

転がり軸受組込みセンサによるグリース劣化モニタリング

Monitoring of grease degradation using sensor in rolling bearing

関西大・シス工（正）*谷 弘詞 関西大院（非）戸根 勇也 関西大（正）川田 将平

関西大（正）呂 仁国 関西大（非）小金沢 新治

Hiroshi Tani*, Yuya Tone**, Shohei Kawada*, Renguo Lu*, Shinji Koganezawa*

*Kansai University, **Graduate School of Kansai University

1. はじめに

転がり軸受は回転軸を保持するために用いられる極めて重要な機械要素の一つである。当然ながら転がり軸受が故障すると機械システムの故障につながるため、その予防保全、運転状態モニタリングが重要となる。軸受の故障に至る原因として寿命と損傷の大きさは二つに分けられる。寿命は転動体の転動面と軌道面との間には繰り返し荷重がかかることによる転がり疲れによって発生するフレーキングが代表的であり、損傷は軸受の選定ミス・取付不良・潤滑不良・異物侵入・過酷な使用条件などのさまざまな要因により発生する。特に転がり軸受の早期損傷による機械の突発故障を未然に防ぐことで、故障ロス時間を最小化することが重要であると考えられる。

そこで、故障診断の指標として、温度、音、振動の3つが良く用いられる。軸受内の摩擦熱による高温化、回転状態で通常とは異なる異音、回転状態を反映する回転振動における異常な振動などをモニタリングすることで転がり軸受の故障診断が行われている。これらは主に転がり軸受の転動面と転動体間の接触状態の変化に起因して発生する異常を検出するものである。これに対し、軸受内に封入されているグリースに着目すると、グリースの劣化は基油や添加剤の「酸化」と摩耗粉や砂塵などの混入による「汚損」の2つに大別されると考えられる。滑り軸受では潤滑油に含まれる摩耗粉や酸化度合いを指標として予防保全、運転状態のモニタリングが行われている。

転がり軸受においてもグリースの劣化状態をモニタ出来れば、回転振動の増加に至る前に運転状態の情報を得ることが可能であると推定される。そこで、本研究では転がり軸受に静電容量変化を検出するためのグリース劣化センサを組込み、グリース劣化モニタリングの可能性を検討した。

2. 実験方法

2.1 キャパシタンス測定方法

実験には呼び番号 608 の市販の小型深溝玉軸受を用いた。接触シール裏面に Fig. 1 に示した周方向に 2 分割されたパターンの電極を接着して軸受に組込んだ。この 2 分割電極間のキャパシタンスと Fig. 2 に示すように外輪とセンサの 2 分割を短絡して 1 つの電極とした間のキャパシタンスを測定した。キャパシタンスの測定には、静電容量式タッチセンサの回路を流用した。静電容量式タッチセンサ回路ではキャパシタンスを構成するコンデンサへの充放電を行い、その充電電圧の推移をモニタして容量を決定する。

タッチセンサの測定値は既知の容量のコンデンサを用いて校正してキャパシタンス値に変換した。

2.2 グリース劣化試験

軸受の評価は Fig. 3 に示す評価装置を用いて行った。この装置では内輪回転軸を樹脂カップリングによって絶縁しつつ軸端にカーボンブラシを接触させ、外輪と内輪間に電圧を印加することが出来る。この装置を用いて軸受に電流を流す軸受と流さない軸受の 2 条件で 250 時間の寿命試験を行った。電流を流す軸受において、外部抵抗 4.7Ω を介して電源電圧 10V を印加し、軸受の内外輪間に電流を流した。この際に内輪外輪間に流れる電流は約 1A である。また、回転数は 2000rpm、アキシアル荷重は 30N である。軸受に封入されているグリースは市販品であるため、その詳細は不明であるが、FTIR のスペクトルから基油はエステル油であることが推定された。また、グリース劣化をインピーダンス変化で評価できるかどうかを確認するため、30 分間ホットプレートで加熱したグリースを前述したセンサとは電極パターンの異なるセンサを接着したシール裏面に少量塗り分割電極間のインピーダンスを測定した。

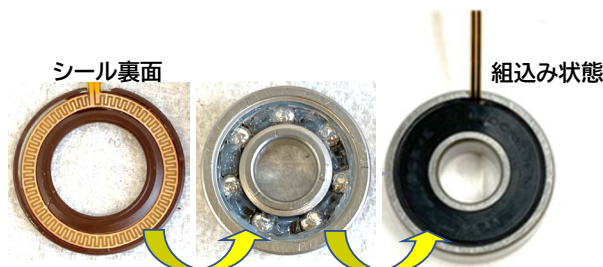


Fig. 1 Capacitance sensor.

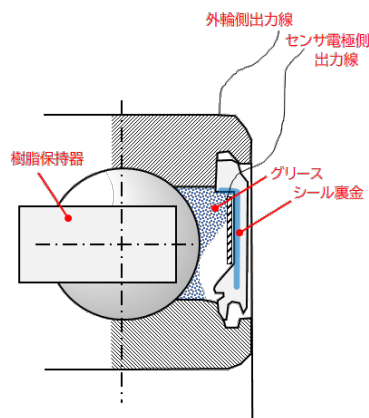


Fig. 2 Capacitance measurement between outer rail and sensor.

3. 実験結果

グリース単体での加熱後のインピーダンス変化を Fig. 4 に示す。グリースを加熱することでキャパシタンスが大きくなっていることから、基油の分解により誘電率が変化してキャパシタンスが増加したと推定される。次にグリース劣化試験後の軸受グリースの状態を Fig. 5 に外輪とセンサ間のキャパシタンス変化を Fig. 6 に示す。試験後のグリースは電流を流したものは黒色に変色していたが、電流を流さなかったものは変色は観察されなかった。このことから軸受に電流を流すことで電食が発生してグリースが変色したと考えられる。さらに Fig. 6 に示したインピーダンス変化では、電流を流した軸受では 26h 後にインピーダンスが 2.5pF 程度上昇し 9-11pF のキャパシタンスを示しているのに対し、電流を流さなかった軸受では 8-9pF のキャパシタンスを示しており、その挙動が異なる。グリース単体の加熱試験の結果でもキャパシタンス変化は 3pF 程度であるため、このような違いが測定されたと考えられる。

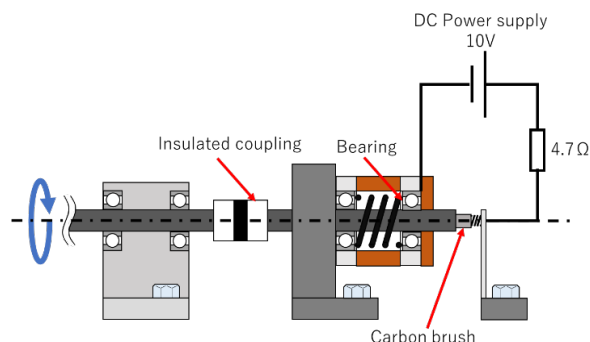


Fig. 3 Grease degradation test by applying electric current to bearing.

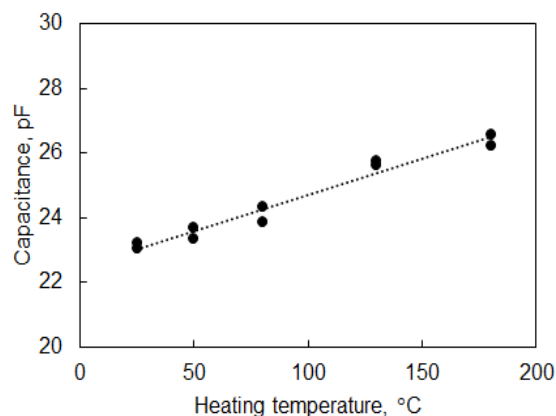
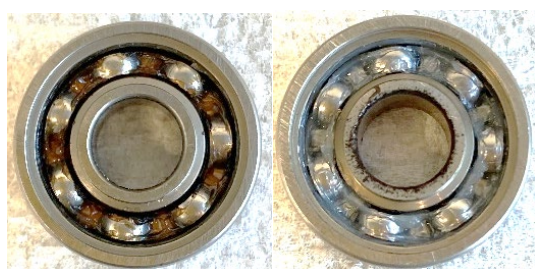


Fig. 4 Capacitance change of grease after heating.



(a) w/ current (b) w/o current
Fig. 5 Comparison of grease degradation after test.

次に、試験後のセンサ面に付着したグリースを FTIR で分析した。FTIR では 1740cm^{-1} 近傍のエステル($-\text{COO}-$)に由来するピークと炭化水素(C-H)に由来する 2930cm^{-1} 近傍のピークが特徴的に観察される。基油の分解はエステル部から起こると考えられるため、エステル起因のピーク強度と炭化水素起因のピーク強度の比を取り、試験前と試験後と比較した結果を Fig. 7 に示す。電流を流さなかった場合は未使用のグリースと同じであるが、電流を流した場合はエステルに由来するピーク強度が低下していることが分かる。すなわち、軸受内部に流れる電流によって基油の分解が発生していると考えられる。これらの結果から、本研究で行ったグリース劣化試験でグリースの分解劣化が起こり、その劣化を軸受内部に組込んだキャパシタンス測定用センサで測定できたと考えられる。

4. まとめ

グリース劣化モニタリングセンサをシール裏面に組込んだ転がり軸受を用いて軸受に電流を流すグリース劣化試験を行い、その有効性を検討し、キャパシタンス変化によりグリース劣化をモニタ出来る可能性があることを確認した。

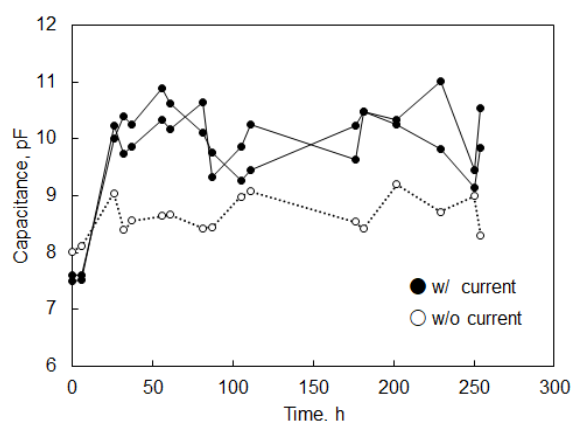


Fig. 6 Measured capacitance between outer rail and sensor with running time.

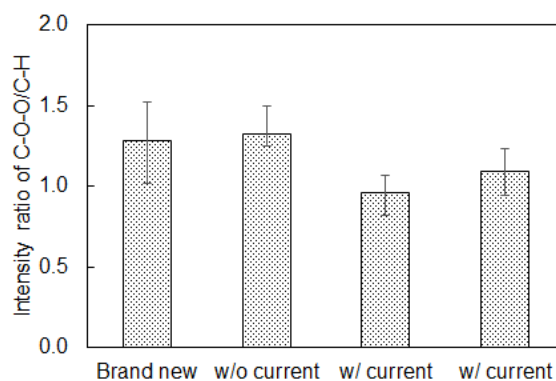


Fig. 7 Comparison of intensity ratio of C-O-O/C-H measured on greases after test by FTIR.