原著

過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器の芽胞不活化効果

天羽 仁美* 安楽 大輝^{*1} 板良 敷朝将^{*1}
谷口 暢^{*1} 林 信哉^{*2}

Sporicidal Activity of ‘Peracetic Acid-containing Hydrogen Peroxide Gas Sterilizer’

Hitomi Amo*, Daiki Anraku^{*1}, Tomomasa Itarashiki^{*1}

Toru Taniguchi^{*1}, Nobuya Hayashi^{*2}

Abstract

Background; ‘Peracetic acid-containing hydrogen peroxide gas sterilizer’ uses 8 % hydrogen peroxide aqueous solution containing peracetic acid (< 10 %) as a sterilizing agent. The aim of this study was to examine sporicidal activity of this sterilizer.

Methods; Sporicidal activity were evaluated using the Process Challenge Device (PCD). In addition, we compared 8 % hydrogen peroxide aqueous solution containing peracetic acid (< 10 %) with 58 % hydrogen peroxide aqueous solution, which is usually used as sterilizing agent of practically used low temperature hydrogen peroxide gas sterilizers. Also, we evaluated the penetration of sterilizing agent into the lumen and the efficacy of the sterilization under the dirty conditions.

Results; Peracetic acid-containing hydrogen peroxide gas sterilizer achieved a sterility assurance level (SAL) of 10^{-6} using PCD with silicon mat and lumens such as polytetrafluoroethylene (PTFE) tube and stainless tube. Furthermore, it was found that sporicidal activity of 8 % hydrogen peroxide aqueous solution containing peracetic acid (< 10 %) for the lumen, and under the dirty condition is higher than that of 58 % hydrogen peroxide aqueous solution.

Conclusion; This sterilizer showed high performance by containing peracetic acid in sterilizing agent.

1. 緒 言

現在、医療現場で使用されている主な滅菌法として、高圧蒸気滅菌、酸化エチレンガス滅菌、過酸化水素低温ガスプラズマ滅菌、過酸化水素ガス低温滅菌、低温蒸気ホルムアルデヒド滅菌

が挙げられる¹⁾。高圧蒸気滅菌は短時間で滅菌可能であることに加え、熱と蒸気のみで滅菌をおこなうため安全面でも優れているが、耐熱性・耐湿性を欠く医療器具に対しては使用できない。しかし、近年では、非耐熱性の素材や精密な電子部品が組み込まれた医療器具も増加していることから、低温による滅菌処理がさらに求められるようになってきている²⁾。酸化エチレンガス滅菌、過酸化水素低温ガスプラズマ滅菌、過酸化水素ガス低温滅菌、低温蒸気ホルムアルデヒド滅菌は、低温による滅菌が可能であり、金属類に加えて非耐熱性のプラスチック類やゴム

* サラヤ(株) 商品開発本部 バイオケミカル研究所
開発部 サテライトラボ

^{*1} サラヤ(株) 商品開発本部 商品開発部

^{*2} 九州大学大学院 総合理工学研究院 エネルギー
理工学部門

(原稿受付：2018年1月9日)

製品等の滅菌にも用いられる³⁾。特に過酸化水素低温プラズマガス滅菌は、最短 24 分で滅菌処理が可能であり⁴⁾、滅菌処理に 3～16 時間(酸化エチレンガス滅菌はエアレーションの時間も含む)必要とする酸化エチレンガス滅菌や低温蒸気ホルムアルデヒド滅菌と比較して、非常に短時間で滅菌処理が可能である。ただし、過酸化水素ガスを用いた滅菌法は、細管にはブースターの取り付けや過酸化水素濃縮モードの処理が必要とされる場合もあり、滅菌対象物が高濃度で多量の過酸化水素に曝露されることから滅菌剤の残留が懸念されることや^{5～7)}、ガーゼやリネンなどのセルロース類は過酸化水素を吸着するため十分な滅菌効果が得られないといった問題点も挙げられる⁴⁾。

過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器は、滅菌剤として 8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕を用いており、低濃度でも広範囲の微生物に高い殺菌効果を示す過酢酸を含有することで^{8,9)}、滅菌剤中の有効成分を低濃度にす

ることを可能にした。そこで、本研究では、過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器の無菌性保証水準の確認、および細管や有機物等の汚染物質存在下での芽胞不活化効果を評価し、8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕の滅菌剤としての有用性を検証した。

2. 使用装置(過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器)

過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器は、滅菌剤として 8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕を用いており、ガス化した滅菌剤を真空状態のチャンバー内に拡散させ、これを 2 回繰り返すことで滅菌処理をおこなう。代表的な滅菌サイクルを図 1 に示した。滅菌モードはクイックサイクル(滅菌処理時間 30 分)とスタンダードサイクル(滅菌処理時間 47 分)の 2 種類がある(表 1)。滅菌物を入れるチャンバーの容積は 130 L (有効容積は約 100 L) で、上段と下段の 2 段式になっている。

図 1 過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器の滅菌サイクル概要

表 1 過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器の滅菌サイクルおよび滅菌対象物

	クイックサイクル	スタンダードサイクル
滅菌温度	60℃以下	
滅菌処理時間	30分	47分
滅菌対象物	医療器具表面 ※細管は不可	医療器具表面 細管

3. 材料および方法

1) Process Challenge Device (PCD) を用いた無菌性保証水準の確認

滅菌処理を保証するためには、予め設定された無菌性保証水準 (Sterility Assurance Level; SAL) を達成する必要がある。医療現場においては、滅菌処理後に微生物数を 10^{-6} まで減少させる必要があり、国際的に 10^{-6} の SAL が採用されている。本研究では、クイックサイクルおよびスタンダードサイクルについて、それぞれ PCD を作成し、 10^6 個の *Geobacillus stearothermophilus* ATCC 7953 芽胞を含む Biological Indicator (以下 BI) を用いて、各滅菌モードのハーフサイクルにて SAL の評価をおこなった。

(1) クイックサイクルの SAL の確認

過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器のクイックサイクルでは、医療器具表面を滅菌対象としており、細管のような複雑な構造を持つ医療器具は滅菌不可である (表 1)。そこで既存の過酸化水素ガスを用いた滅菌器の稼働性能適格性確認で用いられる参照負荷を参考に³⁾、シリコンマット (シリコンマット MAT01, 名優製) と MesaLabs Omaha Manufacturing Facility 製

バイアル型 BI (*G. stearothermophilus* ATCC 7953, 2.3×10^6 CFU) を用いた PCD を作製し、芽胞不活化効果を検証した。バイアル型 BI は芽胞が塗付された担体と培地の入ったガラスアンプルで構成されている。

シリコンマットにバイアル型 BI を 6 個挟み込み、ステンレス製滅菌トレイ (プロテクト H メッシュバスケット, 名優製) に入れた (図 2)。さらに滅菌トレイを滅菌ラップ (クイックチェック滅菌ラップ H600, HALYARD 製) で包装した (シリコンマット PCD 1)。シリコンマット PCD 1 を二つ準備し、過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器の上下段の滅菌ラックにそれぞれ一つずつ設置した (図 2)。クイックサイクル (ハーフサイクル) で滅菌処理をおこない、滅菌処理後、バイアル型 BI のアンプルを割って担体と培地を混ぜ合わせ、55℃で 24 時間培養し、菌の生育の有無を判定した。

(2) スタンダードサイクルの SAL の確認

過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器のスタンダードサイクルでは、医療器具表面に加えて細管も滅菌対象としている (表 1)。そこで細管を用いた PCD を作製し、芽胞不活化効果を検証した (図 3)。既存の過酸化水素ガスを用い

図2 クイックサイクルの SAL の確認に用いたシリコンマット PCD 1 と設置方法

図3 スタンダードサイクルの SAL の確認に用いた細管 PCD 2, 3 と設置方法

た滅菌法で滅菌可能範囲とされている細管の内径、長さを参考に、内径1 mm、長さ1,000 mmのPTFEチューブと内径0.7 mm、長さ500 mmのステンレスチューブを用いてPCDを作製した。細管の内径および長さが同じであった場合、細管の中央にBIを設置するより、細管の片側を封じ、封じた側の先端にBIを設置したほうが抵抗が強いことが明らかになっていたため、より抵抗の強いPCDを作製するため、PTFEおよびステンレスチューブの先端に片側を封じたガラス管を接続し、片側閉鎖系のPCDを作製した(細管PCD 2, 3)。細管PCD 2, 3のガラス管にMesaLabs Omaha Manufacturing Facility製ポリエステル紐型BI (*G. stearothermophilus* ATCC 7953, 1.5×10^6 CFU)を入れ、滅菌バック(サラヤ製)に封入して過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器の滅菌ラックの下段に、細管PCD 2は20本、細管PCD 3は10本設置し、スタンダードサイクル(ハーフサイクル)で滅菌処理をおこなった。滅菌処理後、ガラス管から取り出した紐型BIをトリプトソーヤブイオン培地に入れ、55℃で7日間培養し、菌の生育の有無を判定した。

2) 8% 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有(10%以下)〕と58% 過酸化水素水溶液の比較

過酸化水素ガスを用いた滅菌器では、有機物や無機物の汚れにより、芽胞不活化効果が低下することが知られている^{10,11)}。そこで、過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器について、医療器具の洗浄が不十分であったため、汚れが付着していた状況を仮定し、ウシ胎児血清(Fetal Bovine Serum; FBS)に芽胞を懸濁して芽胞不活化効果を検証した。また、洗浄後の最終すすぎの際、未精製水を使用したことによるイオン結晶の残留を仮定し、人工硬水に芽胞を懸濁して芽胞不活化効果を検証した。さらに、過酸化水素ガスは細管への浸透性が高圧蒸気滅菌や酸化エチレンガス滅菌、低温蒸気ホルムアルデヒド滅菌と比較して低いと言われている¹²⁾。しかし、医療器具には内視鏡のように耐熱性はないが、管腔構造を有するものが存在する。そこで、過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器について、管腔構造を有する医療器具を想定し、細管を用いた芽胞

不活化効果を検証した。

以上2点に対して、装置として過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器を使用し、滅菌剤として、現存の過酸化水素ガス滅菌器に用いられる58% 過酸化水素水溶液と、過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器に用いられる8% 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有(10%以下)〕を用いて両者の比較検証をおこなった。

(1) 汚染物質存在下での芽胞不活化効果

FBSを5%になるよう滅菌蒸留水で希釈した。またAOACに則って¹³⁾、人工硬水を作成した(硬度300 ppm)。NAMS製芽胞懸濁液(*G. stearothermophilus* ATCC 7953, 4.4×10^6 CFU / 0.1 mL)を9,100 × gで10分間遠心分離し、上清を捨てて5% FBSまたは人工硬水で再懸濁した。懸濁液を直径8.91 mmのステンレス・ディスクに0.1 mL塗付し、乾燥させたものを滅菌バックに封入して過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器内に各々3つずつ設置後、スタンダードサイクル(ハーフサイクル)で処理した。処理後、芽胞懸濁液を塗付したステンレス・ディスクを10 mL滅菌水(1% Tween 80含有)、ガラスビーズ(3 mm)の入った50 mL遠沈管に入れて2分間ボルテックスをおこない、冷蔵庫内に一晚静置した後、再度2分間ボルテックスをおこなった。超音波処理(35 kHz, 10分間)で芽胞を担体から剥離し、ヒートショック(95~100℃, 15分間)後、即座に0~4℃の冷水槽で冷却した。その後、1分間ボルテックスをおこない、滅菌水で段階希釈してトリプトソーヤ寒天培地で混濁培養した(55℃, 2日)。培養後、生残芽胞数を計測した。また、コントロールとして汚染物質が無い状態での処理後の生残芽胞数も計測した。

(2) 細管に対する芽胞不活化効果

図4に示した通り、内径1 mm、長さ3,000 mmのPTFEおよびステンレスチューブの中央50 mmを切断し、切断部分に紐型BIを入れて、両端をシリコンチューブで接続した(細管PCD 4, 5)。事前に長さ1,000 mmおよび2,000 mmのPTFEおよびステンレスチューブで試験をおこなったところ、全て検出限界以下となったため、本試験では8% 過酸化水素水

溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕と 58 % 過酸化水素水溶液の芽胞不活化効果の差を確認するために、長さ 3,000 mm のチューブを用いた、細管 PCD 4, 5 を滅菌バックに封入して過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器内の滅菌ラック上下段に 5 個ずつ重ならないように合計 10 個設置し (図 4), スタンダードサイクル (ハーフサイクル) で処理をおこなった。処理後、紐型 BI から (1) と同様の方法で、芽胞を回収し、生残芽胞数を計測した。

4. 結 果

1) PCD を用いた SAL の確認

シリコンマット PCD 1 では、クイックサイクル (ハーフサイクル) 処理後に、使用した 12 本の BI 全てが陰性であった (表 2)。また、細管 PCD 2 についても、スタンダードサイク

ル (ハーフサイクル) 処理後に 20 本の BI 全てが陰性を示し、細管 PCD 3 も 10 本の BI が全て陰性であった (表 2)。よって過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器のクイックサイクルおよびスタンダードサイクルのハーフサイクル処理後に各 PCD 内の 10^6 個の芽胞を含む BI が全て陰性だったことから、シリコンマット PCD 1 についてはクイックサイクルで、細管 PCD 2, 3 についてはスタンダードサイクルで 10^{-6} の SAL を達成することが確認された。

2) 8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕と 58 % 過酸化水素水溶液の比較

汚染物質が無い状態では、8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕および 58 % 過酸化水素水溶液ともにスタンダードサイクル (ハーフサイクル) 処理後の生残芽胞数は検出限界以下 (対数減少値: >4.95) となったが、

図4 8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕と 58 % 過酸化水素水溶液の芽胞不活化効果の比較に用いた細管 PCD 4, 5 と設置方法

表2 ハーフサイクル処理後の各種 PCD 内の BI 陰性率

滅菌サイクル	PCD (BI本数)	陰性率(%)
クイックサイクル (ハーフサイクル処理)	シリコンマットPCD 1 (12本)	100
スタンダードサイクル (ハーフサイクル処理)	細管PCD 2 ; PTFEチューブ (20本)	100
	細管PCD 3 ; ステンレス チューブ (10本)	100

人工硬水存在下では、芽胞不活化効果は低下し、8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕では、対数減少値は 4.55 であり、58 % 過酸化水素水溶液では、対数減少値は 4.61 であった (表 3)。一方、5 %FBS 存在下では、8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕はスタンダードサイクル(ハーフサイクル)処理後の生残芽胞数は検出限界以下 (対数減少値: > 4.76) となったが、58 % 過酸化水素水溶液では芽胞の生存が確認され、対数減少値は 4.69 であった (表 3)。

また、細管 PCD 4, 5 を用いた芽胞不活化効果の検証結果、8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕と 58 % 過酸化水素水溶液とを比較して、PCD 4, 5 とともに、8 % 過

酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕において芽胞不活化効果が高く、特に PCD 5 (ステンレスチューブ) で顕著に効果が高いことがわかった (表 4)。

5. 考 察

1) PCD を用いた SAL の確認

既存の過酸化水素ガスを用いた滅菌器の稼働性能適格性確認で用いられる参照負荷や、細管の滅菌可能範囲を参考に作成した PCD 1 ~ 3 を用いた評価において、過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器のクイックサイクルおよびスタンダードサイクルのハーフサイクル処理後に PCD 内の BI の 10^6 個の芽胞が全て不活化されたことから、シリコンマット PCD 1 についてはク

表 3 8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕と 58 % 過酸化水素水溶液の汚染物質存在下での芽胞不活化効果の比較

	平均対数減少値 ± SD	
	8 % 過酸化水素水溶液 〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕	58 % 過酸化水素水溶液
無負荷	>4.95	>4.95
5 %FBS	>4.76	4.69 ± 0.12
人工硬水 (300 ppm)	4.55 ± 0.19	4.61 ± 0.12

表 4 8 % 過酸化水素水溶液〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕と 58 % 過酸化水素水溶液の細管に対する芽胞不活化効果の比較

1回目		平均対数減少値 ± SD	
		8 % 過酸化水素水溶液 〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕	58 % 過酸化水素水溶液
φ1mm, 長さ3,000mm PTFEチューブ (PCD 4)	上段	4.43 ± 0.43	3.89 ± 1.10
	下段	4.88 ± 0.54	3.17 ± 0.69
φ1mm, 長さ3,000mm SUSチューブ (PCD 5)	上段	>5.02	1.86 ± 0.64
	下段	>5.02	1.69 ± 1.08

2回目		平均対数減少値 ± SD	
		8 % 過酸化水素水溶液 〔過酢酸含有 (10 % 以下)〕	58 % 過酸化水素水溶液
φ1mm, 長さ3,000mm PTFEチューブ (PCD 4)	上段	5.03 ± 0.13	4.87 ± 0.30
	下段	4.86 ± 0.37	4.39 ± 0.86
φ1mm, 長さ3,000mm SUSチューブ (PCD 5)	上段	>5.09	3.49 ± 1.68
	下段	>5.09	3.54 ± 0.75

イックサイクル, 細管 PCD 2, 3 についてはスタンダードサイクルで 10^{-6} の SAL を達成した。よって, 過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器は, 既存の過酸化水素ガスを用いた滅菌器と同等の性能を有していると考えられる。

2) 8 % 過酸化水素水溶液 [過酢酸含有 (10 % 以下)] と 58 % 過酸化水素水溶液の比較

過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器の滅菌剤として用いられる 8 % 過酸化水素水溶液 [過酢酸含有 (10 % 以下)] と, 既存の過酸化水素ガス滅菌器に用いられる 58 % 過酸化水素水溶液について, 汚染物質存在下や細管内に対する芽胞不活化効果を比較した。結果, 人工硬水存在下では, 8 % 過酸化水素水溶液 [過酢酸含有 (10 % 以下)] と 58 % 過酸化水素水溶液ともに芽胞不活化効果が低下したが, 有機物 (5 % FBS) 存在下において, 58 % 過酸化水素水溶液より 8 % 過酸化水素水溶液 [過酢酸含有 (10 % 以下)] の芽胞不活化効果が高かった。過酢酸は, 有機物等による失活が少なく¹⁴⁾, 有機物が存在した場合においても, 過酢酸が分解されずに芽胞まで届くためだと考えられる。特に, 本研究では使用後の医療器具に付着した汚れを想定して血清を用いたが, 血清成分中には鉄分も含まれるため, フェントン反応によって過酸化水素が急速に分解されたために, 58 % 過酸化水素水溶液の芽胞の不活化効果が低下したと考えられる。しかし, 人工硬水存在下では, 両滅菌剤ともに, 芽胞不活化効果が低減され, 10^{-6} の SAL の達成は困難であったことから, 事前の洗浄・すすぎ工程は必須である。

PTFE およびステンレスチューブで作製した細管 PCD 4, 5 を用いた場合, 58 % 過酸化水素水溶液と比較して, 8 % 過酸化水素水溶液 [過酢酸含有 (10 % 以下)] は高い芽胞不活化効果を示したことから, 過酢酸を含有することで, 細管に対して高い芽胞不活化効果を有することが明らかになった。過酸化水素は, $\cdot\text{O}\cdot$, $\text{OH}\cdot$, $\text{OOH}\cdot$, $\text{H}\cdot$ などの活性種を生成し, これらの内, 主に $\cdot\text{OH}$ が微生物の殺滅に寄与するとされる^{15~17)}。一方, 8 % 過酸化水素水溶液 [過酢酸含有 (10 % 以下)] は, 過酢酸を含有しており, 過酢酸は過酸化水素から生成される活性

種だけでなく, 一重項酸素¹⁸⁾や有機ラジカルを生成し¹⁹⁾, 微生物の殺滅に寄与すると考えられている²⁰⁾。一重項酸素や有機ラジカルは $\cdot\text{OH}$ より寿命が長い²¹⁾ため, 活性種が細管内部まで到達することができ, 高い芽胞不活化効果を示したと考えられる。また, 8 % 過酸化水素水溶液 [過酢酸含有 (10 % 以下)] では, PTFE チューブとステンレスチューブで芽胞不活化効果に大きな差異は見られなかったのに対し, 58 % 過酸化水素水溶液では, ステンレスチューブに対しての芽胞不活化効果が顕著に低かったことの要因として, ステンレスに含有される遷移金属である鉄やクロム, ニッケルによって過酸化水素が分解され, ステンレスチューブ内部まで到達できないことが考えられる。以上のことから, 過酢酸を含有することで, 細管への浸透性を高め, 高い芽胞不活化効果を発揮することが明らかになった。

6. 結 論

過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器は, シリコンマット PCD についてはクイックサイクル (30 分), 細管 PCD についてはスタンダードサイクル (47 分) で 10^{-6} の SAL を達成した。また, 8 % 過酸化水素水溶液 [過酢酸含有 (10 % 以下)] の汚染物質存在下や細管内に対しての芽胞不活化効果は, 58 % 過酸化水素水溶液と比較して高かった。よって, 本滅菌装置は 8 % 過酸化水素水溶液 [過酢酸含有 (10 % 以下)] を用いることで滅菌剤の浸透性を高め, 高い芽胞不活化効果を得られることがわかった。

近年の医療器具の進化に伴い, 複雑で精密な医療器具の滅菌は必要不可欠となっている。このため, 低温かつ短時間で滅菌可能な滅菌器は今後さらに必要となることが推測される。既に過酸化水素低温ガスプラズマ滅菌器や過酸化水素ガス低温滅菌器といった滅菌器が汎用されているが, 今後, 短時間処理可能な低温滅菌法の選択肢の一つとして, 新たに過酢酸含有過酸化水素ガス滅菌器が加わるだろう。また, 本研究結果より, 滅菌剤に過酢酸を含有することで, 細管内への浸透性が高まったことから, 管腔を有する医療器具について, 滅菌対象物の適応範

囲の拡大も期待できる。

文 献

- 1) Itarashiki, T., Hayashi, N., Yonesu, A. Sterilization effect of nitrogen oxide radicals generated by microwave plasma using air. *Vacuum*, 2014, Vol.110, p.213-216.
- 2) 野田稔, 酒井義信, 坂口嘉郎ほか. 過酸化水素ガスを用いた低温滅菌装置の滅菌性能について. *医療機器会*, 2016, Vol 86, No.3, p.339-346.
- 3) 医療現場における滅菌保証のガイドライン 2015, 一般社団法人日本医療機器学会.
- 4) 相楽真. 滅菌機器の規格と現状, 今後の展望 4. 滅菌機器メーカーにおける現状と今後の展望, 4-4 過酸化水素低温プラズマ滅菌システムステラッドについて, *防菌防黴学会誌*, 2017, Vol.45, No.7, p.373-375.
- 5) Yoshida R, Kobayashi H. Hydrogen peroxide vapor in the proximity of hydrogen peroxide sterilizers. *環境感染誌*, 2011, Vol.26, No.4, p.239-242.
- 6) 吉田理香, 小林寛伊. 過酸化水素ガス滅菌法に関する新たな知見. *手術医学*, 2012, Vol.33, No.3, p.273-284.
- 7) 吉田理香. 過酸化水素低温ガスプラズマ滅菌後のプラスチック素材に残留する過酸化水素濃度について. *手術医学*, 2013, Vol.34, No.2, p.145-153.
- 8) Block S.S. Peroxygen compounds. In *Disinfection, Sterilization and Preservation*, 5th edn., (Block S.S. ed.), 2001, p.185-204.
- 9) 坂上吉一, 勝川千尋, 勝瀬哲男ほか. 過酢酸製剤の各種微生物に対する殺菌効果の検討. *防菌防黴*, 1998, Vol.26, No.11, p.605-610.
- 10) Diab-Elschahawi, M., Blacky, A., Bachhofner, N. *et al.* Challenging the Sterrad 100NX sterilizer with different carrier materials and wrappings under experimental 'clean' and 'dirty' condition, *American journal of infection control*, 2010, Vol.38, No.10, p.806-810.
- 11) Diab-Elschahawi, M., Blacky, A., Bachhofner, N. *et al.* (2011) Lumen claime of the STERRAD 100NX sterilizer: Testing performance limits when processing equipment containing long, narrow lumens, *American journal of infection control*, 2011, Vol.39, No.9, p.770-774.
- 12) 小林寛伊. 消毒と滅菌のガイドライン. (株)へるす出版, p.113.
- 13) Disinfectants. In: *Official Methods of Analysis of the AOAC*, Chapter 6. 17th ed. Gaithersburg (MD): Association of Official Analytical Chemists (AOAC); 2000.
- 14) 小林晃子, 尾家重治, 神谷晃. 高水準消毒薬の殺芽胞効果に及ぼす温度および有機物の影響, *環境感染*, 2006, Vol. 21, No.4, p.236-240.
- 15) 佐藤順, 坂上吉一, 田中光幸ほか. 食の安全・安心に過酢酸はここまで使える. (株)サイエンスフォーラム, p.135.
- 16) 新谷英晴, 小阪教由, 奥田瞬治. 種々の滅菌法に関与する OH ラジカルの有効性ならびに安全性と家電製品のウイルス不活化に対する有効性について, *防菌防黴*, 2011, Vol. 39, No. 2, p.83-89.
- 17) 市原広信, 辻嘉昭, 中山光. OH ラジカルが主たる滅菌科学種である過酸化水素ガス滅菌について, *防菌防黴*, 2011, Vol. 39, No.10, p.617-623.
- 18) 小方芳郎. 有機過酸化物の化学, 南光堂, 1970, p.100.
- 19) Clapp, P. A., Davies, M. J., French, M. S. *et al.* The bactericidal action of peroxides; an E. P.R. Spin-Trapping study, *Free. Rad. Res.*, 1994, Vol.21, No. 3, p.147-167.
- 20) Marquis, R. E., Rutherford, G. C., Faraci, M. M. *et al.* Sporicidal action of peracetic acid and protective effects of transition metal ion, *Jpuranal of Industrial Microbiology*, 1995, Vol. 15, p. 486-492.
- 21) 杉田収. 人の健康と活性酸素, 新潟県立看護短期大学紀要, 2001, Vol. 7, p.9-19.