

令和 4 年 5 月 2 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14639

研究課題名(和文)潤滑添加剤含有微小液滴生成と交流電場によるしゅう動面への選択的輸送技術の開発

研究課題名(英文)Development of lubricant additives delivery system with microdroplet using AC electric field

研究代表者

村島 基之(Murasima, Motoyuki)

名古屋大学・工学研究科・助教

研究者番号：70779389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本年度の研究では、2 mLのPAO4中に5  $\mu$ LのPG(ポリプロピレングリコール)を滴下した二液混合潤滑油を用いて、電場を印加した状態でしゅう動試験を実施した。その結果、印加電圧が0 Vから100 Vまでは印加電圧の増加に伴い摩擦係数が0.065から0.052まで最大20%低下することを明らかにした。一方で、100 V以上の電場印加においては、印加電圧の上昇と共に摩擦係数も増加することが明らかになった。具体的には、1000 Vの電圧印加に摩擦係数は、電圧を印加していない状態と同じ0.065を示すことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電圧を印加することによる二液混合潤滑油の低摩擦化メカニズム解明のために、ガラス面を通した摩擦面その場観察を実施した。その結果、電圧を印加しない条件ではPGが摩擦面に進入しない一方で、最も摩擦係数低減効果が大きかった100 Vの電荷印加条件においては、PG潤滑油がローラー試験片の全面を覆っている様子が観察された。結論として、本研究における電気泳動現象を利用した摩擦係数低減技術は、潤滑性に優れた境界潤滑膜の被覆面積を誘電泳動により増加させることにより発現するというメカニズムが解明された。これは、微量の潤滑油を用いることで十分に摩擦を低減させるグリーントライボロジー技術の発展に貢献する技術である。

研究成果の概要(英文)：In the present study, a two-phase lubricant consisting of 2 mL of PAO4 and 5  $\mu$ L of polypropylene glycol (PG) was used for friction tests under the application of an electric field. The results showed that the coefficient of friction decreased by up to 20% from 0.065 to 0.052 as the applied voltage increased from 0 V to 100 V. On the other hand, the friction coefficient increased with increasing applied voltage when the electric field was applied above 100 V. Specifically, the coefficient of friction was found to be 0.065 at a voltage of 1000 V, the same as when no voltage was applied.

研究分野：トライボロジー

キーワード：二液混合潤滑油 誘電泳動 境界潤滑 交流電場

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究は、環境負荷の小さい機械潤滑システムの実現のために、微小液滴を用いた潤滑添加剤の選択的輸送技術の開発を目的とする。通常の機械においては、潤滑油中に分散された反応性の添加剤により摩擦・摩耗特性の改善が図られている。一方でこれらの添加剤は、環境負荷の大きい化学物質を含む、または工業的にコストの増加を招く場合が多く使用量の低減が急務である。また、既存の金属材料に適した添加剤が新材料である DLC (ダイヤモンドライクカーボン) 膜に対して異常摩耗を引き起こすことも報告されている。そこで本研究では潤滑油中に潤滑剤添加剤からなる微小液滴を形成し、それを必要部位へ選択的に輸送する技術を開発する。

### 2. 研究の目的

研究の背景を踏まえ本研究では、潤滑添加剤からなるまたは添加剤を含有する微小液滴を形成し、それを必要部位へ選択的に輸送する技術を開発する。これにより、必要十分量の添加剤を接触面に確実に輸送する技術の開発により、革新的な少量添加剤潤滑システムの開発に貢献する。具体的には、交流電場をしゅう動 2 面間に対して印加することで、潤滑剤微小液滴を誘電泳動現象により目的のしゅう動面へ輸送する。本研究では、交流電場を用いた微小液滴のしゅう動 2 面間への誘引手法開発、微小液滴のしゅう動 2 面間への侵入挙動解明、表面エネルギー制御による低摩擦化・潤滑物質吸着の達成など、機械工学・トライボロジー・化学分野において重要な学術的知見を明らかにする。

### 3. 研究の方法

本研究では、一般的な潤滑油中に異なる潤滑作用を有する添加剤を滴下し、それを誘電泳動によりしゅう動面へ誘引するという新しい能動的潤滑システムの開発に挑戦した。具体的には、基油としてポリアルファオレフィン (PAO4) を用い、添加剤としての潤滑油に良好な境界潤滑特性を示すポリプロピレングリコール (PG) を用いた。

この実験においてはまず、2 mL の PAO4 潤滑油中に 5  $\mu$ L の PG 液滴を滴下した。その後、摩擦試験の開始に合わせローラ型試験片とディスク試験片間に電圧を印加し、電界強度が大きくなるローラ試験片とディスク試験片の接触部への PG 油滴輸送実験を実施した。ここでは、ローラ試験片には曲率半径 2.5 mm の SUJ2 ローラを用いた。また、ローラ試験片には、ガラス基板上に導電性を有する透明 ITO 膜を貼り付け、さらにその上から薄膜ガラスを張り付けることによりディスク試験片を作成した (図 1)。これは、SUJ2 ローラと接触する絶縁体部を薄くすることで電界強度を増加させるための工夫である。加えて、透明 ITO フィルムを用いることにより、ディスク試験片裏面からの光学顕微鏡を用いた、潤滑油挙動の摩擦時 in-situ 観察を可能とした。ここで摩擦試験条件は、荷重 0.49 N、印加電圧 0 - 1000 V、しゅう動速度 70.4 mm/s、環境温度を 23 度として実施した。摩擦試験中は、ガラスディスクの裏面からしゅう動面をその場観察し、電場印加の有無や強弱により PG 油滴がどのような挙動を示すかを撮影した。また、別の実験においては、添加剤として固体潤滑材の二硫化モリブデン ( $\text{MoS}_2$ ) 粒子を PG に分散させた微小液滴を PAO4 潤滑油中に滴下した条件での実験を実施した。

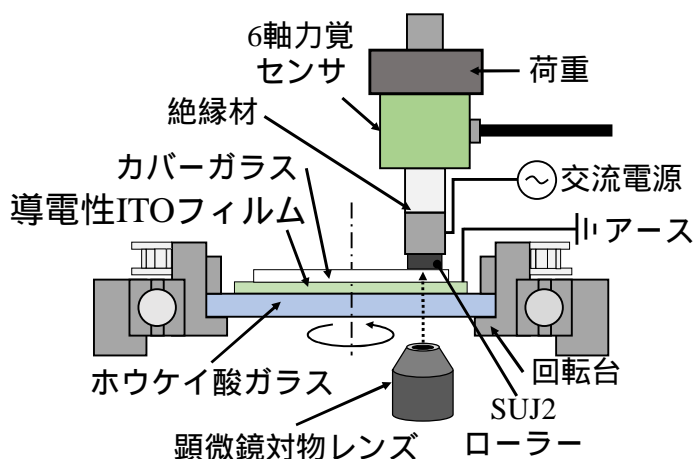


図 1 本研究で開発した電界印加を可能とする摩擦面その場観察試験装置

### 4. 研究成果

本研究では、2 mL の PAO4 潤滑油中に 5  $\mu$ L の PG を滴下した二液混合潤滑油環境において、交流電場を印加することによる PG 油滴のしゅう動面への誘因実験を実施した。その結果、印加電圧が 0 V から 100 V まで印加電圧の増加に伴い摩擦係数が 0.065 から 0.052 まで最大 20% 低下することを明らかにした (図 2)。一方で、100 V 以上の電圧印加においては、印加電圧の上昇と共に摩擦係数も増加することが明らかになった。具体的には、1000 V の電圧印加時に摩擦係数は、電圧を印加していない状態と同じ 0.065 を示すことを明らかにした。

上述した電圧印加による低摩擦化メカニズム解明のために、ガラス面を通した摩擦面その場観察を実施した。その結果、電圧を印加していない条件(0 V)においてはPG油滴が摩擦面に進入しない一方で(図3左),最も摩擦係数低減効果が大きかった100 Vの電圧印加条件においては,PG油滴がローラ試験片の全面を覆っている様子が観察された。結論として,本研究における摩擦低減技術は,潤滑性に優れた添加剤を誘電泳動現象により接触面に誘引し,接触部における添加剤の被覆面積を増加させることにより発現するというメカニズムが解明された。本研究結果は,微量な潤滑添加剤であっても,しゅう動面に集中させることにより摩擦低減が可能であるということ,そしてしゅう動部への潤滑物質捕集制御技術の設計指針を新しく示した。

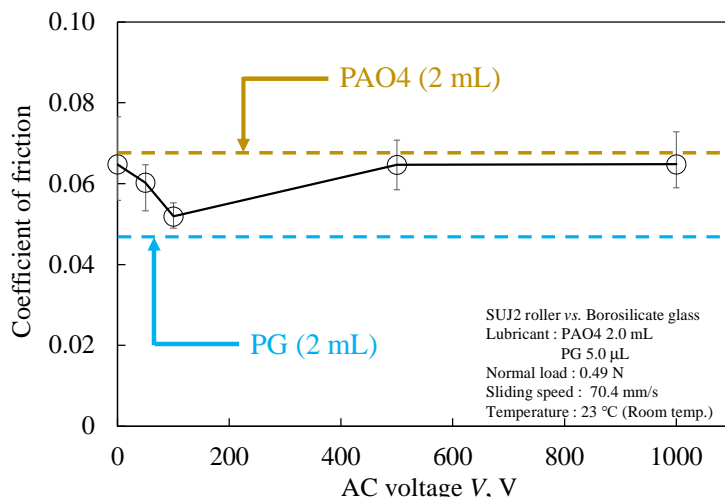


図2 電場印加による摩擦低減効果

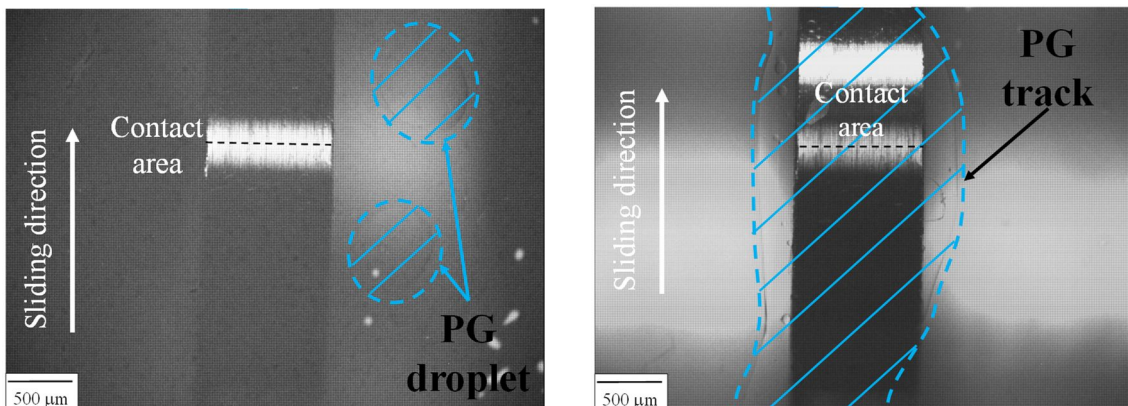


図3 PAO4潤滑油中のPG油滴の電場印加による挙動。  
左図: 電圧無印加時。右図: 100 V電圧印加時

次に,固体潤滑剤であるMoS<sub>2</sub>粒子をPG油滴に分散させた場合における,電圧印加による摩擦低減効果を図4に示す。この結果より,0.01 wt%のMoS<sub>2</sub>粒子を分散させたPG液滴条件で電場を印加した場合は,一連の実験において最も小さい摩擦係数である0.03を示すことを明らかにした。

本研究により得られた一連の結果は,電場しゅう動部に形成することで添加剤として分散させた高粘度潤滑油を接触部に効率的に捕集するという全く新しい能動的な潤滑状態制御技術の開発可能性を示した。また,本研究においては,電圧を大き

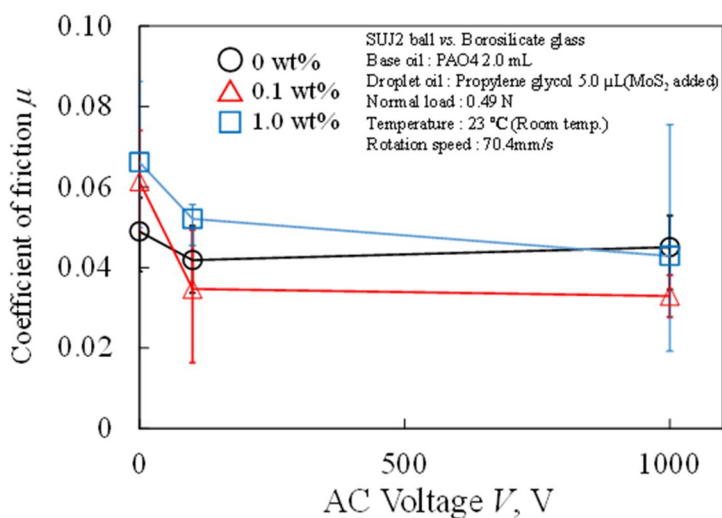


図4 MoS<sub>2</sub>粒子含有PG油滴存在下における電場印加による摩擦低減効果



くすればそれに伴い摩擦係数も低減していくという現象を当初想定していた。しかし、図2に示されたように、電圧が100 Vを超えて印加された場合には、当初の予想とは異なり摩擦係数が上昇してしまうことが明らかとなった。この現象を、本研究により開発した摩擦面その場観察装置により撮影すると、PG油滴がローラ試験片のエッジ部に強く凝集し、図5に示すように黒い点線で示された接触しゅう動部を避ける形でPGが流れることが明らかとなった。ここで、実際の電界強度の分布を有限要素法により解析したところ、印加電圧の増加と共にローラエッジ部における電界強度の勾配が急激に増大することが明らかとなった。従って、大きすぎる電圧の印加はエッジ部への油の過度な凝集を招き、接触部への油進入を阻害する作用があることを明らかにした。従って、本研究においては、添加剤の接触部への誘引作用を最大化するためには、流体抵抗、慣性力、しゅう動部品形状に依存する電界強度の分布を考慮した制御が必要であることを初めて明らかにした。

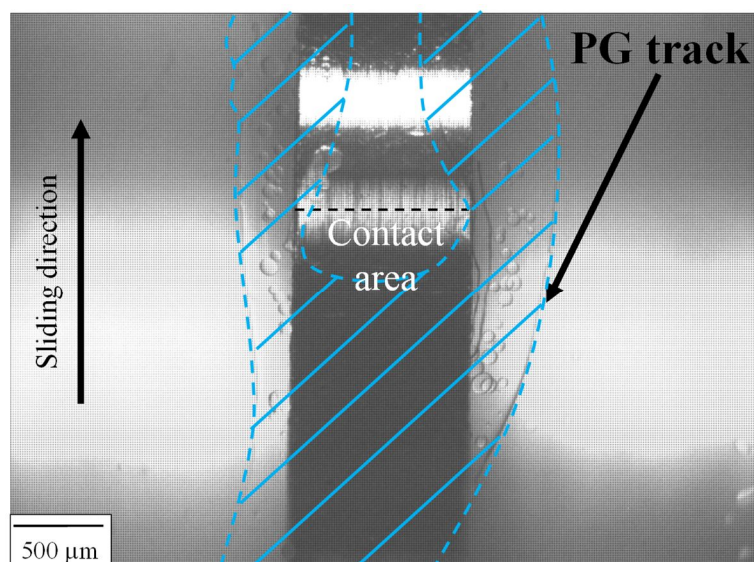


図5 1000 V印加時においてPGが接触部を避けて流れる様子

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kazuma Aono, Motoyuki Murashima, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a low friction method using dielectric migrated high-viscos oil droplet in low viscos lubricant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. Malaysian International Tribology Conference 2020	6. 最初と最後の頁 -
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 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuma Aono, Motoyuki Murashima, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of low-friction lubrication technology using an AC electric field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. The 1st Carbon2 Tribology Forum	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kazuma Aono, Motoyuki Murashima, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama	4. 巻 -
2. 論文標題 Basic study on low friction lubrication technology using dielectrophoresis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2nd KIMS-NU DLC Tribology Symposium	6. 最初と最後の頁 -
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Kazuma Aono, Motoyuki Murashima, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama
2. 発表標題 Development of a low friction method using dielectric migrated high-viscos oil droplet in low viscos lubricant
3. 学会等名 Malaysian International Tribology Conference 2020（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuma Aono, Motoyuki Murashima, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama
2. 発表標題 Development of low-friction lubrication technology using an AC electric field
3. 学会等名 The 1st Carbon2 Tribology Forum (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuma Aono, Motoyuki Murashima, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama
2. 発表標題 Basic study on low friction lubrication technology using dielectrophoresis
3. 学会等名 2nd KIMS-NU DLC Tribology Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青野和馬, 堀川慎太郎, 村瀬良, 村島基之, 梅原徳次, 野老山貴行, 李義永
2. 発表標題 交流電場を用いた高粘度油の局所保持による低摩擦潤滑技術の開発
3. 学会等名 トライボロジー会議春2021, 東京
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青野和馬, 村島基之, 梅原徳次, 野老山貴行, 李義永
2. 発表標題 誘電泳動を用いたMoS <sub>2</sub> の摩擦面導入による低摩擦技術の開発
3. 学会等名 トライボロジー会議秋2021, 松江
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青野和馬, 村島基之, 梅原徳次, 野老山貴行
2. 発表標題 油潤滑下における高粘度微小油滴の誘電泳動による低摩擦潤滑技術の開発
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2020 名古屋
4. 発表年 2020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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関