

# “ヘルスエアー”技術による微生物抑制

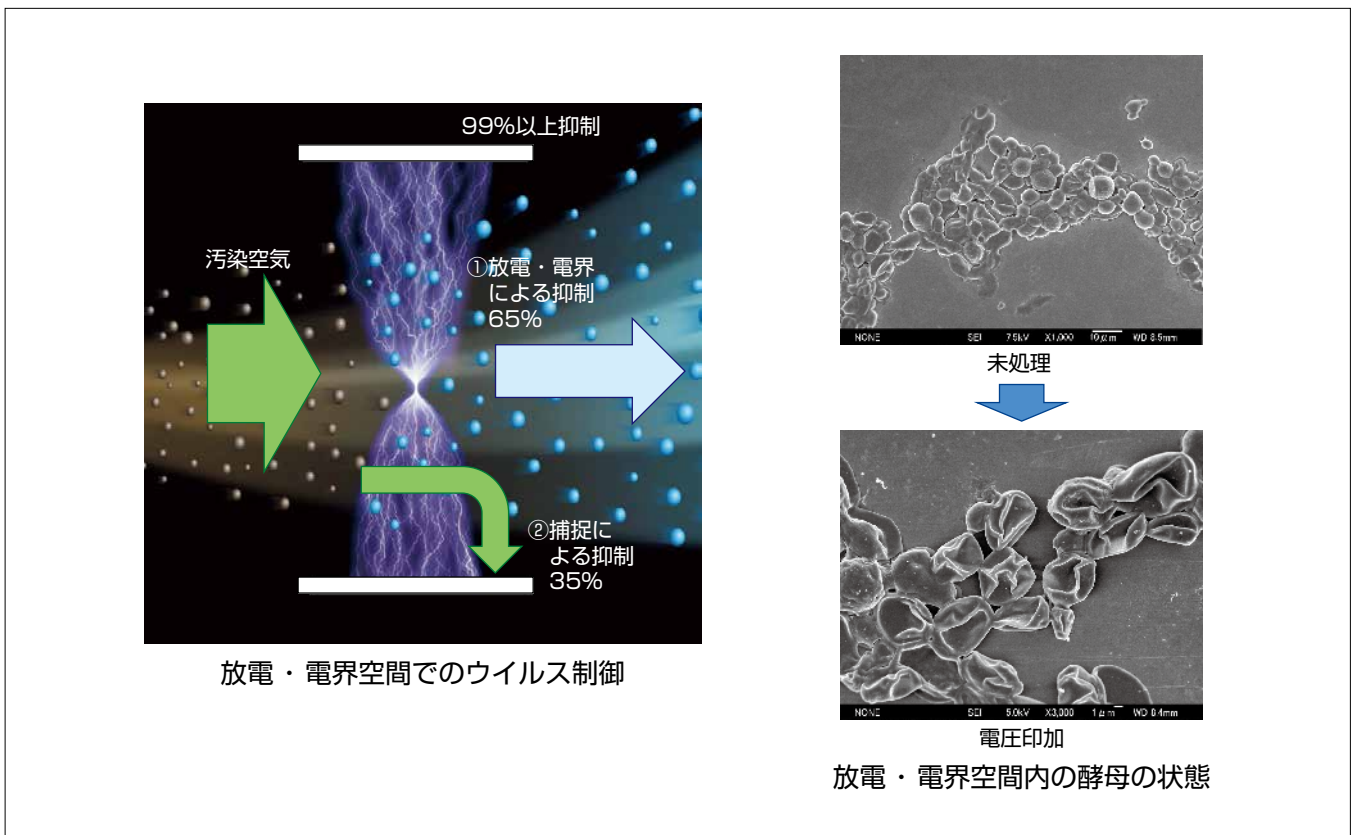
Microbial Control by "Health Air" Technology

## 要 旨

2002年から流行したSARS(Severe Acute Respiratory Syndrome)に端を発し、その後の新型インフルエンザウイルスの流行や、今回の新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の発生など、今後更なる新型ウイルス流行の懸念もあり、住環境での様々な場所で感染症予防が注目されている。三菱電機では、室内に浮遊するウイルスや細菌類の除去・抑制を高性能で実現する“ヘルスエアー”技術を開発し、国内外の各種製品に展開している。

“ヘルスエアー”技術を実現する“ヘルスエアー”機能ユニット(以下“HAユニット”という。)は放電部だけで構成している。HAユニットの一番の特徴は、放電電極のリボ

ン形状にある。この電極によって、通過する空気の広範囲が高い電界強度になり、効率向上が可能である。ウイルスに対する効果は、インフルエンザウイルスとノロウイルス代替のネコカリシウイルスで検証した。ネコカリシウイルスでは、通過するウイルスを全体では99%以上抑制し、その内訳として、放電・電界による抑制が65%、捕捉による抑制が35%になっている。放電・電界による抑制メカニズムは遺伝子損傷であり、RNAに対するダメージが主な作用機序であることが分かっている。また、捕捉された細菌・酵母の放電・電界空間内での状態を走査型電子顕微鏡で確認し、細胞表層に損傷を与えていることも確認した。



## “ヘルスエアー”技術によるウイルス・酵母に対する効果

左図にヘルスエアー技術によるウイルス抑制効果のメカニズム(ネコカリシウイルスの場合)を示す。通過するウイルスを全体では99%以上抑制し、その内訳として、放電・電界による抑制が65%、捕捉による抑制が35%になっている。右図は捕捉した酵母の放電・電界空間内での状態を走査型電子顕微鏡で撮影した写真である。

## 1. ま え が き

空気中を浮遊する微生物の除去・抑制技術は、医療・老健施設や、食品工場、学校などの安全性・確実性の確保が必須とされる施設で重要視されてきた。近年では2002年から流行したSARSに端を発し、その後の新型インフルエンザウイルスの流行や、今回の新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の発生など、今後更なる新型ウイルス流行の懸念もあり、このような施設だけでなく、住環境での様々な場所で感染症予防が注目されている。対策品の一つとして挙げられる空気清浄機関連の市場は、このような背景によって拡大傾向にあり、必要とされる空気清浄能力は、基本性能である集塵(しゅうじん)能力、脱臭能力に加えて、ウイルスや細菌類の除去・抑制性能向上が必要になっている。

当社では、室内に浮遊するウイルスや細菌類の除去・抑制を高性能で実現するヘルスエアー技術を開発し、国内外の各種製品に展開している。

本稿では、ヘルスエアー技術の原理・特徴と微生物抑制効果について述べる。

## 2. ヘルスエアー技術の原理・特徴

室内に浮遊するウイルスや細菌類を除去する手段としては、家庭用空気清浄機に搭載されているHEPAフィルタ(High Efficiency Particulate Air Filter)などを使用した物理捕集タイプが最も用いられる。HEPAフィルタは、定格風量で粒径 $0.3\mu\text{m}$ の粒子に対して99.97%以上の粒子捕集率を持ち、 $0.02\sim 0.3\mu\text{m}$ のサイズであるウイルスも高捕集率で除去することが可能である。しかし、HEPAフィルタは、物理捕集タイプのため、風路をふさぐ形態での搭載になり、圧力損失が高く、送風機に対する負荷が高くなるという欠点がある。そのため、通気抵抗が小さく、低圧力損失にできる気中放電・電界を利用したヘルスエアー技術を開発した。

### 2.1 HAユニット

図1にヘルスエアー技術を実現するHAユニットを示す。図1の正面は風上側になっている。HAユニットは、放電部で構成される。図2に放電部を示す。放電部は放電電極と対向電極(GND)で構成される。放電電極には、当社オリジナルのタンゲステンリボン電極を使用し、対向電極にはステンレス板を採用している。放電電極には直流5~6kVの電圧が印加され、対向電極は接地されている。動作時は、電圧印加によって、放電電極と対向電極の間に強力な放電・電界空間を生成し、放電・電界空間を通過するウイル

スや細菌類、アレル物質を除去・抑制する。

通風方向には遮る物が少ないため、HEPAフィルタ等で課題になる圧力損失が低く、送風機に対する負荷が小さい。このHAユニットを送風機と組み合わせて使用することで、室内空気を清浄化する。

### 2.2 リボン電極の採用

HAユニットの一番の特徴は、放電電極のリボン形状にある。一般的な電気集塵等に用いられる放電デバイスでは、放電電極にワイヤ線や突起・針形状のものが採用される場合が多い。ワイヤ線は、線径を細くすることで、曲率半径を小さくでき、対向電極との間に不平等電界を生成しやすく、放電に適している。しかし、線径が細いほど、放電による電極劣化での切断の可能性が高くなり、安全性に懸念がある。また、メンテナンス時に電極を誤って切断してしまう可能性も排除できない。切断を回避するために線径を太くする方法があるが、その場合、放電電極に印加する電圧を高める必要があり、電気絶縁等の課題が発生する。突起・針形状の電極を使用した場合、これらの課題は解決するが、ワイヤ線と比較して厚みが増し、放電箇所が突起・針の先端に集中するため、経時的に先端が丸まってしまうという課題があった。そのため、ワイヤ線と同等の放電のしやすさを備えつつ、ワイヤ線よりも放電による電極劣化に対する耐性があり、突起・針形状の電極よりも厚さが薄い、リボン電極を新規に採用した。

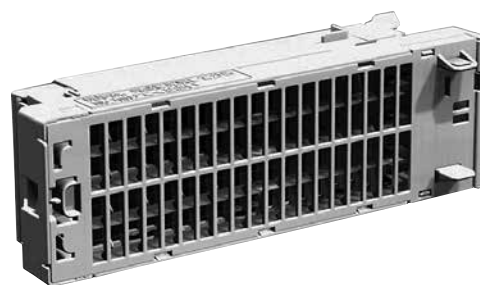


図1. HAユニット

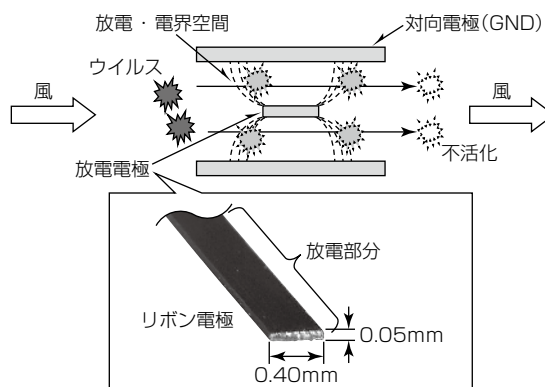


図2. 放電部

また、リボン電極はワイヤ線と比較し、電界強度が高く、高電界強度の範囲が広い。流体が電極間を通過する際に受ける電界強度の最小値(通過する空間内で電界強度が最も弱くなる電極端の垂直面での電界強度)を計算すると、リボン電極では、電界強度3,401V/cmに対して、ワイヤ線では、2,465V/cmであり、リボン電極の方がワイヤ線よりも電界強度が高く、高電界強度の範囲を空間内に広く生成できる。そのため、通過する空気の広範囲が高い電界強度になり、効率向上が可能である。

### 3. ヘルスエア技術の効果

#### 3.1 インフルエンザウイルスに対する効果と作用機序

インフルエンザウイルスに対する効果は、独立行政法人国立病院機構仙台医療センターと共同で評価した。バイオセーフティレベル2(BSL2)を扱うことができる内外室からなる二重のステンレス製陰圧実験チャンバー(内容積25.704m<sup>3</sup>:3.6×3.4×高さ2.1(m))を使用し、実験を行った。

##### 3.1.1 評価実験装置と実験手順

チャンバー内温湿度:23℃30%RH(Relative Humidity)環境下で、チャンバー内にHAユニットを組み込んだステンレス製風洞を設置し、HAユニットを通過するインフルエンザウイルスを測定した。図3に実験装置を示す。風洞の風上側には、噴霧したインフルエンザウイルス液を拡散するためのアクリル製チャンバーが接続されている。アクリル製チャンバーの風洞接続部と反対面には、φ100mmの開口があり、その20mm離れた箇所にインフルエンザウイルス液噴霧用のコンプレッサー式ネブライザーを設置した。インフルエンザウイルス液は、A型インフルエンザウイルスA/Aichi/2/68(H3N2)を発育鶏卵殻尿膜腔(まくくう)で培養後、そこから得られる殻尿液を供試液とした。風洞の風下側には、ゼラチンメンブレンフィルタを接続し、吸引ポンプに接続した。

実験は、次の手順で行った。ネブライザーを使用し、A

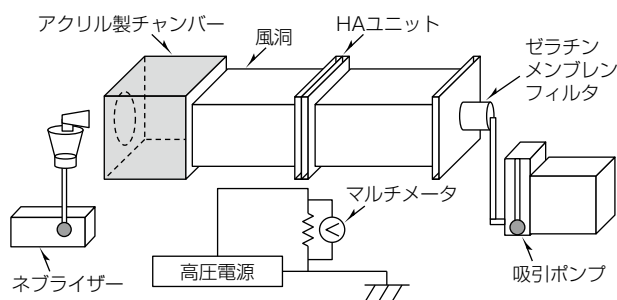


図3. 実験装置

型インフルエンザウイルスA/Aichi/2/68(H3N2)を風洞内に噴霧し、同時に吸引ポンプを流量50L/minで5分間稼働する。これによって、噴霧されたインフルエンザウイルス液が風洞に導かれ、HAユニットを通過し、ゼラチンメンブレンフィルタに捕集される。HAユニットは、ネブライザー稼働と同時に、電圧を印加する。5分間の噴霧終了後、全ての装置を停止し、ゼラチンメンブレンフィルタを回収する。回収したゼラチンメンブレンフィルタは、MEM(Minimum Essential Medium)培地で溶解後、MEMで適宜希釈し、MDCK(Madin-Darby Canine Kidney)細胞(イヌの腎尿細管上皮細胞)に接種した。温度34℃の炭酸ガスふ卵器内で1時間培養後、寒天入りMEMを入れて温度37℃で48時間培養し、寒天を剥がし、メタノール-クリスタルバイオレット液で固定染色を行い、プラーク数(感染した細胞数)をカウントすることで、ウイルス感染価(感染性があるウイルスの数)を算出した。この測定では、感染力があるウイルスだけが測定され、感染性を失った(不活化)ウイルスは測定されない。また、回収したゼラチンメンブレンフィルタを溶かしたMEMは、残量を-20℃で保管し、後日解凍し、定量的リアルタイムPCR(Polymerase Chain Reaction)によるウイルス遺伝子コピー数濃度の測定を実施した。実験時は同時に粒子数をパーティクルカウンタで測定した。

##### 3.1.2 効果と作用機序

図4に実験結果を示す。この実験では、粒子数、ウイルスの遺伝子数、感染性があるウイルス数を測定しており、その結果から、HAユニットでのウイルス捕捉数と、捕捉せず通過しているが不活化しているウイルス数が分かる。その結果、捕捉しているウイルスは全体の30%、不活化しているウイルスは70%であった。また、不活化しているウイルスの内訳は、表面損傷によるものが34%、遺伝子が損傷しているものが36%であった。図5にインフルエンザウイルスの構造と作用機序の推測を示す。インフルエンザウイルスは、細胞膜(エンベロープ)に覆われ、内部に遺伝子(RNA)を持ち、表面には、2種類の外殻構造(ス

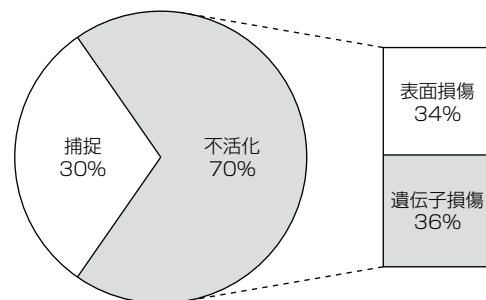


図4. インフルエンザウイルスの実験結果

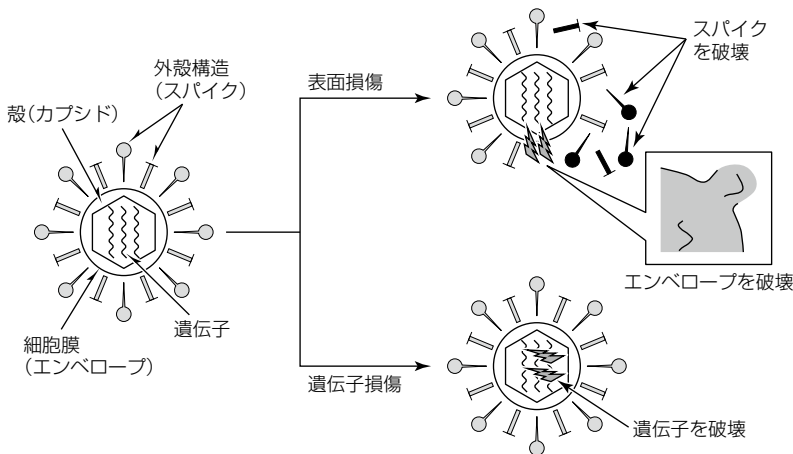


図5. インフルエンザウイルスの構造とHAユニットの作用機序の推測

スパイクを持つ構造をしている。今回の結果から、不活化のメカニズムとして、表面損傷と遺伝子損傷によるものがあることが分かった。表面損傷は、先に述べたエンベロープ、スパイクの破壊によるものと推測される。遺伝子損傷は、内部のRNAを損傷したものになる。遺伝子損傷は、その過程で、先に表面損傷してから遺伝子を破壊した可能性があるが、その分離はできていない。このように、HAユニット空間内で生成する放電・電界による効果として、インフルエンザウイルスの不活化が可能である。

### 3.2 ネコカリシウイルスに対する効果と作用機序

3.1節のインフルエンザウイルスは、エンベロープを持つウイルスであるが、エンベロープを持たないノロウイルスやロタウイルスに対しては、効果が異なる可能性がある。そのため、これらのウイルスに対する効果を検証するために、培養が困難なノロウイルスの代替としてネコカリシウイルスを用いた実験も実施している。この実験は、国立感染症研究所、一般財団法人北里環境科学センターと共同で実施した。3.1節と同様に、HAユニットを組み込んだステンレス製風洞による実験を実施し、ウイルスの抑制効果を確認している。

図6に実験結果を示す。ネコカリシウイルスの場合でも、

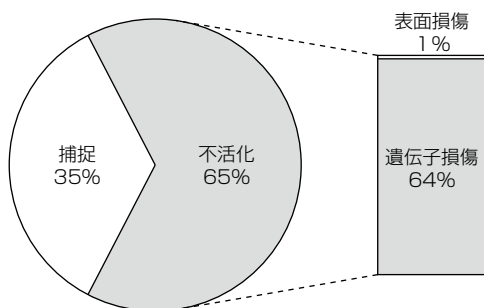


図6. ネコカリシウイルスの実験結果

捕捉によるものは35%であり、残りの65%はHAユニット空間中でのウイルス不活化による抑制である。その不活化の要因は、遺伝子損傷であり、RNAに対するダメージが主な作用機序であることが分かる。ネコカリシウイルスは、エンベロープを持たないため、直接RNAに対してダメージを与えていると推察される。この内容は、2014年第29回日本環境感染学会総会・学術集会で発表した<sup>(3)</sup>。

### 3.3 細菌に対する効果

HAユニットは、細菌の除去、抑制性能も高い<sup>(1)(2)</sup>。捕捉された細菌の状態を確認するため、

清酒酵母協会7号(Saccharomyces cerevisiae)を対向電極に塗布して、12時間経過後の走査型電子顕微鏡(FE-SEM)写真を撮影した(要旨の図)。

電圧を印加することで、細胞表層に損傷を与えて、形が変化しており、部分的に破壊されていることが分かる。同様の効果は大腸菌でも確認している。また、浮遊している細菌に対する効果は、3.1節と同様に確認している。このように、HAユニットを使用することで、捕捉された細菌・酵母に対しても効果を得ることが可能である。

## 4. む す び

室内に浮遊するウイルスや細菌類の除去・抑制を高性能で実現するヘルスエアー技術に関して、その原理・特徴と効果に関して述べた。HAユニットを設置することで、室内に浮遊するウイルスや細菌に対する抑制効果が高く、室内空気の清浄化に対して有用と考えられる。また、HAユニットは、花粉等のアレル物質やPM2.5等の粒子状物質、臭気物質に対しても効果があり、住環境での様々な空気清浄ニーズに対応可能である。今後も、健康衛生志向の高まりによって、更なる性能向上が望まれると同時に、他の様々な物質除去の要求も高まってくると予想される。そのため、要求される技術的課題も変わっていくと考えられるので、市場要求にタイムリーに対応できるように開発を進めていく。

### 参 考 文 献

- (1) 谷野孝徳, ほか: コロナ放電による気中浮遊菌の除菌と接地電極板上の殺菌メカニズム, 静電気学会誌, 39, No.1, 2~8 (2015)
- (2) 岡田 龍, ほか: 気流中の浮遊菌に対するコロナ放電の除菌・電気集塵・殺菌効果の検討, 静電気学会誌, 41, No.1, 14~19 (2017)
- (3) 斎木あゆみ, ほか: 放電空間通過による浮遊ウイルスの不活化, 第29回日本環境感染学会総会・学術集会 (2014)