

パルス放電プラズマを用いた活性炭装荷平板型リアクタによる水処理特性

Water Treatment Characteristics of Pulsed Discharge Plasma using Activated Carbon-loaded Flat Plate Reactor

○松藤誉、金丸真子、古木貴志、立花孝介、市來龍大、金澤誠司
大分大学 理工学部

論文要旨

本研究では、放電プラズマによる水処理において、既存の水処理でよく使用されている活性炭を導入した活性炭装荷平板型リアクタを開発し、脱色時間やエネルギー効率 G_{50} の検討を行った。その結果、放電プラズマと活性炭の併用をそれぞれの単独処理と比較し、より速やかな脱色の実現及び相乗効果が確認された。また、大気圧放電プラズマ処理の際に発生するオゾンをも有効活用するためリアクタを密閉したところ、リアクタを開放した場合より性能が向上した。放電プラズマと活性炭やオゾンを組み合わせたことが有用であることがわかった。

キーワード：パルス放電プラズマ、水処理、活性炭

1. はじめに

現在、世界中で生活排水や有機染料などによる水質汚染が重大な問題になっている。そのため、水処理技術の重要性が高まっている。しかし、既存の水処理方法ではコストが高い、難分解性物質が処理できないなどの問題点がある[1]。これらの問題を解決するために我々の研究室では、環境負荷が少なく、処理能力の高い放電プラズマによる次世代の水処理リアクタの開発を行ってきた。これまでのところ、内部構造の自由度が高く、大容量化が比較的容易である平板型リアクタを開発した[2]。しかしながら、現状の平板型リアクタでは脱色時間やエネルギー効率 G_{50} [g/kWh] (脱色率 50%における単位エネルギー当たりの分解量) に改善の余地がある。

本研究では、脱色時間やエネルギー効率 G_{50} を向上させるために既存の水処理でよく使用されている活性炭を放電プラズマ内に導入した活性炭装荷平板型リアクタを開発し、放電プラズマと活性炭との相乗効果を研究した。さらに、放電プラズマ部分が大気に開放されている本リアクタを密閉用カバーで覆い、プラズマにより生成したオゾン等を含むガスを有効活用するための検討も行った。

2. 実験装置および実験方法

今回開発した活性炭装荷水処理リアクタの概略図を図 1 に示す。装置は活性炭装荷平板型リアクタと貯水槽から構成される。貯水槽にある処理溶液は、送液ポンプで上部の流水供給部に送られ、そこに開けられた 10 個の穴 (直径 2 mm、18 mm 間隔) から吐出され、金属平板の流路 (幅 180 mm、長さ 300 mm) を流れる。線電極 (直径 0.2 mm、タングステン製) は、金属平板からギャップ長 10 mm で保持し、6 本または 12 本の線電極に高電圧パルス電源(末松電子、MPC 3010S-50SP) よりパルス高電圧を印加することで線電極と平板電極上を流れる流水間に放電を発生させた。また図 1 に示すように平板電極表面には、粒状のヤシ殻活性炭を 180×20 mm の帯状に 2 mm 間隔で 12 ヶ所担持した。活性炭の装荷量は約 25g である。放電条件は、ピーク電圧 21 kV、パルス幅 100 ns、繰り返し周波数 100 pps とした。処理溶液には濃度 30 mg/L のインジゴカルミン水溶液を使用し、処理溶液量は 500 mL とした。また、送液ポンプによる処理溶液の循環流量は 1、400 mL/min とした。

脱色実験では、活性炭装荷したリアクタと活性炭を装荷していないリアクタでの放電プラズマによる水処理および放電していない活性炭単独による水処理を連続 4 回の繰り返し行い、各処理毎のインジゴカルミン水溶

液の脱色率を測定し、エネルギー効率 G_{50} を評価した。3つの処理を比較して、活性炭装荷リアクタの相乗効果を検討した。さらに、リアクタを図2のようにカバーで密閉して、オゾンの有効活用を図った。

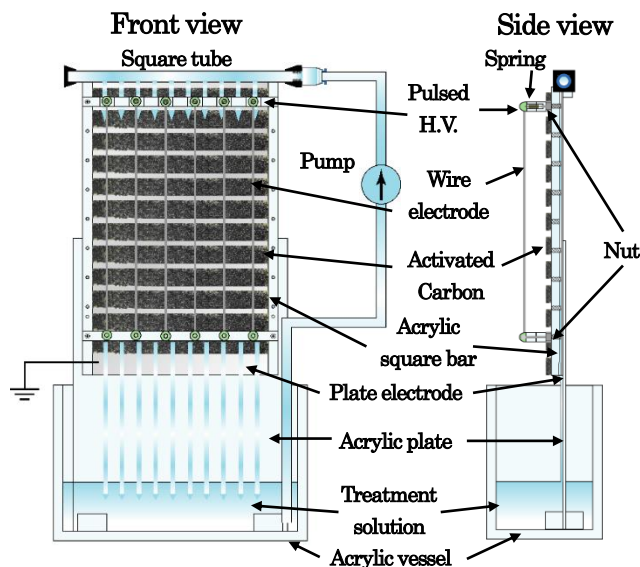


図1 活性炭装荷平板型リアクタ

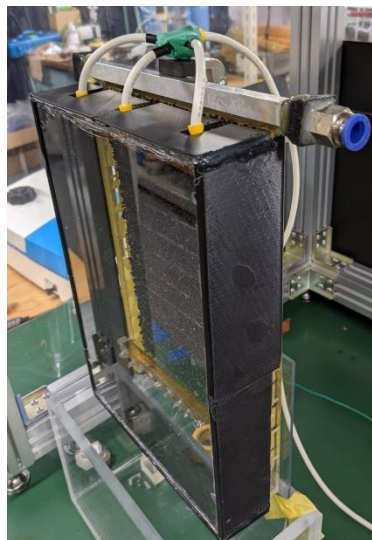


図2 放電部を覆ったリアクタの様子

3. 実験結果と考察

図3にプラズマ単独処理 (Plasma)、単独処理 (Ac)、プラズマと活性炭の複合処理 (AcPlasma) におけるインジゴカルミン水溶液の脱色率を示す。それぞれ比較すると、複合処理が脱色完了までの時間が最も短く、放電プラズマと活性炭の相乗効果により、それぞれの単独処理を合算した場合より脱色性能が高いことがわかる。

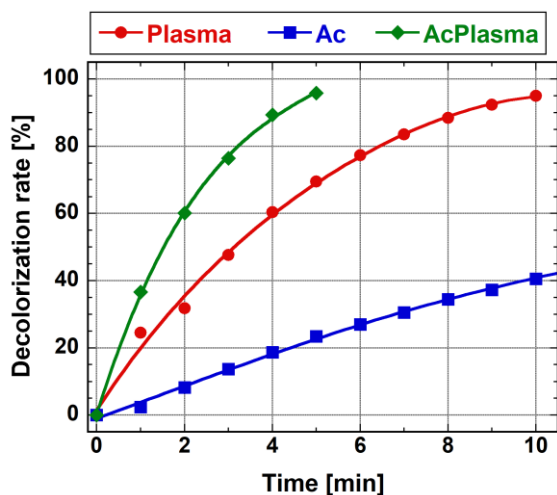


図3 インジゴカルミン水溶液の脱色率の比較

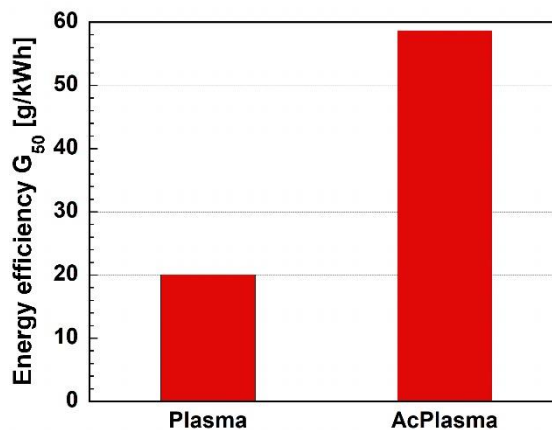


図4 プラズマ単独処理とプラズマと活性炭の複合処理によるエネルギー効率 G_{50} の比較

図4にプラズマ単独処理、放電プラズマと活性炭の複合処理のエネルギー効率 G_{50} を示す。 G_{50} の値はプラズマ単独処理では 21.1 g/kWh 、複合処理では 58.7 g/kWh となり、約3倍のエネルギー効率の向上が確認され、放電プラズマと活性炭を組み合わせることが有用であると考えられる。

また、図 1 のリアクタの線電極を 6 本から 12 本にした場合、さらに図 2 に示すようなカバーによる密閉時と開放時の脱色率の比較を図 5 に示す。同じ線電極の本数間で脱色率を比較した場合、開放から密閉することで脱色完了までの時間が 2 分短縮された。一方、線電極の本数で比較した際は脱色完了までの時間は同じであったが、線電極を増やした場合には脱色速度の向上が確認された。

図 6 に各線電極の条件とリアクタの密閉状況によるエネルギー効率 G_{50} [g/kWh] の比較を示す。線電極 6 本ではリアクタを密閉することで G_{50} が 31 g/kWh 上昇し、線電極 12 本では 24 g/kWh 上昇した。このことから、大気圧放電プラズマによって発生するオゾンリアクタの密閉によって活用できることが有効であると考えられる。線電極の数を増やすと脱色までの時間は短縮されるが、エネルギー効率は少し低下している。さらに、リアクタ密閉時に印加電圧 21 kV で 5 分間放電させたときのオゾン発生量をオゾン検知管によって測定したところ、線電極 12 本では 70 ppm、線電極 20 ppm 発生していることがわかった。

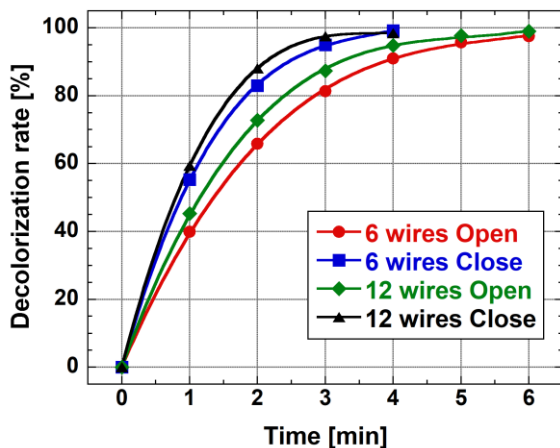


図 5 線電極の本数とリアクタの開放・密閉による脱色率への影響

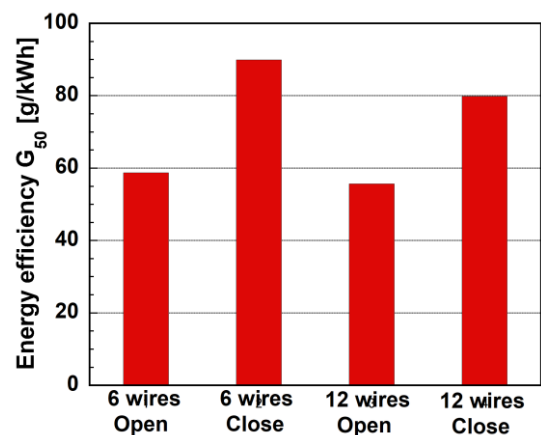


図 6 線電極の本数とリアクタの開放・密閉によるエネルギー効率 G_{50} への影響

4. まとめ

放電プラズマリアクタ内に活性炭を導入することで、2つの相乗効果によって単独処理よりも高い脱色速度を得ることが可能となった。また、エネルギー効率 G_{50} での比較より、活性炭装荷平板型リアクタはプラズマ単独処理よりも約 3 倍の値を達成できた。これは、活性炭が処理水に含まれる非処理対象分子を吸着する特性によって放電プラズマによる促進酸化処理が効率的に行われたためと考えられる。また、リアクタの密閉による排出されるオゾンの活用も脱色速度の向上に有効であり、大気圧放電プラズマ処理によって発生するオゾンが無駄にせず活かせる可能性があると考えられる。これらの結果より、活性炭やオゾンなどの既存技術を放電プラズマと組み合わせることが有用であるとわかった。今後はさらなる最適化を目指していきたい。

参考文献

- [1] G.T. Miller, S.E. Spoolman, 最新環境百科, 丸善, pp. 539-569, 2016.
- [2] 松藤誉, 金丸真子, 古木貴志, 立花孝介, 市來龍大, 金澤誠司, パルス放電プラズマを用いた活性炭装荷平板型リアクタによる水処理特性, 第45回静電気学会全国大会, 24aB-10 2021年9月24日, オンライン開催.