

水素環境下における PEEK 樹脂の長距離摺動特性（第 3 報）

Friction and Wear of PEEK Composites on Long Distance Sliding in Hydrogen Environment
(third 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）李 文肖

Naofumi Kanei*, Yuji Inaoka*, Yoshinori Sawae**, Li Wenxiao**

*Kobe Steel, LTD, **Kyushu University

1. はじめに

燃料電池を搭載した乗用車（FCV）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言われている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，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⁾．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）および（第 2 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各面圧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^{6,7)}．本研究ではその第 3 報として，摺動材料の違い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, G4053 で規定されている SUH660, SCM435 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中で実施した．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．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，ピン試験片の初期平均接触圧力は 8.7MPa とした．

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．相手材が SCM435 の方が全ての摺動距離において摩耗量が少ない結果となった．

相手材が SUH660 の場合，摩耗特性は 3 つの領域に分けられ，120km 以降は摺動距離が伸びるとともに摩耗量も比例して増加した（第 1 報参照⁶⁾）．SCM435 の場合，摩耗特性は 2 つの領域となる結果が得られ，235km 以降で摩耗が安定する結果となり相手材が異なることで摩耗特性が変化することが確認された．

次に，ディスクに形成された転移膜のラマン分析を実施し，G-band 半値幅に着目した結果を Fig. 3 に示す．SUH660 に形成された転移膜の G-band 半値幅は，摺動距離とともにその値が小さくなる結果が得られたことから，摺動距離とともに転移膜の黒鉛化が進んでいると考えられる．一方，SCM435 に形成された転移膜の場合，バラツキはあるものの摺動距離によらず概ね同じ値となり，摺動距離が伸びても転移膜の黒鉛化度は進まないと推察される．Fig. 4 に SUH660 と SCM435 を用いた 285km 摺動後の転移膜分析エリア約 60,000 点のカーボン強度(I_{G0}/I_{base})の割合を示す．I_{G0}は波数 1535～1620cm⁻¹での平均強度を，I_{base}は 1675～1800cm⁻¹での平均値を示している．この結果より，SCM435 を用いた場合，転移膜の黒鉛化度は摺動距離により進展は確認されないものの，カーボン強度は SUH660 を使用した場合と比較すると，高くなる結果が得られた．これら結果より，カーボン強度の高い転移膜の形成が SCM435 を用いた場合の摩耗量低減に寄与していると推察する．

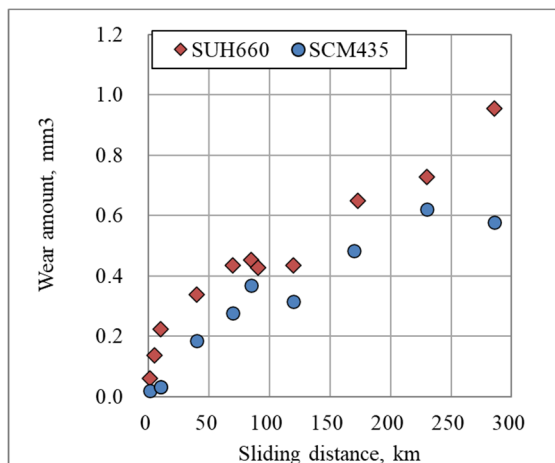


Fig. 1 The relationship between sliding distance and wear amount for each disc material.

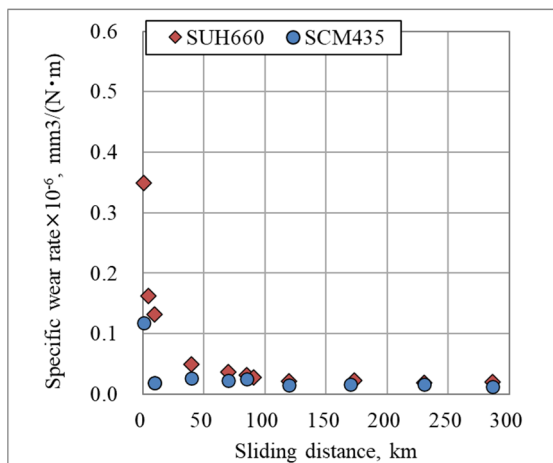


Fig. 2 The relationship between sliding distance and specific wear rate for each disc material.

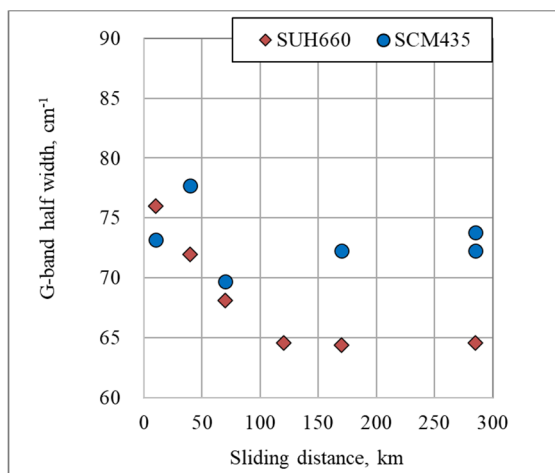


Fig. 3 The relationship between sliding distance and G-band half width for each disc material.

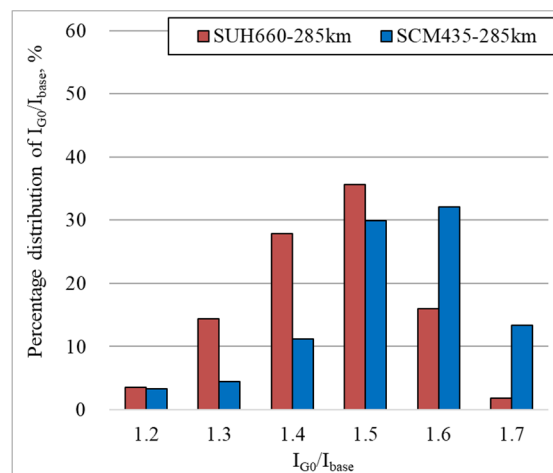


Fig. 4 The effect of disc material for percentage distribution of I_{G0}/I_{base} .

4. まとめ

ベアリーPK5303を用いて、相手材の違いによる長距離摺動の摩擦・摩耗特性変化を調査し、次の結果を得た。

- ① 相手材として SUH660 と SCM435 を比較すると、SCM435 は全ての摺動距離において SUH660 よりも摩耗量が少なくなる結果が得られた。
- ② 相手材が SUH660 の場合、摩耗量と摺動距離の関係は 3 つの領域が確認されたが、SCM435 を用いた場合は、2 つの領域となった。また、235km 以上の距離で摩耗量が安定化する傾向が確認された。
- ③ ディスク表面に形成された転移膜のラマン分析の結果、SUH660 に形成された転移膜の G-band 半値幅は摺動距離とともに小さくなり、表層の炭素層の黒鉛化が進んでいることが推察されるが、SCM435 の場合、概ね同じ値となるため、摺動距離によらず黒鉛化度は概ね同じ状態が保たれていると推察される。

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).
- 7) 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 2 報), トライボロジー会議 2025 春 東京 予稿集, (2025).