

遺棄・老朽化化学兵器の処理技術

藤原 修三*

(東京工業試験所、化学技術研究所、物質工学工業技術研究所、
産業技術総合研究所爆発安全研究センター)

要旨

昭和20年代から、東京工業試験所の平塚支所で火薬類の保安に関する試験研究が行われてきたが、昭和52年からつくば移転後（化学技術研究所）にかけて、火薬類の爆発エネルギーを高度有効利用する研究が行われ、新物質・材料の創製等の研究へと発展した。この研究により、制御爆発や爆発の閉じ込め等の基幹技術が確立され、平成10年代からの遺棄・老朽化化学兵器の迅速・安全かつ確実な無害化処理技術（制御爆破方式）が企業との共同で開発され、現在、国内、中国、欧州等で化学兵器の処理に利用されている。遺棄・老朽化化学兵器の処理に関しては、産総研設立後に設置された爆発安全研究センターにおいて、内閣府からの要請で、中国遺棄化学兵器処理を対象とした総合的な研究が実施され、その成果は制御爆破方式の開発とともに、遺棄化学兵器の発掘や処理現場等での取扱等、安全確保等に反映されている。

1. はじめに

旧日本軍が中国に残したものと言われている化学兵器、「中国遺棄化学兵器」について、筆者が初めてその概要を知ったのは、昭和60年（1985年）頃であり、我が国を代表する某大企業の担当課長からの話であったことを記憶している。膨大な量の化学兵器が中国国内に遺棄されており、特に北朝鮮との国境近傍のハルバ嶺と呼ばれる地域には70万発^{注1)}を超える化学弾が埋設されており、いずれ我が国の責任でその処理が行われることになるだろう。また、これには筆者のような火薬類の専門家の力が必要とされる等の内容であった。筆者の研究部門は、戦後、東京工業試験所時代に神奈川県平塚市（旧海軍火薬廠）に昭和23年に平塚支所が設置されて、昭和27年4月に支所の第2課で火薬類の研究が開始され、その後、昭和32年、東京工業試験所の7部制で、平塚支所は第7部となり、第7部1、2課で火薬類の保安技術に関連した研究が開始され^{(1)、(2)}、主として戦後の通産省所管火薬類取締法の改正・整備に資する研究が行われてきた。筆者も大学院の学生（修士、博士課程）の頃から、第7部の支援、すなわち、施設・設備の利用ならびに指導を受けて、学位を得た年すなわち昭和46年（1971年）4月に東京工業試験所の研究者として入所し、第7部第1課に配属され、火薬類の研究を継続することになった。筆者は、

*産業技術総合研究所名誉リサーチャー

学生時代には火薬類の起爆・伝爆機構の研究を主として行ってきたが、火薬類の爆発時に発生する動的な超高压力（～50 GPa）や、爆発時の強力なパワー（～10¹² W（ワット）/kg）を単なる破壊に利用するのではなく、各種の他の有効な利用が出来ないかと考えて、火薬類の高度有効利用に関する研究「超高密度エネルギーの発生と有効利用に関する研究」を提案・申請し、昭和52年4月から7年間（第1期：昭和52～54年、2期：昭和55～59年）の特別研究として開始された。この研究では、①火薬類、特に高性能爆薬の平面爆轟（Plane Detonation Wave）や円筒・球状収縮爆轟（Implosion Wave）等の爆発波面の制御と起爆時間の制御技術を確認し、②爆発時に解放される化学反応エネルギーすなわち爆発エネルギーを運動エネルギー（超高速飛翔体の発生）やポテンシャルエネルギー（動的超高压の発生）、電磁エネルギー（超高磁場の発生、パルス大電力の発生等）等のエネルギーに変換する技術の開発、ならびに③このような各種超高密度エネルギーを利用して多結晶ダイヤモンド等の新物質・材料開発を行うという3本立て研究を実施した。昭和54年（1979年）9月のつくば研究学園都市への移転に伴い、爆発施設・設備等が新設かつ大型化されたことが研究推進に非常に役立ち、国際レベルの研究が実施できたと思っている。火薬類を取り扱う作業では、火薬類の爆発事故防止等、その安全対策が不可欠であり、ハード、ソフト両面からの安全管理が担保されて研究の実施が可能となる。つくばでの各種の新規施設・設備と安全管理体制の構築が、上記の研究促進の原動力（基本）となっていた。この研究では、パルスの超高压・高温を利用する多結晶ダイヤモンド等の新材料の創製・開発がもう一方の主要課題であり、爆発性物質の動的超高压すなわち衝撃波圧縮下の挙動や化学反応等を追跡評価しながら、新物質・材料創製のため、火薬類の爆発エネルギーの有効利用を試みた。7年間の研究で得られた成果は、その後の火薬類取締法関連の諸規則の改正や、大型プロジェクト「先進機能創出加工技術：第1期、平成2～5年、第2期、平成6～8年」でのBCNヘテロダイヤモンド^{注2)}の創製等の研究や、後に筆者がサブプロジェクトリーダーを務めた産業技術開発研究「炭素系高機能材料技術の研究開発（スーパーカーボン：平成10年～15年：1998～2003年）」の実施に貢献できたものと思っている。爆発のエネルギーをパルス大電力に変換する爆薬発電システムや新材料創製実験等では、火薬類の爆発を空間的・時間的に制御する**制御爆発技術**と爆発時の爆風や高速度飛散物等を閉じ込めて周囲への影響を極力抑えながら試料等の確実な回収を図るため、**爆発を閉じ込めるための各種の耐爆容器すなわち爆発容器(Explosin Chamber：爆発チャンバー)の開発**が必要であり、これに対応する研究も並行して行った。平塚時代以来のこれらの研究開発で得られた成果すなわち「**技術と人材**」が、本題である遺棄・老朽化化学兵器の処理技術の開発に対して、大いに役立ったことは疑いのない事実である。(1)、(2)

2. 国内での遺棄・老朽化化学兵器処理の開始 ^{注3)}

化学兵器の扱いに関しては、我が国は、平成7年（1995年）に化学兵器禁止条約

(Chemical Weapons Convention) を批准し、以後、平成9年(1997年)4月に発効した化学兵器禁止条約に基づき設立された化学兵器禁止条約機関(Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons:OPCW)^{注4)} に対して、化学剤や化学弾等に関して、それらの発見、処理等の各種の報告や、OPCW 査察員の受け入れ等を行っている。条約の発効に伴い、我が国では、平成9年(1997年)8月、「遺棄化学兵器処理対策連絡調整会議」のもとに「遺棄化学兵器処理技術検討部会」が設置され、筆者を含めた各分野の有識者による会議が1年間(8回開催)行われ、処理に係る基本的事項が討議されて種々の提言が行われた。⁽³⁾ 同年10月には、化学兵器対応の調整機関として内閣官房外政審議室に「遺棄化学兵器処理対策室」が設置され、その後、処理実務への対応機関として、平成11年(1999年)4月に総理府(現内閣府)に「遺棄化学兵器処理担当室」が設置された。担当室には、技術検討部会の提言を受けて、処理に係る情報の共有化を図るため、遺棄化学兵器処理に係る5つの分野(爆発リスク対策、化学剤分析、作業環境安全対策、環境対策、実処理技術)から構成される「技術検討調整会議」が設置され、筆者は「爆発リスク対策」会議の委員長を務めた。なお、昨年、すなわち平成27年4月から対策室の業務は担当室へ一元化され現在に至っている。^{注5)}

国際機関である OPCW には加盟国の有識者からなる科学技術諮問委員会(SAB: Scientific Advisory Board)があり、筆者もその日本代表委員として平成19年10月(2007年)から4年間、毎年2回程度、OPCW 本部(オランダのハーグ市)での委員会に参加し、世界の化学兵器に関する知識の取得ならびに対応等について貴重な経験ができたと思っている。

ここで、旧日本軍の各種化学兵器に使用された化学剤の概要を表1に示す。また、表2に旧日本軍の化学兵器に使用されていた火薬類の概要を示す。⁽⁴⁾

表1 主な旧軍化学兵器の種類と化学剤

| 区 分 | | 旧軍の名称 | 化学物質の名称 | |
|-------|-------|-------|--------------|------------------|
| 有毒化学剤 | びらん剤 | きい剤 | マスタード | $(C_2H_4Cl)_2S$ |
| | | | ルイサイト | $CHCl=CHAsCl_2$ |
| | 窒息剤 | あお剤 | ホスゲン | $COCl_2$ |
| | 血液剤 | ちゃ剤 | シアン化水素 | HCN |
| 暴動鎮圧剤 | くしゃみ剤 | あか剤 | ジフェニルシアノアルシン | $(C_6H_5)_2AsCN$ |
| | | | ジフェニルクロロアルシン | $(C_6H_5)_2AsCl$ |
| | 催涙剤 | みどり剤 | クロロアセトフェノン | $C_6H_5COCH_2Cl$ |
| 発煙剤 | 発煙剤 | しろ剤 | トリクロロアルシン | $AsCl_3$ |

表2 旧軍化学兵器に使用された主な火薬類

| 弾種 | | 充填火薬類 | | | |
|----------|-----|-----------|---------|------------|------|
| 口径 | 種類 | 炸薬 | | 伝爆薬 | |
| 75mm 砲弾 | あか弾 | TNT+ナフタレン | 450 g | ピクリン酸 | 40 g |
| 90mm 砲弾 | きい弾 | ピクリン酸 | 100 g | テトリル | 20 g |
| | あか弾 | TNT+ナフタレン | 605 g | ピクリン酸+テトリル | 30 g |
| 105mm 砲弾 | きい弾 | ピクリン酸 | 100 g | ピクリン酸 | 40 g |
| | あか弾 | TNT+ナフタレン | 3,325 g | ピクリン酸 | 40 g |
| 150mm 砲弾 | きい弾 | ピクリン酸 | 160 g | RDX | 41 g |
| | あか弾 | TNT+ナフタレン | 3,325 g | ピクリン酸 | 74 g |

国内の化学兵器（旧日本軍の老朽化化学兵器）に関しては、北海道の屈斜路湖に投棄されていた26発の化学兵器（大型の50kg黄弾）が平成8年（1996年）に回収され（屈斜路湖近辺の火薬庫に保管）、OPCWに申告されている。その後、我が国での最初の老朽化化学兵器の処理事業となった屈斜路湖の老朽化化学兵器（26発）については、実施企業の公募が行われ、S社が受注し、平成12年（2000年）5月～11月にかけて北海道の現地で無事に処理が行われた。この時は、化学兵器を機械的に解体し、化学剤のパートと火薬類（伝爆薬、炸薬）のパートを分離して個別に無害化処理が行われ、火薬類のパートは鋼製の小型爆発容器（チャンバー）内で爆発処理された。当時、S社は、爆発容器に関して、筆者の研究部（物質工学工業技術研究所極限反応部）へ技術相談に来られ、研究部門の指導により小型の爆発容器を製作し、現地で使用した。これは、物質研が、当時の総理府内政審議室の協力依頼を受けて、密閉式爆発チャンバー内で遺棄・老朽化化学兵器内の火薬類を無害化させるために実施した基礎実験を反映させたものである。その後、S社は、平成14年～16年（2002～2004年）にかけて、高速道路建設中に発掘された神奈川県寒川町の化学剤（瓶入のマスタード剤等で火薬類は使用されていない）の処理を行った。一方、平成12年には、北九州空港近傍の福岡県苅田町の苅田港（瀬戸内海周防灘）の浚渫工事中に、旧軍の大型の老朽化化学兵器が発見された。^{注6）} 港外の大型船舶（自動車の輸送船等）の航路浚渫予定域に関する、探索が行われた結果、大型の黄弾（重量：50kg、内蔵爆薬量：2.3kg）や赤弾（15kg、爆薬量：1.3kg）等、多数の存在が確認され、これも、公募入札の結果、S社が受託し、平成16年（2004年）から平成22年（2010年）にかけて約2900発の大型化学兵器の処理が、苅田港近傍の埋め立て地で行われた。^{注7）} この時の処理方法は、後節で詳述するが、大型の密閉型鋼製爆発容器（爆発チャンバー）内の中心部に化学兵器を置き、化学兵器の周囲を爆薬（エマルジョン爆薬等の産業用爆薬）で覆って爆発させ、爆薬の爆発時に発生する超高压衝撃波で化学剤を圧縮・加熱分解させるとともに化学兵器内の火薬類も殉爆させる方式であり、現在では「**制御爆破方式**」と呼ばれている。この方式は、産総研（爆発安全

研究センター) と S 社との共同で考案・開発されたものであり、国内ならびに海外へ化学兵器の安全な処理方法として特許出願されている。^{注8)} S 社は、自社の制御爆破方式である耐爆爆発容器と付属の処理システムを一体化したものを **DAVINCH (Detonation of Ammunition in Vacuum Integrated Chamber)** システム、略称、**DVシステム**と命名している。

一方、千葉県内で発見された旧軍の老朽化化学兵器が、平成24年に、J社により処理されている。処理は、スウェーデンのダイナセーフ社の加熱燃焼炉を用いて行われた。**(加熱燃焼処理方式)**^{注9)}

なお、日本における旧軍の遺棄・老朽化化学兵器(毒ガス弾)の全国調査が環境省で行われているので、興味のある方は環境省調査報告書を参照されることを推奨する。^{注10)}

3. 中国遺棄化学兵器

中国に存在する旧日本軍の遺棄化学兵器、すなわち「中国遺棄化学兵器」と呼ばれるものに関しては、筆者が書いた文献(5)、(6)を参照されることを推奨する。

平成3年(1991年)に日中政府間協議が行われた後、中国遺棄化学兵器の中国内での現地調査が行われてきたが、平成9年(1997年)発効の化学兵器禁止条約を両国が批准したことで、日本は廃棄の規定に基づき廃棄処理を、中国は廃棄への協力を行うことが平成11年(1999年)7月、両政府間で「覚書」として署名された。これに伴い、我が国では当時の総理府外政審議室(現在の内閣府)に遺棄化学兵器処理の実施機関として「遺棄化学兵器処理担当室」が同年4月に発足し、当該担当室が中国遺棄化学兵器処理事業を実施することになった。担当室内には、廃棄処理に関して主として外部有識者より構成される5つの技術検討調整会議(爆発リスク、化学剤分析、作業安全対策、環境対策、実処理技術)が設けられ、筆者は爆発リスク対策の委員長として活動してきた。また、中国との間でも廃棄処理に関する日中共同作業グループ会合が平成9年(1997年)から開始されており、その活動結果は「覚書」に反映されている。その後、平成12年(2000年)に、日中間の協力で、中国黒竜江省の北安市郊外で旧日本軍の遺棄化学兵器の発掘が行われ、筆者も現地での発掘作業に参加し、発掘された各種の遺棄化学兵器を現場で見ることができた。写真1は北安で発掘された遺棄化学兵器の例であり、筆者が手にして状態を観察しているところである。表1に例示されるような旧日本軍の中国遺棄化学兵器に関する問題点として、①化学剤およびそれを使用した兵器の種類が多い、②処理対象兵器の数量が極めて多い(約40万発)、③長期間の遺棄のため兵器容器の腐食・老朽化が進行し、内部の化学剤が変質している可能性がある、④多くの兵器にピクリン酸が伝爆薬、炸薬等に使用されている、⑤化学剤の成分に砒素が含まれるものが多い、⑥遺棄化学弾に関する確実かつ具体的な情報が乏しい:処理を行う前に、発掘し分析・診断することが必要、⑦我が国では、化学兵器処理の経験・実績が殆んどない、等々、多くの問題を抱えていた。次に、遺棄・老朽化化学兵器の無害化処理の工程は、概略以下の手順で行われる

ことが想定されていた。まず最初に「遺棄場所の探査」を行い、その後、現場での「発掘」→「処理場所への搬送」→「前処理（化学兵器の診断・解体等を行い内部の化学剤を取り出す）」→「化学剤の無害化処理（本処理）」→「廃棄物の処分（後処理）」、概略以上の工程で無害化処理が行われるが、それぞれの工程において、化学剤と火薬類に対する安全が担保される必要がある。これらの各工程において、火薬類に関する保安上の問題点を評価するための研究資金が、平成13年度（2001年）より内閣府から産総研へ支給されていたが、本格的な遺棄化学兵器処理に係る安全性評価の研究を実施するため、また、産総研中期計画・目標（第1期）の一つである化学物質安全管理技術を促進するため、産総研誕生の翌年、平成14年（2002年）4月に産総研に筆者を長とする爆発安全研究センター（存続期間：5ケ年、総予算（5年計）：約46億円、定員：専任18名、併任3名、その他テクニカルスタッフ等を含め70人程度の人員）を発足させ、国内のオンリーワン組織として爆発安全に関する総合的な研究を実施することになった。^{注11)}



写真1 中国北安での旧軍化学兵器の発掘状況

爆発安全研究センター設立時の主要な研究課題は、①遺棄・老朽化化学兵器の安全処理技術（国内ならびに中国遺棄化学兵器に使用されている火薬類に関する総合的な安全性の評価：爆発リスク評価）、②次世代燃料としての水素等の燃焼・爆発安全性評価、③火薬類取締法関連（火薬類取扱上の各種技術基準作成等）の3項目であったが、その内、前半は化学兵器関連が予算的にも主要なものであった。この研究では、化学兵器に使用されている火薬類に対して、①火薬類の感度・爆発特性に関する基礎データの取得、②火薬類の大量爆発時の爆風、生成雲等の挙動把握、③火薬類の分析・同定方法の確立、④発掘現場における火薬類の処理方法の確立、等々の項目で試験研究を行った。①の項目に関しては、特にピクリン酸（PA:Picric Acid, トリニトロフェノール）について、広範かつ徹底した安全性評価研究が行われた。^{注12)、13)} ②については、主として野外での大型爆発実験を実施し、大量の化学弾（化学兵器）の埋設を想定した殉爆試験や、大量の弾薬の爆発時に発生する雲（化学剤を含む爆発生成気体）の生成・挙動ならびに爆風等の測定を行った。③に

関しては、ピクリン酸およびその各種塩類の迅速・簡易分析法、ピクリン酸金属塩の結晶水の同定方法等の研究を行った。④に関しては、ピクリン酸等の火薬類の化学的無害化処理方法ならびに爆発等による物理的無害化処理方法の試験を行った。これらの研究課題の内、一部は、大学、民間企業へ委託して行われた。特に、現場での爆発処理を想定した小型の爆発容器（チャンバー）の耐久性を検討するため、爆発疲労破壊試験をS社へ委託して実施した。また、内閣府の技術検討委員会で提示された⁽⁷⁾ 遺棄化学兵器の加熱処理方式やウォータージェット処理技術方式等、遺棄・老朽化化学兵器に対するいくつかの処理方法の評価を行うとともに爆発安全研究センター独自の方法（制御爆発処理技術：制御爆破処理）の開発・検討も行った。さらに、計算機シミュレーション手法の開発にも労力を注ぎ、爆発反応、爆発生成雲・爆風挙動の解析・予測等を行った。これらの結果は、内閣府に提出され、国内、中国での遺棄・老朽化化学兵器の発掘・回収時の安全確保に反映されたものと思う。

当時、化学弾の処理方法は先に示したように⁽⁷⁾、各種の方法が国内企業グループからも提案されており、欧米で実施されているものもあった。筆者は、火薬類等の爆発現象の専門家として、遺棄化学兵器処理に係る政府の各種委員会等（学術会議を含む）に参加し、中国での発掘現場で現物を見てきた等の経験から、遺棄・老朽化化学兵器の内、火薬類が使用されているものを土中から掘り出して（写真2参照）⁽⁸⁾、以後、輸送、鑑定、無害化処理するそれぞれのプロセスに危険性があること、特に変形、腐食等が著しい化学兵器の処理技術として、機械的手法で解体することの危険性を考えると、掘り出し後は、他のプロセスを極力避け、化学兵器そのものを、別の爆薬を使用して、爆発処理するのが簡単かつ最も妥当な方法であると確信するようになった。有毒化学剤のような複雑な有機化合物は、一定強度以上（数 GPa.）の衝撃波の圧縮・加熱により分解するので、適当な産業爆薬を適正な方法で爆発（爆轟：Detonation）させることで、化学剤の衝撃圧縮分解ならびに兵器に使用されているピクリン酸等の火薬類（伝爆薬、炸薬）を誘爆させて、無害化することが可能である。具体的には、化学弾の周囲を産業用爆薬等の入手が容易な爆薬で覆い、周囲爆薬を制御爆発（導爆線等を使用して爆轟波面を揃える等）させることで、周囲へ飛翔する砲弾破片を低速度化し、かつ衝撃波の集中（爆縮：Implosion）効果により、砲弾内部の化学剤を効率的に分解・無害化させることができる。解決すべき最大の問題は化学兵器処理用の爆発容器の開発であった。筆者の研究部門には、2～3 cm厚の鋼製の球形（円筒型）容器の外周を鉄筋コンクリート（30～50 cm厚）で覆った大・小の爆発チャンバー6基（固定式）をつくばセンターと第二研究センターへ構築しており、最大10 kgの高性能爆薬を周囲に騒音・振動等の被害を与えることなく爆発することができた。また、爆発による新物質・新材料の創製研究や、爆発エネルギーの電磁エネルギー変換研究（爆薬発電機：Explosive Generator、超高磁場発生装置）のため、中、小の鋼製移動式爆発チャンバーも試作・開発していた。遺棄化学兵器の爆破処理に使用する爆発容器に課せられる主な条件は、①10 kg程度の高性能爆薬の爆発に耐え得ること、すなわち、爆風圧（衝

撃圧) ならび高温・高圧の爆発生成ガスの圧力で破壊されない、②爆発時に発生する化学兵器容器の高速破片(速度～数km/秒)の衝突に耐える、③爆発時ならびに静圧化した時に内部の気体等が外部へ漏れない、すなわち密閉性が優れている、④繰り返し使用(数千ショット以上)に耐える、⑤本体を輸送できる大きさ・重量であること、⑥操作、メンテナンスが容易である、等々である。



(足元の白糸範囲内より砲弾を取り出す)



(取り出した砲弾の状況)

写真2 中国ハルバ嶺での試掘状況と発掘された旧軍化学弾

S社の技術責任者（A氏）が屈斜路湖の処理が決まってから、筆者の所へ相談に来られたことを先に述べたが、その当時、時期を明確に記憶していないが、A氏の要請・案内で、S社の主力工場を見学に行った。その時、超大型の鋼製容器（チャンバー相当）の製造部所を案内していただき、現物を見て感銘を受けたのを今でも鮮明に記憶している。それは、輸出用の大型高压法アンモニア合成装置の心臓部である反応容器（チャンバー）であった。我が国では、大正7年（1918年）、後に東京工業試験所に吸収された臨時窒素研究所が設立され、高压法（ハーバー法）アンモニア合成研究が行われ実用化されたが、当時、2 MPa.（200気圧）、500℃に耐えられる高压容器が製造されたそうである。⁽⁹⁾

S社で製造中の大型の耐高温・高压容器を見て、この技術を利用すれば筆者が想定していた遺棄・老朽化化学兵器処理用の爆発チャンバーを製造するのも難しくないと思い、A氏に爆発（爆薬の爆轟反応：Detonation）を利用して化学兵器を無害化する方法の話を持ちかけた。A氏の事業部門は、原子力廃棄物の処理や使用済み燃料関連の事業を行っており、廃棄物・使用済み燃料等の輸送容器の製造・販売もしていたので話が進展し、遺棄化学兵器の爆発処理技術を共同で開発することになった。爆発容器の最重要項は、①密閉状態を保持したまま爆風圧ならびに爆破に伴う高速破片の衝突に耐えること、②長期間の繰り返し使用ができることである。爆発安全研究センターの重要研究テーマの一つに、耐爆性に優れた爆発容器開発があったが、小型爆発容器を試作し、その耐久性を検討するため、爆発疲労試験をS社へ委託外注した。将来的にはTNTで1トン規模の爆発が可能なチャンバーを想定し、その1/7スケールの鋼製容器（700φ×1330L×30t mm：容器の半分を単層と多層巻にしたものを中央部で結合）を製作し、容器内を減圧して中心部で爆薬（ダイナマイト等）を爆発させる。爆発時に内部圧力、内部温度、ひずみ（外部表面）等を計測し、爆発後の容器の変形を調べた。また、一定回数ショット後に内面の金属の変形、硬化状態等を調べた。一連の実験結果、容器壁は単層よりも多層構造が優れていること、容器の内面（直接爆風を受ける面）は衝撃硬化が進行すること、溶接面にマイクロクラックが発生しやすい等々のことが確かめられた。一連の実験結果から、爆発容器は単層金属（スチール）板よりも**多層巻**とし、内側からの損傷が進展するの防ぐため、これを外筒とし、内側に抜き出し可能な内筒を設け、**2重構造**にして、内側の層を一定回数のショット後に取り換える方式にした。この方式により、実際の爆発処理の際に発生する化学弾の金属破片の衝突による容器損傷問題も解決された。爆発処理後のチャンバー内の気体はその後、配管を通して低温プラズマ炉内に導入され、酸化処理により完全に無害化される。これらのシステムを組み込んだ大型の爆発処理システム（最大65kg TNTの爆発が可能）がS社により、構築され、これにより荏田港での大型老朽化化学弾の処理が無事に行われた。（写真3参照）⁽¹⁰⁾



(ベルギーで使用 TNT 50 k g 相当)



(荻田港で使用 TNT 65 k g 相当)

写真3 S社製大型爆発容器 (DAVINCH)

その後、S社は、中国での遺棄化学兵器処理の内、南京地区にある化学兵器の処理をトレーラー車で輸送できる小型の移動式爆発チャンバーを開発・製作し、これを使用して大量の処理を行っている。平成22年10月から開始し、24年6月に終了。さらに、武漢市等での廃棄を行い、これまでに南京、石家荘、武漢、ハルバ嶺で総計、約3.9万発の廃棄処理を無事に終えたことが報じられている。^{注14)} 一方、40万発が対象とされているハルバ嶺の本格的な廃棄処理については、平成27年にS社（制御爆破方式）とK社（加熱爆破方式：加熱燃焼処理方式）の2つの方式が採択され、すでに試験運転も行われており、これから本格的な処理が行われることになるであろう。

4. 海外におけるDVシステムの使用状況

中国を除く海外の状況についてであるが、S社のDVシステムすなわち制御爆破方式は爆発チャンバーを含め、海外でも使用されている。ベルギー、フランスはその国境地帯に第1次大戦で使用され、不発となった化学弾（化学兵器）が大量に埋もれており、この発掘・無害化処理に取り組んでいるが、ベルギーでは、S社の爆発チャンバーを使用した化学弾の処理が進展している。仏では、S社の大型の爆発チャンバー1基が既に導入され、これから本格的な処理が進行する予定である。最近では、米国政府からも化学兵器処理について、S社の方式の要請があり、今年の春から、関係者が米国へ行き、試験運転を行う予定と聞いている。欧州のバルト海には第2次大戦の終了前後に連合国、独ともに大量の化学兵器を投棄したことが報じられており、近年、バルト海沿岸の国から、廃棄処理の要望が出ているそうであり、制御爆破方式（DVシステム）は、今後、世界の各地で使用されることが想定され、過去の汚い遺物の清掃に役立つことと思われる。幸いなことに、これまでのところ、制御爆破処理方式で人身事故等、おおきなトラブルが生じたことを筆者は耳にしていない。

5. 未解決の課題

旧日本軍の遺棄化学兵器処理においては、未だ解決策の定まらない問題点が存在する。すでに述べた砒素の問題である。表1に掲げた旧軍の化学剤のなかで、きい剤（レイサイト）、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）、しろ剤（トリクロロアルシン）には有毒な砒素が含まれており、原子力廃棄物と同様に、砒素の最終処分を如何にすべきかが検討されてきた。この問題については、日本学術会議で現在も検討されているので、最後に学術会議のこれまでの活動について紹介する。

平成12年（2000年）9月の日本学術会議の組織・制度運営委員会において、学術会議第5部に時限付きの課題研究委員会として「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」の設置が了承され、その小委員会（第1委員会）として、我が国、政府が行う遺棄・老朽化化学兵器処理を学術的面から支援するため、遺棄化学兵器分野に関する研究促進を目的とした「遺棄化学兵器の安全な廃棄技術の研究促進小委員会」の設置が

了承された。小委員会の初代委員長は古崎新太郎東京大学名誉教授（現内閣府遺棄化学兵器処理担当室外部有識者会議代表）で^{注15)}、幹事・委員として筆者を含め、20名弱の各分野の専門家（産総研からは筆者を含め3名が参加）が参加し、翌年、最初の報告書原案が作成され、筆者は爆発処理方式についての基本計画案を提案したが、これは、先に述べた制御爆発処理方法と同様な内容である。8回の小委員会会議開催の後、平成14年11月に最初の報告書が提出され、⁽¹¹⁾ 遺棄・老朽化化学兵器の処理に係るリスク評価とリスク管理の重要性等、幾つかの項目について「提言」が行われた。その後、平成17年3月の報告書⁽¹²⁾では、砒素の処分について討議され、「提言」として砒素の環境汚染を含め、化学兵器処理に係る環境リスク評価並びにリスク管理の必要性が記載されている。その後、平成20年、23年の報告書⁽¹³⁾、⁽¹⁴⁾にも砒素問題への適切な対応が指摘されているが、砒素の最終処分について根源的な対応策は未だ確定されていなかった。筆者は、昨年（平成27年）から、小委員会^{注16)}の委員長に就任し、砒素問題への最終的な「提言」ができるように努力しているところである。

6. 謝辞

本稿の作成にあたり、原稿作成を支援していただいた産業技術総合研究所安全科学研究部門の関係者各位に謝意を表す。

文献

1. 「化学技術研究所90年史」
平成2年10月15日発行 化学技術研究所
2. 「物質工学工業技術研究所百年史」
平成12年10月発行 物質工学工業技術研究所
3. 「遺棄化学兵器処理技術検討部会最終報告」
平成11年5月 遺棄化学兵器処理技術検討部会
4. 「中国遺棄化学兵器処理事業第一次基本計画（基本構想）」
（財）日本国際問題研究所軍縮・不拡散促進センター、1998年10月
5. 「中国遺棄化学兵器処理の最近の動向」、藤原修三、
金属、Vol.70,No.5,p.357-361,2000
6. 「中国遺棄化学兵器処理の最近の動向」、藤原修三
J.Mass Spectrum.Soc.Jpn Vol.51,No.1,2003p.125-128,2003
7. 「遺棄化学兵器処理技術検討部会最終報告」
遺棄化学兵器処理技術検討部会、内閣府、平成11年5月
8. 「中国における遺棄化学兵器の状況に関する調査結果総括報告書」
（財）日本国際問題研究所、1998年3月
9. 亀山哲也、Chemistry & Chemical Industry p.547-549,2013

- 1 0. Joseph Asahina et al,
Prediction of time to crack initiation of an impulsively loaded chamber of chemical weapons destruction, ASME PVP, 2012, Tront Canada
- 1 1. 「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」
学術会議報告、平成14年11月26日
- 1 2. 「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」
学術会議報告 平成17年3月23日
- 1 3. 「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」
学術会議報告、平成20年7月24日
- 1 4. 「老朽・遺棄化学兵器の廃棄処理の実施における保安対策」
学術会議報告 平成23年6月2日

注

1. ハルバ嶺の遺棄化学兵器の数は、現在では40万発弱と推定されている。
遺棄化学兵器とは、化学兵器禁止条約（1997年発効）に、1925年1月1日以降に、他国の領域にその国の同意なしに遺棄された化学兵器を「遺棄化学兵器」とすることが定められており、その場所の管理国だけでなく、遺棄を行った国にも廃棄を行うことが義務づけられている。
2. 硼素、炭素、窒素原子より構成されるダイヤモンド構造物質
3. 内閣府遺棄化学兵器処理担当室ホームページ参照
4. OPCWは化学兵器に対する活動が評価され、2013年10月ノーベル平和賞を受賞。
5. 内閣府遺棄化学兵器処理担当室ホームページ参照
6. 荻田港周辺では、戦後、化学弾が投棄されたとの情報があり、その後も同域から発見されたとの報道がある。（福岡県40-3号）
7. 荻田港の老朽化化学兵器処理の所轄は、平成17年度までは防衛省であり、その後は国土交通省所管となり、22年以降も少量の化学弾の処理が行われた。
8. 日本特許 第691654号（2005年出願）、米国特許4810264号 耐圧容器およびそれを備える爆破処理施設、爆破処理方法 米国特許8006600号、同ベルギー、仏、イタリア特許
9. 「加熱爆破処理方式」とも呼ばれているが、学術的には「加熱燃焼処理方式」が正しい表現である。鋼製円筒状容器の内部に化学弾を置き、400～500℃に加熱し、火薬類の発火・燃焼ならびに、化学剤の高温熱分解を行う方法である。
- 1 0. 昭和48年の「旧軍毒ガス弾等の全国調査」フォローアップ調査
平成15年11月28日（16年3月31日更新版） 環境省
- 1 1. 資金の一部は平成13年度から支給されていた。

- 1 2. 研究結果の一部は内閣府依託調査書「遺棄化学兵器処理技術に関する調査：ピクリン酸関連火薬類の爆発リスク評価に関する研究報告書」として平成15年3月に財団法人日本国際問題研究所より出版されている。
- 1 3. ピクリン酸（トリニトロフェノール：PA）は、我が国では、下瀬火薬とも呼ばれ TNT よりも強力な軍用爆薬として、明治時代に下瀬雅充（まさちか）海軍技師等の尽力で合成・実用化され、日露戦争時、日本海海戦で威力を発揮したと言われている。酸性で水溶性があり、金属と反応して容易に塩を生成する。鉄等の重金属塩は、起爆薬級に鋭感であり、摩擦等の外部刺激で容易に発火・爆発することから、欧米では軍用等に実用化されることはなかった。日本では、砲弾の内側、すなわち金属表面に漆（うるし）を塗り、これによりピクリン酸が金属と直接、接触反応するのを防止したと言われている。
- 参考文献 中原正二、「火薬七つの謎」、東京コロニー、2000年
- 1 4. 内閣府遺棄化学兵器処理担当室ホームページ参照
- 1 5. 2代目は産総研の水野光一氏：産総研主席評価役、3代目は現在の筆者である。
- 1 6. 現在の小委員会名は「老朽および遺棄化学兵器の廃棄に係るリスク評価とリスク管理に関する小委員会」である。

著者略歴

昭和41年3月 東京大学工学部燃料工学科卒業
同 43年3月 同工学系大学院応用化学燃料工学専攻修士課程修了
同 46年3月 同博士課程中退、6月 同大学工学博士
同 46年4月 工業技術院東京工業試験所第7部入所
同 60年3月 化学技術研究所安全化学部高密度エネルギー課長
平成 7年4月 物質工学工業技術研究所極限反応部長
同 13年4月 産業技術総合研究所安全管理部長
同 14年4月 同爆発安全研究センター長
同 19年4月 同研究顧問
同 24年4月 産業技術総合研究所名誉リサーチャー

受理日：2016年4月3日