

## 潤滑油添加剤としてのイオン液体の開発

### Development of Ionic Liquids as Lubricant Additives

関西大・理工（正）\*川田 将平 関西大・理工（正）呂 仁国 関西大・理工（非）小金沢 新治  
 関西大・理工（正）谷 弘詞 東理大・工（学）佐藤 魁星 東理大・工（正）宮武 正明  
 東理大・工（正）佐々木 信也 日清紡（非）増田 現

Shouhei Kawada\*, Renguo Lu\*, Shinji Koganezawa\*, Hiroshi Tani\*, Kaisei Sato\*\*, Masaaki Miyatake\*\*,  
 Shinya Sasaki\*\*, Gen Masuda\*\*\*

\*Kansai University, \*\*Tokyo University of Science, \*\*\*Nissinbo Holdings Inc.

#### 1. はじめに

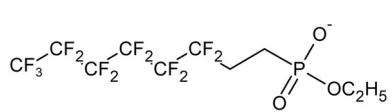
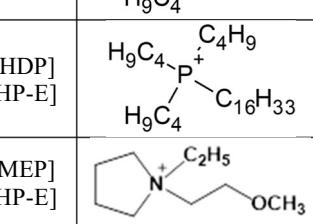
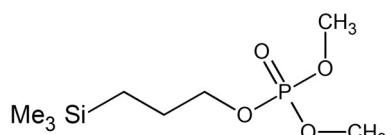
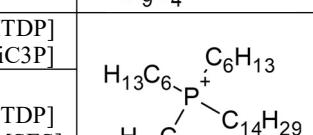
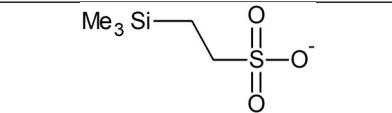
境界潤滑領域において、摩擦低減や摩耗抑制を達成するため、潤滑油添加剤の開発・改良が盛んに行われている。2000年代に入ると、イオン液体の潤滑油への応用が注目され始めた。イオン液体は、カチオンとアニオンのみから構成される液体であり、水や有機溶媒等の分子性液体や水銀などの液体金属と異なる第三の液体として分類される。イオン液体が持つ特徴として、物理的特性に非常に優れていることや固液界面に安定した吸着膜を形成することが知られている<sup>1)</sup>。また、イオン液体の化学構造を制御することで様々な物質に溶解することが可能である。そこで、2010年代には、その溶解性を制御することでイオン液体の潤滑油添加剤としての応用を試みる研究報告が増えてきた。しかしながら、イオン液体は高い極性を有するため、無極性基油への溶解性が低く、セバシン酸ジオクチルのような極性基油や水への添加剤として研究してきた<sup>2,3)</sup>。この理由として、カチオンにイミダゾリウムのような芳香族ではなく、ホスホニウム系カチオンを使用することで無極性基油への溶解性が向上することが分かっている。

そこで本研究においては、ホスホニウム系カチオンを有する新たなイオン液体を考案し、潤滑油添加剤としての評価を行った。

#### 2. 実験方法

Table 1 に、潤滑油添加剤として用いた2種類のフッ素[FHP-E]系イオン液体の構造および3種類のケイ素含有リン酸[SiC3P]系イオン液体の構造および略称を示す。また、比較用のイオン液体として、ピロリジニウムカチオンと[FHP-E]アニオンの組み合わせ、および、ホスホニウム系カチオンとスルホン酸系アニオン<sup>4)</sup>を用いた。すべてのイオン液体は日清紡ホールディングス株式会社製である。基油には無極性油であるPAO4 (poly-a-olefin) を用いた。摩擦摩耗試験はボール・オン・ディスク型のSRV 往復動試験機を用いた。ディスク試験片 ( $\phi 24$  mm,  $t 7.9$  mm) とボール試験片 ( $\phi 10$  mm) は共にSUJ2を用いた。試験条件においては、荷重50 N, 雰囲気温度80 °C, 振幅1 mm, 周波数50 Hz, 試験時間30分, 潤滑剤の量30 μL, イオン液体の添加量は1 wt%とした。摩擦試験後、レーザー顕微鏡を用いてディスク表面の摩耗痕面積を測定した。

Table 1 Chemical names and structures of used ionic liquids

Code	Cation	Anion
[BDDP] [FHP-E]	$\begin{array}{c} \text{C}_4\text{H}_9 \\   \\ \text{H}_9\text{C}_4-\text{P}^+-\text{C}_12\text{H}_{25} \\   \\ \text{H}_9\text{C}_4 \end{array}$	
[BHDPP] [FHP-E]	$\begin{array}{c} \text{C}_4\text{H}_9 \\   \\ \text{H}_9\text{C}_4-\text{P}^+-\text{C}_16\text{H}_{33} \\   \\ \text{H}_9\text{C}_4 \end{array}$	
[EMEP] [FHP-E]		
[BDDP] [SiC3P]	$\begin{array}{c} \text{C}_4\text{H}_9 \\   \\ \text{H}_9\text{C}_4-\text{P}^+-\text{C}_12\text{H}_{25} \\   \\ \text{H}_9\text{C}_4 \end{array}$	
[BHDPP] [SiC3P]	$\begin{array}{c} \text{C}_4\text{H}_9 \\   \\ \text{H}_9\text{C}_4-\text{P}^+-\text{C}_16\text{H}_{33} \\   \\ \text{H}_9\text{C}_4 \end{array}$	
[HTDP] [SiC3P]		
[HTDP] [TMSES]		

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 フッ素系イオン液体の評価

Figure 1 にフッ素系イオン液体を用いた場合のしゅう動試験終了前 5 分間における摩擦係数の平均値を示す。PAO4 にイオン液体を溶解させることで、摩擦係数の低減が確認された。[BDDP][FHP-E]が最も摩擦係数が低く、約 0.12 程度の値を示した。また、[BHDH][FHP-E]も比較用の[EMEP][FHP-E]よりも低摩擦を示した。Figure 2 に摩擦試験後のディスク試験片の摩耗断面積を示す。摩耗特性においては、すべてのイオン液体で高い耐摩耗性を示し、イオン液体毎の差異はほとんど確認されなかった。このことから、[FHP-E]アニオンは低摩擦・低摩耗を発揮すると考えられる。また、比較用のイオン液体との結果から、ホスホニウム系カチオンはさらに摩擦係数を低下させると期待できる。これは、カチオンがアニオン由来の反応膜上に吸着することが予想される。

#### 3.2 ケイ素含有リン酸系イオン液体の評価

Figure 3 にケイ素含有リン酸系イオン液体を用いた場合の摩擦係数の平均値を示す。また、Fig. 4 に摩擦試験後のディスク表面の摩耗面積を示す。このイオン液体群においてもイオン液体を添加することで低摩擦・低摩耗を発揮することが確認された。また、比較用の[HTDP][TMSES]よりも低摩擦・低摩耗であった。一方で、フッ素系イオン液体と比較すると、摩耗量は大きい結果となった。

以上の結果から、ケイ素含有リン酸系イオン液体は、従来のイオン液体と比較して、優れた摩擦・摩耗特性を示した。また、カチオンが異なる場合においても、摩擦・摩耗特性に差異が見られたことから、アルキル鎖長の異なるカチオンが摩擦表面に吸着することで潤滑特性に影響を与えていると考えられる。

### 4. 結言

新規潤滑油添加剤として、フッ素[FHP-E]系イオン液体およびケイ素含有リン酸[SiC3P]イオン液体を合成し、その摩擦・摩耗特性を SRV 往復動試験機により評価した。その結果、合成したイオン液体を PAO4 に添加することで、摩擦低減および摩耗抑制効果が発揮されることを確認した。また、フッ素系イオン液体の結果から、摩擦・摩耗特性には、アニオンだけでなくカチオンの影響も確認され、ピロリジニウム系カチオンよりホスホニウム系カチオンの方が低摩擦を示すことが明らかになった。また、ケイ素含有リン酸系イオン液体の結果から、カチオンのアルキル鎖長も摩擦・摩耗特性に影響を与えていることが明らかになった。

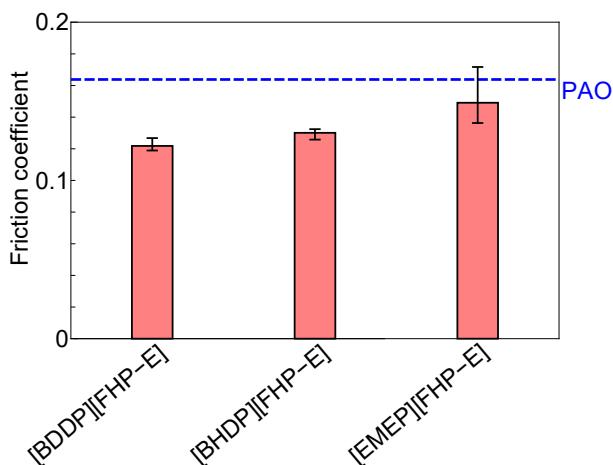


Fig. 1 Friction coefficient lubricated with [FHP-E] anion based ionic liquids

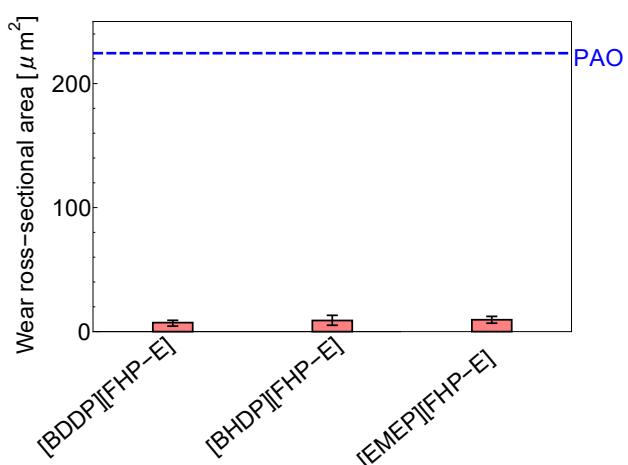


Fig. 2 Wear area of disk specimens lubricated with [FHP-E] anion based ionic liquids

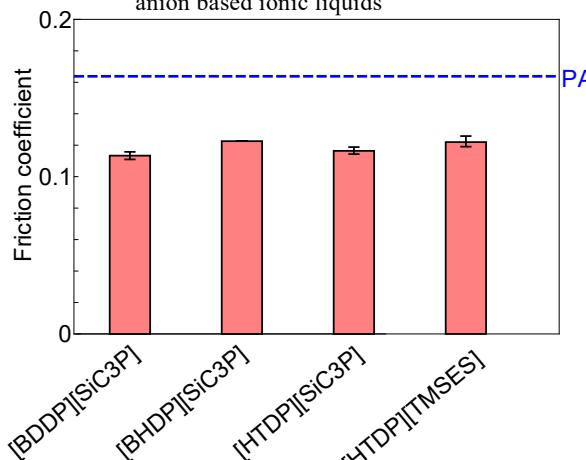


Fig. 3 Friction coefficient lubricated with [SiC3P] anion based ionic liquids

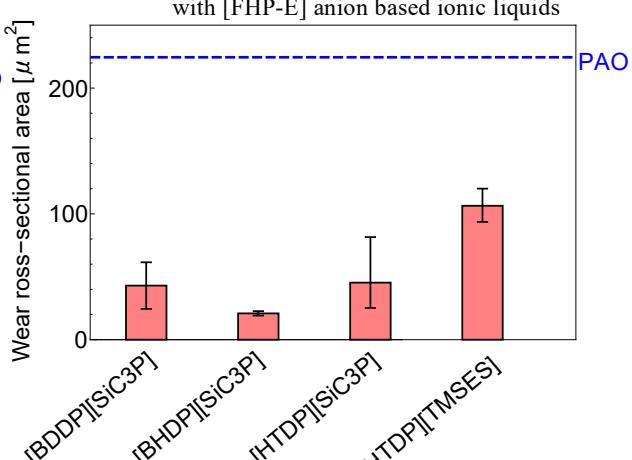


Fig. 4 Wear area of disk specimens lubricated with [SiC3P] anion based ionic liquids

## 謝辞

本研究は、JST 研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）トライアウト JPMJTM20D3 の助成を受けたものです。

## 文献

- 1) 渡邊正義：イオン液体研究最前線と社会実装，シーエムシー出版 (2016) 3.
- 2) B. S. Phillips & J. S. Zabinski: Ionic liquid lubrication effects on ceramics in a water environment, *Tribology Letters*, 17, 3 (2004) 533.
- 3) K. Sato, H. Okubo, S. Kawada, S. Watanabe & S. Sasaki: Synergistic Enhancement of the Lubrication Performance of Zinc Dialkyldithiophosphate by Coexistence with Ionic Liquid, *Tribology Online*, 16, 3 (2021) 178.
- 4) J. Hansen, M. Björling, I. Minami & R. Larsson: Performance and mechanisms of silicate tribofilm in heavily loaded rolling/sliding non-conformal contacts, *Tribology International*, 123 (2018) 130.