

水溶性の両親媒性高分子を用いた超低摩擦界面の設計

○山田 真爾*

花王株式会社 解析科学研究所

Low-friction surfaces prepared using a water-soluble amphiphilic polymer

○Shinji Yamada*

R&D - Analytical Science Research, Kao Corporation

1. はじめに

水系潤滑は生体における低摩擦を司るすべり機構であり、人工関節やコンタクトレンズ等に代表される医療機器・材料を中心に幅広く応用されている。また、水潤滑はエネルギーの効率的利用はもちろん、低環境負荷など SDGs の観点からもメリットが大きく、摺動素材として相性の良いセラミックス系材料と組み合わせた機械分野への応用検討も進んできている。

水系潤滑の適用分野拡大に向けた課題の一つは、耐荷重能の向上である。水は油と異なり、固体／固体接触界面のナノレベルの隙間で分子が幾何学的に充填しても増粘や固化を生じず、液体としての高い流動性を維持できる。このことはもちろん、水潤滑が境界摩擦条件で低摩擦を実現できる分子的な起源であるが、その高い流動性ゆえに水分子は高荷重下で接触界面から排出されやすい。そのため、界面に水分子を保持するための工夫が必要であり、それには大きく固体表面を改質する方法と、水に添加剤を加える方法がある。我々は後者に着目し、両親媒性の高分子添加剤を応用した水系潤滑技術を検討している。

2. 両親媒性高分子吸着層による超低摩擦^{1,2)}

水溶性の両親媒性高分子は分子内に親水的な構造（イオンや極性基）と疎水的な構造を有し、水中では自己会合して親水部が水和殻を形成することで溶解している。これを水系潤滑の添加剤として用い、固体表面に均一に吸着させて水和殻を界面に並べることが出来れば、水分子が生じる短距離斥力（水和斥力）によって荷重を支えることができる。水和殻を形成する水分子の運動性はバルク水と比較してせいぜい二桁程度低いだけであり、摩擦せん断と共に流動できる。これが水系潤滑による超低摩擦の分子的な機構である。

我々は、シリコーン系両親媒性高分子 Bis-Isobutyl

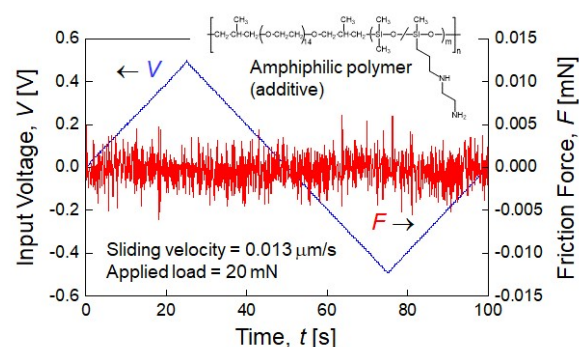


Fig. 1. Friction output between mica surfaces separated by the aqueous solution of an amphiphilic polymer additive.

PEG-14/Amodimethicone Copolymer (BIPA) の水溶液について検討を行った。表面力測定装置 (Surface Forces Apparatus, SFA) を用いてその摩擦挙動とせん断中の膜厚を評価した。BIPA 水溶液を雲母基板間に挟み垂直荷重によって薄膜化すると、膜厚約 3 nm の界面膜が得られた。雲母表面間の摩擦力は、BIPA 濃度・調製条件によっては最大荷重 (20mN) 条件でも検出限界 (約 0.0006 mN) 以下であった (Fig.1)。この場合の摩擦係数を $\mu = F/L$ から見積もると 10^{-5} オーダーとなるが、これは水和潤滑として報告のある μ として世界最小レベルの値である。BIPA は対向する雲母基板上にそれぞれ一層ずつの吸着層を形成し、その界面には水和殻の形成に関与している 1 分子層程度の水が介在する。この水分子層が平滑で連続した滑り面として働くことで、極めて低い摩擦が実現したと考えられる。

文 献

- 1) T. Miyamoto, N. Yamazaki, S. Watanabe and S. Yamada: Langmuir **35**, 15784 (2019).
- 2) H. Kimura, T. Miyamoto, N. Yamazaki, S. Watanabe and S. Yamada: Polym. J. (2021).
<https://doi.org/10.1038/s41428-021-00515-w>

*E-mail: yamada.s@kao.com