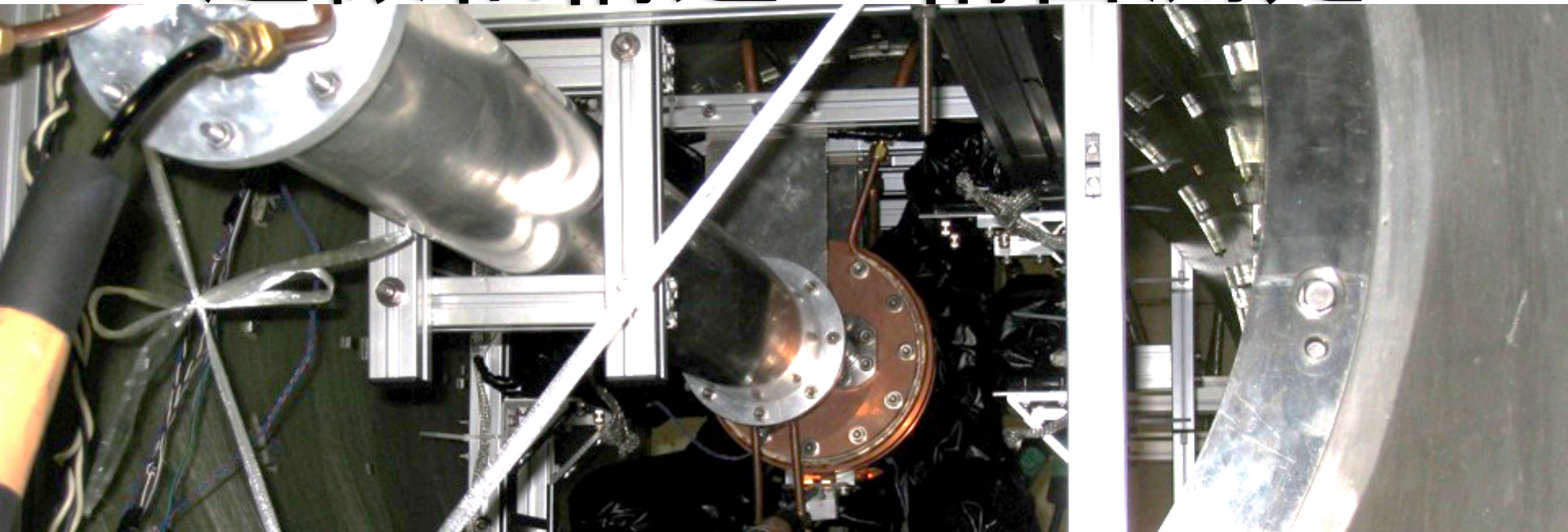


# ポジトロニウム 超微細構造の精密測定



東大・院理, 東大・素粒子センター<sup>A</sup>, 東大・院総合文化<sup>B</sup>, 高工研<sup>C</sup>

石田明, 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>

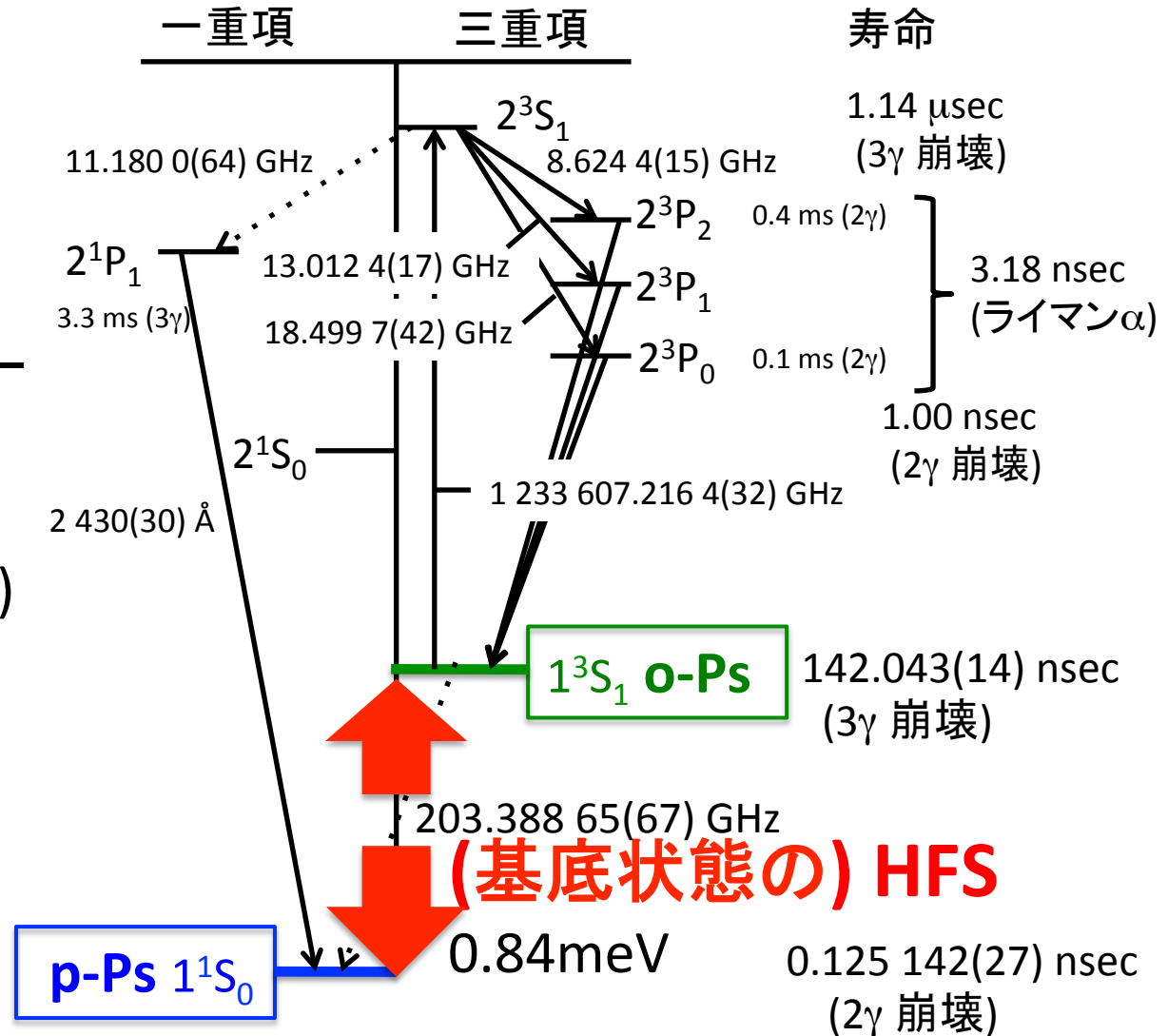
# 目次

- インTRODクシヨン
- 我々の新しい実験セツアップ
- 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)

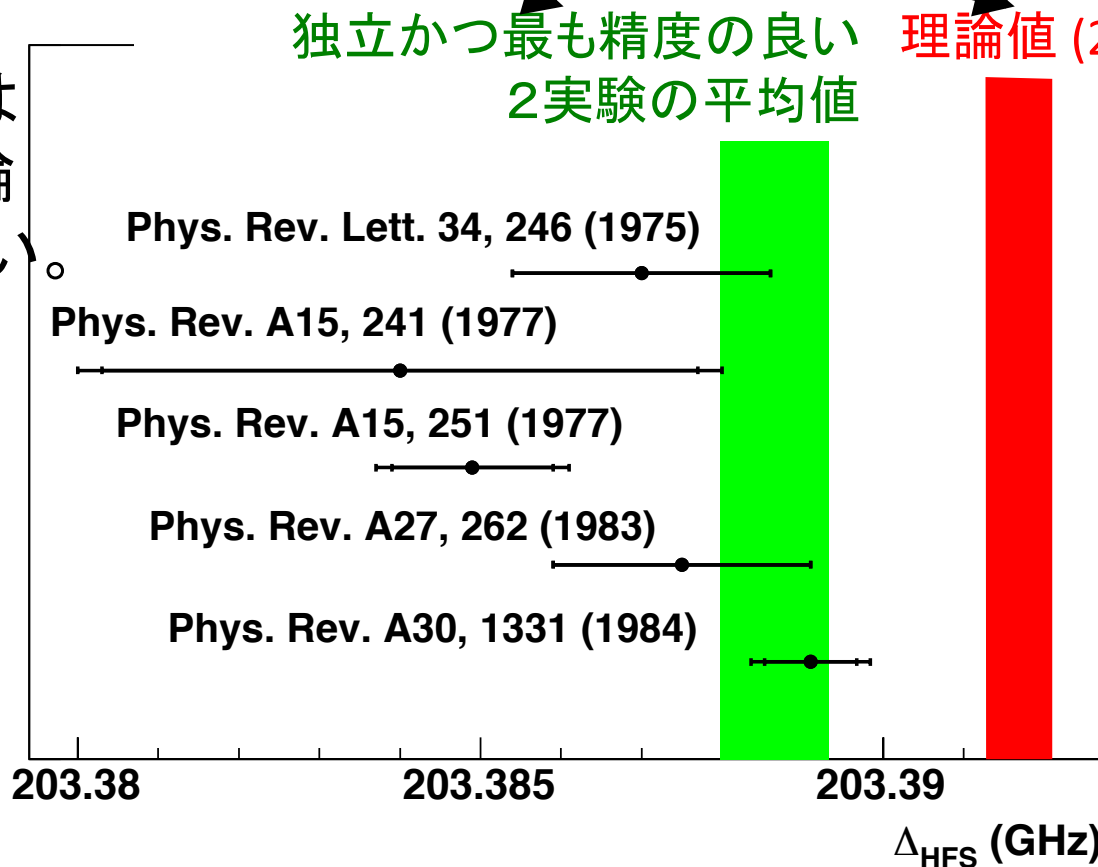
基底状態における  
2つのスピン固有  
状態間のエネルギー  
準位差

→ Ps-HFS (203 GHz)



# 実験と、理論でずれている

実験結果は  
一様に理論  
値より小さい。



実験値の平均  
203.388 65(67) GHz  
(3.3 ppm)

$O(\alpha^3 \ln \alpha^{-1})$   
束縛系  
量子電磁力学  
(QED) 理論値  
203.391 69(41) GHz  
(2.0 ppm)



15 ppm (3.9  $\sigma$ ) 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

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。

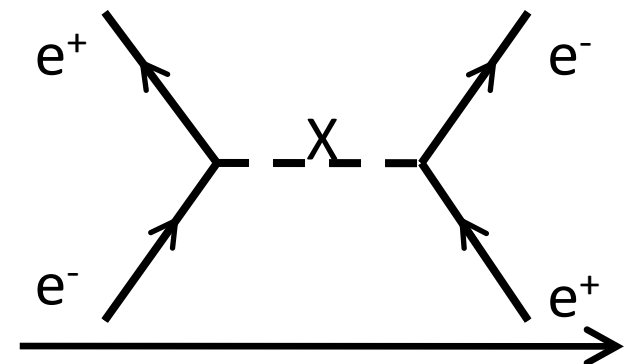
cf. オルソポジトロニウムの寿命問題 (1990年代)

**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。**

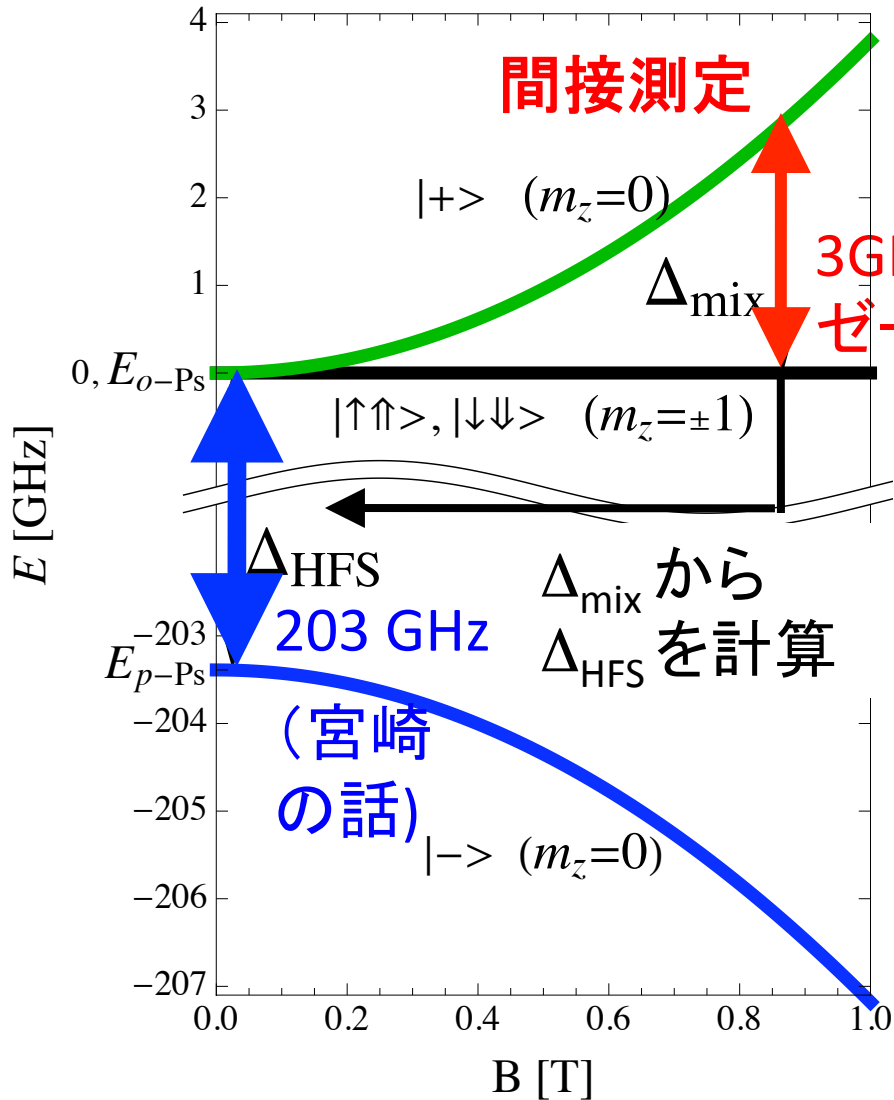
- 束縛系QEDの計算に新しい発展が必要

- 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が、 $\mu$ のg-2と違い、s-channelの効果も見える。  
(例 O(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



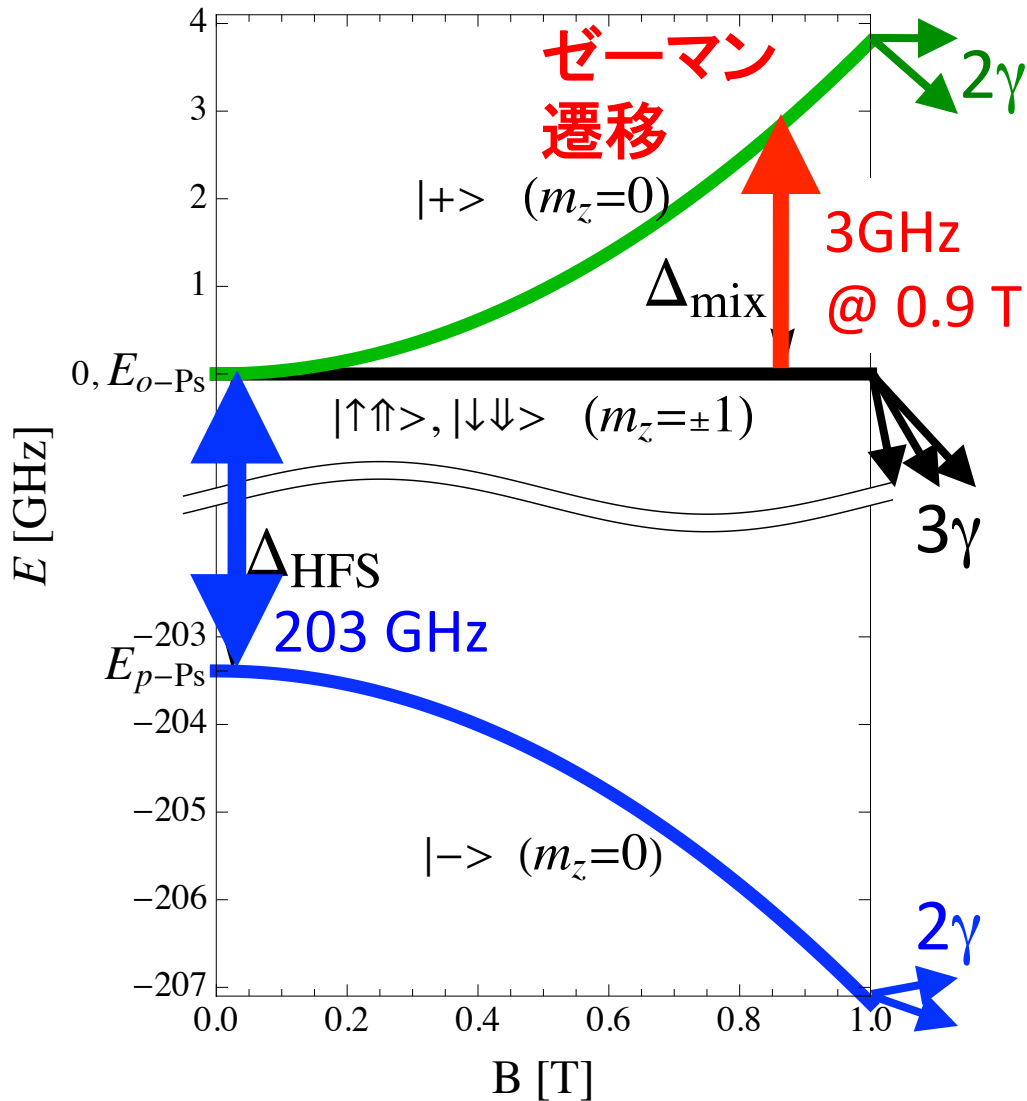
静磁場中では、**p-Ps** は  
**o-Ps の  $m_z=0$  成分**と  
 混合する。(2 $\gamma$  崩壊).

$\Delta_{mix}$  を精密に測定し、  
 $\Delta_{HFS}$  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



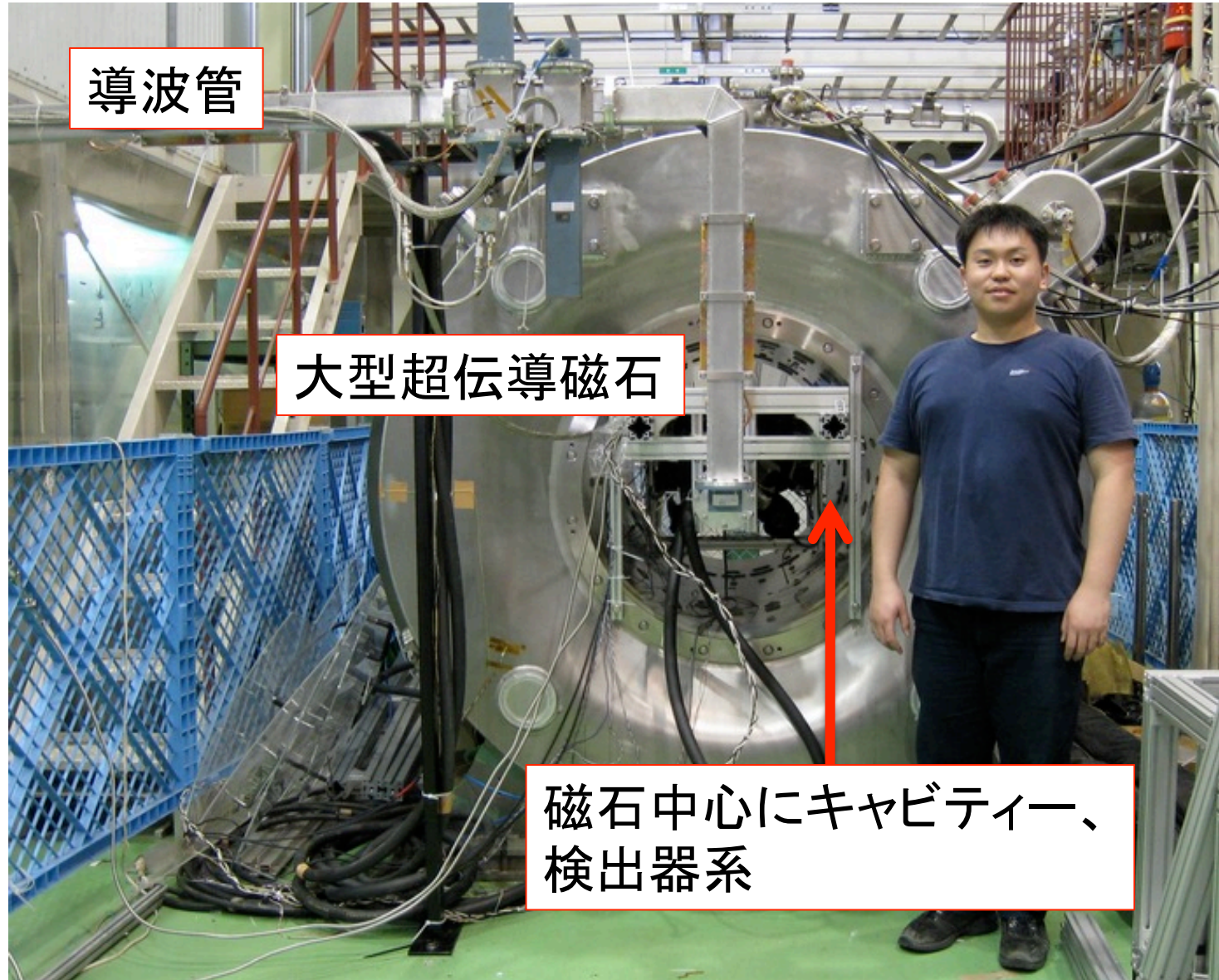
周波数が  $\Delta_{mix}$  のマイクロ波を供給すると、o-Ps の  $m_z=0$  と  $m_z=\pm 1$  成分の間で遷移が起こる。

→  $2\gamma$  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

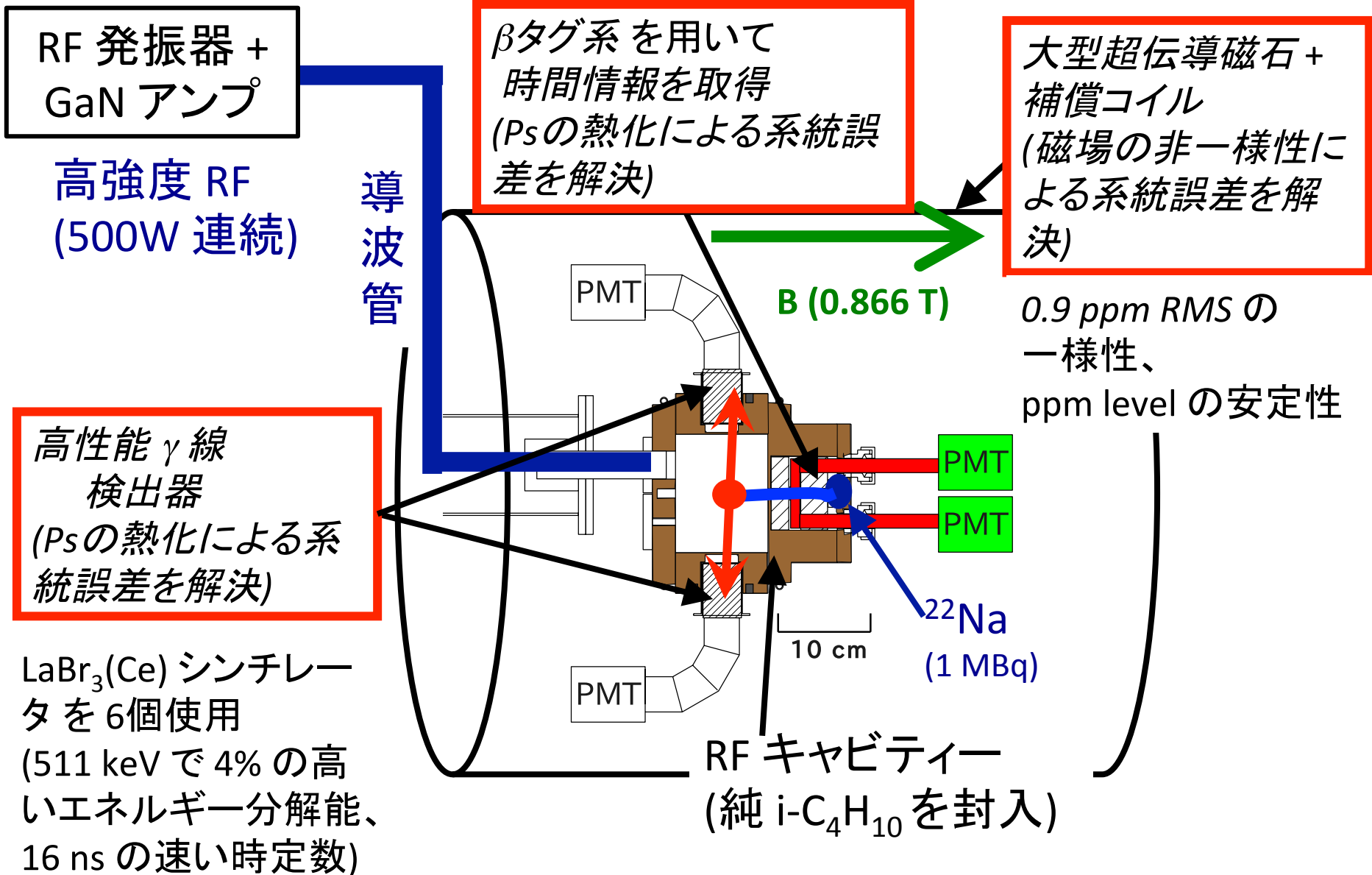


# 測定 @ KEK低温棟 平成22年7月～

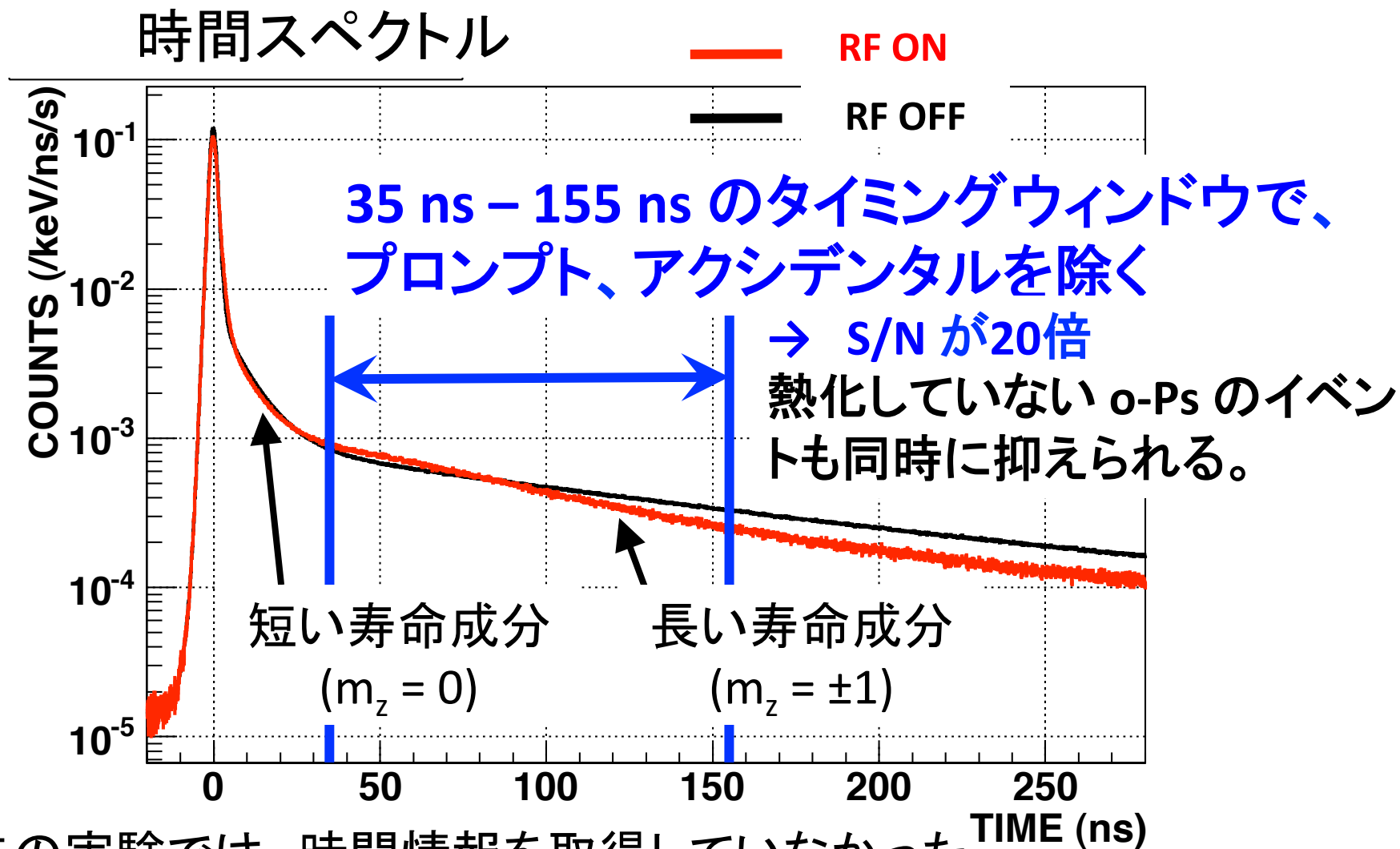




# 我々の新しい実験セットアップ

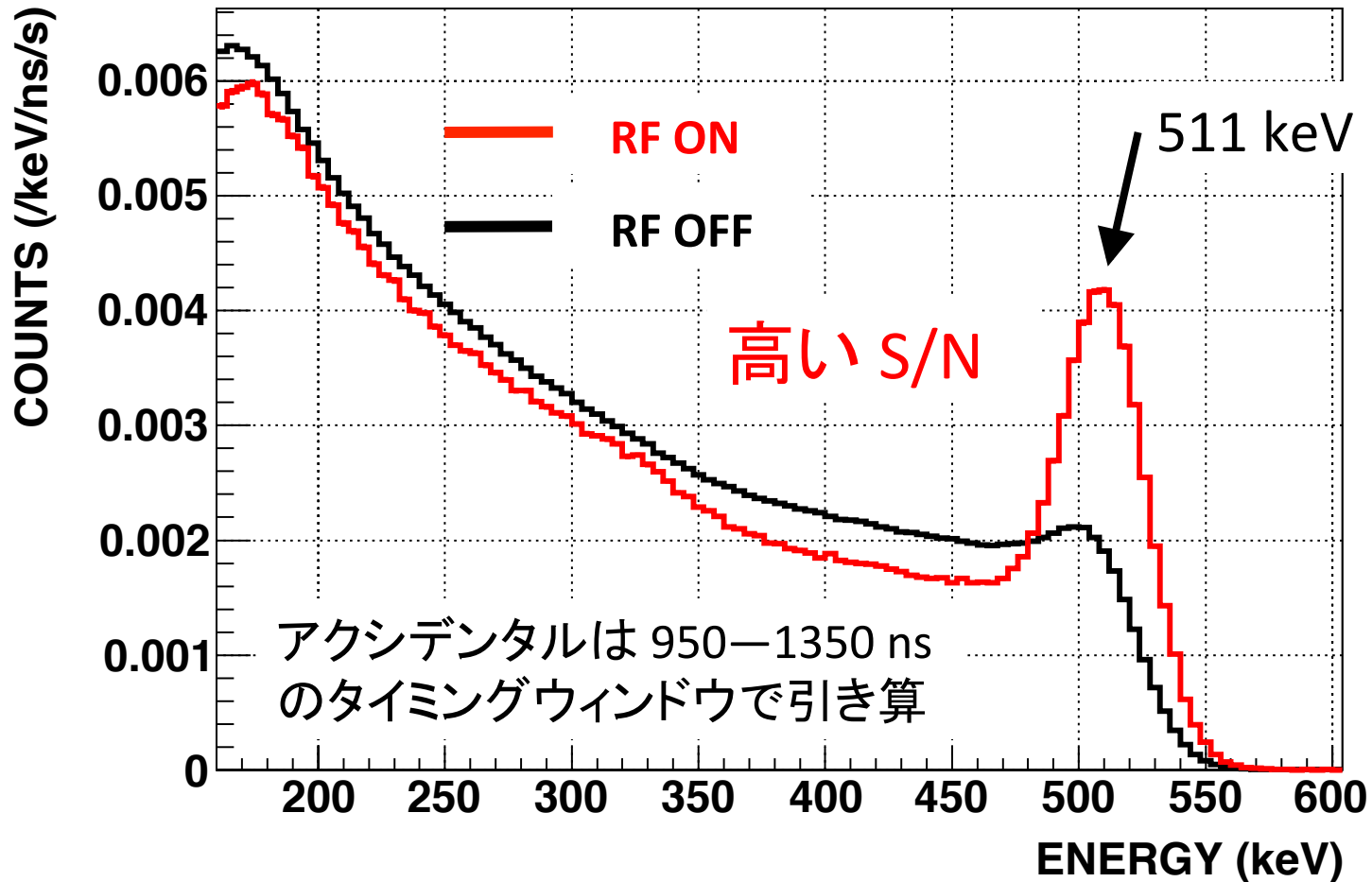


# 時間スペクトル



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。

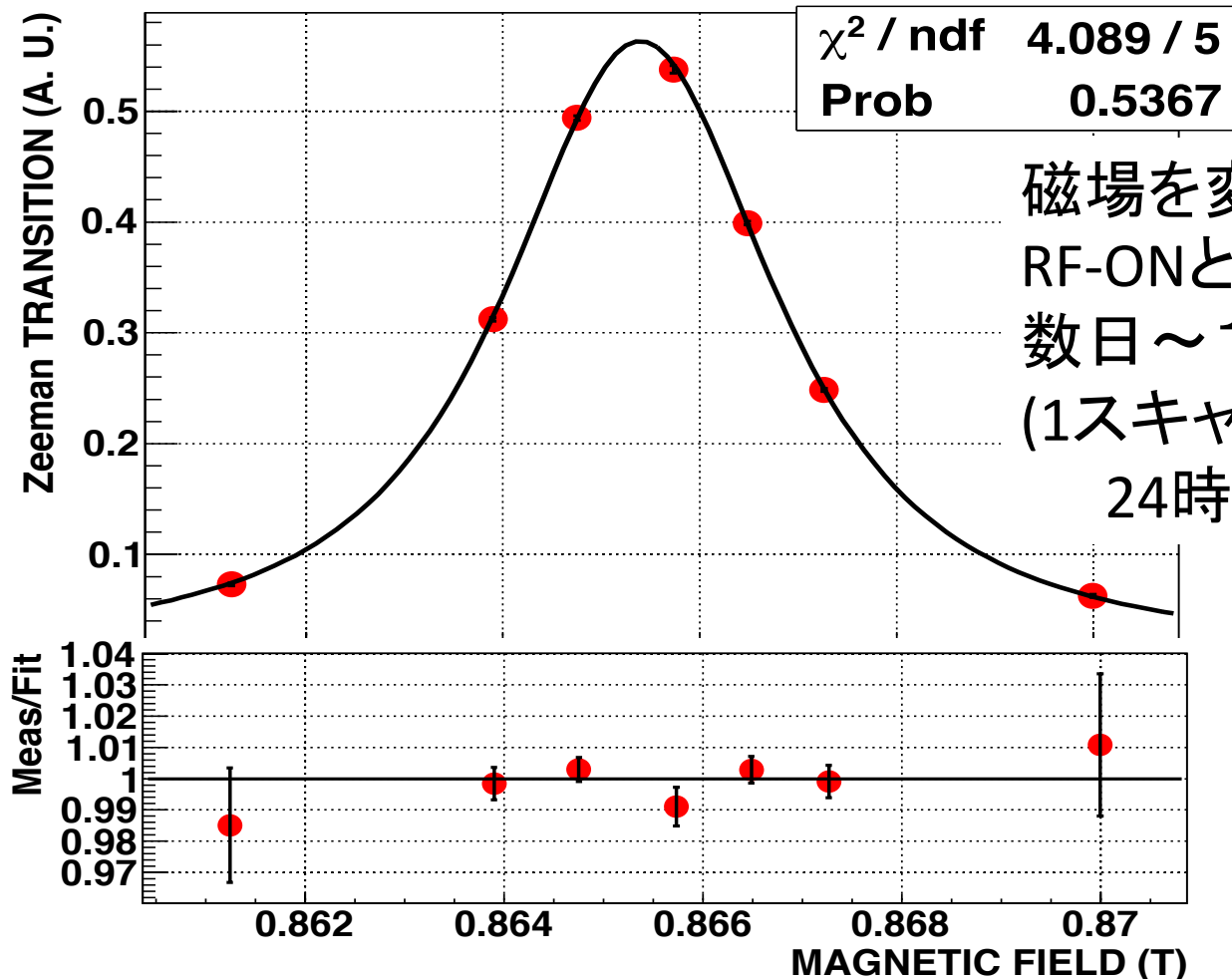
# 解析 (エネルギースペクトル)



ゼーマン遷移によって、 $2\gamma$  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

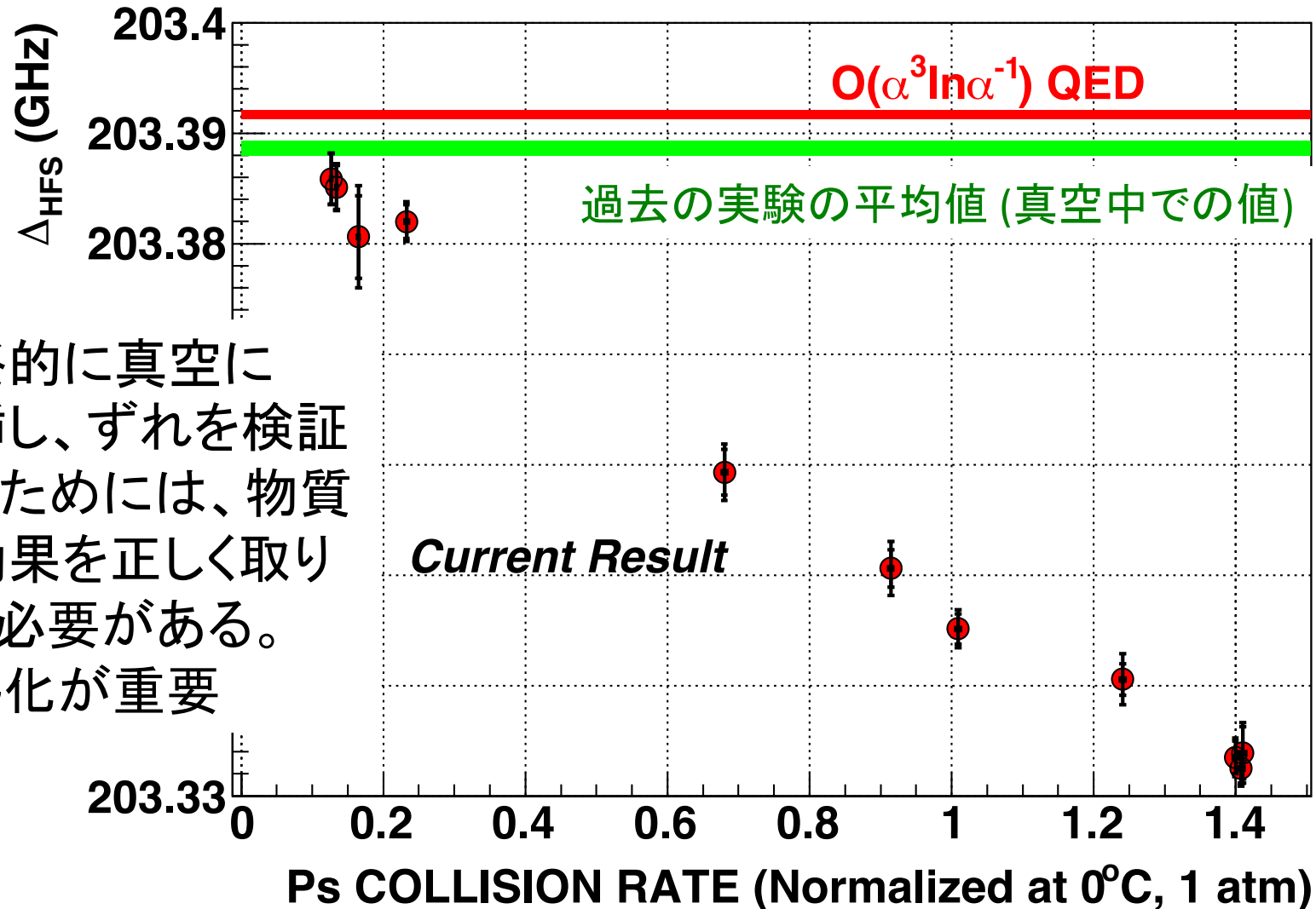
$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3506(20) \text{ GHz (9.8 ppm)}$$

→ 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을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、 $0(\text{ppm})$  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  $3.9\sigma$  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。