

AE センサによるすべり軸受の接触検知技術 第2報 -AE 信号定量指標の検討-

Detection techniques on surface contact for a journal bearing with AE sensor

2nd report - examination of quantitative indicators for AE signals -

三菱電機（正）*山田 博之 三菱電機（非）長房 智之

Hiroyuki Yamada*, Tomoyuki Nagafusa**

*Mitsubishi Electric Co. Advanced Technology R&D Center, **Mitsubishi Electric Co. Shizuoka works

1. 緒言

すべり軸受は油膜による振動減衰や静粛性、長寿命などの長所のために回転機械の主軸支持に広く用いられる重要な機械要素である。回転機械において、すべり軸受での固体接触やそれに伴う損傷、焼付きは、機械損失の増加に加えて回転機械の停止、故障を招く恐れがあり、通常は流体潤滑状態となるようにすべり軸受を設計する。しかしながら、実際の回転機械では様々な要因によってすべり軸受で固体接触が発生する場合がある。

著者らは前報¹⁾にて、AE 信号のリニアスペクトルのオーバーオール値（以降、OA 値）を用いることで、接触検知を定量的に評価可能であることを報告した。本報告では、OA 値に加え新たな定量指標として周波数スペクトルの重心周波数²⁾を評価した。また OA 値及び重心周波数を算出する AE 信号の周波数範囲が、両指標の接触検知感度に及ぼす影響についても評価を行い、その結果として得られた知見を報告する。

2. 試験

2.1 焼付き試験

Figure 1 に試験装置の概略図を示す。本試験ではハウジングの両端にすべり軸受を取付け、回転軸を支持した。軸受の諸元を Table 1 に示す。軸の一端にカップリングを介してサーボモータを取り付け、軸を回転駆動させ、カップリングとサーボモータの間にトルクメータを設け、試験中の軸トルクを計測した。軸に取付けた転がり軸受の外輪を押し上げることにより、鉛直上向きの荷重を軸に負荷した。今回、接触検知の検討にあたり、軸と軸受の確実な接触が可能となる焼付き試験を行い、荷重が低負荷の流体潤滑領域から金属接触を伴う混合潤滑を経て、焼付きに至るまでの過程における AE 信号を計測した。Table 2 に試験条件を示す。AE センサは 2 つの軸受にそれぞれ直接取り付けた。

2.2 AE 信号の定量分析

AE 信号から軸受部の接触を定量的に評価するために、AE 信号波形の FFT 分析を実施し、前報¹⁾と同様にリニアスペクトルの OA 値を求めるとともに、式(1)で定義される重心周波数を算出した。 $A(f_i)$ はリニアスペクトル強度であり、式(1)は加重平均を意味する。また Table 3 に OA 値及び重心周波数を算出する周波数領域を示す。FFT 分析の結果得られる全周波数領域に加えて、前報¹⁾で確認された接触開始時の特徴周波数である 100 k~300 kHz を含む、周波数領域を限定した条件を加えた。

$$f_g = \frac{\sum \{A(f_i) \times f_i\}}{\sum A(f_i)} \quad (1)$$

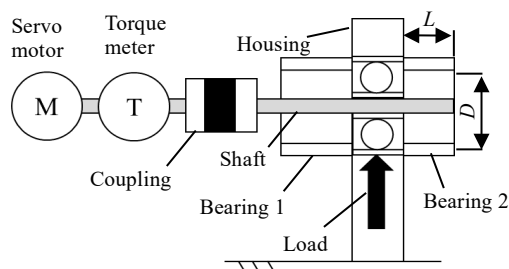


Fig. 1 Schematic diagram of a test apparatus

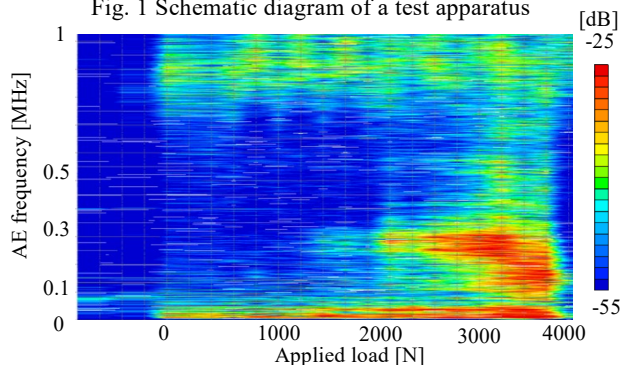


Fig. 2 FFT analysis result of AE signals in Bearing 1 during the seizure test

Table 1 Specifications of journal bearings

	Bearing 1	Bearing 2
L/D	2.15	0.97
C/R	2.25×10^{-3}	

※ L : bearing width, D : bearing diameter($=2R$), C : clearance

Table 2 Test conditions

Rotating speed [rpm]	900
Applied load [N]	0 ~ seizure, 200N step
VG rank of test oil	VG22
Temperature of supply oil [°C]	25

Table 3 Frequency-range patterns for calculation of a feature amount of AE signal

Consideration pattern	Frequency range [Hz]
(a) Full range	0 ~ 2.5 M
(b) Partial range 1	100 k ~ 1 M
(c) Partial range 2	100 k ~ 500 k

3. 結果と考察

Figure 2 に前報¹⁾ で得られた AE 信号を FFT 分析したパワースペクトルを示す。Fig.2 は軸受 1 で得られた AE 信号の分析結果であり、荷重の増加に伴って約 2000 N 付近で 100 k~300 kHz の周波数帯の信号強度が増加しており、本試験系における軸受部での金属接触を示唆する周波数成分と推察される。本周波数帯には長谷らの先行研究³⁾ が示すすべり摩擦やマイルド摩耗に起因した AE 信号の特徴周波数（約 100 kHz）を含む。Fig.3 に全周波数領域ならびに限定した周波数領域（100 k~500 kHz）で求めた軸受 1 における AE 信号の OA 値及び重心周波数の結果を示す。Fig.3 より周波数領域を限定することによって OA 値が減少する。OA 値は周波数領域におけるリニアスペクトルの総和として求めるため、全周波数帯で OA 値を求めた場合が最大となる。また、いずれの周波数範囲においても接触が発生したと推定される 2000 N 以上の荷重において OA 値が増加する傾向が確認できる。次に荷重に対する重心周波数の変化を比較すると、周波数全域で求めた重心周波数は OA 値と同様に 2000 N 前後で大きく変化しており、OA 値と同様に重心周波数もすべり軸受の接触検知を定量的に評価可能な指標と考える。一方で、周波数領域を 100 k~500 kHz に限定した場合の重心周波数は OA 値と異なり、2000N 前後での明確な変化が見られない。この要因は、Fig.2 のスペクトルにおいて接触した直後に卓越する周波数が約 300 kHz に存在しており、周波数範囲を限定した 100 k~500 kHz の中央値とほぼ一致したためであり、重心周波数を求める際の周波数範囲には注意を要する。

最後に、定量指標を算出する周波数領域が接触検知感度に及ぼす影響について言及する。Fig.3 において OA 値を求める周波数領域によって OA 値に定量的な差異が生じたため、荷重 0 N 時の OA 値を用いて各荷重の OA 値を正規化して比較を行った。Fig.4 に正規化した OA 値を示す。周波数領域を 100 k~500 kHz に限定した方が接触時（2000N）の正規化 OA 値が急峻に増加しており、接触検知感度が向上していることがわかる。また混合潤滑領域である高荷重領域における正規化 OA 値も 5 倍程度増加しており、摩擦の過酷度に対する感度も向上する。

4. 結言

OA 値及び重心周波数を算出する周波数領域が両指標の接触検知感度に及ぼす影響を評価し、以下の結論を得た。

- (1) AE 信号の OA 値は周波数領域を限定することで減少するが、接触時などの状態変化に対する感度は向上する。
- (2) AE 信号の重心周波数は接触検知の定量評価が可能であるが、重心周波数を算出する周波数範囲に注意を要する。

文献

- 1) 山田・保手浜・長房：AE センサによるすべり軸受の接触検知技術，トライボロジー会議 2022 秋福井 予稿集，(2022) C10.
- 2) 大森・大森・中村・川崎：AE 計測における F.C.O.G. 手法のリアルタイム処理化，IIC REVIEW, No.59, (2018), 11-16.
- 3) 長谷：摩耗計測の進化と可能性，トライボロジスト，vol.64(5), (2019), 277-281.

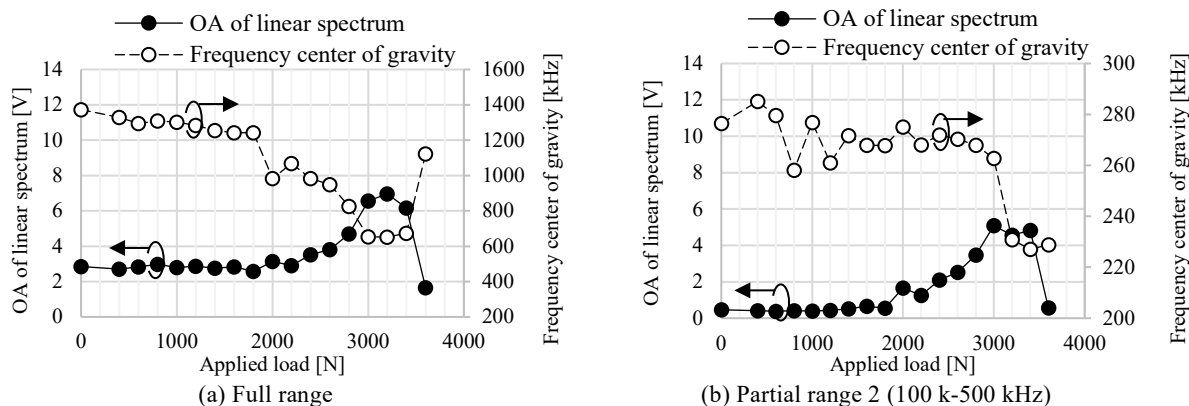


Fig. 3 Comparison of feature amounts of AE signal for each frequency range in bearing 1

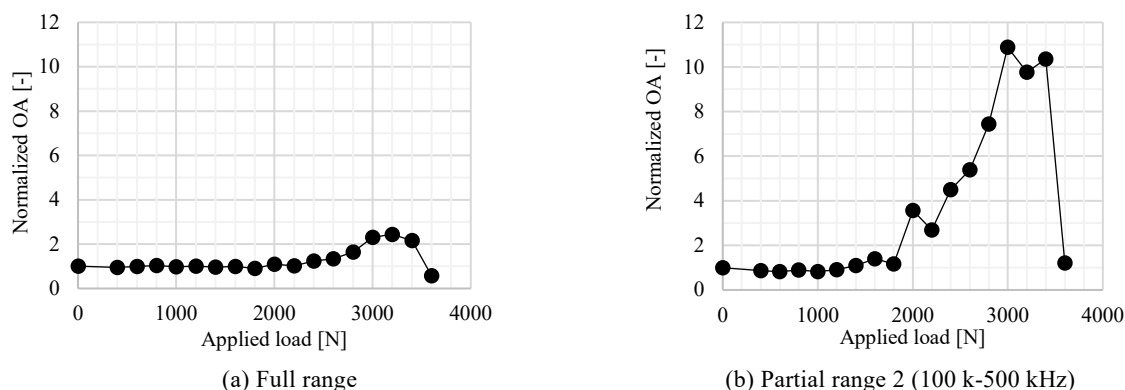


Fig. 4 Comparison of normalized OA of Linear spectrum of AE signal for each frequency range in bearing 1