

千葉市の事案における旧軍老朽化化学兵器の無害化処理について

JFE エンジニアリング株式会社
都市環境本部環境プラント事業部
ACW プロジェクトチーム

1. はじめに

弊社は 1997 年、化学兵器禁止条約の発効と時を同じくして旧軍老朽化化学兵器の無害化処理に関する取り組みを開始した。2002 年には基礎研究の成果として、加熱燃焼処理方式を、無害化処理の確実性と作業要員や周辺環境に対する安全性の担保が他方式に比べ優位と判断し、処理プロセスの主設備として選定した。そして、平成 22 年度に、環境省が発注した旧軍老朽化化学兵器の無害化処理等業務を受注した。

本業務はこれまで弊社が培った処理技術をベースとした処理施設の建設に加え、老朽化化学兵器の運搬と実処理運転も含めておこなうものであった。世界初となる加熱燃焼処理方式による旧軍老朽化化学兵器の無害化処理は、平成 24 年 1 月 31 日に開始し、同年 2 月 28 日に無事完了した。以下に処理運転結果等の概要について紹介する。

2. 無害化処理施設の技術的特徴

加熱燃焼処理方式は、加熱燃焼炉内を常に化学兵器処理中 550℃に保持し、排ガスはバッファータンクを経た後に 2 次燃焼炉において 1200℃で 2 秒以上焼却処理した後、クエンチャで急冷してダイオキシン類の合成を抑制し、酸・アルカリのスクラバ、湿式電気集塵機及び HEPA/活性炭フィルタを経てから排気する。このため、化学兵器特有の爆薬と化学剤という 2 つの危険物を、耐爆性と密閉性を有した加熱燃焼炉設備により無害化し、2 次燃焼炉を含む排ガス処理設備により、排ガスも適正に処理するという特徴を有している。今回 176 発の老朽化化学兵器を無害化処理した結果は上記加熱燃焼方式の特徴を証明したものであった。

加熱燃焼方式のもう一つの大きな特徴は、作業要員が介在する作業が限定された安全性の高い合理的な化学兵器の処理システムであることである。加熱燃焼炉への砲弾の投入は自動化されており、作業要員は加熱燃焼炉に投入する専用のダンボール箱にアルミラミネート袋に収納されている砲弾をセットした後、処理設備を退去し、運転は処理設備から離れた制御室で設備全体の処理工程監視と操作を行う。保管容器から取り出した後は、砲弾を取り扱う作業工程が必要ない為、作業要員が化学剤によって汚染される可能性は極めて小さいものと言える。このことは、今回 OPCW の

査察においても、査察官の施設及び処理運転の安全性に対する高評価につながった。

3. 処理概要

千葉市稲毛区で発見・回収された 176 発の化学砲弾（90mm きい弾 116 発、90mm あか弾 60 発）の無害化処理をおこなった。環境省による事前鑑定で、弾種の区分、及び信管と発射装薬が無いことが確認されていた。

環境省の発注仕様書の規定に従い、無害化処理の実施前に、模擬物を使用した試運転に合格してから、実弾を使用した確認試験を実施し、これに合格した後、本格運転に移行した。可否の判定は、環境省担当官が付与し、その後、必要な手続きを行ってから処理を実施した。

3-1 試運転

平成 23 年 12 月 20 日に、無害化処理施設全体の安全性・健全性と要求性能を満足していることを確認する目的で、環境省仕様の 2 体の模擬検体及び弊社自主仕様の 2 体の模擬検体を用いて、無害化処理の試運転を実施し、合格した。

3-2 確認試験

1 月 19 日、きい弾 1 発、あか弾 1 発の実弾を用いて無害化処理施設を運転し、処理後の弾殻及び残

渣を一般財団法人 化学物質評価研究機構に送り、砲弾殻破片、灰分に化学剤(硫黄マスタード、ルイサイト 1 及び 2、DA、DC)が不検出であることを確認した。又、排ガス中の総砒素濃度が 0.05mg/Nm³以下であることを確認し、確認試験に合格した。その後必要な手続きを行った後、1月31日より無害化実処理運転を開始した。

3-3 きい弾の無害化処理実績

1月19日に行った確認試験において処理した1発を除く115発の90mm きい弾を、1月31日～2月27日までの実働20日間で処理した。当初1回あたりの加熱燃焼炉への投入はきい弾の燃焼特性を把握する目的で1発ずつとし、炉内における挙動を把握し、排ガス処理装置側への影響がないことを確認できた時点で投入弾数を2発/回に変更した。1発/回投入と、2発/回投入の回数は下表のとおりである。

分類	砲弾数	投入回数
1発/回投入	8発	8回
2発/回投入	108発	54回

合計=62回の投入

3-4 あか弾の無害化処理実績

1月19日に行った確認試験において処理した1発を除く59発の90mm あか弾を、2月9日～2月28日までの実働14日間で処理した。きい弾と同様、当初1回あたりの加熱燃焼炉への投入は1発で実施し、炉内における挙動を把握し、排ガス処理装置側への影響がないことを確認できた時点で投入弾数を2発/回に変更した。1発/回投入と、2発/回投入の回数は下表のとおりである。

分類	砲弾数	投入回数
1発/回投入	4発	4回
2発/回投入	56発	28回

合計=32回の投入

3-5 1日の作業工程

(1) 砲弾の火薬庫からの搬送と開梱作業

処理対象砲弾は処理施設内に設置した地上式三級火薬庫に保管されており、当日に処理する必要数を火薬庫から取出し、個々に開梱室に運搬した。開梱室では砲弾を金属製保管容器から取出し、

アルミラミネート袋に密封された状態の砲弾を、加熱燃焼炉への投入に使用する専用ダンボール箱へのセットを行った。

この作業は、要員が直接砲弾を扱う唯一の作業工程であり、作業中は制御室から遠隔監視を行い、万一、化学剤の漏洩等の異常があった場合には、適切な処置を含む対応の指示が出来るような体制の下で実施した。なお、処理期間を通じて、化学剤の漏洩を含む異常事態は皆無であった。



写真-1 運搬状況イメージ
(試運転時: 模擬物を使用したもの)

(2) 砲弾投入時間帯

処理砲弾の運搬ならびに投入装置へのセットを完了し、全員が危険管理区域より退出したことを確認した後、制御室より砲弾の投入シーケンスをスタートさせた。日没以降は無害化処理作業を継続しないことという千葉県「火薬類取締法に基づく化学弾の廃棄に係る許可に関する審査基準」に従い、概ね11時頃から15時までに砲弾投入を完了させる必要性があったことから、これを満足する1日の処理発数を設定して運転を実施した。

3-6 スクラップアウト (= 砲弾殻の回収)

原則、月～金曜日を砲弾の処理日とし、土曜日にスクラップアウトを実施した。なお、最後のスクラップアウトについては処理最終日の翌日(2月29日、水曜日)に実施した。スクラップアウトは、以下の手順でおこなった。

- 1) 制御室から遠隔操作で加熱燃焼炉下部の炉本体を所定角度まで回転させ、炉の下に予め設置してあるスクラップボックスに弾殻を落下回収した。

2) 所定時間の後、弾殻が常温まで下がったことを確認した上、化学防護服を装着した要員によりスクラップボックスを引き出し、ボックス内の砲弾殻を回収し、ドラム缶に密封保管した。この際、弾殻の一部をサンプルとして蛍光 X 線分析計で表面砒素濃度を測定した。以上の作業は、化学防護具を装着したモニタリング要員が RAID-M100 携帯型化学剤検知器装備の上、化学剤反応の有無を確認しながら実施した。なお、この検知作業において、全ての弾殻及び残渣物に化学剤の検知反応は無かった。



写真-2 スクラップアウト後にドラムに収納した弾殻

3) 毎回のスクラップアウト時に、弾殻小破片、灰分をビニール袋に回収して密封した後、MINICAMS による化学剤の有無をチェックした。この結果、何れの場合においても硫黄マスタード、ルイサイト 1 及び 2 は不検出 (0.0006mg/m³ 未満) であった。

4. 加熱燃焼処理状況

4-1 きい弾の加熱燃焼処理状況

- (1) 炉内監視カメラ撮影状況及び炉内圧力変化状況から、化学剤又は爆薬が砲弾より漏洩して燃焼している状況を観測した。処理後の弾殻を確認すると、中味が空のものがあることに加え、中味が無い炸薬筒がついたままであるが弾殻の中には残存物が存在しないものがあることから、加熱燃焼により爆薬そのものが溶解、気化してネジ部分から漏洩して燃焼したものと判断される。
- (2) 処理後の弾殻の状況や炉内圧力変化から爆轟は起きておらず、爆燃又は燃焼現象が起きていると判断できる。
- (3) 砲弾の破壊状況は、①一見して原形を留めてい

るように見えるもの、②頭部の炸薬筒がネジ部より飛出しているもの、③弾殻が裂けているもの、の3種類に分類できた。その比率は、原形を留めている砲弾が7割強を占めていた。弾殻が裂けていて、炸薬筒が残存している砲弾が存在することから化学剤の気化による砲弾内の圧力上昇で破壊された可能性が高い。



写真-3 きい弾破壊状況(②のケース)

- (4) 加熱燃焼炉に投入する専用段ボール箱に2発を入れて投入した場合でも、殉爆現象は起きなかった。
- (5) 排ガスの2次燃焼炉においては、上流側の加熱燃焼炉側から排ガスが流入した際に若干の温度上昇が観測された程度であった。
- (6) 燃焼による排ガス洗浄装置での顕著な変化 (pH の急変等) は起きなかった。

4-2 あか弾の燃焼状況

- (1) 全ての砲弾が爆燃現象を起こした。
- (2) 1発を除いて砲弾は破壊された状態であった。



写真-4 あか弾破壊状況

- (3) きい弾と同様に、2 発を同時に投入した場合でも、殉爆現象は起きなかった。
- (4) 排ガス 2 次燃焼炉では、きい弾処理と同様に加熱燃焼炉側から排ガスが流入した際に温度上昇が観測された程度であった。
- (5) 燃焼による排ガス洗浄装置での顕著な変化 (pH の急変等) は起きなかった。

5. モニタリング

5-1 MINICAMS によるモニタリング

- (1) 処理運転中、MINICAMS による連続的なモニタリングを実施した。
- (2) MINICAMS は処理運転前に、硫黄マスタードとルイサイト 1, 2 の検出時間帯を正確に認識する為、一般財団法人 化学物質評価研究機構において、硫黄マスタードとルイサイト 1, 2 の実剤を用いた検量線の校正を行った。
- (3) 測定を行った以下の 5 箇所のサンプリングポイントでは、全期間を通じて、硫黄マスタード、ルイサイト 1, 2 の検出限界値である $0.0006\text{mg}/\text{m}^3$ を下回る未検出レベルであった。
 - ① 開梱室の作業環境空気
 - ② バッファータンク近傍の作業環境空気
 - ③ 排ガス用 HEPA/活性炭フィルタ中間段の排ガス
 - ④ 排気筒手前の配管部の排ガス
 - ⑤ 換気用 HEPA/活性炭フィルタ中間段の換気空気

5-2 大気環境モニタリング

- (1) 砲弾の無害化処理を実施中の 2 月 15 日午後 1～2 時にかけて、無害化処理施設を覆う第 2 コンテインメントの四周 4 箇所で、硫黄マスタード、ルイサイト 1, 2 に関する大気環境モニタリングを実施した。サンプリング及び分析は、一般財団法人 化学物質評価研究機構が実施した。
- (2) 分析結果は、硫黄マスタード、ルイサイト 1, 2 とも検出下限値未満であった。なお、硫黄マスタードの定量下限は $0.00002\text{mg}/\text{m}^3$ 、ルイサイト 1, 2 は何れも $0.003\text{mg}/\text{m}^3$ である。

5-3 排ガス中総砒素濃度測定

- (1) 無害化処理運転期間においては、毎日、実際に砲弾を処理している時間帯に排ガス中の砒素又は砒素化合物の濃度測定の為のサンプリングを行った。サンプリング及び分析は JFE テクノリサーチ (株) が実施した。
- (2) 分析結果は、全てのサンプルにおいて、検出下限値の $0.002\text{mg}/\text{Nm}^3$ 未満であった。

5-4 廃水中の化学剤

スクラバ廃水中の化学剤の有無の確認は、運転期間中、廃水を廃水タンクからドラム缶にポンプ圧送する度に、合計 7 回サンプリングし、一般財団法人 化学物質評価研究機構に送り、測定を行った。その結果、硫黄マスタード、ルイサイト 1, 2、DA、DC は不検出であった。なお、ここで不検出とは以下を意味するものである。

硫黄マスタード	0.01mg/L 未満
ルイサイト 1 及び 2	0.002mg/L 未満
DA 及び DC	0.01mg/L 未満

また同時に回収した廃水を JFE テクノリサーチ (株) に送り、総砒素濃度分析を行った結果、運転開始当初の 55ppm から処理終了間際には 2200ppm の総砒素を検出した。

6. 終わりに

加熱燃焼処理方式による旧軍老朽化学兵器の無害化処理は国内初の実施事例であり、処理運転期間中の全日程において、環境省ご担当者の立会、ご指導のもと、慎重に処理を行った。この結果、無事に全ての砲弾の無害化処理を安全に完了させることが出来た。この文面で改めて関係者に謝意を表すものである。