

# 真空環境におけるシアノ系イオン液体のトライボロジー特性

## Tribological performances of cyano-based ionic liquids under vacuum condition

九州大（学）\*郷田 琴音 関西大（非）岡 拓海 関西大（正）呂 仁国 関西大（非）小金沢 新治  
 関西大（正）谷 弘詞 九州大（正）川田 将平 九州大（正）田中 宏昌 九州大（正）八木 和行

Kotone Goda\*, Takumi Oka\*\*, Renguo Lu\*\*, Shinji Koganezawa\*\*, Hiroshi Tani\*\*,

Shouhei Kawada\*, Hiromasa Tanaka\*, Kazuyuki Yagi\*

\*Kyushu University, \*\*Kansai University

### 1. はじめに

近年、宇宙産業や半導体産業の市場規模が拡大している。宇宙機器の稼働や半導体製造時の共通点として、しゅう動部が真空環境に曝される共通点が存在している。宇宙機器においては、メンテナンスが非常に難しいことから、さらなる耐摩耗性の向上が必要である<sup>1)</sup>。また、月面ミッションなどでは、限られた資源を使用することから、摩擦によるエネルギー損失低減も求められている。半導体製造時には、リニアガイドやボールねじにおいて、高い精度を実現するため GPa オーダーの高い与圧を与えることから、摩耗の防止が必要とされている。一方で、真空環境で液体として存在することが出来る物質は数少ない。代表的な物質として、PFPE (Perfluoropolyether) や MAC (Multiply-alkylated cyclopentane) が挙げられる。しかしながら、これらの物質は耐摩耗性が低いことが挙げられる。そこで、本研究においては、新たな真空用潤滑油としてイオン液体に着目した。

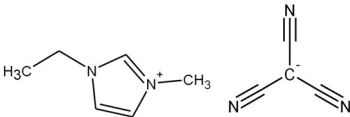
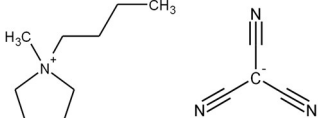
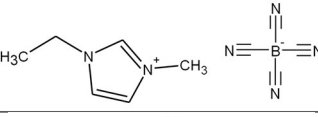
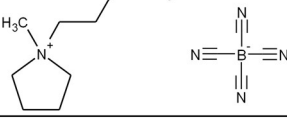
イオン液体は、カチオンとアニオンのみから構成され、液体として存在する物質である。イオン液体は高い熱安定性および難揮発性、低蒸気圧特性をもつ。一方で、イオン液体はカチオンとアニオンの組み合わせの自由度が高く、構造や性質も多様であることから、詳細な潤滑メカニズムは明らかになっていない。また、SUJ2 軸受鋼を対象とした研究報告が多く、真空用摩擦材料であるステンレス鋼などに対する潤滑特性はほとんど報告されていない。本研究では、イオン液体の中でも特に熱安定性が優れているシアノ系イオン液体を潤滑油として用い、真空中におけるステンレス鋼に対する潤滑特性を調査した。

### 2. 実験方法

Table 1 に、潤滑油として用いたシアノ系イオン液体のカチオン、アニオンの構造、および略称を示す。イオン液体は、2 種類のカチオンおよび 2 種類のアニオンを用意することで、各イオンが潤滑特性に与える影響を評価可能とした。また、比較用の液体潤滑油として、既存真空用潤滑剤である PFPE, MAC を用いた。

摩擦試験は、Fig. 1 に示す自作の真空対応型ボール・オン・ディスク型摩擦試験機を用いた。ドライポンプとターボ分子ポンプを用いた到達圧力は  $5.0 \times 10^{-4}$  Pa となる。ディスク試験片 ( $\phi$  2.4 mm,  $t$  7.9 mm, Hardness of HRC 60,  $R_a$  0.05  $\mu$ m) とボール試験片 ( $\phi$  10mm, 等級 G=28) は共に SUS440 を用いた。試験条件においては、荷重 3.5 N, しゅう動速度 52 mm/s, 温度 25  $^{\circ}$ C, 試験時間 120 分, 潤滑剤の量 30  $\mu$ L とした。摩擦試験後、レーザー顕微鏡を用いてボールおよびディスク表面の摩耗痕の様子を撮影した。

Table 1 Chemical structures and names of ionic liquids

Name	Chemical structure
[EMIM][TCC]	
[BMPL][TCC]	
[EMIM][TCB]	
[BMPL][TCB]	

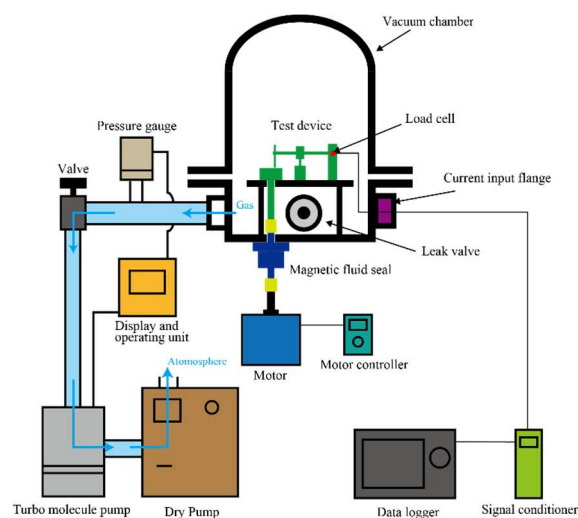


Figure 1 Schematic of ball-on-disk tester

### 3. 実験結果・考察

Figure 2 に試験時間 120 分間の摩擦係数の推移, Fig. 3 に試験終了 5 分前の摩擦係数の平均値とボール試験片の摩耗痕直径の平均値を示す。

Figure 2 の摩擦挙動の結果から, 既存の真空用潤滑油である PFPE においては, 摩擦係数が約 0.15 で常に安定した挙動を示していた。また, MAC においても摩擦挙動は安定しており, 約 0.1 程度の値を示した。イオン液体に着目すると, すべてのイオン液体がしゅう動開始直後に高い摩擦係数を示し, その後摩擦係数が数分から 20 分程度かけて低下し, 安定した挙動となった。Figure 3 の結果から, イオン液体の摩擦係数は, MAC より高い値を示した 2 種類と低い値を示した 2 種類に大別できることがわかった。[EMIM]カチオンを用いたイオン液体 2 種が高い摩擦係数を示し, [BMPL]カチオンを用いたイオン液体 2 種が低い摩擦係数を示した。次に, 摩耗痕直径の大きさについて考えると, PFPE と MAC は同程度の摩耗特性であった。摩擦係数が高かった[EMIM]カチオンにおいては, MAC と比較して 8 倍程度の摩耗痕直径を示した。一方で, 低摩擦を示した[BMPL]カチオンのイオン液体は, MAC と同程度の摩耗特性であった。

摩擦試験の結果から, [BMPL]カチオンを用いたイオン液体が良好な潤滑特性を示したことから, 潤滑特性の改善にはカチオンが重要であることが示唆された。しかしながら, 多くの研究報告で, 鉄表面においては, イオン液体のアニオンが相互作用をすることで, 吸着膜や反応膜を形成することが知られている<sup>2)</sup>。一方で, 摩擦表面におけるカチオンの存在は, 詳細な報告が少ない。このことから, カチオンが摩擦表面に吸着あるいは反応することで, 摩擦低減効果を発揮しているわけではないと考えられる。呂らは, 四重極質量計を用いることで, 芳香族性のカチオンを有するイオン液体の摩擦分解挙動を評価した結果, カチオンが摩擦により分解し, アニオンが摩擦表面と相互作用することを報告している<sup>3)</sup>。以上のことから, シアノ系イオン液体においても, [BMPL]カチオンが摩擦により分解することで, アニオンの吸着を促進し, 摩擦低減効果・摩耗抑制効果を発揮したと考えられる。しかしながら, 川田らは, 同種のイオン液体に対して, SUJ2 軸受鋼の分析を行った結果, シアノ系イオン液体の摩擦表面での分解挙動は, 熱安定性の結果と相関があることを報告している<sup>4)</sup>。この報告を基に考えると, [EMIM][DCN]より[BMPL][TCC]の方が, 熱安定性が高いため, [BMPL][TCC]は摩擦表面で分解せず, 高摩擦を示すか, [EMIM][DCN]が摩擦表面で分解し, 低摩擦を示すはずである。以上のことから, 同じ鉄鋼材料であるが, ステンレス鋼と SUJ2 軸受鋼で異なる挙動を示すことが予想される。発表においては, 四重極質量分析計や表面分析計を用いた結果と併せてメカニズムの提案を行う。

### 4. 結言

本研究では, 真空中において新規潤滑剤としてのシアノ系イオン液体の評価を行った。その結果, 以下の知見を得た。

- (1) [EMIM] カチオンを含むイオン液体は高い摩擦・摩耗を示す。
- (2) [BMPL] カチオンを含むイオン液体は, 低い摩擦・摩耗を示す。

### 謝辞

研究は公益財団法人 JKA(競輪)の補助により実施された。

### 文献

- 1) 横山・間庭・松本・小原・中西・吉田: 宇宙適用に向けたイオン液体潤滑油の防錆性および耐摩耗性能の改善, トライボロジー会議 2024 春 東京, B29
- 2) 川田・佐々木: 潤滑剤としてのイオン液体の展望, トライボロジスト, Vol. 63, No. 5, (2018), pp. 317-323.
- 3) R. Lu et al., : Study of tribochemical decomposition of ionic liquids on a nascent steel surface, Applied Surface Science, Vol. 255, No. 22, (2009), pp. 8965-8971.
- 4) S. Kawada et al., : Lubricating mechanism of cyano-based ionic liquids on nascent steel surface, Tribology International, Vol. 119, (2018), pp. 474-480.

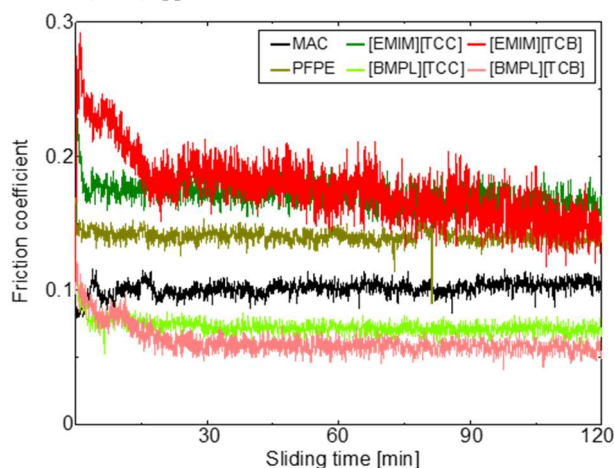


Figure 2 Friction behavior of ionic liquids

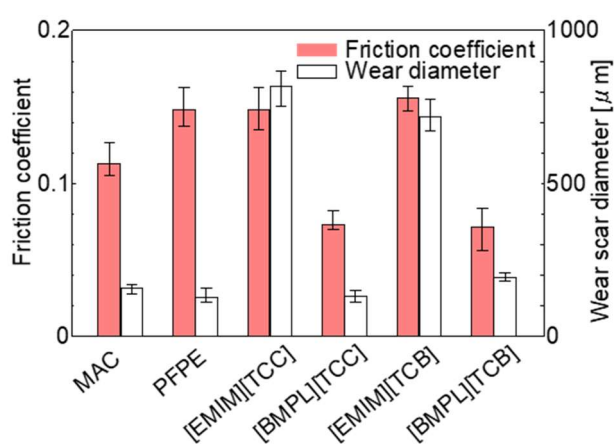


Figure 3 The average values of friction coefficient and wear scar diameter of ball specimens