

2013A1434

BL46XU

## 放射光 X 線回折法による弾性流体潤滑下トラクションオイルの構造解析 Molecular Structure of Traction Oil under EHL Condition Analyzed by X-Ray Diffraction

平山 朋子, 竹原 弘耕, 楠本 貴大  
Tomoko Hirayama, Hiroyasu Takehara, Kihiro Kusumoto

同志社大学  
Doshisha University

本研究では、放射光 X 線回折法を用いて、トラクション伝動装置等における弾性流体潤滑 (EHL) 状態下での油膜の構造解析を行うための予備検討を行った。本実験では、ビームライン上に小型二円筒試験機を設置し、二円筒間に形成される 1  $\mu\text{m}$  オーダの厚みの油膜に単色 X 線を照射することによってどの程度の散乱強度が得られるかを確認した。

**キーワード:** 機械工学、トライボロジー、トラクションオイル、弾性流体潤滑、放射光 X 線回折

### 背景と研究目的:

近年、自動車の普及に伴う大気汚染などの地球環境問題が深刻化する中で、エネルギー削減が求められている。その中でもエンジンの摺動部分の摩擦や摩耗低減による消費エネルギーの削減は大きな課題の一つである。さらに、自動車の走行に伴う騒音、振動も問題となっている。そのため、近年、トラクションドライブの実用化が進められている[1]。

トラクションドライブとは、高硬度の転動体に法線力を与え、潤滑油を介して接触させる機構である。転動体同士の接触点では数  $\mu\text{m}$  の油膜が形成され、各転動体に速度差を与えることにより、油膜に接線力を発生させて動力を伝達する[2]。転動体の接触面では、転動体表面は弾性変形し、また高い面圧により潤滑油の粘度が変化する。この二つの効果を取り入れることによって表面粗さに相当する油膜が形成され[3]、いわゆる弾性流体潤滑 (EHL) 状態となっている。これにより転動体同士が直接接触することがなく、摩耗や焼付きがほとんどないという利点がある[4]。

トラクション伝達装置などの EHL 状態下での固体間に形成される油膜では、潤滑油が瞬間的に固化すると言われている。このようなトラクション伝達装置のトラクション特性は転動体間に存在する潤滑油の分子構造に依存すると考えられている[5,6]。

そこで本研究では、圧力に対する各種潤滑油の分子構造挙動及び分子構造とトラクション係数との関係性について検証することとした。弾性流体潤滑下における潤滑油の分子構造を調査するために、微視的構造解析が可能である放射光 X 線回折ビームライン BL46XU に小型二円筒試験機を取り付けた。本課題では、予備実験として、二円筒間に形成される 1  $\mu\text{m}$  オーダの厚みの油膜に単色 X 線を照射することによってどの程度の散乱強度が得られるかを確認した。

### 実験:

本実験では、小型二円筒試験機を BL46XU ビームライン内に設置し、二円筒間に形成される油膜に直接 X 線を照射することで EHL 条件下にある油膜の構造解析を行った。二円筒試験機の写真を図 1 に示す。本試験機的设计においては、装置がビームラインに納まるサイズとなるよう、性能を低下させない範囲で極力小型とした。また、モータが二円筒間のすきまへの X 線の入射を遮らないようプーリを介した駆動とし、荷重調整はばねによって行えるよう工夫した。Dowson-Higginson の式[7]を用いて油膜厚みを計算したところ、定格荷重、定格速度で得られる EHL 油膜の厚みは 1~2  $\mu\text{m}$  であり、瞬間的に油膜に掛かるヘルツ圧の最大値は 2~4 GPa であった。

実験においては単色 X 線を油膜に照射し、検出器を角度方向にスキャンすることによって回折プロファイルを得た。その際、X 線エネルギーは 15 keV とし、入射側スリットの大きさは 35×35  $\mu\text{m}^2$  とした。二円筒の材質をタングステン製とすることで、油膜以外の箇所からの散乱をカットした。

本研究において、試料油にはトラクションオイル DM2H を用いた。なお DM2H は、最も性能が良いトラクションオイルとして知られており、CVT (Continuously Variable Transmission) において多く使用されている実績を持つ。

**結果および考察：**

本課題では、試験機内の二円筒間に X 線を照射することができるかどうか、また、そのときの回折強度はどの程度かを確かめるために、まず、図 2 のようなセットアップで透過 X 線強度を確認した。そのとき、二円筒の周速を 10.26 m/s とし、法線力を 70 N とした。なお、そのときの油膜厚さは約 1.5  $\mu\text{m}$  と計算された。その状態で得られた透過 X 線の強度分布を図 3 に示す。図中の赤丸はコリメータで絞った入射 X 線のサイズ ( $\phi 20 \mu\text{m}$ ) に相当する。 $y = \pm 25 \mu\text{m}$  の領域にのみ濃淡色が付いているが、各セルの中心位置に入射 X 線の中心値を合わせた時に得られた透過 X 線の強度を示している。なお、黒色ほど透過 X 線強度が高かったことを意味している。強度分布より、二円筒直下である 190  $\mu\text{m}$  幅の領域は透過強度が極めて低く、回折線を得ることは困難であった。ちょうど弾性流体潤滑状態として計算した弾性変形域の幅は 178  $\mu\text{m}$  であり、その領域とよく一致することが分かった。これより、回折線を得ることは困難であったが、計算で得られた弾性流体潤滑状態が装置上で実現できていることが確認できた。

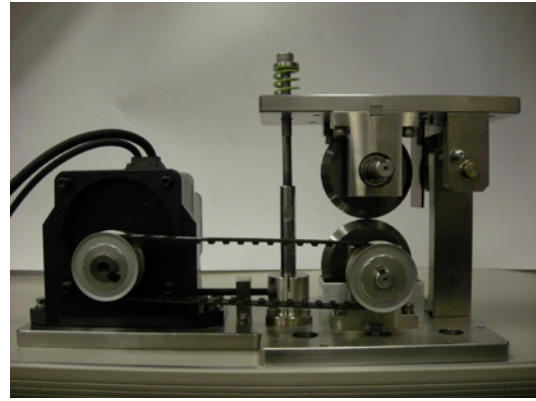


図 1. 小型二円筒試験機

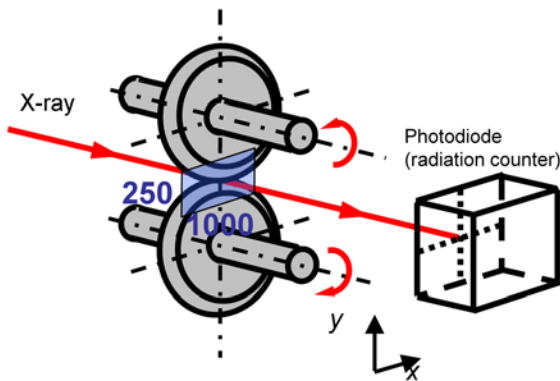


図 2. ビームラインにおける二円筒試験機のセットアップ

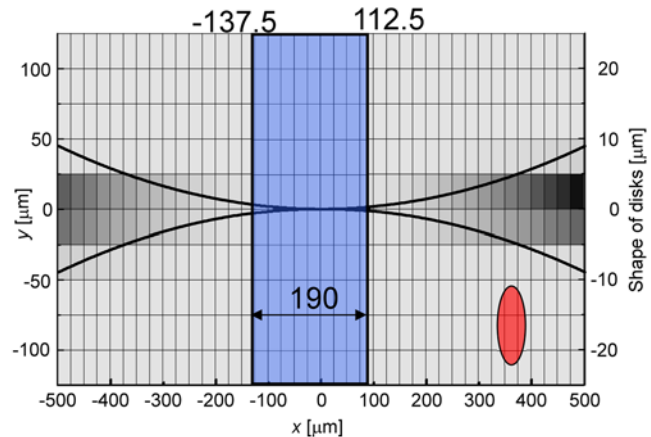


図 3. 透過 X 線の強度分布  
中央の 190  $\mu\text{m}$  幅の領域はシグナルがほぼ得られなかった。

**まとめ：**

弾性流体潤滑下にある潤滑油の構造は極めて関心が高い課題の一つであり、トラクション性能にも大きな影響を及ぼすとされているが、未だ分子構造とトラクション性能の関係性は見出されていない。このような二円筒試験機をビームライン上に載せた構造解析の取り組みは世界初であり、その成果が期待されるが、そのまま二円筒直下の回折線を得ることは難しく、粘度の高い潤滑油に変更したり、周速をより早くするなど、油膜厚さを厚くする工夫が必要であることが分かった。

**参考文献：**

- [1] 鄧鋼他, 日本機械学会論文集 C, **65** (635), 2880 (1999).
- [2] 日本機械学会, トラクションドライブ調査研究分科会・成果報告書, 97 (1985).
- [3] 村木 正芳, 第 34 回トライボロジー入門講座配布資料, 51 (2003).
- [4] 山本 雄二, 兼田 楨宏, トライボロジー, 理工学社, 東京 (1998).

- [5] 坪内 俊之, 畑 一志, トライボロジスト, **41** (5), 395 (1996).  
[6] Y. Tamai *et al.*, *J. Japan Petrol. Institute*, **25** (3), 127 (1982).  
[7] D. Dowson, *Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers*, **182** (3A), 151 (1967-68).

---

(Received: May 15, 2023; Accepted: July 10, 2023; Published: October 31, 2023)