

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

古村翔太郎, 谷森達, 窪秀利, 身内賢太郎, 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)

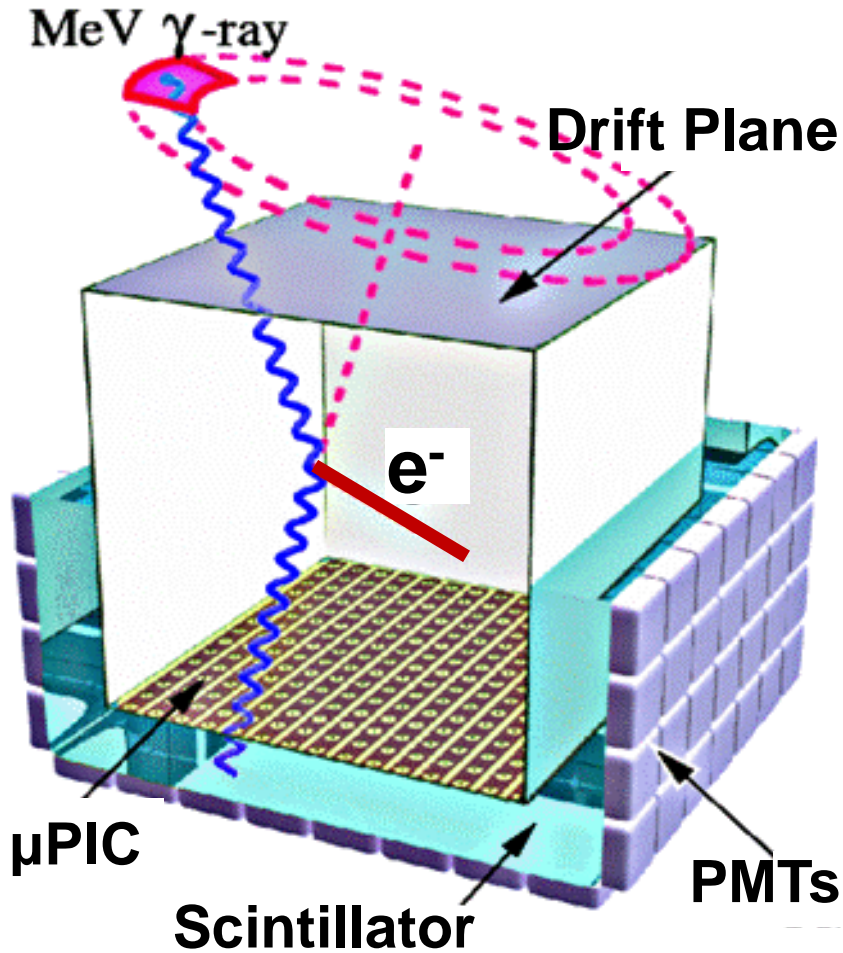
高田淳史 (京大生存研), 岸本祐二 (KEK), 上野一樹 (理研),

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
- ◆ 従来の飛跡取得アルゴリズムとその問題点
- ◆ 今回行ったアルゴリズムの改良
- ◆ 従来のアルゴリズムとの性能比較
- ◆ まとめ

電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC)

Electron-Tracking Compton Camera

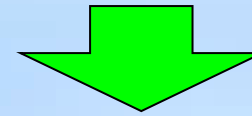


- ガス飛跡検出器 μ -TPC

反跳電子の3次元飛跡とエネルギー

- 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

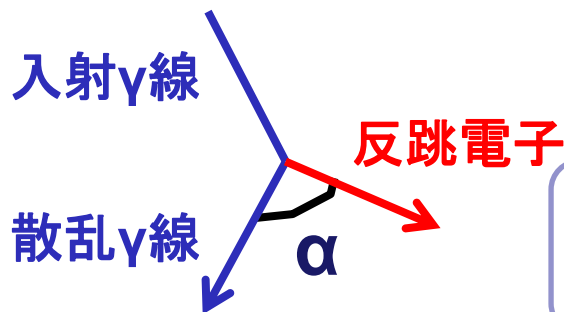


イベントごとにコンプトン散乱を再構成

■ 光子 → 到来方向 + エネルギー取得

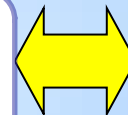
■ 運動学を用いたバックグラウンド除去

□ 広い視野 ($\sim 3\text{str}$)



幾何学的に

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

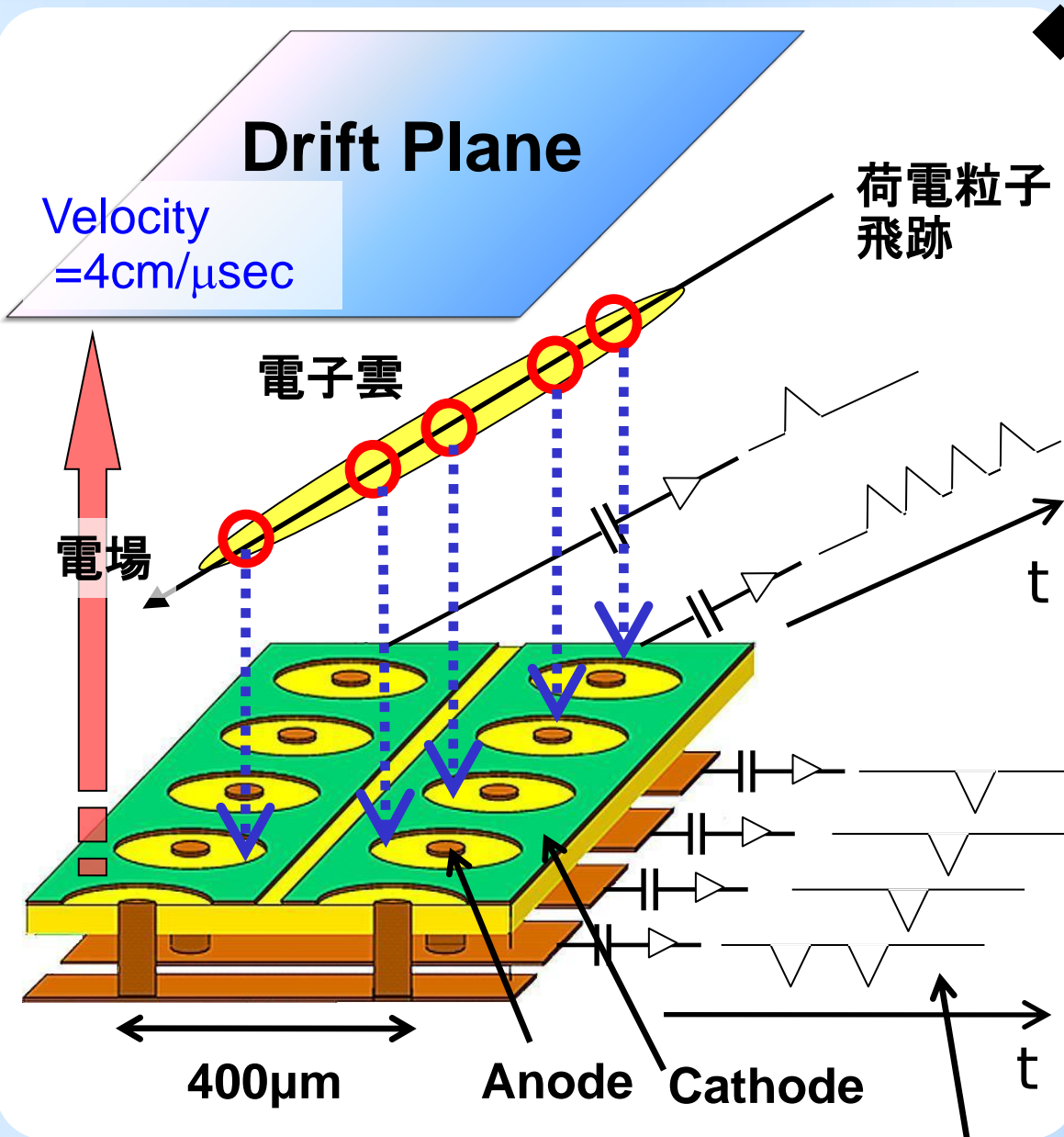


運動学的に

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

ガス飛跡検出器 μ -TPC

Micro Time Projection Chamber



◆ 2次元情報 + 時間情報

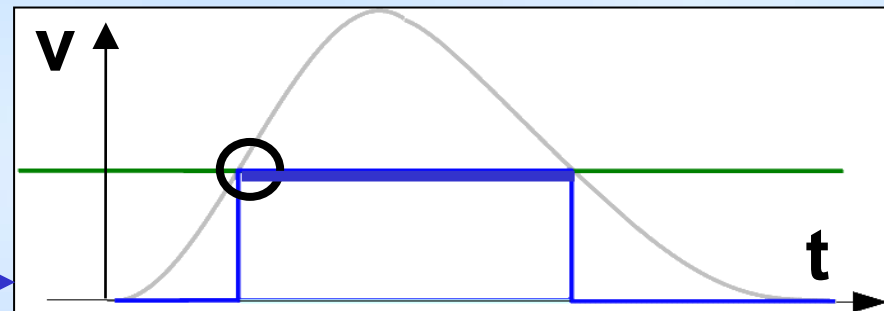
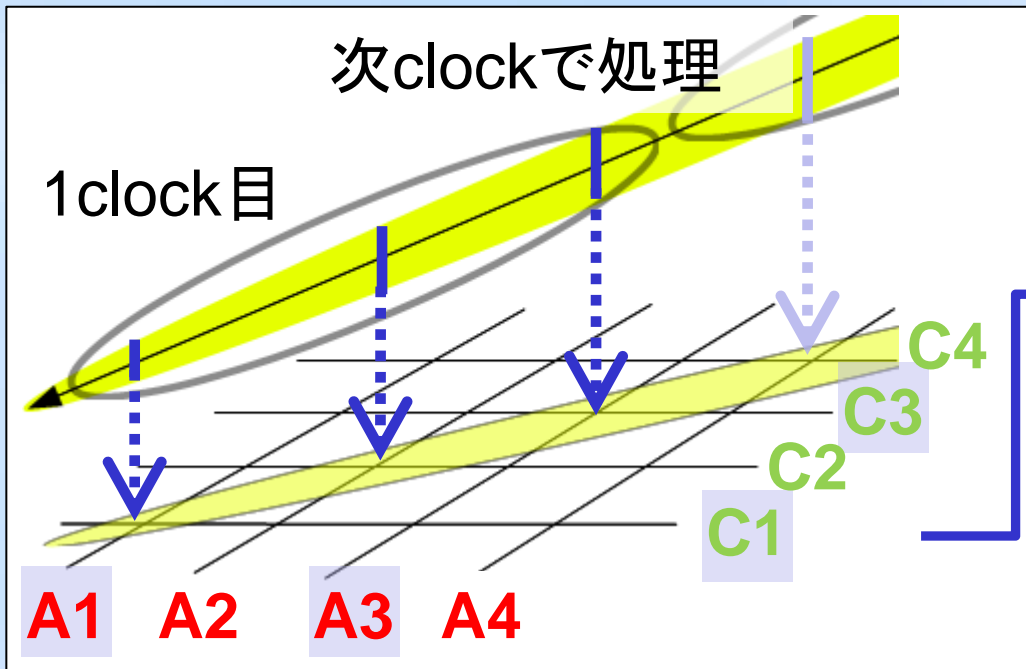
2次元位置検出器 : μ PIC

(Micro Pixel Chamber)

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

ストリップの“番号”と“時間情報”を記録

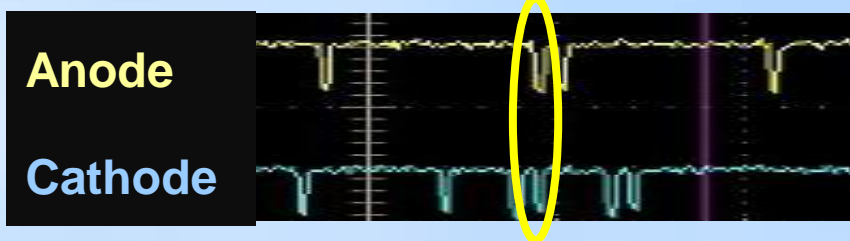
従来の飛跡取得アルゴリズムとその問題点



1、信号の立ち上がりを検出

2、10ナノ秒幅でHitしたストリップ番号の最大値と最小値を記録

3、10ナノ秒幅でAnode, Cathode Hitのコインシデンスをとる



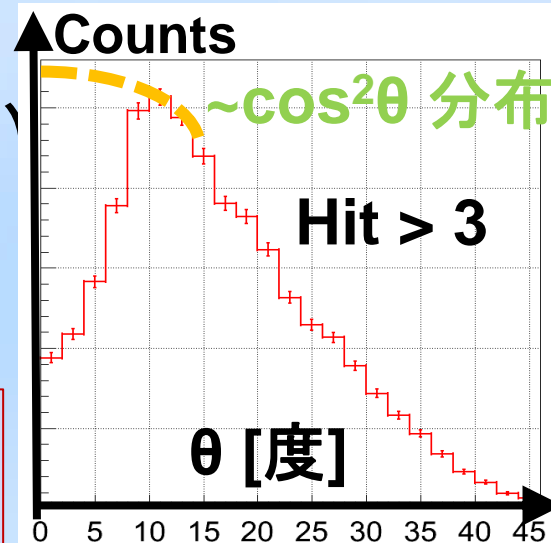
μ PIC面に垂直・平行方向に走る飛跡が取得しにくい

→ 角度依存性

1イベントにつき3割程度しかデータを使えていない

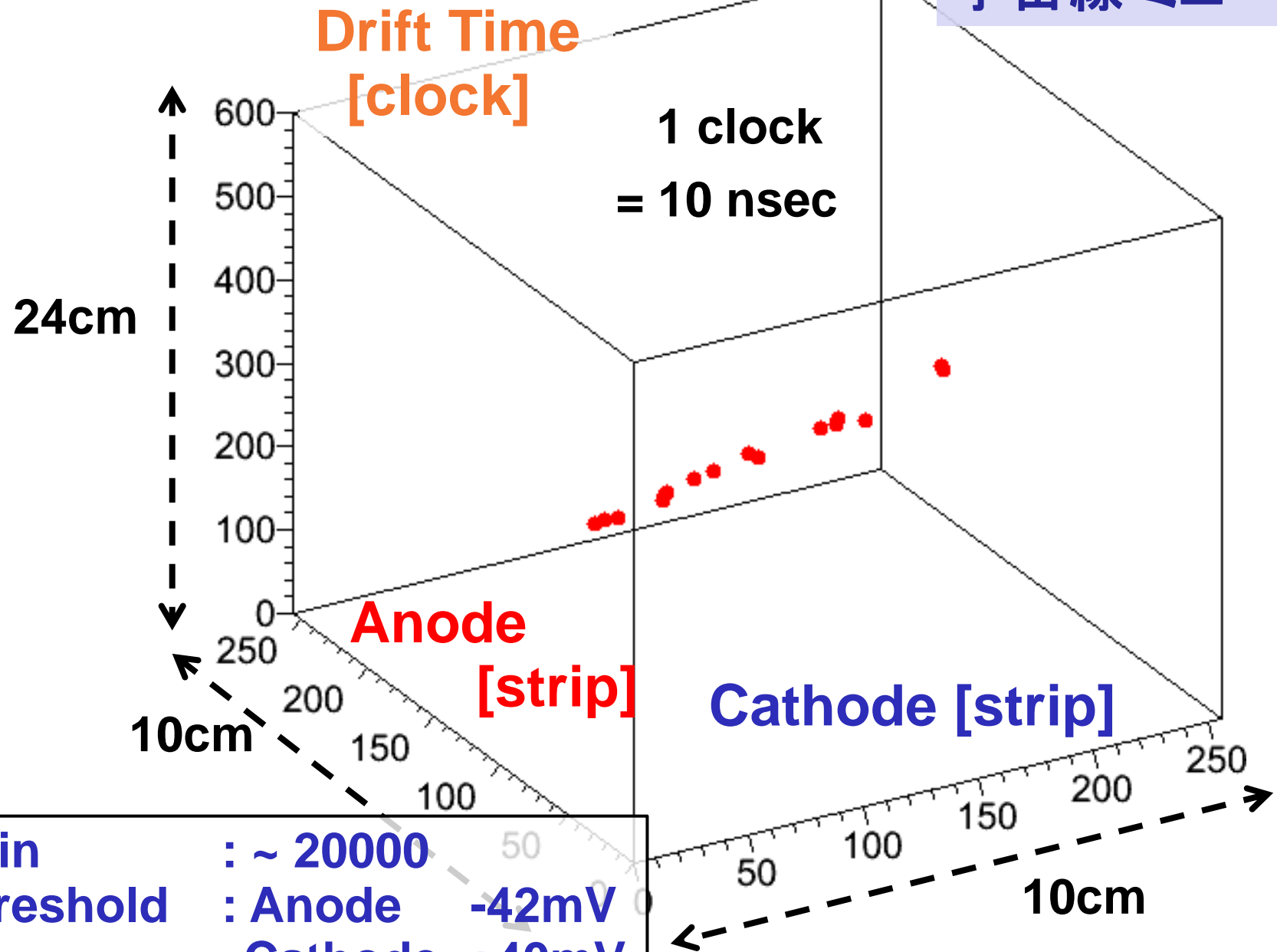
→ 位置分解能の低下

宇宙線 ミューオンの
天頂角分布



従来のアルゴリズムで得られた飛跡

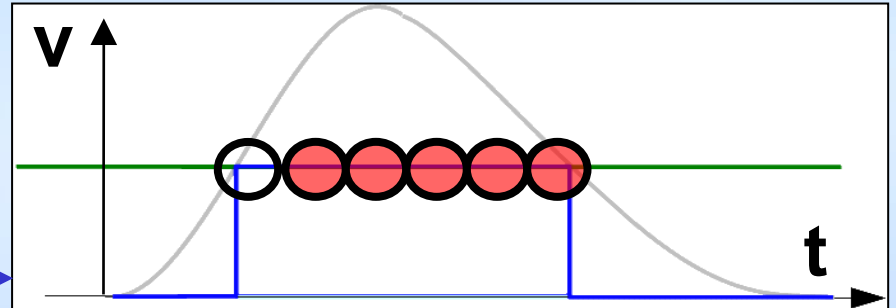
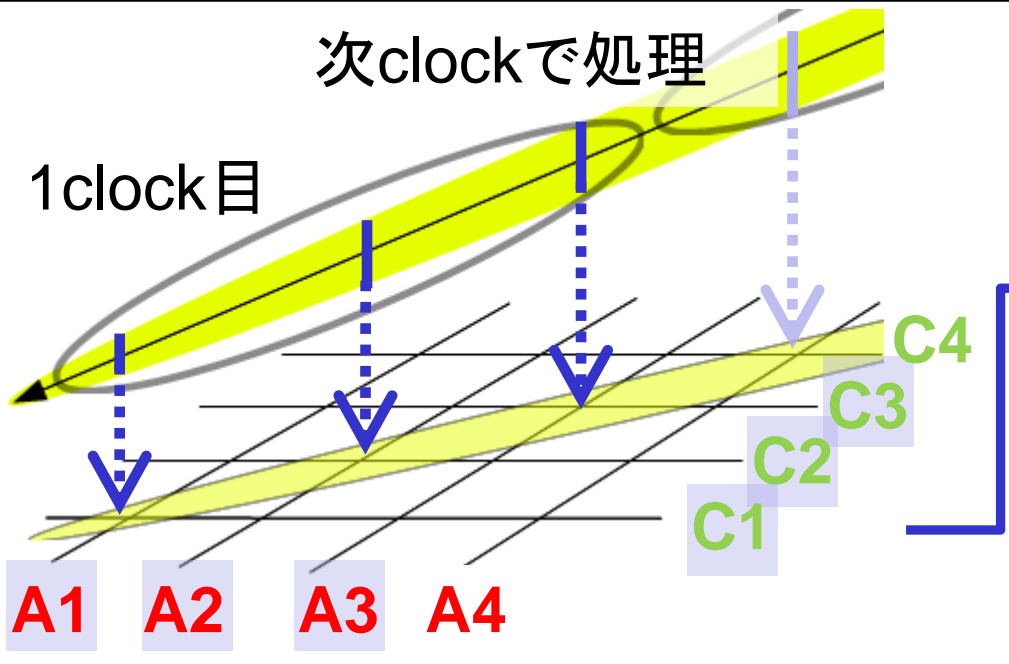
宇宙線 ミューオン



改良した飛跡取得アルゴリズム

次clockで処理

1clock目



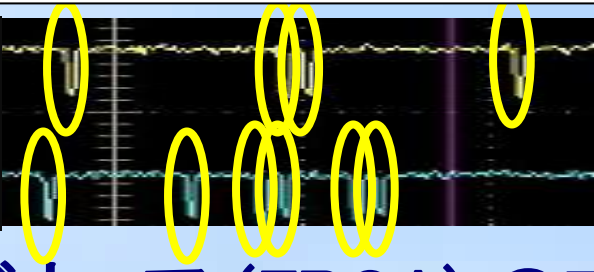
1、信号の立ち上がりを検出

2、10ナノ秒幅でHitしたストリップ番号の最大値と最小値を記録

3、10ナノ秒幅でAnode, Cathode Hitのコインシデンスをとる

Anode

Cathode



ハードウェア (FPGA) のプログラムを全面改訂した

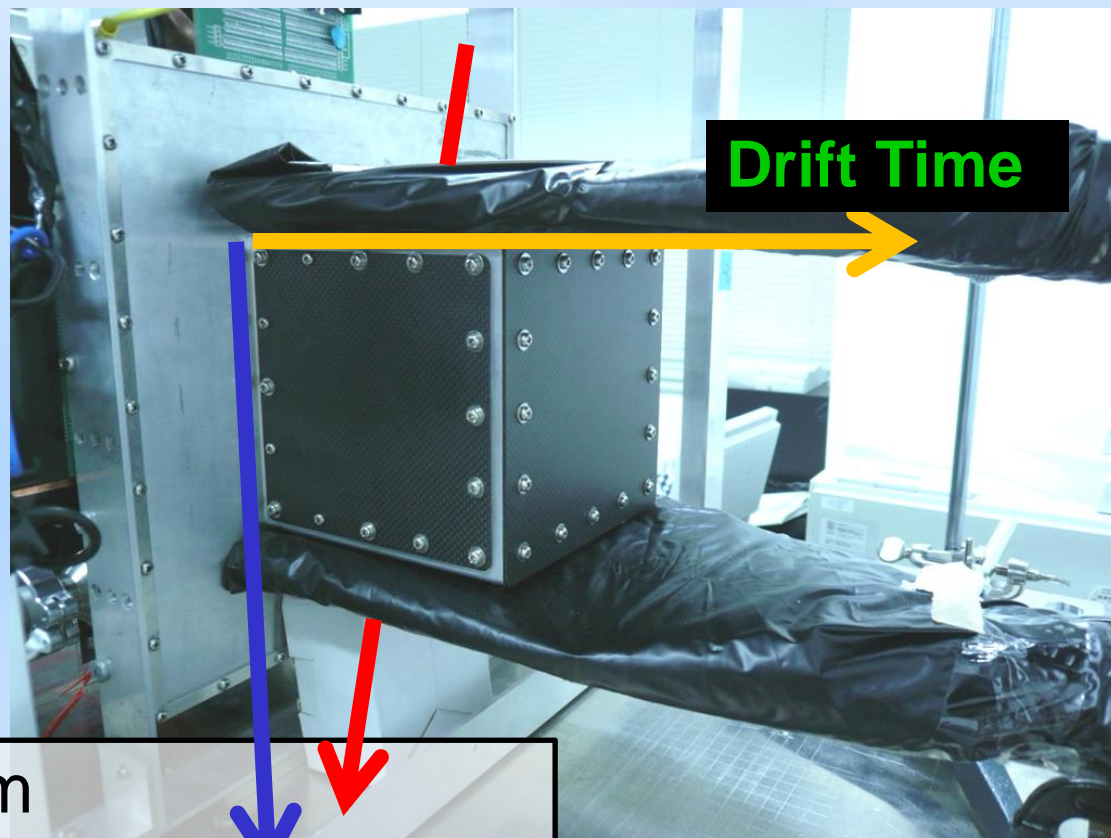
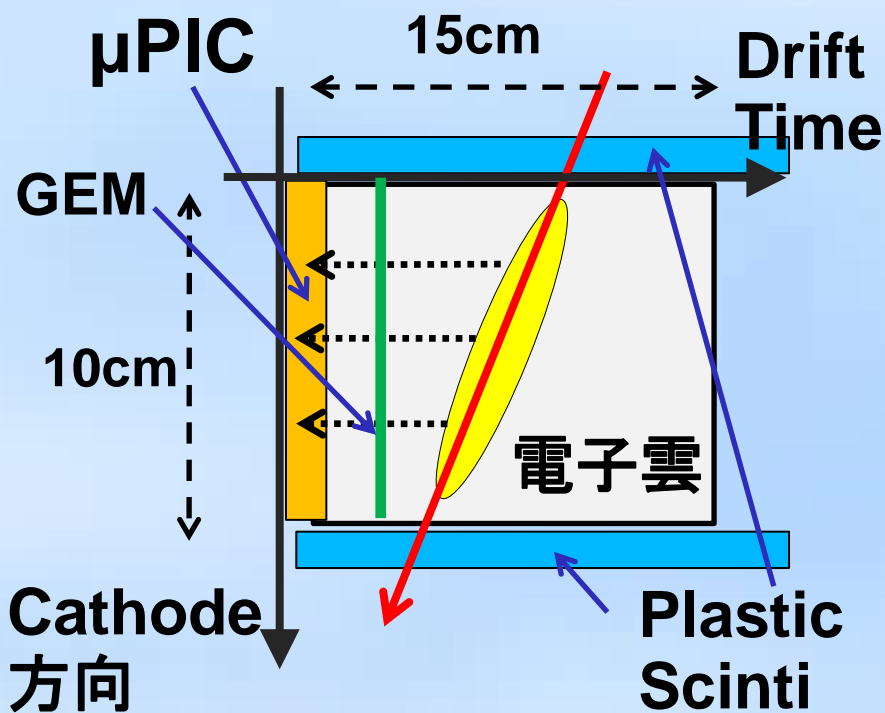
1、スレッシュホールドを超えている間、検出を続ける

2、10ナノ秒幅でHitしたストリップ番号の**すべて**を記録

3、Anode, Cathode Hitの**コインシデンス**をとらず別々に記録

μ -TPC セットアップ : 新旧アルゴリズムの性能比較

- ◆ 飛跡の解析が容易な宇宙線ミュオンを観測
- ◆ μ PIC面全体をミュオンが横切るように配置する



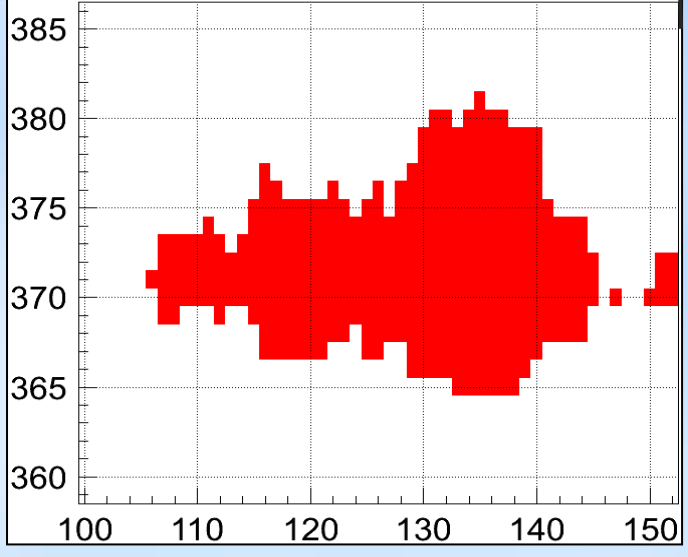
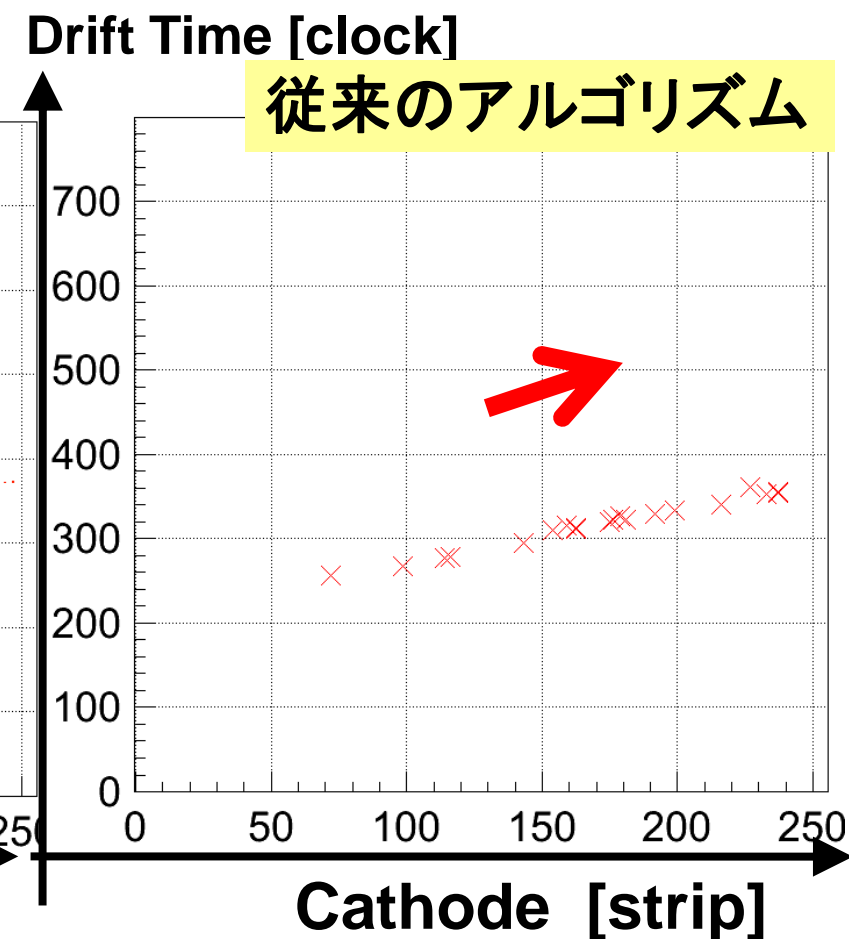
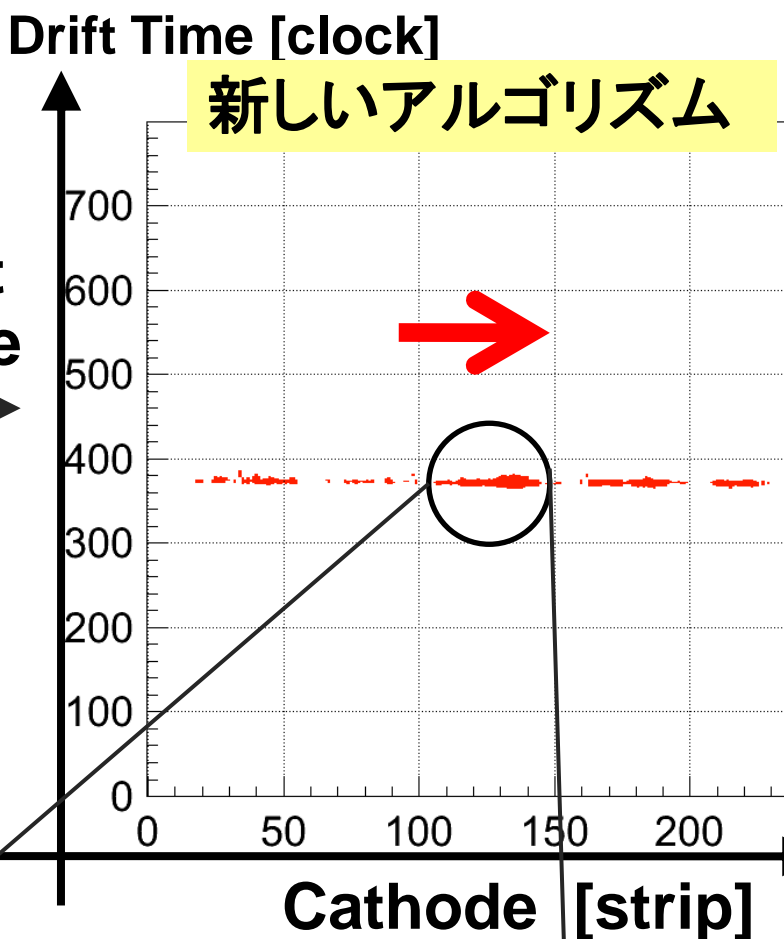
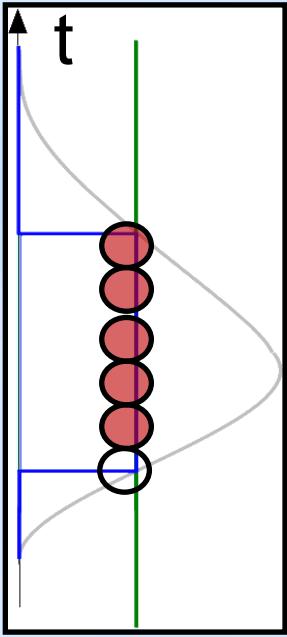
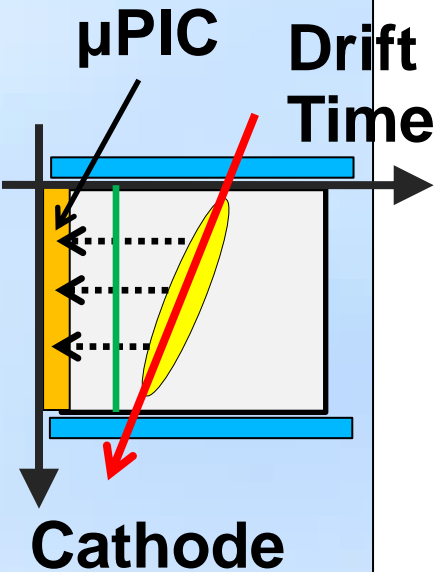
サイズ : 10cm × 10cm × 15cm

使用ガス : Ar 90% C₂H₆ 10% 1atm

Gain : ~ 20,000

Threshold : Anode -42mV、Cathode +40mV

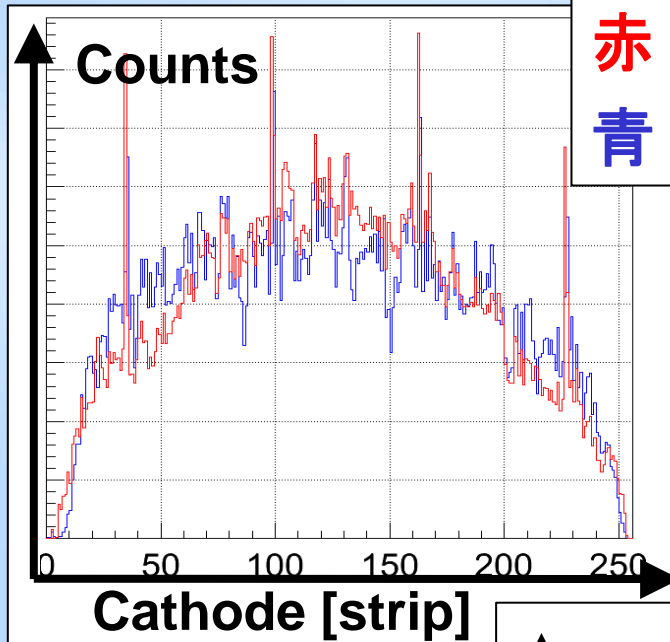
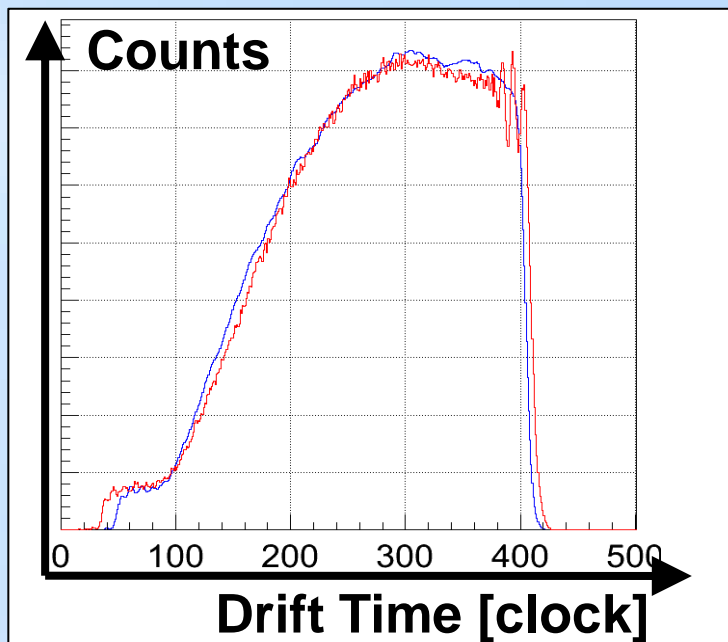
飛跡比較



- ◆ μ PICに対して平行に近い飛跡
- ◆ データ点が密である
- ◆ Drift方向に幅をもつ
~信号のパルス幅

HitPatternの比較

いずれも面積で規格化

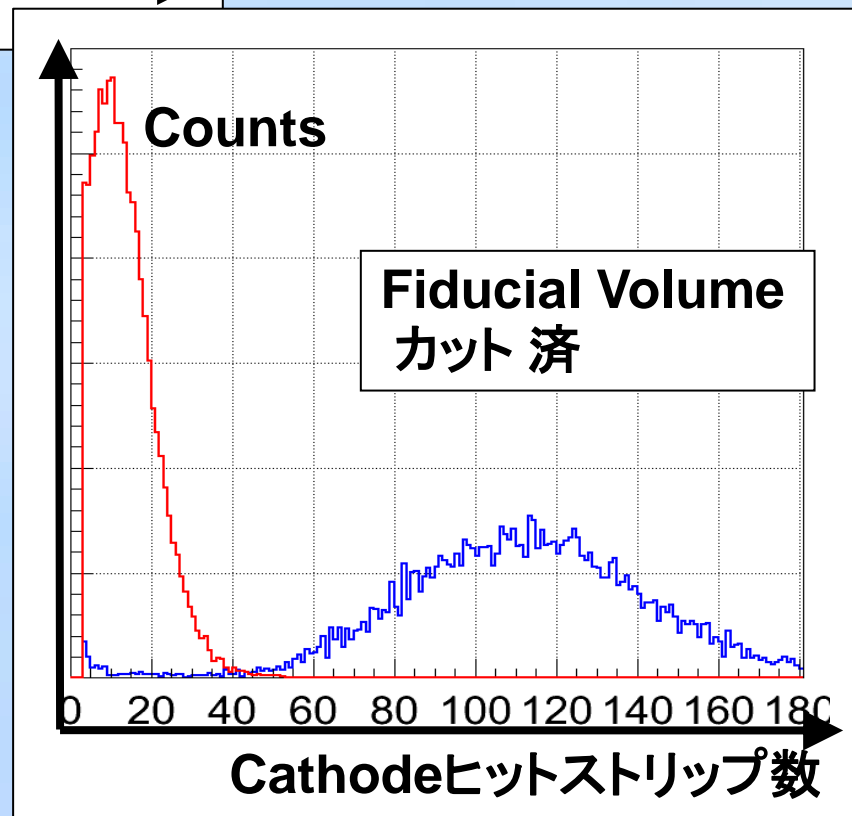


赤：従来のアルゴリズム
青：新しいアルゴリズム

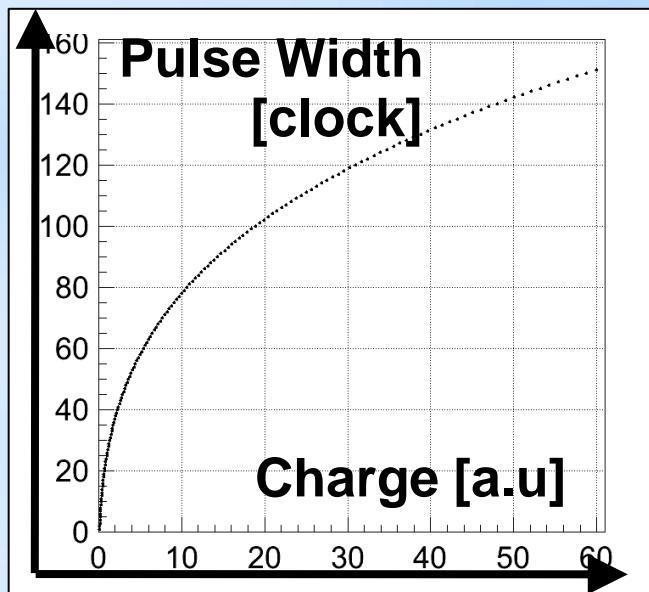
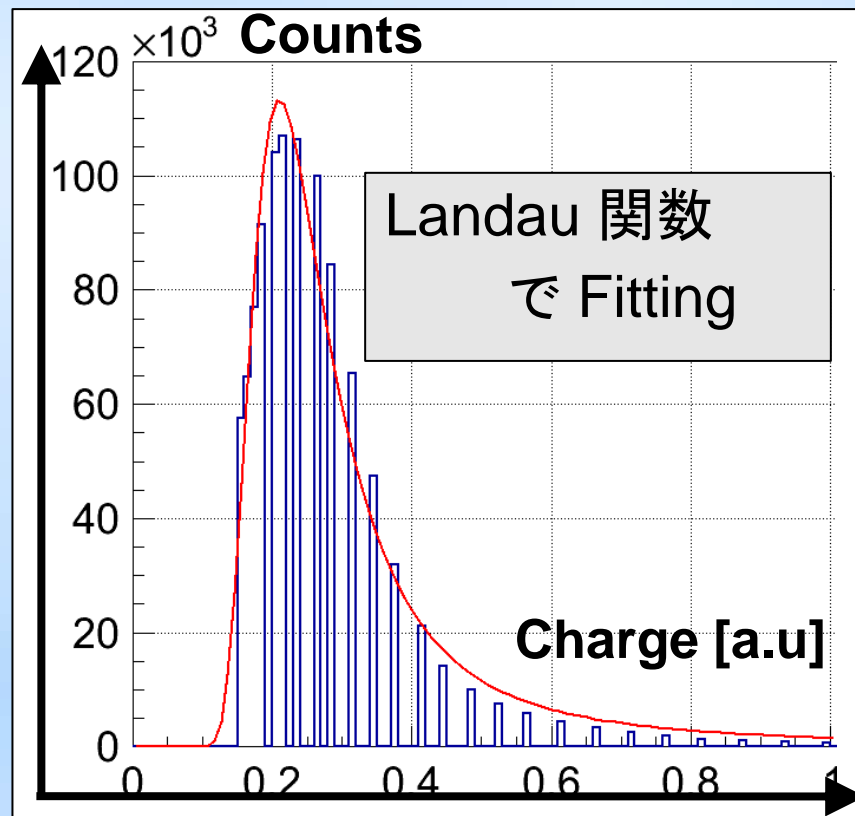
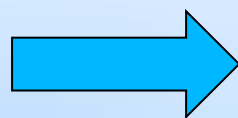
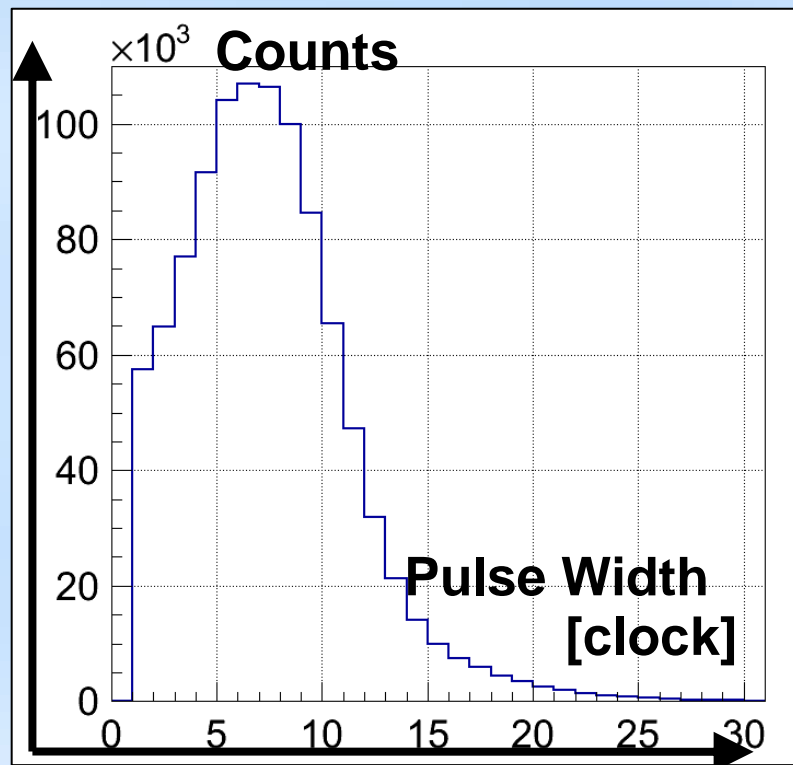
- ◆ 領域別にみるとHitPatternはほぼ同じ
→ 従来のアルゴリズムと矛盾がない
- ◆ 一回のイベントでHitするストリップの数は、
圧倒的に多い → データの取りこぼし改善

従来のアルゴリズム ~ 10 strip

新しいアルゴリズム ~ 120 strip

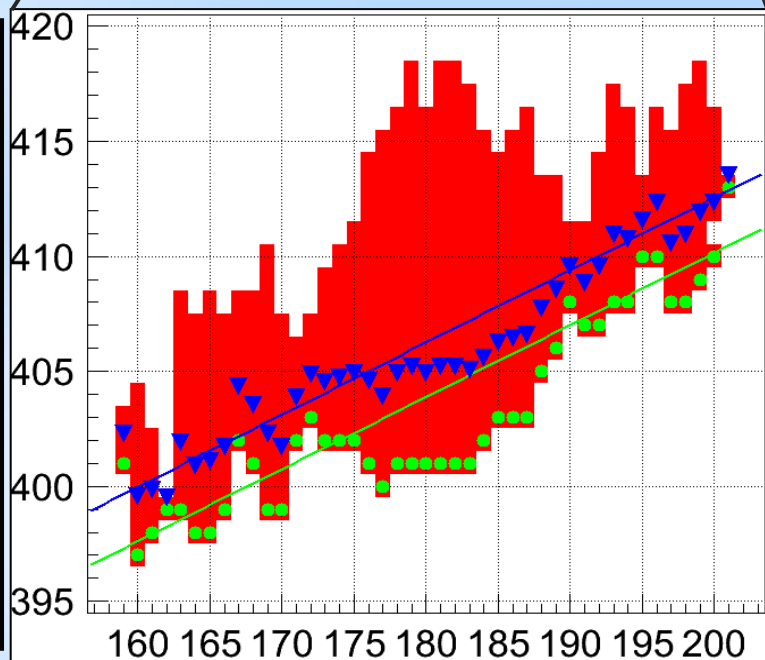
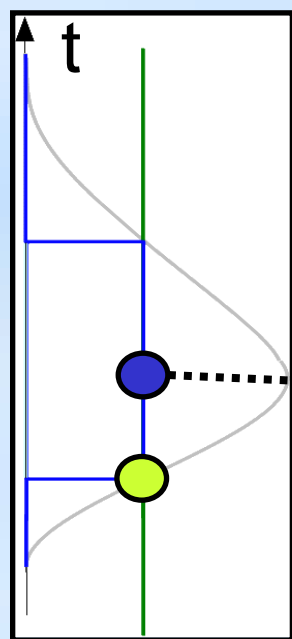
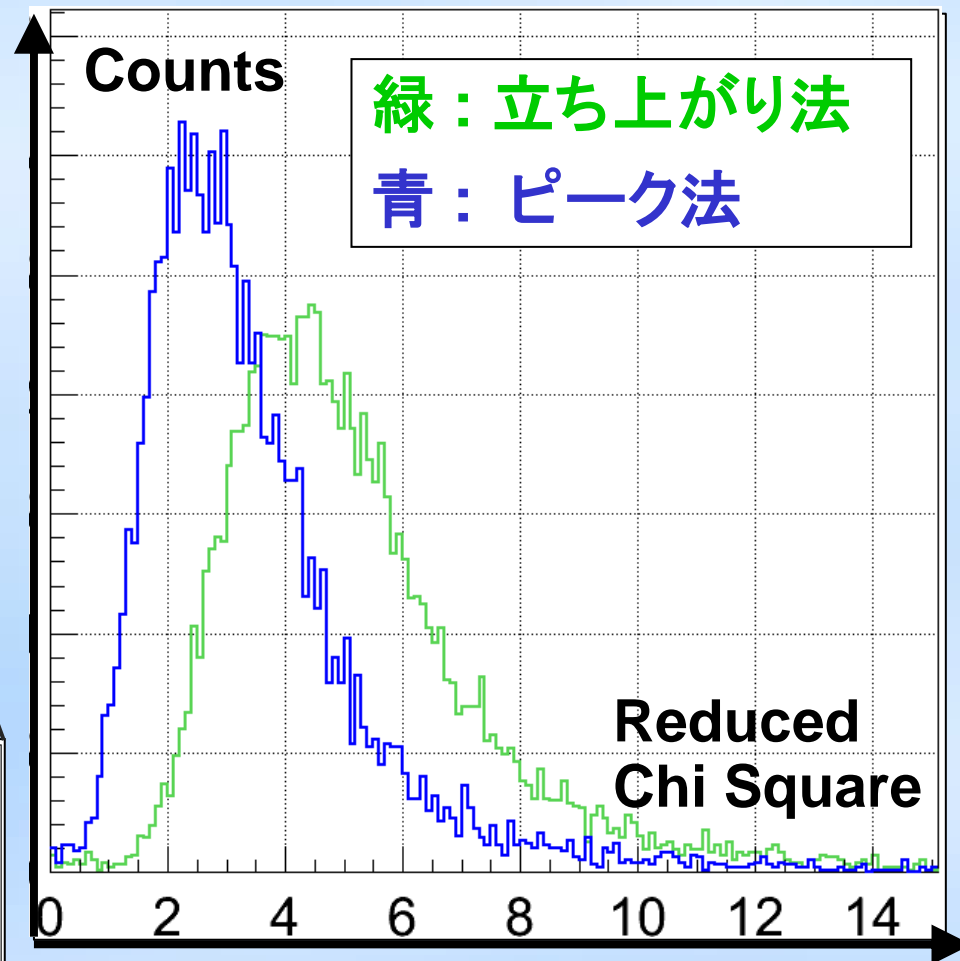
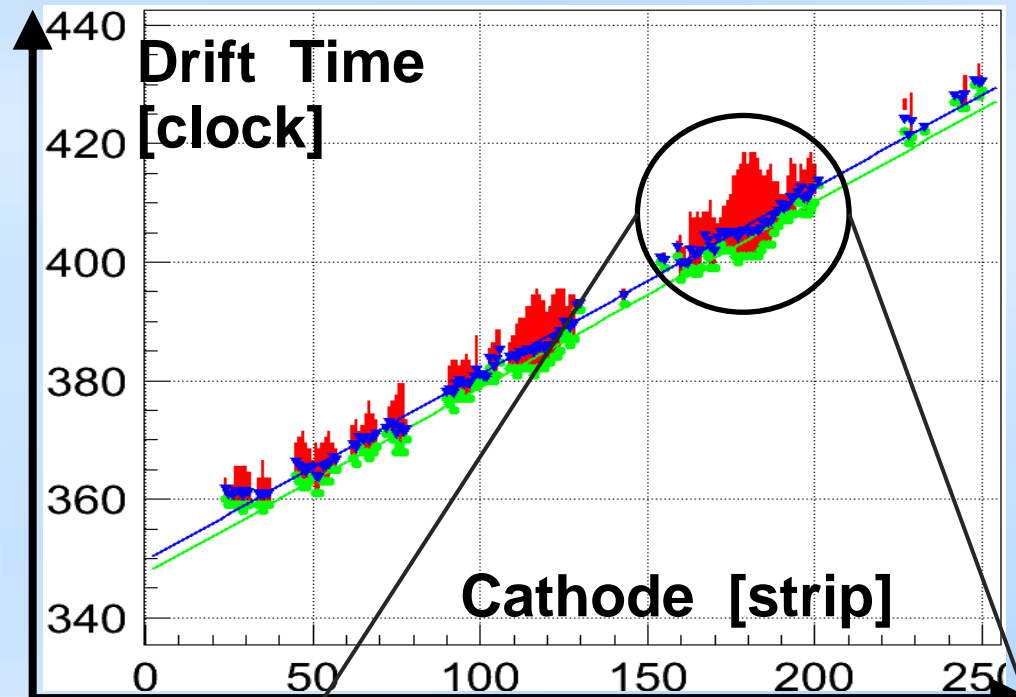


新アルゴリズム特有のデータ：パルス幅



- ◆ ミューオンの1ストリップ(400 μm)あたりのエネルギー損失をうまく推定できた
- ◆ パルス幅のHit情報は正しく得られていそうである

新アルゴリズムでの飛跡の決定方法 2通り

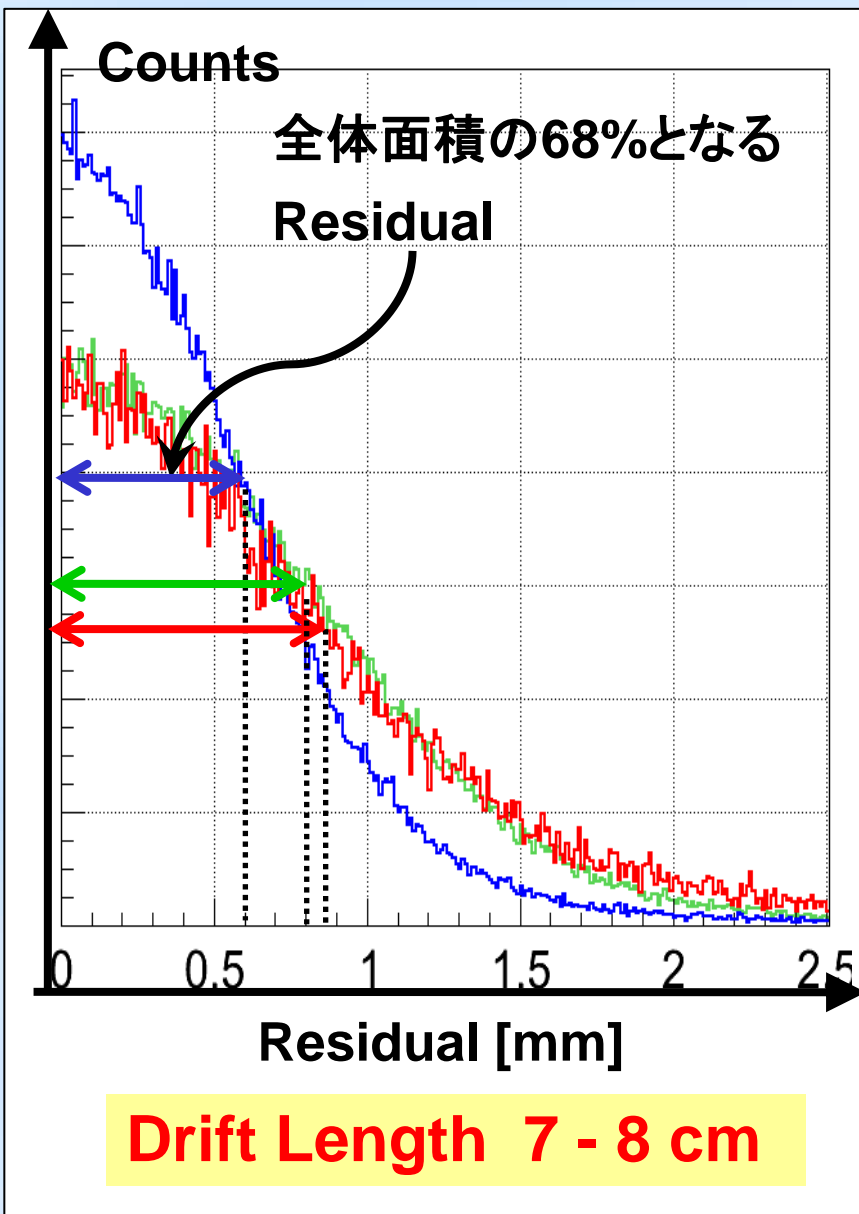


◆ 立ち上がり位置をHit点とみなす

◆ 信号のピーク推定位置をHit点だとみなす

位置分解能の比較

位置分解能 Sigma の定義

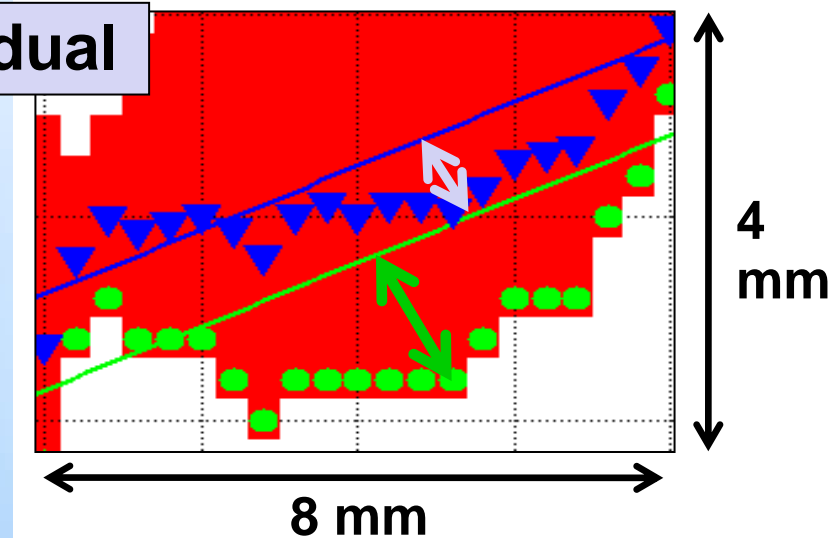


赤：従来のアルゴリズム

緑：新アルゴリズム 立ち上がり法

青：新アルゴリズム ピーク法

Residual

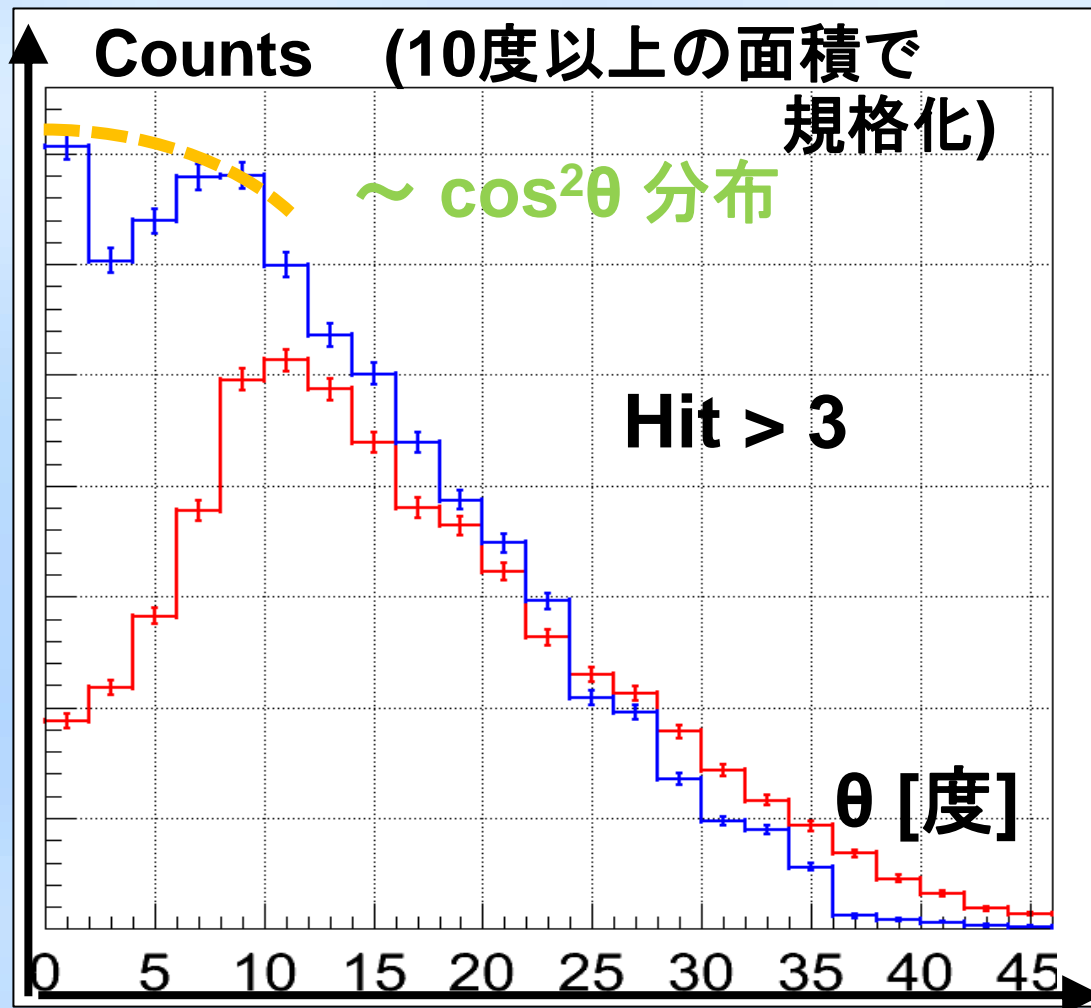
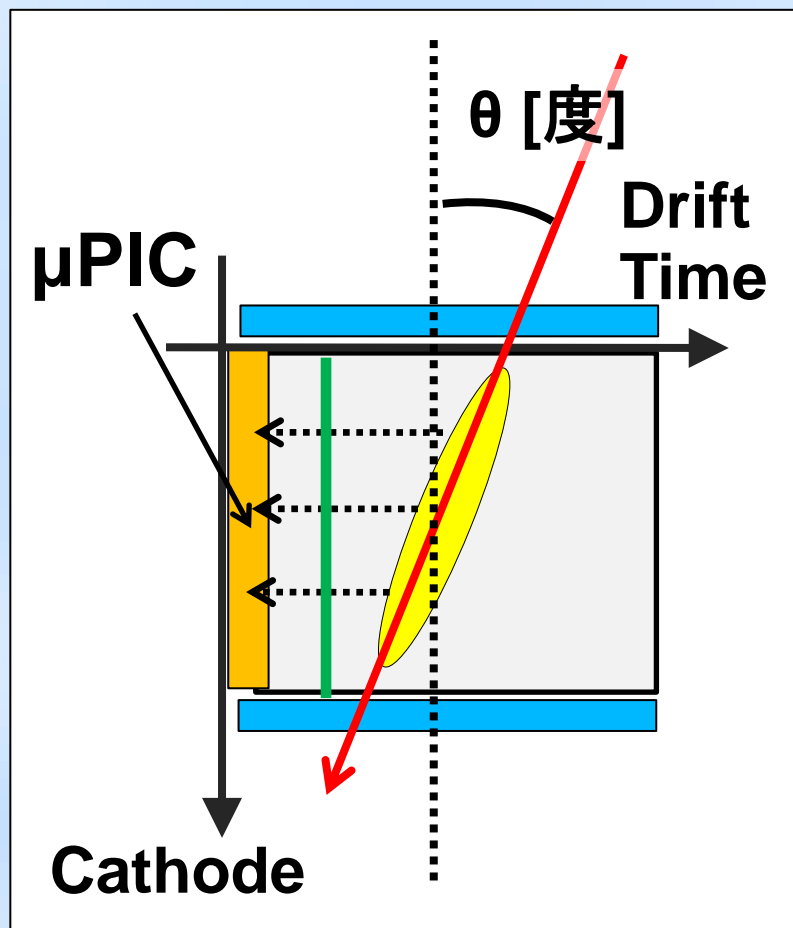


- ◆ 位置分解能が改善された
従来のアルゴリズム : 0.87 [mm]
新アルゴリズム
立ち上がり法 : 0.81 [mm]
ピーク法 : 0.59 [mm]
- ◆ Drift Lengthの依存性を解析中

角度依存性の比較

赤：従来のアルゴリズム

青：新しいアルゴリズム ピーク法



◆ 角度依存の不均一性が改善された

◆ $\theta \sim 0$ 度 \Leftrightarrow μ PICに並行な飛跡 も取得できている

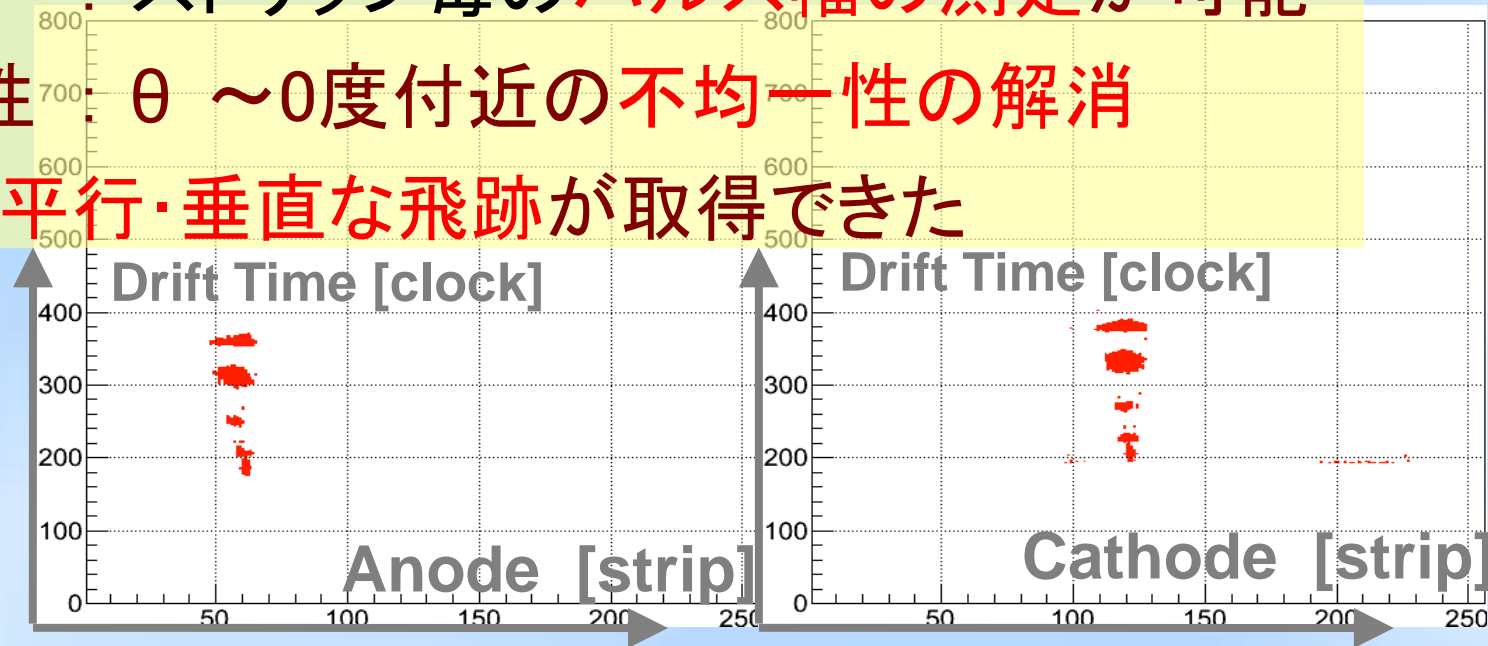
まとめと今後の予定

◆ 従来の飛跡取得アルゴリズム

データの欠落、取得できないタイプの飛跡

◆ 改良したアルゴリズム

- ✓ ヒット点数 : 宇宙線ミュオン 1イベントあたり数倍
- ✓ パルス幅 : ストリップ毎のパルス幅の測定が可能
- ✓ 角度依存性 : $\theta \sim 0$ 度付近の不均一性の解消
- ✓ μ PIC面に平行・垂直な飛跡が取得できた



◆ 今後の予定

- 電子拡散の効果を取り入れた飛跡の決定方法
- 電子の飛跡観測と解析手法（従来と比較）