

令和元年6月11日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14585

研究課題名(和文) 内部流動・時空間濃度分布を考慮した革新的プラズマ水質浄化デバイスの開発

研究課題名(英文) Development of novel plasma water purification device by measuring a spatiotemporal concentration change

研究代表者

上原 聡司 (Uehara, Satoshi)

東北大学・流体科学研究所・助教

研究者番号：70742394

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：放電に伴い生成するプラズマを液体界面に作用させ、その化学的反応性を用いて水質浄化、医療および材料改質などを行う研究が盛んに行われているが、未だにエネルギー効率の観点から汎用的な応用化が困難な状況にある。本研究では、プラズマ水質浄化法の実用化に向けて必須である、エネルギー効率の改善を目的としている。本研究では、キャピラリー放電放電を用いた水質浄化デバイスの効率化を目指し、複数管を有する放電法についてその詳細を解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

細管を複数用いることでキャピラリー放電法の効率化を高めることに成功した。プラズマは高反応性があるがコスト面から大規模な水処理が難しい現状にあることを考慮すると、本研究手法により携帯用や家庭用を目的とした小型の水質浄化デバイスへの応用が考えられ、社会的に意義がある。また、複数管の放電同期性を解析する方法として構築した統計的解析は、本手法以外にも高速現象の同期性を解析するものとして、学術的にも有意義なものである。

研究成果の概要(英文)：In recent years, various studies have focused on water decontamination and purification using underwater plasma. It is known that the high chemical reactivity of free radicals generated by non-thermal plasma can decompose pollutants, such as persistent organic pollutants (POPs), in water. In this research, the relation of discharge and bubble motion in between two capillaries are investigated. Analyzing high-speed images of discharge and bubble surface in the capillary arrows to clarify the synchronicity of the discharge in two capillaries.

研究分野：流体工学

キーワード：プラズマ 水質浄化 細管内流動 気泡挙動 濃度変化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

放電に伴い生成するプラズマを液体界面に作用させ、液中に拡散していくラジカルの化学的反応性を利用し水質浄化、医療および材料改質などを行う研究が盛んに行われている。プラズマ中に存在するラジカルは、強い酸化力を有し液中で活発な化学反応を進行させる。プラズマにより液中に存在する難分解性有機物などの汚染物質を分解することができるため、工場排水や下水処理など環境浄化に用いる研究が行われている。これまでは、放電形態に着目した電気工学的解析や実際の汚染溶液分解性能を計測する化学工学的研究がなされている。

2. 研究の目的

放電に伴い生成するプラズマを液体界面に作用させ、その化学的反応性を用いて水質浄化、医療および材料改質などを行う研究が盛んに行われているが、未だにエネルギー効率の観点から汎用的な応用化が困難な状況にある。

当該研究では、気泡挙動に伴うプラズマ作用効率の上昇を応用し、内部液体の流動も考慮に入れたプラズマ水質浄化デバイスの開発を行い革新的な高効率化が期待される現象の解明を行う。さらに、これまでのプラズマ水質浄化法の効率を劇的に向上させる可能性のある理論の構築に挑み、基礎現象解明のための実験装置を直接発展させた革新的な水質浄化デバイスを提案することを目的とする。

3. 研究の方法

リザーバーに複数の細管を接続したキャピラリー放電デバイスを開発し、放電実験を行った。放電に伴う流動の様子は、ハイスピードカメラを用いて可視化した。複数の管は上部からの観察により同時に可視化できるためそれぞれの管内での放電のタイミングを計測することができる。得られた発光画像から発光持続時間を導出し、統計的解析により放電同期性を求めた。また、実際の分解能計測として、メチレンブルーを模擬試薬として用いた分解実験を行った。

4. 研究成果

1. 細管を用いたキャピラリー放電に、メチレンブルーを用いた分解実験を行ったところ、キャピラリー内で生じる流動により両側リザーバー内のメチレンブルー濃度に差ができることが分かった。エネルギー効率の観点からは、溶液が均等に処理されることが望ましいと考えられるため、キャピラリー放電による水質浄化ではさらなる効率化が可能であることが示唆された。そこで、細管を複数有するキャピラリー放電装置を構築し、溶液の分解実験を行った(図1)。

まず、ハイスピードカメラを実験装置上部に設置し、電極間に5.5kVの直流電圧を印加した。細管内を電流が流れた際のジュール熱により、細管内には気泡が生成し、その気泡内で放電が生じる。この時に生成するラジカルやオゾンなど高反応性の化学種により、水中の有機物を分解することができる。

ハイスピードカメラにより、細管内の気泡挙動が観察でき、細管内の液体が管外へ間欠的に排出される様子が確認された。また、放電に伴う発光も観察できるため、輝度値変化を導出することで、放電の時間変動をとらえることができる(図2)。この手法により、二本の細管を用いた放電の場合、両細管内で生じる放電のタイミングに相関があることが明らかになった。この相関関係を定量的に明らかにするため、一定時間(τ)内の放電による発光の総時間を放電発生確率とし、時間に対してプロットすることで、細管ごとの放電確率密度関数を表した。さらに、二本の細管の確率密度関数の相関係数を導出することで、放電相関率を定量的に求めた。

図3は確率密度関数を導出する際に用いた時間 τ を変化させた場合の相関係数の変化である。細管の長さを変化させた際に放

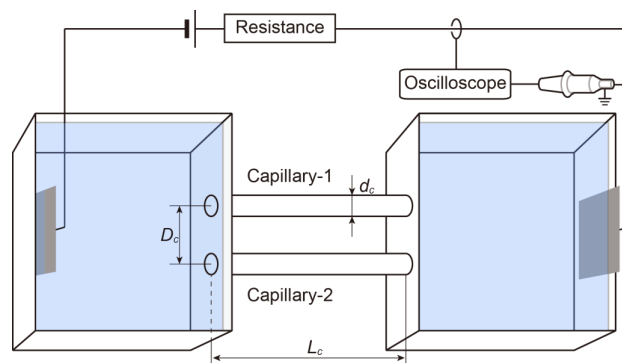


図1 実験装置

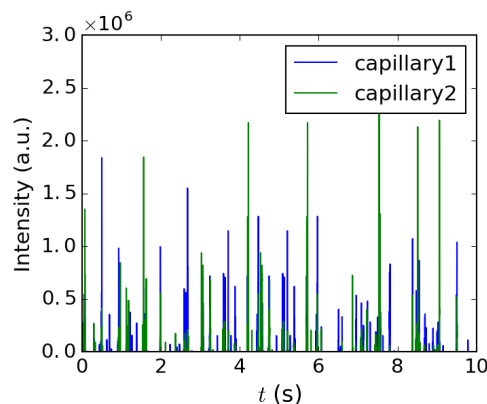


図2 放電に伴う輝度値変化

電の相関は変化し、10 および 15 mm の長さの細管では相関係数は 1 に近づくのに対し、25 および 30 mm の長さの細管では、相関係数は負の値をとった。よって、管長が短い際は放電の相関が大きい、つまり二本の細管で同期する傾向にあるが、細管が長い際には相関係数がない傾向にあることが明らかにされた。さらに、リザーバ内の液面流動を計測すると、二本の管で放電が同期する方が、流動が小さいことが分かった。この時、リザーバ内の分解対象物の濃度分布の偏りも大きいと考えられる。得られた知見により、本プラズマ水質浄化デバイスでは管長さを制御することで、放電同期性とそれに伴う流動を変化させることができ、高効率な分解が可能であることが示唆された。

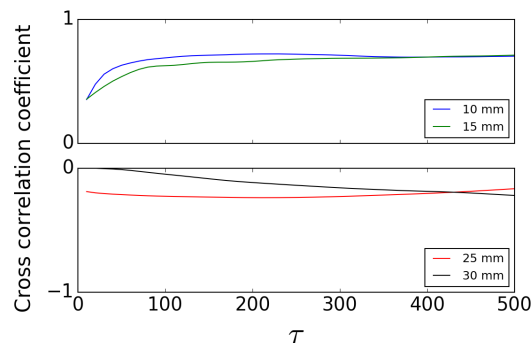


図 3 平均時間を変化させた際の相関係数の変化

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

S.Kawaharada,

S.Uehara, H.Takana and H.Nishiyama

Dynamic Characteristics of Underwater DC Biased Pulsed Capillary Discharge for High Efficiency Water Purification

15th International Conference on Flow Dynamics, (2018), OS18-46.

上原聡司, 川原田鎮一, 宮岡泰浩, 西山秀哉

細管内放電を用いた小型水環境改善デバイスの開発

第 28 回環境工学総合シンポジウム 2018, (2018), 310.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年 :

国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/bionano/>

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：西山秀哉

ローマ字氏名：Hideya Nishiyama

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。