

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って—



平成23年（2011年）6月2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

この提言は、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「遺棄および老朽化学兵器の廃棄技術に関するリスク検討」小委員会での審議を反映して取りまとめ、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	松岡 猛	(連携会員)	宇都宮大学工学部機械システム工学科 客員教授
副委員長	永井 正夫	(連携会員)	東京農工大学大学院工学研究院長、教授
幹事	鎌田 実	(特任連携会員)	東京大学高齢社会総合研究機構機構長、教授
幹事	水野 毅	(連携会員)	埼玉大学理工学研究科教授
	桑野 園子	(第一部会員)	大阪大学名誉教授
	古川 勇二	(第三部会員)	職業能力開発総合大学校校長
	矢川 元基	(第三部会員)	東洋大学計算力学研究センター センター長・教授、東京大学名誉教授
	井上孝太郎	(連携会員)	(独) 科学技術振興機構上席フェロー
	垣本由紀子	(連携会員)	立正大学大学院心理学研究科非常勤講師、 NPO 法人航空・鉄道安全推進機構
	木村 逸郎	(連携会員)	(財) 大阪科学技術センター顧問 京都大学名誉教授
	久米 均	(連携会員)	公益財団法人日本適合性認定協会理事長 東京大学名誉教授
	小林 敏雄	(連携会員)	(財) 日本自動車研究所副理事長・ 研究所長、東京大学名誉教授
	圓川 隆夫	(連携会員)	東京工業大学教授・ イノベーションマネジメント研究科長
	高橋 幸雄	(連携会員)	東京工業大学名誉教授
	成合 英樹	(連携会員)	筑波大学名誉教授
	萩原 一郎	(連携会員)	東京工業大学理工学研究科 機械物理工学専攻教授
	長谷見雄二	(連携会員)	早稲田大学理工学術院教授
	波多野睦子	(連携会員)	東京工業大学理工学研究科 電子物理専攻教授
	藤本 元	(連携会員)	同志社大学大学院工学研究科教授
	古崎新太郎	(連携会員)	東京大学名誉教授

松尾亜紀子	(連携会員)	慶應義塾大学大学院理工学研究科教授
向殿 政男	(連携会員)	明治大学理工学部教授
岡田 有策	(特任連携会員)	慶應義塾大学理工学部講師
菊池 浩明	(特任連携会員)	東海大学工学部電気工学科専任講師
水野 光一	(特任連携会員)	(独) 産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門研究顧問

「遺棄および老朽化学兵器の廃棄技術に関するリスク検討」小委員会

委員長	古崎新太郎	(連携会員)	東京大学名誉教授
副委員長	水野 光一	(特任連携会員)	(独) 産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門研究顧問
幹事	朝比奈潔		(株) 神戸製鋼所原子力・CWD 本部主監
幹事	山内 博		北里大学大学院医療系研究科教授
	久米 均	(連携会員)	公益財団法人日本適合性認定協会理事長 東京大学名誉教授
	小林 敏雄	(連携会員)	(財) 日本自動車研究所副理事長・ 研究所長、東京大学名誉教授
	松岡 猛	(連携会員)	宇都宮大学工学部機械システム工学科 客員教授
	秋山 一郎		化学兵器禁止機関 前査察局長 (株) 神戸製鋼所顧問
	石井 一弘		筑波大学大学院人間総合科学研究科准教授
	岸田 伸幸		コーチャーズオフィス代表
	藤原 修三		化学兵器禁止機関科学諮問委員会委員 (独) 産業技術総合研究所 安全科学研究部門研究顧問
	山口 芳裕		杏林大学医学部高度救命救急センター 教授
	割石 博之		九州大学大学院農学研究院 森林資源科学部門教授

要 旨

1 作成の背景

老朽・遺棄化学兵器の処理は現代社会における重要なリスク除去の一端を担っている。国内における化学兵器の処理は荻田港などで進められているが、化学兵器禁止条約により日本が廃棄処理の義務を負っている中国における遺棄化学兵器の処理事業は、ようやく2010年10月に南京において開始されたところである。30万発が地中に埋設されているハルバ嶺においても2011年度に試験廃棄処理が開始される予定となっている。このような状況の下、遺棄化学兵器の処理は当初、条約の規定上2007年4月末までに終える必要があったが、各国の処理状況を踏まえその期限は2012年4月まで5年間の延長となっている。老朽・遺棄化学兵器の処理・廃棄に関して、日本学術会議では、2001年、2002年、2005年、2008年に対外報告および提言を表出し、諸問題の検討に精力的に取り組んできた。老朽・遺棄化学兵器の処理には安全上検討すべき課題も多いが、条約上の期限もあり、できるだけ早くかつ安全に処理を進めることが求められている。廃棄処理事業が具体的に稼働を始めたこの時点において、実際に順調かつ安全に処理を進めるためには処理システム全体を統合した科学的な考察が必要であり、科学者コミュニティからの提言が必須である。そこで、遺棄および老朽化学兵器の廃棄技術に関するリスク検討小委員会では、南京における移動式処理装置の稼働が開始され、今後中国各地およびハルバ嶺の処理が実施に移される最近の状況に鑑み、起こりうる爆破処理及びヒ素による汚染に対する安全面、ならびにシステム全体のマネジメントに関して第21期を通して鋭意検討を重ねて来た。

2 現状及び問題点

中国における遺棄化学兵器の処理は国内における荻田港での処理経験が重要な足掛かりとなっている。しかし、遺棄化学兵器の処理は一般の定常状態の操作ではなく、対象が千差万別で腐食の状態もまちまちであり、処理を行う環境も変化しやすく、作業員の経験も必ずしもその場に対応しているとはいえない。そのため、廃棄作業には様々なリスクが伴う可能性がある。保安の確保は重要であり、危険源の特定、リスク評価とリスク管理など、十分な配慮と対策が必要となる。まず、遺棄化学兵器の処理には、爆発災害および爆発に伴う化学剤災害が想定されるが、その有害性などについて、化学兵器の感度などに関するリスク評価を行い、リスクを軽減できるようハードとソフト面での対策を行う必要がある。また、化学剤を被ばくした場合の健康に対する影響については、(i) 緊急事故などによる化学剤の放出による作業場所での高濃度曝露、(ii) 作業場所での定常的な曝露、(iii) 一般市民が長期間受ける定常的な曝露、などの状況に応じて、曝露レベルを評価することが求められる。また、兵器の処理に伴う廃棄物や使用した資材・機材の除染にも留意する必要がある。さらには、重大事故発生も想定して、爆発事故および化学剤被害に対する医療対処の二つの面から、正当なリスク評価に基づいた妥当性のある救急医療体制の構築を図ることが重要である。遺棄化学兵器の処理にあたっては、多くの場所での処理が同

時に進行することになるため、全体をみてのプロジェクトマネジメントも必要である。また、地域住民の作業に関する理解を得ることも重要である。

3. 提言等の内容

中国における遺棄化学兵器の処理が開始され、国内においても千葉県習志野市において大規模な老朽化学兵器の処理が開始される状況に鑑み、化学兵器の廃棄を担当する政策当局及び専門家集団、関係する研究者集団に対し以下の提言を行う。以下の(1)～(3)は主として政策当局に向けて、(4)は主として研究者集団に向けたものである。

(1) 災害に備えた救急医療体制を整備し、科学的な災害防止対策を行う

化学剤やヒ素の汚染による人的また環境の被害に限らず、発掘・回収や廃棄処理の際の爆発による災害は常に引き起こされる可能性がある。このような災害の発生を抑えるにはできるだけリスク評価などの科学的な事前評価を行う一方で、過去の事故や災害を踏まえた防止対策について規則や技術などを適正に活用し、万一の災害に備えた救急医療体制を常に整備しておくべきである。

(2) 化学剤やヒ素による化学汚染への対策を講じる

化学剤汚染による慢性毒性に着目し、(i) 発掘・回収、廃棄処理などに関わる作業員や周辺住民の被害、機材・資材・施設、廃棄物の汚染の評価基準を設定するとともに、(ii) 低濃度汚染の管理に努める必要がある。さらに、(iii) 発掘・回収や保管庫、廃棄処理等の施設、設備、機器類などの解体後の廃棄物の除染計画を建設時から立案しておくことが肝要である。

(3) プロジェクトマネジメントを活用する

中国各地に分散廃棄された化学兵器を次々に処理を進め、また大量に廃棄されているハルバ嶺の化学兵器の処理を進めるに当たり、また、国内の老朽化学兵器の処理を進めるに当たり、住民とのコミュニケーションを含め、処理業務全体を統合したプロジェクトとして運営・管理することが必要である。安全・安心で効率的な廃棄処理の推進のため、プロジェクトマネジメント手法の積極的活用が望まれる。

(4) 国際機関、海外諸国、国内組織の知見・経験の相互交流に努め、その成果を化学兵器処理に反映させる

化学兵器の廃棄は化学兵器禁止条約という国際条約で義務づけられるため、我が国だけでなく条約に加盟する世界各国の共通の課題である。化学剤の被ばく許容濃度、廃棄処理技術など多くの最新の科学的知見や経験は、先行するヨーロッパ諸国や米国の経験を参考にできる。他方、ヒ素を含有する化学兵器の廃棄などは日本に特徴的な課題として国際的に期待が大きく、ヒ素に関連する科学技術の進歩は重要である。さらに、老朽化学兵器や

遺棄化学兵器の廃棄に関する知見や経験の相互交流は、それぞれの事業の円滑な進捗に寄与する。日本の行う化学兵器の廃棄処理においては海外における適正な作業環境基準の適用など、海外との技術交流による知見を生かすべきである。これには微量の化学剤の測定技術、ヒ素の無毒化法の研究を進め、処理プラントのリスクマネジメントについて検討し、それらの成果を廃棄処理に反映するように努める必要がある。

目 次

1	はじめに：老朽・遺棄化学兵器の廃棄をめぐる現状.....	1
2	遺棄化学兵器処理にあたってのリスクと保安上の課題.....	3
	(1) 化学兵器廃棄処理のリスク	3
	(2) 遺棄化学兵器の廃棄処理プロセスにおける保安	3
3	爆発災害および爆発に伴う化学剤災害のリスク評価と管理.....	5
	(1) 火薬類の有害性.....	5
	(2) 火薬類の発火・爆発を起こす要因とその評価方法	5
	(3) 化学兵器に対する感度試験（発火・爆発リスクの推定・評価）	5
	(4) ハード・ソフト面での具体的な発火・爆発リスク軽減対策.....	6
	(5) 化学弾の爆発に伴う化学剤の拡散	6
4	化学剤の被ばく基準と発生する廃棄物の取扱い.....	7
	(1) ヒトへの化学剤の曝露による健康に対する影響	7
	(2) 資材・機材・施設の汚染と除染方法.....	10
	(3) 処理で発生するヒ素の取扱い.....	15
5	爆発被害および化学剤被爆に向けた医療と医科学について.....	17
	(1) 重大事故発生時の救急医療	17
	(2) 慢性毒性と医療.....	19
6	効率的な廃棄事業の推進.....	20
	(1) 発掘・回収と廃棄処理の役割分担と連携体制.....	20
	(2) プロジェクトマネジメントの重要性.....	20
	(3) 周辺住民の理解.....	21
7	提言	22
	(1) 災害に備えた救急医療体制を整備し、科学的な災害防止対策を行う	22
	(2) 化学剤やヒ素による化学汚染への対策を講じる	22
	(3) プロジェクトマネジメントを活用する	22
	(4) 国際機関、海外諸国、国内組織の知見・経験の相互交流に努め、 その成果を化学兵器処理に反映させる	22
	＜参考資料＞「遺棄および老朽化学兵器の廃棄技術に関するリスク検討」小委員会 審議経過	24
	＜付録＞	26

(1) 各国の歴史的経緯と化学兵器禁止条約 ⁺ における位置づけ	26
(2) 廃棄プロセスにおける法体系（火薬類取締法について）	28
(3) 化学兵器取扱いにおける火薬類の爆発リスクと化学剤拡散リスク	29
(4) 廃棄物の種類と発生量の見積り	32
(5) その他の固体廃棄物の除染の具体例	33
(6) 発掘・回収と廃棄処理の役割分担と連携体制	34
(7) プロジェクトマネジメントの技法について	36
(8) 社会システムとしての発掘・回収	37
(9) 事後保障対策の事例について	39
(10) オープン志向のコンセンサス形成に関する事例	40
(11) きめ細かな個別長期対応に関する事例	41
(12) 化学兵器廃棄施設における化学汚染を主体とした作業員防護の考え方	42
<参考文献>	45
<用語の説明>	47

1 はじめに：老朽・遺棄化学兵器[†]の廃棄をめぐる現状

化学兵器の処理は現代社会における重要なリスク除去の一端を担っている[1]。日本国内で発見される老朽化学兵器は、都度処理がなされており、そのうち最も大量に発見されたものが、荻田港の海底から回収された老朽化学兵器で2011年2月現在2,954発である。他方、化学兵器禁止条約[†]によって日本が廃棄処理の義務を負っている中国に遺棄された化学兵器[1]は約30万発といわれるが、その処理事業は中国各地から回収されたものについて、ようやく2010年に先ず南京から開始された。化学兵器の処理は当初、条約の規定上2007年4月末までに終える必要があったが、各国の処理状況を踏まえその期限は2012年4月まで5年間の延長となっている。2010年10月には移動式処理装置^{††}により先ず南京で廃棄処理が開始され、また大量に存在するハルバ嶺における処理は2011年度から処理が試験的に進められる予定である。特にハルバ嶺の事業はかなりの期間をかけて継続されなければならないが、いずれにせよできるだけ迅速に、かつ安全に廃棄処理を進めることが求められている。

日本学術会議においても、老朽・遺棄化学兵器の処理に関しては、2001年には対外報告「遺棄化学兵器の安全な廃棄技術に向けて」[1]、2002年には対外報告「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」[2]、2005年には対外報告「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」[3]、また、2008年には提言「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低減」[4]を発出するなど、処理・廃棄に伴う諸問題の検討に精力的に取り組んできた。また、報告「日本の展望—理学・工学からの提言」[5]でも、「遺棄及び老朽化学兵器の廃棄の為の総合的な技術開発、学術研究の進展、中国における遺棄化学兵器の処理の推進の実施が望まれる」とし、「ヒ素の有機化による無毒化という新技術の活用、適切なリスク評価手法を活用したリスク管理の高度化等の課題」を挙げている。以上要約すると、これまでの対外報告、提言においては老朽・遺棄化学兵器の廃棄処理についての日本の国際的義務、さらに処理の際のリスク評価と管理の必要性、救急医療、ヒ素の無毒化についても提言をおこなってきた。

老朽・遺棄化学兵器の処理には安全上検討すべき課題も多いが、条約上の期限もあり、できるだけ早くかつ安全に処理を進めることが求められている。また我が国においても、荻田港の他に、千葉県習志野市においても本格的な老朽化学兵器の廃棄処理が進められようとしている。遺棄および老朽化学兵器の廃棄技術に関するリスク検討小委員会では第21期を通して、上記の日本学術会議よりの報告・提言[1-5]を踏まえ、また、南京における移動式処理装置の稼働が開始され、今後中国各地およびハルバ嶺の処理が実施に移される最近の状況に鑑み、主として、起こりうる爆破処理[†]及びヒ素による汚染に対する安全面ならびにシステム全体のマネジメントに関して検討を重ねてきた。本報告書はその検討結果

[†] 用語の説明を参照

^{††} 有害物質をどこでも分解処理できる移動式廃棄物処理装置。大型トラックに必要な装置類すべてを搭載できるため、保管場所から移動させるのが難しい有害物質をその場で処理できる。

に基づき、遺棄化学兵器の廃棄処理を担当する政策当局及び専門家集団、関係する研究者集団に向け、提言を行うものである。ここでは処理が現実に行われることを念頭にこれまで発信した提言を発展させ、作業環境および外部の環境における化学剤の曝露基準、処理プロセス全体のマネジメント、爆破処理におけるリスク管理と救急医療についてより具体的に記載、提言している。なお、本書における遺棄化学兵器の処理に関する様々な専門用語については、巻末の＜用語の説明＞を参照されたい。

2 遺棄化学兵器処理にあたってのリスクと保安上の課題

化学兵器の処理には、(i) 地中あるいは河川や海中に存在する老朽あるいは遺棄化学兵器を発掘、回収すること、(ii) 回収された化学兵器を無害化すること、の二つの手順が必要となる。(i) は発掘場所の環境整備の後に人手に頼るのが一般に行われており、(ii) は密閉チャンバー中で爆破して火薬および化学剤を処理することになっている。ただし、旧日本軍の製造した化学兵器にはヒ素が含まれており、ヒ素は爆破燃焼でも残留するので回収した後に何らかの処理を行う必要がある。以下に化学兵器の廃棄処理にあたってのリスクと保安上の課題について記述する。

(1) 化学兵器廃棄処理のリスク

化学兵器の廃棄におけるリスクは、(i) 埋設された砲弾を発掘・回収するプロセスにおけるリスク、(ii) 回収された砲弾の爆破処理など廃棄処理のプロセスにおけるリスク、(iii) 廃棄処理で化学剤[†]を分解したあと発生する廃棄物に残留するヒ素化合物などの有毒物質に由来するリスクに区分される。

最も高いリスクは、(i) の埋設された化学砲弾を発掘・回収するプロセスである。第二のリスクは 上記の(ii)における火薬や化学剤が内蔵した砲弾の廃棄処理プロセスであり、次いで(iii)の ヒ素化合物など毒性の高い廃棄物と考えてよい。

しかし、一般市民が土壌への埋設や海洋に投棄された化学砲弾を意識しないで取扱い、爆発や化学剤曝露の被害を受ける事故も大きなリスクであり、最近発生したチチハルや寒川の事案がこれに相当する[3]。このような放置された化学兵器の発見と通報についての各国の対処を付録(6)②に述べた。

(2) 遺棄化学兵器の廃棄処理プロセスにおける保安

中国における遺棄化学兵器の処理は国内における荊田港での処理経験が重要な足掛かりとなっている。しかし、地中に埋設された老朽・遺棄化学兵器はノンストックパイプル[†]と呼ばれ、その廃棄処理に当たっては一般の定常状態の操作ではなく、発掘された化学兵器の種類、大きさが千差万別で腐食の状態もまちまちであり、処理を行う環境も変化しやすく、作業員の経験も必ずしも化学兵器の処理に対応しているとはいえない。そのため、廃棄作業には様々なリスクを伴う可能性がある。保安の確保は重要であり、危険源の特定、リスク評価とリスク管理など[2-4]、十分な配慮と対策が必要となる。

遺棄化学兵器処理における保安については、我が国における火薬類取締法や高圧ガス保安法の規定が参考になる。たとえば、処理の作業場には保安管理区域を設定し、その中でも防護エリアを完備する必要がある。特に、爆発や化学剤の漏洩、特殊火災などへの対策を事前に検討、実施することも必要である。災害が発生した場合の作業の中止基

[†] 用語の説明を参照

準を制定しておくことも大切である。さらに、強風、暴風、大雪、雷などの自然現象に対する対策、保安基準も考慮することが重要である。

また、遺棄化学兵器の廃棄に伴う作業基準や環境への排出基準の国ごとの相違にも配慮する必要がある。中国における作業の場合、同国の基準あるいは国際基準を適用すべきであるが、例えば、火薬取締法における操作基準の現場への適用など、日本からの担当者は日本の基準との差異の有無について認識する必要がある。発掘・回収は軍事的要素が多く、軍の基準を適用する場合も想定されるが、発掘・回収後の砲弾の廃棄処理操作においては、処理プラントとしての操作基準を確立しておくことが必要である。

実際に廃棄処理が進展する過程においては、PDCA（plan-do-check-act）サイクルを廻し、保安に関する経験を装置や操作の改善に結びつける姿勢も重要である。また、従来は化学汚染に関するリスク評価と人員防護が主体であったが、これに加えて爆発災害および爆発に伴う化学剤災害のリスク評価と救急医療体制を検討しておくことも重要である。

さらに、安全管理を担当する組織編成も考慮する必要がある。我が国では労働安全衛生法に基づいて厚生労働省が、労使が一体となって労働災害の防止に取り組むための安全衛生委員会等[†]の設置を一定規模以上の事業場に促しており、保安担当の役員がこれらを総括することになっている。また、例えば高压ガス処理施設においては保安担当の意見が設備建設や運転管理の意向に左右されないように、保安管理組織、設備管理組織、運転管理組織の独立が関係告示で定められている。保安に関しては内部監査を行うことも必要で、時には外部委員の保安に対する意見聴取も望ましい。

加えて、我が国の担当者と現地作業担当者との意思疎通の難しさがある。中国との共同作業においては、日本において社会通念として当然と思われる行為や情報伝達のニュアンスが中国では必ずしも当然とは捉えられずに、コミュニケーションの不足により思わぬトラブルが発生する危険性を否定できない。従って、作業員の定着を図ること、作業に対する当事者意識を双方の作業員に醸成して、安全で効率のよい作業現場を構築することが重要である。

このように、中国における遺棄化学兵器の処理事業の開始に当たっては、処理システム全体を統合した検証と実施計画が必要である。また、日常作業のレベルにおいては、作業の標準化と教育・訓練のみならず、異常事態が発生した際の対処における指揮命令系統の明確化、事故想定下での模擬訓練を常に行っていくことも必要である。

次章からは、老朽および遺棄化学兵器の処理にあたって実際に発生することが予想されるリスクについて、その評価と管理、リスク発生の際の処置などについて論じる。

[†] 事業者が整えるべき労働衛生管理に係わる体制については、法定の有害危険要因に対する作業主任者選任は全事業所に課せられており、50人以上の事業所においては産業医・衛生管理者の選任と安全衛生委員会の設置を、10人以上50人未満の事業場には安全衛生推進者の選任を求められている。

3 爆発災害および爆発に伴う化学剤災害のリスク評価と管理

(1) 火薬類の有害性

火薬類の有害性 (Hazards) はそれが発火・燃焼・爆発した場合の有害性と化学物質としての生体・環境への有害性に大別される。燃焼・爆発に伴う有害性には多くの事象[6, 7]が存在するが、詳しくは付録(3)①に記した。

また、火薬類そのものの有害性には、(i) 急性毒性、(ii) 刺激臭、(iii) 悪臭、(iv) 皮膚損傷、(v) 呼吸器損傷、(vi) 慢性中毒、(vii) 発がん性、(viii) 環境汚染、(ix) 金属等の腐食(侵食)と生成物の二次有害性、などがあるが、実用に供されている火薬類は極力有害性の低いものが利用されている。

(2) 火薬類の発火・爆発を起こす要因とその評価方法

外部からの刺激に対する火薬類の応答性能、すなわち外部刺激による分解・発火・爆発の起こりやすさを感度 (Sensitivity) という。感度には、衝撃波や爆轟波のような極めて強力な刺激に対する衝撃感度、通常の機械的な打撃や摩擦による打撃感度、摩擦感度、外部加熱に対する熱感度、灼熱物体や火炎等に対する着火感度 (耐火感度)、光照射、静電気放電に対する感度、自然分解に対する感度 (安定度) 等があり、各々に対して、国連試験法や我が国の JIS, 火薬学会規格等の感度試験・評価方法がある[6-9]。

感度試験は、通常、裸薬に対して行われるが、自動車用エアバッグのような火工品に対して実施される試験・評価方法や、火工品類を輸送容器に入れた状態 (容器包装) で試験・評価する方法もある。火工品に対する試験は主として輸送ならびに貯蔵時の外部刺激に対する応答性を評価するもので、加熱試験、振動試験などがある。

(3) 化学兵器に対する感度試験 (発火・爆発リスクの推定・評価)

遺棄化学兵器や老朽化学兵器は製造後、長期間を経ているので、自然分解を起こし変質しているおそれがある。特に遺棄化学兵器は晒されている環境により変質の可能性が高いものと想定される。変質した火薬類は外部刺激に対してより鋭敏 (高感度) になるおそれがあるので、環境を考慮した安定度試験を行い、変質した火薬類への対策を構築することが重要である。

内蔵される火薬種の裸薬に対しては各種感度試験を行い、危険性を評価すること並びに火工品としてどのような取扱いを行うかを想定した評価が必要である。裸薬への試験は、砲弾容器から火薬類が漏洩、露出することが起こりうる場合には特に留意する必要がある。これには摩擦、衝撃、静電気感度等を評価し、発火・爆発の防止対策を考慮することが重要であろう。火工品としての試験は、試験実施により毒剤が放出されるので、模擬剤を使用した火工品 (砲弾類) について、振動、加熱、落下衝撃、伝火・伝爆、外部火災試験等を実施し、リスク評価ならびにリスク軽減対策を講じておくことが重要である。最も重要なことは大量燃焼・爆発リスクを最小化することであり、これには火薬庫等における大量貯蔵時の伝火・伝爆 (殉爆) の防止対策の構築が必要である。大量埋設

物の伝火・伝爆（殉爆）防止対策も重要であり、これには個別の砲弾の発火・爆発確率を低減させる取扱いが必要である。

(4) ハード・ソフト面での具体的な発火・爆発リスク軽減対策

遺棄化学兵器の発掘から始まり、廃棄処理終了、すなわち火薬類が消滅（機能喪失）するまでには、発掘⇒運搬⇒鑑定（鑑定施設）⇒梱包（梱包施設）⇒運搬⇒貯蔵（火薬庫または保管庫）⇒廃棄処理施設への運搬⇒廃棄処理のプロセスがあり、各プロセスに対応した施設・設備が設置され、必要な作業が行われる。各プロセスにおいてどのような発火・爆発リスクが存在するかを洗い出し、ハード・ソフト両面からのリスク軽減対策を行うことが重要であり、対策の基本は、国内処理の場合、火薬類取締法を遵守することが最低限の対策となる。特に、遺棄化学兵器については 2007 年に新たに定められた不発弾廃棄の火薬類取締法規則（経済産業省令第 70 号）に対処した処理を行うべきである（付録(3)②を参照）。

(5) 化学弾の爆発に伴う化学剤の拡散

化学弾が爆発した場合、後述の付録(2)及び(3)に示す被害の他、有毒な化学剤が放出・拡散されるという深刻な状態となる。化学弾内の化学剤は、地表面での大気中の爆発の場合、爆発による爆発生成気体と一体となって大気圧になるまで急速に膨張し、その後、温度が高く密度が小さいため周囲大気と平衡になるまで上昇し、爆発雲を形成する。最初の膨張は動的過程ゆえに短時間（薬量に依存するが、数百 kg の爆発で 1 秒以下）で終わるが、大気中の上昇は準静的過程なので長時間を要す（数分）。このため、爆発雲は上昇中に風の影響を強く受け、その後、大気と拡散しながら拡大・降下していく。無風状態における大量の火薬類が地表爆発した場合に生成する爆発雲についての実験式もいくつか提案されており[10, 11]、化学弾の毒剤拡散を評価するには、爆発の場合の初期の爆発生成気体の膨張を知ることが重要である（付録(3)③参照）。

4 化学剤の被ばく基準と発生する廃棄物の取扱い

(1) ヒトへの化学剤の曝露による健康に対する影響

① はじめに

化学兵器に含まれる化学剤が大気や水質、土壌を経て、発掘・回収や廃棄処理を行う作業員や一般住民に与える健康に対する影響は、大きな課題の一つである。健康に対する影響は大別すると、(i) 緊急事故などによる化学剤の放出による作業場所での高濃度曝露、(ii) 作業場所での定常的な曝露、(iii) 一般市民が長期間受ける定常的な曝露、に分けることができる。

化学剤のヒトへの曝露による健康に対する影響を評価し、空気中の濃度や曝露時間について基準を設定する例は世界的にも少ない。しかし、老朽化学兵器や遺棄化学兵器を発掘や廃棄処理するプロセスで空気や水へ放出されるおそれのある化学剤については、取り扱う作業員はもとより、周辺の一般住民への急性曝露や慢性曝露からの健康に対する影響を評価する必要がある。

我が国やヨーロッパ諸国（EU を含めて）にはホスゲン、シアン化水素（青酸）、ヒ素などの毒性研究や基準はあるが、マスタード[†]、ルイサイト[†]、サリン、VX[13]などの化学剤について系統的な調査は公表されていない。唯一、米国では、ホスゲン等の一般の毒性化合物とともに、マスタード、サリンなど化学剤のヒトへの健康に対する影響が系統的に調査され、毒性基準も設定されている。米国で公表されたヒトへの毒性与健康に関する基準 [13-15] は、現在、世界で実施される発掘・回収や廃棄処理を実施する際の共通の基準にも寄与するであろう。このため、本節では主に米国で公表されたヒトへの健康に対する影響と毒性基準について述べる。

米国では、自国内の化学兵器の廃棄を実施する過程で、保健社会福祉省、陸軍省、労働省、環境保護庁、エネルギー省などが相互に交流しながら、化学剤によるヒトの健康リスク評価を行ってきた。

② 曝露レベル

米国で公表された文書では、空気に放出された毒性化学物質のヒト（一般市民）への曝露による健康への影響が評価されている。曝露された時間と空気中の濃度（mg/m³ または ppm）との関係をヒトへの健康に対する影響については、3段階で評価する方法が2種類公表されており、AEGL（急性曝露ガイドライン（仮訳）Acute Exposure Guideline Level）および ERPG（緊急時対応計画ガイドライン（仮訳）Emergency Response and Planning Guidelines）という。AEGL では、10 分、30 分、1 時間、4 時間、8 時間の曝露時間について3段階の緊急性のレベルでヒトの健康に対する影響を評価する。また、ERPG では60 分の曝露について評価する。

表1は、AEGL および ERPG におけるガイドラインをまとめた曝露シナリオである。表1のLevel-1は顕著な不快感、刺激、無臭覚、無感覚の症状を示すが、曝露を中止

[†] 用語の説明を参照

すると症状は障害までは至らないという一過性で可逆的な影響に止まる許容濃度であり、Level-2 は不可逆的または他の深刻な影響を与え、長期間の継続により防御的な行動を低下させ、健康に対する影響を与える曝露濃度である。Level-3 は生命に脅威を与え、死亡に至る曝露濃度である。この表より、曝露時間に対応してヒトの健康に対する影響の重篤度が明らかになる[14]。

表 1. 化学剤曝露に対するガイドライン（表中の数値は化学剤濃度、mg/m³）

化学剤名			サリン	硫黄 マスタード	ルイサイト	ジフェニル クロロ アルシン	シアン化水素		ホスゲン		ヒ素	
ガイド ライン の種類	作業員・一般市民の 急性緊急事態		AEGL	AEGL	AEGL	AEGL	AEGL	ERPG	AEGL	ERPG	AEGL	ERPG
AEGL または ERPG	Level-1	10 min	0.0069	NR	NR	NR	2.8		NR		NR	
		30 min	0.004	NR	NR	NR	2.8		NR		NR	
		1 hr	0.0028	NR	NR	NR	2.2	NA	NR	NA	NR	NA
		4 hr	0.0014	NR	NR	NR	1.4		NR		NR	
		8 hr	0.0010	NR	NR	NR	1.1		NR		NR	
	Level-2	10 min	0.087	0.13	0.65	1.1	18.8		9.3		0.92	
		30 min	0.050	0.044	0.23	0.79	11.0		3.1		0.64	
		1 hr	0.035	0.022	0.12	0.39	7.8	11.0	1.5	2.0	0.52	1.5
		4 hr	0.017	0.0056	0.035	0.098	3.9		0.39		0.12	
		8 hr	0.013	0.0028	0.018	0.049	2.8		0.19		0.061	
	Level-3	10 min	0.38	2.2	3.9	3.4	29.8		32		2.8	
		30 min	0.19	0.74	1.4	2.4	23.2		11		1.9	
		1 hr	0.13	0.37	0.74	1.2	16.6	27.6	5.3	6.1	1.5	4.6
		4 hr	0.070	0.093	0.21	0.3	9.5		1.3		0.40	
		8 hr	0.051	0.047	0.11	0.15	7.3		0.6		0.18	

注 1. 参考文献[14]の Table 3 より抜粋

注 2. AEGL: 急性曝露ガイドライン (仮訳) : Acute Exposure Guidelines Level)

ERPG: 緊急時対応計画ガイドライン (仮訳) : Emergency Response Planning Guideline)

注 3. NR: not recommended (推薦できない), NA: not available (データなし)

また最近、米国エネルギー省の研究所から TEEL (暫定緊急曝露限度 (仮訳) Temporary Emergency Exposure Limits) と呼ぶ 4 段階の曝露基準が公表された。TEEL-0 は多くの一般市民が健康に対する影響リスクを受けない閾値を表わし、TEEL-1、TEEL-2 および TEEL-3 はそれぞれ AEGL-1、-2 および-3 に対応する (表 2)。TEEL では呼吸の他に経口摂取などの幅広い曝露経路も対象とし、AEGL や ERPG を基本データとしながら、

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)、AIHA (American Industrial Hygiene Association)、OSHA (Occupational Safety and Health Administration, US Department of Labor)、NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) などのデータも取り込んだ包括的な評価法である。TEEL-1 は PAC (Protective Action Program) -1、TEEL-2 は PAC-2、TEEL-3 は PAC-3 という名称も使われる。2008 年 8 月時点の PACrev. 25 では合計 3,373 種類の化学物質を評価し、15 分の曝露時間で健康影響を評価しており、主に事故や意図的な有害化学物質の放出時における曝露基準を示した[15]。

表 2. TEEL による化学剤曝露のガイドライン (表中の数値は化学剤濃度、mg/m³)

ガイドラインの種類	化学剤名 作業員・一般市民の急性緊急事態	サリン	硫黄マスタード	ルイサイト	ジフェニルクロロアルシン	シアン化水素	ホスゲン	ヒ素
TEEL	TEEL-0	0.00075	0.02	0.12	0.39	2	0.4	0.15
	PAC-1 (TEEL-1)	0.00275	0.065	0.12	0.39	2.21	0.4	0.15
	PAC-2 (TEEL-2)	0.0344	0.13	0.12	0.39	7.84	1.21	0.54
	PAC-3 (TEEL-3)	0.126	2.08	0.74	1.2	16.6	3.03	1.59

注) 参考文献[15]の Table 4 より引用した。

③ 曝露シナリオによる化学剤の濃度

ヒトの健康影響は空気中での化学剤濃度と曝露時間に依存し、ここでも前述の(i) 緊急時の高濃度曝露、(ii) 作業場所での定常的曝露、及び(iii) 周辺の一般住民の定常的曝露に分けてヒトの健康に対する影響を考慮することになる。この場合、化学兵器を取り扱う場所では防護衣を装備して作業するが、周辺の作業場所では防護衣を装備していない作業員が曝露の対象である。いくつかの曝露シナリオに対する保安基準値は以下の通りである。

- 1) 直ちに生命や健康に危険な基準 (IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health): 非防護作業員、曝露 30 分以内の基準値
- 2) 短期間曝露上限 (STEL: Short Term Exposure Limit): 非防護作業員、1 日に 15 分曝露を 4 回以内の基準値
- 3) 作業員の曝露上限 (WPL: Worker Population Limit): 非防護作業員、発がん性 1 日当たり 8 時間、1 週間当たり 40 時間の曝露で 30 年間の平均値
- 4) 一般市民の曝露上限 (GPL: General Population Limit): 一般市民、24 時間曝露で生涯 70 年間の平均値

表1の曝露シナリオから化学剤や化学剤に関連する有害物質について空気中の最大曝露濃度基準であるIDLH、STEL、WPLおよびGPLが決定された。化学剤のサリン、硫黄マスタード、ルイサイトは米国陸軍省が設定したものであるが、シアン化水素、ホスゲン、ヒ素については米国のPEL（Permissible Exposure Limit）や日本のOEL（日本産業衛生学会）などで規定された一般工場での作業環境基準を準用できる。12ページの表3には一例として硫黄マスタードに対するそれぞれの上限值を表示した。

STEL、WPL、GPLなどの基準値は、化学兵器を取扱う作業員や一般市民への化学剤被ばくを計る基準であることはいうまでもない。同時に、廃棄処理後に発生する廃棄物の浄化度を測り、取扱う作業員や一般市民の廃棄物からの化学剤被ばくを防ぐことにも活用できるので、次節で解説する。

(2) 資材・機材・施設の汚染と除染方法

遺棄化学兵器の廃棄処理施設を大きく分類すると、(i) 化学兵器を保管する火薬庫（または保管庫）、(ii) 梱包化学兵器を開梱する部屋と処理装置を格納した部屋により構成された廃棄処理施設、ならびに(iii) 廃棄後の危険廃棄物保管庫などの施設で構成される。また、(iv) 地中に埋設された化学兵器を発掘し兵器を鑑定する施設も含まれる。これらの施設では、火薬の爆発に備えた建屋間距離の確保、防爆壁の設置などとともに、マスタードなどの化学剤の漏洩・拡散を抑えるために建屋を密閉構造とし、外部に排出する空気は活性炭吸着装置などで浄化する装置も備えている。このような化学兵器を取扱う施設の

他に、(v) 全体を統括する管理施設、並びに作業員、化学兵器、資機材、廃棄物などの入退を管理・監視する警備施設、救護所なども備えた上で、すべての施設をフェンスで囲い部外者の侵入を阻止できるように設計・配置されている。



写真1. 米国ユタ州トエラ市にある廃棄処理施設の外観

(http://www.globalsecurity.org/wmd/facility/html/deseret_a-tocdf1.htm)

それぞれの施設は化学剤の汚染レベルに応じた数種類の管理区域に分けているため、管理施設のように化学剤汚染のない施設から、廃棄処理施設のように汚染された施設までが存在する。また、廃棄処理施設では化学剤汚染レベルの高い作業室から低い作業室まで管理ゾーンを区分し厳密に化学剤汚染を管理している（付録(12) 参照）。

このような管理区域を設定するので、化学兵器の廃棄処理施設はすべてが化学剤に汚染されている訳ではなく、汚染のないものから汚染されたものまでさまざまな廃棄物が発生することになる（付録(4) の付表 2 参照）。

① 除染対象物と発生時期

施設の建設、運転および事業終了時には各種の廃液や固廃棄物が発生し、除染作業が発生する。このような廃棄物は運転時の一次廃棄物と二次廃棄物および解体時の廃棄物に分類できる。

I. 運転時廃棄物

- 1) 一次廃棄物： 廃棄処理施設における化学砲弾の処理工程において定常的に発生し、プロセス廃棄物とも呼ばれる。

弾殻類、砲弾梱包材（収納容器、アルミラミネート材）、パレット類、プロセス廃液、除染廃液などが含まれる。

- 2) 二次廃棄物： 発掘・回収や保管、廃棄処理などの作業過程で定常的に発生する。

防護服、ウエス、紙、廃油、活性炭フィルタ、HEPA フィルタ[†]、保守時に取替えた機器、配管、計器などがある。

II. 解体時廃棄物

事業終了に伴い発掘・回収、保管、廃棄処理などで使われた施設の解体時に発生する。施設からのコンクリート、構造材（鉄材、木材、高分子材料など）、機器、配管、計器などである。

② 廃棄物の汚染基準と取扱い方法

従来から除染の基準は米国陸軍省が X 分類システム[†]（または X 基準）といわれる廃棄物の除染（汚染）レベル基準が長年適用されてきたが、2003 年～2004 年に米国保健社会福祉省の空気曝露上限（AEL : Airborne Exposure Limit）が改訂[13]され、2005 年に新 AEL 基準の実行が陸軍省にて開始された[14]。この新基準は、健康管理のリスクアセスメントに基づいた全面改訂であり、汚染レベルに応じてその取り扱い基準を明確にしたことになる。特徴は、(i) 化学剤に触れていないものは非汚染物としたこと、(ii) GPL（一般市民の曝露上限）以下であれば無制限に曝露可能、WPL（作業員の曝露上限）以下であれば化学剤取扱い以外の作業員と作業環境でも曝露可能としたこと、(iii) STEL（短期間曝露上限）以下であれば防護服着用の化学剤作業員に対して曝

[†] 用語の説明を参照

露可能、STEL 以上であれば汚染物として厳しく管理を義務付けたことなどである。その概要を表 3 に示す。

新 AEL 基準は作業員の防護装備や汚染された装置・物品にも関連する。防護装備については、A レベル及び B レベルは全身を覆う防護装備であり、A レベルは作業員が呼吸気用ポンペを背負う重装備である。また、C レベルは呼吸マスクと防護服、オーバーシューズ、手袋などを着用して皮膚を露出しない装備である。

この基準は平滑な固体から放出される化学剤の汚染レベルを決定するものであり、土壌、活性炭、コンクリートなどの資機材について汚染レベルを測定できない。これらについては本文④解体時廃棄物の除染（p. 14）や⑤施設サイト外での処理・処分（p. 15）の項で述べる。

なお、我が国にはこのような化学剤に関する汚染基準は決められていない。また、旧軍の化学兵器を処理するとヒ素を含む廃棄物が大量に発生するため、第 5 章に示されるように有毒物質の長期・短期毒性などの知見を基に、日本独自の合理的なレベルを設定するのが望ましい。

表 3. 新 AEL 基準（空気曝露上限）による汚染レベルの分類

廃棄物の区分	新 AEL 基準 () 内はマスタードの濃度	防護装備の レベル (例)	作業員の防護装備レベル (上段) と 廃棄物の移動 (下段)
・汚染されている—高レベル汚染 ・曝露不可	> STEL (短時間曝露以上) (0.003 mg/m ³)	A レベルまたは B レベル	・ 特別の防護装備が必要 ・ 基本的に移動不可
・清浄—中レベル汚染 ・化学剤作業員に対して曝露可能	< STEL (短時間曝露上限) (0.003 mg/m ³)	C レベル	・ 化学剤を取扱う防護装備が必要 ・ 指定エリアにのみ搬出可能
・清浄—低レベル汚染 ・非化学剤作業員に対して曝露可能	< WPL (作業員の曝露上限) (0.0004 mg/m ³)	通常の作業服	・ 防護装備なしでも作業可能 ・ 施設内まで搬出可能
・清浄—極低レベル汚染 ・一般市民に対して無制限曝露可能	< GPL (一般市民の曝露上限) (0.00002 mg/m ³)	不要	・ 一般着衣 ・ 施設外移動可能
・汚染されていない (化学剤、化学 剤のエアロゾルや蒸気と未接触) ・無制限曝露可能	測定の必要なし	不要	・ 一般着衣 ・ 施設外移動可能

注 1. STEL, WPL, GPL の定義は第 4 章(1)③曝露シナリオによる化学剤の濃度を参照のこと。

注 2. 化学剤作業員とは化学剤に関する教育訓練を受けた者をいい、非化学剤作業員とはそのような教育訓練の必要はなく、防護装備が必要のないエリアでの作業員をいう。

注 3. 短時間曝露とは 15 分以内を意味する。

注 4. 防護装備は防護マスク (呼吸マスク)、防護用の服靴および手袋で構成され、A>B>C の順で防護レベルが高くなる。

③ 運転時廃棄物の除染

ア 廃棄物の除染

除染は運転中常に必要な作業であるため、廃棄処理施設において適切な除染エリア、設備および必要最小限の要員を確保しなければならない。また、除染方法によ

っては有毒ガスや爆発性ガス発生の恐れがあり、除染エリアにおいては、防爆や適切な換気システムなどの対策を講ずる必要がある。例えば、きい剤[†]を次亜塩素酸ソーダで除染する場合、エチレンガスが発生し、火花が飛び散るため注意が必要である。化学剤を無制限曝露条件まで除染した後は、ヒ素を含む廃棄物処理・処分を施設外で行うことも考慮に入れたクローズドシステムを確立しなければならない。以下に、可燃性廃棄物とその他の固形廃棄物について除染方法を記述した。

I. 可燃性廃棄物

使用済防護服、廃活性炭フィルタや紙などの可燃物などを化学薬品で除染することは合理的ではない。廃棄処理プロセスに原理的に燃焼を含むプロセスが採用され排ガス系に二次燃焼炉などがあるプロセスにおいては、可燃性廃棄物を専用焼却炉で焼却し、排ガスを廃棄処理施設の排ガス系に接続するなどして処理するのがよい。しかし、この場合、廃棄物に含まれるヒ素などの有害物質が酸化され、排ガス系に移行し、汚染の拡大という結果も招く。従ってこれは、あくまで廃棄処理施設に燃焼に当たるプロセスが採用された場合である。米国の ACWA プログラム[†]のように廃棄処理プロセスに燃焼法を回避する設計方針であれば、次項 II に示すように可燃物も爆発処理が選択肢の一つである。

なお、可燃物の量が爆破炉で処理するには多すぎる場合、小型専用炉で焼却し、ヒ素等で汚染された排ガス系フィルタ等を制御爆破することも可能である。

II. その他の固体廃棄物

焼却処理に適さない固体廃棄物の除染方法の例を以下に挙げる。なお、これらの具体的な事例を付録(5)に掲載した。

- 1) 表面のふき取り除染： 除染剤のついた布等による拭取り（付図 1 参照）
- 2) ジェット水による除染： 除染剤の吹きつけ（付図 2 および付図 3 参照）
- 3) Electro-statically Charged Aerosol Decontamination (ECAD：静電気エアロゾル除染)： 自動車の塗装などに使用されているシステムの応用で、複雑な形状や部屋の除染などに有効である（付図 4 参照）。
- 4) 加熱除染： 従来米国陸軍で行われた方法で、加熱炉内で 1,000° F (538°C)、15 分保持した後（付図 5 参照）、Headspace Air Monitoring (HSAM) により GPL 以下であることを確認する。HSAM とは、廃棄物を密閉容器に一定温度で一定時間保持した後、容器内の空気に放出された化学剤濃度を測定することにより、廃棄物の浄化度を決定する方法である。
- 5) 浸漬除染： 除染液に漬けて中和する方法。化学反応が有効な化学剤に有効だが、あか剤[†]などには不適である。

[†] 用語の説明を参照

- 6) 爆破除染： HEPA フィルタ、廃活性炭フィルタ等上記5つの方法でも除染が容易でない場合は制御爆破処理が有効である。紙などの可燃性廃棄物も爆破処理で除染される。

イ 除染後の処理・処分シナリオの確立

我が国の老朽・遺棄化学兵器ではヒ素を含有することが世界的な特徴であり、これまでの対外報告と提言で指摘したように、化学剤を処理した後にヒ素を含む廃棄物の処分が大きな課題である[2-4]。ヒ素を含有した廃棄物を施設外で処理・処分するためには、減容・安定化、輸送、処分について広い視野でシナリオを構築することが望まれる。次節の(3)ではヒ素処理の選択肢の一つである無毒化プロセスを解説する。

ウ 廃棄処理運転中に発生する廃棄物の事前評価

上記シナリオは、廃棄処理プロセスによって異なる。従ってプロセス選定時には、運転中に発生する廃棄物の種類、量、頻度、汚染レベルなどの予測データの開示を装置の設計者に求め、直接運転費以外に廃棄物の除染、処理・処分に要するコストなどライフサイクルコストも評価する必要がある。

④ 解体時廃棄物の除染

ア 解体廃棄物の除染シナリオの確立

施設の解体ということは最終的には除染設備も解体することになる。解体の手順、除染方法、廃棄物の処理方法は廃棄処理施設設計当初において計画すべきである。また、解体時の廃棄物量は施設設計の当初から推定しておく必要がある。米国ケンタッキー州 Blue Grass の施設についての試算例を付録(4)に記載したが、ここでの解体廃棄物の発生量は、運転時廃棄物に比べ22倍にも及ぶと試算されている。

施設の解体は以下の手順を考慮することが好ましい。

- 1) 汚染されていない設備の解体、除去
- 2) 汚染された設備のうち低レベルから高レベルへの順序で解体・除染
- 3) 建屋、格納テントなどはそれに内蔵される装置を解体後に解体
- 4) 最後に除染設備とそれに必要なユーティリティ装置の解体

イ 解体時の除染レベル基準

解体時の除染レベルは運転時の廃棄物と同じとするのが妥当である。しかし、解体時に特有な廃棄物については対象に応じた合理的除染基準を定める必要がある。例えば、大型資材、配管などについては表面拭取り検査が適切な除染レベルの基準であり、また、コンクリートについてはコアサンプル（コアボーリングにより採取した円柱状の試供体）検査で汚染レベルを測定することが適切である。

汚染拡大の可能性のある場所には、必要に応じて新たにモニターなどを設けるべきである。

ウ 解体時に特に注意すべき事項

解体手順とともに、解体した装置や汚染表面を剥ぎ取ったコンクリート片や塊などを建屋から搬出するルートをあらかじめ決定し、必要な搬送設備などを計画しておく必要がある。これは建設時の資材搬入経路の逆ルートをたどるのが必ずしも適切でない場合がある。

⑤ 化学兵器処理施設外での処理・処分

発生する廃棄物はその全てを施設内の専用設備で処理するのではなく、施設外にある適切な既存の処理設備を活用することも考えられる。施設外の処理設備を活用ことは、新規設備のための建設費や用地確保を不要とする上、設備の建設や閉鎖に要する期間を短縮するなど、多くの利点がある。特に運転時に発生する廃活性炭、施設解体時のコンクリート片・塊、大型機器、構造物などの大量の資機材については処理のために広い敷地を必要とし、施設外の産業廃棄物処理施設等にて処理、処分できるシステムを確立することが望ましい。

施設外の設備を活用する場合は廃棄物の輸送が伴うため、一般市民にも被害を与えないように輸送時の安全性を考慮すべきである。輸送する廃棄物の判断基準は残留する化学剤濃度であり、前述した HSAM (p. 13) や他の分析法にて汚染レベルが GPL 以下の廃棄物が優先的な輸送対象である。また、GPL (p. 10) 以上に汚染された廃棄物の場合は、輸送中の想定事故を考慮して十分な強度を持った密封容器に封入した上で輸送するなどのシナリオが考えられる。密閉容器の安全性については化学剤の種類、汚染のレベル等により毒物及び劇物取締法の適用が異なってくるが、ほとんどの廃棄物にあか剤・きい剤由来のヒ素やヒ素化合物が含まれていることに鑑み、同法施行令第 40 条の密封基準を満たすのが望ましい。

(3) 処理で発生するヒ素の取扱い

急性ヒ素中毒にはバル (BAL) という有効な治療薬があるが、慢性中毒には有効な治療薬はない。このことから慢性ヒ素中毒は、現在、飲料水への無機ヒ素汚染が原因で、アジアや中南米諸国で 5,000 万人以上（中国では約 300 万人）の慢性ヒ素中毒の被害者が確認されている。これらの慢性ヒ素中毒は、環境中に廃棄・放置されてきた無機ヒ素による飲料水への汚染であることが多くの事例[16]により判明している。日本学術会議よりの提言「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低減」[4]では、ヒ素系化学兵器の処理にも応用可能な、新たなヒ素の廃棄技術が提起されている。この技術は、実験室的研究では、化学兵器やヒ素系化合物半導体から発生した無機ヒ素を、ビタミン B₁₂ を用いて、無毒のヒ素であるアルセノベタイン (AsB) へ高収率で変換できることが示されている[16]。AsB はヒトの尿や魚介類に高濃度含有されており、無

毒であることが科学的に認知されているが、上記のように人工的に合成した AsB の毒性と安全性についても、最近複数の細胞を用いての総合的な毒性試験（アポトーシス、DNA 損傷、活性酸素種誘導等）により、毒性のないことが陽性被検物（無機ヒ素）と比較した結果を基に確認された[17]。

なお付言すれば、無毒のヒ素（AsB）に対する長期の保管や貯蔵に向けての社会的な理解が望まれる。ヒトが魚介類を介して一般的に摂取している事実、さらに、哺乳動物に共通する代謝機序として短時間で尿中排泄される事実から、国内外の公的な機関や研究者では、AsB が無毒のヒ素化合物であることが認められている。これらのことから AsB を活用することにより、ヒ素の自然界への回帰を可能とし、ヒ素の長期保存・貯蔵が可能で最終処分場が不要な処理システムの構築が科学的に可能であると考えられる。今後、ヒ素の無毒化が国際社会一般に広く認知されるように普及活動に努めることが望まれる。

5 爆発被害および化学剤被爆に向けた医療と医科学について

(1) 重大事故発生時の救急医療

① 救急医療の体制概論

救急医療の体制整備に当たっては、第3章で論じられた爆発や化学剤曝露という重大事故発生リスクに加え、第4章の廃棄プロセスから想定される「当該時刻に」「当該区域に」「存在する作業員の人数」などの具体的な条件が、救急医療計画立案の基本的な前提条件を与える。正当なリスク評価に基づいた妥当性のある救急医療の体制の構築を図ることが重要である。

爆発災害および爆発に伴う化学剤災害に対する医療対処は、RaPiD-T (recognition、personal protection、decontamination and triage/treatment：認知、個人防護、汚染除去、トリアージ[†]／治療)を基本とするが、使用される爆発物、拡散される化学剤の種類が特定されている点で、テロリズムに対する対処とは根本的に異なり、発生する事故はすべて想定されたものでなければならない。

本廃棄作業における救急医療は、爆発事故に対する医療対処および化学剤被害に対する医療対処の二つから構成される。これらの想定される重大事故によって発生する健康被害に対し、現場の一次医療施設で施行することは、除染を除けば応急処置などに限定される。一方、皮膚・粘膜および呼吸器を中心とした重篤な症状が顕在化するのは事故発生から12-24時間以降と予想され、開胸・開腹術、皮膚移植術、集中治療等、集中的治療を必要とする可能性があるため、二次医療機関には高度の医療水準が求められる。したがって、救急医療体制を明確に階層化し、一次医療施設では応急処置と搬送中の安定化のみを行い、固定翼機を含めた広域搬送を実施して、根本的治療は信頼に足る高次医療機関において実施することを基本計画とする。

② 爆発事散に対する医療対処

トリアージは一般災害に準じてSTART法[†]で行う。爆発によって人体が受ける損傷には、大きく分けて、爆風傷と爆創とがある。

ア 爆風傷

爆発によって生じた圧力波エネルギー（衝撃波、爆風）で平衡感覚器、胸腹部の内臓諸器官に生じる損傷。内腔を有し空気もしくは水が内在する臓器が影響を受けやすい。代表的な臓器としては、肺、腸管、鼓膜があげられる。このうち、最も影響を受けやすいのは鼓膜で、圧力0.049 MPa (0.5 kg/cm²)程度の比較的低爆風圧で発生する。多くが自然治癒するが、耳鳴り、聴力障害、耳痛などの後遺障害を残すことがある。肺の損傷は圧力0.11 MPa (1.1 kg/cm²)以上で発生するが、頻度が高く重篤化しやすい。症状は直ちに発現するが、48時間以上経過してから発症することもある。肺内出血、無気肺、肺胞構築の破壊などから長期間にわたり高度

[†] 用語の説明を参照

の人工呼吸管理を要する。腸管では、下部小腸、結腸、直腸が障害を受けやすく、出血、破裂、穿孔をきたすが、症状発現まで時間を要することが多い。

イ 爆創

爆発で飛散する破片の衝撃によって直接人体が損傷を受けるものを爆創という。爆創による人体への影響は、破片の運動エネルギー、運動量、破片の形状等によって規定される。きい弾、あか弾それぞれの爆発により傷害を受ける要因（有害性）は第3章(1)に論じられている。爆創は、多数の破片が広範囲を傷害するため、異物の除去と創縁除去は根気のいる作業となる。また、熱傷を合併する場合には皮膚移植術が必要となる。

③ 化学剤被害に対する医療対処

本廃棄事業の主たる対象は、きい剤（びらん剤）とあか剤（くしゃみ剤）であり、トリアージはSTART法で行うことが可能である。また、事故発生時に緊急を要する特別な処置を必要としない。ただし、迅速な除染は重要で、曝露後直ちに（遅くとも5分以内）曝露部位（皮膚・粘膜）を大量の水で洗浄する。

ア きい剤（マスタード、ルイサイト）

皮膚・粘膜を傷害するが、最も感受性が高いのは眼で、次が呼吸器、吸収されると骨髄、消化管、中枢神経系に影響を与える。皮膚には、疼痛、紅斑、凝固壊死、水疱形成を生じるが、ルイサイトが曝露直後に症状を発現するのに対し、マスタードでは2-24時間後に発現する。潰瘍病変は疼痛が激しく、治癒傾向に乏しい。治癒には長期間を要し、二次感染の危険性が高い。皮膚移植術が必要となることがある。死亡の主な原因は、敗血症と呼吸不全で、曝露後3-5日以降に壊死して剥離した粘膜から細菌が侵入して二次性の肺炎が発現する。さらに7-21日後に骨髄抑制が明らかとなり、敗血症から死にいたる危険性が増大する。

イ 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[†]）

曝露数分後に、眼刺激、流涙、激しいくしゃみ、咳が出現し、次いで頭痛、嘔気、嘔吐を催す。症状は通常1-2時間で緩解するが、高濃度曝露時には肺水腫、急性呼吸促迫症候群などから死亡することがある。事故発生時は、現場からの退避・移動を基本として、一次医療施設では必要に応じ酸素投与、気道確保を実施する。特異的な解毒剤・拮抗剤はない。

[†] 用語の説明を参照

(2) 慢性毒性と医療

ヒ素を含有した化学兵器（化学剤）としてルイサイト、三塩化ヒ素、ジフェニルシアノアルシン（DC）およびジフェニルクロロアルシン（DA）およびが知られる。これらは化学兵器としての役割から生体作用は急性毒性であり、慢性毒性に関する調査事例は少ない。これは、化学兵器の目的から、化学剤被ばくによる慢性毒性の事態を想定することは稀であったためと考えられる。

化学剤の廃棄処理から発生する無機ヒ素による慢性ヒ素中毒に対しては、有効な治療薬がない現状から、職業性曝露や環境汚染の防止など、予防対策が重要となる。慢性ヒ素中毒で問題となる健康への影響は、成人では発がん（肺癌、皮膚癌、膀胱癌）と皮膚障害（角化症、色素沈着・脱失）が主で、末梢神経障害は稀である。近年、無機ヒ素の環境汚染地域に居住する小児には、脳機能障害や知能低下、生殖機能障害など次世代への影響が中国[18]やバングラデシュ[19]の事例から明らかとなり、新たな問題として認識されている。小児への曝露は胎児期と幼児期における危険性がともに指摘されている。

慢性毒性を化学剤被ばくからの急性毒性の後遺症として捉えることは、科学的にも誤解を生む。化学剤の回収や処理過程での主な事故は急性曝露としての対応が適切であり、化学剤の取扱いへの対策は、曝露防止に向けた予防対策が望まれる。化学剤の曝露の有無および曝露量について生物学的曝露指標法の国際標準は定められてはいないが、ルイサイトと三塩化ヒ素について下記に記述する無機ヒ素の曝露に準じることが可能と判断される。DC と DA は尿中のジフェニルアルシン酸（DPAA）の検査により曝露量と生体への影響を評価すべきである。

無機ヒ素曝露が原因で発生する慢性ヒ素中毒の防止対策として、職業性の無機ヒ素の曝露の場合、ACGIH（p.9を参照）では 0.01 mg/m^3 、我が国では 0.003 mg/m^3 が作業管理の指標とされている。関連して、体内に取り込まれたヒ素による生体影響を評価する手法として（生物学的曝露指標）、尿中ヒ素の化学形態別分析が国際的に推奨され、米国は $35 \text{ } \mu\text{g/L}$ （無機ヒ素と総代謝物の総和）、我が国は $15 \text{ } \mu\text{g/L}$ （無機ヒ素と第一代謝物の総和）と規定されている。これらの値以下であれば、無機ヒ素による健康影響は生じないと判断されている。なお、中国における作業においては、国際標準となる ACGIH の指針は重要と考える。検査に用いる信頼性のある分析機器（HPLC-ICP-MS や還元気化—液体窒素捕集—原子吸光法）も普及し始めている。

慢性ヒ素中毒や職業性曝露の検査として尿と頭髮中ヒ素の測定は有効とされている。しかし、頭髮中から検出されるヒ素は体内性ヒ素と外部汚染ヒ素が混在していることから、職業性曝露の評価に際して、検査値の信頼性は極めて低いことを知らねばならない。なお、作業員の頭髮中ヒ素濃度は、作業環境汚染の指標に有効と考えるべきであり、 $0.5 \text{ } \mu\text{g/g}$ 以上の値を見た場合は、異常な職場環境であると認識すべきである。

化学剤による急性毒性や慢性毒性の病状については、マスタードでは米国陸軍省の資料[20]の Appendix B に、また、ヒ素では食品安全委員会の報告書[20]にまとめられている。

6 効率的な廃棄事業の推進

(1) 発掘・回収と廃棄処理の役割分担と連携体制

諸外国の事業と我が国の老朽化学兵器および遺棄化学兵器の廃棄事業における組織の違いは付録(6)に記載した。役割分担と相互の連携体制は重要な要因であるが、今後は以下の観点から連携を進めるべきであろう。

- 1) 化学砲弾や類似の通常弾の種類や性状等についての事前の十分な砲弾情報の収集
- 2) 砲弾情報の幅広い蓄積に基づいての照合および化学砲弾の誤鑑定率の極小化
- 3) 化学弾についての、発掘・回収作業員側と廃棄処理作業員側との情報交流の促進
- 4) 砲弾の爆発、化学剤の漏洩などの防止に向けた施設・機器および運用に対する安全対策の共有化

(2) プロジェクトマネジメントの重要性

プロジェクトとは、特定の目的のために組織される期限の定まった業務をいう。プロジェクトを成功裏に遂行するための経営工学の手法に、プロジェクトマネジメント (PM) がある。本事業は典型的なプロジェクト型事業であり、PM 技法の活用が推奨される。

① 遺棄化学兵器処理事業での PM の意義

PM は、プロジェクト運営プロセスの標準概念化を通じ、専門性が異なる機関や企業が共同で行う業務の調整、支援、継承などを容易にする (モジュール化)。そして、プロジェクトが PM 標準に沿って運営される場合、PM に精通した第三者による評価や修正が容易になる。このため、運営状況が当事者以外に把握困難になるブラックボックス化現象を防止できる (見える化)。また、PM のコミュニケーションマネジメント・プロセスは、周辺住民の理解を得るための活動 (本文第 6 章(3)、付録(7)および(8)参照) の実務指針としても有用である。

ただし、PM はプロジェクト運営に係る概念の科学である。このため、下記の②に示した変更管理プロセスなどは、組織的学習の枠組みを提供するに留まる。学習の対象となる知恵を生み出すのは、やはり、所要の技術・専門分野のノウハウを持つ人々が遂行する現場の実務である。そうした安全性と効率性の両立を追求する改善活動には、技術経営 (MOT) 学オペレーションズマネジメントの諸技法が有用である。作業の性質に応じ、適切な技法の応用が推奨される。

② PM での業務改善とその管理

本事業の実処理作業は、人手により発掘し、逐次工程で爆破処理する方向である。その実行段階では、一般の作業安全に加え、化学剤の漏洩や火薬の爆発という多重のリスクを抱えた人的作業の、安全性と効率性の両立が求められる。実処理作業と同時並行的な業務プロセスの改善の取り組みが必須である。その際、PM の変更管理プロセ

スのバージョン管理手法を利用し、多岐に亘る要求事項と調整しつつ、工程標準や作業手順を改善することが望ましい。

(3) 周辺住民の理解

① リスク・コミュニケーション

化学兵器の貯蔵やその廃棄作業は周辺に居住する地域住民にとって「安全・安心」に係る重大関心事項である。このため、廃棄施設の計画から施設建設、廃棄作業、撤収までの全過程を通じて地方自治体および地域住民に向けて廃棄処理事業に対する理解を得るためのコミュニケーションの場を常設しておくことが肝要となる。相互理解するための検討事項には、廃棄技術、施設配置および運転管理の安全性、緊急時の対応、環境モニタリングなど多くの項目がある。

米国では現在建設中の２ヶ所の廃棄施設ごとに住民諮問委員会（Citizens' Advisory Commission）などの名称で組織を立ち上げ、施設の責任者は住民諮問委員会との定期的な会合を積極広報の場として活用して、廃棄処理の「安全・安心」に関する透明性を確保する努力を積み上げている。また、スケジュールなどの計画変更や新技術の導入に際しては、施設側が委員会側からの要請を受けて公聴会を開き、住民の疑問を解消するための対話の場を設けている。我が国では、荻田港の老朽化学兵器処理施設において漁業組合の方々に廃棄処理期間中の周辺海域警戒を委託し、これが地域住民への理解を得る一助となっている。

事故が起きないように施設側が万全の対策を採るのは当然であるが、同時に地域住民が施設とその稼動状況を理解し、緊急時の対応計画を熟知しておくことは「施設の安全」＝「住民の安心」ならしめる最良の手段であろう。

② 事後補償対策

不測の事故があっても納得のいく補償が行われるという信頼感を醸成し、裏付ける方策を予め講じておくことは、遺棄化学兵器の処理に対する住民理解を得るに必須であると考えられる。方策としては、以下が推奨される。

- 1) 窓口の明確化と迅速な対応： アクセスし易い相談窓口を設置し、周知すべきである。また、公正な補償基準の指針を、予め内外類似事案に照らして検討しておくべきである。
- 2) オープン志向のコンセンサス形成： 本事業の成功には国民的理解が欠かせないため、リスク・コミュニケーションでは、国民各層に幅広く門戸を開いておくべきである。
- 3) きめ細かな個別長期的対応： 化学兵器の被害でも慢性疾患や再発障害があるため、一旦補償が決着した被害者でも解決したとは判断できない。民生委員など身近な責任者を通じた継続的な生活・健康カウンセリングを行うことが望ましい。

7 提言

中国における遺棄化学兵器の処理が開始され、国内においても千葉県習志野市において大規模な老朽化学兵器の処理が開始される状況に鑑み、化学兵器の廃棄を担当する政策当局及び専門家集団、関係する研究者集団に対し以下の提言を行う。以下の(1)～(3)は主として政策当局に向けて、(4)は主として研究者集団に向けたものである。

(1) 災害に備えた救急医療体制を整備し、科学的な災害防止対策を行う

化学剤やヒ素の汚染による人的また環境の被害に限らず、発掘・回収や廃棄処理の際の爆発による災害は常に引き起こされる可能性がある。このような災害の発生を抑えるにはできるだけリスク評価などの科学的な事前評価を行う一方で、過去の事故や災害を踏まえた防止対策について規則や技術などを適正に活用し、万一の災害に備えた救急医療体制を常に整備しておくべきである。

(2) 化学剤やヒ素による化学汚染への対策を講じる

化学剤汚染による慢性毒性に着目し、(i) 発掘・回収、廃棄処理などに関わる作業員や周辺住民の被害、機材・資材・施設、廃棄物の汚染の評価基準を設定するとともに、(ii) 低濃度汚染の管理に努める必要がある。さらに、(iii) 発掘・回収や保管庫、廃棄処理等の施設、設備、機器類などの解体後の廃棄物の除染計画を建設時から立案しておくことが肝要である。

(3) プロジェクトマネジメントを活用する

中国各地に分散廃棄された化学兵器を次々に処理を進め、また大量に廃棄されているハルバ嶺の化学兵器の処理を進めるに当たり、また、国内の老朽化学兵器の処理を進めるに当たり、住民とのコミュニケーションを含め、処理業務全体を統合したプロジェクトとして運営・管理することが必要である。安全・安心で効率的な廃棄処理の推進のため、プロジェクトマネジメント手法の積極的活用が望まれる。

(4) 国際機関、海外諸国、国内組織の知見・経験の相互交流に努め、その成果を化学兵器処理に反映させる

化学兵器の廃棄は化学兵器禁止条約という国際条約で義務づけられるため、我が国だけでなく条約に加盟する世界各国の共通の課題である。化学剤の被ばく許容濃度、廃棄処理技術など多くの最新の科学的知見や経験は、先行するヨーロッパ諸国や米国の経験を参考にできる。他方、ヒ素を含有する化学兵器の廃棄などは日本に特徴的な課題として国際的に期待が大きく、ヒ素に関連する科学技術の進歩は重要である。さらに、老朽化学兵器や遺棄化学兵器の廃棄に関する知見や経験の相互交流は、それぞれの事業の円滑な進捗に寄与する。日本の行う化学兵器の廃棄処理においては海外における適正な作業環境基準の適用など、海外との技術交流による知見を生かすべきである。これには微量の化学剤の測定

技術、ヒ素の無毒化法の研究を進め、処理プラントのリスクマネジメントについて検討し、それらの成果を廃棄処理に反映するように努める必要がある。

＜参考資料＞ 「遺棄および老朽化学兵器の廃棄技術に関するリスク検討」小委員会審議経過

平成 21 年

- 1 月 23 日 小委員会（第 1 回）
遺棄および老朽化学兵器の廃棄技術に関するリスク検討小委員会設置
- 3 月 23 日 小委員会（第 2 回）
シンポジウムの運営と小委員会の今期の活動
- 6 月 19 日 小委員会（第 3 回）
話題提供「ベルギーの廃棄処理」と「オーストラリアの被害訴訟の事例紹介」
- 10 月 9 日 小委員会（第 4 回）
話題提供「無機ヒ素の無毒化」と「ハルバ嶺の発掘・回収計画」

平成 22 年

- 1 月 25 日 小委員会（第 5 回）
話題提供「化学兵器禁止条約」とシンポジウム企画
- 2 月 25 日 小委員会幹事打ち合わせ
- 4 月 9 日 小委員会（第 6 回）
話題提供「米国の廃棄処理」とシンポジウム企画
- 5 月 21 日 小委員会幹事打ち合わせ
報告書の目次案作成と討議
- 7 月 9 日 小委員会（第 7 回）
第 21 期の提言に向けた目次案の討議
- 9 月 24 日 小委員会（第 8 回）
提言原稿の討議
- 11 月 18 日 小委員会幹事打ち合わせ
報告書の目次案作成と討議
- 11 月 24 日 小委員会（第 9 回）
話題提供「火薬類の保安管理技術について」と第 21 期提言目次案の討議
- 12 月 7 日 小委員会幹事打ち合わせ
報告書の目次案作成と討議
- 12 月 22 日 小委員会（第 10 回）
提言原稿の討議

平成 23 年

- 1 月 21 日 小委員会（第 11 回）
提言原稿の討議
- 3 月 11 日 小委員会（第 12 回）
査読結果（1 件）と提言原稿の討議

5月16日 小委員会（第13回）

査読結果（合計2件）と提言原稿の討議、シンポジウムの計画

6月2日 日本学術会議幹事会（第125回）

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って―」について承認

シンポジウム

平成21年3月31日 「遺棄および老朽化学兵器の爆発リスクおよび爆破処理技術の安全
性」日本学術会議とASME（米国機械工学会）による合同シンポジウ
ム

平成22年7月9日 安全工学シンポジウム2010、オーガナイズドセッションI
「化学兵器の廃棄処理の安全対策」

平成23年6月13日 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」

<付録>

(1) 各国の歴史的経緯と化学兵器禁止条約[†]における位置づけ

化学兵器を大別すると、現在も使用の準備がされている現有の化学兵器とともに、老朽化学兵器と遺棄化学兵器に分けられる（付表 1）。

付表 1 化学兵器禁止条約[†]における化学兵器の種類とその特徴

化学兵器の種類	製造の時期	遺棄の時期	廃棄処理の取扱い
現有の化学兵器	1947 年より後		化学兵器禁止条約
老朽化学兵器	1925 年より前		有毒廃棄物
	1925 年より 1946 年まで		化学兵器禁止条約
遺棄化学兵器		1925 年より後	化学兵器禁止条約

注）詳細な定義は条約を参照のこと。

次ページの化学兵器禁止条約の第一条 2 項に記したように、条約の主たる目的は、化学兵器とその製造施設を廃棄することである。化学兵器に限れば、特に、使用できる準備がなされている現有の化学兵器を廃棄することが第一のカテゴリーである。条約発効当時には、神経剤とマスタードを中心に米国が約 3 万トン、ロシアが約 4 万トンを貯蔵していることが公表されていた[1]。第二のカテゴリーは老朽化学兵器であり、付表のように 1925 年より前に製造されたものと 1925 年から 1946 年に製造されたものとに区分される。これは、1925 年より前の化学兵器は老朽化が著しく現在では兵器として使用できないが、1925 年から 1946 年の化学兵器は現在でも使用可能なものも存在することを考慮したと思われる。第三のカテゴリーは上記の第一や第二のカテゴリーとは異なり、他の国に遺棄した化学兵器である。

各国の事情を化学兵器の廃棄処理の観点で整理すると、以下のように要約される。

- (i) 米国やロシアの場合は現有の化学兵器が主体であり通常の条約に従った廃棄処理となる。特に、米国では化学兵器について廃棄処理を含めた取扱いの基準を明確に定めた。なお、老朽化学兵器もあるが、現段階では現有の化学兵器についての廃棄を優先している。
- (ii) 英国、ドイツ、フランス、ベルギーなどヨーロッパ諸国では、第一次世界大戦に製造した老朽化学兵器（1925 年以前）が主体であるため、化学兵器禁止機関[†]が条約の定義に該当することを決定した場合は、有毒廃棄物（toxic waste）として自国の法令に従って取り扱う。

[†] 用語の説明を参照

(iii) 日本の場合は第二次世界大戦までの老朽化学兵器（1925 年より 1946 年）や遺棄化学兵器であるため、原則として、化学兵器の保管施設や廃棄処理施設は条約に従った取扱いとなる。

日本の廃棄処理施設の建設や運用については、先行している米国の事例は参考となるが、ヨーロッパ諸国の事例は参考とならない場合があることに注意すべきである。しかし、老朽化学兵器や遺棄化学兵器の回収、取扱い、鑑定などはヨーロッパ諸国に学ぶところが多い。

参考資料) 化学兵器禁止条約

Convention on the Prohibition of the Development, Production, Stockpiling and Use of Chemical Weapons and on their Destruction (Chemical Weapons Convention)

ARTICLE I GENERAL OBLIGATIONS

2. Each State Party undertakes to destroy chemical weapons it owns or possesses, or that are located in any place under its jurisdiction or control, in accordance with the provisions of this Convention.
3. Each State Party undertakes to destroy all chemical weapons it abandoned on the territory of another State Party, in accordance with the provisions of this Convention.
4. Each State Party undertakes to destroy any chemical weapons production facilities it owns or possesses, or that are located in any place under its jurisdiction or control, in accordance with the provisions of this Convention.

ARTICLE II DEFINITIONS AND CRITERIA

5. "Old Chemical Weapons" means:
 - a) Chemical weapons which were produced before 1925; or
 - b) Chemical weapons produced in the period between 1925 and 1946 that have deteriorated to such extent that they can no longer be used as chemical weapons.
6. "Abandoned Chemical Weapons" means:
Chemical weapons, including old chemical weapons, abandoned by a State after 1 January 1925 on the territory of another State without the consent of the latter.

(訳)

第一条 一般的義務

- 2 締約国は、この条約に従い、自国が所有もしくは占有する化学兵器または自国の管轄もしくは管理の下にある化学兵器を廃棄することを約束する。

3. 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。
4. 締約国は、この条約に従い、自国が所有もしくは占有する化学兵器生産施設または自国の管轄もしくは管理下にある場所に存在する化学兵器生産施設を廃棄することを約束する。

第二条 定義と規範

- 5 “老朽化学兵器”とは以下を意味する。
 - a) 1925 年より前に製造された化学兵器、または
 - b) 1925 年から 1946 年に製造され、化学兵器としてはもはや使用できない程度に劣化した化学兵器
- 6 “遺棄化学兵器”とは以下を意味する。

1925 年 1 月 1 日以降にいずれかの国が他の国の領域内に、当該国の同意を得ることなく遺棄した化学兵器であり、老朽化学兵器を含む。

(2) 廃棄プロセスにおける法体系（火薬類取締法について）

① 火薬類取締法における火薬類の定義

火薬類取締法では火薬類は(i) 火薬、(ii) 爆薬、(iii) 火工品に3区分される。火薬は燃焼・爆燃を、爆薬は爆轟を呈すものであり、前者は推進的爆発の用途に、後者は破壊的爆発の用途に供せられるものとされており、火工品は火薬または爆薬を特定の目的に使用するデバイスである。したがって火薬類を内蔵する遺棄化学兵器 (ACW) や老朽化学兵器 (OCW) は火工品に属する。

② 火薬類の取扱いとその規制

火薬類の取扱い行為には、(i) 製造、(ii) 販売、(iii) 貯蔵、(iv) 譲受・譲渡、(v) 運搬、(vi) 輸入、(vii) 消費、(viii) 廃棄の項目があり、各々について規制されている。この内、(i) は経済産業省が、(ii)、(iii)、(iv)、(vi)、(vii)、(viii)は政令（火薬類取締法施行令）により委任された都道府県知事が所掌する。(v)の道路運搬は内閣府が所掌〔内閣府令〕しており、国内における火薬類の輸送は公安委員会の許認可を必要とする。火薬類を内蔵する遺棄化学兵器および老朽化学兵器の廃棄処理工程で、化学砲弾等の解体・処理を行わない場合、すなわち法規上の製造行為が行われない場合は、(viii) 廃棄が主となり、これに付随して(iii) 貯蔵、(v) 運搬、ならびに廃棄に補助的に使用する火薬類の(iv) 譲受・譲渡の規制を受けることになる。

③ 火薬類取締法の基本的骨格

火薬類取締法での保安管理の基本は、火薬類の発火・爆発事故を起こさせないこと（事故発生確率の最小化）、万が一事故が起きた場合の被害の局限・極小化を図ること、すなわち火薬類の発火・爆発リスクの最小化を図ることである。このため、火取法では、(i) すべての事業（取扱い）を許可制度（許可、認可、届出、報告を要する）

とし、(ii) 各取扱いはハード・ソフトの両面から規制し、(iii) 規制当局に法規遵守のための強制手段が与えられている。

火薬類の取扱いについて、ハード面では、例えば火薬庫等の貯蔵の取扱いに必要な各種施設・設備等の設置（修理・改造を含む）には、当局の設置許可、ならびに設置後の完成検査を受け、その後、事業者は、毎年の当局の保安検査を受け、事業者自身が施設・設備の定期自主検査を実施し、施設・設備の技術基準適合の義務を負う。

ソフト面では、各取扱いにおける法令上の技術基準を遵守する義務があり、製造所の場合では、危害予防規程や作業標準を定めて当局の認可を受け、決められたとおりの作業（法令上の技術基準の遵守義務）を行う義務の他、各取扱いには保安責任者（正、副および代理者）を選任し認可を受けて法令に定める職務を行わせ、さらには徹底した保安教育を作業員の区分（幹部・保安関係作業員、一般作業員、未熟練作業員の3区分）ごとに行う義務が課せられている。強制手段としては、不適格事業者に対する技術基準適合命令、業務停止命令、許可の取消権限が当局に付与されており、法令違反には、罰則として懲役刑、罰金刑が違反者だけでなくその責任者にも課せられる（両罰規程）。

④ 化学弾の国内における取扱い

水・陸に埋没している遺棄化学兵器の「発掘行為」については火薬類取締法上の明確な規制はないが、製造または消費等の類似行為として安全に火薬類を取り扱うことが求められる。現在、国内の陸域で発見された不発弾は防衛省（自衛隊）が鑑定し、化学弾の場合は環境省が、発掘地が国有地または直轄事業の実施地の場合はその担当省庁が、防衛省と協力し、警察庁及び消防庁と連携しながら、掘削、運搬、保管、処理等を行うことが閣議決定されている。水域で発見された場合は、内閣官房が総合調整を行い、関係省庁間が連携して対応することになっている[22]。本閣議決定以前に実施されている事案（茨城県神栖市、神奈川県寒川町、福岡県荏田町）については、それにあつた省庁が事案を継続することになっている。

(3) 化学兵器取扱いにおける火薬類の爆発リスクと化学剤拡散リスク

① 火薬類の爆発有害性

火薬類の有害性はそれが発火・燃焼・爆発した場合の有害性と化学物質としての生体・環境への有害性に大別される。燃焼・爆発に伴う有害性には以下のような事象があり、その対策が必要である[7, 8]。

- 1) 爆轟（爆燃）生成ガス等による動的破壊（近接効果）：（40 GPa 以上の場合）
- 2) 爆風（Blast Wave）：窓ガラス等の破損（6 kPa（0.06 atm）以上の場合）
- 3) クレーター： $d = 0.8 W^{1/3}$ ここに、 d = クレーター半径[m]、
 W = 火薬量[kg]
- 4) 地振動：地盤振動速度が 0.005 m/s 以上で建物が損傷する。

5) 飛散物：

人体に軽傷を与える飛散物運動エネルギー： 20-25 J 以上,

人間活動を抑制する飛散物運動エネルギー： 80 J 以上 (79 J：国連勧告)

飛散物からの安全距離 (R [m]) と爆発薬量 (W [kg]) の関係：

$$R = (45 \sim 120) W^{1/3}$$

6) 爆発生成物の生体影響： CO_2 ， NO_x (NO 、 NO_2 など) 等の有毒気体等の発生。

7) その他：輻射熱、二次火災、火傷 (粉状火薬類では肺、気管の損傷が致命的)

火薬類そのものの有害性には以下のようなものがあるが、実用に供されている火薬類は極力有害性の低いものを選ばれている。

急性毒性、刺激臭、悪臭、皮膚損傷、呼吸器損傷、慢性中毒、発がん性、
環境汚染、金属等の腐食(侵食)と生成物の二次有害性

② 化学兵器に対する実地的な感度試験とリスク軽減策

本文第3章(4)に記したハード・ソフト面からの対策について以下に詳しく記載する。

先ずハード対策の主なものは以下の通りである。

- 1) 事業所内の敷地は、火薬類を取り扱う危険区域と無危険区域に境界柵で明確に区分する。火薬類を取り扱う施設・設備 (付帯施設設備を含む) は危険区域へ設置する。
- 2) 火薬類を取り扱う作業は、一つの作業を一つの作業室 (危険工室等) で行うこととする。
- 3) 火薬類を取り扱う作業室は独立した別棟とする。
- 4) 火薬類を取り扱う作業室 (作業場) は事業所外の保安物件 (第1～4種) に対して保安距離を、事業所内の物件に対しては保安間隔を確保する。

保安距離 (間隔) は次式を基本とする。

$$L = k W^{1/3} \quad \text{ここに、} \quad L \text{ [m] : 保安距離 (間隔)}$$

W [kg] : 火薬類の停滞量 (火薬庫の場合は最大貯蔵量)

k [$\text{m/kg}^{1/3}$] : 保安物件による隔離係数

ここに k 値は以下の値をとる。

地上式一級火薬庫の場合：16 (第1種保安物件)、14 (第2種)、
8 (第3種)、5 (第4種)

保安間隔の場合：1.0～6.0 (昭和49年通産省告示58号別表に記載)

ソフト対策としては、国内においては発掘物の運搬、鑑定、梱包、貯蔵、廃棄処理の許可を所轄当局から受けて実施する。(国が行う事業の場合は承認) 火取法には発掘に関する規定はないが、一定量以上の化学弾の保管・貯蔵のためには火薬庫 (一級～

三級火薬庫）が必要であり、火薬庫の設置許可（都道府県知事）を得て設置し、当局の完成検査を経て使用可能となる。火薬庫の安全な運用の規定（法規および自主規定）を設け、保安責任者（火薬類取扱保安責任者免許を有する者）の指揮下のもとに、作業員に貯蔵業務と必要な保安管理のための業務を行わせることになる。砲弾の解体を伴わない廃棄処理は火薬類の廃棄に相当するので、当局の廃棄の許可が必要である。許可条件（申請書に記載）として、廃棄する火薬類の種類・数量、廃棄方法、場所、日時、廃棄の指揮責任者の他、危険予防の方法に問題がある場合は許可を得られない。遺棄化学兵器については平成 19 年に新たに定められた不発弾廃棄の火薬類取締法規（経済産業省令第 70 号）に対処した処理を行うべきであろう。公道での運搬も一定量以上の運搬には内閣府令にしたがい（鉄道の場合は国交省火薬類運送規則による）、所轄の公安委員会の許可を得て、規則に従って運送する。同一事業所内での運搬は、火薬類取締法における火薬類製造所内での運搬規則に準じて行う。発掘、鑑定作業は、火薬類の消費や製造に係わる規則を参考にした作業規定、危険予防の方法（危害予防規定、作業標準書）を作成し、保安責任者（火薬類製造または取扱保安責任者資格）を指揮官とする保安組織を構築し、作業にあたる必要がある。また、保安教育計画を定め、作業員を区分して（幹部作業員、保安関係作業員、一般作業員、未熟練作業員）、それに対応した保安教育を、保安責任者等の有識者により、適当な間隔をおいて繰り返し行うのが望ましい。

ソフト面での一般的保安管理事項として以下の対策を実施することが必要である。

- 1) 各作業の危険予防規定（危害予防規定）、作業標準を定め、それを遵守する。
- 2) 以下に記す各種規定数量を定め、その値以下で作業を行う。
 - ・ 火薬類の一日の最大取扱い量（一日の廃棄数量、鑑定数量、発掘数量等）
 - ・ 火薬類を取扱う作業室および作業場（危険工室）ごとの定員と停滞量（火薬類を存置できる最大数量）
- 3) 各工程での火薬量等の計量と記録を決められた時に確実にいき、帳簿を保存する。
- 4) 一日の作業終了後には火薬類を作業室等に置かない。
- 5) 火薬類を取扱う作業室では、当該室の修理・改築、室内の機器修理は行わない。
- 6) 始業前、終了後の機器清掃と点検、定期の保守・管理を徹底する。
- 7) 作業中に生じた火薬類の廃棄、廃材（火薬類を含む可能性のある布、紙等）は、決められた場所で決められた方法によりその日のうちに廃棄する。
- 8) 教育・訓練の適切な実施。保安教育・訓練の適切な実施によりヒューマンエラーによる事故発生を抑える事故の発生を抑制することが極めて重要である。特に、非常時の避難訓練は重要である。

③ 火薬類の地表爆発における爆発生成気体の挙動解析

300 kg の TNT が地表面で爆発した際の、爆発生成気体の膨張を高速度カメラで撮影し、生成した爆発膨張気体の高さ（半径）並びに膨張速度を爆発後の経過時間を求めた。それによると、数種類の爆薬について 40 ショット以上の野外地表実験について爆

発生成気体の高さまたは半径を時間でフィットさせた実験式を求め、(i) これらが相似則に従うこと、(ii) 高さと半径の比が概ね等しいこと、(iii) 1 kg あたりに換算した爆薬量の地表爆発の場合、最終高さ（半径）が概ね 2～3 m となることが示された。これらの結果から、決められた薬量の爆発の際に生じる膨張気体の大きさが推定できる。それ以後の経過については、生成ガスの密度、温度、地形、風の状況等を推定することで、大気中での拡散が予測可能となる[12]。

(4) 廃棄物の種類と発生量の見積り

付表 2 に Blue Grass Chemical Agent Destruction Pilot Plant（米国ケンタッキー州、略称 BGCAPP）における運転時廃棄物と解体時廃棄物の汚染レベル別推定発生量の比較を示す。解体時、汚染レベルが STEL 以下 ($<0.003 \text{ mg/m}^3$) の廃棄物年間発生量 (kg/年) は、それ以上のものの約 2 倍、これは、運転時に比べ 22 倍、特に金属は 26 倍に及ぶ[23]。

この推定は既に廃棄処理を完了し施設も解体・閉鎖した太平洋にあるジョンストン環礁化学兵器廃棄処理施設 (Johnston Atoll Chemical Agent Disposal System : JACAD) の経験を元に、建設中の BGCAPP の廃棄物発生量を予測したものである。

付表 2 Blue Grass における運転時と解体時の汚染レベル別廃棄物の種類と予想発生量

廃棄物の種類	濃度 0.003 mg/m ³ 以上の発生量 (kg/年)			濃度 0.003 mg/m ³ 以下の発生量 (kg/年)		
	運転時	解体時	解体時の倍率	運転時	解体時	解体時の倍率
可燃物	1,134	9,518	8	1,180	9,906	8
金属	5,352	138,531	26	9,939	257,273	26
ハロゲン化プラスチック	2,154	22,656	11	6,462	67,968	11
非ハロゲン化プラスチック	478	5,790	12	780	9,447	12
プレ、HEPA フィルタ	226	4,050	18	37	2,288	62
コンクリート	0	15,427	運転時なし	0	35,997	運転時なし
発泡スチロール製パネル	0	9,669	運転時なし	0	22,561	運転時なし
特別コーティング材	0	1,249	運転時なし	0	2,914	運転時なし
アルミニウム	0	662	運転時なし	22	1,546	72
オーバーパック材	6,750	0	運転時なし	0	0	0
その他	363	354	1	509	509	1
合 計	16,457	207,906	13	18,928	410,406	22

解体期間 1.46 年

参考文献[23], p. 29 より編集

(5) その他の固体廃棄物の除染の具体例

焼却処理に適さない固体廃棄物の除染方法の例は本文に記載したが、ここでは除染方法の具体例を掲載する。



付図 1 ふき取り作業例



付図 2 ジェット水による除染例



付図3 ジェット水による除染例



付図4 静電気エアロゾル除染の例
(QinetiQ 社のご好意による)



付図5 5X 加熱炉の例

(6) 発掘・回収と廃棄処理の役割分担と連携体制

化学兵器の発掘・回収や廃棄処理では主として国の役割が大きいが、同時にポテンシャルを持つ民間を活用することも重要である。このため、諸外国の状況を比較することが我が国における廃棄事業の参考となるため、以下にはその概要を述べる。

① 発掘・回収と廃棄処理の役割分担

使用のために備蓄される化学兵器に関しては、備蓄管理を行っている国自体が対象となる化学兵器の廃棄処理も責任を持って行うため、処理対象弾の情報は事前に把握が可能である。しかし、遺棄化学兵器や老朽化学兵器のような回収された化学兵器に関しては、鑑定されるまでは、対象弾の性状を正確に把握できない。従って回収弾の最新情報は、できるだけ早く廃棄事業者伝え、処理方法に問題がないかを検討する必要がある。

② 各国の状況

ア 英国

国防省傘下の研究所（DSTL[†]: Defence Science and Technology Laboratory）が回収から鑑定、処理までのすべての作業を直接行っている。従って回収から処理に至る一連の作業に大きな問題はないと考えられる。

イ イタリア

陸軍のサイト内で陸軍の管理の下に回収・保管と処理が行われている。作業は民間に下請されているが、すべて軍の施設内に設置された軍の設備で行われ、その責任は軍にある。

ウ ドイツ

回収は国防省が行い、処理は Gesellschaft zur Entsorgung von Chemischen Kampfstoffen und Ruestungsaltslasten mbH（GEKA）が行っている。GEKA は民間会社であるが、これは国の機関が民営化されたもので、もともと運転管理も運転も国防省の流れを受け継いでいる。しかも、ドイツは正式には 2007 年に回収弾の処理は終わっており、現在はエアバックのインフレーター（ガス発生装置）など民間の廃火薬の処理などを行っている。従って現在発掘・回収は国防省、処理は民間であるが、化学弾を処理した 2006 年～2007 年当時はほとんど国防省からの運転員がそのまま民間に移行しているため、ある程度の一貫性は保たれていたと考えられる。

エ フランス

未だ処理は開始されておらず、現在処理プラントの発注のため各業者のプロポーザルを評価中である。フランスにおける発掘・回収と処理の分担は他のヨーロッパの国々とは異なり、発掘・回収、鑑定、一時保管、及び処理施設までの輸送は内務省の管轄、処理は国防省所管となっている。内務省の弾取り扱い作業は内務省の EOD[†]が行い、鑑定も内務省の責任である。処理施設では、砲弾ごとに添付されている書類に記載されている内容を正しいとし、再鑑定はしない。単に処理施設への受け入れが物理的に可能であることを確認のための最低限の項目を検査するにとどめられている。受け入れが不可能と判断されれば、内務省に送り返すことになっているが、現実的には何等かの対策を講じて処理施設で処理するのが妥当である。

なお、内務省の誤鑑定率は当初 1%であったが、現在は 0.4%まで向上している。しかし誤鑑定に伴う処理時のトラブルについての両者間の責任範囲は不詳である。

オ ベルギー

砲弾の回収は国防省が行い、鑑定も国防省が直接行う。また、国防省が詳細な年間処理計画を策定し、これによって処理する。施設を建設した業者は国防省の指示

[†] 用語の説明を参照

通りに施設が稼動するよう、運転の指導と設備保全を行うのみである。即ち一貫して国防省がすべての責任を持つ。また本省管理部門、王立士官学校、現場の専門家、責任者が定期的に会議を行い、作業計画、設備の稼働状況、改良案などを協議し決定する。

付表3 各国における発掘・回収と廃棄処理の実施体制

国名	英国	イタリア	ドイツ	フランス	ベルギー	日本
実施体制	国防省直轄研究所 (DSTL) の一貫体制	陸軍の一貫体制	国防省：発掘・回収、輸送、貯蔵	内務省：発掘、輸送、貯蔵 国防省：廃棄処理	国防総省の一貫体制	老朽化学兵器：鑑定は防衛省、廃棄は環境省または担当府省（国有地）[防衛省、警察庁、消防庁が連携と協力]
						遺棄化学兵器：内閣府
民間企業の役割	—	処理作業などの部分請負	GEKA：廃棄処理施設の運転	廃棄処理施設の一括運転委託	廃棄処理施設の保守管理、運転助言などに限定	廃棄処理施設の運転等

注： DSTL：Defence Science and Technology Laboratory
GEKA：Gesellschaft zur Entsorgung von chemischen Kampfstoffen und Rüstungsaltslasten mbH は国防省の組織から民営化された組織である。

(7) プロジェクトマネジメントの技法について

ここでは、本文5(2)で述べたプロジェクトマネジメントに関連して、本事業について有用と思われる技術経営（MOT）学のオペレーションズマネジメント技法を、参考として以下に列挙する。

I. TQM（Total Quality Management）

TQMは、米国で第二次大戦中に生まれた近代的品質管理の方法を日本で発展させた経営手法である。当初はTQC（Total Quality Control）と呼ばれていた。TQMでは、方針管理、小集団活動（QCサークル）、PDCAサイクル、品質機能展開、TQC七つ道具（Q7）、新七つ道具（N7）などの技法が開発され、全社組織的に導入・運用するための標準的体系として、JIS規格化（JIS Q 9023, 9024, 9025）されている。TQMは、製造業を中心とした多くの日系企業で利用されている。

II. GLP（Good Laboratory Practice）

GLP は、化学物質試験や非臨床試験のための標準作業手順法。GLP に関する詳細な規定は、対象となる目的、分野、地域などに応じ、政府や業界団体などが個別に定めており、規制当局が対象施設の GLP 適合性審査などを行うことが多い。GLP では、所要作業の標準手順（SOP ; Standard Operation Procedure）を定めて文書化したうえ、実作業に当たっては、作業員と監督者がペアを組み、チェックリストを用いて、逐一手順を確認しつつ作業（試験）し、同時に手順を正確に履行したことを記録する。これにより、厳密さが要求される作業の、安全・確実な実行の担保、そして、厳正な実施の証明が可能になる。

Ⅲ. Copy Exactly

米国 Intel 社が 1990 年代後半から導入した製造技術移転手法である。同社はマイクロプロセッサのトップ企業であるが、旧来の手法では、新開発の MPU 製品の製造プロセスを、新製品開発部門から工場に移管し、量産化するまでにかなりの時間を要した。そこで、製造施設の早期立ち上げと高歩留りの大量生産を実現するため、Copy Exactly 手法を開発した。同手法は、マザー工場（量産開発施設）で開発、完成した標準プロセス（量産製造工程）を、他の量産工場ですっくりそのまま再現する。製造装置など全ての設備、製造プロセスは勿論、納入業者や物流まで全てをコピーする点に特徴がある。この方法により、新規の工場を非常に短期間のうちに、量産体制に移行することが可能になった。

(8) 社会システムとしての発掘・回収

地中への埋設や海洋への投棄された老朽化学兵器は住民の被害につながる。老朽化学兵器の発見から回収に対処している各国の社会システムについて以下に記述する。

I. 英国

現在では、英国における化学兵器の発見・回収は、その都度単発的に起こるものが支配的で、計画的な回収はあまり行われていない。これらは英国における老朽化学兵器の年間発見・回収数が他のヨーロッパの国に比べて比較的少ないからである。

不審物発見時の対応は以下の通りとなっている。

- 1) 発見者は直ちに警察に通報する。
- 2) 警察は陸、海、空の共同爆発物処理センター（共同 EOD センター）に通報、3 軍からなるチームを組織し、ただちに現場に向かう。
- 3) センターには爆発物処理（EOD）隊が 24 時間体制で待機している。
- 4) 化学兵器の場合は DSTL から出動し、Porton Down の処理センターに輸送される。
- 5) これは早くから英国国内で確立されている体制である。

Ⅱ. ドイツ

Munster 市北部はかつて軍隊訓練場であり、第一次 第二次大戦時の老朽化学兵器が今なお発見される。もちろんドイツの他の地域においても、全国 60 の郡から老朽化学兵器は発見されており、すべて Munster に輸送して処理することになっているが、その数は Munster サイトにある量に比べれば少ない。

Ⅲ. フランス

フランスでは、主に、第一次世界大戦の激戦地であった北東部で多くの不発弾が発見される。フランス国内で 4, 400 万発の弾薬が発射されその約 12~14% が不発であり、同大戦全体では 10 億発が使用され 1 億 5 千万発が不発であったといわれる。

また、1945 年 12 月から 2003 年までの統計では、約 68 万個の爆弾、1, 400 万個の地雷、2, 500 万個の砲弾等が回収された。これらのうち約 10% が化学弾であった。

フランスは戦場が広範囲に及ぶため、一般住民とのかかわりも多い。フランスでは弾を発見した時の通報方法、禁止事項などを小学校から教えている。弾らしきもの発見時に通報する専用電話番号があり、砲弾が発見される地方の住民に周知されている。番号が判らない人は警察に電話し、警察が専門電話に繋ぐことになっている。

前述の通り、砲弾の回収は内務省の所掌であり、専門の EOD の組織が省内にある。

Ⅳ. ベルギー

ア ベルギーにおける老朽化学兵器処理に関する背景

第一次大戦中の 1915 年 4 月 25 日、ベルギーとフランスの国境の西部戦線において、人類史上初めて化学兵器として塩素ガスが使用され、その後 1917 年 7 月 12 日にマスタードが使用されたのは余りにも有名である。

フランダースの地方都市イーブル（現地語で Ieper）郊外のゆるやかな丘の上に陣取ったドイツ軍から見下ろされるように対峙する同盟軍との戦闘はすさまじく、一般市民を巻き込み 45 万人もの犠牲者が出たといわれている。また、Ieper 北部の地方では、定期的に水門を開けて海水を陸地に導き入れ、ドイツ軍の進行を阻止した。これらの歴史的背景から戦後 90 年以上にもなる今日においてもなお、年間 500 トンもの不発弾が回収され、そのうちの約 4~5%、200~250 発程度が化学弾である。

前述のように、ヨーロッパ全体では第一次大戦で 10 億発の弾が使用され、不発弾の率は 15% といわれている。それに対してベルギーでは約 30% が不発弾であると推定されている。これは海水で水没した平地やドロ状の地面に落ちた時の衝撃の弱さも大きな原因の一つとなっている。

イ 砲弾の発見状況

戦後 90 年以上経っているが、未だ回収作業が日常的に行われている。しかし特にシステマティックな探査が行われているわけではなく、発見されるごとに陸軍の EOD 専門家が現地に赴き回収している。

ウ 通報ルートと回収体制

現在では発見場所のほとんどが畑であるため、発見者はまず畑の端に移動させ、地区の警察に連絡し、警察が軍に回収を要請するというのが実態である。英国のように、専門家が 24 時間体制で待機しているわけではなく、警察からの連絡を受けて EOD が緊急に現場を見に行くという。

EOD は現場に到着後、弾の状況を確認し、現場で予備的な鑑定を行う。この時点で現場処理か、イープルイープルの北にある Poelkapelle の陸軍の処理サイトまで輸送して処理するかを決定する。基本的には、現場で信管を除去する。信管の除去が困難な場合は、地中に埋めて爆破処理を行う。化学弾の場合は中和等の処理方法が取られるという。なお現場処理の際は、住民等を避難させる。

V. 日本

日本では 2004 年に環境省が化学弾らしきものを発見した場合の通報、回収、一時保管の手順に関するマニュアルを作成した。その要点は「旧日本軍の毒ガス弾等に関するお知らせ」の中の、「毒ガス弾を発見したら」という資料に、発見時の注意書きと情報提供のお願いとして、環境省毒ガス情報センターの電話番号とともに公表されている[24]。

(9) 事後保障対策の事例について

過去の国内外における化学兵器被害の補償事例では、問題が長引くとますます解決の糸口から遠くなる。また、当時は対象外としたことで訴訟が再度行われ、解決まで長期化することもある。このような補償の遅れによる被害者の経済的な困窮から、慢性的後遺症を悪化させることもあり得る。そうした事態は人道的問題であると同時に、トータルの補償コストを押し上げる原因になるであろう。

① 大久野島忠海兵器製造所元労働者らの例

終戦まで大久野島（現広島県竹原市）にあった旧陸軍忠海兵器製造所では、化学兵器製造に従事した作業員の多くが、不十分な安全管理のために、化学兵器やその前駆物質などの有害な化学剤に被ばくし、健康被害を生じた[25]。

戦後、講和(1952 年)に向け傷痍軍人援護が再開される過程で、これら元労働者らも補償を期待したが、当初は対象が旧軍人に限られた。そこで、除外された元軍属・徴用工などは、大久野島毒瓦斯障害者互助会を結成し、地元選出国會議員を動かし、政府や GHQ などに対し運動に努めた。広島医科大学の病理研究結果の後押しなどもあり、1954 年の大蔵省通達で、旧陸軍共済組合に加入の旧作業員を、旧軍人を援護する旧令特別措置法を準用する行政措置がとられ、国が治療費などを負担することになった。

しかし、動員学徒・勤労奉仕隊などの作業員は対象外となったため、地方自治体や市民団体を巻き込んだ補償請求活動が行われた。その結果、これらの人々に対して、

問題の顕在化から約 20 年が経過した 1974 年に、広島県独自の特別措置が、そして、厚生省から医療費などの支給が、1975 年以降、ようやく開始されることになった。

② オーストラリア化学戦実験被験者 Bill Soper の例

オーストラリア陸軍見習士官ソーパー (Bill Soper) は、1943 年 4 月に豪州クイーンズランド州グラフトンで実施された迫撃砲による化学戦野外実験に、被験者として参加してマスタード剤に被ばくした[26]。

戦後、化学剤被ばくの後遺症とみられる諸疾病、つまり慢性結膜炎から緑内障、アレルギー性鼻炎から肺気腫を発症したが、軍事機密だった化学戦実験参加を証明できず、適切な補償を得られなかった。ソーパーは補償請求運動の一環として 1972 年に化学戦人体実験を告発する体験記を刊行し、社会的反響を呼んだ。1975 年にはこの問題が豪州議会での国会質疑に取り上げられ、従来、実験そのものを否認していた国防省から、実験の事実の承認および被害者補償を約束する答弁を引き出した。

しかし、国防省の約束は徹底されず、その後も元被験者への当局窓口の対応は鈍かった。ソーパーは係争中の補償を得られないまま、1983 年に心疾患で死去した。

③ オーストラリア化学戦実験被験者 Tom Mitchell の例

ミッチェル (Tom Mitchell) はオーストラリア軍の歴戦のコマンド隊員だったが、1944 年にクイーンズランド州ブルック諸島で実施された化学戦野外実験へ、被験者として参加してマスタード剤に被ばくした[27]。1970 年代に入り、化学剤被ばくの後遺症とみられる諸疾病が顕在化し、彼の健康が損なわれた。ミッチェルは 1985 年に適切な補償を求めて豪政府を告発し、法廷闘争の末、1989 年に和解した。

本事例で注目されるのは、ミッチェルが復員局から戦争疾病認定を受けることができた健康被害の中に、「咳に起因するヘルニア」が含まれる点である。マスタード剤後遺症でぜんそくなど呼吸器疾患が生ずることが知られている。この事例は、慢性的な咳などへの日常的な対症療法を怠り放置すると、二次的な健康被害のリスクがあることを示している。窓口の明確化と迅速な対応で予防するとともに、きめ細かな個別長期対応でケアすることが望ましい。

(10) オープン志向のコンセンサス形成に関する事例

長期にわたる本事業の円滑な推進には、国民的な理解が欠かせない。幸い、本事業は、国内の様々な政治勢力から継続的な関心を寄せられている。

例えば、中国遺棄化学兵器被害問題に取り組む市民団体「化学兵器被害解決ネットワーク」が、8・4 チチハル事件 (2003) 被害者を招いて開催した公開イベント「No More 化学兵器」(2010 (平成 22) 年 4 月 3 日、於東京ウィメンズプラザホール) には、与野党の国会議員 24 名 (民主党 12、社民党 3、自民党 1、公明党 3、共産党 4、みんなの党 1) が、遺棄化学兵器処理や被害者支援などの問題解決に向けた努力に賛同するメッセージを寄せている。しかし、これまでのところ、司法判断や立法措置による中国人遺棄化学

兵器被害者補償問題の解決は、目途が立っていない。この状況は、これら問題に無関心または消極的な声なき声の存在が無視できないことを示唆すると考えられる。

(11) きめ細かな個別長期対応に関する事例

性質が異なる複数の事故の被害者同士が連帯して補償請求する場合、判断が複雑化し、適切な対応が困難になると思われる。そうした事例を2件示す。慢性疾患や再発障害の場合、事態は一層難しくなる。このため、一旦補償が決着した事故被害者も、放置することは望ましくない。

① 遺棄化学兵器中国人被害者補償請求訴訟

中国旧満州国地域に遺棄された旧日本軍の化学兵器による事故で被害を受けた中国人が、複数の事故の被害者同士が連帯して補償請求活動した事例は、これまで2件ある。それらは、1974年から1995年までに生じた事故被害者9名の本人または遺族が1996年に提訴した、所謂、第一次訴訟と、1950年から1987年までに生じた事故被害者5名の本人（内1名は訴訟中に死去し、遺族が継承）が1997年に提訴した、所謂、第二次訴訟である。これらが集団訴訟となったのは、日中関係の進展につれて司法制度間の調整も進み、中国人による日本での行政訴訟が可能になったことを受けて、被害者らが懸案をまとめて持ち込んだためである。訴訟になったそれら事故の状況は、河川浚渫、下水道建設、屑鉄リサイクルなど、それぞれ異なっている。そうした複数の事故の過失原因などは争点にならず、事故と健康障害との因果関係や、事故に係る遺棄化学兵器の存在に対する日本政府の責任が法廷で問われ、一律の損害賠償が求められた。両訴訟は12年を超えて争われたが、2009年5月に共に上告棄却の最高裁決定が下り、原告敗訴が確定した。

② 8・4チチハル事件訴訟

2003年8月4日に中国東北部のチチハル市内で、旧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、迅速に救護および調査のチームを派遣し、旧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、無償の救急医療で病状が回復した後、被害程度や社会的属性に応じて一時金を中国当局より受取り、補償は一応決着した。しかし、事故の影響による廃業・失業など稼得能力の低下や、慢性的後遺症に対してかかる日常的な医療費が嵩むなど、次第に経済的に困窮してきたことを受けて、事故被害者と遺族計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。

現在、東京地裁で審理中である。

(12) 化学兵器廃棄施設における化学汚染を主体とした作業員防護の考え方

参考までに、現在行われている化学兵器廃棄施設における化学剤に対する災害防止策を以下に記しておく。

信管付の危険な化学弾や漏洩により外部が汚染された化学弾は、発掘現場で爆発の安全を確認して梱包された後に廃棄施設内に搬入されるため、廃棄施設内では基本的に化学剤の漏洩のみを主たるリスク対象として取り扱う。

化学兵器廃棄施設の設計段階（リスク評価）において、対象となる化学剤とその廃棄により生成する残留（有毒）化学物質とその量、想定される事故（ケース・スタディ）とその汚染状況、管理区域の設定と其中での防護要領等が決定され、それに基づき各管理区域内での除染要領と救護・救命要領が決定される。これら、「施設の防護設計（汚染の発生防止、汚染の封じ込め等）」、「作業員の防護装備と着用レベル」、さらに「管理区域の特性に応じた除染と救護・救命要領」の決定が総合的になされなければ効果的な「作業員防護」を担保することは出来ない。

また、「作業員防護」には除染と救命・救護が不可分であり、一般的に「汚染の発生防止」～「管理区域内での応急除染」～「汚染の管理区域外への拡散防止」～「救護・救命のための精密除染」～「救護所での応急処置」～「指定病院での治療」という一連の手順で進行する主要な結節を構成する。廃棄施設での除染は（対化学テロ等の場合と異なり）対象となる化学剤とその除染要領が判明しており、除染対象となる作業員が（不特定多数の市民ではないので）十分な予備知識と対処訓練を付与することにより、医師による「治療・処置」を除く主要な結節を効率的・効果的に運用することができる利点がある。

ここでは、救護・救命の細部を別項に譲り、汚染防止と除染を主体に典型例を記述する。

① 管理区域の区分と想定汚染レベルの考え方

- 1) 管理区域は、リスク（危険度）の高→低順に、化学剤を取り扱う「廃棄処理（危険）区域」、付随する「処理関連（警戒）区域」、救護所や貯蔵庫等の「その他の支援（注意）区域」に大別される。それぞれの区域は「立ち入り制限柵」等を設置して、許可された作業員以外の立ち入りを制限するとともに、設置されている汚染防止設備に基づいて必要な防護装備の着用レベルを区分する。
- 2) それぞれの管理区域の想定汚染レベルは、同様に、対象化学剤の「高濃度漏洩の危険」、「低濃度被爆の危険」、および「汚染拡散の危険」となり、それぞれに対応する防護レベルは、「廃棄処理区域」では対象化学剤の高濃度漏洩を防護できるレベル（防護マスク・防護服・防護手袋・防護靴カバーを着用）、「処理関連施設」では、上記以外の汚染に即応できるレベル（防護マスク携行、防護服・防護手袋・防護靴カバーを着用）、「その他の支援地域」では緊急避難行動を可能とするレベル（防護マスクの携行）である。

- 3) 上記の他、漏洩事故の際に投入される「緊急対処班」には、(i) 爆発（火災）事故現場で爆発物を除去する作業員が着用する「防爆衣」及び「空気マスク」、(ii) 化学剤の漏洩現場で救護・除染を実施する要員が着用する「化学防護衣」等の特殊な防護装備が必要である。

② 管理区域の汚染防止のための設備

- 1) 「廃棄処理（危険）区域」： 処理システム（爆破炉等）を格納する建屋内に空気浄化装置を設置して屋内を負圧に保ち、建屋外への化学剤の漏洩を防止するとともに、監視カメラと検知・警報器材により化学剤の漏洩を常時監視する。建屋内には緊急除染のための装置（シャワー、除染槽等）を設置する。出入り口はエアールックとし、簡易な除染設備と作業員モニター用検知器を使用して外部への汚染拡散を防止する。
- 2) 「処理関連（警戒）区域」： 定期的な巡回点検以外の人員の立ち入りを制限し、監視カメラにより異常を監視する。また、オフガス処理システムのサンプリングポイントから汚染を検知し、区域内の作業員が速やかに防護マスクを装着して緊急対応できるよう警報を発する。
- 3) 「その他の支援（注意）区域」： 漏洩事故の際の「風下危険地域」を把握するための気象観測器材を設置する。また、コントロール室、作業員や「緊急対処班」の待機室が置かれ、初動対応の前方指揮所となる。
- 4) 上記以外の区域： 当該区域には事務室、警備室、医務室、二次除染設備、緊急車両待機場等が置かれ、管理区域から搬出される負傷者の救護・救命の支援基盤となる。

③ 緊急時の対処要領

除染要領及び救護・救命要領は事前に「緊急対処計画」を整備して訓練を反復実施しておく必要がある。また、緊急時には、ホットゾーン（赤）・ウォームゾーン（黄）・コールドゾーン（緑）を直ちに設置し、緊急対処作業時に不必要な汚染拡大が防止できるよう訓練を行う必要がある。

- 1) 作業員の除染： 風下危険区域の状況により既設の二次除染設備が使用できない場合には、風上ないし横方向の安全距離以遠に除染車両を展開して除染を実施する。検知器により除染状況をモニターし、必要ならば二次除染を実施する。
- 2) 汚染区域内の除染： 爆発等による二次災害の危険の有無を確認して携帯除染器、除染車両を投入する。高濃度汚染地域から、また風上から実施する。検知器により除染状況をモニターし、必要ならば二次除染を実施する。
- 3) ホットゾーンでの救出： 負傷者を迅速に安全地域（ウォームゾーン）へ救出することを主眼とし、作業員相互の救助を基本とする。

- 4) ウォームゾーンでの除染： 負傷者の治療の優先順位を判断し、一次除染と救命処置（気道確保、止血等）を施す一次除染所は脱衣室、シャワー室、着衣室を有し、歩行不能者ラインを並行して設けてストレッチャー上で除染する。その後、負傷者を二次除染室での精密除染後にコールドゾーン内の救護所へ搬送してトリアージと応急処置（治療）を受けさせる。救助要員は自身で一次除染を実施した後、コールドゾーンへ移動する。
- 5) コールドゾーンでの処置： 負傷者のトリアージと応急処置（治療）を施し、速やかに指定の病院に搬送して入院・治療を受けさせる。

<参考文献>

- [1] 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、対外報告「遺棄化学兵器の安全な廃棄技術に向けて」、2001年7月23日。
- [2] 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、対外報告「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年11月24日。
- [3] 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、対外報告「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年3月23日。
- [4] 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低減」、2008年7月24日。
- [5] 日本学術会議、第三部、日本の展望委員会、理学・工学作業分科会、報告「日本の展望—学術からの提言2010，理学・工学分野の展望」、2010年4月5日。
- [6] (社)火薬学会、「エネルギー物質ハンドブック」、共立出版、2010。
- [7] G. F. Kinney and K. J. Graham in “Explosive Shocks in Air (2nd edition),” Springer-Verlag (1985)。
- [8] 日本火薬工業会資料編集部、「一般火薬学」，改訂3版(2010)。
- [9] 弾道学研究会、「火器弾薬技術ハンドブック」、第3版、(財)防衛技術研究会(2008)。
- [10] W. H. Church, “Cloud Rise from High Explosives Detonations,” SC-PR-68-903, Sandia Lab., New Mexico, June, 1969。
- [11] K. E. Gould, “High-Explosive Field Tests, Explosion Phenomena and Environmental Impacts,” U. S. Defense Nuclear Agency Report, AD-A13737, Contract No. DNA 001-79-C-0053, pp. 33-43, October, 1, 1981。
- [12] 中山良男、吉田正典、藤原修三、「野外実験における爆薬の地表爆発による生成気体の膨張」、火薬学会誌、**62** (5), 233-243 (2001)。
- [13] 例えば、Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, ” Final Recommendations for Protecting Human Health from Potential Adverse Effects of Exposure to Agent GA (Tabun), GB (Sarin), and VX, ” Federal Register, Vol. 68, No. 196, Tuesday, October, 9, 2003; Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, “Interim Recommendations for Airborne Exposure Limits for Chemical Warfare Agents H and HD (Sulfur Mustard),” Federal Register, Vol. 69, No. 85, Monday, May 3, 2004。
- [14] Department of the Army, Office of the Assistant Secretary, Installations and Environment, “Implementation Guidance Policy for New Airborne Exposures Limits for GB, GA, GD, GF, VX, H, HD, and HT,” June 18, 2004。

- [15] DOE Handbook, “Temporary Emergency Exposure Limits for Chemicals: Methods and Practice,” DOE-HDBK-1046-2008, August (2008). 表2の数値は同資料のTable 4より得た。
- [16] G. Howard, ” Arsenic, Drinking-water and Health Risk Substitution in Arsenic Mitigation: a Discussion Paper,” World Health Organization, (2003),
(http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsh0306/en/index.html)
- [17] 山内博、中野（青木）瑞穂、中村浩一郎、「無機ヒ素の無毒化処理：アルセノベタインの毒性評価」、日本衛生学雑誌、**65**, 356 (2010)。
- [18] S. X. Wang, Z. H. Wang, X. T. Cheng, J. Li, Z. P. Sang and X. D. Zhang, “Arsenic and Fluoride Exposure in Drinking Water: Children’s IQ and Growth in Shanyin County, Shanxi Province, China,” Environ. Health Perspect, **115**(4), pp. 643-647, (2007)。
- [19] N. Cherry, K. Shaikh, C. McDonald and Z. Chowdhury, “Stillbirth in Rural Bangladesh: Arsenic Exposure and Other Etiological Factors: a Report from Gonoshasthaya Kendra,” Bull. World Health Organization., **86**, pp.172-177, (2008)。
- [20] U. S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine (USACHPPM), “Evaluation of Airborne Exposure Limits for Sulfur Mustard: Occupational and General Population Exposure Criteria,” Technical Report 47-EM-3767-00, November 2000.
- [21] 財団法人国際医学情報センター、「平成20年度 食品中に含まれるヒ素の食品影響評価に関する調査報告書」、2009年3月
- [22] “国内における毒ガス弾等に関する今後の方針について”、平成15年12月16日閣議決定、同18年12月26日一部改正
(http://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/pdfs/cd_h151216.pdf)
- [23] National Research Council, “Review of Secondary Waste Disposal Planning for the Blue Grass and Pueblo Chemical Agent Destruction Plant,” ISBN: 0-309-12051-9, 2008.
- [24] 環境省、“国内における旧軍毒ガス弾等に関する取組について、3. 毒ガス情報センターからのお知らせ “、(http://www.env.go.jp/chemi/gas_inform/)
- [25] 武田英子、「地図から消された島」、pp. 186-222、ドメス出版 (1987)。
- [26] B. グッドウィン、「太平洋戦争連合軍の化学戦実験」、pp. 273-275、原書房 (2009)。
- [27] B. グッドウィン、「太平洋戦争連合軍の化学戦実験」、pp. 275-277、原書房 (2009)。

＜用語の説明＞

以下の用語は、abc 順のあと、あいうえお順で説明する

ACWA プログラム

Assembled Chemical Weapons Alternatives Program のことを指す。1996 年に米国議会は、Assembled Chemical Weapons の廃棄処理に対して燃焼法に代替する少なくとも 2 種類の試験プラント（パイロットプラント）を作る議案を承認し、1997 年の予算が措置された（Public Law 104-208）。これにより、液相による中和法、電気化学法、溶媒和電子法、超臨界水法、生物処理法などの廃棄処理方法が検討されたが、これらの方法のうちで現在はコロラド州プエブロ（Pueblo）市にて中和法と生物処理法を組み合わせたパイロットプラントが、ケンタッキー州ブルーグラス（Blue Grass）市にて中和法と超臨界水法を組み合わせたパイロットプラントがそれぞれ建設中である。

なお、Assembled Chemical Weapons とは、「化学剤、信管、爆薬、推進薬を具備した兵器」を意味し、軍用に準備された化学兵器である。砲弾内部の化学剤や爆薬などの危険要素が多いため、より慎重な取り扱いが求められる。

DSTL

英国の防衛に関する科学技術研究所で、国防省傘下の法人（Agency）である。職員数は約 3,500 名で、ロンドンから約 150 km 西に位置する Porton Down に所在する。正式名称は Defence Science and Technology Laboratory で、前身の DERA（Defence Evaluation and Research Agency）は 2001 年 6 月に再編され民間組織の QinetiQ と法人の DSTL に分割された。

EOD

海外諸国で実施されている爆発物処理（Explosive Ordnance Disposal）の英文頭文字をとった省略語であり、戦争等で遺棄された不発弾等の爆発物を処理することを意味する。我が国の不発弾については、自衛隊法附則第 14 条に基づき、陸上で発見された不発弾は陸上自衛隊の不発弾処理隊が安全化を実施したあと民間業者が解体を行い、海上で発見された場合は海上自衛隊の掃海部隊（水中処分隊）が処理する。なお、広義の EOD では、爆発物等の含まれる不審物の処理も対象とし、都道府県警察の警備部機動隊に所属する爆発物処理班が担当する。

HEPA フィルタ

High Efficiency Particulate Air Filter の頭文字を取った略称で、空気中の粉塵を取り除く高性能フィルタを意味する。

START 法

発生した多数の傷病者に対して救助の順位をできるだけ簡素で客観的に判定するために作成された手法であり、Simple triage and rapid treatment の頭文字を取った名称である。歩行の可否→呼吸の有無→呼吸数→（血液）循環→意識レベルにより救命順位を定める診断方法である。

X 分類システム（または X 基準）

2005 年に新 AEL 基準が制定されるまで使用されてきた米国陸軍の廃棄物の除染レベルを規定した旧基準を指す。

米国陸軍省は、化学兵器の廃棄処理で発生する二次廃棄物に関して、1X（化学剤汚染された廃棄物：agent-contaminated waste）、3X（潜在的な化学剤汚染がある廃棄物：potentially agent-contaminated waste）、5X（化学剤汚染のない廃棄物または除染された 3X 基準の廃棄物：agent-free or decontaminated potentially agent-contaminated waste）という区分に分けた。同時に、汚染された廃棄物の除染手段として 5X 基準は 1000° F（538℃）で 15 分の加熱で達成されるとした。この除染手段は当時の化学剤と火薬類を燃焼処理する施設において、弾殻などを金属加熱炉（Metal Parts Furnace:）で除染することを前提に設定されたが、無制限曝露を可能とした理論的根拠は明確ではなかった。

一方 ACWA プログラムなどのように燃焼が禁止されている施設においては金属加熱炉以外の除染方法が必要となる。X 分類システムの抱えるこれ等の欠陥をなくすため、新たに設定されたのが本文 p. 11（本文第 4 章(2)②）以降に述べた新 AEL 基準である。

この新基準では除染方法には関係なく、廃棄物を 5 つに分類し一般市民に対する無制限曝露可能限度を GPL 以下とした（本文 p. 12 の表 3 参照）。また、廃棄物中の化学剤排出濃度の測定方法の実用的な例として、廃棄物と接触した空気中の化学剤濃度を測定する方法（Headspace Air Monitoring : HSAM）が考案され、濃度が GPL 以下であることが判定されれば無制限曝露可能とするものである。

新 AEL 基準と旧 X 分類システムと関連に対して、米国陸軍は「陸軍は機材や施設の汚染レベルの分類に際し、X 分類システムをもはや適用しない」と回答している（下記の参考資料 3 および 4）。

（参考資料）

1. “Review of Chemical Agent Secondary Waste Disposal and Regulatory Requirements,” Committee on Review of Chemical Agent Secondary Waste Disposal and Regulatory Requirements, National Research Council, ISBN: 0-309-10611-7, (2007).
2. “Toxic Chemical Agent Safety Standards,” Headquarters, Department of the Army, Pamphlet 385-61, 17 December 2008.
3. “Summary information on the Army’s new guidance policy for the revised airborne exposure limits for chemical warfare agents,” US Army CMA, 11 September 2007.
4. “CDC Revises Airborne Exposure Limits for Chemical Agents,” US Army CMA, 11 September 2007.

あか剤

旧日本軍の使用した化学剤の名称で、ジフェニルシアノアルシン（DC）を主体とし、ジフェニルクロロアルシン（DA）が混合した化学剤である。これを充填した化学弾は“あか弾”と呼ばれた。

遺棄化学兵器

化学兵器禁止条約の定義では、1925年1月1日以降にいずれかの国が他の国の領域内に、当該国の同意を得ることなく遺棄した化学兵器である（付録(1)参照）。詳細な定義は条約を参照のこと。

化学剤

化学兵器に充填し戦争時に散布することにより殺傷力をもつ化学物質を指し、いわゆる毒ガスである。毒性や殺傷能力により、窒息剤（塩素、ホスゲンなど）、びらん剤（硫黄マスタード、ルイサイトなど）、血液剤（青酸など）、神経剤（VX、サリン、ソマンなど）は致死性化学剤であるが、催涙剤（クロロアセトフェノンなど）、嘔吐剤（または、くしゃみ剤）（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））、無力化剤（BZなど）は非致死性化学剤である。詳細は、第18期日本学術会議対外報告“遺棄化学兵器の安全な廃棄技術に向けて”（平成13(2001)年7月23日）の第2章 第2.2節 化学剤の種類と毒性（p.8～）に記載した。英語名はChemical Warfare Agentという。

化学兵器禁止機関

化学兵器禁止条約の発効時に設立され、同条約の目的を達成させる国際機関で本部はオランダ国ハーグ市にある。各国における化学兵器廃棄の実施状況を検証するとともに、加盟国への相談や協力のための場を提供する役割も担う。英語名 Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons（略称 OPCW）である。

化学兵器禁止条約

正式名称は「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」であり、1997年4月29日に発効した。大量破壊兵器を完全に禁止し、廃棄の義務と検証制度を備えた条約である。サリンなどの化学兵器の開発、生産、保有などを包括的に禁止し、同時に、米国やロシア等が保有している化学兵器を一定期間内（原則として10年以内）に全廃することを定めている。英語名はChemical Weapons Convention（略称 CWC）という。2009年5月現在で加盟国は188か国で、イスラエルとミャンマーの2か国は署名したが批准していない。また、北朝鮮、アンゴラ、エジプト、ソマリア、シリアの5か国は署名していない。

きい剤

旧日本軍の使用した化学剤の名称で、マスタードとルイサイトを混合した化学剤である。これを充填した化学弾は“きい弾”と呼ばれた。

ストックパイル (Stockpile) とノンストックパイル (Non-stockpile)

ストックパイルとは、武器用に整備して集積された状態で保管された化学兵器を指し、米国やロシアの化学兵器に代表される。廃棄処理は砲弾の“ネジを逆回しする (reverse engineering)” という比喻のように、比較的容易な操作で行える。ノンストックパイルは戦場跡で発見され、また戦争終結時に埋設した地中や投棄した海中から発見される化学兵器を指す。我が国の国内老朽化学兵器や中国での遺棄化学兵器はすべてノンストックパイルであり、廃棄処理に供する前に発掘・回収を行うことになる。この場合、砲弾の劣化・腐食や爆薬の変質・感度向上が懸念され、稀ではあるが、不発弾のように信管が残った砲弾が存在するため、発掘・回収や廃棄処理の際は慎重な取扱いを要する。なお、このようなノンストックパイルは化学兵器禁止条約上、回収されて初めて化学兵器禁止機関に申告することになる。また、広義の“ストックパイル” には1トン用コンテナ（日本では容積は異なるが、化学剤補給容器と呼ぶ）に入った液体状の化学剤等も含まれている。

ジフェニルクロロアルシン

非致死性の化学剤で、嘔吐剤に属する。略称 DA。

ジフェニルシアノアルシン

非致死性の化学剤で、嘔吐剤に属する。略称 DC。

トリアージ

大事故や大災害などで多数の傷病者が発生した場合、重症度と緊急性で区別し治療の優先順位を決定する方法を指し、フランス語の triage (選別) に由来する。負傷者に対して4色のトリアージ・タグがあり、黒 (死亡等の理由で救命が不可能なもの)、赤 (生命に関わる重篤な状態で一刻も早い処置が必要で救命の可能性があるもの)、黄 (すぐに生命の危険はないが、早期に処置が必要なもの) および緑 (軽度の病症および救急での搬送の必要がないもの) に分けられる。トリアージは我が国の消防庁で検討され、東京消防庁で試行されている。なお、トリアージは災害による負傷者数が大量であり、受け入れ医療機関が限られているという“極限状況” に限定して実施されるものである。

爆破処理

廃棄処理技術の一つである爆破処理とは、化学兵器の弾殻外側に巻きつけた爆薬、または化学兵器自体に内蔵する爆薬を起爆して引き起こる爆発 (爆轟または爆燃) 現象により兵器内部の爆薬や化学剤を分解するという原理をもとに、化学兵器を廃棄処理する技術を指す。現在までに、化学兵器の爆破処理技術は合計4種類が開発された。EDS (Explosive

Detonation System) は米国政府の資金 (non-stockpile program) で開発された技術名称である。また、TDS (Transportable Detonation System: 米国)、SDS (Static Detonation System: スウェーデン) およびDAVINCH (Detonation of Ammunition in a Vacuum-Integrated Chamber: 日本) の3種類の技術は、民間企業が開発し供与する技術である。

上記の原理のうち、化学兵器の弾殻外側に巻きつけた爆薬を起爆する爆破処理は“制御爆破 (Controlled Detonation)” と呼ばれる。また、化学兵器自体を加熱し内蔵する爆薬の起爆により弾殻を破壊し、晒された化学剤を高温 (550℃) で処理する方法は“加熱爆破” と呼ばれる。前記のACWA プログラムでの廃棄処理技術と同様に、非燃焼法の技術とみなされる。

マスタード

通常は硫黄元素の含まれる硫黄マスタード (別名イペリット) を指し、典型的な化学剤である。化学式は $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$ で、びらん剤に分類される。室温で無色の液体で、融点14.4℃、沸点217℃である。硫黄元素の代わりに窒素元素が含まれる窒素マスタード (化学式 $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{NC}_2\text{H}_5$) も製造、配備されてきた。人体に対してびらん性を示すが、たんぱく質やDNAへ強く作用するため、発がん性を引き起こすとされる。

ルイサイト

ヒ素元素を含む化合物で、びらん性化学剤に属し、化学式は $(\text{ClCH}=\text{CH})\text{AsCl}_2$ の他に $(\text{ClCH}=\text{CH})_2\text{AsCl}$ 、 $(\text{ClCH}=\text{CH})_3\text{As}$ も含まれ、 $(\text{ClCH}=\text{CH})\text{AsCl}_2$ は融点-18℃、沸点190℃である。解毒剤にはジメルカプロール (BAL: British Anti-Lewisite) がある。

老朽化学兵器

化学兵器禁止条約の定義では、a) 1925年より前に製造された化学兵器、または b) 1925年から1946年までに製造され、化学兵器としてはもはや使用できない程度に劣化した化学兵器とされる (付録(1)参照)。詳細な定義は条約を参照のこと。