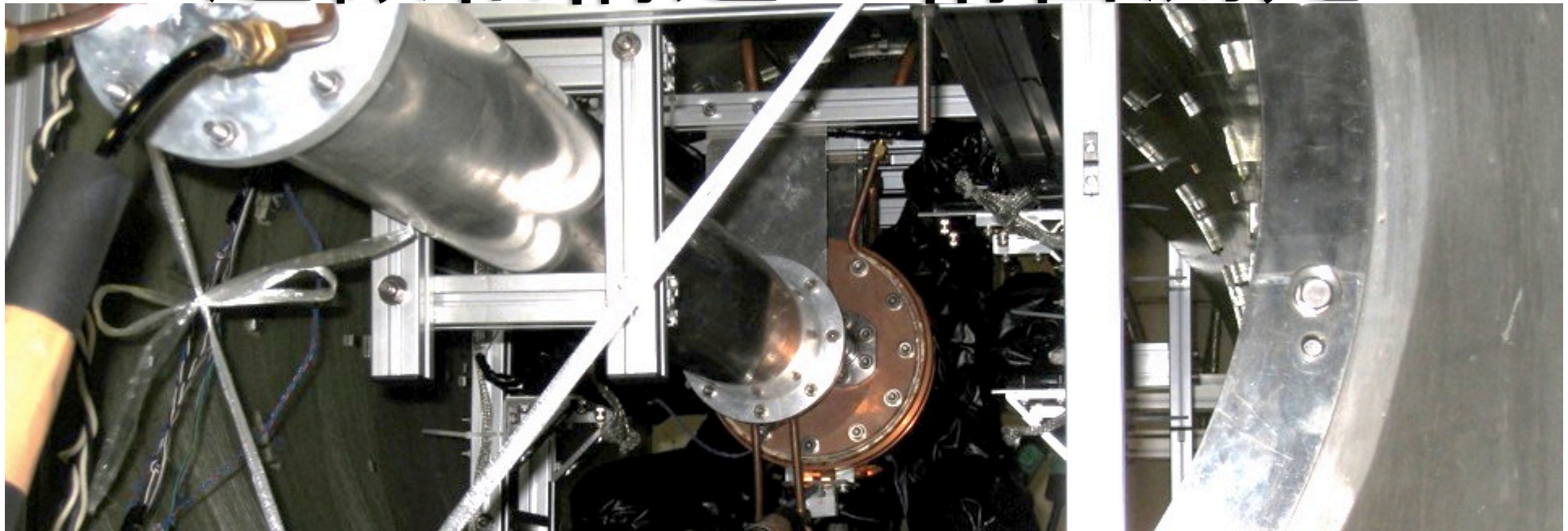


ポジトロニウム 超微細構造の精密測定



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, 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24年7月10日 第49回アイソトープ・放射線研究発表会 於東京大学弥生講堂

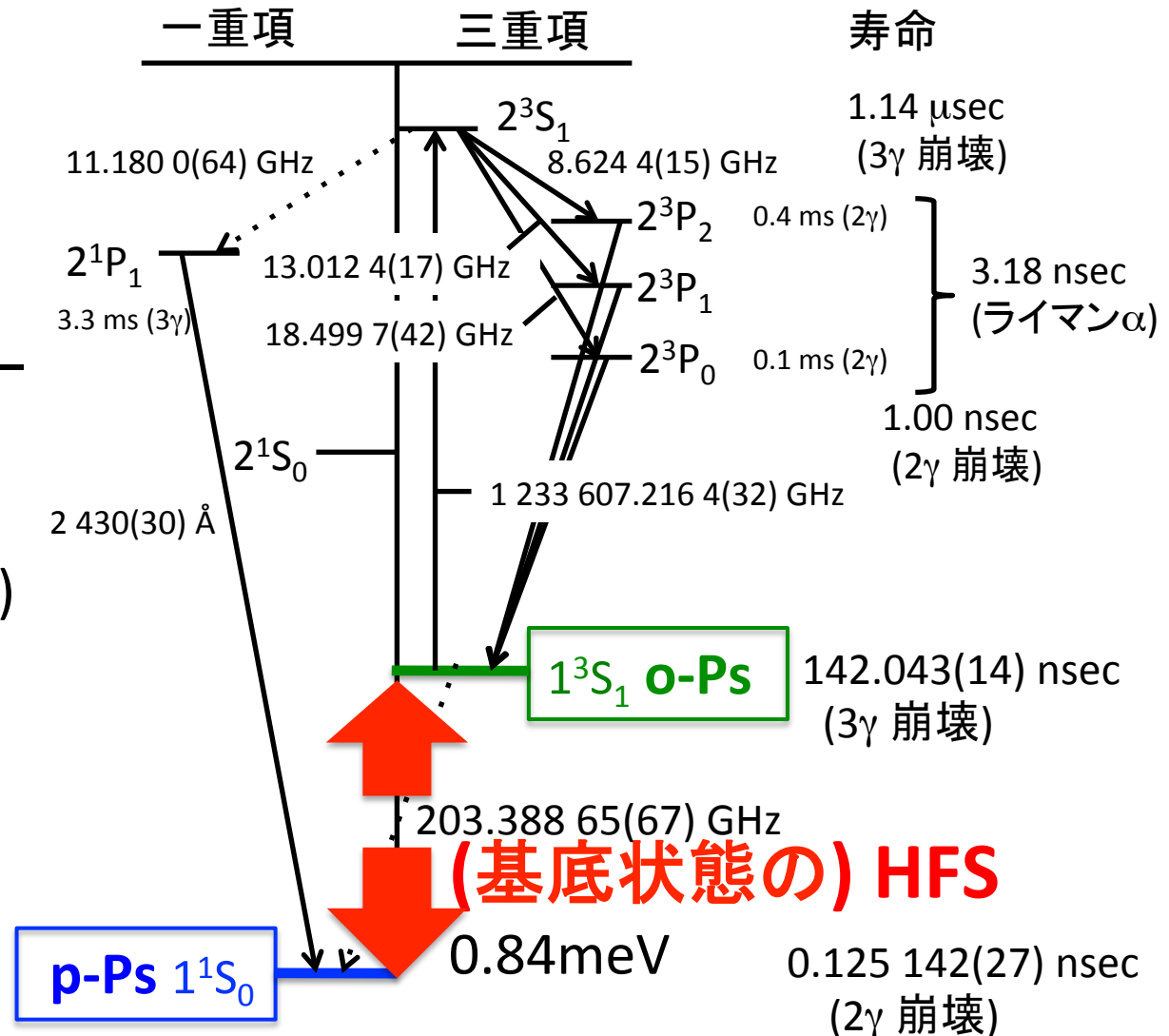
目次

- イン트로ダクション
- 我々の新しい実験セットアップ
- 測定の途中結果
- 今後の展望

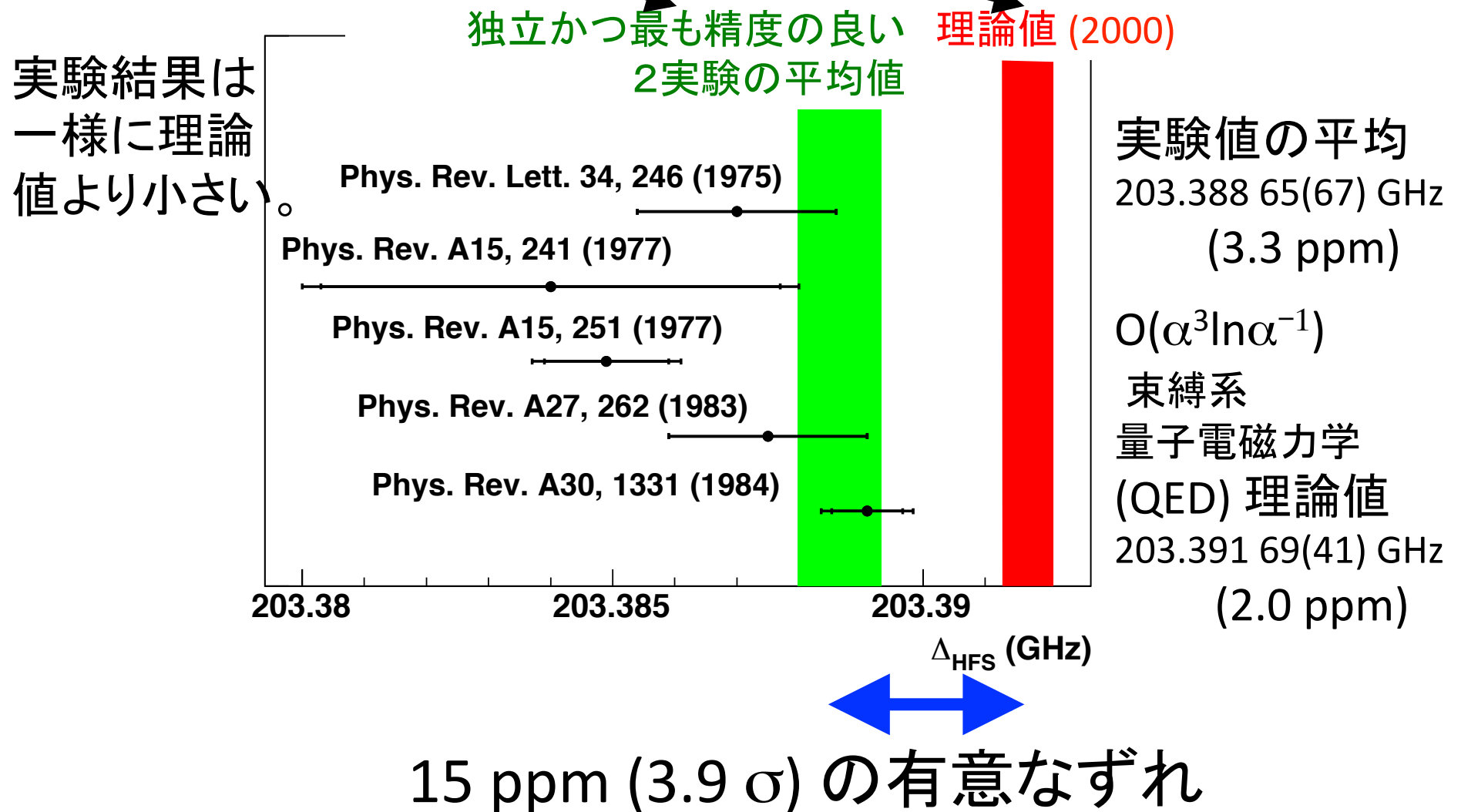
ポジトロニウム超微細構造 (Ps-HFS)

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



考えられるずれの原因

- 過去の実験に共通した系統誤差

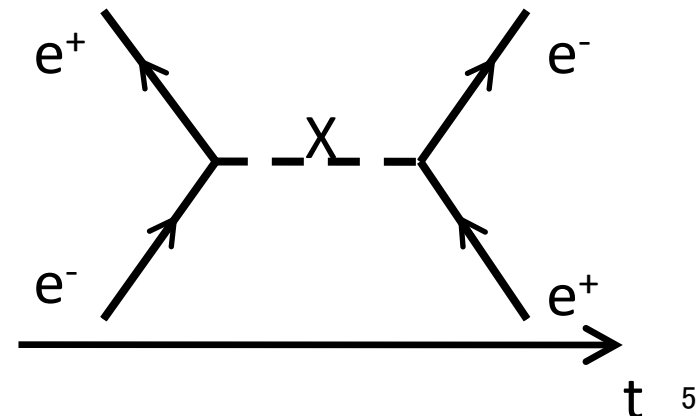
1. 磁場の非一様性。大きなPs生成領域内で、ppmレベルの一様磁場を供給するのは極めて困難。
2. 物質の効果の過小評価。熱化していない o-Ps は、特に低物質密度で大きな影響を及ぼす。

cf. オルソポジトロニウムの寿命問題 (1990年代)

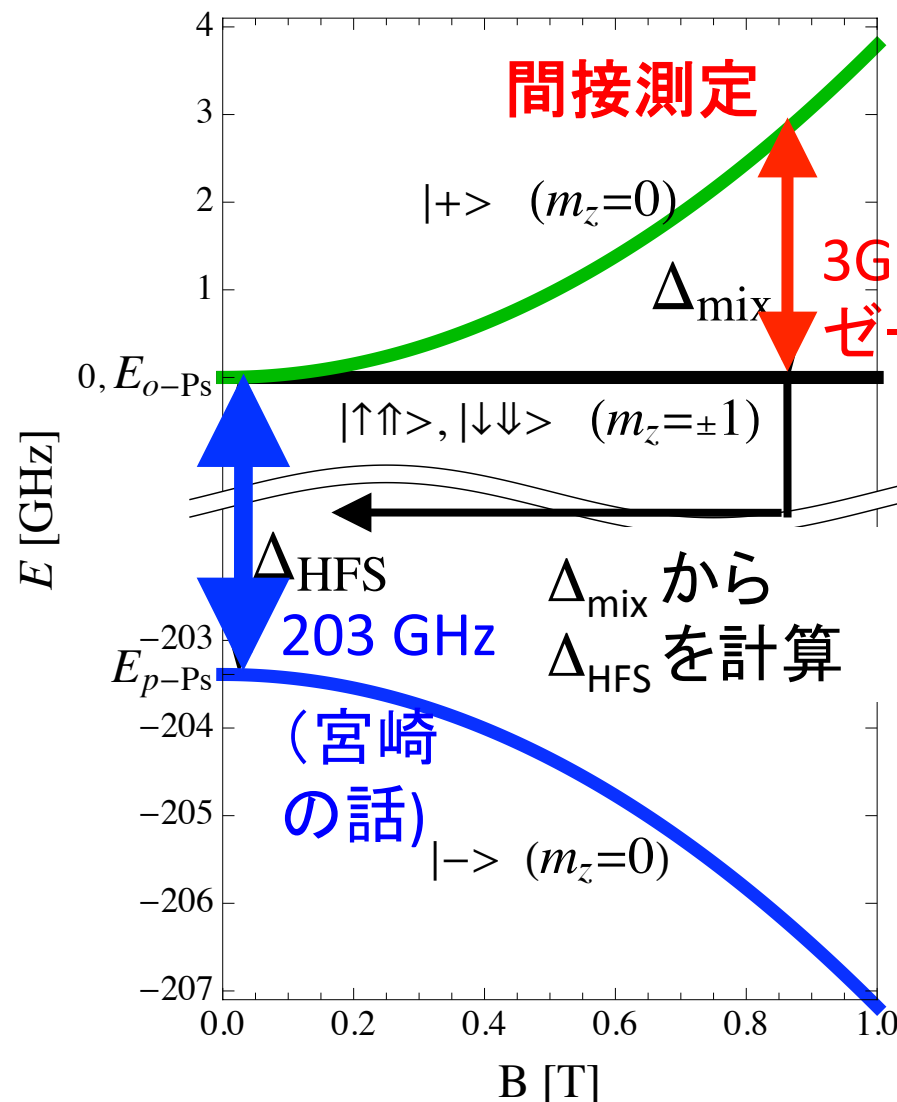
我々は、上記の系統誤差を抑えた、新しい方法による精密測定を行い、ずれを検証する。

- 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現象が存在

- 相互作用の弱い未知の粒子の介在
- 重い粒子には感度が低い、 μ のg-2と違い、s-channelの効果も見える。
(例 $O(\text{MeV})$, $\alpha \sim 10^{-8}$ の擬スカラー)
- o-Psは余剰次元にも感度



ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



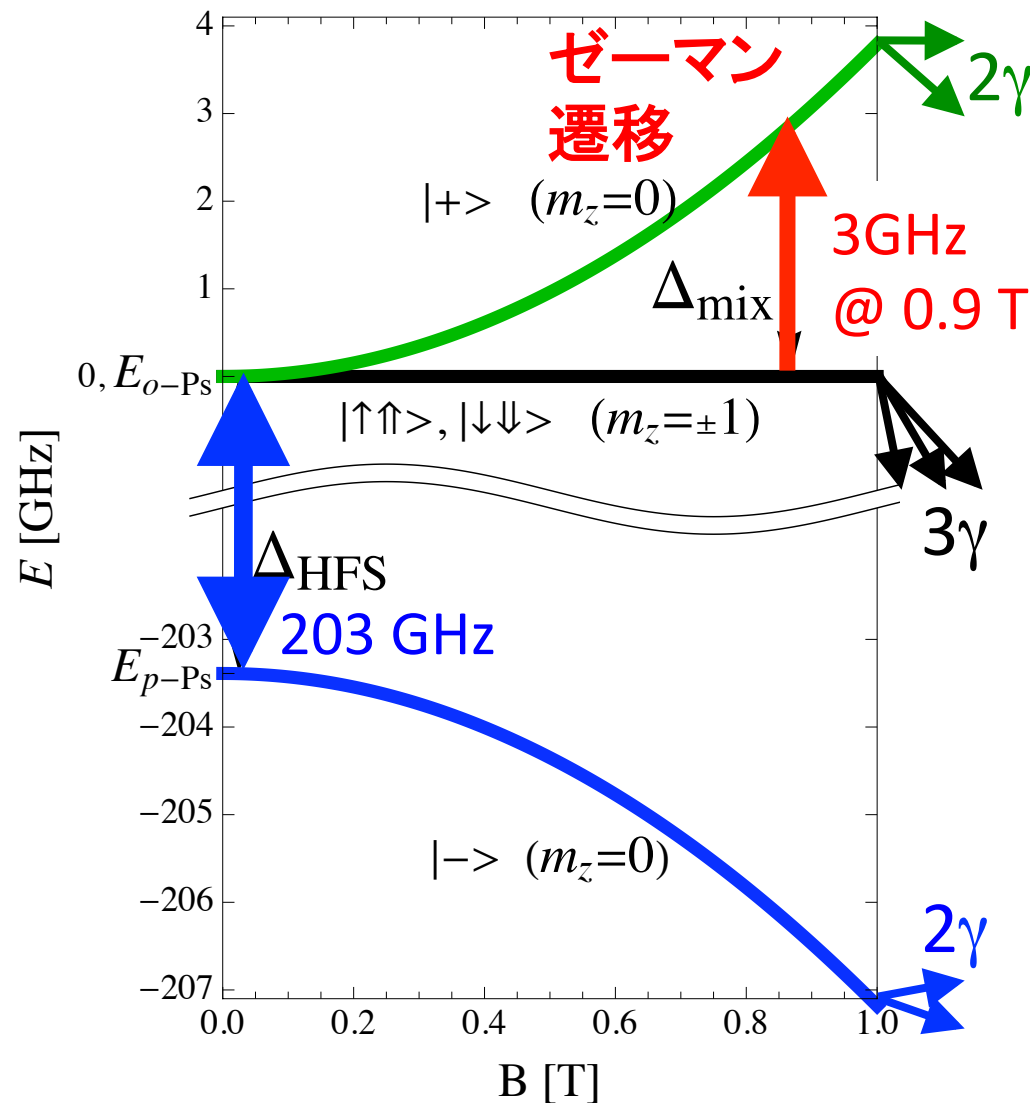
静磁場中では、**p-Ps** は **o-Ps** の $m_z=0$ 成分と混合する。(2 γ 崩壊).

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

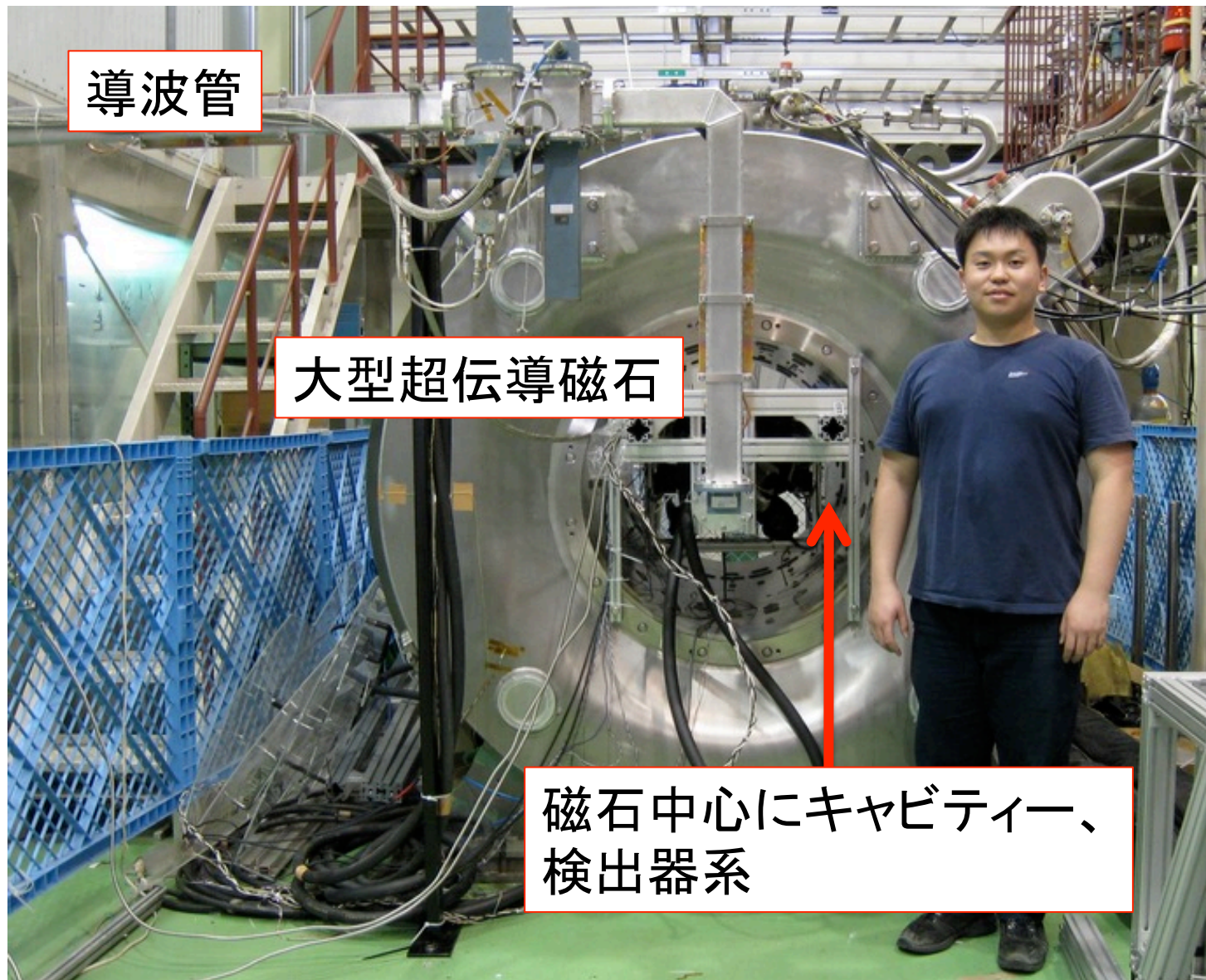


周波数が Δ_{mix} のマイクロ波を供給すると、o-Ps の $m_z=0$ と $m_z=\pm 1$ 成分の間で遷移が起こる。

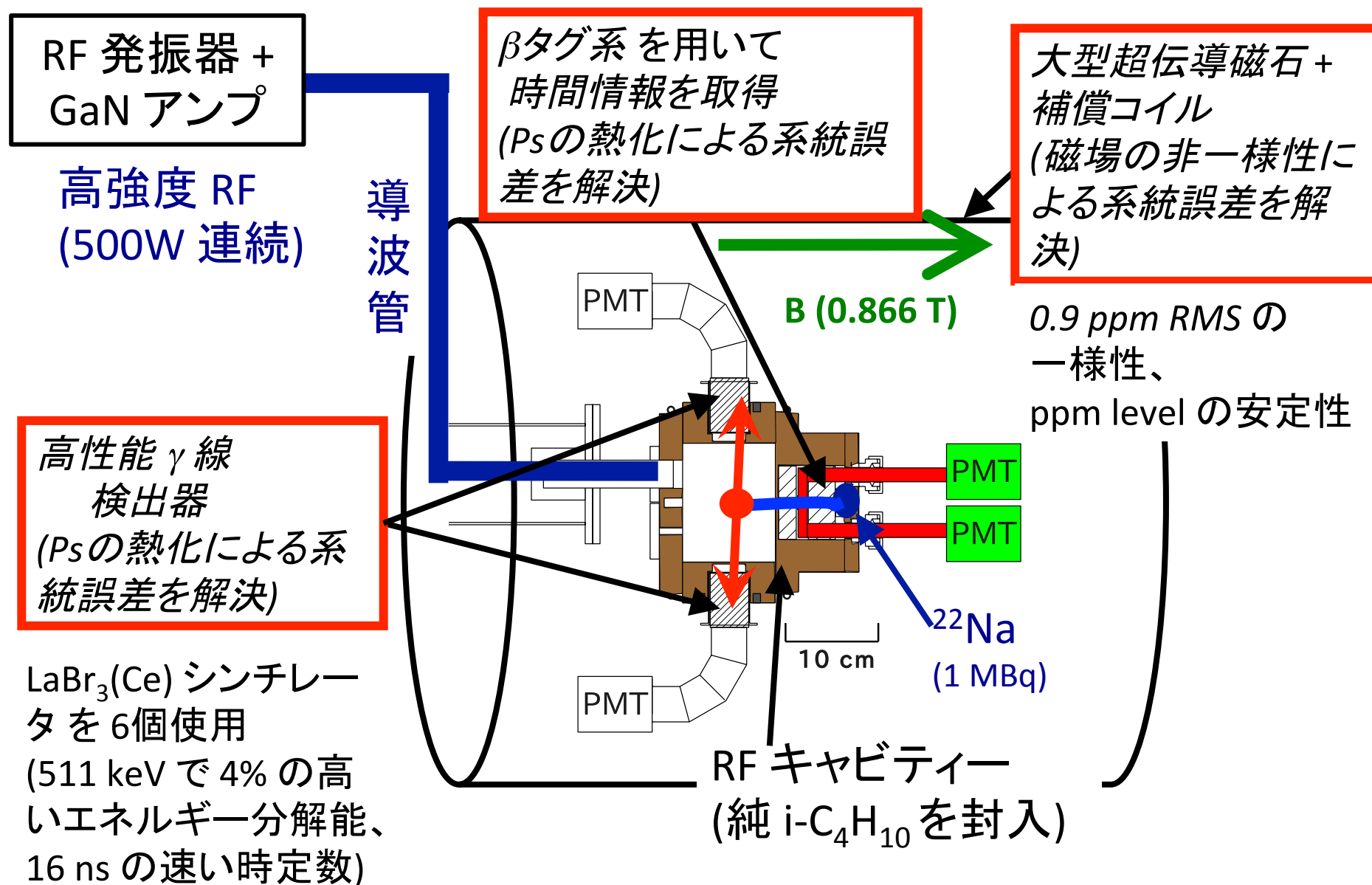
→ 2γ 崩壊(511 keV 単色) 率が大きくなる。
この崩壊率の変化が、実験のシグナルになる。

→ 過去の全ての実験と同じ方法

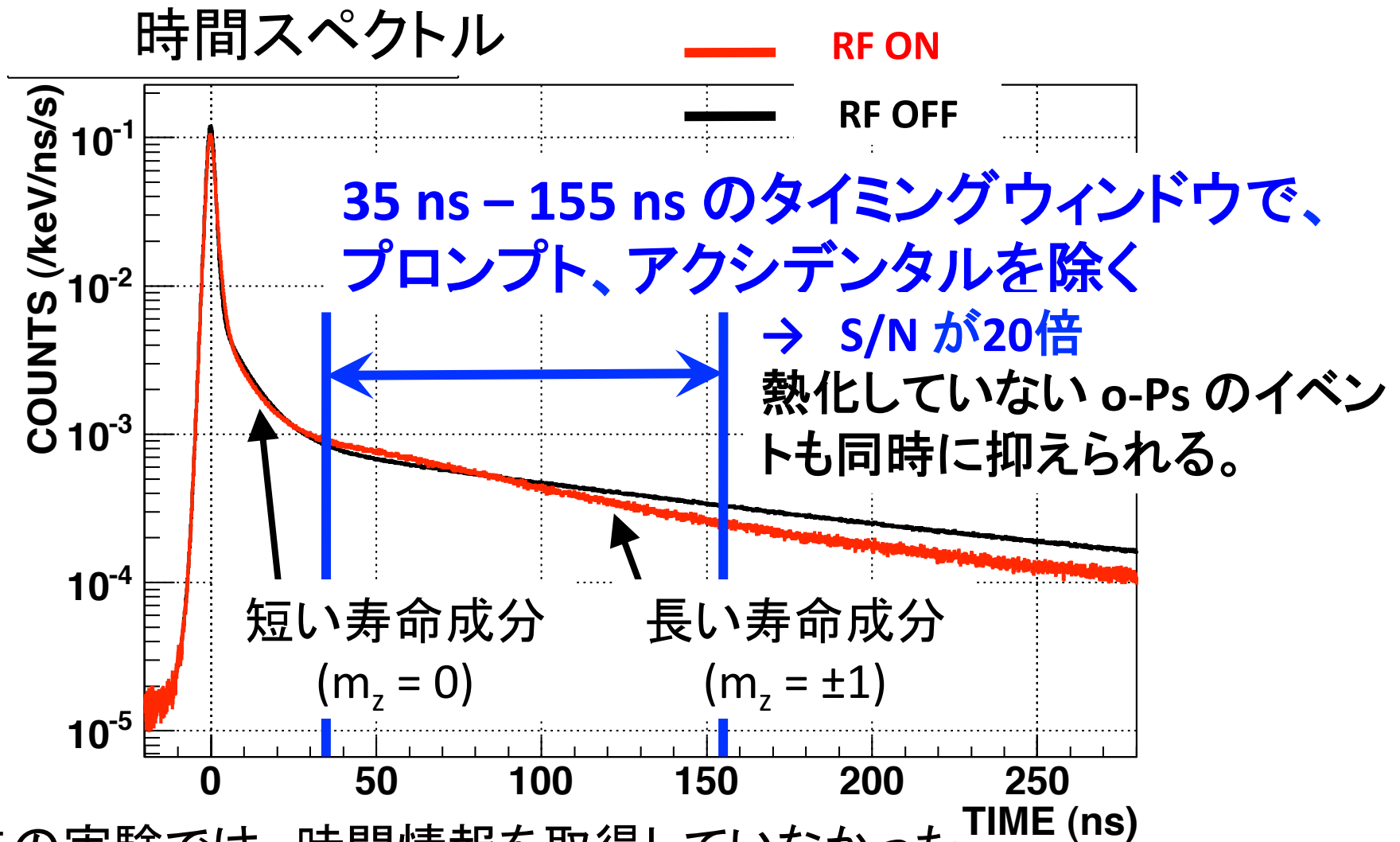
測定 @ KEK低温棟 平成22年7月～



我々の新しい実験セットアップ

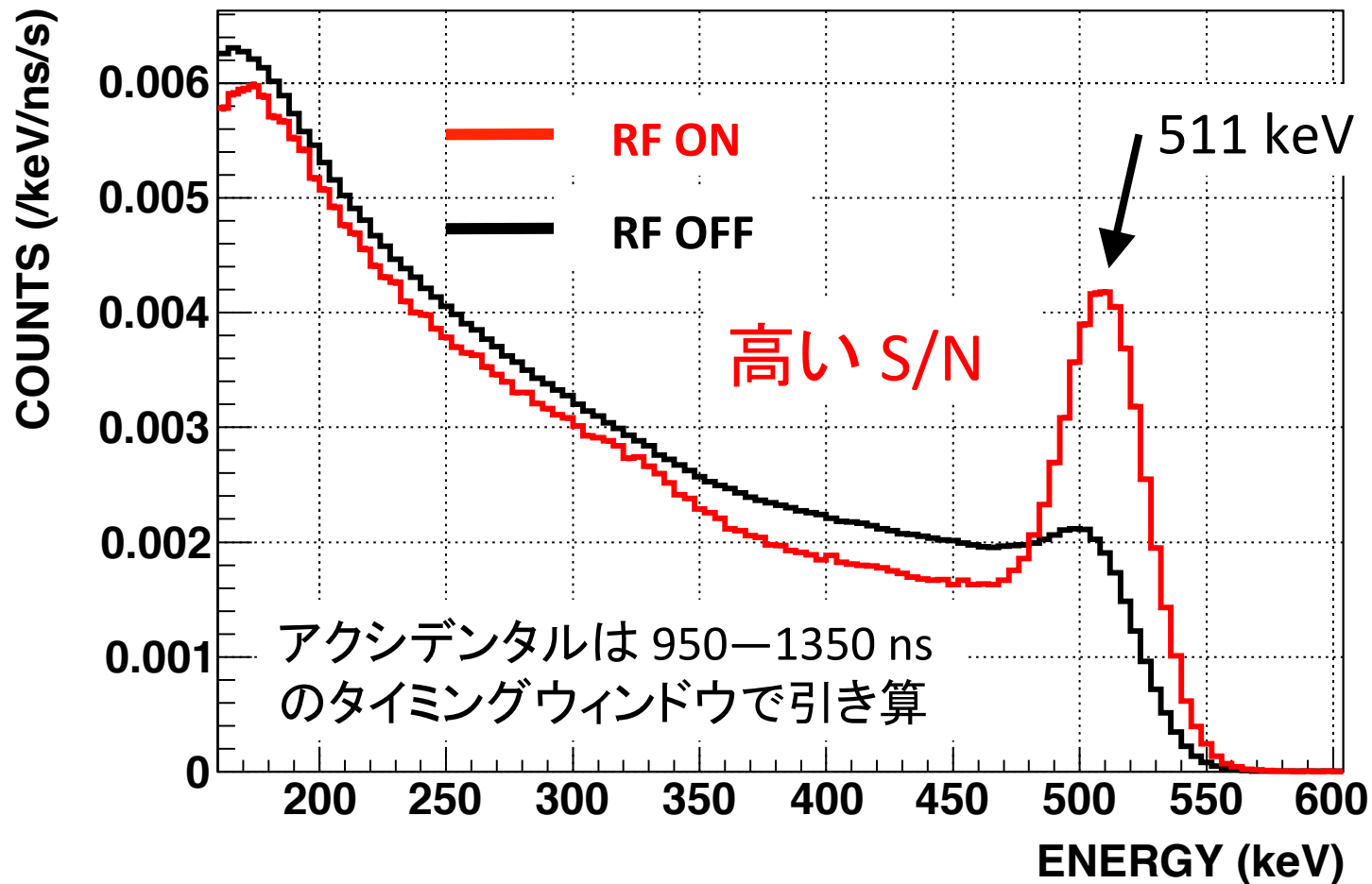


時間スペクトル



過去の実験では、時間情報を取得していなかった。
→バックグラウンドが多かった。早い時間のイベントも取っていたため、熱化していないPsの影響が大きかった。

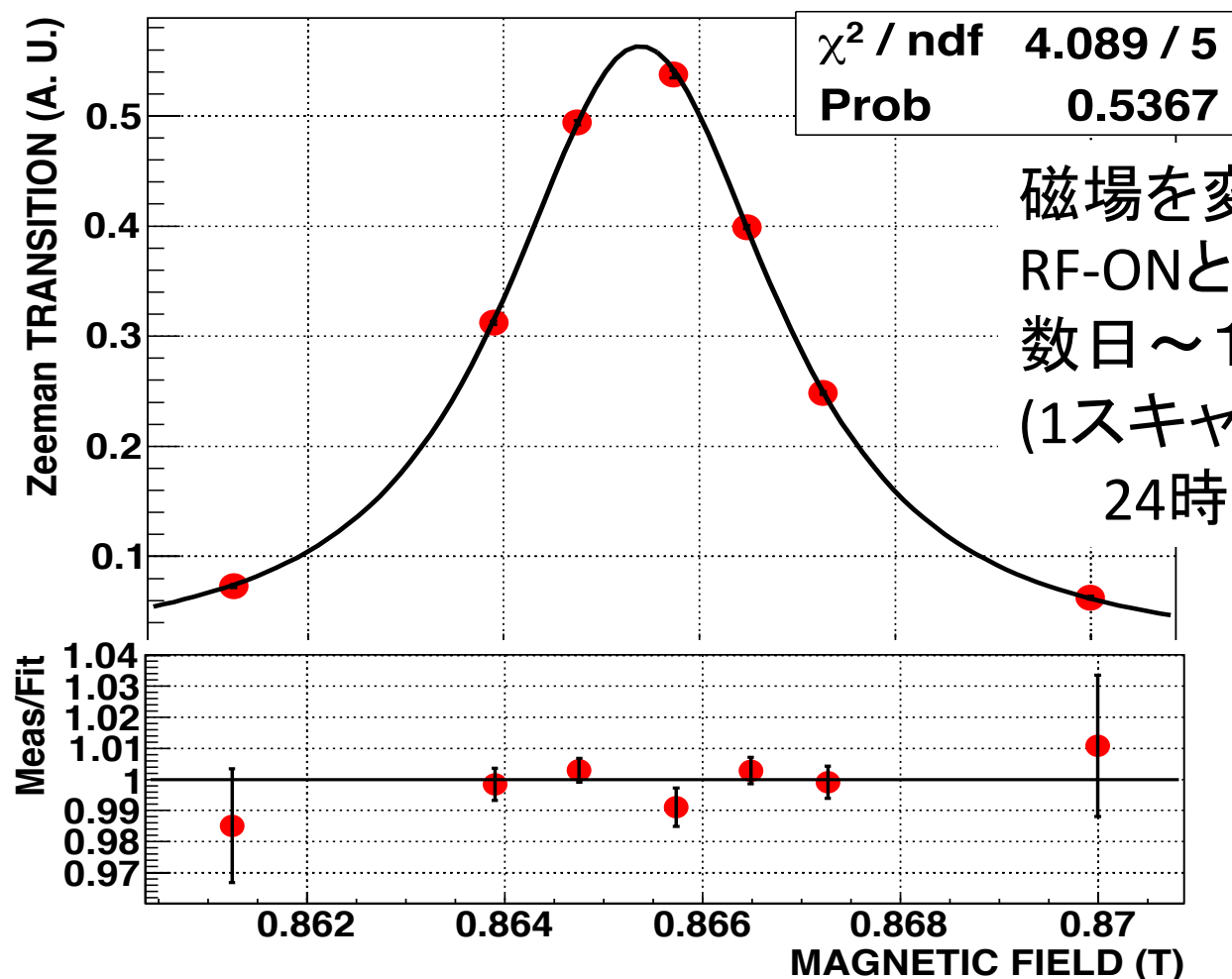
解析 (エネルギースペクトル)



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 (0.883 amagat)

RF の周波数、パワーを固定して、**磁場でスキャン**。



磁場を変えて、各点で
RF-ONとOFFを測定
数日～1週間/磁場点
(1スキャン 1～2ヶ月
24時間測定)

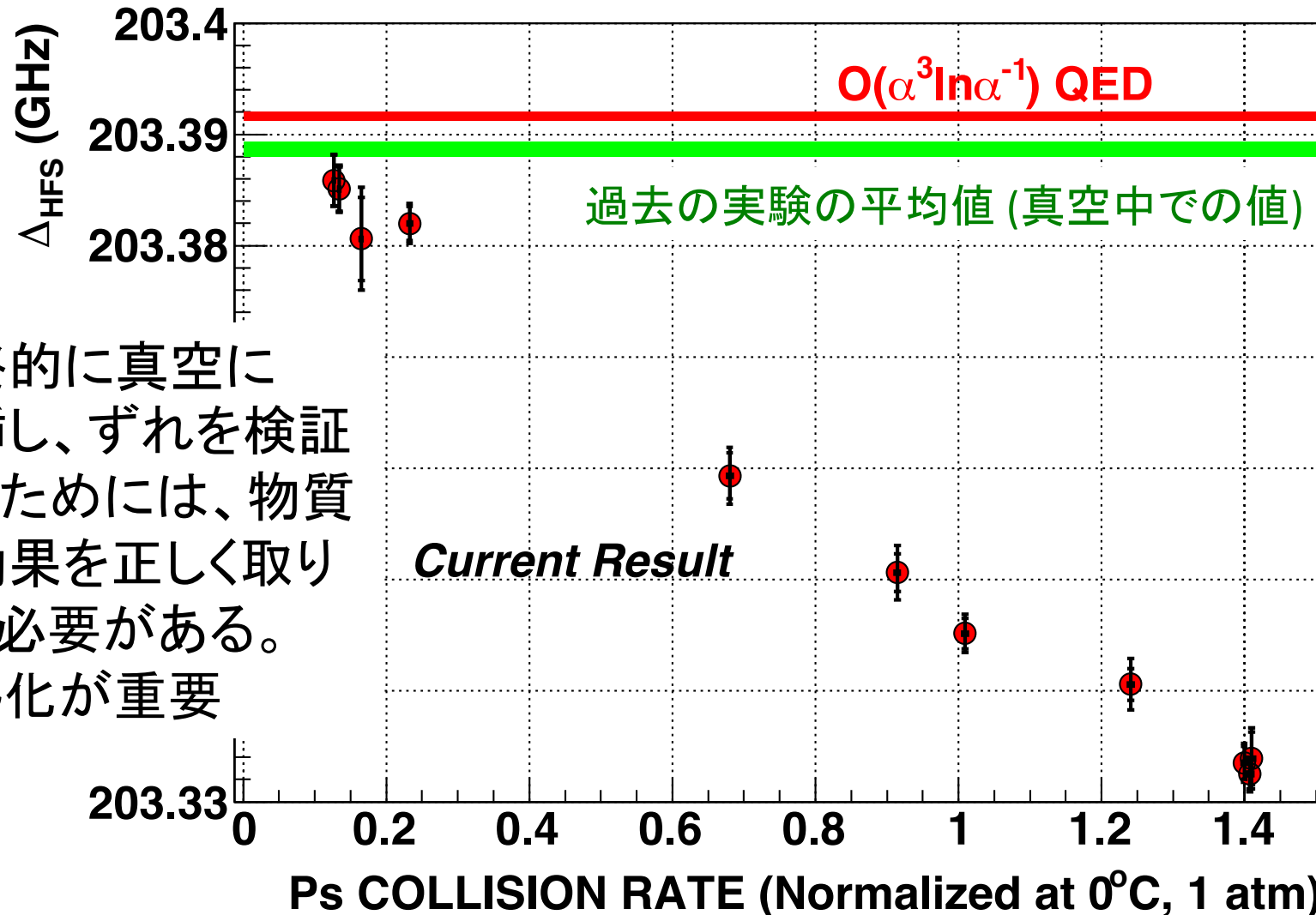
ハミルトニアン
から求めた
遷移曲線で
フィット

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3506(20) \text{ GHz (9.8 ppm)}$$

→ 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

物質の効果を評価するため、様々なガス圧で測定。
ガス圧を変えて、RF系を調整し、各ガス圧でスキャン(各ガス圧 1~2ヶ月)



最終的に真空中に
外挿し、ずれを検証
するためには、物質
の効果を正しく取り
扱う必要がある。
→熱化が重要

今後の展望

- 磁場 : 磁場マップを取り直し、磁場補正の不定性を減らす。
- 検出効率 : ポジトロニウム生成位置の分布を測定し、検出効率の評価を正しく行えるようにする。
- 物質の効果 : 物質の効果を正しく取り扱うには、 P_s の熱化を精密に測定することが重要。現在、熱化関数を精密測定している。最終的には、得られた関数で補正し、外挿する。
- RF : 温度管理を徹底し、安定性を向上する。
- 統計誤差 : 低ガス密度でデータを重点的にとり、統計誤差を効果的に小さくする。

今年度末までに、 **$O(\text{ppm})$** の精度を達成する。

まとめ

- ポジトロニウム超微細構造は、実験と理論の間に 3.9σ の有意なずれがあり、これを検証するため、新しい実験を行っている。
- 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。
- 物質の効果を正しく取り扱うため、 P_s 熱化関数の精密測定が極めて重要であり、現在独自に測定中。
- $O(\text{ppm})$ の結果が今年度中に得られる見込み。これによって HFS のずれの検証を行う。