

環境汚染物質の分解・処理について

早川 和 一

Decomposition and Treatment of Environmental Pollutants

Kazuichi HAYAKAWA

*Institute of Medicine, Pharmacy and Health Sciences, Kanazawa University,
Kakuma-machi, Kanazawa 920-1192, Japan*

(Received August 15, 2008)

The wastes, which have explosiveness, toxicity, infectious, and possibility to cause damage to other people's health and environments, are provided the special management municipal wastes or the special management industry wastes. All the treatment processes from collection to disposal is done under strict management. In this report, we focus on the inorganic and organic experimental waste fluid and the infectious waste among the special management municipal waste or industry waste, because of the similar toxic and chemical characteristics to that of biological and chemical weapons. Understanding how the decomposition and treatment of these wastes are actually done, we clarify the issues of the hazardous waste management and discuss on the possibility to develop the new degradation and treatment method for biological and chemical weapons.

Key words—waste management; decomposition treatment; chemical weapon; biological weapon

1. はじめに

われわれの多くは、生物化学剤（あるいは兵器）は戦争やテロで使用されるものと思っており、日常の生活において身近に感じている人は多くないであろう。しかし、大学などの実験施設や工場の中には、生物化学剤と同一、あるいは類似の薬品類を使用することがあり、その場合は廃棄物として排出される。したがって、生物化学剤の分解・処理の課題は、廃棄物の処理にも共通する事項である。そこで本稿では、廃棄物のうち、特に生物化学剤に共通性が高い無機系実験廃液と有機系実験廃液、感染性廃棄物に焦点を合わせて、実際にこれらの分解・処理がどのように行われているかを理解することにより、生物化学剤の分解・処理の課題を考えてみたい。

2. 廃棄物（環境汚染物質）の分解・処理の実際

わが国の廃棄物は、生活系と事業系から出る一般廃棄物と産業系から出る産業廃棄物に大別される。前者は市町村に、後者は排出業者に管理責任があ

る。その後、これら廃棄物の中に、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康や生活環境に係わる被害を生じる恐れがあるものが混じるようになったため、現在は、これらを特別管理一般廃棄物、特別管理産業廃棄物と定めて、収集から処分まですべての過程において厳重な管理の下で行うことにしている (Fig. 1).¹⁾ 生物化学剤に関連するものは、特別管理一般廃棄物、特別管理産業廃棄物に分類されることになる。

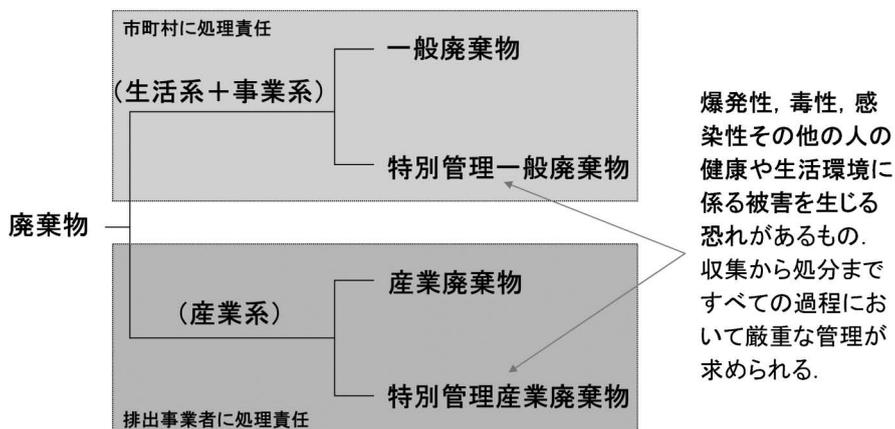
しかし、これら廃棄物の処理は、性善説に基づいて成立する。すなわち、排出者が正しく分類をして、正しい容器で、正しい場所に出してくれることを前提にしている。およそ、ふとどき者の不法投棄や怠け者のゴミ出しに対応できない。ましてや、テロ行為は想定しておらず、生物化学剤がゴミに紛れて出されたとしたら、収集業務者の安全対策は全くなされていない。

工場や大学の実験室では、薬品の使用や保存、廃棄の過程を把握し、環境汚染を含む事故を防ぐために、コンピュータによる薬品の管理システムが導入されている所が多い。金沢大学を例にすると、Fig. 2 のようである。²⁾ 1) 注文した薬品の納入時に容器毎に番号シールを貼付けて、薬品の登録を行う。2)

金沢大学医薬保健研究域薬学系衛生化学研究室 (〒920-1192 金沢市角間町)

e-mail: hayakawa@p.kanazawa-u.ac.jp

本総説は、日本薬学会第128年会シンポジウム S10 で発表したものを中心に記述したものである。



廃棄物の定義：自ら利用したり他人に有償で譲り渡すことができないために不要になったものであって、ごみ、粗大ごみ、燃え殻、汚泥、糞尿などの汚物又は不要物で、固形状又は液状のもの。(廃棄物処理法、平成15年12月改正施行)

Fig. 1. Classification of Waste

担当	各 部 局			環境保全センター	産業廃棄物処理業者
	担当係	各部/各研究グループ			
薬品の流れ/処理	<p>受入</p> <p>登録</p> <ul style="list-style-type: none"> 薬品容器番号シール貼付 	<p>使用</p> <p>返却</p> <ul style="list-style-type: none"> 薬品の使用状況の入力 薬品/化学物質の使用量、使用記録等の集計問合せ 	<p>廃液容器・廃棄物番号シール貼付</p> <p>廃液容器 (9分類) 廃棄物 (8分類)</p> <p>収集</p> <ul style="list-style-type: none"> 廃液容器の状態確認 廃棄物の搬出依頼 	<p>廃液容器の引取り</p> <p>運搬収集</p> <p>処分</p> <p>工場</p> <p>最終処理</p> <p>最終処分場</p>	
ソフトウェアの処理	<p>薬品の登録</p> <ul style="list-style-type: none"> 登録薬品の追加・変更 薬品名 物質番号 CAS-No MSDS 取扱説明書 有害性情報 関係法規制 	<p>薬品の使用</p> <p>薬品の返却</p> <p>集計/問合せ</p> <ul style="list-style-type: none"> 化学物質排出量移動量 薬品取扱量 廃液取扱量 薬品使用簿他 	<p>廃液の搬出</p> <p>廃液容器管理</p> <p>容器番号の登録</p>	<p>廃液容器管理</p> <ul style="list-style-type: none"> 廃液容器の引取り処理 処理済み容器番号の削除 <p>集計/問合せ</p> <ul style="list-style-type: none"> 排出移動量 薬品保管量 廃液取扱量他 	<p>マニフェスト管理</p> <ul style="list-style-type: none"> 登録 更新・削除 <p>マニフェスト集計</p> <ul style="list-style-type: none"> 処理状況報告 特管 処理状況 未回収報告

Fig. 2. Kanazawa University's Management System of Chemicals —From Registration to Discard—

実験で薬品を使用するたびに、容器毎の使用量を入力する。3) 実験で使用した薬品を含む廃棄物 (液) が出るたびに、廃液容器に番号シールを貼付けて、廃液の登録を行う。4) 廃液は、登録番号に従って環境保全センターが引き取り、そこで処理するか、処理できないものは産業廃棄物処理業者にマニフェストを付して依頼する。こうしたシステムの導入により、薬品の管理が徹底され、学生を含む実験者の意識が向上した。また、PRTRに必要なデータの集計なども容易になった。しかし、このシステムも

性善説に基づいて成立する訳で、未登録の薬品を排水に流してしまったら、その原因を特定することは容易ではない。

一般に廃棄物の処理は、1) 燃焼して大気に放出する (ゴミ焼却場)、2) 処理 (中和・希釈・分解など) して河川あるいは海洋に放流する (下水処理場)、3) 焼却できないものや放流できないものは埋める (最終処分場)、4) 処理できないものは現場保存するなどの方法が取られる。廃棄物の中でも、爆発性、毒性、感染性その他の人の健康や生活環境に係

Table 1. Kanazawa University's Classification of Inorganic Waste Water

分類	廃液の内容	容器の色, 貯留量	注 意 事 項
1	水銀及びその化合物 無機水銀, 有機水銀及びその化合物 (酸性)	グレイ 16 l	3 回目までの洗浄廃液を含める。pH 2 以下にて貯留する。 沈殿物はろ過する。→別途「水銀系スラッジ類」として保管, 処理依頼→センターにて適時収集 <ul style="list-style-type: none"> 有機水銀とその化合物: 原則として有機物は原点処理 (注 1) する。分離不可能なときには有機物は 3% 以下にする。 金属水銀, アマルガム等: 密閉容器に保管する。別途水銀系スラッジ類として処理依頼→センターにて適時収集
2	酸, クロム及び重金属 クロム, 鉛, 銅, 亜鉛, カドミウム, 鉄, マンガン, 銀, コバルト, ニッケル等及びその化合物, 塩酸, 硫酸, 硝酸等の無機酸類 (酸性)	赤 16 l	3 回目までの洗浄廃液を含める。pH 4 以下にて貯留する。 沈殿物はろ過する。→別途「非水銀系スラッジ類」として保管, 処理依頼→センターにて適時収集 <ul style="list-style-type: none"> 有害物質を含まない塩酸, 硫酸及びそれらのアルカリ塩等: 特に濃厚 (5% 以下) 又は多量でない限り各自の責任において, 中和又は希釈を行い, pH 5-9 とし, 安全を確認したのち放流してよい。 六価クロム: 原則として原点処理 (注 2) する。(六価クロムは 50 ppm 以下にする) 水銀は含まない。ただし, 分離不可能なときは 10 ppb 以下にする。 シアンとその化合物は含まない。ただし分離不可能なときは 1 ppm 以下にする。 ふっ素, りん酸, ほう素, 硝酸等は各分類共通の注意事項参照。
3	シアン化物, シアン錯化合物及びひ素化合物 シアン化物, シアン錯化合物, ひ素化合物, セレン化合物 (アルカリ性)	オレンジ 16 l	3 回目までの洗浄廃液を含める。pH 9 以上にて貯留する。 沈殿物はろ過する。→別途「非水銀系スラッジ類」として保管, 処理依頼→センターにて適時収集 <ul style="list-style-type: none"> シアンとその化合物: 原則として原点処理 (注 6) する。(無機シアンは 80 ppm 以下にする) ひ素とその化合物: 原則として原点処理 (注 7) する。(無機ひ素は 20 ppm 以下にする) セレンとその化合物: 原則として原点処理 (注 8) する。(無機セレンは 12.5 ppm 以下にする) 水銀は含まない。ただし, 分離不可能なときは 10 ppb 以下にする。
4	アルカリ系 水酸化ナトリウム, 水酸化カリウム, アンモニアなど, 重金属類を含むアルカリ性溶液 (アルカリ性)	青 16 l	3 回目までの洗浄廃液を含める。 沈殿物はろ過する。→別途「非水銀系スラッジ類」として保管, 処理依頼→センターにて適時収集 <ul style="list-style-type: none"> 有害物質を含まない水酸化ナトリウム, 水酸化カリウム等: 特に濃厚 (5% 以下) 又は多量でない限り各自の責任において, 中和又は希釈を行い, pH 5-9 とし, 安全を確認したのち, 放流してよい。 水銀は含まない。ただし, 分離不可能なときは 10 ppb 以下にする。 シアンとその化合物は含まない。ただし, 分離不可能なときは 1 ppm 以下にする。
各分類共通事項			<p>有機物 (キレート剤等も含む) は原則として原点処理 (注 5) する。ただし, 分離不可能なときは 3% 以下にする。</p> <p>ふっ化水素及び無機ふっ素化合物: 原則として原点処理 (注 3) する。(ふっ素として 0.5% 以下にする)</p> <p>りん酸とその化合物: 原則として原点処理 (注 4) する。(総リンは 300 ppm 以下にする)</p> <p>ほう素とその化合物: ほう素は 200 ppm 以下にする。</p> <p>硝酸, 亜硝酸, アンモニア: 硝酸性, 亜硝酸性, アンモニア性窒素として総量で 7600 ppm 以下にする。</p> <p>オスミウム, タリウム, ベリリウム (処理対象外廃液の項参照) は含まない。</p> <p>禁水物質, 発火性物質 (処理対象外廃液の項参照) は含まない。</p> <p>核燃料物質及び放射性廃棄物は含まない。</p>

わる被害を生じる恐れがあるものは、特別管理一般廃棄物か特別管理産業廃棄物と定めていることは上述した。そこで、大学実験室や病院から出される特別管理産業廃棄物の中で、無機系実験廃液、有機系実験廃液、感染性廃棄物について、金沢大学を例に、処理フローをみてみよう。

3. 無機系及び有機系実験廃液の処理

各実験室で使用した無機系実験廃液は、処理方法の違いに基づいて、1) 水銀及びその化合物（灰色容器）、2) 酸、クロム及び重金属（赤色容器）、3) シアン化物、シアン錯化合物及びヒ素化合物（オレンジ色容器）、4) アルカリ系（青色容器）の4つに区分し、それぞれの色のポリタンクに貯留する。実験に使用したガラス器具などの洗浄液についても流しに捨てず、それぞれのポリタンクに貯留することが定められている（Table 1）。²⁾ このように分別した無機系実験廃液の処理フローを Fig. 3 (A) に示した。重金属などはキレート吸着や沈殿で順次除去され、中和後、排水基準をクリアーしていることを確認して、下水道に放流される。^{2,3)}

一方、各実験室で使用した有機系実験廃液は、やはり処理方法の違いに基づいて、1) 廃溶媒類、2) 難燃性、不燃性溶媒類、3) 希薄有機水溶液、4) 写真定着液の4つに区分し、白色のポリタンクに貯留する（Table 2）。²⁾ このように分別した有機系実験

廃液の処理フローを Fig. 3 (B) に示した。廃溶媒類に希薄有機水溶液を加えて、重油で燃焼させる。排ガス及び粉じんを除去後、排ガス基準をクリアーしていることを確認して、大気に放出される。^{2,3)}

大学では、多くの実験室、実験者毎に、様々な種類の薬品を使用している。薬品には混合すると、爆発の危険性がある組み合わせがある。これらが混合される実験廃液の貯留と処理では、そうした薬品の組み合わせが起らないように注意する必要がある。金沢大学では、実験者に配布するマニュアルに主な組み合わせを示している（Table 3）。²⁾

4. 感染性廃棄物

さて、薬学では動物を実験に用いる場合は多い。また、病院では、日常的に血液などを扱っている。廃棄物が以下のいずれかに該当する場合は、特別管理産業廃棄物（または特別管理一般廃棄物）の中でも、感染性廃棄物と呼ばれる。1) 血液、血清、血漿及び体液（精液）（以下「血液等」という）を含む、2) 病理廃棄物（臓器、組織、皮膚等）、3) 病原微生物に関連した試験、検査等に用いられたもの、4) 血液等が付着している鋭利なもの（破損したガラスくず等を含む）、5) 感染症病床、結核病床、手術室や検査室において治療、検査等に使用されたもの、6) 感染症治療、検査等に使用されたもの、排出された医療器材等（Fig. 4）。⁴⁾

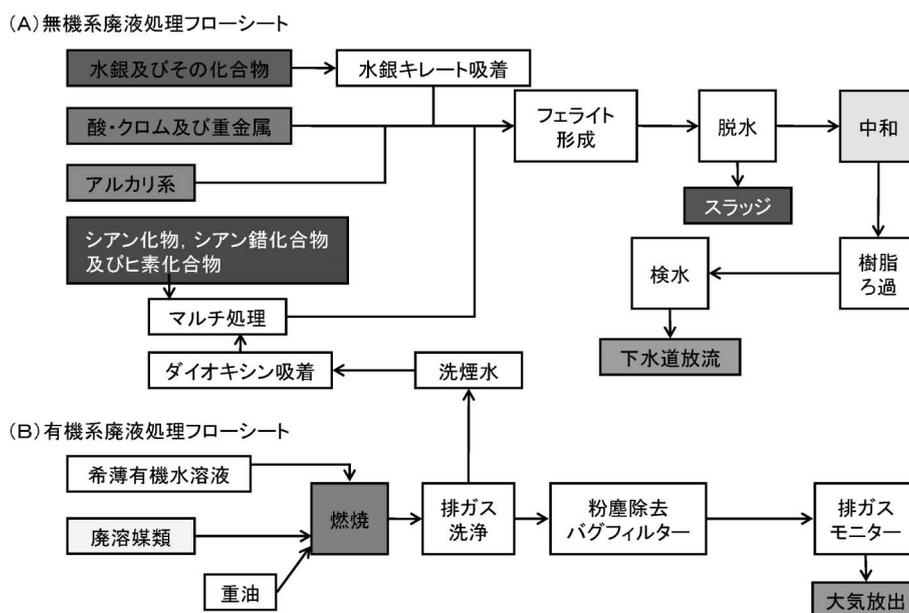


Fig. 3. Kanazawa University's Treatment Method of Waste Water

Table 2. Kanazawa University's Classification of Inorganic Waste Water

分類	廃液の内容	注意事項
1	廃溶媒類 炭化水素系、アルコール類、ケトン類、アルデヒド類、エステル類、弱酸類（酢酸等）、弱塩基類（ピリジン等）、揮発性油、灯油、軽油	引火点 70°C 以下の廃溶媒類 難燃性、不燃性溶媒類及び廃油類は含まない。分離不可能の場合は 10% 以下にする。 含窒素（アセトニトリル、アミン類等）、含酸素（チオール、チオ尿素等）及び含りん化合物は 10% 以下にする。 含水率は 50% 以下にする。
2	難燃性、不燃性溶媒類 クロロホルム、四塩化炭素などハロゲン化物	アセトニトリルなど CN 化合物を含まない。（当分の間業者委託のため）
3	廃油類 潤滑油、ギア油、シリンダー油、タービン油、動植物油など	引火点 70°C 以上の廃油 アセトニトリルなど CN 化合物及び難燃性、不燃性溶媒類を含まない。（同上）
4	希薄有機水溶液 有機酸水溶液、その他希薄な水溶性廃溶媒類（アルコール、アミン等） エーテル類（ジエチルエーテル、テトラヒドロフラン、ジオキサン、ジメトキシエタンなど） コロジオン 二硫化炭素 重金属類を含む有機系水溶液等 写真現像液（白黒写真用）	含水率は 80% 以上で pH は 4（できるだけ 6）以上にする。 非水溶性溶媒類は原則として含まない。 含窒素（アセトニトリル、アミン類等）、ホルマリン、含酸素（チオール、チオ尿素等）及び含りん化合物は 10% 以下にする。 かならず水で 20 倍以上希釈する。また他の廃溶媒類と混合しない。（帯電防止、過酸化生成と分解爆発防止のため） コロジオンは 1% 以下にする。 原則として原点処理（注 9）する。 原則として原点処理（注 10）する。 現像液は定着液と別に貯留する。（注 11）
5	写真定着液 写真定着液（白黒写真用）	定着液は現像液と別に貯留する。（注 11） 化学物質管理システム以外から依頼する必要がある場合はセンターにご相談下さい。
各分類共通事項		重金属類 は含まない。ただし分離不可能なときは総量 100 mg 以下にする。 水銀は絶対に含まない。 無機物は含まない。 ただし分離不可能なときは 10% 以下にする。またふっ素化合物（有機ふっ素化合物を含む）はふっ素として 0.5% 以下にする。 固形物 （ゲル状物質含む）を含まないこと。また、保管中及び他の同種の分類廃液と混合したとき固化等の恐れのある廃液は適当な処理を行うこと。 自己分解爆発性物質 （処理対象外廃液の項参照）は含まない。 反応危険物質 （処理対象外廃液の項参照）は含まない。 PCB （処理対象外廃液の項参照）は含まない。 核燃料物質及び放射性廃棄物 は含まない。

これら感染性廃棄物は、原則として医療関係機関等の施設内の焼却設備で焼却、溶融設備で溶融、滅菌装置で滅菌、あるいは肝炎ウイルスに有効な薬剤または加熱による方法で消毒処理する。これができない物は、処理を感染性廃棄物の収集運搬または処分業の許可を受けた特別管理産業廃棄物処理業者に依頼することになる。

金沢大学では、感染性廃棄物を次の 3 つに区分し

て、処理をしている (Fig. 5).²⁾ すなわち、1) 鋭利なもの：注射針、メス、ガラス製品（注射器、試験管、シャーレ、スライドガラス、その他）等、2) 固形状のもの：脱脂綿、ガーゼ、包帯、ティッシュペーパー、ペーパータオル、尿コップ、プラスチック製品（注射器、シャーレ、試験管、カテーテル等）、手袋、透析器具（チューブ、フィルター）等、3) 血液、血清、血漿、体液（精液を含む）、血液製

Table 3. Explosive Chemical Pairs by Mixing

薬品 A	薬品 B	薬品 A	薬品 B
アルカリ金属、粉末にしたアルミニウム又はマグネシウム、その他	四塩化炭素、その他の塩化炭素、二硫化炭素及びハロゲン	引火性液体	硝酸アンモニウム、クロム酸、過酸化水素、硝酸、過酸化ナトリウム及びハロゲン
クロム酸	酢酸、ナフタリン、カンファ、グリセリン、テレピン油、アルコール類、一般酸化性物質	アンモニア（無水）	水銀（例えばマノメーター中の水銀）、塩素、次亜塩素酸カルシウム、よう素、臭素、無水ふっ化水素酸、銀化合物
銅	アセチレン、過酸化水素	無水ふっ化水素酸	アンモニア（含水／無水）
銀	アセチレン、シュウ酸、酒石酸、雷酸、アンモニウム化合物	カリウム、ナトリウム	四塩化炭素、二酸化炭素、水
塩素	アンモニア、アセチレン、ブタジエン、ブタン、メタン、プロパン、他の石油ガス、水素、ナトリウム、カーバイド、テレピン油、ベンゼン、微粉碎した金属	過マンガン酸カリウム	エタノール、メタノール、水酢酸、無水酢酸、ベンズアルデヒド、二硫化炭素、グリセリン、エチレングリコール、酢酸エチル、酢酸メチル、フルフラル
臭素	塩素と同じ	硝酸（濃）	酢酸、アニリン、クロム酸、シアン酸、硫化水素、引火性液体、引火性ガス
よう素	アセチレン、アンモニア（溶液／無水）、水素	炭化水素（ブタン、プロパン、ベンゼン、ガソリン、テレピン油等）	ふっ素、臭素、クロム酸、過酸化ナトリウム
ふっ素	すべての化合物に対して反応性は著しく大である	アセチレン	塩素、臭素、銅、ふっ素、銀、水銀
二酸化塩素	アンモニア、メタン、ホスフィン、硫化水素	クメンヒドロパーオキシド	（有機／無機）酸類
塩素酸塩	アンモニウム塩、酸類、金属粉末、硫黄、一般に微粉碎した有機物あるいは可燃性物質	過塩素酸塩	無水酢酸、ビスマス及びその合金、アルコール、紙、木材
アニリン	硝酸、過酸化水素	シュウ酸	銀、水銀
過酸化水素	銅、クロム、鉄、多くの金属あるいはそれらの塩、アルコール、アセトン、有機物、アニリン、可燃材料、引火性液体、ニトロメタン	硫酸	塩素酸カリウム、過塩素酸カリウム、過マンガン酸カリウム／ナトリウム、リチウムのような軽金属の過マンガン酸塩
水銀	アセチレン、シュウ酸、アンモニア、雷酸	アジ化ナトリウム	酸類、重金属（鉛、銅、水銀、銀）

剤（全血製剤及び血液成分製剤）、糞便、臓器、組織片、培地等。

これらのうち、1)は黄色段ボール容器（蓋付）、2)は赤色厚手ビニール袋に入れ、いずれも外側に感染性廃棄物焼却管理票の貼付をして保管し、病院内の焼却施設で焼却する。焼却処理後の残渣は、非感染性廃棄物として処理業者に処分を委託している。また、3)は白色プラスチック容器（蓋付）に入れて、外側に感染性廃棄物焼却管理票の貼付をして保管し、専門の処理業者に処理を委託している。

以上、金沢大学の場合を例に、廃棄物の中で、生

物化学剤と共通の薬品が含まれて関連があることから、無機系及び有機系実験廃液と感染性廃棄物に焦点を合わせて、現状を概観した。これらの管理・処理においても、上述の性善説に基づいて正しく処理がなされることを前提にしている。およそ、事故を想定したのではなく、実験者だけでなく、委託を受けた処理作業者の安全など、危機管理上の課題は残っている。

5. 生物・化学剤の除染

さて、生物・化学剤の種類にはどんなものがあり、それらの除染にはどんな方法が用いられるの

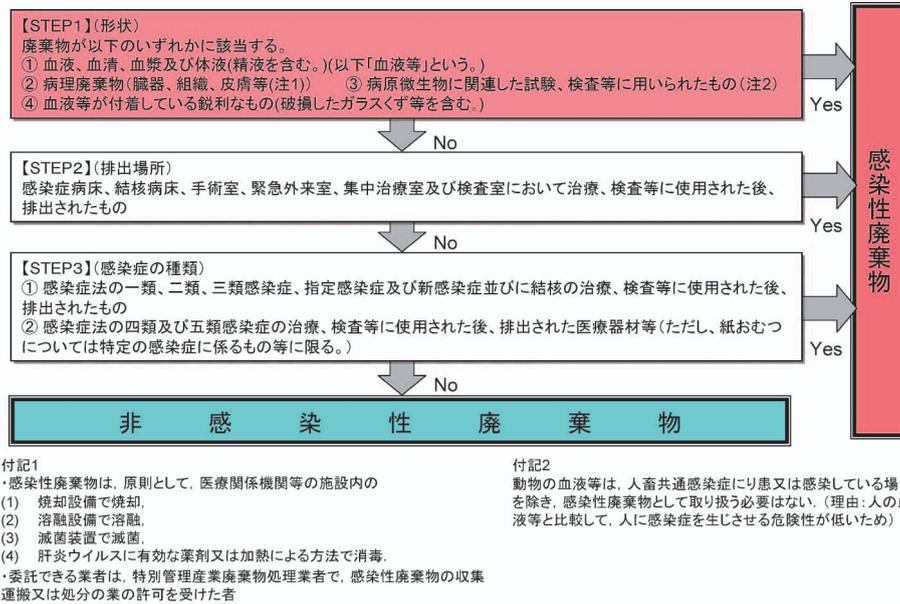


Fig. 4. Identification Flow of Infectious Waste



Fig. 5. Treatment Method of Infectious Waste of Kanazawa University's Hospital

か。文献を基に次のようにまとめられる。化学兵器に使用される物質は、その作用から、1) 神経作用剤 (VX やサリンなど)、2) びらん剤 (マスタードなど)、3) 窒息剤 (ホスゲンなど)、4) 血液作用剤 (シアン化水素など)、5) 嘔吐剤の5種類に大別される。これらの多くに共通して適用できる除染方法は、次亜塩素酸ナトリウム水溶液あるいは大量の水による洗浄である (Table 4)。⁵⁾

一方、生物兵器に使用される物質は、微生物の種

類や毒素に基づいて、1) バクテリア (炭疽菌やペスト菌など)、2) 毒素 (ボツリヌス毒素など)、3) ウイルス (出血熱ウイルスなど) の3種類に大別される。これらの多くに共通して適用される除染法は、0.5%さらし粉水溶液あるいは石けん水による洗浄である (Table 5)。⁵⁾

Table 4 及び Table 5 に示した水溶液又は水を用いた除染は、いずれもテロ対策として必要な初動要員の安全を確保するための即効性の処理法である。

Table 4. Removal Methods of Chemical Weapons

化学兵器物質		除染方法
神経作用剤	VX	次亜塩素酸ナトリウム水溶液, 水
	サリン	次亜塩素酸ナトリウム水溶液, アルカリ溶液, 水
	タブン	次亜塩素酸ナトリウム水溶液, アルカリ溶液, 石けん水
	ソマン	次亜塩素酸ナトリウム水溶液, アルカリ溶液, フェノール, エタノール
びらん剤	蒸留マスタード	次亜塩素酸ナトリウム水溶液, 水
	窒素マスタード	さらし粉水溶液, 水, 火炎
	硫黄マスタード	次亜塩素酸ナトリウム水溶液, 水
	ホスゲンオキシム	水
	ルイサイト	さらし粉水溶液, 水酸化ナトリウム水溶液, 水
	フェニルジクロロアルシン	次亜塩素酸ナトリウム水溶液, 水酸化ナトリウム
	エチルジクロロアルシン	次亜塩素酸ナトリウム水溶液, 水酸化ナトリウム
窒息剤	ホスゲン	換気 (蒸気), 水 (液体)
	塩素	水
血液作用剤	シアン化水素	水
	塩化シアン	水
	アルシン	不要 (揮発性が極めて高いため)
嘔吐 (おうと) 剤	アダムサイト	さらし粉水溶液

参考文献: First Responder Chem-Bio Handbook, Tempest Publishing, 1998: 日本語版小川和久監訳, 西 恭之訳, 初動要員のための生物化学兵器ハンドブック, 啓正社, 2000.

Table 5. Removal Methods of Biological Weapons

生物兵器物質		除染方法
バクテリア	炭疽 (<i>Bacillus anthracis</i>)	ヨウ素又は塩素
	ブルセラ病 (<i>Brucella melitensis</i>)	0.5% さらし粉水溶液
	コレラ菌 (<i>Vibrio cholerae</i>)	0.5% さらし粉水溶液
	ペスト菌 (<i>Yersinia pestis</i>)	0.5% さらし粉水溶液, 熱, 日光
	ツラレミア (<i>Francisella tularensis</i>)	0.5% さらし粉水溶液, 熱
	Q熱 (<i>Coxiella burnetii</i>)	0.5% さらし粉水溶液, 石けん水
毒素	ボツリヌス毒素 (<i>Botulinum toxin</i>)	0.5% さらし粉水溶液, 石けん水
	リシン (Ricin)	0.5% さらし粉水溶液, 石けん水
	サクシトキシシ (Saxitoxin)	0.5% さらし粉水溶液
	ブドウ球菌 B 型エンテロトキシシ (<i>Staphylococcal enterotoxin B</i>)	0.5% さらし粉水溶液, 石けん水
	トリコテシシ真菌毒素 (T2) (<i>Trichothecene mycotoxins (T2)</i>)	石けん水, 生理食塩水 (眼球洗浄), 水酸化ナトリウム水溶液, 次亜塩素酸ナトリウム溶液
ウイルス	ベネズエラ・ウマ脳炎ウイルス (<i>Venezuela Equine Encephalitis</i>)	0.5% さらし粉溶液, 熱 (80°C で 30 分)
	出血熱ウイルス (<i>Viral Hemorrhagic Fevers</i>) [エボラ出血熱, ラッサ熱, アルゼンチン出血熱, ポリビア出血熱, コンゴ・クリミア出血熱, リフトバレー熱, 黄熱病, テング出血熱など]	0.5% さらし粉水溶液, フェノール水溶液

参考文献: First Responder Chem-Bio Handbook, Tempest Publishing, 1998: 日本語版小川和久監訳, 西 恭之訳, 初動要員のための生物化学兵器ハンドブック, 啓正社, 2000.

しかし、これらは、化学剤を分解、あるいは生物剤を滅菌・無毒化する訳ではなく、その作用は洗浄である。溜まった洗浄液や生物化学剤に汚染された着衣をどのように処理するかは、次の課題として残る。

6. 新しい生物・化学兵器物質の除染法の可能性

種々の生物及び化学物質の処理に用いることができる方法を挙げると、洗浄（放流）、火炎（燃焼）、埋立、電磁波、熱湯（加熱）、消毒（薬品）、紫外線、光触媒、微生物、光（風化）、吸着などがある。廃棄物の処理では、焼却、放流、埋立が3大方法であるが、放流と埋立は、生物化学剤の死滅・分解は極めて遅く、水や土壌・地下水の汚染を招くことになる。さらに上述の方法のうち、生物の死滅も化学物質の分解も速やかな即効性の方法となると、火炎（燃焼）、電磁波、熱湯（加熱）であり、消毒（薬品）、紫外線、光触媒などがこれに次ぐと考えられる。こうした手法を効果的に活用することにより、よい除染法が開発されると期待する。

REFERENCES

- 1) Arai Y., Hayakawa K., “Environmental Hygienic Chemistry —Health and Environment—”, Hirokawa-shoten, Tokyo, 2008.
- 2) Environmental Preservation Center, Kanazawa University: <http://hozen2.epc.kanazawa-u.ac.jp/> How to treat chemical waste ?, 20 January, 2008.
- 3) Alaimo R., “Handbook of Chemical Health and Safety,” Oxford University Press, 2001; Japanese issue translated by Tamura M., Maruzen, Tokyo, 2003.
- 4) Ministry of Health, Labor and Welfare: <http://www.env.go.jp/> Waste and Recycling, 20 January, 2008.
- 5) First Responder Chem-Bio Handbook, Tempest Publishing, 1998; Japanese issue translated by Ogawa K., Nishi T., Keisei-sha, Tokyo, 2000.