

MPPCアレイによる放射線測定

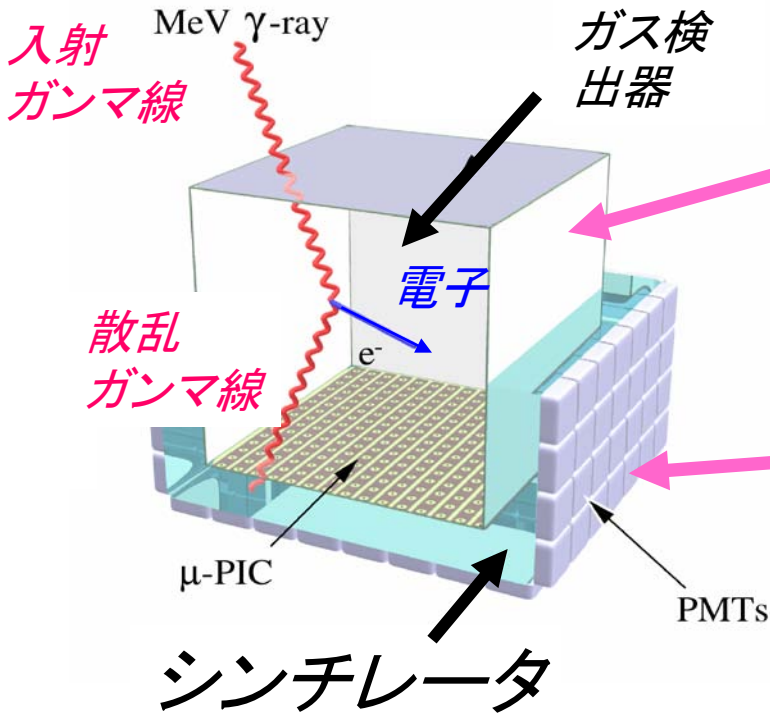
2009年度P6シンチ班
青野正裕 & 橋本暁弘
2010年3月8日

目次

- 1. Introduction
- 2. 検出器の原理
- 3. 実験方法
- 4. データ取得と解析
- 5. イメージング
- 6. まとめ
- 7. Appendix

Introduction

電子飛跡検出型コンプトンカメラ



ガス検出器:

- ①ガンマ線をコンプトン散乱させる
- ②コンプトン反跳電子の三次元飛跡とエネルギーを測定

シンチレーションカメラ:

- ③散乱γ線の吸収点とエネルギーを測定

γ線の到来方向とエネルギーを1光子ごとに決定

使用用途

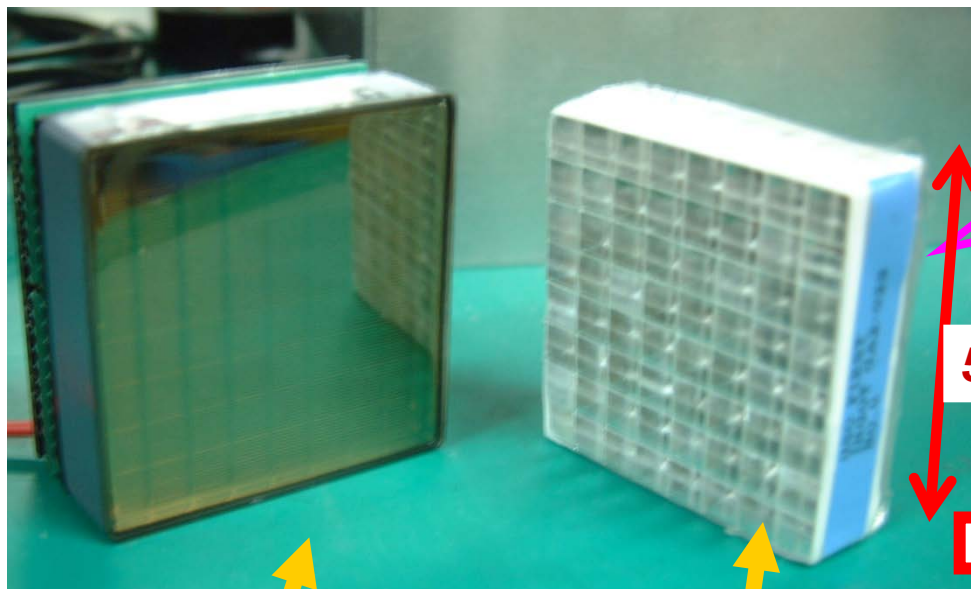
ガンマ線天体観測用カメラ:

気球や衛星に搭載して観測

医療用ガンマ線カメラ:

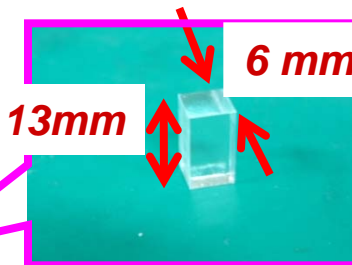
ガンの発見または放射線治療時の治療モニター

位置感度型シンチレーションカメラ



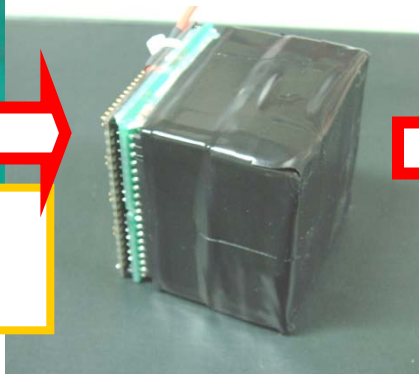
8×8 マルチアノード PMT
御社 H8500

8×8
GSOピクセル



GSO(Ce)
シンチレータ
6mm角ピクセルを
独自の技術で
アレイ化

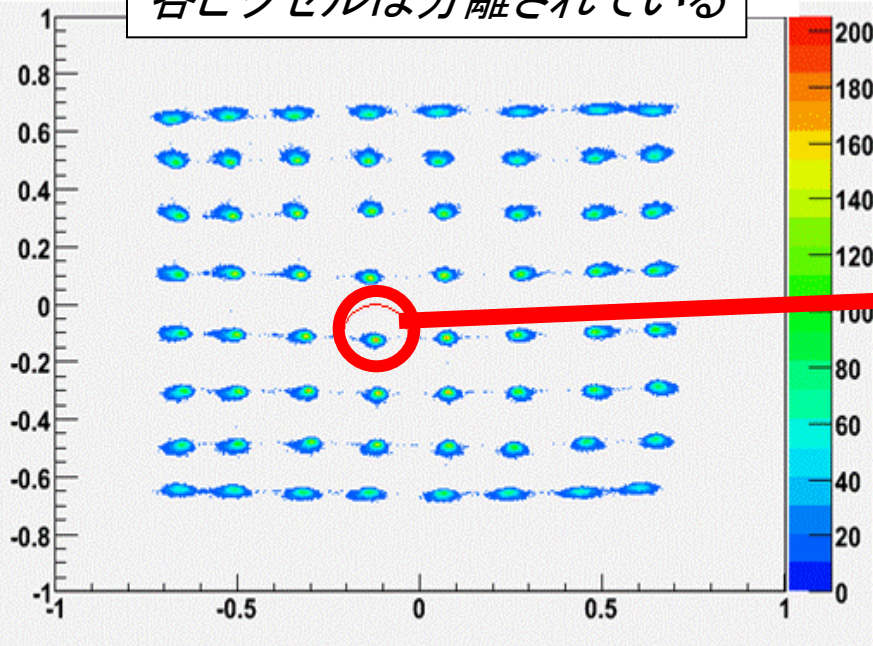
50 mm



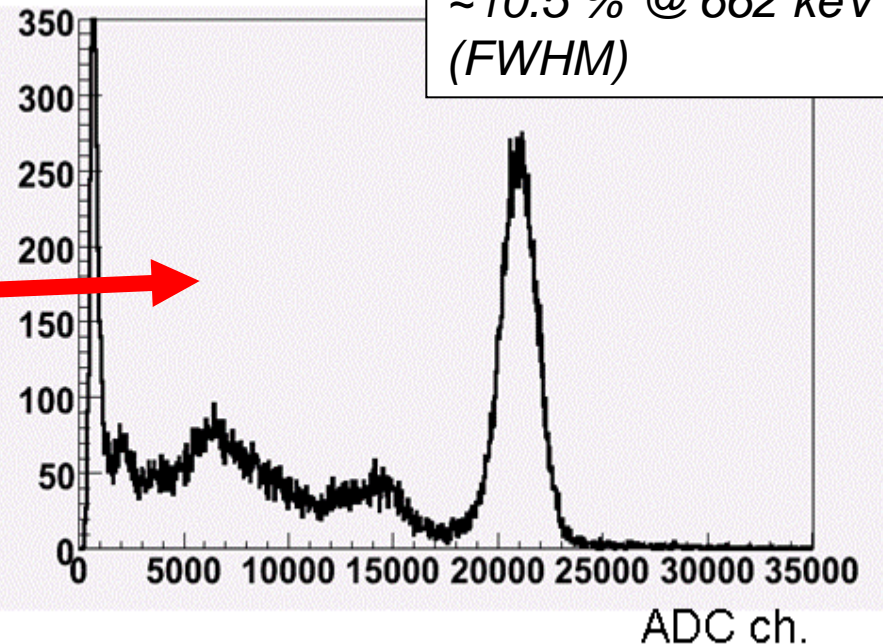
8500アノード間隔 = GSOピクセルサイズ

H8500での結果と問題点

各ピクセルは分離されている



エネルギー分解能
~10.5 % @ 662 keV
(FWHM)

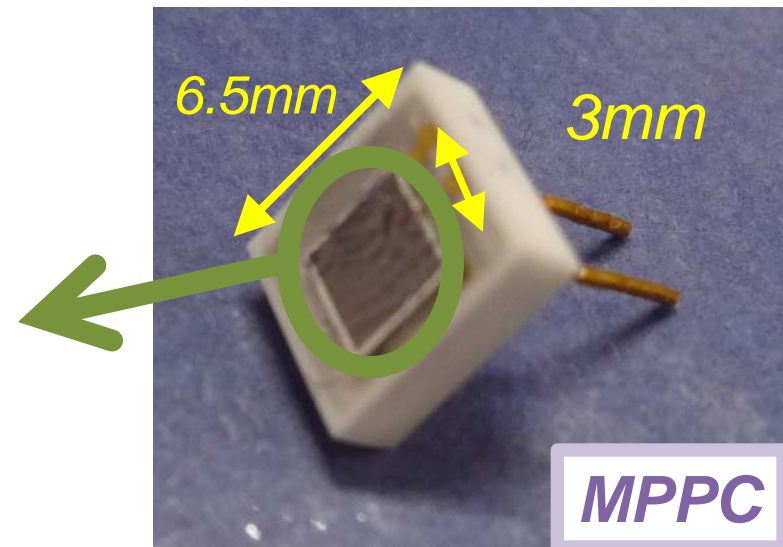
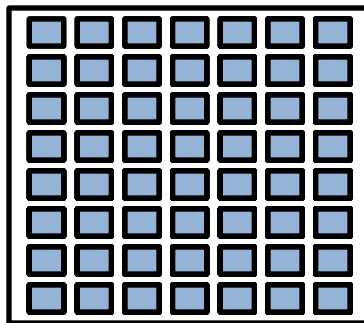


今後、コンプトンカメラの大型化・気球搭載をしてゆく上での問題点

- ・コストが高い : PMTが100個以上必要
- ・印加電圧が大きい : 消費電力がかかる(気球搭載時には深刻)

MPPC

- MPPC (Multi Pixel Photon Counter) について
 - 受光面にAPD (Avalanche Photon Diode) が沢山並んだもの
 - シンチレーターと組み合わせることでガンマ線の検出ができる
 - 同じく光検出器であるPMT (Photo Multiplier Tube) との比較
 - 低バイアス電圧 (< 100V) で動作 (PMT: 1000V 以上)
 - 磁場内でも使用可能 (PMT: 使用不可)
 - 安価になる可能性
 - 同程度のゲイン $\sim 10^6$

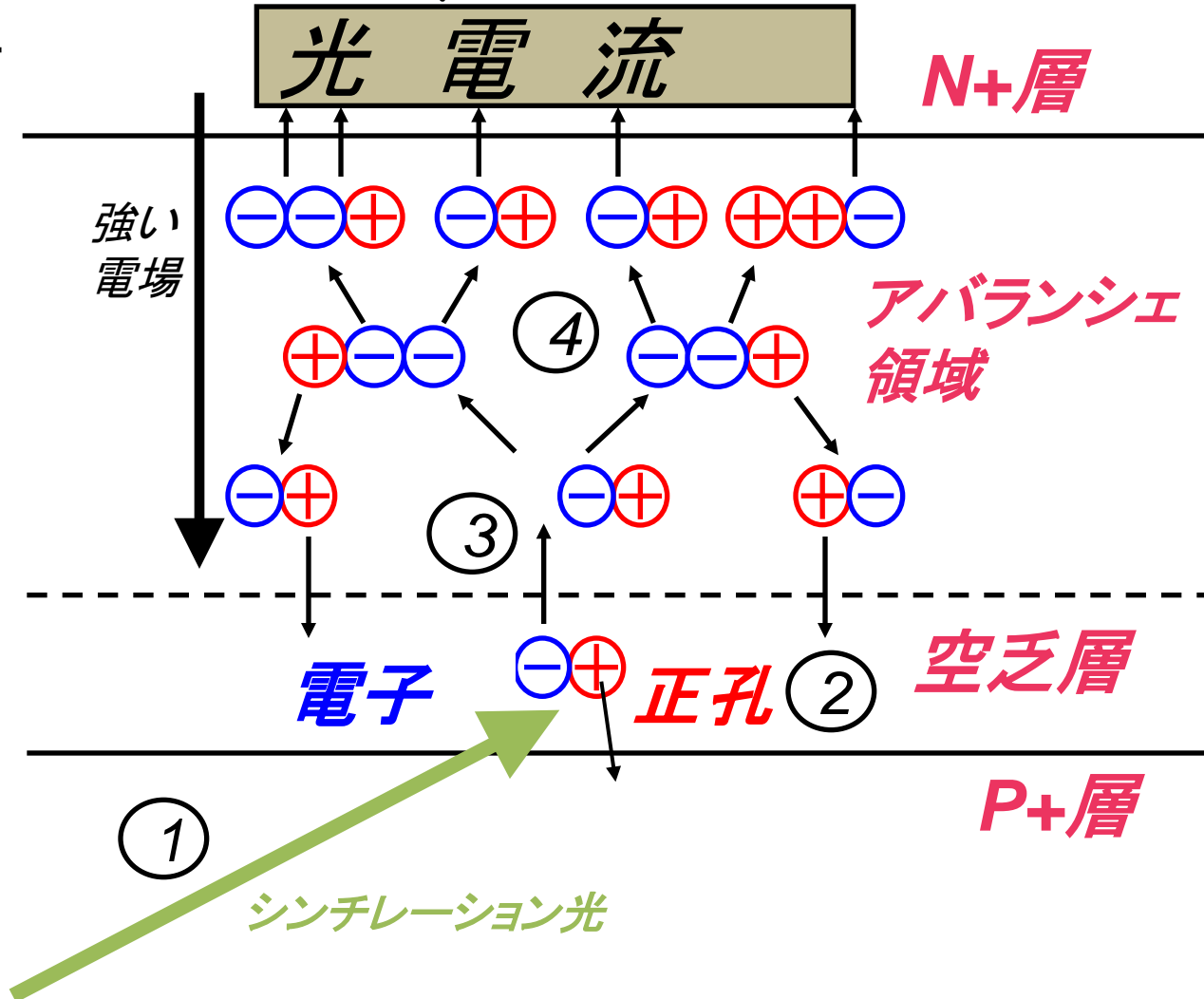


原理

● APD (Avalanche Photo Diode)

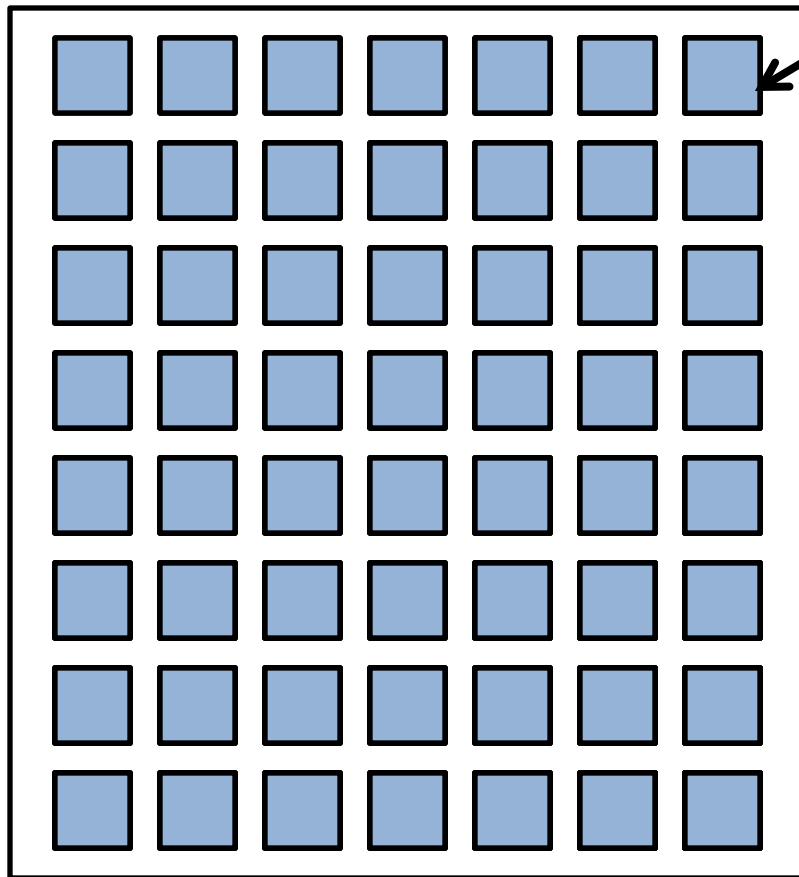
– Avalanche増幅

- 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



MPPCの構造

- 単一の光子が入射したAPDの数から総光子数がわかる



ガイガーモードAPD

ノーマルモード

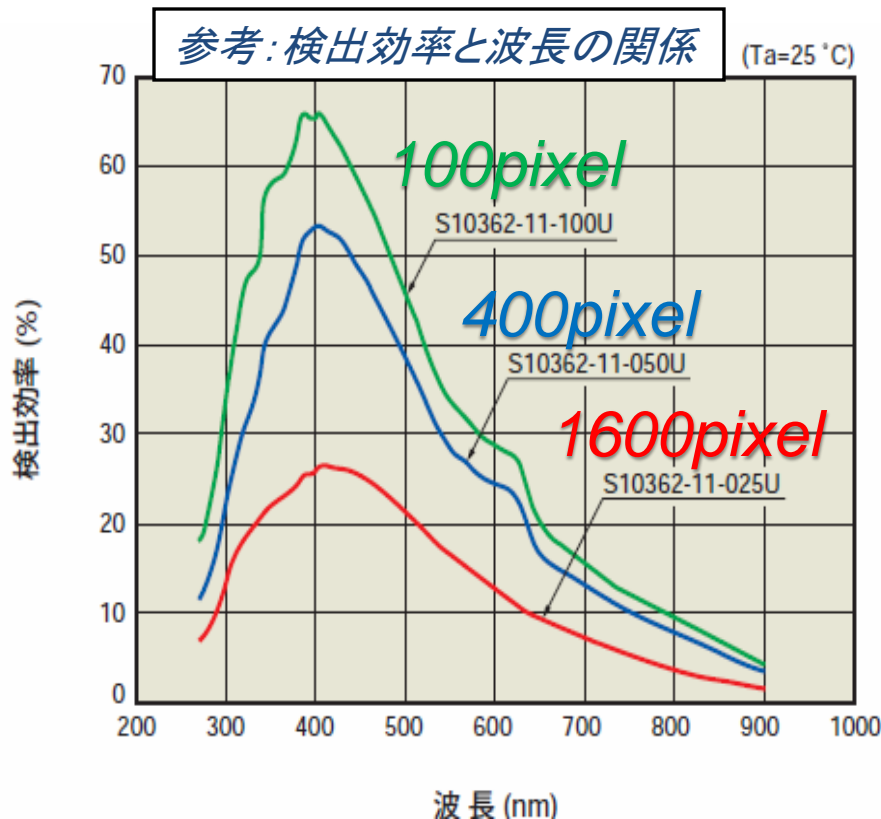
- ブレイクダウン電圧以下の電圧で動作
- ゲイン < 100
- APDへ入射した光子数に比例した電荷量の出力

ガイガーモード

- ブレイクダウン電圧以上の電圧で動作
- ゲイン $\sim 10^6$
- APDへ入射した光子数に無関係の、電圧値に依存した決まった電荷量の出力

検出効率 (PDE: Photon Detection Efficiency)

- 入射した光子のうち何%を検出できるかを示す特性
- 検出効率 = 量子効率 × 開口率 × 励起確率



● 量子効率

- 1光子に対して何%の確率で電子正孔対ができるか (波長に依存する)

● 励起確率

- 励起確率 = 1電子に対してガイガー放電がおこる確率

● 開口率

- 1ピクセルの中で受光部の占める割合

シンチレーター

– ガンマ線が通過すると可視光を出す

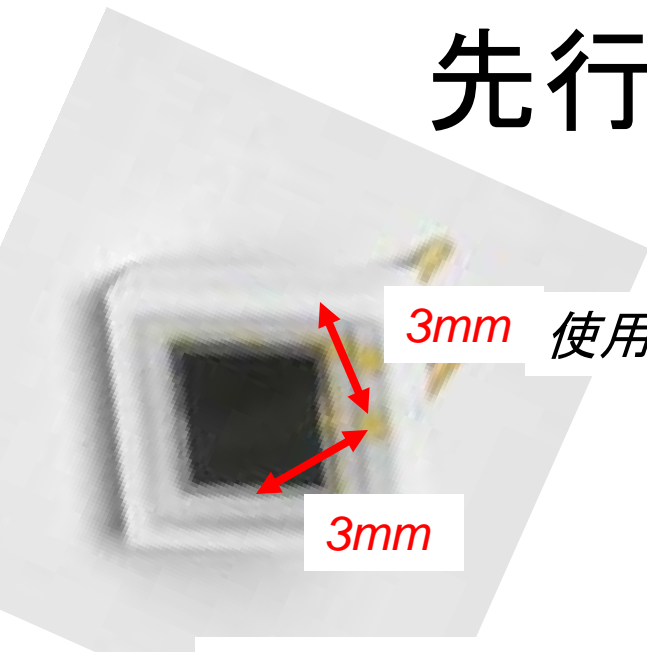
- MPPCでガンマ線を検出するために必要

	密度 (g / cm ³)	蛍光減 衰時間 (ns)	最大発 光波長 (nm)	エネルギー 分解能(%) *(FWHM @662keV)	Light output (/ MeV)	潮解性
NaI (Tl)	3.67	230	415	6-7	39,000	強
GSO (Ce)	7.13	30 - 60	440	8-9	9,000	なし
LaBr ₃ (Ce)	5.29	20	360	3	63,000 GSOの7倍	非常に 強

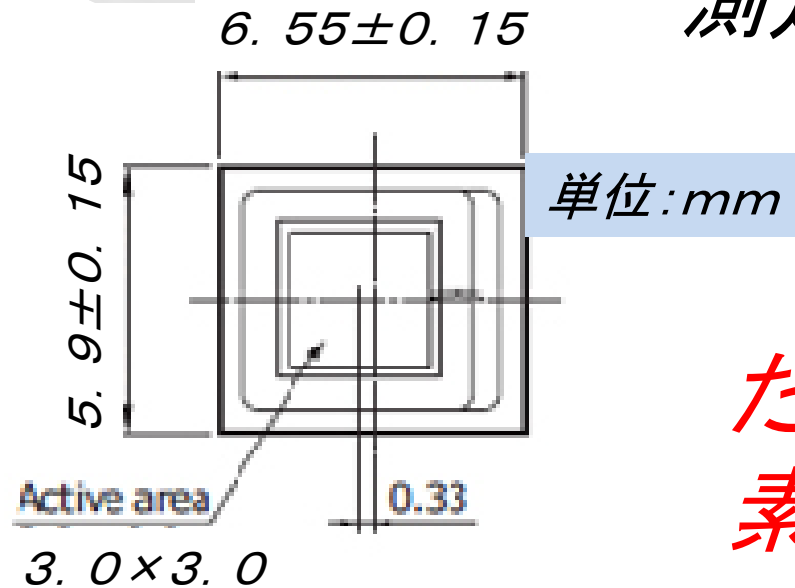
↑ *PMT測定

MPPCの最大感度は約440nm

先行研究(2008P6)



← MPPCと6mm角LaBr₃または
3mm角GSOを用いて分解能を
測定

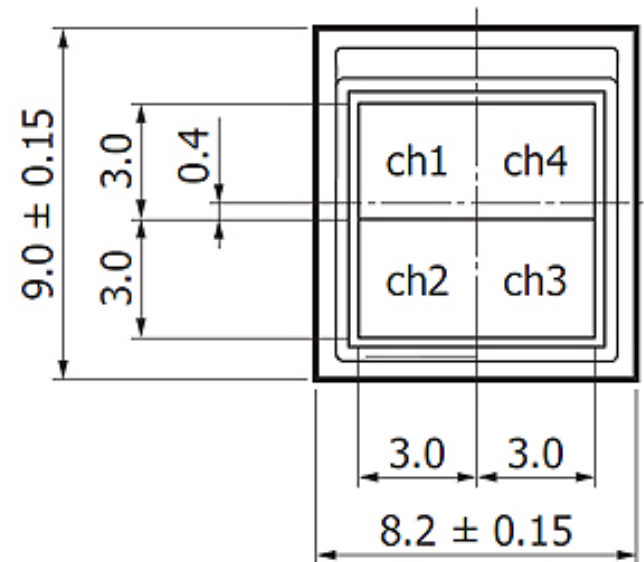
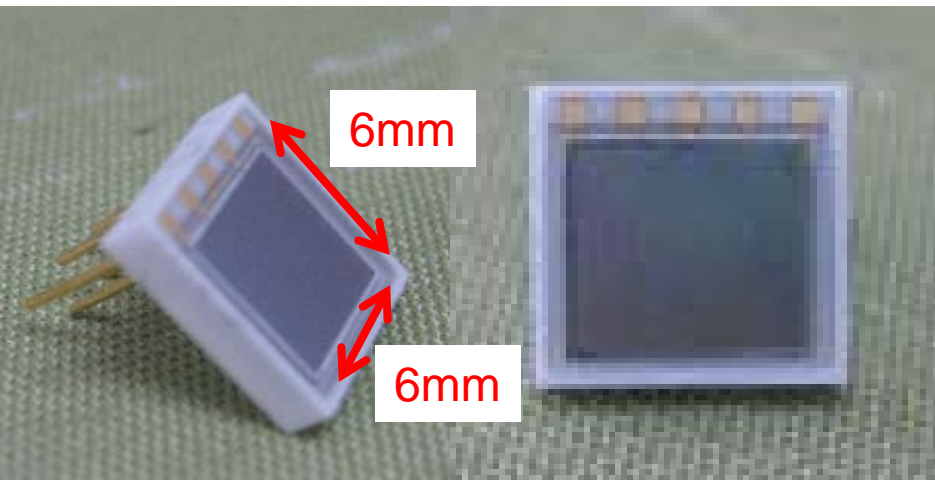


分解能 @662keV
8.6 ± 0.3% (LaBr₃)
18.7 ± 1.9% (GSO)

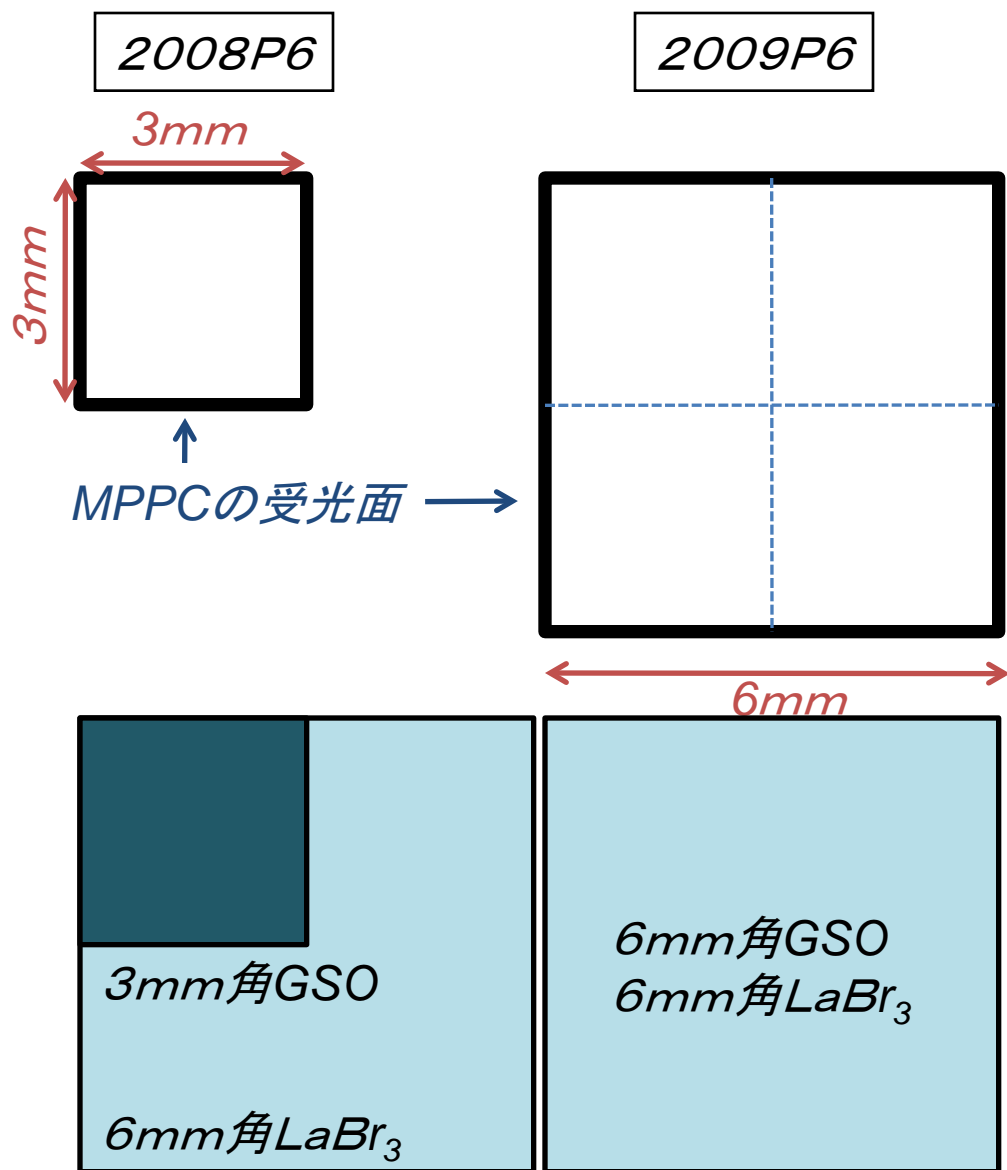
ただし、
素子の数は1個
⇒位置分解能はない

MPPCアレイとは？

- 3mm × 3mmの Single MPPC を複数個並べたもの
 - 受光面を広くできる
 - シンチレーターと効率よくカップリング
- 2 × 2chタイプ (浜松ホトニクス社製S10985シリーズ)
 - 3mm × 3mmの Single MPPC を正方形状に4つ配置
 - モノリシック構造
 - 本実験ではS10985-025Cを使用



今年の目的



新型のMPPCアレイを
使ってガンマ線を計測

・MPPCの受光面積
が4倍

・素子の数も4倍

⇒独立した4信号

⇒位置感度あり

・結晶の光が漏れない

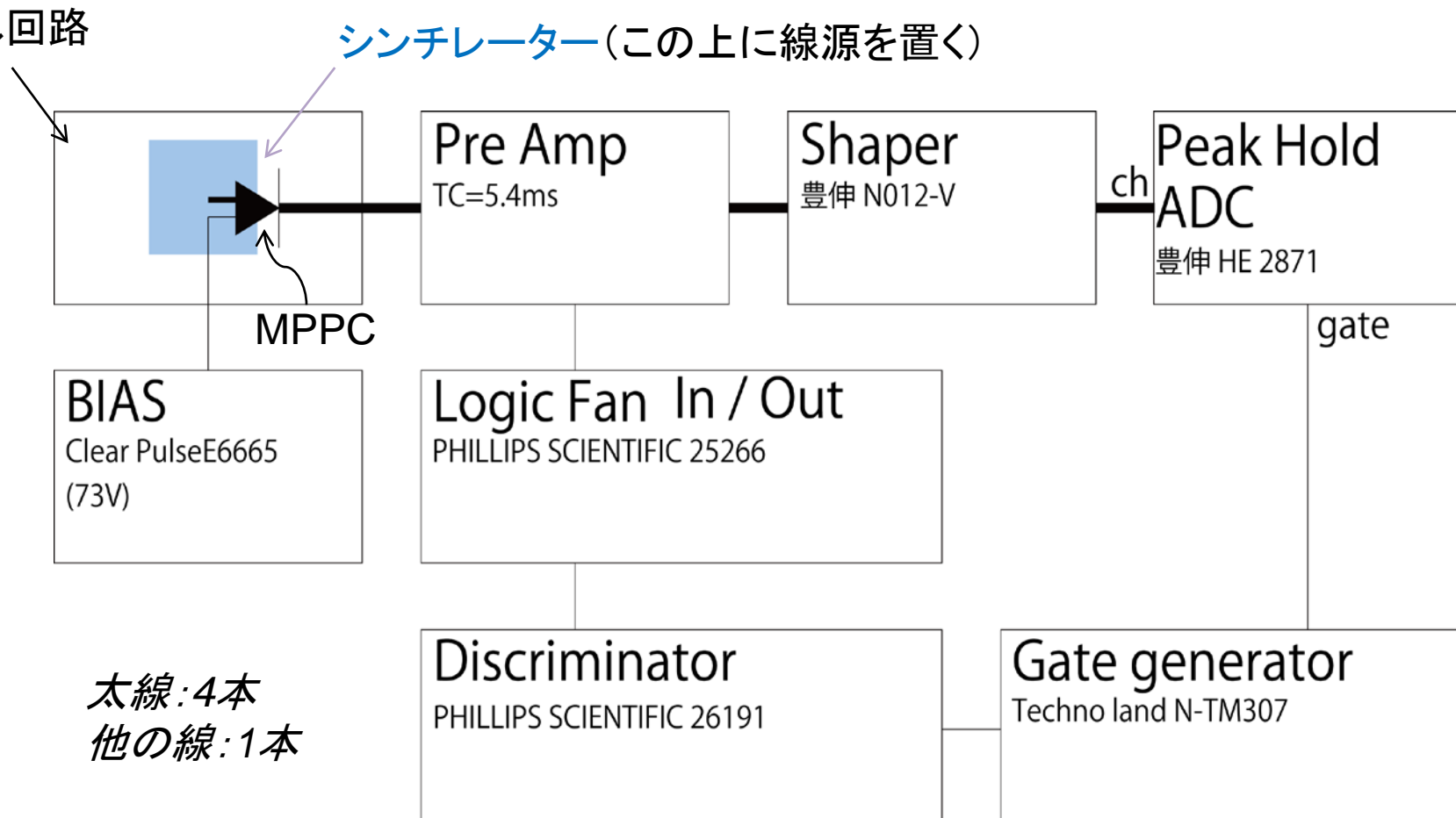
目的1. 分解能の向上を確認

目的2. 4つに分離された
イメージの取得

実験方法

セットアップ

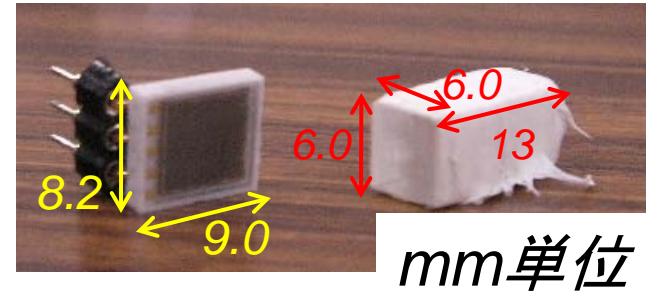
読み出し回路



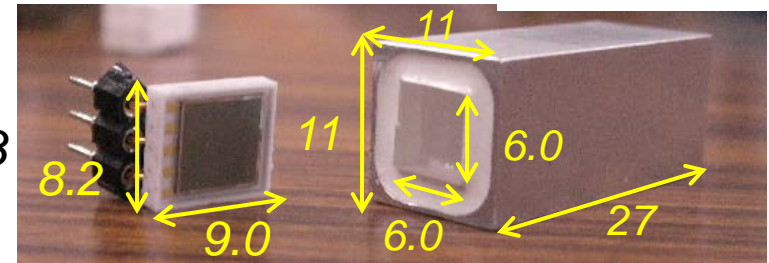
MPPCアレイとシンチレーター

MPPCアレイ(左)と6mmGSO

* 6mmGSOの周りにはテフロンテープ
(厚さ0.1mmを2回巻)

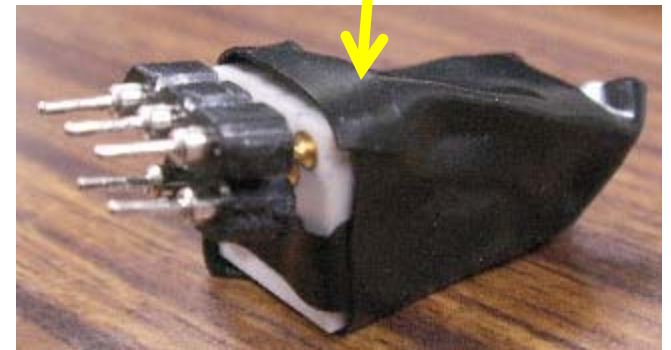
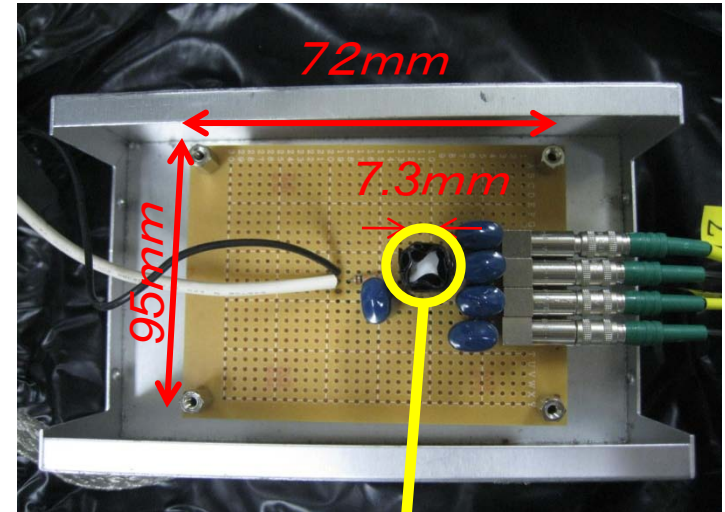
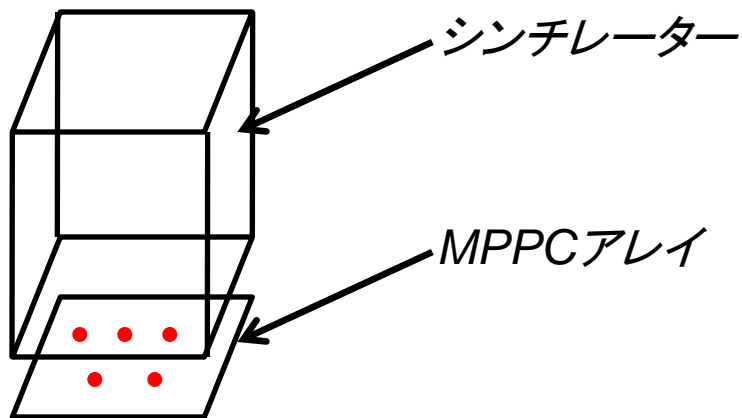
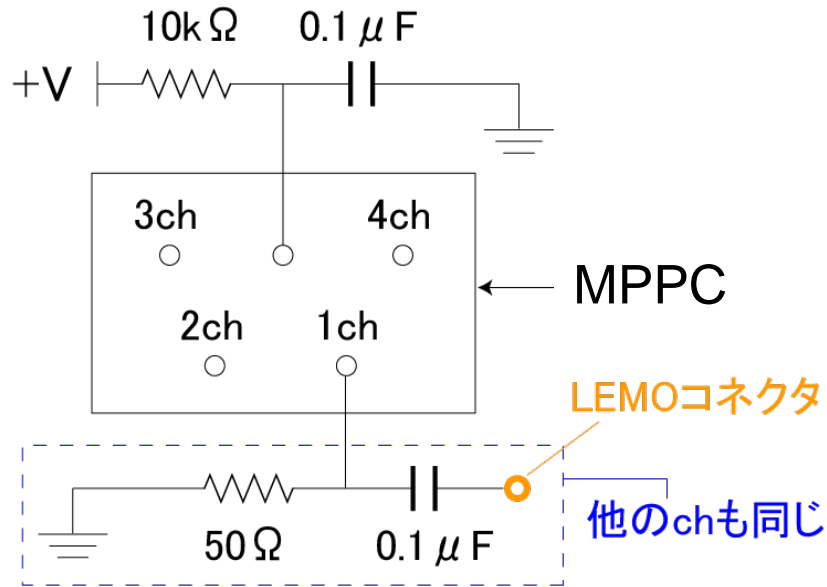


MPPCアレイ(左)と6mmLaBr₃



MPPCアレイとシンチレーターの間に
オプティカルグリス (OKEN6262A) を
塗ってから接着
(屈折率の違いによる反射・散乱を防ぐ)

読み出し回路

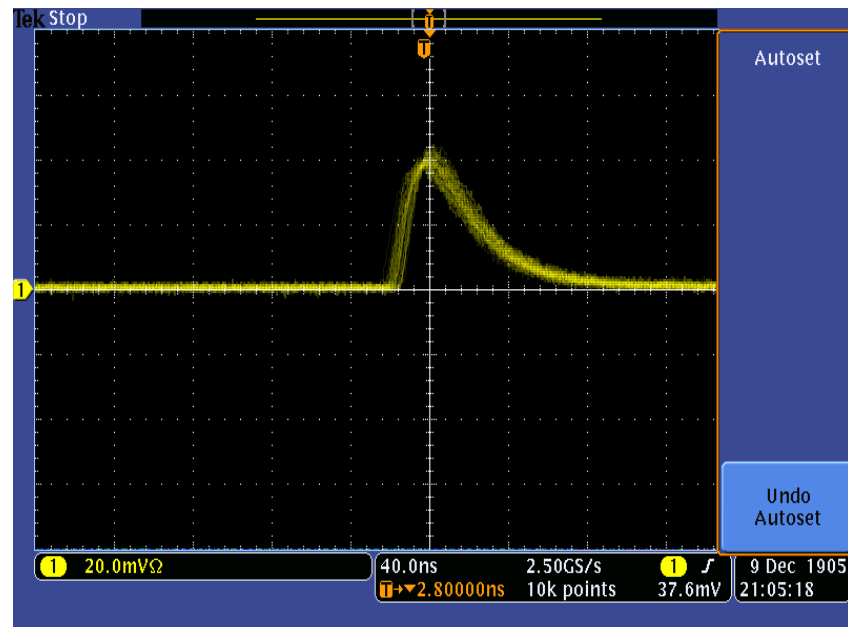
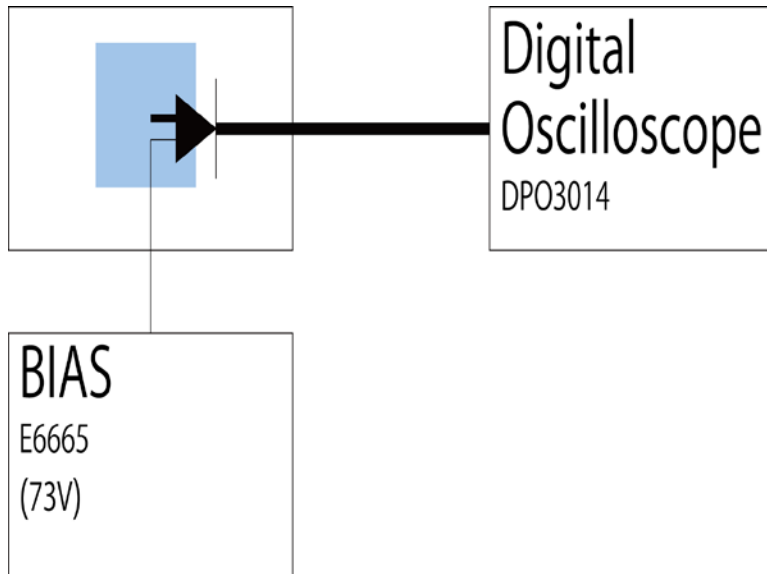


生信号

- 生信号(プリアンプに通す前の信号)をオシロスコープで見た図

例: $^{133}\text{Ba} + \text{LaBr}_3$

回路図

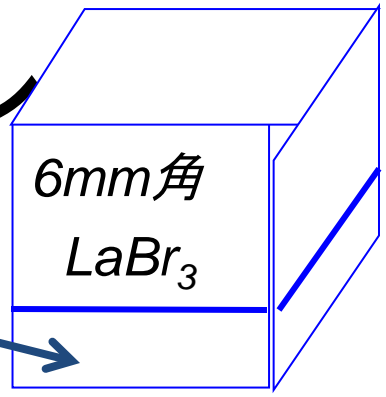


データ取得

と

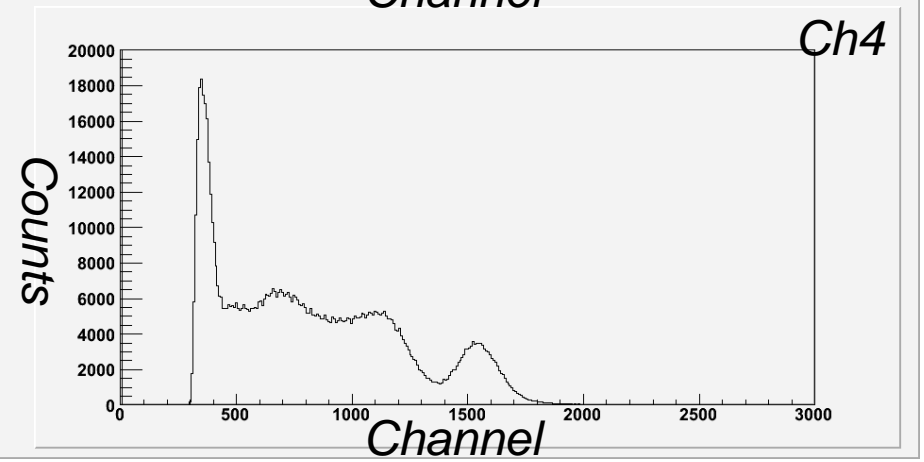
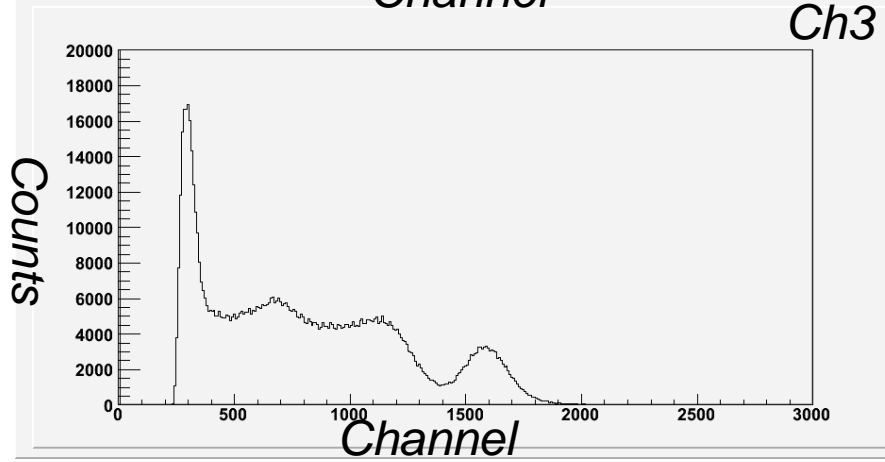
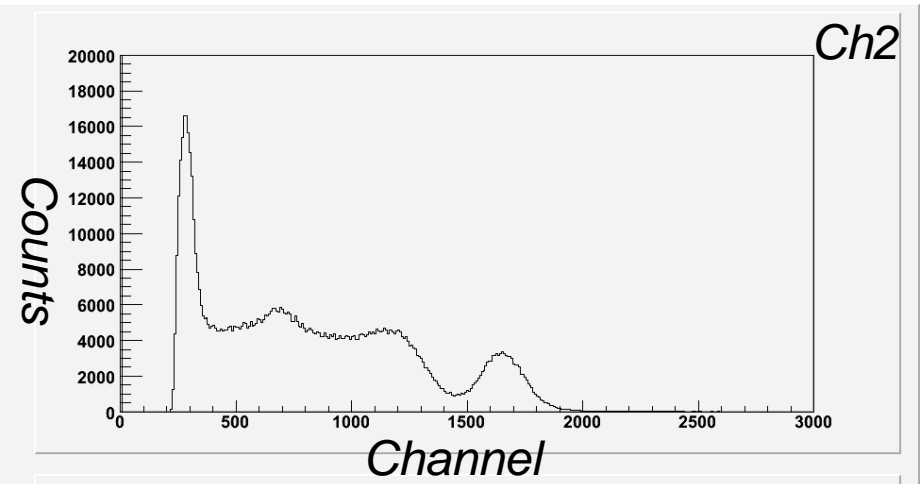
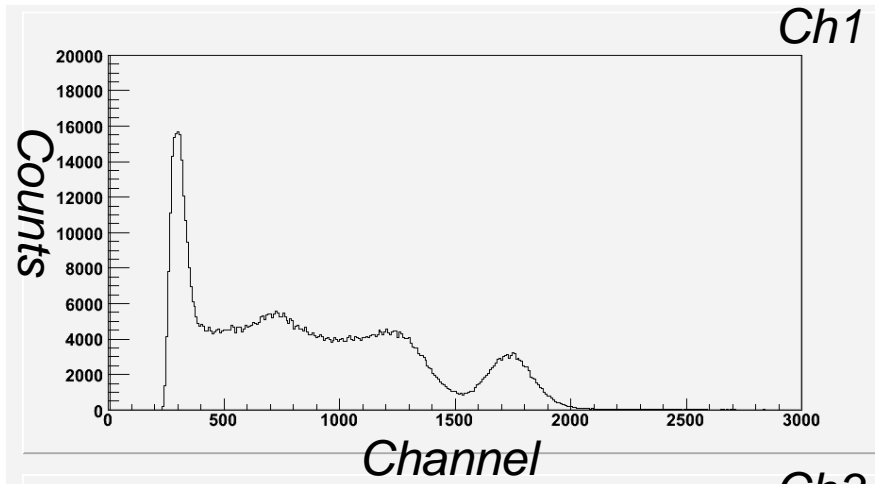
解析

MPPCアレイのADCスペクトル

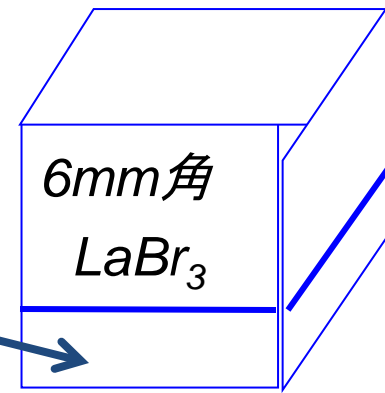


¹³⁷Cs+LaBr₃

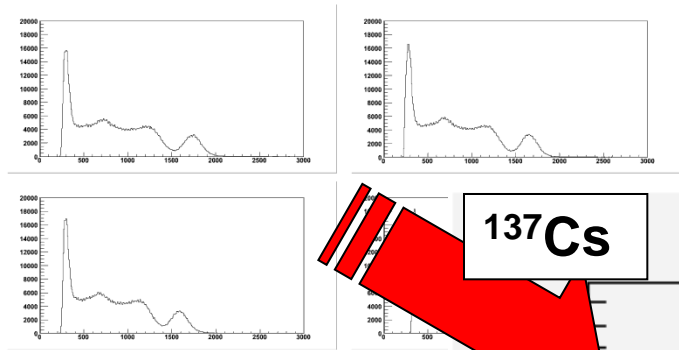
(全面照射)



ノイズ対策の重要性

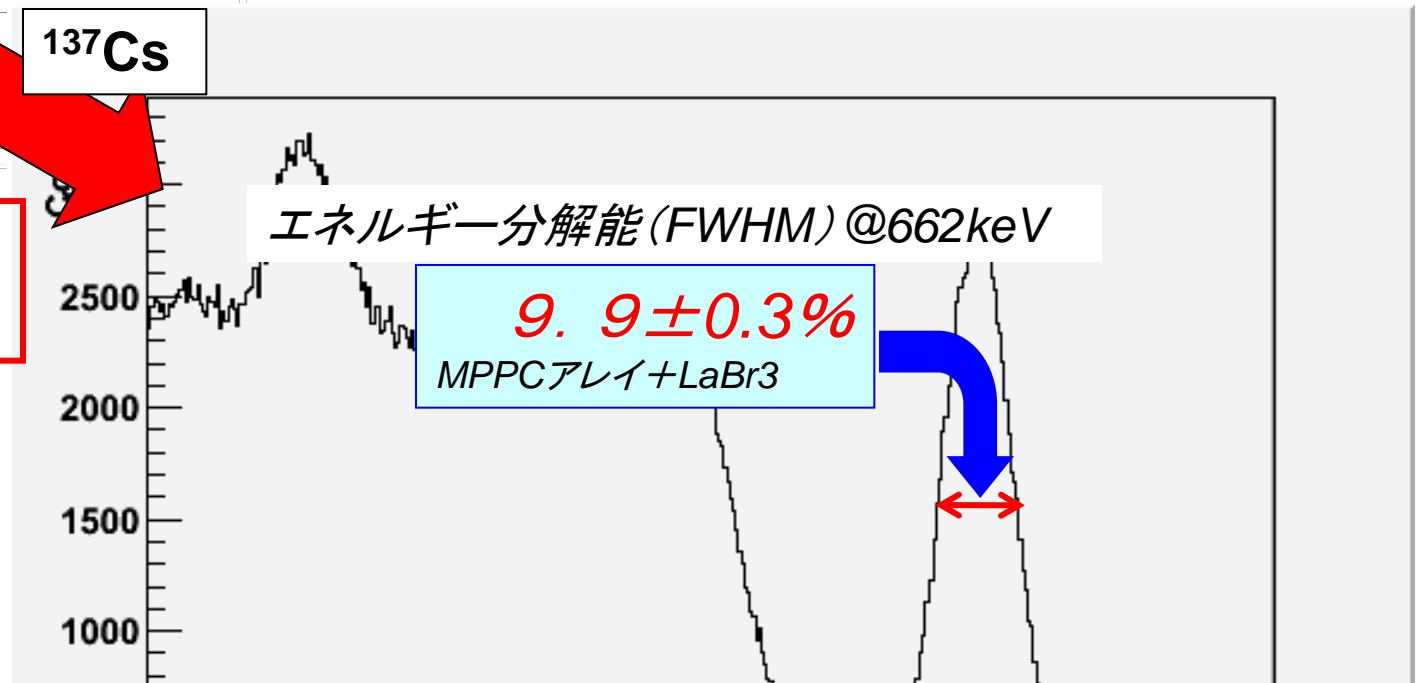


MPPCアレイ

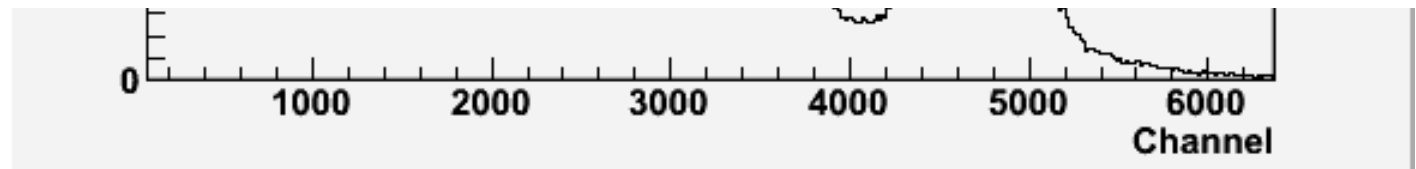


¹³⁷Cs

Channelの
和をとる



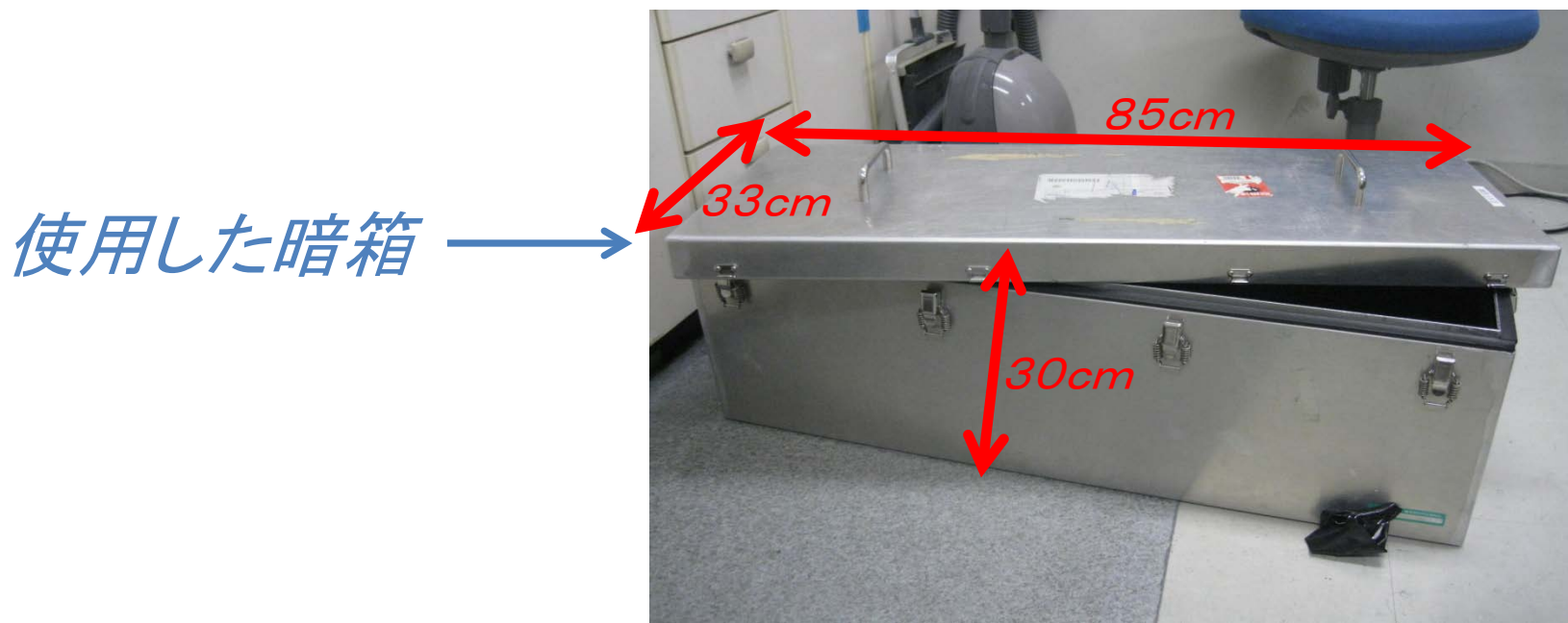
去年の8.9 ± 0.3% (シングルMPPC+LaBr₃) に及ばない



ノイズ対策の強化

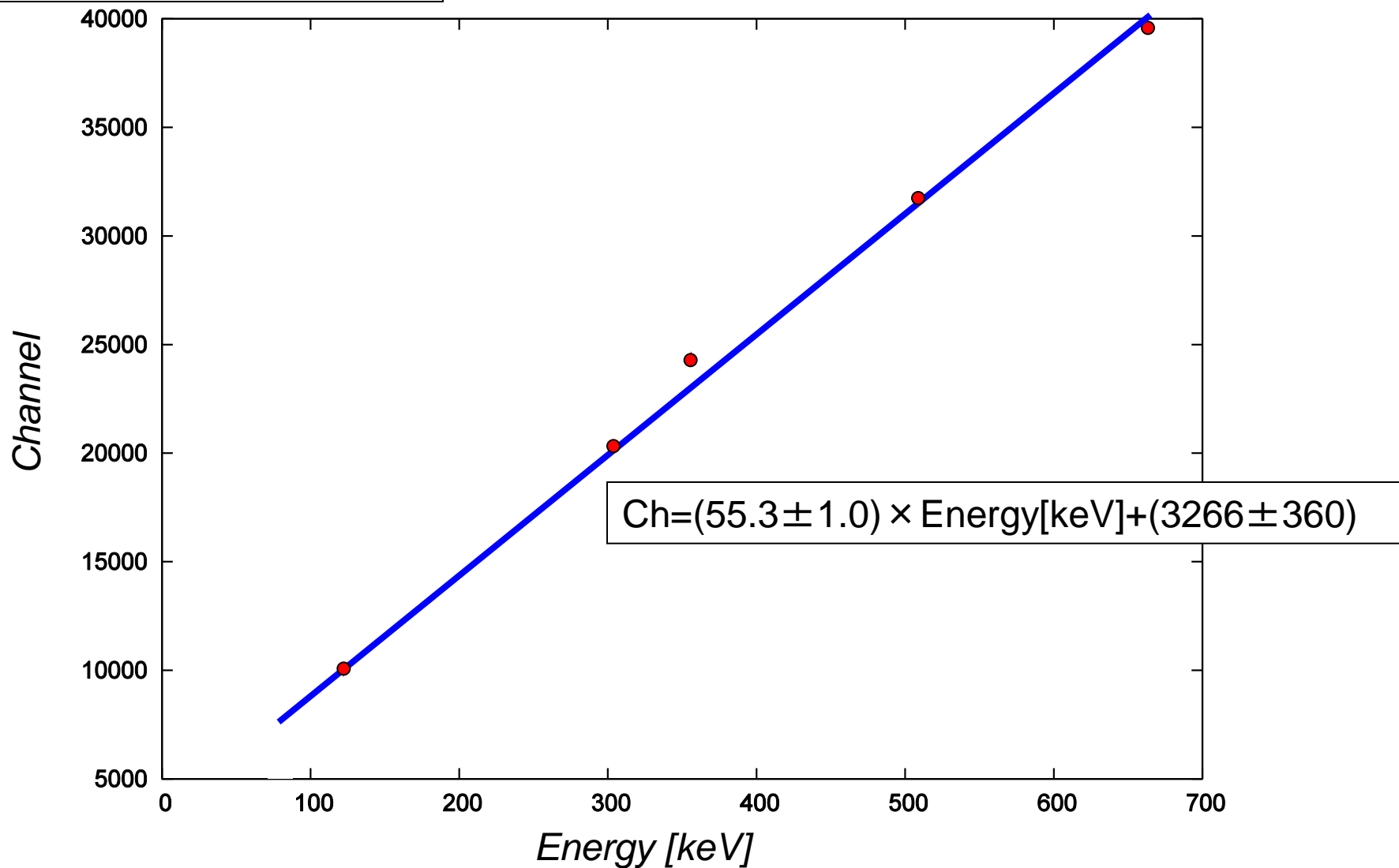
- シールド線の長さを短くした
- アルミ箱に入れた
 - 電磁シールド

使用した暗箱



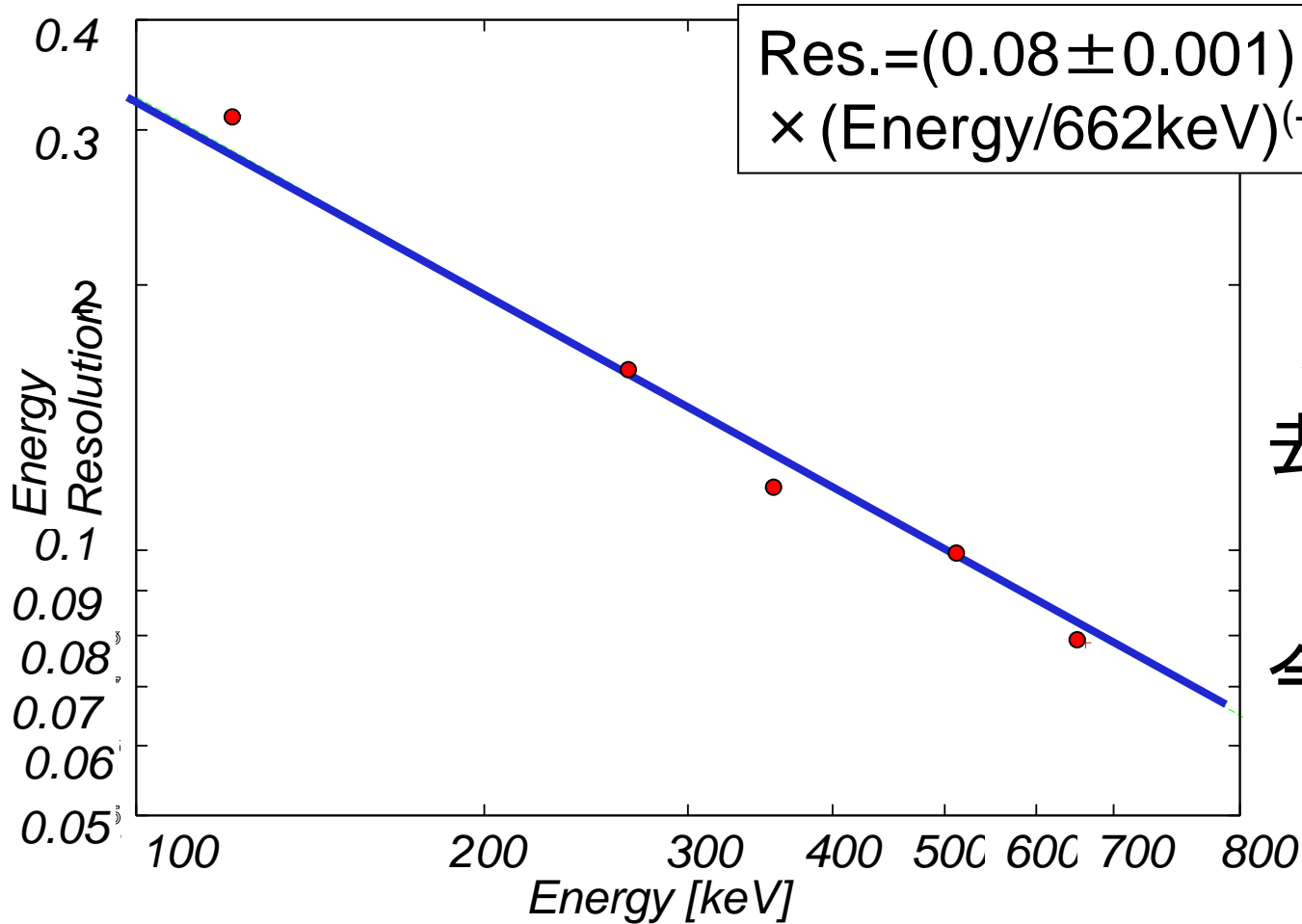
エネルギー較正 (LaBr₃)

Energy V.S. Channel



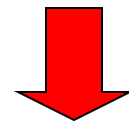
エネルギー分解能 (LaBr₃)

Energy Resolution



FWHM@662keV

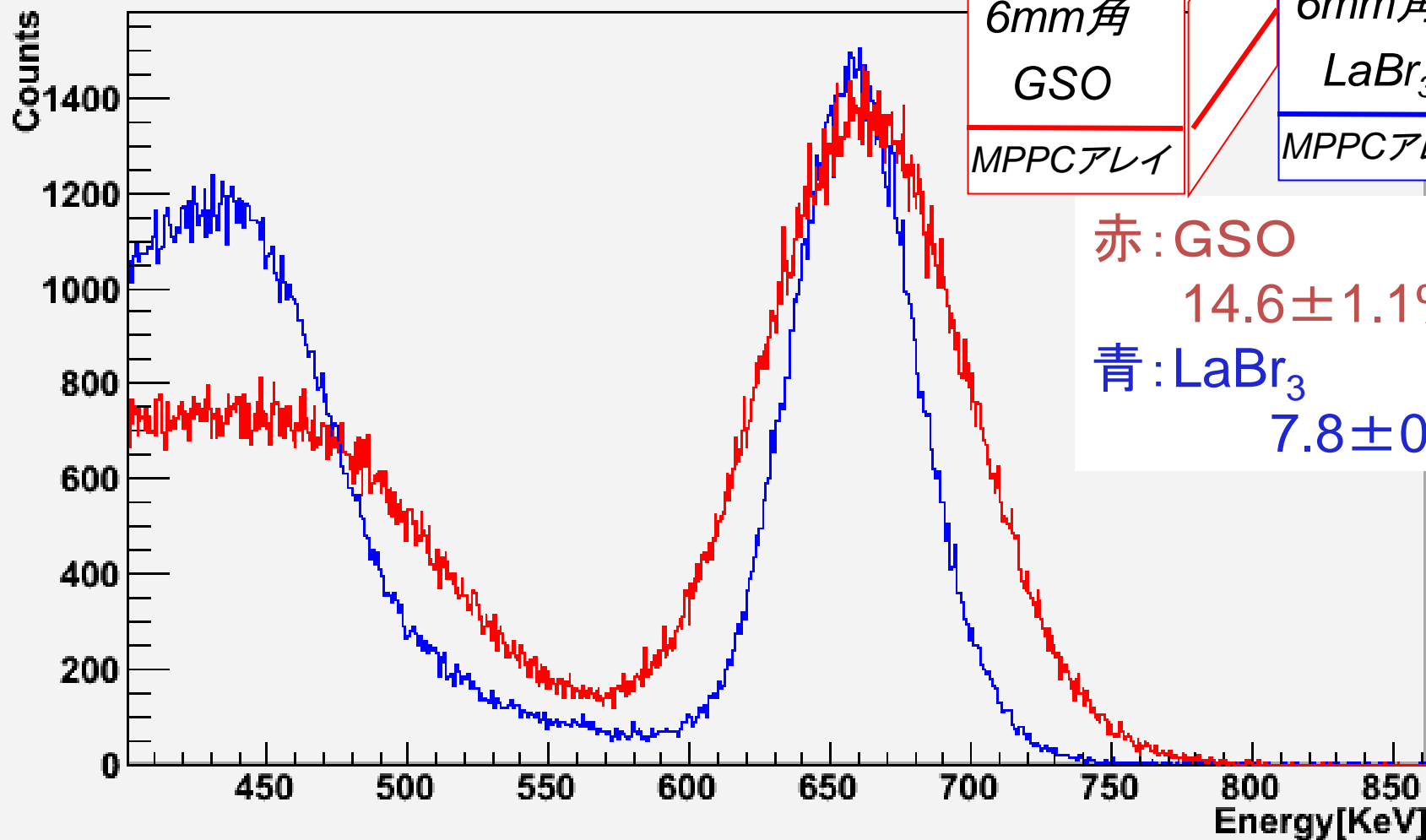
去年: $8.6 \pm 0.3\%$



今年: $7.8 \pm 0.1\%$

シンチレータによる分解能の比較@662keV

¹³⁷Cs



6mm角
GSO
MPPCアレイ

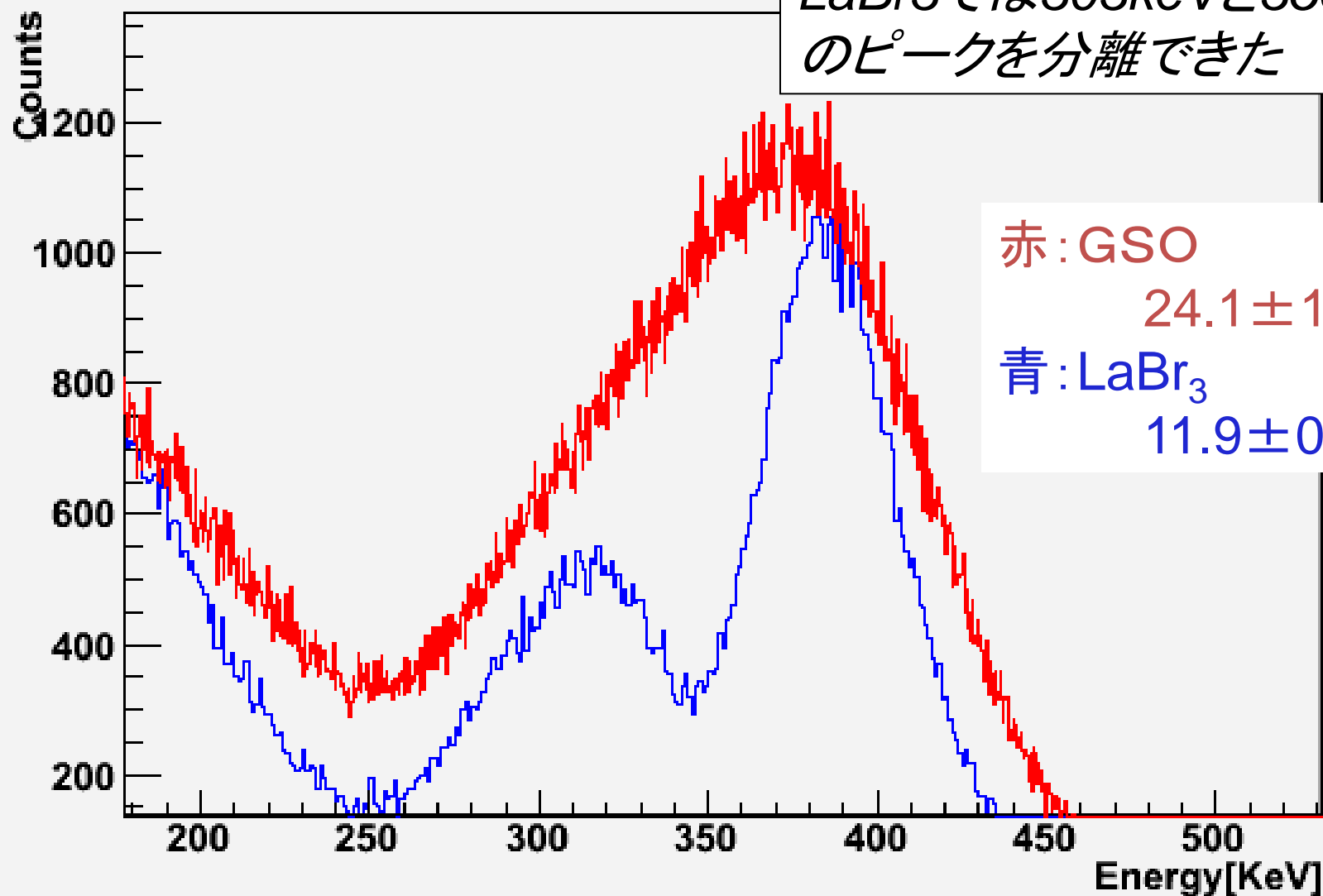
6mm角
LaBr₃
MPPCアレイ

赤: GSO
14.6 ± 1.1%
青: LaBr₃
7.8 ± 0.1%

シンチレータによる分解能の比較@356keV

^{133}Ba

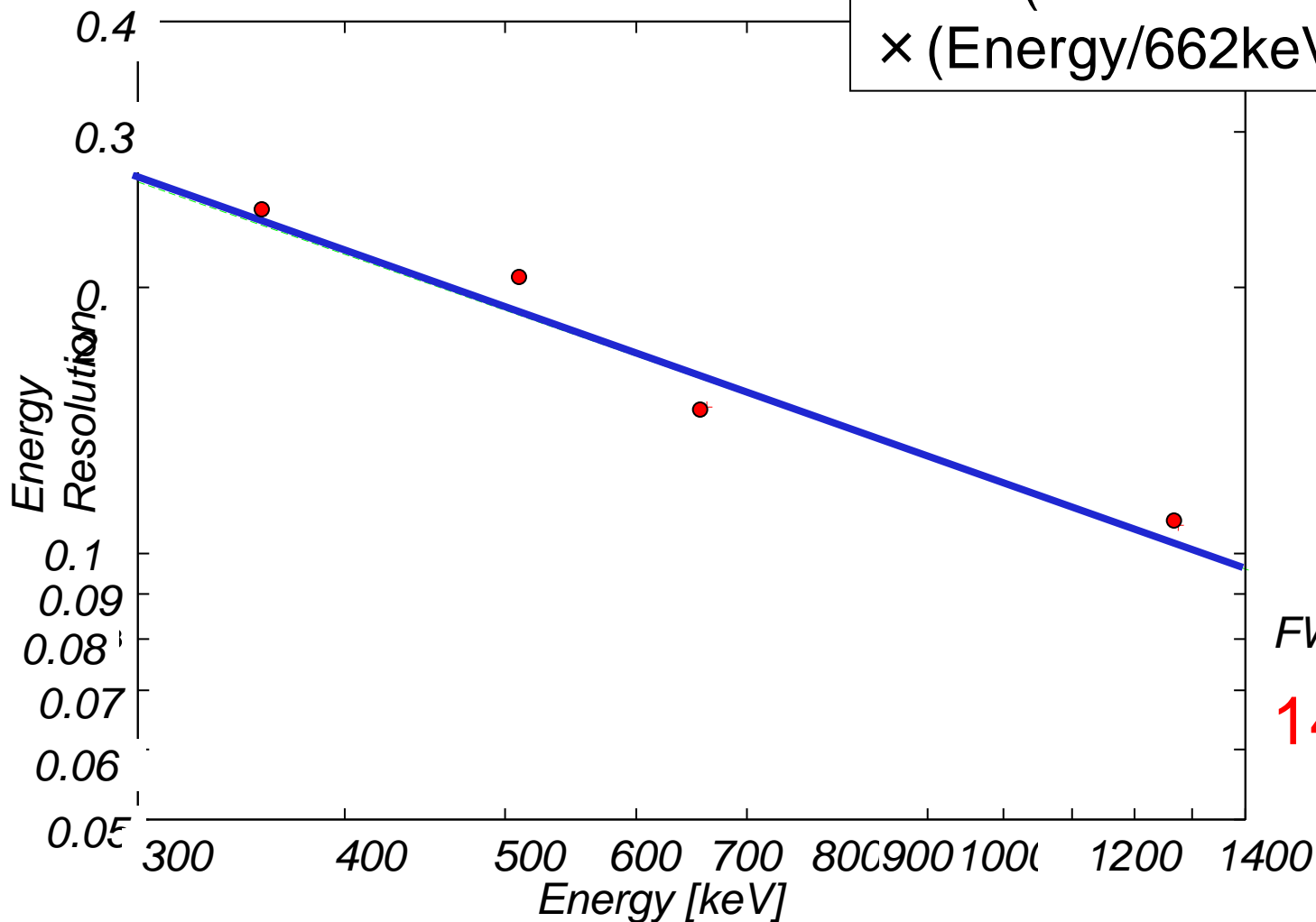
LaBr₃では303keVと356keV
のピークを分離できた



エネルギー分解能 (GSO)

Energy Resolution

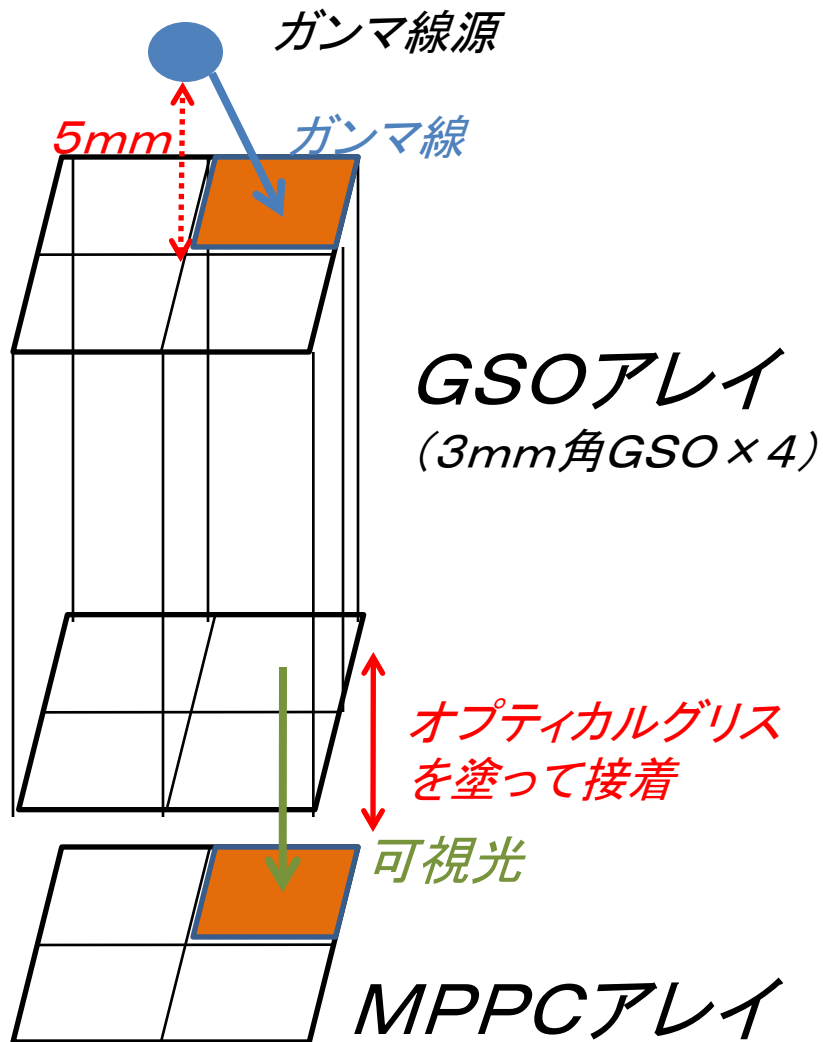
$$\text{Res.} = (0.134 \pm 0.012) \times (\text{Energy}/662\text{keV})^{(-0.65 \pm 0.09)}$$



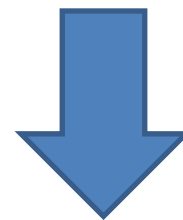
FWHM @662keV

14.6 ± 1.1%

イメージング



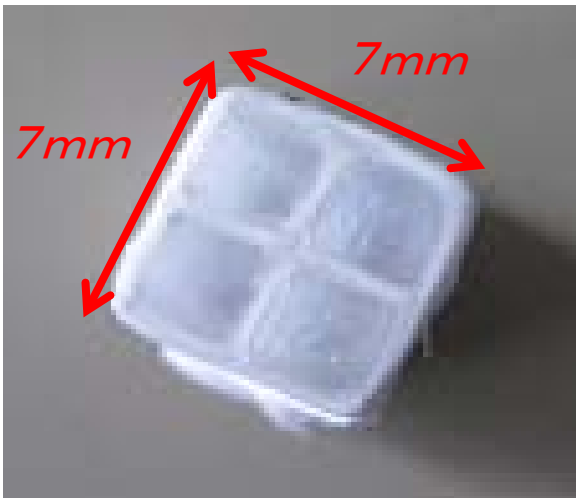
シンチレーターもアレイ化
⇒ガンマ線がどこに入った
かがわかる



各chに来たガンマ線の
スペクトルを別々に取得可能

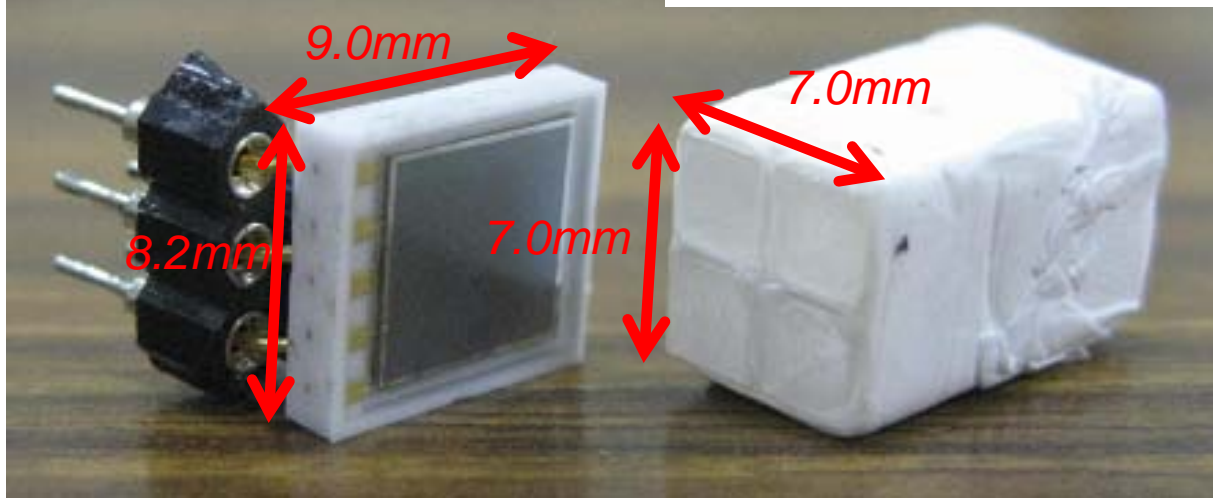
GSOアレイのセットアップ

3mm角GSOをテフロンテープで仕切る



反射材はテフロンテープ

MPPCアレイとGSOアレイ



データ解析その1(最大値法)

100000行 × 4列のADCデータ

$$\text{Max}\{1\text{ch}, 2\text{ch}, 3\text{ch}, 4\text{ch}\} = N\text{ch} \quad (N=1,2,3,4)$$

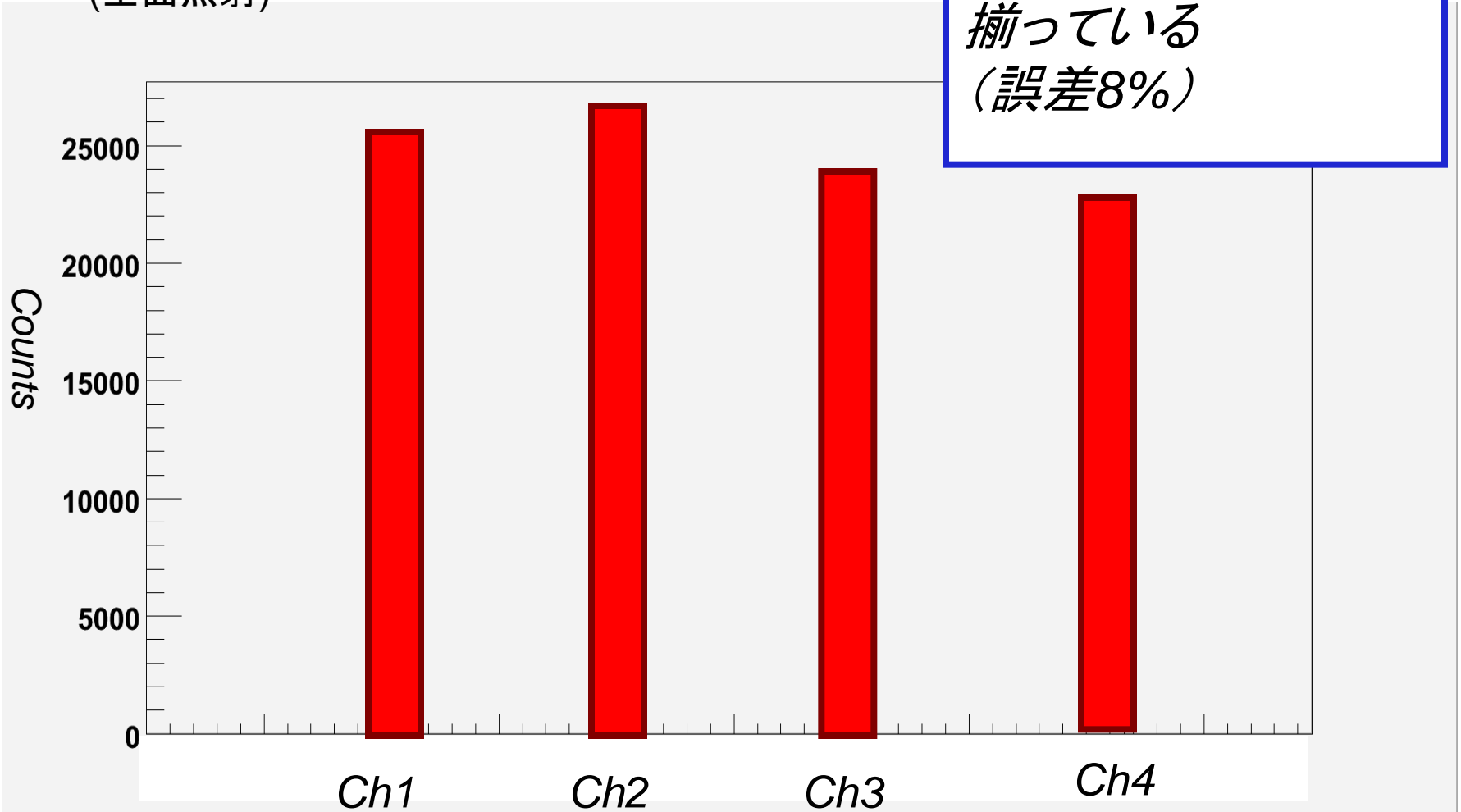
⇒ Nch成分を+1

つまり各chで最大だった回数を数えるということ

すべてのchが等しいとき(すべて0の場合)は無視する

最大値法の解析結果

^{137}Cs + GSOアレイ
(全面照射)

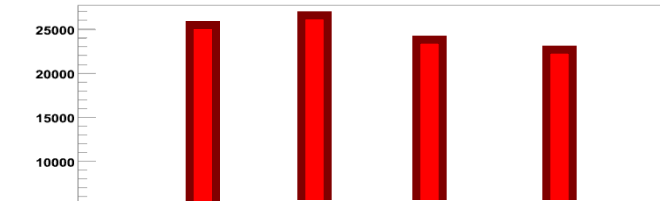


最大値法の解析結果(4chのスペクトル)

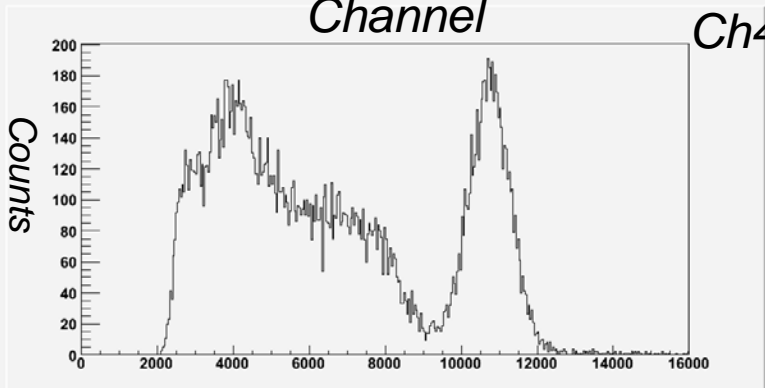
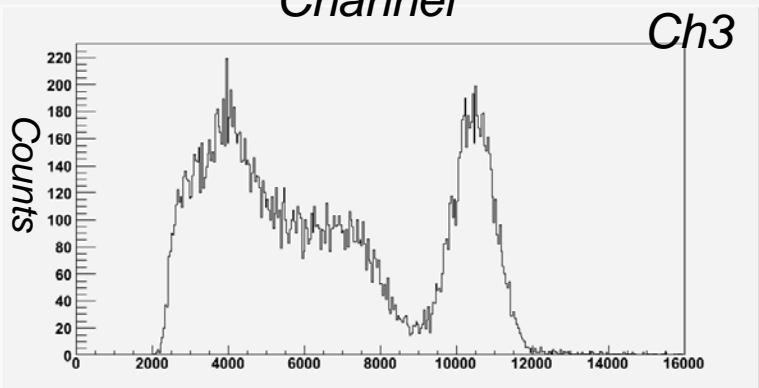
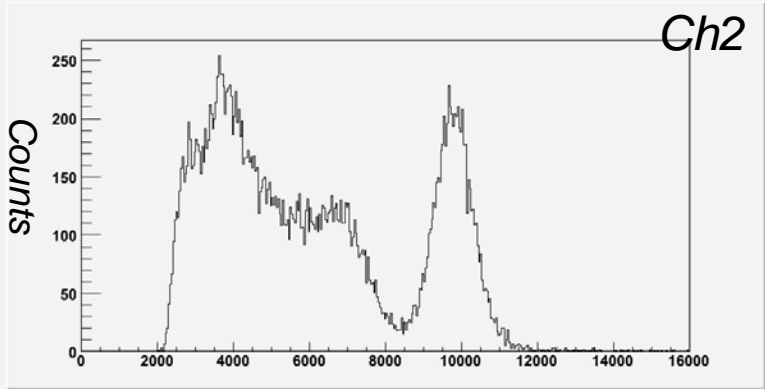
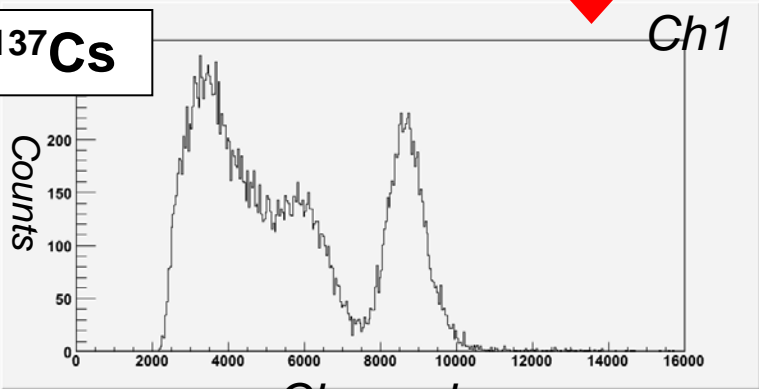
スペクトルをとる



分解能(FWHM@662keV)
の平均 $15.3 \pm 1.7\%$



^{137}Cs

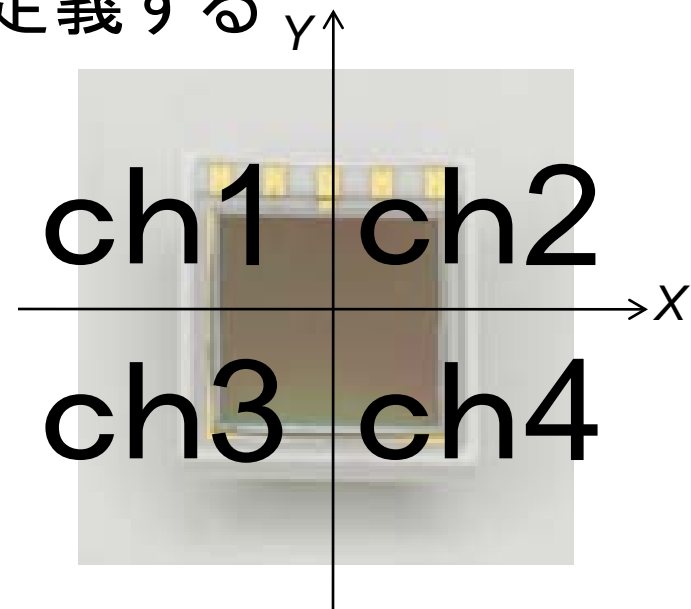


データ解析その2(重心法)

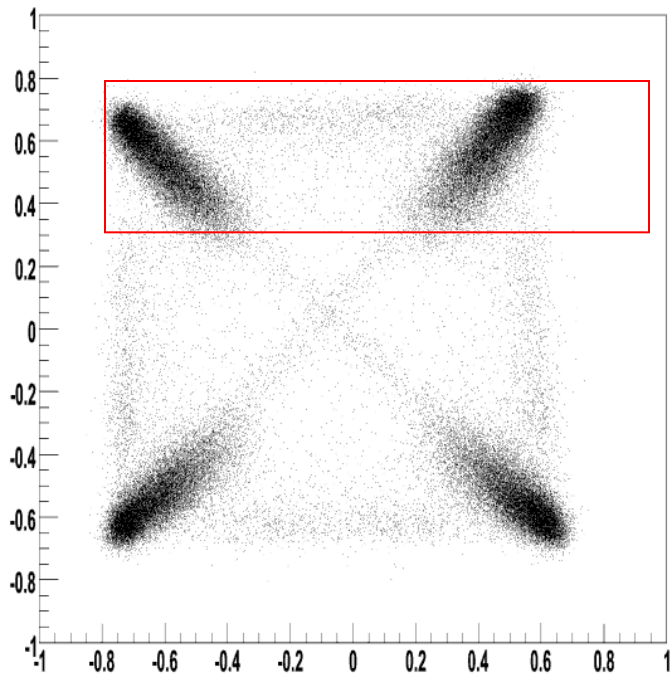
- 例: 100000カウントのデータを取得した場合
→ 100000行 × 4列のADCデータ
- 列数はchの数
- 各chのADCの値(1ch, 2ch, 3ch, 4ch)に対して重心座標(X, Y)を次のように定義する

$$X = \frac{ch1 - ch2 + ch3 - ch4}{ch1 + ch2 + ch3 + ch4}$$

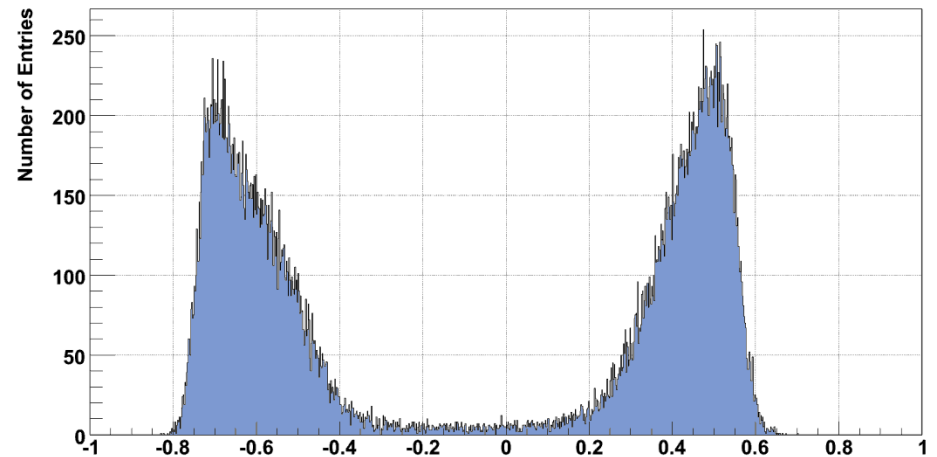
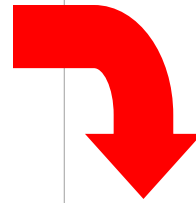
$$Y = \frac{ch1 + ch2 - ch3 - ch4}{ch1 + ch2 + ch3 + ch4}$$



重心法の解析結果（2次元ヒストグラム）



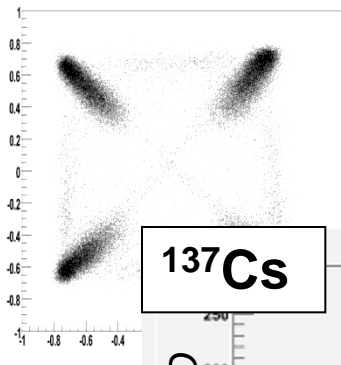
^{137}Cs + GSOアレイ + 重心法
(全面照射)



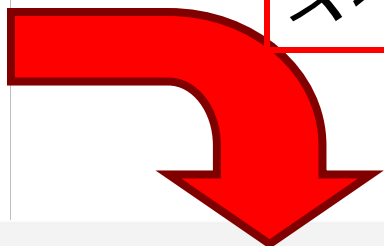
射影図

重心法の解析結果(4chのスペクトル)

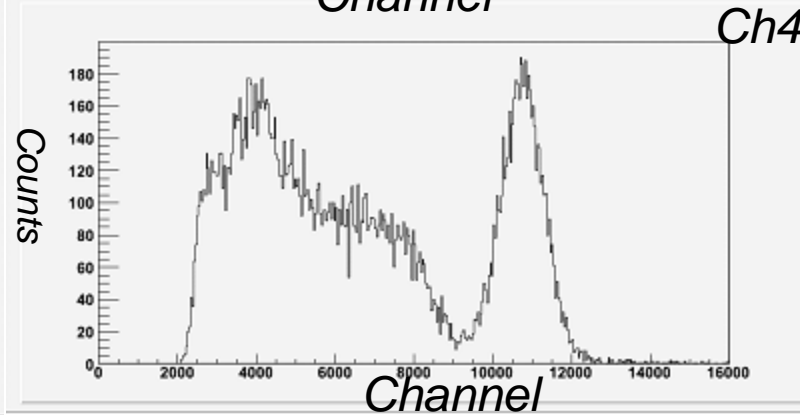
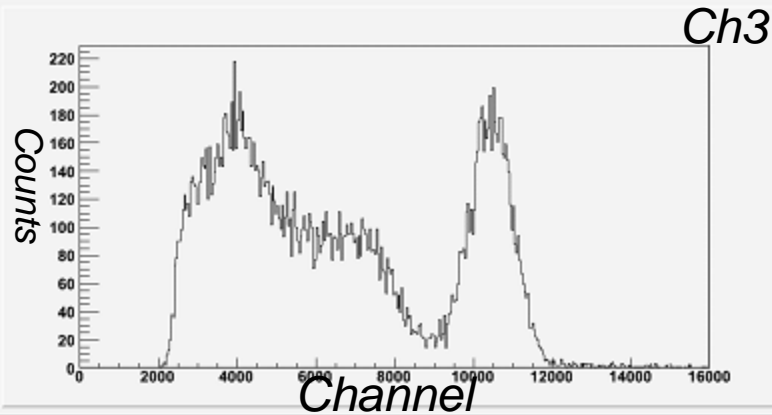
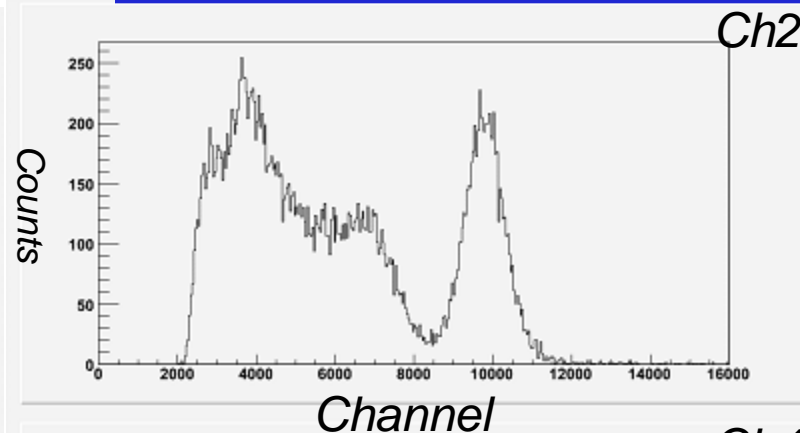
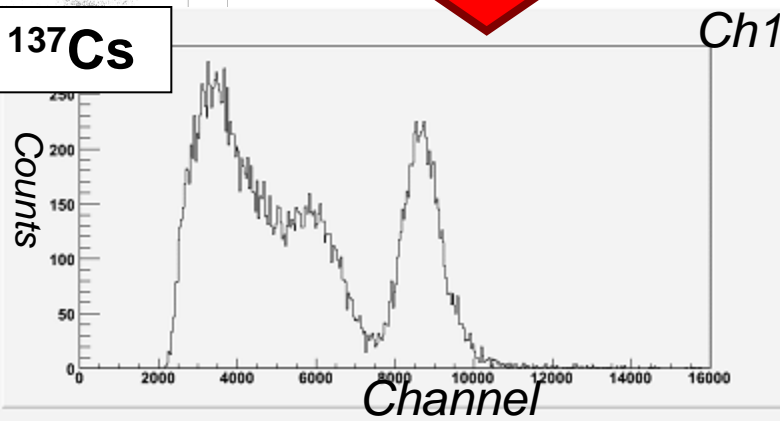
重心法の図



スペクトルをとる

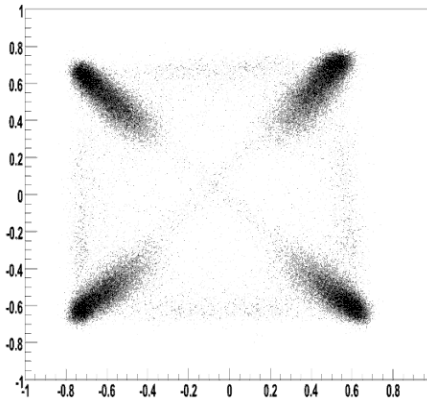


分解能(FWHM@662keV)
の平均 $15.3 \pm 1.7\%$



まとめ

- ・ 2×2 MPPCアレイを使って分解能を測定
LaBr₃: $7.8 \pm 0.1\%$ @662keV (去年は8.6%)
GSO: $14.6 \pm 1.1\%$ @662keV (去年は3mm角で18%)
- ・再構成イメージが作れた

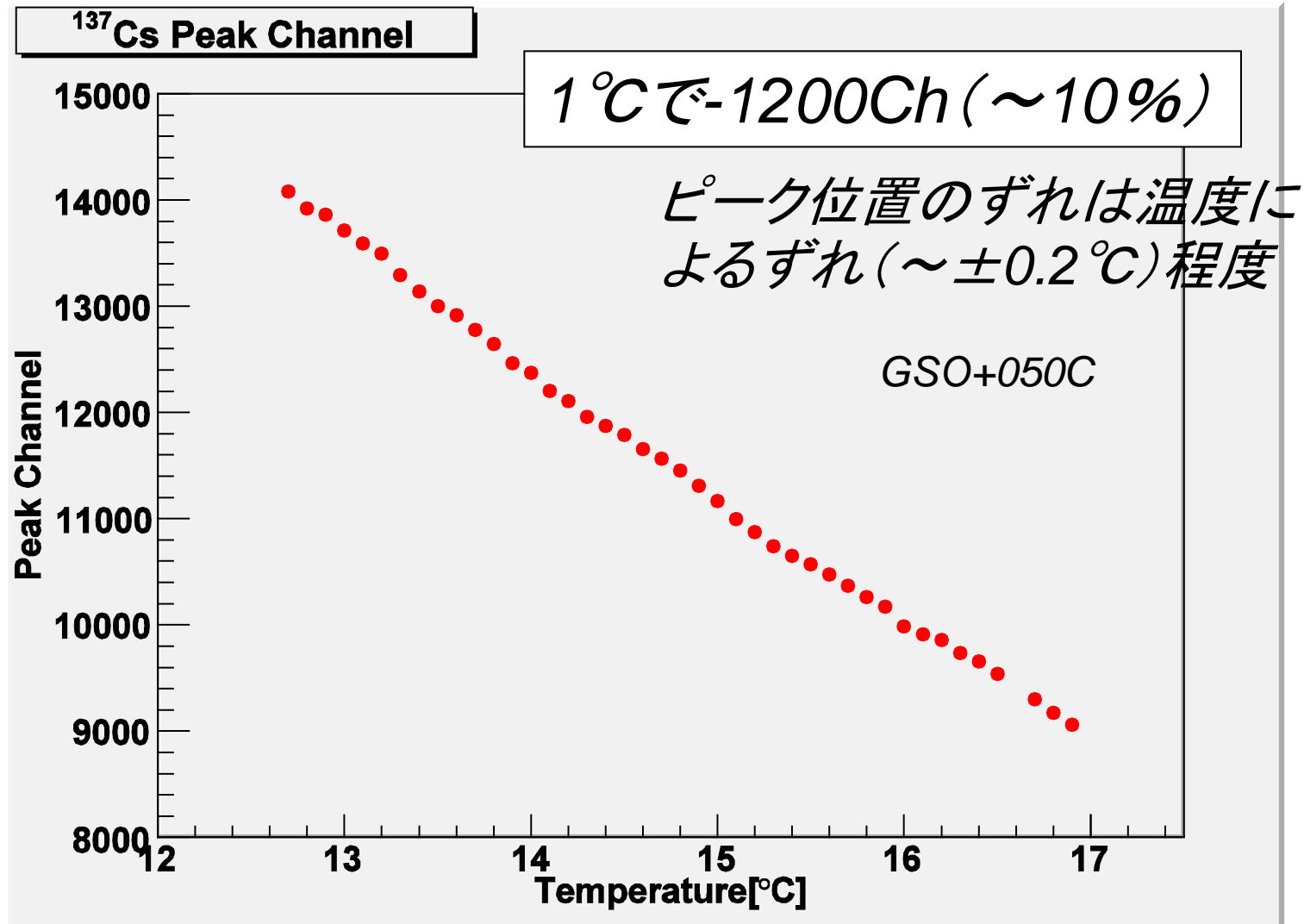


課題: MPPCアレイとGSOアレイのアライメントを精密にやればより詳しい位置情報が検出できるかもしれない

Appendix

昨年のP6の実験

Gainに温度依存性がある

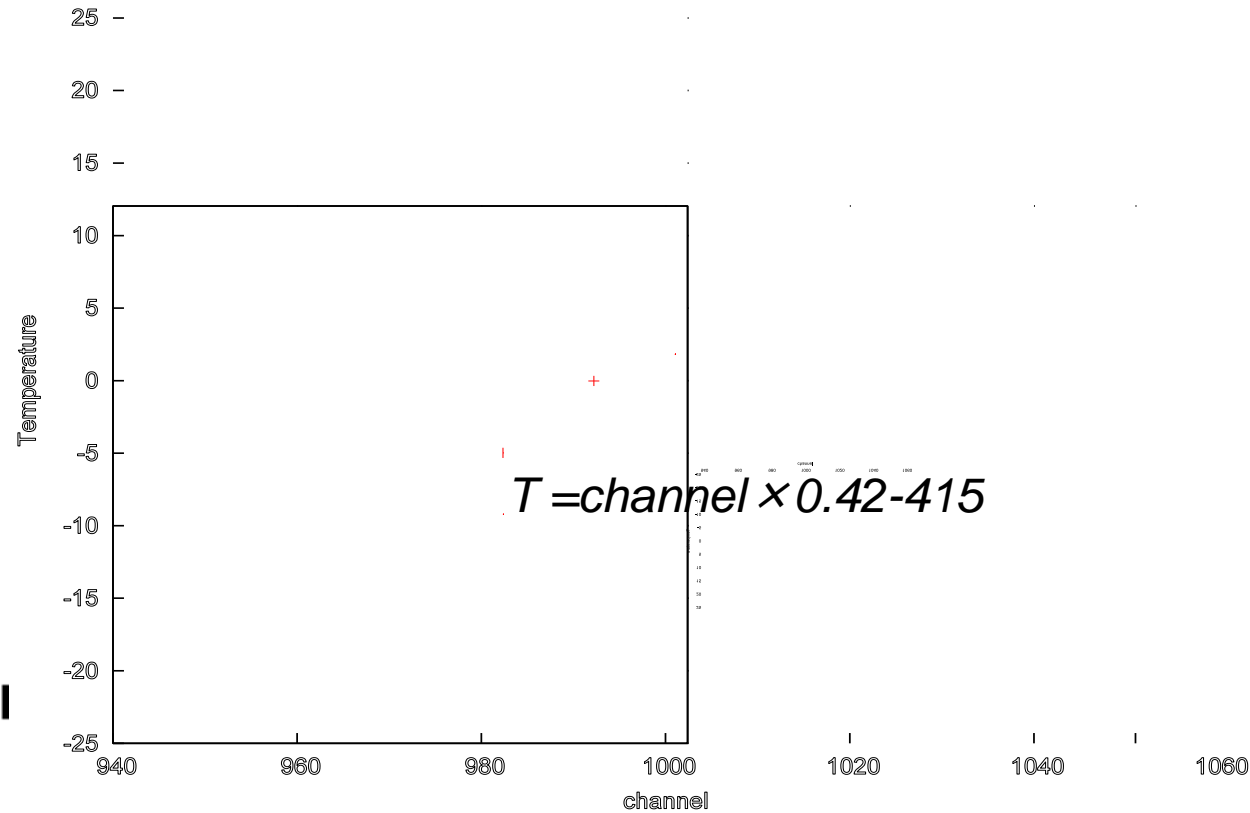


Appendix

温度計



今回の測定では温度を常にモニターしていたので
温度計測の方法について紹介しておく



回路図

