

壁面に付着した薄い油膜の超音波膜厚測定を試み

An attempt to measure thin oil film thickness adhered a wall surface using ultrasonic technique

知能機械システム工学コース

極限ナノプロセス・トライボロジー研究室 1215008 新造 駿一

1. 緒言

近年、地球温暖化等の環境問題に目を向けられる機会が多くなり、CO₂等の温室効果ガスの排出量削減が大きな課題になってきている。例えばエンジンでは、燃費の向上と廃棄エミッションの低減のために、ピストンリングの薄幅化、低張力化、そして、潤滑油の低粘度化が促進され、オイル消費量の増大などの二次的な問題が顕在化するようになり、潤滑油消費量の低減が緊急な課題となっている。

図1にピストン部での油膜形成状態を示す。潤滑油は、主にピストンリングとシリンダの隙間や、ピストンリングの合口すき間から抜けて燃焼室内で消費される。オイル消費量の低減には付着膜厚さ(L)をなるべく薄くする必要があり、その定量的な見積もりには、付着油膜厚さの測定が欠かせない。既存の薄膜測定法の例としては、レーザ誘起蛍光法が良く知られており、ピストンリング部膜厚やシリンダ壁付着油膜厚さ、スターベーションの発生に関する多くの有用な知見が得られている¹⁾。しかし、観測には透光性のシリンダを用いなければならない。

超音波を用いることで実機と同じ材質のシリンダでの測定が可能となる。これまでに、摺動に伴うピストンリング先端膜厚やシリンダ壁面の付着油膜変化を連続的にその場観測できる可能性を明らかにした²⁾。本報では、垂直縦波探触子での付着油膜厚さの定量測定に対する、超音波の周波数や粗さの影響について検討する。

2. 付着膜厚の測定原理

図2に付着膜の厚さ測定の実験装置の概略を示す。鋼板裏面から入射した超音波の一部は付着膜側に透過し、波長に比べて薄い付着膜(厚さL)内で多重反射する。

油膜部から鋼板側への透過波と、裏面(油との界面)反射波との干渉波(観測波)の波高値(エコー高さh)が付着膜厚さに依存するため、膜厚の測定が可能になる。

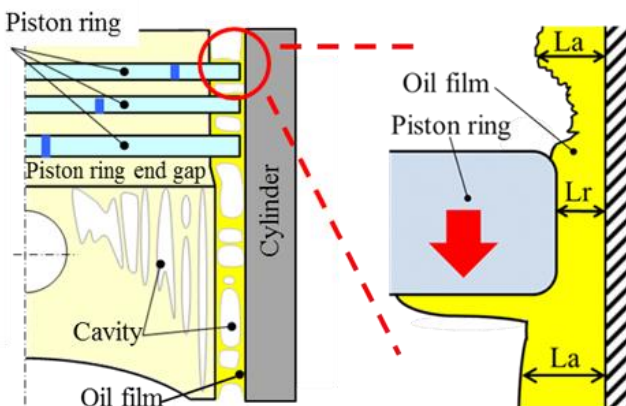


Fig.1. Oil film formation on the piston parts

図3には、10MHzの垂直縦波探触子(乾燥面からの反射波の中心周波数は約7MHz)を用いた場合の観測波の一例を示す。反射回数nが多い方がエコー高さの変化が顕著になることが分かる。

図4上段には表面が滑らかな(Ra=0.1μm)鋼板を用いた場合の膜厚Lとエコー比H(乾燥時(L=0μm)のエコー高さh₀で規格化)の関係を示す。下段は膜厚Lと位相差Δφ(乾燥時の位相角φ₀との差)の関係を示している。エコー比に関しては、高周波ほどHが最小となる膜厚が薄くなることを確認できるが、Hの変化が急激であり連続的な膜厚測定は難しい。一方、位相差については、20μmまで各周波数において連続的に位相差が大きくなること、高周波ほど同じ膜厚における|Δφ|の変化が著しく現れることが確認できた。これらのことから、高周波での|Δφ|を用いることで薄膜領域での、連続的な膜厚測定が出来る可能性が示された。

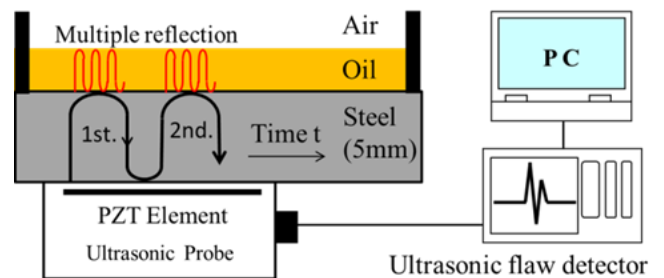
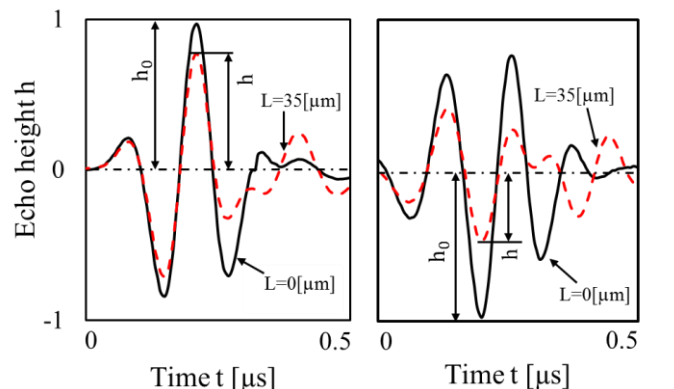


Fig.2 Outline of experiment device and film thickness measurement principle



(a) First reflection (n=1) (b) Third reflection (n=3)

Fig.3 Example of waves reflected from adhered film region

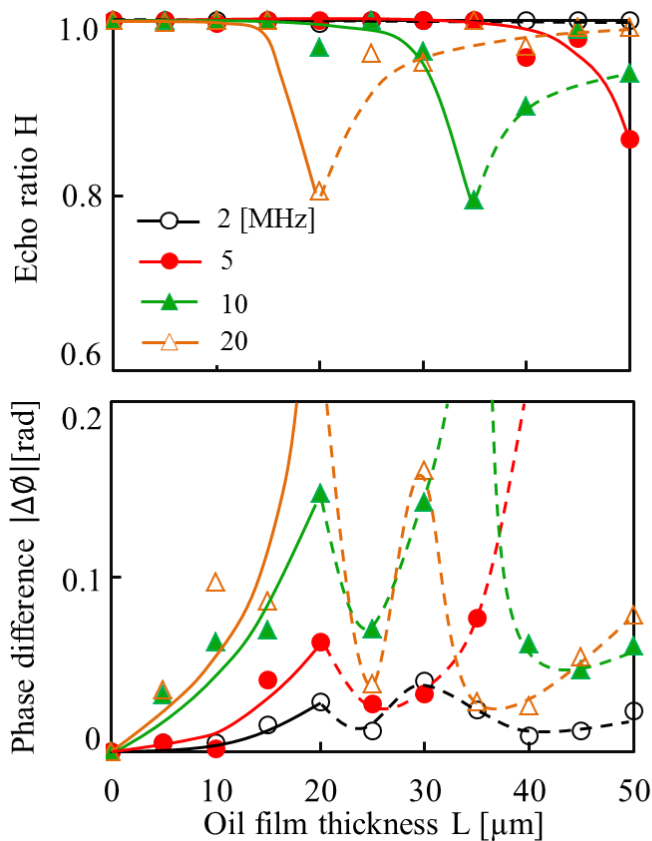


Fig.4 Relationship between echo ratio H, phase difference $|\Delta\phi|$ and oil film thickness L [Ra=0.1 μm]

3. 附着面粗さの影響

図5に今回の実験で用いた各鋼板の表面粗さを示す. 例えば10MHzでの油中波長は $\lambda=140\mu\text{m}$ なので $Rz=6.7\mu\text{m}$ の表面粗さは, $\lambda/20$ 程度になる.

図6には各試験片での結果を示してある. なお, ここでの油膜厚さLは粗さ平均線からの膜厚とした. 全ての粗さ面でのHは同図上段に示すように, 膜厚が油中波長の1/4(35 μm)で最小値を持つ傾向にある. また, Ra=0.38 μm の試験片での鋼中反射回数 $n=3$ の結果を一点鎖線で示してあるが, nを増やすと,

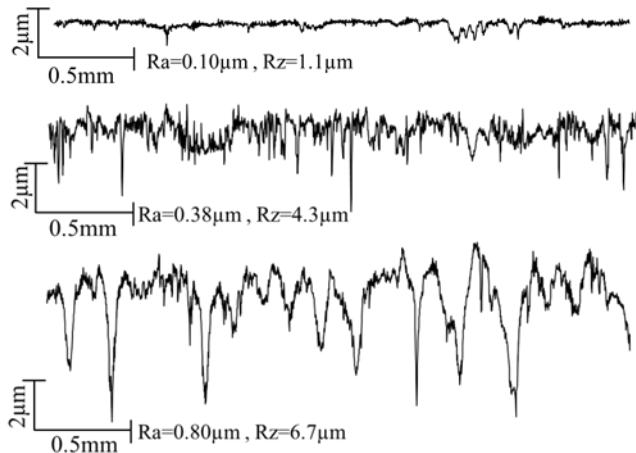


Fig.5 Surface roughness on steel plate

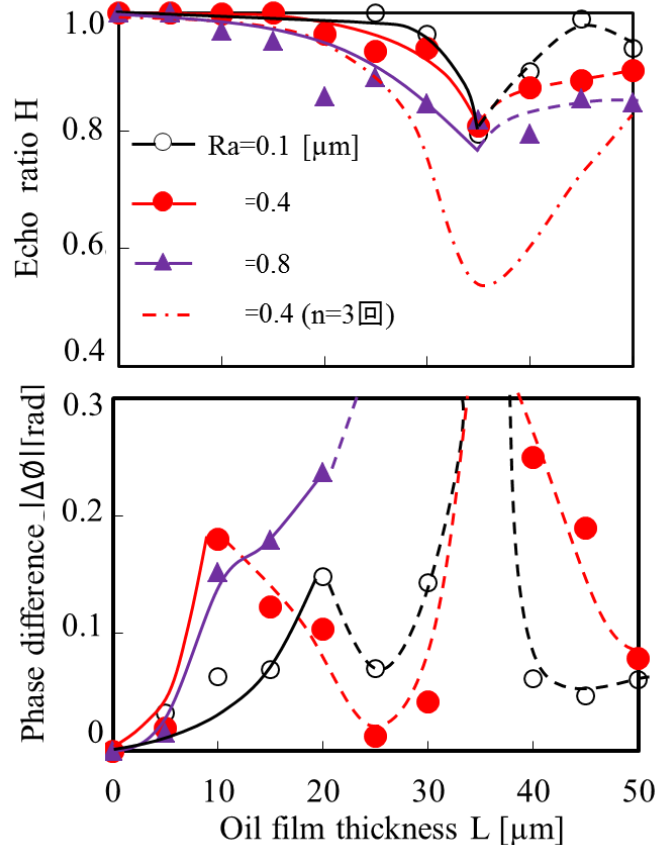


Fig.6 Relationship between echo ratio H, phase difference $|\Delta\phi|$ and oil film thickness L [10MHz]

薄い膜厚からHが低下する傾向にあり, 膜厚測定には都合が良い.

一方, 下段には乾燥状態との位相の差 $|\Delta\phi|$ を示してあるが, Ra=0.10 μm の滑らかな面では20 μm 以下の膜厚測定が期待できるものの, Ra=0.80 μm での期待範囲は10 μm 未満の薄膜内に限られている. とはいうものの, それらの結果が示すようにHと $|\Delta\phi|$ で期待できる各測定範囲を組み合わせることで, 一応, 膜厚測定が出来る可能性はある.

4. 結言

鋼製壁面に附着した薄い油膜の厚さ測定を試み, 超音波の周波数や粗さの影響を検討した.

- (1) 高周波の位相差の観測は薄い附着膜の厚さ測定に有効となる可能性が示された.
- (2) 粗さのある面において, Hと $|\Delta\phi|$ の測定期待範囲を組み合わせることでの膜厚測定の可能性が明らかになった.

5. 参考文献

- 1) 三田修三, 斎藤昭則: レーザ誘起蛍光法 (LIF法) によるピストン油膜挙動の解析, 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol.28 No.4 (1993) pp.37-47.
- 2) 善福貴友, 福嶋拓己, 竹内彰敏; シリンダ外壁面からの超音波入射によるピストン系の油膜挙動観測, 日本設計工学会九州支部平成30年度研究発表講演会, (2018)