

## 論 文

# 室内用 ESP による生菌除去の試み

## —超音波凝集作用を併用した場合—

中根偕夫<sup>\*1</sup>

(1999年6月2日受付, 1999年7月29日受理)

### Experiment of Elimination of Bacterium on Small-Sized Electrostatic Precipitator —In Case of Using Ultrasonic Agglomeration—

Tomoo NAKANE<sup>\*1</sup>

(Received June 2, 1999; Accepted July 29, 1999)

There are a few positive reports about precipitation of the floating bacterium by Electrostatic Precipitator (ESP) in gases. The streptococcus was sprayed together with the mists, and the possibility that the bacterium would be eliminated by the Electrostatic Precipitator was examined. Existence of the bacterium was confirmed by incubating the bacterium. The performance of Electrostatic Precipitator was evaluated by number of the colony that was produced. Incubation of the bacterium was promoted by agglomeration using sound wave. Then, collection efficiency of the Electrostatic Precipitator was improved. As a result, it is possible that the electrostatic precipitator collected the floating bacterium in gases.

## 1. はじめに

歯科臨床では日常的に患者の唾液・血液に触れており、これらがウイルス性疾患者の場合、医師及び関係者の被曝感染<sup>1)</sup>の危険性は高いと言われている。特に高速エアーティーピンによる歯垢切除による患者口腔内からの飛散した削粉塵に付着した菌が室内の浮遊粉塵となって治療室全体<sup>2)</sup>を汚染する。

また、ウィルスはもとより口腔内菌を対象とした、電気集塵機<sup>4)</sup>(以降 ESP と記す)による浮遊菌の集塵についての実証的報告は多くは見受けられない。そこでここでは、歯科医院の診療室に見立てたチェンバ内全域に口腔内常在レンサ球菌<sup>5)</sup>(Streptococcus Sanguis 類で、ここでは以後菌と称する)を水霧とともに散布し、その浮遊菌を試作した室内用の小型 ESP で集塵し、生菌除去の可能性の可否を検討した。

なお菌が生菌であるためには、複数の菌が結合する必要性からその結合を促進するために、空中超音波の凝集作用

**キーワード:** 生菌, 培養, 集落, 電気集塵, 音波凝集

\*日本大学生産工学部電気工学科 (275-8575 習志野市泉町 1-2-1)

College of Industrial Technology, Nihon University, 1-2-1 Izumicho, Narashino-shi Chiba 275-8575 Japan

<sup>1</sup>nakanet@ee.cit.nihon-u.ac.jp

による肥大化を行い、ESP に併用した場合の集塵効率の向上の実験<sup>6)</sup>も検討した。

口腔内レンサ球菌は一般に  $0.5 \mu\text{m}$  ほどの大きさで菌の幅が  $5 \mu\text{m}$  に達するものも存在<sup>7)</sup>すると言われている。また、この菌は一般に他の病原菌の定着を容認しない性質があり、別種の菌との複合菌とならないので培養による計測は都合が良い。さらに菌は同種の複数個の結合によって生菌として存在することから、生菌の有無については現在もっとも多用されている培養<sup>8)</sup>による手法を用いた。本論文では、試作した室内用小型 ESP の試料として、室内汚染浮遊粒子の集塵を先ず試みた。また ESP での菌捕集の様子については ESP の出口側の菌のコロニー<sup>8)</sup>(集落) 数から検証し、ESP による菌捕集の可能性を述べた。ここでは、先ず実験の主装置となる小型 ESP を試作し、一般汚染室内空気の清浄の粒子を示した。その後で、口腔内常在菌のコロニーをサリバリウス培地(Mitis-Salivarius)<sup>8)</sup>上に捕集培養し、その発生したコロニーの数から試作 ESP での菌の集塵性能の様子を見た。

その結果、コロニーの発生により実際に生菌が確かめられ、さらにコロニーの数の変化の様子から歯科医療室内での感染性菌の環境汚染を評価する上で有効な結果が得られ、ESP での生菌除去の可能性が確かめられた。

また、超音波の音波凝集作用<sup>9)</sup>を併用し、気中浮遊菌を

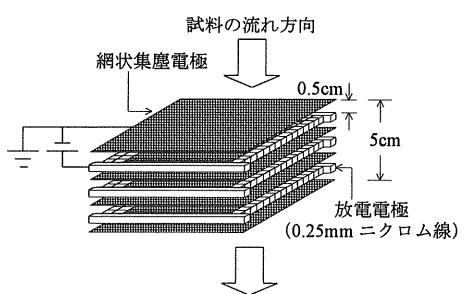


図 1-a 試作した電極

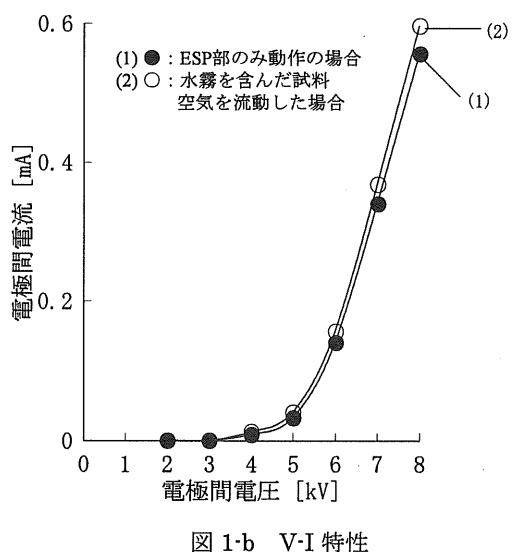


図 1-b V-I 特性

図 1 試作した小型 ESP の電極の様子及び V-I 特性  
Fig.1 Experimentally produced electrode.

凝集・肥大させ、ESP の集塵効率の向上<sup>10)</sup>も試みた。その結果効率の向上とは別に培養促進としての成果も、検討に値する結果として得られたと考えられた。

## 2. 実験装置

### 2.1 室内用 ESP の試作

試料となる浮遊生菌を作るためには、超音波アトマイザーの水霧と共に気相中に菌をふん霧することが必要である。しかし、これは湿度が高くなり、一般に市販されている家庭用 ESP では漏電により、数時間で実験を停止せざるをえなかった。そこでここでは対策の一つとして、平板電極部分を鉄網製にし、図 1-a に示した様に試料空気流が集塵電極内を通過させ、滞留する時間を短くした ESP を試作<sup>11)</sup>した。電極の大きさは、25×25cm、厚さ 5cm で放電極は 3 層とし、その線状の 0.25mm 径の放電電極と鉄網製の集塵電極両間隔は 5mm とした。なお放電極には直流

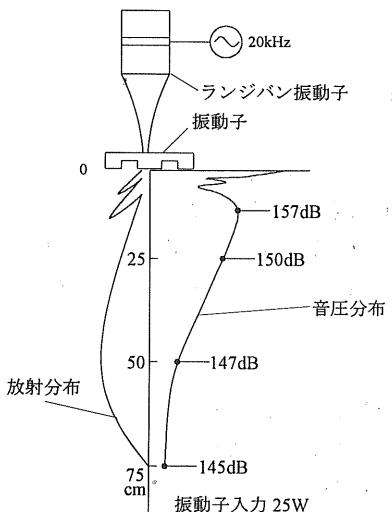


図 2-a 段つき円形振動板による放射パターンおよび音圧分布曲線

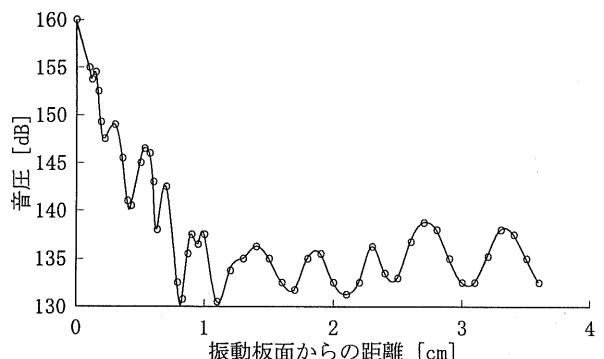


図 2-b 振動板からの距離に対する音圧の様子

図 2 音圧分布  
Fig.2 Distribution of sound pressure level.

の+を印加した。この時の V-I 特性を図 1-b に示した。図中の(1)曲線は試料空気を流動しない場合で、(2)曲線は水霧を含んだ試料空気を 1 時間流動させた後の場合を示した。

この図から水霧を含んだ試料空気でも一般的な室内空気と変りはなく動作しているものと考えた。なお実際の測定には、ESP として正常に動作すると思われる 5~6kV の場合を主として記した。

### 2.2 水霧を凝集するための超音波発生装置

生菌を含んだ水霧は光学顕微鏡によると直径 1~5 μm のほぼ球形の水滴状態であった。そこで音波凝集に最適な周波数を Brandt と Heidmann らによる煙霧粒子の運動式<sup>9)</sup>で求めたところ、粒子としての水霧が相互に衝突する機会の最大に得られると考えられた周波数は 10~50kHz であ

った。そこで今回は使用する超音波の周波数を汎用性のある 20kHz を用いた。

この 20kHz を発生する装置としては発振器及び増幅器に加え、気相中に超音波を放射する円型振動板<sup>12)</sup>(直径約 8cm) を 20kHz で電圧振動が可能なボルトじめランジバン振動子<sup>12)</sup>へ接続したものを使った。振動子への電気入力を 25W の場合、空中に放射された音圧パターンを示すと図 2(a) となった。これは指向性が鋭く、これは自由空間(反射のない)での場合であるが、2.3 で述べるチャンバー内での実測では、反射波等で音圧分布が大きくみだれる。この一例として振動板からの距離に対する音圧の様子を図 2-b に示した。

### 2.3 実験に用いた装置の全景

図 3 に実験に用いた装置の全景を示した。図に示した様に上部に歯科診療室に見立てた 4×4×2m のチャンバーと下部(下流)にあたる簡易的なドラフトチャンバーであり、大別して 2 つの空間から成り立っている。この上下のチャンバーは、試作した ESP で連結されており、試料の水霧を含んだ空気は図では上部から下部へと流動することになる。

上部のチャンバー内には超音波アトマイザーによって生理食塩水 50cc に菌液 50cc を混ぜた液を水霧として噴霧できるようにした。また、外部からの空気はヘパフィルタによってクラス 100~1000 程度(1 μm 以上の粒子数は 0 を指示)にまで比較的汚染度の低い状態で吸引流入させた。

超音波による凝集装置は図に示すように、チャンバー内に振動板部分を挿入し水霧に音波照射を行った。

集塵効率を計測する測定機は、ESP の出口側(図で下方)のドラフトチャンバー内に粒子数を計測する粒子計測器(結果には主として 1~5 μm の粒子のみ表示)のサンプル吸引口を ESP 排出口の下方 30cm に位置させた。また同様の位置に菌サンプラー(名称 55 サンプラーで、ロ紙面に浮遊菌を捕集する)を装置し、毎分 5.2 l で 2 分間吸引するようにした。

### 3. 実験結果

まず 3.1 項に一般室内空気の浮遊粒子を試料とし、上流側のヘパフィルタをはずし ESP のみで集塵した。ここでは集塵の様子を粒子数計測器で計測し、指示した粒子数を(1)式で

$$\eta = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100 [\%] \cdots \cdots (1)$$

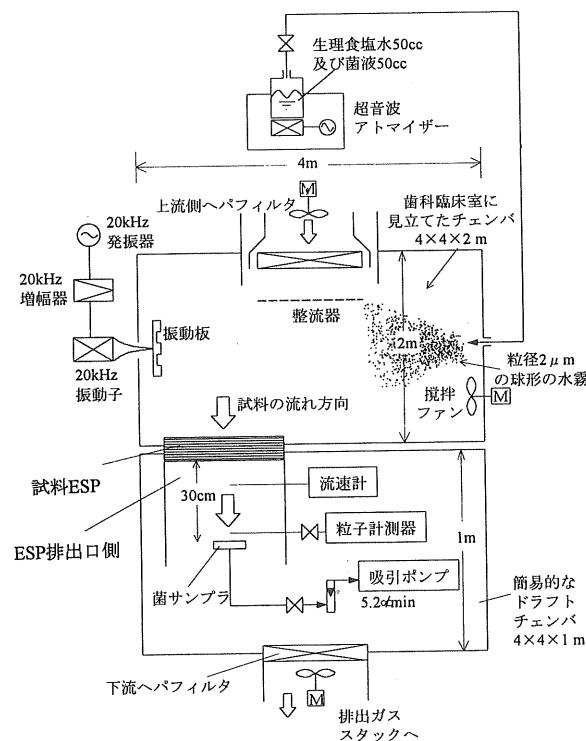


図 3 実験に用いた装置の全景  
Fig.3 Experimental equipment.

ただし、 $\eta$ :集塵効率

$n_0$ :ESP の動作しない時の粒子数

$n$ :ESP を動作した時の粒子数

簡易的に求め集塵効率とした。

次に 3.2 では生菌を散布し、菌のコロニーの発生とその捕集の様子を述べた。実験結果の最後に 3.3 として、超音波を 3.2 の実験に併用した場合を記し、その様子を記した。

#### 3.1 一般室内汚染空気を試料とした場合

ドラフトチャンバー内の ESP 排出口側の粒子計測器を動作し、その指示値を結果とした。これは診療室に見立てたチャンバー内に菌を散布せず、さらに上流側のヘパフィルタを使用せずに、一般の室内浮遊粒子を粒子径別に計測し記録したものである。この値を(1)式で集塵効率に直して示したのが図 4、5 の結果となった。

図 4 は ESP の電極間電圧に対する結果で、パラメータとして ESP の吸引量を変えた場合である。図 5 は吸引量に対する結果で、粒子径範囲別に示したものである。

これらの結果から、この試作した小型 ESP は一般市販の ESP より集塵効率は低いように見られるが、試料の電極間を滞留する時間が短いことから見て適当な性能を有する ESP であると言えた。

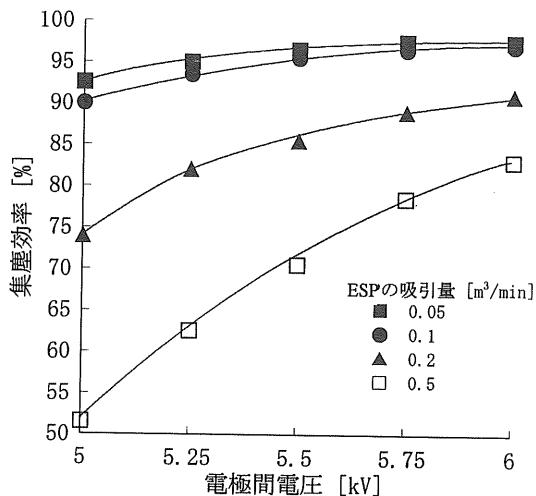
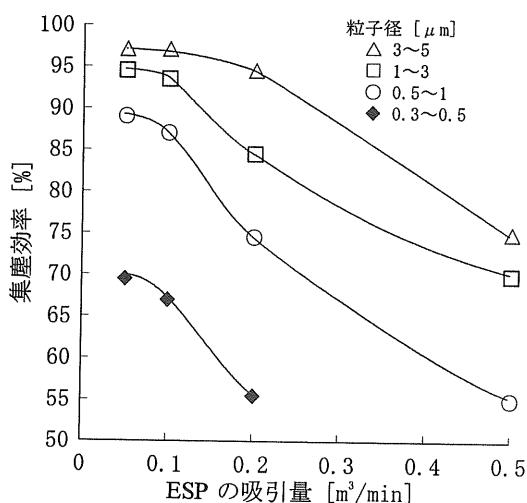


図4 試作ESPの集塵効率(粒子径1~5mmの場合)

Fig.4 Collection efficiency of ESP. (In case of particle diameter of 1 to 5mm)

図5 試作ESPの電極間電圧5.5kVの場合の集塵効率  
Fig.5 Collection efficiency of ESP in case of voltage between the electrode of 5.5kV.

### 3.2 ESPによるレンサ球菌の捕集の試み

使用する生菌は直径 $0.5\sim1\mu\text{m}$ ほどの通性嫌気性球菌である。これは人体からサンプルし、菌株(菌液)として血液寒天培地で育て、その一部を菌液としたものである。すなわち以後の実験では、同一性の菌種の菌液を使用したことになると考へている。

菌液は生理食塩水に対して1:1であり、チャンバー内の被曝濃度は試料液100ccを20分間に散布した状態(測定回数では、7~8回分)である。この測定はMitis-Salivarius培地で $5.2\ell/\text{min}$ の試料空気を2分吸引し、培地に捕集された菌に培養液を加え、37°Cに保ち48時間培養した後培

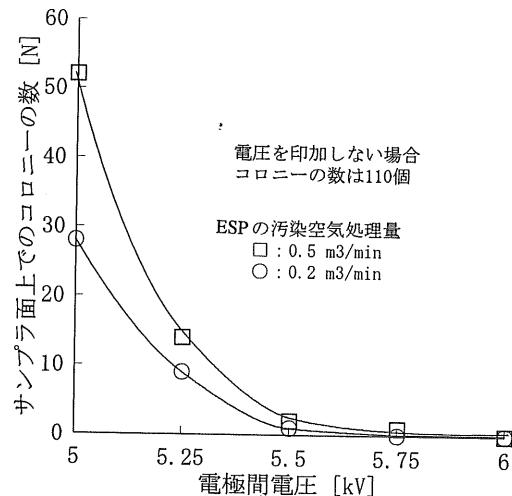
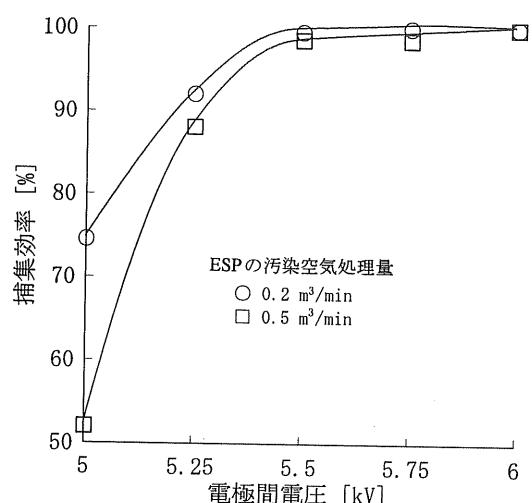


図6 コロニーの発生数

Fig.6 Number of colony.

図7 コロニーの数から求めた菌の捕集効率  
Fig.7 Collection efficiency of bacterium found out by number of colony

地表面にコロニーを発生させた。この発生したコロニーの数を記したのが図6であり、さらにこの図をESPの捕集効率(サンプラーで吸引し、菌を捕集しているのでここで集塵効率とは別の表現とした)として(1)式で求めた場合を図7に示した。

図の横軸は電極間電圧で、図6の縦軸にはサンプラーで培養し発生したコロニーの数を示した。サンプラーの捕集面となる菌床の面積は約 $18\text{cm}^2$ であり、図の縦軸のコロニーの個数は、その菌床面上の数である。

この図を(1)式で、捕集効率とし求めた結果、図7となつた。この図から判断すると、ESPの電極間電圧が5.5kV以

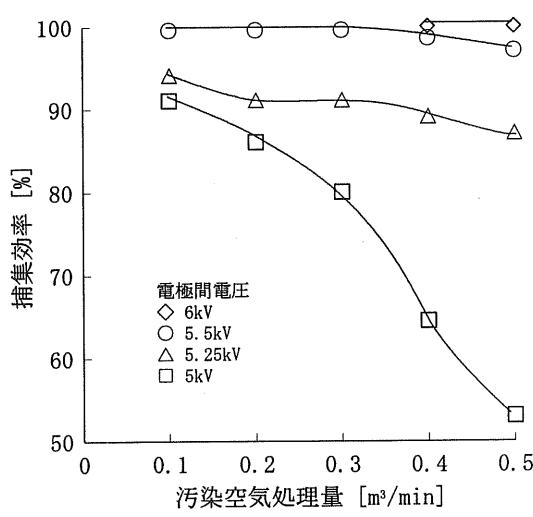


図 8 流量を変えた場合

Fig.8 Collection efficiency in case of varying the amount of flowing mists

上ではコロニーの発生はほぼ見られず、ESPとしての集塵は正常に行われているものと考えられた。しかし、例えばサンプラーで捕集されたにもかかわらず、浮遊菌のサンプル量が微量すぎるため結合菌とならないとか、ESPのオゾン発生などによる死滅した菌をサンプラーが捕集したか否かなどについては不明である。すなわち、このことは、菌の性質上複数の菌の結合でないと、たとえ生菌がサンプルされても生育できないことからも言える。

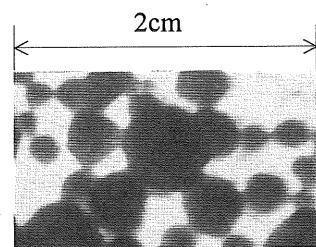
また ESP の汚染空気処理量を変えた場合を図 8 に示した。同図も流量が低い場合には適度な電極間電圧を加えることによって 100% の捕集が行われているかに見られた。

### 3.3 超音波の凝集作用を ESP に併用した実験

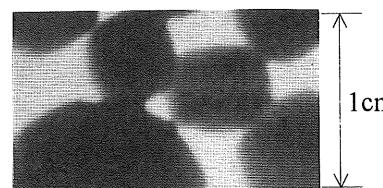
音による空気の振動によって、媒質中の浮遊粒子の凝集及び肥大化<sup>13)</sup>が起きるが、その音の作用をこの ESP の実験に併用した。実験は先ず、超音波作用のみで浮遊菌の結合促進（肥大化）を試み、コロニーの様子を考察した。次に超音波作用後に図 6 の状態で、ESP との併用による浮遊菌の捕集を試みた。

図 9 にサリバリウス培地サンプラー内に培地培養し発生したコロニーの様子を示した。図(a)は、音と EP を動作させない比較用すなわち基準となる場合であり、(b)は振動子入力 25W を加えた場合を示している。

この図の発生したコロニーの様子から判ることは、図中(b)は明らかに超音波の凝集作用でコロニーの直径が大きく<sup>9)</sup>、数は少なくなっていることである。このことは培養の規定の 48 時間を待たずに、コロニーの大きさと発生を促進させることができると見える。しかし、音の作用によ



(a) 音作用なし基準となる



(b) 振動子入力 25W の音を照射した場合

Fig.9 The photograph of colony on the sampler.

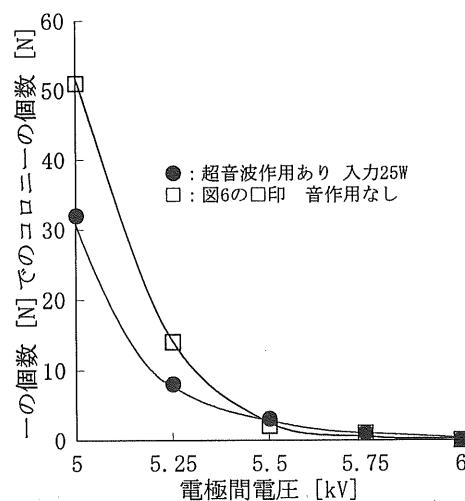


図 10 超音波照射後のコロニーの発生数

Fig.10 Number of colony after sound waves irradiation.

りコロニーが肥大促進することは集塵装置としては逆効果とも考えられた。

そこで、超音波照射後の浮遊菌を ESP で集塵し、サンプラーでの捕集の様子を見た。その結果をコロニーの発生数として図 10 に示した。

この図は、図 6 の□曲線に重ねて画いた場合であり、その捕集効率を比較している。図から超音波併用による集塵の効果はコロニーの発生の様子から決して高いとは言えないが、サンプラーでの捕集の割合は低くなっている。このことは超音波による浮遊粒子の凝集促進効果<sup>10)</sup>により、サブミクロの粒子が肥大<sup>13)</sup>化し ESP の集塵効率の高い粒径にまで成長したためと考え<sup>10)</sup>られる。

#### 4.まとめ

歯科医院の診療室を対象に室内汚染空気の菌除去装置として、小型 ESP を試作し、口腔内レンサ球菌を試料として、集塵（培養部分では捕集）の可能性を試みた。その結果一般室内汚染空気中の塵埃除去とほぼ同等に今回の試作 ESP では浮遊汚染物を除去できたと考えられ、感染の危険性を伴う浮遊ウイルス<sup>14)</sup>に ESP が効果あると確認でき、その実例が得られた。また、超音波の粒子凝集作用によるサブミクロン粒子を肥大化し、ESP の集塵効率を上昇<sup>10)</sup>させることは考えられる結果であったが、結合菌の促進を計ることでは生菌の生存を助長し、逆に ESP の集塵効果の向上としては大きな効果は得られなかった。しかし、コロニーの肥大化の様子から見て、浮遊菌の培養促進には超音波は適していることも分り、別の応用も考えられる結果となつた。

#### 謝辞

ESP の電極構成については故増田閃一先生、超音波凝集肥大については故瀬谷浩一郎先生のご指導によるものであり、感謝するとともに両先生のご冥福を祈ります。また、日本大学歯学部の尾崎哲則先生に菌株の提供を、東京歯科大学須山祐之先生には培養の指導をたまわり、ここに深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) A.Mizuno, T.Inoue, S.Yamaguchi, K.Sakamoto, T.Saeki, Y.Matsumoto and K.Minamiyama : Conf. Rec. of IEEE IAS Annual Meeting, 713-719, 1990
- 2) 池田正一, 前田憲昭 : クリーンデンタルプラクティス, p.5, 医歯薬出版 (1996)
- 3) 須山祐之 : 日本衛生学会誌, **50** (1995) 245
- 4) 増田閃一 : 電気学会誌, **81** (1961) 72
- 5) 奥田克爾 : 口腔の感染症とアレルギー, p.200 一世出版 (1996)
- 6) 上倉千夏, 中根偕夫, 瀬谷浩一郎 : 静電気学会講演論文集 '95, p.237, 静電気学会 (1995)
- 7) 奥田克爾 : デンタルプラーク細菌の世界, p.7 医歯薬出版 (1993)
- 8) 奥田克爾 : デンタルプラーク細菌の世界, p.74 医歯薬出版 (1993)
- 9) HUETER, BOLT, : SONICS p.211 JOHN WILEY & SONS, INC (1996)
- 10) 中根偕夫 : 静電気学会誌, **10** (1986) 331
- 11) 奥原久美子, 中根偕夫, 瀬谷浩一郎, アセップアルウェイコツサラ, 永安克志, : 静電気学会講演論文集 '97, p.161, 静電気学会 (1997)
- 12) 大塚哲郎, 瀬谷浩一郎, : 日本音響学会講演論文集 p.675, 日本音響学会 (1984)
- 13) 中根偕夫, : 音波集塵 超音波テクノ, 日本工業出版会, **6** (1994) 34
- 14) 尾崎哲則, 須山祐之, 吉田滋 : 日本衛生学会誌, **50** (1995) 1096