

Fine Particle and Bacteria Collection System by Negative Ions and Ozone with Mist Formation

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/34255

マイナスイオンとオゾンにミスト化を 併用した除塵除菌システム

Fine Particle and Bacteria Collection System by Negative Ions and Ozone with Mist Formation

瀧 本 昭* 多 田 幸 生* 大 西 元*
Akira TAKIMOTO Yukio TADA Hajime ONISHI
長 浦 一 義** 小 坂 暁 夫***
Kazuyoshi NAGAURA Akio KOSAKA

- * 金沢大学理工研究域機械工学系 (920-1192 石川県金沢市角間町)
College of Science and Engineering, Kanazawa University
(Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192)
- ** 北陸電力 株式会社 (930-8686 富山市牛島町 15-1)
Hokuriku-Electric Power Company (Ushijima-machi Toyama 930-8686)
- *** 富山大学大学院理工学研究部 (930-8555 富山市五福 3190)
Graduate School of Science and Engineering for Research, Toyama University
(Gofuku 3190, Toyama, 930-8555)

Summary

The development of a gas clean technology may be one of the most expecting techniques in a wide field from global environment to living conditions. In this paper, the authors proposed the new concept of a gas clean technology by utilizing negative air ions and ozone gas with the formation of mist. A system is composed of the heat exchanger of staggered fins and a electrostatic precipitator. The negative air ions and ozone gas generated by corona discharge provide an electric charge and bactericidal effects. Formation of the mist in the field of super-saturation state by cooling of the system can make them high efficiency. Experimental data showed that the present system allowed air to be sanitized in high efficiency.

Keywords: Gas Clean Technology, Negative Ions, Ozone, Mist Formation, Particle Collection

1. 緒 言

近年、製造現場や医療現場など、高度な清浄度を要するクリーンルームの必要性が高まると

共に、アレルギーやシックハウス対策など一般居住環境においても空気質が注目を浴びている。中でもウイルスや細菌といった浮遊微生物は温暖化にも関連して様々な未知の病気を引き起こす要因となるなど、それらの微生物除去も含め

†Fax: +81 76-234-4743 E-mail: takimoto@t.kanazawa-u.ac.jp
日本冷凍空調学会年次大会 2007, 10月22-25日, 2007, 東京

た空気清浄化技術の開発が重要な課題となっている¹⁾。

空気清浄化技術には、集塵（除塵）フィルタを始め、光触媒や空気イオンを利用したもの、UV/光電子法など様々な方式がある。さらに、広く用いられているフィルタ法には、運転・設備費などのコスト面での長所があるが、空気流動抵抗、捕集微粒子の再飛散の問題があるため、より高い清浄度の追求や様々な種類の汚染物質の除去には限界がある²⁾。今日では、これら短所の改善とともに、省エネルギー性も考慮した高性能な清浄化技術の開発が期待されている。

本研究は、コロナ放電により発生するマイナスイオンとオゾンに着目し、汚染空氣の冷却による過飽和状態からのミスト生成・肥大化現象に、マイナスイオンによる浮遊粒子の帯電、発生オゾンによる浮遊菌の殺菌、電気集塵によるミスト滴の回収からなる、除塵と除菌を可能にするシステムを提案し、その有効性を実験的に追究したものである^{3) 4)}。具体的には、本報では、除去対象を浮遊菌まで拡張し、本法の浮遊菌の除去・殺菌可能性について実験的に検討した。

記 号

CD	放熱部	
Co	熱交換部	
C_v	蒸気濃度	kg/kg
$\bar{d}$	ミスト粒径	μm
EC	捕集部	
f_n	粒子濃度	particles/m ³

f_{nBIN}	供給菌濃度	CFU/m ³
T	温度	°C
t	システム稼働時間	min
U_m	主要部流速	m/s
V_c	捕集平板間電圧	kV
V_d	コロナ放電電圧	kV
W	コロニー数	CFU
W_p	システム消費動力	W
ギリシャ記号		
η	生残率	%
添字		
in, IN	入口	
out	出口	
w	壁面	

2. システム原理

本研究で提案するシステム原理を図1に示す。システムは微粒子・浮遊菌をミスト化・肥大化する熱交換部、コロナ放電によりマイナスイオンとオゾンが発生し、ミスト滴を負に荷電させる放電部、ミスト滴の捕集を行う捕集部から構成されている。システムは、まず、フィンプレート冷却面から構成される熱交換部で、微粒子・浮遊菌を含む高温湿り空氣を冷却することによって過飽和状態にする。このとき、熱交換部内部では、微粒子・浮遊菌を核としたミスト滴の生成とそれの肥大化が生ずる。また熱交換部では、また、プレートの濡れ面による微粒子・浮遊菌を捕集するエリミネーターとしても作用する。熱交換部を通過したミスト滴は、ワイヤ平板電極系からなる放電部のコロナ放電領域を

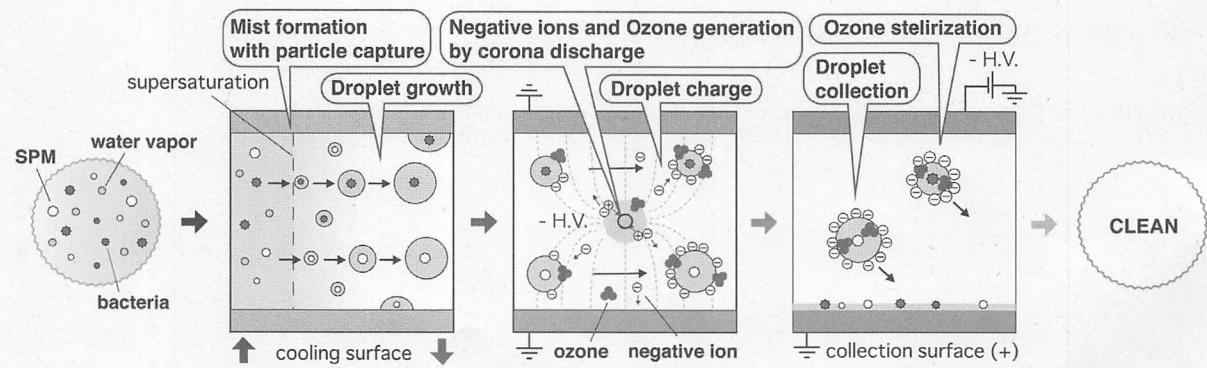


Fig. 1 Negative ions and ozone method with mist formation.

通過することで、電離によって発生したマイナスイオンとの衝突により負に荷電される。同時にコロナ放電により空気中の酸素からオゾンが生成され、浮遊菌を含むミスト滴は、このオゾンにより殺菌させる。殺菌されたミスト滴は、対平板電極間の電場形成によるクーロン力によって、正極の捕集部壁面に捕集される。さらに、捕集部は菌とオゾンの空間接触区間としての作用もする。以上、本方式の特徴は、(1) 低圧力損失、(2) オゾンによる殺菌作用、(3) 粒子の肥大化による確実な捕集、(4) 捕集粒子の再飛散防止、(5) セルフクリーニング効果が挙げられる。そして、本方式においては、装置形状に対する運転条件の確立、排出オゾン濃度の最適化が今後の課題となる。

3. 実験装置および方法

実験装置の概要を図2に示す。また、前章のシステム原理を実現するために構成した主要部を図3に示す。模擬汚染空気は、室内空気をHEPA フィルターによってダストを除き、ヒーターとボイラーとで主流温度と蒸気濃度が調節される。調整された空気は、超音波加湿器によって気化したテスト菌が供給され、装置主要部へと流入される。

装置主要部は、10W×100H の矩形の流路形状であり、上流から、熱交換部、コロナ放電部、捕集部の順に連結されている。熱交換部と捕集部のダクト両壁面は、外部からの冷媒によって循環冷却される。熱交換部内壁面には、さらに、5W×5H×10L mm の角柱フィン（純銅製）が、

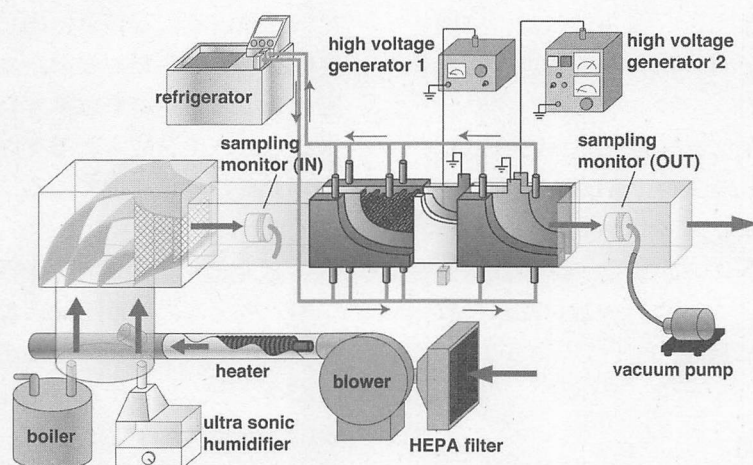


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus.

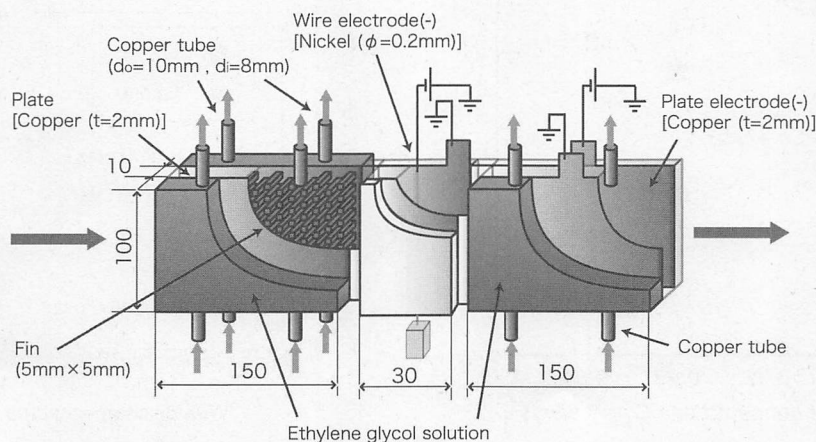


Fig. 3 Core part of present system.

列、段それぞれピッチ 10mm の千鳥配列でロウ付けされている。コロナ放電部電極（負極）は、放電部流路中心に $\phi 0.2\text{mm}$ のニッケル線を懸垂させたものである。印加電圧は直流 0～6kV とした。なお、放電部内壁面には接地電極として $t = 2\text{mm}$ の銅板を組込んだ。捕集部は、流路長さ 150mm と熱交換部と同じ寸法とし、両壁面に直流 0～8kV（負極）で印可する。

実験は、主要部入口温度 ($T_{\text{IN}} = 50 [^{\circ}\text{C}]$)、冷却面温度 ($T_w = 10 [^{\circ}\text{C}]$) 一定のもと、主要部流速 $U_m = 0.25 \sim 0.75 [\text{m/s}]$ 、主要部入口蒸気濃度 $C_{\text{VIN}} = 0.01 \sim 0.04 [\text{kg/kg}]$ 、コロナ放電電圧 $V_d = 4.0 \sim 5.5 [\text{kV}]$ 、捕集平板間電圧 $V_c = 1 \sim 8 [\text{kV}]$ 、供給菌濃度 $f_{\text{BIN}} = 0.58 \times 10^5 \sim 5.75 \times 10^5 [\text{CFU/m}^3]$ にそれぞれ変化させ、定常流動状態で浮遊菌除去実験を行った。

浮遊菌除去性能は、主要部の出口におけるテスト菌の生残率で評価した。具体的には、主要部出入口に設けた吸入孔から、吸引器とフィルタを用いて菌を等速サンプリングして、クリーンベンチ（株）日本医化器械製作所、HS-850A）内で、アンプル培地（ADVANTEC, SKM1020GR）を加え、インキュベーター（EYELA, SLI-450ND）で 37°C 、48 時間培養した。このとき成長したコロニー数をそれぞれカウントし、最終的に菌生残率として、式(1)によって算出した。

$$\eta = W_{\text{out}} / W_{\text{in}} \times 100 \quad (1)$$

なお、テスト菌としてパン酵母菌（日清フーズ

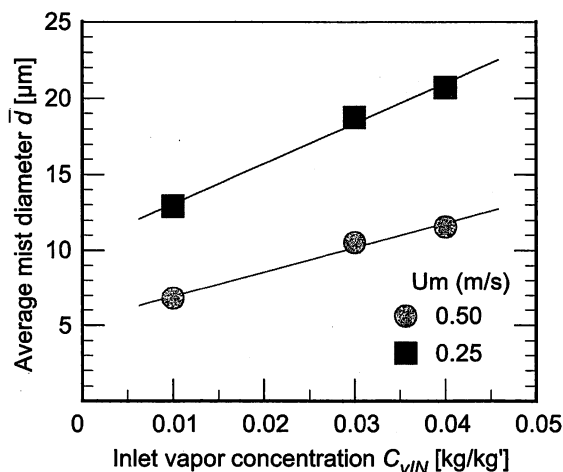


Fig. 4 Average mist diameter at outlet of heat exchanger.

（株）、日清スーパーカメラドライイースト（商品名）を用いた（ $3 \sim 12 \mu\text{m}$ ）。

放電部からのマイナスイオン発生密度とオゾン発生濃度は、主要部の出口に空気イオンカウンター（アンデス電気（株）、ITC-201A）およびオゾン検知管（（株）ガステック、気体検知管 No.18L/No.18M）を設置して、一定量の試験流体を採取し測定した。

4. 熱交換部・放電部の基本特性

4.1 熱交換部平均ミスト滴径

本システムのみスト化性能として、図 4 に熱交換部において生成されるミスト滴の出口平均径 $\bar{d}$ について、熱交換部入口蒸気濃度との関係で示す。なお、平均径は、外部核数一定 ($f_{\text{BIN}} = 10 \times 10^{10} [\text{particles/m}^3]$) のもと熱交換部の、入口蒸気質量流束、凝縮量、出口飽和蒸気濃度の測定値から算出した。なお、本実験では液滴径を実測しておらず結果は参考値である。これより本システムで生成されるミスト滴の粒径は、低流速で高い蒸気濃度であるほど大きくなる傾向を示す。

4.2 放電部マイナスイオン及びオゾン発生量

本システムにおける除菌ならびに殺菌性能に関わるマイナスイオン発生密度とオゾン発生濃度について、コロナ放電電圧との関係で図 5 に示す。マイナスイオンおよびオゾンはコロナ放電開始電圧である 4.0kV 付近から発生し、放電電圧の増加とともに増加することがわかる。

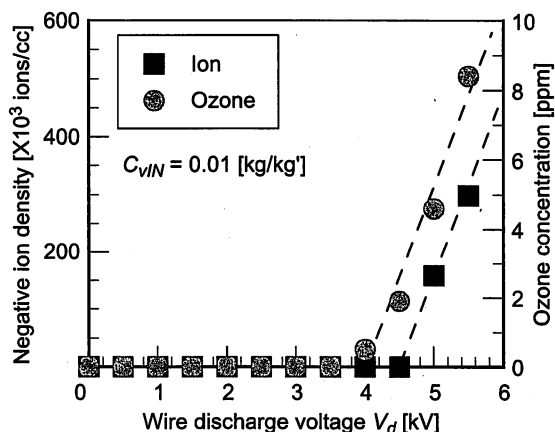


Fig. 5 Occurrence rate of negative ions and ozone with discharge voltage.

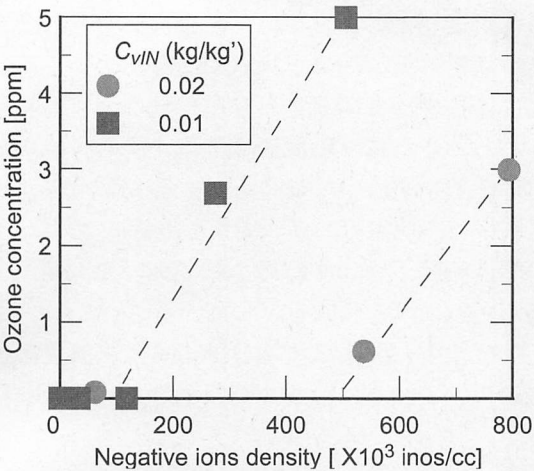


Fig. 6 Relation between Negative ions and Ozone for inlet vapor concentration.

図6に放電部出口でのマイナスイオンの発生密度とオゾン濃度の関係を蒸気濃度をパラメータに示す。これより、蒸気濃度が高いほど、オゾン濃度に対するマイナスイオン発生密度の割合が増加していることがわかる。これは、マイナスイオンが水分子と結合して安定に存在する性質のために増加したものであり、また、オゾン濃度の減少はオゾンの形成に必要な酸素原子が水分子と反応しやすい性質をもつためである。従って、ダスト除去性能の指標であるイオン発生密度と、殺菌性能の指標であるオゾン濃度との関係に、本方式における最適操作条件があることを示唆している。

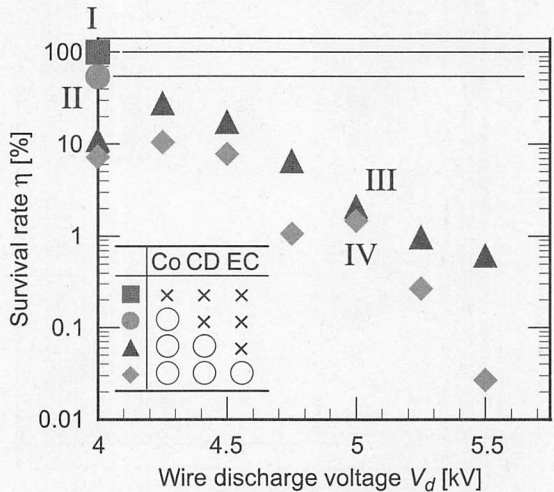
5. 浮遊菌除去・殺菌性能

5.1 本システムの除菌効果

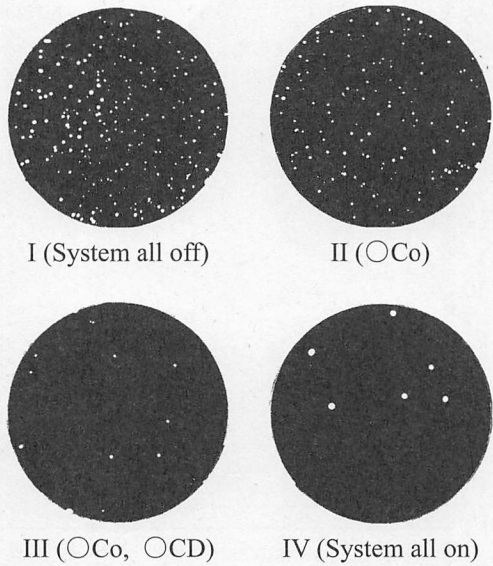
本システムの除菌効果を表すテスト菌の生残率について、コロナ放電電圧との関係で図7に示す。比較した運転条件は、熱交換部 (Co)、放電部 (CD)、捕集部 (EC) のそれぞれを選択的に稼働させた4つの組み合わせに限定した。さらに、各セグメント (Co, CD, EC) の状態は図7(a)中に○×印で示した。○印は、そのセグメントを稼働させていることを、×印は停止していることを表す。

浮遊菌は、まず熱交換部での冷却のみによって、伝熱面ぬれ面への菌およびミスト滴が慣性捕集されることで約45%減少することがわかる。

浮遊菌は、この運転条件のもとで、放電部でのコロナ放電を稼働させることによってミスト滴が荷電し、その場での捕集と発生オゾンに曝露されることによって殺菌される。ただし、オゾンによる殺菌効果については接触時間から極めて小さいものと考えられる。ここまでに於いて生残した浮遊菌は、捕集部の稼働によってさらに形成された電場からのクーロン力によって捕集される。コロナ放電電圧の増加は、マイナスイオン発生密度とオゾン発生濃度を増大させ、このことがミスト滴の荷電量と殺菌作用を促進



(a) Survival rate



(b) Photograph of yeast colony

Fig. 7 Variation of survival rate with wire discharge voltage. $U_m=0.50$ m/s, $C_{vIN}=0.03$ kg/kg³, $V_c=8.0$ kV, $f_{nBIN}=0.58 \times 10^5$ CFU/m³.

し、結果として菌生残率の減少（菌除去率が増加）を顕著にする。本装置のワイヤ平板間隔ではコロナ放電電圧 6.0kV 付近で放電形態が火花放電に移行することがわかっており、5.5kV でほぼ最小の菌生残率 0.03%（菌除去率 99.97%）が達成されたと考えられる。以上の除菌・殺菌プロセスは、図 7 (b) に示したとおり、本システムを順次稼働（I→II→III→IV）すると変化する、排気中のテスト菌を培養した結果（コロニー画像）においても推察される。

5.2 操作条件の影響

本システムの生残率に対する各種操作条件の影響として、図 8 に主要部流速との関係を示す。

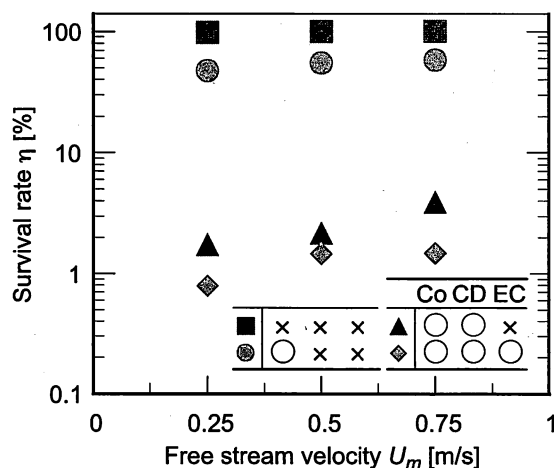


Fig.8 Variation of survival rate for free stream velocity. $C_{vIN}=0.03 \text{ kg/kg'}$, $V_d=5.0 \text{ kV}$, $V_c=8 \text{ kV}$, $f_{nBIN}=0.58 \times 10^5 \text{ CFU/m}^3$.

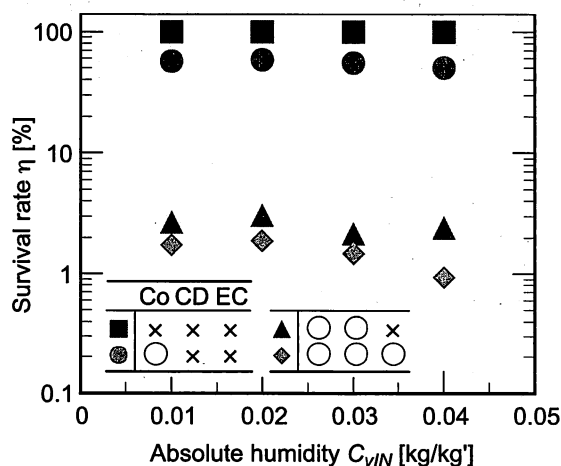


Fig. 9 Variation of survival rate for inlet vapor concentration. $U_m=0.50 \text{ m/s}$, $V_d=5.0 \text{ kV}$, $V_c=8 \text{ kV}$, $f_{nBIN}=0.58 \times 10^5 \text{ CFU/m}^3$.

蒸気濃度一定のもとでは、熱交換部で生じるミスト滴径は低流速ほど大きくなるため、下流における放電部での荷電（帯電）量は増すと考えられる。さらに、低流速域では、ミスト滴が放電部を通過するのに時間を要する。したがって、生残率は、荷電時間（つまり帯電量）、オゾンへの曝露時間が増加する低速域において、僅かであるが減少する傾向を示している。

菌生残率におよぼす主要部入口蒸気濃度の影響について図 9 に示す。蒸気濃度を除いた各種

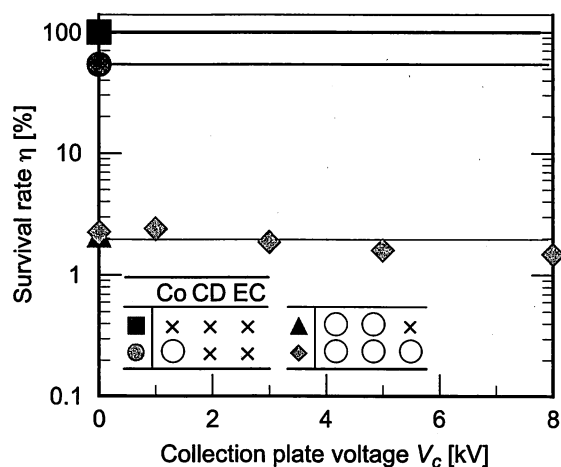


Fig. 10 Variation of survival rate for collection plate voltage. $U_m=0.50 \text{ m/s}$, $C_{vIN}=0.03 \text{ kg/kg'}$, $V_d=5.0 \text{ kV}$, $f_{nBIN}=0.58 \times 10^5 \text{ CFU/m}^3$.

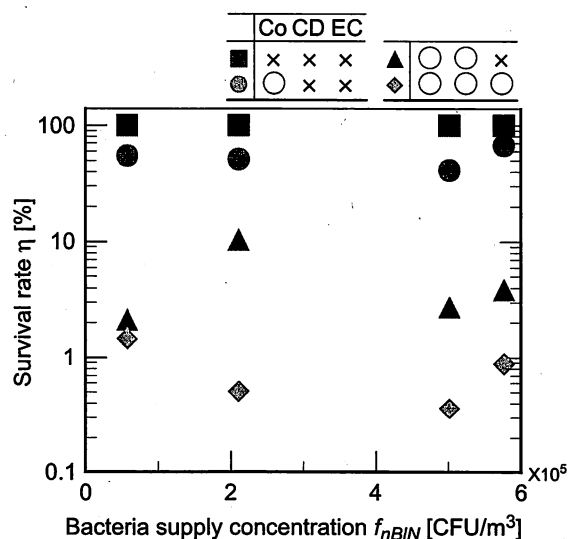


Fig. 11 Variation of survival rate for bacteria supply concentration. $U_m=0.50 \text{ m/s}$, $C_{vIN}=0.03 \text{ kg/kg'}$, $V_d=5.0 \text{ kV}$, $V_c=8 \text{ kV}$.

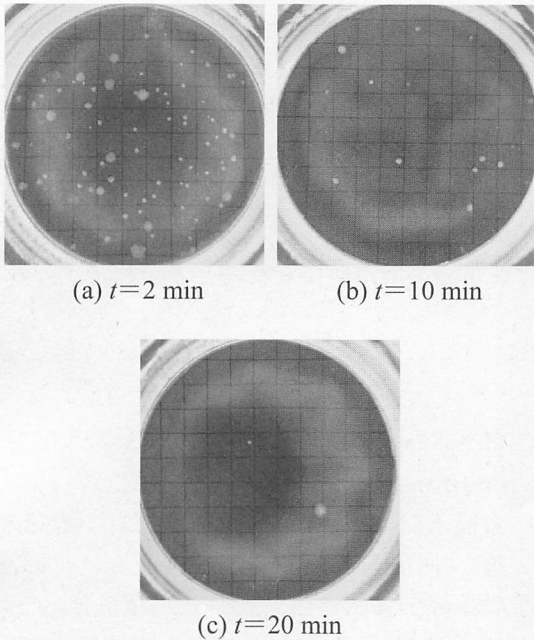


Fig.12 Sterilization performance of present system. $U_m=0.50$ m/s, $C_{vIN}=0.03$ kg/kg, $V_d=5.0$ kV, $V_c=8$ kV, $f_{nBIN}=0.58 \times 10^5$ CFU/m³.

運転パラメーター一定のもと、この蒸気濃度の増加は平均ミスト滴径を増大させるため、放電部での帯電量も増加すると考えられる。帯電量の増加は捕集部でのミスト滴捕集量を増加させることになるため、結果、蒸気濃度の増加とともに生残率が僅かであるが減少する傾向を示している。

イースト菌生残率における捕集平板間電圧の影響について図 10 示す。捕集平板間電圧の増加は、平板間にはたらくクーロン力を増加させるため、放電部で荷電したミスト滴は確実に捕集されると考えられる。しかしながら、結果では捕集平板電圧の変化に対する菌除去率の変化は小さい。このことは、ここで提示した結果での運転パラメーターにおける本システム捕集部の限界を意味するものであり、より小径のミスト滴までも捕集する具体的な方法が要求されているものと考ええる。

菌生残率における供給菌濃度の影響について図 11 に示す。結果は、本実験での供給菌濃度範囲において、生残率には特定の見られえない。これは実験した濃度範囲内を、結果として示した他の運転パラメーターでは菌濃度に無関係に、ミスト滴の肥大化、オゾン殺菌、ミスト

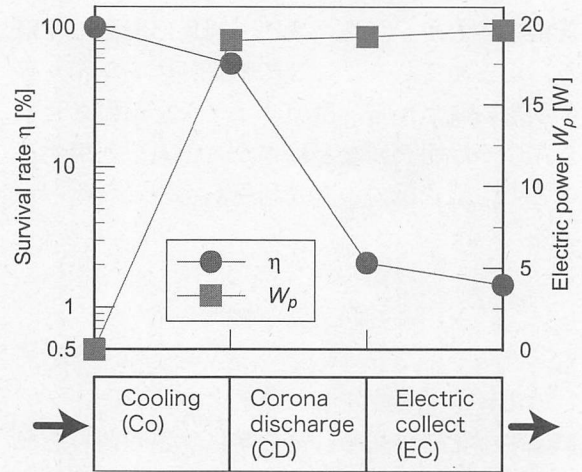


Fig.13 Relation between survival rate and electric power on each unit. $U_m=0.50$ m/s, $C_{vIN}=0.03$ kg/kg, $V_d=5.0$ kV, $V_c=8$ kV, $f_{nBIN}=0.58 \times 10^5$ CFU/m³.

滴の除去が進んだためと考えられる。これより濃度が低い条件 ($f_{nBIN}=0.58 \times 10^5$ [CFU/m³]) から高い条件 ($f_{nBIN}=5.75 \times 10^5$ [CFU/m³]) まで 99% 程度除菌することが可能と言える。

5.3 殺菌性能

本システムの殺菌性能として図 12 に捕集部捕集面に凝縮した液を抜き取り、培養した結果を示す。それぞれ 2, 10, 20 分間システムを稼働したときのものである。これより捕集時点での滅菌効果は期待できないが、連続的に運転することで捕集面において、オゾンとの接触時間が長くなり、殺菌されることがわかる。

6. エネルギー評価

もう一つの性能指標であるシステム消費動力について本システムの場合を図 13 に示す。図 13 は装置主要各部通過時のテスト菌の生残率と消費電力（積算値）の関係について示したものである。なお、捕集部では印可電圧と壁面冷却の双方において動力を要するが、本実験装置の組み上げ上、捕集部での壁面冷却分は熱交換部での運転によって賄われているため、結果には平板間への印可分だけを示している。これより除菌・殺菌性能の向上のために各要素を稼働する毎に菌生残率は減少するが、同時に消費電力は増加することがわかる。特に本装置において消

費電力の大半を、熱交換部（捕集部を含んでいる）が占めており、ここにおいてエネルギー有効利用の観点から、冷凍サイクルを動作させる食品庫や冷房設備などに本システムを利用することで、消費電力の有効利用が可能になると考える。

7. 結 論

放電により発生するマイナスイオンとオゾンにミスト化を併用し、高効率に除塵除菌可能なシステムの開発を目的に、浮遊菌除去・殺菌性能について実験的に追求し、以下の結論を得た。

- (1) 浮遊菌はコロナ放電により発生するマイナスイオンにより荷電され、電場によって除去することができる。
- (2) 熱交換部での冷却を併用することにより、濡れ面での慣性捕集やミスト化による菌の肥大化によって効率的に除菌できる。
- (3) 放電電圧が高いほど、イオン荷電量の増加と

高濃度のオゾンによる殺菌作用の増加により、除菌率が向上したものと考えられる。

- (4) 低流速・高蒸気濃度ほど、ミスト滴の肥大化促進、荷電量増加のため、除菌率が向上する。
- (5) 連続運転することで、捕集面でのオゾンとの接触時間が長くなるため殺菌効果が作用し、捕集面の清浄が保たれることが期待される。

文 献

- 1) M. Sakuma: Refrigeration, **78** (911), 29 (2003). (in Japanese)
- 2) 古橋正吉：「病院環境の清浄法—評価と対策」，医歯薬出（株），(1991).
- 3) 瀧本昭，多田幸生，大西元，藤田雅昭：第39回日本伝熱シンポジウム講演論文集，Vol.1 pp.289-290，札幌（2002）.
- 4) 瀧本昭，多田幸生，大西元，中村英生：第38回空気調和・冷凍連合講論，pp.37-40，(2004）.