

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：56302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14886

研究課題名（和文）マイクロバブルプラズマを用いた船舶ビルジ水処理装置の開発

研究課題名（英文）Development of a ship bilge water treatment system using microbubble plasma

研究代表者

佐久間 一行 (Sakuma, Ikko)

弓削商船高等専門学校・商船学科・助教

研究者番号：10779896

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、船舶において船底に溜まった油分を含む汚水であるビルジ水に含まれる油分の分解処理を目的とした液中プラズマ実験装置の開発を目的とした。液中プラズマとは、水中内に気泡を形成し、その気泡内部で大気圧プラズマを生成する技術であり、これまでに水質浄化処理の研究が行われるなど着目される技術である。

本研究では、液中プラズマによる油分を模擬した炭化水素の分解実験を行い、これまでに水中に含まれるデカンの分解処理を行った。また、処理量を増大するために電極の開発も行い、二次元メッシュ電極での放電に成功し、実験装置の開発として一定の成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船舶内において船底に貯まるビルジ水は、吸い上げタンクに貯蔵される。ビルジ水は、油分が多いため、分離・濃縮され焼却などの処理がなされるが、船底に貯まる水のため不純物も多く、場合によっては、界面活性剤などの影響で乳化するため、処理工程にさらにフィルタ処理などが必要となる。

本研究では、これらの複合した処理にたいして、プラズマの熱による分解処理をタンク内で実施することを目的とし、船内での処理項目の削減への貢献を目指した。本研究の成果では、水中の油分の分解または界面活性剤を含む水内での分解など限定的な条件ではあるが、タンク内でプラズマ形成を行うことによる分解処理の実現可能性があることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：This study is about the decomposition of oil in bilge water, which is the waste water containing oil accumulated at the bottom of a ship. The purpose of this study is to develop an experimental device for in-liquid plasma processing. In-liquid plasma is a technology to generate atmospheric pressure plasma in bubbles in water. This technology is attracting attention for its use in water purification and treatment research. In the present study, hydrocarbon decomposition experiments were conducted by using in-liquid plasma to simulate oil content, and the decomposition experiments of the decane contained in the sample was carried out. In addition, two-dimensional mesh electrodes were developed to increase the processing capacity, and the electrodes were successfully discharged to increase the processing capacity of the decomposition process. As a result of the development of the equipment, certain results were obtained.

研究分野：プラズマ理工学

キーワード：液中プラズマ ビルジ水処理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、MLC2006 条約によって船舶内において、限られた空間・労働力を効率よく割り当て、航行する必要から、船舶内作業の高効率化が求められている。中でも、廃油の焼却処理には多くの労働力が割かれており、廃油の発生量を削減する技術の開発が求められている。また、船舶からの排水ビルジ水中の油分濃度は、環境保護の観点から、15ppm 以下とされる。ビルジ水とは、船底に溜まる汚水で、その性質から水分中に一部油分が混じる状態であり、廃油のように焼却処理するためには油水分離処理を行う必要がある。そのため、ビルジ水は、油水分離させた後に、水分を排水し、油分を焼却するが、界面活性剤などが含まれて乳化した場合、分離に別途フィルタを要する。また、最近、環境保護の観点から、燃料由来の大気汚染に対して、削減の議論も起きているなど、効率化ならびに環境保護に対してそれぞれ解決すべき課題がある。

一方、近年、電気工学の分野であるプラズマの船用機器への応用研究が進められており、バラスト水の殺菌処理にプラズマを使用した機器が開発、販売されている。プラズマ応用の中でも、真空機器を必要としない低コストな大気圧プラズマの研究は広く国内外で行われているが、特に水中気泡中に形成される液中プラズマ(In-liquid plasma)が昨今注目されている。図 1, 2 に液中プラズマの生成過程並びに分解反応モデルの概略図を示す。液中プラズマは、従来水を絶縁破壊させる水中放電に比べ、液中に挿入した気泡の中でガスを放電させてプラズマを生成する。このため、放電に必要な電圧は数 kV 程度まで下げることが可能となり、かつ、プラズマによって生じる活性種はガスを変えることで制御することができる利点がある。この性質を利用して、液中プラズマによる活性種を用いた水質浄化研究が行われている[5]。しかし、複数種の油分などの物質が混じるビルジ水や乳化した油水の分解処理をプラズマを利用して行う研究は国内外で未だ行われていない。

2. 研究の目的

船舶では、船底に溜まった油分を含む汚水であるビルジ水を油水分離し、油分濃度を 15ppm 以下にして排水、油分の焼却処理がされている。しかし、特に油水分離が容易でない乳化したビルジ水処理には、船員、船社の多くの時間、労力およびコストが割かれている。

そこで、本研究では、乳化したビルジ水も含めて直接ビルジ水の分解処理を目指した液中プラズマ処理実験装置の開発および処理技術の開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 液中プラズマ発生装置の開発：

本研究は、ビルジ水などの油水を取り扱うための実験装置の開発から着手した。基本的な原理はアーク放電を液体中の気泡内で生じさせることであり、このため、電極として対向棒電極を使用するなどし、放電試験を実施した。

(2) 液中プラズマを利用したビルジ水模擬分解実験の実施：

液中プラズマを安定し長時間放電するための試験放電に加え、ビルジ水に含まれる油分の模擬材料としてアルカンの一種であるデカン($C_{10}H_{22}$)の分解実験を行った。

4. 研究成果

(1) 液中プラズマ発生装置の開発：

実験装置の構成図を図 1 に示す。反応容器下方より気体を注入することで電極間が気泡に包まれる。プラズマ生成電源にはハイボルトパルス電源(最大印加電圧 V_{pp} : 10 [kV], パルス半値幅: ~ 5 [μs], 周波数: 10 [kHz])を使用しており、電極間に気泡が到達した際に放電が生じ、液中プラズマが生成される。電極にはタングステン棒材(直径 1 [mm])が使用されており、周囲はセラミック管で覆われている。放電試験では、純水を使用し、放電ガスにはアルゴン(Ar)ガスを使用した。

放電試験は電極間距離、ガス流量を変更し行い、電極間距離 0.5 [mm]およびアルゴンガス流量 $1[L \cdot min^{-1}]$ の際に安定して放電を継続できることが明らかとなった。放電試験による液中プラズマの様子を図 2 に示す。この発光に対して発光分光計測を実施し、液中プラズマ内に生じる励起した物質の同定を行った。図 3 に発光分光計測結果を示す。Ar に由来する Ar I の原子線スペクトルおよび、水素原子の線スペクトルのバルマー系列である H_{β} (486.13 [nm]), H_{α} (656.28 [nm])および、酸素原子の線

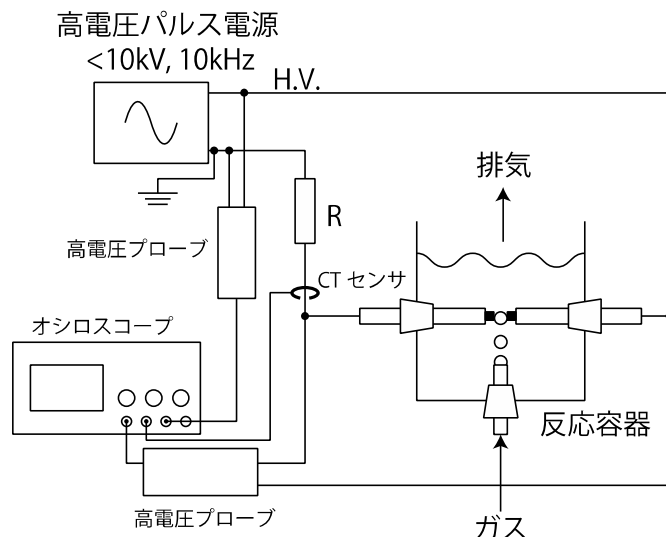


図 1 液中プラズマ実験装置概略図

スペクトル(844.63 [nm]), OH ラジカル(309 [nm]付近)が観測されていることから,容器内の水も放電によって電離されていることがわかる。

基礎的な放電試験に加え,海水の混入を模擬した 3.5wt%NaCl 水溶液中での放電試験および,界面活性剤の一種であるドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム(ソフト形)を 0.05%溶解させた水溶液中での液中プラズマの放電試験を実施し,いずれも電極間距離 0.5 [mm]およびアルゴンガス流量 1[L min⁻¹]の装置配置において,電極間印加電圧 V_{pp}:2 [kV]程度での放電に成功した。放電時には,発光分光計測によっていずれも溶解させた溶質に含まれる Na 由来の Na I(589.59 nm)の発光が観測された。

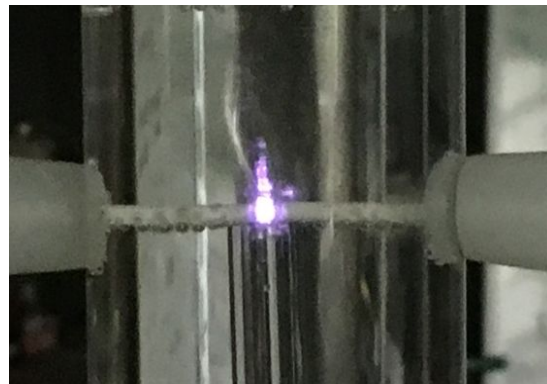


図 2 放電中の電極付近の写真

(2) デカン分解実験

本研究で開発した液中プラズマ実験装置を用いて,ビルジ水に含まれる油分の分解模擬実験を行った。実際の船舶内のビルジ水は極めて多様な成分で構成されており,単純化することは困難であるが,石油に由来する成分が油分としては主となる。そこで本研究では,石油に含まれかつ,比較的入手しやすいデカンを分解実験の試料として使用した。

まず,デカン単体での液中プラズマによる分解実験を行った。液中プラズマの放電による熱の影響などでデカンが分解されることが発光分光計測による C2 結合の Swan Band の観測より明らかとなった(図 4)。反応後は,ススが堆積する。これらをラマン分光計測などで調査した結果,非結晶性の炭素の塊であることが明らかとなった。この堆積物の量つまり,液中プラズマ実験装置によるデカン分解処理量は約 4 [mg h⁻¹]である。なお,本研究で使用した液中プラズマは直径 1 [mm]の電極が 0.5 [mm]の電極間距離でもって対向するため,生成されたプラズマが液面と接する面積は小さく,電極間の円筒状の空間の表面積と見積もると 1.57 × 10⁻⁶ [m²]程度であるが,仮にこれらのプラズマを大面積化することで得られる見積もりは,プラズマの表面積が 1 [m²]まで向上させると処理量は単純に考えると 2.5 [kg h⁻¹]になる。

また,水にデカンを添加した条件においても分解実験を行った。この実験では Ar 流量を 2.0 [L min⁻¹]で行った。発光分光計測の結果を図 5 に示す。これによると,デカン単体での分解実験の際に観測された C2 結合による発光帯である Swan Band が観測されたため,分解することが可能であると考えられる。

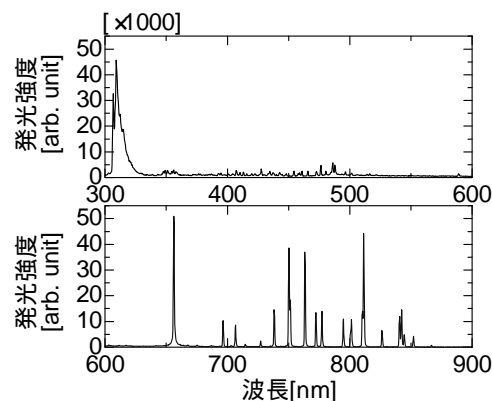


図 3 液中プラズマの発光分光計測結果

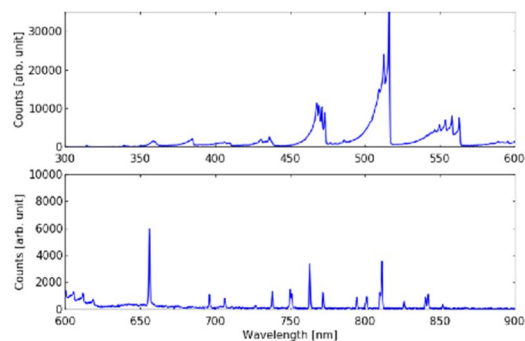


図 4 デカン分解実験時の発光分光計測結果: 450nm–630nm 付近の発光帯が C2 結合による Swan Band

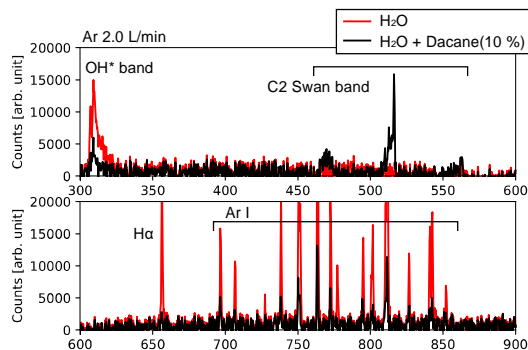


図 5 デカンおよび水の混合液体の分解実験における発光分光計測結果:黒線がデカンおよび水,赤線は水のみ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 佐久間一行	4. 巻 41
2. 論文標題 船舶ヒルジ水処理に向けた液中プラズマ実験装置の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 弓削商船高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 7-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 佐久間一行
2. 発表標題 弓削商船高専における船舶油処理に向けた液中プラズマ装置の開発
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐久間一行
2. 発表標題 弓削商船高専商船学科における液中プラズマを用いた船舶油分解実験について
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会第36回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikko Sakuma
2. 発表標題 Solidification of Oil-in-water by using In-liquid Plasma Treatment
3. 学会等名 The 4th International Conference on "Science of Technology Innovation"（国際学会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----