

解説4

X線を用いた転がり軸受内のグリース分布測定

日本精工 野田 隆史*

*のだ たかし：技術開発本部 コア技術研究開発センター

日本設計工学会の転載承認を得て、設計工学 第52巻 第3号から転載*

はじめに

転がり軸受では転動体と内・外輪の金属接触を防ぐために、油やグリースなどの潤滑剤が用いられる。中でも密封性や保守性の観点からグリースが使用されるアプリケーションは多く、玉軸受に至っては約8割の用途にグリース潤滑が採用されている¹⁾。本稿では転がり軸受に使用されるグリースの挙動に焦点を絞り、著者らが実施した観察事例²⁾に関する話題を中心に記述する。

グリースの特徴

グリースは基油と増ちょう剤を主成分とした半固体状の物質である。そのほかにも酸化防止剤などの添加剤も含まれているが、ここでは添加剤の作用を無視できるマクロなスケールでの視点で話を進めていく。基油は増ちょう剤が形成する網目状のネットワーク構造に保持されており、例えるならばスポンジに含まれた水にあたる。増ちょう剤の網目構造がせん断などにより破壊されると、内部の基油が流れ出し潤滑剤として機能する。一方せん断を受けない場合には、形状や付着性を維持して固体的に振る舞う特徴がある。このような流体と固体両方の特徴を合せ持つ複雑流体を潤滑剤として扱う際には、対象とする機械要素に特化したグリース状態の把握や観察技術の構築が効率的な設計開発を行う上で重要となってくる。

転がり軸受におけるグリース潤滑形態

転がり軸受にグリースを使用した場合、その潤滑形態はチャージングとチャンネリングの2種類に大別される。前者はグリース全体が激しく攪拌される軸受回転初期の状態、後者は回転から一定時間経過後の挙動が落ち着いた状態である。グリースを攪拌する主要因は、転がり軸受を構成する転動体と保持器の自転・公転運動である。通常、グリースは転動体と内・外輪の接触部近傍を狙って封入されるが、軸受を回すと転動体の通過に伴いグリースの大部分は転動領域から排除されるため、実際にはごく一部によって潤滑が行われている。脇に押し退けられたグリースは、その固体的な性質によりせん断の作用しない場所にとどまり、基油のリザーバーとして補助的に機能するといわれている。そういった場合にはグリース自体が直接潤滑することがないため、仮に軸受が寿命を迎えたとしても一部では未潤滑のグリースが残されている、ということがときとしてある。このような潤滑に寄与していないフレッシュなグリースを有効に使うことができれば、さらなる軸受延命も期待できる。それには前述のとおり、まず脇に寄せられたグリースが軸受のどの辺りに堆積しているのか、といったグリース状態を具体的に把握することが重要である。

従来、軸受に封入したグリースを目視により観察することは、グリースの漏れや飛散を防ぐ目的で取り付けられた密封装置（以下シール）が弊害となりきわめて困難であった。シールを取り外す

ことで、ある程度の直接観察は可能となるが、シールを除去する際にシール面に付着して剥ぎ取られてしまうグリースがあるため、その状態を正確に把握することは難しい。以上の背景を踏まえ著者らは、分解観察が不要な非破壊検査技術を用いて軸受内部のグリース挙動観察を行った。

非破壊検査技術を用いた 玉軸受内部グリースの観察

非破壊検査は原子力、航空・宇宙、電力、自動車、防衛産業の分野で、介在物、内部欠陥の検出、加工・溶接状態の診断から材料組織・化学組成の評価に至るまで幅広く利用されている。身近な例では、医療現場で利用される生体用の超音波検査（エコー）や放射線透過検査（レントゲン）が非侵襲の診断装置として有名であり、ほかに、被写体の断面形状を撮影できる X 線 CT (Computed Tomography)、動的観察が可能な X 線ラジオグラフィや中性子ラジオグラフィがある。中性子ラジオグラフィを利用した例として、炭素鋼製の燃料噴射ノズル内の燃料噴霧やアルミ製エンジン内のオイル挙動を可視化した研究が報告されている³⁾。また中性子線を軸受観察に適用した例では、伊藤らによるグリースを含む軸受透過像の撮影がある⁴⁾。中性子ラジオグラフィは X 線や γ 線が透過できない領域を補完する優れた放射線試験である一方、レントゲン検査と同様に奥行き方向の情報が重なって投影されるため透過像は 2 次元のものに限定される。さらには高強度の熱中性子を発生させるために原子炉や大型加速器といった大型設備が必要であり、こういった設備を利用してラボレベルで日常的に測定を行うことは、コストや利便性の観点からいまだ現実的とはいえない状況にある。一方で放射性同位体や中性子管を線源とした小型中性子装置の開発が進んでいるものの、発生中性子量の限界や可搬性に伴う安全上の管理など多くの制約や課題を抱えている⁵⁾。以上を顧み著者らは、軸受内部のグリース形状を観察する際に、比較的容易に行うことができる X 線 CT を用いた。

1. X線CT装置の概要

使用した装置は、第3世代の X 線走査方式を採用したマイクロフォーカス X 線 CT (低エネルギー装置) である。本方式は、固定された X 線源から放射された扇状の X 線ビームが被写体を覆うことで、一断面の情報を短時間に収集できることが特徴である。軸受断面画像の撮影手順を次に示す。まず X 線 CT 装置内の水平な回転テーブル上に、回転軸が一致するよう軸受を設置する。X 線を軸と垂直な方向から軸受に照射しながらテーブルを鉛直軸周りに 360° 回転させる。全周方向の X 線透過データを収集後、コンピュータで再構成処理が施され一断層像が生成される。続いてテーブル高さを適量 (スライス厚) だけ鉛直方向に移動し、他断面についても同様の撮影を行う。以上の工程を複数回繰り返すことにより軸受全体の CT 画像が得られる。

2. 予備試験

グリース形状を把握するためには、グリースが空気と接する界面を X 線 CT による断面像においてシャープに描く必要がある。そこで予備試験として、スライドガラスに載せたグリース塊の試料に対して、X 線 CT による断面像の取得を試行した。その上で、玉軸受 6001 の内部に同一グリースを封入して撮影を実施した結果を後に示す。まず X 線制御器の設定は管電圧 55 kV、管電流 260 μ A として、ウレア系グリース単体に対して X 線撮影を行った。得られた CT 画像は図 1 である。図 1 においてグリースと空気の界面から、外形だけでなく内部の空隙も含めたグリース形状を判別できることが見てとれる。一方、本グリースを玉軸受に封入して上記設定のもと X 線撮影を行うと、



図1 X線CTを用いて撮影したテストグリースの断層像