

環境磁界発電とは

身の回りに存在している時間変動す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へ供給する。
発電原理は**ファラデーの電磁誘導の法則**。

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

V_{air} : 空心コイルの誘起電圧
 a : コイル半径, n : 巻き数
 f : 磁界の周波数, $\mu_0 H$: 磁束密度

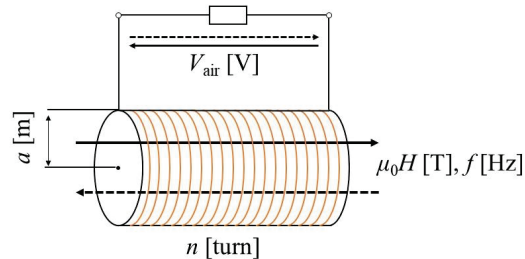


図1 ファラデーの電磁誘導の法則のイメージ

磁気双安定素子

・ $\text{Fe}_{41}\text{Co}_{59}$ 磁性線にひねり加工を施す事で製作

・ ひねり加工により特性変化するが、詳細は未だ分かっていない。

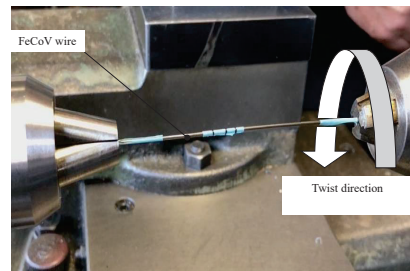


図4 ひねり加工の様子

目標

- ① 従来品より大きな電圧が得られる**磁気双安定素子**の製作
- ② ひねり加工による残留応力の影響を明らかにする

研究内容

- ① { 従来径よりも直径の大きな**磁気双安定素子**の製作
従来材料以外の材料を用いた**磁気双安定素子**の製作
- ② { 透磁率や磁気ひずみからひねり加工の影響を調査

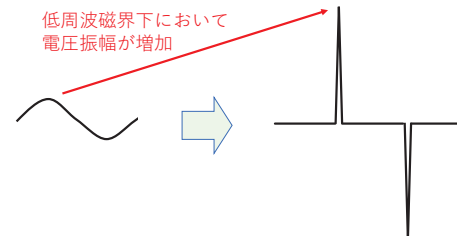
課題

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

V_{air} : 空心コイルの誘起電圧
 a : コイル半径, n : 巻き数
 f : 磁界の周波数, $\mu_0 H$: 磁束密度

・ 低周波 $f[\text{Hz}]$ (50/60 Hz) の磁界中ではわずかな電圧しか得られない。

・ 磁性体 (**磁気双安定素子**) をコイルの芯として用いると、磁界の f に依存しない電圧が得られる。



(a) 空芯コイル (b) **磁気双安定素子**を用いたコイル

図2 電圧波形のイメージ

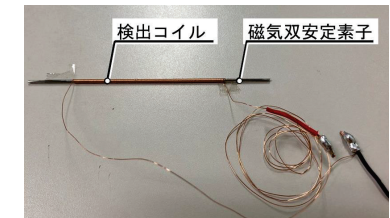


図3 磁気双安定素子と検出コイルの外観

現状

- ・ 直径1, 2, 3, 4, 6mmのFeCoV磁性線にひねり加工を施し、どの程度出力電圧が向上するか確認。
- ・ $\text{Fe}_{30}\text{Co}_{70}$ を用いた**磁気双安定素子**の製作を行った。
- ・ 磁気双安定素子の最大透磁率、最大ひずみ率からひねり加工の影響を検討

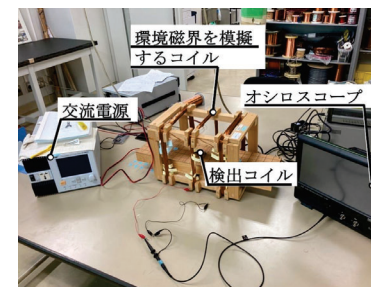
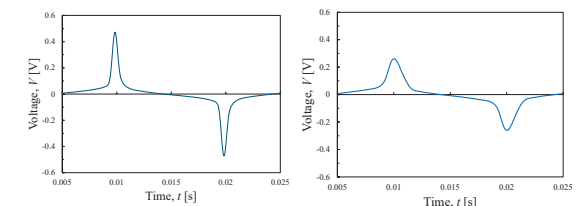


図5 実験風景



(a) FeCoV (従来材料) (b) FeCo (新材料)

図6 研究内容①に関する実際の測定データ

詳しくはこちら！



FeCoV(従来材料)の方が優れている事が分かった。

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700000 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！

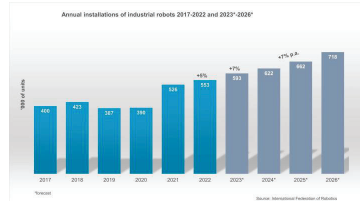


図1 産業用ロボット設置台数推移(1)

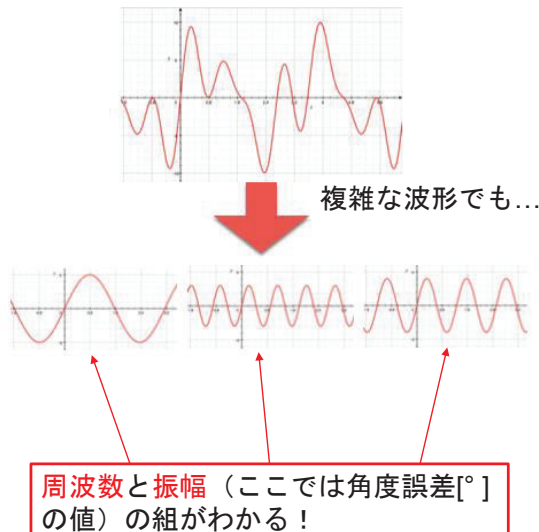
(1)World Robotics Report: "All-Time-High" with Half a Million Robots Installed, <https://ifr.org/news/wr-report-all-time-high-with-half-a-million-robots-installed> (最終閲覧日: 2024/05/09)

角度誤差低減への取り組み

角度誤差の原因を
フーリエ変換によって
調査！

複雑な信号を異なる正
弦波の集まりとしてと
らえ、それぞれの正弦
波の振幅を計算によっ
て導く

角度誤差の分布に含ま
れる周波数成分を**理論
計算**と一致するか確認
する！



これまでに我々は
バーニアパターン角度センサを提案してきた！

特徴

- 分解能**:最大19bit
- 小型化**:直径30mmを実現
- PCBベース**:プリント基板での作成でコスト削減が期待
- 電磁誘導方式**:非接触により劣悪な環境にも対応
- 高精度**:ノギスのバーニア(副尺)の原理を応用
- 絶対角検出**:2つの信号により絶対角での検出が可能
- 冗長性**:31X, 32Xどちらも相対角検出が可能

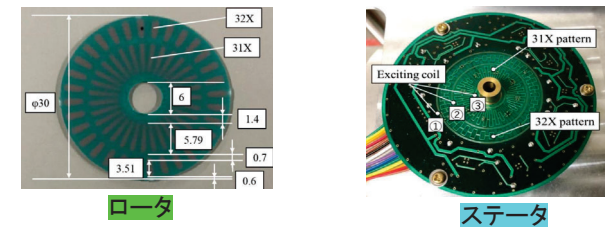
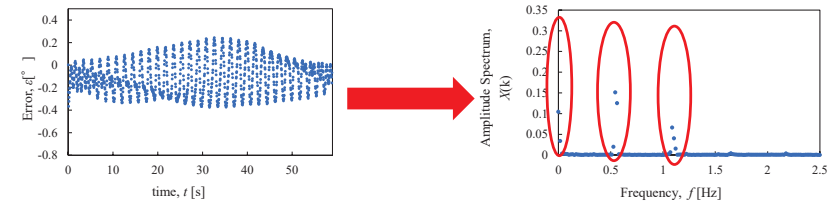


図2 センサ外観図

実験結果



角度誤差のグラフから **特定の周波数成分の存在を確認！**

今後の検討

各周波数成分が引き起こす誤差の要因を特定

→誤差の要因からセンサの改善方法を検討！

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
(2024-2029年においてCAGR2.6%で成長)⁽¹⁾
CAGR:年平均成長率
医療・医薬品、食品・飲料など
様々な産業でますます使用される
ようになっている

力センサのトレンド^{(2) (3)}

- ・大きい力の計測
- ・最大の柔軟性 ・精度の改善 etc...

検討するセンサ

磁歪材料を用いた荷重センサ

- 磁歪材料の選定により、大きい力の計測が可能となる可能性
- ひずみゲージの接着の必要がなく、長時間の使用に耐える可能性

ロードセルの課題⁽⁴⁾

- ・小型化の限界(例: ϕ 20 - L9.5 mm : 定格容量1kN)
- ・ケーブルの断線
- ・ひずみゲージを接着する
- ・ひずみゲージが剥がれる

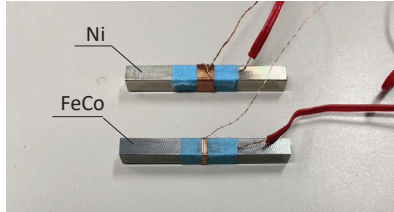


図1 実際に用いた磁歪材料

(1)ロードセル市場-成長、動向、COVID-19の影響、および予測(2024年-2029年):Mordor Intelligence Pvt Ltd.,20221031,レポート閲覧日2024519
(2)<https://www.ibm.com/jp/6080/trends-in-force-measurement-technology/>,「力測定のトレンド」閲覧日20240519
(3)センサを巡る市場・技術動向と今後の地域展開に関する調査報告書:公益財団法人ちゅうごく産業創造センター
(4)J.E.Hanfee, S.V.Radcliffe: "Effect of High Pressure on a Strain Gauge Load Cell" Rev. Soc. Instr.,38, 3(1967)328.

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

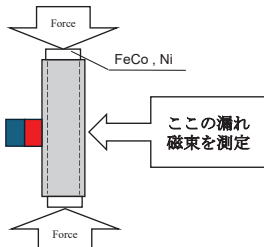


図4 提案するセンサイメージ図

漏れ磁束が変化する様子

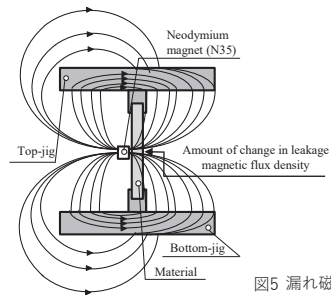


図5 漏れ磁束が多いときの磁束線図

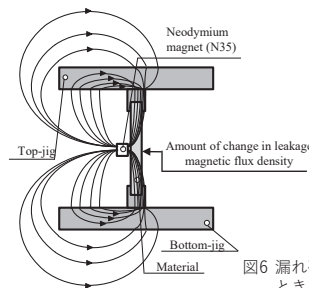


図6 漏れ磁束が少なしきの磁束線図

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

$\text{Fe}_{30}\text{Co}_{70}$

- ・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

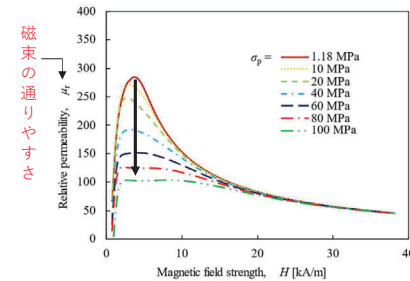


図2 FeCoの圧縮応力別、比透磁率の変化

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

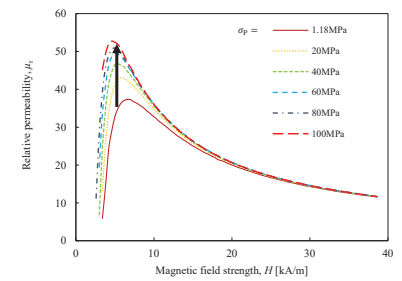


図3 Niの圧縮応力別、比透磁率の変化

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

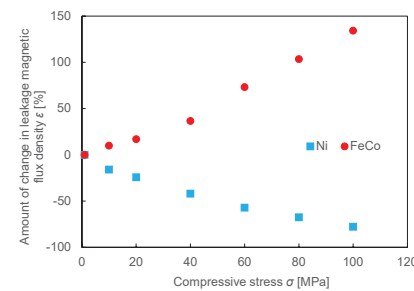


図7 漏れ磁束変化率

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。

今後の検討

- ①治具の影響を考慮する
- ②測定点の確立
- ③ワイヤレスの漏れ磁束測定
- ④荷重表示

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

次世代自動車の需要が増大することにより大量の使用済みリチウムイオン電池が発生⁽¹⁾

金属リサイクルにおいて電極に用いられる銅やアルミなどの選別の必要性が高まる

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

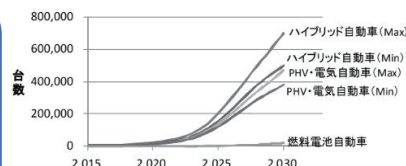


図1 次世代自動車の廃車発生見通し⁽¹⁾

(1) 田村 典敏, 花田 隆, 石田 泰之, 本多 威暁, 紙谷 英征, 境 健一郎「車載リチウムイオン電池のリサイクル技術の研究」, 第27回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿 (2016).

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

研究目的 薄膜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 検出方法の検討

薄膜センサは磁束密度の差が金属の有無により大きい位置に設置する必要あり

薄膜センサ設置位置検討のため解析により磁束密度を調査

図4 真鍮板における周波数毎の抵抗の相対差⁽²⁾

(2) 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)

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

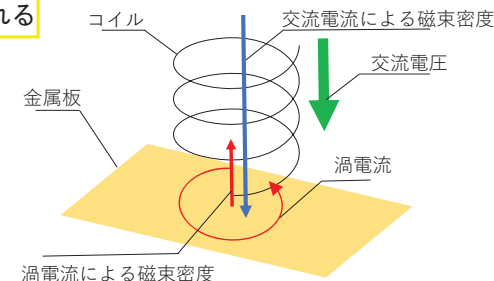


図2 渦電流の原理図

磁束密度の解析

金属板の有無による磁束密度の差異を周波数応答解析により調査

図5より20 kHzで磁束密度の差が大きく測定点の1 mm付近にて差が大きい

励磁周波数を20 kHz
薄膜センサの設置位置を1 mm付近に決定

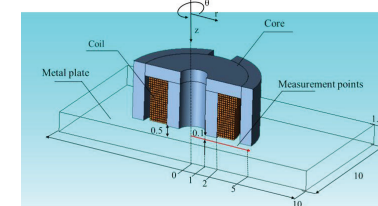


図4 解析モデル

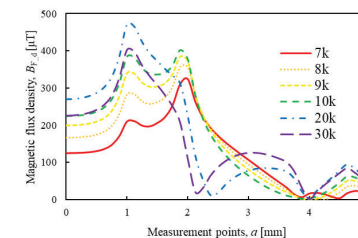


図5 周波数毎の磁束密度

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...

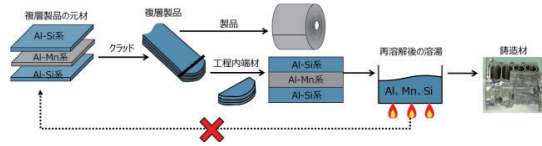


図1 金属材料のリサイクルの様子⁽¹⁾

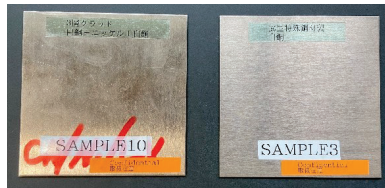


図2 判別対象の金属(白銅-ニッケル-白銅複合板、白銅)

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, 宮本 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)

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

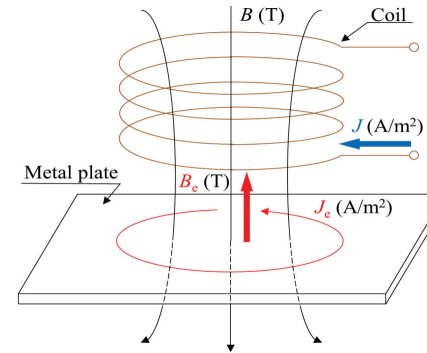
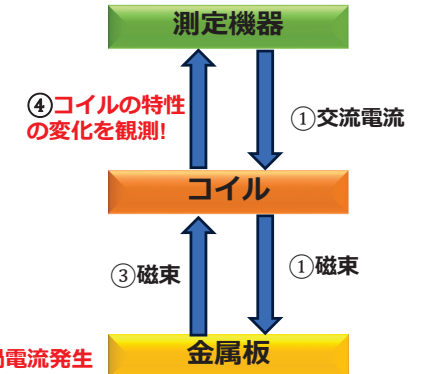


図3 渦電流法の概略図



インピーダンスアナライザによる測定

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

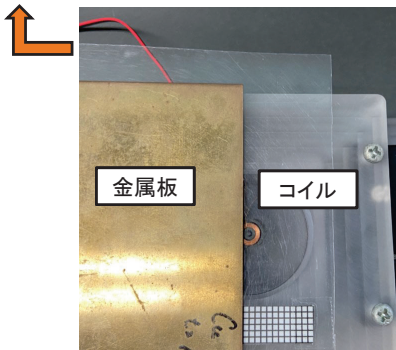


図4 周波数特性測定の様子

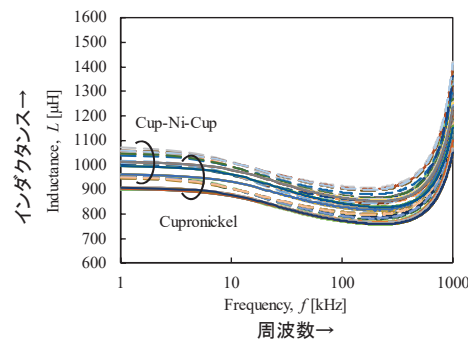


図5 インダクタンスの周波数特性

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

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

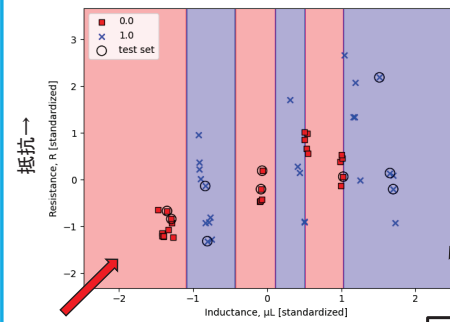


図6 決定木による判別例
(赤: 白銅、
青: 白銅-ニッケル-白銅)
○なし: 学習用データ
○あり: テスト用データ

周波数 $f = 20$ 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

テストデータ(○付き)に着目すると、判別に成功している!

将来的には、
複合材料の厚さの測定や
接合強度の測定も目指す

詳しくはこちら!



カプセル内視鏡

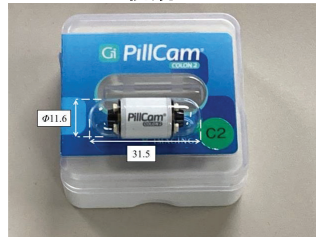


図1 CEの外観(単位:mm)

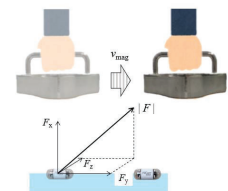


図2 当研究室の提案する磁気誘導方法⁽¹⁾

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⁾

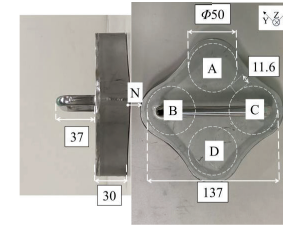


図2 磁気誘導装置の外観(単位:mm)

【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

磁気を用いた位置推定方法

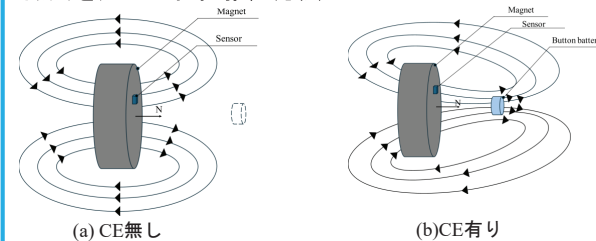


図3 CEの有無による磁気誘導磁石の磁界分布変化

・CEが磁石の磁界に及ぼした影響を計測することで位置推定が出来るのではないかと

(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

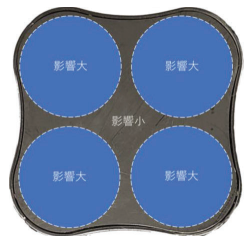


図4 CEの影響が顕著な箇所と微細な箇所の分布

最大と最小の
変化を計測する

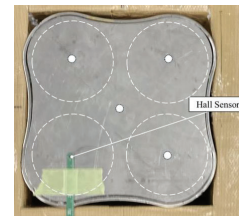


図5 磁気センサの設置位置及び設置例

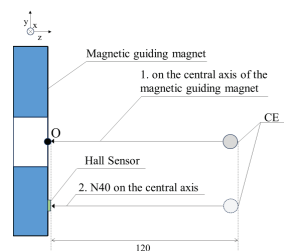


図6 カプセル内視鏡の近づけ方

CEが与える影響の実測方法

- ・CEを遠方から磁気誘導磁石の中心軸上とN40の中心軸上に沿って近付け, 最大と最小地点の磁束密度の変化を計測

CEが磁気誘導磁石へ与える影響と距離の関係

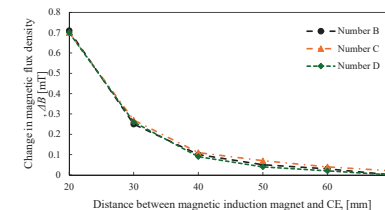


図7 N40に設置した磁気センサの実測結果

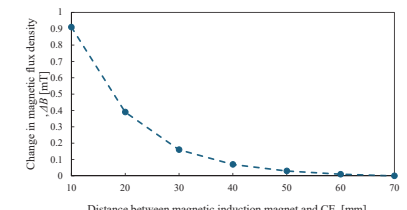


図8 磁気誘導磁石中心に設置した磁気センサの実測結果

CEの位置推定可能性

- ・図7より, 最大で70 mmの距離の位置推定が可能
- ・図8より, 最小で60 mmの距離の位置推定が可能

磁気センサの設置位置は磁気誘導
磁石表面の全体から選択可能

今後の検討

- ・測定条件を増やし, 位置推定可能距離を100 mmまで伸ばす

カプセル内視鏡の磁気誘導磁石の研究や
当研究室の最新・詳細情報はここから

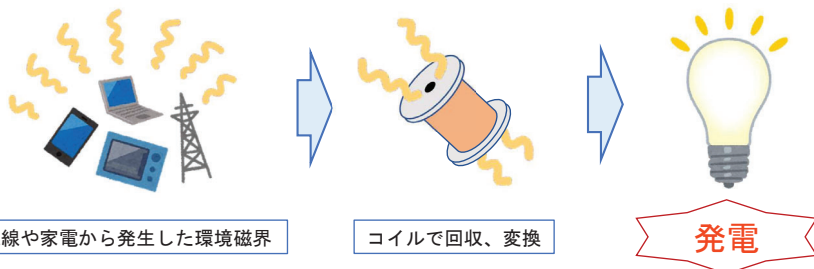
磁気を利用したエネルギー・センサ・アクチュエータ・シールド技術の研究



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。



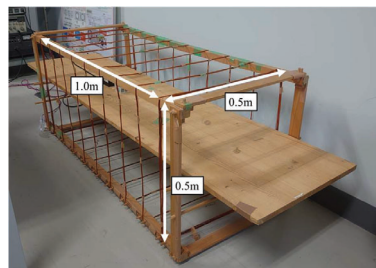
【メリット】

- 環境磁界は**再生可能エネルギー**であり身の回りにあるため、回収場所を選ばない。
- ファラデーの電磁誘導の法則で発電をするので、**非接触給電**への応用も可能。

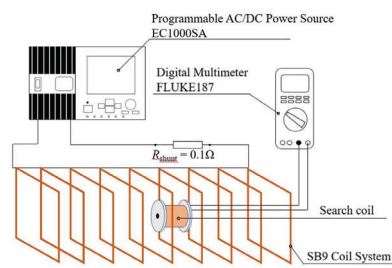
3. 実験環境

【実験設備】

- 環境磁界を模擬する**一様磁界励磁コイル「SB9」**から磁界を回収して、ボビン巻きコイルで発電する
→ **人体に影響のない磁束密度** (200 μ T程度)の環境磁界を模擬し、出力電力を計測
→ 試算式と実測値を比較する。



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」



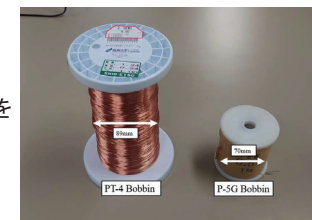
2. 環境磁界発電コイル

【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**、**供給する最大電力**を計算する式を提案！

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

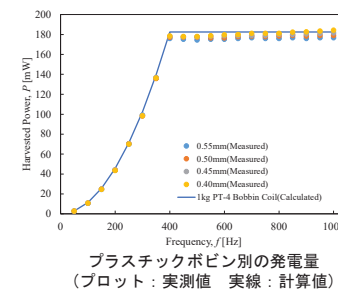
〔導線の線径 d [m], 導線の重量 M [g], コイルの平均半径 a [m]〕

4. 結果と展望

【発電実験】

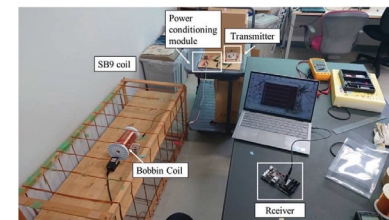
- 計算値と実測値が**誤差3%以内で一致！**
ボビン巻きコイルで発電量を試算できた。

→環境磁界発電コイルとして
ボビン巻きコイルを利用できる！



【今後】

- さらなる発電量増加を目指し、**磁性体のコイルコア**を製作する！
- 整流回路や蓄電回路と組み合わせて、**発電デバイスを開発**する！



環境磁界発電装置による
通信実験

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



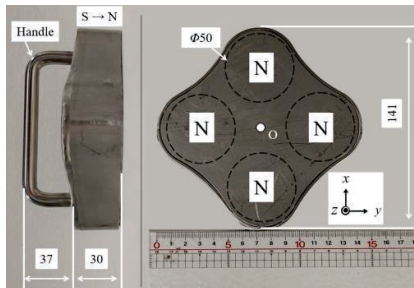
研究背景

カプセル内視鏡

飲み込むだけで消化器官内を撮影してくれる医療器具。

カプセル内視鏡用磁気誘導磁石

カプセル内視鏡を外部から磁力を用いて誘導する磁石。

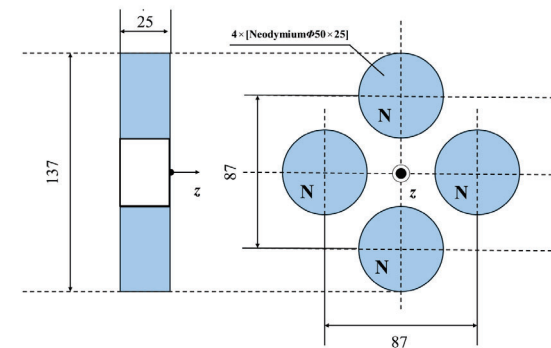


内視鏡が飲み込まれた後、重力と蠕動運動に依存するため、任意の位置の撮影が難しい。そこで、

任意の位置を撮影できるようにしたい！

磁気誘導磁石の外観図

カプセル内視鏡用磁気誘導磁石の構造



カプセル内視鏡用磁気誘導磁石の構造図 単位：[mm]

同じ形・大きさ・重さのネオジム磁石が上下左右対称的に4つ並んでいる。

↓
なのに…

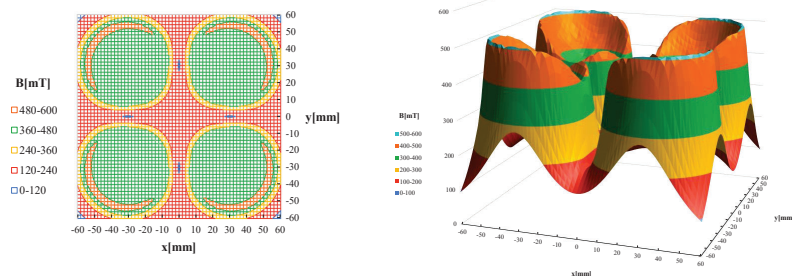
先行研究で磁気誘導磁石表面を実測してみたが、得られたデータが上下左右対称的ではない…

静磁界解析してみよう！

(1) 信州大学大学院 総合理工学 研究科 修士 学位論文 (最終閲覧日2024年6月30日)

カプセル内視鏡磁気誘導磁石の表面磁束密度分布の解析

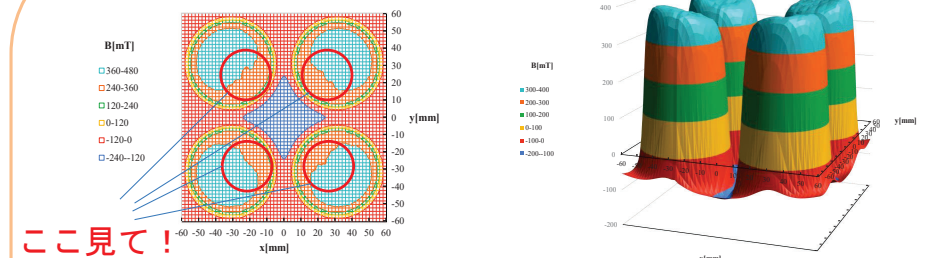
解析結果 (絶対値)



磁気誘導磁石の絶対値解析結果

解析結果を絶対値で出力すると、120mTの範囲で配色されているが、上下左右対称的な結果となった。

解析結果 (z軸方向)



磁気誘導磁石のz軸方向解析結果

よく見ると、各ネオジム磁石の中心寄り部分が対称的ではない！

今後の検討

- ・磁石の z 成分の問題
- ・解析条件の詳細設定

詳しくはこちら！



研究背景

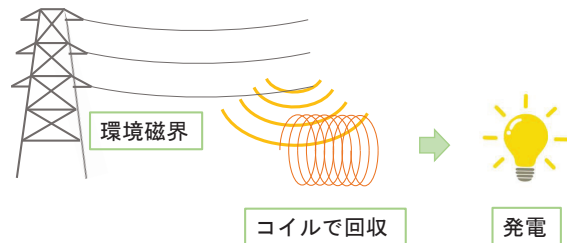
IoT技術の発展で無線センサネットワークの拡大



配線、電池がいらない。発電場所を選ばない**環境磁界発電**に注目

➡ ワイヤレスセンサへの給電に活用！

環境磁界発電・・・家電、電線等から漏れる磁界をコイルで回収して発電！



発電原理

環境磁界発電の発電原理はファラデーの電磁誘導法則

ファラデーの電磁誘導の概要

$$V_{air} = -\frac{d\Phi}{dt} = 2\pi^2 a^2 f n \mu_0 H [V]$$

総鎖交磁束数 Φ [Wb], コイルの巻き数 n [turn], 交流磁界周波数 f [Hz],
コイルの平均半径 a [m], 磁界 H [A/m], 真空の透磁率 μ_0 [H/m]

➡ 鎖交する磁束数を決定したとき発電量は発電用コイルのパラメーターに依存する

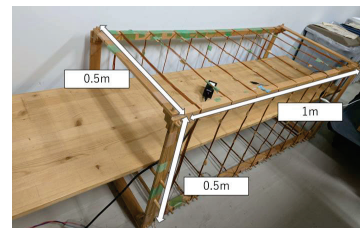
実験環境と課題

実験環境

環境磁界を模擬することが出来る**一様磁界励磁コイル(SB9)**を用いて50~1kHzで一様磁界を鎖交



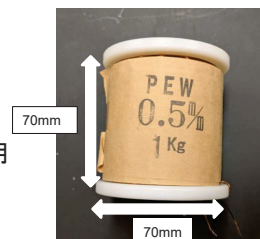
発電素子の開放電圧を測定、出力電力を計測



一様磁界励磁コイル(SB9)の外観

課題点

- ・ 製作コスト
→ 市販ボビン巻きコイルを発電素子として転用
- ・ 発電量不足
→ コイルに**磁性体**を装荷



市販ボビン巻きコイル

今後の展望



磁性体を装荷することで出力が上昇！

→ 市販ボビンコイルの形状、装荷する**磁性体**の形状の違いから環境磁界発電素子として**最適**な形状を提案。

田代研究室についての詳細はHPから！



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



より高性能な磁気シールドを作る研究

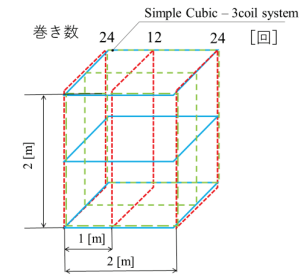
(1)鎌田啓吾, "超高感度光ポンピング原子磁気センサの開発と生体磁気計測," (2015).

(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).

磁気シールド

SC3(Simple Cubic-3coil system)

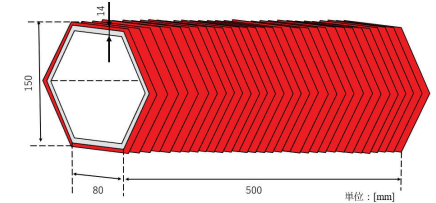
- ・ノイズを低減させる一様磁界発生装置
- ・これを用いて**磁気低減空間**を作成



SC3の概略図

六角柱磁気シールド

- ・磁束を吸収し、外に流す
- ・シールド内部の**磁束を減らす**

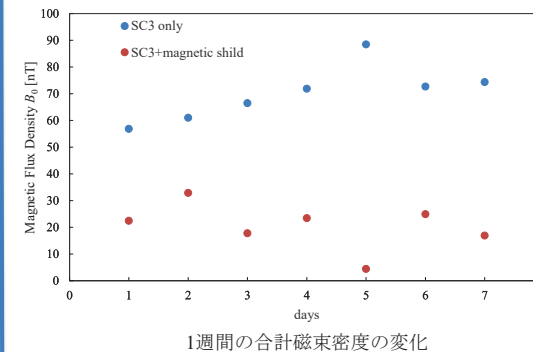


正六角磁気シールドの概略図

実験

実験結果

- ・SC3のみで磁束を低減したときよりも、SC3と正六角柱磁気シールドを用いたときの方が、合計磁束密度が**低い**
- ・地磁気がマイクロテスラなので**約1/1000倍**も減らすことができた



今後の展望

- ・磁気シールドの持つ残留磁気を減らす
- ・測定点を増やし、精度を上げる

- ・地球が持つ固有の磁場を地磁気と呼ぶ
- ・地磁気は地球上ほぼすべての場所に存在する
- ・地磁気はマイクロテスラなのでナノテスラまで**小さく**したい

μT	10 ⁻⁶	地磁気の大きさ
nT	10 ⁻⁹	
pT	10 ⁻¹²	脳磁の大きさ

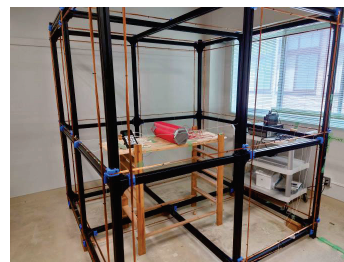
磁場の大きさ

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

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]

実験条件

- ・シールドでどのくらい磁束を低減できるかと1週間の磁束の変化を計測し、比較する
- ・**SC3のみ**を用いて磁束を低減し、1週間の磁束密度の変化を計測する
- ・**SC3と正六角柱磁気シールド**を用いて磁束を低減し、1週間の磁束密度の変化を計測する



実験外観図

当研究室の最新・詳細情報はここから！



研究背景

持続可能な社会実現のために金属資源のリサイクル促進が重要視される⁽¹⁾
→利用可能な金属を取り出すための金属判別に着目

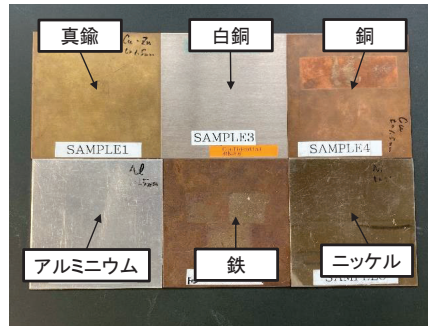


図1:判別対象の金属

判別の手法

比重の測定、X線の照射、
画像分析、渦電流法…

これまでの研究

渦電流法で3種類の非磁性金属
を判別

研究内容

金属を6種類に増やして判別できるか

(1)環境省,「第4次循環型社会形成推進基本計画」(2018)

測定と機械学習

コイルの特性はインダクタンスと抵抗の2種類
この2つの特性が変化する要因は金属種、周波数

金属種毎の特性の違いを利用し、金属を判別する

測定したデータを

- ・学習用データ
(モデルに学習させるデータ)
 - ・テスト用データ
(予測値と比較するデータ)
- に分けて機械学習を行う

学習したデータから予測値を計算し、計算結果が
テスト用データとどの程度差があるか評価する

今回はこの範囲の値で判別

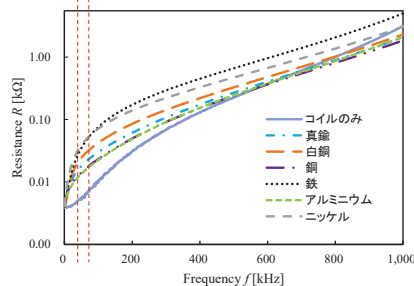


図3:金属毎の周波数特性の違い

渦電流法

渦電流法は、
導体内部に発生する渦電流の影響を利用した検査方法

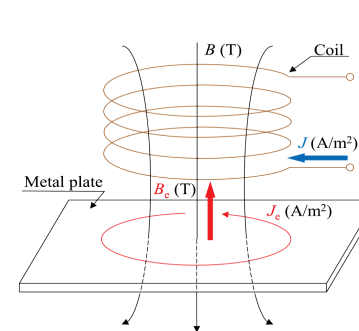


図2:渦電流の発生原理

コイルに交流電流を流すと磁束が発生
↓
コイルからの磁束によって金属板に渦電流が発生
↓
渦電流によって金属から磁束発生
↓
磁束が打ち消し合い、コイルの特性が変化

メリット

- ・非破壊、非接触で判別可能
- ・センサが小型

機械学習を用いた金属判別

実験内容

- ① 6種類の金属で25回データを測定
- ② 20個のデータを学習、残りのデータで判別出来るかテスト

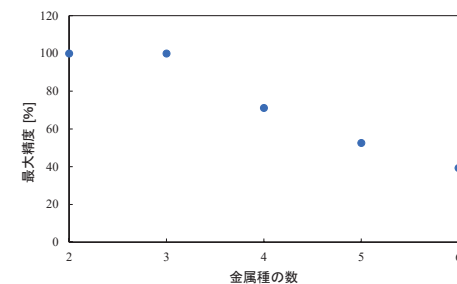


図4 金属種の数と機械学習の精度

実験結果

金属が4種類以上になると
精度は低下

今後の検討

コイルの種類を増やして
コイル毎の周波数特性の
違いをみる

当研究室の最新・詳細情報はここから！



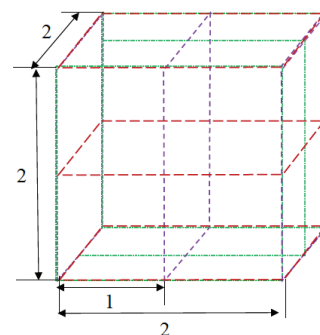
2024/07/01
21T2136B 真尾 陽子

生体磁気計測に向けた 一様磁界発生コイル内部の磁界評価

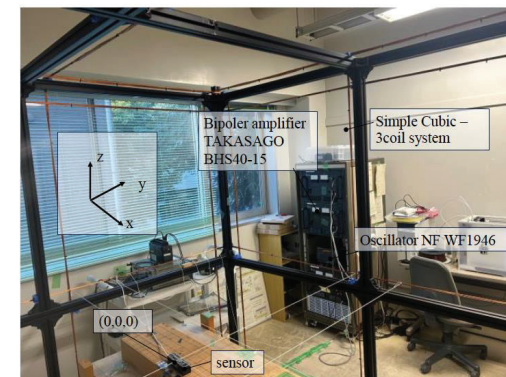
大関竜馬, 松澤恭太, 田代晋久, 脇若弘之
(信州大学)

1

2. 3軸一様磁界発生コイル

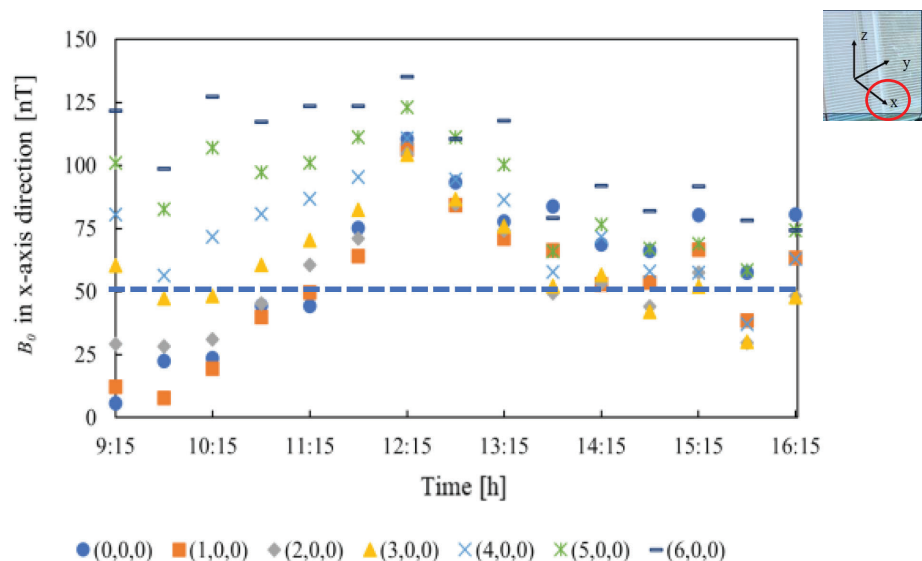


Item	Value
Winding ratio, n	24:12:24 (2:1:2)
Size of Coil system, l [m]	2
Coil spacing	0, ± 1 (± 0.5)
Magnetic field center B [uT/A]	$\frac{2.978}{l}$



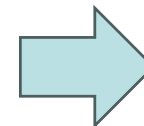
2

3. 磁界評価



3

4. Highlight Data



地磁気の1/1000以下となる
10 nT以下の全磁力を実現！

4