

# ポジトロニウム 超微細構造の精密測定II (ガンマ線検出器の設計)

東大理、東大素セ<sup>A</sup>、東大院総合文化<sup>B</sup>、福井大遠赤セ<sup>C</sup>

石田明、秋元銀河、Mark M. Hashimoto<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>、出原敏孝<sup>C</sup>

日本物理学会 第63回年次大会 於 近畿大学本部キャンパス

# Outline

ポジトロニウム 超微細構造の精密測定

(1) 時間情報を加えた HFS の精密測定

(2) 大強度サブテラヘルツ光による直接測定

いずれの場合にも用いるガンマ線検出器 ( $\text{LaBr}_3$ , Ge) の設計

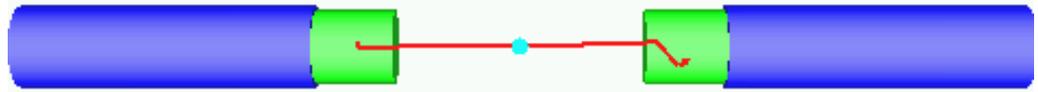
1.  $2\gamma$  崩壊をどうやって tag するか
2.  $\text{LaBr}_3$  Scintillator の諸特性
3. Geant4 を用いた estimation
4. 磁場中での検出器の動作( (1) に関連 )

# 2 $\gamma$ 崩壊

2 $\gamma$  崩壊と 3 $\gamma$  崩壊の比から、HFS を求める

→ 2 $\gamma$  を正確に tag する必要    2つの方法

(1) Geometrical



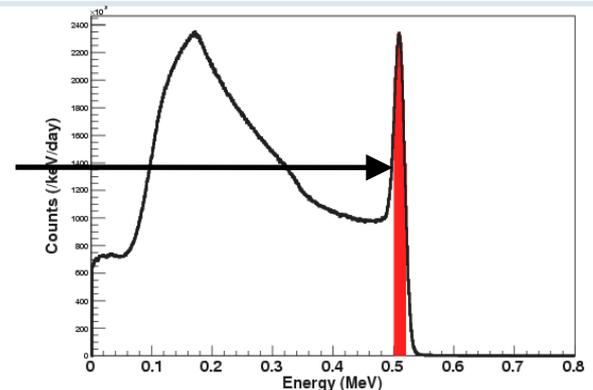
Back-to-back に検出器を置き、両方に 511 keV が入った場合を tag  
(長所) S/N がよい      (短所) Collection efficiency が小さい

(2) Energy

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

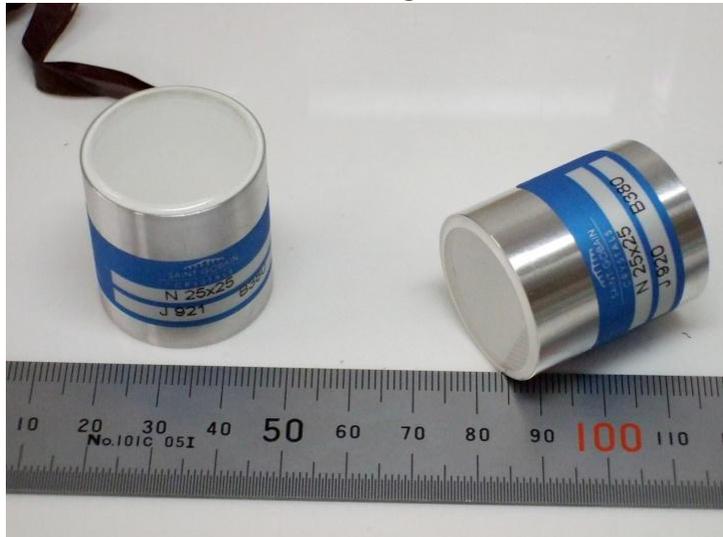


Energy でやるなら、高いエネルギー分解能が求められる

→ LaBr<sub>3</sub>、Ge の利用

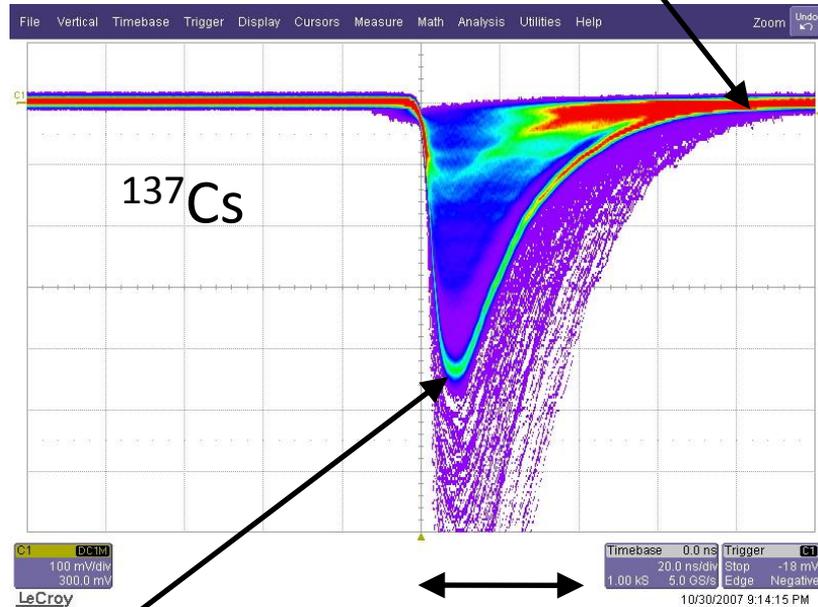
# $\gamma$ 線検出器 ～LaBr<sub>3</sub>～

1インチ LaBr<sub>3</sub>



本番では2インチの予定

遅い成分がない



40nsec 速い

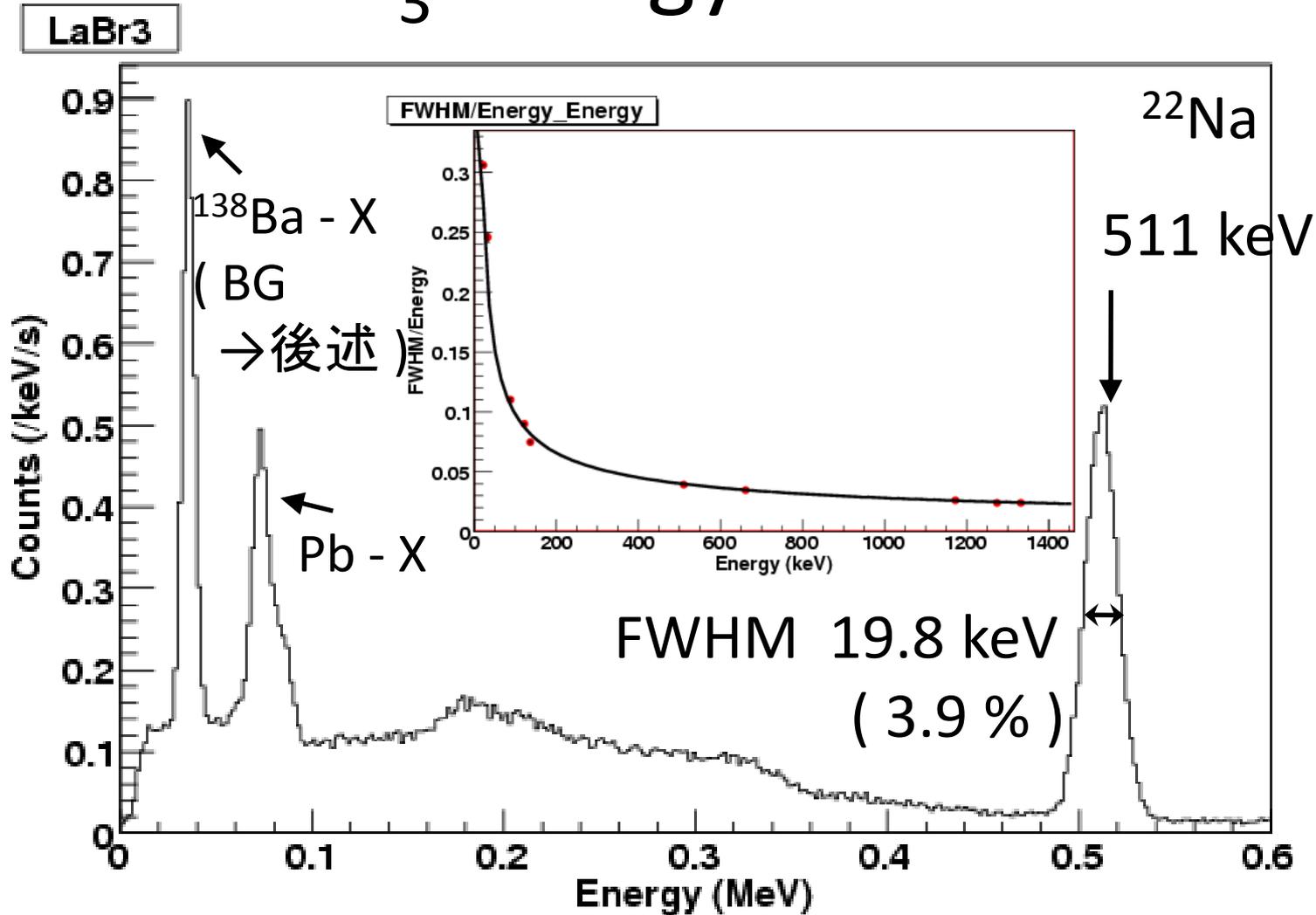
高い Energy 分解能 3.5% FWHM

速い：時間分解能が良い(熱化過程を測定)

遅い成分がない：強い線源強度可能

高いエネルギー分解能：Energy で 2 $\gamma$  を tag

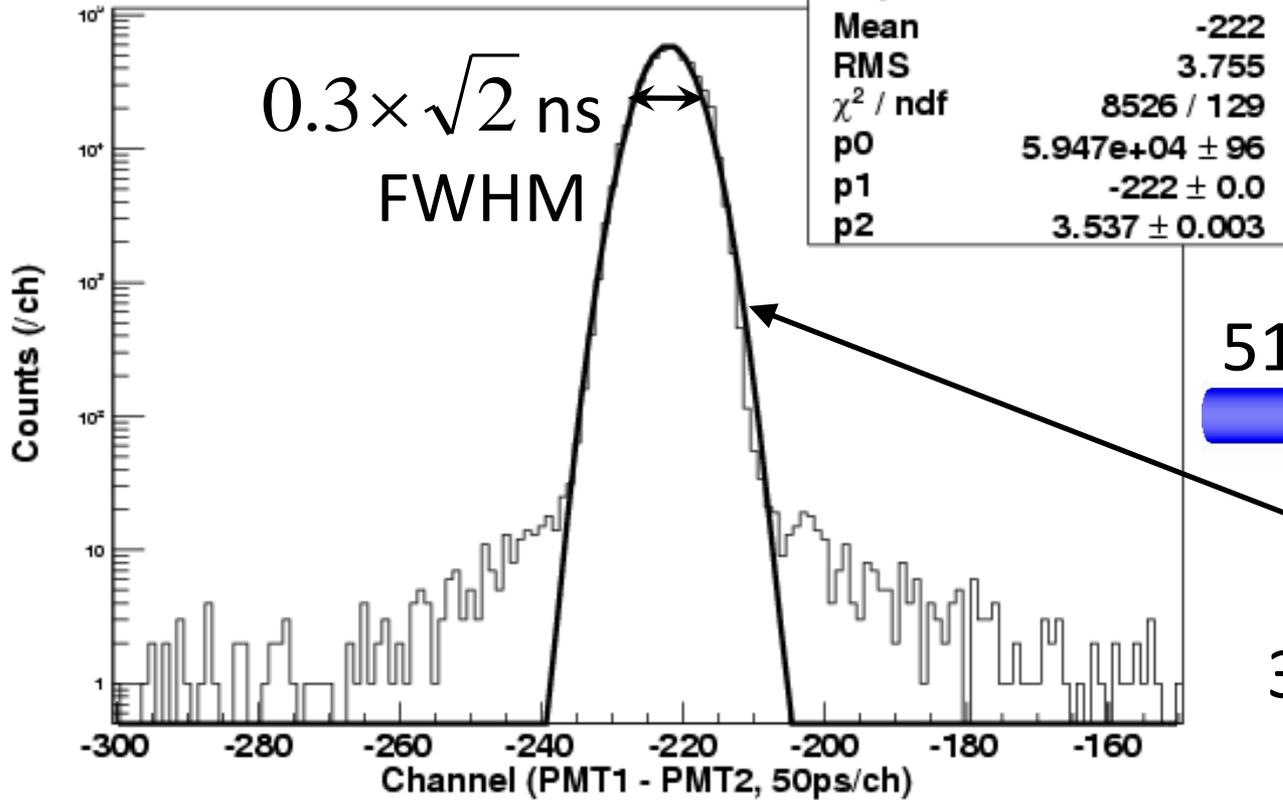
# LaBr<sub>3</sub> energy resolution



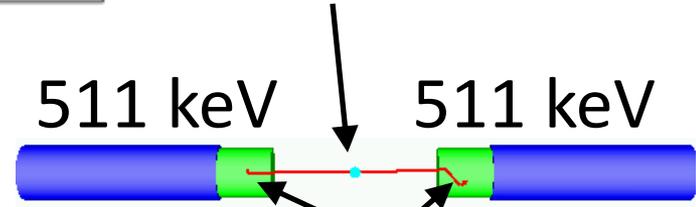
高いエネルギー分解能 → 2 $\gamma$  を energy で tag できる。

# LaBr<sub>3</sub> timing resolution

Timing Spectrum



<sup>68</sup>Ge-<sup>68</sup>Ga source

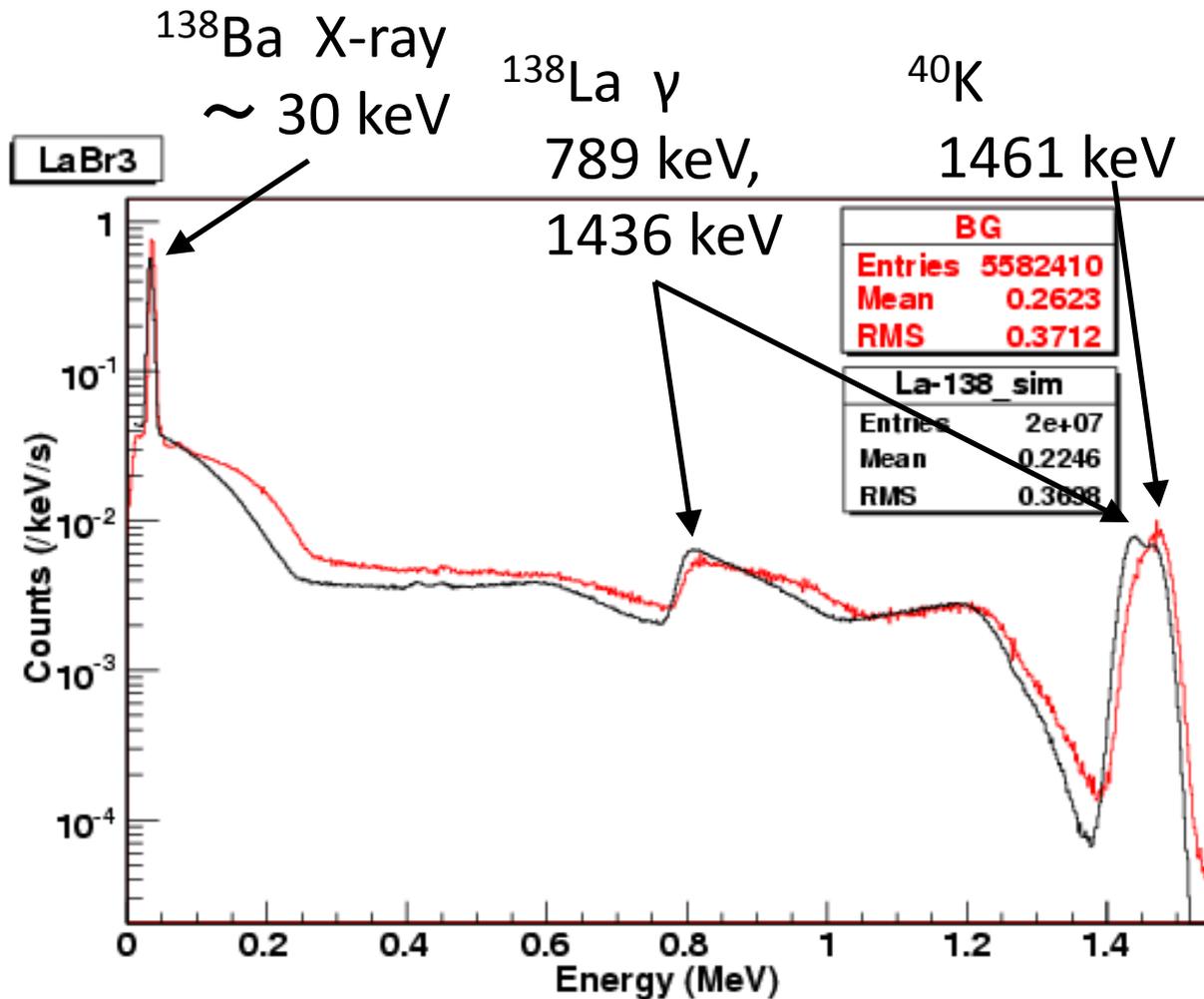


この時間差

300 ps FWHM @ 511 keV

高い時間分解能 → 熱化過程の測定が可能

# LaBr<sub>3</sub>の Background



Backgroundを  
Geant4 simulationと比較

主な寄与は  
LaBr<sub>3</sub>自身が含む <sup>138</sup>La  
(天然放射性同位体、  
天然存在比 0.0902%)

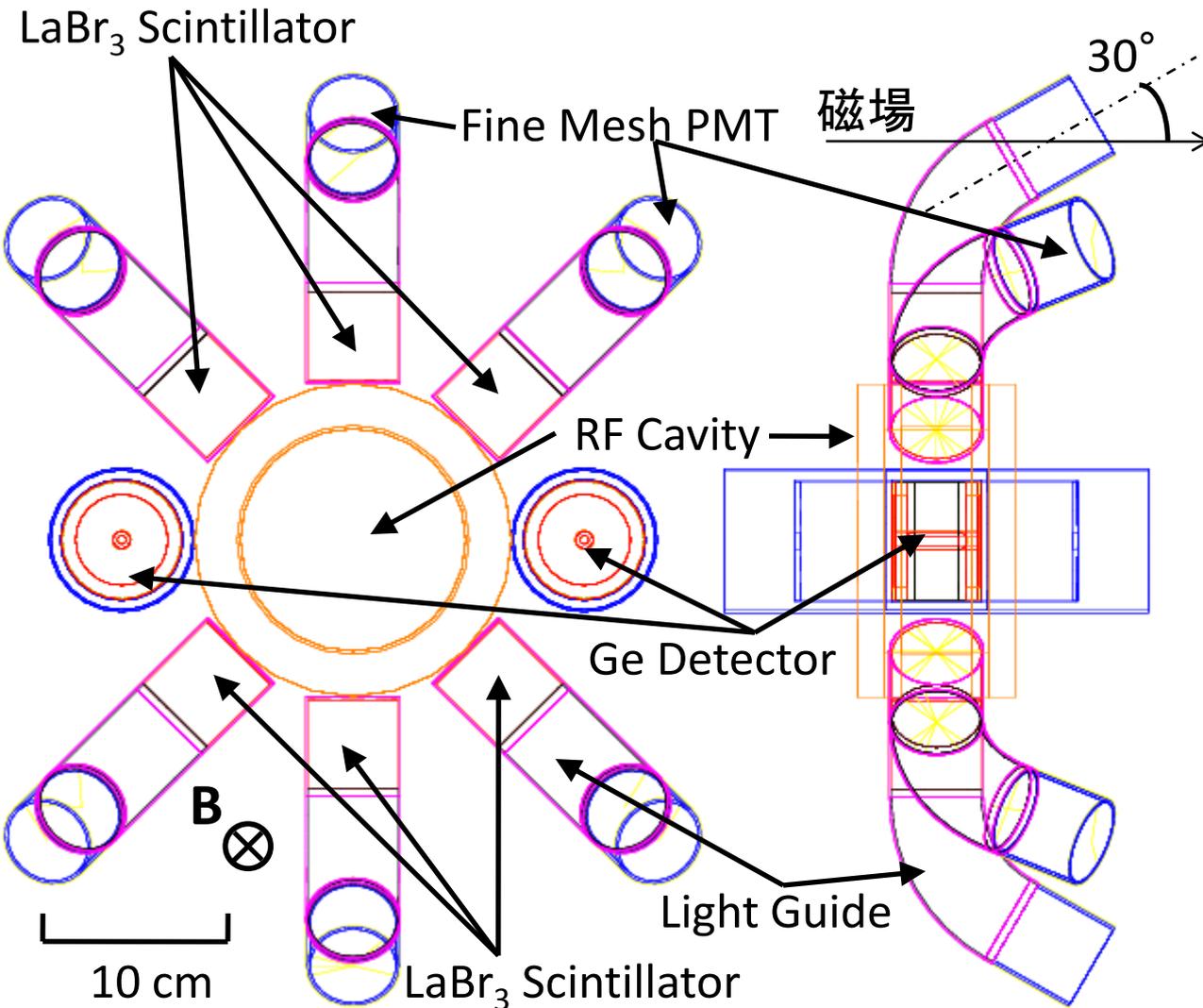
17 Hz (10 keV threshold)  
(天然存在比で  
MC 14.3 Hz (> 10keV))

0.09 Hz (511 keV FWHM)

→ Backgroundは  
非常に小さい

— Data      — <sup>138</sup>La (Geant4 MC simulation)

# Detector geometry



RF cavity を取り囲むように  
8 個の  $\gamma$  線検出器を配置。

2 個の Ge 検出器は  
熱化過程を測定するの  
に用いる。

6 個の LaBr<sub>3</sub> 検出器により、  
2  $\gamma$  崩壊を捉える。  
これらを Back-to-back に  
配置。

LaBr<sub>3</sub> の読み出しには  
Fine Mesh PMT を使用。  
磁場との角度を 30° に  
設定 → 後述

# Estimation (1)

1 MBq  $^{22}\text{Na}$  source を用いて 1 日測定した場合に得られる spectrum を simulation

Timing window をかけた  $\text{LaBr}_3$  の spectrum

Intensity 90 %, Ps 生成率 20 %, pick-off 3 %, transition probability 10 % として

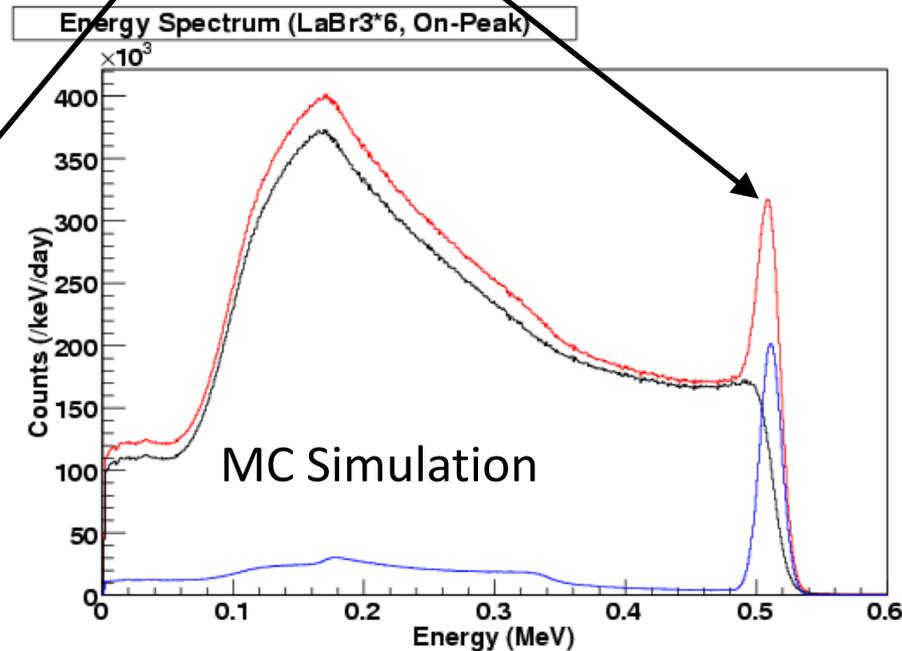
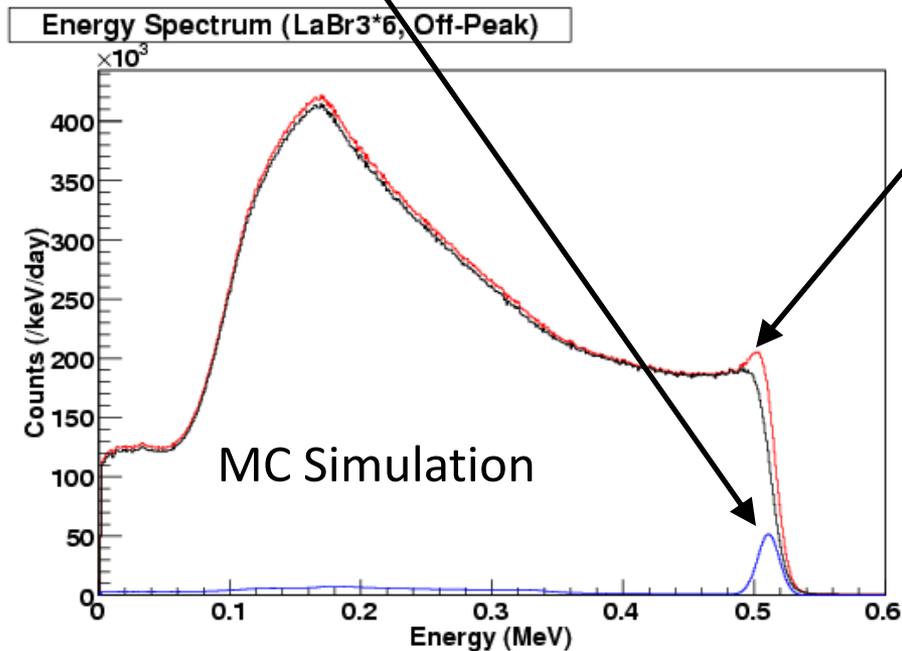
前頁の図で RF cavity 内一様 random に decay

Timing window で少ない 2  $\gamma$  (pick-off)

この差を RF input freq. を  
変えながら測定

Transition が起こっていないとき

Transition が起こっているとき



— 全体

— 3  $\gamma$

— 2  $\gamma$

# Estimation (2)

期待される 1 日当たりのカウント (前頁の仮定で)

	Back-to-back		Energy	
	全数	内訳	全数	内訳
Transition が 起こっていないとき	$1.9 \times 10^4$	2 $\gamma$ $1.1 \times 10^4$	$3.0 \times 10^6$	2 $\gamma$ $8 \times 10^5$
		3 $\gamma$ $8 \times 10^3$		3 $\gamma$ $2.2 \times 10^6$
Transition が 起こっているとき	$5.0 \times 10^4$	2 $\gamma$ $4.3 \times 10^4$	$5.2 \times 10^6$	2 $\gamma$ $3.2 \times 10^6$
		3 $\gamma$ $7 \times 10^3$		3 $\gamma$ $2.0 \times 10^6$

( 511 keV は FWHM で cut )

Back-to-back (geometrical information)  $\rightarrow$  Energy information で

$\left\{ \begin{array}{l} 2 \gamma \text{ count は } 74 \text{ 倍} \\ 3 \gamma \text{ count は } 290 \text{ 倍} \end{array} \right. \rightarrow \text{カウントを 70 倍稼げる。}$

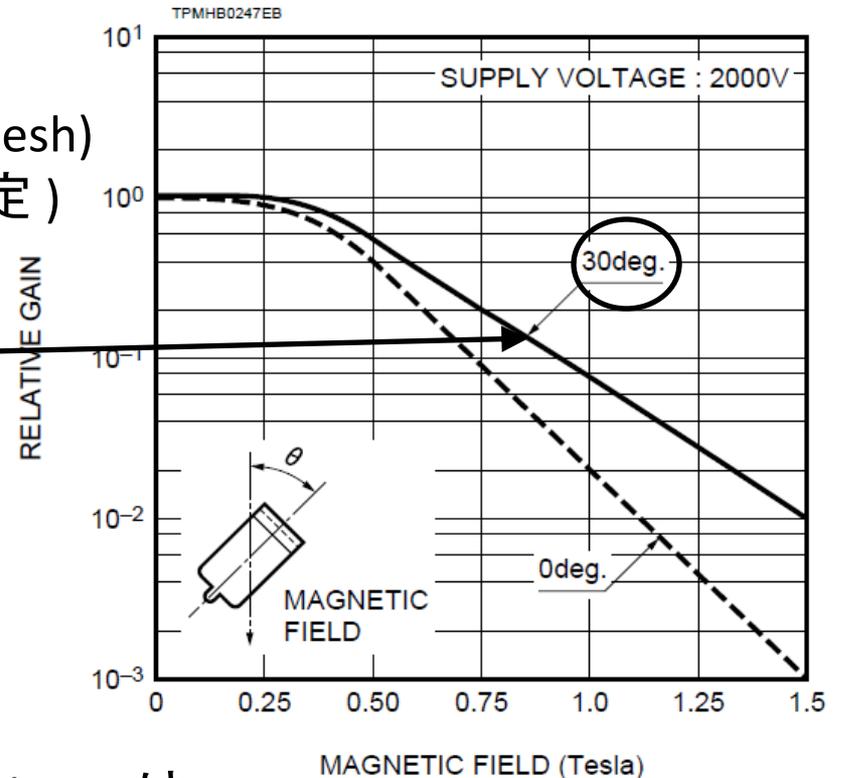
S/N 悪化は高々 4 倍  $\rightarrow$  LaBr<sub>3</sub> + Energy tag は非常に良い方法  
 $\rightarrow$  この方法で測定

# 磁場中での動作 (1)

Figure 2: Typical Gain in Magnetic Fields

## 1. LaBr<sub>3</sub> の読み出し

高磁界用光電子増倍管 (Fine Mesh)  
(HAMAMATSU R5924-70 の予定)  
磁場に対して 30° で用いれば  
Typical Gain at 0.8 T ~ 10<sup>6</sup>  
(磁場なしの場合の ~ 0.1)  
→ 使用可能



## 2. Ge detector

現在、0.12 ~ 0.25 T でテスト中

Energy resolution, detection efficiency は  
測定誤差の範囲で一致。

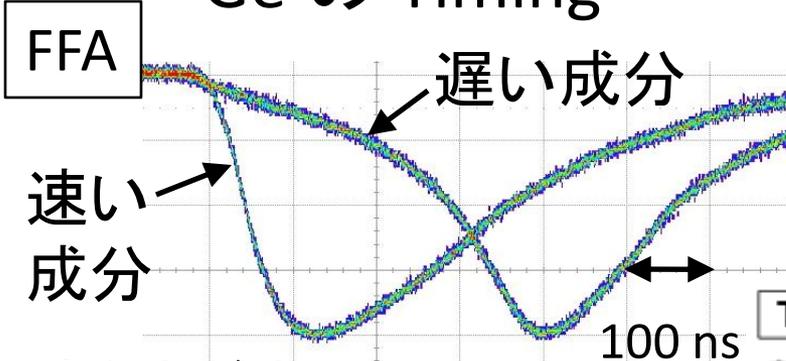
Gain も 10 ppm 程度で不変。→ より高い精度で調べる必要

Timing は次頁。 近い内に実際の磁場をかけてテスト予定

HAMAMATSU R5924-70

# 磁場中での動作 (2)

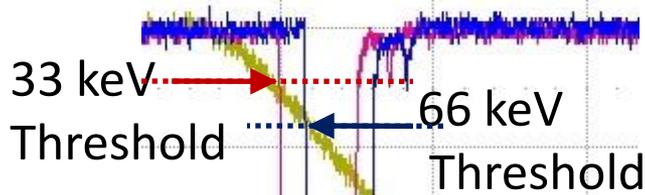
## Ge の Timing



同じエネルギーでも信号の速さは違う  
(電子の移動速度)

→ 磁場の影響を受ける

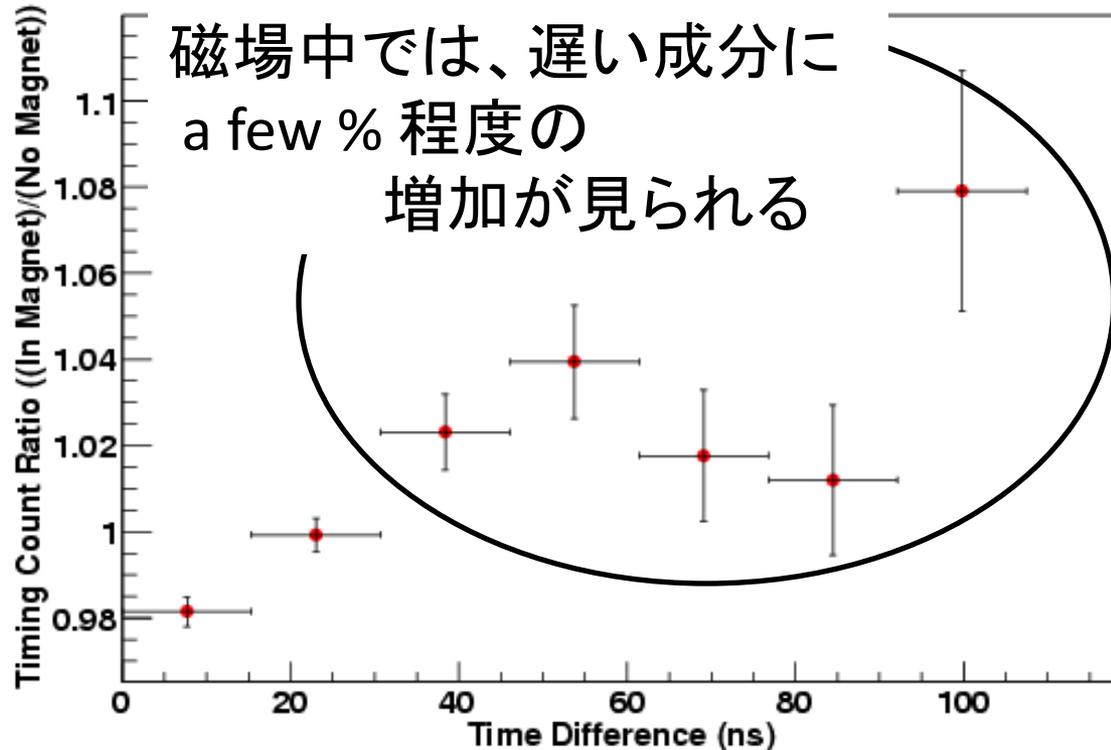
立ち上がりの  
Double Threshold で、  
信号の速さを測定



この差を  
測定する

662 keV Signal  
FWHM Cut

## Timing Count Ratio



# Conclusion

- Ge と  $\text{LaBr}_3$  + Fine Mesh PMT を用いて、高速でかつ非常に高いエネルギー分解能を持つガンマ線検出器を設計。
- $2\gamma$  崩壊を tag するには 2 通りの方法があるが、Energy Information を用いることでカウントを稼ぐ (70 倍)。  
↑ Ge、 $\text{LaBr}_3$  の高いエネルギー分解能を最大限に活用し、高い S/N、Collection efficiency での測定を可能にした。
- 夏までに磁場中でのテスト、最終設計を終え、秋に  
(1) 時間情報を加えた HFS の精密測定 を開始。

Back Up

# Table of Scintillator Properties

Scintillator	Density	Refractive index	Photons per MeV	Emission Maximum	Decay Constant	Radiation Length
	g / cm <sup>3</sup>			nm	ns	cm
NaI (TI)	3.67	1.85	38000	415	230	2.59
CsI (TI)	4.51	1.79	59000	565	1000	1.86
LYSO	7.25	1.81	32000	420	40	1.15
YAP (Ce)	5.55	1.93	19700	347	28	2.7
LaBr <sub>3</sub>	5.29	1.9	63000	380	25.6	1.77

# Estimation Factors

• Source	1 MBq	( <sup>22</sup> Na)
• $\beta^+$ decay Intensity	89.89 %	Geant4 data
• Run Time	86400 s	( /day )
• Plastic Scintillator Tag (>60keV) & Stop In Cavity	5.2 %	Geant4 Simulation in N <sub>2</sub> (1 atm) & 200 $\mu$ m Plastic Scintillator
• Generation Prob. of Ps	20 %	Phys. Rep. <u>39</u> , 169 (1978)
• Spin Factor	50 %	( 2/4 )
• Expected events / day	$4.0 \times 10^8$	
• Pick off ratio	3.4 %	Phys. Rev. A <u>18</u> , 1426 (1978)
• Transition probability	10 %	Phys. Rev. A <u>2</u> , 707 (1970)