

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	多並列水中気泡内プラズマを用いた有機フッ素化合物の大容量分解処理に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	大保勇人
Author(English)	Hayato Obo
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9777号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:安岡 康一,千葉 明,中出 雅彦,藤田 英明,竹内 希,金澤 誠司
Citation(English)	Degree; Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9777号, Conferred date:2015/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	電気電子工学	専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	大保 勇人		指導教員（主）： Academic Advisor(main)	安岡 康一	
			指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	竹内 希	

要旨（和文 2000 字程度）

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「多並列水中気泡内プラズマを用いた有機フッ素化合物の大容量分解処理に関する研究」と題し、体内蓄積性難分解有機物質である有機フッ素化合物を気泡内プラズマにより無害化する手法について述べた。

第1章「緒論」では、代表的な有機フッ素化合物であるペルフルオロオクタン酸 (PFOA)、ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) の排出源、環境への残留性、長期暴露による体内蓄積性や毒性等について示すとともに、有機フッ素化合物の世界規模での法的規制について述べ、我が国における処理施設の状況と PFOS 含有消火薬剤のオンサイト分解処理が急務であることを明らかにし、必要とする処理条件について述べた。

第2章「有機フッ素化合物分解の研究動向」では、PFOA、PFOS の分解研究例を分解手法、分解過程、分解効率等について詳細に調べて分解エネルギー効率と処理容量の関係としてグラフ化し、本研究の目標は分解容量、エネルギー効率ともに従来方式を上回る値であることを定量的に示した。

第3章「各種実験装置・計測装置」では、水中に含まれる有機フッ素化合物の分解用プラズマリアクタ、プラズマ生成用気泡制御装置と制御用ソフトウェア、電源装置等について述べるとともに、液体クロマトグラフ質量分析計を始めとする液中分解副生成物の定量計測手法の詳細について述べた。

第4章「気液界面プラズマの基礎特性とプラズマによる有機フッ素化合物の分解」では、水中気泡内交流プラズマの基礎特性について述べ、針一水面の電極構造における陰極降下電圧値は液体陰極の場合で 505 V となり、金属電極における値である 300~354 V を上回ることで、ガス温度は 2000 K 前後となること、さらにプラズマによる有機フッ素化合物の分解特性を明らかにした。また従来の直流プラズマリアクタではプラズマ安定化に必要なバラスト抵抗損失が極めて大きく、分解速度の向上と高エネルギー効率の両立は困難で、実用化を妨げる要因であることを述べた。

第5章「多並列プラズマリアクタによる有機フッ素化合物分解のシステム評価」では、実用化に必須の大容量処理と高エネルギー効率を両立した分解処理を実現すべく、21 個のプラズマをキャパシタバラスト方式で交流並列駆動する PFOS 分解システムを開発したと述べ、実際に濃度 50 mg/L の PFOS 溶液 1 L の分解処理を行い、20 時間で 98% の PFOS を分解し、分解エネルギー効率は他研究を上回る 4.39 L/kWh を達成したことから、大容量処理可能な高効率の PFOS 分解システムの開発に成功したと述べた。

第6章「水中気泡内プラズマのモデル化と回路シミュレーション」では、21 並列プラズマによる PFOS 分解処理をモデル化する第一段階として、非線形負荷である 21 並列水中気泡内プラズマをモデル化すべく、複数のプラズマ間の電圧電流特性の偏差を実データを元にモデルに組み入れた結果、実際の電圧電流特性を良く模擬することに成功し、非線形性とプラズマ間偏差を考慮した実用的なプラズマモデルを完成させたと述べた。

第7章「PFOS 分解の電源回路・プラズマ・液中化学反応連成シミュレーション」では、第6章で述べた 21 並列プラズマモデルを用いて PFOS 分解過程のシミュレーションを可能にする方法について述べ、プラズマ処理に特徴的な PFOS 分解反応を考慮し、分解副生成物の反応経路を定量的に明らかにする手段としてフィッティングパラメータである反応係数 α 、 β を導入した。その結果、プラズマによって分解される PFOS の約 38% が分解副生成物を経由すること、分解副生成物の分解速度は PFOS の約 50% であることを反応係数 α 、 β のパラメータフィッティングから導出することに成功し、プラズマによる PFOS 分解過程を初めて定量的に明らかにしたと述べた。

第8章「結論」では、本研究で得られた結果を総括した。

以上のように本論文はオンサイト分解が可能な PFOS 分解システムとしてキャパシタバラストを持つ 21 並列プラズマリアクタを開発し、他の研究例よりも高い分解容量と分解効率を達成したことを示すとともに、非線形素子である水中気泡内プラズマを回路要素でモデル化する手法を用いて PFOS 分解システムのシミュレーションモデルを構築し、PFOS 分解反応モデルから従来未解明であったプラズマによる PFOS 分解過程を定量的に明らかにした。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 電気電子工学 専攻
Department of
学生氏名： 大保 勇人
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員(主)： 安岡 康一
Academic Advisor(main)
指導教員(副)： 竹内 希
Academic Advisor(sub)

要旨(英文 300 語程度)
Thesis Summary (approx.300 English Words)

Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) is widely used in industrial and commercial products such as foam in fire extinguishers and coating agents for semiconductors owing to its chemical stability and physical characteristics. However, PFOS is remarkably stable and remains in the environment. Moreover, PFOS cannot be decomposed by conventional methods such as the advanced oxidation process that uses hydroxyl radicals. Although PFOS is decomposed by incineration, only a handful of incineration facilities exist in Japan. Therefore, onsite disposal method is strongly required to treat PFOS solution in a fire-extinguishing agent. This thesis reports on PFOS decomposition using multiple plasmas generated in gas bubbles for a scalable water treatment.

Ballast capacitors were used to generate multiple plasmas, and a 1-L PFOS solution was treated by 21 ac plasmas. In 1200 min, 96% of PFOS was successfully decomposed with the mass balance of fluorine reaching 90% or more over time. The decomposition energy efficiency and scalability were significantly improved compared with those of the conventional dc plasma method using a ballast resistor and other chemical methods. The exhaust gas from the reactor was recirculated through treatment holes to reduce the gas-consumption flow rate to approximately 10% that of conventional systems. Furthermore, a plasma model using circuit elements such as a diode, an ideal switch, and a resistance was developed for circuit simulation with the combination of the power circuit and plasma reactor. Additionally, a PFOS decomposition system by plasmas was experimentally modeled using the reaction rate constant between the plasma and an organic substance involved in PFOS. In the result, the decomposition reaction process of PFOS using the plasmas was quantitatively verified by a simulation model with the combination of the power circuit and plasma reactor.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).