

# 微小な振動を利用した 磁気イメージングの分解能向上技術

金沢工業大学 工学研究科

先端電子技術応用研究所／高信頼ものづくり専攻

教授 足立 善昭

令和3年2月25日

# 新技術の概要

磁気センサを用いてサンプル周囲の磁場分布を可視化することを磁気イメージングと呼びます

本技術は、サンプルを機械的に振動させて信号を変調することで、磁気イメージングの高感度化、低コスト化につなげることを目的としています。

# 発表内容

## 1. 背景

金沢工業大学 先端電子技術応用研究所の研究内容

## 2. 新技術の紹介(新技術に係る知財)

## 3. 新技術の応用例

# 背景

## 金沢工業大学 先端電子技術応用研究所の研究内容

### 脳磁計とその応用技術

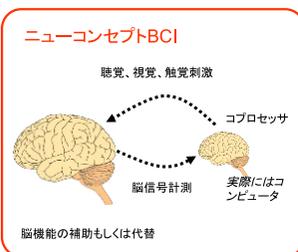
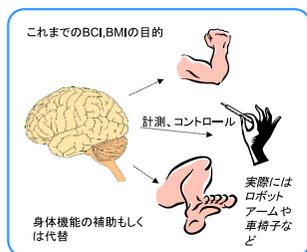
### 超電導量子干渉素子(SQUID)の応用開拓



脳磁計(MEG)のセンサ(SQUID素子)からシステムインテグレーションまでの開発



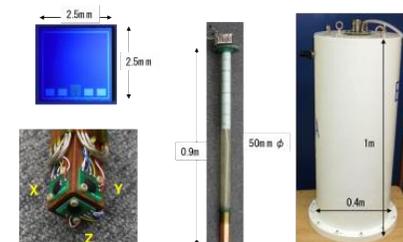
MEGシステムの評価標準



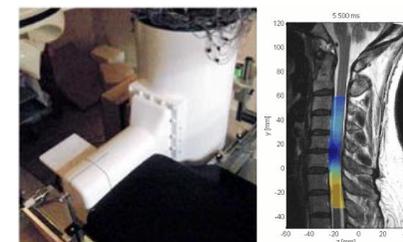
BCIへの応用



小動物用生体磁気計測



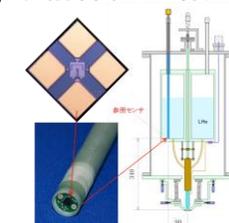
高感度地磁気計測(ELFA)



脊髄/末梢神経磁場計測



超低磁場SQUID MRI

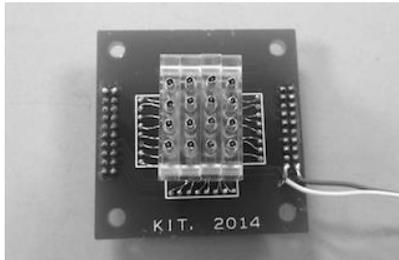


SQUID顕微鏡

### 微小磁場計測技術



モーショントラッキング(手術ナビ)



多チャンネルフラックスゲート

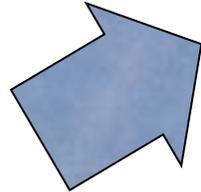


地中探査

- 超電導量子干渉素子(SQUID)
- 微小磁場検出
- 多チャンネル測定

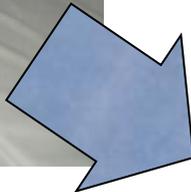


大学で開発

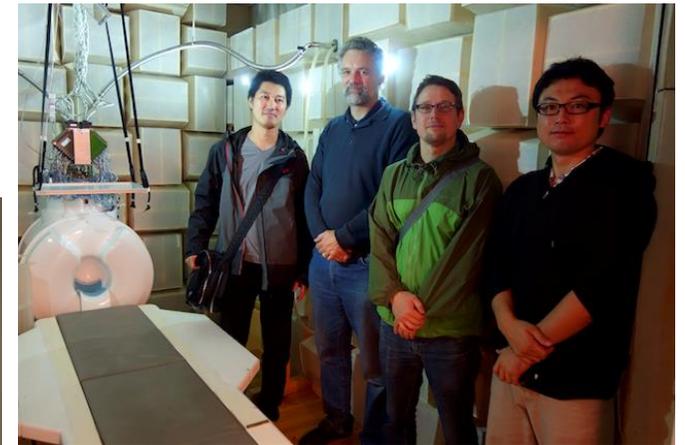


© Ricoh Company Ltd.

民間企業に技術移転



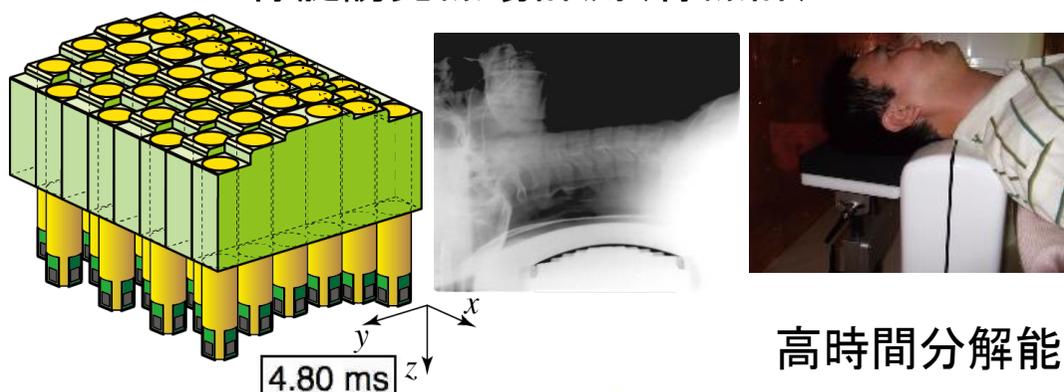
大学ベンチャーを通じて他大学・研究機関へ



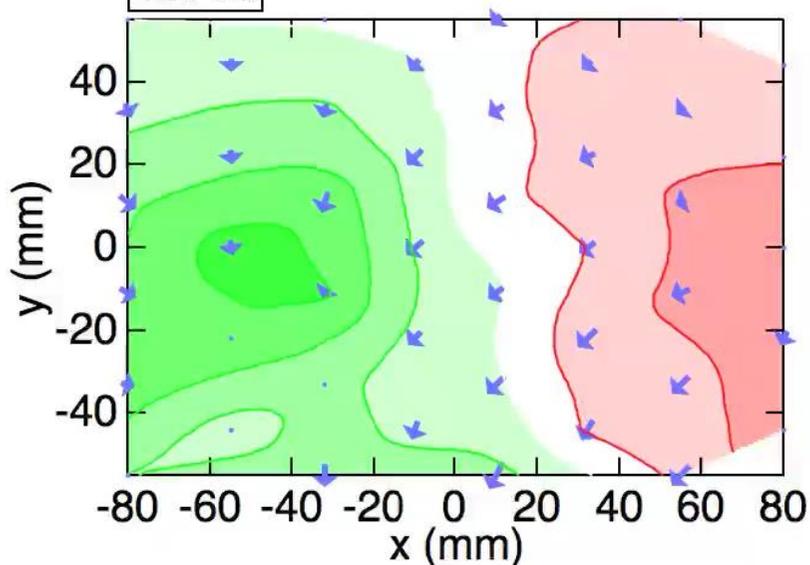
# 磁気イメージングの例

多数の磁気センサを配置してワンショットで撮る

脊髄誘発磁場計測(脊磁計)



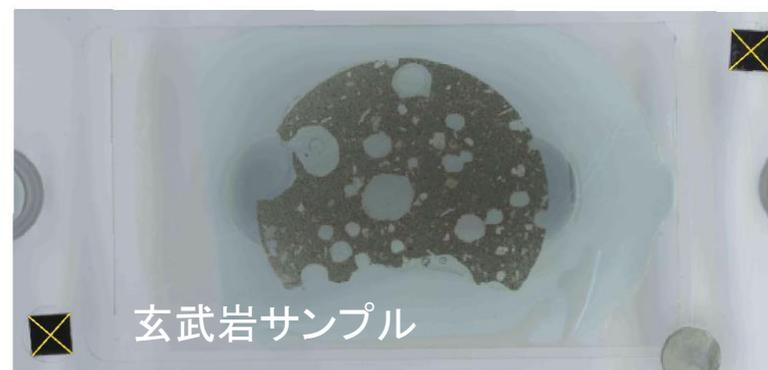
高時間分解能



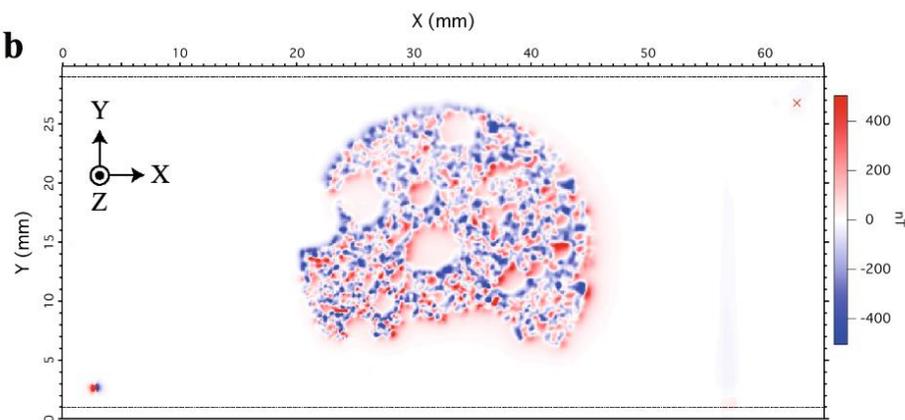
1個~少数の磁気センサをスキャンして撮る

SQUID顕微鏡

a



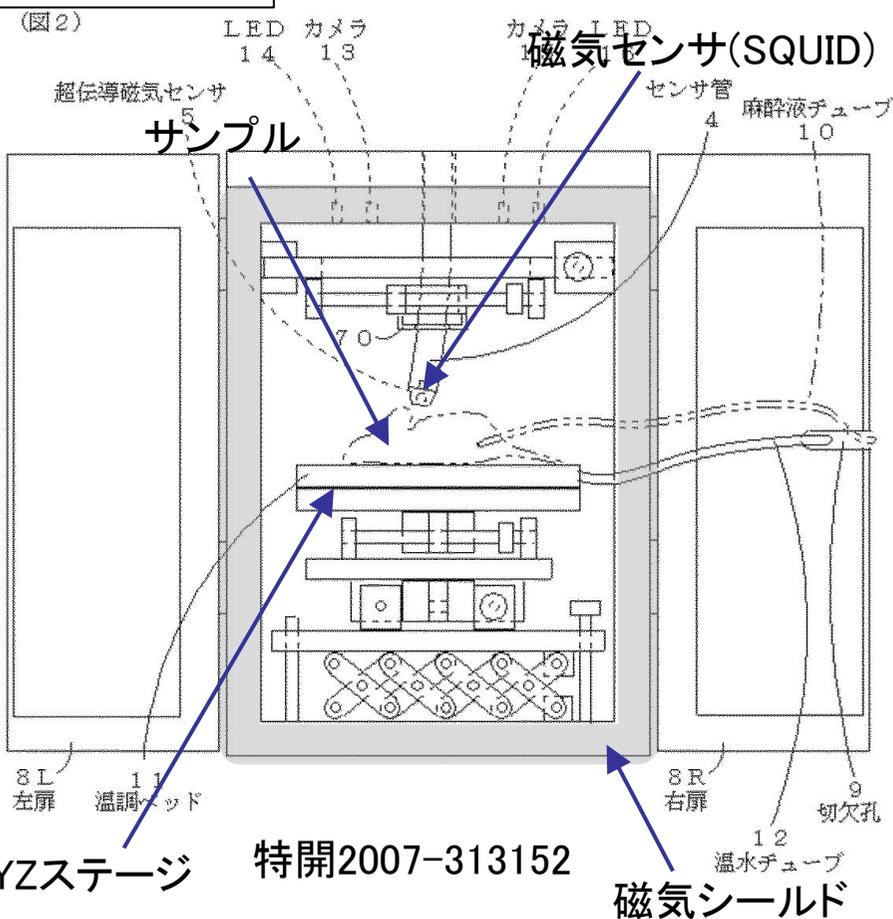
b



高空間分解能

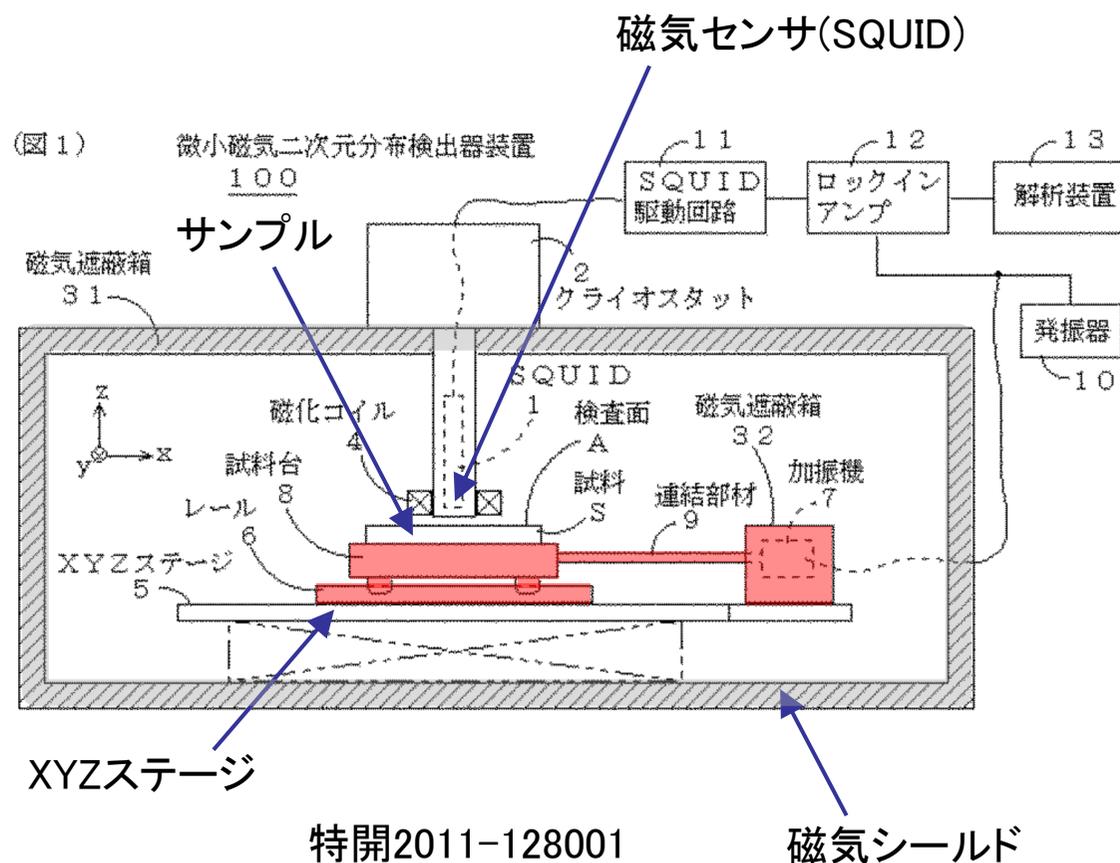
# 新技術の紹介

## 従来技術



※サンプルをXYZステージの上に載せてセンサの下でスキャンする。

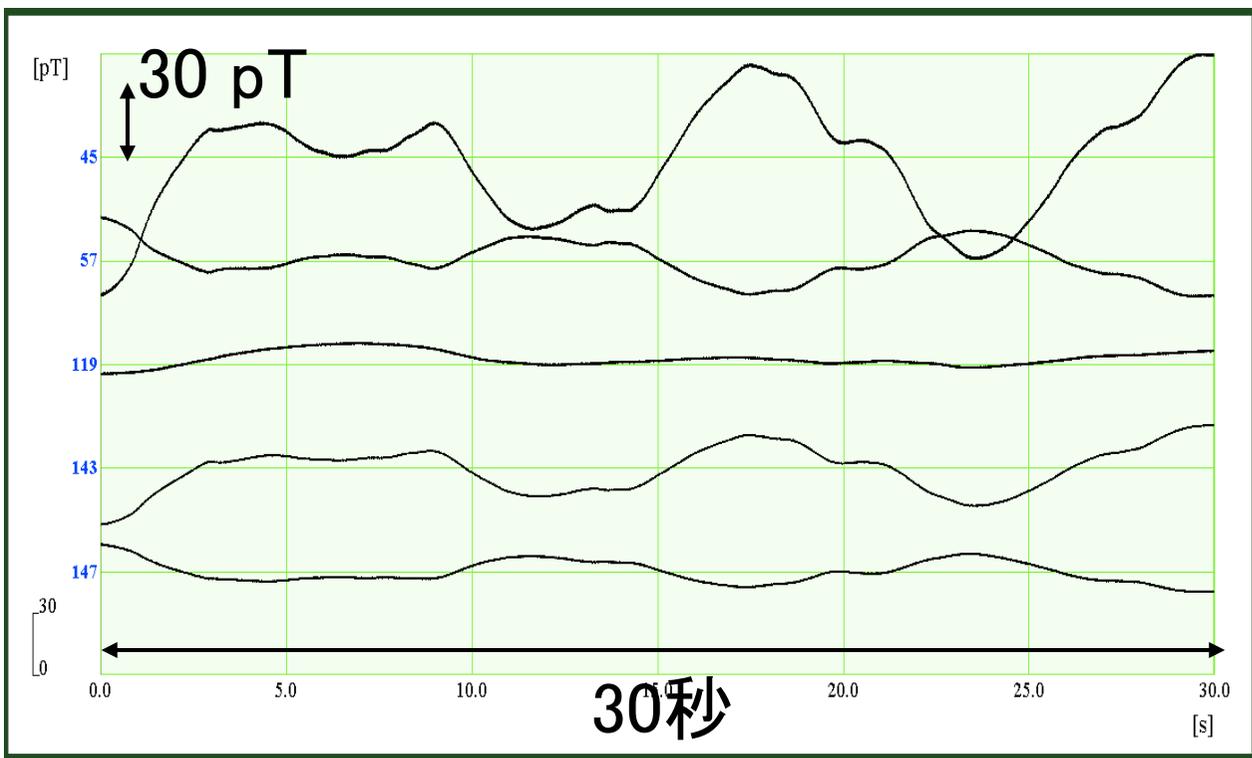
## 新技術



※XYZステージの上にサンプルに微小振動を与える加振機が追加されている

# 直流微小磁気計測の難しさ その1

## 環境磁場ノイズ



近隣の交通機関(地下鉄)などからの磁気ノイズが数10~100 pTにおよぶ(脳磁信号の約100倍~1000倍)。

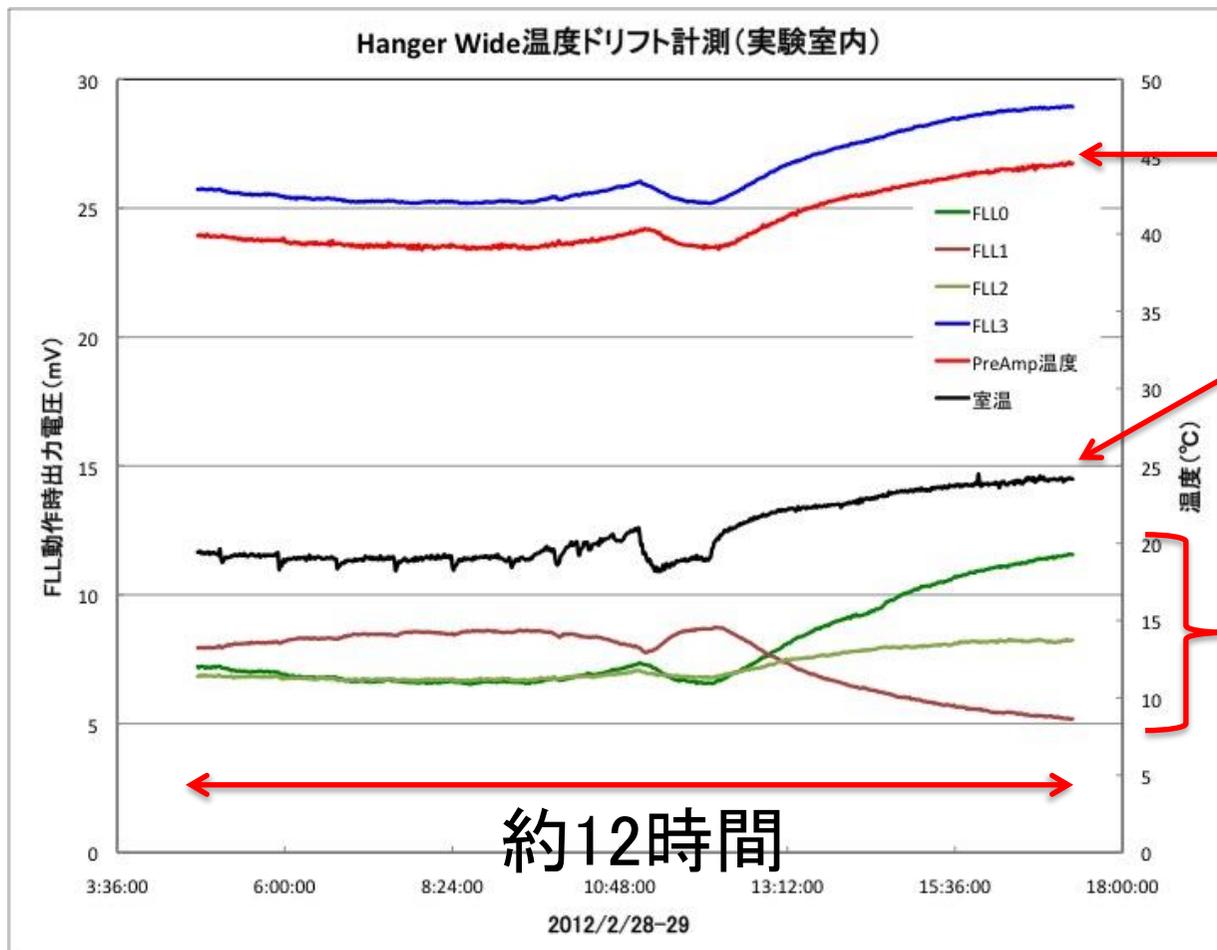
脳磁信号はフィルタで抽出できるが、直流磁場は？



金沢工大/ニューヨーク大 共同脳磁研究ラボ

# 直流微小磁気計測の難しさ その2

## 温度ドリフトの影響



プリアンプ温度

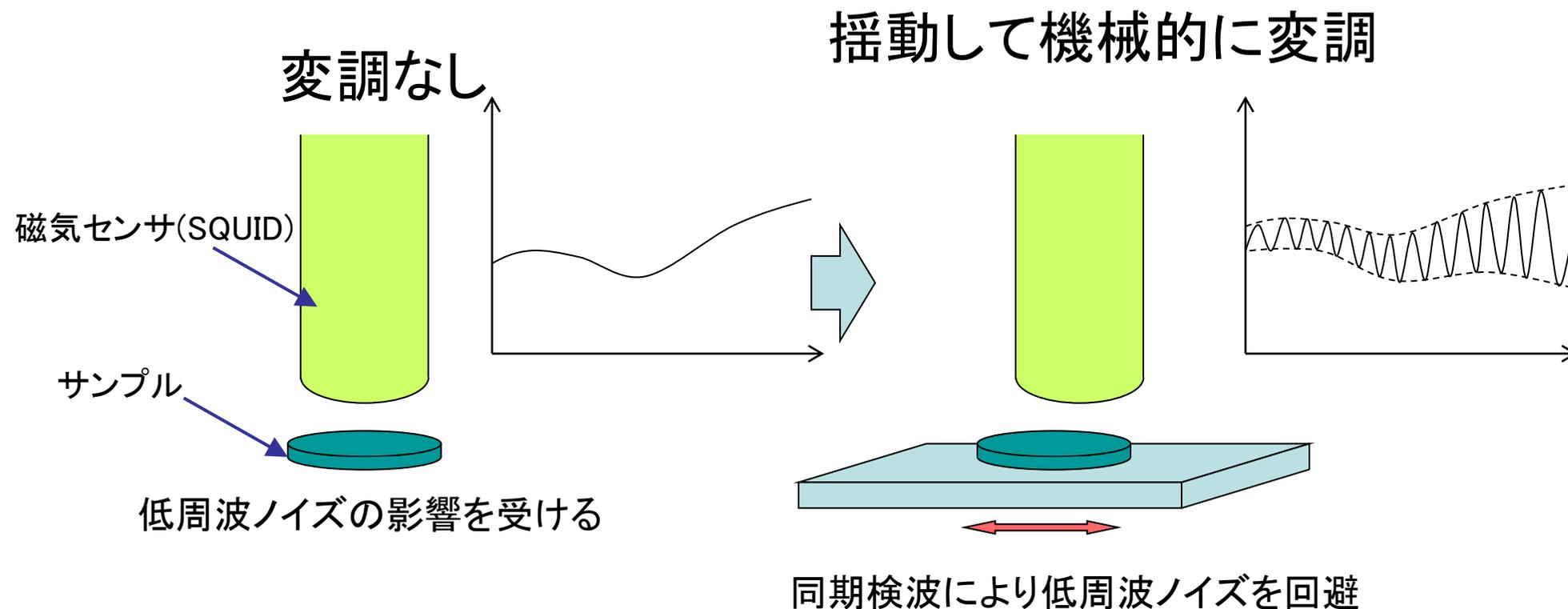
室温

センサ出力

磁場感度のないダミーセンサで  
磁場換算で5 pT程度の温度ドリフト

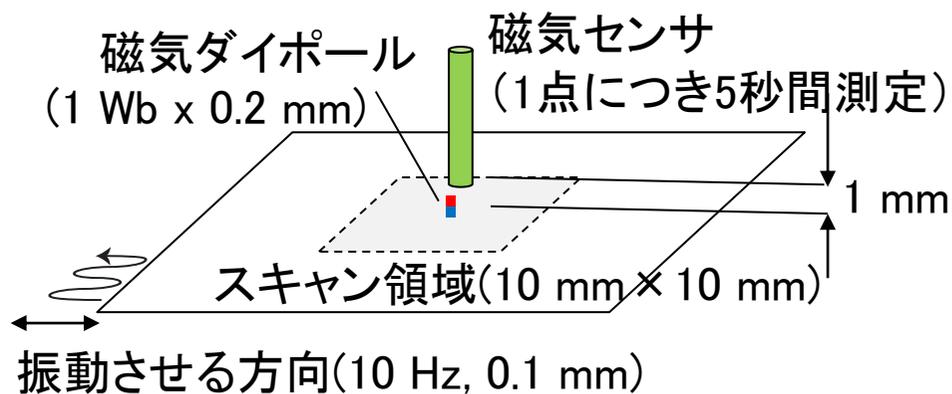
ダミーセンサを接続したときの出力変動

# 機械的変調による低周波磁場計測

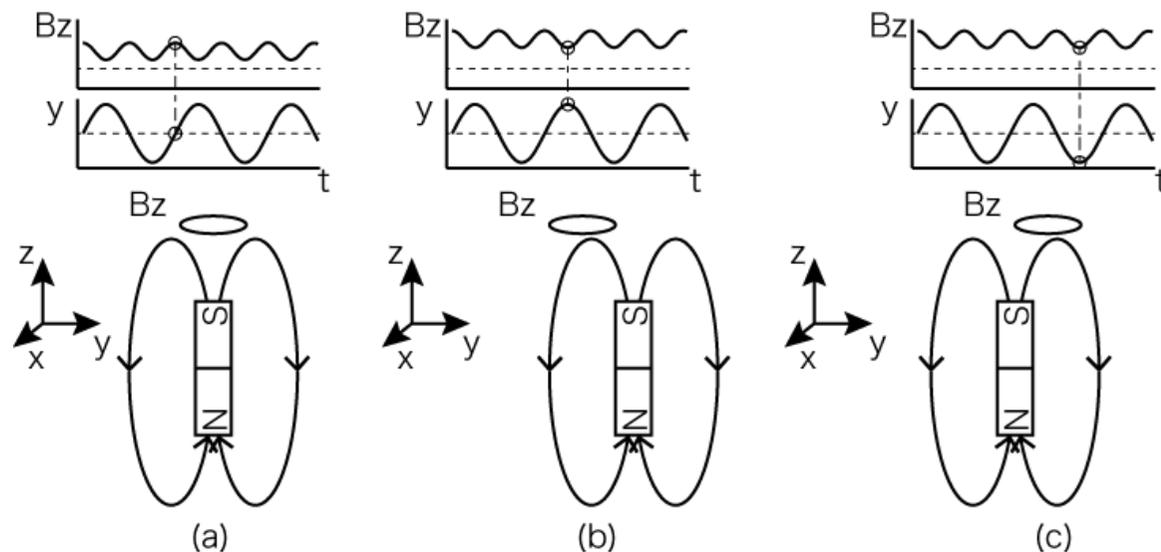


# 数値実験

## 想定した実験系

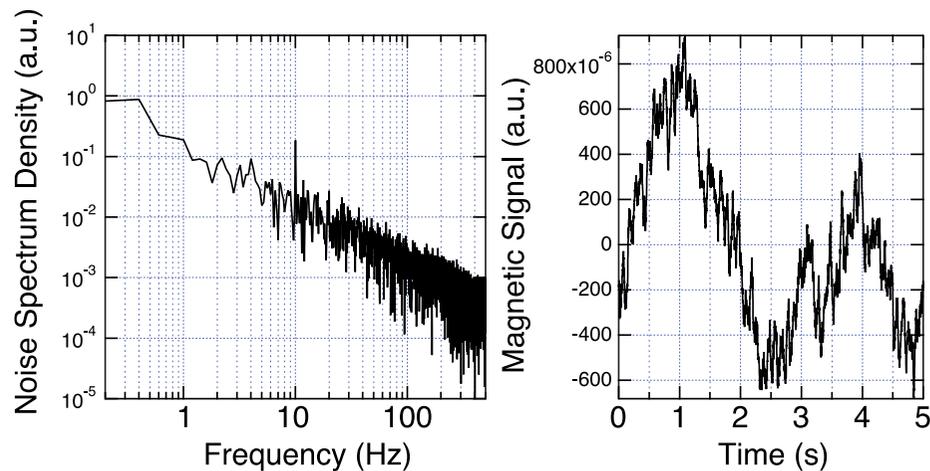


## 振動周波数の2倍波で検波



上記の場合、試料の直上で2倍高調波が検出される

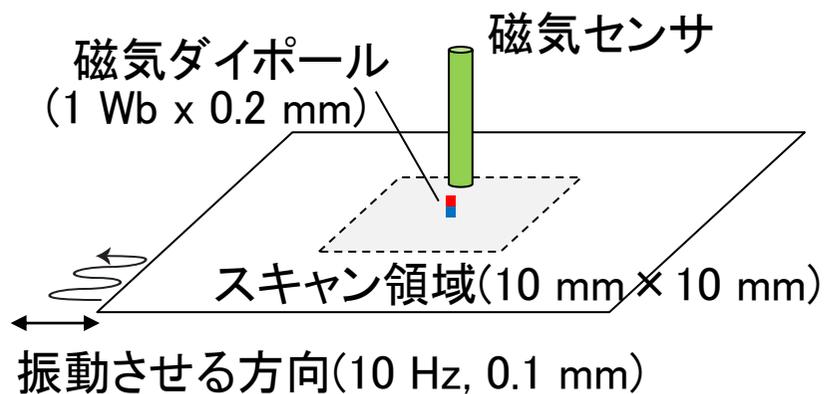
## 想定した低周波ノイズ



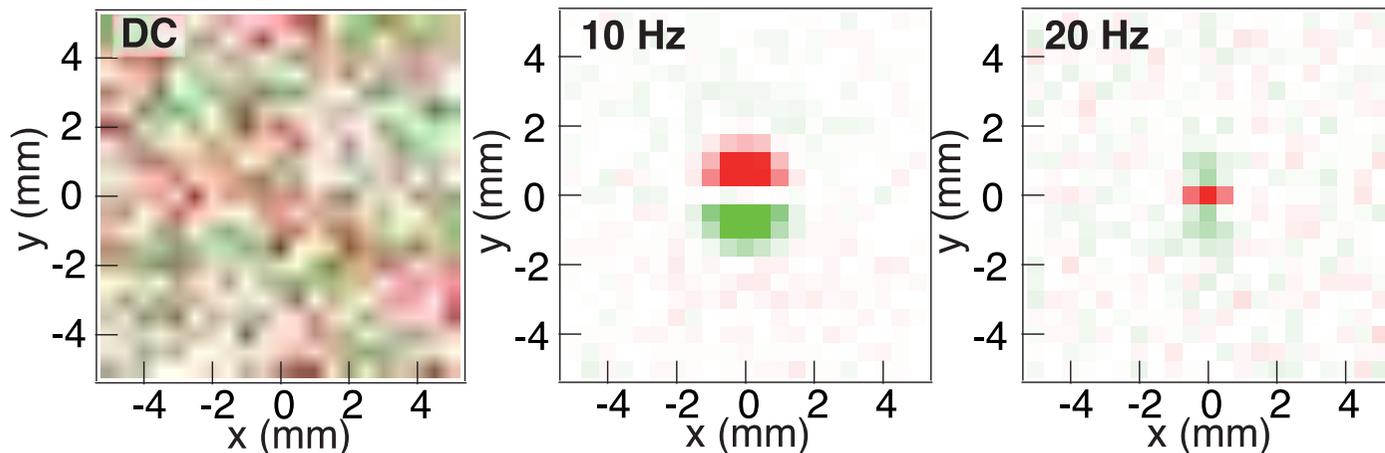
磁気ダイポールからの信号の30倍のノイズを混ぜる

# 数値実験結果

## 想定した実験系

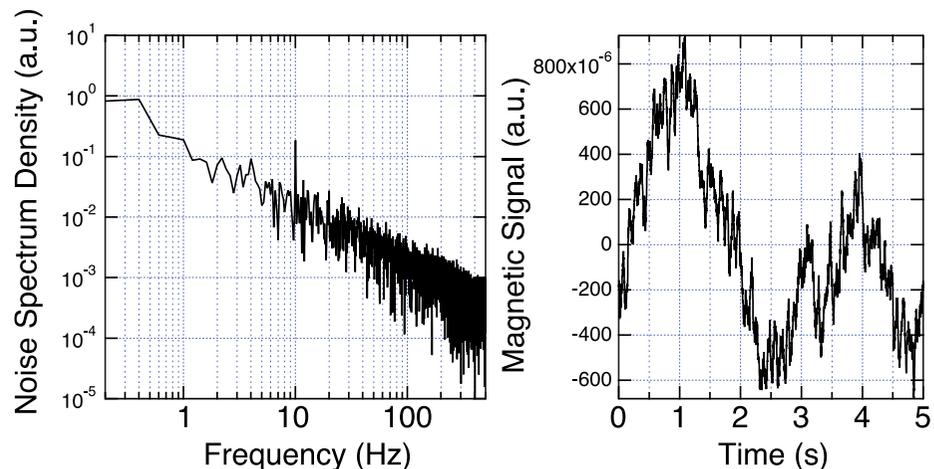


## 数値実験の結果



Y. Adachi et al, AIP Advances, 056626, 2017

## 想定した低周波ノイズ

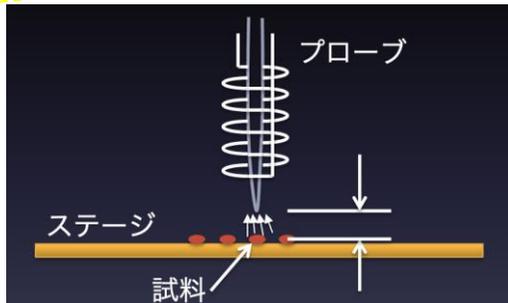
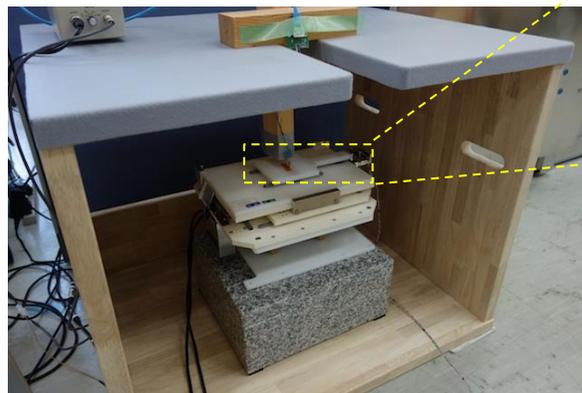
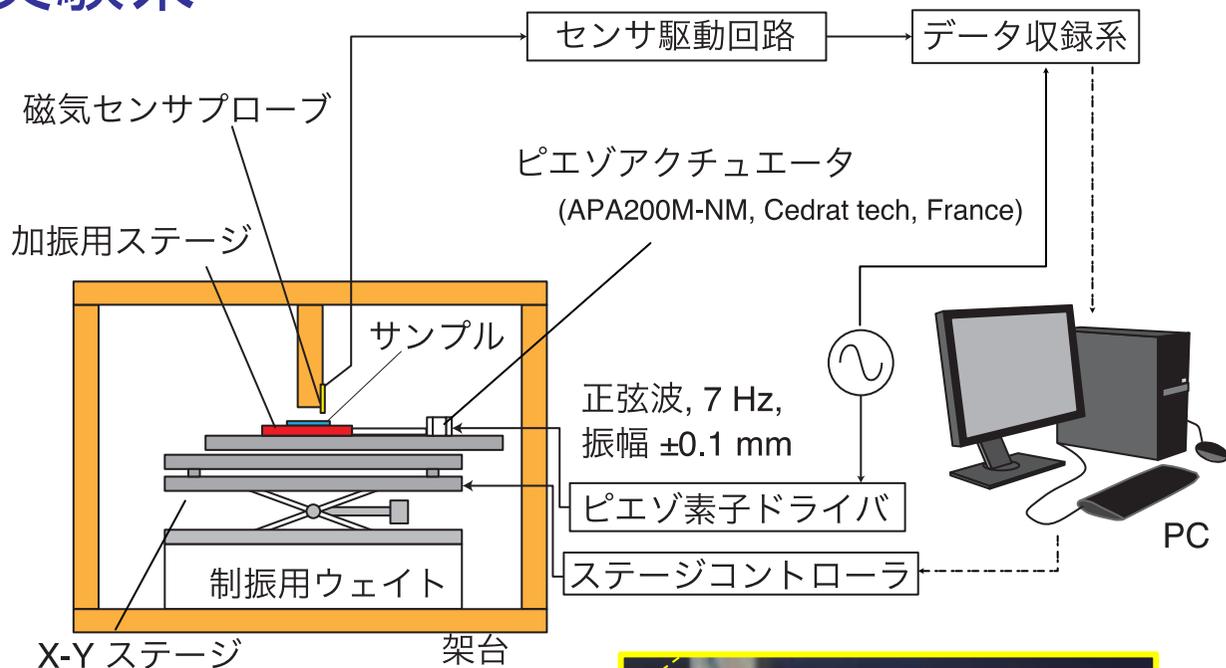


- ・ 機械的変調で低周波ノイズ化でもイメージング可能
- ・ 2倍高調波で検波することにより、空間分解能の向上が期待できる

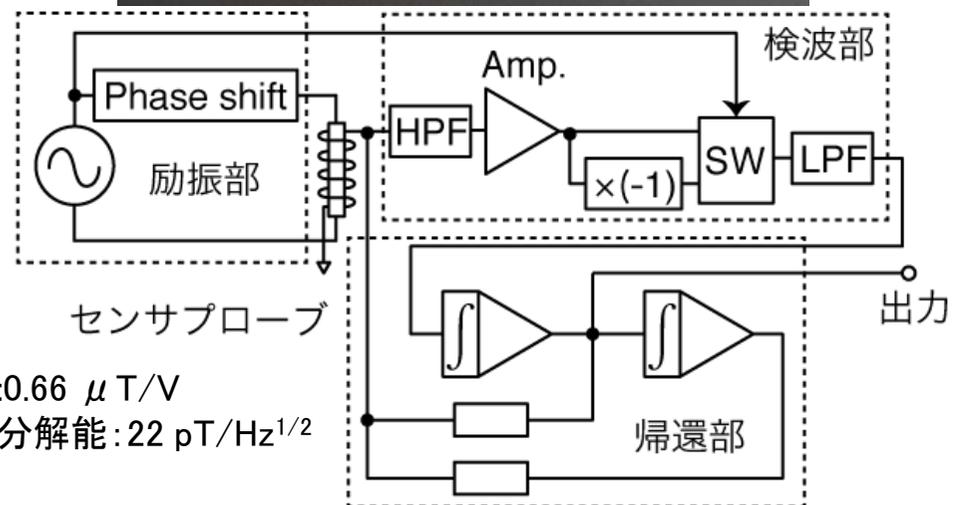
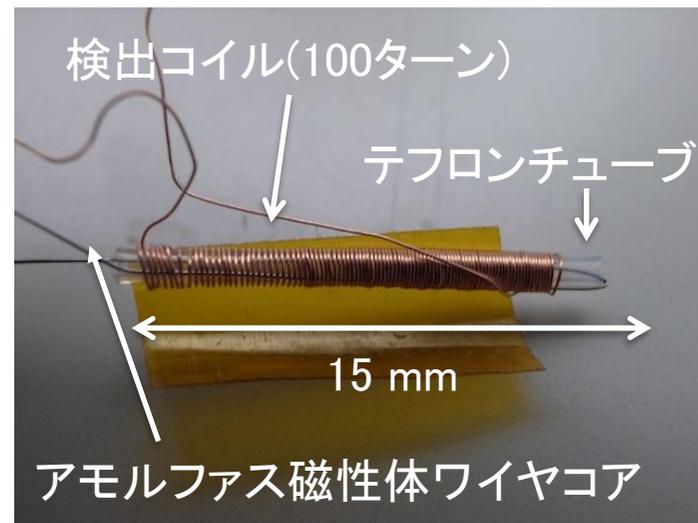
磁気ダイポールからの信号の30倍のノイズを混ぜる

# 実証実験

## 実験系



## 使用した磁気センサ (直交型フラックスゲート)

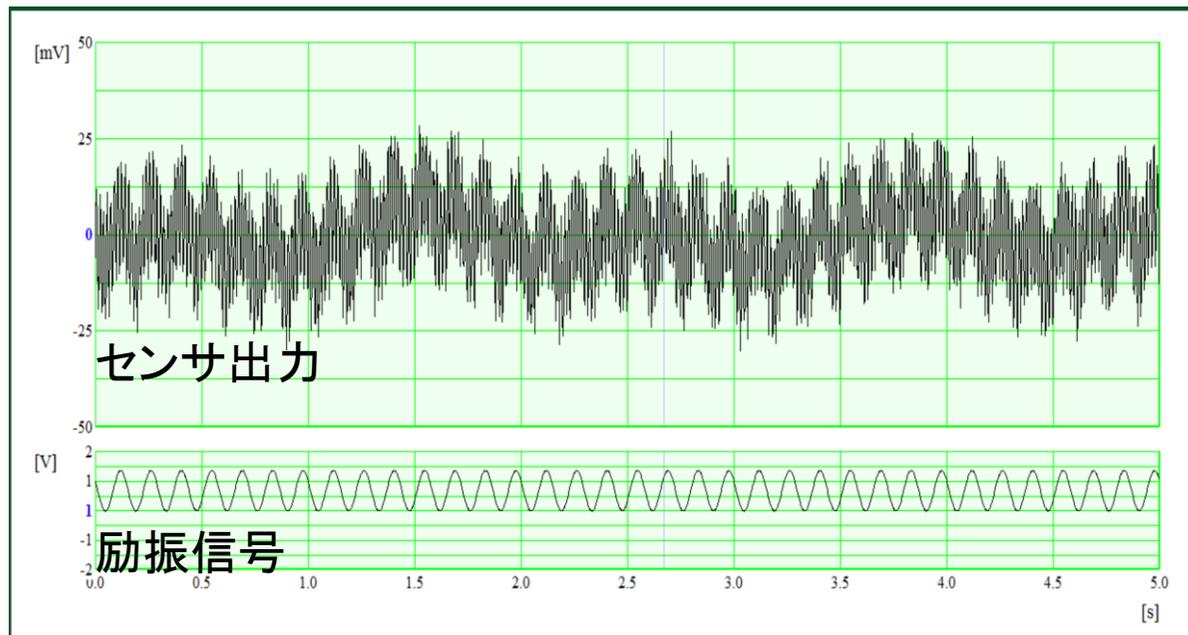


感度:  $0.66 \mu\text{T/V}$   
磁場分解能:  $22 \text{ pT/Hz}^{1/2}$

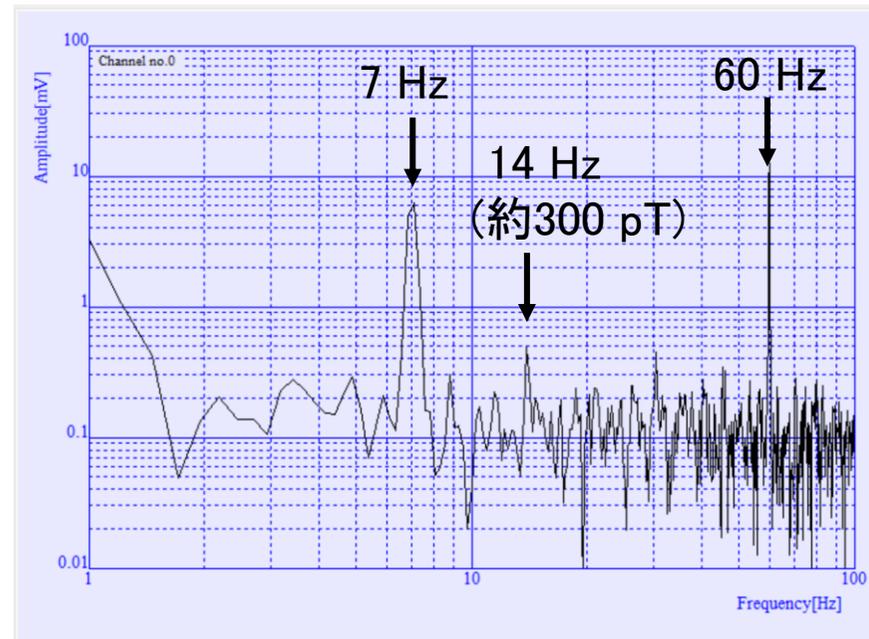
## センサ駆動回路ブロック図

# 結果(例)

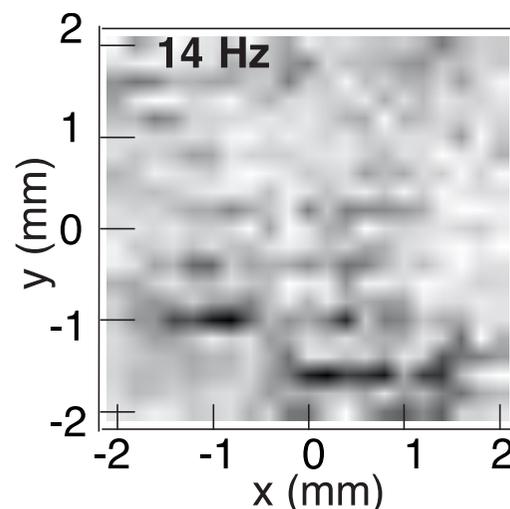
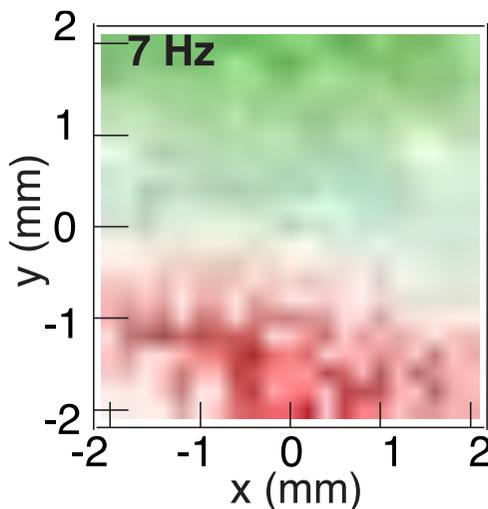
白黒コピー機で印刷した「電」の字(4 mm□)



磁気センサ信号の例(X: -1.2 mm, Y: -1.8 mm)



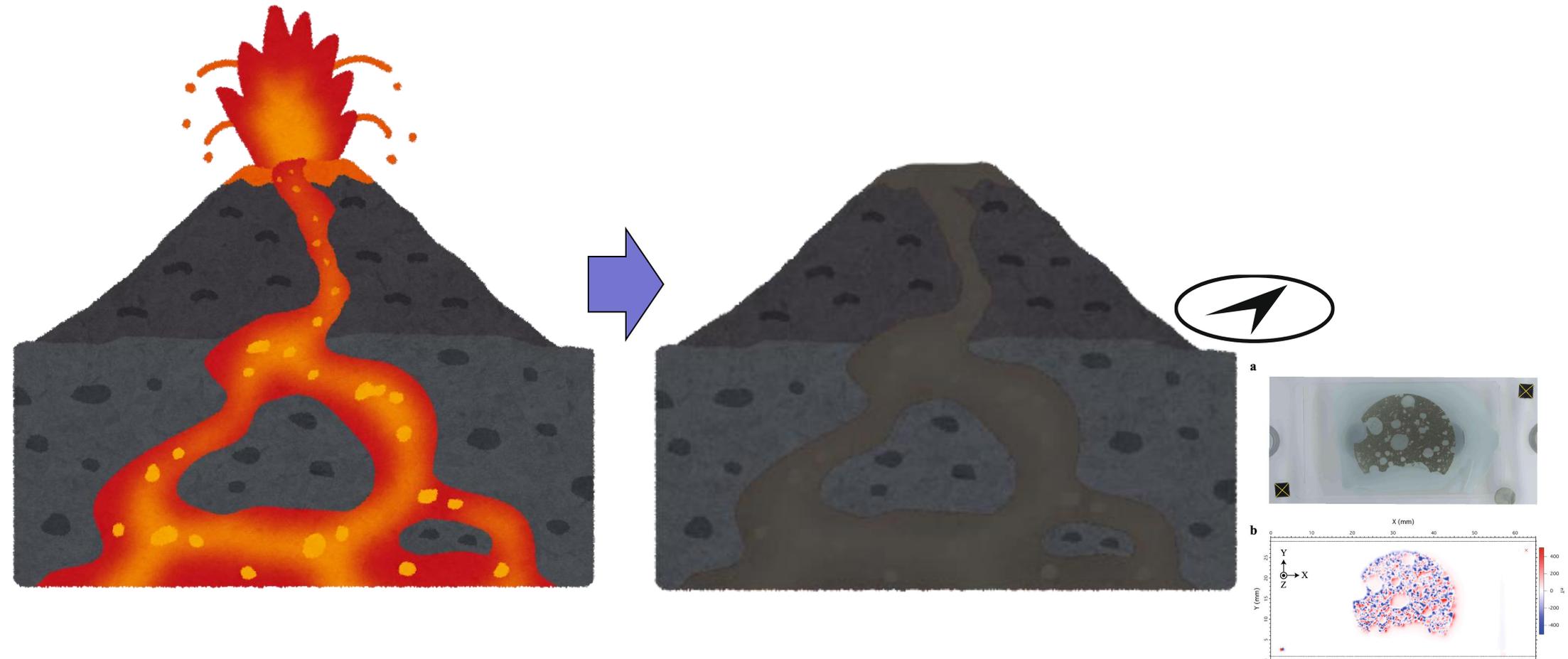
FFT解析結果



電

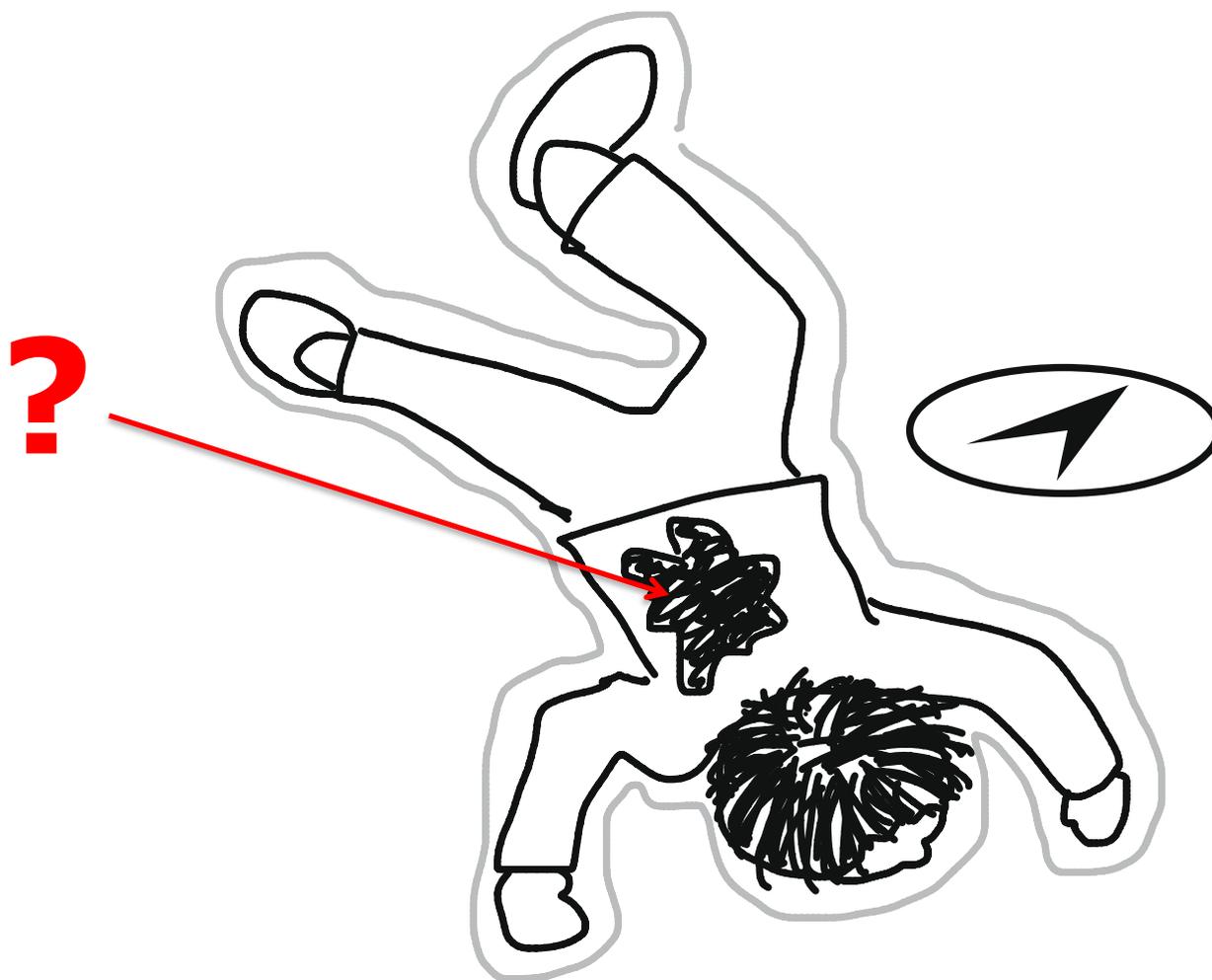
磁気シールドなしでも2次元磁気イメージが得られた。

# 想定される用途



溶岩が冷えて固まるときに地磁気の方に磁化される  
→ 古地磁気学、考古学(土器、鉄器など)

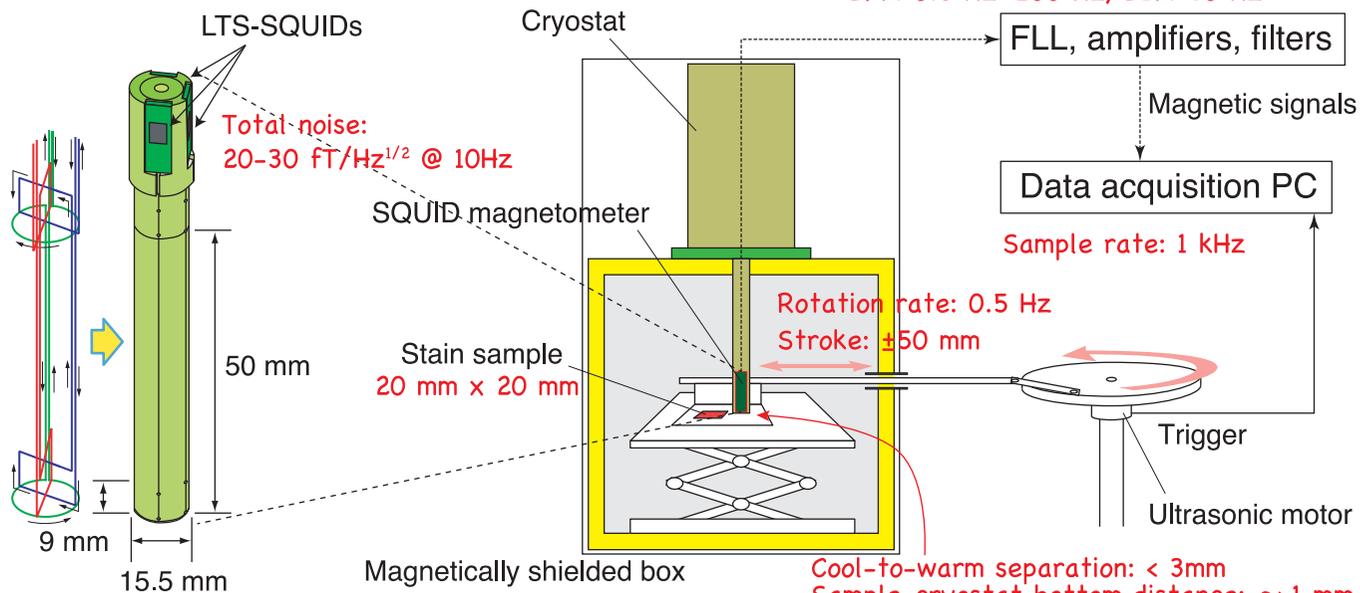
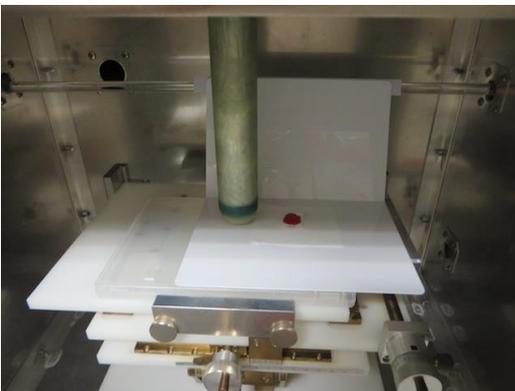
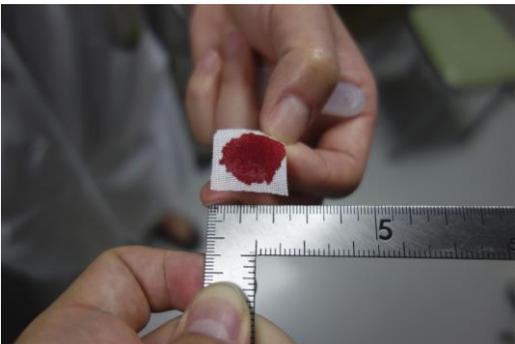
# 想定される用途



着衣に付着した血痕の磁化を調べれば殺害現場がわかる？

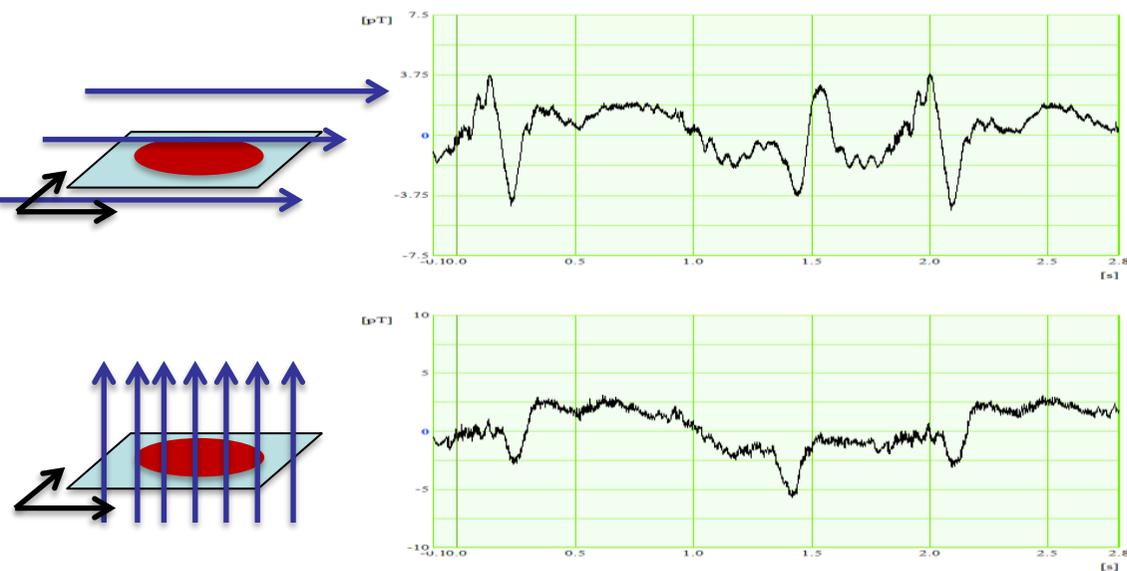
# やってみた が...

BPF: 0.3 Hz-200 Hz, BEF: 60 Hz

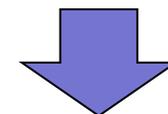


Schematic diagram of the experimental setup.

血痕サンプルを作成、磁化して、SQUID磁束計の下で揺動させて信号を記録した。  
(京都府立医科大学 法医学教室との共同実験)



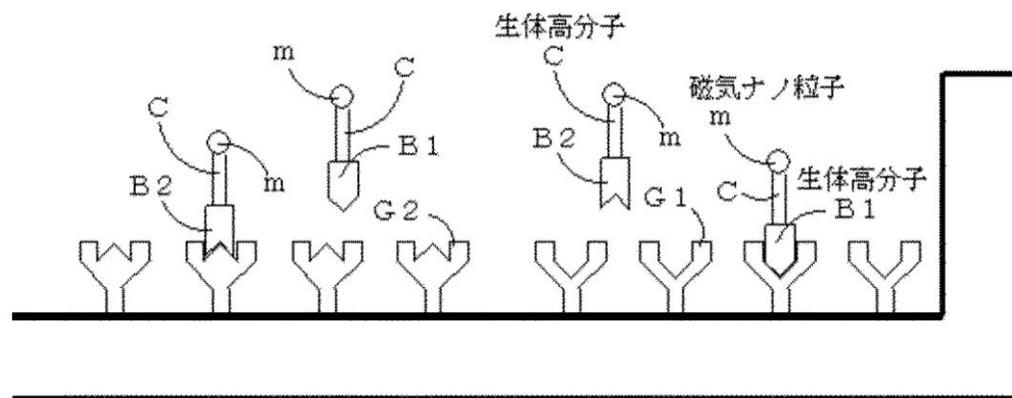
磁化の方向で異なる波形が得られることがわかったが、衣服の生地のコタミなどの影響が大きく、上記方法では実用化は困難と判断。



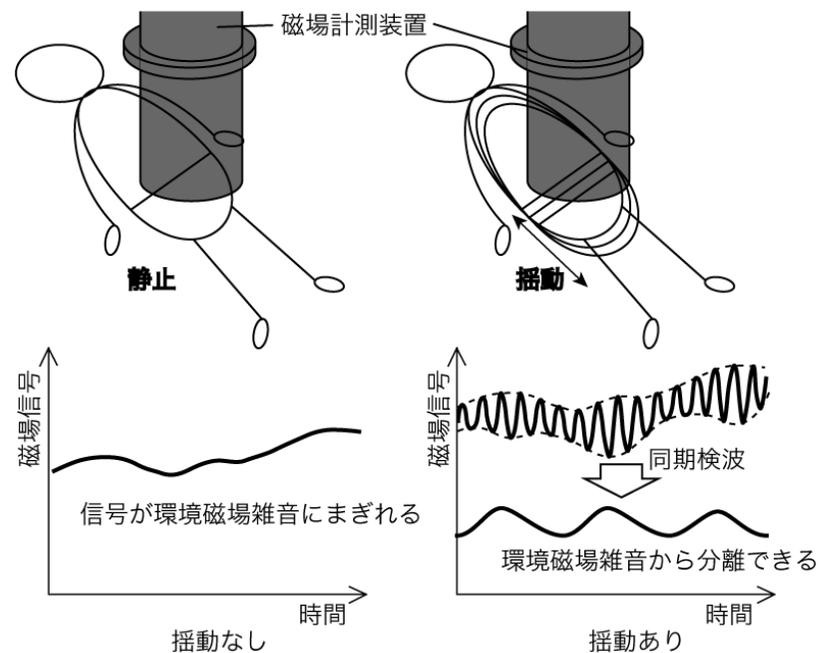
新技術で微細な磁化分布の構造がわかれば、コタミの影響を分離し、有効な情報が得られるかも？

# 想定される用途

- 磁気ナノ粒子と組み合わせた磁気イメージング
  - 磁気免疫検査法 + 新技術



- 超低周波生体磁場測定
  - 消化器系由来生体磁場
    - 脂肪の層があり電位計測が困難
    - 帯域 0.05 Hz ~ 0.2 Hz
  - 植物の生体磁場



# 実用化に向けた課題

- 磁気センサ自体の分解能の向上
  - 磁場分解能向上(目標  $3 \text{ pT/Hz}^{1/2}$ 以下)
  - SQUIDと組み合わせれば解決するが...
- 多チャンネル化→イメージング時間短縮
- 機械的精度の向上

# 企業の皆様への期待

- 磁気センサの新しい応用開拓に興味がある  
民間企業との共同研究を希望

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 微小磁気二次元分布検出装置
- 出願番号 : 特願2009-286500
- 登録番号 : 第4883424号
- 出願人 : 金沢工業大学
- 発明者 : 足立善昭、上原弦

# お問い合わせ先

**金沢工業大学**

**産学連携局 産学連携東京分室**

**TEL 03 - 5777 - 1964**

**FAX 03 - 5777 - 1965**

**e-mail [iuctky@mlist.kanazawa-it.ac.jp](mailto:iuctky@mlist.kanazawa-it.ac.jp)**