

《様式B》

研究テーマ 「プラズマ処理を用いた潤滑油の長寿命化に関する研究」

研究責任者 所属機関名 大同大学

官職又は役職 講師

氏名 宮本 潤示

メールアドレス j-miya@daido-it.ac.jp

共同研究者 所属機関名 大同大学

官職又は役職 准教授

氏名 坪井 涼

(平成30年度募集) 第31回 助成研究 完了報告書

上記様式記載後

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要 (1,000字程度)

※産業技術として実用化の可能性や特許出願 (予定も含む) の有無についてもご記載ください。

【実施概要】

本研究では、潤滑油を用いた金属の2面間における低摩擦係数の長期間の維持を目標とし、プラズマ処理が潤滑油に与える影響を実証した。

現在、持続的にCO₂の排出を下げ続け、エネルギーを長く大切に使うため自動車に使用する内燃機関の効率50%以上を早期に達成すべく国内で多くの研究が行われている。世界的に見ても内燃機関のエネルギー変換効率を高める研究が盛んに行われている。エネルギー変換効率を高める一つの方法として、エネルギーロスを削減することが考えられる。そのエネルギーロスの原因の一つに摩擦による損失がある。このため、自動車に限らず多くの機械部品には摩擦を低減するために潤滑油を使用している。潤滑油は使用と共にいずれ劣化が必ず起き、摩擦が増加してしまう。これまで申請者は切削油中に含まれるバクテリアのプラズマ滅菌の研究を行う過程で、プラズマ照射した切削油がプラズマ照射していない切削油より長期間低摩擦係数を維持することを見出した。この作用は鉱物油や合成油を基油とした潤滑油にも起こることが期待される。このため、本研究では潤滑油にプラズマ処理を行い、(図1)、その潤滑特性を明らかとした。

【研究成果】

以下に研究の成果をまとめる。

- (1) プラズマ処理された劣化した切削油では、プラズマ処理されていない劣化した切削油より摩擦係数、比摩耗量が減少した。このことよりプラズマ処理に潤滑性を改善させることが期待される。
- (2) プラズマ処理をすることで劣化した切削油の疎水性が向上した。
- (3) プラズマ処理をすることで劣化した切削油の吸着エネルギーが向上した。
- (4) 大気圧プラズマおよび液中プラズマを用いて劣化した切削油中に含まれるバクテリアを90%

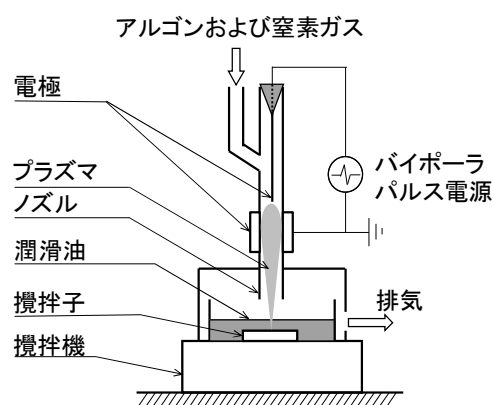


図1 潤滑油のプラズマ処理

以上減少させることに成功した。

【今後予想される効果の概要】

本研究では切削油にプラズマ処理をすることで、切削油中のバクテリアの滅菌およびその潤滑特性の向上を見出した。この研究がさらに進むことで潤滑油のメンテナンスとして本技術を応用でき、廃棄される潤滑油が減少されることが期待される。処理方法の見直しをすることで、より大量で処理時間が短時間の潤滑油の処理方法を開発でき、このことにより実用化の可能性が期待される。特許出願は、研究論文発表の兼ね合いにより現在のところ未定であるが、前向きに検討している。

2. 実施内容および成果の説明 (A 4 で、5 ページ以内)

1. 諸 言

1883年にF.W. Taylorが切削点に多量の水を注ぐと切削速度を従来よりも30~40%上げることが出来ることを実験にて証明し、その結果、機械加工で寸法精度の向上、切削力の低減などの経済性、安全性を重視した切削油の需要が拡大してきた。

切削油の需要が拡大してきた反面、廃油処理が環境問題になっている。切削油は年間13万kL製造されその中の5万kLが水で希釈し使用される。平均希釈倍率15倍として見積もれば水溶性・不水溶性と合わせて83万kLもの廃油が排出されている事となる。これに関連して、近年では切削油を使用しないドライ切削の研究が注目を集めている。このドライ切削の方法では断続的に切削をする方法や、熱や耐摩耗性に優れる硬質薄膜を製膜する方法など多くの方法が提案されているが、いまだ切削油を使用した結果に及ぶものはなく、実用化されていない。すなわち、切削油の使用はセミドライ切削を含めて大部分の切削で行われている。

切削油を長期間使用すると腐敗し、劣化するため、廃油処理を行うことになる。この切削油の腐敗原因に切りくずの混入、他油の混入などの原因があるが、一番の原因がバクテリアによる切削油の劣化分解であり、バクテリアの処理が問題となっている。そこでバクテリアを滅菌する方法として大気圧プラズマを用いて滅菌する方法を新しく提案する。プラズマは環境に優しく、低エネルギーで処理時間が短いため、本研究に適すると考えられる。しかし、プラズマを用いて切削油中のバクテリアを滅菌した例は報告されておらず、その基本的な特性や有効性は明らかにされていない。

本研究では大気圧プラズマが切削油およびバクテリアに与える影響を明らかにし、また液中プラズマの滅菌効果および潤滑特性に与える影響を明らかにした。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置

本研究で用いた実験装置をFig.1(a), Fig.1(b), Fig.1(c)に示す。(a)の装置は二股に分かれたガラス管の上部よりタングステン製の円筒状の電極を差し込み、ガラス管の中心で固定するためにゴム栓を用いた。他方よりArおよびN₂ガスを流入させた。接地された電極はガラス管の外周に銅テープで巻きつないだ。(b)は紫外線を切削油に照射する装置である。(c)は、切削油中に電極を挿入し、切削油中でプラズマを発生させる装置である。

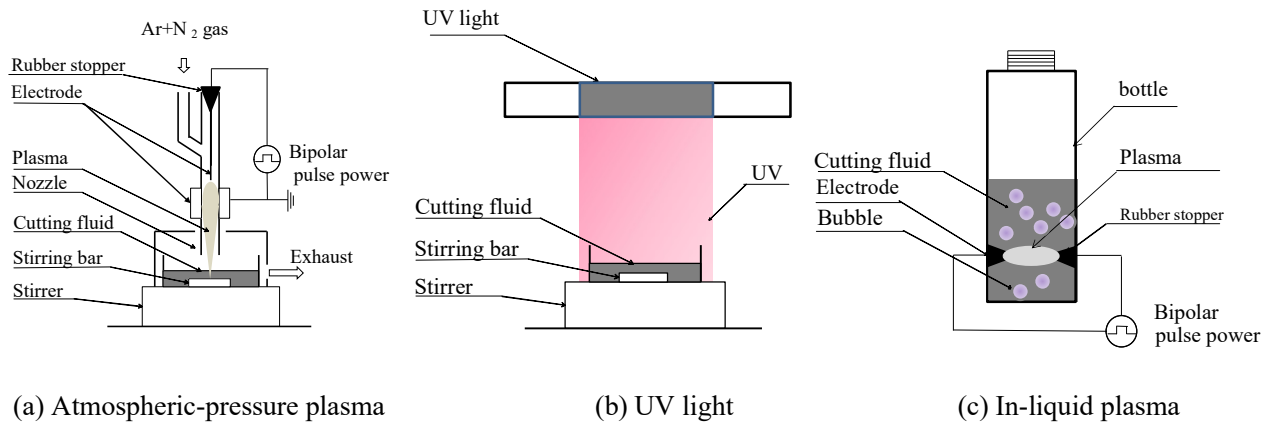


Fig.1 Experimental Apparatus

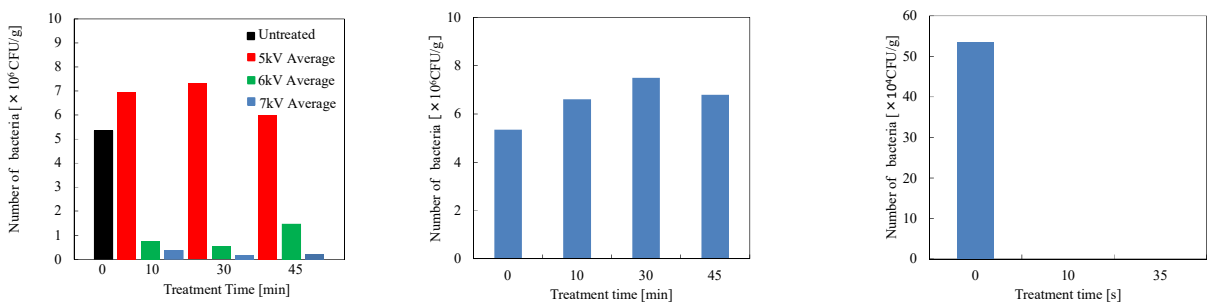
2.2 実験方法および評価方法

本実験では水溶性の切削油を 20ml 用いた。大気圧プラズマ装置を用いた実験では、Ar+N₂ プラズマを用いて使用済み切削油にそれぞれプラズマを 10 分、30 分、45 分と照射し、電圧を 5kV、6kV、7kV と変化させ、コロニー数を比較した。バクテリアは O₂ を栄養源とし繁殖する種も存在するため、実験を行う前に N₂ を 5 分間容器内に流して置換した。切削油の温度は熱電対で計測した結果全て常温であった。また、ノズルの先端から切削油の液面までの距離を 1mm とした。流量は Ar ガスを 10slm、N₂ ガスを 0.2slm で一定とした。紫外線照射装置を用いた実験では、紫外線ライトで切削油中のバクテリアを滅菌した。処理時間および処理前の N₂ パージを大気圧プラズマ実験と同様に行い、切削油表面と紫外線ライトの距離を 1mm とした。液中プラズマ実験では、電圧を 5kV、処理時間を 10 秒、35 秒とし電極間距離を 1mm として実験を行った。切削油中のコロニー数の評価はフィルム培養を用いて行った。また、プラズマ中の励起された原子や分子などを OES により分析を行った。摩擦摩耗試験機は、オプチモール社のボールオンディスク型 SRV 試験機を用いた。ボールは Si₃N₄、ディスクは SUJ2 を使い、振幅 1mm、周波数 50Hz、荷重 50N、摺動時間 30min、切削油量 100μl で評価を行った。ぬれ性を調べるために接触角を、吸着エネルギーを調べるために滑落試験を行った。切削油量は 1μl とし、SKH51 試験片に滴下し、1s 後の接触角を調べ、滑落試験は 0° から切削油を滴下した試験片を傾け、切削油が落下する角度を調べた。

3. 実験結果

3.1 実験処理後の切削油中のコロニー数

Fig.2にコロニー数の比較を示す。(a)に電圧5kV、6kV、7kV の大気圧プラズマを10min、30min、



(a) Atmospheric-pressure plasma

(b) UV light

(c) In-liquid plasma

Fig.2 Number of colony

45min照射した結果を、Fig.2(b)に紫外線ライトを用いて紫外線を照射した結果を、Fig.2(c)に液中プラズマを発生させた結果を示す。大気圧プラズマを切削油に照射した結果、5kVではコロニー数の減少が確認出来なかったが、6kV、7kVでは時間の経過と共にコロニー数の減少が確認された。このことから、電圧を増加させる事で滅菌効果が向上し、短時間で滅菌可能であることが明らかとなった。本研究では10分で9割以上のバクテリアの滅菌に成功した。しかし、紫外線ライトを切削油に照射した結果、実験後のコロニー数が増加した。この結果より、本研究において滅菌効果は、紫外線によるものではなく、イオンおよびラジカルによる化学的または物理的な滅菌であると考えられる。液中プラズマを10s、35s切削油に照射した結果、元の53万コロニーから共にコロニー数が0となった。液中プラズマは、沸騰した際に生じる泡の中に形成されると考えられる。つまり熱とプラズマの相乗効果により滅菌されるため、他の滅菌方法よりも高い効率で滅菌されたと考えられる。

3.2 プラズマの分光結果

Fig.3 にプラズマ分光結果を示す。N₂ プラズマ中に O や O₂ のピークが検出されなかったが、OH や NO のピークが検出された。

また、7kVでは6kV、5kVに比べて発光強度の値が高く、電圧が高くなるほど全体的に発行強度が増加した。このことから7kVでは6kV、5kVに比べてプラズマ密度が高いことが考えられる。一般的に電圧が高いほど電極間の粒子の運動エネルギーが増加する。すなわちこの結果は、電圧の値が高いことに起因する。紫外線の発光(200-300nm)ピークが観測された。その中で殺菌作用が高いとされる260nm付近の発光ピークが特に大きかった。

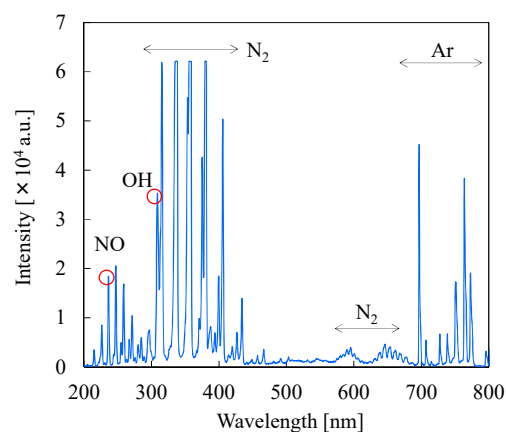


Fig. 3 Optical emission spectra of the atmospheric-pressure plasma

3.3 大気圧プラズマを照射した切削油における摩擦係数の変化

Fig. 4に未使用、使用済み（プラズマ未処理）および使用済み切削油に大気圧プラズマ処理を行った切削油の摩擦係数を示す。未使用の切削油を用いたとき、700秒程度まで摩擦係数0.1を保ったが、使用済み切削油では150秒程度で摩擦係数が増加した。しかし、使用済み切削油にプラズマ処理した液体では低摩擦係数を400秒程度まで維持した。このことからプラズマ照射をすることで使用済みの切削油の摩擦特性が改善されたと考えられる。

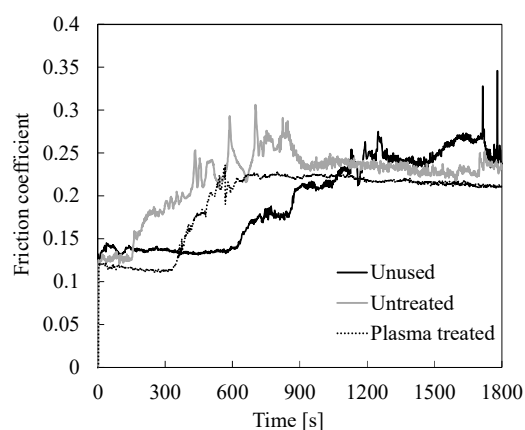


Fig. 4 Friction coefficient

3.4 比摩耗量の比較

Fig. 5に未使用、使用済み、使用済み切削油に大気圧プラズマ処理をした切削油および使用済み切削油に液中プラズマ処理をした切削油の比摩耗量を示す。使用済みの切削油は未使用の切削油に比べて2倍程度の比摩耗量が増加していたが、大気圧プラズマおよび液中プラズマを用いて処理をした

切削油はプラズマ処理をしていない切削油に比べて比摩耗量が減少した。

Fig. 6 に未使用，使用済み，使用済み切削油に大気圧プラズマ処理をした切削油および使用済み切削油に液中プラズマ処理をした切削油のぬれ性を示す。未使用の切削油の接触角は 37° であったが，使用済み切削油の 31° と減少していた。しかし，各プラズマ処理をした切削油の接触角は $45^\circ \sim 47^\circ$ と増加する傾向が見られた。

Fig. 7 に未使用，使用済み，使用済み切削油に大気圧プラズマ処理をした切削油および使用済み切削油に液中プラズマ処理をした切削油の滑落角を示す。未使用の切削油の滑落角が 28 度であったのに対し，使用済みの切削油は 9 度と大きく滑落角が減少した。しかし，プラズマ処理を行った切削油は滑落角が 20 度程度と改善する傾向が見られた。このことからプラズマ処理をすることにより吸着エネルギーが増加したと考えられる。

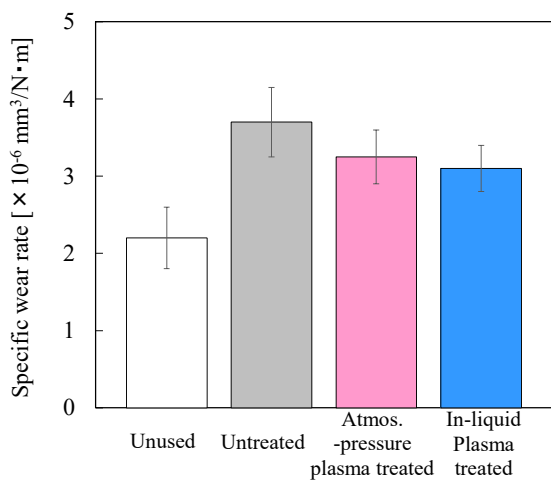


Fig. 5 Specific wear rate

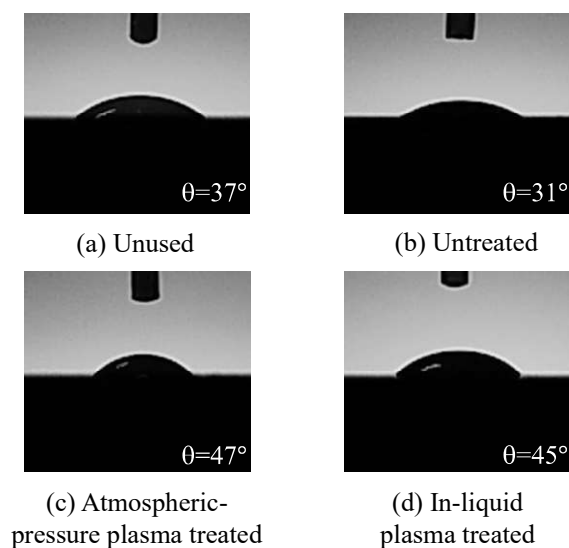


Fig. 6 Comparison of wettability

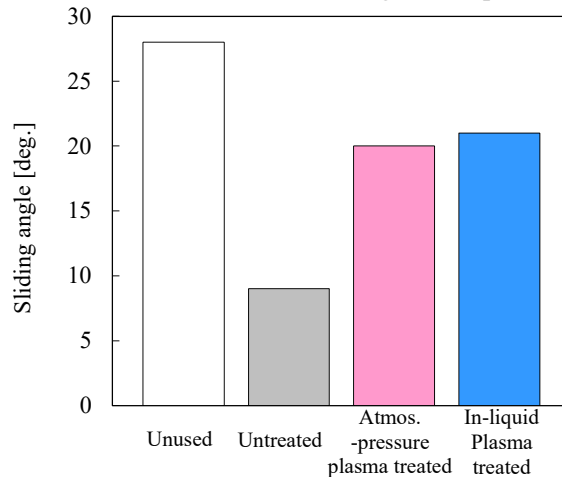


Fig. 7 Comparison of sliding angle

4. 結 言

本研究では大気圧プラズマが切削油およびバクテリアに与える影響を明らかにし，また液中プラズマの滅菌効果および潤滑特性に与える影響を明らかにした。以下に結言を示す。

(1) プラズマ処理された劣化した切削油では，プラズマ処理されていない劣化した切削油より摩

擦係数, 比摩耗量が減少した. このことよりプラズマ処理に潤滑性を改善させることが期待される.

- (2) プラズマ処理をすることで劣化した切削油の疎水性が向上した.
- (3) プラズマ処理をすることで劣化した切削油の吸着エネルギーが向上した.
- (4) 大気圧プラズマおよび液中プラズマを用いて劣化した切削油中に含まれるバクテリアを 90% 以上減少させることに成功した.