

# 電磁診断技術による異物混入ベアリングの挙動測定

Electromagnetic Nondestructive Detection for Ball Bearings Contaminated Extraneous Substances

株式会社 IIU	萱田 良	Ryo KAYATA	Non Member
株式会社 IIU	黄 皓宇	Haoyu HUANG	Member
東京大学大学院	遊佐 訓孝	Noritaka YUSA	Member

The epochal electromagnetic nondestructive detection method was proposed. In this method a permanent magnet is utilized to generate a static magnetic field and a coil with several hundred turns is used to detect the eddy currents induced inside the ball bearings. In the present study the method is applied to observed and evaluate ball bearings contaminated extraneous substances. Experimental validations are carried out using a common ball bearing. A wound and the malfunction of bearings are well detected by the method in spite of the presence of a metallic case and a large lift-off. Comparing the signals from a normal bearing with ones from bearings with contaminated by 0.01mm to 0.1mm radius of fine silicon carbide, it can be seen that the signal voltage becomes higher in accordance with enhanced the radius. From these results the relationship between the signal voltage and extraneous substance radius is expected to be obtained.

Keywords: ball bearings, electromagnetic field, eddy currents

## 1. 緒言

電力自由化を迎え、発電設備の保守業務は、設備の信頼性維持と経済性の同時追求が求められており、保全方式も TBM (Time Based Maintenance: 時間基準保全) に CBM (Condition Based Maintenance: 状態監視保全) を複合させるなど、最適な保全方式が検討されている。

最適な保全方式を実施するためには、設備の劣化状態を的確に把握できる設備診断技術が必要である。現在、原子力発電所を含む原子力施設の保守現場では、振動測定による機器の異常診断法が導入されつつある。振動測定による機器監視は長い歴史を持っており、そのデータベースは膨大な量が蓄積され、カテゴリ化されており、言わば、成熟した技術である。しかしながら、回転機器を対象とした振動測定では、複数の回転体・欠陥が存在した場合の診断が困難であること、また、部位によっては振動測定データに異常状態が反映されない場合もある。等の課題に対して解決に限界があると認識されている。そのため、これらの課題を解決できる回転機器に対する新たな状態監視技術の開発が望まれている。

回転機器に対する新たな状態監視技術として、電磁診断技術が挙げられる<sup>[1-4]</sup>。

特に、回転機器の主要な劣化がベアリングであるこ

連絡先: 萱田 良、〒110-0008 東京都台東区池之端 2-7-17、株式会社 IIU、電話: 03-5814-5350、kayata@iiu.co.jp

と考慮すると、ベアリングの新たな劣化診断技術として電磁診断技術が適していると考えられる。

本研究は、電磁診断技術の劣化診断への適用の一環として実施されたもので、電磁診断技術をベアリングに適用した場合について検討したものである。回転機の不具合事象として挙げられる異物の混入したベアリングを対象としたものである。異物の混入はベアリングの耐荷重性能を低下させ寿命を短くする原因となる。本研究では、異物を混入させたベアリングの挙動を電磁診断技術を用いて測定し、異物の粒径と電磁信号との関係を明らかにすることを目的とする。

## 2. 原理

導電体が静磁場を横切ることによって導電体表面に

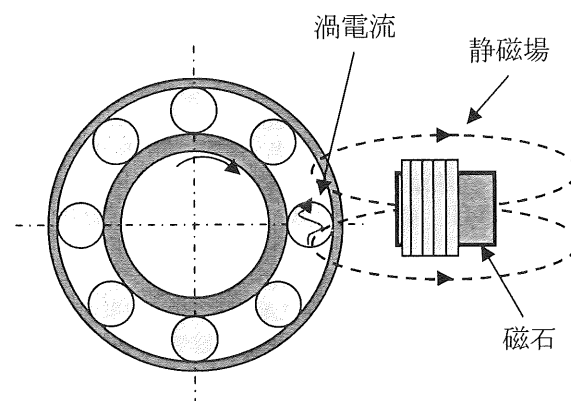


Fig.1 測定原理

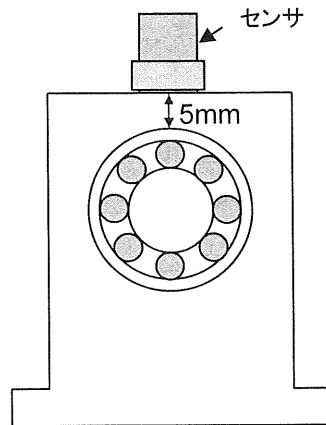
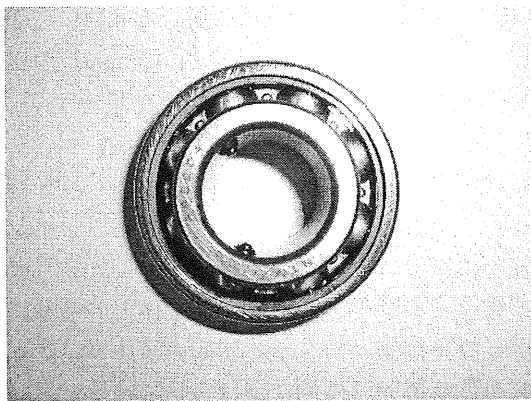
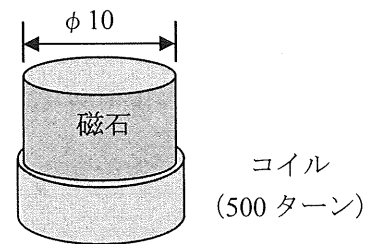
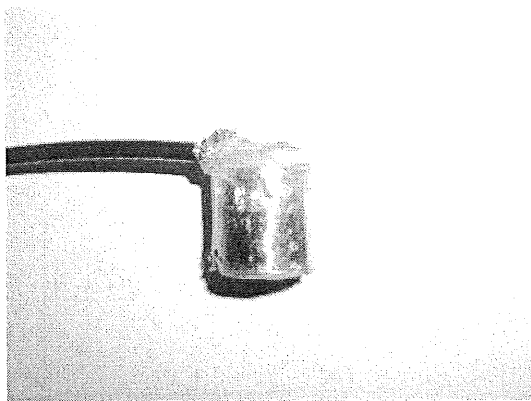


Fig.2 ベアリング外観及びセンサ取り付け位置



直径	10mm
高さ	15mm
表面磁束密度	530mT

Fig.3 センサ外観及びセンサ仕様

渦電流が発生する。回転機器に外部より静磁場が加えられている場合、ベアリングなどの回転体においても材質が導電体であれば Fig.1 に示すように回転体の表層に渦電流が発生する。この渦電流は回転体の振動や回転体のブレによって変化するので、この渦電流の変化を磁場センサで捉えることで回転機の状態を診断することが出来る

### 3. 検証実験

#### 3.1 ベアリング及び電磁センサ

測定対象としてベアリングはユニット用玉軸受 ASS204N を用いた。Fig.2 にベアリング及びセンサの取り付け位置を示す。ベアリングの主な仕様は外径 47mm、内径 20mm、幅 25mm、転動体数は 8 個である。ベアリングホルダに設置したベアリングとセンサとの距離は約 5mm であり、ベアリングホルダの材質は S45C である。

Fig.3 に電磁センサ外観及びセンサの仕様を示す。電磁センサは静磁場を与えるための永久磁石（ネオジム磁石）と回転体表面に発生した渦電流を捕らえるため

のコイルからなる。センサに使用した永久磁石は直径 10mm、高さ 15mm、表面磁束密度は 530mT であり、コイルの巻き数は 500 ターンである。

#### 3.2 試験条件

ベアリングへの異物混入を模擬するための実験方法として粒度、粒径の違う研磨剤（炭化ケイ素）を複数種類用意し、粒径の小さい物から順に回転しているベアリングに混入させ測定を行った。使用した研磨剤を Table 1 に纏めて示す。

Table 1 炭化ケイ素の粒度と粒径

粒度	粒径
# 400	約 0.03mm
# 200	約 0.065mm

ベアリングに炭化ケイ素粉を混入させる際、ベアリングの焼きつきや温度上昇を抑えるためにベアリング用の潤滑剤 10 に対し炭化ケイ素 1 の割合で混ぜ合わせたものを用意しベアリングに混入した。試験条件として

以下の3種類の測定を行った。

- 1) 不具合の無いベアリング（潤滑剤は注入されている）
- 2) ベアリング用の潤滑剤 10 に対し粒度#400 の炭化ケイ素 1 の割合で混ぜ合わせたものを混入したベアリング
- 3) ベアリング用の潤滑剤 10 に対し粒度#200 の炭化ケイ素 1 の割合で混ぜ合わせたものを混入したベアリング

### 3. 3 測定結果

Fig.4 に測定条件 1 の測定結果を示す。不具合の無い状態のベアリングでは 0Hz~1kHz の周波数成分の振幅の積分値の値（以下 0Hz~1kHz の積分値）は 0.8~0.9V で変化も小さく 1kHz~10kHz の周波数成分の振幅の積

分値（以下 1kHz~10kHz の積分値）も 0.33V で変化は小さい。Fig.5 に粒度#400（粒径約 0.03mm）の炭化ケイ素を混入させたベアリングの測定結果を示す。0Hz~1kHz の積分値は約 0.1V と不具合の無いベアリングの測定結果と比較して微小ながら上昇している。1kHz~10kHz の積分値は測定開始直後に 0.45V を示し、その後徐々に減少し 0.35V 付近に収束している。混入させた炭化ケイ素がベアリングの転動体との接触により測定開始直後は高い値を示し、その後徐々に炭化ケイ素が転動体軌道面の外側に退けられていると思われる。

Fig.6 に粒度#200（粒径 0.065mm）の炭化ケイ素を混入させたベアリングの測定結果を示す。0Hz~1kHz の積分値は約 0.1V と他の測定と比較しても変化が小さい。1kHz~10kHz の積分値は測定開始直後に約 0.65V を示し、その後約 0.39V に収束している。1kHz~10kHz

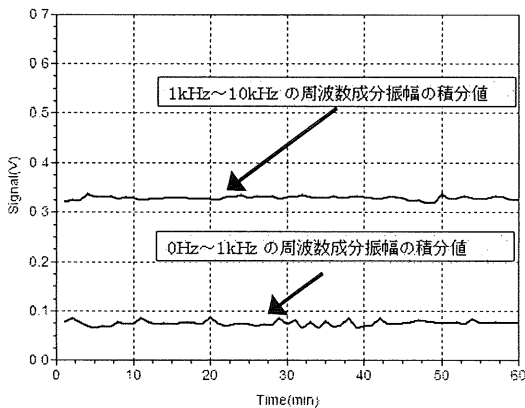


Fig.4 測定結果 1 (Grease)

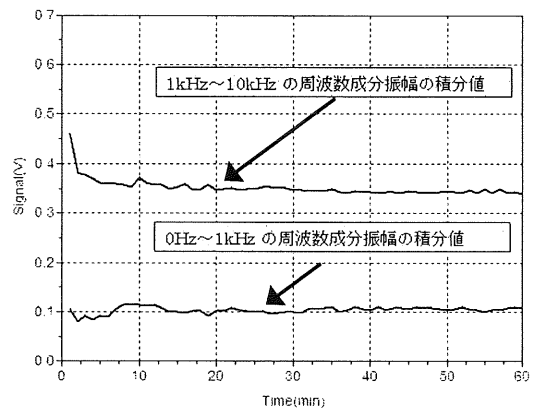


Fig.5 測定結果 2 (#400)

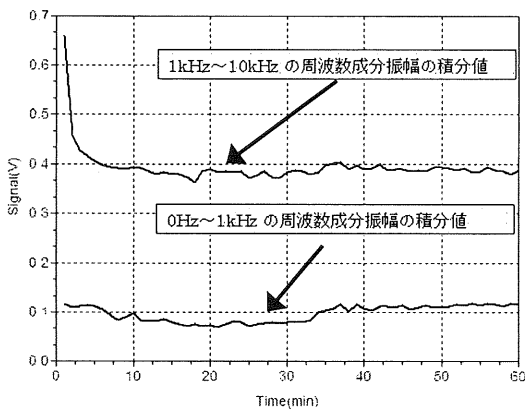


Fig.6 測定結果 3 (#200)

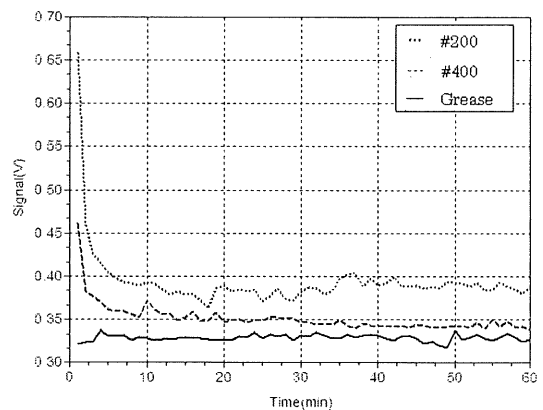


Fig.7 各測定条件比較 (1kHz~10kHz)

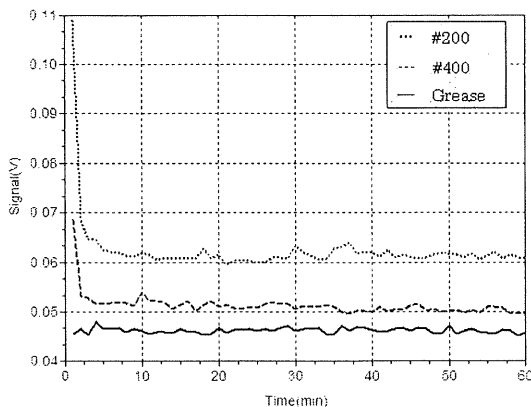


Fig.8 各測定条件比較 (3kHz~4kHz)

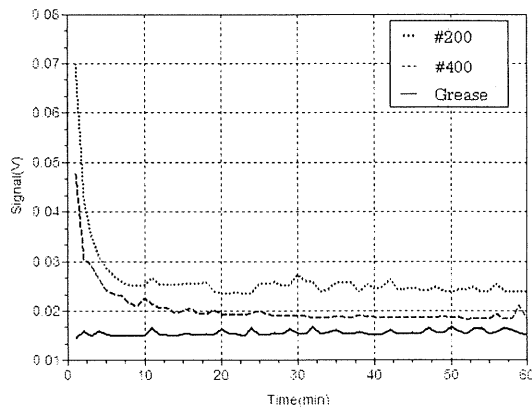


Fig.9 各測定条件比較 (9kHz~10kHz)

の積分値に関しては Fig.5 の測定結果と同様の変化を示しているが、全体的に値は大きくなっている。

Fig.7 に各測定条件での 1kHz~10kHz の積分値の変化を比較したものを示す。不具合の無い状態のベアリングの測定結果と比較して炭化ケイ素を混入した場合の測定結果は共に大きな値を示し、粒径が大きくなるほど値も大きくなっており、粒径と信号の強度に相関を見出すことが出来る。

Fig.8 に 3kHz~4kHz の周波数成分の振幅の積分値の値 (以下 3kHz~4kHz の積分値) の時間変化を Fig.9 に 9kHz~10kHz の周波数成分の振幅の積分値の値 (以下 9kHz~10kHz の積分値) の時間変化を示す。先に解析した 1kHz~10kHz の積分値を詳細に解析した結果、3kHz~4kHz の積分値と 9kHz~10kHz の積分値が特に混入した炭化ケイ素の粒径と信号強度の関係を反映していることが確認できた。

#### 4. まとめ

実験および解析の検討結果をまとめると、以下のようになる。

- 1kHz~10kHz の周波数帯域に注目して信号処理することにより、異物混入の異常を検出できるだけでなく異物の粒径の大きさも特定できる。
- ベアリングの 1 次の固有振動数である 3kHz~4kHz と 2 次の固有振動数である 9kHz~10kHz の周波数帯域の振幅の変化が大きい。
- ベアリングに異物が混入するとベアリングの転動体と異物が衝突する。その時に電磁センサの作る静磁

場中を通過する転動体の挙動を電磁信号として捕らえることができる。

以上より、異物の混入した場合のベアリングの状態を診断に電磁診断技術を適用できる見通しを得た。

#### 参考文献

- [1] 黄皓宇, 宮健三, 遊佐訓孝, 小阪大吾. 回転体異常の電磁検出. 日本非破壊検査協会第 10 回表面探傷シンポジウム, 東京都城南地域中小企業振興センター, 2007/01/25-26.
- [2] 小坂大吾, 黄皓宇, 遊佐訓孝, 回転機器の電磁非破壊評価手法の検討, 日本保全学会第 4 回学術講演会, 福井大学, 2007/07/02-03.
- [3] Daigo Kosaka, Haoyu Huang, Noritaka Yusa and Kenzo Miya. Electromagnetic nondestructive evaluation of rotating blades. The 13<sup>th</sup> International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Michigan State University, USA, 2007/09/09-12.
- [4] Daigo Kosaka, Haoyu Huang, Noritaka Yusa and Kenzo Miya. Electromagnetic nondestructive evaluation of rotating blades. Science and Technology of Maintenance (Under review)