

# AE 法を用いた転がり軸受の状態検知に関する研究（第 2 報）

## —焼付き過程における表面変化と AE 周波数の関係—

### State Detection of Rolling Bearing Using AE Technique

#### —Relationship between Surface Changes and AE Frequency Spectra in Seizure Process—

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

近年，さまざまな産業分野においてこれまで以上に安全性，信頼性の高い機械システムへの要求が高まっている．転がり軸受をはじめとするトライボロジー部品の損傷は，システム全体の重大な故障に直結する．故障を未然に防止するためには，転がり軸受の損傷，摩耗，潤滑状態等を検知する技術が必要不可欠である．

転がり軸受の状態検知手法として，本研究ではアコースティックエミッション（AE）法に着目した．AE 法は，固体の変形や破壊の際に生じる弾性波を検出する方法である．前報では，円すいころ軸受が潤滑不良により焼付きに至る過程で発生する AE 信号を検知し，焼付きの予兆が AE 信号に表れることを明らかにしたり．本報では，潤滑不良から焼付きに至るまでの AE 周波数変化を時系列で解析し，焼付き過程における表面変化およびそれに対応した AE 周波数の特徴に関して得られた知見を報告する．

## 2. 試験方法

### 2.1 焼付き評価

本研究で用いた試験装置および試料軸受の寸法諸元を Fig. 1 および Table 1 にそれぞれ示す．試験は，試料軸受にアキシャル荷重を負荷した状態で内輪を回転させ，潤滑油の供給量を 300 ml/min から段階的に減少させることにより実施した（Table 2）．試験時間は各供給油量で 10 min 間とし，軸受外輪温度が安定していない場合は安定するまでとした．潤滑油は無添加のタービン油（ISO 粘度グレード VG68）を用いた．さらに，焼付き発生前後の軸受表面の変化を確認するため，供給油量を 1 ml/min まで減少させることにより焼付きを発生させた試験（Condition 1），および供給油量を 10 ml/min まで減少させ焼付き発生前に停止した試験（Condition 2）をそれぞれ実施した．焼付きを発生させた試験では，トルクが一定値を越えたタイミングを焼付きと判断して試験を停止した．

### 2.2 AE 計測

AE センサは，試験機本体の試料軸受近傍に設置した（Fig. 1）．試験中は温度が上昇するため，高温対応の AE センサ（型式：AE-900H-200-WP）を採用した．AE センサが取得した信号は，アンプを用いて増幅率 70 dB で増幅し，100 kHz のハイパスフィルタによりノイズを除去した．さらに，焼付き過程における AE 周波数の変化を確認するため，AE 信号原波形の周波数解析を実施した．周波数解析では，AE 周波数スペクトルの特徴を把握するため，周波数スペクトルの加重平均を表す指標である重心周波数  $f_g$  を算出した．ここで重心周波数  $f_g$  は，各周波数  $f_i$  における信号強度  $A(f_i)$  の積和を信号強度の総和で除したものであり，以下の式(1)で示される．

$$f_g = \frac{\sum_i A(f_i) \cdot f_i}{\sum_i A(f_i)} \quad (1)$$

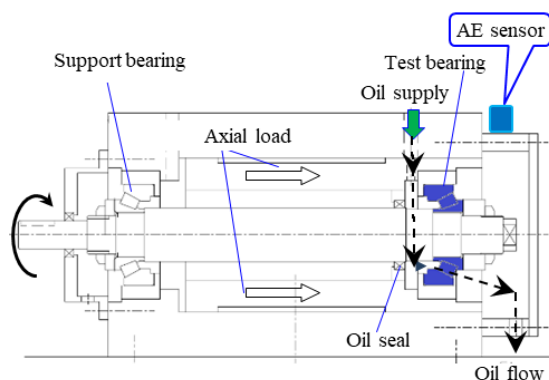


Fig. 1 Test rig

Table 1 Specification of test bearing

Inner diameter, mm	φ34.925
Outer diameter, mm	φ79.000
Bearing width, mm	31.0
Basic dynamic load rating, kN	48.0

Table 2 Test condition

Axial load, kN	26.3
Rotational speed, min <sup>-1</sup>	2500
Oil amount, ml/min	Condition 1: 300→250→200→150→ 100→50→25→10→1 Condition 2: 300→250→200→150→ 100→50→25→10
Lubricant	VG68 (Non additive)

### 3. 試験結果および考察

#### 3.1 トルクの時間変化と表面状態

試験停止直前の供給油量 10 ml/min 以降におけるトルクの時間変化を Fig. 2 に示す。また試験後に顕著な表面状態の変化が認められた内輪大つば面のレーザ顕微鏡による表面観察像および表面プロファイルを Table 3 に示す。Condition 1 では、供給油量 1 ml/min において、トルクの急激な増加が認められた。また試験後のつば面の表面には、部分的に押し潰された痕跡が認められ、その箇所は平滑になっていた。これは、ころ大端面との転がり-すべり接触において、表面突起同士の接触で発生した凝着に起因した表面変化と推定する。一方、Condition 2 では、供給油量 10 ml/min の段階で試験を停止しており、トルクの急激な増加は認められなかった。また試験後のつば面の表面には、サイクロイド状のしゅう動痕が認められており、試験実施前の表面プロファイルと比較して、表面凹凸の増加が認められたが、凝着に起因した表面変化は認められなかった。

#### 3.2 AE 周波数スペクトル分析結果

各供給油量における AE 周波数スペクトルの代表波形を Fig. 3 に示す。また、焼付き発生直前の供給油量 10~1 ml/min における重心周波数の時間変化を Fig. 4 に示す。いずれの供給油量においても、0.1~0.4 MHz 付近の周波数にピークが認められ、その信号強度が供給油量の減少と共に増加する傾向が認められた。また、供給油量 1 ml/min のみ 1.2 MHz 付近の周波数においてピークが認められた。

重心周波数は、供給油量が 1 ml/min に減少したタイミングから徐々に増加した。これは、主要ピークが高周波数側に移行することを示している。

#### 3.3 表面変化と AE 周波数の関係

焼付き発生直前までの内輪大つば面は、しゅう動痕や表面凹凸の増加などの表面変化が認められた。この時の AE 周波数に着目すると、0.1~0.4 MHz 付近の周波数域が主体であった。これらのことから、焼付き前の状態として、金属表面の突起間接触が、0.1~0.4 MHz 付近の AE 周波数ピークに表れたものと推定した。

一方、焼付き発生後の表面では、内輪大つば面に凝着の進行が認められ、AE 信号の重心周波数が高周波数側に移行する傾向が認められた。さらに、焼付き発生直前から焼付き発生に至る過程において、1.2 MHz 付近の AE 信号強度の増加を確認することができた。この AE 信号の挙動は、内輪大つば-ころ大端面の凝着に起因するものと推定し、AE 法による早期焼付きの検出の可能性が示された。

### 4. まとめ

- 1) 焼付き発生過程における内輪大つば面の表面変化を観察した結果、焼付き発生に至るまでに、しゅう動痕や表面凹凸の増加が認められ、焼付き発生後の表面には顕著な凝着痕が認められた。
- 2) AE 周波数は、0.1~0.4 MHz 付近の周波数域が主体であり、焼付き発生直前から焼付き発生に至る過程において、1.2 MHz 付近の信号強度の増加とともに、重心周波数が高周波数側に移行する傾向が認められた。
- 3) 本結果から、金属表面の突起間接触が 0.1~0.4 MHz 付近の AE 周波数ピークと対応し、内輪大つば-ころ大端面で生じた凝着の進行が AE 信号の高周波数側への移行と対応していることが明らかとなった。

### 文献

- 1) 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—焼付き予兆の検知—，トライボロジー会議 2021 秋 松江，(2021) D27。

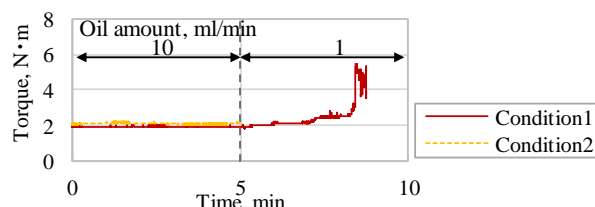


Fig. 2 Changes in torque during last 10 minutes

Table 3 Laser microscope observation images and profiles of cone back face rib

	Before test	After test	
		Condition 2 〔Before seizure〕	Condition 1 〔After seizure〕
Surface image			
Surface profile			

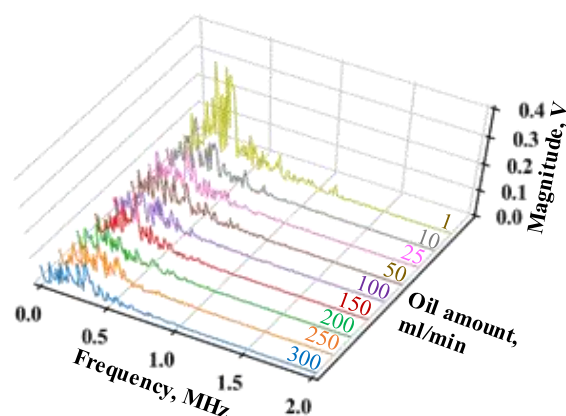


Fig. 3 Frequency spectra of AE signal waveforms

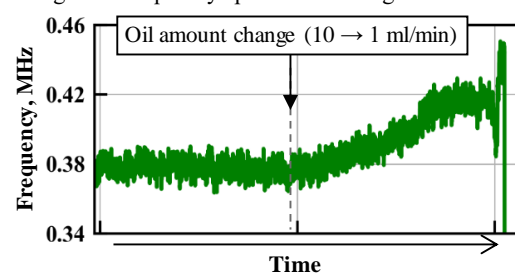


Fig. 4 Frequency center of gravity of AE signal waveforms