

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
関西大学 システム理工学部	助教	川田 将平

研究テーマ

イオン液体由来潤滑膜の形成過程に対する微量水分の影響の調査

研究報告

1. 研究の背景と目的

～イオン液体の略称～

[BMIM][DCN] 1-butyl-3-methylimidazolium dicyanamide
[BMIM][BF₄] 1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate
[BMIM][PF₆] 1-butyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate
[BMIM][FAP] 1-butyl-3-methylimidazolium tris(pentafluoroethyl)trifluorophosphate

地球温暖化問題を背景に、今まで日本は二酸化炭素の排出について、2030年までに2013年比で約26%削減するという高い目標を掲げていた。一方で、世界的にさらなる取り組みを行うため削減目標を40%に上方修正し、2050年にはカーボンニュートラルを達成すると宣言した。この目標を達成する方策として、様々なしゅう動部における摩擦損失を低減する機械要素技術の開発が行われている。機械システムにおけるエネルギー消費の約30%が摩擦損失と言われており、この損失をゼロにすることによる社会へ与えるインパクトは非常に大きい。また、この摩擦による経済損失は日本国内だけで年間17兆円と試算されており、エコノミーの観点からも解決すべき課題である。しかしながら、既存の潤滑剤や摩擦材料の長年にわたる改良の結果、これ以上の既存の物質を用いた技術改良は厳しい状況となっており、新たな潤滑剤や摩擦材料の開発が強く望まれている。

本研究において、研究者は様々な物理的・化学的特性を有するイオン液体について着目し、新規潤滑剤としての応用を考えた。イオン液体は、低融点、高い熱安定性、低蒸気圧、低粘度といったことが挙げられるが、上記の特徴をすべて有する物質は他に存在しない。また、「デザイナー液体」と呼ばれるように100万を超える多様な化学種を合成可能であり、従来の潤滑剤では成しえなかった潤滑特性が発現可能であると考えられる。研究者は、今までにイオン液体が既存の潤滑油と比較して優れた潤滑特性を示すことを明らかにしている。しかしながら、最近の研究において、大気中の水分やイオン液体中に不純物として存在する水分がイオン液体の潤滑特性に大きな影響を与えることがわかってきた。これは水分が摩擦界面に存在するイオン液体由来の潤滑膜を成長あるいは消失させることに起因している。このような理由として、潤滑特性は摩擦係数や摩耗量といったマクロに捉えられるが、その現象は摩擦界面における原子・分子レベルの挙動がすべてを支配する。したがって、摩擦界面における潤滑膜の成長は超低摩擦現象発現の鍵を握っており、このメカニズムを明らかにすることにより、二酸化炭素の排出削減目標の達成および地球環境問題の解決に貢献できると考えられる。

したがって、本研究は、分がイオン液体の潤滑特性に与える影響の調査と摩擦界面における現象を分子レベルで解析することで、イオン液体の潤滑メカニズムを解明することを目的としている。

2. 研究成果および考察

(1) 相対湿度の影響

イオン液体の潤滑特性を調査する上で、摩擦係数や摩耗量といったマクロな評価が必要である。したがって、湿度を調節できるグローブボックスを購入し、その中にマクロ摩擦試験機を組み込み、潤滑特性を評価した。また、不純物としてイオン液体中に存在する水分を除去する真空加熱炉を製作した。

図1に製作した相対湿度制御摩擦摩耗試験機を示す。この試験機は相対湿度5%～80%程度まで制御することが可能である。図2に親水性のイオン液体と疎水性のイオン液体の潤滑特性を各相対湿度雰囲気下で試験した結果を示す。親水性のイオン液体である[BMIM][DCN]および[BMIM][BF₄]においては、相対湿度が上昇することにより摩擦も上昇したことがわかる。一方で、疎水性イオン液体の[BMIM][P

F₆]においては、親水性イオン液体と比較すると摩擦の上昇は小さかった。また、イオン液体の中で疎水性が最も高いと言われている[BMIM][FAP]においては、雰囲気中の湿度が上昇しても摩擦係数には全く影響がなかったことが確認された。この結果は、親水性のイオン液体が雰囲気中の水を取り込み、摩擦界面に水が吸着することでイオン液体の潤滑膜を消失されている可能性を示唆している。実際に、飛行時間型二次イオン質量分析計を用いたところ、イオン液体由来のピークは確認されず、錆由来と考えられる酸素のピークが高く検出されることが確認されている。図3に予想される潤滑メカニズムを示す。試験球が左から右にしゅう動し、通過した左側の部分が潤滑膜となる。以上のように相対湿度が上昇すると、イオン液体が水を内部に取り込み潤滑特性を悪化させていると考えられる。

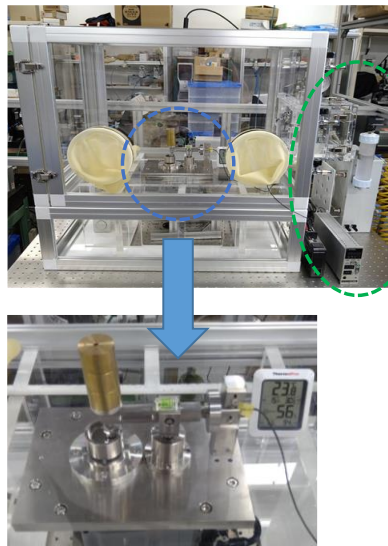


図1 摩擦摩耗試験機



(キットマイクロフィルター, AHCU-2,JP)

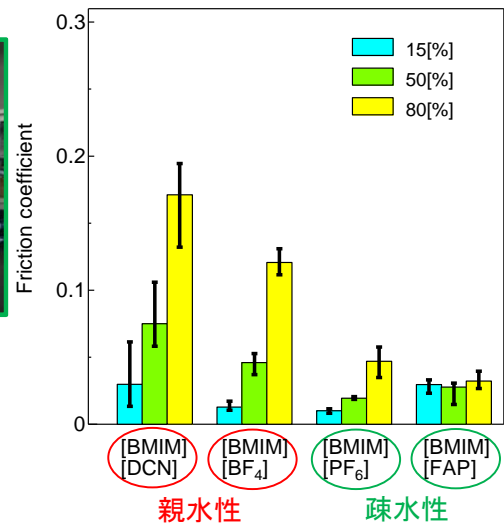


図2 潤滑特性評価

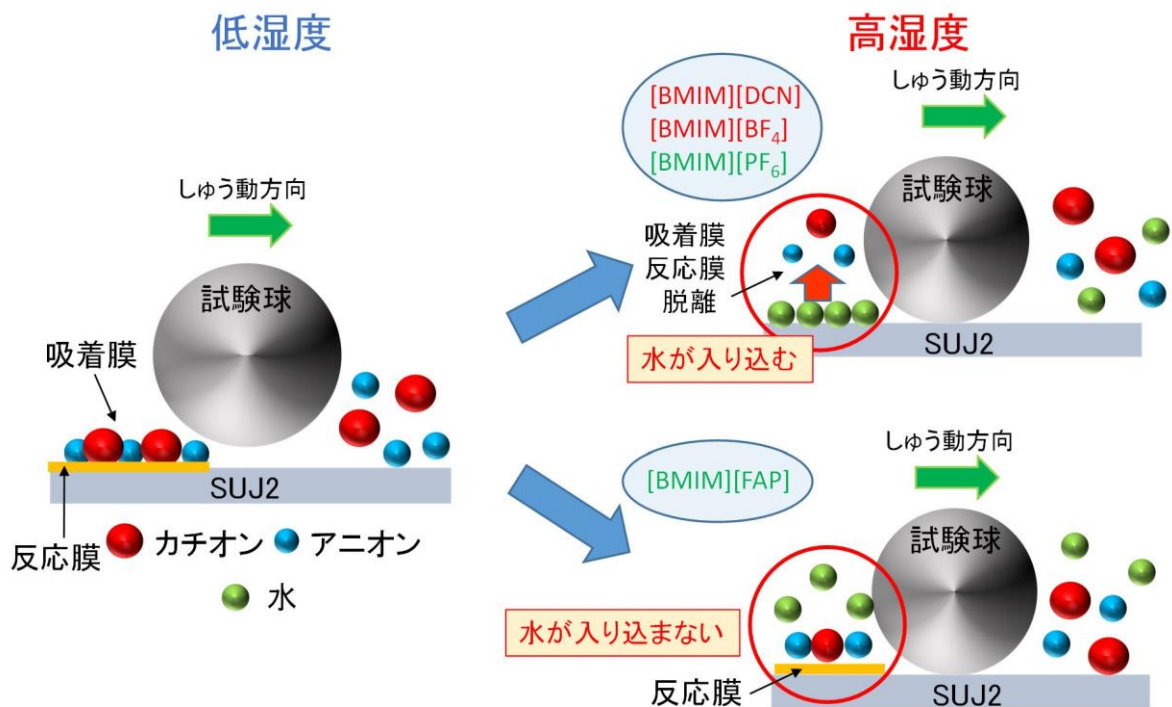


図3 予想される潤滑メカニズム

これはイオン液体に限らず、極性油のように水と親和性の高い物質は同じ現象が起きると考えられる。

3. 将来展望

本研究は、公益財団法人 八洲環境技術振興財団様の研究開発・調査助成のご支援を頂き、潤滑油が水を内部に取り込み摩擦係数を上昇させることを明らかにすることができた。一方で、水の摩擦界

面での振る舞いなどは不明であり、分光法と摩擦試験機に組み込んだ装置を設計し、水和構造の動的挙動を調査する必要がある。特に今回は相対湿度に着目していたが、水分が混ざった系での試験も必要となる。この場合は、潤滑油に溶解できる閾値を超える量の水が混入するため、異なった現象が確認されると考えられる。

また、今回は潤滑油に焦点を当てていたが、無潤滑下においてセラミックスやダイヤモンドライクカーボンのような自己潤滑性を有する物質や潤滑油を用いない固体潤滑剤に対する水和構造の影響を調査する必要がある。特に、カーボン系の材料は新規材料が日々報告されており、潤滑特性および水の影響を評価する必要がある。

4. 研究発表

<論文>

S. Kawada, S. Sasaki, and M. Miyatake, “In-situ obserbation of tribo-decomposition behavior of ionic liquids composed of phosphonium-cation and cyano-anion using quadrupole mass spectrometer”, Tribology International, 153 (2021) 106547. 謝辞有り

<解説記事>

川田将平、渡部誠也、宮武正明、佐々木信也、“微量水分がイオン液体の腐食現象および潤滑性に与える影響”、トライボロジスト、65、10 (2020) 629-635. 解説記事のため謝辞無し

<学会発表>

小林生、川田将平、宮武正明、佐々木信也、“イオン液体の潤滑性に対する相対湿度の影響”、トライボロジー会議 2020 秋 別府 (オンライン)