

平成 19 年度厚生労働科学研究費補助金（地域健康危機管理研究事業）
分担研究報告書

建築物内における生物化学物テロの対策に関する研究

分担研究者 柳 宇 国立保健医療科学院 建築衛生部 室 長
分担研究者 鍵 直樹 国立保健医療科学院 建築衛生部 主任研究官

研究要旨

建築物を対象としたバイオテロが起きた緊急時の対応方法は、基本的に病原体などの拡散を防ぐことであり、その病原体などを早く検知し、適正な室内・室間の気流計画を行い、居住者の避難通路を確保することであるが、病原体などをリアルタイムで検知できることが前提となっている。本年度では①引き続き微生物リアルタイム計測器 IMD (Instantaneous Microbial Detection, 瞬間微生物検知器) に対する検証, ②バイオテロが起きた場合を想定し、その後の処理としてのオゾンによる殺菌効果と方法の検討を行った。今年度の研究から得られた主な結果は以下の通りである。

- [1] 粒度分布が分かる標準蛍光粒子を空中発生させる実験では、IMD がその蛍光粒子の粒度分布を適正に測定している。
- [2] 「暴露強度（オゾン濃度×暴露時間）」を定義し、同じ暴露強度であれば同じ殺菌効果を有することが確認された。
- [3] *E.coli* に対する 99.9% の死滅率を得るには、12(ppm×min) の「暴露強度」での暴露が必要である。また、*A.niger*, *C.cladosporioides*, *P.pinophilum* を全て 99% 殺滅するのに 90 (ppm×hr) 以上が必要である。
- [4] *E.coli* を用いた 30%, 50%, 70% の比較実験の結果、相対湿度が低いほうが若干高い死滅率を示している。
- [5] 本研究の結果を用いれば、現場で得られるオゾン濃度に対する必要殺菌時間の目安が得られる。

A 研究目的

平成 17 年度の研究では、海外の生物化学物テロ対策に関する研究および日本の健康危機管理に関する行政対応の資料のレビューを行い、建築物を対象とした生物化学物テロが起きた場合の対応のあり方に関しての取り込むべき課題を明確にした。すなわち、建築物におけるバイオテロ対策の重要なポイントはいち早く微生物(病原体)の発生(放出)を検知し、適正な室内、室間の気流計画を行い、居住者の避難通路を確保し、事件後の建築物と空調システムの使用を早く再開するための対策

を施すことである。

平成 18 年度の研究では、アメリカで開発されたバイオセンサー技術を応用した瞬間微生物検知器 IMD (Instantaneous Microbial Detection) を用いて、微生物濃度の変動が激しい病院の待合室における検証を行った結果、IMD を用いた測定結果は培地法の計測器での測定結果との間に有意な相関関係 ($p<0.01$) が認められた。即ち、IMD は室内浮遊微生物濃度のモニターとして使用できるが示唆された。さらに、IMD は実験室(クリーンルーム)内に数 cfu/L の濃度レベルの浮遊微生物 (*Walleimia*

sebi 孢子) の測定の可能性が示され、かつ非生物粒子 (ラテックス粒子) を用いた実験の結果、生物粒子としてカウントしない (誤認知しない) ことが分かった。

本年度では今までの研究成果を踏まえて、以下の検討を行った。

- ① IMD に対する更なるの検証：標準蛍光粒子に対する IMD の応答特性の把握。
- ② 事件後空調再開のための消毒方法の検討。

B 研究方法

B-1 蛍光粒子に対する IMD の応答特性試験

IMD は蛍光を計測する検知部、Mie 散乱理論に基づく在来のパーティクルカウンター、微生物と非生物粒子を区別する演算部から構成されている (図-1)。

本研究では、蛍光粒子に対する IMD の応答特性を把握するために国立保健医療科学院建築衛生部

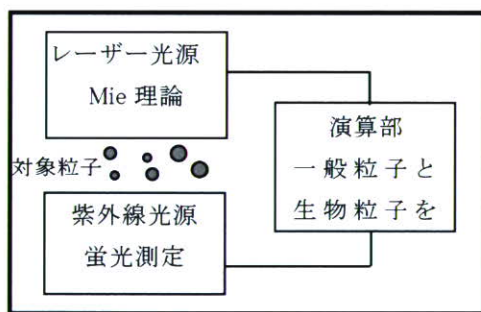


図-1 IMD の構成

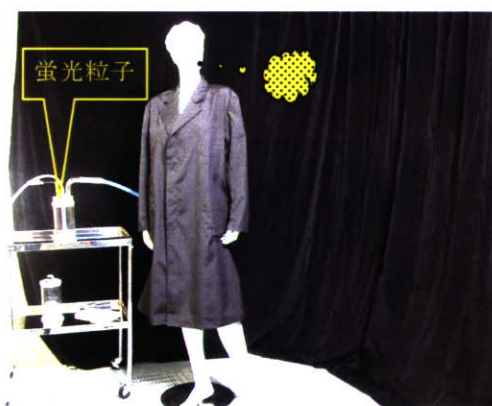


図-2 標準蛍光粒子発生装置

の CR (クリーンルーム) を用いて行った。蛍光粒子 (粉体、粒径：2~8 μm、励起波長：342nm、モリテックス製) 50mg をガラス製チャンバ内に設置し、加圧空気より蛍光粒子をチューブを介し

てマネキンの口から放出した (図-2)。マネキンの口での風速を 10m/s に設定し、4.3m 離れている箇所に IMD を設置し連続測定を行った。

B-2 オゾン殺菌に関する既往の研究

一般的な殺菌方法には、紫外線照射、ホルムアルデヒド (HCHO) とオゾンガス (O₃) などによる殺菌の方法がある。紫外線による殺菌はそれが照射していない箇所に対して効果がないため、空調システム内においてはフィルタ、コイルフィンなどの形状の特性からその適用が難しいと考えられる。また、HCHO は発がん性物質であり、高濃度の使用はリスクが高くなるばかりではなく、殺菌後の処理に手間がかかる。そこで、本研究ではオゾンによる空調システム内の殺菌方法に注目した。オゾンにおいては分解後酸素になるため、環境負荷が少ないほか、その後処理も必要としない特徴がある。なお、殺菌とは文字通り微生物を殺すことで、微生物の生活力を失わせることである。また、場合により、殺カビ・殺ウイルス・殺芽胞などの語も用いられる¹⁾。

オゾンはその強い酸化力、殺菌力から上・下水道水処理などに利用されており、その殺菌効果に関しても多くの成果が発表されている。また、オゾンは気相中に比べて液相中の方が殺菌作用が強いことが知られている。それは、液相中では、オゾンの分解の際により酸化力の強い活性酸素 (O₂²⁻) やラジカル (OH・) が生成されるためである。一方、気相中のオゾンによる殺菌のメカニズムが次のように考えられている。オゾンガスが微生物に対してマルチポイントで攻撃によって微生物の膜タンパク質を酸化させ、細胞膜破壊が起こるとともにオゾンが膜を浸透する。一方、細胞内からは細胞質成分が漏出し、タンパク質の酸化的変性や DNA の酸化的切断が起こる。これらの細胞の総合的な機能破壊によって微生物が死滅することになる²⁾。

気相中のオゾンによる殺菌効果については、山崎らがオゾン発生灯を組み込んだ実験装置で実験を行い、枯草菌、大腸菌に対してオゾン発生 10 分後 (オゾン濃度：約 30ppm) と 20 分後 (オゾン濃度約 40ppm) の殺菌効果を確認している³⁾。また、日本医療・環境オゾン研究会では、2004 年度までに公表された 30 文献 696 のデータ (気相中) をオゾン濃度別、対象菌種別、温湿度別のデータを同じ図上にプロットした結果、微生物に対する

殺菌効果と濃度・時間との間に明確な関係を見出せないとしている⁴⁾。オゾンによる殺菌性能は、菌種、暴露時間、温湿度条件、担体などの要因に影響されることがある。上記の696データは、ある特定の温度、湿度、濃度、暴露時間の条件下で得られたものであるため、互いの比較が難しく、汎用性に乏しいものであると考えられる。

そこで、本研究では、空調システム内微生物汚染の対策を確立することを目的とし、まず、気相中のオゾンの殺菌効果に関する基礎的な実験を行い、オゾンの殺菌性能に関する汎用性のある指標、とりわけ「暴露強度(=暴露時間×暴露濃度)」を提案し、それについて検討を行った。次に、現場でのオゾン殺菌を用いる場合についてその殺菌効果に及ぼす担体、空気湿度の影響について実験的な検討を行った。なお、本研究で提案する「暴露強度」を応用すれば、オゾンによる殺菌を施す場合、その場で得られる任意のオゾン濃度の条件下の殺菌時間の目安を得ることが可能になる。

B-3 オゾンによる殺菌の試験

B-3-1 培地上の微生物の殺菌性能

この基礎実験はオゾンの濃度、暴露時間などによる微生物の殺菌性能を定量するために行った。

(1) 試験菌

本実験では、細菌にグラム陰性の大腸菌とグラム陽性の黄色ブドウ球菌、カビに一般環境中に最も検出頻度の高いクロカビ、アオカビ、コウジカビを用いた。なお、試験に使用した菌株を以下に示す。

- ① 黄色ブドウ球菌
Staphylococcus aureus, NBRC 12732
- ② 大腸菌
Escherichia coli, NBRC 3972
- ③ クロカビ
Cladosporium cladosporioides, NBRC6348
- ④ アオカビ
Penicillium pinophilum, NBRC 6345
- ⑤ コウジカビ
Aspergillus niger, NBRC 6341

細菌は、Tryptic Soy Agar (Difco) にて、35℃で24時間培養し、カビは、ポテトデキストロース寒天培地(日水)にて、27℃で1週間(③と④は2週間)培養した後、細菌はイオン交換水、真菌

は0.005%エーロゾルOTに懸濁し、菌数(真菌は孢子数)を調整した。

(2) 実験方法

測定システムは図-3と写真-1に示す通り、国立保健医療科学院建築衛生部に設置されている2,150(W)×1,900(D)×2,200(H)の実験室(恒温恒湿のクリーンルーム)、実験室内に設置されている270(W)×270(D)×300(H)のガラス製チャンバ、オゾン発生器(MODEL OES-10A, Dylec製)、オ

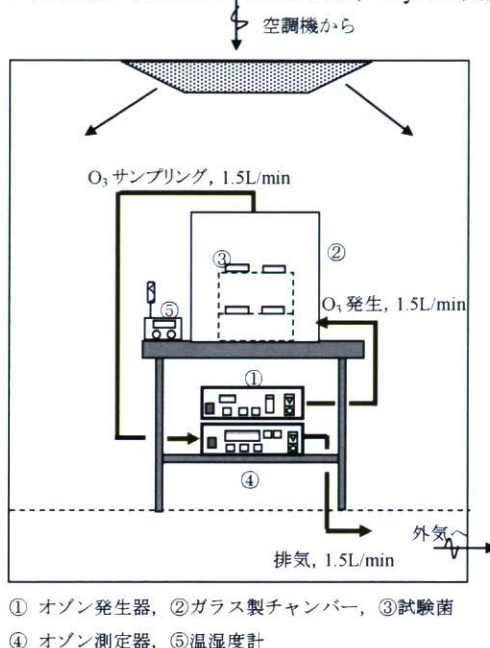


図-3 オゾン殺菌実験装置の概要



写真-1 実験の風景
(MODEL1200, Dylec製)、温湿度自動記録計

ンモニター(MODEL RS-11, Escop 製)から構成される。

実験は、室内温度 25℃、相対湿度 50%を基準条件として行った(1例として図-4に実験中の温湿度を示す)。

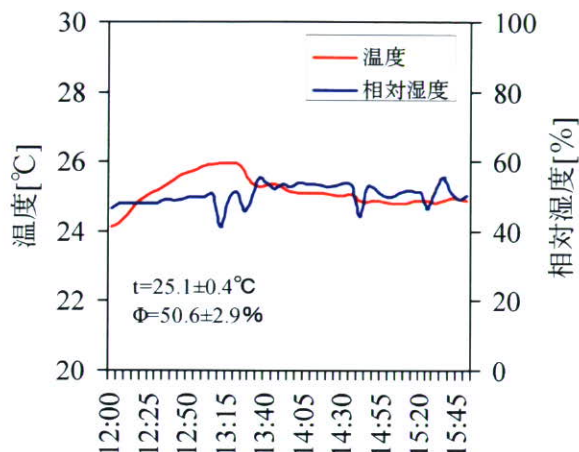


図-4 実験室内の温湿度 (50%)

クリーンベンチ内に設置されているスパイラルプレーター (MODEL EDDY JET, GSI クリオス製) で調整した菌液 50 μ L を塗布した培地をガラス製チャンバ内に設置した後、実験に用いた。実験終了後、一旦ガラス製チャンバをドラフトチャンバに移し、蓋を開けてチャンバ内のオゾン濃度が雰囲気濃度になった時点で再び蓋を閉め、クリーンベンチに移し試験菌の入っているシャーレの蓋をし、恒温恒湿槽にて培養を行った。

実験に用いたオゾン濃度については、数時間程度の殺菌を前提とした予備実験で得られた結果により、細菌 2ppm、カビ 10ppm とした。なお、本研究において高濃度のオゾンを用いたのは、空調システム内の微生物汚染の対策の確立を目的とし、週末、休日、或いは集団感染後のような居住者が居ない環境への適用を想定しているためである。

また、1 実験につき、同種類の菌を 4 枚の培地に塗布し、2 枚は暴露実験、残りの 2 枚はコントロールとした。細菌には SCD 培地、カビには CP 加 PDA を用いた。細菌と真菌の培養条件はそれぞれ 32℃×2 日間と 25℃×3 日間以上とした。

B-3-2 フィルタ上の微生物の殺菌実験

前記の実験の基礎実験はオゾン殺菌性能を定量するために行ったもので、実験のしやすさから培

地を用いた。実際の空調システム内の殺菌の場合、微生物がコイルやフィルタなどの表面に付着している。そのため、実際の状態での殺菌性能を検討するためにフィルタを用いた実験を行った。

(1) 試験菌

細菌よりカビ胞子に対するオゾンの殺菌性能が劣っていることが前記の基礎実験より確認した。そこで、本実験にはカビ *C. cladosporioides* の胞子を用いた。

(2) 実験方法

実験は以下に示す 2 段階で行った。

- ① フィルタより *C. cladosporioides* 胞子を捕集する。
- ② 上記の *C. cladosporioides* 胞子を捕集したフィルタを図-3 に示す装置より実験を行った。

1) *C. cladosporioides* 胞子の捕集実験

(財) 北里環境科学センターに設置されている 1m³ の試験チャンバ (図-5) 内に予め調整した菌液をネブライザより発生させた。発生終了後、MD8 ポンプ 2 台を 50L/min×24 秒の吸引を行い、浮遊カビ胞子をそれぞれに装着したメンブレン構造を有するゼラチンフィルタ (Satous 製) に *C. cladosporioides* 胞子を捕集させた。同様なサンプリングを計 5 回繰り返した。なお、同時サンプリングを行ったゼラチンフィルタ 2 枚のうち、1 枚をコントロールとし、もう一枚をオゾン暴露実験に用いた。電子顕微鏡で撮ったゼラチンフィルタ表面の *C. cladosporioides* 胞子の付着状況を写真-2 に示す。フィルタの表面だけでなく、内部まで *C. cladosporioides* 胞子 (培養前) が捕集されることが分かる。

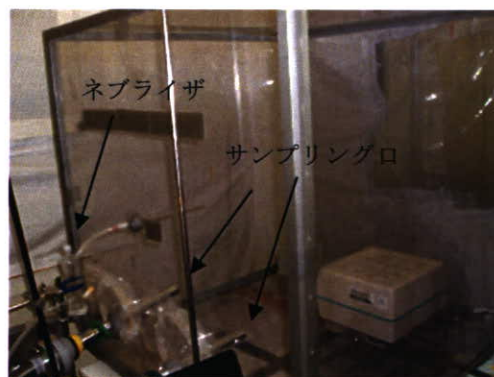


図-5 ゼラチンフィルタによる *C. cladosporioides* 胞子の捕集実験装置

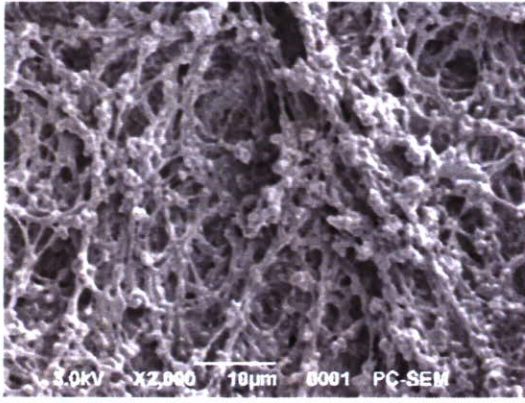


写真-2 ゼラチンフィルタに捕集された
C. cladosporioides 孢子

C. cladosporioides 孢子を捕集したゼラチンフィルタを図-3 に示す装置で、前述した培地での実験と同じ方法で暴露試験を行った。なお、実際の再現性を確認するためにフィルタとセットで *C. cladosporioides* 孢子を塗布した培地も暴露を行った。

B-3-3 オゾンの殺菌効果への湿度の影響

気中オゾンによる殺菌効果に湿度は影響を及ぼすことが報告されている。その影響を確認するための実験を行った。

(1) 試験菌

実験に前述した大腸菌 (*Escherichia coli*, NBRC 3972) を用いた。

(2) 実験方法

菌液の調整方法と暴露時間は前述した B-3-1 の方法と同じであった。チャンバ内の温湿度条件は以下の通りである。なお、室内温湿度の測定結果を図-6、図-7 に示す。

- ① 25°C, 30%
- ② 25°C, 70%

C 研究結果

C-1 蛍光粒子に対する IMD の応答特性

図-8 に IMD による蛍光粒子発生前後の粒度分布を示す。なお、ここで示しているのは蛍光粒子の測定結果である。標準粒子の粒径範囲 2~8 μm において IMD が応答していることが分かった。また、8 μm 以上の大きい粒子も (約半分が) 検出されたが、これは粉体試料のため、発生の際に凝縮したままとなっており、大きな粒子として浮遊していたものと思われる。

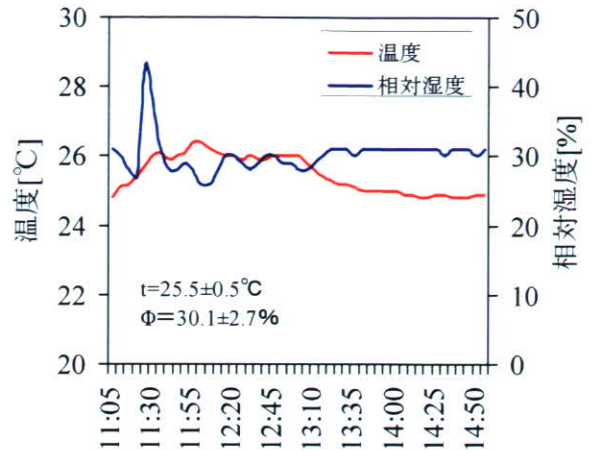


図-6 実験室内の温湿度 (30%)

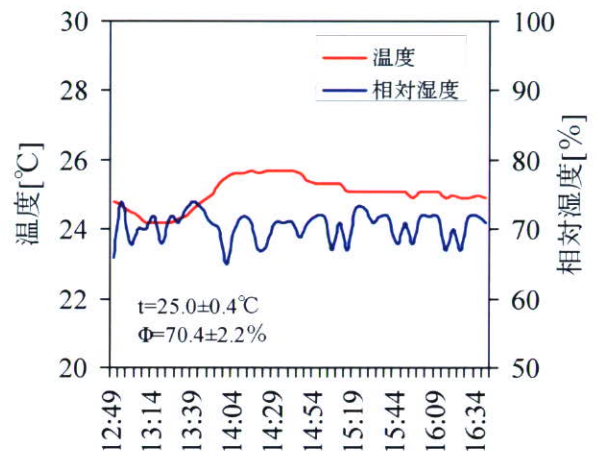


図-7 実験室内の温湿度 (70%)

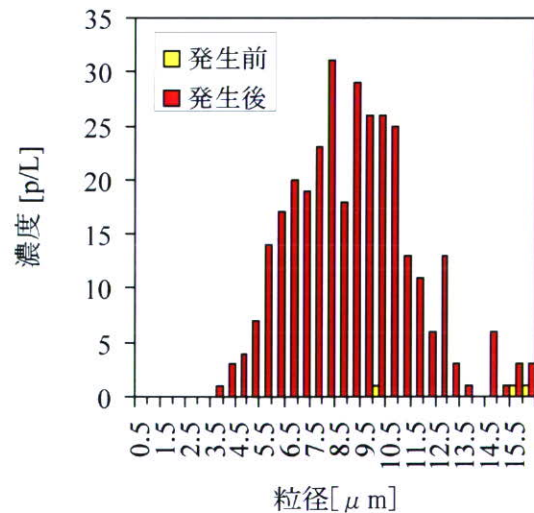


図-8 蛍光粒子発生前後の粒度分布

C-2 オゾンによる殺菌の試験

C-2-1 培地上の微生物の殺菌性能

(1) 細菌に対するオゾンの殺菌性能

暴露時間と生存率の関係を把握するために2ppmの実験を5回行い、それぞれの暴露時間を10分、20分、30分、40分、60分とした。図-9に*E.coli*の実験結果、写真-3に*E.coli*のコロニーを示す。*S.aureus*については、10分間の暴露でその死滅率が100%になった。

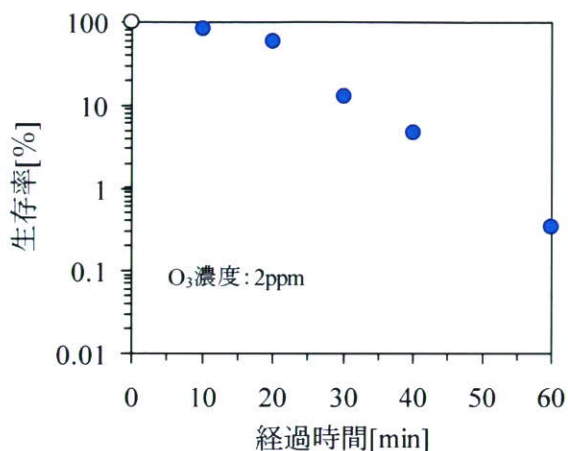


図-9 細菌に対するオゾンの殺菌効果

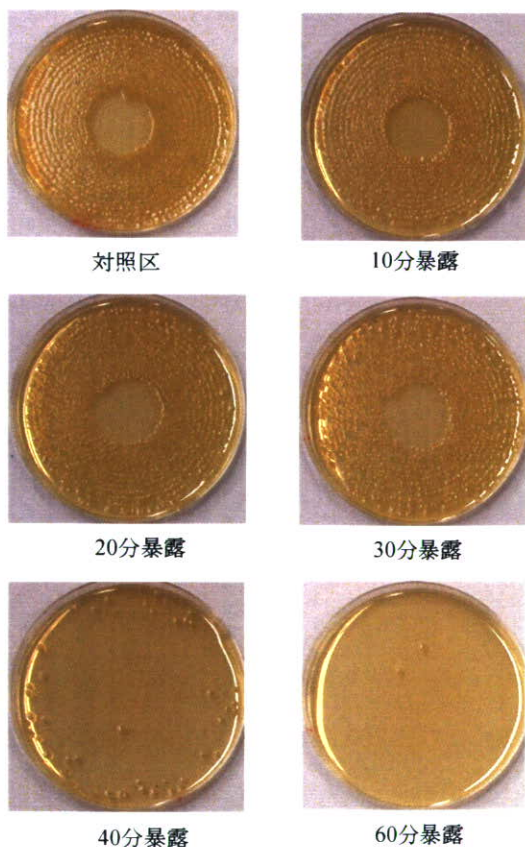


写真-3 2ppm 暴露実験の結果 (*E.coli*)

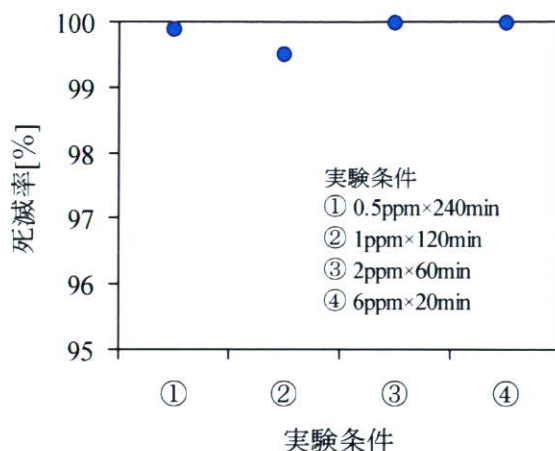


図-10 同暴露強度の殺菌効果の比較

E.coli においてはその生存率の減衰が紫外線による殺菌と同様な特性を示すことから、オゾンの殺菌効果には、オゾン濃度とともに暴露時間も重要であることが明らかになった。そこで、本研究では、在来紫外線の殺菌効果に関係する必要な照射量 ($mW \cdot sec/cm^2$) の概念をオゾンの殺菌効果に適用し、「オゾン濃度×暴露時間」を「暴露強度」と定義し、図-9に示す「暴露強度=2ppm×60min」と同じ値になるように、濃度と暴露時間を変えた場合、同じ死滅率を示すかの確認実験を *E.coli* を用いて行った。図-10にその結果を示す。同じ暴露強度の4条件での死滅率は何れも99%以上であることが明らかになった。なお、同じ方法でオゾンが発生させない場合の1hrの暴露では、*E.coli* コロニー数の減少が認められず、上記の効果はオゾンのみによるものであることが確認された。

(2) カビに対するオゾンの殺菌効果

カビに対するオゾンの殺菌効果の実験において

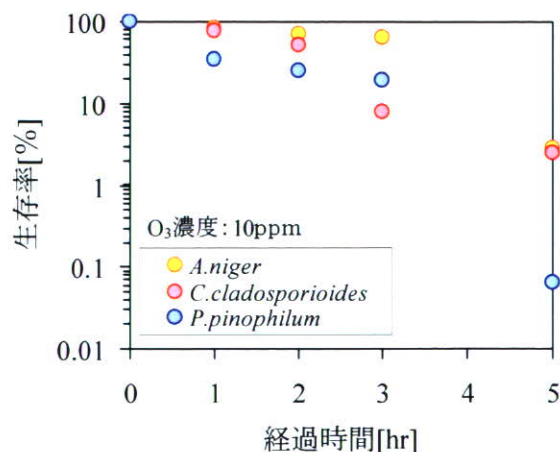


図-11 カビに対するオゾンの殺菌効果

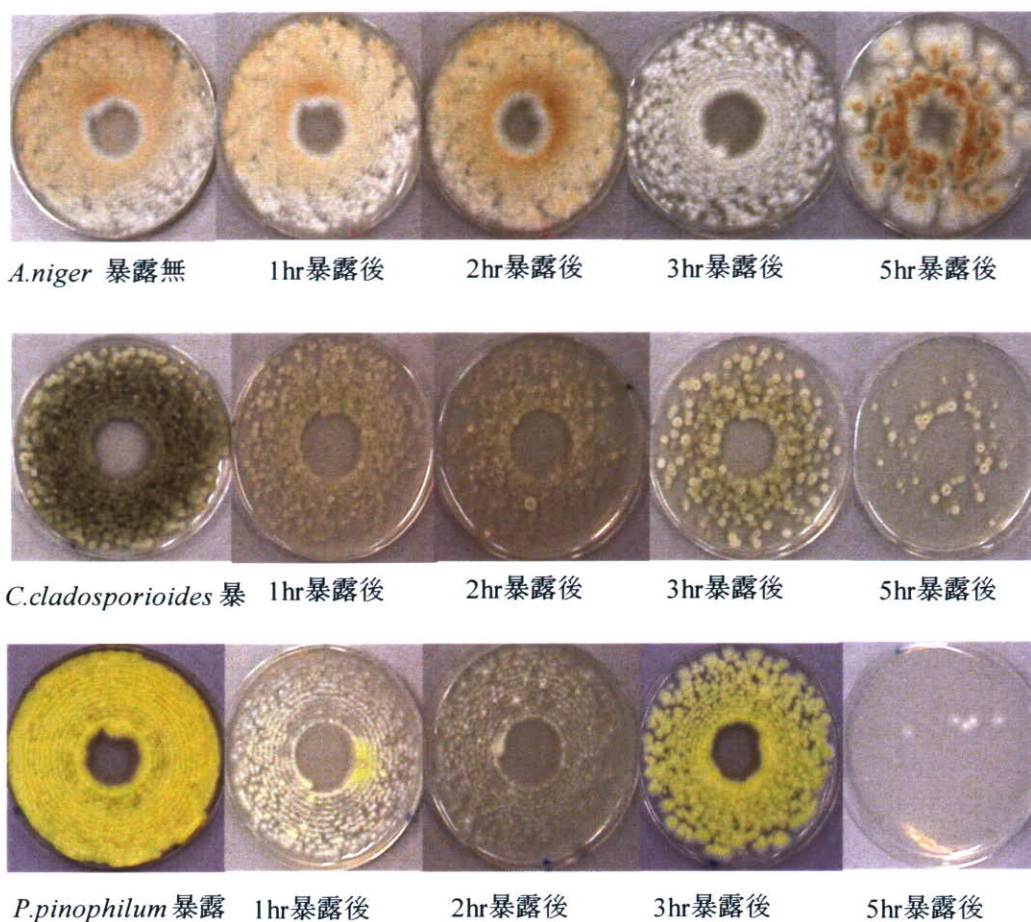


写真-4 10ppm 暴露実験の結果（真菌）

は、オゾン濃度を 10ppm、暴露時間を 1hr, 2hr, 3hr, 5hr とした。実験の結果を 図-11、カビのコロニーを 写真-4 に示す。細菌と同じように、暴露時間が長くなるほど生存率は指数関数的に低くなっている。

また、細菌に比べカビを殺菌するのに必要な「暴露強度」が大きくなることが分かった。この関係は在来発表された結果⁴⁾と整合している。一方、本研究に用いた、一般環境で最も高い頻度で検出されるクロカビ、アオカビ、コウジカビにおいては、オゾンによる殺菌効果の間に差が見られた。図-11 の結果から求めたそれぞれの回帰直線を 図-12 に示す。

C-2-2 フィルタ上の微生物の殺菌実験

C. cladosporioides 胞子を捕集したゼラチンフィ

ルタを用いた暴露実験の結果を 図-13 に示す。2 時間暴露までの生存率が培地上と同程度であったが、5 時間の暴露では高い生存率を示した。なお、3 時間暴露したゼラチンフィルタ上の胞子数はコントロールと同じ値を示し、処理に何らかのミスがあったと考えられ、外れ値として除外した。

C-2-3 オゾンの殺菌効果における湿度の影響

大腸菌を用いた相対湿度 30%、70%の実験結果と 図-6 に示す 50%の測定結果を 図-14 に示す。40 分までの暴露ではほぼ同程度の生存率を示したが、60 分の暴露では生存率の間に差が見られた。これは、実験に細菌の *E.coli* を用いており、オゾンの殺菌効果に与える相対湿度の影響よりも、1hr 乾燥状態 (30%) の暴露による *E.coli* のダメージが大きいものと思われる。

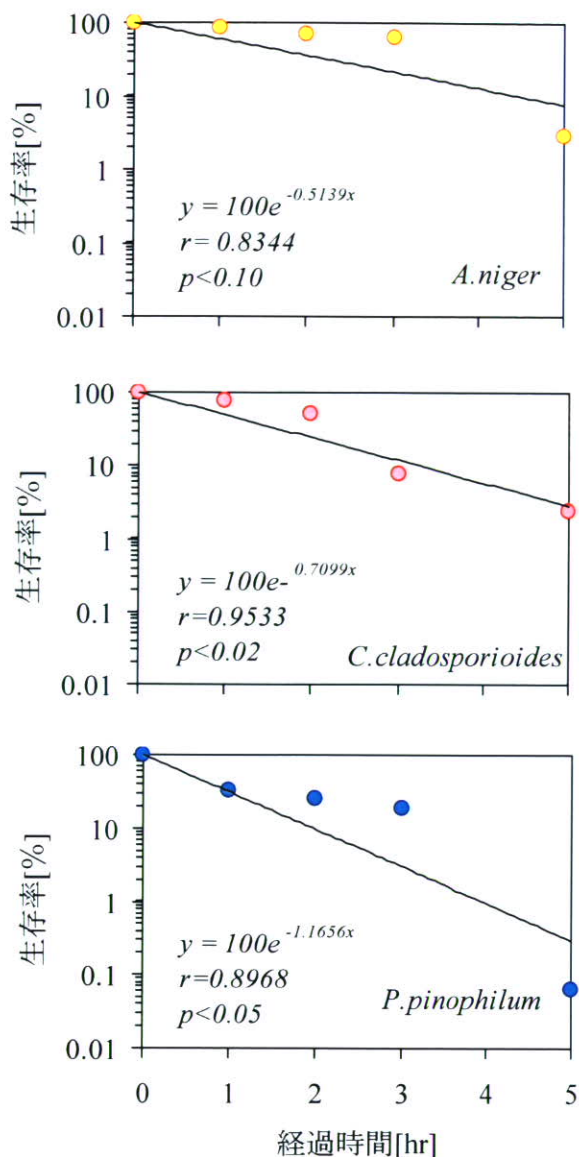


図-12 カビに対するオゾンの殺菌効果

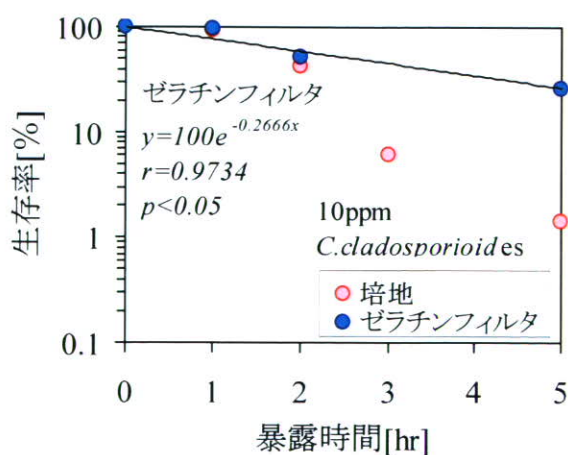


図-13 ゼラチンフィルタ上の *C. cladosporioides* 胞子の暴露実験の結果

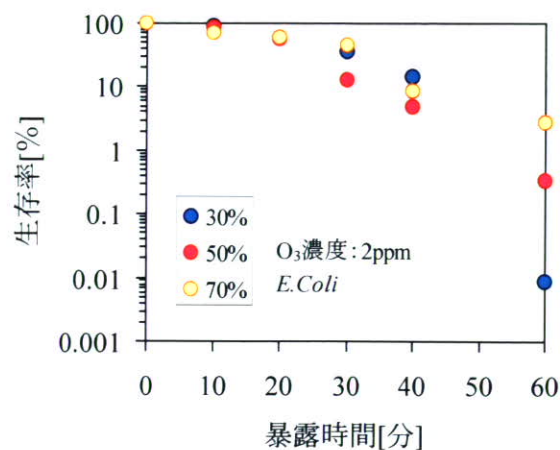


図-14 相対湿度別の暴露実験の結果

D 考察

D-1 蛍光粒子に対する応答特性

本研究では、標準の蛍光粒子をヒトの咳を模擬し、CR 内に放出した後、IMD を用いた測定を行った。その結果、標準粒子の粒度分布を含めた応答できることが分かった。昨年の検証結果とあわせてみると、IMD は蛍光を捉えられ、微生物から発生する蛍光をリアルタイムで測定していることが分かった。しかし、実際のバイオテロ対策のツールとして使用する場合は IMD がトリガーセンサーとして用いられるが、微生物を迅速かつ確実に測定するには他の迅速法（たとえば ATP 法など）を用いることが必要になる。

D-2 細菌とカビの殺菌性能の差について

本研究の結果では、オゾンによる細菌とカビの殺菌性能の間に差が見られた。それは、真核細胞を有するカビは、その外壁が原核細胞の細菌に比べて厚いためと考えられる。この点は在来発表された結果⁴⁾と整合する。また、本研究で得られた5種類菌を99%死滅させるのに必要な暴露強度の強弱の関係は、同じ5種類微生物を用いた紫外線照射による殺菌の実験結果と一致している⁶⁾。

D-3 暴露強度について

本研究では、オゾンによる殺菌効果を定量するために、オゾン濃度と時間の積を「暴露強度」として定義し、同じ「暴露強度」において同じ殺菌性能（菌の死滅率）が得られることを確認した。即ち、本研究の成果を用いれば、任意オゾン濃度における必要な暴露時間を求めることができる。例えば、*E. coli* を99%殺菌する場合、現場でオゾ

ン濃度を 0.05ppm しか得られなければ、2,400min (40 時間) 以上の時間が必要になる (図-10 を参照)。一方、*C.Cladosporioides* を対象とする場合、65ppm・hr の暴露量が必要になり (図-12 の回帰式より求まる)、1,300 時間以上がかかる。また、このことから、一般環境中の空中に低濃度のオゾンガス (関連基準の 0.05ppm 以下) を放出しても、営業時間中 (例えば 10hr 程度) においてさほど殺菌効果が期待できないことが推察される。

一方、空調機内を殺菌しようとする場合、高濃度かつ短時間は現実的な手法である。細菌のみならず、*A.niger*, *C. cladosporioides*, *P. pinophilum* を 99% 殺菌したい場合、少なくとも 90 (ppm×hr) 以上が必要になり (図-12 の回帰直線より求まる)、例えば、20ppm が得られる現場では 4.5 時間の処理で殺菌することが可能になる。

E 結論

本研究では、空調システム内微生物汚染の対策としてオゾンを用いた場合の殺菌性能に関するチャンバ実験を行った結果、以下の事柄が明らかになった。

- [1] 粒度分布が分かる標準蛍光粒子を空中発生させる実験では、IMD がその粒度分布を適正に測定していることが分かった。
- [2] 「暴露強度 (オゾン濃度×暴露時間)」を定義し、同じ暴露強度であれば同じ殺菌効果を有することが確認された。
- [3] *E.coli* に対する 99.9% 死滅率を得るには、12(ppm×min) の「暴露強度」での暴露が必要である。また、*A.niger*, *C.cladosporioides*, *P.pinophilum* を全て 99% 殺滅するのに 90 (ppm×hr) 以上が必要である。
- [4] 本研究の結果を用いれば、現場で得られるオゾン濃度に対する必要殺菌時間の目安が得られる。

参考文献

- (1) 防菌防黴ハンドブック, 262, 技報堂, 1997
- (2) 神力敦子: オゾンハンドブック, 84-85, 日本オゾン協会, 2004
- (3) 日本空気清浄協会: オゾン利用空気浄化システム検討専門委員会報告書, 45-47, 2003
- (4) 日本医療・環境オゾン研究会: 居住空間におけるオゾン安全利用基準制定委員会 (OSGA) 平成 16 年度最終報告書, 102-104, 2005

- (5) Berrington A.W., Pedler S.J.: "Journal of Hospital infection", 40, 61-5, 1998
- (6) 柳 宇, 成旻起: 空調設備及び居室の紫外線殺菌消毒研究会 (委員長: 東大生研加藤信介) 報告資料, 2007.12.18

F 健康危険情報

なし。

G 研究発表

1. 原著論文

- (1) 柳 宇, 池田耕一. 空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究, 第 2 報—エアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集率とその評価. 日本建築学会環境系論文集, Vol.617, 53-56, 2007.07
- (2) 柳 宇, 鍵直樹, 池田耕一: 空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究, 第 3 報—オゾンによる殺菌性能に関する基礎的な検討, 日本建築学会環境系論文集 (投稿中)

2. Full paper

- (3) Yanagi U, Ikeda K, Kagi N: Application of the IMD in Measurement of Airborne Microbial Particles, *Proceeding of the 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings*, Vol.1, 515-518, 2007

3. 総説・解説

- (4) 柳 宇: 事務所ビルにおけるバイオエアロゾルの挙動とその制御方法, *クリーンロジー*, Vol.17, No.5, 44-7, 2007.05
- (5) 柳 宇: エアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集性能の評価について. *室内環境*, Vol.10, No.1, 23-32. 2007.06

4. 学会発表

- (6) 柳 宇, 池田耕一, 鍵 直樹, 山田花菜: 空中浮遊微生物粒子の測定における瞬間微生物検知器の適用に関する研究 (その 2) 病院環境でのリアルタイム測定, 第 25 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集, 65-7, 2007.04.
- (7) 池田耕一, 柳 宇. 建築物衛生における健康危機管理のあり方に関する研究, 日本学術会議安全工学シンポジウム 2007 講演予稿集,

61-4, 2007.07

- (8) 柳 宇, 鍵 直樹, 堀越玲子, 池田耕一: 空中浮遊微生物粒子の測定における瞬間微生物検知器の適用に関する研究—居住環境でのリアルタイム測定, 第 24 回エアロゾル科学・技術研究討論会講演論文集, 3-4, 2007.08
- (9) 柳 宇, 池田耕一, 阿部恵子: 空中浮遊微生物

物粒子の測定における瞬間微生物検知器の適用に関する研究, 第 3 報 生物粒子と非生物粒子に対する応答特性, 日本建築学会大会学術講演会; 2007.九州. 同梗概集; 2003. 905-6

H 知的財産権の出願・登録状況
なし。

建築物内給水システムにおける飲料水の安全性確保に関する研究

分担研究者 伊藤雅喜 国立保健医療科学院 水道工学部 水道計画室長

研究要旨

本研究では事例研究，文献調査を元に建築物内の飲料水の安全性確保のための方策についての検討を行い，以下の事柄が明らかになった。

- [1] リスクには微生物リスク，化学的リスクの他，水温のように通常の水道水では考慮しないリスクが存在する。また，配管工事等に伴うクロスコネクションは広範な健康被害をもたらすおそれがあり，水質だけでなく，施設の設計，維持管理も重要な課題である。
- [2] リスク管理においては通常の技術的なリスクに関する考え方だけでなく，技術的に不可避なリスクについては，経済的リスクとしてどのように分担するかということを検討しておくことも重要である。

A. 研究目的

水道水は浄水場から水質基準を満たす水質を持つものが配られているが，建築物内での滞留，クロスコネクション等により水質リスクが上昇する。本研究では事例研究，文献調査を元に建築物内の飲料水の安全性確保のための方策を明らかにする。

B. 研究方法

WHO では建築物内の飲料水の安全確保のためのガイドライン的文書“Water Safety in Buildings”を現在作成中である。2007 年内の文書化を目指していたため，これと連動して建築物内の飲料水の安全性確保方策のまとめをする計画であり，一昨年度，昨年度は国内外の文献調査により事故例をまとめた。しかし作業が遅れており，安全性確保のための方策としては，現時点で十分参考となるような情報としては整理されていない。そこで本年度は同じく WHO が 2006 年に出版した（ウェブから入手可能）“Health Aspects of Plumbing”から建築物内給水施設に関するリスク，留意事項を整理することとする。

C. 研究結果

（1）屋内給水におけるリスク

1) 微生物リスク

微生物のほとんどが従属栄養細菌であり，生物膜として微粒子上や管路内表面で水に接触して増殖する。従属栄養細菌は *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Serratia*, *Pseudomonas*, *Klebsiella* 等日和見感染症を引き起こす広範な種を含む。しかしこれらの微生物の飲料水からの摂取による腸管系疾患が一般の人々に起こったという確たる事例はない。一部の深刻な免疫不全患者および病院内環境では問題となる可能性が残っている。ほとんどの従属栄養細菌は健康な人には無害であるが，水道水の異臭味を発生させたり，着色などによる問題を引き起こす可能性がある。

レジオネラ属菌 (*Legionella* spp.) は配水中で増殖する有害な微生物であり，通常の従属栄養細菌試験では測定できない。レジオネラ属菌は水温の高い水，温水器，浴槽，給湯管，シャワーヘッドなどで増殖する。また大規模建築物の屋内配管やエアコンのための冷却塔で増殖している。病院や療養施設ではリスクの高い人が多く，シャワーや温泉，冷却塔からのエアロゾル

が感染ルートとなるため、レジオネラ属菌の予防や制御のための特別な手段を講じる必要がある。WHO の飲料水水質ガイドラインではレジオネラ属菌の増殖しやすい、25～50℃の範囲外に水温を維持するべきであるとしている。

2) 化学的リスク

飲料水の化学物質による汚染は地表水、地下水の自然由来の汚染、人為的汚染または浄水処理における汚染（消毒副生成物）、配水中における汚染（腐食）などがある。通常はこれらの汚染物質はごく微量であり、消毒副生成物をのぞき水道水は暴露源の一つに過ぎず、最も重要な汚染源とはなっていない。

いくつかの化学物質は高濃度に汚染された水を摂取することにより人への健康影響を引き起こす。いくつかの事例を物質、発生源、健康影響に整理し、以下に挙げる。

- ・ヒ素：自然由来／ガン
- ・フッ素：自然由来／歯および骨のフッ素症
- ・鉛：鉛管の腐食／神経への影響
- ・農薬：農業での利用と排水／種々の影響
- ・硝酸、亜硝酸：農業、下水／乳幼児の死亡
- ・ラドン：地質由来の屋内空気、地下水／ガン
- ・硫酸塩：自然由来／被定住者の一時的下痢

3) その他のリスク

建築物内給水施設における特別なリスクとして温水とやけどがあげられる。幼児のほとんどのやけどは浴室で起こっている。オーストラリアの給湯施設は平均水温が65℃である。多くの先進国では給湯の平均温度は60度であり、この温度は5秒で重傷なやけどを負わせる温度である。

両親が子供に注意を払い、湯温を確認するほか、湯温を55℃以下とすることが明白な解決策である。しかし、前述のようにレジオネラ属菌の増殖リスクを下げるために、50℃以上に保つことも重要である。

屋内配管には通常、配水系の配管と排水系の配管の2系統があり、場合によっては中水道などの雑用水の系統がある。これらの配管が隣接している場合、配管工事棟においてクロスコネクションによる事故のリスクが高くなる。また逆流防止装置等が適切に配置されていない、あ

るいは正常に作動しないような場合には、配水本管への逆流によるリスクも考えられる。

4) 建築物内給水施設におけるリスク評価とリスク管理

屋内給水システムのリスク低減化のためのリスク評価、リスク管理のための方策としては、以下の項目が挙げられる。

- ・リスクの認識
- ・リスク評価と分析
- ・リスク削減
- ・リスクの受容と転移

WHO では飲料水に関わる安全性管理については水源から蛇口まで「水安全計画（Water Safety Plan）」を適応することとしている。Health Aspects of Plumbing でも同様な考えを大前提としているが本書の主対象が配管等工事業者であるため、施設設計等に多くを割いている。

基本的にはリスクの認識、分析、評価によりリスクを最小化し、これに基づき適切な技術、材料を用いてシステム設計及び製造をすることになる。しかし、排除不可能なリスクも存在するため、結果として生じる財政的リスクは工事業者が受容するか、保険等に転移される。

D. 考察

「水安全計画（Water Safety Plan）」の屋内給水システムへの適用は現在、WHO で文書化の作業中である。これまで事例報告の収集、Water Safety Plan にそったガイドライン（マニュアル）の整理を行っており、現時点での予定では2008年内の公開を目標としている。

本年度に参考とした“Health Aspects of Plumbing”でもWater Safety Planを考慮した考え方となっているが、主として配管工事を担当するグループを対象とした文書であり、現在作成中の“Water Safety in Buildings”が完成すると、建築物内給水システムに関して、製造者、ユーザーともにWater Safety Planを適応できる素地が整うことになると考えられる。

E. 結論

屋内給水システムのリスク管理について、リスクの種類とリスク管理についてまとめた。

リスクには微生物リスク、化学的リスクの他、

水温のように通常の水道水では考慮しないリスクが存在する。また、配管工事等に伴うクロスコネクションは広範な健康被害をもたらすおそれがあり、水質だけでなく、施設の設計、維持管理も重要な課題である。

リスク管理においては通常の技術的なリスクに関する考え方だけでなく、技術的に不可避なリスクについては、経済的リスクとしてどのように分担するかということを検討しておくことも重要である。

F 健康危険情報

なし。

G 研究発表

なし。

H 知的財産権の出願・登録状況

なし。