品は、まずは啓発により混入を防止するとともに、別途回収スキームを用意する必要がある。これは自治体だけではなく、該当廃製品の関係団体等に協力を得て進める必要がある。同時に、ピットへの受け入れ前の検査を強化することも必要である。出口対策である排ガス中水銀の除去技術については、バグフィルタにおける活性炭噴霧と低温化により水銀除去は期待できる。また、湿式スクラバーも特に二価水銀には有効であり、活性炭系材料による吸着塔では高度に除去可能である。活性炭噴霧については運用面での改善も報告されてきており、さらなる水銀除去技術の開発および運用方法に関する研究、情報の蓄積が求められる。

参考文献

- 1) 安田憲二、大塚幸雄、金子幹宏；廃棄物の焼却に伴う重金属の排出挙動(Ⅰ)、大気汚染学会誌、第18巻、第3号、pp.221-225 (1983)
- 2) 伊藤尚夫、福永勲、西谷隆司、中川吉永、井上善介；ごみ焼却工場における重金属の物質収支、第8回全国都市清掃研究発表会講演論文集、pp.105-108 (1987)
- 3) 酒井泰；都市ごみ焼却場における重金属の動き、都市清掃、第37巻、第139号、pp.181-192 (1984)
- 4) 神田潤子、中村一夫、竹村敏彦、高月紘；最近の水銀排出動向について、第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.595-598 (1993)
- 5) UNEP：Minamata Convention on Mercury (2013)
- 6) 環境省報道発表資料「水銀に関するマテリアルフローおよび大気排出インベントリーについて（お知らせ）平成25年3月21日、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=16475>
- 7) 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)
- 8) 佐藤恵、鈴木賢、前田典生、都市ごみ焼却施設における排ガス中水銀排出規制に対する取り組み、第36回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、pp.231-233 (2015)
- 9) Vosteen, B. W., Kanefke R., Koser H., Bromine-enhanced Mercury Abatement From Combustion Flue Gases - Recent Industrial Application and Laboratory Research, VGB PowerTech, pp.3-8 (2006)
- 10) Lothgren C. J., Takaoka M., Andersson S., Allard B., Korell J., Mercury Speciation in Flue Gases after an Oxidative Acid Wet Scrubber, Chemical Engineering & Technology, Vol.30, pp.131-138 (2007)
- 11) Keiser B., Glesmann S., Taff B., Senior C., Ghorishi B., Miller J., Mimna R., Byrne H., Improving Capture of Mercury Efficiency of WFDGs by Reducing Mercury Reemissions, Institute of Clean Air Companies (2014)
- 12) 平山敦、長尾厚志、鮎川将、木村陽介、薄木徹也、小型活性炭吸着塔による微量有害物質の高効率除去、第21回廃棄物資源循環学会研究発表会講演集、pp.186-187 (2010)