



micro-TPCを用いた ガンマ線イメージング検出器の開発Ⅷ

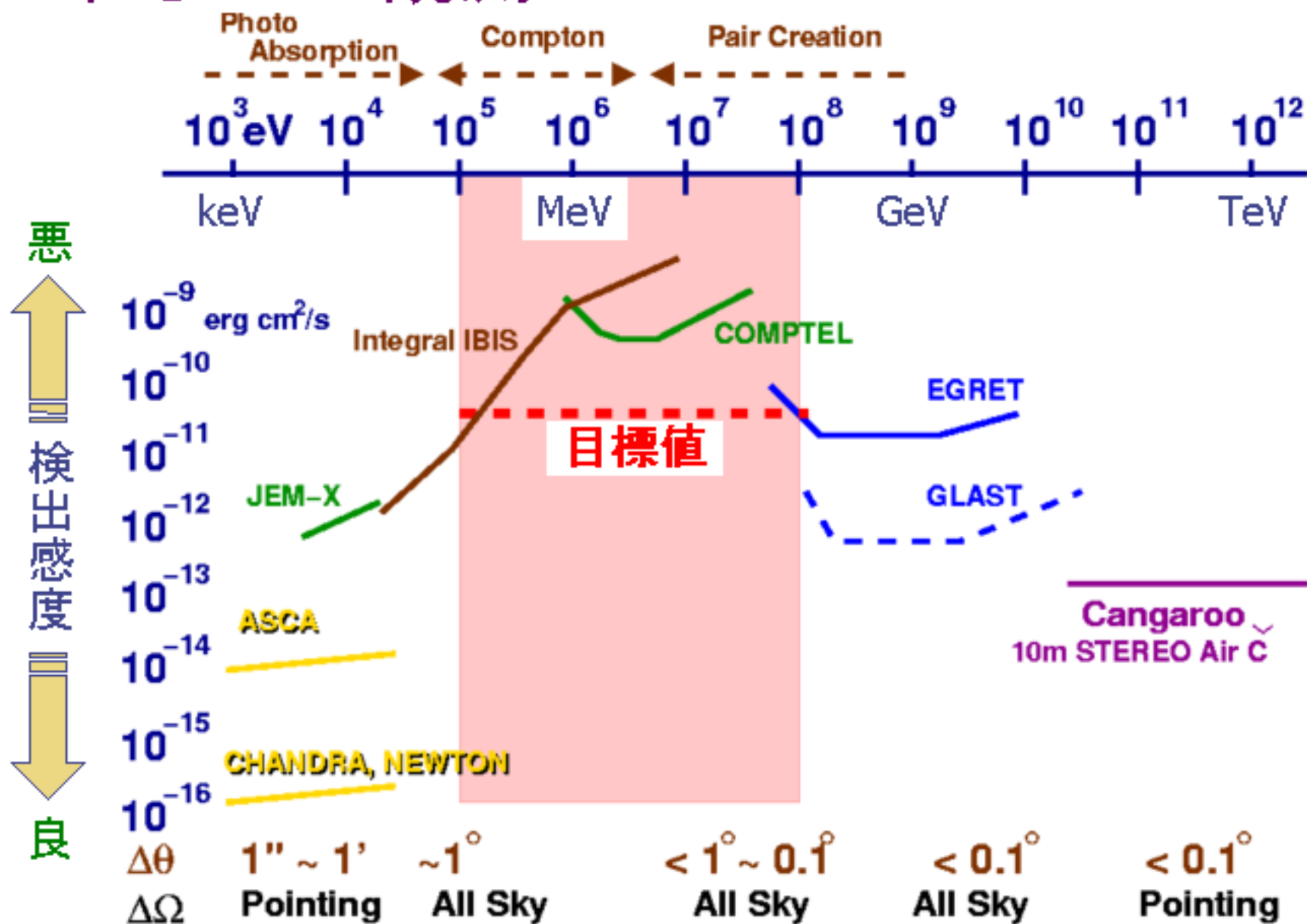
京都大学 高田淳史

谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎, 竹田敦,
永吉勉, 折戸玲子, 植野優, 岡田葉子

- ◆ MeV- γ 線カメラ
- ◆ μ -PICとその改良
- ◆ 試作機によるimaging
- ◆ まとめ

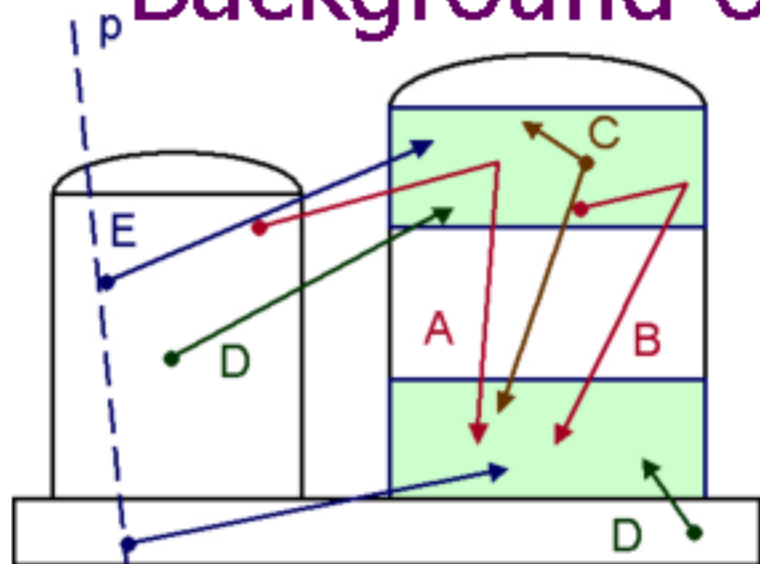


これまでの観測



Background of COMPTEL

G.Weidenspointner, et.al. (A&A, 2001)



A: external γ } 取り除けない
B: internal γ } γ 線background

C: two γ

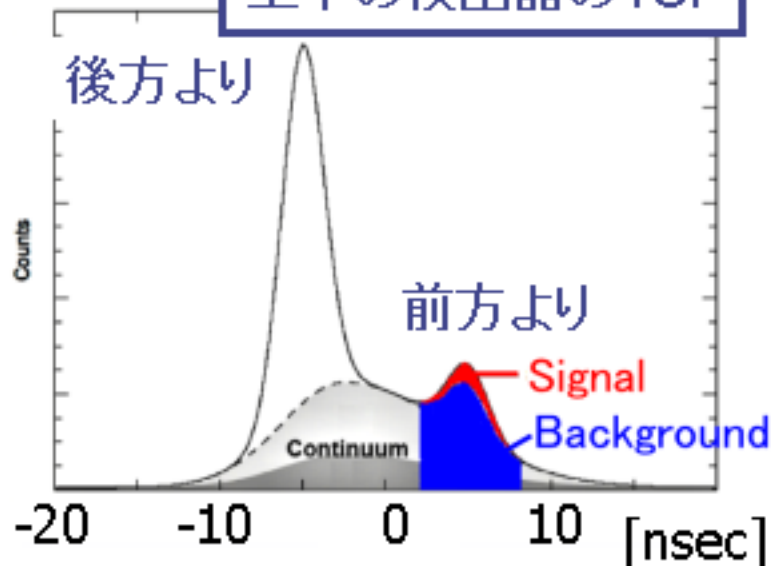
D: random coincidence

E: proton-induced γ

◆ Other background

- neutron
- electron
- 大気からの γ 線

上下の検出器のTOF



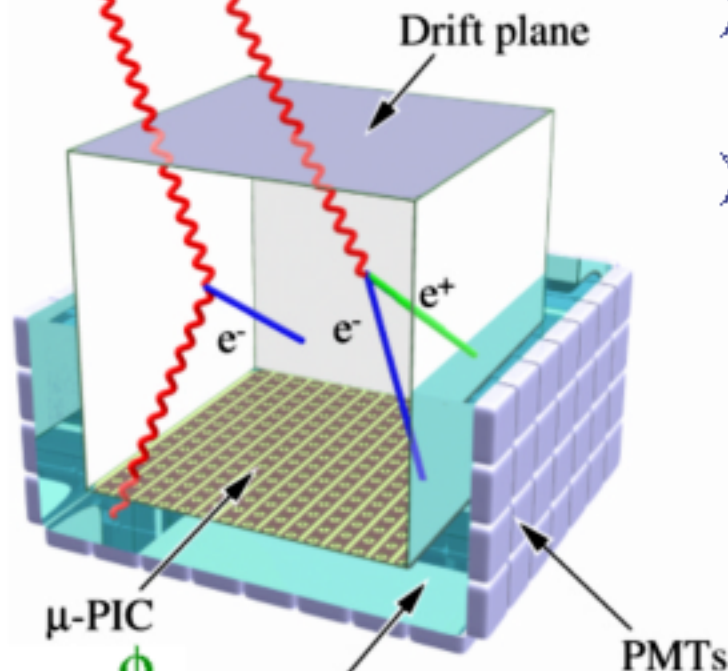
COMPTELでは
上下の検出器のTOFを用いて
ある程度除去



Backgroundは落としきれず
SNIは非常に悪い

Advanced Compton Imaging

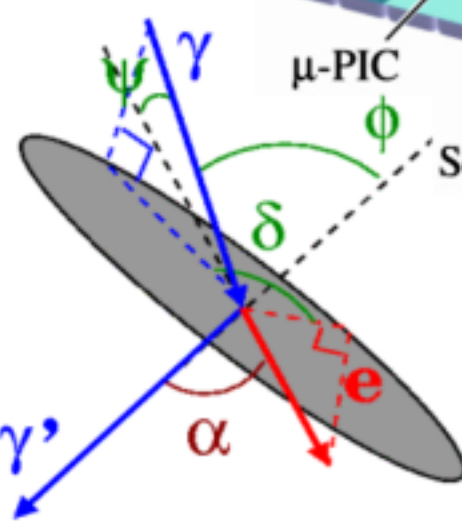
$\sim 1\text{MeV } \gamma$ $\sim 10\text{MeV } \gamma$



- **micro-TPC (μ -PIC)**
反跳電子のtrack, energy
- **Scintillator**
散乱 γ の位置, energy



**Event毎に
Compton散乱を完全に再現**



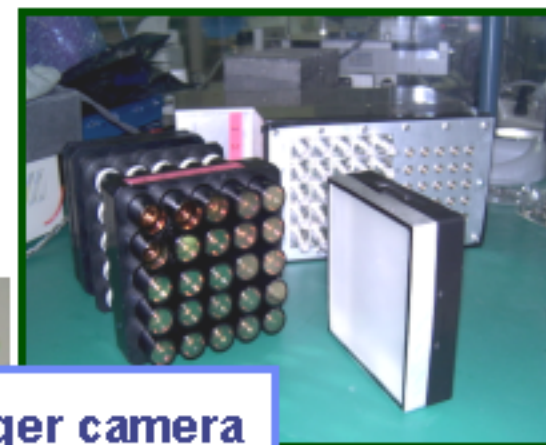
◆ $1 \gamma \Rightarrow$ 到来方向 + energy

◆ $\alpha \Rightarrow$ TOFより強力なbackground除去

$$\cos \alpha = \left(1 - \frac{m_e c^2}{E_g} \right) \sqrt{\frac{K_e}{K_e + 2m_e c^2}}$$

◆ 大立体角 ($\sim 2\text{str}$)

Prototype detector



Anger camera

micro TPC

$10 \times 10 \times 8 \text{ cm}^3$

Ar + C₂H₆ (9:1)

NaI(Tl) Anger

4" × 4" × 1" 25 PMTs

position resolution

~6.7mm (FWHM)

energy resolution

~11.2%

(662keV, FWHM)

No Veto or Shield !

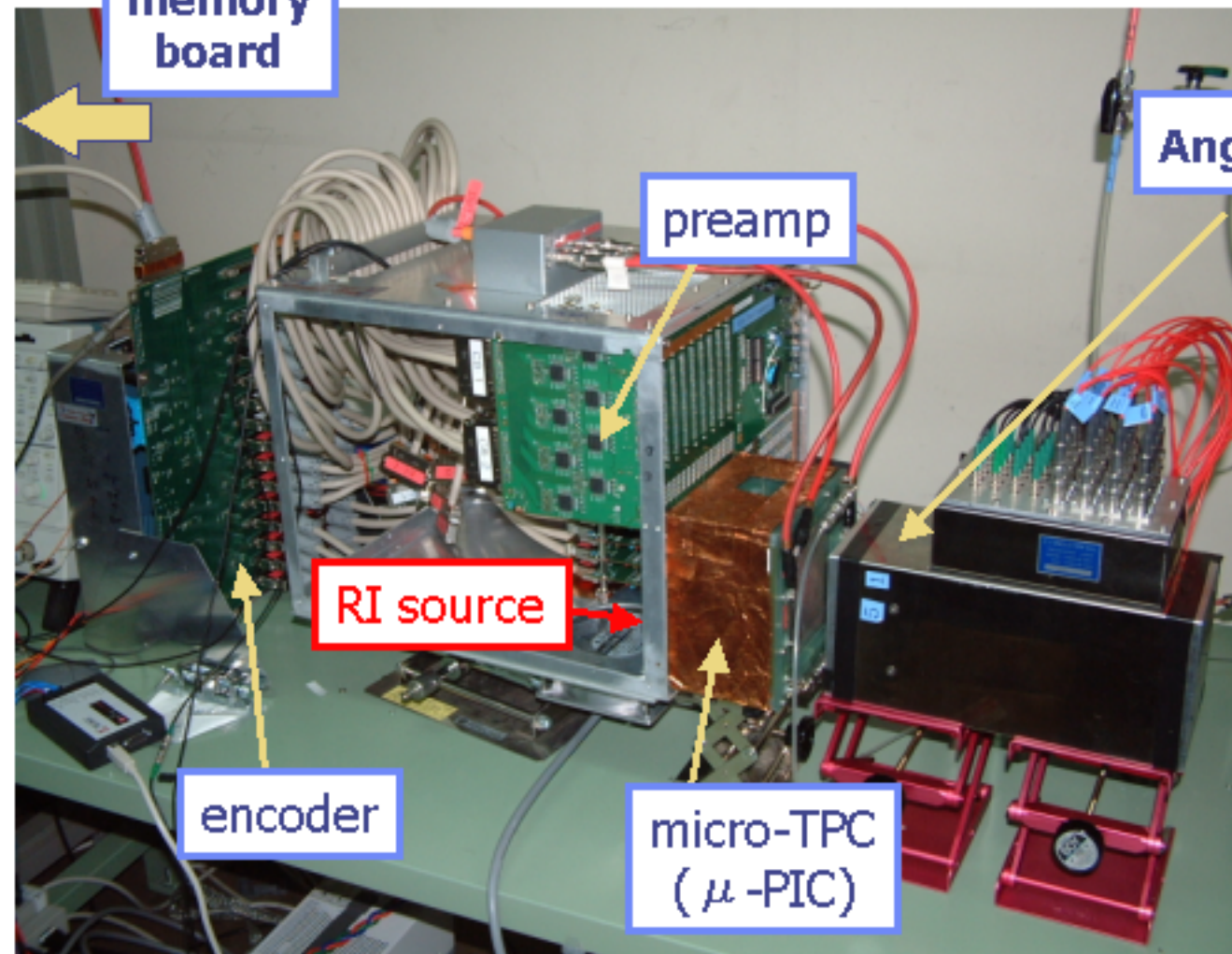
memory board

preamp

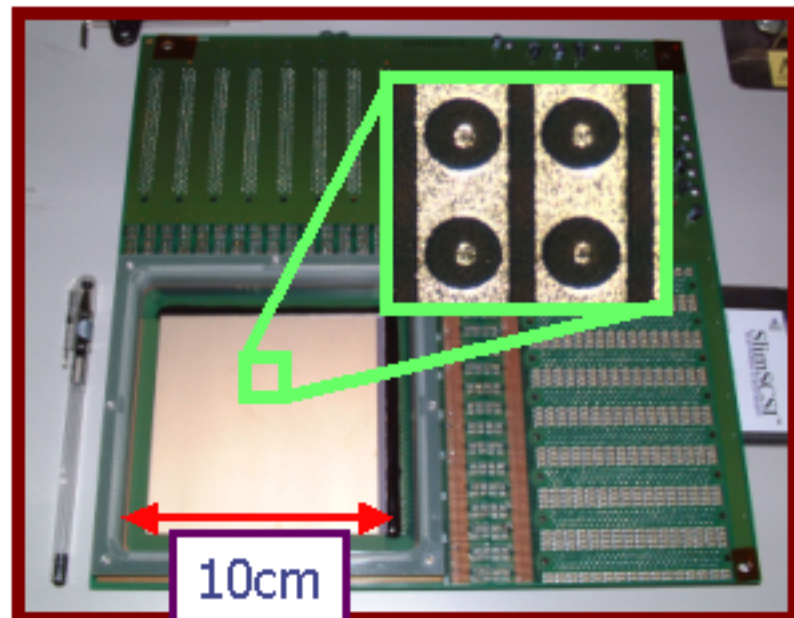
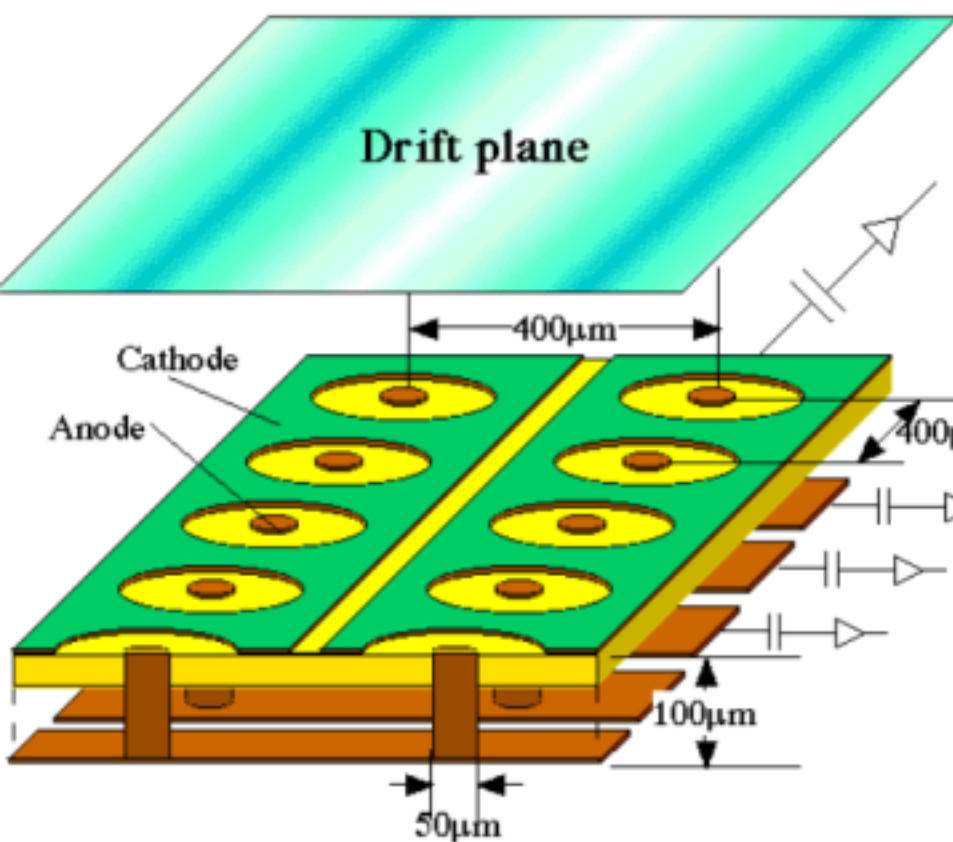
RI source

encoder

micro-TPC
(μ -PIC)

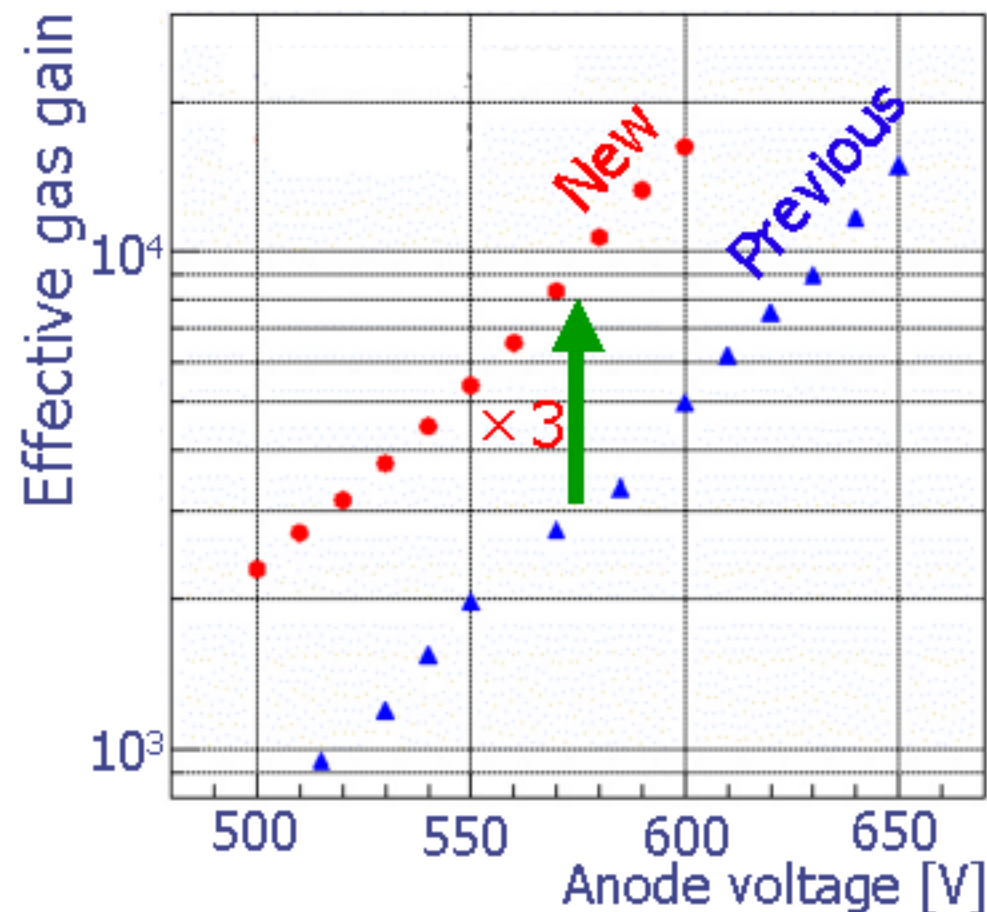


μ -PICの構造と特徴 (Micro Pixel Chamber)



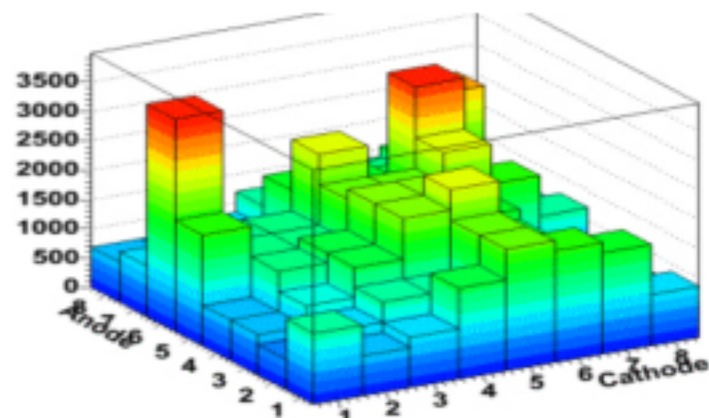
- ◆ 2次元読み出し(~ 65000 pixels)
- ◆ **大面積** (10cm \times 10cm)
- ◆ **Max gain ~ 15000**
- ◆ Energy分解能
30% @ 5.9keV (100cm²)
- ◆ **Gas gain ~ 6000 で**
1ヶ月以上の**安定動作**
- ◆ **高い位置分解能** ($\sim 120 \mu$ m)
- ◆ **大強度入射にも耐える**

μ -PICの電極改良

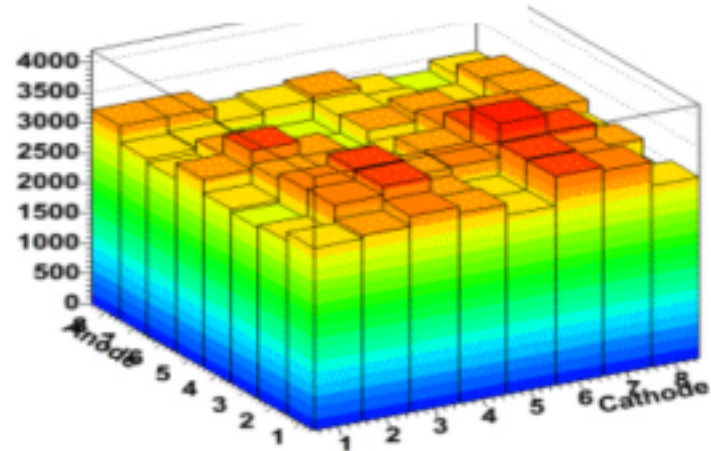


Uniformity

Previous : $\sigma > 40\%$



New : $\sigma \sim 7\%$



μ -PICの電極改良



- gas gain 3倍
- uniformityの大幅な改善

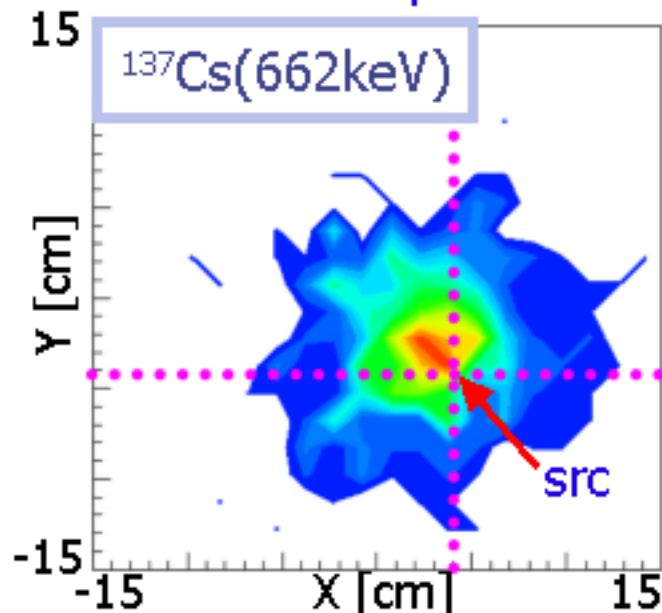
既知のエネルギーのガンマ線イメージング

sourceのenergyは既知

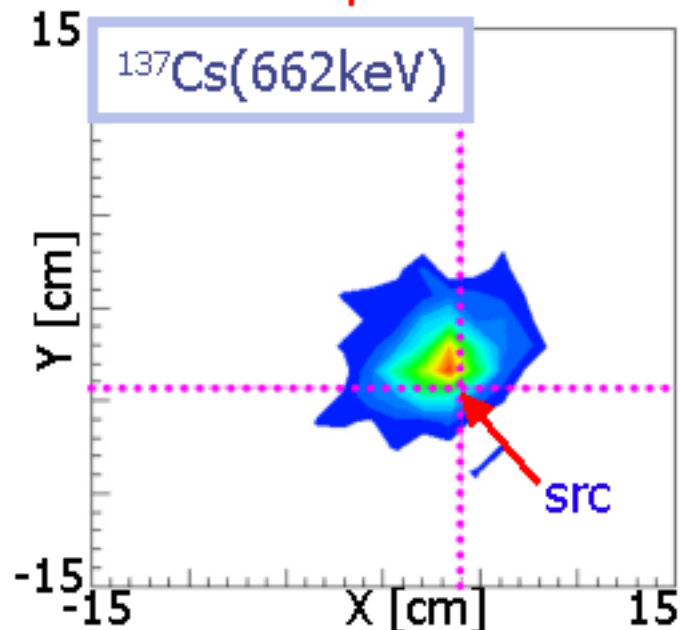
反跳電子のtrack, 散乱 γ のenergyと散乱方向を測定 \rightarrow 再構成

※反跳電子がmicro TPCから飛び出してしまうても再構成が可能

Previous μ -PIC



New μ -PIC



角度分解能 (σ , 662keV)

Previous

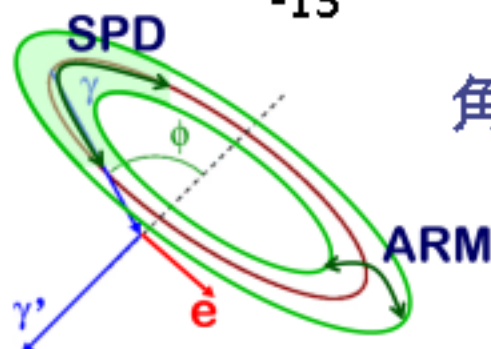
ARM $\sim 15^\circ$

SPD $\sim 25^\circ$

New

ARM $\sim 10^\circ$

SPD $\sim 20^\circ$



Background除去

α_{geo} : 幾何情報からの α

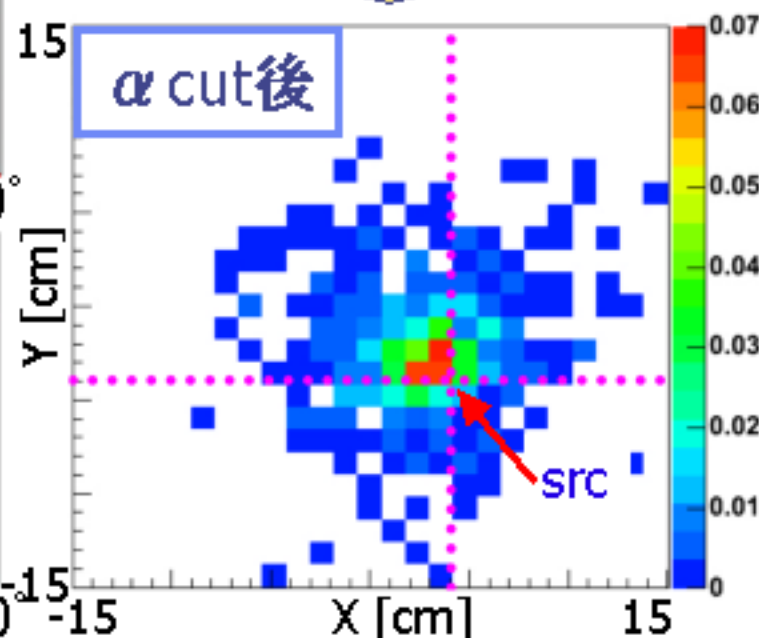
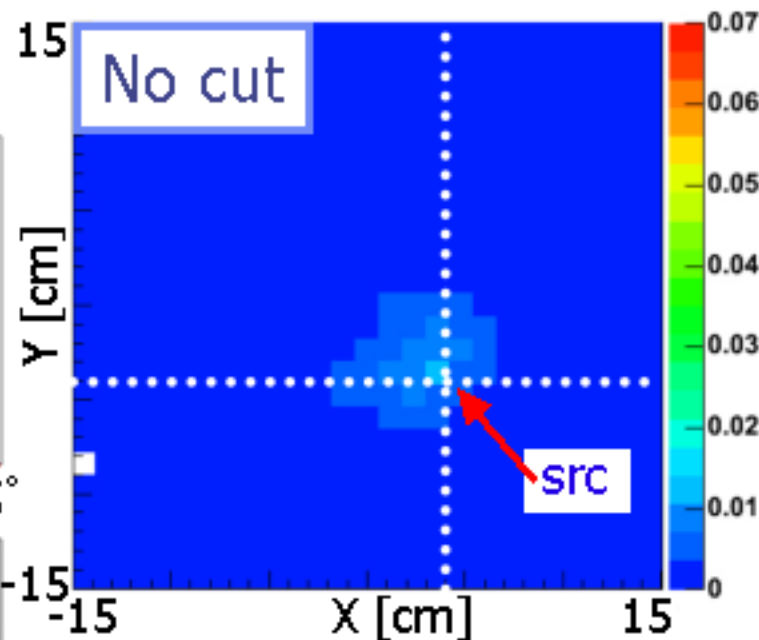
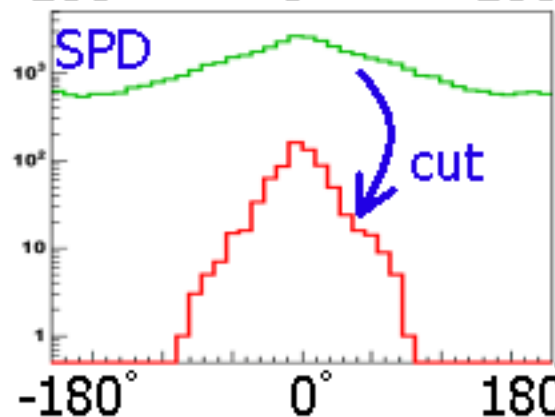
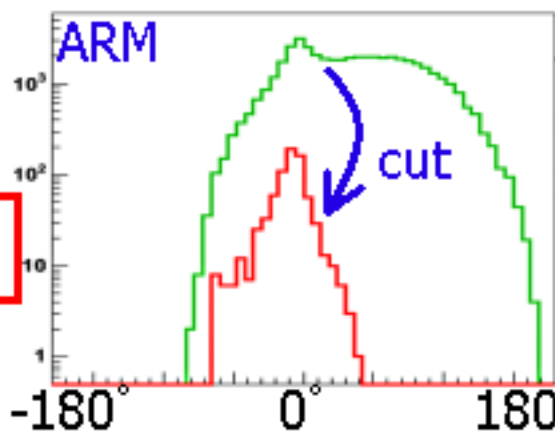
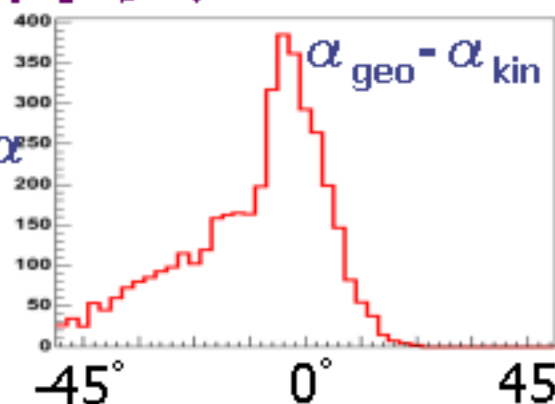
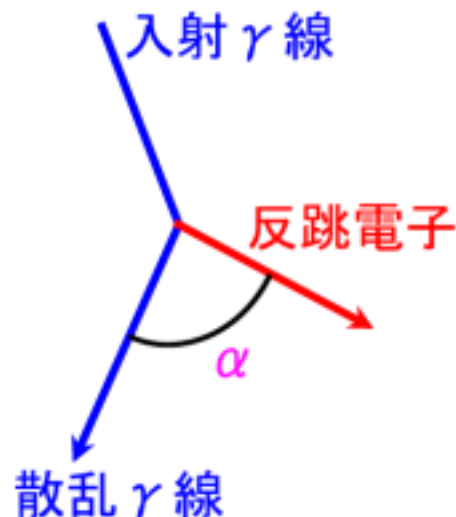
α_{kin} : energy情報からの α

α による
kinematical cut

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



SN比の大幅な改善



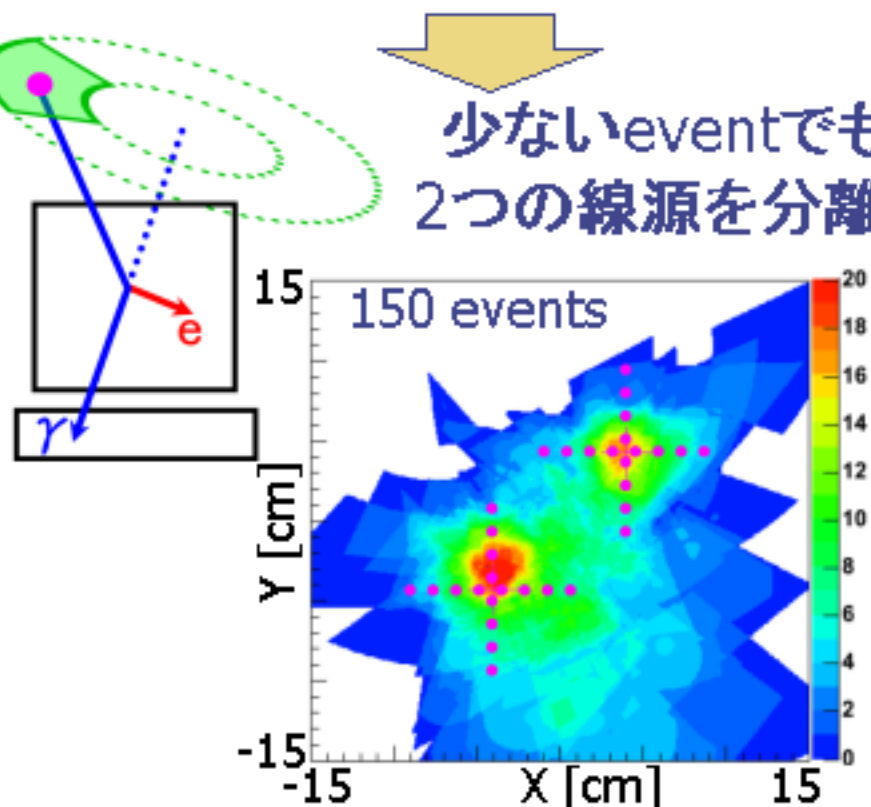
COMPTELのimaging法との比較

Advanced Compton法

電子の反跳方向の測定

- 到来方向を一意に決定
- 誤差は扇型

少ないeventでも
2つの線源を分離

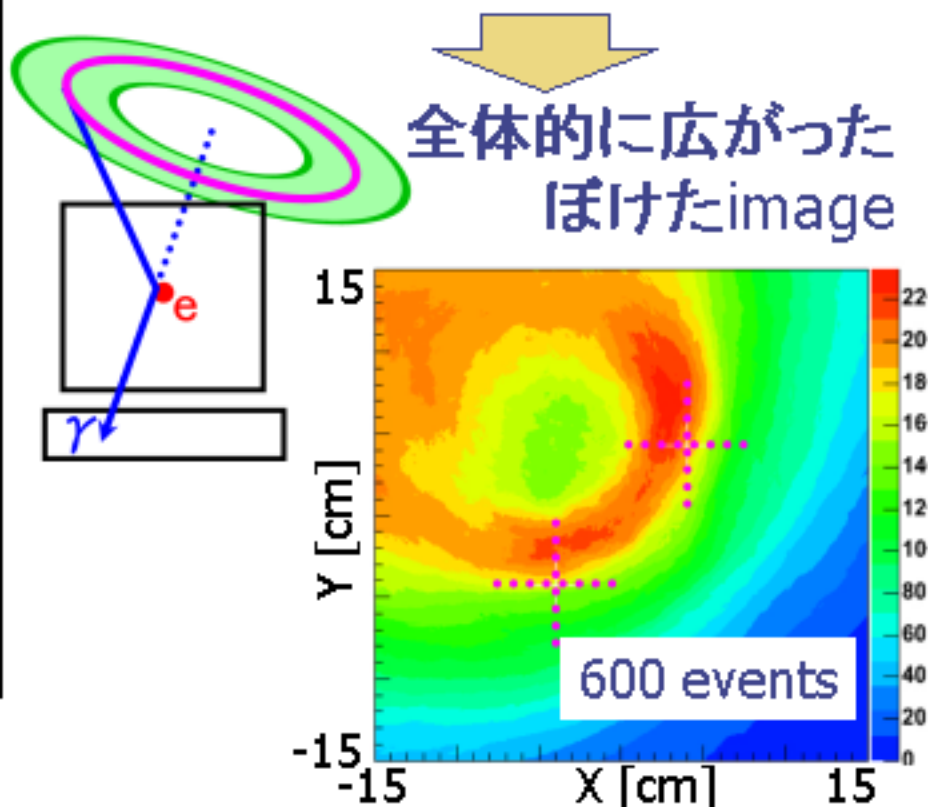


Classical Compton法 (COMPTEL)

電子の反跳方向を破棄

- 到来方向を円形に制限
- 誤差はドーナツ型

全体的に広がった
ぼけたimage



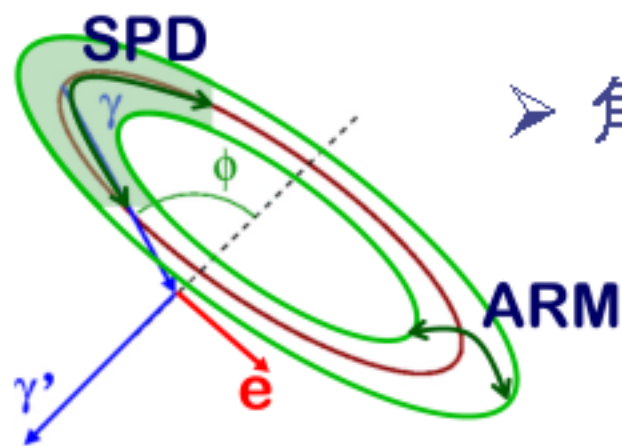
完全な再構成による ガンマ線イメージング

散乱 γ 線のenergy・散乱方向
反跳電子のenergy・反跳方向

→ 入射 γ 線の
energy・到来方向を再構成

試作機により

event毎の γ 線の
完全な再構成に成功!!

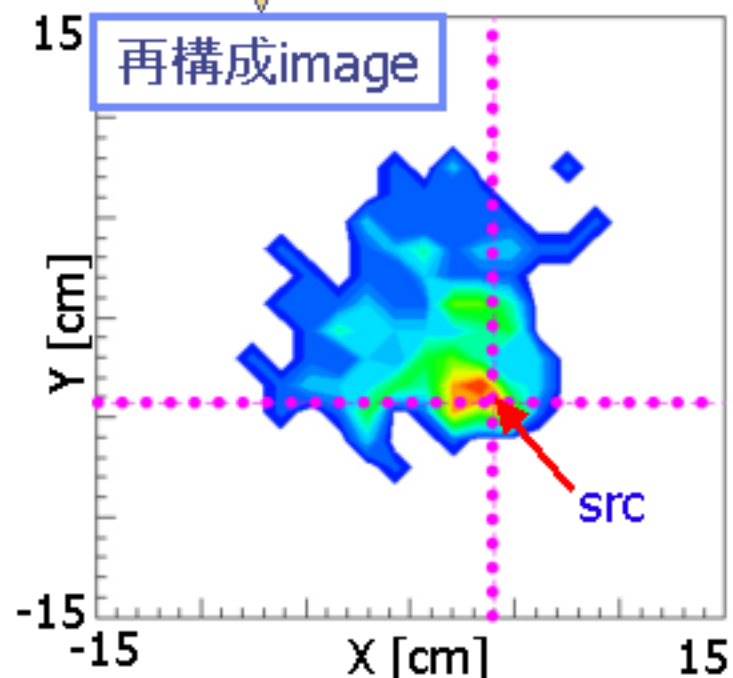
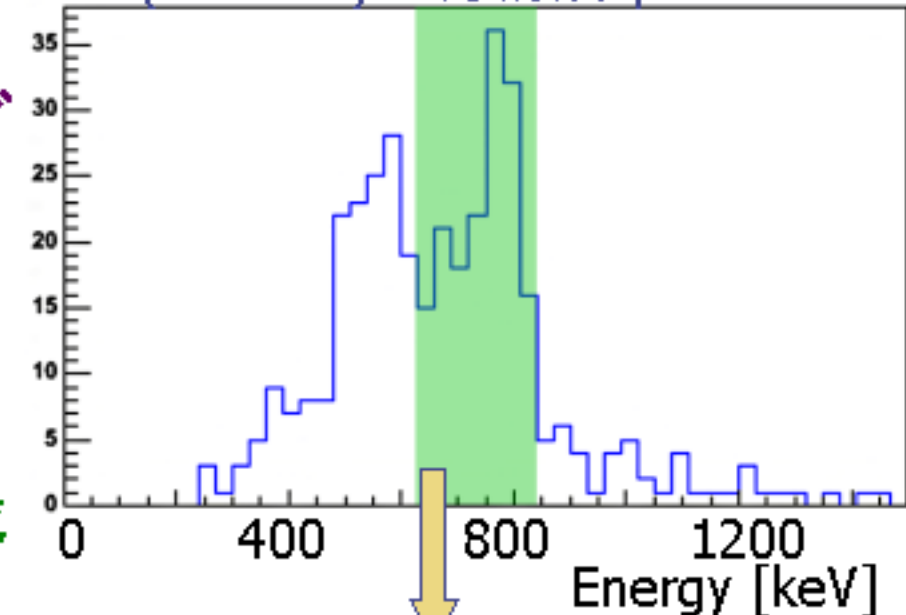


➤ 角度分解能(σ)

ARM $\sim 20^\circ$

SPD $\sim 30^\circ$

^{137}Cs (662keV)の再構成spectrum



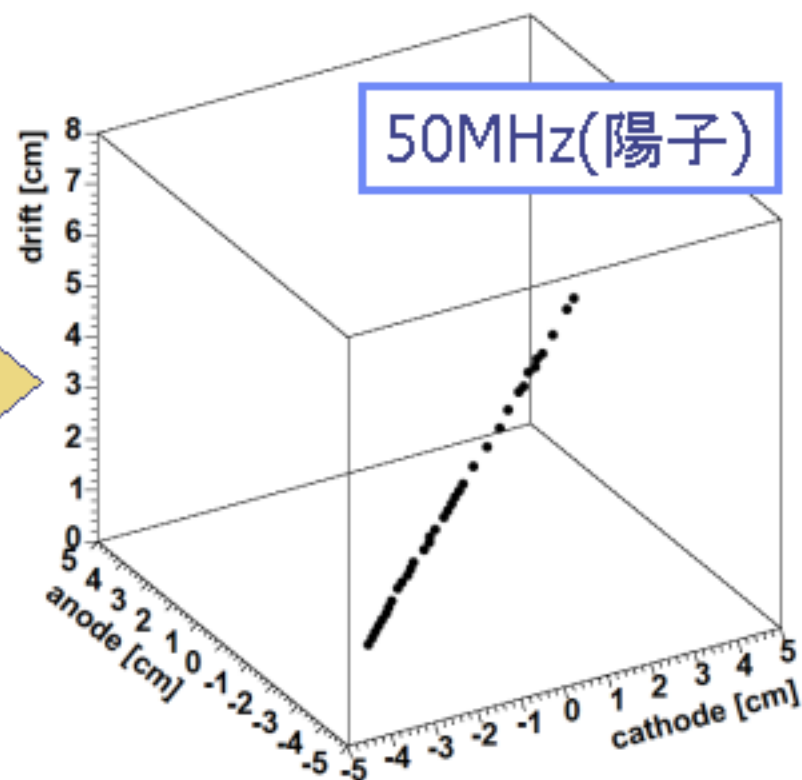
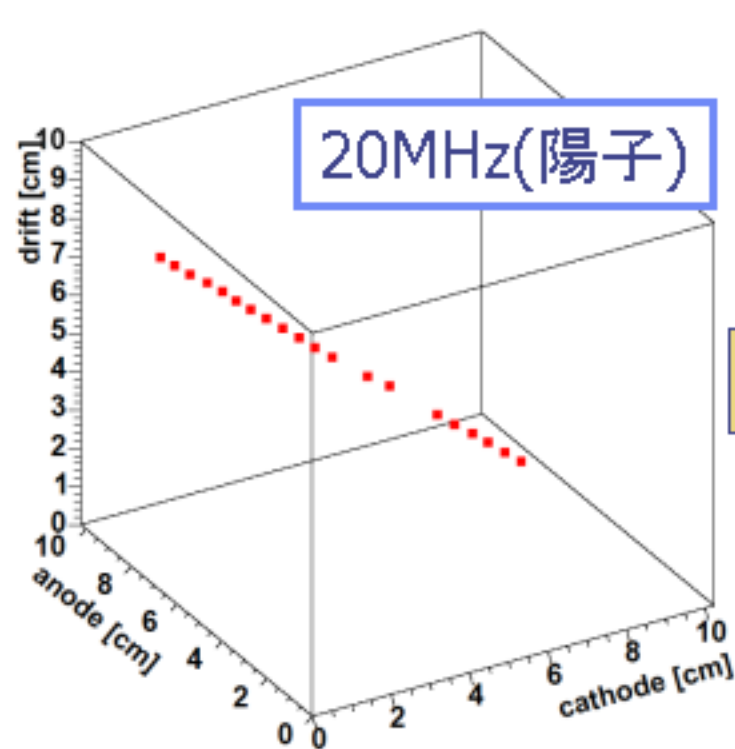
Summary & Future work

- ✓ event毎の γ の再構成に成功
 - ⇒ continueな成分についても再構成が可能
- ✓ 強力なbackground除去能力を実証
 - ⇒ COMPTTELよりも少ないevent数で高いSN比
- ✓ Prototype performance (full reconstruction)
 - ARM(σ) $\sim 20^\circ$
 - SPD(σ) $\sim 30^\circ$



- ARM (目標 $\sigma \sim 3^\circ$)
 - micro-TPCのuniformity向上
 - ⇒ energy分解能の向上
 - scintillatorのpixel化
 - ⇒ scintillatorの位置分解能の向上
- SPD (目標 $\sigma \sim 5^\circ$)
 - micro-TPCのclock up (20MHz \rightarrow 50MHz)
 - gas study (Ar \rightarrow CF₄)
 - tracking algorithm
 - micro-TPCの大容積化
 - ⇒ tracking能力の向上

micro TPCのclock up



各点のdrift方向の間隔: 2mm

各点のdrift方向の間隔: 0.8mm

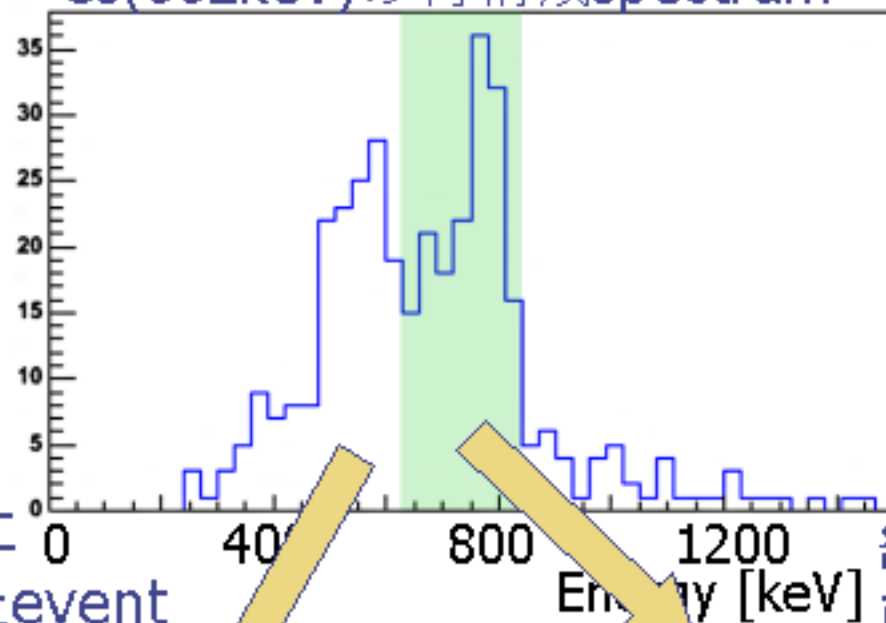
micro TPCの

位置分解能の向上

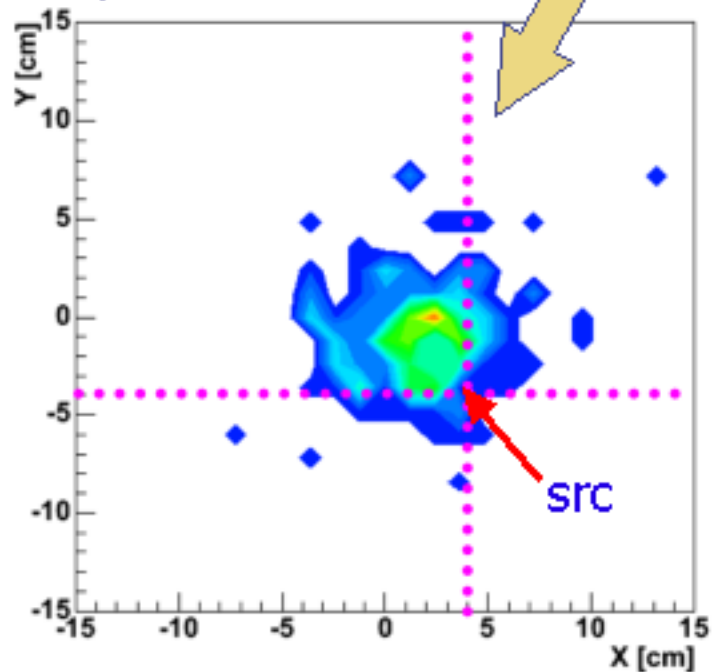


電子の反跳方向の精度向上

^{137}Cs (662keV)の再構成spectrum



検出器に入る前に
Compton散乱したevent



線源から
直接入射したevent

