

図5 後送病院のレベル分類を定義した  
国連平和維持活動医療マニュアル

[http://www.reliefweb.int/rw/lib.nsf/db900sid/LGEL-5SYHMV/\\$file/dpko-medical-1999.pdf?openelement](http://www.reliefweb.int/rw/lib.nsf/db900sid/LGEL-5SYHMV/$file/dpko-medical-1999.pdf?openelement)

**国土安全保障**  
**テロ対象物に関するリスク評価と対策上の優先度等の検討**  
**異常事態発生時における横断的調査手法・体制構築等の方策の検討**

志方俊之 帝京大学法学部、徳野慎一 防衛医科大学校防衛医学講座

**研究要旨**

熱核兵器（N）およびダーティーボムとうの放射性物資（R）を中心にテロについてその蓋然性を列挙し、国内外の情勢分析に基づいた脅威を想定するとともに、想定に基づいたシナリオ検討と対象物のリスク評価を行った。今後は、医療対応がある程度可能で蓋然性の最も高い 10t 程度の超小型の核爆弾テロを想定したシナリオを検討すべきである。

**A.研究目的**

近年、世界中でますます激化するテロ事案に対処するため、テロ対象物に関するリスク評価と対策上の優先度等の検討し、異常事態発生時における横断的調査手法・体制構築等の方策の検討を行う。

**B.研究方法**

CBRNE テロのうちバイオテロ以外のテロについてその蓋然性を列挙し、国内外の情勢分析に基づいた脅威を想定するとともに、想定に基づいたシナリオ検討と対象物のリスク評価を行った。特にこれまであまり検討されることのなかった熱核兵器（N）およびダーティーボムとうの放射性物資（R）を中心に検討した。なお、化学剤については主任研究者である金谷らが詳細に検討しているので別項を参照のこと。

**(倫理面への配慮)**

なし

**C.研究結果**

諸外国の各機関が出している多くの報告が、テロの蓋然性において、爆弾（E）、化

学剤（C）、生物剤（B）、放射性物質（R）、熱核兵器（N）の順に高いと報告している。

本邦においては、松本サリン事件および地下鉄サリン事件、あるいは米国の炭疽菌テロに続く一連の「白い粉」事件の経験から、化学剤および生物剤についての検討が数多くなされて来た。その一方で、放射性物質（R）、熱核兵器（N）については詳細には検討されていない。加えて、爆弾テロに関しては蓋然性が最も高いにも関わらず、その対策は予算面を含めて医療分野ではほとんどなされていない。

ダーティーボムを代表とする放射性物質（R）を用いたテロについては、放射性物質による急性・慢性の放射線障害による健康被害が注目さえるが、いくつかの報告は放射線障害はそれほど問題とならないことを示唆している。その一方で、放射性物質が散布されることによる地域の汚染が危惧されるが、その場合も、重篤な健康被害を及ぼすほどではないと考えられる。むしろ、

爆発そのものによる外傷の処置等が中心となるが、前述のとおり医療においてはその分野は立ち遅れが目立つ。

次に、熱核兵器（N）については、中国の核実験は1964～1996年において45回実施されており、最大4Mtの核実験が実施されている。また、北朝鮮の核実験については2006年10月9日に実施されており、その規模は東京大学地震研究所によると0.5～1.5Ktと推定される。すなわち、日本は0.5Kt～4Mtの核の脅威にさらされていることになる。

旧ソビエト連邦が崩壊した際に、スーツケース型の小型の核爆弾が複数個紛失したとの報告があるがその詳細については不明である。米国が開発した同規模の核兵器としては、10t程度の可搬性の核爆弾の開発記録がある。これらの情報から、現段階ではテロで使用される熱核兵器は10t程度のものの蓋然性が高いとされている。

図1には、インターネット上で公開されているツールを使用して、国会議事堂前で0.5Ktまたは2Mtの核爆弾が爆発した場合の熱線および爆風による被害想定を示す。

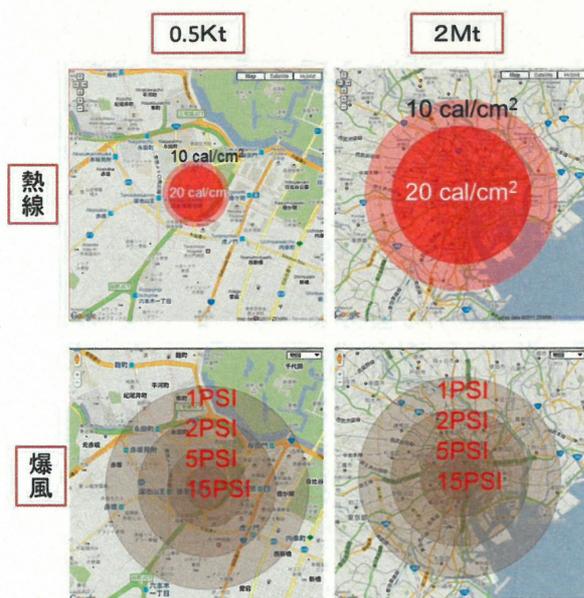


図1 国会議事堂前で0.5Ktまたは2Mtの核爆弾が爆発した場合の被害想定

8000ft (2400m)、0.5Kt 場合は、地表 (1m) での爆発を想定している。熱線の影響に示す 10cal/cm<sup>2</sup> とは、Ⅲ度の熱傷を引き起こす熱量であり、20cal/cm<sup>2</sup> とは木材等に着火し火災を引き起こす熱量である。また、爆風がもたらす一般的な被害を表1に、爆風の人体に対する影響を図2示す。

表1 爆風による被害

爆風の強度	建物に対する影響	人体に対する影響
60 PSI (400 kPa)		50%が重症
20 PSI (150 kPa)	鉄筋コンクリート構造が壊滅する。	
15 PSI (100 kPa)		肺損傷
10 PSI (70 kPa)	大部分の工場および民間のビルが倒壊する。小さな木枠およびレンガの住宅が破壊され瓦礫となって散らばる。	
7 PSI (50 kPa)		鼓膜損傷
5 PSI (35 kPa)	簡易建築の民間のビルおよび典型的な住宅が破壊される。より重厚な構造物は甚大な損害を受ける。	2次爆傷 3次爆傷
3 PSI (20 kPa)	典型的な鋼枠のビルは吹き飛ばされる。住宅に甚大な損害。	2次爆傷 3次爆傷
1 PSI (7 kPa)	構造物は損害を受ける。	2次爆傷 3次爆傷

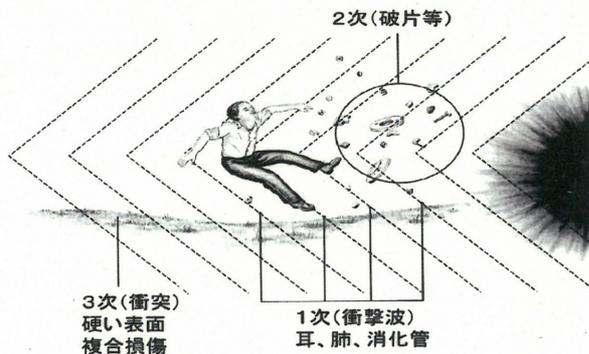


図2 爆風の分類

以上より、メガトン級の核弾頭による攻撃が起こった場合は、都心部が壊滅状態となり医療対応そのものが困難であることがわかった。また、蓋然性の観点からも、10t程度の小型の核爆弾が地上で爆発した場合の想定が今後検討すべきシナリオとして優先度が高いと考えられた。

#### D.考察

本邦においては、これまでテロ対策という化学剤・生物剤を中心に検討されることが多かった。しかしながら、蓋然性からは爆弾テロが最も可能性が高く、本来ならば爆弾テロについて十分に検討すべきである。一方、唯一の被爆国であるという本邦の特性から、核アレルギーにともいうべき国民感情があり、核テロに対しては広島県と長崎県の一部の機関を除きほとんど検討されていない。また、ダーティーボムについてもその放射線障害について過大評価される傾向にある。

今回の我々の調査で、核テロを検討するならば、医療対応がある程度可能で蓋然性の最も高い10t程度の超小型の核爆弾テロを検討すべきとの結論に至った。この超小型の可爆弾テロによる健康被害は急性・慢性放射線障害よりも熱あるいは爆風による被害が中心になるとみられ、これを検討することは本邦においてほとんど検討されていない大規模な爆弾テロの検討も兼ねることが可能と思われる。

研究班の班会議においては、電磁パルス(EMP)による影響についても検討すべきとの意見が出されたが、医療機器の停止による二次的な健康被害が中心となることと、電磁パルス攻撃を行うために有効な高高度爆破がテロでは困難なことから、今回は検討の対象とはしなかった。もちろん、国家

戦略レベルにおいては、こうした攻撃についても今後は十分に検討すべきである。

#### E.結論

医療対応がある程度可能で蓋然性の最も高い10t程度の超小型の核爆弾テロを検討すべきであり、この検討は大規模な通常爆破テロの検討としても有意義であると思われる。

#### [参考文献]

- [1] Samuel Glasstone and Philip J. Dolan, eds., The Effects of Nuclear Weapons (3rd ed.), Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1977
- [2] H. L. Brode and R. D. Small. A Review of the Physics of Large Urban Fires. In: Fredric Solomon and Robert Q. Marston, eds. The medical implications of nuclear war. Washington, D.C.: National Academy Press, 1986:73-95.
- [3] Matthew G. McKinzie, Thomas B. Cochran, Robert S. Norris and William M. Arkin, The U.S. Nuclear War Plan: A Time for Change. Natural Resources Defense Council, 2001
- [3] HYDESim, <http://meyerweb.com/eric/tools/gmap/hydesim.html>
- [4] Nuclear Explosion Simulator, <http://www.nucleardarkness.org/nuclear/nuclearexplosionsimulator/>
- [5] 核兵器攻撃被害想定専門部会報告書, (財)広島平和文化センター, 2009年
- [6] 大量破壊兵器事案における救急処置, 徳野慎一・越智文雄, じほう, 2004年

#### F.健康危険情報

なし

#### G.研究発表(2010/4/1～2011/3/3発表)

##### 1.論文発表

なし

##### 2.学会発表

なし

#### H.知的財産権の出願・登録状況

(予定を含む。)

##### 1.特許取得

なし

**2.実用新案登録**

なし

**3.その他**

なし

## 生物・化学剤の除染技術

石原雅之<sup>1</sup>、井上忠雄<sup>2</sup>、森 康貴<sup>1,3</sup>

- 1 防衛医科大学校・防衛医学研究センター・医療工学研究部門
- 2 NPO 法人・NBCR 対策推進機構
- 3 防衛省・航空自衛隊・航空医学実験隊

**研究要旨：** 生物化学剤が用いられるテロの現場において、有害・猛毒であり種類が多岐にわたる生物化学剤を、安全・効率的、効果的に除去することが被害の拡大防止、現場の復旧のために求められる。テロ現場での除染ニーズは、ヒト・環境に安全で、剤全般に有効で、効率的・持続性があり、それらが科学的データによって十分に検証されており、洗浄排水の問題がないものである。我々は現在、生物化学剤の除染のためハイパー・イオン水の適用、新規吸着性材料として銀ナノ粒子／キトサン複合体の適用、そして光触媒技術として酸化チタンナノ粒子の応用の可能性を検証し、生物化学剤除染のための上記目的達成に向けて研究を推進している。さらにバクテリア(活性汚泥)を適用する化学剤、有機毒、及び放射性物質洗浄除去のためのシステムとして、膜分離活性汚泥式洗浄・排水処理設備について検討した。

### A. 研究目的

1995 年の東京地下鉄サリン事件や 2001 年のアメリカ合衆国郵便物炭疽菌事件において大量破壊兵器である化学兵器用剤 (Chemical warfare agent ; 化学剤) や生物兵器用剤 (Biological warfare agent ; 生物剤) が使用され、一般市民に多大な被害 (サリン事件 ; 12 名死亡、約 5000 名傷害、炭疽菌事件 ; 5 名死亡、十数名傷害) が引き起こされ、強烈なテロの脅威を与えた。このように生物化学剤などの危険物を用いたテロリズムの脅威は顕在化しており、国家的な取り組みが求められているところである [1]。生物化学テロの危機管理のために医学研究者は、いかに貢献すべきか問われているが、専門性を考慮すれば、生物化学剤の除染、防護、解毒、治療に取り組むべきであると考えられる。我々に与えられた命題

を考慮し、本報告書では、まず対象となる生物化学剤の種類・性状について述べ、次に除染のニーズとコンセプトについて解説する。そして除染の現状技術について解説し、最後に最近の除染剤の研究・開発の動向について、報告者らが実施している生物化学剤の除染剤の研究・開発を含めて紹介する。

### B. 研究方法

国内外の除染剤の情報については、NBCR 対策推進機構の協力を得て、関係省庁、企業等より提供を受けた。

#### (倫理面への配慮)

調査研究のため該当事項無し。

## C. 研究結果

### 1. 生物化学剤の特徴

#### 1-1. 化学剤の特徴

化学剤は低分子の合成化合物であり、その作用により、神経剤、びらん剤、血液剤、窒息剤等の分類される(表1)。物性的にも、常温・常圧で気体である血液剤や窒息剤、揮発性の液体である神経剤やびらん剤等様々である。化学テロにおいては、蒸気又はエアロゾルとして散布され、曝露した被害者が吸入などで体内に摂取して毒性を受けるので、毒性値として吸入半数致死量(LC<sub>50</sub>; mg-min/m<sup>3</sup>)を示している[2]。

##### (1) 神経剤

神経剤は、神経シナプスのコリンエステラーゼ活性を阻害し、アセチルコリンを蓄積させ、神経伝達をかく乱する作用により毒性を発揮する[3]。化学剤のなかでは即効性であり、最も毒性が高い。通常無色、無臭で五感による検知は困難である。

##### (2) びらん剤

びらん剤は、目と呼吸器を侵し、皮膚を糜爛する。代表的なものにマスタードとルイサイトが知られているが、水中で反応性の高いアルキル化剤として作用し、生体高分子(たんぱく質や核酸等)をアルキル化する。特有の臭気により五感での検知は比較的容易である。これらマスタードとルイサイトは第一次世界大戦後半から使われ始め、現在もなお多くの国で備蓄されていると言われている。旧日本軍も大量に製造しており、びらん剤弾薬を中国満州地区や国内に遺棄し、現在はその遺棄化学剤処理が日本政府の責務となっている[4]。

##### (3) 血液剤

血液剤は、呼吸により身体に吸収され、循環器及び呼吸器を侵し、昏睡と全身痙攣を引き起こす。特有の臭気により五感での検知は容易であり、持久効果は殆どない。

##### (4) 窒息剤

窒息剤は、鼻、喉、気管、肺等の呼吸器に障害を与え、呼吸困難を引き起こすことにより毒性を発揮する。特有の臭気により五感での検知は容易であり、持久効果は殆どない。

#### 1-2. 生物剤の特徴

生物剤については、報告者らの分担分野ではないが、ここに簡単に記述し、化学剤との違いについて解説する。米国集団疾病予防管理センター(CDC:Center for Disease Control and Prevention)は、攻撃対処準備上の優先順位が高い生物剤を①ヒト-ヒト感染の可能性が大きいもの、②死亡率が高く公衆衛生に与える影響が大きいもの、③パニックや社会の混乱を引き起こすもの、④公衆衛生上特別の準備を要するものであると、これらをカテゴリーA(表2)に分類している。最も脅威となる生物剤は炭疽菌と天然痘ウイルスである。肺炭疽と天然痘の死亡率は85%と35%と高い。肺炭疽は潜伏期が1-5日と短く、発病後は抗生物質を投与しても1-3日で死亡する。天然痘はペストと並び伝染性が強い。ペストとツラレミアは致死率が高いが、抗生物質を用いた有効な治療法が確立している。一方、フィロウィルス由来のウィルス性出血熱(エボラ出血熱、マールブルグ熱)は伝染性や致死率が共に高く、有効な予防手段や治療手段も確立していない。ボツリヌス毒素は、毒性は高いが、量産が難しく安定性を

欠くため、影響を及ぼしうる地域が限られている[5]。

一般的に化学剤と比して生物剤は無臭で潜伏期があるため、生物剤攻撃は自然感染との区別が難しく秘匿的である。また犠牲者の分布は広がり、その伝染性により2次被害も大きく拡大する。表3に化学剤と生物剤の違いについて記述した[6]。

## 2. 生物化学剤の除染

### 2-1 化学剤除染

化学剤除染とは、問題となる部位・場所に化学剤が存在する場合に、何らかの方法で化学剤が人体に影響を及ぼさない程度、できれば存在しない状態にまで減少させることである。除染法として表4のように物理的除染と化学的除染があり、地域除染、装備品等の除染、個人除染、さらに曝露した皮膚及び創傷の除染がある[4]。

物理的除染に共通する利点是非特異的であることで、化学剤の構造に係らず、みな同等に効果を示す。他方、化学的除染には「酸化」と「加水分解」の2種類の化学反応が利用されている。HDやVXは分子内に硫黄を有し、容易に酸化される。また、VX、GA、GB、GD等の神経剤は分子内にリンを有し、この部位で容易に加水分解される。このような理由で化学剤の除去剤は、酸化及び加水分解の両者の効果を持つようにデザインされている[1, 4]。

アルカリ性にした次亜塩素酸塩水溶液は、現時点で酸化と加水分解性を併せ持つ優れた化学剤の除染剤として世界中で採用されている。米軍においては、0.5%の次亜塩素酸ナトリウム又は次亜塩素酸カルシウムを皮膚の除染、5%のものは装備品等の除染に使用されている。次亜塩素酸塩水液は、皮

膚又は外傷部のみに使用可能で、眼球や腹腔内や胸腔内等内用に使用することはできない。さらに次亜塩素酸塩は毒性が強く、また溶解や洗浄に大量に水を必要とするため、本剤を大量に用いることは環境に与える影響やそのコスト・パフォーマンスも考慮する必要がある。また洗い流した残存化学剤や大量の次亜塩素酸塩溶液の排水を既存の排水溝に垂れ流すことは許されず、洗浄排水処理の問題が発生する[1, 4]。

化学剤の除染については、除染の効果のための評価法を構築する必要がある。除染が確実に行なわれたかどうかの確認は、いつに化学剤検知・分析法にある。部隊隊員の臭覚や小鳥(カナリア)等による有害化学物質の簡易検知や検知紙の適用から、現場検知器としては、初動対処部隊が所持し移動しながら検知する「小型携帯型」、現場で固定して検知する「可搬型」、設置場所に固定して連続モニタリングを目的とする「設置型」に区分される。化学剤検知のため現場で使用できる「小型携帯型」としての簡易現場検知資器材例[7]を下記に示す(図1、2)。さらに設置型や携帯型を組み合わせ、化学剤・毒素の一斉現場検知システムの開発が望まれる(図3)。

適切な手段で除染が実施されたなら、負傷者が汚染された状態で病院等へ搬入される可能性は極めて低くなる。また医療者や周囲の人間が危険に曝露する可能性も一層激減する。

### 2-2. 生物剤の除染

生物剤の除染とは、個人の身体、衣類・装具、物品、床・壁等に付着ないし集積した汚染物質又は病原体を除去又は無害化する

ることをいう。化学剤と異なり、生物剤は皮膚等に付着しても直ちには無害であり、除染の緊急性・必要性は低いと言える。生物剤対処における除染の主な目的は、防護衣や防護器材なしでも医療関係者が感染することなく安全に患者を取り扱えるようにすることである。秘匿的攻撃の場合は、テロ攻撃に気づいた頃には、すでに環境や体表から生物剤は消失し、除去の時期を失している可能性が高い。この場合は除染よりも病原体を同定し疫学的感染症対策による感染防止の施策が必要となる[6]。

### 3. 最近の除染剤の動向

実際に運用されている除染方法に加えて、民間や米軍などで開発された除染剤、研究開発中で論文などに発表されている有益・有望技術について紹介する。

(1) ハイパー・イオン水 (ワールド・エコロジー(株))、(総代理店、ファイン・クレスト(株))

深海からとった深層水を処理した粉末で、水で溶解したアニオンでは  $\text{Ph} \geq 13.6$  以上、カチオンでは 1 以下であり、強い殺菌作用及び加水分解作用がある。環境にやさしく、安全性も高いとされ、操作性に優れた除染剤として適用できないか、現在検討中である。

(2) EasyDECON™DF200 (INTELAGARD Inc.) (総代理店、山田洋行(株))

EasyDECON™DF200 は水溶性の除染剤で生物化学剤及び毒性物質を迅速に無毒化できるといわれ、毒性や刺激性が少なく、自然分解されることから、大量に使用しても環境には大きな影響を与えないと言われている。

あらゆる金属表面での使用が可能で泡沫剤、液体スプレー、及び噴霧剤として使用できる。本剤はサリン、VX、マスタード、ホスゲンを有効に無力化すると言われ、炭疽菌を始めとした生物剤についても増殖を完全に抑制することが出来るとされる。本剤はすでに商品化(INTELAGARD Inc.、CO、USA)され、米国の対テロ分野を担う各機関に配備されている。

(3) FAST-ACT (NanoScale Materials, Inc.) (総代理店、ファースト・ブルーム(株))

FAST-ACT は、米国で開発された有害化学物質処理剤で、無毒性、速効反応性のナノ材料配合製品であり、広い範囲の有害化学薬品を無害化するのに有効で、化学剤も無力化する能力があるとされている。本剤もすでに商品化され、米国の対テロ分野を担う各機関や毒物を扱う事業所に配備されている。

(4) 酸化チタンナノ粒子を用いた光触媒技術

光接触技術はわが国の得意とする基盤技術であり、基礎的研究に加えて、環境・衛生分野への応用研究も盛んであり、光触媒技術・素材・装置がすでに市場化され、普及している[8]。本研究では、毒性は低く、比較的安価である酸化チタンナノ粒子を光触媒素材として適用し、化学剤除染システムの構築を提案し、試作品の調製を開始している。酸化チタンは紫外線等光触媒により、水や酸素と反応し、強力な酸化力を有する活性酸素を発生し、有毒物質を酸化・無毒化するとされている(図4)。我々は酸化チタンナノ粒子を多孔性無機担体に包埋させ線維と組み合わせた除染剤を試作、化

学剤(毒物)除染への適用の可能性を検証している。これらの技術は、現場の活用する資機材(防護服・防護マスク等)に適用して、自然除染作用を付加させ、より軽量・安全で高性能な装備品として開発していく。加えて、現場で紫外線を照射する条件下で生物化学剤を効率よく除去するシステムを設計し、救護所等で用いる空気清浄装置、自走式除染ロボットなどの試作(図5)を検討する。

(5) 銀ナノ粒子/キトサン複合体を用いた新規生物化学剤除染材料 我々は易溶解性ガラスに硝酸銀を含有させその粉体(粒径 10–100  $\mu\text{M}$ )を調製した。その粉体を生理食塩水に入れて、還元剤及び安定剤としてグルコースを添加したコロイド溶液を 120°C、20 分、5 気圧でオートクレーブすることで安価、高収率で 5–15 nm の均一な銀ナノ粒子を生成できることを見出している(図6) [9]。この銀ナノ粒子はキトサン線維に強く吸着し、銀ナノ粒子/キトサン複合体を形成する。この新規銀ナノ粒子/キトサン複合体には抗真菌や抗菌性のみでなくインフルエンザ等の強い抗ウイルス活性や防臭性が見出されている。我々は、生物化学剤の除去のためキトサンを適用した新規多孔性吸着剤の開発を進めているが、これに銀ナノ粒子を包含させることで、有機物である化学剤及びウイルスを含んだ生物剤両者を除染できるマテリアルの開発を進めている。

(6) 微生物を用いた膜分離活性汚泥式洗浄・排水処理システムの化学剤・放射性物質除染への適用 [10]

化学剤、農薬、放射性物質、ダイオキシ

ン、砒素、有機金属、環境ホルモン等、汚染が広がっている。これらは単なる安全保障上の要請だけではなく、地球環境の問題であり、一刻も早い適切な対策が必要である。ここで紹介する膜分離活性汚泥式洗浄排水処理設備は、自然界における自浄作用を利用することにより、省ランニングコストを実現したもので、タンクとポンプを主体とする構成で加圧、昇温の必要もなく安全かつ簡便な設備となっている。二次廃棄物発生量も少なく、水質浄化、毒物及び放射性物質除去性能を有している。活性汚泥は、主としてバクテリア、真菌などから構成されている微生物群集であり、活性汚泥法とはこれら微生物群集の代謝機能を利用して排水を浄化する方法である。本システムでは浄化槽内に分離膜を設置し、従来の標準活性汚泥法の浄化槽と沈降分離槽を一つの膜分離浄化槽に統合しており、装置のコンパクト化と膜を通してろ過するため、曝気槽内の汚泥濃度を高く維持することが可能となり、処理能力も高い(図7)。さらに本システムの主な二次廃棄物発生源は有機物を分解することによる活性汚泥の増加分のみであり、二次廃棄物発生量の低減も実現している。

#### D. 結論・考察

生物化学剤が用いられるテロの現場において、有害・猛毒であり種類が多岐にわたる生物化学剤を、安全・効率的、効果的に除去することが被害の拡大防止、現場の復旧に求められている。現状で行なわれている生物化学剤の除去方法は十分とは決して言えない。問題点としては、1) 方法と効果の科学的検証が不十分で、科学的データがない、2) 次亜塩素酸塩などの除染剤は