

殺菌性能を有する空中浮遊物質の放出を謳う各種電気製品の、 寒天平板培地上の細菌に対する殺菌能の本体についての解析

独立行政法人国立病院機構仙台医療センター臨床研究部ウイルスセンター

西 村 秀 一

(平成 24 年 6 月 22 日受付)

(平成 24 年 7 月 31 日受理)

Key words: plasmacluster ion, nano-e particle, minus ion, bactericidal effect, ozone

要 旨

本邦では、空中へ特殊な物質の放出により環境中においてウイルス不活化や殺菌の効果をもたらすとする複数の電気製品が市販されており、寒天培地上に塗布した細菌に対する殺菌効果も謳っている。そこで本研究では、プラズマクラスター、ナノイー、ビオンの3機種について、腸球菌、黄色ブドウ球菌、緑膿菌、セレウス菌での追試を試みた。一定数の生菌含有菌液を普通寒天平板上に塗布し、14.4m³閉鎖空間に対象機器とともに置き、機器を2時間運転させた後培養し、出現するコロニー数を、非運転環境下においた対照のそれと比較した。その結果、調べた3機種、4種の菌のすべての組み合わせで、形成されるコロニーの数は対照のそれと変わらなかった。一方、細菌を塗布した寒天培地を容積0.2m³の密閉グローブボックス内に置き、同様の実験を行ったところ、3機種すべてが、腸球菌と黄色ブドウ球菌のコロニー形成を、程度の差はあれ対照と比べて有意に減少させ、一方緑膿菌については減少させなかった。前二者に対するコロニー形成抑制/殺菌の機序について、これらの機器が放出するオゾンが原因である可能性を検討した。その結果、殺菌効果は、それらが発生させるイオンや特殊微粒子を除去しても変わらず、一方で発生するオゾンを除去すると激減した。

以上の成績により、調べた電気製品には、1) 通常的生活空間のような広い空間における使用では、ほとんど殺菌効果が期待できないこと、しかし、2) きわめて狭い空間における寒天培地上のある種の細菌という限定的な対象に対しては、ある程度の殺菌作用は認められること、だが、3) そうした効果は、一義的には、それらの機器が放出している特殊物質というより、それらが同時に放出しているオゾンによる殺菌効果で十分説明可能であること、が明らかになった。今回対象となった機器のみならず、こうした類の殺菌効果を謳う電気製品については、オゾンの関与を疑う必要がある。

[感染症誌 86:723~733, 2012]

序 文

本邦では部屋の空気を機械で浄化するとの発想に基づき、いくつもの電気製品が販売されている。それらの多くはフィルターで空気をろ過するものだが、中には何がしかの特殊物質を空中に放出し、その力で空中に浮遊するウイルスを不活化させたり、浮遊ないし環境表面に存在する細菌を殺したりできるとしている。もしそうした効果が確実なものであれば、社会と家庭

そして医療現場の感染制御にとってまさに朗報であり、大いに期待しても良いであろう。それらはすでに、一般家庭に限らず多くの事業所や施設、そして今やホテルや飲食店、公共交通機関、医療現場に至るまで、広く社会に普及している。

しかしながら、それらの有効性については企業側の一方的な説明があるだけで、他の中立的、第三者的に検証された正式な報告はほとんど見当たらず、またそうした企業側の説明にしても、イメージだけが先行し、有効性を証明する実験の具体的かつ詳細な方法論ならびにデータの開示は、十分ではない。

別刷請求先：(〒983-8520) 仙台市宮城野区宮城野 2-8-8
仙台医療センター・ウイルスセンター

西村 秀一

そのため我々は、独自にそれらの客観的検証を行っており、これまで、「プラズマクラスターイオン」と称する特殊な物質の放出による空中浮遊ウイルスや空中浮遊菌、さらには環境付着細菌の抑制を謳うシャープ社のプラズマクラスターイオン発生機（以下、プラズマクラスター）ならびに「ナノイー粒子」と称する特殊物質の放出による同様の効果を謳うパナソニック社のナノイー発生機（以下、ナノイー）について、実用的には空中浮遊ウイルスならびにスライドガラス上にスメア状に塗布され乾燥状態の細菌に対して、まったくといってよいほど不活化ならびに殺菌効果がないことを、報告してきた¹⁾²⁾。

だが、一方でメーカー側は、それらが、寒天培地上に塗布した *Enterococcus malodoratus*³⁾あるいは浮遊液としてガーゼにしみこませた *Staphylococcus aureus* に対する⁴⁾菌のコロニー形成を抑えることを示し、それらには「菌の増殖を抑制する効果」があると主張している。これは、感染制御領域でいえば「殺菌効果」の言い換えである。

そこで本研究で我々は、プラズマクラスターとナノイーに、さらに今回新たにプラズマクラスター同様、空中に放出するイオンが殺菌効果を持つと宣伝しているキングジム社製イオン発生式空気清浄機ピオン（以下、ピオン）を加え、これらについて4種類の菌を対象に、寒天平板培地上の細菌に対するコロニー形成抑制（以下、殺菌）能について追試を試みた。その結果、生活空間容積に近い14.4m³の閉鎖実験空間での実験で、用いたすべての機種、すべての菌種で殺菌効果が、ほとんど認められなかったので報告する。

さらに0.2m³という極めて狭い閉鎖空間で調べてみたところ、一部にメーカー側が宣伝するように殺菌効果が認められたため、我々は、その効果をもたらすものの本体が、それらの製品によって空間に放出されたイオンあるいはナノイーなる超微粒子か否かを検討した。そして、殺菌力を示しているものの本体はそれらではなく、むしろこれらの製品が副次的に空間に放出しているオゾンであるとの仮説をたて、その証明を試み成功したので、詳細を報告する。

対象と方法

1. 本研究における基本的実験系

実験に用いた細菌は、*Enterococcus faecalis*（以下、腸球菌）、*Pseudomonas aeruginosa*（以下、緑膿菌）、*Staphylococcus aureus*（以下、黄色ブドウ球菌）、*Bacillus cereus*（以下、セレウス菌）である。それぞれ、定法に従い寒天平板上に作らせた当院の臨床検体由来の分離株のコロニーをかきとったものを、凍結融解に対する菌保護作用のある20%スキムミルク液中に入れ、菌濃度10⁹~10¹⁰CFU/mLにした菌液をつくり⁵⁾⁶⁾、それらを小分

けに分注し-80℃で保存しておいたものを実験用ストックとした。実験のたびにストックを1本取り出し、市販の細菌培養メディウム（Q-Bio gene社製 Circle-grow）で約10⁴~10⁵倍希釈し、菌濃度が約3,000CFU/mLになるように調製し、その0.1mLを直径90mmの普通寒天平板上にコンラージ棒を用いて塗布したものを、実験に供した。

実験は、常温・常湿環境下に容積約14.4m³の閉鎖ビニールチャンバー（縦1.8mx横4.0mx高さ2.0m）ならびに0.2m³のグローブボックス（アズワン社製I-1217-11）の中で行った。試験に供した機器は、ナノイー発生機（パナソニック社製F-GME15）、プラズマクラスターイオン発生機（シャープ社製IG-A100）ならびにイオン発生式空気清浄機ピオン（KING JIM社製KSV1）である。前二者は、ボックス内で直接床に置いて使用したが、ピオンについては10cmの台の上に設置した。それは、同機のイオン放出口をイオン計測機の空気取り入れ口からほぼ高低差10cm以内に近づけないと、イオンが検出されなかったためである。

14.4m³閉鎖空間での実験は、対象機種を14.4m³密閉ビニールチャンバーの長辺側の中央部、対角線の壁際の床に置き、そこから約1.8m離れた壁際高さ1mのところ設置した台に、4種の菌をそれぞれを約300CFU普通寒天平板上に塗布したものを蓋を外した状態で置き、空気攪拌用の小型ファンとともに同空間内で対象各機種を最大能力で2時間稼働させた。このうち、寒天平板を回収して、緑膿菌は48時間、それ以外は24時間37℃のインキュベーター内で培養し、形成されたコロニー数を計測した。対照は、同様に細菌を塗布してチャンバー外に置いた寒天平板である。なお、この2時間という曝露時間は、メーカーの実験報告において、寒天培地上に塗布した*E. malodoratus*に対する95%以上のコロニー形成抑制が示されている時間を参考にした³⁾。

グローブボックス内での実験においては、プラズマクラスターやナノイーと寒天平板との距離は30±10cm程度とした。

2. グローブボックス内のオゾン濃度とイオン濃度の測定

グローブボックス内の実験空間の、温度・湿度については、Thermo Recorder TR-77UI（T&D, Co. Japan）、オゾン濃度については、U.V. Photometric O₃ Analyzer Model 49、（Thermo Environmental Instruments Inc., USA）、プラズマクラスターならびにピオンが発生させるイオンの濃度は、ion-tester KST-900（神戸電波）によって測定した。

3. プラズマクラスターならびにピオンが発生させる空中浮遊イオンの除去

イオンを含む荷電粒子を平板に吸着させる目的で、Fig. 5 (a) のような構造体を作った。

これは、電気集塵機の原理を応用したもので、接地した導電性樹脂の平板をグラウンド (0.0V) の接地電極板とし、これに高圧電源から直流 5.8KV を印加した平板状の高圧電極板を複数枚積層したものである。これをイオン除去装置として、検証対象機器のイオン放出口上に、そこから吹き出される空気をろ過するように設置することで (Fig. 5 (b) (c))、対象機器が空間に放出するイオンを濾しとった。

4. ナノイーが発生させるとする微粒子の除去

メーカー側の説明によれば、ナノイー粒子は物理的には直径 20nm に最頻値を持つ直径 15 から 30nm の粒子群である⁷⁾。だが、実際に空間中のその粒子濃度を測定する技術は、高度な特殊技術であり、一般には直径 20nm 付近の粒子の計測はほとんど不可能である。しかし、HEPA フィルターは、この直径を持つ粒子の捕捉にも極めて優れた性能を持つことが知られている⁸⁾。そこで我々はナノイーを稼働させているグローブボックス空間内で HEPA フィルターを持つファンフィルター・ユニットをナノイーに同期させて稼働させ、空間内に直径 20nm 付近の微粒子が理論上物理的に存在しない状態を作り出した。

グローブボックス内でのナノイー運転時に同時に、HEPA フィルターを装備する濾過風量 1.7m³/min のファンフィルター・ユニット (日本バイリーン社製 VFT-20HA-A) の、吹き出し口をシール加工し面積を 4分の1にして濾過風量 0.4m³/min にしたもの (Fig. 6a) を、グローブボックス内で運転させることで 1 分以内に空中浮遊微粒子フリーの状態をつくりだし、その状態を 2 時間持続させ実験に供した。

5. 各機器が発生させるオゾンの除去

920 セル/平方インチのセル密度を持つ厚さ 5mm のアルミニウム製六角形ハニカム・セル構造体に、オゾン分解の触媒能を持つ二酸化マンガンを担持したフィルター⁹⁾ (日揮ユニバーサル社製) を、オゾン除去触媒フィルターとして検証対象機器の吹き出し口に寄せ、吹き出される空気を直接濾過した (Fig. 6b)。

ただし、ピオンについては同上の処置によってイオンの放出口まで検出されなくなったことから、ピオンの吹き出し口はそのままにして、ボックス内の離れた場所に前述のファンフィルター・ユニットの吹き出し出口を上記の触媒フィルターで覆った状態で運転し、ボックス内の空気を急速濾過し、イオンの状態はそのままに空中オゾンのみを除去した。

結 果

1. 14.4m³の閉鎖空間での試験

14.4m³閉鎖空間での実験は、3 日間よりやや広い生活空間を意識した容積での実験である。14.4m³密閉ビニールチャンパー内に各種の菌を塗布した普通寒天平板培地を置き、その中で対象機種を 2 時間運転させた。対照は、同様に細菌を塗布してチャンパー外に置いた寒天平板である。本実験におけるチャンパー内の温度は 18℃ から 24℃、相対湿度は 28% から 45% の範囲であった。

その結果、どの機種も 4 種の細菌すべてに対してほとんど殺菌力を示さなかった (Fig. 1)。これにより、少なくとも 3 日間以上の広さを持つ実生活空間では、これらの機器の殺菌効果の実用性は、極めて低いと結論された。

2. グローブボックス内環境での、各機器の細菌コロニー形成抑制 (殺菌) 性能について

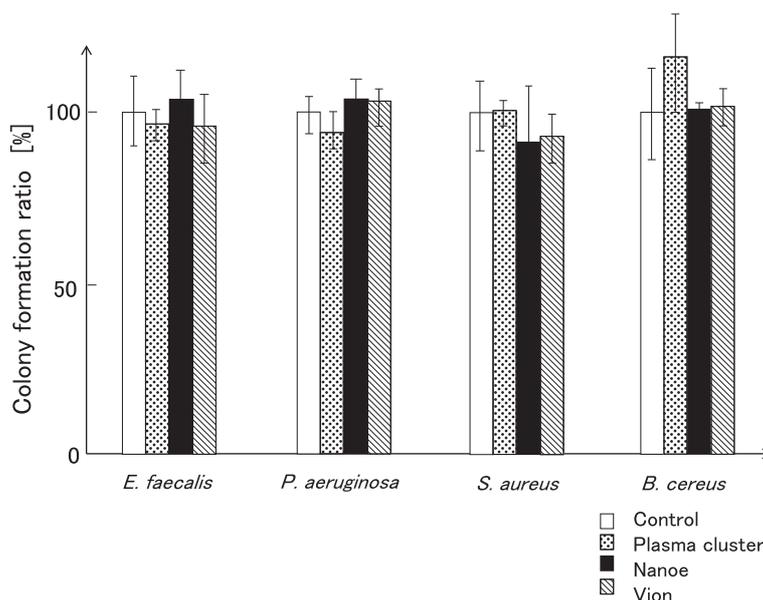
プラズマクラスターのメーカーは、容積 4.1L という小箱での中の実験報告において、腸球菌の一種である *E. malodoratus* を寒天培地上に塗布したのに対し、2 時間で 95% 以上のコロニー形成抑制効果を図示している³⁾。そこで我々は、同じ腸球菌である *E. faecalis* を含む先に挙げた 4 種の細菌について 0.2m³ という、先述の密閉ビニールチャンパーの約 70 分の 1、それでもメーカーが実験に用いた極めて狭い空間にくらべれば約 50 倍の容積空間を持つグローブボックス内で、先述の密閉ビニールチャンパーでの試験と同様、対象機種 2 時間運転による試験を、スクリーニング的に実施してみた。また、実験空間の温度は大体 21 から 24℃ と狭い範囲であったが、湿度は 30 から 90% と実験ごとに大きく異なっていた。

その結果、Fig. 2 で示したように、腸球菌はナノイーとピオンの 2 時間運転によりほとんど殺菌されたが、プラズマクラスターは実験ごとに殺菌作用が大きく異なっていた。最高で 100% 近い殺菌力を示した一方、ほとんど殺菌力を示さなかったこともあった。一方、緑膿菌については、ナノイーとピオンでも若干の殺菌効果が見られただけ、プラズマクラスターではほとんど認められなかった。黄色ブドウ球菌やセレウス菌では、すべての機種において、腸球菌と緑膿菌の中間程度の殺菌効果であった。

3. 菌種の類の違いによるコロニー抑制の程度の違いの確認

上述のスクリーニングで、菌種によってコロニー形成が抑制される効率が異なる様子が見られた。だが、これらの実験は実験ごとに温度や湿度の条件が異なっており、単純にこれらのスクリーニングの結果から菌種による殺菌感度を比較することはできないと考えら

Fig. 1 Inhibition of colony formation of four kinds of bacteria on agar plates by exposure to materials released by three kinds of electric devices for 2hrs in a 14.4m³ closed chamber. Average results (N=3) are shown together with standard deviation. Values of controls without devices operating are set as 100.



れた。そこで、これらの菌に対するコロニー形成抑制を同一温度湿度条件下で比較する目的で、腸球菌、黄色ブドウ球菌、緑膿菌の3種の菌のうち2種の組み合わせで細菌塗布寒天プレートをグローブボックス内に置き、同様の実験を試みた。その結果、Fig. 3で示したように菌種によって感受性に違いがあることが確認され、腸球菌、黄色ブドウ球菌、緑膿菌の順にコロニー形成抑制が見られた。Fig. 3には、前述のスクリーニングで実験ごとの成績のブレが少なく結果が安定していたナノイーでの成績を示しているが、基本的にビオンでも、実験ごとのブレが大きかったプラズマクラスターでも、同様の傾向が認められている (data not shown)。

4. プラズマクラスターの腸球菌に対するコロニー形成抑制の実験ごとの変動と、それに基づく作業仮説

Fig. 2で示したプラズマクラスター運転実験で見られたコロニー形成抑制の大きな変動の理由について何らかのヒントを得ようと、7回実施したスクリーニング実験の成績を、その際のボックス空間内環境の諸測定データとあわせて、コロニー抑制率の順に並べてみた。

その結果、コロニー形成抑制は実験によって100%から0%まで大きく異なっていたが、この変動があっても実験空間のイオン濃度は非常に安定していた。よって、少なくとも変動がボックス内のイオン濃度の

高低には対応しないことがわかった。その一方で、コロニー形成抑制の程度は、むしろボックス内の相対湿度に依存し、比較的低い相対湿度で高く、高い相対湿度で極端に低下する傾向が読み取れた (Table 1)。

ところで、通常電極でイオンを発生させる際には、同時にオゾンが発生することが知られており¹⁰⁾、そうした電極でのオゾンの発生は、相対湿度に大きく依存し、高い相対湿度で極端に低下することが知られている¹¹⁾。さらに、オゾンには殺菌作用があることも広く知られており、オゾンがすでにある程度存在する状況では、むしろ相対湿度が高い方が殺菌力を強く発揮することも、知られている^{12)~14)}。そこで、これまでの成績に、それぞれの実験中に測定したボックス内のオゾン濃度のデータを重ね合わせてみた。

その結果、コロニーの形成抑制率がオゾン濃度に依存しており、約0.1ppm付近を境として大きく異なっていた。これらの結果を受け、我々は、プラズマクラスターの寒天平板上の細菌に対する殺菌作用は、同機が発生させるイオンではなく同時に発生させているオゾンによるものではないかと疑い、それを作業仮説として、以降その証明を試みた。なお、ナノイーもビオンもプラズマクラスター以上のオゾンを出しており、こちらの寒天平板上の細菌に対する殺菌作用も、同様にオゾンによるのではないかと考え、3機種すべてについて、腸球菌ならびに黄色ブドウ球菌の2菌種を用いて証明を試みた。

Fig. 2 Inhibition of colony formation the same as for Fig. 1 in a 0.2m³ glove box.

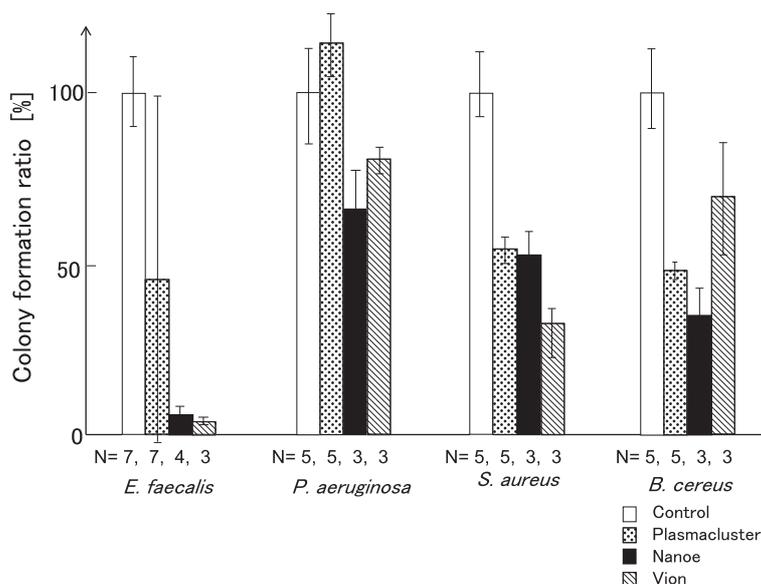
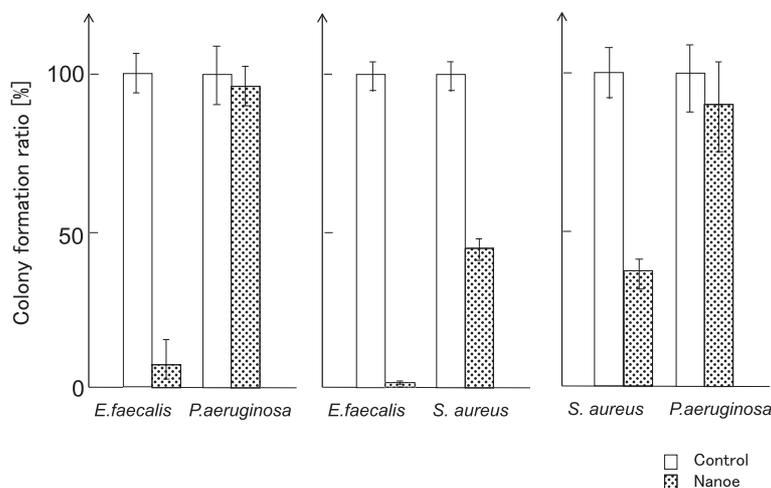


Fig. 3 Comparison of bacteria colony formation on agar plates exposed simultaneously to Nanoe.

Note: In experiments, two kinds of bacteria were exposed simultaneously in a 0.2m³ glove box for 2hrs under temperatures of 21-23°C and relative humidity ranges of 40-50%, relatively. Averages with standard deviations and control.



5. 諸相対湿度条件下、各機器が発生させるオゾンならびにイオンの空間濃度の測定

プラズマクラスター、ピオン、ナノイーについて、グローブボックス内での運転時間とオゾン濃度の関係を、プラズマクラスター、ピオンについてはイオン濃度の関係も合わせて、相対湿度を三段階の範囲に設定して測定した結果を Fig. 4に示した。

結果として、プラズマクラスターは、相対湿度の上昇に依存するようにオゾンの発生量が低下していた

(Fig. 4b)。一方、ナノイーでは、こうした相対湿度上昇による発生オゾン濃度の低下は前者ほど顕著ではなく、また全般的に濃度は前者より高かった (Fig. 4a)。一方、ピオンは他の2機種と比べて運転開始直後から格段に急激なオゾン濃度の上昇が認められた。また、80~90% という高い相対湿度環境では、プラズマクラスター同様オゾン発生は低下したものの、絶対量はナノイー以上であった (Fig. 4c)。

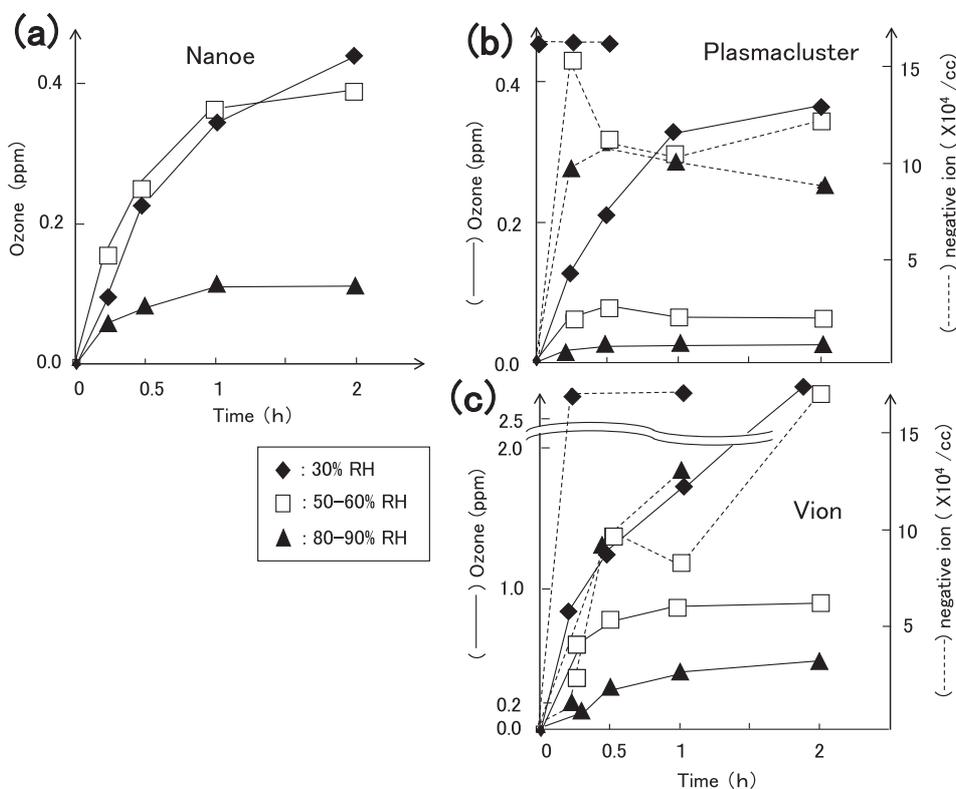
イオン濃度については、プラズマクラスターは、開

Table 1 Decrease in *E. faecalis* colony formation by Plasmacluster exposure

Experiment No.	Colony formation ratio (%) [†]	($\times 10^4$ /mL) concentration		Temperature (°C) / relative humidity (%)	Ozone range (ppm)
		+ ion	- ion		
3	<1	6.3-11.0	2.0-9.0	22°C / 30-50%	0.250-0.300
6	<1	6.0-15.0	1.0-6.0	21°C / 30-56%	0.150-0.220
7	<1	6.0-8.8	2.0-6.5	21°C / 59-64%	0.080-0.170
4	77	6.8-11.5	2.0-5.0	24°C / 50-60%	0.060-0.081
2	87	8.8-11.4	7.0-8.7	22°C / 80-90%	0.023-0.031
1	99	8.6-15.5	4.9-12.5	23°C / 60-70%	0.052-0.096
5	100	6.0-10.0	1.2-8.6	24°C / 60-86%	0.020-0.040

[†]Number in experiments are averages of 3 plates set as 100 when and for controls without running device operation.

Fig. 4 Generation of ozone by three devices at different relative humidity range in a temperature range of 21-23°C

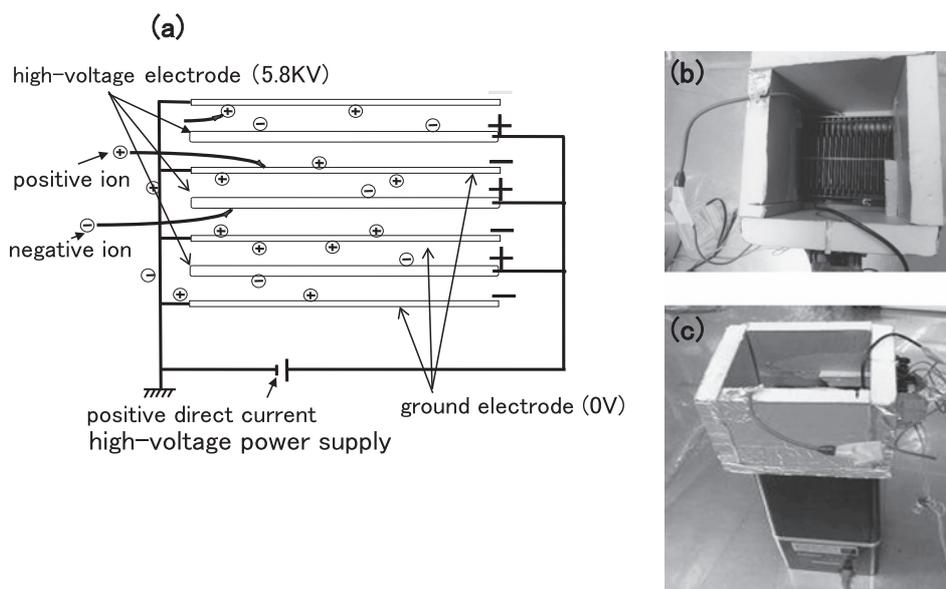


発企業の説明では陽イオンと陰イオンを同時に空中に放出し、それらが殺菌作用をもつとしているが⁽³⁾⁽¹⁵⁾、我々の計測では、相対湿度が50から60%の環境下で、運転前に1mLの空気容積あたり10~20個レベルの陽イオン、陰イオンが強運転スイッチを入れて約5分後には陽イオンで18万個から20万個、陰イオンも9万個から11万個となり、以後周期的な変動はあるものの、その値がほぼ定常状態として続いた。また、プラズマクラスターならびにピオンの発生イオン濃度は、高湿度である程度の低下は認められるものの、オゾン濃度の低下に比べればそう際立った低下ではなかった (Fig. 4b, c)。

6. グローブボックス内試験空間内へのイオン放出阻止と、それによるコロニー形成抑制能への影響

プラズマクラスターならびにピオンが発生させるイオンが、企業側の言うように本当に寒天平板上の菌に対して直接殺菌効果を示しているのかを調べる目的で、電荷をもったイオンを電気的に取り去るイオン除去装置 (Fig. 5) で、グローブボックス内に放出されるイオンを濾しとり、その状態でプラズマクラスターあるいはピオンを2時間稼働させ、コロニー形成阻止の有無を調べた。この装置が実際にプラズマクラスターやピオンの発生させるイオンを除去していること

Fig. 5 Electric ion collector, (a) schematic configuration, (b) top view and (c) lateral view on electrical device tested



ならびに、その際、空間濃度オゾン濃度が大きく低下するようなことがないことは、確認済みである (Fig. 7).

もし、イオンが寒天平板上の菌に直接作用して殺菌するのであれば、イオンが除去された場合、コロニー形成の阻止はまったくなくなり、コロニーは非運転対照とほぼ同じように形成されるはずである。結果的に、この装置によりプラズマクラスター、ピオンともに運転時に陽イオンと陰イオンがほぼ検出限界以下となる空間状態をつくりあげることができ (Fig. 7b, c), こうした条件下で、腸球菌あるいは黄色ブドウ球菌を塗布した寒天培地をこの空間に2時間置き、コロニー形成の抑制の有無を見ることができた。その結果、空中イオンがほとんどない状態であっても双方の菌のコロニー形成は、イオンが存在していた場合と同じく抑制されていた (Table 2)。これらの結果は、プラズマクラスター、ピオンの殺菌作用はイオンの直接作用によるものではないことを、強く示唆する。

7. ナノイー粒子のグローブボックス内試験空間からの除去と、そのコロニー形成抑制能に対する影響

ナノイーを運転させたグローブボックス内でHEPAフィルターを有するファンフィルター・ユニットを稼働させることで、ナノイー粒子を含めて直径20nm付近の微粒子がグローブボックス空間内に理論上物理的に存在しない状態を作り出し (Fig. 6 (a)), その空間に腸球菌あるいは黄色ブドウ球菌を塗布した寒天培地を2時間置いてコロニー形成の抑制の有無を検討した。もし、ナノイー粒子が寒天平板上の

菌に直接作用して殺菌するのであれば、それらが除去されたこの状態ではコロニー形成の阻止はまったくなくなり、非運転対照とほぼ同じようにコロニーが形成されるはずである。なお、用いたファンフィルター・ユニットが正常に稼働していたことは、レーザー・パーティクルカウンターで計測可能な $0.3\mu\text{m}$ 以上の径の粒子のボックス内濃度が、同ユニットの運転開始1分以降はほぼゼロになっていたことで、確認している (data not shown)。

その結果、この空中に微粒子成分がほとんどない状態であっても用いた2種の菌のコロニー形成は、それらが存在していた場合と同じく抑制されていた (Table 2)。なお、この際、空間オゾン濃度もあわせて測定し、本脱微粒子操作が、ボックス内空間のオゾン濃度にまったく影響を与えていなかったことも確認している (Fig. 7a)。

これらの結果から、ナノイーによる殺菌作用は、ナノイー粒子なる微粒子の直接作用によるものではないことが示唆された。

8. グローブボックス内試験空間のオゾン除去と、それによるコロニー形成抑制能に対する影響

最後に、プラズマクラスター、ピオン、ナノイーの各機種を稼働させているグローブボックス空間内からそれらが発生させる空間内のオゾン除去し、その条件下に腸球菌あるいは黄色ブドウ球菌を塗布した寒天培地を2時間置いて、コロニー形成の抑制の有無を検討した。もし、これらの機器において寒天平板上の菌に対するコロニー形成抑制を起こす物質の本体が、先の作業仮説のようにこれらの機器から同時に発生

Fig. 6 (a) Fan filter unit with HEPA filter in 0.2m³ glove box to remove ultra-fine particles inside glove box. (b) a filter of manganese dioxide-supported aluminum set above Nanoe outlet port, to catalyze ozone degradation process

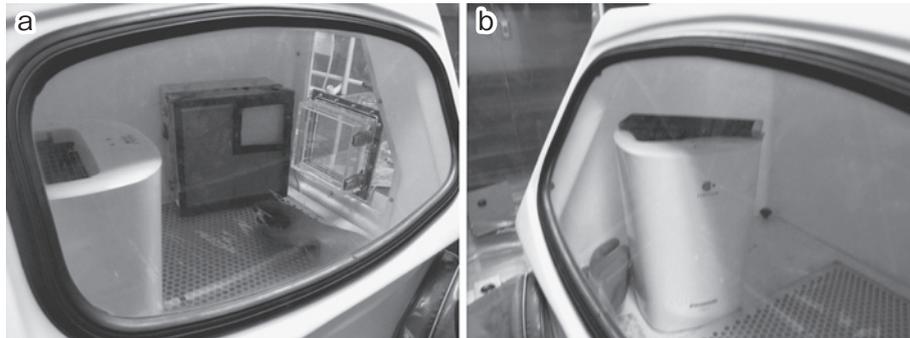
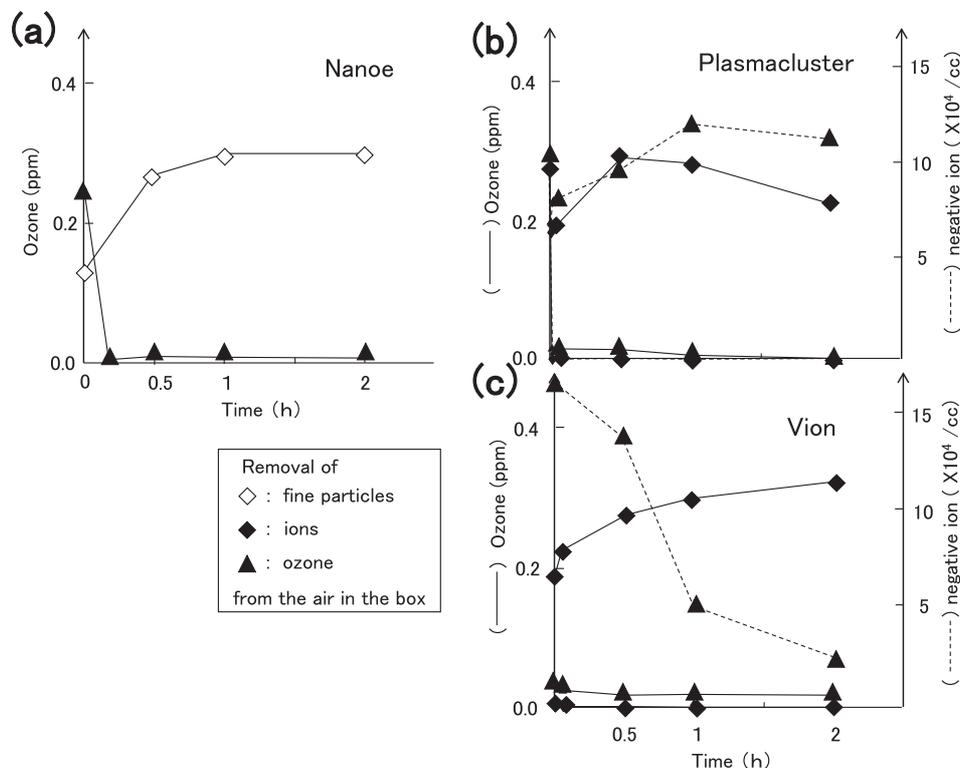


Fig. 7 Concentrations of ozone and negative ion during removal of fine particles, ions, or ozone in glove box during device operation



しているオゾンであれば、それが空間から完全に除去された場合、コロニー形成の阻止はまったくなくなり、非運転対照と同様のコロニー形成が見られるはずである。

このオゾン除去フィルター処理 (Fig. 6 (b)) により、いずれの機器においてもボックス内のオゾン濃度は急激に低下した (Fig. 7)。なお、これによって空気中のイオンや浮遊粒子がトラップされていないことは、前者についてはグローブボックス内の空気中のイオン濃度で確認し (Fig. 7)、後者については、ナノ

イー粒子より若干大きめのサブミクロンサイズの浮遊微粒子の濃度測定により確認している (data not shown)。こうした環境に細菌塗布寒天平板を2時間置いたのち培養したところ、いずれの機種でも腸球菌ならびに黄色ブドウ球菌のコロニー形成は、まったくといってよいほど抑制されず、これらのコロニー形成抑制にオゾンが大きくかかわっていることが示された (Table 2)。

考 察

これまで示してきた一連の成績は、これらの機器の

Table 2 Effect of ion, fine particle, or ozone removal from glove box air

Bacterium	Device	Ratio of colony formation on agar gel plate [†]				
		Operation (-) control	Device operation (+)			
			Control	Removal of		
			ions [‡]	fine particles	ozone	
<i>E. faecalis</i>	Plasmacluster [‡]	100	1 ± 1	2 ± 2	NA [§]	98 ± 3
	Vion	100	0.03 ± 0.01	0.03	NA	99 ± 1
	Nanoe	100	3 ± 3	NA	3 ± 3	98 ± 3
<i>S. aureus</i>	Plasmacluster [‡]	100	56 ± 5	54 ± 2	NA	100
	Vion	100	31 ± 7	50 ± 3	NA	116 ± 7
	Nanoe	100	54 ± 10	NA	56 ± 13	96 ± 8

[†]Numbers represent ratios with controls set as 100 without device operation, (Average of three independent tests and standard deviations)

[‡]Data is from experiments under relative humidity allowing devices to generate ozone exceeding 120 ppb.

[§]NA: not applicable

示す殺菌作用はそれらが放出するオゾンによるものであるとする我々の当初の仮説と、まったく矛盾しないものとなった。

ナノイーは、メーカーの説明⁴⁾⁷⁾によれば、通電で冷却される性質を持つペルチェ素子電極に通電し、同素子に空気中の水分を結露させ、それを電荷をもった状態の微粒子として放出させ、それによってウイルスを不活化したり、細菌を殺したりするとされている。ビオンは、メーカーの製品説明書によれば、放電針から電子・イオンを放出し、それによってウイルスを不活化したり、細菌を殺したりするという。一方、プラズマクラスターは、高濃度プラズマクラスターイオン発生ユニットと称するユニットの中の放電電極から、水素の陽イオンと酸素の陰イオンを同時に放出し、それらがウイルスや細菌の表面で同時に作用し、不活化あるいは殺菌するものとされている³⁾¹⁵⁾。しかし、今回の我々の研究により、少なくとも腸球菌と黄色ブドウ球菌に関してナノイー粒子、あるいはイオンやプラズマクラスターイオンが直接的に細菌に作用し殺菌作用を示している可能性は否定され、むしろ、こうした電極から必然的に産生されることが広く知られているオゾンこそが、殺菌作用の本体であることが強く示唆された。

ただし本研究は、我々が見ているオゾンすら殺菌の本体ではなく、オゾンと挙動を一にするイオンや微粒子以外の何かがこれらの機器から発生していて、それが殺菌効果を示している可能性を否定するものではない。

以前我々は、今回と同じグローブボックス内での実験で、スライドグラスに塗布し乾燥状態になった細菌では、プラズマクラスターやナノイーへの16時間もの曝露でも、生存細菌数が、調べたすべての菌で対照と比較して統計学的有意差を持たなかったことを報告

したが²⁾、その際、オゾンはボックス内で今回と同程度あるいはそれ以上の高濃度で存在していた (data not shown)。今回の寒天平板培地表面の細菌に対し殺菌効果が一部とはいえ認められたこととの違いは、オゾンは水に溶け込みオゾン水となり、水分子との反応により極めて強い殺菌力を持つヒドロキシラジカルを発生させるというオゾンに関する実務領域における常識¹⁶⁾で説明可能であろう。水分が存在する場合、たとえ低濃度のオゾンでも殺菌作用が認められるという報告もあり¹⁷⁾、今回、寒天平板上の細菌のコロニー形成を阻止したのも、水分の豊富な寒天培地表面にオゾンがとけ込み、一種のオゾン水状態が作り上げられたからであろうと考えて矛盾しない。事実、水分が約30%消失するまで乾燥させた寒天平板に腸球菌を塗布した実験では、プラズマクラスターもナノイーも、対照と比べてまったくコロニー形成を阻止しなかった (data not shown)。

全機種ともに調べた4菌種間でコロニー生成の抑制の程度に差が認められたことは、湿潤状態でのこの実験で測定されたレベルの濃度のオゾンへの菌による感受性の違いによるのかもしれない。それらについては今後の課題である。しかし、たとえ感受性のある菌であっても、生活空間を意識した約3畳の部屋に相当する14.4m³の空間での実験では、そうした殺菌作用もまったく認められなかった。先の我々のスライドグラス上にスメア状に塗布されて乾燥状態にある菌に対する無効性を示した実験結果²⁾とあわせれば、少なくとも研究対象となった菌に対し、これらの機器に生活空間における環境表面の殺菌の実用的価値はない、と言えよう。

だが実用的には意味をなさずとも、たとえ実験室レベルの極めて狭い空間であれ、現象として殺菌効果が認められたため、その科学的解明には意味があり、そ

れも本研究の意義のひとつであった。プラズマクラスターとピオンについては、空間イオンを除去した状態を確実に作り出し、それでも感受性菌に対する殺菌効果が変わらないことを示すことで、殺菌の本体がイオンではないことを示した。ナノイオンのそれについても同様に、ナノイオン粒子とメーカーが称するものの状態を直接計測しての実験が望ましかったが、それらは当該メーカー以外には計測できず、我々が現実的にやれることは、理論的にそうした粒子が物理的に空中に存在しない条件を作り出し、その理論的前提で結果を解釈することであった。同様にオゾン除去実験でも、その操作によって空気中のナノイオン粒子より大きめのサブミクロンサイズの浮遊粒子の減少はないことは浮遊微粒子の濃度測定により確認しているものの、ナノイオン粒子と称する超微粒子そのものがオゾンと一緒に除去されている可能性は否定しきれない。そうした可能性は極めて低いと思われるが、もし、HEPA フィルターの常識を覆すように HEPA フィルターで直径 20nm の粒子が捕捉されず、またオゾン除去フィルターで空間のナノイオン粒子がほとんどなくなるものならば、我々のロジックも変わらざるを得ない。だが、そうした検討が可能なのは、ナノイオン粒子なるものを直接計測できる当該メーカー側のみである。

今回、調べた3つの機器すべて、それらが発生させているオゾンが殺菌の本体であることが強く示唆されたが、こうしたオゾンの発生は、電極放電型の電気機器にとっては、ほぼ不可避な現象とされている¹⁰⁾。我々は、以前の検証報告に含まれていたものの今回の報告では対象としなかったエネルギー・エアフレッシュャー(旧サンヨー社製 CAF-VW10TG)も高湿度時のプラズマクラスター程度のオゾンを出しており、さらには某社の単なるペットボトル式小型超音波加湿器にいたっては、ピオンに匹敵する濃度のオゾンを放出していることを確認しており、それらは、オゾン水のミストを振りまいている可能性も考えられる (data not shown)。

今後これらの製品と同じような機序による殺菌あるいはウイルス不活化を謳う製品が世に出てきた場合にも、それらの性能評価において、オゾンの関与について注意深く見ていくことが肝要であろう。

利益相反自己申告：申告すべきものなし

謝辞：本研究に協力してくれた仙台医療センター臨床研究部ウイルスセンターの職員ならびに客員研究員諸氏に、この場を借りて深謝いたします。

文 献

- 1) 西村秀一：高性能の空中浮遊インフルエンザウイルス不活化を謳う市販各種電気製品の性能評価. 感染症誌 2011; 85: 537—9.
- 2) 西村秀一：殺菌力を謳う各種空気清浄電気製品の、塗布乾燥状態の細菌に対する効果の有無の検証. 環境感染誌 2012; 27: 印刷中.
- 3) 西川和男：正極性と負極性のクラスターイオンによる細菌不活化メカニズム. シヤープ技報 2006; 94: 20—4.
- 4) 浅野幸康, 須田 洋, 大江純平, 前川哲也, 山内俊幸：帯電微粒子水によウイルス・細菌抑制効果. パナソニック電工技報 2010; 58: 56—9.
- 5) 柚木弘之：浮遊菌液の調整法. 根井外喜男編, 微生物の保存法. 東京大学出版会, 東京, 1977; p. 141.
- 6) 鈴木祥一郎, 上野一恵：凍結保存法. 根井外喜男編, 微生物の保存法. 東京大学出版会, 東京, 1977; p. 210.
- 7) 今井健之, 須田 洋, 浅野幸康, 山内俊幸：帯電微粒子水の暴露による *Serratia* sp. の不活化と形態変化. Earozoru Kenkyu 2011; 27: 78—80.
- 8) 江見 準：空気汚染の除去機構. (社)日本空気清浄協会編, 室内空気浄便覧. オーム社, 東京, 2000; p. 190—3.
- 9) 吉田恵一郎, 上田 厚, 徳島一雄, 山田祐介, 小林哲彦：触媒を組み入れた低温プラズマ脱臭装置のアセトアルデヒド分解性能評価. 静電気学会誌 2004; 28: 138—42.
- 10) 児玉 勉：障害防止機器・材料. 静電気学会編, 新版静電気ハンドブック. オーム社, 東京, 1998; p. 383—4.
- 11) 小野 亮：活性種のレーザー計測による大気圧ストリーマ放電の反応機構解明. J. Plasma Fusion Res 2011; 87: 302—12.
- 12) 釜瀬幸広, 村上弘記, 高橋亮二, 高岡啓吾, 中村八寿雄：オゾン殺菌装置の開発. 石川島播磨技報 2003; 43: 118—21.
- 13) 岩村卓嗣, 奥田慎一, 小阪教由, 野上俊宏, 新谷英晴, 加藤美好：オゾンガスによる芽胞減菌の性能評価. Boukin Boubai 2011; 39: 595—601.
- 14) Sakurai M, Takahashi R, Fukunaga S, Shimoi S, Kazuma K, Shintani H: Several factors affect ozone gas sterilization. Biocontrol Science 2003; 8: 69—76.
- 15) 中村美咲, 西川和男：プラズマクラスターイオンによる除菌作用の原理と応用. 生活衛生 2009; 53: 239—46.
- 16) 高橋信行：オゾンの反応特性. 日本オゾン協会編, オゾンハンドブック. サンユー書房, 横浜, 2004; p. 67—96.
- 17) 勝井則明, 稲谷正敏, 喜多英二：低濃度オゾンによる冷蔵庫内の殺菌作用. Boukin Boubai 2002; 30: 645—51.

Analysis of Bactericidal Material Generated by Electrical Devices Advertising Bactericidal Ability
against Bacteria on the Agar Gel Plates

Hidekazu NISHIMURA

Virus Research Center, Clinical Research Division, Sendai Medical Center, National Hospital Organization

Several Japanese companies sell electrical devices advertised as effective in inactivating viruses and killing bacteria by releasing special materials, e.g., Plasmacluster ions, Nanoe particle and minus ions, into the air. These companies claim that their devices killed bacteria on plates in their own experiments.

We tested device effectiveness using the same experiments from the Plasmacluster ioniser SHARP Co., Japan, the Nanoe generator Panasonic Co., Japan, and the Vion KING JIM Co., Japan, to test their advertising claims. Bactericidal ability on agar plate was tested, using *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, and *Enterococcus faecalis* as follows: the medium containing a certain amount of each bacterium was put onto an agar plate and smeared. Plates were kept in a closed chamber (inner volume 14.4m³) or a glove box (inner volume 0.2m³), with one of the devices run for 2 hours. Plates not exposed to any device were used as controls. Each plate was retrieved and put in an incubator to count the number of bacterial colonies formed on the plate.

There was no significant difference in the number of colonies on plates exposed to devices compared to control, in the number for all devices, or in all bacteria tested in experiments in the 14.4m³ chamber. These results strongly suggest that these devices have almost no bactericidal effect, at least in space exceeding this volume.

Colony formation was suppressed in the glove box in all devices and in all bacteria tested except *P. aeruginosa*, although the degree of suppression differed among experiments.

The colony formation suppression mechanism was analyzed, and indicated that: colony formation did not change even after the removal of Plasmacluster ions, Nanoe particles, or negative ions from the air, while colony formation was decreased drastically by the removal of ozone from space, which was revealed to be generated inevitably during device operation. These results strongly suggest that the bactericidal effect seen only on the agar plate in narrow space was explained by ozone released in space as a by-product, not by special materials as advertising claimed.

It is thus important to analyze the effect of special materials such as those done in this study and to suggest the involvement of ozone as the true cause, as have been done in this study, in evaluating bactericidal effect or viral inactivation as advertised by these companies.