

改質硫黄固化処理法による模擬鉛廃棄物及び 模擬低レベル放射性廃液の固化性能確認試験 (共同研究)

Stabilization of Simulated Radioactive Lead Waste and Simulated
Low Level Radioactive Liquid Waste Using Reformed Sulfur
(Joint Research)

曾根 智之 佐々木 紀樹 宮本 泰明 山口 大美
井上 陽佳* 木原 勉* 武井 義久* 竪川 孝生*
深谷 正明* 入矢 桂史郎* 武内 邦文*

Tomoyuki SONE, Toshiki SASAKI, Yasuaki MIYAMOTO, Hiromi YAMAGUCHI
Haruka INOUE*, Tsuyoshi KIHARA*, Yoshihisa TAKEI*, Takaaki TATEKAWA*
Masaaki FUKAYA*, Keishiro IRIYA* and Kunifumi TAKEUCHI*

東海研究開発センター
核燃料サイクル工学研究所
環境技術管理部

Waste Management Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

改質硫黄固化処理法による模擬鉛廃棄物及び
模擬低レベル放射性廃液の固化性能確認試験
(共同研究)

日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター
核燃料サイクル工学研究所 環境技術管理部
曾根 智之・佐々木 紀樹・宮本 泰明・山口 大美
井上 陽佳^{*1}・木原 勉^{*1}・武井 義久^{*1}・堅川 孝生^{*2}
深谷 正明^{*2}・入矢 桂史郎^{*2}・武内 邦文^{*2}

(2008年 2月29日 受理)

放射性鉛廃棄物及び核燃料再処理施設から発生する低レベル放射性廃液の固化処理法として、セメント固化法が検討されている。しかしながら、セメント固化法では、放射性鉛廃棄物に対して、鉛の溶出を抑制するために硫化鉛への転換処理が必要である。また、低レベル放射性廃液に対して、廃液の主成分である硝酸イオンの浸出量の抑制が望まれている。これらの課題を解決できる可能性のある固化法の一つとして改質硫黄固化法が注目されている。

改質硫黄は、硫黄と添加剤を溶融して製造した硫黄の重合体であり、セメントに比べて遮水性、耐酸性及び強度等に優れた性能を有している。このため、改質硫黄を用いて作製した固化体は、セメント固化体に比べて高い耐浸出性が期待できる。

本試験では、放射性鉛廃棄物及び低レベル放射性廃液の模擬試料を対象に作製した改質硫黄固化体を用いて一軸圧縮強度試験及び浸出試験を実施し、それぞれの廃棄物に対する改質硫黄固化法の適用性を評価した。試験には、放射性鉛廃棄物の模擬試料として金属鉛試薬及び酸化鉛試薬、低レベル放射性廃液の模擬試料として廃液中の塩に相当する混合試薬を用いた。

今回の試験で得られた結果から、金属鉛を対象に作製した改質硫黄固化体の耐浸出性は、セメント固化体を大きく上回ることが明らかとなり、改質硫黄固化法は金属鉛廃棄に対してセメント固化法に代わる有効な処理法となる可能性を有することが確認された。一方、酸化鉛及び模擬低レベル放射性廃液を対象に作製した改質硫黄固化体の耐浸出性は、セメント固化体と同程度若しくはそれ以下であり、改質硫黄固化法はセメント固化法に代わる処理法としては期待できないことが分かった。

本研究は日本原子力研究開発機構と新日本石油(株)及び(株)大林組との共同研究に基づいて実施したものである。

核燃料サイクル工学研究所 : 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

*1 新日本石油株式会社

*2 株式会社大林組

Stabilization of Simulated Radioactive Lead Waste and Simulated
Low Level Radioactive Liquid Waste Using Reformed Sulfur
(Joint Research)

Tomoyuki SONE, Toshiki SASAKI, Yasuaki MIYAMOTO, Hiromi YAMAGUCHI
Haruka INOUE^{*1}, Tsuyoshi KIHARA^{*1}, Yoshihisa TAKEI^{*1}, Takaiki TATEKAWA^{*2}
Masaaki FUKAYA^{*2}, Keishiro IRIYA^{*2} and Kunifumi TAKEUCHI^{*2}

Waste Management Department
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Tokai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 29, 2008)

Cement solidification method has been developed for the stabilization of wastes containing lead contaminated with radioactive nuclides (Lead waste) and low level radioactive liquid waste (LLLW) generated during reprocessing of spent nuclear fuel at JAEA. However, for Lead waste the conversion of the lead to lead sulfide before solidifying with cement is essential to decrease the leachability of the lead. It is also required for LLLW to decrease the leachability of nitrate ion from the solidification product. It is considered that reformed sulfur solidification method (RSSM) has the possibility of solving these problems.

Reformed sulfur (RS) that is produced by melting a mixture of sulfur and additives is superior in water interception, acid resistance and strength compared with cement. Therefore solidified Lead waste and solidified LLLW with RS should have the high resistance to leaching of the lead and the nitrate ion respectively.

Unconfined compressive strength test and leaching test using solidified simulated Lead waste with RS and solidified simulated LLLW with RS were conducted to examine the applicability of RSSM as solidification technique of Lead waste and LLLW. Lead powder and lead oxide powder as simulated Lead waste and reagent mixture of which composition is equal to that of salts in LLLW as simulated LLLW were tested.

The results of these studies show that RSSM is effective technique for stabilization of lead compared with cement solidification method because solidified lead with RS has much stronger resistance to leaching of lead than solidified lead with cement. It also show that the applicability of RSSM as solidification technique of the waste containing lead oxide and LLLW is low because the resistance to leaching of solidified lead oxide with RS and of solidified simulated LLLW with RS were equal to or lower than those of solidified products with cement respectively.

Keywords : Reformed Sulfur, Lead, Low Level Liquid Waste, Stabilization, Leachability

This work has been performed in JAEA as a joint research with Nippon Oil Corporation and Obayashi Corporation.

^{*1} Nippon Oil Corporation

^{*2} Obayashi Corporation

目 次

1.はじめに -----	1
2.改質硫黄固化法の概要 -----	2
2.1 改質硫黄固化体の概要 -----	2
2.2 改質硫黄固化体の特徴 -----	3
3.試験方法 -----	3
3.1 試料 -----	3
3.1.1 模擬廃棄物 -----	3
3.1.2 固型化材 -----	3
3.2 試験手順 -----	3
3.2.1 固化体の作製 -----	4
3.2.2 一軸圧縮強度試験 -----	4
3.2.3 浸出試験 -----	4
3.2.4 均一性及び緻密性の確認 -----	5
3.2.5 消防法危険物の判定試験 -----	5
3.2.6 適用性評価 -----	5
4.試験結果及び考察 -----	6
4.1 鉛及び酸化鉛固化体 -----	6
4.1.1 一軸圧縮強度試験 -----	6
4.1.2 浸出試験 -----	6
4.1.3 均一性及び緻密性の確認 -----	7
4.1.4 消防法危険物の判定試験 -----	7
4.2 模擬硝酸塩廃液及び模擬スラリ廃液固化体 -----	7
4.2.1 一軸圧縮強度試験 -----	7
4.2.2 浸出試験 -----	8
4.2.3 均一性及び緻密性の確認 -----	8
4.2.4 消防法危険物の判定試験 -----	8
5.適用性評価 -----	9
5.1 放射性鉛廃棄物 -----	9
5.2 低レベル放射性廃液 -----	9
6.おわりに -----	10
参考文献 -----	11

Contents

1. Introduction -----	1
2. Stabilization with reformed sulfur -----	2
2.1 Reformed sulfur solidified material -----	2
2.2 Feature of reformed sulfur solidified material -----	3
3. Experimental -----	3
3.1 Samples -----	3
3.1.1 Simulated waste -----	3
3.1.2 Stabilization material -----	3
3.2 Treatment procedures -----	3
3.2.1 Solidification of simulated waste -----	4
3.2.2 Unconfined compressive strength test -----	4
3.2.3 Leaching test -----	4
3.2.4 Uniformity of waste form -----	5
3.2.5 Test for hazardous material judgment -----	5
3.2.6 Applicability of reformed sulfur solidification method -----	5
4. Results and Discussion -----	6
4.1 Solidified lead and lead monoxide -----	6
4.1.1 Unconfined compressive strength test -----	6
4.1.2 Leaching test -----	6
4.1.3 Uniformity of waste form -----	7
4.1.4 Test for hazardous material judgment -----	7
4.2 Solidified simulated nitrate solution waste and slurry waste -----	7
4.2.1 Unconfined compressive strength test -----	7
4.2.2 Leaching test -----	8
4.2.3 Uniformity of waste form -----	8
4.2.4 Test for hazardous material judgment -----	8
5. Applicability of reformed sulfur solidification method -----	9
5.1 Radioactive lead waste -----	9
5.2 Low level radioactive liquid waste -----	9
6. Conclusion -----	10
References -----	11

図表リスト

表 3.1.1 模擬試料の組成及び使用した試薬

表 3.2-1 固化体の作製条件

表 3.2-2 試験項目及び試験条件

表 3.2.6 改質硫黄固化法の各廃棄物の固化処理への適用性評価の基準

表 4.1.4 消防法危険物の判定試験（鉛含有率 10wt%の固化体）

表 4.2.4 消防法危険物の判定試験（模擬硝酸塩廃液含有率 60wt%の固化体）

図 2.1 改質硫黄固化体の製造フロー

図 4.1.1 鉛及び酸化鉛固化体の一軸圧縮強度

図 4.1.2-1 環告 13 号法における鉛の浸出量

図 4.1.2-2 タンクリーチング法における鉛固化体からの鉛の浸出量

図 4.1.2-3 タンクリーチング法における酸化鉛固化体からの鉛の浸出量

図 4.1.2-4 タンクリーチング法における鉛の浸出量のセメント固化体との比較
(模擬廃棄物含有率 20wt%)

図 4.1.3-1 鉛固化体の破断面

図 4.1.3-2 酸化鉛固化体の破断面

図 4.2.1 模擬硝酸塩廃液及び模擬スラリ廃液固化体の一軸圧縮強度

図 4.2.2-1 ANIS/ANS-16.1 法における硝酸イオンの累積浸出率（浸漬 28 日後）

図 4.2.2-2 浸漬 28 日後における模擬スラリ廃液固化体

図 4.2.3-1 模擬硝酸塩廃液固化体の破断面

図 4.2.3-2 模擬スラリ廃液固化体の破断面

This is a blank page.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、JAEA とする）をはじめとする多くの原子力関連施設では、鉛及びその化合物を含む放射性廃棄物（以下、放射性鉛廃棄物とする）が保管されている。放射性鉛廃棄物は、遮蔽材として使用された金属鉛、鉛含有物の焼却処理で発生した酸化鉛を含む焼却灰等である。

一般産業界における鉛及びその化合物を含む廃棄物の処理処分は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃棄物処理法とする）による規制を受け、廃棄物の溶出試験における鉛の溶出量に応じて、管理型最終処分場及び遮蔽型最終処分場に区分して処分される¹⁾。放射性鉛廃棄物の処理処分においても、「RI・研究所等廃棄物処理処分の基本的な考え方について」²⁾の中で廃棄物処理法及びその関連法規に規定される管理基準を満たすことが必要であること、「放射線障害防止法及び関係政省令等の改正の内容」³⁾の中で「固型化等の処理により、廃棄物からの鉛等の溶出量を基準値以下にしなければならない」等の告示が定められる予定であることが記されており、処分の簡素化の観点から固型化した廃棄物からの鉛の溶出の抑制が重要になってくると考えられる。

JAEA では、放射性鉛廃棄物の固化処理法として、セメント固化法の検討を実施したが、固化体からの鉛の溶出量を廃棄物処理法における管理型最終処分場に埋設するための基準（以下、管理型最終処分場への埋設基準とする）未満に抑制するためには、鉛を溶解度の低い硫化鉛に転換する前処理を加えなければならないことが明らかとなつた⁴⁾。硫化鉛への転換処理は、酸化鉛を酢酸に溶解させた後、硫化剤を加えて沸騰下で pH 管理を行いながら硫化鉛の沈殿を生成させ、ろ過により沈殿物を回収するプロセスで構成されるため、非常に長い処理時間と煩雑な運転管理が要求される。また、新たに廃液等の二次廃棄物が発生する等、実規模の処理に向けて改善すべき多くの課題が残されている。このため、硫化鉛への転換処理を要しないセメント固化法に代わる放射性鉛廃棄物の処理法の開発が求められている。

改質硫黄固化法は、改質硫黄（硫黄と添加剤を溶融して製造した硫黄の重合体）と石炭灰を溶融混合して製造した硫黄中間資材（以下、硫黄中間資材とする）を廃棄物と 120～150°C で混練することで廃棄物を硫黄中間資材の中に固定化する処理法である。硫黄中間資材に骨材を加えて硬化させた改質硫黄固化体がセメントコンクリートに比べて遮水性、耐酸性及び強度に優れていることから、硫黄中間資材で廃棄物を固定化した改質硫黄固化体にもセメント固化体以上の有害物質の閉じ込め性と固化体強度が期待できる。このため、改質硫黄固化法は、硫化鉛への転換処理を行わなくても、鉛の耐浸出性がセメント固化体と同等以上となる固化体の作製が期待できる手法であり、セメント固化法に代わる技術として検討する価値が高い。

本研究では、セメント固化法に代わる処理法の開発の一環として、鉛及び酸化鉛を模擬試料にした改質硫黄による固化試験を実施し、放射性鉛廃棄物に対する改質硫黄固化法の適用性を評価した。主な評価項目は、固化体圧縮強度及び鉛の浸出量とし、評価基準は、固化体の一軸圧縮強度が核燃料物質等の埋設に関する措置等に係る技術的細目を定める告示⁵⁾（以下、埋設告示とする）で定められている基準（1.5MPa）を上回ること、鉛の浸出量が管理型最終処分場への埋設基準（0.3mg/L）を下回ること、これらの基準を満足する固化体の鉛含有量がセメン

ト固化法と同等以上であること及び固化体が消防法の危険物^⑥に該当しないこととした。

また、JAEA では核燃料再処理施設から発生する硝酸ナトリウムを主成分とする低レベル放射性廃液（以下、低レベル放射性廃液とする）を保管している。

JAEA では、低レベル放射性廃液の固化処理法として、セメント固化法の開発を進めているが、基礎試験の結果から試験条件によっては水中におけるセメント固化体からの硝酸塩の浸出率が約 90%になることが確認されている^⑦。硝酸塩を多量に含む廃棄物の埋立処分については、地下水に溶出した高濃度の硝酸塩が処分システムのバリア性能に与える影響に係る研究等が実施されており、得られた知見に基づく評価の結果から当該廃棄物の処分についての安全性の見通しを示しうることが明らかにされている^⑧。一方、処分に係る評価の信頼性を向上させる観点から、硝酸塩の影響に係る知見の拡充や硝酸塩の影響に係る不確実性を低減させる代替処理技術として、廃液中の硝酸塩を分解する処理法の検討が望まれている^⑨。硝酸塩の分解処理については、硝酸塩を窒素ガスに分解する処理技術の開発が開始され、現在基礎研究が進められている段階である。

一方、処分システムのバリア性能に与える硝酸塩の影響の緩和は、固化体からの硝酸塩の溶出を抑制して地下水中の硝酸イオン濃度を低下させることでも達成されると考えられることから、硝酸塩の閉じ込め性能の高い固化体の作製を可能とする固化処理法の検討を進めておく意義は、処理プロセスの簡素化等の観点からも高いと考えられる。

本研究では、低レベル放射性廃液について、硝酸塩分解処理を要しないセメント固化法に代わる処理法を検討する一環として、模擬試料を用いて鉛及び酸化鉛を対象に行った固化試験と同様の試験を実施し、固化体からの硝酸イオンの浸出率等を指標に低レベル放射性廃液に対する改質硫黄固化法の適用性を検討した。

2. 改質硫黄固化法の概要

2.1 改質硫黄固化体の概要

改質硫黄固化体の定義は、「改質硫黄を結合材として、使用される暴露環境や地域の産業副産物に応じた骨材と混ぜ合わせて固化させた成型体」である。改質硫黄固化体は溶融状態の改質硫黄（120°C以上）が冷えて固まる現象を利用して製造されるため、製造過程では水を一切使用しないのが特徴である。図 2.1 に改質硫黄固化体の製造方法を示す。製造手順としてはまず硫黄を改質することから始まるが、改質とは溶融状態の硫黄をオレフィン系炭化水素と反応させることであり、硫黄酸化細菌への耐久性、難燃性向上に効果がある。次に、改質硫黄固化体の難燃性等を更に向上させるため、改質硫黄に石炭灰を加えて硫黄中間資材と呼ばれる中間製品を作製し、これを固型化材として利用する。最後に、骨材を加熱・乾燥させた後に溶融状態の硫黄中間資材と混練し、その混練物を型枠へ打設及び冷却して固化体とする^⑩。

2.2 改質硫黄固化体の特徴

改質硫黄固化体はコンクリート状の固形物であり、セメントコンクリートと同様な用途に適用できる。また、改質硫黄固化体は通常のセメントコンクリートと比較して強度、耐摩耗性、遮水性、耐酸性等に優れ、セメントコンクリートの硬化に必須となる長時間の養生も不要という特徴を持つ。一方で硫黄を原料に使用しているため、熱に弱いという特徴も併せ持ち、適用可能な用途先は、地中、若しくは水中に限定される。改質硫黄固化体の利用先として、遮水性や耐酸性を要求される温泉の枠、下水道施設、用水路、藻礁等に使用されている。

3. 試験方法

3.1 試料

3.1.1 模擬廃棄物

(1) 放射性鉛廃棄物

原子力施設から発生する主な放射性鉛廃棄物は、放射線の遮蔽材として多用されている板状等の金属鉛及び鉛含有物を焼却した焼却灰であり、焼却灰に含まれる鉛の代表的な化学形は酸化鉛である。本試験では、これら廃棄物の模擬試料として、鉛（昭和化学製 1 級）及び酸化鉛（キシダ化学製 特級）を用いた。

(2) 低レベル放射性廃液

JAEA の核燃料再処理施設から発生する低レベル放射性廃液（以下、低レベル放射性廃液とする）は、硝酸塩を主成分とする廃液（以下、硝酸塩廃液とする）と硝酸塩の他に亜硝酸塩、硫酸塩、炭酸塩等を含む廃液（以下、スラリ廃液とする）に分類されている。本試験では、これら廃液の模擬試料として、硝酸塩廃液及びスラリ廃液の代表となる組成を設定し、設定した模擬廃液中の塩に相当する試薬を混合して用いた。各模擬試料の組成及び使用した試薬を表 3.1.1 に示す。

3.1.2 固型化材

試験に用いた固型化材は、改質硫黄（新日本石油製）及び石炭灰（北海道電力製）である。

3.2 試験手順

本試験に用いた固化体の作製条件を表 3.2-1 に、試験項目及び試験条件を表 3.2-2 に示す。

3.2.1 固化体の作製

小型ミキサー（ダルトン製）中で改質硫黄及び石炭灰を溶融混合して硫黄中間資材を作製し、これに模擬試料を添加し、ステンレス製の攪拌羽根で攪拌しながら約 140°Cで約 5 分間の混練を行った。

次に、ペースト状となった混練物をステンレス製のモールド缶（ $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ ）に流しこみ、室温にて冷却した。

約 24 時間の冷却後、モールド缶から固化体を取り出し、 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ の固化体を作製した。

固化体への模擬廃棄物の混合率は、10wt%、20wt%、30wt%、40wt%、50wt%及び60wt%の 6 条件とした。

3.2.2 一軸圧縮強度試験

JISA1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して、作製した各固化体の一軸圧縮強度を測定した。供試体の形状は $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ であり、供試体の上下端面の凹凸が大きいものは、適宜ダイヤモンド砥石で端面を研磨して平面度を確保した。試験は、固化体作製条件毎に 2 本の供試体について、圧縮強度試験機（前川試験機製作所製 型式 A1-BC）を用いて行った。

3.2.3 浸出試験

(1) 鉛の浸出試験-1

環境庁告示 13 号「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」¹⁾（以下、環告 13 号法とする）に準拠して、作製した鉛及び酸化鉛固化体からの鉛の浸出量及び浸出液の pH を測定した。測定は、粒径が 0.5～5mm となるように粉碎・調整した固化体から 25g を採取し、これに 250ml のイオン交換水を加えて 6 時間の振とうを行い、得られた浸出液を $1\mu\text{m}$ のメンブランフィルターでろ過したろ液を対象に行った。鉛の浸出量は、ろ液を硝酸酸性に調整した後、ろ液中の鉛濃度を ICP 発光分光分析装置（バリアンテクノロジーズジャパンリミテッド製 型式 VARIAN VISTA-AX）で定量して求め、pH は pH メータ（堀場製作所製 型式 HORIBA F-12）を用いて測定した。

試験は、固化体作製条件毎に 2 本の供試体について行った。

(2) 鉛の浸出試験-2

作製した鉛及び酸化鉛固化体を 1.8L のイオン交換水に 20±2°C の条件で浸漬し、浸漬開始から 1 日、3 日、7 日、28 日及び 56 日後における鉛の浸出量及び浸漬液の pH を測定した（以下、タンクリーチング法とする）。測定は、所定の日数が経過する毎に浸漬液から 100ml を採取し、これを $0.45\mu\text{m}$ のメンブランフィルターでろ過したろ液を対象に行った。

鉛の溶出量及び浸漬液の pH は、鉛の浸出試験-1 と同様の方法で測定した。

試験は、固化体作製条件毎に 2 本の供試体について行った。

(3) 硝酸イオンの浸出試験

「ANSI/ANS-16.1」に準拠して、作製した模擬硝酸塩廃液及び模擬スラリ廃液固化体からの硝酸イオンの浸出率を測定した。試験には、作製した固化体を 3 分割したうちの中央部及び下部 ($\phi 50 \times 33\text{mm}$) を供試体として用いた。測定は、供試体を 950ml のイオン交換水に $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の条件で浸漬し、浸漬開始から 7 日、14 日、21 日及び 28 日後における浸漬液を $0.45 \mu\text{m}$ のメンブランフィルターでろ過したろ液を対象に行った。硝酸イオンの浸出率は、浸漬液中の硝酸イオン濃度をイオンクロマトグラフ装置 {横河電機 (現: アジレント・テクノロジー) 製 型式 IC-7000} で定量して求めた。なお、浸漬液は、所定の浸漬日数が経過する毎に全量を交換した。

試験は、固化体作製条件毎に 2 本の供試体について行った。

3.2.4 均一性及び緻密性の確認

3.3.2 項に示した一軸圧縮強度試験で破壊した固化体の破断面を目視観察し、作製した固化体の均一性及び緻密性を確認した。

3.2.5 消防法危険物の判定試験

「危険物の規制に関する政令第 1 条の 4 及び第 1 条の 12」に準拠して、作製した固化体が消防法に定める危険物第二類、若しくは指定可燃物に該当するか否かの確認を行った。実施した試験は、小ガス炎着火試験、セタ密閉式引火点測定器による引火点測定試験 (以下、セタ密閉式引火点測定試験とする)、燃焼熱量の測定試験及び融点測定試験である⁶⁾。

試験に供した試料は、作製した各模擬廃棄物の固化体の中で最も危険物に該当しやすいと考えられる混合割合のものを選定し、鉛含有率 10wt%の固化体及び模擬硝酸塩廃液含有率 60wt%の固化体とした。

3.2.6 適用性評価

3.2.2 項から 3.2.5 項に示した試験で得られた結果に基づき、改質硫黄固化法の放射性鉛廃棄物及び低レベル放射性廃液の固化処理への適用性を評価した。適用性評価に用いた基準を表 3.2.6 に示す。

4. 試験結果及び考察

4.1 鉛及び酸化鉛固化体

4.1.1 一軸圧縮強度試験

作製した鉛及び酸化鉛固化体の一軸圧縮強度の測定結果を図4.1.1に示す。鉛固化体及び酸化鉛固化体の一軸圧縮強度は、模擬廃棄物含有率10wt%から60wt%の範囲において、それぞれ58MPa～69MPa及び70MPa～86MPaであり、全ての固化体において、評価基準である1.5MPaを大きく上回ることが確認された。また、どちらの固化体においても、模擬廃棄物含有率の変動に対して一軸圧縮強度に大きな変化は見られなかった。これは、鉛及び酸化鉛、若しくはその反応生成物の強度が固型化剤である硫黄中間資材の強度と同程度であったためと考えられる。

4.1.2 浸出試験

(1) 鉛の浸出試験-1

作製した鉛及び酸化鉛固化体の環告13号法における鉛の浸出量を図4.1.2-1に示す。鉛固化体の浸出量は、固化体中の鉛含有率の増加に伴って浸出量が増加するが、含有率20wt%までは評価基準である鉛浸出量0.3mg/Lを下回ることが確認された。この含有率領域での鉛浸出量は、セメント固化した場合と比較すると2桁程度減少し、硫化鉛をセメント固化した場合の浸出量と同等になることが分かった⁴⁾。これは、改質硫黄による浸出抑制効果もあるが、一方で鉛が溶解度の低い硫化鉛に転換された可能性も考えられる。鉛含有率20wt%以上において、鉛の浸出量が急増する理由については必ずしも明確ではないが、浸出量が酸化鉛の溶解度{50.4mg/L(25°C)}¹⁰⁾に近い値となっていることを考慮すると、鉛の表面が酸化されて酸化鉛に転換され、これが浸出したためと考えられる。

一方、酸化鉛固化体の浸出量は、固化体中の酸化鉛含有率に係らず、評価基準を上回った。また、酸化鉛の含有率が20wt%以上の固化体からの浸出量は、35mg/L程度で一定となつた。これは、酸化鉛の溶解度に近い値であることを考慮すると、浸出液中で酸化鉛が飽和状態になったためと推測される。この結果から、酸化鉛に対する改質硫黄の耐浸出性は低いと考えられる。

(2) 鉛の浸出試験-2

作製した鉛及び酸化鉛固化体のタンクリーチング法における鉛の浸出量を図4.1.2-2及び図4.1.2-3に示す。また、鉛及び酸化鉛の含有率が20wt%の固化体からの鉛の浸出量をセメント固化体と比較した結果を図4.1.2-4に示す。

各浸漬日数における鉛固化体からの鉛の浸出量は、固化体中の鉛含有量が増加するに従って増加する傾向を示した。これは、鉛の浸出試験-1に示したとおり鉛の表面が溶解度の高い酸化鉛に転換されたこと及び浸出液と接触する鉛の割合が高いことが要因と考えられ

る。また、図 4.1.2-4 から鉛含有量 20wt%の固化体からの鉛の浸出量は、鉛及び硫化鉛をセメント固化した場合と同程度であることが分かった。

酸化鉛固化体の浸出量は、浸出期間が長くなると固化体中の酸化鉛含有量に依存しなくなる傾向にあることが確認された。また、図 4.1.2-4 から酸化鉛含有量 20wt%の固化体からの鉛の浸出量は、鉛及び硫化鉛をセメント固化した場合と比較して 1 衍程度高いことが分かった。

4.1.3 均一性及び緻密性の確認

4.1.1 項に示した一軸圧縮強度試験で破壊した固化体の破断面を目視観察し、作製した固化体中の鉛及び酸化鉛の偏り並びに大きな空隙の有無を確認した。鉛固化体及び酸化鉛固化体の破断面の写真を図 4.1.3-1 及び図 4.1.3-2 に示す。鉛及び酸化鉛のいずれの固化体についても充填物に大きな偏りはなく均一であることが確認された。また、固化体中に大きな空隙もなく作製した固化体は緻密であることが確認された。

4.1.4 消防法危険物の判定試験

「危険物の規制に関する政令第 1 条の 4 及び第 1 条の 12」に準拠して実施した鉛含有率 10wt%の固化体が消防法に定める危険物第二類及び指定可燃物に該当するかの判定試験の結果を表 4.1.4 に示す。

小ガス炎着火試験で得られた結果から固化体の燃焼継続時間は 10 秒未満であり、危険物第二類の判定基準を満足した。また、セタ密閉式引火点測定試験で得られた結果から固化体の引火点は 214°C であり、危険物第二類の判定基準である 40°C 以上を満足した。これらの結果から鉛含有率 10wt%の固化体は消防法に定める危険物第二類に該当しないことが確認された。

セタ密閉式引火点測定試験で得られた固化体の引火点は 214°C、燃焼熱量の測定試験で得られた固化体の燃焼熱量は 7301J/g、融点測定試験で得られた固化体の融点は 118°C であり、指定可燃物の判定基準である固化体の引火点 100°C 以上、かつ燃焼熱量 34kJ/g 未満、若しくは固化体の引火点 200°C 以上、かつ融点 100°C 以上を満足した。この結果から鉛含有率 10wt%の固化体は消防法に定める指定可燃物に該当しないことが確認された。

4.2 模擬硝酸塩廃液及び模擬スラリ廃液固化体

4.2.1 一軸圧縮強度試験

作製した模擬硝酸塩廃液及び模擬スラリ廃液固化体の一軸圧縮強度の測定結果を図 4.2.1 に示す。模擬硝酸塩廃液及び模擬スラリ廃液固化体の一軸圧縮強度は、試料含有率 10wt%から 60wt%の範囲において、それぞれ 26MPa～56MPa 及び 37MPa～57MPa であり、全ての固化体において、評価基準である 1.5MPa を大きく上回ることが確認された。

模擬硝酸塩廃液固化体では、試料の含有率が増加するに従って一軸圧縮強度が低下する傾向が見られた。この要因の一つとして、固化体中に廃棄物の占める割合が増加するに従い、固化体の強度が廃棄物自体の強度に依存したためだと考えられる。一方、模擬スラリ廃液固化体では、一軸圧縮強度に試料の含有率の違いによる大きな変化は見られなかった。これは、廃棄物の強度が硫黄と同程度であるためだと考えられる。

4.2.2 浸出試験

作製した模擬硝酸塩廃液固化体及び模擬スラリ廃液固化体の ANIS/ANS-16.1 法における硝酸イオンの累積浸出率を図 4.2.2-1 に示す。また、模擬硝酸塩廃液のセメント固化体からの硝酸イオンの累積浸出率⁷⁾を図 4.2.2-1 にあわせて示す。

浸漬 28 日後における硝酸塩廃液固化体からの硝酸イオンの累積浸出率は、対象とした試料含有率の範囲において、セメント固化体と同程度であることが確認された。一方、スラリ廃液固化体については、固化体中の試料の含有率の増加に従って、硝酸イオンの累積浸出率は大きく増加することが確認された。これは、浸漬中に固化体中の試料、若しくは試料と硫黄中間資材の反応生成物が膨潤し、これを起点として固化体が崩壊したため、模擬廃棄物と浸漬液の接触面積が大きく増加し、改質硫黄の遮水性が機能しなくなったことが原因と考えられる。浸漬 28 日後における模擬スラリ廃液固化体の写真を図 4.2.2-2 に示す。

4.2.3 均一性及び緻密性の確認

4.2.1 項に示した一軸圧縮強度試験で破壊した固化体の破断面を目視観察し、作製した固化体中の鉛及び酸化鉛の偏り並びに大きな空隙の有無を確認した。模擬硝酸塩廃液固化体及び模擬スラリ廃液固化体の破断面の写真を図 4.2.3-1 及び図 4.2.3-2 に示す。模擬硝酸塩廃液及び模擬スラリ廃液のいずれの固化体についても充填物に大きな偏りはなく均一であることが確認された。また、固化体中に大きな空隙もなく作製した固化体は緻密であることが確認された。

4.2.4 消防法危険物の判定試験

「危険物の規制に関する政令第 1 条の 4 及び第 1 条の 12」に準拠して実施した模擬硝酸塩廃液含有率 60wt% の固化体が消防法に定める危険物第二類及び指定可燃物に該当するかの判定試験の結果を表 4.2.4 に示す。

小ガス炎着火試験で得られた結果から固化体の燃焼継続時間は 10 秒未満であり、危険物第二類の判定基準を満足した。また、セタ密閉式引火点測定試験で得られた結果から固化体の引火点は 216°C であり、危険物第二類の判定基準である 40°C 以上を満足した。これらの結果から模擬硝酸塩廃液含有率 60wt% の固化体は消防法に定める危険物第二類に該当しないことが確認された。

セタ密閉式引火点測定試験で得られた固化体の引火点は 216°C、燃焼熱量の測定試験で得られた固化体の燃焼熱量は 3592J/g、融点測定試験で得られた固化体の融点は 118°C であり、指定可燃物の判定基準である固化体の引火点 100°C 以上、かつ燃焼熱量 34kJ/g 未満、若しくは固化体の引火点 200°C 以上、かつ融点 100°C 以上を満足した。この結果から鉛含有率 10wt% の固化体は消防法に定める指定可燃物に該当しないことが確認された。

5. 適用性評価

5.1 放射性鉛廃棄物

適用性の評価項目である一軸圧縮強度、均一性及び緻密性並びに消防危険物の判定において、鉛及び酸化鉛のいずれの模擬廃棄物についても表 3.2.6 に示した評価基準を満足していた。

鉛を対象とした場合には、環告 13 号法による浸出試験において、鉛の浸出量は、鉛含有率 20wt% 以下であれば評価基準である 0.3mg/L を満足することが分かった。セメント固化では、鉛含有率が最も低い 5wt% においてもこの基準を満足できないこと及び硫化鉛への転換前処理を行った場合においても硫化鉛含有率が 20wt% 以下でなければこの基準を満足できないことから、鉛に対する改質硫黄の閉じ込め性能はセメントよりも高いことが明らかとなった。以上の結果から金属鉛廃棄物に対して改質硫黄固化法はセメント固化法に代わる有効な固化法となる可能性を持っていると判断できる。

酸化鉛を対象とした場合には、酸化鉛含有率が最も低い 10wt% とした固化体においても、環告 13 号法による浸出試験における鉛の溶出量は、評価基準である 0.3mg/L を大きく上回った。また、タンクリーチング法における鉛の浸出量についても、金属鉛を対象にした固化体と比べて 1 衍以上高い値を示した。これは、金属鉛を対象とした場合には硫黄中間資材中の硫黄との反応によって溶解度の低い硫化物が表面に生成されるのに対して、酸化鉛ではこの反応が起こらないためと考えられる。従って、改質硫黄固化法を酸化鉛廃棄物の処理法として適用する場合には、セメント固化法と同様に硫化鉛への転換処理が必要になる。セメント固化法が十分に確立された固化処理技術であることを考慮すると、焼却灰等の酸化鉛廃棄物に対してセメント固化法に代わる固化処理法としての改質硫黄固化法の開発を進める利点は少ないと考えられる。

5.2 低レベル放射性廃液

評価項目である一軸圧縮強度、均一性及び緻密性及び消防危険物の判定において、硝酸塩廃液及びスラリ廃液のいずれの廃棄物についても表 3.2.6 に示した評価基準を満足していた。

硝酸塩廃液を対象とした場合には、ANIS/ANS-16.1 に準拠した浸出試験において、硝酸イオンの浸出率及び充填可能な廃棄物量のいずれの項目もセメント固化法と同程度であり、その適

用性も同等と評価できる。しかし、硝酸塩廃液を対象としたセメント固化法の開発が実機設計段階まで進んでいるのに対して、改質硫黄固化法では含水物を固化した実績がなく、含水物を処理した際のプロセスの安全性、作製した固化体の特性及び処分施設への影響等に関する知見を整備していかなければならないことを考慮すると、セメント固化法に代わる固化処理法として改質硫黄固化法の開発を進める利点は少ないと考えられる。

スラリ廃液を対象とした場合には、改質硫黄の遮水性が硝酸イオンの閉じ込めに対して有効に機能しないことが確認された。さらに、浸漬後の固化体には亀裂が生じ固化体としての形状の保持さえも困難であることが確認された。以上の結果からスラリ廃液に対してセメント固化法に代わる固化処理法としての改質硫黄固化法の適用性は低いと判断できる。

6. おわりに

放射性鉛廃棄物及び低レベル放射性廃液の模擬廃棄物を対象にした改質硫黄固化処理試験を実施し、放射性鉛廃棄物及び低レベル放射性廃液に対してセメント固化法に代わる処理法としての改質硫黄固化法の適用性を評価した。

改質硫黄は金属鉛に対してセメントを大きく上回る耐浸出性能を有すること、これによって鉛の浸出を抑制するための硫化処理が不要になるので、セメント固化法に代わる放射性金属鉛廃棄物の固化処理法として、改質硫黄固化法の適用性が高いことを示した。

一方、焼却灰等の酸化鉛廃棄物及び低レベル放射性廃液に対しては、酸化鉛及び硝酸イオンの閉じ込め性能がセメントと同等、若しくはそれ以下であり、改質硫黄固化法はセメント固化法に代わる固化処理法としては期待できないことが分かった。

なお、改質硫黄固化法は、原子力施設から発生する金属鉛を主体とする廃棄物だけでなく、一般産業界における金属鉛廃棄物に対しても有効な固化処理法となる可能性がある。

参考文献

- 1) 環境法令研究会編：“環境実務六法 平成16年版”，ぎょうせい，東京（2004）
- 2) 原子力委員会 原子力バックエンド対策専門部会：“RI・研究所等廃棄物処理の基本的な考え方について”，平成10年5月28日
- 3) 文部科学省 原子力安全課：“放射線障害防止法及び関係政省令等の改正の内容”，平成17年7月
- 4) T. Sasaki, Y. Miyamoto, M. Fukumoto：“STABILIZATION OF LEAD IN LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE FORM USING LOW-ALKALINITY CEMENTS”，WM'05 (2005)
- 5) “核燃料物質等の埋設に関する措置等に係る技術的細目を定める告示”，昭和63年科学技術庁告示第2号（最終改訂平成12年科学技術庁告示第20号）
Available from <<http://www.rwmc.or.jp/law>>
- 6) 三井栄志：“消防法関係法規集 2004年版”，近代消防社（2004）
- 7) 佐々木忠志，沼田守，鈴木泰博，久保美和：“セメント固化材の比較評価試験”，JNC TJ8430 2002-002（2003）
- 8) 電気事業連合会，核燃料サイクル開発機構：“TRU廃棄物処分技術検討書－第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ”，JNC TY1400 2005-002（2005）
- 9) 濱田秀則，堀井秀之，審良善和：“数種類の骨材を用いた硫黄固化体の材料物性”，独立行政法人港湾空港技術研究所，港研資料No.1129（2006）
- 10) 日本化学会：“化学便覧 基礎編II 改定4版”，丸善，p170（1993）

表 3.1.1 模擬試料の組成及び使用した試薬

成 分	模擬硝酸塩廃液 (wt%)	模擬スラリ廃液 (wt%)	使用試薬
NaNO ₃	251.9	173	シグマアルド・リッヂ・ヤパン製 特級
NaNO ₂	—	5.3	ナカライトスク製 特級
NaHCO ₃	—	20.5	ナカライトスク製 特級
Na ₂ SO ₄	3.9	3.1	和光純薬工業株製 特級
Na ₂ HPO ₄	—	78.4	ナカライトスク製 特級
AgNO ₃	0.054	0.044	関東化学製 特級
AgI	—	0.688	和光純薬工業製 化学用
Fe(OH) ₃	—	11.43	キシダ化学製 試験研究用

表 3.2-1 固化体の作製条件

固化体名称	模擬廃棄物	固型化材	混練温度 及び時間	形状	模擬廃棄物 含有率
鉛固化体	鉛	硫黄中間 資材 ^{*3}	約 140°C	φ 50mm × 100mm	10wt%, 20wt%, 30wt%, 40wt%, 50wt%及び 60wt%
酸化鉛固化体	酸化鉛		約 5 分間		
模擬硝酸塩 廃液固化体	模試薬-1 ^{*1}	硫黄中間 資材 ^{*3}	約 140°C	φ 50mm × 100mm	10wt%, 20wt%, 30wt%, 40wt%, 50wt%及び 60wt%
模擬スラリ 廃液固化体	模試薬-2 ^{*2}		約 5 分間		

*1 模擬硝酸塩廃液中の塩に相当する試薬を混合したもの

*2 模擬スラリ廃液中の塩に相当する試薬を混合したもの

*3 改質硫黄及び石炭灰を溶融混合したもの

表 3.2-2 試験項目及び試験条件

試験項目	供試体 *1	試験回数	試験条件
一軸圧縮強度	鉛-1、鉛-2、廃-1 及び廃-2	供試体毎に 2 回	JISA1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠
鉛の浸出試験-1	鉛-1 及び鉛-2 を粉碎し、粒径を 0.5mm～5mm に調整したもの	供試体毎に 2 回	環境庁告示 13 号「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」に準拠 • 供試体量 : 25g • 浸漬液 : イオン交換水、150ml • 浸漬方法 : 振とう • 浸漬時間 : 6 時間 • 測定項目 : 浸出液中の鉛濃度 及び浸出液の pH
鉛の浸出試験-2	鉛-1 及び鉛-2	供試体毎に 2 回	• 浸出液 : イオン交換水、1.8L、20±2°C • 浸漬方法 : 静置 • 浸出時間 : 1 日、3 日、7 日、28 日 及び 56 日 • 測定項目 : 浸出液中の鉛濃度 及び浸出液の pH
硝酸イオンの浸出試験	廃-1 及び廃-2 を 3 分割した中間部及び下部	供試体毎に 2 回	「ANSI/ANS-16.1」に準拠 • 浸出液 : イオン交換水、1.8L、20±2°C • 浸漬方法 : 静置 • 浸出時間 : 7 日、14 日、21 日及び 28 日 • 測定項目 : 浸出液中の硝酸イオン濃度 及び浸出液の pH
均一性及び緻密性の確認	鉛-1、鉛-2、廃-1 及び廃-2	供試体毎に 1 回	破断面の目視観察
消防法危険物の判定	鉛-3 及び廃-3	供試体毎に 1 回	「危険物の規制に関する政令第 1 条の 4 及び第 1 条の 12」に準拠 ① 危険物第二類の判定試験： • 小ガス炎着火試験 • セタ密閉式引火点測定試験 ② 指定可燃物の判定試験： • セタ密閉式引火点測定試験 • 燃焼熱量の測定試験 • 融点測定試験

*1 鉛-1 : 鉛含有率 10wt%, 20wt%, 30wt%, 40wt%, 50wt% 及び 60wt% の固化体

鉛-2 : 酸化含有率 10wt%, 20wt%, 30wt%, 40wt%, 50wt% 及び 60wt% の固化体

鉛-3 : 鉛含有率 10wt% の固化体

廃-1 : 模擬硝酸塩廃液含有率 10wt%, 20wt%, 30wt%, 40wt%, 50wt% 及び 60wt% の固化体

廃-2 : 模擬スラリ廃液含有率 10wt%, 20wt%, 30wt%, 40wt%, 50wt% 及び 60wt% の固化体

廃-3 : 模擬硝酸塩廃液含有率 10wt% の固化体

表 3.2.6 改質硫黄固化法の各廃棄物の固化処理への適用性評価の基準

評価項目	適用性があると判断する基準	
	鉛及び酸化鉛	硝酸塩廃液及びスラリ廃液
一軸圧縮強度 ^{*1}	埋設告示に定められている基準 (1.5MPa) を上回る	
浸出率	<ul style="list-style-type: none"> ・環告 13 号法 : 　鉛の浸出量が 0.3mg/L 未満^{*2} ・タンクリーチング法 : 　鉛の浸出量がセメント固化体と同等もしくはそれ以下 	硝酸イオンの浸出率がセメント固化体を下回る
均一性及び緻密性 ^{*1}	<ul style="list-style-type: none"> ・模擬廃棄物等の位置に大きな偏りがない ・固化体内部に大きな空隙が観察されない 	
廃棄物含有率	上記基準を満足する固化体の廃棄物含有率がセメント固化法と同等以上	
消防法危険物の判定 ^{*3}	<p>消防法に定める危険物第二類又は指定可燃物に該当しない</p> <ul style="list-style-type: none"> ・危険物第二類の判定 (①及び②に該当) <ul style="list-style-type: none"> ① 小ガス炎着火試験において、試験物品が 10 秒以内に着火しない、または試験物品に 10 秒間接触させた火炎を離した後 10 秒以上継続して燃焼しない。 ② セタ密閉式引火点測定試験において、引火点が 40°C 以上である。 ・指定可燃物の判定 (①もしくは②に該当) <ul style="list-style-type: none"> ① セタ密閉式引火点測定試験において、引火点が 100°C 以上であり、燃焼熱量の測定試験において、燃焼熱量が 34 kJ/g 未満である。 ② セタ密閉式引火点測定試験において、引火点が 200°C 以上であり、融点測定試験において、融点が 100°C 以上である。 	

*1 核燃料物質等の埋設に関する措置等に係る技術的細目を定める告示⁵⁾

*2 廃棄物の処理及び清掃に関する法律¹⁾

*3 消防法及び関連政省令⁶⁾

表 4.1.4 消防法危険物の判定試験（鉛含有率 10wt%の固化体）

危険物分類	試験方法	判定項目 ^{*1}	試験結果	判定結果
危険物第二類	小ガス炎着火試験	① 着火時間	2秒	
	小ガス炎着火試験	② 燃焼継続時間	10秒未満	非該当
	セタ密閉式引火点測定方法	③ 引火点	214°C	
指定可燃物	セタ密閉式引火点測定方法	③ 引火点	214°C	
	燃焼熱量の測定	④ 燃焼熱量	7301 J/g	非該当
	融点測定試験	⑤ 融点	118°C	

*1 危険物第二類及び指定可燃物に非該当となる判定基準は以下の通りである。

- ・危険物第二類 : ①が 10秒を超える若しくは②が 10秒未満であり、かつ、③が 40°C未満となる。
- ・指定可燃物 : ③が 100°C以上かつ④が 34000J/g 未満である、若しくは③が 200°C以上かつ⑤が 100°C以上である。

表 4.2.4 消防法危険物の判定試験（模擬硝酸塩廃液含有率 60wt%の固化体）

危険物分類	試験方法	判定項目 ^{*1}	試験結果	判定結果
危険物第二類	小ガス炎着火試験	① 着火時間	4秒	
	小ガス炎着火試験	② 燃焼継続時間	10秒未満	非該当
	セタ密閉式引火点測定方法	③ 引火点	216°C	
指定可燃物	セタ密閉式引火点測定方法	③ 引火点	216°C	
	燃焼熱量の測定	④ 燃焼熱量	3592 J/g	非該当
	融点測定試験	⑤ 融点	118°C	

*1 危険物第二類及び指定可燃物に非該当となる判定基準は以下の通りである。

- ・危険物第二類 : ①が 10秒を超える若しくは②が 10秒未満であり、かつ、③が 40°C未満となる。
- ・指定可燃物 : ③が 100°C以上かつ④が 34000J/g 未満である、若しくは③が 200°C以上かつ⑤が 100°C以上である。

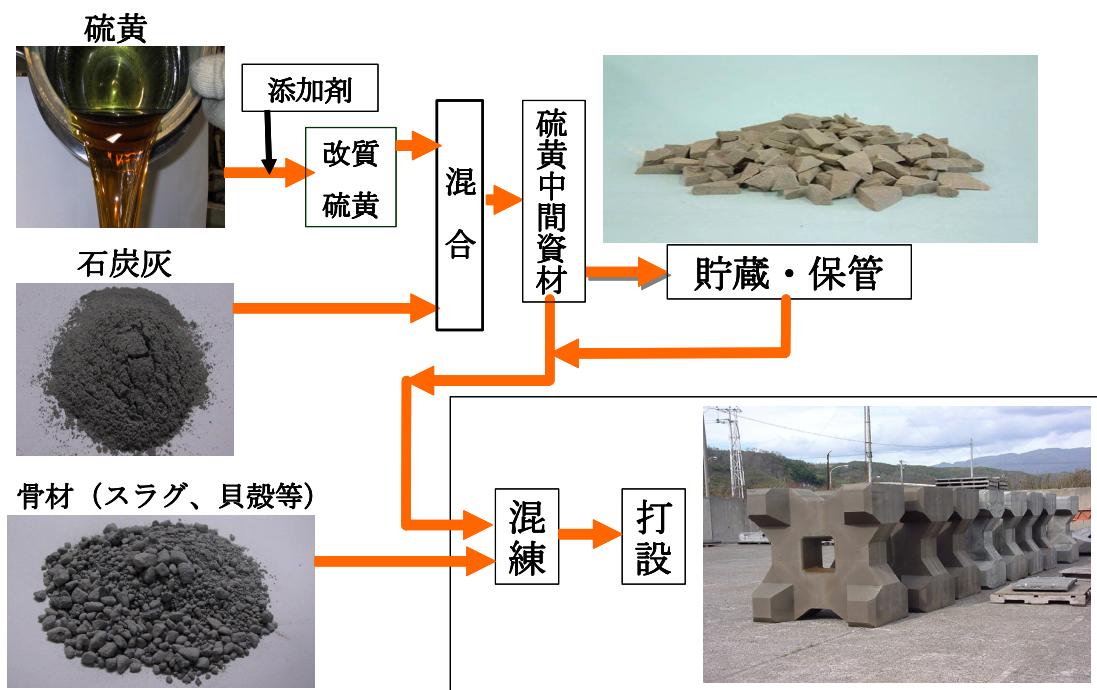


図 2.1 改質硫黄固化体の製造フロー

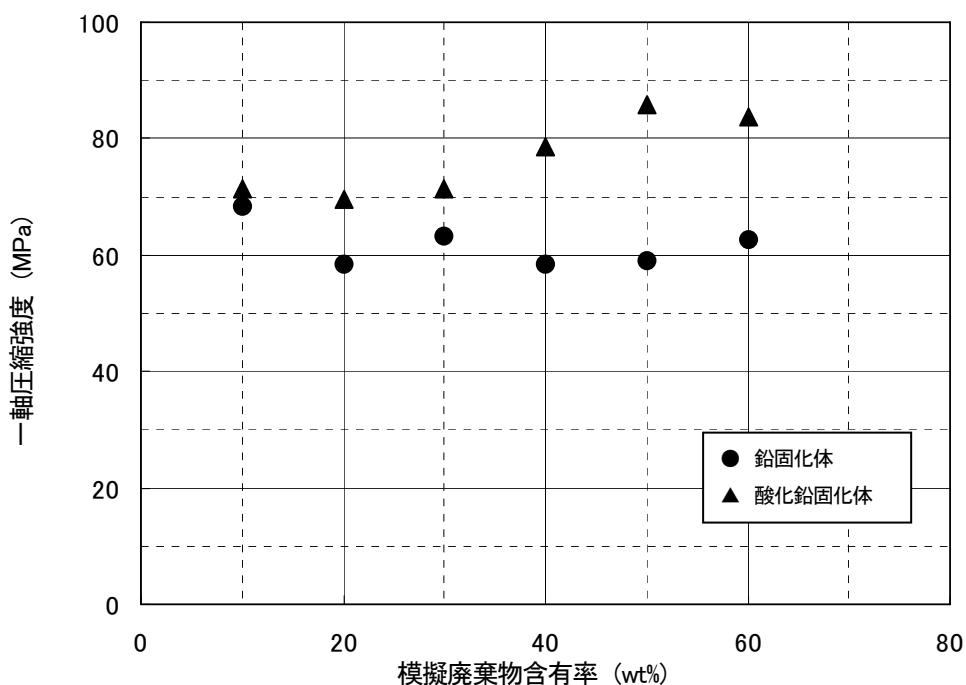
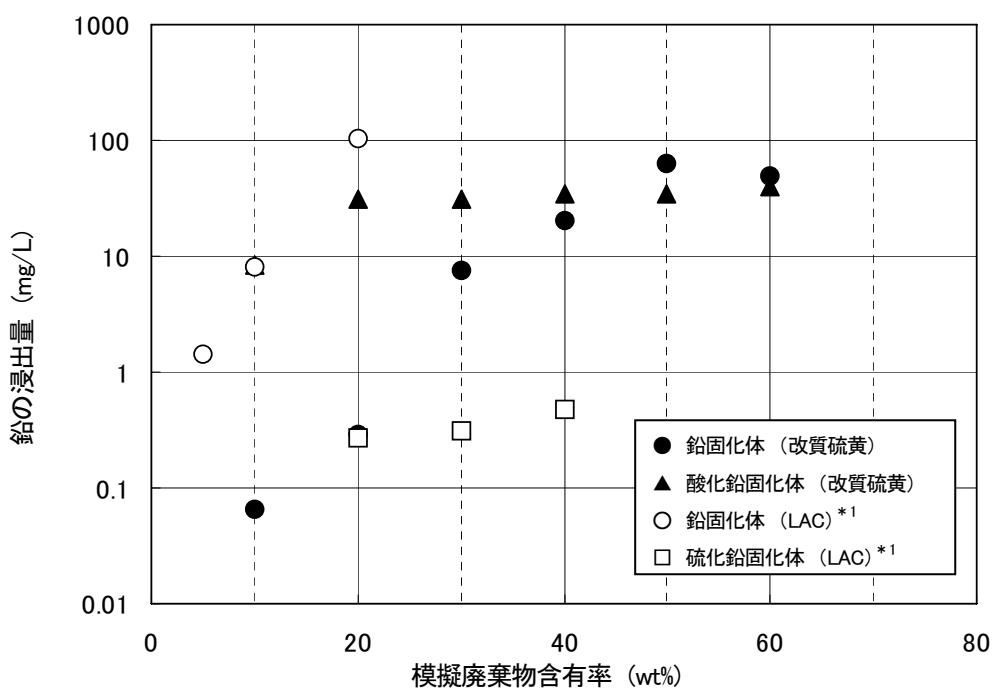


図 4.1.1 鉛及び酸化鉛固化体の一軸圧縮強度



*1 “STABILIZATION OF LEAD IN LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE FORM USING

LOW-ALKALINITY CEMENTS”, WM’05 (2005)

LAC : 低アルカリ性セメント（太平洋コンサルタント製）

図 4.1.2-1 環告 13 号法における鉛の浸出量

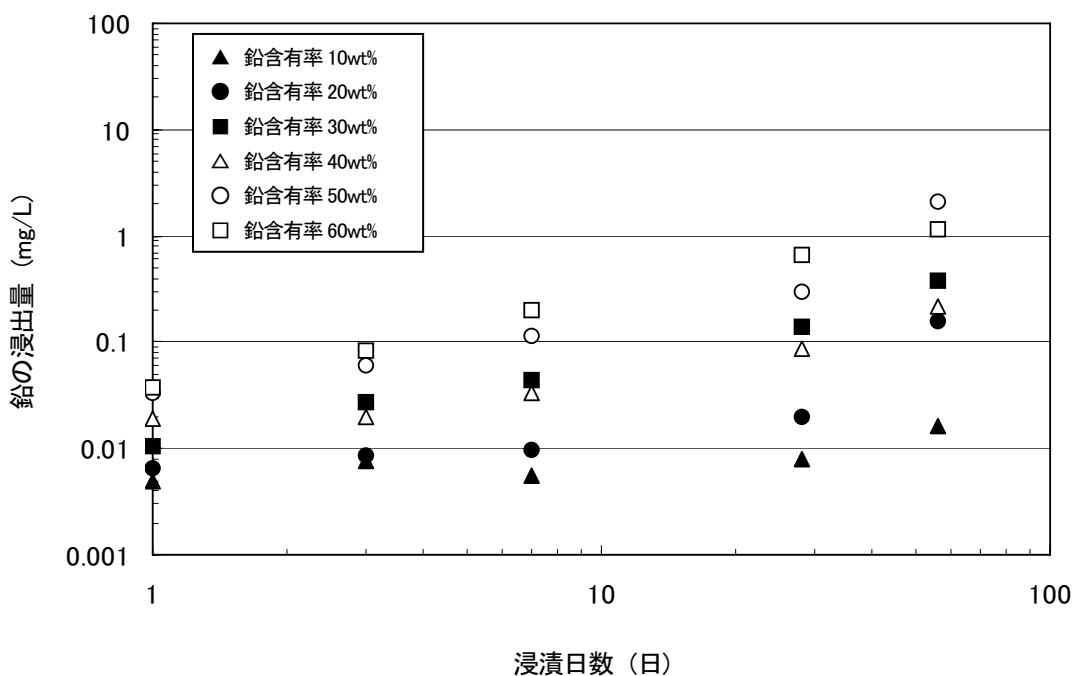


図 4.1.2-2 タンクリーチング法における鉛固化体からの鉛の浸出量

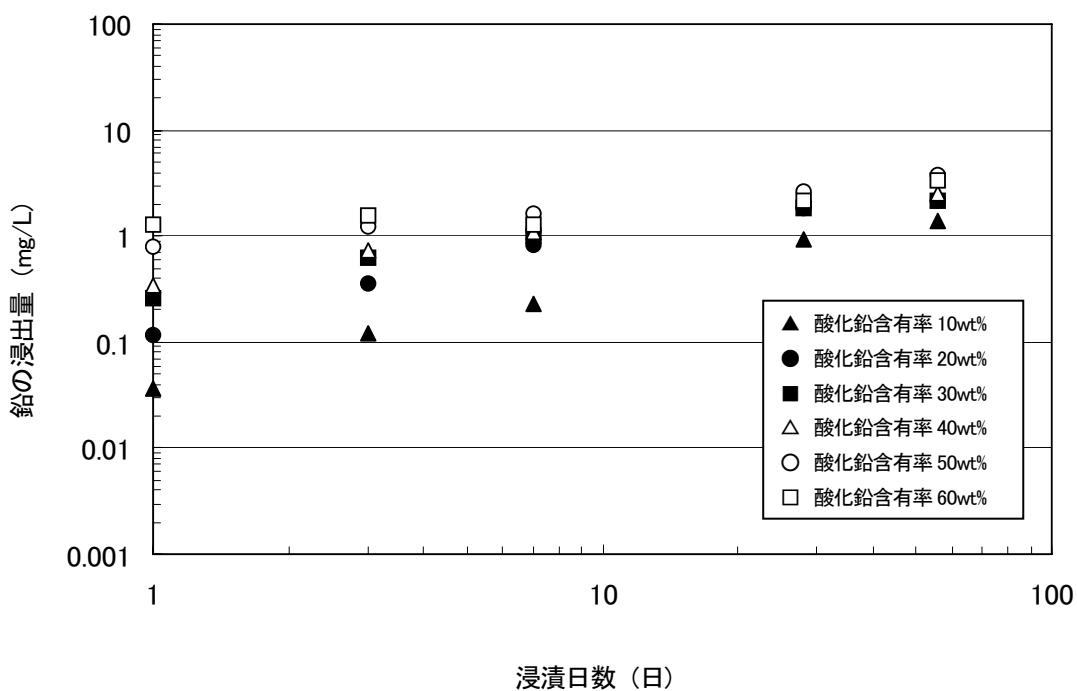
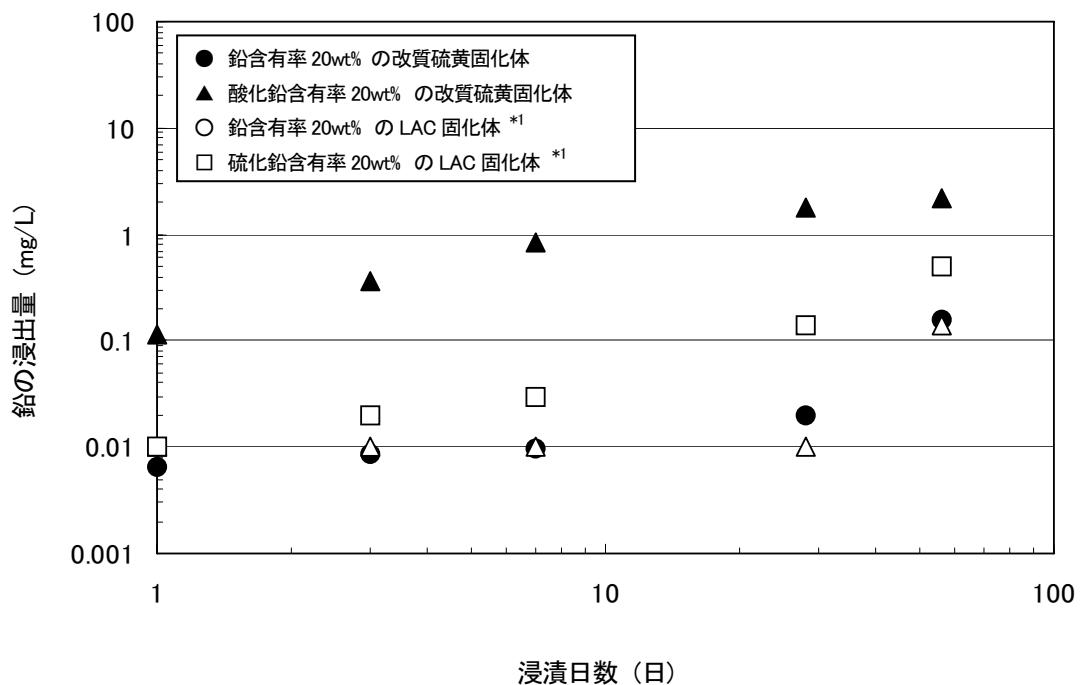


図 4.1.2-3 タンクリーチング法における酸化鉛固化体からの鉛の浸出量



*1 "STABILIZATION OF LEAD IN LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE FORM USING LOW-ALKALINITY CEMENTS", WM' 05 (2005)
 LAC : 低アルカリ性セメント (太平洋コンサルタント製)

図 4.1.2-4 タンクリーチング法における鉛の浸出量のセメント固化体との比較 (模擬廃棄物含有率 20wt%)



鉛含有率 10wt%



鉛含有率 20wt%



鉛含有率 30wt%



鉛含有率 40wt%



鉛含有率 50wt%



鉛含有率 60wt%

図 4.1.3-1 鉛固化体の破断面



酸化鉛含有率 10wt%



酸化鉛含有率 20wt%



酸化鉛含有率 30wt%



酸化鉛含有率 40wt%



酸化鉛含有率 50wt%



酸化鉛含有率 60wt%

図 4.1.3-2 酸化鉛固化体の破断面

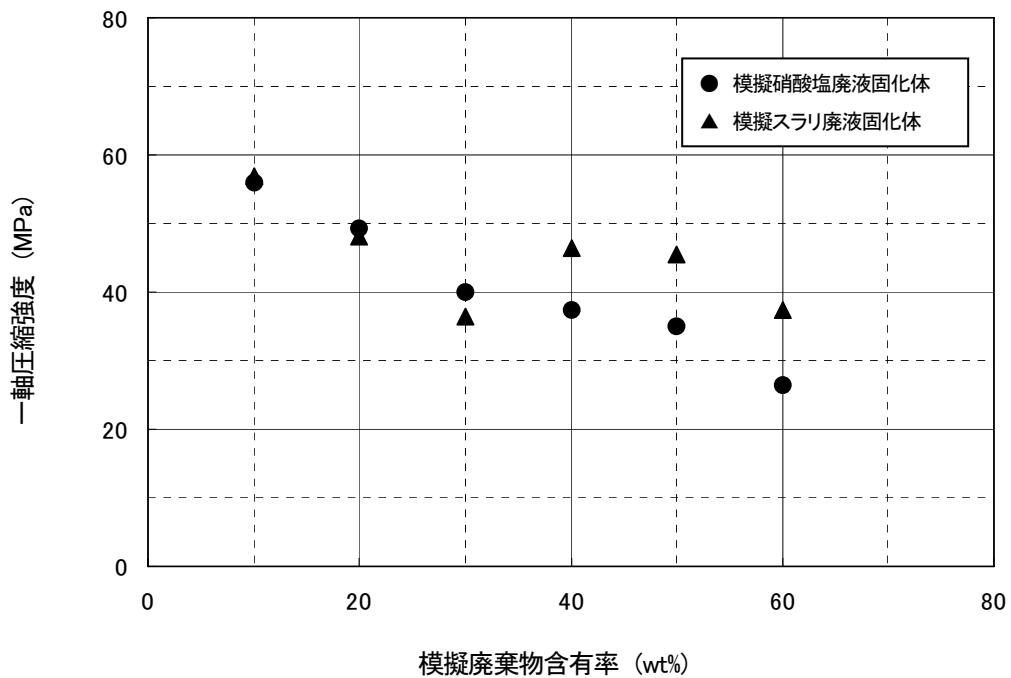
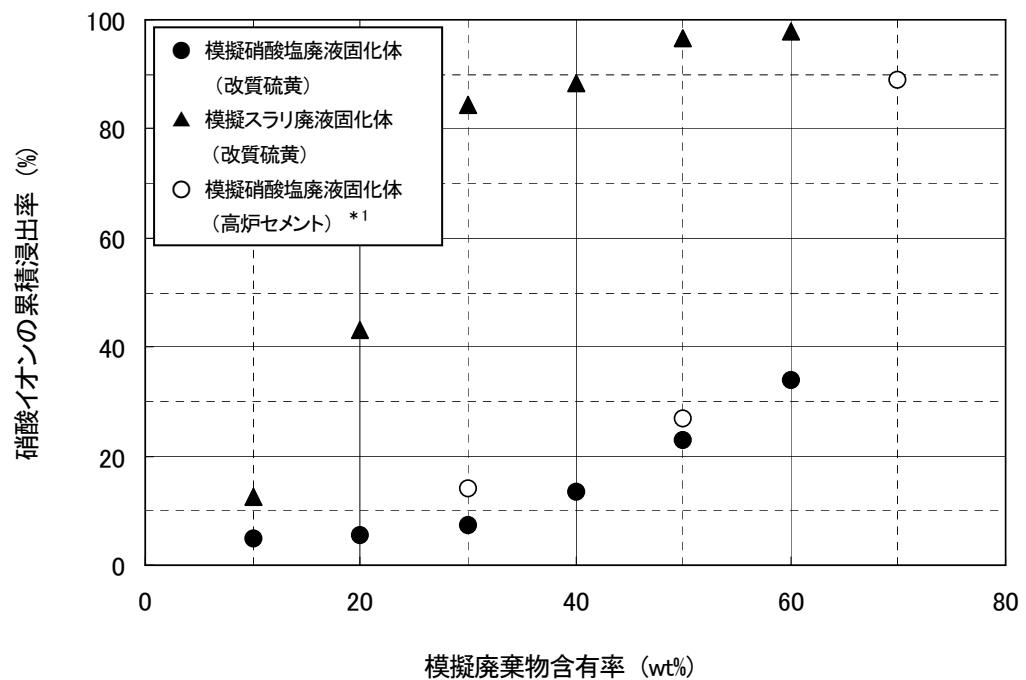


図 4.2.1 模擬硝酸塩廃液及び模擬スラリ廃液固化体の一軸圧縮強度

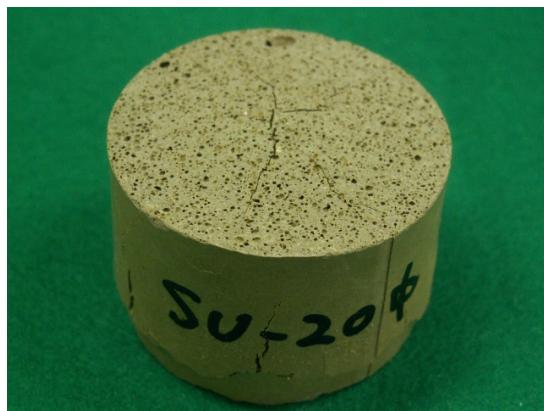


*1 “セメント固化材の比較評価試験”， JNC TJ8430 2002-002 (2003)

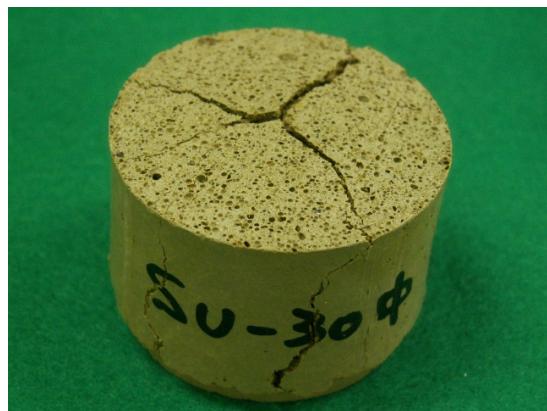
図 4.2.2-1 ANIS/ANS-16.1 法における硝酸イオンの累積浸出率 (浸漬 28 日後)



模擬スラリ廃液含有率 10wt%



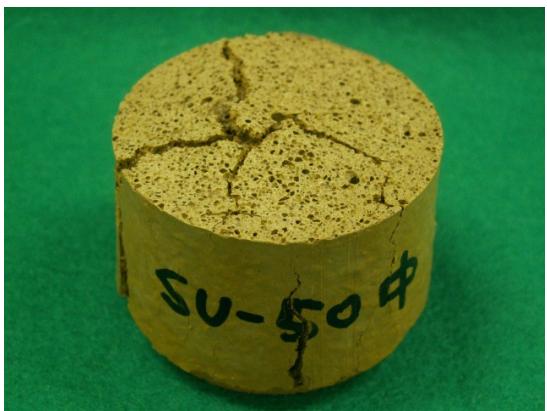
模擬スラリ廃液含有率 20wt%



模擬スラリ廃液含有率 30wt%



模擬スラリ廃液含有率 40wt%



模擬スラリ廃液含有率 50wt%



模擬スラリ廃液含有率 60wt%

図 4.2.2-2 浸漬 28 日後における模擬スラリ廃液固化体



模擬硝酸塩廃液含有率 10wt%



模擬硝酸塩廃液含有率 20wt%



模擬硝酸塩廃液含有率 30wt%



模擬硝酸塩廃液含有率 40wt%



模擬硝酸塩廃液含有率 50wt%



模擬硝酸塩廃液含有率 60wt%

図 4.2.3-1 模擬硝酸塩廃液固化体の破断面



模擬スラリ廃液含有率 10wt%



模擬スラリ廃液含有率 20wt%



模擬スラリ廃液含有率 30wt%



模擬スラリ廃液含有率 40wt%



模擬スラリ廃液含有率 50wt%



模擬スラリ廃液含有率 60wt%

図 4.2.3-2 模擬スラリ廃液固化体の破断面

This is a blank page.

