

233 ピストンリング部の潤滑特性に及ぼすリングすべり面形状の影響 Effect of Profile of Sliding Surface of Piston Ring on Lubrication Characteristic

石島 隆志 (宇都宮大院), 嶋田 彰子 (足利工), ○正 針谷 安男 (宇都宮大), 正 鈴木 道義 (宇都宮大)

Takashi Ishijima: Graduate School of Education, Utsunomiya University

Akiko Shimada: Ashikaga Technical High School

Yasuo Harigaya and Michiyoshi Suzuki: Utsunomiya University, 350 Minemachi, Utsunomiya 321-8505

Key words: Tribology, Oil Film Thickness, Friction, Piston Ring, IC Engine

1. まえがき

環境・エネルギー問題の解明は世界的に重要な課題である。このため、動力源としてのエンジンにはエンジンの正味熱効率の向上、すなわち低燃費化がより強く求められている。この改善には図示熱効率向上と摩擦損失低減が必要となる。摩擦損失仕事の約 60% を占めるピストンリング-ライナ間の潤滑は、その低減が重要であり、これまでに多くの実験や理論解析により種々改良がされてきている⁽¹⁻⁴⁾。

本報告では、リング部における潤滑油消費量、摩擦損失に関係する、リングすべり面形状、パレル量と油膜温度、油膜厚さ、摩擦力の関係について検討した結果を述べる。

2. 解析法

ピストン-ピストンリング-ライナ間の解析モデルを Fig. 1 に示す。リング部における油膜内の圧力 p は、レイノルズの式を用いて算出し、油膜厚さ h は油膜内の圧力とリング張力及びリング背面圧力による力の釣り合いより求める。油膜温度 T は、油膜内の非定常二次元エネルギー式を用いて解析⁽⁵⁻⁶⁾する。これらの式に用いる局所油膜粘度 μ は Vogel の式と修正 Cross の式を用いて算出する。リング温度はサイクル中一定とし、ライナ温度 T_L はリング移動方向の温度分布として与える。

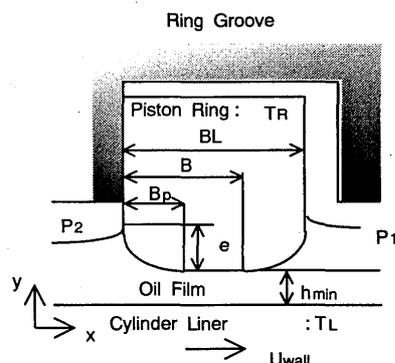


Fig. 1 Lubrication Model of Piston Ring

計算の対象は、自動車用 4 サイクルディーゼルエンジン (内径 110mm, 行程 125mm) のトップリング (リング幅 $BL: 3\text{mm}$,

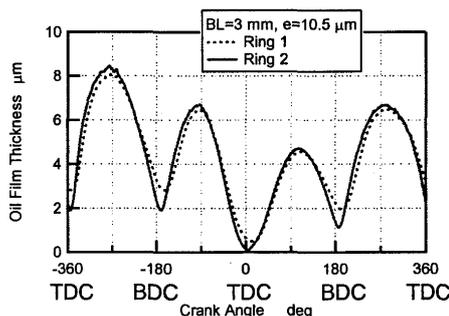


Fig. 3 Oil Film Thickness

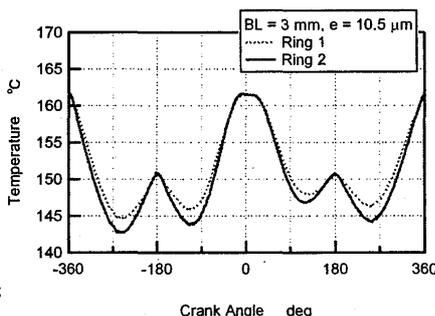


Fig. 4 Oil Film Temperature

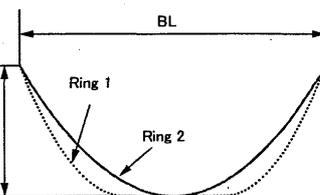


Fig. 2 Profile of Sliding Surface of Top Ring

リング厚さ $H_R: 4.5\text{mm}$, リング面圧 $Pe: 154\text{kPa}$) とし、潤滑油はマルチグレード油 $SAE5W30$ を用いた。リング形状は、Fig. 2 に示すようにすべり面に平行部を有する；リング 1, すべり面がパレル面を有する；リング 2 としパレル量 e を変化させた。

3. 解析結果と考察

3. 1 油膜厚さ, 油膜温度, 摩擦力

回転速度 2800rpm, 4/4 負荷でのトップリング (リング 1, 2, $e=10.5\mu\text{m}$) における最小油膜厚さとクランク角の関係を Fig. 3 に、サイクル中変化する平均油膜温度を Fig. 4 に示す。

油膜厚さはリング 1, 2 と同様なサイクル変化を示すが、リング 2 の方がくさび作用による負荷能力が高く最大値が大きく、摺動速度が低速となる上下死点付近では、スキズ作用による負荷能力は小さくなるため最小値が小さくなり、油膜厚さのサイクル変化が大きくなる。

油膜温度は摺動速度が高速となり油膜厚さが厚くなる行程中央付近で潤滑油流入量が増加することにより油膜温度が低下する。この傾向はリング 2 の場合、油膜厚さがリング 1 の場合より厚くなることから、より流入量が増し温度が低下することが確認できる。また TDC, BDC 付近ではリング 1, 2 の温度の差は見られなくなり、ほぼ同様な値である。

Fig. 5 には、トップリングの摩擦力のサイクル変化を示す。ここでは、全サイクル流体潤滑として解析しているため、上下死点付近の摩擦力の急激な変化はみられない。吸気及び排気行程では、摩擦力は行程中央で増加するが、サイクル中の摩擦力はリング 1 のほうが大きい。圧縮上死点前後では、油膜厚さが薄くなるため摩擦力は上昇し、特に、上死点後におけるリング 1 の摩擦力は大きくなる。

3. 2 油膜温度分布

Fig. 6(a),(b),(c) にリング形状 1, 2 及びパレル量を変化した

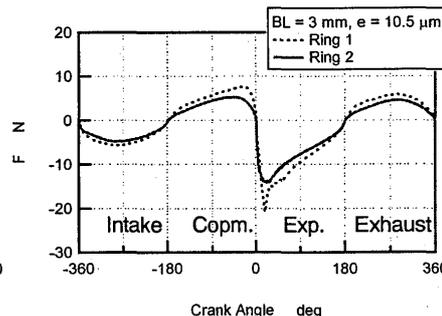


Fig. 5 Friction Force

ときのクランク角 CA 30 度における油膜内の温度分布を示す。リング形状の違いによる温度分布 [Fig. 6(a)と(b)] は、リングすべり面に平行部を持つリング 1 において流入側及びリング中央付近における等温線が密になっていることが確認できる。またバレル量の違いによる温度分布 [Fig. 6(b)と(c)] は、バレル量が小さい場合は最小油膜厚さが厚くなり、リング中央部付近の等温線の間隔は疎となる。

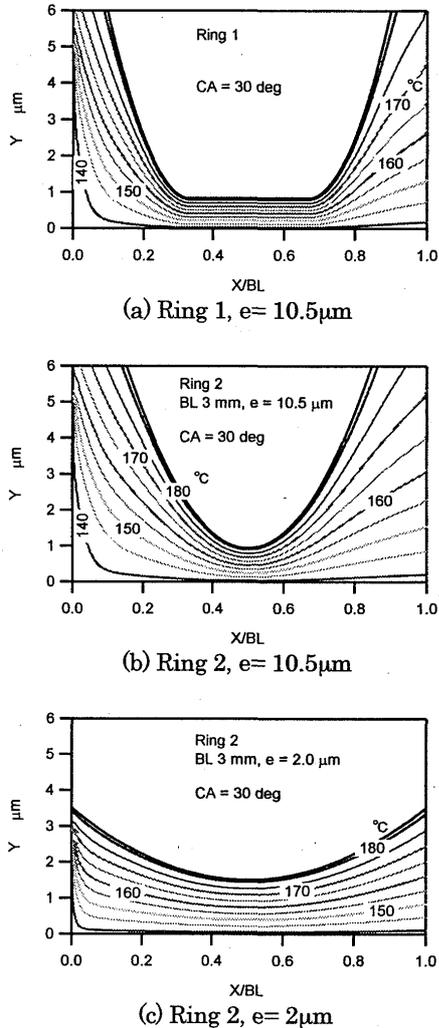


Fig. 6 Temperature Distribution in Oil Film

3. 3バレル量と油膜厚さ、油膜温度、摩擦平均有効圧力との関係

サイクル中の油膜厚さの最小値 h_{min} 、平均値 h_{mean} 及び最大値 h_{max} とバレル量 e の関係を Fig. 7 に示す。リング 1、2 ともバレル量が大きくなると、 h_{max} はくさび作用による負荷能力が高くなるため増大するが、 h_{min} はスクイズ作用による負荷能力は小さくなり低下する。その傾向はリング 2 の方が著しくなる。すべり面に平行部を有するリング 1 の場合、スクイズ作用には有利であるが、くさび作用による負荷能力は不利となる。

バレル量に対するサイクル中の油膜温度の最大値 T_{m-max} 、平均値 T_{m-mean} 及び最小値 T_{m-min} を Fig. 8 に示す。バレル量が増加するに従い、 T_{m-mean} 、 T_{m-min} とも低下していく傾向にあり、リング 2 の場合、その傾向が強い。また、 T_{m-max} はバレル量の増加とともにわずかに上昇する。なお、 T_{m-max} は圧縮上死点直後に、 T_{m-min} は吸入行程中に得られる。

バレル量に対する摩擦平均有効圧力 FMEP を Fig. 9 に示す。バレル量が増加するに従い、FMEP は減少する傾向にあり、リング 2 の場合、その傾向が強い。また、FMEP はリング 2 を用いたほうが有利であることがわかる。

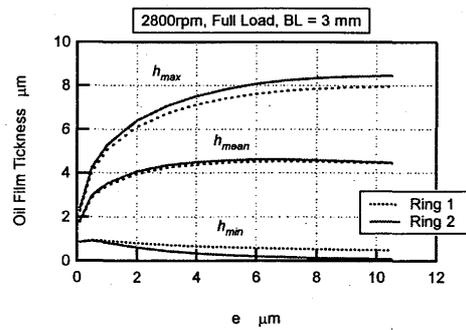


Fig. 7 Relation between Barrel and Oil Film Thickness

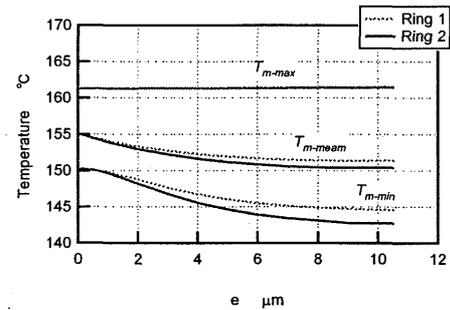


Fig. 8 Relation between Barrel and Oil Film Temperature

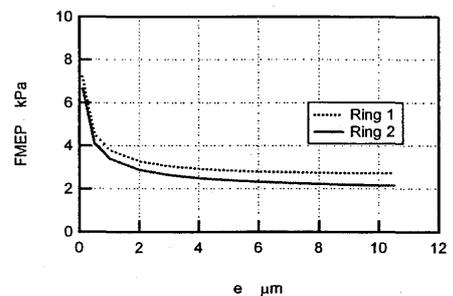


Fig. 9 Relation between Barrel and FMEP

4. まとめ

- (1) リングのバレル量が増すと、くさび作用による負荷能力が高く油膜厚さが増大する。摺動速度が低速となる上下死点付近では、スクイズ作用による負荷能力は小さく、油膜厚さは薄くなる。リング形状 2 の場合、くさび効果に有利であるあるが、スクイズ効果に不利となり、油膜厚さはサイクル中大きく変化する。
- (2) 油膜温度はバレル量が増すとサイクルの平均値、最小値とも低下する。これらの傾向はバレルフェイス面を有するリング形状 2 の方が大きい。
- (3) 摩擦力はサイクル中大きく変化する、リング形状 1 の方が大きい値である。摩擦平均有効圧力 FMEP はバレル量が増すとともに減少するが、リング形状 2 の方が FMEP に有利である。

参考文献

- (1) 染谷常雄, エンジンテクノロジー, 1-2, pp. 24-34 (1999).
- (2) 山本匡吾, エンジンテクノロジー, 4-5, pp. 84-89 (2002)
- (3) Wakuri, Y., Hamatake, T., Soejima, M., Kitahara, T., CIMAC Congress 2004, Paper No. 46, pp. 1-16 (2004).
- (4) 瀧口雅章, 吉田秀樹, トライボロジスト, 49-10, pp. 775-780 (2004)
- (5) 嶋田彰子, 針谷安男, 鈴木道義, 自動車技術会論文集, Vol.36, No.4, pp. 105-111 (2005)
- (6) Ishijima, T., Shimada, A., Harigaya, Y., Suzuki, M., Takiguchi: M., Proceedings of ICES2006, ASME, ICES2006-1313, pp. 1-12 (2006)