

病室環境を想定した除菌空調システムの研究

栗木 茂^{*1}

曾根原 努^{*2} 新宮 守^{*3}
 森園 直矢^{*4} 森 一紘^{*5}
 鈴木 達夫^{*6} 山口 聖子^{*6}
 小林 憲忠^{*7} 奥野 信幸^{*8}
 朴 來垠^{*9}

概 要

本報告は、以下のふたつの除菌技術を組み合わせた除菌空調システムについて、黄色ブドウ球菌を用いた除菌性能実験を行った報告である。

①「トリオシン」というヨウ素による殺菌技術を用いた空調用フィルタにより循環空気を除菌する

②室内浮遊菌をイオン発生機「S-Plasma ion」にて除菌する

トリオシンと S-Plasma ion を併用した換気有りの実大実験において、作動時間 30 分後に 99.82% の除菌効果を確認した。

Study on the sanitization air-conditioning system which is applied to improve the sickroom environment

Shigeru KURIKI^{*1} Tsutomu SONEHARA^{*2}
 Mamoru SHINGUU^{*3} Naoya MORIZONO^{*4}
 Kazuhiro MORI^{*5} Tatsuo SUZUKI^{*6}
 Kiyoko YAMAGUCHI^{*6} Noritada KOBAYASHI^{*7}
 Nobuyuki OKUNO^{*8} Rae-Eun PARK^{*9}

This Paper is the Outline of sanitization performance experiment using *Staphylococcus aureus* of the sanitization air-conditioning system which put two following sanitization technology together.

- ① By the filter for air conditioning using the sterilization technology with “Triosyn” iodine the circulation air is sanitized.
- ② In the ion generator “S-Plasma ion” sanitize indoor floating bacteria.

We performed the size of the original experiment of the condition that used S-Plasma ion and Triosyn with the ventilation, and confirmed 99.82% of sanitization effects 30 minutes after operation time.

^{*1} 技術研究所 ^{*2} 東京支店建築技術営業部 ^{*3} 大阪支店建築購買部 ^{*4} 設備設計部 ^{*5} 環境事業推進室

^{*6} 北里大学保健衛生専門学院 ^{*7} 北里大学北里研究所メディカルセンター病院 ^{*8} マイクロウェーバー (株)

^{*9} サムスン電子 (株)

^{*1} Technical Research Institute ^{*2} Building Technology Sales and Marketing Department Tokyo Branch

^{*3} Estimation Department Osaka Branch ^{*4} Mechanical and Electrical Engineering Department

^{*5} Environmental Business Promotion Office ^{*6} Kitasato Junior College of Health and Hygienic Sciences

^{*7} Kitasato University Kitasato Institute Medical Center Hospital ^{*8} Micro-Waver Co., Ltd. ^{*9} Samsung Electronics Co., Ltd.

病室環境を想定した除菌空調システムの研究

栗木 茂^{*1} 曾根原 努^{*2} 新宮 守^{*3}
 森園 直矢^{*4} 森 一紘^{*5} 鈴木 達夫^{*6}
 山口 聖子^{*6} 小林 憲忠^{*7} 奥野 信幸^{*8}
 朴 來垠^{*9}

1. はじめに

近年、人が免疫力を持っていない新型インフルエンザが世界的に流行し、人が多く集まる空港や駅などの公共施設をはじめ、会社、学校、病院から住宅に至るすべての施設で感染防止対策が必要とされている。特に病院は、免疫力が低下した患者に対する感染防止が重要な課題となっており、効果的な感染防止対策が望まれている。

「トリオシン」というヨウ素による殺菌技術を用いた空調用フィルタを作成し、そのフィルタにより循環空気の除菌を行い、さらに室内浮遊菌を「イオン発生機 S-Plasma ion」にて除菌するという二つの除菌技術を組み合わせた除菌空調システムを考案し、黄色ブドウ球菌 (*Staphylococcus aureus*) を用いた除菌性能実験を行ったので報告する。

2. 除菌の原理

2.1 トリオシン (Triosyn)

「トリオシン」は、三ヨウ素化物活性分子を用い病原菌を殺菌するために開発された技術である。病原微生物がヨウ素樹脂表面に近付くとヨウ素樹脂表面から二原子ヨウ素 (I_2) が放出され、それによって酸化殺菌される (図-1)。さらに二原子ヨウ素は細菌の細胞膜を貫通し、細胞内部から細菌細胞を酸化し殺菌する。そして細菌だけでなくウイルスや他の生物的汚染物をも殺菌することができるといわれている¹⁾。

2.2 イオン発生機 (S-Plasma ion)

「S-Plasma ion」は、空気中の水分を分解し、マイクロプラズマ放電により活性水素 (H) と酸素イオン (O_2^-) をつくる。生成された活性水素と酸素イオンが結合し、ヒドロペルオキシラジカル (HOO^-) ができ、この HOO^- ラジカルが水素と反応し、菌類などの汚染物質と活性酸素 (OH -radical) ^{注1} を除去・中和して、空気の質を改善する (図-2)。人体に有害なプラズマイオンとオゾンは発生しないといわれている^{2,3)}。

3. トリオシン除菌評価試験

3.1 試験概要

トリオシンの除菌性能を確認するため、プラスチックホルダを使用した除菌評価試験を行った。以下に試験の手順を示す。

- ①プラスチックホルダにトリオシンフィルタをセット
- ②菌液をトリオシンフィルタに通過

③トリオシンフィルタを直接、培地に静置→直接培地法

ろ液を培地に塗布→洗い出し法

④一晚培養し、菌 (コロニー) を観察

3.2 結果

表-1 に直接培地法、表-2 に洗い出し法の除菌評価実験結果を示す。直接培地法において、菌液濃度 $\times 10^5$ (cfu/mL) までは、両側ともコロニーは検出されなかった。洗い出し法において、PBS 溶液 (リン酸緩衝化生理食塩水) への洗い出しでは、一番濃い菌液

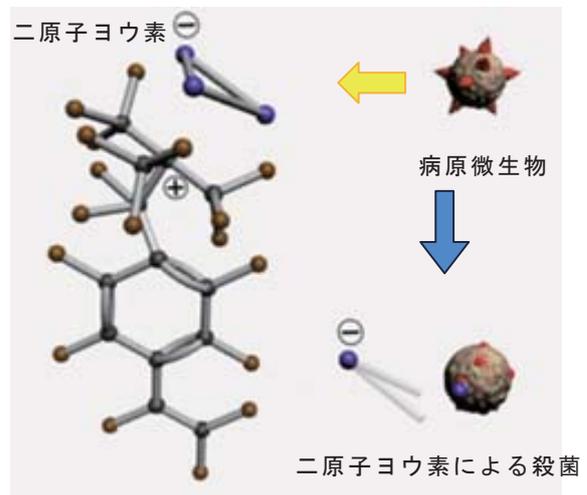


図-1 トリオシンの殺菌メカニズム¹⁾

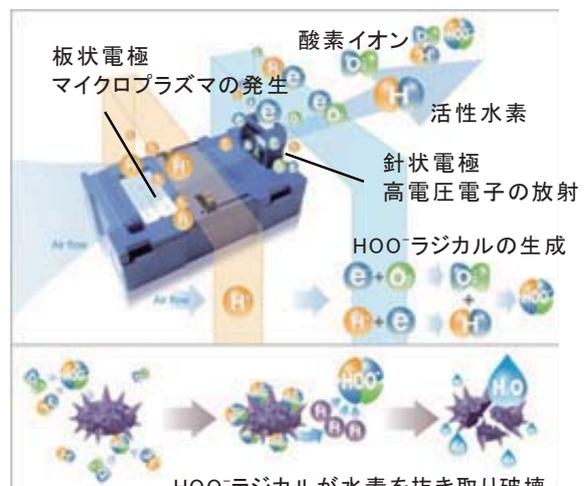


図-2 S-Plasma ion の除菌メカニズム³⁾

^{*1} 技術研究所 ^{*2} 東京支店建築技術営業部 ^{*3} 大阪支店建築購買部 ^{*4} 設備設計部 ^{*5} 環境事業推進室

^{*6} 北里大学保健衛生専門学院 ^{*7} 北里大学北里研究所メディカルセンター病院 ^{*8} マイクロウェーブ (株)

^{*9} サムスン電子 (株)

濃度 $\times 10^7$ (cfu/mL) でも菌は検出されなかった。ろ液中では、菌液濃度 $\times 10^3$ (cfu/mL) までは菌は検出されず、99.9%除去された。

以上の結果より、かなり高い濃度の菌液においても殺菌されていることから、トリオシンに高い殺菌効果があることを確認した。

4. 換気なし実験

4.1 実験概要

二つの除菌技術の性能を確認するために換気のない密閉空間にて実験を行った。実験施設概要を図-3、実験条件を表-3に示す。プレバブ式の実験室の内部に気密を確保するため実験用帯電防止シートにて $3.6\text{m} \times 2.2\text{m} \times \text{高さ} 2.2\text{m}$ (容積 17.4m^3) の実験エリアを作成した。実験装置として、空気を循環させるためのファン (15 回換気/h)、噴霧した細菌を攪拌するためのサーキュレーターファン、細菌噴霧装置およびサンプリング装置などを設置した。実験は下記の手順で実施した。なお、細菌は黄色ブドウ球菌を使用し、噴霧量は噴霧直後の細菌濃度が $10^5 \sim 10^6$ (cfu/mL) 程度となる量とした。

4.2 実験手順

- ①試験tent入り口に設置した2箇所のネブライザに菌液を培養し調製した黄色ブドウ球菌を50mL入れ、ネブライザ1は0.55mL/min、ネブライザ2は0.64mL/minの噴霧量にて試験tent内に30分間噴霧注入した。
- ②菌液噴霧終了後、0分後、30分後、60分後、120分後、180分後に試験tent内に設けた2カ所の空気回収口より、試験tent内の空気をインピンジャーに各10分間捕集した。

表-1 直接培地法による抗菌評価実験結果

| 菌液濃度 (cfu/mL) | トリオシン内側 | トリオシン外側 |
|---------------|---------|---------|
| $\times 10^7$ | + | + |
| $\times 10^6$ | + | + |
| $\times 10^5$ | - | - |
| $\times 10^4$ | - | - |
| $\times 10^3$ | - | - |
| $\times 10^2$ | - | - |
| $\times 10^1$ | - | - |

コロニー検出：+ 未検出：-

表-2 洗い出し法による抗菌評価実験結果

| 菌液濃度 (cfu/mL) | トリオシン洗い出し log10 (cfu/mL) | ろ液 log10 (cfu/mL) |
|---------------|--------------------------|-------------------|
| $\times 10^7$ | 1未満 | カウント不能 |
| $\times 10^6$ | 1未満 | カウント不能 |
| $\times 10^5$ | 1未満 | 3.70 |
| $\times 10^4$ | 1未満 | 3.45 |
| $\times 10^3$ | 1未満 | 1未満 |
| $\times 10^2$ | 1未満 | 1未満 |
| $\times 10^1$ | 1未満 | 1未満 |

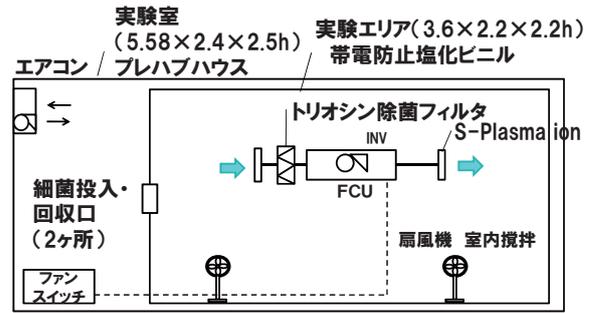


図-3 実験施設概要図

表-3 換気なし実験条件

| | |
|--------------|---|
| 実験エリア大きさ | $3.6\text{m} \times 2.2\text{m} \times 2.2\text{m}$ |
| 循環風量 | 15 回換気/h ($260\text{m}^3/\text{h}$) |
| 細菌液噴霧時間 | 30min |
| 捕集量 (1カ所・1回) | 30mL/10min |

表-4 換気なし実験 実験 CASE

| 実験 CASE | トリオシン | S-Plasma ion |
|---------|-------------------|--------------|
| CASE1 | なし | なし |
| CASE2 | なし | 1個 |
| CASE3 | なし | 2個 |
| CASE4 | 中性能組込 (□ 150) | なし |
| CASE5 | シート1枚 (600 x 300) | なし |

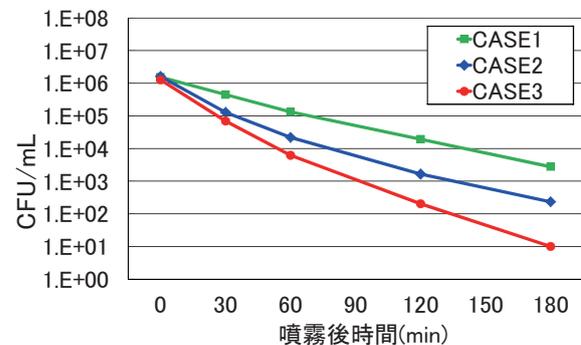


図-4 S-Plasma ion による除菌性能結果

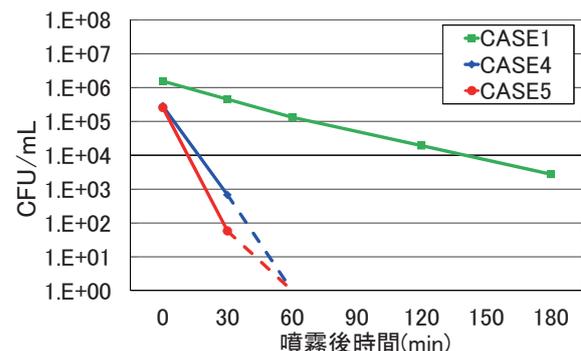


図-5 トリオシンによる除菌性能結果

③捕集した菌液を10倍階段希釈法により5段階希釈し、0.1mLを細菌培養用固形培地 Tryptic Soy Ager 培地 (BD) に塗布し、37°Cで24時間培養した後コロニー数をカウントし、細菌数 (cfu/mL) を測定した。実験 CASE は表-4 に示す5ケースをいずれも3回実施し、平均値を算出した。

4.3 実験結果

図-4 に CASE1~3、図-5 に CASE1、4、5 の結果を示し、細菌除去率を以下の式にて評価した。

$$\text{細菌除去率 (\%)} = \frac{\text{作動時間ごとの基準値} - \text{作動時間ごとの回収細菌数}}{\text{作動時間ごとの基準値}} \times 100$$

180分後の細菌除去率は、CASE2 は CASE1 と比較し91.5%となった。CASE3 の場合、CASE1 と比較し99.6%となった。CASE4 では、30分後に CASE1 と比較し99.9%除去され、60分後に検出限界以下となった。CASE5 においても、30分後に CASE1 と比較し99.8%除去され、60分後に検出限界以下となった。

5. 換気あり実大実験

5.1 実験概要

次に、換気のある実際の病室を想定した実験室に、除菌空調システムを導入した実験を行った。図-6 に実験室概要、表-5 に実験条件を示す。1床室を想定した3.9m×5.0m×高さ2.4m (容積46.8m³) の大きさの部屋を帯電防止ビニールシートで作成した。その中に15回換気/h分の風量を循環するファンを設置し、その吸込み側にトリオシン除菌フィルタを設置し、吹出し側にS-Plasma ionを3個設置した。換気量としては、2回換気/h分の96m³/hとし、HEPAフィルタを介して排気した。実験 CASE は表-6 に示す4ケースとした。

図-7 にベッドの高さを想定したFL+400mmの位置でのS-Plasma ionを稼働させた場合のイオン数を測定した結果 (空気イオン測定器 KEC-900: (株) 佐藤商事) を示す。吹出し位置の前面においてイオン数は最大55,000個となった。

5.2 実験手順

- ①調製した試験細菌液70mLを試験室内の3カ所の投入口に設置したネブライザを用いて試験室内に60分間同時に噴霧注入した。
- ②試験細菌液の噴霧終了後、除菌空調システムを、0分間、15分間、30分間および45分間作動した。
- ③各空調除菌システム作動時間終了直後に試験室内の空気を30mLのリン酸緩衝液の入ったインピンジャー中に10分間2カ所から捕集した。
- ④試験細菌液を噴霧した試験室内の空気をインピンジャーにて捕集したものを試験室内空気捕集液とし、捕集液を10倍階段希釈した。TSA培地、普通寒天培地およびスタヒロコッカス培地110に、希釈液100mLを添加し、塗抹した後に37°C孵卵器で16時間培養を行った。最終的に黄色ブドウ球菌と思われる集落のみを算定し、細菌数を求めた。S-Plasma ion 作動の有無ならびにトリオシン除菌フィルタの

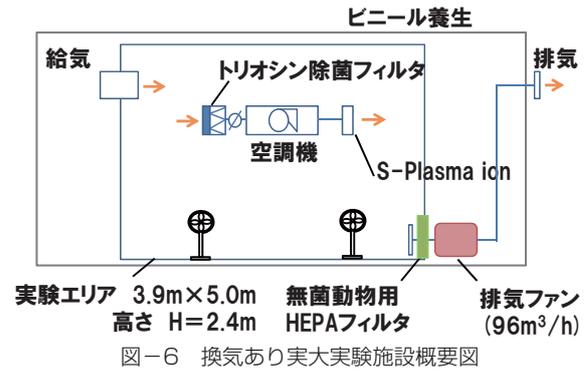


図-6 換気あり実大実験施設概要図

表-5 換気あり実大実験条件

| | |
|--------------|--------------------------------|
| 実験エリア大きさ | 3.9m × 5.0m × 2.4m |
| 循環風量 | 15回換気/h (720m ³ /h) |
| 排気風量 | 96m ³ /h |
| 細菌液噴霧時間 | 60min |
| 捕集量 (1カ所・1回) | 30mL/10min |

表-6 換気あり実大実験 実験 CASE

| 実験 CASE | トリオシン | S-Plasma ion |
|------------|-------|--------------|
| CASE-A | なし | なし |
| CASE-B, B' | なし | あり (3個) |
| CASE-C | あり | なし |
| CASE-D, D' | あり | あり (3個) |

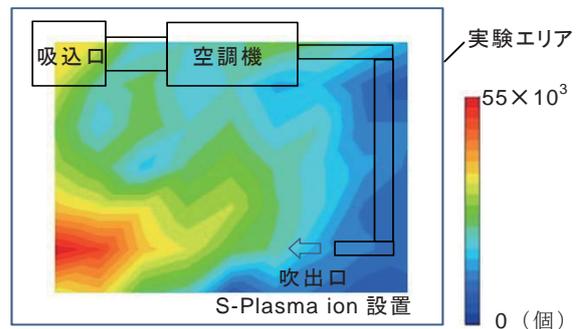


図-7 イオン数測定結果 (FL+400平面)

有無における細菌数を比較し、除菌空調システムの性能を評価した。

なお、各作動時間での試験室内空気の捕集後は試験室内空気の換気を5時間以上行い、試験室内の空気中に残留していると思われる黄色ブドウ球菌を除去した。

5.3 結果および考察

本試験における試験結果を表-7、図-8 に示す。

試験室内投入細菌量は、同一項目における計3回の試験では12.4~12.5 (log10) cfu/mLであった。

CASE-B では細菌液噴霧終了後の時間経過とともに試験室内の細菌数は低下し、噴霧終了から45分後には噴霧終了直後よりも1/100以上低下した。作動時間ごとのCASE-Bによる細菌除去率は、作動時間15分後72.25%の細菌除去率が確認された。作動時間30分では93.19%、作動時間45分では88.34%の細菌除去率が確認された。CASE-Cの細菌除去率は、作動時間15分で76.74%、作動時間30分で98.85%、作動時間

45分で97.37%が確認された。さらに、トリオシン除菌フィルタとS-Plasma ionを組み合わせたCASE-Dにおける細菌除去率は、作動時間15分で91.29%、作動時間30分で細菌除去率99.82%、作動時間45分で99.61%が確認された。

今回の試験において、除菌空調システム作動時間が45分を超えると試験空間内の浮遊細菌数の自然減衰が認められた。自然減衰が認められた理由として、フィルタなどの連続使用における試験誤差が考えられる。そこで、測定時間ごとにフィルタ交換を行い、S-Plasma ion作動時におけるトリオシン除菌フィルタの性能を改めて検証した。実験結果を表-8に示す。この結果より、フィルタの連続使用による細菌数の変化は、ほとんど認められず、本試験全体における細菌数の変化は、トリオシン除菌フィルタならびにS-Plasma ionの性能を反映しているものと思われる。

以上の結果より、除菌空調システム非作動時に比べて除菌空調システム作動時に細菌数の低下が顕著に認められた。これは、本システムにより、細菌自体が死滅または細菌感染機能が崩壊したことを示すものと考えられる。

6. おわりに

黄色ブドウ球菌を指標とした除菌空調システムの性能評価実験において、除菌能力を確認した。また、除菌空調システムによる細菌除去能力は、S-Plasma ionならびにトリオシン除菌フィルタを併用することにより、効果的に作用することが示唆された。

注

注1 活性酸素 (OH-radical) : OH-radicalは反応性が最も早い活性酸素であり、OH-radicalがVOCと反応すると、人体に害のある物質を放出し、アレルギーや喘息、または目を刺激し、呼吸器疾患の原因となるといわれている。

参考文献

- 1) TrioMed Innovations Corporation 技術資料
- 2) S-Plasma ion カタログ サムスン電子(株)
- 3) S-Plasma ion Engineering Data Book
- 4) 栗木 茂、曾根原努、山口聖子、小林憲忠、鈴木達夫他：病室環境を想定した除菌空調システムの研究 第21回日本臨床環境医学会学術集会 抄録集 {2012.6.1 ~ 2(南魚沼)}
- 5) 栗木 茂、曾根原努、山口聖子、小林憲忠、鈴木達夫：病室環境を想定した除菌空調システムの研究 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 {2012.9.5 ~ 7(札幌)} pp.1759-1762

表-7 換気あり除菌性能実験 細菌除去率

| 実験 CASE | | 除菌空調システム作動時間 (min) | | | |
|---------|--------------------|--------------------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 15 | 30 | 45 |
| CASE-A | 細菌数 log10 (cfu/mL) | 8.21 | 7.83 | 7.24 | 5.69 |
| | 除去率 (%) | - | - | - | - |
| CASE-B | 細菌数 log10 (cfu/mL) | 8.20 | 7.27 | 6.07 | 4.76 |
| | 除去率 (%) | - | 72.25 | 93.19 | 88.34 |
| CASE-C | 細菌数 log10 (cfu/mL) | 8.24 | 7.19 | 5.30 | 4.11 |
| | 除去率 (%) | - | 76.74 | 98.85 | 97.37 |
| CASE-D | 細菌数 log10 (cfu/mL) | 8.20 | 6.77 | 4.49 | 3.29 |
| | 除去率 (%) | - | 91.29 | 99.82 | 99.61 |

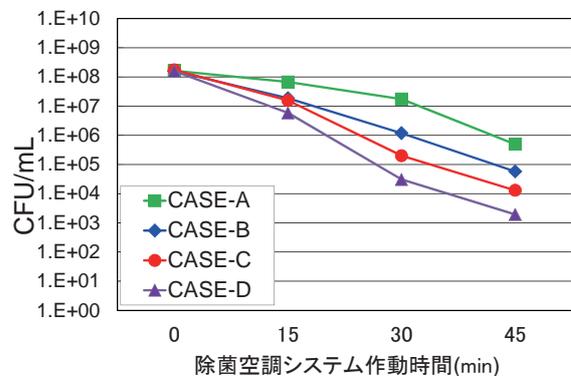


図-8 換気あり除菌性能実験結果

表-8 換気ありフィルタ交換実験結果

| 実験 CASE | | 除菌空調システム作動時間 (min) | | | |
|---------|--------------------|--------------------|------|------|------|
| | | 0 | 15 | 30 | 45 |
| CASE-B' | 細菌数 log10 (cfu/mL) | 8.00 | 7.26 | 6.22 | 4.44 |
| CASE-D' | 細菌数 log10 (cfu/mL) | 8.00 | 6.66 | 4.24 | 3.20 |

