

スーパーエンブラ系複合材料の摩耗特性

Wear properties of polymer composite based on super engineering plastics

名城大・理工（正）*榎本 和城 名城大・卒（非）川松 夕有香 名城大・院（非）國保 東馬

日栄（非）杉浦 祐介 プラリンク（非）山喜 政彦

Kazuki Enomoto*, Yuuka Kawamatsu*, Toma Kokubo*, Yusuke Sugiura**, Masahiko Yamaki***

*Meijo University, **Nichiei Co.,Ltd., ***Plalink Co.,Ltd.

1. はじめに

樹脂系トライボマテリアルは、軽量性・化学的安定性・自己潤滑性などの特徴により、さまざまな機械のしゅう動部に適用され、機器の軽量化や静音化に貢献している。要求される特性や使用される温度域によって、エンジニアリングプラスチック（エンブラ）もしくはスーパーエンジニアリングプラスチック（スーパーエンブラ）が用いられ、さらに高性能化を図るために固体潤滑剤やフィラーを充てんした複合材料として用いられることも多い。一方で、今後の更なる適用分野の拡大には、より一層のトライボロジー現象の解明も不可欠である¹⁾。

樹脂系トライボマテリアルの用途のひとつとして歯車が挙げられる。従来の金属歯車を単に樹脂化するだけでは、寸法精度や耐久性などの要求を満足することが難しく、実用化は一部の低負荷用途に限定されている。この課題を解決するために、筆者らのグループでは、小型の遊星減速機への適用を目標として、耐久性に優れるスーパーエンブラを金属歯車の表面に薄く被覆するように一体成形する異材成形歯車を共同開発した²⁾。この異材成形歯車は、コアとなる金属歯車が剛性と寸法精度を、歯の表面樹脂層が低摩擦性や静音性を受け持つ構造となっており、表面樹脂層の材質により用途や使用に応じて特性を変化させることができる。

本報では、異材成形歯車の表面材の選定を目的として、樹脂系トライボマテリアルの中でも比較的高負荷な分野に適用されているスーパーエンブラ系の複合材料に対して、対金属および対樹脂系複合材料の組み合わせにおいて摩擦摩耗試験を実施し、その摩耗特性について検討した結果を報告するとともに、摩耗特性に及ぼすグリースの影響に関する検討結果についても報告する。

2. 試料および実験方法

使用した材料は、PEEK/CF/PTFE（住友化学，スミプロイ CK3420），PEEK/TISMO/PTFE（大塚化学，ポチコン KT16）の2種類の複合材料である。マトリックスであるPEEK（ポリエーテルエーテルケトン）は、結晶性樹脂の中で最高レベルの耐熱性を持つスーパーエンブラであり、高性能が要求される用途での成形材料としてだけでなく、雨水等を汲み上げる立軸ポンプ用のすべり軸受材³⁾など苛酷なしゅう動条件におけるトライボマテリアルとしても使用されている。TISMOとは、直径がサブミクロンオーダーと微細なチタン酸カリウムの結晶性繊維であり、プラスチックの補強材や自動車用ブレーキの摩擦調整材として使用されている。本研究では、それぞれの市販ペレットを射出成形することにより、先端にR6の円弧を有するかまぼこ状のピン試験片とディスク試験片（38 mm×38 mm×3 mm）を作製した。比較用として、S45C製のディスク試験片を切削加工により作製した。

摩擦試験は、研究室自作のピンオンディスク型試験機により実施した。上部の回転軸にピン状試験片8個を等間隔に配置した回転治具を取付け、下からディスク試験片を固定した固定側治具をエアシリンダにより上昇させ、ディスク試験片をピン試験片に押しつけ、その状態で回転治具が所定の回転数で回転することによってしゅう動させる。このときにディスク試験片が受ける摩擦トルクを、固定側治具の下側に取り付けられた市販の小型6軸力覚センサ（レプトリノ：FFS055YS102U6）により計測した。摩擦試験条件は、しゅう動速度：0.7 m/s、垂直負荷荷重：144 N（=18 N/本×8）であり、無潤滑およびグリース潤滑とし、試験時間は対S45Cの場合には1 h、複合材料同士の場合には24 hとした。グリースとしては、協同油脂製のマルテンプ AC-P および HL-D を用いた。試験前後の重量変化から摩耗量（摩耗体積）を算出し、ピンとディスクの合計摩耗量を総摩耗体積 V_w [mm³] として求めた。

3. 結果および考察

Figure 1 に S45C ディスクと複合材料ピンとの1 h の摩擦摩耗試験後の総摩耗体積 V_w [mm³] を示す。対 S45C の場合には、総摩耗体積が PEEK/TISMO/PTFE に比べて PEEK/CF/PTFE のほうが小さく、PEEK/CF/PTFE のほうが耐摩耗性に優れている。2種類の複合材料のビッカース硬さを比較すると、S45C ≫ PEEK/CF/PTFE > PEEK/TISMO/PTFE の関係にあったことから、実質的には、S45C ディスクはほとんど摩耗せず、ピン側の材料が摩耗したと推定される。また、硬さの関係から、ディスクを同じ荷重（144 N）でピンに押し当てた時のピン先端における見かけの接触面積は PEEK/CF/PTFE < PEEK/TISMO/PTFE の関係となり、PEEK/TISMO/PTFE のほうがピンの先端が潰れた状態でしゅう動したことが要因であると考えられる。さらに、グリース無しの場合に比べてグリースの使用により総摩耗体積が大きく減少した。試験後のしゅう動面を観察した結果、グリースなしの場合にはピンの摩耗粉と思われる凝着物が確認されたが、グリースを使用した場合には凝着物は見られなかった。今回の組み合わせの場合には、いずれの複合材料に

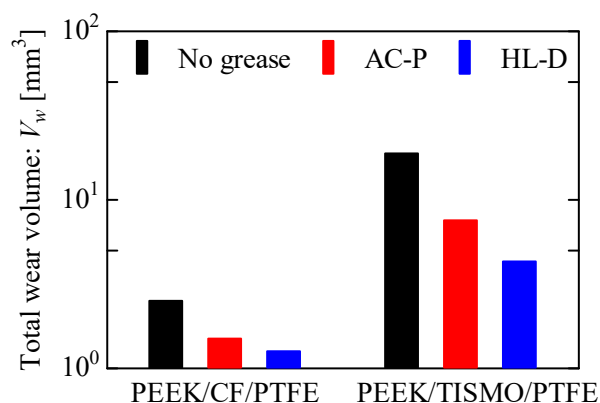


Fig. 1 Total wear volume after 1-hour of friction test between S45C disk and composite pin.

においてもグリースとして HL-D を使用した場合に、もっとも総摩耗量が小さくなった。

次に、複合材料同士の摩擦摩耗試験結果について示す。対 S45C の摩擦摩耗試験と同じ条件で試験時間 1 h としたところ、グリースなしの場合でも総摩耗量が対金属の場合に比べて 1 桁小さかった。そこで、試験時間を 24 h に変更して摩擦摩耗試験を行った。Figure2 に複合材料同士における 24 h の摩擦摩耗試験後の総摩耗体積 V_w [mm³] と試験前後のピンの高さから求めた摩耗高さ h_w [μm] を示す。なお、ディスクとピンを同じ材料とした組み合わせは、凝着が激しく、著しく摩耗が進行したため、比較から除外した。総摩耗体積はディスク側が硬質な PEEK/CF/PTFE の場合のほうがわずかに小さく、グリースが HL-D の場合に最も小さくなった。一方、ピンの摩耗高さは、硬質な PEEK/CF/PTFE でグリースが AC-P の場合に最も小さくなった。試験後のしゅう動面を観察した結果、ディスクが PEEK/CF/PTFE の場合にはうっすらとしゅう動痕が存在していたのに対して、ディスクが PEEK/TISMO/PTFE の場合には深くはっきりとしたしゅう動痕が確認された。今回の組み合わせの場合、より軟質な PEEK/TISMO/PTFE 側の摩耗がより進行したものと考えられる。一方で、グリースの主要添加剤が及ぼす影響についてははっきりとしておらず、今後詳細に検討する必要がある。

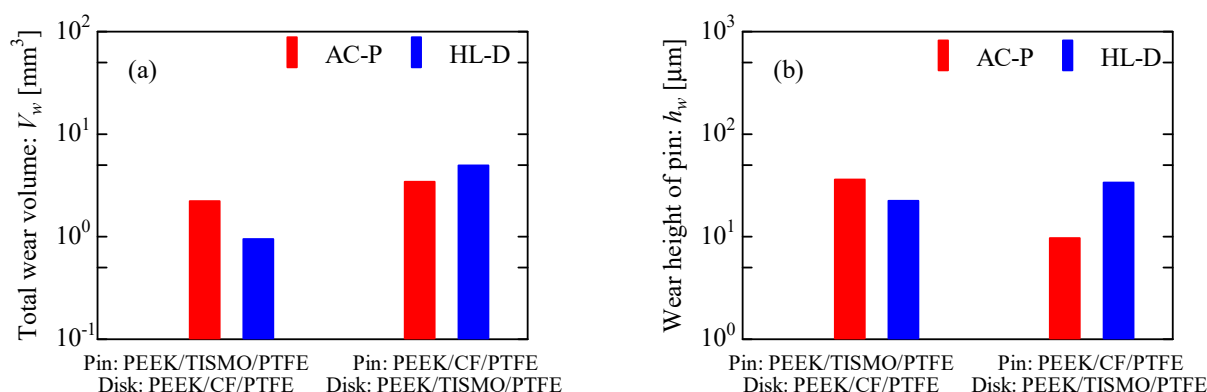


Fig. 2 Wear properties after 24-hour friction test between composite disk and composite pin:

(a) Total wear volume, (b) Wear height of pin.

4. おわりに

異材成形歯車の表面材の選定を目的として、樹脂系トライボマテリアルの中でも比較的高負荷な分野に適用されているスーパーエンブラ系の複合材料に対して、対金属および対樹脂系複合材料の組み合わせにおいて摩擦摩耗試験を実施した結果、対金属に比べて複合材料同士の場合に摩耗が大きく減少することが明らかになった。

謝辞

本研究は、2024 年度新あいち創造研究開発補助金（研究開発（トライアル型））「異材成形歯車を用いたロボット用減速機の研究開発」の一部により実施された。

文献

- 1) 斎藤颯：「樹脂しゅう動材の技術動向」特集号発刊によせて、トライボロジスト, 70(6), (2025), p.322.
- 2) 杉浦祐介, 山喜政彦：樹脂成形歯車, 特開 2024-8129 (2024).
- 3) S. Kim, K. Sugiyama, M. Morino & Y. Nishitani: Effect of Addition of Filler on the Tribological Properties of CF/PEEK Composites, Proc. Int. Trib. Conf., Fukuoka 2023, 1 (2023) 27-A-07.