

オゾンを利用したバイオクリーンエアシステムの可能性

Feasibility of Biological Clean Air System Using Ozone

萩谷 宏三*
Kōzō Hagiya

伊勢 賢郎**
Kenrō Ise

安達 嗣雄***
Tsugio Adachi

山口 達信****
Tatsunobu Yamaguchi

芦川 正行*****
Masayuki Ashikawa

吉田 尚弘****
Naohiro Yoshida

要 約

オゾンは、19世紀後半にその殺菌作用が確認され、フランスを始め西欧の国々において飲料水の浄化に使用されてきた。近年、わが国では水道水の塩素処理によるトリハロメタン (THM) の有害性が問題となり、それに代って注目を浴びてきているのがオゾンによる処理である。

本論では、このような無公害で強力な殺菌作用をもつオゾンに、当社にて開発中の静電液滴捕集技術を組み合わせたバイオクリーンエアシステムの自社開発に目標をおいた。静電液滴捕集技術については他に譲るとして、ここではオゾン水による殺菌すなわち微生物の不活化効果を把握するために、(財)日本生物科学研究所の協力のもとに行った実験について、その概要を報告する。1.0ppm という僅かな水中オゾン濃度で、しかも数秒の接触時間でウィルスを始めとする8種類の微生物の不活化に成功した。同時に前述した静電液滴捕集技術と組み合わせることにより、クラス100のバイオクリーンルーム (BCR) の可能性を見出した。

現在、産業界において BCR の有効性が実証されてきており、将来に向けてますます普及して行くであろう。それだけに本研究開発が実用化すれば、非常に利用価値のあるものとなる。

目 次

- §1. はじめに
- §2. オゾン
- §3. オゾン水の製造
- §4. オゾン水による微生物の不活化実験
- §5. 将来に向けて
- §6. おわりに

§1. はじめに

最近の産業の発展には目覚ましいものがある。その中で

も特にバイオテクノロジーは、急速な進歩を遂げており、それをサポートしている技術のひとつが BCR (Biological Clean Room) である。BCR とは、微生物による汚染が積極的に制御されている閉空間であると定義付けられる。その制御すべき空間にサスペンドしている微生物の種類は、ウィルスからかびに至る広い範囲にわたっており、その大きさは $0.02\mu\text{m}$ から数十 μm といわれている。しかし、自然界で空中に漂っているときには、エアロゾルやミストに付着した状態になっているというのが定説である。その数は、季節、場所により大きく変動するが、空気 1 m^3 当たり $10^2 \sim 10^4$ 個である。

現在、これらの微生物を除去する手段として、一般工業用クリーンルーム：ICR (Industrial Clean Room) と同様に HEPA フィルター (High Efficiency Particulate Air filter) でろ過する方式を採用している。こ

* 技術研究部原子力室
** 技術研究部副部長
*** 技術研究部建築技術課副課長
**** 技術研究部建築技術課
***** 関東支店機械課

Table1 産業分野別BCRの使用目的

産業分野		目的
医療	手術室	臓器移植・股関節置換
	回復室	手術後の感染防止
	特殊病室	急性白血病、軽傷、ぜん息
	新生児室	新生児・未熟児
薬品	注射薬製造	調合、充てん
	錠剤製造	混合、打錠、糖衣
	抗生物質	培養、充てん、検査
	医療器具製造	注射針、血液パックなど
食品	食肉加工	ハム・ソーセージなど
	乳製品	牛乳・ヨーグルトなど
	飲料	ジュース
	水産物製品	かまぼこ、ちくわなど
	醸造	みそ、酒・ビールなど
	惣菜	菓子
その他	無菌動物	飼育室、研究室の無菌化
	植物	きのこなど
	食肉動物	生産性の向上
	電子工業	電子部品

のような BCR 技術は、製薬工場のほか病院の手術室、特殊病室、治療室、各種研究室さらには食品業界、農林畜産業界にまで注目され、その需要がますます広がっている。Table 1 は、BCR の使用目的を産業分野別にまとめたものである。

しかしながら、HEPA フィルターを用いた方式は、少なからず問題点を抱えている。例えば、フィルター上に捕捉された微生物がそこで繁殖し、その結果フィルターの寿命を極端に縮めてしまうことである。その上、有害なウイルスや細菌などを高濃度に保持した使用済みフィルターは、処分が非常に困難である。

そこで HEPA フィルターに代って、微生物の捕集には当社にて現在開発中の高性能静電液滴捕集装置を想定し、微生物の殺菌にオゾン水を用いるバイオクリーンエアシステムを考案した。すなわち、高性能静電液滴捕集装置において、水の代わりにオゾン水を用いるものである。従って、有害な微生物を含んだ空気を連続的に清浄な空気に処理するとともに、捕集された微生物は溶存オゾンにより完全に殺菌される。装置の捕集性能に関しては、当技報「高性能静電液滴捕集と排液処理技術の開発（第1報）」に詳しく述べている。オゾンによる微生物の不活化実験について、この度財団法人日本生物科学研究所の協力を得る機会に恵まれ、当社がオゾンを提供して無事完遂することができた。その結果、少なからぬ知見を得たのでここにその概要を報告する。

§2. オゾン

2-1 オゾンの性質

常温・常圧でオゾンは、特有な刺激臭を有しており、オゾンの語源はギリシャ語の「臭う」に由来している。酸素の同素体であり、分子式で表すと O_3 である。自然大気中には、紫外線的作用によって常に極微量存在しているが、人工的にも発生させることが可能である。酸化還元電位値：ORP (Oxidation Reduction Potential) がフッ素に次いで高く、そのため酸化力は塩素のおよそ7倍といわれている。殺菌、浄化剤として応用範囲が広く、食品類の殺菌並びに水や空気の浄化に利用されており、しかも漂白、脱色、脱臭作用なども兼ね備えている。Table 2 は、産業分野別にオゾンの作用とその用途を表したものである。

Table2 産業分野別オゾンの作用とその用途

産業分野	作用	殺菌・消毒	脱臭	脱色	漂白・酸化 その他の作用
住宅関連	居室、会議室、トイレ、ホテル、学校の室内空気				
	水道水、マンション水槽その他水の浄化				
	洗濯槽、乾燥機、ドライトリーニング				
	ビデ・水洗				
バイオ	遺伝子工学、種子、LSIのクリーンルーム				
	冷凍庫、冷蔵庫、コンテナ、スーパーマーケット（ショウケース）				
	調理室、加工室、ビール醸造工場・食肉加工				材料の漂白
	材料・製品 解凍用オゾン水				
病院	手術室・待合室・廊下・医療器具類				
	下排水				
	排気				有害ガスの分解
	下排水				
染色	繊維の脱色および染色性向上				
	下排水				
	繊維の漂白				
	工場用上水・下排水				
ゴム工場	カレンダーマシンからの悪臭				
	水肥・畜舎				
	下水・畜舎				
	下水・畜舎				
農・水産業	ビニールハウス 殺菌剤（カビ防止）				
	種子・鶏卵				
	養魚水槽				し尿の高濃度処理 養魚水槽の浄化
	冷却水				排煙脱臭 産子炉廃棄物
上水道	上排水				
	下排水				
	排気				
	排気				

しかし反面、長時間にわたり接触すれば気中濃度 1 ppm とはいえ、人体に有害となる。また、気中でさえ不安定で分解し易く、湿気が共存すればその速度は更に増す。そのため、オゾンは貯蔵がむずかしく、使用する場所で発生させる必要がある。Table 3 は、オゾンの物理定数を酸素と比較したものである。

2-2 オゾンの製造

オゾンを実験的に発生される方法としては、化学的方

Table3 オゾン及び酸素の物理定数

物理定数	オゾン(O ₃)	酸素(O ₂)
分子量	48.0	32.0
沸点(760mmHg), °C	-111.9	-182.96
融点(760mmHg), °C	-192.7	-218.4
臨界温度, °C	-12.1	-118.8
臨界圧力, atm	54.6	49.7
臨界密度, g/ml	0.437	0.430
臨界容積, l/mol	0.147	0.0745
気体密度(0°C), g/l	2.144	1.429
液体密度(-183°C), g/l	1.571	1.14

法、電解法、紫外線法及び放電法があり、その発生装置をオゾンナイザー (Ozonizer) という。現在、工業的に実用化されているのは放電法であり、特に無声放電(Silent Electric Discharge) を応用している。Fig.1 にその原理を示すように、誘電体 (この場合、ガラス) を介した放電ギャップをもつ両電極間に、交流高電圧を印加するとギャップ中に安定な放電が発生する。その結果、空気あるいは酸素を原料ガスとしてオゾンが生成される。しかし、この方式では装置が大規模となり、また、オゾンの発生量が原料ガスに対して極端に低く、そのため製造コストが高くなる。その上、ガラスを用いているため工業的装置として、その耐久性に問題が生じる。

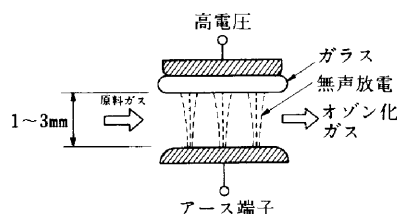


Fig.1 無声放電を利用したオゾンナイザーの原理

本実験では、誘電体として高純度のアルミナセラミックスを使い、これに特殊波形の高周波高電圧を組み合わせ発生する沿面放電 (Surface Discharge) を利用した最新のオゾンナイザーを用いた。その原理を図解したものが、Fig.2である。この装置は、在来方式に比べ高い効率でオゾンを発生することができ、しかもコンパクトで前述の欠点が大幅に解消されている。オゾンの発生量は、印加電圧の上昇に伴い急増し、誘電電極の長さ及び同一温度の下で周波数にも比例する。特に、最も影響力の大きなファクターは温度であり、これは低い程よい。そのため当装置は、空冷用のファンを内蔵しており、放電により発生する熱を効果的に除去している。運転上の諸条件(例えば、原料ガスの流量、圧力及び脱湿の程度並びに放電

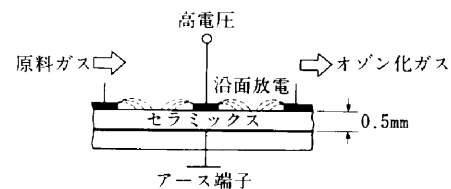
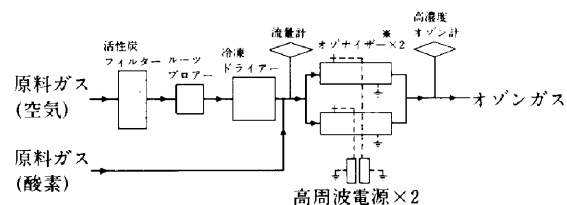


Fig.2 沿面放電を利用したオゾンナイザーの原理

面の清浄度など) によるが、原料ガスに酸素を用いると空気の場合に比べ数倍の発生量になる。そこで、本実験では原料ガスに酸素を用い、その流量、圧力をそれぞれ10l/分、0.5kgf/cm²(49.0kPa) に設定して得られる気中濃度30,000~40,000ppm のオゾンを用いた。Fig.3 に当装置のシステムの概略を示す。



※オゾンナイザーは、ファンにて空冷する。

Fig.3 オゾンナイザーのシステムフロー

2-3 オゾンの測定

オゾンを定量的に把握する方法には、紫外線吸収法に代表される物理的方法、ヨウ化カリウム法に代表される化学分析法及び物理・化学両手段による方法とに大別できる。しかし、物理的方法は化学分析法に比べ極めて迅速に定量でき、かつ熟練度を必要としない。

オゾンに限らず物質には、それ特有の波長における紫外線の吸収がある。そこで、物質を透過した紫外線強度の減少から、物質の濃度を定量することができる。Fig.4 に示すように、オゾンは波長254nm 付近に吸収帯をも

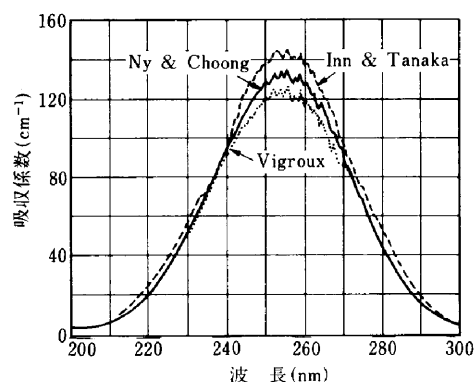


Fig.4 オゾンの吸収スペクトル

つ。実験で使用したオゾン濃度計は、荏原実業株製 EG-2001であり、この原理に基づいたものである。Fig. 5は、一般的な測定器のシステムフローである。

なお、水中オゾン濃度の定量の場合にも、これと同じ原理の測定器を用いることができる。ここでは、荏原実業株製 EL-2001を使用した。

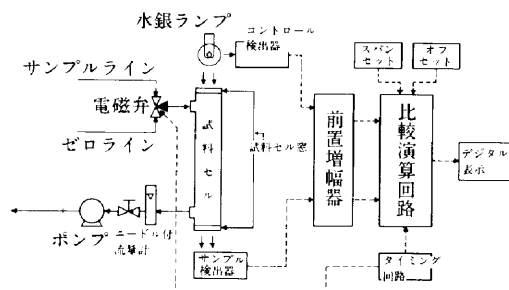


Fig.5 オゾン濃度計のシステムフロー

§3. オゾン水の製造

オゾンは、酸素に比べ水に溶け易いとはいえ、酸素を原料とした場合でもその濃度が極めて薄く、それが水中への吸収を困難にしている一因でもある。溶解量は、常温・常圧でヘンリーの法則に従い、その濃度は数 mg/ℓ (ppm) に過ぎず、水温及び pH が高くなると水中での自己分解速度が増大し、さらに減少が予想される。しかし、この分解過程で発生する原子状の酸素が、強力な酸化作用や殺菌作用の原動力となる。また、余剰のものは、水中で2個結合して酸素分子となり、有害な二次汚染は全くない。このメリットが、オゾン水を水の浄化や食品の殺菌に利用している理由である。

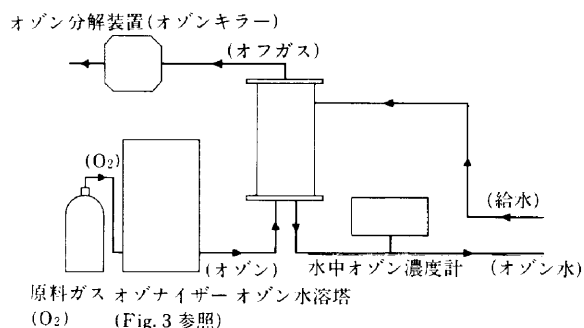


Fig.6 オゾン水製造装置のシステムフロー

この実験で使用したオゾン水製造装置の概略を、Fig. 6に示した。オゾン水溶塔は、内径20cm、高さ100cmの円筒形であり、材質は耐オゾン性に優れているステンレスである。オゾンナイザーで発生させたオゾンを効率的に

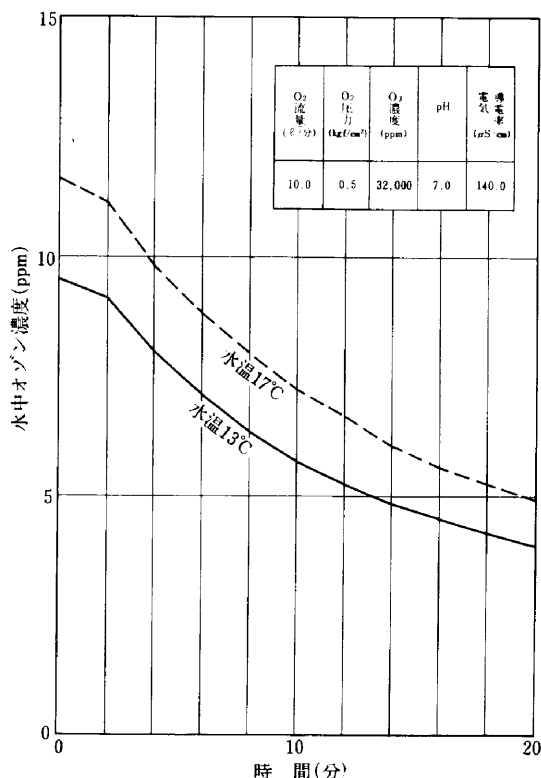


Fig.7 水中オゾン濃度の減衰特性

水中へ溶解させるため、塔底部には多孔質の散気盤（孔径2 μm、ステンレス製）を設けてある。発生したオゾン及び水中に溶解したオゾンの濃度は、前述した紫外線吸収法に基づいた測定器を使用して計測した。水中オゾン濃度は、散気盤に供給するオゾンガス濃度にそれほど関係せず、4～5分で平衡に達するが、本実験では平衡後その濃度がどのような減衰過程をたどるかが問題となる。すなわち、オゾン水により微生物を不活化する場合、それ以前にオゾン水が自己分解して、殺菌力をもたないただの水に戻っては論外だからである。Fig.7は、水温をパラメーターとして、平衡後の水中オゾン濃度の減衰特性をみたものである。もちろん、その間水中へのオゾンの供給は行っていない。最終平衡濃度に関係なく、両者とも半減期は15分前後であり、また、水温が低いほどオゾンの溶解度が大きいことがわかる。溶解度に関しては、そのほかに水の純度（電気伝導度の大小）及び pH、オゾンガス濃度、オゾンの水中滞留時間、散気盤のメッシュ並びに水溶塔の形状などにも大きく影響される。

§4. オゾン水による微生物不活化実験

4-1 実験方法

本実験は、(財)日本生物科学研究所にて行った。オゾンナイザー設置場所と微生物試験室が離れているため、製造

Table4 実験に供した微生物

大分類	小分類	特 性
細菌	大腸菌 (ATCC25922株)	3×1.5 μ mの大きさの腸内常在細菌で、病原性をもたない腐生菌であるが、ある種のは病原性大腸菌と呼ばれ、乳幼児の下痢症の原因にもなる。
	ブドウ球菌 (ATCC25923株)	直径0.8～1 μ mの球状細菌で、それが多数集まり、ブドウの房のようにみえる。皮膚創傷部から感染したり、食中毒の原因菌のひとつでもある。
	緑膿菌 (ATCC27853株)	感染すると、膿に緑色の色調を帯びる点から、この名称がある。乾燥には弱い、水分のあるところでは、長期間に亘って存在する。
	クロストリジウム・パーフリンジエンス (W-1株)	ガス壊疽の症例中、最も多く検出され、その大きさは1～2×2～8 μ mである。また、食中毒の原因にもなる。
ウイルス	インフルエンザウィルス (A/熊本/37/79株)	A型は2～3年周期で大流行し、B型は4～5年周期で小規模の流行を起す。またC型の流行は、非常にまれである。形状は、直径80～120nmの球である。
	鶏脳脊髄炎ウィルス (VR株)	直径20～30nmと、きわめて小さい。ポリオウィルスの仲間。
	犬伝染性肝炎ウィルス (N-ST-30株)	安定で、下水、プール、塵埃などの中に長く生存し、経気道ならびに経口的に人から人へと伝播される。流行は、局地的である。
	犬パルボウィルス (CP49株)	ヒトの伝染性下痢、A型肝炎等の病原体も暫定的にパルボウィルスに用いられている。有機溶媒や熱に対する抵抗性が強い。
原 虫	鶏コクシジウム (アイメリア・テネラ日生研株)	——

したオゾン水を一度容器に受け、それを試験室へ運び実験に供した。実験の主眼は、水中オゾン濃度及び微生物とオゾン水との接触時間をパラメーターとして、微生物の不活化の程度をみることにある。実験に供した微生物の種類を、Table 4 にまとめて載せた。

ところが、先に述べたように水中におけるオゾンの自己分解速度は、非常に早いものでその半減期は、せいぜい十数分である。そのため、オゾン水を微生物試験室へ運び所定の濃度に調整している間に、どんどん自己分解したものとみられる。その結果、ブドウ球菌と大腸菌については、なんとか不活化することができたものの、他は不活化できなかった。

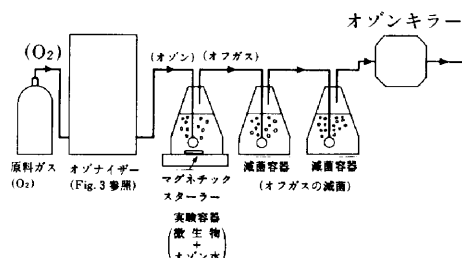


Fig.8 実験装置のシステムフロー

そこで、水中オゾン濃度を一定に保ち、その中に所定の微生物濃度(個/ml)になるような微生物を投入し、溶存オゾンと接触できる装置を改めて製作した。その装

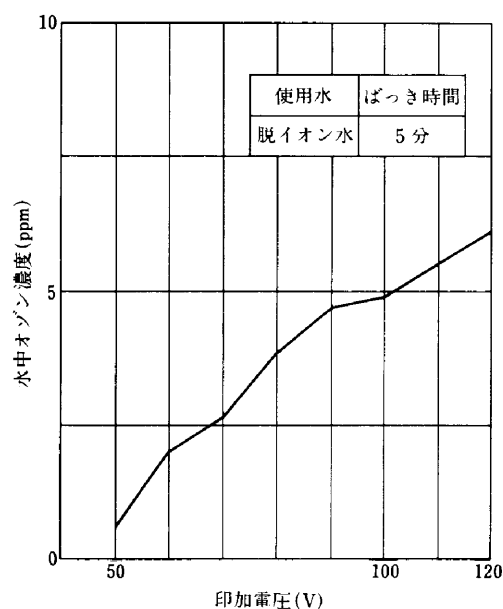


Fig.9 印加電圧と水中オゾン濃度

置の概略を、Fig.8に示す。水中オゾン濃度は、スライダックを用いてオゾナイザーの印加電圧を変えることにより、任意に設定することができ。それを示したのが、Fig.9である。水中オゾン濃度と印加電圧の間には、リニアな関係がみられる。

なお、水中オゾン濃度の測定に関しては、オゾン水の量に限りがあり、一定時間ごとに測定すべきオゾン水を

相当な量供給しなければならない紫外線吸収法では、事実上不可能となる。そこで、採用した測定方法は、溶存オゾンを固定する吸収液に中性リン酸塩緩衝2%ヨウ化カルウム溶液を用い、それをチオ硫酸ナトリウムで滴定還元するという化学分析法である。これは、JIS B 7957の中で規定されている方法でもある。

実験の方法は、まず三角フラスコ(容量2ℓ)内の滅菌した蒸留水1.5ℓに、ガラスろ過器(ボール形)を通じてオゾンを吹き込みつつ、水中オゾン濃度が所定の値に達したかどうか滴定により確認した。続いて、その中に所定の濃度になるように、直接微生物を混合した。その後、経時的にサンプリングを行い、オゾン水の微生物に対する不活化効果、すなわち生存の有無を検査するとともに、水中オゾン濃度も再確認した。

4-2 実験結果及び考察

大腸菌は、0.5ppmの水中オゾン濃度で、しかも15秒という短い接触時間で不活化するという報告がある。しかしながら、当初水浴槽を用いた実験では、あまりにも

不本意な結果であったため、第一段階の実験条件は微生物の種類に応じて、水中オゾン濃度11~14ppm、接触時間1~10分と余裕ある設定とした。その結果を、Table 5に示す。いずれの微生物も、設定時間内に不活化することができた。ただ、水中オゾン濃度設定後は、オゾナイザーを始め装置の運転条件を変更していないにもかかわらず、特に細菌の場合は濃度が低下している。この原因は、細菌の浮遊液の混合にある。それは、浮遊液がブイオン(肉水)で有機物を含んでおり、これが溶存オゾンと逸早く反応して濃度を下げたものと考えられる。

第二段階としては、実験条件をさらに絞り込み、1ppm程度の微量な水中オゾン濃度で、しかも5秒という非常に短い接触時間を中心に行った。水中オゾン濃度の調整は、前にも触れたようにオゾナイザーへの印加電圧を変えることにより可能である。その結果を、Table 6に示す。このような低レベルの条件でさえ、オゾン水による微生物の不活化効果は大きい。クロストリジウム・パーフリンジェンスのような嫌気性の芽胞形成細菌は、

Table5 オゾン水による微生物不活化実験結果(その1)

微生物の種類	水中オゾン濃度 (ppm)		微生物浮遊液			不活化効果		
	微生物 混合前	混 合 5 分後	材 料	混合割合	微生物濃 度(個/ℓ)	証 明 法	接 触 時間(分)	生存の 有無
緑膿菌	12.0	11.5	ブイオン培養	1.5ℓ/1,500ℓ	10 ⁶ cells	1白金耳/10ℓ ブイオン	5	無
クロストリジウム ・パーフリンジェンス	13.0	8.4	ブイオン培養	1.5ℓ/1,500ℓ	10 ⁶ cells	1白金耳/10ℓ ブイオン	5	無
犬伝染性肝炎ウイルス	12.7	—	5%血清加 TPBイーグル	67ℓ/1,500ℓ	10 ^{4.2} TCID ₅₀	0.1ℓ/液抜 細胞培養(4本)	1	0/4 ^{*1}
犬パルボウイルス	12.7	12.0	5%血清加 TPBイーグル	6.7ℓ/1,500ℓ	10 ^{3.2} TCID ₅₀	0.1ℓ/液抜 細胞培養(4本)	1	0/4
鶏脳脊髄炎ウイルス	11.0	13.9	10%鶏胎児 乳剤(PBS)	1ℓ/1,500ℓ	10 ^{6.1} EID ₅₀	0.1ℓ/5eggs	10	0/5
インフルエンザ ウイルス	14.2	14.9	10%鶏胎児 尿膜腔液(PBS)	1ℓ/1,500ℓ	10 ⁶ EID ₅₀	0.1ℓ/5eggs	10	0/5
鶏コクシジウム	1.0	1.68	蒸留水	1.5ℓ/1,500ℓ	約3×10 ³ cells	1回遠沈、洗 浄後28℃で培 養 (2%重クロ ムNa液使用)	10分	27% ^{*2}
		1.32					30分	3.5%
		1.32					10分	19 %
		1.92					30分	0 %
		1.92					60分	0 %
	5.0	7.56					10分	0 %
		7.20					30分	0 %
		8.64					60分	0 %
	10.0	10.08					10分	0 %
		9.24					30分	0 %
		10.44					60分	0 %

※1 微生物の生存を確認したサンプル数/全サンプル数

※2 鶏コクシジウム200個中の胞子形成率(%)

但し、オゾンを作用させない場合、82%である。

特にオゾンに対する抵抗力が高いといわれているが、発育期の菌に関する限り芽胞非形成菌と同等の感受性であった。次に緑膿菌に焦点を当てると、微生物濃度が 10^6 (個/ml)では不活化できなかったが、 10^5 に設定すると不活化できた。これは、前にも述べているように、溶存オ

ゾンが細菌浮遊液成分に消費されてしまい、肝心の細菌に働きかけることができないためと考えられる。そこで、細菌浮遊液の添加量を減らすことにより、オゾンを効率良く細菌と反応させることができた。

この場合、水中オゾン濃度が同じであっても、微生物

Table6 オゾン水による微生物不活化実験結果(その2)

微生物の種類	水中オゾン濃度 (ppm)		微生物浮遊液		微生物濃度(個/ml)	不活化効果		
	目標値	混合1分後	材 料	混合割合		証 明 法	接触時間 (秒)	生存の有無
ブドウ球菌	1.0	1.08	ブイヨン培養	0.15ml/1,500ml	10^5 cells	1白金耳/10mlブイヨン	5	無
大腸菌	1.0	0.96	ブイヨン培養	0.15ml/1,500ml	10^5 cells	1白金耳/10mlブイヨン	5	無
緑膿菌	1.0	1.01	ブイヨン培養	1.5ml/1,500ml	10^6 cells	1白金耳/10mlブイヨン	5	有
				0.15ml/1,500ml	10^5 cells			無
クロストリジウム・パーフリンジェンス	1.0	0.96	ブイヨン培養	0.15ml/1,500ml	10^5 cells	1白金耳/10mlブイヨン	5	無
犬伝染性肝炎ウイルス	1.0	1.20	5%血清加TPBイーグル	1.5ml/1,500ml	$10^{1.5}$ TCID ₅₀	0.1ml/液抜細胞培養(4本)	5	0/4
犬パルボウイルス	1.0	0.96	5%血清加TPBイーグル	1.5ml/1,500ml	$10^{2.5}$ TCID ₅₀	0.1ml/液抜細胞培養(4本)	5	0/4
鶏脳脊髄炎ウイルス	1.0	0.72	10%鶏胎児乳剤(PBS)	1ml/1,500ml	$10^{2.9}$ EID ₅₀	0.1ml/10eggs	5	0/9
インフルエンザウイルス	1.0	0.96	10%鶏胎児尿膜腔液(PBS)	1ml/1,500ml	$10^{5.3}$ EID ₅₀	0.1ml/10eggs	5	0/10

濃度が変われば結果的に不活化効果に差が生じ、ここで設定した 10^6 や $10^{1.5}$ という値が、現実問題として果して妥当であったのかどうかという懸念がある。しかし、空気1 m³当たりの浮遊微生物数は、 $10^2 \sim 10^4$ 個である。例えば、平面積106m² (32坪)、天井高3 m及び換気回数30回/時のBCRを、液ガス比0.2ℓ/m³の当社が開発中の高性能静電液滴捕集装置で処理するものと想定すれば、ド

レン水中の微生物濃度は0.5~50 (個/ml)となる。この値は、換気を全てフレッシュエアで行うものとして試算した結果である。

すなわち、本実験で採用した微生物濃度は、決して実状とかけ離れてものではなく、微生物の種類によっては逆にシビアな条件ともいえる。

また、鶏コクシジウムは、種々の消毒剤に対して強い

Table7 オゾン水による微生物の不活化効果

微生物の種類	水中オゾン濃度 (ppm)	微生物濃度 (個/ml)	温度 (℃)	pH*	接触時間	死滅率 (%)
大腸菌	0.96	10^5 cells	21.0	7.0	5秒	100
ブドウ球菌	1.08	10^5 cells	21.0	7.0	5秒	100
緑膿菌	1.01	10^5 cells	21.0	7.0	5秒	100
クロストリジウム・パーフリンジェンス	0.96	10^5 cells	21.0	7.0	5秒	100
インフルエンザウイルス	0.96	$10^{5.3}$ EID ₅₀	21.0	7.0	5秒	100
鶏脳脊髄炎ウイルス	0.72	$10^{2.9}$ EID ₅₀	20.0	7.0	5秒	100
犬伝染性肝炎ウイルス	1.20	$10^{1.5}$ TCID ₅₀	21.0	7.0	5秒	100
犬パルボウイルス	0.96	$10^{2.5}$ TCID ₅₀	21.0	7.0	5秒	100
鶏コクシジウム	1.92	約 3×10^3 cells	20.0	7.0	30分	100

* 所定の微生物濃度に希釈するために用いた滅菌蒸留水のpHである。

抵抗力を有しており、現在、比較的高い効力を有するものとして、オルソジクロロベンゼンを主剤とする製剤がある。しかしながら、このオルソ剤でさえ、完全に鶏コクシウムを不活化するには数時間を要するといわれている。本実験では、1.9ppmで30分、7.5ppmで10分以内に完全に不活化しており、この意義するところは大きい。

このように低濃度のオゾン水で、微生物の不活化が十分可能であれば、原料ガスとして高価な酸素を使わず空気を利用することができる。但し、空気組成の80%を占める窒素が、オゾンの生成に伴って二酸化窒素となり、それがオゾンとともに水に溶解して硝酸となる。その結果、オゾン水のpHが低下して、微生物に対する不活化効果にどのような影響が生じるのか究明する必要がある。

以上の実験結果から、微生物の不活化効果（死滅率）を100%得るに必要な最低条件を、微生物の種類別に整理したものをTable 7に示した。

§ 5. 将来に向けて

現在、わが国におけるBCRの技術基準には、アメリカ航空宇宙局（NASA）の規格が準用されている。それをTable 8に示す。例えば、クラス100のBCRを考えた場合、生物粒子の浮遊量は、3.5個/m³である。一方、導入外気中には10²～10⁴個/m³存在するといわれており、BCRへの清浄空気の供給を全てフレッシュエアで行ったとしても、捕集効率96.5～99.965%の除菌装置であればよいことになる。この値は、当社で開発中の高性能液滴捕集装置にとって、むずかしいものではない。昨年、粉塵濃度3 mg/m³、風量5.4m³/分及び液ガス比0.13ℓ/m³という条件下で、98%の実績を得たからである。この時使用した粉塵は、0.3μmを中心とした度数分布をもつ多分散型である。また、細菌学者の中には、微生物の捕集は一般塵埃に比べ容易であると報告している例もある。詳細は他に譲るとして、本年も引続き予備荷電装置のチャージング効果の向上を始め、装置のレベルアップ

を改善目標に努力中であり、クラス10への希望も持っている。

微生物は、捕集されると同時にオゾンによる不活化作用を受ける。実験の結果、非常に微量な水中オゾン濃度で、しかも短い接触時間で完全に死滅するという好成績を収めた。これにより、微生物を含んだドレン水は、オゾンにより完全に滅菌され、連続的に一般排水と区別することなく廃棄することができる。

なお、微生物に対するオゾンの不活化効果を促進するために、紫外線や電子線などを併用するという方法がある。以前に比べコストが安くなったとはいえ、これで高価なオゾンの消費を少しでも節約できれば、将来、実用化のめどがより明確になろう。また、当社のバイオフィンエアシステムのもうひとつの要に、バイオハザードの防止がある。これは、病源性微生物や組換え遺伝子の取扱中に起こる事故によって、これらが不用意に室外へ放散するのを防止する技術であり、当装置のアプリケーションが期待される分野である。

§ 6. おわりに

オゾンによる微生物の不活化効果を試みた実験は、他にも報告されている。中には、培地上の微生物にオゾン直接ガス状で作用させたものもある。いずれにせよ、非常に不安定なオゾンと生物を用いているだけに、実験者によるデータの多少のちがいは免がれないだろう。

なお、本実験に供したクロストリジウムや鶏コクシウムは発育期のものであり、不活化効果を詳細に検討するために、環境や薬剤に対してはるかに抗体性の強い成熟期のものについても検討することが望ましい。

最後に、実験施設の御提供と実験の御指導などで御協力をいただいた財団法人日本生物科学研究所の本橋先生はじめスタッフの方々に厚く御礼申し上げます。また、本論の執筆に当たり、内外の書籍、雑誌及びカタログ等を広く参照させていただいたが、それらの著者及び発行者に感謝の意を表します。

Table 8 BCR 規格(航空宇宙局規格要旨NHB5340.2)

バイオフィン ルーム の級別	粒 子		生 物 粒 子		圧 力	温 度	湿 度	気 流	照 度
	粒径(μm)	累積粒子数 〔個/ℓ〕	浮遊量 〔個/ℓ〕	沈降量 〔個/m ² 週〕	〔mmH ₂ O〕	〔℃〕	〔%〕	換気回数	〔lx〕
100	0.5以上	3.5以下	0.0035以下	12,900	1.3以上	指定値	45 ↓ 40	層流方式 0.45m/秒 ±0.1m/秒 乱流方式 28回以上/h	1,080 ↓ 1,620
10,000	0.5以上 5.0以上	350以下 2.3以下	0.0176以下	64,600					
100,000	0.5以上 5.0以上	3,500以下 25以下	0.0884以下	323,000					