

非定常下での EHL 転動体の油膜形成に関する一考察

Study on oil film formation on EHL rolling elements under the unsteady conditions

ミツイサイエンテック（正）*光井 秀明 ピーシーエスインストルメンツ**（非）マシュー スミース

Hideaki Mitsui*, Matthew Smeeth**

Mitsui ScienTech*, PCS Instruments**

1. はじめに

弾性流体潤滑下で形成される油膜厚さは潤滑性を評価する最も重要な潤滑油の機能のひとつであるため、油膜厚さ測定方法やそれらを用いた基油や添加剤の油膜形成能に関して多くの研究が行われている¹⁾。特に地球温暖化対策が叫ばれるようになった近年では潤滑油の粘度を下げる機械効率向上技術が発展しているため、油膜厚さも形成される薄膜の厚さや組成といった研究が多くみられる。その反面、効率向上に必要な技術は油膜抵抗の大きい厚い油膜が形成された時に流体抵抗を抑制する技術も必要となる。特に自動車用駆動モーターなど高速化が著しく、駆動ユニット内のギヤやベアリングに発生する高速時の流体抵抗は無視できないレベルと考えられる。そこで本調査はより油膜が厚くなる高速および低負荷環境下で発生する弾性流体潤滑下での油膜形成について調査した。

2. 実験方法

転がり条件での点接触の弾性流体条件下油膜厚さ測定には光干渉法が有効である。鋼球と表面にクロムコーティングされた表面にシリカのスペーサーを蒸着させた 2 層構造のガラスディスク間に発生する油膜をナノメートルスケールで測定する。鋼球はベアリングで支持され自由に回転し、ディスクはモーターにて駆動回転する。Figure 1 に示すように照射された白色光はクロムの層と鋼球にて反射し干渉した光が分光器に入射、より強く干渉した光の波長から油膜厚さを計算する²⁾。

試験条件は油温が 40℃、転がり速度が 200–4000mm/s、荷重を 5–25N としヘルツ圧 224–384MPa、接触点径 168–288μm での油膜厚さ測定となる。試験に用いた試料は鉱油（密度 0.862 at 25℃、動粘度 20.5mm²/s at 40℃）である。

3. 実験結果および考察

Figure 3 に測定結果を示す。対数プロットにて高荷重である 25N では理論式通りほぼ低速から高速まで直線性を示している。しかし低荷重で測定された油膜厚さはある速度域になると理論値より低い油膜厚さが測定された。特に荷重が 5N の場合は 1000mm/s 付近である低速域から直線性が失われる結果となった。この低荷重での測定で油膜厚さが低下する現象の原因として鋼球がガラスディスクに対して転がり状態が変化していることが考えられる。この試験では鋼球はラジアルボールベアリングに支持されているが自由に運動することができるので高速域での鋼球の挙動は不明である。そこで鋼球の回転自由度を制限するために鋼球をシャフトで固定し、鋼球をシャフトを介して駆動させる。この時、鋼球とディスクの接触点では滑りが発生しないように鋼球とディスクの回転を調整する (Fig. 4)。

この方法にて同様に油膜厚さを測定した結果を Fig. 5 に示す。低荷重である 5N から高荷重の 25N に行った油膜厚さはすべて対数プロットでよい直線性を示した。このことから鋼球がフリーである場合の油膜厚さ低下は鋼球が転がり状態から転がり-滑り状態となることにより起こる現象と考えられる。

測定している油膜厚さは接触点の中心部で発生する油膜であるが、この低荷重で発生する油膜厚さ低下の現象を理解するためには接触点全体の油膜分布を調査する必要があると考え、この測定条件下での接触点の画像を観察した結果を Fig. 6 に示す。

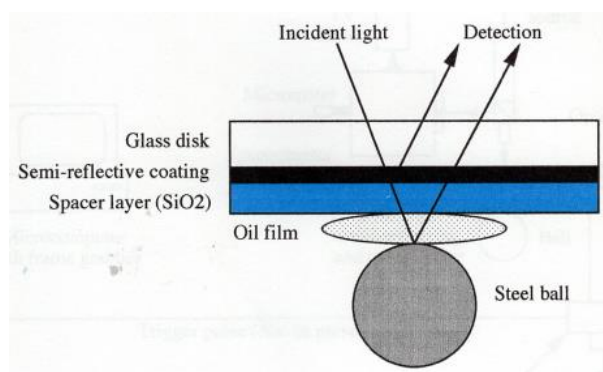


Fig. 1 Spacer layer method of thin film measurement

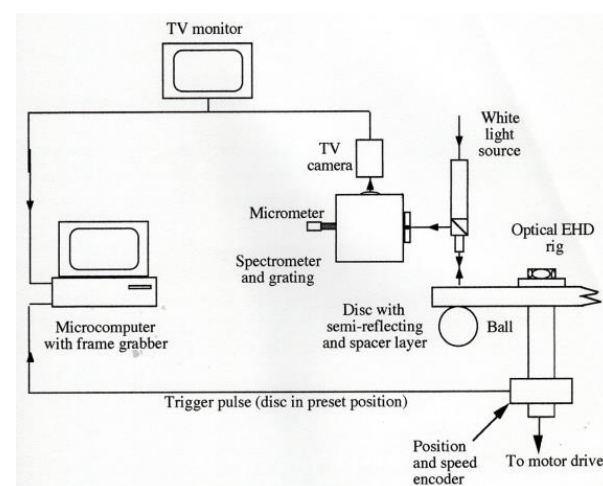


Fig. 2 Schematic representation of spectrometer set-up

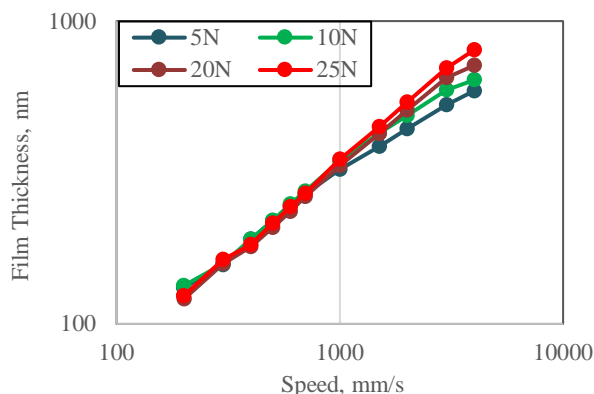


Fig. 3 Film thickness of steel ball free condition

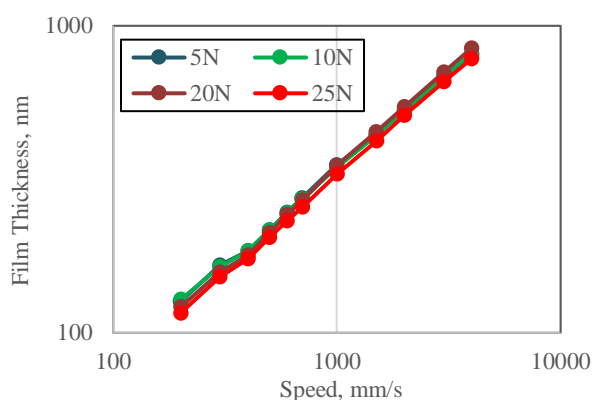


Fig. 5 Film thickness of steel ball restrained condition

速度 1000mm/s で観察した接触点は鋼球の回転をフリーした場合と鋼球にシャフトを取り付けて駆動した場合を比較して同様な馬蹄形と膜厚分布が観察された。しかし、速度 4000mm/s では鋼球がフリーな回転を行う場合は油膜の馬蹄形が変化して出口付近の油膜の薄い領域が広がっていることを示している。

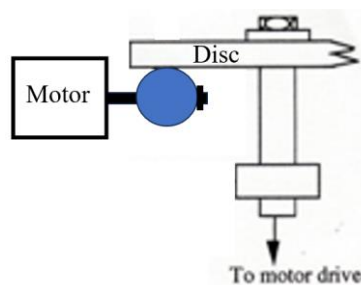


Fig. 4 Film thickness of steel ball restrained condition

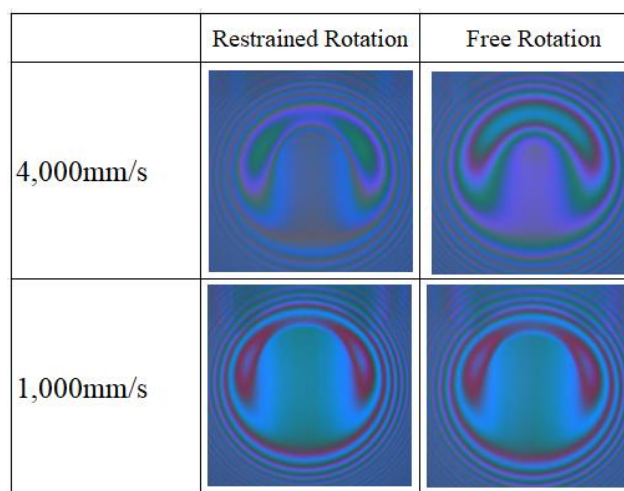


Fig. 6 Full contact image at 5N load condition

4. おわりに

光干渉法にて油膜厚さを高速領域まで測定した結果、低荷重条件で油膜の低下が観察された。原因は荷重が低いことによる鋼球の転がり状態が変化して転がり - 滑り状態となることにより接触点の油膜分布が変化したことが考えられる。今後はこの現象が高速下での流体抵抗にどのように影響するかを調査し、更なる高速条件での油膜形成の挙動を理解する必要があると考える。

謝辞

油膜厚さ測定装置の提供をいただいた島貿易株式会社に深く感謝申し上げます。

文献

- 1) 塩見・牧野・杉村：超薄膜光干渉法による純滑り接触下のナノメートルスケールの油膜厚さと摩耗の測定，トライボロジスト, 52, 11 (2007) 818.
- 2) G. J. Johnston, R. Wayte & H. A. Spikes: The Measurement and Study of Very Thin Lubricant Films in Concentrated Contacts, STLE Tribology Trans., 34 (1991) 187.