

中性子イメージングおよび電気インピーダンス計測を用いたころ軸受におけるグリース潤滑状態の考察

Study on the grease lubricating condition of roller bearing using neutron imaging technology and electrical impedance measurement

ENEOS (正) *酒井 一泉 ENEOS (正) 高桑 和之 ENEOS (正) 岡崎 早莉 日本精工 (正) 津村 加奈子

Kazumi Sakai*, Kazuyuki Takakuwa*, Sari Okazaki*, Kanako Tsumura**

* ENEOS Corporation, ** NSK Ltd.

1. はじめに

地球環境保護や温暖化防止のため再生可能エネルギーが注目されている。一例として風力発電が挙げられるが、故障等により稼働時間が制約される課題があるとされる¹⁾。風力発電の主軸受では、グリース油分の減少により枯渇潤滑が発生し潤滑不良となり、故障に至るとする報告がある²⁾。この故障メカニズムを明らかにすることで、早期の異常検知・損傷防止に貢献できるものと考えられる。そこで、グリースの硬さ(油分量)を変えることで、軸受内の潤滑状態がどう変化するかを電気インピーダンス計測³⁾により確認し、さらに軸受内部のグリースの分布状態を中性子イメージング⁴⁾により可視化することにより、潤滑状態の考察を試みた。

2. 実験方法

2.1 グリースサンプル

本実験に用いたグリースを Table 1 に示す。増ちょう剤は使用実績の多い複合リチウム(Li)石けんとし、増ちょう剤量を変化させることでグリースの硬さを調整し、グリースの硬さが枯渇潤滑に与える影響について検討した。

2.2 電気インピーダンス計測

試験軸受は実際の風力発電用主軸受とはサイズは異なるものの、同様の形状であるころ軸受 21305 を用いた。上記のグリースを外輪側から 2.7g 封入し、アキシヤル荷重 100N を負荷し、内輪を 250 min⁻¹ にて軸受を回転させた際のインピーダンスを交流周波数 1MHz で測定することにより、軸受内外輪間の油膜形成状態および金属接触の程度を定量化した。文献 3 に基づき、交流印加時のインピーダンスと位相差の計測値から軸受全接触部のキャパシタンス C と油膜の破断率 α を算出した。更に C より 1/C を算出した。1/C が大きいほど軸受内の油膜が厚いことを示し、 α が大きいほど金属接触割合が大きくなっていることを示す。

2.3 中性子イメージング法

上記の電気インピーダンス計測を実施した後の軸受に対し、中性子イメージングを実施した。軸受試料を透過した中性子を厚さ 0.10 mm の ⁶LiF/ZnS シンチレータスクリーンで可視光に変換した後、2,048×2,048 画素の冷却 CCD カメラで撮像した。トモグラフィ(CT)観察では、100 mm×100 mm の視野と 9 秒のカメラ露光時間とし、軸受試料を 0° から 360° まで 0.5° 刻みで回転させて得た 720 枚の透過画像から、フィルタ補正逆投影法を用いて 3 次元スライス画像を再構成し、軸受の軸方向およびそれに直行する方向の断面におけるグリースの分布を可視化した。なお、本実験は JAEA(日本原子力研究開発機構)の JRR-3(研究用原子炉)、中性子イメージング専用装置 TNRF 7R(熱中性子ラジオグラフィ装置)を使用して実施した。

3. 結果と考察

電気インピーダンス計測を実施した結果を Fig.1 に示す。3 種のサンプルの中でちょう度が最も高いグリース A の場合、試験開始 1 時間程度までは油膜の破断率 α やキャパシタンス C の値の変動が認められたが、その後は比較的安定していた。初期のグリースのなじみや流動に起因することが予想される。また、中間程度のグリース B の場合、 α ・C とともに安定しており、油膜形成がなされていることが推察される。一方、最もちょう度の低いグリース C の場合、試験時間 2 時間程度まで α の値が大きく変動し、部分的には C の変動が大きかったため、油膜が一部破断していることを示唆する結果であった。

上記の試験軸受に対して中性子イメージングを実施、得られた代表的な CT 像を Fig.2 に示す。アキシヤル方向では、ころの軸方向に対し中央付近を、ラジアル方向では、軸受中央付近および軸受の上部付近をそれぞれ示しており、白色部は中性子の吸収が大きいグリースまたは油分が存在することを意味する。軸受の回転に伴い保持器部分から内輪側へグリースの引込みが確認され、グリースが軟らかいほど、ころと内外輪の間に存在するグリースが多いことが示唆された。既報が示す通り、グリース油分の減少(硬化)が流動性に与える影響が大きく、潤滑状態を大きく左右することを示唆する結果と考えられる。

4. おわりに

風力発電の主軸受にも用いられるころ軸受に対し、グリースの硬さが潤滑状態に与える影響について考察するため、電気インピーダンス計測および中性子イメージングにより観察を実施した。グリースの硬さにより流動性が大きく異なり、潤滑状態に大きく影響することの証左となる結果が得られた。

文献

1) 高橋・堀：風力発電装置用軸受の技術動向および状態監視システム，トライボロジスト，62，11 (2017) 691.
2) X. Zhou: Effects of Oil Depletion and Lubrication Starvation in Grease on Surface Damage of Rolling Contact, ITC Fukuoka 2023, 30-B-13.
3) T. Maruyama, F. Radzi, T. Sato, S. Iwase, M. Maeda & K. Nakano: Lubrication Condition Monitoring in EHD Line Contacts of Thrust Needle Roller Bearing Using the Electrical Impedance Method, Lubricants, 11, 5 (2023) 223.
4) K. Sakai, Y. Ayame, Y. Iwanami, N. Kimura & Y. Matsumoto: Observation of Grease Fluidity in a Ball Bearing Using Neutron Imaging Technology, Tribology Online, 16, 2 (2021) 146.

謝辞

中性子イメージングの観察にあたっては、JAEA(日本原子力研究開発機構)の栗田博士に多大なご協力をいただいた。

Table 1 Grease samples

| | Grease A | Grease B | Grease C |
|--|-----------------------|----------|----------|
| Base oil | Polyalphaolefin (PAO) | | |
| Kinematic viscosity of base oil (40°C), mm ² /s | 460 | | |
| Thickener | Li complex | | |
| Worked penetration | 367 | 305 | 190 |

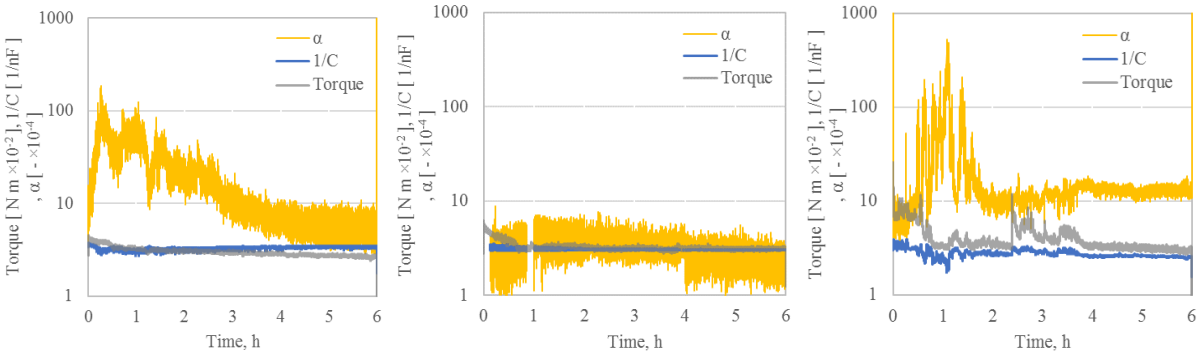


Fig. 1 Electrical impedance measurement (Left: Grease A, Middle: Grease B, Right: Grease C)

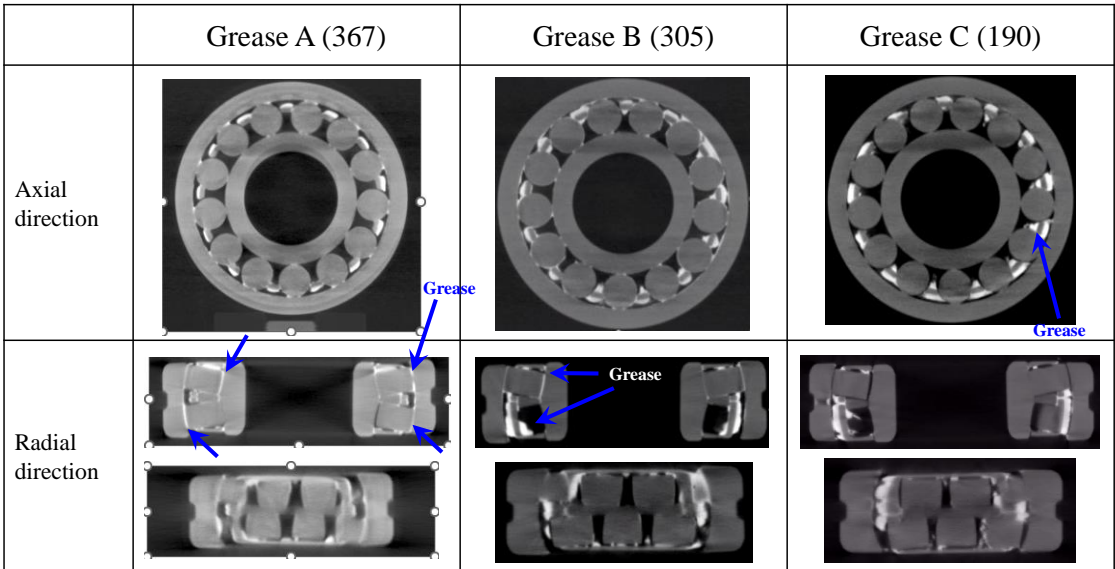


Fig. 2 Neutron tomography