

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 24 日現在

機関番号：32660

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630041

研究課題名(和文) 電場制御による超潤滑イオン液体軸受の開発

研究課題名(英文) Electric field control of super lubrication for liquid lubricated bearing

研究代表者

佐々木 信也 (SASAKI, SHINYA)

東京理科大学・工学部機械工学科・教授

研究者番号：40357124

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：イオン液体潤滑下の固体表面間に電場を印加することにより、イオン液体を構成するアニオンとカチオンの界面存在率を制御することにより、摩擦挙動を制御することを試みた。その結果、摩擦係数は、アニオンやカチオンの大きさや構造、そしてアニオン・カチオン間の電気的相互作用力の大小によって、制御性に違いが現れることを明らかにした。イオン液体をバルク液体として浮津に用い、平板間でのマクロな摩擦においては、電場の印加により、摩擦係数を2倍に増加させることには成功したが、摩擦が大幅に低減するよつな現象は確認されていない。低摩擦を発現させるためには、最適なイオン種および摩擦形態の最適化が必要である。

研究成果の概要(英文)：We attempted to control the friction behavior by changing the interfacial abundance ratio of anions and cations constituting an ionic liquid by applying an electric field between solid surfaces under the ionic liquid lubricating condition. As a result, it was clarified that the controllability varies depending on the magnitude and structure of anions and cations, and the magnitude of the electric interaction force between anion and cation. We used ionic liquid as bulk lubricant and succeeded in doubling the coefficient of friction by application of electric field in macroscopic friction between flat plates. However, the low friction phenomenon, which has been reported in the previous research in the micro-tribology, was not confirmed in our set up. It is considered that the optimization of ion species and sliding morphology is necessary to develop friction reduction effect.

研究分野：トライボロジー

キーワード：イオン液体 電場 摩擦 ダイヤモンドライクカーボン 超潤滑 軸受 トライボロジー 吸着

1. 研究開始当初の背景

イオン液体は陽イオンと陰イオンの組み合わせからなる液体で、蒸気圧が極めて低く耐熱性に優れ、化学的に安定であるなどの特徴を有することから、様々な用途への応用が期待されている。また、「デザイナー液体」と呼ばれるように100万種を超える多様なイオン液体の合成が可能であるとされ、Liuらによる論文発表以降 [Liu ほか: Chem. Comm., 2244-2245 (2001)], 潤滑剤としての利用にも高い関心が寄せられていた。申請者はイオン液体の潤滑油への応用にあたり、早くより摺動材料との組合せに着目し [Sasaki ほか: Wear, 62, 7, 765-771(2007)], その基礎的な潤滑メカニズムの解明に取り組んできた [Sasaki ほか: Proc. IMech E, J of Tribology, 223, 1083-1090(2010)]. 研究開始当時は、イオン液体の潤滑メカニズムには表面近傍でのイオン液体の吸着構造が大きく関与することが明らかとなり [Sasaki ほか, 日本機械学会論文集 C 編, 79, 805, 3272-3284 (2013)], 表面近傍構造を制御する1つの方法として電場の利用を考案 [佐々木ほか, トライボロジー会議春予稿集, (2013)] し、特定摺動条件下で超低摩擦現象の発現 [Sasaki ほか: Proc. of the 5th World Tribology Congress, Torino, Italy(2013)] の可能性を見出した。そこで、電場制御による超潤滑イオン液体軸受の開発に取り組むこととした。

2. 研究の目的

地球環境問題を背景に機械システムのさらなる高効率化を図るため、様々な摺動部での摩擦損失を極限まで低減するための機械要素技術の開発が求められている。また、摺動環境は高温や特殊雰囲気中などの著しく過酷化が進んでおり、既存の摺動材料や潤滑剤を用いた技術改良ではなく、ブレークスルーをもたらす新しい潤滑システムの構築が強く望まれている。そこで、申請者は様々な優れた化学的特性を持つイオン液体について、その潤滑性とともに特異的な電気的特性に着目し、新しい潤滑システムへの応用を考えた。

本研究の目的は、境界潤滑下で超低摩擦特性を発揮する超潤滑イオン液体軸受の実現を目指し、外部電場による摩擦界面近傍のイオン液体構造への影響を調べ、電場による境界潤滑特性を制御するための新たな学術的基盤を築くことである。

3. 研究の方法

イオン液体を潤滑剤として用いる摩擦界面において、外部電場により表面電位を与えることにより、表面に吸着するイオン種および摩擦界面に介在するイオン液体の構造を変化させて、境界潤滑特性を制御するための基盤技術を確立する。

このため、表面近傍におけるイオン液体の分子構造に及ぼす表面電位の影響を調べるとともに、摩擦特性と分子構造との相関および吸着イオンに起因する摩擦メカニズムを解明する。また、イオン液体による境界潤滑下で十分な耐摩耗性を発揮する摺動表面材料との組み合わせを探索する。

これらの成果をもとに、電圧印加により摩擦挙動が制御可能かつ十分な摩耗耐久性を有する軸受を開発する。

4. 研究成果

(1) 電圧を印加しない状態で軸受鋼 SUJ2 同士を摩擦させた場合、摩擦表面にはアニオンが強固に吸着していることが、TOF-SIMS 分析結果より明らかとなった。これは、摩擦により鉄表面に正電荷が現れ、これに負イオンのアニオンが電気的引き寄せられたためと考察した。このようにイオン液体は、摩擦面に発生する電位との相互作用により、外部電圧を付加しない場合でも選択的な吸着膜を生成する。

(2) 鉄系材料に電圧を印加すると、一定電圧以上では表面の電気化学反応が促進される。そのため、絶縁性が高く潤滑特性に優れた DLC コーティングを試験片に採用した。電圧を印加することなく、各種構造の異なるイオン液体を用い、DLC との併用による潤滑効果を調べた。あるイオン液体の場合において、超低摩擦現象の発現が確認された。この時の摩擦面を、MALDI-TOF/MS により分析した結果、アニオンの強固な吸着が確認された。絶縁を目的とする DLC 膜は、イオン液体との組み合わせにより、摩擦特性が大きく異なることが分かった。

(3) 図1に示すボールオンディスク式摩擦試験機を作製し、摩擦面への電圧印加による摩擦挙動への影響を調べた。ボール側に電圧を印加した際の摩擦試験結果を図2、図3に示す。本実験で用いた3種類のイオン液体は、カチオンには共通の BMIM を用い、アニオンには FAP, PF6, I の3種類を用いた。電圧印加前は3種類のイオン液体は異なる摩擦係数を示したが、負電圧を印加した場合は、同程度の値まで摩擦係数は増加した。摩擦表面に負電圧を印加した場合には、同じカチオンの吸着が支配的となるため、摩擦係数も同様の値を示し、正電圧を印加した場合には、吸着したカチオンが異なるため、摩擦係数に違いが現れたものと考えられる。なお、摩擦の上昇幅は、イオン半径の大きさの順に大きくなった。大きなイオンの場合、吸着密度が下がるため、表面を保護して摩擦低減効果をもたらす吸着膜が弱くなるためと考えられる。

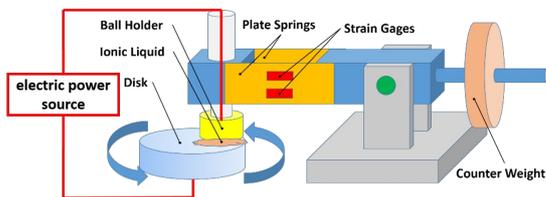


Fig. 1 Schematic of ball-on-disk sliding

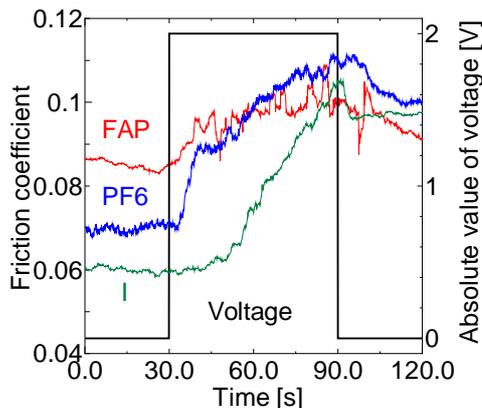


Fig. 2 Time variation of friction coefficient applying negative voltage

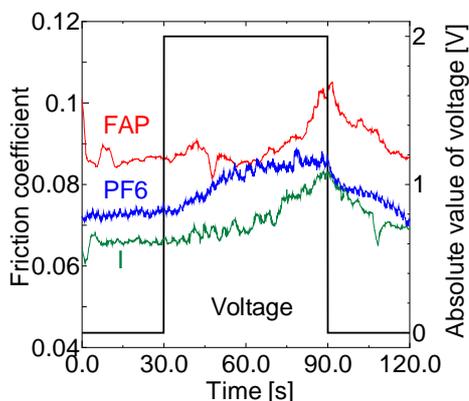


Fig. 3 Time variation of friction coefficient applying positive voltage

(4) 図4に示すような面接触型試験機を作製した。この試験機を用いて、下面のディスク側に電圧を印加し、摩擦に及ぼす電圧印加効果を調べた結果を図5に示す。なお、イオン液体は(3)で用いたものと同様のものを用いた。[BMIM][FAP]と[BMIM][PF6]を用いた場合、負電圧を印加すると摩擦係数は減少し、正電圧を印加すると摩擦係数は増加した。[BMIM][I]は逆に、負電圧を印加すると摩擦係数は増加し、正電圧を印加すると摩擦係数は減少した。摩擦面を TOF-SIMS 分析したところ、負電圧を印加した場合はカチオンのカウント比率が大きく、正電圧を印加した場合にはアニオンのカウント比率が大きくなることが確認された。[BMIM][FAP]と[BMIM][PF6]を用いた場合、表面吸着イオンの種類と量の差が摩擦に影響を及ぼしたのと考えられる。[BMIM][I]の場合は、粘度

が高いため、イオンの移動速度が遅いため、摩擦挙動に及ぼす電圧の影響が現れに難しくなると考えられる。

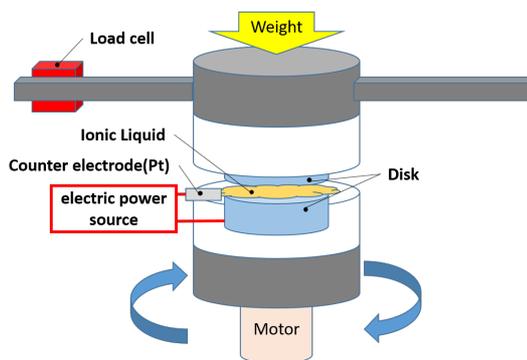


Fig. 4 Schematic of surface contact sliding

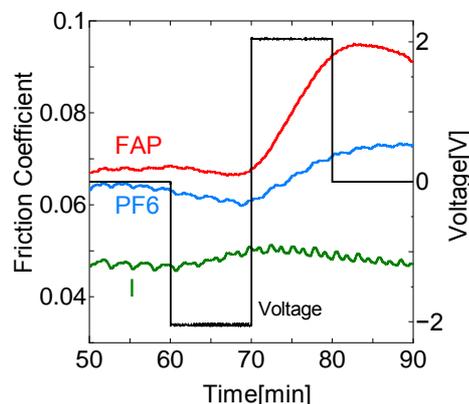


Fig.5 Time variation of friction coefficient in surface contact applying voltage

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

S. Kawada, S. Watanabe, Y. Kondo, R. Tsuboi, S. Sasaki, Tribochemical Reactions of Ionic Liquids Under Vacuum Conditions, Tribology Letters, 査読有, 54, 2014, 309-315 DOI: 10.1007/s11249-014-0342-z

S. Watanabe, M. Nakano, K. Miyake, R. Tsuboi, S. Sasaki, Effect of Molecular Orientation Angle of Imidazolium Ring on Frictional Properties of Imidazolium - Based Ionic Liquid, Langmuir, 査読有, 30, 2014, 8078-8084 DOI: 10.1021/la501099d

S. Watanabe, T. Koyama, Y. Kondo, K. Miyake, M. Nakano, S. Sasaki, R. Tsuboi, Effects of Mixing Two Ionic Liquids on Tribological Behavior of Bearing Steel, Surfactants in Tribology, Volume4, 査読有, 2014, 217-237I SBN: 9781466-

583375

H. Okubo, S. Kawada, S. Watanabe, S. Sasaki, Tribological Performance of Halogen-Free Ionic Liquids in Steel-Steel and DLC-DLC Contacts, Tribology Transactions, 査読有, in press DOI: 10.1080/10402004.2016.1272731

S. Kawada, Y. Ichise, S. Watanabe, C. Tadokoro, S. Sasaki, Tribochemical Reaction of Ionic Liquids as Lubricants on Steel Sliding Surface, Surfactants in Tribology, Volume 5, 査読有, inpress ISBN: 9781498734790

〔学会発表〕(計 43 件)

S. Kawada S. Watanabe Y. Hirata S. Sasaki, Lubricating property of cyano-based ionic liquids against hard materials, The 7th International Conference on Manufacturing Machine Design and Tribology Proceedings, 2017

S. Kawada S. Watanabe Y. Hirata S. Sasaki, Lubricating property of cyanobased ionic liquids against tetrahedral amorphous carbon film, Ecotrib2017, 2017

K. Sato H. Okubo Y. Hirata C. Tadokoro T. Fujimori K. Nakano Y. Tsujii B. Prakash S. Sasaki, Fundamental and tribological properties of thick CPB, Ecotrib2017, 2017

S. Watanabe M. Nakano K. Miyake S. Kawada C. Tadokoro S. Sasaki, Dynamic observation of ionic liquids at friction interface by Sum-frequency generation spectroscopy, 7th Australian Symposium on Ionic Liquids, 2016

S. Kawada S. Watanabe S. Sasaki, Relationship between tribo-decomposition and friction property of cyano-based ionic liquids, 7th Australian Symposium on Ionic Liquids, 2016

S. Ogawa S. Kawada S. Sasaki, Control of ionic liquid lubrication by applying electric field, 7th Australian Symposium on Ionic Liquids, 2016

S. Kawada S. Watanabe S. Sasaki, Effect of Sliding Materials on Lubricity of Halogen-Free Ionic Liquids, Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength 2016, 2016

S. Watanabe M. Nakano K. Miyake S. Kawada C. Tadokoro S. Sasaki, Effect of water mixed with ionic liquid on corrosive wear, Wear of Material 2015, 2015

S. Kawada S. Watanabe C. Tadokoro S. Sasaki, Lubricity of Halogen-free Ionic Liquids, Ecotrib2015, 2015

Y. Kondo H. Okubo Y. Teranishi, The effect of molecular structure on the tribological properties of ionic liquids against carbon coatings, Ecotrib2015, 2015

S. Kawada C. Tadokoro S. Sasaki, Tribochemical Reaction of Halogen-free Ionic Liquids including Sulfur or Phosphorus, International Tribology Conference Tokyo 2015, 2015

S. Kawada S. Watanabe C. Tadokoro S. Sasaki, Tribological Properties of Halogen-free Ionic Liquids, International Tribology Conference Tokyo 2015, 2015

S. Watanabe M. Nakano K. Miyake S. Kawada S. Sasaki, Relationship between Interfacial structures of imidazolium based ionic liquids and frictional properties, 20th International Symposium on Surfactants in Solution, 2014

S. Kawada Y. Ichise Y. Kondo S. Watanabe R. Tsuboi S. Sasaki, Tribochemical Decomposition of Halogen-free Ionic Liquids on Nascent Steel Surface, 20th International Symposium on Surfactants in Solution, 2014

Y. Ichise R. Tsuboi S. Sasaki, Lubrication mechanism of tribo-film derived from halogen-free ionic liquids, Book of Abstract of the 41th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, 2014

S. Kawada Y. Ichise S. Watanabe C. Tadokoro S. Sasaki, Lubricating Mechanism of Halogen-free Ionic Liquids, The 7th International Symposium on Surface Science, 2014

S. Watanabe M. Nakano K. Miyake C. Tadokoro S. Sasaki, Molecular behavior of water mixed with ionic liquid at ferrous material surface, The 7th International Symposium on Surface Science, 2014

その他 国内学会 26 件

〔図書〕(計 1 件)

1) 表面・界面技術ハンドブック, (株)エヌティーエス (2016)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ:

<http://www.rs.tus.ac.jp/tribolab>

6. 研究組織

(1) 研究代表者 佐々木信也 (SASAKI SHINYA)
東京理科大学工学部機械工学科・教授 研究者番号: 40357124