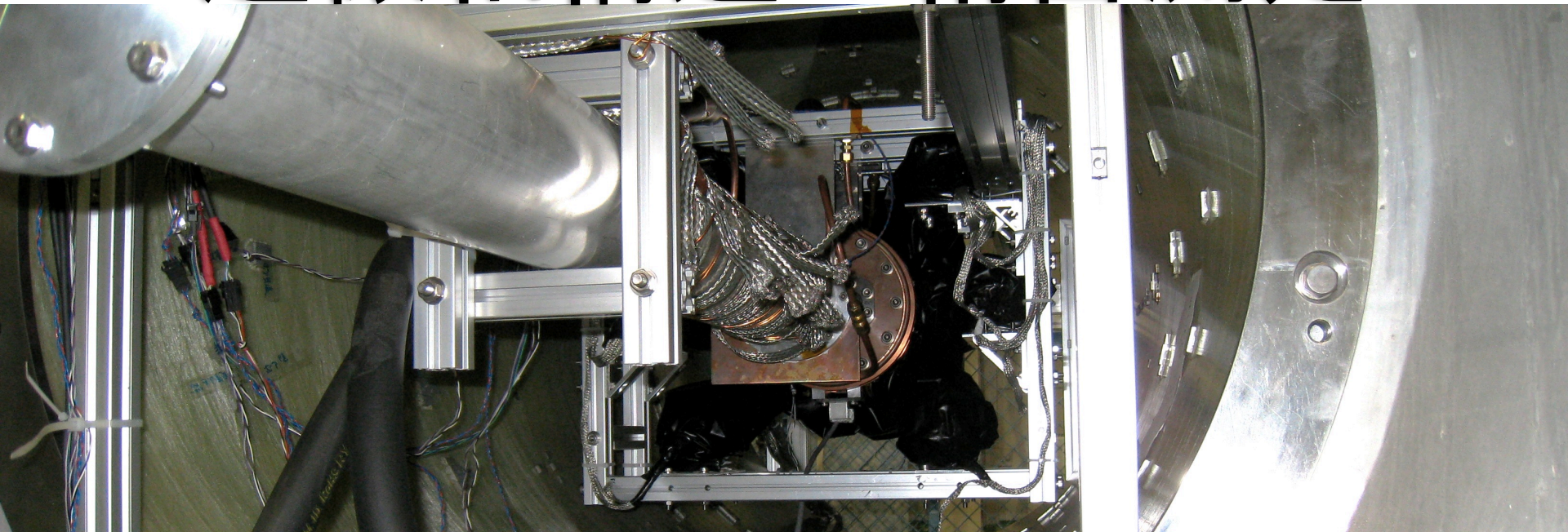


ポジトロニウム 超微細構造の精密測定



東大・院理, 東大・素粒子センター^A, 東大・院総合文化^B, 高工研^C

石田明, 佐々木雄一, 秋元銀河,
末原大幹^A, 難波俊雄^A, 浅井祥仁, 小林富雄^A,
斎藤晴雄^B, 吉田光宏^C, 田中賢一^C, 山本明^C

平成23年7月8日 第48回アイソトープ・放射線研究発表会 於日本科学未来館

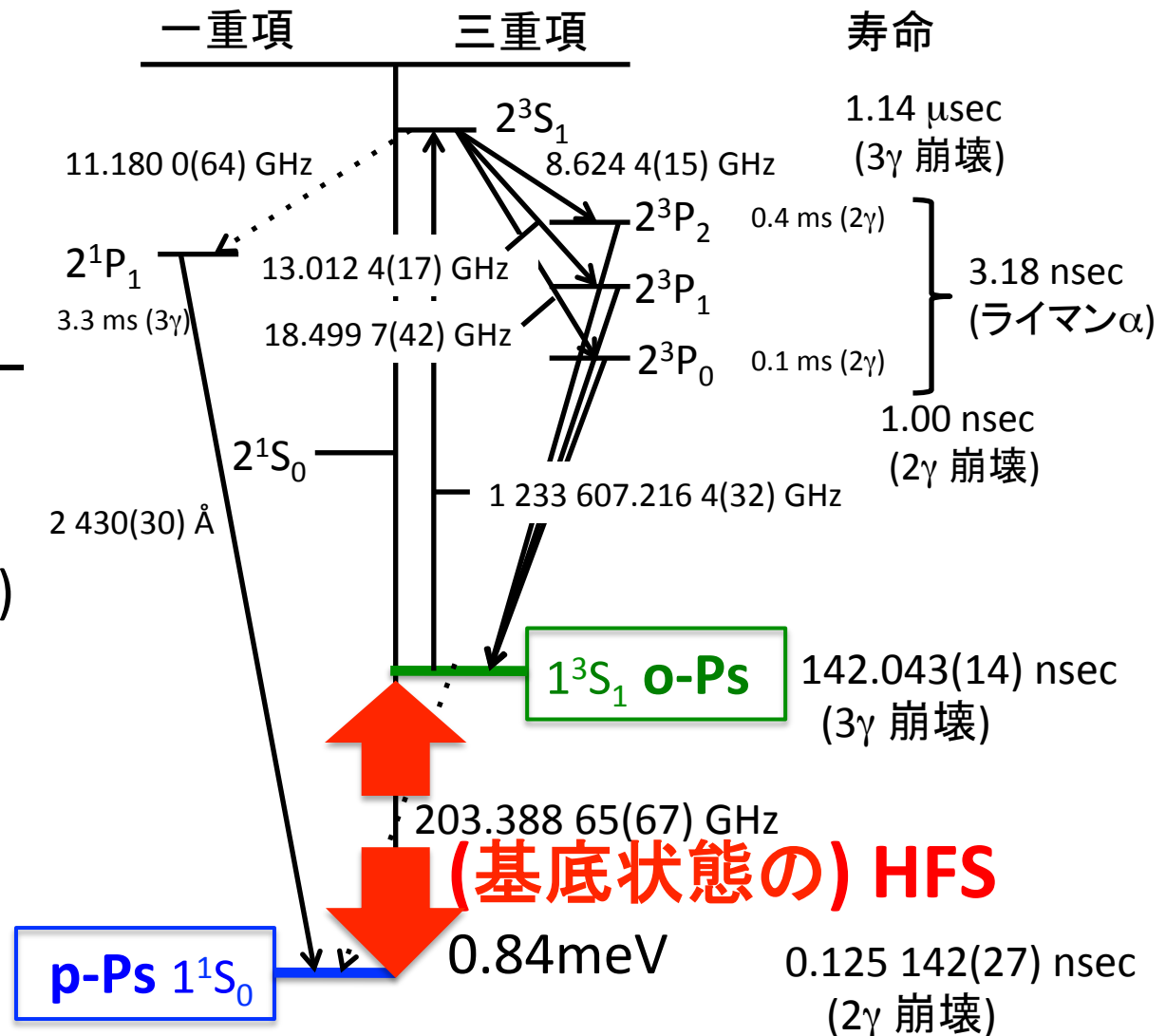
目次

- インTRODクシヨN
- 我々の新しい実験セツトアツプ
- 測定の途中結果
- 今後の展望

ポジトロニウム超微細構造 (Ps-HFS)

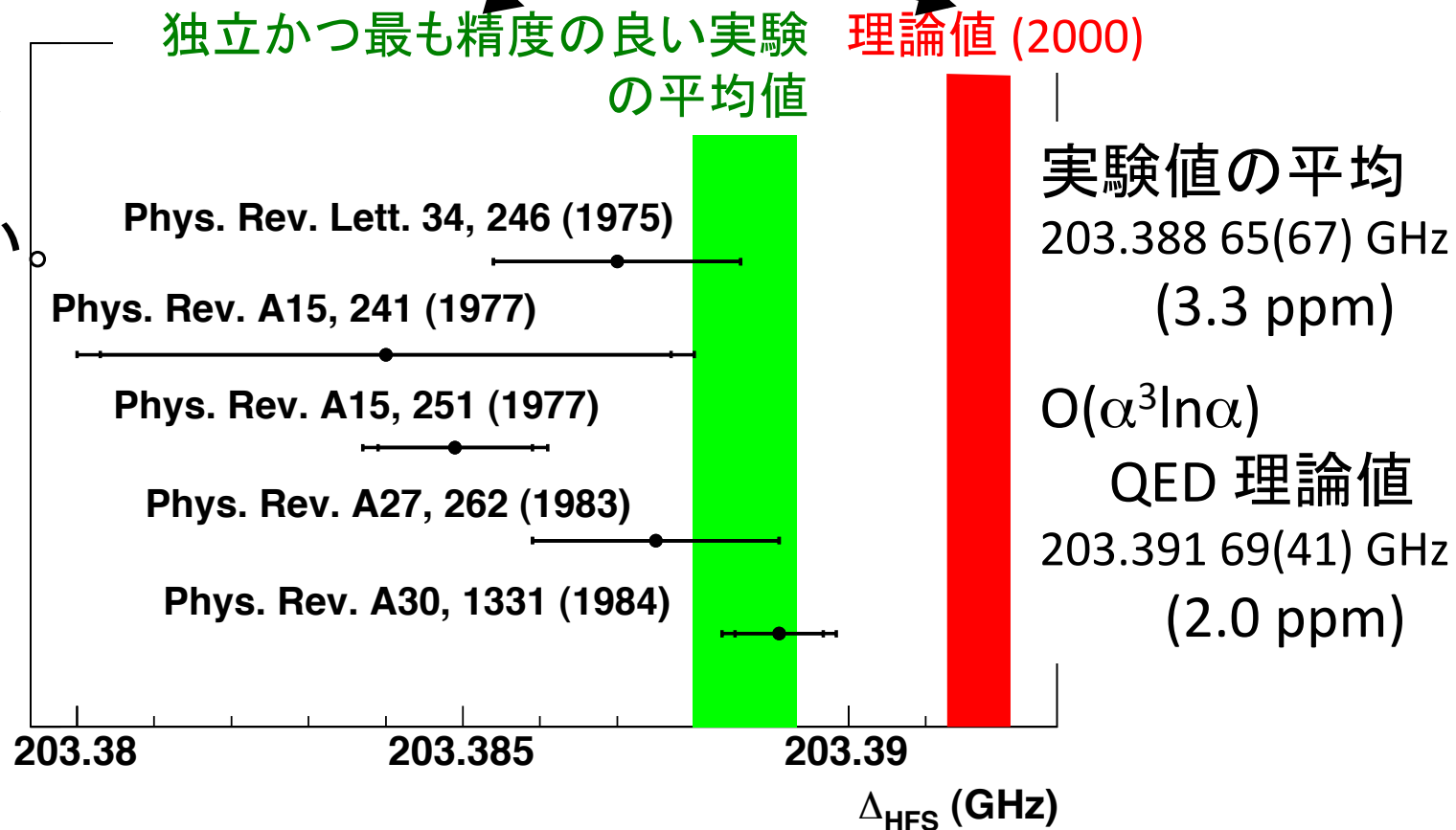
基底状態における
2つのスピン固有
状態間のエネルギー
準位差

→ Ps-HFS (203 GHz)



実験と、理論でずれている

実験結果は
一様に理論
値より小さい。



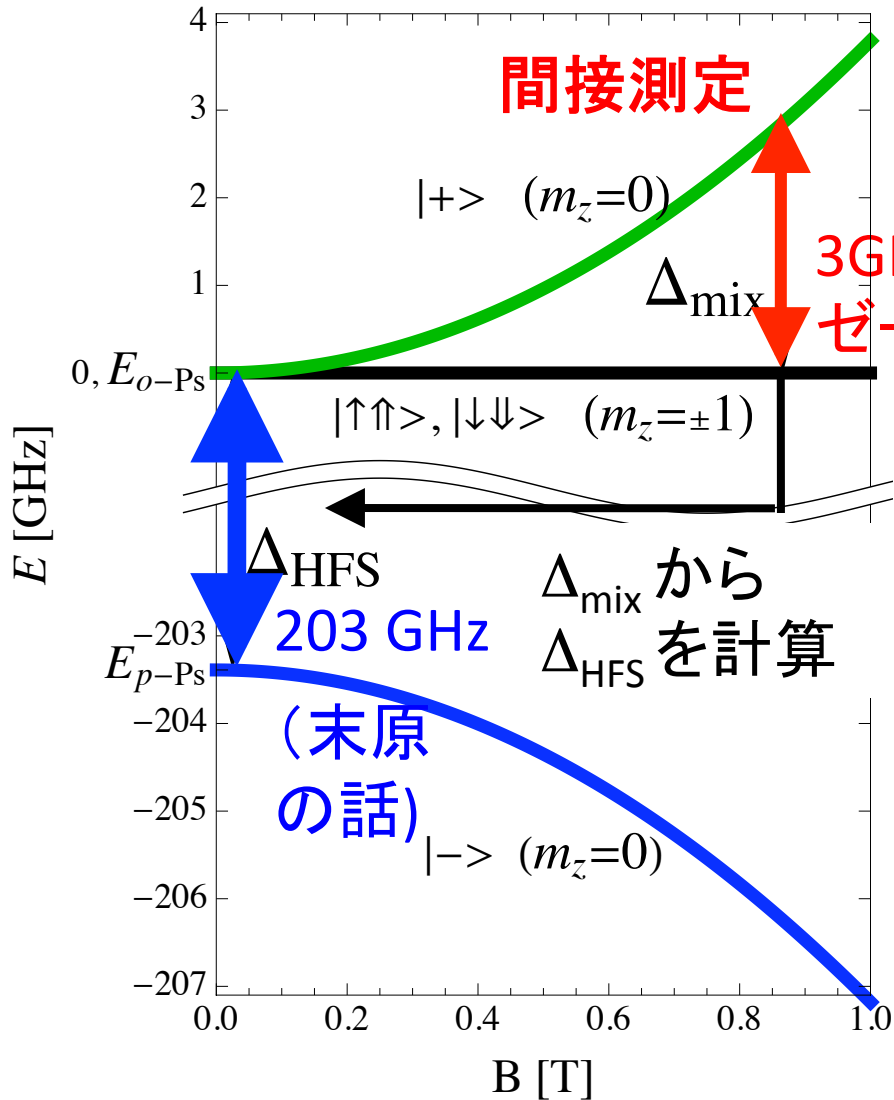
15 ppm (3.9 σ) の有意なずれ

考えられるずれの原因

- **過去の実験に共通した系統誤差**
 - 物質の効果の過小評価。熱化していない o- Ps は、特に低物質密度で大きな影響を及ぼす。 *cf.* オルソポジトロニウムの寿命問題 (1990年代)
 - 磁場の非一様性。大きな Ps 生成領域内で、ppmレベルの一樣磁場を供給するのは極めて困難。
- **束縛系QEDの計算に新しい発展が必要、素粒子標準模型を超えた新しい物理が存在**

我々は、上記の系統誤差を抑えた、新しい方法による精密測定を行い、ずれを検証する。

ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



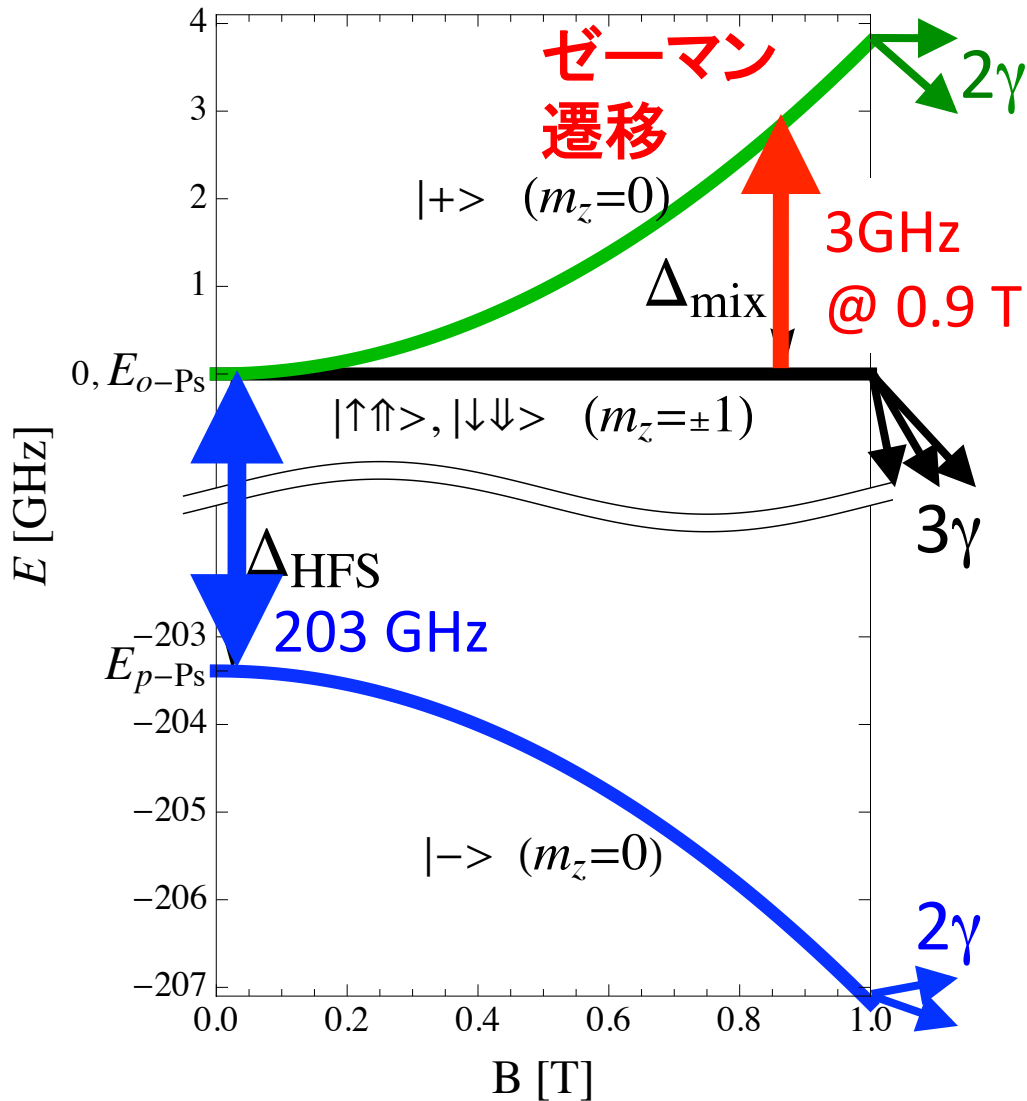
静磁場中では、**p-Ps** は
o-Ps の $m_z=0$ 成分と
 混合する。(2 γ 崩壊).

Δ_{mix} を精密に測定し、
 Δ_{HFS} を以下の式で求める。

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

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

ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



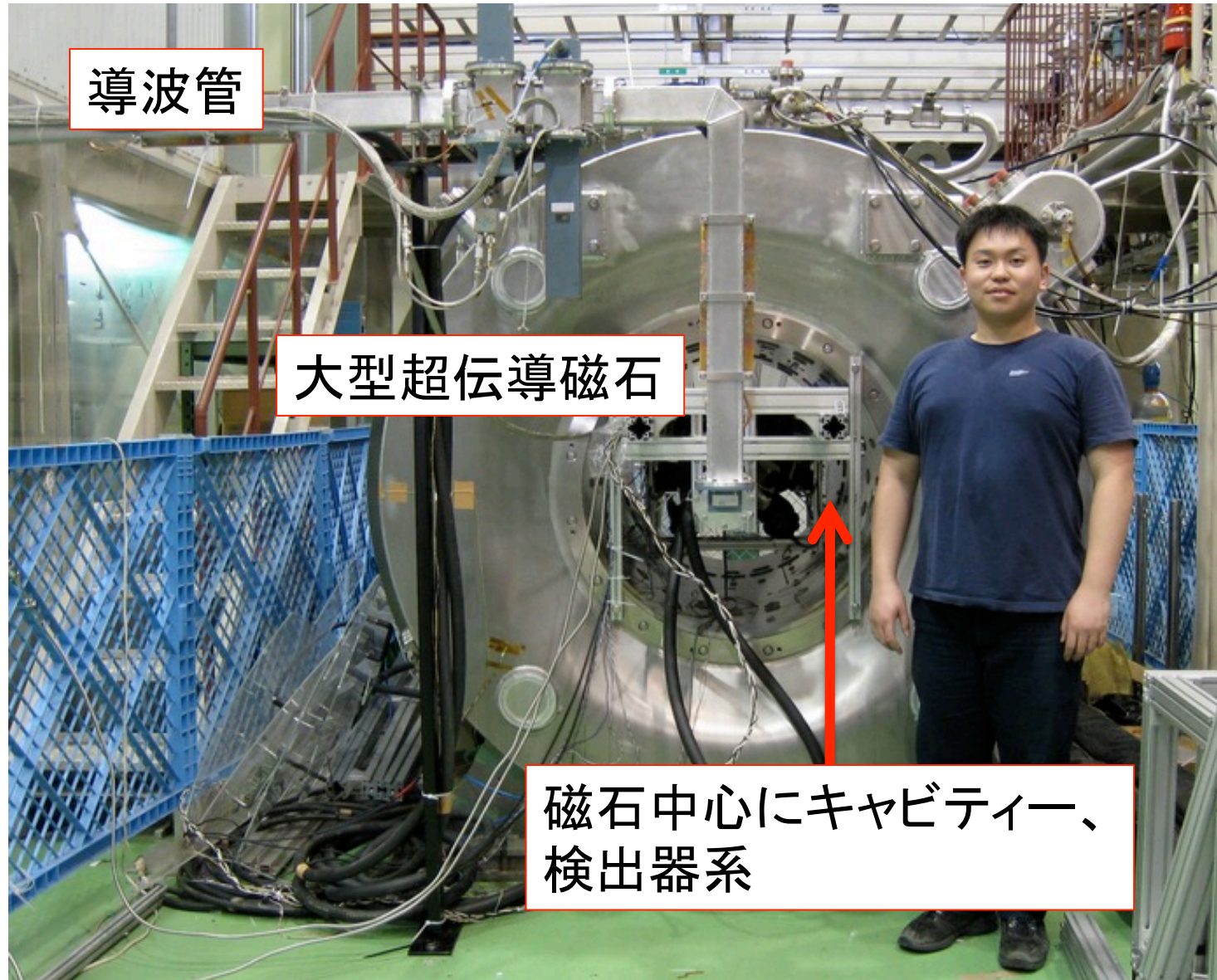
周波数が Δ_{mix} のマイクロ波を供給すると、 $o\text{-Ps}$ の $m_z=0$ と $m_z=\pm 1$ 成分の間で遷移が起こる。

→ 2γ 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。

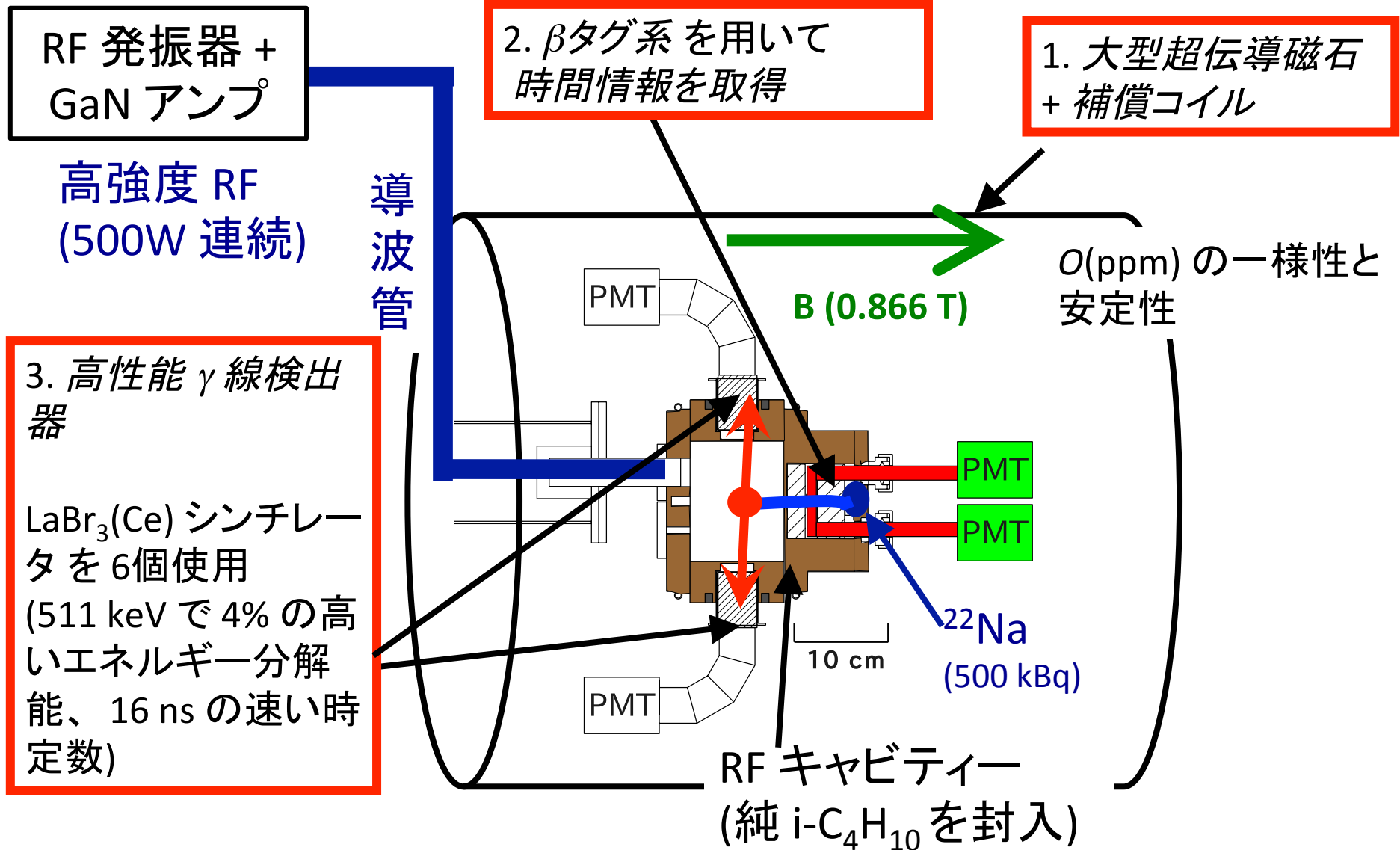
→ 過去の全ての実験と同じ方法

測定 @ KEK低温棟

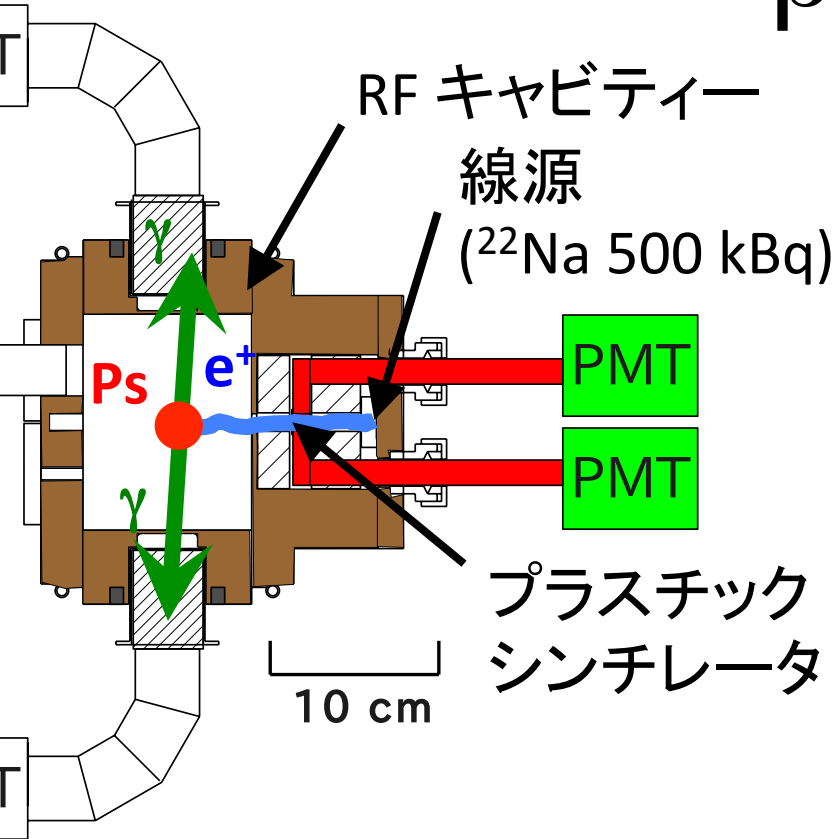
平成22年7月～平成23年3月11日



我々の新しい実験セットアップ



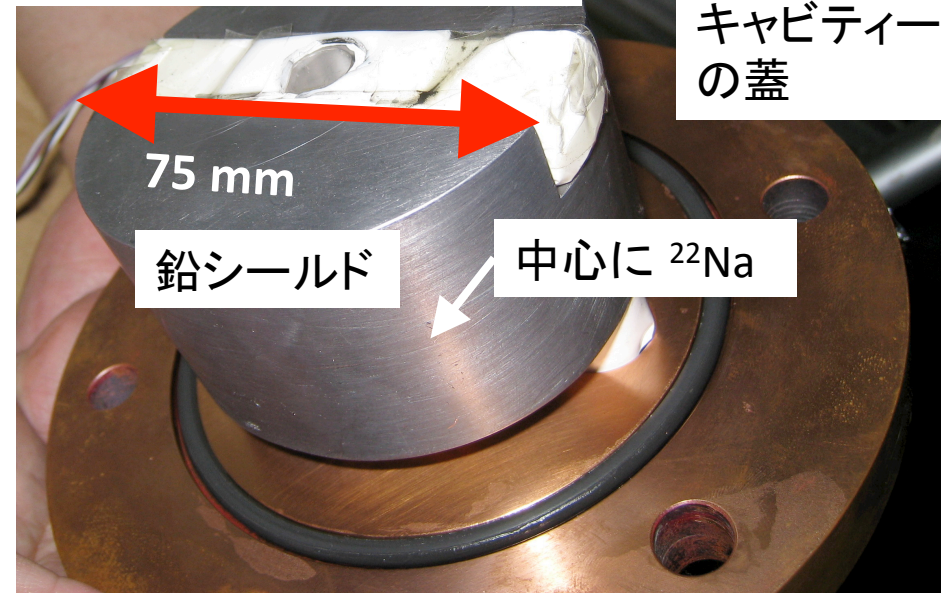
βタグ系



- 薄い (0.2 mm) プラスチックシンチレータを使って、 ^{22}Na から出てくる e^+ をタグ

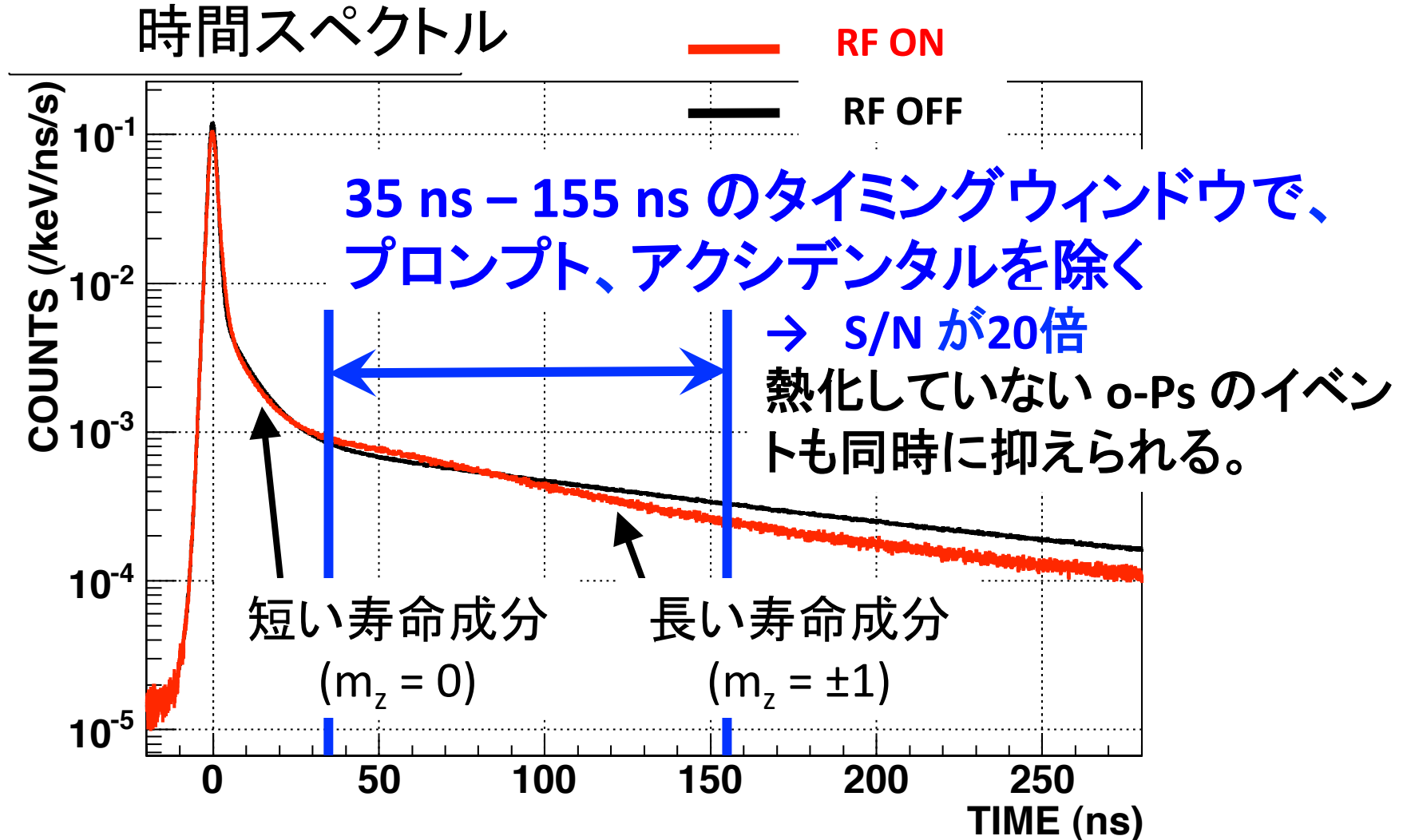
→ $t=0$

15 mm x 15 mm x 0.2 mm
プラスチックシンチレータ



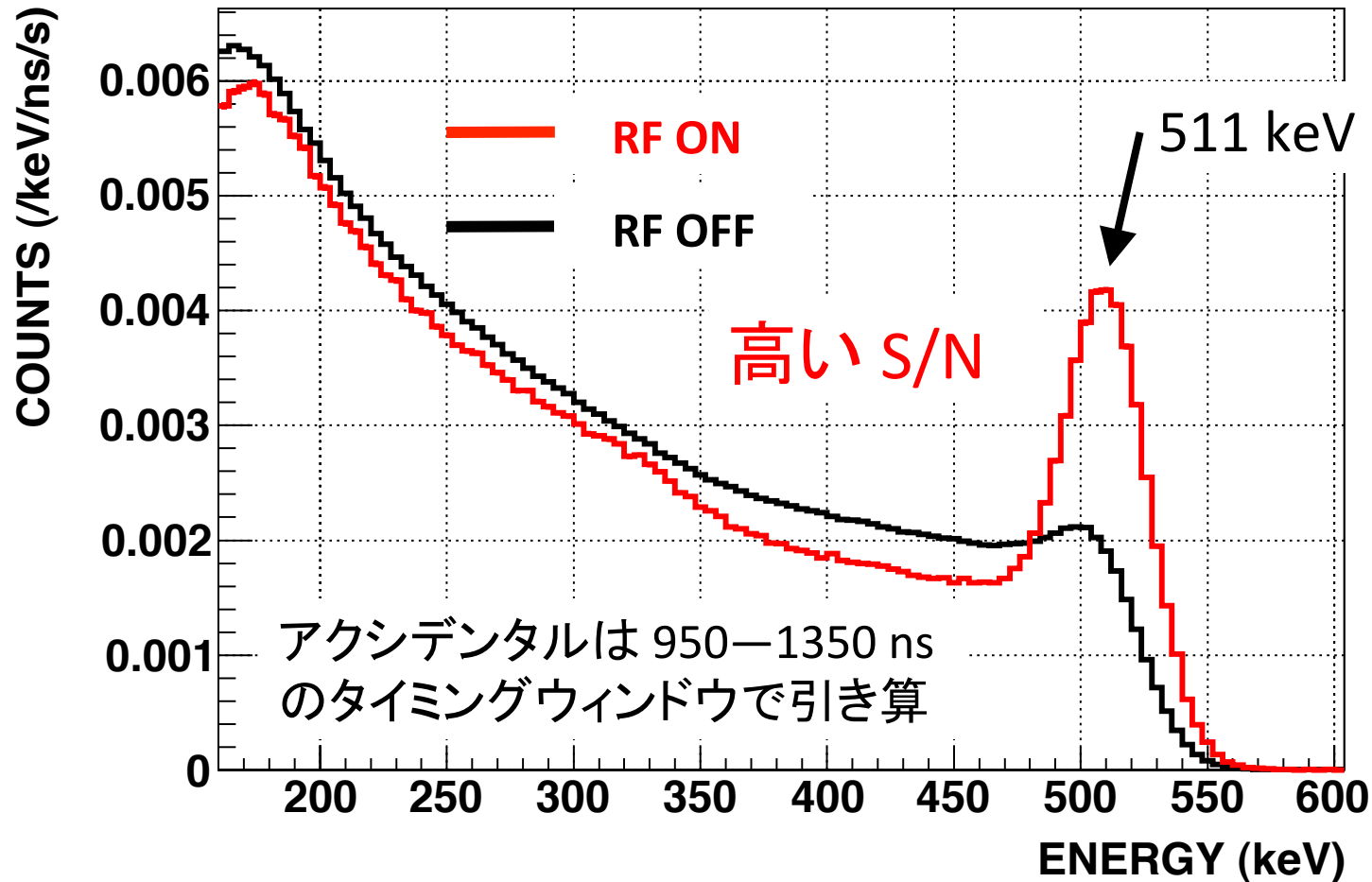
- DAQ のトリガーは、 e^+ タグと γ 線検出のコインシデンスでかける。
- 2つの信号の時間差が、各イベントにおける Ps の寿命。

解析 (時間スペクトル)



ゼーマン遷移によって、Ps崩壊確率が大きくなった。

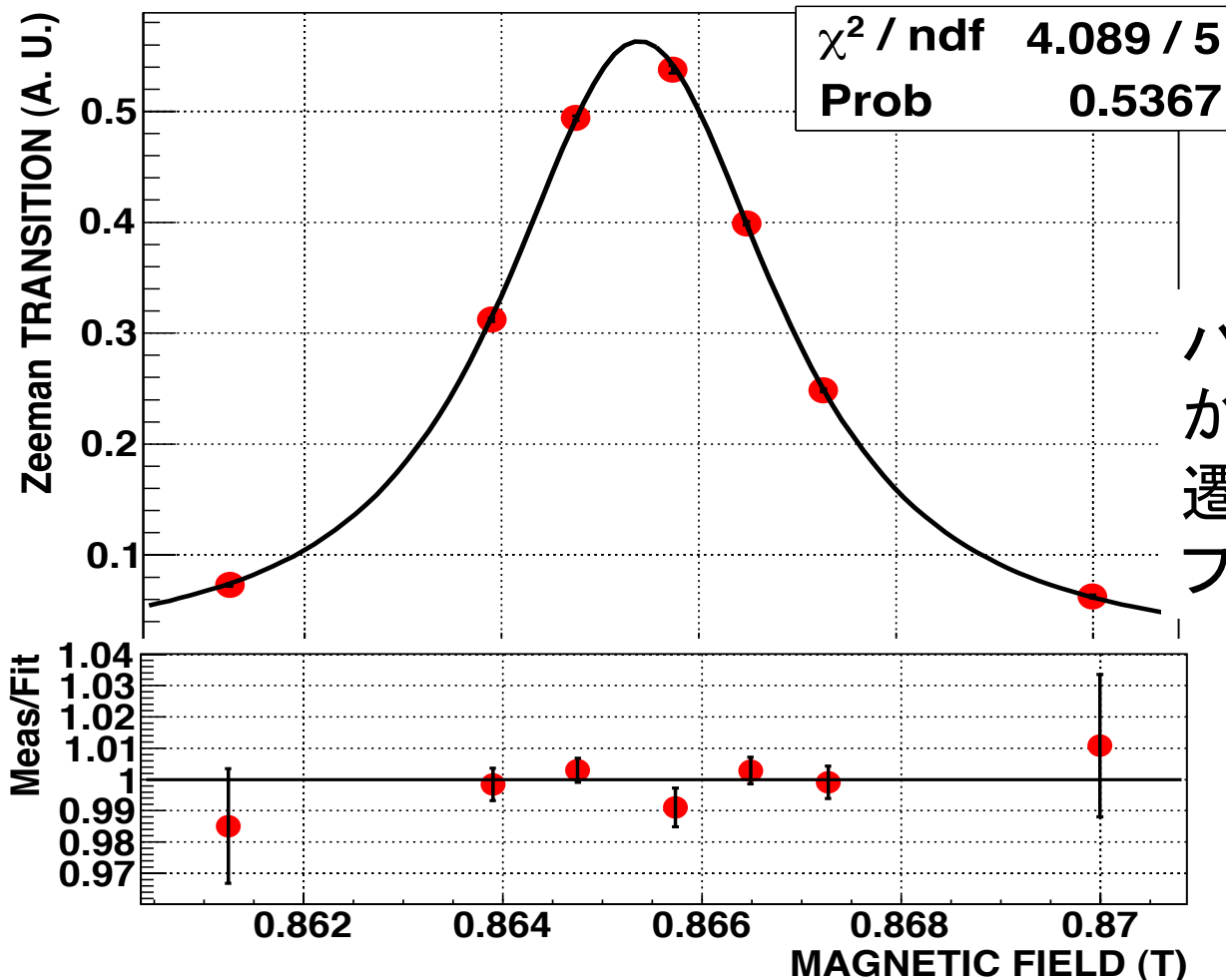
解析 (エネルギースペクトル)



ゼーマン遷移によって、 2γ 崩壊確率が大きくなった。
ゼーマン遷移確率を、RF-ON と RF-OFF の差から計算。

共鳴曲線 (0.895 amagat)

RF の周波数、パワーを固定して、**磁場でスキャン**。

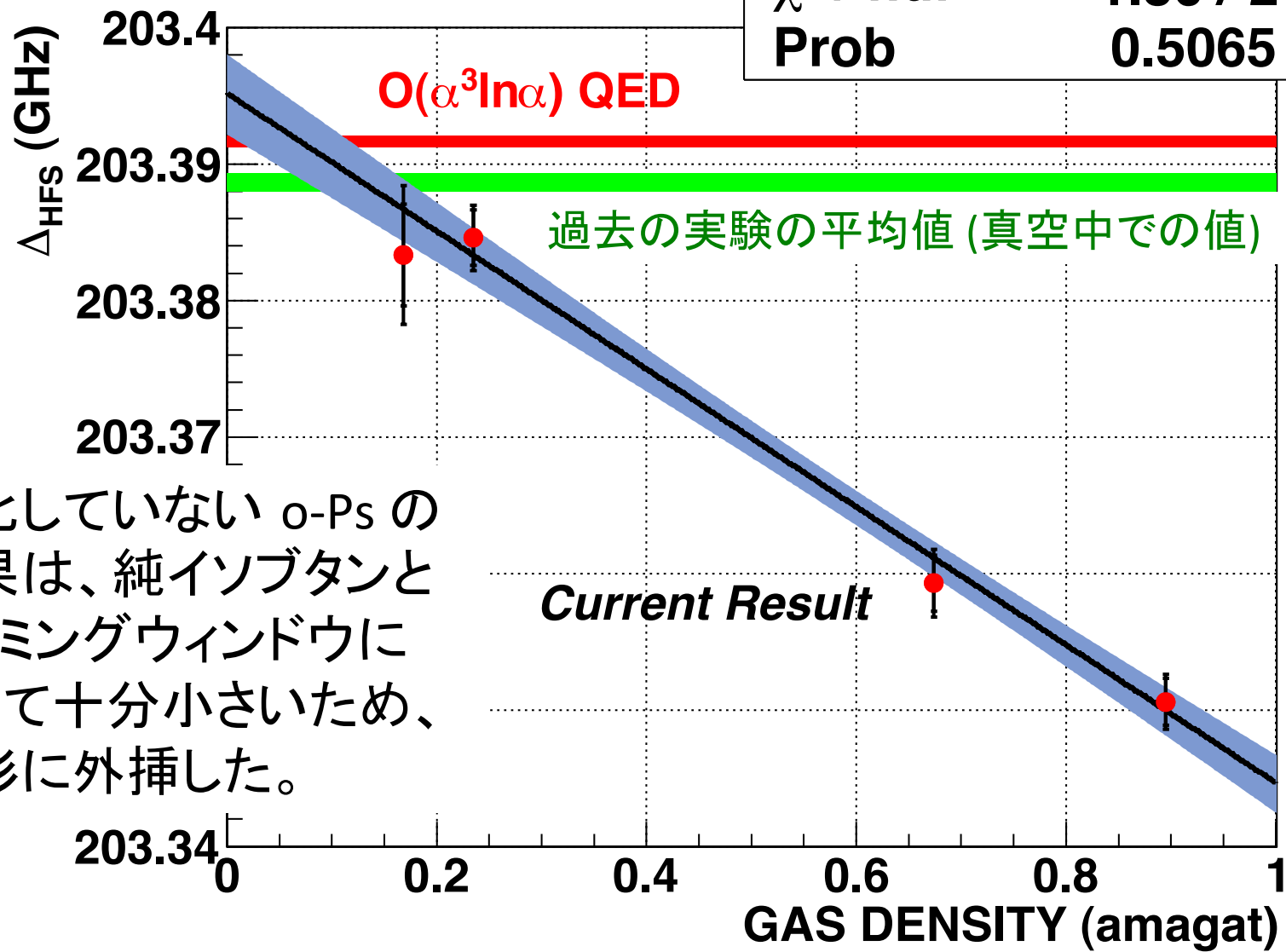


ハミルトニアン
から求めた
遷移曲線で
フィット

$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3506(20) \text{ GHz (9.8 ppm)}$ (MC統計, P, Qのエラー含む)
→ 密度依存性の補正をして、真空での値を求める。

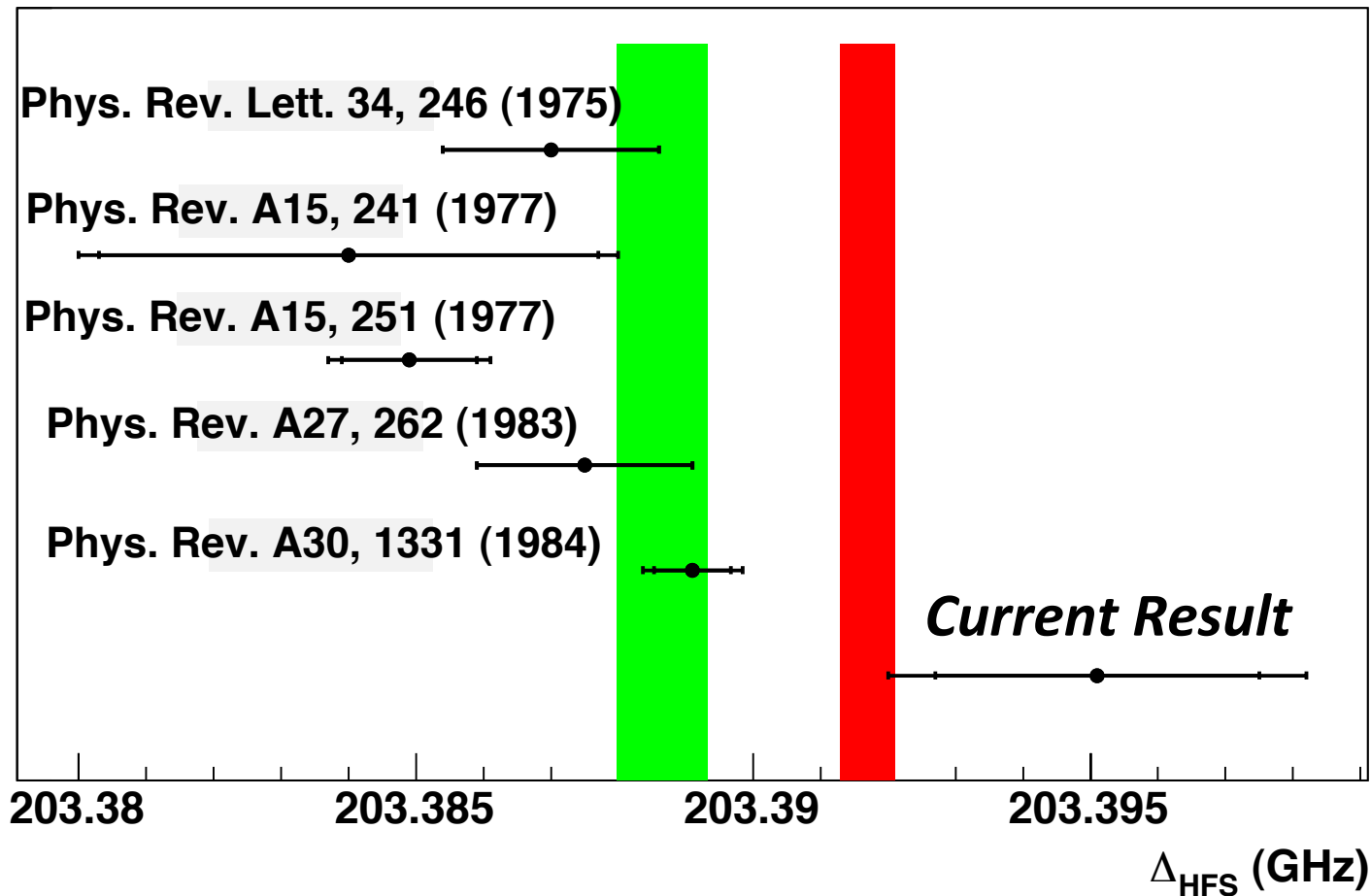
圧力 (密度) 依存性

χ^2 / ndf	1.36 / 2
Prob	0.5065



熱化していない o-Ps の効果は、純イソブタンとタイミングウィンドウによって十分小さいため、線形に外挿した。

本測定 of 途中結果



本測定で得られた、超微細構造の途中結果

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3951 \pm 0.0024 \text{ (stat., 12ppm)} \\ \pm 0.0019 \text{ (sys., 9.5 ppm) GHz}$$

系統誤差 (暫定)

系統誤差の要因		大きさ (ppm)
磁場	非一様性	1.8
	補正と再現性	1.0
	NMR測定値	1.0
検出効率	MCを用いた評価	7.0
物質の効果	ポジトロニウムの熱化	3.0
RF	RF パワー	2.9
	RF キャビティの Q_L 値	4.3
	RF周波数	1.0
Quadrature sum		9.5

今後の展望

- 物質の効果：現状、HFSがガス圧に線形に依存すると仮定して、真空での値を求めている。熱化していない P_s の影響が大きいと、線形ではなくなる。過去の P_s 熱化測定 (Skalsey et al.) の値を用いると、イソブタン中での熱化による線形からのずれは、3 ppm 以下と見積もられる。現在、異なる手法によってポジトロニウムの熱化関数を精密に測定中。
- RF：温度管理して0(ppm)を達成。
- 検出効率：現状、モンテカルロ・シミュレーションを用いて評価。実データを基にした評価にし、0(ppm) を達成していく。
→ ポジトロニウム生成位置の分布など (これから)
- 統計誤差：今のところ 12 ppm

今後1年程度で、
0(ppm) の精度を達成する。

まとめ

本測定 of 途中結果

$$\text{HFS} = 203.3951 \pm 0.0024 \text{ (stat., 12 ppm)} \\ \pm 0.0019 \text{ (sys., 9.5 ppm)}$$

- 我々の新しい精密測定は、過去の実験において考えられる共通の系統誤差 (磁場の非一様性・ P_s の熱化による効果) を小さくする。
- O(ppm) の結果が1年程度で得られる見込み。これによって HFS のずれの検証を行う。