

中性子イメージング法を用いた玉軸受内グリースの流動観察(第3報) -回転速度の影響- Observation of grease fluidity in a ball bearing using neutron imaging technology (Part 3) -Effect of rotation speed-

ENEOS (正) *酒井 一泉 ENEOS (正) 緒方 壘 ENEOS (非) 木村 信治 CROSS (非) 松本 吉弘

Kazumi Sakai*, Rui Ogata*, Nobuharu Kimura*, Yoshihiro Matsumoto**

*ENEOS Corporation, **Comprehensive Research Organization for Science and Society

1. はじめに

地球環境保護や温暖化防止のために自動車や産業機器の更なる省エネルギー化が求められており、近年では自動車の電動化に関連して、電動モーターの小型・高出力化のため、使用される軸受の高回転化が求められている。軸受の回転性能を表す指標である dmn 値は 150 万以上の超高速領域となることが想定されており、グリースの潤滑状態も大きく変化すると考えられる。これまで、軸受内部のグリースの挙動を観察する手法として、軸受を非破壊で観察可能な X 線 CT^{1,2)}を用いた研究が報告されているが、観察のために特殊な軸受を必要とする。著者らは、中性子を用いて軸受内部の観察に成功し³⁾、チャニングとチャネリング状態の発生がグリースタイプにより異なることを明らかにした。しかしながら、 dmn 値が 7 万程度という一般的な回転領域での観察であり、 dmn 値がより高い場合の挙動については明らかとなっていない。本研究では、より高速になった場合のグリース分布がどのように変化するか、またその時の軸受の回転トルクや温度との相関について検証を行なった。

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の増ちょう剤には、複合 Li 石けんを用いた。基油は API Group I 鉱物油(40℃動粘度 33mm²/s)を用い、添加剤は配合しなかった。ちょう度グレードは NLGI No.2 とした。

2.2 軸受回転試験

上記のグリースを封入した軸受の回転数変化に伴うトルク特性を確認するため、Table 1 に示す試験条件で 6010 軸受(金属製保持器)の回転試験を行ない、軸受トルクと軸受近傍の温度の測定を実施した。なお、試験軸受はサポート軸受を含め 4 個あり、トルクは 4 つの軸受合計の値となる。回転速度は 5 分ごとに 500 min⁻¹ ずつ増加させ、測定対象となる回転速度で 90 分保持し、その時の値を測定値とした。

2.3 中性子イメージング

上記の軸受回転試験の試験前後の軸受試料に中性子を照射し透過像を観察した。軸受試料を透過した中性子を厚さ 0.10mm 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。トモグラフィー観察では、90 mm×90 mm の視野と約 30 秒のカメラ露光時間で、得られた透過像の空間分解能は約 44 μm であった。軸受試料を 0° から 360° まで 0.6° 刻みで回転させて得た 600 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 J-PARC の物質・生命科学実験施設において中性子イメージング専用装置「RADEN」を使用して実施した(一般利用課題番号:2021B0238)。

3. 結果と考察

軸受回転試験について、所定の回転速度における軸受トルクと軸受近傍の温度の結果を Fig. 1 に示す。2,000, 8,000 min⁻¹ を比較すると、8,000 min⁻¹ では軸受近傍の温度は大きく上昇し、トルクは若干の低下が認められた。それよりも高速ではトルクが大きく低下し、温度は 12,000 min⁻¹ で低下が認められた。軸受内のグリースの分布を把握するため、回転試験を実施した軸受に対し、中性子トモグラフィー測定を実施した結果を Fig. 2 に示す。白い部分が中性子の吸収が大きいグリースまたは油分といった潤滑剤であるが、試験前では保持器部分に存在しているのに対し、回転数の増加に伴い、保持器部分からシール部分への移動が確認された。既報³⁾と同様、軸受球へのグリースの付着は多くないことも確認された。

両者の結果を併せると、軸受の回転数の増加に伴い、グリースが保持器部分からシール部分に移行することでトルクが先に低下し、追って軸受近傍温度も低下することが示唆される。グリースの軸受球の付着がトルクに与える影響が大きいと考えられていたが、高速回転時には保持器に存在するグリースもトルク要因となることがわかった。

4. おわりに

中性子を用いて高速軸受試験後の軸受内グリース分布の可視化を検討した。高速域で発生するトルク・温度低下は

グリースの移動，特に保持器からシール部分への移行が要因となっていることが示唆された。

文献

- 1) 野田・柴崎・宮田・谷口：玉軸受におけるグリース挙動の X 線観察および多相流解析の妥当性確認，トライボロジスト，61，4 (2016) 275-284.
- 2) 近藤・川村：軸受トルクにおよぼすグリースレオロジー特性の影響，トライボロジー会議 2017 春東京，F17.
- 3) 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.

Table 1 Test conditions of the bearing rotation tester

Bearings	6010 with seal
Grease content	1.6 g
Rotation speed	2,000-12,000 min ⁻¹ (dmn: 130,000-780,000)
Spatial resolution	150 μm
Atmospheric temperature	Ambient (without control)
Thrust load	100 N
Radial load	100 N

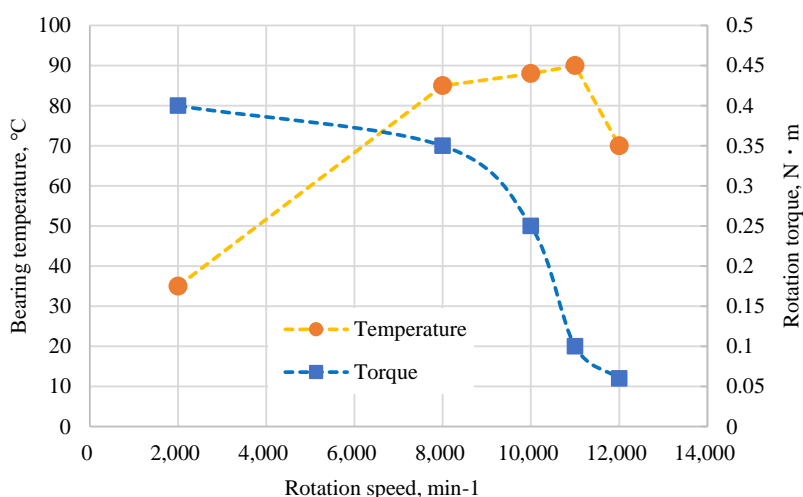


Fig. 1 Relationship among bearing rotation torque, bearing temperature, and rotation speed

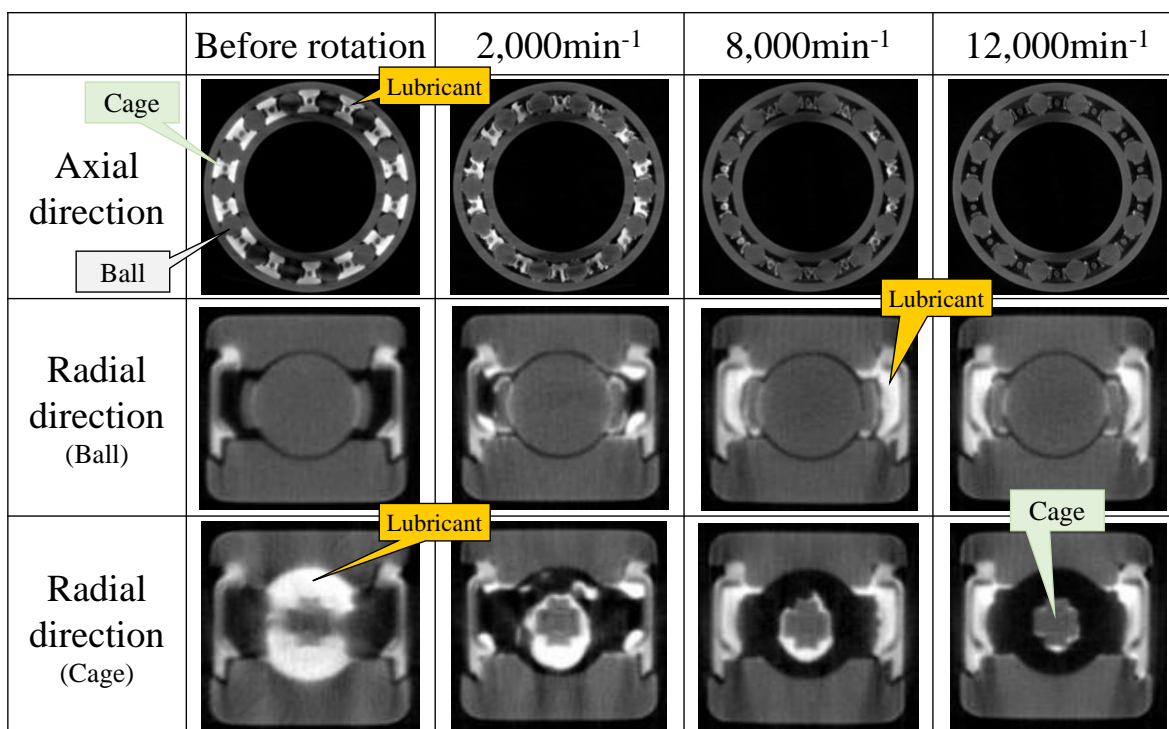


Fig. 2 Neutron tomography of bearings with greases before/after rotations