

DLC 膜の混合および流体潤滑における摩擦特性

吉田 健太郎（機械・材料技術部 材料物性グループ）

1. はじめに

DLC 膜は、動弁系バルブリフター、ピストンリング等の自動車エンジン部品への適用が始まっており¹⁾、近年になって弾性流体潤滑（以下 EHL）下における摩擦特性が報告され始めた^{2)・3)}。本報告では、各種 DLC 膜と環境負荷の小さいエステル系生分解油等を用いた混合および流体潤滑の摩擦評価結果について述べる。

2. 実験方法

摩擦評価は、トライボロジー多機能試験機（Bruker 製 UMT-TriboLab）のブロック・オン・リングモジュール（図 1）を用いて評価した。潤滑油として、ポリアルファオレフィン 50（100℃動粘度が 50 mm²/s の合成系炭化水素基油、以下 PAO50）、PAO50+グリセリンモノオレート（以下 GMO）1wt%、エステル系生分解性油として、トリメチロールプロパントリオレート（以下 TMPTO）を用い、油温は 80℃で評価した。荷重は 32 N（ヘルツ接触面圧：100 MPa）とし、リングの回転数を変化させることにより、滑り速度を最小 0.04 m/s から最大 9.2 m/s まで、段階的に変化させて摩擦係数を測定した。各滑り速度における保持時間は 30 s とした。

試験片は FALEX 製ブロックオンリング型摩擦摩耗試験機（LFW-1）用のブロックとリングを用いた。ブロックの材質は SAE O1 鋼（JIS SKS3 相当）、リングの材質は SAE 4620 鋼（軸受用ニッケルモリブデン鋼）である。ブロックおよびリングのしゅう動面は、 $Ra \leq 0.01 \mu\text{m}$ になるように研磨した。ブロックのしゅう動面に DLC を成膜し、成膜していない（ノンコート）リングとしゅう動させた。DLC 膜はプラズマ CVD 法により成膜した a-C:H、真空アーク蒸着法により成膜した ta-C、スパークレス・アーク法⁴⁾と呼ばれるマクロパーティクルを発生しない真空アーク蒸着法により成膜した平滑 ta-C の 3 種類を評価した。ta-C のみ成膜後に膜表面の研磨を行った。

摩擦評価後の試験片は、走査型電子顕微鏡（SEM）によりしゅう動痕の観察を行った。また、ブロックの未しゅう動部、およびしゅう動部、リングのしゅう動部および未評価のリングについて、レーザ顕微鏡を用いてしゅう動方向に垂直な方向の表面粗さを測定した。

3. 実験結果と考察

TMPTO の DLC 膜の摩擦評価結果を図 2 に示す。a-C:H と平滑 ta-C は、試験した滑り速度の全域においてノンコートよりも低い摩擦係数を示した。混合潤滑においては平滑 ta-C が a-C:H に比べ低い摩擦係数を示したが、EHL から流体潤滑においては a-C:H が平滑 ta-C よりも低い摩擦係数を示し、特に EHL において a-C:H は最小で 0.0006 という極めて低い摩擦係数を示した。ta-C は混合潤滑におい

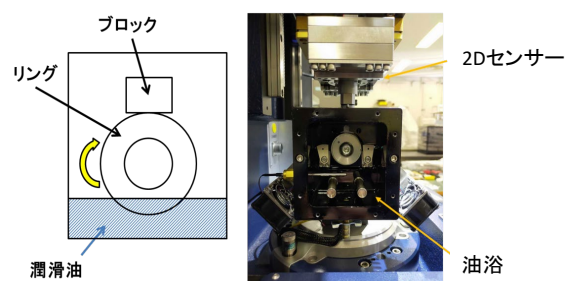


図 1 ブロック・オン・リングモジュール概略図

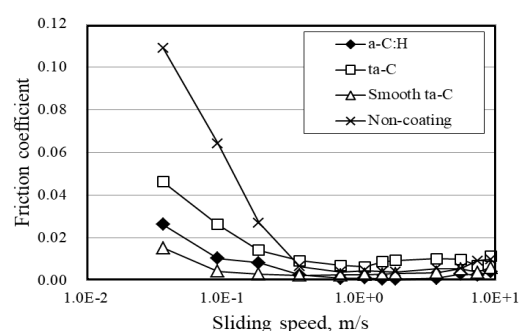


図 2 TMPTO における DLC 膜の摩擦係数

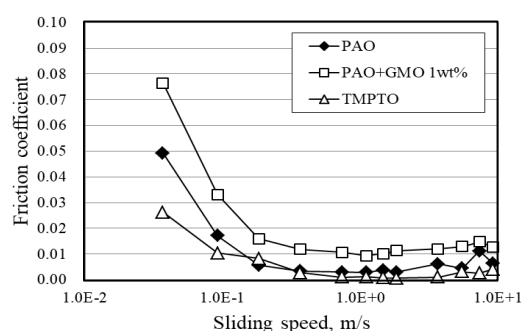


図 3 各種油潤滑下 a-C:H 膜の摩擦係数

てはノンコートよりも低い摩擦係数を示したが、EHL から流体潤滑においては高い摩擦係数を示した。

各種油潤滑下における a-C:H の摩擦評価結果を図 3 に示す。試験した滑り速度のほぼ全域において、TMPTO が最も低い摩擦係数を示した。PAO50 に比べ PAO50+GMO 1wt% では全速度域において摩擦係数が増加した。

各種油潤滑下における平滑 ta-C の摩擦評価結果を図 4 に示す。平滑 ta-C もほぼすべての速度域において、TMPTO が最も低い摩擦係数を示した。平滑 ta-C では GMO 添加により全速度域において摩擦係数が低下した。

TMPTO でしゅう動試験後のブロックのしゅう動痕を SEM で観察した結果を図 5 に示す。ノンコートおよび ta-C では、しゅう動方向に平行な傷が多数見られた。a-C:H および平滑 ta-C では傷はほとんど見られなかった。

TMPTO でしゅう動試験後のしゅう動部および非しゅう動部のブロックの算術平均粗さとリングの算術平均粗さの合成表面粗さ $[Ra = (Ra_{block}^2 + Ra_{ring}^2)^{0.5}]$ を図 6 に示す。混合潤滑から流体潤滑において低い摩擦係数を示した a-C:H と平滑 ta-C の合成表面粗さは、ノンコート、ta-C に比べ小さくなっている。ta-C と平滑 ta-C の摩擦係数の差はしゅう動後の合成表面粗さが大きく影響しているものと考えられる。

4. まとめ

DLC 膜は鋼とのしゅう動において、混合潤滑および流体潤滑においても摩擦低減効果があることが確認された。EHL から流体潤滑においては、表面の平滑な a-C:H、平滑 ta-C が摩擦低減に有効であることが確認された。また、潤滑油による摩擦係数の違いが確認され、特にエステル系の生分解性油である TMPTO は混合潤滑から流体潤滑の全域において最も低摩擦を示すことが確認された。以上の結果は、これまで主に境界潤滑で適用されてきた DLC 膜の用途を軸受等、混合から流体潤滑で使用される部品へ拡大できる可能性を示唆しており、更に生分解性油と組み合わせた環境に優しいトライボロジーシステム実現の可能性を大いに示唆するものであると思われる。

【参考文献】

1. 馬淵, トライボロジスト, 58, 8(2013)557.
2. K.Bobzin, et al., Surf. Coat. Technol., 284(2015)290.
3. K.Bobzin, et al., Lubr. Sci., 30(2018)285.
4. 高橋ら, 日新電機技報, 61, 1(2016)41.

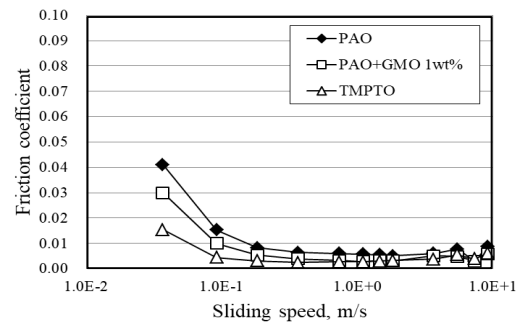


図 4 各種油潤滑下平滑 ta-C 膜の摩擦係数

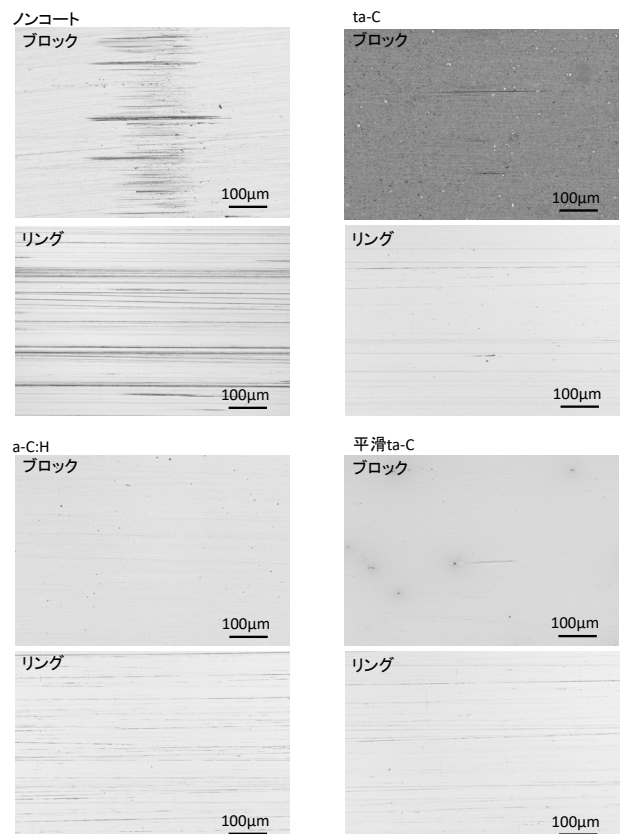


図 5 しゅう動痕表面観察

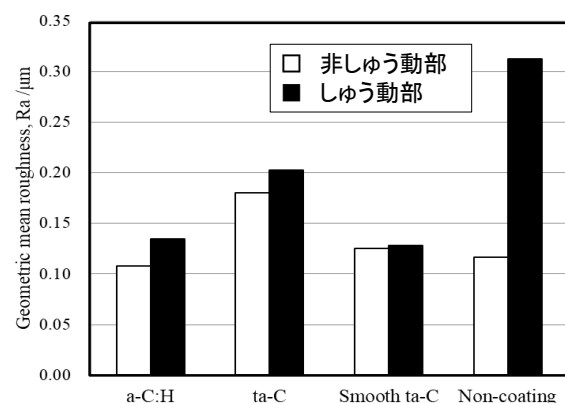


図 6 各種試験片の表面粗さ