

解説2 転がり軸受を支える潤滑技術

ジェイテクト 吉崎 浩二*

*よしざき こうじ：研究開発本部 材料研究部 有機材料研究室 第2グループ。
転がり軸受、自動車部品用潤滑剤の研究開発に従事。日本トライボロジー学会、日本機械学会、材料技術研究協会に所属。

はじめに

機械装置の回転部の支持には軸受、とくに転がり軸受が用いられ、機械装置の性能を左右する重要な要素部品である。また転がり軸受は摩擦低減や摩擦部で発生する熱の除去、防錆などの目的で潤滑剤を用いて使用される。潤滑剤の選定を誤ると転がり軸受から異常な熱や振動が発生するなど、機械装置の性能を低下させる。転がり軸受の潤滑方式は油潤滑、グリース潤滑および固体潤滑に大別される。油潤滑の場合、油の選定は大きくは粘度を選定することであり、転がり軸受の回転速度が小さいほど、転がり軸受に作用する荷重が大きいほど、転がり軸受を高温で使用するときほど高粘度油を選定する。

グリース潤滑と油潤滑の比較を表1に示すが、グリース潤滑では密封装置を簡素化することができ、機械装置の小型化、軽量化が可能である反面、短所としては冷却作用に乏しいことや異物混入時の除去が困難であることなどが挙げられる。玉軸受の約80%はグリース潤滑で使用されており、

表1 グリース潤滑と油潤滑の比較

項目	グリース	油
回転数	低、中速用	各種速度
密封装置	簡易	相当注意を要する
軸受材の交換	やや複雑	簡易
軸受材の寿命	比較的短い	長い
熱放散	悪い	良い
摩擦(トルク)	一般に比較的大	比較的 small
軸受性能	良い	非常に良い

グリースは転がり軸受、さらには機械装置の性能を左右する重要な“部品”の1つである。

潤滑油とグリースの組成を表2に示すが、両者の最大の違いは増ちょう剤と呼ばれる潤滑剤を半固体状に維持する物質の有無である。増ちょう剤は基本的に油を保持することが役割であるため、潤滑剤の流動性に影響を及ぼすが、境界潤滑下での摩擦摩耗特性や防錆性などにも影響を及ぼすことが知られている。また増ちょう剤の組成は万能グリースと呼ばれるリチウム石けんグリースが製造量としては最も多いが、耐熱性やせん断安定性に優れるウレア化合物を増ちょう剤とするグリースの製造量がとくに日本において増加している。

転がり軸受には多種多様な性能が求められるが、その基本性能である「静かに(静粛性)」、「軽く(低トルク性)」、「いつまでも(耐久性)」転がることに貢献するグリースの研究開発、とくにウレ

表2 潤滑油とグリースの組成

	潤滑油	グリース
増ちょう剤	×	○
基油	○	○
添加剤(代表例)	酸化防止剤	○
	錆止剤	△
	耐荷重添加剤	△
	消泡剤	△
	清浄分散剤	△
	粘度指数向上剤	△
	流動点降下剤	△

○：必ず配合 ×：配合しない △：用途により必要時に配合

ア増ちよう剤に着目した最近の研究開発事例を紹介する。

研究開発事例

1. 静粛性向上

(1) 背景

転がり軸受の弾性接触部や各摩擦部で発生する振動が機械装置および空気を伝播して、人には音として認知される。転がり軸受の振動発生要因としては転がり軸受の設計要因や製造要因とともに封入するグリースの組成や性状の影響もあり、過去より研究が進められている。たとえば、小宮は基油粘度とグリース中固体成分の大きさとの関係を調査し、基油粘性の低下やちよう度が增大するほど増ちよう剤起因のノイズが大きくなることを明らかにしている¹⁾。また遠藤らは弾性流体潤滑下での増ちよう剤膜の平滑性を議論し、平滑な増ちよう剤膜を形成するほど静粛性が向上すると指摘している²⁾。

近年は測定技術が進歩し、従来困難であった増ちよう剤そのものの機械的物性の測定や、ナノメートルスケールでの増ちよう剤の凝集状態や結晶構造の観察が可能となっており、以降にこれらの測定結果と軸受音響特性との相関を検討した研究事例³⁾を紹介する。

(2) 試験方法

① 供試グリース

本研究では、基油に低粘度ポリ α オレフィン油 (PAO) を用いて、基油中で 4,4'-ジフェニルメタンジイソシアネート (MDI) とアミンを反応させて得たウレアグリースを評価している。アミンには単環アルキル基、直鎖アルキル基および芳香族アルキル基を有する化合物と、これらを組み合わせたときに得られるウレアグリースを評価している。

また、基油と増ちよう剤の親和性の影響を評価するために、基油がポリオールエステル (POE) とアルキルジフェニルエーテル (ADE) のグリースについても検討されている。

② 試験条件

転がり軸受の音響特性は、グリースを封入した後、非接触型ゴムシールを装着した転がり軸受を回転装置に組み込み、アキシャル荷重が 20 N、回転速度が $1,800 \text{ min}^{-1}$ で内輪を回転させたときの回転初期に最大となる外輪のラジアル方向への振動加速度を音響値の代用特性として測定している。

増ちよう剤そのものの機械的物性としてナノインデンタによりヤング率を測定しており、グリースから増ちよう剤を抽出・単離し、その後前処理を行ってヤング率を測定しているが、測定結果に及ぼす前処理方法の影響を検討している。

増ちよう剤の凝集状態はマイクロメートルスケールとナノメートルスケールの 2 つの条件で測定し、軸受振動との相関を検討している。ナノメートルスケールの測定は小角 X 線散乱を用いて測定し、得られた結果をフィッティングすることにより増ちよう剤の繊維径を表す慣性半径と増ちよう剤の基油による膨潤状態を表すフラクタル指数を求めている。

(3) 結果および考察

① ヤング率と軸受音響値相関

ヤング率測定に用いられた前処理方法を図 1 に示す。アルミ容器内で増ちよう剤を押し固める方法 (A 法) とフェノール樹脂を加熱圧縮して増ちよう剤を樹脂埋めする方法 (B 法) の検討結果を図 2 に示す。増ちよう剤組成によるヤング率の序列は両方法で同じであったが、A 法での測定結果はばらつきが大きく、これは押し固めたときの残留圧縮の影響と推察されている。したがって B 法に着目してヤング率の測定および軸受音響との相関が



図1 ヤング率測定前処理方法 [文献3)より引用]

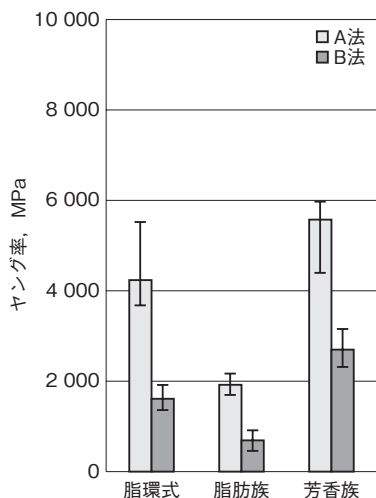


図2 ヤング率に及ぼす前処理方法の影響
 [文献3)より引用]

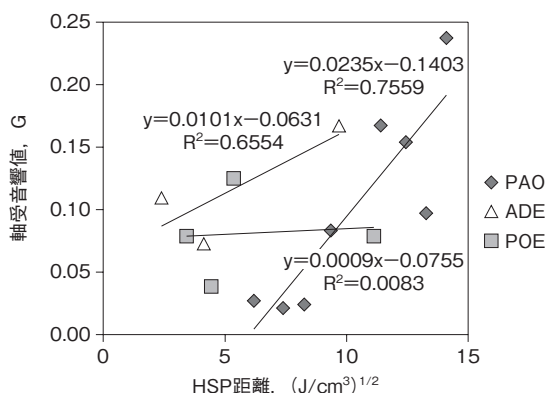


図4 軸受音響値に及ぼすHSP距離の影響
 [文献3)より引用]

検討されている。B法によるヤング率と軸受音響値との相関の検討結果を図3に示すが、ヤング率が小さいほど軸受音響値は小さくなっており、これは接触部に侵入した増ちょう剤粒子が変形することで油膜厚さの変動を緩和したことによると推察している。

②増ちょう剤凝集状態と軸受音響値相関

マイクロメートルスケールにおける増ちょう剤凝集状態を示す指標として1 μm以上の粒子数と軸受音響値との相関を検討すると、先行研究¹⁾と同様に凝集粒子数が多いほど軸受音響値が増大する結果が得られている。さらに増ちょう剤の凝集

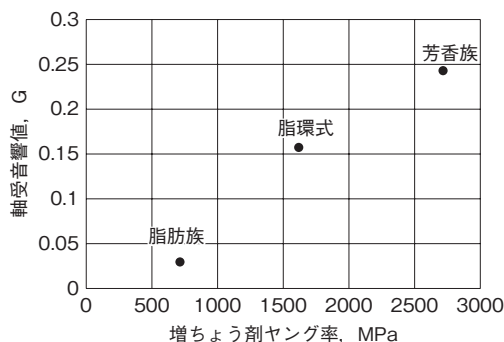


図3 B法によるヤング率と軸受音響値相関
 [文献3)より引用]

状態には増ちょう剤と基油の親和性が影響すると推定して、凝集粒子数と親和性、さらには親和性と軸受音響値との相関が検討されている。その結果を図4に示すが、PAOやADEでは、基油と増ちょう剤の親和性の指標として今回用いたハンセン溶解度指数と軸受音響値には比較的良好な相関が認められたが、POEでは相関が認められない結果が得られている。この結果より、軸受音響値には凝集粒子数やハンセン溶解度指数以外に影響する因子が存在すると予測している。

その因子として分子結晶レベルの増ちょう剤構造が影響していると考えて、小角X線散乱を用いて検討している。小角X線散乱で得られる繊維径を表す慣性半径と膨潤状態を表すフラクタル指数と軸受音響値との相関を図5に示すが、フラクタル指数のほうが高い相関が得られている。

2. 低トルク性向上

(1) 背景

近年、地球温暖化防止や化石資源枯渇の観点より、機械装置のエネルギー損失低減が求められている。このために転がり軸受に使用する潤滑剤は低粘度化する動きにある。転がり軸受は機械装置の回転運動を支える重要な要素部品である。行き過ぎた低粘度化は、油膜厚さ減少による表面起点型剥離や、グリース潤滑の場合は早期潤滑寿命による回転停止などの不具合の発生が懸念される。

転がり軸受におけるトルク発生要因は潤滑剤の攪拌抵抗、油膜形成に伴う転がり粘性抵抗、転がり接触領域内の微小すべりの摩擦抵抗および転動体と保持器のすべり摩擦抵抗に大別される⁴⁾。こ