

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656118

研究課題名(和文) 電解重合による導電性高分子の高速な成膜を利用した自己修復型トライボシステムの構築

研究課題名(英文) Self-repairing tribosystems using high-speed film formation by electropolymerization

研究代表者

中野 健 (Nakano, Ken)

横浜国立大学・環境情報研究院・准教授

研究者番号：30292642

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：自己修復型トライボシステムの構築を目指して、実験的な基礎研究を実施した。衝突とすべりが混在する瞬間的な接触状態を作り出すボール-リング型の実験装置を構築した。潤滑剤としてピロール溶液を用い、ボールとリングを電極とした高速な電解重合反応により、インプロセスでの保護膜形成が可能であることを見出した。本実験系のみでの実用は難しいものの、電解重合反応を用いた自己修復型トライボシステムの可能性を見出した。

研究成果の概要(英文)：Toward self-repairing tribosystems, fundamental experimental studies were carried out. To make a momentary short-time contact with collision and sliding, we invented a ball-ring-type experimental apparatus. When using a solution of pyrrole as lubricant and using the steel ball and steel ring as electrodes, we found that in-process formation of protect films can be achieved by high-speed electropolymerization. Therefore we can say that there is a possibility of self-repairing tribosystems using electropolymerization, although it is not applicable to practical systems as it is.

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 自己修復 電解重合 接触 衝突 摩擦 潤滑 保護膜

## 1. 研究開始当初の背景

筋骨格系のなめらかな運動を実現する生体関節は、過酷な摺動を受け続けながらも、生体の寿命程度の長期間を、表向きには「メンテナンスフリー」で作動する。これは、生体関節が重度の損傷に至りにくい構造を有するばかりでなく、仮に軽度の損傷が生じたとしても、それを「自己修復」する機能をシステムとして有するからである。生体に特有な自己修復機能を人工物に持たせて、「メンテナンスフリーな機械摺動面」を実現することは、トライボロジーの究極の目標のひとつと言える。

例えば、構造材料の分野では、クラックを自己修復するポリマーやセラミックスなど、生体の自己修復力を模倣した機能を材料そのものに持たせる研究（いわゆる「自己修復材料」の研究）が進められている。しかし、その修復には比較的長時間を要すること、修復後の表面がなめらかでないこと、（摩耗をはじめとする）比較的サイズの大きな欠損には対応できないことなどの課題から、摺動面への応用は困難な状況にある。

一方、電気化学の分野では、電解重合による導電性高分子の高速な成膜の研究が進められている。代表的な導電性高分子として知られるポリピロールは、モノマー（ピロール）を含有する電解質溶液中での電気化学合成（電解重合）により、作用電極上への「瞬時的」な成膜が可能である。さらに電解質の溶媒としてイオン液体を用いると、電極の表面粗さを埋めるに十分な「超平滑膜」が得られるとの報告もある。

## 2. 研究の目的

以上の背景のもと、「メンテナンスフリーな機械摺動面」の実現を念頭に置いて、電気化学の分野で精力的に研究・開発されている導電性高分子に関する基盤技術を、トライボロジーの分野で新たに展開するという着想に至った。欠損した摺動面へのインプロセスな高速成膜により、メンテナンスフリーを指向する「自己修復型トライボシステム」というコンセプトの体現を目標として、その可能性を探る実験的な基礎検討を本研究の目的とした。

## 3. 研究の方法

上述の「瞬時的」というキーワードに焦点を絞るために、衝突現象に着目した。（例えば、鋼板上への鋼球の自由落下衝突では、接触時間はわずか  $100 \mu\text{s}$  程度である。）まず、鋼板上への鋼球の自由落下衝突を対象として、衝突面の潤滑効果に及ぼす一般的な添加剤の影響を実験的に調査した後、衝突面の潤滑効果に及ぼす電解重合反応の影響を実験的に調査した。

## 4. 研究成果

### 4.1. 衝突面の潤滑効果に及ぼす一般的な潤滑油の影響

#### (1) 実験方法

実験装置の概略を図1に示す。試験片として、SUJ2 製の鋼球（直径：30 mm）とS45C 製の鋼平板（厚さ：5 mm）を用いた。電磁石で固定した鋼球を高さ100 mm の位置から自由落下させて、供試油の薄膜（厚さ：30  $\mu\text{m}$ ）を載せた鋼平板に1回だけ衝突させた。

鋼球と鋼平板の間の複素インピーダンスを計測するために、両者の間に交流電圧（振幅：0.1 V、周波数：500 kHz）を印加した。衝突に応答する加速度センサの信号をトリガとして、印加した交流電圧と回路を流れた交流電流を、サンプリング速度200 MHz で計測した。

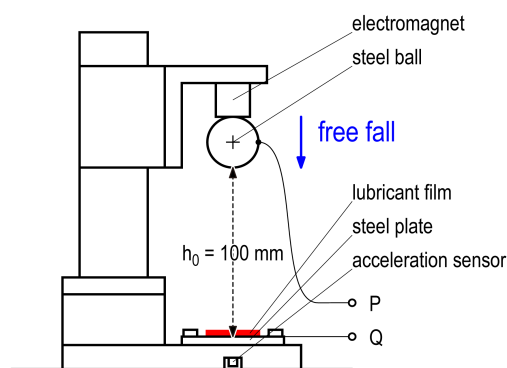


図1 実験装置

#### (2) 主な結果

複素インピーダンスの絶対値 ( $Z$ ) と偏角 ( $\theta$ ) について、鋼球と鋼平板の衝突にともなう  $Z$  と  $\theta$  の時間変化の例を図2に示す。潤滑条件により、明確な信号の差が認められることから、本手法により、短時間の潤滑状態の違いを評価できることがわかった。

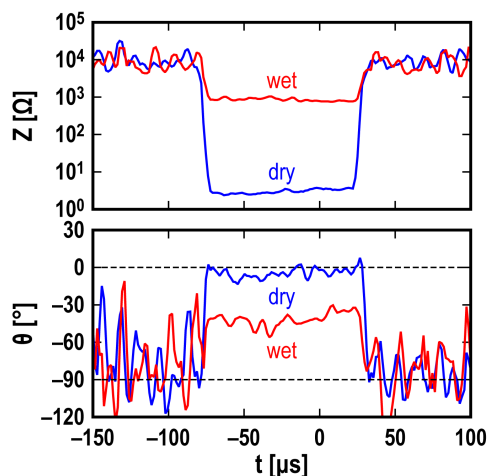


図2 衝突にともなうインピーダンスの時間変化の例

図2のような信号の差に着目して、直接接触時間 ( $T_{\text{metal}}$ : 鋼球と鋼平板が直接接触した時間) を推定し、それらをまとめたグラフを図3に示す。ここで、基油としては、4種類の直鎖アルカン(D: デカン、DD: ドデカン、TD: テトラデカン、HD: ヘキサデカン)、添加剤としては、直鎖脂肪酸(OA: オレイン酸)を用いた。 $T_{\text{metal}}$ の値が相対的に小さいほど、その潤滑油の潤滑効果が高いと言える。図3より、わずか  $100 \mu\text{s}$  程度という短い接触時間の中でも、添加剤の潤滑効果は現れ、その潤滑効果の大きさは、基油の鎖長の影響を顕著に受けることがわかった。

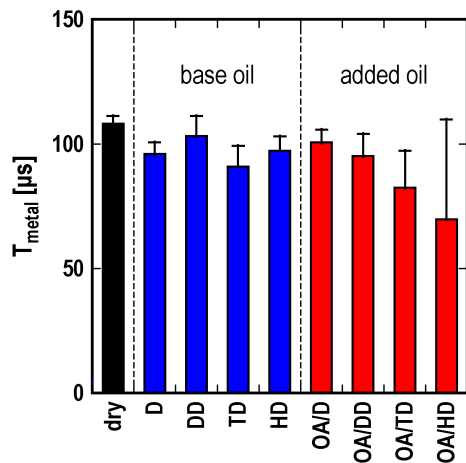


図3 直接接触時間に及ぼす潤滑油の基油と添加剤の影響

#### 4.2. 衝突面の潤滑効果に及ぼす電解重合反応の影響

##### (1) 実験方法

実験装置の写真を図4と図5に示す。本装置は、振子に固定された金属ボール(直径: 19 mm)とモータにより回転する金属リング(直径: 60 mm)の衝突を利用したボール-リング型の装置である。ボールとリングは電気的に絶縁されているので、両者を電極として用いることにより、接触部で電解重合反応を起こすことができる。

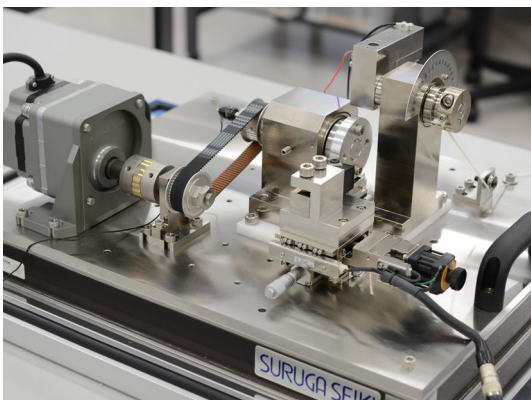


図4 実験装置(概観写真)

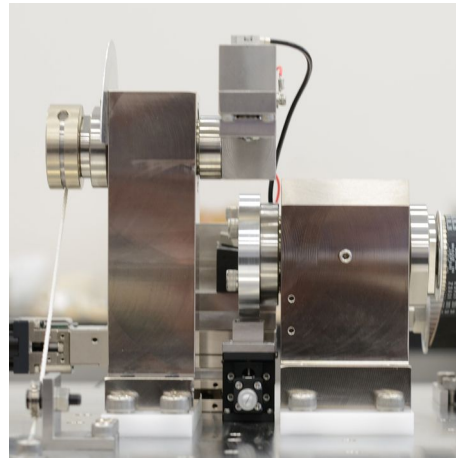


図5 実験装置(リング周辺の拡大写真)

##### (2) 主な結果

電解重合反応を生じる潤滑剤として、アセトニトリル(溶媒)に0.1 Mのピロール(モノマー)と0.5 Mの過塩素酸テトラブチルアンモニウム(支持塩)を溶かした溶液を用いた。リングは回転させずに固定した状態で、振子の自由運動によりボールとリングを1回だけ衝突させた。

接触部を通電させなかった場合に形成されたリング表面の圧痕の写真を図6、接触部に0.2 Aの電流を通電させた場合に形成されたリング表面の圧痕の写真を図7に示す。両者の圧痕のサイズに顕著な差は認められないが、後者の圧痕の表面には、電解重合反応により生成されたポリピロールの膜が認められる。瞬間的な衝突接触の間に保護膜が形成されたことは、電解重合を利用した自己修復型トライボシステムの可能性を示唆するものであると言える。

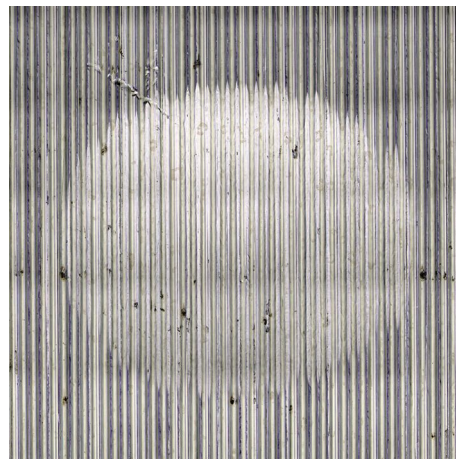


図6 リング表面に形成された圧痕(印加電流: 0 A、一辺の長さ: 2.5 mm)



図 7 リング表面に形成された圧痕（印加電流：0.2 A、一辺の長さ：2.5 mm）

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

仁平 貴大、田所 千治、尾崎 伸吾、中野 健、「100 マイクロ秒以内に発現するオレイン酸の鋼面接触防止効果」、トライボロジー会議、2013 年 5 月、東京。

仁平 貴大、田所 千治、尾崎 伸吾、中野 健、「衝突接触における添加剤の潤滑効果」、2012 年 9 月、室蘭。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕 無

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中野 健 (NAKANO, Ken)

横浜国立大学・環境情報研究院・准教授

研究者番号：30292642

### (2) 研究分担者 無

### (3) 連携研究者

跡部 真人 (ATOBE, Mahito)

横浜国立大学・環境情報研究院・教授

研究者番号：90291351