

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

平成13年7月23日

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

この報告書は、第18期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の安全な廃棄技術の研究促進小委員会の審議結果を踏まえ、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において取りまとめ発表するものである。

〔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〕

委員長 古田 勝久 (日本学術会議第5部会員、東京電機大学理工学部教授、東京工業大学名誉教授)

幹事 古崎新太郎 (日本学術会議第5部会員、崇城大学工学部教授、東京大学名誉教授)

幹事 野波 健蔵 (千葉大学工学部教授)

委員 木村 逸郎 (日本学術会議第5部会員、原子力安全システム研究所 技術システム研究所長、京都大学名誉教授)

委員 丹保 憲仁 (日本学術会議第5部会員、放送大学長、北海道大学名誉教授)

委員 森田 昌敏 (国立環境研究所 地域環境研究グループ統括研究官)

〔遺棄化学兵器の安全な廃棄技術の研究促進小委員会〕

委員長 古崎新太郎 (日本学術会議第5部会員、崇城大学工学部教授、東京大学名誉教授)

幹事 水野 光一 (長崎県商工労働部 技監 兼工業技術センター所長)

幹事 横田 真 (日本貿易振興会 ロサンゼルスセンター次長)

幹事 割石 博之 (九州大学大学院農学研究院助教授)

委員 新井 健生 (大阪大学大学院基礎工学研究科教授)

委員 池口 孝 (国立環境研究所 適正処理技術開発研究室長)

委員 庄司 喜彦 (日本国際問題研究所 客員研究員)

委員 田邊 省吾 (古河機械金属(株) 素材総合研究所副所長)

委員 仲 勇治 (東京工業大学フロンティア創造共同研究センター教授)

委員 藤原 修三 (産業技術総合研究所 環境安全管理部長)

委員 古川 尚道 (日本国際問題研究所 客員研究員、筑波大学名誉教授)

委員 古澤 典彦 (日本国際問題研究所 軍縮研究員)

委員 森 和男 (産業技術総合研究所 ものづくり先端技術研究センター副センター長)

委員 森田 昌敏 (国立環境研究所 地域環境研究グループ統括研究官)

委員 六川 修一 (東京大学大学院工学系研究科教授)

目 次

第1章	はじめに	1
第2章	化学兵器とその歴史的経緯	2
第2. 1節	化学兵器の定義	2
第2. 2節	化学剤の種類と毒性	3
第2. 3節	第一次大戦における化学兵器使用	7
第2. 4節	第二次大戦時及びその後の開発・使用状況	7
第3章	化学兵器禁止条約の成立と条約下での活動	9
第3. 1節	化学兵器禁止の歴史と世界的な流れ	9
第3. 2節	化学兵器禁止条約の概要	9
第3. 3節	化学兵器禁止条約と日本の対応	13
第3. 4節	化学兵器禁止条約下での活動	13
第4章	化学兵器廃棄活動の社会的位置づけ	15
第4. 1節	化学兵器廃棄と軍事活動	15
第4. 2節	化学兵器禁止条約下での化学兵器関連活動への制限	17
第4. 3節	安全・環境優先の化学兵器廃棄	17
第4. 4節	欧米における軍の能力の有効活用	17
第5章	化学兵器廃棄に関する各国の取り組み状況	19
第5. 1節	日本における化学兵器廃棄活動	19
第5. 2節	海外各国における化学兵器廃棄状況	22
第6章	アカデミズムの寄与と活動	30
第6. 1節	アカデミズムの意義	30
第6. 2節	OPCWをはじめとする世界の学術活動	30
第6. 3節	我が国の学術的活動	31
第6. 4節	アカデミズムの役割	33

第7章	中国の遺棄化学兵器の実態とこれまでの取り組み	35
第7.1節	遺棄化学兵器問題の経緯	35
第7.2節	日本政府の体制整備	42
第7.3節	中国政府との調整等	42
第7.4節	遺棄化学兵器処理事業の進捗状況	43
第8章	遺棄化学兵器の安全な廃棄技術の確立に向けて	48
第8.1節	遺棄化学兵器の特徴	48
第8.2節	廃棄技術体系	50
第8.3節	発掘・回収	53
第8.4節	実処理	58
第8.5節	火薬の取り扱いについて	66
第8.6節	分析及び環境基準	69
第8.7節	作業環境安全	71
第8.8節	情報管理とシステムの効率化	74
第9章	遺棄化学兵器の安全な廃棄へ向けた提言	80

「要旨」

1. 報告書の名称

「遺棄化学兵器の安全な廃棄技術に向けて」

2. 報告書の内容

1) 作成の背景

- ・ 1997年4月29日に発効した「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（通称：化学兵器禁止条約）」に基づき、我が国は中国にある遺棄化学兵器を廃棄する義務を負っている。
- ・ 遺棄化学兵器の廃棄に当たっては、長期間の埋設による化学弾の腐食・破損、推定70万発といわれる大量の化学弾、爆発感度の高いピクリン酸の炸薬としての使用、化学剤に含有されるヒ素の処理等の課題があり、世界的にも高度な廃棄技術が必要とする。

2) 現状及び問題点

- ・ 化学兵器禁止条約により廃棄は2007年までの期限とされるため、技術開発の緊急性が高い。
- ・ これら化学兵器の高度な廃棄技術を確立する上では、潜在的なポテンシャルを持つ研究者や技術者はいるものの、未だ学術的知見が集積されていない。
- ・ 世界的にも未経験な部分もあり、廃棄技術を構成する個々の個別技術及びシステム技術に関する研究開発が欠如している。
- ・ 中国における廃棄設備の立地問題について、相手国及び現地との交渉やリスク管理などの人文・社会的な学術基盤が不足している。

3) 改善策、提言等の内容

- ・ 専門的知見を集積するためには、「関連する学協会における委員会等の設置」を提言する。
- ・ また、学術的見地からの技術課題の立案と実行、研究成果の収集と発信などの研究機関相互のコーディネーションを機能とする「中核的研究開発機関の整備」を提案する。

第1章 はじめに

「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（化学兵器禁止条約）」は、1993年1月、パリにおいて署名のために開放され、1997年4月29日に発効した。この化学兵器禁止条約は、締約国に現在保有されている化学兵器の廃棄を義務づけるのみならず、過去において他の締約国の領域内に遺棄した化学兵器の廃棄も、当該化学兵器を遺棄した締約国に義務づけている。中国には、第二次大戦後に、残置された旧日本軍の化学兵器が多数存在しており、上記条約の規定に従い、我が国は、これらの遺棄化学兵器を廃棄する責任を有している。現在、日本政府においては、内閣府遺棄化学兵器処理担当室が中心となって、中国政府の協力を得つつ、廃棄事業の計画・実行がなされているところである。

中国に残された遺棄化学兵器は、

- ① 長期間埋設されていたため様々な形の腐食・破損が進んでいる
- ② 70万発と推定されているように処理対象の量が膨大であり、そのほとんどが未だ埋設されている
- ③ 金属塩となると爆発感度が高くなるといわれているピクリン酸が伝火薬等に用いられている
- ④ ヒ素を含んだ化学剤が多い

などの特徴を有しており、その廃棄処理事業の円滑な実施のためには、多くの克服すべき技術的課題が存在する。また、法制度・文化が異なる他国の領域内で、条約上の義務として実施する事業であることも踏まえておくことが必要である。

このような背景の下に、日本学術会議では、2000年11月に「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」の下に、「遺棄化学兵器の安全な廃棄技術の研究促進小委員会」が設置され、遺棄化学兵器廃棄技術関連有識者の参画の下、検討が開始された。

本報告書は、第1に、本事業の実施に当たって、広く有識者の関心を得、情報の共有を図りつつ、事業に対する学術的な基盤を形成することを目的としている。化学・機械・情報などの多岐にわたる高度で先端的な学術分野を複層的に取り組むことが必要となるためである。また第2に、中国に存在する遺棄化学兵器の処理事業に対する一般の理解をも深めることを目的としている。

本事業は化学兵器禁止条約という国際約束を履行するというものである。また同時に困難な技術的諸問題を解決して押し進めるべき日本政府の国家的プロジェクトであり、長い期間と多大な費用を要する。従って、必要な情報を公開して日本国政府はもとより広く国民の理解を十分得ながら実行することが必要である。

第2章 化学兵器とその歴史的経緯

第2.1節 化学兵器の定義

科学技術の発達は、人類にとってモノを作る技術や考え方に飛躍的な進歩をもたらした。有機化合物にせよ、無機化合物にせよ、世の中に生産される化学物質の数は、2000万種類に近いといわれ、近年、その数は直線的に増えていく傾向にある。しかし、その反面、予想だにしない人工物が出現し、人類の生存にまで影響を及ぼそうとしている。化学物質を意図的に、軍事目的に用いた最たるものが化学兵器の開発であろう。化学兵器に用いられる化学物質は大学の化学教育を受けた程度の人であれば簡単に合成でき、前駆体も安価に手に入れることが可能である。化学兵器は同程度の殺傷力を持つ核兵器と比べて、百分の一位の価格で生産が可能であることから“貧者の核兵器”ともいわれている。オウム真理教徒によるサリン事件は記憶に新しいところである。

化学兵器は化学兵器禁止条約の第2条に定義されている。この定義に合致すれば、化学兵器禁止条約の化学物質に関する附属書の表(第3.2節の表3を参照)に載っていないが、化学兵器として扱われる。例えば、中国の遺棄化学兵器に含まれる化学剤のうち、いわゆるあか剤(DA、DCの混合物)等は、化学兵器禁止条約の表剤に該当しないが、上記定義に合致するため遺棄化学兵器として扱われている。

参考. 1

化学兵器禁止条約第2条抜粋

1. 「化学兵器」とは、次の物を合わせたもの又は次の物を個別にいう。
 - (a) 毒性化学物質及びその前駆物質。ただし、この条約によって禁止されていない目的のためのものであり、かつ、種類及び量が当該目的に適合する場合を除く。
 - (b) 弾薬類及び装置であって、その使用の結果放出されることとなる(a)に規定する毒性化学物質の毒性によって、死その他の害を引き起こすように特別に設計されたもの
 - (c) (b)に規定する弾薬類及び装置の使用に直接関連して使用するよう特別に設計された装置
2. 「毒性化学物質」とは、生命活動に対する化学作用により、人又は動物に対し、死、一時的に機能を著しく害する状態又は恒久的な害を引き起こし得る化学物質(原料及び製法のいかんを問わず、また、施設内、弾薬内その他のいかなる場所において生産されるかを問わない。)をいう。

第2. 2節 化学剤の種類と毒性

今までに、化学兵器として試された化学剤は数千種ともいわれているが、第一次大戦以降の近代戦争において、実際に化学兵器として作られ、使用されたものはそれほど多くはない。これらの化学剤は目的や作用により、以下に示す7種類に分類される。さらに、これらの化学剤は、人の殺傷を目的とした致死性の高い化学剤（以下、致死性化学剤という）と、戦闘等において一時的に人の戦闘能力を弱めたり、無能力化したりするが、時間がたつと元に回復する、致死性はほとんどない化学剤（以下、非致死性化学剤という）の2種類に大別される。

これらの化学兵器の開発はそれぞれの歴史的な経緯があり、作用機構、致死量等にも大きな違いがある。以下化学兵器に用いられる代表的化学剤の種類、作用等について述べる。表. 1に示す化学剤のうち、1) ～4) は人の殺傷を目的としたもので、致死性化学剤に属する。5) ～7) は催涙作用や嘔吐、くしゃみ、神経系統の一時的な混乱等の作用により、戦闘員の戦闘能力を失わせるためのもので、非致死性化学剤に属する。表. 2に、これら化学兵器に用いられる主な化学物質の性質、致死量、生理効果について示す。

窒息剤、血液剤、びらん剤、神経剤の4種類は、人の殺傷を目的にしている化学剤である。しかし、窒息剤、血液剤の大部分は、今日では化学工業の原料としてなくてはならない化合物である。

化学剤の毒性などは以下のように報告されている。

窒息剤は呼吸器系に作用して喉や気管支を刺激し、肺に障害を起こして死に至らしめる。塩素やホスゲンが代表的な化合物である。第一次大戦中1915年4月、ドイツ軍によりポンベ3万本に及ぶ塩素ガスが用いられたのが、本格的に大量使用された最初の化学兵器の例である。

血液剤は、青酸ガスが代表的な化合物で、体内に吸収された後、血液成分（ヘモグロビン）、全身の組織に作用して呼吸器障害を起こし、昏睡を伴い死に至らしめる。窒息剤や血液剤は、揮発性が高く呼吸器を通して作用するので、防毒マスクを着用することで防ぐことができる。

びらん剤の代表は、硫黄マスタードとルイサイトである。マスタードやルイサイトは蒸発速度が遅く、細かい霧状または水滴状で用いられることが多い。皮膚浸透性を有しており防毒マスクだけでは防ぐことはできない。マスタードは皮膚に付着すると数時間後に赤い斑点を生じ、痛みを伴うびらん症状を呈する。目や呼吸器の粘膜を冒し水泡、潰瘍を生じる。第一次大戦において1917年にベルギーのYpresでドイツ軍がはじめてマスタードを使用したのも、別名イペリット (Yperite) ガスとも呼ばれている。ルイサイトはマスタードより効果の現れるのが早く、

皮膚に付着したり、目に入ると耐えがたい痛みを生じる。旧日本軍のきい剤は、マスタードとルイサイトの混合物である。

神経剤は化学剤のうちで最も致死性の高い化学物質である。1938年ジャガイモの害虫駆除剤の研究中に、ドイツで偶然発見されたのがタブン（GA）である。その後、サリン（GB）、ソマン（GC）がドイツ軍により次々に開発された。1950年代には米国、イギリスにおいて、更に強力なV-ガス類が開発されている。神経剤は構造式でわかるように有機リン化合物でリン酸エステル類である。これらの物質は皮膚、目、呼吸器から吸収され、神経伝達系に作用する酵素コリンエステラーゼの作用を阻害し神経麻痺から死に至らしめる。一連のオウムサリン事件が実際に使用された唯一の例とされている。

嘔吐（くしゃみ）剤の主成分は、ジフェニルシアノアルシン（DC）、ジフェニルクロルアルシン（DA）やアダムサイトのような有機ヒ素化合物であり、低濃度で、鼻、喉、目の粘膜に激しい刺激を与え、くしゃみ、咳、前額部に痛みを感じ、高濃度では、呼吸器深部を冒し、嘔吐、呼吸困難、不安感を生じ死亡する例もある。化学兵器として用いられた例は、ドイツのClark I、Clark II（DC、DA）、アダムサイト、旧日本軍のあか剤（DC、DAの混合物）がある。

催涙剤は、クロロアセトフェノンやクロロベンジルマロノニトリルのような、ハロゲン化合物であり、目や喉を刺激し激しい催涙効果を示す。死に至らしめることはほとんどなく、現在でも暴動の鎮圧用に配備されている。

無能力化剤としては、LSDのような幻覚剤がある。一時的に人間の知覚や感覚に異常を来たし、戦闘能力を失わせるが、死には至らない。

これらの化学剤は、砲弾、発煙筒、爆弾、ロケット弾、ミサイル、地雷等に充填されて用いられた。単にスプレータンクにより散布した例もある。化学剤の充填作業や運搬における危険性を避けるために、ほとんど無害である2種類の前駆体を隔壁を隔てて砲弾に詰め、発射するときに炸薬の作用により反応して、強力な毒性を有する神経剤に変化させるバイナリー兵器も開発されている。

表 1 毒性化学物質の種類

致死性化学剤	1) 窒息剤	塩素: Cl_2 ホスゲン: COCl_2 ジホスゲン: ClC(O)OCCl_3 クロロピクリン: CCl_3NO_2
	2) 血液剤	青酸: HCN クロルシアン: ClCN ジシアン: $(\text{CN})_2$
	3) びらん剤	硫黄マスタード (別名イペリット) : $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$ 窒素マスタード: $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NC}_2\text{H}_5$ 酸素マスタード: $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{O}$ Q 剤: $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ ルイサイト類: $t-(\text{ClCH}=\text{CH})_n\text{AsCl}_{3-n}$ ($n=1$, ルイサイト 1, $n=2$, ルイサイト 2, $n=3$, ルイサイト 3 : t =トランス) クロロアルシン類: AsCl_3 等
	4) 神経剤	サリン: $\text{CH}_3\text{P(O)(F)OCH(CH}_3)_2$ ソマン: $\text{CH}_3\text{P(O)(F)OCH(CH}_3)\text{C(CH}_3)_3$ タブン: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OP(O)(CN)N(CH}_3)_2$ VX : $\text{CH}_3\text{P(O)(OCH}_2\text{CH}_3)\text{SCH}_2\text{CH}_2\text{N}[\text{CH(CH}_3)_2]_2$
非致死性化学剤	5) 催涙剤	ベンジルクロリド: PhCH_2Cl クロロアセトフェノン: PhCOCH_2Cl o-クロロベンジルマロノニトリル: $o-\text{ClC}_6\text{H}_4\text{CH}=\text{C}(\text{CN})_2$
	6) 嘔吐剤 (くしゃみ剤)	ジフェニルシアノアルシン (DQ) : Ph_2AsCN ジフェニルクロロアルシン (DA) : Ph_2AsCl アダムサイト: $\text{C}_6\text{H}_4\text{AsNHClC}_6\text{H}_4$
	7) 無能力化剤	BZ: $\text{Ph}_2\text{C(OH)CO}_2\text{C}_7\text{H}_{12}\text{NCl}$ LSD

	区分	物質名	分子量	物理的性質			致死量		一般的生理作用、毒性効果
				沸点(°F) (融点(°F))	形状	溶解性	LD50mg/kg	LC50(ppm)	
I	窒息剤	塩素	70.9	-29(-150)	黄緑色気体	水に07%可溶	-	655	呼吸器、皮膚、絛口摂取。 気管支や肺に障害を与え 窒息死させる。
		クロロピクリン	164.4	234(-93)	無色液体	水に02%可溶	-	29.7	
		ホスゲン	98	46(-198)	無色気体	水に不溶	-	79	
		ジホスゲン	197.9	261(-71)	無色液体	水に難溶	-	37	
	血液剤	青酸	27	78(8)	無色気体	水に可溶	7g/人	180	血液中の酸素摂取を阻害、 身体機能を喪失させ死に至らしめる。
		クロシアン	61.5	55(20)	無色液体	水に7%可溶	-	430	
		ジシアン	52	-6(-18)	アーモンド様臭	水に不溶	-	-	
	びらん剤	マスタード	159.1	分解(58)	琥珀色液体芥子臭	水に難溶	1500	23	呼吸器、皮膚、絛口摂取。 目や肺の機能を破壊し、 皮膚でびらんを起こし、組織の 全面破壊、死に至らしめる。
		窒素-マスタード	170.1	分解(29)	端黄色液体	水に難溶	-	22	
		酸素-マスタード	263.3	分解(49)	黄色油芥子臭	水に不溶	毒性強	-	
		Q剤	219.2	分解(133)	油上固体芥子臭	水に不溶	毒性強	-	
		ルイサイト	207.4	374(22)	褐色液体ゲラニウム臭	水に不溶	1200-1500	17	
	神経剤	サリン	140.1	316 (69)	無色液体無臭	水に易溶	0.15	1.2	呼吸器、皮膚、目、絛口摂取。 神経伝達系のために働く酵素 の作用を阻害し、筋肉痙攣や 呼吸障害を起こし死に至らしめる。
		タブン	162.1	428 (58)	無色液体果実臭	水に72%可溶	0.35-0.40	2	
		ソマン	182.2	388 (44)	無色液体果実臭	水に21%可溶	0.13	0.9	
		VX	267.4	568 (60)	琥珀色液体	水に3%可溶	0.02	0.2-0.3	
II	催涙剤	アクロレイン	56.1	127 (126)	無色液体、刺激臭	水に可溶	5%で目に刺激	-	目に強い刺激を与える。 目を刺激して涙を出させる。 皮膚に接触すると痛みを 感じさせる。
		ベンジルクロリド	126.6	354 (38)	単黄色液体刺激臭	水に005%可溶	-	-	
		クロロベンザル マロニトリル	188.6	590 (99)	無色結晶	水に002 %可溶	-	6100	
		クロロアセトフェン	154.6	472 (34)	無色結晶強い刺激臭	水に不溶	-	1400	
	嘔吐剤	ジフェニル シアノアルシン	255	分解 (89)	芥子臭結晶	水に不溶	02ppmで嘔吐	95.9	屋外では極度の不快感程度だが 屋内では、高濃度の物を吸うと 死に至る事もある。
		ジフェニル クロロアルシン	264.5	分解 (106)	無色無臭 結晶	水に不溶	12ppmで嘔吐	1500	
		アダムサイト	277.6	770 (383)	淡黄緑色結晶	水に不溶	1500	95.5	
	無能力化剤	BZ	337.4	608	無色結晶	水に不溶	-	20,000	一時的な生理、精神障害を起こす が、治療せずとも回復する。
		LSD		327			-	-	

I. 致死性化学剤 LC₅₀ 薬剤吸入の結果50%の個体死亡する空気中の薬剤濃度

II. 非致死性化学剤 LD₅₀ 皮膚または呼吸により50%の個体死亡する薬剤の量

第2. 3節 第一次大戦における化学兵器使用

化学剤が兵器として初めて本格的に使用されたのは、1915年4月22日第一次大戦においてドイツ、オーストリア軍がイギリス、フランス連合軍に対して168トンもの塩素ガスを用いた際である。このときの戦闘は悲惨なもので、化学兵器の効果を十分に見せつけられたフランス、イギリス軍も、化学兵器の開発に積極的に乗り出して行った。これ以後、化学兵器の研究、開発が両陣営により競って進められた。1918年の大戦終了までに、大量の窒息剤以外に、血液剤の青酸ガス、新たに開発されたびらん剤のマスタードガス（イペリットとも呼ばれる）が大量に生産使用された。その他に、30種類もの化学剤が単独または混合物として化学兵器に使用された。

例えば、マスタードガスは皮膚にヤケド状のびらんを生じるのみでなく、気体状のガスを吸引すると肺の組織を侵し、壊死を引き起こし、死に至らしめる。マスタードガスはその症状の激しさからくる恐怖のために、第一次大戦以降もかえって大量に生産され、化学兵器の王とも呼ばれている。しかし、純粋な硫黄マスタードは融点が比較的高く、気温の低いヨーロッパ戦線では固化してしまい威力を発揮できなくなった。その欠点を補うために、マスタードに他の化学物質を混合し、低温でも液体状態を維持させて散布し易くするように改良が加えられた。そのような化学物質の一つがヒ素化合物のレイサイトである。レイサイトは、マスタードと同様に、びらん性の毒ガスであるが、マスタードよりもいっそう即効性があり、皮膚に付くとすぐに激しい痛みを与える。目や呼吸器も冒す。第一次、第二次大戦中に各種の混合マスタードが作られた。

第一次大戦において、使用された化学兵器の量は1915年より1918年の間に12万4,200トン、砲撃回数すると6,600万発程度と推定され、化学兵器による死傷者数は130万人、そのうち、約10万人が死亡したという悲惨な結果になっている。第一次大戦で、化学剤を戦闘に用いると戦局を優位にできることが各参戦国において認識された。特に、ロシアは対ドイツ戦での化学剤による死者が最も多く、化学戦争の必要性を実感した結果、第一次大戦以降近年に至るまで、化学兵器の生産、貯蔵に力を入れた。また逆に、化学戦争の悲惨さは戦争における化学兵器の使用を禁止しようという機運を多くの国に植え付けた。

第2. 4節 第二次大戦時及びその後の開発・使用状況

第一次大戦以降第二次大戦終了までに生産、貯蔵された化学兵器は、第一次大戦時のそれを遥かに上回る。しかし、実際の戦闘で使われた報告例は少ない。化学兵器の与える恐怖と、戦争当事国間での報復を恐れた結果が抑止力となったと考えられる。幾つかの例は、1935年～38年にかけて、イタリア軍がエチオピアにおいてマスタードガスを使用した例や、旧日本軍が1937年～43年の間に、中国大陆で嘔吐剤（くしゃみ剤）のDC、DAを使用した

例が報告されている。実際には、ヨーロッパにおいても中国大陆においても、大規模に生産、貯蔵された化学兵器が各戦線に配備されていた。第二次大戦後、大戦中に製造、貯蔵されていた化学兵器は、海洋投棄、地中埋設、燃焼等により廃棄されたものが多い。しかしながら、これら海洋投棄されたり、地中に埋められた化学弾は現在においても、漁船の操業中に引き上げられたり、地中から掘り出され、事故の原因となっている。

第二次大戦後も一部の国では化学兵器の製造、貯蔵は続けられ、特に冷戦時代に米国、旧ソ連で大量の化学兵器が製造されている。この化学兵器の主となったのはサリンやVX等の神経剤である。サリンは、第二次大戦中に開発されたものであるが、使用はされていない。第二次大戦後においてはイラン-イラク戦争でイラク軍がマスタードガスを使用した例が知られている。現在、米国、ロシアの2国で貯蔵されている化学兵器は、神経剤とマスタードが中心で、米国が約3万トン、ロシアが約4万トンといわれている。

第3章 化学兵器禁止条約の成立と条約下での活動

第3.1節 化学兵器禁止の歴史と世界的な流れ

第一次大戦における化学兵器の使用は、100万人以上の死傷者、10万人にも及ぶ死者を出すという悲惨な結果をもたらした。この結果を背景にして、国際連盟では1925年に窒息性ガス、毒ガスまたは、これに類するガス類及び細菌学的手段の戦争における使用禁止に関するジュネーブ議定書が作成され、戦闘行為における化学兵器の使用禁止が初めて定められた。しかし、この議定書では、化学兵器の戦争における使用は禁止したが、生産、開発、保有等に関する禁止規定はなく、その後も化学兵器の製造・配備は続けられた。

第二次大戦（1939年～1945年）では、ヨーロッパ戦線においては、表立った化学兵器を用いた戦争はなかったが、世界中で新しい化学兵器の開発や製造が行われた。特に、化学剤の種類も、窒息性剤、血液剤、びらん剤から、ドイツで開発された有機リン系のタブン、ソマン、サリン、さらに、イギリス、米国で開発されたVXのような致死性の極めて高い神経剤へと移っていった。この化学兵器の開発競争は東西冷戦の状態下に米ソ両国において、80年代に至るまで続けられた。

このように、ジュネーブ議定書が作成されたにもかかわらず、化学兵器に関する包括的な禁止は遅々として進まなかったが、1969年ウ・タント国連事務総長が、「化学・細菌兵器とその使用の影響」という報告書を提出したのを契機として、化学兵器・生物兵器の全面禁止についての議論が、ジュネーブの軍縮委員会で行われるようになった。1984年米国により化学兵器禁止の条約の案文が出され、化学兵器禁止に向けての議論が重ねられた。1989年フランス政府主催の「化学兵器禁止に関する国際会議」が開かれ、世界中の大きな関心を呼び、参加国は140ヶ国を超えた。このような化学兵器禁止についての世界中の関心を背景として、1992年9月に国連・軍縮会議において、「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」（化学兵器禁止条約）が全会一致で採択され、翌1993年1月にパリで署名のために開放された。この条約は、四半世紀に及ぶ長い議論を経て、1997年4月29日に発効した。

第3.2節 化学兵器禁止条約の概要

化学兵器禁止条約の締約国は2001年5月時点で我が国を含め143ヶ国であるが、北朝鮮や中東諸国の一部などが未締結である。

この条約の主要なポイントは次のとおりである。

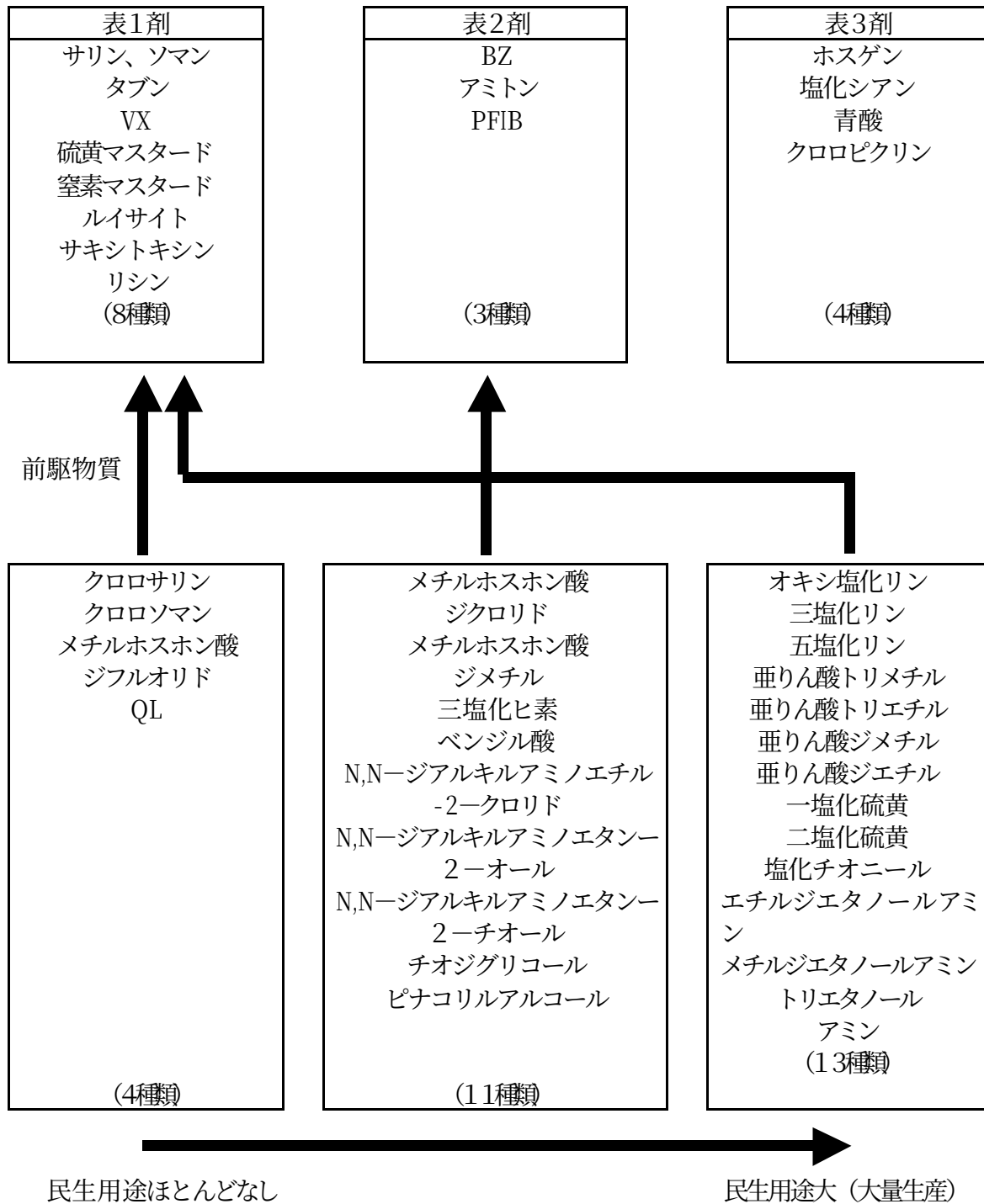
- ① いかなる場合においても、化学兵器の開発、生産、保有、使用等を行わない。
- ② 化学兵器及び化学兵器生産施設を保有している場合は、原則として条約が発効してから10年以内、つまり2007年までに廃棄する。
- ③ 老朽化化学兵器及び遺棄化学兵器も同様に廃棄する。
- ④ 化学兵器用に用いられる可能性の高い物質（表剤）に対する製造等の規制を行う。
- ⑤ 化学兵器保有、生産施設、表剤製造施設等の申告を行う。
- ⑥ 申告された施設の化学兵器禁止機関による査察を行う。
- ⑦ 条約違反の疑いがある施設に対するいわゆるチャレンジ査察を行う。

この条約の特徴は、条約によって設立された国際機関（Organization for the Prohibition of Chemical Weapons 通称OPCWと呼ばれる）が、各締約国が条約の義務を遵守していることを確かめるために、各締約国における規制対象物（表剤）の生産について各種データの管理及びその確認のための現地査察を行うことを規定している点である。

化学兵器禁止条約において規制の対象となっている化学物質に関する附属書の表（表剤リストと呼ばれる）を表 3に図説する。最も厳しい規制の対象となっている表1剤化合物は8種類あり、サキシトキシシン（貝毒の検査用に用いられている）及びリシンを除き、現時点では民生分野ではほとんど用いられない化学物質である。これらの化合物については、制癌剤開発のための研究用や化学兵器からの防護研究などのためにのみ、生産や保有が認められている。これ以外に表2剤および表3剤に挙げられている化学物質も規制の対象となっている。その毒性ゆえに過去において実際に化学兵器として使用された青酸、ホスゲン等のように、現在、化学工業における原料物質としてなくてはならない物、つまり二面的な用途を持つ物質も多く存在する。また、チオジグリコール(HOCH_2CH_2)₂Sのように、硫黄マスタードの前駆物質ではあるが、毒性はなく民生用として産業界でも広く使用されている化学物質もある。このような化学物質を扱う施設については、生産、加工、消費等を行う量によって、申告や国際的な査察を受ける義務が課せられている。これらの申告は政府が関連施設からの届出を受けて国際機関に年次申告を行う形が基本となっている。国際機関による現地査察には、定期的に行われる通常査察と、条約締約国の申し立てによって行われるいわゆるチャレンジ査察がある。

表 3 化学兵器禁止条約の管理対象物質（表剤）

毒性化学物質



【注】

- 1) サキシトキシン： 赤潮の過鞭毛藻が産生する毒素で、マガキ、ホタテガイ、ムラサキガイ、アサリなど主に二枚貝がこれを食べて毒素を蓄積し、毒素化する。ふぐ毒のテトロドトキシンに構造が類似し、薬理作用や毒性の作用機構は同じであり、麻痺性貝毒と呼ばれる。米国産の二枚貝に特に多く含まれる。第二次大戦後、米国陸軍で大量に生産された。カキや帆立貝等の貝毒にサキシトキシンが含まれているため、検査のための標準物質が流通している。表1剤として規定されているため、その適切な移動・流通が阻害されているという指摘があり、化学兵器禁止機関（OPCW）において輸出入届け出方法に関して条約の検証附属書の適用の例外となる事項を定める決定の採択が行われた。
- 2) リシン： ひまし油の絞り粕より得られる。蛋白合成阻害による強い毒性を示す。症状が徐々に現れ、無臭なので検出が難しい。最初、東欧のブルガリアで暗殺用に用いられたのが有名な話として残っている。米国で毒素兵器として開発された。
- 3) BZ： 3-キヌクリジニルベンジラートで、アトロピンに似た副交感神経遮断作用を示す。LSD等と同じ無能力化剤である。米国陸軍で採用されたが現在は廃棄されている。
- 4) アミトン： O,O- ジエチル-S-[2-(ジエチルアミノ) エチル] -ホスホロチオラートとそのアルキル塩類。有機リン系殺虫剤として開発されたが経皮毒性が強く製品化はされなかったが、マスタード等と同様な-(CH₂CH₂)₂基を持ち VX の開発につながった。
- 5) PFIB： 1,1,3,3,3-ペンタフルオロ-2-(トリフルオロメチル)-1-プロペン、フッ素樹脂を高温で加熱分解したときに発生する。毒性が極めて高い。

第 3. 3 節 化学兵器禁止条約と日本の対応

我が国においても、化学兵器禁止条約の批准にあたり、国内法が制定された。1993年に通産大臣の諮問機関として、化学品審議会に化学兵器禁止条約国内対策部会が設置され、「化学兵器の開発、生産、貯蔵及び使用の禁止並びに廃止に関する条約の遵守に関する施策のあり方」についての答申が取りまとめられた。政府はこれに基づき、「化学兵器の禁止及び特定物質の規制等に関する法律案」（化学兵器禁止法）を作成し、国会に提出した。本法は、1995年3月30日に、衆議院本会議において可決成立した。本法の審議中に地下鉄サリン事件が発生したことは、化学兵器禁止条約の必要性を一般にも強く印象づけることとなった。なお、化学兵器禁止法は、表剤の製造等の管理、国際機関への申告、国際機関による査察の受け入れなどに関して規定している。

化学兵器禁止条約では、自国内での化学兵器の廃棄のみならず、他の締約国に遺棄した化学兵器の廃棄義務をも当該化学兵器を遺棄した締約国に課している。化学兵器禁止法にはこれらの廃棄に関する規定は定められておらず、国内で発見される老朽化兵器や中国大陸に存在する旧日本軍の遺棄化学兵器については、条約に従い日本政府の責任において早急に廃棄することが必要となっている。

第 3. 4 節 化学兵器禁止条約下での活動

1997年4月に化学兵器禁止条約が発効して以来、オランダのハーグに設置された化学兵器禁止機関（OPCW）が中心となって、条約の規定に基づく化学兵器の廃棄及び関連の施設に対する査察が実施されている。

化学兵器を保有していると申告している国は米国、ロシアを含み4カ国。老朽化化学兵器が存在すると申告した国は6カ国（日本、ベルギー、フランス、ドイツ、イタリア、イギリス）である。遺棄化学兵器については、中国における日本の遺棄化学兵器が申告されているほか、イタリア及びパナマも自国内に遺棄化学兵器が存在するとの申告を行っている（イタリアは遺棄した国を特定しないまま、自らこれを廃棄している）。

化学兵器に使用される可能性のある物質関連の施設としては、表1剤関連で約24施設、表2剤関連で約354施設（うち126施設が査察対象）、表3剤関連で約381施設（うち316施設が査察対象）ある。その他の有機化合物関連施設として約3,500施設（うち3,353施設が査察対象）が申告されており、条約発効から2000年末までの3年間に世界で約870回もの査察がOPCWの査察員により実施されている。

これまでロシアを除く化学兵器保有国3カ国は何れも条約に従い順調に化学兵器の処理を進めているが、ロシアは処理のための財源不足などのために本格的な処理を開始できていない。老朽化化学兵器に関しては、我が国を含め、各保有国とも既に処理に着手している。

(以上データは、特記なき限り1999年末現在のもの)

第4章 化学兵器廃棄活動の社会的位置づけ

第4.1節 化学兵器廃棄と軍事活動

遺棄・老朽化化学兵器を含む化学兵器廃棄活動は、兵器に関する活動であることに加え、諸外国においては軍が中心になって廃棄活動が実施されていることから、軍事活動の一環又は軍事活動への転用が可能な活動との印象を持たれやすい。

しかし、軍事活動の中で位置づけられる化学兵器関係の活動は、化学兵器が使用された場合の防護および除染のみであり、その研究のための化学剤の使用も条約上厳しく制約されている。また、化学兵器の廃棄という活動は、行軍経路確保のための地雷の探査・破壊（化学兵器関連ではこれが防護、除染活動に該当すると思われる）などとは異なり、人体安全・環境確保の観点から実施されているものである。諸外国において軍が中心となって廃棄活動が実施されているのは、廃棄対象の化学兵器を軍が保有していたことと、防護・除染能力を有する軍が最も安全に廃棄できると考えられたためである。即ち、軍事技術の活用は想定しているが、軍事技術への利用は想定されていない。なお、防護、除染活動には、化学兵器が使用された場合の化学剤濃度の測定、化学剤の毒性からの人体防護、汚染された人員、機材、地域の除染なども含まれる。

化学兵器の廃棄活動は非常にコストがかかる作業であり、軍事的メリットはなんら存在しない。一方、廃棄活動にあたって、これまで軍が保有してきた化学剤防護、除染の知識（化学剤の毒性、防護マスク等の有効性等の知識）が活用できれば、非常に効率的に作業を進めることが可能となる。

なお、中国での遺棄化学兵器処理事業の実施にあたっては、防護機材等の輸出管理上武器に該当するものを中国へ持ち込むことが必要となる。このため、日本政府は2000年4月、これら武器該当品が本件処理事業の実施のためにのみ使用されることを条件に、武器輸出三原則等に拠らないこととする旨の発表を行った。（参考 2参照）

参考. 2

「中国国内における遺棄化学兵器処理事業の実施と武器輸出三原則等との関係」についての内閣官房長官談話

平成十二年四月十八日

政府は、かねてから、化学兵器禁止条約に基づき中国国内における遺棄化学兵器の処理事業に取り組んできているところ、この処理事業の実施のために必要な貨物等の輸出の問題について、政府部内で慎重に検討を重ねた結果、次の結論に達し、本日の閣議において了承を得た。

一、化学兵器禁止条約は、化学兵器の完全な廃絶を目的とし、化学兵器の生産、使用等の禁止及び廃棄について規定するものであり、我が国としても、大量破壊兵器の不拡散及び軍縮が緊急の課題であるとの状況を踏まえ、同条約は、国際社会の平和と安全を支える重要な柱の一つとして歴史的な意義を有すると考えて、平成七年にこの条約を批准した。平成九年の同条約の発効に伴い、我が国は、遺棄締約国として、他の締約国の領域内に遺棄したすべての化学兵器を廃棄し、また、すべての必要な資金、技術、専門家、施設その他の資源を提供する義務を負っている。このため、我が国としては、中国国内における遺棄化学兵器の処理事業に最大限の力を尽くしているところである。

二、政府は、これまで、武器等の輸出については、武器輸出三原則等によって慎重に対処してきたところであるが、一、に述べた諸点にかんがみ、前述の処理事業の実施のために必要な貨物等に武器輸出三原則等における武器等に当たるものが含まれる場合であっても、当該武器等の移転を目的としない輸出については、当該武器等が我が国政府の厳格な管理の下、我が国政府によって処理事業の実施のためにのみ使用されることを条件として、また、仮に、将来当該武器等の中国政府への移転を目的とする輸出が行われることとなる場合には、当該輸出については、中国政府と我が国政府との間での国際約束等により、当該武器等が処理事業の実施のためにのみ使用されること及び当該武器等が我が国政府の事前同意なく第三者に移転されないことが担保されることを条件として、武器輸出三原則等によらないこととする。これによって、国際紛争等を助長することを回避するという武器輸出三原則等の基本理念は確保されることとなる。

三、なお、政府としては今後とも、武器輸出三原則等に関しては、国際紛争等を助長することを回避するというその基本理念を維持していく考えである。

第4. 2節 化学兵器禁止条約下での化学兵器関連活動への制限

化学兵器禁止条約上禁止されていない平和目的の一つである防護活動の一環として、防護機材の性能確認等のため有毒化学物質の生産を行うことは認められているが、その量は制限されている。条約は、防護、医療、研究等の目的のための表1剤の生産・保有を、各国に対して、1年に1トンまでに制限しているが、これらの化学剤を年間100g以上製造する施設は全て申告の義務があり、1～2年に1回のペースでOPCWによる国際査察が行われることになる。我が国においては、陸上自衛隊化学学校が、研究目的で、これら化学剤を年間10kgを上限として合成・利用することが条約上及び法律上認められている。

第4. 3節 安全・環境優先の化学兵器廃棄

化学兵器の廃棄でこれまで用いられてきた最も経済的な手法は、海洋投棄及び地中埋設であった。第二次大戦直後には、我が国が保有していたものも含め、この方法により大量の化学兵器が処分された。しかし、現在においては、人体及び環境への二次汚染の懸念からこの廃棄手法は条約により禁止されており、人体の安全の確保と周辺環境への悪影響の回避を最優先にして、特別に設計された施設で廃棄を実施することが求められている。

第4. 4節 欧米における軍の能力の有効活用

化学兵器廃棄活動が諸外国、特に欧米において軍が中心になって実施されている理由は、

- ① 化学兵器を実際に保有しているのが軍であること
 - ② 軍が化学剤に対する防護、除染能力を有していること
- の2点による。

第二次大戦以降化学兵器を生産保有していた米国は、軍が自ら開発・保有してきた化学兵器の処分を実施してきている。なお、化学兵器禁止条約発効以前より化学兵器廃棄の活動は開始されていたが、これは、化学兵器の保有自体が、漏洩等により人員・周辺住民への被害を与えるリスクを考慮すると、コストの高い活動となっていたためである。

ドイツ、ベルギーは第二次大戦以降化学兵器を保有していない。これらの国々が実施している廃棄活動の対象は、第一次大戦時に戦場で使用されたり、第二次大戦までの間に演習場で使用されたもので現在でも不発弾として発見されるものや、第二次大戦直後に大量に埋設廃棄された老朽化化学兵器の廃棄である。これらの国々においては、軍が化学剤に対する防護、除染能力を有していることから廃棄活動を担っているが、その目的は我が国でも実施されている不発弾の処理と同様、過去の化学兵器からの社会生活上の安全の確保であ

る。

このように、化学兵器の廃棄活動は軍が中心となって実施されているが、他国が配備した化学兵器を無効化するというような軍事的意味からなされているものではない。ベルギーを例にとれば、これまで培ってきた化学剤防護・除染及び不発弾処理の能力を活用して、不発弾として発見される老朽化した化学兵器の処理を実施している状況であり、軍の能力の平和目的への有効利用といえよう。化学剤や爆発物に関する知識はどの国においても軍関係に偏在しており、化学兵器廃棄を効率的に進めるためには、軍関係の技術・人材の有効活用が不可欠である。なお、ベルギーにおいては、実施内容について周辺住民に対する説明などを積極的に実施しており、我が国においても自衛隊の能力を活用する場合の参考となろう。

第5章 化学兵器廃棄に関する各国の取り組み状況

第5.1節 日本における化学兵器廃棄活動

5.1.1 大久野島における化学剤の処理

瀬戸内海の広島県沖にある大久野島は、旧日本陸軍の化学兵器製造工場があった土地として知られている。第二次大戦終戦時の化学剤貯蔵量は、マスタード1,451トン、ルイサイト824トン、くしゃみ剤(DC、DA)958トン、催涙剤7トンであったとされる。戦後大久野島の化学剤処理は、帝人株式会社が請け負うこととなり、その処理作業等については、帝人社史に記録されている。処理にあたっては、米国第8軍からウィリアムソン大佐が派遣され指揮にあたっている。

第1次作業は、貯蔵化学剤の処理である。処理は海洋投棄処分であり、老朽化した3千トン級上陸用船舶2船に搭載し、土佐沖に船ごと沈底させるものであった。船積の際に化学剤接触の危険性があり、悪臭がただよって作業は困難なものであったとされる。また、第1船の積込作業が90%達成された段階で台風が襲来し、船は海岸に乗り上げて座礁し、パイプの一部破損による化学剤飛散により百余名の負傷者が生じた。第2船は装備の老朽化のため、化学剤が船内にもれ、また船を低速でしか動かすことはできなかったとされる。しかし、一応海洋投棄処分は無事に終了した。一方、大量に残存したくしゃみ剤のような化学剤についてはコンクリート枠を作った壕内に埋没し、海水とさらし粉の混合物を注入して処理を終えている。また貯槽底部には化学剤残査が泥状となって残存していた。この量は50トン余とされ、この処理のため熱油洗滌装置及び焼却炉が設計され、熱油で溶解した上で焼却炉に送って焼却する方法がとられた。なお、この焼却作業の際に、併せて催涙棒、催涙筒も処理したとされている。

第2次作業は化学剤製造施設の処理作業であった。ここには原料、中間製品及び製品が未整理のまま混在していた。このため、第1段階として内部に蒸気を注入し、排出される蒸気及び凝縮水はさらし粉並びにカセイソーダ(苛性ソーダ)溶液などを通過させてから空中に放出する作業が行われた。化学剤が十分に流出した後、火焰放射器で、床上または地面上に流出した化学剤や施設周囲に付着した化学剤を焼却除染した。さらに建物の内外も十分に焼却洗浄して、解体を行った。また各装置の配管部品などの切断は焼却または爆破によって行い、解体後、火焰放射器や燃料油などを用いて焼却した。なお、大久野島は、その後厚生省(現環境省)に移管され、国民休暇村として活用されている。

5.1.2 広島市の化学兵器原料(ジフェニルアルシン酸)等の処理

ジフェニルアルシン酸はあか剤(第2.2節参照)の原料である。戦後、処理物質として1951年に民間業者に払い下げられていたものが危険な状態で野積み放置されていたため、

1973年広島県が広島市内の県港湾管理用地にコンクリート槽を設けて埋設処理をした。その後、20年が経過し、このコンクリート槽周辺の土壌を調査したところ、コンクリート槽からの漏洩が原因と思われる土壌汚染が検出された。このため、県はジフェニルアルシン酸とともに、コンクリート槽を解体撤去し、併せて周辺の汚染土も含めて処理することとした。

ジフェニルアルシン酸にはヒ素が含有されているため、ヒ素廃棄物の処理許可を有している光和精鉱株式会社（北九州市）が、本処理を依頼された。依頼主である広島県と受け入れ自治体である北九州市との調整の結果、北九州市の指導下で、産業廃棄物に準じた扱いで処理が実施されることとなった。なお、監視機関として、広島県及び北九州市の職員並びに2人の学識経験者からなる安全管理委員会が設置された。

処理は1996年から1998年にかけて実施された。具体的には、水溶液とされたジフェニルアルシン酸を硫黄燃焼炉中で高温焼却し、無水亜硫酸として液中に捕集した後、安定な硫化ヒ素に変え、遮断型の廃棄物処理場に廃棄した。この際、ヒ素に関して、排水規制としては0.1mg/L、排ガス規制としては10 µg/Nm³が適用されている。

本対象物は化学剤の原料であり、化学兵器として使用される化学剤そのものではないが、土壌等を入れると全体で12,500トンにも及ぶ本格的な処理であり、中国における遺棄化学兵器処理事業の参考になるものといえる。

5. 1. 3 屈斜路湖で発見されたきい爆弾の処理

屈斜路湖湖底に存在が確認された化学兵器については、1996年10月、北海道庁の依頼に基づき、自衛隊により引き揚げられ、安全処置のあと、北海道弟子屈町の町有林中に作られたピットに一時保管されていた。100式50kgきい爆弾（空中投下爆弾）26発であったが、うち24発は弾殻に穴が開き内容物が流出していたが、2発は破損しておらず内容物が残っていた。本きい爆弾の処理は、2000年の10月から11月にかけて解体処理された。総理府からの依頼により自衛隊が支援し、処理が実施された。

破損していない爆弾には、約19kgのきい剤と2.3kgの炸薬（ピクリン酸）が含まれ、弾殻の重量は21.8kgと推定された。26発の爆弾の全重量は残存化学剤220kg ピクリン酸59.1kg 弾殻等金属は578.7kgであった。

爆弾の処理は以下の手順で進められた。

- ① ピットより1発ずつ取り出された爆弾はまずX線により内容物の状況を確認。
- ② その後、爆弾全体を水に浸した状態でドリルにより窄孔し、化学剤を溶出させ、水、続いて温アルカリ水で繰り返し洗浄し、加水分解反応を促進。次に弾頭を切断し、炸薬筒、化学剤、弾殻に分離。
- ③ 炸薬筒はデトネーションチャンバーの中で補助火薬を用いた爆破燃焼法により処理。
- ④ 弾殻は繰り返しアルカリ洗浄され表面から化学剤が検知されなくなった後、一般金属廃

棄物として廃棄物処理業者に引き渡され、セメント固化処理された。

- ⑤ 化学剤溶出液は、さらに加温して加水分解反応が進められた後、酸化剤を用いて酸化処理された。この過程において、反応式上想定されるエチレン、アセチレンの混合ガスの発生が確認された。
- ⑥ 反応廃液にはヒ素化合物が含まれることになるが、これらは全てドラム缶に貯留され、化学剤が検知されないことが確認された後、廃棄物処理業者に引き渡された。
- ⑦ 廃棄物処理業者においては、ヒ素成分の固形化等の処理を行い、最終的にはセメント固化し、遮断型の貯蔵施設に保管された。

なお、この工程において、排水中のヒ素については、0.1mg/Lの排出規制が適用されている。また、OPCWによる審査が行われ、問題なく処理が終了したことが確認されている。

屈斜路湖のきい爆弾の処理は、我が国できい剤を化学処理した最初の例であり、今後の遺棄化学兵器処理手法の検討に当たっての参考となるものといえよう。

第5. 2節 海外各国における化学兵器廃棄状況

欧米諸国では第二次大戦後まもなくから、自国内にある化学兵器の処理を連綿と行っている。ただ、その方法は最近のように管理された科学的なものではなく、海洋投棄、簡易な中和・焼却等であった。海洋投棄については1970年代まで行われている。

1980年代に入ってから、海洋投棄が行われることもなくなり、各国とも自国の状況に合わせて、厳しく管理された方法で廃棄処理を行っている。それ以前の処理については、化学剤のサンプリング・検知等に係わる機器・技術の水準が現在ほど精度の高いものではなかったこともあり、どの程度厳格に実施されたかは必ずしも明確ではない。

1980年以前に行われた主な処理実績例を示すと表 4 のようである。

表 4 1980年以前の処理実績例

国名	時期	処理内容
イギリス	1958～1960	約 6,000 トンのマスタードを各地で焼却
米国	1970 年代	約 9,500 トンの各種化学剤を各地で焼却 約 4,200 トンのサリンを中和
カナダ	1973～1976	約 700 トンのマスタードを石灰を加えて中和した後、焼却

現時点における世界最大の化学兵器保有国は近年迄その製造・貯蔵を行ってきたロシア（約4万トンの化学剤）及び米国（約3万トンの化学剤）である。

これら2ヶ国以外の他の諸国では、化学兵器禁止条約に抵触する戦闘用化学兵器はほとんど保有しておらず、毎年少量発見される第一次及び第二次大戦時に製造・使用された老朽化兵器を発掘・回収し、一時的に貯蔵している（処理も徐々に行っている）程度である。

5. 2. 1 ロシア

現在ロシアは、約4万トンの化学剤を7ヶ所に貯蔵している。化学剤は主に、びらん剤（マスタード、ルイサイト及びこれらの混合物）と神経剤（サリン、ソマン、VX）であり、神経剤が約80%を占めている。

びらん剤はGornyとKambarkaに、神経剤はShchuchu'ye（約5,400トンのサリン、ソマン及びVX）、Kizner, Pohep, Leonidovka及びMaradykovskyに貯蔵されている。

現在、米国、ドイツ、スウェーデン、オランダ等の資金・技術協力の下に、廃棄処理施設の計画・建設が進められている段階であり、本格的な廃棄処理はまだ開始されていない。

ドイツが援助している Gorny にはびらん剤（マスタード、ルイサイト及びこれらの混合物）が貯蔵されている。加水分解後にアスファルト固化する方法で処理する予定であるが、ルイサイトについては、加水分解後にヒ素を再利用するために抽出し、残留物を焼却処理することになっている。

米国が援助している Shchuch'ye には約5,400トンの神経剤（サリン、ソマン、VX）が貯蔵されている。砲弾類からの化学剤の取出しは、穿孔・抽出により行うことになっている。廃棄処理技術は中和であり、サリン及びソマンに対してはモノエタノールアミンを中和剤として用い、VXに対してはロシアが開発したRD4Mを中和剤として用いる。米国とロシアの共同研究・評価によって、この処理方法が99.99%の処理効率を有することが確認されている。中和生成物は、アスファルト固化される。

処理施設は二段階に分け2基を建設する予定であり、第一段階では処理能力500トン/年（1999年9月に建設を開始して2001年1月に建設を完了する予定）の施設、第二段階では処理能力700トン/年の施設を建設する予定である。

その他の貯蔵地点における廃棄処理計画は不明であるが、資金不足のため計画どおりに進んでいないというのが実状といわれている。

5.2.2 米国

米国では、1968年に化学兵器の製造が中止されたが、まだ国内8ヶ所にバルクまたは兵器として化学剤が貯蔵されている。

総量は約31,500トンであったが、現在までに、その20%程度が処理されており、残存量は約25,000トンになっている。この他にも、貯蔵化学兵器として計上されていない、バイナリー化学兵器（20万発以上の砲弾等）や埋設されている老朽化化学兵器（可能性の高い埋設地点数63ヶ所）があるが、数量は貯蔵化学兵器ほど多くはない。

貯蔵されている化学剤の種類は、びらん剤（マスタード、ルイサイト）と神経剤（サリン、タブン、VX）であり、ロシア同様に神経剤の占める割合が多い。また、化学剤量換算で約60%強がトンコンテナ（ドラム缶状の保管容器）にバルクの状態で貯蔵されている。

米国では、ストックパイル（貯蔵されている化学兵器）とノンストックパイル（埋設されている化学兵器、バイナリー兵器等）のそれぞれにプロジェクト・マネージャーが任命され、廃棄処理に当たっている。表5にその貯蔵量を示す。

表 5 米国国内各貯蔵場所における化学兵器量

貯蔵場所	化学剤の種類	化学剤量(ton)	砲弾等の兵器数
Johnston Atoll (2000年12月 に処理完了)	マスタード、サリン、 VX	2,031 (184)	187,129
Tooele	マスタード、ルイサイト、サリン、 タブン、 VX	13,616 9,198	1,103,300
Anniston	マスタード、サリン、 VX	2,254	661,371
Umatilla	サリン、 VX	3,717	215,290
Pine Bluff	サリン、 VX	3,850	119,191
Newport	VX	1,269	-
Aberdeen	マスタード	1,625	-
Pueblo	マスタード	2,611	780,078
Blue Grass	マスタード、サリン、 VX	523	101,734
合計		31,496 (25,211)	3,168,093

注：表中の数値は米軍資料による。なお、数値は当初の貯蔵量を示しており、（）内の数値は2000年5月時点の残量を示している。

(1) スtockパイルの廃棄処理

最初の処理施設が建設された Johnston 環礁では1990年から、Tooele では1996年から焼却処理が行われている（図 1参照）。Anniston、Umatilla、Pine Bluff では同様の焼却処理施設を建設中である（2001年1月現在それぞれ、約86%、86%、25%の工事進捗）。焼却施設は、ロータリーキルン（爆薬処理が主目的）、液体燃焼炉（化学剤処理が主目的）、金属焼却炉（弾殻の除染が目的）等、数種の焼却炉で構成されている。一方、解体は、逆アッセンブリと呼ばれる方法（製造の逆工程で解体）を主体に行われている。実際には、処理対象物によって、せん断切断や穿孔等の方法も採用されている。

この焼却処理については、プロセス不調時にオペレーション・ミス等により化学剤が外部環境に排出される恐れがあるということから（短時間ではあるが、実際にこのような状況が起きた）、代替技術を検討する必要性が生じた。この焼却処理に代わる代替処理技術の開発プロジェクトとして、「ACWAプログラム」が企画された。

Aberdeen及びNewportについては、焼却法に代わる処理技術として、それぞれ「中和＋生物処理」、「中和＋超臨界水酸化処理」でバルクの化学剤を処理する予定であり、施設の建設工事が開始されたばかりである。2004年頃の運転開始を予定している。

残り2ヶ所の貯蔵場所である Pueblo 及び Blue Grass における廃棄処理技術については「ACWAプログラム」として現在技術検討が行われている。「ACWAプログラム」で検討対象とされている技術は表 6に示すとおりであり、2001年4月現在 いずれの技術もまだ検討対象として残っている。将来的には、今後の検討も踏まえ、採用技術が絞られてゆくものと考えられる。



図 1 Tooele の廃棄処理施設

表 6 ACWAにおける検討対象技術

提案番号	主要解体技術	主要廃棄処理技術
1	逆アッセンブリ 冷凍破碎	化学剤・火薬：加水分解＋超臨界水酸化 弾殻：除染（カセイ溶液）＋焼却
2	逆アッセンブリ 水ジェット切断	化学剤・火薬：加水分解＋生物処理 弾殻：過熱水蒸気金属処理
3	逆アッセンブリ 水ジェット切断	化学剤・火薬：加水分解＋超臨界水酸化 弾殻：気相水素還元
4	逆アッセンブリ	化学剤・火薬・弾殻：電気化学酸化
5	逆アッセンブリ	化学剤・火薬・弾殻：プラズマ溶融炉
6	アンモニアジェット切断	化学剤・火薬・弾殻：溶媒和電子還元

(2) ノンストックパイルの廃棄処理

発掘・回収された老朽化化学兵器の廃棄処理については、まだ処理技術の検討を行っている段階である。基本的には発掘・回収地点の近くで処理を行うことを考えており、そのために移動型のMMA S（鑑定システム）、MMD-2（解体・中和処理）、EDS（爆破・中和処理）等を用いるべく開発・試験を行っている。また、Aberdeen にはMMD-2の技術をベースにしたMAPS（解体・中和処理を行う定置型施設）を設置して、2003年から回収済み化学兵器の廃棄処理を開始する予定である。

5. 2. 3 ドイツ

ドイツにおける残留化学兵器の回収は1956年より行われており、未発掘の砲弾数は数千～1万発程度と推定されている。主要な化学剤は、くしゃみ剤（Clark I、II（DA、DQ））及びマスタードである。なお、回収・貯蔵されている化学兵器の数は不明だが、汚染土壌（ヒ素汚染）については今後10年分の処理量が貯蔵されているとのことである。

ドイツでは Munster 地区で大規模な処理が行われている。化学兵器の解体作業は軍が行い、解体後の廃棄処理は委託機関（公営機関）が行っている。

(1) 貯蔵・解体

発掘・回収された化学兵器や汚染土壌は、換気フィルター付貯蔵庫内に保管され、化学剤漏洩の有無がモニターされている。爆薬と化学剤が混合した化学兵器については、地下式サイロに保管されている。

解体施設は、機械式穿孔機及び切断機を中心にした簡素なシステムで構成されている。自動化も必要最小限にしか施されておらず、訓練された専門家の能力に依存して運転されている。実績によると、1日の最大処理量は10発程度が限界であるが、今以上に効率を上げる必要性はなく、解体の困難な特殊な砲弾の解体技術を除けば、新たな解体技術の検討は行われていない。

(2) 廃棄処理

現在 Munster には、Munster I と呼ばれる焼却施設と、Munster II と呼ばれるプラズマ溶融施設が稼働している。

Munster I は、バッチ式焼却炉を中心とした施設で、1980年から稼働している。化学剤に対する処理能力は25～35 kg（マスタード等量）/時である。液体状化学剤の処理に適した施設であり、爆薬の焼却は行っていない。処理後の残渣にはヒ素も含まれており、現在、保管庫（岩塩穴）に貯蔵されている。

Munster II は、汚染土壌の処理を主目的とした施設で、セミバッチ式土壌洗浄装置及びプラズマ溶融炉を中心に構成されている。土壌洗浄装置は、稼働率90%として

約20,000トン/年(約2.5トン/時)、プラズマ溶融炉は、稼働率80%として約7,000トン/年(約1トン/時)の処理能力を有している。1999年9月頃から稼働する予定であったが、技術的問題を含む諸々の事情から本格的稼働は遅れている。

Munster では、上記施設で効率的に処理できない化学兵器を処理するために、第三のプラントとしてデトネーションチャンバーの導入を計画し、設計を進めている。計画では、75～100mmの砲弾については直接デトネーションチャンバーに投入し、100mm以上の砲弾に対しては切断後にチャンバーに投入するとのことである。

5.2.4 イギリス

貯蔵されていた化学兵器については、1950年代末頃までに、ほぼ全量が廃棄処理された。現在は、地中に埋まった状態の老朽化兵器を発掘・回収し、廃棄処理を行っている状況にある。これらの老朽化化学兵器は自国の兵器であり、演習時の不発弾、漏洩砲弾類の埋設及び処理業者による不法投棄が原因で、各地に埋まったままの状態にあるものである。

化学剤の種類はマスタード、ホスゲン、青酸ガス等多様であるが、貯蔵されている量は化学剤として1トン足らずにすぎない。

DERA (Defense Evaluation & Research Agency) の一部局であるCBDE (Chemical & Biological Defense Establishment) は、第一次大戦においてドイツ軍が化学兵器を使用したことを契機に、その対策を研究する目的で、1916年にSalisbury近郊のPorton Downに設立された。その後、機構改革等があったが、一貫して化学防衛・廃棄処理等に係わる研究・開発及び化学兵器の処理を行ってきた。現在の処理システムは、全体的に非常に簡素化されている。これは、長年の経験から、安全性、処理の確実性、維持管理の容易性等を考慮した結果とのことである。

(1) 貯蔵・解体

発掘された化学兵器及び通常兵器は、屋根掛けした風通しの良い場所に保管されており、1日に2回、漏洩のチェックを行っている。

解体は穿孔機及び機械切断機によって行なわれており、砲弾の設置を除いて遠隔操作で行なわれている。現在は、貯蔵量が少ないこともあって、平均1日に1発程度の解体しかしていない。なお、爆発リスクの高い砲弾については、現場で低圧水ジェットを用いて切断するなどの対応をしている

(2) 廃棄処理

廃棄処理は焼却により行われている。現在の焼却炉は、1996年に改良されたものであり、固体廃棄物についてはロータリーキルン及び固定床焼却炉で焼却処理されており、液

体廃棄物についてはアフターバーナに直接投入して処理している。化学剤そのものは、ガラス瓶に入れたものを固定床焼却炉で処理している。爆薬・信管については別途爆破処理を行っている。

焼却以外にも、中和、電気化学酸化、熱分解、生物処理等の技術が検討されており、処理対象物（例えば、汚染土壌、ヒ素系化学剤、爆薬等）の性状によって使い分けることも考えているようである。

5. 2. 5 ベルギー

第一次大戦（1914～1918年）で使用された化学兵器の数は、約6,600万発と推計されており（ドイツ製：3,300万発 フランス製：1,600万発 オーストリア製：500万発 イギリス製：400万発 イタリア製：400万発 ロシア製：300万発 米国製：100万発等）、これらがベルギー国内に分布している可能性がある。また、多国の化学兵器が混在していることから、化学剤の種類もマスタード、ホスゲン、青酸ガス、クロロピクリン等多様である。

現在の貯蔵量は、330トン（約27,000発）であり、ドイツ製83% イギリス製15% フランス製2%の割合である。ただし、27,000発のうち、約8,000発は通常弾と推定されている。

ベルギー全体で、毎年200～250トン分（3,500件前後）の不発弾除去依頼があるが、化学兵器（または疑いのあるもの）として回収されるのは年に17トン前後（約1,600発）である。

ベルギーでは、化学兵器の回収・鑑定・解体・廃棄処理は国防省が行っている。

(1) 貯蔵・解体

発掘・回収された化学兵器は、全てベルギー西部の Ieper に近い Poelkapalle に輸送され、解体処理されている。解体されるまでは、屋根掛けした風通しの良い場所に保管される。

1996年に建設が完了した解体施設は、ドイツやイギリスの例に倣って、機械式穿孔機及び切断機を中心にした簡素なシステムで構成されている。ただし、要員の防護の観点から可能な限り自動運転システムを採用している。

1999年後半から本格運転が開始されたが、10ヶ月間の処理量は約350発足らずで、当初予定していた年間3,600発にはほど遠い状況にある。現在、新たな処理設備の導入も含めて、処理量を増やすための検討が行われている。

(2) 廃棄処理

Poelkapalle から輸送された化学剤、汚染物質等は、Antwerpen近郊の既存廃棄物処理場に設置されている焼却炉（ロータリーキルン式、年間処理能力45,000トン、2基）を

利用して混焼されている。焼却残渣にはヒ素も含まれているが、埋立処分されている。

5. 2. 6 その他

(1) カナダ

カナダでは、1991年にシルク状レイサイト3トンが H_2O_2 及び NaOH により酸化分解・中和している。これは「Swiftsure」と呼ばれる独特のプロセスであり、米国に貯蔵されているレイサイトもこの処理方法で廃棄処理される予定である。なお、酸化・中和後の生成物はセメント固化されている。

(2) ポーランド

ポーランドでは、第二次大戦時に遺棄されたバルクのアダムサイト9.3トンの処理が1996～1999年の3年間で行われた。処理方法は H_3PO_3 を用いた還元法であり、還元反応後の液を遠心分離器にかけ、金属ヒ素を分離している。

(3) フランス

第一次大戦において発射された化学兵器の不発弾がフランス国内に散在しており（ドイツ製：60%、フランス製：30%、イギリス製：10%）、年に50トン前後の化学兵器が回収されている。現在の貯蔵量は、146トン（約14,800発）である。ベルギー同様、数カ国の化学兵器が混在しているため、化学剤の種類もマスタード、ホスゲン、青酸ガス、クロロピクリン等多様である。現在までのところ処理を実施したとの報告はなされていない。

第6章 アカデミズムの寄与と活動

第6.1節 アカデミズムの意義

中国内に存在する遺棄化学兵器処理を安全かつ効率的に行うには、多くの分野にまたがった幅広い科学技術を駆使することになる。詳しくは第8章に記述されるが、例えば、地質学・土木工学・建築学・機械工学・分析化学・計測工学・金属工学・火薬学・有機化学・物理化学・化学工学・安全工学・環境工学など、非常に多岐にわたる技術が必要とされる。また、処理過程において、プロジェクトマネジメントやリスクコミュニケーションの知識も必要となろう。このように、アカデミズムの立場から化学兵器の処理に向けて寄与できる問題は限りなく存在しそうである。本章では、化学兵器の廃棄技術に関する学術的活動についてまとめ、我が国の化学兵器処理への学術活動の在り方について言及したい。

第6.2節 OPCWをはじめとする世界の学術活動

化学兵器禁止条約が1997年4月29日に発効したことを受け、化学兵器の廃棄について国際機関（OPCW）が国際的な監視の中心的役割を担っている。OPCWの加盟国は、2001年5月現在143ヶ国である。

OPCWを構成する委員会の一つに科学諮問委員会（Scientific Advisory Board: SAB）があり、OPCW技術事務局長の諮問を受けて審議・報告をする役目を担っている。この委員会の目的は政治的な意志とは無関係に、純粋に科学的な観点から条約関連の課題について検討しようとするものである。SABには、リシンの生産規制、査察への機器導入、化学兵器の廃棄、新しい分析機器の開発について検討するための4つのワーキンググループ（WG）があり、日本からもメンバーが参加している。化学兵器の廃棄WGは、パドバ大学（イタリア）の Modena が議長を務め、これまで開催された会合において、主に化学剤の無害化処理技術について各国での化学兵器廃棄の状況や廃棄技術の研究状況など、意見交換を行ってきた¹⁾。

大量の化学兵器を保有している米国においては、化学兵器禁止条約の発効に先駆け、ACWA(Assembled Chemical Weapons Assessment) プログラムを創始した。ACWAの技術メンバーは軍関係、環境関連企業、大学等種々の職種の人間より構成され、国防省の主導の下、安全で高効率な化学兵器分解法の検討を行っている²⁾。現在、一般的な化学兵器の廃棄法として、燃焼法が世界の趨勢を占めている。しかし近年、米国では環境汚染の問題が提起されるようになり、ACWAにより燃焼以外に数多くの新しい処理技術が提案されている。例えば、化学的な加水分解処理と超臨界水酸化や生物処理の組合せがテストされて

いる。これらの技術には基本的に物理、化学、生物学的な考えと技術が活かされており、学術分野の貢献が大きい。種々の研究領域の融合は廃棄物処理において益々重要になってこよう。また、ACWAの大きな特徴として、非営利団体である Keystone Center により委託運営される意見交換会が行われていることが挙げられる。政府関係者から一般市民までメンバーに含み、情報の提供を行うことで、技術開発の過程さえ開かれて透明であることを特徴としている。

欧米やロシアでは化学兵器処理に対する科学者の協力体制が機能しはじめており、実質的に化学剤を取り扱っている研究者や研究機関はかなりの数になる。例えば、前述のOPCW・SABの Modena は有機硫黄化学の研究者としてよく知られており、マスタードやその他の化学兵器の構成化学剤の反応性や基本的な性質に精通している。WGメンバーの Bunnett は有機化学反応論の権威であり、専門家の立場から化学剤の処理に適切なアドバイスをしている。また、ポーランドで行われたアダムサイトの処理に Mikolajczyk の学術的アイデアが多数反映されている³⁾。これらはほんの一例であるが、欧米の多くの科学者が化学兵器の処理問題に深い関心を示し、積極的に活動している。

第6. 3節 我が国の学術的活動

遺棄化学兵器に用いられている化学剤は、マスタードとルイサイトやDC, DAのような有機硫黄・ヒ素化合物であり、ヘテロ原子化学という領域で扱われる化合物であるといえよう。ヘテロ原子化学は日本で提案されたものであり、研究者の数では世界でも1, 2を争う。特に、硫黄、りん化合物（ヒ素はりんと同属原子で化合物はそれぞれ似た挙動を示すことは良く知られている）の研究では世界をリードしており、我が国独自の化学兵器処理技術の開発に対して、潜在能力は高いと考えられる。

硫黄マスタードに類似の構造を持つ硫黄化合物の加水分解の研究は日本でも行なわれている。例えば、β一位にハロゲンを持つスルフィド($\text{RSCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$)はマスタード同様に加水分解の速度は極めて速いことが知られている。一方、強塩基存在下では硫黄マスタード類似化合物に対して置換反応ではなく脱離反応が優先し、ビニル化合物を与えることが大饗らにより研究された⁴⁾。昨年、屈斜路湖でのきい弾処理においてエチレンが発生することが確認され、きい剤のマスタードが強アルカリとの反応で、まず、ビニルスルフィド($\text{CH}_2=\text{CH}_2$)₂Sになると予想されている。⁵⁾

硫黄化合物のC-S結合は弱く容易に切断される。生体内生理活性物質に硫黄や窒素原子が多く含まれ、生理作用の発現に重要な作用をしているのも、C-SやC-N結合が作りやすく、切れやすいからであるといえる。そこで、生体反応を利用してC-S結合の開裂ができないかというアイデアも生まれてくる。割石らは、担子菌（一般にキノコとして知られる）が各種芳香族化合物の分解、例えば、ダイオキシン類等の難分解性化合物を分解することを見出した。

さらに、チオフェン等の複素芳香族環を容易に分解すること⁷⁾に注目し、硫黄マスタードを担子菌で処理すると完全に無機化されることを見出した。詳細な代謝経路も明らかにし、無公害的なプロセスであることを示した。この方法は濃度の濃いマスタードを短時間に分解するには向かないが、汚染された土壌の修復技術（bioremediation）として応用できるとしている⁷⁾。

ACWAの検討対象の一つとして、超臨界水を用いる酸化法がある。この方法は、マスタードや神経剤、爆薬を加水分解した後、残留している有機物を完全に酸化、無機化する方法としてテストされている²⁾。我が国においても超臨界水酸化法の研究は盛んに行われており、ダイオキシンやPCB等の環境汚染物質の分解や産業廃棄物中の化学物質の分解に用いられようとしている。中国遺棄化学兵器もマスタードや火薬のTNT・ピクリン酸が多量に含まれており、加水分解後に超臨界水酸化により、加水分解された化学剤を完全に無機化して、無害化する方法が検討され始めた。超臨界水酸化と共に化学兵器の化学剤の分解方法として、熔融塩酸化法も考えられている。この熔融塩酸化法は古くから研究されている方法で、高温（400–600°C）で Na_2CO_3 等の無機塩を熔融し、化学剤を導入して短時間に酸化的分解を行う方法である。米国のローレンス・リバモア研究所で化学剤の分解の研究に用いられている。我が国でも、朝倉・東芝グループが熔融塩によるPCBやダイオキシン等の難分解性有機物の分解に用いている。研究の一環としてヒ素化合物の分解に応用しようとしている。

有機ヒ素化合物は無機ヒ素化合物に比べ毒性は弱いとされている。ルイサイトの加水分解は容易に起こり、アセチレンと As_2O_3 になる。一方、DCやDAはベンゼン環を含み、処理後も残留する無機ヒ素、芳香族化合物の処理が問題となる。我が国でのヒ素化合物の研究は主に、無機化学や分析化学の分野の研究者が先導しており、ヒ素化学のシンポジウムが隔年に開かれている。一方、有機ヒ素化合物の化学反応に関する研究者は非常に少ない。しかしその中で、前田や加藤らにより各種のアルシン類の合成や反応性に関する研究が行われている。ベンゼン環の分解には、 H_2O_2 のような酸化剤を用いるとうまく進行することが前田らにより明らかにされており、フェニルアルシン酸の C–As 結合が H_2O_2 存在下、アルカリ処理することで容易に切断されることを明らかにしている⁸⁾。加藤らはDAをチオールやセレノール化合物との反応で結晶性の良い安定な化合物に変換できることを明らかにし、DCやDAの安全な化学変換法になる可能性を示唆した⁹⁾。

このように、種々の研究分野において化学兵器処理技術の開発が既に開始されている。今後、アカデミズムのネットワークが構築され、さらに多分野の研究者が参画することで、我が国独自の技術開発が成し遂げられるのではないだろうか。そこで、2000年11月に「遺棄化学兵器の安全な廃棄技術の研究促進小委員会」が発足した。本小委員会の任務は、遺棄化学兵器の廃棄技術に関する研究開発を促進するため、地中にある対象物の探査・発掘及び廃棄・無害化処理に関して、必要な要素技術とシステム技術を検討すると同時に、国内外の技術レベルを調査することである。アカデミズムをはじめとする要素技術をも持つグルー

プに、問題点の提示を行うための資料としても重要な役割を担うと考えている。

さらに、外部機関への意見具申と協力を呼びかけ、専門的研究者間の情報交換及び交流促進の場を設定するため、遺棄化学兵器廃棄研究会が設立された（2000年11月）。我が国において、化学工学・プロセス工学関連研究をリードする社団法人化学工学会の研究企画会議の下に設置することにより、効率の良い情報交換、情報開示、意見具申、研究協力の体制を固めようとするものである。これにより、多くの分野にまたがった幅広い科学技術を駆使することが必要となる遺棄化学兵器の廃棄のための技術開発に、広くアカデミズムからの参画を呼びかけるものである。

第6. 4節 アカデミズムの役割

以上、遺棄化学兵器に関する学術的活動について述べたが、これからの科学者としての、なすべき対応について考察する。これには、理工学系だけではなく、生物科学系、人文・社会科学系も、将来に向けて前向きな対応が期待される。処理技術・実務への提案はもとより、遺棄化学兵器処理問題の重要性、処理しなければならない責務等を、国民に広く認識してもらうための助言も必要となろう。

まずは、現在大量に地中に埋められている遺棄化学兵器の安全な処理方法についての、先端技術の活用を主体とした取り組みが必要である。新技術の提案、技術評価、実施の安全性に際しての助言などが考えられる。これは、主として理工学系の学術の役割である。環境の保全、人体への影響対策には農学、医学、薬学などの分野が関係する。また、処理に関する立地の解決、経済的な評価、さらには国際政治に関わる問題も考えられる。これらの解決には、理工学系、生物科学系、人文・社会科学系を問わず、アカデミズムとして果たすべき役割もあるように思われる。これらの助言は、住民や環境への配慮など広い影響が考えられ、冷静なる判断のもとに行われる必要がある。すべてを円滑に、しかも公正な情報公開の下で行うため、アカデミズムの果たす役割として、広い人材の確保と相互の連絡が求められ、また期待されている。すべての遺棄化学兵器を2007年までに処理するという目的のために、上で述べた委員会、研究会のみではなく、周辺の多くの分野の科学者が関心を持って、遺棄化学兵器の廃棄のための活動に参加することが望まれるのである。

【引用文献】

- 1) <http://www.opcw.nl/>
- 2) <http://www.pmacwa.org/>
- 3) J.F.Bunnett, M.Mikolajzyk, ed., Arsenic and Old Mustard, Chemical Problems in the Destruction of Old Arsenical and Mustard Munitions, NATO ASI Series, Kluwer Academic Pub., Dordrecht (1998)

- 4) 大饗 茂編, 有機硫黄化学 反応編, 化学同人 (1984)
- 5) S.Bales, J. Chem. Soc., **123**, 2486 (1923)
- 6) H.Wariishi, Fungal Metabolism of Environmentally Persistent Compounds.
–Substrate Recognition and Metabolic Response – *Biotechnol. Bioprocess Eng.* **5**, 422 (2000)
- 7) 割石博之, 科学研究費補助金 基盤研究(B)(2) 研究成果報告書 担子菌の機能解析・機能強化による次世代対応型化学兵器分解除去技術の開発 (2001)
- 8) 川畑博文, 中村 綾, 大木 章, 前田 滋, 第9回ヒ素シンポジウム講演要旨集 日本ヒ素研究会, 52 (1999)
- 9) K.Tani, S.-I.Hanabusa, S.Kato, S.-Y.Mutoh: S.-I.Suzuki, M.Ishida, J. Chem. Soc., Dalton, 518 (2001)

第7章 中国の遺棄化学兵器の実態とこれまでの取り組み

第7.1節 遺棄化学兵器問題の経緯

中国にある我が国の遺棄化学兵器問題は、先の大戦時に旧日本軍が中国大陆に持ち込んだ化学兵器が、戦後も残されたままであったことに端を発している。これらの化学兵器の大部分は、住民の安全確保のため、1950年代に中国側により各地から集積され離隔地に埋設されている。現在確認されている埋設サイトの最大のものが吉林省敦化市ハルバ嶺地区であり、日本側推定で約67万発が埋設されているとされている。埋設サイトは中国東北地区に多くみられるが、北京周辺、南京周辺等でも確認されている。なお、未発掘の場所もあり、今後も中国国内での国土開発の進展等により追加されることが見込まれる。(図2、表8参照)

旧日本軍が開発、保有していた化学剤としては以下のものが知られている。

表7 旧日本軍が開発・保有した化学剤

旧日本軍における名称	化学物質の名称	区分
きい剤	マスタード、リサイト	びらん剤
あか剤	ジフェニルシアノアルシン(DC) ジフェニルクロアルシン(DA)	くしゃみ剤 (嘔吐剤)
みどり剤	クロアセトフェン	催涙剤
あお剤	ホスゲン	窒息剤
ちゃ剤	シアン化水素	血液剤

現在、中国において発掘回収されている化学兵器としては、きい剤を含んでいるもの(きい弾、きい剤入りドラム缶)、あか剤を含んでいるもの(あか弾、あか筒)が主体である。主要な化学兵器の構造を図3、図4に示す。

遺棄化学兵器問題は、1990年頃より中国側から問題提起が行われ、日本政府による現地調査(ハルバ嶺地区については2回試掘調査を実施)を含め、日中間で協議が実施されてきている。

1992年に締結された化学兵器禁止条約の中で、遺棄締約国(日本が該当)と領域締約国(中国が該当)の義務が以下のように明記された。

「遺棄締約国は、遺棄化学兵器の廃棄のため、すべての必要な資金、技術、専門家、施設その他の資源を提供する。領域締約国は、適切な協力を行う。」（化学兵器禁止条約附属書第IV部(B)15)

この化学兵器禁止条約を日本は1995年に批准し、その後中国による批准がなされた半年後、1997年4月には条約が発効した。化学兵器禁止条約においては、原則2007年4月末までに現存するすべての化学兵器の処理が義務づけられている。化学兵器禁止条約中で、遺棄化学兵器に関する主要規定を参考 3に示す。

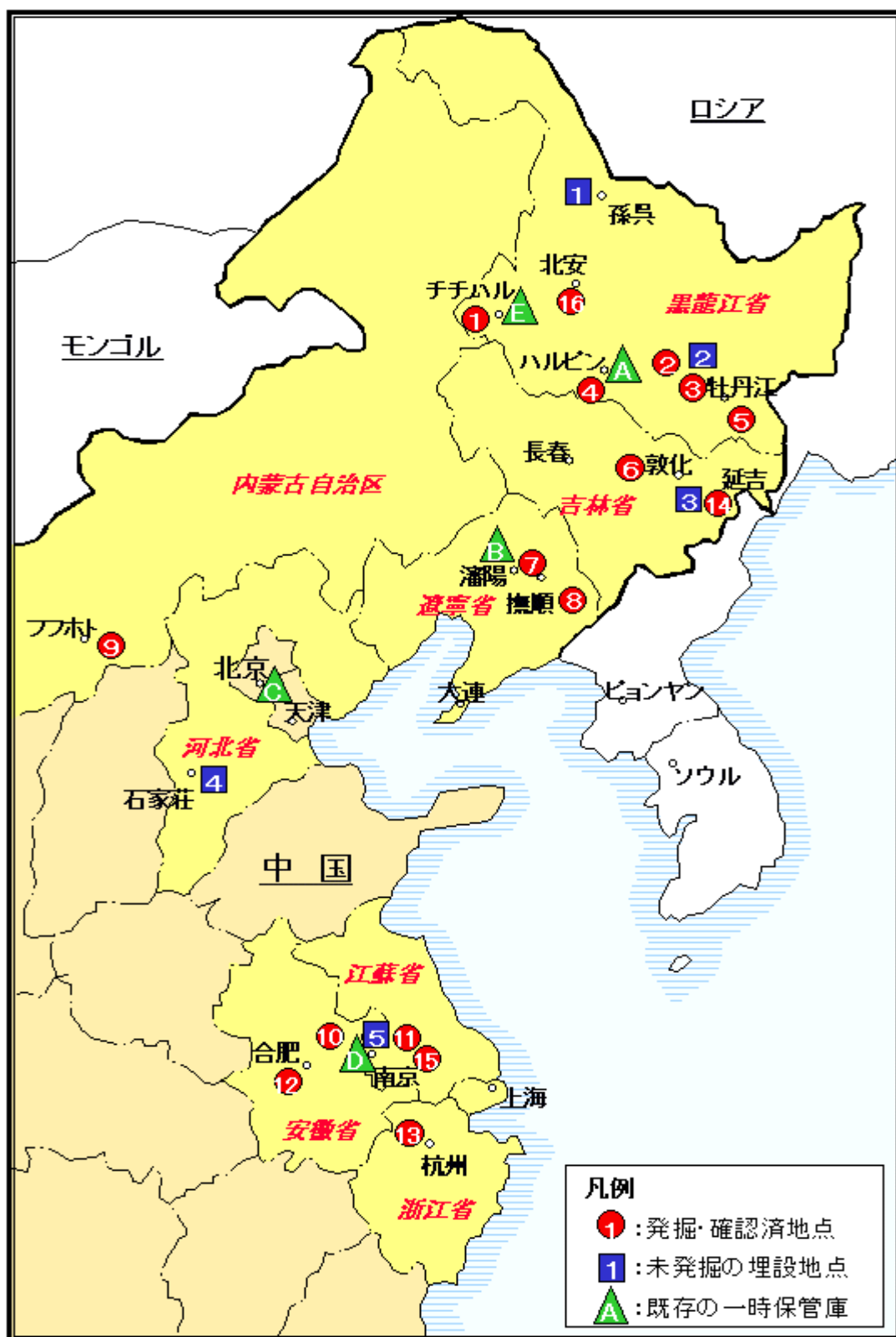


図 2 遺棄化学兵器の分布地点及び一時保管庫

表 8 発掘済及び未発掘の遺棄化学兵器の分布状況
(2001年1月時点)

区分	No	発掘済／未発掘埋設地点	遺棄化学兵器の種類
1 (発掘済)	①	黒龍江省齊齊哈爾市ヲルキ地区 ⇒ 信管付砲弾1発以外の全てを(A)に輸送済	75mm きい弾:30 発、あか弾:9 発。90mm きい弾:139 発、あか弾:44 発(信管付1 発)。105mm きい弾:3 発、あか弾:2 発。150mm きい弾:12 発、合計 239 発
	②	黒龍江省巴彥県(武装倉庫) ⇒(A)に輸送済	150mm 化学砲弾:24 発、105mm 化学砲弾:12 発 90mm 化学迫撃砲弾:2 発、75mm 砲弾:不明2 発
	③	黒龍江省尚志市慶陽鎮慶北村 ⇒(A)に輸送済	105mm きい弾:44 発、あか弾:1 発
	④	黒龍江省双城(民兵倉庫) ⇒(A)に輸送済	75mm きい弾:2 発、90mm あか弾:6 発 105mm きい弾:2 発、あか弾:1 発。150mm きい弾:1 発
	⑤	黒龍江省牡丹江市 ⇒ (A)に輸送済	75mm きい弾:8 発、あか弾:11 発、あおしろ弾 1 発。 90mm きい弾:108 発、あか弾:76 発。105mm きい弾:2 発、あか弾:1 発。150mm きい弾:4 発。合計 211 発
	⑥	吉林省吉林市郊外 ⇒(B)に輸送済	75mm 化学砲弾:47 発、150mm 化学砲弾:1 発
	⑦	遼寧省瀋陽市 ⇒ (B)に輸送済	ドラム缶:6 缶(きい弾)、150mm 化学砲弾:4 発
	⑧	遼寧省撫順市 ⇒ (B)に輸送済	75mm きい弾:6 発、あか弾:92 発。90mm きい弾:1 発、あか弾:8 発。105mm あか弾:8 発。 合計 115 発
	⑨	内蒙古自治区ヲルキ市 ⇒ (C)に輸送済	ドラム缶:4 缶(きい弾)
	⑩	安徽省滁州市郊外 ⇒ (D)に輸送済	ドラム缶:3 缶(きい弾)
	⑪	江蘇省南京市中央門外黃胡子山 ⇒(D)に輸送済	発煙筒等:約 6,000 発(12~13 種類) 90mm きい弾:1 発、あか弾:1 発
	⑫	安徽省六安市	75mm あか弾:31 発
	⑬	浙江省杭州市公安局倉庫 ⇒ (D)に輸送済	75mm 化学砲弾:10 発
	⑭	吉林省敦化市ハルバ嶺(見張所)	75mm きい弾:5 発、あか弾:4 発。90mm きい弾:5 発、あか弾:2 発。105mm きい弾:3 発。150mm きい弾:1 発、あか弾 1 発。あか筒:2 発。合計 23 発。
	⑮	江蘇省南京市 ⇒(D)に輸送済	有毒発煙筒:17,612 発(10 種類)
	⑯	黒龍江省北安市 ⇒(E)に輸送済	90mm きい弾:733 発、90mm あか弾:154 発、その他:10 発。 合計 897 発
2 (未発掘)	①	黒龍江省孫吳県	★ 化学砲弾:約 500 発、化学剤入りドラム缶:1 缶 有毒発煙筒:2 箱
	②	黒龍江省巴彥県(鉄工所)	★ 化学砲弾:約 100 発
	③	吉林省敦化市ハルバ嶺地区	☆ 75mm、105mm、150mm 砲弾、90mm 迫撃砲弾、他 推定合計約 67 万発(通常弾らしきものを含む)
	④	河北省蒿城市	★ 75mm 化学砲弾:52 発
	⑤	江蘇省南京市中央門外黃胡子山	★ 有毒発煙筒:約 3,000 発(3 発は瀋陽市で分解調査) サンプル(90mm 化学砲弾1 発、信管1 発)は で保管。 ★ 有毒発煙筒:約 10,000 発

既存一時保管庫: (A)…黒龍江省ハルビン市郊外 (B)…遼寧省瀋陽市郊外 (C)…北京市郊外
(D)…江蘇省南京市郊外 (E)…黒龍江省チチハル市郊外

区分1: 累次に亘る現地調査により遺棄化学兵器であると確認され、既に発掘・一時保管されているもの。(一時保管庫等の保管施設に保管されており、数量、状態が明らかである。)

区分2: 現地調査は実施されたが発掘されておらず、更なる発掘調査を要するもの。(地下に埋設されており、数量、状態に不明な点があるため、更に発掘・鑑定等の調査を行う必要がある。)

☆: これまでの現地調査の結果に基づく推定数量

★: 中国側から提供された情報に基づく数量

図 3 きい弾及びあか弾の構造

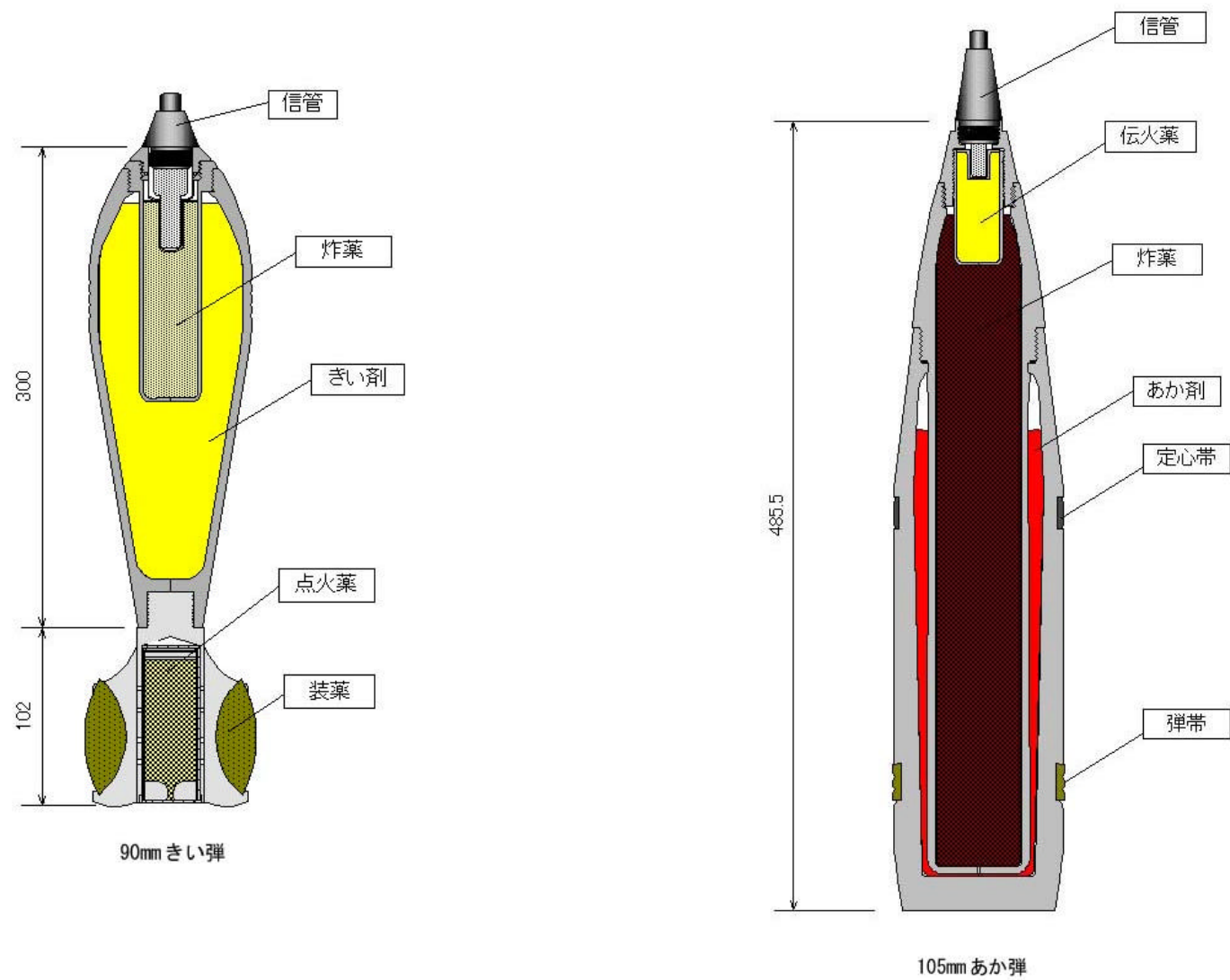
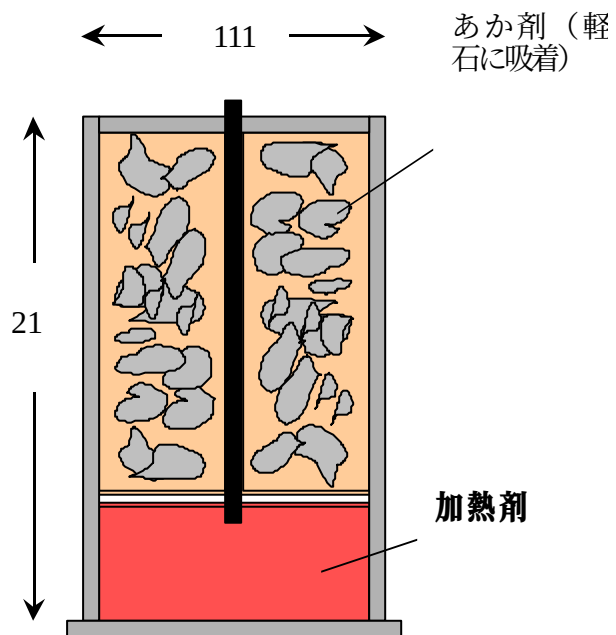
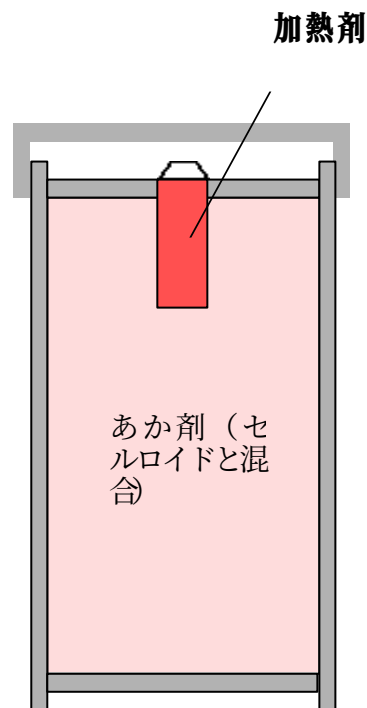


図 4 有毒発煙筒（あか筒）の構造

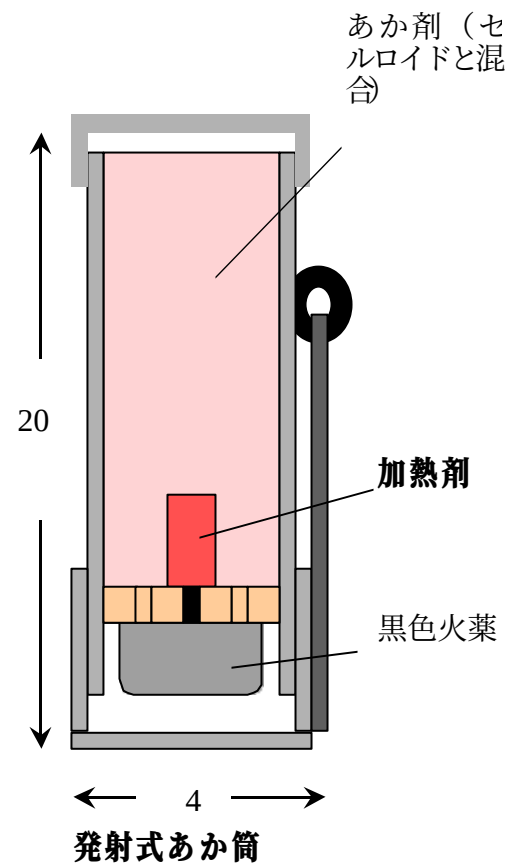
40



97式中あか筒



99式中あか筒
小あか筒



発射式あか筒

参考. 3

「化学兵器禁止条約」の主要規定（遺棄化学兵器に関する部分）

1. 定義

(1) 「遺棄化学兵器」とは、1925年1月1日以降にいずれかの国が他の国の領域内に当該他の国の同意を得ることなく遺棄した化学兵器（老朽化した化学兵器を含む。）をいう。（第2条6）

2. 申告及び廃棄の義務

- (1) 締約国は、この条約に従い、他の締約国の領域内に遺棄したすべての化学兵器を廃棄することを約束する。（第1条3）
- (2) 締約国は、この条約が自国について効力を生じた後30日以内に、機関に対して申告を行うものとし、当該申告において、（中略）遺棄化学兵器に関し、（中略）他の国の領域内に化学兵器を遺棄したか否かを申告し、及び検証附属書第4部（B）10の規定に従ってすべての入手可能な情報を提供する。（第3条1）
- (3) 遺棄締約国は、遺棄化学兵器の廃棄のため、すべての必要な資金、技術、専門家、施設その他の資源を提供する。領域締約国は、適切な協力を行う。（検証附属書第4部（B）15）。

3. 廃棄の定義及び方法

- (1) 「化学兵器の廃棄」とは、化学物質を実質的に不可逆的に化学兵器の生産に適しないものに転換する過程並びに弾薬類及び他の装置を不可逆的に使用することができないようにする過程をいう。（検証附属書第4部（A）12）
- (2) 締約国は、化学兵器の廃棄の方法を決定する。ただし、水中に投棄する方法、地中に埋める方法又は野外において焼却する方法を用いてはならない。締約国は、特別に指定され、適切に設計され及び設備が適切に整えられた施設においてのみ化学兵器を廃棄する。（検証附属書第4部（A）13）
- (3) 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。締約国は、安全及び排出に関する自国の基準に従って、化学兵器の輸送、試料採取、貯蔵及び廃棄を行う。（第4条10）
- (4) この条の規定及び検証附属書第4部の関連規定は、1977年1月1日前に締約国の領域内に埋められた化学兵器であって引き続き埋められたままであるもの又は1985年1月1日前に海洋に投棄された化学兵器については、当該締約国の裁量により適用しないことができる。（第4条17）

4. 廃棄の期限

- (1) 廃棄は、この条約が自国について効力を生じた後2年以内に開始し、この条約が効力を生じた後10年以内に完了する。（第4条6）
- (2) 執行理事会がこの条約の趣旨及び目的に危険をもたらさないと認めるときは、執行理事会は、領域締約国の単独の要請又は遺棄締約国との共同の要請に基づき、廃棄に関する規定の適用を変更し又は例外的な状況において停止することができる。（検証附属書第4部（B）17）

第7. 2節 日本政府の体制整備

条約の発効を受けて、日本政府は、1997年8月の閣議了解により、関係省庁の局長級により構成される「遺棄化学兵器処理対策連絡調整会議（議長：内閣官房副長官（事務）」を設置するとともに、同年10月に、政府全体としての取り組み確保の総合調整を実施するため、内閣外政審議室の分室として「遺棄化学兵器処理対策室」（2001年1月より内閣官房遺棄化学兵器処理対策室）を発足させた。更に、1999年3月には、閣議決定「遺棄化学兵器問題に対する取り組みについて」（参考 4）により、実際の廃棄処理事業を担当する専任の組織として、総理府の中に、「遺棄化学兵器処理担当室」（2001年1月より内閣府遺棄化学兵器処理担当室）を設置し、廃棄処理にかかる実際の業務を推進している。

遺棄化学兵器の処理に関する技術的な面については、遺棄化学兵器処理担当室に対する助言機関として、政府及び大学等の研究者・技術者から構成される

- ① 爆発リスク対策検討チーム
- ② 化学等分析チーム
- ③ 作業環境安全対策検討チーム
- ④ 環境対策検討チーム
- ⑤ 発掘回収検討チーム
- ⑥ 実処理技術検討チーム

が置かれている。

また、これらの検討チームにおける検討事項の調整等のため、検討チームの座長等から構成される遺棄化学兵器処理技術検討調整会議が開催されている。

第7. 3節 中国政府との調整等

日本政府と中国政府との調整は、1990年代初めより行われてきていたが、条約発効を前にした1996年より本格化してきている。外交当局の局長級及び課長級レベルによる日中政府間の本件処理に向けた具体的枠組みに（処理の場所、対象、スケジュール、環境・安全問題等）に関する議論が行われ、1999年7月、日中間の覚書（参考 5）が署名された。

本覚書の中で、中国政府は、中国の法律の遵守、生態環境の汚染の防止、人員安全の確保を前提とした上で、中国国内で廃棄することについて同意している。また、廃棄処理技術については、日中双方の専門家による十分な検討、論証の後に、透明性及び公平性を確保した方法で、最終的に確定されることになっている。実際の事業推進に関する技術面での議論は、1999年6月に日中専門家会合が設置され、その場を中心に実施されてい

る。

これら日中政府間の調整の本格化に伴い、中国側でも体制整備が行われ、2000年1月には、中国政府外交部に「処理日本遺棄在華化学武器問題弁公室」という本事業専任の組織が設置されている。

第7. 4節 遺棄化学兵器処理事業の進捗状況

遺棄化学兵器の処理事業のおおまかな流れは、以下の全体事業計画に示されている。

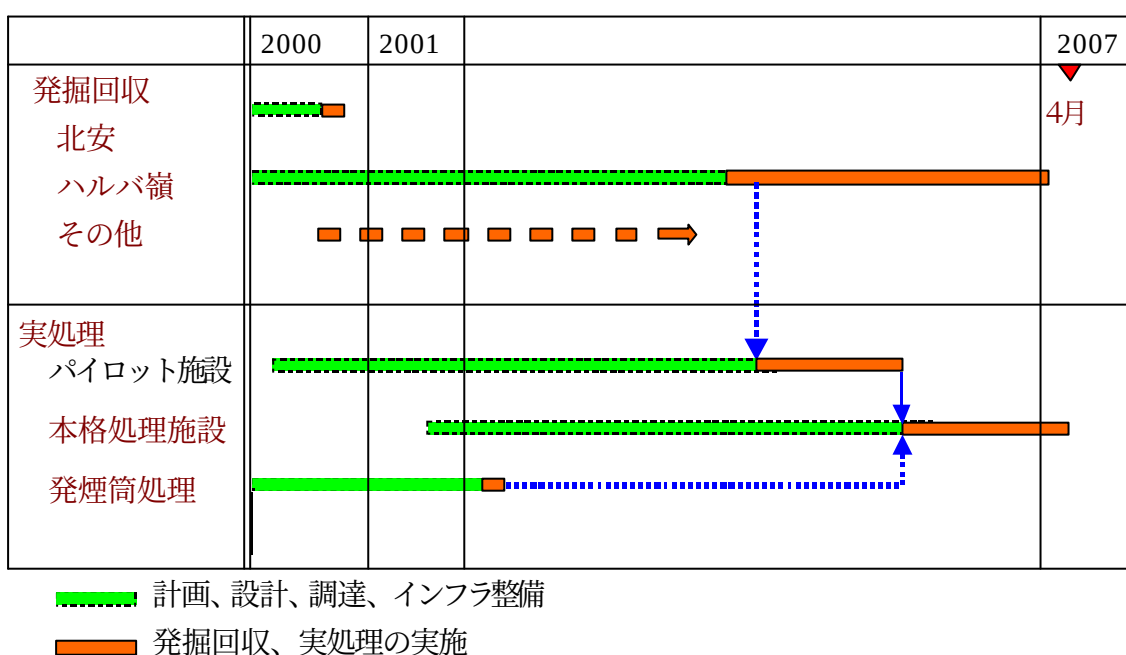


図 5 全体事業計画

実処理については、2000年7月に(財)日本国際問題研究所に実処理に関する各種分野（化学、プロセス、制御、燃焼、工作機械、砲弾）の専任の専門家からなる技術支援グループが設置され、遺棄化学兵器の大半を占めるきい剤、あか剤を含む化学砲弾を対象として、今後実施する予定の実験の対象となる実処理技術を絞り込むための作業が開始されている段階である。本格的な実験の実施、実処理プラントの基本設計等は2001年度以降の事業となっている。

発掘回収関連の事業としては、2000年の9月に中国黒龍江省の北安市（ハルピンの北約400kmの都市）において、住宅地の中に埋設されていた遺棄化学兵器の発掘が実施された。本事業は埋設地が住宅地に近接していたため、中国側から早期の発掘を求められていたものである。発掘に先立って、8月から埋設地に爆発及び化学剤拡散に対応するための防護ドーム（直径16m、高さ9m）その他の施設が構築され、発掘は9月13日から27日

まで、800名余りの周辺住民の退避協力を得て実施された。人力により発掘した後、外観鑑定、X線鑑定等を行い、それぞれ防護容器に格納し、約300km離れたチチハルの一時保管庫に輸送された。当初中国側推計では、化学砲弾約500発を含む約1,500発の砲弾が埋設されていると考えられていたが、実際には化学砲弾897発を含む3,080発が発掘された。本事業には、日本側75名、中国側150名余が参加し、日中間の極めて良好な協力関係の下進められた。途中化学剤漏れ等も生じたが、安全裡に処置されている。

67万発が埋設されていると推定されている吉林省敦化市ハルバ嶺地区については、まだ調査段階に止まっている。埋設地点は車でのアクセスができない湿原地帯にあり、また冬季はマイナス30度まで下がるという場所であり、発掘にあたっては、道路等のインフラの整備が不可欠である。現在、日中政府間でインフラ整備についての調整が進められている。



図 6 ハルバ嶺の化学弾

参考 4

遺棄化学兵器問題に対する取組について

平成11年3月19日

閣 議 決 定

遺棄化学兵器問題については、「遺棄化学兵器問題に関する取組体制について」（平成9年8月26日の閣議了解）に基づき内閣に設置された遺棄化学兵器処理対策連絡調整会議（以下「連絡調整会議」という。）等の場を通じ、関係省庁の協力の下、政府全体として誠実に取り組んでいるところであるが、化学兵器禁止条約に基づき我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ため、遺棄化学兵器の廃棄処理事業を実施に移すに当たり、平成11年4月以降、以下のとおり体制を強化して取り組むこととする。

1. 本問題に対し政府全体として一体的かつ効率的に取り組むため、関係省庁は、相互に緊密な連絡を取りつつ、以下のとおり事務を分担して協力するものとする。
 - (1) 内閣官房においては、引き続き、連絡調整会議等の場を通じ、政府全体の一体性確保のために必要な総合調整を行うこととする。
 - (2) 遺棄化学兵器の廃棄処理事業については、「他の行政機関の所掌に属しない事務」（総理府設置法第4条第14号）として、中央省庁等改革基本法に基づく新たな体制への移行までの間は、総理府（本府）において行うこととする。
 - (3) 外務省は、中国との協議（廃棄計画に関する協議を含む。）、化学兵器禁止機関（OPCW）との連絡、調整等について対応することとする。
 - (4) 総理府（本府）以外の連絡調整会議を構成する各省庁は、廃棄処理事業の実施に際し、必要な職員の派遣、知見の提供等につき、十分な協力を行うこととする。
 - (5) 中央省庁等改革基本法に基づく新たな体制への移行後の廃棄処理事業の所管については、同法の第27条等の規定並びに新各省等設置法の任務及び所掌事務の規定を踏まえ、今後できる限り早期に決定することとし、その事務は中央省庁等改革に伴い当該所管官庁に然るべく移管されるものとする。
2. 本事業の実施については、相当の組織体制と経費を必要とするので、関係機関の緊密な連携、協力の下、政府が一体となって適切に対応することとする。

参考. 5

日本国政府及び中華人民共和国政府による 中国における日本の遺棄化学兵器の廃棄に関する覚書

日本国政府及び中華人民共和国政府は、日中共同声明と日中平和友好条約を銘記し、1997年4月29日に発効した「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」（以下「化学兵器禁止条約」という。）の関係規定に基づき、中国における日本の遺棄化学兵器の問題を出来るだけ早く解決することの緊迫性を認識し、本件問題について以下のとおり共通の認識に達した。

1. 両国政府は、累次に亘る共同調査を経て、中華人民共和国国内に大量の旧日本軍の遺棄化学兵器が存在していることを確認した。旧日本軍のものであると既に確認され、及び今後確認される化学兵器の廃棄問題に対し、日本国政府は「化学兵器禁止条約」に従って遺棄締約国として負っている義務を誠実に履行する。
2. 日本国政府は、「化学兵器禁止条約」に基づき、旧日本軍が中華人民共和国国内に遺棄した化学兵器の廃棄を行う。上記の廃棄を行うときは、日本国政府は化学兵器禁止条約検証附属書第4部(B15)の規定に従って、遺棄化学兵器の廃棄のため、すべての必要な資金、技術、専門家、施設及びその他の資源を提供する。中華人民共和国政府は廃棄に対し適切な協力を行う。
3. 日本国政府は、上記の廃棄に係る作業を進めるにあたり、中華人民共和国の法律を遵守し、中華人民共和国の領土の生態環境に汚染をもたらさないこと及び人員の安全を確保することを最も優先させることを確認する。この基礎の上に、中華人民共和国政府は中華人民共和国国内で廃棄を行うことに同意する。

廃棄の具体的な場所、廃棄施設の建設等の問題は、両国政府が協議して確定する。廃棄作業を行う際に遵守される環境に関する基準に関し、両国政府は原則として中華人民共和国の国家基準を採用することとし、双方は環境影響評価及び環境監視測定を行うこととした。

廃棄の対象、廃棄の規則及び廃棄の期限については、両国政府は「化学兵器禁止条約」に基づき、協議して確定する。

4. 両国政府は、廃棄効率、安全及び環境面で十分な信頼性がある、成熟した廃棄技術を選定するものとし、具体的な廃棄処理技術の種類については、日中共同作業グループにおける双方の専門家による十分な検討、論証の後に、透明性及び公平性を確保した方法で、最終的に確定されることとする。
5. 廃棄の過程で万一事故が発生した場合には、両国政府は直ちに協議を行い、その基礎の上に、日本側として必要な補償を与えるため、双方が満足する措置をとる。中国側は日本側の措置に適切な協力を行う。

6. 今後の廃棄作業の計画、実施、運営等の問題に関しては、両国政府は日中共同作業グループ等の協議を通じて、解決されることを確認する。
7. 両国政府は、廃棄作業において意見が異なる問題については引き続き協議することを確認する。
8. 中国における日本の遺棄化学兵器廃棄事業は本覚書の署名の日より実施に移される。本覚書の内容を変更又は補充することが必要な場合には、双方の同意の下にこれを行うことができる。

日本国駐中華人民共和国
特命全権大使

中華人民共和国外交部
部長助理

谷野作太郎（署名）

王 毅（署名）

1999年7月30日 於 北京

第8章 遺棄化学兵器の安全な廃棄技術の確立に向けて

第8. 1節 遺棄化学兵器の特徴

8. 1. 1 各国の化学兵器の特徴

一口に化学兵器といっても、各国が処理に取り組んでいる化学兵器には、それぞれ固有の来歴があり、その状況は相互に異なっている。各国における化学兵器の特徴をまとめると表 9 のようである。

表 9 各国の化学兵器の特徴比較

	米国	ロシア	ヨーロッパ諸国	日本
化学剤量(トン)	31, 500	40, 000	1～約150	約500
砲弾数(発)	バルク以外に 約350万発		数万発以下	約70万発
保管状況	貯蔵/管理	貯蔵/管理	地中埋設	地中埋設
形態	60%がバルク 状	大半がバルク 状	不発弾及び投 棄砲弾	未使用遺棄砲弾
特徴	量：大 保管状況：良	量：大 保管状況：良 資金：不十分	量/数とも：少 保管状況：不良 信管付き多い	量：少 数：大 保管状況：不良 信管付き少ない
化学剤種別	マスタード、サ リン、VX がほ とんど。ルイ サイトは少な い。	マスタード、ル イサイト、サ リン、ソマン、VX など	マスタード、ホス ゲン、青酸ガ ス、クロロピク リン等多様。	マスタード、ルイ サイト、ジフェニルシ アノアルシン、ジフェ ニルクロロアルシ ンがほとんど。

8. 1. 2 米国・ロシアの保有化学兵器の特徴

米国・ロシアでは、第二次大戦後も化学剤の生産を続けていたため、その保有量が多い。しかし、これら2ヶ国の化学兵器の大半はバルク状であり、比較的処理のしやすい形態で保管されている。

また、既に砲弾に充填された化学剤もあるが、これらも兵器ストックとして未使用状態で倉庫などに管理保管されているものであり、その保管状態は良好である。

米国において保管されている化学剤の大半はヒ素化合物を含まないものである。ロシアにおける保管化学剤の中には、ヒ素化合物であるルイサイトが含まれるが、まだその処理はなされていない。

8. 1. 3 ヨーロッパ諸国における化学兵器の特徴

ヨーロッパ諸国では地域の大半が第一次・第二次大戦の実戦場となったこともあり、化学兵器のほとんどが、これら大戦で使用又はテストに供され、不発弾として回収されたものである。従って、その生産国は多岐にわたり、種別も非常に多い。

化学砲弾は長時間地中に埋設されていたものが大半であり、なおかつ信管が付いたままの物が多い。処理される量は少ないが、砲弾の状態はあまり良くなく、信管付きのため取扱いの危険性が高い。また、処理に先立って、地中埋設の状態からの発見・掘削作業が必然的に先行する。

8. 1. 4 遺棄化学兵器の特徴

中国東北部のハルバ嶺地区に埋設されたものを中心に、中国に存在する遺棄化学兵器の総数は約70万発といわれている。従って、その数は決して少なくない。

しかし、その70万発に含有されていると想定される化学剤の量は500トン程度にすぎない。この量は米国・ロシアのそれぞれの約100分の1である。即ち、中国に遺棄されている化学砲弾は、その数は多いが、その量はそれほど多くはないといえる。

砲弾は地中に埋設保管されているが、ヨーロッパ諸国の状況とは異なり、不発弾ではない。これら砲弾の大多数は人為的に埋設されたものであり、埋設砲弾の発掘作業はその処理の前段階として必要とはなるが、埋設場所は基本的に事前に特定されていることからその探査・発見のために大がかりな作業が必要となるような状況は想定されていない。

地中に埋設されていた期間は50年程度と考えられる。その状況は倉庫保管と比較すれば著しく不良ではあるが、ハンドリングが著しく危険であるような砲弾が発見される比率は少ない。また、砲弾の大半は使用前の状態のものであり、信管は設置されていないものがほとんどなので、その意味ではハンドリング・リスクは少ない。ただし、伝爆薬等に用いられているピクリン酸のリスク（ピクリン酸の鉄塩は爆発感度が高いといわれている）については、きちんと評価する必要がある。砲弾の種別も基本的には旧日本軍の物だけであることから、ヨーロッパほど多種にわたっていることはない。

使用されている化学剤は、表 9に示されるように、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などヒ素を含む化学剤が多いという特徴を持つ。これらヒ素含有化学剤が、諸外国で使用されている例は比較的少なく、各国における化学剤処理においても、ヒ素化合物処理の実績は少ない。このため、遺棄化学兵器の処理に当たってはヒ素の確実な分離回収技術が重要な検討課題となる。

第8. 2節 廃棄技術体系

8. 2. 1 遺棄化学兵器の廃棄に対する構想

第7章で述べたように、中国に遺棄した我が国の遺棄化学兵器は、その発見場所と数量から以下のように分類することができる。

- ① ハルバ嶺に所在する、推定67万発といわれるあか弾、きい弾を中心とした大量に埋設された化学兵器
- ② 南京郊外その他の中国各地に点在し、ハルバ嶺よりは量の少ないきい剤入りドラム缶、あか筒などの化学兵器

廃棄に当たっては、まずその存在位置、化学兵器の種類と数量などを考慮して、技術を構築する必要がある。①のハルバ嶺に埋設された大量のあか弾やきい弾に対しては輸送のリスクを考えれば、探査・発掘から実処理に至るまでを埋設地又はその近郊で実施するのが適当と考えられる。しかし、②の中国各地に点在する量の少ない化学兵器については、探査・発掘・保管のあと、実処理プラントをどうするかという課題がある。

すなわち、発掘、回収又は保管されたそれぞれのサイトで処理する案（これには、小型プラントをそれぞれのサイトに設置する案と、一つの小型プラントを各サイトに移動して実処理を行う案がある）及び発掘・回収・保管された化学兵器を一つの実処理プラントへ移動する案が考えられる。前者では、各処理サイトでの安全基準や環境基準への配慮が必要となる一方で、後者では、遺棄化学兵器の移動に伴う安全性に万全の備えが不可欠である。

8. 2. 2. 廃棄技術体系

半世紀以上を経た化学兵器を探査・発掘から実処理（砲弾の解体、化学剤の無害化、環境排出の抑制、廃棄物の再利用と処分）までを安全かつ効率的に行うには、多くの分野にまたがった幅広い科学技術を駆使することになる。表 10に、主な技術ステップについて必要となる技術の概要をまとめた。

表 10 遺棄化学兵器廃棄技術の体系

技術大項目	技術ステップ	具体的技術内容
探査と発掘	探査・立地	砲弾探査／発掘地点精査／施設設営／自然条件解析
	発掘・回収	砲弾発掘／砲弾鑑定／ロボット等の遠隔操作／保管・輸送
実処理	前処理	機械切断／穴あけ／シュレディング／冷凍破碎／その他の技術／前処理時の爆発性評価
	本処理	熱的酸化／化学的処理／爆発処理／その他の処理／沈殿等の分離操作
	後処理	大気汚染物質処理／水質汚濁物質処理／砒素の再利用と廃棄（固化など）／弾殻の再利用
横断的技術	火薬安全性	ピクリン酸およびその塩類の爆発危険性評価／安全な解体技術／無害化技術
	分析・計測	化学剤等の分析技術／作業中及び環境中分析技術／連続モニタリング技術
	作業・環境安全性	作業安全／環境影響／健康管理／作業基準／環境基準
	情報管理・システム効率化	プラント設計／砲弾と化学剤の情報処理／遠隔操作／作業効率化／エネルギーと経済性評価
	周辺地域解析	リスク・コミュニケーション／リスク管理／健康影響調査

上記の技術項目について具体的な技術を設計する際に考慮すべき視点は以下の通りである。

- (1) 廃棄容量： 大量の化学兵器を対象とすることが可能な技術か？という視点
 推定70万発といわれる化学兵器を仮に4年間で廃棄するとすれば、1日当たり500発以上を廃棄することになり、発掘や解体などのステップでスピードが要求される。
- (2) 信頼性： 当該技術を2007年という期限内に安定に稼働できる技術か？という視点
 上記の廃棄容量とも関連するが、我が国では初めて行う技術であると同時に世界的にも経験のない化学兵器（ピクリン酸を爆薬としヒ素を含有する）であることから、装置や施設が故障を起こさずに安定に稼働できるような実績を持った技術の選定と技術改良が必要である。
- (3) 安全性： 化学剤・爆薬の安全な取扱いと環境への配慮があるか？という視点
 爆発感度の高いピクリン酸を爆薬とすること、化学剤と爆薬を同時に取り扱うことなど二重の危険性を持つ。また、周辺環境への配慮を必要とする。仮に、ヒ素化合物を安定固化して中国国内に埋設保管した場合、将来新たな遺棄廃棄物処理問題を引き起こす可能性がないかなど、十分に検討する必要がある。
- (4) 一貫性： 要素技術を組み込んだシステムに整合性がとれているか？という視点
 個々の要素について優れた技術を集積することと同時に、要素を組み上げたシステム全体として合理的で最適な技術の設計と開発が必要となる。
- (5) 経済性： 資材やエネルギーの運搬・消費で経済性を最小化できるか？という視点
 ハルバ嶺という中国国内でも遠隔地に遺棄されているため、探査・発掘から実処理までの資材やエネルギー資源を効率的に運搬することが必要となる。また、装置や施設の稼働に当たってもエネルギーや資材の消費をできるだけ少なくする努力が必

要となる。

表. 10に示す複数の技術要素及びそれらを統括するシステムを設計し、実際に稼働した上で、安全で安定かつ効率性を評価するためには、多くの科学技術分野を動員することになる。必要とされる主な学術分野を列挙すると以下となる。

○ 探査と発掘

☆探査・立地： 地質学、資源工学、土木工学、水文学、気象学など

☆発掘・回収： 機械工学、火薬学、計測工学など

○ 実処理

☆前処理： 機械工学、火薬学など

☆本処理： 化学、燃焼工学、化学工学、火薬学など

☆後処理： 環境工学、化学、金属工学など

○ 横断的技術

☆火薬安全性： 安全工学、火薬学など

☆分析・計測： 分析化学、計測科学など

☆作業・環境安全： 安全工学、環境科学、医学、公衆衛生学など

☆情報管理・システム効率化： システム工学、情報科学、化学工学、安全工学など

☆周辺地域解析： 公衆衛生学、環境社会学など

第8. 3節 発掘・回収

中国に存在する遺棄化学兵器は、欧州の不発弾などとは異なり、一つの場所にある程度まとめて埋設されている例が多い。最大の埋設例は、67万発と推計されているハルバ嶺であるが、2000年9月に発掘作業が実施された北安においても、全体で約3,000発（うち化学兵器約900発）がまとめて埋設されていた。中国政府より連絡されている未発掘サイトは、2001年1月時点で南京市等5ヶ所あり、今後も中国の国土開発の進展等により追加される可能性がある。

遺棄化学兵器の発掘回収作業は、通常、探査、インフラ整備・施設設置、発掘回収の実施という手順で行われる。なお、発掘回収の実施による環境負荷の抑制、爆発や化学剤漏れが生じた時の緊急時対策、作業者の安全確保なども本作業の実施にあたっての重要な事項である。

8. 3. 1 探査

遺棄化学兵器の埋設サイトは中国側からの事前調査により、そのおおよその位置は判明しているが、埋設範囲の水平的広がり及び深さの確認、更には埋設砲弾数の想定を立てるためには、詳細な探査が必要である。現在、地磁気探査及び金属探査が利用されている。現在の技術では発掘サイトの広がりほぼ確定することができるが、砲弾の埋設密度、弾種等は表面試掘の結果から推測するしかなく、想定とのずれが大きい。北安の発掘においても、中国の調査による想定数（全体で1,500発 そのうち遺棄化学兵器500発）の約2倍の砲弾が実際には発掘された。これらの想定からのずれは、発掘回収期間の計画や準備資材に影響を及ぼす。従って、より適切な発掘計画の立案及び実施に資するためにも、詳細な遺棄化学兵器の埋設状況を把握するための探査技術の開発や改良が必要である。

なお、ハルバ嶺の67万発は、探査による埋設容量の確認と試掘による単位体積当りの砲弾数から推計されたものである。

8. 3. 2 発掘回収用施設の設置・インフラの整備

発掘回収を実施するためには、発掘、鑑定、密封梱包を行うための施設、各施設間のバッファーとして利用される一次的な保管施設、除染施設、分析施設等種々の施設を事前に設置しておく必要がある。また、これらの施設を設置するために必要な道路等のインフラを整備する必要がある。北安の発掘回収作業においては、人家の近隣での発掘作業となったことから、発掘サイトに直径16m 高さ9mの防護壁がほぼ一月かけて構築された。北安での発掘回収サイトの施設の概要を図 8に示す。

ハルバ嶺の埋設サイトは、既存の道路から4 kmほど湿原を分け入った場所にあり、また当該地方の気候が、気温が冬期マイナス30度程度まで下がり、地下1m程度までが凍土と

なる状況であることから、冬期、融雪期に大がかりな工事ができず、事前のインフラ整備に時間がかかると想定される。

8. 3. 3 発掘回収の実施

北安での発掘回収作業は以下の手順で実施された。発掘作業のビデオ写真を図. 7に示す。

- ① 発掘
- ② 鑑定（外観鑑定・X線鑑定）
- ③ 密封・梱包
- ④ 保管庫への輸送・保管

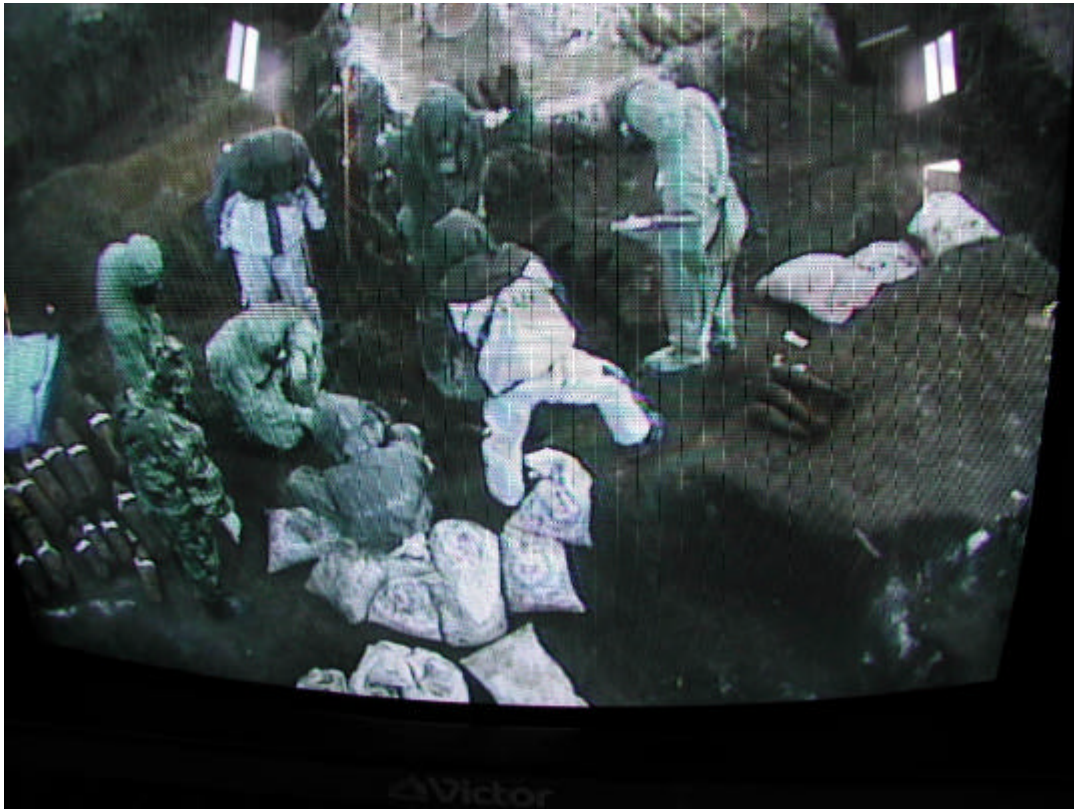


図. 7 中国北安における発掘作業（2000年9月）

詳細な手順の流れを図. 9に示す。北安での作業は約2週間であったが、防護服を着用した者による手作業で実施された。また、密封梱包された砲弾等は、北安より400 km離れたチチハルの保管庫にトラックにより輸送され、実処理が実施されるまで保管されることとなった。

ハルバ嶺地区の発掘回収作業においては、想定される埋設数が膨大であること、作業人

員の安全確保・労働負荷低減の観点から、できるだけ防護服を着用しての作業を低減するよう手順を見直すとともに、機械化、遠隔操作化の導入についての検討が不可欠であると考えられる。発掘作業のロボットの活用による遠隔操作化については、経年変化で脆弱・不定形状化した砲弾の掘り出しと把持、搬送方法などの技術課題があり、2001年度に実験が計画されている。

また、北安においては、一つ一つの砲弾を密封・梱包（布袋にいれた上でアルミラミネート袋に密封し、緩衝剤を巻いた上で、吸着剤とともに鉄製容器に梱包する）したが、67万発という数の多さを考慮すると、これまでのような方法で保管し、処理の際に人手で開梱するという作業は現実的ではないと考えられる。処理段階まで含めた全体としてのリスクの低減は図りつつ、実現性のある保管方法を検討する必要がある。

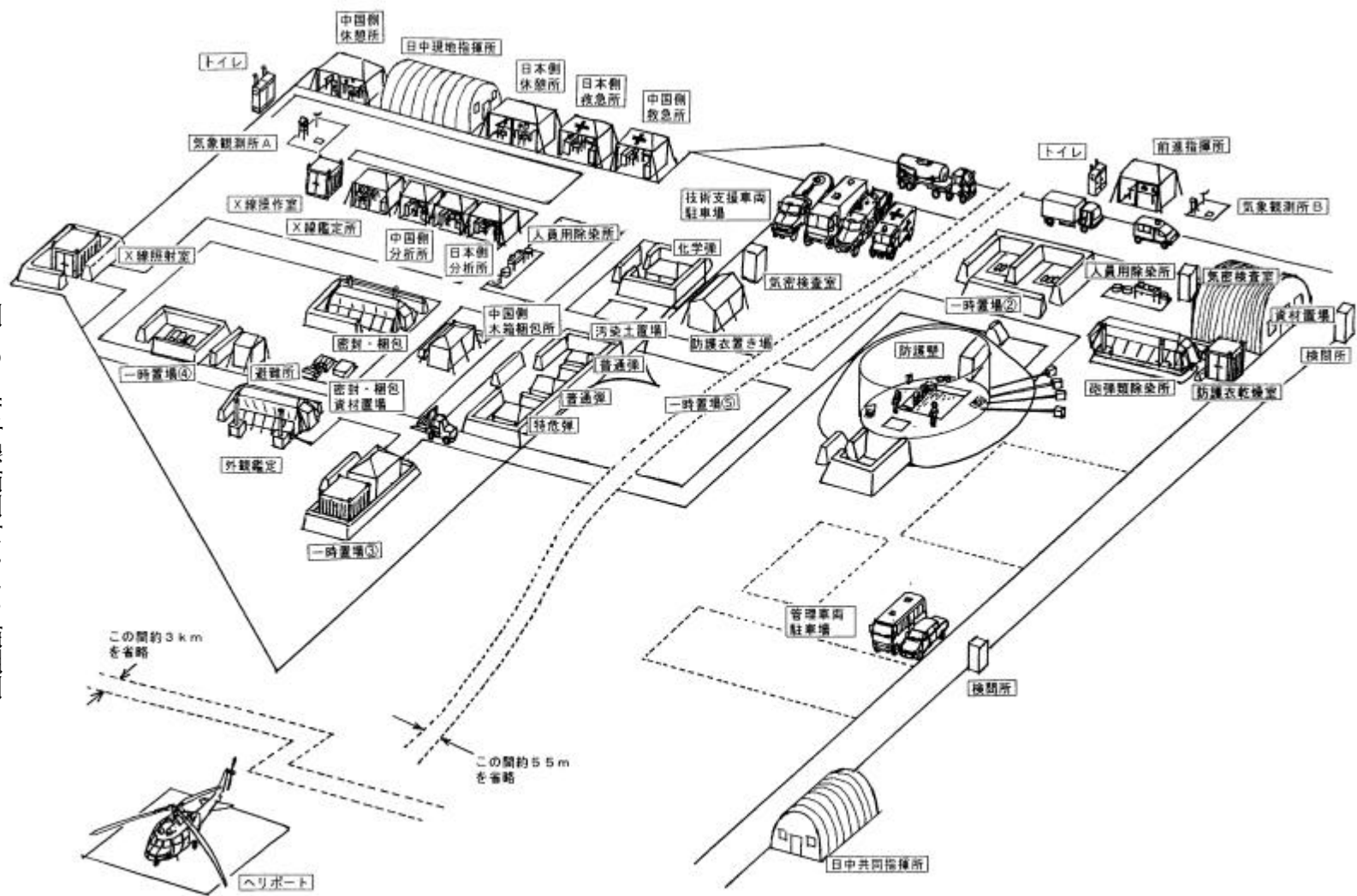


図 8 北安発掘回収サイト概要図

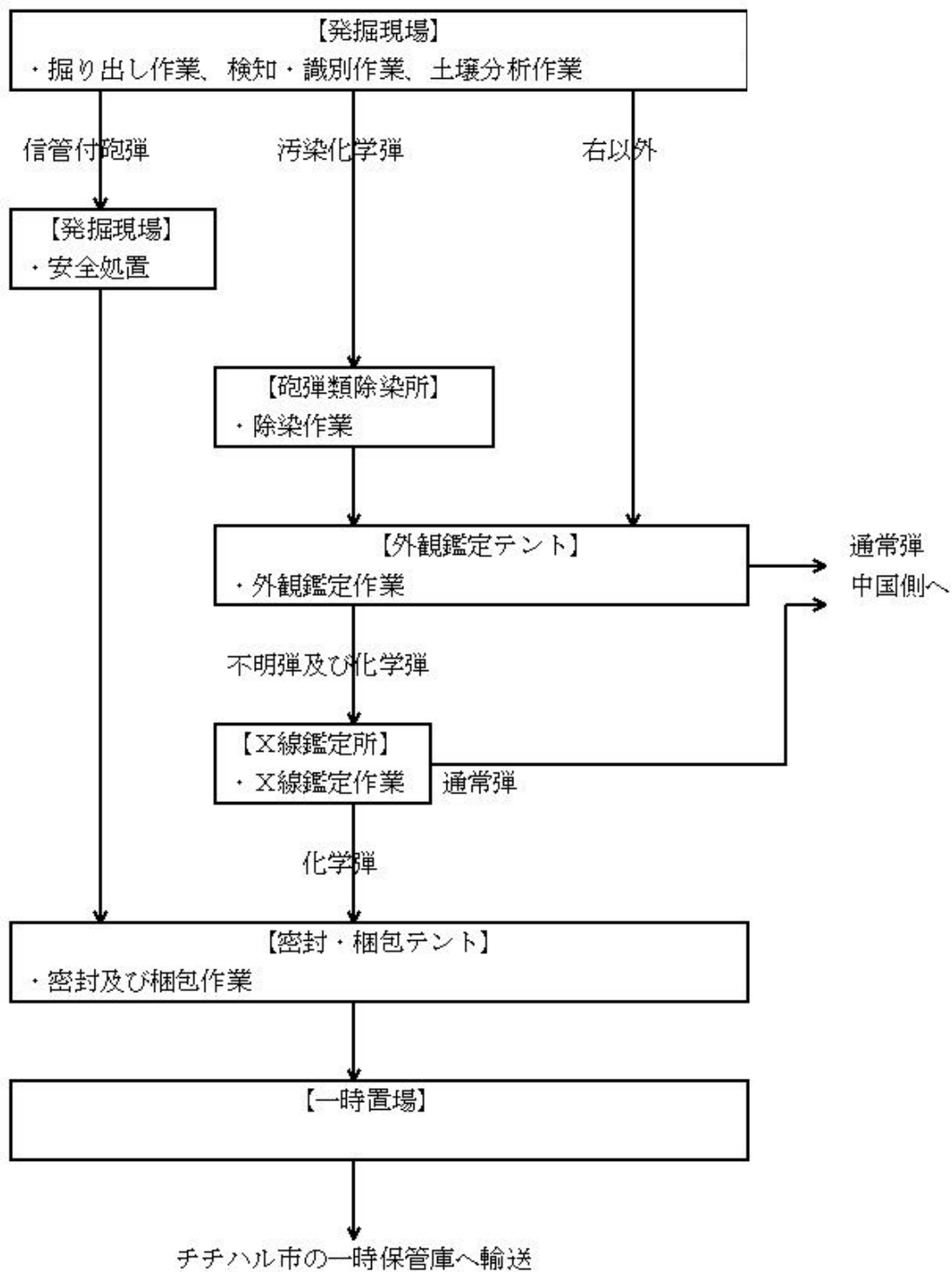


図. 9 北安発掘・回収作業内容と手順

第8. 4節 実処理

8. 4. 1 砲弾解体

(1) 諸外国における例

ヨーロッパ諸国では、処理すべき化学弾が多種にわたっていること、処理すべき砲弾量がそれほど多くなく、大量処理を要求されていないことから、基本的には人手を介した処理を行っている。電動鋸による切断法（切断時には無人運転）が主として採用されているが、処理量自体は少なく、1日に1～2発程度である。ドイツでは約30年間に渡ってこの方法により化学弾解体を行ってきたが、人身に関わる事故はなかったとのことである。

米国においては、前述したように砲弾組み立てを逆方向になぞる方法での解体(逆アッセンブル法)が主体である。保管化学剤のほとんどが、解体処理が不要なトンコンテナ（ドラム缶状の保管容器）詰めか、兵器予備保管品として未使用状態で倉庫保管されているという良好な条件が前提の処理法といえる。

(2) 解体設備に要求される能力

表 9に示されるように、70万発の化学弾を仮に3～8年間で処理するとすれば、

$$(70万発)/(3\sim8年) \times (300日) \times (6.5時間) = 45\sim120発時$$

となる。これは1分間に1～2発の砲弾を安定的に処理する必要があるということを意味する。

(3) 想定される解体法

処理すべき遺棄化学弾は、長期に地中に埋設されていたことにより、その保管状態は必ずしも良好ではない。また、処理すべき数量も多い。このため米国及びヨーロッパなどで実績のある、逆アッセンブリー法、電動鋸等使用の人手処理法等は適用が困難と思われる。

現在適用を想定される解体法としては、

- ① 冷凍破碎法
- ② 水ジェット切断法
- ③ 機械加工法（フライス加工、鋸切断、ドリル切断、パイプカッター切断、シュレッダー切断など）
- ④ 熱加工法（トーチ切断、レーザー切断など）
- ⑤ 電解加工切断法
- ⑥ 制御爆破法

など多数が上げられるが、これらの中には必ずしも十分な実績がなく、その技術的信頼性について慎重に検討しなければならないものも含まれている。

採用技術の選定に当たっては、安全性を含めた技術の信頼性、実績、処理能力を勘案して今後とも検討を加える必要がある。

上記のうち、代表的な解体法である①冷凍破碎法、②水ジェット切断法につき以下説明する。

①冷凍破碎法：

化学弾をまず液体窒素のプールに漬け冷凍した後に、プレスで一気に破碎する解体法である。従って砲弾の中の化学剤、炸薬及び破碎された弾殻が混合された状態で後段の処理設備に送られることとなる。処理能力は対象化学弾の大きさによって異なるが、最大で120発時(150mm 砲弾)～240発時(90mm 砲弾)程度を期待できる。

②水ジェット切断法：

水を超高压(約250MPa)に加圧し、ガーネットなどの研磨剤(対供給水重量比：5～15%)と共に吹き付けることによる切断方法である。

処理の過程で、化学剤、炸薬等を個別に分別することは可能であるが、そのためには多くの手間と時間を要し、対象としている遺棄化学弾処理への適用はなかなか困難である。

化学剤、炸薬が混ぜ合わされたままでの混合処理を想定した場合の処理能力は20～50(砲弾の大きさにより変る)発時程度である。一方、分別処理を想定した場合の処理能力は現状では大幅に低下し、1～数発/時程度であり、その能力を上げるための工夫が必要である。

水ジェット切断法は冷凍破碎法に比較して設備建設費は安価ですむが、切断時に大量に水を使用することにより、派生する研磨剤を含む化学剤汚染水の処理が大きな欠点として挙げられる。

また、ジェット水が飛散することによる周辺の汚染についても留意する必要がある。使用水量は60～80L/発程度になるといわれているが、供給水圧力を更に高めた超高压法を採用することにより、その使用量を低減できる可能性は残されている。

8. 4. 2 化学剤無害化

化学剤の無害化には大きく分けて二つの方法が考えられる。焼却による方法と湿式化学反応による方法(中和処理法)とである。ヨーロッパ、米国で実際に採用され稼働している方法の大部分は前者の焼却法である。後者については、アルカリを用いた中和法が処理方法として一部で使われた例がある。なお、化学兵器の処理で「中和」とは加水分解反応又は置換反応と呼ばれるべき反応であり、化学での厳密な用語とは少し異なるので注意を要する。

(1) 焼却処理法

燃焼は最も強力な酸化反応の一つであり確実な化学剤無害化の手段といえる。米国陸軍が定めた基準の、

- ① 処理すべき化学剤の無害化には、1, 200℃で2秒間以上の滞留時間が必要
 - ② 弾殻など汚染された固形物の除染には、538℃で15分以上の加熱が必要
- に基づく処理がこの焼却処理の基本である。

従って、焼却処理は、まず燃焼炉で化学剤等の蒸発・ガス化・燃焼等を行い、発生したガスを燃焼炉の後に設置されている2次燃焼炉（アフターバーナー）で規定の1, 200℃で2秒間以上の滞留時間を確保して化学剤を無害化する形となっている。弾殻などは除染のために、別途538℃で15分以上の加熱処理をする方法を採用している。

(2) 湿式化学反応処理法（中和処理法）

化学的処理法としては、アルカリによる加水分解と酸化剤による湿式酸化の組合せが考えられる。

きい弾中のマスタードは加水分解によりチオジグリコールになるが、反応は可逆的であることから生成物中には出発物質のマスタードが残る。化学弾中のルイサイトは一般的には、1、2、3置換体の混合物であるが、1置換体・2置換体などは加水分解反応により分解するが、3置換体は加水分解のみでは分解できず残留する。あか弾中の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)は加水分解反応だけでは無機化されない。

この加水分解に酸化剤による湿式酸化を組み合わせることにより、化学剤はいずれの場合も無機化合物にまで変換され得る。従って化学剤の中和法では加水分解反応の適用だけでは不十分であり、その後流の二次処理としての酸化反応の組合せが必要となる。両者を組み合わせることにより、化学剤を無害化することが可能となる。

(3) 焼却処理法・中和処理法の比較

焼却処理法は、現在、米国における化学剤処理の中心技術として適用されている。1990年から運転されていたハワイ Johnston 島の工場は処理を全て終了した。現在、Tooele の工場が1996年より運転継続中であり、Anniston で工場が運転直前の状況にある。またさらに、Newport、Aberdeen の2工場が建設中である。ドイツ、イギリス、ベルギーにおける処理も焼却処理法が採用されている。

一方、中和処理法についてはカナダにおいて3トンのルイサイトを、ポーランドにおいて9.3トンのアダムサイトを処理した例が報告されているが、何れもその処理量は多くない。技術の実績、信頼性については圧倒的に焼却処理法の方が優れているといえる。

焼却処理法で留意すべき点は、処理後物質の全てが原則として燃焼排ガスに同伴されるということである。勿論、排ガスは通常のスクラバー及び湿式電気集塵機による処理

で排出基準値以下に対応可能であるが、プラント不調時におけるオペレーション・ミスによる有害成分排出のリスクに対しては格段の配慮が必要となる。

中和処理法では、焼却処理法に比較し排出ガスは大幅に低減される。ただし、一方で排水の発生量は増大する。さらに、最終的には、無機化された化学剤や炸薬類がこの排水中に混入されるため、その処理が必要となる、また、中和反応で使用された塩類が多量に副生されるため、その処理が問題となる。

(4) その他の技術

米国 Newport の工場で計画されている技術は加水分解法と超臨界水酸化法との組合せ処理法であり、Aberdeen の工場で計画されている技術は加水分解法と生物処理法との組合せ処理法である。

超臨界水酸化法では反応器が高圧(200気圧以上)で運転されるため固体状物質の原料供給は困難である。また、超臨界酸化条件下での材質選定が困難であり、ナトリウム塩が混在する場合、結晶状固体が析出し、閉塞、スケール付着などの問題が懸念される。

生物処理法による化学剤処理は、まだほとんど実績がなくベンチスケールのテストの域を出ていない。生物処理そのものは、菌やバクテリアなどを用いて特定の化合物を処理することが可能であるが、ヒ素を含む有機化合物を処理するのには、現状では適用不可能と考えられる。

8. 4. 3 環境対策

処理設備からの排出に起因する汚染に対して十分な注意を払うことが必要であるのはいうまでもないが、遺棄化学兵器処理に当たっての処理設備の規模は、その化学剤量より想定して、米国における諸処理設備の1/10程度になると予想される。従って、排ガス/排水などによる環境負荷は米国における例よりは、かなり少くなると考えられる。

米国などにおいては、設備基準の適用により、あまり特殊な物質の排出基準は設定していない。遺棄化学兵器処理の場合、処理責任者は日本ではあるものの、実施場所が中国国内であるため、廃棄作業を行う際に遵守される環境に関する基準については原則として中国の国家基準を採用することが覚書で確認されている。

同国家基準は未整備であり、中国政府が追加策定作業を行っているが、日本としていかなる協力が可能であるかについて、現在協議中である。

(1) 排ガス規制値

中国における規制値を、日本のそれと比較し表 11に示す。

表 11 規制値の比較

	中国の規制値 (GWKB 2-1999 より抜粋)	日本の規制値 (大気汚染防止法より抜粋)
ばいじん	0.08g/m ³	0.15g/Nm ³
SO _x	300mg/m ³	30.0kg/h (K 値=3.0)
HCl	70mg/m ³	700mg/Nm ³
NO _x	500mg/m ³	37kg/h (250ppm)
DXN (ダイオキシン)	0.5ngTEQ/Nm ³	0.1ngTEQ/Nm ³ 注)
ヒ素	1.0mg/m ³	規定なし

注) 廃棄物焼却施設の場合、処理能力が4 t/hr 以上の焼却炉では 0.1ng-TEQ/Nm³、2～4 t/hr の場合は1 ng-TEQ/Nm³、2 t/hr 未満では 5ng-TEQ/Nm³ (いずれも新設炉に適用される規制値で、既設炉の規制値は別である)。

GWKB: 中国環境保護局基準 (2000年3月1日実施)

TEQ: 毒性等価換算値、毒性を2・3・7・8ダイオキシンの持つ毒性と等価評価した値

(2) 排ガス処理

表 11から排ガス処理装置で対応すべき主な物質は、ばいじんの他に、SO_x、HCl、NO_x、ヒ素化合物など、及び不完全燃焼により発生するダイオキシン類、一酸化炭素などが考えられる。

排ガス処理設備としては実績のある、

- ① 清水による冷却塔
- ② 2段のスクラバー
- ③ 湿式電気集塵器
- ④ 脱硝装置 (アモニア注入、運転温度250℃程度)

等を設置することにより、ダイオキシン類以外は規制値を満足することが十分可能と考えられる。

ダイオキシン類については、「ごみ処理に係るダイオキシン類発生防止等ガイドライン」(厚生省生活衛生局水道環境部長通知、平成9年1月)によれば、

- ① 温度: 800℃以上 (850℃以上の維持が望ましい)
- ② ガス滞留時間: 2秒以上
- ③ 出口一酸化炭素濃度: 50ppm 以下 (O₂12%換算値の4時間平均値)
- ④ 安定燃焼

を満足する条件で燃焼炉が運転されれば、その発生が抑制されるとされている。

(3) 排水処理

特に湿式化学反応処理法を採用した場合、プロセス排出液中に大量の塩が含まれることとなる。その総量は約1,000トンと予想される。排出液中にはヒ素分が含まれるため、沈降分離等のしかるべき方法によりヒ素分を除去し、しかる後残液から塩分を分離固化し処分する必要がある。

8. 4. 4 ヒ素分の処理

(1) 諸外国の処理事例

ヒ素を含む化学兵器の処理に関する実績は、ドイツにおける Clark I・Clark II (DA、D C)、ポーランドにおけるアダムサイトの処理例が見られるが、いずれも10トン以下と少量であり、本格的なヒ素化合物処理の実績とはいえない。ドイツの場合では、化学剤焼却後捕集されたヒ素分は分離されず、他の塩とともに廃棄物として貯蔵処理されている。米国にはヒ素を含む化学剤はほとんどなく、ロシアはレイサイトを保持しているがその処理はまだ行っていない。

即ち、世界各国においては既に化学剤処理の実績を多く持つにもかかわらず、ヒ素を含む化学剤の処理に関しては限られた実績を有するにすぎない。

(2) 日本における処理事例

日本国内においては1951年以来広島市内に放置されていた、化学剤製造の中間原料であるジフェニルアルシン酸を処理した実績がある。ジフェニルアルシン酸168トンを含む総量12,537トンのヒ素化合物及びヒ素汚染物を、1996～1998年の足掛け3年間で処理している。表 12に処理対象物を示す。

表 12 処理対象物詳細

処理対象物	数量(トン)	ヒ素含有量	荷姿
ジフェニルアルシン酸(化学剤中間原料)	168	12%	約 50%含水、ドラム詰
汚染土壌	744	2,100～5,100ppm	防水ゴム製フレコン詰
汚染土壌	8,805	7～81ppm	ポリプロピレン製フレコン詰
コンクリート	1,003	55～81ppm	鉄製コンテナ入り
汚水	1,817	1～2,500ppm	鉄製タンク入り
合計	12,537		

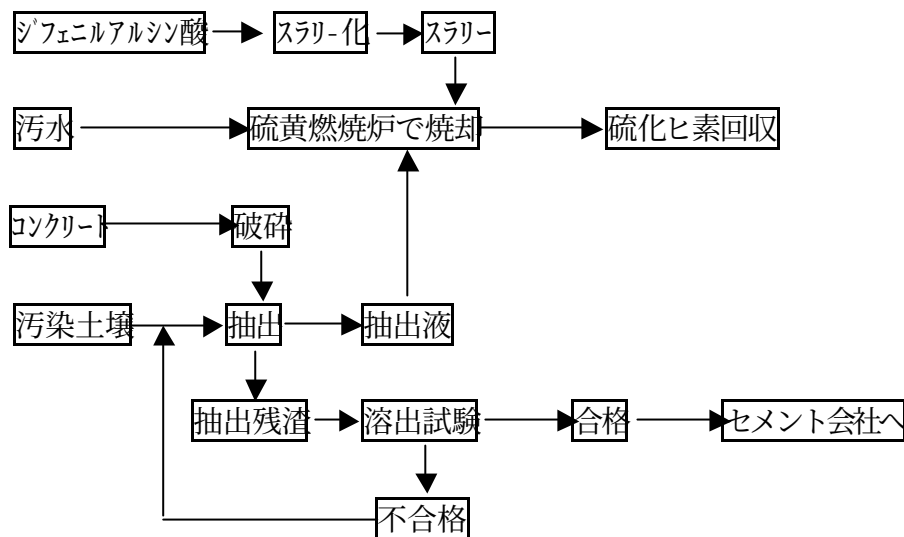


図 10 ヒ素含有物処理概略図

図 10に示される処理工程図のように、ジフェニルアルシン酸は高温で焼却され、無水亜砷酸(As_2O_3)になり、次いで液中に亜砷酸(H_3AsO_3)として捕集された後、硫化水素などにより、安定な硫化ヒ素として固定化される。また、汚染土壌などは温水により洗浄され、ヒ素分が抽出された後、セメント原料として使用される。ヒ素を含んだ抽出液は、ジフェニルアルシン酸とともに硫黄燃焼炉にて焼却される。

(3) 想定されるヒ素分除去方法

旧日本軍が製造した化学弾の中には、ルイサイト、ジフェニルシアノアルシン、ジフェニルクロロアルシンといったヒ素を含む化合物が含まれている。諸外国と比較するとその処理すべき量は多く、全体で約250トン（ヒ素換算で約90トン）程度になる。環境保全の観点より、化学剤処理の過程で生成するヒ素化合物は確実に捕集分離される必要がある。

日本国内におけるジフェニルアルシン酸処理に採用された技術は、既設の硫酸製造設備を利用して行なわれたものであるが、十分な実績と評価できる。遺棄化学弾の処理に際して、発生する排ガス/排水からのヒ素除去は、図 11に示される排ガス処理設備にヒ素回収設備を追加することで対応できると考えるが、今後 更なる検討が必要であろう。

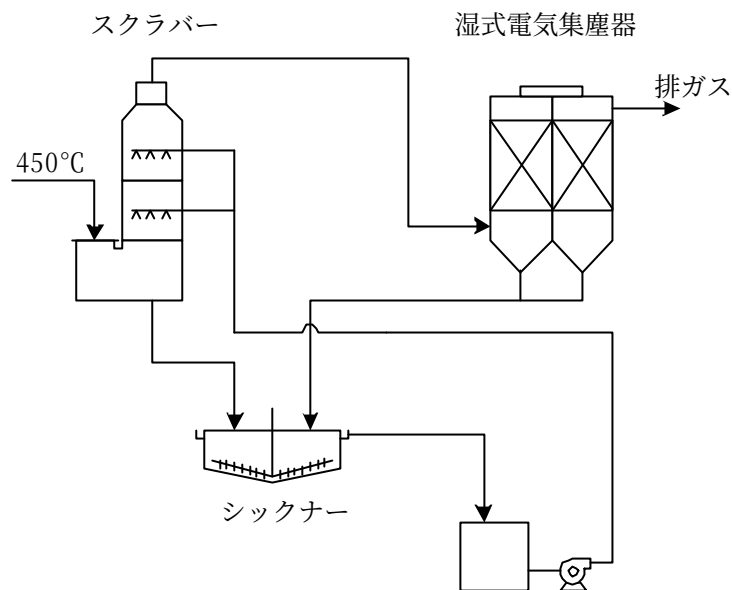


図 11 ジフェニルアルシン酸処理時の排ガス処理設備図

8. 4. 5 廃棄物再利用

(1) 弾殻(鉄分)の再利用

化学弾の処理により派生する弾殻(鉄分)は約3,500トン程度である。この除染は8.4.2(1)に示されるように米国陸軍が定めた基準の、「弾殻など汚染された固形物の除染には、538℃で15分以上の加熱が必要」、に基づきトンネル炉などで焼却処理をすることにより実施され得る。ただし、除染された弾殻を製鉄原料などに再利用するのであれば、そのための基準の策定が必要となるであろう。

(2) ヒ素の再利用

ヒ素をプロセス排出液から回収するには、その分離性を良くするために難溶性塩である砒酸鉄(FeAsO_4)や硫化ヒ素(As_2S_3)として分離することとなろう。ヒ素を再利用するには一般に、無水亜砒酸(As_2O_3)に変換することが必要となる。そのためには無水亜砒酸にしやすい硫化ヒ素の形態が好ましいが、排出液の処理を確実に行うには、鉄塩との共沈による排出液からのヒ素分の分離操作が必要となる。従って、排出液からのヒ素分の分離除去を確実に行いながら、無水亜砒酸としてヒ素の大部分を回収するには、硫化による硫化ヒ素としての分離工程と、鉄塩添加による共沈分離工程との二段階処理を行うこととなろう。

無水亜砒酸は精製し、純度99%程度のものでないと市場性は期待できないが、ヒ素の再利用については今後の検討が必要である。

第8. 5節 火薬の取扱いについて

8. 5. 1 砲弾等における火薬類の機能

砲弾等における火薬類の使用は、基本的には、①起爆部、②ブースター部（伝爆薬部、または補助炸薬部）、③主炸薬部の3つの部分に分けられ、各々の機能が異なるので使用される火薬類の種類、薬量、装薬の構造等も異なる。（図.3参照）

起爆部は、通常、信管（部）と呼ばれており、外部から一定量以上の刺激を受けたとき、確実に爆発（爆轟）を生起させる必要性から、それに適した構造が採用され、また、少量（1 g程度）の鋭敏な火薬類が使用されている。起爆部、すなわち信管に使用され、最初の爆発（爆轟）を生起する火薬類は、起爆薬（Primary Explosives）と呼ばれており、外部刺激により容易に着火・爆発（爆轟）するので取扱いには細心の注意が必要である。ブースター部では、起爆部の爆発（爆轟）を増幅することにより、炸薬部の主爆薬を確実に起爆させる機能が要求される。従って、それ自身の起爆性及び相手に対する起爆能力に優れた火薬類が使用される。伝爆薬の種類や装薬構造等により異なるが、通常、主爆薬重量の1～10％程度の伝爆薬が使用される。主炸薬部に使用される火薬類は、取扱上の安全性と化学的安定性（経時変化しない）が優れ、かつ、爆力の強いものが一般的に使用される。しかしながら、砲弾の使用目的によっては、爆力の弱いものが使用されることもある。

表 13は旧日本軍の主な化学弾において、炸薬、伝爆薬として使用されている火薬類の名称、薬量等を示したものである。また、図 12にはこれら火薬類の構造式を示す。

表 13 旧日本軍の使用した化学弾の火薬類等の概要

弾 種		充填火薬類	
口 径	種 類	炸 薬	伝爆薬
75 mm砲弾	あか弾	TNT+ナフソ 450g	ピクリン酸 40g
90 mm砲弾	きい弾	ピクリン酸 100g	テトリル 20g
	あか弾	TNT+ナフソ 605g	ピクリン酸+テトリル 30g
105 mm砲弾	きい弾	ピクリン酸 100g	ピクリン酸 40g
	あか弾	TNT+ナフソ 3325g	ピクリン酸 40g
150 砲弾	きい弾	ピクリン酸 160g	RDX 41g

取扱いが安全で、化学的安定性に優れ、かつ、爆発威力等、爆発性能も優れた火薬類は、一般に、高性能爆薬（High Explosives）と呼ばれ、表 13に掲げた火薬類のように、主として軍事的に利用されている。高性能爆薬は化学エネルギーの缶詰であり、真密度：1～2 g/cm³、爆発時の圧力：20～40 GPa、爆発時に開放されるエネルギー：4～10 MJ/kg程度である。一方、信管等に使用される起爆薬は、爆発圧力、爆発エネルギー等の爆

発威力は高性能爆薬に比較して劣るが（概略50%程度）、外部刺激に感応した自己起爆の確実性が要求され、旧日本軍では、雷酸水銀単体又は雷酸水銀と塩素酸カリウムとの混合物が主として使用されている。

起爆薬を内蔵する信管は爆発リスクが大きいので砲弾使用の直前に装着され、輸送や貯蔵のような通常の手扱いにおいては、信管（起爆部）を砲弾に装着しないのが安全上の原則である。また、装着されていても、不慮の事故等により生じた信管（起爆部）の爆発がブースター部（伝爆薬部）に直接伝播しないように、通常の信管には安全化措置が講じられている。従って、不発弾を除いて、砲弾類の扱いは、仮に信管が装着されていても、一定のルールに従って行われる限り、特別に神経質になることはない。

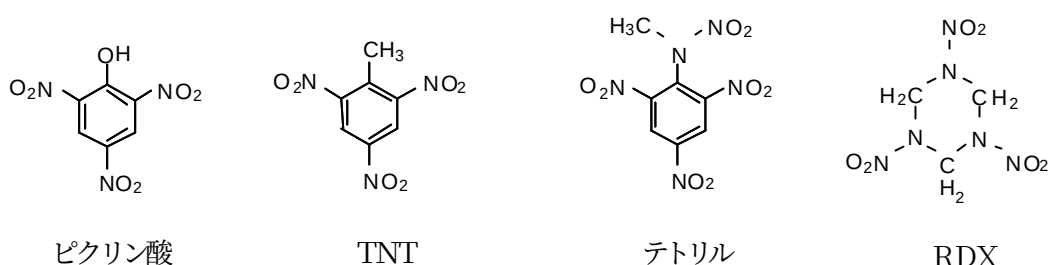


図 12 代表的な爆薬の化学構造式

8. 5. 2 旧日本軍化学兵器に使用されている火薬類の問題点：ピクリン酸の使用

旧日本軍の砲弾類は、表 13にも例示されているように、伝爆薬、あるいは炸薬として、ピクリン酸が広範に使用されていることが際立った特徴である。諸外国では、ピクリン酸アンモニウムが炸薬として一部使用された例があるが、ピクリン酸の使用は日本特有のことと思われる。

ピクリン酸そのものは、18世紀の中頃には欧州で合成されており、専ら染料として使用され、その爆発性が認識されるようになったのは100年以上経過した19世紀後半である。19世紀半ば以降、硝化綿（ニトロセルロース）やニトログリセリンが実用化され、また、TNTのような各種の芳香族ニトロ化合物が合成されるようになり、軍用炸薬としてどのような火薬が適するかを検討が行われた。ピクリン酸も有力な炸薬候補として各国（欧米）で検討されたが、実用化されるには至らなかった。これは、ピクリン酸自身は化学的に安定な化合物であるが、酸であるため、金属等と接触すると容易に金属塩を生成し、取扱い安全上、深刻な問題を有していたからである。すなわち、ピクリン酸の金属塩、特に鉛や鉄等の重金属塩は、火薬としての性質が起爆薬と同等であることから、塩の生成を阻止する必要がある、このため金属との接触防止対策が不可欠である。砲弾の殻は、通常、鉄（鋼）であり、これにゴムのような天然樹脂を被覆（コーティング）してピクリン酸との接触を防止するような研

究が行われたものと推測される。しかしながら、当時は、テフロンや塩化ビニールのような優れたプラスチック材料が存在したわけではなく、材料面からピクリン酸が実用化されなかったことと思われる。日本では、下瀬火薬（ピクリン酸そのもの）が19世紀末に実用化され、日露戦争では魚雷等の炸薬として使用され、多大な戦果が得られたと歴史に伝えられている。なぜ、日本においてピクリン酸が実用化されたかについてであるが、日本古来の漆技術によるものと思われる。鉄等の金属表面に漆被覆をすることで、ピクリン酸と金属の直接接触が防止できたようである。漆の原木そのものは、欧州を含め、世界中に広く自生しているが、日本産の漆とその被覆技術が適していたものと思われる。満州事変が勃発した頃から、日本では、漆が軍需物質として調達されたそうであるが、規格や被覆方法等に関しては軍の記録がなくて不明である。問題は、長期間に渡り過酷な環境に放置されていた砲弾において、ピクリン酸が金属塩を生成しているか否かである。炸薬やブースター部（補助爆薬部）で金属塩が一定量以上生成していると、信管が爆薬に直接連結しているのと同様な状態であり、取扱い上、細心の注意が必要となる。水分がブースター部や炸薬部に浸透する可能性が否定できないことから、漆被覆が十分機能していたか否かが問題となる。ピクリン酸は、金属塩も含め、過去において系統的かつ信頼性のある研究が行われていないのが実状である。従って、漆の問題も含め、ピクリン酸及びその金属塩の諸性質、特に安全性に関するデータ取得のための系統的な研究を早急に実施し、遺棄化学兵器処理事業に反映させる必要がある。

第8. 6節 分析及び環境基準

8. 6. 1 分析法

遺棄化学兵器の処理において分析法の確立は最初に重要である。分析は、処理すべき化学兵器の特性を理解する上で必要であり、埋設地点における漏れや発掘、輸送、貯蔵過程での漏れを検出する上で必要である。また、処理過程での漏出や処理施設における作業環境の安全性確保の上で、さらには処理プラントの効率や環境放出量の推定の上で必要である。

分析の対象となる物質は、第一義的には化学兵器に用いられた有効成分であろう。旧日本軍の遺棄化学兵器の有効成分は主として4種類すなわちマスタード、ルイサイト、ジフェニルシアノアルシン、ジフェニルクロロアルシンである。これらは通常ガスクロマトグラフ又はガスクロマトグラフ質量分析計で分析される。分析に当たっては、どのような感度で（どのような検出下限まで）及びどのような正確さと精度で行うかを明らかにしておく必要がある。化学剤は概して反応性の高い物質であり、高感度でかつ正確な値を求めるのは容易ではないからである。また分析の基礎となる標準物質の入手も容易ではない。さらに、分析に先立つサンプリングにおいては、安全性の確保、試料の偏りの回避等に十分留意する必要がある。

分析に求められる感度、正確さ及び精度は、そして対象物質や測定頻度は、同時に後述する環境基準等のクライテリアと密接な関係がある。また、国をまたがって処理が行われる場合は、さらに分析方法や技術にわたる認識の共有が必要となろう。精度管理についていえば、ISO-9001等に代表される品質管理スキームも考慮する必要がある。

分析法は前述のようにガスクロマトグラフを分離手段とする測定法がほぼ唯一の測定法であるが、安定した測定値を得るための誘導体化等のプロセスも必要なこともあり、分析の技が求められる。あるいは機械化によりそれを置き換えることも考えられる。

さらに、分析対象物質が上記の4物質から拡大することも予想される。すなわち、50年余りの時間の経過により成分が変化し、従ってその変化した成分の分析も求められるかもしれない。あるいは処理過程により新たな物質が生み出され、その測定が必要となることがある。例えばマスタードやルイサイト等は有機塩素化合物であり、これらの焼却処理によりダイオキシンが生成することが予想される。処理プラントはそれらの発生、排出、抑制にも留意したものとなろうが、それを証明するための分析は必要となろう。またルイサイトやくしゃみ剤であるジフェニルシアノアルシン、ジフェニルクロロアルシンはヒ素化合物であり、焼却過程でのヒ素の揮散や化学処理過程での排水への溶解も予想され、それらの監視のための分析法も必要となる。このようにして多くの分析法を組み合わせたネットワークで監視システムが組まれることとなろう。

最後に、埋もれた弾殻が腐食して、化学剤が土壤中に漏出したケースもあると考えられ

る。このような土壌の汚染は、化学兵器処理の国際的取り決めにおける扱いを確認する必要があるかもしれないが、それらの監視と修復を視野に入れた分析法を用意しておくことも必要であろう。

8. 6. 2 環境基準等

基準と考えられるものは、労働安全基準及び環境基準（及び排出基準）であろう。人の殺傷を目的として開発された化学剤であるが、いかなる濃度以下であれば許容できるかという安全基準は定められておらず、関連する情報も十分ではないのが現状である。化学兵器処理で経験を有する欧米の作業にかかわる基準を援用しつつ、これらの許容値を定めていく必要があろう。

我が国の労働安全基準、環境基準として定められているものに関連する項目としては、ヒ素、SO_x、NO_x、ダイオキシン等があり、排出基準として個別の施設に対応して個別項目が定められている。このような基準は、それぞれの国情等に対応して定められた経緯があり、多国間にまたがる事業については、それぞれの国の基準に適応する必要がある。化学兵器禁止条約に定める期間内に作業を終了するという点から調整が急がれると考えられ、学術的な立場からの科学者のコンセンサスづくりも重要となろう。

第8. 7節 作業環境安全

8. 7. 1 作業環境安全の範囲

遺棄化学兵器処理に係る全ての工程（事前調査、発掘、回収（鑑定、梱包）、輸送、保管、実処理（前処理、本処理、後処理））において作業員の作業環境安全を図る必要がある。

8. 7. 2 考慮すべきリスク

遺棄化学兵器の処理に際して考えられるリスクは、

- ① 弾等の爆発に伴う破片等の被爆のリスク
- ② 砲弾等の爆発に伴う化学剤の暴露のリスク
- ③ 砲弾等から漏洩した化学剤の暴露のリスク

が主たるものであるが、更に以下についても考慮する必要がある。

- ④ 燐漏れ砲弾等によるリスク（黄燐発煙弾から漏れた黄燐による火傷）
- ⑤ 砲弾の爆発、化学剤に起因しない作業事故等のリスク
- ⑥ 防護マスク、防護衣等の装着によるリスク（熱中症、脱水症等）

また、化学剤としては、あか剤（ジフェニルシアノアルシン、ジフェニルクロロアルシン）及びきい剤（マスタード、ルイサイト）が主対象であるが、みどり剤（クロロアセトフェノン）、あお剤（ホスゲン）、ちゃ剤（青酸）及びしろ剤（トリクロロアルシン）についても考慮する必要がある。更に、化学剤リスクについては吸入によるもの及び接触によるものがあり、その夫々について1次汚染（直接的な暴露）及び2次汚染（間接的な暴露）があることを考慮しなければならない。

8. 7. 3 作業環境安全対策の技術面からのアプローチ

作業環境の安全を確保するためには、人の作業を最小限にする、人の作業を防護する、事故発生時被害を最小限にする等が重要であるが、技術的対応の余地が多く残されている。その主要なものとしては次のようなことがあり、今後それらについて検討していく必要があるだろう。

（1）人の作業を最小限にするための技術（自動化、無人化、遠隔化）

① 発掘

砲弾等の掘り出し、掘り出した砲弾等の危険性の判断（信管の有無、化学剤の漏洩等）、危険度に応じた応急的安全化（信管の固定、漏洩防止、除染）等については、現時点では専門的知識技能を有する人に頼らざるを得ないが、極めて危険な作業環境部分で

あり、自動化、無人化、遠隔化することが求められている。この際 安全、確実に作業できることは勿論であるが、約 70 万発という大量の砲弾を考えた場合、迅速性も必要である。

② 鑑定

掘り出された砲弾は、化学砲弾か否かを判断（鑑定）することが必要である。現在鑑定作業においては、外観上の化学砲弾の特徴を人が判断するとともに、砲弾内部の化学剤の有無等をX線写真により判定しているが、切り溝・識別色の確認のための鏽除去、寸法の計測、X線鑑定台への固定等、危険な作業の必要がある。これらの作業を自動化することができれば、安全上極めて有効である。

③ 密封梱包

現在化学砲弾と判定されたものは、実処理までの間密封梱包して保管しているが、この作業も自動化する余地がある。

④ 輸送、保管

発掘・回収作業から実処理作業に至るまで砲弾を輸送し、保管する作業を伴う。この間危険性の伴う多くの作業が必要であり、自動化する余地がある。

⑤ 実処理（前処理、本処理、後処理）

遺棄化学兵器の実処理においては、老朽化した大量の砲弾を短期間に処理することが要求されており、化学剤の処理、炸薬の処理、廃液、排ガスの処理等危険を伴う作業が多い。現在多くの処理方法が考えられているが、努めて人が関与しない、自動化された処理方法とすることが望ましい。

（2）人の作業を防護し、被害の拡大を防止するための技術

経費、技術的可能性等の面から人が全く関与しない作業環境とすることは不可能で、多くの場合人が作業をせざるを得ない。その場合でも人の作業環境の安全を確保することが重要であり、そのために必要な技術として次のようなことが考えられる。

① 防護する防護マスク・防護衣、防弾衣、防護眼鏡等の保護具

現在活性炭吸着方式の防護マスクが使われている。遺棄化学兵器の場合、神経剤防護の必要はなく、防護の主対象はマスタード及びルイサイトであり、長時間かつ長期間作業することを考慮して、通気抵抗の少ないマスクあるいはエアラインマスク等の空気呼吸器が必要である。

また防護衣も長時間着用しても発汗、発熱等人体に影響の少ないものが必要である。更に野外が主となる発掘・回収と施設内における実処理とでは、同じ保護具である必要はない。

② 作業環境基準等の設定

北安の発掘回収においては、防護衣、防護マスクを装着して作業する場合の作業時間の基準を約1時間、作業環境基準等をマスタードについて10mg/m³、ルイサイトにつ

いて15mg/m³として作業を行っているが、今後これらの基準値について更に検討をする必要がある。

- ③ 発掘現場、鑑定所等の作業環境の化学剤濃度を基準値以下にする空気浄化装置
- ④ 待避ルーム、防護壁
- ⑤ 監視警戒のための検知器、モニタリング装置、警報システム

北安において使用された検知器（モニター兼用、原理はイオン強度分光測定器）は、神経剤を検知、警報することを主対象としたもので、遺棄化学兵器処理の場合、マスタード、ルイサイトを主対象とした検知器が必要である。

また、発掘・回収から実処理に至るまでの全工程を考えた場合、発掘現場と実処理現場では求められるガスの種類、濃度、応答時間等必ずしも同一ではなく、作業場所に応じた検知器が必要であり、今後夫々の場において要求される性能を規定するとともに、それに応じた検知器を検討する必要がある。

- ⑥ 爆発、有毒ガス等の発生しない処理技術、処理後の廃棄物質等の安全化
- ⑦ 人にやさしい除染剤、除染具・装置

化学剤が漏洩した砲弾等の掘り出し現場における応急的安全化及び人体被服等に化学剤が付着した場合の除染等において、人を傷つけず化学剤を迅速に分解あるいは除去する除染剤が必要であり、迅速性、確実性、使い勝手の良い除染剤、除染具・装置が求められる。

- ⑧ 万一、人体に損傷を生じた場合の解毒、治療

第8. 8節 情報管理とシステムの効率化

遺棄化学兵器廃棄事業は国際的にも国内的にも関心が高く、事業推進に当たっては、単に廃棄すれば良いというものではなく、その廃棄過程において、環境負荷の抑制及び作業員の安全確保を最大限図るとともに、そのように推進されていることを対外的に説明できるようにすることも必要である。また、本事業の推進に当たっては、化学兵器禁止条約の規定どおりに廃棄が実施されていることを条約事務局に説明することが必要である。

上記要請と効率的な事業推進を同時に実現するためには、情報管理について十分に検討することが必要である。すなわち、本事業の推進に当たって生じる様々な要請に対して、適切に取得・整理された情報を、必要に応じて加工・提供することにより対応する情報管理システムの構築が不可欠である。

「遺棄兵器処理を実行・管理する仕組み（アクティビティ・モデル）」の一案を図 13と図 14に、全体の活動アイテムのアクティビティ・リストを表 14に示す。このモデルは、遺棄兵器の処理サイトへの搬入から最終処分が完了するまでの過程を表現したものである。箱の中はタスク処理を表し、タスクは「入力（左側からの矢印）を制約（上部から入る矢印）のもとに、手段・メカニズム（下部から入る矢印）を用いて出力（右側に出る矢印）を出す」ことを意味する。矢印は情報（部分的に重要な物質、この場合廃棄兵器や設備等の物質を表すこともある）である。

このアクティビティ・モデルにおいて最も注意すべきことは、作業全体で環境・安全を守ることである。実行当事者にとっては、作業安全の確保と環境へのインパクトを許容範囲内に抑えることである。従って

- ① 遺棄化学兵器の条約に沿った廃棄手順を踏んだ計画を作成すること。
遺棄化学兵器であると判断された物へ個別番号を付与するとともに、その保管状況
廃棄状況を把握すること。更に、その手順が確実に実行されていることを保証すること。
- ② 環境・安全対策として、検知器設置を含めた作業場の安全対策を行うと同時に、それら
の信頼性を確保すること。
安全な作業環境レベルの設定のためには、管理対象化学物質の人体に対する影響を
様々な毒性値から推測することが必要である。
- ③ 排ガス、排水、個体廃棄物等の環境負荷を制御すること。
環境負荷レベルを把握するために、プラントに適切な濃度計や排出量を計測し、この
計測結果をフィードバックすることにより、環境負荷の抑制が実現する。
- ④ 万が一の場合の緊急時対応を計画し、それを確実に実行する状態（人の配置、タスク
の割り当てなど）を維持しておくこと。
- ⑤ 処理・管理に携わる全ての人々に対する教育・訓練を計画し、それらを効果的に実行

すること。

- ⑥ 作業の実行に必要な資材。ユーティリティの購入・搬入計画を作成し、実施すること。また、オンサイト、オフサイトの設備管理が確実に行われていること。
- ⑦ 作業手順、緊急時対応、設備管理、教育などあらゆる計画や実行作業手順の修正を適切に、かつ、迅速に行うこと（変更管理の推進）。
- ⑧ 以上の活動全体を行うコストを抑制するために、まず、かかっている費用を常に把握し、資源配分の最適化を図り、実行すること。

「最初からあらゆる作業手順を完全に準備することは、極めて困難である」という前提条件に立ってアクティビティ・モデルを整備すべきであろう。従って、遺棄兵器の処理の業務は若干の不備があると、大きな事故に繋がるおそれもあることから、「不備を見つける」、迅速に「修正計画を作る」、「教育・訓練に反映させる」ことが最低限必要であろう。これは、プロセス安全管理における変更管理に相当する。

遺棄兵器は数多くの種類があるだけではなく、経年変化により腐食、変形が加わっているため、処理手順がある程度決まっているとはいえ、適切で詳細処理手順の選択、作業上への搬入・設置を含む作業実行に相当の時間ぶれが生じるのは当然ありうる。したがって、スケジュール等の変更は頻繁に起こる可能性もあり、その場合には関係作業者に周知徹底させる手段とその確認方法の確立も必要である。

また、国際条約に則った作業の計画、実施確認を公表することは、実行管理の重要な役割である。

以上、述べたように計画（ここでは、実装をも計画に含めている）、実施、見直しのサイクルを確実に行うことが、環境・安全を維持すること、更に、リスク管理を織り込んだコストの圧縮に繋がる。そのために、サイクル全体にわたる情報管理が必須である。アクティビティ・モデルにそって集積された情報（図. 15参照）を用いて、長中短期計画、実行の全貌を把握し、両者の差異を認識・分析し、修正をかける仕組みが必須であろう。このように総合化された処理技術は、欧米各国における化学兵器廃棄技術の進展に寄与するものと期待される。

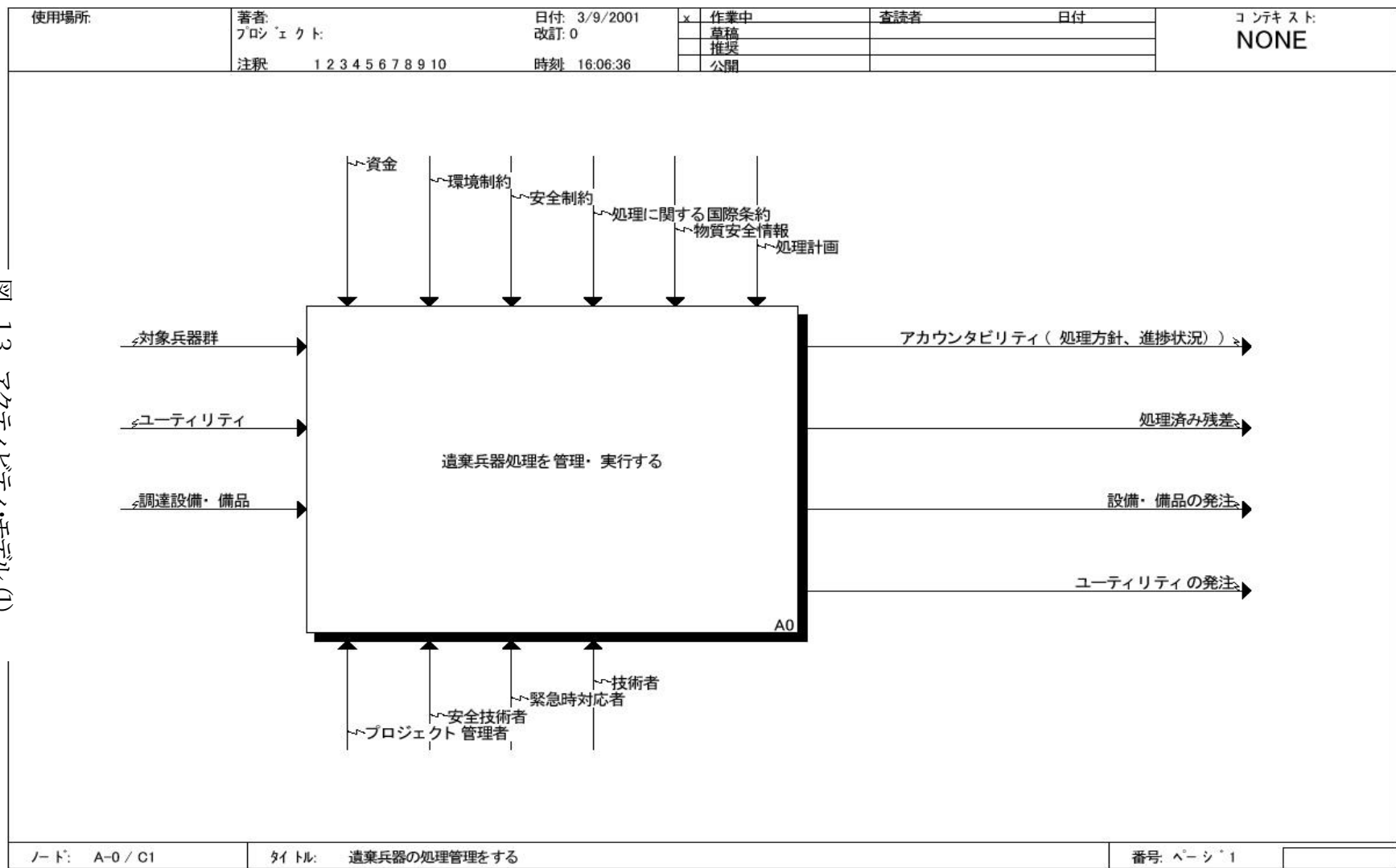


図 13 アクティビティ・モデル (1)

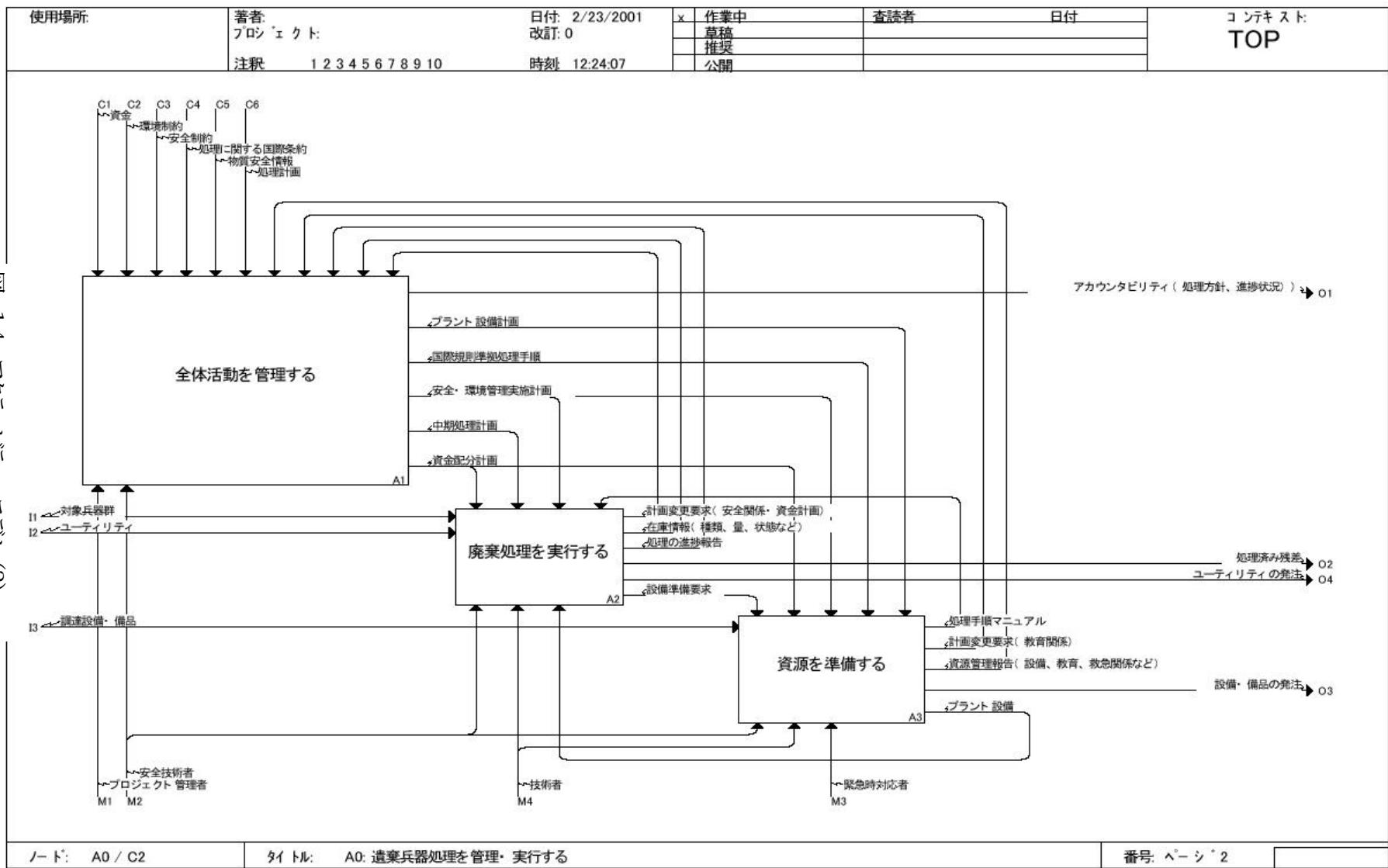


図 14 アカウンタビリティ・モデル (2)

表. 14 アクティビティ リスト

＜遺棄兵器の処理管理をする＞	
A0:	遺棄兵器処理を管理・実行する。
A1:	全体活動を管理する。
A11:	処理工程管理の実施計画を作る。
A111:	処理工程計画を作る。
A112:	資金配分計画を作る。
A113:	進捗管理を行う。
A12:	プロセス安全管理の実施計画を作る。
A121:	設計に関わる安全技術指針を作る。
A122:	人的作業に関わる安全実施指針を作る。
A123:	実施方針の承認と変更管理を行う。
A13:	処理スケジュールを作る。
A131:	中期スケジュールを作る。
A132:	資源割り当てを行う。
A2:	廃棄処理を実行する。
A21:	処理の実行管理をする。
A211:	詳細スケジュールを作る。
A212:	処理手順を決める。
A213:	環境・安全状況を確認する。
A22:	在庫管理を行う。
A221:	搬入をする。
A222:	搬出をする。
A23:	処理を実行する。
A231:	処理設定・ユーティリティ準備をする。
A232:	処理手順を実行する。
A233:	処理/安全確認をする。
A24:	環境・安全のためのモニタリングを行う。
A241:	分析を行う。
A242:	異常検知を行う。
A243:	分析値の長期傾向を把握する。
A3:	資源を準備する
A31:	設備を設計/修正設計する。
A32:	作業者の教育を行う。
A33:	緊急対策を実行する。

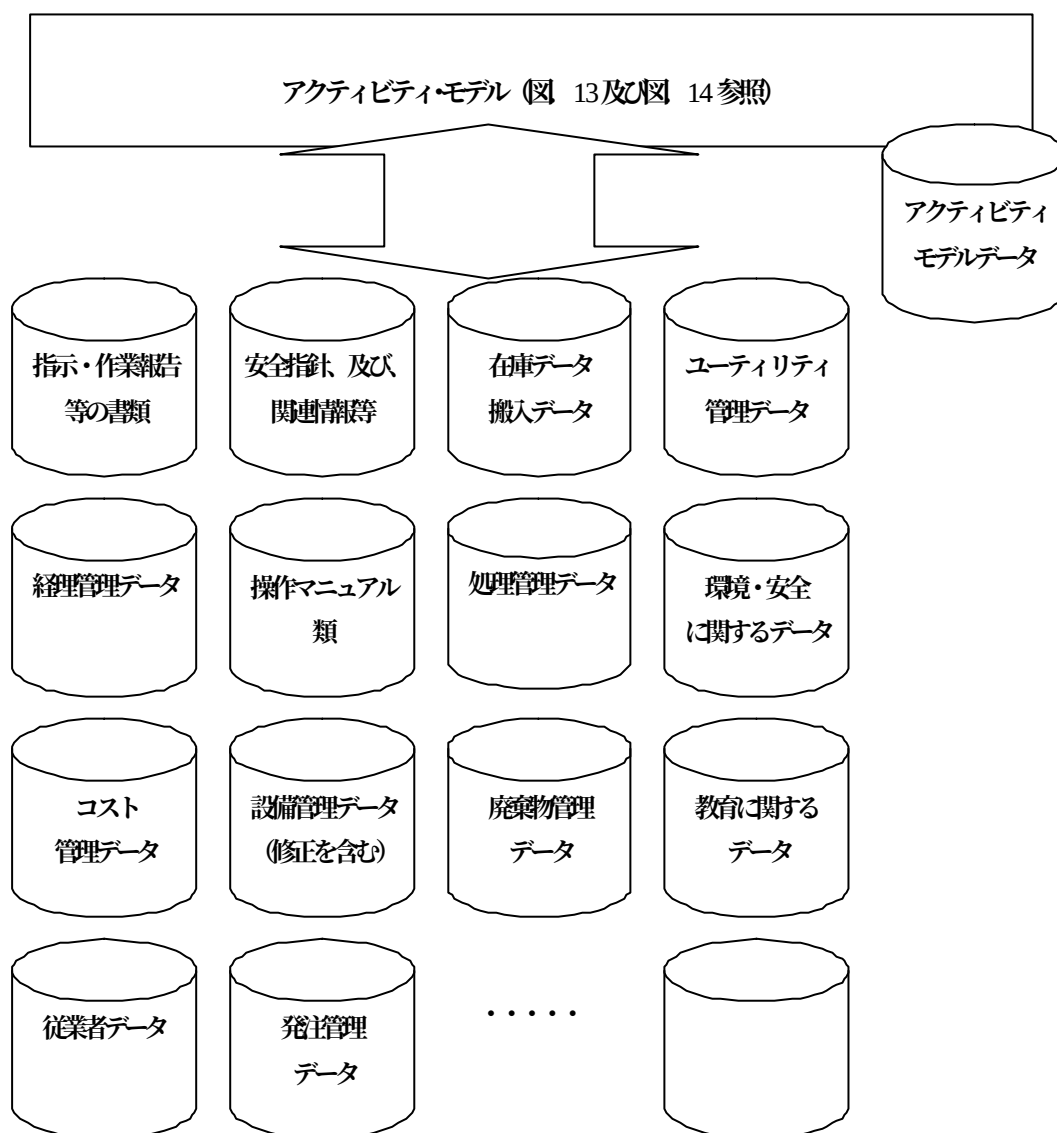


図 15 アクティビティ・モデルにそって集積された情報

第9章 遺棄化学兵器の安全な廃棄へ向けた提言

これまで述べてきたように、遺棄化学兵器を安全に廃棄するためには、独自の技術開発が必要であるとともに、幅広い分野の技術的知識の集積が不可欠である。我が国の本分野における経験は決して大きなものではないが、日本の研究者・技術者の能力を適切に活用すれば、対応可能なものである。そのためには、まず関連する分野の個々の研究者・技術者における遺棄化学兵器廃棄についての認識を深めることが必要である。

しかし、遺棄化学兵器廃棄分野は、それが有するマイナスイメージの故に、個々の研究者・技術者の自発的意志のみに頼るだけでは、多くの有用な人材の参加を期待することは難しい。また、個々の研究者・技術者が本分野に関与する意志を有していても、所属する組織の管理部門が、安全確保に関する懸念、周辺住民への説明責任等から慎重な態度を示すこともある。必要な人材の本分野への参加を実現するためには環境整備が重要である。環境整備の方法について以下に提言する。

【関連する学協会における委員会等の設置】

研究者・技術者の議論の場である学協会に遺棄化学兵器廃棄技術関連の委員会等が設置されることは、本分野に対する研究者・技術者の認識を広めるとともに、それぞれの専門的見地からの多岐にわたる知見の提供につながる。また、本事業にまつわるマイナスイメージの解消に非常に有効である。他方、学協会側にとっても、本件のような具体的目標の定まった研究対象に取り組むことは、それぞれの専門における学識を深めるための良い機会となる。

すでに化学工学会では遺棄化学兵器廃棄技術研究会を設置し、平成12年11月に第1回講演会を開催したが、関連する他の学協会でも同様の研究会等を設置することを期待したい。具体的には、火薬学（ピクリン酸の爆発安全性等）、無機化学（ヒ素等）、有機化学（化学剤等）、機械工学（砲弾解体、ロボット技術等）、情報科学（砲弾データ処理等）、システム工学（プラント設計・操作等）、安全工学（作業安全性等）、環境科学・環境工学（環境安全対策等）、人文・社会科学（運営管理、施設立地等）などが重要であり、これらの学術分野の研究者・技術者の貢献が期待される。

【中核的研究開発機関の整備】

これら幅広い分野から参画する研究者の能力を有効活用するためには、政府の遺棄化学兵器廃棄体制の中に、基礎研究や実証研究を主体として技術基盤を確立するための「中核的研究開発機関」を整備すべきである。本機関においては、遺棄化学兵器廃棄事業の推進状況に関する情報を提供するとともに、推進に当たって必要となる技術的課題を整理すること、特に重要な技術課題の基盤を固めることが重要である。このためには、必要に応

じて研究開発資金も提供し、全国の関係分野の研究者・技術者が協力できる場を作ることが望ましい。これらの研究開発活動により得られた成果は遺棄化学兵器事業の円滑な推進に貢献することとなる。

本研究機関は以下の機能を持つべきである。

- ・ 関連研究機関相互のコーディネーション
- ・ 研究開発計画立案
- ・ 試験研究の実施
- ・ 廃棄技術の評価と学術情報の蓄積
- ・ 外部の研究機関とのネットワーク化
- ・ 予算の配分と研究成果のとりまとめ
- ・ 研究成果等の情報発信
- ・ 国際協力と海外情報集約

遺棄化学兵器の廃棄に当たっては、個々の技術の実現可能性を実証することだけではなく、環境や安全を重視した総合的な取組が必要であり、自然科学と人文・社会科学を含めた総合的な学術的立場からの一致した協力を期待したい。

以上

本報告書作成に当って、参考とした文献を以下に示す。

【参考文献】

- 1) 通商産業省基礎産業局 化学兵器・麻薬原料等規制対策室編, 解説 化学兵器の禁止及び特定物質の規制等に関する法律, 化学工業日報社 (1997)
- 2) 新井勉, 化学軍縮と日本の産業, 並木書房 (1998)
- 3) 小原博人, 新井利男, 山辺悠喜子, 岡田久雄, 日本軍の毒ガス戦, 日中出版 (1997)
- 4) 内藤裕史, 化学毒物と化学兵器, 茨城県立医療大学紀要, **1**, 1 (1999)
- 5) 遺棄化学兵器廃棄研究会第1回講演会 予稿集, 化学工学会 (2000)
- 6) D. H. Ellison, Handbook of Chemical and Biological Warfare Agents, CRC Press, Boca Raton, Florida (2000)
- 7) J. F. Bunnett, M. Mikolajczyk ed., Arsenic and Old Mustard: Chemical Problems in the Destruction of Old Arsenical and 'Mustard' Munitions, NATO ASI Series, Disarmament Technologies, Vol.19, Kluwer Academic Pub, Dordrecht (1998)
- 8) Recommendations for the Disposal of Chemical Agents and Munitions, National Research Council, Washington, D.C. (1994)
- 9) Review and Evaluation of Alternative Technologies for Demilitarization of Assembled Chemical Weapons, National Research Council, Washington, D.C. (1999)
- 10) Assembled Chemical Weapons Assessment Program, Supplemental Report to Congress, Program Evaluation Team (1999)
- 11) Abstracts of Papers and Posters, 2nd International CW Destruction Symposium, Munster, Germany (2000)
- 12) Proceedings of the International CW Destruction Symposium, Munster, Germany (1998)
- 13) 内閣府ホームページ, <http://www8.cao.go.jp/ikikagaku/index.html>
- 14) 経済産業省ホームページ, <http://www.meti.go.jp/index.htm>
- 15) 化学兵器禁止条約機関 (OPCW ホームページ, <http://www.opcw.nl/>)