

■キーワード

トライボロジー 潤滑 表面科学 量子ビーム分析 ナノテクノロジー

■研究の概要

機械内部における摩擦や摩耗を低減するための潤滑メカニズムについて、ナノスケールの観点から解明を進めています。機械の円滑な動作を維持するためには、潤滑油の存在が不可欠です。潤滑油には複数の添加剤分子が配合されており、これらは金属表面に膜を形成し、摩擦や摩耗の特性を劇的に改善します。特に、数ナノメートルという極めて小さな分子が界面で働くことで、摩擦低減効果や耐摩耗性を発揮するメカニズムに注目しています。従来、トライボロジー分野においてはマクロスケールでの評価が中心でしたが、ナノテクノロジーや表面科学の知見を応用することで、より精密な評価と新たな知見の獲得を目指しています。

■研究・技術のプロセス／研究事例

1. 潤滑油中の環境因子と膜形成のメカニズム解明(図1)

ジアルキルジチオリン酸亜鉛(ZDDP)は、金属表面に反応膜を形成し、摩耗を抑制します。潤滑油中の酸素濃度を制御し、AFMによる連続摩擦試験を行った結果、酸素濃度が低い場合には反応膜の形成速度が低下し、膜が平滑化して崩壊することが確認されました。また、ステアリン酸は厚い金属石けん膜を形成し、低摩擦を実現しますが、その形成には潤滑油中の水分が重要な役割を果たすことを可視化しました。これらの結果から、潤滑油中の添加剤分子が形成する膜は、酸素や水分といった環境因子に強く影響され、その形成プロセスや膜構造が摩擦や摩耗特性に直接関与することを明らかにしました。

2. ナノスケールでの摩擦試験と吸着膜評価(図2)

半導体微細加工技術によってSi基板上にCu薄膜のラインパターンを形成し、AFM摩擦試験用の試験片を作製しました。基油中で測定したSi-Cuの段差と、脂肪酸を含む潤滑油中でのSi-Cuの段差を比較することで、AFMのカンチレバー探針直下における吸着膜の厚さと摩擦係数の同時計測に成功しました。その結果、圧縮せん断力が働くことで、静止場よりも吸着膜が薄くなる現象を明らかにしました。本試験を通じて、ナノスケールにおける潤滑添加剤吸着膜の挙動が摩擦係数に直接影響を与えることが示され、精密な摩擦測定技術の有用性が確認されました。

3. 狭小すき間摺動試験機と量子ビーム分析技術(図3)

中性子反射率計に搭載可能な狭小すき間摺動試験機を開発しました。本装置は静圧軸受機構を有し、1 μm のすき間を維持した状態で試験片を回転させ、 10^5 s^{-1} オーダーのせん断場を再現します。従来の量子ビーム分析では、静的環境での膜構造評価に限られていましたが、本技術により動的なせん断場でも膜構造の解析が可能となりました。これにより、実際の機械摺動部に近い条件下での潤滑添加剤の膜形成プロセスや構造変化を高精度に解明することが実現しました。

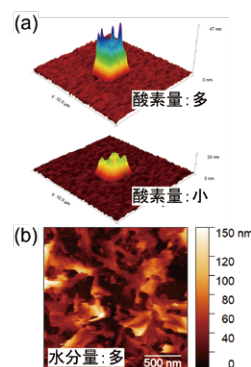


図1 雰囲気制御AFMによる膜構造の可視化
(a) ZDDP, (b) 金属石けん

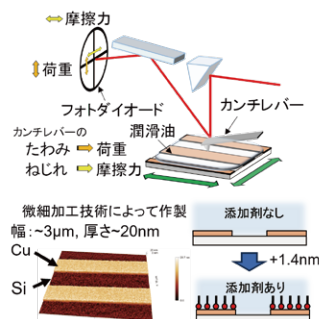


図2 AFMによるラインパターンを使った摩擦測定

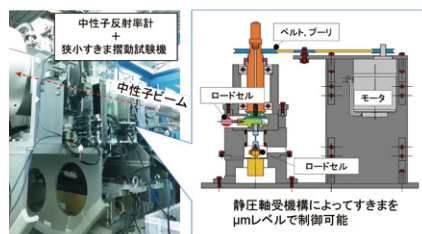


図3 狭小すき間摺動試験機を使った量子ビーム分析

■セールスポイント

AFMや量子ビーム分析を駆使し、添加剤の膜形成メカニズムを精密に解明します。潤滑油や機械性能の高度化・最適化に貢献し、省エネや高性能化を実現します。

摩擦低減に向けた潤滑膜の精密ナノスケール解析