

電動パワーステアリングのボールねじ用グリース開発（第一報）

Development of Greases for Ball Screws in Electric Power Steering Systems (Part 1)

協同油脂（正）*河内 健 （正）相馬 実波 （正）小森谷 智延 （正）野木 高 （正）董 大明

Tsuyoshi Kochi*, Minami Soma*, Tomonobu Komoriya*, Takashi Nogi*, Daming Dong*

*Kyodo Yushi Co., Ltd

1. はじめに

ハンドルの操舵力をアシストする機構であるパワーステアリングを搭載する自動車は多いが、環境面の要求や軽量化による燃費の向上のために油圧式から電動パワーステアリング（EPS）への移行が進んでいる。特に近年では、EPSの大型車への適用や自動運転制御システムの導入等の理由から、ボールねじをアシスト機構に用いたラックアシストタイプの需要が増えている。ラックアシストタイプのEPSに求められる性能として、小型化に伴う高出力化や操舵感の向上が挙げられることから、同部品用のグリースには低トルク性とトルク変動を抑制する性能が要求されるが、これらの要求性能に対し、潤滑剤のどのような特性が影響を与えるかは明確になっていない。

本報では潤滑剤によるボールねじへのトルク、およびトルク変動への影響を評価するための台上試験機を作製し、グリース評価の前段階として油による評価を行った結果について報告をする。

2. 実験

2-1. 供試油

試験に用いた油の性状を Table 1 に示す。検討には粘度の異なる 5 種類の PAO を用いており、粘度の低い順から a, b, c, d, e と略記する。

2-2. 台上試験機

ボールねじの転がり接触状態はスラスト荷重を受けた玉軸受に似ているが、玉の軌道が螺旋であること、保持器がないこと、循環機構を有するなどの特徴があるために特有のすべりが発生する¹⁾。しかし、これらを要素試験に落とし込むことは困難であることから、ボールねじの潤滑を評価するには実機を用いた評価が必要と考え、台上試験機を作製した。試験機の概略図を Fig. 1 に示す。

ねじ軸とアクチュエータをジョイントで直結させ、間にロードセルを組み込んだ。ナットにはサポート軸受を取り付け、ハウジングで外輪を固定することでナットの回転を妨げないようにした。同装置を用い、等速でねじ軸を押し引きした時の操作荷重を測定することでボールねじの潤滑性を評価した。

測定条件を Table 2 に示す。ねじ軸の速度は 1~20 mm/s の範囲で試験を行った（以降、速度はナット内の玉の転がり速度である 7.6~153 mm/s で表記する）。ボールねじは洗浄・脱脂後に組み立てた後、ねじ軸に潤滑剤を 10g 塗布し、10mm/s で 10 往復の馴らし運転を行ってから各速度条件において 5 往復操作荷重を測定した。なお、サポート軸受の洗浄は行わなかった。

Figure 2 に Oil(a) の転がり速度 7.6mm/s の測定結果を示す。操作荷重が正の値の時は往路、負の値の時は復路時の結果を示している。時折、操作荷重が跳ね上がる現象（トルク変動）を確認できる。

Table 1 Sample oils

Sample oils	a	b	c	d	e
Type	PAO				
Oil Viscosity @25°C, mPa.s	50	125	450	839	2850

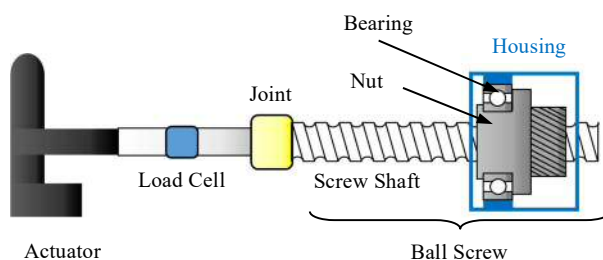


Fig. 1 Schematic of the test bench

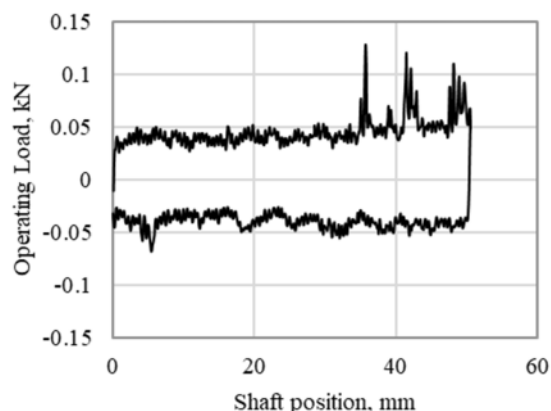


Fig. 2 Operating load versus shaft position, Oil(a), rolling speed of 7.6 mm/s

Table 2 Test conditions

Screw shaft speed, mm/s	1, 2, 4, 5, 10, 20
→ Ball rolling speed, mm/s	7.6, 15, 30, 38, 76, 153
Stroke, mm	50
Amount of oil, g	10
Temperature, °C	25

3. 測定結果の例

転がり速度および粘度の影響を確認するために、台上試験による測定結果の例として『Oil (e) の転がり速度 7.6 mm/s』『Oil (a) の転がり速度 153 mm/s』の結果をそれぞれ Fig. 3, 4 に示す。Figure 2, 3 の結果より、操作荷重は高速になるほど上昇するが、トルク変動は落ち着く傾向が見られる。また、Figure 2, 4 の結果より、油の粘度が上がるほど操作荷重は上昇するが、トルク変動は落ち着く傾向が認められた。

4. 結果・考察

ボールねじのトルクの評価は5往復の平均の操作荷重とした。また、トルク変動が発生するほど操作荷重の確率分布幅が広がると考え、トルク変動は尖度で評価した。

Figure 5 に操作荷重をまとめた結果を示す。粘度が高く、ねじ軸の速度が速いほど操作荷重が高くなる傾向が認められたことから、膜厚が影響することが示唆された。

ここで、操作荷重をボールねじ全体のトルクに換算した後、別途測定を行ったサポート軸受のトルクを差し引くことでナット部分のみのトルクに換算した結果を Fig. 6 に示す。横軸は玉とねじ軸間の膜厚とし、Hamrock-Dowson の式を用いて算出した。トルクは油膜厚さに対し、一本の曲線で近似できた。また薄い膜厚領域ではトルクはほぼ一定となるが、約 100nm 以上の油膜が形成されるとトルクの上昇が認められた。一方、トルク変動は油膜が薄いほど発生しやすくなる傾向が認められ、トルクが上昇し始める膜厚以上になると落ち着く傾向が認められた。

また、Fig. 2 の結果よりトルク変動は 6.5mm の間隔で発生する傾向が認められたが、この間隔はボールねじのリード長さと一致している。リード長さの周期で変化するボールねじの要素としては、ナット内の循環機構の位置が考えられる。先述の通り、トルク変動は油膜が薄い条件下で発生しやすいことから、潤滑不良と循環機構の存在がトルク変動に大きく関わっていると考えられる。

5. 結論

油膜を厚くすることでトルクが上昇することから、ボールねじのトルクの発生要因として転がり粘性抵抗が影響することが考えられる。また、トルクを低減させるためには油膜を薄くする必要がある一方で、ある程度の油膜を維持しなければトルクの変動が生じてしまうことから、適切な油膜を維持することが低トルクとトルク低減を両立するポイントであると考えられる。

6. 文献

- 1) 平田二郎, 二宮瑞穂: ボールねじの摩擦潤滑, 841, 23(1978), 11.

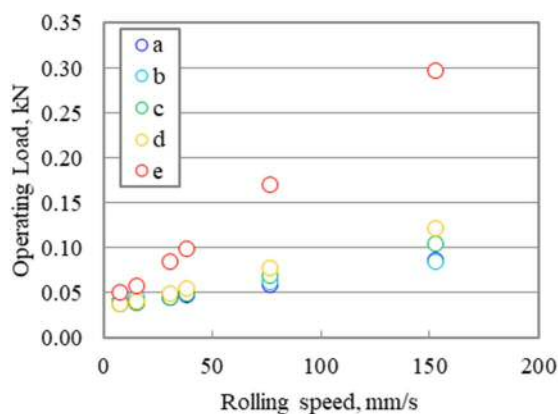


Fig. 5 Operating load versus rolling speed

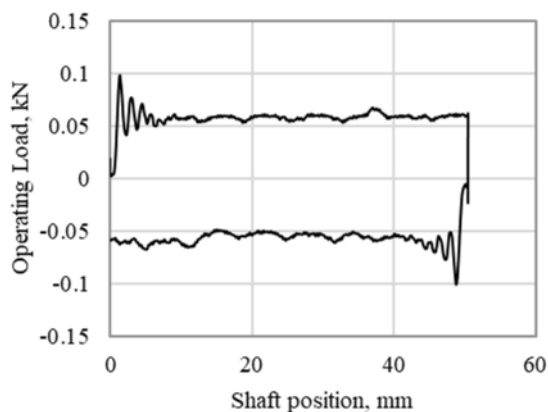


Fig. 3 Operating load versus shaft position, Oil(a), rolling speed of 153 mm/s

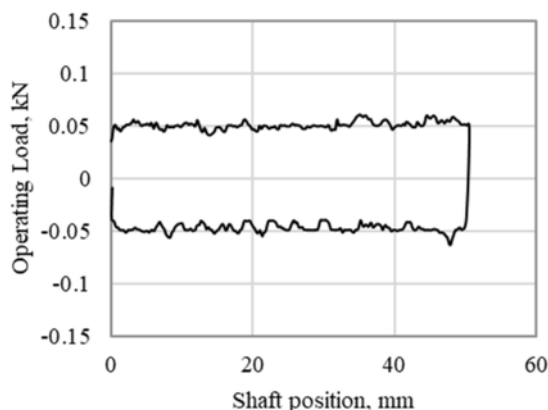


Fig. 4 Operating load versus shaft position, Oil(e), rolling speed of 7.6 mm/s

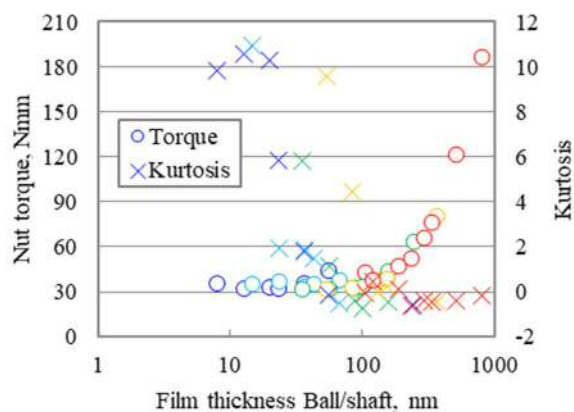


Fig. 6 Torque and kurtosis versus Ball/shaft film thickness