水銀に関する水俣条約と水銀廃棄物の処理・処分（保管）

第２回　水銀のマテリアルフローと水銀廃棄物の現状

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２回は「水銀のマテリアルフローと水銀廃棄物の現状」についてご解説いただきました。

１．はじめに

水銀に関する水俣条約と水銀廃棄物の処理・処分（保管）と題した解説の第2回は我が国における水銀の流れ、マテリアルフローと水銀廃棄物の現状を説明させていただきます。なお、最新の動きとして執筆時現在（2015年６月１日）、第189回国会において、水銀に関する水俣条約の締結について両院で承認され、水俣条約に対応した「水銀による環境の汚染の防止に関する法律案」と「大気汚染防止法の一部を改正する法律案」が審議中であります[1)]。

２．マテリアルフロー

前回の解説において、説明したように、水銀に関する水俣条約において日本国内に関しては水銀添加製品、製造プロセスには大きな問題はないが、水銀廃棄物の処理・処分・保管については新たに対応せねばならないことが残されている。そこで、最終的に管理しなければならない水銀がどこに、どの程度あるのか水銀の流れ、マテリアルフローを把握することが重要である。

図１に我が国の水銀マテリアルフローを示す[2)]。ここに示されているデータはアンケートやヒアリング、数年間の実績により作成されているため、詳細においては数値が完全には一致していない箇所が認められる。例えば、図中央付近の「水銀出荷」の所では、「水銀回収」から流れてくる水銀が52トン、輸出が72トン、国内需要が８トンなどである。これは、一部保管している水銀の在庫調整や汚染土壌などから回収した水銀を考慮するのが難しいことによる。しかし、わが国の水銀の大きな流れを把握することは可能である。

水銀マテリアルフローの主なインプットとしては、輸入原燃料中に含まれる水銀が73トン、国内で生産される原燃料中に含まれる水銀が6.5トンで、これらが工業利用プロセスに入っていく。その起源としては、非鉄金属製錬の鉱石や石炭、鉄鉱石、石灰石などに含まれる水銀である。地殻の厚さを20kmとした時のこの中の水銀の含有濃度は1-10ppmと推定されている[3)]。別の報告では0.05ppm程度の値が示されている[4)]。いずれにせよ、地圏の鉱物系の天然資源を使用すれば、必ず水銀は不純物として含まれると考えてよい。例えば、日本で石炭燃焼に使用されている石炭の平均水銀濃度は0.0454ppm程度であり、これは地殻濃度とほぼ同程度である[2)]。

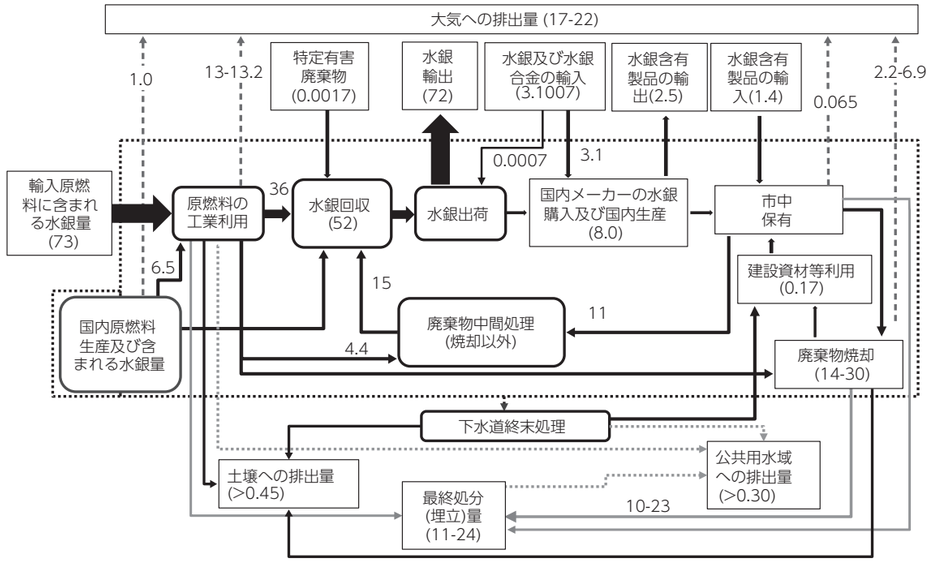


図1　水銀のマテリアルフロー[2)]

これらの工業利用プロセスへ流入した水銀は、大気、水、廃棄物へ分配されるが、主な行先は水銀回収工程（36トン）である。水銀回収工程では、廃棄物中間処理（製品系からの回収・スラッジ処理も含む）からの回収による水銀は15トン程度、その他わずかな国内原燃料生産からの排出を合わせて回収水銀量は52トン程度である。水銀回収工程に入ってきた廃棄物の内訳は表２のとおりで、非鉄金属製錬からのスラッジが最も多く、36トンと見込まれている。なお、国内法においては非鉄金属製錬からのスラッジは有価で取引されていることから、廃棄物としての扱いとはなっていない点に注意を要する。つまり、前回解説した水俣条約上の水銀廃棄物と国内法での水銀廃棄物にずれが生じているケースである。他にも、例えば排ガス処理設備に活性炭系吸着塔を使用している場合、ダイオキシン類とともに水銀も活性炭に吸着されていると考えられ、活性炭が再処理後施設に戻されて利用される場合は廃棄物として取り扱われない可能性があり、注意が必要である。他はそれ以外の産業からのスラッジ（3.2トン）および廃製品からの回収水銀（7.6トン）などとなっている。

現在の国内需要は８トン程度であるので、44トン強程度が余剰水銀となると試算される。これ以外にも最終処分に流れている水銀量が11-24トンあることが推定されている。現時点ではこれら55 ～ 68トンが管理対象と見込まれる量となる。

今後は、長期的には製品中の水銀使用が低減されることから廃棄物中水銀含有量も低減されると見込まれるが、廃棄物は製品の使用期間が過ぎてから発生するものであるので、ゆるやかな減少をもって、しばらくの期間水銀添加廃製品の排出は続くものと思われる。また、市中、家庭に退蔵されている水銀添加廃製品は多く、数十トンと見積もられている。水俣条約対応により、早期に製品の代替や廃棄が生じることにより、一過的に大量の水銀添加製品の廃棄が行われることも想定される。例えば、蛍光灯は水銀の使用という観点だけでなく、エネルギー効率の観点からLEDに急速に代替されている。

しかしながら、他の産業系の水銀廃棄物についてはエネルギー産業および素材産業の動向により増加する可能性はある。「大気汚染防止法の一部を改正する法律案」が現在、国会で審議されており、水俣条約の附属書にて記載の５つの排出源（石炭ボイラー、石炭火力発電所、非鉄製造施設、廃棄物焼却、セメント製造施設）については、規制値が設定される予定である。また、上記排出源以外の比較的排出量の大きな鉄鋼製造施設については、自主的な取組が求められる。前回、水俣条約の経緯について説明したように、人為的な大気への排出の削減が水俣条約の主題であることから、大気への排出削減対策が進めば、現在マテリアルフローで大気へ移行している量（17 ～ 22トン）から削減分はばいじ

水銀に関する水俣条約と水銀廃棄物の処理・処分（保管）

第２回　水銀のマテリアルフローと水銀廃棄物の現状

表2　水銀廃棄物の内訳[2)]

	項目	水銀回収量（kg-Hg）	水銀回収用処理量（kg-廃棄物）	濃度（mg/kg）
廃製品	電池類	556	13444274	
	蛍光灯類	1691	15488469	
	血圧計等	524	9874	
	水銀整流器	17	670	
	スイッチ・リレー	341	5340	
	その他	112	12800	
廃製品以外	歯科アマルガム	985	2070	476000
	試薬	76	110	691000
	廃液（廃酸・廃アルカリ）	1.01	27460	37
	水銀吸着剤	0.00125	50	25
	スラッジ（非鉄以外）	3229	1708160	1890
	ダスト（ばいじん）	142	73323000	2
	汚染土壌	1.5	34000	44
	国内ガス田からの廃水銀	646	-	
	一般廃棄物焼却炉からの廃水銀	308	-	
	非鉄金属製錬スラッジ	36202	659030	54900
	輸入された特定有害廃棄物	0.00017		
	製品由来の廃水銀	7626	-	
合計		52400		

んや汚泥などの固体残渣に含まれ、廃棄物へ流入する。また、石炭、鉱石などに含まれる水銀含有量はそれぞれの鉱山により異なるが、今後の世界的な資源の利用を考慮すると、より低品質の資源の輸入が想定される。つまり、不純物としての水銀の流入が増加する可能性がある。

3.　水銀廃棄物の適正処理・処分・管理

水銀廃棄物の環境上適正な方法での管理は水俣条約第11条で義務づけられている。国際的な廃棄物の管理についてはバーゼル条約がすでに存在する。したがって、バーゼル条約の下で作成されたガイドライン[5)]を考慮し、締約国会議が追加の附属書として採択する要件に従うことが明記されている。水銀廃棄物の定義は水俣条約に対応する形で、現在、国内においては環境省により下記のように整理されている[6)]。

（１）廃金属水銀等
（２）水銀添加廃製品
（３）水銀汚染物

以下、今回の解説では従来からの水銀廃棄物である「水銀添加廃製品」及び「水銀汚染物」について述べる。「廃金属水銀等」については新たな水銀廃棄物と言え、次回以降に解説する。

3.1　水銀添加廃製品

水銀添加廃製品を適正に中間処理するには、まずは適切に廃製品を収集・運搬することである。収集・運搬する際は、水銀が飛散しないようにし、また万一飛散した場合でも他の廃棄物を汚染することがないように分けて収集・運搬することが重要である。水銀添加廃製品は、ある機能のために人為的に水銀を添加しているので機能が終わった後は水銀回収するのが本筋である。しかしながら、著しく経済的でない場合等は適切に処理処分する必要がある。いずれにせよ、中間処理・リサイクルにおいて、収集した廃棄物を破砕したり、切断する場合には、作業者の曝露および周辺環境へ配慮し、水銀が大気中に飛散しないようにする、あるいは飛散したとしても回収できる施設で作業することが必要である。中間処理技術については蛍光灯からの水銀の回収技術など既に実用化されている。また国内においては回収率が上がったとしても充分な処理容量がある[7)]。バーゼル条約の下で作成されたガイドラインでは、水銀回収において、水銀添加製品が使用される場合は、水銀の安全なクローズドシステムの構築が望ましいことが示され、破損の際容易に水銀が環境中に放出される水銀添加製品（水銀含有ランプ、水銀含有計量器（温度計、血圧計、圧力計）、水銀スイッチ及びリレー）の回収事例が示されている[5)]。

3.2　水銀汚染物

水銀汚染物については、我が国における廃棄物処理法においては、環境省告示13号溶出試験を行った結果、水銀溶出値が0.005 mg/Lの濃度を上回る場合には、一般的にはキレート処理法などで適正に処理した後0.005 mg/L以下であることを確認して、管理型の最終処分場に投入することとしている。水銀溶出値がこの値を超えるような場合は、遮断型埋立処分場での処分、管理となる。このように、これまで水銀汚染物の処分については含有率での基準はなく、溶出値のみで判断されてきた。しかしながら、埋立処分場内では生物反応も関与した複雑な反応も想定され、無機水銀だけでなく有機水銀の放出の懸念もある[8)]。したがって、高濃度の水銀汚染物が様々な物と混合して埋め立てられる環境で処分されるのは望ましくない。また、これまで水銀回収が一般的であった高濃度の水銀汚染物が、今後、水銀回収費用の増加懸念から水銀を回収せずに埋立処分される可能性もあることから、ある一定濃度以上の水銀を含有する汚染物は従来型の不溶化処理ではなく水銀回収プロセスへ引き渡すことが必要である。**表２**において製品系廃棄物以外の廃棄物について、中間処理量データを使って廃棄物中の水銀濃度を算出すると、歯科アマルガム、試薬、スラッジ中濃度が高く、ダスト（ばいじん）、水銀吸着剤、廃酸などは低いことがわかる。水俣条約では、締約国会議がバーゼル条約と連携して定める関連する閾値（relevant thresholds）を超える量の物体、物質を水銀廃棄物と定めることから、今後、この一定濃度をどのように設定するかが重要なポイントとなる。

著者らは、一定濃度の考え方として従来のキレート処理で不溶化できなくなる水銀含有率が一つの目安となると考え、水銀含有率の異なる模擬水銀汚染物（都市ごみ焼却飛灰に水銀試薬を添加したもの）を作成し、不溶化試験を試みている[9)]。アメリカにおいては既に水銀含有率が260ppm以上の廃棄物については、加熱・蒸留プロセスによる水銀回収が義務付けられている[10)]。この260ppmの基準の根拠は加熱・蒸留プロセスを用いて99%以上の水銀回収率が達成できることを実証できた廃棄物の最低水銀濃度が255ppmであったことから、この数字を丸めた値が判断基準として用いられている。したがって、一定濃度を決め方についても今後世界的にも議論があると考えられ、多方面から検討していく必要がある。

4．おわりに

今回の解説では日本における水銀の流れ、廃棄物への移行量の現状を示した。水銀の大気への排出、水への放出が厳しく制限されると、水銀は元素であり、分解することはできないので廃棄物への移行量が自ずと増加する。したがって、廃棄物の適切な管理がなされてこそ水銀による環境汚染は完結するといえ、廃棄物の管理は責任が重い。今回、解説した水銀廃棄物は、従来から扱われてきた「水銀添加廃製品」、「水銀汚染物」であり、対策の強化はあれども大きな変更点はない。

次回は、新たな廃棄物として整理された「廃金属水銀等」の適正処理・処分・管理について言及する。なお、本解説は「生活と環境」2015年５月号の「水銀の循環利用における今後の適正管理について」をもとに加筆修正させていただいたことをここに明記しておきます。

参考文献

1）第189回国会議案の一覧：http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_gian.nsf/html/gian/menu.htm、2015年6月1日閲覧
2）環境省報道発表資料「水銀に関するマテリアルフロー及び大気排出インベントリーについて（お知らせ）、http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=16475, 2013.
3）日本化学会：化学の原点＜第II期＞5　地球科学、学会出版センター、1987
4）桜井弘：元素111の新知識、ブルーバックスB-1192、講談社、1999
5）UNEP: Draft updated technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing, or contaminated with mercury or mercury compounds, Draft of November 24, 2014, Rev-5, 2014.
6）中央環境審議会循環型社会部会水銀廃棄物適正処理検討専門委員会：水銀に関する水俣条約を踏まえた今後の水銀廃棄物対策について（答申）、2015
7）高岡昌輝、貴田晶子、小口正弘、高橋史武、水谷聡、浅利美鈴、三浦博：循環型社会形成推進科学研究費補助金総合研究報告書、循環型社会における回収水銀の長期安全管理に関する研究（K2006, K2147, K22062), 2011.
8）Lindberg S. E., Price J. L.: Airbone Emissions of Mercury from Municipal Landfill Operations, A Short-term Measurement Study in Florida, J. Air & Waste Manage. Assoc., Vol. 49, pp. 520-532, 1999.
9）高岡昌輝、貴田晶子、守冨寛、高橋史武、浅利美鈴、小口正弘、平成25年度環境研究総合推進費補助金研究事業総合研究報告書、水銀など有害金属の循環利用における適正管理に関する研究（3K113001), 2014.
10）USEPA Office of Solid Waste: Best Demonstrated Available Technology (BDAT) Background Document for Mercury-containing Wastes D009, K106, P065, P092, and U151, 1990.