

令和 2 年度化学物質規制対策事業
(特定物質危機管理体制構築事業)
報告書

令和 3 年 3 月

一般財団法人化学物質評価研究機構

令和2年度化学物質規制対策事業
(特定物質危機管理体制構築事業)報告書

目 次

はじめに

第1章 目的と概要 1

第2章 調査

第1節 調査対象物質 2

第2節 情報収集調査：文献等による廃棄方法の調査 7

おわりに 11

添付資料：参考文献及び資料 12

はじめに

平成 16 年 6 月 18 日武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律(国民保護法)¹⁾が制定された。

国民保護法では第 102 条において下記のいずれかに該当する施設を「生活関連等施設」として武力攻撃事態等において、武力攻撃災害の発生又はその拡大を防止するため、都道府県知事は当該都道府県の区域内に所在する生活関連等施設の安全の確保が特に必要であると認めるときは、関係機関の意見を聴いて、当該生活関連等施設の管理者に対し、当該生活関連等施設の安全の確保のため必要な措置を講ずるよう要請することができるとしている。

1. 国民生活に関連を有する施設で、その安全を確保しなければ国民生活に著しい支障を及ぼすおそれがあると認められるもの
2. その安全を確保しなければ周辺の地域に著しい被害を生じさせるおそれがあると認められる施設

国民保護法に基づき経済産業省は平成 17 年 12 月に「経済産業省・資源エネルギー庁・中小企業庁国民保護計画」²⁾を策定した(最終改正令和 2 年 12 月)。この国民保護計画では生活関連等施設に該当する施設のうち武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律施行令(国民保護法施行令)³⁾第 28 条第 11 号に規定する毒性物質(化学兵器の禁止及び特定物質の規制等に関する法律(化学兵器禁止法)⁴⁾第二条第一項の毒性物質(同法第七条第一項の許可製造者、同法第十二条の許可使用者、同法第十五条第一項第二号の承認輸入者及び同法第十八条第二項の廃棄義務者並びに同法第二十四条第一項から第三項まで(同法第二十六条及び第二十七条において準用する場合を含む。))又は同法第二十八条の規定による届出をした者が所持するものに限る。))の取扱所(以下「生活関連毒性物質取扱所」という。)について次のように定めている。

武力攻撃事態等において製造産業局は、生活関連毒性物質取扱所について、化学兵器禁止法第 2 条第 3 項に規定する特定物質並びに同条第 5 項に規定する第一種指定物質及び第二種指定物質の区分に応じ、それぞれの保有量等にかんがみ武力攻撃災害の発生を防止するため必要があると認めるときは、以下のとおり対処するものとする。

A. 特定物質の取扱所

- ア. 武力攻撃予測事態においては、特定物質の保有状況その他の必要な情報を収集するとともに、安全確保措置の徹底を要請する。また、生活関連毒性物質取扱所に対し、保有する特定物質の廃棄の準備等を要請するとともに、その対応状況の報告を求める。
- イ. 武力攻撃事態においては、特定物質の保有状況その他の必要な情報を収集する。また、

生活関連毒性物質取扱所に対し、保有する特定物質の任意の廃棄又は命令による廃棄の準備を要請するとともに、その対応状況の報告を求め、その内容を国民保護対策本部及び必要に応じ都道府県その他の関係機関に報告する。

- ウ. 武力攻撃事態等において、毒性物質に係る武力攻撃災害の発生を防止するため緊急の必要があると認めるときは、国民保護法第 103 条第 3 項の規定に基づき、必要と認める生活関連毒性物質取扱所の管理者に対し、保有する特定物質の廃棄を命令するとともに、その対応状況の報告を求め、その内容を国民保護対策本部及び必要に応じ都道府県その他の関係機関に報告する。あわせて、生活関連毒性物質取扱所の被害の有無その他の必要な情報を収集する。
- エ. 生活関連毒性物質取扱所に係る武力攻撃災害が発生したときは、当該生活関連毒性物質取扱所の管理者に対する指導、助言、職員の派遣、関係機関への連絡等、被害の拡大防止及び応急の復旧のための措置を適確かつ迅速に講ずる。
- オ. 緊急の必要がなくなつたと認めるときは、ウに定めるところにより発出した特定物質の廃棄命令を直ちに解除する。

なお、武力攻撃及び武力攻撃事態とは武力攻撃事態等及び存立危機事態における我が国の平和と独立並びに国及び国民の安全の確保に関する法律(平成 15 年 6 月 13 日法律第 79 号)⁹⁾に以下のように定義されている。

1. 武力攻撃 我が国に対する外部からの武力攻撃をいう。
2. 武力攻撃事態 武力攻撃が発生した事態又は武力攻撃が発生する明白な危険が切迫していると認められるに至った事態をいう。

つまりテロ行為等の武力攻撃事態が生じた際には化学兵器禁止法に定められた特定物質(化学剤・毒ガス)を管理する特定物質の取扱所が攻撃の対象となる可能性があり、万一特定物質が漏洩した場合や、略奪された場合は国民生活に著しい支障を及ぼすおそれがある。そのため特定物質取扱事業所における不要不急な特定物質の廃棄を推進することが必要である。そこで本事業では化学兵器禁止法に規定する特定物質について特性、保持状態・量等を踏まえた上で、国内外の文献等に記載されている廃棄方法の安全性及び信頼性を理論的に検討した。

令和 3 年 3 月

第1章 目的と概要

1. 目的

我が国の化学物質取扱事業所は、環境保全・産業保安面において、法令の遵守と自主管理による世界最高水準の汚染・事故防止措置(安全管理)を実施し、効果を上げている。しかし、その一方、2001年9月11日のアメリカにおける同時多発テロ以降の世界的なテロによるリスクの増大などを踏まえれば、我が国においてもこのような非常事態に適確に対応するために、従来の事故や災害に対応する安全管理体制に加えて、テロリスト等による破壊行為等を想定した危機管理体制を整備し、国民の安全・安心をより確実なものとする必要がある。

かかる認識の下、武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律(以下「国民保護法」という。)に基づく経済産業省国民保護計画の対象である化学兵器の禁止及び特定物質の規制等に関する法律(以下「化学兵器禁止法」という。)に規定される特定物質について、テロリストによる盗難、武力攻撃等による流出、漏洩等を未然に防止するため、特定物質取扱事業所における不要不急な特定物質の廃棄を推進することが必要である。このため本事業では、特定物質の廃棄方法に関する情報収集を行った。

2. 事業の概要

化学兵器禁止法に規定する特定物質に関連した、近年の当該物質の適確な廃棄及び分析方法に関する国内外の先行研究等について、各種文献の調査及びWebセミナー等への参加により情報を収集した。

第2章 調査

第1節 調査対象物質

本調査では化学兵器の禁止及び特定物質の規制等に関する法律施行令⁶⁾別表の第三欄(毒性物質;表1A 剤)に規定される毒性物質(29 物質)より、経済産業省担当官と協議の上、国内における保有量、許可使用者数、使用実績及び化学剤の特性等を勘案して表1.1に示す6 物質(レイサイト及び窒素マスタード)を選択した。

表 1.1 調査対象物質

化兵法 No.	化兵法での名称	CWC 分類	分類
14	二クロロビニルジクロロアルシン (別名レイサイト一)	表 1A.05	びらん剤
15	ビス(二クロロビニル)クロロアルシン (別名レイサイト二)	表 1A.05	
16	トリス(二クロロビニル)アルシン (別名レイサイト三)	表 1A.05	
17	ビス(二クロロエチル)エチルアミン (別名 HN 一)	表 1A.06	びらん剤
18	ビス(二クロロエチル)メチルアミン (別名 HN 二)	表 1A.06	
19	トリス(二クロロエチル)アミン (別名 HN 三)	表 1A.06	

1. ルイサイト

ルイサイト(L)は化学兵器禁止条約(CWC)⁷⁾では表 1A.05 に分類され、皮膚に接触すると炎症を起こす有機ヒ素化合物のびらん系化学剤である。イギリスで生産された化学剤としての L の構成は 90%のルイサイト 1(L1)、9%のルイサイト 2(L2)及び 1%のルイサイト 3(L3)とされる^{8,9)}。表 1.2～表 1.4 にルイサイト類の情報を示す。なお、L2 及び L3 については物性的及び化学的性質に関する情報が得られなかった。

表 1.2 ルイサイト 1 の情報

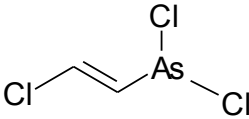
名称 / 一般名	2-Chlorovinylchloroarsine / ルイサイト 1	
コード	L1	
構造式		
CAS RN	541-25-3	
物理的及び 化学的性質 ¹⁰⁾	性状	無色から紫黒、緑、琥珀色、または暗褐色 油性液体
	におい	ゼラニウムの匂い
	沸点	190℃
	融点	0.1℃
	蒸気圧	0.58 mm Hg (25℃)

表 1.3 ルイサイト 2 の情報

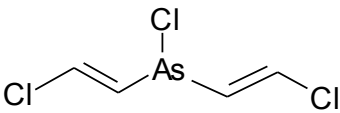
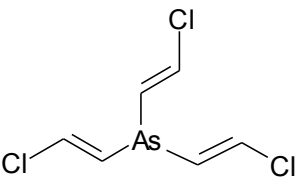
名称 / 一般名	Bis(2-Chlorovinyl)chloroarsine / ルイサイト 2	
コード	L2	
構造式		
CAS RN	40334-69-8	

表 1.4 ルイサイト 3 の情報

名称 / 一般名	Tris(2-Chlorovinyl)arsine / ルイサイト 3
コード	L3
構造式	
CAS RN	40334-70-1

2. 窒素マスタード

窒素マスタード(HN)は CWC では表 1A.06 の窒素マスタード類に分類される。皮膚に接触すると炎症を起こすびらん剤であるが、化学兵器として使用されたことはないとされる¹⁰⁾。他にびらん剤としては硫黄マスタード類及びレイサイト類がある。表 1.5～1.7 に窒素マスタード類の情報を示す。

表 1.5 窒素マスタード類の情報-1

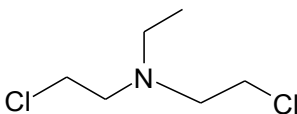
名称	Bis(2-chloroethyl)ethylamine	
コード	HN-1	
構造式		
CAS RN	538-07-8	
物理的及び化学的性質 ¹⁰⁾	性状	無色から淡黄色の油性液体
	におい	かすかな魚臭又はかび臭いにおい
	沸点	194℃
	融点	-3.4℃
	蒸気圧	0.25 mm Hg (25℃)

表 1.6 窒素マスタード類の情報-2

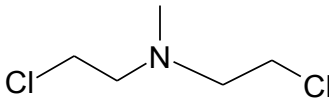
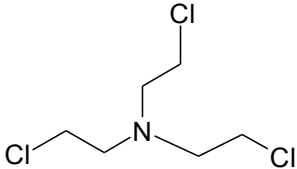
名称	Bis(2-chloroethyl)methylamine	
コード	HN-2	
構造式		
CAS RN	51-75-2	
物理的及び化学的性質 ^{10,11)}	性状	淡い琥珀色から黄色の油性液体
	におい	果実臭(高濃度) 石鹼又は魚臭(低濃度)
	沸点	87℃ (18 mm Hg)
	融点	-60℃
	蒸気圧	0.17 mm Hg (25℃)

表 1.7 窒素マスタード類の情報-3

名称	Tris(2-chloroethyl)amine	
コード	HN-3	
構造式		
CAS RN	555-77-1	
物理的及び化学的性質 ^{10,11)}	性状	無色から淡黄色の液体
	におい	純粋なものは無臭
	沸点	144°C (15 mm Hg)
	融点	-4°C
	蒸気圧	0.0109 mm Hg (25°C)

第2節 情報収集調査：文献等による廃棄方法等の調査

1. 文献調査

化学剤廃棄方法の安全性及び信頼性は以下の観点から評価される^{12,13)}。

- ・ 目的とする化学剤が迅速かつ確実に分解されること
- ・ 化学剤の分解物の毒性が低いこと
- ・ 有害な廃棄物を生じないこと
- ・ 爆発や火災などの危険性が少ないこと
- ・ 廃棄に用いられる薬剤等の毒性が低いこと

化学剤廃棄のための処理技術は熱処理技術と化学的処理技術に大別される^{12,13)}。熱処理技術には燃焼処理法、輻射熱式分解法、プラズマトーチ法、溶融媒体熱処理法、高温水素ガス還元処理法、密閉容器内爆発処理法、地中爆発処理法がある。このうち燃焼処理法は炉内で化学剤等を燃焼させる技術であり、処理対象物の状態、必要な燃焼温度等に応じて数種類の炉が用いられる。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。焼却処理法は、米国における化学剤処理の中心技術として適用され、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た。

焼却処理法は実際の処理に採用された実績があり、信頼性が高い方法である。

一方、化学的処理技術には中和法、超臨界水酸化法、電気化学酸化法、溶融和還元処理法、ナトリウム還元処理法がある。中和法では水酸化ナトリウムなどのアルカリ及び次亜塩素酸ナトリウム溶液等が一般に用いられる。

【調査方法】

上記内容を踏まえ、ルイサイト及び窒素マスタードに係る廃棄方法に関する国内外の先行研究及び実証例を中心に、無害化方法、分析方法、除染方法、分解物等に係る情報を文献等から幅広く収集した。情報収集に当たっては下記に示す科学情報検索用データベース等を活用した。

- | | |
|--------------------------|---|
| 1) STN on the web : | https://stnweb-japan.cas.org/ |
| 2) Free Patents Online : | http://www.freepatentsonline.com/ |
| 3) Google Scholar : | http://scholar.google.co.jp/schhp?hl=ja |
| 4) J-GLOBAL : | https://jglobal.jst.go.jp/ |

1.1 ルイサイト(L)

Lを含有する可能性のある砲弾を無害化処理するための施設では、熱燃焼炉を用いた加熱燃焼処理法が採用されている。Lなどのヒ素化合物の大規模設備での処理

は高温加熱炉での燃焼分解であり、全てのヒ素は無機化される。生成したヒ酸は不溶化処理されるが、燃焼過程で生じた亜ヒ酸微粒子は HEPA フィルターなどで除去する必要がある¹⁴⁾。また、L は燃焼すると非常に毒性の高い三酸化ヒ素を生成するため¹⁷⁾、一般的な焼却炉における処理は困難である。

L1 及び L2 は容易に加水分解されるためアルカリ溶液などによる化学的処理が有効であると考えられる。L1 は加水分解により 2-クロロビニル亜アルシン酸(CVAA)となり、さらに CVAA が酸化されると 2-クロロビニルアルソン酸(CVAOA)となる⁹⁾。また、CVAA は分子内脱水を起こし 2-クロロビニルアルシンオキシド(CVAO)となる。CVAA 及び CVAO にはびらん性があるため、廃棄には注意が必要である⁸⁾。また、L2 は加水分解によりビス(クロロビニル)亜アルシン酸(BCVAA)となる。一方、L3 は比較的不活性で、水などの求核試薬とは反応しない⁹⁾。図 2.1 にルイサイト類の分解生成物の構造式を示す。

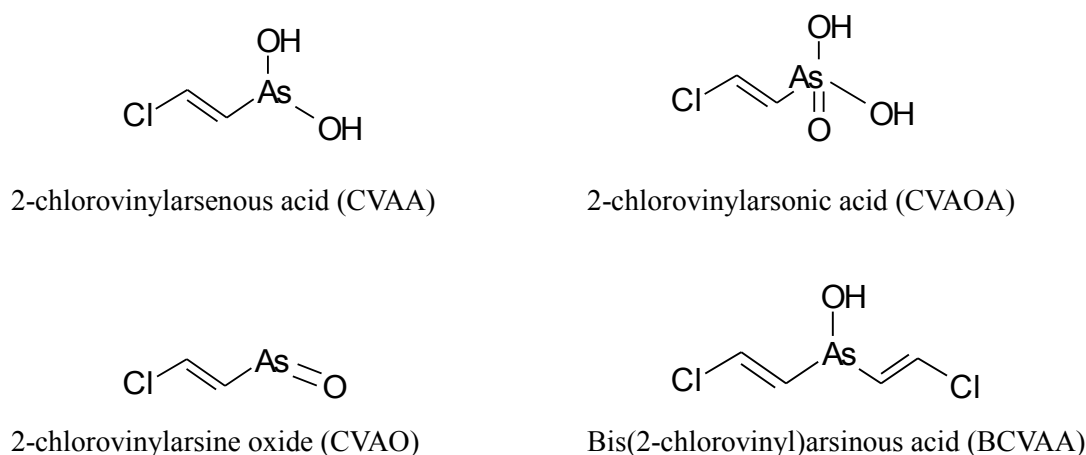


図 2.1 ルイサイト類の分解生成物

古川ら¹⁵⁾は、L 及び硫黄マスタードを重量比 1 : 1 で混合した試料と、屈斜路湖で発見されたきい爆弾より採取された実剤を対象として、加水分解及び Fenton 酸化分解実験を実施している。実験では、L 及び硫黄マスタードは温度 90℃程度の水酸化ナトリウム溶液(濃度 8～12%)中で容易に加水分解され、その分解率は 99.99%以上を達成したと報告している。また、この分解液に Fe²⁺触媒 (FeSO₄または FeCl₂)及び 30%過酸化水素水を加え、酸化分解反応を行うことにより、分解率は 99.9999%以上を達成できることを確認している。

Robert¹⁶⁾ は L やマスタードの安全な分解方法として米国の特許を取得している。この方法は、L と過酸化水素を 50～90℃に加熱しながら反応させることで酸化物を生成し、触媒により過酸化水素を分解後、アルカリ条件下で酸化物を無機ヒ素化合物

物まで分解するものである。この方法には化学剤と分解液を循環させる特別な装置が必要であるため、取扱所における分解方法としては適さない。

Harry⁸⁾らは3種の建材(木材、金属及びガラス)に塗布されたLの分解実験を報告している。分解液として4種(家庭用漂白剤(4～6%次亜塩素酸ナトリウム液原液及び10倍希釈液)、3%過酸化水素水及びDF200(塩化ベンザルコニウム、過酸化水素及びジアセチンを含む))を比較検討しており、Lに対しては家庭用漂白剤原液、過酸化水素水及びDF200が効果的であった。

1.2 窒素マスタード(HN)

早川のレビュー¹⁷⁾においては、窒素マスタードの除染方法として「さらし粉水溶液、水」との記載がある。また、瀬戸¹⁹⁾により、窒素マスタード類は塩基性水溶液中で加水分解されることが報告されている。各種のアルカリ性試薬は入手が容易であるため、試験室レベルでの分解処理に適していると考えられる。

燃焼処理については、HN-3熱分解時の挙動を熱力学的モデルで検討した文献¹⁹⁾がある。この報告では、硫黄マスタードの分解温度(790 K)と比較して低い温度(690 K)でHN-3が塩酸やエチレン等に分解されることが示されており、加熱による分解も有効な処理方法になり得ると考えられた。

加水分解、燃焼処理以外の分解処理方法としては、平成22年度化学物質安全確保・国際規制対策推進等(特定物質危機管理体制構築事業)の調査¹²⁾において、ナトリウムメトキシドによる処理や、爆発処理などが確認されたが、いずれも試験室での運用においては、安全性や試薬入手の観点から、加水分解、及び燃焼処理と比較して汎用性に劣ると考えられる。

なお、本年度事業における調査においては、硫黄マスタード等の化学兵器関連物質を酸化金属触媒で分解する方法を検討した文献²⁰⁾において、窒素マスタードへ同方法が適用できる可能性を示唆する記述があったが、実際の試験についての報告は確認できなかった。

2. Web セミナーへの参加

化学兵器禁止法に規定する特定物質に関連した情報収集のため、一般財団法人安全保障貿易情報センターの主催する Web セミナー「2020 年度 安全保障貿易管理分野別研修会 Web ライブ配信セミナー<生物・化学兵器製造装置関連>」に参加した。セミナーは 3 つのテーマについての説明であった。各テーマの概要を次に示す。

①最近の生物・化学兵器拡散の動向

- ・生物・化学(BC)兵器の概要
- ・BC 兵器に関わる最近のトピックス ～非在来型化学兵器物質：ノビチョク
- ・化学兵器禁止条約附表 1 剤の追加
- ・結びに～安全保障貿易管理への影響

②生物兵器製造装置 Part.1～Part.3

- ・物理的封じ込めに用いられる装置
- ・物理的封じ込め施設において用いられる防護のための装置
- ・その他、生物兵器製造用途で利用できる各種装置について

③化学兵器製造装置 Part.1～Part.2

- ・反応器、貯蔵容器
- ・熱交換器もしくは凝縮器
- ・焼却装置
- ・その他、化学兵器製造用途で利用できる各種装置について

セミナーにおいて最近のトピックスとして紹介されたノビチョクについては、新規に化学兵器禁止条約に追加され、また今後の研究により更に関連物質等についての規制が進むと考えられる。毒性が強く、取り扱いが容易であることから、今後テロ等に用いられる危険性は否定できず、我が国においても常に最新の情報を収集し、対応を検討しておく必要があると考えられる。

化学兵器製造装置の説明において、分解技術に関連する情報として焼却装置の説明があった。「輸出貿易管理令別表第一及び外国為替令別表の規定に基づき貨物又は技術を定める省令」において、使用中における燃焼室の平均温度が 1,000℃を超えるものについては届出が必要と定められているが、一般的な化学製剤を分解できる基準の温度として 1,000℃を設定しているものと考えられた。説明において示された一般的な焼却装置のフローにおいては、焼却炉の後段に水による冷却部、及びアルカリ処理による除外部が設けられており、焼却後の残留物・生成物を確実に捕集・分解できる構造となっていた。試験室における焼却処理においても、燃焼により生成したガスはスクラバー等の排気処理装置により確実に処理することが必要と考えられる。

おわりに

化学兵器禁止法に規定する特定物質のうち、国内における保有量等を勘案して 6 物質 (びらん剤であるルイサイト及び窒素マスタード) を選択し、当該物質の適確な廃棄方法 を確立するため、国内外の文献等に記載されている廃棄方法を調査・検討した。平時及 び緊急事態時において特定物質を適確に処理するため、今後も情報収集を継続すること が重要と考えられる。

参考文献

- 1) 武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律(平成 16 年法律第 112 号) <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=416AC0000000112>
- 2) 経済産業省・資源エネルギー庁・中小企業庁国民保護計画(平成 17 年 12 月) https://www.meti.go.jp/intro/data/pdf/ene_sme_protection2012.pdf
- 3) 武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律施行令 <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=416CO0000000275>
- 4) 化学兵器の禁止及び特定物質の規制等に関する法律(平成 7 年 4 月 5 日法律第 65 号) https://elaws.e-gov.go.jp/document?law_unique_id=407AC0000000065_20190914_501AC0000000037
- 5) 武力攻撃事態等及び存立危機事態における我が国の平和と独立並びに国及び国民の安全の確保に関する法律(平成 15 年 6 月 13 日法律第 79 号) <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=415AC0000000079>
- 6) 化学兵器の禁止及び特定物質の規制等に関する法律施行令(平成 7 年 5 月 1 日政令第 192 号) <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=407CO0000000192>
- 7) Chemical Weapons Convention(化学兵器禁止条約) <http://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/download-the-cwc/>
- 8) Harry Stone et al., Surface decontamination for blister agents Lewisite, sulfur mustard and agent yellow, a Lewisite and sulfur mustard mixture, Journal of Hazardous Materials, 314 (2016) 59-66
- 9) Oliver Terzic et al., Determination of Lewisites and their hydrolysis products in aqueous and multiphase samples by in-sorbent tube butyl thiolation followed by thermal desorption-gas chromatography-full scan mass spectrometry, Journal of Chromatography A, 1304 (2013) 34-41
- 10) The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) Emergency Response Safety and Health Database <https://www.cdc.gov/niosh/ershdb/>
- 11) Hazardous Substance Data Bank (HSDB) <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- 12) 平成 22 年度 化学物質安全確保・国際規制対策推進等(特定物質危機管理体制構築事業)報告書, 平成 23 年 2 月, 一般財団法人化学物質評価研究機構
- 13) 平成 23 年度 化学物質安全確保・国際規制対策推進等(特定物質危機管理体制構築事業)報告書, 平成 24 年 2 月, 一般財団法人化学物質評価研究機構
- 14) 貝瀬, 木下, ヒ素を含む化学剤の処理並びに分解技術, YAKUGAKU ZASSHI, 129(1) 45-51, 2009
- 15) 古川, 仲程, 中国の遺棄化学兵器の処理にあたって, ファルマシア, 40(3) 235-239,

2004

- 16) Robert A. Ritter. Chemical destruction of toxic organic compounds. U.S. Patent 5,545,799. Aug. 13, 1996
- 17) 早川, 環境汚染物質の分解・処理について, YAKUGAKU ZASSHI, 129(1) 35-43, 2009
- 18) Seto, Research and Development of On-site Decontamination System for Biological and Chemical Warfare Agents, Journal of Health Science, 57(4) 311-333, 2011
- 19) Juan-Carlos Lizardo-Huerta et.al., Kinetic Modeling of the Thermal Destruction of Nitrogen Mustard Gas, J. Phys. Chem. , 121, 3254-3262, 2017
- 20) Vaclav Stengl et.al. , From the Decomposition of Chemical Warfare Agents to the Decontamination of Cytostatics, Ind. Eng. Chem. Res., 57, 2114-2122, 2018