

ミニチュア軸受に生じた損傷モードと AE 信号の特徴に関する研究

埼玉工業大学 ○井上隆斗, ◎長谷亜蘭

要 旨

本研究では、アコースティックエミッション法 (AE法) を用いることで、ミニチュア軸受内部に発生した損傷モードをインプロセスで計測・評価することを目的としている。今回は、潤滑、無潤滑、粒子混入による実験条件下で正常時と異常時の比較実験を行い、実験終了後にミニチュア軸受の摺動面の状態観察を行った。AE信号解析の結果、AE信号振幅値が増加およびAE信号原波形の周波数ピークが変化する際に、軸受内部で異常が起きていることがわかった。

1. 緒 言

ミニチュア軸受の定義は、外径が 9 mm 未満の軸受とされている。現在、ミニチュア軸受は計測器やハードディスクなどの様々な小型精密機器に使用されており、ミニチュア軸受の異常は、機械製品の寿命や性能に大きな影響を与える。しかしながら、軸受は機械内部に使用されている場合がほとんどであり、軸受の内部の状態を確認することは非常に難しい。また、ミニチュア軸受の場合、小型であるため従来の方法での評価も難しい。そこで、アコースティックエミッション法 (AE法) を用いることで、ミニチュア軸受内部に発生した損傷モードを評価する。

2. 実験方法および実験条件

本実験では、ミニチュア軸受 (ラジアル深溝玉軸受・薄肉タイプ) を使用した。表 1 は、今回使用したミニチュア軸受の仕様である。ラジアル玉軸受の中でも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。

図 1 は、実験装置の概略図である。図 1 のように、モータ軸に軸継ぎ手を介してミニチュア軸受を取り付け、上下に可動する治具に固定した。駆動モータは小型直流モータを使用し、回転数は 12100 rpm (電圧 6 V)、荷重は垂直荷重 0.32 N (自重) を与えた。

表 1 ミニチュアベアリングの仕様

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

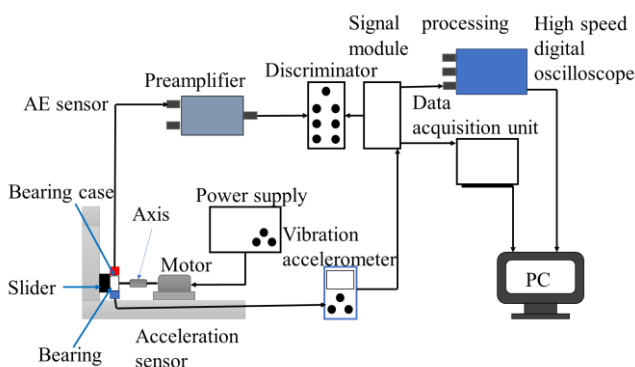


図 1 実験装置の概略図

表 2 AE 計測条件

Frequency characteristic	0.5~4 MHz
AE amplification factor	40 dB
High pass filter	20 kHz
Low pass filter	.. Through ..

また、治具の上下に AE センサおよび加速度センサを設置し、AE 信号および振動加速度を計測した。表 2 に示す AE 計測条件で実験を行い、AE 信号振幅パラメータの計測と検出された AE 信号原波形の周波数解析を行った。実験終了後、光学顕微鏡を用いて外輪、内輪、転動体の状態観察を行い、実験前と実験後の状態比較を行った。そして、AE 周波数スペクトルと観察したミニチュア軸受の損傷状態の関係性を検討した。なお実験は、毎回新品の軸受を使用し、潤滑時、無潤滑時、炭化ケイ素粒子 (SiC 粒径: 2~3 μm) 混入時で実験を行い、正常時と異常時の比較を行った。

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軸受の表面観察結果

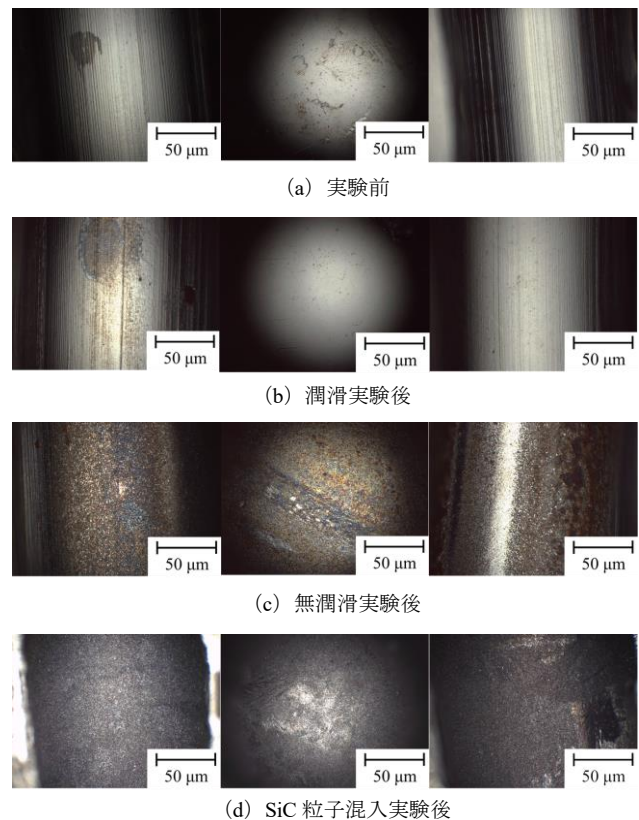


図 2 ベアリング構成部品の顕微鏡観察写真 (左: 外輪, 中央: 転動体, 右: 内輪)

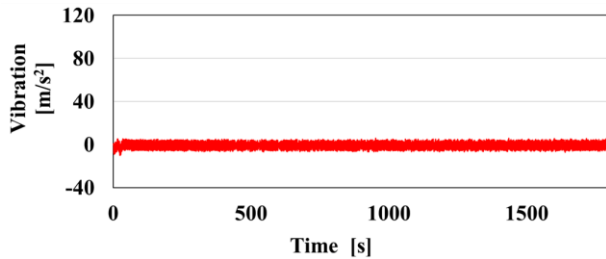


図3 潤滑時の振動加速度の変化

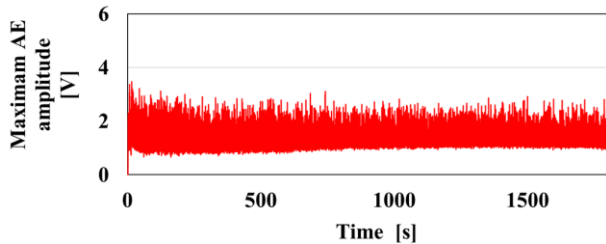


図4 潤滑時 AE 信号最大振幅の変化

である。潤滑時 (b) では 30 分以上正常に回転を続け、実験前の状態 (a) と比較すると、損傷は確認されず、表面は滑らかであった。無潤滑時 (c) では 390 秒経過したあたりで回転が停止し、表面には焼付きのような痕が確認された。SiC 粒子混入時 (d) では、外輪、転動体、内輪の表面が黒く、細かい凹凸が確認された。

図3および図4は、潤滑時の振動加速度および AE 最大振幅の変化である。この結果から、振動加速度には大きな変化は見られないのに対し、AE 最大振幅には突発的な変化が含まれていることがわかる。これは、微視的な損傷の発生を捉えていると考える。

図5および図6は、無潤滑および SiC 粒子混入時の振動加速度および AE 最大振幅の変化である。図5の振動加速度の変化においては、370 秒までは大きな変化は見られないが、無潤滑時は 370 秒以降に回転状態が不安定になり、値が大きくなっていることがわかる。転動体と摺動面の隙間に SiC 粒子や摩耗粒子が入り込んだことで軸受が大きく振動し、潤滑状態と比べて値が大きくなったと考える。

一方、図4と図6の AE 最大振幅の変化から、潤滑時は 2.5 V 程に収まっているのに対し、無潤滑時は 4 V を超えるような大きな値が確認された。また、図6の SiC 粒子混入時の実験開始直後は 2.5 V 付近の値であったが、時間が経過するとともに変動が大きくなっており、4 V を超える値も確認された。

以上のことから、AE 最大振幅が大きくなる際には軸受に損傷が発生していると考えられ、振動加速度の計測に比べ早期の段階で異常を予測できると考える。

図7~9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 以下に周波数ピークが確認され、0.1 MHz を超える周波数ピークはほとんど確認されないことがわかる。先に述べたように、潤滑時には大きな損傷が確認されなかったから、転動体の転がり摩擦による AE 信号の特徴と考える。無潤滑時では、0.2 V を超える周波数ピークが 0.1 MHz および 0.3 MHz 付近に確認され、時間経過により大きくなっている。これらの変化は、潤滑不良によって生じた損傷の進行 (焼付きの予兆) によるものと考えられる。SiC 粒子混入時には、実験開始初期に 0.1 MHz 以下に周波数ピークが確認され、実験終了付近では 0.1 MHz 以上に 0.2 V を超える周波数ピークが複数確認された。よって、SiC 粒が軸受の部品の隙間に入り外輪、内輪、転動体の表面を攻撃したことにより、これらのピークが現れたと考える。このように、異常時の周波数スペクトルには、正常時には見られない中周波のピークが確認されることがわ

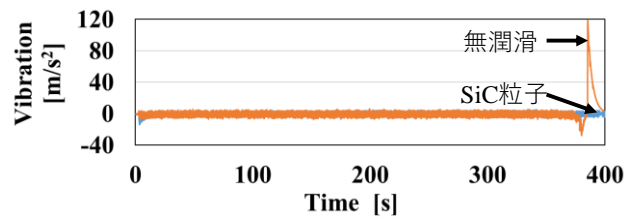


図5 無潤滑および SiC 粒子混入時の振動加速度の変化

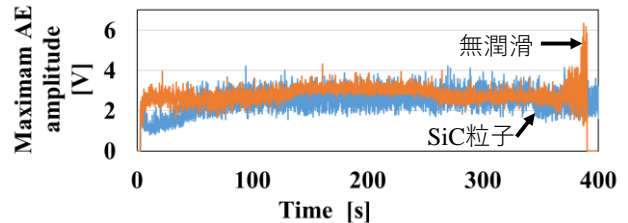


図6 無潤滑および SiC 粒子混入時の AE 最大振幅の変化

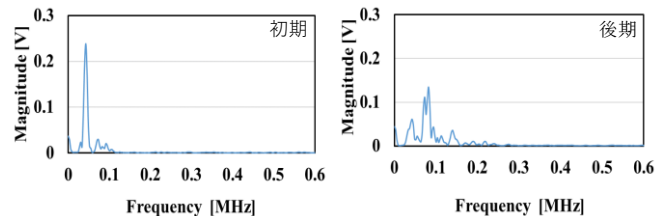


図7 潤滑実験で取得された AE 信号周波数スペクトル

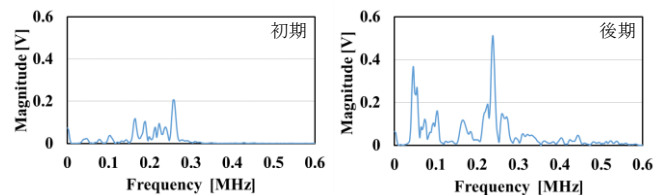


図8 無潤滑実験で取得された AE 信号周波数スペクトル

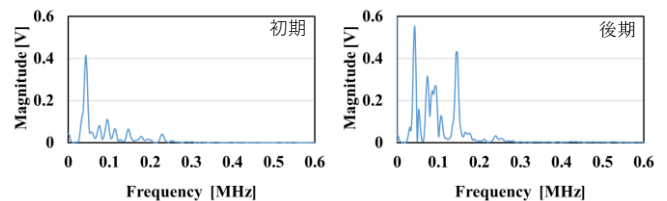


図9 SiC 粒子混入実験で取得された AE 信号周波数スペクトル

かった。したがって、AE 振幅値および周波数変化から軸受内部の損傷モードを評価できる可能性があると考えられる。

4. 結言

本研究では、ミニチュア軸受の損傷モードをインプロセス計測・評価するために、潤滑時、無潤滑時、SiC粒子混入時のAE信号の特徴を調査した。得られた結論は以下のとおりである。

- (1) AE計測の結果、AE振幅値が増加している時には、軸受内部に異常が起きていることがわかった。
- (2) 異常時の周波数スペクトルには、正常時にはみられない中周波のピークが確認され、AE信号周波数変化から軸受内部の損傷モードを評価できる可能性を見いだせた。