

高速回転深溝玉軸受の潤滑解析（第2報）

— 流体解析による潤滑油分布の予測 —

Lubrication analyses of high-speed deep-groove ball bearings (Part 2)

-Prediction of lubricating oil distribution with CFD-

(株)ジェイテクト（正）*戸田拓矢（正）廣瀬みちる（正）松山博樹（非）長谷川賢一（非）鬼塚高晃

(株)豊田中央研究所（正）遠山護（非）大宮康裕（非）佐藤範和

Takuya Toda*, Michiru Hirose*, Hiroki Matsuyama*, Kenichi Hasegawa*, Takaaki Onizuka*

Mamoru Tohyama**, Yasuhiro Ohmiya**, Norikazu Sato**

*JTEKT CORPORATION, **Toyota Central R&D Labs., Inc.

1. はじめに

電動車の駆動ユニット（eAxle）に用いられる深溝玉軸受（以後、軸受と略記）では、軸回転速度 $20,000 \text{ min}^{-1}$ を超えるようなモーターの更なる高速回転化¹⁾に対応できるよう、高速回転下でも焼き付かないことや摩擦トルクが小さいことなどが求められる²⁾。適切な潤滑設計のため、運転中の転動面油膜形成や軸受内部のオイル分布の状態を把握する必要がある。流体解析によるオイル分布予測が試みられている^{3)~6)}。しかしながら、軸受運転中の内部油膜形成ならびにオイル分布状態は実測例が少なく流体解析の妥当性検証は困難であった。筆者らは、オイル潤滑軸受の摩擦トルク計測と同時に、転動面の油膜厚さ、軸受内部のオイル分布の可視化ができる試験機を製作し、軸回転速度が摩擦トルク、転動面の油膜厚さならびに軸受内部のオイル分布に及ぼす影響を検討した^{7,8)}。本報では、得られた知見を基に流体解析モデルを構築して、高速回転下でのオイル分布を比較することで流体解析の妥当性を検証した結果について報告する。

2. 解析対象と解析手法

既報^{7,8)}にて用いられた高速玉軸受可視化試験機および呼び番号 6008 系玉軸受を解析対象とした。試験機の横断面図を Fig. 1 に示す。試験機に関しては簡略化のためから軸受ハウジング内の空間のみモデル化を行った(Fig. 2)。評価軸受の潤滑は既報と同様に、先端口径 $\Phi 0.7 \text{ mm}$ のノズルを軸受最頂部（最大荷重）の位置で軸受側面に配置し玉に向けて給油した。オイル物性は、eAxle にも用いられる市販 ATF で供給油量は 40 mL/min 、 100 mL/min として解析を実施した。本報でのオイル挙動は VOF (Volume of fluid) 法を用い気液 2 相の解像を実施した。軸受部の運動は、軸受部とハウジング空間を分割し、軸受部に転動体公転回転速度を与えた。そのうえで内輪、外輪、保持器、転動体には各運動の境界条件を定義している。回転速度は、解析安定性のため低回転速度から順次増加させ、重力、表面張力を考慮し解析を実施した。物性、計算条件の詳細を Table 1 に示す。

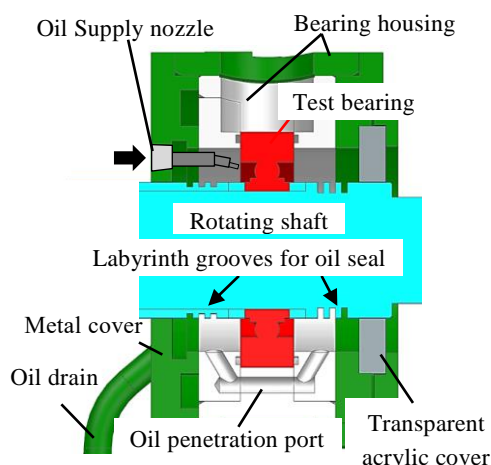


Fig. 1 Enlarged sectional view of bearing

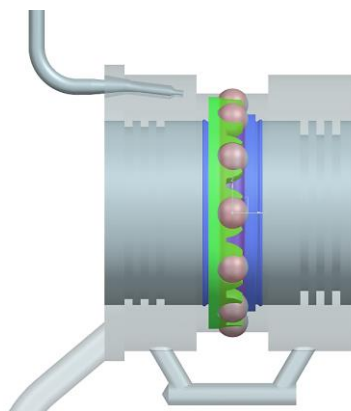


Fig. 2 Calculation area

Table1 Physical properties and calculation condition

| | |
|---|------------|
| Density(air), kg/m ³ | 1.225 |
| Density(oil), kg/m ³ | 838 |
| Viscosity(Air), Pa/s | 1.8E-05 |
| Viscosity(Oil), Pa/s | 1.4E-02 |
| Temperature, °C | 60 |
| Rotating speed (Inner), min ⁻¹ | Max 20,200 |

3. 実測・解析の流れ比較

フラッシュ蛍光法によって撮影したオイル分布像⁸⁾と解析結果を Fig. 3 に示す。流体解析における油量分布は、速度の増加に伴いオイル分布面積が減少し実測と同様の結果となった。また、供給油量 100 mL/min では高速回転下において転動体進行方向に三角状の潤滑油分布が確認できるが、供給油量 40 mL/min では高速回転下で軌道から著しく油量が減少している様子が流体解析においても確認できており、実測の傾向と定性的に一致した。

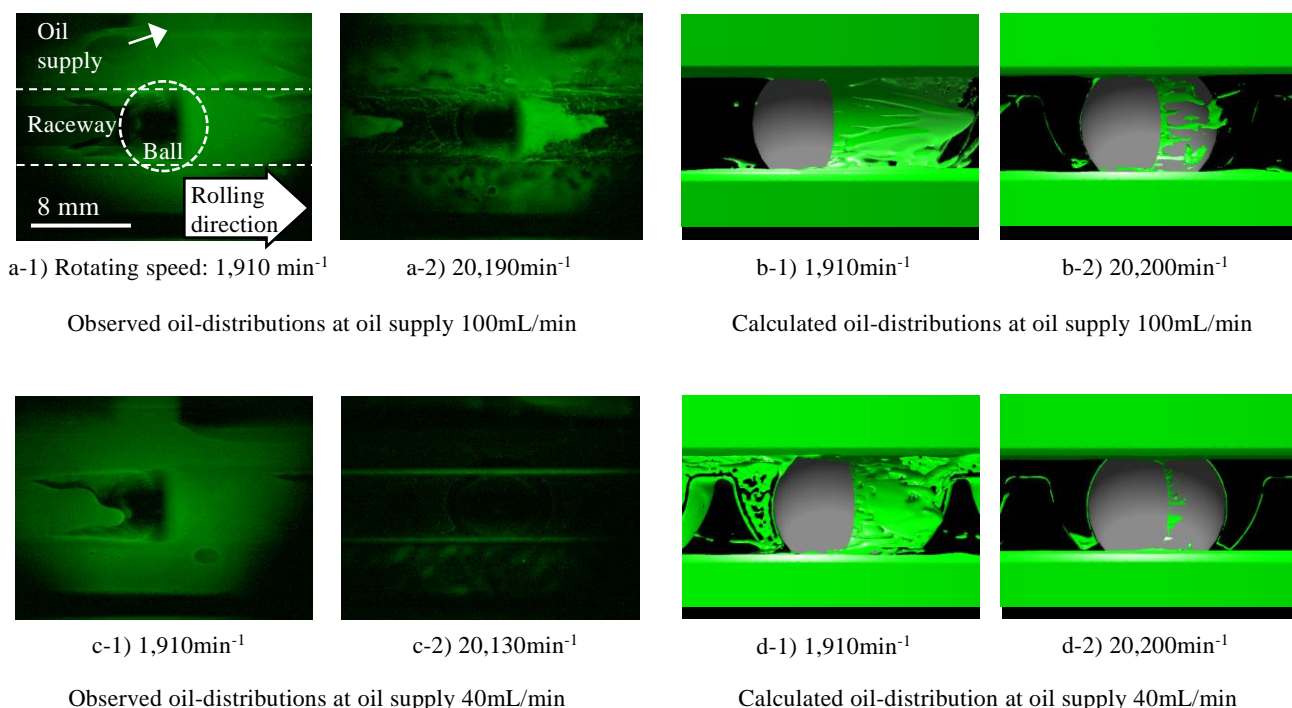


Fig. 3 Comparison observed oil-distributions of calculated oil-distributions

4. 軸受内部オイル分布観察

可視化計測^{7,8)}において外輪軌道部の潤滑油分布を可視化したが、保持器より内側の空間は回転軸の影響により可視化が難しい。前述の流体解析、可視化計測の比較結果から流体解析における軸受内部空間のオイル分布に妥当であると考え、内輪近傍の潤滑状態について観察した。内輪近傍の潤滑油分布を Fig. 4 に示す。軸受内部のオイルは遠心力により外輪内径に集中するが、外輪軌道両端に分布したオイルが転動体に付着し内輪へ供給される様子が確認された。高速回転下の軸受においては内輪の温度上昇が問題となるが、本解析においても高速回転下に内輪のオイル分布量が減少している様子が確認されており温度上昇の一因であると考えられる。

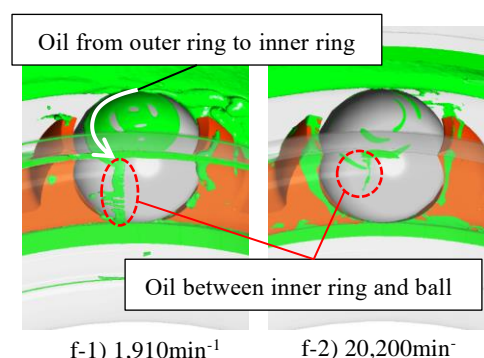


Fig. 4 Calculated oil-distributions of inner ring side at oil supply 100mL/min

5. おわりに

深溝玉軸受の高速回転下における潤滑状態を予測するべく、軸回転速度 20,200min⁻¹ までの流体解析を実施し、先に報告された可視化結果との比較を行った。供給油量、回転速度の変動に対して潤滑油分布の様相は定性的に一致しており、筆者らの行った流体解析の妥当性が示された。第一報において軌道部の分布油量は軸受の回転トルクと強い相関がみられ、流体解析の潤滑油分布量データをトルク予測に活用できるものと考えられる。今後、トルク予測式の検討を行っていく予定である。

文献

- 1) 横田：自動車用軸受の技術動向と展望，JTEKT ENGINEERING JOURNAL, 1071 (2019) 25.
- 2) 松山：転がり軸受の高効率化とトライボロジー，JTEKT Engineering Journal, 1009 (2011) 108.
- 3) 春山，南里，戸田：PIV 法を用いた円すいころ軸受まわりの潤滑油流れ可視化計測の研究，トライボロジー会議 2016 春 東京 予稿集 (2016) A13
- 4) 温，宮田，かくはん抵抗の低減を目的とした円すいころ軸受と玉軸受の CFD 解析，NSK TECHNICAL JOURNAL, 690 (2018) 60
- 5) 藤掛，石川，低昇温・低トルク円すいころ軸受，NTN TECHNICAL REVIEW No.88 (2020) 71
- 6) 土田，田中，村岡，ハイブリッドカー用超低トルク玉軸受の開発，NSK TECHNICAL JOURNAL, 685 (2012) 14
- 7) 遠山・大宮・村田・入谷・佐藤・廣瀬・松山・戸田・長谷川・鬼塚：高速回転深溝玉軸受の油膜厚さ計測およびオイル分布観察，トライボロジー会議 2022 秋 福井 予稿集 (2022) D16
- 8) 遠山・大宮・佐藤・佐藤・横井・廣瀬・松山・戸田・長谷川・鬼塚：高速回転深溝玉軸受の潤滑解析（第 1 報）—潤滑可視化による供給油量の影響評価—，トライボロジー会議 2023 春 東京 予稿集 (2023)