

電子飛跡検出型コンプトンカメラ用 TPCに用いるガスの検討

京大理 高橋慶在

京大理: 谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎, 株木重人, Parker Joseph,
上野一樹, 黒澤俊介, 岩城智,
澤野達哉, 谷上幸次郎, 中村輝石, 東直樹

ISAS/JAXA: 高田淳史

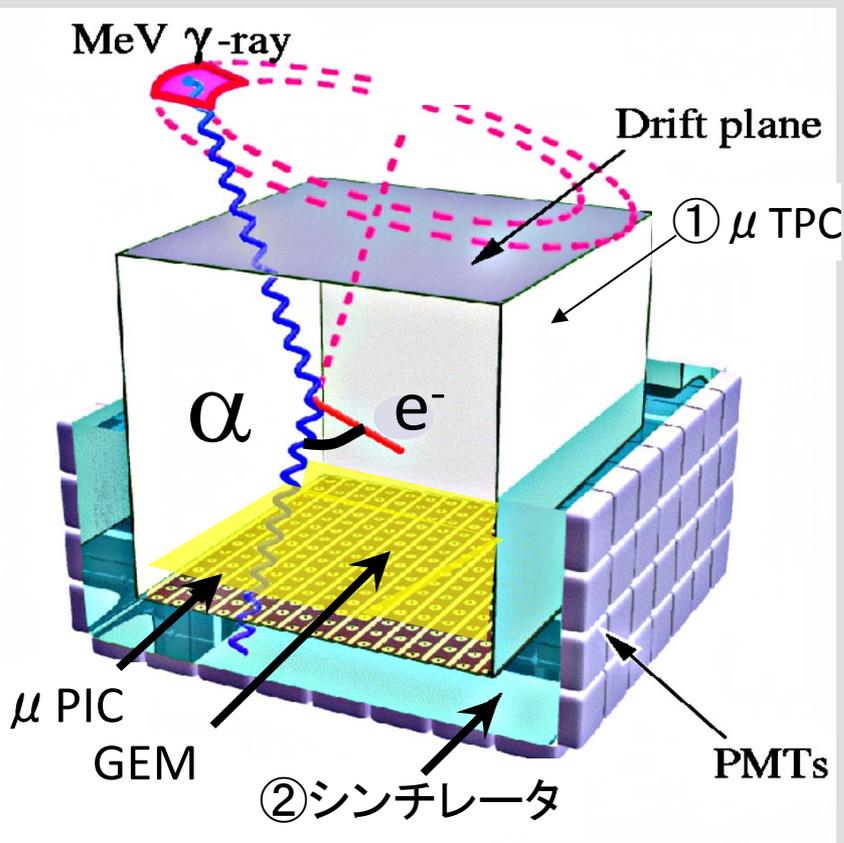
日本物理学会 2009年秋季大会
2009年9月11日(Fri.) @甲南大学

Contents

- 1, 我々のコンプトンカメラの概要
- 2, 第2回気球実験 ~SMILE II (*Sub-MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment II*) に向けて~
- 3, ガスの検討
- 4, TPCの性能比較
- 5, コンプトンカメラとしての性能比較
- 6, Summary & Future Work

1, 我々のコンプトンカメラの概要

1-1, 電子飛跡検出型コンプトンカメラ



※用途： γ 線天体観測、医療 他

① μ TPC (Time Projection Chamber)
(ガス封じ切り)

入射 γ 線をコンプトン散乱させる

GEM (Gas Electron Multiplier) (F.Sauli(1997))

+ μ PIC (Micro Pixel Chamber)

反跳電子のエネルギーと三次元飛跡を検出

② シンチレーションカメラ
シンチレータピクセルアレイ (GSO or LaBr₃)

+ マルチアノード PMT

散乱 γ 線のエネルギーと吸収点を検出

★ 3sr の大立体角

★ α 角による強力なバックグラウンド除去

1 イベントごとに γ 線の到来方向とエネルギーを特定出来る!!!

2, 第2回気球実験

～SMILE II (*Sub-MeV gamma-ray Imaging Loaded-on-balloon Experiment II*)

(2011年予定)に向けて～

- 第1回気球実験～SMILE I～(2006年9月@三陸)
 - 大気 γ 線、宇宙背景 γ 線を ~ 400 photon 検出 (Takada *et al.*)
 $10 \times 10 \times 15 \text{cm}^3$ TPC, 1atm(sealed),
Xe54%+Ar40%+C₂H₆6%(pressure ratio)
 - SMILE2でCrab or Cyg X-1を捉える
 - 10倍 (COMPTTELと同程度) 以上の
検出感度を目指す
- 検出器の大型化 (11aSB澤野講演)
 $30 \times 30 \times 30 \text{cm}^3$ 以上の μ TPCを予定
 - 封入ガスの高圧化 (10pSD黒澤講演)
1.5atm or 2atm
 - **ガスの種類の検討** (本講演)



3-1-1, ガスの検討

～ Ar90%+C₂H₆10%から

CF₄20%+Ar72%+C₂H₆8%へ～

CF₄ mixの利点

1, コンプトン確率が上がり、

Efficiencyが約1.2倍上がる (GEANT4 による)

2, Diffusionが小さく、Position Resolutionが良い

欠点

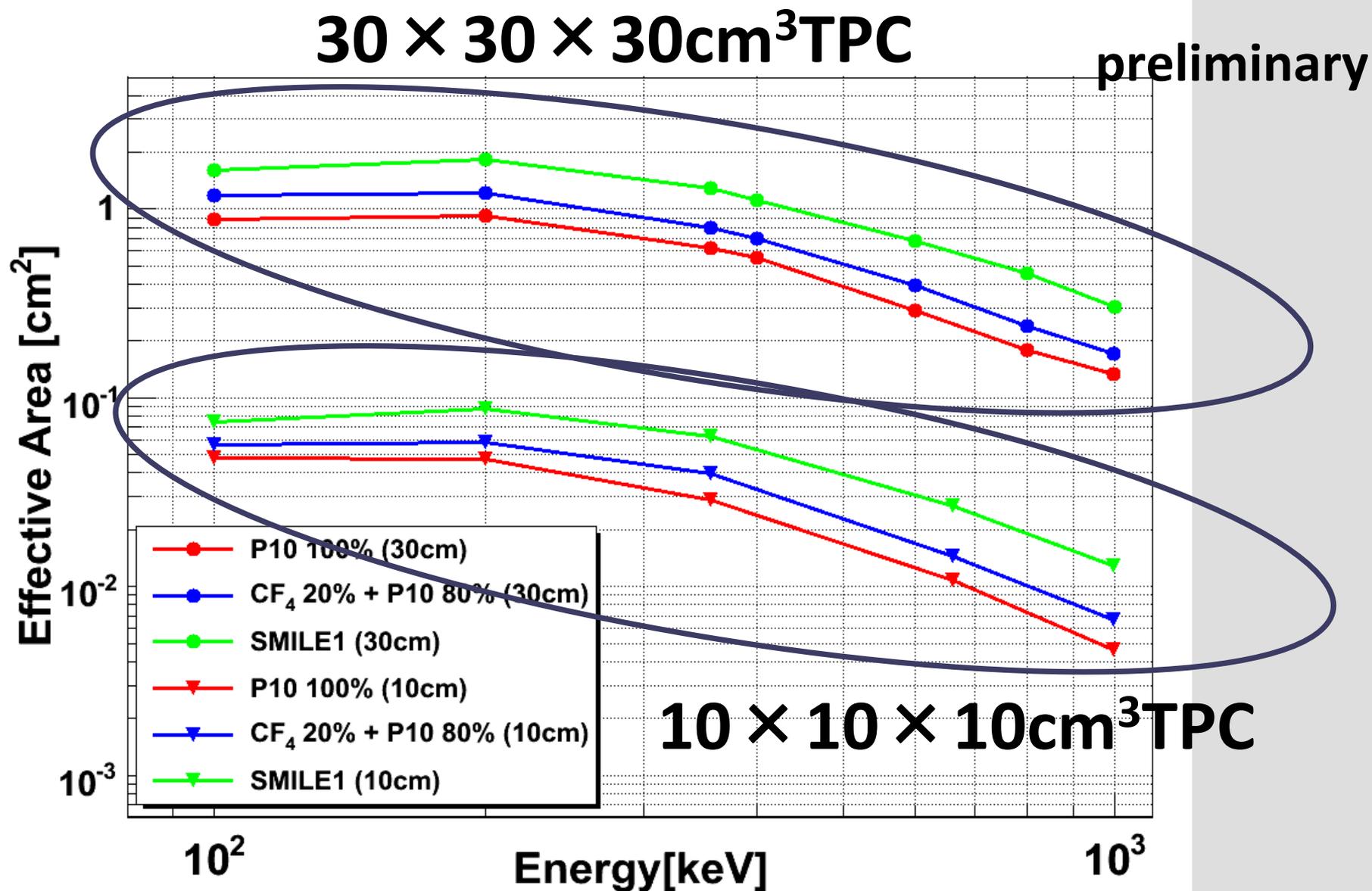
1, Gas Gainが低く、 μ PIC、GEMが放電しやすい

2, DriftVelocity が上がり、Drift方向の精度下がる

CF₄mixで初の、コンプトンカメラとしての画像化
角度分解能を保ちつつ、Efficiencyを上げる

目標値 : ARM 9度@356keV (Ar90%+C₂H₆10%と同程度)
Efficiency 1.2倍 (Ar90%+C₂H₆10%比較)

3-2, GEANT4によるEffective Area比較



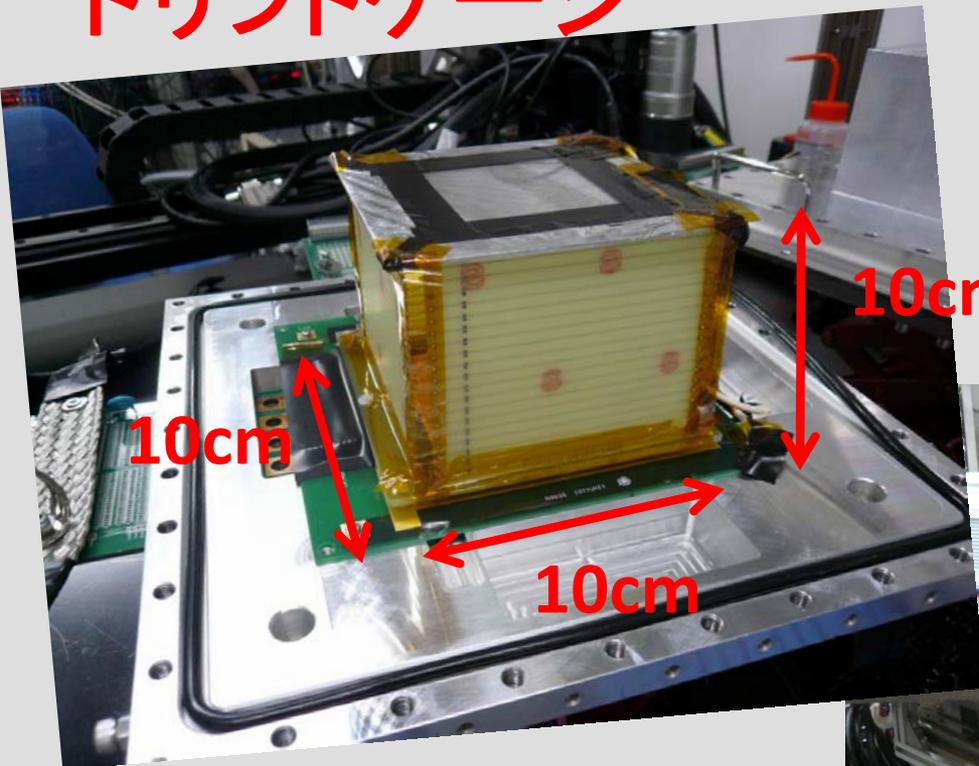
4, TPCの性能比較

4-1, 比較項目

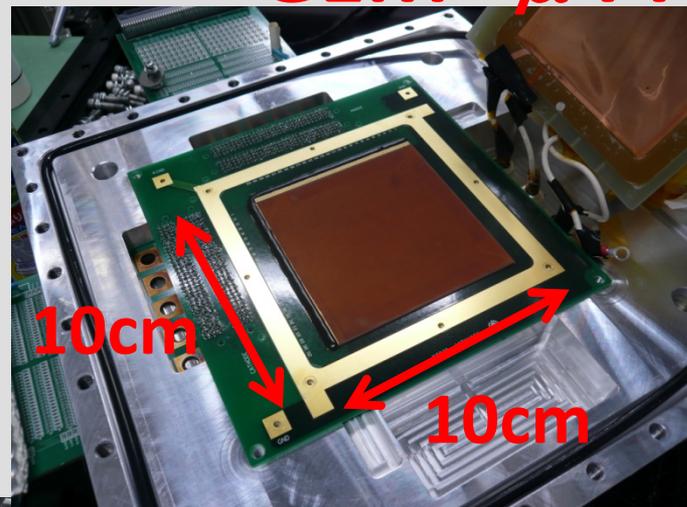
- 1, Gas Gain
- 2, Drift Velocity
- 3, Energy Resolution
- 4, Position Resolution

4-2, 実験 Set Up

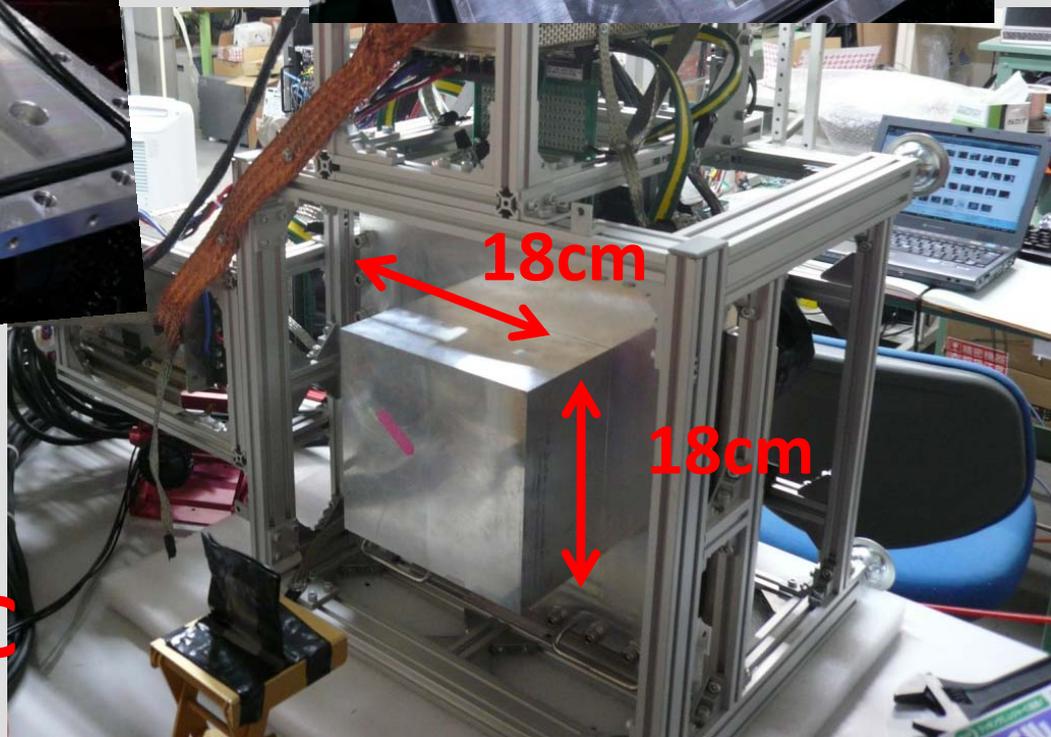
ドリフトケージ



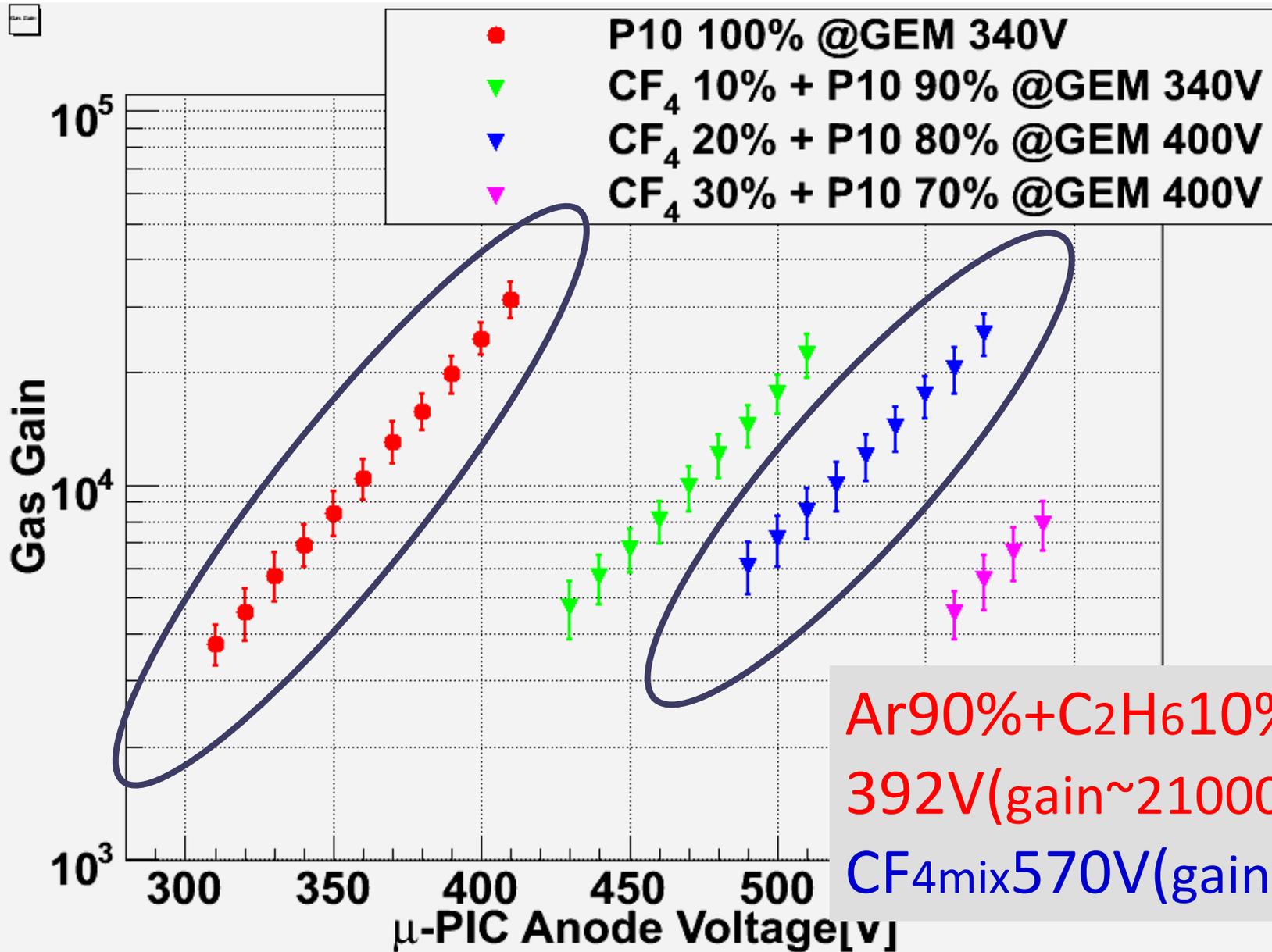
GEM+ μ PIC



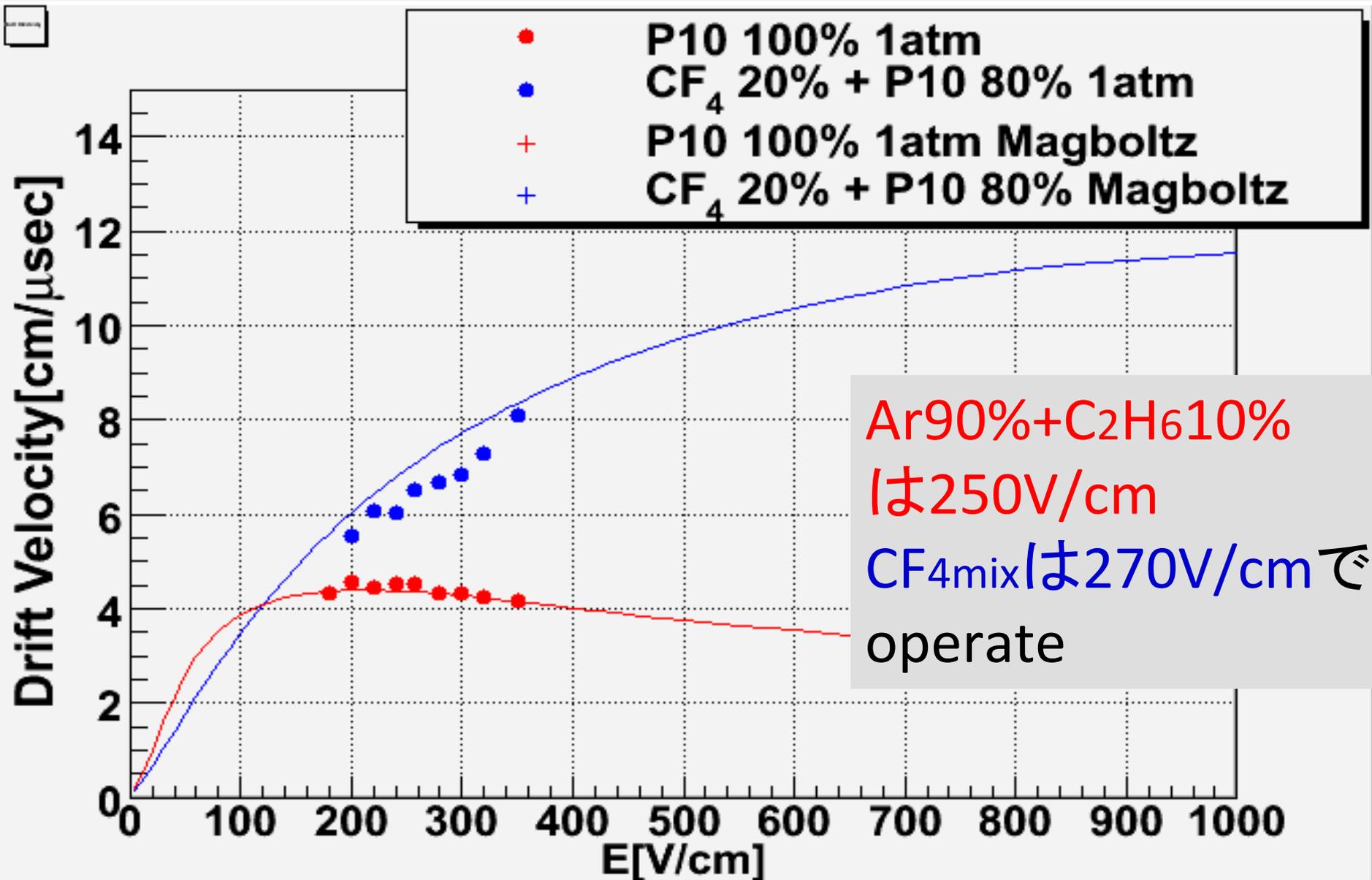
μ TPC



4-3, Gas Gain 比較



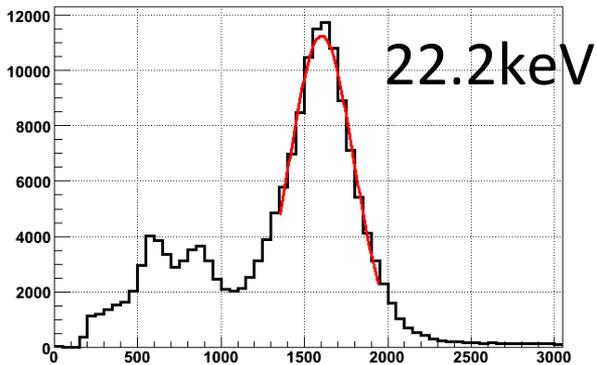
4-4, Drift Velocity 比較



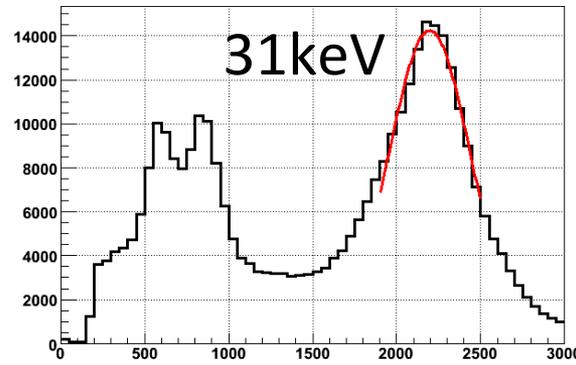
4-5-1, Energy Resolution 比較

Ar90%+C₂H₆10%

Gain : ~21000 @ μ PIC 392V, GEM Δ 340V



¹⁰⁹Cd

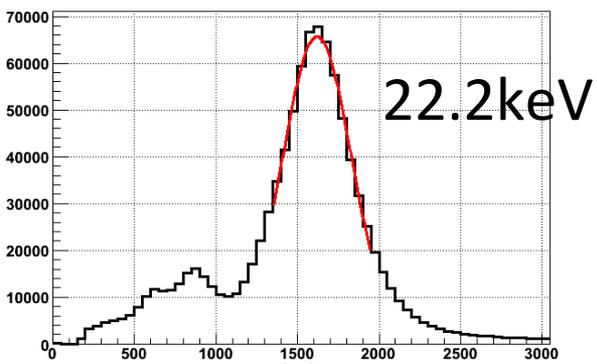


¹³³Ba

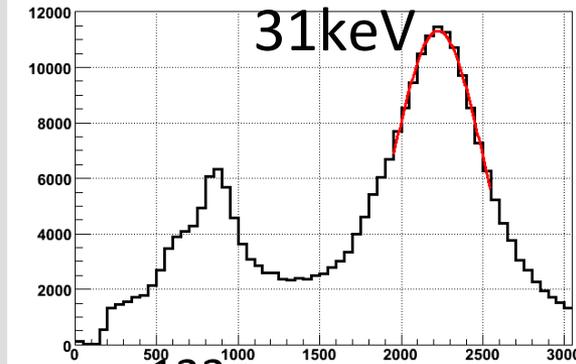
Energy Resolution
(FWHM)
¹⁰⁹Cd 22.2keV **28.0%**
¹³³Ba 31keV **26.0%**

CF₄ 20%+Ar72%+C₂H₆8%

Gain : ~25000 @ μ PIC 570V, GEM Δ 400V



¹⁰⁹Cd



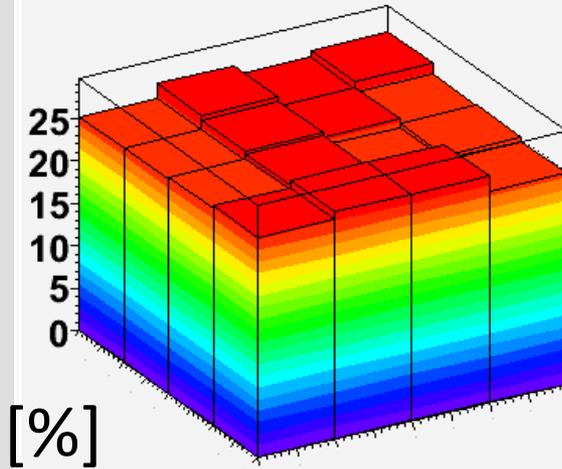
¹³³Ba

Energy Resolution
¹⁰⁹Cd 22.2keV **30.1%**
¹³³Ba 31keV **28.8%**

4-5-2, Energy Resolution Uniformity 比較

μ PIC面を16分割

@31keV

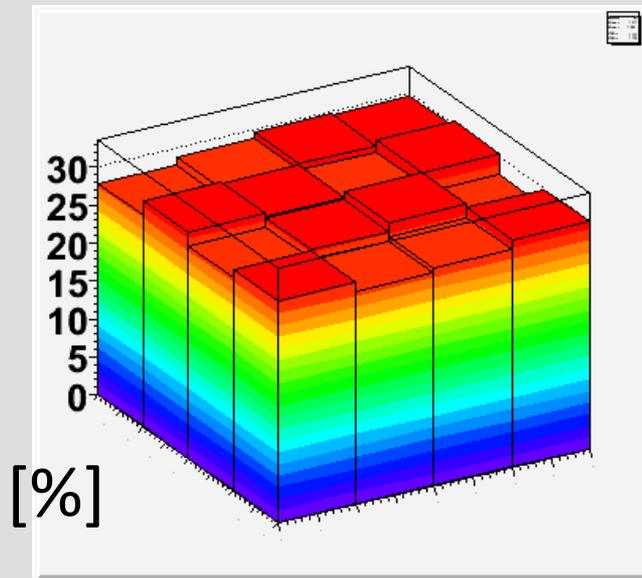


Ar90%+C₂H₆10%

EnergyResolution(FWHM)

Mean 25.86%

RMS 0.64%



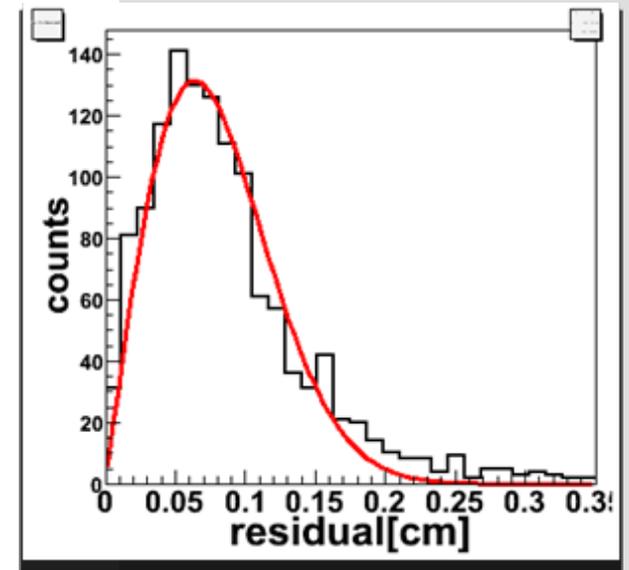
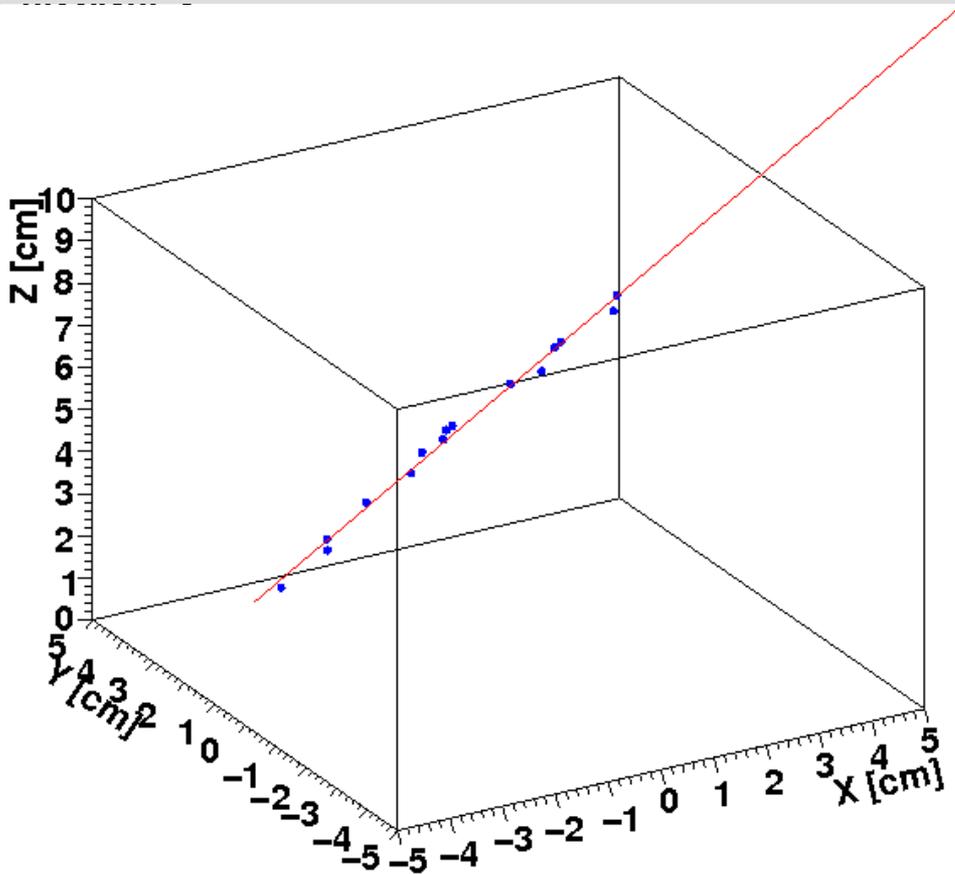
CF₄ 20%+Ar72%+C₂H₆8%

Mean 29.13%

RMS 0.86%

4-6, Position Resolution

4-6-1, muon track



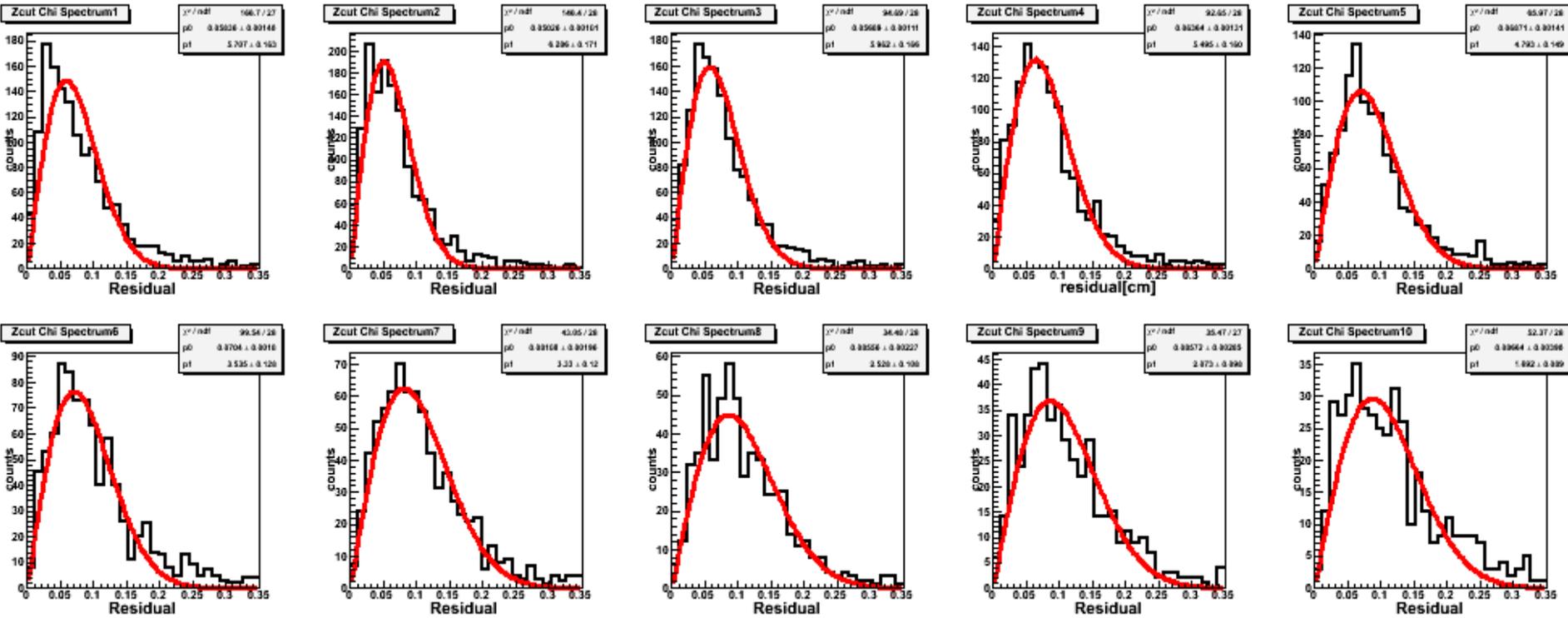
$$\sigma^2(l) = \sigma_{\text{detector}}^2 + (D\sqrt{l})^2$$

l : drift length

D : 拡散係数

4-6-2 Residual Fit

Drift Length 0cm → 5cm

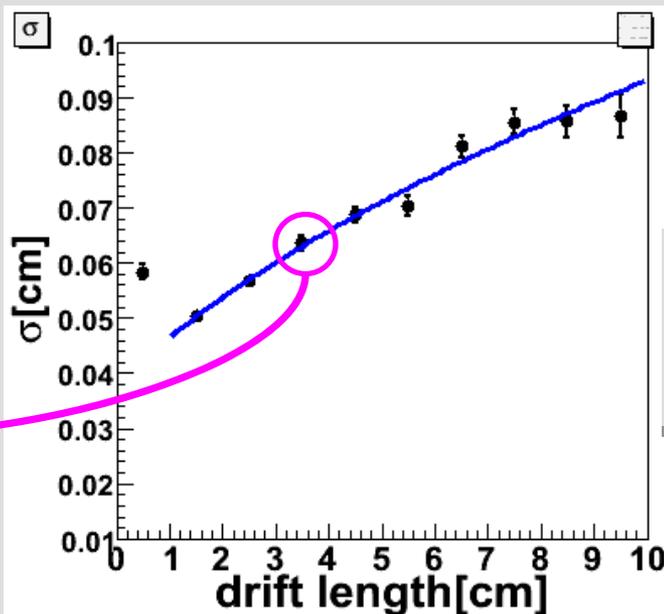
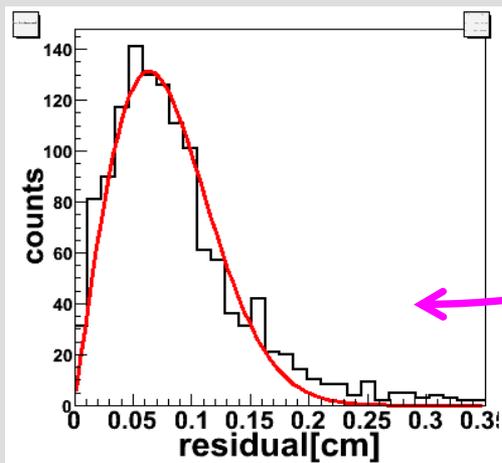


5cm → 10cm



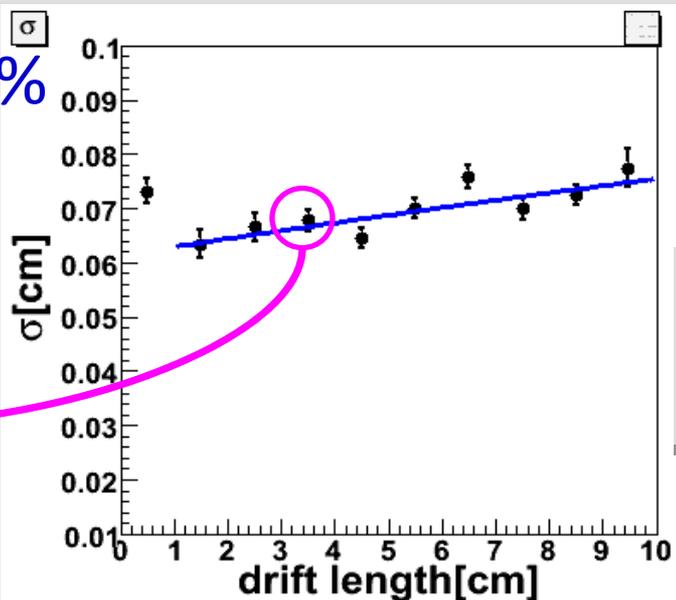
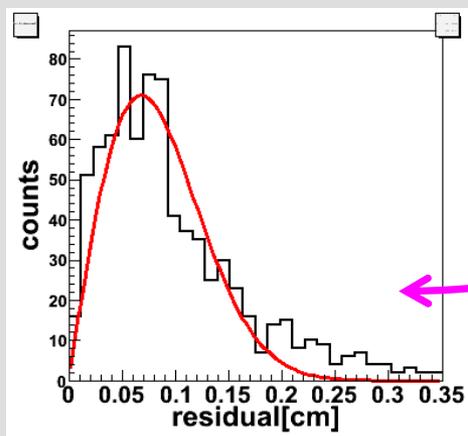
4-6-3, Position Resolution 比較

Ar90%+C₂H₆10%



$$\sigma_{\text{detector}} = 380 \mu\text{m}$$
$$D = 269 \mu\text{m}/\text{cm}^{1/2}$$

CF₄ 20%+Ar72%+C₂H₆8%



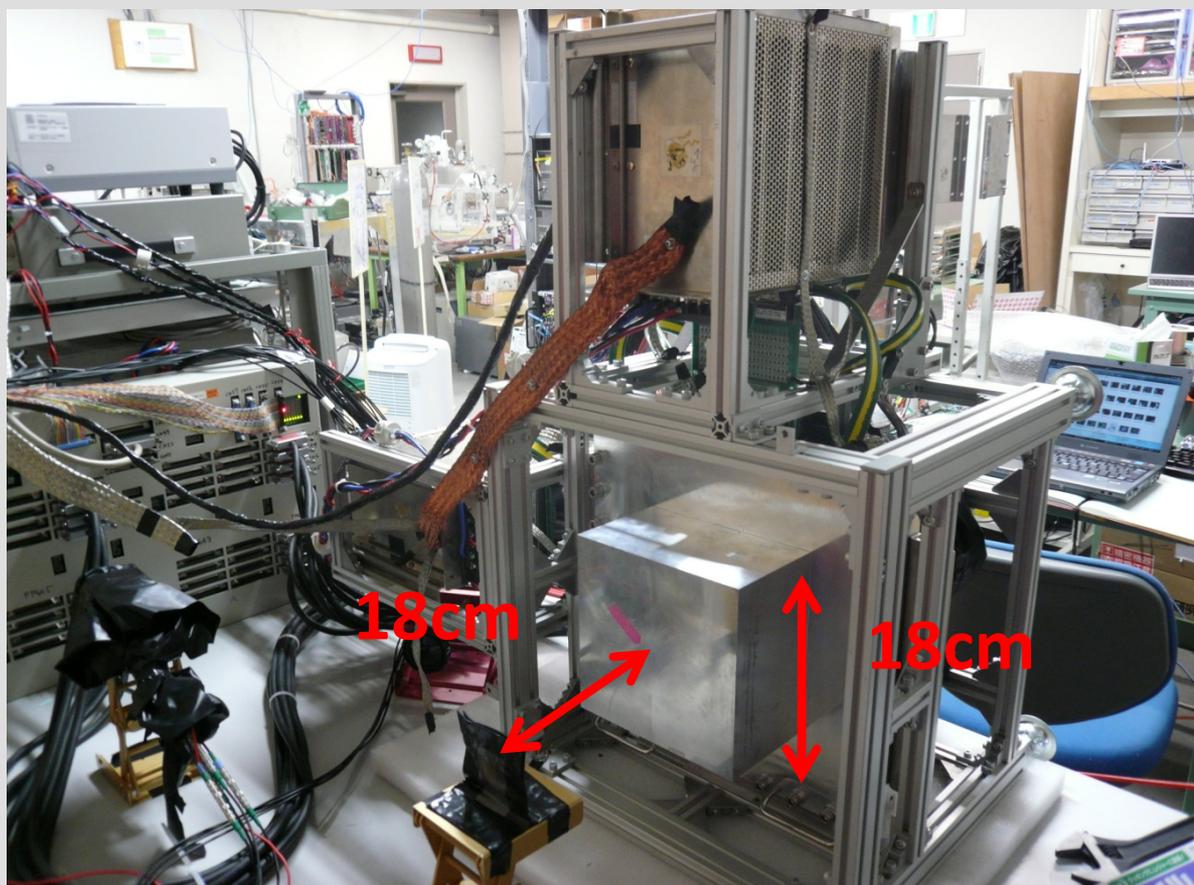
$$\sigma_{\text{detector}} = 614 \mu\text{m}$$
$$D = 139 \mu\text{m}/\text{cm}^{1/2}$$

5, コンプトンカメラとしての性能比較

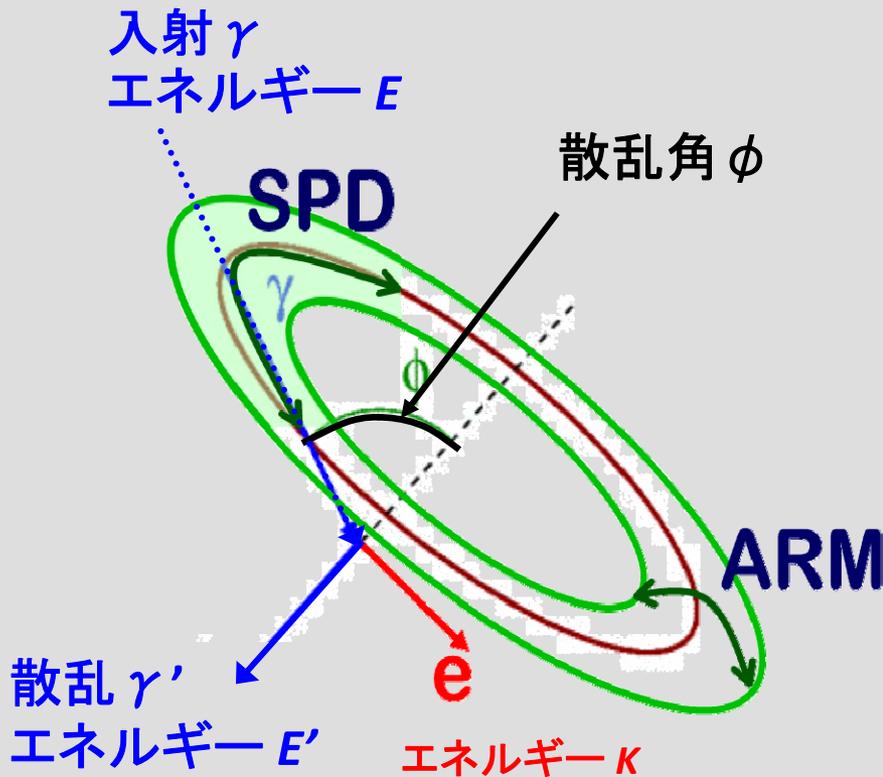
5-1, 比較項目とSet Up

1, ARM,SPD

2, Efficiency



5-2, 角度分解能 (ARM, SPD) の定義



ARM :

Angular Resolution Measure

SPD :

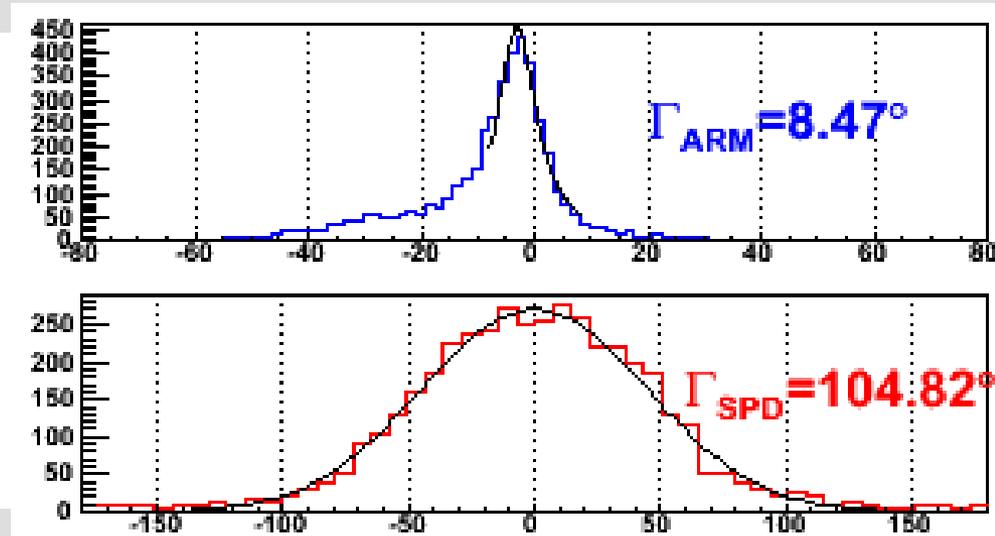
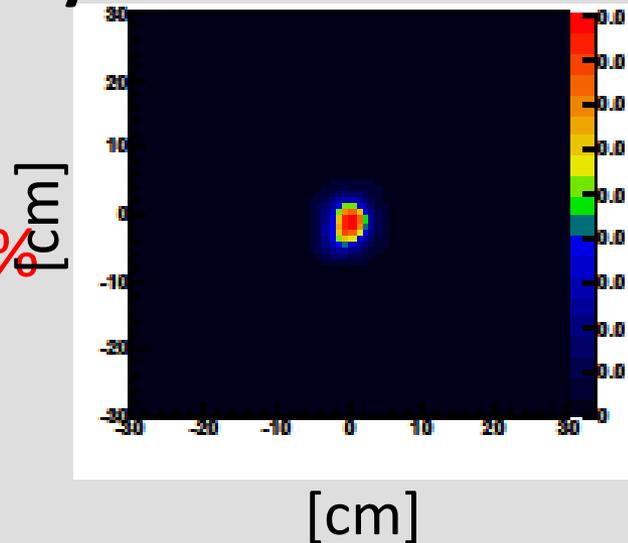
Scatter Plane Deviation

$$\cos \phi = 1 - \frac{m_e c^2}{E' + K} \frac{K}{E'}$$

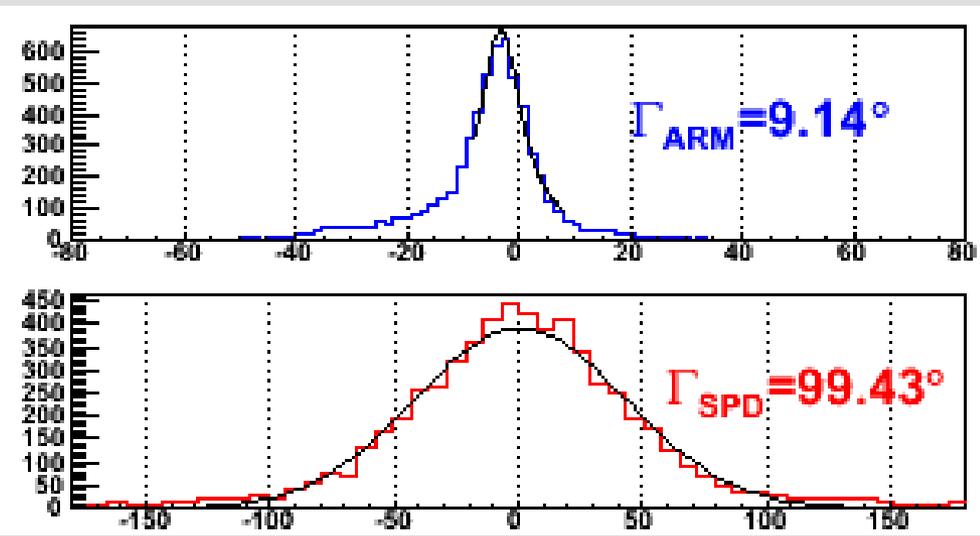
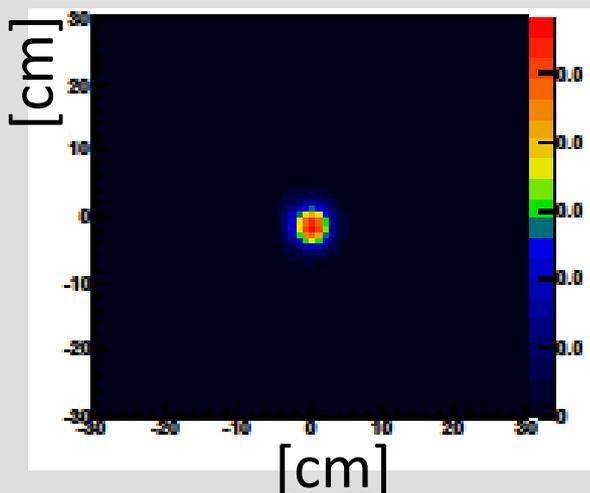
5-3, ^{133}Ba (356keV)線源の再構成

preliminary

Ar90%
+C₂H₆10%



CF₄ 20%
+Ar72%
+C₂H₆8%



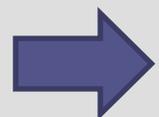
5-4, Efficiency

GEANT4によるsimulationの結果
Efficiencyの比は、1.25倍(@356keV)

実測値

Ar90%+C₂H₆10% : 1.33×10^{-5}

CF₄ 20%+Ar72%+C₂H₆8% : 1.46×10^{-5}

 1.1倍

preliminary

6, Summary & Future Work

- Ar90%+C₂H₆10%と CF₄ 20%+Ar72%+C₂H₆8%
の性能比較。
- TPCのEnergy Resolutionは同等の結果が得られた。
- 角度分解能も同等。
- Efficiencyが1.1倍(@356keV)になった。(preliminary)
- CF₄封入コンプトンカメラとして線源の画像化に成功!!!
- CF₄の割合を増やす
- Gas Gainが低い
→ C₄H₁₀の導入を検討

