

## BEV 駆動ユニット用歯車の潤滑に関する研究（第 1 報） Study on Lubrication of Gears for BEV Drive Units (First Report)

（株）ジェイテクト （正）大瀧 善弘

Yoshihiro Otaki

JTEKT CORPORATION

### 1. 緒言

カーボンニュートラル実現に向けて、電気自動車（Battery Electric Vehicle; BEV）の開発が進められている。BEV の航続距離延伸のために、駆動ユニットの小型・高効率化が望まれる。小型化の方策の一つとしてモータの高速回転化が検討されているが、これによる遠心力の増大およびエアカーテンの発生により接触部の入口油量が減少し、貧潤滑状態となる恐れがある<sup>[1]</sup>。加えて、歯車は位相により面圧およびすべり率に変化するため、同一歯面内でも潤滑状態が異なりうる。このように、高速回転する歯車の潤滑は数多くの要因に支配される。そこで本研究では、接触電気抵抗（Electrical Contact Resistance: ECR）測定法に着目し、歯車回転中の潤滑状態評価を実施した。本報では、ECR と油膜厚さの関係解明、および歯車回転試験中の ECR 測定を実施したので、その結果を報告する。

### 2. 計測原理と ECR 測定の基礎検討

#### 2.1 計測原理および試験方法

ECR 測定法では、しゅう動面の接触・分離を導通・非導通により判定する。本手法は、油膜厚さ絶対値の測定は困難だが、簡便かつ高ロバストな評価技術として知られる。しかし奥村らの研究<sup>[2]</sup>では、接触と分離の中間値が観測され、その解釈が課題となっている。そこで、ECR と油膜厚さの関係解明のため、下記の試験を実施した。

試験構成を Fig. 1 に、試験条件を Table 1 に示す。ボール試験片（材質：SUJ2）とプレート試験片（材質：SS400）の間に潤滑油（シリコンオイル：KF-96-20CS、信越化学工業製 / BEV オイル：e トランスアクスルフルード TE、ENEOS 製）を介在させ、ピエゾステージにより隙間を 10 nm ピッチで制御することで、試験片間の出力電圧と油膜厚さの関係を取得した。出力電圧  $V_{out}$  と接触電気抵抗  $R_c$  の関係は次式の通りである。

$$V_{out} = \frac{R_2 R_c}{R_2 R_c + R_1 (R_2 + R_c)} V_{in} \quad (1)$$

#### 2.2 試験結果

シリコンオイルを用いた際の試験結果を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。電圧は式(1) $R_c \rightarrow \infty$ 時の理論値で規格化した。Fig. 2 の各点は測定値の時間平均である。同図より、油膜厚さの増大に伴い、電圧は増加後に一定となることがわかった。また、Fig. 3 より、明らかな接触・分離状態（A, C）では、時間的に安定な電圧値が観測されるが、それらの中間状態（B）では瞬間的な電圧低下が確認された。これは電圧印加による潤滑油の絶縁破壊現象と推察され、中間値が観測される条件では油膜によって二面が分離されているが、絶縁破壊により接触時のような低電圧が観測されたと考えられる。そこで以降の試験では、中間値は流体潤滑として扱い、接触状態の電圧から接触・分離の閾値を定めた。

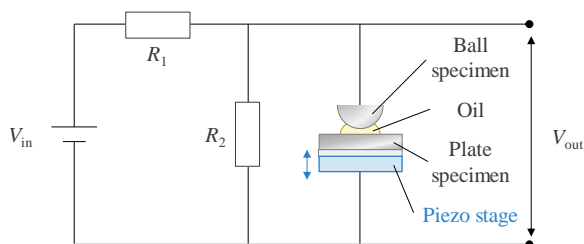


Fig.1 Schematic diagram of basic test

Table1 Test condition of basic test

Applied voltage $V_{in}$ , V	0.1
Resistance $R_1$ , $\Omega$	1000
Resistance $R_2$ , $\Omega$	10000
Sampling rate, Hz	1000
Measurement time, s	1.0
Stage movement pitch, nm	10
Number of test repetitions, times	3

### 3. 歯車回転試験

#### 3.1 試験方法

上記の評価技術を用いて、歯車の潤滑状態評価を実施した。測定には Fig. 1 の電気回路を用いた。かみ合い部の電圧信号は、回転軸をセラミック玉軸受および絶縁カップリングを用いて絶縁し、軸端のロータリーコネクタを介して取得した。歯車には表面粗さの異なる 2 種類の平歯車（モジュール 2.5, 歯数 36, 歯幅 25 mm, 材質: SCM420 浸炭焼き入れ, Sample A: Ra0.28  $\mu\text{m}$ / Sample B: Ra0.21  $\mu\text{m}$ ）を用いた。

#### 3.2 試験結果

出力電圧の時間変化を Fig. 4 に示す。測定時間は歯車のかみ合い周期で正規化し、5 歯通過分の結果を示した。同図より、かみ合い周期に応じた潤滑状態の変化、および回転速度の増加に伴う流体潤滑状態の発生頻度の増加が確認された。そこで本研究では、測定中の流体潤滑発生頻度を潤滑状態指数と定義し、歯車潤滑の評価指標に用いた。

潤滑状態指数および損失トルクの速度依存性を Fig. 5 に示す。回転速度の増加および表面粗さの低減により、潤滑状態指数の増加および損失トルクの低下が確認された。これは油膜形成による直接接触の減少とそれに伴う損失低減効果と考えられ、同指数が歯車の潤滑現象をよく表現できている証左といえる。

### 4. 結言

本報では、ECR と油膜厚さの関係解明および歯車回転時の ECR 測定を実施し、以下の知見を得た。

- 1) ECR 測定法における接触・分離の中間値は潤滑油の絶縁破壊に起因することがわかった。
- 2) 歯車試験において流体潤滑発生頻度を定義した潤滑状態指数により、潤滑現象を定性評価できることがわかった。

### 文献

- [1] K. Suzuki, K. Sakai, K. Sakai, T. Hara: Consideration on Lubrication of High-Speed Rotating Gear(First Report), JSAE Annual Congress(Spring) – Summarized Paper, (2022) 129.
- [2] 奥村・水越・松本：電気導通法による転がり接触面潤滑状態評価に於ける中間導通値の特性，日本トライボロジー学会トライボロジー会議予稿集，(2005) 459.

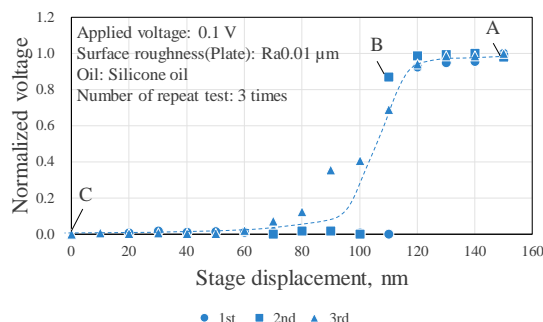


Fig. 2 Relationship between voltage and stage displacement

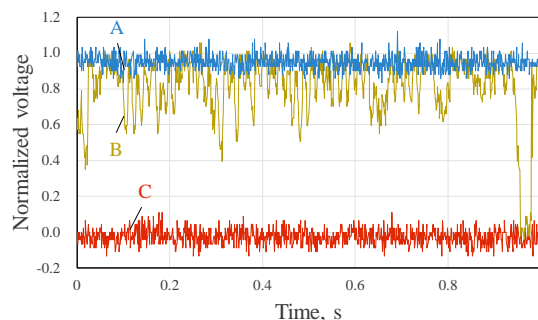


Fig. 3 Changes in output voltage for each contact state

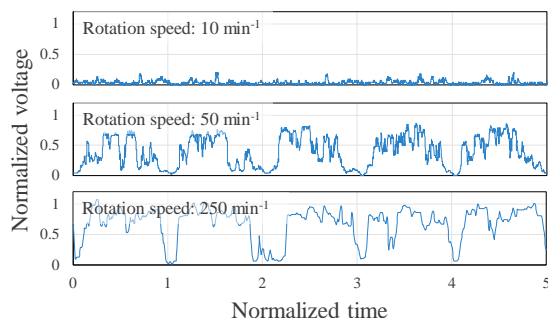


Fig. 4 Changes in output voltage of gear meshing

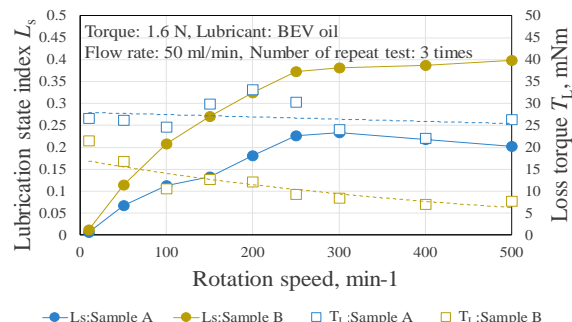


Fig. 5 Speed dependence of lubrication state and loss torque