

MeVコンプトンカメラにおける フラットパネルPMTの性能と その読み出しシステムの現状

京都大学理学研究科物理学第二教室宇宙線研究室

東京大宇宙線研^A 神戸大学自然^B

上野一樹

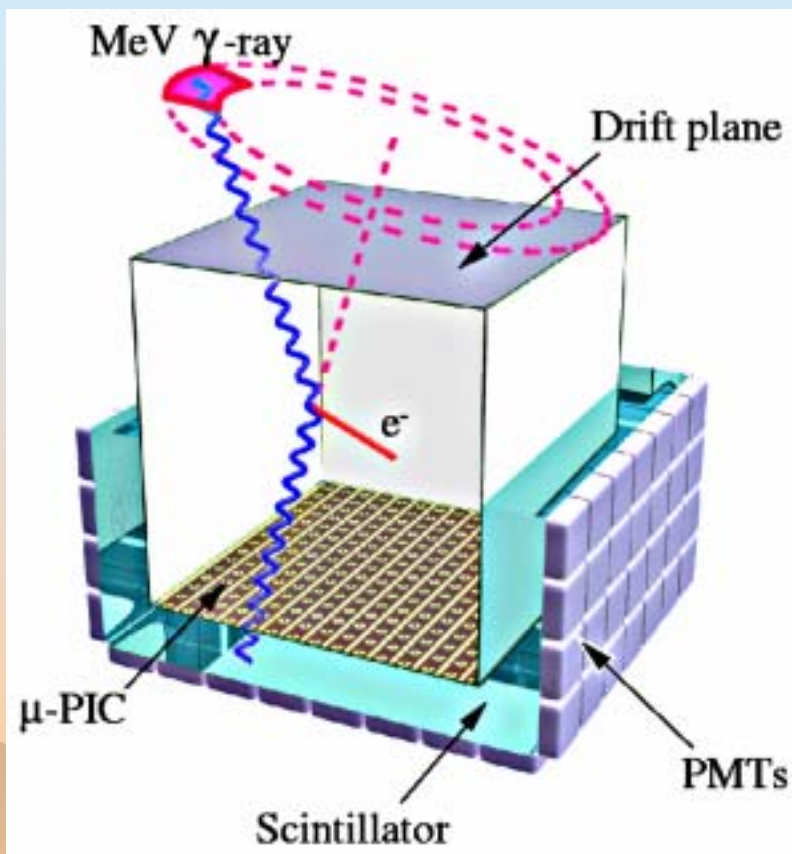
谷森達、窪秀利、身内賢太郎、土屋兼一、株木重人、高田淳史、
岡田葉子、西村広展、服部香里、関谷洋之^A、折戸玲子^B

目次

- ❁ MeVコンプトンカメラについて
- ❁ Scintillator、フラットパネルPMT
- ❁ 読み出し～大面積化、省電力化
- ❁ まとめ
- ❁ 今後の予定



MeVコンプトンカメラ



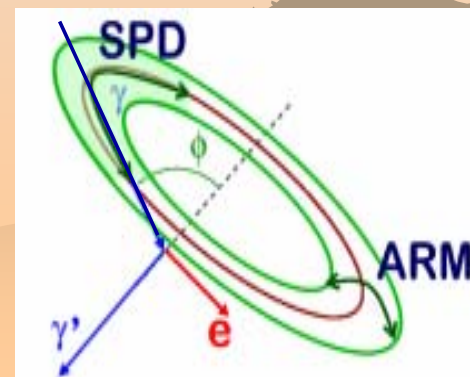
micro-TPC

(μ -PICを用いたTPC)

- 反跳電子のtrack, energy
- 再構成 線の**角度分解能 (SPD)**と**エネルギー分解能**を決定

Scintillation camera (Scintillator + PMTs)

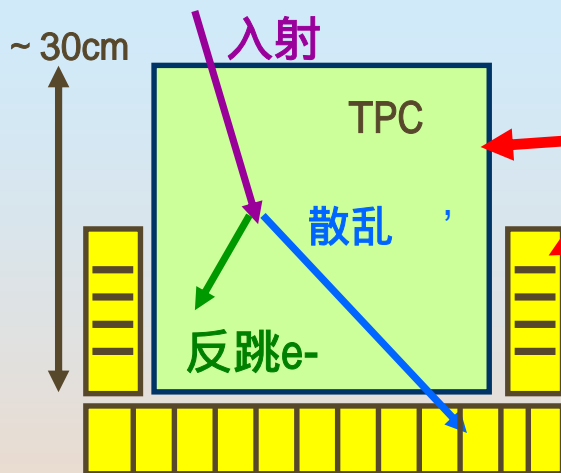
- 散乱ガンマ線の位置, energy
- 再構成 線の**角度分解能 (ARM)**と**エネルギー分解能**を決定



現在、TPCは10cm × 10cm × 15cm
100keV ~ 10MeVのダイナミックレンジ

現在気球実験にむけて実験中 (300keV ~ 1MeV)

シミュレーション(GEANT4)によるARMへの依存性



ジオメトリ

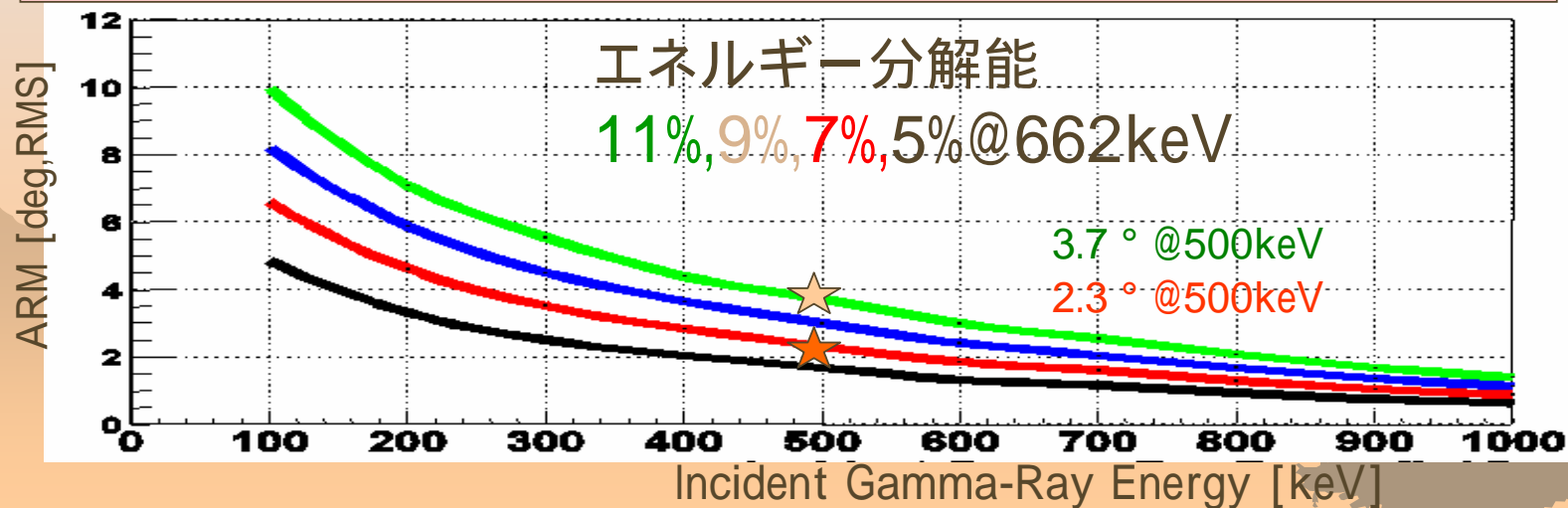
TPC: 30cm立方, Xe 1.5atm

ピクセルシンチ:

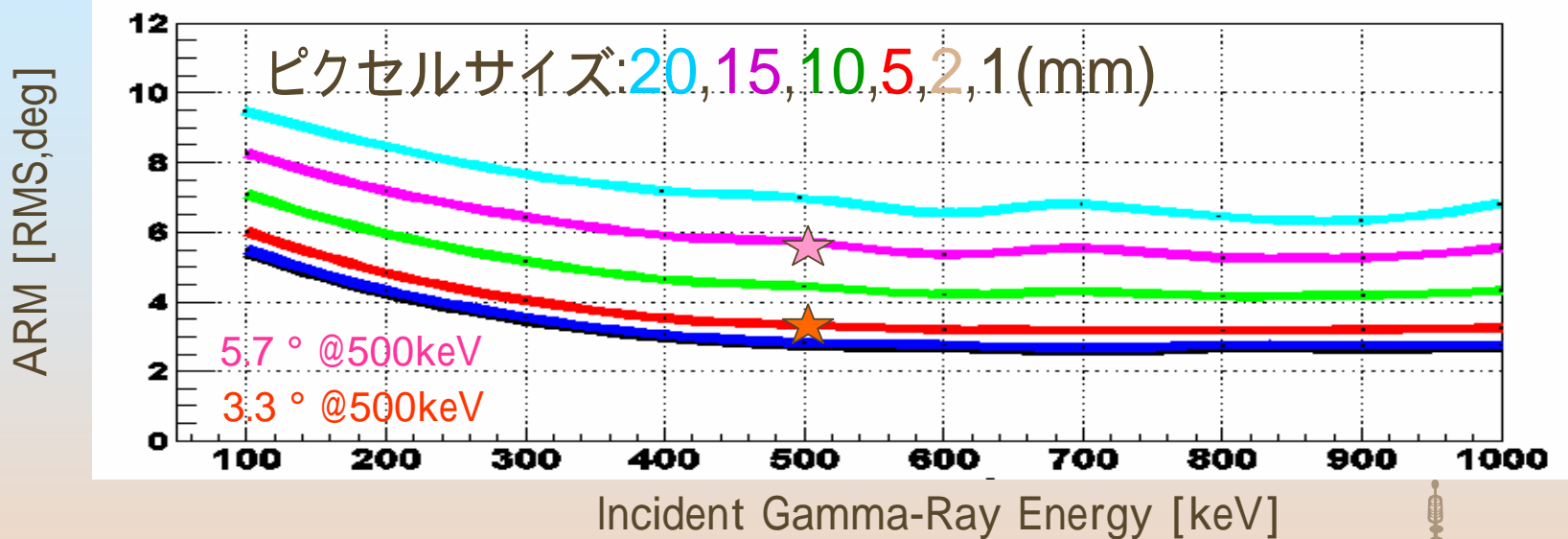
2.5cm厚CsI(Tl)、側面高さ15cm

片端読み出し

ARMのシンチカメラエネルギー分解能依存性



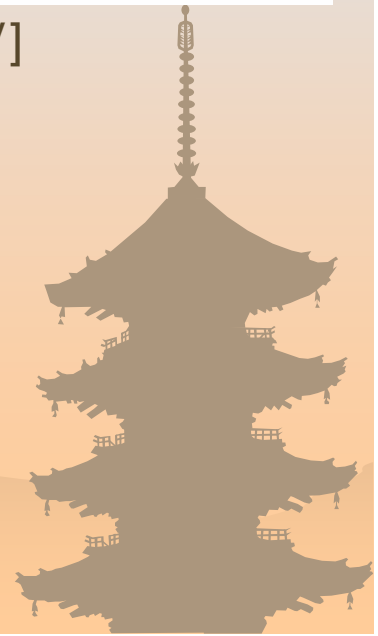
ARMのシンチカメラ位置分解能依存性



Scintillation camera

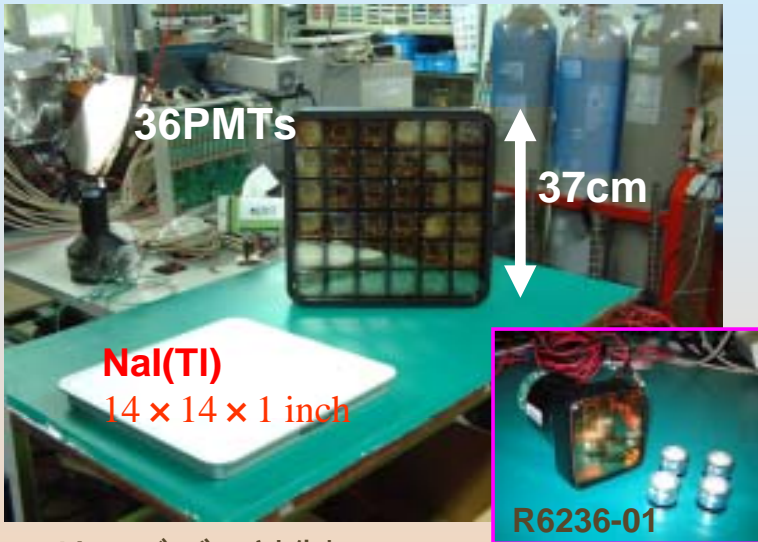
ARM エネルギー分解能、位置分解能共に依存

- 位置分解能
- Energy分解能
- 大面積



昔は...

これまでに開発したアンダーカメラ

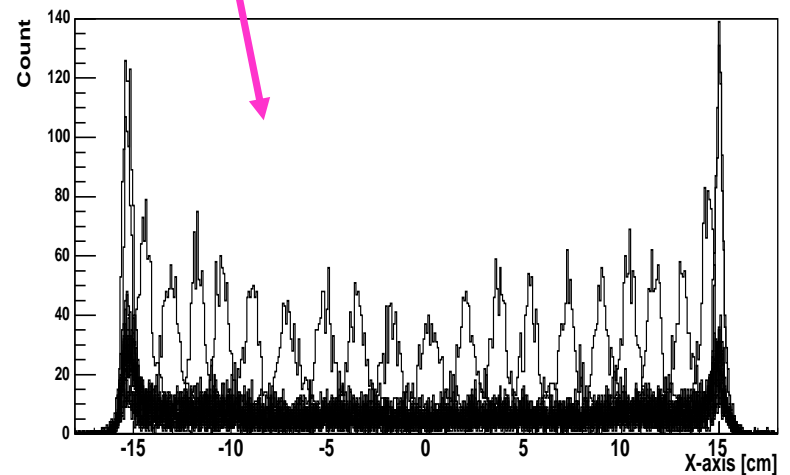
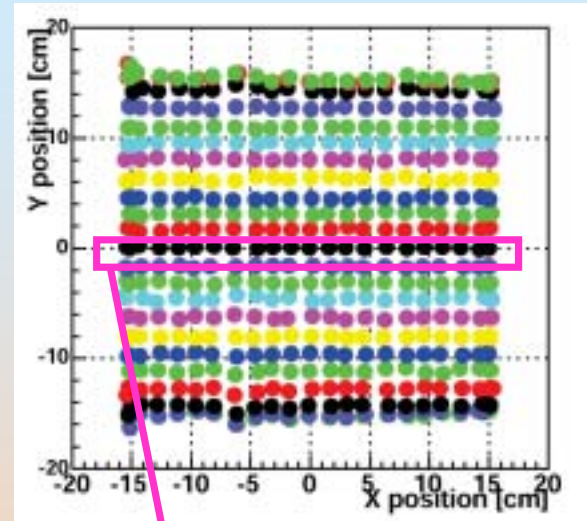


サンゴバン社製

Energy 分解能
7.1% @ 662keV (FWHM)

位置分解能
~ 7.5mm (FWHM, 662keV)

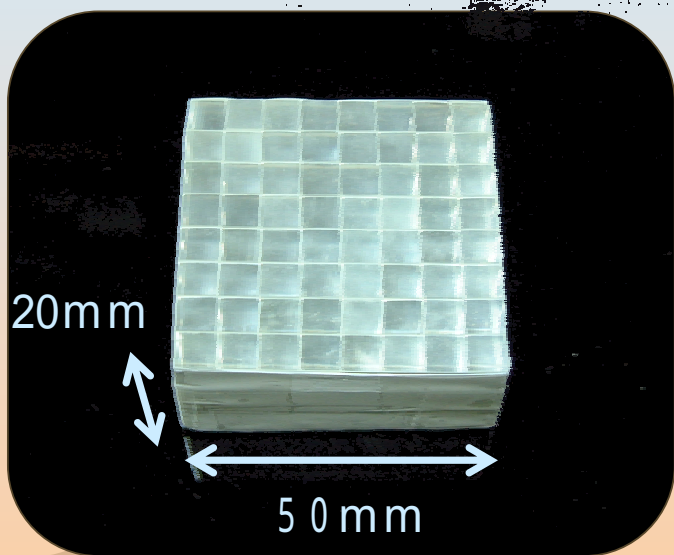
有効面積 66%



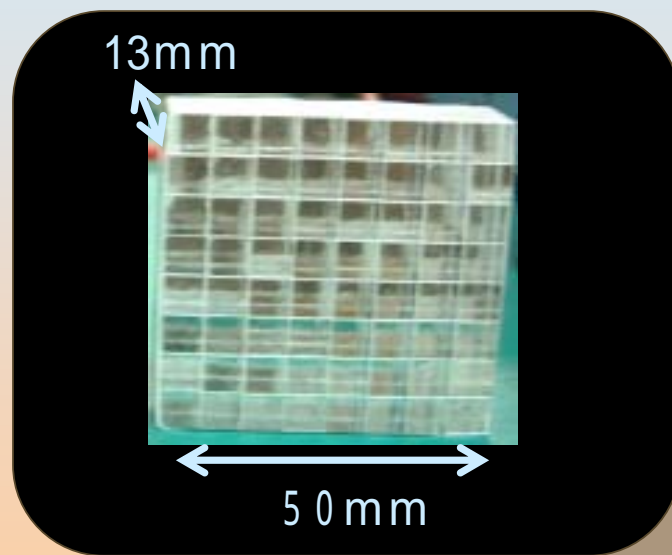
Scintillator

- 有効面積を大きくしたい
- 位置分解能をあげたい →
- 壊れたときの対処

- フラットパネルPMTを用いる
- Scintillatorのpixel化



CsI(Tl)

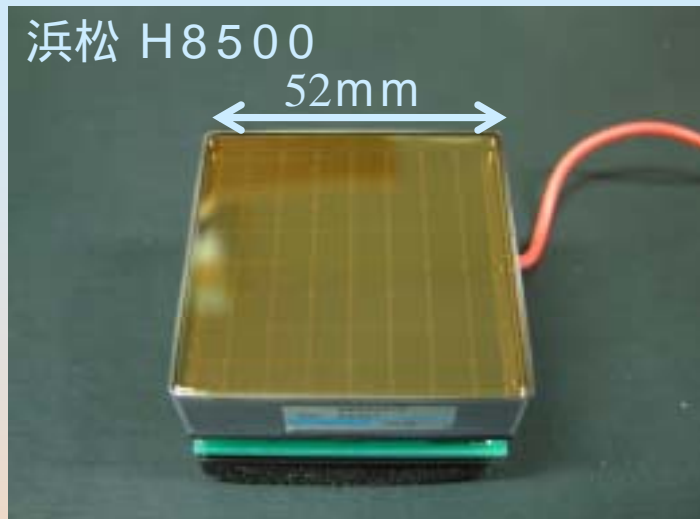


GSO

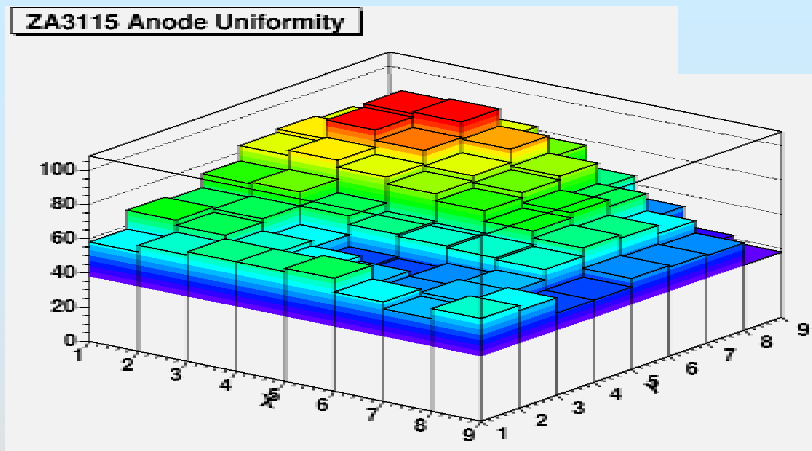
反射材 (ESR,3M社製) (65um)を用いてpixel化

6mm角(8 × 8=)64pixel

フラットパネルPMT



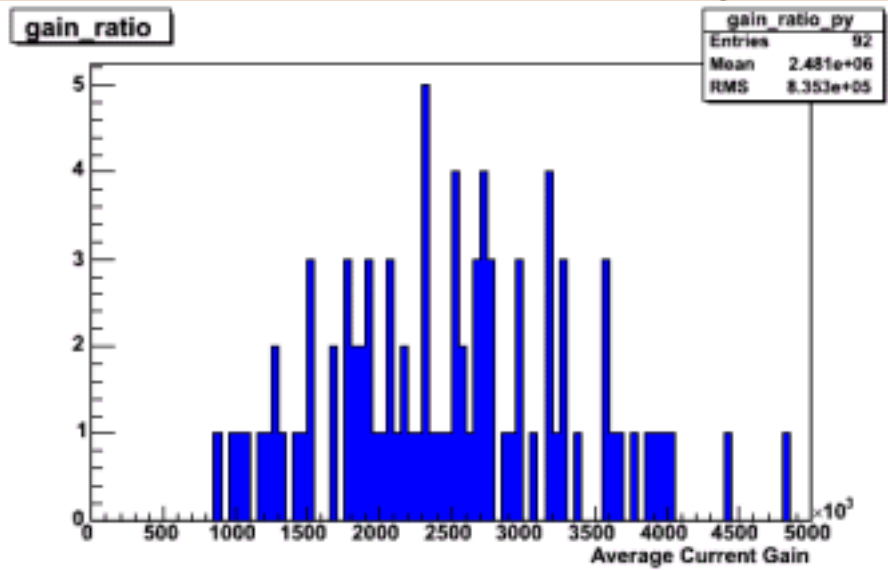
- 8 × 8 マルチアノード
- 12段 メタルチャンネルダイノード
- ゲイン 10^6 @ -1000V
- Rise time 0.8 ns
- 52mm角
(有効面積 49mm × 49mm)



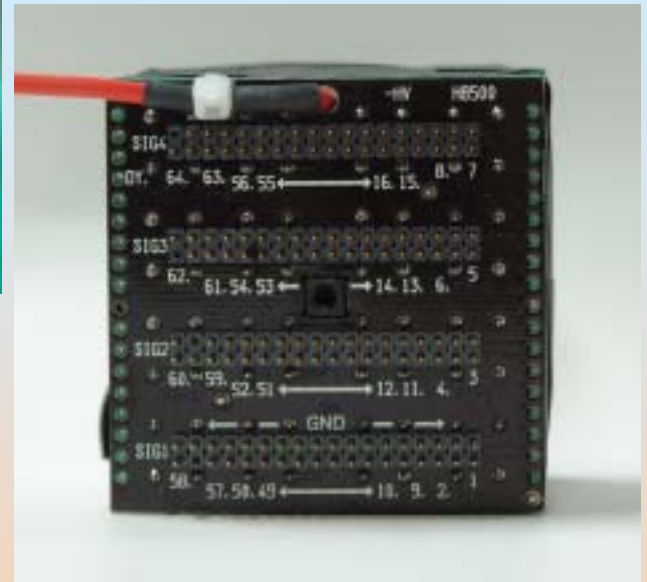
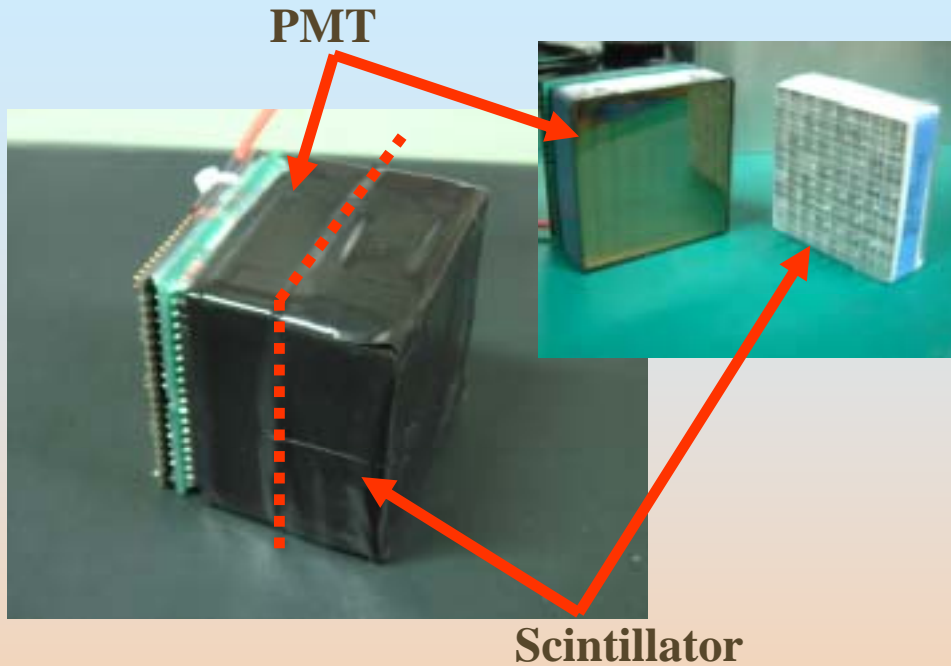
アノードゲインのUniformity

min : max = 1 : 2.6くらい

最大でも min : max = 1 : 3.75くらい



読み出し

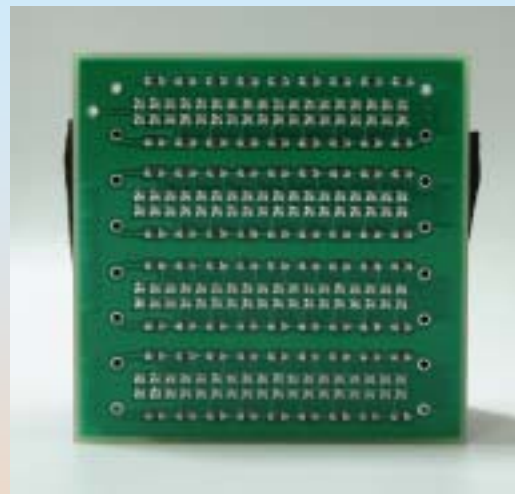
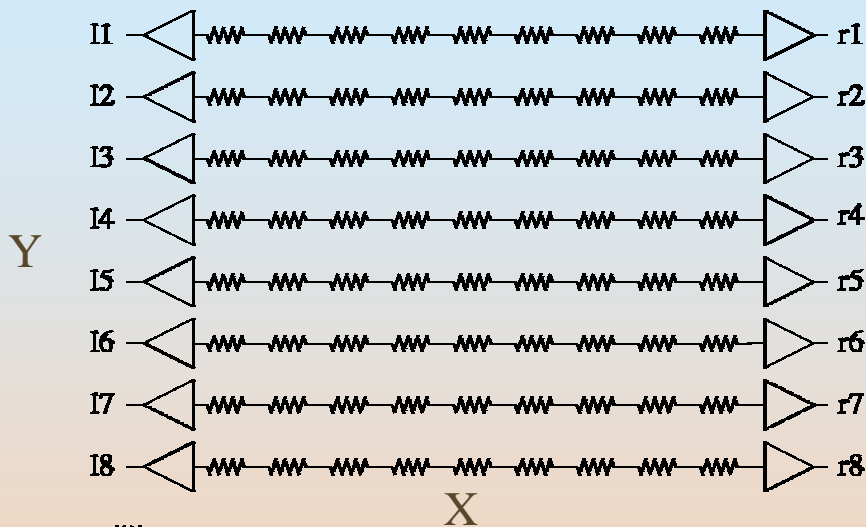


裏の読み出し部

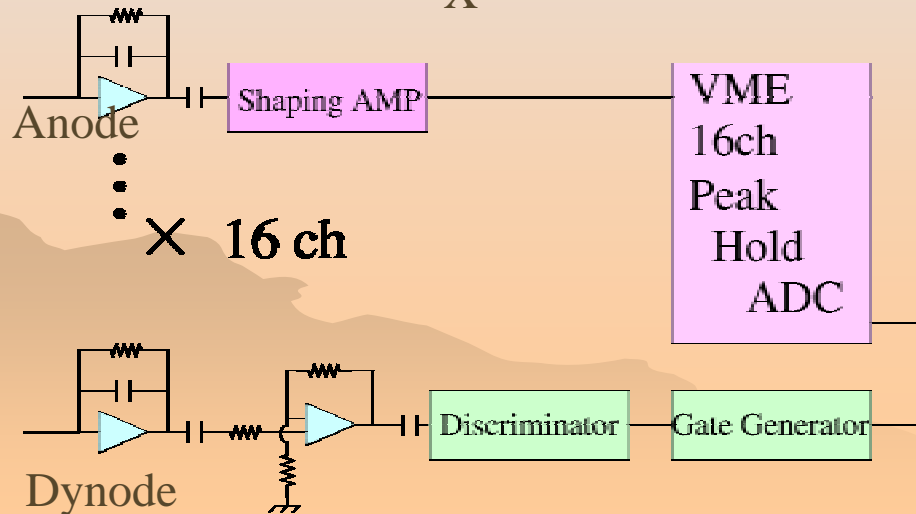
- 抵抗チェーンによる読み出し
- VAを用いた読み出し



抵抗チェーン16ch読み出し



H8500ゲイン 10^5 で動作



位置演算

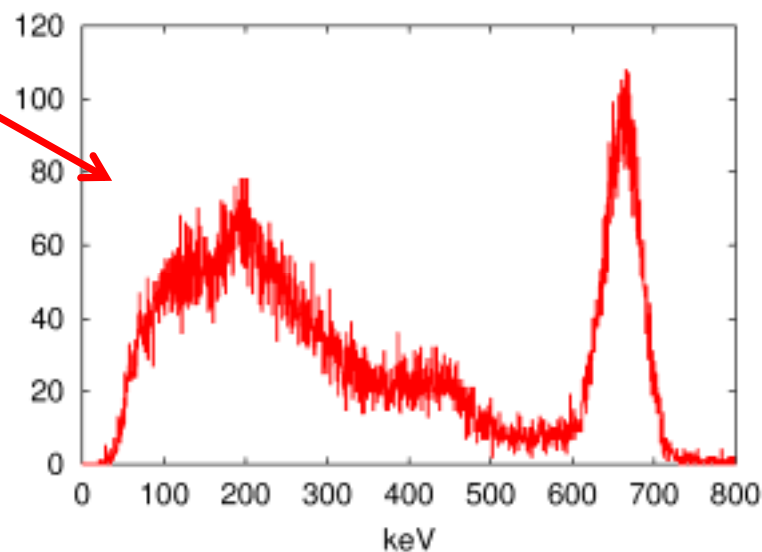
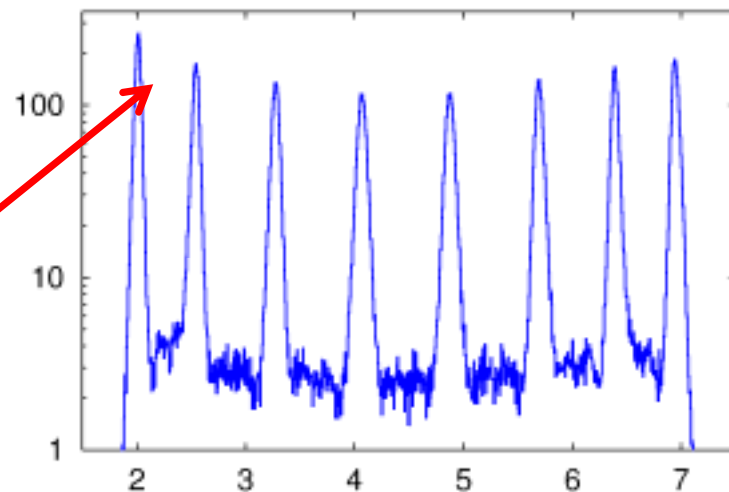
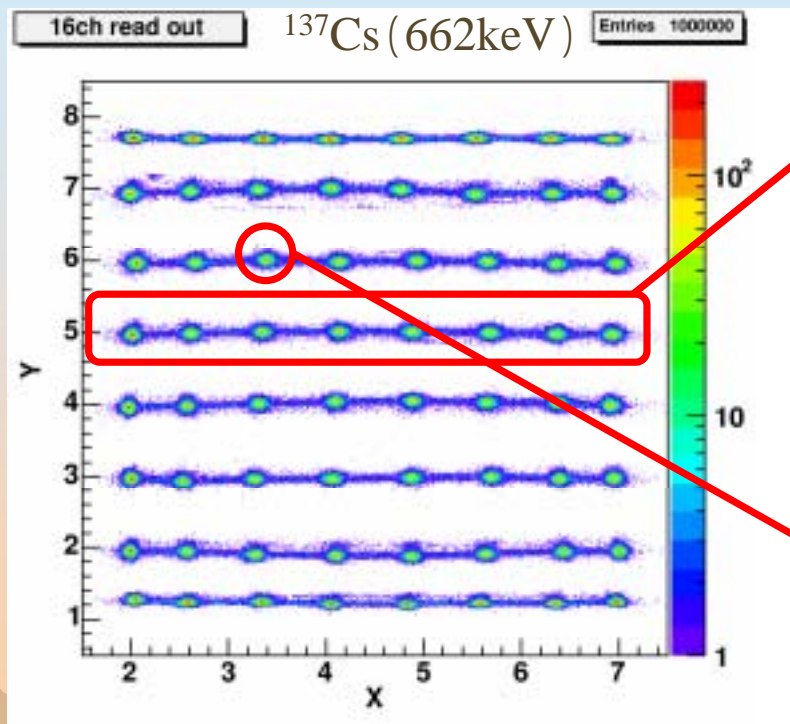
$P_i = l_i + r_i$ y: 重心演算

$P_{\max} = \max(P_i)$ x: 電荷分割法

$$y = \frac{\sum_{\max-1 < i < \max+1} P_i \cdot i}{\sum_{\max-1 < i < \max+1} P_i}$$

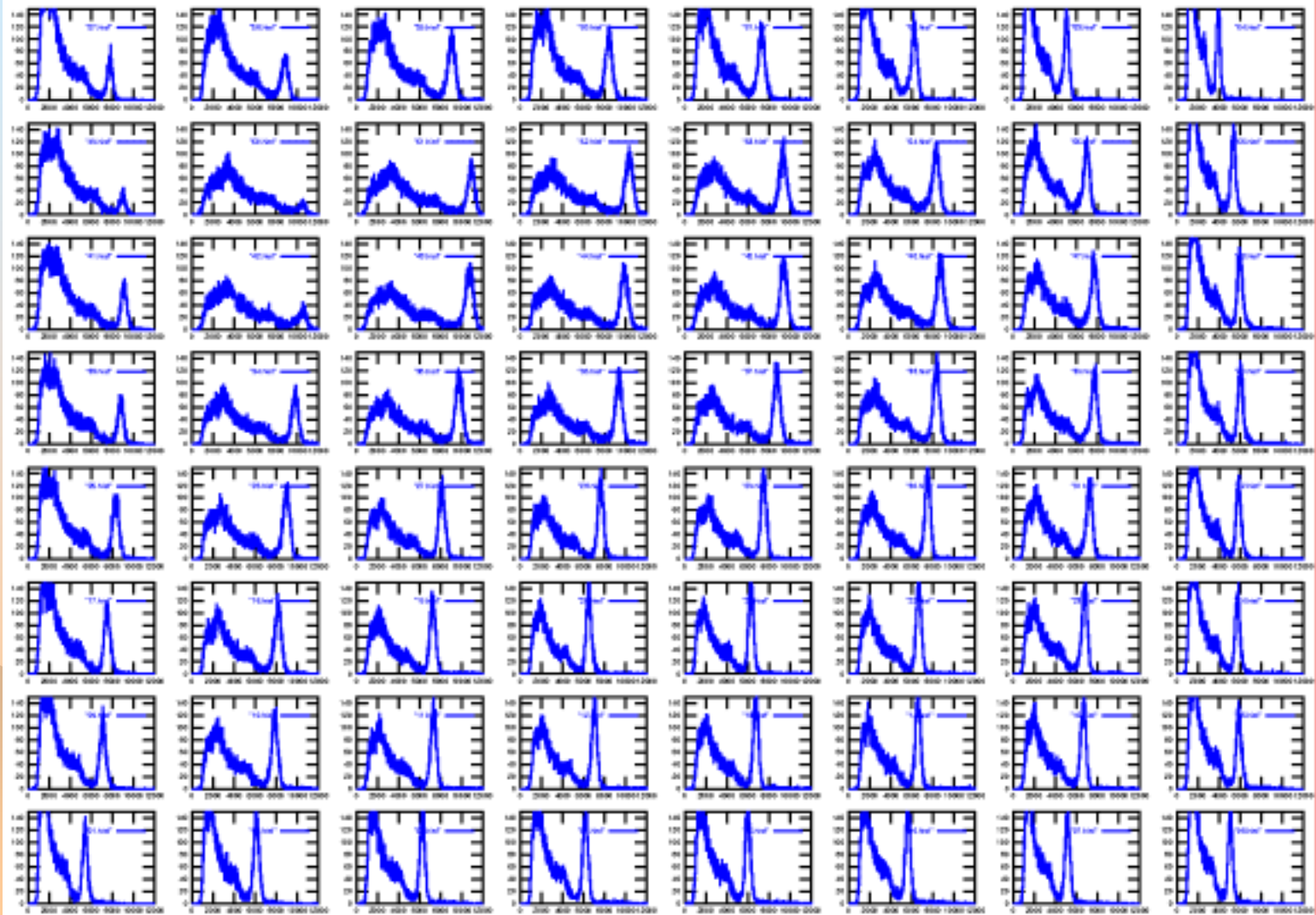
$$x = \frac{l_{\max}}{P_{\max}}$$

抵抗チェーン16ch読み出し



Energy resolution
8.7% @ 662keV (FWHM)

抵抗チェーン16ch読み出し



VAを用いた64ch読み出し

Head Amp+FADC module CP80068 (クリアパルス社製)



H8500



理研、山形大、阪大、金沢大
と共同

32ch 0.8um CMOS ASICs (IDEAS社製)

VA32_HDR14

PreAmp (ダイナミックレンジ ~ 15pC)
shaper (ゲイン 118mV/pC, peaking time 2us)
sample & hold
multiplex

TA32CG2

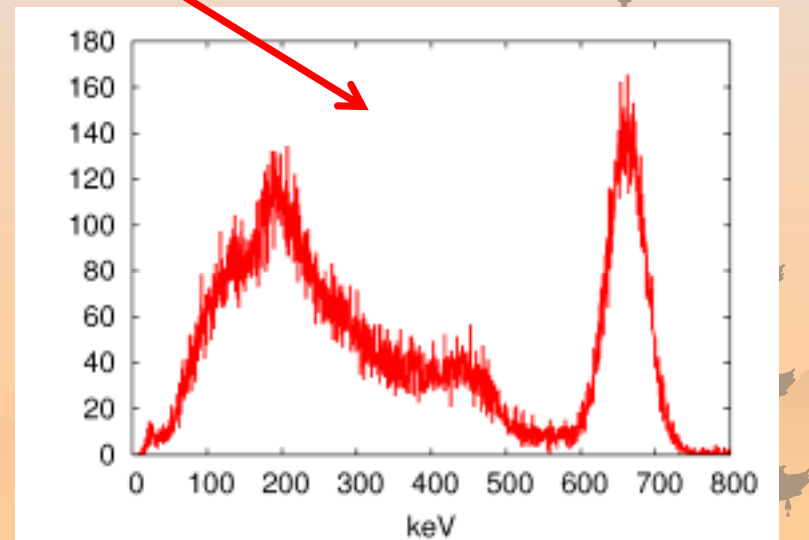
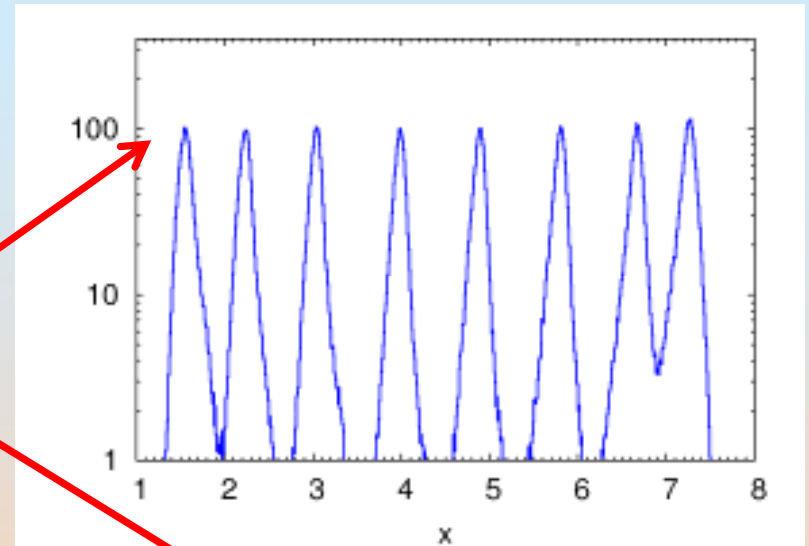
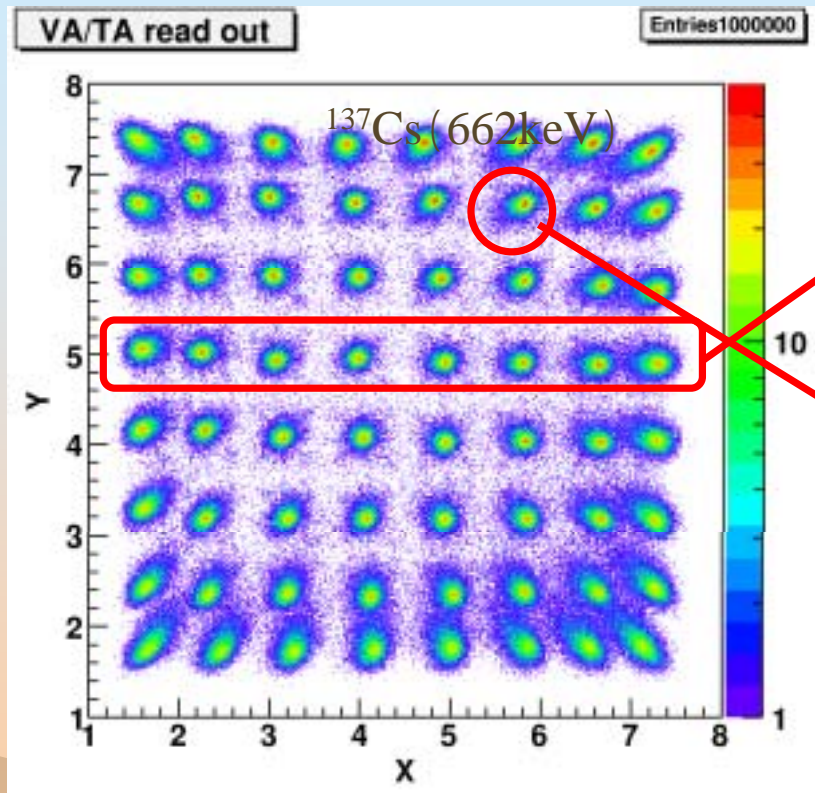
Fast shaper (peaking time 75 ns)
discriminator
wired OR

FADC

self trigger

入力ダイナミックレンジ ~ -15pC → H8500を低ゲイン 10^4 で動作
位置は全chの重心演算

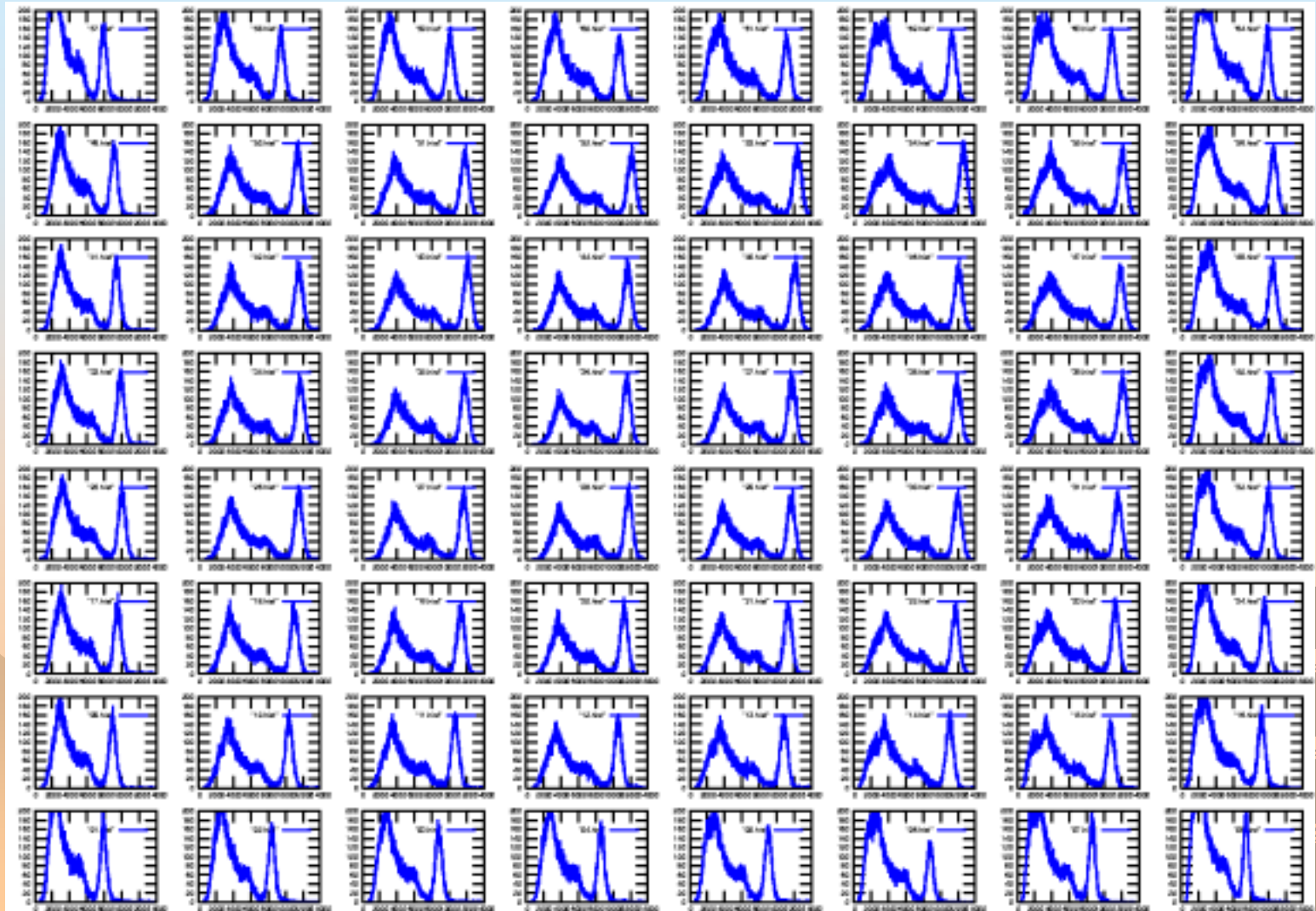
VAを用いた64ch読み出し



Energy resolution
9.5% @ 662keV (FWHM)

HV=630V, gain= 3×10^4

VA 64ch読み出し



energy分解能: 662keV(¹³⁷Cs) FWHM

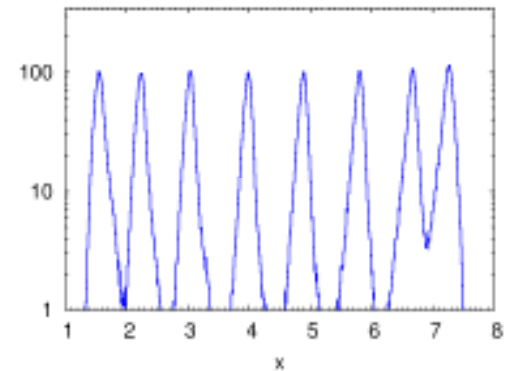
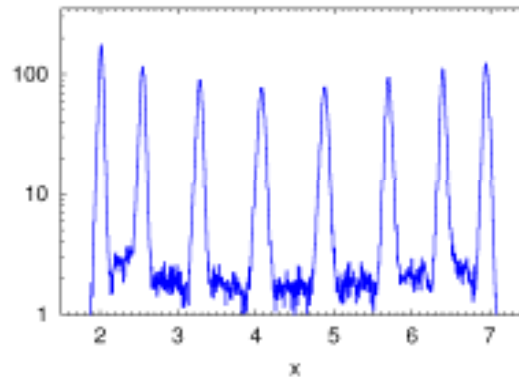
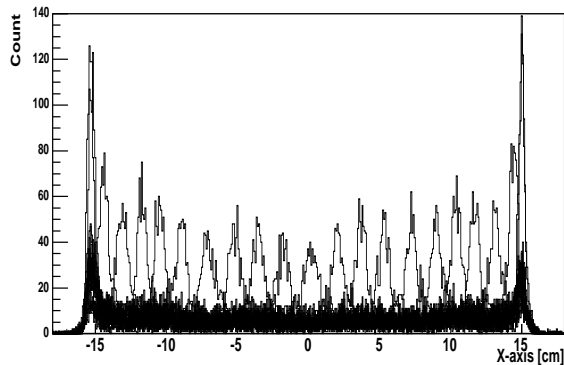
Single Anode アンガー	抵抗チェーン 16ch	VA 64ch
7.1%	8.7%	9.5%

位置分解能

アンガー

抵抗チェーン16ch

VA



- VAは入力ダイナミックレンジの狭さが問題。
- 気球実験を念頭に置くとアンガーは使えなさそう。



抵抗チェーンを使いますか。



大面積化

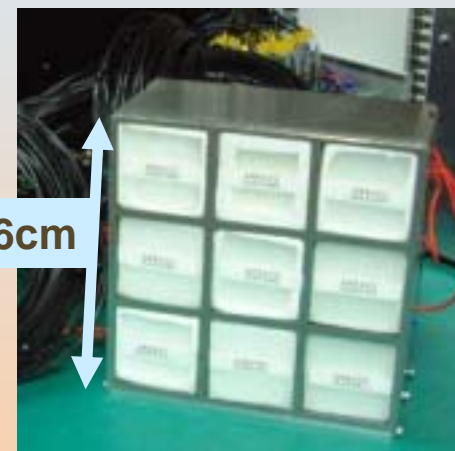
5cm角64chScintillation cameraを並べる



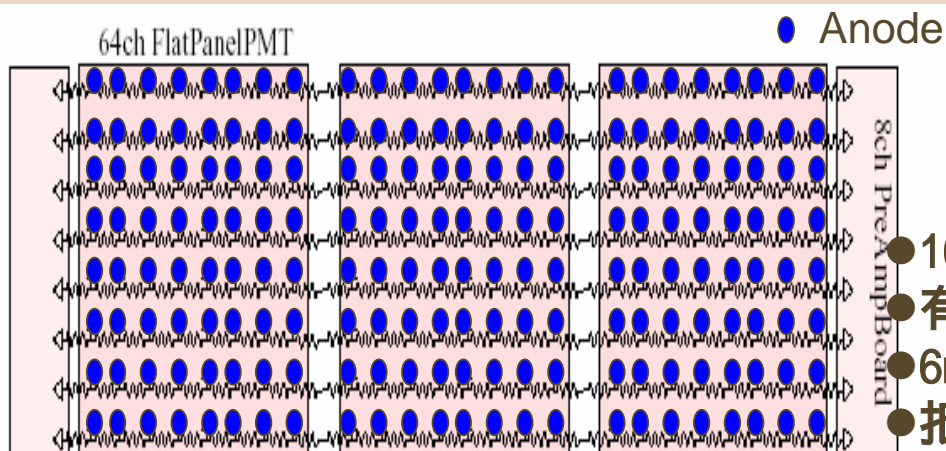
隣のPMT抵抗チェーンとつなげる。

3段重ねる

192(8 × 8 × 3)pixelを16chで読み出す

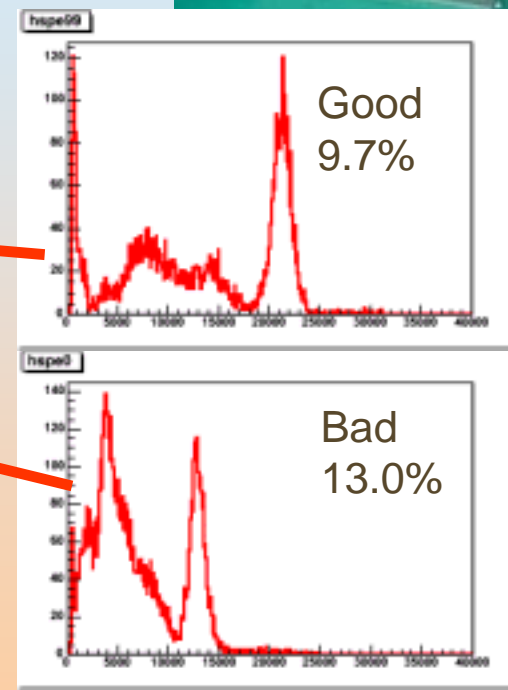
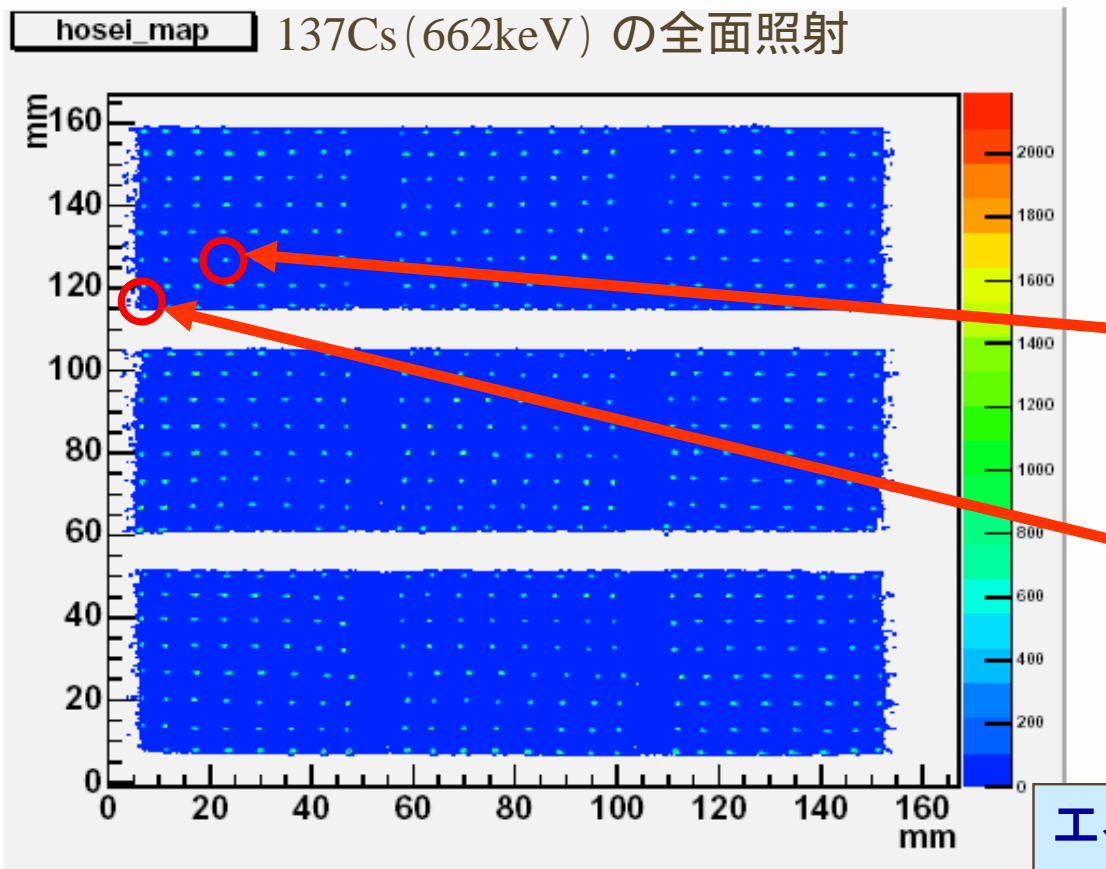


16cm



- 16cm角シンチレーションカメラ
- 有効面積 81%
- 6mm角(192pixel × 3=)576ピクセル
- 抵抗チェーン48ch読み出し

576ch底面Scintillation camera

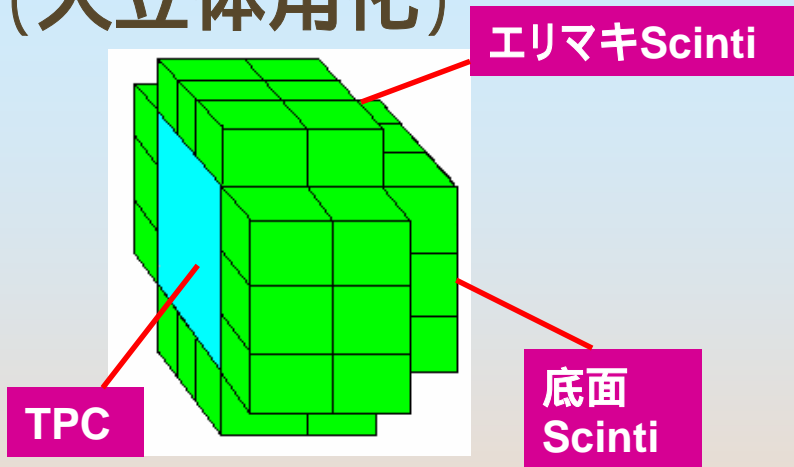


エネルギー分解能 (typ.)

~10%(FWHM) @662keV

576ピクセル分別可能・10cm角TPC対応

さらに大面積化 (大立体角化)



底面のみ (192pixel × 3)



底面 (192pixel × 3)

+

エリマキ (192pixel × 4 × 2段)

(192pixel × 11)

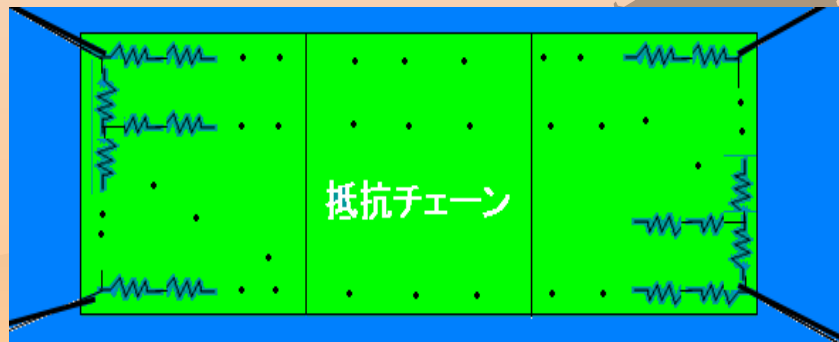
192pixel 16ch読み出し → 16ch × 11 = **176ch**

(ちなみにShaping Amp+ADCで ~ 1.5W / ch 食う)

気球に載せることを考えるとけっこう大変。。

省電力化

読み出しを 192pixel
16ch 4chに



ついでに...

気球仕様として、よりコンパクトにデザイン

192pixel 4ch読み出し

DAC(林栄精器社製)
により5V供給

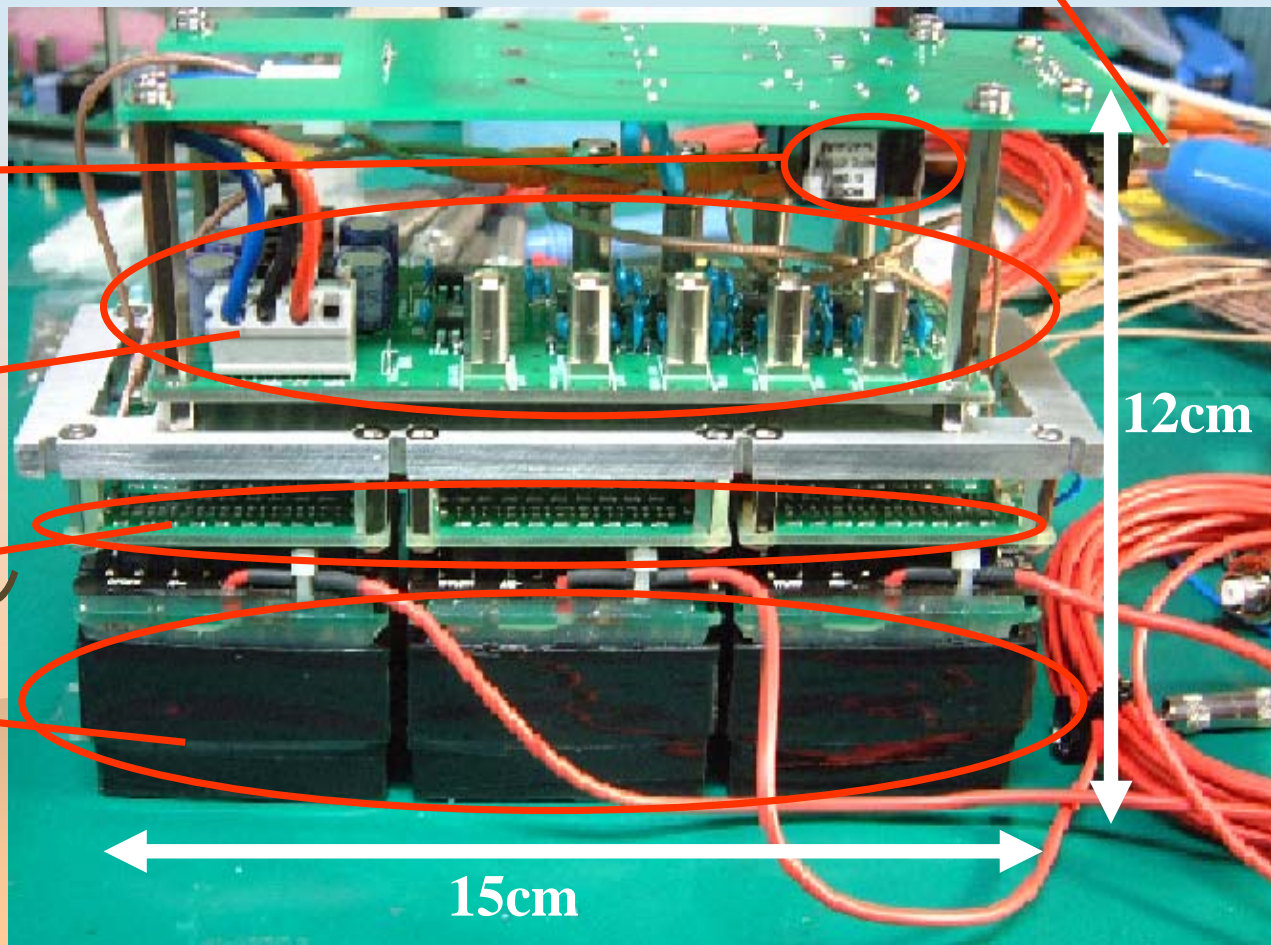
D-subコネクタ
(PreAmp電源、HV用)

PMT用HV
コンバータ
Q12N
(EMCO社製)
1cm角

PreAmp

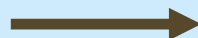
抵抗チェーン

Scintillator
+
PMT

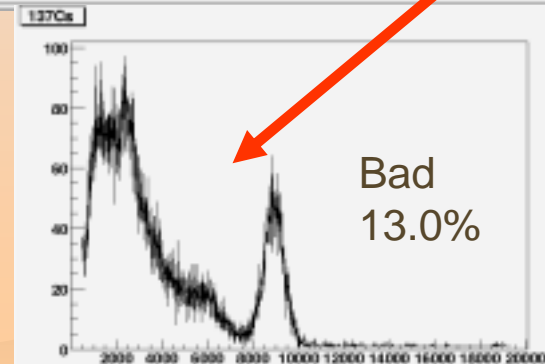
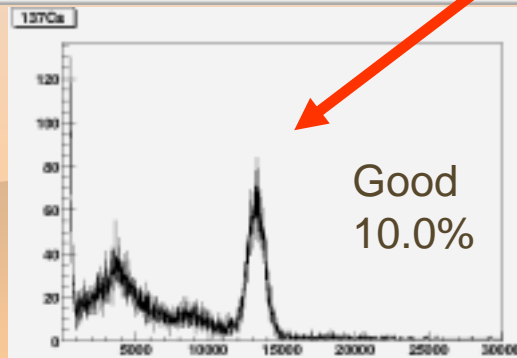
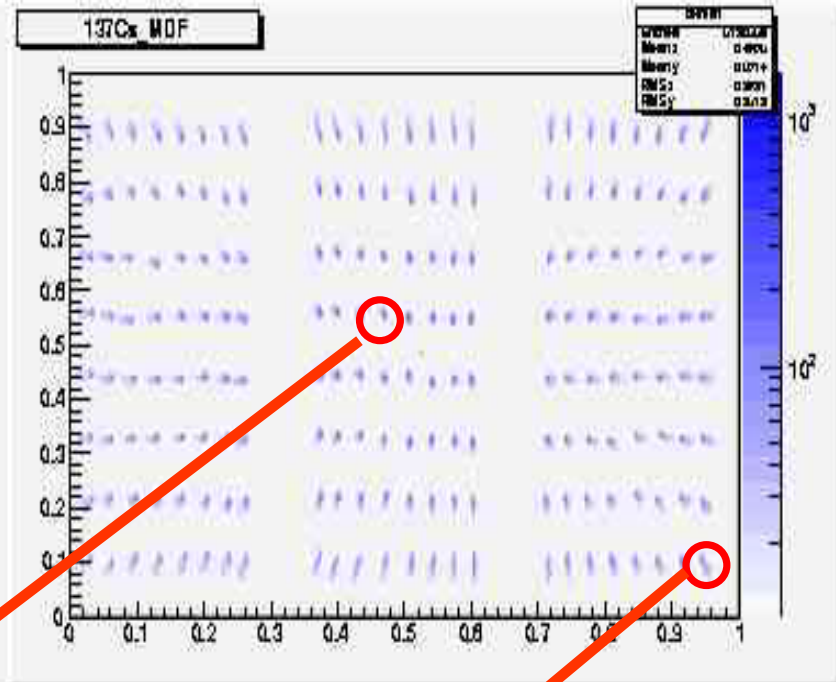
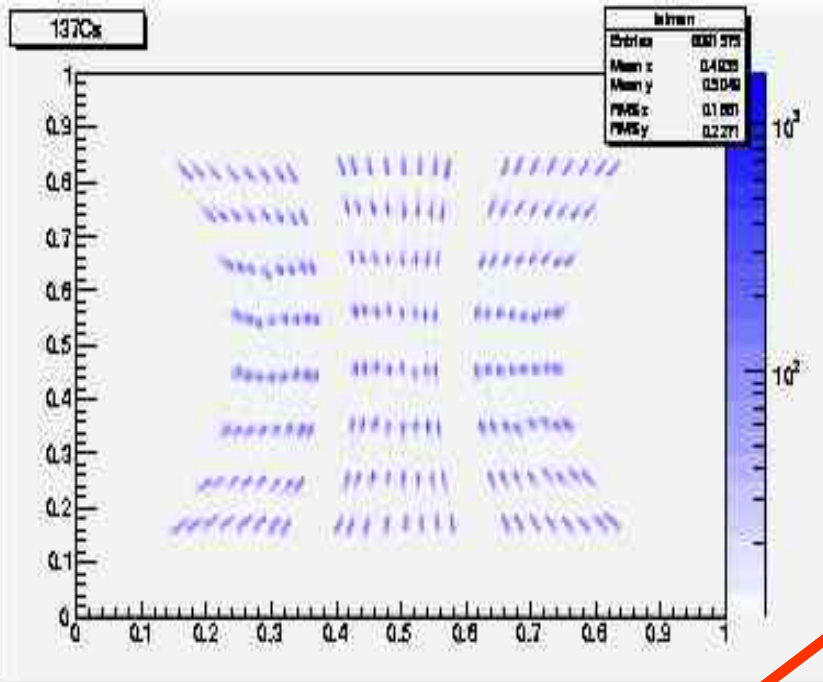


192ch 4ch読み出し

バタフライ効果により曲がる。



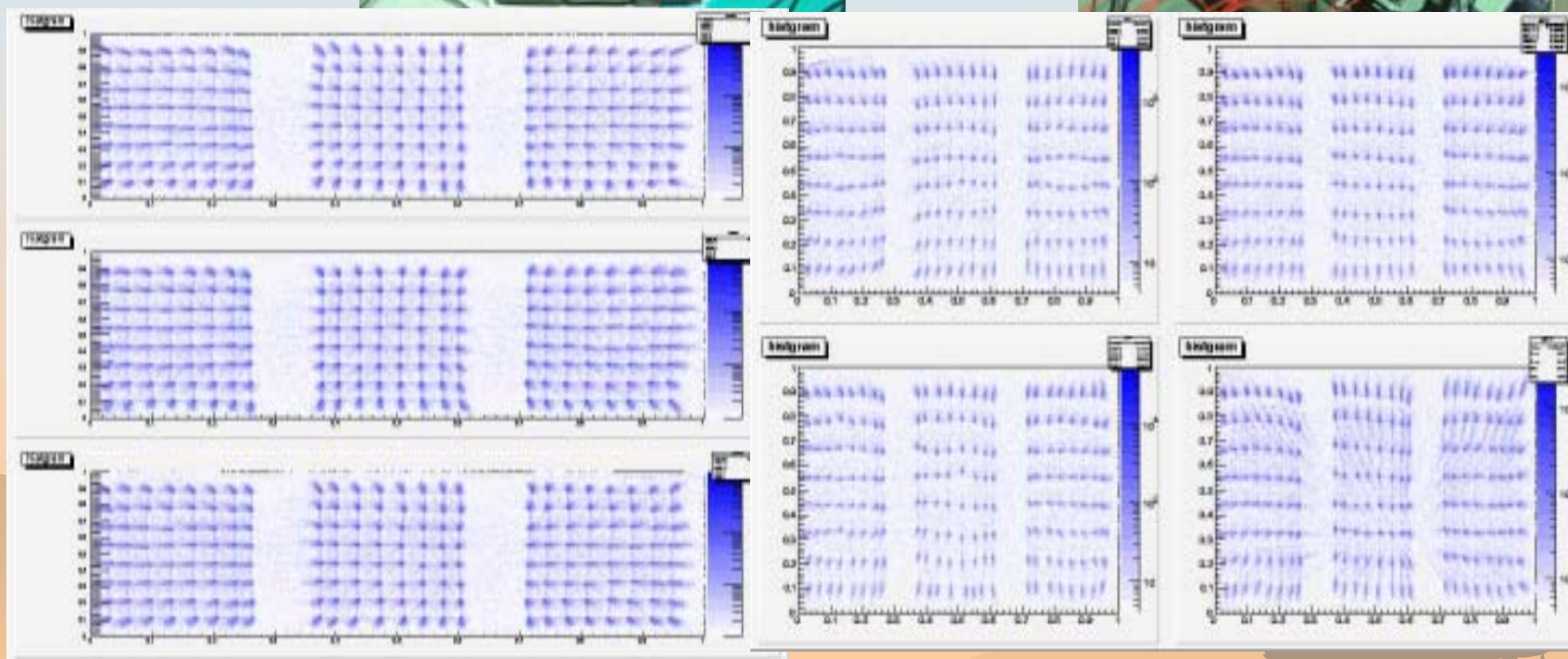
補正



192pixel 分別可能

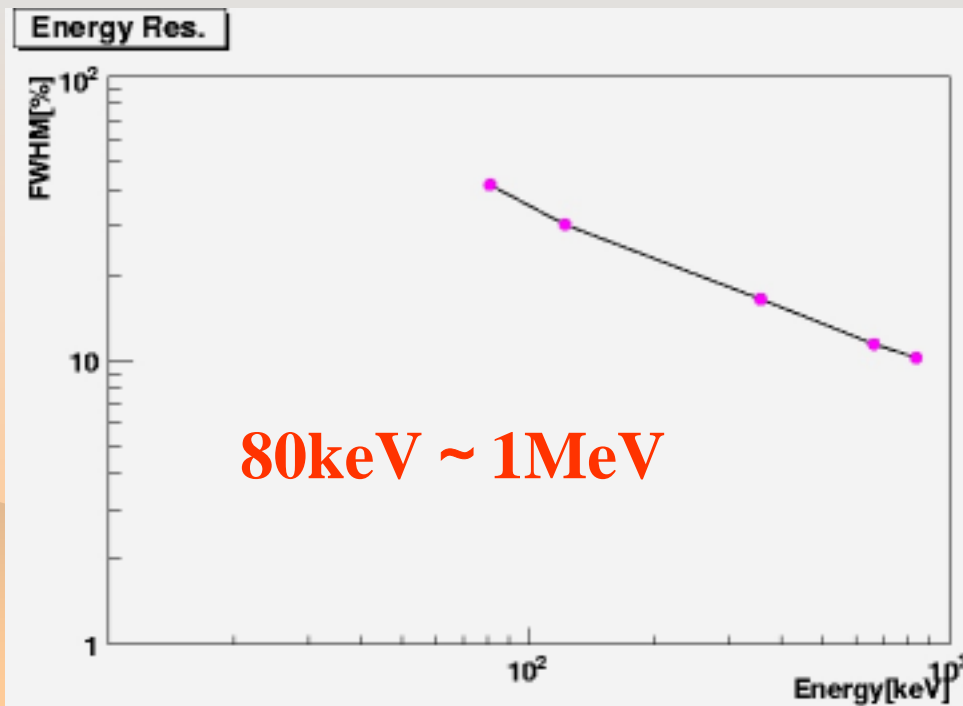
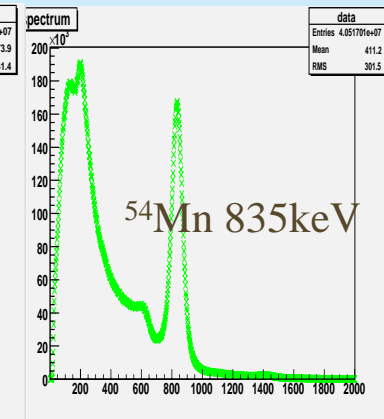
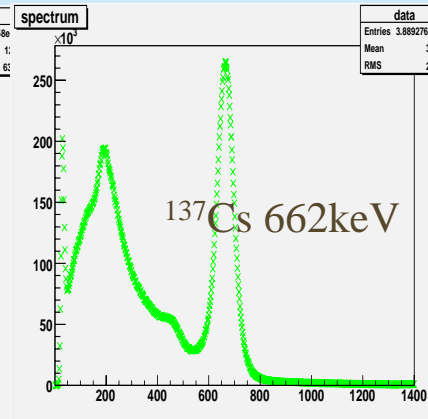
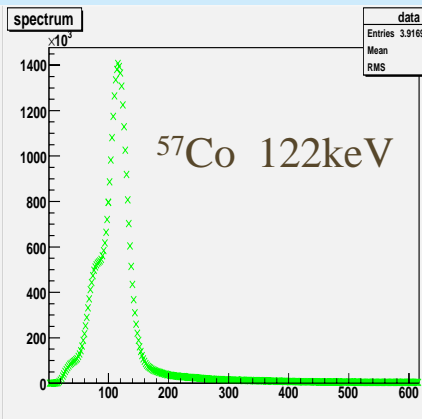
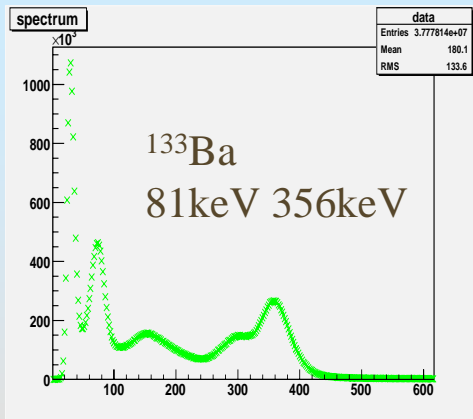
(192 × 3=)576ch底面+(192 × 4=)768chエリマキ 1 段目

^{137}Cs 照射

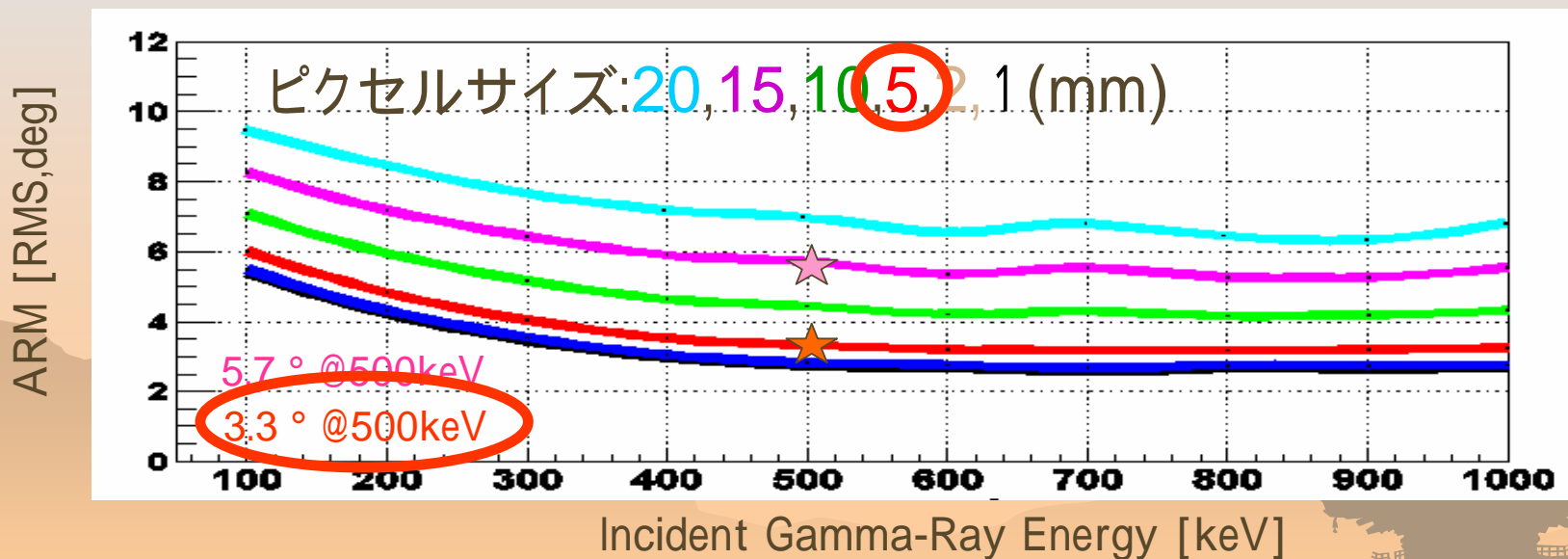
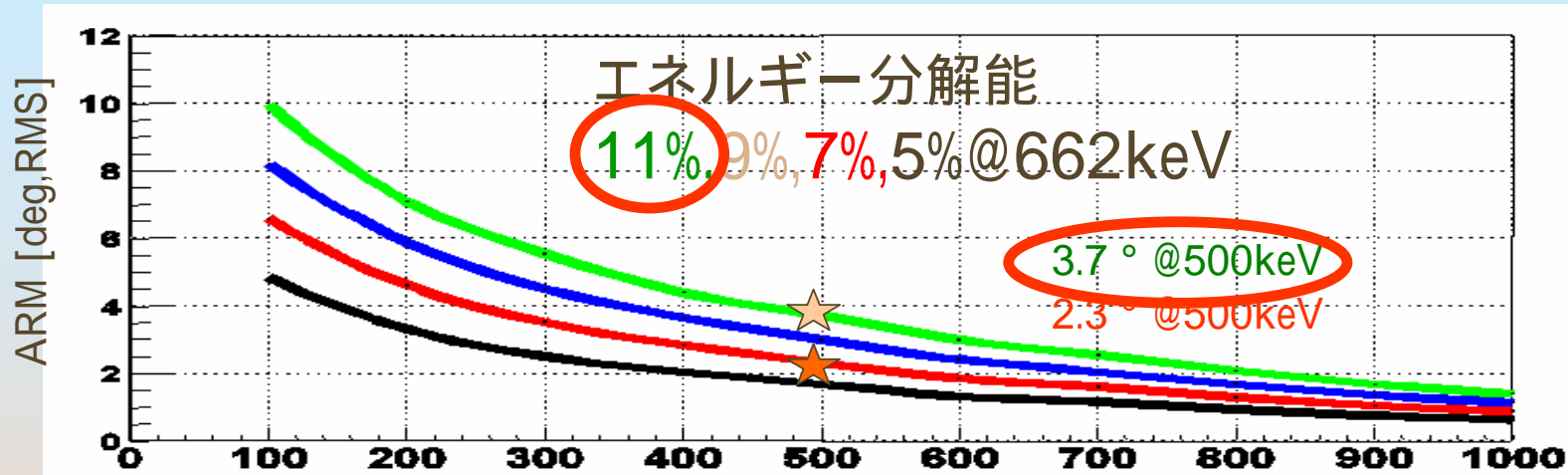


エネルギー分解能 (typ.) ~ 11%(FWHM) @662keV

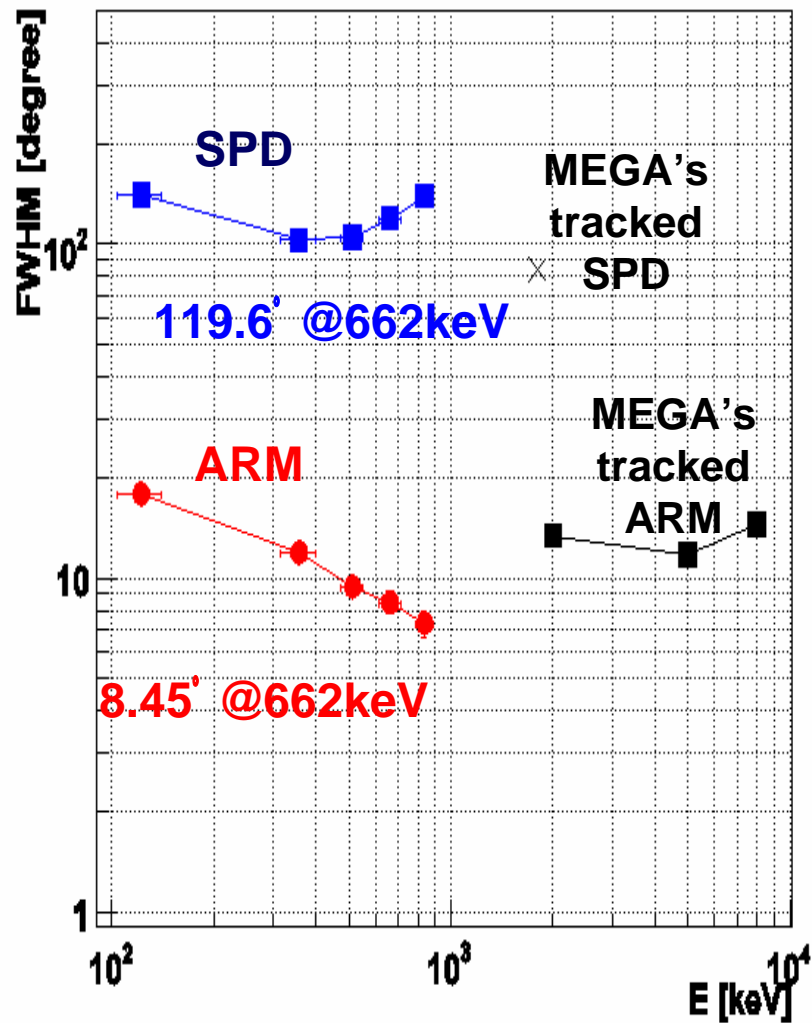
ダイナミックレンジ



以上より、現段階では $ARM \sim 4^\circ$ (RMS) が見込める



MeVの結果との比較



若干条件が異なることを考慮



大体近い値が出ている

MEGA

Si tracker + CsI(Tl)シンチ

A.Zoglauer, et. al.

IEEE Trans. Nucl. Sci. in press



まとめ

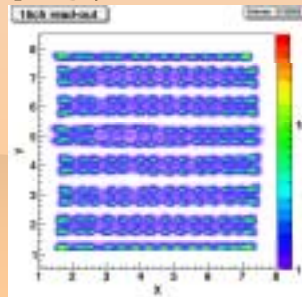
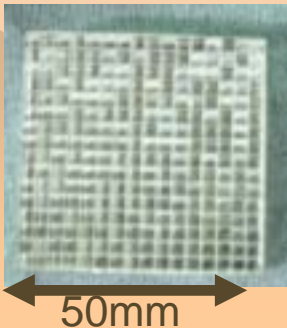
- ❁ 気球実験に向けMeVコンプトンカメラを開発
- ❁ GSO, フラットパネルH8500を用いる
- ❁ 読み出しは抵抗チェーン(192 pixel 4ch)
- ❁ 位置分解能6mm
- ❁ Energy分解能11% @662keV
- ❁ 大面積化、省電力化に成功



今後の予定

- ❁ 現在エリマキ2段と底面でtest 中
- ❁ これを用いて気球実験へ
- ❁ その後はより高い分解能、大面積、省電力を求め
 - ・3mm角のScinti、H9500等の評価
 - ・クリアパルスのシステムを以下に変更したものの
VA32_HDR14 VA32_HDR11
(-35pC ~ 25pC)のテスト
 - ・更なるASICの開発

GSO3mm角と
線再構成図



現在の気球仕様モデル

おわり

