

水素環境下における PEEK 樹脂の長距離摺動特性（第 2 報）

Friction and Wear of PEEK Composites on Long Distance Sliding in Hydrogen Environment (second report)

神戸製鋼所（正）*兼井 直史，神戸製鋼所（非）稲岡 雄二，九州大学（正）澤江 義則，九州大学（正）陳 乾

Naofumi Kanei*, Yuji Inaoka*, Yoshinori Sawae**, Qian Chen**

*Kobe Steel, LTD, **Kyushu University

1. はじめに

カーボンニュートラル社会に向け、各国で様々な取り組みがなされている。その中で、水素は CO₂ 削減が困難な、いわゆる *Hard to abate* な領域で化石燃料からの代替エネルギーとして期待されている。水素社会に向け、取り組みが進んでいる分野の 1 つに *Mobility* の分野があり、燃料電池を搭載した乗用車（FCEV）はその代表例である。FCEV は 70MPa の高圧水素をタンクに充填し、その水素を供給する水素ステーションでは 70～90MPa に水素が圧縮される。

水素ステーションの水素圧縮にはレシプロ型ピストンリング式圧縮機が多く採用されている。この圧縮機のピストンリングは金属製のシリンダやシリンダライナの内径に沿って往復摺動し、その材料は PTFE や PEEK, PI をベースとした複合材が用いられている¹⁾。また、圧力帯により使用する材料が使い分けられ、20MPa 以下においては実績あるものの、最終段の 82MPa（日本の場合）への圧縮のために使用するピストンリングは更なる改良が必要とされている²⁾。

圧縮機に用いられるピストンリングの摺動距離を考慮すると、水素環境下以外の摺動に関する研究も含め、これまでの研究の多くは比較的短い摺動距離での評価となっている²⁻⁵⁾。そこで、筆者らは、水素環境下における PEEK 樹脂の長距離摺動特性（第 1 報）にて、水素ステーション用圧縮機に用いられるピストンリング材料の 1 つの条件下における長距離摺動特性を調査し、摩耗の推移や摺動後の樹脂材料表面の状態推移、転移膜の状態推移を明らかにした⁶⁾。本研究ではその第 2 報として、面圧条件による摺動特性や摺動面状態の変化について調査した。

2. 実験材料と方法

樹脂材料は水素ステーション用圧縮機のピストンリング材料として実績のある NTN 製ベアリー-PK5303 を使用する。ベアリー-PK5303 は PEEK を基材に固体潤滑剤やカーボンファイバー（CF）等を配合した複合材で、高圧水素環境における標準摺動部材である。ベアリー-PK5303 の機械的特性を表 1 に示す。また、相手材となる金属材料は、日本産業規格（JIS）G4311 で規定されている SUH660 を使用した。摺動試験はピンオンディスク摺動試験機を用いて水素雰囲気下で実施した。ピン試験片は、φ5mm 長さ 10mm、摺動面の表面粗さは Ra=0.4μm とし、表 1 に示す材料を用いて製作した。SUH660 ディスクは、φ55mm、厚み 5.0mm、摺動面の表面粗さ Ra=0.2μm とした。試験中は 100 sccm の水素ガス（純度 99.999%以上）をチャンバに流し、チャンバ内の圧力は 0.12 MPa、ディスクの回転速度を 4.2 m/s とした。ピン試験片の初期平均接触圧力は 3.9, 8.7, 15.3 MPa の 3 条件とした（8.7MPa は第 1 報の条件）。

Table 1 Test material of sliding tests

Item	Value	Note
Specific Gravity	1.50	ASTM D792
Tensile Strength, MPa	55	ASTM D638
Elongation, %	2.8	ASTM D638
Bending Strength, MPa	100	ASTM D790
Rockwell Hardness, R scale	114	ASTM D785

3. 実験結果と考察

摺動試験結果を Fig. 1, 2 に示す。第 1 報にて面圧 8.7MPa の条件において、摩耗特性は 3 つの領域に分けられる結果を報告した⁶⁾。3.9, 15.3MPa の条件においても 8.7MPa 同様、摩耗特性は 3 つの領域（摺動距離とともに摩耗量が増加し比摩耗量は大きく減少する領域 A、摺動距離に関わらず摩耗量は概ね同じ値となり比摩耗量の減少は領域 A よりもなだらかになる領域 B、摺動距離とともに摩耗量は増えるが比摩耗量は概ね一定の値となる領域 C）に分けられる結果が得られた。3.9 と 8.7MPa については、概ね似た摩耗量の挙動を取る結果が得られたが、15.3MPa は他 2 条件とは異なる挙動となった。例えば、摺動距離によらず摩耗量が概ね同じとなる領域 B において、面圧が 3.9 と 8.7MPa は、面圧が異なるにもかかわらず摩耗量が概ね同じ結果が得られ、領域 C においては摩耗量の増加率は概ね同じとなったが、15.3MPa では領域 B における摩耗量や領域 C における摩耗量増加率は他 2 条件よりも大きな値となる結果が得られた。15.3MPa の試験においては試験片が目視レベルで変形しており、これが原因となり他 2 面圧条件の結果と異なる挙動が得られた可能性がある。比摩耗量については 3 つの面圧条件とも概ね同じ推移となる結果が得られた（Fig. 2）。

次に、概ね同じ摩耗量となったピン試験片の摺動面観察結果を Table 2 に示す。Table 2 は代表として面圧が 3.9,

8.7MPa の領域 B における摩耗量 0.45mm^3 付近の結果を示す。3.9, 8.7MPa の領域 B における摺動面は Table 2 に示す 3 条件ともに CF が折損し摺動面全体に分散した摺動面となっており、概ね似た摺動面となる結果が得られた。一方、摩耗量が約 0.15 (領域 A) や 1.0mm^3 (領域 C) の場合、同じ摩耗量であっても摺動距離や面圧が異なることで試験後の摺動面の状態が異なる結果が得られた。

これらの結果より、摩耗量が概ね同じ結果が得られた場合であっても、面圧や摺動距離などの条件が異なれば摺動面の状態も異なるが、摩耗量が安定する領域で材料に変形等が確認されない条件においては、似た摺動面が得られる可能性があることが示唆された。

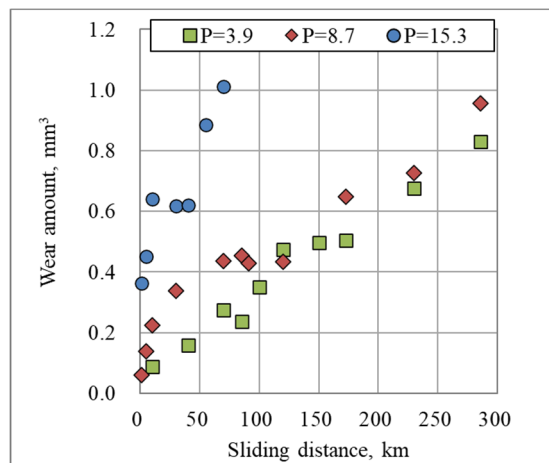


Fig. 1 The relationship between sliding distance and wear amount for each pressure.

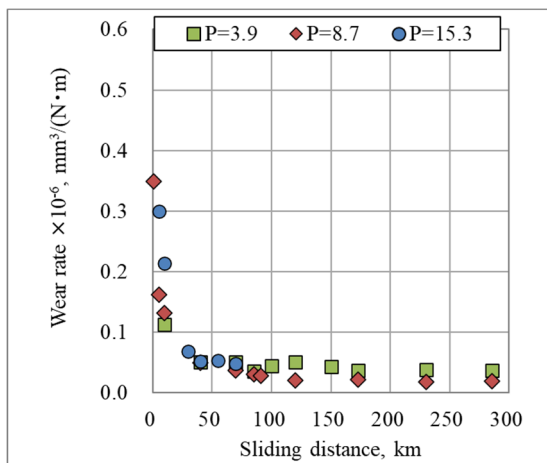
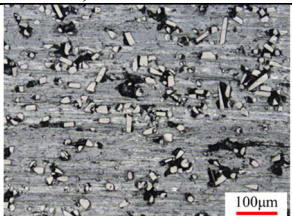
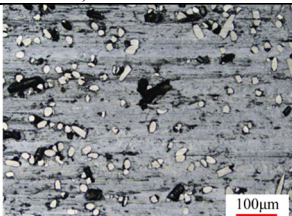
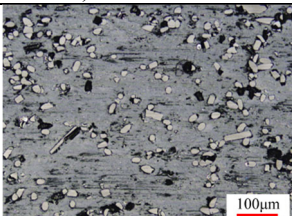


Fig. 2 The relationship between sliding distance and wear rate for each pressure.

Table 2 Sliding surface of the pin specimen after sliding tests.

	8.7MPa, 85km	3.9MPa, 120km	3.9MPa, 170km
Wear amount 0.45mm^3			

4. 結果

ベアリーPK5303 を用いて、各面圧条件の長距離摺動における摩擦・摩耗特性の変化を調査し、次の結果を得た。

- ① 面圧が 8.7MPa (第 1 報) と同様、3.9, 15.3MPa においても、摩耗量と摺動距離の関係は 3 つの領域 (摺動距離とともに摩耗量が増加し比摩耗量は大きく減少する領域 A, 摺動距離に関わらず摩耗量は概ね同じ値となり比摩耗量の減少は領域 A よりもなだらかになる領域 B, 摺動距離とともに摩耗量は増えるが比摩耗量は概ね一定の値となる領域 C) が確認された。比摩耗量については 3 条件とも概ね同じ挙動を示した。
- ② 面圧が 3.9 と 8.7MPa の摺動距離と摩耗量の関係は概ね似た挙動が得られたが、15.3MPa については他 2 条件と異なる挙動が得られた。これは、15.3MPa の試験後のピン試験片に目視で確認できる変形が生じていたことが確認されたことに起因している可能性がある。
- ③ ピン試験片にマクロ的な変形が確認されなかった 3.9, 8.7MPa の領域 B では摩耗量が概ね同じ値となり、摺動後のピン表面状態は CF が折損し摺動面全体に分散している結果が得られた。一方、その他の領域においては、摩耗量が同じでも摺動距離や面圧など、条件が異なると摺動面の状態は異なる結果が得られた。

参考文献

- 1) 兼井: 高圧水素供給分野における圧縮技術動向, 第 294 回ゴム技術シンポジウム, (2024).
- 2) Y. Sawae, T. Morita, K. Takeda, et al.: Friction and wear of PTFE composites with different filler in high purity hydrogen gas, Tribol. Int., 157(2021).
- 3) Q. Chen, T. Morita, Y. Sawae, et al.: Effects of trace moisture content of tribofilm formation, friction and wear of CF-filled PTFE in hydrogen, Tribol. Int., 188(2023).
- 4) G. K. Friedrich, Z.P. Lu: On sliding friction and wear of PEEK and its composites, Wear, 1995(181-183)624-631.
- 5) G. Theiler, T. Gradt: Environmental effects on the sliding behaviour of PEEK composites, Wear, 368-369(2016)278.
- 6) 兼井, 稲岡, 澤江, 陳: 水素環境下における PEEK 樹脂の長距離特性 (第 1 報), トライボロジー会議 2024 秋名護 予稿集, (2024).