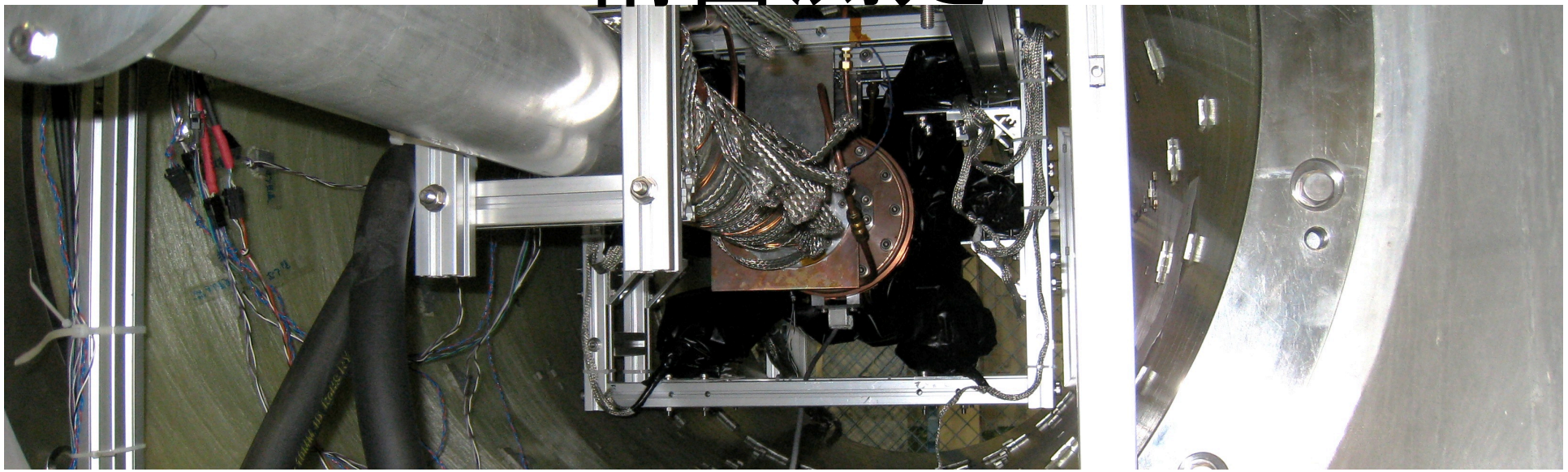
ゼーマン効果を用いた ポジトロニウム超微細構造の 精密測定



東大理, 東大素セ[A], 東大院総合文化[B], KEK[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]

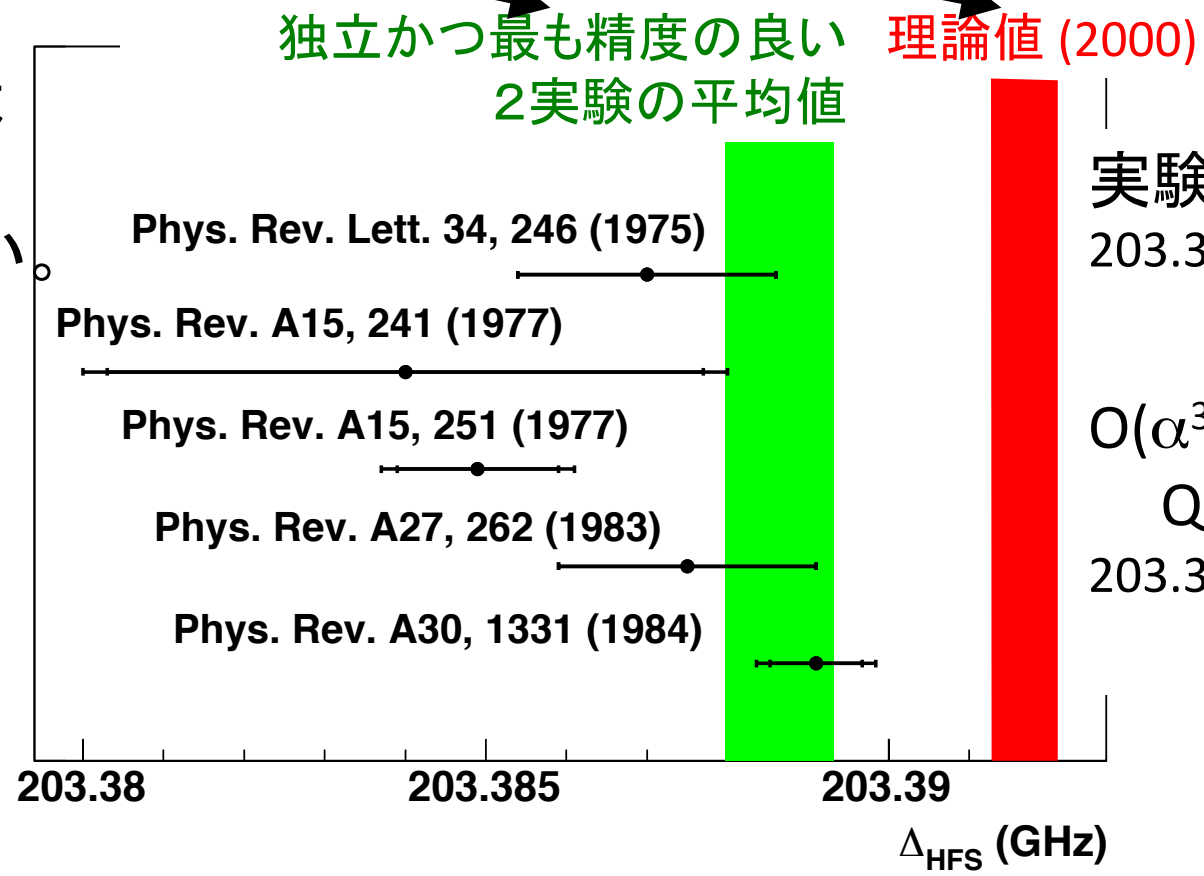
平成24年3月24日　日本物理学会第 67 回年次大会
於関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス

目次

- イントロダクション
  (磁場を用いた O(ppm) の精密測定)
- 我々の新しい実験セットアップ
- 本測定の途中結果
- 現状と今後の展望

ポジトロニウム超微細構造は、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)

$O(\alpha^3 \ln\alpha^{-1})$
QED 理論値
203.391 69(41) GHz
(2.0 ppm)

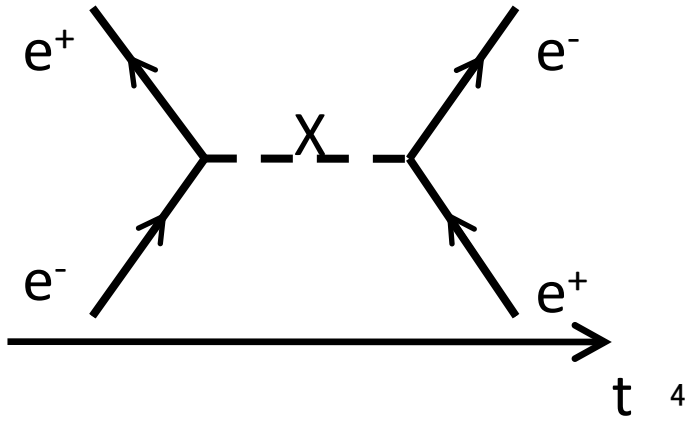
15 ppm (3.9 σ) の有意なずれ

考えられるずれの原因

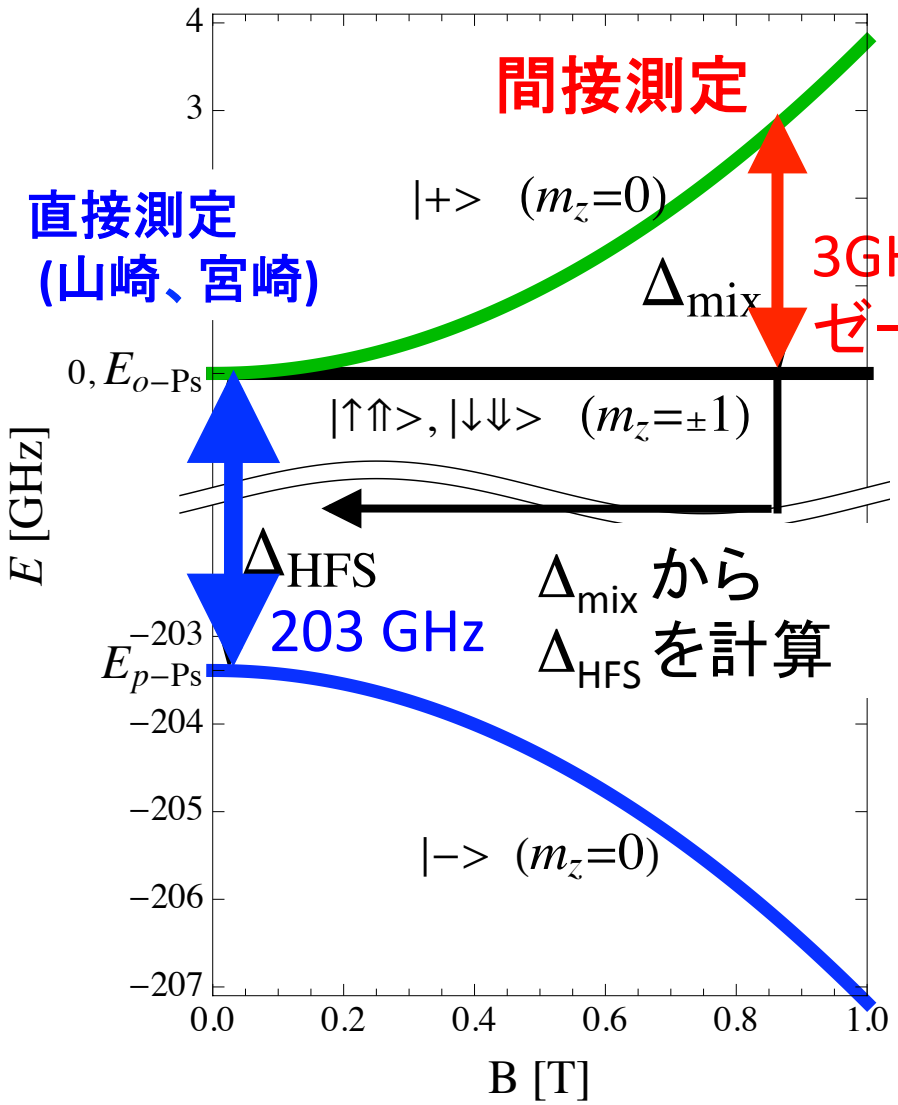
- 過去の実験に共通した系統誤差
  1. 磁場の非一様性。大きなPs生成領域内で、ppmレベルの一様磁場を供給するのは極めて困難。
  2. 物質の効果の過小評価。熱化していない o-Ps は、特に低物質密度で大きな影響を及ぼす。
     cf. オルソポジトロニウムの寿命問題 (1990年代)

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、μ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



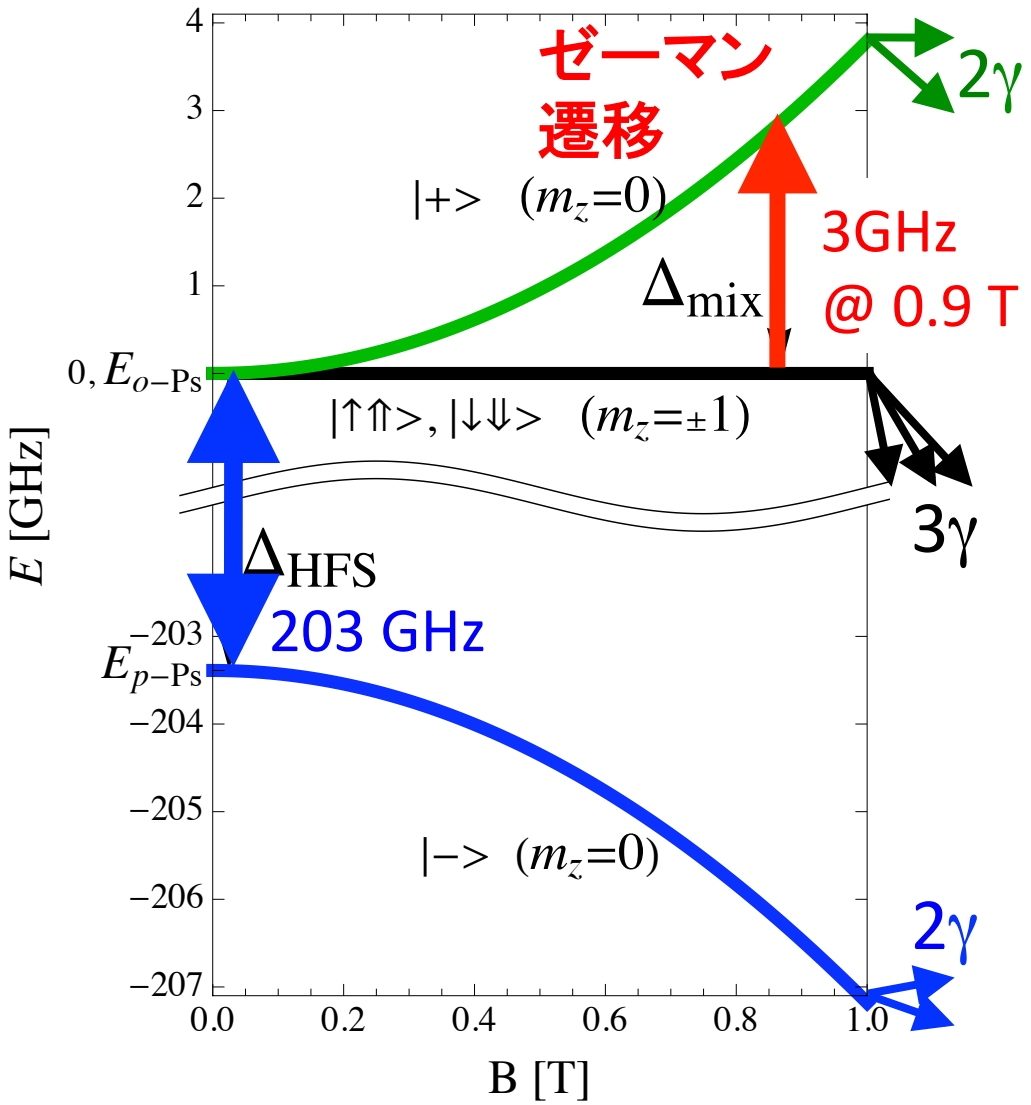
静磁場中では、**p-Ps** は
o-Ps の m_z=0 成分と
混合する。(2 γ 崩壊).

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

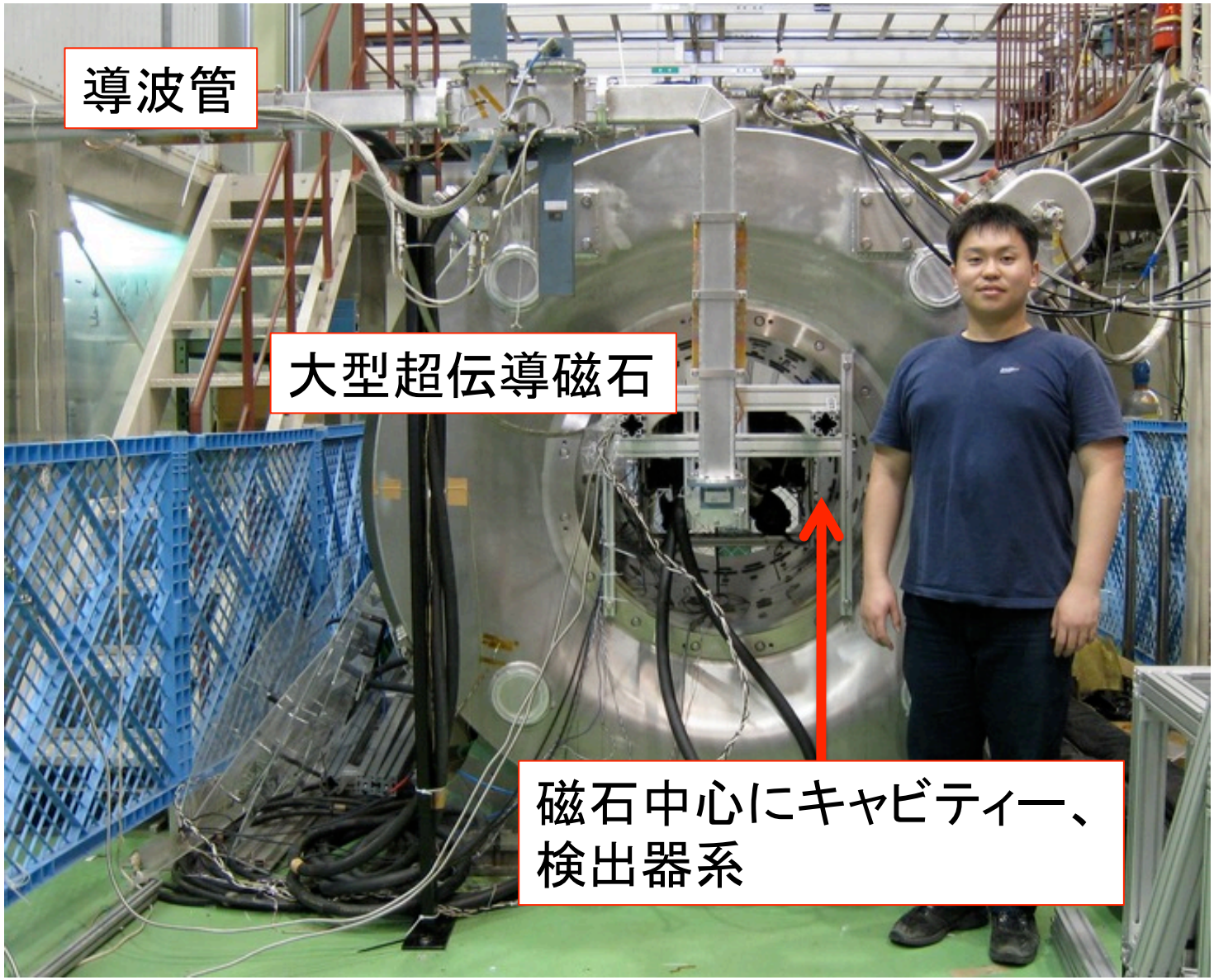


周波数が Δ_{mix} のマイクロ波を供給すると、o-Ps の **m_z=0** と **m_z=±1** 成分の間で遷移が起こる。

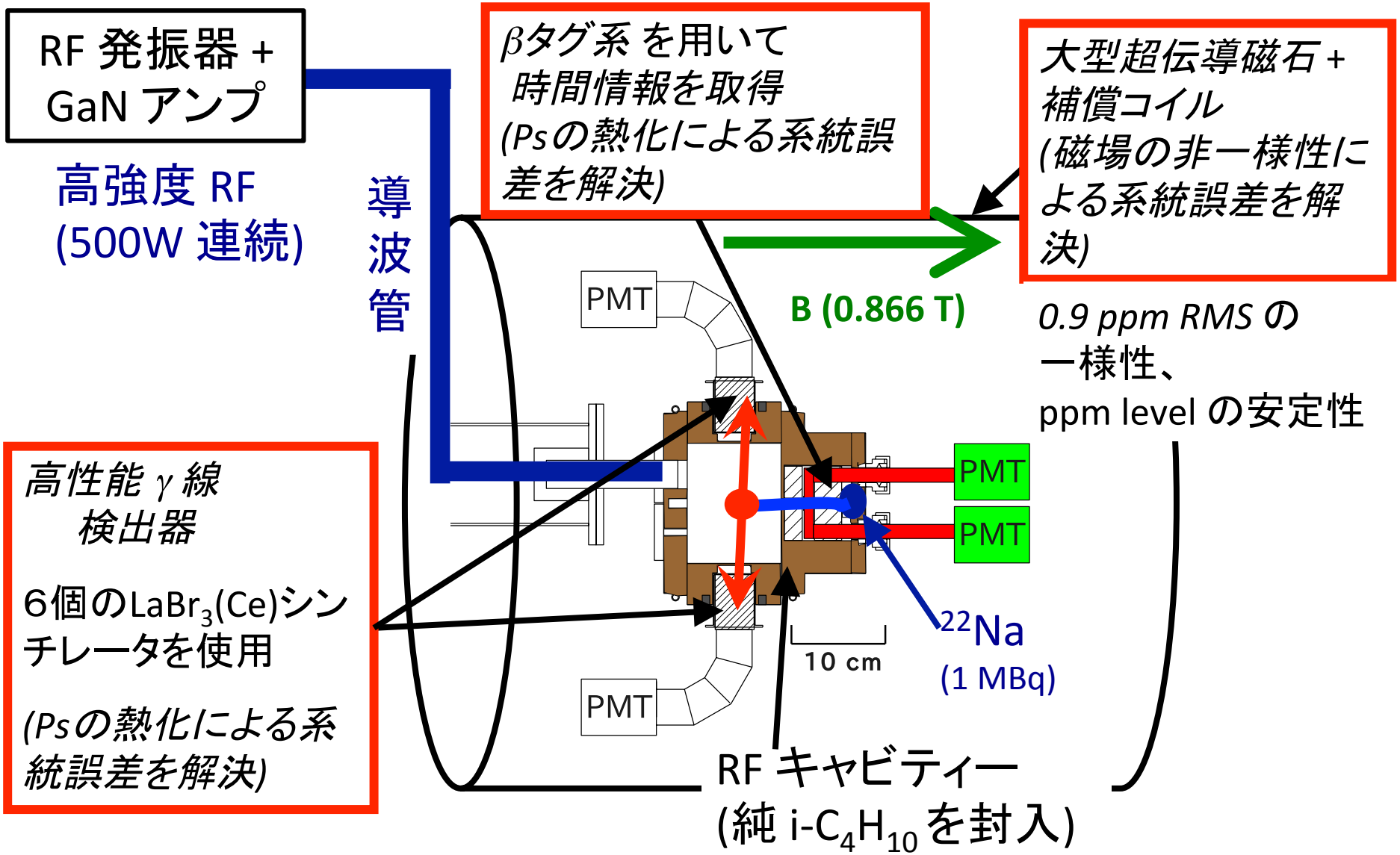
→ 2γ 崩壊(**511 keV 単色**) 率が大きくなる。
この崩壊率の変化が、実験のシグナルになる。

→過去の全ての実験と同じ方法

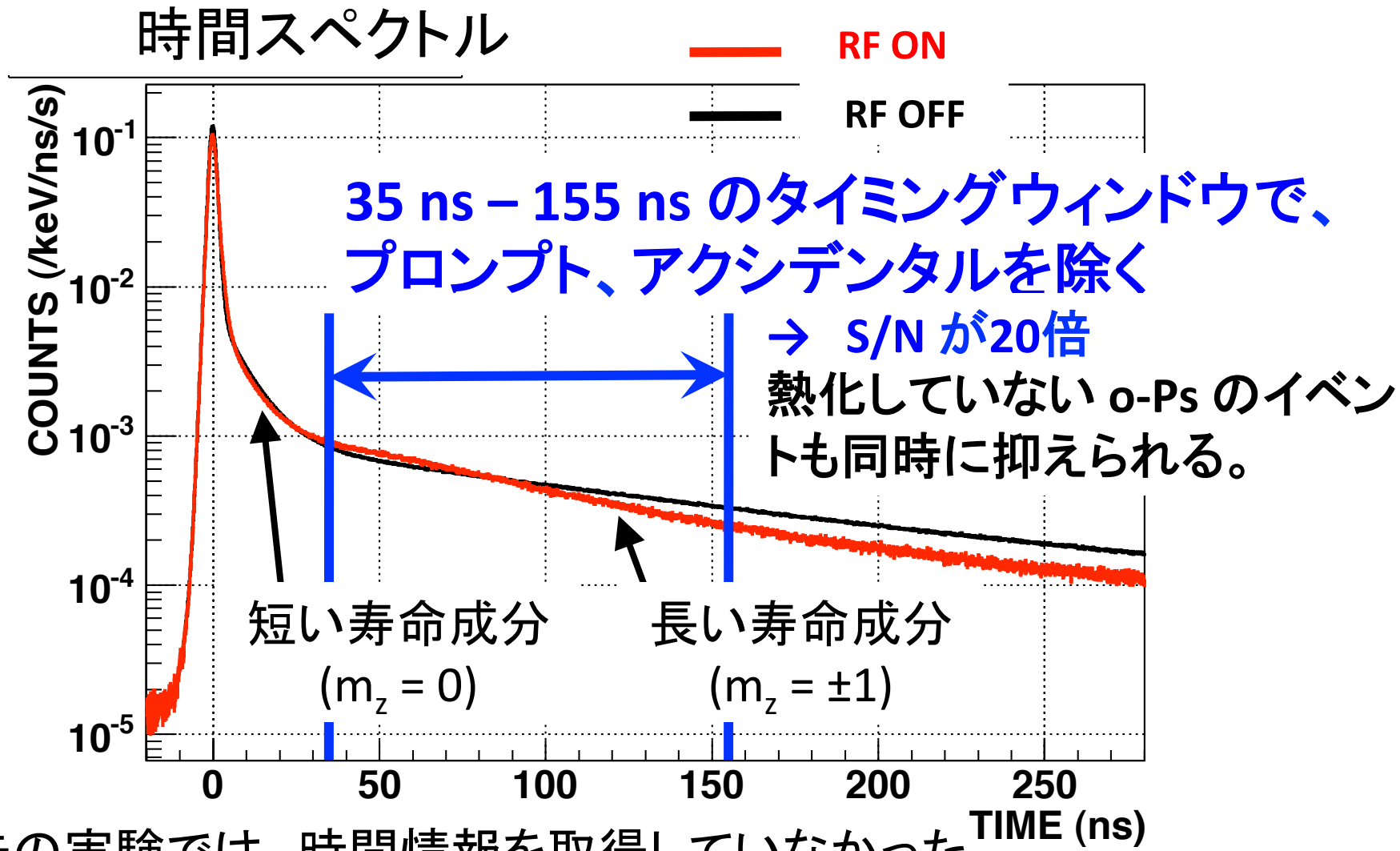
測定 @ KEK低温棟
平成22年7月～



我々の新しい実験セットアップ

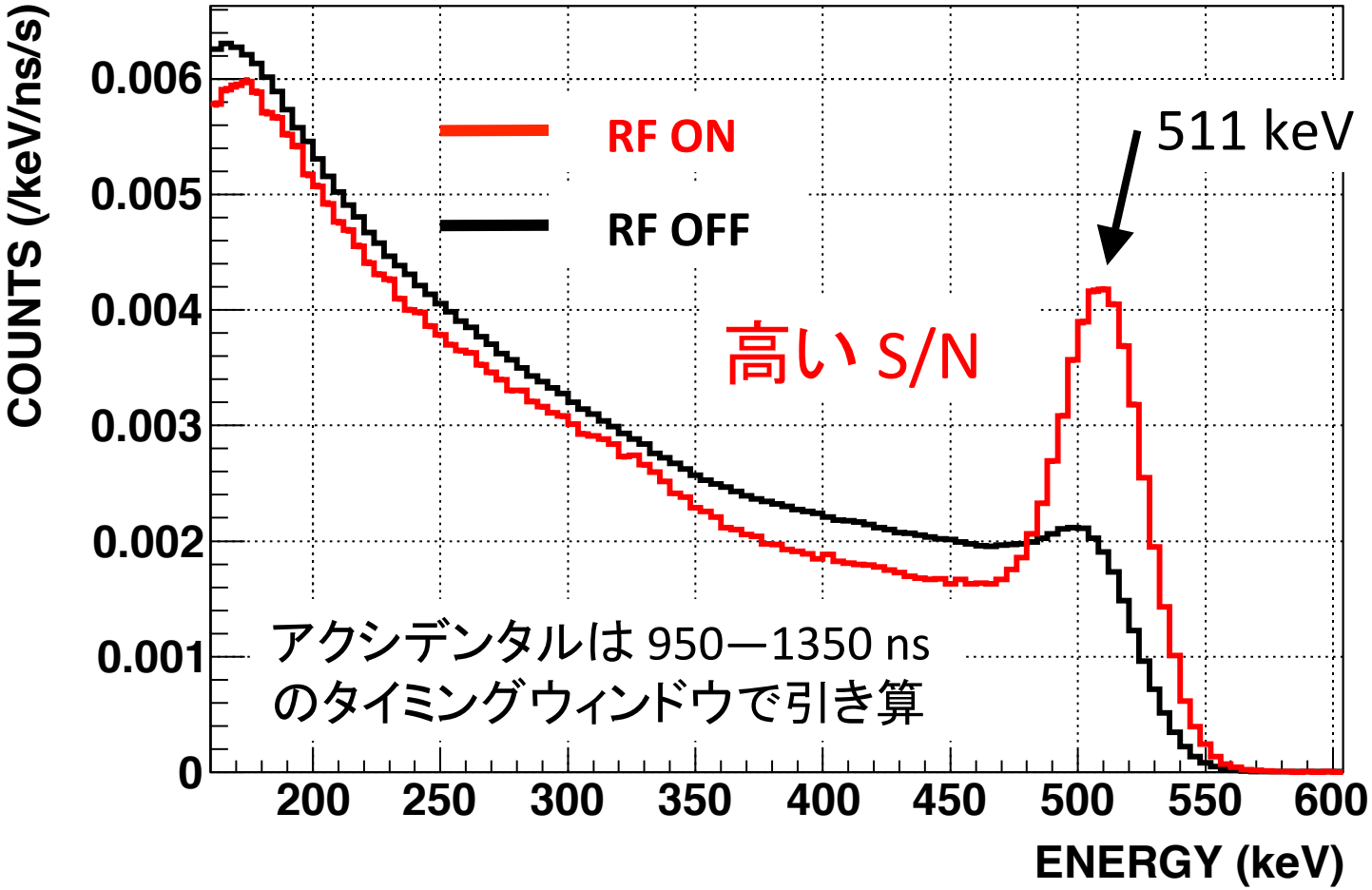


時間スペクトル



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。

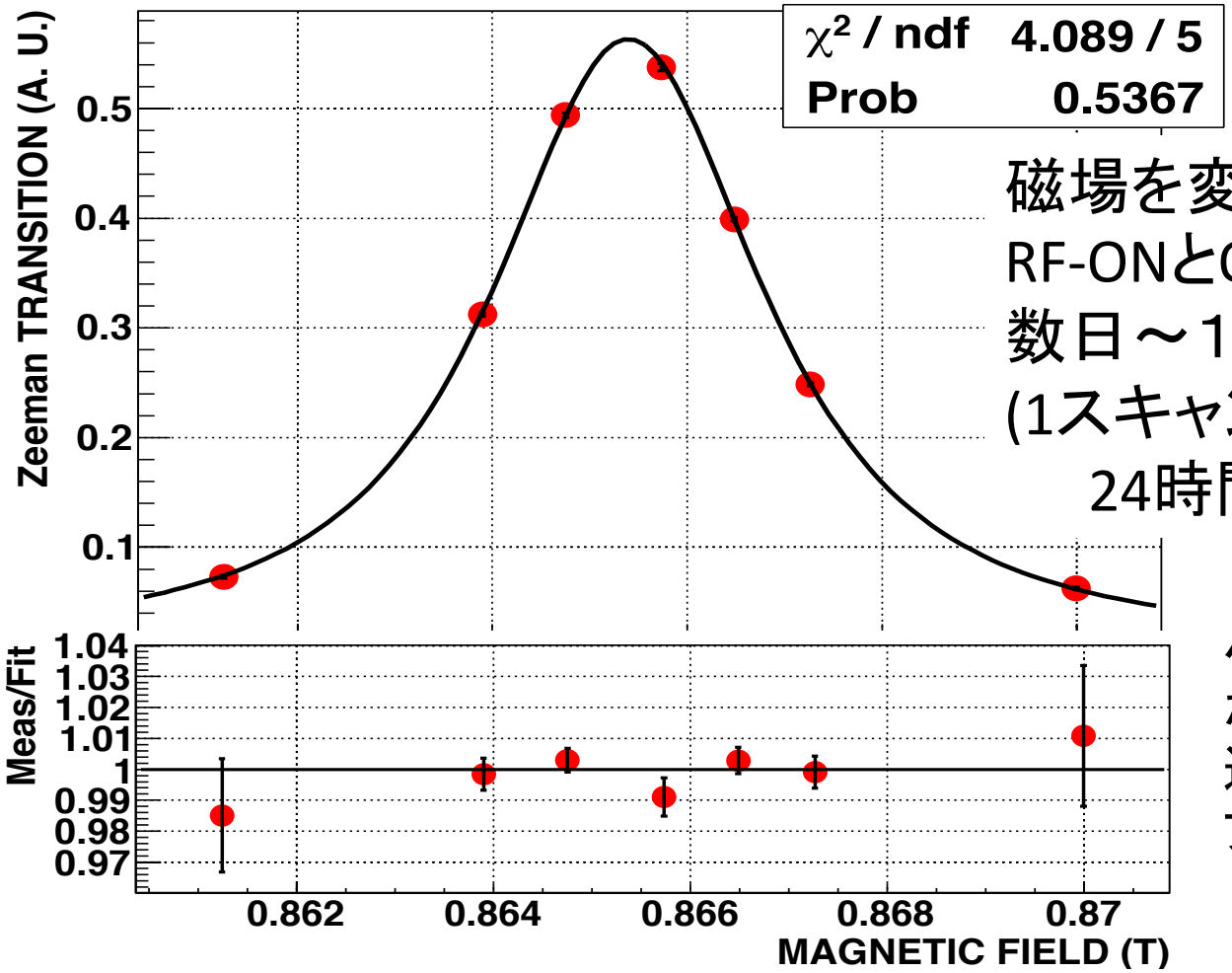
解析 (エネルギースペクトル)



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)

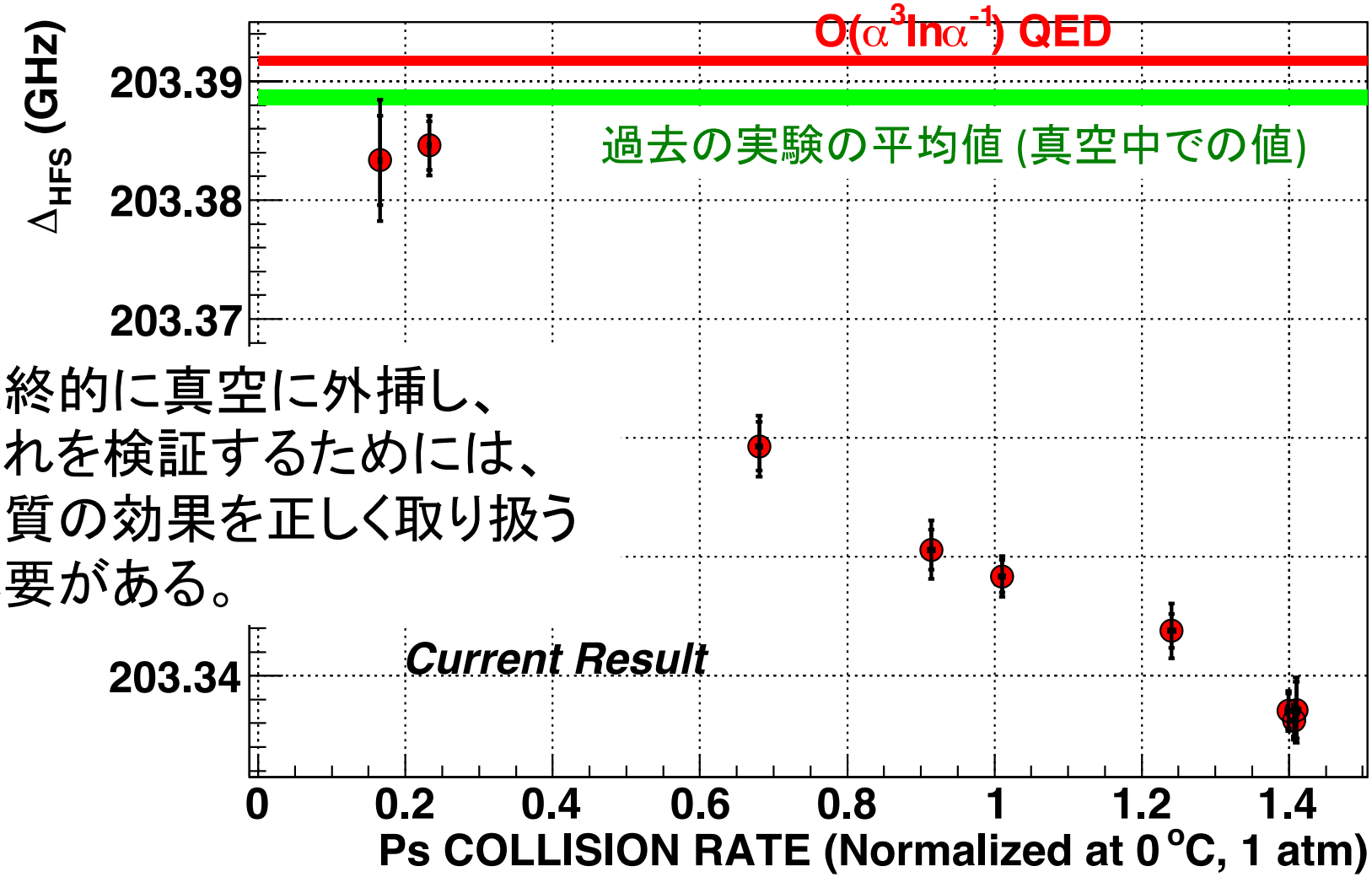
ハミルトニアン
から求めた
遷移曲線で
フィット

Δ_{HFS} = 203.3506(20) 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

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。

今後の展望

- <u>物質の効果</u>:
  - ・低圧での測定を重点的に行い、外挿による不定性を小さくする。
  - ・Ps の熱化の効果に関しては、過去の熱化測定 (Skalsey *et al.*)によると、イソブタンとタイミングウィンドウによって、3 ppm 以下と見積もられる。現在、熱化関数を別の手法で精密に測定しており、近いうちに結果が出る見込み。得られた関数で補正し、外挿する。
- <u>統計誤差</u>:

  低圧でデータを重点的にとり、統計誤差を小さくする。

来年度末までに、O(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 σ 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・ Ps の熱化による効果) を小さくする。
- 現在、物質の効果を正しく取り扱うため、低圧での測定・Ps 熱化関数の測定を行っている。
- 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。