

# エネルギーハーベスティング素子を構成する磁気ワイヤにおける磁壁移動速度の測定

溝口健人, 芹沢諒平, 山田 努, 増田純夫, 小川雄一朗\*, 河野志郎\*, 金子文夫\*, 竹村泰司  
(横浜国立大学, \*ニッコシー株式会社)

Measurement of domain wall motion in FeCoV compound wires for energy harvesting device

K. Mizogushi, R. Serizawa, T. Yamada, S. Masuda, Y. Ogawa\*, S. Kohno\*, F. Kaneko\*, Y. Takemura  
(Yokohama National University, \*Nikkoshi Co., Ltd)

## 1. はじめに

ひねり処理加工した FeCoV ワイヤ (以下、複合磁気ワイヤと記述する) では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。この磁化反転を誘導起電力として検出する磁気センサは、外部電源が不要であること、動作温度範囲が広いこと、出力波形が外部磁界の時間変化に依存しないことなどの特徴を有する<sup>(1)(2)</sup>。我々は、これらの特徴を生かして、振動エネルギーを電気エネルギーに変換するエネルギーハーベスティング素子への応用に着目している。

磁化反転が発生する外部磁界強度 (以下、反転磁界強度と記述) を低下させることを目的にワイヤ中央部にエッチング加工を施した (Fig. 1)。この時、反転界により発生する逆磁区を利用することで、磁壁の核生成エネルギーが不要になり反転磁界強度が低下した。本稿ではエッチング加工を施したワイヤと未加工ワイヤの磁壁移動速度を測定したので報告する。

## 2. 実験方法・結果

本実験では、線長 27 mm、線径 0.25 mm の FeCoV 複合磁気ワイヤ、ワイヤに直接巻きつけた幅 1 mm、巻き数 50 turn の検出コイル、励磁用磁石は 3 mm×3 mm×5 mm の NeFeB 磁石を用いた。回転軸に磁石を取り付け、その外部にワイヤと検出コイルを設置した (Fig. 2)。回転軸が回転し、磁石とワイヤが接近すると検出コイルに出力パルスが誘起される。コイル 1 とコイル 2 の出力が得られた時間差を測定し、エッチング加工を施したワイヤと未加工のワイヤの磁壁移動速度を比較した。また、ワイヤにかかる磁界強度は磁石とワイヤ間の距離  $d$  によって変化させた。

測定の結果、エッチング加工を施したワイヤにおける磁壁移動速度は 588 m/s、未加工のワイヤでは 499 m/s となり、エッチング加工を施したワイヤの方が磁壁移動速度が大きいことを確認した (Fig. 3)。また、磁壁移動速度はワイヤに印加される磁界強度に依存しないことを確認している。

謝辞：本研究の一部は、公益財団法人 JKA「平成 24 年度自転車等機械工業振興事業」補助金 (24-71) により実施した。

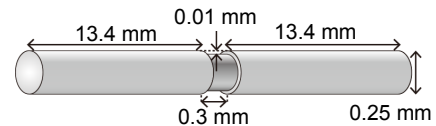


Fig. 1 Schematic of the etched compound magnetic wire.

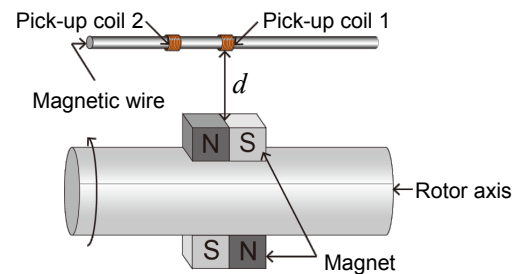


Fig. 2 Experimental set-up.

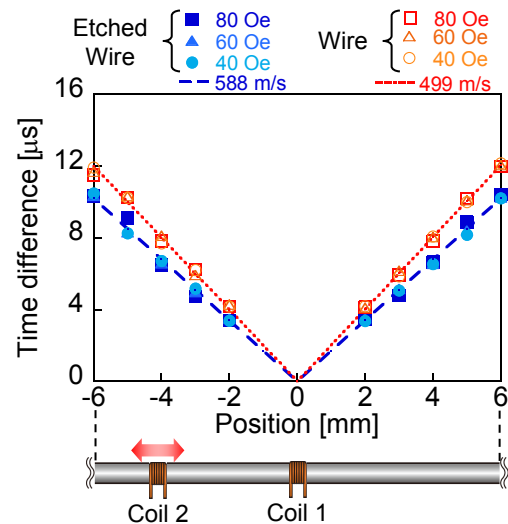


Fig. 3 Velocity of domain wall motion in FeCoV compound magnetic wires.

## 参考文献

- [1] M. Vázquez et al., IEEE Trans. Magn. 30, 907, 1994  
[2] S. Abe et al., IEEE Trans. Magn. 33, 3916, 1997

# リング磁性体とシールドリングを用いた差動トランス方式角度センサ

浦井 治雄  
(広島国際大学工学部)

An Angular Sensor with Differential Transformer Structure using a Ferrite Ring Partially Shielded by a Conductor Ring  
Haruo Urai  
(Faculty of Engineering, Hiroshima International University)

## はじめに

差動トランス型変位センサは線状軟磁磁性体の局所的透磁率がその長さ方向で2次関数的に分布していることにより実現される<sup>[1]</sup>。一方、軟磁性体に設けた導体シールドリングは、その部分の磁性体の磁束を交流的に零にする現象が古くから知られている<sup>[2]</sup>。これをリング磁性体に適用すると、両端が開いた直線状磁性体と等価になり、その局所透磁率の分布が2次関数的であれば、差動トランス構成を適用することが可能となる。本研究では、リング磁性体に導体シールドリングを設けたときの局所インダクタンスの分布を、磁性体分割の1次元モデルで見積もり、実測と比較し、さらに差動トランス出力のシールドリング位置依存性から、角度センサへの適用を議論する。

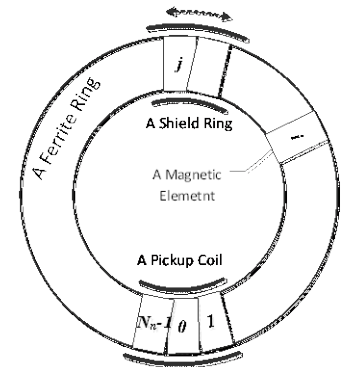


Fig.1 A calculation model for a shielded ring.

## リング磁性体の局所透磁率の1次元モデル計算

Fig.1 に示すように、矩形断面のリング磁性体の断面を円形に等化し、周方向に円盤要素で分割する。各磁気要素から発生する磁界はその中心軸上の成分のみとする。リングを  $Nn$  個の要素で均等に分割する。各要素の磁気エネルギーの総和は、各要素の未飽和条件では、各要素の内部磁界が0の場合に実現する。即ち、電流で規格化したピックアップコイル磁界  $h_0(i)$ 、各要素の電流規格化磁化  $m(i)$ 、磁化と電流で規格化した各要素間の磁界強度係数  $h_m(i,j)$  を用いると、

$$h_0(i) + \frac{1}{2\mu_0} \sum_{j=0}^{Nn-1} m(j)h_m(i,j) = 0$$

ここで、 $h_m(j,j)$  は、要素  $i$  に対する要素  $j$  からの右まわりと左回りの磁界強度の和を表す係数である。シールドリングの内部の要素では、磁界要素の磁化と磁界強度係数を強制的に0とする。

## 計算結果と実測の比較と角度センサへの適用

内外径  $19\phi - 30\phi$ 、厚さ  $7.5\text{mm}$  の軟磁性フェライトに  $20\text{T}$  の  $5\text{mm}$  長さピックアップコイル(PC)と同長のCuシールドを設けた試料に対して、PCのインダクタンスのシールドリング位置依存の計算結果と実測の比較を Fig.2 に示す。絶対値的には30%程度計算値は小さいが、いずれもきれいな2次関数分布を示している。さらにPCの両側に各  $20\text{T}$  差動コイルを設けて、 $30\text{kHz}$ 、 $100\text{mApp}$  駆動条件で励磁し、PC出力のシールドリング位置(角度表示)依存を求めると、Fig.3 に示すように、 $\pm 100^\circ$  の範囲では非常にきれいな直線の結果を得た。即ち、角度センサとしてのポテンシャルが実証されたといえよう。

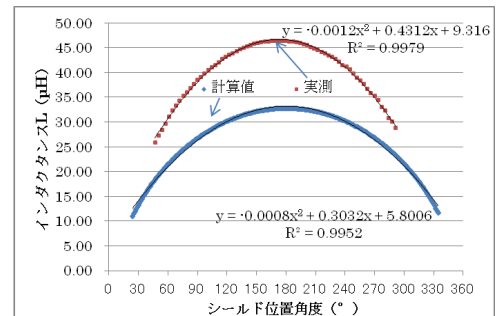


Fig.2 Coil inductance comparison between calculation and experiment.

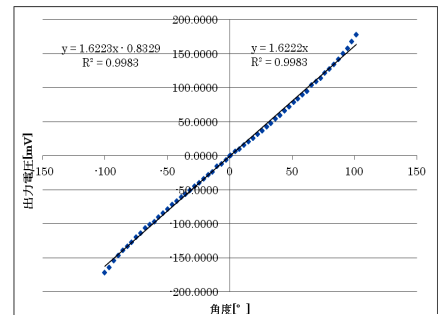


Fig.3 Differential transformer output for a ring ferrite with a shield ring as a function of shield ring position angles.

## 参考文献

- 1) 山田 一, “差動変圧器の変換理論,” 電気学会雑誌, 1968年 vol.88-6.
  - 2) 浦井 治雄, “変位演算素子”. 特許番号: 特許登録第 1862721 号 (平成 6 年 8 月)。
- H25 年度学生竹川徹、佐々木優両君の本実験のデータ採取協力に感謝します。

# ポリスチレン被覆磁性リボンを用いたワイヤレス有機溶剤センサ

鈴木崇土、沓澤伸明、石井修  
(山形大学)

Application of Magnetic Ribbon Coated with Polystyrene to a Wireless Organic Solvent Sensor

T. Suzuki, N. Kutsuzawa, and O. Ishii  
(Yamagata Univ.)

## はじめに

有機溶剤は塗料の希釈剤や機器の洗浄等に使用される。しかし、毒性及び引火性が高いため安全に利用するには有機溶剤センサは欠かせない。従来の半導体式センサは極低濃度ガスを検出可能である<sup>1)</sup>。しかし、引火の危険性がある高濃度ガスのセンサも重要である。特に、広く使用されているトルエンの引火点は4℃であり、その時の濃度は1.17%である。我々は、磁性リボンの湾曲に伴い機械的な共振周波数が上昇する現象<sup>2)</sup>を利用したワイヤレスセンサを実証している<sup>2),3)</sup>。本報告では、ポリスチレン被覆磁性リボンを用いて、広濃度範囲の有機溶剤を検出した結果を述べる。

## 実験方法

幅6mm、長さ25mm、厚さ25μmの磁性リボン(Metglas2605SC)の片面に厚さ20μmのポリスチレン膜を被覆した。磁性リボンには幅方向に100Oeの磁場中で、410℃、10分間熱処理し、異方性を付与した。本磁性リボンをトルエン雰囲気中に保持した場合の共振周波数と曲率を文献<sup>2),3)</sup>に記した方法で測定した。単位時間当たりの共振周波数の最大変化量を $|f_{cr}|$ とした。なお、トルエン濃度はトルエンガスと窒素ガスを混合し調節した。実験温度は $20 \pm 6$ ℃である。

## 実験結果

Fig.1はポリスチレン被覆磁性リボンの共振周波数及び曲率のトルエン濃度特性を示す。濃度が0%から2.26%まで増加するのに伴い曲率は $34.4 \text{ m}^{-1}$ から $0 \text{ m}^{-1}$ まで、共振周波数は89 kHzから68.4 kHzまで減少した。濃度が2.26%から4.27%の範囲では曲率は $0 \text{ m}^{-1}$ 、共振周波数は60 kHzと一定であった。この濃度範囲では、磁性リボンが平坦化したため共振周波数は一定になったと考えられる。

Fig.2はポリスチレン被覆磁性リボンの $|f_{cr}|$ のトルエン濃度特性を示す。濃度が0.3%から4.27%まで増加するのに伴い $|f_{cr}|$ は0.018 kHz/minから13.4 kHz/minまで上昇した。

以上の結果より、 $|f_{cr}|$ を測定する事で、磁性リボンの共振周波数が一定となる2.26%から4.27%のトルエン濃度が検出可能であることを見出した。

## 参考文献

- 1) <http://www.webshiro.com/syohinsetumei/mc1xg100v.htm>
- 2) O. Ishii *et al.*: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **37**, 250-254 (2013)
- 3) 鈴木, 他: 第37回日本磁気学会学術講演会, 319, (2013)

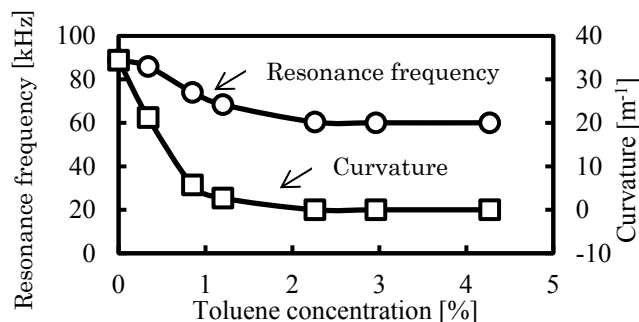


Fig.1 Toluene concentration dependence of resonance frequency (open circles) and curvature (open squares).

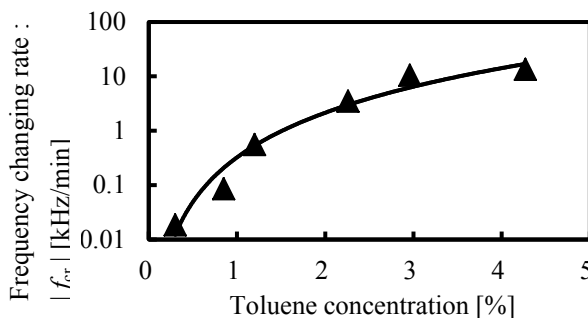


Fig.2 Toluene concentration dependence of frequency changing rate,  $|f_{cr}|$ .

## Mo 薄膜近傍に配置した LC 回路を用いた非接触アンモニアセンサ

荒井拓真, 沓澤伸明, 小池邦博, 石井修  
(山形大学)

Application of LC Circuit Adjacent to Mo Thin Film to a Wireless Ammonia Sensor

T. Arai, N. Kutsuzawa, K. Koike and O. Ishii  
(Yamagata Univ.)

## はじめに

LC 回路は温度、湿度等の環境パラメータを非接触検出する環境センサとして利用されている<sup>1)4)</sup>。とりわけ、食品腐敗時に発生するアンモニアをパッケージ未開封状態で非接触検出する事で食品衛生の向上が期待できる。本研究では、アンモニアと選択的に反応し絶縁物へ変化する Mo を LC 回路直上に配置したセンサ構造を検討した。以下に本センサをアンモニア雰囲気中に保持した場合の共振周波数及びインダクタンス変化について述べる。

## 実験方法

Fig.1 に非接触アンモニアセンサの構造を示す。口型導体に Mo 被覆ポリイミドを接続し、LC 回路の 3 mm 直上に配置した。両者を 2 ml のアンモニア水を封入したシャーレ内に保持し、ネットワークアナライザに接続したピックアップコイル(半径 30 mm, 巻き数 2 回)を隣接させ共振周波数の時間変化を測定した。コイルのインダクタンスは共振周波数から算出した。シャーレ内の最大アンモニア濃度は 82 %である。

## 実験結果

Fig.2 に口型導体と LC 回路をアンモニア雰囲気中に保持した時の LC 回路の共振周波数及びピックアップコイルのインダクタンスの時間変化を示す。時間経過に伴い共振周波数は 10.1 MHz から 9.1 MHz まで減少し、コイルのインダクタンスは 8.1  $\mu\text{H}$  から 10.2  $\mu\text{H}$  まで増加した。反応時間は約 3 時間 20 分であった。

上記のメカニズムを以下に考察する。アンモニア雰囲気中で Mo が絶縁化し、口型導体の渦電流が減少する。従ってコイルから発生する磁束が遮蔽されず、口型導体を透過する磁束、即ちコイルのインダクタンスは増加し、共振周波数は減少したものと考えられる。

以上より、口型導体を隣接した LC 回路を用いた非接触アンモニアセンサの可能性を明らかにした。

## 謝辞

株式会社サンモニターに LC 回路を提供頂いた。

## 参考文献

- (1) I. Kiyoshi *et al.*: *IEICE. Trans. Fund.*, **E78-A**, 1412-1414, (1995)
- (2) C. A. Grimes *et al.*: *Sens. Actuators.*, **A 93**, 33-39, (2001)
- (3) S. Yabukami *et al.*: *J. Magn. Soc. Jpn.*, **30**, 218-224, (2006)
- (4) 荒井拓真 他: 第 37 回日本磁気学会学術講演概要集 2013, 320,(2013)

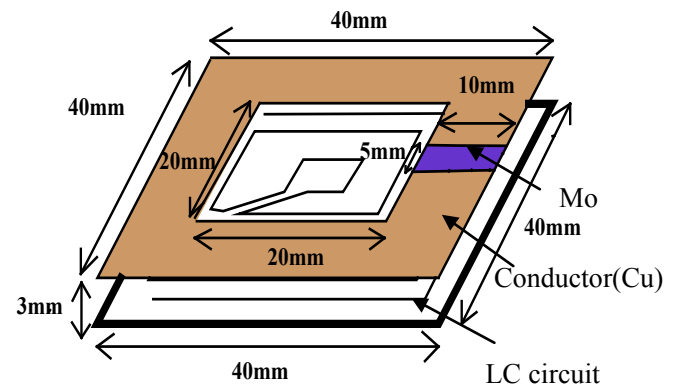


Fig.1 Structure of wireless ammonia sensor

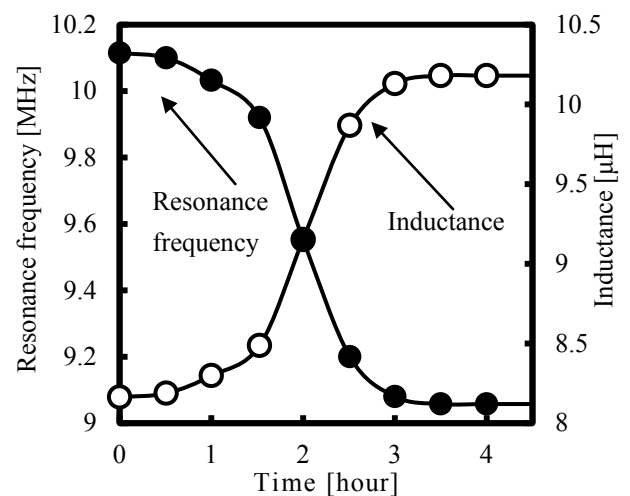


Fig.2 Time vs resonance frequency(solid circles) and inductance(open circles)

# シアノアクリル酸エチル被覆磁性リボンを用いた ワイヤレスアセトンセンサ

近藤慎二, 堀内洋文, 金田拓也, 沓澤伸明, 石井修

(山形大学)

Application of Magnetic Ribbon Coated with Ethyl 2-cyanoacrylate to a Wireless Acetone Sensor

S. Kondo, H. Horiuchi, T. Kaneta, N. Kutsuzawa and O. Ishii

(Yamagata Univ.)

## はじめに

磁性リボンの機械的共振を用いたワイヤレスセンサは広く研究されており、ガスや温度<sup>1),2)</sup>などの検出を可能としている。本報告では、アセトンに溶解されるシアノアクリル酸エチルを被覆した磁性リボンに注目した。このリボンは大気中で湾曲し、アセトン雰囲気中で平坦化する。この形状変化に伴い共振周波数が変化することをを用いたワイヤレスアセトンセンサを報告する。

## 実験方法

100 Oeの幅方向の磁界中において410 °C、10分間の熱処理を施した磁性リボン(Metaglas2605SS、幅6 mm、長さ25 mm、厚さ25 μm)上にシアノアクリル酸エチルを115 °C、30分間加熱して蒸着した。蒸着中の磁性リボン温度は冷却水を用いて3~75 °Cの範囲に制御し、各温度の蒸着量を測定した。

アセトン雰囲気中に保持したシアノアクリル酸エチル被覆磁性リボンの共振周波数及び曲率を文献2),3)に記載された方法で測定した。アセトン濃度はアセトンをバブリングした窒素と純窒素を混合することで0~20%の範囲に制御した。

## 実験結果

Fig.1 はシアノアクリル酸エチルの蒸着量(白丸)及び分散(実線)の蒸着温度依存性を示す。蒸着量は磁性リボン温度の上昇に伴い減少する。これはシアノアクリル酸エチルの沸点が60~62 °Cなので、磁性リボン温度の上昇に伴いシアノアクリル酸エチルが再蒸発するためと推定される。一方、3±1 °Cの場合は磁性リボンが露結し蒸着量の分散が最大となる。この結果、蒸着量が大きく、かつ分散が小さい16±1 °Cが成膜に適していることを明らかにした。

Fig.2は蒸着量が2.68 mgのシアノアクリル酸エチル被覆磁性リボンの共振周波数(黒丸)および曲率(白丸)のアセトン濃度依存性を示す。共振周波数および曲率はアセトン濃度の上昇に伴い低下し、10%以上において一定となる。共振周波数と曲率が比例する傾向は文献3)に報告されている。10%以上のアセトン濃度では磁性リボンが平坦(曲率0 m<sup>-1</sup>)となり共振周波数の一定となる。以上の結果、本センサは0~10%のアセトン濃度において動作可能であり、共振周波数検出型ワイヤレスアセトンセンサとして期待できることを明らかにした。

## 参考文献

- 1) S. Yoshizawa *et al.*: *J.Magn. Soc. Jpn.*, **30**, 170~173 (2006)
- 2) T. Shibata *et al.*: *J.Magn. Soc. Jpn.*, **33**, 50~53 (2009)
- 3) O. Ishii *et al.*: *J.Magn. Soc. Jpn.*, **37**, 250~254 (2013)

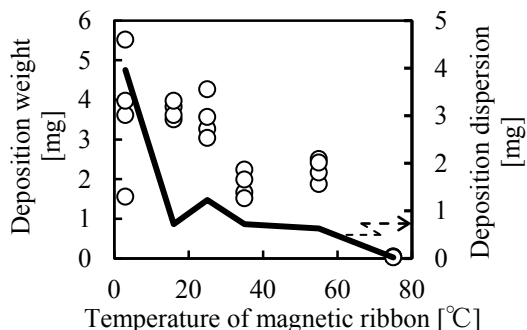


Fig.1 Temperature dependence of weight (open circles) and dispersion (solid line) of deposition

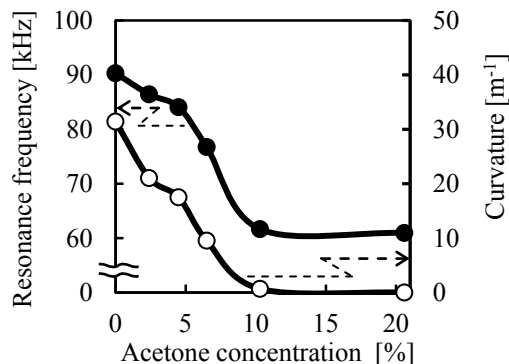


Fig.2 Acetone concentration dependence of resonance frequency (closed circles) and curvature (open circles)