

角度センサ

角度センサは精密加工や、半導体製造、自動車、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ます

→ 我々は**バーニアパターン角度センサ**(小型かつ高分解能)を提案!

・主な用途(ロボットの例)

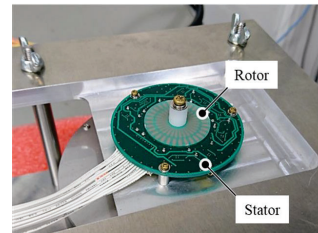
ロボットの関節部分の回転角検知 → **小型, 薄型化**したい!
ロボットの高度な運動制御(歩く, 走るなど) → **高精度, 高分解能**にしたい!



バーニアパターン角度センサ

- ・**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**: 31X, 32Xの2つの信号により検出が可能
- ・**冗長性**: 31X, 32Xどちらも相対角検出が可能
- ・**小型化**: レゾルバの励磁・受信コイルのプリントパターン化

- ・直径: 30 mm
- ・分解能: 18bit (31X), 19bit (32X)
- ・角度誤差: ±2 deg (31X), ±1 deg (32X)



センサ構成

バーニアパターン角度センサは**ロータ**と**ステータ**で構成されています

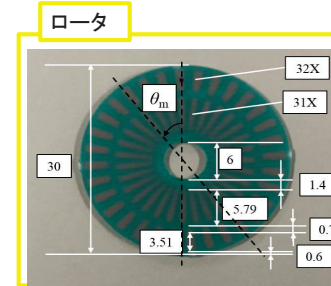


図3 ロータ(単位: mm)

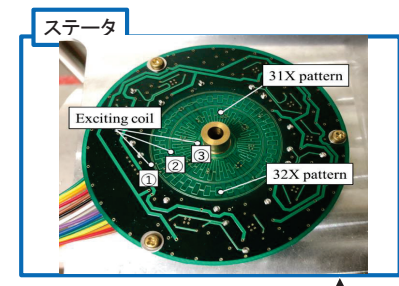


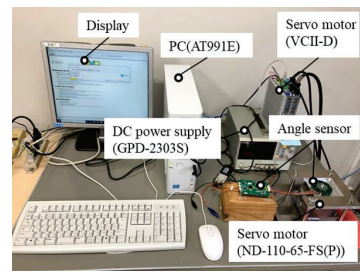
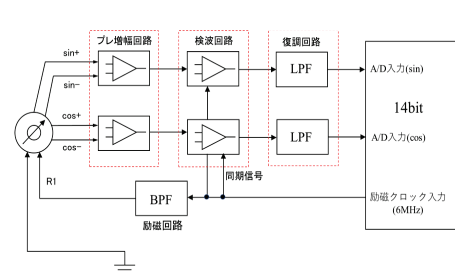
図4 ステータ

共にプリント基板(FR-4)上へ銅箔(厚さ18 μm)によるパターン

- ・内側31個, 外側32個等間隔に配置
- 31X, 32X(極対数)の銅極
- 銅板のある部分では電圧が発生しなくなります

- ・厚さ1.5 mm, 6層構造基板
- ・励磁コイル: ①③反時計方向, ②時計方向
- 電流が流れると**磁束**が発生します
- ・受信コイル: 1層目にsin, 2層目にcosコイル
- **磁束**が鎖交すると**誘起電圧**が発生します
- (**ファラデーの電磁誘導の法則**)

回路構成と実験環境



- ・角度センサに搭載されているCPUのADコンバータでアナログ信号を**デジタル信号**に変換します
- ・角度センサのデジタル信号はPC上のアプリケーションソフトによってモニタリングすることができます
- ・外部電源から5Vの直流電圧を印加することで**励磁コイル**に交流の**励磁電圧1.2V(周波数6MHz)**を印加させます
- ・ステータの上にロータを対向させ、**ロータをサーボモータ**によって回転させることができます

角度精度

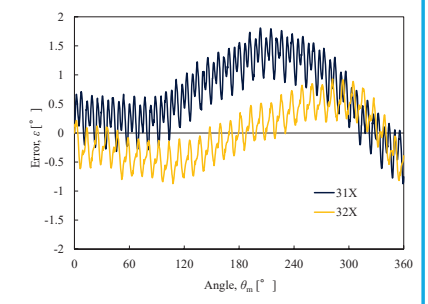
$$\epsilon_{31} = 360 \times \frac{\delta}{214 \times 31} [^\circ] \quad (6)$$

$$\epsilon_{32} = 360 \times \frac{\delta}{214 \times 32} [^\circ] \quad (7)$$

δ: 各回転角における理想的デジタル出力値と実測デジタル出力値の差

最大角度誤差

$$\left[\begin{array}{l} 31X \quad \epsilon_{31} = \pm 2^\circ \\ 32X \quad \epsilon_{32} = \pm 1^\circ \end{array} \right. \rightarrow$$



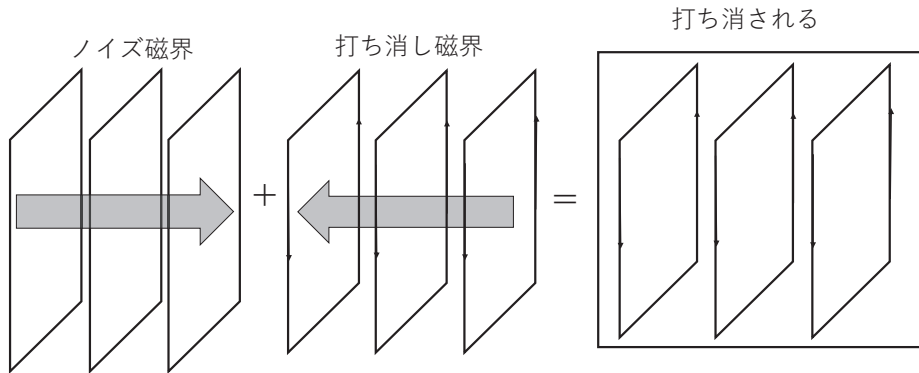
これまでに実現できている最大角度誤差は**±1°**
→ 市場に求められている**±0.2°**に近づけられるかが課題!

詳しくはこちら! →



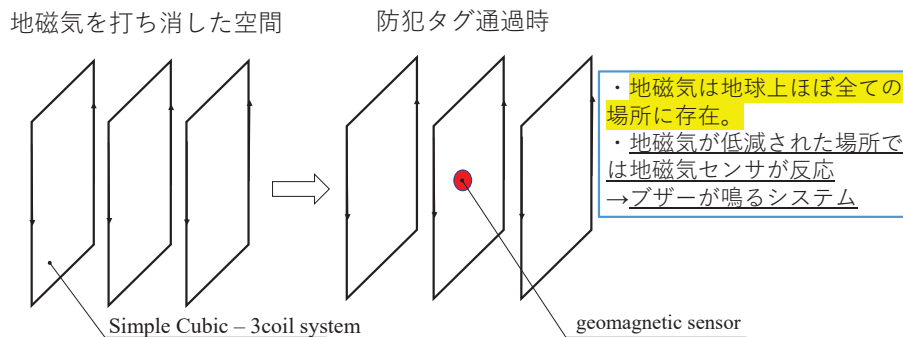
高性能磁気シールド

- ・地磁気(地球が持つ磁界) = 30 ~ 60 μT
地磁気がノイズになる微弱信号を検出出来ない
→安価な磁気シールドで宇宙磁場空間(10 nT)を実現



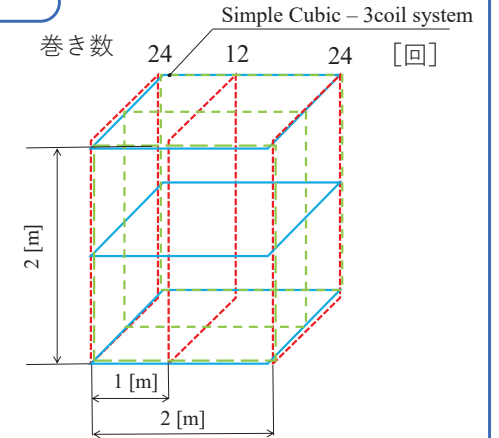
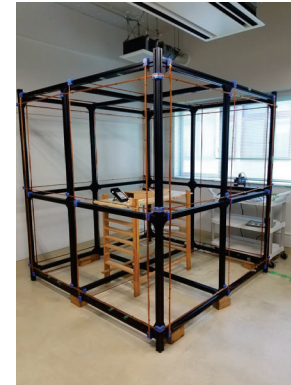
SC3を用いたセキュリティシステム

- ・防犯ゲートからは心臓ペースメーカー等、植込み型医療機器に影響を与える電磁界が生じている。
→磁気シールドを用いてより小さな電磁界でセキュリティシステムを作製
→地磁気を打ち消した空間を作製し、地磁気センサを防犯タグとする。



SC3(Simple Cubic - 3coil system)

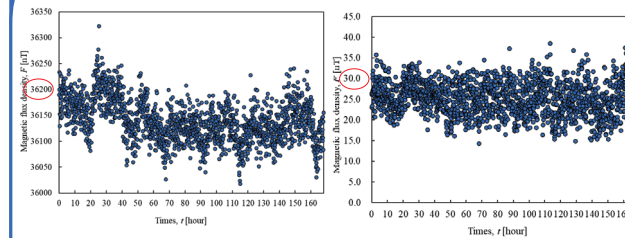
- ・ノイズ磁界と同様の磁界を発生させる
→均一な磁界を発生させる必要あり
安価な磁気シールドとしてSC3を提案・作製



- ・ $2 \times 2 \times 2$ [m] ・ 3軸に磁界発生
- ・ 中心軸上の磁界 ・ 巻き数比 2 : 1 : 2
- $B = 2.978 \frac{NI}{l}$ [T]

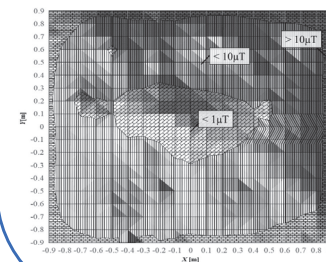
SC3の地磁気低減評価

- ・一週間、地磁気環境及び地磁気低減環境におけるSC3内部の合計磁束密度を測定



- ・ 1/1000程度の地磁気低減に成功
- ・ 地磁気低減下:平均 25 nT
- ・ 地磁気低減下:最大値 70 nT

- ・ 地磁気低減下におけるSC3内部の平面磁束分布を測定



- ・ 1 μT 以内の範囲は全体の12.5%
- ・ 10 μT 以内の範囲は全体の77%
- 地磁気低減下を決める閾値を10 μT に設定

詳しくはこちら

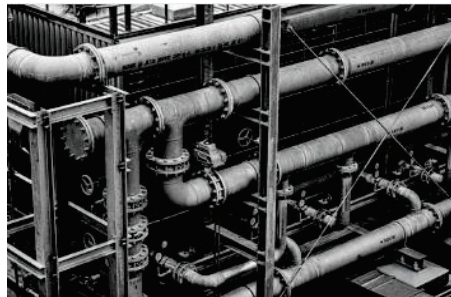


研究背景

各種プラントの配管のトラブルは流体との化学反応による腐食(コロージョン)や流体との摩擦による減り(エロージョン)により引き起こされる



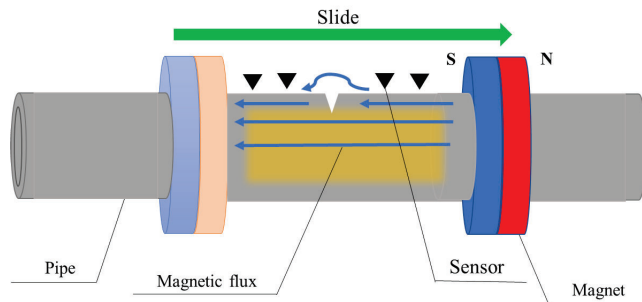
配管の減肉状況を把握することが重要



リング型磁石をスライドさせ配管を長手方向に磁化することにより、材料中に大きな残留磁化を生じさせ、内部腐食等に起因して材料表面近傍に漏れ出した磁束を測定することで内部の腐食や減肉を検知する



減肉が起きるタイミングなど根本的な原因の解明が期待できる



これまで・・・

超音波検査

- ・塗装, 保温材を剥がす
 - ・一点一点測定
- 手間とコストがかかる

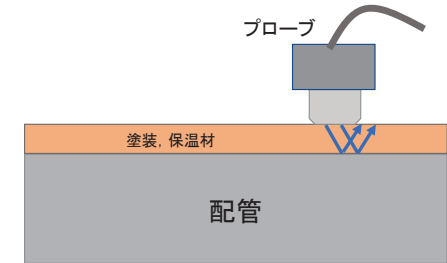


図1 超音波厚さ計



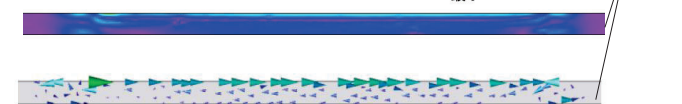
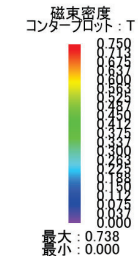
表面を加工せず**非破壊**で検査できる技術が求められる。

本研究の目標

有限要素法を用いた解析により配管からの漏れ磁束を再現する

磁石スライド→取り外し後

- ・2次元軸対称で解析可能
- 大幅な時間短縮
- ・材料内部の磁束の向きが表面と裏面で異なる



当研究室の最新・詳細情報はここから



田代研究室HP

磁歪材料とは

磁界によって寸法が変化する**磁歪効果**，応力によって磁化の強さが変化する**逆磁歪効果**を有する材料

磁歪効果

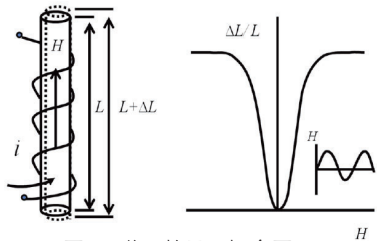


図1 磁歪効果の概念図①

逆磁歪効果

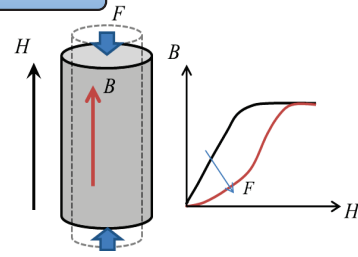
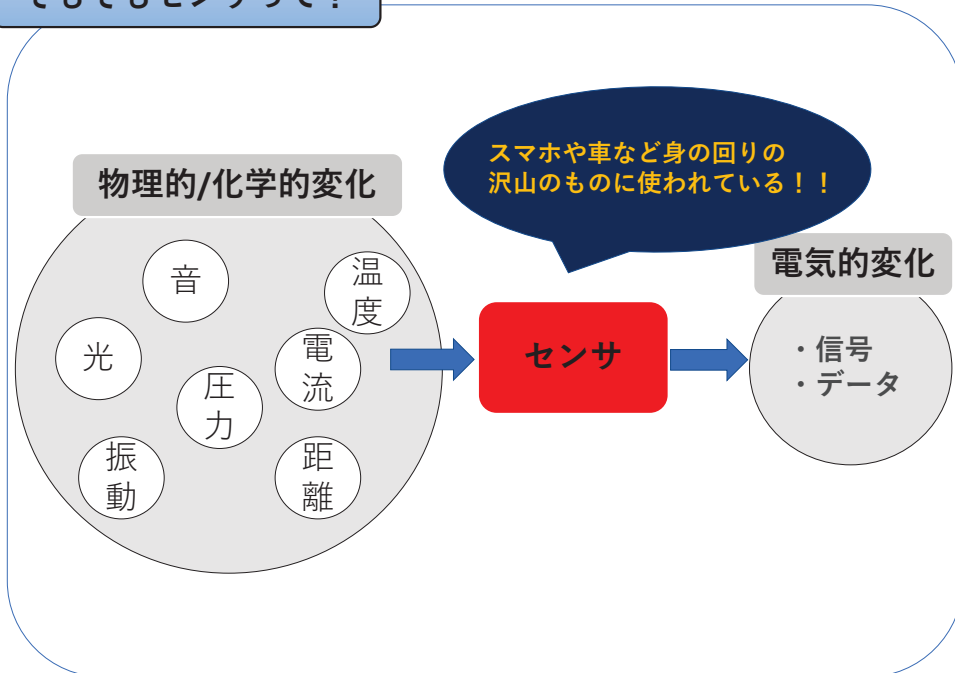


図2 逆磁歪効果の概念図

そもそもセンサって？



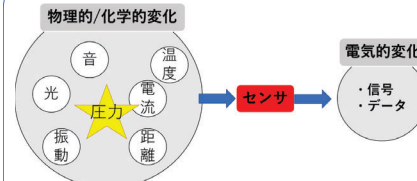
我々は

FeCo系磁歪材料に着目センサの検討をしている

磁歪材料(FeCo系合金)に着目した理由

- ・**低コスト** → 大量生産が可能 (TbDyFe合金: 希土類金属, FeGa合金: Coの値段がGaの1/5 ~ 1/10)
- ・逆磁歪効果が小さい → 高応力の力センサに適している
- ・新しいセンサへの応用ができるかもしれない

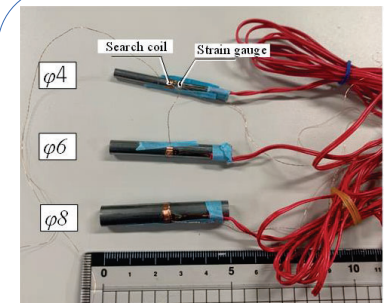
センサの中でも



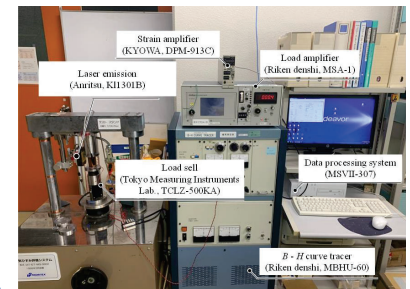
我々は**圧力センサ**に注目！

実際の研究

- ・磁歪材料に圧力をかけてどのような特性が出るのかを調査！
- ・センサをどんな構造にしたら世間の役に立つか！
- ・企業の方と連携して実験してみる！



実際の磁歪材料



実験装置



←詳しくは田代研究室HPまで

カプセル内視鏡とは

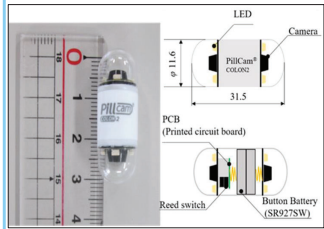


図1 カプセル内視鏡(PillCam®coron2)

【概要】

小型カメラを内蔵したカプセル状の内視鏡
2007年 小腸用カプセルの保険適用
2014年 大腸用カプセルの保険適用

【メリット】

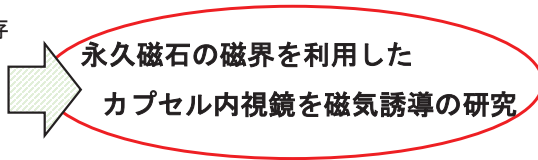
- ・水と一緒に**飲み込むだけ**で検査ができる
- ・チューブ型のような従来の内視鏡検査に比べ、患者さんに対する負担や苦痛の**低減**できる



問題点

体内での移動が蠕動運動と重力に依存

- ① 医師が見たい位置に**移動できない**
- ② **滞留・停滞**の可能性



磁気シールドケース

【使用しない時の安全性】

- ・医療機器などに悪影響を及ぼす危険性
- 磁気シールドで磁界を0.5 mT以下に低減したい

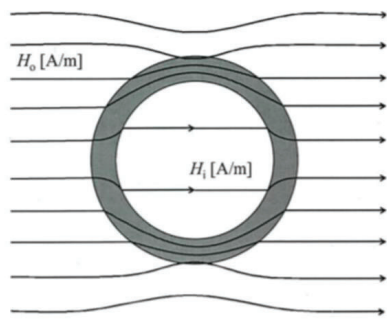


図5 磁性体内を通過する磁束の様子⁽¹⁾

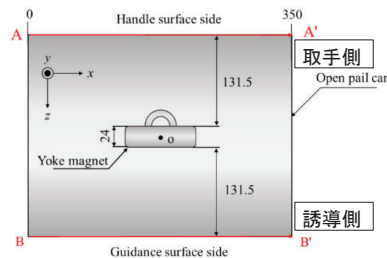


図6 磁気シールドケース

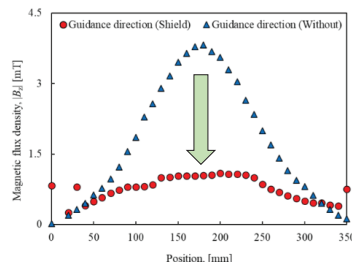


図7 誘導側(B-B')の漏洩磁束密度

検討している磁気誘導磁石

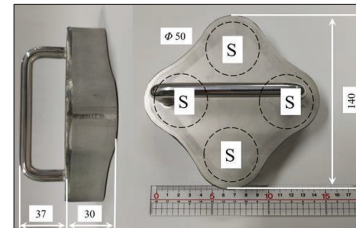


図2 平面配列磁石 (単位: mm)

【特徴・性能】

- ・4つのネオジウム系磁石(N40)を平面に配列した構造
- ・100 mmの誘導想定位置で約17 mTの磁束密度
- ・電磁石やロボットアームによる磁気誘導システムに比べて小型で安価

磁界中の物体に作用する磁気力

$$F = \int \text{grad}(M \cdot H) dV$$

$$= kH \frac{\partial H}{\partial x} \quad [N] \quad (1)$$

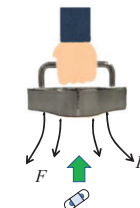


図3 磁気誘導のイメージ

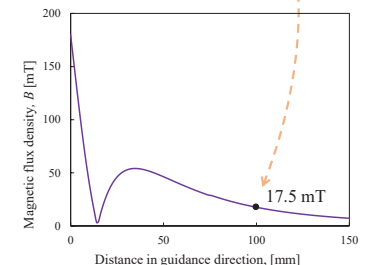


図4 磁気誘導磁石から生じる磁界

磁気誘導磁石の磁気力の検討

【電磁界シミュレーションによる磁気力の算出】

- 磁気誘導磁石から生じる磁界の分布
- カプセル内視鏡や磁性体に作用する磁気力

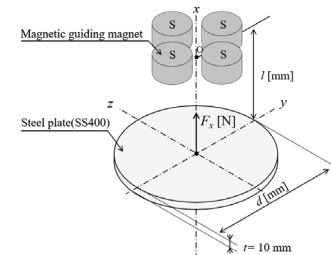


図8 磁性体に作用する磁気力の解析モデル

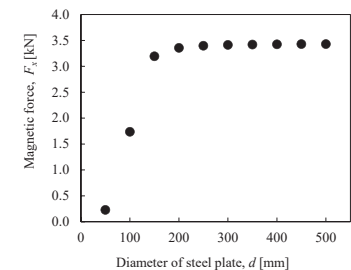


図9 吸着時(l=0 mm)における磁気力

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・詳細情報はこちらから！！

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)山崎 慶太, 小林 宏一郎, 百束 泰俊:「環境磁気ノイズと磁気シールド技111」, まぐね, Vol.1, No.2, p.77, 2006

金属判別

製造機械, 輸送機関, 化学プラントなどの機械や構造物の安全性確保が必要

検査のために**非破壊非接触**で金属の状態の判別が望まれる

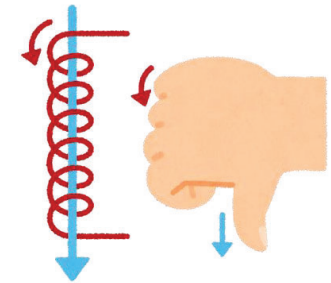
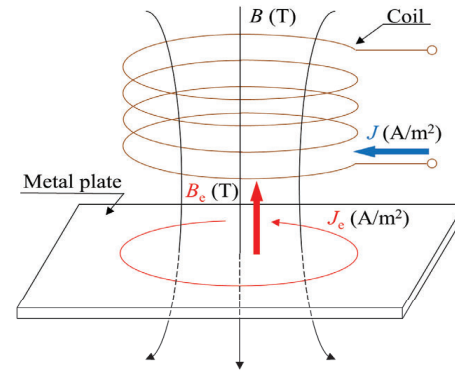
金属検出法

渦電流法, 光学式, 超音波式, レーザフォーカス式, 接触式など

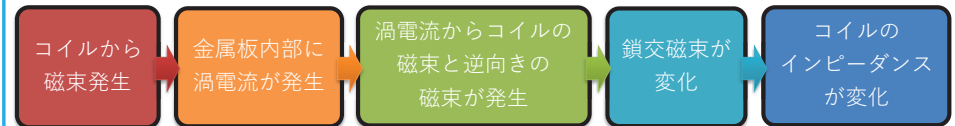
渦電流法

- ・金属などの導電体を検出することが可能
- ・非破壊・非接触で検出可能

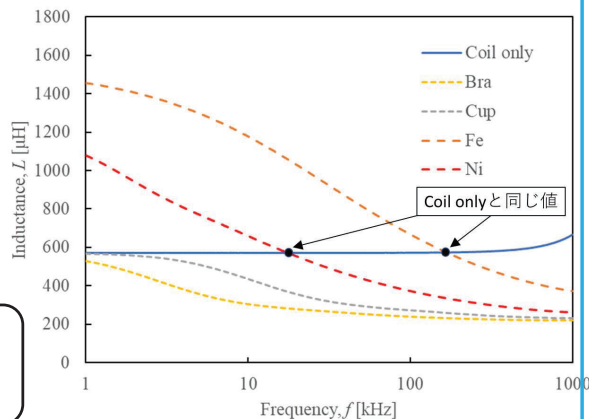
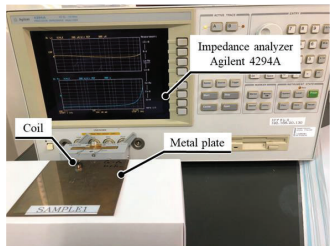
渦電流の原理



右ねじの法則



インダクタンスの測定



インダクタンスの変化

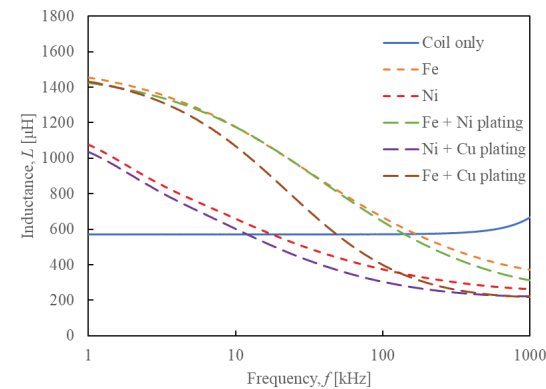
周波数が高くなるほどインダクタンス L [H]は減少
⇒渦電流の影響

対向させる金属板の種類によって L の変化が異なる

コイルのみ(金属板無し)のときと同じインダクタンスになる周波数 f_c が異なる

f_c の違いから金属を判別できる

めっきが施された金属



磁性体の傾向

低周波帯
コイルのみに対して L が増加
⇒透磁率の影響大

高周波帯
コイルのみに対して L が減少
⇒導電率の影響大

めっきの有無でも変わる

判別可能



←詳しくは田代研究室HPをチェック

1. 私たちの身の周りに作られる磁界

身の周りには地磁気を主成分とした**小さな磁界**が存在し、常に磁界の大きさは**変動**している。

地磁気とは^[1]

- 地球が持つ固有の磁場
- 外核に存在する磁性のある流体が自転等で揺れ動き、電流が流れることが原因と考えられている。
- 大きさは約30 μT ~50 μT
- 地磁気の大きさを**全磁力**という

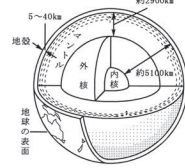


図1：地球の内部構造^[1]

磁界が変動する要因

- 地磁気そのものの変動
 - 電化製品の使用
 - 磁性体の移動**
- など...

磁性体の移動に伴う磁界の変動から、人がどのような活動を行っているのか推定したい

[1]気象庁地磁気観測所ホームページ：「地磁気の基礎知識」, <https://www.kakioka-jma.go.jp/knowledge/qanda.html#1>

3. 全磁力の変動

24時間の全磁力の変動

測定日時：6月2日9:20~6月3日9:20
測定場所：W6棟3F 307実験室

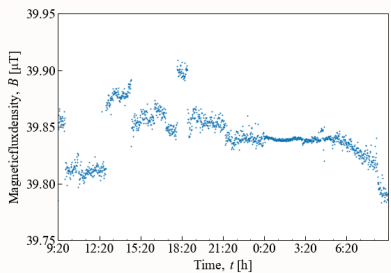


図3：24時間の磁束密度の推移

表1：活動時間と非活動時間の標準偏差

時間帯	標準偏差	最大差 $[\mu\text{T}]$
8:00~22:00 (活動時間)	0.113	0.268
22:00~8:00 (非活動時間)	0.056	0.139

活動時間の方が値の散らばりが**約2倍以上!!**



図4：実験の様子

椅子の移動に伴う全磁力の変動

測定日時：5月11日
測定場所：W6棟3F 307実験室

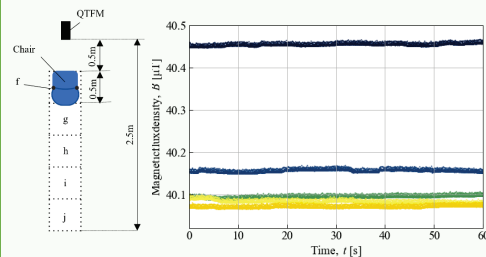


図5：椅子をセンサから遠ざけたときの各地点での磁束密度の推移

椅子とセンサの**距離が遠くなる**につれ、全磁力の値も**小さく**なっている。

全磁力の変動の様子から、以下が判別できるかも!?

- 人が活動しているか、していないか
- 磁性体が移動しているか、していないか
- 磁性体の移動距離
- 磁性体の移動方向

2. 光ポンピング磁力計(OPM)とは^[2]

※ B：原子の高エネルギー準位
A₁：通常のエネルギー準位 } 磁界B₀があると
A₂：通常のエネルギー準位 } いくつかの準位に分裂

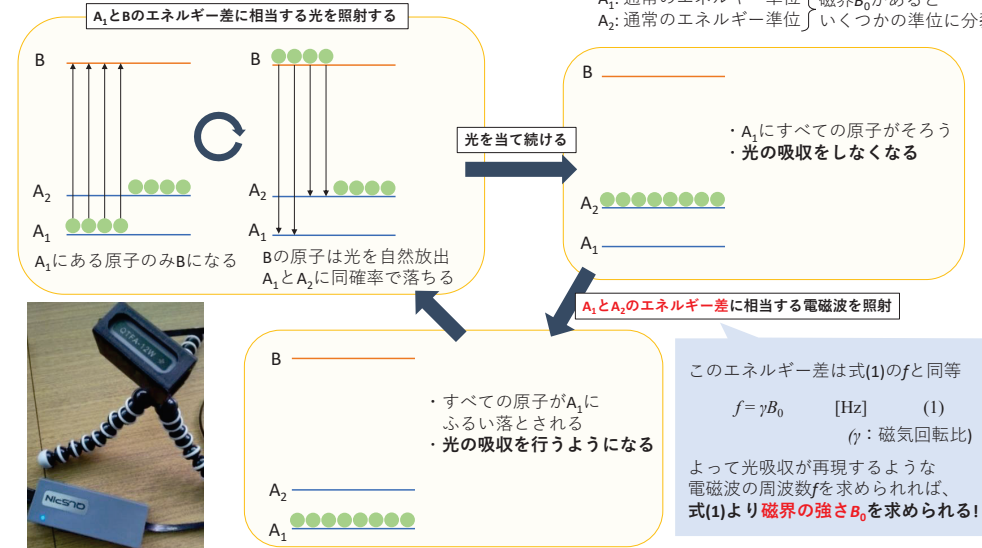


図2：OPMの外観図

[2]公益社団法人物理探査学会：「物理探査ハンドブック 増補改訂版 第一分冊」, 公益社団法人物理探査学会, 第二版, p. 115, (2016)

4. 全磁力変動を利用した見守りセンサ検討

- 見守りセンサ**：老人ホーム等で用いられる安全管理を目的とし、行動を把握するためのセンサ



現在ある製品

- 3Dセンサ
- 赤外線センサ
- 取り付け型の磁気センサ等を用いている

OPMを利用することで

- プライバシー**を守る (物体の移動のみを検知するため)
- 設置が容易
- 部屋内の様々な磁性体に対して利用できる



詳しくは田代研究室HPまで! →



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**。

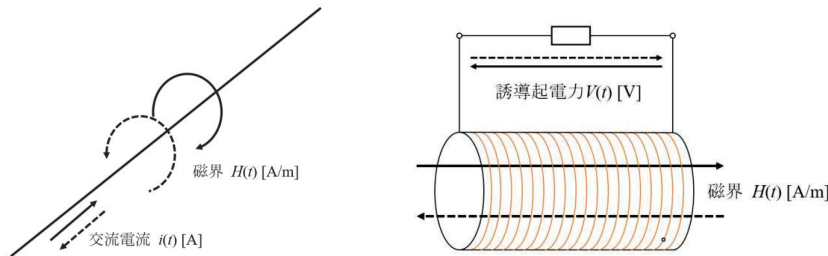


図1 発電の概念図

課題

(1)原理上, 超低周波の磁界(50/60Hz)中で発電してもわずかな電力しか得られない。

$$V(t) = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad [\text{V}] \quad \begin{matrix} N \cdots \text{コイルの巻き数} \\ \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} [\text{V}] \cdots \text{磁束の時間変化} \end{matrix}$$

磁界の周波数が低下すると上式の $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ の部分が小さくなり得られる起電力も減少する。

(2)電磁誘導にて得られた交流電圧を低損失で直流電圧に変換しなければならない。

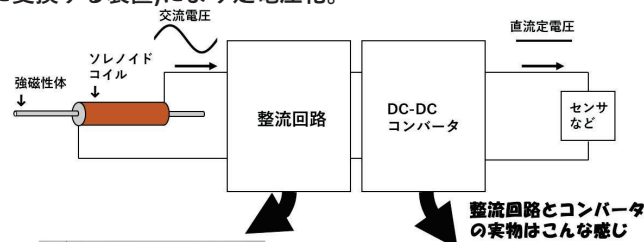
(3)センサを動作させるために, 整流された直流電圧を定電圧で出力する必要がある。

環境磁界発電用素子の提案

(1)強磁性体(鉄, コバルトなど)をソレノイドコイルに挿入した**磁束収束コイル**や強磁性体から作成される**磁気双安定素子**を挿入したソレノイドコイルを用いる事で出力電圧を向上。

(2)ダイオードとコンデンサを用いた回路(整流回路)で交流電圧を整流。

(3)DC-DCコンバータ(入力された直流電圧の大きさを所望の大きさの直流電圧に変換する装置)により定電圧化。

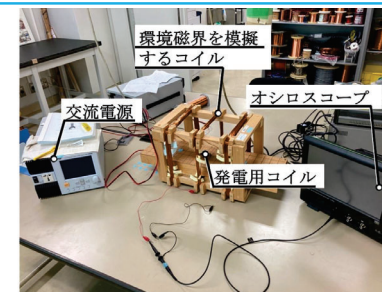


整流回路とコンバータの実物はこんな感じ

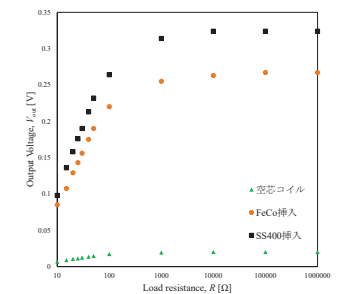
研究活動

実際に環境磁界を用いて発電する装置の制作を目標に, より損失を少なくするためにどうしたらよいか検討中!

コイルに挿入する磁性体を変えて, オシロスコープで実際にコイルの出力波形を観測・比較!



実験風景↑



実際に測定したデータの例↑



←詳しくは田代研究室HPまで!

磁性体をコイルに入れると出力が増加する。