

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月6日現在

機関番号：51101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560155

研究課題名（和文） PEEK樹脂軸受の焼付き挙動の温度依存性解明と耐焼付き性向上への設計指針

研究課題名（英文） Effects of Temperature on Seizure in PEEK Composite Bearing and Guideline for Improvement of Seizure-resistance

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（和文）：

PEEK樹脂軸受の焼付き挙動に及ぼすリング温度の影響を調べた。更に焼付きを防止するために、樹脂軸受の摩擦摩耗挙動に及ぼす油溝の効果の影響、リング試験片冷却の影響などを調べた。その結果、樹脂軸受の焼付き過程は温度に非常に敏感であることがわかった。リング温度が100℃を超えると摩擦係数が増加し始め、120-140℃を超えると激しい塑性流動を伴う焼付きを生じた。油溝やリング試験片冷却によって、摩擦面温度を低減できる可能性が示唆されたので、近い将来、焼付き防止法として確立されることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：

The effects of ring temperature on the seizure behaviors in the PEEK composite bearing have been studied. In order to prevent the seizure and decrease the ring temperature, both methods of oil grooves on the bearing and air cooling of ring have been also tested. It was found that the seizure behavior was strongly dependent on the ring temperature. As the ring temperature exceeded about 100℃, the friction coefficient got increasing. Thereafter, seizure accompanying severe plastic deformation occurred at 120-140℃. It was suggested that the methods such as oil grooves and air cooling of ring could be effective to decrease the ring temperature. It may be expected that these methods would be established as new method for preventing seizure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：

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： PEEK樹脂軸受、焼付き、摩擦面温度

1. 研究開始当初の背景

日本国内には、水力発電所 1,239、火力発電所 181、原子力発電所 17、新エネルギー等 26、合計 1,463 の発電所がある（経済産業省・

資源エネルギー庁電力調査統計、平成23年1月版）。その総発電出力は2億3千万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、発電システムの故障防止や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、水力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。PEEK材料に関する研究の多くは、低速・無潤滑下における研究であり、その摩擦摩耗特性やガラス繊維や炭素繊維等の充填剤の摩擦摩耗低減効果に関する報告が多い。しかし、高速・高面圧・油潤滑下のような過酷な実験条件、すなわち発電システム用樹脂軸受を対象とした PEEK 材料の摩擦摩耗特性、特に焼付き挙動を調べた研究は国内外でほとんどない。

2. 研究の目的

PEEK 樹脂軸受の長寿命化及び故障防止のためには、焼付き防止・耐焼付き性向上が最重要課題である。しかしながら、PEEK 樹脂軸受の焼付き挙動に関する研究、焼付き防止、長寿命化に関する研究は見当たらない。

そこで、本研究では PEEK 樹脂軸受の焼付き機構の解明と耐焼付き性向上のための方策について検討することを目的とする。具体的には次の(1)～(3)に関する知見を得ることを目的とする。

- (1) PEEK 樹脂軸受の焼付き挙動の温度依存性の解明
- (2) 樹脂軸受表面油溝の摩擦摩耗・摩擦面温度への影響
- (3) 摩擦面温度低減のための方法の検討

3. 研究の方法

3・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。

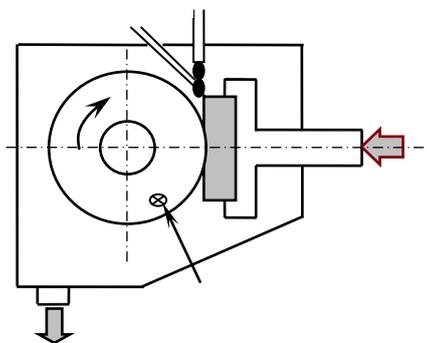


図1 実験装置概略

3・2 実験材料

本研究で使ったブロック試験片は

Table. 1 に示すように、無充填 PEEK 及び炭素繊維を 30wt.% 充填した PEEK Comp である。ブロック試験片表面はエメリー研磨仕上げを施し、表面粗さを 0.04~4.77 (μmRa) で変化させた。リング試験片は鍛鋼 (SF540A) で、円筒研削仕上げを施したものをを使用した。

3・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既定の荷重まで静かに押し当てた。荷重は 294.3~1177.2 (N) の範囲で変化させた。すべり速度は 10.2, 15.0, 19.0 (m/s) の 3 種類とした。潤滑方法は滴下潤滑で、供給油量は 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 ($^{\circ}\text{C}$) 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 \pm 8	0.15
Block	PEEK Comp.	HD91 \pm 7	0.08 ~4.19
	PEEK	HD85.8 \pm 4	0.03 ~4.77

4. 研究成果

4・1 摩擦面温度と焼付きの関係

図2, 3に、すべり速度が 19.0m/s における摩擦係数とリング温度の測定結果を各々示す。表面粗さが 0.03 μmRa , Ra0.05 μmRa では摩擦係数が 0.01 以下で小さく、またリング温度は約 100 $^{\circ}\text{C}$ で一定であった。このように、摩擦面温度が約 100 $^{\circ}\text{C}$ 以下で安定する場合には、PEEK 樹脂軸受の焼付きは起こらなかった。

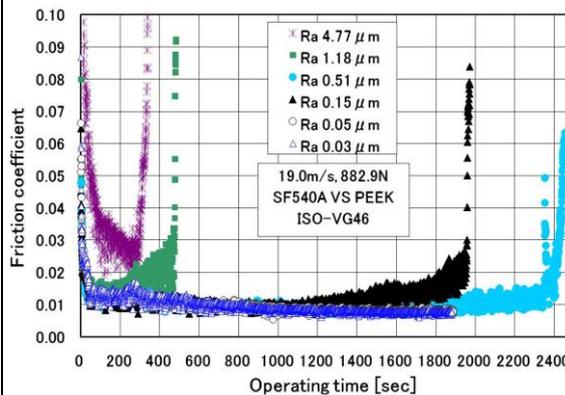


図2 摩擦係数と運転時間の関係 (19m/s)

表面粗さが $0.15 \mu\text{mRa}$ 以上の場合に焼付きが発生した。表面粗さが $4.77 \mu\text{mRa}$ では、実験開始後約 300sec で、 $1.18 \mu\text{mRa}$ では約 400sec を超えると摩擦係数が急上昇し焼付きを生じた。このように樹脂軸受の場合には、樹脂軸受自身の表面粗さに摩擦摩耗挙動が強く影響を受ける。したがって、焼付きを防ぐためには、樹脂軸受の表面粗さは小さいほどよい。

リング温度は摩擦係数に強く影響している、リング温度増加率がとても小さくても、リング温度が 100°C を超えて増加し続ける場合には必ず焼付きを生じた。 100°C を超えると摩擦係数は増加傾向を示し、更に $120 \sim 160^\circ\text{C}$ を超えると摩擦係数が急増し、焼付きを生じた。いずれも表面粗さが粗い程早く焼付いている。

これらの結果から、PEEK 樹脂軸受の焼付き挙動は、摩擦面温度に非常に敏感であること、摩擦面温度が 100°C を超えて増加し続ける場合には、必ず焼付きが発生すること、大規模な塑性流動を伴う焼付きは、摩擦面温度が $120 \sim 140^\circ\text{C}$ を超えると発生することが分かった。

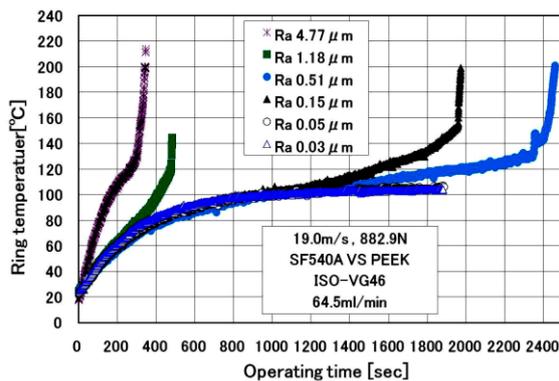


図3 摩擦面温度と運転時間の関係(19m/s)

したがって、PEEK 樹脂軸受の焼付きを防止するためには、摩擦面温度を 100°C 以下に維持すること、すなわち油溝などを設け、潤滑性能を向上させることが効果的であることが示唆される。

4・2 摩擦挙動に及ぼす油溝の影響

図4に油溝加工を施した PEEK と摩擦した場合の摩擦係数の測定結果を、図5にその時のリング温度の変化を示す。図4から油溝加工を施した場合、全体的に油溝がない場合と比較して、実験開始直後から摩擦係数は低くなった。油溝なしでは摩擦係数は約 0.0071 ± 0.0013 、リング温度は 35°C であった。油溝1本の場合、摩擦係数が約 0.006 ± 0.0011 、リング温度の上昇は 26°C 程度で安定していた。油溝2本の場合、摩擦係数は約 800sec までは1本とほぼ同じ値を示していたが、そ

れ以降 0.0074 ± 0.0012 まで増加しリング温度は 35°C に増加した。油溝3本では最終的な摩擦係数が約 0.0078 ± 0.001 、リング温度の上昇は 32°C で油溝が0本、2本の場合とほぼ同じであった。油溝は中央部に1本の場合が最も摩擦係数が低く、またリング温度も低い値を維持した。油溝の本数を増すと接触幅が狭くなり面圧が高くなり、強度的に問題が発生する可能性がある。油溝の深さについても実験を行ったが、摩擦係数にはあまり影響を及ぼさなかった。

油溝本数と摩耗痕断面積の関係においては、油溝1本の場合が最も摩耗が小さいことがわかった。

以上のことより、中心部に油溝が掘ってあると潤滑油がブロックとリングの接触面に流入しやすくなるために摩擦係数が低くなると考えられる。

以上のように、樹脂軸受に適切な油溝を設けることによって潤滑性能の向上や摩擦面温度の低減が可能であることが示唆された。

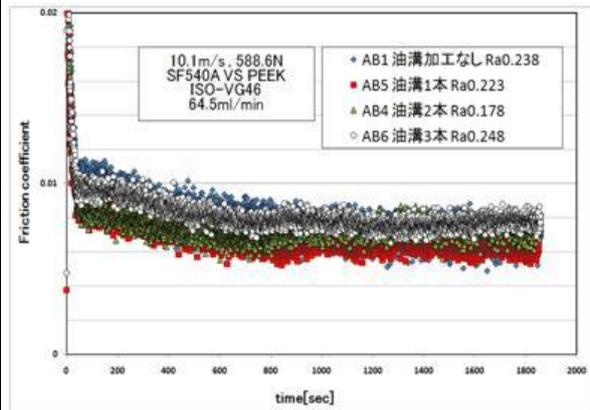


図4 摩擦係数に及ぼす油溝本数の影響(無充填 PEEK の場合)

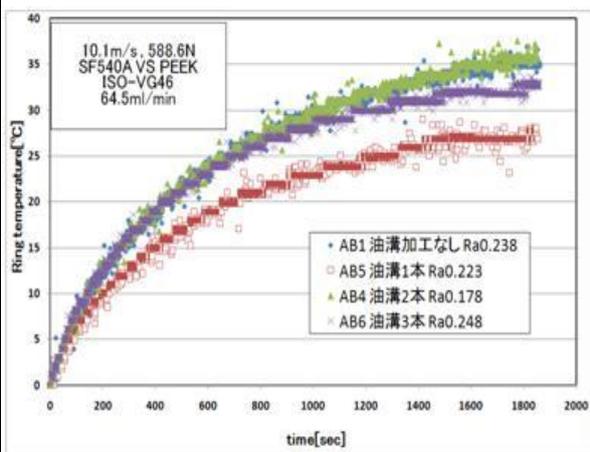


図5 リング温度に及ぼす油溝本数の影響(無充填 PEEK の場合)

4・3 摩擦挙動に及ぼす送風冷却の影響

図6にすべり速度 14.6m/s, 荷重 883N における時間とリング温度の関係を示す。空冷を行わない場合には、リング温度は 35 分経過後にリング温度は 23°C から 113°C まで上昇し、37 分で 128°C まで急上昇し焼付きを生じた。流量 70 (l/min) の圧縮空気による空冷を 105°C から行った場合、空冷前の温度上昇は全く同じだったが、空冷によりリング温度の上昇が抑えられ、105~107°C で安定した。このように、空冷により焼付きを回避できることがわかった。空冷を実験開始直後から行った場合、温度上昇率は低くなったが時間経過により温度上昇は止まらず最終的に 99°C に達した、これは供給する空気の流量が小さかったためであり、流量を大きくすることで解決すると思われる。

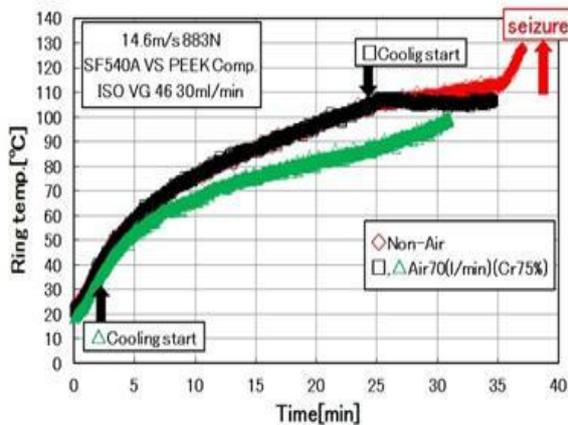
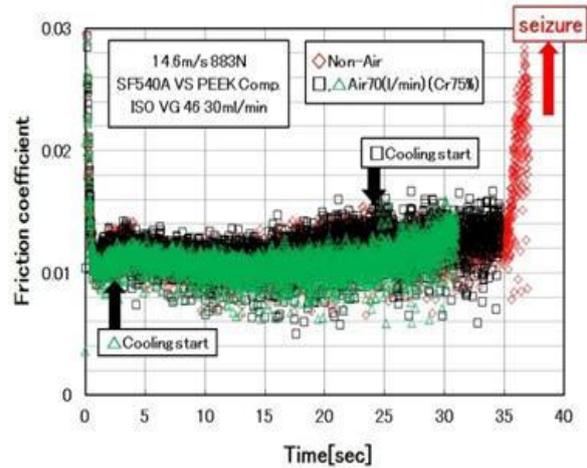


図6 リング温度と運転時間の関係

図7に空冷を行わない場合、圧縮空気 70 (l/min) でリング温度が 100°C に越えている時に空冷を行った場合、圧縮空気 70 (l/min) で実験開始直後から空冷を行った場合の時間と摩擦係数の関係を示す。空冷を行わない場合には 25 分から 35 分まで 0.0121 ± 0.0018 で安定していたが、36 分あたりから摩擦係数が急上昇した。100°C を越えてから空冷を行った場合では、空冷を行わない場合と摩擦係数の進行に大きな差がなく 0.0125 ± 0.0037 で安定したが、摩擦係数の変動が大きくなった。空冷を実験開始直後から行った場合には摩擦係数も空冷を行わない場合より低く、空冷開始直後では 0.0108 ± 0.0017 だったが 20 分あたりから上昇が始まり最終的に 0.0131 ± 0.0017 となった。このようにリング温度が 100°C 以下では、空冷の有無にかかわらず摩擦係数はほぼ同じであることがわかった。

図8にすべり速度 14.6m/s, 荷重 883N において、空冷を行わない場合、圧縮空気 70 (l/min) で実験開始直後から空冷を行った

場合、圧縮空気 100 (l/min) で実験開始直後から空冷を行った場合の時間とリング温度の関係を示す。空冷を行わない場合、圧縮空気 70 (l/min) で空冷を行った場合での温度変化は図6と同じである。圧縮空気 100 (l/min) で空冷を行った場合は温度上昇率が低く 22°C から 72°C まで上昇し、最終的にほぼ一定の値で安定した。これにより、供給空気を多くし冷却効果を高めることでリングの温度を下げ、PEEK 複合材料の焼付きを防止できる



と思われる。

図7 摩擦係数と運転時間の関係

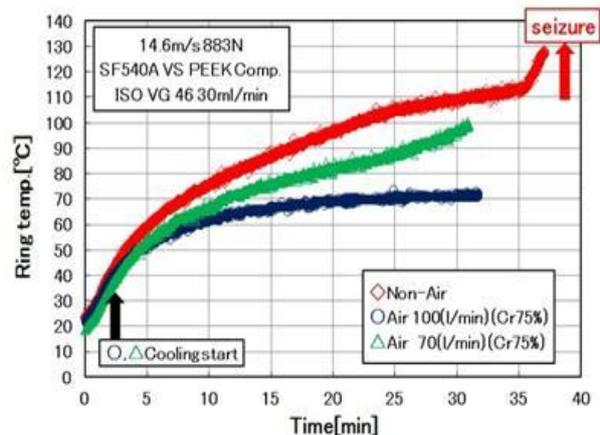


図8 リング温度に及ぼす空気流量の影響

以上のように、適切な流量の圧縮空気ですべり面を冷却することで摩擦面温度を低下させ、焼付きを回避することが可能であることが示唆された。

4・4 まとめ

PEEK 樹脂軸受の焼付き挙動は摩擦面温度に非常に敏感であることが分かった。焼付きを防止するためには、摩擦面温度を 100°C 以下に維持することが必要である。

油溝を設けることによって潤滑性能を向上させることが可能であること、空気による冷却によっても摩擦面温度を低下させることが可能であることが示唆された。これらの方法により、PEEK樹脂軸受の焼付きを防ぐことが可能となるであろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

(1) 赤垣友治, PEEKのトライボロジー特性向上, トライボロジスト, 57-1, 2012, pp. 18-23.

[学会発表] (計3件)

(1) T.Akagaki, Y.Kuraoka, M.Kawabata, Effects of surface roughness of PEEK materials on the friction and wear behaviors in oil lubrication, JSLT Int. Trib. Conf., Hiroshima, Japan, 2011, D3-02.

(2) T.Akagaki, M.Kawabata, Friction and wear of PEEK composite sliding against rough steel at high speed in oil lubrication, Asia Tribology Congress 2010, Perth, Australia, 2010, No.1002.

(3) T.Akagaki, M.Kawabata, Seizure behaviors of PEEK materials in lubricated sliding friction at high speed, Proc. World Tribology Congress, Kyoto, Japan, 2009, p.393.

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