

β -NMR法を利用した 3次元イメージング装置の開発

大阪大学理学研究科 木村容子

研究の概要

β -NMR(β 線検出核磁気共鳴)法

試料に埋め込んだ不安定核が放出する β 線の角度分布から共鳴周波数を探し、試料を非破壊検査する方法

MRI(磁気共鳴画像)法

試料に磁場勾配をかけることで試料の物性を画像化する方法

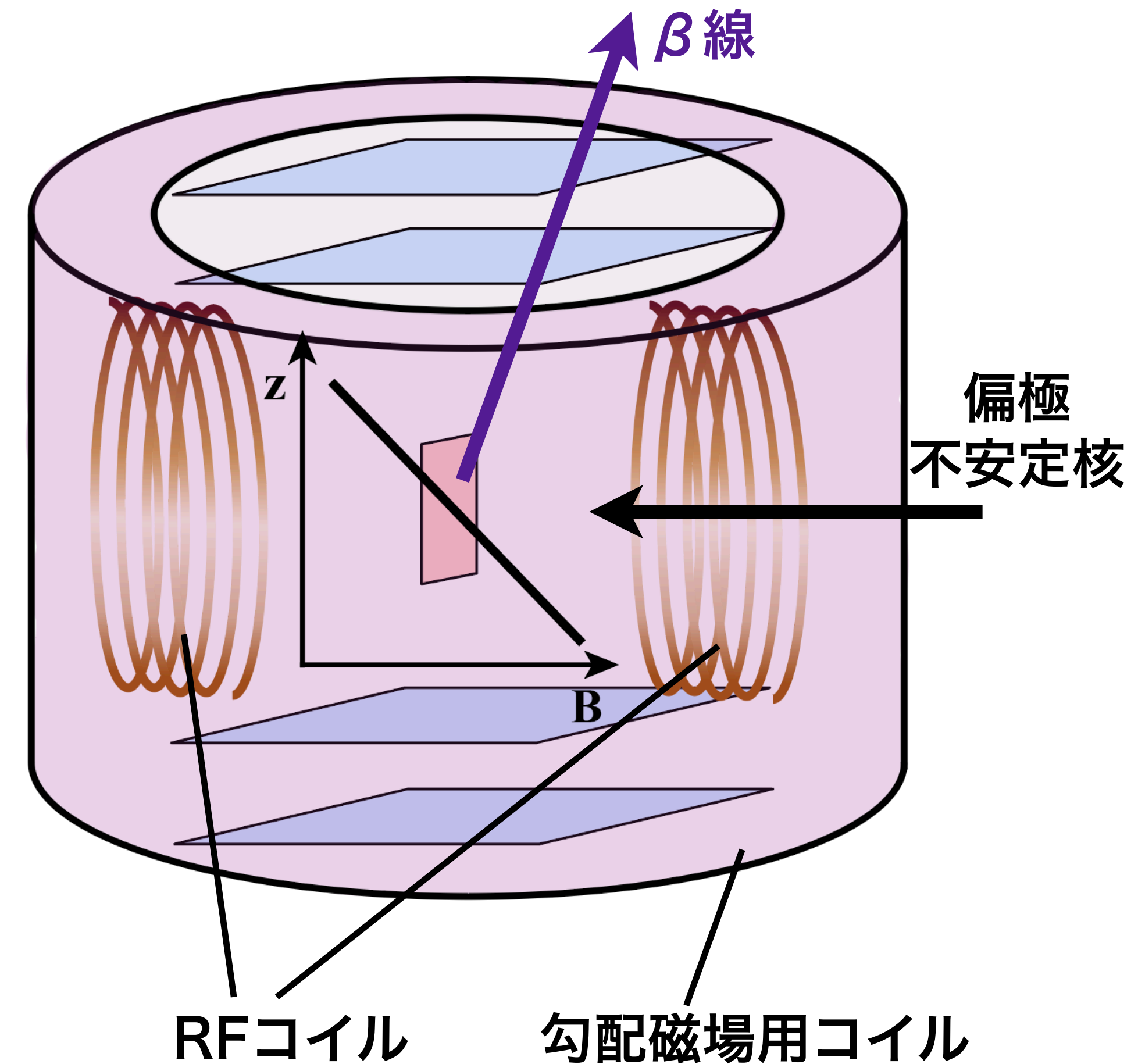


β -MRI法

検出器の β 線検出位置から β 線の軌跡を特定し

勾配磁場で β 線の放出源を特定

→試料内の物性情報を3次元イメージング



β -NMR法

- 偏極不安定核を用いたNMR分光法
- スピン偏極核の β 線放出角度分布の非対称性を利用

試料に偏極不安定核を埋め込むと
核は非対称に β 線を出す

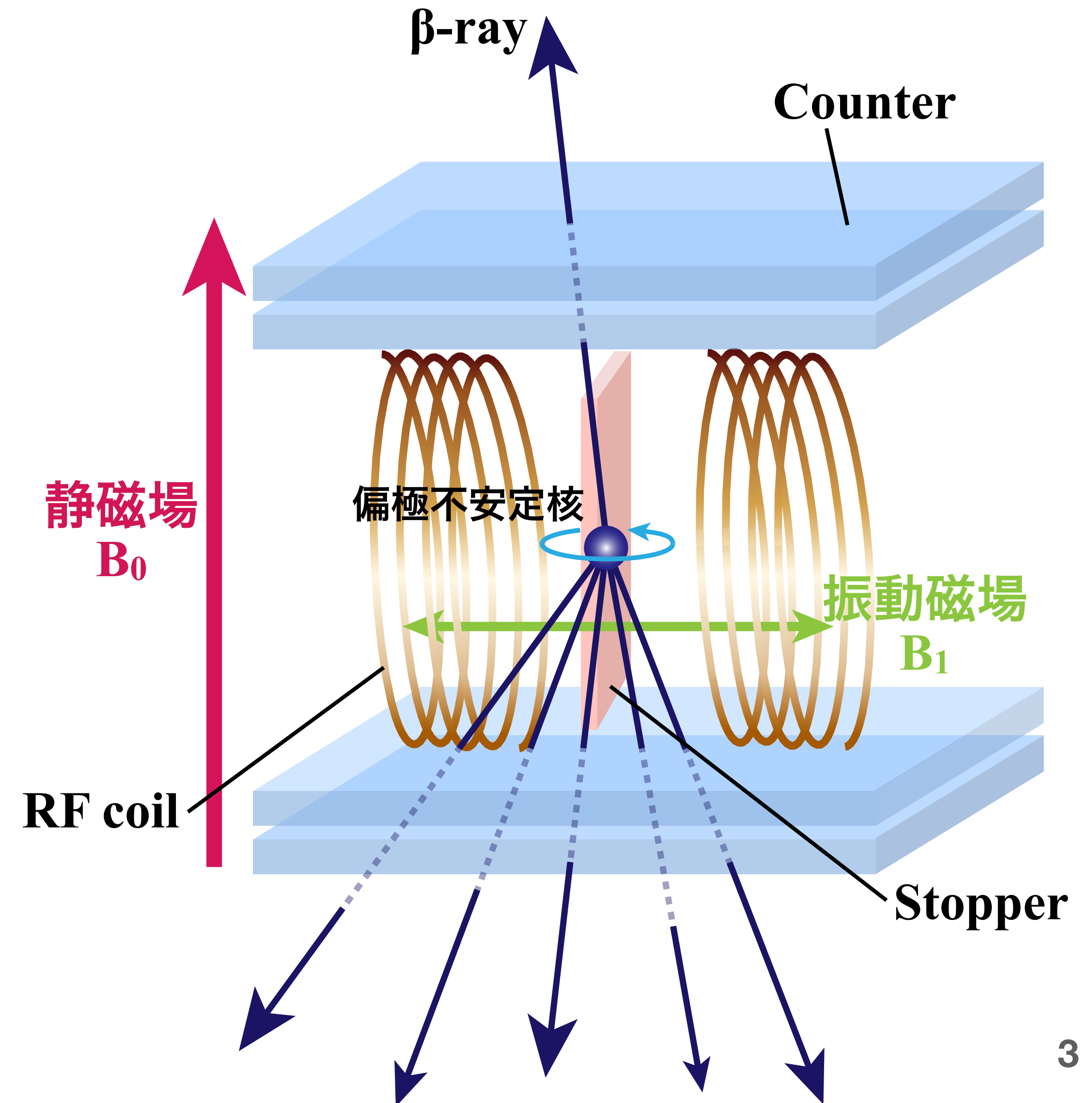


共鳴周波数 ν_L に対応する振動磁場を印加すると
偏極が崩れる

→ 試料上下の β 線計数比が変化する

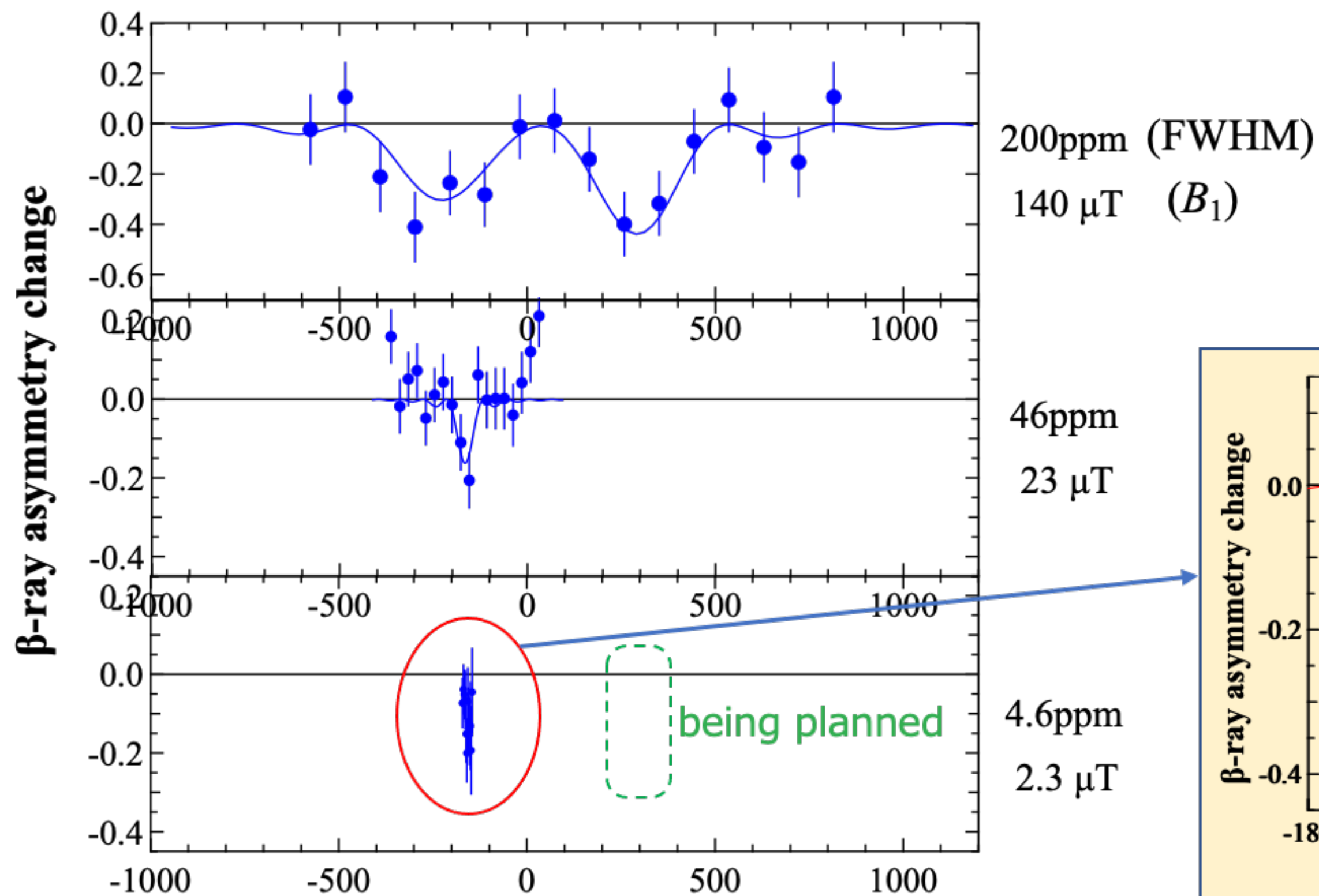
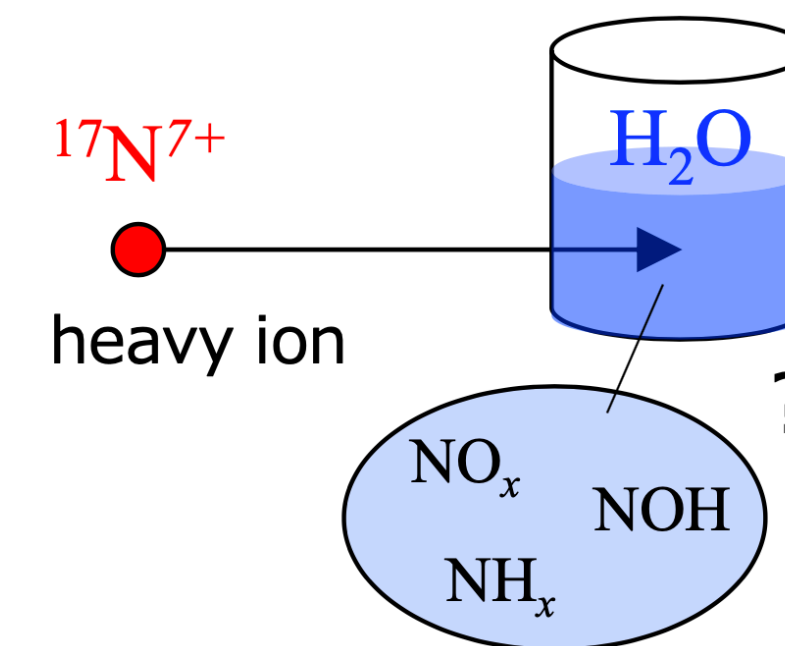


この変化から共鳴周波数 ν_L を測定する

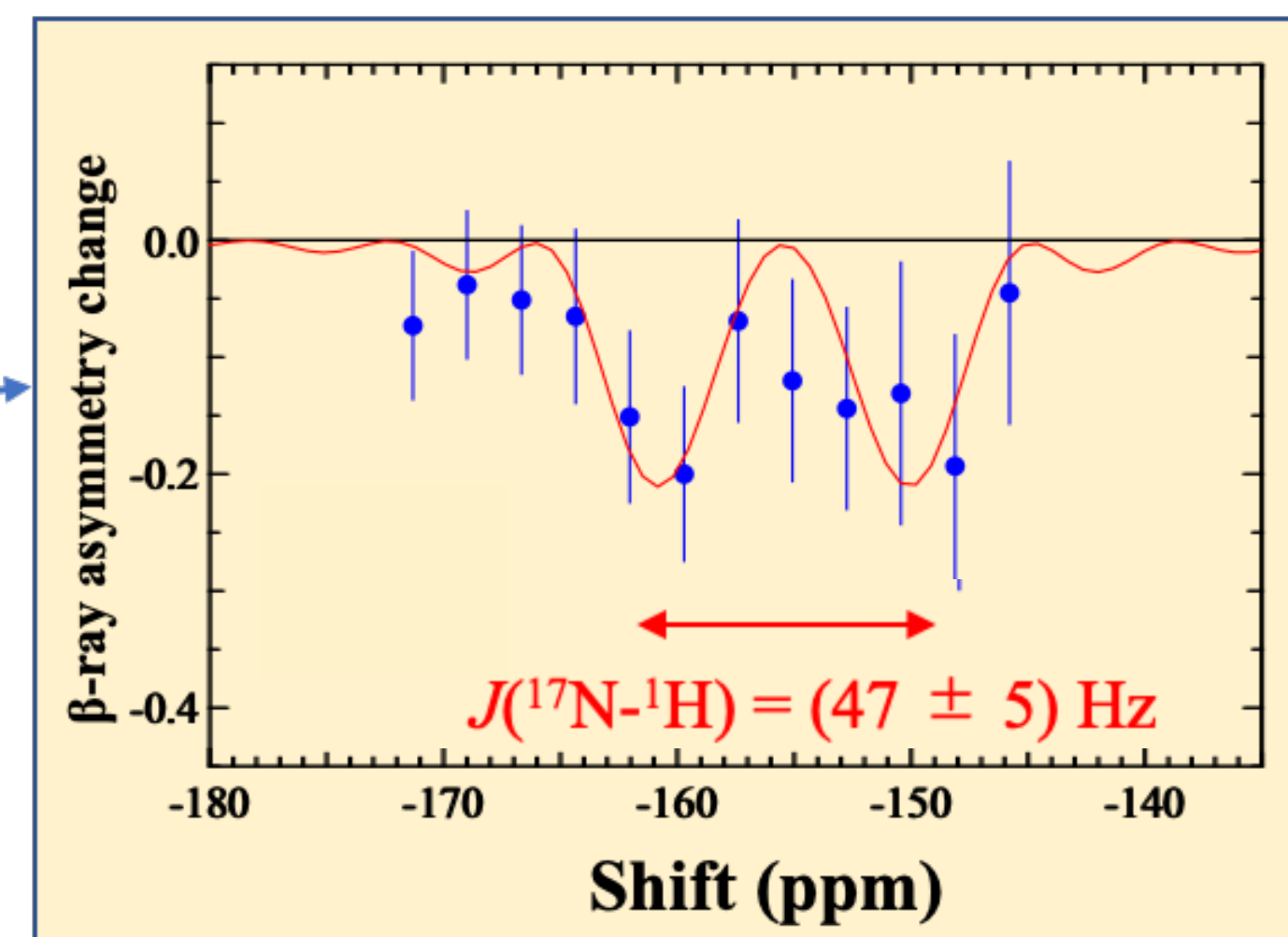


β -NMR法 -H₂O中の窒素の化学状態測定-

- H₂O中に入射した窒素がどのような化学状態をとるかを液体H₂Oに¹⁷N ($I = 1/2$, $T_{1/2} = 4.2$ s)を埋め込む β -NMR測定で決定

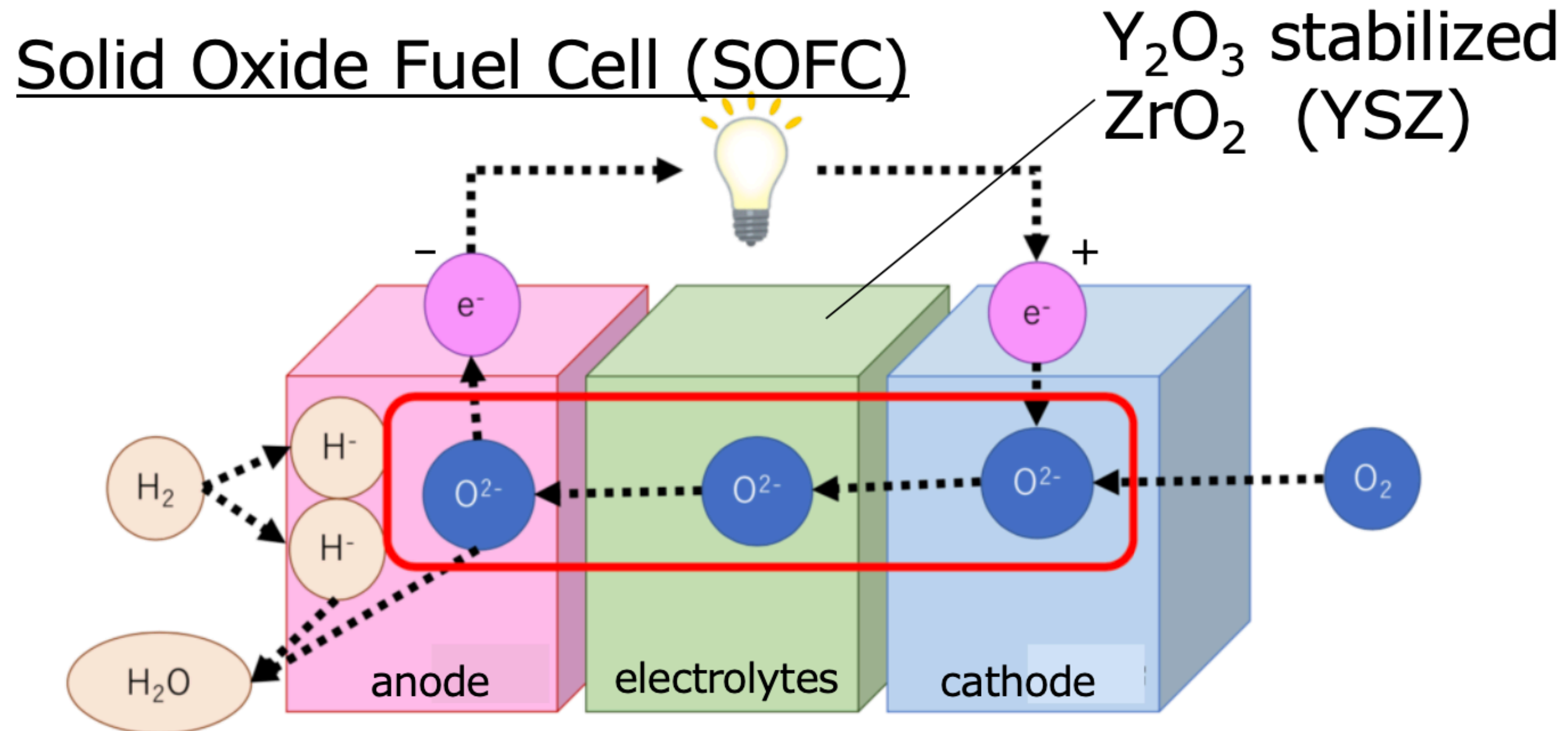


- 液体H₂O中で窒素が2つの化学状態をとる
- その1つがdoubletあるいはspin-spin couplingである可能性

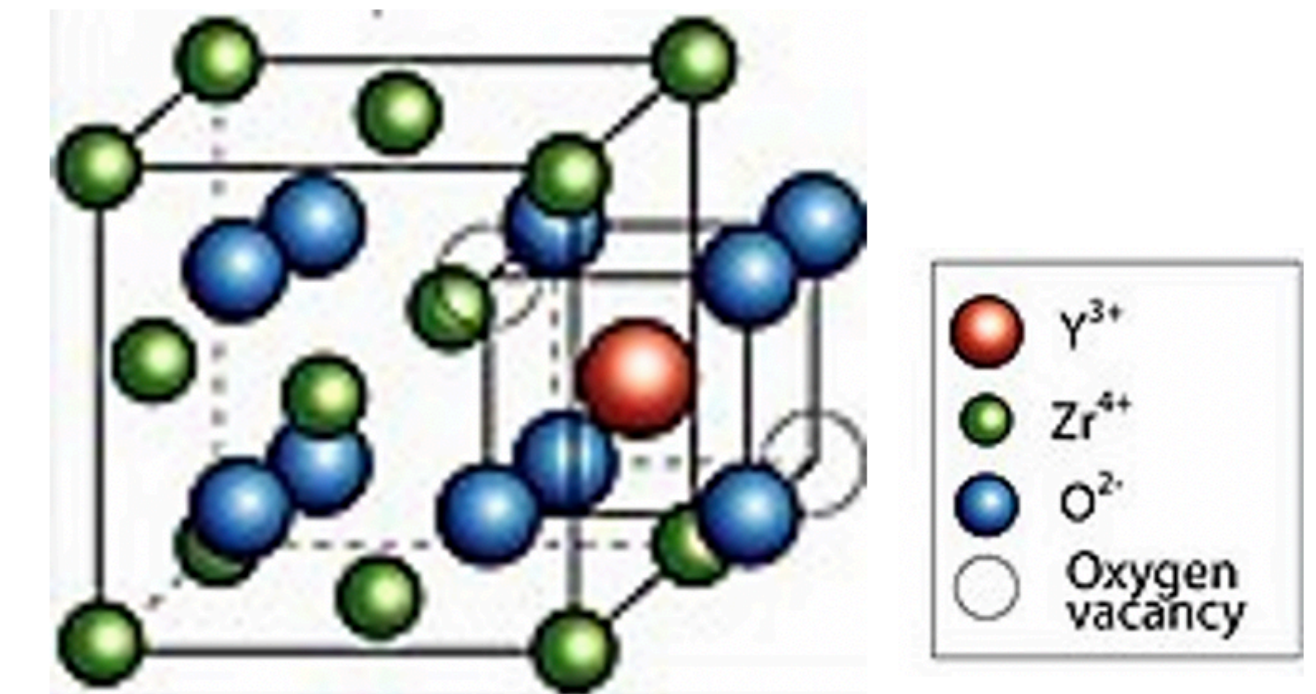


β -NMR法 -燃料電池材料YSZの酸素イオン伝導率測定-

- ^{19}O ($I = 5/2$, $T_{1/2} = 27 \text{ s}$) を燃料電池材料YSZに埋め込み β -NMR測定
- 緩和時間 T_1 の測定から、YSZ中の酸素イオンのジャンプ頻度を求める



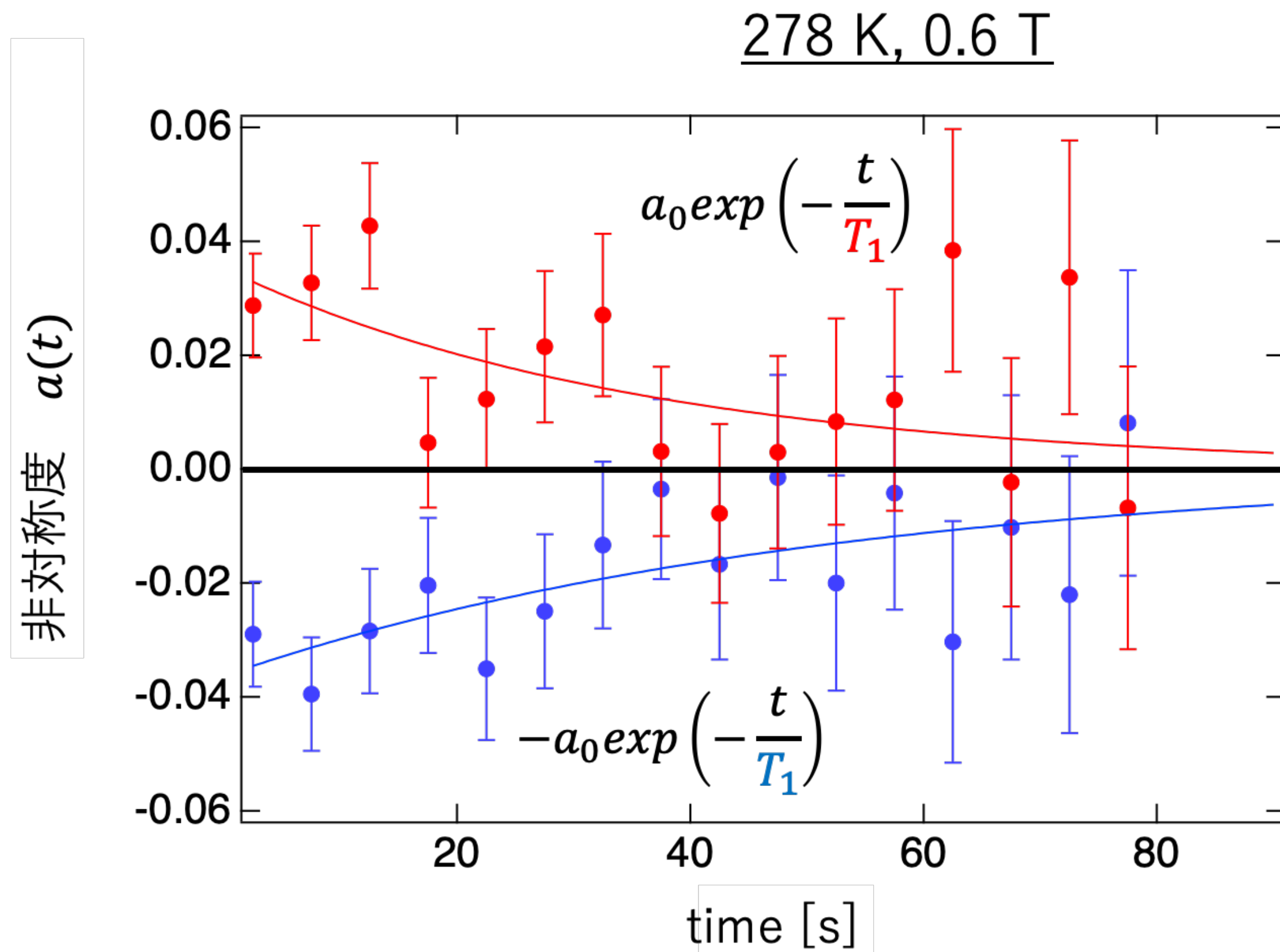
ジャンプ頻度 $\frac{1}{\tau_c}$



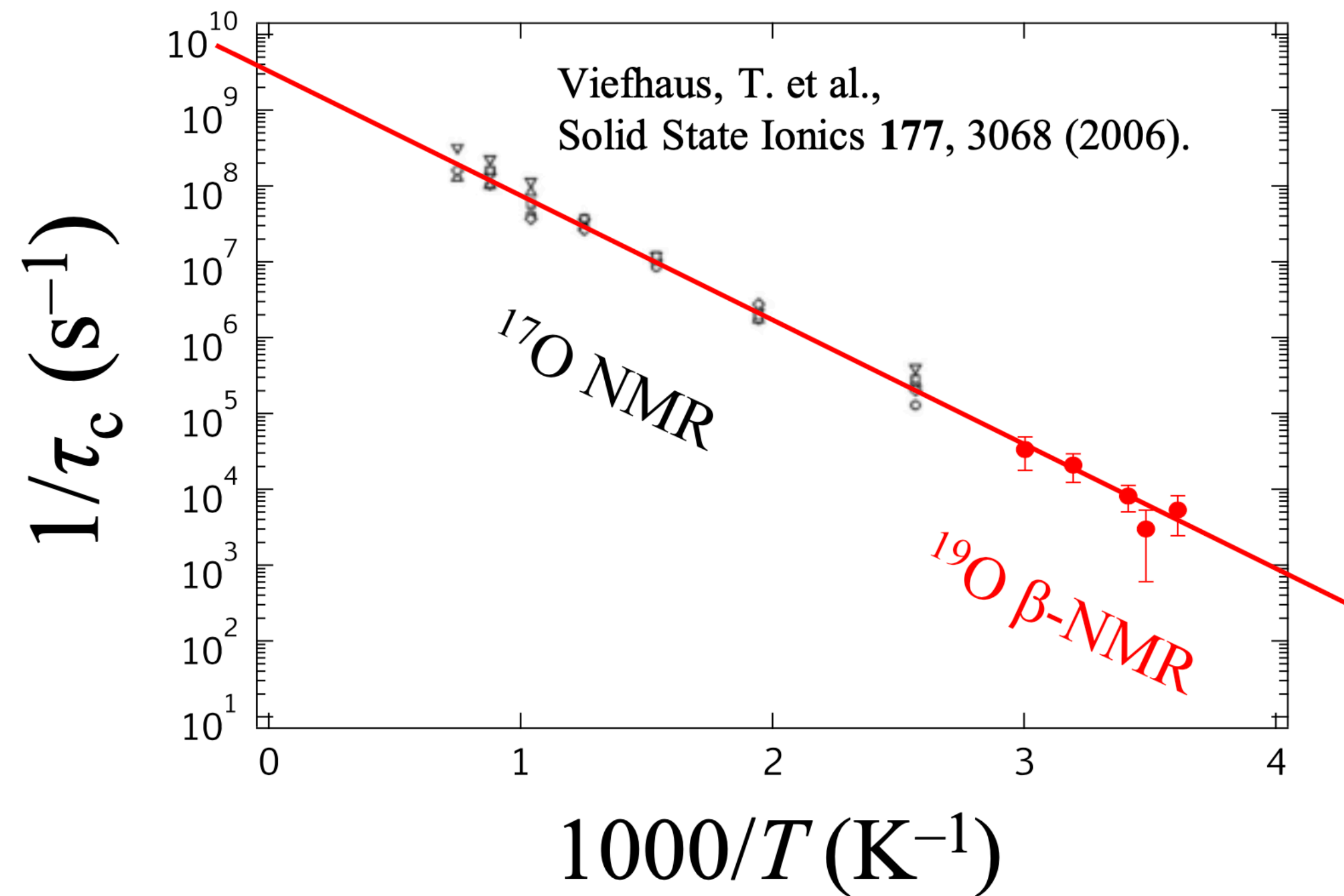
https://en.wikipedia.org/wiki/Yttria-stabilized_zirconia

Y_2O_3 安定化 ZrO_2 (YSZ)

β -NMR法 -燃料電池材料YSZの酸素イオン伝導率測定-

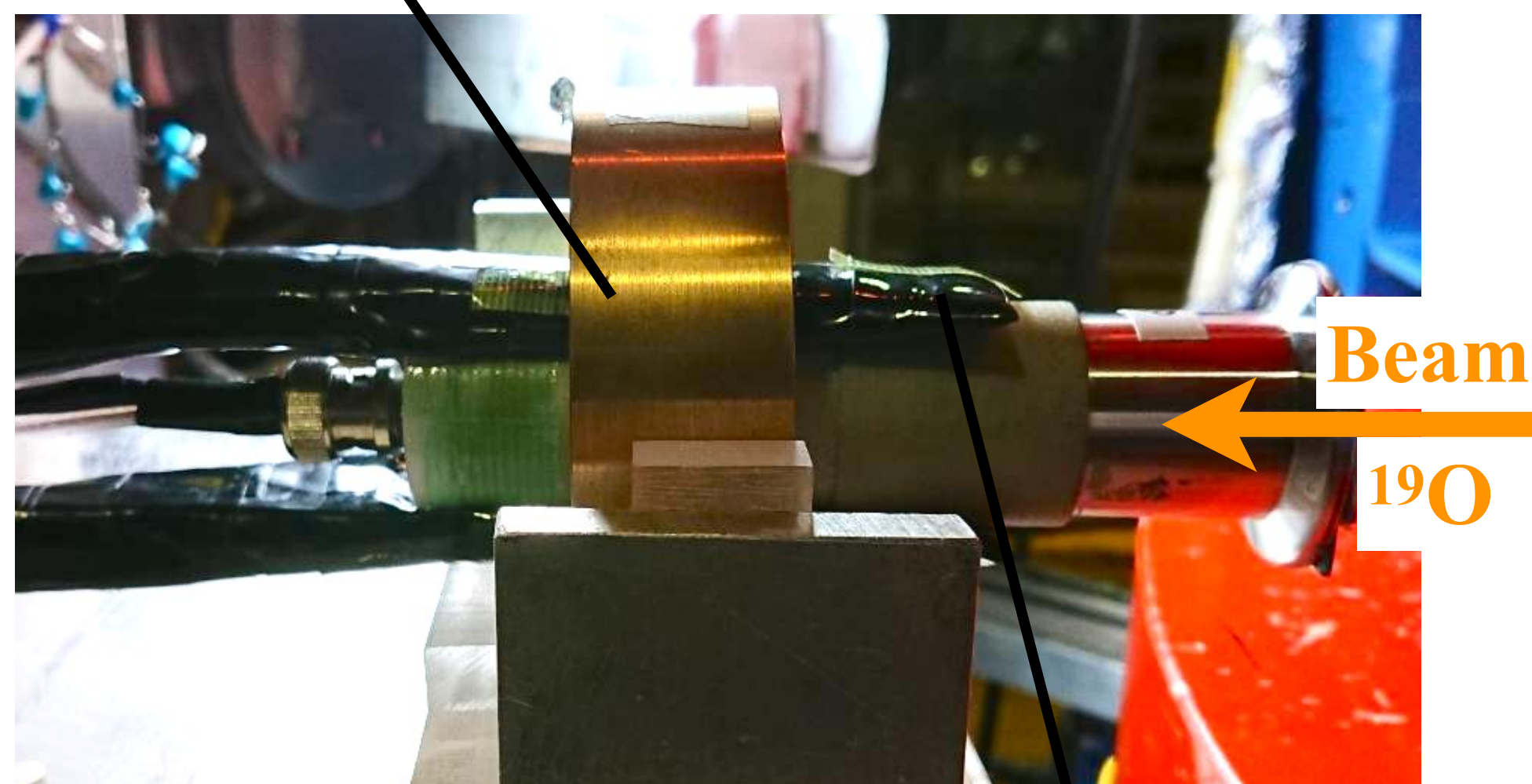


$$T_1 = 44 \pm 19 [s]$$



β -NMR法 -ハルバツハ磁石を用いた小型 β -NMR装置開発-

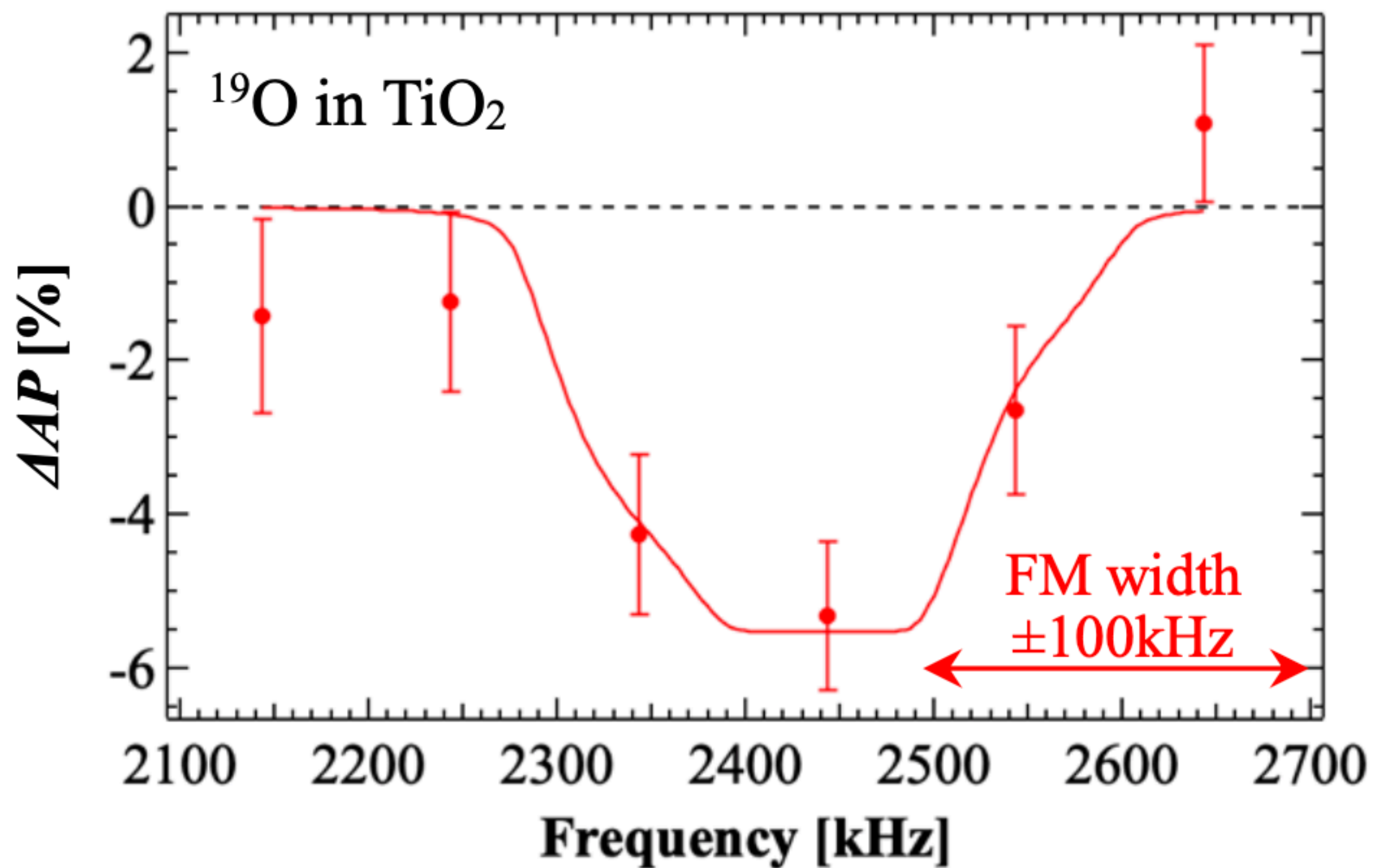
ハルバツハ磁石



シンチレーションファイバー

この実験でシンチレーションファイバーにより
1次元的なトラッキングに成功

HIMACにて ^{19}O (40MeV/u) を用いて性能試験
→核磁気モーメント μ を2%以下の精度で決定できた



$$|\mu[^{19}\text{O}]| = (1.515 \pm 0.026) \mu_N$$

$$\text{c.f. } 1.53189(7) \mu_N$$

T. Minamisono et al., PLB 457, 9-16 (1999)

研究の動機

β -NMR法を用いる利点

現在医療などで普及しているMRI法

- ・核磁気共鳴を直接観測するため、使用できる核が限られている

現在水素核 ^1H の使用がほとんど

→ β -NMR法では不安定核を用いるため、より多くの核種を使用可能

高い検出感度が得られる

→静的な情報だけでなく、拡散などの動的情報も得られると期待できる

生体に多く含まれる酸素の例

| | | | | |
|--------|-------|-------|-----------|-----------|
| O16 | O17 | O18 | O19 | O20 |
| | | | 26.91 s | 13.51 s |
| 0+ | 5/2+ | 0+ | 5/2+ | 0+ |
| 99.762 | 0.038 | 0.200 | β^- | β^- |

^{16}O , ^{18}O : 核磁気共鳴を起こさない

^{17}O : 存在比が非常に少ない

^{19}O : β -NMRなら高い

検出感度で測定可

位置検出器

信号読み出し回路の設計

シンチレータからの信号をMPPCに入力して β 線を計数できるようにデータ収集系を構築

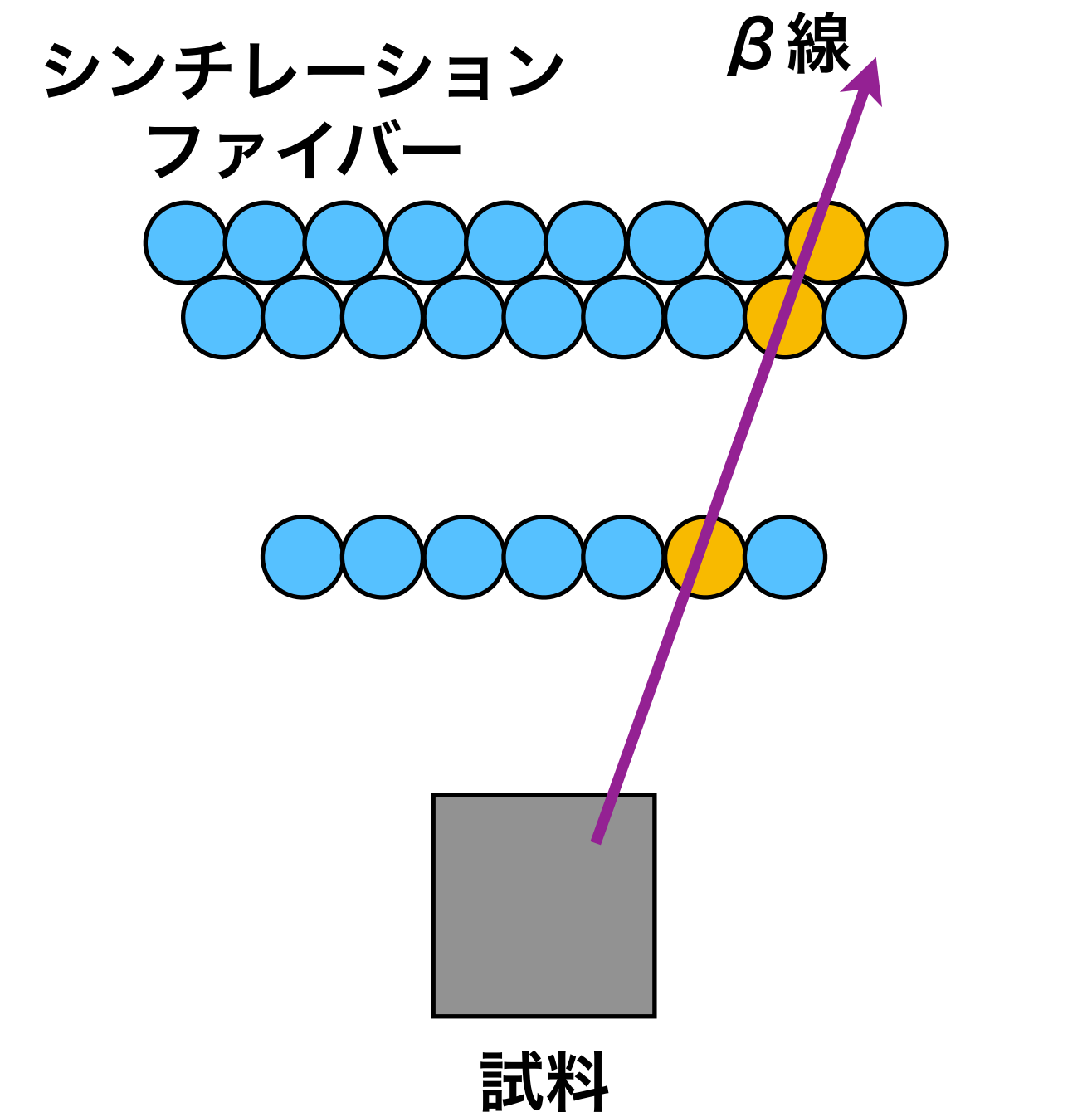
位置検出器の製作

シンチレーションファイバーを用い、 β 線の軌跡が特定できるように製作

位置検出器の性能試験

来週に実施予定

偏極不安定核 ^{12}B を用いてトラッキングシステムを試験、改良



β 線の軌跡から放出源位置を決定



放出源位置での共鳴周波数を測定し、その位置での物性情報を評価

位置検出器

位置検出器の性能試験

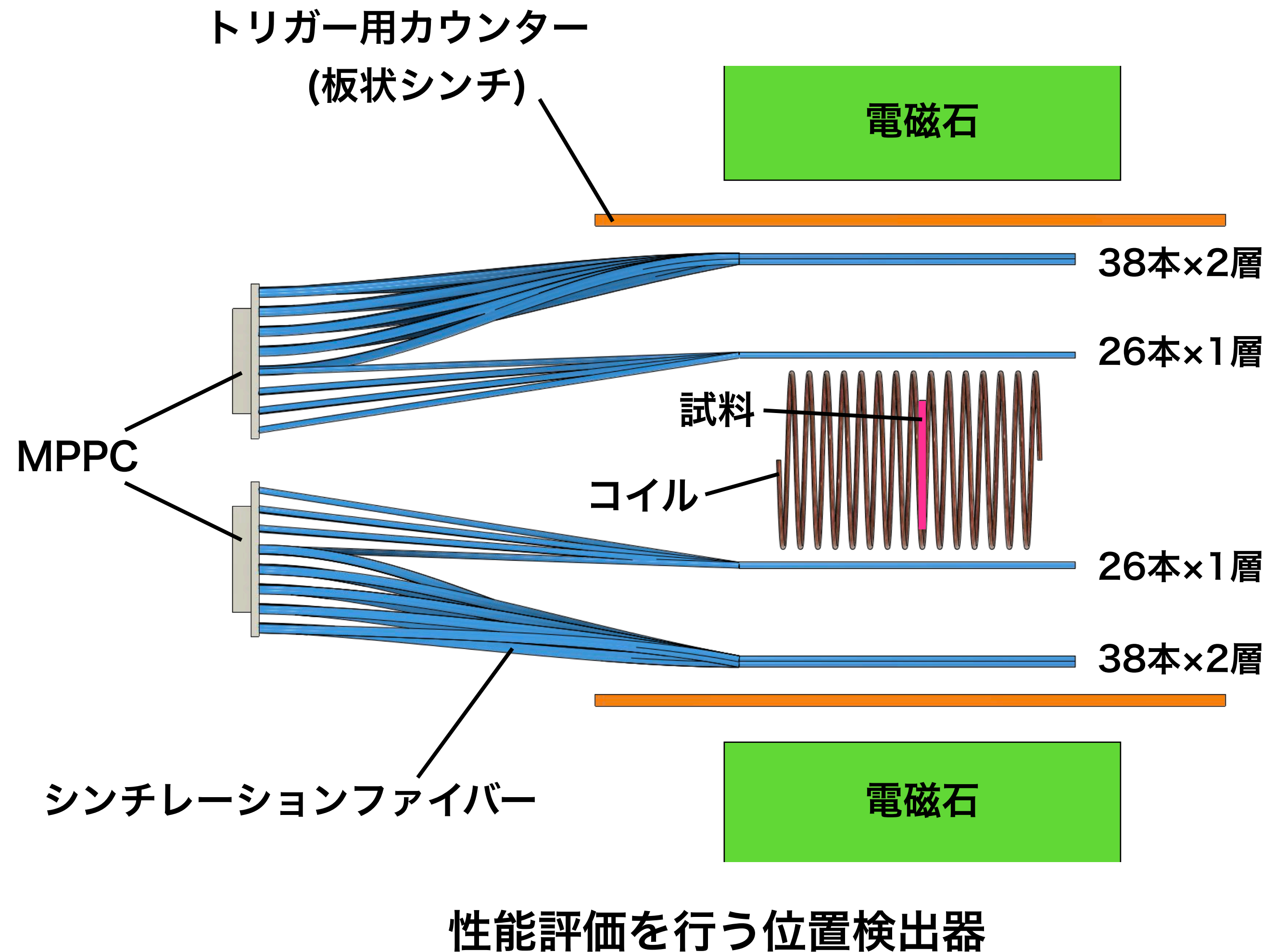
放医研HIMACにて実験

ビーム： ^{12}B 70MeV/u

→偏極率20%以上の高偏極

静磁場：0.1T

- 位置分解能(x軸方向)やデータ収集系、物性情報の画像化を試験予定
- β 線検出にはシンチレーションファイバーを使用
- β 線計数には64chのMPPC(マルチピクセルフォトンカウンター)を2枚使用
(浜松ホトニクス, S13361-3050AE-08)



位置検出器

位置検出器の性能試験

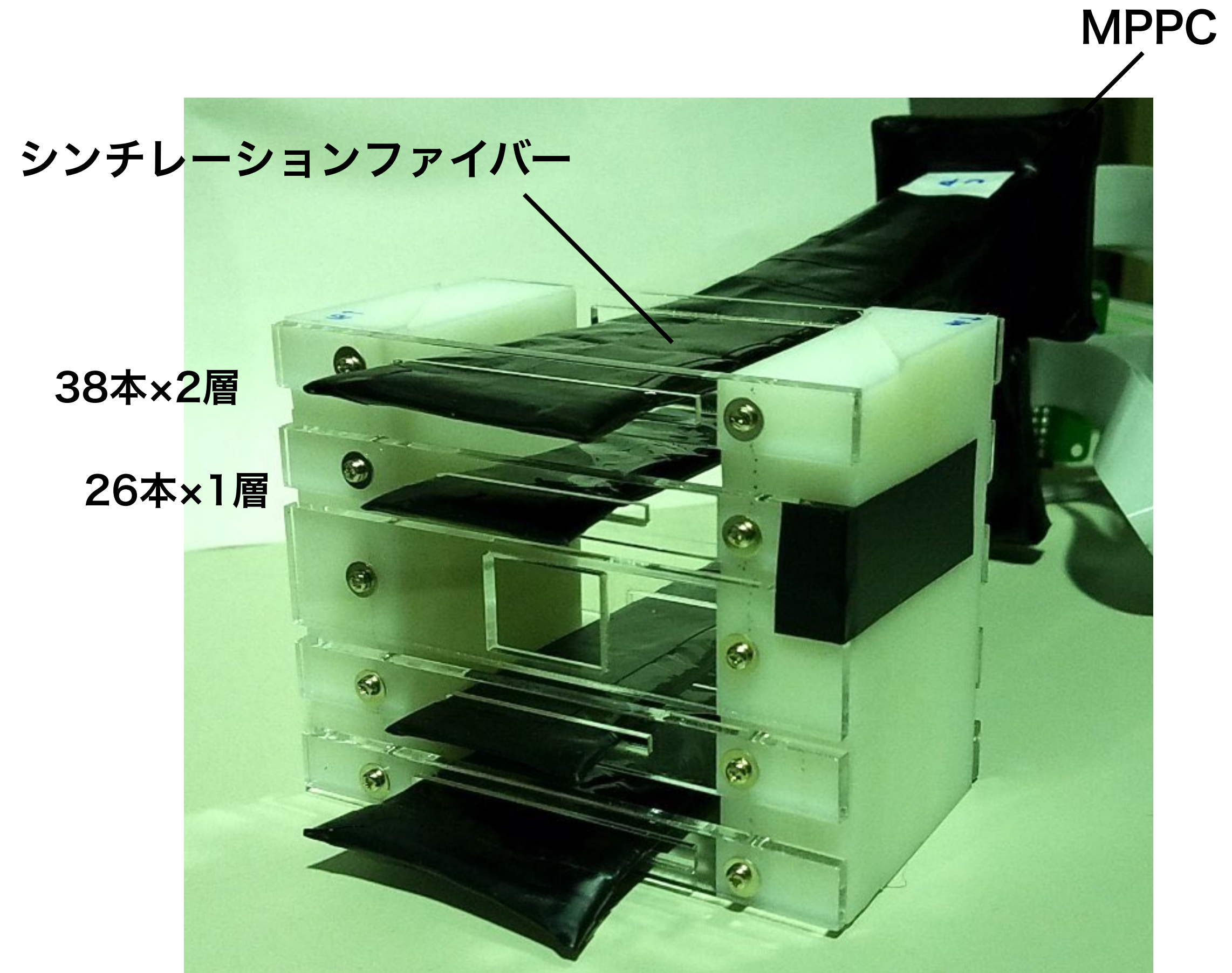
放医研HIMACにて実験

ビーム： ^{12}B 70MeV/u

→偏極率20%以上の高偏極

静磁場：0.1T

- 位置分解能(x軸方向)やデータ収集系、物性情報の画像化を試験予定
- β 線検出にはシンチレーションファイバーを使用
- β 線計数には64chのMPPC(マルチピクセルフォトンカウンター)を2枚使用
(浜松ホトニクス, S13361-3050AE-08)



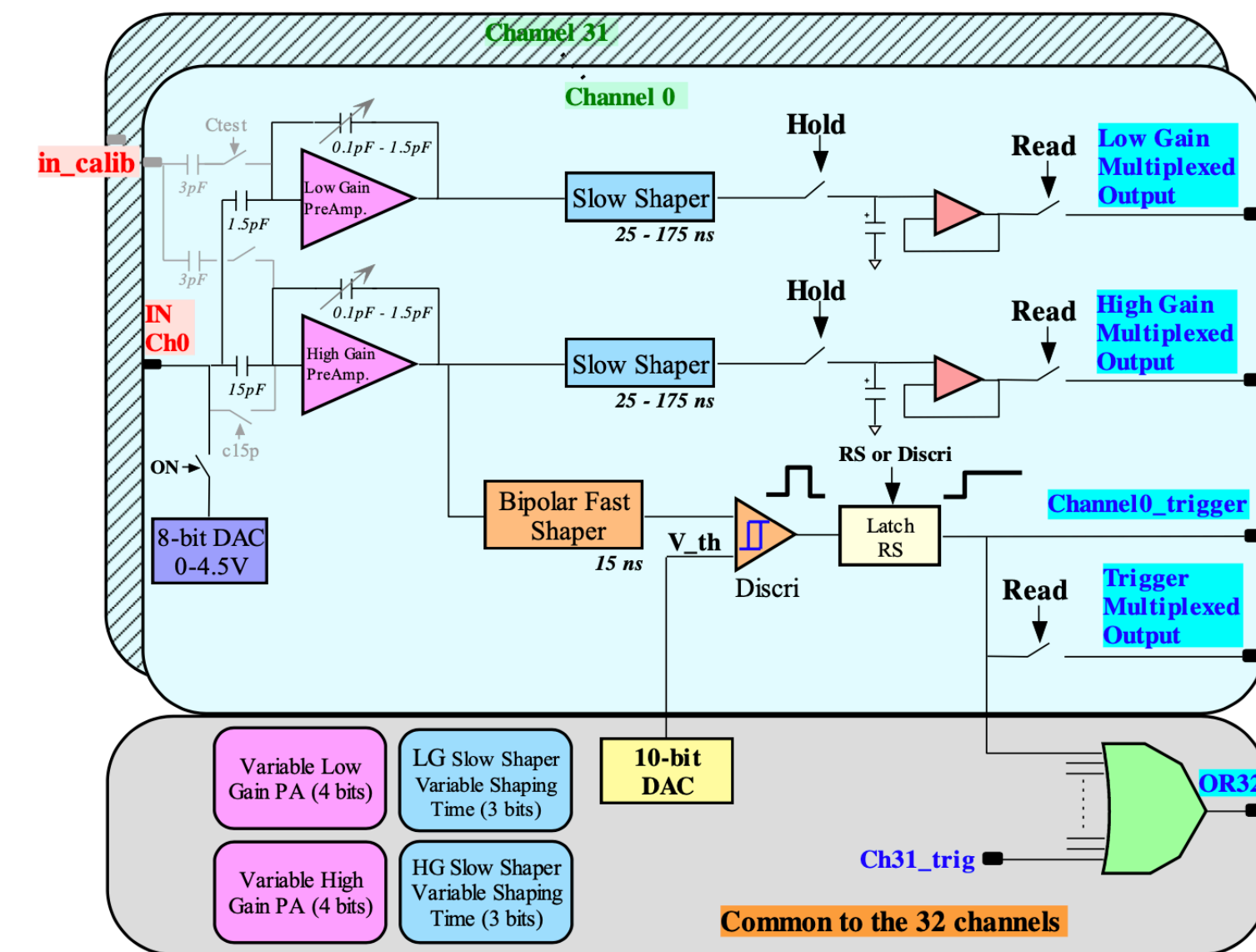
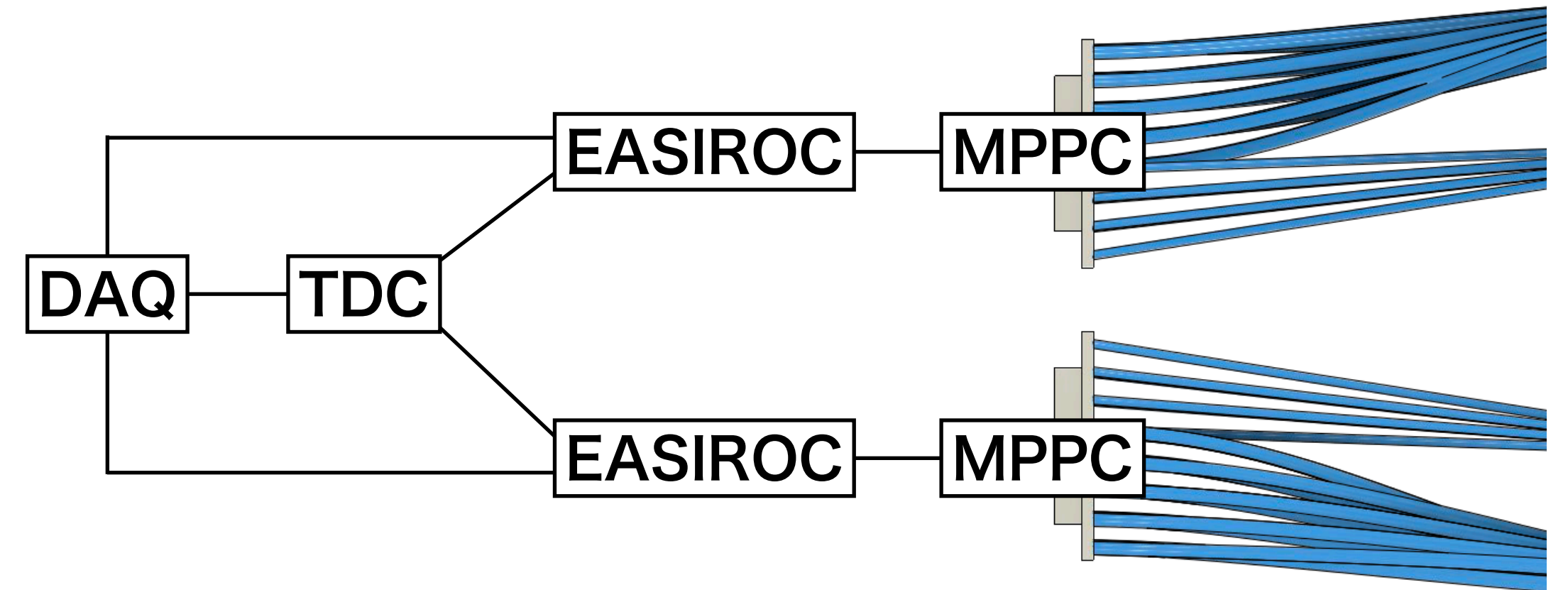
性能評価を行う位置検出器

位置検出器

位置検出器のデータ収集系

64chのMPPC×2枚は
EASIROCモジュールでHV制御、データ収集

- 2台のEASIROCは別のIPを使うことで同時に制御
- IPをデフォルトから変更したEASIROCでうまくデータ収集プログラムが動かない
→別のプログラムで収集することに
- データを画像化するプログラムを作成して試行



EASIROCの回路概略図

今後の研究計画

勾配磁場用コイルの製作

勾配磁場を試料にかけることで鉛直(z軸)方向の β 線放出源を特定

β 線トラッキングと合わせて3次元的に放出源を特定し、画像化

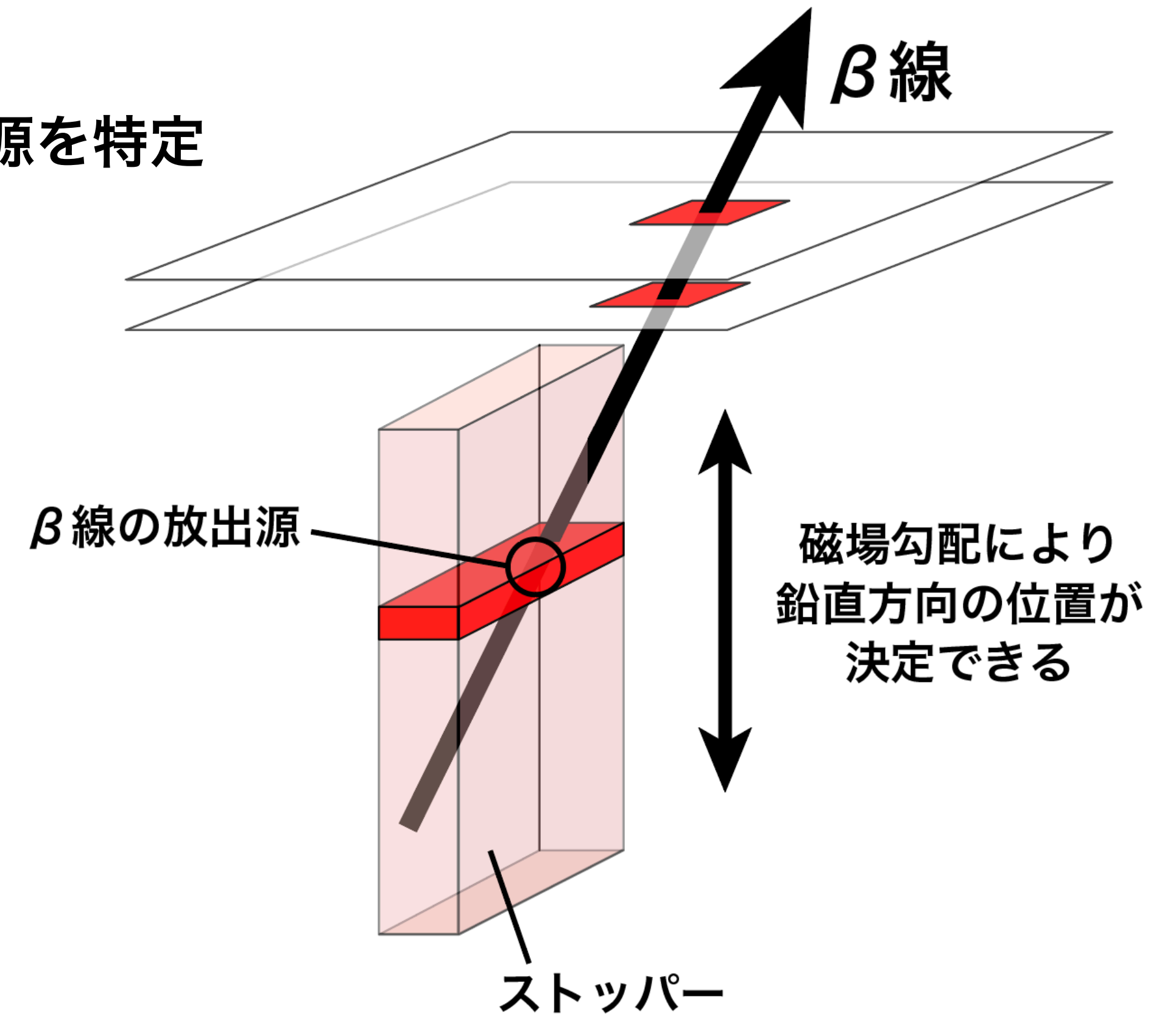
磁場勾配ではなくビームのz軸方向を絞ってスキャンする方法も検討

装置の性能試験

3次元イメージング装置のテスト

偏極不安定核 ^{12}B を用いて性能試験

位置分解能などを調べる



まとめ



- β -NMR法にMRIのイメージング手法を合わせた β -MRIを開発中
- シンチレーションファイバー、64chMPPC 2枚を用いて位置検出器を製作
→来週に性能試験予定
- データ収集にはEASIROCを使用
- 今後は位置検出器の改良や勾配磁場用コイルの製作など