

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K00697

研究課題名（和文）水銀廃棄物の長期管理における環境リスクと社会システムに関する研究

研究課題名（英文）Environmental risk and social system on long-term management of mercury waste

研究代表者

袖野 玲子（Reiko, Sodeno）

芝浦工業大学・システム理工学部・教授

研究者番号：70772565

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000 円

研究成果の概要（和文）：水俣条約の影響を受け、これまで輸出してきた回収水銀を廃棄物として国内で最終処分しなければならない事態となった際に、従来の処理体制では、水銀廃棄物の超長期の安定的な管理が確保されないおそれがあることから、本研究では水俣条約後の国際的な需給バランス予測を踏まえた余剰水銀の将来発生量の推移を試算し、最終処分体制の規模を明らかにした。また、最終処分場は、埋立終了後も適正な維持管理が必要であり、最終処分場設置者への調査結果から重回帰分析により、維持管理年数に影響を与える因子の解明を行った。さらに、国内外の最新の動向を踏まえ、水銀廃棄物の長期管理のためのレジリエントな処理体制に必要な要素を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本ではこれまで非鉄製錬業から非意図的に排出される水銀を回収し、精製して輸出してきたが、水俣条約の影響により水銀の需要が減少し、余剰となった水銀を廃棄物として国内で最終処分しなければならない事態が想定される。本研究により、余剰水銀の発生見通しが示されたことにより、国内1～2か所の処分場整備で対応できることが明らかになり、長期的な安全の確保のためには集中管理が望ましいとの政策の方向性を示すことができた。

また、国際的な余剰水銀の発生の見通しも示されたことで、特別な管理が必要となる水銀含有量の閾値設定に係る国際的な検討や、途上国における水銀廃棄物処理への国際的な協力の必要性について示すことができた。

研究成果の概要（英文）：Under the influence of the Minamata Convention, when the recovered mercury that has been exported so far has to be finally disposed of as waste in Japan, the conventional treatment system may not ensure stable management in the very long term. The scale of the final disposal system was clarified by estimating trends in the amount of surplus mercury generated based on the international supply-demand balance forecast after the Minamata Convention. Since final disposal sites need to be properly maintained and managed even after the end of landfill, this study investigated the factors affecting the maintenance period of final disposal sites through multiple regression analysis based on the results of a survey of operators of final disposal sites. Furthermore, based on the latest domestic and international trends, key factors necessary for a resilient system for the long-term management of mercury waste were presented.

研究分野：環境政策

キーワード：水俣条約 水銀廃棄物 余剰水銀 有害廃棄物 長期管理 管理型最終処分場 マテリアルフロー

1．研究開始当初の背景

廃棄物処理法において、重金属等の有害物質を含む廃棄物は、埋立処分に係る判定基準に基づき、基本的には有害物質の溶出量が基準値以下のものは管理型最終処分場、溶出基準を超過するものは遮断型最終処分場に最終処分を行うこととなっている。しかし、近年最終処分場が受け入れる廃棄物の質の変化に伴い、従来の制度設計では有害廃棄物による潜在的な環境リスクに長期的には対応できない恐れがある。

こうした状況下、2013年に水銀に関する水俣条約が採択され、今後、水銀の使用規制等により世界的に水銀需要の低下が予想された。我が国では、これまで水銀汚染物から水銀を回収・精製し、輸出してきたが、将来これら水銀が輸出できなくなる結果、廃棄物として国内処分しなければならないことが想定される。このため、これまで有価物として取り扱われてきた金属水銀を廃棄物として超長期にわたって安全に管理・処分できる社会システムを構築することが急務とされた。

2．研究の目的

水俣条約の影響を受け、将来、我が国において金属水銀を廃棄物として最終処分しなければならない事態となった際に、従来の水銀廃棄物の処理体制では、超長期の安定的な管理という観点からは対応できないおそれがあることから、本研究では水俣条約後の国際的な需給バランス予測を踏まえた余剰水銀の将来発生量を試算し、我が国として最終処分に備えなければならない水銀量の規模を明らかにすることを目的とした。また、廃棄物最終処分場は、埋立が終了した後も施設が廃止されるまで適正な維持管理が必要であり、最終処分場設置者は、廃棄物処理法に基づき、施設の廃止までに必要な維持管理費用を積み立てることとされている。しかし、積立金額の算出には、終了から廃止までの期間（維持管理年数）の予測が重要だが、その根拠情報は限られており、予測が難しい状況にある。このため、維持管理年数に影響を与える因子の解明を行い、水銀廃棄物の長期管理のためのレジリエントな社会システムを提示することを研究の目的とした。

3．研究の方法

（1）国内水銀マテリアルフローの将来予測

・条約による国内水銀マテリアルフローへの影響を踏まえ、主要排出源である工業過程と水銀使用廃製品からの水銀排出量を2010年度から2050年度まで推計し、水銀バランスを考慮して、大気、廃棄物（埋立）、水銀回収への排出量を算出した。

・工業過程からの水銀排出量の予測は、基本的に原単位を環境省調査結果より設定し、活動量を2010～2014年度は入手可能な統計値から、2015年度以降を業界団体が発表する低炭素社会実行計画に示す見通し等より将来シナリオを設定して、2010年度から2050年度までの推計を行った。

（2）世界と国内の余剰水銀の将来予測

・諸外国のナショナルレポート、国連貿易統計及びUNEP報告書及び既存研究等からEUや米国、中国等主要国の水俣条約への対応を調査し、規制スケジュールから、水銀使用製品やクロロアルカリ製造用途等への水銀需要の低下、水銀鉱出のフェイドアウトによる供給の低下、製品や副産物からの水銀回収による供給の増加等を試算し、国際的な水銀需給を予測した。

・また、国際的な動向及び水銀回収業者へのインタビューから将来シナリオを設定し、世界の水銀ストック量を及び国内余剰水銀量（水銀廃棄物量）発生ものの将来見通しを試算した。

（3）最終処分場における有害廃棄物処理状況調査及びリスク許容度の分析

・管理型最終処分場設置者に対して、浸出水中の有害物質濃度、処分場の終了から廃止までの予想期間及び潜在的溶出リスクを有する有害廃棄物の受入判断に関する調査を行い、有害廃棄物の受入許容度の主要因子を分析するとともに、受入許容度と処分場廃止期間及び有害物質濃度の相関を調べた。また、廃棄物処理法第8条の5第1項に基づく維持管理積立金の積立金額の算出方法の妥当性を検証した。

（4）水銀廃棄物の長期的管理に向けたレジリエントな社会システムの検討

・処理方策別環境リスクの評価、水銀廃棄物処理を巡る国際動向、環境省担当官との意見交換を踏まえ、水銀廃棄物の最終処分体制について検討を行った。

・水銀の高度な処理技術を保有する事業者は世界的にみても先進国に数社しかいないことから、廃棄物処理法及びバーゼル条約における水銀廃棄物の定義や越境移動の課題、水銀処理における国際分業の可能性を踏まえ、水銀廃棄物の長期管理におけるレジリエントな社会システムを検討した。

4. 研究成果

(1) 国内水銀マテリアルフローの将来予測

水銀使用製品由来の水銀排出は急減しており、今後数年は、特に蛍光ランプ及び血圧計の回収に注力すべきであることが示唆された。工業過程では、最大排出源である非鉄金属製錬業において排出増加が予測された。改正大気汚染防止法による大気排出抑制効果は約 8%と試算され、条約の趣旨どおり、将来の水銀排出先は大気と埋立が減少する一方、水銀回収が増加し、回収量は年間約 44～59 トンと推計された。最も影響が大きい非鉄金属製錬において、鉱石の品位の低下が排出量推計結果に効いており、品位の見通しによっては±15%程度の排出幅があり得る。

(2) 余剰水銀の将来予測

水銀供給において大きなセクターは、各地域とも一次鉱出であり、鉱出量の減少は想定されていたよりも進んでいないことが明らかになったが、水銀需要の減少に伴い供給は減少すると考えられ、以降は非鉄金属製錬業からの回収水銀が主要な供給源となる。2030 年以降はどのシナリオにおいても供給が需要を上回り、これまでのストックに加えて余剰水銀が発生する見通しであることがわかった。

世界の水銀ストック量は 2050 年に約 24～25 千トンと試算された。また、非鉄製錬業からの水銀回収が行われない場合と積極的に行われる場合で余剰水銀量を試算すると、約-2～35 千トンで変動し、非鉄製錬業からの水銀回収の動向が世界の余剰水銀発生量に大きな影響を与えることが示唆された。

我が国では、世界的な水銀需要の低下により、回収水銀が廃棄物化し、最終処分が求められる事態はあと数年で起こり得る。2050 年までに余剰水銀のストック量が 1,400 トン発生するとした場合、容積は約 100m³ であり、中間処理による容積増加も考慮した施設整備が求められる。2016 年の改正廃棄物処理法施行令により法制度は整いつつあるが、実際の処分体制の整備はこれからであり、水銀の硫化処理施設や最終処分場の早期整備に向けた対策が必要である。同時に、世界的に余剰水銀の発生が見込まれる中、水銀管理が適正に行われるよう国際的な協調・協力が求められる。

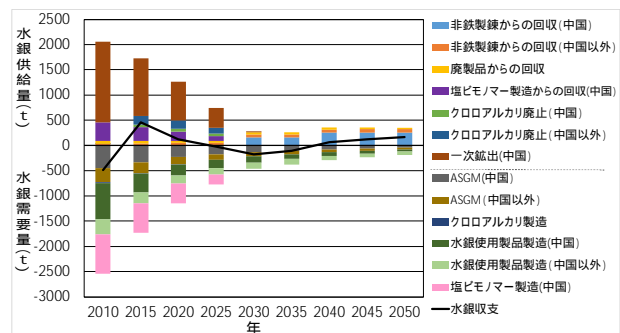


図 アジアにおける水銀需給の見通し

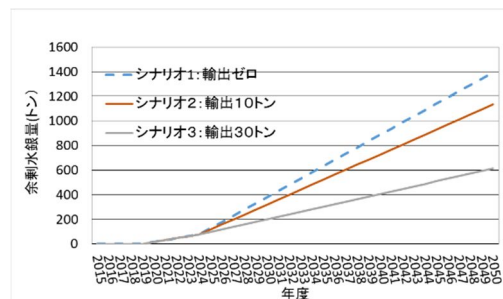


図 日本における余剰水銀蓄積量の推計

(3) 最終処分場における有害廃棄物のリスク受容度と維持管理期間

本調査では、埋立終了後の維持管理年数の平均年数は、13.1 年（標準偏差 9.0）であった。維持管理年数について、廃棄物中の燃え殻等の割合との関係は、正の相関関係が確認された（ $p < 0.05$ で有意）。埋立廃棄物中の汚泥の割合の増加は維持管理年数を長期化させる可能性があり、想定より維持管理年数が長期化すれば、積立金不足やそれに伴う不適正な維持管理、さらには環境への悪影響が懸念されることになる。また、廃水銀等処理物の処分に当たっては、雨水浸入防止措置が維持管理基準に規定されており、調査結果からも、当該措置による維持管理年数の長期化が懸念される。このため、維持管理積立金が不足することのないよう、適切な維持管理年数の設定に資する根拠情報を早急に整備するとともに、想定よりも長期化した処分場への対応を検討する必要がある。

水銀廃棄物の受入れ意向については、事業者の約 8 割が受け入れたくないと回答しており、その理由として、「周辺住民の理解が得られないため」が最も多く（30.6%）、次いで、上乗せの埋立基準への対応の難しさ、排出水の水質悪化への懸念、跡地利用に不利等の理由が挙げられた。水銀のような有害物質には、従来の洗い流しによる「安定化」という考え方は馴染まず、雨水浸入防止措置を講じる処分場においては、遮断型最終処分場にも通じる有害物質の「封じ込め」へ考え方を転換し、長期管理に向けた制度の構築が求められる。

(4) 水銀廃棄物の長期的管理に向けたレジリエントな社会システム

金属水銀の最終処分に当たっては、アメリカは暫定的に金属水銀のまま国の管理下で長期保管を実施しており、EU や日本は硫化や固化などの処分基準を設定したものの、地上処分においては最終処分場の確保が課題となっている。副産物に含有された水銀は、ほとんどの国において回収されずに通常の有害廃棄物として埋め立て処分されており、各国のナショナルレポートにおいて実態の把握は十分ではない。水銀汚染廃棄物の閾値は、水俣条約締約国会議において検討中であるが、高濃度に水銀を含有する汚染物は水銀溶出のリスクがあり、長期安定性について、

今後検討が必要だと考えられる。本研究では、副産物からの水銀回収シナリオに応じて余剰水銀の蓄積量に大きな違いがあることが示唆されており、こうした観点から、副産物からの水銀回収のポリシーは、回収をあまり行わず、通常有害廃棄物として広く薄く処分するのか、副産物から積極的に水銀を回収して、硫化等による安定化を行い、集中的に管理を行うのか、溶出のリスクに応じて検討し、予測される余剰水銀の発生に備える必要があることを指摘した。

余剰水銀の発生量を鑑みれば、日本では廃水銀等の最終処分場は1～2か所で十分であるが、周辺住民の理解という点でなお高いハードルがある。処分場の廃止後もモニタリングを継続する体制整備が必要であり何らかの公的な関与が検討されるべきである。中間処理により安定化させた水銀廃棄物の処分目的のヨーロッパ輸出という選択肢がないわけではないが、廃棄物の安定的な処理という観点では国内処分が大原則であり、水銀廃棄物の関係者、特に排出者責任の観点からは、非鉄金属業界の処分確保に向けた一層の努力が重要であるといえよう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Reiko SODENO	4. 巻 24
2. 論文標題 Analysis of the Minamata Convention on Mercury in the Context of Sustainable Development Goals (SDGs)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global Environmental Research	6. 最初と最後の頁 65-70
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 袖野 玲子、高岡 昌輝	4. 巻 73
2. 論文標題 管理型最終処分場における埋立終了後の維持管理期間に関する要因分析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集 G（環境）	6. 最初と最後の頁 III_297 ~ III_306
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscej.73.III_297	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 袖野 玲子、高岡 昌輝	4. 巻 73
2. 論文標題 水俣条約後の水銀需給に基づく世界と日本の余剰水銀の将来予測	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 土木学会論文集 G（環境）	6. 最初と最後の頁 112-120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscej.73.112	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 袖野 玲子、高岡 昌輝	4. 巻 28
2. 論文標題 水俣条約による日本の水銀マテリアルフローへの影響と将来推計	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 廃棄物資源循環学会論文誌	6. 最初と最後の頁 128-139
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3985/jjsmcwm.28.128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1．著者名 袖野玲子	4．巻 10
2．論文標題 有害物質のシンクとしての廃棄物最終処分場の長期管理 水銀廃棄物を例に	5．発行年 2017年
3．雑誌名 環境経済・政策研究	6．最初と最後の頁 49-52
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14927/reeps.10.2_49	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 3件／うち国際学会 2件）

1．発表者名 Reiko Sodeno
2．発表標題 Policies on environmentally sound management of mercury and prediction of excess mercury
3．学会等名 International Symposium of Korea Society of Waste Management 2023 Spring Scientific Conference（招待講演）（国際学会）
4．発表年 2023年

1．発表者名 Reiko Sodeno
2．発表標題 Development of the Minamata Convention on Mercury through the perspective of Sustainable Development Goals (SDGs)
3．学会等名 International Studies Association 2020 Annual Convention（国際学会）
4．発表年 2020年

1．発表者名 Reiko Sodeno
2．発表標題 SDGs and Minamata Convention
3．学会等名 Workshop on Synergies in Mercury Waste Management（招待講演）
4．発表年 2019年

1．発表者名 袖野玲子、高岡昌輝
2．発表標題 水俣条約による日本の水銀マテリアルフローへの影響と将来推計
3．学会等名 廃棄物資源循環学会論文賞受賞記念講演（招待講演）
4．発表年 2018年

1．発表者名 袖野 玲子、高岡 昌輝
2．発表標題 管理型最終処分場における埋立終了後の維持管理期間に関する要因分析
3．学会等名 土木工学会 第54回環境工学研究フォーラム
4．発表年 2017年

1．発表者名 袖野 玲子、高岡 昌輝
2．発表標題 管理型最終処分場における埋立終了後の維持管理年数に関する要因分析
3．学会等名 第28回廃棄物資源循環学会研究発表会
4．発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

廃棄物資源循環学会において論文賞を受賞しました
<https://www.shibaura-it.ac.jp/news/2018/40180254.html>

6．研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------