

角度センサ

角度センサは産業において半導体製造や、自動車、精密加工
ロボットといった様々な分野で角度検知に用いられている

- ・2026 年には世界中の工場で新たに設置される産業用ロボットは70万台以上と予想
→ 産業用ロボットの需要は今後も**増加傾向**！
- ・AMR(自動走行搬送ロボット)やADAS(先進雲煙支援システム)など、次世代のロボット開発が進んでいる
→ より**高性能・小型化**が求められる！

これらの要求を満たす
新たな角度センサの開発
が望まれる！

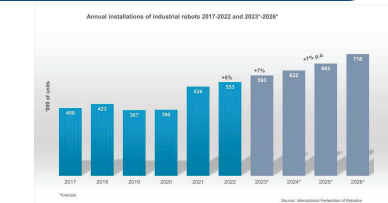
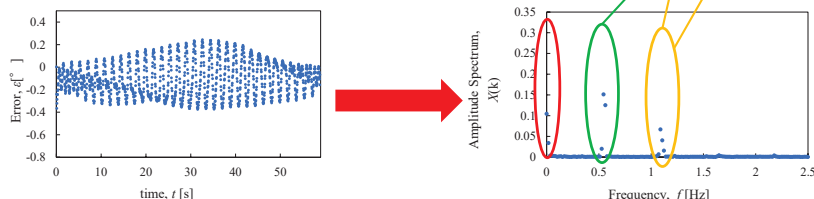


図1 産業用ロボットの設置台数予想の推移

(1)World Robotics Report: "All-Time-High" with Half a Million Robots Installed, <https://ifr.org/news/wr-report-all-time-high-with-half-a-million-robots-installed> (最終閲覧日: 2024/05/09)

高性能化へ向けた取り組み① ～角度誤差の原因調査～

出力電圧の不完全性	角度誤差, ε	機械角1回転に対する変動回数
①振幅アンバランス, ΔE	$\frac{\Delta E \sin 2D\theta}{2E}$	2D
②直流成分, $\Delta V_1(\theta), \Delta V_2(\theta)$	$\frac{\sqrt{\Delta V_1 + \Delta V_2} \cdot \sin(\tan^{-1}(\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}) - D\theta)}{E}$	D
③位相シフト, $\Delta\theta$	$\sin \frac{\Delta\theta}{2} \cos^2 \frac{\Delta\theta}{4} (\cos(2D\theta + \frac{\Delta\theta}{2}) + 1)$	2D

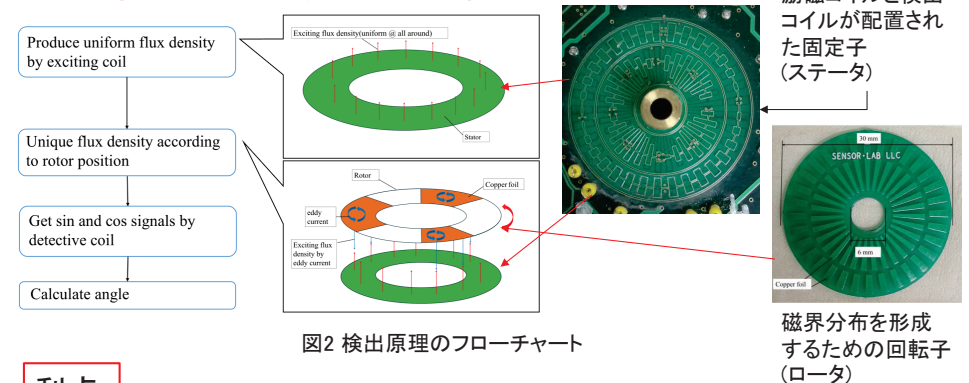


角度誤差の実測から 計算によって現れる周波数成分が存在することを確認！

上記内容は英語学会で優秀発表として受賞 & 査読論文として学会誌(日本AEM学会誌, Vol.33, No.3)に掲載！
<https://www.Shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/chair/elec005/news/2024/07/apsaem2024bestpresenteraward2024717.html>



我々は**プリント基板上の平面パターン**を利用した
磁気誘導型渦電流角度センサに着目！



利点

- ・プリント基板上での配線パターンのみで実現可能なため
コイル巻線の必要がなくコスト削減につながる
- ・渦電流方式により、**磁石を使わない**
- ・プリント基板のため、**量産性/軽量化**の面で優れる

高性能化へ向けた取り組み② ～平面パターンの最適化～

プリント基板上での平面配線パターンで励磁磁界を形成するため
励磁磁界の大きさが課題！

→ より**励磁磁界がより大きくなる平面配線パターン**を提案する！

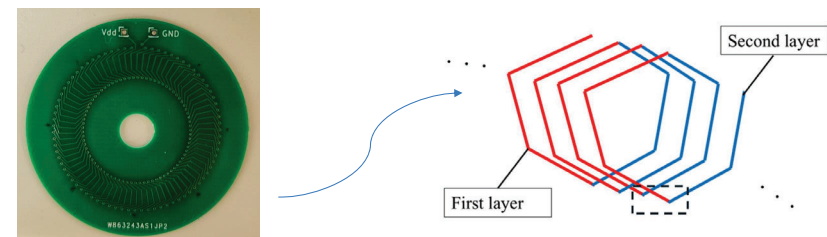


図3 プリント基板の**多層構造**を利用した新しい励磁コイル

詳しくはこちら！



世の中のあらゆるものにセンサが装着され、インターネットにつながるIoT社会に注目が集まる

ロードセルの需要が増大 (2025-2030年において増加予測) (1)(2)

過酷環境下(宇宙空間、高温空間、振動・衝撃、過負荷、など)に耐える耐久性や、低コストの荷重センサの需要が増大

荷重センサの
耐環境性、高い生産性の実現

先行研究の課題(3)

- ・励磁用のコイルを巻く必要がある
- ・検出用のコイルを巻く必要がある
- ・変化率が2%と低い
- 測定精度に課題がある

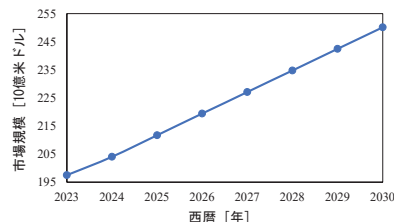


図1 ロードセルの市場成長予測(1)(2)

検討するセンサ

磁歪材料を用いた荷重センサ

- 過酷環境下での利用が可能になる
- 寿命が長い
- 電源などを使用しない、**持続可能な荷重センサ**

- (1) Load Cell Market by Product (Capacitive Load Cells, Hydraulic Load Cells, Piezoelectric Transducers), Type (Alternating, Bending, Compression), Technology, Pressure Load Cell, End User - Global Forecast 2025-2030, 20241031, レポート閲覧日20241229.
- (2) 世界のロードセル市場規模 Report.jp, 20241109, レポート閲覧日20241229
- (3) 大川 慎之介, 小川 徹, 古野 憲紀, 田代 晋久, 脇若 弘之, 田山 徹, 小野寺 隆一, 渡辺 特仁, "機械学習を用いたFeCo合金の予応力推定", 第33回「電磁気関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集, SEDAD33-88, pp. 289-292, 2021, May 19-21 (オンライン)

逆磁歪効果より...

磁界を印加した際、
応力に伴い磁歪材料の周りに磁束が
漏れ出る(漏れ磁束)

力の大きさによって変化する漏れ磁束を磁気センサで測定

- ・単純構造であり、小型化が可能
- ・コイルを巻かないため、断線の恐れがない
- ・ひずみゲージ接着の必要がない

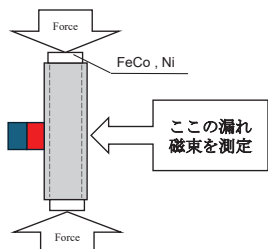


図4 提案するセンサイメージ図

漏れ磁束が変化する様子

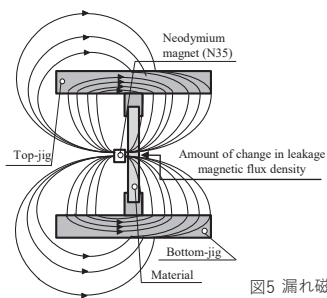


図5 漏れ磁束が多いときの磁束線図

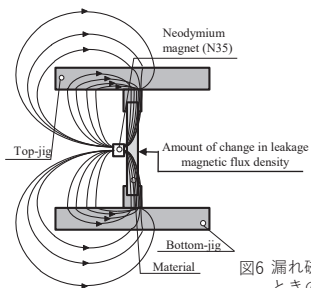


図6 漏れ磁束が少ないときの磁束線図

磁歪材料とは

- ・磁界を印加することにより寸法が変化する磁歪効果
- ◎外部から応力を印加することにより磁化の強さが変化する逆磁歪効果

Fe₃₀Co₇₀

- ・優れた磁気特性と機械的特性
- ・高い降伏強度、耐久性、温度特性
- 提案するセンシング方式に適している

Ni

- ・FeCoと逆の磁歪特性を持つ
- FeCoと合わせることで
荷重の測定範囲を広げられる可能性

応力が加わると、比透磁率の最大値が変化

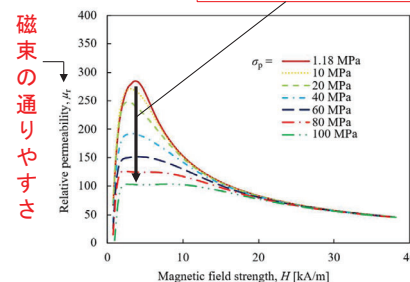


図2 FeCoの圧縮応力別、比透磁率の変化

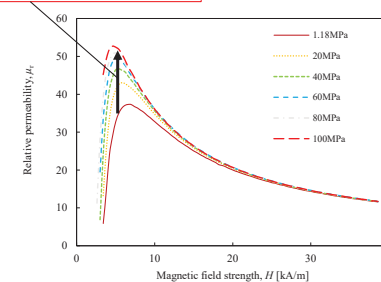


図3 Niの圧縮応力別、比透磁率の変化

実験内容

圧縮応力を1 ~ 100 Mpa印加したときの漏れ磁束の大きさを計測(磁石固定)
→FeCo, Niの漏れ磁束の変化率を確認

実験結果

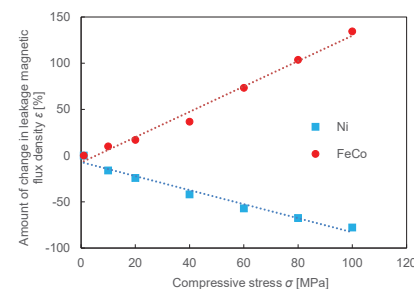


図7 漏れ磁束変化率

結論

- ・FeCoは漏れ磁束の変化率は134%
- ・Niは漏れ磁束の変化率は-78%
- ・FeCoとNiは逆の磁歪特性を持つためだと考える
- ・どちらも線形性があり、センサへ応用しやすいと考えられる。

この結果で書いた論文で、
電気学会論文誌Aに掲載されました！

亀嶋 友也, 田代 晋久, 脇若 弘之, 鈴木 涼平, 田山 徹, 渡辺 特仁, 小野寺 隆一: 「正および負の磁歪材料を用いた漏れ磁束による荷重センサ」, 電気学会論文誌A(基礎・材料・共通部門誌), Vol. 145, No. 4, pp. 112-117 (2025).

詳しくはこちら!



金属判別

研究目標 渦電流を用いた金属判別の精度向上

研究背景

AM技術などの複雑な形状の金属構造⁽¹⁾や電子機器の半田⁽²⁾などの異種金属接合への非破壊検査ニーズが高まる

高空間分解能に金属検出



金属判別手法

スパークテスト
超音波
渦電流
...etc

特徴

- ・ 非破壊、非接触で判別可能
- ・ 容易で安価に判別可能

(1) Machado Miguel A.: "Eddy Currents Probe Design for NDT Applications: A Review", *Sensors*, Vol. 24, No. 17, Article 5819 (2024).
(2) Saddoud Romain, Sergeeva-Chollet Natalia, Darmon Michel: "Eddy Current Sensors Optimization for Defect Detection in Parts Fabricated by Laser Powder Bed Fusion", *Sensors*, Vol. 23, No. 9, Article 4336 (2023)
(3) <https://www.sinto.co.jp/promotion/metal-am/202507/14>閲覧

渦電流法

渦電流の原理

コイルに交流電圧をかけることで発生した磁束密度によりコイルに対向する金属板上で電磁誘導が起こり渦電流が発生し、交流電流による磁束密度を打ち消す向きの磁束密度が発生する。

渦電流は金属の種類で差異が生まれる

渦電流の変化によりコイルのインピーダンスが変化

金属毎のインピーダンスの変化の違いにより金属判別

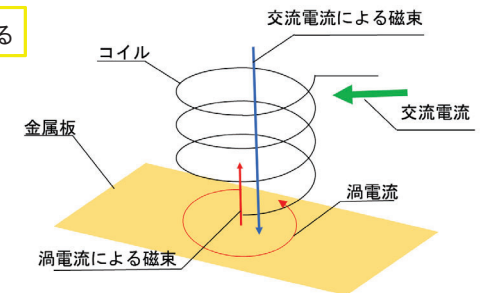


図2 渦電流の原理図

先行研究での課題

先行研究 コイルの中心径より小さい金属片の検出は困難⁽⁴⁾

研究目的 磁気センサを用いてコイルの中心径より小さな金属の検出

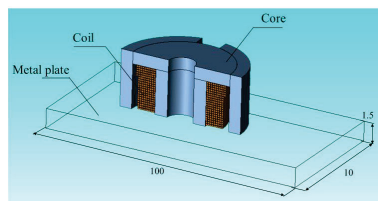


図3 先行研究での金属検出方法

先行研究：コイルのインピーダンスの変化を取得

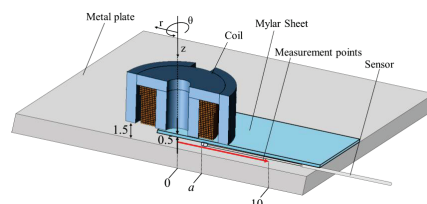


図4 検討する金属検出方法

検討事項：コイルと金属板の間の磁束密度の変化をピンポイントに取得

磁気センサにより磁束密度の局所的な変化の検出を目指す

最適な磁気センサ位置と感度方向の特定

(4) 山口雄太郎, 石川賢太, 田代晋久, 脇若弘之, 中村善宏, 町田和俊: 「非対称コア付きコイルを用いた非磁性金属板端部での材質判別の検討」, 電気学会マグネティックス/マイクロマシン・センサシステム/バイオ・マイクロシステム研究会資料, MAG-22-165 MSS-22-060 BMS-22-049 (2022)

センサ設置位置の検討

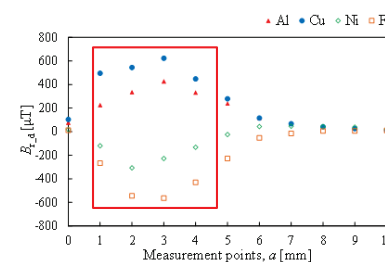


図5 r 軸方向の磁束密度

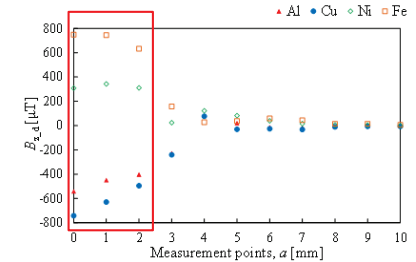


図6 z 軸方向の磁束密度

r, z 軸方向に金属ごとの磁束密度の差が見られる

最適な設置位置, 感度方向特定

インピーダンス出力より磁束密度取得では金属の有無による出力の相対差が Cu:7倍、Al:6倍、Ni:10倍、Fe:7倍ほどの高くなることが判明

詳しくはこちら!



金属判別

目的: 材料の検出、リサイクル、セキュリティチェック...

手法: 比重の測定、X線の照射、画像分析、**渦電流法**...

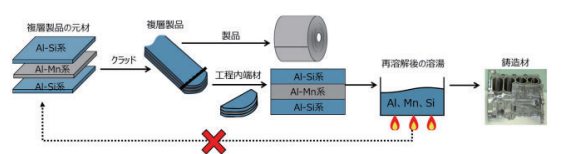


図1 金属材料のリサイクルの様子⁽¹⁾

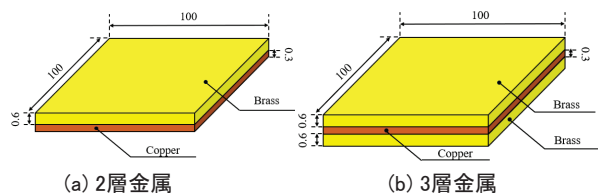


図2 判別対象の金属 (単位: mm)

渦電流法のメリット
・接触が不要
・金属に傷がつかない
・センサが小型

(1) 山崎 裕貴, 永井 健史, 蔵本 遼, 中西 英貴, 竹田 博貴, 浅井 千尋, 倉本 剛, 西川 直樹, 増田 勇也,
低CO2リサイクルアルミ材の開発,
軽金属 73 巻 4 号, pp. 175-179 (2023)

コイルの特性: インダクタンス(L)、抵抗(R)
特性が変化する要因: **金属種**、**周波数**

→L、Rの**周波数**特性を見ることで、**金属種**を判別する

インピーダンスアナライザ

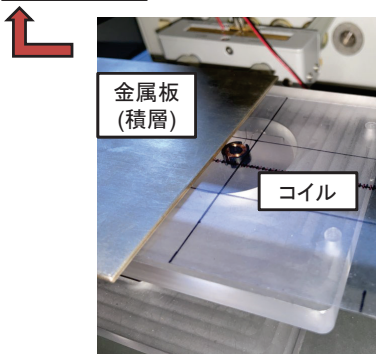


図4 周波数特性測定の様子

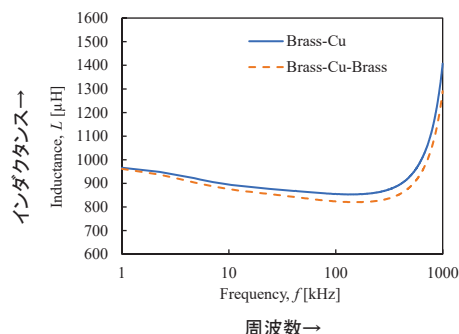


図5 インダクタンスの周波数特性の中央値

判別に有効な(金属ごとの特性の差が大きい)**周波数**を見積もる

コイルを用いた金属判別における多クラス判別性能評価

渦電流法

- ① コイルに交流電流を流すことにより磁束が発生
- ② コイルからの磁束によって金属板に渦電流が発生
- ③ 渦電流によって金属から磁束発生
- ④ 2つの磁束が打ち消し合い、コイルの特性が変化

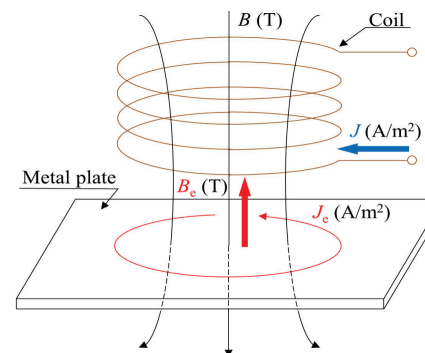
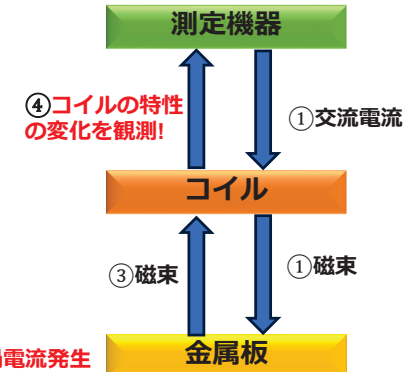


図3 渦電流法の概略図



機械学習による判別

機械学習(SVM, 決定木等)を用いることで効率的な判別を目指す
機械学習の特徴量の選び方が重要になる

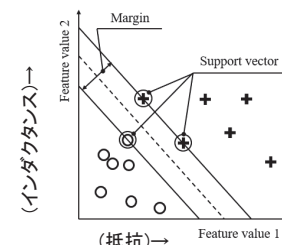


図6 SVMの決定境界の概念図⁽²⁾

表1 周波数 $f = 20 \text{ kHz}$ のインダクタンスと抵抗の周波数特性を特徴量として使用した際の判別精度

Pattern of features	Machine learning model	Accuracy [%]
L and R at $f = 20 \text{ kHz}$	SVM	96.2
	Decision tree	95.8

最近の実験結果
(真鍮-銅と真鍮-銅-真鍮の判別)では、
Accuracy(判別精度)が100%にならなかった

今後の課題:
金属表面層に発生する渦電流の大きさが判別精度に与える影響について検討

論文: "Investigation of composite metal discrimination using coil impedance characteristics with machine learning"
(日本AEM学会誌掲載予定)

詳しくはこちら!



(2) Sebastian Raschka, Vahid Mirjalili: 「第2版」達人データサイエンティストによる理論と実践 Python 機械学習プログラミング, 株式会社インプレス, p.p. 58-61, 76, 87, 88, 120, 192 (2018)

カプセル内視鏡



図1 CEの外観(単位:mm)

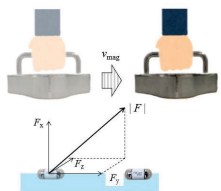


図2 当研究室の提案する磁気誘導方法⁽¹⁾

カプセル内視鏡(以降、CE)とは

- ・飲み込むことで消化管の検査をできる
 - ・体内での移動が蠕動運動と重力に依存
- 当研究室ではCEの磁気誘導方法と磁気誘導装置を提案⁽¹⁾

誘導に際しての問題

- ・位置が不明なCEの正確な誘導は不可能
- 現状は、撮像されたデータから位置を推定
- これは医師の経験や技能に依存

磁気誘導装置を利用した
経験や技能に依存しない
位置推定方法の研究

(1) 松橋華世, 小澤悠平, 田代晋久, 脇若弘之, 水野勉, 大宮直木: 「カプセル内視鏡用磁気誘導平面配列磁石の設計」, 日本AEM学会誌, Vol. 29, No. 1, pp. 13-18(2021)

磁気誘導装置⁽¹⁾

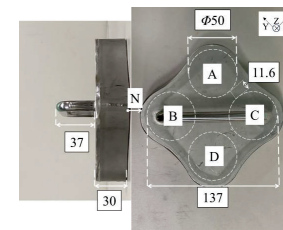


図2 磁気誘導装置の外観(単位:mm)

【特徴・性能】

- ・CEに内蔵されたボタン電池のNiメッキを磁化させる事により誘導が可能
- ・4つのネオジウム磁石(N40)を平面に配列
- ・医師の経験に基づき、100mmの誘導想定位置で約17mTの磁束密度
- ・他のカプセル内視鏡の移動方法に比べて小型で安価
- ・保険適用内のCEの使用が可能

磁気を用いたCE検出方法

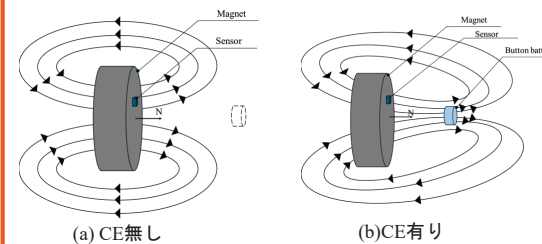


図3 CEの有無による磁気誘導磁石の磁界分布変化

・CEが磁石の磁界に及ぼした影響を計測することでCEの検出が出来るのではないかな?

(1) 松橋華世, 小澤悠平, 田代晋久, 脇若弘之, 水野勉, 大宮直木: 「カプセル内視鏡用磁気誘導平面配列磁石の設計」, 日本AEM学会誌, Vol. 29, No. 1, pp. 13-18(2021)

CEが磁気誘導磁石へ与える影響と距離の関係



図4 測定に使用する磁気センサ(テスラメータ)

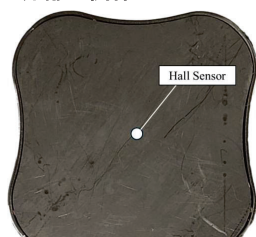


図5 磁気センサを磁石中心に張り付ける

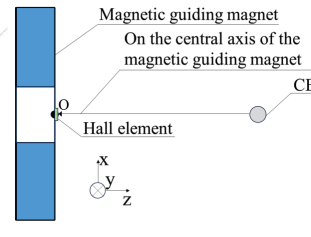


図6 磁気誘導磁石の中心軸上に沿って近付ける

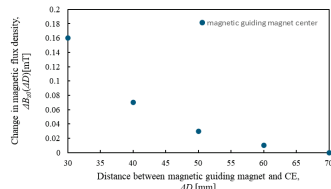


図7 CEが近づいた事による測定前からの磁束密度変化量 (横軸:CEとセンサの距離)

磁石にセンサを張り付ける事で
CE検出が可能か

- ・CEが磁石の磁界へ与える影響を60mmまで測定出来た

磁石にセンサを張り付ける事で
CE検出が可能である

・AEM学会誌に査読論文⁽²⁾として掲載

(2) 原哲希, 田代晋久, 脇若弘之, 荻原曉純, 大宮直木: 「磁気誘導磁石の磁束変化を利用したカプセル内視鏡の検出」, 日本AEM学会誌, Vol. 33, No. 2, pp. 106-111(2025)

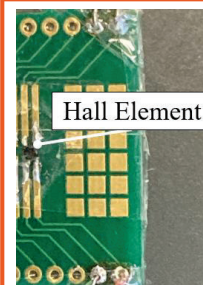


図8 ホール素子で電圧値での測定



図9 ラズベリーパイボードで測定値の取り込み

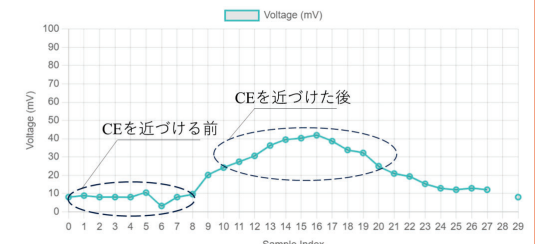


図11 CEを近づけた際の検出装置の出力結果 (横軸:測定データ個数)

磁気誘導磁石専用CE検出装置の製作

テスラメータはデータ保存ができない

- ・ホール素子の測定値をラズベリーパイボードに自動保存
- ・測定値をリアルタイムソフトウェア処理しWi-Fi経由で出力

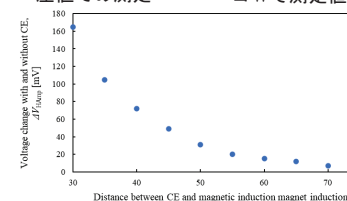


図10 CEが近づいた事による測定前からの電圧変化量 (横軸:CEとセンサの距離)

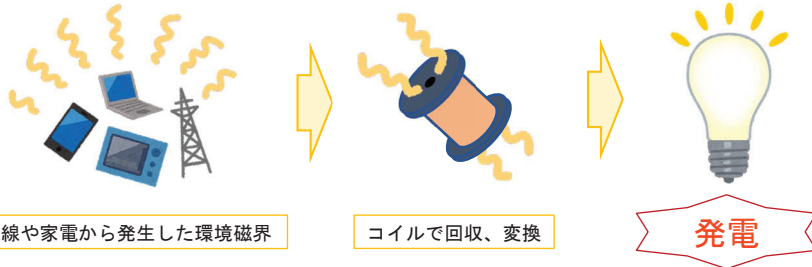
詳しくはこちら!



1. 環境磁界発電とは

【概要】

- 身の回りには機械から漏れ出した、様々な周波数の**環境磁界**が存在する。
これをコイルを用いて電気エネルギーに変換し、給電を行う技術。



【メリット】

- 環境磁界は**再生可能エネルギー**であり、回収場所を選ばない。
- 環境磁界を用いたモニタリングシステムや、IoTセンサへの給電などに応用を検討

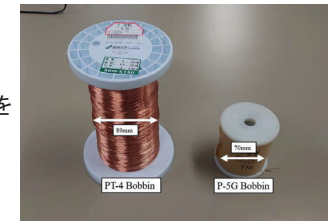
2. 環境磁界発電コイル

【ボビン巻きコイル】

先行研究のBrooksコイルは、形状比率に指定あり

Brooksコイルに代わり、安価な**ボビン巻きコイル**を提案する。

利点：サイズや重量から発電量が分かる。
低コストで、様々な大きさのコイルが売られている。



ボビン巻きコイル

◎ファラデーの電磁誘導の法則、最大電力供給の定理から、
ボビン巻きコイルの**出力電圧**、**供給できる最大電力**を計算する式を提案⁽¹⁾！

$$V_{air} = M \times a \frac{4}{d^2 \gamma} f (\mu_0 H) \quad [V] \quad (1) \quad P = M \times a^2 \frac{\pi^2}{4 \gamma \rho} f^2 (\mu_0 H)^2 \quad [W] \quad (2)$$

〔導線の線径 d [m], 導線の重量 M [g], コイルの平均半径 a [m]〕

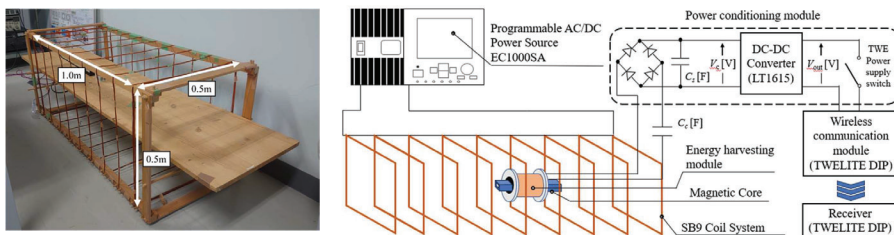
(1) 皆川 智洋, 田代 晋久, 脇若 弘之, 重田 隆明, 鈴木 淳平, 「同重量の巻線を用いた環境磁界発電コイルの設計」, 第36回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(SEAD36), pp.357-362, (2024).

3. 実験環境

【実験設備】

- 環境磁界を模擬する**一様磁界励磁コイル「SB9」**から、**人体に影響のない磁束密度** (200 μ Tまで) の環境磁界を励磁する。

↓
ボビン巻きコイルを使った環境磁界発電装置を製作。データの無線通信を行う。



一様磁界励磁コイル「SB9」

実験概略図

これまでの環境磁界発電

信州大学
環境磁界発電プロジェクトHP



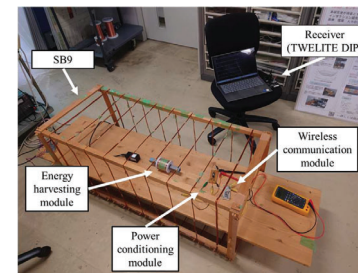
～出版書籍～
「環境磁界発電 原理と設計法」



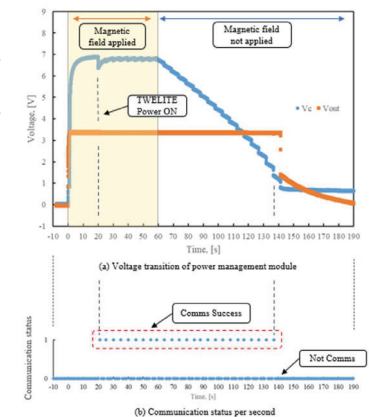
4. 結果と展望

【実験結果】

- ボビン巻きコイルを用いた環境磁界発電装置で、**無線通信を実証**できた！
- 今後、実際にモニタリングする場所に合わせて、励磁する磁界とシステムを検討する。



環境磁界発電装置による通信実験



通信実験の結果と、システム内部電圧

環境磁界発電の詳細情報や
田代研究室の**最新情報**はHPをチェック！

磁気応用の研究、磁気センサ、磁気シールド、磁気誘導磁石、磁歪材料など



IoT技術の発展で無線センサネットワークの拡大
→電池不要で発電場所を選ばない**環境磁界発電**に注目

環境磁界発電

身の回りに存在している磁界を再生可能エネルギーとして回収して
電気エネルギーに変換し、センサなどに供給する。

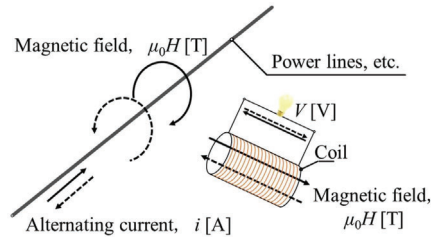


図1 環境磁界発電の概念図

発電原理は**ファラデーの電磁誘導の法則**

$$V_{air} = 2\pi^2 a^2 f n \times (\mu_0 H) \quad [V] \quad (1)$$

V_{air} : 空芯コイルの誘導起電圧
 a : コイル半径, n : 巻き数
 f : 周波数, $\mu_0 H$: 磁束密度

応用先…小型ドローン搭載用の自己発電型磁気センサ

ドローン→物流や送電線モニタリングへの活用に期待

ドローンの安全飛行のために送電線上空をドローンの航路として活用する
ドローンハイウェイ構想が注目

→送電線との適切な距離を検知するセンサ
→センサへの電源の供給
等の課題が挙げられる

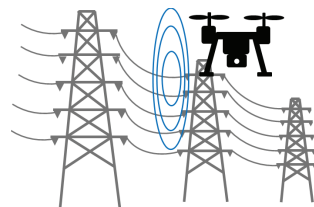


図3 ドローンハイウェイ構想の概念図

磁気双安定素子を用いて

- ・送電線からの磁気検出
- ・外部磁界により発電

の両方の実現を目標とする

目的

小型ドローンに搭載可能な、自己発電可能な磁界センサの開発、検討

環境磁界発電素子…コイルと**磁性コア**からなる

磁性コアとして**磁気双安定素子**(ウィーガンドワイヤ)を用いる

磁気双安定素子

FeCoVやアモルファスワイヤなどの磁性材料でできた細いワイヤ

しきい値以上の磁界が加わると、周波数に無依存なパルス波が生じる

→環境磁界の低周波数(50/60Hz)で有利

→自己発電しつつセンサとして利用できる

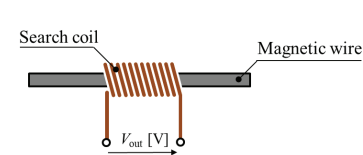


図2 磁気双安定素子の概略図

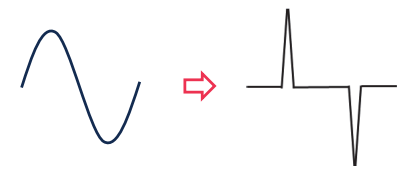


図3 磁気双安定素子の電圧波形の変化

実験内容

線径0.2mmのアモルファスワイヤと内径0.2mmの検出コイルを用いた誘導起電力測定実験

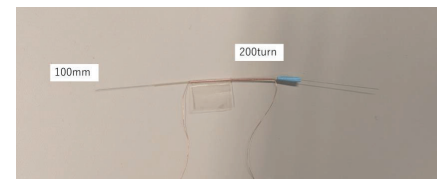


図4 100mm磁性線200turn検出コイルの外観

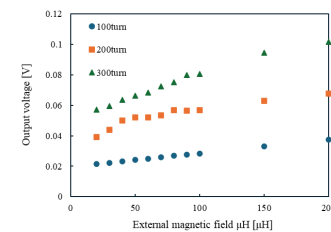


図5 実験結果

今後の検討

- ・他の材料(FeCo, FeCoV)との比較
- ・磁性線の長さの影響の検討
- ・ドローン搭載用のセンサとしての最適な形状の設計

詳しくはこちら!



研究背景

生体磁気計測では、人体から発する磁気信号を計測する脳磁図(MEG)や心磁図(MCG)などがあり、これらは時間分解能や信号源の推定の面で優れており、計測分野の発展に貢献している⁽¹⁾。



OPMの外観図⁽²⁾

生体磁気計測

- ・光ポンピング磁力計(OPM)を用いた計測手段がある
- ・OPM(QZFM)は直流磁界が**50 nT以下**でないと動作しない
- 磁束密度の低い空間を作りたい

磁気シールドルームを消磁して低磁場環境を作成

(1)鎌田啓吾, "超高感度光ポンピング原子磁気センサの開発と生体磁気計測," (2015).

(2)株式会社NANOXEED, 生体磁気用 光ポンピング磁力計 QZFM Gen-3, https://nanoxeed.co.jp/product/qzfm_gen2/ (最終閲覧日2024/07/01).

目的と実験方法

- ・着磁
→不規則な磁化を防ぎ、**磁化の状態を確実にする**
- ・消磁
→シールド材料に残った**磁化をゼロに近づけることで磁気ノイズを減らす**

実験の目的

着磁・消磁に最適な**印加電流の条件**を見つけて、**残留磁界を小さくする**

着磁電流の大きさ

- ・直流電流
- 0A~0.1A 分解能:0.01A
- 0.1A~1.0A 分解能:0.1A
- 1.0A~10.0A 分解能:1.0A

→2.0A~4.0A 分解能:0.1A
直流電流を印加しながら変化

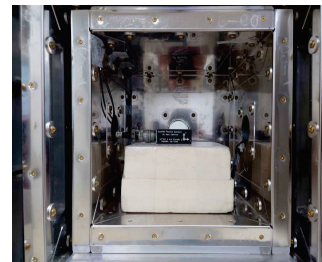
消磁電流の周波数

- ・着磁:3.3A
- ・周波数
- 100Hz~10Hz 分解能:10Hz
- 10Hz~1Hz 分解能:1Hz
- ・交流電流:8.0Ap-p
- ⇒0Ap-pまで0.1Ap-pずつ減衰

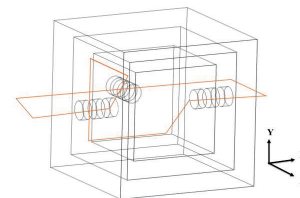
消磁電流の大きさ

- ・着磁:3.3A
- ・周波数:1.0Hz
- ・交流電流
- 1.0Ap-p~10.0Ap-p
- 分解能:1.0Ap-p
- ⇒0Ap-pまで0.1Ap-pずつ減衰

磁気シールド



3層磁気シールドボックス内部



一筆書きコイル配線図

特徴

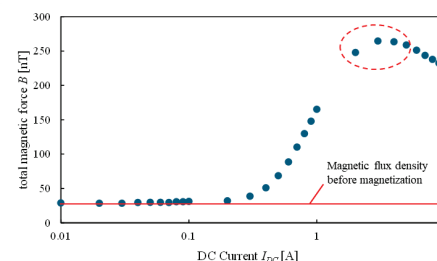
- ・**微弱磁界** (fT~pT) の精密計測を可能にする
- ・**高透磁率材**と導電材による多層構造で**外部磁界**を強力に遮断
- ・定期的な**消磁**により安定した性能を維持

提案

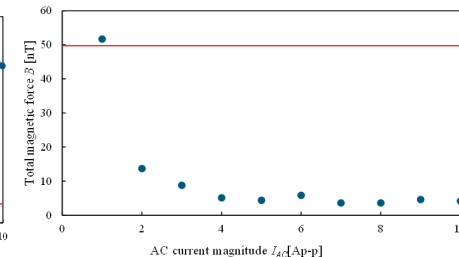
従来のコイル配線は3軸の磁気低減に貫通孔**6個**使用していた

シールド内で曲げることで貫通孔**2個**で3軸の磁気低減が可能

結果



着磁電流の大きさと磁束密度の関係



消磁電流の大きさと磁束密度の関係

- ・着磁電流が**3.3A**のときに最大で**270nT**まで着磁することができた
- ・一筆書きコイルを用いての消磁で**270nT**から**50nT以下**を作成することができた
- 本研究では**1.0Hz**かつ**8.0Ap-p**のとき**3.6nT**の残留磁束密度を実現できた

➤ 残留磁束密度が**1nT以下**の空間を**1m³以上**確保する

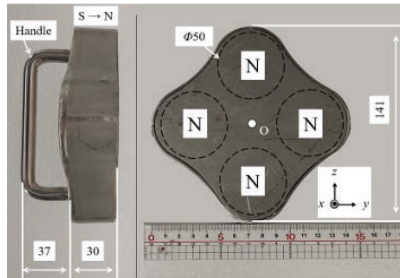
当研究室の最新・詳細情報はここから！



研究背景

カプセル内視鏡

カプセル内視鏡は、飲み込んだ後に蠕動運動と重力に依存して移動するため、位置制御が困難である



従来の磁気誘導装置 単位:[mm]

磁気誘導全消化管カプセル内視鏡

カプセル内視鏡を体外から誘導する**磁気誘導装置**により、1回の検査で食道～肛門までの消化管が観察可能

重量:1772 g

しかし、この磁気誘導装置の重量が医師の負担となっている…

磁気誘導装置を軽量化したい！

目的と解析方法

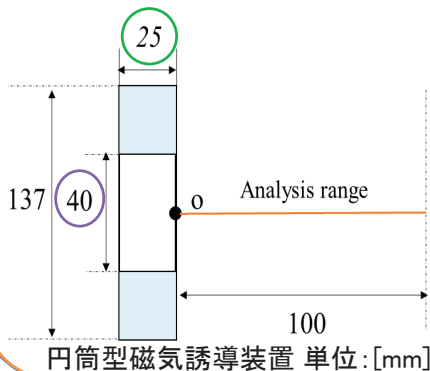
実験の目的

寸法変更による磁束密度の変化を比較し、従来と同等の磁力性能を維持しつつ軽量化可能な設計を検討する

従来の磁気誘導装置と同等の磁力性能維持

→**磁気誘導装置から100 mm地点で17 mTの磁束密度で達成**

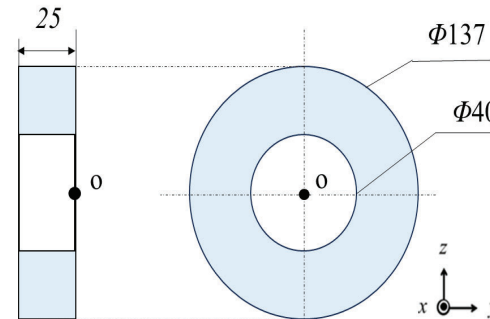
解析方法



円筒型磁気誘導装置 単位:[mm]

1. 内径(紫丸)の寸法を10 mm刻みで拡大し、静磁界解析を行う
また、各寸法変更時の重量を算出
2. 高さ(緑丸)の寸法を5 mm刻みで小さくし、1.と同様の動作を行う
3. 内径方向と高さ方向の寸法変化による磁束密度の変化率を比較

円筒型の磁気誘導装置



円筒型の磁気誘導装置 単位:[mm]

円筒型磁気誘導装置

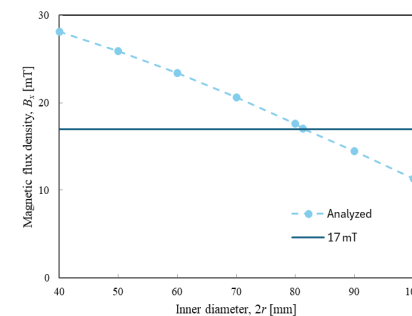
- ・従来の磁気誘導装置より**高磁力**である
- ・従来より磁力に均一性がある→**精密な位置制御が可能**

提案

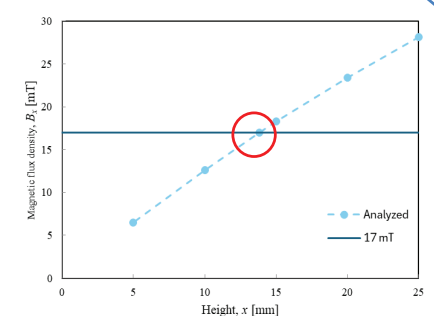
寸法変更により必要最低限の磁力に抑えることで、**軽量化**は実現可能か？

静磁界解析をしてみよう！

解析結果



内径変化時の磁束密度の関係



高さ変化時の磁束密度の関係

- ・高さ変化時の磁束密度の変化率は内径変化時の**約4倍**
→**磁束密度の制御には内径よりも高さ方向の調整が有効**
- ・17 mTのときの高さは13.85 mm(赤丸), そのときの重量は1701 g
→**71 g重量を低減できた**



今後の検討

内径と外径同時変化させたときの解析

詳しくはこちら！



見守りシステム

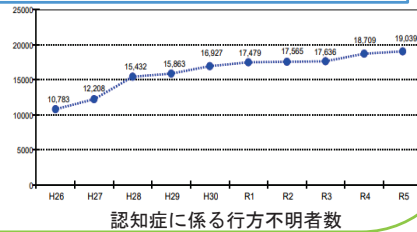
現在の日本では少子高齢化が進み認知症の方の人数が増え続けている傾向にある。それに伴い、**認知症**が原因で行方不明になってしまう方の数も増加している⁽¹⁾。



高齢者の方を見守る見守りシステムは現在すでいくつかあるが、そのほとんどが**カメラ**や**人感センサ**を用いたものであるため
 ・カメラで見張られていることに**不快感**を持つ方や**プライバシー**の問題
 ・見守りを行いたい**対象の方以外**にもセンサが反応してしまう
 →**プライバシー**を保持しつつ**確実に対象を見守るシステム**が求められる！



地磁気低減空間と9軸IMUを用いた新しい見守りシステムの提案



(1)警察庁."令和5年における行方不明者の状況".

<https://www.npa.go.jp/safetylife/seianki/fumei/R05yukuefumeisha.pdf>(最終閲覧日:2025/7/9)

実験環境

地磁気とは地球が持つ固有の磁場でありすべての場所に存在する。その大きさは**約30,000~40,000 nT**である。その地磁気**の値は一日の間に変化**している。



地磁気空間と地磁気低減空間を判別するためには**全磁力の閾値**を設定する必要がある。閾値設定には地磁気の**時間変動**を考慮する必要がある！

実験条件

- ・SC3を用いて地磁気低減空間を生成する
- ・SC3中心における地磁気**の全磁力** B_0 の時間変動を活動時間(10:00~16:00)と非活動時間(16:00~22:00)に分けて30分ごとに9軸IMUにて計測する

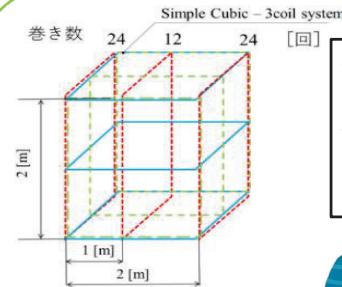
$$B_0 = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad [\text{nT}]$$

B_0 : 合計磁束密度 [nT]
 B_x : X 軸方向の磁束密度 [nT]
 B_y : Y 軸方向の磁束密度 [nT]
 B_z : Z 軸方向の磁束密度 [nT]



実験外観図

見守りの原理



SC3の概略図



9軸IMUの外観図

SC3(Simple Cubic-3coil system)

- ・三軸方向に**一様な磁界**を発生させる一様磁界発生コイル
- ・地磁気を**キャンセル**させる方向に磁界を発生させ、**地磁気低減空間**を生成



地磁気空間との磁束密度の差を9軸IMUで感知することでSC3内からの出入りを確認する**見守りシステムの提案**！

実験結果

- ・全磁力の値は活動時間、非活動時間ともに上昇し続けた
- ・6時間の計測における全磁力の平均値は活動時間で約2,000 nT、非活動時間で約5,000 nTであり、地磁気は約30,000~40,000 nTであることから6時間の範囲なら空間の判別は可能

今後の展望

- ・測定時間をさらに伸ばしたときの時間変動の計測
- ・SC3内における2軸方向の磁束密度分布の調査

さらに...9軸IMUを用いて**リハビリ**に応用！！



リハビリを遊びに変える、デジタルリハビリツールが**デジタル**！

9軸IMUで歩行計測を行い靴を履いているときとスリッパをはいているときの違いを観測



新しいデジタルハの**提案**を行う！！ 詳しくはこちら！



研究背景

現在の日本の農業

高齢化や新規就農者の減少 原因:農業の不安定さ、技術取得の難しさのイメージ
→新規就農者にむけての**定量的な農業**を目指す。

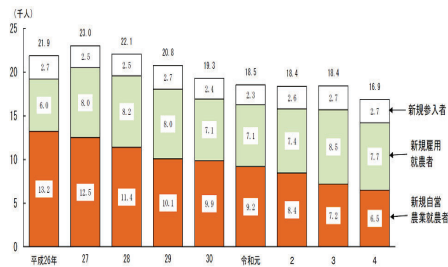


図1:49歳以下の新規就農者数の推移(1)

・近年の異常な天候の影響による収穫の不安定さ

・感覚的な栽培管理

・天候に影響されない**室内での栽培環境の構築**

・様々な**土壌成分のセンサ開発**

(1)農林水産省, 新規就農者調査結果 https://www.maff.go.jp/j/tokei/kekka_gaiyou/sinki/r4/index.html (閲覧日,2025/6/2)

実験環境

- ・EC(Bulk),EC(Pore),水分率,土壌温度を測定可能なセンサを3台用いて様々な環境下で値を測定
- ・室内環境の際は,温度を25度に調整し,**温度補正**をする
- ・灌水する水は水道水や地下水など
- 水質センサ**を利用して特性を観察



現在までの課題

- ・室内においては,土の乾燥や加湿,肥料の過不足などにより栽培が困難
- ・土壌の質や水やりの頻度,肥料の与え方などが室外と異なる
- ・EC値に含まれるリン酸や窒素,カリウムを**簡易的に測れるセンサ**がない

EC値

EC値とは?

電気伝導度のこと,土壌における**肥料の濃度**

土壌中で溶けている各成分の**イオンの総量**



土壌センサ(2)

現在使用している土壌センサでは9個の電極に高周波の正弦波を印加し,得られた土壌中の液体抵抗を利用し,EC値を求めている

$$EC = \frac{K}{R} = KG \text{ [dS/m]} \quad (K: \text{セル定数}, R: \text{液体抵抗}, G: \text{コンダクタンス})$$

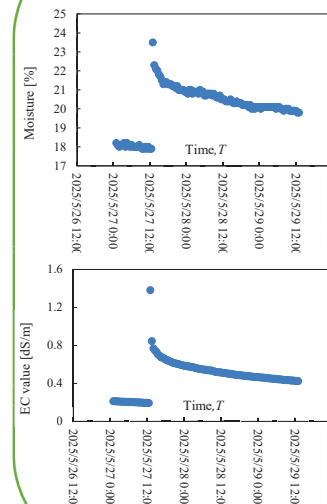
(2)村田製作所 土壌センサ <https://www.murata.com/ja-jp/products/sensor/soil> (閲覧日,2025/6/2)

①

実験結果と今後の展望

実験結果

- 室内で約10800cm³のプランターに1L灌水した結果
- ・灌水後は水分率は**約6%**程上昇
- ・一日経過後も**約3%**程減少
- ・EC値と水分率には適正な水分率において**相関関係**



今後の展望

- ・室外や室内,LEDを用いた際の**土壌状態の変化の比較**
- ・各土壌成分がどのように生育に影響するか
- 室内なりの施肥を構築し,**室内栽培の実現**
- ・リン酸などの成分の土壌センサへの実装
- 現在は試薬との反応を**光センサ**を用いて判別する方法しかない

詳しくはこちら!



近年、エネルギー変換や精密な動きの制御に役立つ材料として**磁歪材料**が注目されている。

磁歪材料とは

磁場をかけると変形し（磁歪効果）、逆に力を加えると磁化が変わる（逆磁歪効果）という特徴を持つ。

応用先

- センサ・・・力や振動を検知
- アクチュエータ・・・小さな動きを生み出す
- 発電デバイス・・・振動や外力から発電

検討事項

代表的な4つの磁歪材料である**FeCo**、**FeCoV**、**FeGa**、**Ni**について、磁気特性と磁歪の大きさ（ひずみ率）を測定し、材料ごとの特性を比較・検討。

磁気特性の測定

磁歪材料に探りコイルを巻きつけ、磁界を印加した際の誘導起電力を測定することで**飽和磁束密度**、**残留磁束密度**、**保磁力**、を取得する。

ひずみ率の測定

磁歪材料にひずみゲージを取り付け、磁界を印加した際の抵抗率の変化を測定することで寸法の変化率（**ひずみ率**）を取得する。

表1 実験結果

	FeCo	FeCoV	FeGa	Ni
飽和磁束密度[T]	2.3	1.55	1.78	0.65
残留磁束密度[T]	0.33	0.48	0.14	0.27
保磁力[kA/m]	0.8	2.6	0.8	3
ひずみ率[ppm]	25.5	24.1	117.2	-17.2

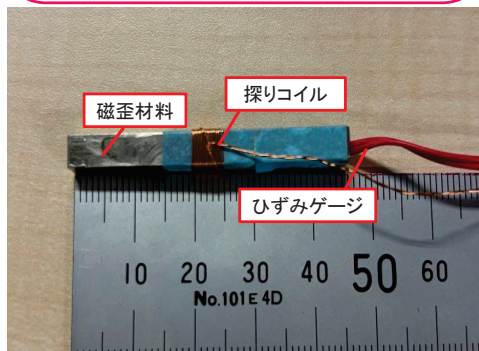


図2 実験試料

磁歪効果とは

磁歪材料に磁界をかけると、わずかに寸法が変化する現象。

逆磁歪効果とは

磁歪材料に力や圧力を加えると、内部の磁化が変化する現象。

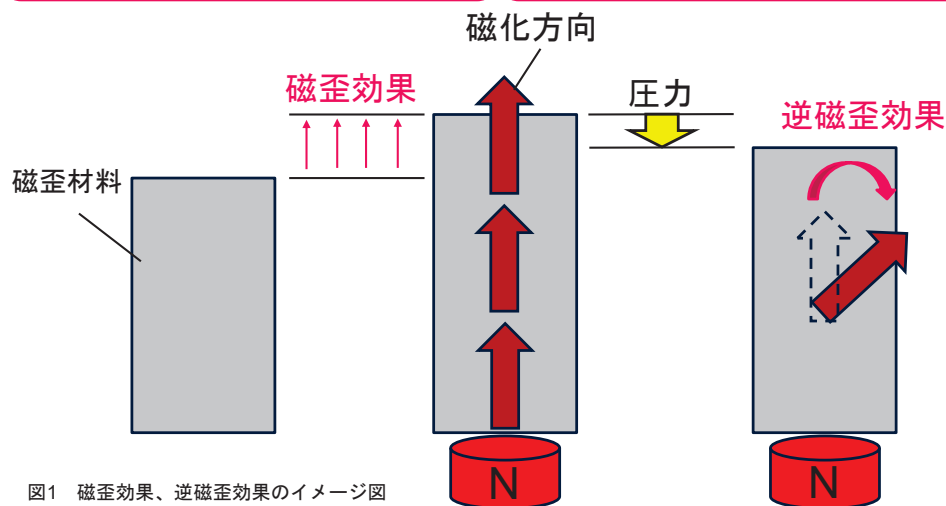


図1 磁歪効果、逆磁歪効果のイメージ図

まとめ

FeCo：高磁束密度・低保磁力 → センサやアクチュエータに適している。

FeCoV：残留磁束密度、保磁力が高い → 磁石的な用途に適している。

FeGa：ひずみ率が最も高い → 荷重による発電や変異の検出に適している。

Ni：負の磁歪を持つ → 他材料と組み合わせで寸法変化量を調節できる可能性がある。

今後の検討事項

・磁歪材料に応力を加えたときの磁気特性とひずみ率の測定



磁気双安定素子とは

- ・磁化が二つの**安定状態**を持つ構造で電源を切っても状態を**保持可能**。(例:FeCo, FeCoV, FeNi)
- ・コイルの芯として用いることで磁界の**周波数 f [Hz]**に**依存しない出力電圧(パルス電圧)**が得られる。

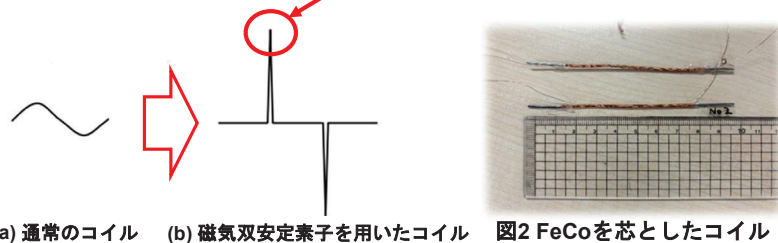


図1 電圧波形の変化

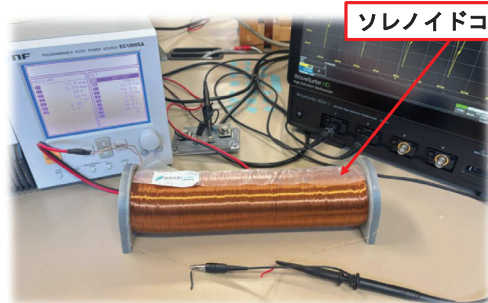
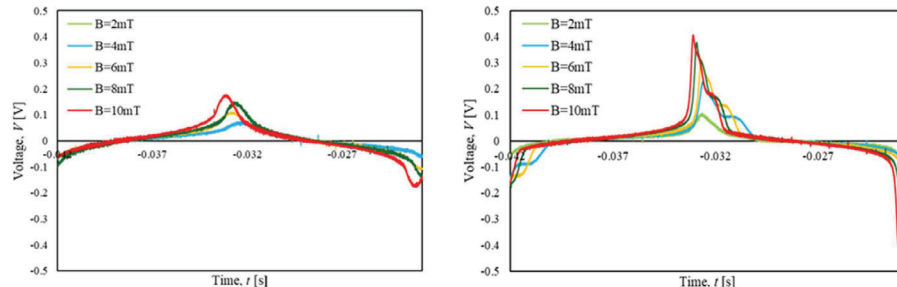


図4 実験の様子

ソレノイドコイル内部に
FeCo磁性線のコイル挿入
→ **出力電圧波形**を取得
→ **波形積分**により
BHカーブを取得



(a) ひねり前

(b) ひねり後

図5 取得した電圧波形

研究背景

- ・コイルの芯として用いる磁性線(FeCo)に**ひねり応力**を加えることでどのような特性が得られるか。

目標

- ・従来よりも大きな**パルス電圧**が発生する
磁気双安定素子の製作を行う。

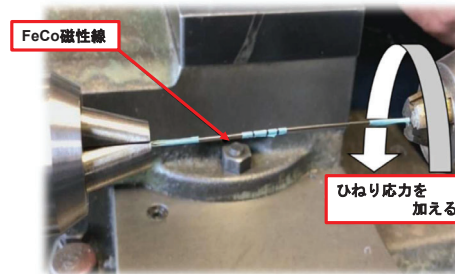
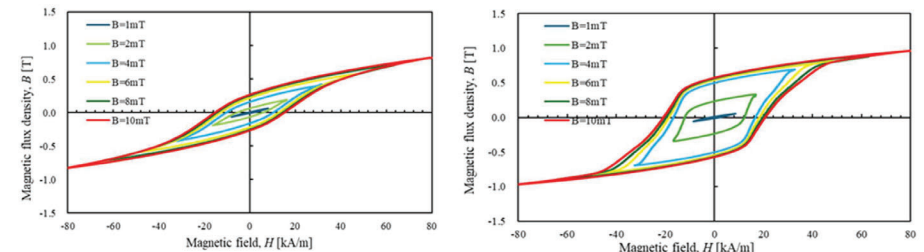


図3 ひねり応力を加える様子

- ・これまでの課題であった**低周波数帯の電圧不足**を解決できるのではないかと。
- ・**透磁率**の観点などから**電圧変化**を読み取る。



(a) ひねり前

(b) ひねり後

図6 波形積分で取得したBHカーブ

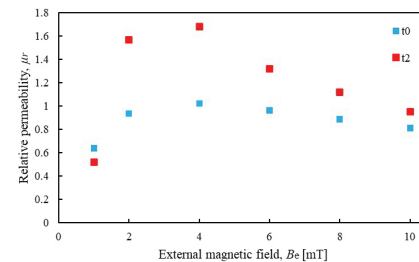


図7 ひねりによる透磁率の変化
(青:ひねり前 赤:ひねり後)

- ・ひねりを加えたことで**大きなパルス電圧**を取得できた。
- ・BHカーブの**角形性が向上**(ひねり応力により角形に近づいた)
- ・ひねりを加えたことによる**透磁率の変化が影響**

詳しくはこちら!

