【3K143002】水銀廃棄物の安定処分技術及び評価に関する研究 (H26～H28 累計予算額 87,584千円)

研究代表者 高岡 昌輝 (京都大学)

1. 研究開発目的

本研究の目的は、水銀廃棄物の長期安定処分のために、余剰水銀の安定化技術及び評価技術を開発し、模擬的に水銀廃棄物を埋立処分した環境を調べるとともに、実際の処分場環境を調べて、処分に必要な要件を見出すことである。さらに、長期の水銀流出の予測を可能にするため環境動態モデルを構築し、リスク評価するとともに、シミュレーションの観点からも処分に必要な要件を抽出することである。具体的には大きく4つの研究項目に分かれる。以下に各目的を述べる。

余剰水銀の安定化技術及び評価については、実験的な検討の前に2050年までに日本において余剰水銀がどの程度発生するかの推計を行った。次に、遊星ミルによる手法の実用化に向けて、スケールアップ可能性と適切な装置の運転条件について検討するとともに、不純物の生成物への影響を調査した。多重防護の観点から無機系セメント固化体についてその可能性を検討するとともに、新しい評価法として硫黄酸化細菌等による試験の開発を試みた。

実環境を模擬した処分場セルを用いた水銀廃棄物の長期評価については、水銀廃棄物の埋立処分に伴う環境保全上の適切な処分手法の確立は急務であり、水銀廃棄物を埋立処分した際の水銀の挙動を把握するため、実処分場を模擬した埋立実験槽を用いて3年間に亘って、水銀の浸出水への流出や大気拡散等、埋立地における水銀の流出特性を検討した。実験は水銀廃棄物の埋立処分方法の違いによる流出特性や、水銀廃棄物を埋立処分する際の埋立廃棄物の違いによる水銀の流出抑制、及び水銀廃棄物の気化に関する基礎実験を実施した。また、埋立処分に伴う水銀のメチル化の可能性も検討した。

実処分場における調査については、過去に埋立処分した水銀を含む廃棄物層を調べることで水銀固化体の長期地中処分に関する要件を見出すことを目的に、年代及び埋立物も異なる3つの処分場(A、B、C処分場)を選定し、合計12地点のコアボーリングによりサンプルを得て、水銀濃度分布、メチル水銀濃度と微生物との関係性を調べた。また、ボーリング孔中ガス中水銀及び浸出水の調査を実施した。

水銀廃棄物の地中処分時におけるリスク評価については、上記の模擬処分場セルを用いた水銀廃棄物のシミュレーションを実施するため、埋立地内で水銀が受ける物理的、化学的、生物学的反応および挙動を含んだモデルを構築し、別途実施した水銀カラム実験での結果を比較することでモデルの妥当性を検討とした。次に、水銀廃棄物が地中処分された場合、その環境リスクは埋立地中の水銀挙動に大きく依存する。特に廃棄物処分場内での水銀の水理学的挙動に着目し、処分場から周辺環境へ通じる領域での水銀挙動を予測した。シミュレーション結果から、廃棄物処分場の信頼における管理方法について検討した。最後に、水銀の環境動態モデルを埋立地から人体への曝露経路を含む周辺環境にまで拡張し、環境リスクの不確実性を検討するため、統計分布を利用して確率的に地中処分における環境リスクを評価した。

2. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

1) 余剰水銀の安定化技術及び評価

余剰水銀の硫化安定化処理において遊星ボールミル法はスケールアップ可能であり、水銀純度は99.9%以上にする必要があるであった。不純物の影響調査より反応容器等については鉄を主構成にした材料が望まれる。

固化体については、硫化水銀を60%混合させた低アルカリセメント固化体では13号溶出試験、タンクリーチング試験、ヘッドスペース試験の基準を満足した。硫黄酸化細菌に対する微生物試験法を提案した。

2) 実環境を模擬した処分場セルを用いた水銀廃棄物の長期評価

水銀廃棄物を管理型処分場に環境上安全で適切に埋立処分可能な条件は、準好気性埋立地で「黒色硫化水銀のセメント固化物を廃棄物層の中層域から上層域の燃え殻主体のエリア」への埋立処分である。

3) 実処分場における水銀挙動の調査

実際の水銀含有廃棄物の処分環境を調べるためボーリング調査を行い、各廃棄物埋立層における水銀濃度分布やメチル水銀濃度、他の元素の挙動、メチル化に関与する微生物の解析を実施した。埋立処分場ではメチル化・還元は生じやすいが、脱メチル化は生じにくいことがわかった。焼却残渣中心の埋立処分場においては微生物の活動は抑制されていた。

4) 水銀廃棄物の地中処分時におけるリスク評価

処分場セルを用いた水銀廃棄物のシミュレーションについては埋立地内の水銀は様々な物理的、化学的、生物学的メカニズムを経る複雑な挙動を示すが、実験結果を精度良く再現できる環境動態モデルを構築できた。

廃棄物処分場の地下水環境評価と長期管理については、埋立地の構成別に水銀の水理学的挙動を数値解析し、その結果をもとに合理的なモニタリング井戸の設置条件について知見を得た。

水銀廃棄物の地中処分時におけるリスク評価については、水銀の環境リスク評価におけるモデルパラメータの不確実性を統計分布推定によって克服し、環境リスクを確率でもって分かりやすく評価することができた。

(2) 環境政策への貢献（研究代表者による記述）

水俣条約に対応して、水銀廃棄物対策に係る廃棄物処理法施行令・施行規則等の一部改正が平成27年度に実施された。廃水銀等が特別管理廃棄物に指定され、その処理基準が強化された。本研究は、本基準に対して直接的な科学的根拠を提示することが一つの役割であり、以下の知見は環境省が作成中の水銀廃棄物ガイドラインの内容に直接的に貢献する。

余剰水銀の安定化技術及び評価については、硫化するために必要な水銀純度に関する値 (>99.9%) や不純物が問題である根拠を示した。また、その不純物の試験から金属水銀の硫化装置に用いられるべき材料についても言及している。パイロットスケールレベルの実験を行い、スケールアップ性を確認し、遊星ボールミルが技術的に実用化できることを示した。セメント系固化体の評価から環境省が先行して決めた硫黄ポリマー固化体の優位性を示した。硫黄酸化細菌による微生物評価試験は今後の検討を要するが、長期安定性を示す新たな試験方法として期待される。

模擬処分場セルを用いての実験成果から硫化水銀を地中処分する際の要件（滞水のない上層部での埋立、硫化水銀と他廃棄物の混合埋立の禁止や固化体もしくは層状としての埋立の推奨、処分方式（準好気性、嫌気性）の選択、燃え殻の評価など）を提案している。また、実処分場での水銀挙動調査からは、微生物環境の評価から焼却残渣中心の埋立処分場の方が望ましいこと傍証している。飛灰等の水銀汚染物の通常安定化処分についても経年後も溶出が認められず、放射光分析からも硫化物として安定化していることを明らかにしたことは、通常処分方法の安全性の確認としての価値は大きい。

廃棄物処分場の地下水環境評価と長期管理においては、硫化水銀固化体エリアから溶存水銀として流出するメカニズムを3つ分けてシミュレーションすることにより、浸出水水位が重要管理項目であることを明らかにし、事前の調査、間接的なモニタリングが重要であることを示した。国民は処分場から水銀が流出した場合にどの程度リスクがあるかに関心があると思われるが、本研究で開発している環境動態モデルでは、リスクの有無とその信頼性を単純に確率でもって、直感的に評価できるようにしており、環境政策のスムーズな立案と政策への国民理解を大きく助けるものである。

<行政が既に活用した成果>

行政推薦課題であるため、これまでの経過及び成果を環境省幹部に説明するとともに、環境省の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や水銀廃棄物の環境上適正な管理に

関する検討会において、水銀純度に関する要件や埋立処分条件等について、本研究成果を報告し、議論を行うことでガイドラインの作成に貢献した。

＜行政が活用することが見込まれる成果＞

バーゼル条約のテクニカルガイドラインや UNEP の水銀廃棄物パートナーシッププログラムにおけるグッドプラクティス集、あるいは、水俣条約の締約国会議における requirement (要件) において、本研究成果が活用されることが見込まれる。

3. 委員の指摘及び提言概要

水銀廃棄物の長期安定処分に関する知見が不足している現状の中で、硫黄ポリマー固化体が優れていること、水銀廃棄物の埋め立て適正の条件などを示し、動態シミュレーションと模擬カラム実験の結果からリスク評価を下す等の直截な判断基準を示している点で研究成果として高く評価され、環境政策への貢献が期待できる。ただし、各所に不確実性の見積もりや評価フレームに単純さが多いのが気になる。今後は、基礎実験を継続実施するとともに、実用的には水銀処分場をどの様に準備していくか、技術面だけでなく責任論や処分主体の在り方論などを並行して検討し、産廃処分事業者等が参加するモデル事業を計画するとよい。

4. 評点

総合評点：A