

# 中性子反射率法のトライボロジー応用 —基礎的メカニズム解明から実用展開まで

京都大工<sup>A</sup>

平山朋子<sup>A</sup>

## Application of Neutron Reflectometry to Tribology Study — From Basic Mechanism to Pragmatic Expansion

<sup>A</sup>Dept. of Mechanical Eng. Kyoto Univ.

T. Hirayama<sup>A</sup>

「トライボロジー」とは、摩擦、摩耗、潤滑問題を取り扱う学問分野を指し、ギリシャ語の「擦る (τριβω)」を語源としている。エンジンにおけるシリンダとピストン、ブレーキにおけるディスクとパッドなど、機械にはさまざまな箇所に摺動部位が存在するが、その部位で所望される仕様に応じて摩擦を適切にコントロールし、摩耗、焼付きを抑制することがトライボロジーに携わる研究者の課題であり、目標であると言える。摩擦の低減において最も効果的な方法は摺動二面の間にはせん断抵抗の小さい物質を介在させることであり、そのために私たちは多くの摺動面に「潤滑油を塗る」という行為を行う。

「潤滑油を塗る」という行為は、一見単純に思えて実は奥が深い。潤滑油が存在する摺動面における摩擦係数の傾向を図1に示す。これは「ストライベック線図」と呼ばれ、潤滑問題を議論する上で決して欠かすことができない。図のとおり、潤滑摩擦の形態は大きく三つに分けることができ、左より、境界潤滑状態 (Boundary lubrication)、混合潤滑状態 (Mixed lubrication)、流体潤滑状態 (Hydrodynamic lubrication) と呼ばれる。境界潤滑状態においては、摺動二面が部分的に接触しており、その摩擦係数は主として潤滑油の「油性」に依存する。「油性」とは潤滑油が持つ独特の「ぬるぬる感」であり、潤滑油分子と摺動表面の化学的な作用 (吸着・反応) によって発現する。一般的な潤滑油には、このぬるぬる感をより効果的に発現させるために「油性向上剤」と呼ばれる添加剤が配合されており、それによってさらなる低摩擦化が図られる。

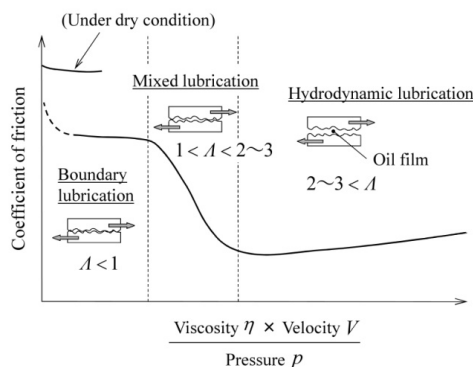


図1 潤滑摩擦の三態を表すストライベック線図

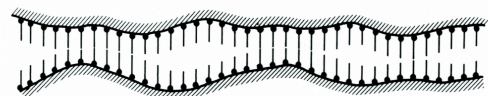


図2 Hardy らによる油性向上剤分子の表面吸着モデル[1]

図2に, Hardyらによる油性向上剤の表面吸着に基づく摩擦低減メカニズムのイメージ図を示す[1]. これは今からほぼ100年前の1922年に提唱されたものであるにも関わらず, これを更新するようなイメージ図はほぼ現れていないと言ってよい. しかしながら, 近年の表面界面分析技術の進歩は目覚ましく, 潤滑油/金属表面界面の真の姿が徐々に浮かび上がりつつある. 現実には, Hardyのモデルを基本とするが, 摺動により多層化したり, 金属石鹸化した分子が凝集体を作ったり, より複雑である.

中性子反射率法は, このような潤滑油/金属表面界面における添加剤吸着層の厚みおよび密度の定量化に極めて有用な手法である. 特に, 潤滑の研究において中性子反射率法が有用である理由は以下に依る.

- ・ 中性子線の高い物質透過能により, 固液界面の直接観察が可能である.
- ・ 基油と添加剤はどちらも炭化水素から成り, 光や X 線等では識別が困難であるが, 重水素化ラベリングにより, 中性子線では基油と添加剤分子を明確に区別することができる.
- ・ 添加剤によって形成される吸着層の厚みが, 一般的な中性子反射率計で得意とするエネルギー帯に合致する.

図3に添加剤吸着層の分析手順を, また, それによって得られた典型的な結果一例を図4[2]に示す. 境界潤滑下における金属間の摺動特性は, このようにして得られた界面構造と高い相関性を示すことが確認されている. 現在, トライボロジー分野において中性子反射率法の応用は世界的な広がりを見せており, 省エネルギー化に向けた社会動向も相まって, 今後ますますの展開が強く期待されている.

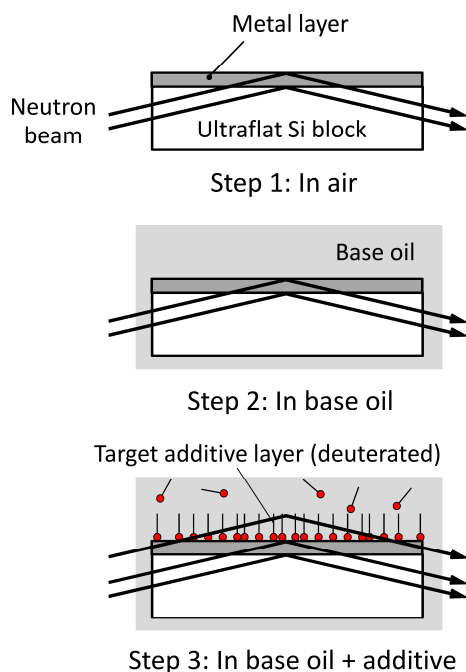


図3 中性子反射率法による分析手順

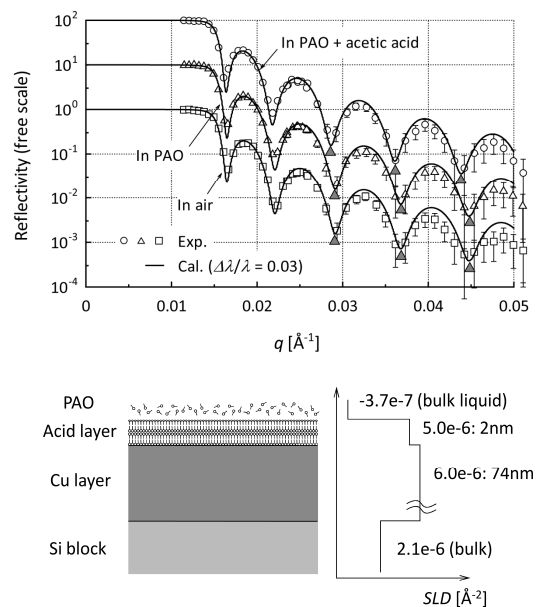


図4 得られた反射率プロファイル(上)と推定された界面構造例(下)[2]

### 参考文献

- [1] W. B. Hardy and I. Doubleday, Proc. R. Soc. Lond. A **100**, 550 (1922).  
 [2] T. Hirayama, M. Hino et al., Tribol. Int. **54**, 100 (2012).