

1. 緒言

種々の摺動面間での膜厚は、例えば転がり軸受の EHL 部に代表されるように、しばしばサブミクロンに達する。軸受を含む各種摺動面での安全な運転の確保には、このような薄膜の形成状態の把握が重要となるが、実際の摺動面材質、例えば鋼やアルミについて、摺動面の加工を施さずに計測した例はほとんど見当たらない。

本研究では超音波法による膜厚測定を試みており、これまでに  $\mu\text{m}$  オーダーでのピストンリング先端膜厚の測定が可能なることを明らかにしてきた<sup>1)</sup>。例えば、図1に示す凸状のガラスと平板ガラス間の薄膜部に縦波の超音波が入射されると、薄膜部では音波の多重反射が生じ、膜厚に応じた反射エコーを形成するため超音波法での膜厚測定が可能になる<sup>2)</sup>。

ここでは、平滑な大半径の凸状ガラスと平らなガラスを組み合わせて、点焦点型の高周波超音波探触子を使用することで、さらに薄いサブミクロンの膜厚測定を試みている。

2. 実験装置および条件

図1は、膜厚測定に用いたニュートンリング実験を測定するための較正器の構成図を示してある。点焦点型超音波探触子には直径10mmのほぼ半球の凹面に PVDF をドーム型に貼り付けた、公称中心周波数 50MHz、水中焦点径約 0.1mm の水浸型探触子を用いた。凸状ガラスには、曲率半径 18mm、厚さ 10mm のものを用いた。

図1の実験装置に示すように凸ガラスと平板ガラスをセットし、その下部に設置した緑色の LED (波長: 約 520nm) を用いて、光干渉により膜厚測定を行なうと共に、前述の探触子による超音波膜厚測定を実施した。実験では、2面に油が介在する場合の界面からのエコー高さ  $h$  を、上部平板ガラスの裏面が乾燥した状態での反射エコー高さ  $h_0$  で標準化した、エコー高さ比  $H=h/h_0$  で膜厚の推定を行なっている。

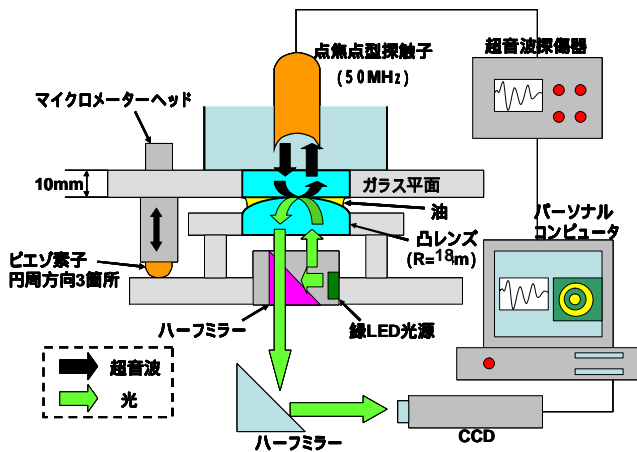


図1 較正器の構成図

3. 光学ガラスでの膜厚測定

図2は、光学ガラスを用いて測定した、ニュートンリング中心からの半径  $r$  と膜厚  $L$  の関係である。黒の実線は、凸ガラスの幾何形状から算定される膜厚であり、光干渉法で測定された実際の膜厚とほぼ一致している。なお、計算での膜厚  $L$  は、両ガラス板の表面粗さの影響 (約 50nm) を考慮したものである。

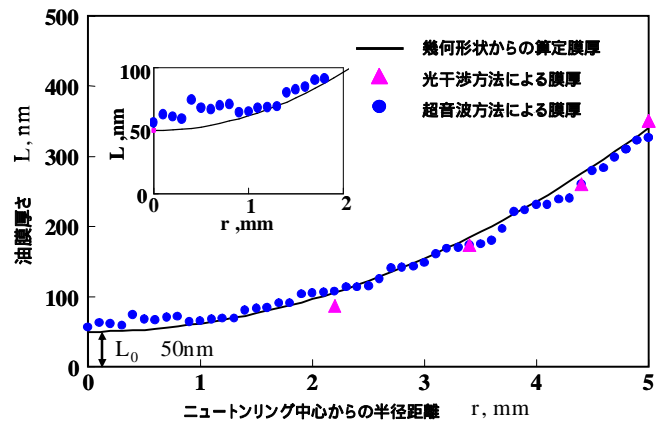


図2 凸レンズから計測された油膜厚さ

図中に示した超音波法での推定膜厚も、100nm 以下の薄膜領域を含め、幾何形状から決まる膜厚とほぼ一致する。なお、エコー高さ比  $H$  からの膜厚推定は下記の式により行なった。

$$L = \frac{1}{k_2} \tan^{-1} \left( \frac{4H^2}{(Z_{12} - Z_{21})^2 - H^2(Z_{12} + Z_{21})^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$Z_1, Z_2$ : ガラス及びオイルの音響インピーダンス

$$Z_{12} = Z_1 / Z_2, \quad Z_{21} = Z_2 / Z_1, \quad k_2 = 2 / \lambda_2,$$

$L$ : 膜厚,  $H$ : エコー高さ比,  $\lambda_2$ : 油中波長

4. 結言

超音波法でのサブミクロンの膜厚測定を目的として、大半径の凸ガラスと平板間の膜厚測定を試みた。その結果、このような極薄膜の領域であっても、超音波の干渉を考慮した理論式から、50nm 以下の膜厚の測定ができる可能性が明らかになった。

5. 参考文献

- 1) 三宅孝典, 竹内彰敏, 寺田聖一, 戸田聡, トライボロジー学会議予稿集(鳥取 2004-11) 307.
- 2) 永見拓也, 竹内彰敏, 寺田聖一, 戸田聡, 日本設計工学会平成17年度春季研究発表講演会講演論文集, (2005-5) 89.