

小形玉軸受のトルクに及ぼす初期グリース状態の影響

Effect of Initial Grease Location on Torque of Small Ball Bearings

東理大・理工（正）*野口 昭治 関東学院大・理工（正）堀田 智哉

Shoji Noguchi*, Tomoya Hotta**

*Tokyo University of Science, **Kanto-gakuin University

1. はじめに

筆者らはこれまでに市販品の小径玉軸受 608 (3 社) を用いて、回転速度を変えて 16 個ずつのトルク測定を行い、実態把握に努めてきた。その結果、これまでの研究^{1,2)}で行われてきた測定時間 60 分では、トルクの平均値は時間とともに減少傾向であるが、ばらつきや変動が大きく安定していないことを明らかにした³⁾。また、この結果を受けて、測定時間を 24 時間（一部は 120 時間）に延長して行った研究では、低速回転 (1800min^{-1} , 3600min^{-1}) においては 24 時間を経過しても測定時間 60 分の状態が維持されていたこと、高速回転の 7200min^{-1} では 12 時間を過ぎた辺りからトルクの大きさ、ばらつきはともに急激に減少することを明らかにした⁴⁾。トルクの大きさやばらつきが減少した原因として、軸受に封入されているグリースの分布状態が関係していると考え、最長 120 時間までの所定時間における軸受内部のグリース分布状態を観察したところ、 1800min^{-1} では 120 時間経過後においてもグリースの約 97%が飛散せずに内外輪が形成する空間に残っていたのに対し、 7200min^{-1} では多くのグリースが飛散して上下シールドの内面に付着しており、トルクが安定した状態では、内外輪が形成する空間には約 37%しか残っていなかった。

これらの結果から、軸受内部のグリース状態がトルクに大きく関係していることが明らかになったが、初期グリース封入に関しては、軸受の回転速度に応じて空間容積⁵⁾に対する比率で封入量だけが規定されている。グリース潤滑の許容回転速度に対して回転速度が 50%以下であれば空間容積の $1/2 \sim 2/3$, 50%を超える場合には $1/3 \sim 1/2$ を封入すると書かれているが、何処に、どのように封入するかについては規定がない。

そこで本研究では、グリースを狙った位置に定量封入できる装置を用いて、グリースの封入量や封入形態を意図的に変化させた状態でトルク測定を行い、トルクにおけるグリース封入状態の影響を明らかにした。ただし、これまでにトルク測定を行ってきた 608 では保持器凹部が小さいため、狙い通りグリースを封入することが難しい。そこで今回は、非接触ゴムシールの 6204 を使用した。非接触ゴムシールは着脱が容易であり、内部のグリースを洗い流して、同じ軸受を使用して封入形態を変えて、繰り返し使用してトルク測定を行った。

2. 実験装置と実験方法

2.1 トルク測定装置

転がり軸受のトルク測定に関する JIS の規定はないので、6204 専用のトルク測定装置を製作して、トルク測定を行った。608 のトルク測定装置³⁾と同じ構造・構成であり、軸受サイズが大きくなつた分、全体的に大きくなつておらず、駆動に使用するモータの出力も高くなっている。本研究に使用したトルク測定装置の全体写真を Fig.1、試験軸受周辺を上から見た拡大断面図を Fig.2 に示す。測定原理は、軸受を縦置きに設置して内輪を回転させた時に発生する外輪を回転させようとする力をロードセルで測定し、回転中心からの腕の長さ ($L=50\text{mm}$) を乗じて軸受トルクに換算している。回転速度はモータの回転をブーリと丸ベルト (2 本掛け) を用いて 2 倍に增速して軸受駆動軸に伝達 (最高回転速度は 8000min^{-1}) しており、一般的に用いられる小型モータの回転速度はカバーしていると考えられる。予圧に相当するアキシャル荷重は静圧空気スラストパッドを介して非接触で負荷しており、ロードセルを用いて荷重を測定している。本研究では、この測定装置を 4 台使って行った。

2.2 グリース封入装置

本研究では、グリースを任意の位置に定量封入する必要がある。使用したグリース封入装置を Fig.3 に示す。グリースの封入には空気圧式のディスペンサを使用した。ディスペンサ下部には軸受設置ステージ (XY θ ステージ + 傾斜ステージ) があり、軸受の取付け位置や封入場所を自由に設定可能である。傾斜ステージを水平にすれば、保持器凹部に垂直上方から封入できるので、保持器の凹部にグリースを封入することができる。また、傾斜せねば外輪軌道面を狙ってグリースを封入することができる。グリースによってちょうど度が異なるので、ノズル部の温度、空気圧力、シリンドラストロークを調整して、ワンショットで吐出するグリース量を調整し、ショット回数を設定することによって一定量のグリースを狙った位置に封入した。グリースが軸受内にどのように封入されたかを確認するために、透明アクリル外輪を用いて確認した写真を Fig.4 に示す。

2.3 実験条件

今回トルク測定に用いた軸受は非接触ゴムシールの 6204 (ラジアルすきまが C3, 保持器は樹脂保持器) である。グリースは小径・小形玉軸受のグリースとして多く用いられているリチウム石けんグリースである。実験条件を Table 1 に示す。グリース封入量は標準量の 1.2g (空間容積の約 21%) として、1 か所当たりの封入量は $1/8$ の 0.15g である。トルクの安定を考慮して測定時間は 24 時間とした。アキシャル荷重は、外輪カバーや負荷軸等の質量も含めて 40N とした。トルク測定個数は、一つの測定条件につき 4 個とした。グリース封入位置が 4 種類、回転速度が 4 種類であり、合計 16 条件で実験を行った。

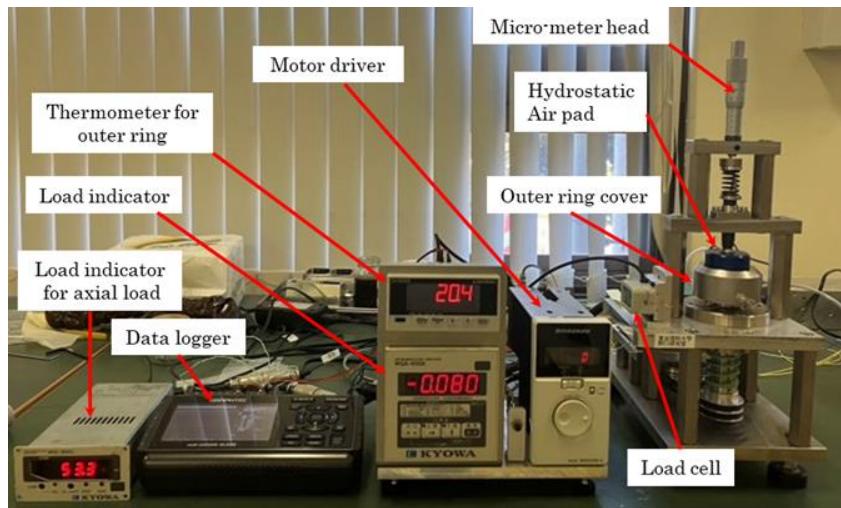


Fig.1 Photo of torque measuring device

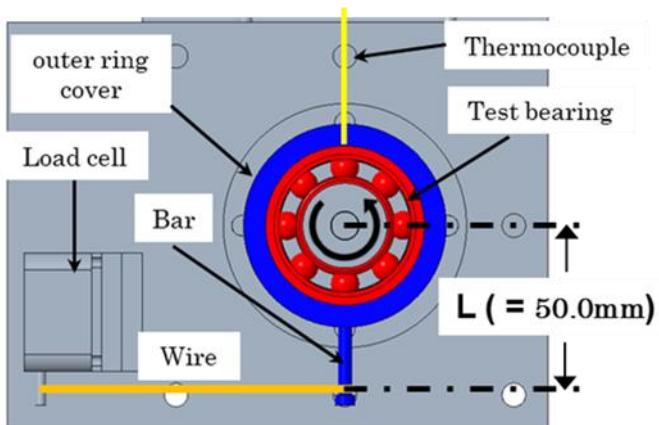


Fig. 2 Top view of the area around test bearing

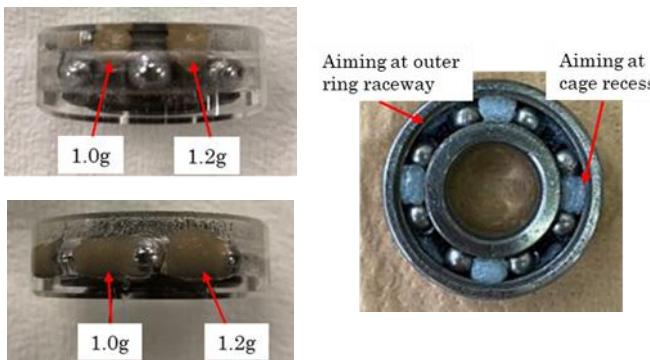


Fig. 4 Photo of grease filled condition

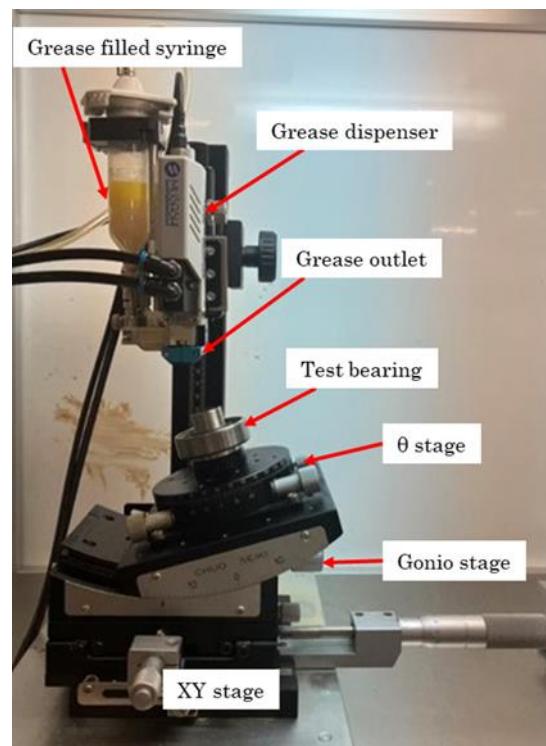


Fig. 3 Photo of grease applicator

Table 1 Experimental conditions for torque measurement

Test bearing	Non-contact sealed type 6204 (20mm×47mm×14mm)
Rotational speed	1800, 3600, 5400, 7200 min ⁻¹
Axial load	40 N
Grease	Lithium soap grease 1.2 g (0.15 g per location)
Grease filled condition	All cage recesses
	2 locations on outer ring raceway surface (6 cage recesses)
	4 locations on outer ring raceway surface (4 cage recesses)
	All outer ring raceway
Environmental temp.	23~25 °C

3. トルク測定結果と考察

横軸を測定時間、縦軸をトルクとして、回転速度条件毎に4個のトルクデータを重ね書きしたグラフの例を以下に示す。測定間隔は1秒であるが、このグラフは5分間の平均を1点としてプロットしているので、細かい変動は除去されている。Figure 5を見るとトルク減少は2段階で起こっていることがわかる。回転初期からトルクは減少して2時間程度経過すると安定してくるが、その後、トルクが大幅に減少している。これまで最初にトルクが安定した状態でチャンネリング状態になったと判断していたが、時間が経過するともう一段階トルクが低下していた。遠心力によってグリースが徐々に外側に移動し、転動体/軌道面から排除されたことが原因と考えられる。2段階目のトルク低減が起こる時間は、外輪へグリースを封入した箇所が多いほど長くなっていることがわかる。

回転速度が 7200min^{-1} になるとトルク減少は短時間に一気に起こっていることがわかる。グリースに作用する遠心力が大きいので、グリースの飛散が短時間で終了したためと考えられる。それでも、初期にグリースを外輪側に封入し

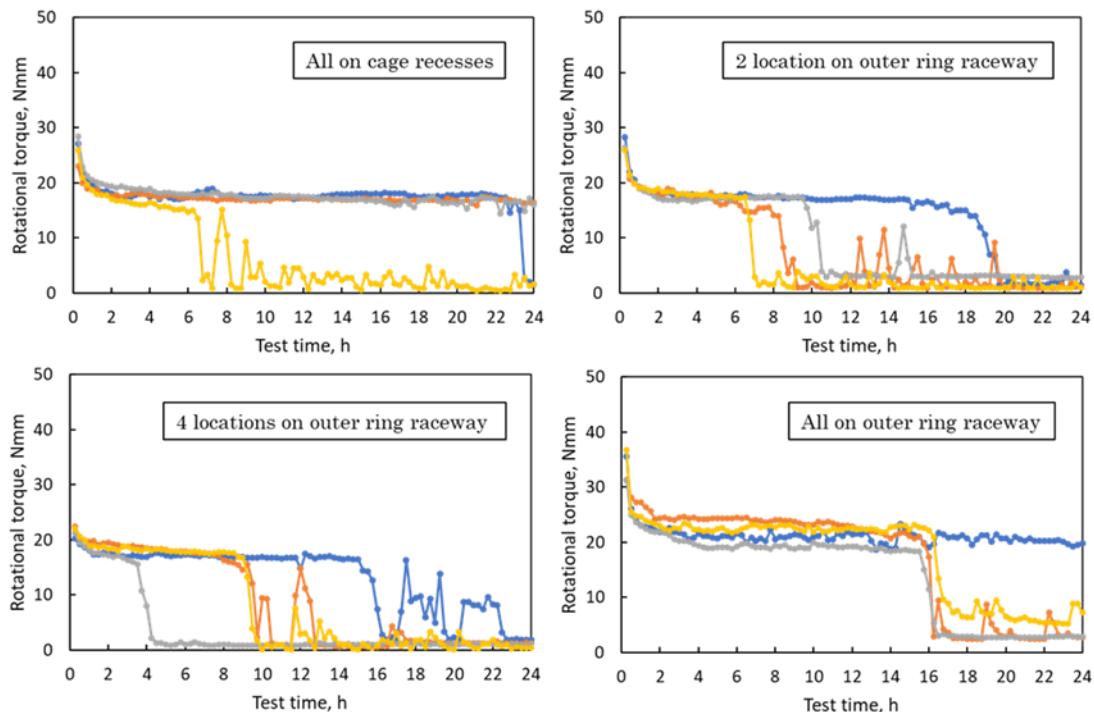


Fig. 5 Torque measurement results in case of changing the grease filling state (5400min^{-1})

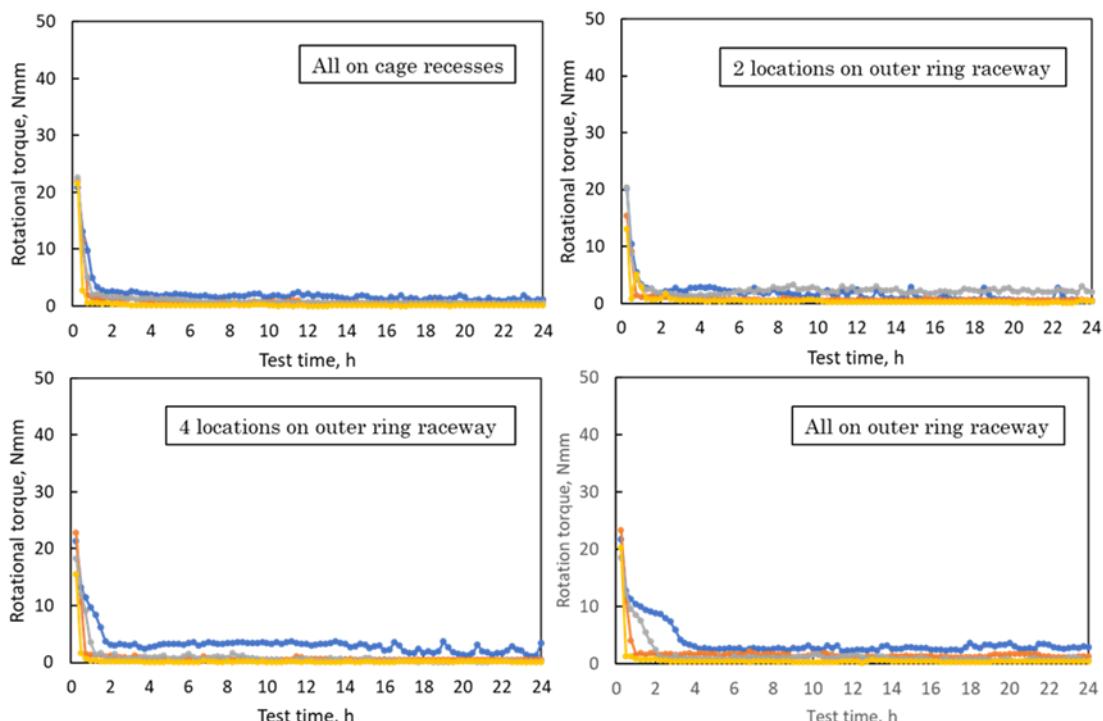


Fig. 6 Torque measurement results in case of changing the grease filling state (7200min^{-1})

た場合の方が低トルクを示すまでの時間が長くなっている。これらのことから、初期グリースの封入方法としては、グリースを保持器凹部に封入し、外輪軌道面側に落ちないようにした方がトルク安定までの時間が短くなることが明らかになった。

また、トルク測定後の内部を観察すると、回転速度が高いほどグリースは遠心力で飛散して、外輪内側に堆積する傾向が見られた。当然シールの内側にも多くのグリースが付着しているが、シールに付着したグリース量を除いたグリースが軸受トルクに関与（影響）していると考える。24時間後の軸受内部（空間容積内）に存在するグリースの残存率（初期封入量 1.2g に対する残存質量の比率）を求めた結果を Table 2 に示す。回転速度が高くなるとグリース残存率は低くなり、7200min⁻¹では、グリース封入形態に依らず半分以上が飛散していることがわかる。また、24時間後のグリース残存率は、初期のグリース封入形態に関係なく、ほぼ一定であることもわかる。低トルクを優先させる場合には、初期に封入するグリース量についても検討の必要性を示唆する結果となった。

Table 2 Grease residual rate within space volume (after 24 hours)

	1800min ⁻¹	3600min ⁻¹	5400min ⁻¹	7200min ⁻¹
All on cage recesses	84.3%	72.5%	60.9%	48.7%
2 locations on outer ring raceway	85.4%	75.0%	58.4%	49.8%
4 locations on outer ring raceway	82.1%	73.4%	53.4%	46.3%
All on outer ring raceway	81.2%	71.6%	57.6%	47.1%

4. おわりに

本研究では、小形玉軸受 6204 を用いて、グリースの封入状態を 4 種類変えてトルク測定を行い、トルクに及ぼすグリース封入状態の影響を実験的に明らかにした。測定時間を 24 時間にして行ったトルク測定で得られた結論を以下に記す。

- (1) グリース潤滑の 6204 のトルク特性として、安定したトルクを示す時間帯が 2 つあることが明らかになった。最初の安定したトルク領域ではチャンネリング状態になっていたと思われたが、測定時間を 24 時間まで延長させるとさらなる低トルク領域が現れることを明らかにした。
- (2) 回転速度が 5400min⁻¹までのトルクは、起動時から減少してしばらく安定したトルクを示した後、急激に減少して低いトルクとなる 2 段階の変化を示したが、低トルクを示すまでの時間は、回転速度が同じであれば外輪軌道面に封入したグリースが多いほど長い結果となっていた。
- (3) 測定時間を 24 時間とした場合には、最終的なトルクはグリース封入状態に関係なく一定の値となっていた。しかし、測定時間が 1 時間の場合では、グリース封入状態でトルクに差があり、グリースを保持器凹部に封入する方法は短時間で低トルクとなる手段として有効であることを明らかにした。

文献

- 1) 川村・藤原・大平：自動車の低燃費化に寄与する転がり軸受の新しい技術，NTN TECHNICAL REVIEW, No.87 (2019)85.
- 2) 新田・津田・新井・坂本・酒井・：転がり軸受のトルクにおけるジウレアグリースの粘性移行応力と増ちょう剤分子構造の影響，トライボロジスト，61，10 (2016)699.
- 3) 野口・東・堀田：グリース潤滑された小型玉軸受のトルク特性に関する研究（小径玉軸受 608 のトルク現状調査），設計工学，59，6(2024)275.
- 4) 野口・東・堀田：小型玉軸受 608 の 24 時間動トルク測定，日本設計工学会 2023 年度秋季研究発表講演会講演論文集(2023)111.
- 5) 日本精工株式会社：産業機械用転がり軸受，CAT.No.1103 (2016)C018.