

# 直交フラックスゲート型歪センサの特性評価

千田健太<sup>1,2</sup>, 後藤太一<sup>2</sup>, 石山和志<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>東北大学大学院 工学研究科, <sup>2</sup>東北大学 電気通信研究所)

Evaluating characteristics of orthogonal fluxgate strain sensor

K. Chida<sup>1,2</sup>, T. Goto<sup>2</sup>, K. Ishiyama<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Tohoku University, <sup>2</sup>RIEC, Tohoku University)

## 1. はじめに

近年、橋梁の老朽化は深刻な問題<sup>1)</sup>であり、その健全性診断を目的として逆磁歪効果を用いた高感度歪センサの研究が行われている<sup>2)</sup>。本研究では僅かな歪に対して大きな磁束変化量を得るために断面積が大きなバルク材に着目し、直交フラックスゲート磁界センサに着想を得た新しい方式<sup>3)</sup>を提案してきた。直交フラックスゲート磁界センサは高周波電流を通電した磁性材料に磁界を印加する事で、磁気モーメントの方向が変化し、通電方向の磁化変化が生じる事を利用している。そこで、磁界の代わりに歪印加による逆磁歪効果を利用して磁気モーメントの方向を変化させ、出力を得るものである。

本報告では、直交フラックスゲート型歪センサの高感度化に向け、特性評価を行った結果を述べる。

## 2. 実験方法

アルミ基板(13 mm×26 mm×0.4 mm)上に幅方向異方性を誘導したアモルファスリボン(日立金属製 2605SA1、1 mm×26 mm×25 μm)を貼り付け、片側を固定し、カンチレバーを構成した。Fig.1には歪印加装置の構成を示す。自由端から5 mmの位置をマイクロメータで変位させ、逆磁歪効果により磁気モーメントの方向を変化させた。また、

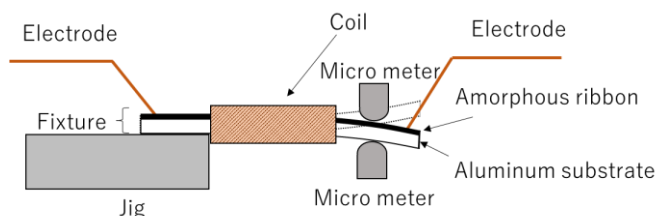


Fig.1. Configuration of strain applying device

アモルファスリボン中の磁気モーメントを長手方向に揃えるために、約 2 Oe のバイアス磁界を印加した。アモルファスリボンに高周波電流を通電する事で幅方向交流磁界を与えた際の磁化変化をセンサ素子に巻かれたコイル(300 ターン) で電圧として検出した。この際、幅方向交流磁界 1 周期の間に長手方向の磁化変化が 2 度生じるため、倍周期成分を測定した。高周波電流は正弦波(0.2 Arms)とし、周波数を 100、200、250、300、400、500 kHz と変化させて測定を行った。

## 3. 実験結果

Fig.2 にはセンサ素子に引張 266 ppm から圧縮 266 ppm まで 26.6 ppm 間隔で変形させた際のセンサ出力結果を示す。出力には周波数特性があり、250 kHz 付近で最大となった。出力電圧はファラデーの電磁誘導により磁化変化を時間微分しているため、250 kHz 以下では、周波数が増えるにつれ出力、変化量が増加したのに対し、250 kHz 以上では、コイルの浮遊容量に起因する共振により低下したと考えられる。250 kHz における最大の出力変化量は 6.72 mV/ppm であり、金属歪ゲージ(ゲージ率:2)の 6720 倍と極めて大きな値となった。今後は周波数以外の動作条件から高感度化に向けて検討する。

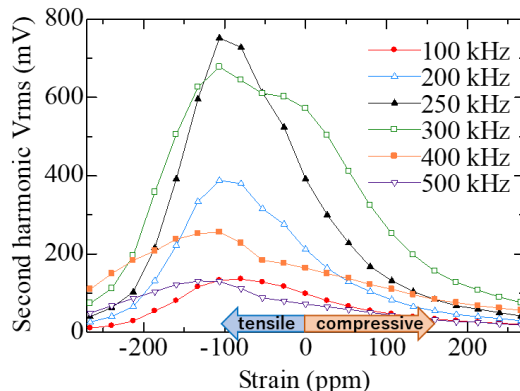


Fig.2. Result of static characteristics

## 参考文献

- 1) 国土交通省, 「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」(2014)
- 2) 曾良, 栢, 石山, 日本磁気学会論文特集号, 4, 41(2020)
- 3) 千田, 後藤, 石山, 令和 5 年電気学会全国大会 2-099(2023)

## 2軸MIセンサを用いた交通監視用車両計測装置に関する研究

姚 睿軒, 内山 剛  
(名古屋大学)

Vehicle Detection Device Using 2-Axis Magneto-Impedance Sensors for Traffic Monitoring

R. Yao, T. Uchiyama  
(Nagoya Univ.)

### はじめに

2021年12月時点で、日本の自動車の保有台数は8000万台を超えました。道路の監視と管理において、主要道路や高速道路などには多くのCCTVカメラや道路センサなどが設置されていますが、一般道路の監視装置の設置はまだ不十分です。理想的な道路監視装置は、設置が容易で、メンテナンスが簡単で、コストが低く、耐久性が高く、安定性が良いことが必要です。本研究では、~~2~~2軸の磁気インピーダンス(MI)センサを路脇に設置し、道路上を通行する車両による磁場の変動を計測しました。計測により得られたデータを適切なアルゴリズムによって処理し、リアルタイムで走行速度、車種、車長、道路の混雑状況などの情報を推定することを目的としました。センサ設置の高さ、センサから車体までの距離、通行車両の種類などが検知精度に与える影響についても検討しました。

### 実験方法

路脇設置型の検知方式において、車両の進行方向および垂直方向の磁場を測定するために、2軸のMIセンサを使用しました。一定間隔で配置された2組の2軸MIセンサを使用して、車速測定および道路の渋滞検知を行いました。日本の一般道路で一般的な3種類の車両(軽自動車、乗用車、ワゴン)について測定を行いました。異なるセンサの設置高さ、間隔、車体からの距離、走行状況(通常走行、追い越し、対向走行)における検知状況などのパラメータが実験結果に与える影響について検討し、最適な検知条件を確立しました。

### 実験結果

計測された車両による磁場波形の最大値と最小値の差(磁場変動量)、最大値と最小値の間の時間間隔(ピーク間時間: Time peak to peak)、2つのセンサ間で同じ波形の最大値を取るまでの時間間隔( $\Delta t$ )、および車両通過時の信号スペクトルを分析しました。センサの設置高さは、検出信号の磁場変動量に主な影響を与えます。時速50kmで走行している乗用車

の場合、センサを高さ66cmに設置すると、水平方向の磁場変動量は $12.97 \mu\text{T}$ 、垂直方向では $23.27 \mu\text{T}$ となります。一方、センサを高さ110cmに設置すると、水平方向の磁場変動量は $9.71 \mu\text{T}$ 、垂直方向では $15.05 \mu\text{T}$ に減衰します。ただし、センサの設置高さはピーク間時間には大きく影響していません。最小の設置高さ22cmから最大の設置高さ110cmまで、車両の長さが3.94m時速50kmで走行する乗用車の場合、ピーク間時間(Time peak to peak)の最大変化はわずか3msです(平均値: 236ms)。車体とセンサの距離は、磁場の変化量とピーク間時間の両方に影響を与えます。障害物を避けるとき車体とセンサの距離は約2.4mであり、対向車の場合は5mです。これにより、磁場の変化量はそれぞれ正常な走行時の17.19%、0.09%になります。また、ピーク間時間も約17.93%増加します。しかし、5mの距離ではピーク値を検出することはできなくなります。2つのセンサの最大値の時間差を利用して速度を計算しました。Fig.1に示す通り、センサの間隔が80cmの場合、同一の車両の速度推定精度は $\pm 3\text{km/h}$ の範囲で81.67%、 $\pm 5\text{km/h}$ の範囲で98.33%に達しました。

### 参考文献

- 1) S. Taghvaeyan et al., "Portable Roadside Sensors for Vehicle Counting, Classification, and Speed Measurement,"

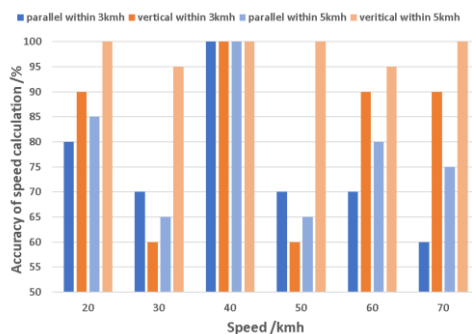


Fig.1 Accuracy of speed measurement at different speeds.

# シングルコイルフィードバック MI センサのダイナミックレンジ拡張効果の評価

井立聖二、内山剛  
(名古屋大学)

Evaluation of Dynamic Range Enhancement Effects through Single-Coil Feedback

S. Idachi, T. Uchiyama  
(Nagoya University)

## はじめに

磁気インピーダンス効果を利用した Magneto-Impedance (MI) センサは、磁気シールドルームを使用しない、生体磁気計測手法として期待されるセンサである。MI センサの磁場感度とダイナミックレンジはトレードオフの関係にあるため、生体磁気計測可能な磁場感度と磁気シールドルーム外における安定動作の両立が難しいという課題がある。その問題の解決手法として、MI センサ周りにフィードバックコイルを設置することによりバイアス磁場を発生させ、地磁気を打ち消す磁気フィードバックなどが存在する<sup>[1]</sup>。MI センサのピックアップコイルとフィードバックコイルを兼用し、シングルコイルによる磁気フィードバックを行う手法も報告されているが、低周波ノイズが増加してしまうという問題がある<sup>[2]</sup>。本報告では、パルス電流励磁方式 MI センサにシングルコイルフィードバック技術を適用することで、ダイナミックレンジの拡張を目指す。

## 実験方法

Fig. 1 にシングルコイルフィードバック MI センサの回路ブロック図を示す。センサヘッドは 400 ターンの 1 cm 長ソレノイドコイルに  $\phi 30 \mu\text{m}$  の FeCoSiB アモルファスワイヤを通すことで構成される。MI センサは -80 dB の磁気シールドボックス内で動作する。

還送差  $F=1+\alpha\beta$  を変化させた時の MI センサの磁場感度、及び磁気ノイズスペクトル密度を計測する。磁気ノイズスペクトル密度は、MI センサ出力電圧をバンドパスフィルタ (0.1 Hz ~ 1 kHz)、10 倍増幅器を介して FFT Analyzer により計測される。

## 実験結果

Fig. 2 では、還送差  $F$  の変化による、シングルコイルフィードバック MI センサの磁気特性の変化を示す。磁気フィードバックにより、磁気特性の線形範囲が拡張されていることが確認できる。Fig. 3 に MI センサの磁気ノイズスペクトル密度を示す。ノイズフロアは  $30 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$  (at 10 Hz) となり、磁気フィードバックの前後で変化しないことがわかった。これらの結果より、シングルコイルフィードバックによってダイナミックレンジを 120dB 以上に拡張することができ、ノイズの増加をなくすことができた。

## 参考文献

- 1) Han et al., Virtual Reality & Intelligent Hardware, 4(1), 38-54, 2022
- 2) Gudoshnikov et al., Phys. Status Solidi A, 211(5), 2014

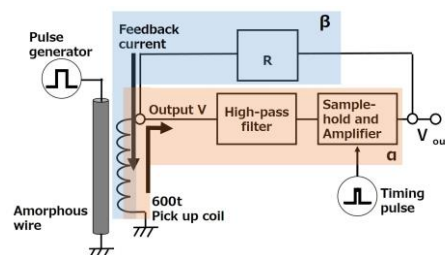


Fig.1 Block Diagram of Single Coil Feedback MI Sensor

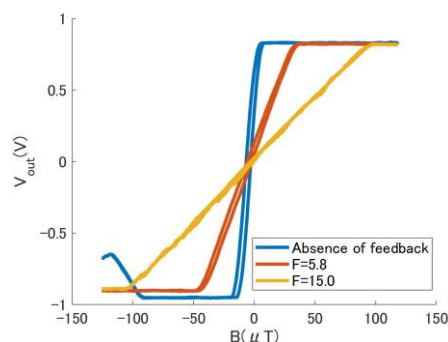


Fig.2 Change in the Magnetic Properties of a Single-Coil Feedback MI Sensor Due to the Feedback

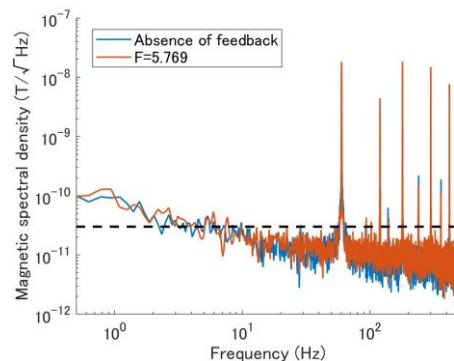


Fig.3 Comparison of magnetic noise spectral density for absence of feedback and  $F=5.8$ .

# Wiegand ワイヤの励磁・検出位置とパルス出力特性

鈴木丈士, 竹村泰司 (横浜国立大学)

Pulse voltage of Wiegand wire depending on positions of excitation and detection

Hiroto Suzuki, Yasushi Takemura

(Yokohama National University)

## はじめに

磁氣的二層構造を形成している Wiegand ワイヤは、外部磁界の印加により保磁力の低いソフト層を反転させた際に大バルクハウゼンジャンプという急峻な磁化反転が生じる<sup>1)</sup>。周りに検出コイルを取り付けることで一定電圧のパルス出力を得ることができ、小型発電素子への応用が期待されている<sup>2,4)</sup>。本稿では出力特性として磁壁発生位置や、パルス波高値、面積などの、Wiegand ワイヤの位置依存を考察した。

## 実験方法

Fig. 1 に示すように 1 mm 長、100 turn の検出コイルが 7 つ連続したものを作製し、0.25 mm 径、15.5 mm 長の Wiegand ワイヤの外周に設置した<sup>5)</sup>。ワイヤの両端にはフェライトビーズを装着した。そして 10 mm 径、2 mm 幅の小型円形の NdFeB 磁石を回転させ、ワイヤに交番磁界を印加した。この状態でパルスを 1000 回観測し、磁壁発生位置、波高値、半値幅、パルス面積を考察した。

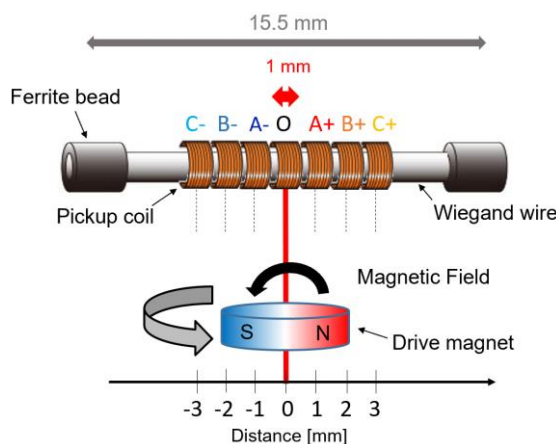


Fig. 1 Measurement setup.

## 実験結果

ワイヤの中心に磁界を印加したときの磁壁発生位置の分布を Fig. 2 に示す。中心のコイル O 付近で磁壁が多く発生していることが分かる。

また、各コイルのパルス面積の分布を Fig. 3 に示す。中心のコイル O 付近のパルス面積が大きい傾向にあることが分かる。

当日は、磁壁発生位置と波高値や面積の相関関係や、励磁条件を中心から変えた場合の測定結果など、より詳細な内容を報告する。

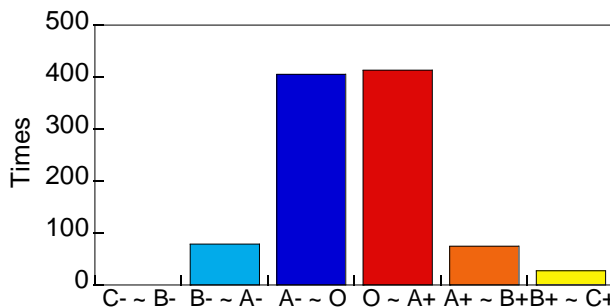


Fig. 2 Coils detecting the first pulse.

## 参考文献

- 1) J. R. Wiegand and M. Velinsky, U.S. Patent 3,820,090, (1974).
- 2) Products Wiegand sensor, POSITAL: [https://www.posital.com/jp/produkte/wiegand\\_sensors/Wiegand\\_Sensors.php](https://www.posital.com/jp/produkte/wiegand_sensors/Wiegand_Sensors.php)
- 3) S. Saggini, F. Ongaro, L. Corradini, A. Affanni, IEEE Trans. Emerg. Sel. Topics Power Electron., 3, 766, 2015.
- 4) Y. Takemura, N. Fujinaga, A. Takebuchi, and T. Yamada, IEEE Trans. Magn., 53, 4002706, 2017.
- 5) 鈴木, 梶原, 竹村, 令和 5 年 電気学会全国大会, 2-098, 2023 年 3 月.

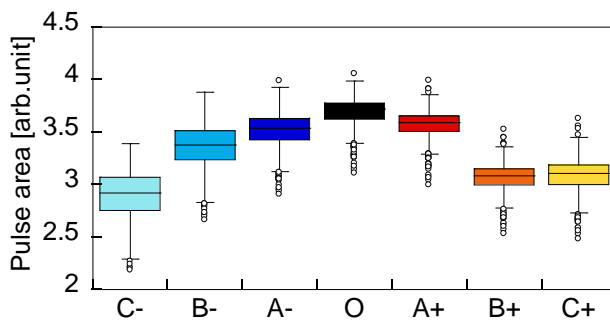


Fig. 3. Area of Wiegand pulse.