

神奈川工科大学

環境科学技術研究所

研究報告

第 4 号

2024 年度

研究推進機構

目次

- ・活性炭を用いた効率的な水中の環境 DNA 回収方法の開発

応用化学生物学科 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

活性炭を用いた効率的な水中の環境 DNA 回収方法の開発

研究者名：高村岳樹

1. 研究の目的

本研究は、環境 DNA (eDNA) を用いた水生生物の生息調査において、従来のオンサイト採水法が持つ時間的制約を克服するため、活性炭および木炭を用いたパッシブサンプリング法の開発と評価を目的とする。具体的には、炭素材による eDNA の吸着・回収能力を検証し、長期間にわたって水中に設置可能な簡便かつ安価なサンプラーの実用化を目指す。また、対象生物としてホトケドジョウ (*Lefua echigonia*) を選定し、簡易 RT-PCR による検出法の確立を通じて、持続的かつ効率的な生物モニタリング手法の構築を図る。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、生物多様性の保全や生態系のモニタリングにおいて、環境 DNA (environmental DNA: eDNA) を用いた調査手法が注目されている。eDNA は、水中に存在する生物の皮膚片や排泄物などから由来する遺伝物質であり、これを回収・分析することで、従来の個体捕獲法に比べて非侵襲的かつ効率的に生物の生息状況を把握することが可能である。

しかしながら、現行の eDNA 調査法の多くは、フィルターを用いたオンサイト採水法に依存しており、採水時点の情報しか得られないという時間的制約が存在する。このため、長期的かつ持続的な生物モニタリングには不向きであるという課題がある。

これまでの研究では、eDNA の回収効率を高めるためのフィルター材の改良や、PCR 法の最適化などが行われてきたが、長期間にわたって水中に設置可能なパッシブサンプリング法の開発は十分に進んでいない。特に、安価で簡便に設置できる素材を用いた eDNA の持続的回収法に関する研究は少なく、実用化に向けた技術的検討が求められている。

本研究では、活性炭および木炭を用いたパッシブサンプラーによる eDNA の吸着・回収能力を評価し、長期的な生物調査に適した新たな手法の構築を目指す。また、対象生物としてホトケドジョウ (*Lefua echigonia*) を選定し、簡易 RT-PCR による検出法の検討を通じて、実用的なモニタリング技術の確立を図る。

3. 期待される効果

本研究により、活性炭および木炭を用いたパッシブサンプリング法による環境 DNA (eDNA) の長期回収技術が確立されれば、従来のオンサイト採水法では困難であった持続的かつ

広範な水生生物の生息状況の把握が可能となる。これにより、調査の頻度や人手を減らしつつ、より高精度な生物モニタリングが実現できると期待される。

また、簡易 RT-PCR による対象生物（ホトケドジョウ）の検出法が確立されれば、地域生態系の保全や外来種の監視、希少種の分布調査など、環境保全分野における応用が広がる。さらに、安価で簡便な手法であることから、市民科学や教育現場での活用も期待され、環境 DNA 技術の普及と社会的インパクトの拡大に寄与する可能性がある。

4. 研究の経過及び結果・評価

本研究では、環境 DNA（eDNA）の長期回収を目的として、活性炭および木炭を用いたパッシブサンプリング法の開発を進めた。まず、原料の異なる 14 種類の炭試料を収集し、それぞれの DNA 吸着能力を評価した。ウシ胸腺由来 DNA を用いた吸着試験の結果、粉末状で粒径の小さい活性炭（試料 1～3）が高い吸着率（60%以上）を示した。一方、粒状の炭試料や木炭では吸着率が著しく低く、原料や形状が吸着性能に大きく影響することが示唆された。

次に、吸着した DNA の回収可能性を検討するため、吸着能力の高い炭試料（試料 2, 9, 13）を対象に、3 種類の DNA 抽出・精製キット（ISOSPIN Soil DNA、DNeasy Blood & Tissue Kit、NucleoSpin Soil）を用いて回収試験を実施した。その結果、DNeasy キットでは試料 9 から 58%、試料 13 から 29%の DNA が回収され、NucleoSpin キットでは試料 9 から 22%、試料 13 から 24%の回収が確認された。ISOSPIN キットは操作性に課題があり、回収率も低かった。

これらの結果から、ペレット状の試料 9（Palm shell 由来活性炭）が、吸着率・回収率ともに優れており、実用的なパッシブサンプラーとして有望であると評価された。今後は、流水環境下での吸着性能の検証や、夾雑物の影響評価を進めるとともに、対象生物であるホトケドジョウ (Lefuechigonia) のリアルタイム PCR 条件の最適化を図る予定である

5. 今後の計画

本研究で得られた成果を踏まえ、今後は以下の点についてさらなる検討を行う予定である。

Table.1 Activated carbon or charcoal used in the study and their DNA adsorption capacity

No.	Origin	Form*	particle size [mm]	Adsorption yield [%]
1	Sawdust	P	0.025	67
2	Palm shell	P	0.5	74
3	Mangrove	P	-	66
4	Coal	G	0.85~0.36	0
5	Coal	G	2.36~0.5	0
6	Palm shell	G	0.85~0.36	0
7	Palm shell	G	2.36~0.5	0
8	-	G	1.7~0.5	4
9	Palm shell	G	0.7~0.8	5
10	Cedar	P	0.1~0.3	0
11	Pine	P	0.1~0.3	3
12	Bamboo	P	0.1~0.3	1
13	Oak	P	0.1~0.3	8
14	Mangrove	P	0.1~0.3	0

*P: powder, G: granular

まず、選定された炭試料（特に試料 9）を用いて、流水環境下での eDNA 吸着性能の評価を実施する。これにより、自然環境における実用性を検証し、夾雑物や水流の影響が DNA の吸着・回収率に与える影響を明らかにする。

次に、対象生物であるホトケドジョウ（*Lefua echigonia*）の検出に向けて、リアルタイム PCR（RT-PCR）条件の最適化を進める。これにより、環境水中からの特定種の DNA 検出精度を高め、実際の生物モニタリングへの応用可能性を高める。

さらに、得られたデータをもとに、パッシブサンプラーの設置期間や回収頻度の最適化を図り、調査効率の向上を目指す。将来的には、他種への応用や市民科学への展開も視野に入れ、環境 DNA 技術の普及と実用化に貢献することを目指す。

6. 研究成果の発表

なし

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

これまでに電気集じん装置（ESP）で捕集したウイルスや微生物を不活性化できることを明らかにしてきた。また、放電電極にナイフエッジを有した円盤電極やカーボンブラシ電極を採用し、ウイルスサイズの粒子に対し、0.03 ppm 以下の低オゾン濃度で 95%以上の高集じん率を達成した。しかし、実用化のためには、低オゾン濃度で集じん性能を長時間維持する課題が残っていた。

そこで本研究では、連続カーボンブラシ電極を用いて 2000 時間の連続運転を行った。

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。実験装置は主に、ダクト、ESP、ファンで構成されている。ESP は帯電部と集じん部からなる二段式とした。帯電部は連続カーボンブラシ円盤電極

(ケンエー製)と接地用円筒電極(SUS、内径: 90 mm、長さ: 200 mm)からなるブラシ対円筒電極構造であり、電極間隔は 22.5 mm とした。カーボンブラシ電極には、オゾン濃度が 0.010 ppm～0.030 ppm となるよう 8.0 kV～14.0 kV の直流正極性高電圧を印加し、コロナ放電を発生させた。

また、連続運転時には、初期オゾン濃度が 0.01 ppm となる放電電流 0.03 mA に維持し 2000 時間の運転を行った。集じん部は、高電圧印加用平板電極 5 枚と接地用平板電極 6 枚(SUS、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た。電極間に 9 kV の直流負極性高電圧を印加し、静電界を形成した。ダクト内風速は 0.6 m/s とし、ESP 下流側ダクトから流通ガスの一部を吸引し、オゾンモニター(EBARA, EG-2001D)を用いてオゾン濃度を測定した。

集じん率の測定時には、炭素発生器(PALAS, DNP 3000)で生成した炭素粒子または大気じんを装置内に流入させた。ESP 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、TSI 製、Model 3969) および光散乱式粒子計数装置(Particle Counter: PC、RION 製、KC-01E)を用いて炭素粒子または大気じんの粒子個数濃度を粒径 24～213 nm および 400～6000 nm の範囲で測定した。

4. 2 実験結果

電圧電流特性に対する運転時間の影響を Fig.2 に示す。いずれの条件においても電圧の増加に伴い、放電電流が増加した。0 時間時と 2000 時間時を比較すると、放電開始電圧は 6.0 kV～6.5 kV、放電電流 0.03 mA となる電圧は 8.0 kV～8.5 kV となった。この結果より、運転時間における電圧・電流特性への影響は小さいことが示された。

放電電流とオゾン濃度の関係に対する運転時間の影響を Fig.3 に示す。いずれの条件においても放電電流の増加に伴い、オゾン濃度が増加した。0 時間時と 2000 時間時を比較すると、オゾン濃度 0.03 ppm となる放電電流値は 0.09 mA～0.14 mA となった。この結果より、運転時間に対する発生オゾン濃度の変化は小さいことが示された。

発生オゾン濃度 0.01 ppm における集じん率の粒径特性に対する運転時間の影響を Fig.4 に示す。いずれの場合も、100 nm において 98.3 %～99.7%以上の高い集じん率が得られたが、

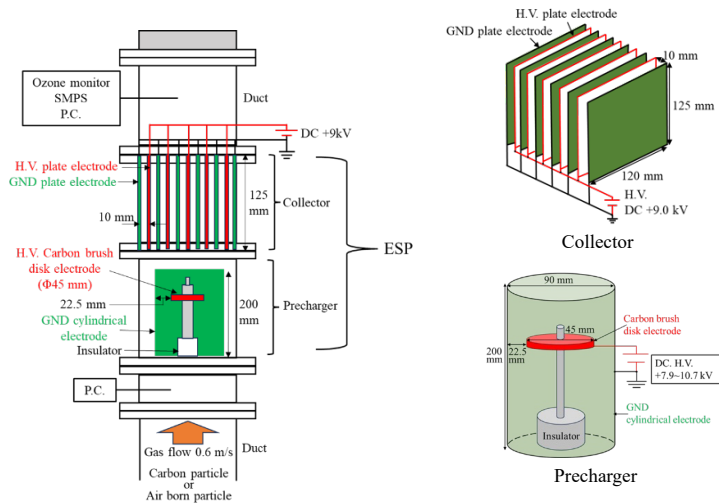


Fig. 1 実験装置の概略

経過時間 1500 時間で低下している。この要因については、さらに長時間運転を行いデータの信憑性の検討が必要である。また、粒子径約 200 nm を境にそれ以上とそれ以下で集じん率が向上する傾向を示した。前者は帯電量が大きくなるため、後者はカニンガム補正係数が大きくなるためである。粒径約 50 nm 以下において集じん率が低下しているのは、非帯電粒子の割合が大きくなるためと考えられる。

粒径 24 nm～214 nm(炭素粒子)における集じん率と運転時間の影響を Fig.5 に示す。いずれのオゾン濃度においても 95%以上の高集塵率を 2000 時間維持した。この結果より、カーボンブラシ電極が長時間劣化せず、高集じん率と低オゾン濃度を維持できていることが示された。

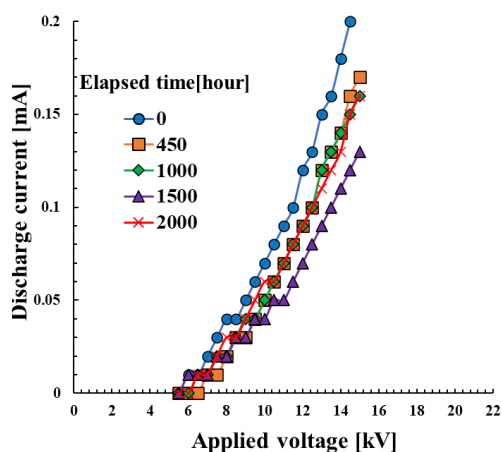


Fig.2 電圧電流特性に対する運転時間の影響

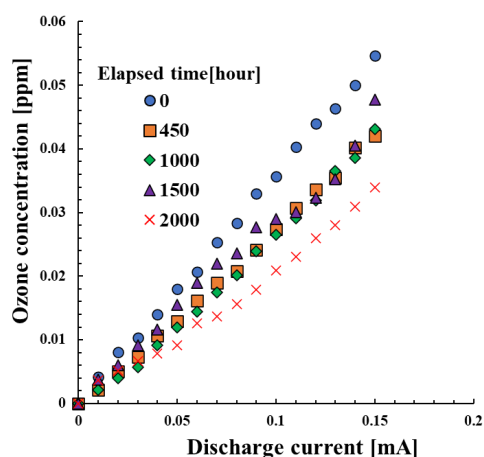


Fig. 3 放電電流とオゾン濃度の関係に対する運転時間の影響

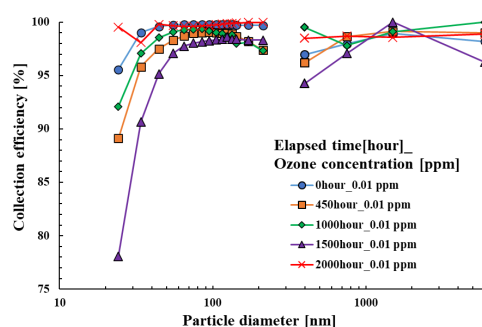


Fig.4 発生オゾン濃度 0.01 ppm における集じん率の粒径特性に対する運転時間の影響

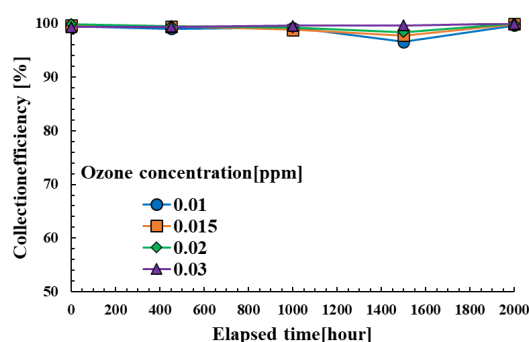


Fig. 5 粒径 24 nm～214 nm(炭素粒子)における集じん率と運転時間の影響

5. 今後の計画

連続カーボンブラシ円盤電極を用いた ESP を 2000 時間運転し、低オゾン濃度と高集じん率について検討した結果、以下のことが示された。

- ・電圧電流特性に対する運転時間の影響は小さい。
- ・放電電流およびオゾン濃度に対する運転時間の影響は小さい。
- ・運転時間 2000 時間後における粒径 100 nm の集じん率は 98%以上の高い値を達成し、長時間高い集じん性能を維持した。

今後は、高風速化およびコンパクト化を目的に開発を進める予定である。

6. 研究成果の発表

<査読付き学術論文>

- (1) Fumiki Mashimo, Akinori Zukeran, Koji Yasumoto, Yoshiyasu Ehara, Masahiro Matsumoto, Noboru Matsumoto, Durability of brush electrode in an electrostatic precipitator, Journal of Plasma Environmental Science and Technology, Vol. 19, No. 1, pp. 1-11, 2025, <https://doi.org/10.34343/ijpest.2025.19.e01008>
- (2) Akinori Zukeran, Fumiki Mashimo, Seiji Kihara, Koji Yasumoto, Risei Wada, Takeji Takamura, Jun Sawai, Yoshiyasu Ehara, Collection of nano size particle and airborne virus in an electrostatic precipitator with carbon brush disk electrode, Journal of Plasma Environmental Science and Technology, Vol. 19, No. 2, e02002 (9pp), 2025, <https://doi.org/10.34343/ijpest.2025.19.e02002>

<国際会議発表>

- (1) Fumiki Mashimo, Akinori Zukeran, Koji Yasumoto, Yoshiyasu Ehara, Durability of Brush Electrode in an Electrostatic Precipitator, The 17th International Conference on Electrostatic Precipitation, 2024/10/28-31, 10/29, 2024
- (2) Seiji Kihara, Koji Yasumoto, Akinori Zukeran, Yoshiyasu Ehara, Inactivation of Airborne Viruses in an Electrostatic Precipitator with Deep Ultraviolet LED, The 17th International Conference on Electrostatic Precipitation, 2024/10/28-31, 10/29, 2024
- (3) Akinori Zukeran, Fumiki Mashimo, Seiji Kihara, Koji Yasumoto, Yoshiyasu Ehara, Collection of Nano Size Particle and Airborne Virus in an Electrostatic Precipitator with Carbon Brush Disk Electrode, The 17th International Conference on Electrostatic Precipitation, 2024/10/28-31, 10/31, 2024
- (4) Yoshiyasu Ehara, Fumiki Mashimo, Koji Yasumoto, Akinori Zukeran, Nano particle collection efficiency and ozone concentration in an electrostatic precipitator with carbon brush disk electrode, European Aerosol Conference 2024, 2024/8/25-30, 8/27, 2024

<国内学会発表>

- (1) 座間滉人, 木原聖次, 瑞慶覧章朝, 沖野晃俊, 神田一弘, 細田悟, 湿式コロナ放電を用いたウイルスサンプリング装置の基礎特性, 令和 7 年電気学会全国大会, 1-095, 2025/3/19