

ピンオンディスク試験による構造および物性が異なる スーパーエンジニアリングプラスチックの摩擦・摩耗挙動の評価

Friction and wear behavior of super engineering plastics with different structures and properties
evaluated by pin-on-disc test

群馬大・理工（正）*川端柊也（非）本道玲（正）鈴木翔太（非）攪上將規（正）上原宏樹（非）山延健

小倉クラッチ株式会社（非）中島政哉（非）長沼拓（正）野澤淳一（非）松本益幸（非）園部哲也

Shuya Kawabata*, Rei Hondo*, Shota Suzuki*, Masaki Kakiage*, Hiroki Uehara*, Takeshi Yamanobe*

Masaya Nakajima**, Taku Naganuma**, Junichi Nozawa**, Yoshiyuki Matsumoto**, Tetsuya Sonobe**

Gunma University*, OGURA CLUTCH CO., LTD**

1. 緒言

高分子摩擦材料は高い摩擦係数、耐摩耗性、自己潤滑性を有し、化学的安定性を示すことから、航空機材や自動車部品に広く使用されている。その中でも、スーパーエンジニアリングプラスチックは耐熱性に優れ、機械的強度が高く軽量であることから、近年摩擦材に多く利用されている¹⁾。しかし、これらのスーパーエンジニアリングプラスチックは、ブレーキ材に用いた際に摩擦係数が低くなるといった課題が存在する²⁾。

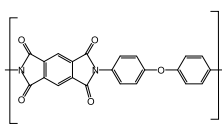
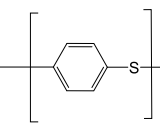
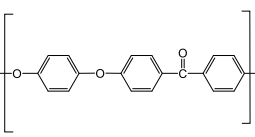
本研究では、スーパーエンジニアリングプラスチックのうち、ポリイミド(PI)、ポリフェニレンサルファイド(PPS)、ポリエーテルエーテルケトン(PEEK)に着目した。これらは異なる主鎖構造を有し、それにより機械的物性・熱的物性に違いがある。ピンオンディスク試験により PI、PPS、PEEK の摩擦・摩耗挙動を観察し、樹脂特性がその摩擦・摩耗挙動に及ぼす影響を評価した。

2. 実験

摩擦材樹脂として、PI、PPS、PEEK の 3 種類のスーパーエンジニアリングプラスチックを用いた。Table 1 に PI、PPS、PEEK の分子構造および主な機械的・熱的物性をまとめる。これらの樹脂成型体を直径 5.6 mm、高さ 3.3 mm の円柱状に切削加工することでピンとした。

作製したピンを用いて、ピンオンディスク試験による摩擦・摩耗挙動の評価を行った。ピンに対して直径 78 mm、高さ 5.0 mm の炭素鋼 S10C を相手材に用い、大気中、室温にて摺動半径 26 mm、回転速度 300 rpm (摺動速度 85.1 mm s^{-1})、荷重 15.8 N、試験時間 3 時間 (54000 回転) として試験を行った。平均摩擦係数は、15000~54000 回転の摩擦係数の平均として算出した。ピンの摩耗量は、試験前後でのピンの重量変化から求めた。試験後のピン表面の形態観察および摩耗粉の形状観察には、走査電子顕微鏡 (SEM) を用いた。

Table 1 Molecular structures and mechanical thermal properties of PI, PPS, and PEEK.

	PI	PPS	PEEK
Molecular structure			
Tensile strength (MPa)	86.2	66-86	100
Tensile modulus (GPa)	2.1	3.3	3.7
Breaking elongation (%)	7.5	1.0-3.0	45
Melting temperature (°C)	-	280-290	343
Glass transition temperature (°C)	-	90	143

3. 結果および考察

ピンオンディスク試験により得られた、各樹脂の回転数に対する摩擦係数の変化を Fig. 1 に示す。各樹脂の平均摩擦係数を算出したところ、PI は 0.35、PPS は 0.40、PEEK は 0.33 と、PPS が最も高い摩擦係数を示した。また、試験後期においても摩擦係数のブレが大きいことから、PPS は本試験ではスティックスリップを引き起こしやすいと考えられる。一方、PI と PEEK を見ると、摩擦初期はやや PEEK の摩擦係数が高いものの、25000 回転以降では同じような摩擦係数の推移が見られ、PPS と比較すると上下動が小さく一定の摩擦係数を示していた。このことから、PI と PEEK は本試験条件では、より一定な摩擦係数を示すと考えられる。摩擦試験後の各ピンの摩耗量を測定したところ、PI は 0.004 g、PPS は 0.009 g、PEEK は 0.003 g と、摩耗量は PPS、PI、PEEK の順に少なくなっていた。

そこで、摩擦試験による樹脂摩擦面の形態変化を評価するため、摩擦試験後のピン表面の形態観察を行った。各樹脂の摩擦面の SEM 写真を Fig. 2 に示す。摺動方向は矢印の方向である。いずれの樹脂においても、摺動方向への摺動痕が観察された。PPS では、PI および PEEK と比較して凹凸した形態が観察された。このことから、PPS では摩擦過程で表面の破壊が進行していると考えられる。これは、PPS の摩耗量が PI や PEEK に比べて多いこととも一致している。一方、PI および PEEK は PPS に比べて摩耗量が少なく、その表面は滑らかであったことから、摩擦過程で主に摺動方向への表面変形が起きていると考えられる。また、PI では摺動方向への溝が明瞭に見られた。この溝は、試験時間を 30 分 (9000 回転) としたピン表面においても観察された。このことから、PI と PEEK では摩擦初期における樹脂変形状態に違いがあることが示唆される。摩擦後期では PI、PEEK ともに表面の変形が進行するため、その摩擦係数は類似した挙動をとると考えられる。

続いて、摩擦試験において発生した摩耗粉の形状観察を行った。各樹脂の摩擦試験後の摩耗粉の SEM 写真を Fig. 3 に示す。いずれの樹脂においても、摩耗粉の発生が確認された。発生した摩耗粉のサイズは、PPS、PI、PEEK の順に大きくなっていった。ここで、各樹脂の摩耗量を考えると、PPS、PI、PEEK の順に少なくなっていた。このことから、摩耗量と摩耗粉のサイズは相関しており、摩耗量が多いほど摩耗粉のサイズが小さくなっていることがわかる。また、PPS の摩耗粉のサイズは、ピン摩擦面 (Fig. 2) で観察された凹凸のサイズと同程度であった。このことから、PPS では摩擦試験により樹脂表面が剥離することで摩耗粉が生じていることが示唆される。一方、PI および PEEK の摩耗粉は PPS に比べて大きな、引き伸ばされたような形態であることから、摩擦過程での変形の可能性が考えられる。

以上のことから、PPS、PI、PEEK の摩擦・摩耗挙動における特徴を考える。PPS は、Table 1 に示した様に PI や PEEK に比べ機械的強度が低い。特に、破断強度と破断伸びを考えると、PPS は PI や PEEK に比べて脆い樹脂であると言える。そのため、摩擦に対して疲労しやすく、材料破壊が起こることで小さい摩耗粉が発生し、その摩耗量が増加したのではないかと考えられる。一方、耐疲労性が高い PI や PEEK では接触・変形による凝着摩耗が起こると考えられる。これにより発生する大きな摩耗粉が試料と相手材間の摩擦面に入り込むことで被膜の役割を担い、摩擦係数の低下につながっていると考えられる。ここで、PI と PEEK には熱的性質 (耐熱性) の違いはあるものの、この試験条件では大きな影響を及ぼさないと考えられる。

4. 結論

本研究では分子構造の異なるスーパーエンジニアリングプラスチックである PI、PPS、PEEK の摩擦・摩耗挙動を、ピンオンディスク試験により評価した。平均摩擦係数は PPS が最も高く、PI と PEEK は同程度であった。また、ピンの摩耗量も PPS が最も多く、一方で摩耗粉のサイズは摩耗量が多いほど小さくなっていた。摩擦試験後のピン表面を観察したところ、PPS では摩耗粉のサイズと同程度の凹凸が見られた。このような摩擦・摩耗挙動の違いは、樹脂の破断強度および破断伸びに基づく耐疲労性の違いによるものと推察される。PPS は PI および PEEK に比べて破断強度および破断伸びが低く、摩擦に対して脆いと考えられる。そのため、接触表面の疲労による摩耗が進行すると考えられる。これに対して、PI および PEEK では試験過程での凝着摩耗によって摩耗粉が成長し、これが相手材との摩擦面における被膜の役割を担うことで摩擦係数が低下していると考えられる。

5. 参考文献

- 1) C. Hu, H. Qi, J. Yu, G. Zhang, Y. Zhang, H. He, *J. Mater. Process. Technol.*, 281, 1-10 (2021).
- 2) 神崎 福, 潤滑, 第 26 巻第 5 号, 359-362 (1981).

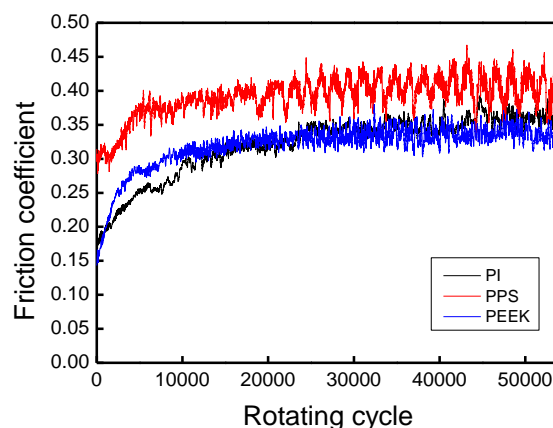


Fig. 1 Friction coefficients of PI, PPS, and PEEK obtained by pin-on-disc test.

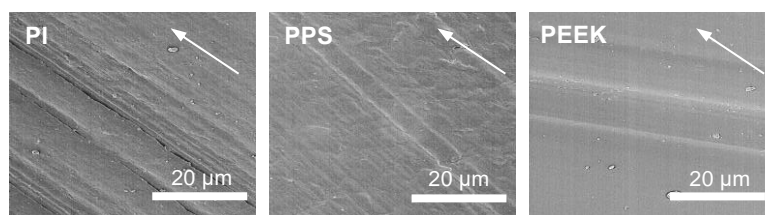


Fig. 2 SEM images of pin surfaces of PI, PPS, and PEEK after pin-on-disc test. The arrow indicates the sliding direction.

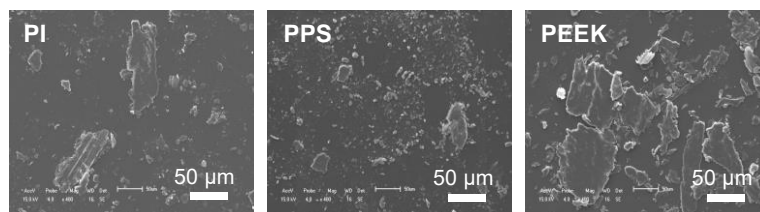


Fig. 3 SEM images of wear debris of PI, PPS, and PEEK formed by pin-on-disc test.