



シンチレーションカメラ (MeV γ カメラ 散乱 γ 検出部) の製作

京都大学宇宙線研究室 M1

西村 広展

- 1、散乱 γ 線カメラ
- 2、アンダーカメラ
- 3、ピクセルカメラ

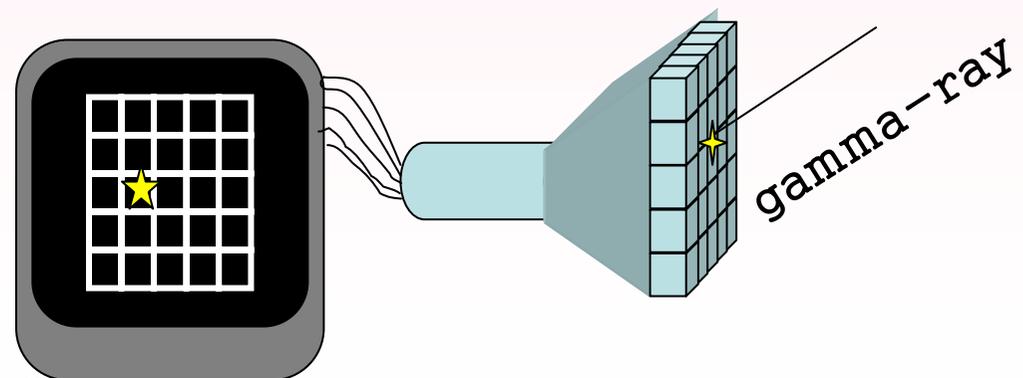
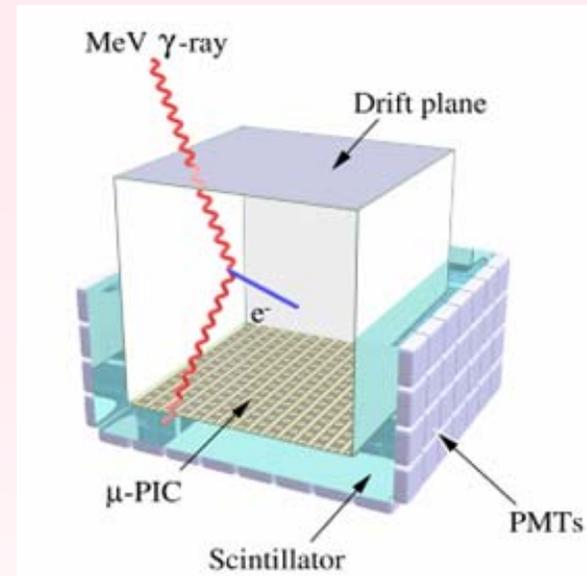


1、散乱γ線カメラ

- 二次元位置分解能 数mm
- エネルギー分解能 9%(FWHM)
@662keV
- Energy band 100keVから2MeV
- 吸収係数大
- 大面積 (30cm × 30cm) × 5
- 安価
- 低電力
- 大強度

⇒ シンチレーターの利用

2005/2



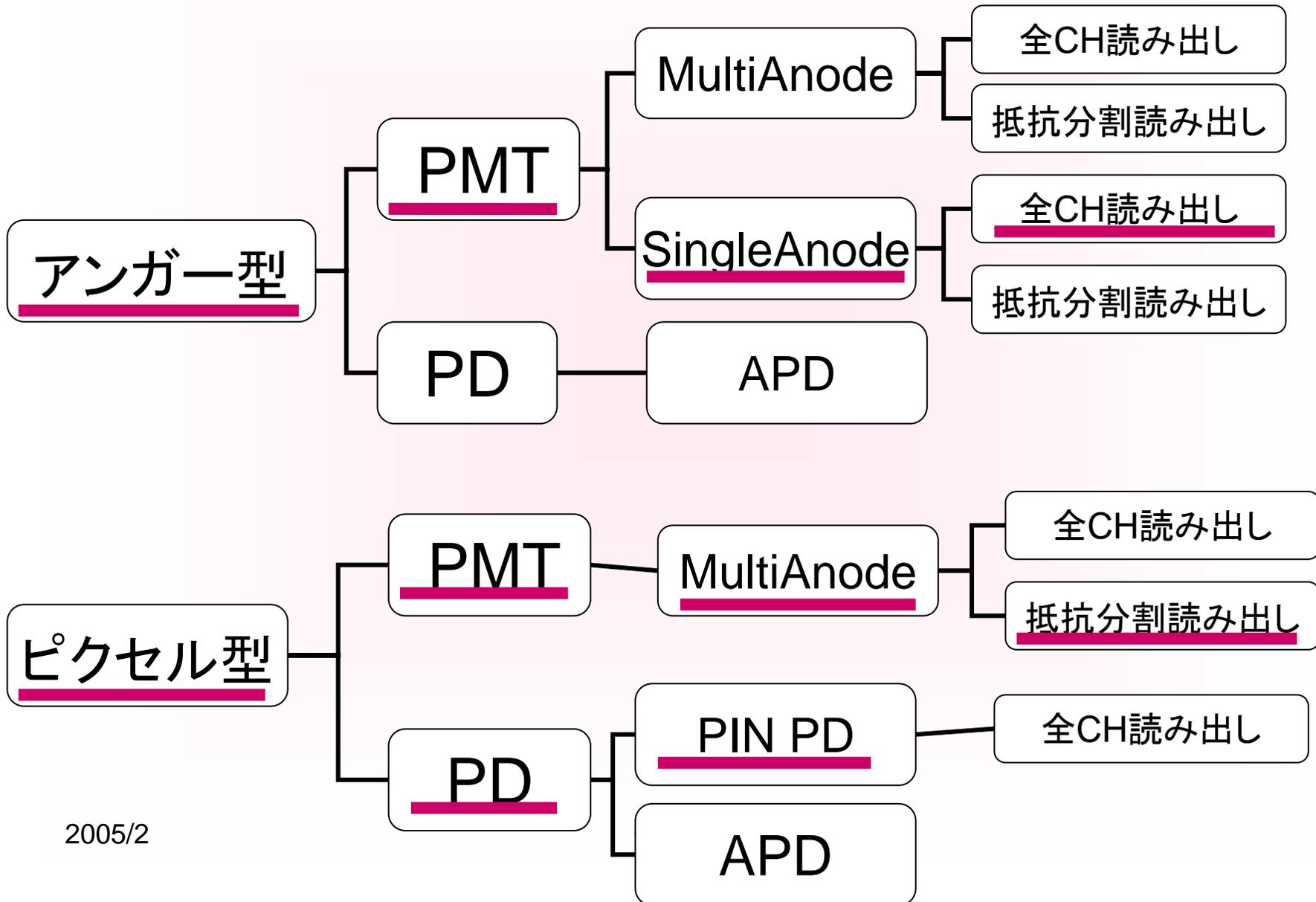
@hakuba



シンチレーター形状

光デバイス

読み出し回路

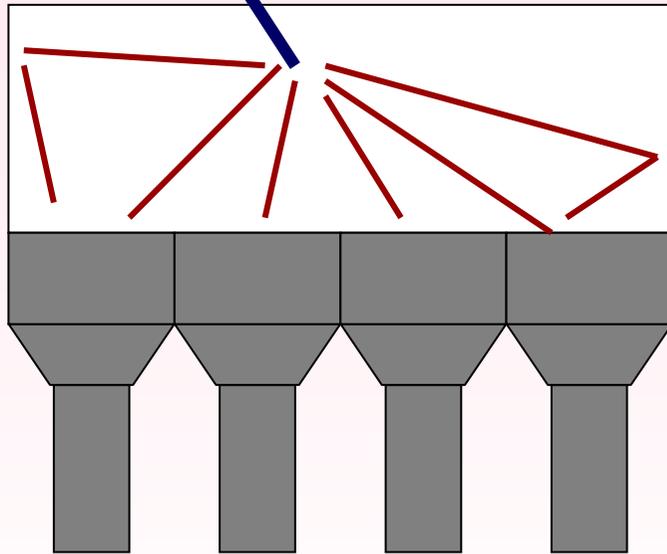




シンチレーターの形状

γ -ray

アンガー型

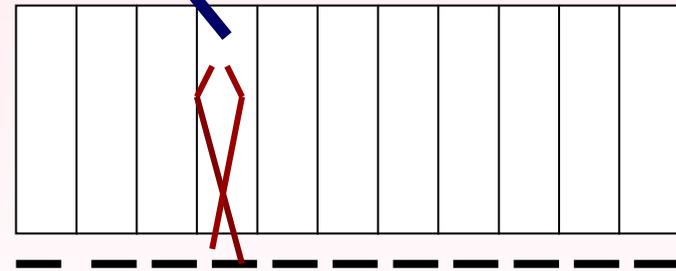


一枚結晶 \Leftrightarrow 複数PMT

- ・光量重心分布で位置を計算
- ・大きな結晶ができれば簡単

ピクセルアレイ型

γ -ray

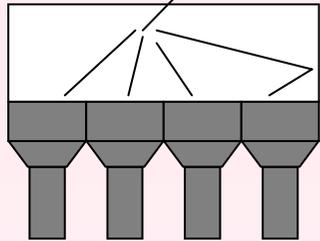


ピクセル結晶 \Leftrightarrow 光デバイス

- ・一対一対応
- ・位置分解能が良くなる



2、アンガーカメラの製作



●シンチレーター

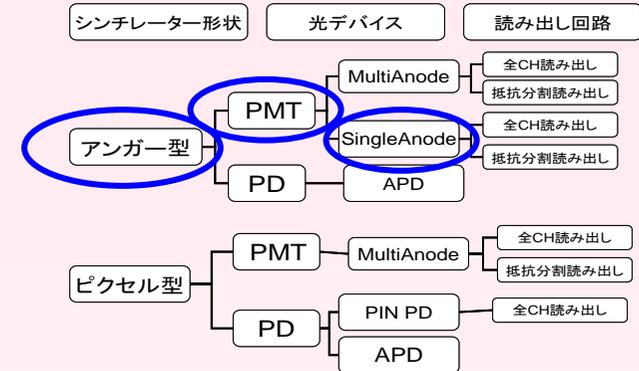
安さ、大きさ、発光量、均一性

⇒NaI(Tl) 厚さ25mm

●光デバイス

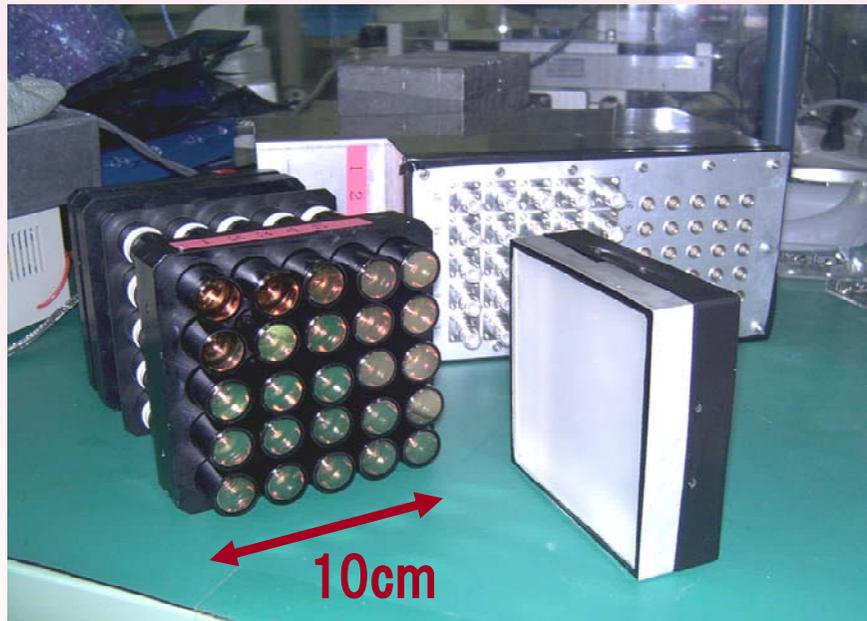
安さ、大きさ、取り扱いやすさ

⇒single Anode PMT





アンガー型カメラの 製作



有効面積8cm × 8cm

MeV γ カメラに組み込み⇒散乱 γ を捕らえることに成功
ただし、有効面積小 (MeV γ カメラの検出効率小)

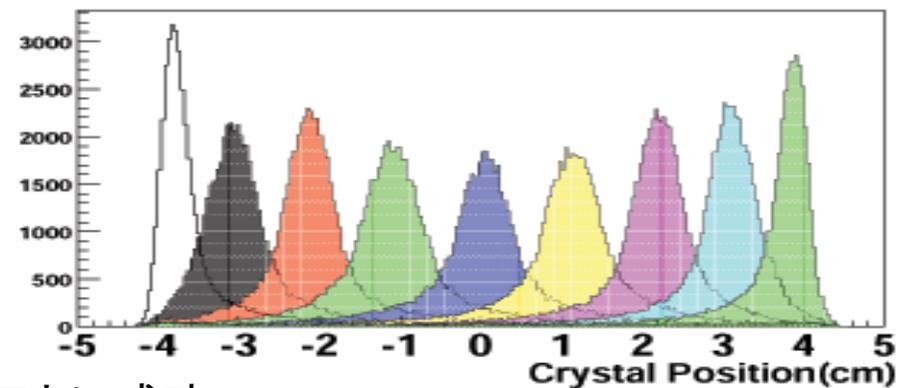
2005/2

@hakuba

4インチ角NaI(Tl) +
3/4インチ PMT5 × 5

位置分解能 7mm
@662keV (FWHM)

エネルギー分解能 9.1%
@662keV (FWHM)



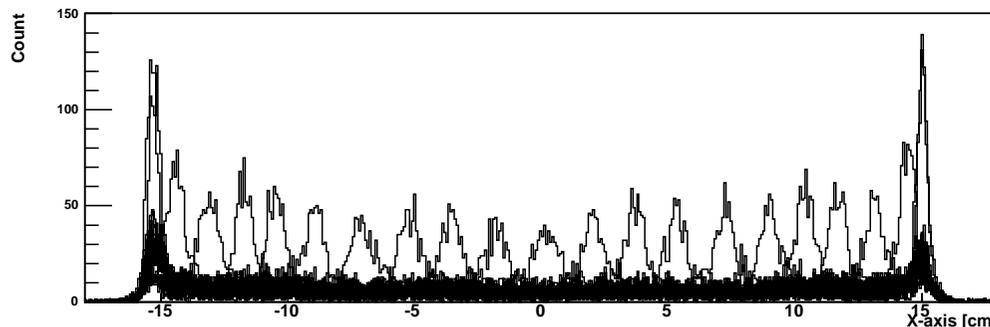
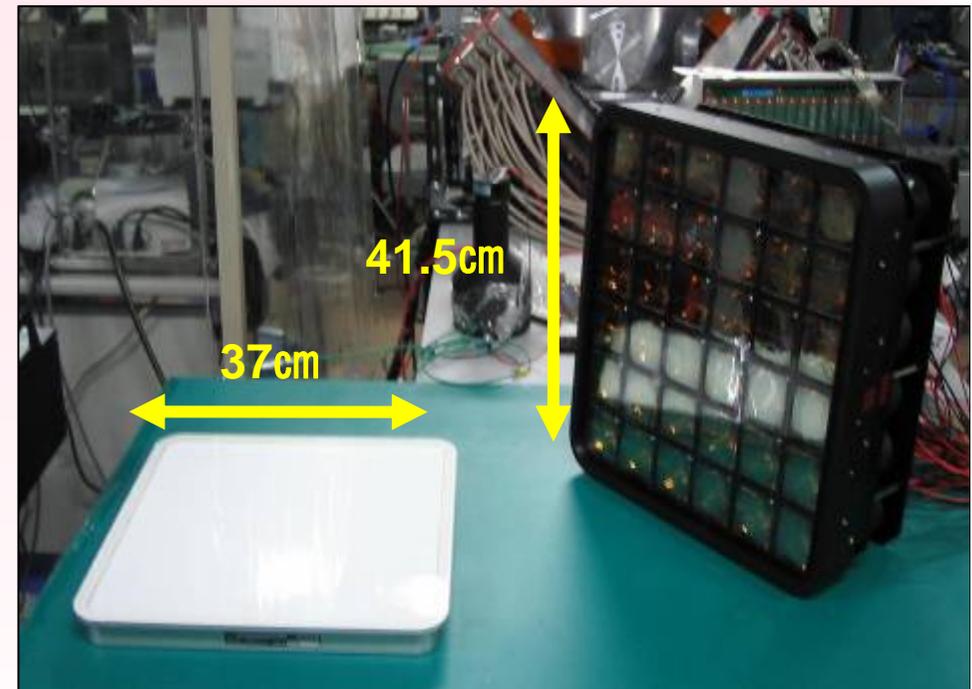
大型化へ。



大型アンダーカメラ

15インチ角NaI(Tl)＋
2インチ 角PMT
(HPK R6236)6×6

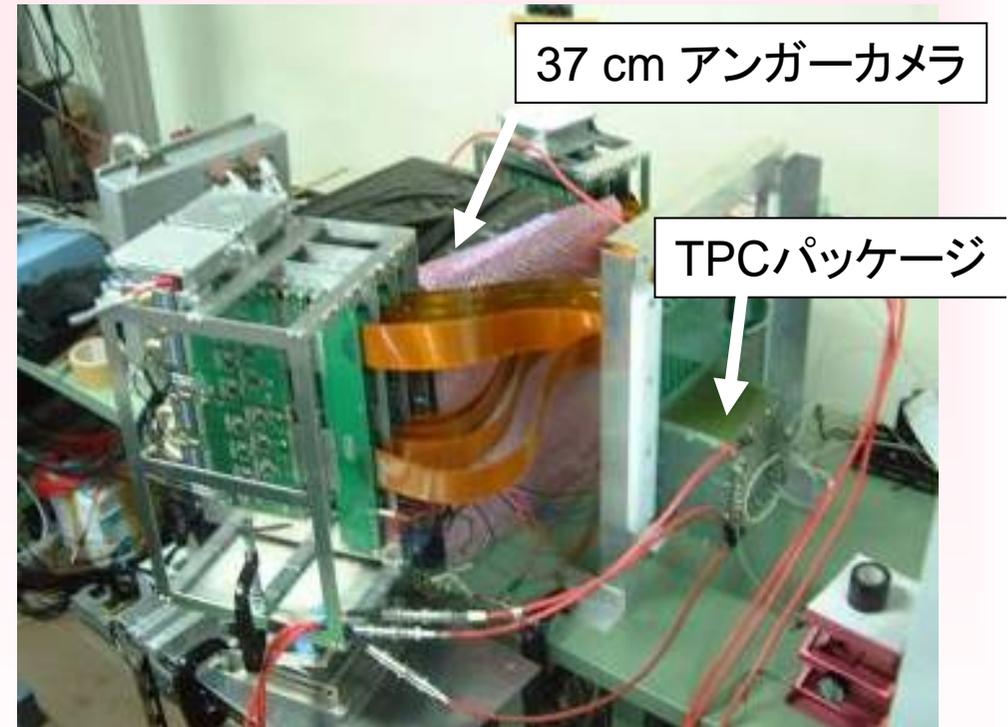
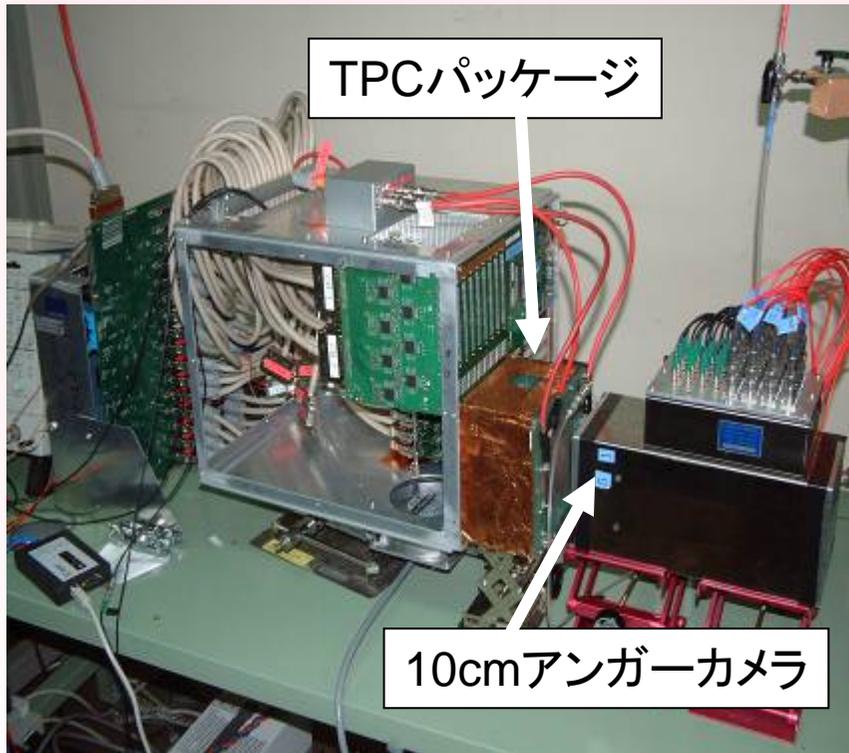
位置分解能10mm
@662keV (FWHM)
エネルギー分解能8.5%
@662keV (FWHM)



重心計算30cm角有効
有効面積～70%vs結晶面
散乱 γ 検出確認。



散乱ガンマ線検出部として 実用化



□10cmTPC+10cmアンガーカメラ

□10cmTPC+30cmアンガーカメラ

さらに位置分解能と広面積を求めて

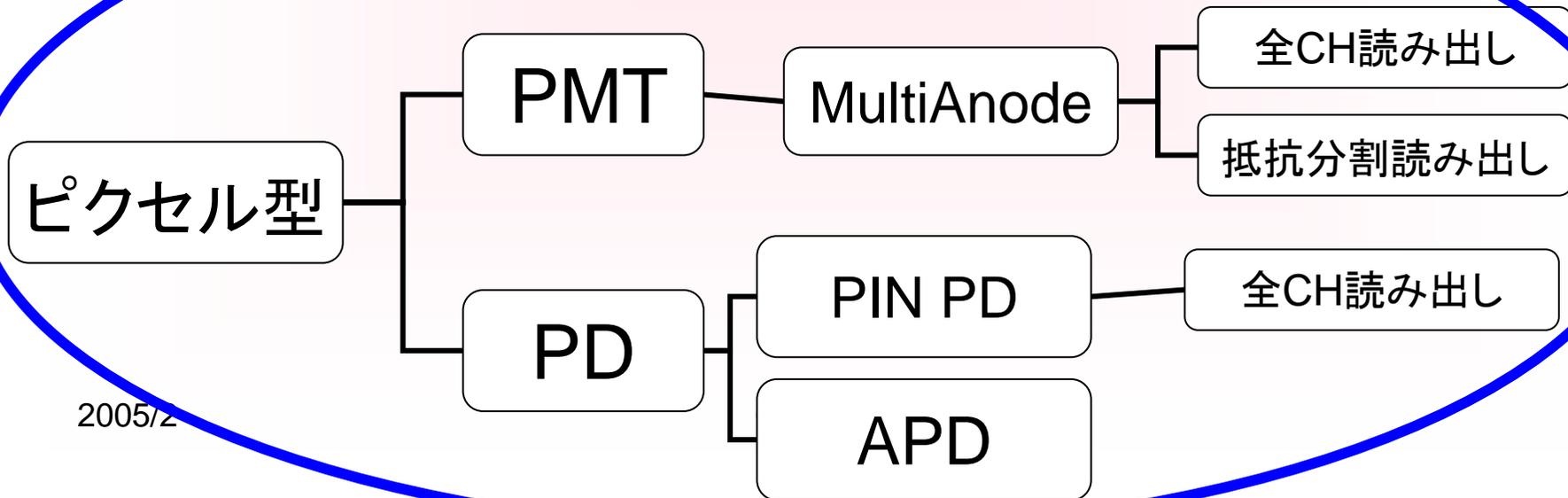
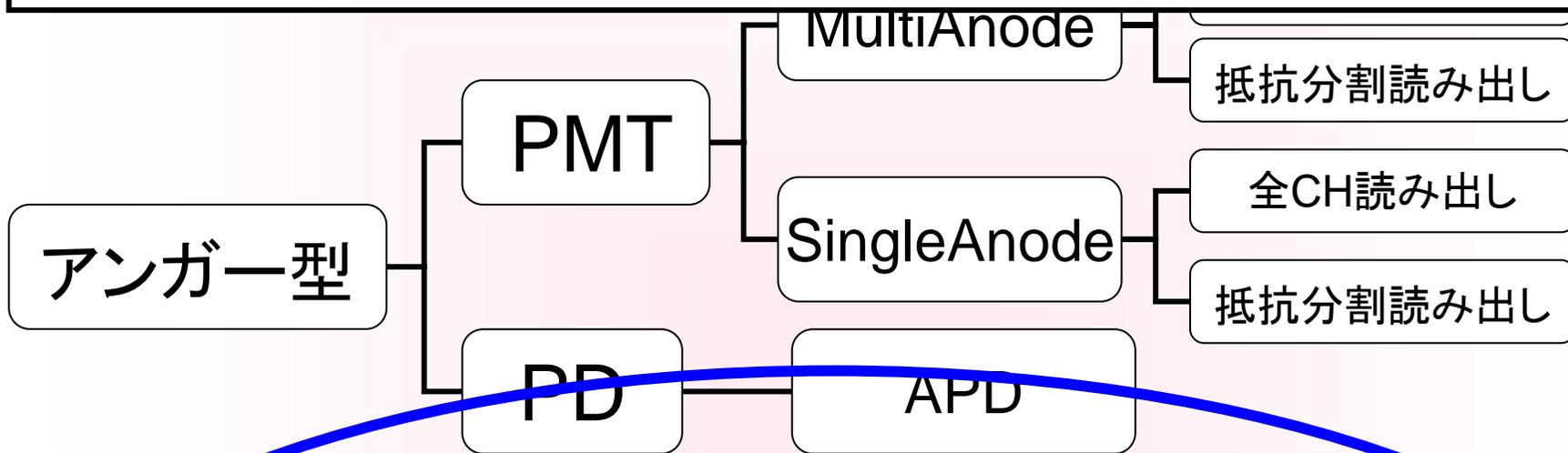
2005/2

@hakuba

ピクセル型へ



3、ピクセル型シンチレーションカメラ





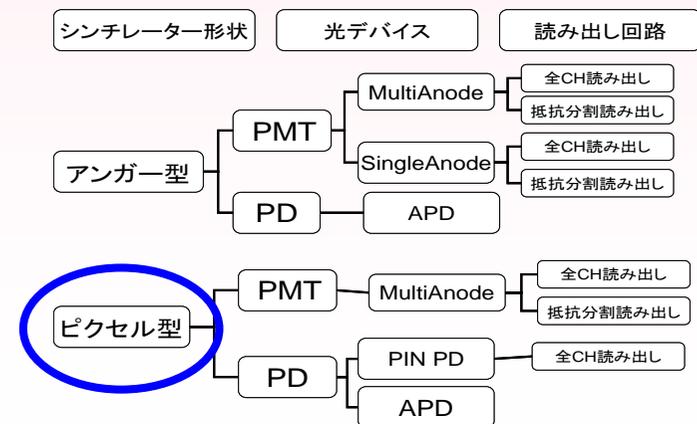
ピクセルシンチレーターアレイの製作

- 結晶種とピクセルサイズ
 - CsI (TI) □ (5~6mm × 20mm)
 - GSO □ (5~6mm × 13mm)



□6mm × 13GSOピクセル8 × 8

- 反射材⇒エネルギー分解能にも強い影響
 - テフロン
 - ゴアテックス(ゴアテックス社)
 - ESR フィルム(3M社)
- アレイの組み立て (省略)





結晶種の選択

	密度 (g/cm)	吸収係数 (cm ⁻¹) (@511keV)	減衰時定数 (ns)	光量 v.s.Na(Tl)
NaI(Tl) 潮解性強	3.67	0.34	230	1
CsI(Tl) 潮解性弱	4.53	0.44	1050	0.85
GSO 潮解性無	6.71	0.70 サイズが小さくなる	<u>~60</u> 高計数に有利	0.18



シンチレータ用 ピクセルアレイ 光デバイス



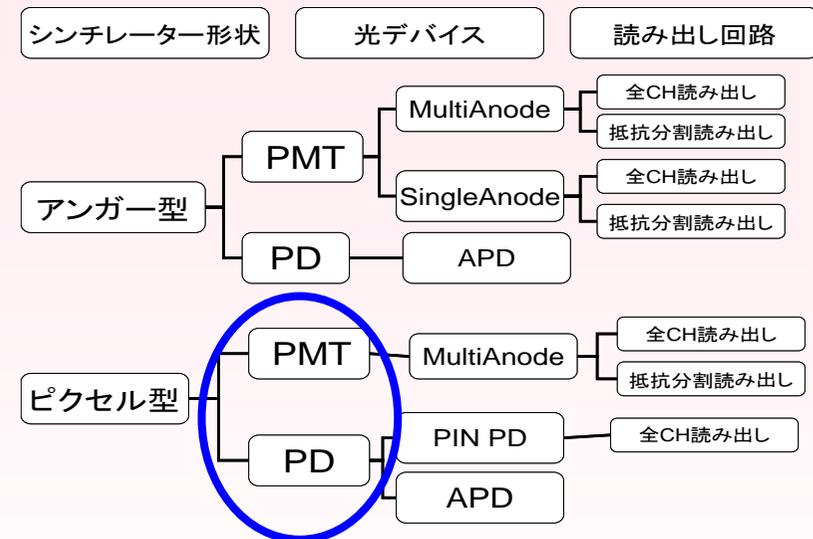
有効面積大 かつ 小さいピクセル光デバイスアレイ

- PhotoDiodeArray
PIN型Si半導体アレイ

- マルチアノードPMT

複数のアノード読み出しを持つPMT

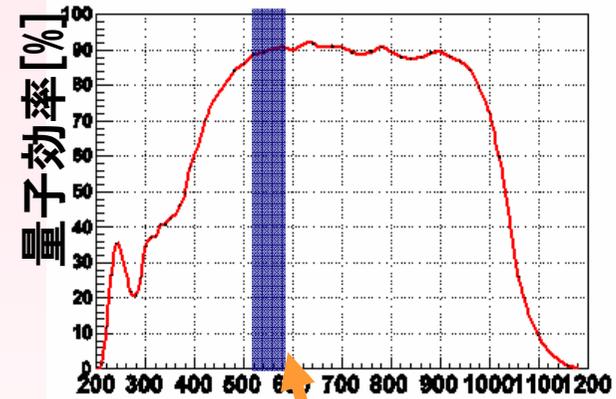
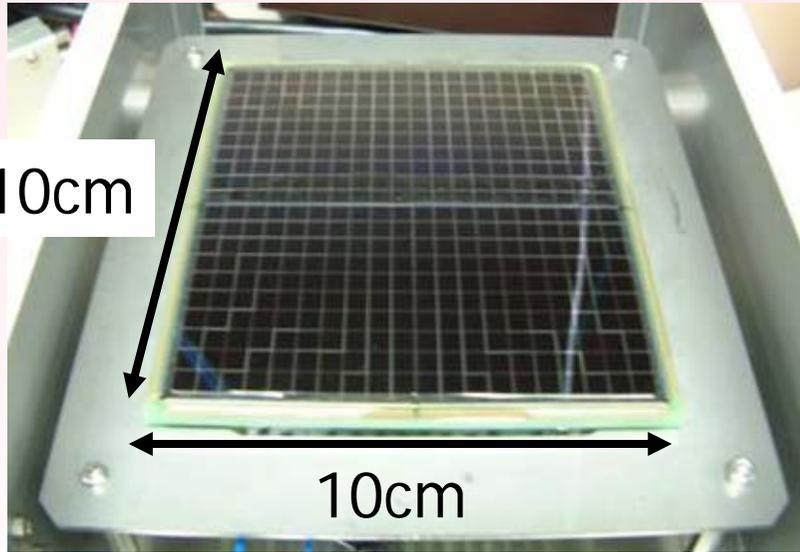
HPK FlatPanelPMT (H8500、H9500)





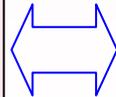
Si PINフォトダイオードアレイ

4.5x4.5mm² 20×20chアレイ
大面積フォトダイオード



量子効率
89%@540nm(CsI(Tl) λ max)

有効面積**81%**
軽量
低電力



信号小
振動弱

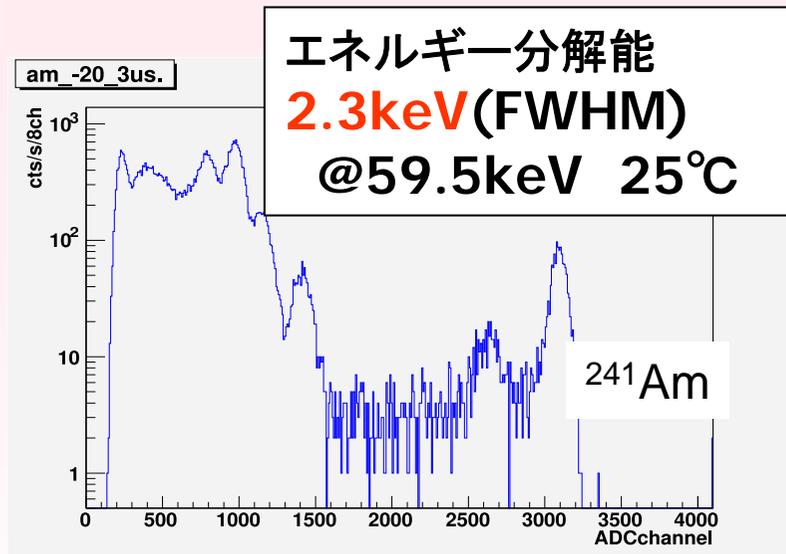
分解能にノイズの影響が現れる

端子間容量 = **10~15pF**@70V
暗電流 = **0.2~1.1nA**@25°C

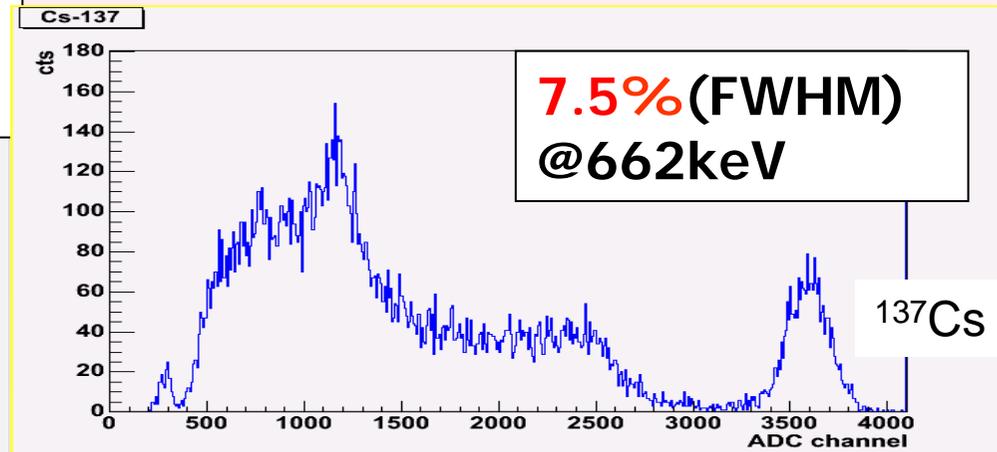


フォトダイオードアレイの評価 (1ピクセル毎の読み出し)

X線直接照射スペクトル



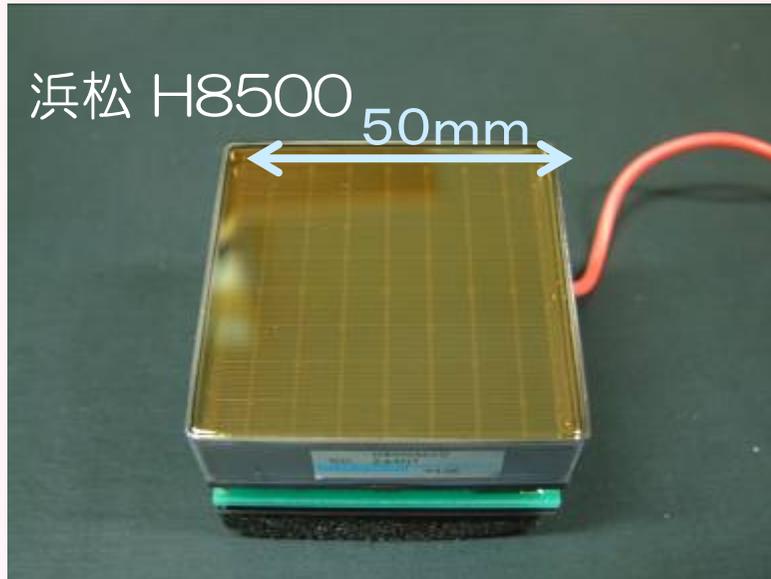
CsI (TI) 読出しのエネルギースペクトル
(4.5mm角×20mm ピクセル)



ただいまCsI(TI)シンチレーターアレイ接着中
あとは400ch 読み出し回路のみ。。。

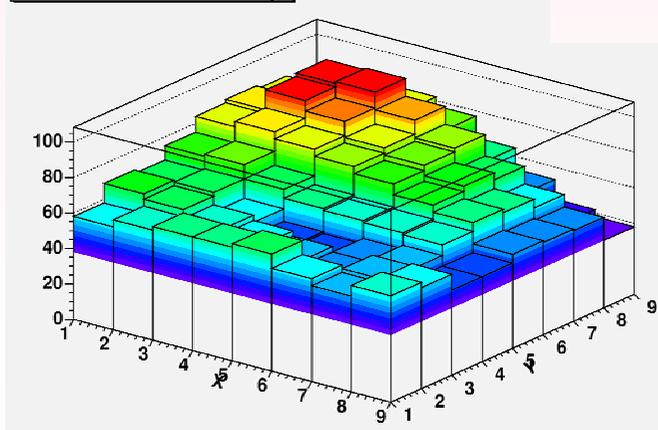


フラットパネルPMT



- 8×8 マルチアノード
- 12段 metal channel dynode
- ゲイン 10^6 @-1000V
- Rise time 0.8 ns
- Photo Cathode Coverage

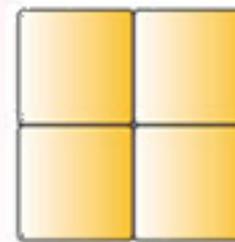
ZA3115 Anode Uniformity



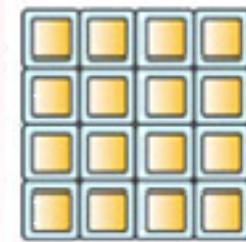
例えば
10cm角 γ カメラ



H8500 R7600(従来型)



充填率: 89%



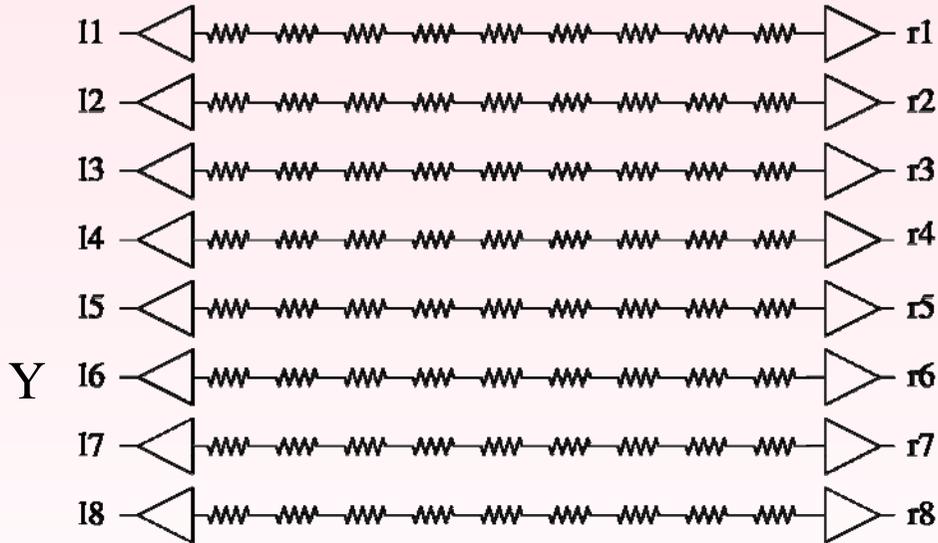
49%

アノードゲインのUniformity
1:2.6 位のばらつきがある

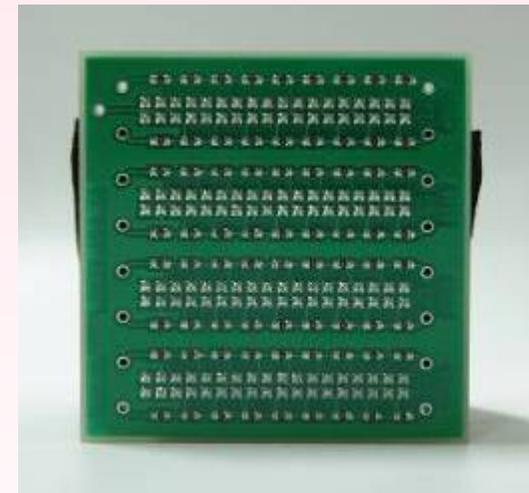


信号読み出し回路

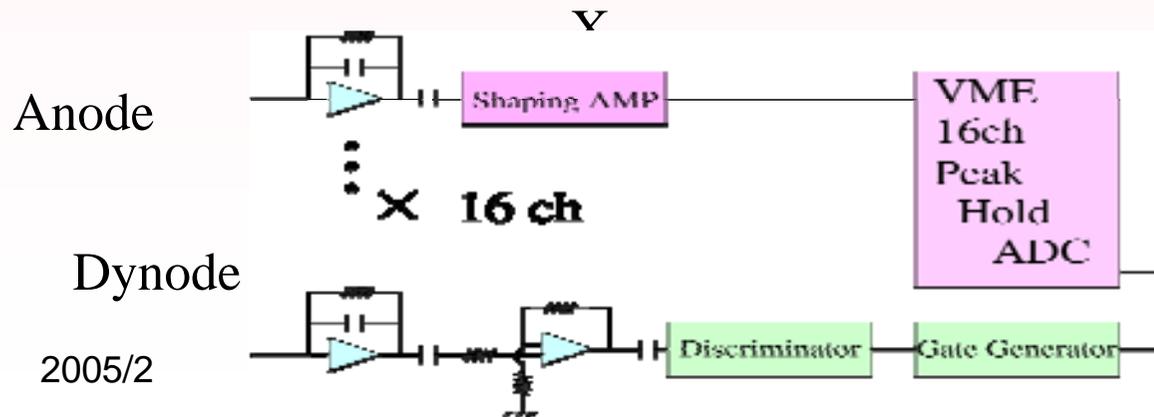
64chすべて読み出すのは大変。
⇒抵抗チェーンで読み出し



PMT裏側: 抵抗チェーン基板



位置演算



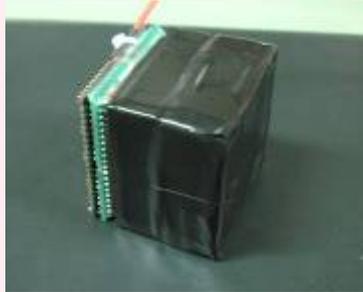
$$P_i = l_i + r_i$$

$$y = \frac{\sum_i P_i \cdot i}{\sum_i P_i}$$

$$x = \frac{l_i}{P_i}$$



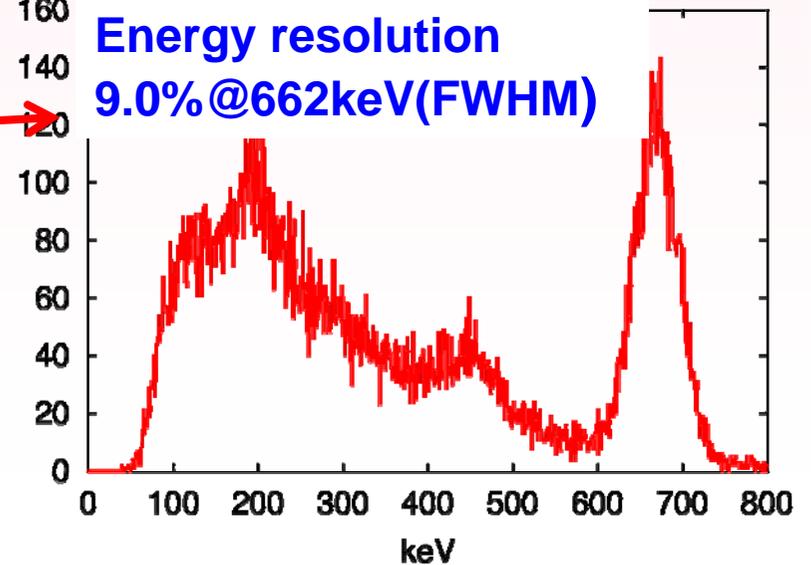
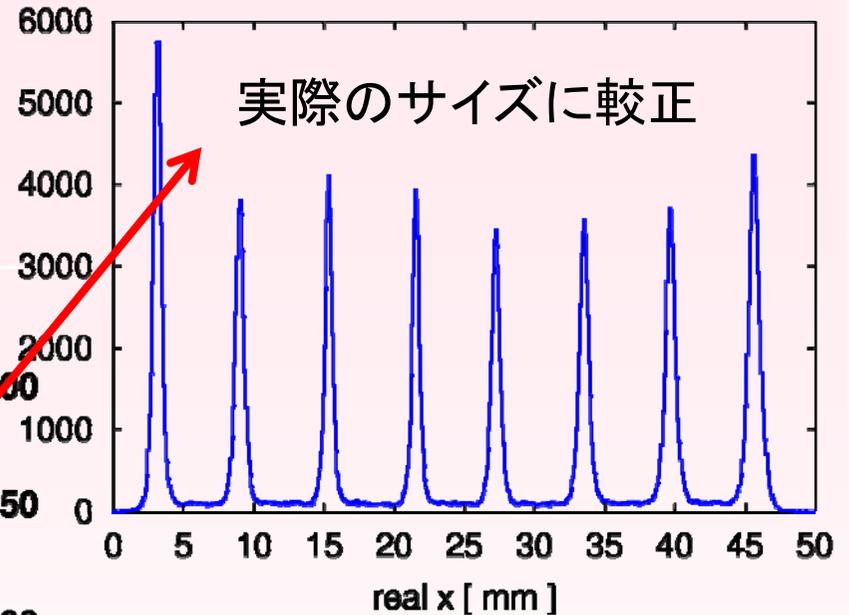
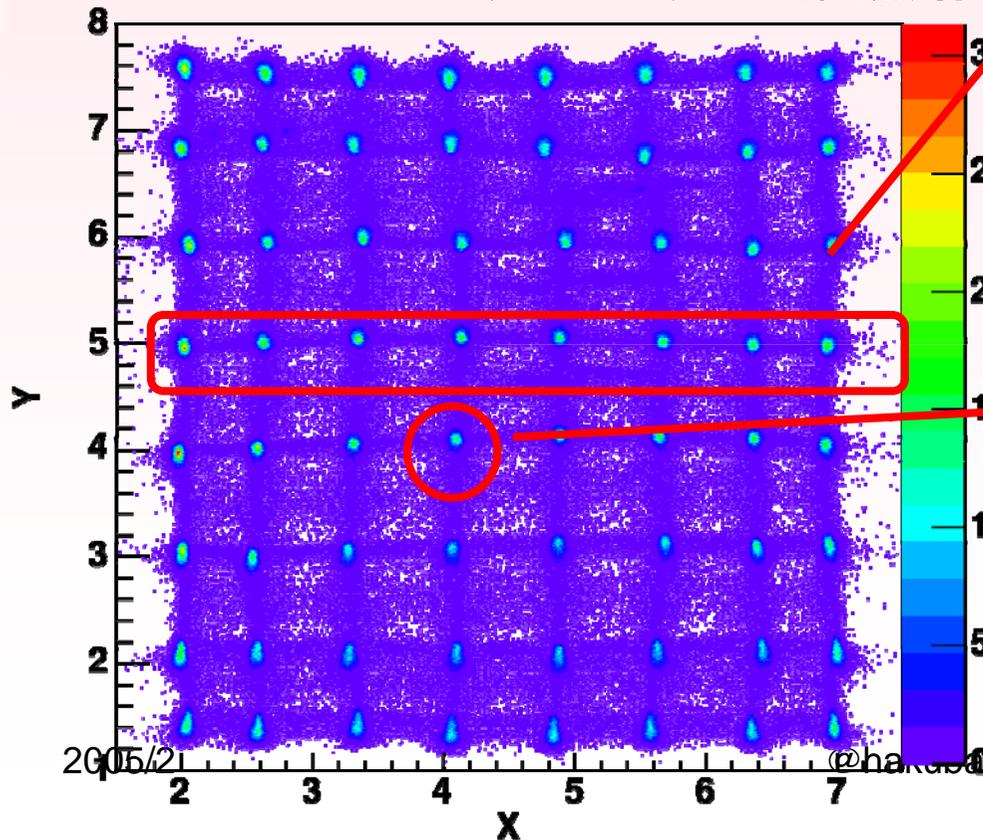
H8500 + CsI(Tl)アレイ 抵抗チェーン読み出し



H8500
+
CsI(Tl)アレイ
(□6mm × 20) × (8 × 8)

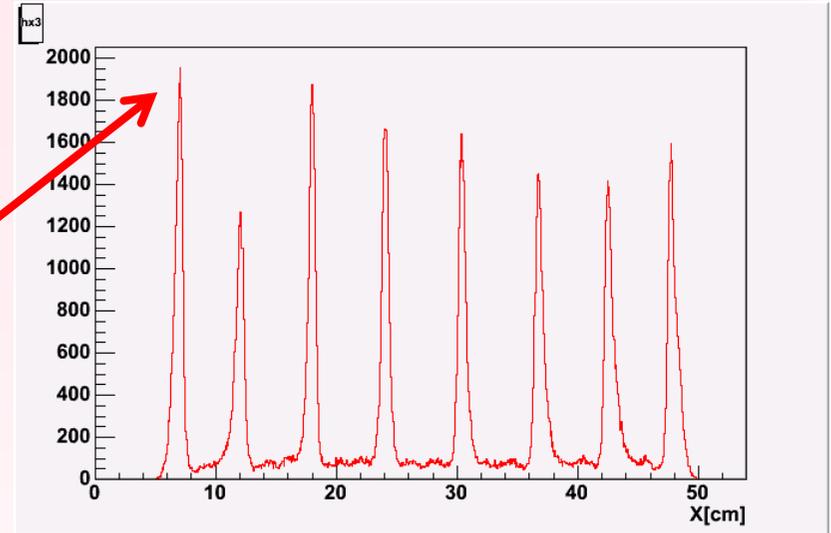
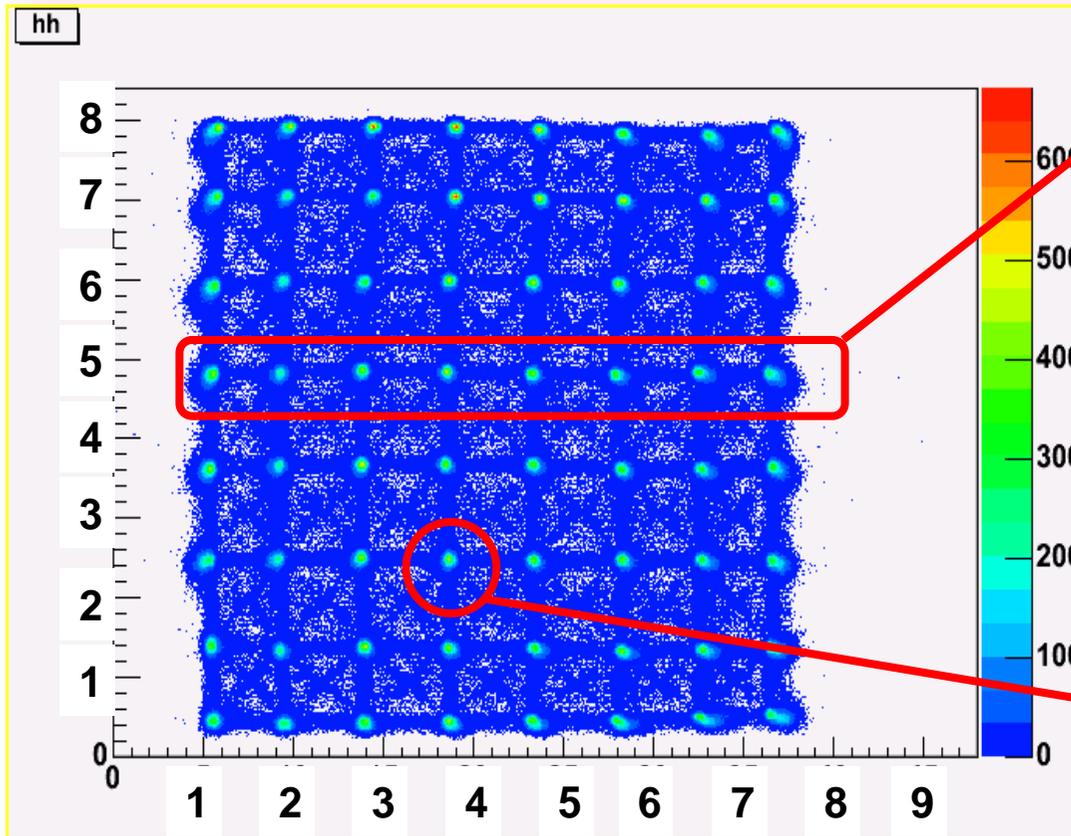
16ch read out

^{137}Cs (662keV) の全面照射



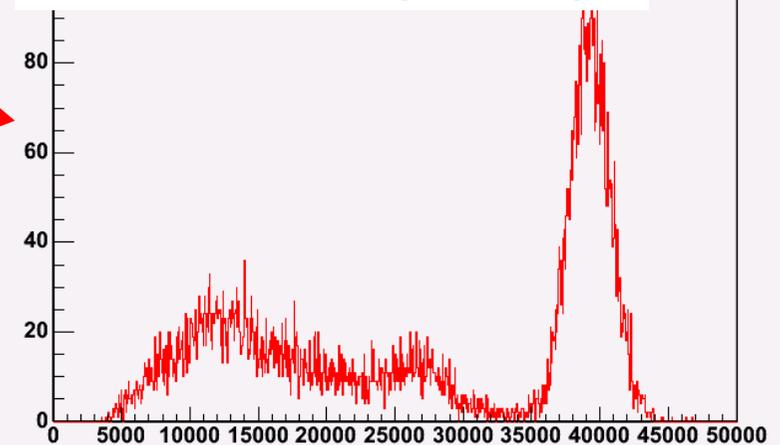


H8500 + GSOアレイ 抵抗チェーン読み出し



sp

**Energy resolution
9.8% @662keV(FWHM)**



2005/2

@hakuba

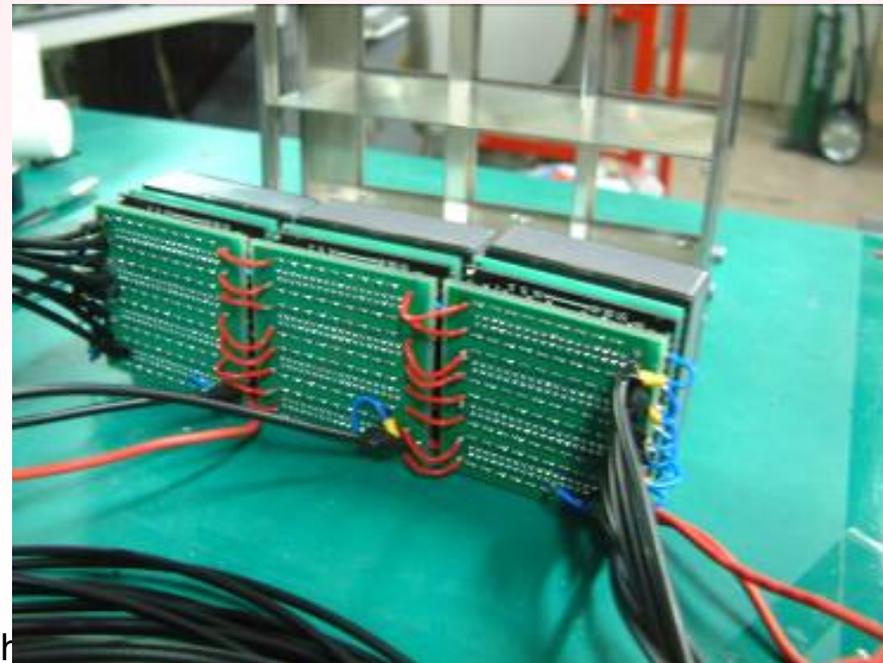


大面積化

- FlatPanel H8500 + GSOアレイを量産体制に。
- 複数のPMTを抵抗チェーンで結んで読み出す
⇒ch数を減らす。

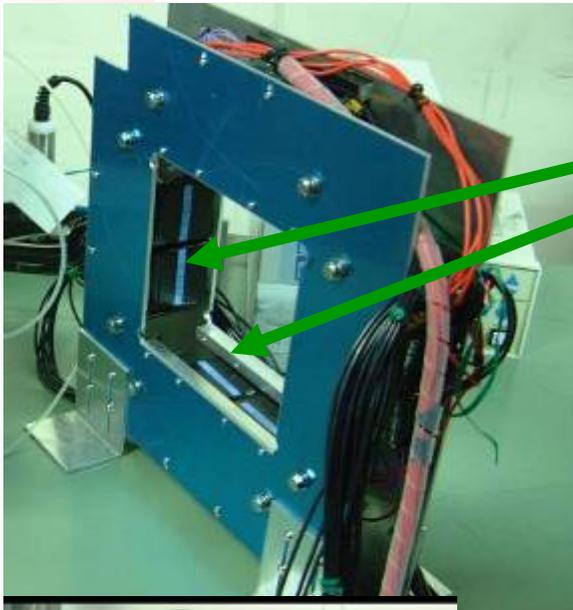
例: 3つのPMTを結んで
16ch読み出しに。
(PMTの裏側)

あとはガスパッケージへ取付け



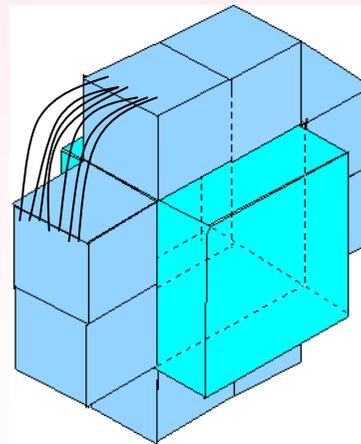


散乱 γ 線カメラ “えりまき”



FlatPanelPMT + CsI(Tl) Array × 8

4つのPMTの両端読み出し
抵抗チェーンをつなげて読み出す
4つのPMTで16chでOK
8つで32ch読み出し



TPC パッケージ

15cm角 × 10cmガス検出部の
側面のうち約60%をカバー

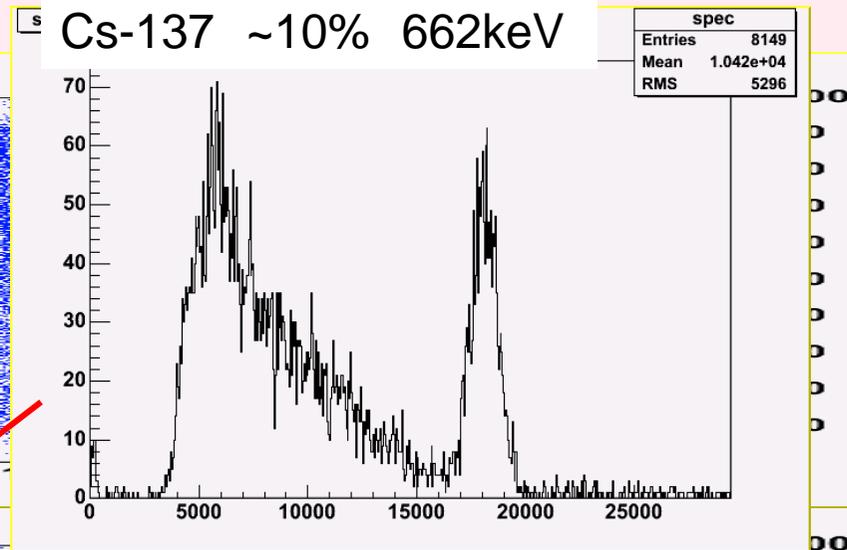
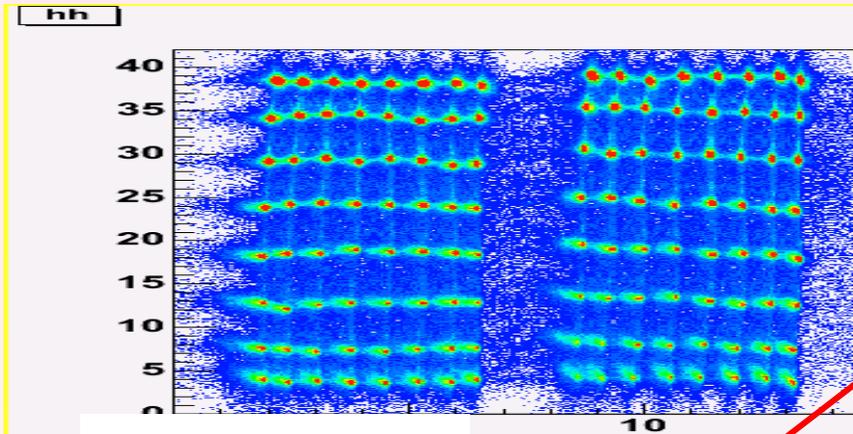
2005/2

@hakuba

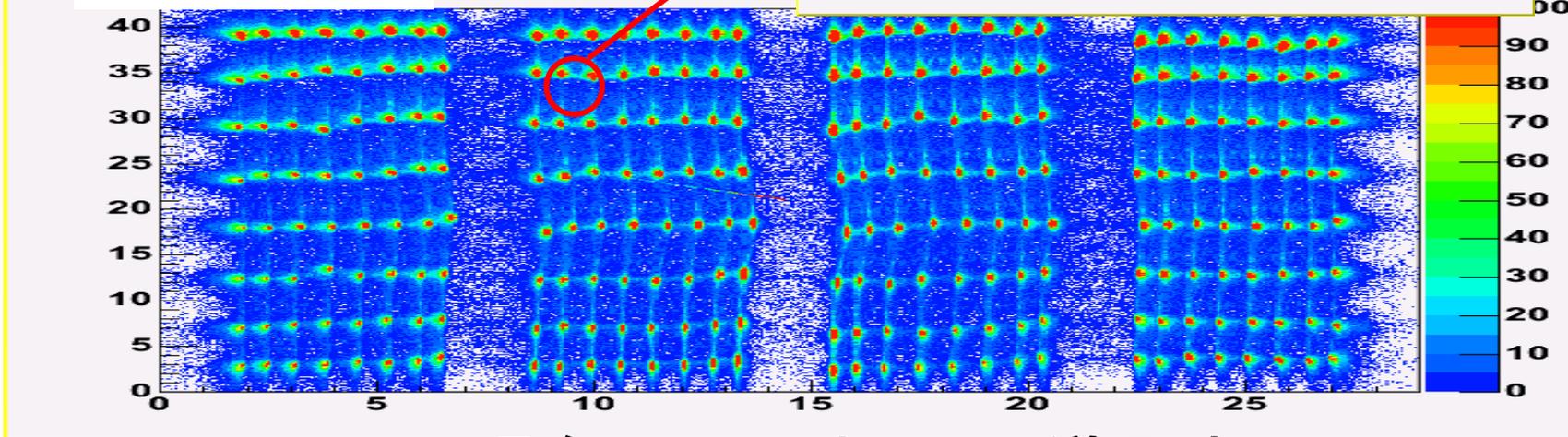


“えりまき”

上段プラス左側



下段プラス右側



現在MeV γ カメラに導入中



散乱ガンマ線カメラ “アレイあり”

“アレイあり”

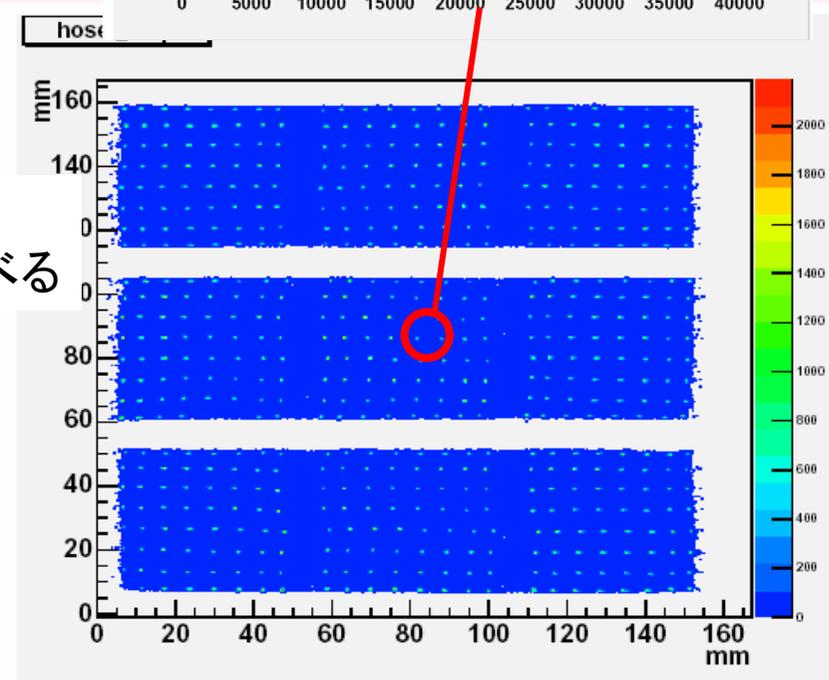
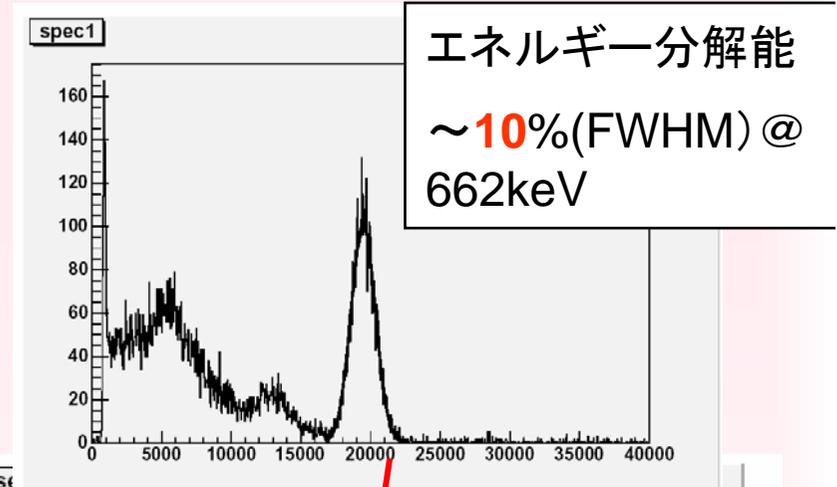
(H8500 + GSOアレイ) × 3



× 3段



PMT を
3×3アレイに並べる



- ◆ 16cm角シンチレーションカメラ
- ◆ 有効面積 **81%**



Summary

アンダーカメラ

30cm角アンダーカメラ

30cm角TPCに対応可(現在一台)

エネルギー分解能:8.5%(FWHM@662keV)

位置分解能 10mm(FWHM)

アレイピクセルカメラ

FlatPanelPMT H8500+アレイシンチレーター(6mmピッチ)

抵抗チェーン読み出し⇒(VA・TAの利用?)

CsI(Tl)アレイ8台(“**エリマキ**”) GSOアレイ9台(**アレイあれい**)

エネルギー分解能10%(FWHM@662keV)

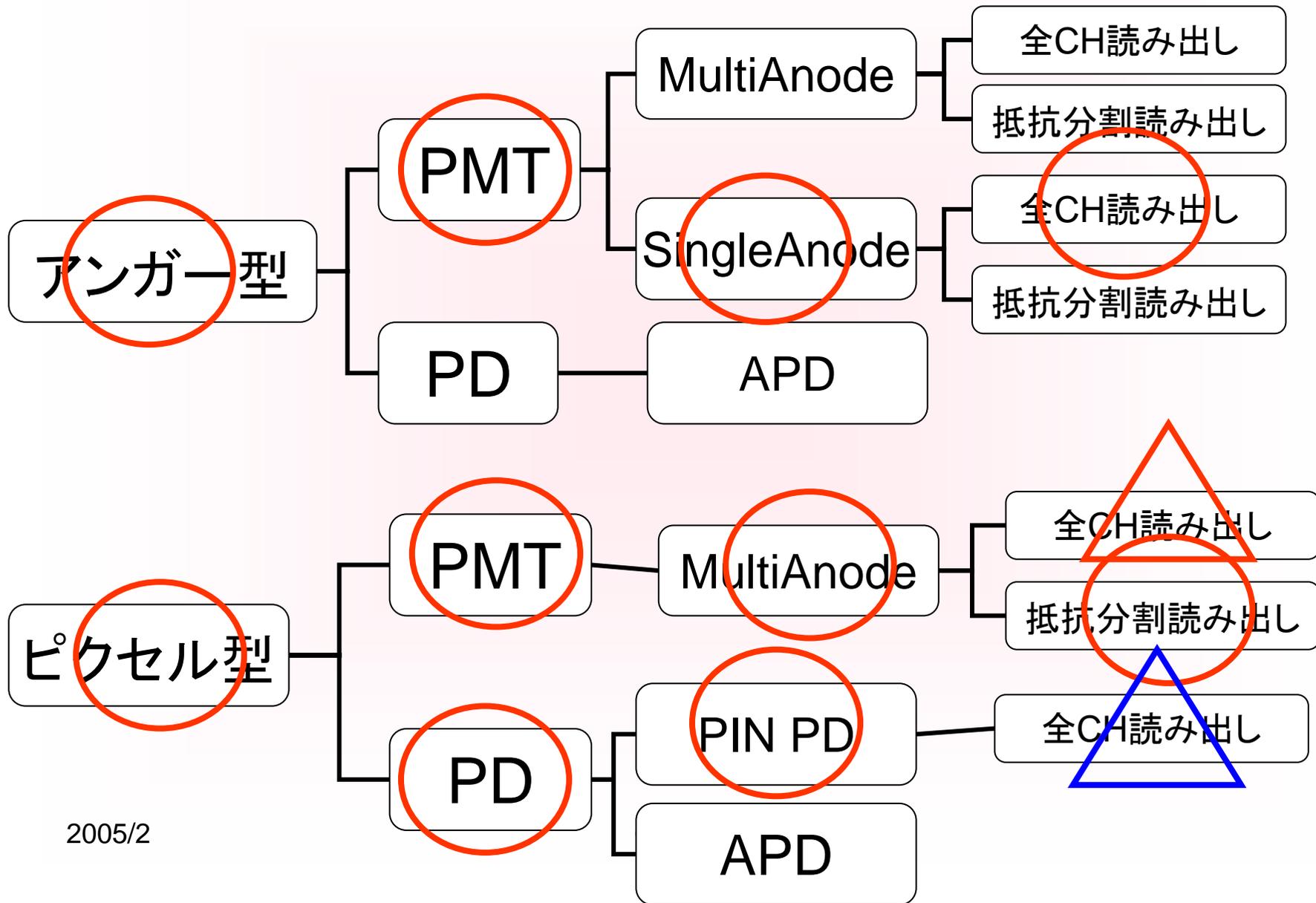
位置分解能 4~6mm(FWHM)

GSOアレイで量産開始



おわり

⇒つづいて 服部さんの μ -PICのお話。





array型シンチレータの製作

結晶の種類: CsI(Tl)6 × 6 × 20mm厚

浜松ホトニクス社

64本(8 × 8) → フラットパネルPMTのアノードピッチ

表面状態: 6面鏡面

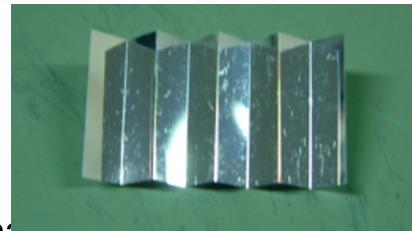
反射材: **ESR** ポリエステル系樹脂を用いた多層膜構造
(65 μm厚) 3M社

→ レーザー加工により折り目をいれる

充填率向上

84% → 98%

2005 (Gore-Tex) (ESR)



篠崎製作所

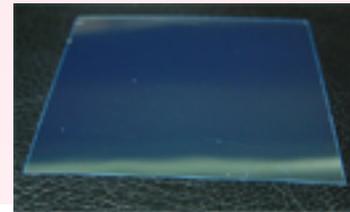
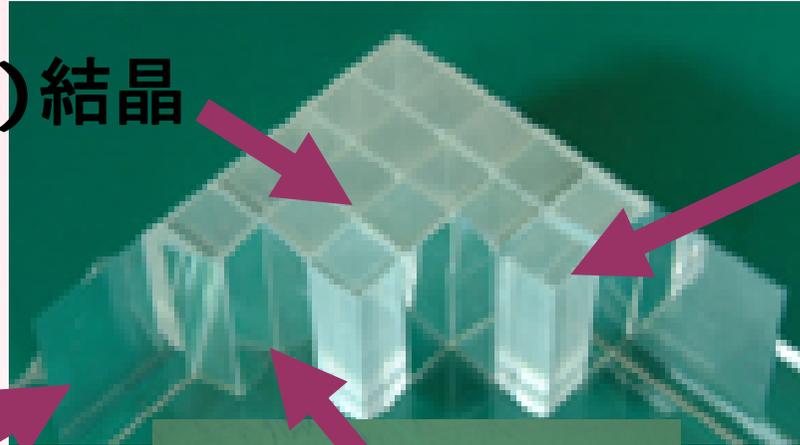
@hakuba



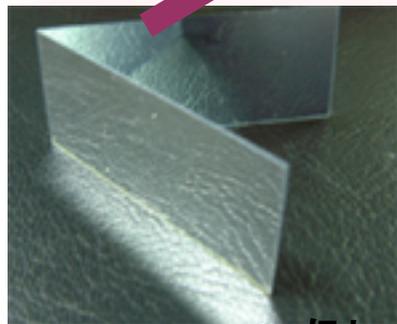
放医研方式

アレイシンチレータの組み上げ

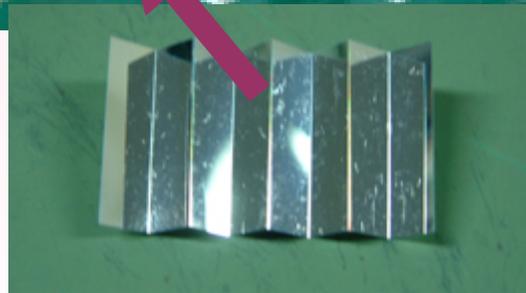
CsI (TI) 結晶



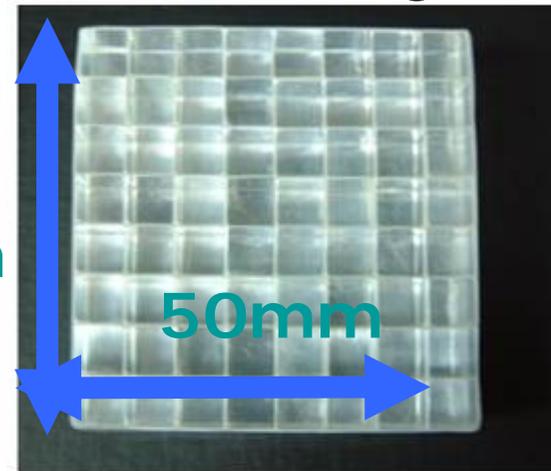
ガンマ線入射方向の反対側につける



Arrayの側面を取り囲む
2005/2



50mm



50mm

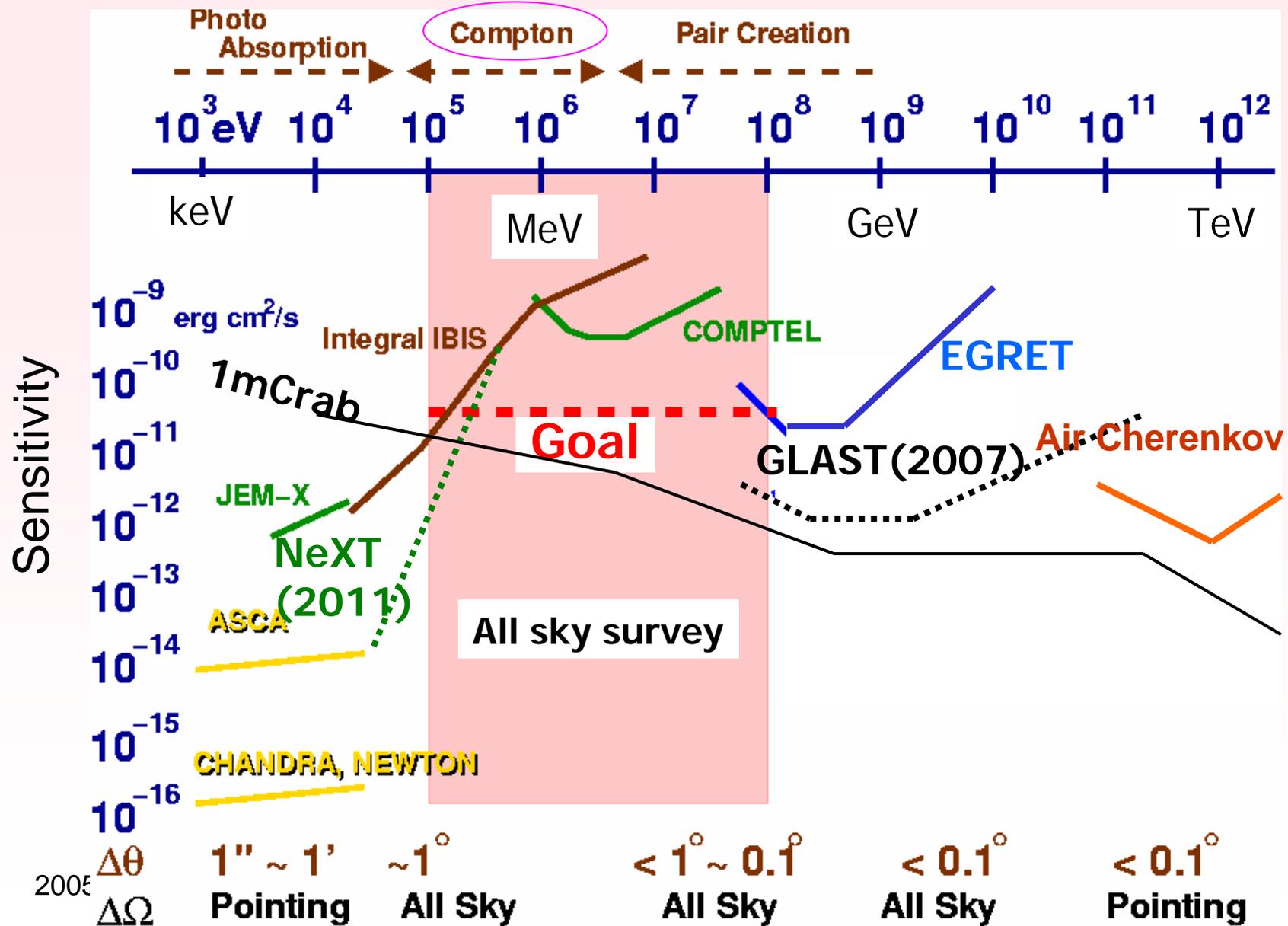
加工したESRを結晶と結晶の間に挟みこんでいくNaoko Inadama et al. IEEE NSS & MIC, M6-27, 2002 @hakuba

50×50×20mm厚のarray完成！

GSO結晶でも同様に製作



Sensitivity Gap in MeV region





Gamma-ray image

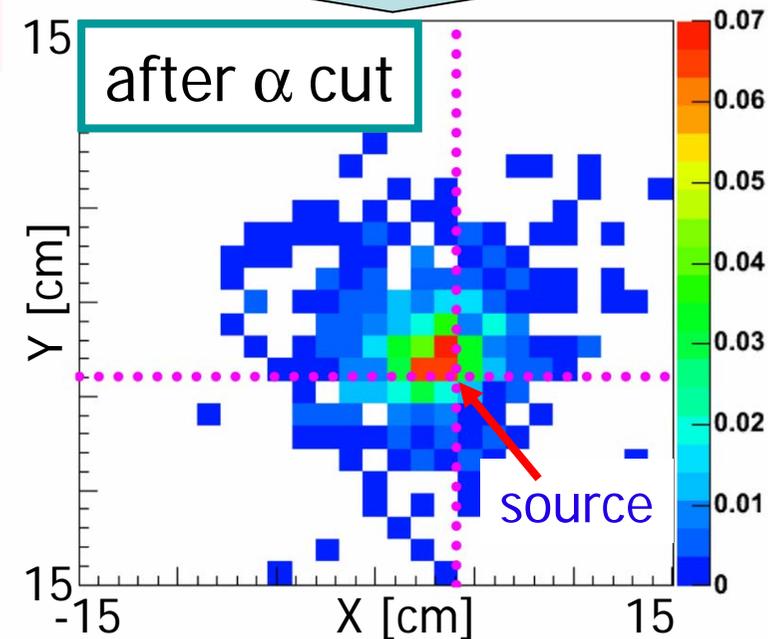
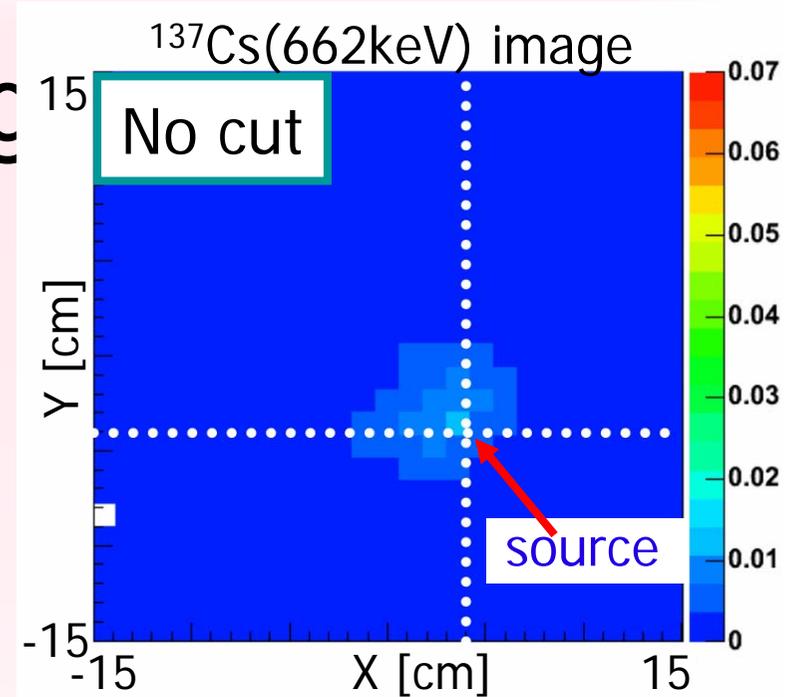
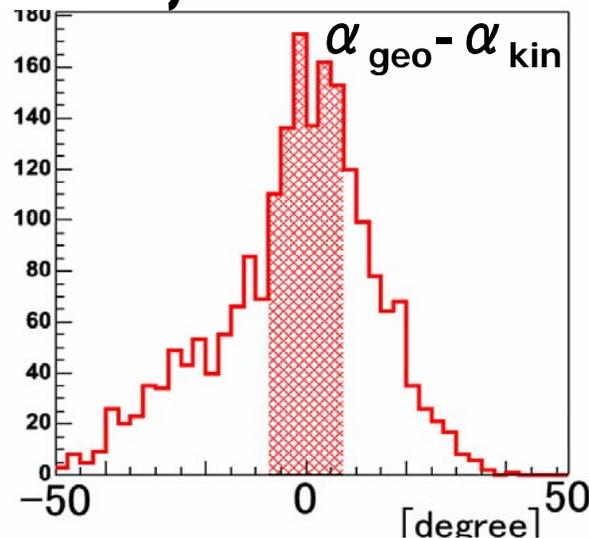
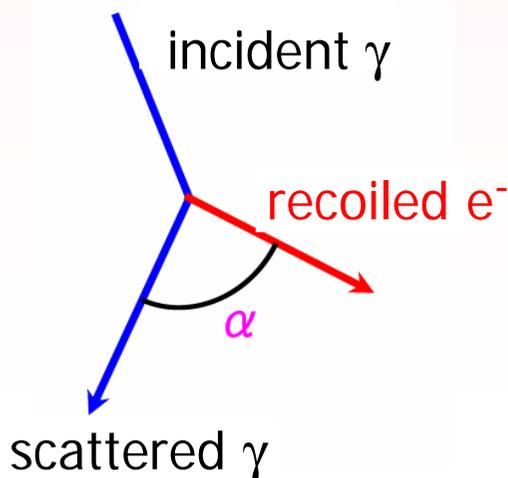
track of recoil e^-
energy and direction of scattered γ
energy of incident γ : known

reconstruction

Background rejection

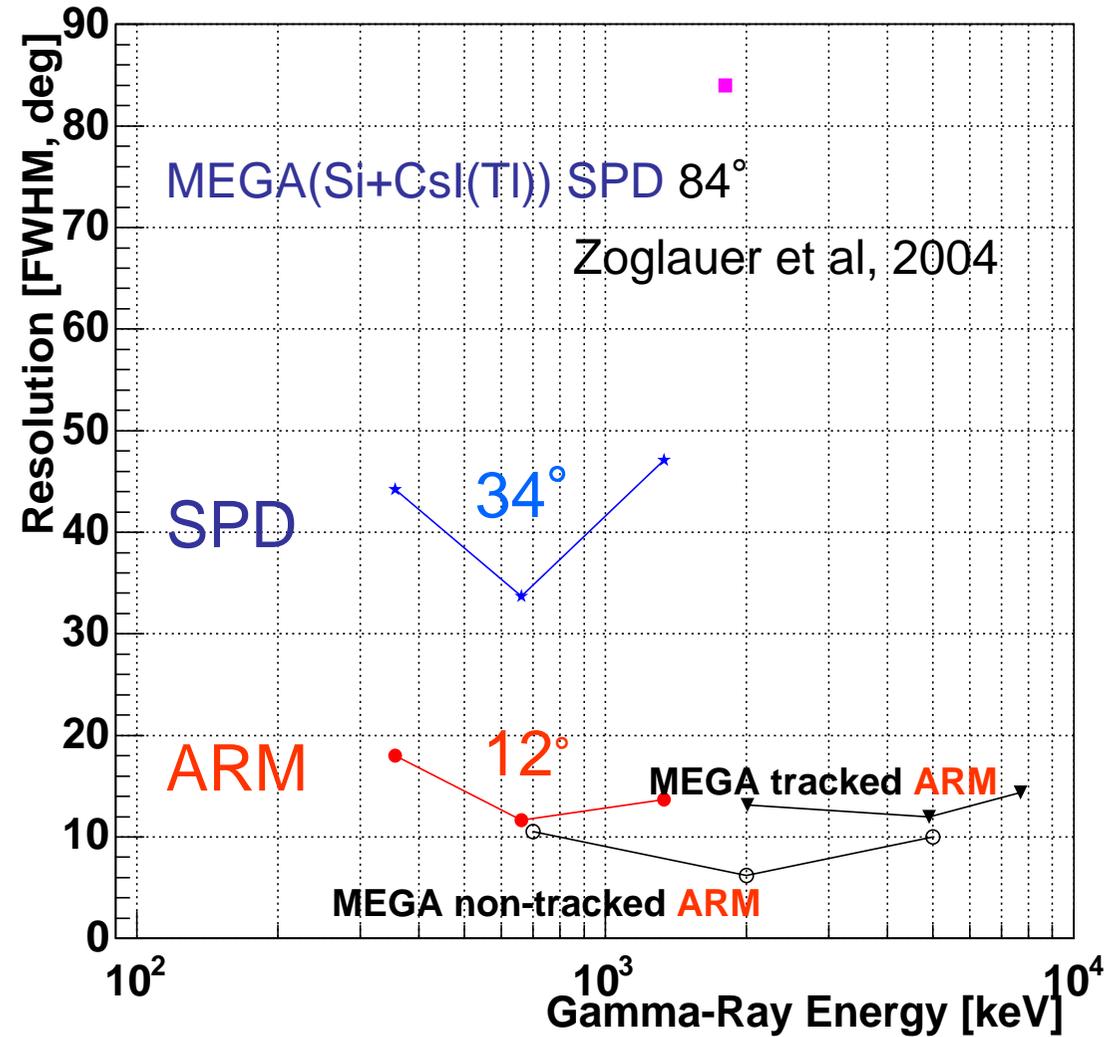
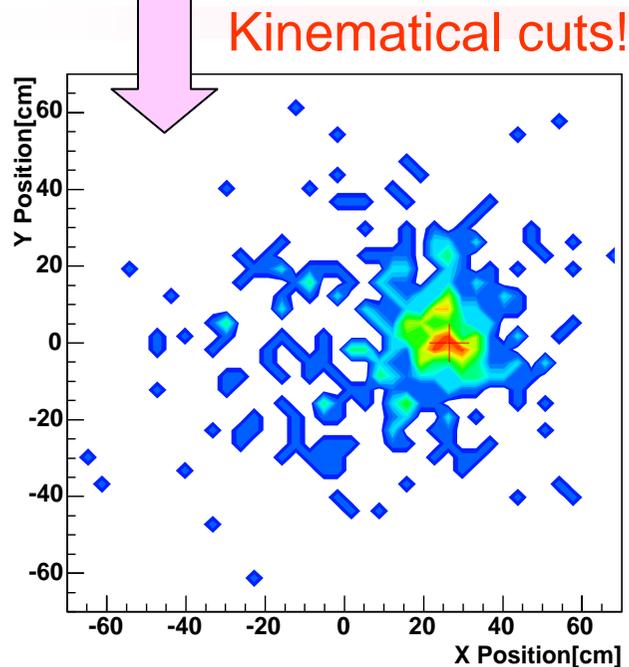
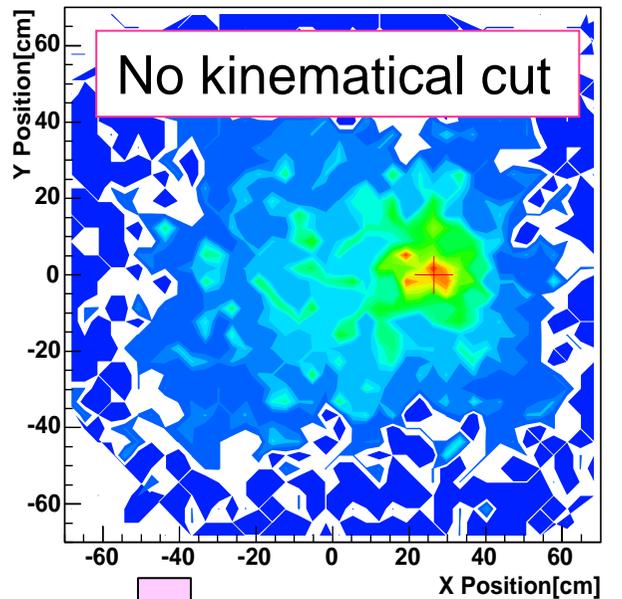
α_{geo} : measured α
 α_{kin} : calculated α from
energy information

α cut
 $\alpha_{\text{geo}} \sim \alpha_{\text{kin}}$





Imaging Performance

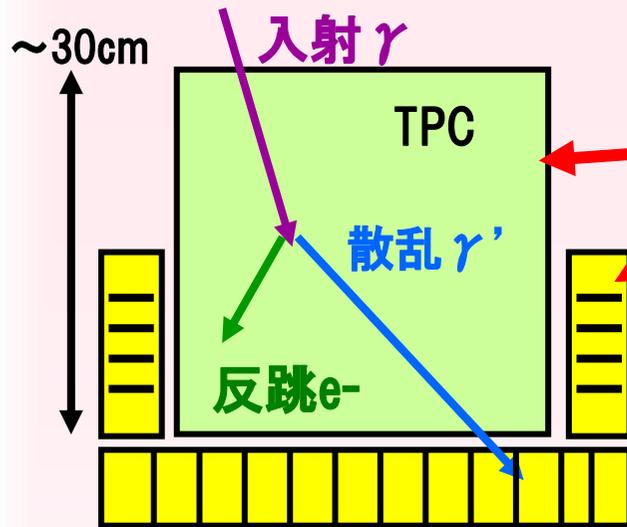


Much better SPD than MEGA!
First electron-tracking <1MeV !

@hakuba



Monte Carlo study with Geant4



ジオメトリ

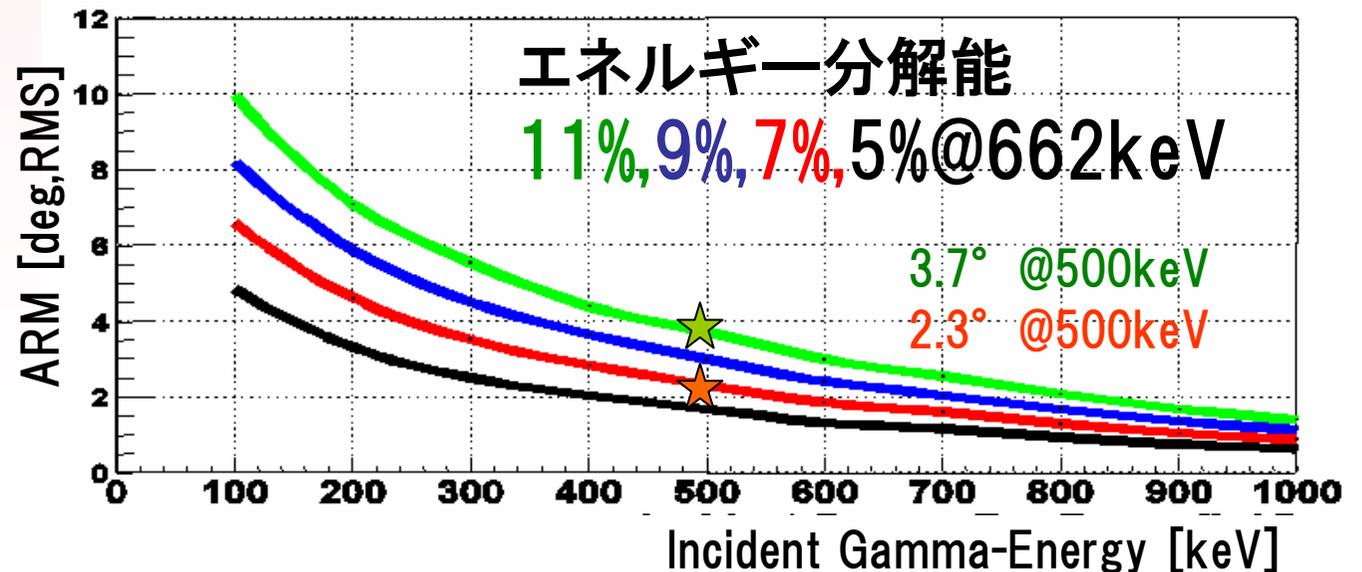
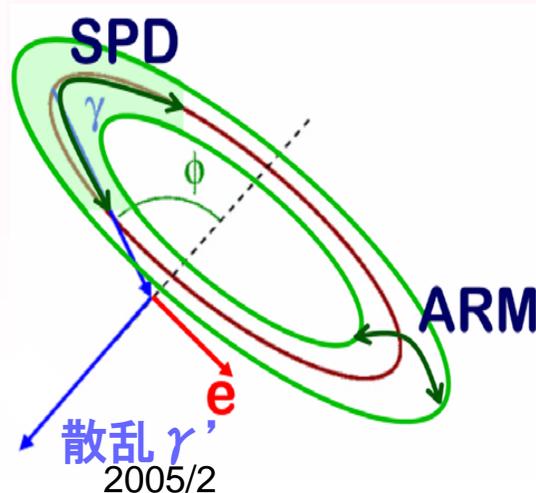
TPC: 30cm立方, Xe 1.5atm

ピクセルシンチ:

2.5cm厚CsI(Tl)、側面高さ15cm

片端読み出し

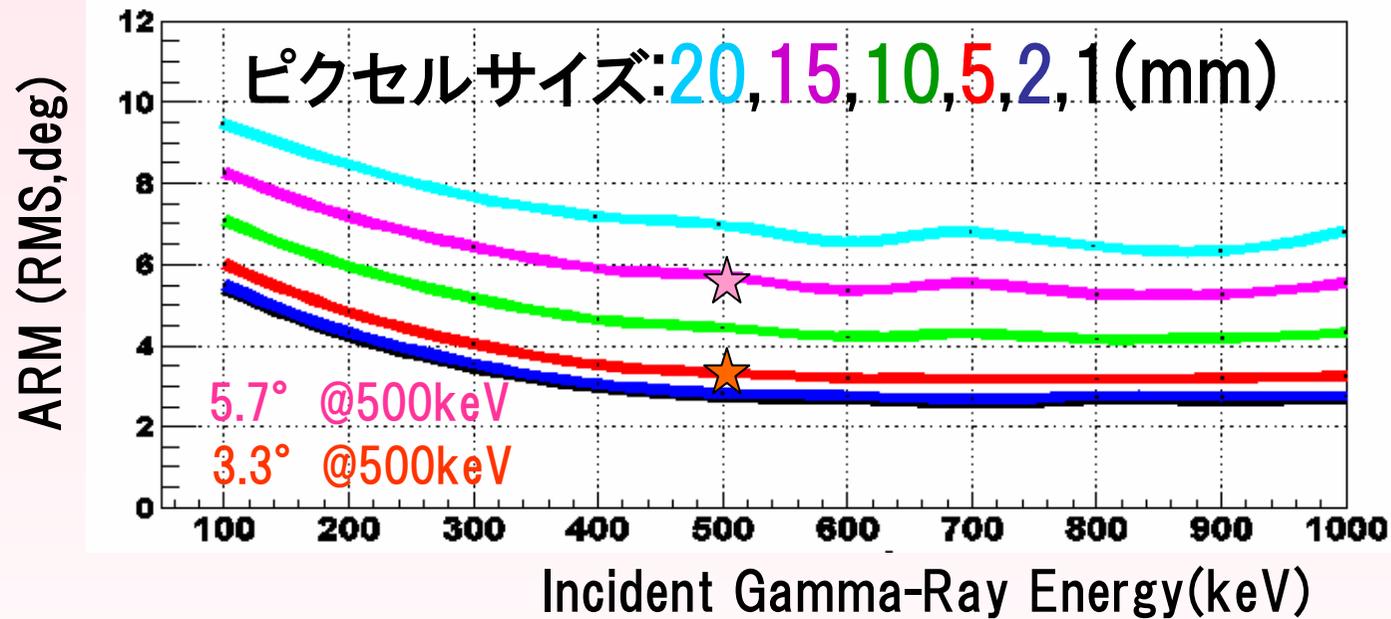
ARMのシンチカメラエネルギー分解能依存性





Monte Carlo study with Geant4

ARMのシンチカメラ位置分解能依存性



シンチカメラのエネルギー分解能、位置分解能、共にARMに効いてくる

