神奈川工科大学

環境科学技術研究所

研究報告

第 2 号

2022 年度

研究推進機構

目次

・抗ウイルス・抗菌電極を用いた電気集塵装置による浮遊ウイルス・菌の捕集

及び不活性化と革新的省エネ化

電気電子情報工学科　瑞慶覧章朝

別紙

抗ウイルス・抗菌電極を用いた電気集塵装置による浮遊ウイルス・菌の捕集及び不活性化と革新的省エネ化

研究者名：電気電子情報工学科　瑞慶覧章朝

１．研究の目的

本研究では、電気集じん装置から発生するオゾンが 0.06 ppm 以下となる低オゾン濃度条件において、ウイルスサイズの微小粒子状物質の除去および捕集微生物の不活性化を高風速条件のもとで達成することを目的に実験を行った。

２．研究の必要性及び従来の研究

世界保健機関（WHO）は、世界中で年間 700 万人が微小粒子状物質 PM2.5 などによる大気汚染が原因で早期に死亡しており、持続可能な成長のために早期の対策が必要と警告している。また、新型コロナウイルスの感染により 2020 年から 2022 年の 3 年間で約 680 万人、インフルエンザウイルスの感染では毎年 50 万人が世界中で亡くなっている。これに対して、室内に外気を取り込む換気対策がなされているが、空調エネルギーが莫大となる問題がある。サイクロンやスクラバなどの空気浄化装置は、原理的・実験的にも PM2.5 やウイルスサイズの粒子はほとんど除去できない。ヘパフィルタは、目詰まりによる能力低下や消費電力が大きい問題がある。

３．期待される効果

本研究目的が達成されれば、コンパクトで大風量処理が可能な高性能空気浄化装置が実現できる。例えば、船内、病院、学校や地下鉄ホームなど、多くの人が集まる空間の空気浄化に利用できる。空気中の PM2.5、細菌類やウィルスなどを除去及び不活性化し、SDG’s Target 3.9 の達成に貢献できる。

４．研究の経過及び結果・評価

４．１　実験装置および方法

集じん率を評価するための実験装置の概略を図 1 に示す。実験装置は高さ 23 mm、幅 62 mm のアクリル製ダクト内に電気集じん装置を配置した構造とした。電気集じん装置は、帯電部と集じん部から構成された二段式とした。帯電部は、直径 0.26 mm のタングステン製線電極と接地平板電極から成る線対平板電極構造とし、電極間隔は 10.7 mm、接地平板電極のガス流方向の長さは 30 mm とした。電極間に直流正極性高電圧 11 kV を印加し、コロ

ナ放電を発生させた。集じん部は、同一サイズの接地用平板電極と高電圧印加用平板電極が、電極間隔 10.3 mm で交互に並んだ構造とした。ガス流方向の長さは 500 mm から 1000 mm とし、電極間に直流負極性 5 kV を印加し、静電界を発生させた。装置内に線香煙を含んだ空気を風速 9 m/s で流した。電気集じん装置の下流側から流通空気の一部を吸引し、オゾンモニターを用いて発生オゾン濃度を測定した。また、同様に走査型粒子濃度計数装置（Scanning Mobility Particle Sizer: SMPS. TSI 社製、Model 3936）または光散乱式粒子濃度測定装置（Particle Counter: PC. RION 社製、KC-01D）を用いて粒子濃度を測定し、（１）式を用いて集じん率を算出した。

$$\eta = \left(1 - \frac{N_{ad}}{N_{bd}}\right) \times 100\% \qquad (1)$$

ただし、N_{ad}、N_{bd} は、それぞれ電圧印加前と後における粒径 d の粒子濃度[parts/m^3]である。

捕集された微生物の不活性化効果を検討するための実験装置を図２に示す。装置はクリーンベンチ（CB）内に設置し、構造は図１と概ね同様であるが、帯電部接地平板電極長は 100 mm、集じん部電極長は 174 mm とした。放電部の接地平板電極上に 25 mm 間隔で 3 か所(Location 1～3)に黄色ブドウ球菌(NBRC13276, 20 mL, 0.5 x 10^3 CFU/mL)を塗布した。静電界部の接地平板電極上にも 43.5 mm 間隔で 3 か所（Location 4～6）に塗布した。菌の自然死滅を考慮し、比較対象として上流部に Ctrl を設置した。その後、0.5 時間自然乾燥させ、風速 0.5 m/s で空気を流し、高電圧を 1 時間印加した。放電部への印加電圧は直流正極性 7 kV とし、オゾン濃度を 0.06 ppm に調整した。静電界部への印加電圧は DC-5 kV とした。なお、静電界部ではコロナ放電は発生していない。電圧停止後、電極表面の黄色ブドウ球菌をラスパーチェックにて拭き取り、コロニー数を計測し、生存率を次式で計算した。

$$\text{生存率}[\%] = \frac{\text{各塗布位置のコロニー数}[CFU]}{\text{コントロールのコロニー数}[CFU]} \times 100\% \qquad （２）$$

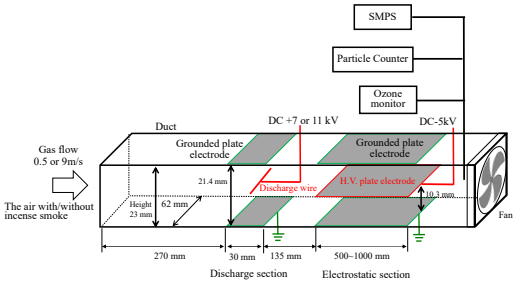

図１. 集じん性能評価用実験装置の概要

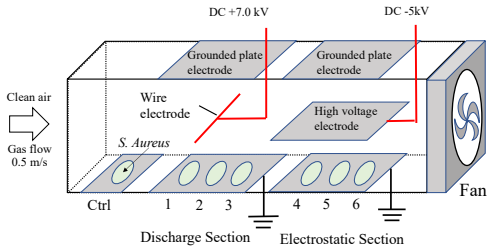

図２. 微生物不活性化評価用実験装置の概要

４．２　実験結果

集じん率の粒径特性に対する集じん電極長依存性を図３に示す。帯電部印加電圧は直流正極性 11 kV、集じん部印加電圧は直流負極性 5 kV、風速は 9 m/s であり、このときの発生オゾン濃度は 0.06 ppm である。なお、計測器の精度の都合上、粒径 214 nm 以下の測定の際

は線香煙を含んだ空気を用いたが、粒径 300 nm 以上の測定では線香煙は用いず大気じんのみで実験を行った。いずれの電極長においても、粒径 300 nm 程度までは、粒径が小さくなるほど集じん率が低下する傾向となった。これは粒径が小さくなるほど粒子の表面積が小さくなり、帯電量が低下するためである。また、粒径 300 nm よりさらに小さくなると、集じん率は高くなる傾向を示した。これは、粒径が小さくなるほど流体抗力が小さくなり、小さな帯電量でも大きな実効移動速度が得られるためである。いずれの粒径においても、集じん電極長が長くなるほど集じん率は向上し、電極長 1000 mm では、すべての粒径で 90%以上が得られた。この結果から、電極長を 2000 mm に延長するか、風速を 4.5 m/s まで低下させることで、99%の集じん率が達成できることが予測できる。

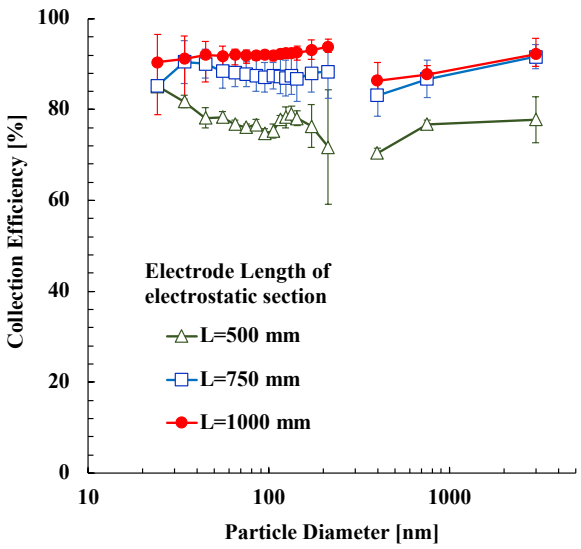

図 3. 集じん率の粒径特性に対する電極長の依存性

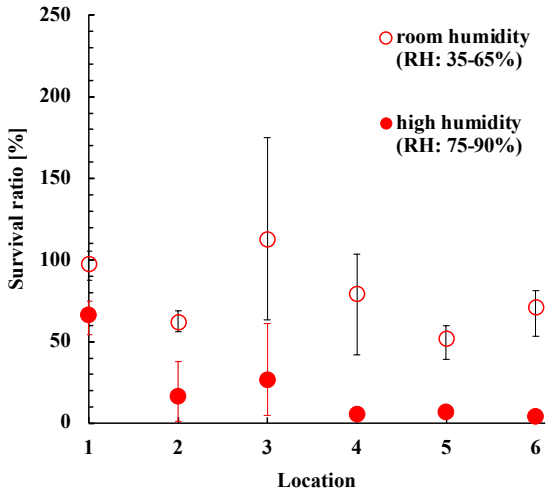

図 4. 集じん電極上黄色ブドウ球菌の生存率と塗布位置の関係

接地電極上の黄色ブドウ球菌の生存率と塗布位置の関係を図 4 に示す。帯電部印加電圧は直流正極性 7.0 kV、集じん部は直流負極性 5.0 kV、風速は 0.5 m/s、このときの発生オゾン濃度は 0.06 ppm である。相対湿度は、常湿時が 35%から 65%、加湿時が 75%から 90%である。常湿時の生存率は、いずれの位置においても 50%以上であり、オゾン濃度 0.06 ppm、暴露時間 1 時間では、集じん電極上の捕集微生物に対する不活性化効果がほとんどないことがわかる。一方、加湿時における生存率は Location 1 では 69%と高いが、それ以外では 1%から 10%であり不活化効果が向上している。これは、微生物表面に水膜が形成され、そこにオゾンが取り込まれることによって、オゾンと微生物の接触時間が延びたためと考えている。この結果から、0.06 ppm の低オゾン濃度下でも加湿することで集じん電極上の捕集微生物を不活性化できることが示された。

５．今後の計画

今後は、実際に空気中に浮遊するウイルスの捕集性能、捕集ウイルスの不活性化および集じん装置の省電力化に関して研究を進めていく予定である。

６．研究成果の発表

＜国際会議発表＞

(1) Yuto Ikeda, Akinori Zukeran, Yu Zengqiang, Nobuaki Ohguri, Effect of collection efficiency and reducing ozone generation in an electrostatic precipitator with knife edge disk type electrode, ISNTP-12 & ISEHD 2022, 2022/8/28-9/2, 2022/8/29

(2) Yuto Ikeda, Yu Zengqiang, Nobuaki Ohguri, Noboru Matsumoto, Masahiro Matsumoto, Akinori Zukeran, Effect of knife edge disk electrode on collection efficiency and reducing ozone generation in an electrostatic precipitator, The I-YES 2022 conference, 2022/8/28

(3) Hirotoshi Sugiyama, Jun Sawai, Risei Wadaa, Akinori Zukerana, Nobuaki Ohguri, Noboru Matsumoto, Masahiro Matsumoto, Inactivation effect of ultraviolet LED on MS2 phage on the collection electrode using electrostatic precipitator with ultraviolet LED, The I-YES 2022 conference, 2022/8/28

(4) Hirotoshi Sugiyama, Akinori Zukeran, Yu Zenggian, Nobuaki Ohguri, Yuji Hayase, Noboru Matsumoto, “Inactivation effect of MS2 using electrostatic precipitator with ultraviolet LED”, 2022 Joint Conference on Electrostatics, I1, 2022/6/12-2022/6/15, 2022/6/14

＜国内学会発表＞

(1) 瑞慶覧章朝，電気集じん装置による微小粒子状物質・ウイルスの捕集，室内環境学会・2023年度第1回微粒子分科会，2023/3/22

(2) 菅野竜矢，高電界型電気集塵装置による浮遊ウイルスの捕集，静電気学会関西支部講演会大気圧プラズマのエネルギー・環境保全分野への最新応用技術，2023/3/20

(3) 木原聖次，菅野竜矢，安本浩二，吉野秀吉，高村岳樹，和田理征，澤井淳，瑞慶覧章朝，松本雅弘，松本伸，集塵電極表面の撥水性が電気集塵装置のウイルス捕集に与える影響，令和５年電気学会全国大会，1-100, 2023/3/16

(4) 相澤智也，杉山裕俊，安本浩二 ,瑞慶覧章朝,吉野秀吉,高村岳樹，澤井淳，和田理征，松本雅弘，松本伸，深紫外線を併用した電気集塵装置による捕集ウイルス及び浮遊ウイルスの不活性化，2023年静電気学会春期講演会，2022/3/1

(5) 片田涼太，池田祐斗，瑞慶覧章朝，電気集塵装置におけるカーボンブラシ電極の効果， 2023年静電気学会春期講演会，2022/3/1

(6) 瑞慶覧章朝，電気集塵装置内における粒子の帯電・軌道シミュレーション，２０２２年度第３回電気学会AEMHD委員会，2022/12/9

(7) 菅野竜矢，吉野秀吉，大栗延章，松本 伸， 松本雅弘，高村岳樹，和田理征，澤井淳，瑞慶覧章朝，二段式電気集塵装置における浮遊ウイルスの捕集，第４６回静電気学会全国大会，静電気学会講演論文集2022, p.57, 2022/9/8

(8) 杉山裕俊，瑞慶覧章朝，澤井淳，和田理征，大栗延章，松本伸，松本雅弘,紫外線とオゾンを併用した電気集塵装置の集塵電極上ウイルスの不活性化，第４６回静電気学会全国大会，静電気学会講演論文集2022, p.69, 2022/9/8