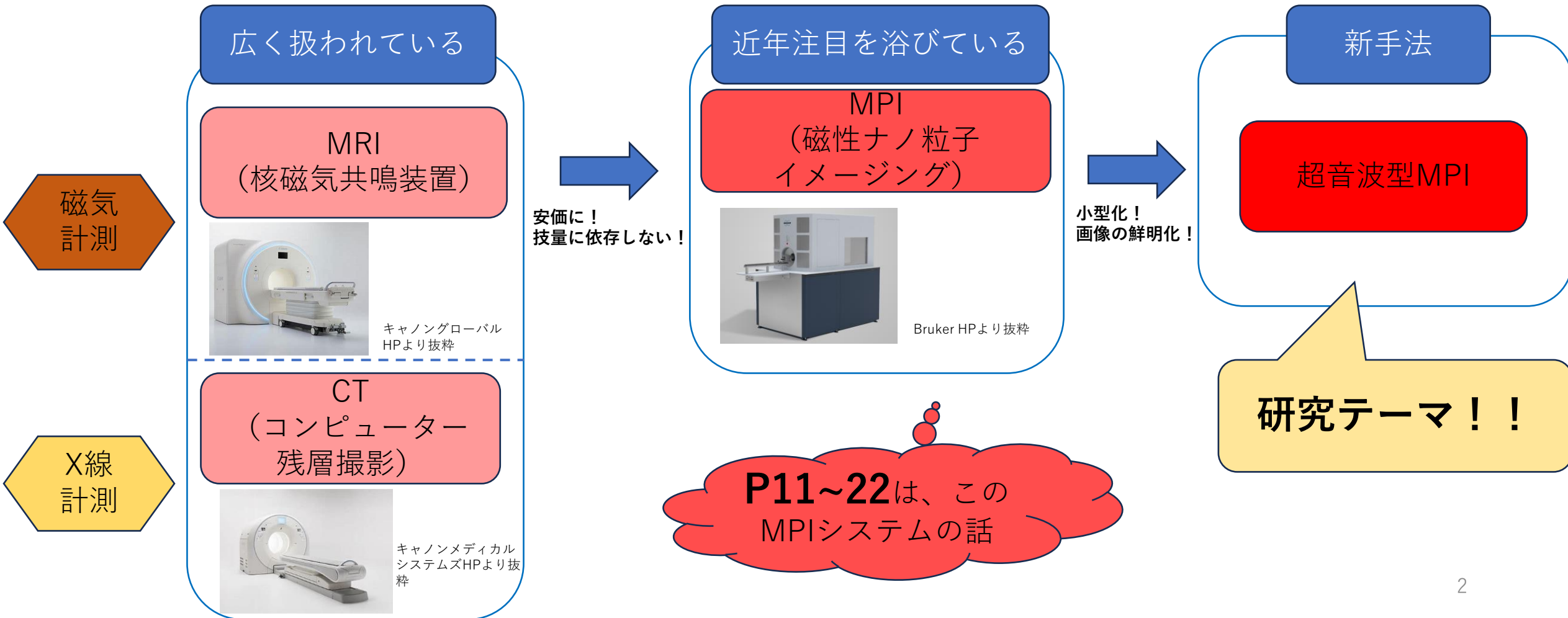


# MPI(磁性ナノ粒子イメージング)とは (2025年度版)

機械工学専攻 計測工学研究室  
25年卒 海保 翔希  
(23年卒 柳沼 克也 資料参照)

# まずはこの関係図を把握しよう！



# 目次

- 研究背景とMPIの原理
- 磁性ナノ粒子とは何なのか？
- 磁性ナノ粒子の信号検出
- MPIの問題点
- 提案する新MPIのシステム（本研究内容）
- 原理検証のための計測実験

# 目次

- 研究背景とMPIの原理
- 磁性ナノ粒子とは何なのか？
- 磁性ナノ粒子の信号検出
- MPIの問題点
- 提案する新MPIのシステム（本研究内容）

# 研究背景

背景：日本人の約4人に1人はがん（悪性新生物）で亡くなっている！



**がんの早期発見**が可能な技術が必要

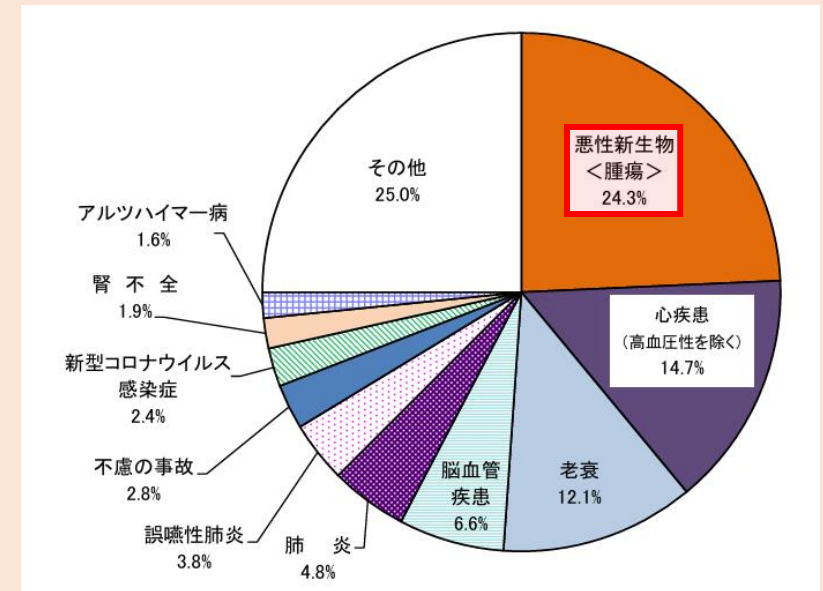
例) MRIやCT, PET等の医用画像診断技術

我々は..

磁性ナノ粒子イメージング  
～**M**agnetic **P**article **I**maging (**MPI**)～

に注目している

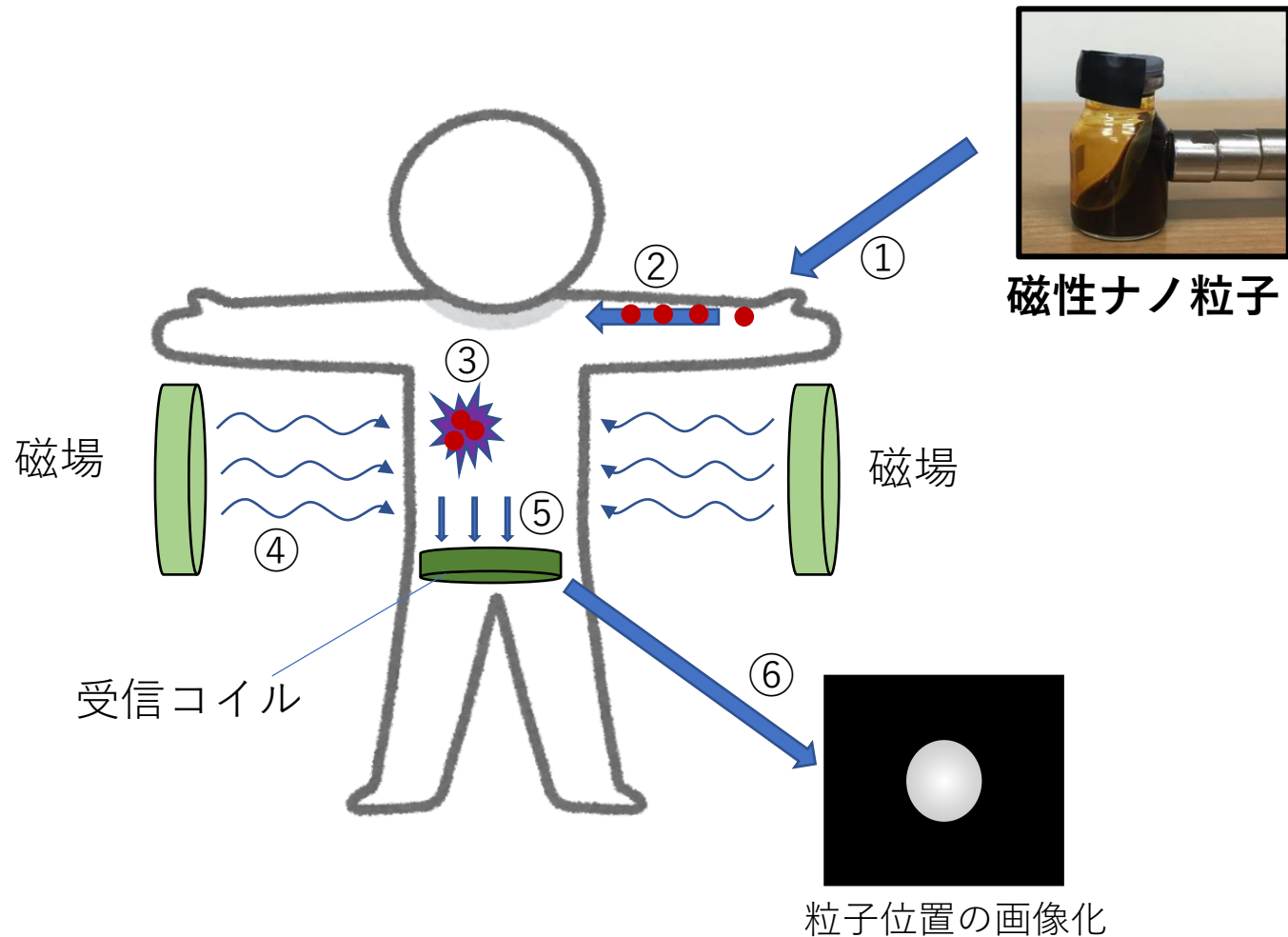
## 日本人の死因割合



※出典：「令和5年（2023年）人口動態統計(概数)」

[gaikyouR5.pdf \(mhlw.go.jp\)](#)

# MPI(磁性ナノ粒子イメージング)の原理



## 画像化までの流れ

- ① 粒子を体内に投与
- ② 血管内を循環
- ③ がん細胞に蓄積
- ④ 外部から磁場を印加
- ⑤ 粒子からの信号を検出
- ⑥ 信号から画像化

# MPIのメリット

	MPI	CT	MRI	PET
分解能	< 1 mm	0.5 mm	1 mm	4 mm
感度	高	低	低	高
有害要因	熱	X線	熱	$\beta, \gamma$ 放射線
コスト	低	低～高	低～高	高

## ※ コストに関して

3.0 テスラMRI 初期費用2500万（年間維持費用含めると数億円）

## ※ 制約条件

MRI・MPI 体内にペースメーカーなど金属を埋め込んでいる場合不可。

CT 妊娠中女性などは不可。

PET 高血糖，糖尿病患者に対して規制がある場合も。

# MPIのデメリット

## MRI

一件の検査時間の目安：15～30分程度（部位によって様々）

{	頭部	約 1 5 分
	脊髄	約 2 0 分
	腹部	約 2 0 秒× 6 回 + 造影約 1 5 分

## CT

全身の走査時間の目安：30秒程度

## PET

全身の走査時間の目安：30分程度

※造影剤が全身にいきわたるまで + 1 時間

一方MPIでは…

本研究室 2 次元MPIシステムで、全身走査時間が60分以上かかる計算。



# 目次

- 研究背景とMPIの原理
- 磁性ナノ粒子とは何なのか？
- 磁性ナノ粒子を使った信号検出
- MPIの問題点
- 提案する新MPIシステム（本研究内容）

# 磁性ナノ粒子

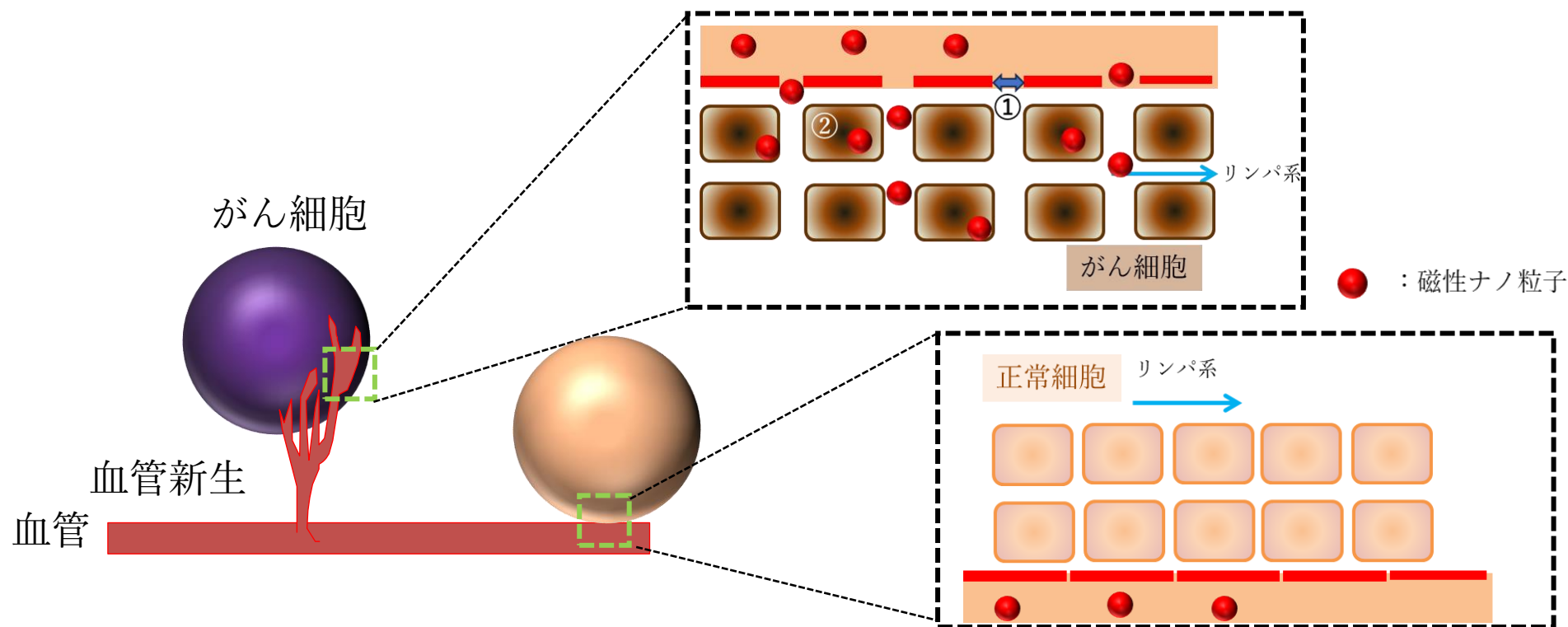
## <材質>

- ・ マグネタイト ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )、 マグヘマイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_4$ )

## <性質>

- ・ がん細胞にのみ蓄積できる (P.9)
- ・ 磁場環境の強度によって、磁化の強弱が変化する(磁化特性) (P.10)

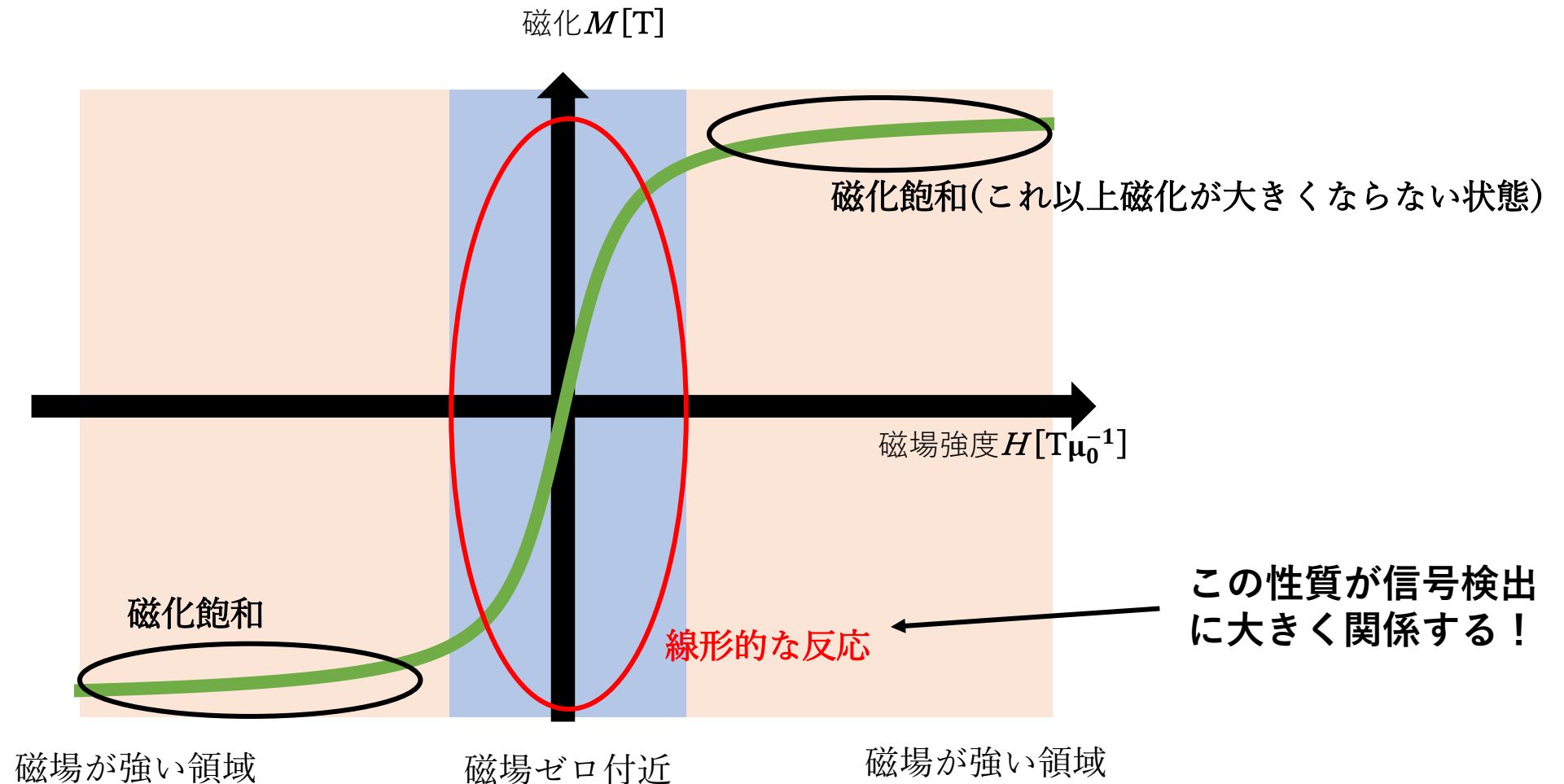
# がん細胞への蓄積メカニズム



- ①がん細胞の血管新生は細胞間の隙間が大きい  
②がん内部のリンパ系は未発達で排出機能が弱い → 磁性ナノ粒子はがん細胞に蓄積する

※体内の粒子は身体に害をなすことなく、数日後に排出される（蓄積された場合も）

# 磁性ナノ粒子の磁化特性



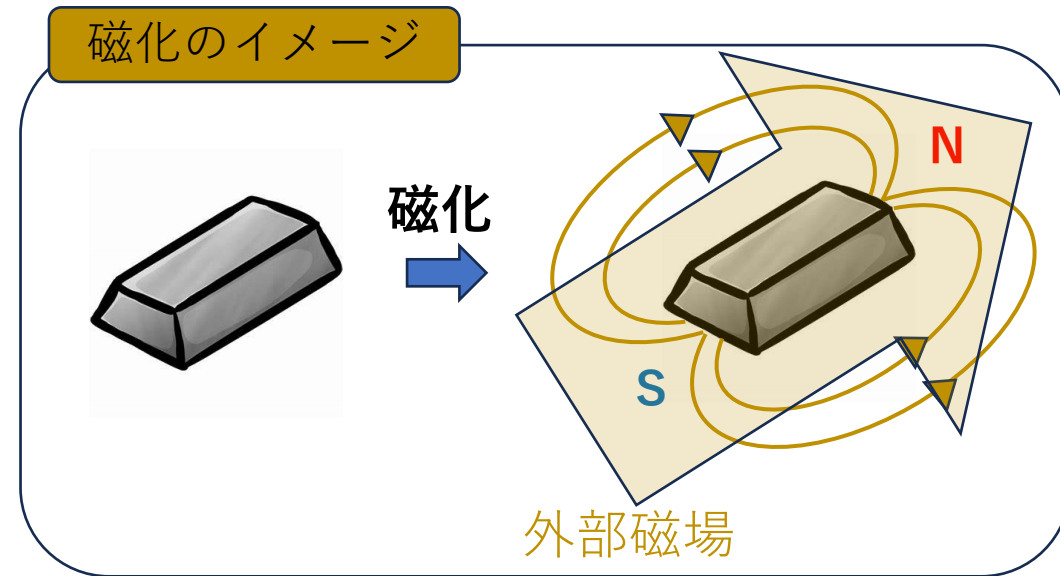
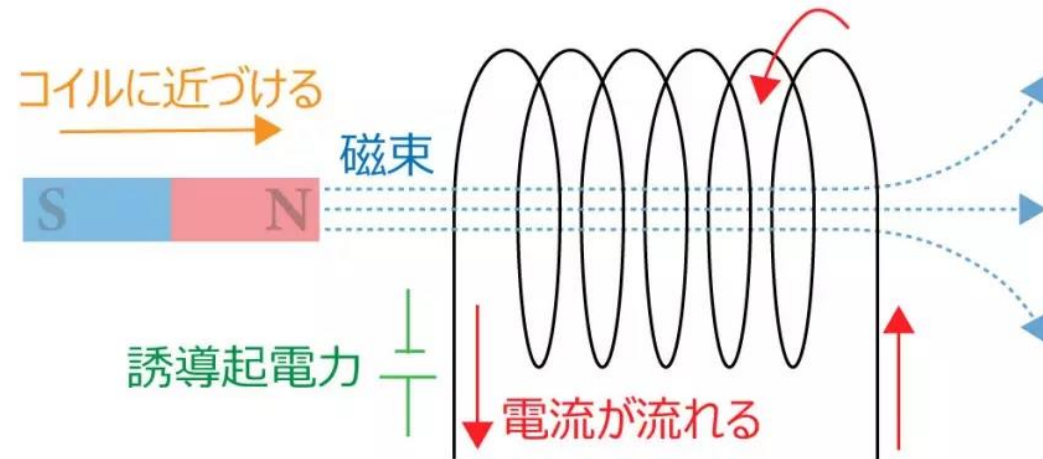
# 目次

- 研究背景とMPIの原理
- 磁性ナノ粒子とは何なのか？
- 磁性ナノ粒子を使った信号検出
- MPIの問題点
- 提案する新MPIシステム（本研究内容）

# 粒子の何を信号として検出するの？

- 粒子の**磁化の変化を誘導起電力**として、コイルで検出する

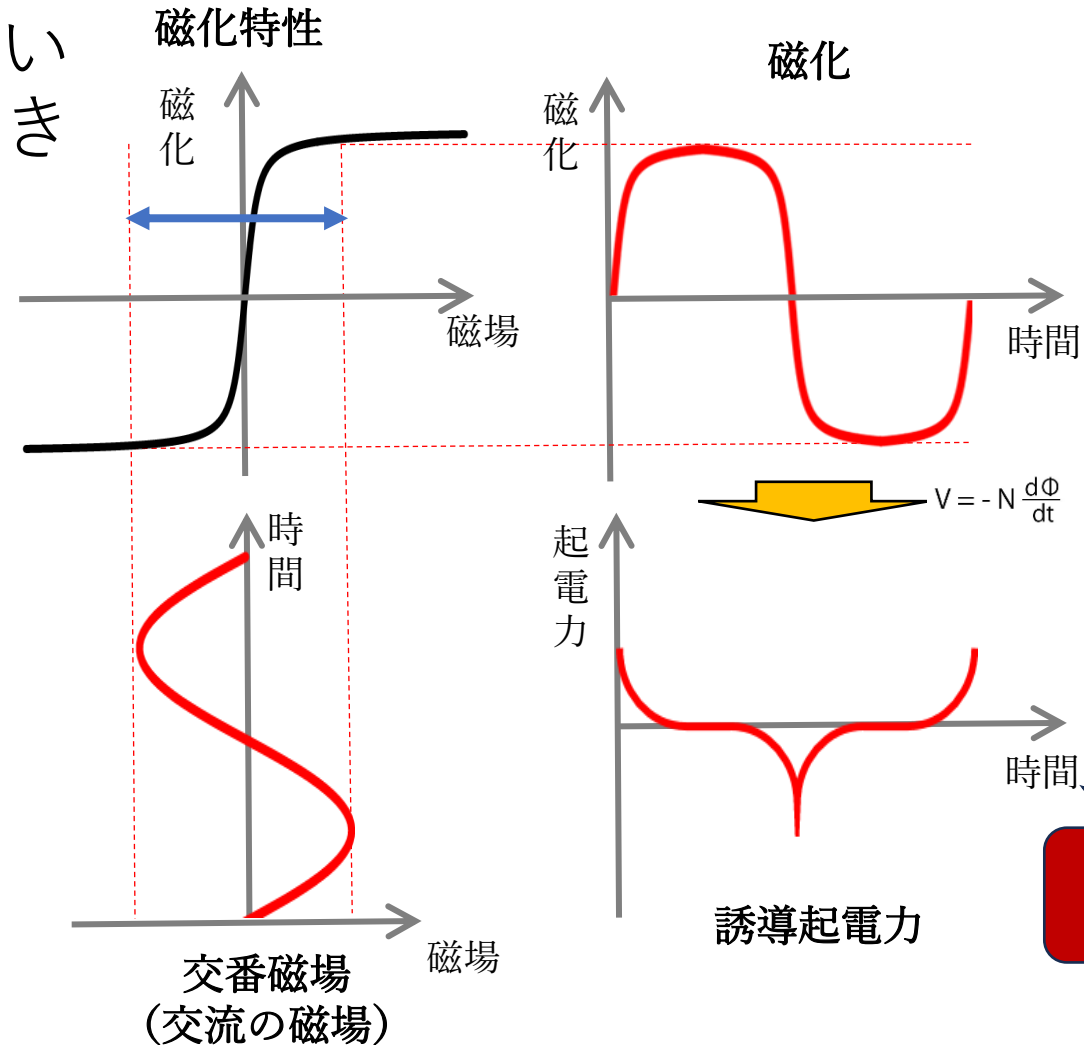
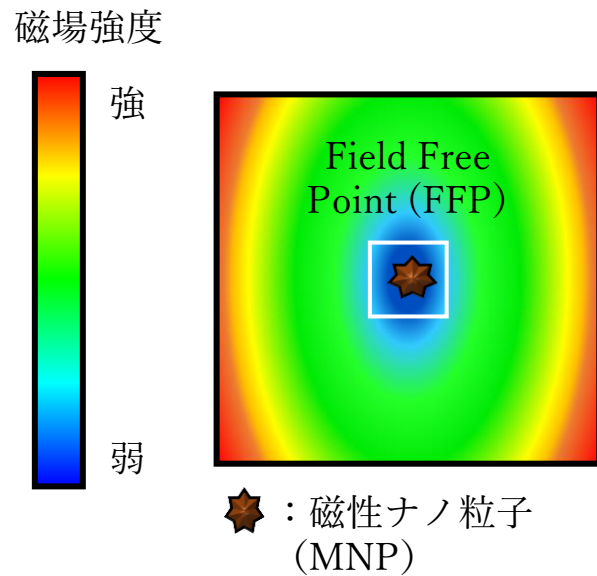
磁性体に外部磁場をかけたときに**磁石となる現象**  
(磁束を生じる)



※検出法のイメージとしては、コイルに磁石を近づけたり遠ざけたりするときに起こる現象に近い

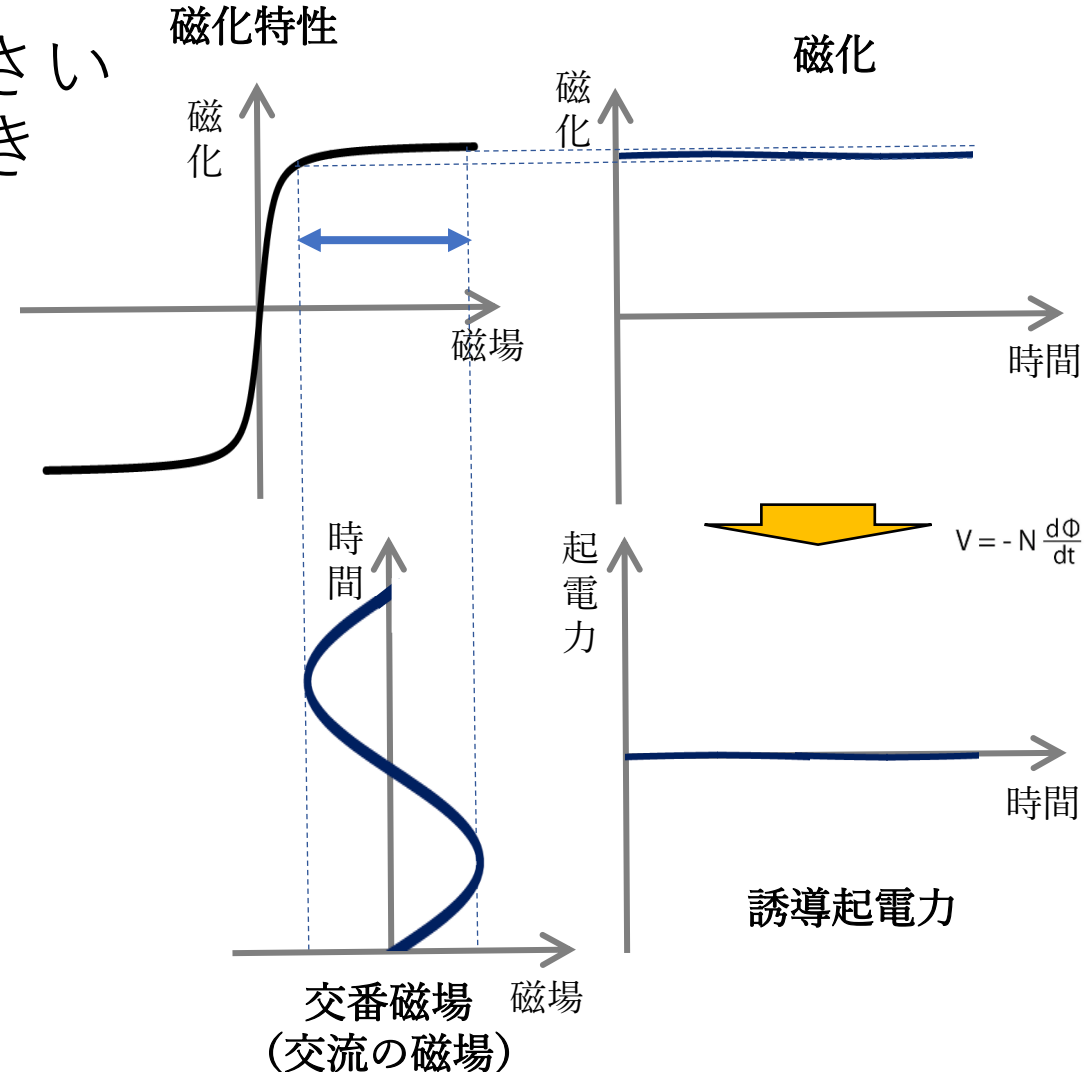
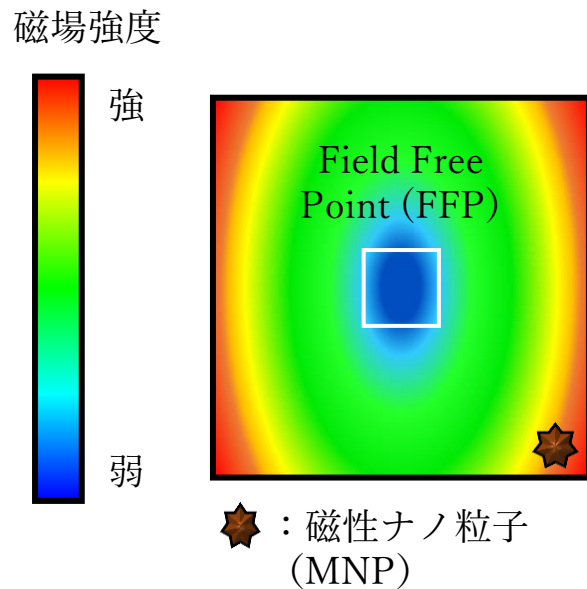
# 磁性ナノ粒子の信号検出

- **FFP**(磁場が限りなく小さい領域)**付近**に粒子があるとき



# 磁性ナノ粒子の信号検出

- **FFP**(磁場が限りなく小さい領域)**外**に粒子があるとき

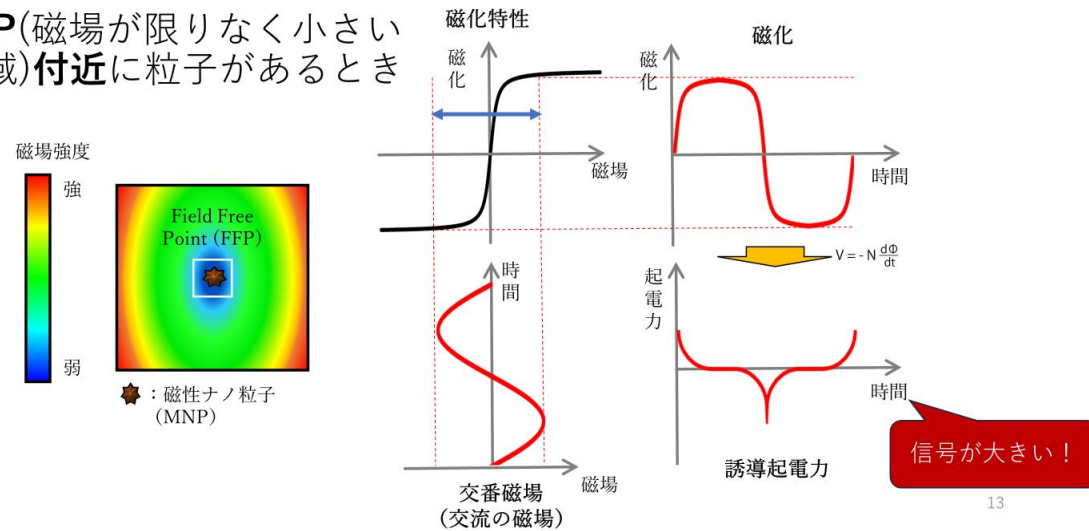




# 磁性ナノ粒子の信号検出

## 磁性ナノ粒子の信号検出

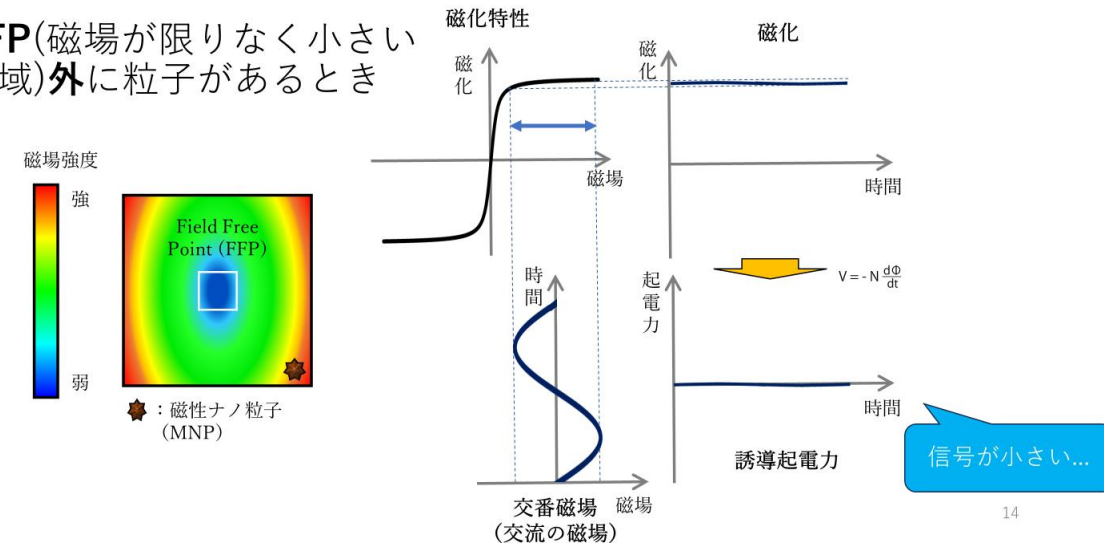
- **FFP**(磁場が限りなく小さい領域)**付近**に粒子があるとき



13

## 磁性ナノ粒子の信号検出

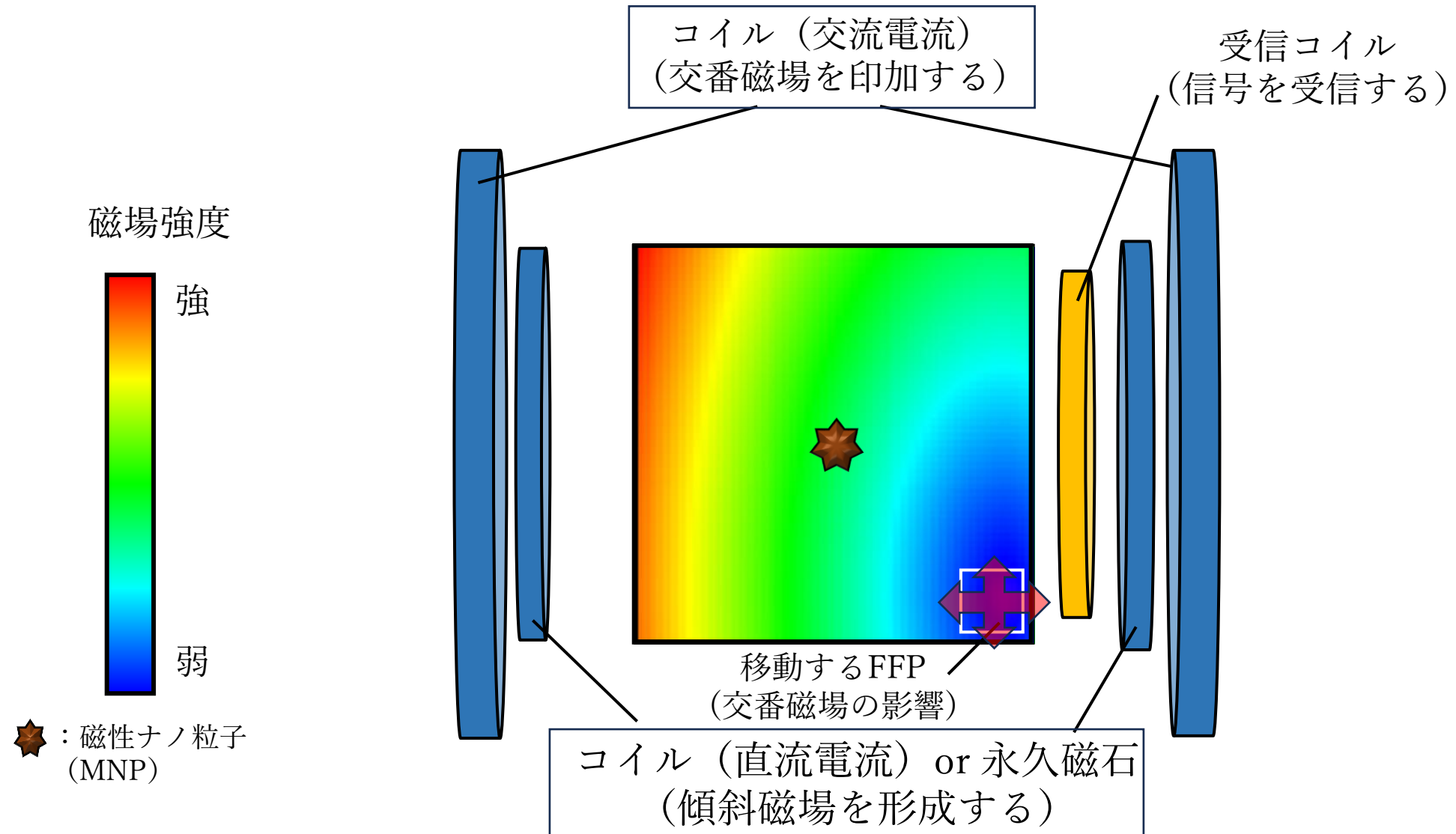
- **FFP**(磁場が限りなく小さい領域)**外**に粒子があるとき



14

⇒ 信号（誘導起電力）が大きい時は  
「**粒子がFFP付近にあること**」が分かる！！

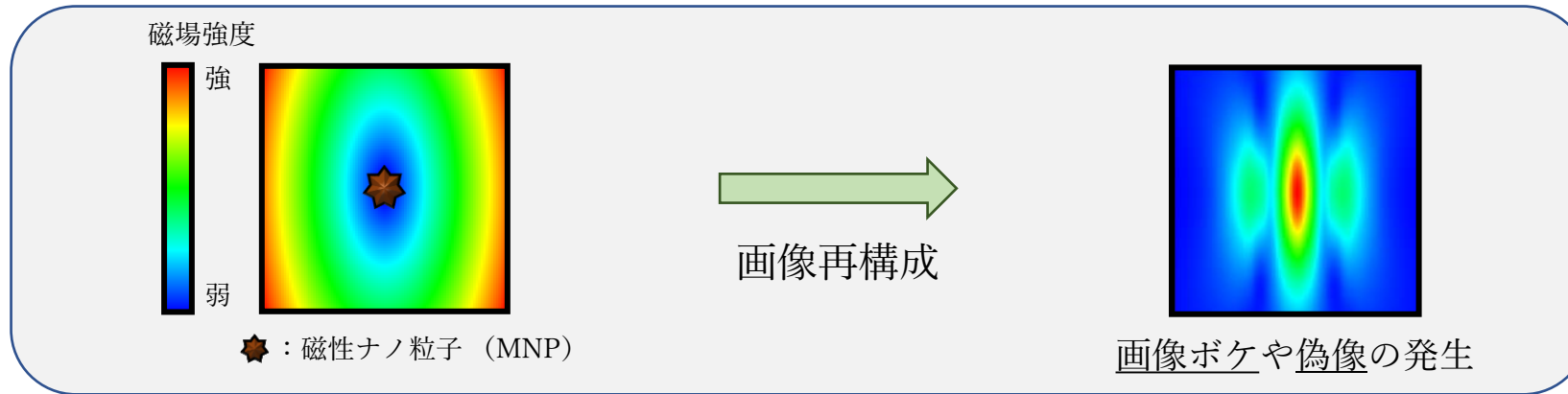
# MPIの基本システム



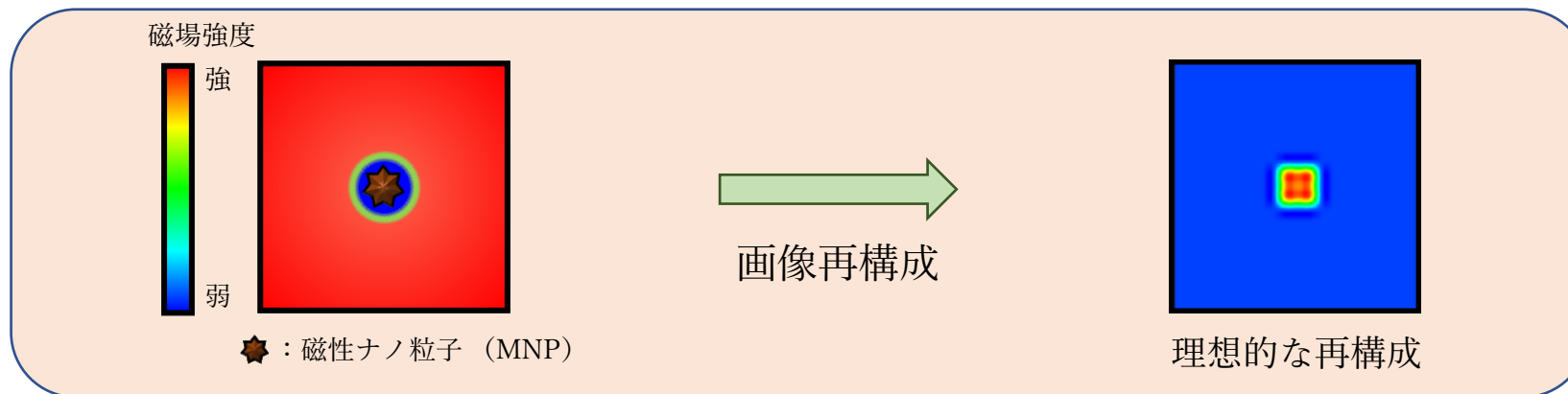
# 目次

- 研究背景とMPIの原理
- 磁性ナノ粒子とは何なのか？
- 磁性ナノ粒子を使った信号検出
- MPIの問題点
- 提案する新MPIシステム（本研究内容）

# MPIの問題点①



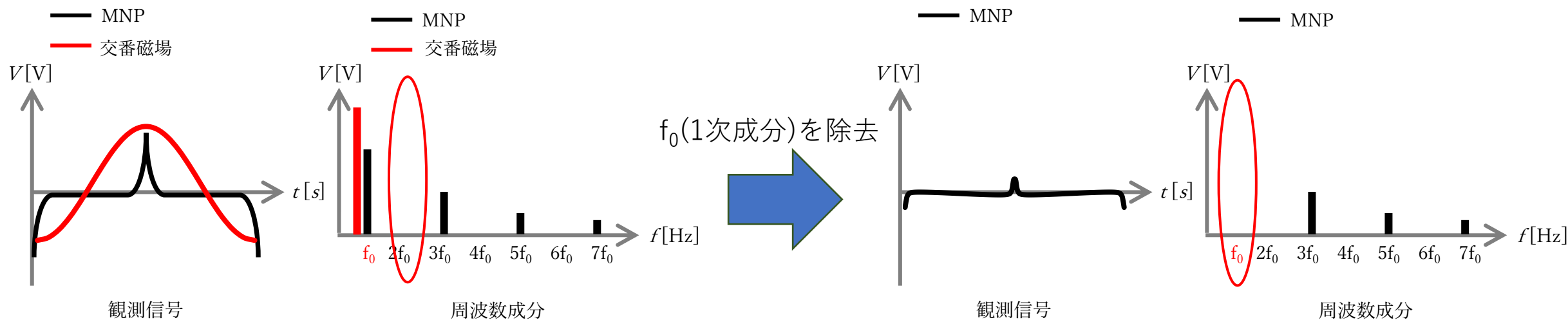
傾斜磁場を急峻にすることで画質改善



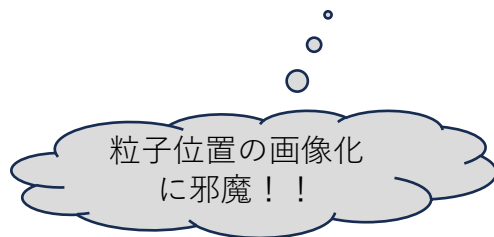
課題点①

⇒しかし、巨大なコイル・電源が必要になる... (大型化、コストパフォーマンスが悪い) 20

# MPIの問題点②



磁化信号 + 交番磁場



信号処理後の磁化信号

課題点②

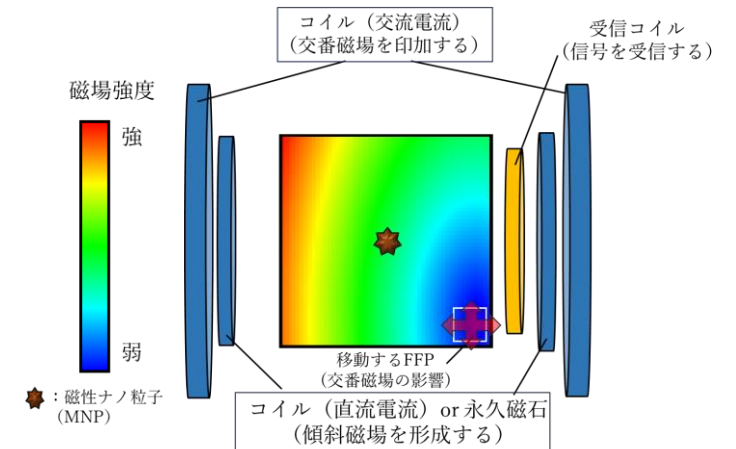
➡ 問題点② SN比の劣化(画質が悪い)

# 解決するための新手法

## 交番磁場を使用した信号検出手法

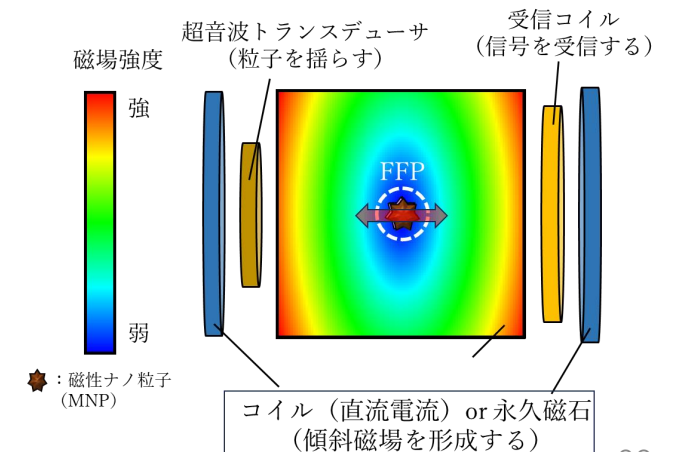
課題点① 装置の大型化、コストパフォーマンスの悪さ

課題点② SN比の劣化（画質が悪い）



## 解決するための新手法

# 超音波を使用した振動型信号検出手法

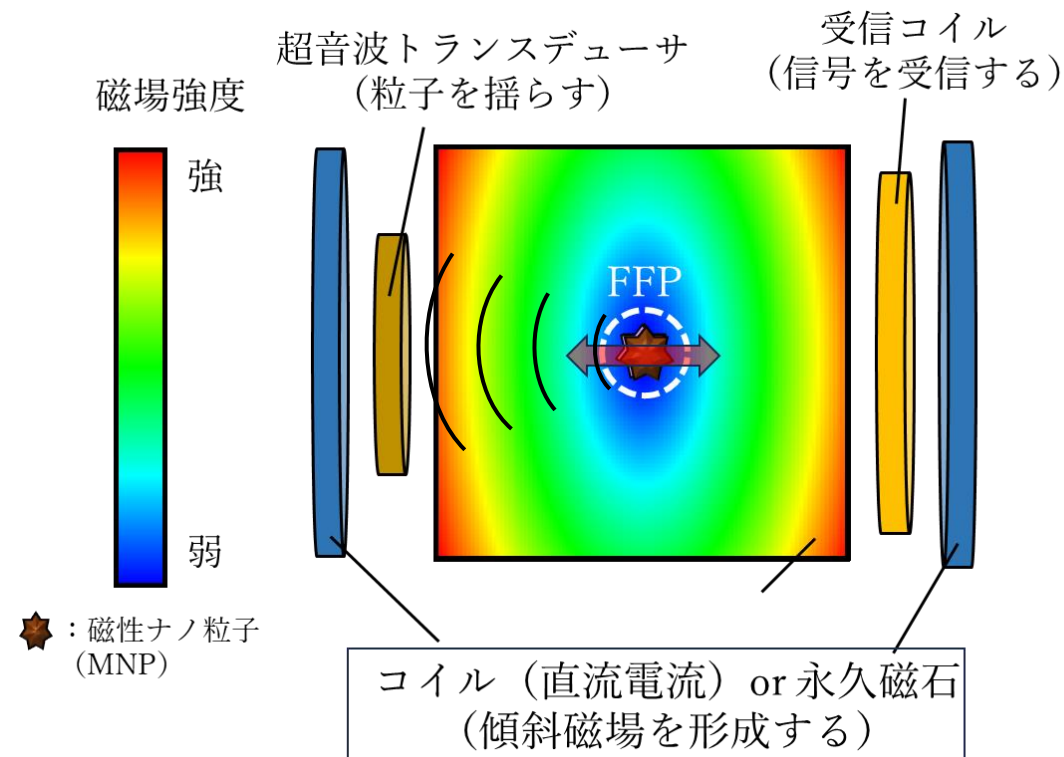


# 目次

- 研究背景とMPIの原理
- 磁性ナノ粒子とは何なのか？
- 磁性ナノ粒子を使った信号検出
- MPIの問題点
- 提案する新MPIシステム（本研究内容）

# 提案する新MPIについて

- 超音波型振動信号検出手法とは...  
交番磁場を使用せず、**超音波の照射によって粒子を振動させる**  
**ことで、磁気信号を検出する手法**



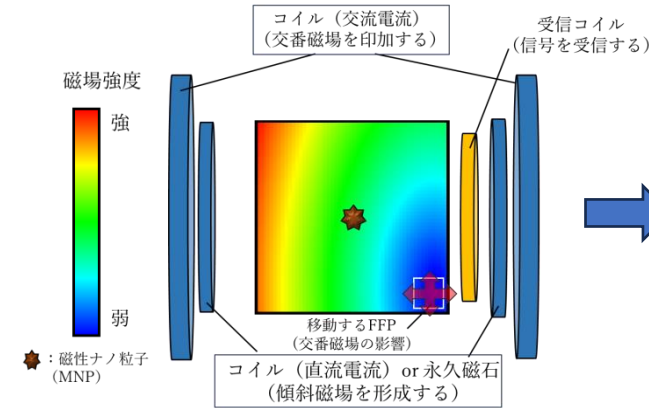


# 超音波型振動信号検出手法

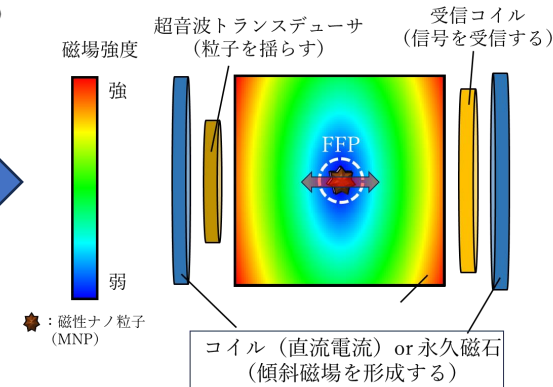
**課題点①** 装置の大型化、コストパフォーマンスの悪さ

⇒ 交番磁場形成用のコイルが不要  
のため改善

交番磁場式MPI



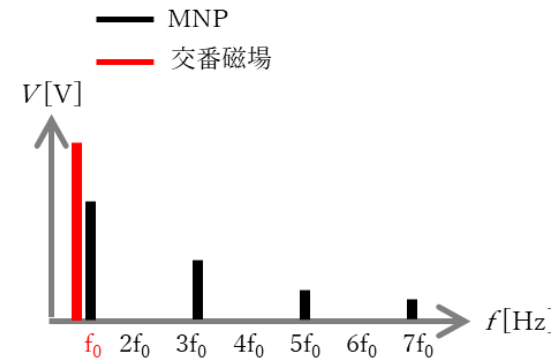
超音波式MPI



**課題点②** SN比の劣化（画質が悪い）

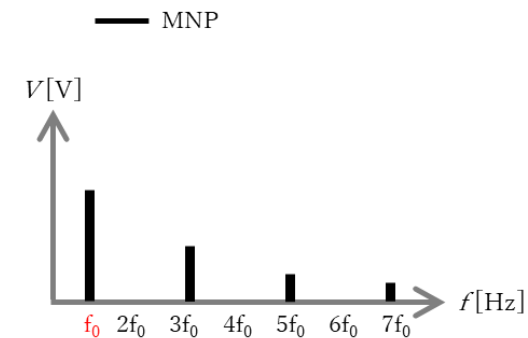
⇒ 交番磁場を使わないため、周波数成分の  
全てが使用可能になるため改善

交番磁場式MPI



周波数成分

超音波式MPI



周波数成分<sup>25</sup>

# 本研究の目的

＜本研究の目的＞

**振動型MPIが実現可能なことを実証すること**

実証するには...

技術が実現可能であることを**証明するデータが必要**  
(**原理検証を行う必要**がある)

計測実験（再現性の証明）

①音圧計測

⇒照射する超音波がどれほどの音圧を与えるのかを調べる

②振動変位計測

⇒粒子が照射した超音波によりどれほど揺れるのかを調べる

③磁気計測

⇒実際に粒子から信号を検出できることを調べる

数値解析（妥当性の確認）

①音圧解析

②振動変位解析

③磁気解析

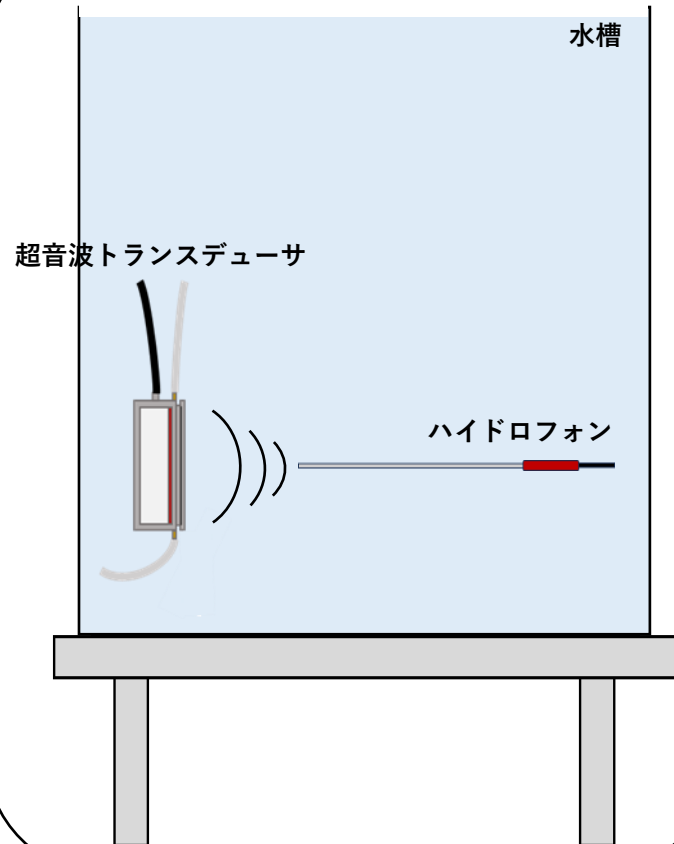
⇒計測実験の結果の妥当性を確認する  
(有限要素法に基づくシミュレーションにより解析を行う)

有限要素法...

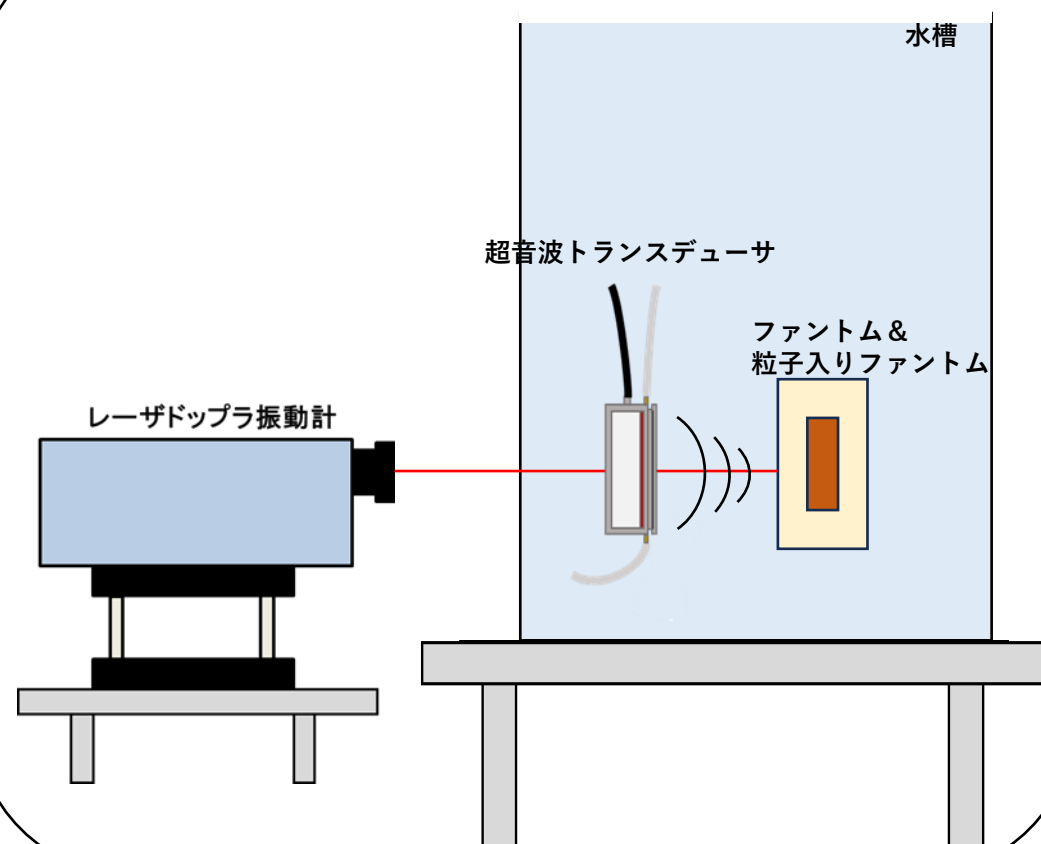
解析対象を有限個の要素に分割して、様々な方程式を解くことで挙動を求める方法

# 各実験のイメージ図

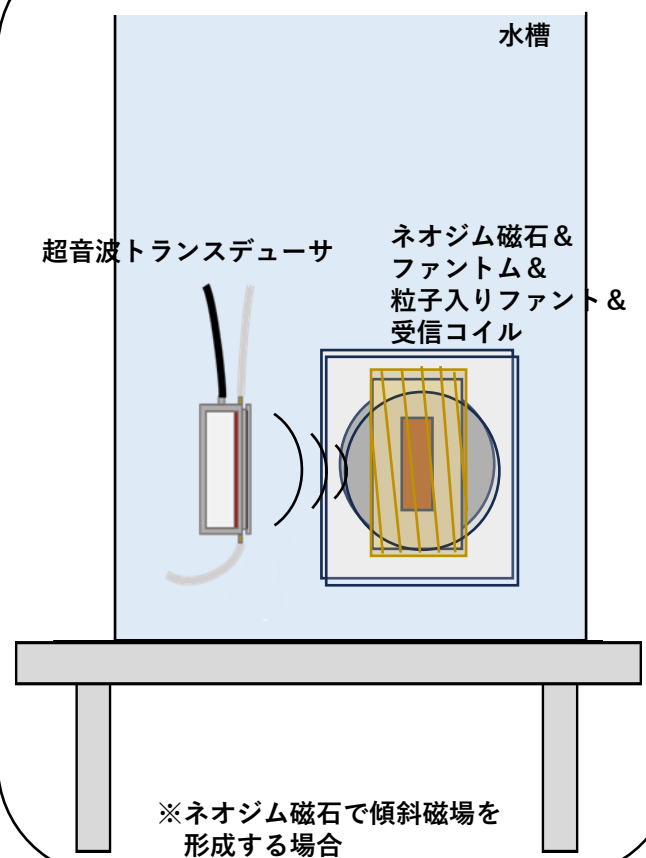
音圧計測実験



振動変位計測実験

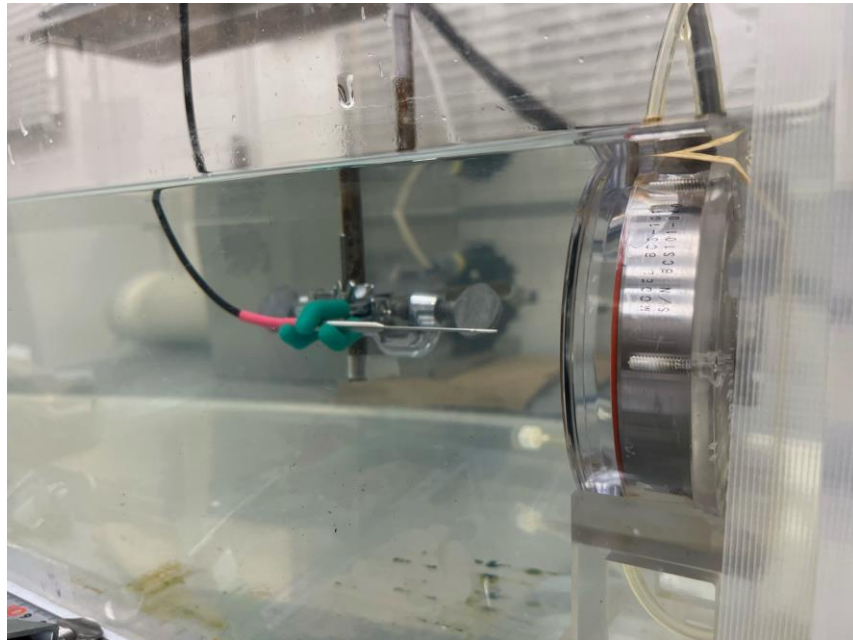


磁気計測実験

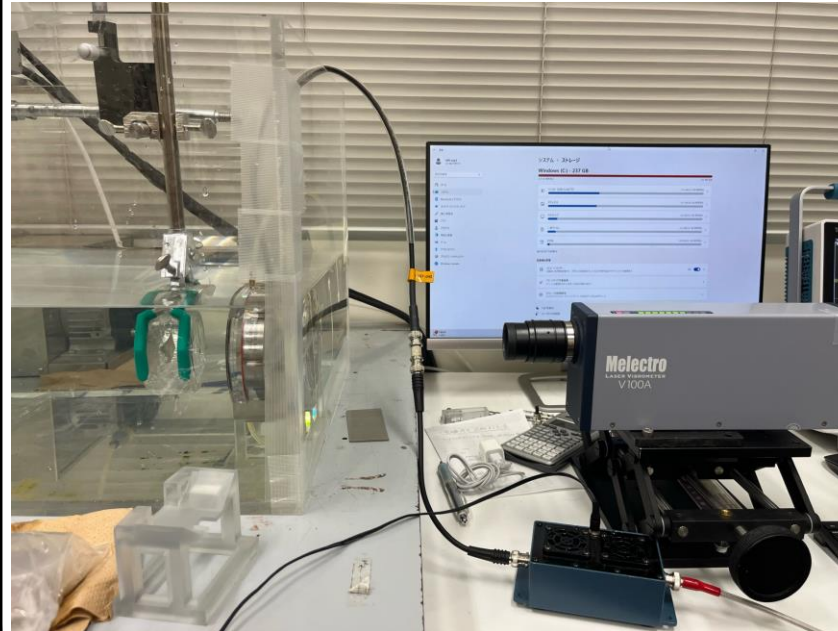


# 各実験の様子

音圧計測実験



振動変位計測実験



磁気計測実験

# Q&A

- ・磁性ナノ粒子同士がくっつかないのか？

→ポリエチレングルコールで周りをコーティングしている

- ・どのくらい実用化が進んでいるのか

→マウスによる実験が行われている

- ・どれくらいコストは安いのか

→MPIは数千万円, MRIは数億円とMRIの約10分の1となっています.

- ・なぜFFPの走査を手動で？

→今回は変位を評価するための研究であるために計測時間に関しては考慮しなかったため. 自動で行うことも可

- ・MRIとの違い

→がんの周りの水素原子核プロトンの状態を調べて診断するため、がんに蓄積したMNPを直接検出するMPIの方が分解能が高い。

- ・PETとの違い

→どちらもがんに蓄積したものを検出しているが、PETではポジトロンが反応するのに4mm程度動くことがあり、分解能が低くなってしまう。

# Q&A

## ・1.28 $\mu$ m揺れれば信号取れるの？

→現在のところ1.28では厳しいと考えられ、10程度必要だと考えています。

しかし、印加電圧と音圧が比例関係であることが分かっているので印加電圧を大きくすることで実現可能であると考えています。

## ・装置の大規模化とは

→海外の研究機関では、20mT,25kHz程度の交番磁場を印加しているところが多くなっています

しかし8mT,25kHzの交番磁場を印加していると神経に刺激を与える可能性があると言われています。

## ・提案手法のデメリットは？

→計測時間が長くなってしまいます。

従来の信号検出手法であればFFPの走査ですが、提案手法ではFFPの走査に加えて超音波の焦点位置の走査も必要になってしまうためです。

## ・体のどこでも使えるの？

→すべての領域では難しいと考えています。

骨など反射する対象が多い領域では難しく、肝臓などで使用されるのが望ましいと考えられます。

# Q&A

○MRIやCTよりも小さいがんを見つけることができるの  
分解能が約1mm程度とされているため、より小さいがんを検出できるとされています。

○MPIとPETの違い  
PETはブドウ糖を取り込む性質を利用している。けど糖尿病患者には向いていないし、尿として排出されるため、腎臓尿道には向いていない。

○MRIとの違い  
粒子から信号を取るからがんを直接検診できる。MRIは水のプロトンと呼ばれる状態を調べている。

○MRIとCTと比較して何が優れているのか  
被爆の危険性がない  
MRIより高分解能な診断が可能である。

○粒子に害はないの  
無害とされています。他の研究機関ではマウスを用いた実験を行っています。一回に1ml注入します。致死量はコップ一杯分200ml