

エステル系潤滑剤中の炭素鎖長と分岐の有無がDLC膜の摩擦特性に及ぼす影響

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

摩擦摩耗特性に優れた DLC 膜は、膜の種類や使用する潤滑剤によってその特性が異なることが知られている¹⁻³⁾。影響を及ぼす因子は様々あるが、これらの効果について体系化された報告はあまり存在しない。そこで著者は DLC 膜用潤滑剤の設計指針を得ることを目的として、低環境負荷で摩擦摩耗の抑制に効果のあるエステル系潤滑剤を用いて、これらの炭素鎖長と分岐の有無が、摩擦特性に及ぼす影響を調べたので報告する。

2. 実験方法

2.1 試験片

基材には、SUJ2 軸受鋼(焼入れ, HRC60)のディスク (Φ 33 mm × t 3 mm) およびピン (Φ 9 mm × L 9 mm) を使用した。全てのディスクとピンにラッピング研磨を施し、二乗平均平方根粗さ(Rq)をそれぞれ約 3 nm, 約 12 nm の鏡面状に仕上げた。その後、その表面に、プラズマ化学蒸着 (Plasma Chemical Vapor Deposition : PCVD) 法による水素含有 DLC (a-C:H, 水素含有量約 20 at%, 膜厚 1.0 μm) および T 字型フィルタードアーク (T-shaped Filtered Arc Deposition : T-FAD) 法による水素フリーDLC (ta-C, 膜厚 0.3 μm) を成膜した。

2.2 摩擦試験

SUJ2 同士 (基材まま), a-C:H 同士, ta-C 同士の 3 種類のディスクおよびピンの組合せで、往復式ピンオンディスク摩擦試験を行った。摩擦試験方法の模式図を図 1 に、試験条件を表 1 に示す。DLC を成膜したディスクおよびピンは、すべり摩擦試験の前に 2-プロパノールに浸漬させ、5 分間超音波洗浄を行った後、送風乾燥させた。

潤滑剤として、実用的な合成油であるアジピン酸ジエステルを基油に用いて、図 2 に示すようなエステル末端のアルキル部の炭素鎖長や分岐の有無が異なる 3 種類 (C6-C10 直鎖, C9 分岐, C10 分岐と呼称する) を用意した。これらの基油それぞれに対して添加剤として、オレイン酸またはオレイルアルコールを 1wt% 添加したもの、添加剤無配合のもの、計 3 種類を用意し、合計 9 種類の潤滑剤を作製した。試験開始前には、摩擦面にこれらの潤滑剤を 10 μL 滴下した。材料 3 種類、潤滑剤 9 種類で総計 27 水準の摩擦試験を実施した。

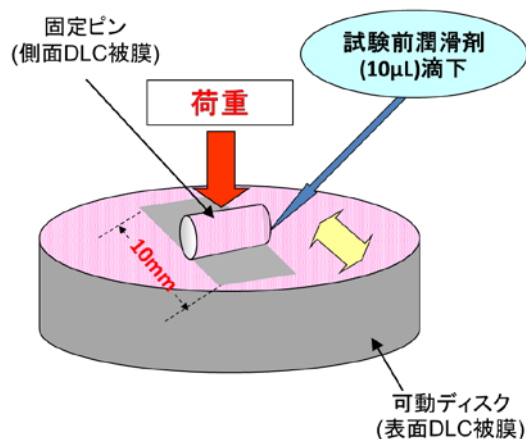


図1 往復式ピンオンディスク摩擦試験の概略図

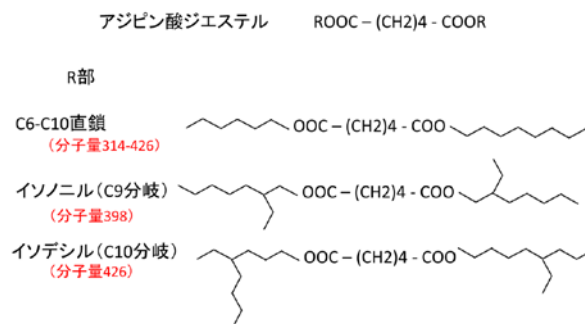


図2 エステルの化学構造例

表1 摩擦試験条件

潤滑剤供給方法	試験前滴下
潤滑剤量, μL	10
最大速度, mm/s	50
荷重, N	5
面圧, MPa	67
時間, s	600
温度, °C	23
湿度, %RH	51 - 54

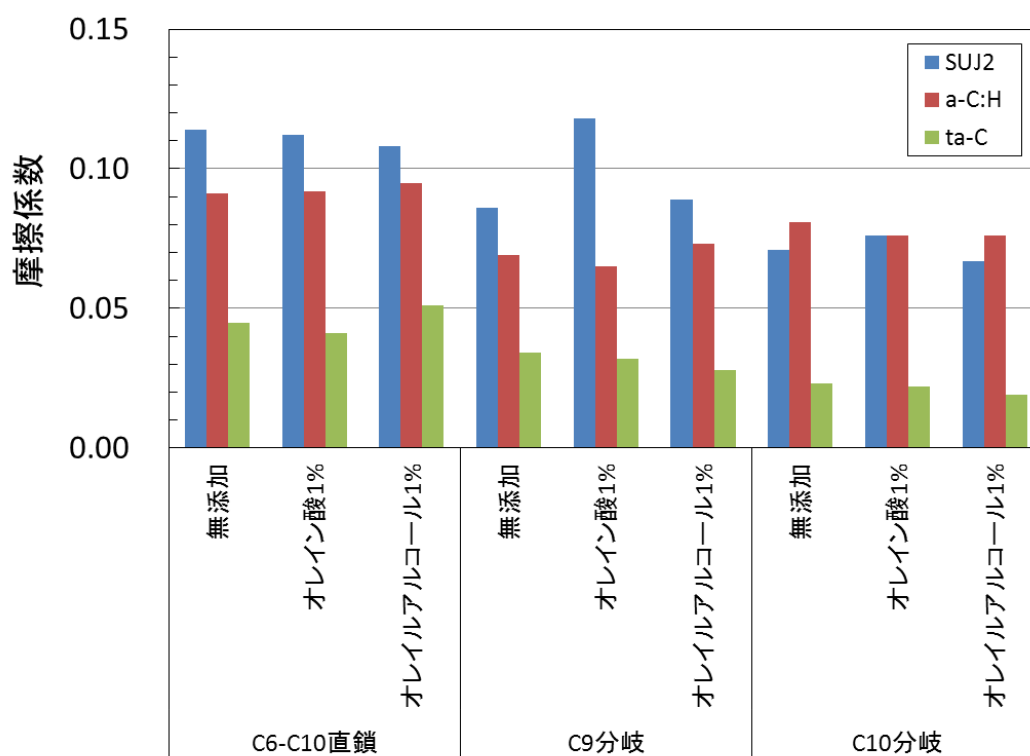


図3 各試験組合せにおける平均摩擦係数

3. 実験結果及び考察

各試験組合せにおける平均摩擦係数を図3に示す。各材料の平均摩擦係数について、SUJ2 同士においては、C6-C10 直鎖で 0.11 程度、C9 分岐で 0.08-0.12、C10 分岐で 0.07 程度となった。a-C:H 同士においては、C6-C10 直鎖で 0.09-0.10、C9 分岐で 0.06-0.07、C10 分岐で 0.07-0.08 となった。ta-C 同士においては、C6-C10 直鎖で 0.04-0.05、C9 分岐で 0.02-0.03、C10 分岐で 0.02 程度となった。これらの結果から、エステル中のアルキル鎖の種類や添加剤の有無によって摩擦特性が異なることがわかった。9 種類の潤滑剤のいずれを用いた場合においても、ta-C 膜の摩擦係数が大幅に低くなる結果となった。ta-C 膜表面は化学反応活性が高いことから、摩擦とせん断によりトライボ化学反応膜が生成しやすい状況が生まれ、摩擦係数が低減したことが示唆される³⁾。

潤滑剤に着目すると、SUJ2 および ta-C については、C6-C10 直鎖、C9 分岐、C10 分岐の順に摩擦係数が低くなる傾向があるのに対し、a-C:H については、C6-C10 直鎖、C10 分岐、C9 分岐の順に低くなる。a-C:H 膜は ta-C 膜に比べて、潤滑剤の化学構造や極性が異なるものに対して、摩擦係数の低減効果を発揮しにくいといった先行研究もあり⁴⁾、この摩擦係数の序列の違いも表面の化学反応活性に起因するトライボ化学反応膜形成能力から生まれるものと想定される。

ta-C が C6-C10 直鎖、C9 分岐、C10 分岐の順に摩擦係数が低くなる原因については、炭素鎖長と分岐の多少によるものと考えられる。エステル系潤滑剤が摩擦係数を低減できるのは、摩擦表面への化学的な吸着が起きるためと推測されるが、詳細なメカニズムは不明である。本研究の潤滑

剤の組合せにおいて、平均分子量が大きくかつ炭素鎖に分岐をもつ方が低い摩擦係数を発現することを考えると、化学的に不安定である分岐部での吸着が、直鎖よりも多くの点で起きることと、吸着した物質の分子量が大ききことによるトライボ化学反応膜の厚膜化によって低摩擦化が可能になったものと考えられる。

摩擦係数をさらに低減する効果を見据えて配合したオレイン酸またはオレイルアルコールについては、摩擦係数が低減した組合せも存在したが、その効果は著しく小さかった。

4. まとめ及び今後の展開

水素含有 DLC(a-C:H)膜および水素フリーDLC(ta-C)膜について、エステル系潤滑剤を用いた摩擦試験を行った。その結果、ta-C 膜の摩擦係数が総じて低い傾向となり、エステル中のアルキル基炭素鎖が長くかつ分岐している方が、その低減効果が増大した。

本研究は、環境負荷を低減する技術として、自動車分野をはじめ、食品、医療、福祉分野等、今後の成長が見込まれる分野への応用が期待される。また、切削、研削、塑性加工等をはじめとする機械加工への応用も可能である。

【参考文献】

- 1) C. Matta *et al.* ; *Phys. Rev.*, 78, 8, 085436(2008).
- 2) M. Kalin & R. Simic ; *Appl. Surf. Sci.*, 271, 317(2013).
- 3) 吉田ほか ; トライボロジスト, 58, 10, 773(2013).
- 4) K.Yoshida, *et.al.*, *Tribology*, 9, 1, 54(2015).

【外部発表】口頭発表 1 件予定, 論文等発表 1 件予定