

報 告

老朽・遺棄化学兵器廃棄事業の節目を見据えて
—新たな課題とリスク管理に関する今後の在り方—



令和8年（2026年）9月28日

日 本 学 術 会 議
総合工学委員会・機械工学委員会合同
工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会

この報告は、日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会での審議結果を踏まえ、総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会において取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同
工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会

委員長	辻 佳子	(連携会員)	東京大学環境安全研究センター教授
副委員長	宮崎 恵子	(第三部会員)	一般財団法人日本舶用品検定協会調査研究部専任部長(国際担当)
幹 事	柴山 悦哉	(連携会員)	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構理事
幹 事	西田 佳史	(連携会員)	東京科学大学工学院機械系教授
	越塚 誠一	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	遠藤 薫	(連携会員)	学習院大学名誉教授
	大倉 典子	(連携会員)	環太平洋大学国際経済経営学部特任教授／芝浦工業大学名誉教授
	小野 恭子	(連携会員)	国立研究開発法人産業技術総合研究所研究戦略本部サーキュラーテクノロジー実装研究センター副研究センター長
	鎌田 実	(連携会員)	一般財団法人日本自動車研究所代表理事／研究所長／東京大学名誉教授
	蒲池みゆき	(連携会員)	工学院大学副学長／情報学部教授
	神里 達博	(連携会員)	千葉大学大学院国際学術研究院教授
	上條 正義	(連携会員)	信州大学繊維学部教授
	庄司 裕子	(連携会員)	中央大学理工学術院教授
	須田 義大	(連携会員)	東京工科大学片柳研究所長／教授／東京大学名誉教授
	丹下 健	(連携会員)	国立研究開発法人森林研究・整備機構理事長
	野口 和彦	(連携会員)	横浜国立大学 IMS 次世代工学システムの安全科学研究ユニット客員教授
	平尾 雅彦	(連携会員)	東京大学名誉教授
	藤井 健吉	(連携会員)	花王株式会社研究開発部門研究主幹／研究戦略・企画部部長
	松尾亜紀子	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部教授
	水野 毅	(連携会員)	埼玉大学名誉教授
	宮崎久美子	(連携会員)	東京工業大学(現 東京科学大学)名誉教授

持丸 正明	(連携会員)	国立研究開発法人産業技術総合研究所情報・人間工学領域フェロー
岸田 伸幸	(連携会員(特任))	開志創造大学大学院事業創造研究科教授
澁谷 忠弘	(連携会員(特任))	横浜国立大学総合学術高等研究院教授

老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会

委員長	小野 恭子	(連携会員)	国立研究開発法人産業技術総合研究所研究戦略本部サーキュラーテクノロジー実装研究センター副研究センター長
副委員長	新井 充		東京大学名誉教授／公益財団法人総合安全工学研究所理事長
幹 事	岸田 伸幸		開志創造大学大学院事業創造研究科教授
	宮崎 恵子	(第三部会員)	一般財団法人日本舶用品検定協会調査研究部専任部長 (国際担当)
	辻 佳子	(連携会員)	東京大学環境安全研究センター教授
	朝比奈 潔		元株式会社神戸製鋼所主監
	川原 志郎		環境省大臣官房環境保健部化学物質安全課環境リスク評価室室長補佐
	関 実		千葉大学名誉教授
	高木 和広		国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター研究リーダー
	古崎新太郎		東京大学名誉教授
	山内 博		聖マリアンナ医科大学客員教授
	山口 芳裕		杏林大学名誉教授／国際医療福祉大学特任教授
	横田 真		元内閣府遺棄化学兵器処理担当室参事官

本報告の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	新田 浩史	参事官 (審議第二担当)
	渡邊英一郎	参事官 (審議第二担当) (令和8年7月から)
	角田美知子	参事官 (審議第二担当) 付参事官補佐
	富岡千香子	参事官 (審議第二担当) 付審議専門職付
調査	辻 政俊	上席学術調査員

要 旨

1 作成の背景

老朽・遺棄化学兵器（以下、OACW）¹廃棄事業は国内外にて遺棄された化学兵器の廃棄処理を対象とする事業で、化学兵器禁止条約（以下、CWC）²に基づく国際的責務である。CWCが求める米ロを含む主要締約国の廃棄はほぼ完了し、特に日本政府による中国吉林省ハルバ嶺³での処理も2027年に完了予定である。一方、中国の未発見埋設地への対応や処理施設の配置や設備能力／稼働率の適正化など今後の合理的な運用等には課題があり、また、テロ組織やウクライナ戦争でのロシア軍の使用など化学兵器使用の今日的脅威が顕在化している。これらの課題について、日本学術会議の多面的な学術的支援が望まれる。本報告はこれら課題について、幅広い関係者と情報を共有し共通認識の形成を目指している。

2 現状及び問題点

日本政府による中国での遺棄化学兵器（以下、ACW）⁴処理には、安全と環境保全を重視した発掘・処理が求められる。日本学術会議は専門小委員会を設置し、リスク評価や処理技術、医療体制、作業安全等につき学術的見地から意見表出を続けてきた。ACWの処理残渣には有毒なヒ素が含まれるため、処理残渣処分方法が検討されている。また、ハルバ嶺以外の埋設地が今後も新たに発見される可能性が残り、長期的視野に立った効率的で柔軟な事業運営と国際交渉に基づく持続可能な体制確立が将来的問題と考えられる。

3 報告の内容

(1) ヒ素含有 OACW の安全な処理と安心な処分のための技術開発と制度整備

旧日本軍 OACW の多くはどの処理法でも残渣にヒ素が残り、処理時だけでなく一時保管から最終処分まで厳格な管理が必要である。発掘・鑑定を慎重に行い、もし土壤汚染が確認されれば原因を見極め、必要であれば作業中断と方法改善が求められる。残渣処分は国内外の事例を踏まえ慎重な検討を要する。第三国処分は経済条件や政治的反発など不確実性が大きく、代替として日本国内への持ち帰り処分も考えられるが、地域合意と法的整備が課題である。さらに無機ヒ素を、低毒性で体内蓄積性が低いとされるアルセノベタイン（AsB）へ変換する無害化技術の研究開発を推進し、法制度の整備や、変換後の長期安全保管方法を確立する必要がある。

(2) 中国東北区の想定埋蔵 ACW の網羅的調査及び情報共有による不測の事故の未然防止

環境省は全国調査（1973）とフォローアップ調査（2003）で国内老朽化学兵器（以下、OCW）⁵埋蔵が想定される地点を事故防止のため公表している。中国東北区には ACW の未

¹ 用語の説明（p. 21）参照。

² 用語の説明（p. 21）参照。

³ 用語の説明（p. 24）参照。

⁴ 用語の説明（p. 21）参照。

⁵ 用語の説明（p. 21）参照。

発見埋蔵地が残るとみられるが完全に把握できていない。中国の経済開発では既存市街地の更新より新規造成に向かい、未利用の山林・原野開発が進みがちで、埋蔵地発見や事故の契機となり得る。一般市民を巻き込む事故を未然防止するため、わが国の環境省調査にならった網羅的な埋蔵地調査・評価を東北区中心に行い、日中の関係部局と中国の土地利用当局で共有することが望まれる。

(3) ACW 処理事業の長期化に備える先進探査技術とリスクコミュニケーション

ハルバ嶺の処理完了後も、中国各地で今後も新たな埋設地が発見される可能性は残されており、長期的な対応を要する。先進探査技術の可能性を探る必要がある。また、平時からの情報共有と緊急時情報提供（クライシス対応）を一体的に整備し、関係機関の連携の下で運用体制の強化を図ることが重要である。さらに、処理技術及び作業工程については、現地の状況や日中両国の経験を踏まえ、効率的かつ円滑な運用に向けた継続的な改善を進めることが望まれる。そして、関係国間の信頼関係に基づく協力の下、安定的かつ着実な事業推進に資する適時対話と学術的情報発信の取組の強化が望まれる。

(4) 今後も発生が懸念される処理事案を想定したガバナンスの知識集約型改革

今後も既知の未発掘埋設地と新発見される埋設地の処理が続くことが見込まれ、不測の事故を防ぐため、日中で協力して、潜在的埋蔵地を把握し事故の未然防止に努め、日本も新たな発見地に即応できる体制を整えるべきである。そして、把握精度向上のため、日中研究者による歴史資料の収集検証や、現地調査を通じたオープンデータ・デジタルマッピングで潜在地情報の動的収集と集約、並びに周知共有を進めることを提案する。また、国内処理対応で培った自治体連携、住民対話等の知見を中国の個別事案に活かすため、内閣府所管の ACW 事業と省庁所管の OCW 事業との連携を強化する機能統合などのガバナンス体制改革が望まれる。そして、これらの改革成果を ACW 事業へ円滑に反映できるよう、中国側との折衝に当たる内閣府 ACW 担当室の体制も整備すべきである。

(5) 長期持続的な環境安全並びに化学軍備管理⁶を担う人材育成と知識・技術の継承

OACW 関与企業では事業縮小と技術者高齢化で後継者不足が進んでおり、経験継承のため処理技術・運用記録を集中保存し活用すべきである。軍民両用性化学物質は産業に不可欠だが兵器転用の危惧があり、テロや事故も想定されるため、情報共有と初動対応者を含む教育訓練整備が必要になる。環境汚染浄化技術や特殊案件に対応できる専門家も求められる。さらに無機ヒ素曝露には潜伏期間が長い発がんリスクがあり、作業員の離職後のケアも含む長期健康管理体制の整備が必要である。無機ヒ素に詳しい産業衛生専門家が減少しており、日常的管理を担う実務者、ヒ素化合物の環境影響評価、AsB 合成技術など各種専門家の後進育成が急がれる。

⁶ 用語の説明（p. 22）参照。

目 次

1	はじめに.....	1
2	わが国の老朽・遺棄化学兵器廃棄事業でのリスク要因とその変化.....	4
3	ヒ素含有老朽・遺棄化学兵器の安全な処理と安心な処分のための技術開発と制度整備.....	6
	(1) ヒ素含有処理残渣の安全な一時保管及び最終処分手段.....	6
	(2) 無機ヒ素の無害化（アルセノベタイン化）技術研究開発.....	8
4	中国東北区の想定埋蔵 ACW の網羅的調査及び情報共有による不測の事故の未然防止.....	11
5	ACW 処理事業の長期化に備える先進探査技術とリスクコミュニケーション.....	12
	(1) 今後新たな処理対象埋蔵地等が予想される背景並びに蓋然性.....	12
	(2) ステークホルダーとの安全・安心リスクコミュニケーション.....	13
6	今後も発生が懸念される処理事案を想定したガバナンスの知識集約型改革.....	15
	(1) 即応性維持と持続可能性強化が求められる将来的状況.....	15
	(2) 省庁連携ないし機能統合による処理事業ガバナンス改革[51]～[56].....	15
7	長期持続的な環境安全並びに化学軍備管理を担う人材育成と知識・技術の継承... ..	17
	(1) 化学物質の安全に関する産業技術者の育成.....	17
	(2) ヒ素専門人材育成確保の必要性.....	18
8	まとめ.....	20
	<用語の説明>.....	21
	<参考文献>.....	25
	<参考資料1>審議経過.....	29
	<参考資料2>シンポジウム開催.....	30
	<付録>.....	31
	付録1 ヒ素化学兵器の低毒性化処理：無機ヒ素のアルセノベタインへの変換及び最終処分.....	31
	付録2 老朽・遺棄化学兵器問題に関する主要な政策決定等一覧.....	39
	付録3 ヒ素化学兵器処理由来の無機ヒ素曝露作業者に対する離職後長期健康管理体制の必要性.....	41

1 はじめに

第二次世界大戦終結後も各地に残された旧日本軍化学兵器を処理する老朽・遺棄化学兵器（OACW）廃棄事業（以下、本事業）が大きな節目を迎えている。

本事業は、日本国内で発見された旧日本軍化学兵器（以下、老朽化学兵器;OCW）に対する老朽化学兵器処理事業と、国外の専ら中国で発見される旧日本軍化学兵器（以下、遺棄化学兵器;ACW）に対する遺棄化学兵器処理事業で構成される。

前者は環境省または発見場所を管轄する官公庁の管理の下、戦後、日本国内各地で発見された OCW は断続的に処理が行われ、2000 年に福岡県荊田港⁷で発見された約 3,000 発の回収・処理を 2014 年に完了したのを最後に発見がない。環境省は昭和 48 年に当時存命だった旧日本軍関係者や地域住民に対し徹底的な調査を行い、OCW が存在する可能性のある地点、水域等を網羅的にリストアップし、今もフォローアップを続けている[1]。新たな OCW が発見される可能性は年々減少していくと考えられるが、万一発見された場合に随時回収・処理する準備が必要なことは今後も変わることはない。

一方、後者は、先の戦争中に旧日本軍が中国大陆に持ち込んだ化学兵器が終戦後も残されたままであったため、1990 年に中国政府がその解決を日本政府に要請してきたことから問題として認識された。その後、1995 年 9 月に日本が化学兵器禁止条約（CWC）を批准し、1997 年 4 月に中国が批准、同年に同条約が発効したことから、日本は中国の ACW を廃棄する同条約上の義務を負うこととなった[2]。CWC 締約国は「この条約に従い、他の締約国内に遺棄した全ての化学兵器を廃棄することを約束する」（第 1 条 3）と定めているからである。また、CWC は「締約国は、化学兵器の輸送、試料採取、貯蔵及び廃棄に当たっては、人の安全を確保し及び環境を保護することを最も優先させる」（第 4 条 10）と定めており、遺棄化学兵器処理における人的安全の確保と環境の保護もまた CWC 上の義務である。これらの条項により化学兵器の禁止に留まらず、その廃棄義務、安全確保、環境保護を明文化した点で、CWC は 1899 年のハーグ陸戦条約に始まる一連の近代的化学軍備管理の国際的努力において画期的であるといえる。

CWC は締約国の保有する全ての化学兵器の廃棄及び今後製造・配備・使用しないことを定め、化学兵器の製造に必要な原材料や特定の機械設備の製造や輸出入を規制する管理と、その査察を行う化学兵器禁止機関（OPCW）⁸を設置し、規制対象の化学剤や原材料等もリスト化した点で前例がない。ACW の遺棄国による廃棄義務も化学軍備を全廃する上で必要な条項といえる。

日中間では CWC 成立に先立ち 1991 年から政府間協議が重ねられ、1999 年 7 月に「遺棄化学兵器の処理に関する日中覚書」が署名された。そして、日本政府内では同年 4 月に総理府（現内閣府）遺棄化学兵器処理担当室が、翌年 1 月には中国外交部内に日本遺棄化学兵器問題弁公室が、それぞれ設置されて、ACW 処理事業が本格化するに至った。

この時点までに日本政府は 1991 年以降約 20 回中国各地で現地調査を行い ACW の実態把握に努めていたが、最大の懸案は当時 70 万発から 200 万発という大量の埋蔵が推定され

⁷ 用語の説明（p. 22）参照。

⁸ 用語の説明（p. 21）参照。

た吉林省ハルバ嶺埋設地における ACW 処理であった。CWC は発効から 10 年以内に締約国に廃棄義務の履行を定めて、当初期限の 2007 年までにハルバ嶺での処理を遂行する技術手段が求められた。この前例のない技術的課題と期限付の緊急性、また、CWC に基づく国際公約という性格が産官学にわたり広く関心を集めた。日本学術会議においても第 18 期にて ACW 処理が重要テーマに採択され、老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会の前身となる専門委員会が発足して活動を続け現在に至っている。これまでに発出した報告・提言を表 1 に掲げる。この間、当該小委員会は、内閣府遺棄化学兵器処理担当室（以下、内閣府 ACW 担当室）、内閣府遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議、関係省庁、処理事業関係企業等と人的な交流を重ねて学術的・専門的知見の周知と活用を促し、本事業の推進に一定の貢献をしてきたといえる。

表 1 これまでの報告、提言

題名	公表時期
遺棄化学兵器の安全な廃棄技術に向けて（対外報告）	2001 年 7 月 23 日
遺棄化学兵器の廃棄技術に対する科学的リスク評価とリスク管理を目指して（対外報告）	2002 年 11 月 26 日
老朽・遺棄化学兵器のリスク評価と安全な高度廃棄処理技術の開発（対外報告）	2005 年 3 月 23 日
老朽・遺棄化学兵器の廃棄における先端技術の活用とリスクの低減（提言）	2008 年 7 月 24 日
老朽・遺棄化学兵器の廃棄処理の実施における保安対策—中国の遺棄化学兵器処理の開始に当って—（提言）	2011 年 6 月 2 日
老朽・遺棄化学兵器廃棄の安全と環境の保全に向けて（報告）	2019 年 9 月 20 日

ただし、CWC が定める 10 年以内の廃棄義務履行は本事業のみならず米ロなど大量保有国にも厳しい条件だったため、OPCW での協議を経て再三延長され、現時点の期限は 2027 年である。また、地中や水中から回収された化学兵器は OPCW の鑑定を受け ACW と認定された時点から 10 年以内の期限が設定される取決めが設けられ、時間的制約は遵守困難とはいえない。しかし、ハルバ嶺処理工場建設等に要したコスト⁹を考慮すれば迅速な処理が望まれる。幸い現時点では 2027 年度でハルバ嶺埋設地処理を完了する計画の進捗が報告されている。日本学術会議の関与経緯からは、ハルバ嶺処理完了を ACW 処理事業に対する学術界の支援活動の一つの節目と見ることができる。

さらに、今後の中国での本事業運営が大きく変わることが見込まれる意味でも一つの節目といえる。ハルバ嶺での処理完了後、中国東北区を中心に高機動型処理施設によるオンサイト処理が見込まれている。同処理施設は既に稼働実績もあり、ハルバ嶺処理場の経験

⁹ 本事業の 2025 年度予算執行額は 581 億円、1999 年の事業開始以降 2025 年度末までの累計は約 5,866 億円である。
[46]

等の横展開もあり、運営上の不安は小さい。しかし、中国には未発掘・未発見の埋設地が相当数散在すると見込まれており、今後何年かけて何発を処理する必要があるのか全く見通せない状況がある。こうした不透明な先行きに対応する運営の在り方につき、日本学術会議には処理技術、オペレーション管理、事業経営、ステークホルダーガバナンス等の多面的な解析や評価が蓄積されており活用が望まれる。これは、日本国憲法前文が掲げる国際協調を通じた平和主義の実践に他ならないと考えられる。

他方、世界に目を転じると、CWC 成立時に大きな課題だった米ロが冷戦下で備蓄した大量の化学兵器（以下、ストックパイル）¹⁰の廃棄はほぼ完了した。化学兵器はCWC 未加盟のイスラエルや北朝鮮など個別事情がある極少数の国に残るのみとなり、CWC 成立当初の目的に照らしても一つの節目が来たと言うことができる。

以上のように、ハルバ嶺 ACW 処理の完了は、複数の文脈において、象徴的な節目として位置づけることができる。

しかし、CWC による化学兵器禁止体制に対する、今日的な脅威の顕在化が指摘できる。権威主義体制下のテロ支援国家がCWC を潜脱し化学軍備を整える懸念は今後もある。非国家組織により化学兵器が密造され非正規戦争やテロ活動に使用される可能性は、オウム真理教地下鉄サリン事件(1995)に照らして否定できない。これらの脅威を抑止するため化学兵器製造にも民生用にも有用な軍民両用性化学物質（DUC）¹¹規制の強化徹底が新たな課題になっている。また、DUC の中には現代的な戦用化学剤としては不十分だがテロ目的には利用可能な有毒物質も含まれ問題を複雑化している。さらに、2022 年に始まったウクライナ戦争では度々ロシア軍の化学兵器使用が報じられ、2024 年及び2025 年に OPCW はウクライナからの要請に基づき3回にわたりこれを検証し[3][4][5]、米国務省はその使用を報告している[6]。使用されたのは致死性の低い暴動鎮圧ガスとされるが、CWC は警察用化学剤も戦時使用を禁止しており、CWC 加盟主要国の一つが公然と違反を繰り返す事態は深刻である。これからのCWC 体制の在り方に日本としてどう寄与するのかも、この節目の時期に考えておく意義があると考えられる。

本報告は、日本の国際的責任と貢献を果たすため、CWC に基づく ACW 処理事業を引き続き事故無く円滑に推進できるよう、従来最優先で取り組まれたハルバ嶺埋設地 ACW 処理の終結に目途が付き、広域の処理事業を新型機材や方法で長期にわたり実施する展望が見えて来た現段階の視点で、新たに優先的に取り組むべき様々な課題について、関係省庁、現在と将来の受託企業関係者、必要な能力を有する科学者／技術者及び同コミュニティと情報を共有して課題解決に向けた議論を喚起し、共通認識を形成することを目指している。

¹⁰ 用語の説明（p. 23）参照。

¹¹ 用語の説明（p. 23）参照。

2 わが国の老朽・遺棄化学兵器廃棄事業でのリスク要因とその変化

中国における遺棄化学兵器の処理は、内閣府 ACW 担当室が主体となった国の事業として、2027 年のハルバ嶺の処理完了期限に向けて本格的な操業が進行している。旧日本軍の主要な化学兵器はヒ素を含む特徴があり、びらん剤製造所の従業員の中毒は著しかったと記録されている[4]。炸薬にピクリン酸を使用していることも特徴で、打撃等の機械的刺激に対して敏感に反応する。言うまでもなく、化学兵器の処理においても安全を第一に考えなければならない。作業は発掘回収においても、廃棄処理においても、日本側が主体となって進められるが、周辺の作業や補助的な作業は中国側が行っている。双方の作業員の安全を確保することが第一であるが、周辺の住民の安全への配慮も当然必要となる。

地球規模の環境破壊や回復が検討課題だった第 18 期日本学術会議にて OPCW での議論を紹介した結果、地雷処理と共に遺棄化学兵器処理を重要テーマに採択することとなり、「荒廃した生活環境の先端技術による回復」研究連絡委員会の中に「遺棄化学兵器の安全な廃棄技術の研究促進」小委員会を設け活動を開始した。その後、幾度かの改組を経て活動を続けている。その目的は、化学兵器の廃棄処理が安全にかつ順調に進捗するよう、科学的な第三者として意見表明などを通じて支援することであると考えられる。こうした立場で委員会（前身の研究会を含む）は提言・報告 6 件、予稿集その他 15 件以上の意見表明[8]–[28]を行ってきた。そのために当該小委員会は、リスク因子の収集と把握、技術的解決策の探索と絞り込み、周辺課題の洗い出しと補完的技術の整理を行った。その過程で、産業技術や行政・外交などからくる実務的かつ多面的な課題や制約を踏まえつつ、諸科学分野横断的に発散と収束を繰り返すモード 2 [29]型の知的活動を、複数の主要因子毎に随時並行的に繰り返して、より洗練された成果を導いてきた。

それら主要因子毎の当該小委員会の活動動向をまとめると、最初は化学兵器問題の情報収集から始まり、各種の処理技術の比較検討、環境衛生や医療体制の確保、事業運営の問題などを経て、近年はハルバ嶺処理場の操業進展を背景に、ヒ素を含む廃棄物の処理・処分、ヒ素曝露に関する労働衛生・医療体制、化学兵器処理と環境問題などのリスク因子に関し議論してきた。さらに、近い将来顕在化する可能性のある新たなリスク因子の探索や評価の議論が行われている。

そうした議論の成果を踏まえて化学兵器の発掘回収における主な安全上の配慮事項をまとめると以下のとおりである。

- 1) 不測の爆発や化学剤漏洩の防止
- 2) 腐食などによる容器の破損対策
- 3) 松花江、広州など透明度の低い水中での作業の安全対策

また、廃棄処理において特に配慮すべき事項は以下のとおりである。

- 1) 腐食した砲弾、容器の取扱い
- 2) 加熱爆破において爆破できない砲弾の取扱い
- 3) 制御爆破における火薬の性能評価
- 4) 排気の除塵、除染
- 5) 終了期限を意識した長時間の運転、多数の装置の並列運転による複雑性

本事業予算は高水準で推移しており、無駄なく効率的な推進が重要である。そのためにも、安全と環境汚染の防止策に留意する必要がある。また、事業の範囲が地理的に拡大した故、処理事業システム全体を眺めた適切な管理運営も重要である。さらに、期限どおりハルバ嶺での処理が終了しても、各地に散在する遺棄化学兵器が残されており、加えてその後も発見される可能性は無視できない。この終結点が見えない発掘回収と処理をどのような形で完遂するのか、国際的な交渉をしつつ解決に導かなければならない。管理運営上の長期的な展望が望まれる。

3 ヒ素含有老朽・遺棄化学兵器の安全な処理と安心な処分のための技術開発と制度整備

(1) ヒ素含有処理残渣の安全な一時保管及び最終処分手段

発掘・回収される OACW 化学剤の大半を占める「あか剤」及び「きい二号剤」は原料にヒ素を使用している。これらはいかなる処理を行った後も残渣にヒ素が含有される。ヒ素は毒性が強いため、処理時のみならず、残渣の最終処分と、それに至る間の一時保管時のリスク管理を徹底しなければならない。ヒ素を含まない他の化学剤については、経年劣化により毒性が低減や消失することが期待できる。また、OACW 構成部材に含まれる可能性がある鉛などの有害金属は通常弾薬と同様の処理が可能であり、技術的課題の問題は小さい。以上を踏まえ、本章では特に問題となるヒ素に焦点を当てる。

① 遺棄化学兵器処理に伴う土壌ヒ素汚染と同含有残渣

本事業の前提として、戦後の混乱時に発生した旧日本軍の OACW を廃棄する事業であり、旧日本軍の通常弾や連合国の弾薬類は対象ではない。

このため、回収・処理開始時には事前確認の必要性があり、ハルバ嶺埋設地でも、その他中国各地の事案でも、日中共同で専門家による試掘と鑑定を行っている。さらに、事業開始後も、発掘された弾薬類は個別に旧日本軍弾薬類か否か、通常弾か化学弾か、化学弾であれば化学剤の種類について、確認・特定が行われている。これらの鑑定には、必要に応じ X 線透視装置なども用いて鑑定している。

こうした慎重な姿勢は、発掘・回収が終了した埋蔵地跡周辺土壌に残る可能性がある汚染対策についても、堅持すべきと考えられる。さらに、埋蔵弾薬類の回収時に、化学剤による発掘坑周辺の土壌汚染が認められた場合、ACW の長期劣化によるものか、回収時の要因によるものかの見極めも望まれる。後者の場合、作業の中断と実施方法の改良・変更等の対策実施が求められる。土壌汚染未然防止だけでなく、安全な発掘環境保全のためにも必要である。

ハルバ嶺での処理が完了して今後各地の多様な ACW 処理に取り組む際に、高機動型移動式処理設備に限らず、新たな処理設備や発掘・回収機材／方法などのイノベーションを図る際には、それに伴い生起するヒ素関連リスクを確認の上、導入すべきこととは言うまでもない。

② 残留物の処分方法：ヒ素汚染廃棄物と土壌の処理例

OACW 処理事業に伴う残留物の処分方法について主要な事例を掲げる。

OACW 処理の例では異なる処分方法の実績として以下の 2 件に留意すべきである。

ア 屈斜路湖事案[30]¹²

屈斜路湖事案では、発生した処理残渣は、管理型処分場である苫小牧隔離処分場（当時）で永久埋設処分した。湖底から回収したため汚染土壌はない。

¹² 用語の説明（p. 23）参照。

イ 荊田港事案[31]

製鉄産業に属する既存のヒ素処理可能施設を利用して高温溶融によるスラグ化などの処理を行い、工業系のヒ素廃棄物と同様の処分を行った。海底から回収したため汚染土壌はない。

ACW 処理の例では以下の 2 件が注目される。

ウ 移動式制御爆破設備[32]

ハルビンで実施中の処理場に移動式制御爆破設備が設置されている。これらの廃棄物は、ハルバ嶺処理の廃棄物などとまとめて処分するため隔離保管してある。なお、これらで処理される ACW は ACW 事業開始前から中国側が回収し保管してあったもののため、回収・保管地の汚染土壌は中国側が処理しており、本報告の対象外となる。

エ 高機動型移動式処理設備[33]

新設計の高機動型移動式処理設備は発見・回収された場所に移動して処理することを基本として運用開始された。廃棄物は当面ウの事案と同様に保管するのが良いと考えられる。土壌汚染の有無や対策などは埋蔵・発掘地の環境や状態が多様なため、個別に対応しなければならない。

③第三国における残留ヒ素最終処分案と不確実性

中国 ACW 事業で発生したヒ素残留残渣を第三国、具体的にはドイツの民間処分場で最終処分する案があり、内閣府 ACW 担当室が一定の検討を行った経緯がある。

ア 第三国処分案に係る不確実性

第三国処分には受入側に起因する不確実性の問題がある。検討対象となったのは将来の資源回収を目的に、リサイクル技術確立までの間、産業廃棄物を、岩塩坑跡を利用した地底処分場で安全に保管することを主目的とする民間企業の施設である。通常は各種工場など顧客から貨車で大量に産業廃棄物を受け入れているため、ACW 事業で生ずる廃棄物は極めて量的に小さい。このため、受入量と単価に係る経済的諸条件の適正な調整が難しかった。また、処分場周辺地域で日本が中国で処理した廃棄物を、何故ドイツで処分するのかという反対気運が政治問題化する可能性も懸念され進展していない。内閣府 ACW 担当室は、あくまでオプションの一つとの立場を表明している[34]。

イ 第三国処分案を踏まえた代替案の検討

第三国処分案の経験を踏まえた代替案として、ヒ素含有物質の日本国内持ち帰り・

処分を検討すべきではないかと考えられる。ドイツと同様に OECD 加盟国であり、かつ CWC 締約国である日本には、OCW 事案において国内処分を行った前例（3 (1)②参照）が存在する。この経験を踏まえると、中国におけるわが国の ACW 事業に対して、同様の国内処分技術を応用できないと考える理由は乏しい。

課題となるのは受入体制の整備であり、日本国内事例に鑑み地域住民とのコンセンサスの存在を前提とした地方自治体レベルのコミットメントが不可欠である。そのために、日本由来の廃棄物としての受入シナリオを作成し、同時に公になった際に想定される地域住民の反発や不安、並びに、ネット社会を含むメディア世論への対応策を、予め十分準備しておくべきである。（5 (2)参照）

考え得る方式2例を掲げる。これらはいくまで現時点の案であり、十分な研究に基づき詳細案を作成し、然るべき手順を踏んで意思決定と実現を図らなければならない検討課題である。

（ア）埋立処分案

国内の管理型処分場で永久埋設処分する案である。処分場選定に際しては、関係法規制だけでなく、適切な処分場施設や地元コンセンサスの基盤の有無、中国からの搬入に適した国際的港湾の利用可否、並びに、廃棄物の国内陸上輸送の便などを慎重に考慮する必要がある。

（イ）既存処理可能施設での処理案

既存の国内製鉄所高炉を利用して熔融し、他の製鉄スラグと同じく産業廃棄物として安全に処分する案である。これは荻田港事案の廃棄物処分と同様である（3 (1)②イ）。金属産業ではヒ素を含む製鋼・精鉱残渣の大量処理が日常的に行われており、そのプロセスを利用するものである。現にそうした処理を操業している施設類は、所定の環境アセスメントや安全対策を行い、許認可を受けた民間事業所であり、地域と共存共栄し一定の信頼関係を築いていることが期待できる。ACW 廃棄物を日本国内へ移入し、産業廃棄物と同等に扱うことは国内法規制上、想定外と考えられるため、本案を実現するには関係省庁・自治体と連携した法的対応が必要と考えられるので、十分な検討を要する。

（2）無機ヒ素の無害化（アルセノベタイン化）技術研究開発

本事業で旧日本軍のOACWを処理して生ずる残渣に含まれる有毒な無機ヒ素を無害化する技術について一定の概念実証（PoC ; Proof of Concept）が得られている（付録1参照）。実用化に向け研究開発を推進することが望ましい。

① 無機ヒ素低毒性化の意義

WHO は自然環境（地下水中の無機ヒ素）由来の無機ヒ素曝露による慢性ヒ素中毒について[35]、患者及びハイリスク者は約 9,000 万人にのぼると指摘、特に、アジアでの

被害が甚大であり[36]、健康障害として発がん（皮膚がん、肺がん、肝がん、膀胱がん）が懸念されている[37]。本報告における「無機ヒ素の低毒性化」とは、無機ヒ素が有する極めて高い毒性を著しく低減させることにより、人の健康障害の予防及び根絶を図るものである。なお、ここでは、無機ヒ素を低毒性化させて生じる化合物としてアルセノベタイン（AsB）を想定している。

② AsB の生合成及び毒性・代謝・排泄

海水中に微量存在する無機ヒ素は、植物性プランクトンにより AsB へと生合成され、その後、食物連鎖を通じて人の体内へと取り込まれる。しかしながら、人及び哺乳類においては、AsB を生合成する機序は備わっていない。AsB の毒性については、急性・慢性ヒ素中毒の主要原因となる無機ヒ素（マウス経口投与の半数致死量の値、0.03 g/kg）と比較して、その半数致死量の値（マウス経口投与、10 g/kg）は著しく高く、低毒性であることが確認されている。さらに、AsB は体内でほとんど代謝を受けず、迅速に尿中へ排泄され、体内への蓄積性は低いと考えられてきた[38]。

③ AsB の人工合成技術

AsB は、グリニャール反応を利用した化学合成が可能であるものの、その合成には高い危険性及びコストが伴うため、現状グリニャール反応は主に研究用として限定的に利用されている。一方、日本の研究者により、海洋生物における AsB の生合成過程を模倣する技術開発が報告されているが[39][40][46]、変換効率の面では依然として課題が残されている。これらの課題解決を目指し、バイオミメティックシステム、バイオインスパイアード触媒システム、酸化チタン光触媒システムを用いた新たな合成法が確立されたものの、触媒効率のさらなる向上を含めた技術改良が急務である[42]。

④ AsB に係る法制度と技術の実用化及び社会実装に向けた課題

現行の国内法制上、AsB はヒ素化合物として、毒物及び劇物取締法の規制対象に位置づけられる。また、土壤汚染対策法においても「砒素及びその化合物」として、第二種特定有害物質（重金属等）と分類されており[43]、状況に応じて必要な措置を講じることになっている。したがって、当該技術の実用化及び広範な社会実装を推進するためには、まずは各法制度においての AsB の物性や無害性などの確認と、制度で定める物質の範囲についての検討を促す必要がある。

⑤ 遺棄ヒ素化学兵器処理物の AsB 変換及び長期保管の展望

日本国内で発掘された遺棄ヒ素化学兵器の制御爆破処理により生成された金属ヒ素と無機ヒ素の混合物について、既に AsB への変換が実現されている。一方、中国における遺棄ヒ素化学兵器処理事業に起因する無機ヒ素含有廃棄物については、その量が限定的であることから、現行または改良された技術により AsB 変換が可能になると予測できるので、今後の実証を含めた検討が望まれる。また、処理物の量が少ないため、

事業としての継続性に疑問が呈され、商業化が進展しにくい現状にある。このため、社会公募型の短期事業として推進することが相応しいと考えられる。

遺棄ヒ素化学兵器処理から発生する無機ヒ素を AsB に変換した後、これを一般環境下で長期間にわたり安全に保管するためには、AsB の安定な特性を活かし、強化ガラスとステンレス製キャニスター内に保存する方法が有効であると考えられる。この保存方法により、長期にわたって安全な状態を維持できる可能性が推測される。この保存方法を検討するべく、パイロットプラントでの実証試験等で長期安定性を確認することも必要と考えられる。

本技術に関する基礎研究及び実証研究の充実は、処理事業の飛躍的発展並びに環境保全の観点から、極めて重要な意義を有するものである。

4 中国東北区の想定埋蔵 ACW の網羅的調査及び情報共有による不測の事故の未然防止

日本国内になお未処理の OCW が埋蔵されている可能性は否定できない。ただし、環境省は「旧軍毒ガス弾等の全国調査」（昭和 48 年）と同「フォローアップ調査」（平成 15 年）を行い、国内で OCW の埋蔵等が想定される地点等を広く調査分析して公表している[44]。それらは本件に関して利用可能な最も網羅的情報であり、今後の国内での土地利用の計画や許認可等へ反映することで、不測の事故の未然防止を図ることができる。

中国の ACW も未発掘・未発見の埋蔵地等が残存することが想定される。日本の環境省同様に中国当局もそうした埋蔵地等の情報収集に努めていると考えられるが、遺棄が発生した約 80 年前の状況を勘案すれば、チチハル事件（2003）¹³の原因となった類の埋設地を完全に把握することは難しい。

また、ACW が残る可能性が特に高い中国東北区（遼寧省・吉林省・黒竜江省）での、経済発展に伴う土地開発が、新たな埋蔵地発見の契機となることが懸念される。中国政府は 2003 年以降、東北振興戦略を通じ中国東北区経済の再活性化を目指し、新たな開発機運が生まれているが、土地に余裕がある中国では、新規開発に際し、既存施設や街区のスクラップ&ビルドよりも、新たに用地を造成する傾向が見られる。このことは、従来未利用の山林・原野へ開発が進む要因になる。未発見 ACW 埋蔵地も、こうした場所に多いと予想される。

チチハル事件（2003）に代表される不測の ACW 事故を未然に防ぎ、安全な廃棄処理を推進するためには、想定埋蔵地に対する体系的な対応が不可欠である。日本においては、環境省「旧軍毒ガス弾等の全国調査」を通じた想定埋蔵地の網羅的把握とリスク評価の成果を、事故防止及び適切な処理体制に役立てている。これを踏まえ、特に未発見埋蔵地の存在が想定される地域における、同様の考え方に基づく調査及び評価の実施が有効と考えられる。

¹³ 用語の説明（p. 24）参照。

5 ACW 処理事業の長期化に備える先進探査技術とリスクコミュニケーション

(1) 今後新たな処理対象埋蔵地等が予想される背景並びに蓋然性

日中戦争が 1945 年に終結した後、中国では内戦が勃発して共産党が勝利し現在の中華人民共和国政府が 1949 年に誕生した。ACW がその後多く発見され、かなりの数が中国軍により吉林省敦化市の丘陵地帯ハルバ嶺に、2 つの地点（1 号坑、2 号坑）に分けて地中 3～7m の深さに埋設された。1990 年に中国政府から日本政府に対して、(各地に存在するものも含めて) ACW の処理が依頼され、1999 年に日中間において廃棄処理に関する覚書が締結された。この覚書により ACW の処理を日本が担当することになっている。なお、化学兵器禁止機関(OPCW)においてもこの話題が科学諮問委員会で討議された。

実際の処理方法は、中国から外交ルートを通じて ACW の存在が日本側に連絡され、それに基づいて発掘回収・廃棄処理を日本が行い、これに中国側が協力して処理が行われている。ハルバ嶺に埋設されたものに対しては、同地内に処理工場が建設され、2014 年から廃棄処理を開始している。

ハルバ嶺にどの程度の数の ACW が埋設されたかについてはデータがなく、当初は 30 万発以上の ACW が存在すると考えられていたが、調査が進むにつれてその数が減少し現在は 10 数万発程度とされている。処理には神戸製鋼（株）製の爆破処理装置が用いられたが、その後大規模処理の可能な川崎重工業（株）製の大型加熱爆破処理装置が追加された。いずれの装置にも両社から技師、運転員が運転操作、装置の維持管理に参加している。2025 年度末までに 99,768 発を処理した[45]。順調に進めば 2027 年度末には処理が終了する見込みである。

ハルバ嶺の他にも中国各地（東北部のみならず、西は内蒙古、南は広西壮族自治区南寧まで）に ACW が存在し、発見の都度中国から廃棄処理の要請が日本に対して行われている。最初の発掘回収は黒竜江省北安で 2000 年に行われ、これらを保管庫に収容して移動式処理装置（爆破）にて廃棄処理を行って来た。最近では高機動型移動処理装置（加熱爆破）により大量に処理を進めている。2025 年度末現在、南京、石家荘、武漢、ハルバ嶺など中国各地で計 183,241 発の ACW が回収され、そのうち 149,378 発が処理された[46]。この数値から、ACW がいかに多く、また広範な地域に存在しているかが理解される（図 1）。

以上のような ACW 発掘・回収・処理の成果にも関わらず、問題は、今後も新たな ACW が発見され続ける可能性を否定できない点にある。これらの存在を正確に早く把握しない限り処理事業全体の将来計画が作成できず、事業終了の目途が立たない。これらの ACW は都市部（建設工事等で発見される）の他にも河川、海中、山中に存在していると考えられる。全容の把握には、空中からのリモートセンシング、あるいは低空でのドローン利用により、砲弾類の存在を探索できることが望まれる。地雷探索においては地中レーダー(GPR)の他に、X 線や中性子線を利用した高感度センサーによる金属探知も研究されている[47]。こうした先進技術を ACW 探索に適用し、中国側とも協議したうえで、埋設された ACW 探索の効率化を図ることが望ましいと考えられる。

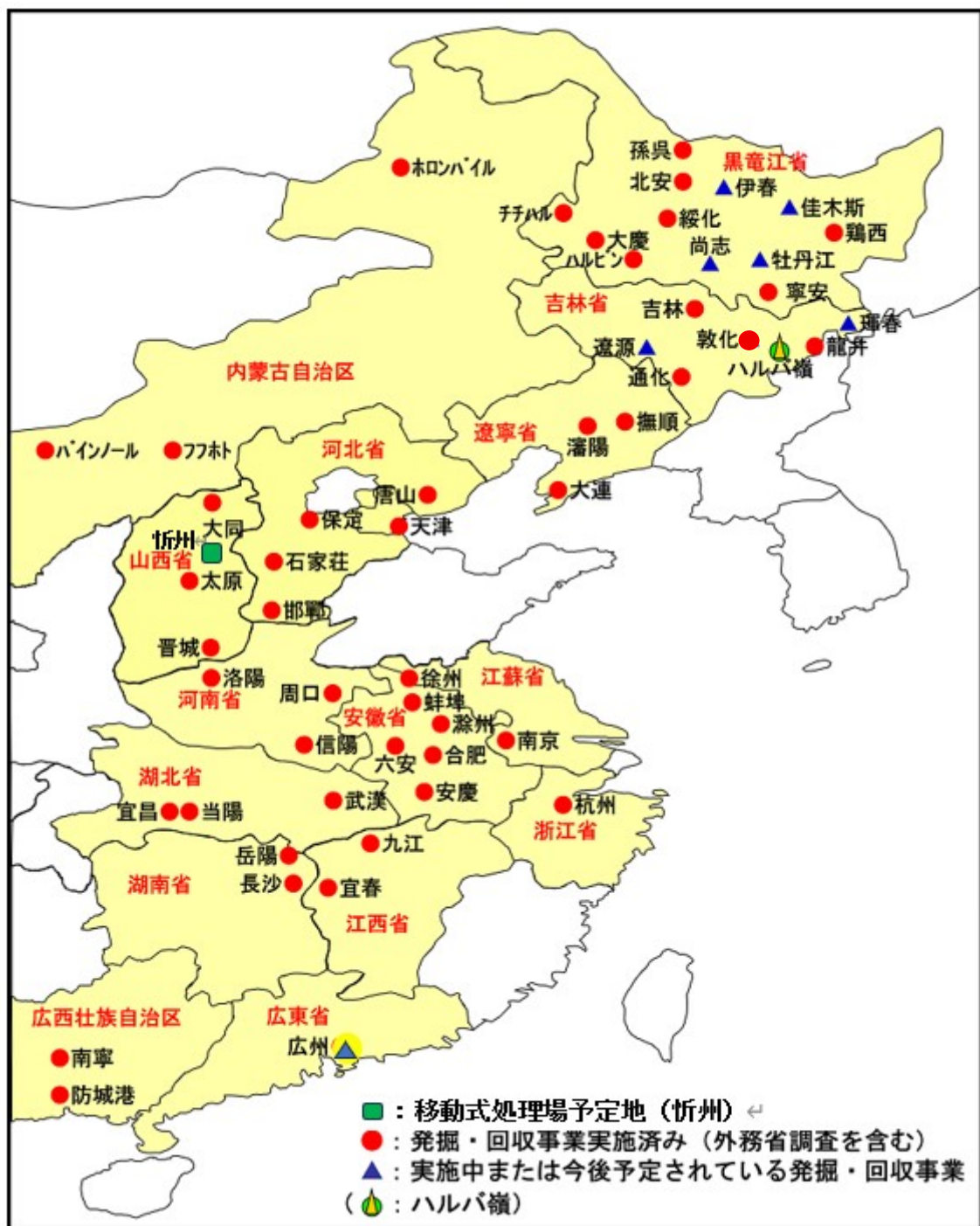


図1 中国遺棄化学兵器回収場所
出典：内閣府 ACW 担当室（2026）に加筆修正

(2) ステークホルダーとの安全・安心リスクコミュニケーション

「リスクコミュニケーション」の概念を OECD は「リスクについての、個人、機関、集団間での情報や意見のやりとりの相互作用的過程」と定義した[48]。つまり、単なる情報提供では不十分であり、相互理解と信頼構築を目的とした対話が求められる。様々なリスクが存在する OACW 処理事業も例外ではない。また、プロジェクトマネジメント (PM) の世界標準 PMBOK/PMI では、ステークホルダーは、当該プロジェクトの決定、活動、成

果に影響を与えるか、影響を受ける個人、グループ、組織を指す[49]。OACW 事故のリスクがある地元住民や産業、各級自治体、日中両国関係部署、事業関係企業と株主・取引先、その従業員・家族など、また、両国の納税者と有権者、メディア、NGO など、さらには OPCW や CWC 加盟諸国などもこれに該当する。これら多様なステークホルダーは、それぞれ異なる価値観や関心、知識レベルを持つため、リスクに関する情報を一方向的に伝えるだけでは、誤解や不信感を生みかねない。本事業にとって日本学術会議も一つのステークホルダーであり、本意思の表出自体が内閣府 ACW 担当室等の情報発信に応えたアカデミアとの双方向コミュニケーションといえる。

信頼はリスクコミュニケーションの核心である。どれだけ正確な情報を提供しても、送り手側が信頼されなければ、その情報は受け入れられず、むしろ不安を増幅させる可能性がある。したがって、平時からの関係構築、すなわちステークホルダーとの継続的な対話や情報公開、透明性の確保が極めて重要である。また、深刻な事故等が発生した緊急時は、迅速かつ正確な情報提供が重要になる。ただし、情報の発信だけでは不十分であり、ステークホルダーが意思決定の理由や、関係者としての役割などを理解し、納得できる信頼感の醸成が不可欠である。こうした緊急時の対応を特にクライシスコミュニケーションと呼び、平時のリスクコミュニケーションと区分する立場[50]もある。しかし、緊急時のクライシスコミュニケーションは発生頻度こそ低いものの、平時から重要な検討対象とするべきであり、安全・安心に資する広義のリスクコミュニケーションの一環として位置付けて取り組むことが適切であると考えられる。

なお、リスクコミュニケーションには文化的背景や言語の違いも影響する。日中共同の ACW 事業では勿論、OPCW など国際社会での発信に際しても、ステークホルダーの様々な価値観や慣習を尊重した表現や手法が求められる。

そして、特定領域の研究者や企業の専門家など、高度専門家が強い関心を寄せる分野であることから、関係学会や学術誌、国際会議や各種イベントを通じて、科学的に高度な内容を継続的に発信して、アカデミア及び公衆の理解と評価を高めておくことが重要である。こうした平時からの取組は事業の円滑化に資するだけでなく、万一問題が発生した際にも善後策の推進に有益である。日本学術会議も、この領域において貢献し得る存在である。

6 今後も発生が懸念される処理事案を想定したガバナンスの知識集約型改革

(1) 即応性維持と持続可能性強化が求められる将来的状況

ハルバ嶺事業終了以降も、既に特定されている埋設場所での作業が継続されることになる見込みであり、さらに新たな埋設場所の発見に備えた円滑かつ安全な対応が求められる。このため、平時からの情報の整理と、発見時の迅速な対応に資する体制の在り方について、関係機関間での検討が重要となる。

日本では、環境省が「旧軍毒ガス弾等の全国調査」(昭和48年)と同「フォローアップ調査」(平成15年)を行い、日本国内でOCWの埋蔵等が想定される地点等を広く調査分析して公表し、これらを国内での土地利用の計画や許認可等へ反映することで、OCWによる事故を極小化することができてきた(4参照)。日本学術会議は、こうした知見を踏まえ、想定埋蔵地への対応に関する考え方や手法について学術的に整理し、関係機関等における検討及び情報共有に資する形で提示していくことができると考えられる。また、新たな事案発生時の対応手順や即応体制の在り方についても、関連する知見の集約と共有を進めることが重要である。そして、この課題は事業の継続性に関わる重要事項であることから、関係機関間の適切な連携の下で、着実に検討を進めていくことが望まれる。

このことを踏まえると、特に未発見ACW埋蔵地が想定される中国東北区を対象に、環境省「旧軍毒ガス弾等の全国調査」と同様の網羅的な想定埋蔵地調査と評価を実施し、その成果を日中両国の廃棄事業関係部局で共有することが望まれる。さらに、新たな埋設場所が発見された場合に備え、対応手順や即応体制を平時から整備しておくことが重要である。両国歴史学者、地域研究者が協力したオープンデータ・デジタルマッピングを行い、オンラインで共有するプロジェクトの形で進めることが有用である。

なお、今後上記のような協力を中国側と円滑に推進していくためには、本件を日中の外交関連活動の重要な案件として位置づけて実施していくことが重要であり、内閣府ACW担当室の体制も、そのことを踏まえて整備していくことが必要と考えられる。

(2) 省庁連携ないし機能統合による処理事業ガバナンス改革[51]–[56]

日本国内の毒ガス弾等に関する対応については、「被害の未然防止」という視点から、当該地域の地方自治体と密接に連携しながら、事前の調査、対象物の安全な処理のみならず、処理を行った後の対象地区の地下水の質に関する調査等も実施している。調査の結果、健康被害の可能性が少ない地区については、その旨公表し、地下水の利用を許容する一方、健康被害の可能性のある地区については、継続的にモニタリングを実施し、飲料水としての利用の可否に関する情報を提供している。

毒ガス弾等のように健康被害を与える可能性の高い化学物質を対象とする回収・処理事業であるため、政府は個々の事案の対応にあたって、「国内における毒ガス弾等に関する今後の対応方針について」(2003年12月16日閣議決定)を踏まえて、「毒ガス弾等による被害の未然防止を図る」ための措置を着実に実施し、当該周辺地域の住民の懸念の

解消に努めてきている。その結果、既に解決したといえる案件（寒川事案[57][58]¹⁴、習志野事案など）も出ている。

これらの対応については、環境省の毒ガス情報センターが事務局となり 2004 年度以降継続的に開催されている「国内における毒ガス弾等に関する総合調査検討会」で、審議、フォローされており、関連資料も公開されている。

ACW 処理事業も同じく旧日本軍の化学兵器の処理を対象にしているが、対象物が中国に存在していることもあり、「化学兵器禁止条約に基づきわが国が有する義務を適正に履行し、日中関係の増進にも資する」ことを目的として事業を推進している。発掘、回収事案の対象場所が中国全土に点在していることと、大量の化学兵器の存在が確認されているハルバ嶺の発掘、回収、処理設備の整備に時間がかかったことなどもあり、これまでの事業は、条約上の義務に直結する ACW の発掘、回収、処理が主体となっていた。

しかし、事業開始から 20 年以上の年月が経ち、ハルバ嶺の発掘、回収、処理設備に加え、高機動型処理設備も稼働する状況になってきており、個別の事案それぞれの解決を見据えた検討が必要となってきた。個別の事案の解決のためには、わが国が国内における毒ガス弾等の問題対応で行ってきたとおり、対象地域の自治体との密接な連携を通じた住民とのコミュニケーションが不可欠である。中国での事業であるので、自治体、住民との連携・コミュニケーションは中国側が中心となっていくことになるが、わが国が国内における毒ガス弾等の問題解決で蓄積してきた経験、情報の提供は、中国での個別事案の解決に大きく貢献し得るものであり、日中関係の増進にも資することになる。また、ACW 処理事業全体の効果的・効率的推進にも寄与するものと考えられる。

上記のような貢献を実施するためには、これまで別々に推進されてきた ACW 処理事業と日本国内における毒ガス弾等の問題対応事業の連携関係を密なものにする必要がある。幸いなことに ACW 処理事業に関する連絡調整会議には、毒ガス情報センターが所属する組織の長である環境省総合環境政策局環境保健部長が既にメンバーとして参加している。両事業の密接な連携関係実現を通して、日中双方にとってより有益な形で ACW 処理事業が推進されることが期待される。

¹⁴ 用語の説明（p. 23）参照。

7 長期持続的な環境安全並びに化学軍備管理を担う人材育成と知識・技術の継承

環境安全と化学軍縮を担う長期的な視点から見ると、産業由来、並びに、戦争に用いられる化学物質には、戦用化学物質（Warfare Chemical Agent 以下 WCA）と一般産業における軍民両用性化学物質（Dual Use Chemicals 以下 DUC）が含まれる。このため、化学物質の環境安全並びに化学軍備管理を担う産業実務者、化学研究者の確保に関し以下の問題があると考えられる。

(1) 化学物質の安全に関する産業技術者の育成

① 事業規模の縮小と高齢化に伴う人材不足対策

OACW に関わる企業では、人材の高齢化と技術後継者の不足が否めない。これまで事業を担ってきたベテランが高齢化する一方で、事業規模が縮小していくという認識から後継者の確保が進まず、技術継承の停滞が懸念されている。

OACW に関わる日本企業は、当初より、日本国内の原子力分野における安全性に関するノウハウをベースに、化学兵器を扱う上での特殊な技術（検知法、防護法、汚染管理法、除染法等）を英国国防省の研究所（Dstl）にて修得し、屈斜路湖事案等の現場でも指導監督を受けて経験を積んだ。化学剤の大気放出基準に関してはアメリカの基準を採用し、その基準の判定に用いるモニタリングシステムも採用するなどした。

当初日本国内の廃棄作業は防衛庁陸上自衛隊員（当時）と民間廃棄業者が行い、民間業者は社内に特別なチームや組織を設けて業務に当たった。将来の ACW や OCW 関係事業拡大を見込んでのことである。しかし、現在 OCW 案件はほぼ出尽くし、また、ACW 関係もマーケットの縮小を踏まえ、企業側も優秀な人材の配置転換や受け皿組織の解体を実施するなどして縮小傾向にある。自衛隊 OB も経験を生かして民間企業従業員として ACW 業務に従事しているが、後継者育成が主目的ではないように見受けられる。

一方、2000 年頃から OACW 事業に従事してきた経験豊富な人材も高齢化が進んでいる。現在、業務に従事している作業員も、将来を見据えて技術を習得し、今後の事業を担おうとする層は必ずしも十分ではない。したがって、優秀な後継者を確保するための動機付けをいかに行うかが重要な課題となる。

技術者の世代交代に伴う経験不足を補うためには、過去の OACW 処理事業における技術やオペレーション全般の記録を、アクセス可能な形で一元的に保存することが有用である。例えば、陸上で発見・回収された ACW に対して同様の処理を行う場合、ハルバ嶺での汚染残土処理には、寒川事案での大量汚染土壌の処理実績が参考となり得る [59]。

② DUC 問題

OPCW や CWD¹⁵で注目が高まっている DUC は、市民生活に不可欠なものを作るのに必要な化学物質であると同時にそれ自身にも毒性や爆発性があるものを言う。シアン化水

¹⁵ 用語の説明(p. 21) 参照。

素（青酸ガス）はナイロン、プラスチック製造の中間体で猛毒であり、神経剤タブンの原料でもある。これらがテロリストに狙われて使用されれば、環境汚染を引き起こすおそれがある。なお、近年のウクライナ戦争では、ロシアのミサイルが、意図の有無は不明ながら DUC 工場に着弾し、有毒ガスが飛散して周辺の住民が被災した事例が報告されている。

これらの事態を未然に防止し、また発生時に適切に対応するための能力が、今後、産業界において化学物質の管理や安全に携わる専門家に求められる。OACW 事業関連施設も DUC 施設と同様の性格を持つリスクがあると考えられ、OACW 事業の安全確保に関わる人材にも、DUC に関する専門能力は不可欠である。DUC 関連の人材育成自体が新たな課題だが、DUC の安全対策は、場所、種類、周辺状況により予防手段、善後措置が異なる。現場で初期対応を担うファーストレスポnderを含む関係者間の時宜を得た情報共有が重要になると考えられ、そうした視点を踏まえた教育・訓練方法の開発と実装を推進することが望まれる。

③ 従来技術の伝承・修得と化学物質の環境安全に対する重要性の認識

安全な ACW 処理従来技術の教育と人材確保は、ハルバ嶺ほか既に開始されている中国関係案件のために喫緊の課題である。

④ 今後想定される ACW の特殊案件のための人材確保

既に存在が知られており今後の処理を想定した準備が行われている中国吉林省遼源市の ACW 埋設地案件は世界的にも類例がない事案である[60][61][62]。

大量に遺棄されていた旧日本軍の液体きい剤を処理するため、CWC 発効以前に中国側が石灰を投入したが中和し切れていない特殊な混合物の処理が課題である。この物体は、盛土の下に埋設されたコンクリート貯液槽内に収納されており、住民の悪臭クレーム対策として全体を覆い被した状態にある。

⑤ 作業員（特に無機ヒ素曝露）の健康フォローアップ体制の確保

化学兵器処理に伴う作業員曝露、特に無機ヒ素曝露のあった作業員については、離職後を含めた長期的フォローアップが不可欠である。無機ヒ素による発がんは、一般的に曝露から発症までの潜伏期間が 30 年以上と極めて長いことが特徴である。そのため、作業期間中の健康診断のみでは健康影響を適切に把握することは困難である。しかし、既存の労働衛生管理体系では、国内外を問わず、離職後を含む長期的な健康管理指針の構築及びフォローアップ体制は十分に確立されておらず、健康管理方法の見直しが課題である。（付録 3 参照）

(2) ヒ素専門人材育成確保の必要性

無機ヒ素はかつてガラス製造での清澄剤や農薬・除草剤の原料として大量に使用されていたが、近年、その需要が消失したことから、無機ヒ素を取り扱う作業環境における

産業衛生の専門家も極めて少なくなった。処理作業に伴って発生する無機ヒ素曝露の管理においては、米国産業専門家会議が定める許容濃度と生物学的モニタリング（尿中ヒ素形態分析）が有効な手法とされており、これらの知識と技術を習得した管理実務者の育成が急務である。

一方で、中国のハルバ嶺周辺では、埋設された土壌から遺棄ヒ素化学兵器の分解物である無機ヒ素やジフェニルヒ素化合物が検出されている[63]。ジフェニルヒ素化合物の一部には小脳を標的臓器とする作用が確認され[64]、無機ヒ素による生活習慣病とは異なる生体影響が明らかになっている。中国における慢性ヒ素中毒は依然として終息しておらず、処理事業から発生した無機ヒ素、さらに埋設土壌中ジフェニルヒ素化合物については、慢性ヒ素中毒の原因となるヒ素とは明確に区別ができるように、地下水のヒ素汚染防止技術及び関連知識を有する専門人材の確保と育成が不可欠である。

また、AsBの人工合成技術（3(2)③参照）についても、同分野における研究経験者は少数でかつ退職年齢に達しており、後進の育成についても、その技術改良と並行して検討すべき重要な課題である。

8 まとめ

本報告は OACW 廃棄事業の現状と将来課題を総括し、安全で効果的かつ持続可能な処理体制を確立するための合意形成に資するよう編纂された。第 1 章で述べたとおり、本事業には三つの意味で節目の時期が来ており、それに伴い顕在化する問題に焦点を当てている。

まず、日本学術会議が本事業への支援に係る契機となった最大級の埋設地ハルバ嶺の ACW 処理は 2027 年に完了できる見通しである。このため、ハルバ嶺処理の最終段階で懸案となる、高い毒性を有するヒ素含有残渣の一貫した厳格管理；特に最終処分の問題解決、並びに、処理作業従事者に対する、ヒ素曝露の長期的健康影響を踏まえた離職後を含む継続的な健康管理体制の構築が強く求められる。ACW 処理には手作業が必要な工程があり、その過程で漏出した化学剤で作業者が受傷する事故が現実には発生している。負傷者に対しては急性期治療だけでなく、後遺症が発生するリスクにも備えなくてはならない。特に、処理過程で生じるヒ素含有残渣は高い毒性を有するため、処理から最終処分まで一貫した厳格管理が不可欠である。無機ヒ素を低毒性なアルセノベタインへ変換する技術開発と制度整備が重要である。

次に、ハルバ嶺処理の完了で中国での ACW 処理が終了する訳ではない。CWC に基づく国際的責務として日本は中国における ACW 処理を推進しており、ハルバ嶺処理の完了以降も、未発掘埋設地や今後発見が想定される潜在的埋設地の存在による事業長期化への対応が大きな課題となる。広大な国土で散発的に発見され、高機動型処理施設で処理する終わりが見えない段階に入るため、従来とは異なる見地からの学術的支援が望まれる。先進的探査技術や情報処理手法を応用した、中国東北区での想定埋蔵地調査と日中関係機関間での情報共有の強化が事故防止の基盤となる。そのため、今後の新埋設地発見事案を想定した ACW 処理実務連携の強化、中国 ACW 処理と国内 OCW 処理とに対応できる柔軟で統合された日本側ガバナンス体制、それらを可能にする様々なレベルの日中協力の推進が望まれる。

三番目に、東西冷戦軍備競争を背景に成立した CWC の国際的課題や国際情勢にも大きな節目が来ている。本事業を通じたわが国の経験や見識を活かした建設的な貢献も視野に入れることが求められると考えられる。本事業の技術・知識の継承と関係する諸専門分野の人材育成は、OACW 処理事業の持続的推進に不可欠だけでなく、国際協調による化学軍備管理を通じた日本の国際平和貢献努力にとっても重要といえる。

最後にまとめとして第 3 章～第 7 章で報告した事項を掲げる。

- (1) 遺棄化学兵器由来無機ヒ素含有廃棄物の安全な恒久的処分のための技術開発
- (2) 中国東北区の想定埋蔵 ACW の網羅的調査及び情報共有による不測の事故の未然防止
- (3) ACW 処理事業の長期化に備える先進探査技術とリスクコミュニケーション
- (4) 今後も発生が懸念される処理事案を想定したガバナンスの知識集約型改革
- (5) 長期持続的な環境安全並びに化学軍備管理を担う人材育成と知識・技術の継承

以上

<用語の説明>

CWC

化学兵器禁止条約（化学兵器の開発、生産、貯蔵及び使用の禁止並びに廃棄に関する条約、英語: Chemical Weapons Convention, CWC）は、化学兵器の開発・生産・取得・貯蔵・移譲・使用を全面的に禁止し、既存の化学兵器と関連生産施設の廃棄を締約国に義務づける国際条約。1993年に採択され、1997年に発効した。2026年現在193ヶ国が締約国であり、履行機関として設置されたOPCW（化学兵器禁止機関）が各種の実効的な検証活動を実施している全世界の化学兵器廃絶を目指す実務的枠組みである。化学軍備管理だけでなく、軍民両用性化学物質（DUC）の軍事転用防止、化学テロ対策、被害国への支援・国際協力も行っている。また、1925年以降に他国領域内に同意なく遺棄した化学兵器も廃棄処理を行うことを定めており、遺棄国に処分に必要な費用や技術の提供を義務付けている。

CWD

CWD は英国国防省の研究所の主催で年一回開催される化学兵器の軍縮に関する国際会議（International Chemical Weapons Demilitarization Conference）の略称。

OACW

OACW（Old and Abandoned Chemical Weapons；老朽・遺棄化学兵器）は、過去の戦争で製造・放置され、現在も発見・処理が必要な化学兵器の総称。CWC上、OCW（Old Chemical Weapons；老朽化学兵器）は、1925年以前に製造、または1925～1946年に製造され劣化により使用不能なもの、ACW（Abandoned Chemical Weapons；遺棄化学兵器）は1925年以降に他国領内へ当該国の同意なく遺棄されたもの（OCWを含む）と定義される。その処理に当たっては、OPCWの検証の下で安全最優先に進めることがCWCに定められている。

日本国内の地中や水域で発見される旧軍化学兵器は全てOCWに属し、発見地を管轄する官公庁・地方自治体が、防衛省と環境省の協力の下に戦時中の不発弾等と同様に危険物として処理している。諸外国においては、第一次世界大戦の古戦場や各国内の軍事演習場等からOCWが発見されており、CWCの定めに従い当該国が対処している。

ACWは遺棄国の責任で処理する義務をCWCが定めており、これまでのところ、旧日本軍の中国遺棄化学兵器のみがACWに該当する事案である。ただし、CWCが成立した1990年代初頭には冷戦終結に伴いワルシャワ条約機構諸国内に備蓄された旧ソ連軍化学兵器の処分が懸念されており、そうしたより広い観点でACWが規定されたと考えられる。

OPCW

OPCW（Organization for the Prohibition of Chemical Weapons；化学兵器禁止機関）は、1997年4月29日に発効した化学兵器禁止条約（CWC）に基づいて設立された国際機関で、本部をオランダ王国ハーグ市に置く。

締約国の安全保障と国益を担保しつつ化学兵器の廃棄と非生産に関する信頼性・透明性のある検証の実施、化学兵器に対する防護と援助の提供、化学の平和利用についての国際

協力、及び締約国の増加と条約履行能力の向上を主眼として活動している。化学兵器は締約国が実施主体として廃棄し、OPCW は締約国の廃棄を現地査察により検証する。

締約国は 193 ヶ国（2026 年現在）である。北朝鮮、エジプト、南スーダン、イスラエルは署名済だが批准していない。2013 年にノーベル平和賞を受賞した。

化学軍備管理

化学兵器の使用や保有を、軍備管理条約等を通じて制限しようとする試みを言う（Chemical arms control）。最初の近代的化学軍備管理の国際的努力の成果であるハーグ陸戦条約（1899）は、規制対象の化学兵器を化学戦専用の投射物に限定したため、第一次世界大戦での大規模な化学戦を許した。その反省に立ち化学兵器の戦時使用禁止を定めたジュネーブ議定書（1925）は、先制不使用は約したが抑止目的で保有を続けた英仏、署名したが批准しなかった日本、参加を見送った米国など不完全な取決めとなり、第二次エチオピア戦争（1935-36）におけるファシストイタリア軍や、アジア・太平洋戦争（1937-45）における旧日本軍などの化学兵器使用を防げなかった。そこで、化学兵器禁止条約（Chemical Weapons Convention ; CWC, 1993）は、化学兵器の使用も保有も製造も一切禁止することで化学軍備全廃を目論んで制定され、現代の化学軍備管理に関する主要な国際法となって現在に至る。

化学兵器関連物質略語一覧

略語	化学物質の名称	旧日本軍の呼称	備考
DA	ジフェニルシアノアルシン	あか剤	くしゃみ剤（嘔吐剤）。
DC	ジフェニルクロロアルシン	あか剤	くしゃみ剤（嘔吐剤）。
DF	メチルホスホニルジフルオリド	（保有せず）	GB（サリン）の前駆物質。
DPAA	ジフェニルアルシン酸	（呼称なし）	DAやDCの加水分解物。
GB	イソプロピルメチルフルオロホスホネート	（保有せず）	神経剤；サリンとして知られる。
QL	イソプロピルアミノエチルメチル亜ホスホン酸エステル	（保有せず）	VXの前駆物質。
VX	O-エチル-S-(2-ジイソプロピルアミノエチル)メチルホスホノチオラート	（保有せず）	神経剤。
マスタード	2,2'-硫化ジクロロジエチル	きい1号剤	びらん剤；イペリットとしても知られる。略号HD。
ルイサイト	2-クロロエチニルジクロロアルシン	きい2号剤	びらん剤；きい1号剤の一部に混合使用。略号L。

苅田港の化学兵器処理

福岡県苅田町の苅田港での浚渫工事中に 2000 年に発見された 18 個の不審物が化学弾と判明した。戦時中、近隣の旧日本軍施設に化学兵器が備蓄されており、発見された化学弾は、終戦直後に苅田港沖に投棄されたものの一部であった。

浚渫工事は直ちに中断され、苅田港全体における化学弾の探査、回収、処理方法の検討が開始された。2003 年までに新しい磁気探査技術が開発され、2004 年には処理施設が運転を開始された。この一連の作業は苅田港をいくつかの工区に分け、先行探査作業と後続

の回収・処理作業を工区ごとに1年ずつずらして実施することを繰り返した。

予定工区 23km の作業が終了する 2013 年までに約 3,000 発の化学弾が回収・処理され、処理設備は 2014 年に解体・撤去された[65]。

屈斜路湖事案

1995 年 10 月に旧日本軍関係者の証言に基づき屈斜路湖の湖底探査を実施し、1996 年 10 月に湖底から化学弾 26 発を揚収した。1997 年 5 月に日本国内初の老朽化学兵器処理事案として OPCW に申告して 2000 年 11 月に廃棄処理を完了し、処理残渣は苫小牧の管理型処分場に埋設処分された。

軍民両用性化学物質 (DUC)

軍民両用性化学物質 (DUC: Dual-Use Chemicals) とは、民生・産業で正当に使われる一方、化学兵器の製造や使用にも転用可能な化学物質を指す。OPCW は「平和的用途があるが、化学兵器にも使われ得る化学物質」と定義している。代表例にインク原料だがマスタードガス (HD) などびらん剤の前駆体にもなるチオジグリコール、ナイロン製造等で使われるが有毒性を持ち化学兵器としても使われていたシアン化水素 (HCN) などがある。DUC は物質自体を一律禁止することが困難なため、国際的な枠組みと国内法によって厳しく用途・取扱い・移転を管理 (申告、輸出入管理、産業査察、企業のコンプライアンス) されている。

また、DUC の補完的概念に WCA (Warfare Chemical Agent ; 戦用化学物質) があり、専ら化学兵器や化学兵器の製造以外の用途が認められない化学物質を指す。WCA の開発・生産・取得・貯蔵・移譲・使用は CWC により厳しく禁止されている。

ストックパイルとノンストックパイル

化学兵器のうち、使用を目的としてストックされているものは、一般的にストックパイル (備蓄化学兵器) と呼ばれ、化学兵器禁止条約上は申告して廃棄の義務がある。一方、使用目的ではなく、海中や地下に投棄または埋設されたものや、不発弾となったもの、さらに遺棄化学兵器などはノンストックパイルと呼ばれ、積極的に探査・回収する義務は無い。しかし、一旦回収されればリカヴァード・ミュニション (回収弾) と称してストックパイルとは区別し、製造年代や効力の度合いに応じて廃棄せねばならない。

寒川事案[57] [58] [59] [66]

2002 年 9 月に神奈川県寒川町の旧相模海軍工廠跡地内の圏央道橋脚工事現場で、化学剤 (びらん剤及び催涙剤) 入ビール瓶 11 本が出土して作業員 6 名が被ばくして発疹、かぶれなどの負傷する被害を受けた。現場を管轄する国土交通省は防衛庁 (当時) の協力の下、現場と周辺で発掘作業を行い、翌年 3 月までに 806 本の化学剤充填ビンを回収した。これら充填ビン及び発掘残土は、化学剤は薬剤を用いた中和処理、空き瓶及び汚染土壌は加熱・焼却処理により 2003 年度中に安全に処理が完了した。

チチハル事件

2003 年 8 月 4 日に中国東北部のチチハル市内で、旧日本軍が遺棄したマスタード剤入りドラム缶型容器による化学兵器被ばく事故が発生し、死者 1 名、子供 5 名を含む負傷者 43 名を出した。日本政府は、迅速に救護及び調査のチームを派遣し、旧日本軍遺棄化学兵器による事故と確認し、救急医療と無害化処理費用を中国に支払った。事故被害者らは、無償の救急医療で一応回復した後、一時金を中国当局より受け取った。しかし、事故の影響で次第に困窮してきたことを受けて、被害者と遺族計 48 名が 2007 年に日本政府に対する損害賠償請求を提訴したが、東京地裁（2010）と東京高裁（2012）で共に退けられている。

中国吉林省ハルバ嶺

中国における旧日本軍 ACW 最大級の埋設地は、中国吉林省東南部の延辺朝鮮族自治州中部の敦化市と安図県境界中央部の敦化市側にあり、埋設地がある丘陵地帯の名称から通称ハルバ嶺埋設地、あるいは埋設抗上に日本政府が建設・運営している処理施設と合わせハルバ嶺処理場と呼ばれている。吉林省を含む旧満州国へ 1945 年 8 月の終戦直前にソ連軍が侵攻し、守備する旧日本軍を各地で敗走させた結果、旧満州国内に備蓄されていた旧日本軍化学兵器が地中埋設や水中投棄など様々な形で中国東北区各地に遺棄された。国共内戦を経て朝鮮戦争も終結し、中華人民共和国政府の指導で東北区の開発が進められる過程でそれら ACW が各地で多数発見され、中国側に回収された。その相当数が中国当局によりハルバ嶺山中に埋められたのがハルバ嶺埋設地である。埋設された ACW の総数は詳らかでなく、CWC が発効した 1997 年当時は化学砲弾約 100 万発～数 10 万発とみられていたが、現在では 10 数万発程度と推定されている。ただし、旧日本軍 ACW と判別が困難な旧日本軍の通常兵器・弾薬や、戦乱で放棄された各国製通常兵器・弾薬類も混在して埋蔵されているため、処理場では非常に慎重な発掘・回収・鑑別作業が続いている。なお、鑑別の結果、旧日本軍 ACW でないと判明した埋設物は中国側が処理するため、所管の中国軍へ引き渡している。

<参考文献>

- [1] 環境省ホームページ「昭和48年の「旧軍毒ガス弾等の全国調査」のフォローアップ調査」 https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/research/index.html
- [2] 内閣府遺棄化学兵器処理担当室『中国における旧日本軍遺棄化学兵器処理事業の概要』、2002.
- [3] OPCW, NOTE BY THE TECHNICAL SECRETARIAT REPORT OF THE OPCW TECHNICAL ASSISTANCE VISIT ON THE ACTIVITIES CARRIED OUT IN SUPPORT OF A REQUEST BY UKRAINE (TECHNICAL ASSISTANCE VISIT TAV/04/24)
<https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2024/11/s-2338-2024%28e%29.pdf>
- [4] OPCW, NOTE BY THE TECHNICAL SECRETARIAT REPORT OF THE OPCW TECHNICAL ASSISTANCE VISIT ON THE ACTIVITIES CARRIED OUT IN SUPPORT OF A REQUEST BY UKRAINE (TECHNICAL ASSISTANCE VISIT TAV/05/24 AND TAV/01/25)
<https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2025/02/s-2370-2025%28e%29.pdf>
- [5] OPCW, NOTE BY THE TECHNICAL SECRETARIAT REPORT OF THE TECHNICAL ASSISTANCE VISIT ON THE ACTIVITIES CARRIED OUT IN SUPPORT OF A REQUEST BY UKRAINE (TECHNICAL ASSISTANCE VISIT TAV/02/25 AND TAV/03/25)
<https://www.opcw.org/sites/default/files/documents/2025/06/s-2415-2025%28e%29.pdf>
- [6] United States Department of State, Annual Report on Compliance with the Chemical Weapons Convention (CWC) <https://2021-2025.state.gov/condition-10c-annual-report-on-compliance-with-the-chemical-weapons-convention-cwc/>
- [7] 行武正刀：“一人ひとりの大久野島”、ドメス出版（2012）
- [8] 化学工学会遺棄化学兵器廃棄研究会、『第1回講演会予稿集』、2000.
- [9] 日本学術会議荒廃した生活環境の先端技術による回復研究連絡委員会、『報告：遺棄化学兵器の安全な廃棄技術に向けて』、2001.
- [10] 化学工学会遺棄化学兵器廃棄研究会、『第2回講演会講演要旨集』、2002.
- [11] 日本学術会議荒廃した生活環境の先端技術による回復研究連絡委員会『報告：遺棄化学兵器の廃棄技術に対する科学的リスク評価とリスク管理を目指して』、2002.
- [12] 化学工学会遺棄化学兵器廃棄研究会、『第3回講演会講演要旨集』、2003.
- [13] 化学工学会遺棄化学兵器廃棄研究会、『第4回講演会講演要旨集』、2004.
- [14] 日本学術会議荒廃した生活環境の先端技術による回復研究連絡委員会遺棄化学兵器に対する高度処理技術の開発専門委員会、『報告：老朽・遺棄化学兵器のリスク評価と安全な高度廃棄処理技術の開発』、2005.
- [15] 日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、『提言：老朽・遺棄化学兵器の廃棄における先端技術の活用とリスクの提言』、2008.

- [16] 日本学術会議総合工学委員会工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会『遺棄および老朽化学兵器の安全な廃棄技術第5回講演会予稿集』、2008.
- [17] 日本学術会議総合工学委員会工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、『シンポジウム「遺棄および老朽化学兵器の爆発リスク及び爆破処理技術の安全性」予稿集』、2009.
- [18] 日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2010 講演予稿集』、2010.
- [19] 日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、『提言：老朽・遺棄化学兵器の廃棄処理の実施における保安対策—中国の遺棄化学兵器処理の開始に当たって—』、2011.
- [20] 日本学術会議『シンポジウム：遺棄及び老朽化学兵器廃棄処理のリスク管理』、2011.
- [21] 日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2013 講演予稿集』、2013.
- [22] 日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2015 講演予稿集』、2015.
- [23] 日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2016 講演予稿集』、2016.
- [24] 日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2017 講演予稿集』、2017.
- [25] 日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、『報告：老朽・遺棄化学兵器廃棄の安全と環境の保全に向けて』、2019.
- [26] 日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2018 講演予稿集』、2018.
- [27] 日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2019 講演予稿集』、2019.
- [28] 日本学術会議総合工学委員会、『安全工学シンポジウム 2023 講演予稿集』、2023.
- [29] Gibbons, M. 編著, 小林信一他訳[1997]『現代社会と知の創造』丸善ライブラリー
- [30] Outline of destruction of chemical munitions of Lake Kussaro project in Japan (CWD2001) Joseph K Asahina, Toru Hishida
- [31] DA VINCH Operations at Kanda, Japan, Post CWD2005 and Subsequent Substantiating Tests at slide12 (CWD2006) Ryusuke Kitamura, Katsuo Kurose
- [32] 第24回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録 資料1 p. 3、2024年7月31日
- [33] DAVINCH operations updates 2021, P11, 12, 16 (CWD2021) Ayumu Kuriyama, Ryusuke Kitamura
- [34] 第24回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録 p. 5-7、2024年7月31日
- [35] WHO. Arsenic. 2022 Dec 7.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- [36] Yamauchi H, Takata A. Past and current arsenic poisonings. In: Yamauchi H, Sun G, editors. Arsenic contamination in Asia, biological effects and preventive measures. Singapore: Springer; 2018. pp. 1-11.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-2565-6_1
- [37] International Agency for Research on Cancer (IARC). Arsenic, metals, fibres, and dusts. A review of human carcinogens. Volume 100 C. IARC Monographs on

- the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon: IARC; 2012. pp.41-93.
<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Arsenic-Metals-Fibres-And-Dusts-2012>
- [38]Yamauchi H, Yoshida T, Takata A. Arsenic exposure and health effects: Differences by chemical structure, chemical form and arsenic methylation capacity. In: Huq I, editor. Arsenic in environment - sources, implications and remedies. London: IntechOpen; 2023.
<https://www.intechopen.com/chapters/1136758>
- [39]Nakamura K, Hisaeda Y, Pan L, Yamauchi H. Detoxification system for inorganic arsenic: transformation of As₂O₃ into TMAO by vitamin B12 derivatives and conversion of TMAO into arsenobetaine. Chem Commun. 2008;41:5122-4.
- [40]Nakamura K, Hisaeda Y, Pan L, Yamauchi H. Methyl transfer from a hydrophobic vitamin B12 derivative to arsenic trioxide. J Organomet Chem. 2009;694:916-21.
- [41]Nakamura K. Biomimetic and bio-inspired catalytic system for arsenic detoxification: bioinspired catalysts with vitamin-B12 cofactor. On Biomimetics, London: Intech Open; 2011.
<https://www.intechopen.com/chapters/18166>
- [42]中村浩一郎、山内博、ヒ素の無毒化法とレアメタルのリサイクル技術の開発、環境省、環境研究総合推進補助金、2009-2011.
https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/K2334.pdf
- [43]環境省、特別管理産業廃棄物の処理基準の概要
https://www.env.go.jp/recycle/waste/sp_contr/03.html
- [44]環境省ホームページ「国内における旧軍毒ガス弾等に関する取組について」
https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/index.html
- [45]内閣府遺棄化学兵器担当室ホームページ「第 26 回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議」資料 1 別添 1」https://wwwa.cao.go.jp/acw/pdf/kaigi_26shiryo_1-1.pdf
- [46]内閣府遺棄化学兵器担当室ホームページ「第 26 回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議」資料 1」https://wwwa.cao.go.jp/acw/pdf/kaigi_26shiryo_1.pdf
- [47]Furuta, K, and Ishikawa J. ed.: Anti-personnel Landmine Detection for Humanitarian Demining, Springer (2009)
- [48]OECD, OECD Guidance document on Risk Communication for Chemical Risk Management, 2002. (邦訳 化学物質のリスク管理に向けたリスクコミュニケーションに関する OECD ガイダンス文書)
- [49]Project Management Institute『プロジェクトマネジメント知識体系ガイド (PMBOK®ガイド) 第 5 版』p.391、2013
- [50]独立行政法人製品評価技術基盤機構化学物質管理センター『化学物質管理におけるリ

スクコミュニケーションガイド』 p. 7、2017

- [51] 遺棄化学兵器問題に関する取組体制について（1997年8月26日閣議了解）
- [52] 遺棄化学兵器問題に対する取組について（1999年3月19日閣議決定）
- [53] 遺棄化学兵器問題に関する基本方針について（2015年3月24日閣議決定）
<https://www.cao.go.jp/acw/index.html#sec3>
- [54] 遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議開催要綱
（2008年6月18日内閣府特命担当大臣決定）
<https://www.cao.go.jp/acw/kaigi.html#sec1>
- [55] 国内における毒ガス弾等に関する今後の対応方針について
（2003年12月16日閣議決定、2006年12月26日一部改正）
<https://www.env.go.jp/content/900408903.pdf>
- [56] 国内における毒ガス弾等に関する総合調査検討会
https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/sonota_singi/sonota01.html
- [57] Destruction of OCW Contained Soil at Samukawa Japan(CWD2005) Inada et.al.,
Japan
- [58] 笹木和彦（2004）「圏央道で発見された毒ガスに対する取り組みについて」
<https://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h16giken/pdf/0307.pdf>
- [59] Destruction of OCW Contained Soil at Samukawa Japan(CWD2005) Inada et.al.,
Japan
- [60] 第24回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録、2024年7月31日
- [61] 第23回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録、2023年7月26日
- [62] 第20回遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議議事録、2020年2月26日
- [63] Zhang Y, Xi H, Zhu Y, Zhao S, Ji C. Study on the composition and distribution characteristics of As in As-containing agent contaminated soil. Environmental Research. 2022;214(Pt 3):114039.
Doi: 10.1016/j.envres.2022.114039
- [64] 環境省、ジフェニルアルシン酸による健康影響について、1-24, 2026.
- [65] Kitamura R. Recovering and destruction of chemical weapons, a relook into Kanda operation. Presentation at the CWD2016. London: Chemical Warfare Demilitarization Conference, 2016.
- [66] 外務省、「国内における旧日本軍の老朽化学兵器廃棄問題の現状」、2004.
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/bwc/cwc/rouchikuka.html>

＜参考資料１＞審議経過

令和６年

- 4月15日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第１回）
役員の選出、今後の進め方について
- 7月30日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第２回）
意思の表出の方向性について
- 10月9日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第３回）
意思の表出の執筆分担について

令和７年

- 1月7日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第４回）
意思の表出執筆状況及び意思表出申出書について
- 2月16日 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会（第５回）
意思の表出文書の分類について
- 4月4日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第５回）
意思の表出案について
- 7月14日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第６回）
意思の表出案について
- 9月9日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第７回）
意思の表出案について
- 11月20日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第８回）
科学的助言等対応委員会助言書への対応について

令和８年

- 1月6日 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会（第７回）
報告案について
- 3月30日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第９回）
報告案の査読対応について
- 6月15日 老朽及び遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する検討小委員会（第１０回）
報告案の査読対応について

7月5日 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会（第8回）
意思の表出案について

＜参考資料2＞シンポジウム開催

令和元年7月5日 安全工学シンポジウム2019、オーガナイズセッション13

「遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価・管理」

OS-13-1 化学兵器処理の現状と今後の課題—デュアルユース化学物質
とテロ対策—

OS-13-2 老朽化・遺棄化学兵器の制御爆破処理実績

OS-13-3 中国吉林省ハルバ嶺の事業環境分析

OS-13-4 ヒ素曝露と生活習慣病

令和4年6月30日 安全工学シンポジウム2022、オーガナイズセッション18

「老朽・遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価・管理の現況と展望」

OS-18-1 化学兵器禁止条約の成果／限界と新たな課題

OS-18-2 有機ヒ素化合物による土壌地下水汚染と対策

OS-18-3 ヒ素曝露と健康影響：現状と将来の課題

令和6年6月27日 安全工学シンポジウム2024、オーガナイズセッション8

「老朽および遺棄化学兵器廃棄の廃棄に係るリスクの評価と管理」

OS-8-1 化学兵器禁止条約の実施に伴う成果とその限界及び新たな戦い

OS-8-2 環境省における旧軍老朽化学兵器等への対応について

OS-8-3 中国における旧日本軍の遺棄化学兵器処理状況

OS-8-4 埋設ヒ素化学兵器由来の土壌ヒ素から発生する健康
影響とその対策

令和8年6月26日 安全工学シンポジウム2026、オーガナイズセッション16

「老朽・遺棄化学兵器廃棄事業の節目を見据えて」

OS-16-1 旧日本軍遺棄化学兵器処理事業の現状と課題

OS-16-2 環境省における旧軍老朽化学兵器等への対応状況について

OS-16-3 老朽・遺棄化学兵器処理における作業長期健康管理の必要性

<付録>

付録 1 ヒ素化学兵器の低毒性化処理：無機ヒ素のアルセノベタインへの変換及び最終処分

1 無機ヒ素の低毒性化技術の必要性

無機ヒ素 (iAs) は、急性及び慢性ヒ素中毒の主因であり、三価及び五価の化学形が存在する。三価の三酸化ヒ素 (亜ヒ酸) は特に毒性が強く、かつてはガラス製造における清澄剤や農薬原料、自殺・他殺の手段としても利用されてきた。一方、五価の iAs は自然界に広く存在し、特に地下水汚染を通じてヒトへの慢性的な健康障害を発生させることが知られている。南米 (アルゼンチン、チリ、メキシコ) やアジア (中国、インド、バングラデシュ等) では、五価 iAs による大規模な慢性ヒ素中毒が発生し、世界保健機関 (WHO) の推計ではその被害者数は 9,000 万人を超えるとされている[1]。iAs は肺がん、皮膚がん、膀胱がん、肝がんなどの発がん性に加え[2]、生活習慣病の増悪因子としても機能することが報告されている。さらに、近年では子供の認知障害や成人の認知機能低下との関連性も指摘され、影響の深刻化が懸念されている。

iAs 以外のヒ素による健康被害としては、ヒ素化学兵器であるルイサイトの経皮暴露 (皮膚・呼吸器・神経障害、認知機能障害) 及びジフェニルクロロアルシン (DA) とジフェニルシアノアルシン (DC) の原料となるジフェニルアルシン酸の経口摂取による健康被害 (小脳障害) が知られている[3]。なお、ルイサイト、DA と DC を制御爆破処理や加熱燃焼処理する過程では iAs が生成される。

これらのことから、iAs 及びヒ素化学兵器による健康障害は、現在及び将来にわたる人類に対する重大な脅威であるといえる[3]。

遺棄ヒ素化学兵器 (ACW) の処理事業は国際公約に基づき実施されており、処理過程において発生する無機ヒ素 (iAs) の適切な管理が求められている。iAs を確実に安全に低毒性化する技術の確立は、健康被害と環境リスクの低減に直結する重要課題である。特に、iAs を低毒性のアルセノベタイン (AsB) に変換する技術は、革新的な効果が期待される。環境省の研究支援により[7]、日本の研究者によって、iAs やヒ素化学兵器を低毒性の AsB に変換する有効な技術が開発されたが、実践応用には多くの研究課題が残されている。

2 無機ヒ素の低毒性化の定義

iAs は、その有害性から日本及び中国を含む世界各国で厳格な法規制の対象となっている。日本では、ヒ素を含む廃棄物は特別管理産業廃棄物として扱われ、土壌汚染対策法、水質汚濁防止法、大気汚染防止法の適用を受け、厳格な管理が義務付けられている。特別管理産業廃棄物は、管理型最終処分場または遮断型最終処分場にて管理される[5]。中国では、ヒ素産業廃棄物、ヒ素含有汚泥、排水処理残渣などが危険廃棄物に分類され、固体廃棄物汚染環境防止法により管理が義務付けられている[6]。こうした法規制により iAs はヒトの生活環境から隔離されるが、しかし、その毒性は持続する。

一般的に、iAs の毒性抑制策として、三価 iAs の五価への酸化的変換、硫黄との結合に

よる溶解性の低下、セメント固化による固相化、そして、植物による吸収・蓄積を利用したファイトレメディエーションなどが挙げられる。これらの対策は、無害化 (Detoxification / Decontamination) を目的とし、健康障害の抑制を間接的に達成することを目指している。一方、iAs を化学的に別の低毒性な化合物に変化させることにより、毒性を大幅に低減する、いわゆる「無毒化」(Detoxification) も検討されている。具体的には、iAs を AsB に変換する技術である。

3 無機ヒ素の低毒性化技術：アルセノベタインへの変換

自然界には、iAs を AsB に変換する機序が存在する。海水には、広くほぼ均一に低濃度の iAs が含まれており、これを植物性プランクトンがメチル化して AsB に変換し蓄積する。AsB を蓄積した植物性プランクトンは、動物性プランクトンに捕食され、さらに魚類や甲殻類が捕食する食物連鎖を形成し、最終的にヒトが摂取する。

人工的な iAs のメチル化による AsB への変換は、植物プランクトンが保有するメチル化機序の模倣から始まり、バイオミメティックシステムが最初に確立された (図 1) [4, 7, 8, 9]。その後、経済性と収率を高めたバイオインスパイアード触媒システム (図 2)、そして、酸化チタン光触媒システム (図 3) も検討されている [4, 9]。

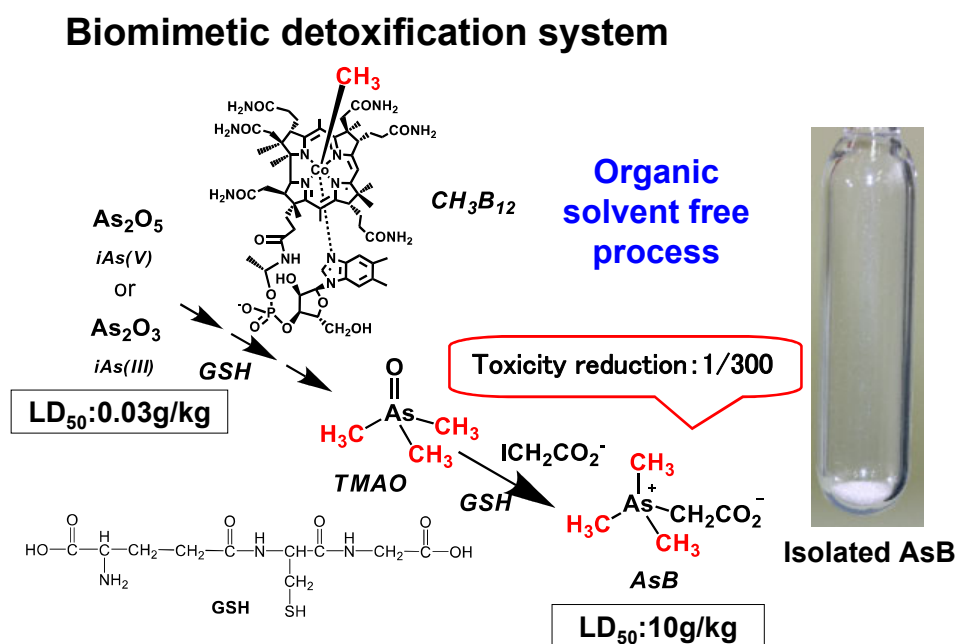


図 1 バイオミメティックシステムによる iAs の AsB への変換 [4, 9]

(1) バイオミメティックシステム

iAs は、メチル基供与酵素としてビタミン B₁₂、還元酵素としてグルタチオン (GSH) などと反応することによりトリメチルアルシンオキシド (TMAO) が生成され、この TMAO にヨード酢酸と GSH を反応させると AsB が合成される (図 1) [4, 7, 8, 9]。

(2) バイオインスパイアード触媒システム

バイオインスパイアード触媒システムは、バイオミメティックシステムのメチル基供与体のビタミン B₁₂ を改良し、酸化チタン (TiO₂) と複合触媒を形成し、そこに紫外線照射を行う。iAs は、ビタミン B₁₂—酸化チタン複合触媒存在下での紫外線照射によりメチル化が生じ、直接的に AsB が生成される (図 2) [4, 9]。

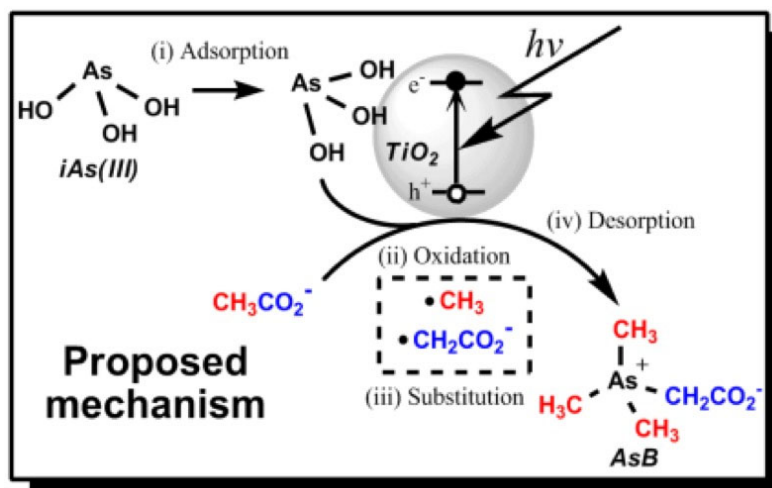


図 2 バイオインスパイアード触媒システムによる iAs の AsB への変換[4, 9]

(3) 酸化チタン光触媒システム

酸化チタン光触媒システムを用いた iAs の AsB への変換は、ビタミン B₁₂ 及びアミノ酸を必要としない合成法である。iAs 及びその代謝物 (メチルアルソン酸、MMA; ジメチルアルシン酸、DMA) に対し、酸化チタン光触媒と酢酸存在下において紫外線照射すると AsB が直接合成される (図 3)。

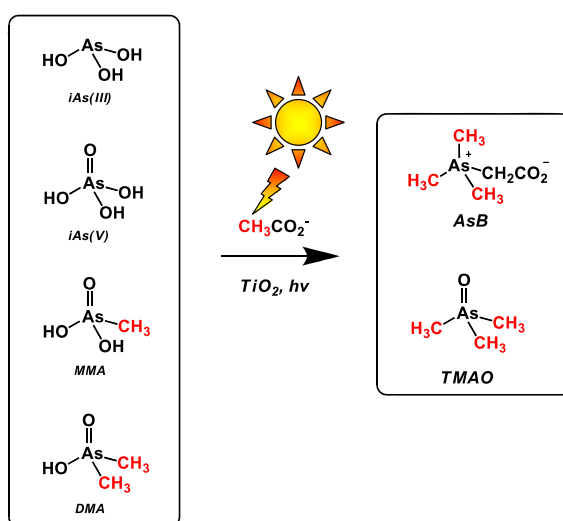


図 3 酸化チタン光触媒システムによる iAs の AsB への変換[4, 9]

この合成システムは、様々なヒ素化合物への適用可能性が期待されるが、更なる検討が

必要である。なお、iAs はメチル化により大幅に減毒される。これに対して、メチル化金属（メチル水銀、メチル鉛、メチル錫）は一般的に強毒性であることから、酸化チタン光触媒システムにて水銀、鉛、錫について検証した結果、いずれもメチル化されず、毒性に変化がないことを確認している[4, 9]。

4 AsB の毒性・代謝・排泄

ヒトは、海洋生物の食物連鎖において生成される AsB を、魚介類の摂取を通じて日常的に体内に摂取している。国際社会においては、AsB の毒性、代謝、排泄に関する情報は、1980 年代後半から広く認識されている。AsB の急性毒性の指標である半数致死量 (LD₅₀) は 10g/Kg と低毒性であり（図 1）、関連するトリメチルアルシンオキシド (TMAO、図 3) も低毒性で 10.6g/Kg である。なお、iAs の半数致死量は 0.03g/Kg である。AsB は物理・化学的に安定であり、体内では代謝されず、蓄積性も低く、摂取した全ては尿中へ短時間にて排泄される。半減期は短く約 3 時間である[3]。

5 ヒ素化学兵器の低毒性化処理の実証と課題

ヒ素を含む化学兵器には、ルイサイト、DA、DC、アダムサイトなどがあり、旧日本軍が製造した主なヒ素化学兵器は、ルイサイト、DA、DC である。

ヒ素化学兵器の低毒性化処理に関する基礎研究と実践応用は限られている[4, 9]。一方、ヒ素化学兵器の処理技術（無害化に相当）として、硫黄燃焼炉で焼却処理して硫化ヒ素として回収する方法、セメント等の固化剤で固化・不溶化する方法、ロータリーキルンにより 800℃～1100℃の温度で加熱する方法などが提案されている。しかし、硫化ヒ素への変換では、容易に分解され三酸化ヒ素や硫化水素ガスが発生する。セメント固化では、長期安定性という観点から信頼性が低く、再度、iAs の溶出が懸念される。ロータリーキルン法では、高温加熱から発生する iAs の制御が難しく、大気環境汚染や作業環境曝露の危険性が存在する。

安全性と信頼性に欠ける遺棄ヒ素化学兵器 (ACW) の従来の低毒性化処理に対し、処理作業の安全性が高く、処理物が低毒性の物質となる低毒性化技術が開発され、実証試験も成功している。以下に、この処理技術の概要を示す。制御爆破処理後の残渣を酸処理し、iAs を全て抽出する。ろ過法により不要物を除去し、ろ液をバイオミメティックシステムで処理する（図 1）。その後、カラムクロマトグラフ法により AsB を単離する（図 4）。

なお、制御爆破処理後の iAs 含有廃棄物量は、同システムを用いて AsB として単離することにより、約 1/25 に減少できるという利点も存在する[4, 9]。



図4 遺棄ヒ素化学兵器の制御爆破処理から発生した iAs の AsB への変換[4, 9]

6 無機ヒ素汚染水の直接的な低毒性化処理

低濃度の iAs 含有産業廃液及び環境 iAs 汚染水を対象に、酸化チタン光触媒システムを用いて iAs を AsB に直接変換する試験が実施され（図5）、基礎的な知見の収集及び実用化の可能性が確認されている[4]。この酸化チタン光触媒システムの応用は、iAs やヒ素化学兵器の汚染水や汚染土壌に対応することが目標であるが、多くの研究課題が存在する。



図5 iAs 汚染水の AsB への変換に関する自動処理装置（移動処理装置の実証モデル）[4, 9]

7 アルセノベタインの法規制の解除に向けた安全性試験

AsB は、哺乳動物を用いた実験的検証において低毒性であることは国際的に証明されている。しかしながら、AsB は工業用材料としての用途がないことから、化審法に基づく法

規制（厚生労働省、毒物劇物取締法）の解除に向けた取組は未だ行われていない。ヒ素化合物のうち、半導体製造の基盤材料となるガリウムヒ素 (GaAs) やインジウムヒ素 (InAs) は、国内外における需要が多く、わが国の独占的な半導体材料であることから、官民（経済産業省、厚生労働省、電子材料製造企業・団体）挙げての毒物指定解除が行われた経緯がある。このような実績から、AsB の法規制解除に向けては、その目的を明確にした関係省庁の連携が不可欠であると考えられる。

これまで、研究者を中心に、AsB の毒物指定解除に向けて、急性毒性試験（経口、経皮、吸入）、皮膚刺激試験、眼刺激試験が実施されてきたが[4]、全ての検査結果を得るには至っていない。このことから、改めて、OECD ガイドライン及び Good Laboratory Practice (GLP) に準拠した研究機関において、AsB の安全性試験を実施する必要があると考えられる。この結果を基に、関係省庁の連携により審査に望むべきと判断される。関連して、AsB の前駆体である TMAO（図 3）も低毒性化処理の実践・普及に有効性があり、毒物指定解除を達成すべきである。

8 アルセノベタインによる最終処分の構想

AsB は魚貝類に由来し、尿中に排泄される低毒性なヒ素化合物であることが証明されている。毒物劇物取締法の指定から解除された場合、AsB は物理的・化学的に安定しているため、最終処分及び長期保管が可能となると考えられる。以下に、達成可能な候補を示す。

A) 管理型最終処分場または遮断型最終処分場での保管

B) 鉱山廃鉱での AsB の長期保管

A) 管理型最終処分場または遮断型最終処分場での保管

AsB の毒物指定が解除された場合、その保管場所は、一般的なヒ素産業廃棄物と同様に、管理型最終処分場または遮断型最終処分場での保管が可能となる。

B) 鉱山廃鉱での AsB の長期保管

AsB の長期保管方法としては、その物理的・化学的安定性を利用した保管方法が考えられる。具体的には、AsB をガラス容器に充填し、それをステンレス製の容器で覆い、鉱山の廃鉱に保管する方法である。この方法は、銅製錬から発生する残渣を鉱山廃鉱に保管している事例を参考にしたものであり、実用化を検討する価値が高いと考えられる。

9 研究組織の再構築

iAs の低毒性化技術は、ヒ素代謝に精通した研究者により考案された。当初は、人工的に植物性プランクトンを用いて iAs を代謝させる試みが行われた。その後、有機合成の専門家により、バイオミメティックシステムにおいて iAs を AsB に変換することが成功し、技術が発展した。さらに、バイオインスパイアード触媒システム及び酸化チタン光触媒システムへと発展した。これらの研究は、環境省の環境研究総合推進費補助金によって実施された。3年間の研究では基礎的な成果が得られたが、実用化には多くの課題が残されている。一方、基礎的研究成果に基づき、日本板硝子株式会社において特許が取得された。

上記の研究は、ヒ素の毒物学者である山内博（北里大学教授、現・聖マリアンナ医科大

学客員教授）と日本板硝子株式会社（中村浩一郎博士、有機合成専門家、研究支援者、元会長・社長、藤本勝司）との共同研究として実施したものである。しかしながら、多くの研究課題について、研究費の維持が困難となり、中断に至っている。

今後、遺棄ヒ素化学兵器の制御爆破処理から発生する iAs に対する低毒性化処理の開発には、研究実績のある研究者を含めて、新たな研究組織、場所と設備など政府支援が不可欠である。過去の研究実績から、基礎的研究の補充や社会実装までの時間は約5年で達成が可能と判断される。

10 まとめ

遺棄ヒ素化学兵器の制御爆破処理から発生する iAs は、環境省の研究費支援を受けた日本国内の研究者により、低毒性の AsB への変換が達成された。本技術については、遺棄化学兵器処理事業における長期的な安全性の確保、処理後に残存する無機ヒ素の毒性低減及び将来的な技術継承という観点から、その意義と活用可能性を関係機関の間で共有し、研究・技術開発上の位置づけを明確にする必要がある。一方、中国においては、iAs の低毒性化に関する科学的成果は報告されておらず、この技術的空白は国際的に見ても注目すべき点である。今後、中国政府から低毒性化処理技術の導入を求められた場合、日本側における技術的対応が困難になるおそれがある。また、当該技術の研究者は高齢化が進んでいるものの、研究活動の継続は可能であり、技術の継承・発展には早急な対応が求められる。わが国が有する iAs の低毒性化技術は、国際的にも稀有な成果であり、これを政府の研究支援により維持・発展させることは国益に直結する。

11 文献

- [1] Yamauchi H, Takata A. Past and current arsenic poisonings. In: Yamauchi H, Sun G, editors. Arsenic contamination in Asia, biological effects and preventive measures. Singapore: Springer; 2018. pp. 1-11.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-2565-6_1
- [2] International Agency for Research on Cancer (IARC). Arsenic, metals, fibres, and dusts. A review of human carcinogens. Volume 100 C. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon: IARC; 2012. pp.41-93.
<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Arsenic-Metals-Fibres-And-Dusts-2012>
- [3] Yamauchi H, Yoshida T, Takata A. Arsenic exposure and health effects: Differences by chemical structure, chemical form and arsenic methylation capacity. In: Huq I, editor. Arsenic in environment - sources, implications and remedies. London: IntechOpen; 2023.
<https://www.intechopen.com/chapters/1136758>
- [4] 中村浩一郎、山内博、ヒ素の無毒化法とレアメタルのリサイクル技術の開発、環境省、

環境研究総合推進補助金、2009–2011.

https://www.env.go.jp/policy/kenkyu/suishin/kadai/syuryo_report/pdf/K2334.pdf

- [5] 環境省、特別管理産業廃棄物の処理基準の概要

https://www.env.go.jp/recycle/waste/sp_contr/03.html

- [6] 日本貿易振興機構、中国の環境規制について、2017 年

https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/2017/2706617da848f9e5/report.pdf

- [7] Nakamura K, Hisaeda Y, Pan L, Yamauchi H. Detoxification system for inorganic arsenic: transformation of As₂O₃ into TMAO by vitamin B12 derivatives and conversion of TMAO into arsenobetaine. *Chem Commun.* 2008;41:5122-4.

- [8] Nakamura K, Hisaeda Y, Pan L, Yamauchi H. Methyl transfer from a hydrophobic vitamin B12 derivative to arsenic trioxide. *J Organomet Chem.* 2009;694:916-21.

- [9] Nakamura K. Biomimetic and bio-inspired catalytic system for arsenic detoxification: bio-inspired catalysts with vitamin-B12 cofactor. *On Biomimetics*, London: Intech Open; 2011.

<https://www.intechopen.com/chapters/18166>

付録2 老朽・遺棄化学兵器問題に関する主要な政策決定等一覧

1 遺棄化学兵器問題への対応方針と対応体制

①遺棄化学兵器問題に関する取組体制について（1997年8月26日閣議了解）

- ・化学兵器禁止条約の発効に伴い内閣官房に遺棄化学兵器処理対策室を設置
- ・関係省庁が参加する形の遺棄化学兵器処理対策連絡調整会議を設置

②遺棄化学兵器問題に対する取組について（1999年3月19日閣議決定）

- ・遺棄化学兵器の廃棄処理事業は総理府が担当（その後内閣府が担当）
- ・連絡調整会議等の場で総合調整
- ・基本方針「化学兵器禁止条約に基づきわが国が有する義務を適正に履行し、日中関係の増進にも資する」

③遺棄化学兵器問題に関する基本方針について（2015年3月24日閣議決定）

<https://www.cao.go.jp/acw/index.html#sec3>

- ・内閣官房遺棄化学兵器処理対策室の業務を内閣府に一元化
- ・基本方針「わが国が有する義務を適正に履行する」「日中関係の増進にも資する」
- ・連絡調整会議は内閣府において開催

議長：内閣府大臣政務官

構成員：内閣官房副長官補（外政担当）、内閣府大臣官房審議官、外務省アジア大洋州局長、財務省大臣官房審議官、文部科学省科学技術・学術政策局長、厚生労働省労働基準局安全衛生部長、経済産業省大臣官房審議官、環境省総合環境政策局環境保健部長、防衛省防衛政策局長

- ・①閣議了解、②閣議決定を廃止

④遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議

<https://www.cao.go.jp/acw/kaigi.html#sec1>

- ・遺棄化学兵器処理事業に関する有識者会議開催要綱

（2008年6月18日内閣府特命担当大臣決定）

https://www.cao.go.jp/acw/pdf/kaigi_01shiryo_3.pdf

- ・目的：遺棄化学兵器処理事業の適正な実施と透明性の向上を図るため、内閣府副大臣の下に、中立・公平な立場で客観的に検討を行い、必要な意見及び助言を行う
- ・検討事項
 - ・遺棄化学兵器処理事業の実施状況
 - ・遺棄化学兵器処理事業に関する予算の執行状況

2 日本国内の毒ガス弾等問題への対応方針と対応体制

①国内における毒ガス弾等に関する今後の対応方針について

(2003 年 12 月 16 日閣議決定、2006 年 12 月 26 日一部改正)

<https://www.env.go.jp/content/900408903.pdf>

- ・「旧軍毒ガス弾等の全国調査」フォローアップ調査の閣議報告を受け決定
- ・対応方針「毒ガス弾等による被害の未然防止のため」
- ・環境省（または国有地等担当省庁）が防衛省と協力して、警察庁及び消防庁と連携しつつ、掘削、運搬、保管、処理等を行う。
- ・環境省が情報センターを設置
 - ・環境省環境保健部環境リスク評価室内に毒ガス情報センターを設置
 - ・毒ガス弾等に関する情報の集積・分析、適切な周知・広報を実施

②国内における毒ガス弾等に関する総合調査検討会

https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/sonota_singi/sonota01.html

- ・設置要項

https://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/sonota_singi/gas/gaiyo.html
- ・目的：国内における毒ガス弾等による被害の未然防止を図るため、環境省が対策を講ずるに当たり、総合的に指導・助言を行う
- ・検討事項
 - ・毒ガス弾等汚染が懸念される地区の調査
 - ・毒ガス弾等の分析
 - ・毒ガス弾等に係る環境調査（地下水汚染、土壌汚染等）
 - ・安全確保措置（モニタリングの結果を踏まえ、地下水の飲料利用自粛を要請など）

付録3 ヒ素化学兵器処理由来の無機ヒ素曝露作業者に対する離職後長期健康管理体制の必要性

1 問題の背景

ヒ素化学兵器処理事業に従事する作業者に対し、処理過程で生成する無機ヒ素に起因する健康影響について、離職後を含む長期的な健康管理指針及び追跡実績は、国内外に前例が存在しない。本事業は国際的にも希少な取組であり、既存の労働衛生管理体系では対応が十分に確立されていない点が課題である。

無機ヒ素は、生活習慣病（非感染性疾患）である高血圧、心血管疾患、糖尿病の原因及び増悪因子として疫学的に認められており[1]、加えて、国際がん研究機関（IARC）により Group 1：ヒトに対して発がん性がある物質と分類されている。特に、皮膚がん、肺がん、肝臓がん、膀胱がんが無機ヒ素により発症する癌として認定されている[2]。

無機ヒ素による発がんは、一般的に曝露から発症までの潜伏期間が 30 年以上と極めて長いことが特徴である。そのため、作業期間中の健康診断のみでは健康影響を適切に把握することは困難であり、離職後を含めた長期的フォローアップが不可欠である。すなわち、健康管理体制は、現行の労働安全衛生法（安衛法）及び特定化学物質障害予防規則（特化則）に準じつつも、将来の健康影響に備えた独自の長期管理システムを構築する必要がある（図 1）。

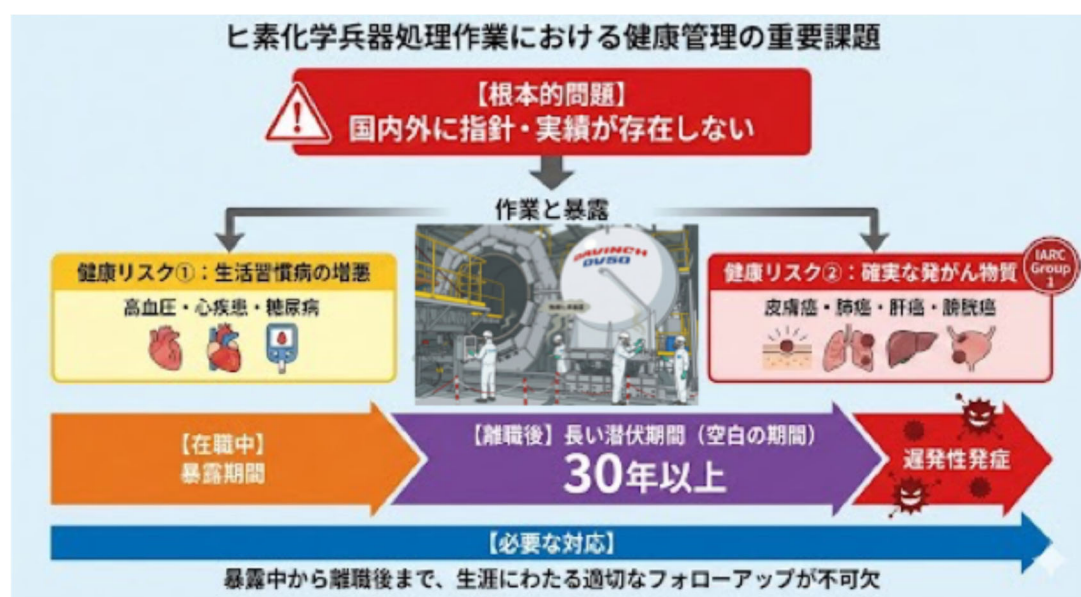


図1 問題点の概要

2 対象のヒ素と対象者

中国において発掘・回収・処理が進められている老朽化遺棄化学兵器には、ルイサイト、ジフェニルクロロアルシン（DA）、ジフェニルシアノアルシン（DC）の3種類のヒ素化学剤が含まれる。これら化学剤が充填された砲弾の発掘及び回収作業に従事する者は、化学兵器禁止機関（OPCW）により規定された保護基準に基づく防護装備管理が行わ

れており、これまで作業由来の曝露事故の報告はなく、ヒ素化学剤そのものによる急性毒性問題は除外できると判断される。

一方、砲弾内のヒ素化学剤を処理する工程においては、神戸製鋼における制御爆破処理、川崎重工における加熱爆破処理の2種類の技術が採用されている。処理方法は異なるものの、最終的には無機ヒ素（主として五価ヒ素）として回収され、処理後は中国国内に保管されている。加熱爆破方式では、化学剤分解後に五価無機ヒ素を生成することが想定され、一方、制御爆破処理では金属ヒ素及び五価無機ヒ素の粉塵が発生し、ナノ粒子が混在する可能性が推測される。これらの作業工程において想定される主な曝露機会は、処理後の固形物を回収する作業、装置内部の清掃・点検、フィルター交換、設備メンテナンス作業等であり、無機ヒ素粉塵の吸入曝露が主要な曝露経路となる。この曝露形態は、日本国内における銅製錬、非鉄精錬、三酸化ヒ素製造、半導体用ヒ素化合物製造などの産業現場で蓄積された労働衛生学的知見から十分に想定可能である。

無機ヒ素粉塵に曝露し得る対象者は、上記作業に従事する神戸製鋼及び川崎重工の作業員である。作業環境と健康管理は、安衛法及び特化則に基づき運用されている。これまでのところ、鼻粘膜障害、呼吸器症状、口腔粘膜症状、消化器症状、体重減少、末梢神経障害など無機ヒ素急性中毒で典型的に観察される症状に関する申告はなく、急性期高濃度曝露が存在した可能性は低いと考えられる。

しかしながら、無機ヒ素曝露の最大の健康障害は慢性毒性及び発がんであり、特に、発がんには一般的に30年以上の潜伏期間を要する[2]。そのため、急性症状の不在のみを根拠としてリスクが不存在と結論することは科学的にも行政的にも不適切である。長期的な健康影響の評価には、曝露量の把握、作業歴、特殊健康診断、尿中ヒ素モニタリング記録の長期保存と追跡が必須である。

3 無機ヒ素曝露による健康障害

作業に起因する無機ヒ素曝露における急性中毒発生の可能性は、これまでの毒性学、労働衛生、及び産業保健の知見から極めて低いと判断される。一方、無機ヒ素による慢性中毒は、経気道曝露（主として職業性）及び経口曝露（飲料水や食品汚染）により発生する。皮膚からの体内吸収は一般に無機ヒ素では起こりにくいとされるが、ルイサイト、三塩化ヒ素、アルシンガスなど一部のヒ素化合物では明確に皮膚吸収毒性が認められる。

職業性無機ヒ素曝露による健康障害は、歴史的には銅製錬や非鉄精錬、ヒ素農薬製造に従事した労働者で報告されており、特に肺がんと皮膚がんの発生が注目された。しかし近年では、職場の換気改善、密閉系設備導入、作業環境測定制度の強化により、発がんリスクは一定程度低減したと考えられている。

他方、飲料水汚染（主として井戸水）による環境性慢性ヒ素中毒は、中南米や南アジアで深刻な公衆衛生問題となっている[1-3]。WHOの推計では[4]、患者及びハイリスク者は世界で約9,000万人、うち中国では約300万人に達すると報告された。慢性ヒ素中毒の原因物質は無機ヒ素であり、ヒ素化学兵器処理過程で生成される無機ヒ素と同一である。

慢性無機ヒ素中毒の症状については、職業性及び環境性中毒から膨大な臨床情報と疫学データが蓄積されている。典型的な初期症状として、皮膚色素沈着・脱失及び手掌・足底角化症が高頻度に認められる。また、無機ヒ素曝露は生活習慣病（非感染性疾患）、すなわち高血圧、心疾患、糖尿病の発症及び増悪因子として位置づけられ、国際的にも共通認識となっている[1]。

無機ヒ素曝露による健康障害において最も重篤な影響は、皮膚がん、肺がん、肝がん、膀胱がんの発生である[2]。これらの腫瘍は一般に曝露から30年以上の潜伏期間を経て発症する。なお、日本人に多い大腸がん、胃がん、腎臓がん、膵臓がん、前立腺がんについては、現時点で無機ヒ素との明確な因果関係は認められていない。

近年、新たに注目を集めている健康影響として認知機能障害が挙げられる。認知機能障害は複合要因によるが、無機ヒ素はその一因となる可能性が報告され始め、特に加齢との相互作用が国際的研究課題となっている。この研究領域は今後の政策判断において重要な基盤となるため、継続的な毒性学研究の情報収集や疫学解析の推進が必要である。

4 離職後における長期健康管理の支援制度の必要性

中国において処理が進められている三種類のヒ素化学剤（ルイサイト、ジフェニルクロロアルシン、ジフェニルシアノアルシン）を充填した砲弾の解体・処理過程では、分解反応及び酸化反応を通じて無機ヒ素（主に五価無機ヒ素）が生成される可能性が高い。したがって、労働安全衛生法（安衛法）及び特定化学物質障害予防規則（特化則）に基づき、厳格な作業管理と継続的な健康管理の実施が不可欠である。事業受託会社である神戸製鋼及び川崎重工においては、これらの法令遵守が周知されている。

日本ではかつて、銅製錬や非鉄精錬の副産物として得られる三酸化ヒ素が木材防腐剤、農薬、ガラス製造、化合物半導体などに利用されており、多数のヒ素取扱い作業員が存在した[1]。しかし近年、日本国内でのヒ素需要は大幅に縮小し、ヒ素の取扱い労働者を対象とした長期健康追跡の知見が乏しくなりつつある。

一方、ヒ素化学兵器処理事業における無機ヒ素曝露については、安衛法及び特化則に準じた管理体制がどの程度透明性と説明責任を確保しているのか、制度的に不明瞭な点が存在する。また、この問題は国際的にも十分な事例蓄積がなく、適切な対策モデルが存在しないことが推察される。

無機ヒ素曝露に起因する健康障害の最大の問題点（遅延性発症）は、発がんに至る潜伏期間が30年以上[2]に及ぶことである。したがって、短期的な健康調査のみでは健康影響を適切に把握できず、作業従事期間の終了や離職を境に健康管理が途切れることは、将来的な医療・補償問題を引き起こす可能性が高い。

中国での処理事業終了までにはなお一定の期間が確保されている。この期間を活用し、内閣府、神戸製鋼、川崎重工ほか関係企業が中心となり、離職後の長期健康管理制度を構築する必要がある。その際、現行の安衛法及び特化則を基盤としつつ、独自の長期追跡システムを整備することが望まれる。

以下に制度設計上の重要項目を示す。

制度構築において確立すべき主要項目

- 作業環境測定結果（作業区域のヒ素濃度）の長期保存と公開性の確保
- 作業従事歴の電子保存と追跡可能化
- 特殊健康診断記録の長期保存（40年を目標）
- 生物学的モニタリング（尿中ヒ素濃度）の保存
- 健康管理データの保管主体・保管期間・取扱い責任者の明確化
- 劣化を防ぐための情報のデジタル化推進
- 離職者向け相談窓口の設置と周知
- 相談や救済申請があった場合の第三者的評価組織の設置
- 離職後の定期健康診断の実施及びその費用負担規定の明確化
- 無機ヒ素起因の健康影響に関する国際的情報収集と分析専門家の確保

5 まとめ

処理事業従事者に対する長期健康管理制度の構築は、将来の健康被害発生時における行政的・倫理的責任の遂行及び社会的信頼の確保に不可欠である。本資料に基づく制度設計は、わが国独自の健康保護政策の改善に寄与し、国際的にも先例として重要な意味を持つと考えられる。

6 文献

- [1] Yamauchi H, Yoshida T, Takata A. Arsenic exposure and health effects: Differences by chemical structure, chemical form and arsenic methylation capacity. In: Huq I, editor. Arsenic in Environment-Sources, Implications and Remedies. London: IntechOpen; 2023.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.1001454>.
- [2] International Agency for Research on Cancer (IARC). Arsenic, metals, fibres, and dusts. A review of human carcinogens. Volume 100 C. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon: IARC; 2012. pp. 41-93.
<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Arsenic-Metals-Fibres-And-Dusts-2012>
- [3] Yamauchi H, Takata A. Past and current arsenic poisonings. In: Yamauchi H, Sun G, editors. Arsenic contamination in Asia, biological effects and preventive measures. Singapore: Springer; 2018. pp. 1-11.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-2565-6_1
- [4] WHO. Arsenic. 2022 Dec 7 [cited 27 July 2023].
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.