

研究成果報告書

研 究 題 目		水中放電プラズマを応用した産業排水浄化装置の開発	実 施 年 度	
			2023-4 年度	
代 表 研 究 者	所 属	岡山大学・環境管理センター（自然生命科学研究支援センター）		
	氏 名	寺東 宏明 印		

1. 研究の目的・背景

本研究は、放電プラズマを産業排水浄化に応用するために、その有効性の検証と実際に応用可能な装置開発を目的とするものである。近年の環境意識の向上に伴う環境関連法令の改正によって、排気、排水に含まれる有害物質や有害微生物の基準値もより厳しいものが求められるようになった。特に瀬戸内海は水質汚染が外海に希釈されない内海であり、瀬戸内海環境保全特別措置法により排水基準はより厳しいものが規定されている。これまでにさまざまな排気・排水浄化法が研究され応用されているが、その中で放電プラズマは期待される手法の一つである。放電プラズマは空気の浄化方法としてエアコンディショナー等にも装備され応用が進んでいるが、一方、水の浄化方法としての放電プラズマはまだ研究段階である。これは、水中での放電プラズマ発生が容易ではないことによる。私たちはキャビテーションを用いて水中放電プラズマを容易に発生させる方法を開発し、組み立てたモデル装置（図 1）を用いて水中に混入する微生物の殺滅について報告してきた。本研究ではこれまでの成果を元に、本学環境管理センターをあげてプラズマ水浄化装置を実用化するための検討を行い、本学の排水管理に応用し、さらに学外に展開していくことを目指した。

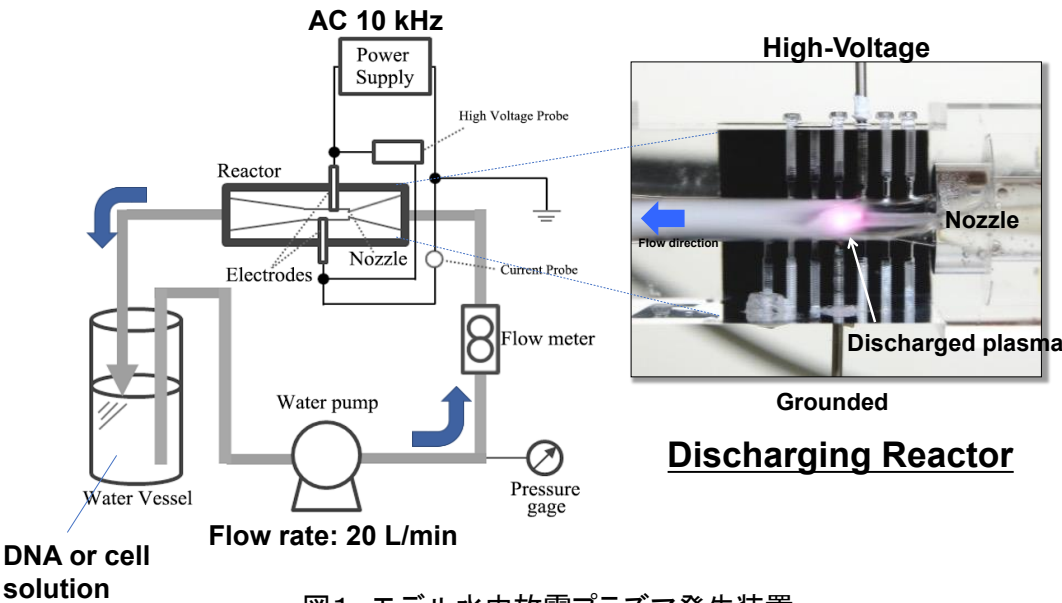


図1 モデル水中放電プラズマ発生装置

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

研究目的を達成するため、本研究は以下の二つの検討項目で実施する計画とした。それぞれについて研究成果と述べ、最後に考察を行う。

① 排水中の有害微生物に対するプラズマ処理の効果

排水中の有害微生物に対するプラズマ処理の効果について、私たちはこれまでに複数の論文を発表し論じてきた（1-3）。しかし、その検証方法は主としてコロニー形成法によるものであり、その効果を確認することがリアルタイムでは可能になっていなかった。そこで、本研究では、まずリアルタイム PCR 法を用いた評価法について検討を行った。図 1 で処理した微生物および DNA を、リアルタイム PCR を行う StepOne Plus（Applied Biosystems, USA）で分析し、微生物 DNA の分解を評価した。その結果、かけたエネルギーに対応し、 ΔCt 値が 20 J/kg まで減少し、そこから 50 J/kg まで増加するという変化を示した（図 2）。 ΔCt 値は、リアルタイム PCR において、標的 DNA 領域の増加しやすさの指標となるもので、値が小さいほど、増加しやすいことを示す。 ΔCt 値はエネルギーに対して線形に増加することを予想していたが、実際は 20 J/kg であり、この 20-50 J/kg 間の増加は微生物 DNA がプラズマ処理によって破壊されていることを示している。一方、0-20 J/kg 間における ΔCt 値の減少は、微生物細胞の破壊による DNA の露出や DNA 高次構造の緩みによって、正常な細胞や DNA より増幅がかかりやすくなっていることを示唆している。以上のことから、本法での微生物殺滅評価については、一定以上の処理が必要であることが分かった。

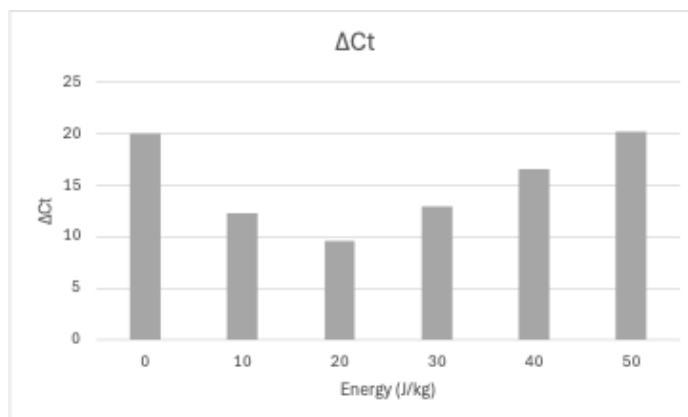


図2 リアルタイム PCR による微生物 DNA の ΔCt 値の変化。微生物名および DNA 領域は論文発表前のため伏せる。

② 排水処理に適した可搬型プラズマ処理装置の開発

私たちが開発し、現在使用している装置は 1 辺 2 m 程度の方角ラックに収められている大きさのものであり、これを排水処理の現場に持って行って使用することは困難である。そこで、可搬型の処理装置を開発することを考えた。このことを進めるにあたり、可搬型装置の設計と、小さなプラズマ発生装置が本当に機能するかどうかの実験を行った

その結果、小型の装置においても DNA の分解を観察することができた (図 3)。このことは小型装置が大型装置と同等の機能をもつことを示しており、これを基にした可搬型装置の開発の可能性を示唆するものである。なお、本研究で用いた小型装置についても論文発表前のため、ここでは詳細は伏せる。

以上の結果から、リアルタイム PCR による迅速な微生物殺滅効果の検出と可搬型装置の原型となる小型装置の有効性が明らかになった。今後は、この結果を踏まえ、複数の微生物の殺滅を評価するための次世代シーケンサーによる手法の確立と可搬型装置の開発を進め、実用化に向けて研究を継続して行っていく。

1. Kudo et al, J Electrostat 73: 131-139 (2015)
2. Kudo et al, J Phys D Appl Phys 48: 365401 (2015)
3. Terato et al, Biocontrol Sci 57: 41-48 (2022)

3. 経費の使用状況 (申請時の計画に対する実績を記述)

経費としては設備備品費として次世代シーケンサー分析装置一式を、消耗品費として一般試薬、合成 DNA、プラスチック器具等を計上した。前者は廃水中の複数の微生物をモニタリングするために購入し、現在、その実験を行っており、研究計画終了後も継続する予定である。後者については、一般試薬として、StepOne Plus 分析用試薬、次世代シーケンサー分析用試薬、PCR およびシーケンス反応用の合成 DNA、その他プラスチック器具等を購入した。旅費については、岡山大学から共同実験を行っている佐賀大学・猪原哲准教授の研究室への往復費用を 2 回分計上した。また、サンプルを処理ならびに分析するために、岡山大学と佐賀大学間で試料を複数回輸送したため、その他に小荷物運送料として計上した。

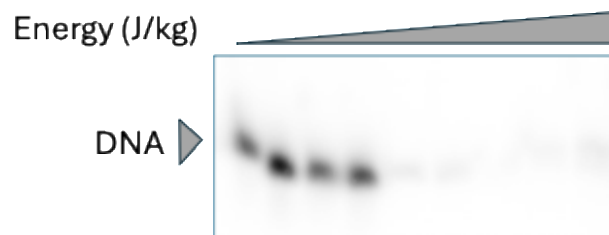


図 3 小型プラズマ装置による DNA 損傷。DNA は電気泳動で評価し、エネルギーに応じて DNA が消滅していることが分かる。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究で取り扱った水中プラズマ放電は、既に家電等に応用実装されている気中プラズマ放電と異なり、まだ、研究開発段階であるが、その可能性は極めて大きい。廃水処理においてはプラントに実装する固定式の大型装置と、汚染現場に輸送して使用する小型の可搬型装置が考えられるが、本研究では、後者の研究開発を目指し、実験を行った。詳細については論文等待つ必要があるが、本研究においてその実用化に目処がついた。今後はさらに研究を進め、10年後を目標に実用化できるように検討を行っていく。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

学術誌投稿

「Wastewater Purification by Underwater Pulse Discharge（仮題）」J Microorganism Control（投稿準備中）

学会発表

「100MV/m 級電界パルスによる DNA 損傷の誘発」猪原哲 他、熊本大学産業ナノマテリアル研究所共同研究成果発表会、熊本市、2025 年 3 月 6 日

「水中パルス放電による細菌 DNA の損傷と変異（仮題）」寺東宏明 他、日本環境変異原ゲノム学会第 54 回大会、静岡市、2025 年 11 月 22-23 日（発表準備中）