

# 低環境負荷潤滑剤存在下 DLC 膜の摩擦摩耗特性

材料技術部 材料物性チーム 吉田 健太郎  
堀内 崇弘  
加納 眞  
熊谷 正夫

DLC 膜は無潤滑下でも低い摩擦係数を示すが、潤滑下での使用により、さらなる低摩擦化が期待できる<sup>1)</sup>。本研究では、低環境負荷の潤滑剤を用いて、DLC 膜の摩擦摩耗特性を評価した。エタノール潤滑下においては、水素含有 DLC で摩擦係数が上昇したのに対し、水素レス DLC では降下した。またその他のアルコール潤滑下においても、概ね水素レス DLC が、水素含有 DLC に比べて低い摩擦係数を示し、摩耗の状態にも差異が見られた。

キーワード：DLC 膜，潤滑，摩擦，摩耗

## 1 はじめに

摺動部の摩耗や摩擦係数の低減などを目的とした表面処理が行われているが、その中でも Diamond-Like Carbon (DLC) は、高硬度、無潤滑下での低摩擦などの特性を持ち、自動車部品、切削工具などの分野に利用されている。また DLC の潤滑下での使用により、さらなる低摩擦化が期待でき、DLC の用途拡大が予想される。

そこで本研究では、DLC 被覆材料摺動部において、摩擦係数0.01以下の超潤滑の実現を目的として、潤滑剤・膜質の組合せを検討し、潤滑下 DLC 膜の摩擦摩耗特性を評価した。潤滑剤にはアルコール系潤滑剤を用いた。アルコール系潤滑剤を用いた理由については、80℃で水素フリー DLC (ta-C) 同士のグリセリン潤滑下で超潤滑現象がみられたという報告事例<sup>2),3)</sup>に基づいている。

DLC 被覆した材料同士の摩擦にエタノールを随時添加した系では、a-C:H 同士で摩擦係数が上昇し、ta-C 同士では摩擦係数が降下する現象が見られた。また基板にのみ DLC を被覆した場合の摩擦試験では、各種アルコール系潤滑剤の塗布において、水素含有 DLC(a-C:H)被覆材に比べ、ta-C 被覆材の摩擦係数が概ね低いことがわかった。

なお本研究は、文部科学省・神奈川県「環境調和型機能性表面」プロジェクトの支援で行われたものである。

## 2 実験方法

### 2.1 潤滑剤試料

潤滑剤試料として、表1に示した7種類を選択し、摩擦試験時に添加した。

### 2.2 摩擦試験

摩擦試験は、CETR 社製トライボロジー試験機にて、ボールオンディスク摩擦試験 (図1) を室温にて行った。

試験条件を表2に示す。また本研究で用いた固定球と回転基板の被覆には、PCVD 法で製膜した a-C:H および PVD 法で製膜した ta-C (双方共に膜厚 1.0 $\mu$ m) を用いた。

表1 潤滑剤試料およびそれらの性状

潤滑剤名	略称	比重(20℃)	主成分		
			分子量	分子内 OH基数	分子内 COOH基数
エタノール	ETOH	0.789	46	1	-
プロピレングリコール	PG	1.038	76	2	-
グリセリン	GLY	1.260	92	3	-
乳酸	LAG	1.210	90	1	1
オリーブ油	OLI	0.912	282	-	1
ひまし油	CAS	0.959(25℃)	298	1	1
ポリプロピレングリコール	PPG	1.004	2000	2	-

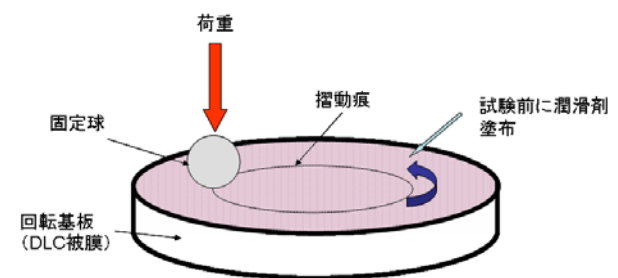


図1 ボールオンディスク試験模式図

表2 ボールオンディスク試験条件

	① エタノール添加	② 潤滑剤塗布
すべり速度, mm/s	10	50
接触面圧, Mpa	600	700
試験時間, 秒	600	1800
潤滑剤量, $\mu$ L	250	
固定球	$\phi$ 9.4mm DLC-coated SUJ2	$\phi$ 9.4mm SUJ2
回転基板	$\phi$ 33.0 $\times$ 3.0mm DLC-coated SUJ2	

### 2.3 表面観察

本研究では表面観察に、FE-SEM (FEI 社 silion) による表面観察画像を用いて摩耗痕の評価を行った。

### 3 実験結果と考察

#### 3.1 エタノール添加

エタノール添加試験の摩擦係数経時変化を図2に示す。エタノールを添加した時点における摩擦係数は、a-C:Hが上昇したのに対し、ta-Cは下降した。これはエタノールに含むOH基に由来する薄い反応膜（トライボフィルム）が形成されやすい状態となり、球と基板の直接接触を緩和したと考える。またa-C:H基板には幅187 $\mu\text{m}$ の摩耗痕が存在したのに対し、ta-C基板には摩耗痕が確認されなかったため、後者は耐摩耗性に優れると考えられる。

#### 3.2 潤滑剤塗布

潤滑剤塗布による摩擦試験1800秒終了時の摩擦係数を図3に示す。ta-Cは概ねa-C:Hよりも低い摩擦係数を示した。さらにta-Cでは、分子量が高い潤滑剤に摩擦係数低減効果が大きい傾向が認められた。またグリセリンでは従来例<sup>2),3)</sup>のような超潤滑状態は得られなかった。

基板摺動部の摩耗痕幅を図4に示すが、ta-Cはほとんど摩耗が観察されなかった。これはta-Cが高硬度であるからと推察される。またa-C:Hではグリセリンに耐摩耗効果が認められた。一方、固定球の摩耗痕径を示した図5より、ta-Cの相手材SUJ2への攻撃性が高いことがわかった。これは膜表面ドロップレットの影響と考えられ、今後の検討課題とする。

### 4 まとめ

アルコール系潤滑剤によるDLCの摩擦特性の評価より、膜の水素含有の有無や潤滑剤の分子量が摩擦摩耗低減に効果を及ぼし、相手材の摩耗にも影響があることが推察された。

### 文献

- 1) 吉田, 堀内, 加納, 熊谷; トライボロジー会議予稿集(2007-5), pp179-180.
- 2) M.Kano, et al., ; Proceedings of ASIATRIB, October (2006), pp399-400.
- 3) C. Matta, et al., ; Proceedings of ASIATRIB, October (2006), pp407-408.

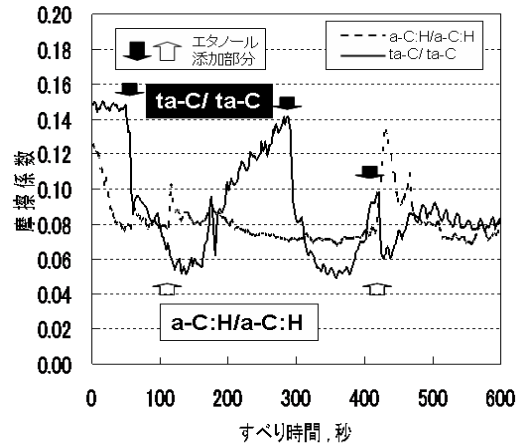


図2 エタノール添加による潤滑効果

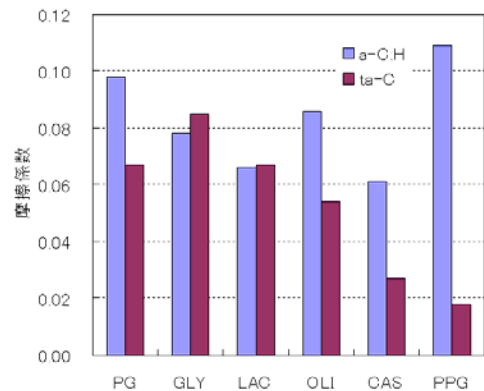


図3 アルコールDLC潤滑の試験終了時摩擦係数

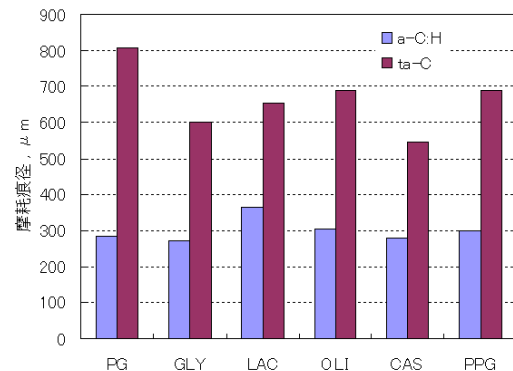


図4 基板摩耗痕幅

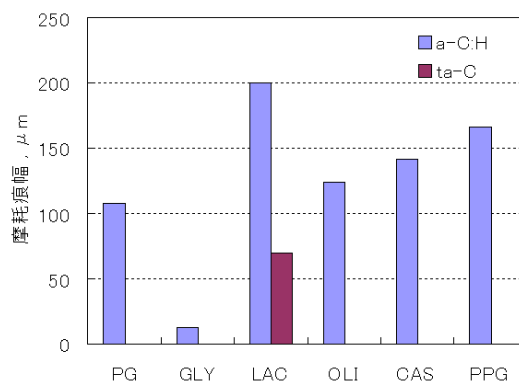


図5 固定球摩耗痕径