

2019年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	名古屋大学大学院 工学研究科
職位または役職	助教
氏名	村島 基之

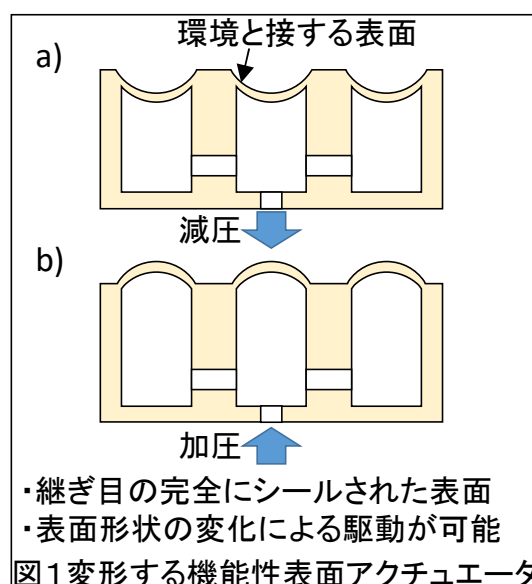
1. 研究題目

薄肉金属を用いた表面変形性を有する高出力機能性表面アクチュエータシステムの開発

2. 研究目的

本研究は申請者が新しく開発した表面が変形する機能性表面を応用した新しいアクチュエータを開発することが目的である。本研究の特徴は、継ぎ目のない完全にシールされた変形する表面を利用する点にあり、例えば流体中や腐食環境中においても使用可能である。また、表面自身が変形する機構であるため、省スペース性に優れたアクチュエータの開発が可能となる。これまで申請者は、能動的摩擦・付着制御手法開発のために表面自身が変形する材料を開発し摩擦力の制御に成功した。この材料は固体樹脂材料でありながら初期構造に曲率を持たせる工夫により300 μmを超える大変形が可能である。変形時に外部に与える力により、表面に接した物体に力を加えるアクチュエータとなる(図1)。

昨年度の研究により、樹脂材料よりも大きな出力が期待できる薄肉金属薄膜を用いたアクチュエータシステムを開発し、出力を3.1 kJと従来の1.6 kJから約2倍に引き上げることに成功した。加えて従来使用できなかった油中における使用が可能となり、流体潤滑中における摩擦制御が可能であることも明らかとなった。本年度は、接触面その場観察・測定を通じて本開発アクチュエータの接触状態遷移メカニズムを明らかにし、変形性表面アクチュエータの最適設計指針の提案を行う。



3. 研究内容及び成果

本年度の研究では、摩擦面その場観察を実施することで摩擦面形状の変化による摩擦係数の変化メカニズムの解明を実施した。研究の始めに図2に示す摩擦面接触状態リアルタイム測定装置を製作した。本装置は、金属変形表面と摩擦相手材金属ディスク間の電気抵抗とインピーダンスを測定する。これにより、変形の違いが固体同士の直接接触にどのような影響を与えているかを測定することが可能となる。本装置を用いて得られた、摩擦係数と油膜破断率の関係を図3に示す。この結果より、油膜破断率の減少(固体同士の直接接触が少ない)により摩擦係数が低減することが示された。これは、従来の境界-混合潤滑状態における摩擦メカニズムと同様の傾向を示している。従って、本研究により提案した変形表面は、自身の形状を変化させることで接触部における潤滑状態を改善し、そのことにより摩擦係数を制御していることが示された。

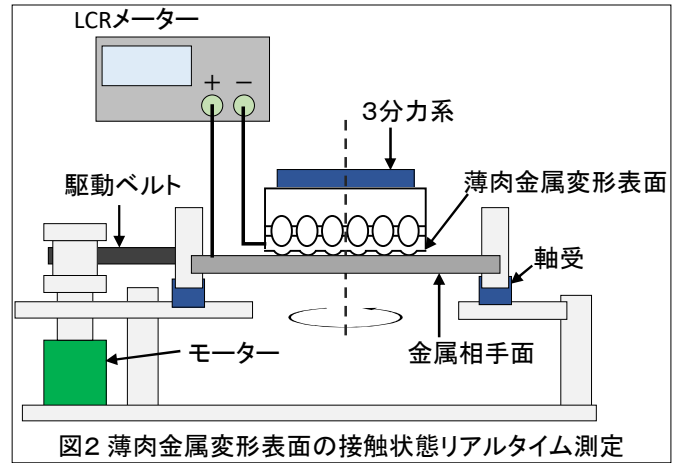


図2 薄肉金属変形表面の接触状態リアルタイム測定

変形表面の接触部における実際の潤滑状態を推定するために、図4に示す摩擦面その場観察装置を用いることで接触部潤滑油の状態を観察した。この摩擦面その場観察装置は、摩擦相手材に透明なガラスディスクを用いることで変形表面が変形したときの潤滑油の状態が観察可能となる。結果として、図5に示すように平坦形状では多くの油と空気の界面が観察され、接触部は油切れの状態になっていることが明らかとなった。一方で、凸形状に変形した際には接触部に潤滑油が集まっている様子が観察された。結論として、本研究の結果、凸形状と平坦形状に変形する表面により、潤滑状態を制御することで摩擦係数の能動的制御が達成されることが明らかとなった。また、曲率の大きいほど油が集まる効果が高いという結果が得られ、小さい半径でより曲率の大きな変形部を有する変形表面が摩擦係数制御に適しているという設計指針が得られた。

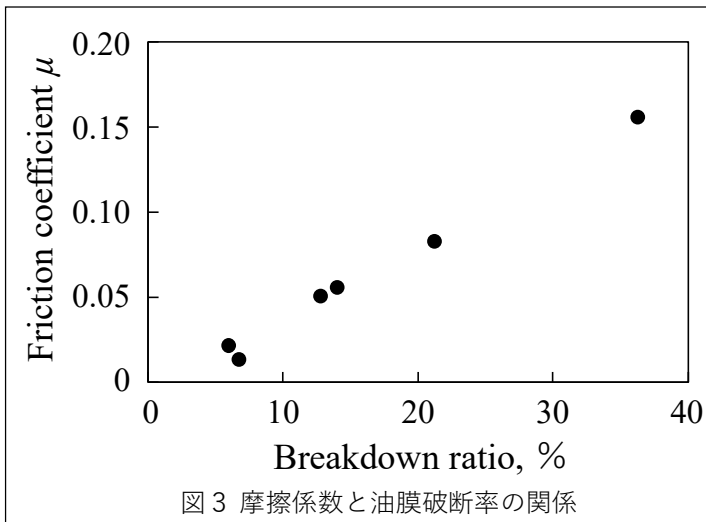


図3 摩擦係数と油膜破断率の関係

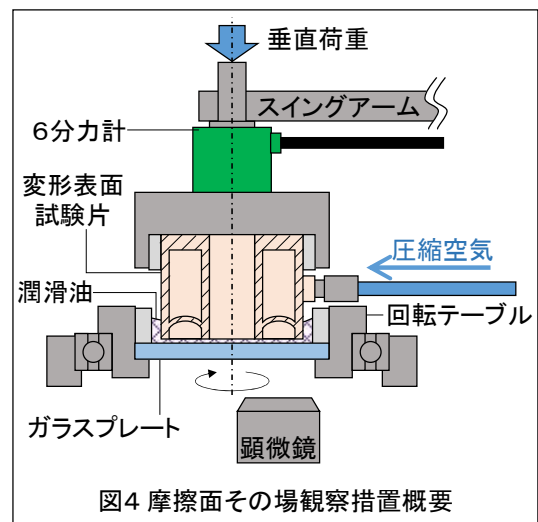


図4 摩擦面その場観察装置概要

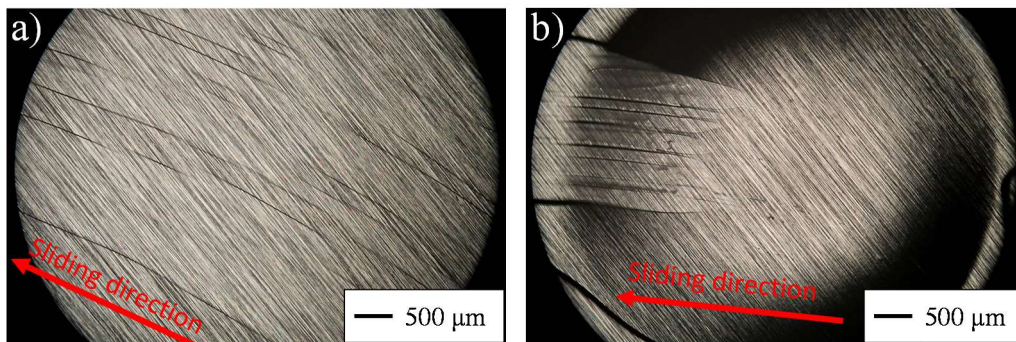


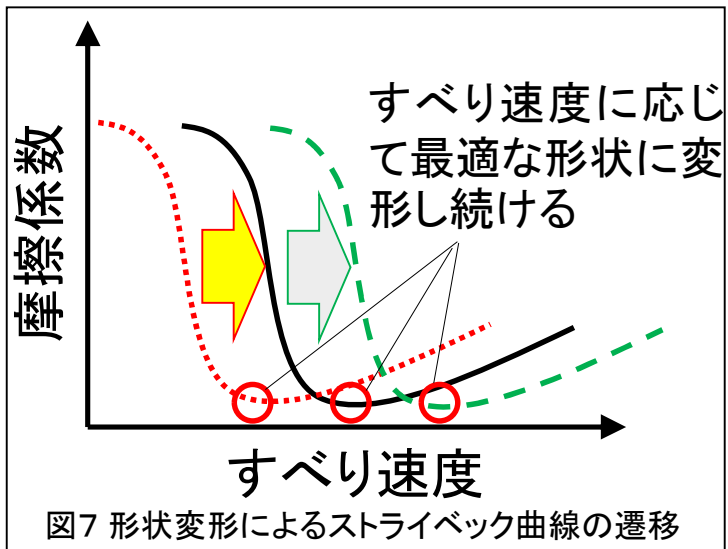
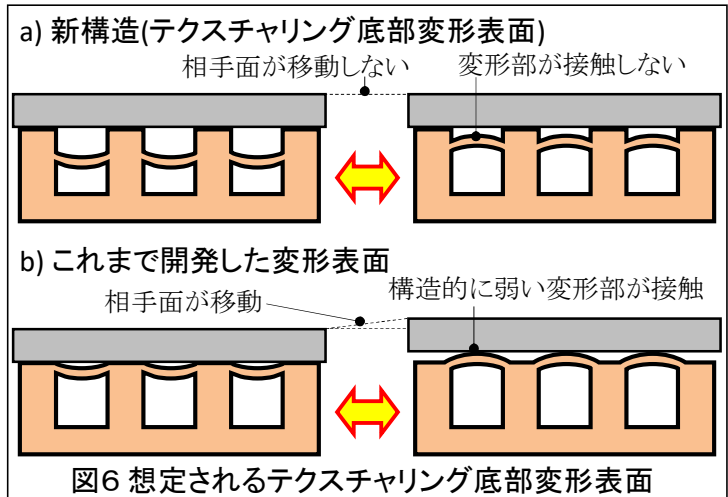
図5 変形部における潤滑状態の直接観察。(a)平坦形状、(b)凸形状

4. 今後の研究の見通し

本研究は、能動的変形表面の開発により表面自体がアクチュエータとして働く新しい機能性表面の開発を目的として実施された。その結果、表面の変形により摩擦係数を能動的に制御することが可能であることが示された。一方で、今回開発した表面は、変形部が直接相手面と接触し摩擦を制御するものである。また、ダイヤフラム構造を利用して表面の変形を達成しているため、長期間の運転により材料が摩耗し機能を発現できなくなることが考えられる。

上述した課題を解決するために、例えば直接相手に接触することのない部分における変形表面の開発が考えられる。一般的にアクチュエータは作用を及ぼす相手に対して接触することで力を伝達するものである。一方で今回の摩擦系においては、開発した変形表面が潤滑状態を能動的に制御することが明らかになった。従って、相手面に直接接触するような厳しい摩耗が生じる部分ではなく、流体を介して摩擦に影響を与える新構造が考えられる。具体的には、図6で示されるようなテクスチャリング底部が変形するような変形表面が一例として考えられる。この例の構造であれば、直接接触することなく流体を介して潤滑状態を制御することが可能となるため実用を見据えた材料となると考えられる。

最終的に、図7に示すようなストライベック曲線を変形による制御により左右にシフトすることが可能となると考えられ、どのような運転状態においても最低摩擦係数を発現する省エネルギー機器の開発につながると考えられる。



5. 助成研究による主な発表論文、著書名

・Yusuke Imaizumi, Motoyuki Murashima, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama, "Development of new active friction control system with morphing surface (Smart Surface) in poor lubrication oil", International Tribology Conference Sendai 2019, 21-B-4, Sendai(Japan), 17th-21th, September, 2019.

(2018年度の研究内容)

・村島基之, 今泉友佑, 梅原徳次, 野老山貴行, 齊藤利幸, 竹島雅之, “薄肉変形表面を用いた貧潤滑時摩擦能動的制御手法の開発”, トライボロジー会議秋 2020 別府, E45, 2020.

・Motoyuki Murashima, Yusuke Imaizumi, Noritsugu Umehara, Takayuki Tokoroyama, Toshiyuki Saito, Masayuki Takeshima, “Active Friction Control in Lubrication Condition Using Novel Metal Morphing Surface”, Tribology International, under review.