

流体潤滑領域における炭素系硬質薄膜(DLC)の摩擦特性評価

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

潤滑下における DLC 膜のしゅう動においては、膜の種類や使用する潤滑剤によって摩擦特性が異なることが知られており、これには摩擦面に生成する化学反応膜が関与している¹⁻²⁾。この現象は主に対象となる二物体間に潤滑剤が十分に供給されない境界潤滑や混合潤滑下での議論であるが、潤滑剤の供給が十分な弾性流体潤滑や流体潤滑領域では、このような議論はされてこなかった。本研究では弾性流体潤滑領域から流体潤滑領域に相当するしゅう動速度範囲において DLC 膜の摩擦係数としゅう動速度の関係曲線（ストライベック曲線）³⁾を作成することによって、摩擦特性を評価したのでその結果を報告する。

2. 実験方法

基材には、SUJ2 軸受鋼(焼入れ、HRC 60)のリング (Φ 35 mm × t 9.5 mm) およびブロック (16.5 mm × 6.18 mm × 9.52 mm) を使用した。全てのリングとブロックにラッピング研磨を施し、二乗平均平方根粗さ(Rq)で、9.6 nm の鏡面に仕上げた。その後、ブロックの一面 (16.5 mm × 6.18 mm) に、DLC 膜を成膜した。各 DLC 膜の性状を表 1 に、表面観察画像を図 1 に示す。

SUJ2 (基材まま)、a-C:H-1.0、ta-C-1.0、ta-C-0.1 の 4 種類のブロックおよび SUJ2 リングの組合せで、ブロックオンリング式摩擦試験を行った。試験装置の外観を図 2 に、図 2 の黄枠内試験部を拡大した模式図を図 3 に示す。試験は潤滑剤中 80 ℃ の環境下にて行い、回転運動を行うリングに対し、上部に固定したブロックに 32 N の荷重をかけ、速度を 1 mm/s から 9158 mm/s まで 13 step で上昇させ、各速度で 30 s 保持する試験を実施した。ブロックおよびリングは、摩擦試験の前に 2-プロパノールに浸漬して 5 分間超音波洗浄を行った後、送風乾燥した。

潤滑剤としては、合成油のポリ-α-オレフィン(PAO)、PAO にグリセリンモノオレートを 1 wt% 添加した油 (PAO+GMO)、脂肪酸エステル の 3 種類を用いた。材料 4 種類、潤滑剤 3 種類で総計 12 水準の摩擦試験を実施した。

3. 実験結果と考察

各 DLC 膜について、弾性流体潤滑領域から流体潤滑領域にかけての摩擦係数としゅう動速度の関係を図 4 に示す。摩擦係数は各 step で 0.1 s 毎に取得したデータの平均

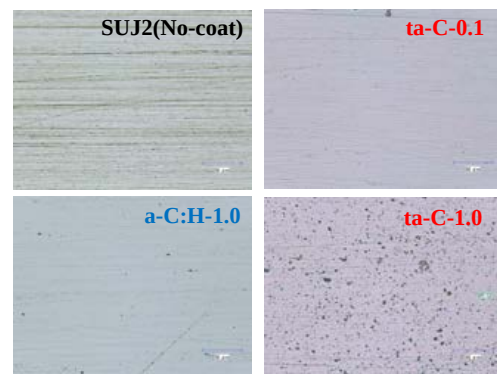


図 1. 各 DLC 膜の表面観察画像

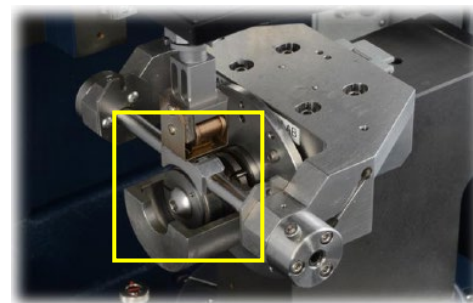


図 2. ブロックオンリング摩擦試験装置外観

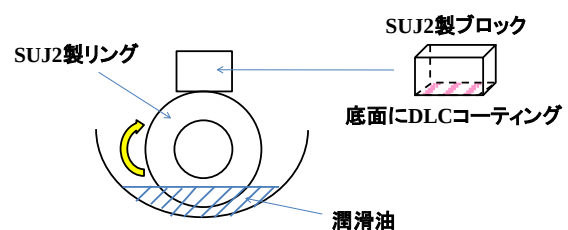


図 3. 摩擦試験部模式図

表 1. 各 DLC 膜の性状

	SUJ2(No-coat)	a-C:H-1.0	ta-C-0.1	ta-C-1.0
成膜法	—	プラズマ化学蒸着 (PCVD)	物理蒸着 (PVD)	物理蒸着 (PVD)
DLC膜厚, μm	—	1.0	0.1	1.0
二乗平均平方根粗さ Rq, nm	9.6	11.7	11.4	28.9

値である。青色は PAO、茶色は PAO+GMO、緑色はエステルの変化である。いずれの試験においても速度が 1000-2000 mm/s 付近で最小値をとり、速度の増加に伴い摩擦係数も上昇する傾向を示した。

いずれのグラフにおいても、エステルを潤滑剤とした場合に相対的に低い摩擦係数が得られた。また ta-C-0.1 は 3 種類の潤滑剤すべてに対して摩擦係数 0.01 以下の超潤滑状態を示した。一方、a-C:H-1.0 は潤滑剤によって摩擦係数が異なる結果となった。一般論として、流体潤滑領域においては二物体間が油膜で隔てられた状態となるため、摩擦係数は流体の粘性抵抗のみに依存すると言われている⁴⁾。この場合、Rq 値がほぼ同じである a-C:H-1.0 と ta-C-0.1 においては、同様の曲線になると想定されたが、実際は異なる結果となった。このことは流体潤滑領域における摩擦係数が膜種に依存することを示しており非常に興味深い結果である。また ta-C-0.1 と ta-C-1.0 において、膜種が同じであるにも関わらず、ta-C-1.0 は摩擦係数値が高い傾向でかつ変化も大きい。この要因はドロップレット（表面凹凸）の影響による表面粗さの違いが考えられる。

次に、同じ実験結果を用いて潤滑剤の性能を比較するため、潤滑剤毎に摩擦係数の測定結果を比較したものを図 5 に示す。紫色は SUJ2、緑色は a-C:H-1.0、茶色は ta-C-1.0、青色は ta-C-0.1 の変化である。エステルや PAO を用いた

場合の a-C:H-1.0 の摩擦係数が低い傾向であった。エステルはほぼ全ての材料および速度において超潤滑を示した。PAO+GMO は相対的に摩擦係数が大きく、PAO のみの結果と比較して、何らかの要因で GMO が影響した可能性が考えられる。

4. まとめ

各種 DLC 膜および潤滑剤を用いてストライベック曲線を作成することにより、弾性流体潤滑領域および流体潤滑領域における摩擦特性を評価した結果、以下の知見を得た。

- ・膜種によって摩擦係数が異なった。
- ・エステルは膜種によらず摩擦係数 0.01 以下の超潤滑を維持した。また ta-C-0.1 は潤滑剤によらずほぼ同様の变化を示した。この機構考察については今後実施する予定である。

【参考文献】

- 1) M. Kalin & R. Simic ; Appl. Surf. Sci., 271(2013)317.
- 2) 吉田ら, トライボロジスト, 58, 10(2013)773.
- 3) 桜井俊男; “新版潤滑の物理化学”, P25(1978).
- 4) 桜井俊男; “新版潤滑の物理化学”, P28(1978).

【外部発表】口頭発表 1 件予定

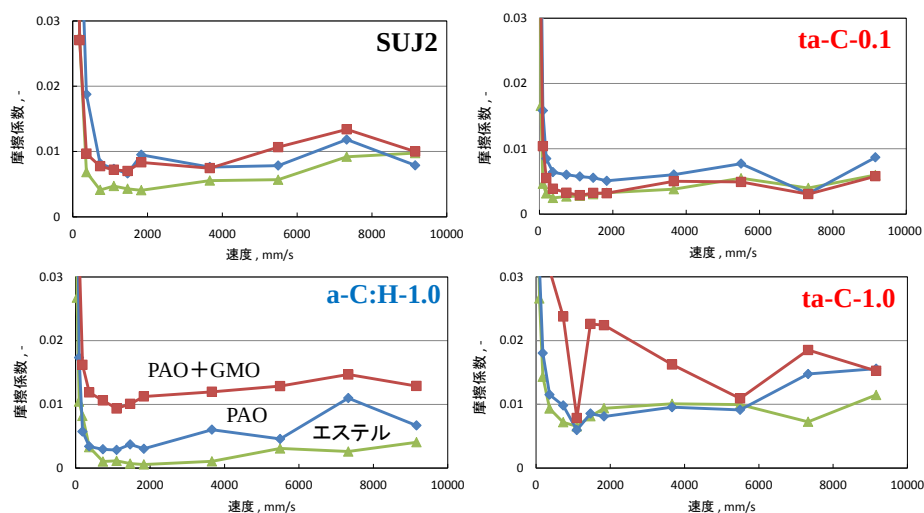


図 4. 各 DLC 膜における摩擦係数と速度の関係

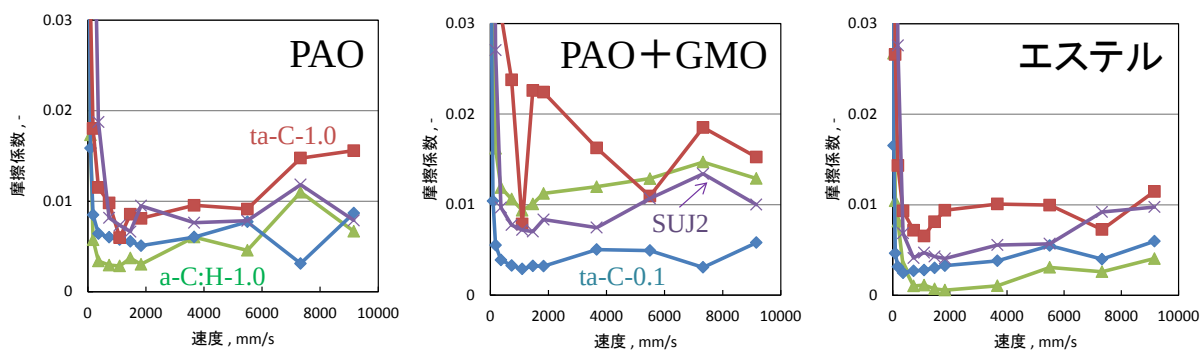


図 5. 潤滑剤ごとの摩擦係数と速度の関係