

研究代表者	京都大学・工学研究科・教授	
	平山 朋子（ひらやま ともこ）	研究者番号:00340505
研究課題情報	課題番号：23H05448	研究期間：2023年度～2027年度
	キーワード：機械工学、機械要素、トライボロジー、潤滑油	

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

近年、更なる省エネルギー社会の実現に向けて、機械摺動面の摩擦低減に関する要求とトライボロジー分野への期待はいつその高まりを見せている。本研究では、潤滑油中に含まれる添加剤の表面吸着に由来する『境界潤滑層』に焦点を当て、その摩擦係数の予測と更なる超低摩擦化に向けた最適設計指針の提示を目指す。具体的には、境界潤滑層形成の源流を添加剤分子の基油への溶解（①溶ける）、表面への吸着（②吸着する）、基油中での分子の揺らぎ（③揺らぐ）に求め、中性子線を用いた各種分析をトライボロジー環境下で実施することで、基油中での境界潤滑層の『構造と物性（ダイナミクス）』を抽出する。さらにそれらの構造・物性情報と「点」接触系および「面」接触系における『原理的な境界潤滑摩擦係数』を分子シミュレーションを援用して紐付けることにより、超低摩擦発現に向けた境界潤滑の本質を明らかにすることを目的とする。これまで摩擦試験を行う以外のアプローチが採られてこなかった『境界潤滑現象』に光を当て、科学として体系化することで、『境界潤滑』の新学理の創出を図る。

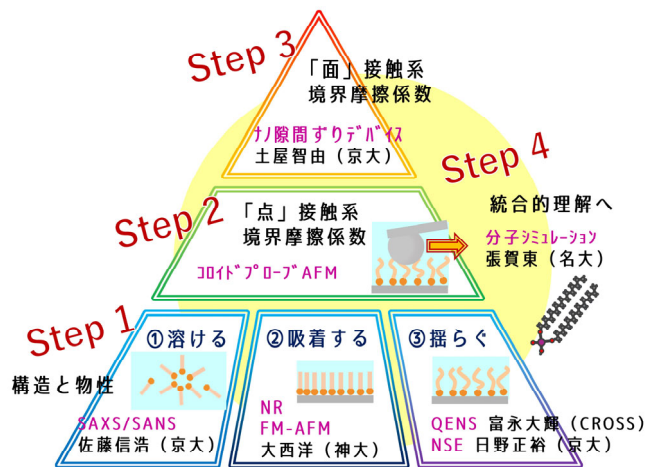


図1 本研究の全体像

●『境界潤滑層』とは

境界潤滑状態においては、固体表面に形成される何らかの柔らかい「層」（一般的に『境界潤滑層』と呼ばれる）の存在がキーであるとされており、これまで、それら層の構造および形成メカニズムに関する多くの議論がなされてきた。一般的な機械において、そのような境界潤滑層形成の素となるのは、主として、潤滑油中に混入されている『添加剤』である。

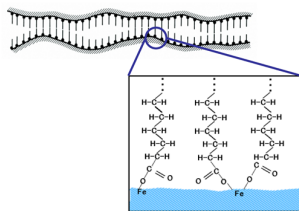


図2 Hardyによる境界潤滑モデル

●本研究の特長

- 添加剤の基油への溶解、潤滑層形成、ダイナミクスといった境界潤滑層の構造から物性までを明らかにし、摩擦低減メカニズム解明に繋げようとする提案は過去にない。
- 申請者と分担者のグループがこれまで蓄積してきたオペランド量子ビーム分析技術とトライボロジーの知見を組み合わせることで可能となる提案であり、高い独自性を有する。
- 境界潤滑層の構造および物性分析に留まらず、「点」および「面」接触摩擦試験による『原理的な摩擦係数』との相関を探る点に学術的価値がある。特に面接触摩擦試験においては、MEMS創成技術を用いた独自のナノ隙間すりデバイスでの精密実験を掲げており、高いオリジナリティがある。

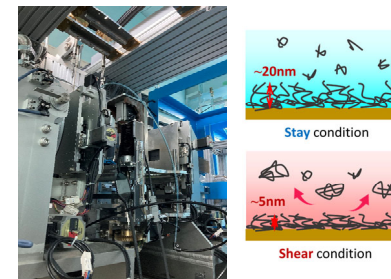


図3 申請者がこれまでに行ってきた摺動機構付き中性子反射率分析の実験の様子

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●本研究の目的とその進め方

添加剤分子は基油中に溶解した状態から自発的に表面に境界潤滑層を形成する。そしてその層が荷重を支持して固体間の接触を抑制する。さらに、層内を自由に動く基油分子が横方向へのせん断力を緩和し、低摩擦をもたらす。

そこで本研究では、基油中にある境界潤滑層の構造および物性とその『境界潤滑摩擦係数』を体系的に紐付けることで、『境界潤滑摩擦係数』の予測および更なる低摩擦化をもたらし得る境界潤滑層設計指針の提示を目指す。これまで摩擦試験を行う以外のアプローチが採られてこなかった『境界潤滑現象』に光を当て、科学として体系化することで、添加剤の吸着に由来する『境界潤滑現象』の本質を明らかにすることを本研究の目的とする。そのための具体的なアプローチとして、本研究では以下の4つのステップを踏む。

- Step 1** トライボ条件下における境界潤滑層の構造および物性の把握
- ①『溶ける』 X線・中性子小角散乱法（SAXS/SANS）による潤滑油中添加剤分子の構造解析
  - ②『吸着する』 中性子反射率法（NR）および周波数変調式AFMによる境界潤滑層の構造解析
  - ③『揺らぐ』 中性子準弾性散乱法（QENS）およびスピンエコー法（NSE）による境界潤滑層のダイナミクス解析
- Step 2** 理想「点」接触系における境界潤滑層の原理的摩擦特性の把握
- Step 3** 理想「面」接触系における境界潤滑層の原理的摩擦特性の把握
- Step 4** 境界潤滑摩擦係数の予測と超低摩擦化のための境界潤滑層の最適設計指針の提示

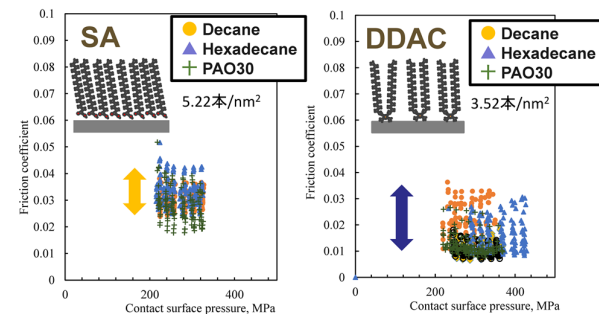


図4 吸着層の構造と摩擦係数の関係性一例