

(技術資料)

老朽化・遺棄化学兵器の制御爆破処理

北村竜介*

Destruction of Old or Abandoned Chemical Weapons by Controlled Detonation

Ryusuke KITAMURA

要旨

世界でストックパイル化学兵器の処理は終息に向かいつつあるが、ノンストックパイルの処理は今後も続く。老朽化化学兵器や遺棄化学兵器などのノンストックパイル化学弾を分解することは非常に危険で困難である。しかし、制御爆破処理では化学弾を分解せずに処理できるため、老朽化化学兵器や遺棄化学兵器の処理に適している。制御爆破処理では補助爆薬の爆轟により発生する衝撃波や高温高压状態を利用して化学弾を破砕し、内蔵された化学剤と火薬類を破壊する。当社が開発した爆破チャンバと、それを中心とする化学兵器制御爆破処理システムを用いて、2004年以来、国内外で多くの老朽化化学兵器や遺棄化学兵器が廃棄処理されている。本稿では、開発した化学兵器制御爆破処理システムの概要を紹介する。

Abstract

While a large part of the world's stockpile of chemical weapons has been destroyed already, the destruction of non-stockpiled chemical weapons will continue in the future. Dismantling non-stockpiled chemical munitions such as old/abandoned chemical weapons is a very difficult task and involves a high risk of accidents. Controlled detonation is suitable for old/abandoned chemical weapons, since it can destroy chemical munitions without prior dismantling. In controlled detonation, the shells of chemical munitions are fragmented, and the chemical agents and explosives filling the shells are destroyed by the shock wave, as well as by the high-pressure and high-temperature environment produced by the detonation of the donor charge. A detonation chamber and a controlled detonation system, whose main component is the detonation chamber, have been developed and used in destroying many old/abandoned chemical weapons in and out of Japan since 2004. The controlled detonation system and destruction of chemical weapons are outlined in this report.

キーワード

化学兵器, ノンストックパイル, 遺棄化学兵器, 老朽化化学兵器, 破壊, 処理, 制御爆破, 爆轟, 爆破チャンバ

まえがき = 化学兵器が最初に使用されたのは1915年、第一次世界大戦中のことである。それ以来、化学兵器は多くの国で開発、製造、保有、使用された。過去に戦場となった地域では今も不発弾として見つかっている。また、他国に遺棄され、あるいは自国内に投棄された化学兵器が陸域のみならず水域からも発見され、住民の安全や健康のみならず地域の環境や経済活動上の問題となっている。

当社は、1997年の化学兵器禁止条約発効により日本が中国での遺棄化学兵器処理の義務を負ったことを受け、エンジニアリング部門にて当該処理事業への参入を目指した技術調査や開発を進めてきた。そして屈斜路湖（北海道）で発見された旧日本軍の化学弾の処理を2000年に受注・実施して以来、いろいろな方法で化学兵器処理を行ってきた。なかでも、自社開発した制御爆破処理システム DAVINCHTM（注）によって多くの老朽化した化学兵器・遺棄化学兵器を無害化処理し、また制御爆破処理設備を顧客にも納入してきた。

脚注) DAVINCHは当社の登録商標である。

本稿では当社の DAVINCHTM システムを紹介するとともに、化学兵器と DAVINCHTM システムによる化学兵器処理を概説する。

1. 化学兵器

1.1 化学兵器とは

化学兵器は、広義には化学物質を使って人間を殺傷または無力化するための兵器といえる。毒性の高い現代の化学物質が大量破壊兵器として最初に使用されたのは前述のとおり第一次世界大戦であった。最初は、塩素ガスを風に乗せて敵に向かって流すだけであったが、すぐに有毒な化学物質（化学剤）を充填した砲弾を火炮で発射するなどして効率よく敵陣に届けるようになった。砲弾には弾殻を開いて化学剤を飛散させ、蒸発させるための炸薬（さくやく）などの火薬類も内蔵されている。

その後も化学剤とそれを敵に届ける手段（砲弾、航空機から投下する爆弾など）を各国が競って開発し、化学兵器は急激に多様化した。化学剤として有名なホスゲン（分子式： COCl_2 、NATOコード：CG）やマスタードガス（分子式： $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl})_2\text{S}$ 、NATOコード：HD）な

* エンジニアリング事業部門 CWDセンター プロジェクト部

どが第一次世界大戦中すでに使われていた。さらに第二次世界大戦で旧日本軍は、HDとルイサイト（分子式： $\text{CHCl}=\text{CHAsCl}_2$ ，NATOコード：L）の混合物をさい剤、ジフェニルシアノアルシン（分子式： $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{AsCN}$ ，NATOコード：DC），ジフェニルクロロアルシン（分子式： $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{AsCl}$ ，NATOコード：DA）をあか剤と呼び、大量に製造した。第二次世界大戦後の冷戦下では、さらに毒性が強いサリンやVXなども旧ソ連や米国などで大量に製造・備蓄された。

1.2 化学兵器禁止条約

「化学兵器の開発、生産、貯蔵及び使用の禁止並びに廃棄に関する条約」（以下、化学兵器禁止条約という）は1992年に採択され、1997年に発効した。現在の締約国は193箇国であり、日本は1993年に署名し1995年に批准している。

化学兵器禁止条約では

- ・締約国は化学兵器の開発、生産、取得、保有、移譲及び使用を行わないこと
- ・保有する化学兵器及び化学兵器生産施設を申告し、原則として条約発効後10年以内（2007年4月まで；発効当時）に廃棄すること
- ・締約国からの申告を受け、査察などにより条約の遵守（じゅんしゅ）を検証する機関として化学兵器禁止機関（OPCW）を設立すること

などが定められている¹⁾。

1.3 ストックパイルとノンストックパイル

使わずに備蓄されている化学兵器をストックパイルと呼ぶ。化学兵器禁止条約の発効後、化学兵器を保有する締約国ではストックパイルの処理が進められた。現在までに全世界で約72,000 tの化学剤がOPCWに申告され、そのうち約70,000 t（97%以上）が廃棄された。

これに対し、地中や水中に投棄されていたものや不発弾など、保管されていたもの以外の化学兵器をノンストックパイルと呼んでいる。ノンストックパイルは存在が明らかになっていないものが多く、廃棄が進んでいない。

1.4 老朽化化学兵器と遺棄化学兵器

化学兵器禁止条約では、締約国は自国内の老朽化した化学兵器（以下、老朽化化学兵器という）や他の締約国の領域内に遺棄した化学兵器（以下、遺棄化学兵器という）を廃棄することも定められた。

老朽化化学兵器とは、1925年以前に生産されたもの、または1925～1946年に生産されたもので化学兵器として使用できないまでに劣化したものと定義される¹⁾。日本国内で発見される旧日本軍の化学兵器のほか、ベルギーやフランスなどで発見される第一次世界大戦中の化学兵器がこれにあたる（図1）。

また遺棄化学兵器は、1925年1月1日以降に、ある国が他の国の領域内に当該他の国の同意なく遺棄した化学兵器と定義されている¹⁾。中国で発見される旧日本軍の化学兵器はこれにあたる。

これらの老朽化化学兵器や遺棄化学兵器はほとんどの場合、ノンストックパイルとして発見される。



図1 老朽化化学兵器の例

Fig.1 Examples of old chemical weapons

2. 化学兵器の処理

2.1 種々の処理方法

不発弾となった化学兵器や敗戦国の兵器などの廃棄に際して、過去においては海中に投棄されることが多かった。しかし、海洋投棄が国際的に禁止されたことに加えて、化学兵器禁止条約の発効によって大量のストックパイルを保有する国家が短期間に廃棄する必要に迫られたことなどもあり、種々の処理方法が開発されてきた。主な処理方法には、中和、焼却、爆破がある。

中和法は、反応槽の中で化学兵器の化学剤に処理用の薬剤を混合して化学反応によって分解する処理方法である。また焼却法は、高温の焼却炉で化学剤を燃焼分解する方法である。これら二つの処理方法は化学剤単独の大量処理に適している。このため、タンクなどに貯蔵されたストックパイルの化学剤を廃棄する際に多くの国で使われてきた。米国では1990年からほとんどの化学兵器処理施設で液体焼却炉による大量焼却処理が行われた。最近ではシリアの化学兵器が地中海の米国船上で中和処理されている。当社でも北海道：屈斜路湖（2000年）と神奈川県：寒川（2004年）で旧日本軍の化学剤を中和処理した経験を持つ。

いっぽう、化学剤と火薬類を分離して個別に処理するために化学砲弾や爆弾などを解体することは、化学剤への暴露と火薬類の爆発との二重の危険を伴う。さらに、地中や海中に長期間放置されたノンストックパイルでは砲弾などが腐食・変形しているため、解体が困難である。

2.2 爆破処理法

爆破処理法では弾を爆破することによって化学剤と火薬類の両方を破壊できるため、老朽化化学兵器や遺棄化学兵器などのノンストックパイル化学弾の処理に適している。

爆破処理には加熱爆破と制御爆破の二方式がある。加熱爆破方式では化学弾は加熱爆破炉の中で加熱され、化学剤が熱分解される。さらに、炸薬が点火されて爆燃し、弾殻から放出された熱分解ガスや未分解の化学剤蒸気を後段の二次燃焼炉などのガス処理装置で分解・除去する。加熱爆破炉は後段のガス処理装置と常時連通しているた

め、耐爆性能上、一度に投入できる化学弾の爆薬量への制約が厳しい。いっぽうで弾の炉投入頻度を増やすことによって時間あたりの処理量を増加できるため、比較的小型の弾の大量処理に適している。

制御爆破方式では、化学弾に補助爆薬を取り付けて耐爆性の鋼製密閉容器（爆破チャンバ）の中で爆轟（ばくごう）させ、炸薬と化学剤を破壊する。耐爆性能の高い容器で処理するため大型の弾の処理が可能であること、バッチ処理のため化学弾の破壊を確認しやすく異常発生時に対処しやすいこと、などの利点がある。また、爆破チャンバの大型化・高強度化によって一度に処理できる爆薬量を増加させ、弾の大量処理も可能とすることができる。

当社は、2000年に屈斜路湖で化学爆弾を切断して化学剤を中和処理し、炸薬を爆破処理した実績を持つ。その後、压力容器製造技術を応用した爆破チャンバなどの開発を続け、化学弾を切断することなく処理可能な制御爆破法によるDAVINCH™システムを実用化した。

3. 制御爆破処理

3.1 DAVINCH™システム

DAVINCH™ (Detonation of Ammunition in a Vacuum Integrated Chamber) は当社の制御爆破システムである。その処理プロセスの概要を図2および図3に示す。化学弾に補助爆薬を取り付けて爆破チャンバの中に設置し、爆破チャンバ内を真空ポンプで減圧する。適量の酸素を添加してバルブを閉止し、爆破チャンバを完全に密閉する。その後、遠隔操作によって補助爆薬を起爆し、化学弾を爆破処理する。密閉された爆破チャンバは爆発の圧力や生成ガスを封じ込め、万一未分解の化

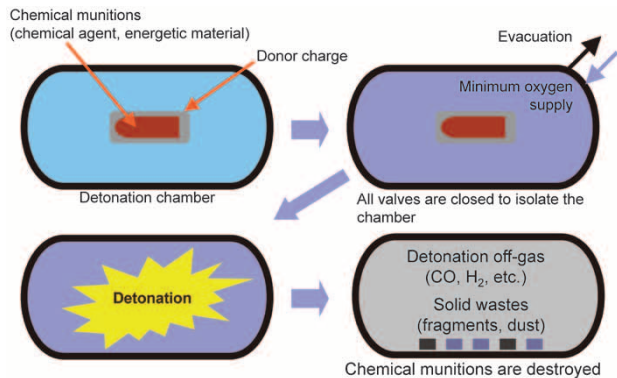


図2 DAVINCH™システムの破壊処理プロセス - (1): 爆破
Fig.2 Destruction process of DAVINCH™ system - (1): detonation

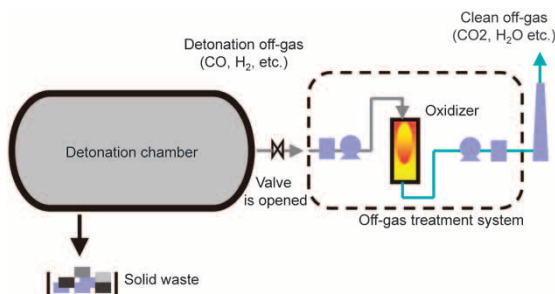


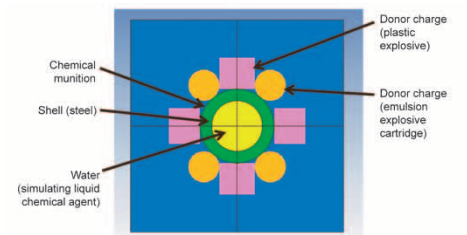
図3 DAVINCH™システムの破壊処理プロセス - (2): オフガス処理
Fig.3 Destruction process of DAVINCH™ system - (2): off-gas treatment

学剤が残っていても環境中に漏らすことはない。減圧下で爆轟させることによって爆破チャンバへの衝撃負荷が緩和され、疲労寿命を延ばすとともに、騒音・振動も軽減される。

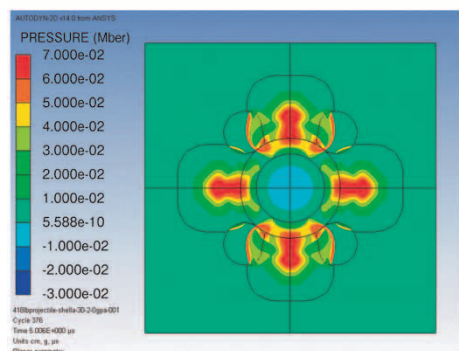
爆破後には水素と一酸化炭素を高濃度に含む爆破生成ガス（オフガス）と弾殻破片やダストなどの固体残渣（ざんさ）とが爆破チャンバ内に残る。爆破チャンバとオフガス処理設備を連結する配管中のバルブが開かれ、オフガスは真空ポンプによって爆破チャンバからオフガス処理設備に送られる。オフガス処理設備においては、オフガス中の粉塵の除去に加えて前述の水素、一酸化炭素などの可燃分を酸化させる。さらに、酸性ガスなどを除去して二酸化炭素、水蒸気、窒素などを成分とする無害な処理済み廃ガスとし、万一化学剤が残留した場合のため活性炭フィルタを通過して大気中に放出する。

3.2 爆破による化学弾の破壊

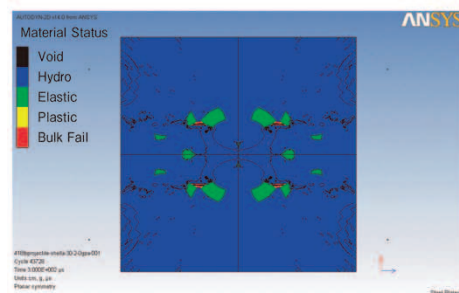
爆薬の爆轟により発生する圧力と温度は、非常に短時間ながらそれぞれ数GPa、数千Kに達する。補助爆薬を起爆すると、爆轟によって発生した衝撃波は弾殻を通過して化学弾内部の化学剤に伝播（でんぱ）し、化学剤分子の化学結合の一部が衝撃波によって切断される²⁾。やがて爆轟から数十～数百μs後に化学弾の弾殻が破碎され、高温・高圧の爆轟生成物に接触することで化学剤は種々の化学反応を起こす。さらに、周囲で長時間（～1



(1) Before detonation (simulation model, cross section of chemical munition with donor charge)



(2) Pressure contour at 5μs after detonation



(3) Material status at 300μs after detonation

図4 爆破処理時の化学弾の挙動の数値解析
Fig.4 Numerical simulation of behavior of chemical munition in destruction by detonation



図5 ベルギー軍プールカペッレ基地に納入した爆破チャンバ
Fig.5 Detonation chamber delivered to Poelkapelle, Belgium

秒程度) 続く高温雰囲気中で熱分解や雰囲気中の酸素との反応などにより、ほぼ完全に分解される。

爆破処理時の化学弾の挙動の数値解析を行った。その一例を図4に示す。図4(1)図はその解析モデルである。爆破前の化学弾に補助爆薬として可塑性爆薬とカートリッジ充填されたエマルジョン爆薬とを取り付けた状態を示す。図4(2)図は、補助爆薬の起爆から約5 μ s後の弾の横断面の圧力等高線図を示しており、弾殻内を衝撃波が伝播していることが分かる。起爆後300 μ sには弾殻は粉々に飛び散っている(図4(3)図)。

弾殻越しに伝わる衝撃波によって炸薬も起爆され、爆轟して消費される。すなわち、補助爆薬を用いた爆破により化学弾は破碎され、危険源であった化学剤や炸薬が無害化されることによって破壊が完了する。

3.3 爆破チャンバ

図5は爆破チャンバの例である。爆破チャンバは円筒の両端に半球または半楕円の鏡板がついた鋼製の容器であり、その一端が蓋として開く構造になっている。蓋と本体は油圧駆動のクランプでフランジを締結することによって密閉される。爆破チャンバは二重の円筒構造になっており、内筒は爆破時に飛散する弾殻の破片から外筒を保護し、外筒は爆破の圧力、ガスを封じ込める役割を持つ。内筒は破片による損傷が限度以上に進んだ時には取り換える。外筒は爆破時のひずみ測定などによって疲労損傷を監視し、余寿命を予測しながら使用する。

4. DAVINCH™システムによる制御爆破処理の実績

4.1 荻田港

福岡県荻田港の海底から、あか剤や、きい剤が充填された第二次世界大戦中の旧日本軍の化学弾が発見された。これを受けて当社は、これらの化学弾約3,000発を2004年から2013年にかけて揚収し、DAVINCH™システムによって処理を行った。また、2017年に再び同海域で化学弾の疑いのある物体が1個発見されたため、同じく当社が2018年から2019年初頭にかけて揚収し、DAVINCH™システムにより処理を行った。

4.2 ベルギー

第一次世界大戦の激戦地であったベルギーでは、今も毎年200トンを超える不発弾が発見・回収されており、そのうち約5%が化学弾であるとのことである。ベルギ

ー国防省は化学弾を解体して処理を行っていたが、解体の困難な弾の処理のためにDAVINCH™システムの採用を決めた。

当社は同国西部のベルギー軍Poelkapelle基地にDAVINCH™設備を納入し(図5)、2008年にベルギー軍が同設備を用いた処理を開始した。2018年末までの通算で、主にDCまたはDAが充填された化学弾約4,400発、ヒ素化合物を含む発煙剤が充填された通常弾9,300発の合計約13,700発が処理され、現在も処理は続けられている。

4.3 フランス

ベルギーと同様に第一次世界大戦の不発弾が数多く発見されるフランスでも、国防省によりMailly-le-campの軍用地でSECOIAという名称の老朽化学兵器処理施設プロジェクトが進められている。DAVINCH™システムがSECOIA施設の中心部に採用され、当社はフランスの元請企業から受注して設備を納入した。現在、元請企業によって処理運転開始に向けて準備が進められている。

4.4 中国遺棄化学兵器処理

中国では第二次世界大戦中に旧日本軍が残した遺棄化学兵器が各地で発見され、日本政府がその処理を行っている。当社は2010年より、南京、武漢、石家庄、ハルビンにおいて移動式のDAVINCH™システムによって処理を実施している。また2014年からは、吉林省ハルバ嶺にて固定式のDAVINCH™システムによって処理を実施しており、近々、大型のDAVINCH™システムも納入して処理を加速することとなっている。

むすび=約100年前に使用が始まった化学兵器は、戦争で非人道的な被害を生み出しただけでなく、現在も各地で不発弾などが発見され住民の生活や環境を脅かしている。そうしたなか、当社が開発したDAVINCH™システムによって、2004年から現在まで国内外で多くの老朽化学兵器、遺棄化学兵器が無事故で処理されてきた。

今後も当社は、爆破チャンバとプロセス・設備の設計を高度化し、化学剤の漏洩(ろうえい)・被曝(ひばく)リスクの最小化、汚染拡散防止などの対策を改善することによって処理の安全性と効率を向上させていく所存である。

参考文献

- 1) Chemical weapons convention. 27 September 2005.
- 2) 松永猛裕ほか. 平成12年度環境保全研究成果集. 環境省, 2001, p.56-1-56-48.



北村 竜介

エンジニアリング事業部門
CWDセンター プロジェクト部