

中性子とミュオンで摩擦を理解

～量子ビームによるトライボロジー研究～

トライボロジーとは、摩擦や潤滑といった、物と物が触れ合う場所で起きている現象を研究する新しい学問分野です。摩擦や潤滑といった現象は、私達の身の回りのあらゆる場所で起きている。しかし、摩擦が起きているまさにその場所、物と物が触れ合っている所で実際に何が起きているのかについては、まだわかっていないことがたくさんあるのです。

物と物が触れ合っている界面では、私達の目に見えるマクロの世界から分子や原子といったミクロの世界まで、様々なスケールの現象が複雑に絡み合って全体の現象を形作っています。その全体像を知るためには、一ミリの数十億分の一というナノスケールの世界で起きている現象を、物と物が触れ合った状態のまま観察することが必要です。

私達は、中性子やミュオンという特殊な「量子ビーム」を使って、この摩擦や潤滑という現象を明らかにしようとしています。中性子やミュオンはうまく制御することによって物と物が触れ合っているまさにその場所を観察することができ、原子や分子レベルでその構造と動きを解明することができるのです。

そこにはこれまで誰も見たことがなかった世界が広がっています。その世界で起きている現象への理解が進めば、様々な技術への応用が期待できるでしょう。さらには、新しい物理現象を見つけることができるかもしれません。中性子とミュオンを使ったトライボロジー研究は、科学と技術の両面で新しい扉を開く可能性を秘めているのです。

trimn.kek.jp

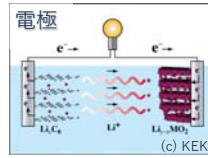
量子ビームを用いた表面・界面の観察

中性子・ミュオンといった量子ビームを使うと表面・界面のナノ構造やその動き（ダイナミクス）を観察することができます。

異なる物質の境界である表面・界面では、物質内部とは違った不思議な性質が表れることが知られています。また、表面や界面を利用した工業製品は私達の身の回りにあふれており、その謎に迫ることは工業製品の性能を向上させるためにも重要な意味を持っています。

X線や中性子・ミュオンといった量子ビームはナノメートル（100万分の1ミリメートル）スケールにおける、物質の構造や動きを調べることができる「夢の光」です。我々研究者は、この量子ビームをうまく活用することによりナノレベルで物質の性質を理解するための研究に日夜取り組んでおり、表面・界面の謎もその重要な研究テーマの一つです。

機能性を有する表面・界面の例



Das Volumen des Festkörpers wurde von Gott geschaffen, seine Oberfläche aber wurde vom Teufel gemacht. (固体は神が創り給うたが、表面は悪魔が創った)
Wolfgang Ernst Pauli



The interface is the device. (界面とはまさしくデバイスである)
Herbert Kroemer
2000年ノーベル物理学賞
(高速エレクトロニクスおよび光エレクトロニクスに利用される半導体ヘテロ構造の開発)

干渉を利用した表面構造観察

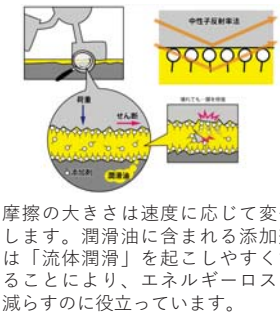
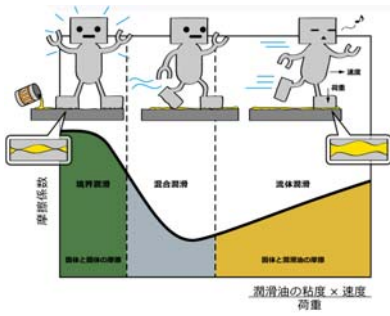
表面で反射した光と裏面で反射した光とが強め合う「干渉」が起きる条件を調べると膜の厚さを調べることができます。特に、X線や中性子の波長は非常に短く、ナノメートルスケールの構造を観察するのに適しています。



写真: ウィキメディア・コモンズ

滑る・止まるを科学する ～トライボロジーへの応用～

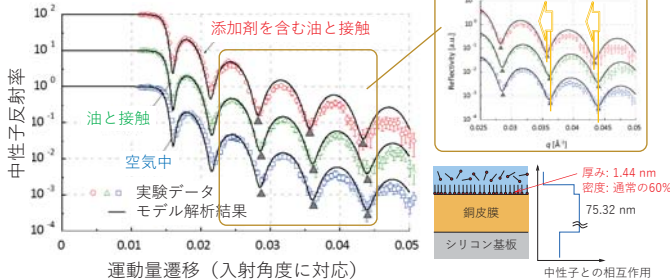
摩擦面における潤滑



摩擦の大きさは速度に応じて変化します。潤滑油に含まれる添加剤は「流体潤滑」を起こしやすくすることにより、エネルギーロスを減らすのに役立っています。

中性子反射率法を用いた実際の観察結果

銅の表面と機械油の接触界面を測定



世界で初めて添加剤による皮膜を直接観測することに成功！

我々の研究プロジェクト”TRIMN”では、中性子やミュオンを用いて摩擦の理解を目指します。

摩擦はエンジンやモーター、ギアやベアリングなどの機械を摩耗させたり、燃費を低減させる厄介者です。これを軽減させるために摩擦を減らす潤滑油が利用されていて、潤滑油中の添加剤が金属表面を覆うことによって低摩擦の「流体潤滑」が起きると考えられてきました。しかし、実はこの添加剤による被覆を直接観察した例はなく、その被覆が単層なのか、それとも何層も積み重なっているのかは長い間不明でした。

我々は、この問題を解決すべく中性子反射率法を用いて金属表面と機械油の接触界面を測定しました。前述の通り、中性子はナノスケールの構造を観察するのに適している上に透過力が高いため、金属を通過して油との接触界面に到達し、そこでの反射を調べることによって添加剤が作る層を観察することができます。そして実験の結果、添加剤が金属表面で形成する皮膜構造を世界で初めて直接観察することに成功しました。

これは量子ビームを用いた「滑る・止まる」の科学、トライボロジー研究の記念すべき第一歩です。今後はタイヤ中のゴムの動きを観察することで低燃費タイヤの謎にも迫っていく予定です。