

令和 6 年度実績報告書

令和 7 年 3 月 19 日

公立千歳科学技術大学
学長 宮永 喜一 様

公立千歳科学技術大学特別研究等助成要綱第 7 条に基づき、下記のとおり報告いたします。

報告者	所属	応用化学生物学科	職名	教授 准教授 講師 助教 助手
	氏名	平井 悠司	ふりがな	ひらい ゆうじ
研究課題名	応力分散効果及び微細構造による摩擦力の制御			
本研究費による発表論文、著書 など	直接的な成果はなし。ただし、下記共同研究の成果は本申請研究と同一のアイディアで遂行された研究の成果である(筆頭著者は R3 に研究室を卒業した学生で、北大進学後も共同研究を継続)。 1)K. Tsujioka, A. Koda, <u>Y. Hirai</u>, M. Shimomura, Y. Matsuo, "Friction Reduction Effect Caused by Microcontact and Load Dispersion on the Moth - Eye Structure", <i>Adv. Eng. Mater.</i>, 26(20), 2401405, 2024 2)K. Tsujioka, <u>Y. Hirai</u>, M. Shimomura, Y. Matsuo, "Friction-reduction effect of the hierarchical surface microstructure of carrion beetle by controlling the real contact area", <i>Nanoscale</i>, 16, 21021-21030, 2024			

摩擦は接触しているありとあらゆる界面で必ず生じる現象であり、我々の行動においても摩擦がなければ成り立たない行動は多い。機械システムなどでは動力伝達に利用される一方で、エネルギー損失や摩耗による部材損傷など、多くの問題も引き起こしている。摩擦力は固体同士が接触することで生じる凝着を破壊するためのエネルギーとされており、摩擦力は「見かけ上の接触面積」には影響されず、実際に原子・分子レベルで触れ合っている「真実接触面積」が影響する(凝着理論)。金属や硬質プラスチックのような塑性変形材料の場合、荷重増加により界面の微細な凹凸に荷重が集中して変形、真実接触面積が増加することで摩擦力も増加し、摩擦係数としては一定の値になる。しかし、自然界に存在するヘビやマダラシミ、サンドフィッシュなど、摩擦に深く関係すると思われる生物の体表には表面微細構造があるのが一般的であるため、凝着理論だけでは説明できない、他の摩擦低減メカニズムがあると推測された。我々は生物の体構造から「表面硬く内部が柔軟」なことが重要で、体表面にかかる荷重を内部の柔軟性で分散し、真実接触面積を荷重と比例させないことで摩擦力を低減していると考えた(図1)。そこで本申請研究では、上述の仮説をよって生物の摩擦制御メカニズムを解明することを目指し、ヘビ体表の模倣材料として柔軟材料表面に硬質金属の微細構造を直接形成させることを試みた。

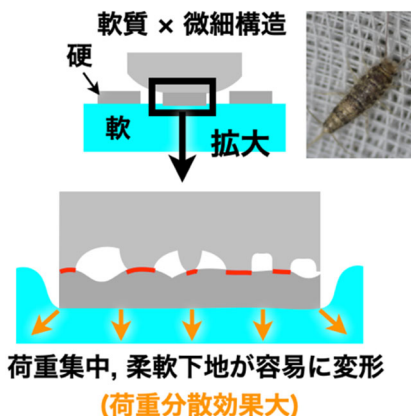


図1. 生物体表モデル及び荷重分散効果の模式図とマダラシミの写真

図2に作製方法の模式図を示す。柔軟材料としてはポリジメチルシロキサン(PDMS)を用いた。主材と硬化剤を混合して熱架橋することで作製したPDMSに石英とクロムで作られたフォトマスクをのせ、15分間紫外オゾン処理し、部分的に親水化させた。その後、0.1 mol/Lのオルトけい酸テトラエチル(TEOS)のエタノール溶液に30分間浸漬し、親水化部分をTEOSで保護した。処理したサンプルを0.01 mol/LのPdCl₂水溶液に45分間浸漬し、次いで2 g/Lの次亜リン酸ナトリウム水溶液に10分浸漬することでPDMSの疎水化表面に触媒となるPdを固定化した。最終的に次亜リン酸ニッケルを含むNi-Pの無電解めっき液に2分間浸漬させることで、PDMS上にパターン状にNi-Pを析出させた。

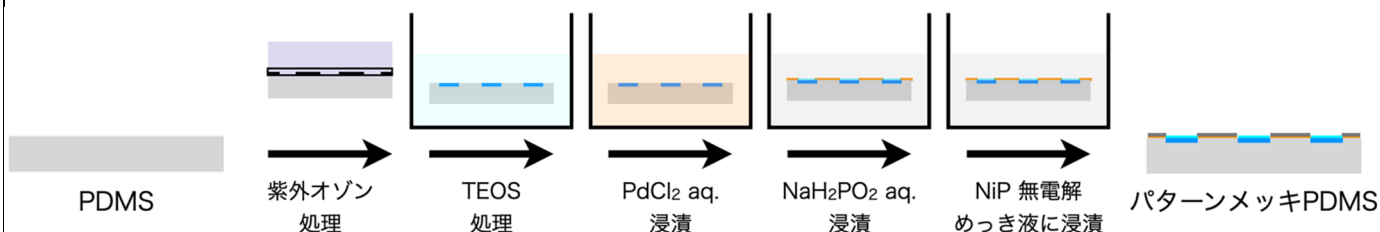


図2. 生物体表モデル作製方法の模式図

図3に作製したNi-Pパターン化PDMSサンプルの写真とレーザ顕微鏡像を示す。PDMS表面にはモヤのようなものが付着している様子がみられ(図3(a))、中央付近の薄い部分をレーザ顕微鏡で観察すると、ドット状にNi-Pが析出している様子が確認された(図3(b, c))。このことより、上述の方法で柔軟なPDMSにフォトマスクを用いて部分的に濡れ性を変え、触媒を固定化後に無電解めっきを施すことで、部分的に硬質なNi-PをPDMS上に析出可能であることが明らかとなった。しかしながら生物体表モデルの作製に成功したものの、サンプルの全面が均一にメッキされているわけではなく、さらに拡大して観察したときにドットの状態も不均一であることから、より処理条件を精査し、摩擦試験に耐えうる均一な表面を作製する必要がある。また、パターン化する際に用いたTEOSも比較的硬質なものであるため、TEOSを利用しない手法についても今後検討する。

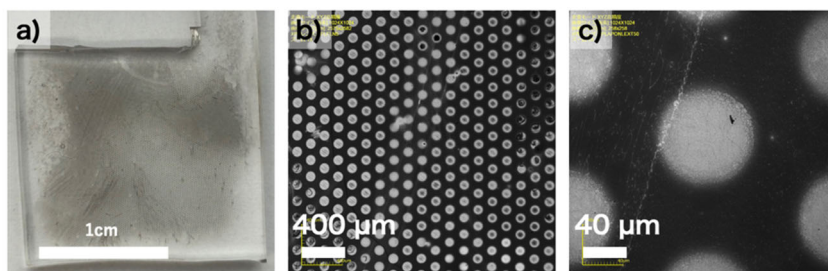


図3. 作製したサンプルの(a)写真、(b, c)レーザ顕微鏡像