

シリンダ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

Observation of oil film behavior of piston using ultrasonic wave entered from cylinder wall

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 1215011 善福 貴友

1. はじめに

近年、自動車エンジンの高性能化が急務とされている。特に、ピストンとシリンダ間の摩擦損失は、大きく、内燃機関の効率向上のための重要な課題となっている。摩擦低減のために、ピストンリングでは、リングの薄幅化や低張力化が進んでいるが、追従性の悪化やリング気密性の低下、オイル消費量の増大といった問題が発生している。また、潤滑面は少量の低粘度で潤滑される傾向にあり、油膜厚さの低下や圧縮上死点近傍での固体接触による摩耗等の問題がある。さらに、アイドルストップの採用により、エンジンは起動と停止を頻繁に繰り返すため、極低速時の過酷な潤滑下での、安心して安全な運転を保障する技術の開発が課題となってきた。そのためには、極低速での油膜形成や油膜破断状態の観測が不可欠になる。

本研究では、シリンダ外壁面から潤滑面に向けて入射させた縦波超音波の、潤滑面からの反射強度観測を基に、極低速で潤滑される、ピストンリングの油膜形成状態や、各リング間のシリンダ壁面に付着した油膜の挙動を検討した結果について述べる。

2. 超音波法での油膜挙動の観測原理

膜厚や油膜破断等の油膜挙動の観測原理を図 1(a)に示す。シリンダ外壁面から入射した超音波は内壁面に達し、その一部はシリンダの音響インピーダンス (Z_1) と相手媒質 (油: Z_0 , 気泡: Z_B) に応じて反射し、残りはピストンリング方向に伝搬する。連続油膜部 (膜厚 L) では油膜内で多重反射が生じ、その都度、シリンダ内壁面から探触子側へと伝搬するが、油膜破断部 (気泡を含む) では、ほぼ、シリンダ内壁面からの 1 回の反射のみになる。また、リング部以外での超音波の挙動は、リング部が空気 (Z_B) となること以外は同じと考えてよい。

超音波照射領域内での各反射波の合成波が観測する波になるため、その波高値は、膜厚 L や油膜破断 (気泡混入) 率 α に応じて変動する。しかし、それら 2 つの影響を独立して抽出することは難しいため、ここでは、波高値 (エコー高さ h) の変化を基にした、油膜挙動の定性評価に止める。ちなみに、ピストンリングとシリンダ間が薄い連続油膜であればエコーは低下するが、油膜の破断率が増すに従って増加する。また、リング位置以外のシリンダ内面では、厚い油膜の付着箇所ではエコーは低下し、付着膜が薄くなり乾燥状態に近づくに従って高くなる。

3. 実験装置と観測位置

実験装置を図 2 に示す。実際のエンジンではピストンが移動するが、ここでは、シリンダ (内径 86mm) の外壁面からピストンリングの潤滑挙動を定点観測する目的で、シリンダ摺動型の装置を用いている。ピストンを固定するコラムと、装着したシリンダを上下に摺動させるリニアモータ、そして、

局所水浸型の超音波観測部からなる。実験には、水浸型の点焦点探触子 (中心周波数は約 20MHz) を用いており、水を内包するゴム膜とシリンダ外壁面に塗布した油膜を介して、シリンダ内に超音波を伝搬させた¹⁾。

油膜挙動の定点観測位置とリングの主要寸法を図 1(b)に示す。各リングの幅中心を含み、合計 41 点 (18.75mm 範囲) の観測であり、高さ方向の移動は Z ステージにより行った。このため、後に示す観測結果は、観測開始からの経過時間が異なる各測定位置での結果のまとめとなっている。ちなみに、各位置での潤滑状態は、時間が経過してもほとんど変化しないことを、別実験で確認している。

また、潤滑油は、装置下の油槽からポンプでオイルリングのスペーサ部へと供給される。使用したオイルは、SAE:10W-30 であり、供給油量 Q は、 $2.0\text{cm}^3/\text{min}$ と $0.8\text{cm}^3/\text{min}$ とした。

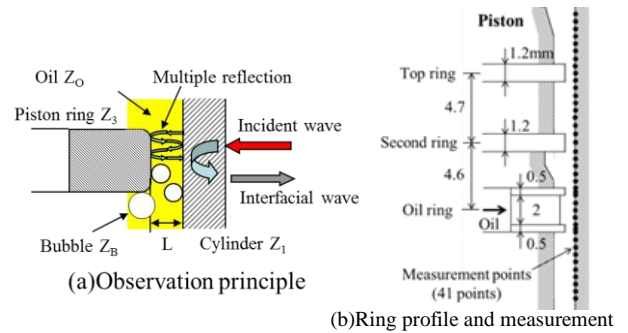


Fig.1 Observation principle and ring profile

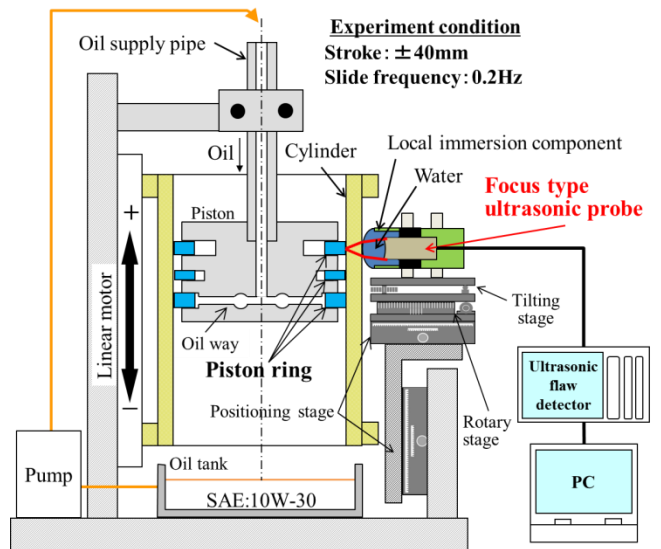


Fig.2 Experimental equipment

4. リング先端膜厚と付着膜厚

図3は、供給油量 Q を $2.0\text{cm}^3/\text{min}$ (図左) と $0.8\text{cm}^3/\text{min}$ (図右) とした場合のシリンダ1ストローク分の油膜厚さ分布である。リング先端の膜厚のスケールを L_R (左側), シリンダ付着膜厚を L_A (右側) で示す。供給油量 Q が少ないシリンダ壁面での輝度は高く、付着膜が薄くなっていることが分かる。

図4には、各油量でのリング幅中央膜厚 L_R の挙動をトップ、セカンド、オイルリングについて示した。 Q が小さく、シリンダ壁面での付着膜が薄い状態にあっても、各リング幅中央膜厚は、 Q が2倍以上の左側の結果と同程度に厚く、比較的安定している。

一方図5には、リング部以外のシリンダ壁面に付着している油の膜厚挙動に注目した結果を示した。 Q が小さい場合に付着膜が薄くなる傾向は前述の通りだが、例えば、トップとセカンドリング間の付着膜には、摺動方向のリング出口部で発生するキャピティの影響が顕著に現れ、特にシリンダ上昇工程では、トップリング入口付近まで薄膜領域が伸びている。この薄膜領域がトップリング入口に達すると、そこでの潤滑状態が悪化する恐れがある。

このような危険性は、例えば、図6に示すトップとセカンドリング間の付着膜厚さ L_A と、各リング幅中央での膜厚 L_R との関係性を診ることで判断できる可能性がある。今回の供給油量 Q の範囲では、前述のように Q が少なくなっても、 L_R は変化せず安定な運転が可能となっているが、もし L_A の減少とともに L_R が低下するようになると、危険な運転状態に陥ると考えてよい。

5. おわりに

以上述べたように、ピストンリング先端膜厚やシリンダ壁面への付着膜厚を超音波法を使って測定することが可能で、付着膜厚さ L_A とリング幅中央膜厚 L_R の2点の測定により潤滑状態を容易に把握できることが明らかになった。

参考文献

- 1) 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)

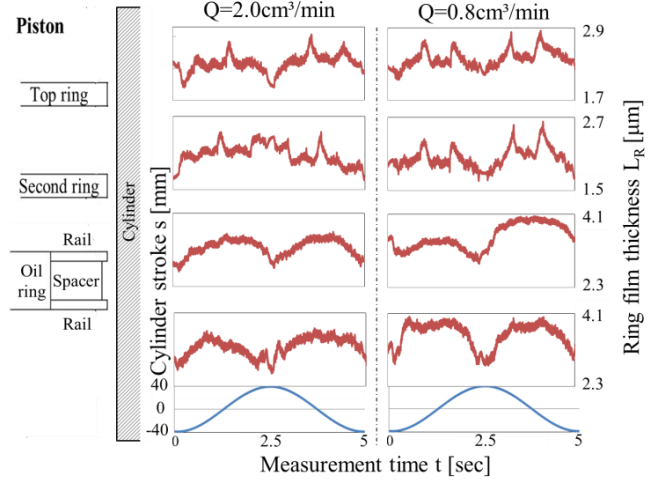


Fig.4 Echo ratio of ring film thickness

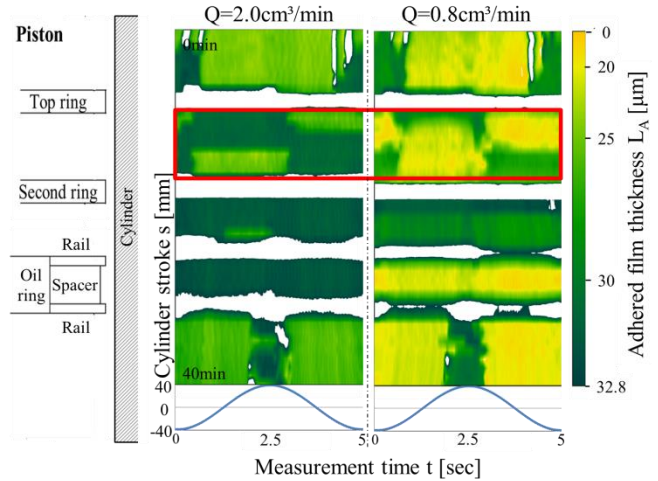


Fig.5 Distribution map of adhered film thickness

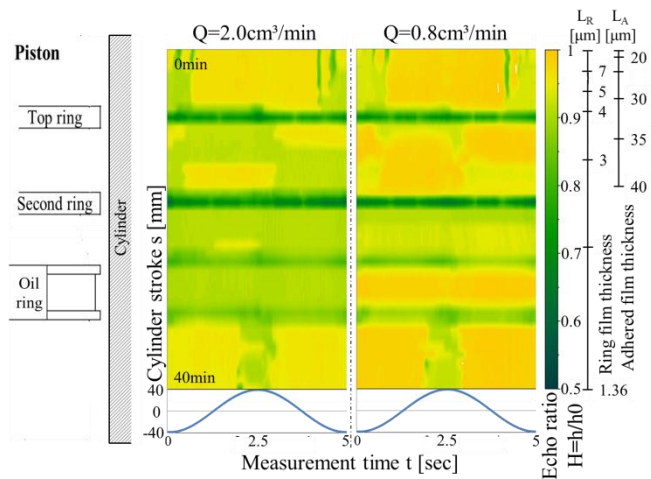


Fig.3 Distribution map of oil film

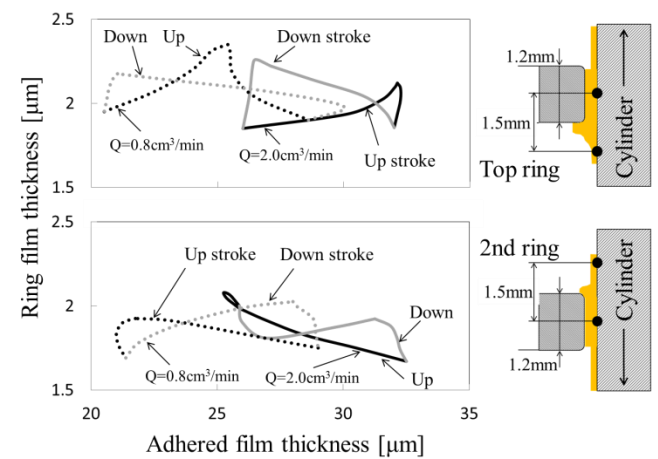


Fig.6 Relationship between ring film thickness and adhered film thickness