

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560147
 研究課題名（和文） 高速・高面圧下における PEEK 樹脂軸受の焼付きとその検出に関する研究
 研究課題名（英文） Seizure of PEEK Composite Bearing Under High Load and Speed and Its Detection
 研究代表者
 赤垣 友治 (AKAGAKI TOMOHARU)
 八戸工業高等専門学校・機械工学科・教授
 研究者番号：20149909

研究成果の概要：

PEEK 材料の焼付き挙動は、リング温度に強く依存することがわかった。良好な油膜が形成されていてもリング温度が増加し続ける場合、運転条件にかかわらず 100℃を超えると摩擦係数が増加し始め、PEEK は 120～130℃、PEEK 複合材料は 160～180℃を超えると焼付きに遷移した。焼付きによって、樹脂表面は熔融あるいは軟化するために、微細なロール状やプレート状摩耗粒子が特徴的に発生した。このように、発生する摩耗粒子形態から、樹脂軸受の運転状態を知ることができる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,000,000	0	2,000,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	420,000	3,820,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：樹脂軸受、焼付き、摩耗粒子分析

1. 研究開始当初の背景

日本国内には、水力発電所 543、火力発電所 136、原子力発電所 16、合計 695 の発電所がある（平成 12 年データ）。その総発電出力は 2 億 2 千万 kW である。発電システムは長期間にわたって安定した電力供給を使命としている。発電システムの故障による停止が、現代の電力依存型の社会に与える影響は計り知れない。それゆえ、発電システムの異常の兆候を迅速に検出する診断技術に関する研究は非常に重要である。

近年、発電システムに使用されるすべり軸

受が、金属（ホワイトメタル）からポリエーテルエーテルケトン（PEEK）等の樹脂材料に急速に置き換わっている。しかしながら、樹脂軸受の診断に関する研究は見当たらない。また、焼付きに関する研究もほとんどない。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、PEEK 樹脂材料の焼付きの発生する条件を明らかにし、また焼付きへの遷移過程を検出するための手法を確立することを目的とする。具体的には、次の (1)～(4) に関する知見を得ることを

目的とする。

- (1) 樹脂軸受の焼付き挙動に及ぼす温度の影響
- (2) 樹脂材料の焼付き面の微視的観察による焼付き機構の解明
- (3) 摩耗粒子の形態観察及び摩耗粒子分析、焼付き検出法の検討

3. 研究の方法

(1) 実験装置

本研究で使用するブロックオンリング型摩擦摩耗試験機の概略図を図1に示す。

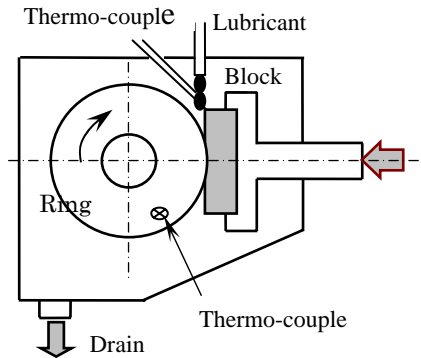


図1 実験装置概略

(2) 実験材料

本研究で使用したブロック試験片はTable. 1に示すように、PEEK, PEEK Comp, PTFE Comp, WJ2の4種類である。また、試験片の表面はエメリー研磨仕上げ(WJ2 #800, 他 #600), リング試験片は鍛鋼(SF540A)に円筒研削仕上げを施したものを使用した。

(3) 実験条件及び方法

実験は無負荷運転で空転トルクが安定したのを確認した後、回転しているリング試験片にブロック試験片を静かに押し当て、1N/sの割合で荷重を増加させた。実験は焼付きを生じるまで、又は本実験装置に用いた圧縮コイルバネの最大荷重である1177.2Nまで、また実験時間30分の一定荷重下(294.3~1177.2N)での摩擦・摩耗試験も行った。すべり速度は10.2, 15.0, 19.0m/sの3種類とした。潤滑方法は滴下潤滑で、供給油量を64.5 cc/minとした。潤滑油は無添加タービン油(ISO-VG46)を使用し、油温は30±3°Cとした。実験時に荷重、摩擦トルクとリング温度を測定した。リング温度は表面下1mmの位置に埋め込んだCA熱電対を用いて測定した。測定データはペンレコーダを用いて連続的に記録すると共に、A/D変換器を用いて0.5秒間隔でパソコンにデータを取り込んだ。

表1 試験片の特性

	Materials	Hardness	Ra(μm)
Ring	SF540A	HV189±8	0.15
Block	PEEK	HRR126	0.23
	Comp.	HRR124	0.18
	WJ2	HV26	0.14

4. 研究成果

(1) 荷重増加試験における摩擦特性

図2にすべり速度19m/sでの荷重と摩擦係数の測定結果の一例を示す。PEEK及びPEEK複合材料の場合、荷重の増加に伴い摩擦係数は徐々に低下し、最大荷重1200Nに達しても焼付くことはなかった。PTFE comp.の場合、荷重450Nにおいて摩擦係数が0.06から0.102へ急激に増大し、油煙を発生し焼付きを生じた。WJ2の場合、荷重850N付近において摩擦係数が増大し始め、0.03から0.07へ急上昇し焼付きが生じた。このことから、PEEK, PEEK comp.は、容易に焼付きに遷移しないということが分かる。

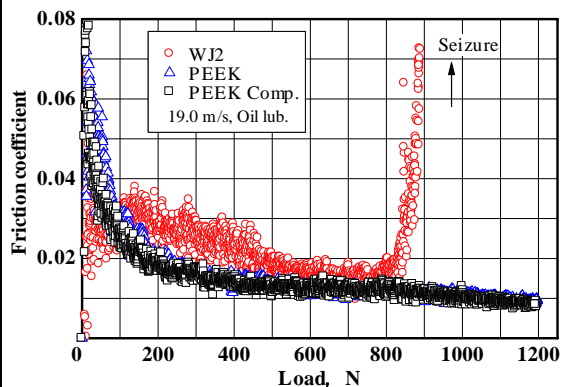


図2 摩擦曲線

図3に荷重とリング温度の測定結果を図4にリング温度と摩擦係数の関係を示す。PEEK及びPEEK comp.の場合、リング温度は105°Cまで上昇したが摩擦係数は徐々に低下し焼付くことはなかった。PTFE comp.の場合、リング温度100度を超えると摩擦係数は急激に増大し始め、焼付きを生じた。WJ2の場合、リング温度が90°Cを超えると摩擦係数が増大し、焼付きが生じた。

PEEK及びPEEK comp.は、リング温度100°C程度では焼付きに遷移しないということが分かる。しかし、図3に示すようにリング温度は荷重の増加と共に増加傾向を示し、安定していない。そこで、温度が100°C以上の摩擦挙動を調べるために長時間の一定荷重での試験を行った。

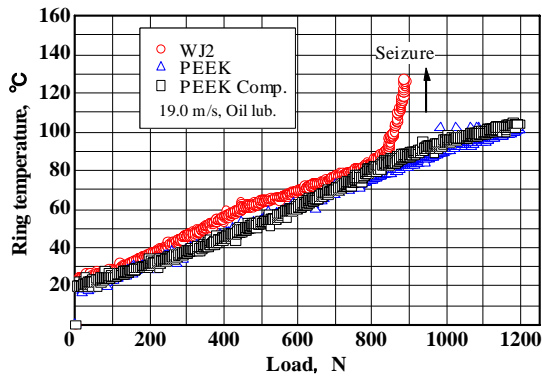


図3 荷重とリング温度の関係

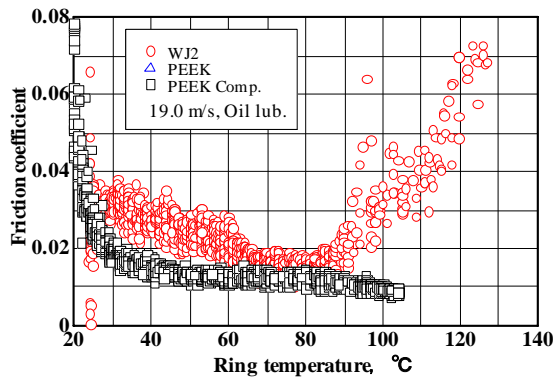


図4 摩擦係数とリング温度の関係

(2) 荷重一定試験における摩擦特性

図5, 6に各材料を一定荷重下(19 m/s, 882.9N)で比較したグラフの一例を示す. 図5は時間と摩擦係数, 図6にリング温度と摩擦係数の関係を示す. WJ2は荷重が焼付き限界以上の値なので, 実験開始直後から摩擦係数は不安定になり0.02~0.03の間で激しく上下し, 130秒程度で焼付きが発生した. それに対しPEEK, PEEK Comp.の摩擦係数は0.01~0.02と低い値で安定していた. しかし, 時間経過と共に摩擦係数が上昇し焼付きが発生した. PEEK Comp.の方が, PEEKよりも焼付きにくいことが分かる.

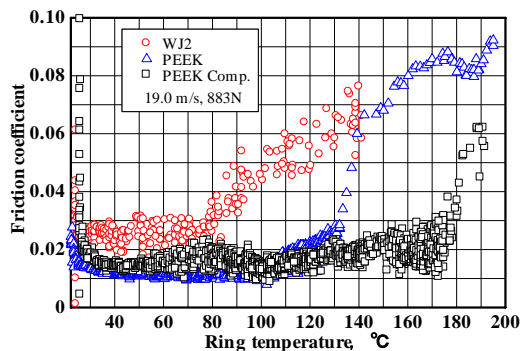


図5 摩擦係数と時間の関係

図6より摩擦係数の変化は温度に依存することがわかる. WJ2は80°Cを超えると摩擦係数が不安定になり, 90°Cを超えると焼付きが発生した. この値は荷重増加試験での結果とほぼ同じである. PEEKは100°Cを超えると徐々に摩擦係数が上昇し始め, 110°Cを超えると焼付きが発生した. PEEK Comp.は120°Cから緩やかに摩擦係数が上がり始め, 150°Cを超えると不安定になり0.01~0.03の間を上下し始め, 175~180°Cで焼付きが発生した. PEEK comp.には炭素繊維が充填され強化されているためにPEEKよりも高い温度まで焼付き(激しい塑性流動)が発生しないものと思われる. PEEKやPEEK Comp.のような樹脂材料は摩擦が不安定になってから焼付きまでの遷移時間が金属よりも長く焼付きにくい材料と言える.

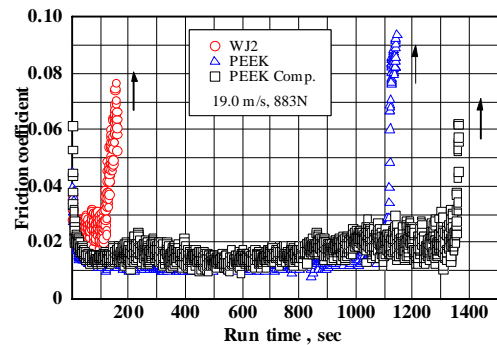
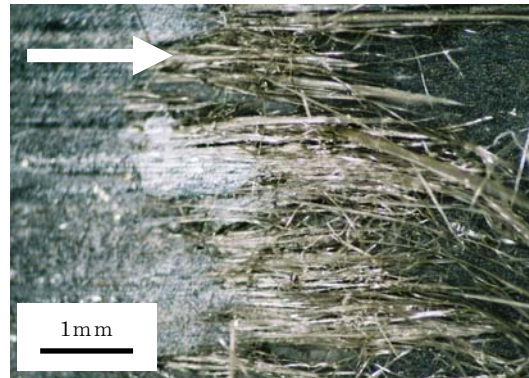


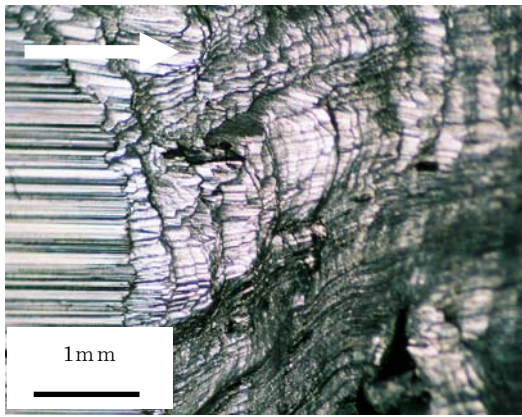
図6 摩擦係数とリング温度の関係

(3) 摩擦面の観察

図7(a), (b)にPEEK Comp.及びWJ2の焼付きが発生したブロック試験片の写真を各々を示す. 矢印は摩擦方向を示す. PEEK Comp.は軟化・溶解により多数の繊維状のせり出しが観察される. WJ2では摩擦により軟化した金属がプレート状に層状にせり出しているのが分かる. このように焼付きが発生すると, 大規模な塑性流動を引き起こし軸受の破損を招くと思われる. 図8に, PEEK Comp.の焼付き表面のSEM写真を示す.

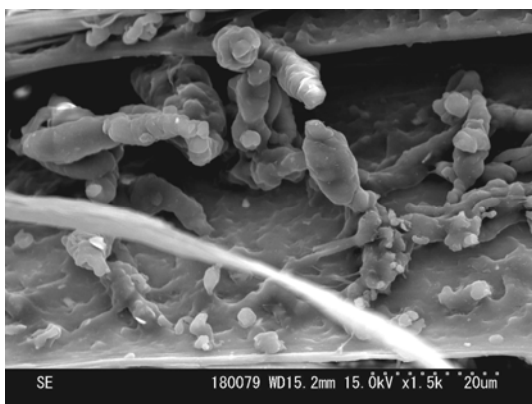


(a) PEEK Comp.

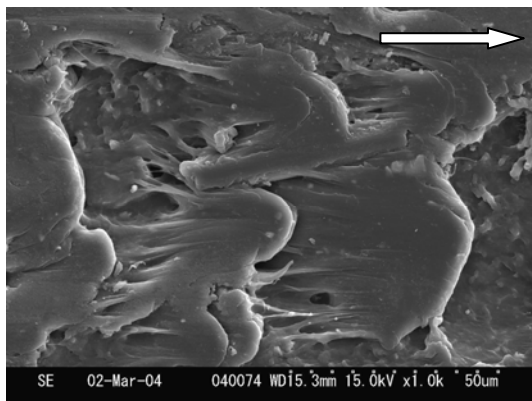


(b)WJ2

図7 焼付き面の光学顕微鏡写真（矢印は相手面の移動方向を示す）



(a) 表面層の溶融・軟化 Tearing Fracture



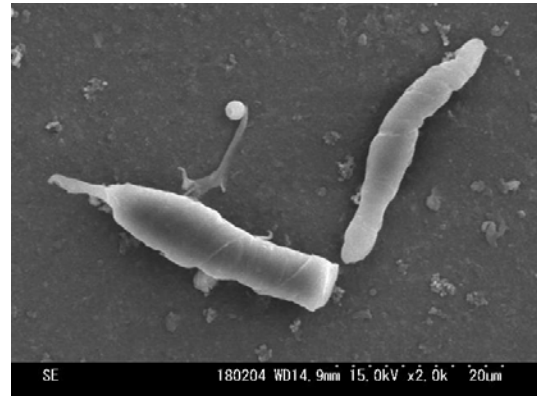
(b) 摩耗痕内部の Tearing Fracture

図8 PEEK Comp. の焼付き表面の SEM 写真

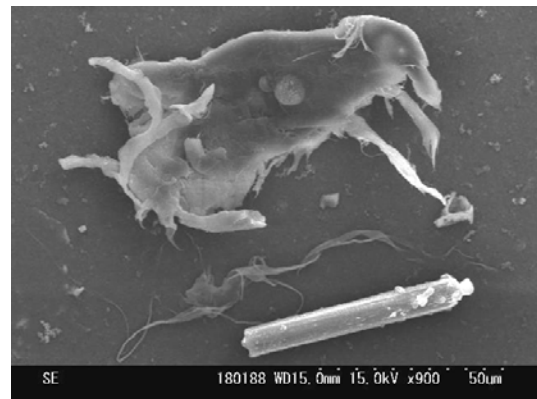
(4) 摩耗粒子の観察

図9に焼付きによって発生した摩耗粒子のSEM写真を示す。表面の溶融軟化で、表層部が剥離しローリングアップによって生成されたと思われるロール状摩耗粒子 (a) や表面層の引き千切り (Tearing Fracture) で生成されたと思われる多数のリボンの付着したプレート状摩耗粒子及び充填剤 (炭素繊維

維) が剥離した棒状粒子 (b) が特徴的に発生する。このように、PEEK樹脂材料から発生する摩耗粒子の形態から焼付きを判断することが可能であると思われる。



(a) ロール状摩耗粒子



(b)プレート状摩耗粒子・炭素繊維粒子

図9 PEEK Comp. の焼付き時に発生する摩耗粒子のSEM写真

(5) まとめ

(1) 焼付きの開始は摩擦面温度に敏感である。WJ2は80~90℃を超えると直ちに焼付きに遷移する。PEEK材料の場合、~100℃を超えると、流体潤滑から混合潤滑に遷移し、摩擦係数は緩やかに増加する。その後、PEEKは約120℃、PEEK Comp.は約160℃を超えると摩擦係数は急増し焼付きに遷移する。

(2) 荷重増加試験では、高荷重に達しても摩擦係数が小さく安定している。これは、実験時間が短いため摩擦面温度が低いためである。一定荷重試験では、高速高荷重下では、摩擦面温度が増加し続け、そのために、一定荷重試験よりも低荷重下でも焼付きがおこる。この意味において、荷重増加試験によって求めた焼付き限界荷重は樹脂材料では正確かつ、安全な値とはならない。

(3) 焼付きが生じたPEEK Comp.は軟化・溶解により繊維状のせり出しが観察される。

WJ2 では摩擦により軟化した金属がプレート状に層状にせり出す。焼付きが生じない摩耗表面はとても滑らかである。

(4) PEEK 樹脂材料の焼付きにおいて、PEEK から、ロールアップにより生成されたと思われるロール状粒子、表面層の引き千切り破壊 (Tearing Fracture) により生成されと思われるリボンの付着したプレート状摩耗粒子及び充填剤 (炭素繊維粒子) の脱落により生成される炭素繊維粒子が特徴的に発生する。このように摩耗粒子分析により、PEEK 材料の焼付き過程を検出することができる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

(1) 赤垣友治、PEEK樹脂のトライボロジー特性とその応用、トライボリスト、52-2、2007、(査読有)、pp126-131.

(2) T. Akagaki & M. Kawabata, Seizure of PEEK and Its Composite at High Sliding Velocity in Oil Lubrication, Proc. of CIST2008 and IFToMM2008, 2009, (査読有), to be published.

[学会発表] (計3件)

(1) T. Akagaki, T. Yamauchi & M. Kawabata, Mechanism of seizure of PEEK composite in lubricated sliding contact, Proc. Asia Trib. Conf., Kanazawa, 2006, pp709-710.

(2) 赤垣友治、中村健、橋本淑希、川畑雅彦、油潤滑下におけるPEEK樹脂の摩擦摩耗に及ぼす材料の組み合わせの影響、日本トライボロジー学会、トライボロジー会議予稿集、2007、pp. 53-54.

(3) T. Akagaki & M. Kawabata, Seizure of PEEK and Its Composite at High Sliding Velocity in Oil Lubrication, 5th International Symposium on Tribology and 1st Int. Trib. Symposium of IFToMM, Beijing, 2008, CD (Sub2-262).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤垣 友治 (AKAGAKI TOMOHARU)

八戸工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号：20149909

(2) 研究分担者：なし

(3) 連携研究者：なし