

アルコール系水溶液と DLC コーティングの摩擦低減効果

Friction Reduction Effect Due to

The Combination of Alcohol-Based Aqueous Solution and DLC Coating

都市大（学）*福田 将也 都市大（学）岩田 拓実 都市大（正）三原 雄司

都市大（正）加納 眞 都市大（正）及川 昌訓

Masaya Fukuda*, Takumi Iwata*, Yuji Mihara*, Makoto Kano*, Masakuni Oikawa*

*Tokyo City University

1. はじめに

近年、様々な分野で環境問題への対策が検討されている。2021 年 6 月に行われた国連気候枠組み条約第 26 回締結会議では 2050 年までに石油生産の廃止を宣言している¹⁾。そのため、現在内燃機関や EV 用として多く用いられている生分解性に劣る鉱物油ベースの潤滑油の代替となる潤滑剤が必要になることも想定され、石油を使わないアルコール系水溶液を潤滑剤とした研究が注目されている²⁾³⁾。また DLC(Diamond-Like Carbon)膜は、グリセリンモノオレート(GMO)を添加した潤滑剤との組合せにより DLC 単体と比べた場合の低摩擦特性が報告されており、これは GMO 中のヒドロキシル基(OH 基)の影響であることが報告されている⁴⁾ことから、アルコール系水溶液と DLC の組合せはアルコール系水溶液単体よりも優れた低摩擦特性が得られる可能性が示唆されている。そこで本報告においては、アルコールの中でもキシリトール水溶液における摩擦特性を e-Axle 用潤滑油と比較するとともに、DLC を組合せた場合の摩擦低減効果を報告する。

2. 実験方法

Figure 1 にブロックオンリング試験の概略図を示す。ブロック試験片を潤滑油に浸した回転する円筒側面に押し付け、線接触状態の撓動における摩擦係数を計測する。Table 1 に試験に使用した試験片の諸元を示す。試験には外径 $\Phi 34.99$ mm、表面粗さ $Ra 0.2 \mu m$ である Steel のリングと $6.33 \times 16.6 \times 9.65$ mm、表面粗さ $Ra 0.015 \mu m$ である SUJ2 のブロックを用いた。ブロックには未コーティングの仕様と ta-C 種、a-C:H 種の DLC を撓動部にコーティングした仕様の 3 種類を用いて試験した。Table 2 に試験条件を示す。潤滑剤にはキシリトール水溶液と e-Axle 用の汎用ギヤオイルを使用し、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、油温は $25^\circ C$ 、ブロックの押し付け荷重は $5 N (18 MPa)$ とした。試験方法は荷重印加後に回転数を 1 rpm から 30 sec 毎に上昇させ、最大 5000 rpm までの摩擦係数を取得した。

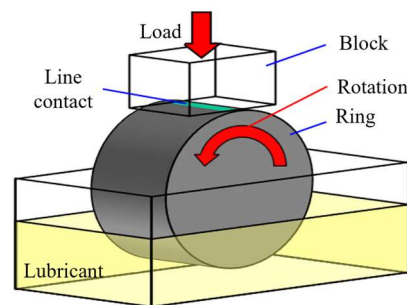


Fig. 1 Block on ring test

3. 実験結果

3.1 潤滑剤違いによる試験結果

Figure 2 に潤滑剤違いによる試験結果を示す。試験は回転数上昇試験であるので、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。これを前提に、キシリトール水溶液ではギヤオイルと比べて境界潤滑、混合潤滑と考えられる領域で摩擦係数が減少していることが確認できる。一方で EHL や流体潤滑と考えられる領域ではギヤオイルの方が摩擦係数は小さい。

次に試験後のブロック表面観察結果を Fig. 3, 4 に示す。キシリトール水溶液による試験後のブロック表面の一部分のみに摩耗痕があることが確認できた。一方で、ギヤオイルによる試験後のブロック表面には一直線に摩耗痕があることが確認でき、ギヤオイルで使用したブロックに比べて、キシリトール水溶液で使したブロックの摩耗が小さいことが確認できた。

Table 1 Specimen specification

Specimen	Block	Ring
Size (mm)	$6.33 \times 16.6 \times 9.65$	$\Phi 34.99$
Material	SUJ2	Steel
Coating	No-coating	No-coating
	ta-C	
	a-C:H	
Surface Roughness, $Ra (\mu m)$	<0.015	0.2

Table 2 Test condition

Ring rotation speed (rpm)	Load (N)	Hz contact pressure (Mpa)	Lubricant temperature ($^\circ C$)	Lubricant
1 \Rightarrow 5000	5	18	25	Xylitol solution
				Gear oil

3.2 DLC 膜種違いによる試験結果

Figure 4 に DLC 膜種違いによる試験結果を示す。前項同様に、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において、未コーティングの SUJ2 材に対し ta-C 種と a-C:H 種の DLC をブロックに成膜した場合全ての領域で摩擦が低減していることが確認された。一方でギヤオイルの場合、ta-C 種の DLC による摩擦低減効果は 2000rpm 以下の領域で確認されたが、3000rpm 以降の領域では未コーティングの場合とほぼ同等の摩擦係数を示し、さらに a-C:H 種での摩擦低減効果は得られなかった。また、境界潤滑、混合潤滑と考えられる領域においてキシリトール水溶液の a-C:H 種で最も小さい摩擦係数 0.015 が得られ、2000rpm 時に最大で 55% 低減した。ギヤオイルの場合、ta-C 種で 2000rpm 時に最大で 44% 低減し、汎用材料組合せである SUJ2 材とギヤオイルに比べてキシリトール水溶液における DLC の効果が大きいことが確認できた。

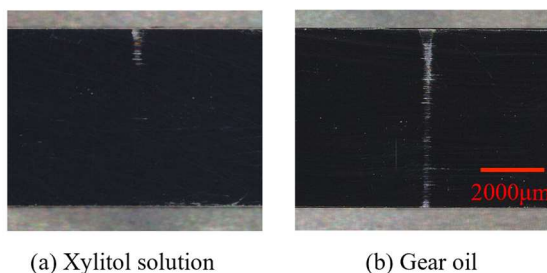


Fig. 2 Results of surface observation after

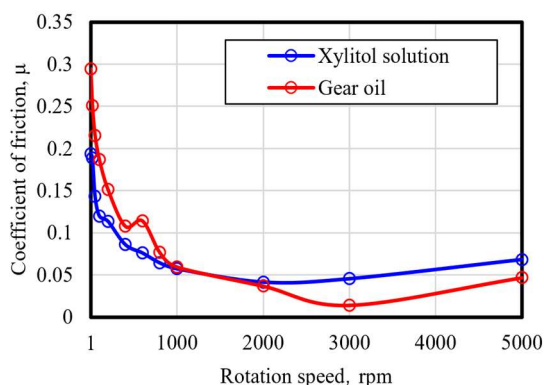


Fig. 3 Test result of different lubricants

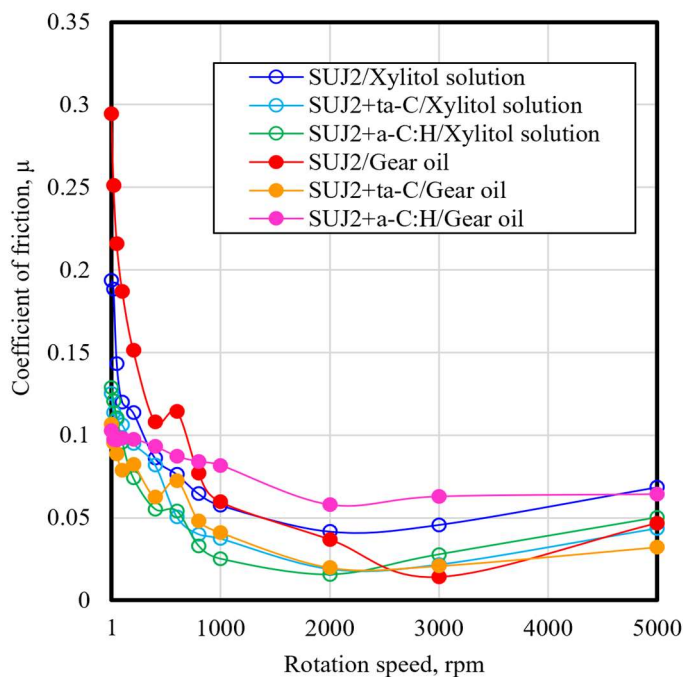


Fig. 4 Test result of different DLC coatings

4. 結言

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ギヤオイル潤滑下の DLC のトライボロジー特性を評価した結果、以下の知見を得られた。

- 1) 境界潤滑、混合潤滑と考えられる領域でギヤオイルに比べてキシリトール水溶液の摩擦が低減されるだけでなく、摩耗も明確に抑制されていることも確認できた。
- 2) キシリトール水溶液潤滑下の a-C:H 膜およびギヤオイル潤滑下の ta-C 膜では、汎用のギヤオイル潤滑下の未コーティング鋼に比べて、境界潤滑、混合潤滑と考えられる領域での摩擦低減と摩耗の抑制が得られることが分かった。

文献

- 1) 伊与田昌慶, COP26 グラスゴー会議の意味と日本の課題, 環境と文明, 2022, 1 月号
- 2) Tobias Amann, et al., Macroscale superlubricity of diamond-like carbon coatings and ceramics using different lubricants - From model test to application, World Tribology Congress2022, WTC2022 July 10-15, 2022, Lyon, France
- 3) 八木渉, 本田知己ら: 環境負荷潤滑剤を目指した糖アルコールの潤滑性能, トライボロジー会議 2021 秋 松江, 予稿集, (2021) 470-471.
- 4) 加納真, DLC を用いた潤滑下の低フリクション化技術の適用と課題, 表面技術, 58 巻 10 号, 2007, 578-581