

AE法を用いたミニチュアベアリングの寿命予測に関する研究

埼玉工業大学 ○高梨勝斗, ◎長谷亜蘭

要 旨

ミニチュアベアリングは、あらゆる小型機械の回転軸を支える重要な機械要素部品である。本研究では、そのミニチュアベアリングの損傷をアコースティックエミッション法（AE法）によって検出し、寿命予測への応用を図る。本実験で得られたAE信号波形から、寿命試験の継続につれてAE信号振幅値が大きくなることがわかった。また、潤滑状態の違いについて波形の周波数解析を実施し、損傷予測に有効な周波数成分を見いだすことができた。

1. 緒 言

ミニチュアベアリングは、あらゆる機械の回転を支え、機械の運動性能や寿命に大きく関わる。そこで本研究では、摩擦・摩耗状態の詳細な計測・評価のためにアコースティックエミッション（AE：材料の変形・破壊時に生じる弾性応力波）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。ミニチュアベアリングの寿命予測を目指し、破壊される寸前の予兆をAE法によって判断する。また、無潤滑・潤滑時の原波形の周波数解析を実施し、ミニチュアベアリングの損傷状態との関係を調査・検討する。AE信号を計測し、周波数解析からどの回転数でどのような損傷状態が起こっているのか、またミニチュアベアリング内の潤滑状態の判別や損傷部位の特定を行い、実験を行ったミニチュアベアリングの内部を観察し、正常の軸受との違いを比較・検討する。

2. 実験方法

本実験で使用する材料は、ミニチュアベアリング Lシリーズ（ラジアル深溝玉軸受・薄肉タイプ）であり、ラジアル玉軸受の中で最も代表的な形式である。ラジアル荷重の他、両方向のアキシャル荷重を受けることができる。表1は、使用したミニチュアベアリングの詳細である。毎回実験を行う際には、新品の軸受を使用した。また、小型直流モーターを使用して、適正負荷 5,800 r/min の回転速度で実験を実施した。モーター駆動電圧は、適正電圧 3 V とした。本実験では、潤滑と無潤滑の比較実験を行った。

図1は、実験装置の概略図である。図1のように軸受固定治具の上部にAEセンサを取り付けた。ミニチュアベアリングは固定治具の中に固定し、回転する際にAE信号が計測できるようにしている。表2は、AE計測条件である。また、モーターは回転する際に振動しないように固定した。ミニチュアベアリングは、潤滑した状態と無潤滑した状態で回転させ、比較実験を行った。回転する際に起きたAE信号原波形を計測し、その周波数スペクトルを調査した。潤滑と無潤滑時のAE信号振幅変化も同時に計測し、ベアリング内の損傷部位や状態の違いを比較・検討することが本実験の目的となっている。

表1 ミニチュアベアリング詳細

| | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Inside diameter (ϕ mm) | 2 |
| Outer diameter (ϕ mm) | 5 |
| Width (mm) | 16 |
| 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 bearing |

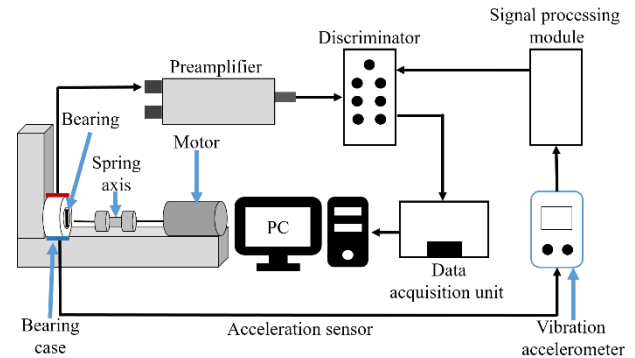


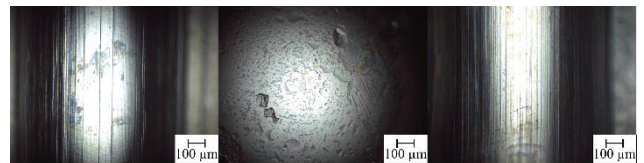
図1 実験装置

表2 AE計測条件

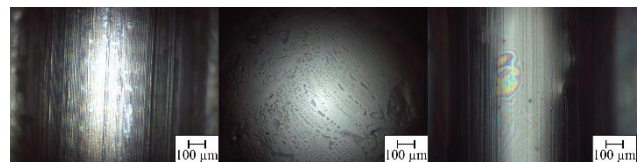
| | |
|-------------------------|------------------------|
| AE amplification factor | 40dB |
| AE filter | 20 kHz HPF THRU LPF |

3. 実験結果および考察

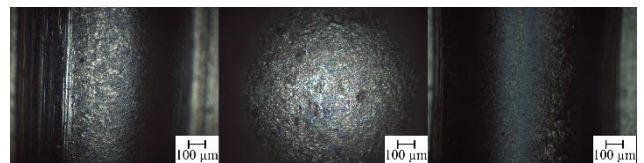
実験の結果、図2～4の結果を得ることができた。潤滑状態のベアリングは25分間の実験後、無潤滑状態のベアリングは15分間の実験後に回転不良により実験を停止した。図2は、各条件のベ



(a) 新品（実験前）



(b) 潤滑状態実験後（実験開始25分後）



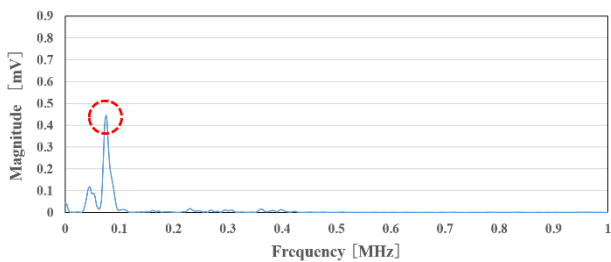
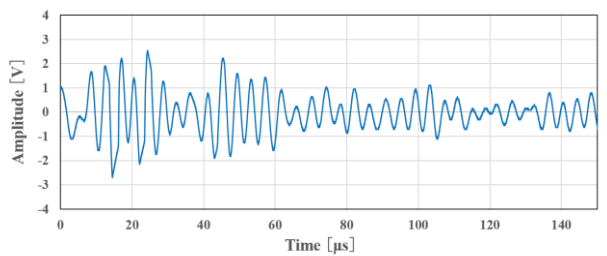
(c) 無潤滑状態実験後（実験開始15分後）

図2 顕微鏡観察結果（左：外輪 中央：転動体 右：内輪）

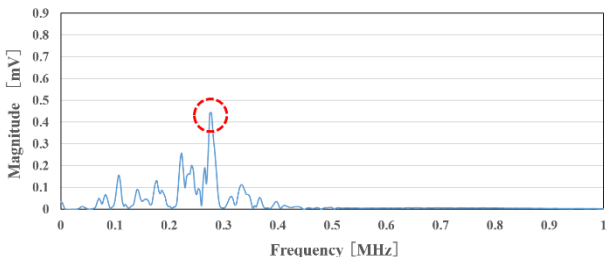
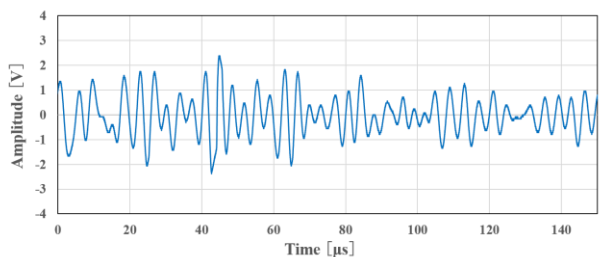
アリング部品の顕微鏡観察結果である。図3は、潤滑状態の正常回転時と損傷状態が確認できた AE 信号原波形とその時の周波数スペクトルである。図4は、無潤滑状態における周波数スペクトルである。

図2(c)の無潤滑状態実験後では、潤滑状態のベアリング部品と比べて、焼け付きの損傷状態がみられた。外輪および内輪に新品の部品と比べて、黒く色づいていることがわかる。これは転動体が外輪、内輪での転走の跡がついたことによって黒く色づいたと考える。このように、明らかな焼け付きの損傷状態が外輪、転動体、内輪のすべてに確認された。これは、明らかな潤滑不良が原因だとはいえる。

図3の(a)の丸部で示すように、周波数0.07 MHzで反応がみられた。このように0.1 MHz以下の反応が多くみられ、潤滑状態における0.1 MHz以下の反応は回転が安定し、正常に回転している状態と考えられる。一方、図3(b)の丸部で示すように、0.27 MHzで反応がみられた。正常回転時0.1 MHz以下に対し、0.2 MHz付近での反応が多くみられるのは回転を続けると、転動体と外輪、内輪における塑性変形や疲労に伴う表面損傷が進行していった結果と考えられる。

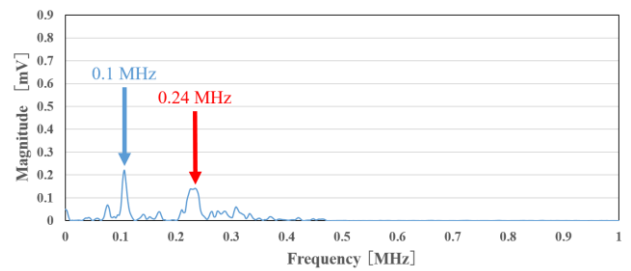


(a) 正常回転時 (実験開始 31.7 秒)

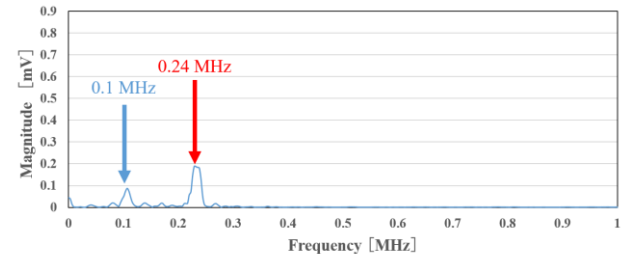


(b) 損傷状態時 (実験開始 11 分 53.3 秒)

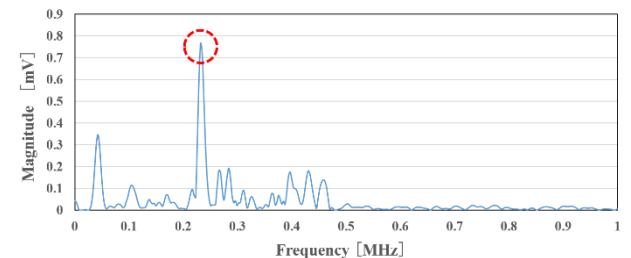
図3 潤滑状態における AE 信号原波形と周波数スペクトル



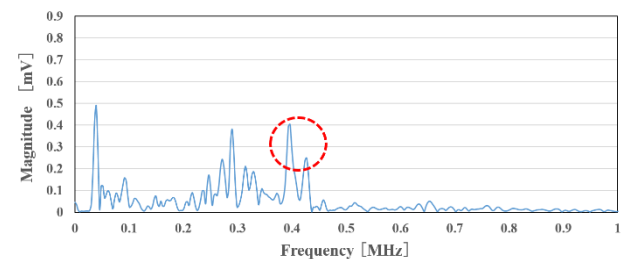
(a) 回転初期 (実験開始 4 秒)



(b) 回転中期 (実験開始 8 秒)



(c) 突発的 AE (実験開始 9 分 35 秒)



(d) 回転停止 (実験開始 15 分)

図4 無潤滑状態における周波数スペクトル

図4(a)では、0.1 MHzと0.24 MHzで反応がみられた。初期なじみの現象によって0.1 MHzでの反応が大きくみられたが、図4(b)では転動体と外輪、内輪の隙間の過小によって0.24 MHzでの反応が大きくなると考える。図4(c)は、無潤滑状態における損傷現象が起きたときの周波数スペクトルの特徴である。突発的な反応が0.24 MHzでみられた。これは、ベアリング内で転動体と外輪、内輪における焼け付きの損傷現象が起きたことによって、突発的な周波数スペクトルの反応がみられたと考える。図4(d)は、回転が停止した直前の周波数スペクトルである。図4(a)の回転初期に比べると、周波数が大きいために、これは、無潤滑状態での疲労損傷が大きいために考える。

5. 結言

本研究では、ミニチュアベアリングの寿命予知を AE 法によって実験・検討した。その結果、潤滑状態の違いで損傷状態の違いをみる事ができた。AE 周波数が大きくなるとベアリング部品に損傷状態が起きていることがわかった。損傷状態と AE 周波数の大きさは相関があると考えられる。