

神奈川工科大学

環境科学技術研究所

研究報告

第 3 号

2023 年度

研究推進機構

目次

- ・環境中の病原性ウイルスの捕集・検出法の開発と分布状況調査

応用化学科 高村岳樹

- ・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

環境中の病原性ウイルスの捕集・検出法の開発と分布状況調査

研究者名：高村岳樹

1. 研究の目的

ノロウイルス (NoV) は、急性胃腸炎や大規模な食中毒を引き起こすことが知られている。感染すると体内で増殖し、憎悪症状の消失後においても 10[~]30 日間程度は糞便とともに大量に体外へ排出されるとされている。排出された NoV は下水処理場にて処理されるが、NoV の化学抵抗性の高さや、水中での長期間生存可能なため、通常の下水処理では完全に除去・不活化されない。そのため、NoV により汚染された下水処理排水は河川へ流入し、その後、河川下流域の 2 枚貝等に濃縮され、最終的にヒトに対して感染を引き起こす可能性がある。このような現状から、広域にわたる環境水中の NoV の分析は公衆衛生の観点により重要であり、かつ感染症の拡大状況を把握することに大いに役立つ。

2. 研究の必要性及び従来の研究

現在の NoV の検出方法は、キットによる RNA 抽出およびリアルタイム逆転写 PCR (rRT-PCR) 法による検出が主流であるが、処理の煩雑さや判定結果までの時間が長いなどの欠点を有する。そこで、本研究では新たに簡易で、迅速な NoV の検出を開発することを目的とする。また、環境水中の NoV は糞便や食品試料よりも濃度が低いことが予想されるため、試料の濃縮が必要である。今回は簡易かつ安価であることに重点を置き、環境水中の NoV の濃縮方法を検討した。

3. 期待される効果

この研究は、人々の健康と安全な生活環境の確保に貢献する重要な一歩となる。開発されたノロウイルス検出法は、環境水中のウイルス汚染状況をより詳細に把握し、感染症の発生を未然に防ぐための強力なツールとなることが期待される。また、この研究成果は、水環境の保全や食品の安全確保など、幅広い分野への波及効果が期待される。

4. 研究の経過及び結果・評価

4. 1 濃縮方法の開発

吸着材にウイルスを吸着させ回収し (Hanging pad 法)、その回収水を PEG 沈殿法ですらに濃縮する方法を検討した。2 つの濃縮方法を組み合わせることで PEG 沈殿法にかかる試料水の量を減ずることが可能であり、大量の試料水を処理するよりも簡便かつ安価な濃縮法となりうる。Hanging pad 法の吸着材として市販のコットンを利用し、また NoV に代替ウイルスとして用いられる PhageQ β を用いてプラークの生成で評価したところ、1 L の試料水から 10 g のコットンで回収率 10 %前後でウイルスを回収できることがわかった。また PEG 沈殿法においては、河川水 40 mL に不活化 NoV 溶液を添加したのに対し、最終濃度 PEG6000 を 10 %、NaCl を 0.8 M になるように添加した。完全に溶解後、4 °C で一

晩静置し、5000 rpm で合計 60 分間遠心にかけた場合、約 13 %の回収率が得られた。そのため静置段階で NoV をある程度 PEG により沈下させておく必要があると考えられた。

4. 2 簡便な RNA 抽出法の開発

糞便試料と比較すると環境水試料は夾雑物が少ないことが予想されるため、簡便な RNA 抽出方法として Chelex100 を用いた方法を検討した。不活化 NoV 標準試料に対して Chelex100 を終濃度 10%となるように、TE 溶液 (pH7.5) に添加後、98 °C、5 分間処理し rRT-PCR にて確認を行った。rRT-PCR はマイクロ流量デバイスを用いる PicoGenePCR1100 を用いた、また、市販の陽性コントロール DNA を用いて、Ct 値と DNA コピー数で予め検量線を作成し、抽出試料のコピー数の算出に用いたところ、Ct 値 34.3~37.7 となり、濃度依存性が確認された。(Fig. 1) そのため簡易な核酸抽出として知られている Chelex100 を用いて RNA 抽出が可能であることが判明した。また、RNA 抽出から測定まで従来 1 時間半かかっていたが、本方法を採用すると 30 分に短縮されることがわかった。本法を QIAamp Viral RNA Mini キットと RNA 抽出効率を比較すると、キットを用いた RNA 抽出法よりも Chelex 処理の方がコピー数を約 6.8 倍多く得られることが判明した。これは、キットでは複数のカラムに NoV 試料を通すが、Chelex 処理では直接試料を処理するためロスが少なく、効率よく RNA を抽出可能である。

4-3. 環境水中の NoV 調査

実試料を用いて開発した濃縮方法、RNA 抽出方法で環境水中の NoV が検出されるか調査した。調査する河川は大和市の 2 級河川である境川の下水処理排水流入地点下流に設定し、Hanging pad 法+PEG 沈殿法の濃縮法にて調査を行った。11 月 20、30 日および 12 月 4、18 日に、現地でコットン 10 g を河川水下に吊下げ、1 時間後に回収した試料について NoV 検出を試みた。また 1 月 31 日の試料では 24 時間回収も検討したがいずれも非検出であった。

5. 今後の計画

今回、すべての環境水、調査方法で非検出という結果になった。近年、NoV 感染患者数が数年前よりも減っており、さらに 2020 年から COVID-19 が流行し、その感染対策が NoV の感染対策にもなり、患者数の減少に大きく影響したと推定される。このことより、環境水中の NoV 濃度も減少していることが予想でき、より多量の試料水の処理が必要であると考えられる。

6. 研究成果の発表

1. 植木柚、高村岳樹、環境水中の病原性ウイルスの簡易検出方法の開発とその応用、日本化学会第 104 春季年会 (2024)

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の達成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。HEPA 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、細菌類やウイ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

実験装置の概略を Fig.1 に示す。ESP は帯電部と集塵部からなる二段式とした。帯電部は高電圧印加用電極と接地円筒電極(SUS、内径:90 mm、長さ: 200 mm)からなる同軸円筒構造とした。高電圧印加用電極は直径 32 mm の SUS 製(t : 1 mm)の板にカーボンブラシ(ケンエー製、Kioc61-5-20-25-MS)を円形状に 20 個配置した構造とした。ブラシを含んだ円盤の直径は 45 mm、ブラシ部の長さは 5 mm である。電極間隔は 22.5 mm とし、電極間に最大 20.5 kV

の正極性直流高電圧を印加し、コロナ放電を発生させた。集塵部は、高電圧印加用平板電極 5 枚と接地用平板電極 6 枚(Al、幅: 111 mm、長さ: 125 mm、厚さ: 0.8 mm)を、間隔 10 mm で交互に並べた平行平板電極構造とし、電極長は 125 mm とした。電極間には 9 kV の直流正極性高電圧を印加し、静電界を形成した。装置内風速は 0.6 m/s とし、大気塵または炭素粒子発生装置(PALAS、DNP 3000)を用いて炭素粒子を流した。ESP の下流側ダクトから流通ガスの一部を吸引し、走査型粒子濃度計数装置(Scanning Mobility Particle Sizer: SMPS、測定粒径: 24 nm~214 nm、約 1.8×10^{12} parts/m³)を用いて炭素粒子、光散乱式の粒子計数装置(Particle counter :PC、測定粒径:300 nm 以上、約 1.5×10^7 parts/m³)を用いて大気塵の個数濃度を測定した。測定した濃度を用いて集塵率を(1)式から算出した。同様にオゾンモニターを用いてオゾン濃度を測定した。

$$\eta = \left(1 - \frac{N}{N_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

ただし、 N_0 、 N は上流と下流の粒子個数濃度[parts/m³]である。

4. 2 実験結果

粒径 300~400 nm の集塵率と発生オゾン濃度関係を Fig.2 に示す。使用した粒子は大気塵である。また、図中には炭素鋼のナイフエッジ円盤電極を用いた先行研究の結果¹⁾も示してある。どちらの極性においても、発生オゾン濃度の増加に伴い、集塵率は向上した。同一オゾン濃度における集塵率を比較すると、正極性は負極性よりも高い集塵率が得られた。例えば、オゾン濃度 0.025 ppm における集塵率は、負極性が 92.5%であるのに対し、正極性では 96.2%であった。これは、同一オゾン濃度における電圧値と放電電流値が、負極に比べ正極の方が高いためである。しかし、ナイフエッジ円盤電極と比べると未だ低い。

粒径範囲 400~6000 nm における集塵率の粒径特性に対する発生オゾン濃度の依存性を Fig.3 に示す。a)の負極性の結果をみると、いずれの条件においても粒径が大きくなるに従い集塵率も高くなる傾向を示している。これは粒径が大きいほど帯電量が大き

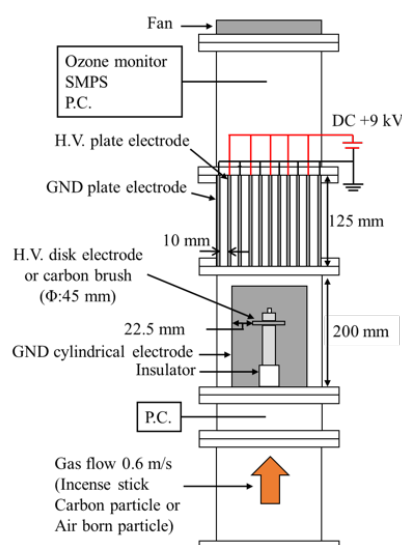


Fig. 1 実験装置の概略

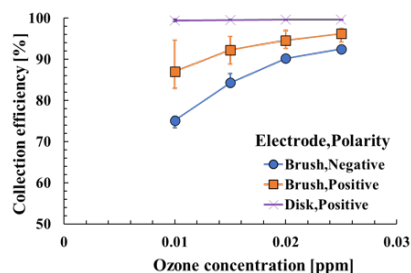


Fig.2 粒径 300~400 nm の集塵率と発生オゾン濃度関係

くなるためである。また、発生オゾン濃度の増加に伴い、集塵率も向上した。オゾン濃度 0.025 ppm(電圧-7.89 kV、電流 0.06 mA)の条件において、粒径 400~6000 nm の粒子を 92%以上の高集塵率で除去できている。b)の正極性における特性も同様の傾向であるが、各条件における集塵率はいずれの粒径においても負極性より高い。

粒径 24 nm~214 nm の範囲における集塵率の粒径特性に対する発生オゾン濃度の依存性を Fig.4 に示す。ただし、コロナ放電の極性は正である。また、図中には先行研究のナイフエッジ円盤電極の結果¹⁾も示してある。いずれのオゾン濃度においても、粒径 24 nm から大きくなるに従い集塵率が高くなり、100 nm 付近から再び低下する傾向を示している。帯電理論上、粒子の帯電量は粒径が小さくなるに従い減少する。粒径 24 nm 付近で集塵率が低下するのは帯電されていない粒子が存在しているためと考えられる。また、カニンガム補正係数は粒子が大きいほど小さくなり、粒径約 1000 nm 以上でほぼ 1 に収束する。すなわち、流体抗力が大きくなり粒子の実行移動速度が遅くなるため、粒径 100 nm 以上で集塵率は低下する。発生オゾン濃度で比較すると、濃度が高くなるほどすべての粒径で集塵率は高くなっている。オゾン濃度 0.025 ppm の

集塵率は 94%~99%であり、カーボンブラシ円盤電極を用いることで、ナノ粒子に対しても低オゾン濃度条件で高い集塵性能が得られることがわかる。しかし、先行研究のナイフエッジ円盤電極と比べると、Fig.3 に示した粒径 400~6000 nm の結果と同様に未だ低い。再現性を確認するとともに、今後の改良が必要と考えている。

4. 3 参考文献

- (1) Akinori Zukeran, Yuto Ikeda, Fumiki Mashimo, Koji Yasumoto, Masahiro Matsumoto, Noboru Matsumoto, Effect of collection efficiency and reducing ozone generation in an electrostatic

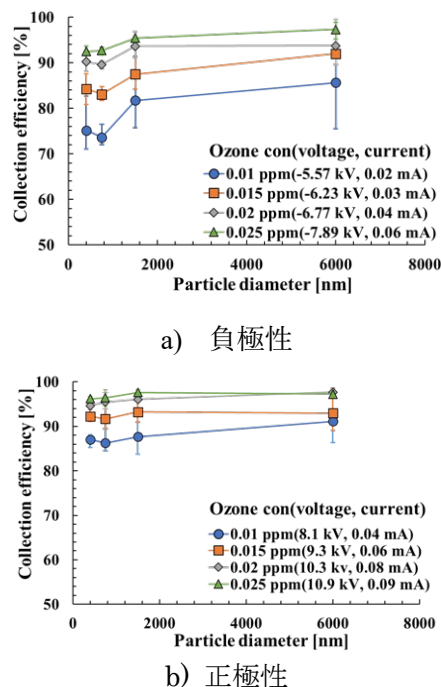


Fig.3 粒径範囲 400~6000 nm における集塵率の粒径特性に対する発生オゾン濃度の依存性

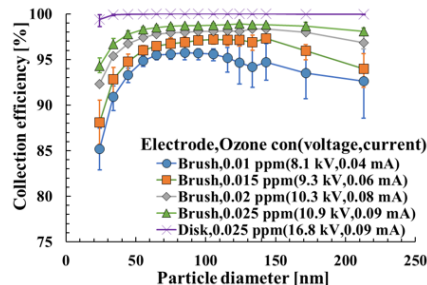


Fig. 4 粒径 24 nm~214 nm の範囲における集塵率の粒径特性に対する発生オゾン濃度の依存性

precipitator with knife edge disk type electrode, Journal of Electrostatics, 125, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2023.103842>

5. 今後の計画

今後は、円盤電極の耐久性を検討する。また、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

<論文・解説>

- (1) Akinori Zukeran, Yuto Ikeda, Fumiki Mashimo, Koji Yasumoto, Masahiro Matsumoto, Noboru Matsumoto, Effect of collection efficiency and reducing ozone generation in an electrostatic precipitator with knife edge disk type electrode, Journal of Electrostatics, 125, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2023.103842>
- (2) 瑞慶覧章朝, 杉山裕俊, 松本伸, 紫外線を併用した電気集じん装置による捕集ウイルスの不活性化, クリーンテクノロジー, Vol. 33, No. 10, pp. 19-22, 2023

<国際会議発表>

- (1) Akinori Zukeran, Fumiki Mashimo, Ryuota Katada, Yuto Ikeda, Koji Yasumoto, Masahiro Matsumoto, Noboru Matsumoto, “Reduction of ozone generation and durability of discharge electrode in an electrostatic precipitator with carbon brush disk electrode, IEEE IAS Annual Meeting 2023, Oct. 31, October 29 – November 2, 2023
- (2) Akinori Zukeran, “The effect of energy saving and collection efficiency in a high electric field type electrostatic precipitator for air borne particle”, 60th Anniversary of the Foundation KAIT International Symposium 2023, 2023.8.29.

<国内学会発表>

- (1) 眞下史樹, 安本浩二, 瑞慶覧章朝, 江原由泰, カーボンブラシ円盤電極を用いた電気集じん装置における集じん率に対するブラシ本数の効果、平成6年電気学会全国大会、2024年3月発表予定
- (2) 瑞慶覧章朝、電気集じん装置に関する最近の研究開発動向、2024年第一回静電気学会研究会、2024年3月発表予定
- (3) 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, 高電界型電気集じん装置による浮遊ウイルスの捕集、日本防菌防黴学会第50回年次大会、2023年8月30日
- (4) 木原 聖次, 安本 浩二, 瑞慶覧 章朝, 吉野 秀吉, 高村 岳樹, 和田 理征, 澤井 淳、電気集塵装置における浮遊ウイルスの捕集性能、第47回静電気学会全国大会、2023年9月7日
- (5) 瑞慶覧章朝、高電界型電気集塵装置による省エネ化と集塵効果、第3回静電気学会・日本エアロゾル学会合同シンポジウム「静電気とエアロゾルの接点」、2023年8月31日
など他7件