

ポジトロニウムの 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, 福井大遠赤セ^D

石田明, 秋元銀河, 加藤康作,
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,
小川勇^D, 小林真一郎^D, 出原敏孝^D

ICEPPシンポ

2009年2月25日 於白馬

概略

ポジトロニウムの超微細構造(203GHz)の精密測定

1. Zeeman効果を用いた間接測定
2. 大強度サブテラヘルツ波を用いた直接測定

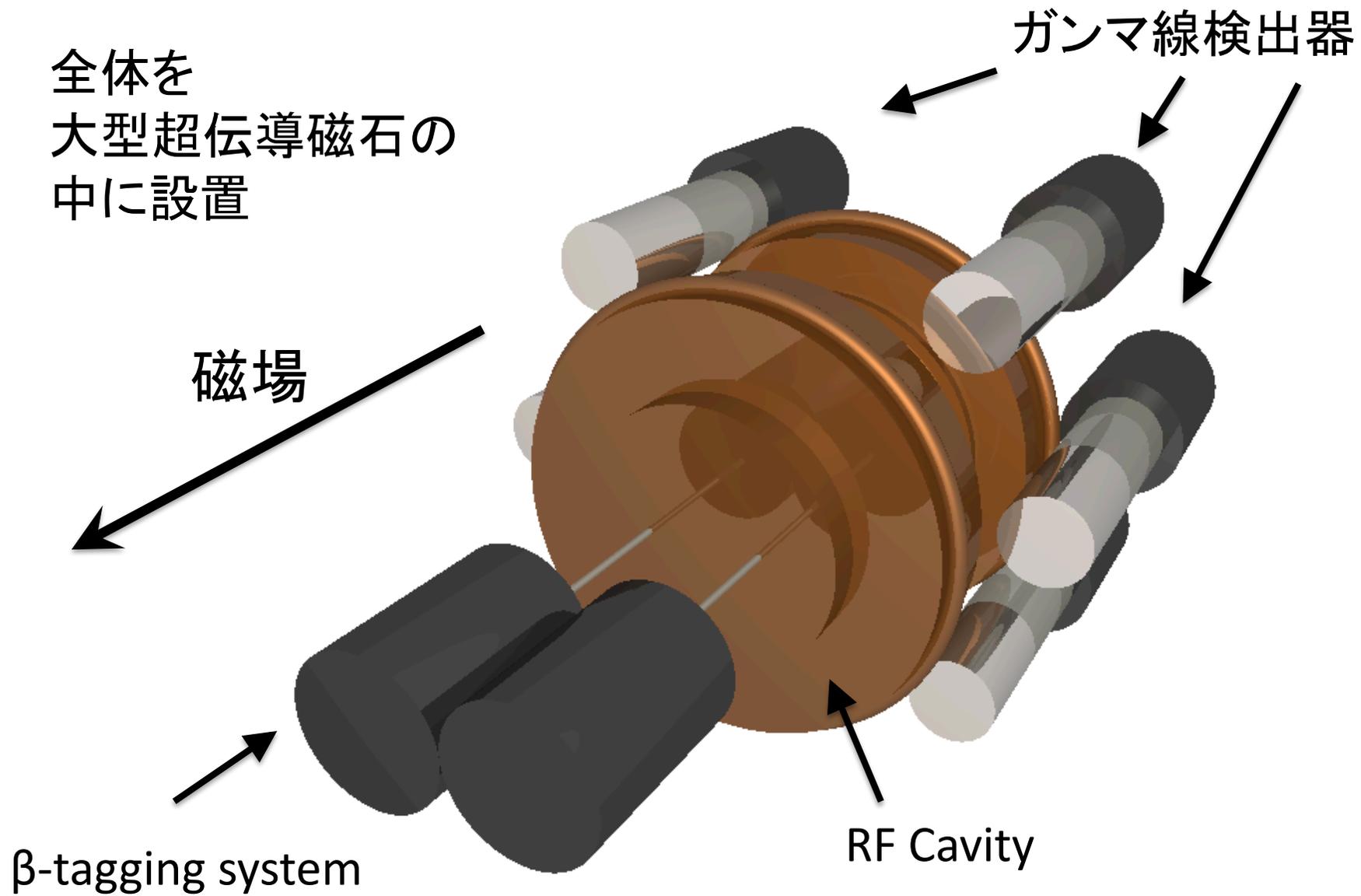
1.は 磁場中で RF をPsに加えて 測定する。

昔の実験の問題点として、

磁場の非一様性 物質の効果 が挙げられる。

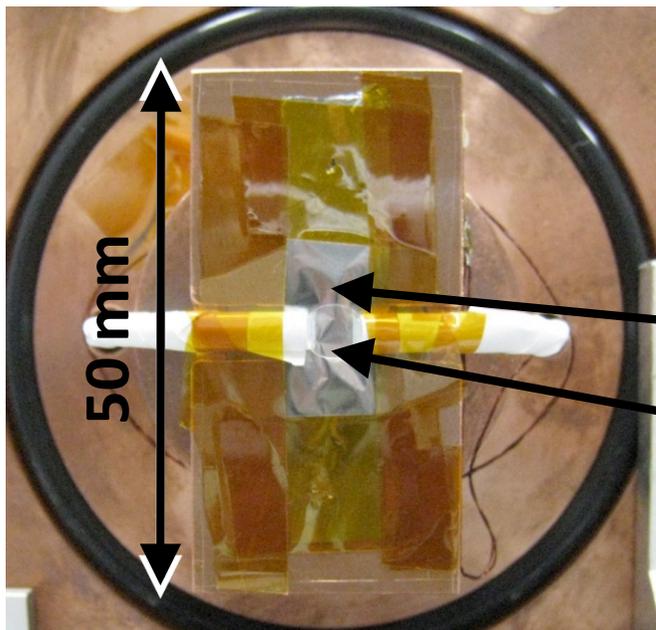
- β -tagging System (時間情報->物質の効果)
- ガンマ線検出器
- 新しい 2γ -taggingの方法
- 検出器全体の設計図
- テスト実験
- 大強度サブテラヘルツ波を用いた直接測定
- まとめと展望

全体像



β-tagging system

内側

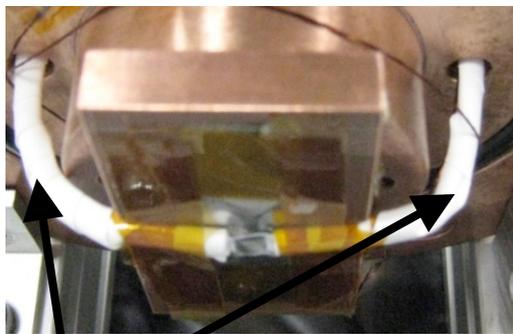


厚さ200 μmのプラスチックシンチレータを用いてβ線をtag ->時間情報に用いる。

Ti ホイル (16μm)の奥に²²Na線源
プラスチックシンチレーションファイバー(φ 2 mm)
(中央部は t 200 μm, φ 4 mmに潰してある)

ここから出る光を2つのPMTで検出

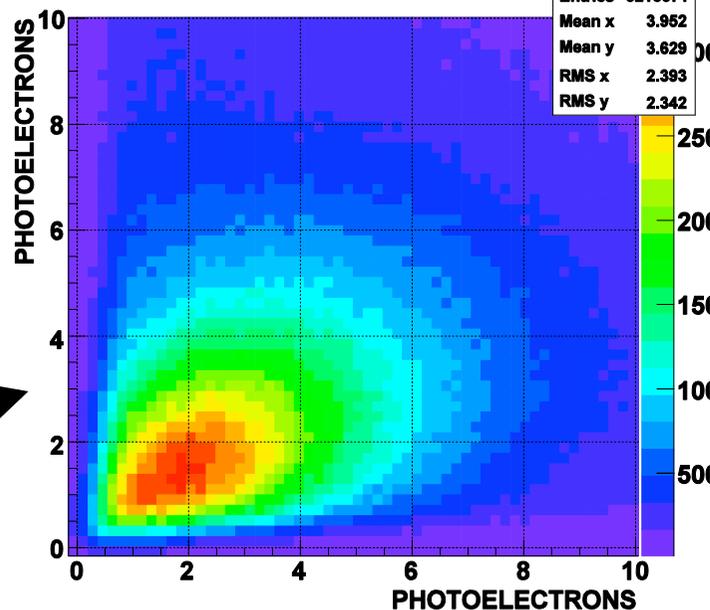
外側



90度曲げる

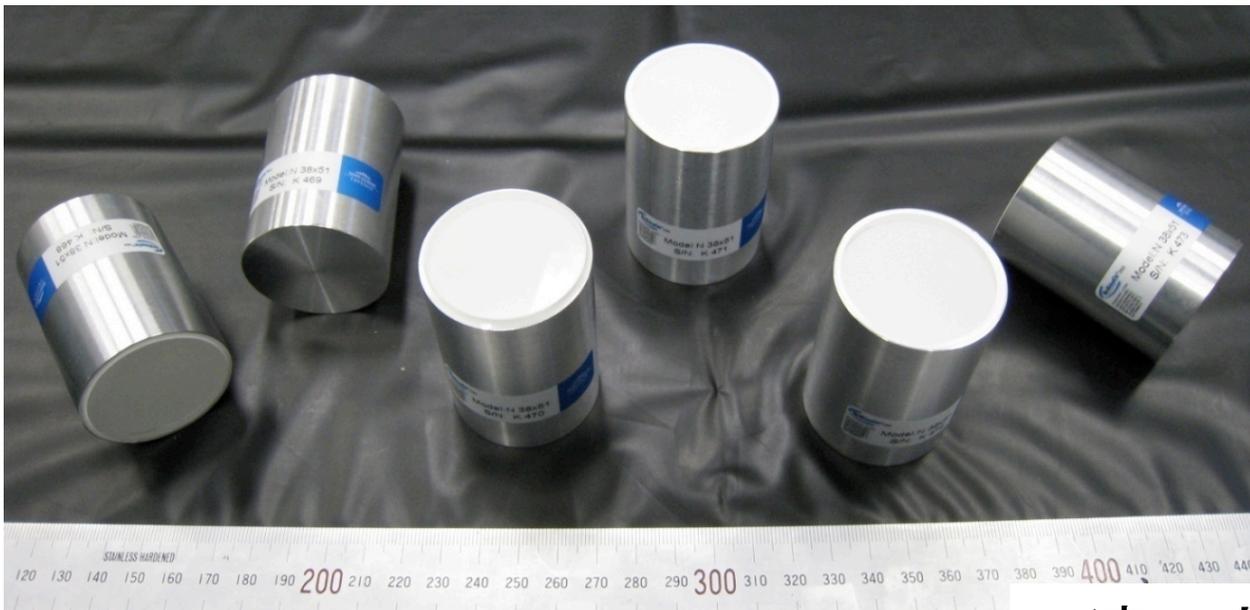
PMTで得られた光量の2次元分布

PS PE 2D



ガス

ガンマ線検出器

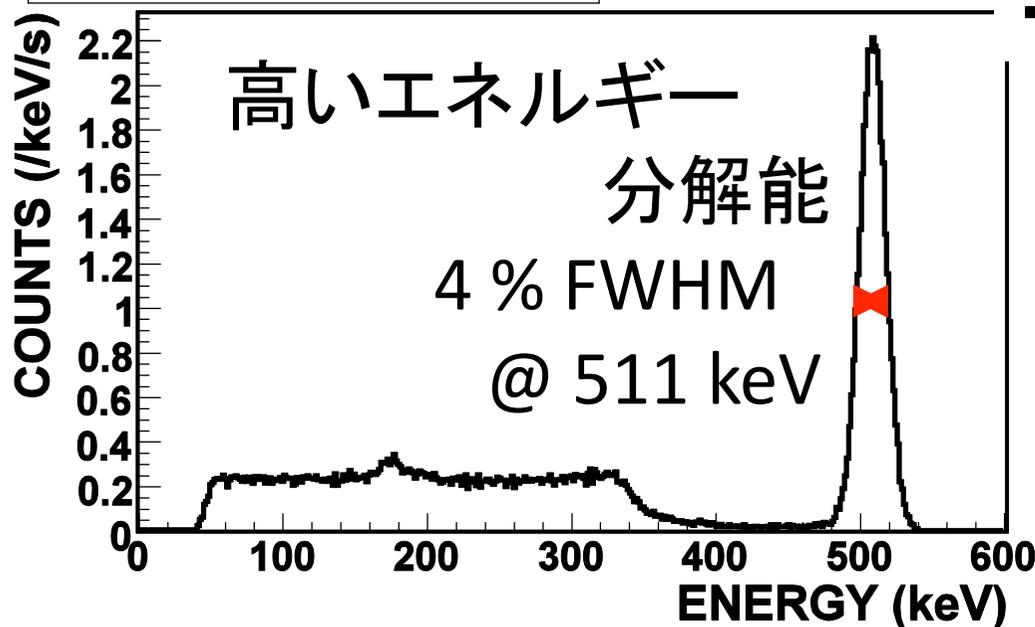


LaBr₃(Ce)シンチレータ
(直径1.5インチ、長さ2インチ)
を6個使用

磁場中でもPMTを磁場と
平行にすることで非常に
高い性能を発揮する
(6月にテストで測定した)。

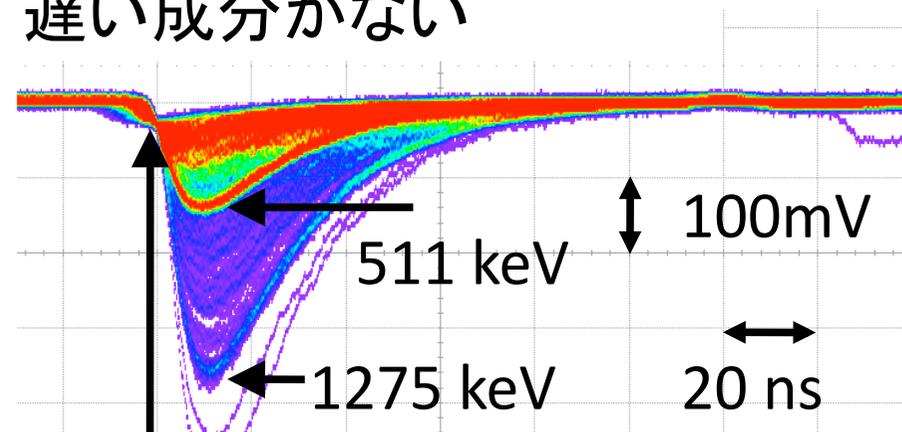
ENERGY SPECTRUM

²²Na



- 速い立ち上がり
- 遅い成分がない

²²Na



高い時間分解能

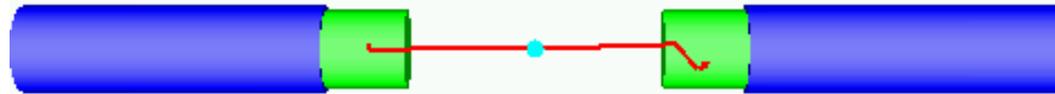
200 ps FWHM @ 511 keV

新しい2 γ -taggingの方法

2 γ 崩壊と 3 γ 崩壊の比から、HFS を求める

→ 2 γ を正確に tag する必要 2つの方法

(1) Geometrical
(昔の方法)



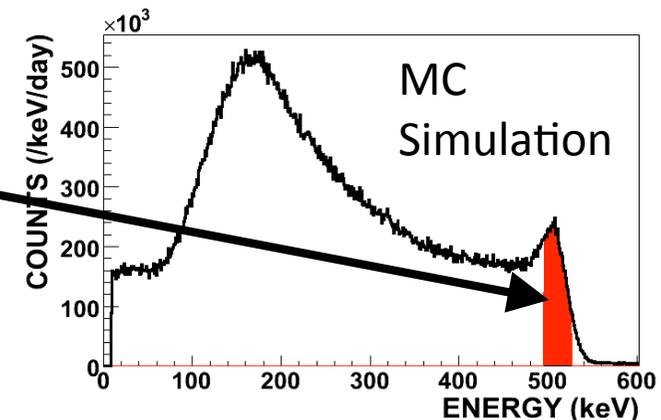
Back-to-back に検出器を置き、両方に 511 keV が入った場合を tag
(長所) S/N がよい (短所) Collection efficiency が小さい

(2) Energy
(新しい方法)

Energy information のみから 511 keV を tag

(長所) **Collection efficiency が大きい**
(Self-trigger で count できる)

(短所) S/N が悪い



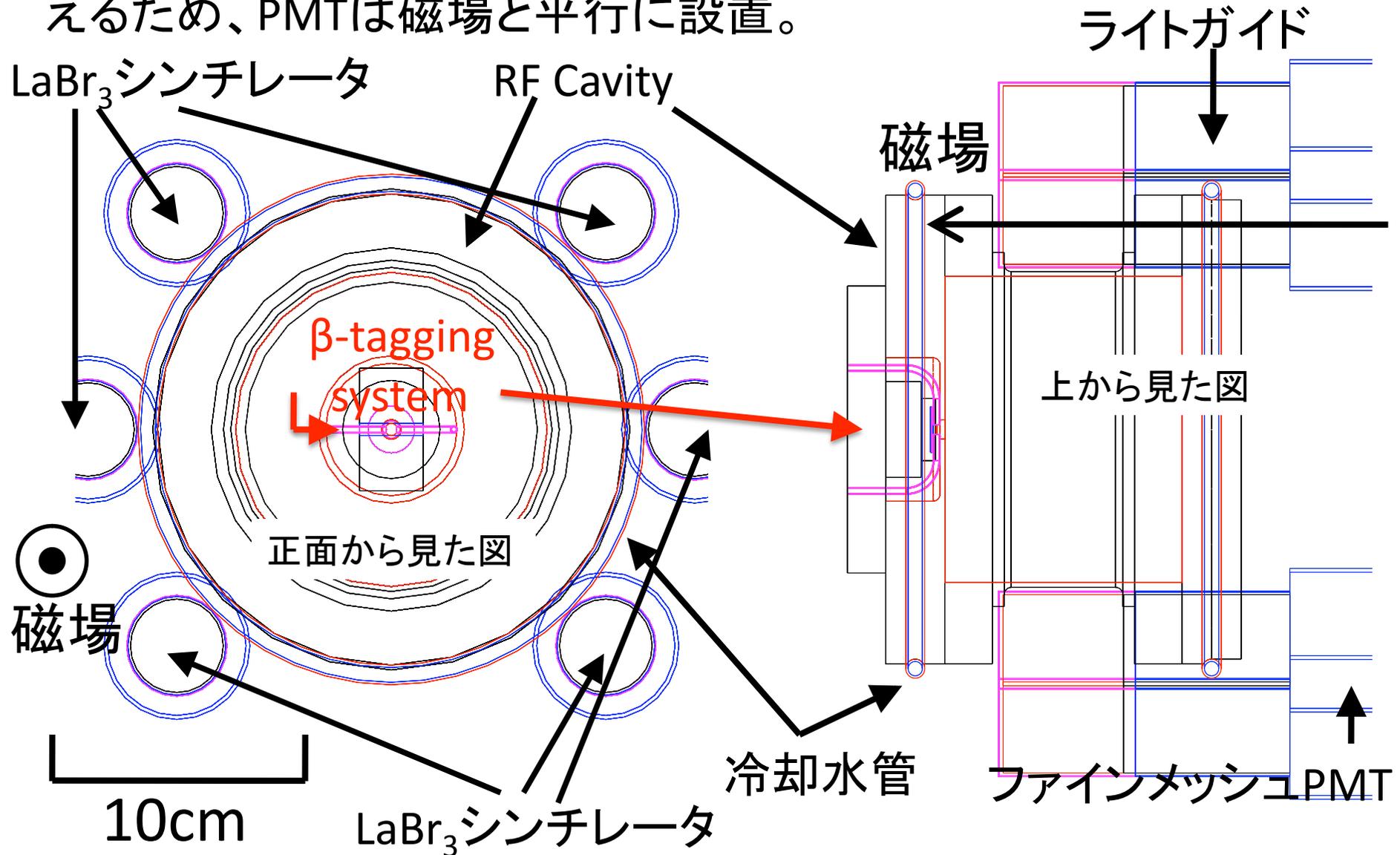
高いエネルギー分解能 (4 % FWHM @ 511 keV) をもつ

LaBr₃シンチレータを使うことで、Energy tagging が可能

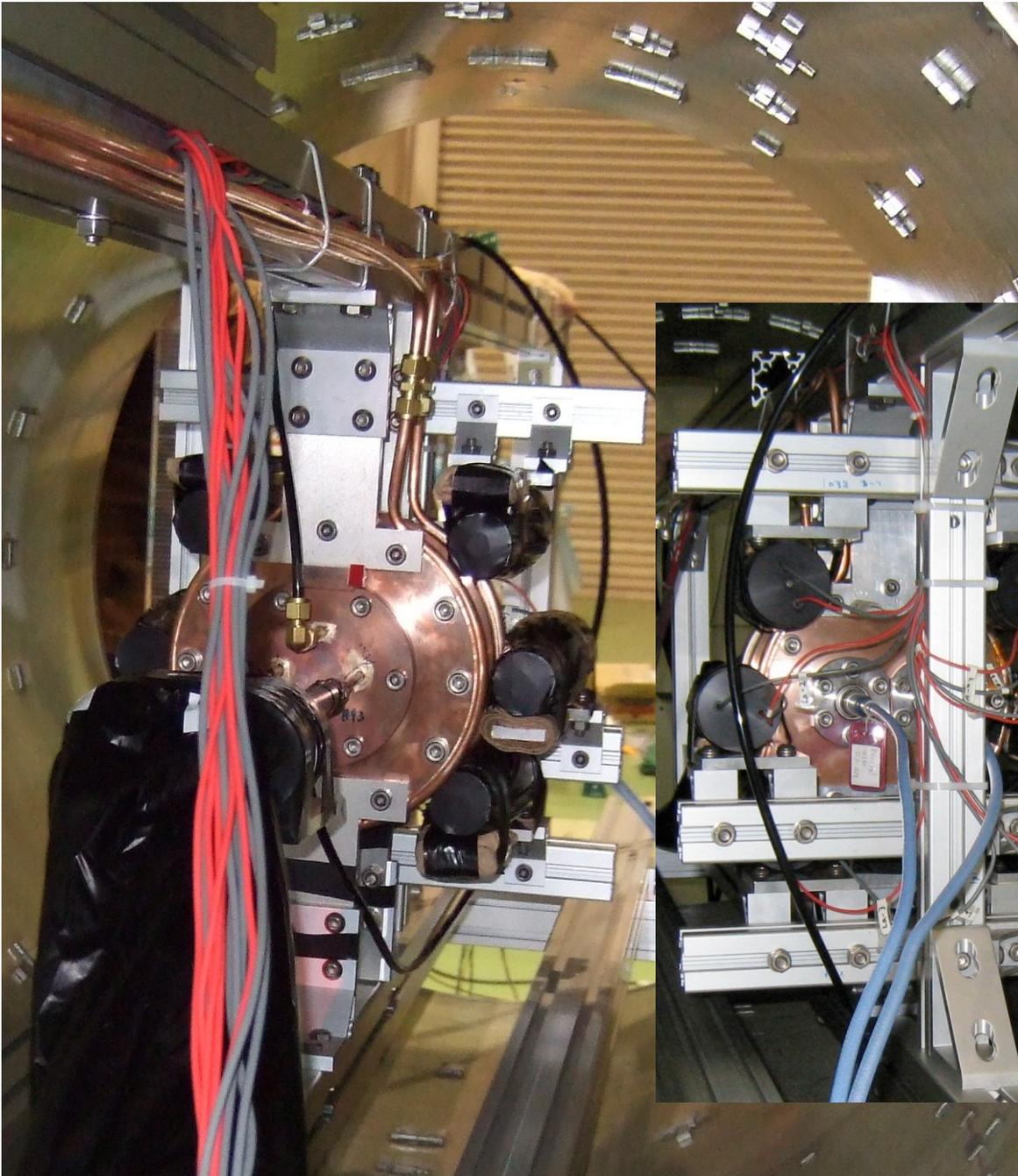
-> **約50倍高い統計** が得られる (短期間で測定可能)

検出器全体の設計図

ファインメッシュPMTを用いて、高磁場中での実験を可能にする。
PMTの分解能(エネルギー、時間)への磁場の影響を最小限に抑えるため、PMTは磁場と平行に設置。



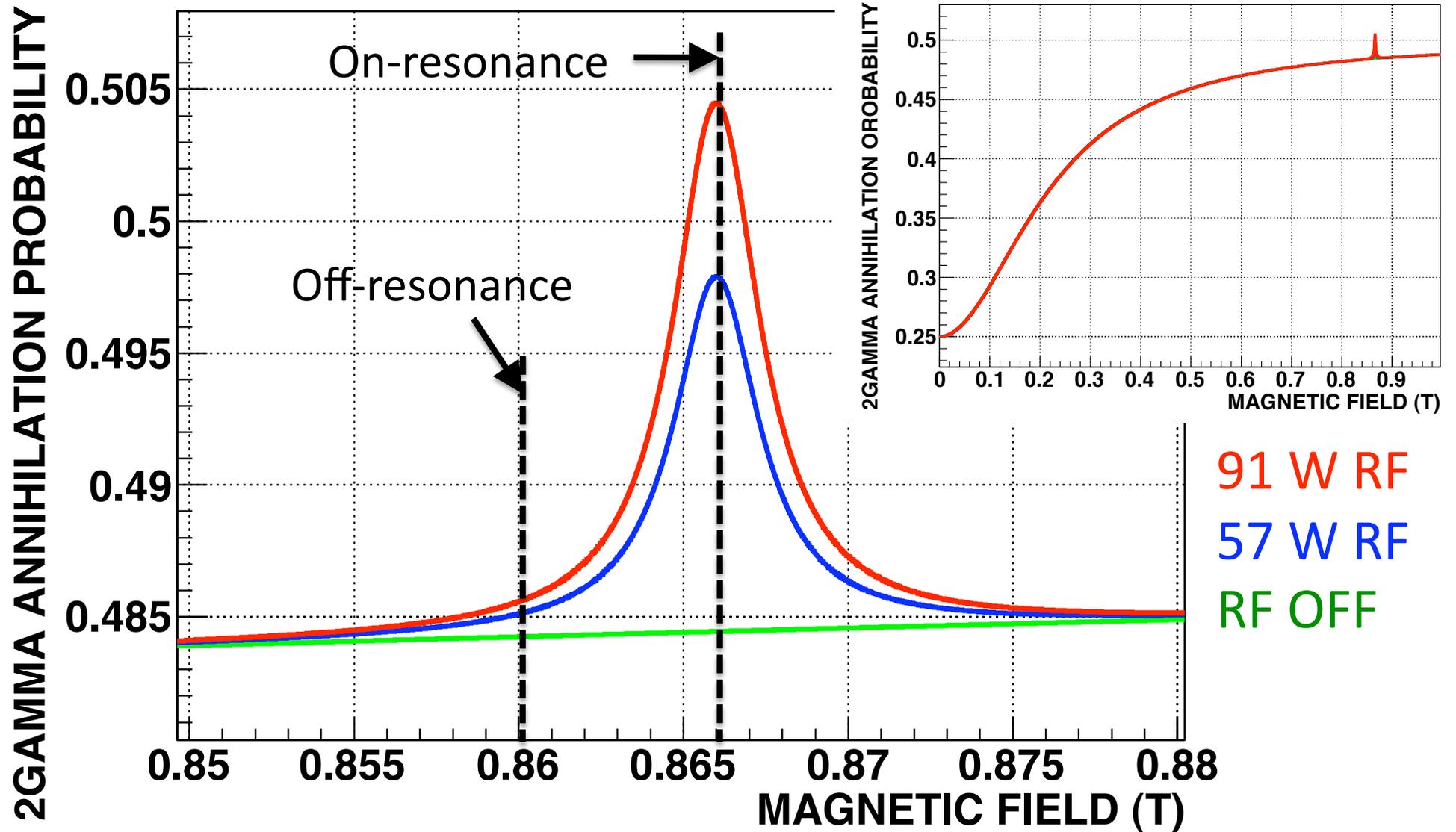
テスト実験(1)



昨年11月半ばから
約1ヶ月間、
KEK低温センターにて
テスト実験を実施。

我々の方法で
遷移を測定できる
ことの確認を目標に、
On-resonance
(0.866 T)および
Off-resonance
(on-resonanceから
約 5σ (60Gauss)離
れた点)の2点で
測定を行った。

テスト実験(2)

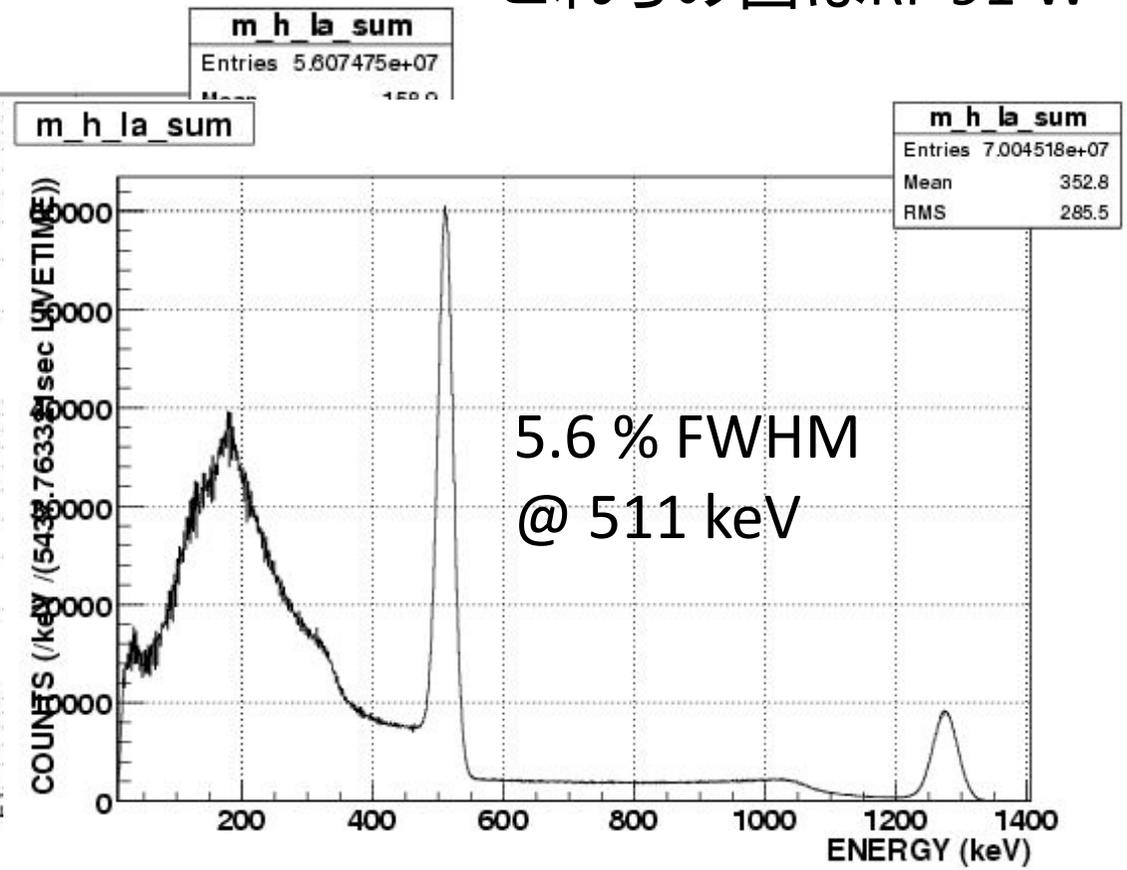
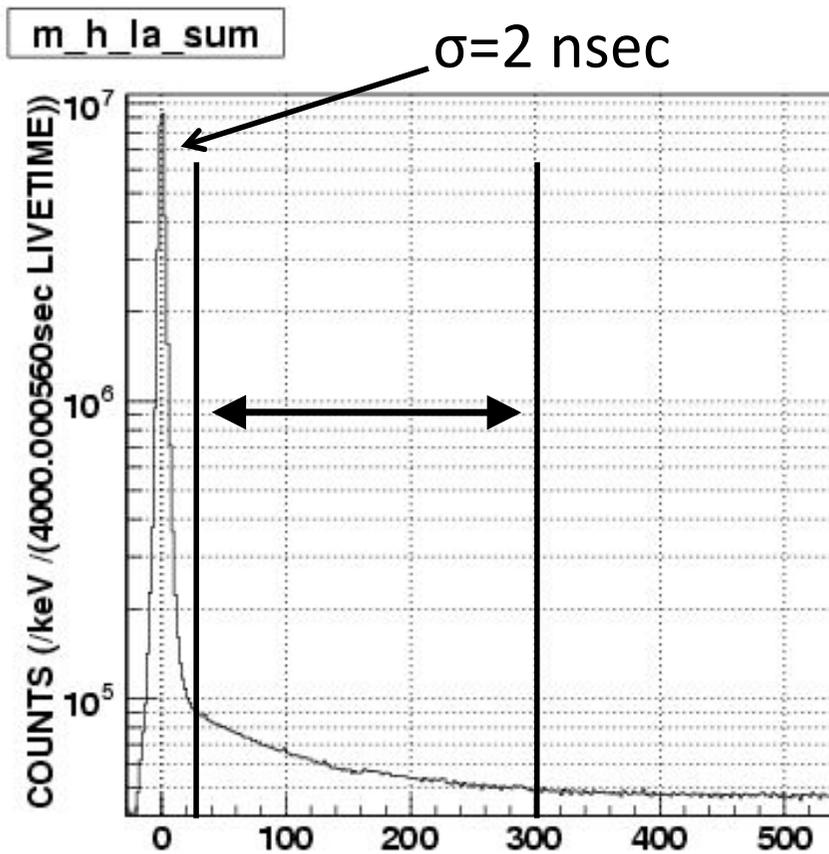


Timing window & Energy cut

Timing window -> 30-300 nsec

Energy cut -> (511 +/- 50 keV rate)/(その他 rate)
という比を見る。

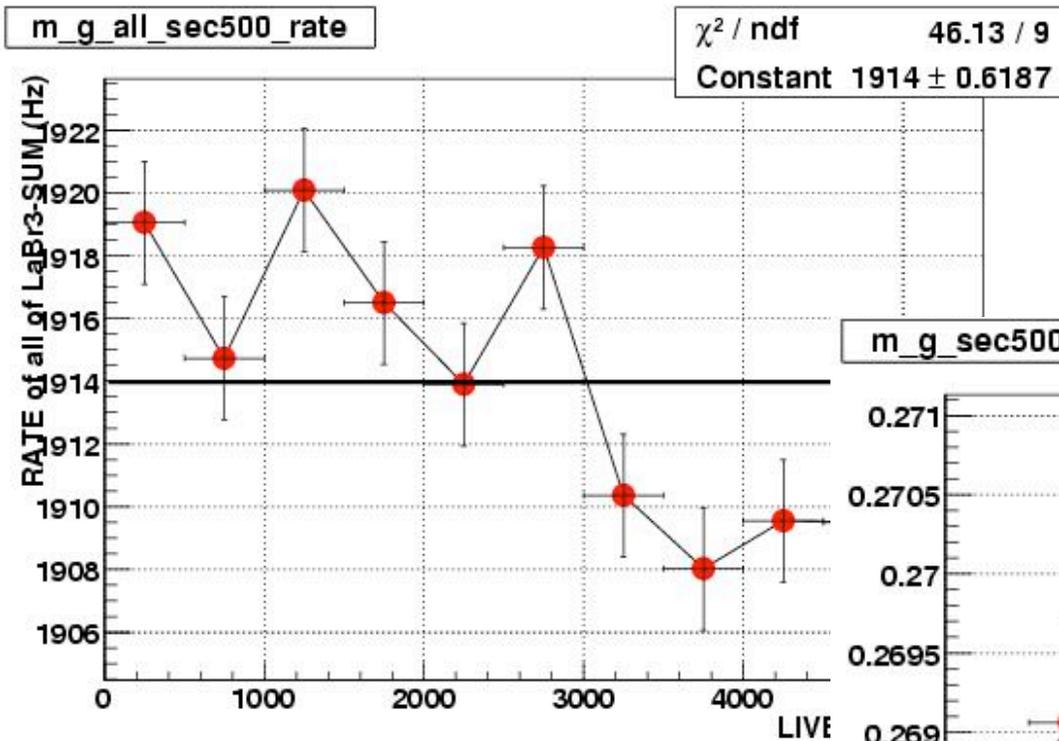
これらの図はRF 91 W



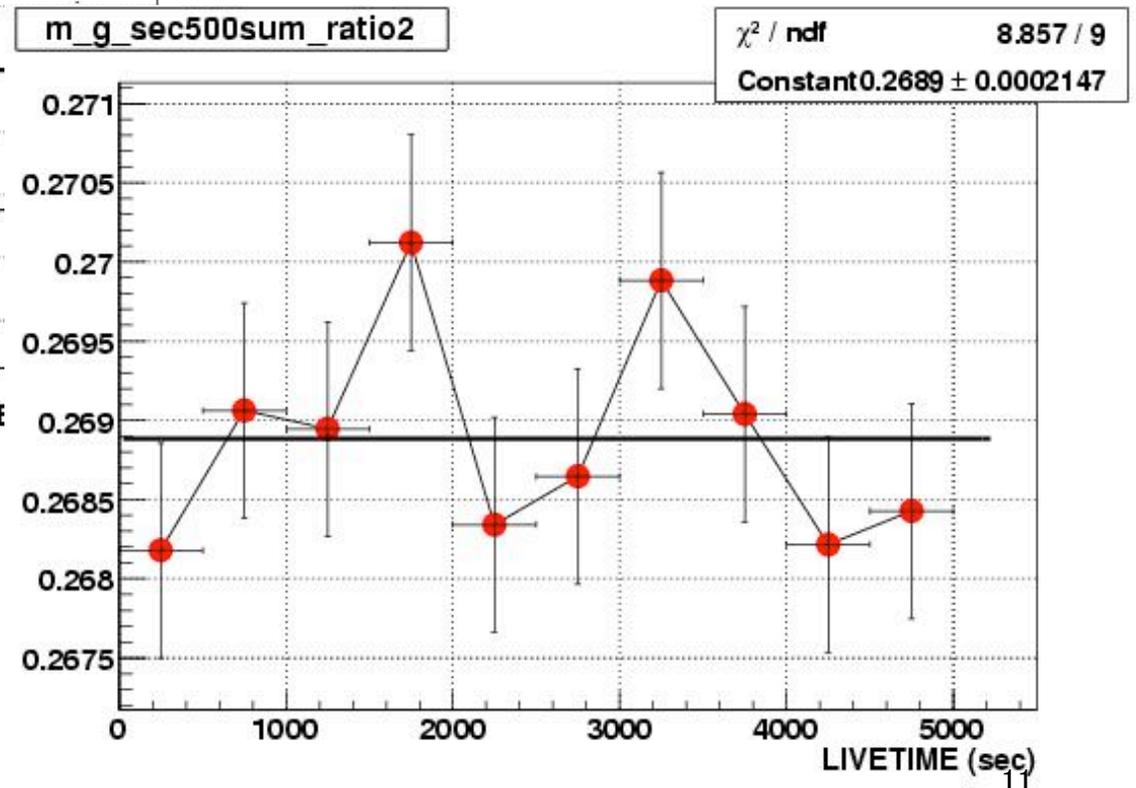
安定性

Timing cut 後のRateは安定していない。

これらの図はRF 91 W

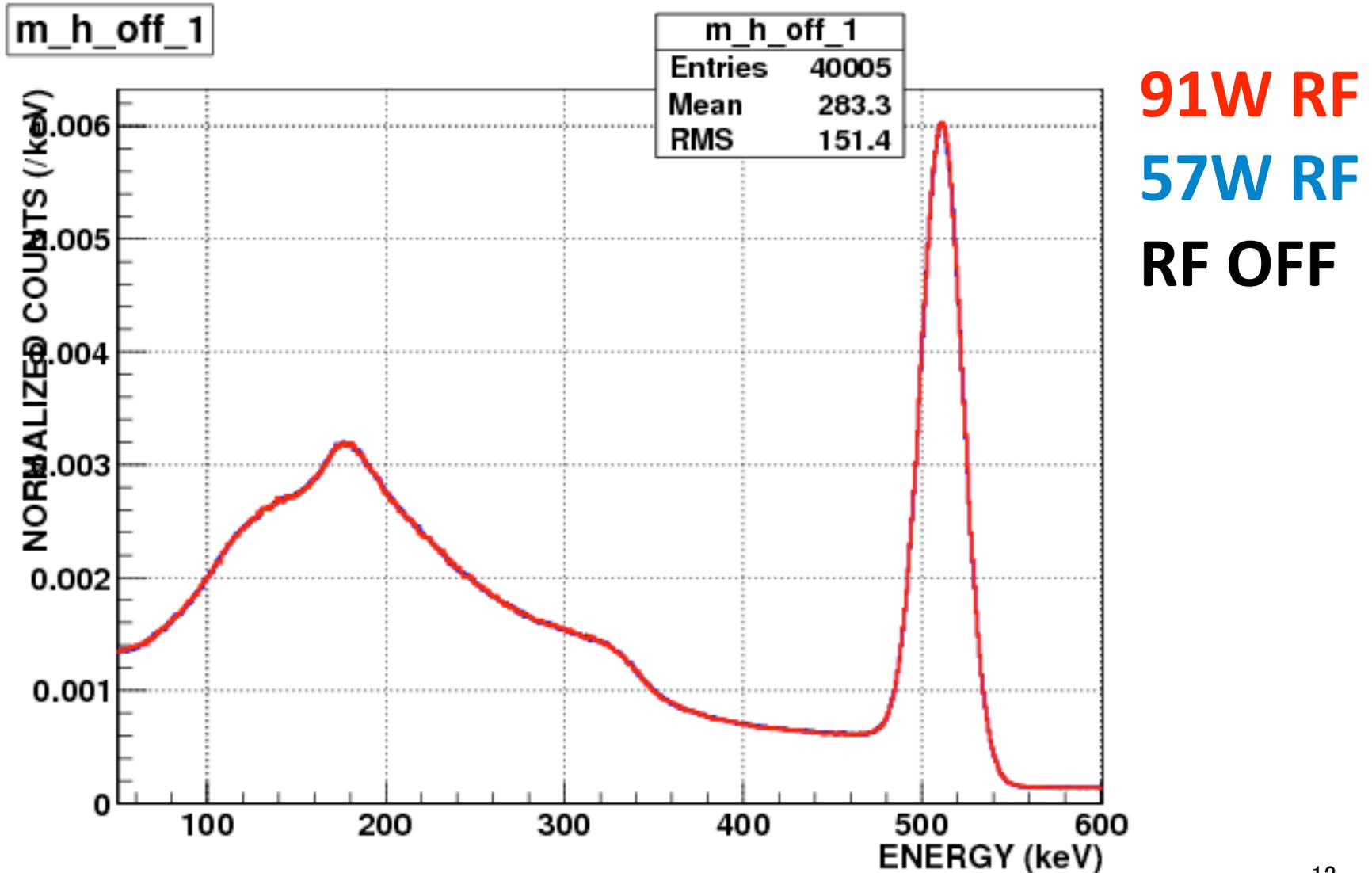


比を用いることで統計の範囲でよく安定する。

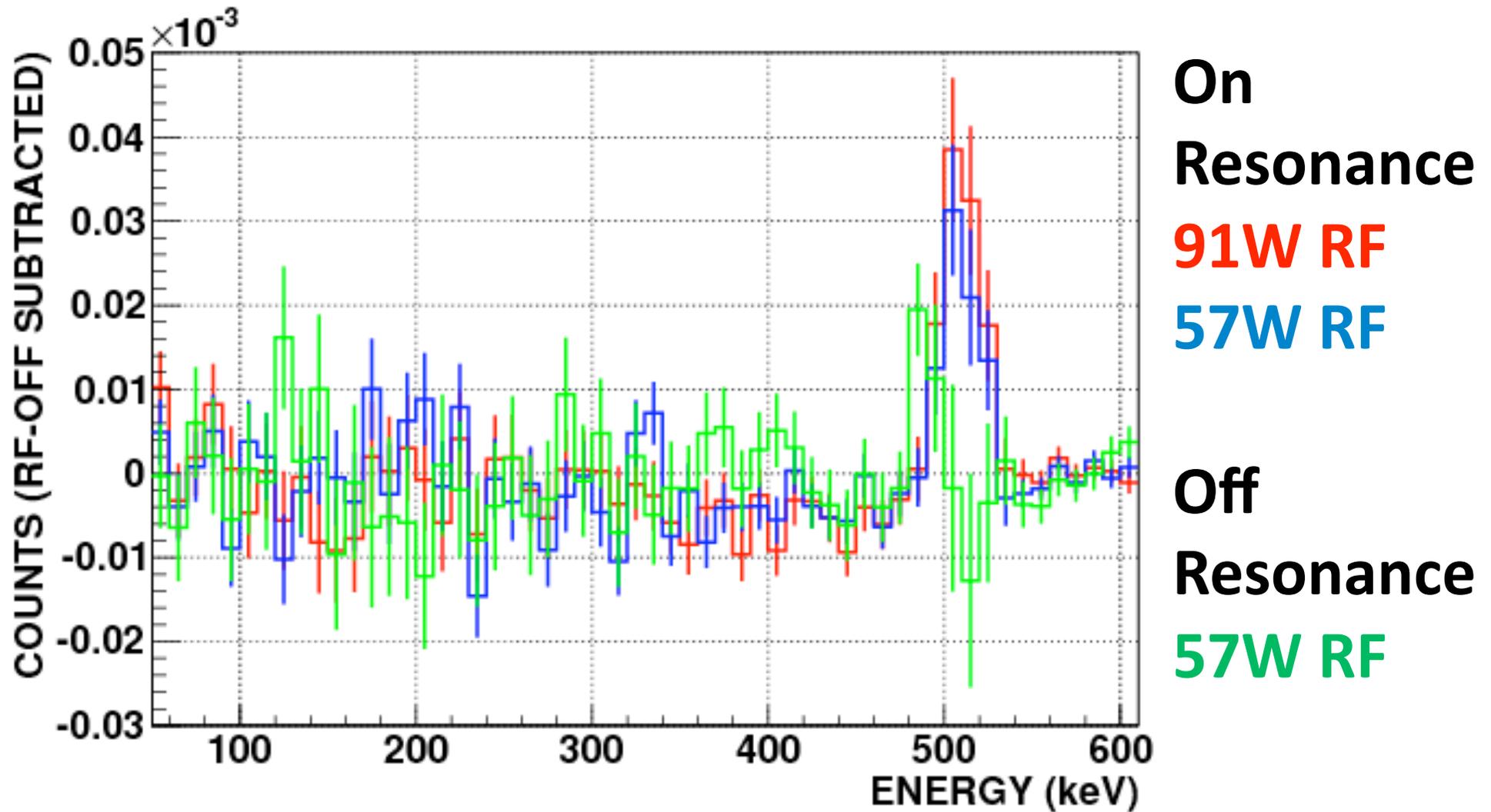


スペクトルの比較

- 一次の補正を行い、スペクトルの比較をした。

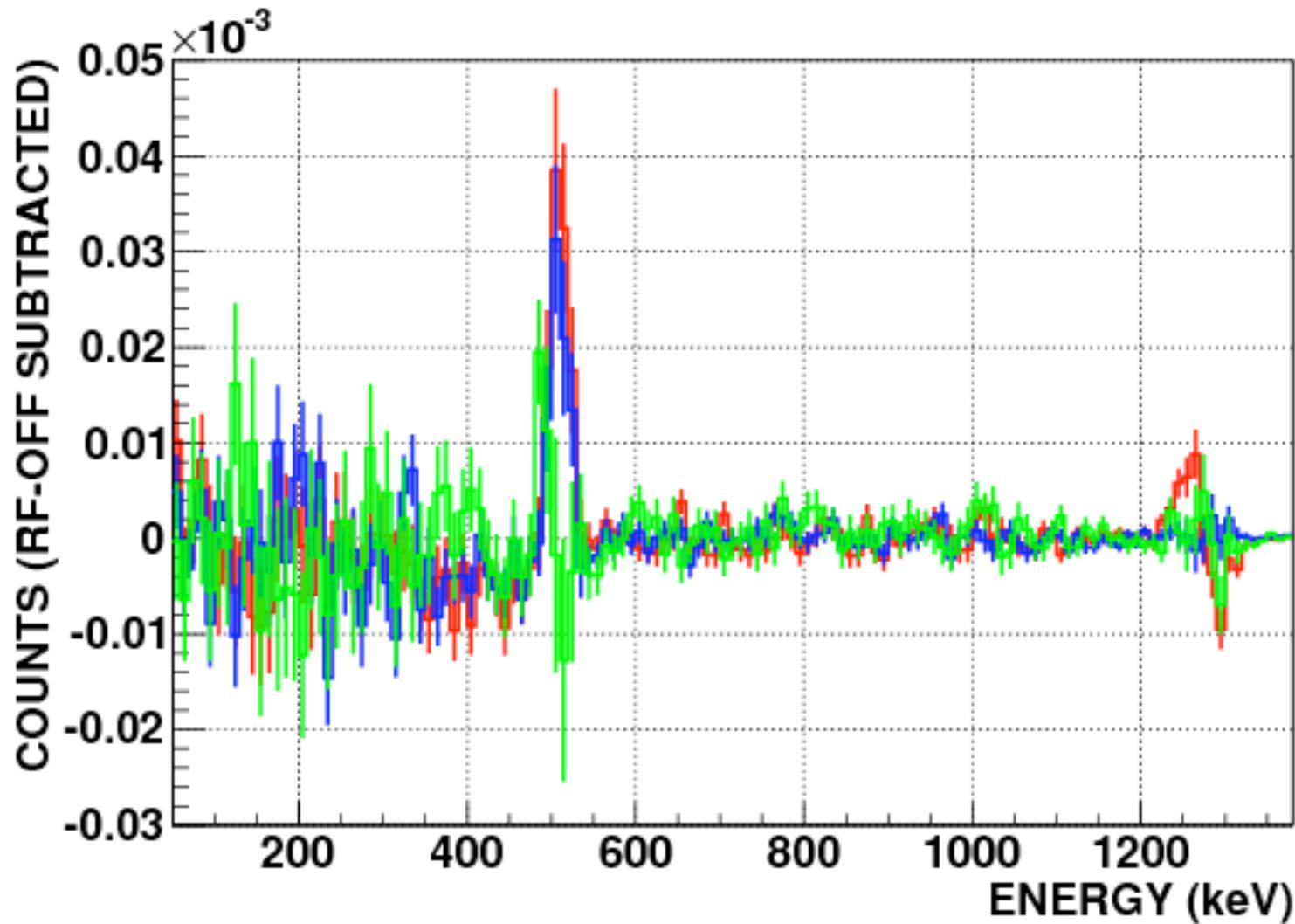


RF ON から RF OFF を引くと



On-Resonanceで遷移

ちなみに全体



**On
Resonance**

91W RF

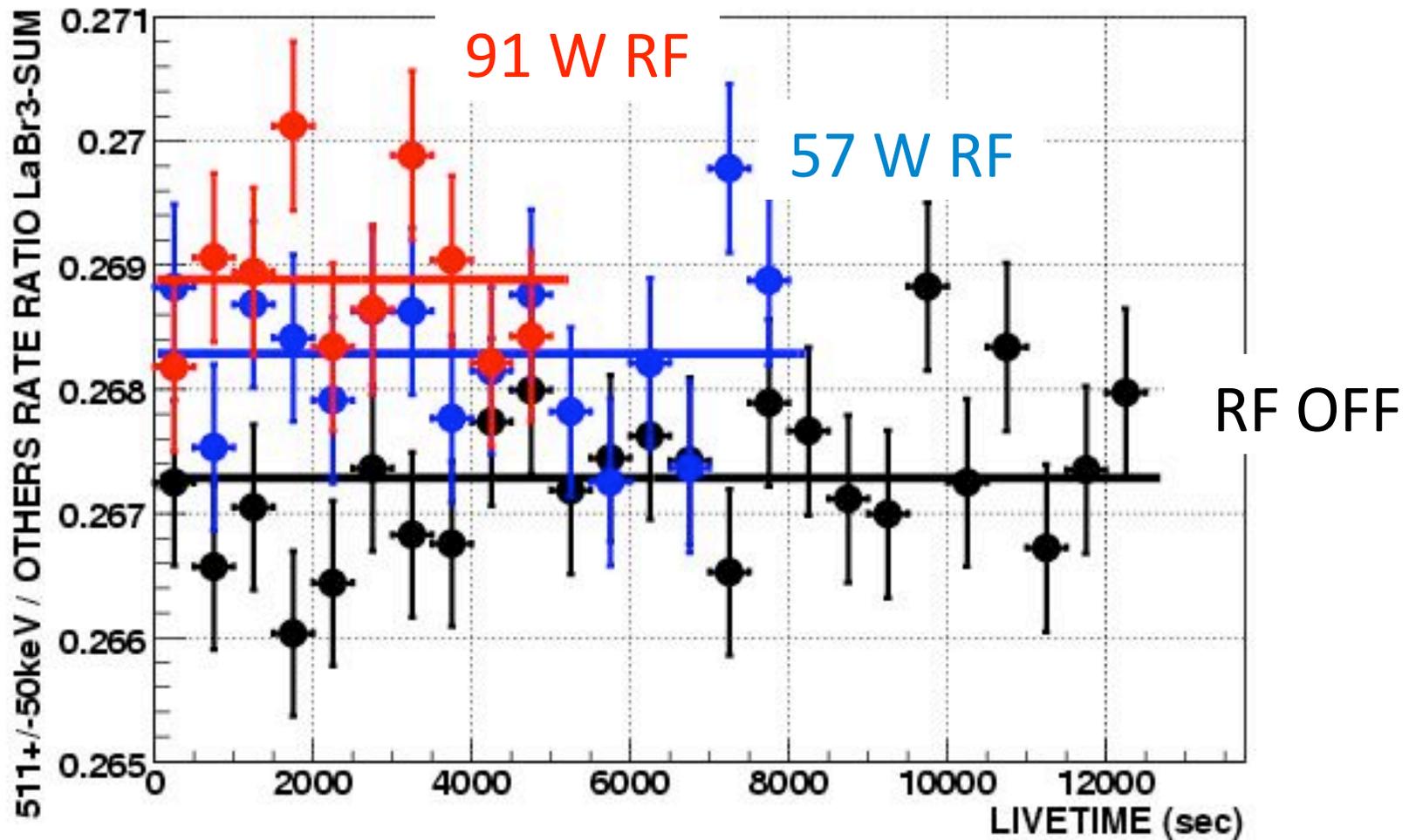
57W RF

**Off
Resonance**

57W RF

Current Result (1)

磁場 On-resonance で、
511 +/- 50 keVのイベントの全イベントに対する比を、
RF on/off で比較。



Current Result (2)

条件	比	統計誤差	χ^2/ndf
RF-OFF	0.26729	0.00013	0.90
57 W RF	0.26829	0.00017	0.97
91 W RF	0.26885	0.00021	0.98
比較条件	比	統計誤差	Excess by σ
57 W / OFF	1.00374	0.00081	4.6
91 W / OFF	1.00586	0.00092	6.4
91W / 57W	1.57	0.34	1.6

- χ^2/ndf が1程度->時間的に安定している。
- Excessは5 σ で言える。
- 91Wのexcessは57Wの1.57倍で、Powerに比例

→ **Transitionを
確認**

大強度サブテラヘルツ波を用いた 直接測定



福井大遠赤センターと共同で開発しているジャイロトロンを用い、203GHz, 100Wの大強度サブテラヘルツ波でHFSを直接遷移させて測定。

-> 世界初の測定

Zeeman効果を使った間接測定と異なり、磁場の不定性・非一様性からくる系統誤差(間接測定の最大の系統誤差)がない。

Ps生成領域にエネルギーをためるための共振器として、ファブリー・ペロー共振器を用いる

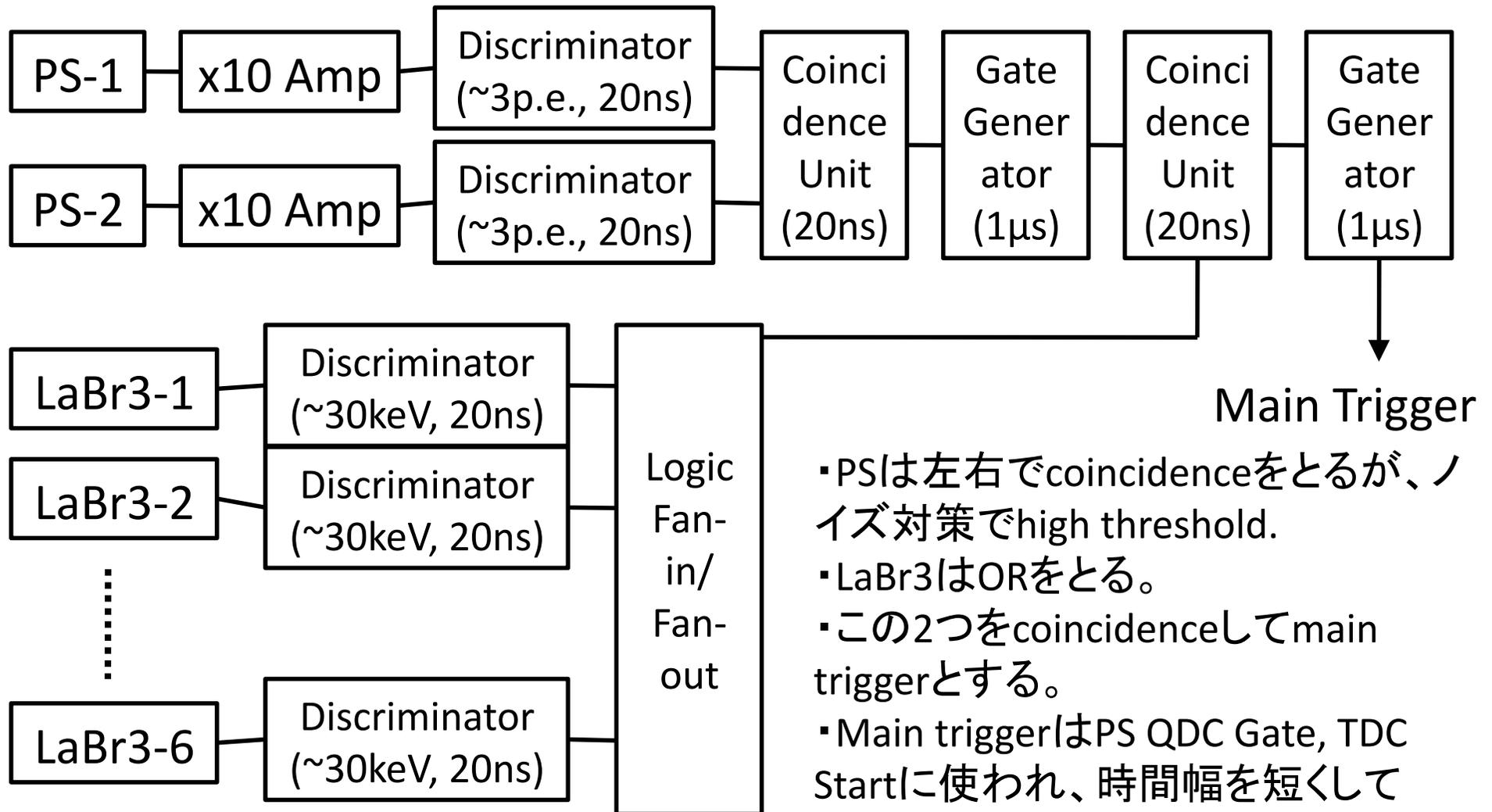
->現在、設計・製作・測定中

まとめと展望

- ポジトロニウムのHFS精密測定
 1. Zeeman効果を用いた間接測定
 2. 大強度サブテラヘルツ波を用いた直接測定
- β -tagging System, ガンマ線検出器の設計・製作と試験を行い、検出器全体の設計をした。
- 11月半ばから約1ヶ月間テスト実験を実施。
- テスト実験によって、On-resonanceでの遷移を 5σ で確認。
- 今後は磁場の精度をppmまで高めるとともに、ガンマ線検出器の設計を改善し、5月頃に $O(\text{ppm})$ の精度での測定を目指す。

Backup

DAQ 概略 (LaBr3 single & PS coincidence)



・それぞれDiscriの出力をTDC stopに入れ、PSはアンプ後、LaBr3はLinear Fan-in/outで分けた出力をQDCへ。

- ・PSは左右でcoincidenceをとるが、ノイズ対策でhigh threshold.
- ・LaBr3はORをとる。
- ・この2つをcoincidenceしてmain triggerとする。
- ・Main triggerはPS QDC Gate, TDC Startに使われ、時間幅を短くしてLaBr3 QDC, LaBr3 baseline QDCのGATE.