

遠心負荷を模擬したヘリングボーン付きジャーナル軸受における油膜挙動可視化

Visualization of Oil Film Behavior in Journal Bearing with Herringbone Simulating Centrifugal Load

東海大・院（正）高橋 佑輔 東海大・工（正）落合 成行 東海大・院（非）橋田 宙樹

キヤノン電子管デバイス（株）（非）吉田 靖史

Yusuke Takahashi*, Masayuki Ochiai*, Hiroki Kitta*, Yasufumi Yoshida**

*Tokai University, ** Canon Electron Tubes & Devices Co. Ltd.

1. 緒言

医療分野で用いられる X 線 CT 装置は、物質を透過する特性を持つ X 線を利用し、人体の内部構造を詳細に映し出すことで、体内の小さな病変の早期発見が可能な画像診断装置である。本装置は円形トンネル状のガントリの内部に X 線を放射させる X 線管、X 線を検出する X 線検出器が対向する配置で搭載されており、ガントリが患者の周りを回転することで、X 線を患者に 360°照射し、体前周の断面画像を撮影することができる。同装置の X 線管には回転陽極 X 線管が用いられている。X 線は電子銃から放出される陰極の電子線をモリブデンなどの金属でできた陽極のターゲットに照射することで発生させる。その際、ターゲットの 1 点のみに電子銃を照射すると表面が高温化し、ターゲット破損の恐れがあることから、ターゲットを 10,000rpm の速度で回転させることで熱を分散し、局所的な集中を防いでいる。機構の回転部には服部⁽¹⁾らが考案したヘリングボーン軸受が用いられている。Figure.1 にヘリングボーン軸受を示す。同軸受はガントリ静止時における低負荷時では溝部による振動安定性、ガントリ運転時の遠心力が作用する高負荷時では平面部のくさび効果を利用した潤滑膜の形成による負荷容量の確保が可能であり、運転環境に応じて適切な効果を発揮する。

X 線 CT 装置の検査時における問題点について被写体の移動による画像ボケがあげられる。本装置で撮影する画像は撮影対象の移動が大きくなるほど精度が低下する。そのため、本装置の撮影対象である臓器の動きを最小限にするため、検査時には患者に対して息止めを要求する必要がある。しかし、長時間の検査により患者の負担も増加することから、検査時間の短縮化が求められている。これを実現するためには、ガントリの公転速度上昇によるスキャンスビードの上昇が必要となるが、公転速度が一定の水準に達すると、X 線管内部の回転部において、回転性能の低下が確認されている。その原因として速度上昇に比例して増大した遠心力による軸受油膜への影響があげられていることから、遠心負荷を付与した環境下における軸受内の油膜挙動の可視化が必要である。

以上の背景のもと、本研究では X 線管内の潤滑状態を模擬した自転装置と、簡易的に遠心負荷を自転装置へ付与することができる装置を製作し、実機の運転環境を模擬した軸受の可視化を行った。

2. 実験装置

Figure.2 に自転装置の概略図を示す。自転装置は X 線管を模擬した装置となっており、透明円筒部をアンギュラ玉軸受で支持し、モータを用いて回転させる。また、試験軸をリニアガイド上のベースに固定することで遠心負荷による軸荷重の偏心を再現することができることに加え、ストップボルトを用いてベースを固定することで、任意の偏心率における軸の固定が可能である。

Figure.3 に振り子装置の概略図を示す。振り子装置はガントリの公転運動を振り子運動により簡易的に模擬した装置である。本装置は玉軸受で支持している主軸に自転装置を搭載した吊り部を接続し、任意の角度より振り下ろすことで自転装置内の軸受に遠心負荷を付与することができ、最大で約 2G の遠心負荷を付与することができる。

Figure.4 に可視化軸受パラメータを、Table.1 に可視化軸受諸元を示す。本検討で用いるヘリングボーン軸受の軸径は $d=9.91\text{mm}$ であり、同心時の半径クリアランスは $C=55\mu\text{m}$ となっている。溝のパラメータは軸受中央にある平面部の幅 $P=2.6\text{mm}$ 、図 7 に示す部分の溝の角度 $\theta=30^\circ$ 、溝幅比 β は軸受の溝部長さ L_g を丘部長さ L_p と定義して、式 (2.1) で求められる。

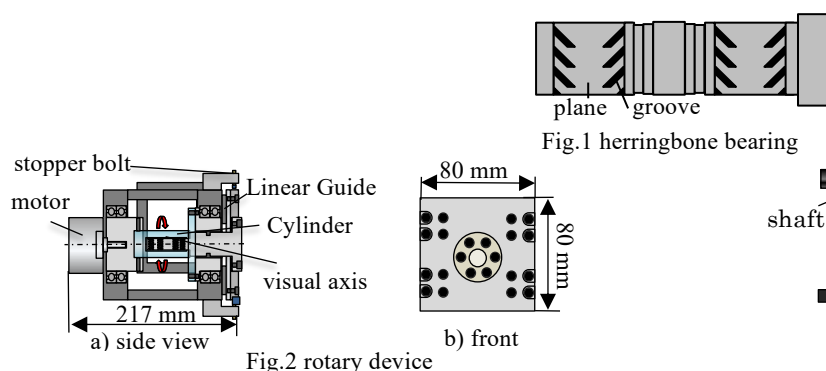


Fig.1 herringbone bearing

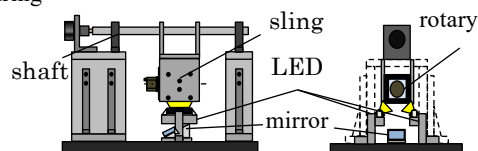


Fig.3 pendulum device

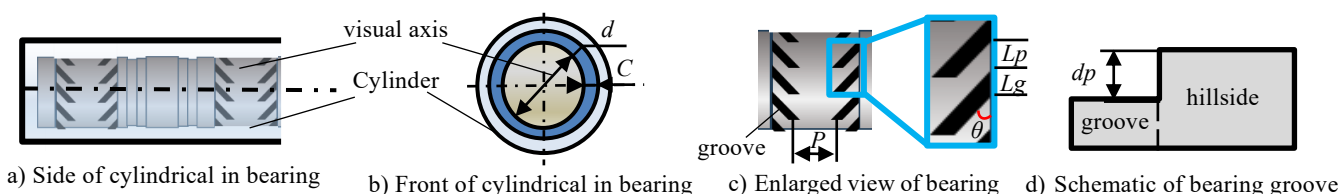


Fig4 Visualized Bearing Parameters

$$\beta = \frac{Lg}{Lp} \quad (2.1)$$

Table.1 Visualized Bearing Dimensions

Shaft diameter d [mm]	9.91
Plane width P [mm]	2.6
Groove width ratio	1.0
Groove angle θ [°]	30
Clearance [μ m]	55
axial state	concentric

3. 撮影方法

Table.2 に実験条件を示す。本実験は高速度カメラとロータリーエンコーダ、カウンタを同期させ、自転部が振り子運動の最下点部に到達した際にミラーを経由して軸受下面の撮影を行う。その際、LED パーを用いて軸受に光を照射することで光量を確保している。本実験では自転数 10,000rpm でそれぞれ遠心負荷を付与していない状態と付与した状態で撮影地点通過時における軸受油膜の可視化を行った。

4. 実験結果

Figure 5 に自転回転数 10,000rpm 時の可視化結果を示す。本研究では同期系機材を用いて、高速度カメラと振り子の回転角を同期させることで、撮影範囲を通過する軸受における油膜挙動の可視化に成功した。Figure 5(a)に遠心負荷を付与していない状態の可視化結果を示す。同図より、軸受部中央にあるプレーン部に油膜が集まる様子が確認される。これは溝のポンピング効果によるもので、潤滑油が中央に向かって引き込まれたものと考えられる。実験の際、低回転時では溝に沿うような気液界面も見られたが、10,000rpm に達するまでに図中に示すような直線的な界面となった。また、Figure.5(b)に遠心負荷付与時の可視化結果を示す。前述した遠心負荷を付与していない状態と比較すると大きな変化が見られないことから、振り子装置で付与できる範囲内の遠心負荷では油膜への影響が小さいことが確認された。

5. 結言

本研究では、遠心負荷を模擬した際のヘリングボーン軸受における油膜挙動の可視化を行うための撮影検討として、振り子運動で公転を模擬することができる装置を製作し、軸受の撮影を行った。結果として、各同期機材を用いることで、公転運動時の軸受油膜挙動の可視化に成功した。また、振り子装置で付与した遠心負荷では油膜への影響が小さいことがわかった。

謝辞

本研究はキャノン電子管デバイス株式会社様の委託事業の成果であり、関係者各位に深く感謝いたします。

文献

(1) 服部仁志, ”液体金属軸受を用いた X 線管用高速回転機構”, トライボロジスト, Vol. 54, No. 3, (2009), p. 180-185.

Table.2 experimental conditions

Camera	ACS-3
Frame rate [fps]	10,000
Shutter speed [μ s]	50
Centrifugal load [G]	0 / 2
Rotational revolutions [rpm]	10,000
Lubricant	Cosmo New Mighty Super 2
Oil quantity [μ l]	80

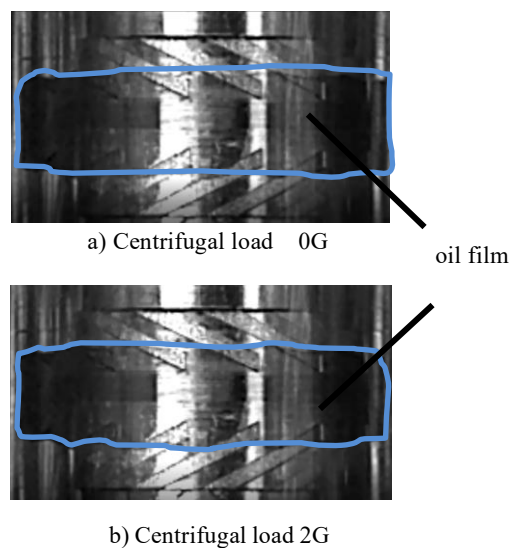


Fig.5 Visualization results at 10,000 rpm rotation speed