

異音発生時における転がり軸受の保持器挙動の可視化

Motion Visualization of a Rolling Bearing Cage with Abnormal Noise

NSK (正) *武藤 圭祐 (非) 吉松 修 (非) 前田 吉則 (正) 大嶋 俊一

Keisuke Mutoh*, Osamu Yoshimatsu*, Yoshinori Maeda*, Shunichi Oshima*

*NSK Ltd.

1. はじめに

転がり軸受の保持器は、転動体を一定の間隔で保持することが主な目的であるが、保持器を拘束する力が小さいため他の構成部品に比べて自由な挙動をすることができる。この自由な挙動に起因して、保持器音と呼ばれる異音が発生することがある。保持器音には特徴の異なるものが少なくとも 2 つあり、各々の保持器挙動は異なることが実験的に確認されている¹⁾。したがって、保持器音を抑制するためには、保持器挙動の詳細を把握することが必要であると考えられる。これまで、保持器挙動の測定には近接センサが用いられてきた。しかし近接センサを用いた測定では、保持器に本来は備えていない測定板を接着させることで、保持器本来の動きを阻害させる問題や保持器全体の挙動が把握できない問題があった。そこで保持器挙動をより忠実に観察および測定するために、高速度カメラと画像処理を用いた新たな可視化手法を考案した。本報では、考案した手法の詳細に加え、この手法で把握した保持器挙動と保持器音の相関関係について報告する。

2. 実験方法

2.1 実験装置および測定手法

Figure 1 に実験装置の概略図を示す。試験軸受は開放型のアンギュラ玉軸受（軸受寸法系列 70、外径 $\phi 110\text{ mm}$ / 内径 $\phi 70\text{ mm}$ / 幅 20 mm ）とし、鉛油系の極圧グリースを封入した。保持器は外輪案内形式の円筒もみ抜きタイプ（樹脂材）である。実験装置は、試験軸受とサポート軸受でシャフトを支え、一定のアキシャル荷重を負荷して、シャフトに接続したモータによって内輪に一定の回転数を与える構成となっている。なお、試験軸受側のハウジングの端面は、高速度カメラで軸受全体が撮像できるように開放されている。

保持器音を測定するための音響測定用マイクロホンを、試験軸受側ハウジング端面より 40 mm の位置に、保持器挙動を可視化するための高速度カメラをシャフトと同軸上に設置している。高速度カメラでの撮像用の照明として、高輝度 LED 光源を使用した。高速度カメラの位置は、画角に試験軸受の外輪内径が収まるように配置している。マイクロホンによる音の収録と高速度カメラによる撮像はトリガー信号で同期させており、軸受から発生した異音が撮像したデータ中のどの時間帯にあるのか確認できる構成としている。Table 1 に実験条件を示す。高速度カメラでの撮像は画角を固定して、撮影速度およびシャッター速度を内輪の回転数によって変化させた。撮影速度は、内輪回転角が約 2 度ごとに撮像できるように定めた。ただし、内輪回転数が 8000 min^{-1} のみ、内輪回転角が約 4 度となっている。シャッター速度は、シャッター露光中の保持器の動き量が約 1 ピクセル内に収まるように算出し設定した。2 時間の慣らし運転後に、各回転数において測定を実施した。

2.2 画像解析の方法

高速度カメラで撮像したデータに画像処理を行い、保持器挙動の観察を容易にする動画データへの変換および保持器の中心座標を測定した。観察を容易にする動画データへの変換は、最初に撮像したデータを時系列順に静止画像に変換し、次に別途算出しておいた軸受の回転中心で画像全体を保持器の自転方向とは逆方向に自転角度分回転させた画像を新規に作成する。そして最後に、新規に作成した画像を再び時系列順に並べて動画データを作成する。この処理を施すことことで、転動体の公転が固定された動画データとなり保持器の挙動を観察しやすくなる。また、保持器の中心座標は、保持器外形の輪郭を抽出することで算出した。輪郭は、撮像データに対して二値化処理およびモルフォロジー変換を施して抽出した。抽出した輪郭の点群データから画像モーメントを算出して、輪郭の重心座標を求めた。この算出した重心座標を保持器の中心座標とし、直交 2 軸のグラフに保持器中心の軌跡として表した。グラフ原点は、

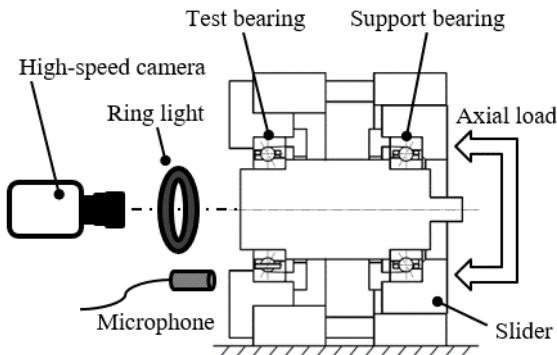


Fig. 1 Schematic view of experimental apparatus

Table 1 Test conditions

Shaft speed, min^{-1}	50 to 8 000
Axial load, N	687
Photographing speed, frame / s	250 to 12 800
Photographing shutter speed, s	1/2 000 to 1/2 000 000
Photographing resolution, pixel	1024x1024

得られた中心座標の平均値とした。これは高速度カメラの光軸とシャフトの回転軸が、必ずしも一致しないためである。そのためグラフ原点がシャフトの回転中心を表すわけではない。さらに保持器の中心座標とグラフ原点の成す角度を求め、時間微分を取ることで保持器の公転角速度を算出した。なお公転角速度は、保持器の自転方向を正として算出している。

3. 実験結果および考察

3.1 保持器音発生中の保持器中心の軌跡

Figure 2 に撮像したデータに対して、観察を容易にする動画データへの変換を施した例を示す。今回の測定手法では保持器全体が写っているため、保持器の挙動を観察しやすいという特長がある。作成した動画を見ると、転動体の公転が固定され保持器が半径方向に刻々と動いている様子を観察することができる。Figure 3 に保持器中心の軌跡の一例を示す。(a) は保持器音が発生しているときの結果、(b) は発生していないときの結果であり、どちらも保持器が約 1 回転分の軌跡を示す。なお、案内すきまを直径とする円を破線で併記している。本実験では、ジャージャーやガーガーという大きな保持器音が発生しており、その聴感から CG 音²⁾が発生していると考えられる。2 つの条件において、その軌跡の直径が異なっている。軌跡の直径は、CG 音発生時は案内すきまと同等であるが、CG 音が発生していないときは案内すきまより大きい。保持器中心は輪郭を基に算出していることから、保持器の変形による影響を受けたためだと考えている。CG 音発生時の保持器は、保持器 1 自転中に複数回の公転運動をしており、その公転方向は自転方向とは逆方向であった。外輪と保持器の接触面に作用する摩擦力が、支配的となつたためだと考えられる。CG 音が発生していないときの保持器は、保持器 1 自転中に 1 回の円運動をしており、その運動方向は保持器の自転方向と同方向であった。これは、保持器に作用する遠心力が支配的となり保持器が偏心運動をしていると考えられる。過去の研究においても CG 音発生時は同様の振れ回りが確認されており、今回の手法では保持器本来の挙動測定が可能であると考えられる。

3.2 保持器の公転角速度と保持器音

Figure 4 に保持器の公転角速度と音圧レベルとの関係を示す。それぞれ保持器が約 1 回転中の時間平均を算出し、聴覚による判断で CG 音を判別している。なお、CG 音が断続的に生じることがあったため、1 条件ごとに 3 点分（撮像の開始／中間／終了時）のデータをプロットしている。今回の実験において、CG 音は公転角速度の絶対値が、500 rad/s を上回るときに発生していることがわかる。また、公転角速度が速くなるにしたがって、音圧レベルも大きくなる傾向がある。これは CG 音の発生が保持器の公転角速度に依存していることを示していると考えられる。これまで、CG 音発生時は保持器が振れ回ることが知られているが、その振れ回りを定量化しているものは少ない。今回の結果より、CG 音の発生は保持器の公転角速度と相関関係があることが確認できる。すなわち CG 音の発生は保持器の公転角速度で評価することが適切であると考えられる。

4. おわりに

既存の測定手法の問題を解決するために、軸受回転中の保持器全体を高速度カメラで撮像し画像解析を用いて保持器挙動を測定する新たな手法を考案した。本手法は既存手法に比べ、保持器本来の動きを測定できる点や、保持器の変形を含めた挙動が測定できる点で優れている。本手法を用いて保持器音発生時の軸受を測定した結果、保持器中心の軌跡は従来得られている結果と同様の保持器 1 自転中に複数回の公転運動であった。さらに保持器音の発生は、保持器の公転角速度で評価できることを提案した。

文献

- 1) 桃野・野田：玉軸受における保持器音発生時の保持器の挙動、JSME 第 74 期通常総会講演論文集 (IV), (1997) 104
- 2) 桃野・野田：転がり軸受の振動・音響、NSK Technical Journal, No.661(1996) 13

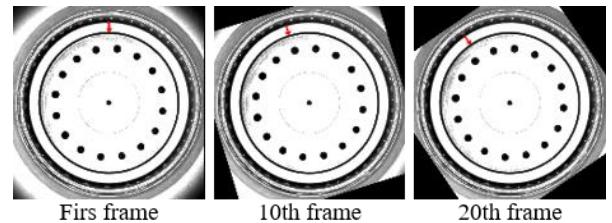
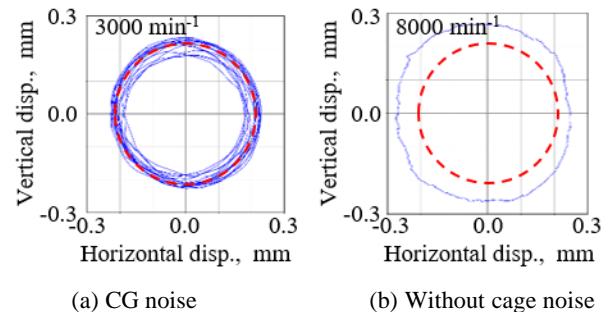


Fig. 2 Results of transformation



(a) CG noise (b) Without cage noise
Fig. 3 Trajectory of cage center (Red dashed line means the guide clearance.)

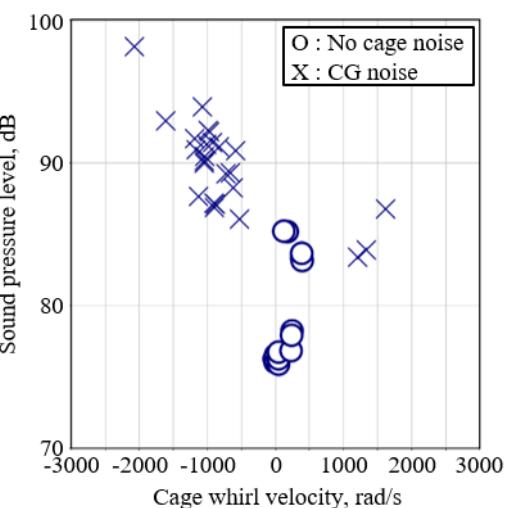


Fig. 4 Relationship between cage whirl velocity and sound pressure level