

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：34416

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K14862

研究課題名（和文）イオン液体を用いた新規難削材料用切削油の開発

研究課題名（英文）Development of novel cutting oil for hard-to-cut materials using ionic liquid

研究代表者

川田 将平（KAWADA, Shouhei）

関西大学・システム理工学部・助教

研究者番号：60822517

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：航空宇宙分野等、今後の日本産業をけん引する分野で使用される材料は、難削材料が使用されている。したがって、難削材料の快削性を向上させることが非常に重要である。本研究は、即効性の高い対策としてイオン液体を用いた新たな加工油の開発を試みた。本研究を遂行した結果、ステンレス鋼やチタン合金に対して摩擦係数の低い加工油を開発することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回の研究は、難削材料の快削性を向上させる加工油の開発である。この成果は、日本産業をけん引する航空宇宙分野などへの応用が期待することができ、社会的に大きな意義がある。また、加工面で起きる現象をリアルタイムで計測することにも成功しており、潤滑などを取り扱うトライボロジー分野や固液界面などを対象とした表面科学分野への波及効果も期待することができる。

研究成果の概要（英文）：Materials used in the aerospace field that will lead to Japanese industry in the future are made of difficult-to-machine materials. Therefore, it is very important to improve the lubricating properties of difficult-to-machine materials. This study attempted to develop a new machining oil using ionic liquids as an immediate countermeasure. As a result of carrying out this study, it is succeeded in developing a machining oil with a low coefficient of friction for stainless steel and titanium alloys.

研究分野：トライボロジー

キーワード：切削 イオン液体 摩擦 添加剤 その場観察

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 研究実施者は、申請当初まで化学的に安定であるイオン液体の潤滑油応用に関する研究に従事していた。その結果、摩擦材料種に対して、最適なイオン液体構造を用いることで、エンジンオイルなどの既存油よりも優れた潤滑性を示すことを見出した。その後、精密加工研究室に所属するにあたり、今までの知見を活かすべく本研究開発に取り組んだ。難削材料の加工面は、高温になりやすく、切削油の蒸発や工具摩耗、加工不良を起こすことが知られている。ここにイオン液体の応用を行うことで難削材料用の切削油開発を試みた。

(2) 難削材料は多くの分野で使用されているが、代表的な分野が次世代製造業の牽引が期待される航空・宇宙産業である。当該分野は民間企業などの参入も活発となってきており、今後の日本経済の未来を担うと考えられるため、イオン液体と難削材料に新たな価値を生むことが出来ると期待できる研究内容となっている。

### 2. 研究の目的

(1) 難削材料の加工には切削油が使用されているが、切削加工時に実際に使用されている切削油の潤滑効果については未だ不明な点が多い。また、切削加工時は激しい温度上昇により切削油の分解や蒸発、加工面に存在する反応膜・吸着膜の脱離などの問題が起きることがあり、航空・宇宙分野の発展にあたって、加工不良などの問題を抑制することが必要不可欠である。本研究では、難削材料の切削油として、高温環境において安定であるイオン液体を用いることにより、難削材料の切削加工性を格段に向上させる新規切削油開発を目的としていた。

### 3. 研究の方法

本研究では、イオン液体の新規難削材料用切削油の開発に向けて、以下の3項目の課題について研究を行った。潤滑性においては、摩擦材料とイオン液体の相互作用の理解が重要であるので、(1) イオン液体の化学構造と難削材料の潤滑性との相関を整理する。(2) 次に、加工面、特にすくい面は300℃を超えるような高温となるため、高温雰囲気下におけるイオン液体の潤滑性の評価を行う。(3) 最後に、旋盤などの工作機械をモデルとした実験装置を製作することで、切削加工性の評価および切削加工後の仕上げ面の粗さなどを観察し、摩擦試験による評価手法の妥当性の検証を行う。

以上の3種類に大別し、研究を行った。

(1) イオン液体の化学構造と難削材料の潤滑性との相関を整理する。

研究実施者の今までの研究成果より、イオン液体の化学構造においては、フッ素系、硫黄系、リン系、シアノ系の4種類に大別することができることがわかっていった。ここでは、潤滑性評価試験機を作製し、これらのイオン液体について、耐熱超合金やチタン合金に対する潤滑性を調査した。

(2) 高温雰囲気下におけるイオン液体の潤滑性の評価

加工面は非常に高温に晒されるため、高温における切削油の性能を担保するには、高温雰囲気下での潤滑性評価が必要となる。イオン液体の多くの熱安定性は300℃以上のため、加工面においても液体として存在することができる。そこで、高温環境下において、耐熱超合金やチタン合金に対する潤滑性を調査した。

(3) 切削加工性の評価および切削加工後の仕上げ面の粗さなどを観察し、摩擦試験による評価手法の妥当性の検証

前項までの結果をもとに、旋盤などの工作機械をモデルとした実験装置を製作し、切削加工性の評価などを行う。また、切削加工時、化学活性が非常に高い新生面が現れることが知られている。研究実施者は、今までの研究において、四重極質量分析計による測定で、イオン液体が摩擦新生面で接触分解することをその場観察しており、本研究においても、切削加工機に四重極質量分析計を組み込むことで、加工時のイオン液体の分解過程を調査した。

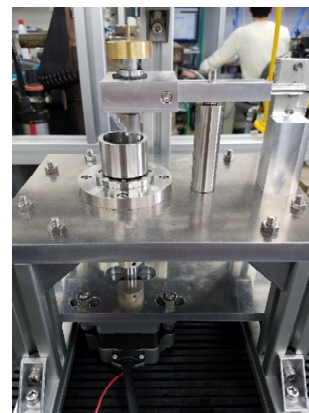


図1 製作した試験機

### 4. 研究成果

(1) 装置の製作

はじめに、工具刃先と被削材の接触部に近い条件で実験ができる摩擦摩耗試験機(図1)を自作した。使用したイオン液体の化学構造においては、フッ素(F)系、硫黄(S)系、リン(P)系、シアノ(N)系の4種類を利用した。また、比較用に水溶性切削油剤を用

いた。工具材料は、タングステンカーバイド、被削材はステンレス鋼を選定した。

図2に摩擦係数の結果を示す。その結果、水溶性切削油剤と比較すると、硫黄系およびフッ素系のイオン液体の摩擦係数が低かった。その後、ステンレス鋼の表面を観察すると、水溶性油剤の場合においては、表面が腐食していることが確認できた。一方で、イオン液体においては、腐食が確認されなかった。次に、工具材料の表面を観察したところ、硫黄系、リン系、シアノ系イオン液体による工具摩耗の抑制が確認できた(図3)

摩擦試験後、摩耗表面の化学分析を行ったところ、摩擦係数の高かったリン系イオン液体においては、反応膜の形成が確認されなかった。また、同様に摩擦係数の高かったシアノ系イオン液体においては、吸着膜の形成が確認できたが、非常に高圧である加工面においては、吸着膜が脱離するため摩擦低減効果を発揮できなかったと考えられる。次に低摩擦を示したイオン液体について考えると、フッ素系イオン液体は、低摩擦にもかかわらず高摩耗であった。これは、フッ素元素による化学摩耗の進展が考えられる。一方で、硫黄系イオン液体は、安定な反応膜が形成されたことにより、低摩擦低摩耗を示した。

## (2) イオン液体に対する水分の影響

イオン液体による摩擦摩耗低減効果が確認されたが、実際の加工油として用いるには、水でイオン液体を薄める必要がある。そこで、イオン液体単体と水を滴下した場合の固液界面構造を周波数変調原子間力顕微鏡により測定した。図4はイオン液体単体時において固液界面構造を計測した結果である。その結果、固体表面上に明るい層状のものが複数確認できた。この明るい部分はイオン液体が存在していることを表しており、安定な潤滑膜が形成されることを示唆している。

一方で、イオン液体に水を混ぜた場合の固液界面構造を図5に示す。その結果、図4では複数層確認されたイオン液体が、1層程度しか確認されないことが分かった。このことから、イオン液体と水を混ぜることで、潤滑膜の形成が阻害され、摩擦低減効果を発揮できないことが予測できる。

以上の原因は、イオン液体と水の親和性が高いことに起因していると考えられ、疎水性の高いイオン液

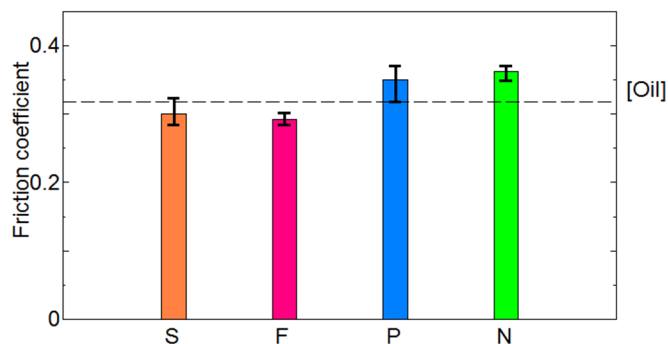


図2 摩擦係数

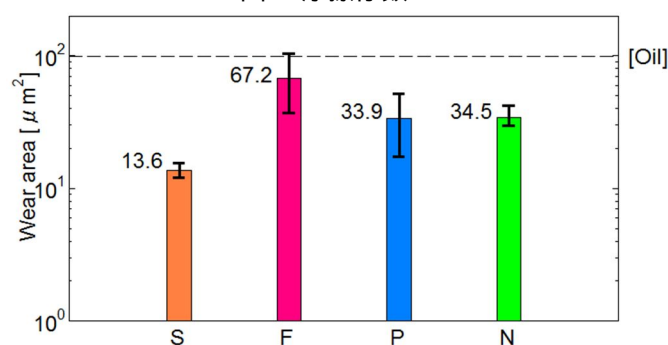


図3 工具材料の摩耗断面積

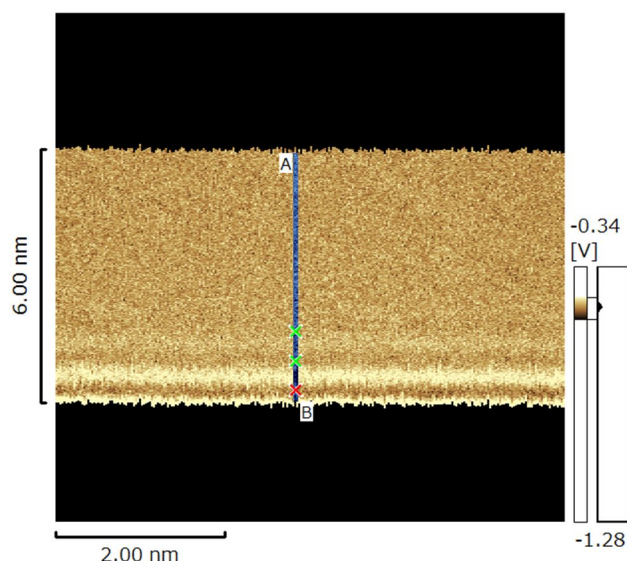


図4 イオン液体単体時の固液界面構造

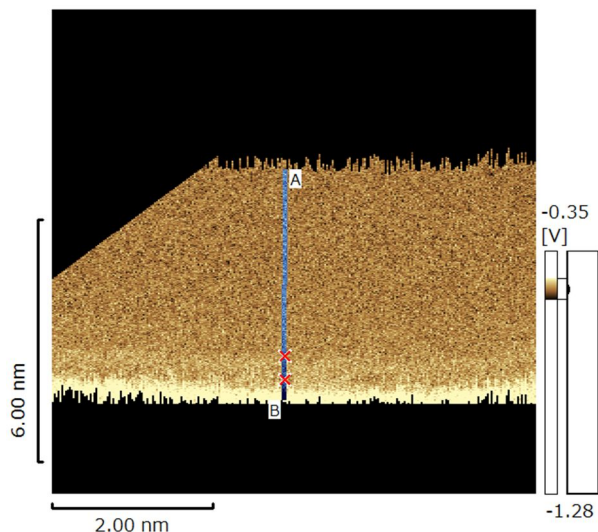


図5 イオン液体+水混合時の固液界面構造

体を使用することで、安定な潤滑膜を形成できると考えられる。実際に、疎水性イオン液体と水混合時の界面構造を解析した結果を図6と図7に示す。その結果、水の混合に関わらずイオン液体の吸着膜が数層にわたり形成されることが確認された。

また、加工分野に目を向けると、このような固液界面構造を可視化した例はなく、トライボロジー分野や表面科学分野において大きな学術的インパクトを与えたと考えられる。

今後は、この疎水性イオン液体の適用について調査する必要がある。

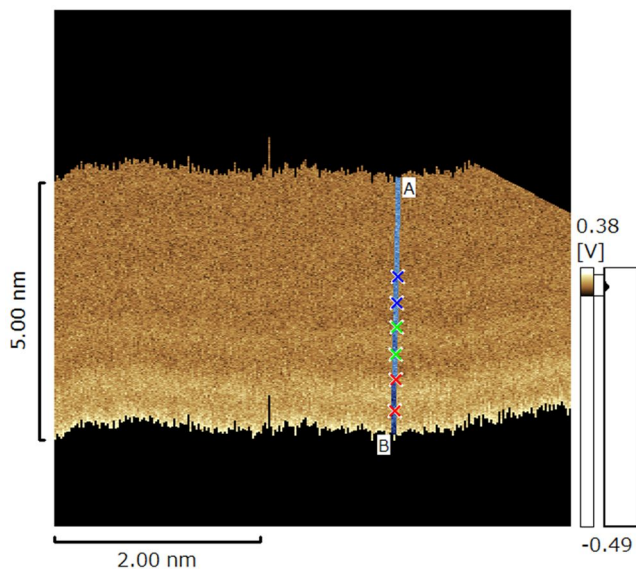


図6 疎水性イオン液体単体時の固液界面構造

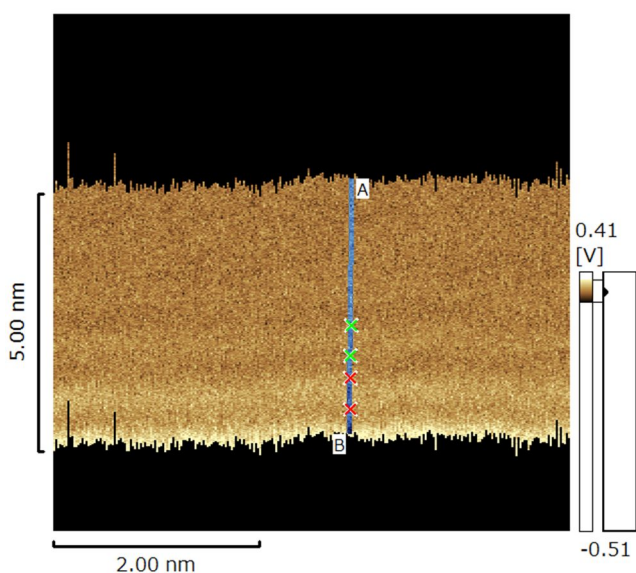


図7 疎水性イオン液体+水混合時の固液界面構造

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kawada S., Sasaki S., Miyatake M.	4. 巻 153
2. 論文標題 In-situ observation of tribo-decomposition behavior of ionic liquids composed of phosphonium-cation and cyano-anion using quadrupole mass spectrometer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Tribology International	6. 最初と最後の頁 106547 ~ 106547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.triboint.2020.106547	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 Shouhei Kawada, Shinya Sasaki, Masaaki Miyatake	4. 巻 14
2. 論文標題 Tribological performances of halogen-free ionic liquids against a-C:H and ta-C films under vacuum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	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) 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0032	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 Shouhei Kawada, Shinya Sasaki, Masaaki Miyatake	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of Surrounding Atmosphere on Friction Properties of Hydrophobic and Hydrophilic Ionic Liquids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tribology Online	6. 最初と最後の頁 285-292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2474/trol.14.285	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shouhei Kawada, Hikaru Okubo, Seiya Watanabe, Chiharu Tadokoro, Ryo Tsuboi, Shinya Sasaki, Masaaki Miyatake	4. 巻 10
2. 論文標題 Lubricating Properties of Cyano-Based Ionic Liquids against Tetrahedral Amorphous Carbon Film	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Coatings	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) 10.3390/coatings10020153	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 小林生、川田将平、宮武正明、佐々木信也
2. 発表標題 イオン液体の潤滑性に対する相対湿度の影響
3. 学会等名 トライボロジー会議2020秋 別府
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 嶋田圭汰、宮武正明、川田将平、吉本成香
2. 発表標題 エンドミル加工時における静圧空気スピンドルの振れ精度に関する研究
3. 学会等名 トライボロジー会議2020秋 別府
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shouhei Kawada, Shinya Sasaki, Masaaki Miyatake
2. 発表標題 Tribological Properties of cyano-Based Ionic Liquids as Lubricant Additives
3. 学会等名 2019 STLE Tribology Frontiers Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shouhei Kawada, Shinya Sasaki, Masaaki Miyatake
2. 発表標題 Effect of Surrounding Atmosphere on Friction Properties of Hydrophobic and Hydrophilic Ionic Liquids
3. 学会等名 International Tribology Conference Sendai 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shouhei Kawada, Yuko Sato, Shinya Sasaki, Masaaki Miyatake
2. 発表標題 FM-AFM observation on effect of water on adsorption layer of hydrophobic and hydrophilic ionic liquids
3. 学会等名 46th Leeds Lyon Symposium on Tribology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shouhei Kawada, Shinya Sasaki, Masaaki Miyatake
2. 発表標題 Tribological Performance of Halogen-free Ionic Liquids Consisted of Phosphonium Cation and Cyanide Anion
3. 学会等名 European Conference on Tribology - ECOTRIB 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shouhei Kawada, Shinya Sasaki, Masaaki Miyatake
2. 発表標題 Tribological Performances of Halogen-free Ionic Liquids against a-C:H and ta-C Film under Vacuum Condition
3. 学会等名 The 8th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Shouhei Kawada's HP 川田将平のHP  <a href="https://sites.google.com/view/s-kawada908/home">https://sites.google.com/view/s-kawada908/home</a>          研究者本人作成のホームページ  <a href="https://sites.google.com/view/s-kawada908/home">https://sites.google.com/view/s-kawada908/home</a>          所属研究機関作成のホームページ  <a href="https://www.tus.ac.jp/fac_grad/p/index.php?7075">https://www.tus.ac.jp/fac_grad/p/index.php?7075</a></p>
--

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
---------	---------