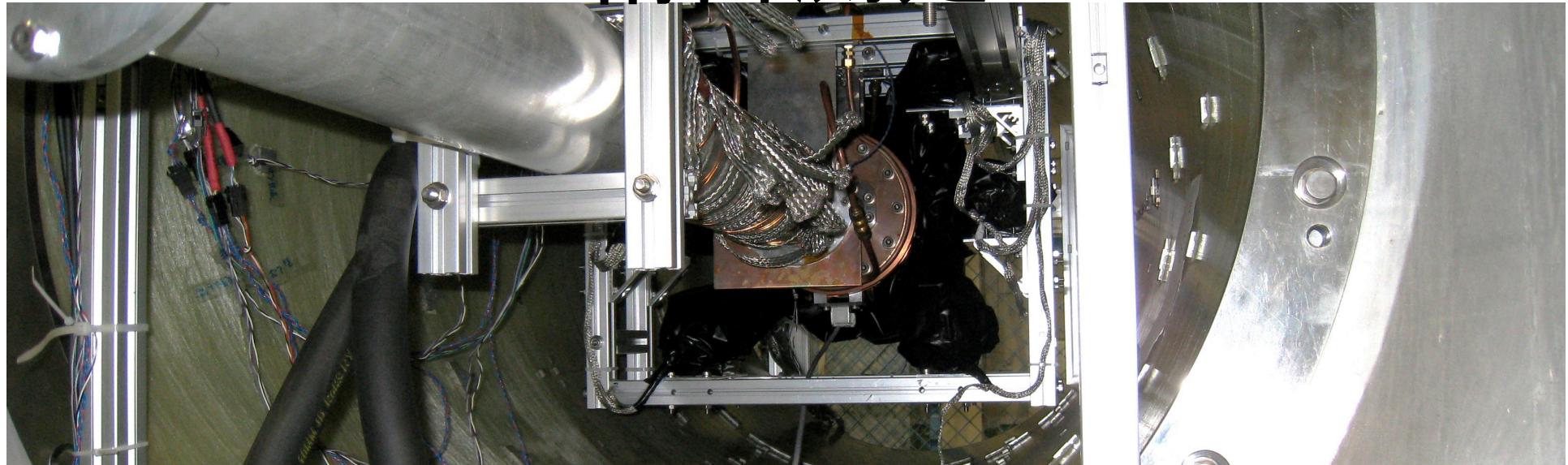


# ゼーマン効果を用いた ポジトロニウム超微細構造の 精密測定



東大理, 東大素セ<sup>A</sup>, 東大院総合文化<sup>B</sup>, KEK<sup>C</sup>

石田明, 秋元銀河, 佐々木雄一, 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>

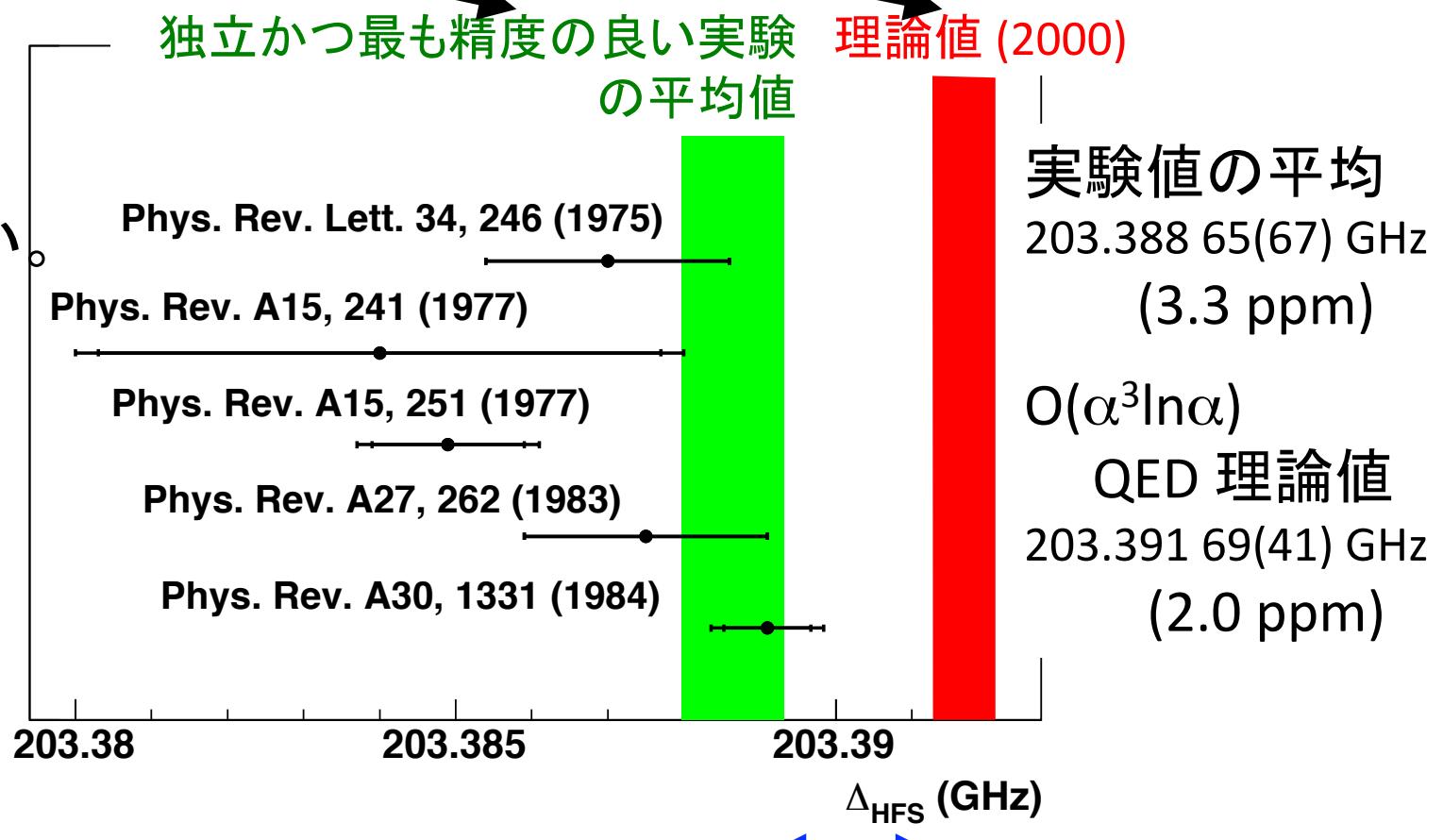
平成23年9月18日 日本物理学会 2011年秋季大会 於弘前大学文京町キャンパス

# 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
- 今後の展望と現状

# 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。



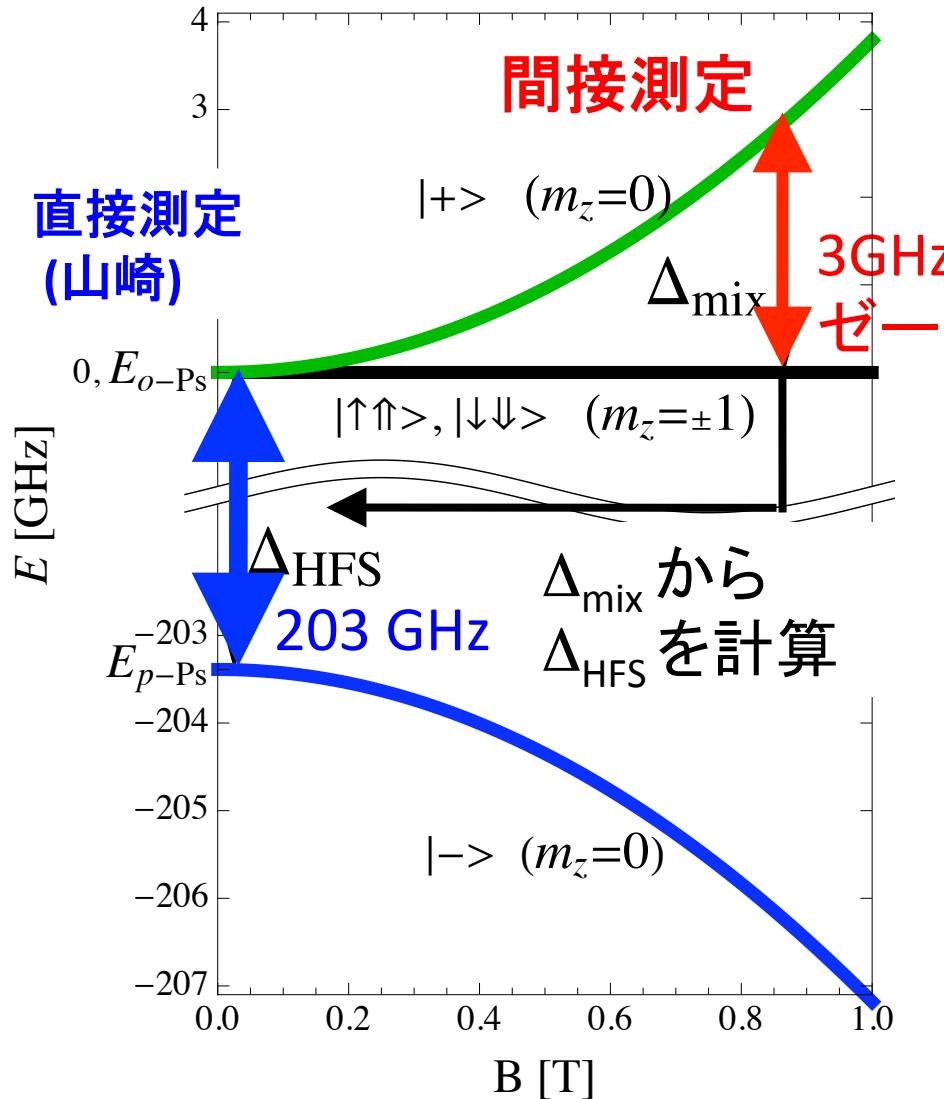
15 ppm (3.9  $\sigma$ ) の有意なずれ

# 考えられるずれの原因

- 過去の実験に共通した系統誤差
  - 物質の効果の過小評価。熱化していない  $\text{o-Ps}$  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レベルの一様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

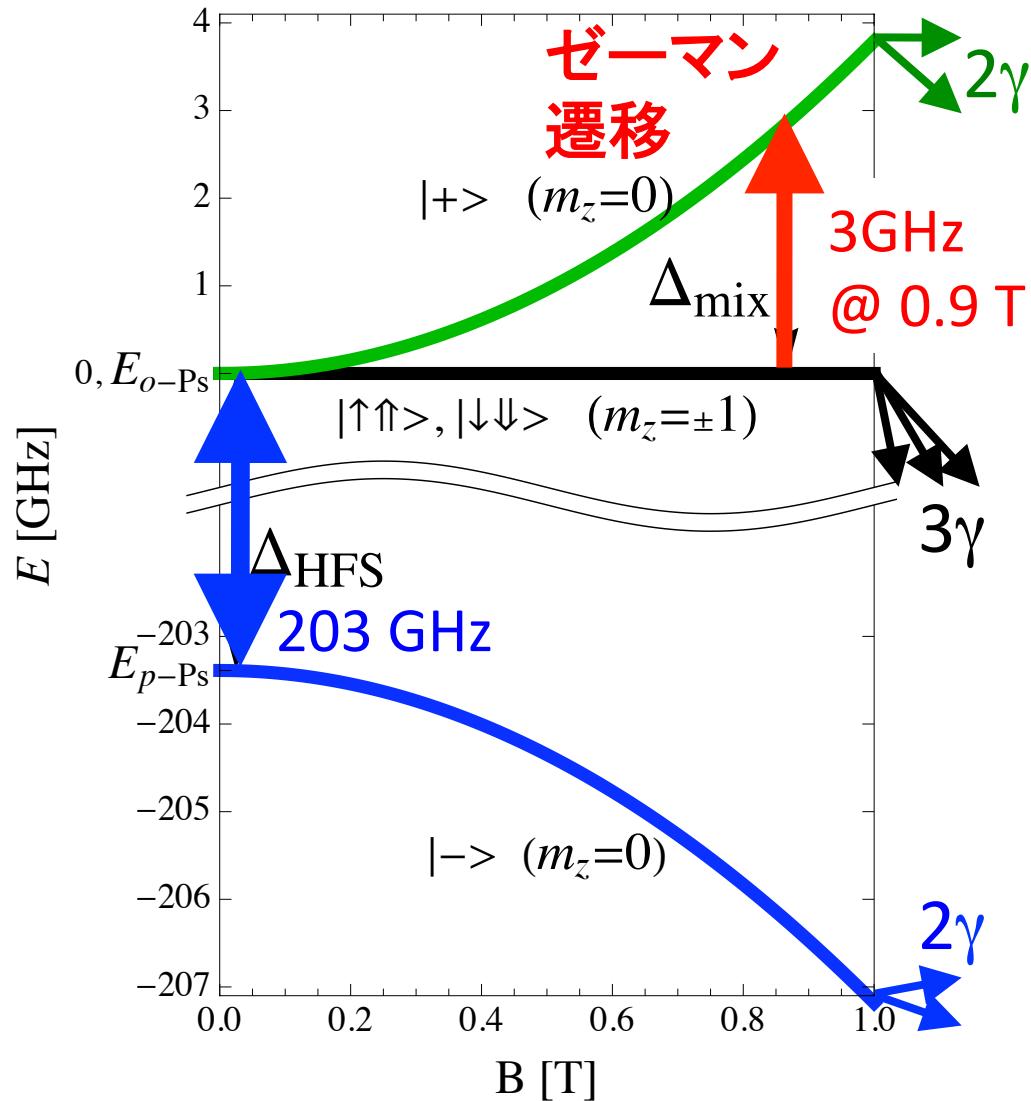


静磁場中では、p-Ps は  
o-Ps の  $m_z=0$  成分と  
混合する。(2  $\gamma$  崩壊).  
ゼーマン分裂

$\Delta_{mix}$  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



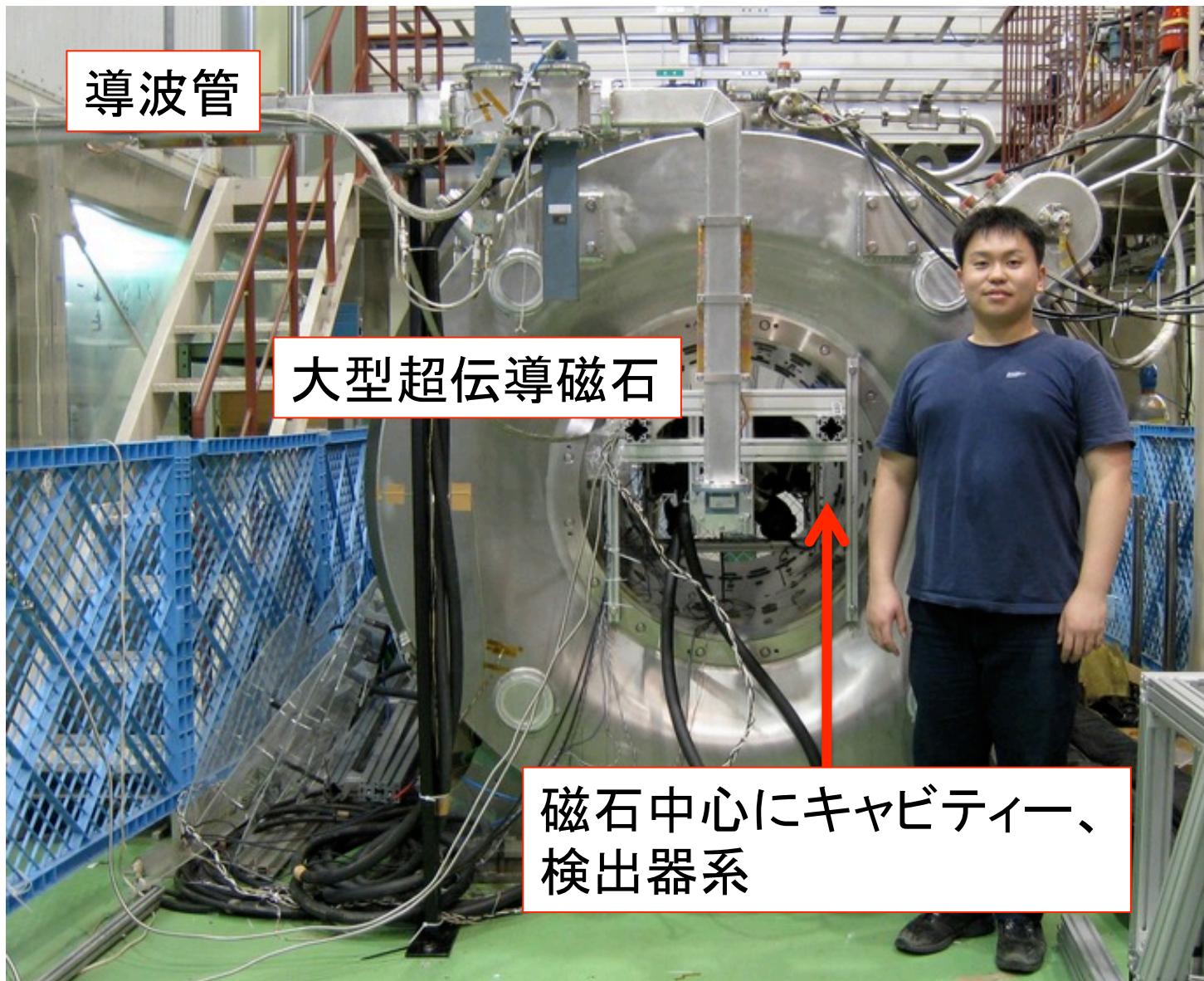
周波数が  $\Delta_{\text{mix}}$  のマイクロ波を供給すると、o-Ps の  $m_z=0$  と  $m_z=\pm 1$  成分の間で遷移が起こる。

→  $2\gamma$  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。

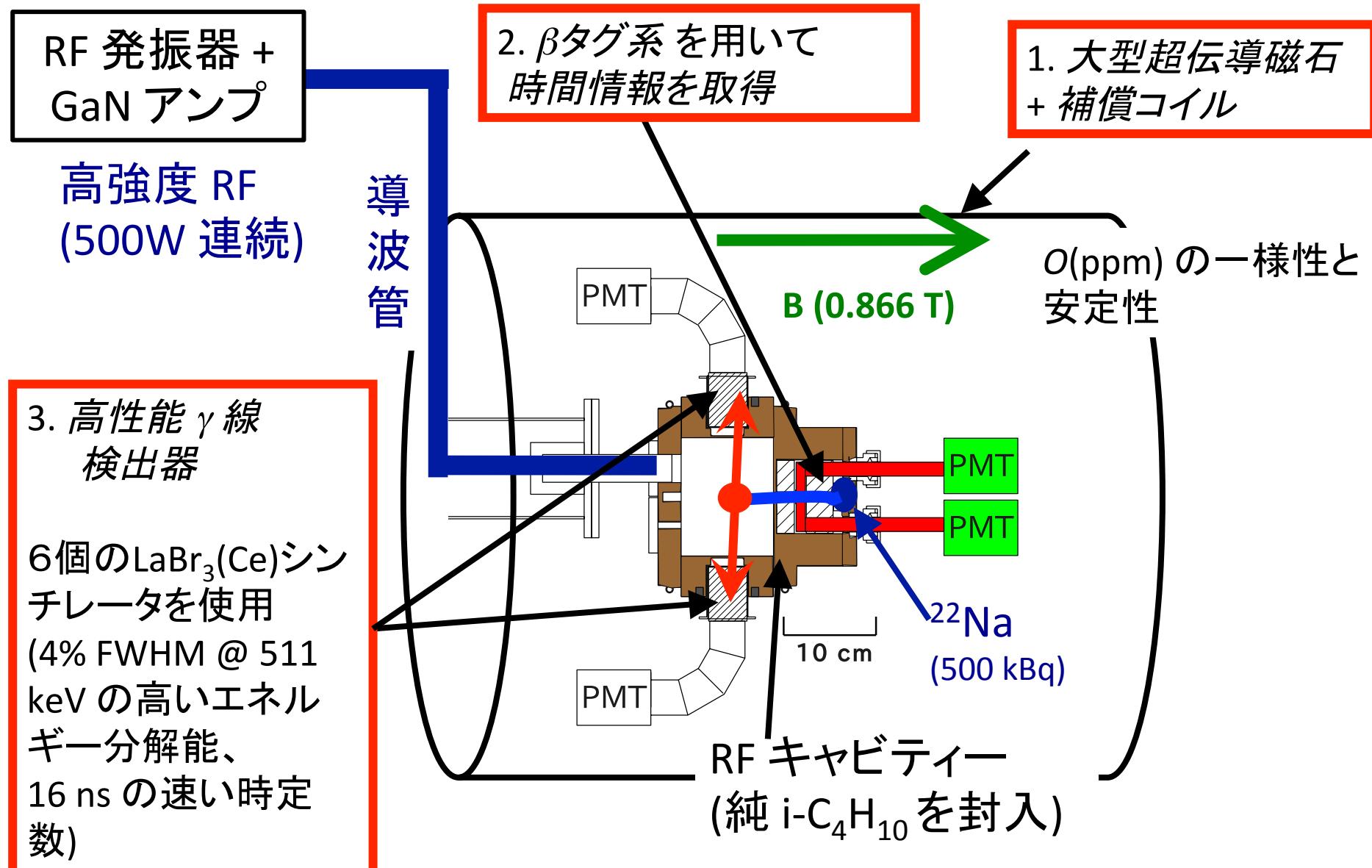
→過去の全ての実験と同じ方法

# 測定 @ KEK低温棟

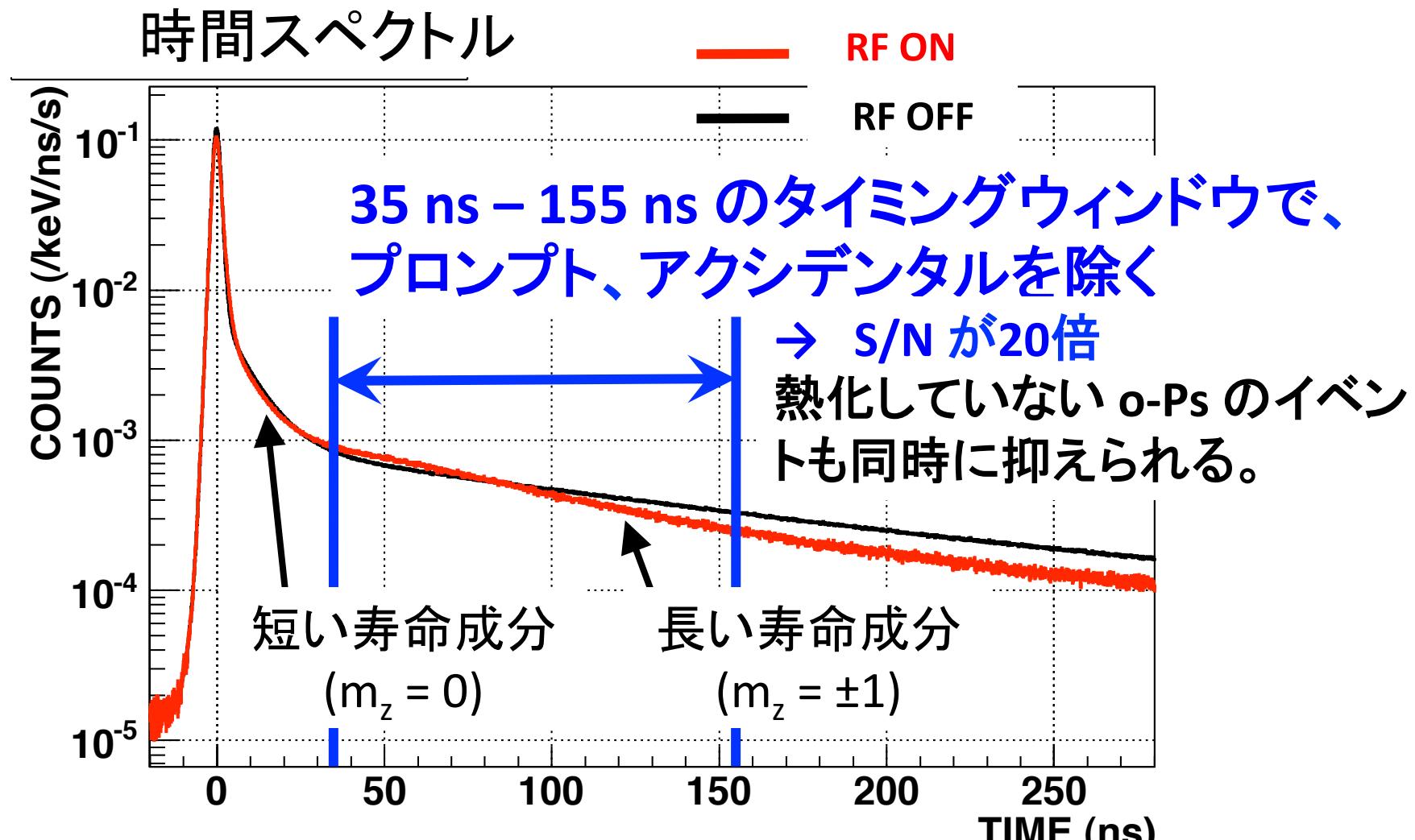
## 平成22年7月～



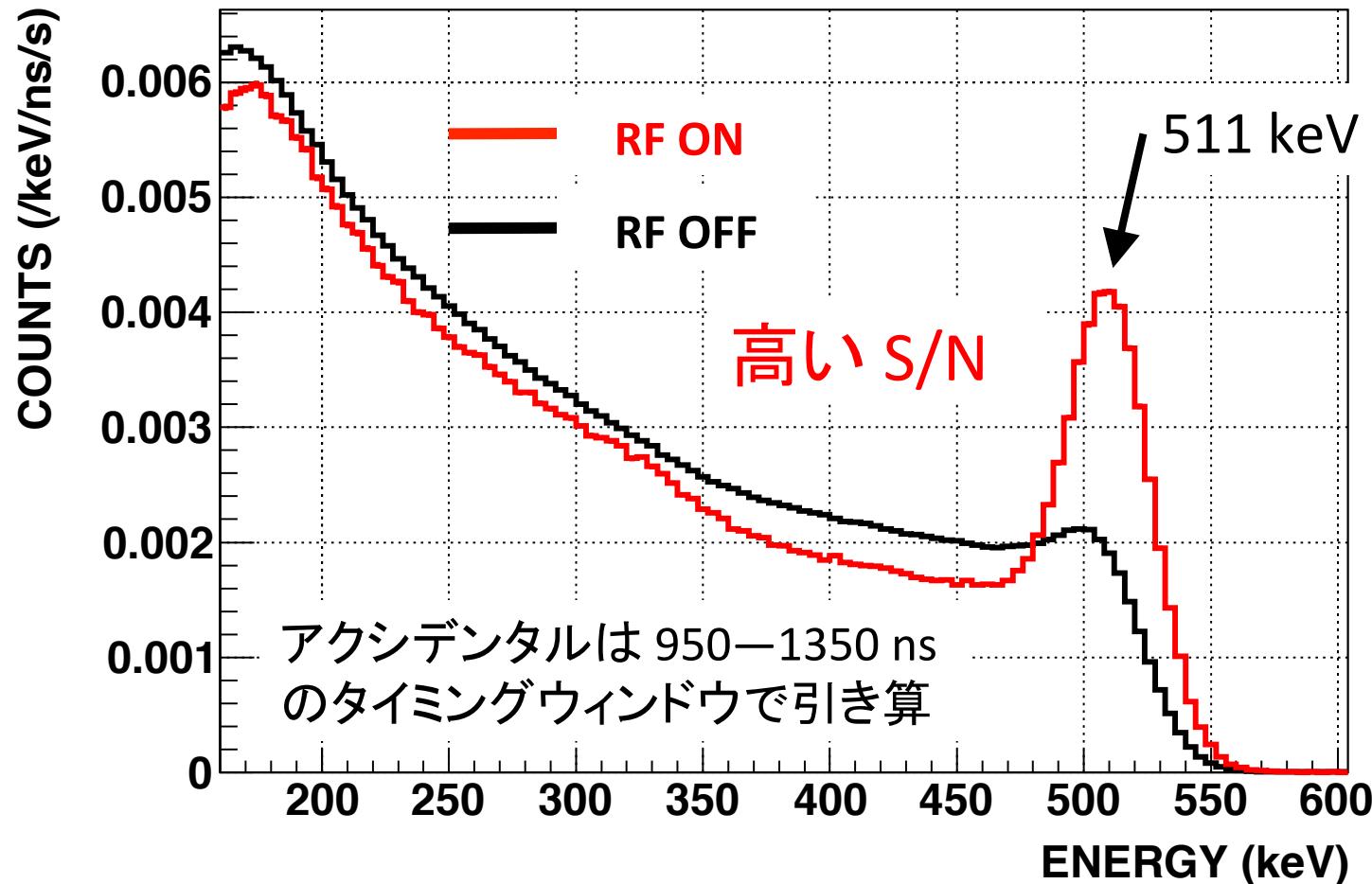
# 我々の新しい実験セットアップ



# 解析 (時間スペクトル)



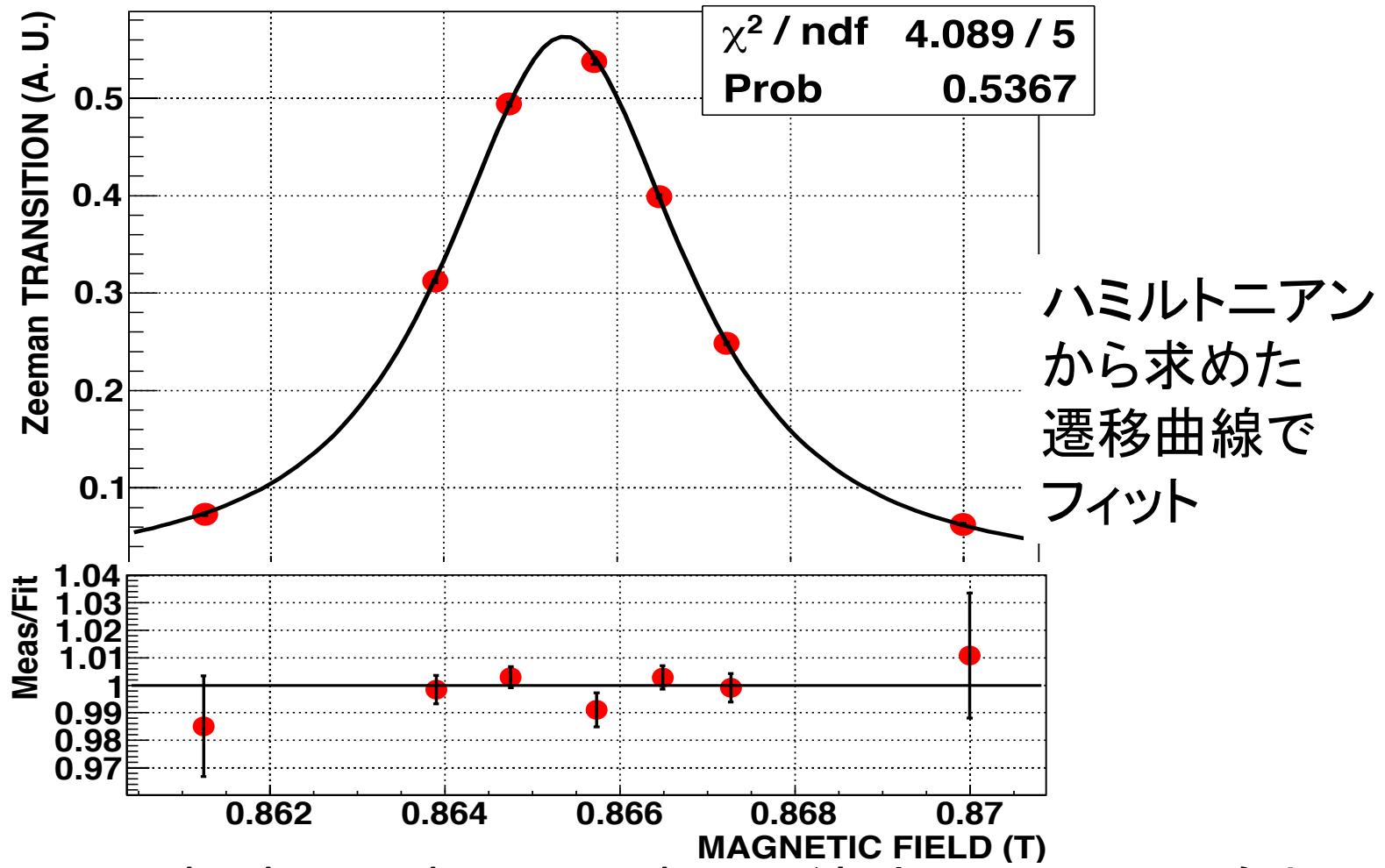
# 解析(エネルギースペクトル)



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

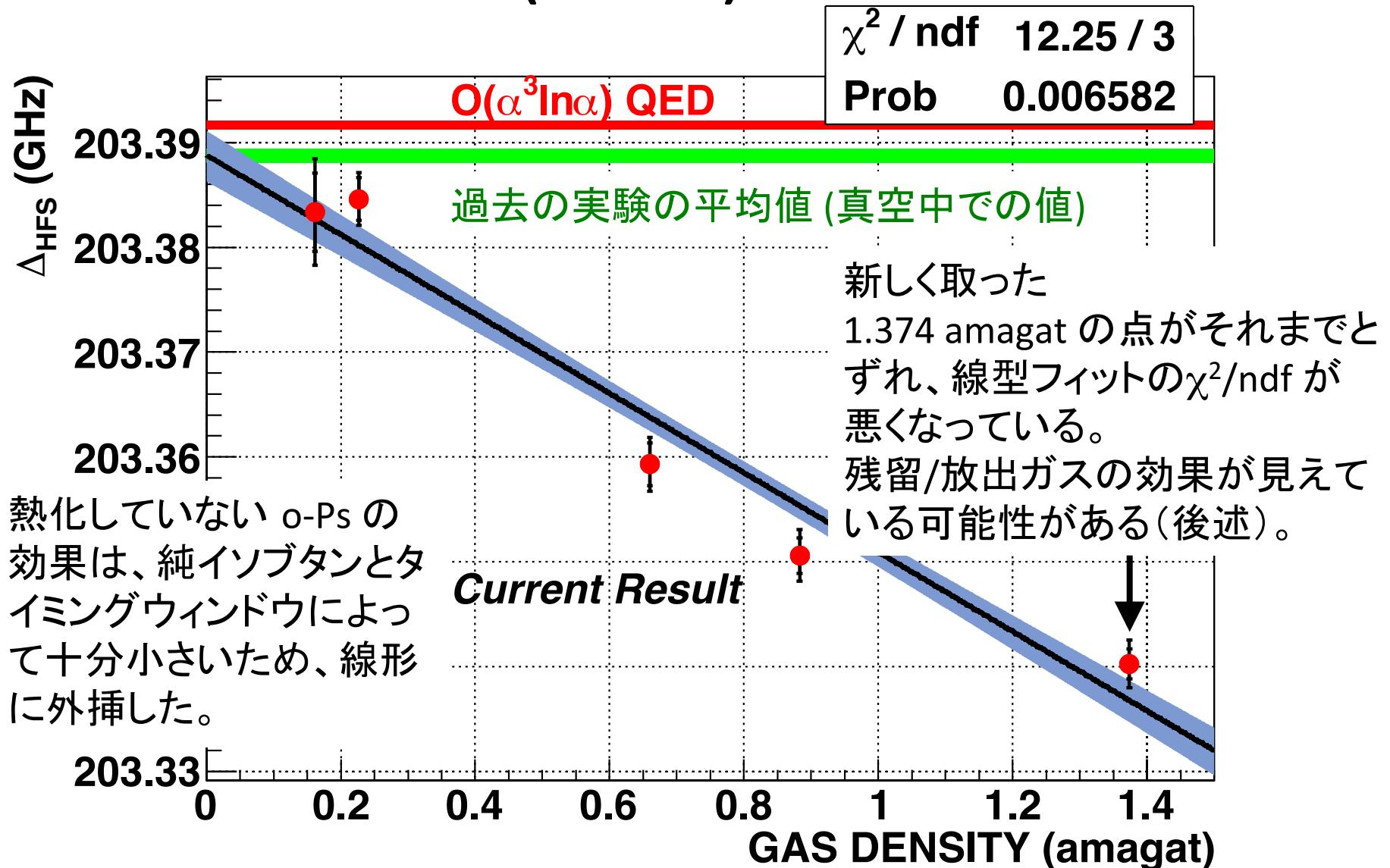
# 共鳴曲線 (0.883 amagat)

RF の周波数、パワーを固定して、**磁場でスキャン**。

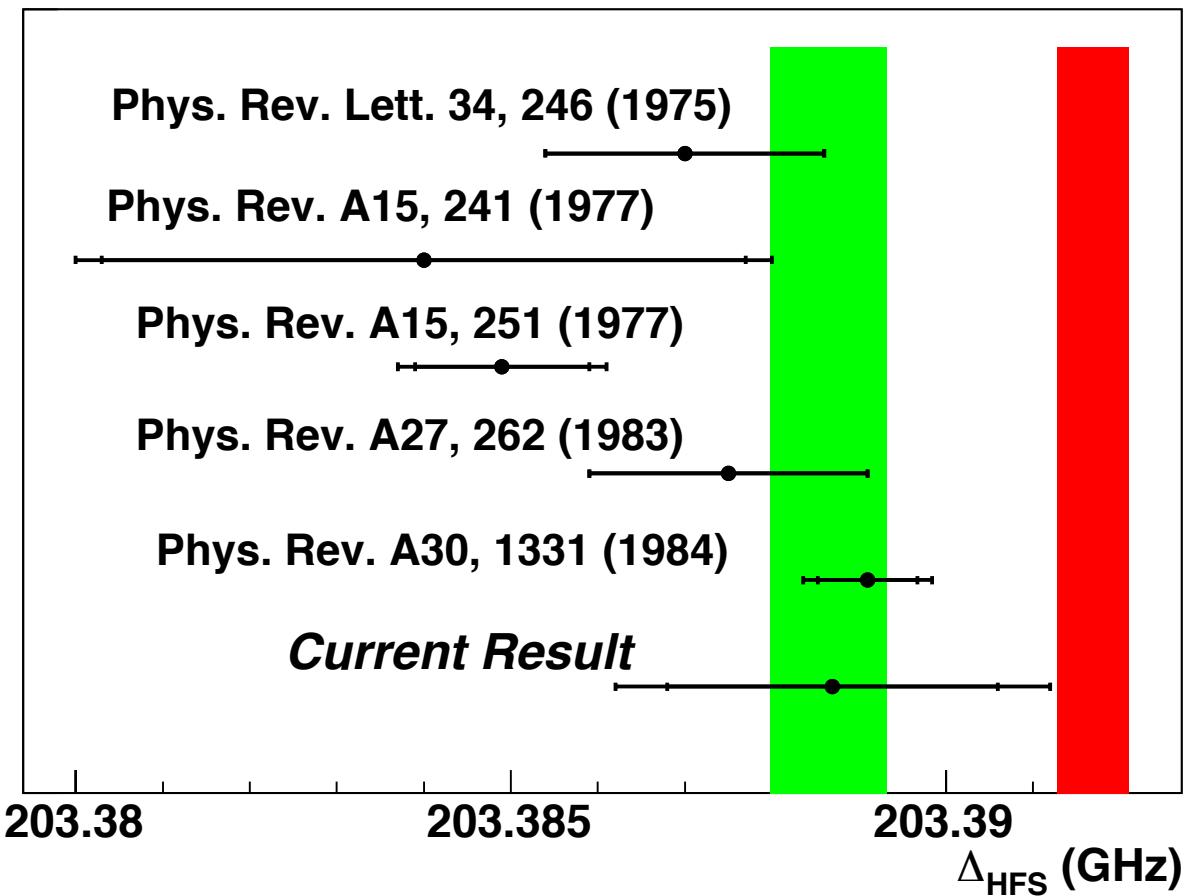


$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3506(20) \text{ GHz (9.8 ppm)}$  (MC統計,P,Qのエラー含む)  
→ 密度依存性の補正をして、真空での値を求める。

# 圧力(密度)依存性



# 本測定の途中結果



本測定で得られた、超微細構造の途中結果

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3887 \pm 0.0019 \text{ (stat., 9.2 ppm)}$$
$$\pm 0.0016 \text{ (sys., 8.0 ppm) GHz}$$

# 系統誤差 (暫定)

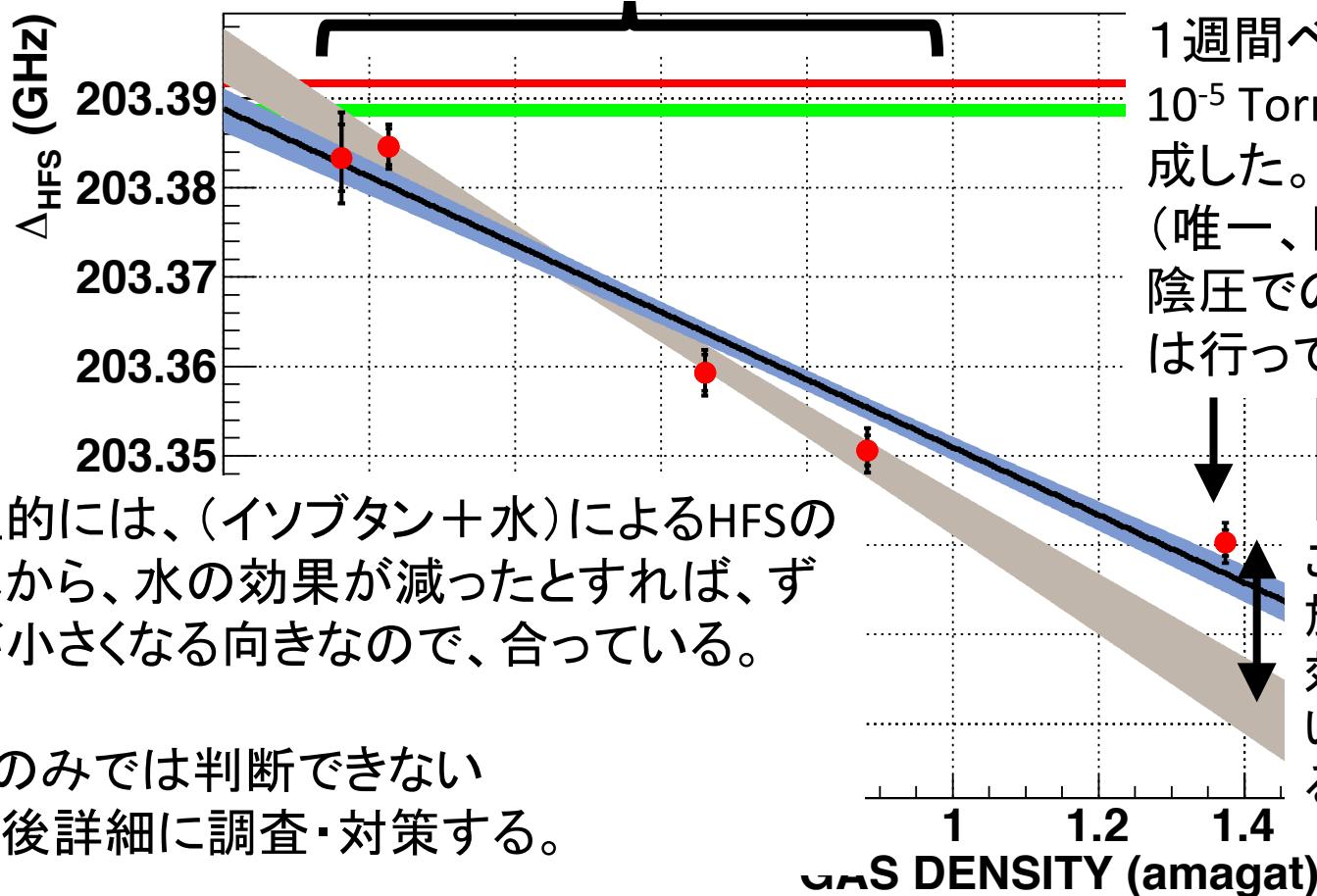
系統誤差の要因		大きさ (ppm)
磁場	非一様性	1.8
	補正と再現性	1.0
	NMR測定値	1.0
検出効率	MCを用いた評価	5.4
物質の効果	ポジトロニウムの熱化	3.0
RF	RF パワー	1.9
	RF キャビティーの $Q_L$ 値	4.5
	RF周波数	1.0
	Quadrature sum	8.0

# 残留/放出ガスの効果

残留/放出ガスとしては、大部分が水。

→双極子モーメントが大きいため、HFSをずらす可能性がある。

油回転ポンプで30分程度の  
真空引き、ベーキングなし



定性的には、(イソブタン+水)によるHFSのずれから、水の効果が減ったとすれば、それが小さくなる向きなので、合っている。

1点のみでは判断できない  
→今後詳細に調査・対策する。

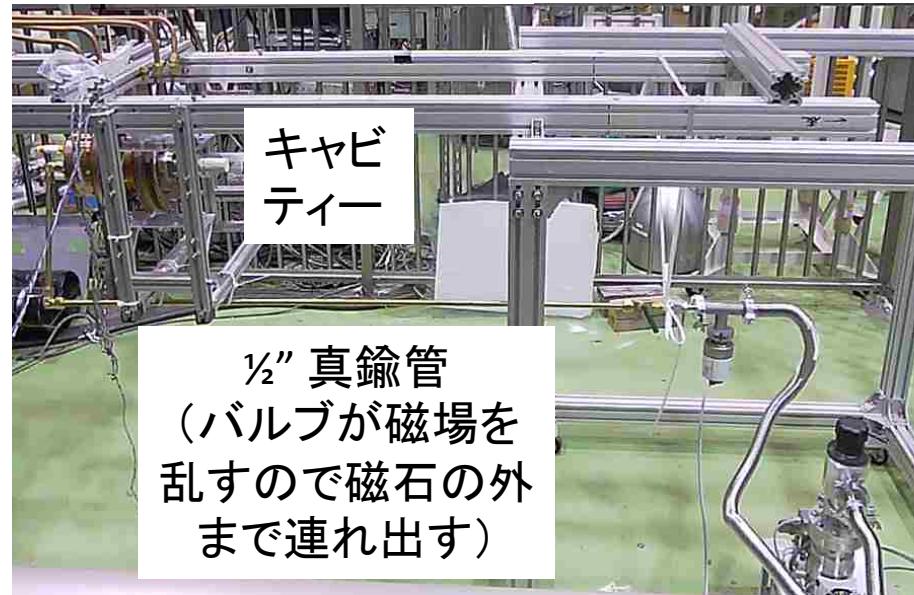
1.374 amagat の点では、  
残留/放出ガスの効果を  
抑えるため、  
ターボ分子ポンプを用い、  
1週間ベーキングして、  
 $10^{-5}$  Torr の真空度を達成した。  
(唯一、陽圧ではあるが、  
陰圧でのHeリークテスト  
は行っている)

この差が、残留/  
放出ガス(水)  
の効果として見えて  
いる可能性があ  
る。

# 残留/放出ガスへの対策

- ・ ターボ分子ポンプの使用、ベーキングの徹底(既に行っている)。
- ・ ガス系の設計変更(コンダクタンスを大きく)。
- ・ ライトガイドの材料として、アクリル(ガス放出速度が大きい)の代わりに、石英を用いる。
- ・ ガス封じきりでなく、各測定点毎に入れ替えることも検討中。

ベーキング用の湯を流す



ターボ分子  
ポンプ

上記対策により、残留/放出ガスを減らし、変化を調べる。

# 今後の展望

- 物質の効果: 現状、HFSがガス密度に線型に依存すると仮定している。しかし、熱化していないポジトロニウムの影響が大きいと、これは非線型になる。過去の熱化測定 (Skalsey et al.) によれば、熱化の効果は  $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$  ガスで 3 ppm 以下と見積もられる。現在、ポジトロニウムの熱化関数を別の手法で精密に測定している。
- 残留/放出ガスの効果: 残留/放出ガスを抑えた測定で、効果の有無や大きさを調べる。
- RF: 温度管理、性質の更なる理解で ppm level を達成する。
- 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、ppm level 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 9.2 ppm

今後1年程度で、0(ppm) の精度を達成する。

# まとめ

## 本測定の途中結果

**HFS = 203.3887 ± 0.0019 (stat., 9.2 ppm)  
± 0.0016 (sys., 8.0 ppm) GHz**

- ・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。
- ・上記途中結果は、残留/放出ガスの効果が見えている可能性があり、今後調査・対策する。
- ・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。