

# AE 法を用いた転がり摩擦下の潤滑状態検知に関する研究—潤滑油粘度の影響—

## Lubrication State Detection under Rolling Friction Using AE Technique

### —Effect of Oil Viscosity—

ジェイテクト（正）\*獅子原 祐樹 埼玉工大（正）長谷 亜蘭

Yuki Shishihara\*, Alan Hase\*\*

\*JTEKT CORPORATION, \*\*Saitama Institute of Technology

## 1. はじめに

転がり軸受の摩擦トルク低減には、潤滑剤の低粘度化や少油量化が有効である。しかしながら、接触部における油膜が薄くなるため、油膜破断による短寿命化が懸念される<sup>1)</sup>。そのため、摩擦トルク低減と長寿命化の両立には、転がり軸受の潤滑状態を検知する技術が必要不可欠である。本研究では、転がり軸受の潤滑状態検知手法としてアコースティックエミッション（AE）法に着目した。AE 法は、固体の変形・破壊の際に生じる弾性波を検出する方法である。振動法など従来から広く用いられている方法よりも高感度であり、転がり軸受の疲労や焼付き等を検知する手法として有効である<sup>2,3)</sup>。本研究では、潤滑油粘度の異なる条件で転がり摩擦下の AE 信号を解析し、潤滑状態と AE 信号の相関を把握することにより、転がり摩擦下での潤滑状態検知に対する AE 法の有効性を検討した。

## 2. 試験方法

Figure 1 に試験装置の構造を示す。また、Table 1 に試験条件を示す。転がり摩擦試験は、高炭素クロム軸受鋼（SUJ2）製平板上に、同材質の鋼球 3 個を同一ピッチ円上で等間隔に配置し、軸軌道盤を介して荷重を負荷した状態で転動させた。平板-鋼球間の最大接触面圧は 4.3 GPa とした。潤滑は油浴潤滑とし、3 種類の異なる ISO 粘度グレード（VG8, VG32, VG68）の鉱油を用いた。AE センサは、転がり摩擦下で発生する AE 信号の検出感度を高めるため、平板上の鋼球転動位置近傍に設置した。AE センサが取得した信号を増幅率 50 dB で増幅し、20 kHz のハイパスフィルタによりノイズを除去した。さらに、転がり摩擦下の AE 周波数の特徴を把握するため、AE 信号原波形の周波数解析を実施した。AE 信号との比較のため、平板上に設置した加速度ピックアップにより試験中の振動を同時に測定した。試験時間は連続で 20 h とした。

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 AE 信号振幅および振動の時間変化

転がり摩擦試験中の AE 信号振幅および振動の時間変化について、潤滑油粘度の低い VG8 の油および潤滑油粘度の高い VG68 の油での結果を代表例として Fig. 2 に示す。AE 信号振幅は、どちらの潤滑油粘度の油においても、試験開始後に徐々に増加し、その後、安定する傾向を示した。また、VG8 の方が VG68 よりも試験全体を通して、AE 信号振幅が高い傾向であり、試験時間 15~20 h における AE 信号振幅の平均値は、VG8 の場合は 0.037 V、VG68 の場合は 0.023 V を示した。一方、振動はどちらの潤滑油粘度の場合でも 1.5 m/s<sup>2</sup> で安定した。以上の結果から、転がり摩擦下において、振動には表れない潤滑油粘度の違いが AE 信号振幅には認められた。

### 3.2 AE 周波数スペクトル分析

VG8・VG68 の油での結果に関して、試験終了直前の 20 h での AE 周波数スペクトルを Fig. 3 に示す。どちらの潤滑油粘度の油においても、ピーク周波数は 0.06 MHz であり、信号強度は VG8 の方が VG68 よりも高い値を示した。この付近の周波数域で発生するトライボロジー現象に関する AE 信号は、転がり摩擦下における金属表面の突起間接触に起因していることが過去に報告されている<sup>2)</sup>。このことより、本試験で得られた AE 信号の主要因が、金属表面の突

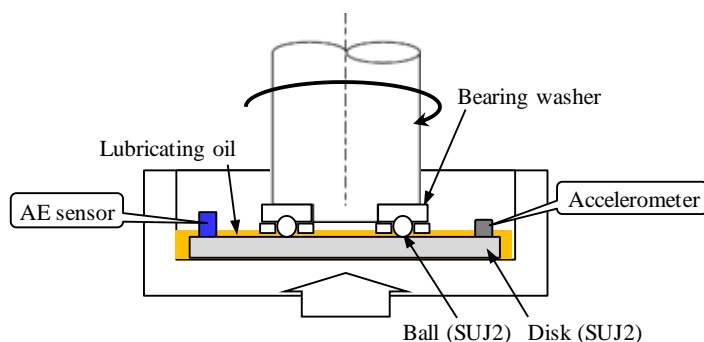


Fig. 1 Test rig for rolling test

Table 1 Test condition for rolling test

Number of ball	3
Ball diameter, mm	6.35
Load, N	980
Maximum Hertzian stress between disk and ball	4.3 GPa
Rotational speed, min <sup>-1</sup>	1200
Test time, h	20
Lubricant	Mineral oil VG8, VG32, VG68 (Non additive)

起間接触に起因すると推定し、潤滑油粘度による AE 信号強度の違いは、転がり摩擦下における突起間接触の過酷さを表していると考える。

### 3.3 油膜パラメータおよび AE 信号の相関

潤滑状態および AE 信号の相関を把握するため、本試験における油膜パラメータ  $\Lambda$  を下記の式(1)から算出し、AE 信号振幅との関係を整理した。その結果を Fig. 4 に示す。

$$\Lambda = \frac{h_0}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad (1)$$

ここで、最小油膜厚さ  $h_0$  は Hamrock-Dowson の式より算出し<sup>4)</sup>、 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  は試験後の平板および鋼球の二乗平均平方根粗さを用いた。また、AE 信号振幅の値は、試験時間 15～20 h における AE 信号振幅の平均値を用いた。

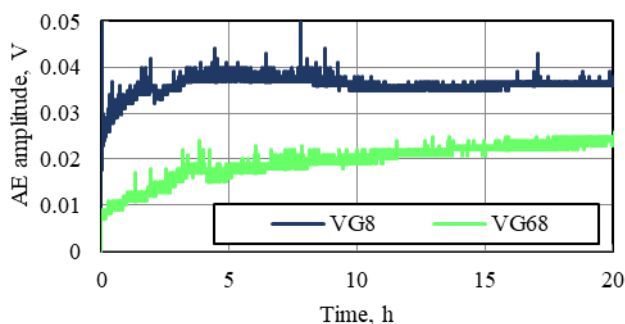
Figure 4 に示すように、油膜パラメータ  $\Lambda$  と AE 信号振幅には相関が認められ、油膜パラメータ  $\Lambda$  が低いほど AE 信号振幅が増加する傾向を示した。すべての結果において、 $\Lambda < 3$  の領域であることから、平板と鋼球の摩擦面においては突起間接触が生じている。これらのことより、突起間接触の過酷さが AE 信号振幅に含まれ、転がり摩擦下における潤滑状態検知に AE 法が有効であると考えられる。

## 4. まとめ

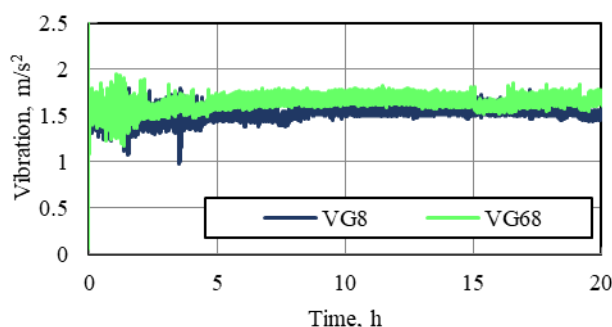
- 異なる潤滑油粘度の油を用いた転がり摩擦試験において、振動には表れない潤滑油粘度の違いが AE 信号には認められた。
- AE 周波数スペクトルには、金属表面の突起間接触に起因する 0.1 MHz 以下の周波数域にピークが認められ、潤滑油粘度が低いほど高い AE 信号強度が得られた。
- 突起間接触の過酷さを表す指標である油膜パラメータと AE 信号振幅には相関が認められ、油膜パラメータが低いほど AE 信号の振幅が高くなる傾向を示した。
- これらの結果から、突起間接触の過酷さが AE 信号振幅に含まれており、転がり摩擦下の潤滑状態検知に AE 法が有効であることが示された。

## 文献

- ジャクソン：EHL 理論についての展望，潤滑，29，3（1984）157。
- A. Hase: Early Detection and Identification of Fatigue Damage in Thrust Ball Bearings by an Acoustic Emission Technique, Lubricants, 8, 3 (2020) 37.
- 獅子原・長谷：AE 法を用いた転がり軸受の状態検知に関する研究—焼付き過程における表面変化と AE 周波数の関係—，トライボロジー会議 2022 春 東京，(2022) C24.
- B.J. Hamrock, D. Dowson: Ball Bearing Lubrication, John Wiley & Sons (1981).



(a) AE amplitude



(b) Vibration

Fig. 2 Changes in measurement signals

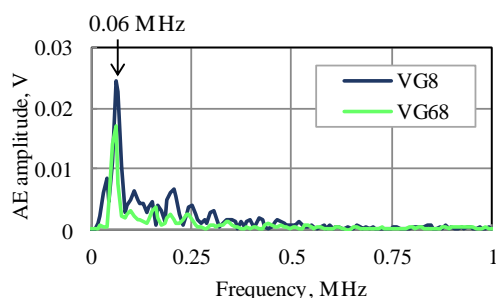


Fig. 3 Frequency spectrum of AE signal waveform

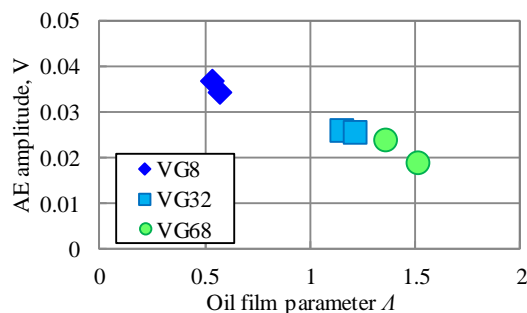


Fig. 4 Correlation between oil film parameter and AE amplitude