

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560123

研究課題名（和文） ナノカーボン分散イオン性液体ゲルの生成および
トライボロジー特性の基礎的研究研究課題名（英文） Preparation of Ionic Liquid Gel Including Nano-carbon and
Fundamental Study on its Tribological Properties

研究代表者

平田 敦 (HIRATA ATSUSHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：50242277

研究成果の概要（和文）：

ナノカーボンのカーボンアニオンをイミダゾリウム塩のイオン性液体と混合してナノカーボン分散イオン性液体ゲルを生成した。このゲルをエポキシ樹脂に添加して作製した摺動材の潤滑特性をボールオンディスク型摩擦試験機によって評価した結果、大気中、真空中でそれぞれ0.1、0.06の低い摩擦係数を示した。そして、ゲルはイオン液体単体と比較して、荷重が大きい領域ほど潤滑特性が優れることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Nano-carbon dispersing ionic liquid gel was produced from the mixture of carbon anion of nano-carbon and the imidazolium salt based ionic liquid. The tribological properties of the gel embedded in epoxy resin were characterized with a ball-on-disk type tribometer. As a result, the gel showed the friction coefficients as low as 0.1 and 0.06 in air and vacuum, respectively. Moreover, the gel exhibited superior lubricity comparing with ionic liquid itself as the normal force increased.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：トライボロジー，ナノカーボン，イオン性液体，ゲル

1. 研究開始当初の背景

メンテナンスフリーシステムの構築や機械の長寿命化および精度維持、消費エネルギーの節減には、摺動部の摩擦・摩耗の低減が重要な課題である。また、移動機械、搬送機などの摺動部は、機械的・熱的負荷、使用環境雰囲気などの点でさらに過酷な環境におかれ、また、MEMSに代表されるマイクロ・ナノ機構での潤滑の制御の必要性、環境に優しい

グリーンエンジニアリングの観点などから、トライボロジーの高度化が求められている。これに対応するためには、潤滑特性に優れる新物質を効果的に適用する試みが必要である。

潤滑を担う材料として、従来、高压の気体、油・グリースなどの液体から、金などの軟質金属、グラファイト・二硫化モリブデン・PTFEなどの層状構造分子の固体まで、様々な物質をしゅう動面間に介在させている。そして、

これらは単体として用いられるだけでなく複合して使用される場合が多い。固体および液体の複合系としてコロイド溶液がゼリー状に固化したゲル状物質があり、生体関節の潤滑に重要な役割をしているが、ゲル状物質を利用した機械しゅう動部の潤滑については研究があまり進んでいない。

一方、潤滑材料の領域では、液体潤滑を担う新たな物質として不揮発性・難燃性などの特徴を有するイオン性液体（常温熔融塩）が、より広い適用環境条件を有する新トライボロジー材料として高い可能性を有することで着目され始めている。また、固体潤滑の分野では、従来の層状構造分子とは異なり、閉殻構造を有するフラーレンやカーボンオニオン、カーボンナノチューブのナノカーボンが自己潤滑性を有する新固体潤滑材として提案されている。そして、これらナノカーボンの一部を分散させたイオン性液体からゲル状物質が得られることが明らかになってきた。

2. 研究の目的

本研究は、耐環境性に優れ、マイクロ・ナノからマクロ領域までの潤滑制御に適するトライボロジーシステム構築の可能性を探るため、ナノカーボンを分散させたイオン性液体ゲルを生成し、その基礎的なトライボロジー特性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1)イオン性液体にはイミダゾリウム塩、ピリジニウム塩、アンモニウム塩、ホスホニウム塩などの種類があり、これらを融点、粘度、潮解性、水分保有性、毒性、腐食性、有用性の点で評価し、潤滑材として利用しうるイオン性液体を選定した。そして、選定したイオン性液体自身のトライボロジー特性を把握するため、イオン性液体をエポキシ樹脂に添加し、負荷加重、雰囲気などをパラメータとしてボールオンディスク摩擦試験により評価した。

(2)ナノカーボンにはフラーレン、カーボンオニオン、カーボンナノチューブ、ナノダイヤモンド、カーボンブラックなどがあるが、これらのうちから本研究に用いるナノカーボンを選択するため、ナノカーボンをエポキシ樹脂に添加し、雰囲気などをパラメータとして、ボールオンディスク摩擦試験により潤滑特性を評価した。

(3)選定したイオン性液体およびナノカーボンを混合してナノカーボン分散イオン性液体ゲルを生成した。そして、このゲルをエポキシ樹脂に添加し、そのトライボロジー特性を負荷加重、雰囲気などをパラメータとして、

ボールオンディスク摩擦試験により評価した。さらに、イオン性液体、ナノカーボンそれぞれのトライボロジー特性と比較することによって、ナノカーボン分散イオン性液体ゲルによるトライボロジーシステムの基礎的知見を得て、摺動メカニズムについて考察した。

4. 研究成果

(1)イオン性液体にはイミダゾリウム塩を選定した。

エポキシ樹脂にイオン性液体を添加した摺動材を作製し、イオン性液体含有率の変化およびしゅう動雰囲気の変化による摩擦特性の変化を調べた。図1および2に空気中および真空中での摩擦係数変化を示す。イオン性液体の含有率が高いほど摩擦係数は低下するが、イオン性液体を30wt%以上含有したものは強度が極端に低くなり、摩擦試験できなかった。大気中、真空中ともイオン性液体は潤滑剤として機能していることが示唆される。ただし、真空中では大気中に比べてやや摩擦係数が大きい。

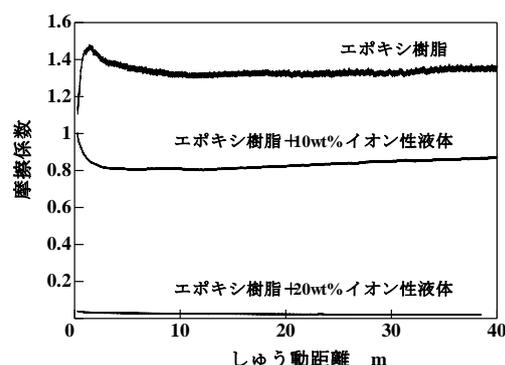


図1 イオン性液体の大気中での摩擦変化

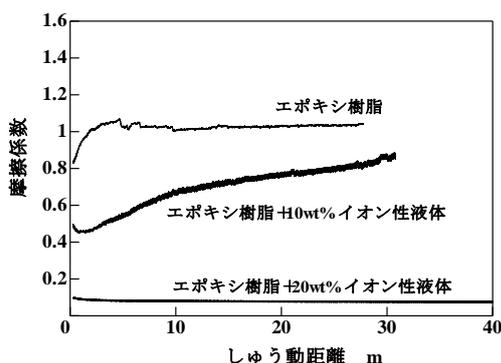


図2 イオン性液体の真空中での摩擦係数変化

図3に摺動材表面に形成されたしゅう動痕

を示す。しゅう動痕付近に液体のようなものが観察されることから、摺動材表面の変形や摩耗により樹脂に含有されているイオン性液体が浸出し、潤滑機能を果たすと推測される。そこで図4に示すように摺動材断面を観察すると、イオン性液体を混合したエポキシ樹脂にはエポキシ樹脂単体には見られない多数の空孔があることがわかり、これらの空孔にイオン性液体が保持されていることが示唆される。

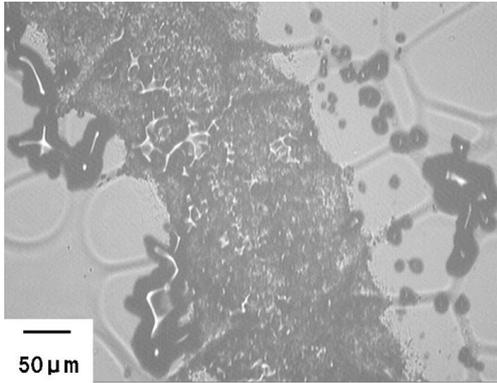


図3 しゅう動痕の観察写真

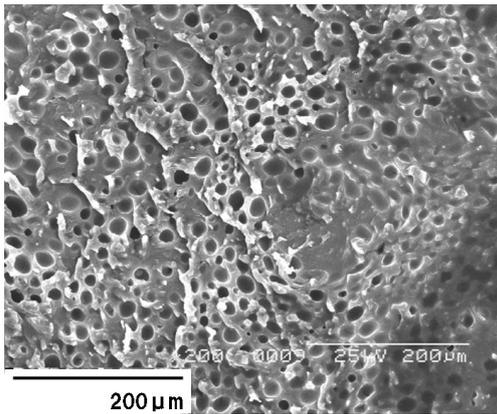


図4 エポキシ樹脂基しゅう動材の断面観察写真

(2) ナノカーボン分散イオン性液体ゲルを作製するためのナノカーボンを選択するため、粒子状のナノカーボンであるフラーレン、カーボンオニオン、ナノダイヤモンド粒子、カーボンブラックをエポキシ樹脂に添加し、それぞれをしゅう動材として大気中および真空中で摩擦係数変化を測定した。その結果をそれぞれ図5および6に示す。

大気中、真空中の両雰囲気中でも約0.1の低い摩擦係数を示すのはカーボンオニオンであることから、イオン性液体ゲルを作製するのに用いるナノカーボンとして、カーボンオニオンを選択した。

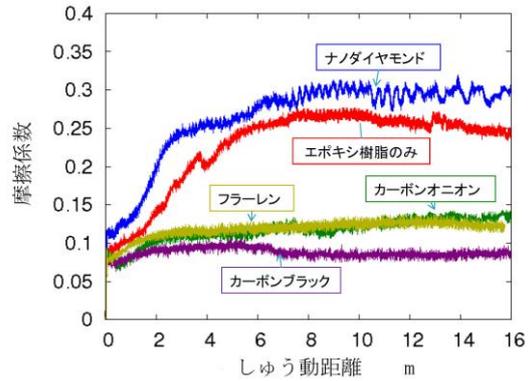


図5 ナノカーボンの大気中での摩擦係数変化

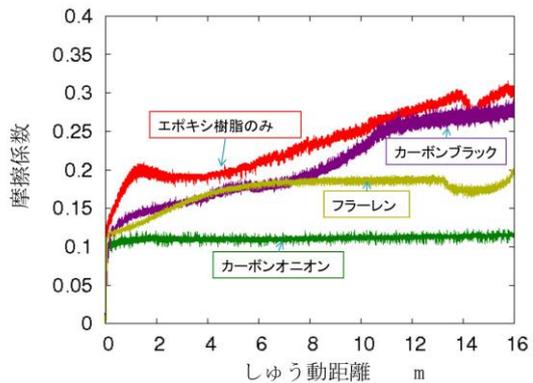


図6 ナノカーボンの真空中での摩擦係数変化

(3) ナノダイヤモンドからカーボンオニオンを加熱処理により生成し、イオン性液体と混合、攪拌し、余分なイオン性液体を分離することでナノカーボン分散イオン性液体ゲルを生成した。このゲルをエポキシ樹脂に添加し、シリコン基板表面にコーティングして硬化したしゅう動材を作製した。このしゅう動材の大気中および真空中での潤滑特性をボールオンディスク型摩擦試験機によって評価した。その結果を結果図7および8に示す。

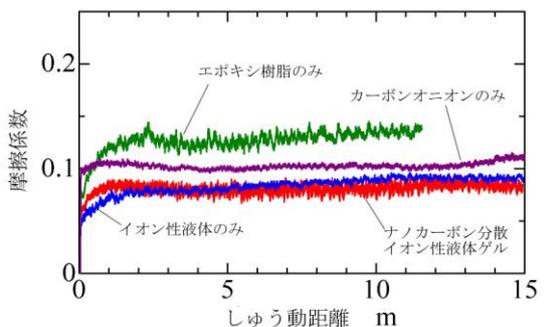


図7 大気中での摩擦係数の比較

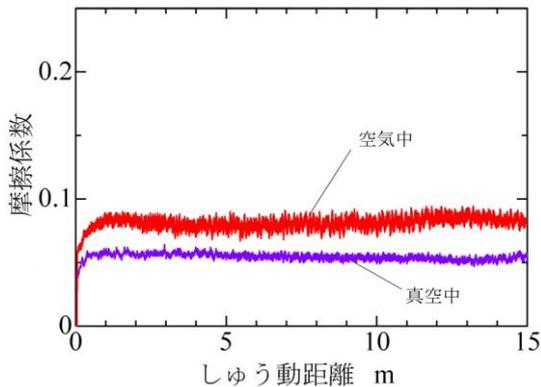


図8 ナノカーボン分散イオン性液体ゲルの大気中，真空中での摩擦係数変化

イオン性液体，カーボンオニオン単独よりもナノカーボン分散イオン性液体ゲルを添加したエポキシ樹脂が約 0.08 の最も低い摩擦係数を示すことがわかる．このしゅう動材の真空中での試験の結果，ゲル添加樹脂は摩擦係数はさらに低下して約 0.06 を示すことから，ナノカーボン分散イオン性液体ゲルは真空中で使用できる自己潤滑性物質としての可能性が示された．

また，比較のため荷重を変化させて，イオン液体のみを添加したもの，ゲルを添加したものそれぞれについて摩擦試験を行った．その結果を図9に示す．荷重が大きいほど，ナノカーボン分散イオン液体ゲルの潤滑効果が高まることがわかる．これは，ゲルの粘弾性が高いこと，もしくはナノカーボンであるカーボンオニオンの耐荷重性が高いことが要因と考えられる．

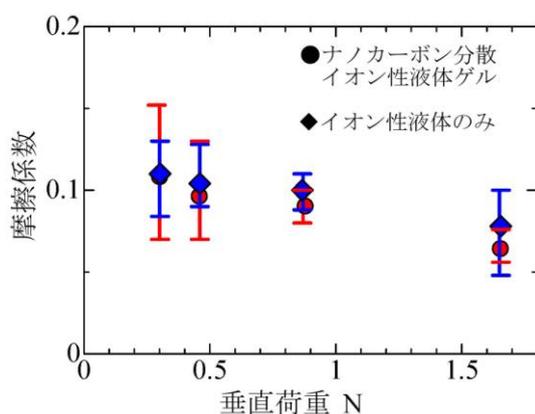


図9 摩擦係数と垂直荷重との関係

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1件)

①金井政樹，平田 敦，イオン液体添加高分子複合材料のトライボロジー特性および自己潤滑コーティングへの適用，精密工学会誌，76，804-808，(2010)，査読有

〔学会発表〕(計6件)

①平田 敦，益富和之，カーボンオニオンを添加したエポキシ樹脂コーティングのトライボロジー特性，第24回ダイヤモンドシンポジウム，2010年11月17日，東京工業大学

②Atsushi Hirata and Kazuyuki Masutomi, Tribological Behavior of Carbon Onion-modified Epoxy Composite, The 4th International Conference on New Diamond and Nano Carbons, 2010年5月17日，中国蘇州市

③益富和之，平田 敦，エポキシ樹脂のトライボロジー特性に与えるカーボンオニオン添加の効果，2010年度精密工学会春季大会学術講演会，2010年3月18日，埼玉大学

④ Shinji Saito and Atsushi Hirata, Tribological Properties of Polymeric Composite Including Carbon Onion Gel, New Diamond and Nano Carbon Conference 2009, 2009年6月9日，米国ミシガン州

⑤金井政樹，平田 敦，イオン液体添加エポキシ樹脂による自己潤滑性コーティング，トライボロジー会議2009春，2009年5月20日，国立オリンピック記念青少年総合センター

⑥金井政樹，平田 敦，イオン液体を添加した高分子材料の摺動特性，2009年度精密工学会春季大会学術講演会，2009年3月11日，中央大学後樂園キャンパス

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

①

名称：イオン性液体含有樹脂およびその製造方法

発明者：平田 敦，齋藤真司，金井政樹

権利者：国立大学法人東京工業大学

種類：特願

番号：2008-271162

出願年月日：平成20年10月21日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

平田 敦 (HIRATA ATSUSHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：50242277