

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420238

研究課題名(和文) 水中キャビテーション放電を用いた大容量・高速水処理装置に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental research on high speed water treatment for large volume water using water cavitation and plasma

研究代表者

猪原 哲 (Ihara, Satoshi)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90260728

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)：本研究は、プラズマを用いて、大容量の排水を高速で処理する技術を構築するための基礎的研究である。特に水中キャビテーションとプラズマを併用する点が特長である。特に本研究では、処理容器を1度通過させるだけで殺菌処理するための方法、基礎的知見を得ることを目標とした。水中の初期密度 $2 \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$ の大腸菌を用い、6秒の処理時間で約83%の殺菌率が得られ、このリアクタの通過回数は1回に相当する。また18秒の処理時間では3.3%の生存率が得られ、この処理時間はパス数が3回に相当する。したがって、15対(=5×3)の電極を用いればパス数1回で90%以上の殺菌率が得られ、投入電力は約150Wと推測できる。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this research is to build technology on purification of water with large volume using one-path treatment. Especially water cavitation and discharge plasma were used simultaneously for purification in this research.

Escherichia coli whose initial number density was $2 \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$ was used as a specimen for testing. In our experiments, 5 pair of electrodes was used, and a sterilization ratio of about 83%, 97% were obtained at a treatment time of 6, 18 seconds, respectively. A treatment time of 6 seconds corresponds to one-path treatment. From the results, it seems that more than 90% of sterilization ratio is obtained at 15 pair of electrodes.

研究分野：放電プラズマ工学

キーワード：水処理 プラズマ キャビテーション 殺菌 大腸菌 化学的活性種

1. 研究開始当初の背景

工業廃水には様々な人工有機化合物が含まれており、この中には有害な難分解性物質が多く含まれるため生物処理で完全に除去するのが困難である。また、オゾンには、塩素よりも高い酸化還元電位をもつため、塩素よりも強い酸化力を持ち、残留性がないという利点がある。しかし、現在使われている、オゾンと活性炭を組み合わせた水処理は、費用が高いことやダイオキシンなどの難分解性物質を処理することができないといった問題点がある。オゾンより強い酸化力を持つヒドロキシルラジカル(OH ラジカル)を利用した水処理技術は促進酸化処理と称される。促進酸化処理は、有機物の無機化、難分解性物質の易生物分解化および環境ホルモンなどの微量汚染物質対策などに期待されている。

生産現場では様々な種類の廃水が大量に発生している。工場の規模にもよるが、一日当たり数十トンから数百トンになる場合もある。難分解性物質を含んだこのような廃水を迅速かつ安全に処理する技術が求められている。

本研究はこのようなニーズに答えるためのものであり、水中キャビテーションと放電プラズマを併用することによって、水中に効率よく OH ラジカルを生成させて水質浄化を行おうとするものである。これまでのプラズマを用いた水質浄化に関する研究では、水中に外部から原料ガスを供給してプラズマ生成とラジカル生成をアシストするか、あるいは、水中に直接高電圧パルスを印加する方法などがとられてきた。一方本研究では、リアクタ内に高速で処理水を流すことによって、リアクタ内に多量のキャビテーションバブルを発生させ、そのバブルによって放電プラズマの発生をアシストする。水中に溶存したガスによるバブルのため外部ガス供給源が不要である。処理装置の構成は主に、リアクタ、ポンプ、高電圧電源の3つからなっており、オゾンを使った処理方法と比べると構成がシンプルであり、コストを削減することができる。また、キャビテーション放電によって生成される OH ラジカルに加え、マイクロバ

ブル消滅時の急激な圧力変化によって発生する衝撃波によって、プランクトンなどの大型の微生物を物理的に処理する効果も期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の3点である。

(1)「ワンパス処理」(処理リアクタを一度通過させるだけで目的の処理をする)を可能にするための設定条件を見つける。

(2) OH ラジカル生成量の定量化を行い、OH ラジカルの生成効率を明らかにする。

(3) 大腸菌 (K12 株) の殺菌メカニズムを調べる

3. 研究の方法

図1は実験装置の構成図である。装置は主に、処理リアクタ、処理水循環ポンプ、処理水槽、プラズマ生成のための高電圧電源で構成されている。処理水量は2000mL、循環流量は20L/minに設定した。処理リアクタ内にはノズルがとりつけられ、そのノズル先端から水流に沿ってキャビテーションバブルが発生する。キャビテーションバブルが発生しているところにステンレス製の電極が設置されており、それに高電圧電源から交流高電圧が印加され、プラズマが生成される。

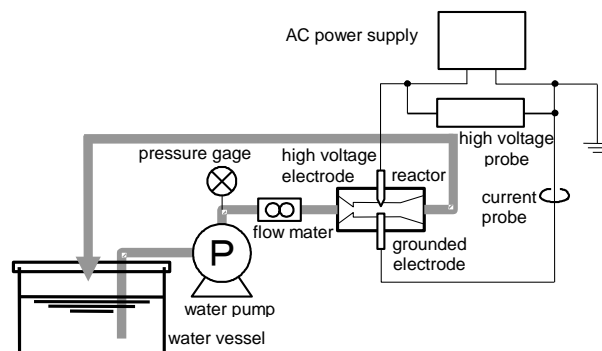


図1 実験装置構成図

殺菌実験では、大腸菌として K12 株が使用された。菌の生存率と DNA 損傷の測定がされた。また、テレフタル酸ナトリウムを使った OH ラジカルの定量測定がなされた。

4. 研究成果

図2はテレフタル酸を使った OH ラジカルの定量測定結果である。処理時間(プラズマ生成時間)

の増加に伴って濃度が増加していることが分かる。12 秒の処理時間で約 5 μ M, 24 秒で約 10 μ M の濃度になった。

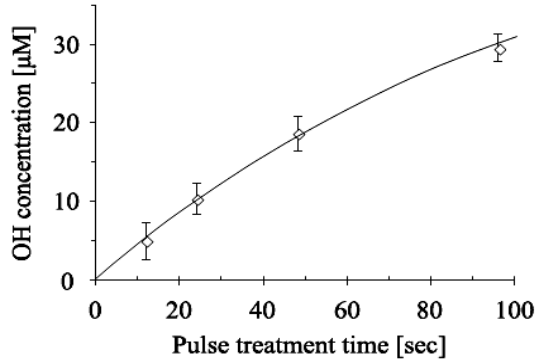


図 2 OH ラジカルの定量測定結果

図 3 は、1 対電極の場合の、処理時間に対する大腸菌生存率の結果である。30 秒の処理時間で、生存率は 10%以下になっていることが分かる。

一方、図 4 は 5 対電極の場合の生存率の結果である。この場合、30 秒の処理で生存率は 1%近くまで減少していることが分かる。この実験条件では、6 秒および 18 秒の処理時間は、処理リアクタの通過回数が 1 回と 3 回に相当する。6 秒の処理時間では生存率は約 17%であり、18 秒では生存率は約 3%となった。このときのプラズマへの投入電力は 50W であった。この結果を考慮すると、15 対 (=5 \times 3) 電極を用いればパス数 1 回で 90%以上の殺菌率が得られ、投入電力は約 150W と推測できる。この結果から、キャビテーション・プラズマ併用方式を用いたワンパス処理に関する基礎的な知見が得られた。

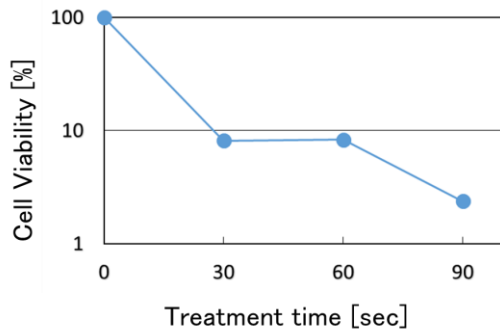


図 3 処理時間に対する大腸菌の生存率 (1 対電極)

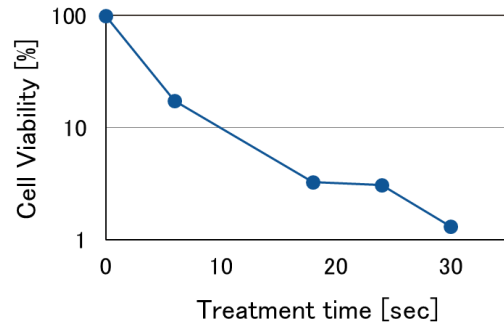


図 4 処理時間に対する大腸菌の生存率 (5 対電極)

図 5, 6 に、LC-MS による 5-OHdC, 8-OH-dG の検出結果と抽出された DNA の損傷収率の結果を示す。この結果から、プラズマへの投入エネルギーの増加に伴って DNA 損傷が増加し、その損傷は OH による酸化損傷であることが分かった。

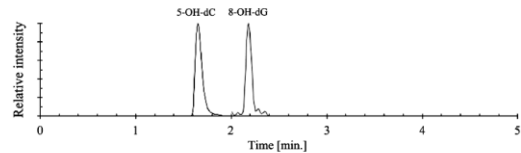


図 5 LC-MS による 5-OHdC, 8-OH-dG の検出

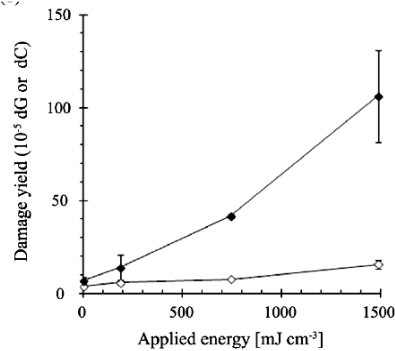


図 6 投入エネルギーに対する DNA 損傷収率

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- [1] Ken-ichi Kudo, Hironori Ito, Satoshi Ihara and Hiroaki Terato: “Oxidative DNA damage caused by pulsed discharge with cavitation on the bactericidal function”, Journal of Physics. D: Applied. Physics. 48 (2015) 365401 (12pp), Vol. 48, 365401 (12pp)

[2] Ken-ichi Kudo, Hironori Ito, Satoshi Ihara, Hiroaki Terato: “Quantitative analysis of oxidative DNA damage induced by high-voltage pulsed discharge with cavitation”, Journal of Electrostatics, Vol. 73, 2015, pp. 131–139.

[学会発表] (計 8 件)

- [1] 徳山由佳、工藤健一、境智弘、伊藤博則、猪原哲、寺東宏明: 「水中放電プラズマによる酸化 DNA 損傷と突然変異」, 日本環境変異原学会第 45 回大会 (2016 年 11 月 17-18 日, つくば)
- [2] 境智弘, 猪原哲, 徳山由佳, 寺東宏明: 「水中キャビテーション・放電プラズマ併用型リアクタによる殺菌特性について」, 電気学会プラズマ・パルスパワー・放電合同研究会, PST-16-108, PPT-16-88, ED-16-204 ページ: pp. 1-4(2016 年 10 月)
- [3] 吉田祐紀, 境智弘, 猪原哲, 寺東宏明: 「水中キャビテーション・放電プラズマ併用型リアクタの水処理効果の改善について」, 電気学会プラズマ・パルスパワー・放電合同研究会, PST-16-119, PPT-16-99, ED-16-215 ページ: pp. 55-59 (2016 年 10 月)
- [4] 境智弘, 吉田祐紀, 猪原哲: 「水中キャビテーション場における放電生成の基礎的特性」, H28 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会 巻: 講演番号 6-E-p1-1 (2016 年 9 月)
- [5] 吉田祐紀, 境智弘, 猪原哲: 「水中キャビテーション放電の発光分光測定」, H28 年度電気学会基礎・材料・共通部門大会 巻: 講演番号 6-E-p1-2 (2016 年 9 月)
- [6] 境 智弘, 吉田 祐紀, 猪原 哲: 「キャビテーション・放電プラズマ併用型リアクタにおける処理水の導電率ば影響」, 電気学会プラズマ・放電・パルスパワー合同研究会, PST-15-61, ED-15-81, PPT-15-94 巻: 電気学会プラズマ・放電・パルスパワー合同研究会資料 ページ: pp. 25-30 (2015 年 10 月)
- [7] 猪原 哲: 「水中キャビテーション・放電プラズマ併用方式による殺菌効果とそのメカニズムについて」, 電気学会プラズマ・パルスパ

ワー・放電合同研究会, 電気学会プラズマ・パルスパワー・放電合同研究会資料, PST-14-87, PPT-14-71, ED-14-157 ページ: pp. 77-83 (2014 年 5 月)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

猪原 哲 (IHARA SATOSHI)
佐賀大学・工学系研究科・准教授
研究者番号: 90260728

(2) 研究分担者

寺東 宏明 (TERATO HIROAKI)
佐賀大学・総合分析実験センター・准教授
研究者番号: 00243543