水銀に関する水俣条約と水銀廃棄物の処理・処分（保管）

第４回　廃棄物焼却施設からの水銀排出

京都大学大学院地球環境学堂教授
高岡　昌輝
TAKAOKA Masaki



プロフィール

大阪府堺市生まれ、平成5年京都大学工学部助手、平成14年同大学院工学研究科助教授、平成23年同教授、平成25年より地球環境学堂教授、現在に至る。専門は環境工学、廃棄物処理・処分・管理など。廃棄物処理・処分過程での水銀、ダイオキシン類、放射性物質、PM2.5等の制御や廃棄物からの資源・エネルギー回収システム、放射光を用いた環境分析等の研究を精力的に行っている。廃棄物学会論文賞、大気環境学会論文賞、土木学会論文奨励賞、分析化学論文賞等受賞。中央環境審議会臨時委員など各種委員を歴任。趣味は美味しいものを食べること、飲むこと（見てのとおり）？

《連載にあたって》

水銀に関する水俣条約は、地球規模の水銀および水銀化合物による汚染や、それによって引き起こされる健康、および環境被害を防ぐために、2013年10月10日に熊本市において開催された外交会議において採択され、我が国でも水銀廃棄物の処理・処分（保管）等の対策が急務となっております。

本年度の連載講義は、「水銀に関する水俣条約と水銀廃棄物の処理・処分（保管）」と題し、京都大学大学院地球環境学堂の高岡教授にご解説いただきます。

第４回は「廃棄物焼却施設からの水銀排出」についてご解説いただきました。

１．はじめに

第189回通常国会で水銀等の大気中への排出を規制するための大気汚染防止法の一部を改正する法律（改正大気汚染防止法）が成立し、平成27年６月19日に公布されました。この法律において廃棄物焼却施設からの排ガスに対して新たな水銀規制値が設定されることから、第4回の解説は廃棄物焼却施設からの水銀排出に関連する内容を説明させていただきます。

２．規制値設定に向けての経緯

水銀及びその化合物は、大気汚染防止法において有害大気汚染物質対策の優先取組物質の一つとして選定されている。環境目標値の一つとしては大気中の水銀蒸気の吸入による長期曝露に係る指針値（40ng/m³）が設定されている。これまでの全国でのモニタリングの結果では、この指針値を超える地点は報告されていない。過去に都市ごみ焼却施設からの水銀排出が大きな社会問題として取り上げられた時期（1980年代半ば）があったが、現時点まで排ガスに対する水銀規制はなされてこなかった。

しかし、本連載の第1回で紹介させていただいたように、近年、水銀については一旦大気へ排出されると、長距離を移動し、環境中で様々な変化を受け、有機水銀として生物濃縮されることがわかり、世界的にメチル水銀の耐容摂取量が2000年代半ばに厳しく制限されることとなった。水銀は地球環境汚染物質であり、一国だけの対策では限界があることから、国際的な協力のもと人為的な排出を削減する必要があり、今回の水俣条約の制定につながったものである。

水俣条約では大気排出規制に関しては第8条に記載がある[1)]。その主な内容としては、まず、規制対象として、次の５つの発生源を規定している。（１）石炭火力発電所、（２）産業用石炭燃焼ボイラー、（３）非鉄金属製錬（鉛、亜鉛、銅及び金、ばい焼工程も含む）、（４）廃棄物焼却施設、（５）セメント製造業。2013年1月に公表されたUNEP　Global Mercury Assessmentでは、**表１**に示すように、人為的発生源がリストアップされ、排出量の総計が1960トン/年と推計されている[2)]。この排出量の大きいものがその規制対象となったと考えられる（この中では廃棄物焼却は明示されていない）。

表1　2010年レベルでの全世界での水銀の大気への排出量[2)]

発生源	排出量（トン）	範囲（トン）	割合（%）
副生物あるいは非意図的排出			
化石燃料燃焼			
石炭燃焼	474	304 － 678	24
石油及び天然ガス燃焼	9.9	4.5－ 16.3	1
鉱業、非鉄製錬・製造			
鉄鋼一次製造	45.5	20.5－ 241	2
非鉄金属一次製造	193	82 － 660	10
大規模金製造	97.3	0.7－ 247	5
水銀鉱山	11.7	6.9－ 17.8	<1
セメント製造	173	65.5－ 646	9
石油精製	16	7.3－ 26.4	1
汚染サイト	82.5	70 － 95	4
意図的使用			
人力小規模金採掘	727	410 －1040	37
塩素アルカリ産業	28.4	10.2－ 54.7	1
水銀含有製品	95.6	23.7－ 330	5
火葬（歯科アマルガム）	3.6	0.9－ 11.9	<1
総計	1960	1010 －4070	100

次に、これら規制対象施設の新規発生源については、利用可能な最良の技術（BAT）及び環境のための最良の慣行（BEP）の利用を義務付けることが明記されている。BATに適合した排出限度値の使用をもってこれらの義務を履行したとみなすこともできるとされている。これに対して既設の発生源については、①排出規制目標、②排出限度値、③BAT及びBEP、④水銀の排出規制に相互に効果のある複数汚染物質規制戦略又は⑤代替的措置から一つ以上の措置を実施することが求められている。

これを受け、条約に定める大気排出規制の的確な実施を確保するため、十分な担保措置規定を伴う法規制が求められることとなり、中央環境審議会大気・騒音振動部会水銀大気排出対策小委員会において「水俣条約を踏まえた今後の水銀大気排出対策について」が答申案としてまとめられた[3)]。

今般成立した改正大気汚染防止法では、条約の規定に基づき、規制が必要な施設を水銀排出施設とし、当該施設等について都道府県知事に届け出ること、水銀排出施設の排出口の水銀濃度の排出基準を定め、当該排出施設から水銀等を大気へ排出する者に対して排出基準を義務付けること、届け出対象外であっても水銀等の排出量が相当程度である施設を要排出抑制施設として指定し、その設置者に対して排出抑制のための自主的取り組みの実施を責務として求めること等が規定されている[4)]。

今年度環境省が約120施設について実態調査を実施しており、その結果をベースとして、具体的な排出規制の対象施設の区分ごとの排出基準の値、排出規制の対象施設の規模等に関する基準等について検討が始まっている。

３．測定方法

規制値の検討に関連して測定方法は極めて重要である。日本の場合、これまでJIS K 0222ではガス状の水銀だけを対象としており、粒子状の水銀については対象としてこなかった。水俣条約では第8条の2.(f)において、総水銀と明記されていることから、粒子状も含めた総水銀の排出実態を把握することが必要である。したがって、今年度環境省が実施した実態調査においては、測定方法として、ガスと粒子を別々に採取し、それぞれの濃度を調査した[5)]。JIS K 0222が最初に制定された際に、「粒子状は無視しうる」あるいは、「排ガス中の水銀濃度が高かったため相対的に粒子状水銀は低かった」などの何らかの議論・事実があったと推測されるが、現時点では総水銀から粒子状水銀を除いてよいと判断する十分なデータがないことから、実態調査においては両方を測定することになった。

水銀に関する水俣条約と水銀廃棄物の処理・処分（保管）

第４回　廃棄物焼却施設からの水銀排出

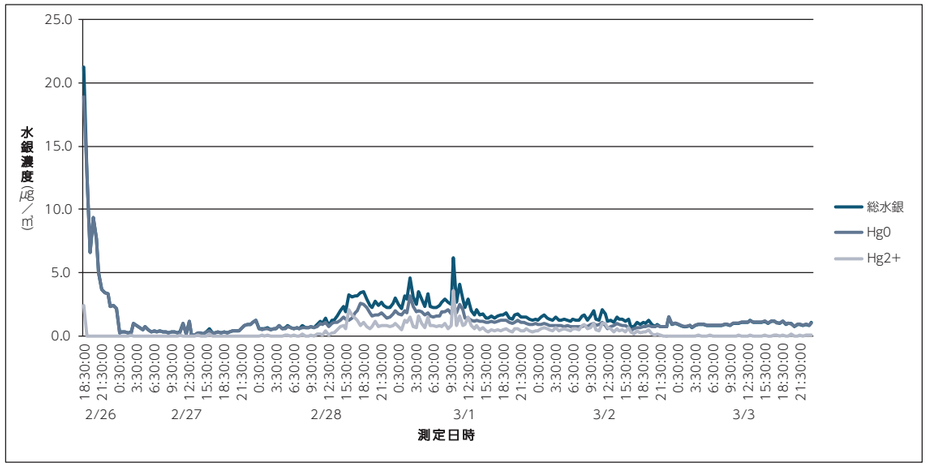


図1　都市ごみ焼却施設Aの湿式スクラバー出口における形態別水銀濃度

サンプリング方法としてはダイオキシン類のように粒子状とガス状を連結して測定することも可能であり、現にEUではその方法で行っているが、吸収液の過マンガン酸カリウムの濃度が異なる、ばいじんの採取は等速吸引でなければならないため吸引速度がJIS法よりもかなり高いなど、これらの条件はすぐに日本の対象排ガスで適用できるわけではない。また、ダイオキシン類排出問題以降、バグフィルタの設置により、煙突から排出されるばいじん（粒子）濃度自身が低くなってきている。つまり、ばいじん中の水銀濃度を検出するに足るガス量とガス中水銀の検出に必要な量とのアンバランスがある。したがって、実態調査においては、ガスとばいじんを分けて採取することとなった。

また、今回の規制のポイントは平常時の平均的な排出状況を示すことが求められ[3]、それを測定方法によってどのように反映するかが大きなポイントとなっている。この点においては、連続的に水銀が測定できれば平常時の平均的な排出状況をより把握可能である。連続分析計も上市されており、いくつかの廃棄物焼却施設においては利用されている。**図１**は形態別の水銀連続分析計を用いて筆者が都市ごみ焼却施設Ａで測定した例を示す。濃度の変動があり、この図では測定当初にピークが認められるが、平常時は低い値を示している。ガス状の総水銀の平均濃度は1.5μg/m3Nであった。このように、連続分析計はガス状水銀を連続して測定できることから水銀濃度に対応した排ガス処理対策が実施できるなど多くの利点があり、設置が推奨されるものである。しかし、現時点ではガス状のみを対象にしており、連続分析計の結果のみをそのまま規制値に当てはめるにはデータが不足している。今後、様々なデータが集積されて、ガスと粒子状の割合などが評価できるようになった場合、連続分析計の採用も検討されると考えられる。このように、現在、規制値の議論とともに、実際の規制の際の測定方法について細部を検討している段階である。

４．廃棄物焼却施設におけるBAT・BEP

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と産業廃棄物焼却施設、下水汚泥焼却施設を合わせると2013年時点では2.2 ～ 6.85t/年を排出しており、セメント製造施設とほぼ同等の大きな排出源となっている[6]。なお、廃棄物焼却施設と書いているが、もちろん廃棄物の溶融やガス化、炭化、焙焼施設もこのカテゴリーに入るべきであり、正確には廃棄物熱処理施設とすべきであろう（ただし、本稿では廃棄物焼却施設と呼ぶ）。廃棄物焼却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。これはBEPの典型的な例である。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、依然として水銀が少量ながら含まれている。これらの製品は別途資源的な価値もあると考えられ、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。現在、環境省廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課が「家庭から排出される水銀使用廃製品の分別回収ガイドライン」を作成し、分別回収の促進を打ち出している[7]。ただし、このように水銀使用廃製品の分別回収を促進したとしても、現実には残念ながらすべての家庭が協力して、回収されるわけではない。したがって、ある程度の水銀が焼却施設に入ってくることを想定して、利用可能な最良の排ガス中水銀排出抑制技術（BAT）の採用が必要である。BATについては現在、UNEPのワーキングでまとめられている。廃棄物焼却施設のBAT・BEPガイダンスでは、排出抑制技術として、（１）除じん（粒子状物質）技術、（２）湿式洗浄技術、（３）活性炭吹込み、（４）ボイラーへの臭素の添加、（５）固定相フィルターなどが取り上げられている[8]。

扱う廃棄物によっても排ガス処理装置の採用の現状は若干異なる。都市ごみ・産業廃棄物焼却施設ではダイオキシン類排出問題が大きく社会問題化したこともあり、除じん装置としてバグフィルタの採用が主流となっており、都市ごみ焼却においてはすでに90％以上を占めている。しかしながら、下水汚泥焼却施設ではダイオキシン類の排出が低かったこともあり、必ずしもバグフィルタが採用されているわけではない。

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おり[9]、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、強制的に逆洗することで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させれることが報告されている[10]。

その他、過去より湿式スクラバーによる除去、活性炭吸着塔による除去が適用される場合があるが、ここでは紙面の都合で割愛する。詳しくは別の筆者の報告を参照していただきたい[11]。

５．おわりに

改正大気汚染防止法では、水銀等の大気への排出の削減に関する技術水準及び経済性を勘案し、その排出が可能な限り削減されるよう、水銀濃度について、施設の種類及び規模ごとの許容限度として、環境省令で定めると記載されている。水俣条約の発効の条件である最初の50か国に日本が入るべく、担保措置の整備は急がれることからそれほど議論に時間をかけている余裕はなく、早期に難しい判断が求められるが、今後は実態調査および自主的に測定されたデータを勘案して、廃棄物焼却施設のBATとは何か、水銀が混入する可能性のない廃棄物とは何か、廃棄物焼却施設の平常的な平均的な排出状況とは何かについて、国際的な動向にも注意を払いながら検討していくことになろう。

最後に、4回に渡って解説の場を与えていただいたことに感謝し、執筆を終えさせていただきます。ありがとうございました。

参考文献

1）UNEP：Minamata Convention on Mercury (2013)
2）UNEP, Global Mercury Assessment2013 (2013)
3）中央環境審議会：水俣条約を踏まえた今後の水銀大気排出対策について(2015)
4）平成27年度第1回水銀大気排出抑制対策調査検討会資料1：平成27年度第1回水銀大気排出抑制対策調査検討会設置について(2015)
5）環境省水・大気環境局大気環境課：水銀大気排出実態調査のための水銀測定方法(2015)
6）平成27年度第1回水銀大気排出抑制対策調査検討会資料3：主な検討事項について(2015)
7）環境省廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課：家庭から排出される水銀使用廃製品の分別回収ガイドライン(2015)
8）WASTE INCINERATION FACILITIES, http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/BAT-BEP%20draft%20guidance/Waste_Incineration.pdf (2015)
9）Takaoka M., Takeda N., Fujiwara T., Kurata M., Kimura T., Control of mercury emissions from a municipal solid waste incinerator in Japan, J. Air & Waste Manage. Assoc.,52,8,931-940 (2002)
10）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)
11）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)