

2007年度P6発表会

様々な無機シンチレータ及び
検出器による放射線測定

2008年3月7日

大家・坂下班

目次

- ◆ 実験の目的
- ◆ 実験で用いた無機シンチレータと検出器
- ◆ PMTを用いたガンマ線の測定
- ◆ APDを用いたガンマ線の測定
- ◆ MPPCを用いたガンマ線の測定
- ◆ 考察、まとめ



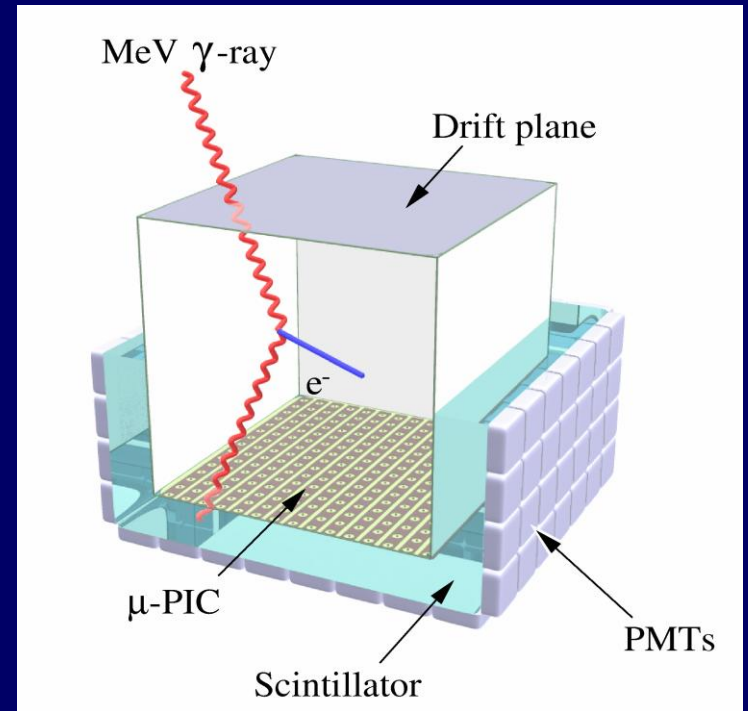
目玉商品

実験の目的

- ガンマ線カメラでは吸収体としてシンチレータを用いている



- 様々な無機シンチレータでガンマ線を測定し、シンチレータの特性について調べる。
- 新しい測定器MPPC (Multi Pixel Photon Counter) とシンチレータの組み合わせによるガンマ線の測定が少なかったため、測定し、他の測定器とエネルギー分解能を比較してみる。



シンチレータの特徴

	密度 (g / cm ³)	蛍光減 衰 時間 (ns)	発光波 長 (nm)	放射 長 (cm)	放射耐 性	Light output (/ MeV)
NaI (TI)	3.67	230	415	2.59	非常に 弱い	39000
CsI (TI)	4.51	1000	565	1.86	非常に 弱い	33000
GSO (Ce)	7.13	30 - 60	440	1.38	非常に 強い	9000
LaBr ₃ (Ce)	5.29	25	380	2.1	強い	63000

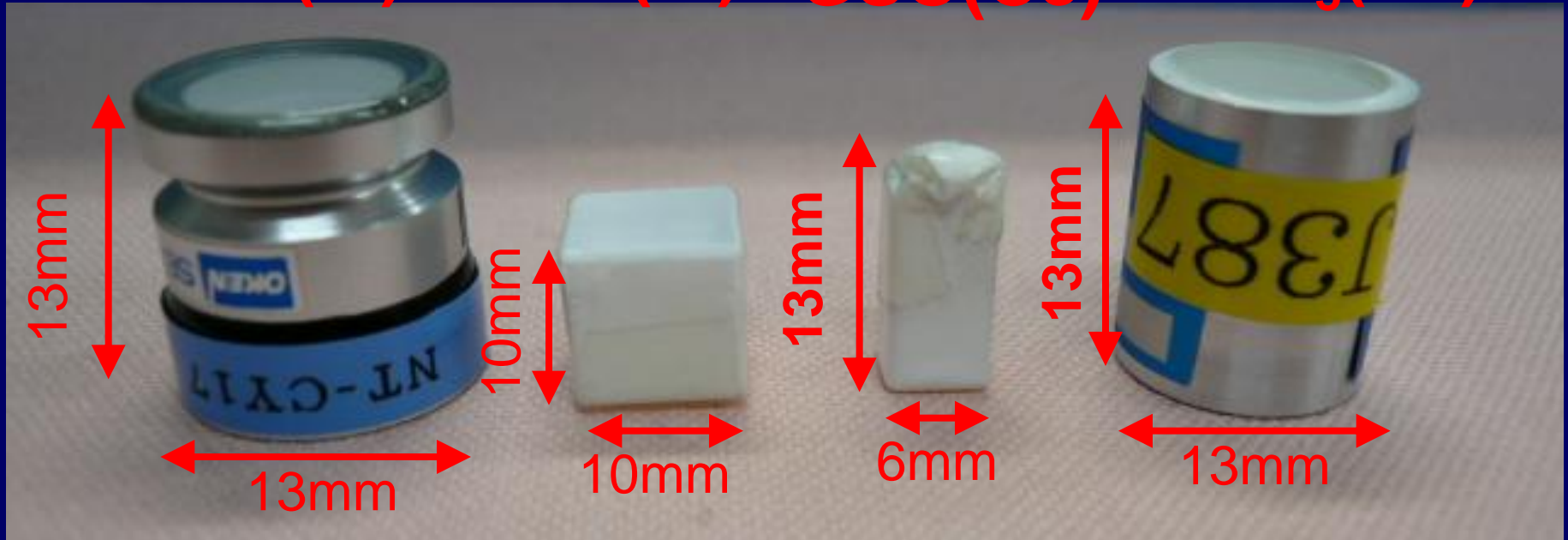
使用したシンチレータ

NaI(Tl)

CsI(Tl)

GSO(Ce)

LaBr₃(Ce)



反射材 Mg_2O

テフロン

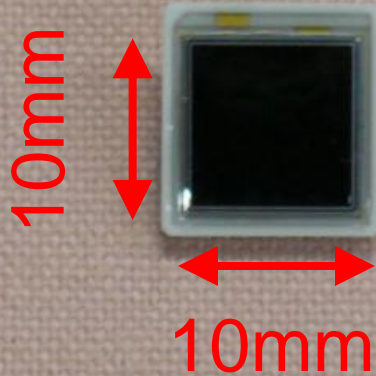
テフロン

使用した検出器の特徴

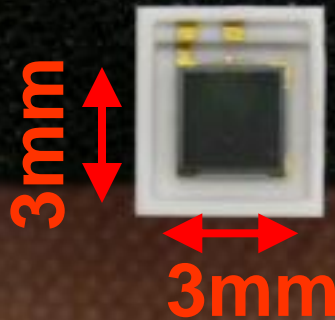
検出器	受光面 (cm ²)	作動に必要な電圧	磁場の影響	備考
光電子増倍管(PMT)	17	~1000V	あり	
アバランシェフォトダイオード(APD)	1	~400V	なし	小型、耐衝撃、省電力
MPPC	0.09	~70V	なし	小型、耐衝撃、省電力、ノイズが多い

測定に用いた検出器

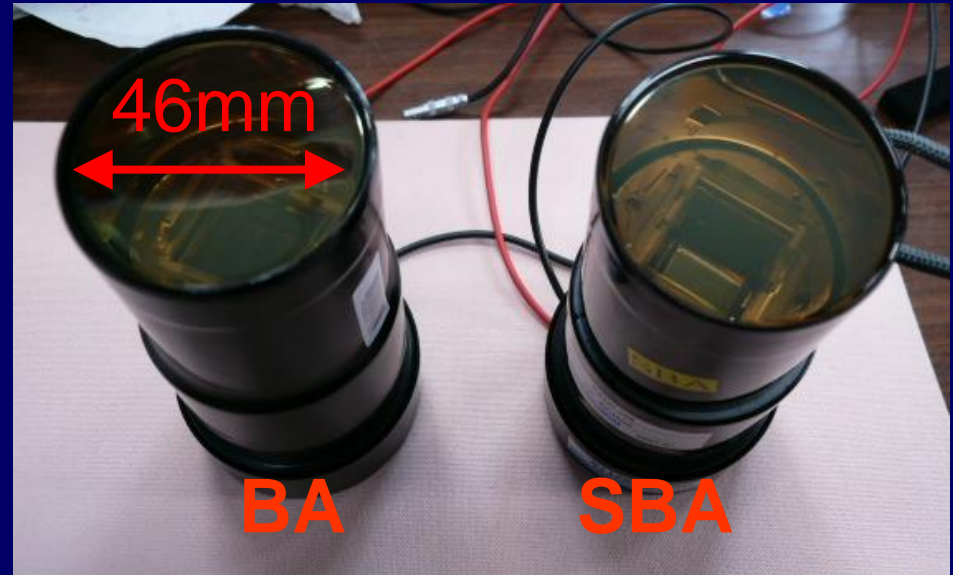
APD
S8664-1010



MPPC
S10362-33-
050C



光電子増倍管(PMT)
R6231



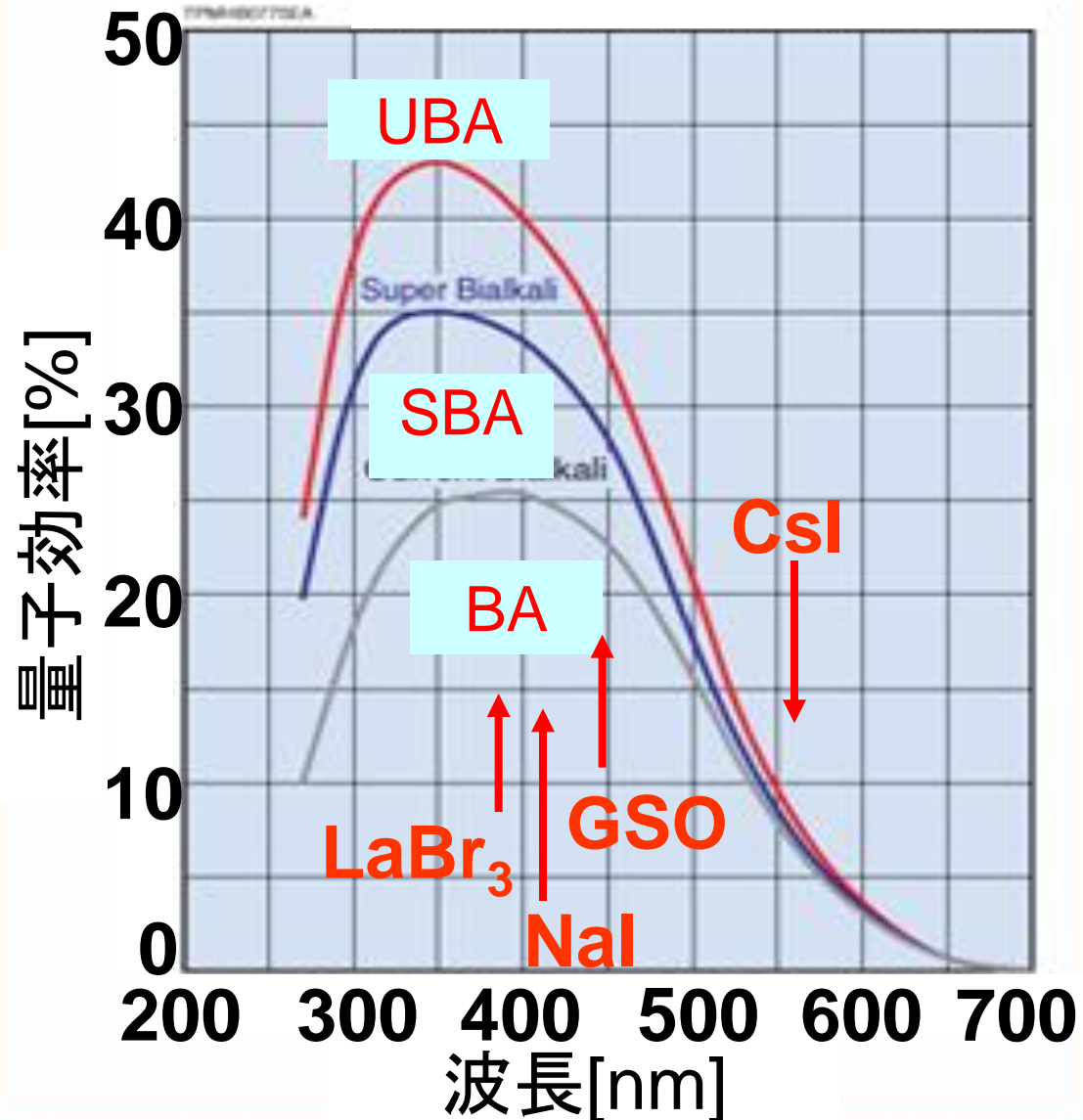
検出器は全て浜松ホトニクス社製

光電子増倍管(PMT)

- 今回の実験では、BA (Bialkali)、SBA (Super Bialkali)という光電面の異なる2種類を使用した。
- SBAはBAに比べて量子効率が高い。

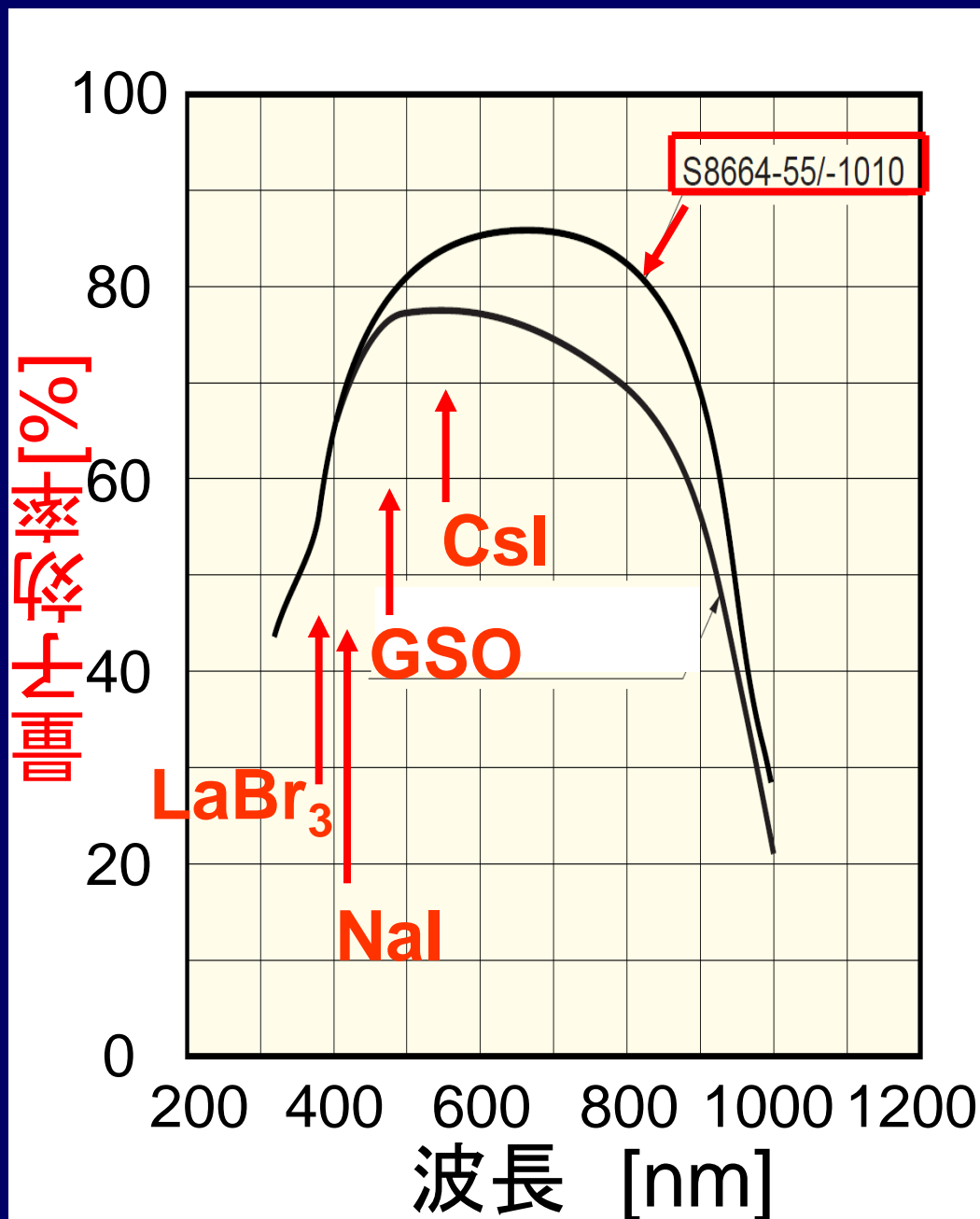
最大発光波長
GSO : 440nm
NaI : 415nm
CsI : 560nm
LaBr₃ : 380nm

Typical Spectral Response Characteristics



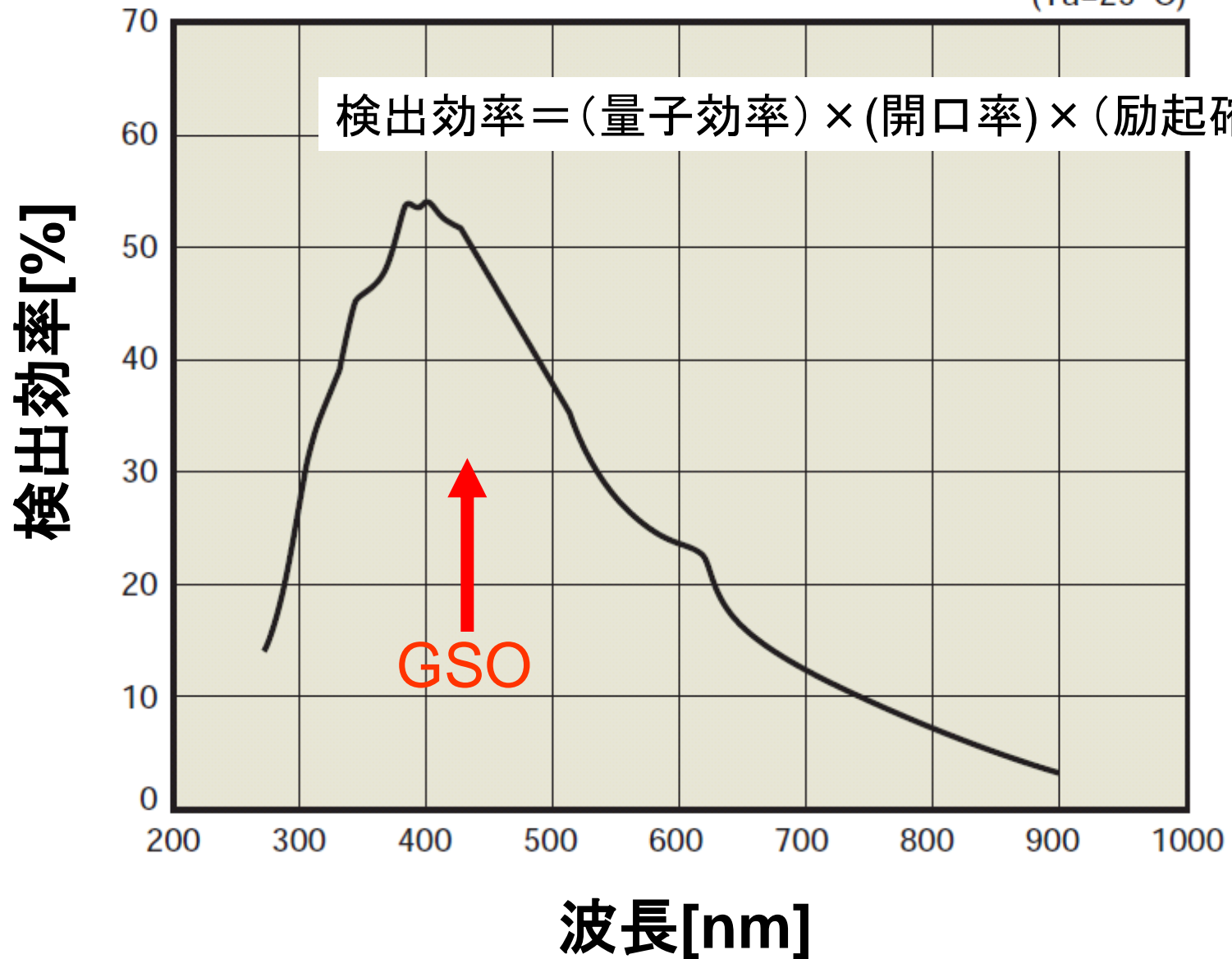
APDの 量子効率

- APDは高い量子効率を持つ
- 400nm付近
PMT:25%
APD:65%



MPPCの検出効率

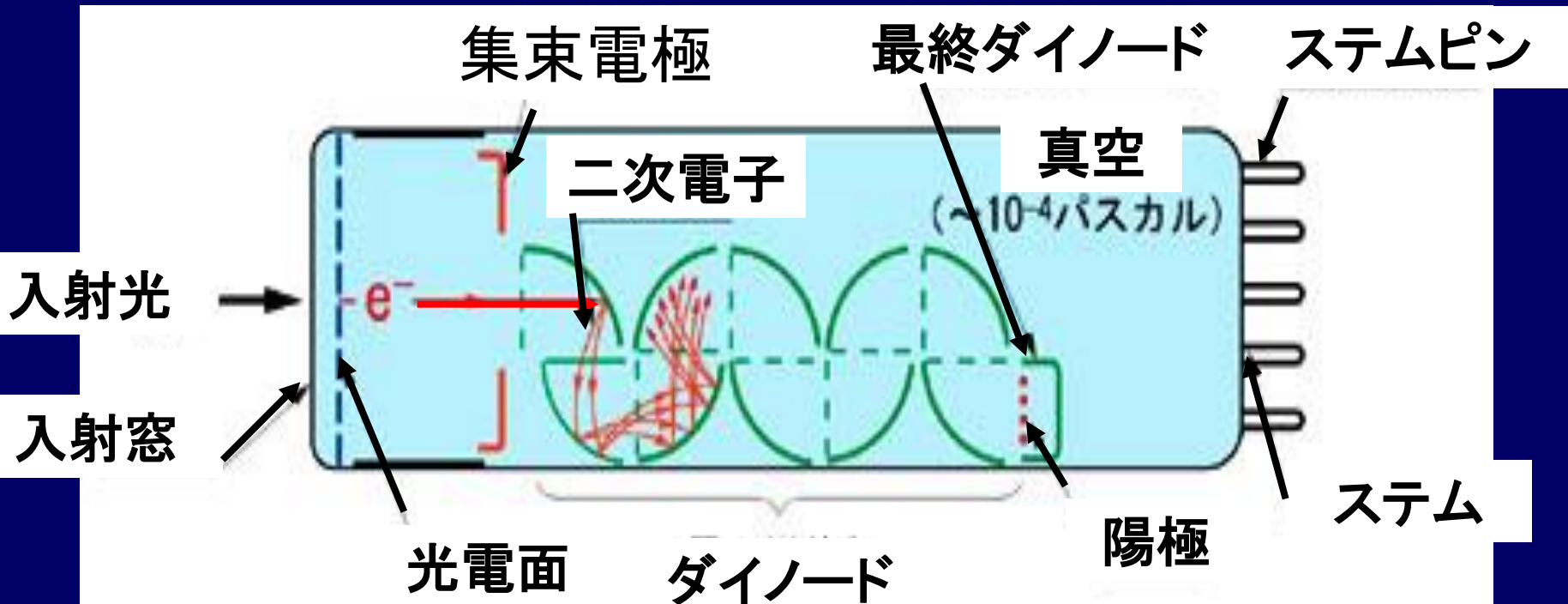
(Ta=25 °C)



光電子増倍管 (PMT)

動作原理

- ① シンチレーション光が光電面に入射
- ② 光電子が放出
- ③ ダイノードに光電子が入射し二次電子を放出
- ④ 後段のダイノードで次々に増倍



PMTのセットアップ

反射材

シンチレータ

ブラックシート

線源

PMT
HPK R6231

プリアンプ
時定数=5.4 μ s

Gain $\sim 3.5 \times 10^5$
HV = -900V

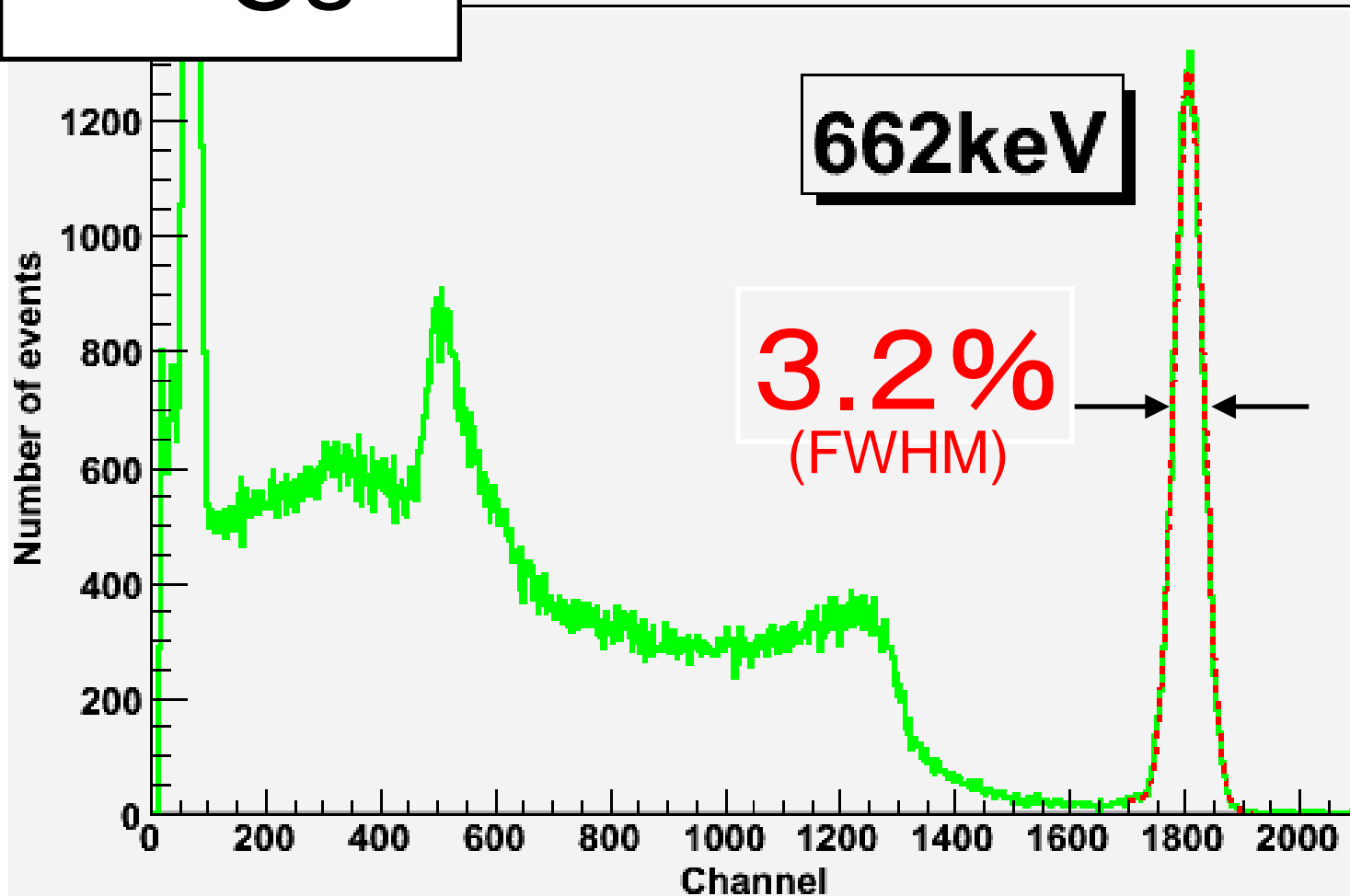
MCA
(ラボラトリ・イクイップメント・
コーポレーション社
MCA600)

シェーパー
(ORTEC 571)
時定数=2 μ s



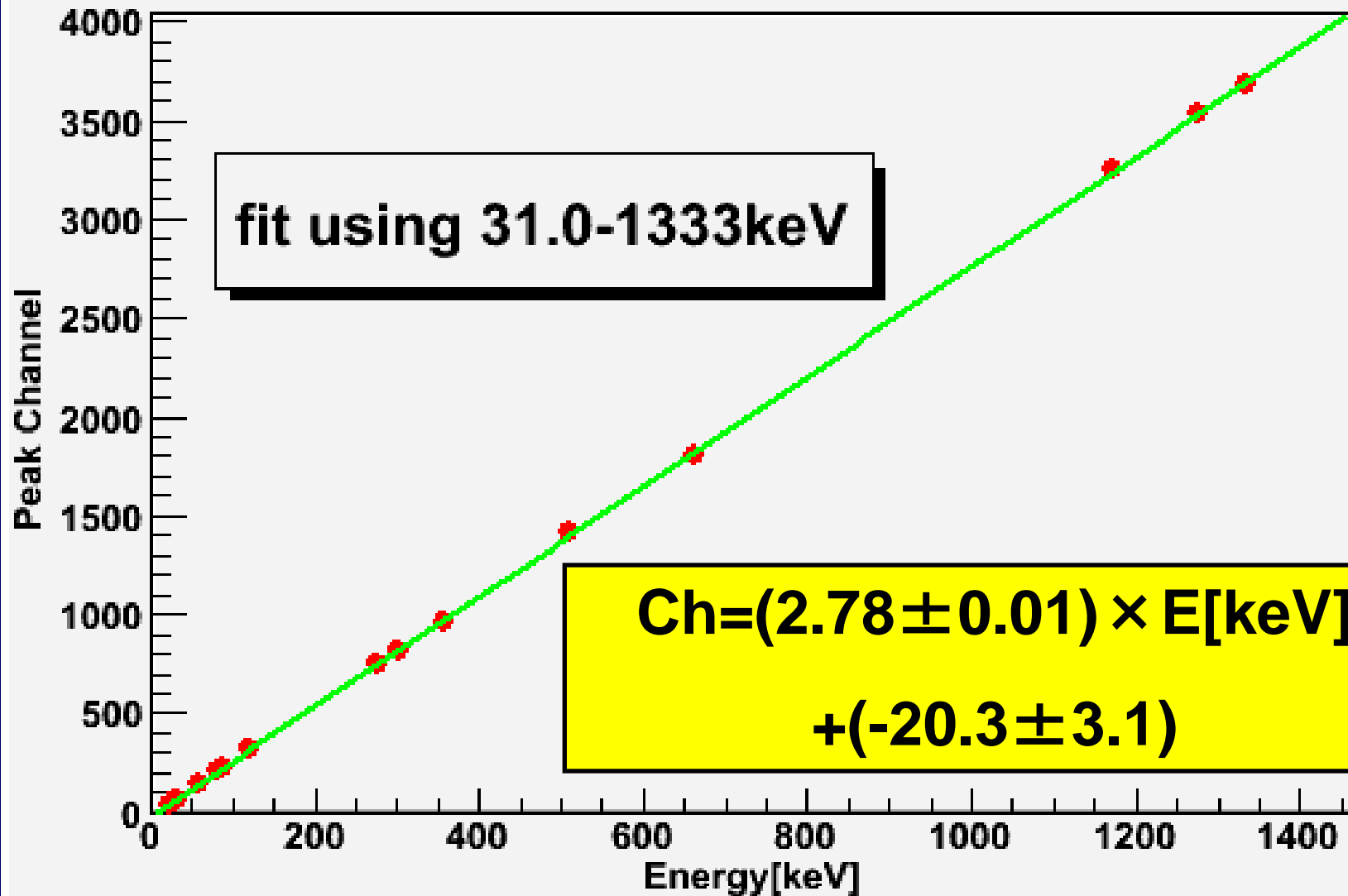
LaBr₃+PMT(BA)での スペクトル

¹³⁷Cs



エネルギー校正

Energy-Channel



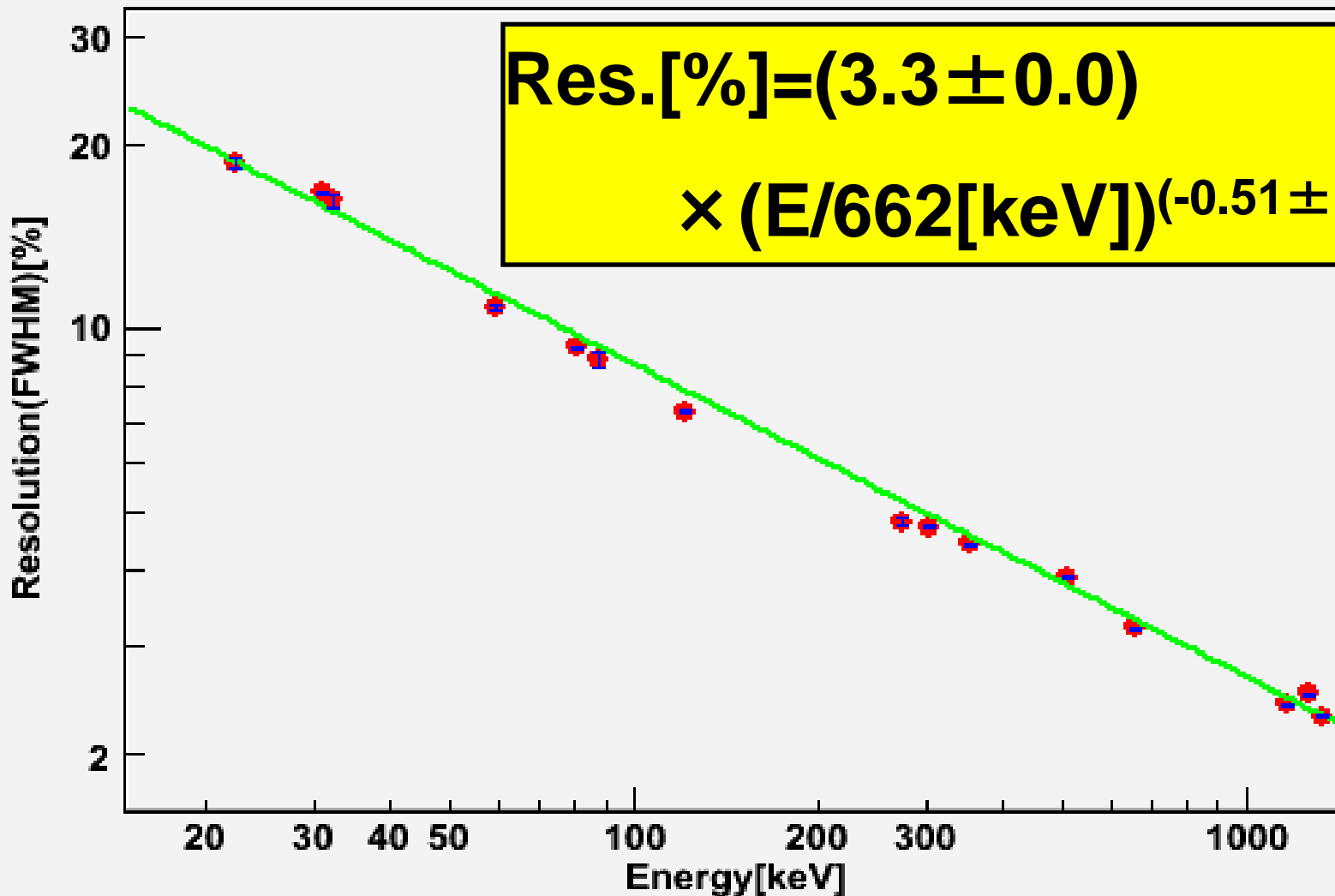
fit using 31.0-1333keV

$$Ch = (2.78 \pm 0.01) \times E[\text{keV}]$$

$$+ (-20.3 \pm 3.1)$$

LaBr₃+PMT(BA)の エネルギー分解能

Energy-Resolution



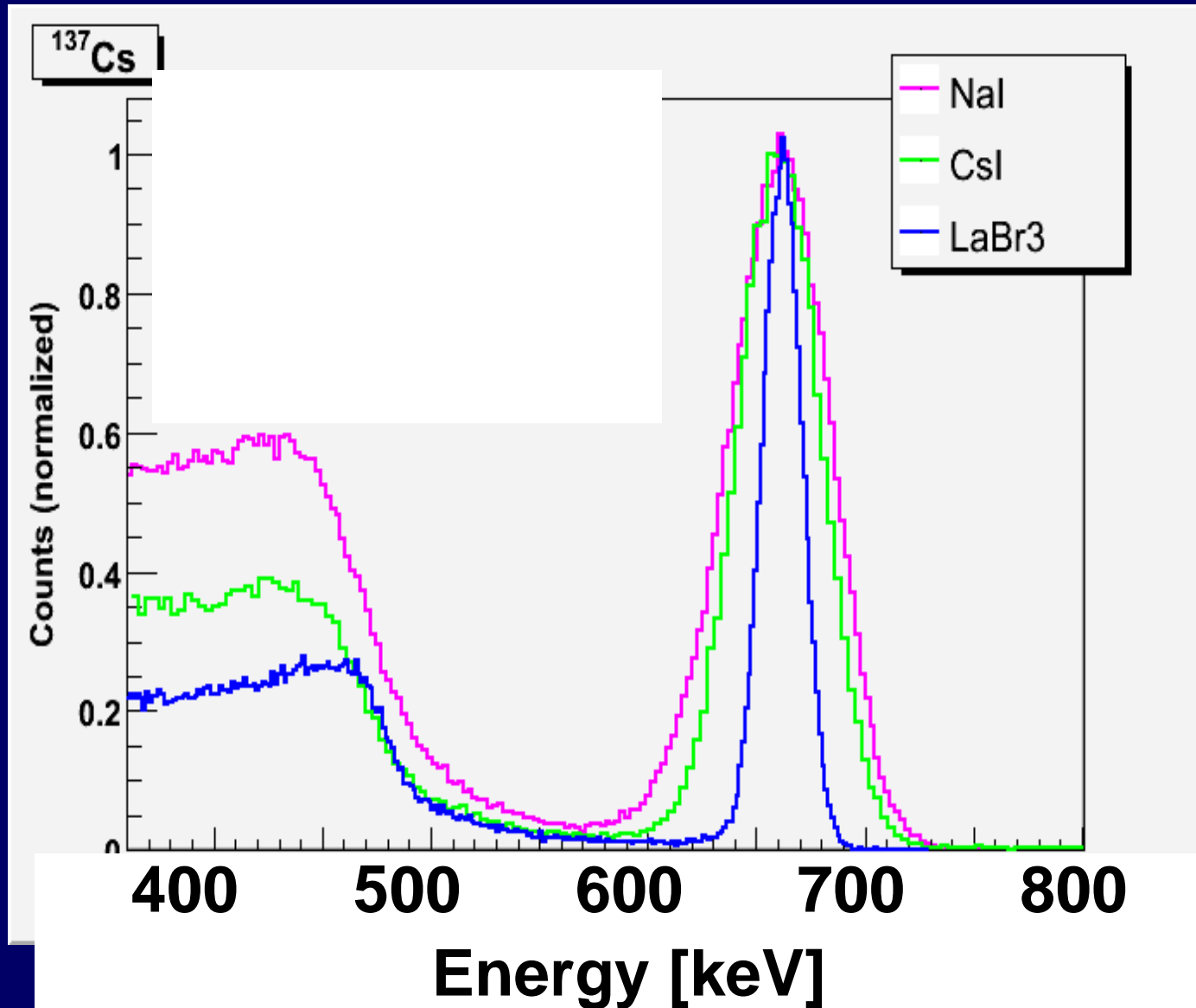
結晶ごとのエネルギー分解能の比較(1) :PMT(BA)

エネルギー分解能@662keV (FWHM)

NaI :
 $7.8 \pm 0.1\%$

CsI :
 $6.8 \pm 0.1\%$

LaBr₃ :
 $3.2 \pm 0.1\%$



結晶ごとのエネルギー分解能の比較(2) : PMT(BA)

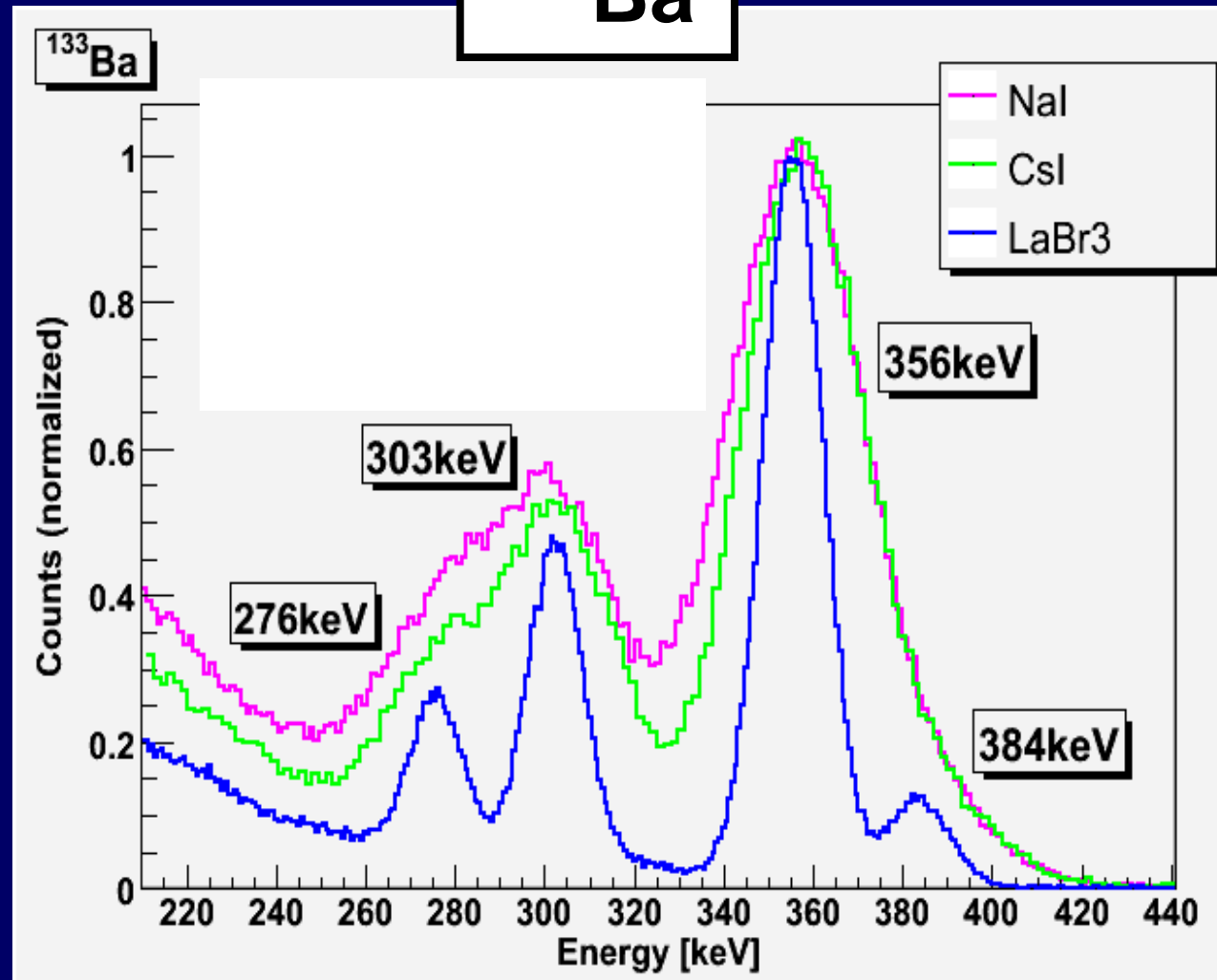
^{133}Ba

エネルギー分解能 @ 356keV (FWHM)

NaI :
 $9.5 \pm 0.1\%$

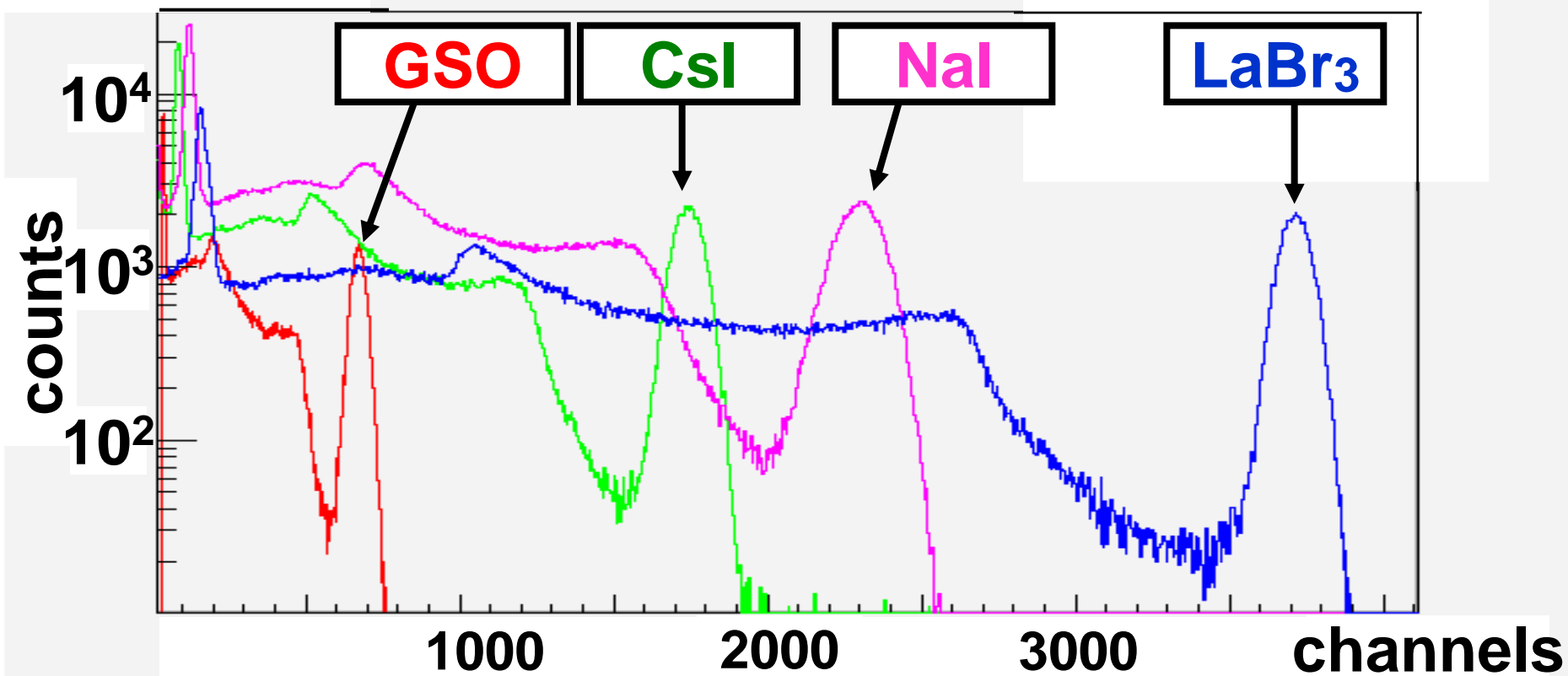
CsI :
 $8.2 \pm 0.1\%$

LaBr₃ :
 $4.4 \pm 0.1\%$



PMT(BA)での光量の比較(BA)

¹³⁷CS



光量比 → NaI : CsI : GSO : LaBr₃ = 1 : 0.76 : 0.30 : 1.7

文献値 NaI : CsI : GSO : LaBr₃ = 1 : 0.7 : 0.2 : 1.6

2種類のPMTでの分解能の比較(1)

シンチレータ: LaBr_3

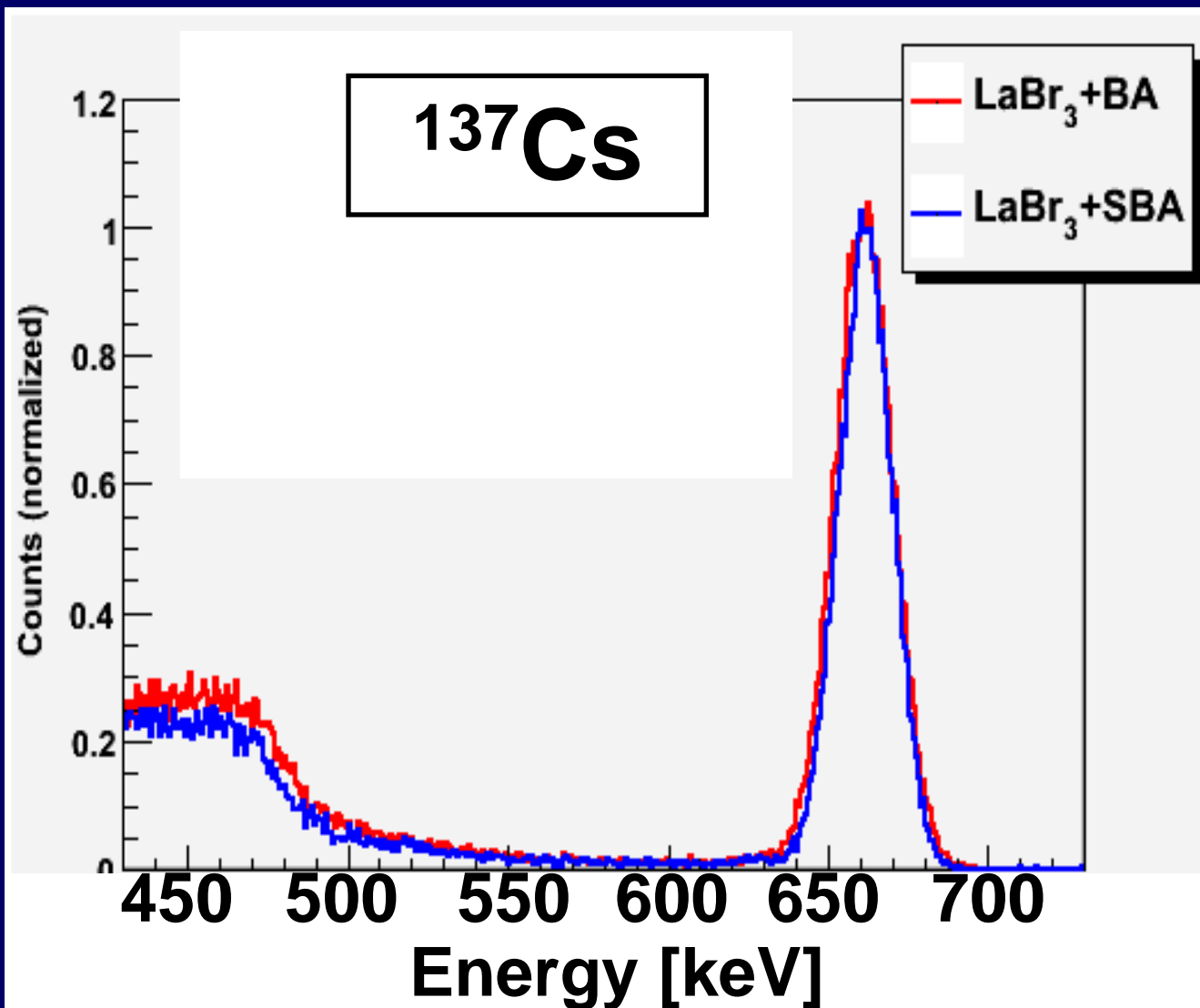
- 662keVにおけるエネルギー分解能(FWHM)

$\text{LaBr}_3 + \text{BA}$

$3.2 \pm 0.1\%$

$\text{LaBr}_3 + \text{SBA}$

$2.9 \pm 0.1\%$



2種類のPMTでの分解能の比較(2)

シンチレータ: CsI

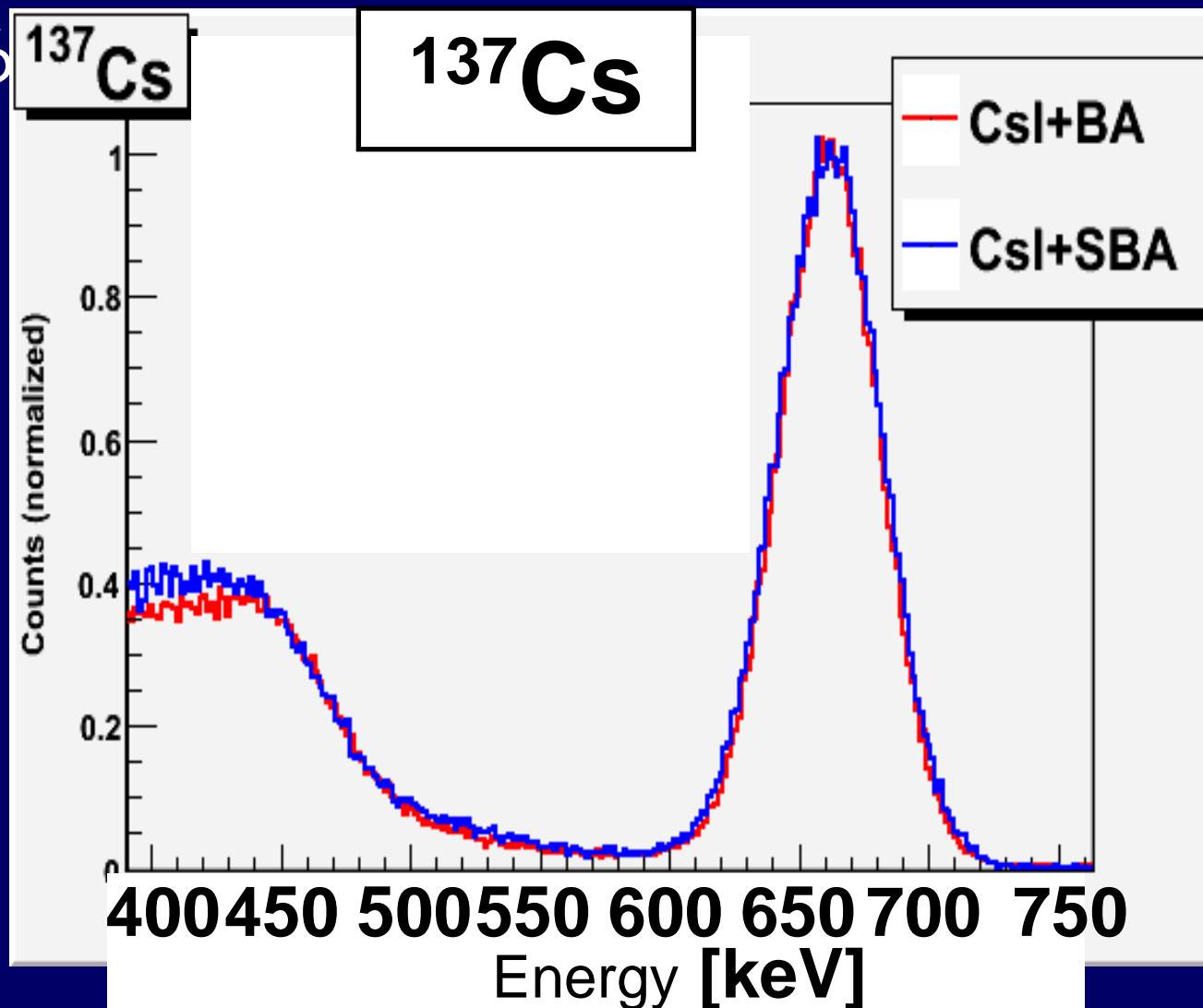
- 662keVにおけるエネルギー分解能(FWHM)

CsI+BA :

$6.9 \pm 0.1\%$

CsI+SBA :

$7.1 \pm 0.1\%$



量子効率の異なるPMT間の考察

量子効率のみを考えるとSBAでは

LaBr₃ : 3.2% ⇒ 2.8%

CsI : 6.8% ⇒ 6.4%

実際のエネルギー分解能は

LaBr₃ : 2.9 ± 0.1%

CsI : 7.1 ± 0.1%

→ LaBr₃, CsIともにPMTの種類(BA, SBA)によらなかった。

その原因は

1、PMTのゲイン

BA : 3.53×10^5

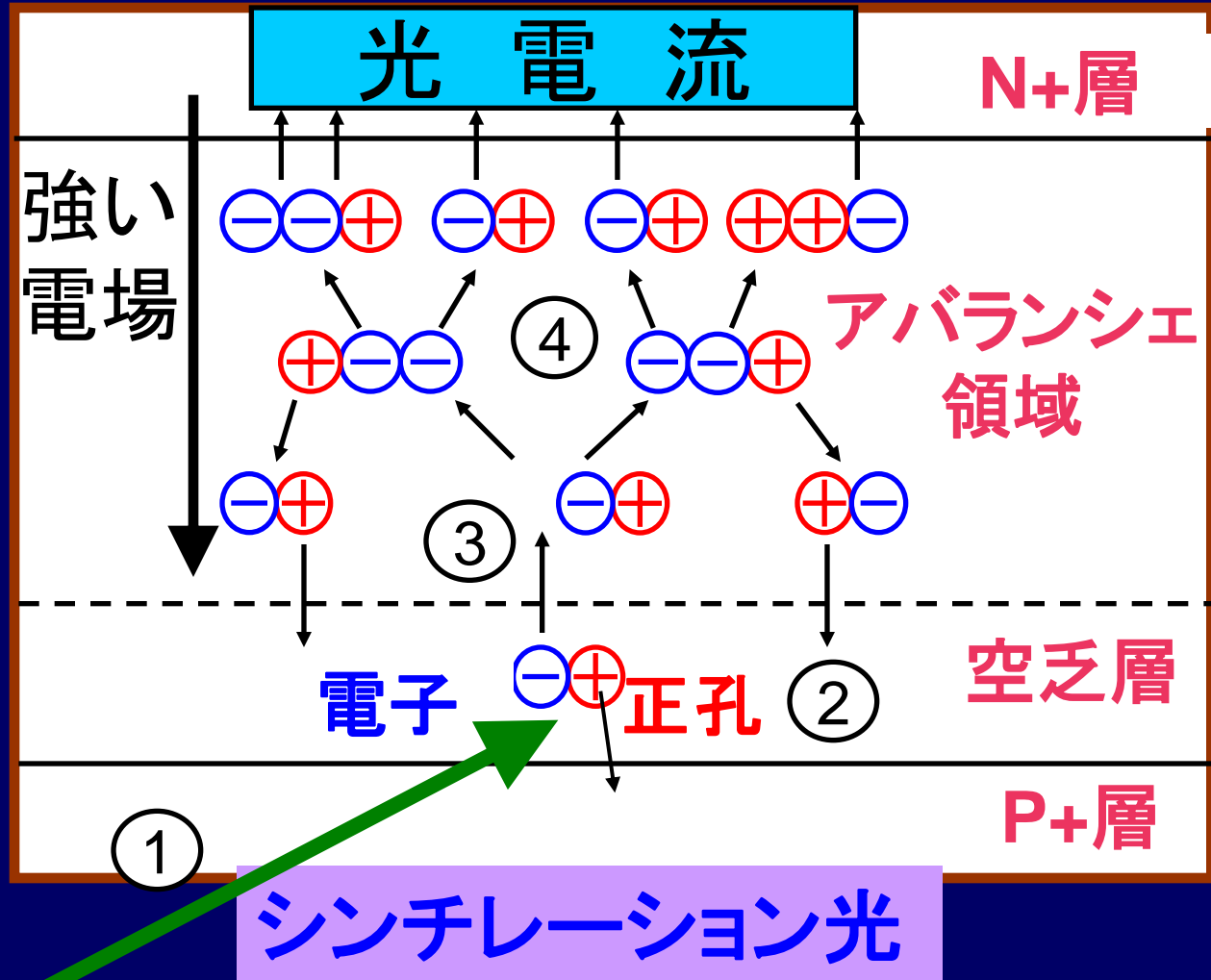
SBA : 1.24×10^5

2、その他に統計によらない成分

アバランシェフォトダイオード (APD)

動作原理

- 可視光入射①
- 電子・正孔対の生成②
- 電場により加速され、他の束縛電子と激しく衝突③
- **なだれ増幅④**



APDのセットアップ

ステンレスの箱

APD (HPK) S8664-1010
Gain=50

線源

シンチ
レータ

プリアンプ

時定数=70 μ s
クリアパルス社製

シェーパー

時定数=2 μ s

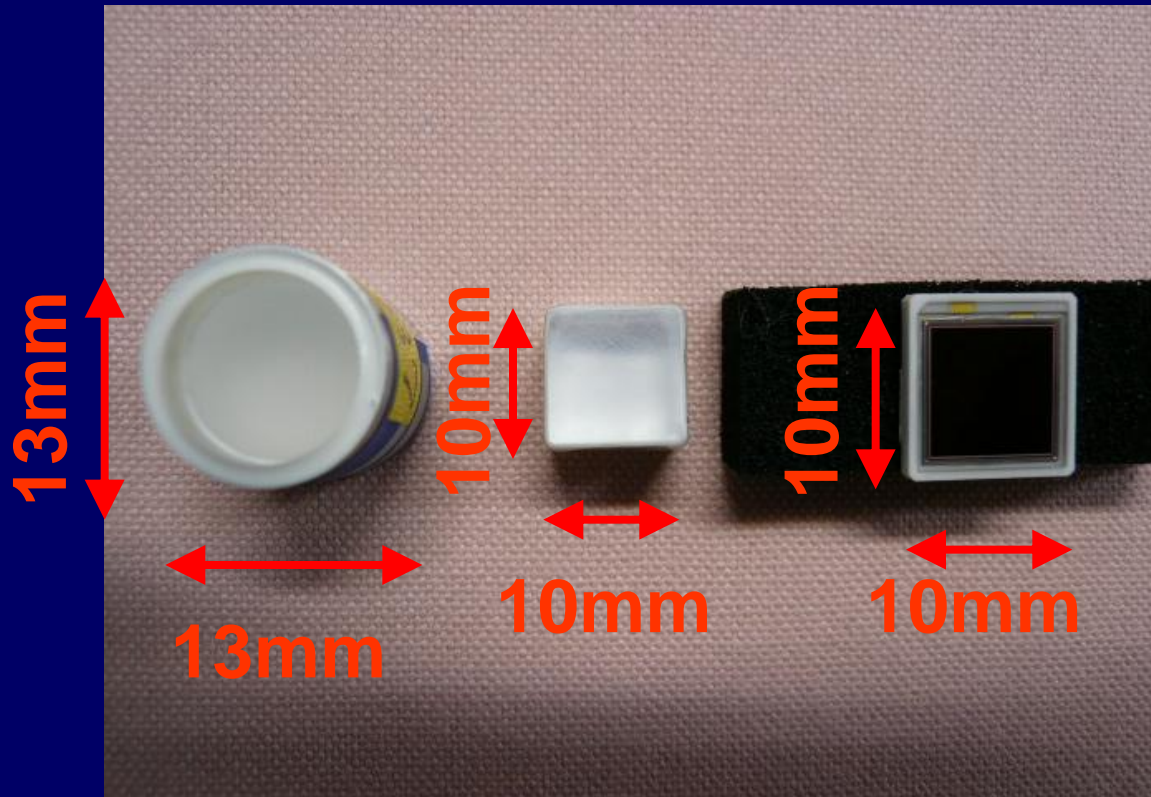
反射材

BIAS
400V

ブラックシート

MCA

シンチレータとAPD



APDの特性(400V)

- 暗電流
25nA
- 端子間容量
250pF
- ゲインの温度特性
3.4%/ °C

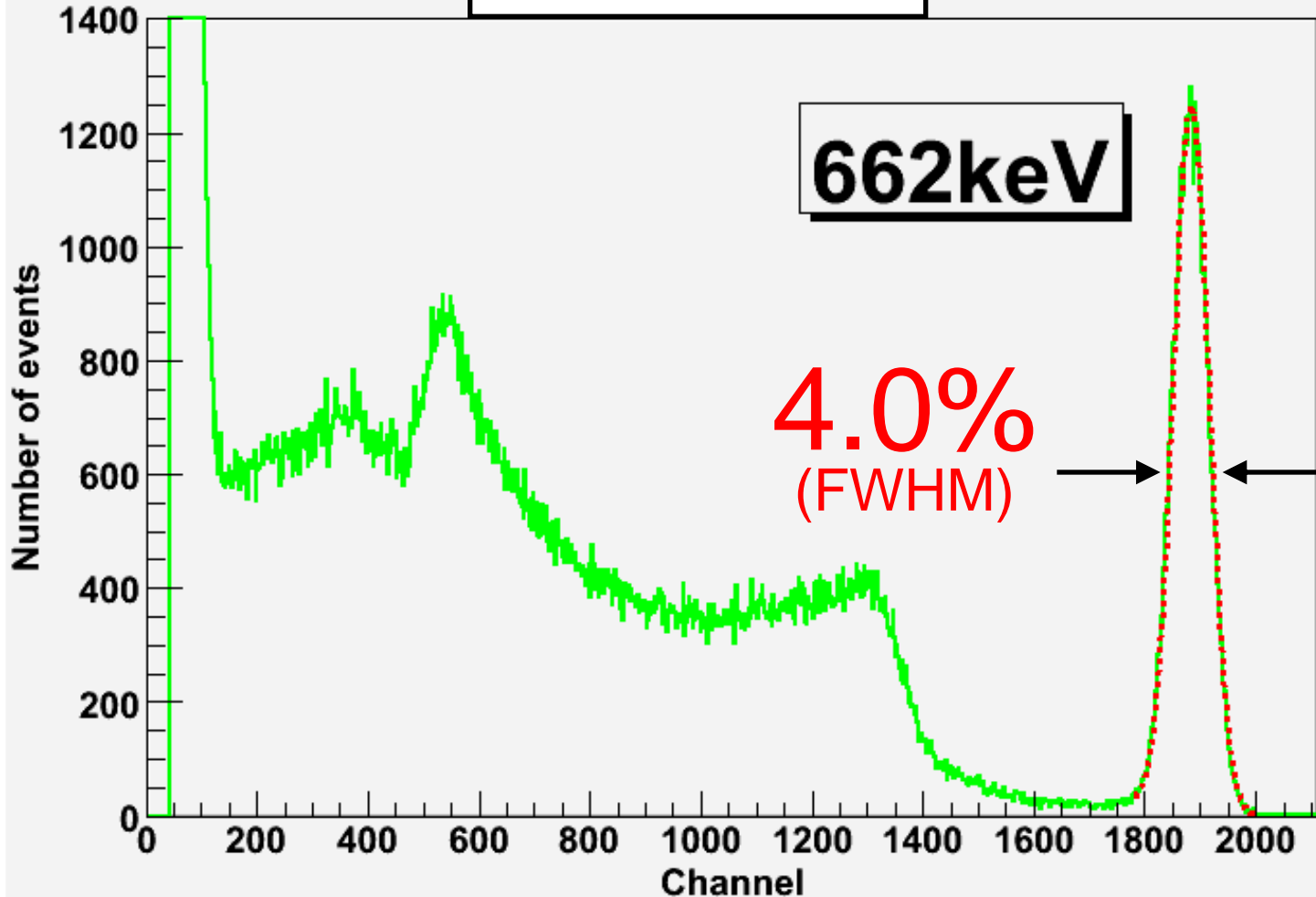
- CsIはAPDの受光面と同じサイズ
- LaBr₃は受光面からはみ出る。

APDは市販で最大のもの、LaBr₃は市販で最小のものを使用

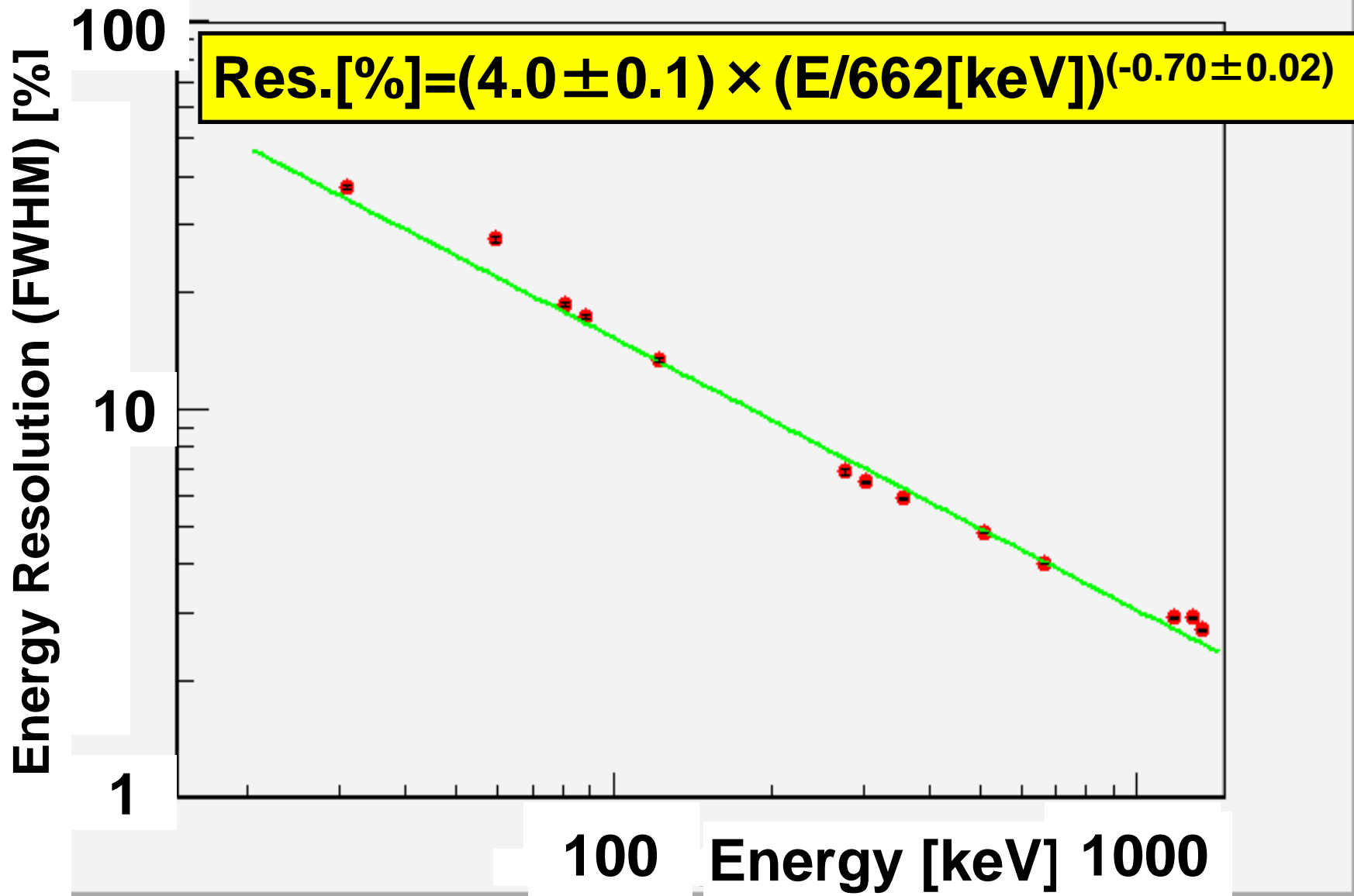
LaBr₃+APDでのスペクトル

¹³⁷Cs

cs137_662keV

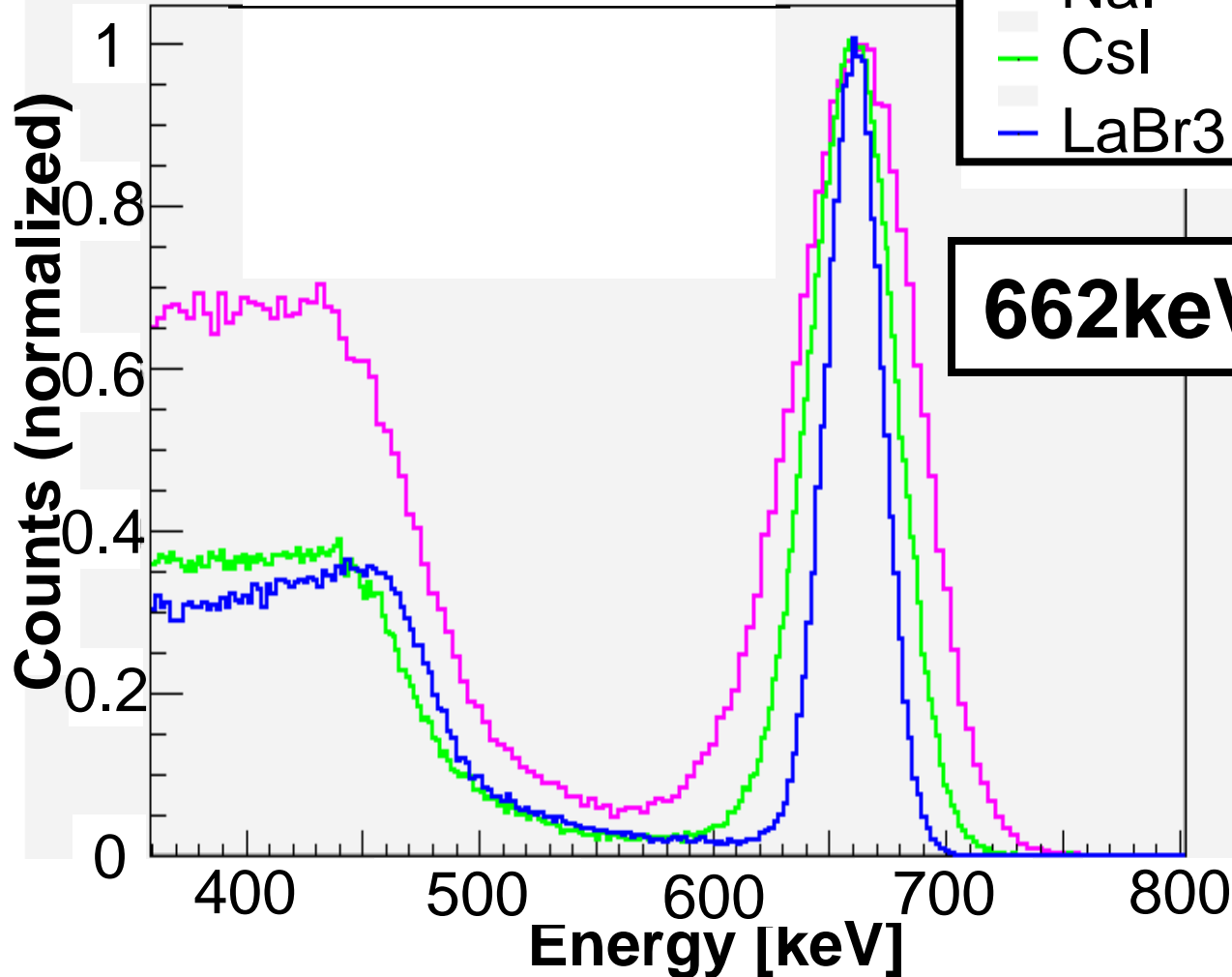


LaBr₃+APDのエネルギー分解能



結晶ごとの分解能の比較(1)(APD)

^{137}Cs のスペクトル



エネルギー

分解能@662keV
(FWHM)

NaI :

$8.9 \pm 0.2\%$

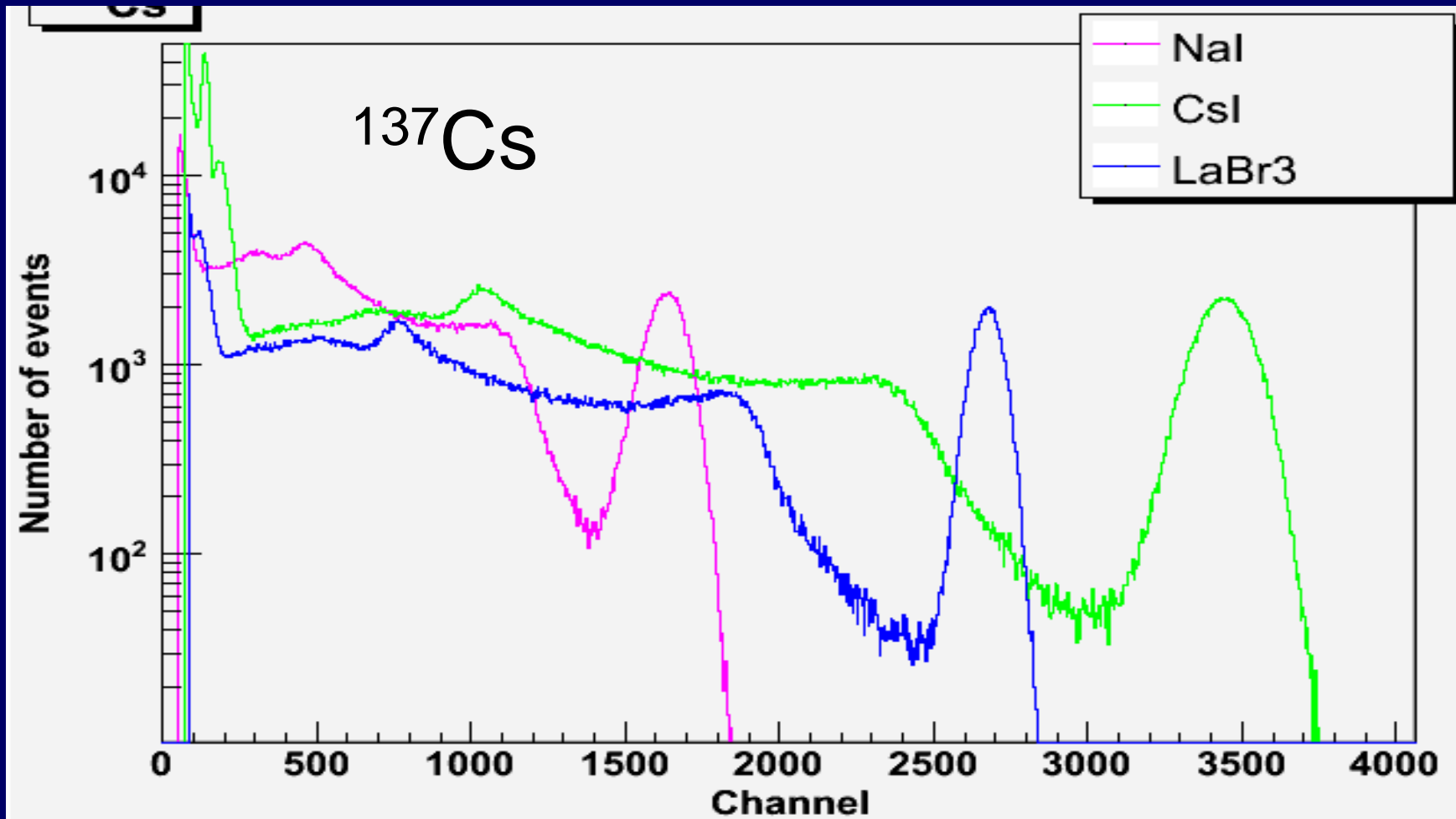
LaBr₃ :

$4.3 \pm 0.2\%$

CsI :

$6.4 \pm 0.2\%$

光量の比較(APD)



光量比 $\text{NaI} : \text{CsI} : \text{LaBr}_3 = 1 : 2.1 : 1.6$

PMT $\text{NaI} : \text{CsI} : \text{LaBr}_3 = 1 : 0.76 : 1.7$

文献値 $\text{NaI} : \text{CsI} : \text{LaBr}_3 = 1 : 0.7 : 1.6$

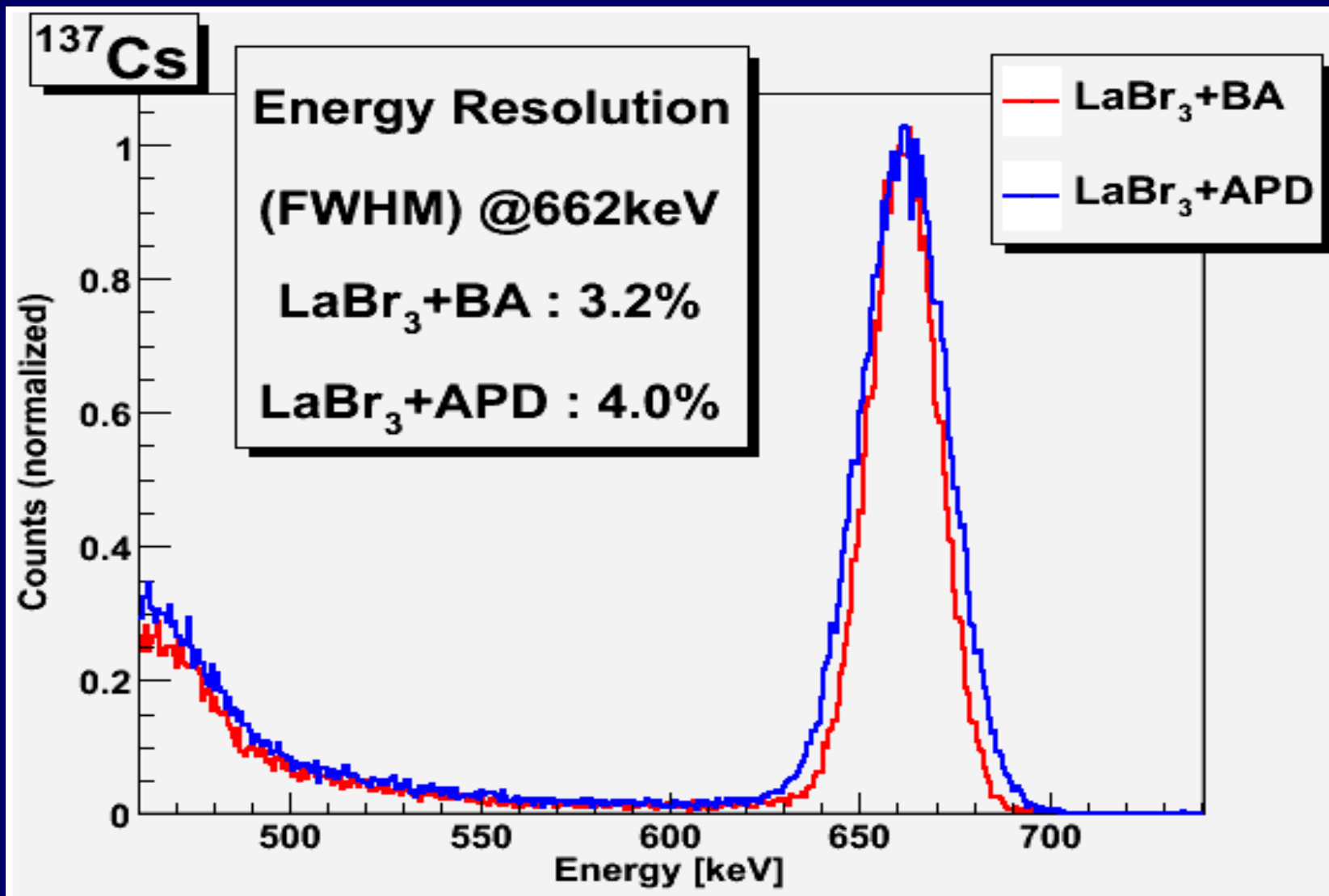
量子効率の
違いのため

結晶ごとの分解能の比較 (APD)

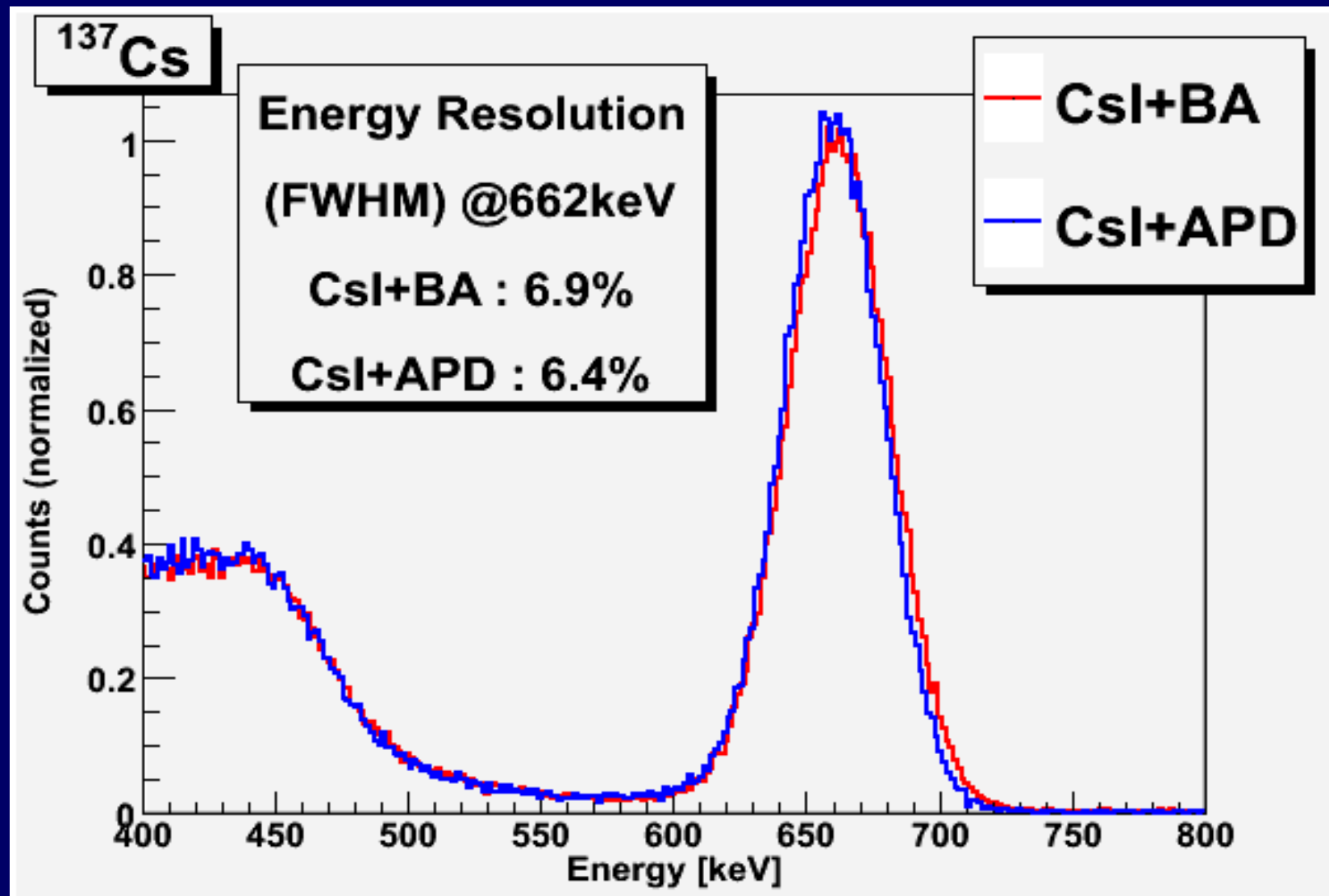
	CsI	NaI	LaBr ₃
122keV (⁵⁷ Co)	12.6 ± 0.2	22.6 ± 0.2	13.4 ± 0.2
662keV (¹³⁷ Cs)	6.4 ± 0.2	8.6 ± 0.2	4.0 ± 0.2
1333keV (⁶⁰ Co)	4.8 ± 0.2	6.0 ± 0.2	2.7 ± 0.2

単位は%

PMTとAPDのエネルギー分解能の比較(1)(LaBr₃)



PMTとAPDのエネルギー分解能の比較(2)(CsI)



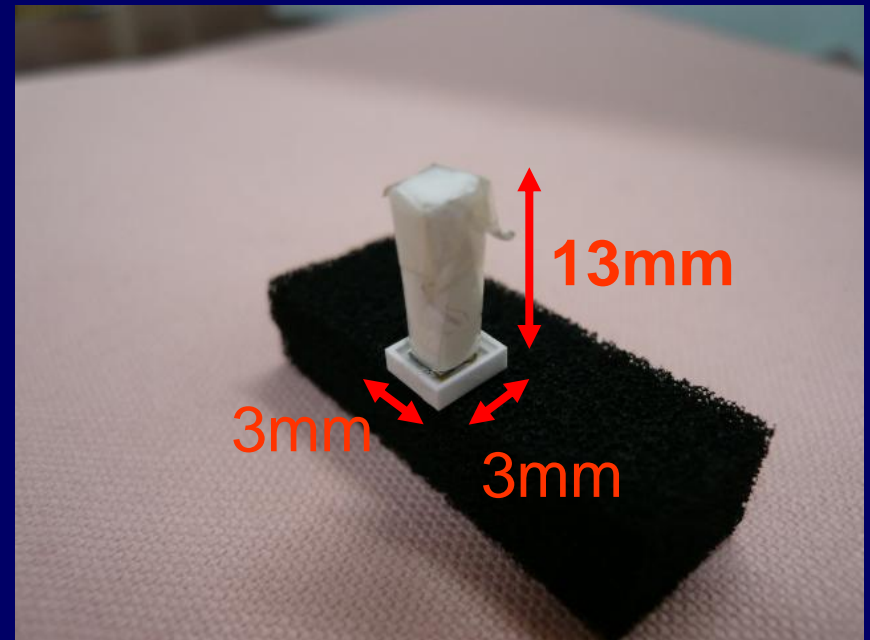
検出器ごとのエネルギー分解能 (@662keV)

検出器 シンチ	PMT(BA)	PMT(SBA)	APD
CsI(Tl)	$6.9 \pm 0.1\%$	$7.1 \pm 0.1\%$	$6.4 \pm 0.1\%$
LaBr ₃ (Ce)	$3.2 \pm 0.1\%$	$2.9 \pm 0.1\%$	$4.0 \pm 0.1\%$

MPPC (Multi-Pixel Photon Counter)

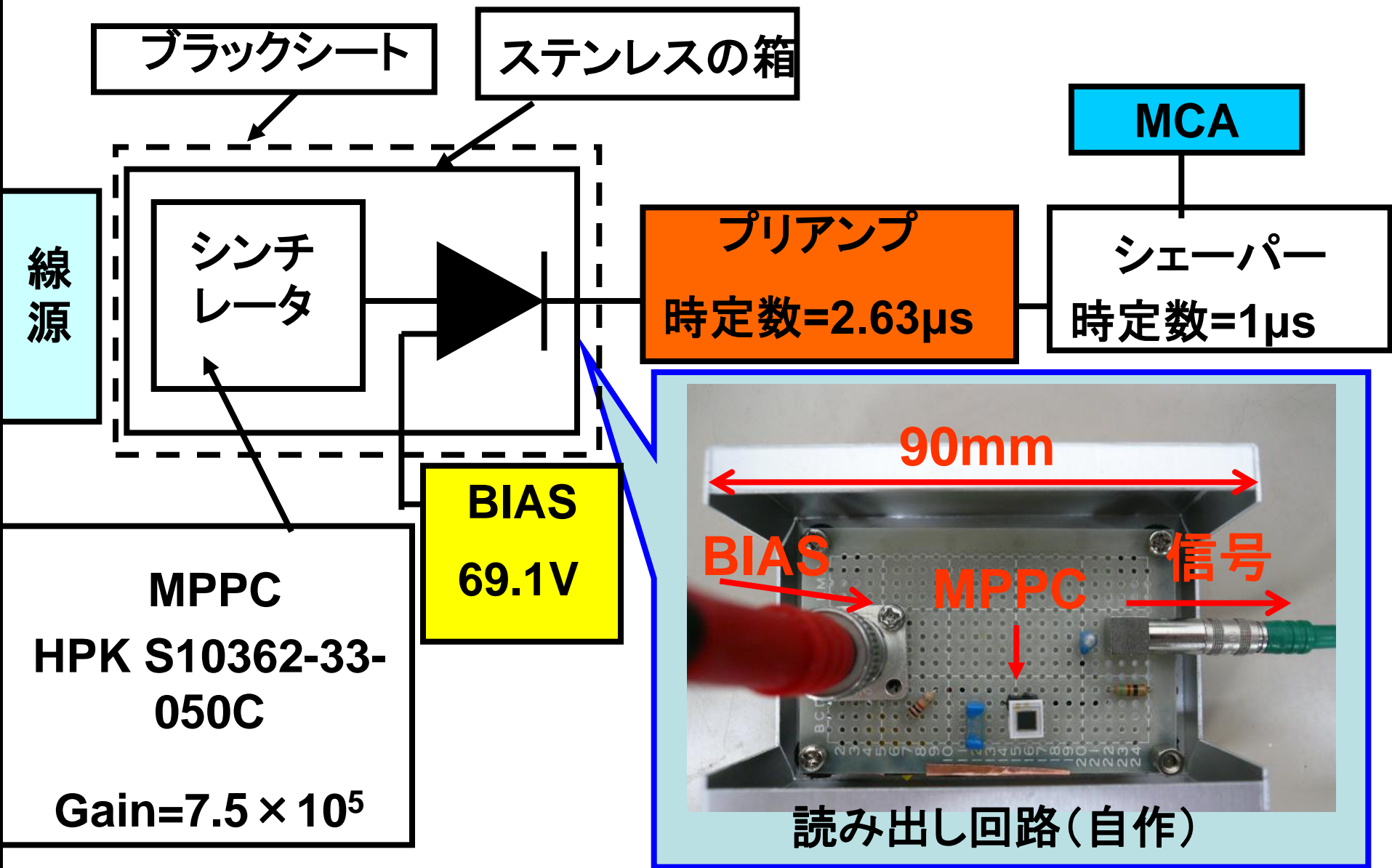
- APDが2次元に並列に接続された構造
- ガイガーモードで動作
- 各APDのピクセルではフォトンが入射情報がわかる
- 各ピクセルの出力の和で光子数を測定
- ピクセル数 : 3600
- 開口率 : 61.5%
- 増倍率 : 7.5×10^5 (@69V)

ゲインの温度係数
: 4%/°C (@69V)

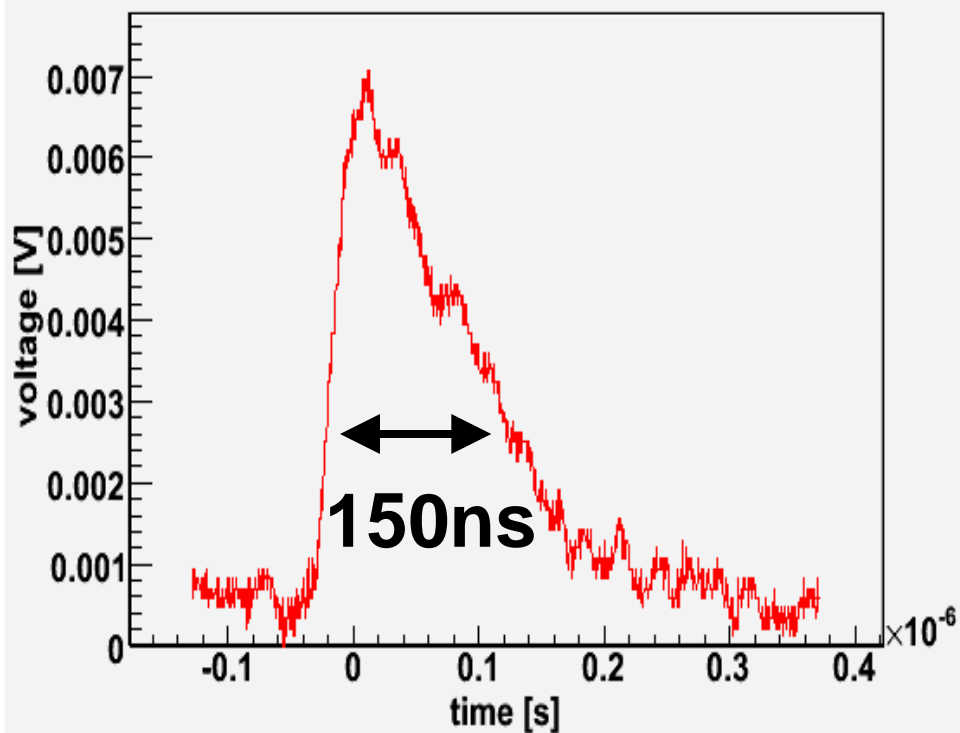


GSO+MPPCの写真

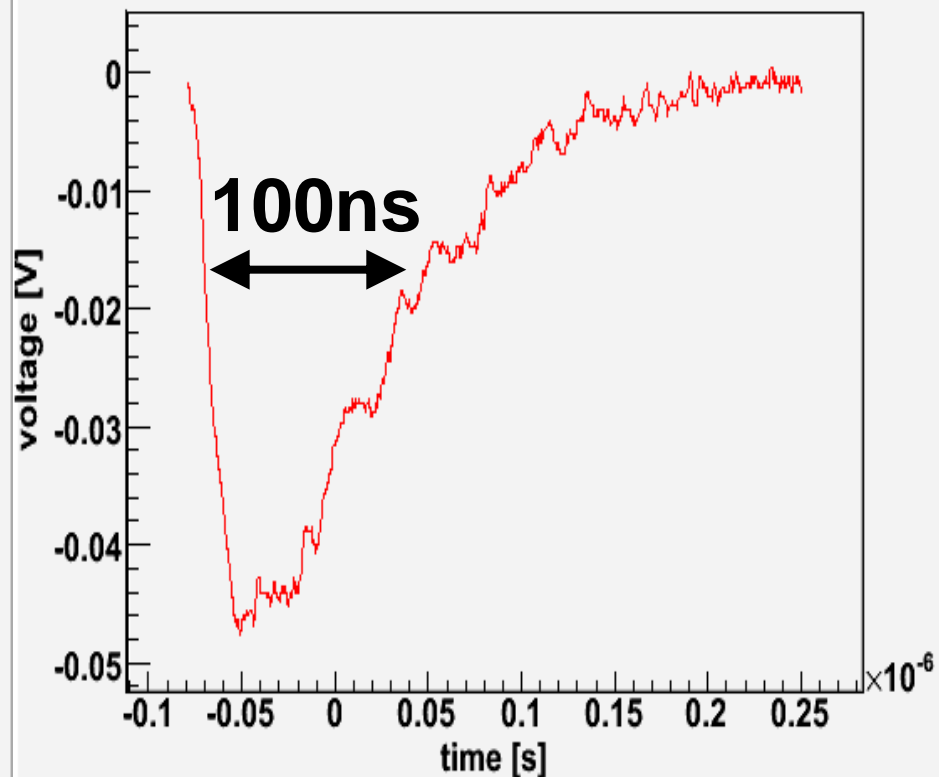
MPPCのセットアップ



生信号(3mm角GSO)

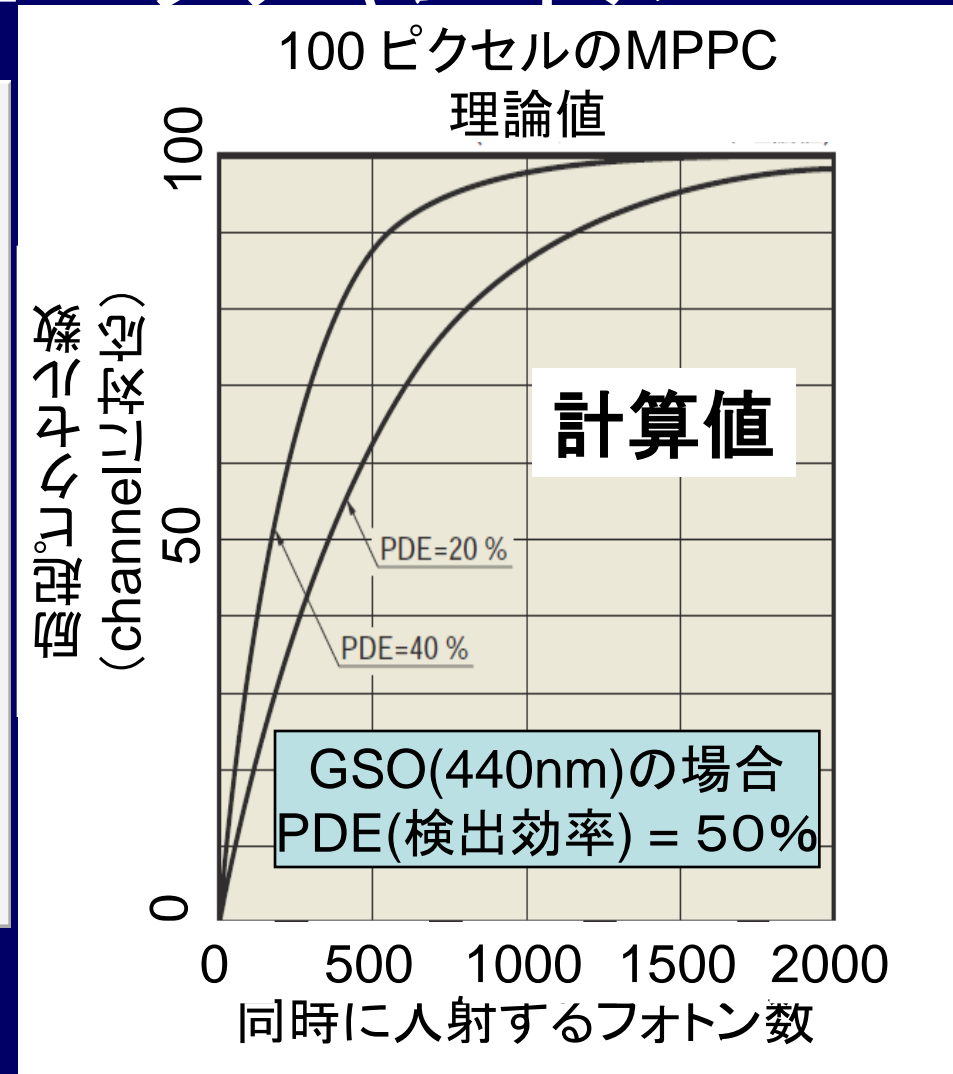
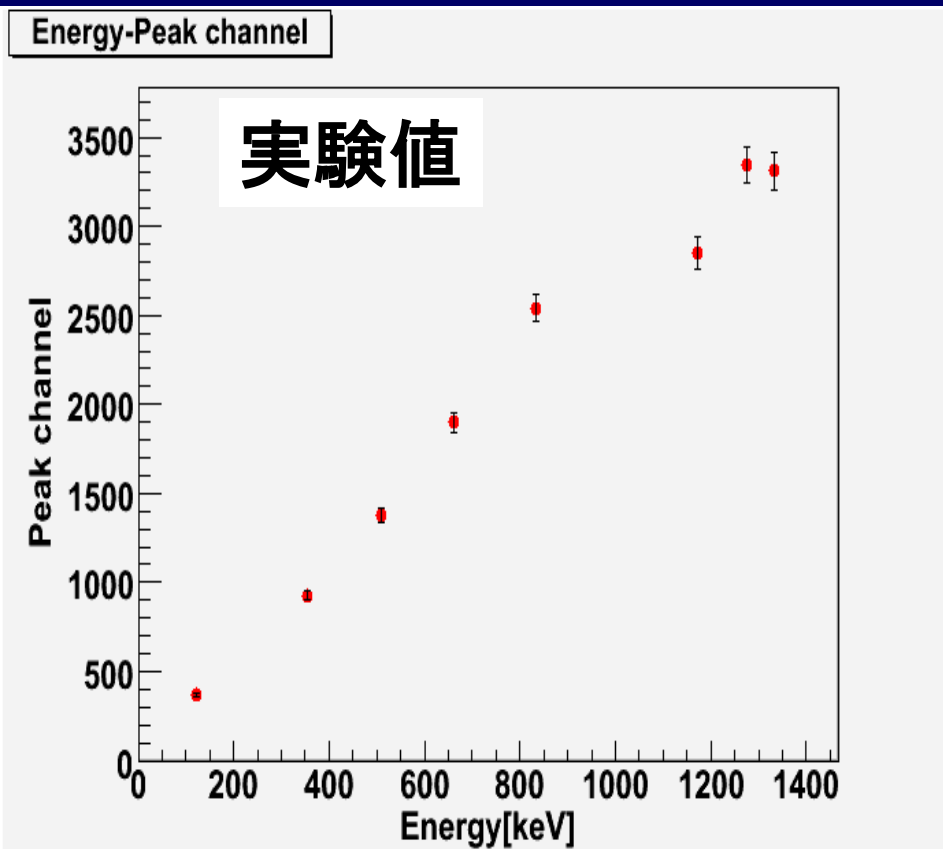


GSO+MPPC



GSO+PMT

エネルギー対ピークチャンネル



実験結果は計算結果とは異なった。

$$\text{Peak ch.} \propto E \times \{1 - \exp(-a \times \text{入射光子数}/E)\}$$

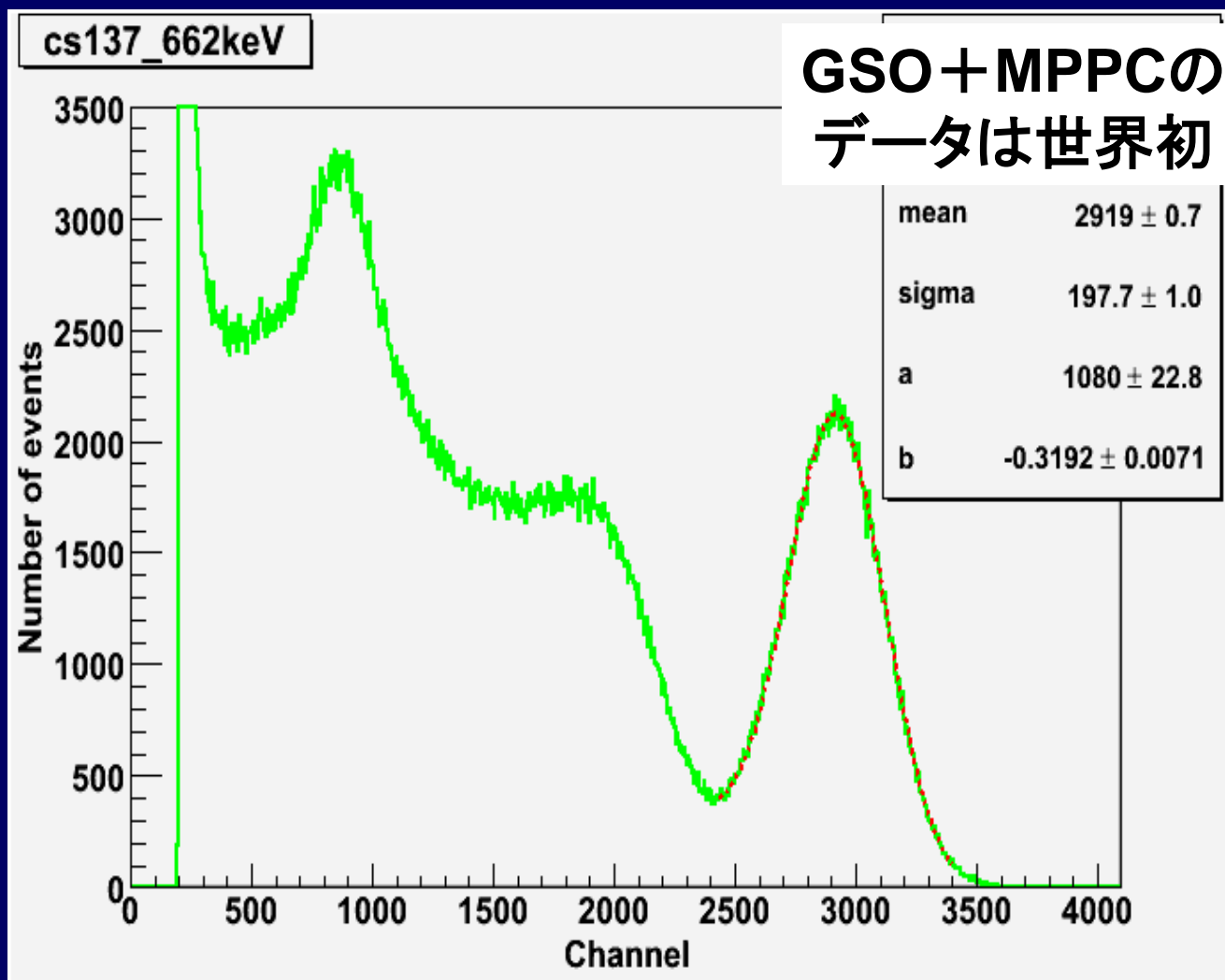
エネルギースペクトル(3mm角GSO)

エネルギー分解能(FWHM)
@662keV

GSO+MPPC
 $14.5 \pm 0.1\%$

GSO+PMT
 $8.1 \pm 0.1\%$

ただしMPPCは
エネルギー較正
しないで求めた
線形性が成り立たな
かったため



考察

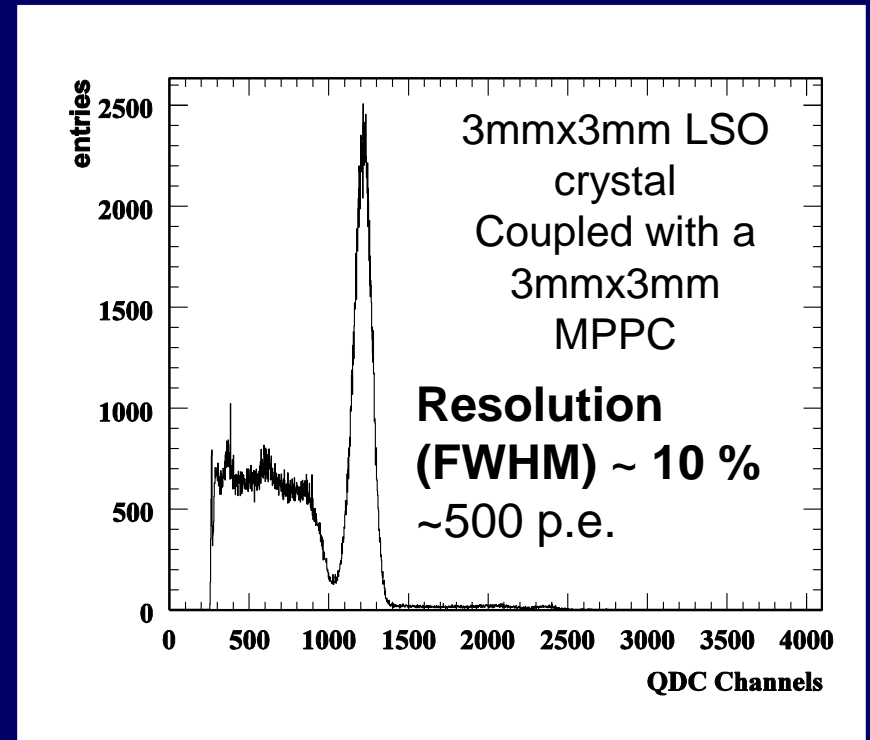
エネルギー分解能

→LSO結晶では
MPPCでもPMTと同じ

→われわれの実験では
MPPCが大幅に悪化



- ・線形性の問題
- ・光量の問題
(LSOはGSOの4倍)



Nicola D'Ascenzo and Erika Garutti
(2007) PD07

まとめと今後の課題

- PMT、APDでエネルギー分解能を測定したところ、一貫して LaBr_3 が最良だった。
- とくに、PMT(SBA)と LaBr_3 で2.9%(FWHM)という結果が得られた。
- UBAでの測定をする。
- MPPCを用いた測定では、多くの問題点がある。PMTに匹敵するエネルギー分解能を追求し、光量と出力値の関係についてさらに詳しく調べる。

おしまい