

# Pixelシンチレーターアレイと フラットパネルPMTを用いた 3次元反応位置検出装置

P6 DOI班

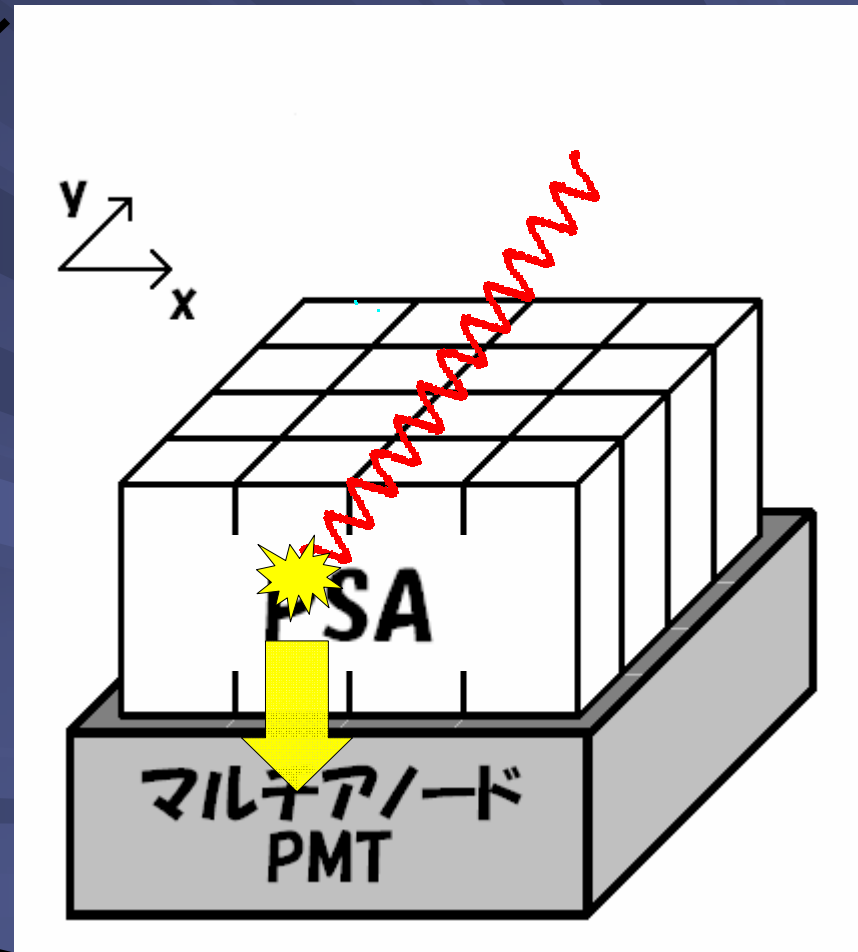
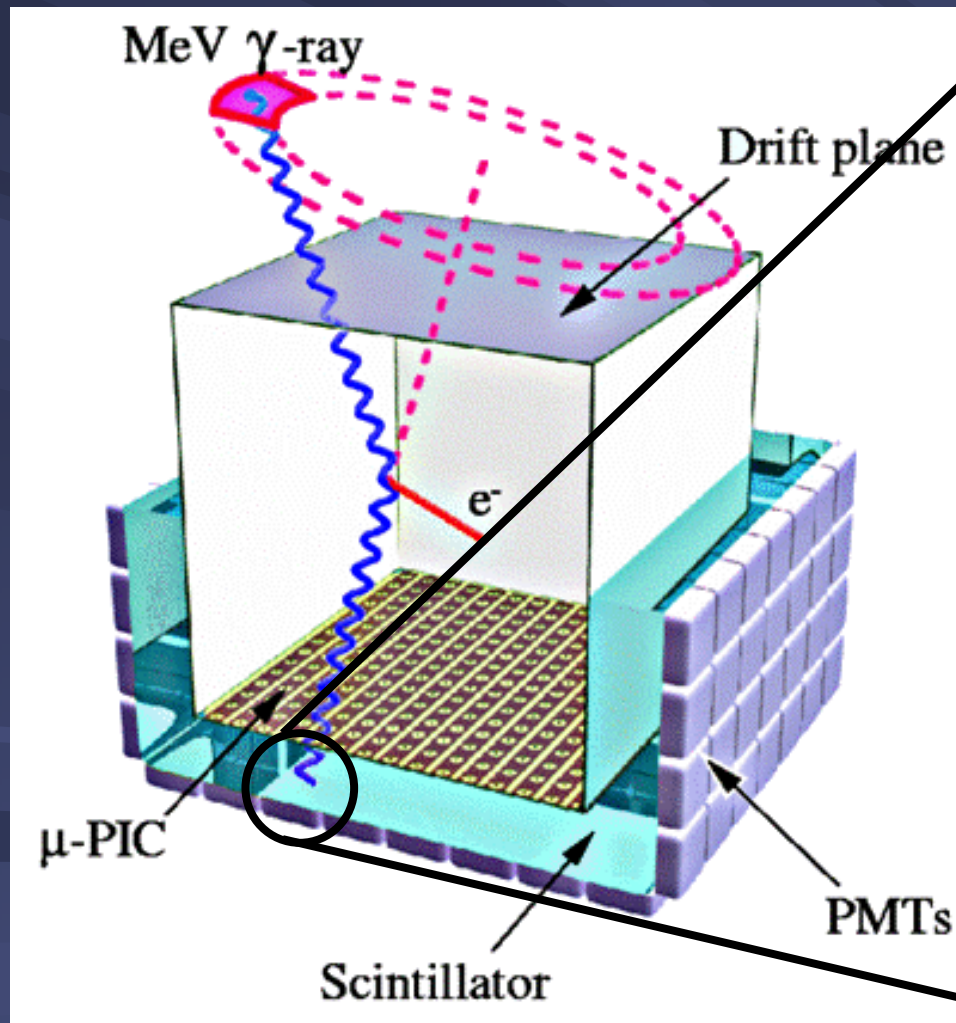
青山 聡

岩城 智

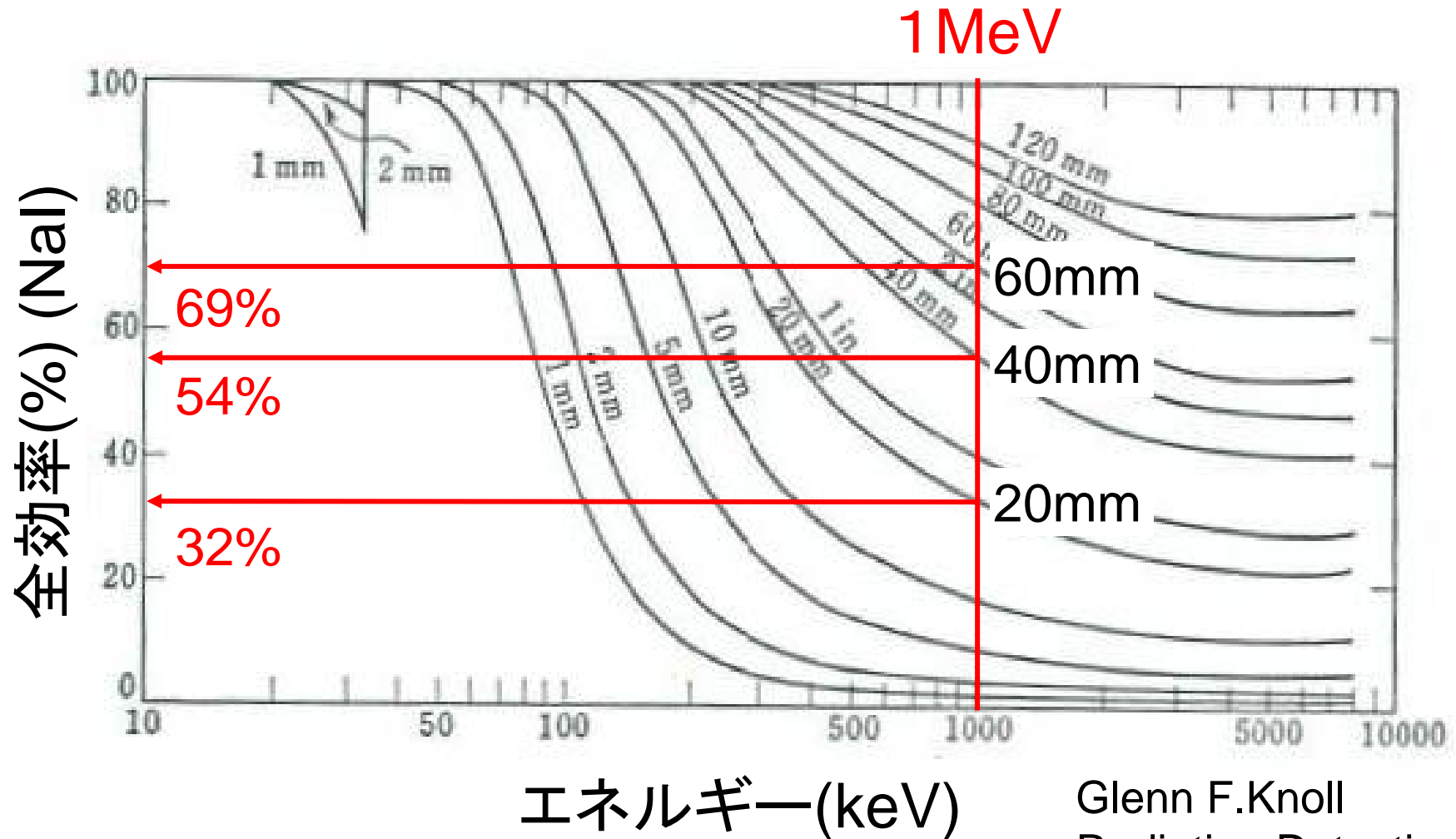
# 目次

- 1. 概要、目的 (岩城)
- 2. 実験装置
  - 2-1. 検出部 (岩城)
  - 2-2. 読み出し部 (青山)
- 3. 本実験
  - 3-1. 位相をずらすことによる三次元位置検出 (青山)
  - 3-3. 時定数の違いによる三次元位置検出 (岩城)
- 4. まとめと課題 (岩城)

# MeV $\gamma$ 線コンプトンカメラにおける PSA (Pixel Scintillator Array)

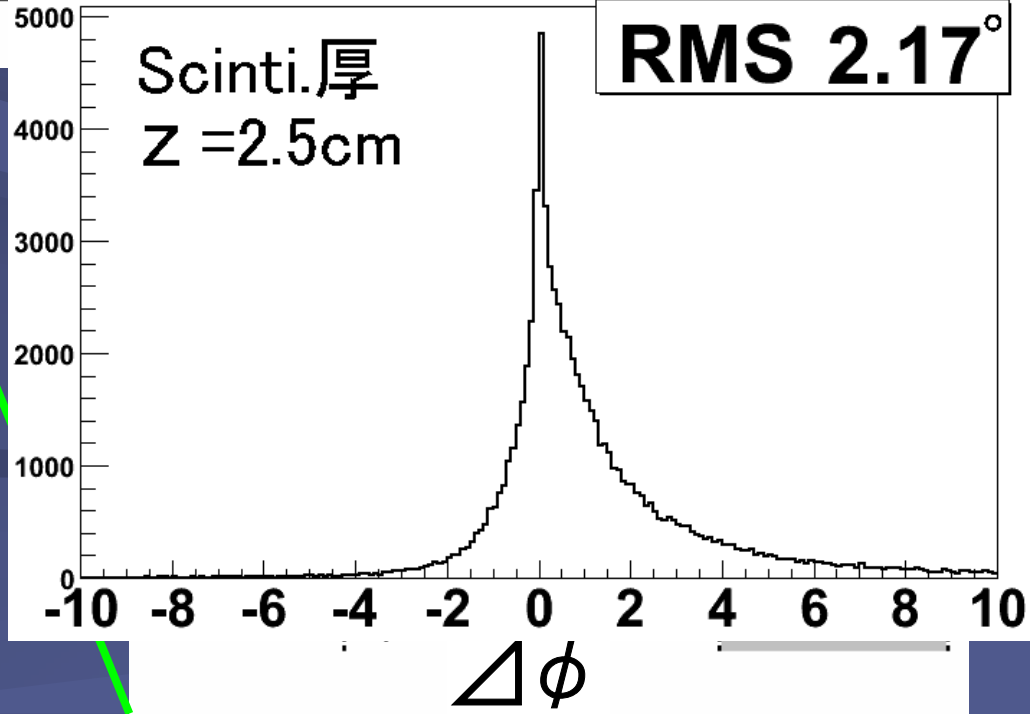
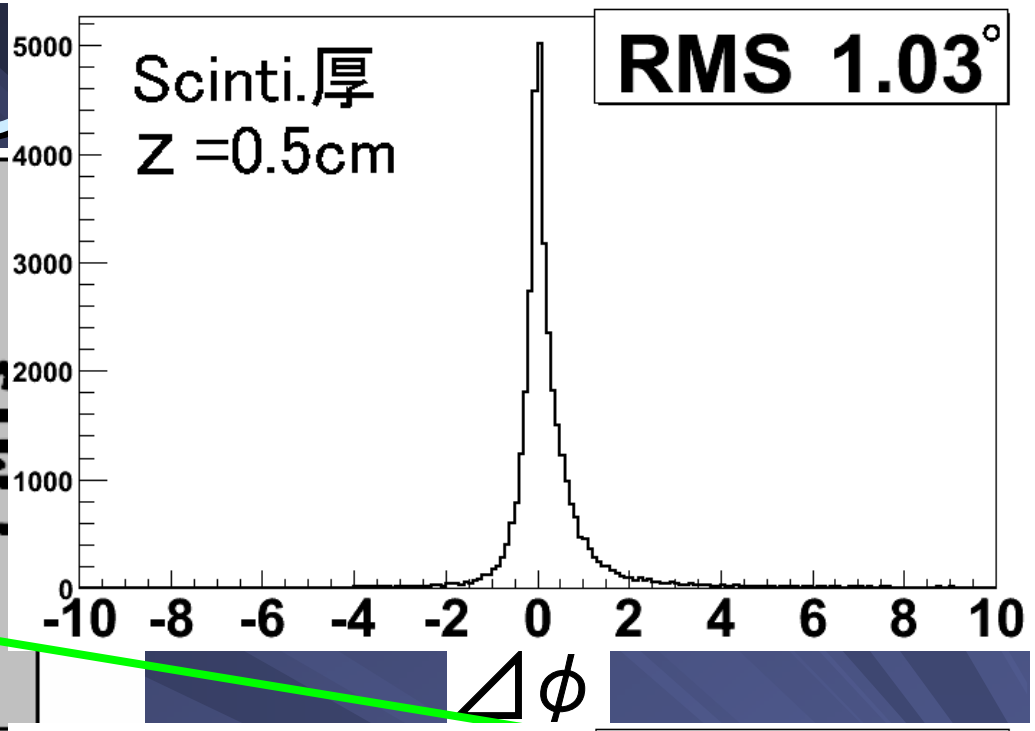
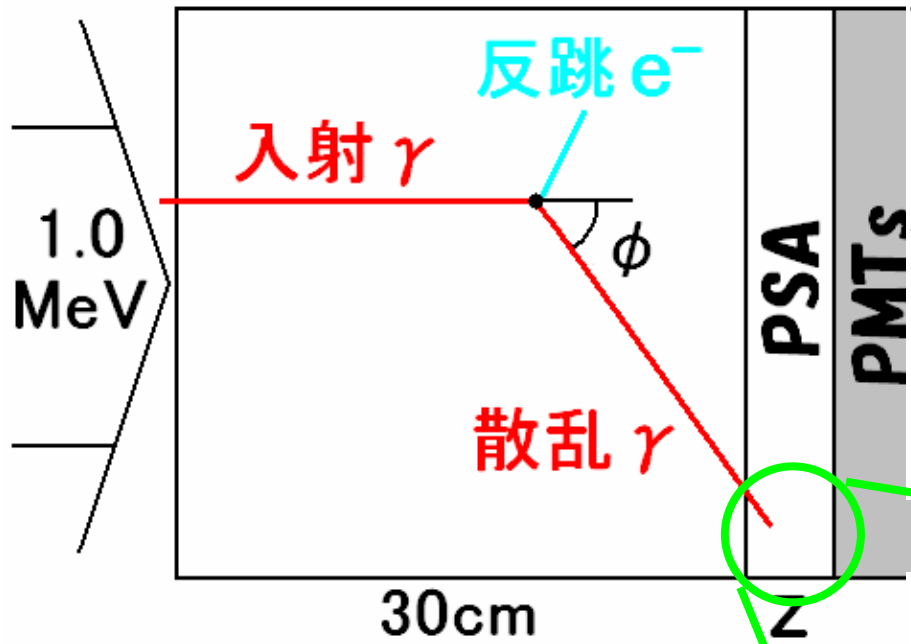


# PSAの課題



Glenn F. Knoll  
Radiation Detection  
and Measurement

# シミュレーション



Scintillatorが厚くなると  
角度分解能が低下  
⇒ 深さ方向の反応位置  
(Depth Of Interaction  
, DOI)  
が知りたい

# 目標

- 最終目標

DOI検出

⇒  $\gamma$  線到来方向決定精度を損なわず

Scintillatorを厚くできる。

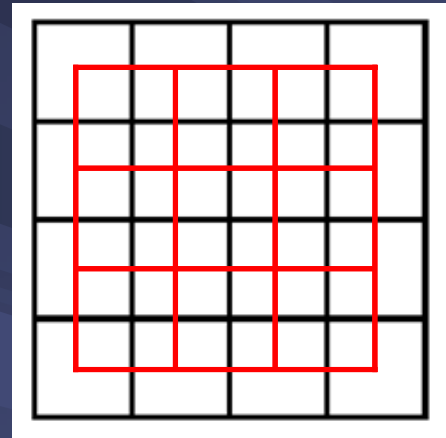
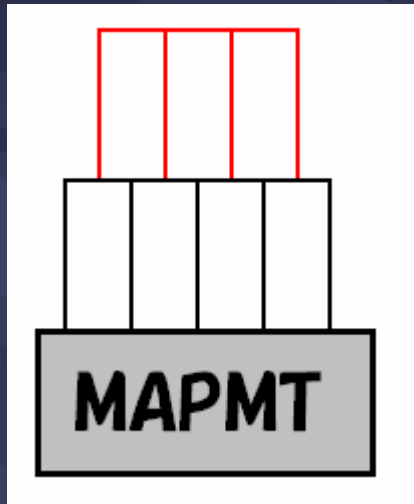
⇒ 検出効率向上

- 今回はその基礎実験

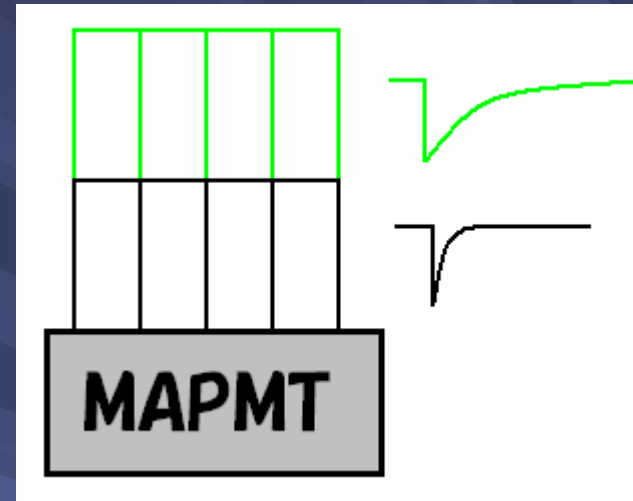
実際にDOIを検出することを目標とする。

# DOI (Depth Of Interaction) 検出法

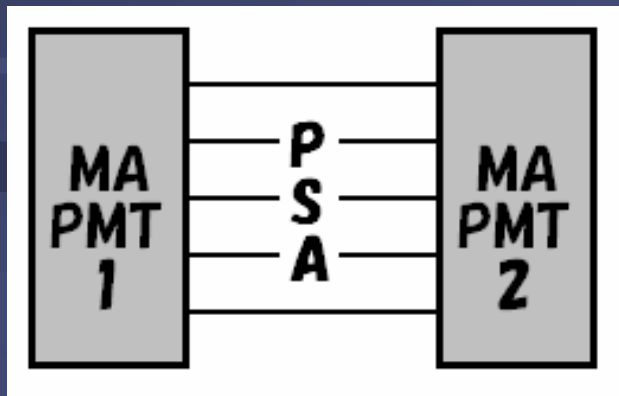
## ■ Phaseずらし



## ■ 時定数法



## ■ 両面読み出し



今回は  
Phaseずらし  
時定数法  
を行う。

## 2. 実験装置

- 検出部 … シンチレーター  
光輸送  
PMT
- 読み出し … 抵抗チェーン  
読み出し回路(DAQ)



# GSO及びBGO Pixelシンチレーター

	GSO	BGO	NaI(Tl)
化学式	$\text{Gd}_2\text{SiO}_5$ (Ce 0.5mol%)	$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$	
密度(g/cm <sup>3</sup> )	6.71	7.13	3.67
放射長(mm)	13.8	11.1	26
減衰時間(ns)	<u>59</u>	<u>300</u>	230
相対蛍光集率	20%	7~12%	100%
$\Delta E/E$ (FWHM) @662keV	約9%	約15%	約8%

今回使ったPixel Scinti.のサイズ

GSO:6×6×13(mm<sup>3</sup>)

BGO:6×6×11(mm<sup>3</sup>)

# 光輸送

## ■ 各Pixel間

反射材(3M社製ESR)

厚さ:  $65 \mu\text{m}$

反射率: 98%以上



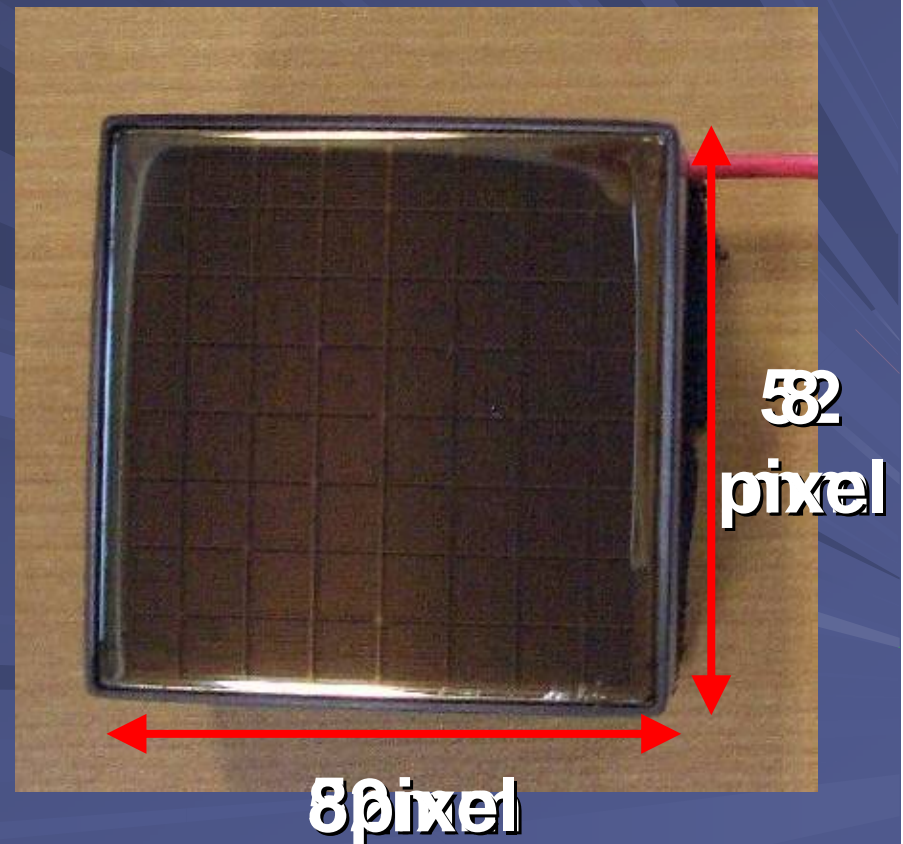
## ■ Scinti-PMT間

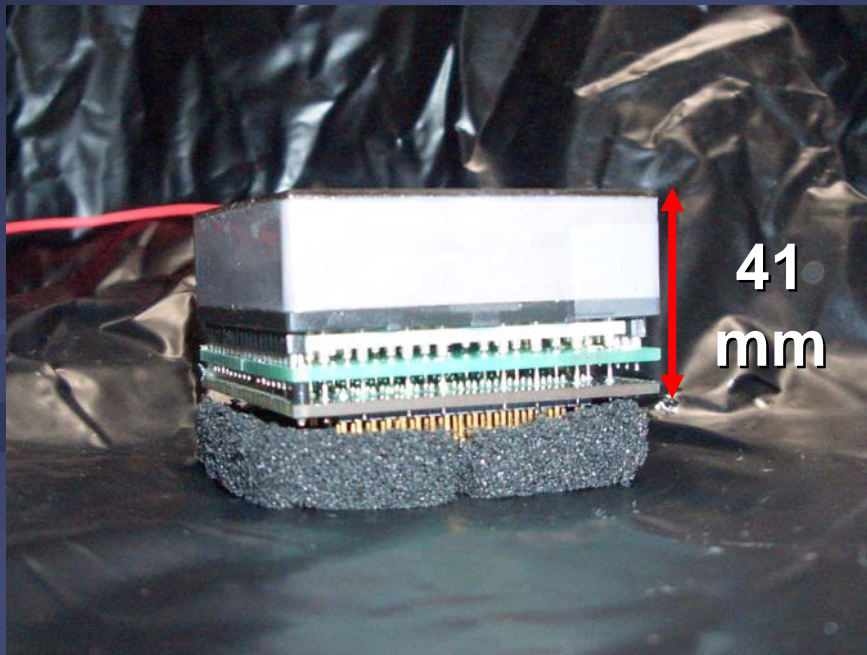
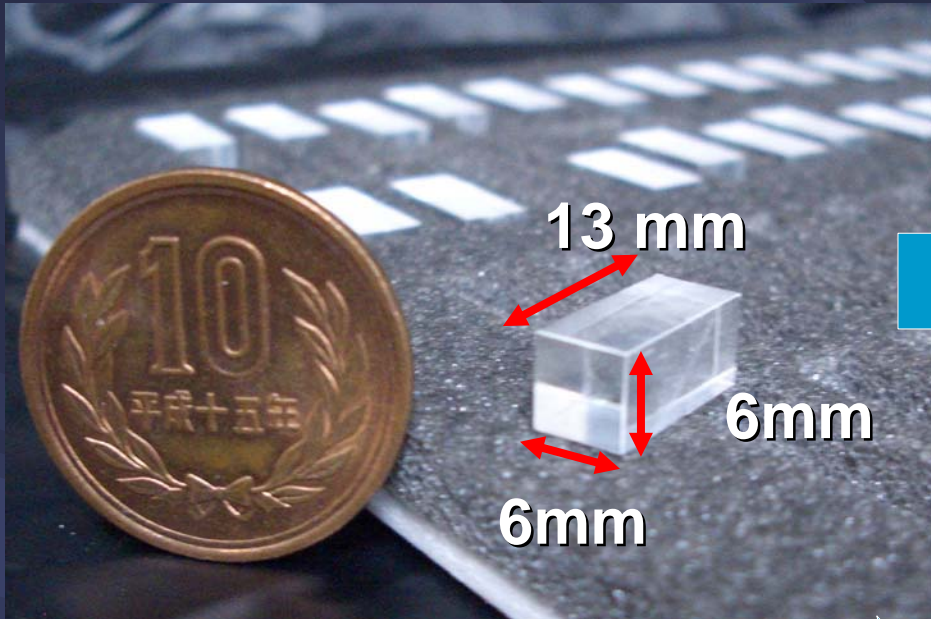
オプティカルグリス  
(応用光研製)



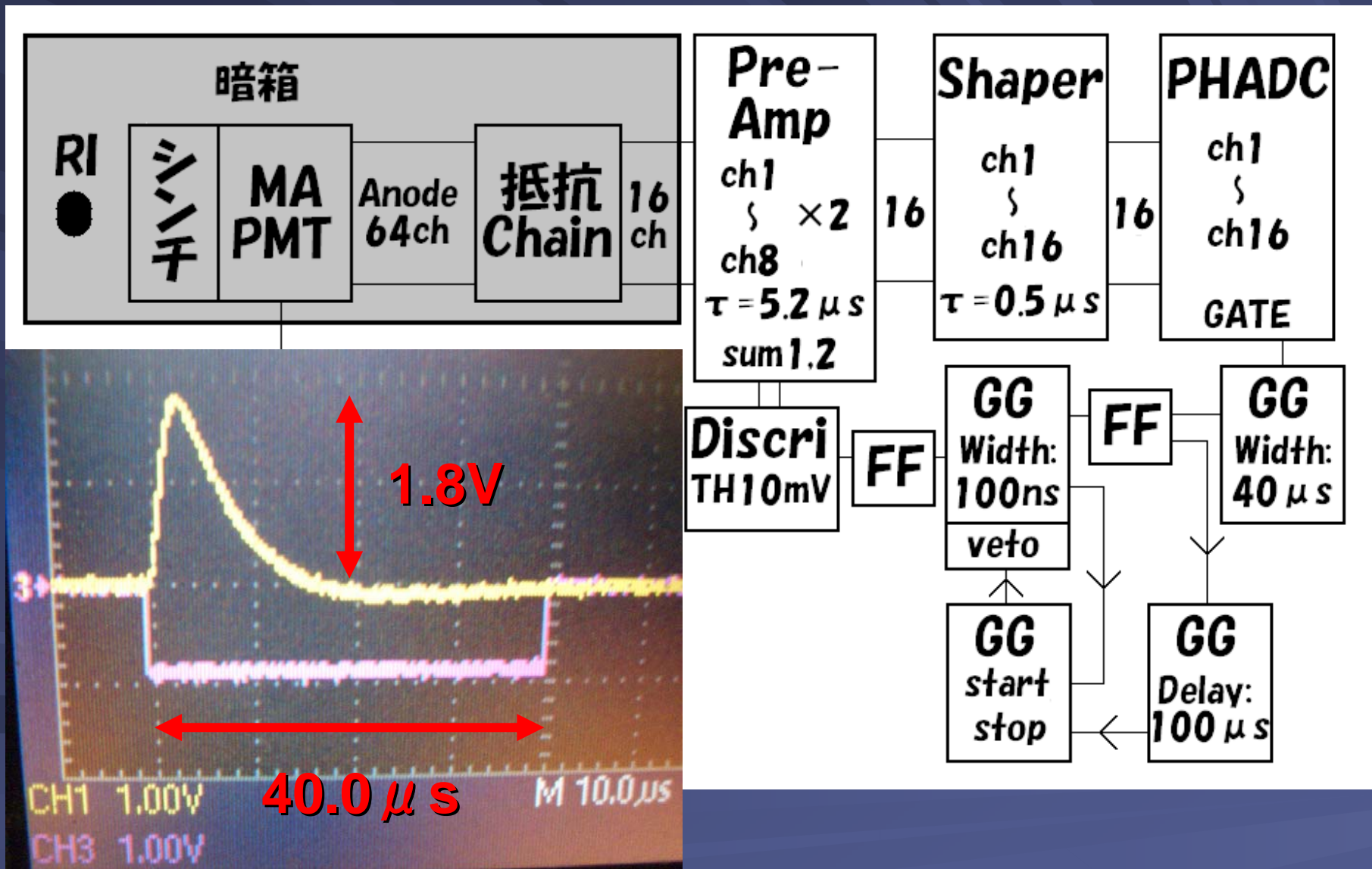
# マルチアノードPMT

- 浜松ホトニクス H8500
- Size:52mm × 52mm  
(有感49mm × 49mm)
- 8 × 8=64ch
- 1pixel 5.8mm × 5.8mm
- Gain  $\sim 10^6$ 倍 @-800V
- Anode uniformity 1:1.6
- Rise time 0.8ns



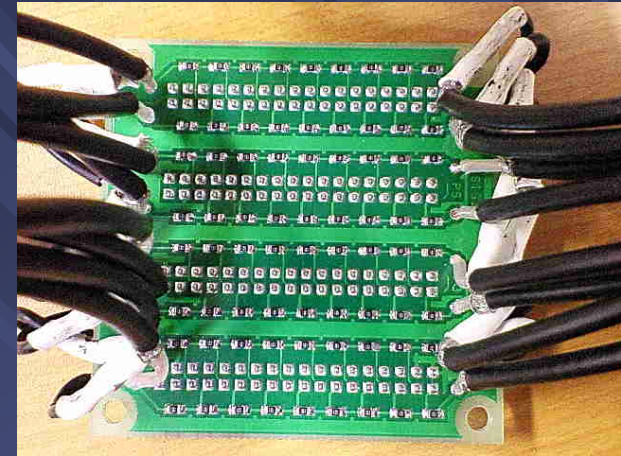


# 読み出し回路(DAQ)



# 16ch読み出し抵抗分割

- 64chのAnode信号  
⇒ 16chの信号にまとめる

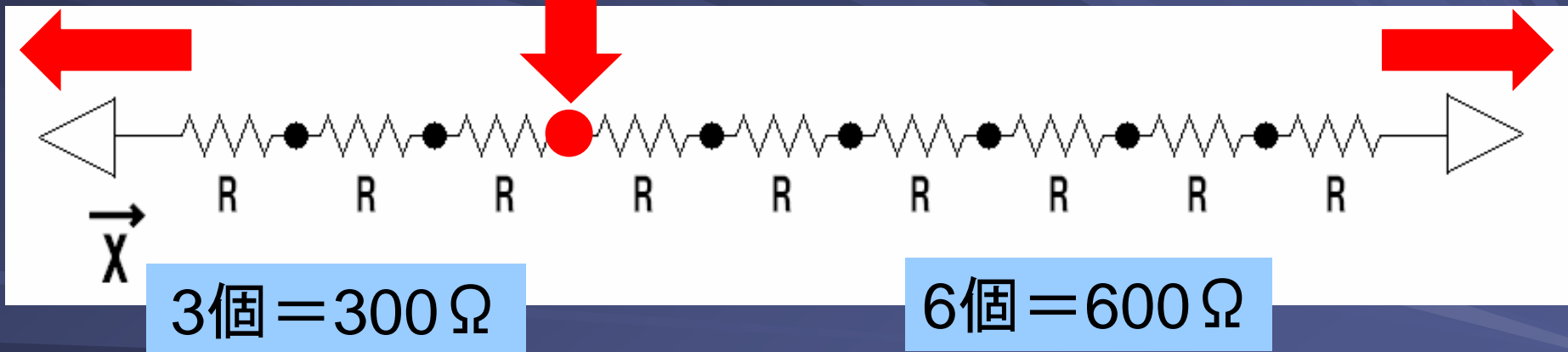


**P<sub>left</sub>=  
20pC**

**30pC**

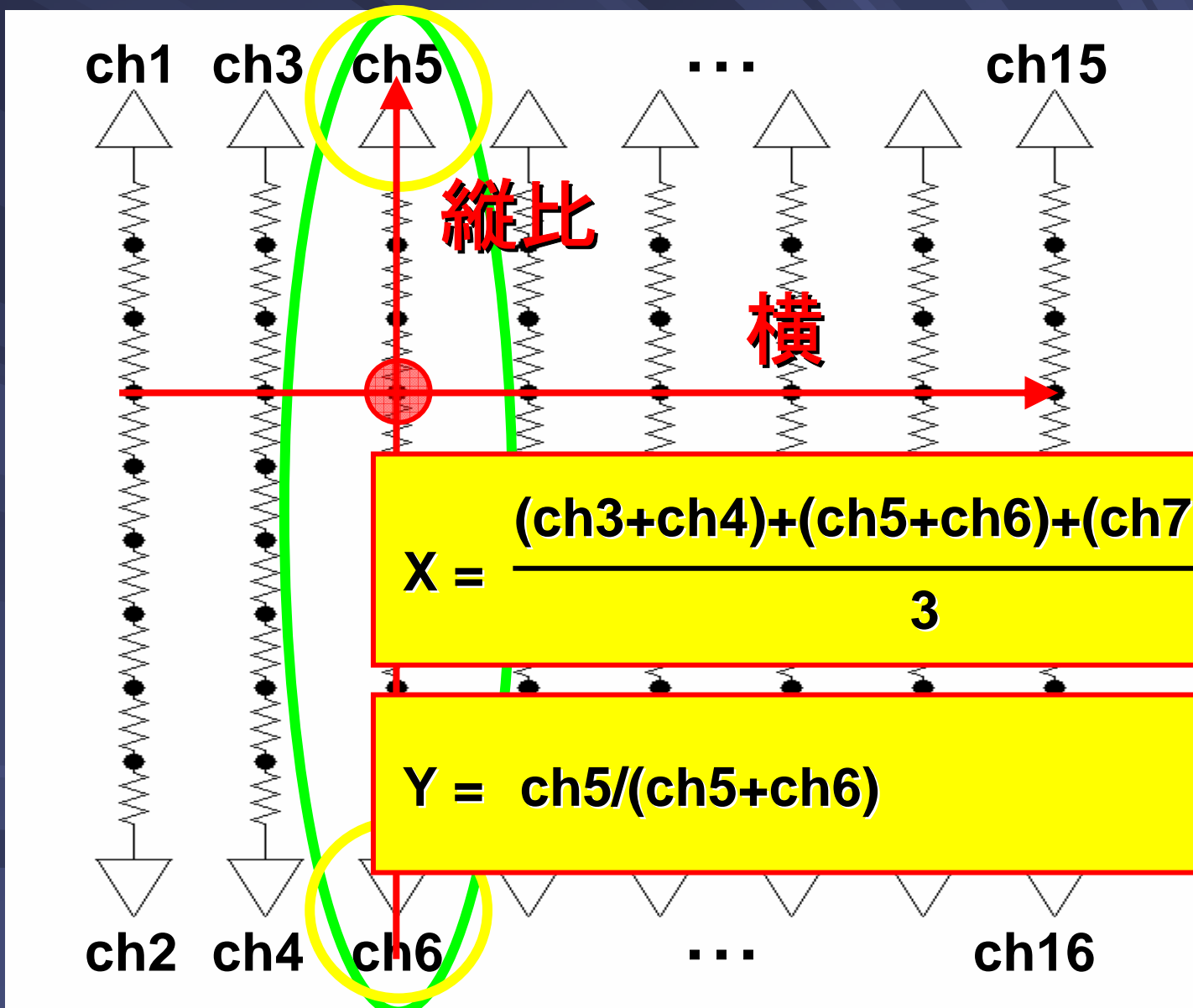
**R=100 Ω**

**P<sub>right</sub>=  
10pC**



$$\begin{aligned} X &= P_{right} / (P_{right} + P_{left}) \times 9 \\ &= 10 / (20 + 10) \times 9 = \underline{\underline{3(\text{番目})}} \end{aligned}$$

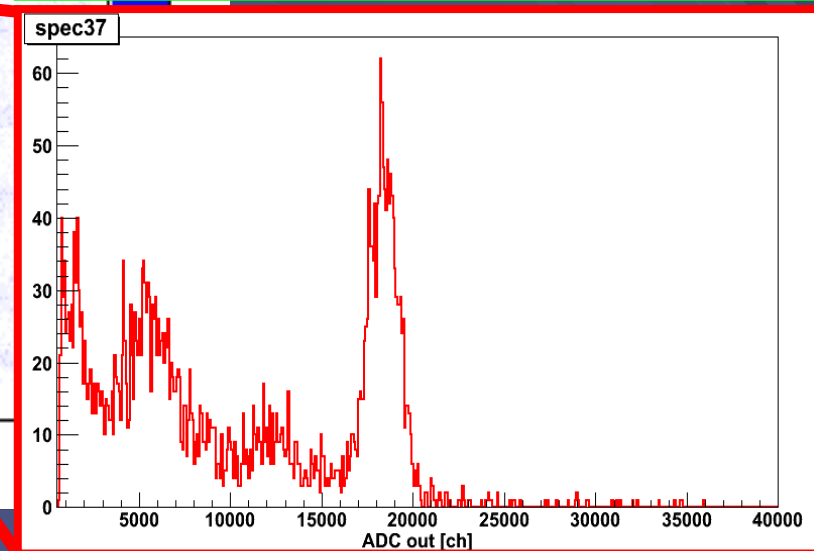
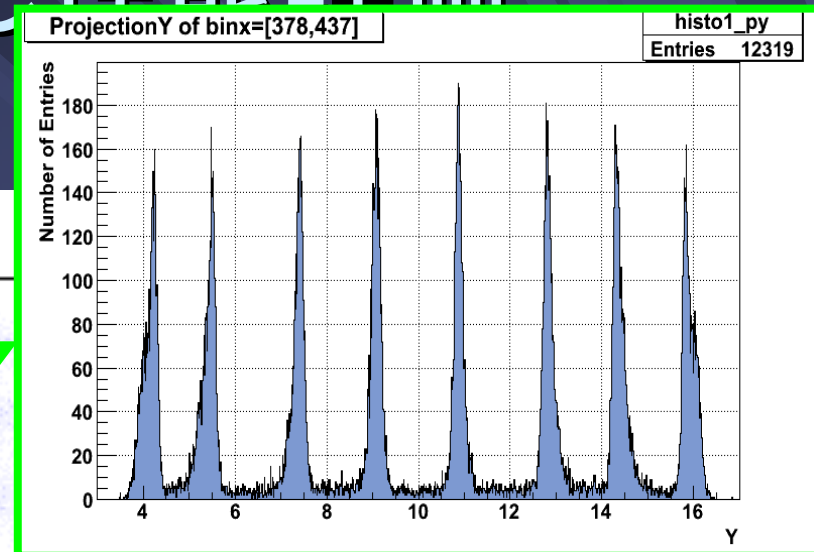
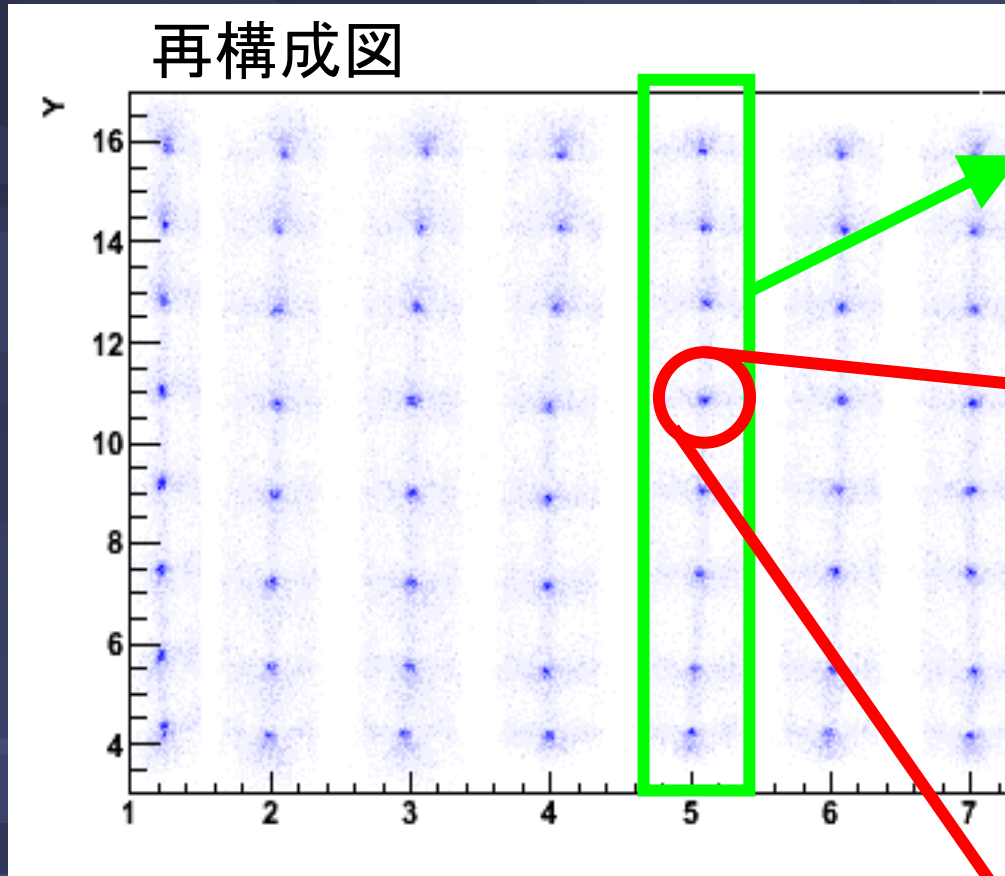
# 16ch位置解析



# 16ch読み出し性能評価

8 × 8GSO,  $^{137}\text{Cs}$ , 全面照射

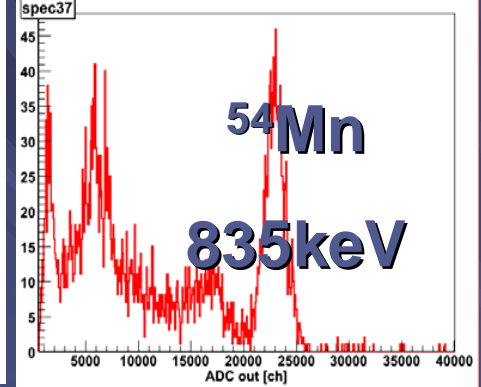
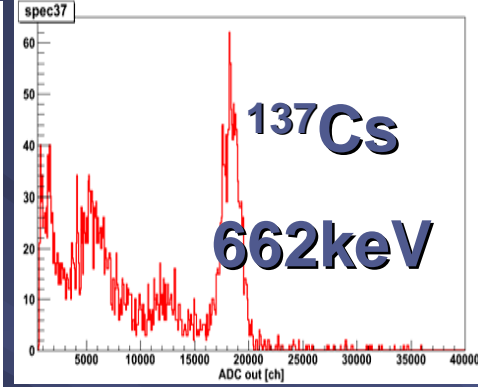
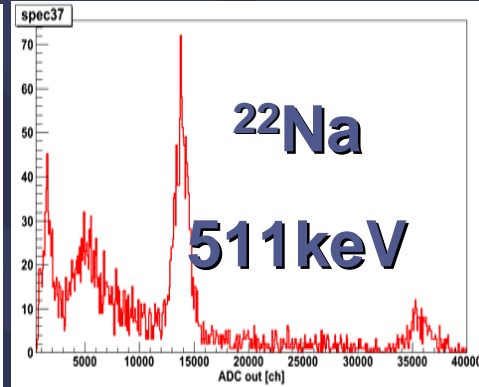
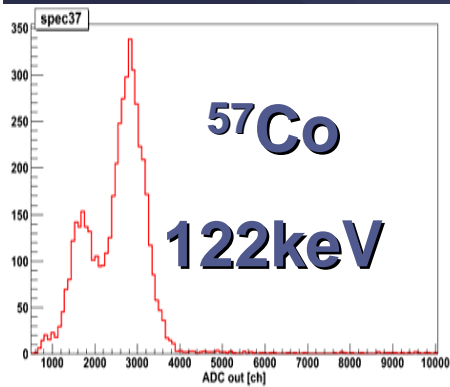
再構成図



エネルギー分解能  $\sim 10.7 \pm 1.1\%$  (FWHM) @662keV  
8 × 8BGOのとき  $\sim 15.3 \pm 1.7\%$  (FWHM) @662keV

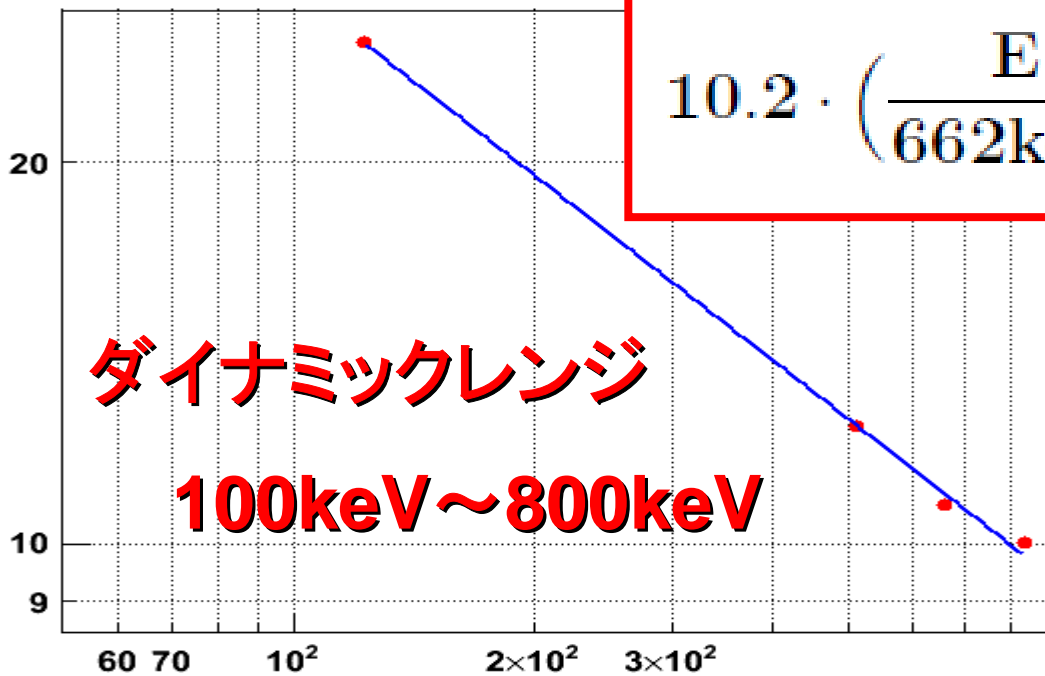


# 性能評価その2



FWHM (%)

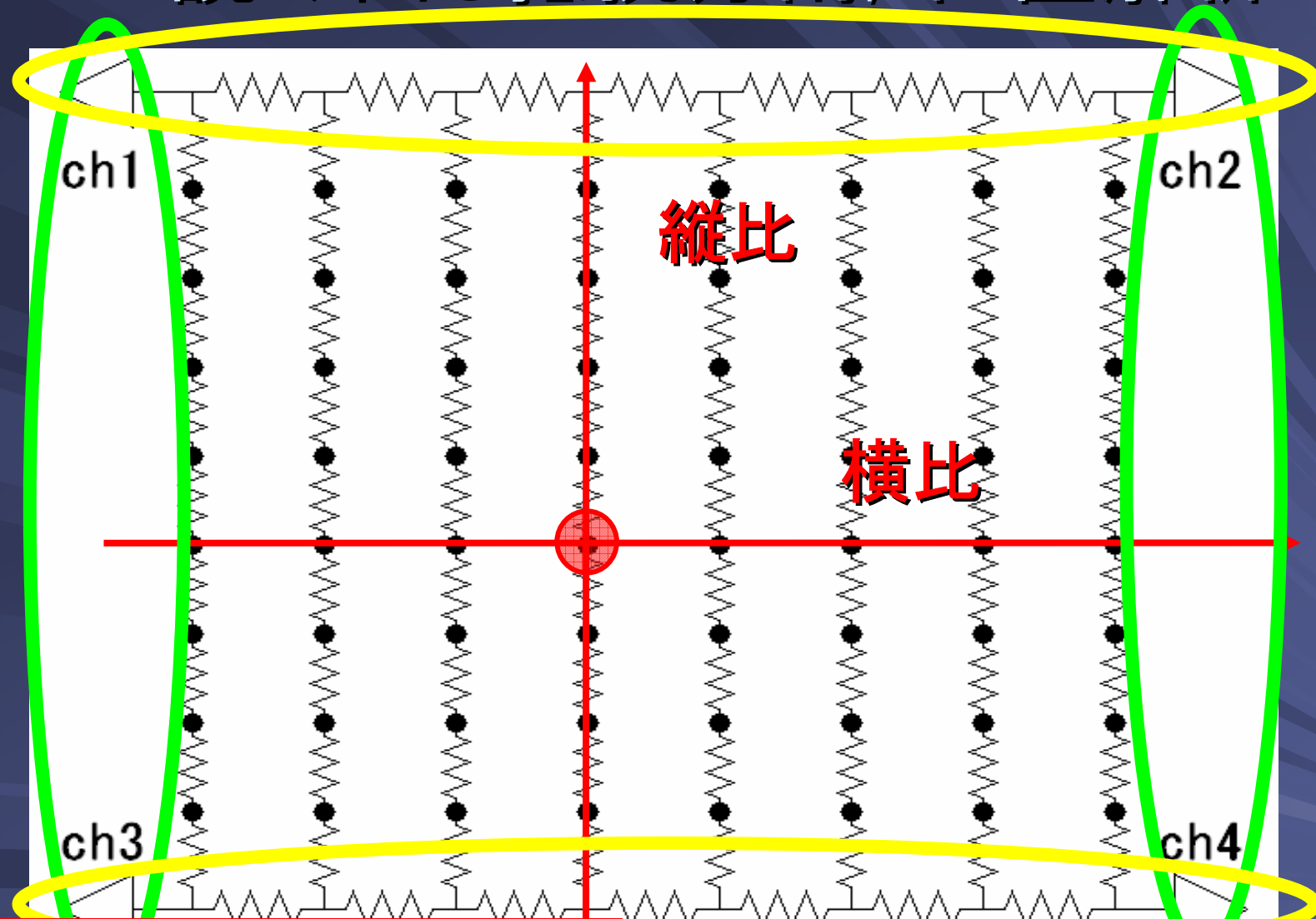
Graph



$$10.2 \cdot \left( \frac{E}{662\text{keV}} \right)^{-0.49 \pm 0.01} (\%)$$

Energy (keV)

# 4ch読み出し抵抗分割, 位置解析

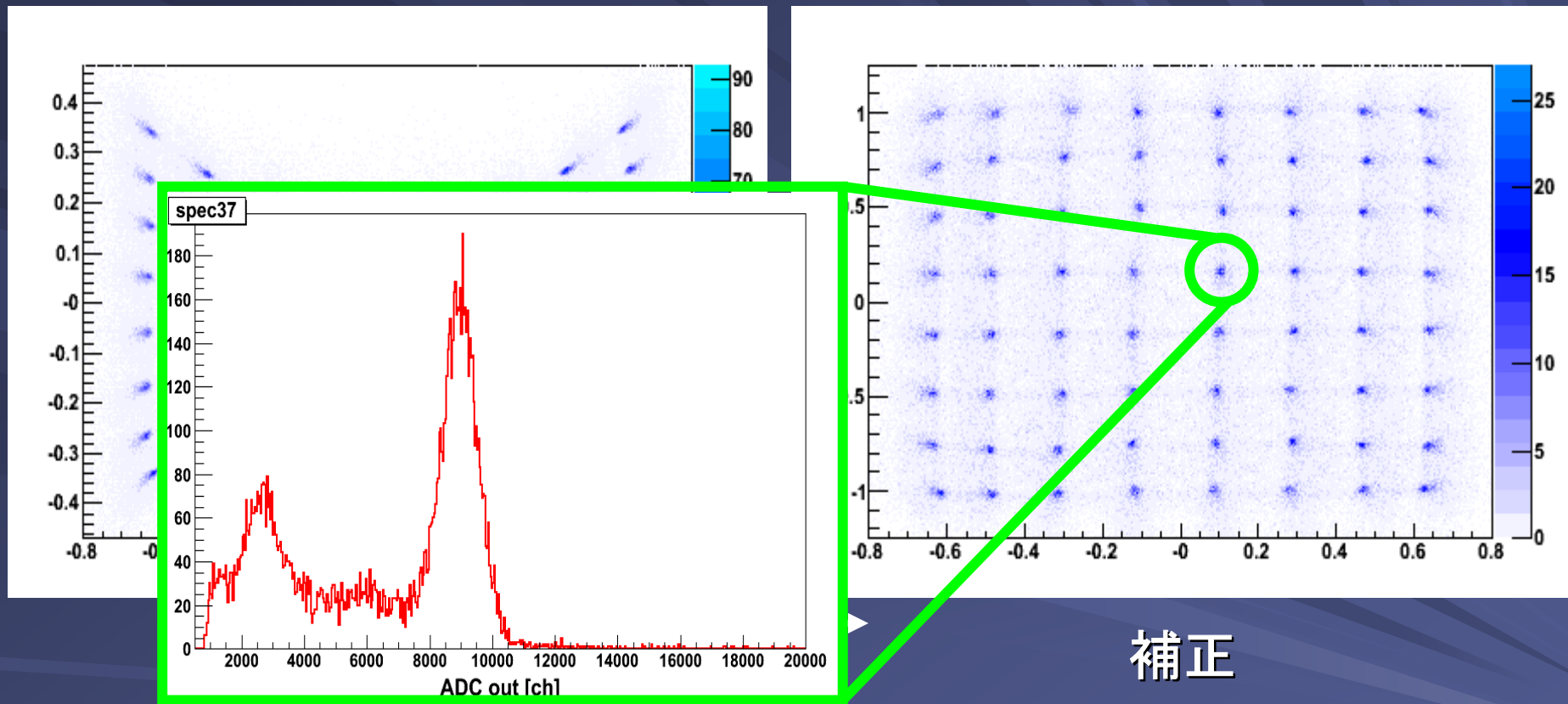


$$x = \frac{(ch2+ch4) - (ch1+ch3)}{ch1+ch2+ch3+ch4}$$

$$y = \frac{(ch1+ch2) - (ch3+ch4)}{ch1+ch2+ch3+ch4}$$

# 4ch読み出し性能評価

8 × 8GSO,  $^{137}\text{Cs}$ , 全面照射



補正

エネルギー分解能  $\sim 10.2 \pm 1.0\%$  (FWHM) @662keV  
8 × 8BGOのとき  $\sim 15.1 \pm 1.9\%$  (FWHM) @662keV

# 3. 本実験

- 3-1. 位相をずらすことによるDOI検出
- 3-2. 時定数の違いによるDOI検出

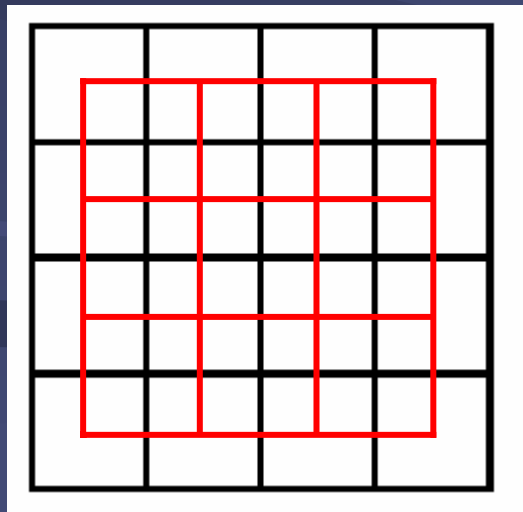
# 3-1. PhaseずらしによるDOI検出

二つのシンチレータを，位相をずらして重ねる。



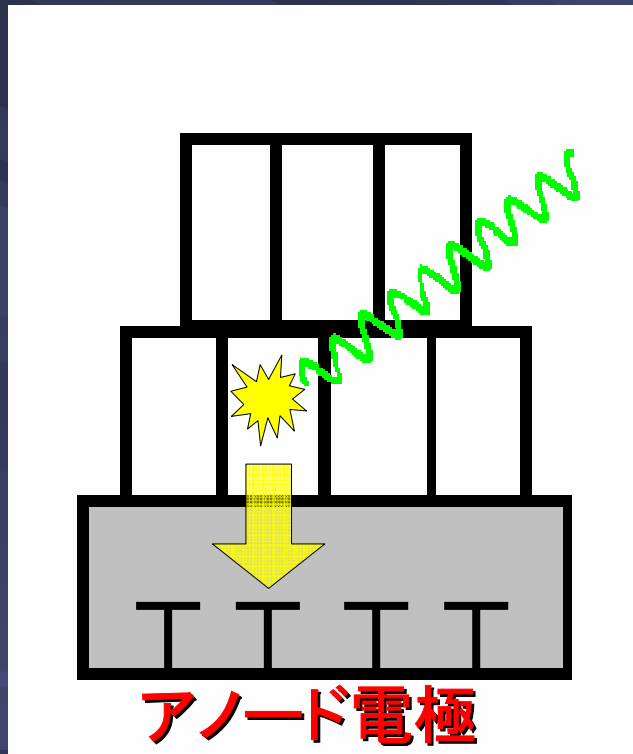
上段/下段どちらで光ったかを調べる。

3×3 on 4×4

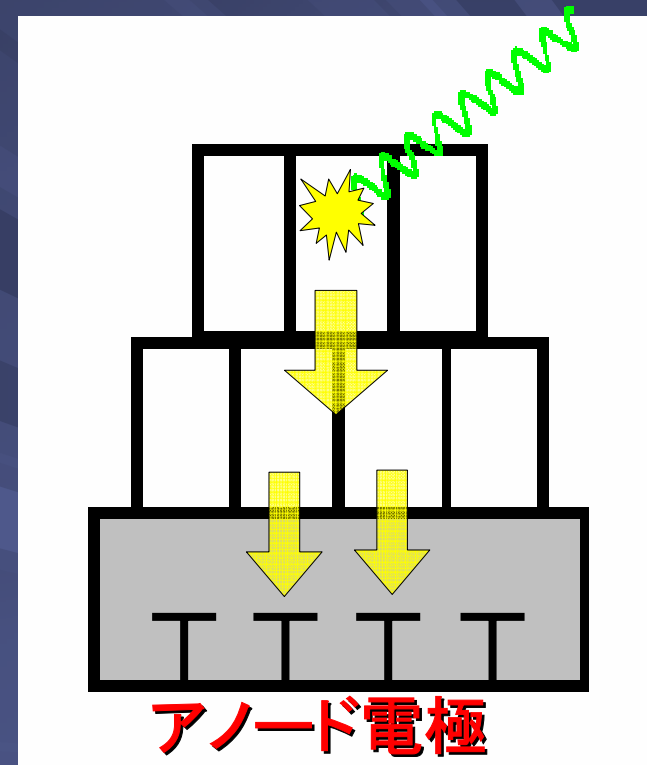


# 上段/下段の判別法

下段

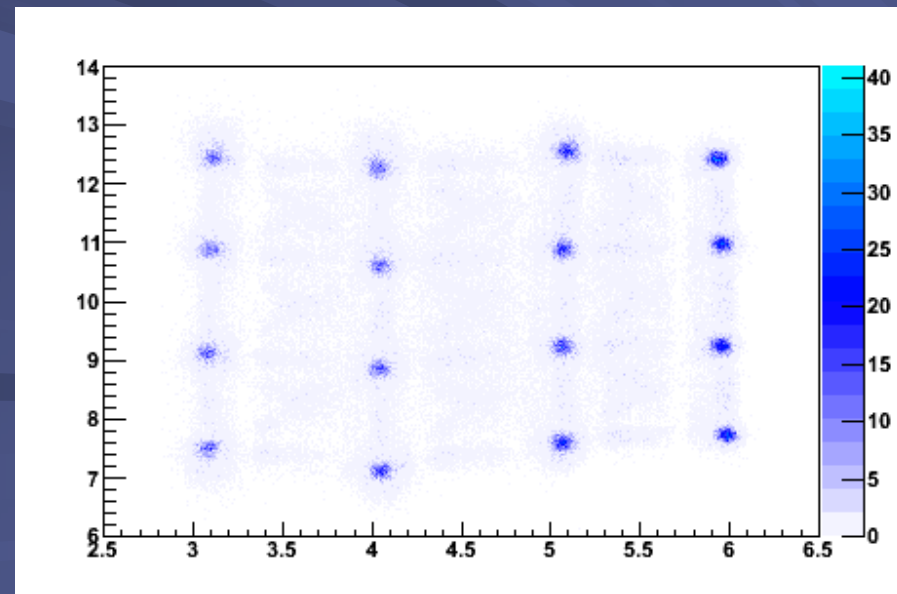
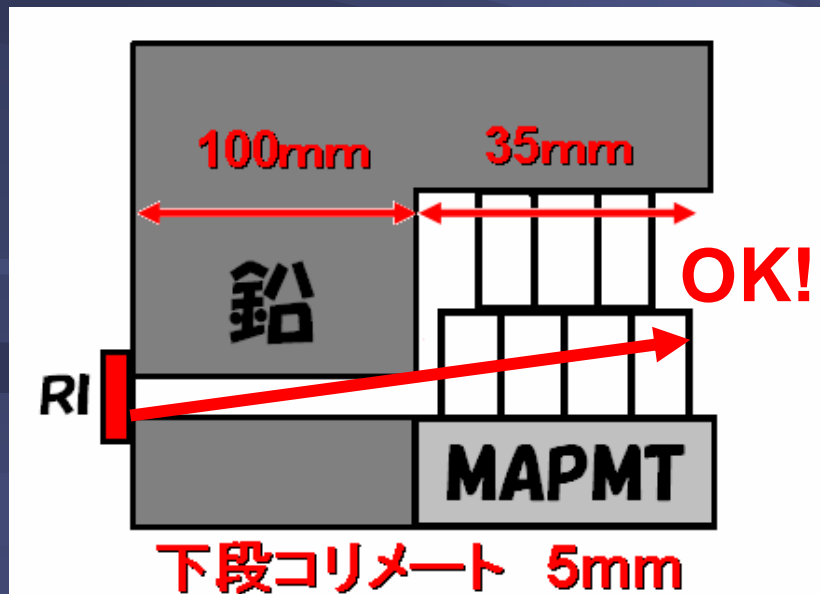
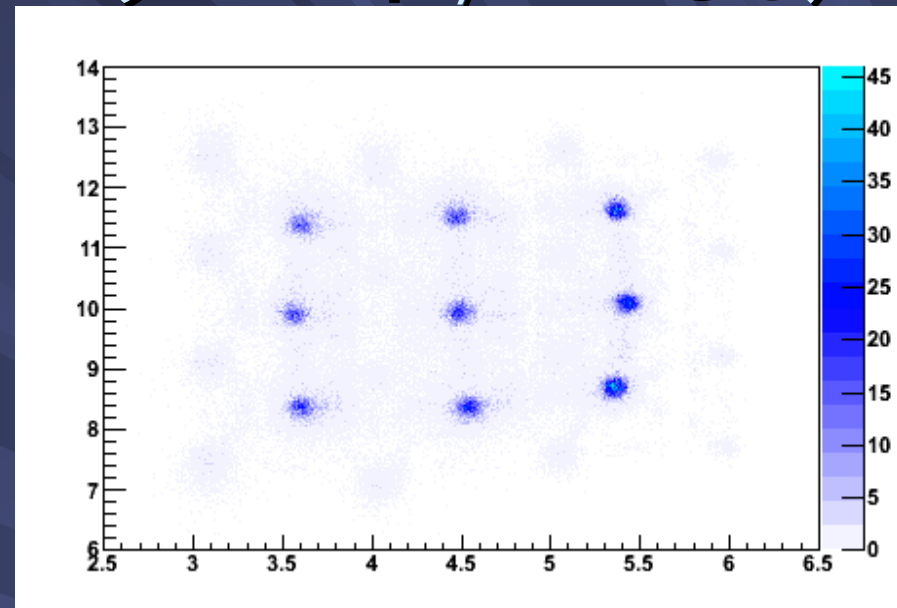
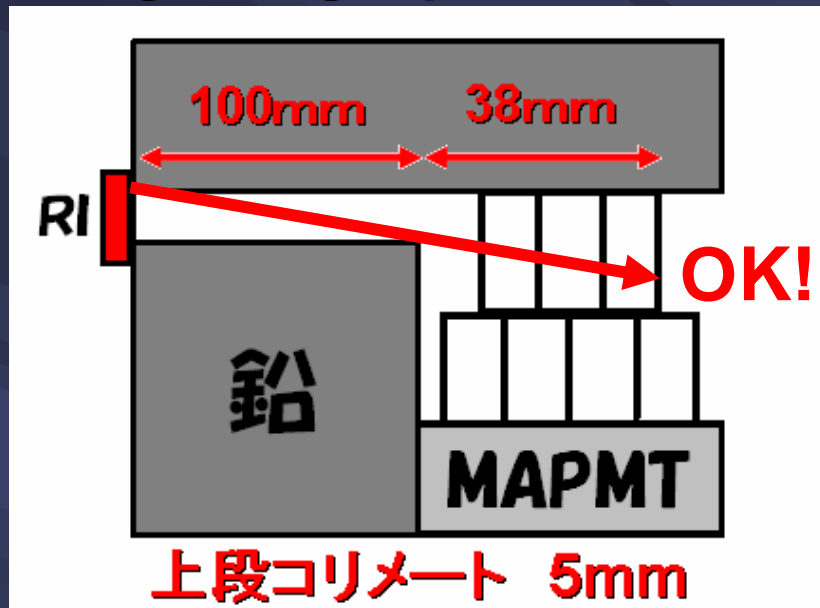


上段



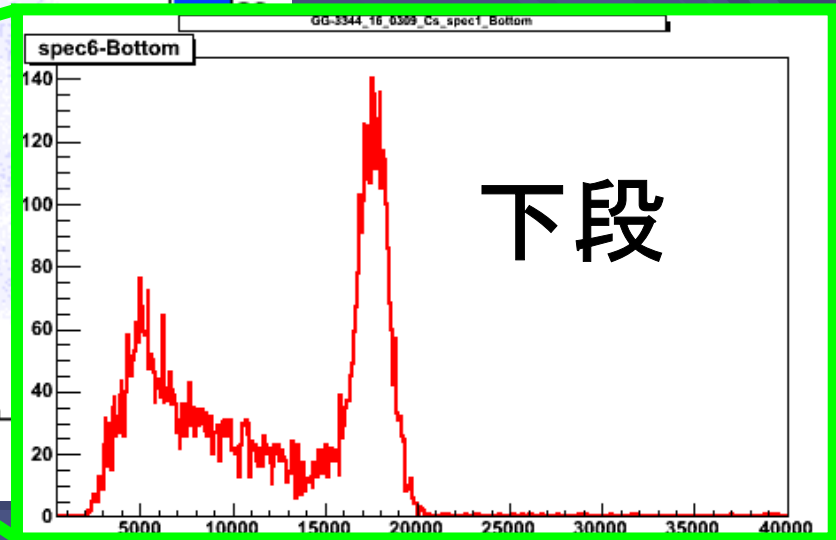
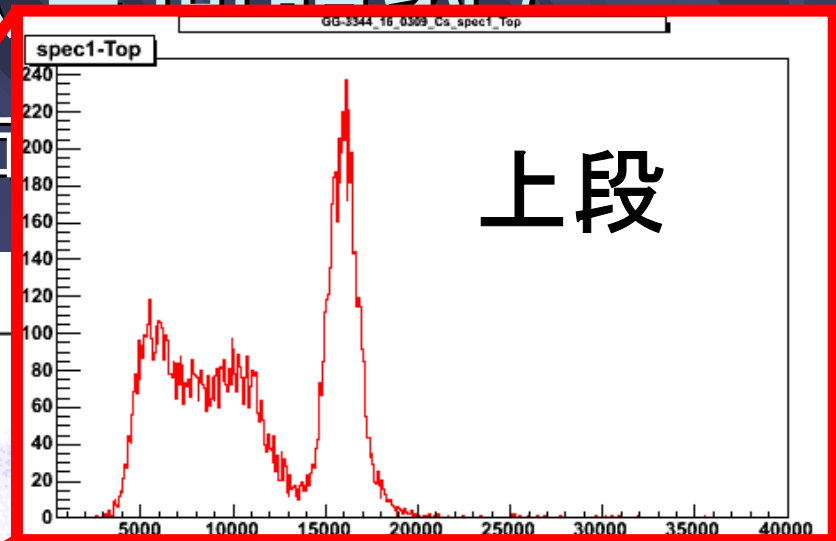
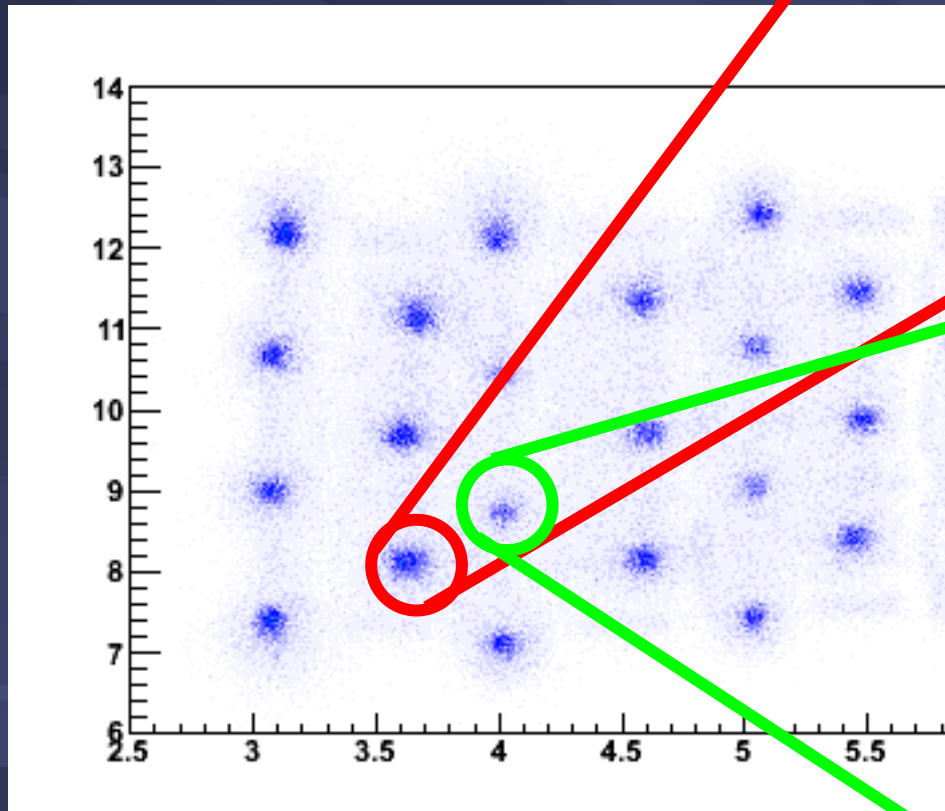
光量が最大のPixelと二番目のPixelの  
光量比を用いて判別する！

# 3 × 3 on 4 × 4 (コリメート, $^{137}\text{Cs}$ )



# 3×3 on 4×4 (全面照射)

3×3 on 4×4 GSO,  $^{137}\text{Cs}$ , 全面



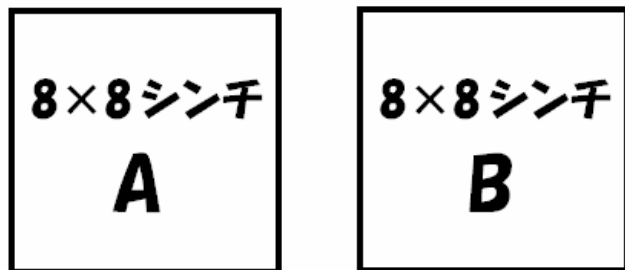
エネルギー分解能  
(FWHM) @662keV

~  $11.1 \pm 0.2\%$  (上段、3×3GSO)

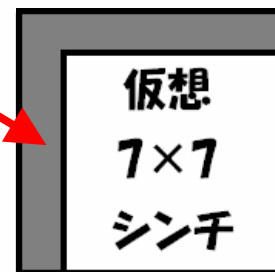
~  $10.8 \pm 0.5\%$  (下段、4×4GSO)



# 大面積化 (7×7 on 8×8)



反射材

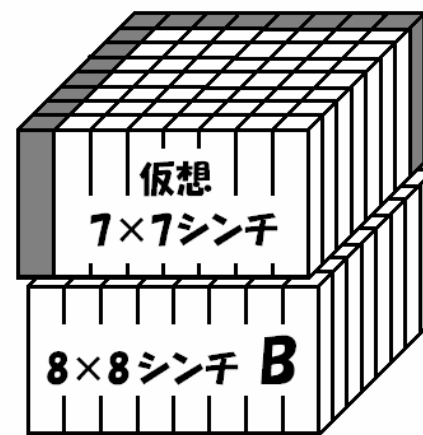


上段

反射材

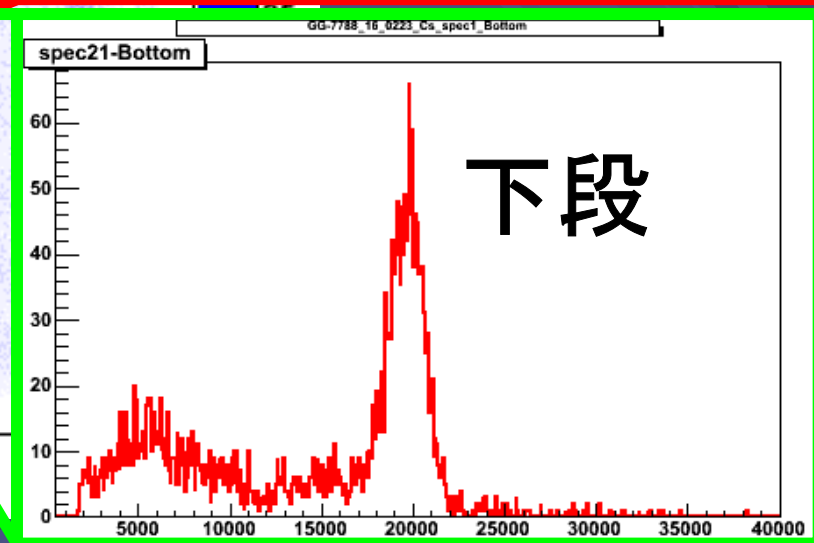
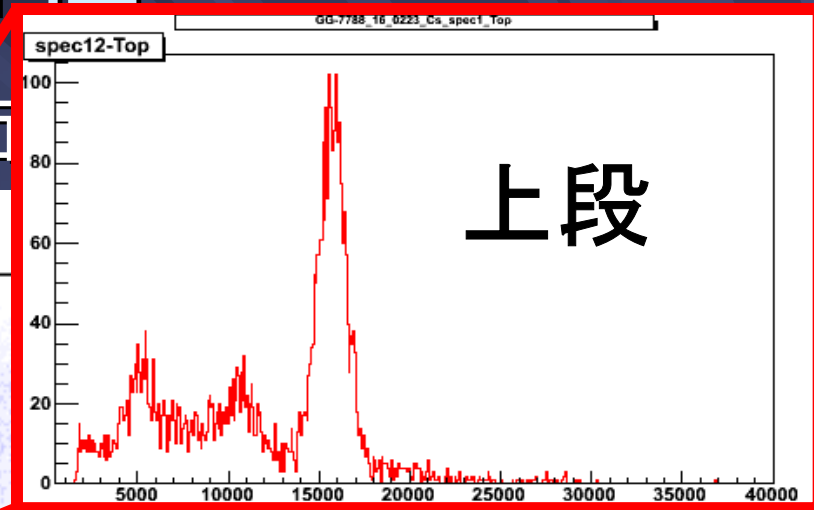
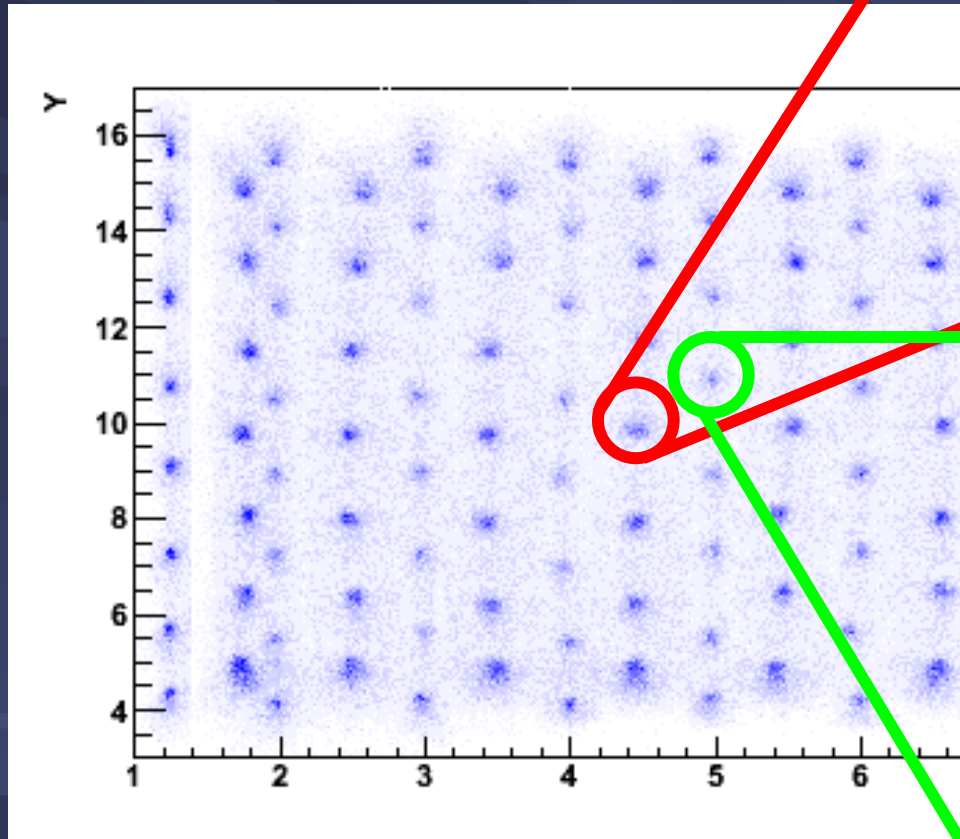


下段



# 性能評価

7×7 on 8×8 GSO,  $^{137}\text{Cs}$ , 全面



エネルギー分解能  
(FWHM) @662keV

$11.0 \pm 0.8\%$  (上段、7×7GSO)

$11.2 \pm 1.0\%$  (下段、8×8GSO)

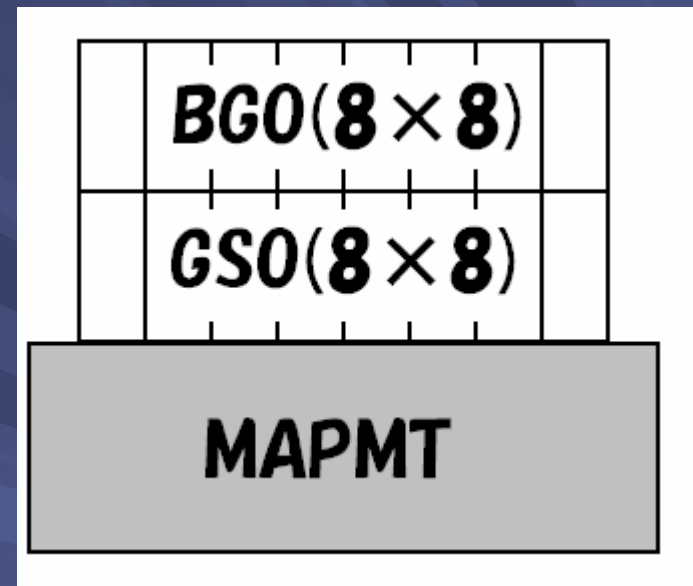
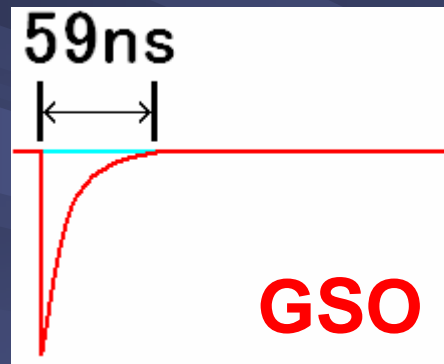
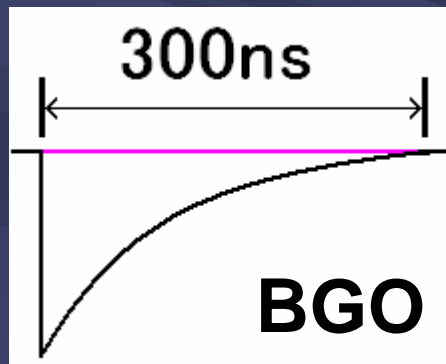
## 3-2. 時定数の違いによるDOI検出

### ■ シンチレーション光の減衰定数

BGO・・・300ns

GSO・・・ 59ns

約5倍



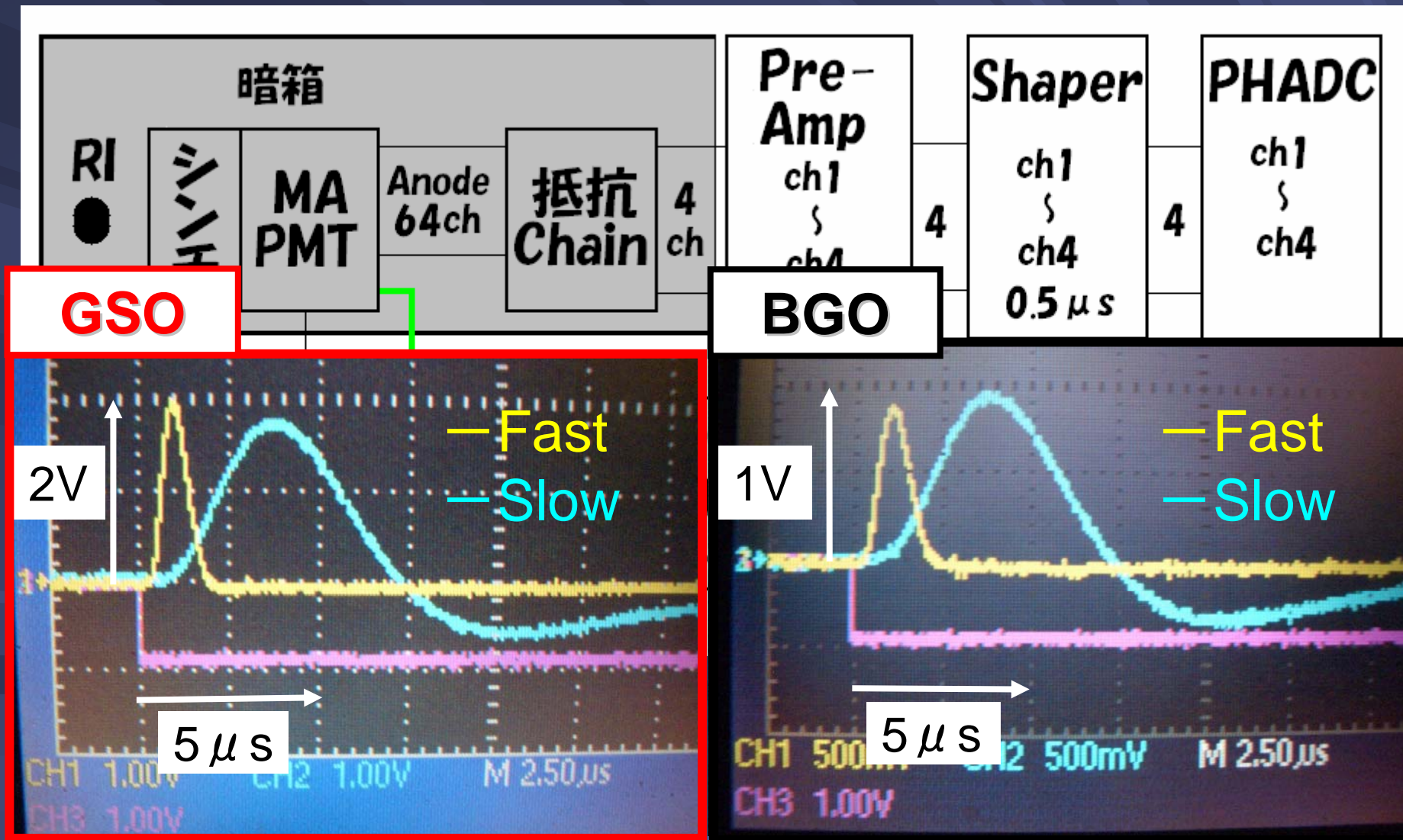
この差を用いて

上段(BGO)なのか下段(GSO)なのか判別する

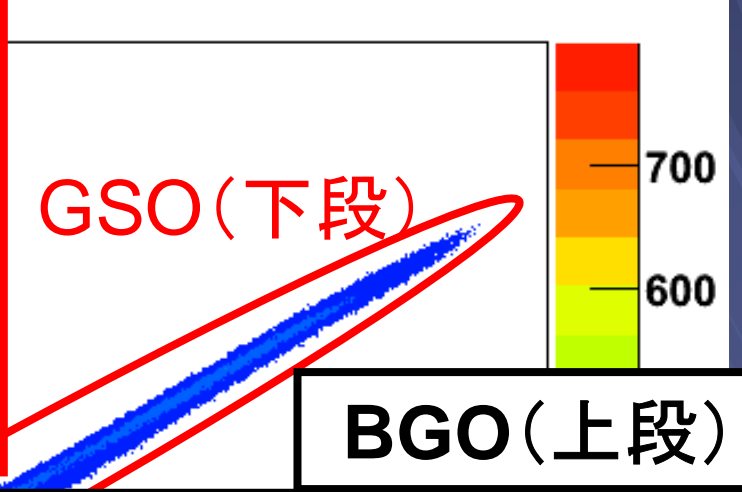
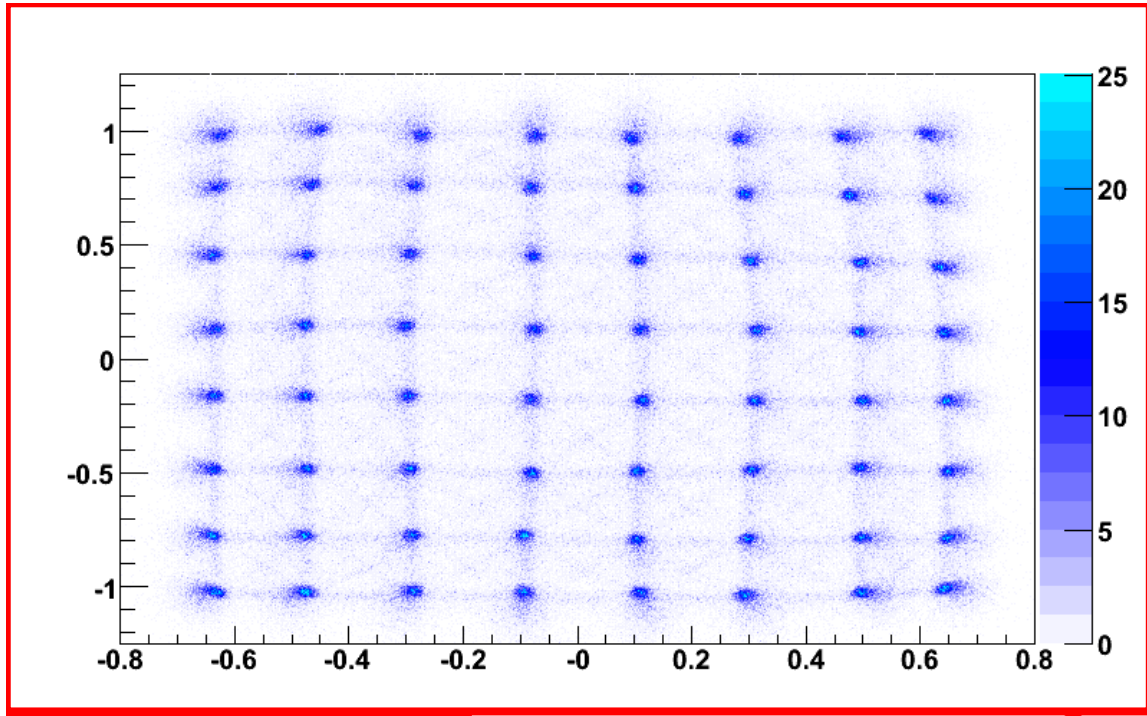
(すざく衛星のHXDでは

バックグラウンド落としとして使われている方法)

# 時定数弁別法の読み出し

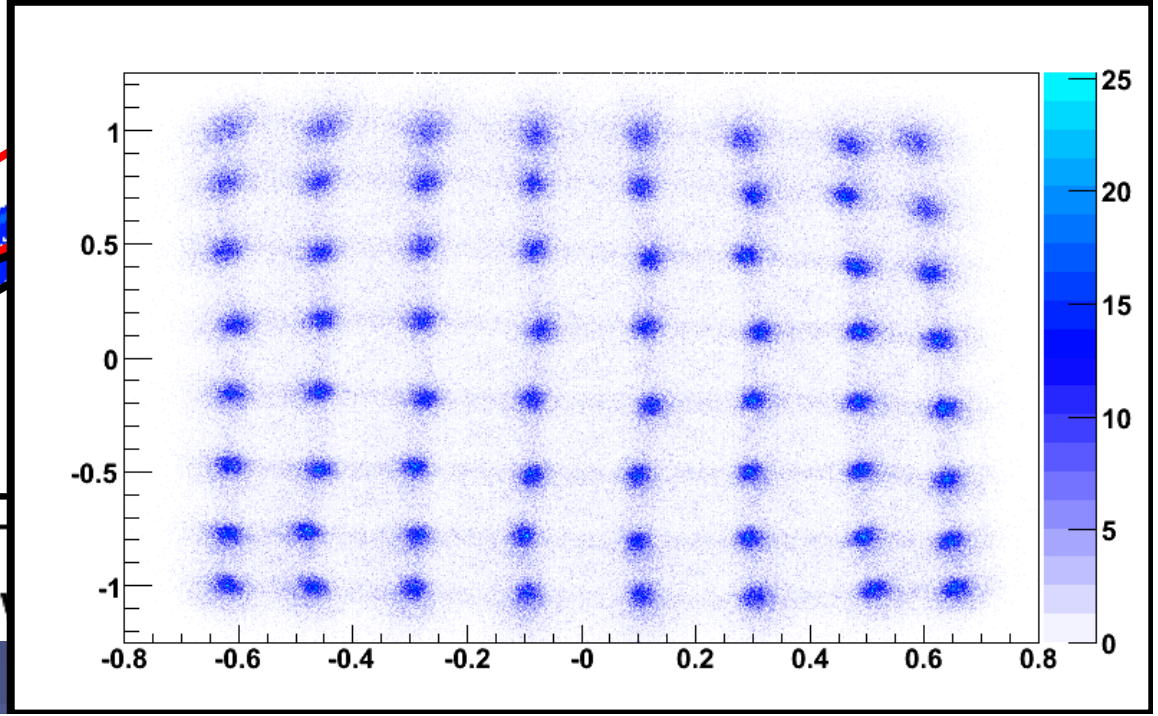
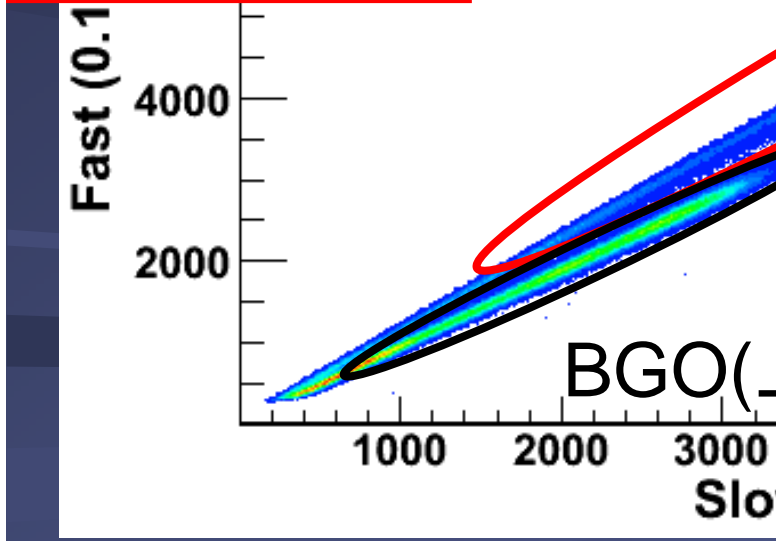


# 比較



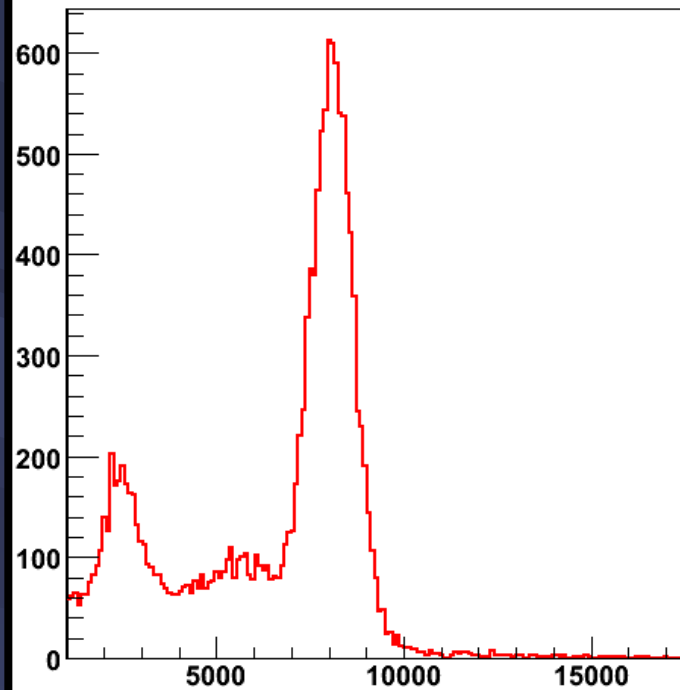
**GSO (下段)**

**BGO (上段)**

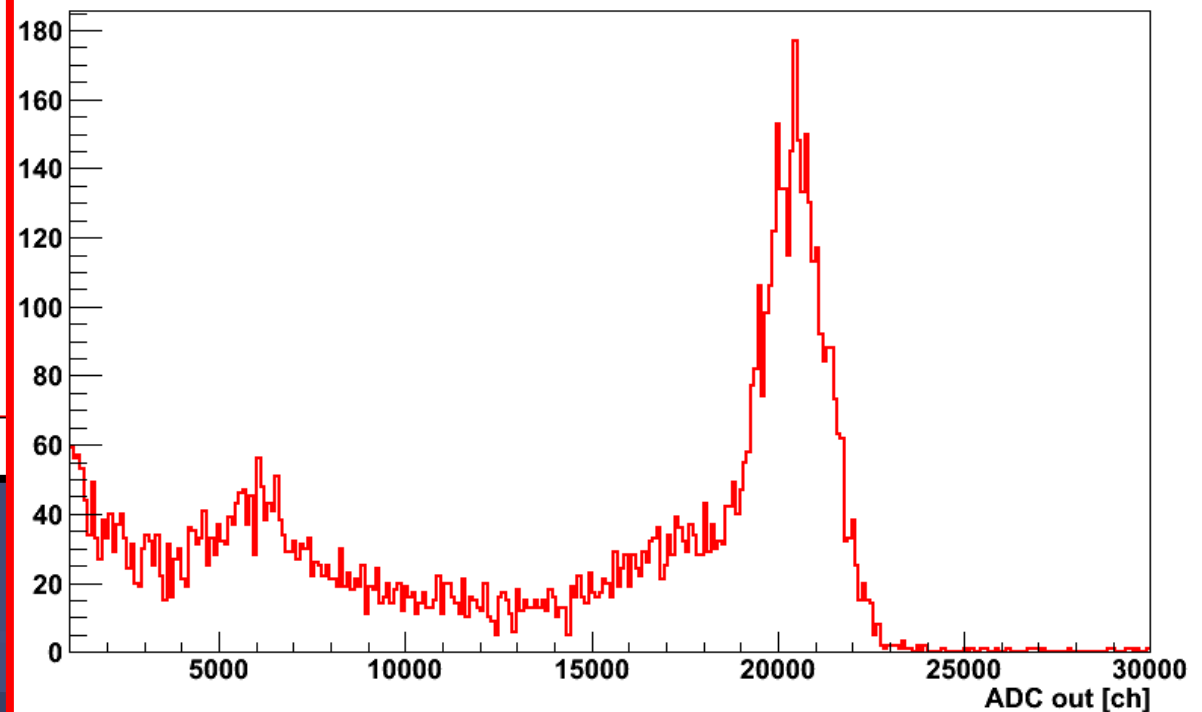


# 性能評価

BGO(上段)



GSO(下段)



エネルギー分解能(typ.)  
(FWHM) @662keV

$16.6 \pm 1.7\%$  (上段、BGO)  
 $11.5 \pm 1.3\%$  (下段、GSO)

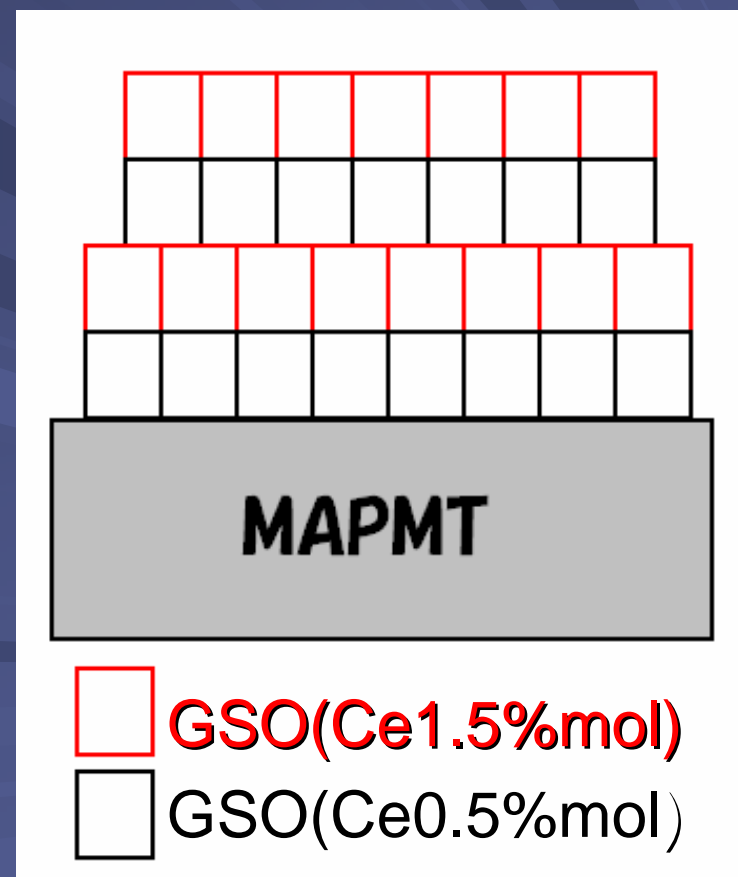
# まとめと課題

## ■ 今回できたこと

1. PhaseずらしによるDOI検出
2. 時定数弁別法によるDOI検出

## ■ 今後の課題、展望

- 光量  $\geq$  GSO(Ce0.5)  
減衰定数  $\tau > 60\text{ns}$  or  $< 60\text{ns}$   
のようなScintiを用いる。  
(GSO(Ce1.5mol%)  $\tau = 30\text{ns}$ )
- Phaseずらし+時定数  
⇒三段以上のPSA



Special 線源を算出した際の仲間たち  
宇宙線研究室のみなさん



おまけ

# シンチレーター

$\gamma$ 線検出におけるPSAの素材への要求

1. 高い阻止能
2. 発光の均一性
3. 発光量
4. 扱いやすさ(潮解性、壁開性)
5. 耐放射線強度

あとは値段etc... ⇒ GSO、BGO

# Pre-Amp & Shaper

## ■ Pre-Amp

・8ch(二個)

$C = 270\text{pF}$

$R = 20\text{k}\Omega$

$CR = 5.4\mu\text{s}$

・4ch

$C = 180\text{pF}$

$R = 30\text{k}\Omega$

$CR = 4.8\mu\text{s}$

## ■ Shaper

・16ch(豊伸 N016)

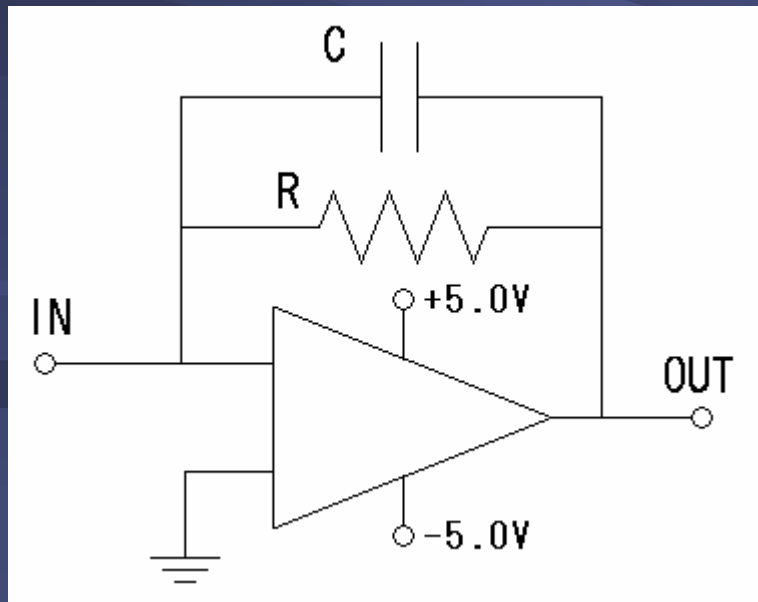
Shaping time  $0.5\mu\text{s}$

Gain 10倍

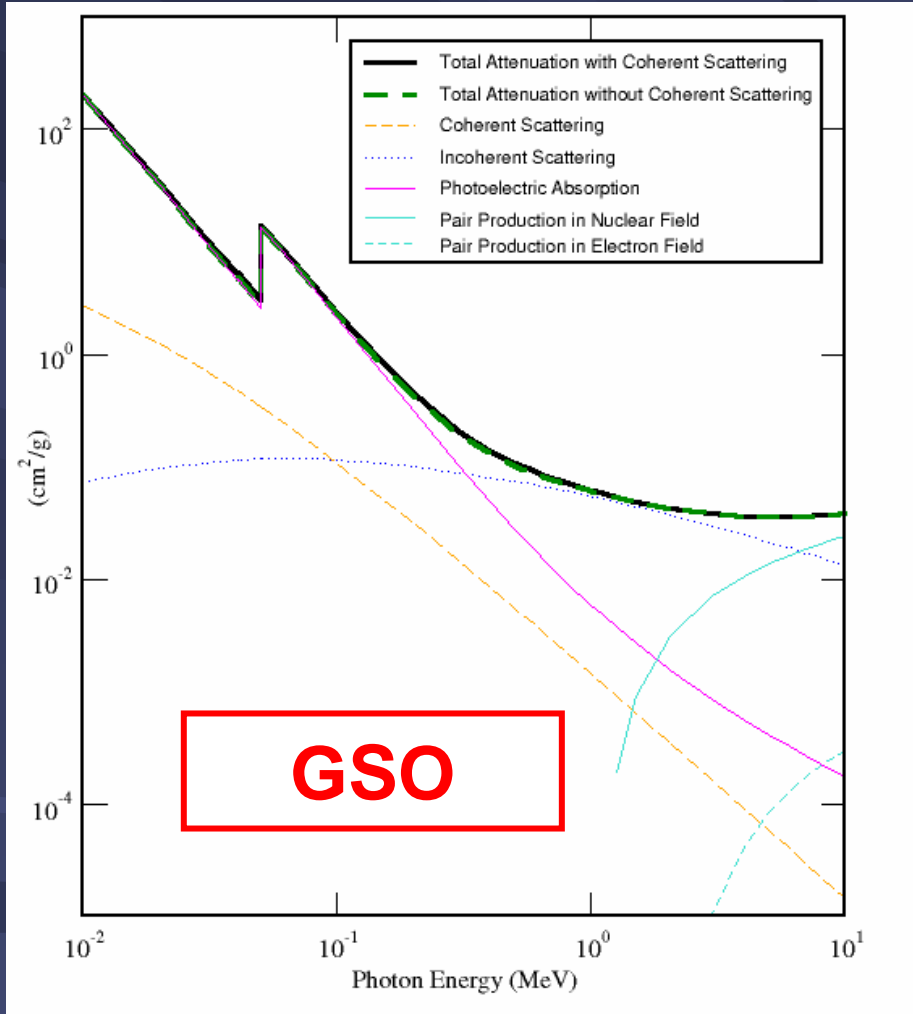
・4ch (豊伸 N012)

Shaping time  
 $0.15\sim 5\mu\text{s}$  (可変)

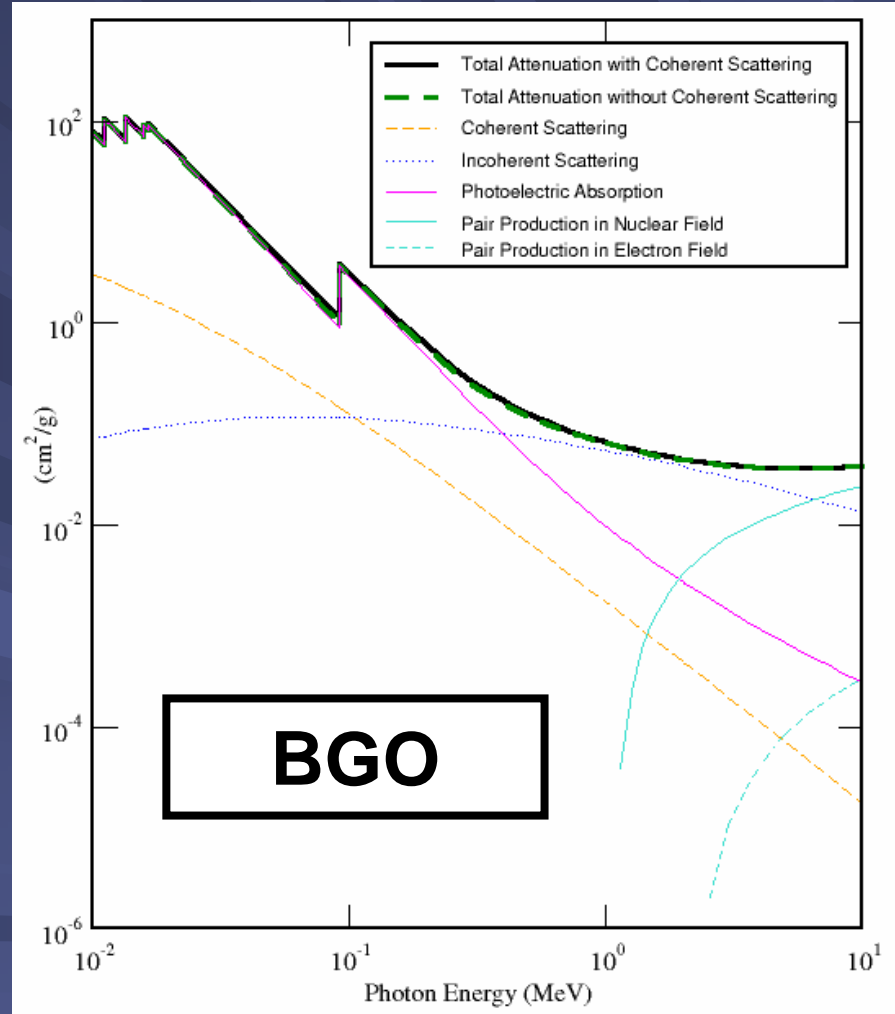
Gain ?倍



# 各Scintillatorの吸収係数

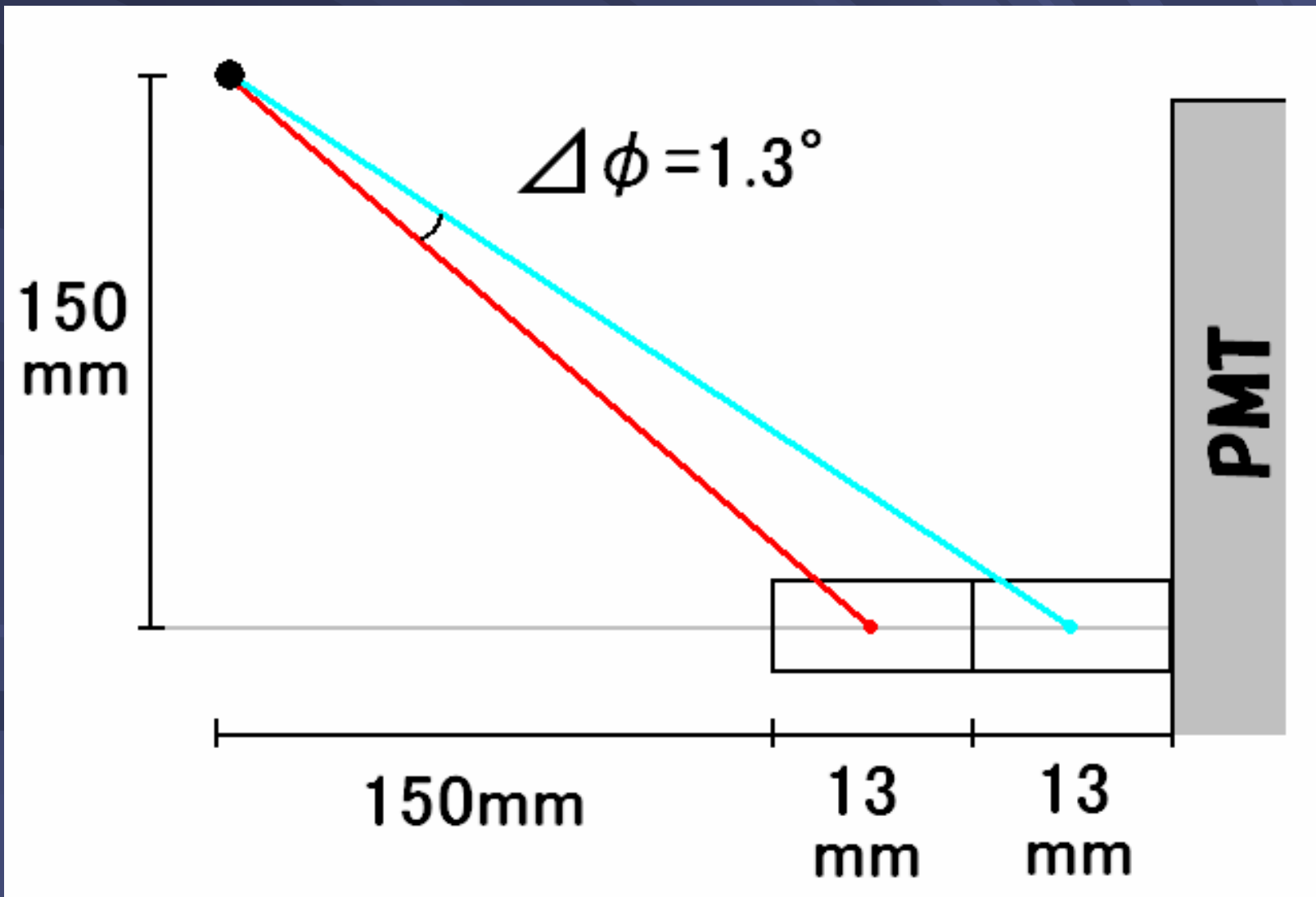


阻止能 1.7cm(@662keV)



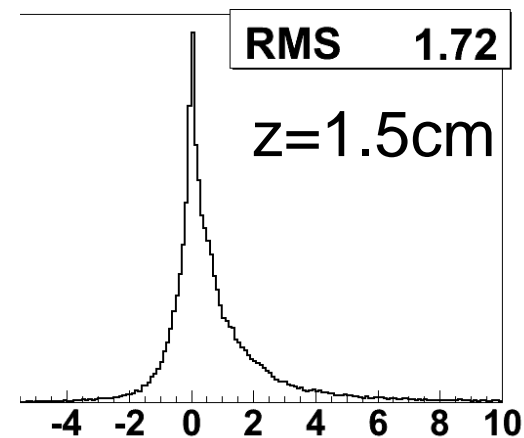
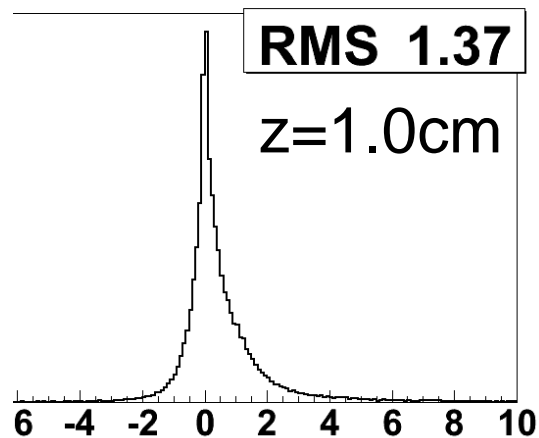
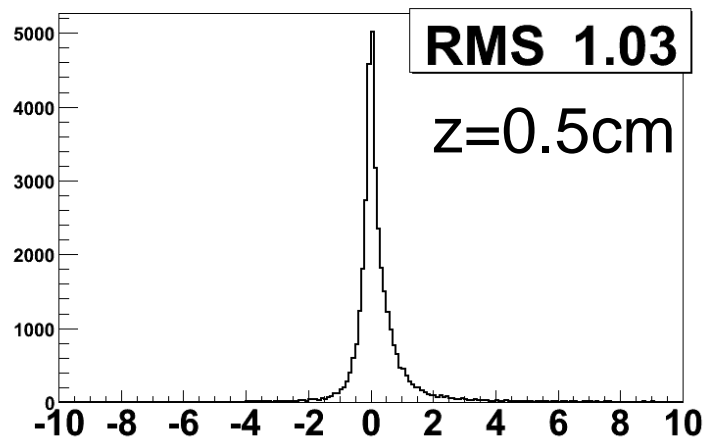
阻止能 1.5cm(@662keV)

# シミュレーション補足

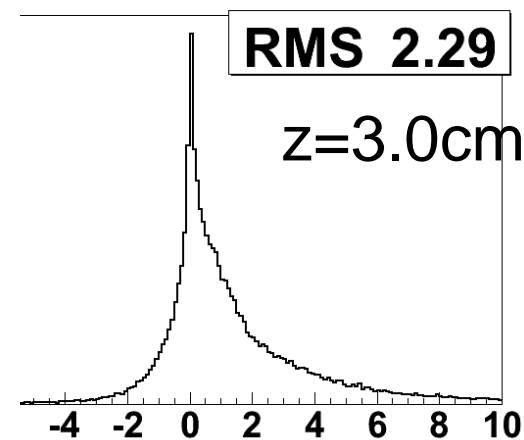
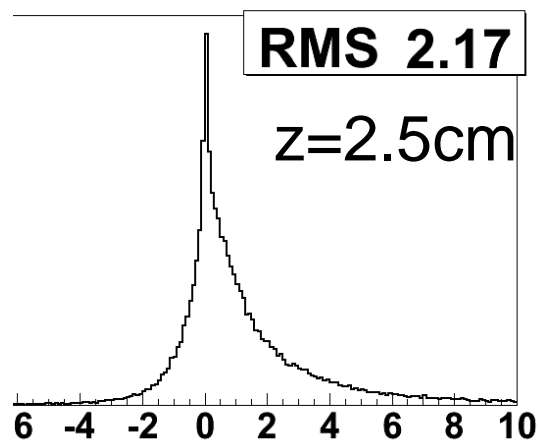
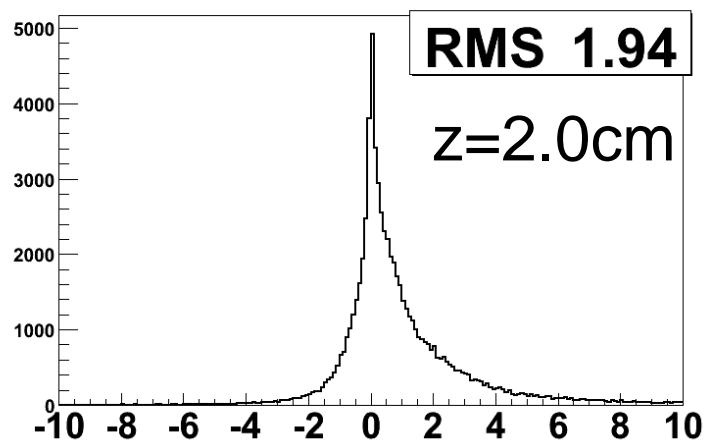


# シミュレーション1.0MeV

delta phi(0.5cm)

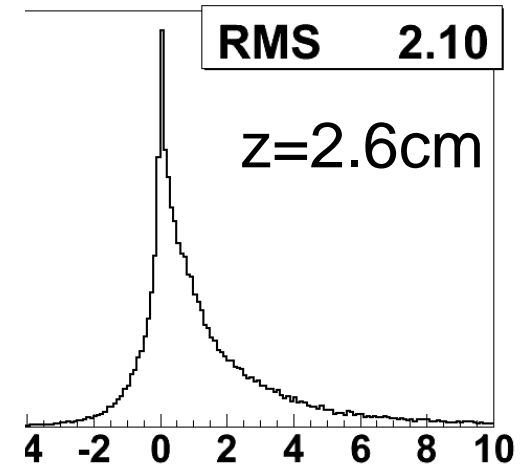
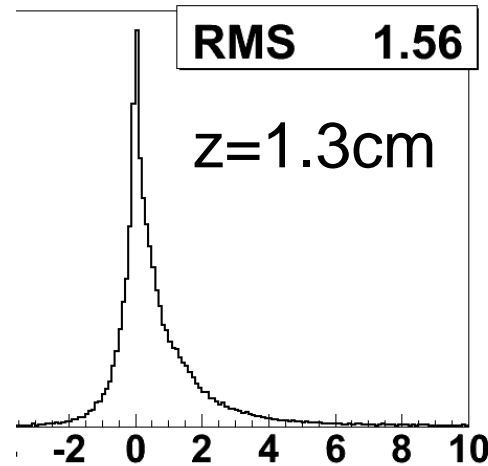
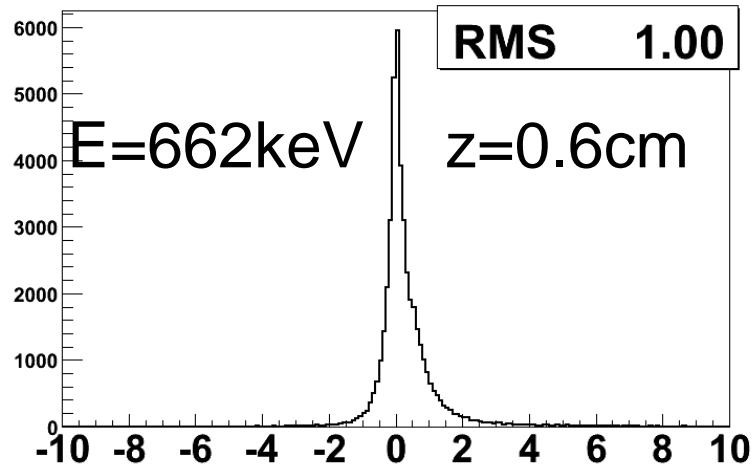


delta phi(2.0cm)

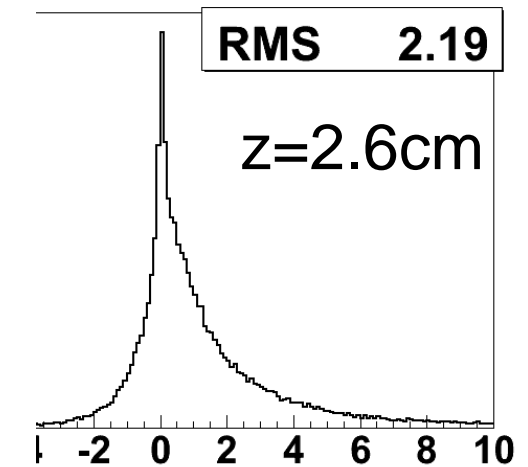
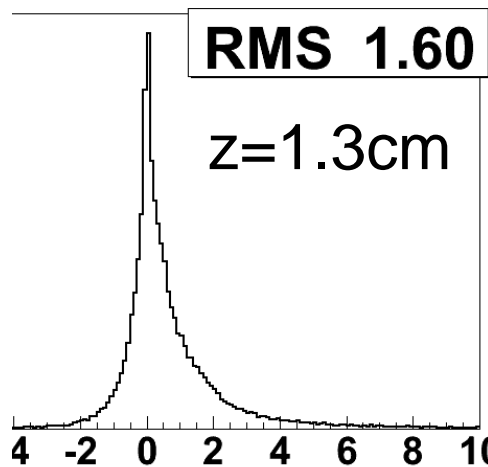
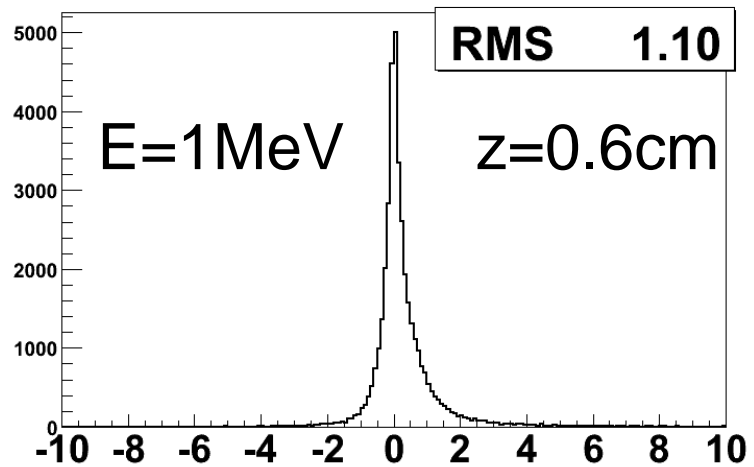


# シミュレーション 662keV & 1.0MeV

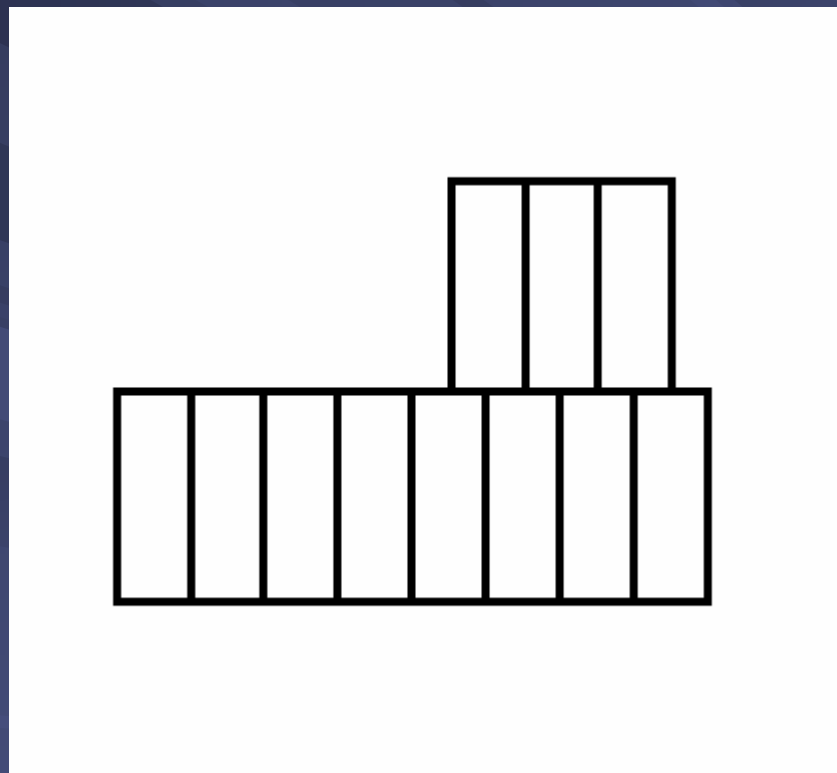
delta phi(0.6-662cm)



delta phi(0.6cm)



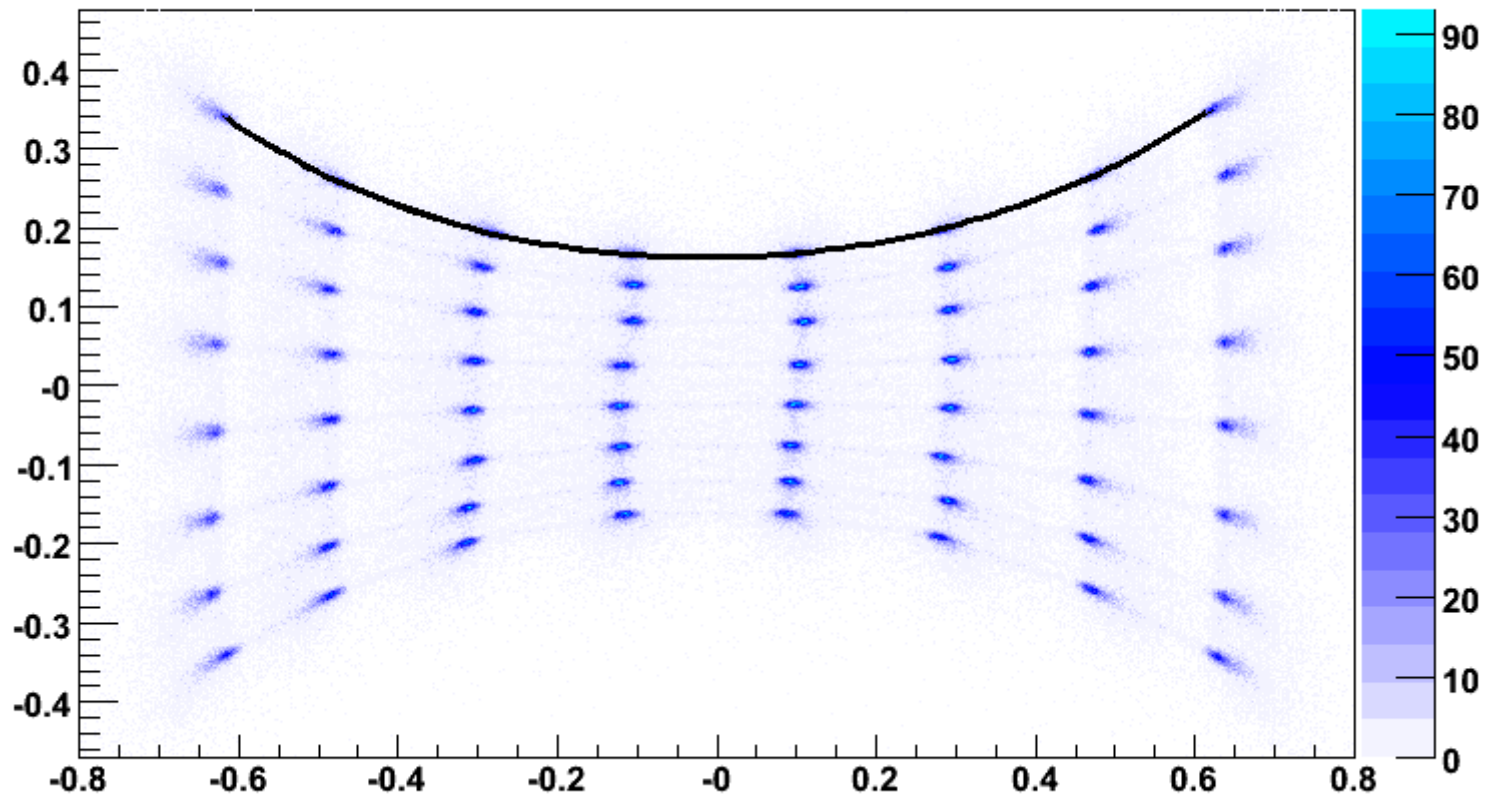
# 追加実験 (Phaseずらし)



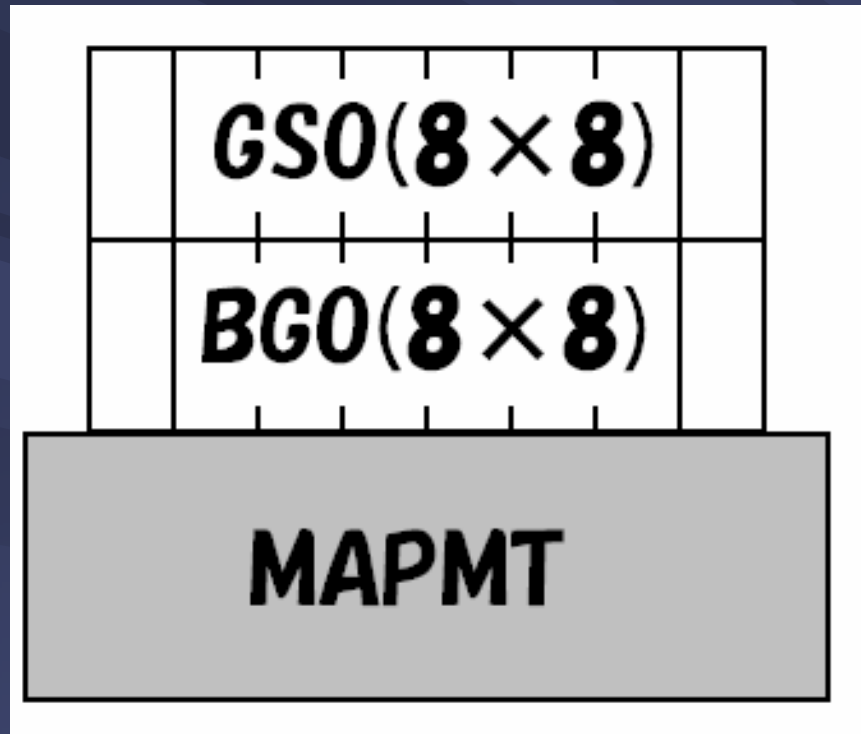
一段と二段を直接比較する



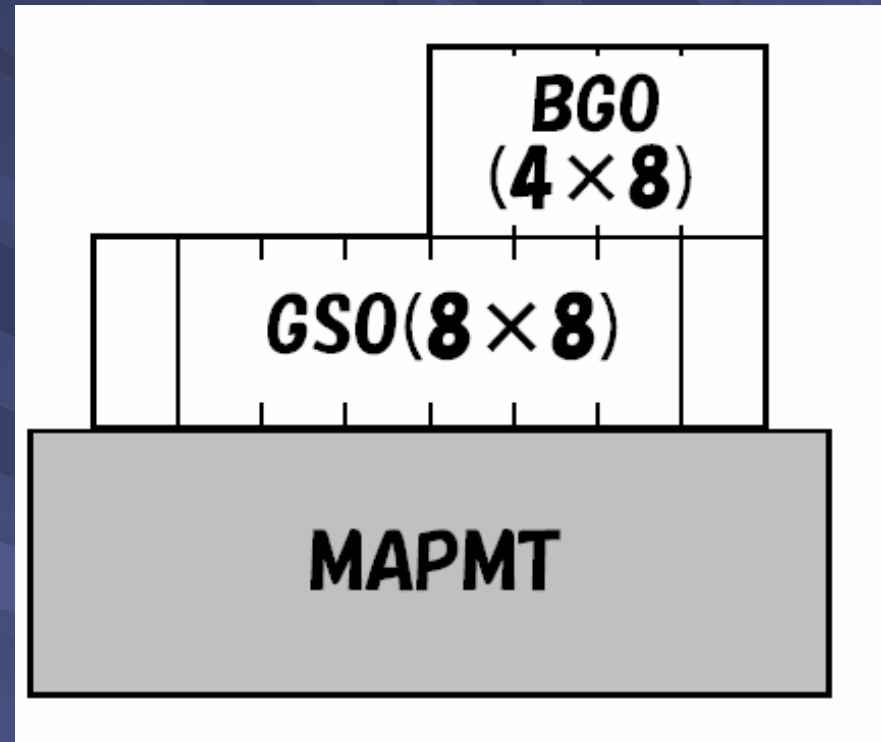
# バラフライ効果補正法



# 時定数法追実験1



低エネルギーの $\gamma$ 線を  
GSOで止めれる。



Geometryによる  
影響を調べる。

# 時定数法追実験2

- BGOとGSOの見分けが付きにくい
  - ⇒ ・Dynode信号のPre-Ampの時定数
  - ・FastとSlowのShaperの組み合わせ