

# Non-Contact Measurement of Axis Eccentric and Distortion of Round Rod using Multi Magnetic Sensor Probe

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/30175">http://hdl.handle.net/2297/30175</a>

# マルチ磁気プローブを用いた非接触による 金属丸棒の偏芯および形状歪みの測定

環日本海域環境研究センターセンター 生体機能計測研究部門  
山田外史, 有馬浩史, 柿川真紀子

S. Yamada, H. Arima, M. Kakikawa

Non-Contact Measurement of Axis Eccentric and Distortion of Round Rod  
using Multi Magnetic Sensor Probe

## 1. はじめに

本研究の目的は、うず電流探傷法を応用して巨大磁気抵抗効果(GMR)素子を用いることにより実際に産業に使用できる方法を考案し偏芯と欠陥を検出することである。溶接などの加工において対象物が高温になる場合、非接触により金属棒の位置をセンサ等により測定することで位置決めができるようになれば、加工精度の向上、自動化が容易というメリットがある。また、非破壊検査においては丸棒や管がプローブの中心にあることにより、高い検出精度を実現することができる<sup>[1]</sup>。

製造工程や保守点検において金属棒や金属管の欠陥である形状の歪みを検出することにより信頼性の向上が望める。偏芯や形状の歪みの測定を光学式やうず電流式などのギャップセンサでは通常は測定対象が平面であるため、径の小さな丸棒のように測定対象が曲面のものや必ずしも滑らかではない表面の距離の測定が困難である。

近年、超小形なGMR素子の作製が可能になることに伴い、高空間分解能で高感度のマルチ磁気センサが可能になった。本研究は、金属丸棒の位置の変化である偏芯と金属丸棒の形状歪みを環状にセンサを設置したマルチ磁気プローブを用いることにより高リフトオフ高さと測定法について提案し、その結果の評価検討を行った。

## 2. 金属棒の偏芯および形状歪みの測定法

### 2.1 マルチセンサプローブの構成<sup>[2-3]</sup>

測定用のプローブの基本構成は励磁コイルとうず電流により生じる磁束を検出する磁気センサである。本研究では試験対象の直径が16 mmの金属棒として、図1に示すように貫通型の励磁コイルと感度方向を周方向とした磁気センサの36番センサを基準として10° 間隔で1番から36番まで36個環状に配置することにより金属丸棒の検査を目的としたマルチ磁気

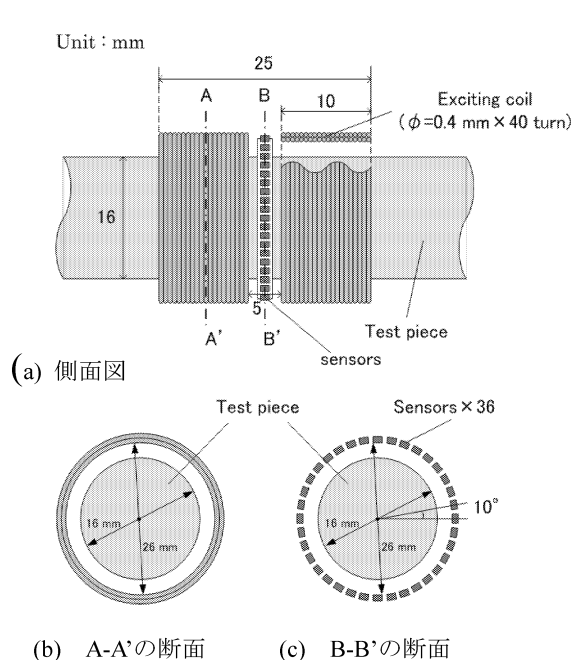


図1 プローブの構成

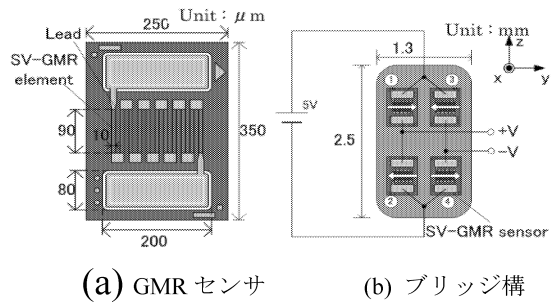


図2 センサ構成

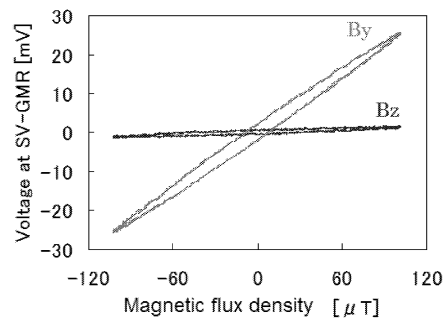


図3 センサ特性と指向性

プローブとした。励磁部には試験対象貫通型のコイルを用い図1(b)に示すように、試験対象である金属棒の直径が16 mmであるのに対して、励磁コイルの直径を26 mmとした。励磁コイルの電流の向きは磁束が2個の励磁コイルの間を通るように互いに反対の位相になるようにした。

本研究では指向性特性のあるGMRセンサを磁気センサとして使用した。図2(a)に示したようなGMRセンサを図2(b)に示したように4個のGMRセンサを高感度方向が互い違いになるようにブリッジ構成して1個のセンサとすることにより感度が高くなり、熱雑音などに強くなる。図3に示すようにブリッジ構成により得られたセンサの感度特性はy方向1方向だけに大きな感度を示しておりその感度は230  $\mu\text{V}/\mu\text{T}$ で、z方向には10  $\mu\text{V}/\mu\text{T}$ 、x方向にはほとんど感度を示さない。

## 2.2 磁束の分布<sup>[2,3]</sup>

励磁コイルからの磁束とそれを打ち消す方向に発生するうず電流による磁束の分布を別々に考えると、センサ位置において励磁コイルからの磁束ベクトルは常にプローブの半径方向であり、高感度方向が周方向であるセンサでは磁束を検出することはない。しかし、うず電流からの磁束は金属棒の位置や形状によって分布が変わる。うず電流からの磁束は図4に示すように金属棒の軸を中心として放射状に表面から垂直に発生し、歪みのない金属丸棒がプローブの中心にあるときうず電流からの磁束は励磁コイルからの磁束と同様にセンサで検出することはできない。金属棒がプローブの中心からずれて偏芯したり、金属棒の形状が歪んだりするとセンサの位置では半径方向だけではなく、周方向成分のベクトルを含んだ磁束が存在し、この周方向成分の磁束の測定をおこなう。図5に偏芯がある場合、金属丸棒が楕円状に歪んだ場合のセンサプローブ近傍の磁束密度ベクトルの状況を示す。

このように互いの場合でもセンサ番号 $n$ では感度方向成分を含む磁束ベクトルが存在する。偏芯の時は定数 $k$ 、偏芯の大きさ $d$ 、プローブの半径 $r_2$ 、偏芯の方向 $\theta_0$ を用いて式(1)、楕円状への形状歪みの時は定数 $k$ 、楕円の長軸を $2a$ 、短軸を $2b$ 、長軸の方向を $\theta_0$ で表すと式(2)のように表すことができる。

$$V_n = k \left( \frac{d}{r_2} \sin(\theta_n - \theta_0) + \frac{3}{4} \left( \frac{d}{r_2} \right)^2 \sin 2(\theta_n - \theta_0) \right) \quad (1)$$

$$V_n = k \frac{a-b}{2a} \sin 2(\theta_n - \theta_0) \quad (2)$$

## 3. 偏芯および形状歪みの測定結果

### 3.1 偏芯の測定結果

測定には、偏芯の大きさを0.1 mmずつ変化させ金属棒が中心にある時を偏芯量0 mmとして中心から2.0 mm偏芯したところまで、偏芯方向はセンサ番号36番の方向を $0^\circ$ として、 $30^\circ$  偏芯方向を変え同じ偏芯量で12方向の測定を行った。偏芯量 $d$ が1.0 mmの時の測定結果を図6に示す。横軸には $10^\circ$  間隔で環状に並べられたセンサ番号、縦軸にはそれにより得られた出力結果とした。測定結果は最小二乗法を用いることにより近似し式(1)と同等の関数で表した。これより偏芯により得られた信号はプローブ1周の空間を周期 $T$ とすると、周期 $T$ と $T/2$ の成分で表せることが分かる。

図7(a)に偏芯の大きさを変えて測定を行った結果を示す。この結果より、明らかに偏芯量を大きくすると振幅も大きくなっている。式(1)より周期 $T$ の信号の振幅と偏芯の大きさは比例関係にあり、図7(b)に示した偏芯量と振幅の結果より実験結果からも比例関係にあることが分かる。また、その関係は235 mV/mmで、誤差範囲6%以下で偏芯の大きさ測定することができる。また、偏芯方向は式(1)の $\theta_0$ により求めることができる。これは実験結果ではセンサの出力が0 Vとなる方向である。実験ではセンサの出力が正の傾きで0 Vとなる方向に偏芯している。

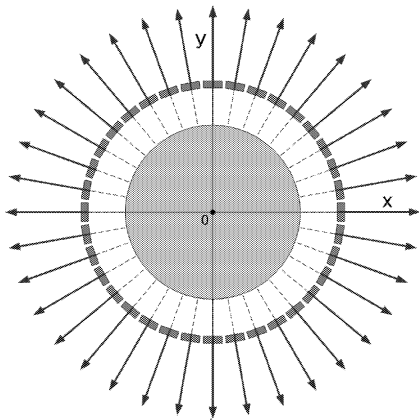
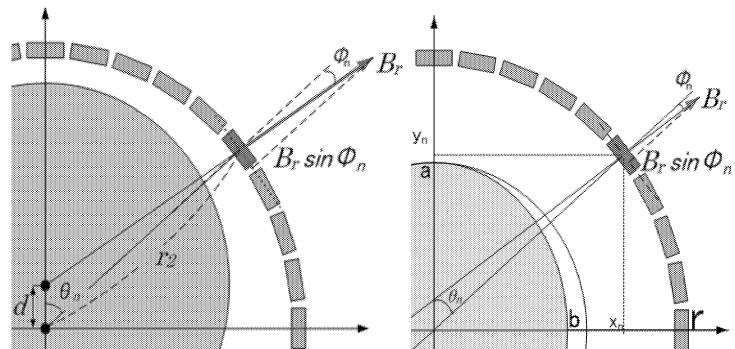


図4 うず電流影響下による磁界分布



a) 偏芯の場合

(b) 形状歪(楕円)の場合

図5 センサ上の磁束密度ベクトル

図8に偏芯量を0.6 mmで統一し偏芯方向をそれぞれおよそ90° 変えた測定結果を示す。これらは、それぞれ出力電圧が0 Vとなる点つまり $\theta_0$ を求めるとそれぞれ36番センサの方向を基準の0° として32, 118, 207, 292° の方向に偏芯していることが確認できる。

### 3.2 形状歪みの測定<sup>14)</sup>

形状の歪みは比較的解析が容易である楕円状に歪んだものを用いた。測定には表1に表したように楕円の長軸の長2aを16 mmで統一し、短軸の長さを2bを0.25 mmずつ変化させた番号①～④の4種類の楕円棒を用いてそれぞれ楕円の長軸の向きを30° 変えて測定を行った。①の楕円棒を用いて測定をした結果を図9に示す。測定の結果は偏芯の時と同様に最小二乗法により近似し式(2)と同等の関数で表した。これにより周期T/2の信号で出力結果を表すことができることが分かる。

図10(a)に歪みの大きさ2a-2bが違うものの測定結果を示す。これより形状歪みの大きさが大きくなると振幅も大きくなることが確認できる。また、実験結果による振幅の大きさと金属棒の形状歪みの大きさの関係を図10(b)に示す。これより実験結果でも振幅と形状歪みの大きさ2a-2bは式(2)と同様に比例関係にあることが確認でき、その関係は45 mV/mmである。

偏芯の測定と同様に式(2)の $\theta_0$ を求めることにより楕円の長軸の方向が分かる。測定結果の信号は周期T/2のため出力電圧が0 Vとなる点は4ヶ所ある。この測定では互いに180° 違い正の傾きで出力電圧が0 Vとなる向きが長軸の方向で負の傾きで出力電圧が0 Vとなる方向が短軸の方向ある。図11にそれぞれ60° 長軸の向きを変えて測定した結果を示す。これらは出力電圧が0 Vとなる点より長軸が30-210° , 90-270° , 150-330° の方向にあることが確認できる。

### 3.3 偏芯がある楕円棒の測定

前節で示したように金属棒の形状が歪んでいる時には測定することができたが、これは金属棒がプローブの中心にある時である。しかし、金属棒が中心からずれると金属棒の歪みを測定することはできない。そこで、形状歪みの信号と偏芯の信号をわけの必要がある。微小に楕円棒が偏芯した時出力信号は周期T, T/2で表すことができる。周期Tの信号は偏芯によるものでT/2のものには偏芯と楕円によるもの両方が含まれている、式(1)より偏芯の周期T/2成分は周期T成分との比により求めることが可能である。そこで、偏芯した楕円棒から偏芯の信号を引くことにより楕円棒による信号を取り出すことができる。

図12に①番の楕円棒を用いて偏芯した楕円棒の測定結果を示す。

表1 楕円棒試験試料

材料番号	長軸 2a[mm]	短軸 2b[mm]
①	16	15
②	16	15.25
③	16	15.5
④	16	15.75

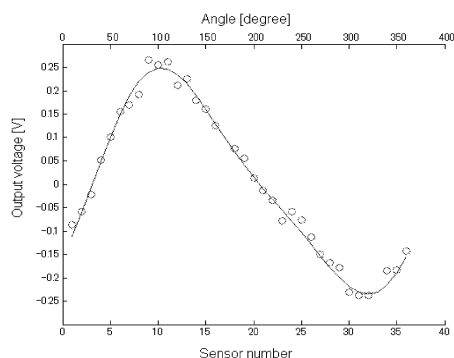


図6 偏芯量1.0 mmにおける測定結果

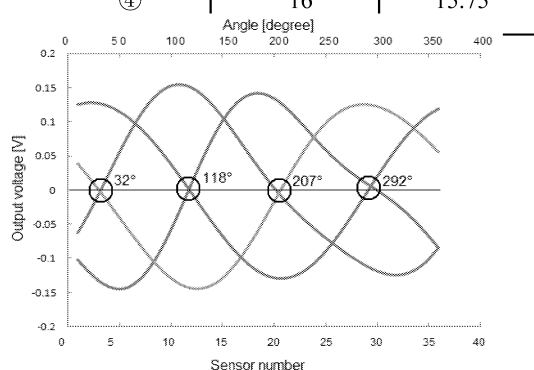
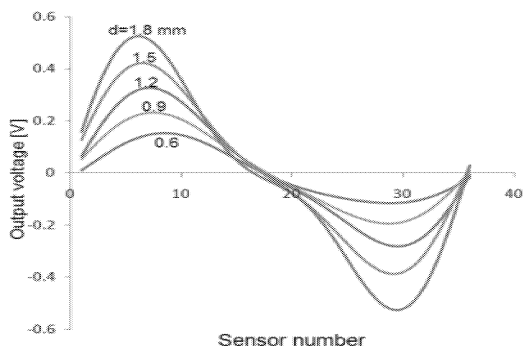
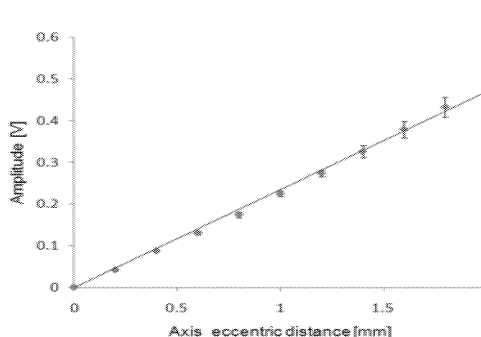


図8 偏芯の方向を変えた測定結果



(a) 偏芯の大きさに対する結果



(b) 偏芯と振幅(基本波)の関係

図7 偏芯の大きさを変えた比較

偏芯した楕円棒の信号から偏芯の信号を取り除くことにより棒の信号を表すことが確認できる。また、楕円の信号の振幅48 mVと測定結果とかなり近い値を得る。

#### 4. まとめ

本研究では環状に配置されたマルチ磁気プローブを用いて金属棒の偏芯および形状歪みの測定を行った。

偏芯の測定では周期Tの振幅を見ることにより偏芯の大きさを測定することが可能である。その関係は235 mV/mmで誤差範囲6%以下で測定することができた。

形状の歪みは解析の容易な楕円状に歪んだものを測定した。歪みの大きさは周期T/2の振幅と比例関係にあり、その関係は45 mV/mmとなった。また、偏芯のある楕円棒では偏芯の信号を取り除くことにより楕円棒の信号を取り出すことができた。

今後の課題として、本研究では形状歪みは楕円状に歪んだものみの測定を行ったが、その他の形状の歪んだものや金属の管に対しても測定検討しなくてはならない。

#### 文献

- [6] C.Cordier: Accrete Steel Tube Axis Alignment in Nondestructive Evaluation Probe, *IEEE Transactions on Magnetics*, 44, 2008.
- [2] 有馬, 山田, 岩原: マルチGMRプローブによる金属丸棒の軸偏芯の検査法, 電気学会マグネティクス研究会, MAG-08-66, 2008.
- [3] H.Arima,S.Yamada,M.Iwahara: Measurement of Axis Eccentric of Round Rod by Multi Giant Magnetoresistance Probe, *Proceedings of 2<sup>nd</sup> Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics 2008*, Bangkok, Thailand, pp.135-138, 2008.
- [4] 有馬, 山田, 岩原: マルチGMRプローブを用いた金属棒の形状歪みの測定, 平成21年電気学会全国大会, 2009.

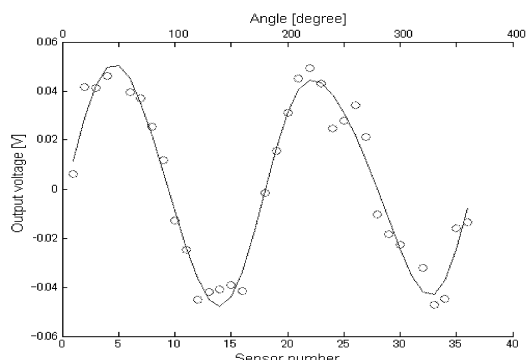
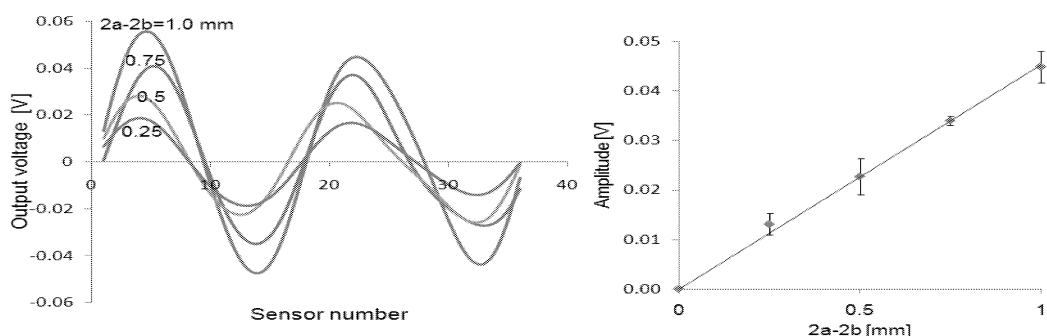


図9 偏芯量1.0 mmにおける測定結果



(a) 偏芯の大きさに対する結果

(b) 偏芯と振幅(基本波)の関係

図10 偏芯の大きさを変えた比較

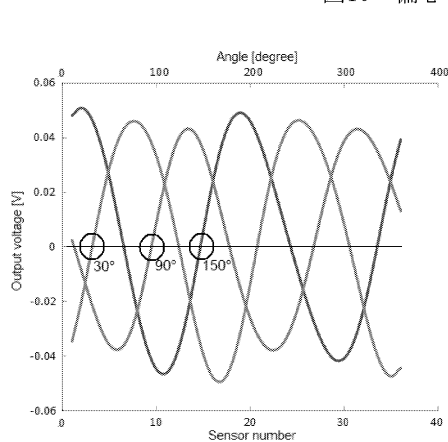


図11 偏芯の方向を変えた測定結果

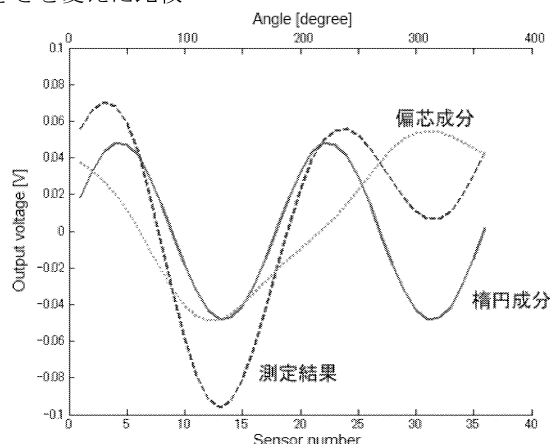


図12 偏芯のある楕円棒の測定結果