

糖アルコール潤滑下 DLC 膜の低摩擦特性

吉田 健太郎 (機械・材料技術部 材料物性グループ)

本泉 佑 (機械・材料技術部 解析評価グループ)

長沼 康弘 (機械・材料技術部 解析評価グループ)

加納 眞 (東京科学大学)

1. はじめに

DLC (Diamond like carbon) 膜は、すでにバルブリフター、ピストンリング等の輸送機器関連動弁系部品へ適用が進み、近年では弾性流体潤滑 (以下 EHL) 下における顕著な低摩擦特性も報告されている。他方、環境調和の側面からエンジン油等に汎用されている鉱物油の代替として、生分解性の高いアルコール系水溶液を潤滑剤とした研究も進んでいる。しかしながらこれらを複合的に使用する際に、組合せは多種多様となるが現状では選定基準がなく、またアルコールが薄膜に与える影響もよく理解されていない。そこで本稿では、各種 DLC 膜と糖アルコールを用いたブロックオンリング摩擦試験を実施し、DLC 膜種の違いによる摩擦特性および摩耗状況の関係について明らかにしたので報告する。

2. 実験及び結果

摩擦試験は、図 1 に示すようなブロックオンリング試験モジュールを用いて実施した。ブロック試験片を潤滑剤に浸した回転する円筒側面に押し付け、線接触状態の摺動における摩擦係数を計測する。

試験片は外径 $\Phi 34.99$ mm、表面粗さ $Ra 0.2 \mu m$ である SUJ2 製リングと $6.33 \times 16.6 \times 9.65$ mm、表面粗さ $Ra \leq 0.01 \mu m$ である SUJ2 製ブロックを用いた。ブロックの摺動部には未コート仕様の真空フィルタードアーク蒸着法により成膜した $Ra=0.016 \mu m$ である水素フリー DLC (以下、ta-C と略す)、プラズマ CVD 法により成膜した $Ra=0.010 \mu m$ である水素含有 DLC (以下、a-C:H と略す) の 3 種類を用いて未コートのリングと摺動させた。

潤滑剤にはキシリトール水溶液と純水を使用し、キシリトール水溶液の濃度は飽和濃度の 60 wt% とした。また液温は $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 、ブロックの押し付け荷重は 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。

キシリトール水溶液および純水中の「SUJ2 同士」の摩擦評価結果を図 2 に示す。本試験は速度が上昇するため、潤滑状態は図中左側の境界潤滑から混合潤滑を経て、EHL、流体潤滑へと移行する。キシリトール水溶液では純水と比

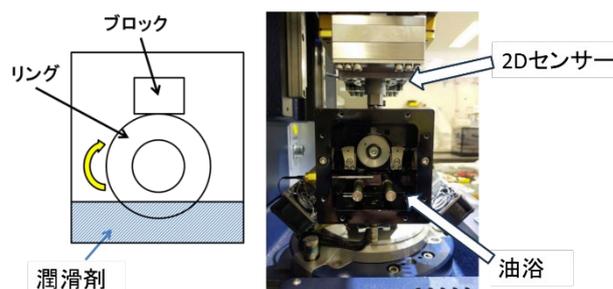


図 1 ブロックオンリング摩擦試験装置

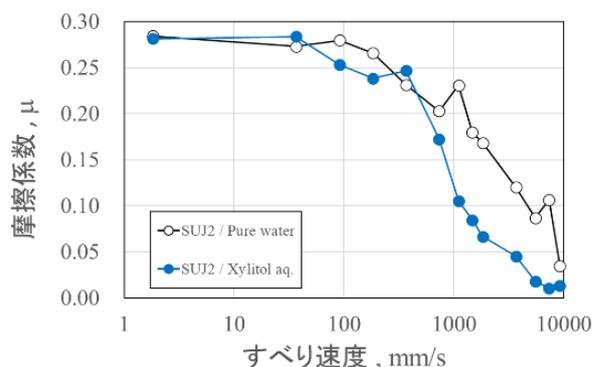


図 2 「SUJ2 同士」のすべり速度と摩擦係数

べて境界潤滑、混合潤滑、EHL と考えられる領域で摩擦係数が小さいことが確認できる。特に EHL においてキシリトール水溶液は最小で 0.0109 という低い摩擦係数を示した。

キシリトール水溶液中の DLC 膜種違い「SUJ2:DLC 膜」による摩擦評価結果を図 3 に示す。「SUJ2 同士」の結果は図 2 と同じである。境界潤滑から混合潤滑域とみられる 1000 mm/s 以下の領域では、未コートの SUJ2 材に対して a-C:H の摩擦係数は半分以下に小さくなり、さらに ta-C では a-C:H に比べて摩擦が低減していることが確認された。一方で混合潤滑から EHL 域とみられる 1000 mm/s 以上の領域では、a-C:H は未コートの場合とほぼ同等の摩擦係数を示し、a-C:H での摩擦低減効果は確認されなかった。ta-C では滑り速度 7.3 m/s 時に最も小さい摩擦係数 0.011 が得られ、 3.7 m/s 時には未コートに比べて 62% の摩擦低減

効果が認められた。流体潤滑域に近づくにつれて未コートでも ta-C と同様の摩擦係数を示したが、キシリトール水溶液潤滑下では SUJ2 と a-C:H に比べて、本試験の速度範囲においては ta-C の摩擦低減効果が大きいことが確認できた。

試験後のブロック表面摺動痕観察画像を図 4 に示す。ブロックに接触したリングの回転方向は、図 4 各画像の右側から左側となる。摺動痕は画像の縦方向に細長く形成され、摩耗が進行するほど幅は大きくなる。純水およびキシリトール水溶液中の SUJ2 同士の摩擦試験後の観察画像からは、キシリトール水溶液で使用したブロックの摩耗が小さいことが確認できた。またキシリトール水溶液中の DLC 膜種違いによる摩擦試験後の観察画像からは、SUJ2 に比べて a-C:H と ta-C の摩耗痕は不明瞭になり、摩耗幅が小さくなっていることが確認できた。

3. 考察及び今後の展望

一定荷重下で速度を上昇させる潤滑下のブロックオンリング試験において、キシリトール水溶液と純水を用いて「SUJ2 同士」および「SUJ2 : DLC 膜」とのトライボロジー特性を評価した結果、以下の知見を得た。

SUJ2 同士の摩擦試験において、境界潤滑、混合潤滑、EHL と考えられる領域で純水に比べてキシリトール水溶液の摩擦係数が小さくなっており、摩耗も抑制されていることが確認された。

キシリトール水溶液潤滑下の a-C:H 膜および ta-C 膜では、未コート鋼に比べて摩耗幅が小さく摩耗が抑制されていた。一方境界潤滑、混合潤滑と考えられる領域での DLC 膜の摩擦係数は小さいが、EHL 域では ta-C 膜に摩擦低減効果があることが確認された。

今後の展望として、他の糖アルコールによる評価を実施すると共に、化学的な表面状態が摩擦摩耗に与える影響についても確認する計画である。

【参考文献】

- 1.K.Bobzin, et al, *Lubrication science*, 30, 285-299(2018)
- 2.内海慶春他, トライボロジー会議 2020 秋 別府予稿集, 231-232(2020)
- 3.八木渉他, トライボロジー会議 2021 秋 松江予稿集, 470-471(2021)
- 4.福田将也他, トライボロジー会議 2024 春 東京予稿集, 202-203(2024)

【外部発表】 口頭発表 1 件

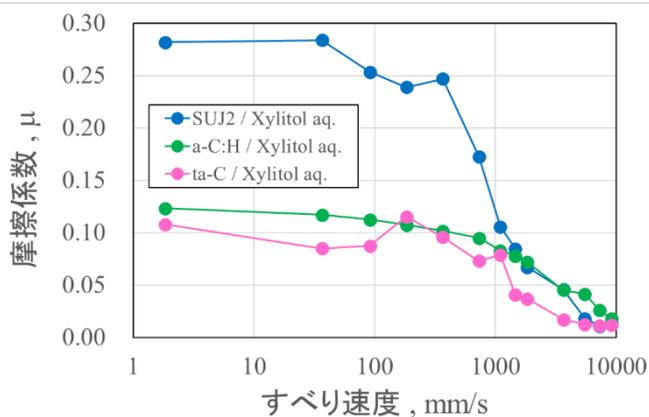


図 3 キシリトール水潤滑下「SUJ2 : DLC 膜」のすべり速度と摩擦係数

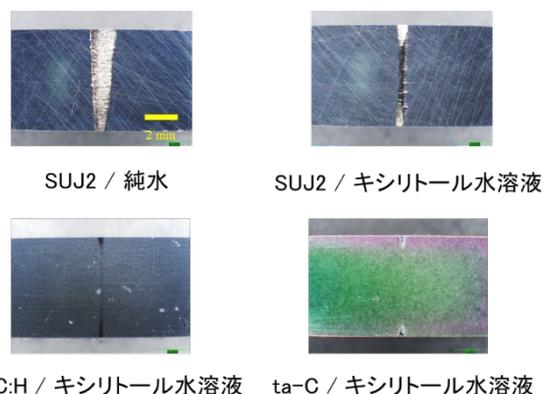


図 4 試験後のブロック表面しゅう動痕