

# 電動パワーステアリングのボールねじ用グリース開発（第二報）

## Development of Greases for Ball Screws in Electric Power Steering Systems (Part 2)

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

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。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ており、これらの要求性能に対して潤滑剤のどのような特性が影響するかについて検討を行っている。

第一報ではボールねじのトルクとトルク変動を評価する台上試験を作製し、油による検討を行った結果、油膜が薄いほどトルクは低くなるものの、トルク変動は発生しやすい傾向が認められた。低速域において油は油膜を形成しにくい、グリースは基油に比べて厚い膜を形成する特性を有することから、低速域におけるトルク変動の抑制が期待できる。本報ではグリースによる台上評価を行うことで、トルクの発生要因を明らかにするとともに、グリースの設計方針について提案をする。

### 2. 供試グリース

グリースの油膜は、高速では基油に依存するが、低速になると基油よりも厚い膜を形成する特異な性質があることが知られている<sup>1)</sup>。この低速域におけるグリースの膜厚挙動については、数値解析によって求める検討も行われている<sup>2)</sup>。この性質を利用し、低速においても適切な油膜を維持することで低トルク化とトルク変動の低減の両立が出来ると考え、グリースによる検討を行った。Table 1 に検討に用いたグリースを示す。増ちょう剤には末端のアルキル鎖の異なる脂肪族ジウレア 2 種と、芳香族ジウレアの計 3 種類のグリースを用いた。基油は同じものを用い、混和増ちょう度を 300 程度に上げるために増ちょう剤量を調整した。

また、各グリースを光干渉油膜厚測定装置で測定した結果を Fig. 1 に示す。低速域の膜厚は  $B < A \approx C$  で高速域では  $B \approx A < C$  となった。

### 3. 台上試験結果

供試グリースを用いた台上試験の結果を Fig. 2 に示す。縦軸はナットのトルクに換算している。トルクは、低速域では  $B < A \approx C$ 、高速域では  $B \approx A < C$  となっており膜厚と同等の傾向を示していることが分かる。

横軸を油膜厚さに変換した結果を、グリース A を代表として Fig. 3 に示す。実線は前報の油のトルクの結果を近似させた曲線である。なお、玉-ねじ軸間のグリースの油膜厚さの算出には酒井らの手法<sup>3)</sup>を用いた。同じ油膜厚さで比較すると、低速域のトルクは油に比べ僅かに高い程度であったが、高速域になると油に比べ著しく高くなった。速度に依存して抵抗が高くなっていることから、攪拌抵抗の影響が示唆された。

グリースのトルク変動の結果を Fig. 4 に示す。第一報の油の結果と同様、トルクが上昇する 100nm 以下の膜厚ではトルク変動が発生するが、それ以上の膜厚ではほとんど発生しなかった。このことから、適切な膜厚を維持できる増ちょう剤を選定することで低トルクとトルク変動低減を両立出来ることが分かった。

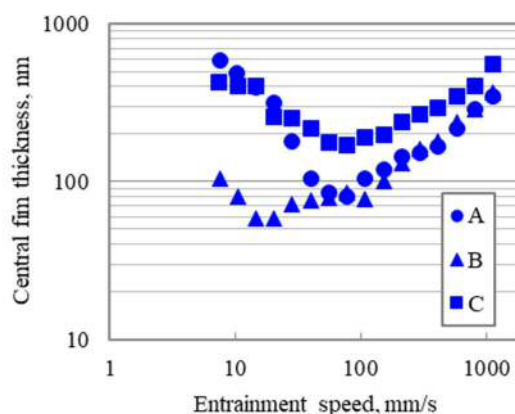


Fig. 1 Film thickness versus entrainment speed

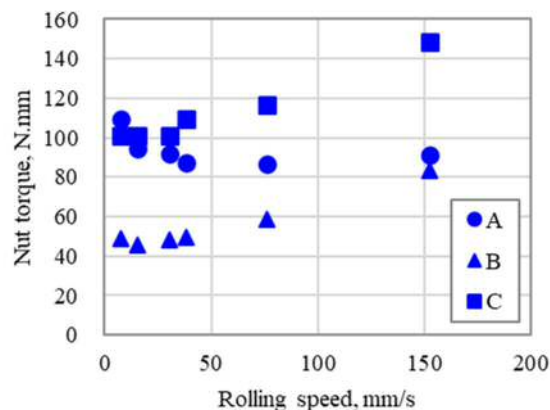


Fig. 2 Nut torque versus rolling speed

Table 1 Sample greases

| Sample greases           | A                  | B                  | C               |
|--------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Type                     | Aliphatic Diurea A | Aliphatic Diurea B | Aromatic Diurea |
| Thickener                |                    |                    |                 |
| Concentration, mass%     | 11                 | 8.5                | 20              |
| Type                     | PAO                |                    |                 |
| Base Oil                 |                    |                    |                 |
| Viscosity@25°C, mPa.s    | 50                 |                    |                 |
| Worked penetration (60W) | 299                | 299                | 308             |

#### 4. トルクの発生要因の解析

Figure 3 に実線で示した通り、トルクは油膜厚さに比例して上昇することから、発生要因の一つに転がり粘性抵抗の影響が考えられる。グリースにおいては低速域における厚膜化現象も例外では無く、Fig. 1, 2 に示した通り低速で厚膜になりやすいグリースほど高トルクとなっている。

また、Fig. 3 の結果より、同じ膜厚でも高速域になるにつれてグリースの方が油よりもトルクが高くなっていることから、攪拌抵抗の影響が考えられる。攪拌抵抗の影響を検証するためにちょう度と塗布量を変更して試験を行った。まずは、ちょう度の影響を確認するために Table 2 記載のグリースを用いた。グリース A をベースとし、ちょう度 $\pm 45$ 程度のグリースをそれぞれ調整した。台上試験の結果を Fig. 5 に示す。油との比較として基油の結果も併記した。柔らかいグリースほど全体的にトルクが下がる傾向が認められた。

また、塗布量による影響を Fig. 6 に示す。塗布量が少ないほどトルクが下がる傾向が認められた。各試験後にボールねじを分解し、グリースの塗布状態を確認したところ、塗布量が少ないほどボールねじ内のグリースが少なかったことから、掻き分けるグリースが少なくなり低トルクに繋がったものと考えられる。

以上のことから、グリースに起因するボールねじのトルクは転がり粘性抵抗と攪拌抵抗が大きく関わることが分かった。特に転がり粘性抵抗についてはグリースの低速厚膜化現象の影響も大きく関わっていることが分かった。

#### 5. まとめ

ラックアシストタイプ EPS のボールねじの条件を想定した台上試験機を作製し、低トルク化およびトルク変動低減を潤滑剤で改善する検討を行った。適切な油膜厚さを維持しつつ、攪拌抵抗を下げることでできればトルク変動を抑制しつつ、低トルクを達成することが出来ると考えられる。

今回は増ちょう剤と基油のみのグリースで検討を行ったが、適切な添加剤を加えることで、更なる性能の向上が可能であり、ラックアシストタイプ EPS の適用拡大を支える技術となることが期待できる。

#### 6. 文献

- 1) Kochi, T., Sakai, M., Nogi, T., Dong, D., Kimura Y., Experimental Study on the Physics of Thick EHL Film Formation with Grease at Low Speeds. *Tribol Lett*, **67**, 55 (2019).
- 2) 相馬実波, 野木高: グリースの低速厚膜形成メカニズムと予測技術, 月刊トライボロジー, 397, 9 (2020) 24.
- 3) 酒井雅貴等: 低速・厚膜グリースの特異な EHL 効果の検討 (第 5 報), トライボロジー会議 2018 春 東京予稿集, B14.

Table 2 Sample greases with different penetration

| Sample greases                 | A-Hard | A   | A-Soft |
|--------------------------------|--------|-----|--------|
| Type                           | A      |     |        |
| Thickener Concentration, mass% | 11.5   | 8.5 | 6      |
| Type                           | PAO    |     |        |
| Base Oil Viscosity@25°C, mPa.s | 50     |     |        |
| Worked penetration (60W)       | 261    | 299 | 347    |

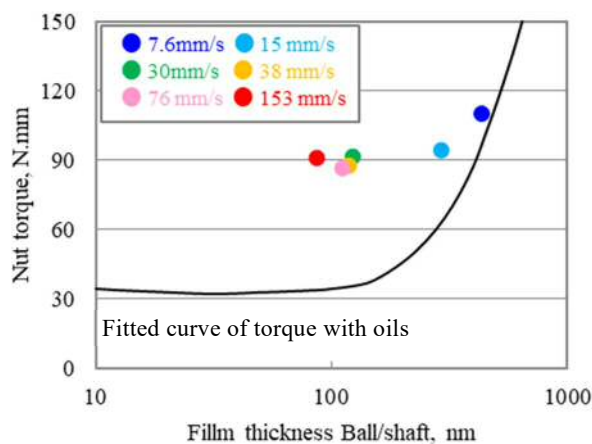


Fig. 3 Effect of rolling speed on nut torque, Grease A

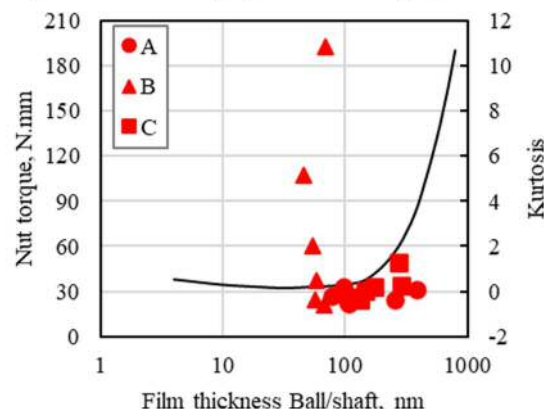


Fig. 4 Nut torque and Kurtosis versus ball/shaft film thickness

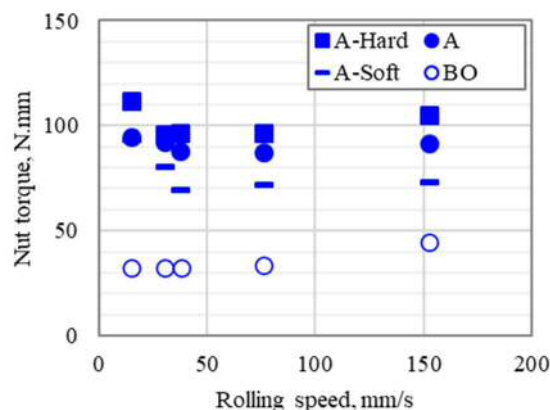


Fig. 5 Effect of grease consistency on nut torque

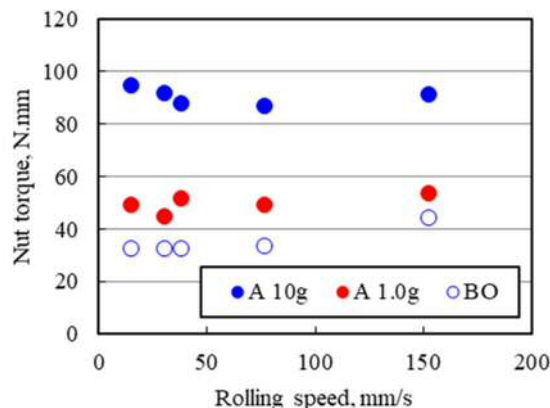


Fig. 6 Effect of amount of grease on nut torque