

オゾン水の細菌およびウイルスに対する不活化効果

中室克彦^{*1}

(2011年5月9日受付)

Inactivation of Bacteria and Virus by Ozonated Water

Katsuhiko NAKAMURO^{*1}

(Received May 9, 2011)

1. はじめに

オゾン (O₃) は、①反応 (酸化) 性が大、②残留性がない、③有害物質を作らない、④反応後酸素が残るだけなどの特徴を有する。オゾンの利用は、空気/オゾンガス (あるいは酸素/オゾンガス) およびオゾン水の二つの形態に分かれる。そのためオゾンの利用もこれら形態によって異なる。一方、毒性の観点から、オゾンガスは吸入毒性に注意が必要である。しかし、オゾン水については、急性毒性、皮膚刺激性、アレルギー性などの毒性がほとんどない¹⁾ため、さらなる用途の拡大に期待が持たれる。オゾンは、強い酸化剤である。しかし、この酸化力は水分が存在することによって、さらに OH ラジカルを生成する²⁾ため強力な酸化力を発揮し、微生物である細菌やウイルスに対する強い不活化効果を示す。そのため、オゾンガスを用いた殺菌においては、湿度が80-90%と高いほど効果が増大することが知られている³⁾。一方、蒸留水に溶解させたオゾン水中溶存オゾンの半減期は20-30分といわれている⁴⁾。しかし、この半減期は pH の影響を強く受け pH 9以上においてはオゾンが速やかに OH ラジカルに変化するためオゾンは検出されなくなる。このように自己分解によって溶存オゾンの寿命が短くなるだけでなく、殺菌や不活化の対象となる細菌やウイルス以外に媒体中に含有する物質のうち還元性物質や被酸化性物質がオゾンと容易に反応するため細菌やウイルスを殺菌・不活化する前に消滅することになる。そのため、オゾンによる細菌やウイルスの不活化実験においては、細菌やウイルスの培養液成分や反応溶液に含有する物質によるオゾン消費を可能な限り低減させて実験を実施するべきである。

キーワード: オゾン水, 微生物, 不活化, レジオネラ, ノロウイルス

* 摂南大学理工学部生命科学科 (572-8085 大阪府寝屋川市池田中町17番8号)

Faculty of Science and Engineering, Department of Life Science, 17-8 Ikeda-Nakamachi, Neyagawa, Osaka 572-8508, Japan

¹ nakamuro@lif.setsunan.ac.jp

表1 オゾン水の殺菌・消毒分野における利用形態

- ①食品産業: 食品製造工程 (殺菌, 消毒), 食品工場環境の清浄化 (落下細菌の低減化, 工場内消毒), 製品や食品のオゾン水・ガス処理 (バナナ, リンゴ, オレンジ, イチゴ, ジャガイモ, 大豆, 卵, チーズなどの消毒による鮮度保持, 貯蔵期間延長), 食材, 食品容器のオゾン洗浄 (付着菌殺菌), 加工場や厨房における微生物の殺滅
- ②農業: 野菜の害虫駆除, 土壌改良 (雑菌除去)
- ③畜産工業: 豚舎の消毒・洗浄
- ④食堂・レストラン: 厨房の消毒, 食器の洗浄・消毒, カット野菜の洗浄・消毒
- ⑤医療分野: オゾン水による手指の洗浄・消毒
- ⑥オゾン療法: 直接的殺菌, 間接的殺菌 (免疫機能活性化)

ここでは、このような不活化実験におけるオゾン消費に注目し、オゾン水の細菌およびウイルスに対する不活化効果に関して述べる。

2. 殺菌・消毒のためのオゾン水の利用分野

オゾン水はその強力な酸化力に基づく killing 効果によって表1に示す多くの分野で殺菌・消毒を目的に利用されている。実際現場においてオゾンを用いる場合は、オゾンガスによる殺菌・消毒効果に対して気温、湿度、空気成分が影響要因となる。また、対象物が固相の場合は固相成分、表面の状態、水分 (湿度) などの有無が問題となる。一方、オゾン水として液相で用いる場合は水温、pH、溶存物質が影響の要因となる。とくに、オゾン水を殺菌・消毒に用いる場合は、オゾンを消費する有機物や還元性無機成分および水温の影響を受けやすいため注意を要する。

3. 細菌の殺菌およびウイルスの不活化機構

オゾンによる微生物に対する不活化は、細菌やウイルスに対する不可逆的損傷に基づくものである。オゾンによる殺菌機構およびウイルスの不活化機構を以下に述べる。

殺菌やウイルス不活性化とは、もはや生存が不能となり増殖できない状態となり死滅することをいう。

バクテリアに対する殺菌機構は以下のように考えられている⁵⁻⁸⁾。

- ① 細胞膜の酵素変性によって菌体の代謝・合成が不可能となる。
- ② 細胞膜の損傷によって細胞膜の破壊が起こり細胞内より Ca^{2+} や Mg^{2+} , RNA などが漏出する。
- ③ 細胞内に透過したオゾンが RNA やリボゾームを分解。
- ④ 細胞内の染色体またはその構成物質である DNA を損傷。

①-④が同時に起こり、細菌が構造的破壊により死滅するため耐性菌が生じないと考えられている。

一方、ウイルスは DNA あるいは RNA とこれを包む外殻(コート)タンパク質から構成されているが、宿主細胞への吸着、それにつづく DNA あるいは RNA の宿主細胞への侵入が阻害されることによって不活化される。すなわち、ウイルス不活性化機構は以下の要因によると考えられている。

- ① コートタンパク質の吸着点の破壊により宿主細胞への吸着阻害による不活化。
- ② コートタンパク質の変性または破壊により宿主細胞への吸着阻害による不活化。
- ③ DNA, RNA の損傷による不活化。

などがあげられる。

したがって、オゾン水によるウイルスの不活化は、影響の大きい①-③が同時に生ずることによって起こると考えられている。

4. オゾン水による細菌およびウイルスに対する不活化効果

オゾン水と塩素系消毒剤の細菌、ウイルスおよびアメーバに対する CT (消毒剤濃度 (C : mg/L) に作用時間 (T : min) を乗じたもの) 値による不活化効果の比較⁹⁾を表 2 に示す。この結果から、オゾン水の微生物に対する不活化効果は、次亜塩素酸に比べて強いことが分かる。腸内細菌では 20 倍、ウイルスで 5 倍、芽胞菌で 50 倍、アメーバで 10 倍いずれもオゾン水の不活化効果が次亜塩素酸に比較して強いことが認められる。

M.A.Khadre ら¹⁰⁾は 1956 年から 2001 年の論文約 20 編を用いて、食品分野におけるオゾンの利用に関する総説を報告した。その中で、グラム陽性菌、グラム陰性菌およびウイルスに対するオゾン水の不活化効果を示している (表 3, 4, 5)。

表 3 に示すグラム陽性菌のオゾン水による不活化効果から、0.12-3.8 $\mu\text{g/mL}$ オゾン水は 6 種類のグラム陽性菌に対して 1-7 \log_{10} CFU/mL レベルで不活化することを示した。表 4 に示すグラム陰性菌に対するオゾン水による不活化効果は、0.004-6.5 $\mu\text{g/mL}$ オゾン水は 6 種類のグラム陰性菌

表 2 オゾン水と塩素系消毒剤の不活化効果の比較

殺菌剤	99%不活性化の濃度時間積 (mg·min/L)			
	腸内細菌	ウイルス	芽胞菌	アメーバ
オゾン水	0.01	1	2	10
次亜塩素酸	0.2	5	100	100
次亜塩素酸イオン	20	>200	>1000	1000
モノクロラミン	50	1000	5000	200

表 3 グラム陽性菌のオゾン水による不活化効果

細菌	処理条件				Log ₁₀ CFU での減少
	オゾン濃度 ($\mu\text{g/mL}$)	時間 (min)	pH	温度 (°C)	
<i>Bacillus megaterrium</i>	0.19	5		28	>2.0
<i>Bacillus cereus</i>	0.12	5		28	>2.0
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	0.3-3.8	0.5	5.9	25	1.3-7
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.2-3.8	0.5	5.9	25	0.7-7
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.1 ^a	10	7.2	25	60-70% ^b
<i>Mycobacterium fortuitum</i>	0.23-0.26	1.67	7	24	1
<i>Spherooccus aureus</i>	0.3-1.97	10			4-6
<i>Spherooccus aureus</i>		0.25	7	25	>2.0

^a リン酸緩衝液, ^b 損傷細胞の%。

表 4 グラム陰性菌のオゾン水による不活化効果

細菌	処理条件				Log ₁₀ CFU での減少
	オゾン濃度 ($\mu\text{g/mL}$)	時間 (min)	pH	温度 (°C)	
<i>Escherichia coli</i>	0.065 ^a	0.5			3.5
<i>Escherichia coli</i>	0.004-0.8 ^b	0.5-2.0	6.9		0.5-6.5
<i>Escherichia coli</i>	0.19 ^b	5		28	>2.0
<i>Escherichia coli</i>	0.23-0.26 ^a	1.67	7	24	4
<i>Escherichia coli</i>	0.53 ^b	0.1	6.8	1	2
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0.3-1.0 ^a	<0.5	5.9	25	1.3-3.8
<i>Legionella pneumophila</i>	0.32 ^a	20	7	24	>4.5
<i>Legionella pneumophila</i>	0.47	20	7	24	>5.0
<i>Legionella pneumophila</i>	0.21	5			>2.0
<i>Salmonella enteritidis</i>	0.5-6.5	0.5		25	0.6-4
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.23-0.26 ^a	1.67	7	24	4.3
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.2-1.2 ^a	<0.5	5.9	25	0.9-5

^a オゾン非要求水, ^b リン酸緩衝液。

0.5-6.5 log₁₀ CFU/mL レベルで不活化することを示した。これらの結果は、グラム陰性菌の方がグラム陽性菌に比べてオゾン水に対して感受性が強いことを示した。

また、表5に示すウイルスのオゾン水による不活化効果は 0.1-15.9 μg/mL オゾン水が 8 種類のウイルスに対して 0-7 log₁₀ units の不活化を示した。

また、J.G.Kim ら¹¹⁾は、細菌、ウイルス、原虫等に対するオゾン水の不活化効果について報告している。すなわち、*Bacillus* (枯草菌)、*Escherichia* (大腸菌)、*Legionella* (レジオネラ属菌)、*Mycobacterium*、*Pseudomonas*、*Salmonella*、*Staphylococcus* などに対して 0.12-2.29 mg/L のオゾン濃度で処理時間が 20 分以内におよそ 99%以下の不活化効果を示した。また、ウイルスにおいては、Bacteriophage (バクテリオファージ)、Coxsackie virus (コクサッキーウイルス)、Enteric virus、A 型肝炎ウイルス、Poliovirus (ポリオウイルス) などに対しオゾン濃度が 0.1-0.41 mg/L で 29 分以下の

処理時間でおよそ 99%の不活化効果を示した。さらに、原虫である *Cryptosporidium* (クリプトスポリジウム)、*Giardia* (ジアルジア)、*Naegleria* (ネグレリア) などに対しては、オゾン濃度が 0.5-1 mg/L で 5 分以下の処理時間でおよそ 99%の不活化効果を示している。

しかし、これら報告は1956年から2001年の間に報告されたもので20年以上前の論文がほとんどである。これらの多くは、殺菌および不活化実験において、細菌やウイルス懸濁液中の培地成分、緩衝液等の試薬などの被酸化性物質および細菌との接触反応に起因するオゾン消費を考慮せずに実験を行ったものである。そのため、用量依存的な多くの実験においてオゾン水濃度がある濃度以上から急に殺菌効果を発揮するため、オゾンの殺菌効果には濃度的な lag (ラグ) を有すると考察している¹²⁾。しかし、これらの現象はオゾン消費によって生じていることが考えられる。そのため、著者は、不活化実験において培地成分や緩衝液等の試薬に由来する被酸化性物質および細菌・ウイルスとの接触反応においてオゾン消費によるこのようなラグ現象が起こらないように、培地や試薬由来のオゾン消費のない形で実験を行うとともに、このようなオゾン消費を最小限に抑えることが可能な CT 値による評価実験の必要性を主張している。オゾンのような減衰しやすい不安定な消毒剤においては、真の不活化効果を把握するために CT 値によるデータの蓄積が望まれる。

5. レジオネラおよびノロウイルスに対する低濃度オゾン水の CT 値による評価について

5.1 レジオネラ属菌

レジオネラ属菌 (*Legionella*) は、グラム陰性桿菌で、レジオネラ肺炎 (在郷軍人病) やポンティアック熱等のレジオネラ症を引き起こす。近年、抵抗力の弱い子供や老人の集団感染の発生が問題になっている。

ここでは、著者ら¹³⁾が行った低濃度オゾン水の *Legionella* に対する殺菌効果をより正確に求めるためのオゾン消費を考慮した実験を紹介する。すなわち、実験に用いる精製水や菌懸濁液の培地成分などに由来するオゾン消費を考慮するために高感度オゾン測定器を用いてしかもオゾン濃度を連続的に測定し、減衰曲線を把握することによって、低濃度領域におけるオゾン水の *Legionella* に対する正確な殺菌効果を CT 値 (オゾン濃度と処理時間の積: mg·min/L) によって評価した。

低濃度オゾン水による *Legionella* に対する正確な殺菌効果を評価するために、殺菌に要求されたと考えられるオゾン消費以外の自己分解や不純物によるオゾン消費を最小限に抑え、継続的にオゾン濃度を測定することによって実際

表5 ウイルスのオゾン水による不活化効果

ウイルス	処理条件				Log ₁₀ units での減少
	オゾン濃度 (μg/mL)	時間 (min)	pH	温度 (°C)	
Hepatitis A virus	0.3-0.4 ^b	0.08	6-10	3-10	3.9
Hepatitis A virus	0.25 ^b	0.02	7.2	20	2.7
Hepatitis A virus	1.0 ^b	.	6-8	4	5
Poliomyelitis virus	1-10 ^a	4			4
Poliovirus type 1	0.6 残留	5			4
Poliovirus type 1	0.3 残留	0.14			2
Poliovirus type 1	0.5 残留	0.5			2
Poliovirus type 1 (Mahoney)	0.23-0.26 ^a	1.67	7	24	2.5-3.0
Poliovirus type 3	0.6 ^b	0.3	6.9	22	1.63
Rotavirus human	0.1-0.3 ^b	6	6.8	4	3
Rotavirus SA11 simian	0.1-0.25 ^b	6-8	6.8	4	3
Rotavirus Wa human ATCC	2.1-4.2	1		22	0-1.0
Rotavirus Wa human Wooster	1.9-15.9	1		22	1.0-5.0

^a オゾン非要求水、^b リン酸緩衝液。

の殺菌に寄与するオゾン量すなわち CT 値を求めることにより殺菌効果を評価した。CT 値の求め方を以下に示す。

オゾン水の *Legionella* に対する殺菌効果は 99.99% 殺菌するための CT 値により判定した。CT 値の求め方は、オゾン濃度を初期濃度から経時的に測定し、オゾン濃度の減衰曲線を紙面に作図した。紙面に作図した減衰曲線の経過時間とオゾン濃度で囲まれた部分を切り取った紙の重量 (sg) を求め、初期濃度 (C' mg/L) と経過時間 (T' min) に囲まれた長方形の重量 (Sg) に対する比 (s/S) から次式 $CT = C' \times T' \times s/S$ を用いて CT 値 (mg・min/L) を求めた。ここで求められた CT 値を横軸に、生残率の対数値を縦軸にとり回帰直線を求めた。この回帰直線を用いて元の菌数の 99.99% を殺菌するための CT 値 (以下 99.99% CT 値) を求め、殺菌効果を評価した。また、試薬などに由来する不純物を出来るだけ混入させないように、被酸化性物質となる有機物質含有量の少ない試験水 (TOC: 0.17 mg/L) を用い、供試菌株はオゾン消費のないリン酸緩衝液で 2 回洗浄を行う。0.001 mg/L まで測定可能な高感度溶存オゾン濃度計を用いて低濃度溶存オゾンの減衰曲線を正確に求め、低濃度オゾン水の *Legionella* に対する殺菌効果を CT 値で評価した。

水温 20°C, pH 7.2 における約 0.005-0.025 mg/L の低濃度領域におけるオゾン水の減衰曲線の具体例を図 1 に示す。いずれの初期オゾン濃度においても時間の経過とともに直線的な減少が認められ、濃度が高い方が減少率は大きい傾向を示す。これらの半減期は 3.3-5.8 分で、オゾンの初期濃

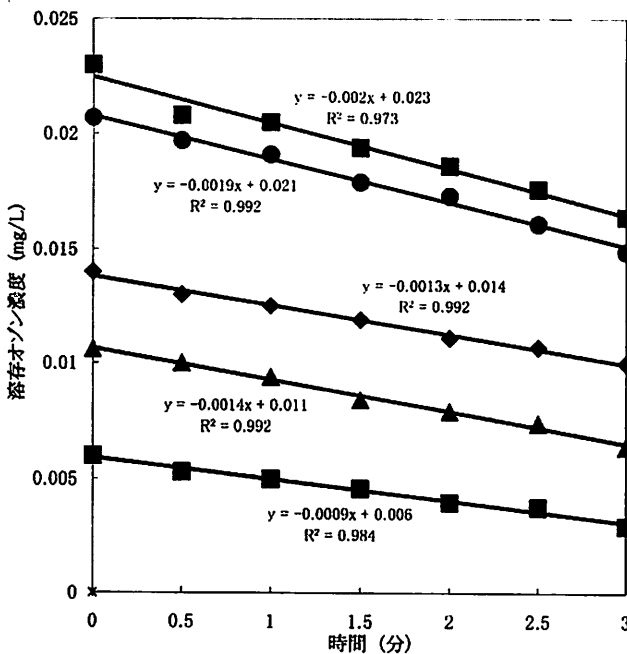


図 1 リン酸緩衝液 (pH 7.2) 中オゾンの 20°C における減衰曲線

度の高いものは半減期が短い。また、これと同様の実験条件において、オゾン処理実験水 1 L に試験菌液 1 mL を添加した時のオゾン濃度の減衰曲線を図 2 に示す。菌液の添加により初期の段階で急速なオゾン濃度の減少が認められ、その後徐々に減少速度が小さくなることが認められた。試験菌液添加 2 分 30 秒以降においては、その減衰の傾きが菌液を加えなかった図 1 の場合とほぼ同様のオゾン濃度の減衰挙動を示すことが分かる。

オゾン初期濃度の違いによる *Legionella* に対する殺菌効果は図 3 に示す様にオゾン濃度の増加とともに殺菌力が強くなり、0.034 mg/L では強い殺菌力を示し、 10^6 オーダーの菌数が 1 分後には完全に殺菌された。一方、非常

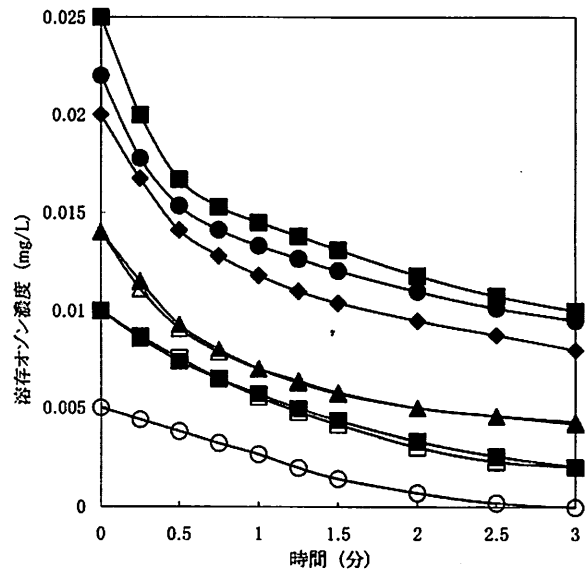


図 2 *Legionella* 菌液添加リン酸緩衝液 (pH 7.2) 中オゾンの減衰曲線 (20°C)

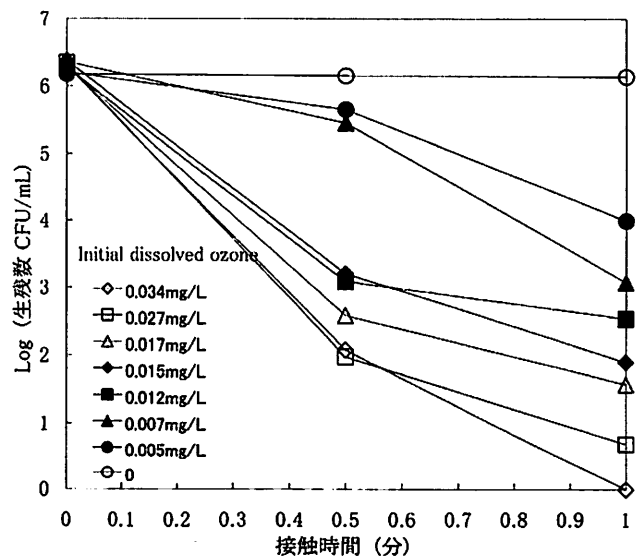


図 3 *L. pneumophila* ATCC33152 に対する初期オゾン濃度の殺菌効果 (pH 7.2, 20°C)

に低濃度の0.005 mg/Lにおいても 10^6 オーダーの菌数が1分後に 10^4 オーダーに1分30秒後には10オーダーまで減少した (data not shown).

夾雑物の存在しない状態では0.005 mg/Lという低濃度で *Legionella* に対するオゾン水の殺菌効果が認められた。

Legionella の各菌株に対するオゾン水の殺菌効果を判定するため99.99%CT値を求めた。縦軸に生残率 (%) の対数値を横軸にオゾン減衰曲線より算出したCT値をとり生残率とCT値に関する図を作成した。図4にATCC33152株についてLog (*Legionella* 生残率)とCT値との関係を図4に示す。図4よりATCC33152株を99.99%殺菌するためのオゾンのCT値を回帰直線式より算出した結果、ATCC33152株の99.99%CT値は0.011 mg·min/Lであった。

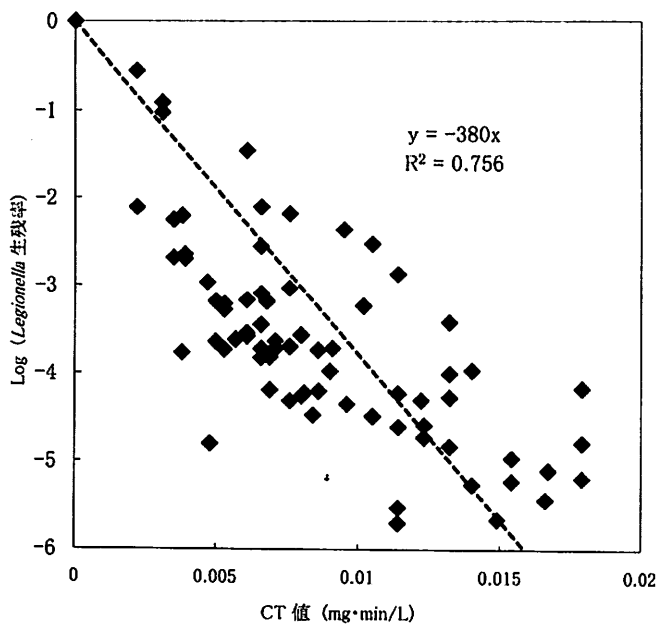


図4 Log (*Legionella* 生残率) とCT値 (mg·min/L) との相関図

同様の方法により算出した各菌株に対するオゾン水の99.99%CT値およびオゾン初期濃度と反応時間の積 (ICT値) も併せて表6に示す。環境分離株5株に対する99.99%CT値は0.007-0.013 mg·min/L、臨床分離株2株は0.013と0.011 mg·min/Lを示した。しかし、オゾン初期濃度と反応時間より求めたICT値は、オゾン消費を考慮した時のCT値よりも大きい値を示した。

8菌株の99.99%CT値は0.007-0.013 mg·min/Lで平均値±標準偏差が0.011±0.002 mg·min/Lであった。この様にオゾン消費を最小限に抑えた実験において、低濃度オゾン水は *Legionella* に対して強い殺菌作用を示すことが明確になった。

また、著者らは浴槽水の消毒にオゾンを導入するために、実際の水道水や温泉水等を原水とした浴槽水を想定し、pH 5.8-8.6およびアルカリ泉を想定したpH 9.5の条件で、水温40℃における低濃度オゾン水の *Legionella* に対する殺菌効果を検討した¹⁴⁾。その結果いずれのpHにおいても0.026 mg/Lの低濃度オゾン水で、処理3分後には5 Logの不活化が認められ、0.03 mg/L低濃度オゾン水は *Legionella* をほぼ完全に殺菌することを示していた。

5.2 ノロウイルス

ノロウイルスは主として経口感染した後、小腸粘膜上で増殖し、嘔吐・下痢などの胃腸炎症状を示す感染症である。通常ノロウイルス感染症の発生は冬季に多く、冬季に発生する食中毒の大部分を占めるといわれている。

ノロウイルスは現在のところ室内実験において培養することができないため、ノロウイルスに対する不活化効果を検討するために、国際的に代替ウイルスとしてネコカリシウイルス (feline calicivirus; FCV) が用いられている。一般にFCVの不活化効果には、RT-PCRによる方法で測定されることが多い。しかし、この方法では死滅したウイルスに由来するDNAも測定するため、正確さに欠けるといわれている。そのため著者ら¹⁵⁾は、ウ

表6 *L.pneumophila* の99.99%殺菌するためのCT値

菌株 (Serogroup)	起源	99.99% CT (mg·min/L)	99.99% ICT (mg·min/L)
<i>L.pneumophila</i> ATCC33152 (SG1)	ATCC	0.011	0.015
<i>L.pneumophila</i> S050818 (SG1)	循環式浴槽	0.007	0.009
<i>L.pneumophila</i> Y060117-1 (SG1)		0.012	0.016
<i>L.pneumophila</i> J060125-1 (SG1)		0.007	0.010
<i>L.pneumophila</i> A060126-2 (SG5)		0.010	0.013
<i>L.pneumophila</i> N080619 (SG1)	クーリングタワー冷却水	0.013	0.017
<i>L.pneumophila</i> LG2006-2 (SG1)	臨床株	0.013	0.015
<i>L.pneumophila</i> LG2006-4 (SG1)		0.011	0.018
平均値±標準偏差		0.011±0.002	0.014±0.003

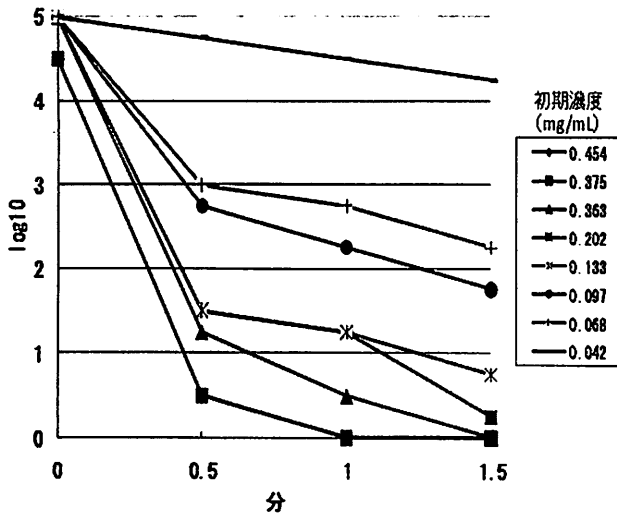


図5 オゾンによるFCV不活化効果 (19°C)

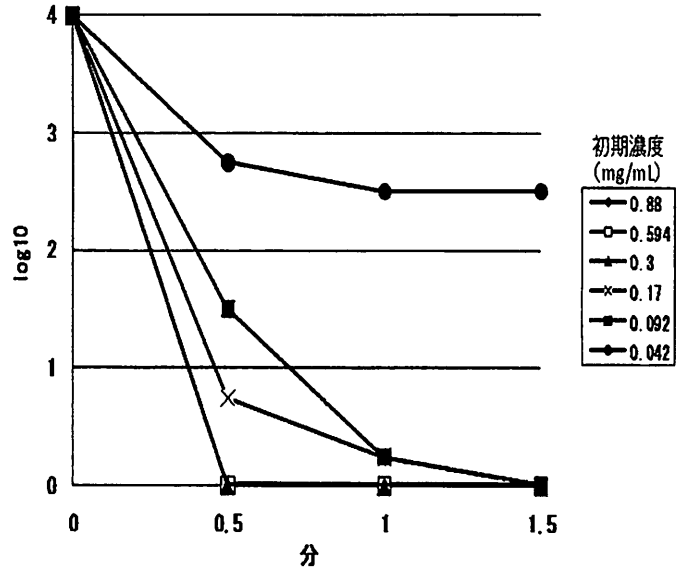


図6 オゾンによるFCV不活化効果 (8°C)

ウイルス感染価を用いて測定することによって評価した。また、ヒト糞便由来のノロウイルスに対する不活化効果については、不活化の判定をウイルス由来 DNA の存在の有無を nested-PCR により測定し、検出しないことを確認して PCR detection unit (PDU) の減少からオゾン水のノロウイルスに対する不活化効果を判定した。

図5に示すように水温 19°Cにおいて初期濃度 0.042-0.454 mg/Lのオゾン水に添加されたFCVはオゾン濃度 0.133 mg/L以上では曝露 30秒以内に 99.9%以上感染価が減少した。また、オゾン濃度 0.097 mg/Lでは 99.9%以上不活化するために 1.5分間を必要とした。

同様に水温 8°Cにおいて初期濃度 0.042-0.88 mg/Lのオゾン水に添加されたFCVはオゾン濃度 0.17 mg/L以上では 30秒以内に 99.9%以上感染価が減少した。また、オゾン濃度 0.092 mg/Lでは 99.9%以上不活化するのに 1分を必要とした。それ以下のオゾン初期濃度ではFCVの有効な不活化は認められなかった。

以上のFCVに対するオゾン水による不活化に関する検討結果から、オゾンの初期濃度が 0.097 mg/L (19°C)で 1.5分後および 0.092 mg/L (8°C)で 1分後にFCVを 99.9%以上不活化することが認められた。

また、同様の実験について臨床株であるヒト糞便由来のノロウイルスを用いて不活化実験を行った結果、水温 19°Cにおいて初期濃度 0.086-0.612 mg/Lのオゾン水に添加されたノロウイルスはオゾン濃度 0.174 mg/Lでは 30秒以内に PDU が 99.9%以上減少し、0.408 mg/Lと 0.612 mg/L濃度のオゾン水においては PDU が 100%減少した。これら結果から、臨床株であるヒト糞便由来のノロウイルスに対しては初期オゾン濃度 0.174 mg/L以上 (19°C)において 30秒以内に 99.9%不活化することを示した。こ

の結果からノロウイルスがFCVよりオゾンに対して抵抗性を示すことが認められた。

ノロウイルスの不活化に対して 0.1-0.2mg/Lの低濃度オゾン水で十分有効であることが認められた。

6. まとめ

CT値評価法によってオゾン水による各種細菌やウイルスに対する不活化効果に関する幅広い知見が求められる。今回は、オゾン水によるレジオネラ属菌、ノロウイルスに対する不活化効果について紹介した。一方、現実の実際現場におけるオゾンによる消毒・殺菌に関してはオゾン消費に由来する多くの問題を抱えているのが現状である。

レジオネラ症は、院内感染や老人介護施設等における集団発生が頻発し、患者報告数が増加傾向にあり公衆衛生上の問題となっている。また、冬季に発生する食中毒の大部分がノロウイルス感染症であるともいわれている。これらはいずれもヒトからヒトへの接触感染が問題となっている。

これら感染症の発生源対策および接触感染や飛沫核感染を防止するために、一般に塩素消毒が用いられるが十分な抑制効果が得られないのが現状である。そのため塩素消毒を補完あるいは代替消毒剤として強力な細菌・ウイルスに対する不活化効果を有するオゾン水、オゾンガスが実際現場において有効に利用されるべきであると考えられる。

参考文献

- 1) 中室克彦：オゾンの生体影響，エヌ・ティー・エス，

- OH ラジカル類の生成と応用技術, pp.57-67 (2008)
- 2) 日本オゾン協会オゾンハンドブック編集委員会:オゾンハンドブック, pp.67-96 (2004)
 - 3) 日本医療・環境オゾン研究会:環境分野におけるオゾン利用の実際, pp.62-71 (2007)
 - 4) 日本医療・環境オゾン研究会訳:ヨーロッパにおける最新のオゾン療法, 日本医療・環境オゾン研究会, p.6 (2002)
 - 5) 神力就子: OZONE:オゾンによる殺菌機構 1. 核酸とオゾンの反応. 防菌防黴, 22 (1994) 315
 - 6) 神力就子: OZONE:オゾンによる殺菌機構 2. 不飽和脂肪酸, タンパク質とオゾンの反応. 防菌防黴, 22 (1994) 383
 - 7) 神力就子: OZONE:オゾンによる殺菌機構 3. ウイルスの不活性化機構と殺菌機構. 防菌防黴, 22 (1994) 431
 - 8) 神力就子:オゾンによる細菌, ウイルスの不活性化機構, 新版オゾン利用の新技术, サンユースタッフ, p.91-109(1993)
 - 9) 平田 強: 第1回オゾンに関するセミナー資料, 日本オゾン協会, pp.89-99 (1991)
 - 10) M.A. Khadre, A.E. Yousef and J.G. Kim: Microbiological aspects of ozone applications in food: A review. J. Food Sci., 66 (2001) 1242
 - 11) J.G. Kim, A.E. Yousef and S. Dave: Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review. J. Food Protect., 62 (1999) 1071
 - 12) E.L. Domingue, R.L. Tyndall, W.R. Mayberry and O.C. Pancorbo: Effects of three oxidizing biocides on *Legionella pneumophila* serogroup 1. Appl. Environ. Microbiol., 54 (1988) 741
 - 13) 中室克彦, 土井 均, 肥塚利江, 枝川亜希子: 低濃度オゾン水の *Legionella* に対する殺菌効果. 防菌防黴 37 (2009) 407
 - 14) 中室克彦, 土井 均, 肥塚利江, 枝川亜希子: 浴槽水中の *Legionella* に対する低濃度オゾン水の殺菌効果に関する基礎的検討. 防菌防黴投稿中
 - 15) 中室克彦, 山崎謙治: 淀川流域の流下に伴うノロウイルスの分布と水中ノロウイルスのオゾンによる不活化. 河川財団河川整備基金助成事業報告書 (助成番号 19-1214-003) (2007)