

ミニチュアベアリングの損傷と AE 信号の特徴に関する研究

埼玉工業大学 ○長谷川遼, ◎長谷亜蘭

要 旨

ミニチュアベアリングは、様々な小型精密機器に使用されている重要な部品であるが、その内部の損傷を確認するのは難しい。本研究では、AE法を用いて潤滑状態の異なるミニチュアベアリングで状態監視実験を行い、ベアリングに生じる損傷とAE信号の関係を調べた。本実験で得られたAE信号原波形を周波数解析した結果、焼け付きや剥離などの損傷に起因すると思われる反応を確認することができた。

1. 緒 言

ミニチュアベアリングは、ハードディスクや計測機器、医療機器など様々な小型精密機器に使用されている。ミニチュアベアリングの異常は、機械システムの性能や寿命に大きな影響を与える。しかし、機械システム内部にあるミニチュアベアリングの損傷状態をインプロセスで確認することは困難である。また、現在ベアリングの損傷評価の主流とされている振動法では、詳細な損傷状態の評価ができない。そこで本研究では、アコースティックエミッション法（AE法：材料の変形・破壊の際に生じる弾性波を検出する手法）を用いて、ミニチュアベアリングの損傷状態の評価を試みる。

2. 実験方法および実験条件

本実験では、ミニチュアベアリング（ラジアル深溝玉軸受・薄肉タイプ）を使用した。ラジアル玉軸受の中で代表的な形式であり、ラジアル荷重だけでなくアキシャル荷重も受けることができる。表1は、本実験で使用したミニチュアベアリングの仕様である。

図1は、実験装置の概略図である。図1に示すように、上下に可動するスライダ部にベアリングホルダを固定し、供試する

表1 ミニチュアベアリングの仕様

Inside diameter (mm)	2
Outer diameter (mm)	5
Width (mm)	20
Material	Martensitic stainless steel
Basic dynamic load rating (N)	187
Basic static load rating (N)	59
Shield shape	Open system
Load direction	Radial
Raceway shape	Deep groove ball bearings

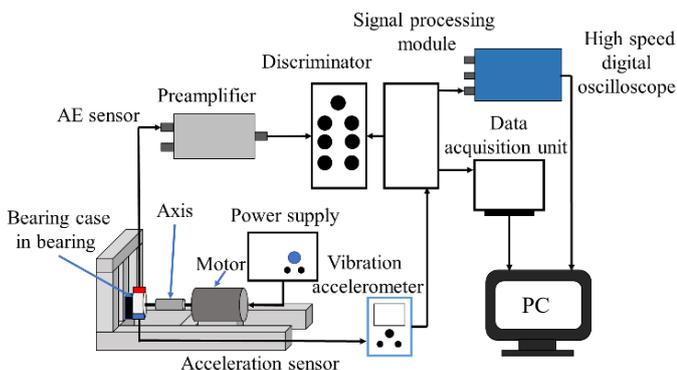


図1 実験装置の概略図

表2 AE計測条件

AE sensor	Wideband-type
AE amplification factor	40dB
High-pass filter	20 kHz
Low-pass filter	Through

ベアリングを駆動モータと軸継ぎ手を介して接続した。駆動モータは小型直流モータを使用し、回転数 12400 rpm（電圧 6 V）で回転させた。荷重として、ラジアル方向に垂直荷重（自重）0.36 Nを与えた。ここで、ベアリングホルダの上下に AE センサおよび加速度センサを取り付け、AE 信号および振動加速度を計測した。表2に示す条件で AE 信号計測を行い、検出した AE 信号原波形の周波数解析を行った。実験終了後、ベアリングを解体し、光学顕微鏡を用いて外輪、内輪、転動体の表面観察を行い、実験前と実験後の状態の比較を行った。また、周波数スペクトルと観察したベアリングの損傷状態についての関係性を検討した。なお、実験は潤滑時と無潤滑時、炭化ケイ素粒子（SiC 粒径 50 nm）混入時で実験を行い、正常回転時と異常回転時の比較を行った。

3. 実験結果および考察

図2は、実験前および実験後のミニチュアベアリングの表面

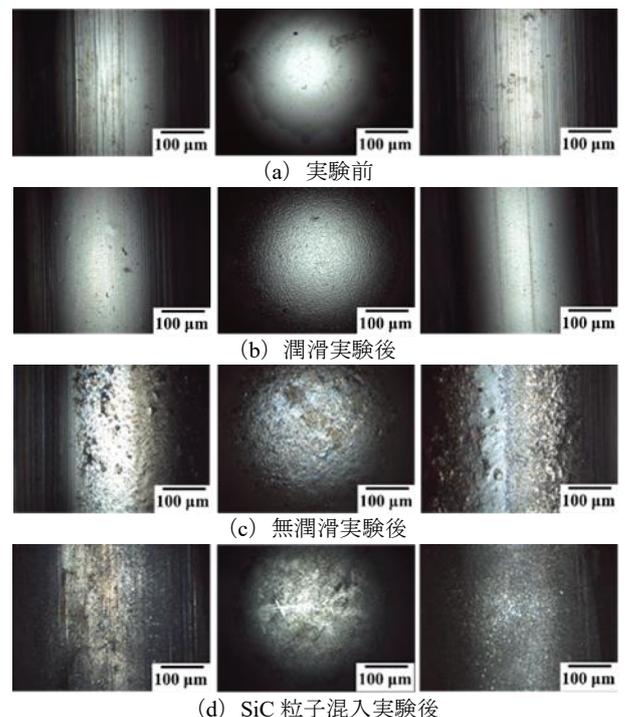


図2 ベアリング構成部品の顕微鏡観察写真（左：外輪、中央：転動体、右：内輪）

観察結果である。潤滑時 (b) は、実験前の状態 (a) と比較して、内輪および外輪の摺動面が滑らかになっているのみで、損傷はみられなかった。無潤滑時 (c) は、摺動部に焼け付きの発生や凝着による凹凸が確認された。SiC 粒子混入時 (d) は、摺動部が摩耗して荒れていることがわかる。

図 3 は、ベアリング回転時の振動加速度変化の比較である。振動加速度計測では、実験開始 150 秒までは潤滑時と無潤滑時で大きな違いはみられなかったが、150 秒以降に無潤滑時は回転が不安定になり値も大きくなっている。SiC 粒子混入時は、転動体と摺動面の隙間に SiC 粒子が入り込んだことで装置自体が大きく揺れ、潤滑状態や無潤滑状態と比べ値が大きくなっている。

図 4 は、AE 信号最大振幅変化の比較である。この AE 信号最大振幅値から、潤滑時は 1 V 程度と常に小さい値であるのに対して、無潤滑時は 2 V を超えるような大きい値を示している。SiC 粒子混入時も潤滑時に比べ値が大きく、1 V を超える値を多く確認できる。これらの結果から、AE 信号振幅値が大きく変化する際はベアリング摺動面で異常が発生していると考えられ、振動加速度と比べて早い段階で異常が予測できると言える。

図 5~7 は、それぞれ潤滑時、無潤滑時、SiC 粒子混入時の AE 信号原波形の周波数スペクトルである。潤滑時は 0.1 MHz 付近に周波数ピークを確認することができ、0.1 MHz を超える周波数にはほとんど確認できない。この潤滑時にはベアリングに大きな損傷がみられなかったことから、転動体が回転することで生じる転がり摩擦による反応と考える。無潤滑時には 0.2~0.4 MHz に大きな反応が確認でき、時間経過により大きくなっている。これは、塑性変形の進行に伴う隙間過小によって、この周波数域に大きな反応が現れたと考える。また、回転後期には 0.4 MHz 以降にも反応が確認された。図 2 (c) および AE 周波数-摩耗形態の相関マップ¹⁾から、0.4~1 MHz の反応は凝着物による摩耗、1~1.3 MHz の反応は潤滑不良により生じた焼け付きの可能性が考えられる。SiC 粒子混入時は 0.1 MHz 以下に大きな反応があるが、潤滑時に比べて広範囲に周波数のピークが確認できる。これは、SiC 粒子の介在による摩擦現象が原因と考える。

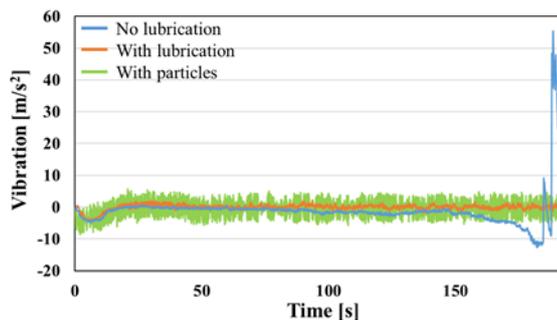


図 3 実験終了までの振動加速度変化の比較

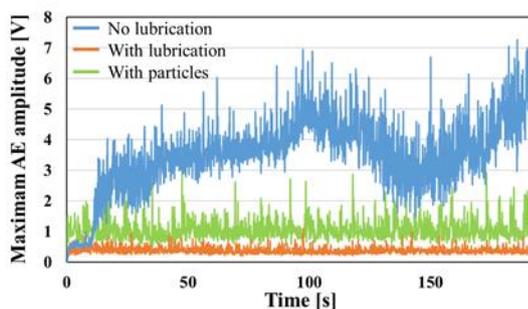


図 4 実験終了までの AE 信号最大振幅変化の比較

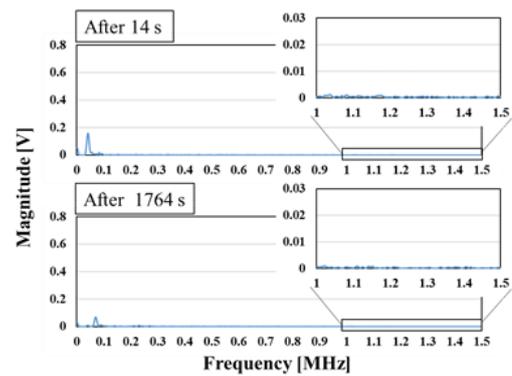


図 5 潤滑実験における AE 信号周波数スペクトル

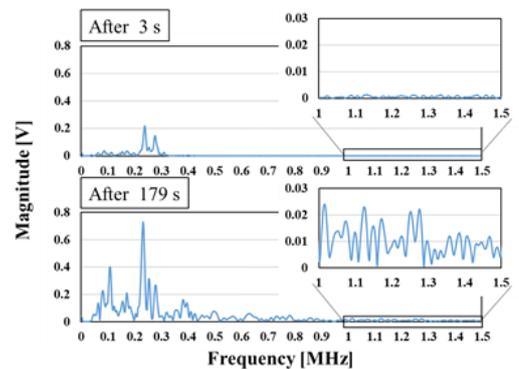


図 6 無潤滑実験における AE 信号周波数スペクトル

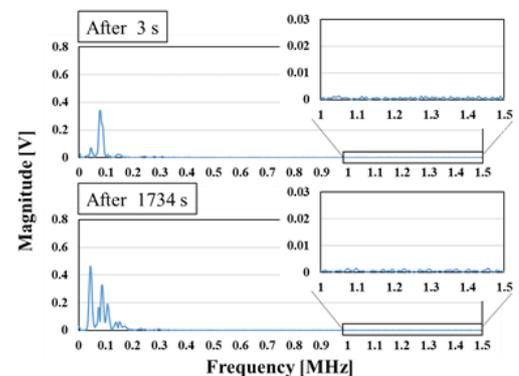


図 7 SiC 粒子混入実験における AE 信号周波数スペクトル

4. 結 言

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 顕微鏡観察の結果、潤滑時は摺動面が滑らかになり、無潤滑時には焼け付きや凝着が確認でき、SiC 粒子混入時は摩耗で荒れることがわかった。
- (2) 振動加速度計測の結果、回転が不安定になるときのみ値が大きく変動することがわかった。
- (3) AE 信号計測の結果、潤滑時は AE 信号振幅値が小さく、0.1 MHz 以下に反応がみられるのに対して、無潤滑時は AE 信号振幅値が大きく、0.2 MHz 以上にも反応がみられた。SiC 粒子混入時も潤滑時に比べ AE 信号振幅値が大きく、0.1 MHz 以下に複数の反応がみられた。

参考文献

- 1) 長谷重蘭：摩耗計測の進化と可能性，トライボロジスト，64 巻，5 号，pp.277-281 (2019)