

# 磁気センサ信号の可視化とその応用

山下 達也 早野 誠治 齋藤 兆古  
法政大学大学院

堀井 清之  
白百合女子大

近年、建築物の非破壊検査や道路を走行する車輛の速度検知などの非破壊検査において磁気センサの社会的必要性が高まってきている。磁気センサは検出信号の電気的変換が比較的容易であるという利点を有するため、非破壊検査への応用など広汎に利用されている。直流磁場を用いた場合、ピックアップコイル型磁気センサはセンサ自身と測定対象物が相対的に運動している必要があるため、測定対象物に合わせたセンサ設計が必要となる。本論文では二種類の磁気センサを提案する。一方は、測定対象物が運動している場合を想定した対象物の近傍にセンサコイルを固定するパッシブ型センサ。他方は、対象物が固定されている場合を想定したセンサコイルを振動させるアクティブ型センサである。これらのセンサを用いた基礎実験を行い、それらの有効性を評価する。

## 1. 緒 論

磁気センサは非接触で測定が可能であり、被測定対象物の非破壊検査が行えることから、従来から、金属探知器や金属内の欠損探査などに広範に用いられている。

特に、電磁誘導現象によりコイルに発生する起電力を利用する電磁誘導法と、ホール素子、MR 素子(磁気抵抗効果素子)などの電磁変換素子で試験面を走査することによる電磁変換素子法を利用したものが代表的で、実用化が進んでいる。前者については、近年技術開発が進む ITS(高度道路交通システム)においても、道路を走行する車輛の位置・速度検知等の基幹技術として用いられており、将来的に幅広い分野での応用が見込まれる。

以上のような社会的状況を鑑み、筆者らは電磁誘導型の磁気センサを提案し、それらの妥当性を実験的に検証してきた。

電磁誘導型の磁気センサは誘導起電力を検知するピックアップコイルと測定対象物の相互運動が必要であることに加え、磁界発生源を有する必要がある。この点を踏まえ、本論文では以下の2種に大別して論ずる。一方は測定対象物により発生する磁界を誘導起電力として直接検出するもので、これをパッシブ(passive)型と称する。他方、磁石センサ側から磁界を発生させ、この磁界を測定対象物の運動で得られる起電力を検知するものをアクティブ(active)型と称する。

本稿では、実用化を想定した各種基礎実験の結果を基に、その有用性について報告する。さらに、磁気センサの検出信号は電気的であるという利点に着目し、測定者が結果を容易に判別できることを目的とした、適切な信号処理及び可視化手法について吟味する。

本論文の構成は以下の通りである。第1章は緒論である。第2章ではパッシブ型磁気センサを提案し、その一例として自由落下する測定対象物の速度測定実験について述べる。第3章ではアクティブ型磁気センサを提案し、その一例として測定対象物の回転運動による磁界の乱れの検知実験につい

て述べる。第4章はまとめである。

## 2. パッシブ型磁気センサ

### 2.1 原理

パッシブ型磁気センサを提案する。このセンサでは、ピックアップコイル自身は磁界発生源を持たず測定対象物の磁界を検出する。従って、測定対象物は必然的に永久磁石または電磁石となる。測定原理は以下の通りである。測定対象物がピックアップコイル近傍またはその内部を通過する際、Lentz の法則より式(1)で表せる電圧が磁界を妨げる向きに発生する。

$$v(t) = -N \frac{d\phi}{dt} [V] \quad (1)$$

この電圧の変化をピックアップコイルにより波形として捉えることで、測定対象物の通過を検知する。

単数のセンサで得られる情報は電圧値のみであるが、測定対象物の移動方向に沿って複数個配置することが可能であれば、次に述べる例に示すように速度・加速度等の情報収集に対して有効な方途となる。

### 2.2 自由落下運動の速度測定

パッシブ型磁気センサの具体例として、自由落下する測定対象物の速度測定を行う。Fig.1 (a)のように複数のピックアップコイルをアクリルパイプに一定間隔で巻いた実験装置を構成する。実験は任意の高さから永久磁石を落下させ、測定対象物の通過をセンサ出力電圧で検知し、その波形から各ピックアップコイル通過時刻の差を求め、速度の算出に用いるものである。投下位置からの距離を  $h$  として、測定波形の例を Fig.2 に示し、さらに共通の時間軸上に合成した結果

を Fig.3 に示す。

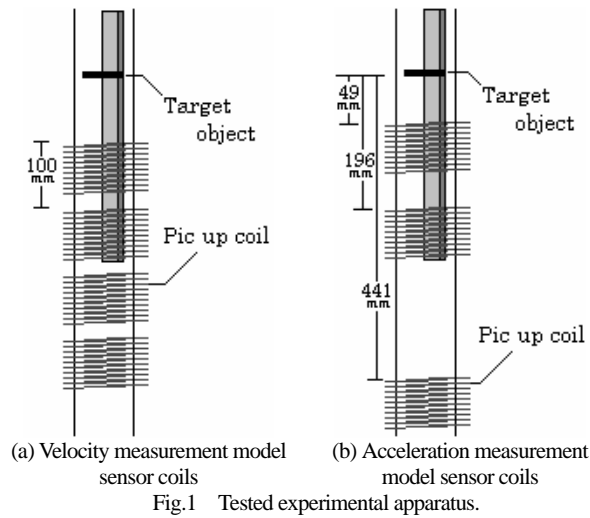


Fig.2 に見られる通り、各波形の応答速度は測定対象物の移動速度に対し十分に速く、Fig.3 の各波形のピークを用いることで通過時刻の差を取ることは容易である。これを基にしたコイル間平均速度の算出結果及びその理論値を Fig.4 に示す。この結果からも比較的高精度で速度測定が可能であることが判る。

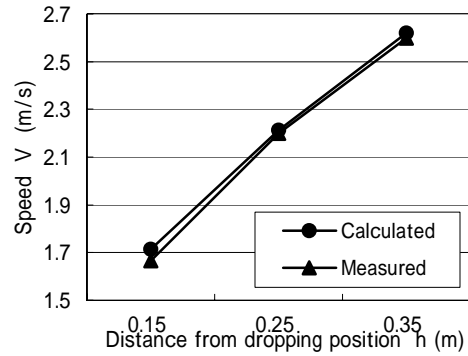
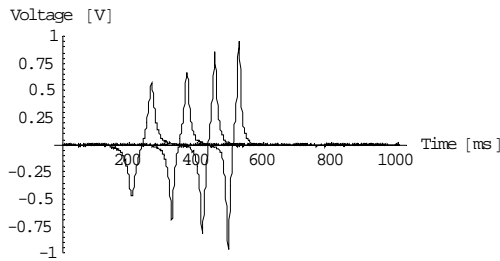
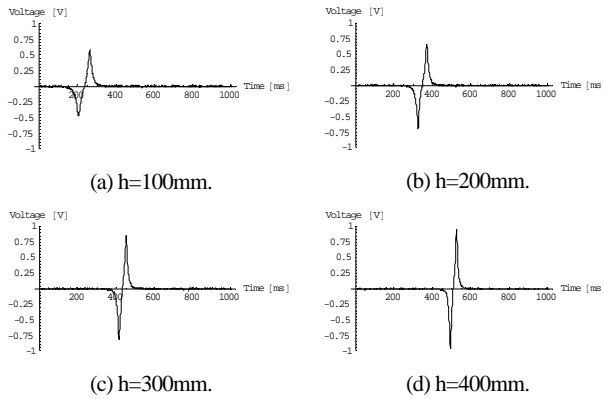
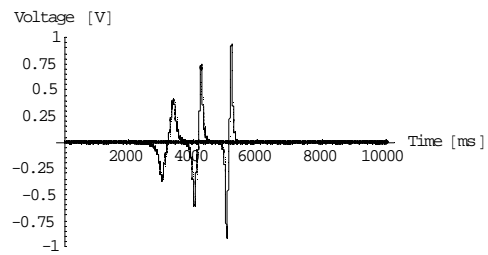


Fig.4 The comparison of speed between measurement and computed ones.

### 2.3 自由落下運動の加速度測定

速度測定と同様の手法を用いることで加速度の近似値を得る事が可能である。Fig.1(b)は  $g=9.8$  としたとき、測定対象物が理論上 100ms 毎に通過する位置にピックアップコイルを配置し、加速度測定の精度を時間軸上で視覚的に判定することを目的としたものである。測定波形を共通の時間軸上に合成した結果を Fig.5 に示す。各波形の時間軸上のピーク間距離から加速度を算出した結果は  $g=9.60$  となり、これは誤差 2.0%の精度に相当する。



### 2.4 考察

以上の実験結果より、各波形ピーク間の時間差から算出される速度・加速度は実用に耐えうる精度が得られた。一方、パッシブ型センサは誘導起電力の大きさを測定対象物の磁界に依存するため、測定電圧値は測定対象物との距離・角度等の測定条件の影響を受けることが課題として残った。

同様の速度・加速度測定はセンサを後述のアクティブ型とすることで磁石以外を対象とすることも可能である。

## 3. アクティブ型磁気センサ

### 3.1 原理

次にアクティブ型磁気センサを提案する。アクティブ型磁気センサは内部に磁界発生源をもつセンサであり、磁界を受

けた測定対象物に生じる渦電流等の応答をピックアップコイルで誘導起電力として検出する。測定対象物は特性によって磁界による応答が異なり、観測波形も異なる。特に、磁束を強める強磁性体と、渦電流により磁束を弱める非磁性体金属との差異に着目し、実験を行う。

### 3.2 回転体の測定

アクティブ型磁気センサの具体例として、回転運動中の測定対象物の検知実験を行う。これは Fig.6 のように馬蹄形フェライト磁石を芯として 4 個のピックアップコイルを巻いたセンサを試作し、近傍で回転する測定対象物の検知を試みるものである。

回転の動力源としてモータを用いることから、これに起因する高調波ノイズが観測波形に影響を及ぼすと考えられる。本実験ではノイズを除き波形の評価を容易にするために、フーリエ解析を用いた高調波成分の除去を試みた。

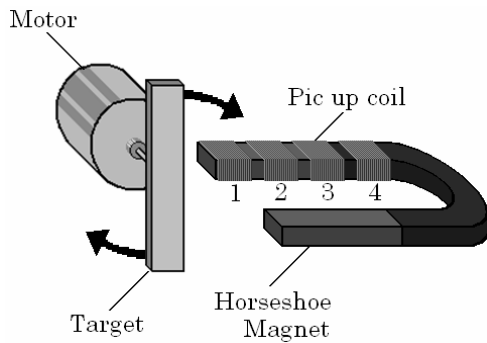


Fig.6 Tested experimental apparatus.

### 3.3 鉄を対象とした測定結果

強磁性体として、測定対象に軟鉄を用いた実験を行う。測定された波形を回転軸に近い側より Fig.7(a1)-(d1)に示し、フーリエ変換を用いてモータや周辺ノイズ除去後の波形を Fig.7(a2)-(d2)に示す。

この実験で得られた測定波形は、被測定金属長が一定であるため、基本的に測定対象物からの距離に比例して減衰していくと予想されたが、Fig.7 から、コイル No.2 の波形(b2)の最大振幅が、回転軸の近くに位置するコイル No.1 の波形(a2)のそれに比較して大きい。これは磁束を強める強磁性体の特性から回転軸近傍よりも被測定金属中心付近へ磁束が集められるが、周速度の速さが支配的で大きな起電力を与えられとされる。

波形の最大振幅は回転軸から遠ざかるにつれて時間軸上でわずかに遅れている。理由は、被測定金属は、被測定金属の回転中心軸から離れるほど、磁界中に到達する時間が遅れるためである。また、このことから逆に測定対象物の幅を推測することも可能である。

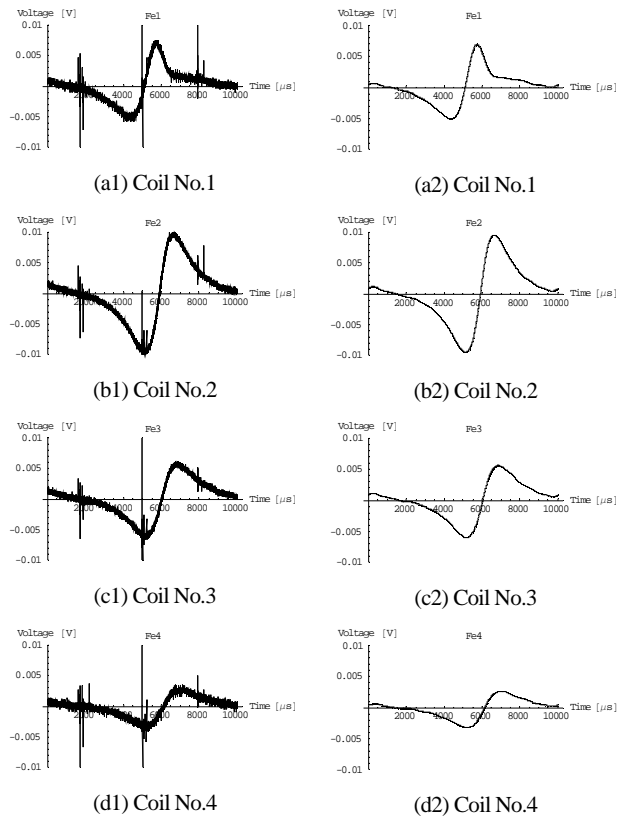


Fig.7 Experimental results of an iron target.

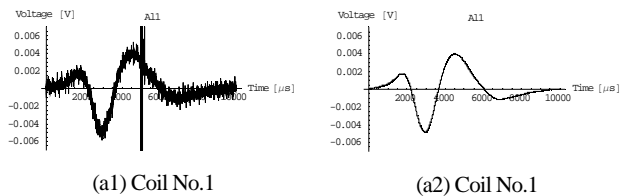
(a1)-(d1) Measured waveforms.  
(a2)-(d2) Waveforms without noise.

### 3.4 アルミニウムを対象とした測定結果

非磁性体として、測定対象にアルミニウムを用いた実験を行う。測定された波形を回転軸に近い側より Fig.8(a1)-(d1)に示し、フーリエ変換を用いてモータや周辺ノイズ除去後の波形を Fig.8(a2)-(d2)に示す。

本実験で測定された波形は軟鉄と異なり、回転軸からの距離に比例して減衰した。これは非磁性体が磁界を受けて生ずる渦電流が磁界を弱める方向へ生じるためである。

また、コイル No.1 から、センサ信号が得られるのは渦電流によるものであることを示す平均値がゼロとなる信号波形であることが判る。



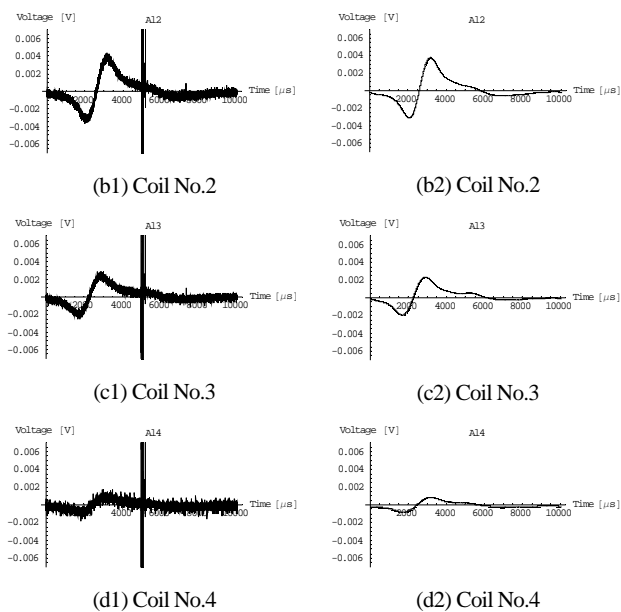


Fig.8 Experimental results of an aluminum target.

(a1)-(d1) Measured waveforms.

(a2)-(d2) Waveforms without noise.

しかしながら、非磁性体に特有の渦電流の特徴は被測定対象物近傍のピックアップコイルで正確に測定される。被測定対象物から離れるに従い、ピックアップコイルで得られる信号の S/N 比が悪く、渦電流効果による特徴は顕著に検出されない。

一方、測定対象物の幅に起因する信号の最大値を生ずるタイミングは強磁性体の実験と同様に観測された。このことから、測定対象物の材質を問わずアクティブ型センサの時間

応答は正確であり、パッシブ型と同様に速度測定等への応用も可能であると推測される。

#### 4. まとめ

本論文では磁気センサを二種類提案し、その有用性及び課題について報告した。

これらの内容を基に実用化を考える場合、まずパッシブ型では、緒論でも触れた ITS の分野に代表される車両や機体の位置・速度の検知のように、測定対象物がセンサの近傍にあり、かつ、波形のピーク発生タイミング以外の情報には精度を必要としない場合に特に有効であるといえる。

アクティブ型では、測定に際してパッシブ型と同様の相対運動が必要であるが交流磁界を生じさせることが可能であれば静止した状態でも測定可能であることを踏まえると、建築物中の金属探査等、静止した測定対象物中に存在する金属の検知に有効であると考えられる。

何れのセンサにおいても磁界の大きさに依存することから、磁界の減衰が著しい遠方に位置する対象に対して、その適用方法の確立が課題であるといえる。

#### 参考文献

- [1] 茂田幸康、早野誠治、齋藤兆古：ウェーブレット変換による信号処理の一方法、可視化情報、Vol. 20、No. 1 (2000) pp. 273-276.

キーワード.

非破壊検査、磁気センサ

-----

**Summary.**

Visualization of Magnetic Sensor Signal and its Application

Tatsuya Yamashita    Seiji Hayano    Yoshifuru Saito  
Graduate School of Engineering, Hosei University

Kiyoshi Horii  
Shirayuri College

In recent years, wide spreading use of microprocessors changes various apparatus as well as instruments into the smart functional products, dramatically. Even if the most high performance microprocessors and high speed memory is exploited; it is essential to exploit the high performance sensors which give original information of the computer instructions. High sensibility, toughness to the mechanical and environmental conditions such as stress, temperature and humidity are required to any types of sensors.

Magnetic sensor is classified into two major categories. One is the semiconductor type, e.g. Hall sensor, and the other is sensing or picking up coil type. As is well known fact any types of semiconductor elements are greatly dominated by environmental temperature, and also depended on the mechanical stress. On the other side, sensing or picking up coil type magnetic sensor has reasonable tough properties to the mechanical and environmental conditions, even though they do not have high sensibility.

In the present paper, we propose two types of magnetic sensors in order to sense the metallic materials. Our magnetic sensors belong to the sensing or picking up coil type, and are further classified into active and passive types. Proto type of these sensors is exploited and initial experiment is carried out.

**Keywords.**

Nondestructive testing, Magnetic sensor