

# ポジトロニウム超微細構造の 精密測定 (中間報告)

東大・院理, 東大・素粒子センター<sup>A</sup>, 東大・院総合文化<sup>B</sup>, 高エネ研機構KEK<sup>C</sup>

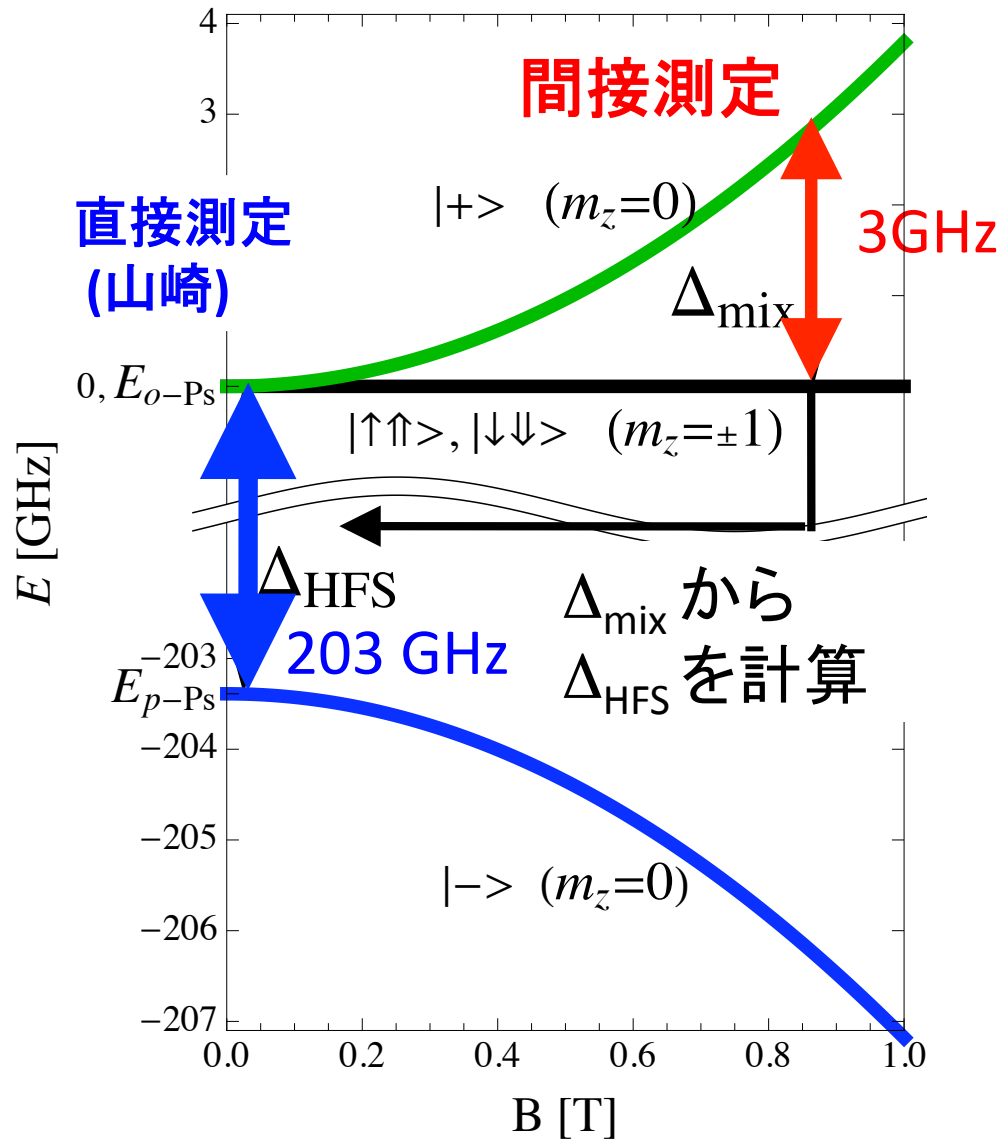
石田明, 秋元銀河, 佐々木雄一, 宮崎彬, 加藤康作,  
末原大幹<sup>A</sup>, 難波俊雄<sup>A</sup>, 浅井祥仁, 小林富雄<sup>A</sup>,  
斎藤晴雄<sup>B</sup>, 吉田光宏<sup>C</sup>, 田中賢一<sup>C</sup>, 山本明<sup>C</sup>

2010年7月8日 第47回アイソトープ・放射線研究発表会 於日本科学未来館

# 目次

- インTRODクシヨン  
(磁場を用いた  $O(\text{ppm})$  の精密測定)
- 我々の新しい実験セツトアツプ
- プロトタイプ測定とその結果
- 今後の展望と現状

# ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



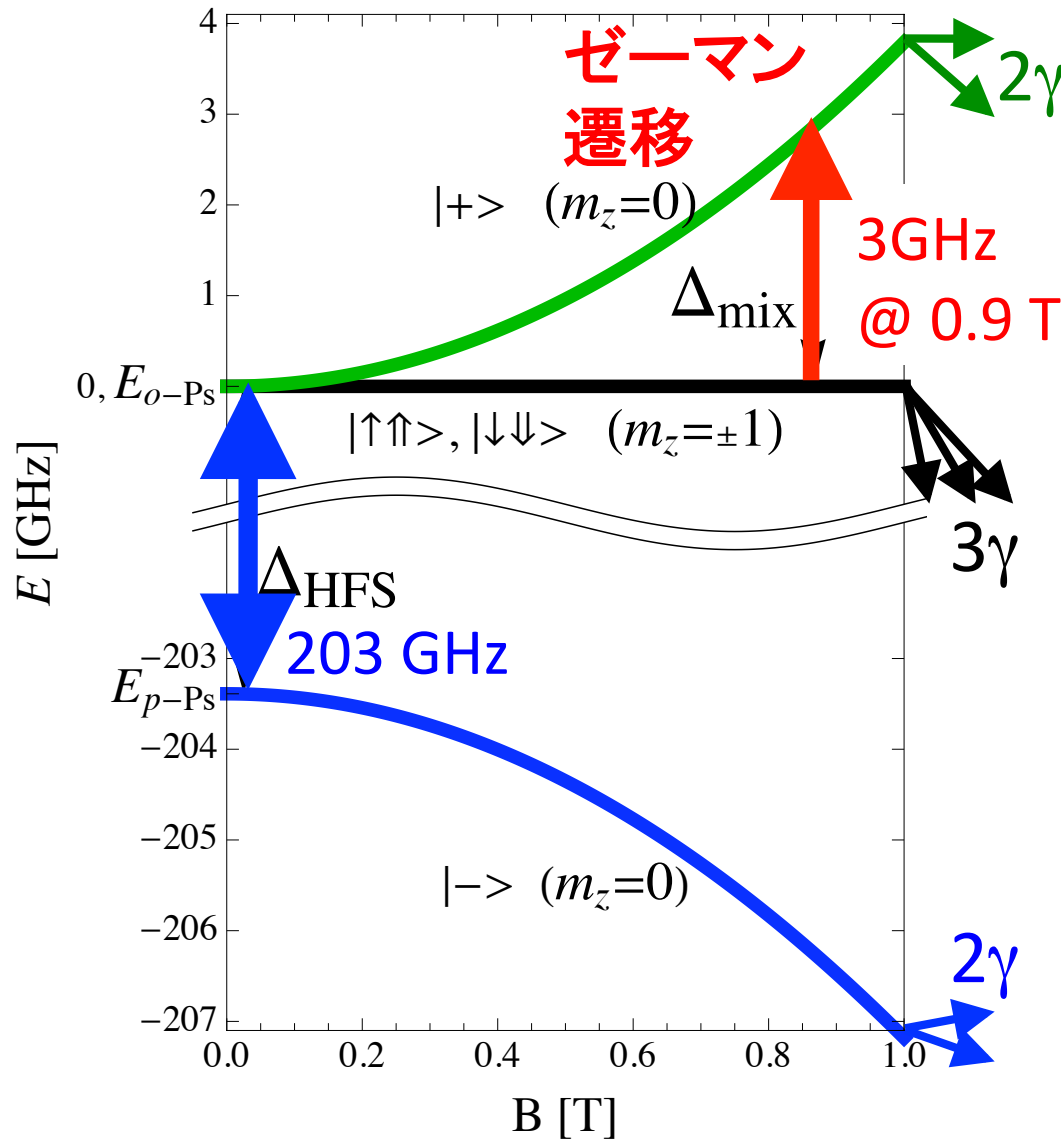
静磁場中では、**p-Ps** は **o-Ps** の  $m_z=0$  成分と混合する。  
( $2\gamma$  崩壊).

$\Delta_{\text{mix}}$  を精密に測定し、  
 $\Delta_{\text{HFS}}$  を以下の式で求める。

$$\Delta_{\text{mix}} = \frac{1}{2} \Delta_{\text{HFS}} \left( \sqrt{1 + 4x^2} - 1 \right),$$

$$x = \frac{g' \mu_B B}{\Delta_{\text{HFS}}}.$$

# ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



周波数が  $\Delta_{mix}$  のマイクロ波を供給すると、o-Ps の  $m_z=0$  と  $m_z=\pm 1$  成分の間で遷移が起こる。

→  $2\gamma$  崩壊(511 keV 単色) 率が大きくなる。  
この崩壊率の変化が、実験のシグナルになる。

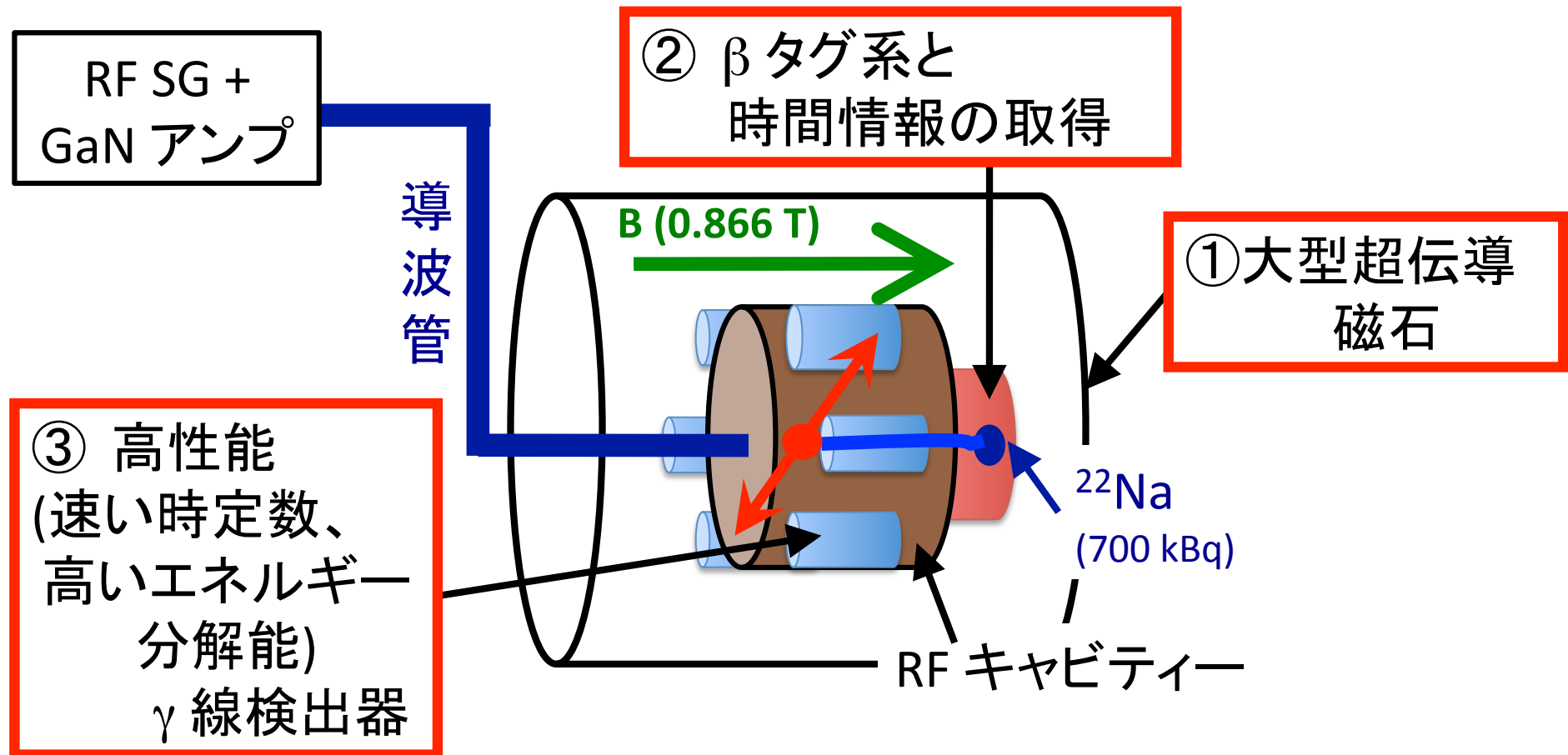
→ 過去の全ての実験と同じ方法



# 我々の新しい実験セットアップ

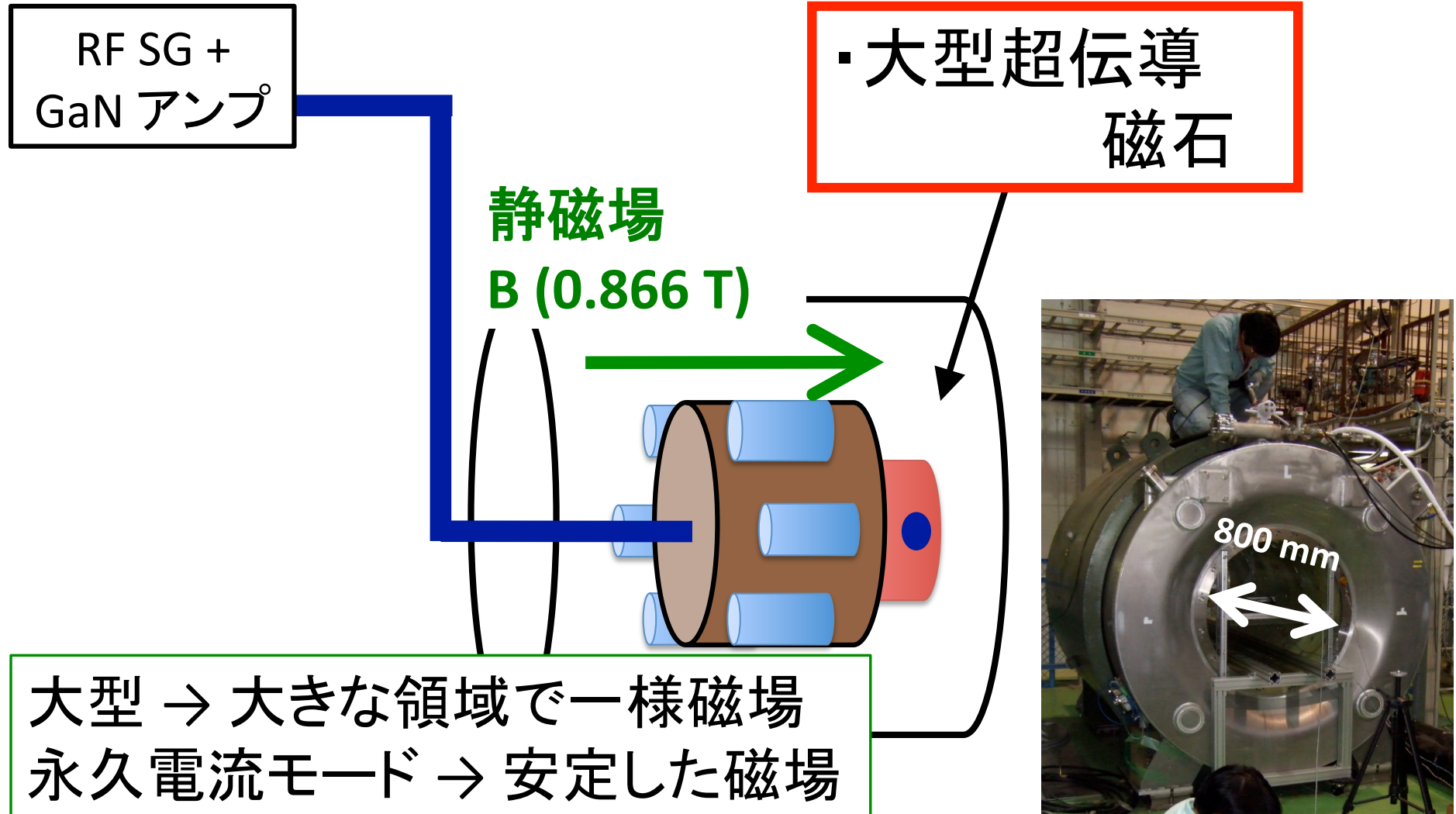
測定の原理は過去と同じ (Zeeman効果を使った間接測定) だが、  
過去の問題点(磁場の非一様性、物質の効果)を解決するため新しい方法を用いる。

3つの新しいアイデアと技術を導入 1. 磁石 2. 時間 3. ガンマ線



# 我々の新しい実験セットアップ

過去の問題点(磁場の非一様性、物質の効果)を解決するため新しい方法を用いる。

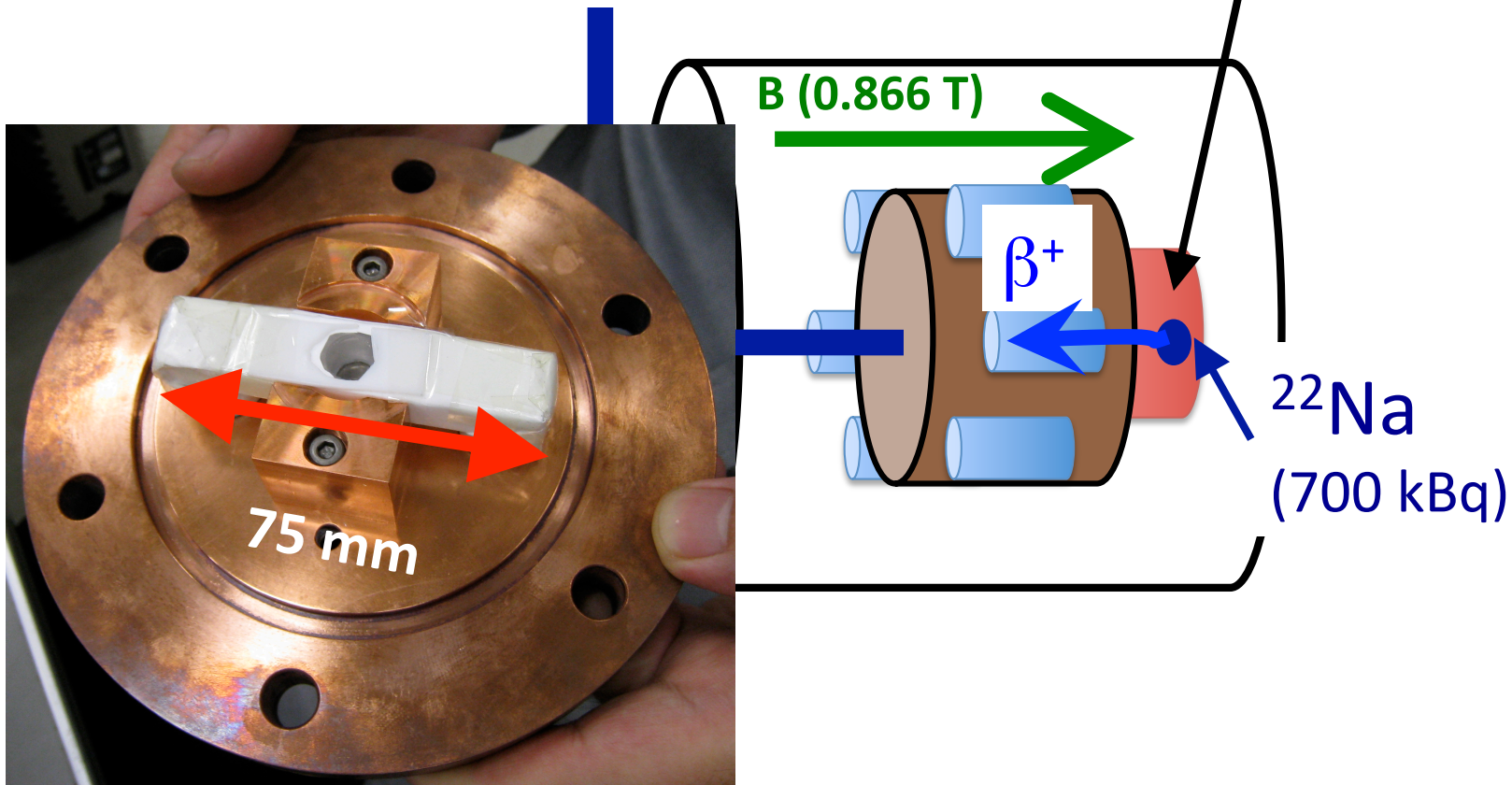


# 我々の新しい実験セットアップ

過去の問題点(磁場の非一様性、物質の効果)を解決するため新しい方法を用いる。

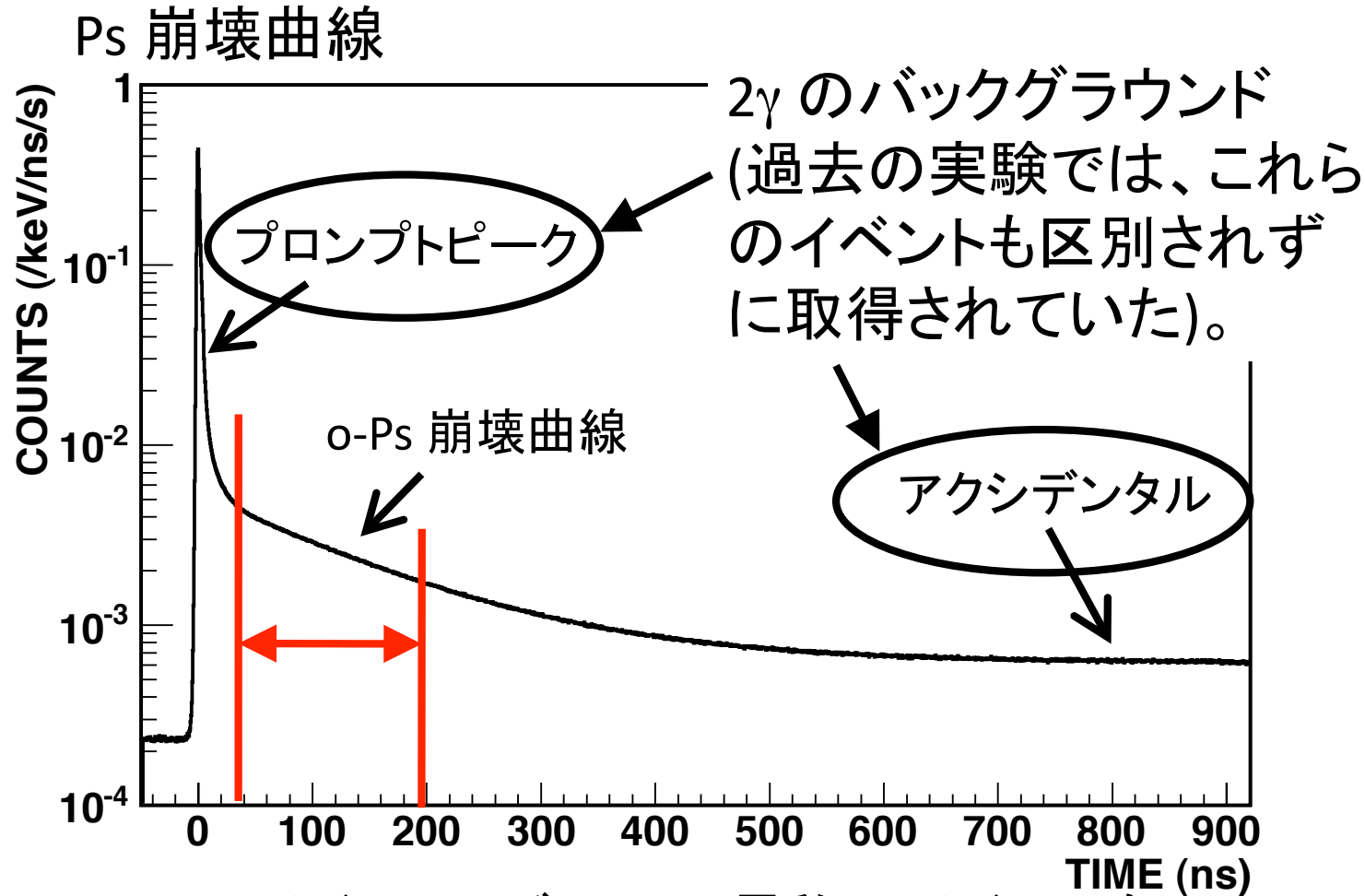
## ・ $\beta$ タグ系と時間情報の取得

- (1) 高い S/N ( $\rightarrow$  次のページ)
- (2)  $P_s$ の熱化を直接測れる。



# 時間情報と S/N

高い S/N



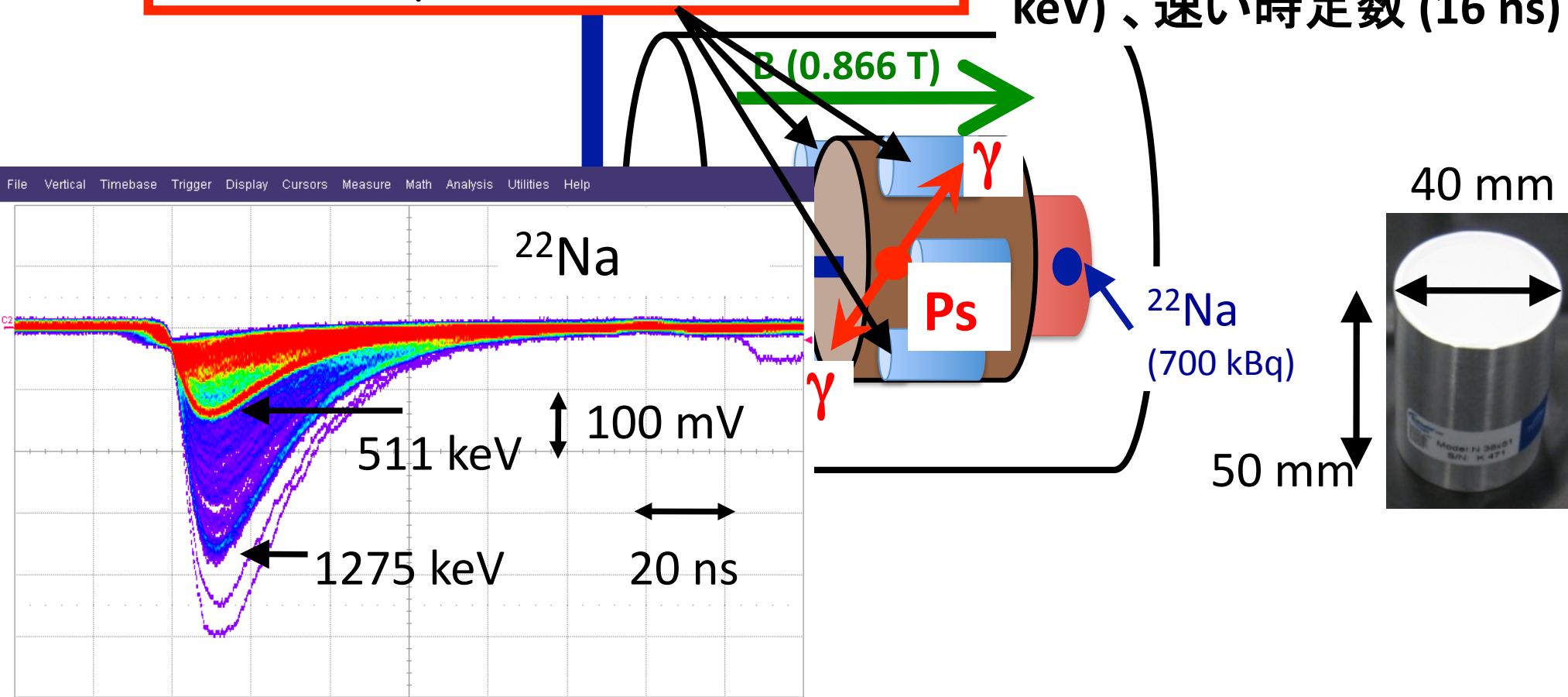
o-Ps のイベント、ゼーマン遷移のイベントを、  
タイミングウィンドウによって選択 → 約20倍 S/N を高める。

# 我々の新しい実験セットアップ

過去の問題点(磁場の非一様性、物質の効果)を解決するため新しい方法を用いる。

・高性能 (速い時定数、高いエネルギー分解能)  
 $\gamma$  線検出器

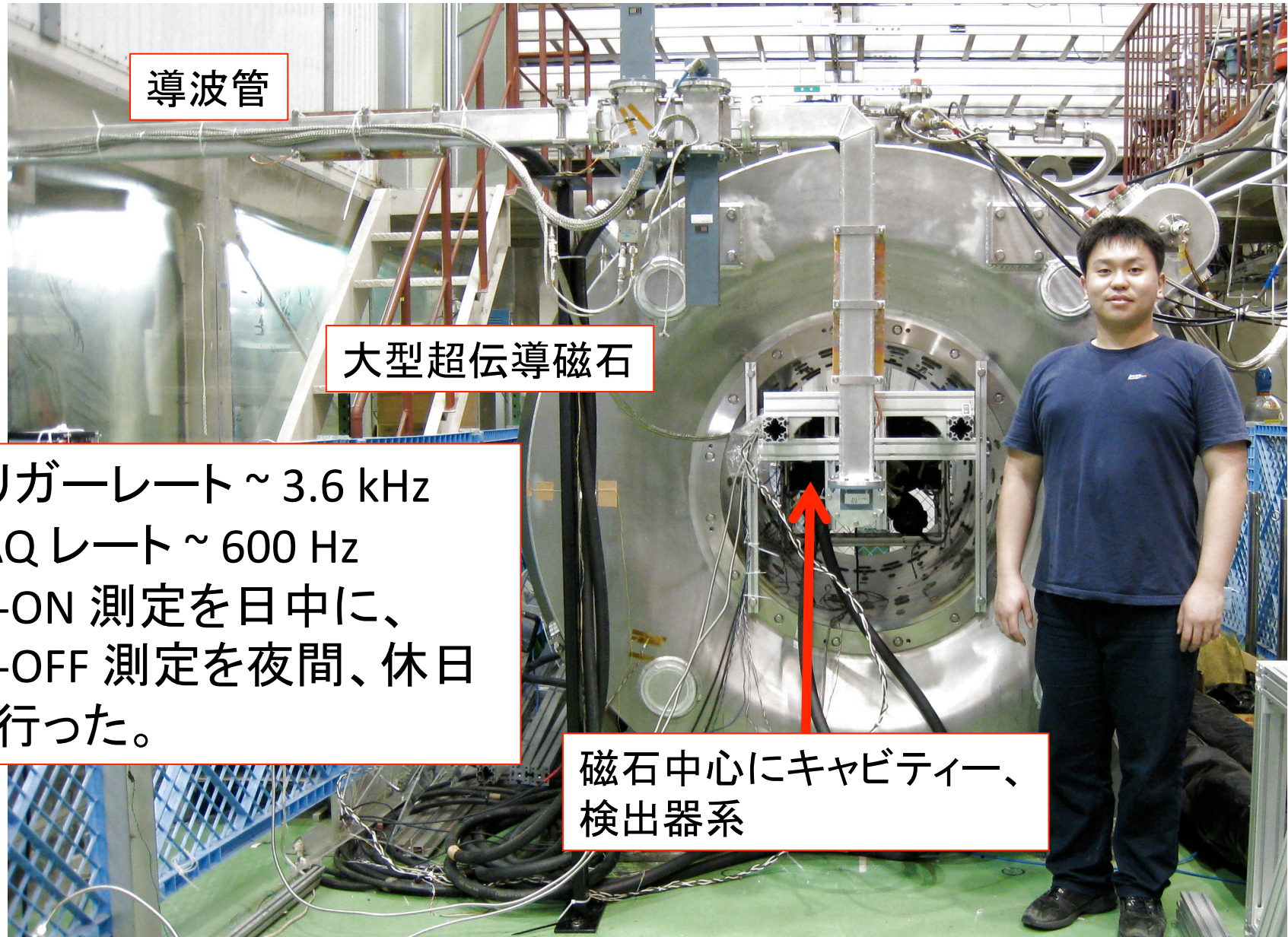
-LaBr<sub>3</sub>(Ce) シンチレータ x 6  
-高いエネルギー分解能(4% FWHM @ 511 keV)、時間分解能 (200 ps FWHM @ 511 keV)、速い時定数 (16 ns)





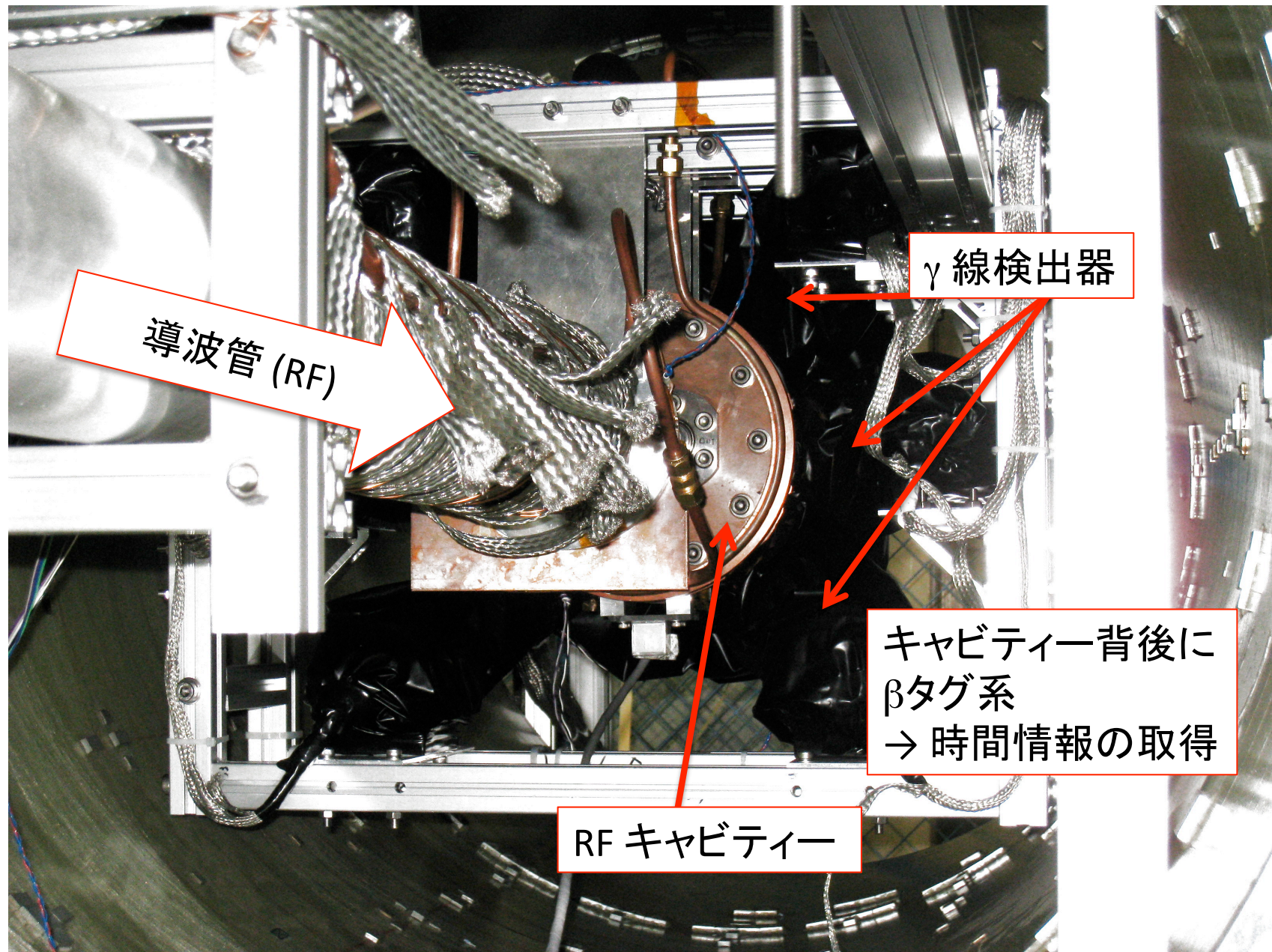
# プロトタイプ測定

平成21年7月2日 - 9月24日 @KEK低温棟



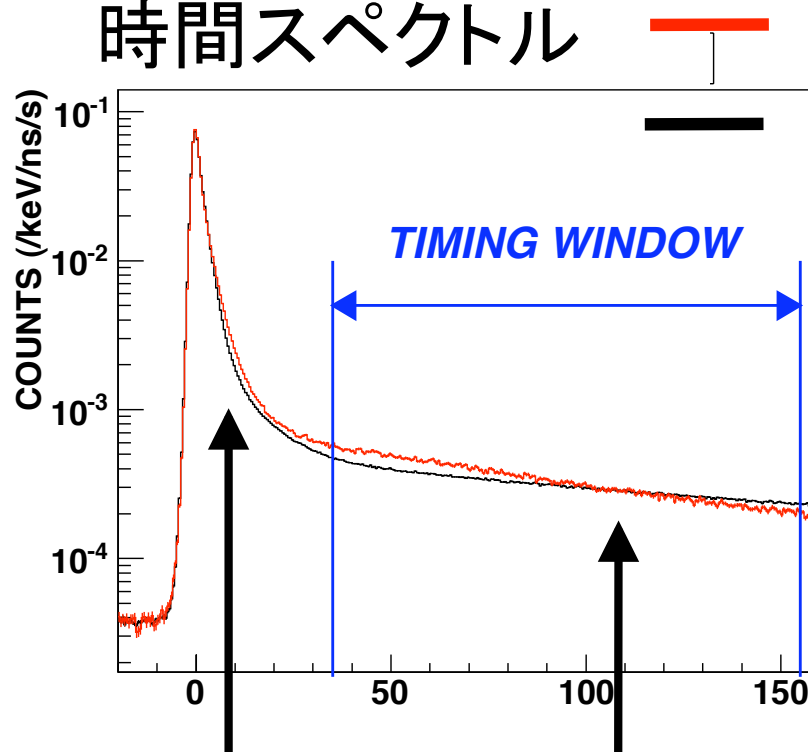


# 磁石中心部



# 解析

時間スペクトル



ON Resonance RF ON

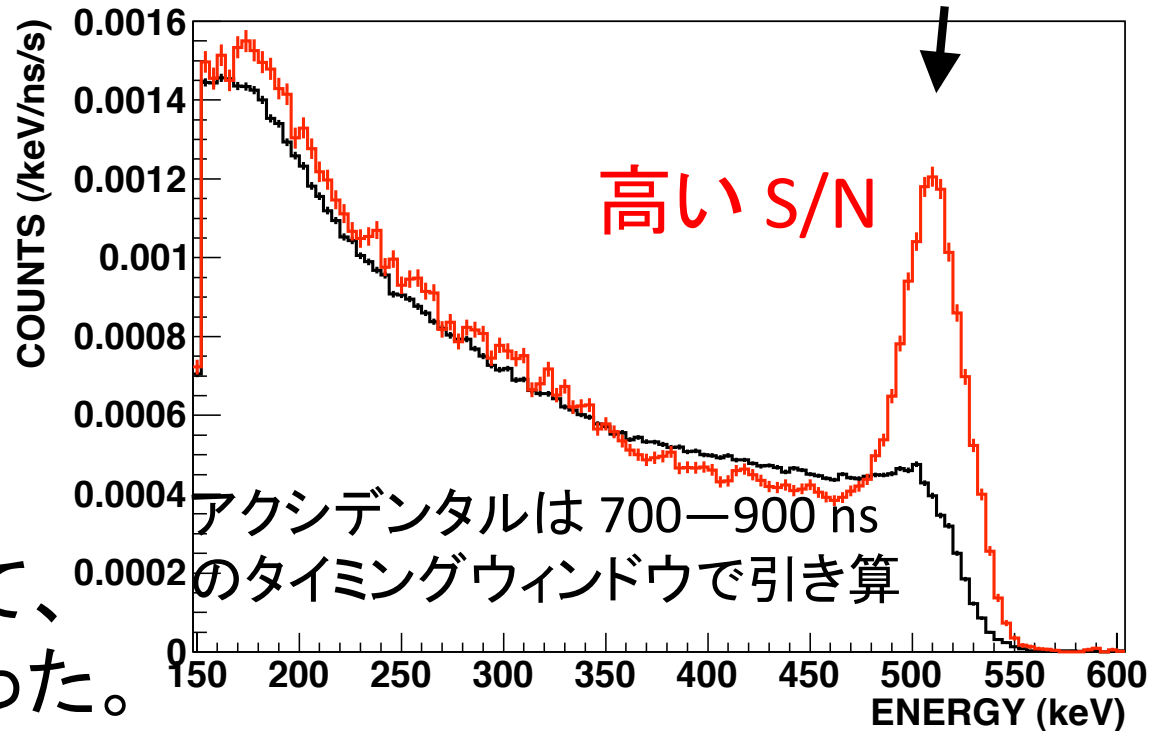
ON Resonance RF OFF

35 ns – 155 ns のタイミングウィンドウで、  
プロンプト、アクシデンタルを除く

短い寿命成分  
( $m_z = 0$ )

長い寿命成分  
( $m_z = \pm 1$ )

エネルギースペクトル 511 keV



高い S/N

アクシデンタルは 700–900 ns  
のタイミングウィンドウで引き算

ゼーマン遷移によって、  
 $2\gamma$ 崩壊確率が大きくなった。

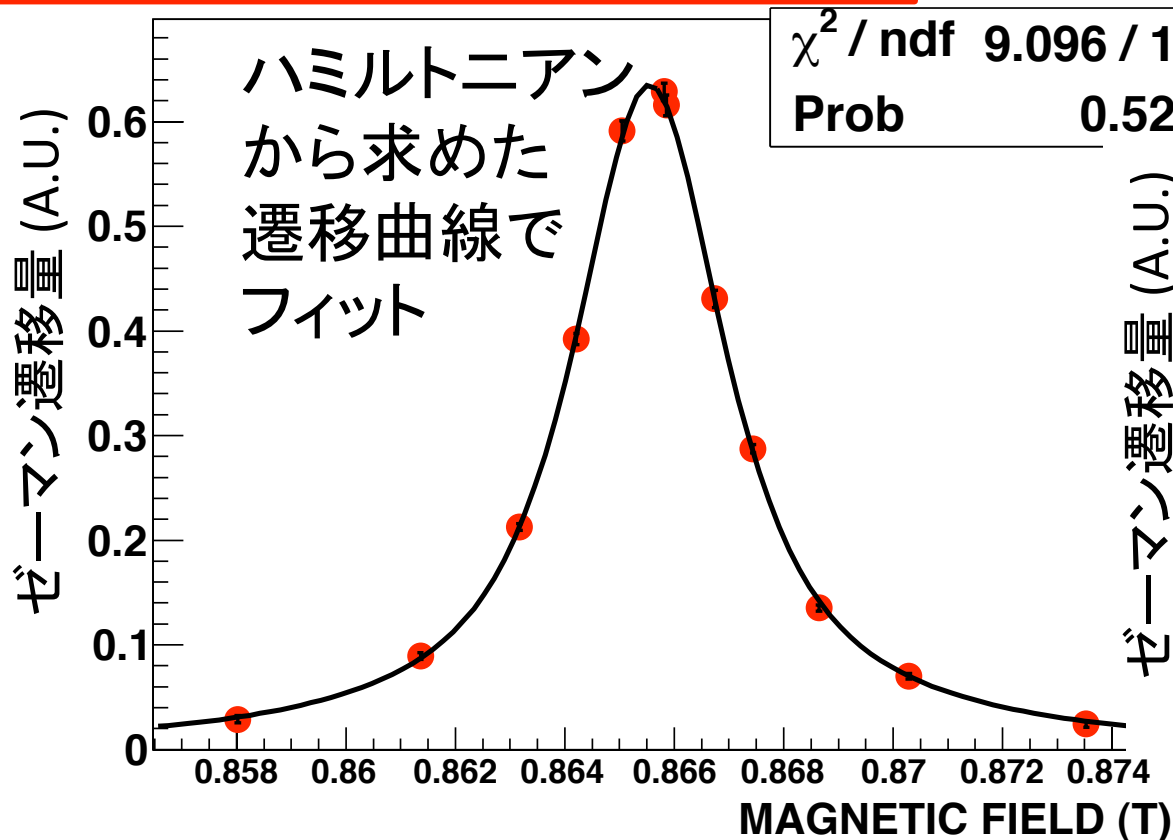


# 共鳴曲線

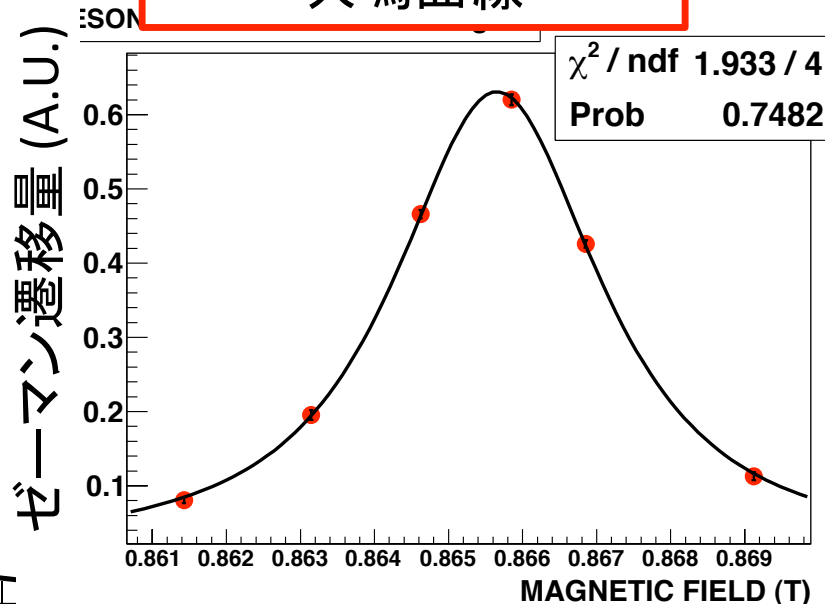
RFを固定して、**磁場でスキャン**。

$2\gamma/3\gamma$  崩壊比をゼーマン遷移量とした。

1.350 1 amagat での共鳴曲線



0.891 6 amagat での共鳴曲線

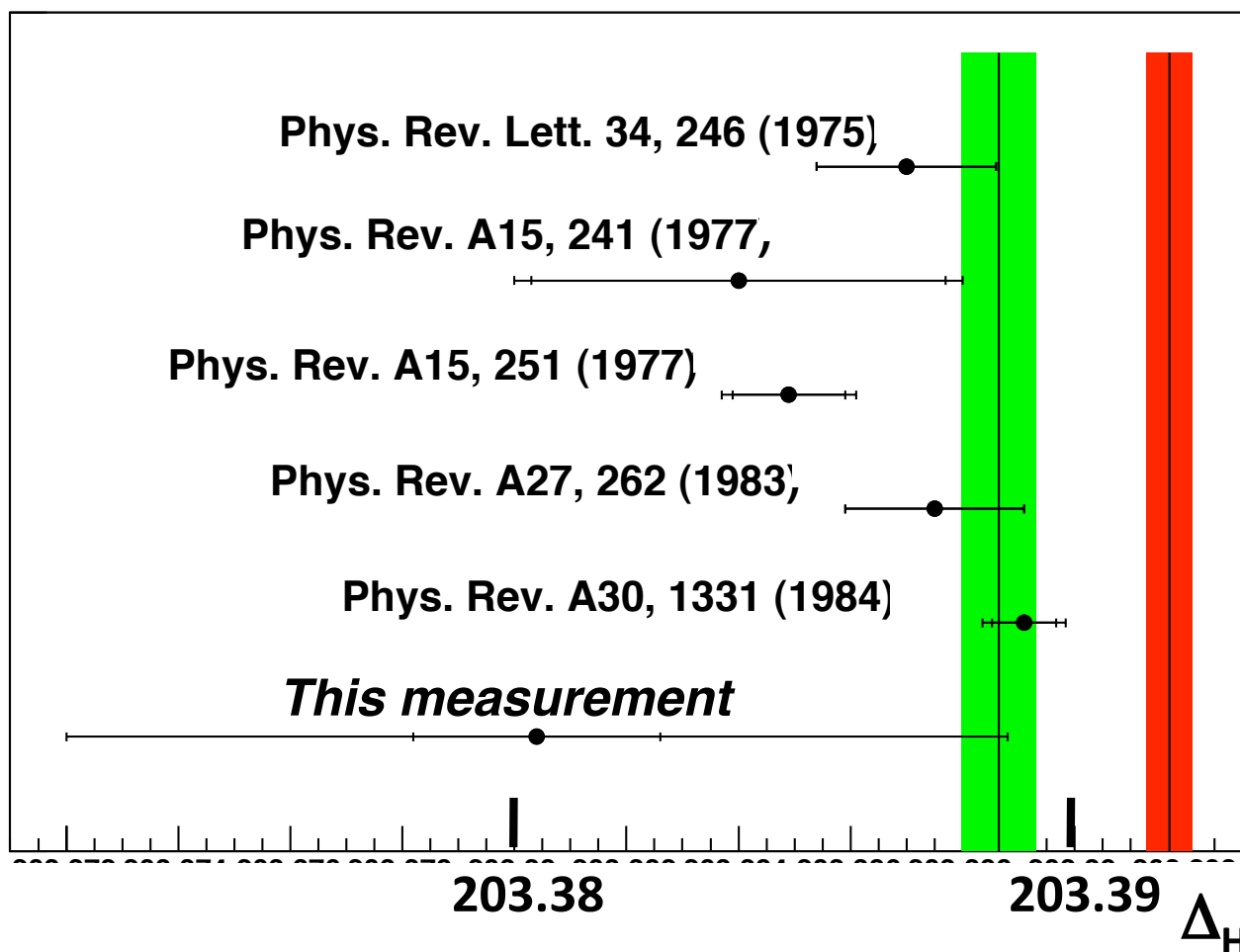


$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.368\ 3(55) \text{ GHz (27 ppm)}$$

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.379\ 3(70) \text{ GHz (34 ppm)}$$

→ 密度依存性の補正をして、真空での値を求める。

# プロトタイプ測定の結果



• 我々のシステムが正しく動作。

• プロトタイプ測定の結果は、過去の実験値・理論値と無矛盾。

プロトタイプ測定で得られた、超微細構造の値

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3804 \pm 0.0022 \text{ (stat., 11 ppm)} \\ \pm 0.0081 \text{ (sys., 40 ppm) GHz}$$

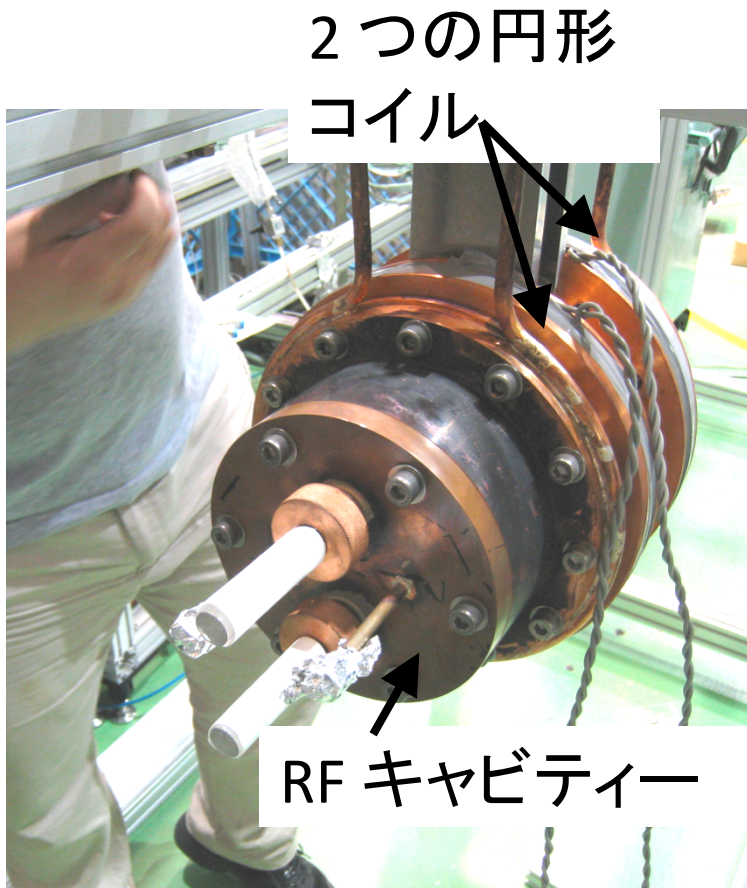
# 系統誤差

系統誤差の要因		大きさ (ppm)
磁場	磁場の非一様性	21
	磁場補正	4
	磁場測定値	2
検出効率 の評価	評価法	18
	モンテカルロ・シミュレーションの統計	17
物質の 効果	ポジトロニウムの熱化	<20
	密度依存性 (熱化以外)	7
RF	RF キャビティの $Q_L$	6
	RF パワー P	5
	RF 周波数	5
Quadrature sum		40

# 今後の展望と現状

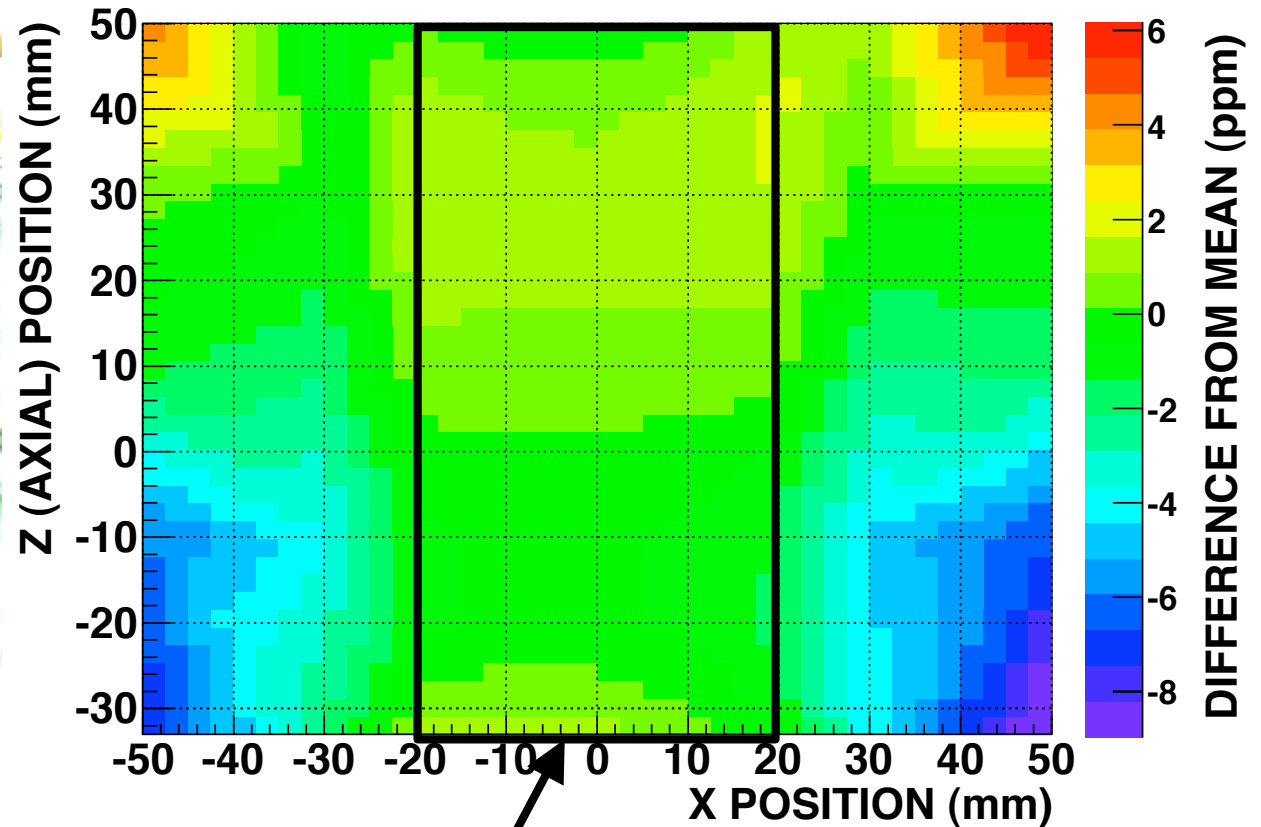
- **磁場** : 補償磁石を用いて、0(ppm)の磁場一様性を得る。  
(完了 → 次のページ)
- **物質の効果** : 最終測定では、様々なガス密度でHFSを測定 → シュタルク効果の見積もり  
さらに、ポジトロニウムの熱化関数を精密に測定する。  
(→佐々木。現在データ取得中。)
- **RF** : 実験環境 (特に温度) を管理して0(ppm)を達成する。
- **統計誤差** : プロトタイプ測定で、85日で11 ppm.  
2年以内に4 ppm以下にする。
- **検出効率** : 最終測定では実データを基にして評価。  
→ 0(ppm) の系統誤差に抑える。(これから)

# 補償磁石



- ・ 2つの円形コイルをRFキャビティのフランジに巻く。
- ・ 元の磁場と逆向きの磁場を作り、磁場勾配を小さくする。

キャビティ内磁場分布 (水平面)  
(原点はキャビティ中心)



**0.9 ppm (RMS) の一様性** が、Ps 生成領域  
内で得られた。(補償磁石なしで 10.4 ppm)  
→ 最終測定の設定アップに組み込む。

# まとめ

- 重要な物理量である、ポジトロニウム超微細構造が、実験と理論で 一様に  $3.9\sigma$  ずれている。
- 時間情報を取得する、新しい精密測定を行う。
- 我々の新しい精密測定は、過去の実験で考えられる共通の系統誤差 (磁場の非一様性、Psの熱化) を小さくする。
- 系統誤差を洗い出すため、約3ヶ月間のプロトタイプ測定を行った。
- プロトタイプ測定で、過去の実験値・理論値と無矛盾な結果が、41 ppm で得られた。
- 補償磁石が完成し、間もなく最終測定を開始する。
- 2年程度で、物質の効果を入れて  $0(\text{ppm})$  の精度を達成し、ずれの検証を行う。