

電子飛跡検出型コンプトンカメラにおける 飛跡取得アルゴリズムの改良 II

古村翔太郎, 谷森達, 窪秀利, 水本哲矢, Parker Joseph, 岩城智,

澤野達哉, 中村輝石, 松岡佳大, 佐藤快 (京大理)

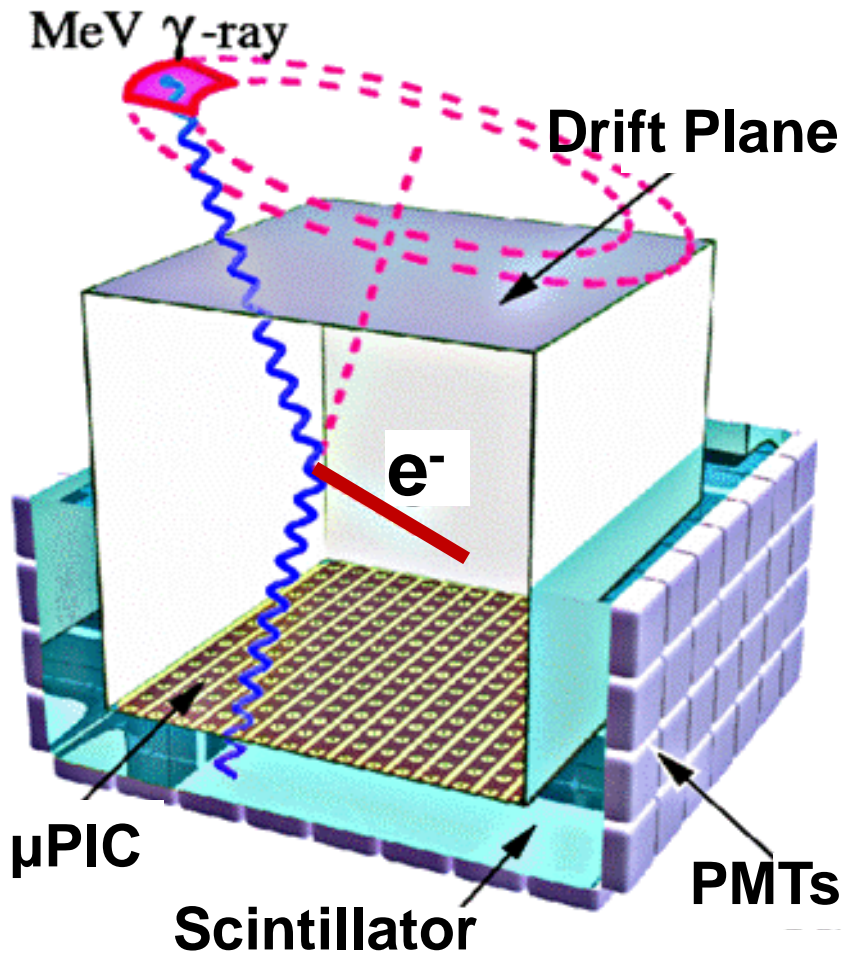
身内賢太郎 (神戸大理), 高田淳史 (京大生存研), 岸本祐二 (KEK),

上野一樹 (理研), 株木重人 (東海大医), 黒澤俊介(東北大金属研)

- ◆ 電子飛跡検出型コンプトンカメラ
- ◆ 飛跡取得アルゴリズムの改良
- ◆ 従来との性能比較
- ◆ まとめ

電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC)

Electron-Tracking Compton Camera

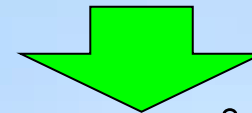


- **ガス飛跡検出器 μ -TPC**

反跳電子の3次元飛跡とエネルギー
(**コンプトン点と反跳方向**)

- **シンチレーションカメラ**

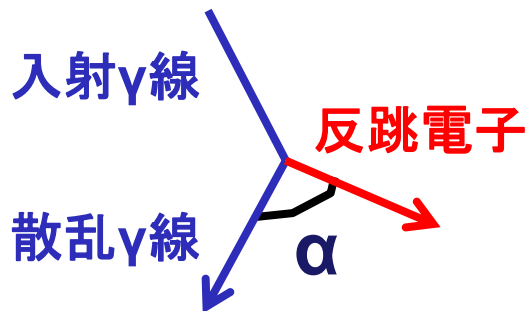
散乱ガンマ線の吸収点とエネルギー



イベントごとにコンプトン散乱を再構成

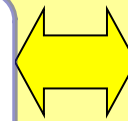
- **光子 → 到来方向 + エネルギー取得**

- **運動学を用いたバックグラウンド除去**



幾何学的に

$$\cos \alpha_{\text{geo}} = \vec{g} \cdot \vec{e}$$



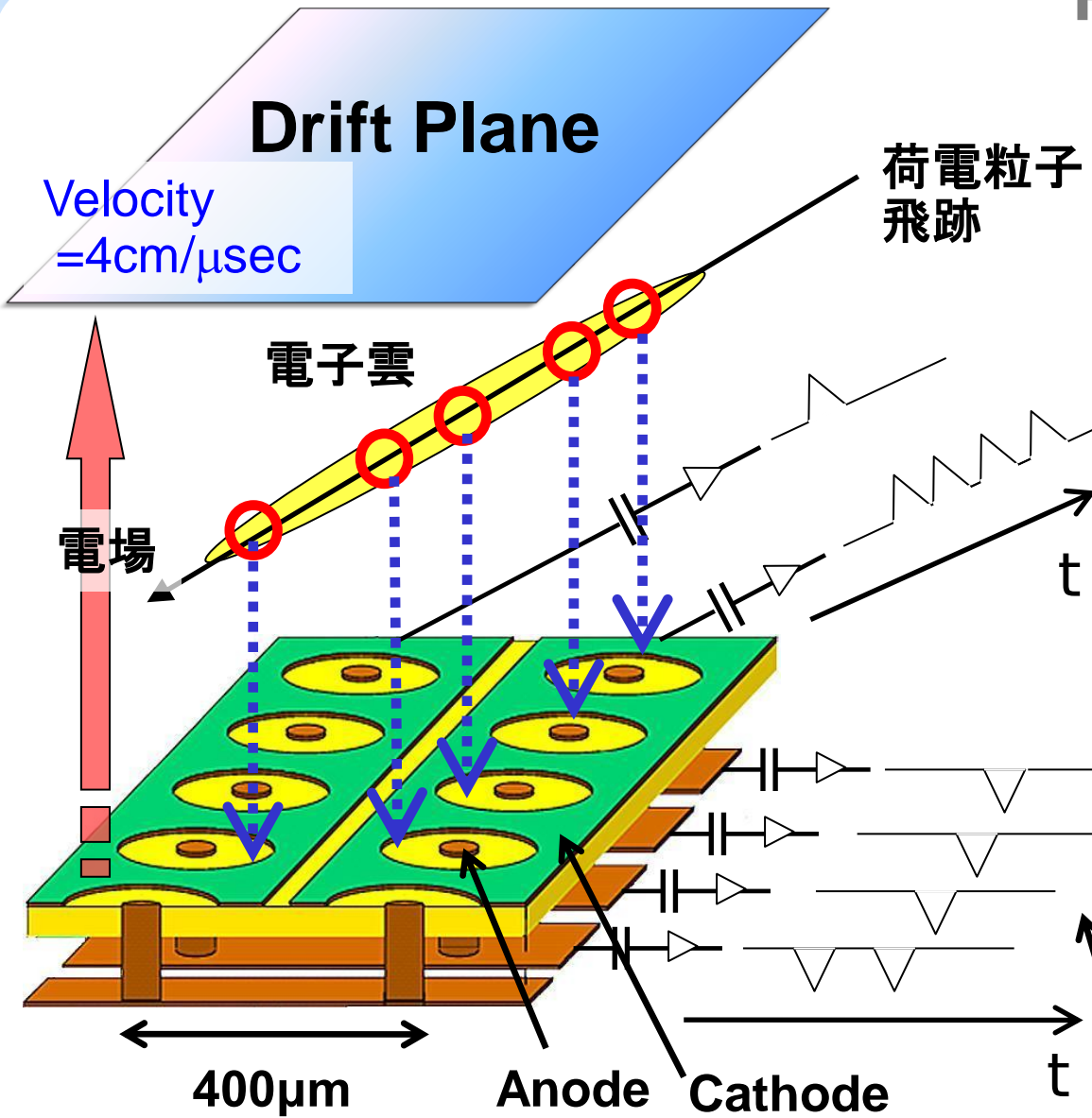
運動学的に

$$\cos \alpha_{\text{kin}} = \left(1 - \frac{m_e c^2}{E_\gamma}\right) \sqrt{\frac{K_e}{K_e + 2m_e c^2}}$$

- **広い視野 (~3str)**

ガス飛跡検出器 μ -TPC

Micro Time Projection Chamber



2次元位置検出器 : μ PIC (Micro Pixel Chamber)

- Pixel Pitch : 400 μ m
- 検出面サイズ : 10cm \times 10cm
- 256 + 256本のストリップ構造 (~ 65,000 Pixel)
- 前置増幅器としてGEM使用 (Gas Electron Multiplier)
- 典型的ガスゲイン
~ 3,000 (μ PIC) \times ~ 10 (GEM)
= ~ 30,000

◆ 2次元位置情報 + 時間情報
ストリップ番号 Drift時間

この先でデータ処理を行う、
FPGAのプログラムを改良

飛跡取得アルゴリズムの改良

◆ 従来の問題点

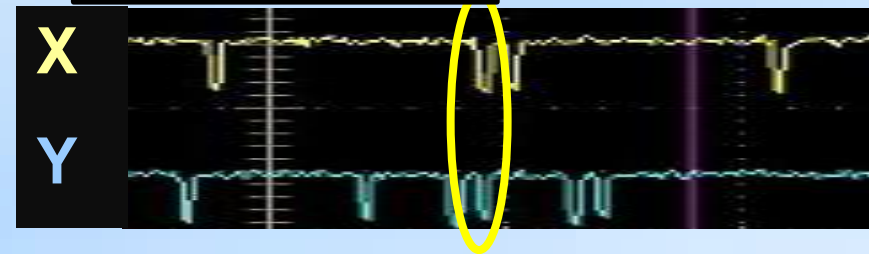
- ロジック由来のヒットの取りこぼし
- uPIC面に平行・垂直成分の損失

◆ 行った改良

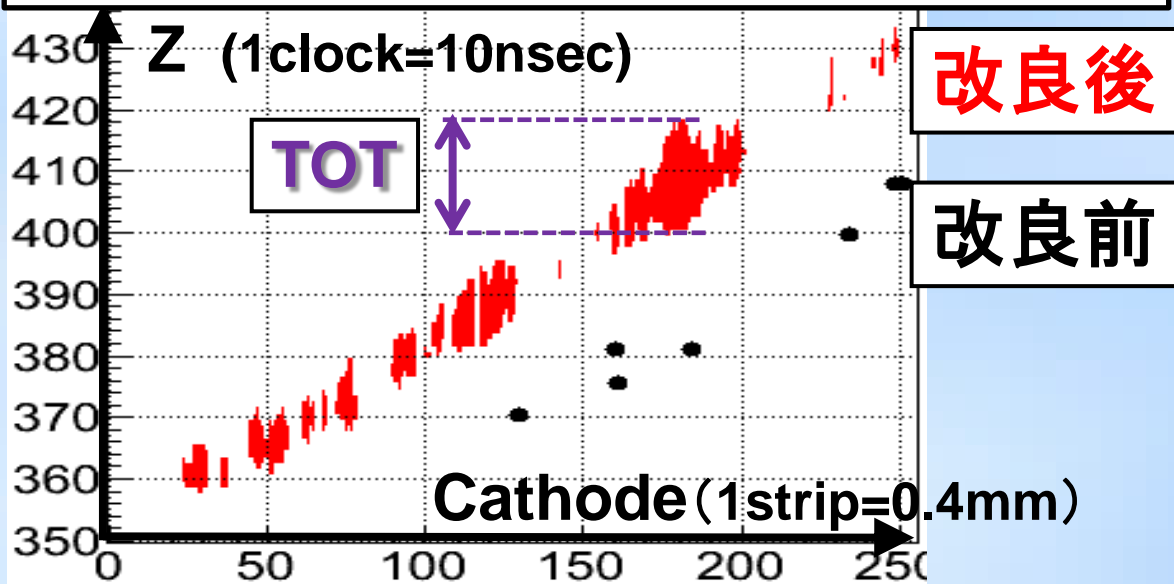
- ① uPICのX,Yで自動コインシデンス
→ 解除、全てのヒットを記録
- ② 信号の立ち上がり時刻のみ記録
→ 信号の持続時間(TOT)も記録



X、Yのヒット信号



宇宙線 μ の飛跡 (解析的に落として比較)

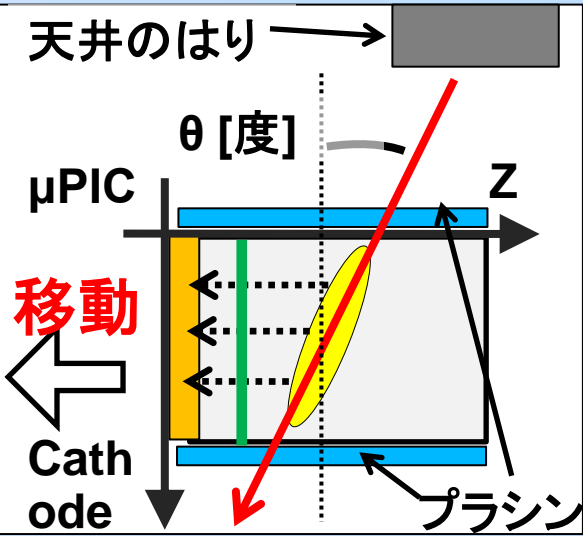


前回、宇宙線 μ に対して、

- ① ヒット取りこぼし改善
- ② 平行飛跡の改善
- ③ 解析にTOTを用いると
位置分解能が向上傾向

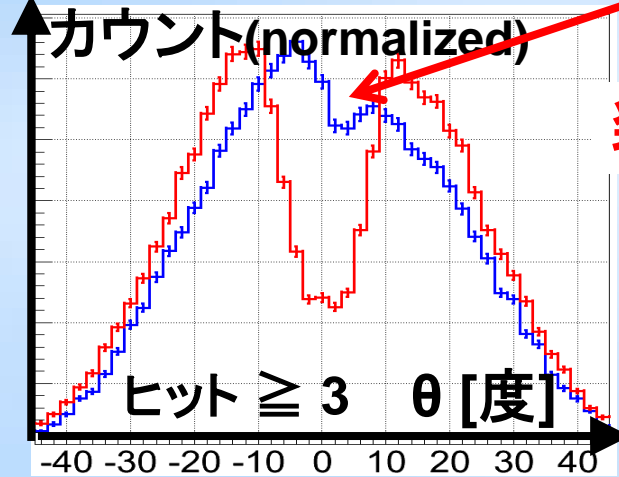
を確認済み

天頂角分布へこみ

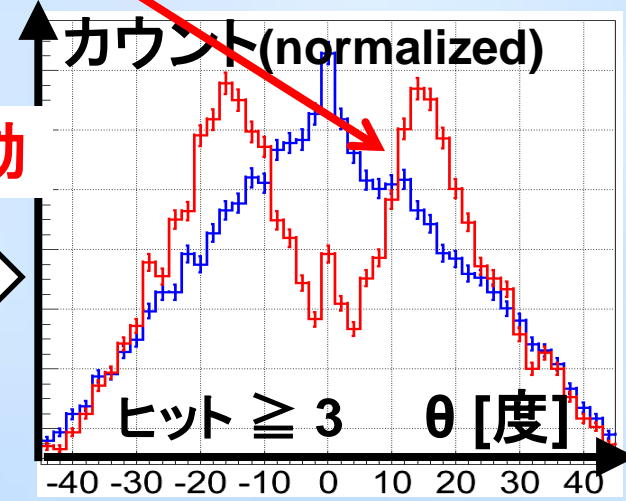


宇宙線 μ の天頂角分布

青：改良後 赤：改良前

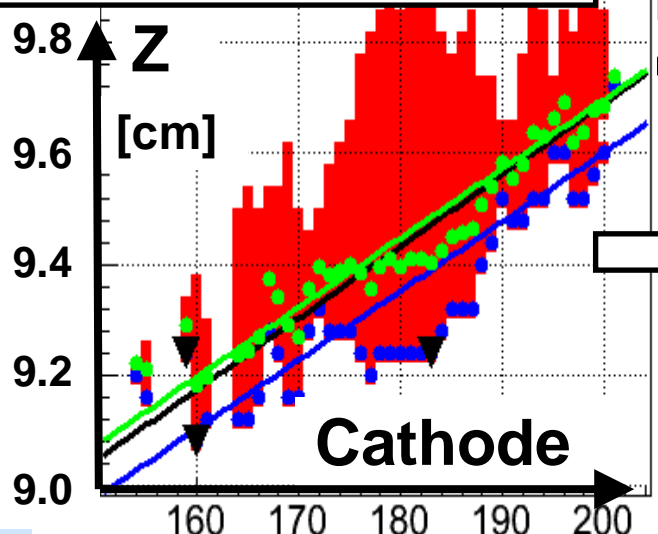


へこみも移動(→外部要因)

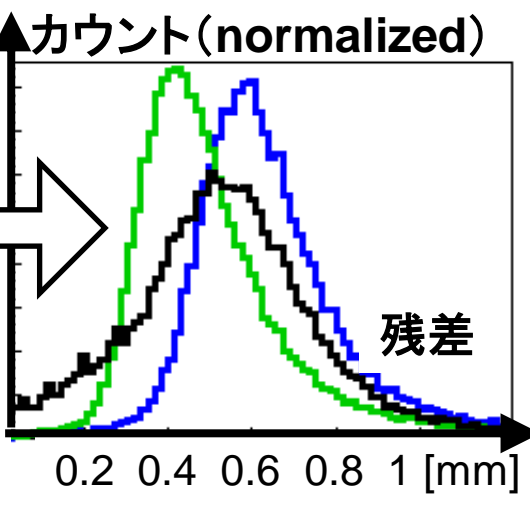


位置分解能のDrift依存性 (3通りの解析法)

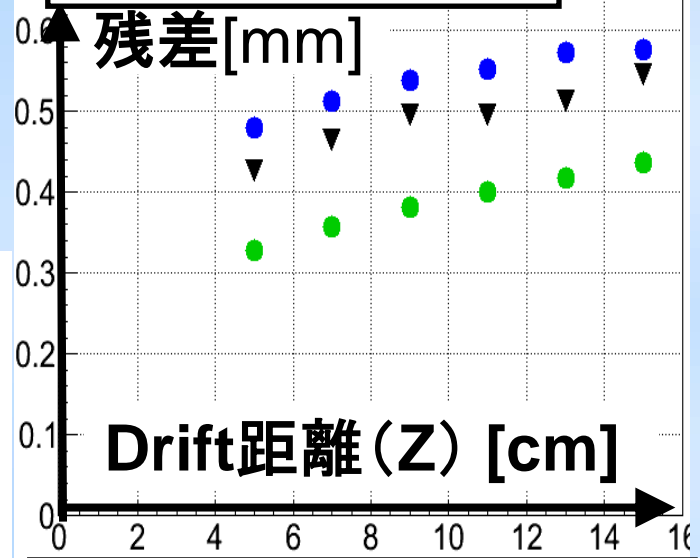
黒▼: 改良前の方法
 青●: 立ち上がり法
 緑●: ピーク法



残差の分布
 ($8 < Z \leq 10\text{cm}$)

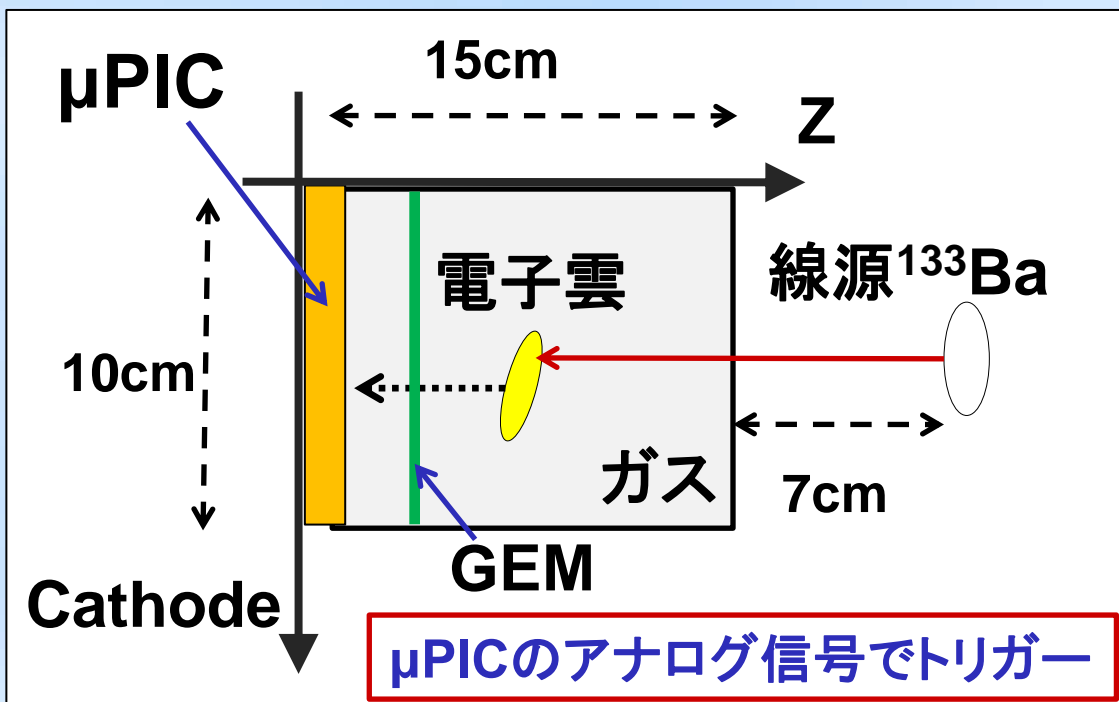


残差のDrift依存性

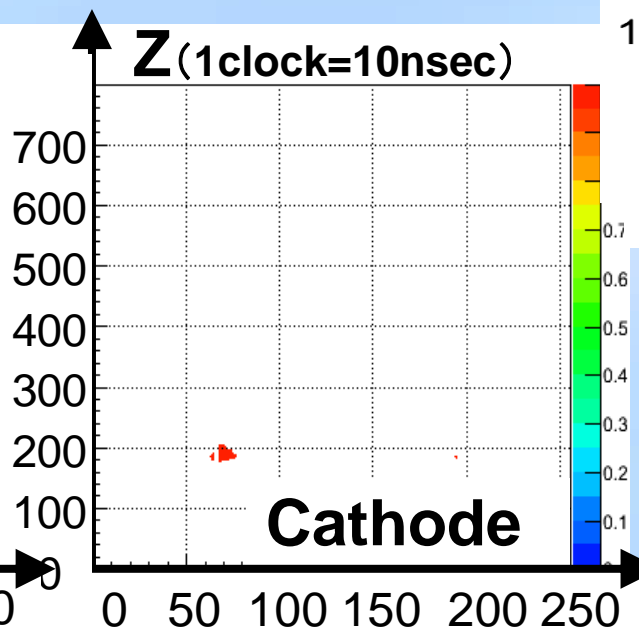
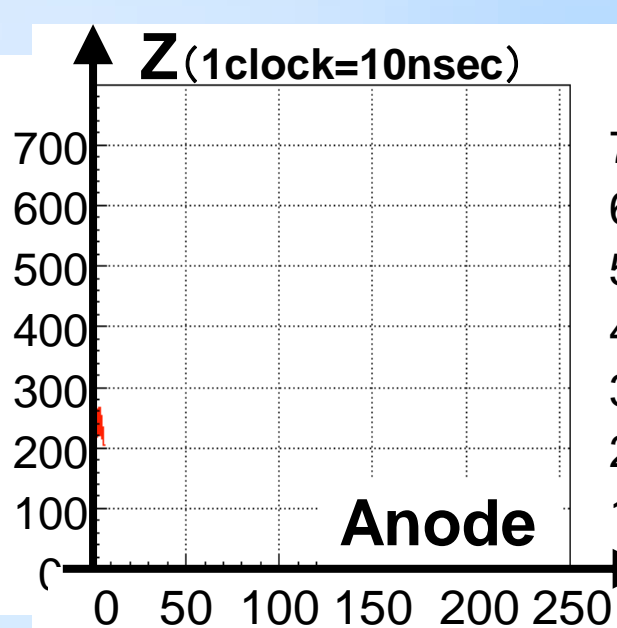
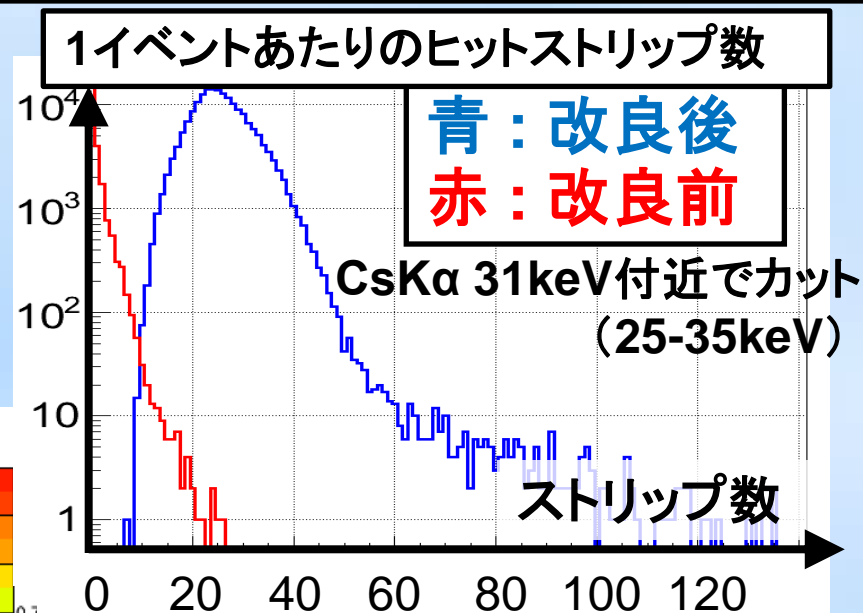


・Z依存性が見えている
 ・解析しただいで
 位置分解能が向上

^{133}Ba 31keV 光電子 飛跡 & ヒット数分布



サイズ : 10cm × 10cm × 15cm
 ガス : Ar 90% C₂H₆ 10% 1atm
 Gain : ~ 20,000
 Threshold : Anode -42mV
 Cathode +40mV

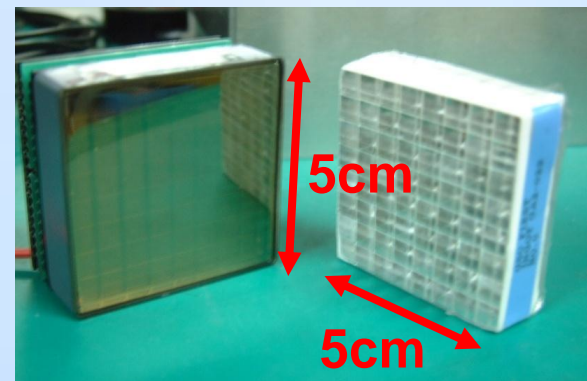
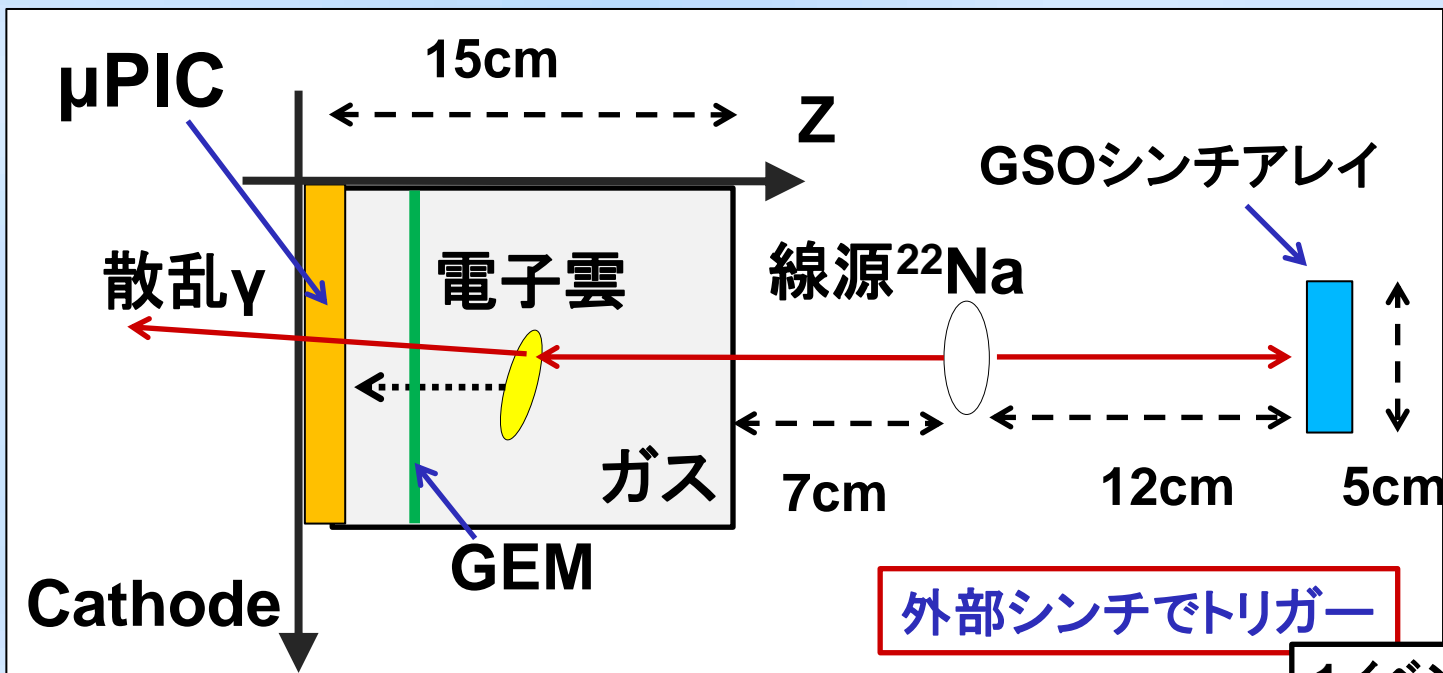


方向決定に必要な
 3ヒット以上のイベント割合

- 改良前 1.63%
- 改良後 100%

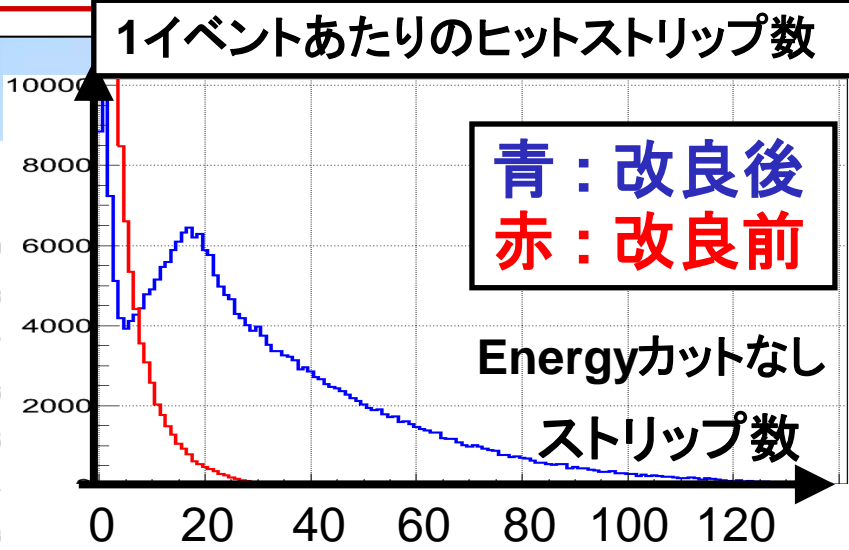
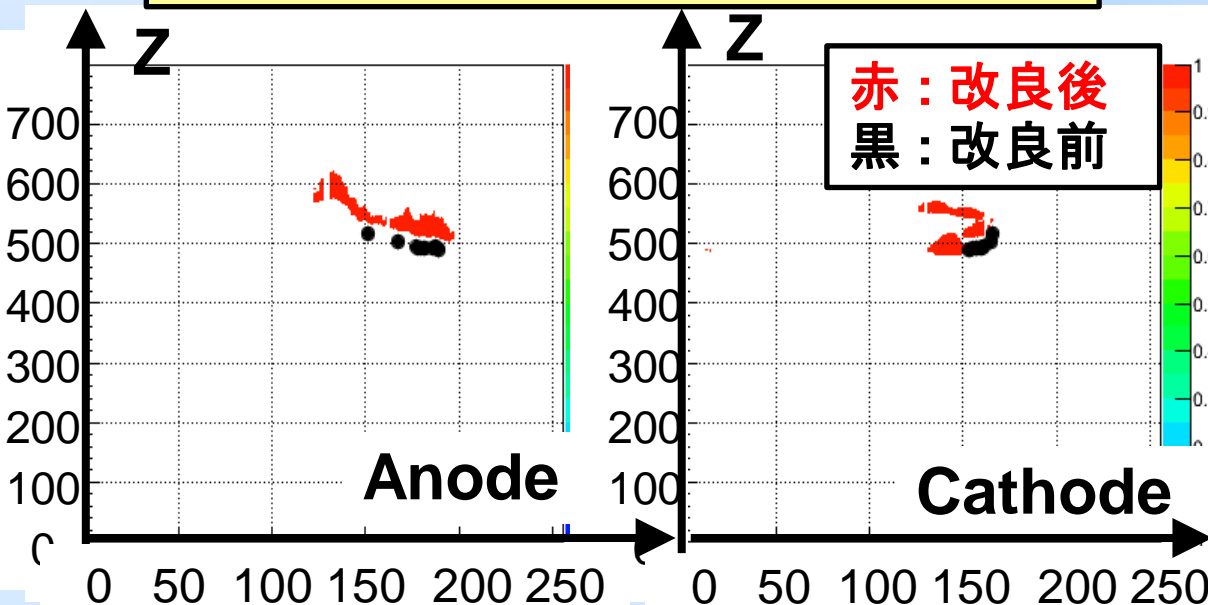
→ 大幅に効率改善

^{22}Na 511keV の反跳電子 飛跡 & ヒット数分布



シンチレータ GSO(Ce)
(結晶: $6 \times 6 \times 13\text{mm}^3$)
マルチアノードPMT H8500
(8×8 ピクセル)

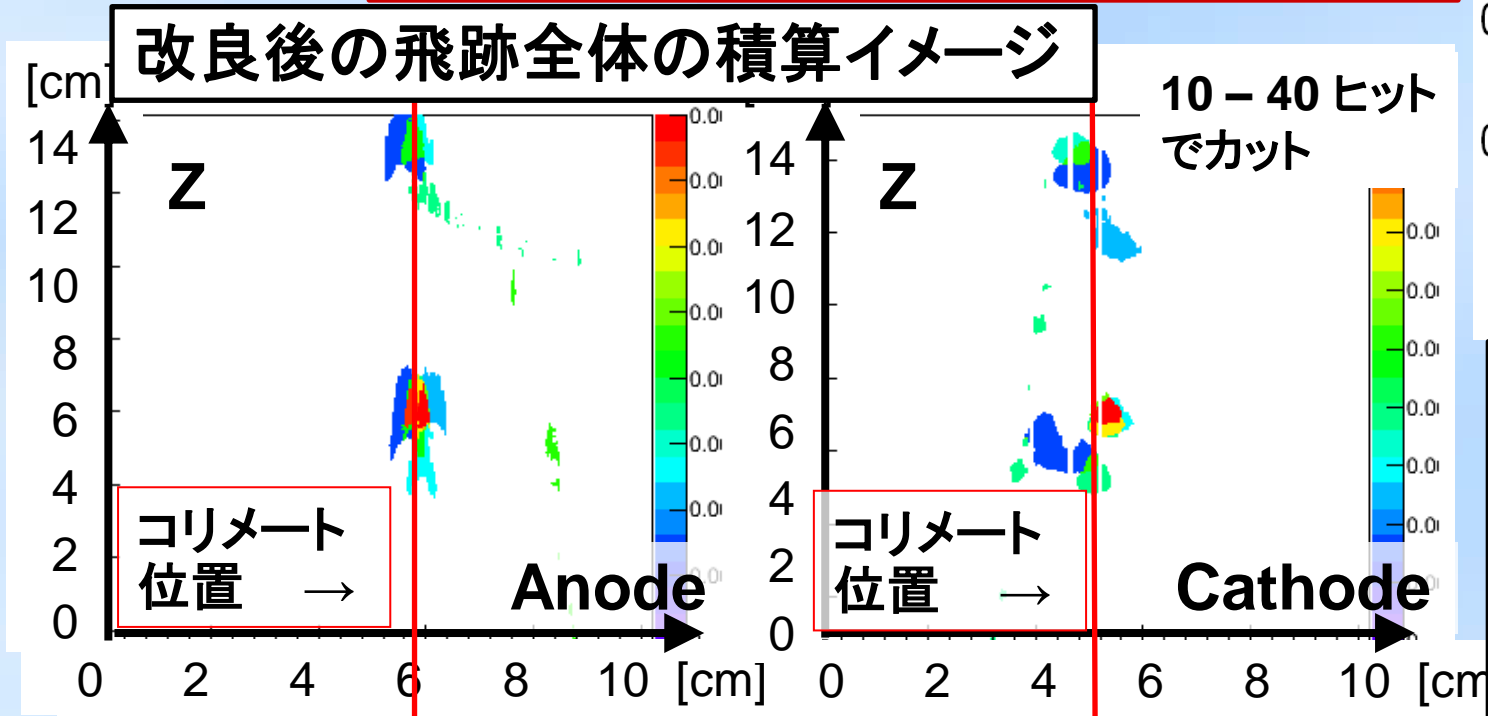
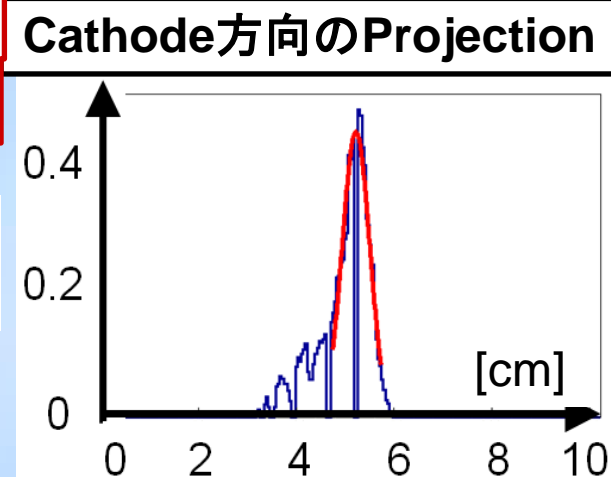
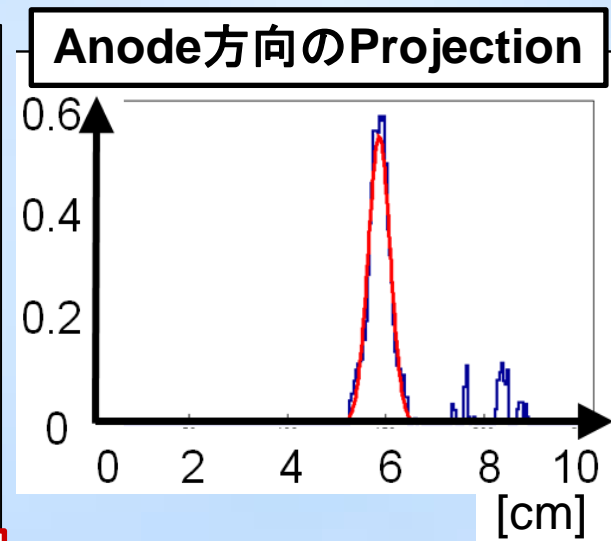
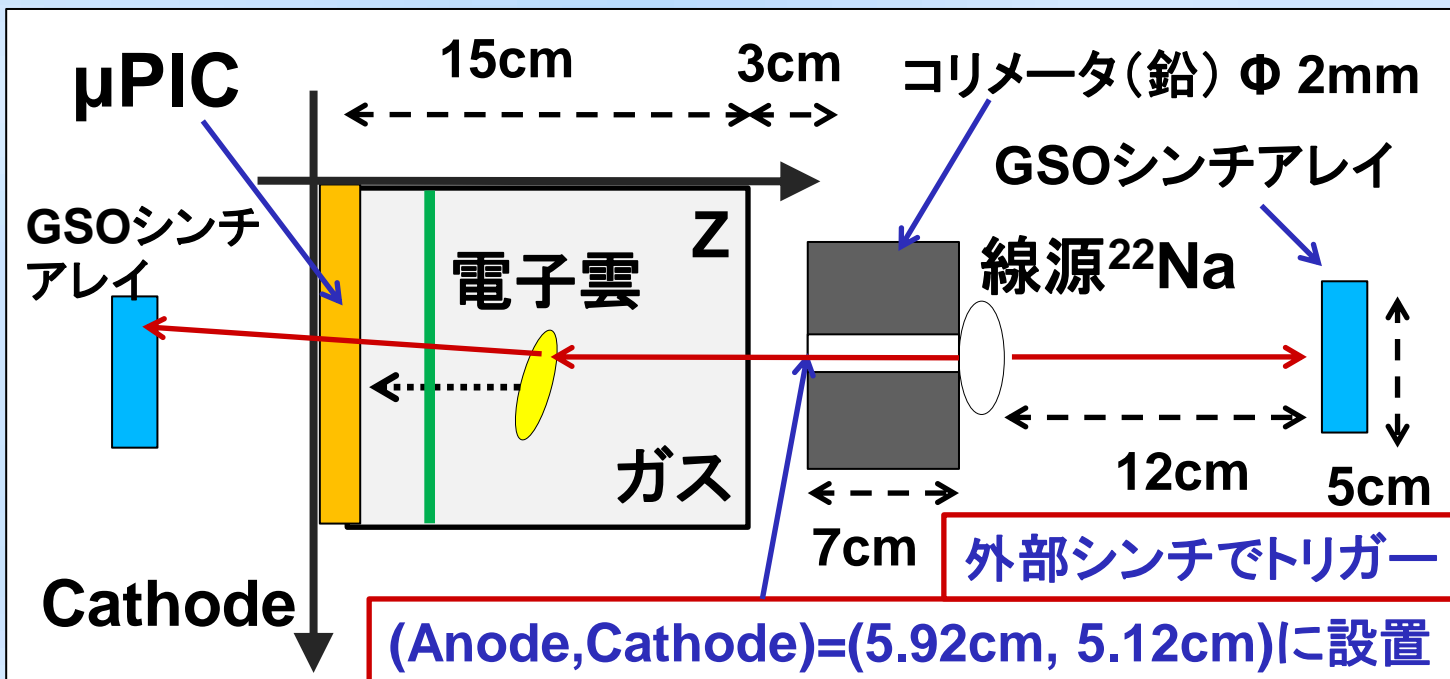
TOTでdE/dX → 前後判定可能性



改良前 3ヒット以上 21.2%以下
改良後 ノイズと信号が分離

^{22}Na 511keV の反跳電子

コリメート(Φ 2mm)



設置位置からのずれ
Anode -0.5mm
Cathode +1.0mm
コンプトン点精度も改善しそう

まとめと今後の予定

- ◆ 従来の飛跡取得アルゴリズムの問題点を解決するため、新アルゴリズムを作成し性能評価中

◆宇宙線 μ

- 天頂角分布のへこみは外部要因
 - 改良後もDrift依存性は見えている
 - 解析にTOTを用いることで、位置分解能向上
- 新アルゴリズムは正常動作

◆電子

- 3ストリップ以上ヒットの割合
31keV 光電子 1.63% → 100% 大幅改善
511keV反跳電子 改良前は21.2%以下
- TOTで前後判定可能性
- ヒット数でSN判定可能
- コリメートのラインが見えている(反跳電子がきちんと見えている)
- コンプトン点精度は改善していそう

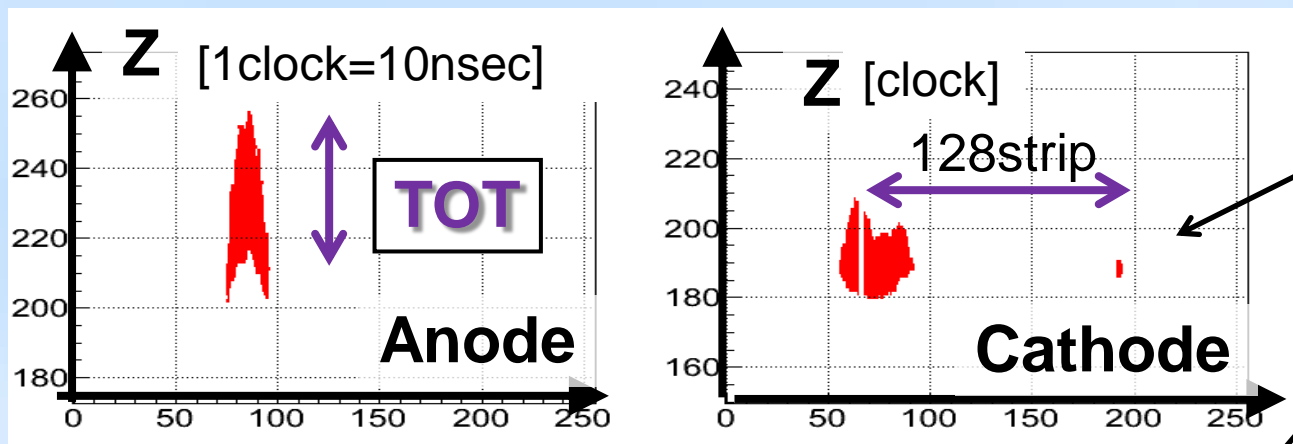
◆今後

- コンプトン点・反跳方向の決め方
- コンプトン点・反跳方向の精度を、従来と比較

判明した問題(μPIC信号読み出し基板)

- クロストーク (128strip離れた場所)
- Anode 立ち上がりの遅れ (TOT大の時) → 解析の障害

^{133}Ba 31keVの飛跡 (μPICのアナログ信号でトリガー)

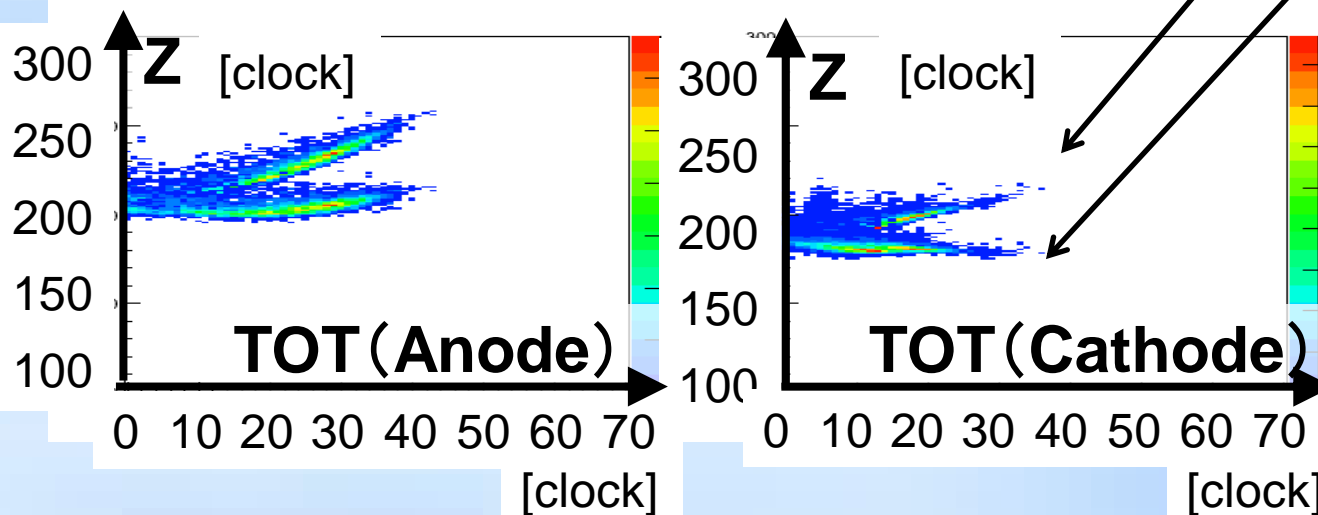


クロストーク

立ち下がりのタイミング

立ち上がりのタイミング

TOTと立ち上がり、立ち下りのタイミング

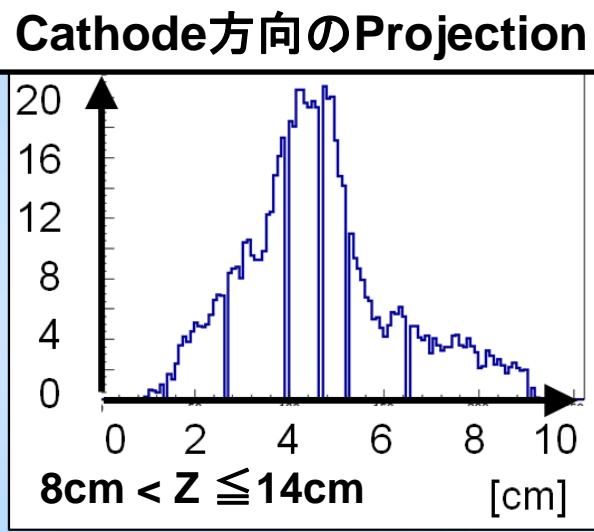
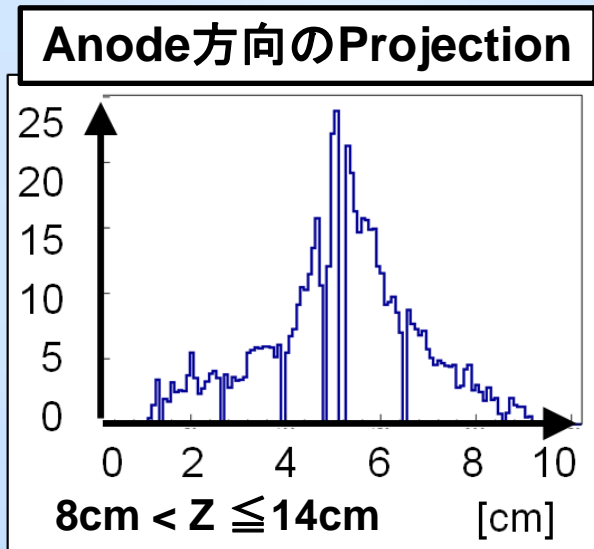
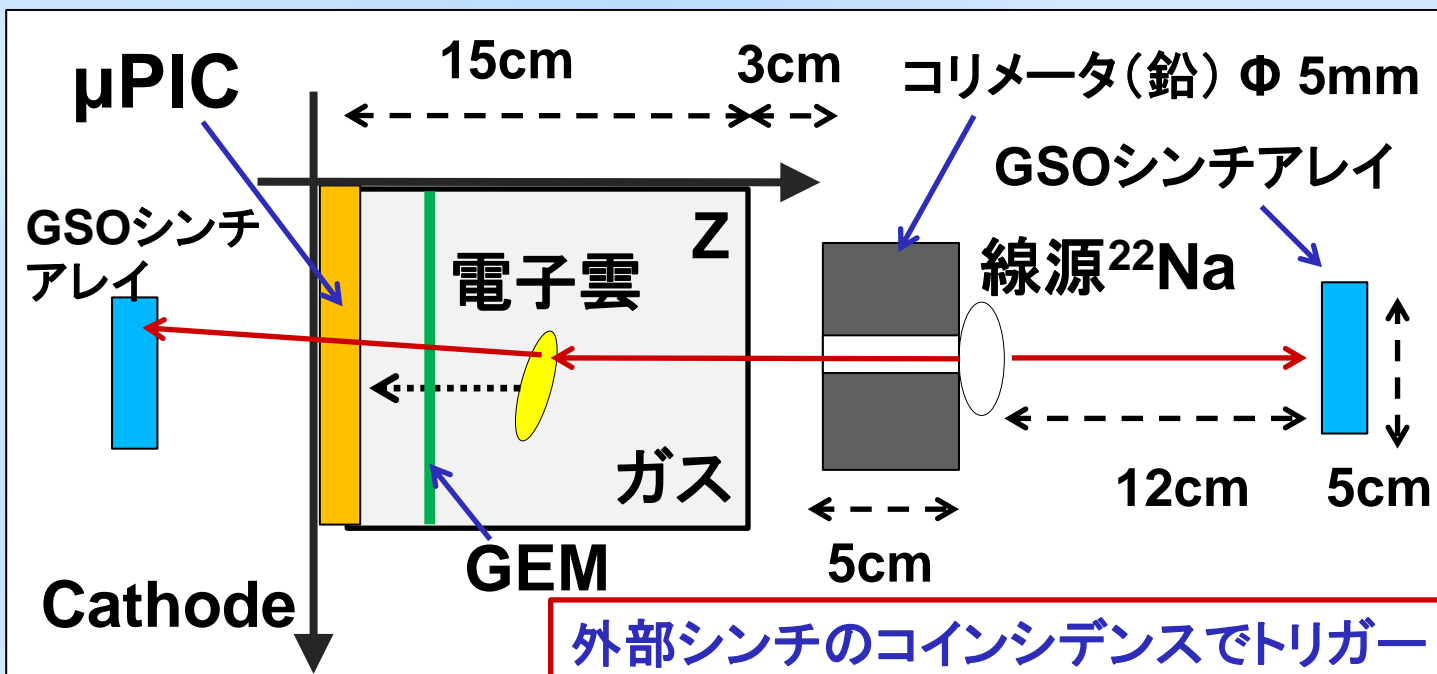


新読み出し基板では

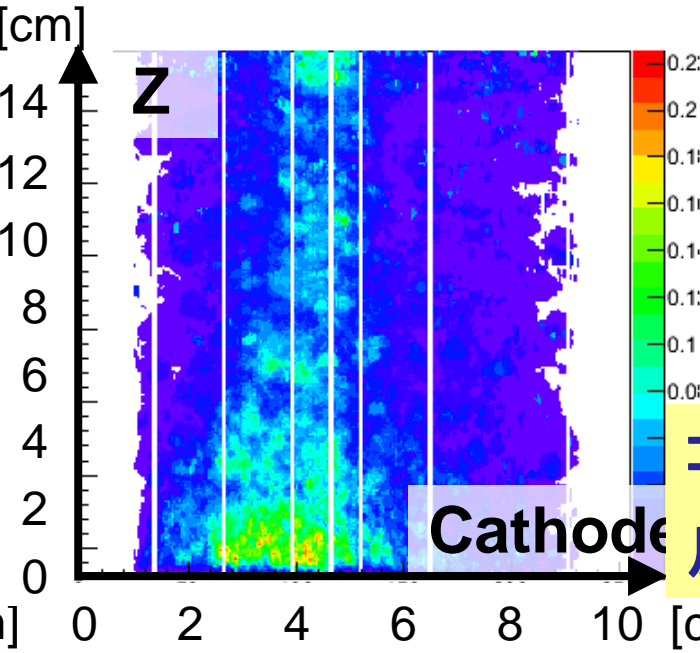
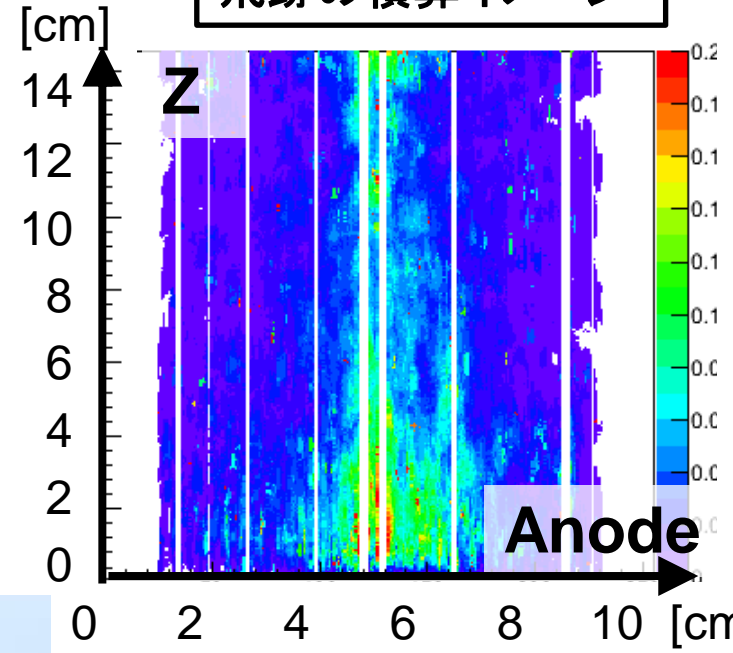
・クロストーク解決

・立ち上がりの遅れ
同様の解析はしていないが、明らかには見えていない

^{22}Na 511keV の反跳電子 コリメート($\Phi 5\text{mm}$)



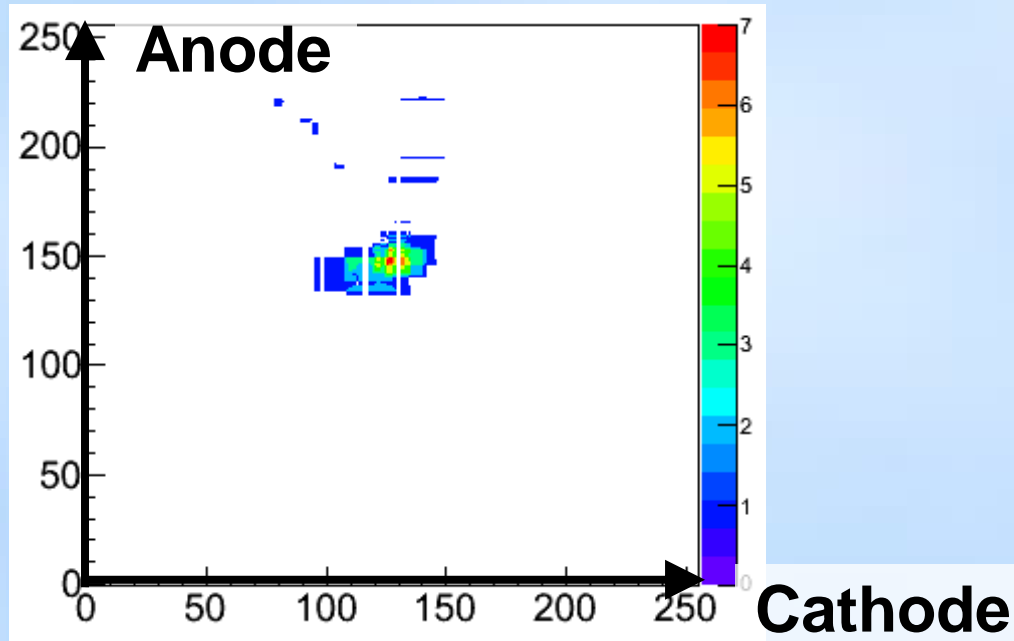
飛跡の積算イメージ



コリメートの道筋に沿って
 反跳電子が見えている

XY平面 改良後の飛跡の積算イメージ

コリメート
Φ2mm



コリメート
Φ5mm

