

逆磁歪効果型薄膜歪センサの振動センサへの応用

久保 結人, 荒井 薫, 栢 修一郎, 石山 和志
(東北大学 電気通信研究所)

Application of strain sensor using inverse-magnetostriction effect to vibration sensor

Y. Kubo, K. Arai, S. Hashi, K. Ishiyama
(RIEC, Tohoku Univ.)

はじめに

近年、老朽化が進行した建造物の数は増加しており、建造物の損傷や崩落の危険性が高まっている。しかし、その点検方法は目視やハンマー等による打音点検など人の手による検査が中心となっている[1]。本研究では、現在広く行われている人の手による打音検査に代わる、橋梁等の微小振動を検出できる超高感度振動センサの開発を目標としている。

これまで、磁歪膜と導体層の積層構造からなる逆磁歪効果を利用した歪センサの検討を行ってきた[2]。このセンサは、センサ素子への歪印加時の磁化変化に伴う透磁率変化を、高周波通電時の素子のインピーダンス変化として検出するものであった。今回、その歪センサの振動センサへの応用を目指し、歪印加時の透磁率変化に伴う高周波電流通電時の素子の位相変化に着目し、その位相変化を電圧変化として検出できる回路を作成した。さらに、Fig. 2のように、歪センサを片もち梁構造とし、外部振動に伴い片もち梁が振動する構造とした。これにより、外部振動による片もち梁の振動で、素子に歪が印加され、透磁率変化に伴う位相変化を電圧として検出できるような振動検出システムを構成した。本報告では、その振動検出の特性について報告する。

実験方法

素子の作製には RF スパッタ、リフトオフ法を用いた。Fig. 1 に示すように、非磁性金属層の Mo 膜を磁性層の $\text{Fe}_{72}\text{Si}_{14}\text{B}_{14}$ 膜で挟み込んだ積層構造にした。また、Mo、 $\text{Fe}_{72}\text{Si}_{14}\text{B}_{14}$ とともに同一の 1 ターンミアンダ形状に成膜した。Si ウェハの厚みは $200\mu\text{m}$ 、Mo の膜厚は $2.0\mu\text{m}$ 、 $\text{Fe}_{72}\text{Si}_{14}\text{B}_{14}$ の膜厚は $0.7\mu\text{m}$ とした。成膜後に 360°C 、 240kA/m の回転磁場中のみで熱処理を行い、積層膜への残留応力を利用して磁性膜長手方向に異方性を誘導した。

Fig. 2 に振動検出実験の模式図を示す。素子の電極側をジグ上に固定し、片もち梁状にして、加振器によりジグを加速度 2.5m/s^2 、 5.0m/s^2 の正弦波で振動させた。Si ウェハ先端には、機械的共振周波数を下げるために 1g の錘を固定した。また、素子へのキャリア通電電流の周波数は 150MHz とし、位相検出回路を用いて振動を検出した。

実験結果

加振時の検出電圧の周波数特性を Fig. 3 に示す。加振周波数を 20Hz ~ 200Hz まで変化させ、位相検出電圧は peak to peak 電圧とした。加振周波数 150Hz で検出電圧が最大になり、加振加速度 5.0m/s^2 において、 0.3V の検出電圧を得た。この点は片もち梁の機械的共振点と考えられる。今回の実験で、片もち梁型の歪センサが振動センサへ応用可能であることが明らかとなった。今後、さらなる振動検出感度の向上のため、片もち梁構造やセンサ素子構造を検討する。

謝辞

本研究の一部は、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) の「先端計測分析技術機器開発プログラム」による支援によって行われた。

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] Y. Suwa, et al., IEEE Trans. Magn. 46, 666 (2010)。

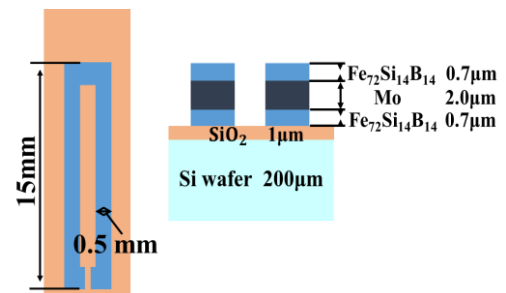


Fig. 1 Schematic diagram of the sensor element.

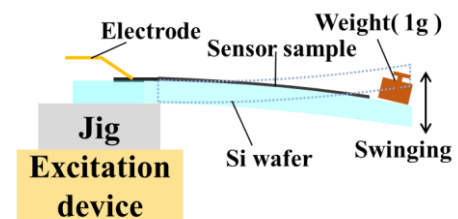


Fig. 2 Experimental setup of vibration detection.

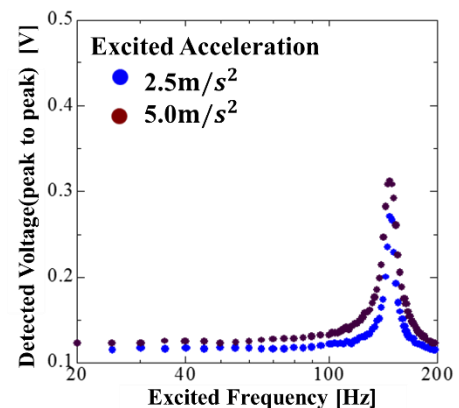


Fig. 3 Frequency characteristic of detected voltage in excitation.

導体層を用いた積層型 MI センサ素子の検討

楠 洸介, 横山 広雄, 栢 修一郎, 林 禎彰, 石山 和志
(東北大学電気通信研究所)

Study on Lamination Structured Magneto-Impedance Sensor Using Conductive Layer

K. Kusunoki, H. Yokoyama, S. Hashi, Y. Hayashi and K. Ishiyama
(Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University)

1. はじめに

高周波キャリア電流を通電した高透磁率磁性材料の外部磁界印加時の透磁率変化を介し、大きなインピーダンス変化を得る磁界センサは、生体磁気計測などへの応用を目指して、さらなる高感度化の研究が進められている^{1,2)}。磁性膜に直接キャリア電流を通電する場合、高周波帯域での表皮効果を利用するため、素子の寸法にもよるが、数百Ω以上の高インピーダンスになりキャリア電流量によっては熱雑音の影響を受け易く感度低下の恐れがある³⁾。そこで本研究では、キャリア通電用に低抵抗率の導体層を設けた積層構造の磁界センサ素子について高感度化の検討を行った。

2. 実験方法

素子の作製には RF スパッタ、リフトオフ法を用いた。Fig. 1 に示すように、導体層として 1 ターンのミアンダ形状の Mo(モリブデン)膜を、また、その上下に長方形の $\text{Co}_{85}\text{Nb}_{12}\text{Zr}_3$ アモルファス磁性層(幅 100 μm, 長さ 5 mm)をガラス基板上に成膜した。膜厚は導体層, 磁性層ともに 1.0 μm とした。成膜後に 400 °C で回転磁界(3 kOe)および、静磁界(3 kOe)を印加して熱処理を行い、素子幅方向に異方性を誘導した。また、インピーダンスの計測にはネットワークアナライザを用いた。

3. 結果

Fig. 3 に幅 100 μm の積層構造型センサへ 200 MHz のキャリア電流を通電した際の外部磁界-インピーダンス特性を示す。外部磁界は素子長手方向へ -16 Oe から +16 Oe まで印加した。約 6 Oe 付近で 37.6 Ω のインピーダンスの最大値を示し、概ね低インピーダンスを実現できている。この磁界印加範囲におけるインピーダンスの変化量は最大で 23.6 Ω で、変化率は約 169 % となった。外部磁界が 5 ~ 6 Oe の範囲で最も急峻なインピーダンス変化を示し、その傾きは約 35.4 Ω/Oe となった。また、約 -2 ~ 2 Oe の範囲に緩やかなインピーダンスの変化が見られる。これは、Fig. 3 に示す磁区構造写真において、素子長手方向への印加磁界が大きくなるほど、還流磁区が成長し、キャリア電流から発生する励磁磁界に対して直交する成分が増加したことが原因と考えられる。これらの結果を考慮し、Kerr 効果顕微鏡による磁界印加時のセンサ素子の磁区構造変化の観察、およびインピーダンスの測定結果から、導体層を設けた磁界センサ素子のさらなる感度向上のための素子構造を検討する。

参考文献

- 1) H. Uetake, et al., IEEE Trans. Magn., 51, 4005003 (2015).
- 2) H. Kikuchi, et al., J. Magn. Magn. Master., 420, 269 (2016).
- 3) H. Mawatari, et al, J. Magn. Soc. Jpn., 27, 414-418 (2003).

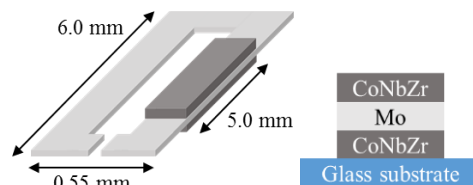


Fig. 1 Schematic diagram and cross sectional view of the sensor

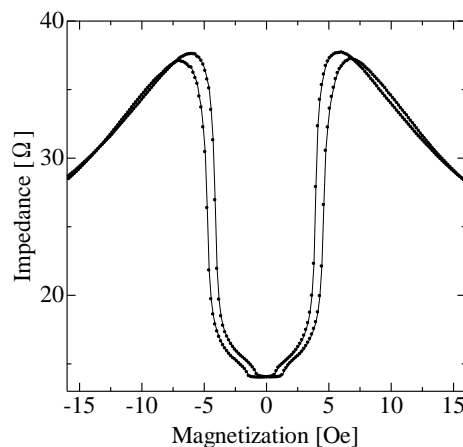


Fig. 2 Impedance change of the sensor element

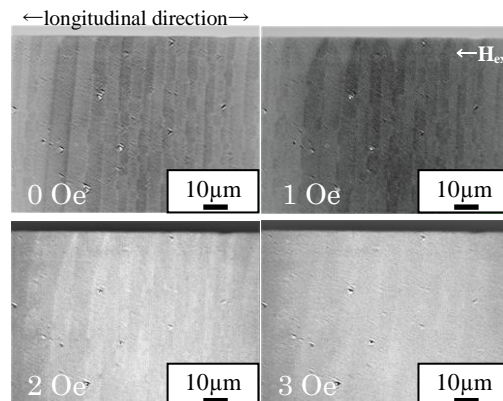


Fig. 3 Domain structure of the sensor element

MI センサによる複合磁気ワイヤの磁壁移動速度の測定

棚村祐悟、星山弘樹、竹渕哲聡、藤永直矢、山田努、竹村泰司
(横浜国立大学)

Measurement of domain wall velocity in magnetic wire using MI sensor
Yugo Tanamura, Hiroki Hoshiyama, Akitoshi Takebuchi, Naoya Fujinaga,
Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura
(Yokohama National University)

はじめに

熱ひねり加工を施した FeCoV 複合磁気ワイヤは、大バルクハウゼンジャンプと呼ばれる高速な磁壁移動によって急峻な磁化反転を生じ、検出コイルを設置することでこの磁化反転からパルス出力が得られる。この出力は無電源で得られることや外部磁界の時間変化に依存しないなどの特徴を有しており、エネルギー・ハーベスティング素子への応用が着目されている。本研究では、MI センサを用いて複合磁気ワイヤに生じる磁壁の移動速度を測定した。

実験方法

本研究では、長さ 20 mm の FeCoV 複合磁気ワイヤを用いた。二つの MI センサ(AICHI MI 社 MI-CB-1DH)をワイヤの近傍に置き、励磁用磁石をワイヤに対して水平に近づけ(Fig.1)、磁壁移動により生じる漏れ磁束のピークの時間差から磁壁移動速度を計算した。一方向の磁壁を観測するために励磁位置に対して片一方に二つの MI センサを配置した。また励磁位置を変え磁壁移動速度の変化を測定した。

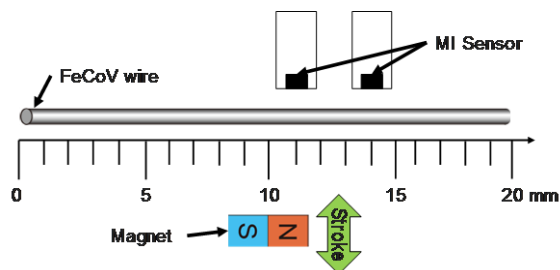


Fig. 1 Configuration of magnetic wire, magnet and MI sensor.

実験結果

ワイヤの中心を励磁し、検出コイルを用いた磁壁移動速度の測定結果を Fig.2 のようになる。これは同じ励磁位置では励磁磁場を変化させても同じ磁壁移動速度が得られることを示す³⁾。次に MI センサを用いた測定結果を Fig.3 に示す。励磁位置がワイヤの中心に近づくにつれて磁壁移動速度が上昇することが得られた。検出コイルを用いた場合においても移動速度が上昇していることが得られた。MI センサを用いることで検出コイルと同様に磁壁移動速度を測定できることを示した。

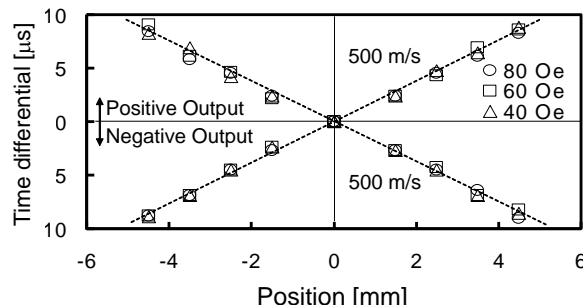


Fig. 2 Time difference measured by detection coil.

具体的な励磁方法や MI の位置等の詳細は当日発表する。

謝辞：FeCoV 磁性線は、ニッコーシ株式会社様のご好意により、提供いただいたものです

参考文献

- 1) J. R. Wiegand, et al., U.S. Patent 3,820,090, 1974.
- 2) R. Malmhall, K. Mohri, F. B. Humphrey, T. Manabe, H. Kawamura, J. Yamasaki, I. Ogasawara, *IEEE Trans. Magn.* **23**, 3242 (1987).
- 3) H. Tanaka, et al., *IEEE Trans Magn.*, 43(6), 2399, 2007.

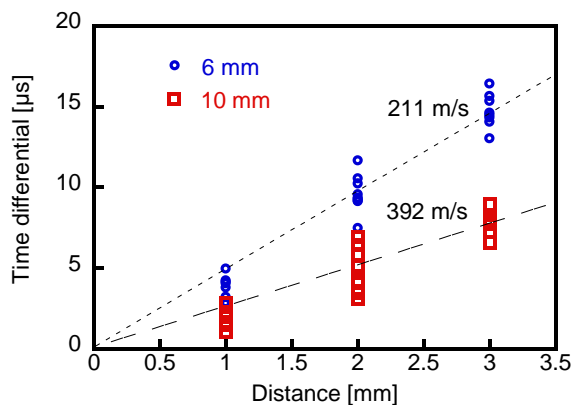


Fig. 3 Time difference measured by MI sensor.

Wiegand パルスを用いたエネルギーハーベスティングによる ホール素子の無電源駆動

藤永直矢、竹渕哲聡、山田努、竹村泰司
(横浜国立大学)

Battery-less operation of Hall sensor by energy harvesting from a single Wiegand pulse
Naoya Fujinaga, Akitoshi Takebuchi, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura
(Yokohama National University)

はじめに

ひねり加工を施した FeCoV ワイヤ (以下、複合磁気ワイヤと記述する) に、一定以上の強度の磁場を印加すると大バルクハウゼンジャンプを伴う急峻な磁化反転が生じる^{1,2)}。検出コイル等を用いることによりこの磁化反転からパルス電圧出力を得ることができ、Wiegand パルスと呼ばれている。このパルス出力は印加磁場の時間変化率に依存しないといった特徴を持つために、回転センサ等へ応用されてきた。近年、集積回路への給電が可能との報告もなされている³⁾。我々はエネルギー・ハーベスティング素子としての応用に着目し、本稿では複合磁気ワイヤを電源として用いた場合のホール素子の無電源駆動を試みた。

実験方法

長さ 20 mm、線径 0.25 mm の複合磁気ワイヤに 3000 turn の検出コイルを巻いた。ローターに装着した $3 \times 3 \times 5 \text{ mm}^3$ の NdFeB 磁石を複合磁気ワイヤ近傍で動かすことで励磁を行い、磁化反転を誘導した⁴⁾。複合磁気ワイヤの磁化反転によって検出されたコイルのパルス出力をホール素子 (THS119, Toshiba) の駆動電源として使用した。評価を行うために、ホール素子に 100-300 mT の直流磁場を印加し、複合磁気ワイヤを電源として用いた場合の出力波形を観測した。また複合磁気ワイヤを電源として用いた場合と直流安定化電源を用いた場合でのホール素子の出力特性の比較を行った。

実験結果

複合磁気ワイヤのパルス出力を電源として用いた場合と直流安定化電源を用いた場合のそれぞれのホール素子の出力特性を Fig. 1 に示す⁵⁾。この時、ホール素子に入力される電流最大値はどちらも 1.3 mA である。ホール素子の出力波形は入力波形と同様な波形が観測され、素子に印加する直流磁場を変化させると、磁場の大きさに対応した出力波高値が観測された。複合磁気ワイヤを電源として用いた場合においても、直流磁場に対して、ホール素子の出力電圧が比例であることが観測された。これらの結果より複合磁気ワイヤを用いたホール素子の無電源駆動が確認された。その他のセンサやデバイス、IoT 分野でのエネルギー・ハーベスティング素子としての応用が期待される。

謝辞：FeCoV 磁性線は、ニッコーン株式会社様のご好意により、提供いただいたものです。

参考文献

- 1) J. R. Wiegand, and M. Velinsky, U.S. Patent 3,820,090, 1974.
- 2) A. Matsushita, S. Abe, *IEEJ Trans. A*, **99**, 46, 1979.
- 3) <https://www.ichaus.de/product/iC-PM>
- 4) A. Takebuchi, T. Yamada, and Y. Takemura, *J. Mag. Soc. Jpn.*, **41**, 24, 2017.
- 5) Y. Takemura, N. Fujinaga, A. Takebuchi, and T. Yamada, *IEEE Trans. Magn.*, accepted for publication, 2017.

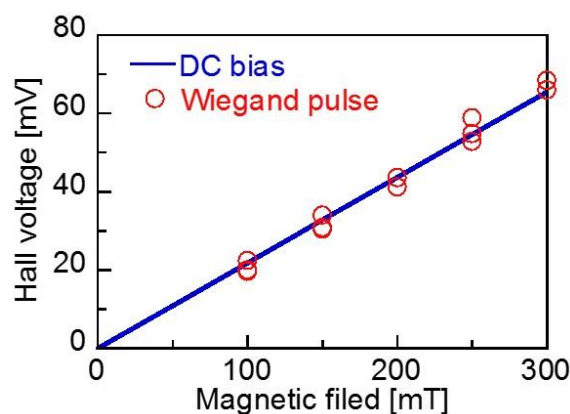


Fig. 1. Hall voltages depending on the intensity of the applied magnetic field. The Hall sensor was operated by conventional DC bias current at 1.3 mA or a single Wiegand pulse voltage⁵⁾.

複合磁気ワイヤを用いたエネルギーハーベスティング素子のフェライトコアによる高出力化

酒井貴史、竹渕哲聡、山田努、竹村泰司
(横浜国立大学)

Higher output voltage from energy harvesting element using compound magnetic wire with ferrite core
Takafumi Sakai, Akitoshi Takebuchi, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura
(Yokohama National University)

はじめに

磁気ワイヤ等における大バルクハウゼンジャンプを伴う急峻な磁化反転は、検出コイルにパルス電圧を誘起する¹⁻³⁾。この電圧を出力とする Wiegand センサが広く研究されてきた¹⁻³⁾。熱ひねり加工処理を施した複合磁気ワイヤにおいても、外部電力が不要であり、外部磁界の時間変化に依存しないパルス出力が得られるなどの特徴を有しており、エネルギーハーベスティング素子への応用が着目されている^{4,5)}。本稿では、複合磁気ワイヤの両端部にフェライトコアを設置したことによる出力の変化を観測したので報告する。

実験方法

FeCoV 複合磁気ワイヤに 200 turn の検出コイルを巻き、その外側を覆うように交流磁場励磁用コイルを設置した。励磁用コイルに電流を流し、40~80 Oe でワイヤ中央を励磁した。その後、フェライトコア(ビーズ)を両端に1つずつ設置して行い、出力電圧と出力を得るために必要な磁場強度の変化を測定した。

実験結果

ワイヤを交流励磁した際のパルス出力電圧を Fig. 1 に示す。フェライトビーズを設置した場合、設置していない場合よりも高い波高値が観測された。これは、フェライトビーズによってワイヤ端部まで励磁され、ワイヤ内部の反転する磁化の量が増加したため、出力が増加したと考えられる。Figure 2 は、パルス出力が生じる、即ち複合磁気ワイヤの磁化反転が生じる印加磁場強度を示している。フェライトビーズを設置すると、出力を得るために強い磁場を印加する必要があることが観測された。詳細は当日報告する。

謝辞：FeCoV 磁性線は、ニッコーシ株式会社様のご好意により、提供いただいたものです

参考文献

- 1) J. R. Wiegand and M. Velinsky, U.S. Patent 3,820,090, (1974).
- 2) R. Malmhall, K. Mohri, F. B. Humphrey, T. Manabe, H. Kawamura, J. Yamasaki, I. Ogasawara, *IEEE Trans. Magn.* **23**, 3242, (1987).
- 3) S. Abe and A. Matsushita, *IEEE Trans. Magn.*, **31**, 3152, (1995).
- 4) R. Serizawa, T. Yamada, S. Masuda, S. Abe, S. Kohno, F. Kaneko, Y. Takemura, *Proc. IEEE Sens. 2012*, 1878, (2012).
- 5) A. Takebuchi, T. Yamada, Y. Takemura, *J. Mag. Soc. Jpn.*, **41**, 34, (2017).

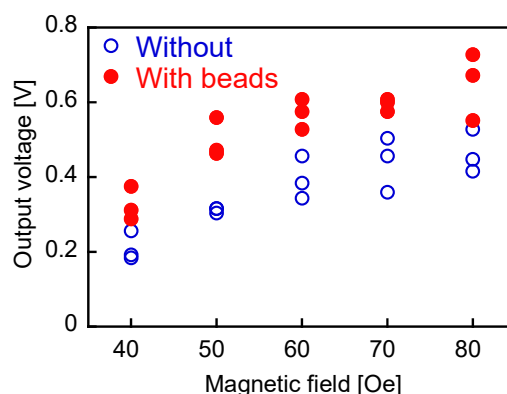


Fig. 1 The output voltage measured by detection coil.

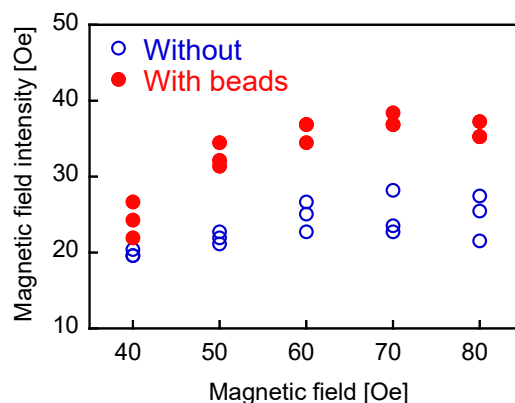


Fig. 2 The magnetic field intensity for magnetization reversal of magnetic wire.

磁気ワイヤを用いた鼓動検出等が可能な無電源 0.6 mm 振動センサ

松澤一平、竹渕哲聡、山田努、竹村泰司
(横浜国立大学)

0.6 mm vibration sensor without power supply using magnetic wire for detection of heart beat

Ipeei Matsuzawa, Akitoshi Takebuchi, Tsutomu Yamada, Yasushi Takemura

(Yokohama National University)

はじめに

FeCoV 複合磁気ワイヤは熱ひねり加工を施すことにより、外部磁場の変化速度に依存せず大バルクハウゼンジャンプと呼ばれる急峻な磁化反転を起こす。この磁化反転は、検出コイルによりパルス出力として取り出すことができ、発電素子として用いることが可能となる。今回我々は、微小振動を検出可能な無電源センサとしての応用に着目した。本稿では、パルス出力を得るために必要な最小ストローク量を調査することを目的とし、磁石の大きさやワイヤ-磁石間距離の変化に対する最小ストローク量を測定した。

実験方法

長さ 11 mm、0.25 mm 径の FeCoV 複合磁気ワイヤに巻数 300 turn の検出コイルを巻きつけた。ワイヤの長手方向に対し、励磁用磁石の着磁方向が垂直になるように配置し、ワイヤに対して平行に励磁用磁石をストロークさせた(Fig. 1)。このとき、出力を得られる最小ストローク量 Stroke [mm]を測定した。同様なことを、ワイヤ-磁石間距離 Distance [mm]と磁石の着磁方向長さを変えて行った。

実験結果

上記の実験結果を Fig. 2 に示す。Distance が小さいほど、Stroke が小さくなり、着磁方向に長さを持つ磁石の Stroke が小さくなる結果を得た。ワイヤの出力に必要な磁場強度を H_r [Oe]としたとき、ワイヤの長手方向に $-H_r$ と H_r を交互に印加する必要がある。Distance や磁石の着磁長さによって $-H_r$ と H_r の距離が変わるため、Stroke が変化したと考えられる(Fig. 3)。同じ Distance において、Fig. 3 に示すように着磁方向に長い磁石のほうが、 $-H_r$ と H_r の距離が近くなり、小さい振動を検出することができる。

最後に、1 mm 以下の最小ストローク量に注目して測定を行った結果、 $4 \times 4 \times 12 \text{ mm}^3$ において最小ストローク量 0.6 mm で出力を観測することができた。よって、1 mm 以下の微小振動による無電源センサとしての有用性が示された。

謝辞：FeCoV 磁性線はニッコーシ株式会社様のご好意により、提供いただいたものです。

参考文献

- 1) J. R. Wiegand, et al., U.S. Patent 3,820,090, 1974.
- 2) S. Abe, et al., IEEE Trans Magn., 33, 3916, 1997.
- 3) A. Takebuchi, T. Yamada, Y. Takemura, J. Mag.Soc. Jpn., 41, 34, 2017.

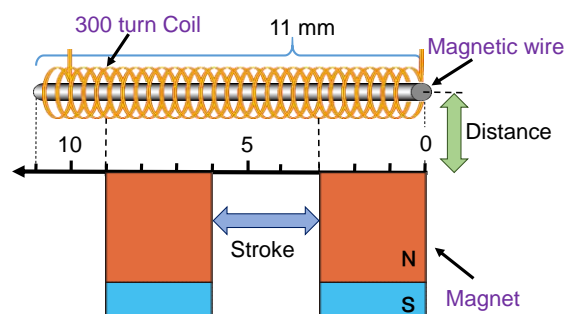


Fig. 1 Configuration of magnetic wire, detection coil and magnet.

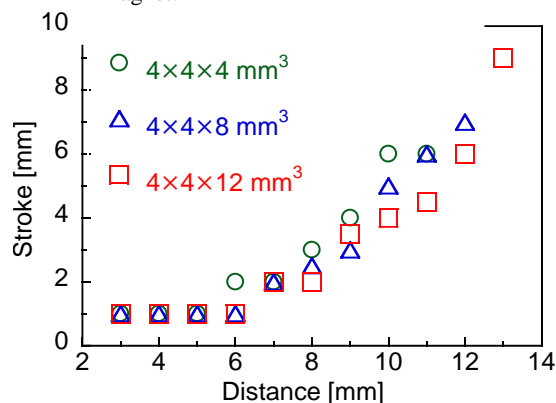


Fig. 2 The length of minimum stroke depending on the distance between magnetic wire and magnet.

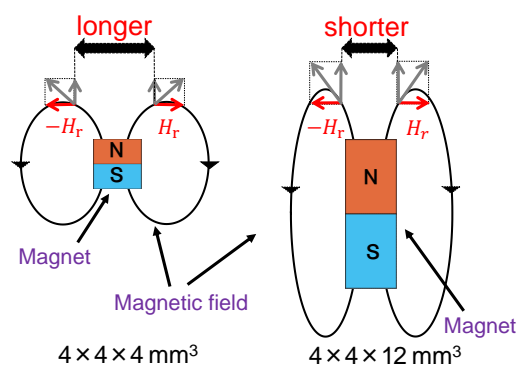


Fig. 3 The Magnetic field about each magnet.