

反K中間子束縛原子核探索のための 円筒型ドリフトチェンバーの性能評価(Ⅰ)

東北大理, 理研^A

木村佑斗, 大西宏明, 橋本直^A,
七村拓野^A, 佐久間史典^A, 馬越^A

For the J-PARC E80 Collaboration



2024/09/19

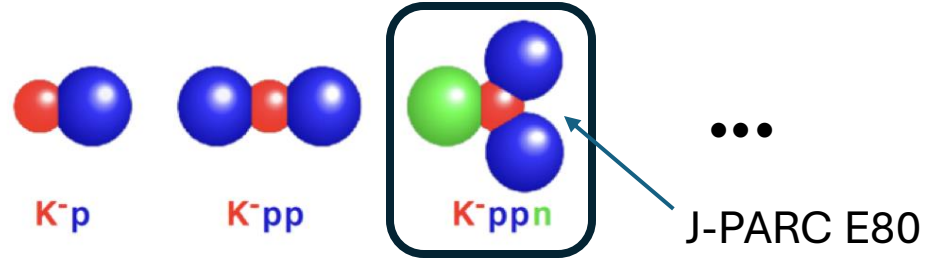
日本物理学会 第79回年次大会

19aB132

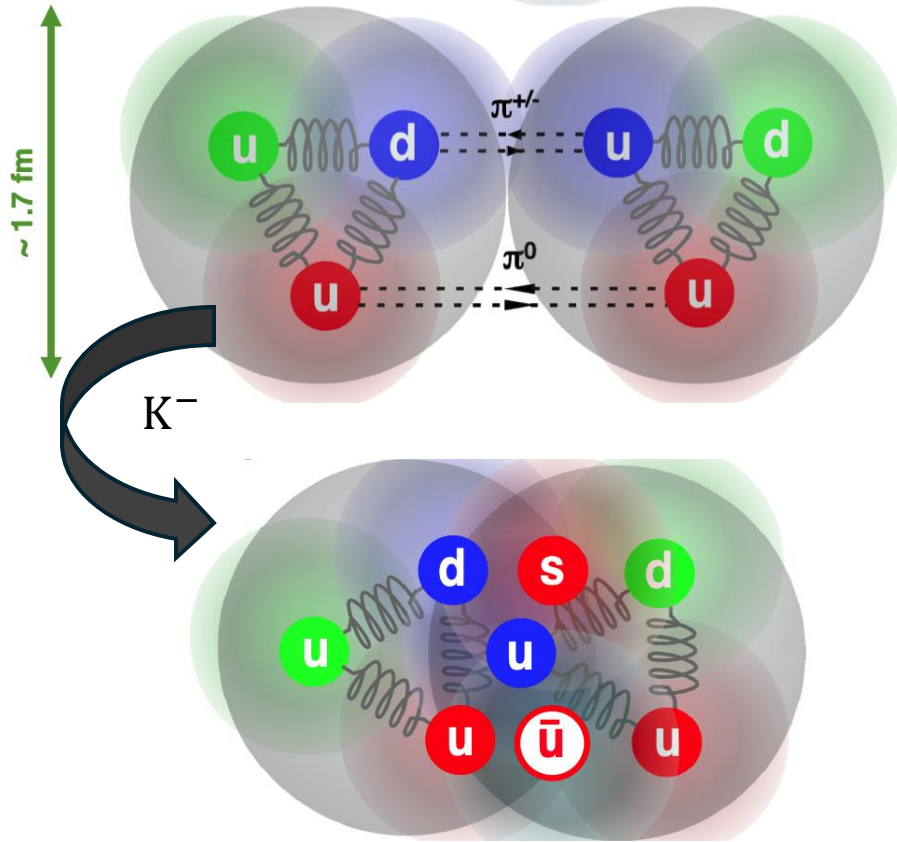
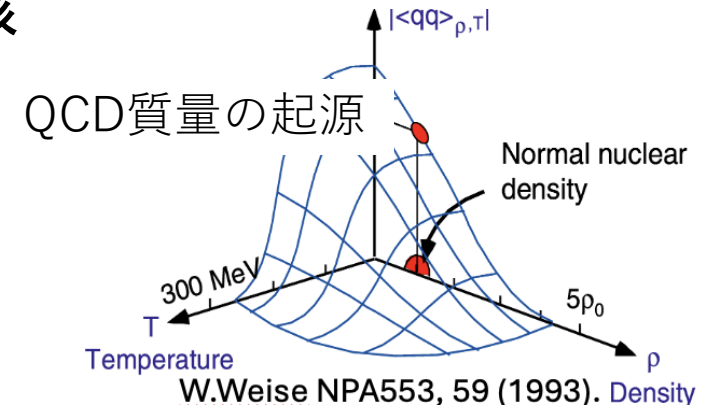
目次

1. 反K中間子原子核
2. 円筒型ドリフトチェンバー (CDC)
3. ガスの違いによる性能比較
4. まとめ

1. 反K中間子原子核

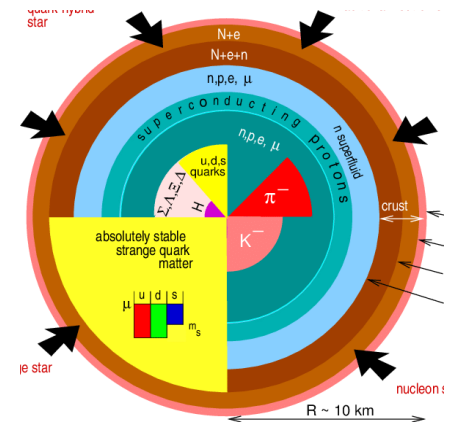


- 実粒子として振る舞う中間子が核子と共存した新しいタイプの原子核
- $\bar{K}N$ 間に働く強い引力によって、通常原子核を超える高密度状態に



ボソンが構成粒子を担う物質
 未知の物性が現れる？

超高密度物質の
 内部構造



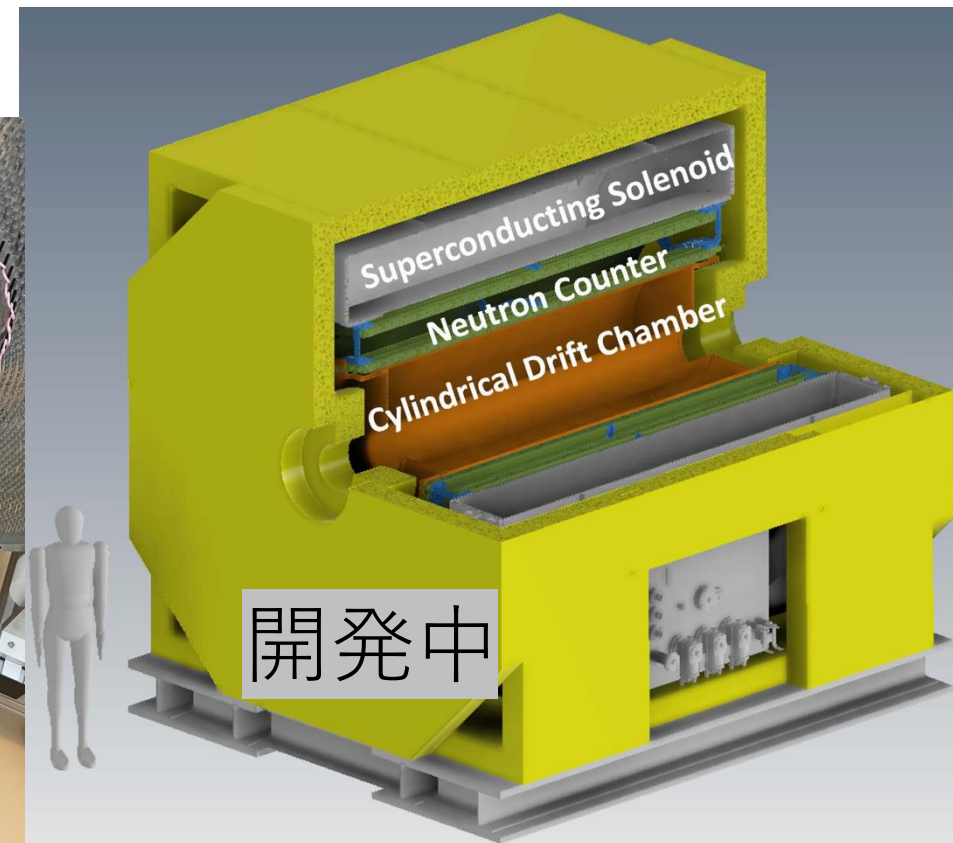
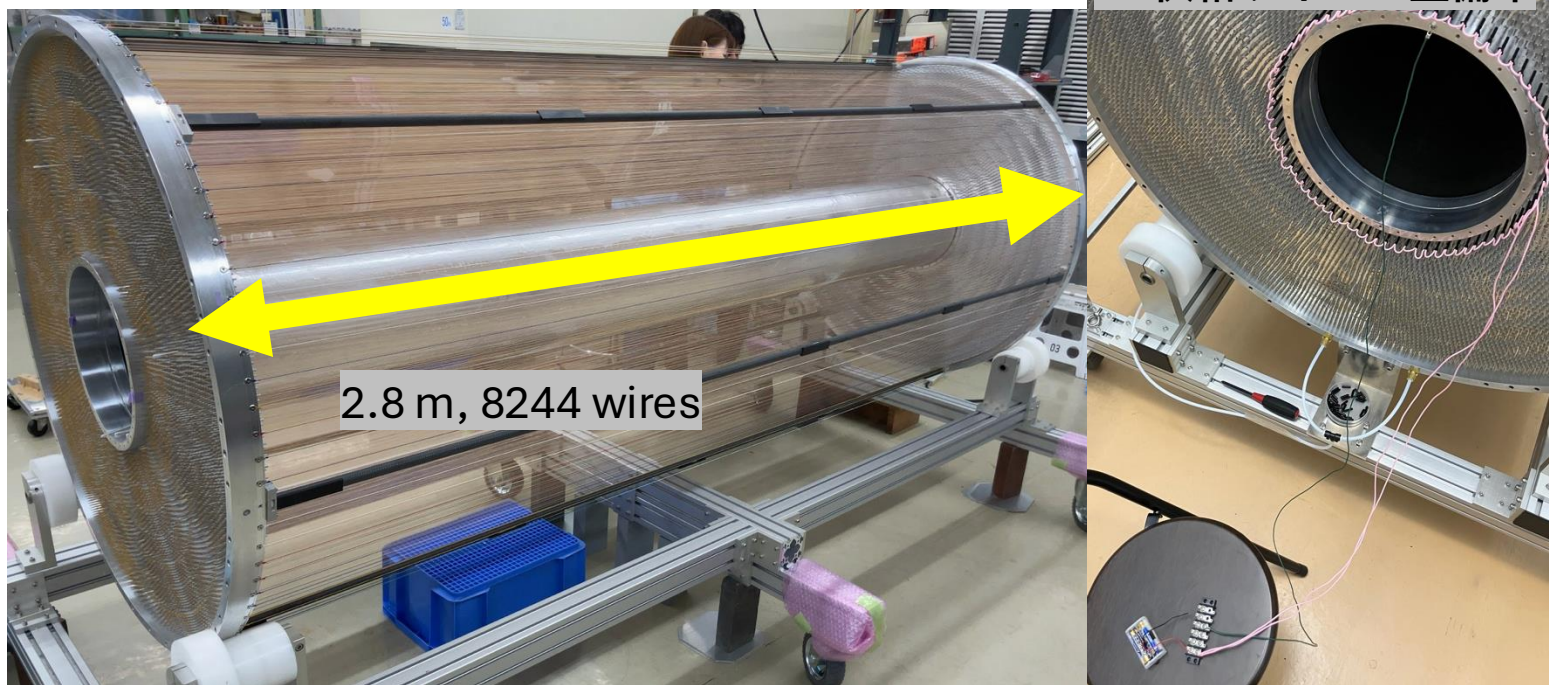
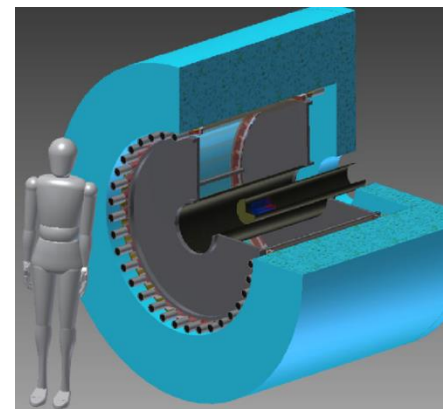
2. 円筒型ドリフトチェンバー(CDC)

➤ E80とその先の実験のための新たな検出器システム“DOLAMI”

CDC in DOLAMI

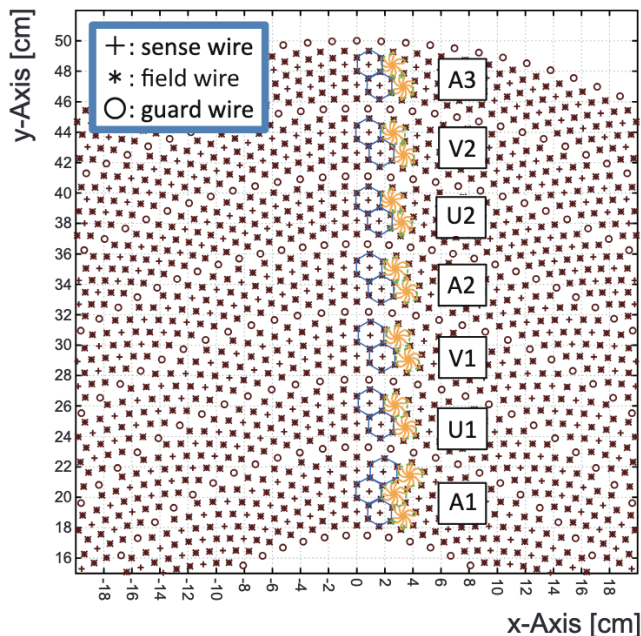
✓ 大立体角化(59% → 93%)

- ⇒ ・崩壊粒子が多いモードの調査を可能に
- ・より広い運動学的領域のデータ収集
- ・効率的なデータ収集



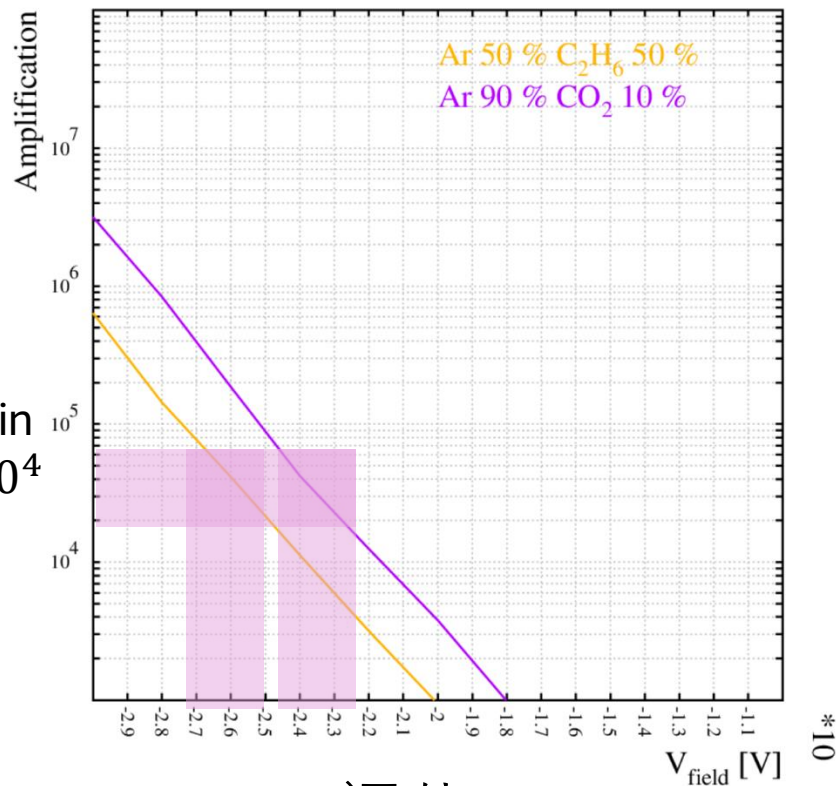
2. 円筒型ドリフトチェンバー(CDC)

実験	セル構造	ワイヤー 金属、太さ	読み出し (Field)	断面 (Beam軸垂直)	断面 (Beam軸方向)	充填ガス
J-PARC E15	六角形 15層	Au-W(Au-Al) Ø30 um(100 um)	1,816 (6,428)	Ø(1060 - 300) mm ドーナツ	850 mm	Ar(50%) C2H6(50%)
J-PARC E80	六角形 15層	Au-W((Be-Cu) Ø30 um(80 um)	1,816 (6,428)	Ø(1060 - 300) mm ドーナツ	2580 mm	?

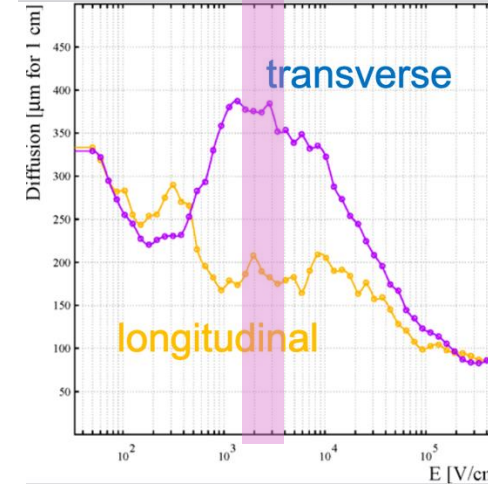
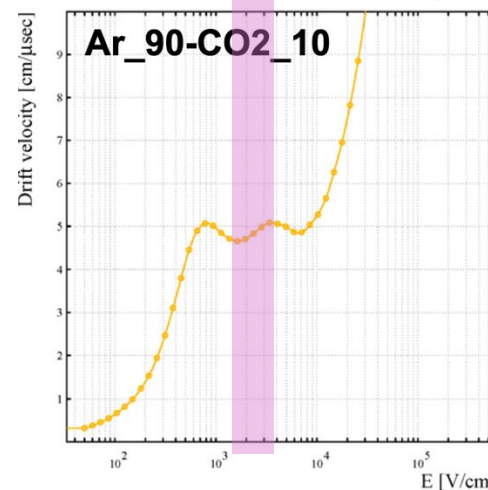
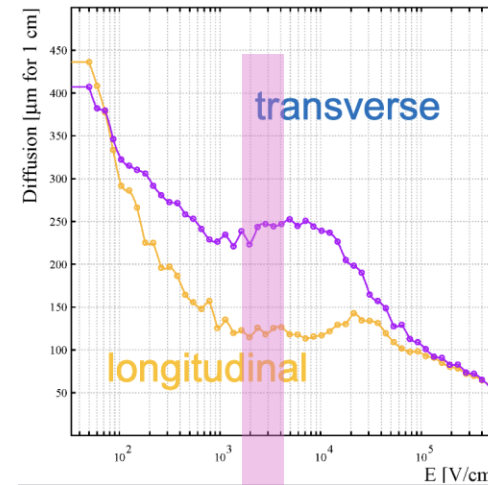
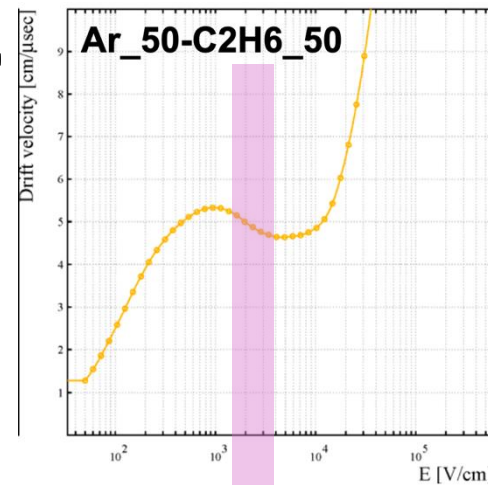


- ✓ ガスを決めたい
 - ✓ 体積が3倍 → 不燃性で目標性能が出るガスを探す
- 新たな充填ガスとして、不燃性で実績のあるArCO₂を検討

2. 円筒型ドリフトチェンバー (CDC)



この辺り



- Drift Velocity; プラトー領域、大きさ同等
- Longitudinal = “電子雪崩の進行方向”
性能に主に効くのはlongitudinal; 大きさ同等
- やや違いはあるが、ArCO2(90:10)は各地で実績あり。

2. 円筒型ドリフトチェンバー(CDC)

実験	セル構造	ワイヤー 金属、太さ	読み出し (Field)	断面(Beam軸垂直)	断面(Beam軸並行)	充填ガス
J-PARC E15	六角形 15層	Au-W(Au-Al) Ø30 um(100 um)	1,816 (6,428)	Ø(1060 - 300) mm ドーナツ	850 mm	Ar(50%) C2H6(50%)
J-PARC E80	六角形 15層	Au-W((Be-Cu) Ø30 um(80 um)	1,816 (6,428)	Ø(1060 - 300) mm ドーナツ	2580 mm	Ar (90%) CO2 (10%) ?

- ✓ ガスを決めたい
- ✓ 体積が3倍 → 不燃性で目標性能が出るガスを探す

新たな充填ガスとして、不燃性で実績のあるArCO₂を検討

E15 CDCを使ってArCO₂とArC₂H₆で同等の性能(ResolutionとEfficiency)になるか？

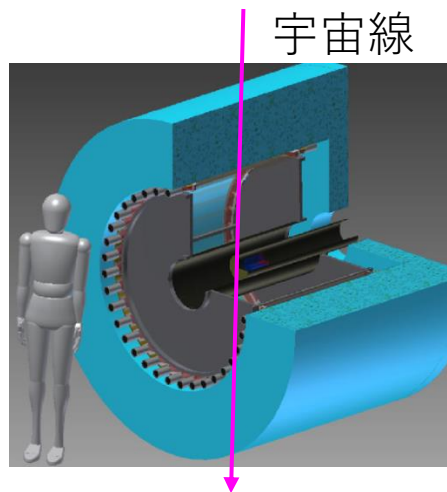
宇宙線で試験を実施した。

3. ガスの違いによる性能比較 (宇宙線測定)

➤ 目標

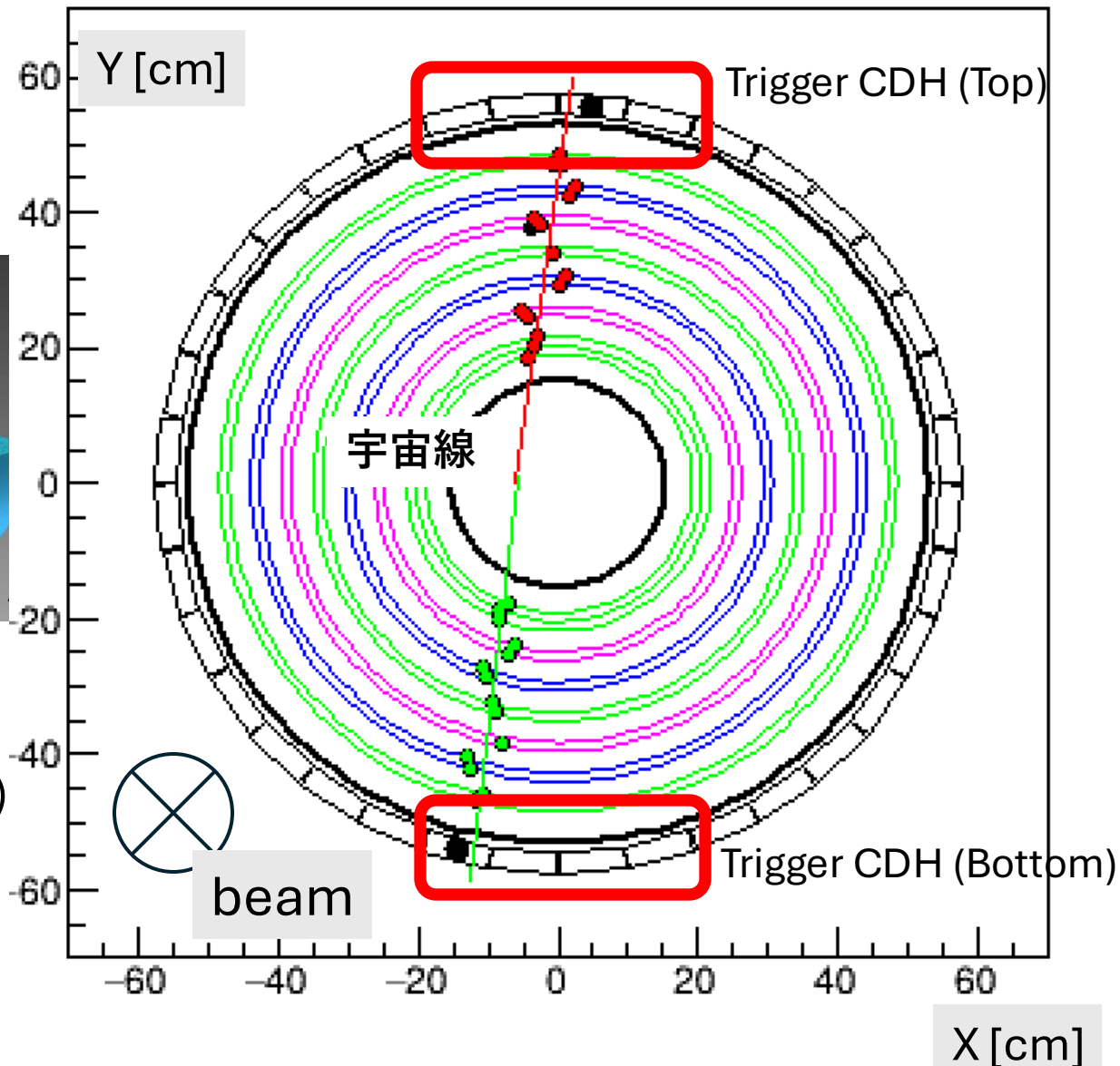
- ✓ E15 CDC, ArC2H6での位置分解能 $\sim 150 \mu\text{m}$, Tracking Efficiency $\sim 97\%$

→ ArCO₂で性能評価を行った。
同程度の結果を期待。



➤ 実際のSet Up

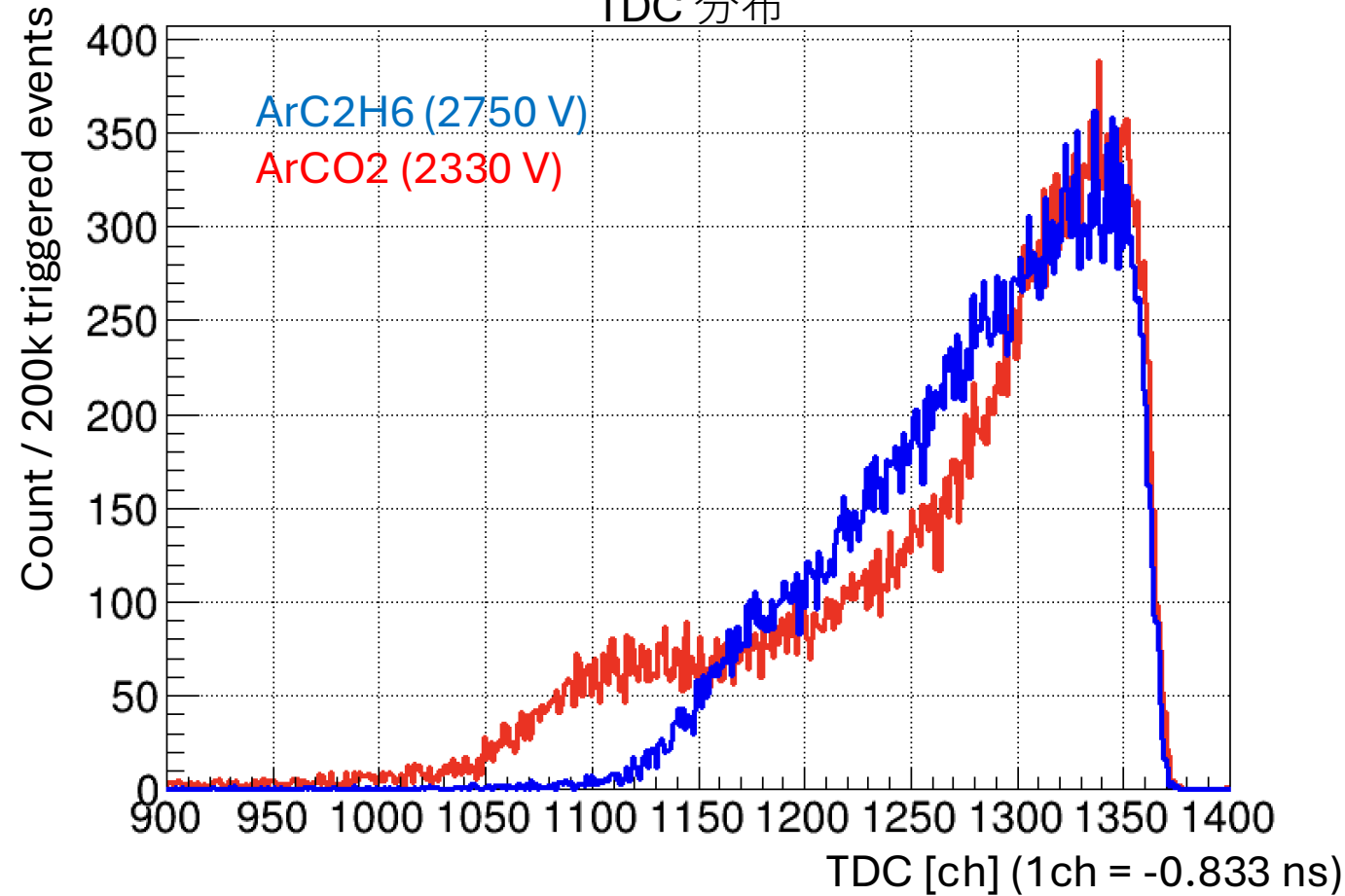
- ✓ トリガー; プラスチックシンチレータCDH
- ✓ ArC₂H₆の各レイヤー印加電圧 2800 V (2750 V)
- ✓ ArCO₂の各レイヤー印加電圧 2250~2400 V
- ✓ 読み出しはE15と同じ (時定数 16 ns のASD)



3. ガスの違いによる性能比較 (宇宙線測定)

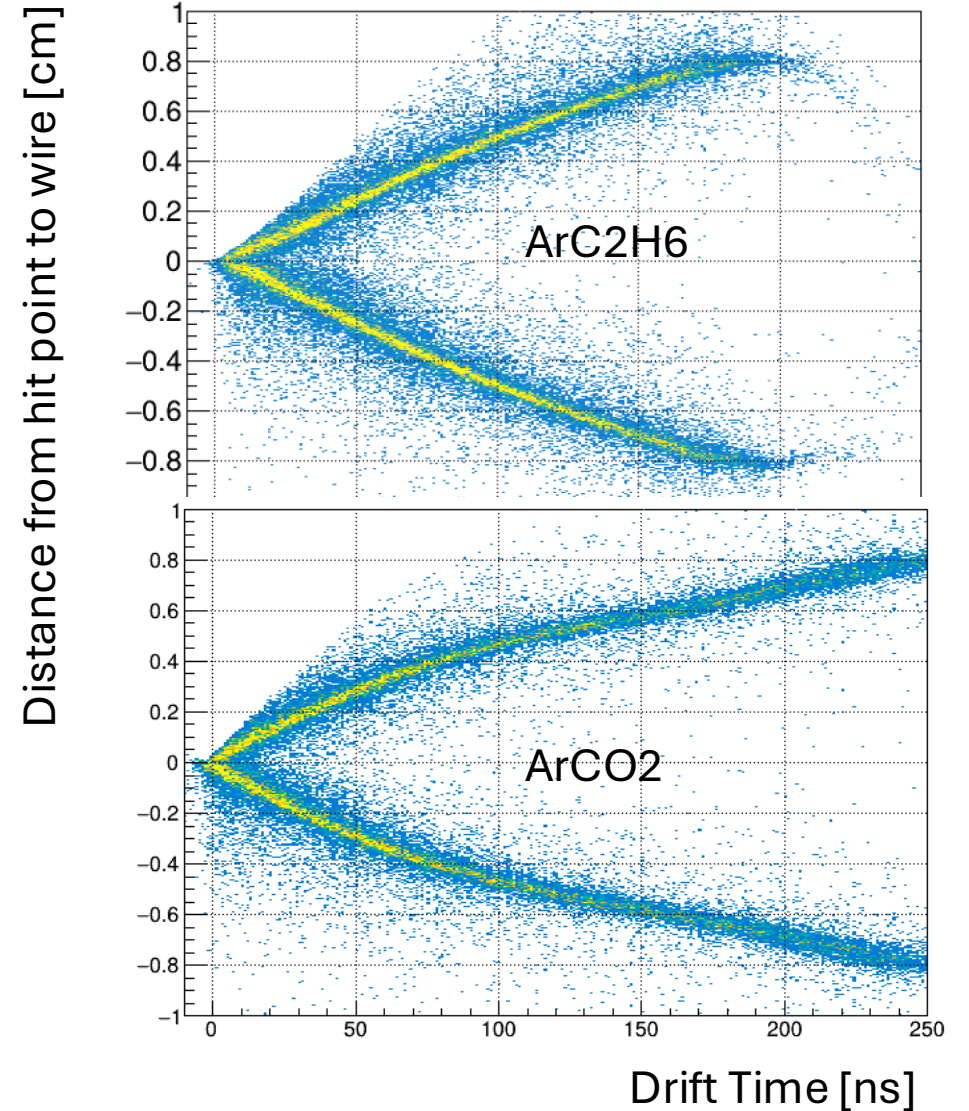
➤ TDC, XT curveの形を比較

TDC 分布



綺麗なイベントのみでTDC分布を比較
明確にガスの種類による違いが見える。

XT curve

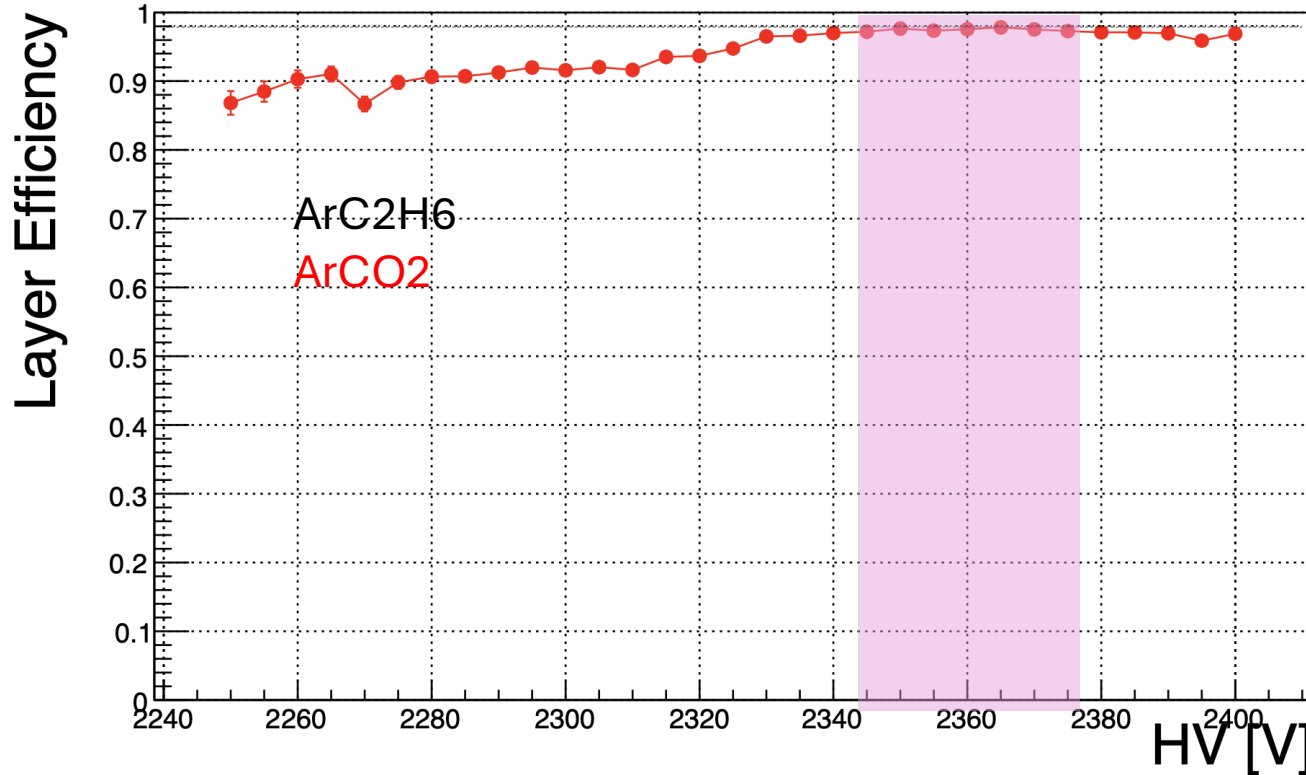


3. ガスの違いによる性能比較 (宇宙線測定)

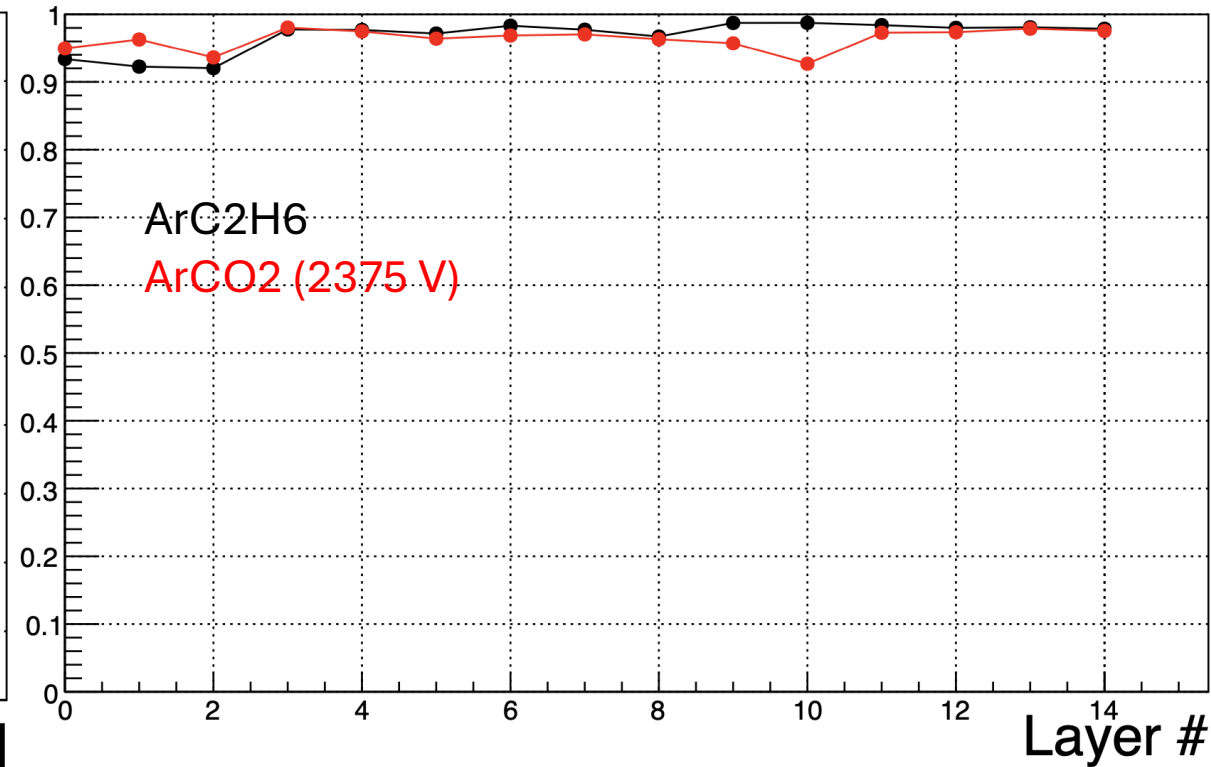
➤ Layer Efficiency (HVスキャン)

定義; Layer X Efficiency = $\frac{\text{全15 Layerが使われたトラック数}}{\text{全15 Layerが使われたトラック数} + \text{Layer Xのみ使われなかったトラック数}}$

Typical Layer Efficiency



LayerごとのEfficiency

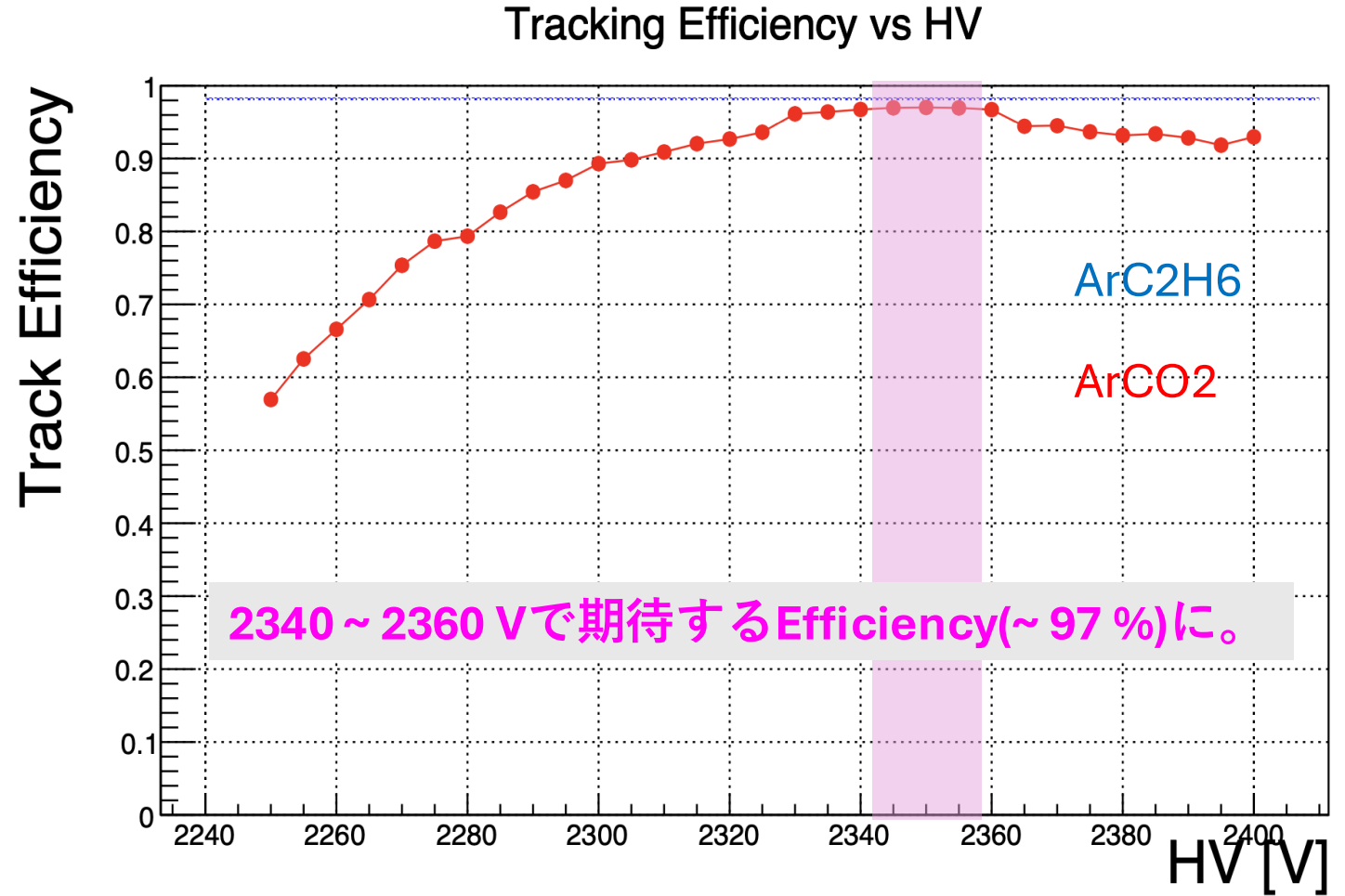
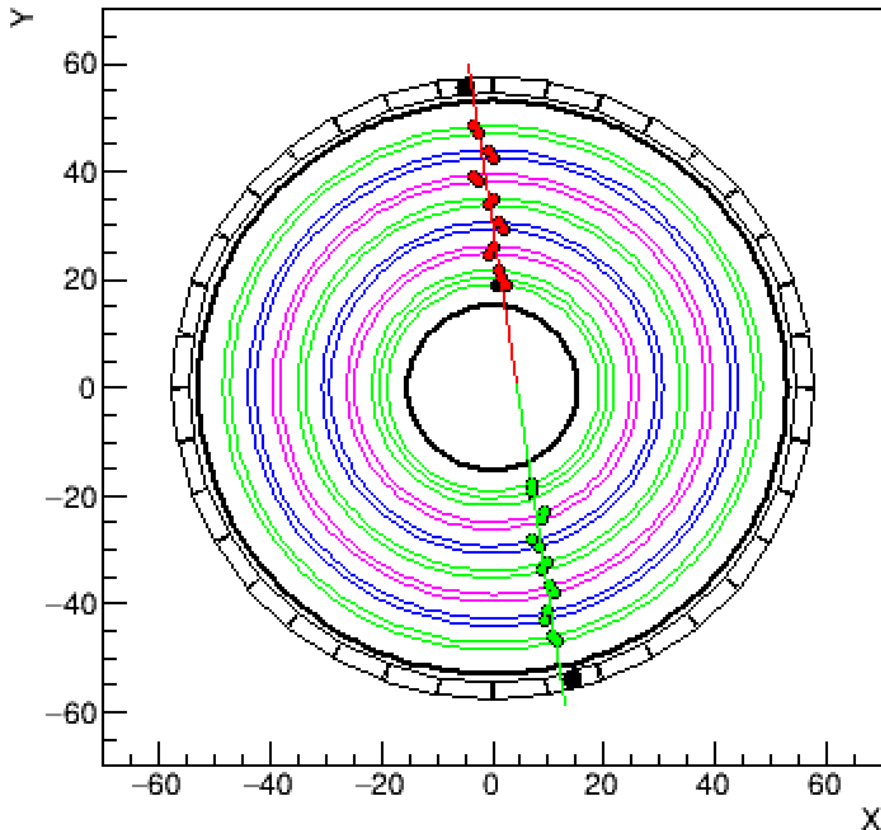


Layer Efficiency は2360 V付近で同等の値が出ている。

3. ガスの違いによる性能比較 (宇宙線測定)

➤ 同様の手順でトラッキングした場合のトラッキング効率 (HVスキャン)

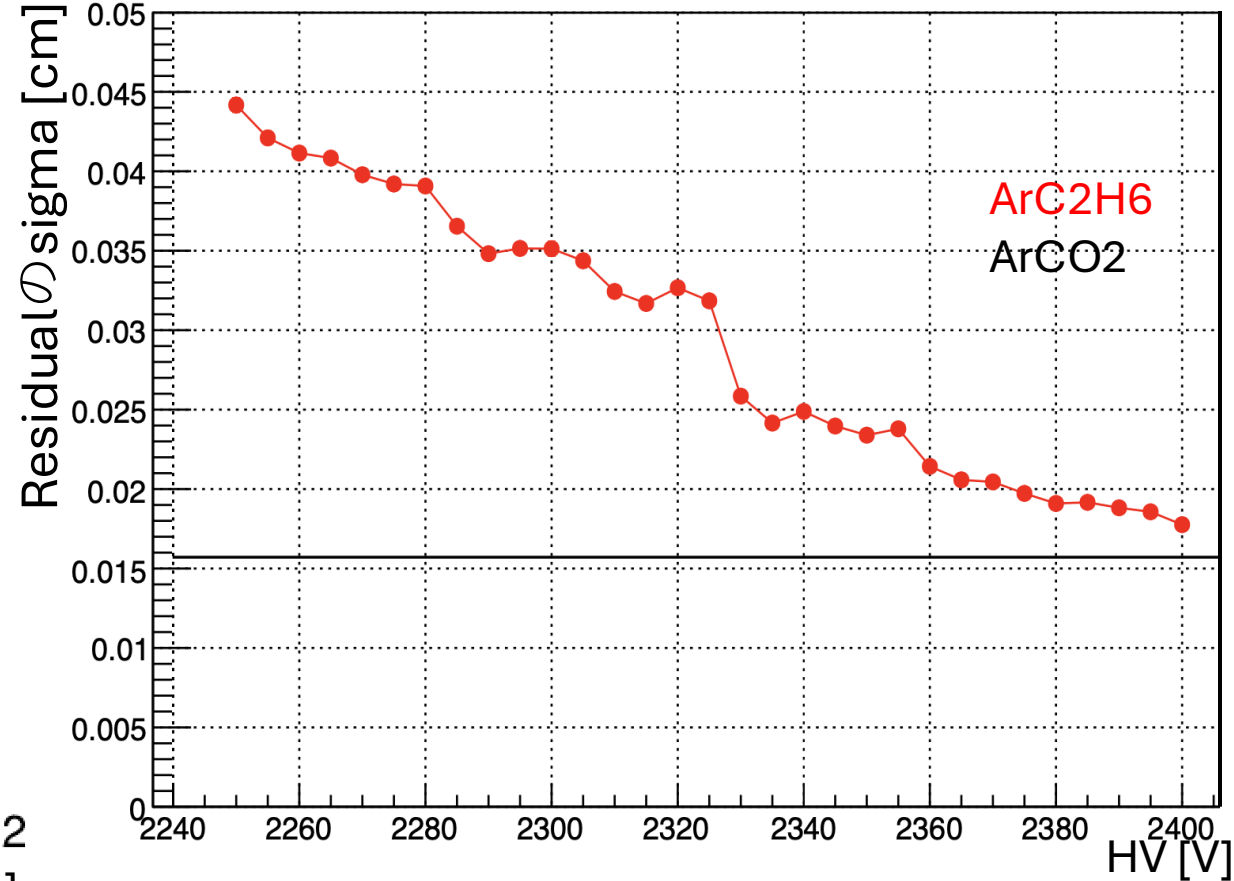
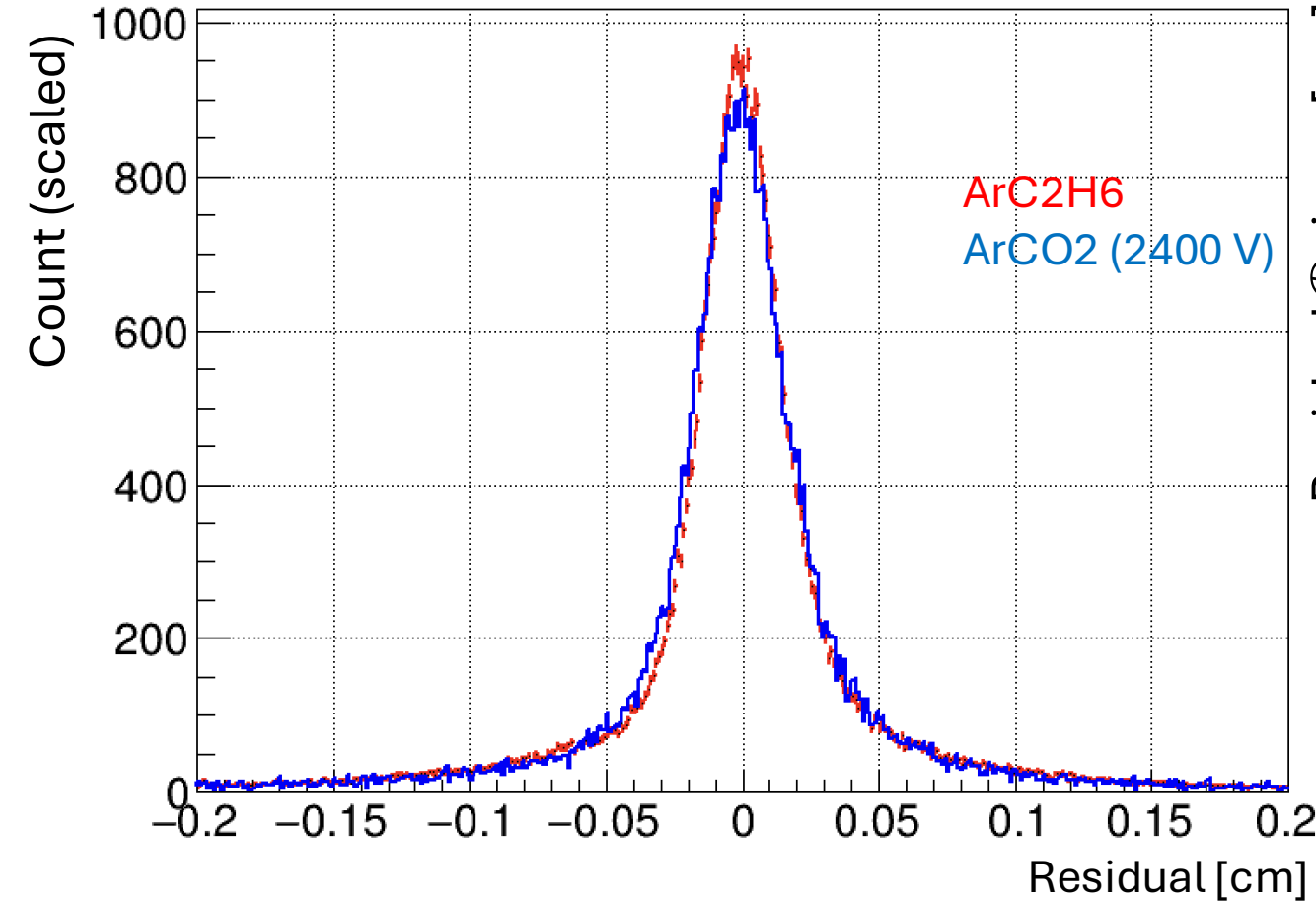
定義; Tracking Efficiency = 2 Tracks Events / CDH 2 Hit Events



3. ガスの違いによる性能比較 (宇宙線測定)

➤ 典型的なResidual分布

➤ ResidualのsigmaのHV依存性



✓ Residualの形は変わらない

✓ ArC2H6とおおよそ同じ結果が得られた。

4. まとめ

開発状況

- 反K中間子原子核の系統的調査のための検出器システムを開発している。
- 円筒型ドリフトチェンバー(CDC)に関しては、現在J-PARCでHV供給ライン等整備中である。

本研究

- ArCO₂が実際に使えるかどうか、既存のCDCを使って宇宙線で試験を実施した。
- 位置分解能, Efficiencyともに十分使えるレベル。詳細はまだ調査中。

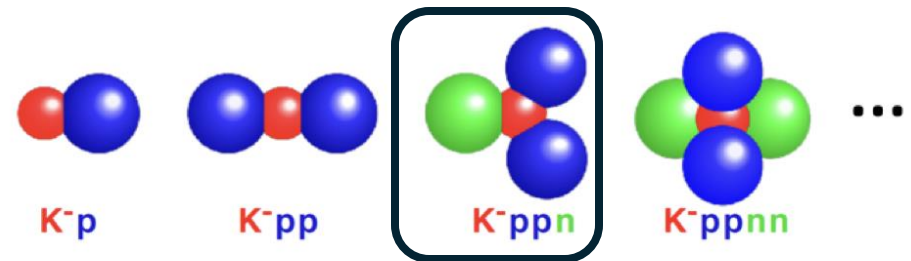
今後

- 現在準備中の新たなCDCを動かし、アナログ信号から確かめる。
- 並行して、異なる混合比(85:15 etc...)のArCO₂でより良い性能が出ないかを調べる。
- J-PARC E80で使うガスの最終決定をする。

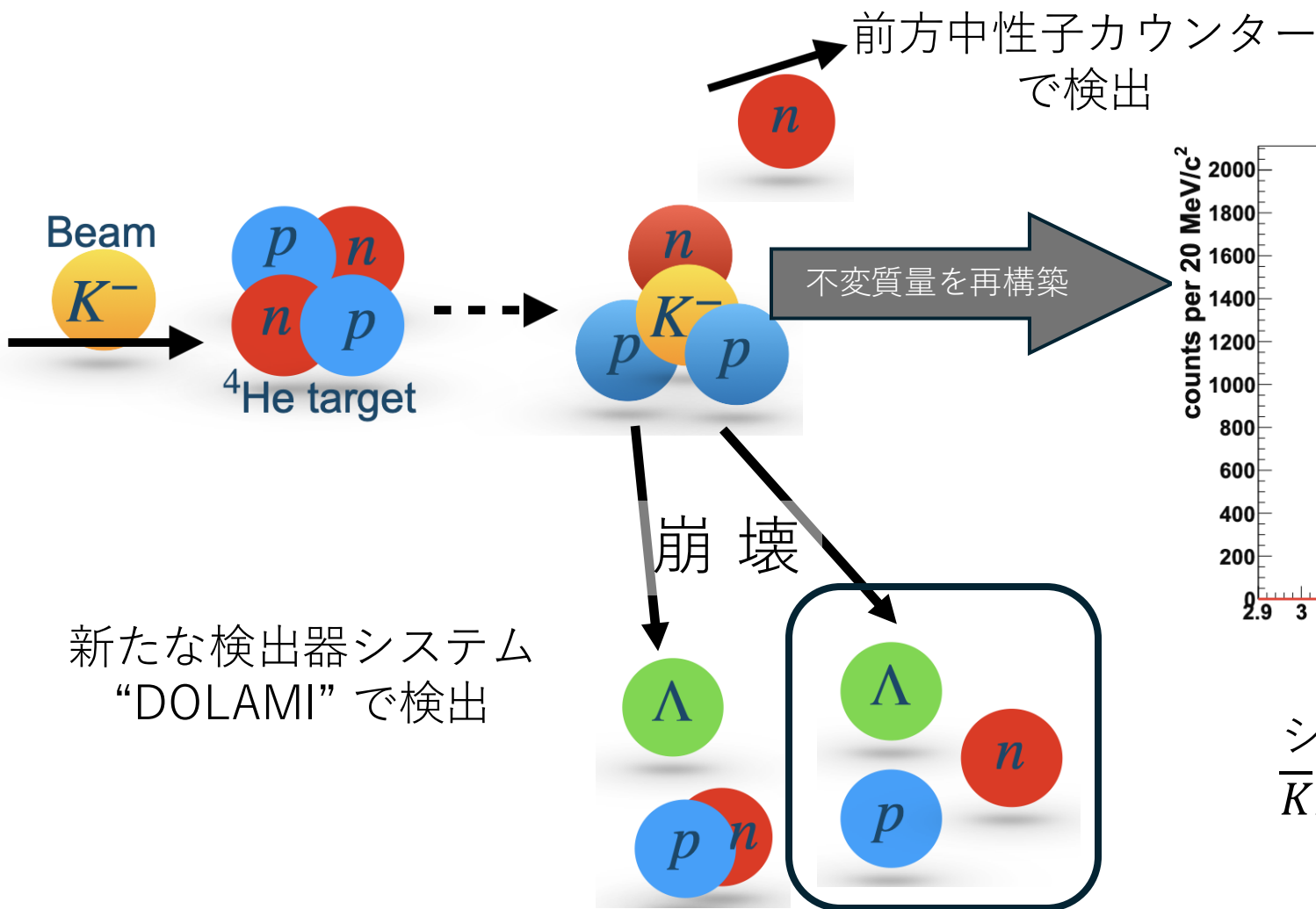
ご清聴ありがとうございました。

Back-Up

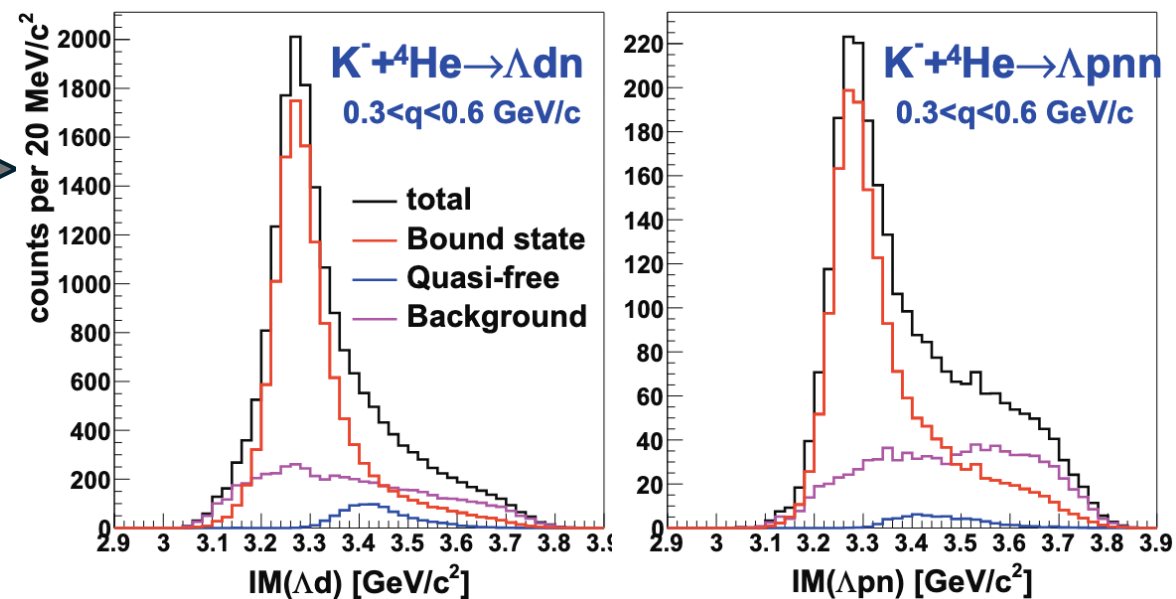
Back up: J-PARC E80 実験



➤ 未確認の $\bar{K}NNN$ 束縛状態を探す



F. Sakuma, J-PARC E80 proposal (2020)



シミュレーションで得られたスペクトル $\bar{K}NNN$ 質量閾値以下にピークが現れる

Back up : DOLAMI

Detector Of a Large solenoid magnet for Anti-K Meson Interaction

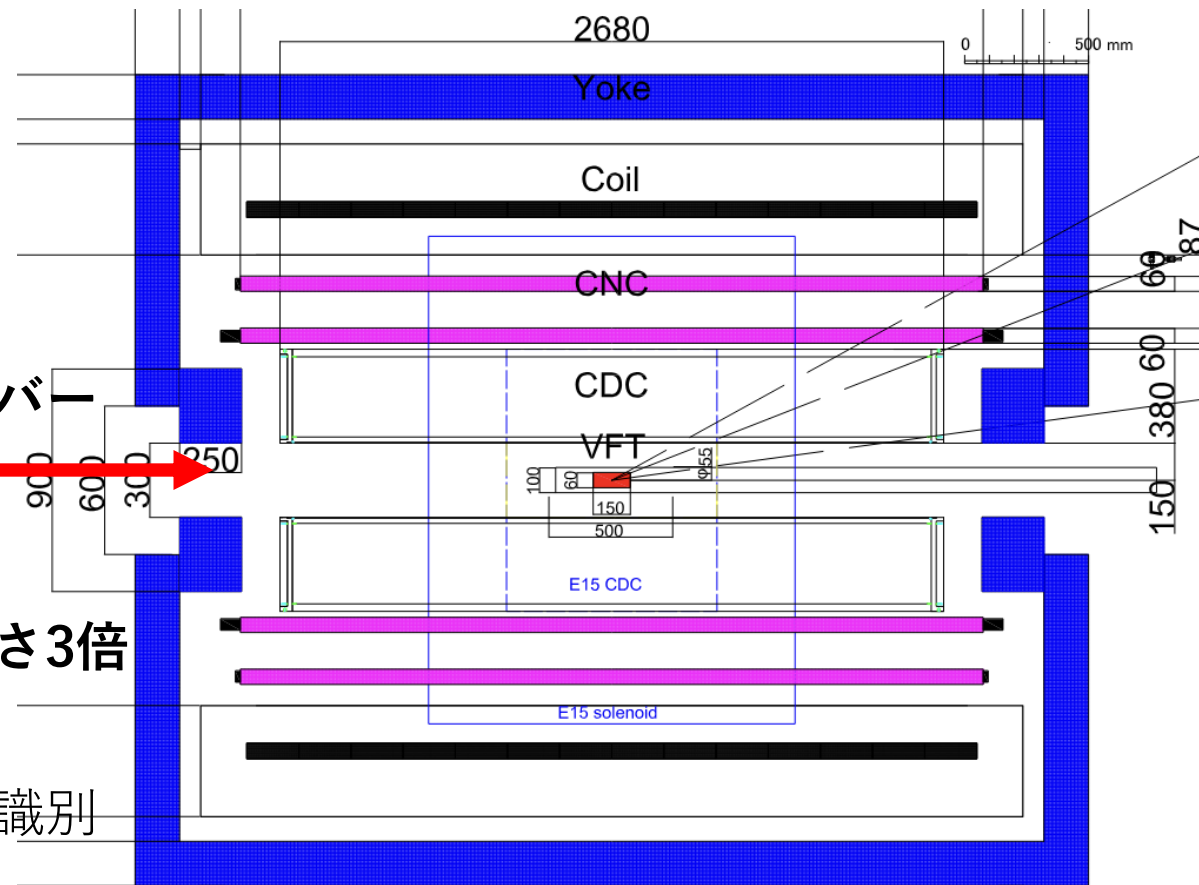
XY (beamに対して垂直方向)

Z (beam)

- E80とその先の実験のための新たな検出器システム “DOLAMI”

各検出器の役割

- ・ VFT ; E15 CDSには無い検出器、Fiber Tracker
反応点のビーム軸方向の位置精度の向上
- ・ CDC ; E15 CDCの長さ3倍の円筒型ワイヤーチェンバー
飛跡の曲率半径から運動量を計算
BPCと VFTと合わせて反応点の決定
- ・ CNC ; 2層構造の円筒上に配置する、E15 CNCの長さ3倍
厚さ4倍のプラスチックシンチレータ
オンライントリガー、TOFによる荷電粒子の識別
反K中間子原子核から崩壊する中性子の検出



Back up : Cut 条件, Track 条件

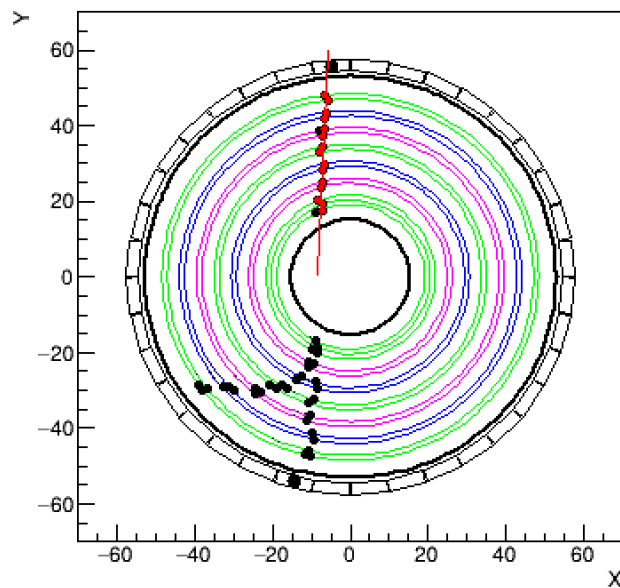
- First Hit (各Wireについての)
- $30 \text{ ch} < \text{TOT} < 500 \text{ ch}$
- $-50 \text{ ns} < \text{Drift Time} < 400 \text{ ns}$
- CDH Top & Down Hit (2 hits)
- Make Cluster (各Super Layerで。1 hitでもOK)

```
int n1=GetNClusters(0);
int n2=GetNClusters(3);
int n3=GetNClusters(6);
if(n1<1||n2<1||n3<1) return false;
if(n1>100||n2>100||n3>100) return false;
if(n1*n2*n3>1e4){
#ifdef DEBUG
    std::cout<<"too many clusters in axial layers: "<<n1<<"  "<<n2<<"  "<<n3<<std::endl;
#endif
    return false;
}
```

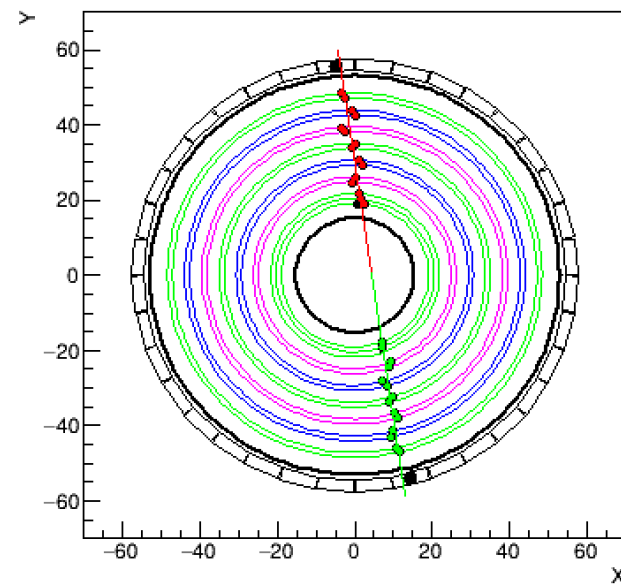
- アンクルでカット (Clusterのなす角が広すぎたら消去)
- Axial 3 Super Layer 要求
- Layer 11以上要求
- Stereo Layer 6 Hits以上要求
- ($\text{Chi}^2 < 30$)

Back up : Trackingの様子

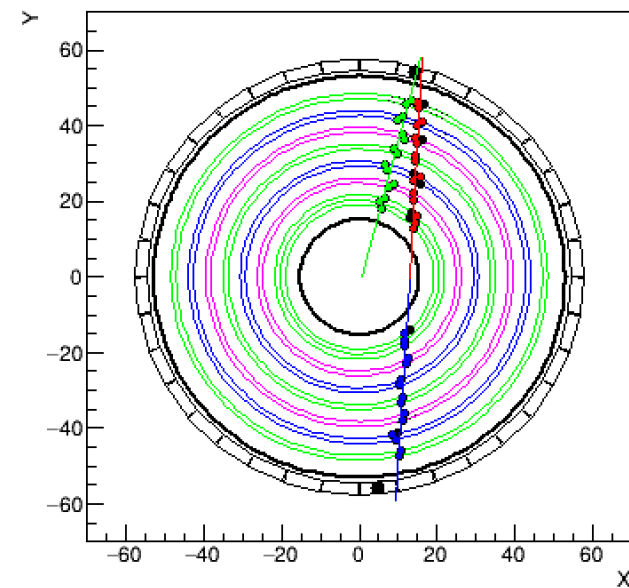
N=0の例



N=1の例

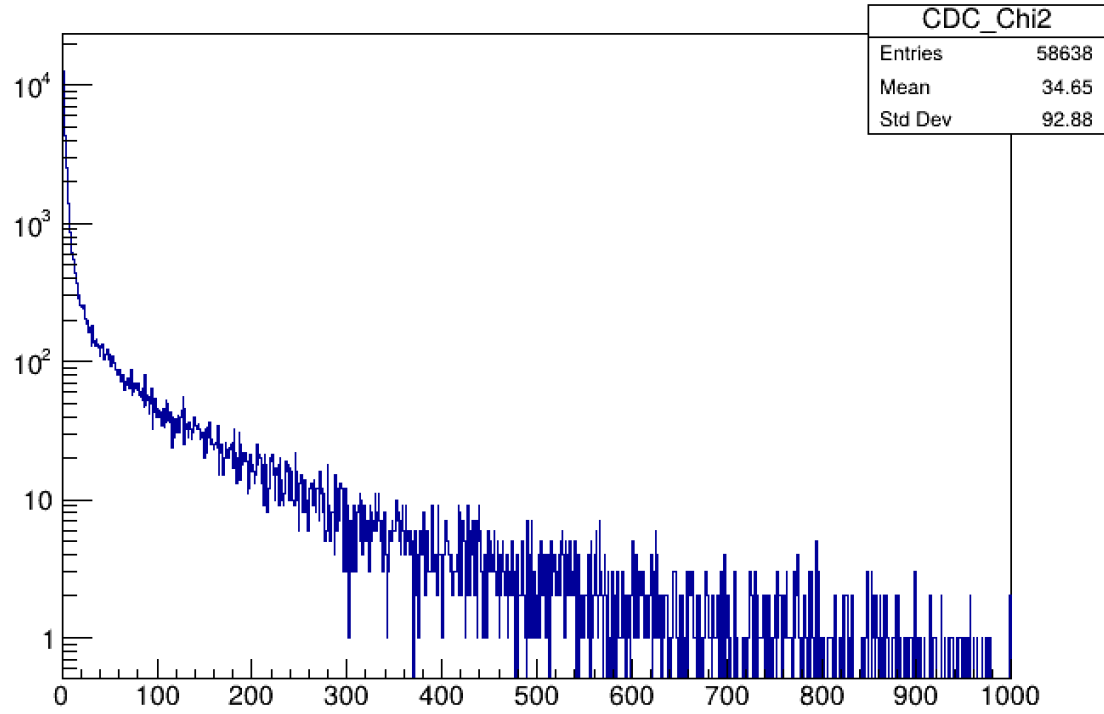


N=2の例

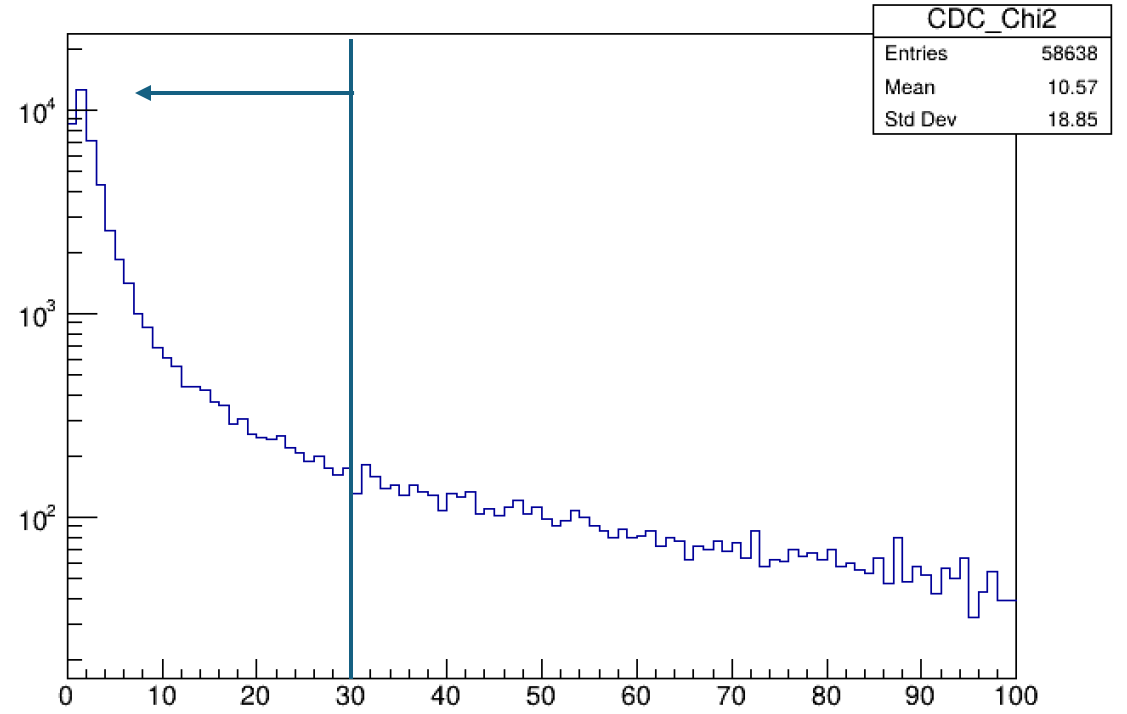


N=3の例

CDC_Chi2



CDC_Chi2



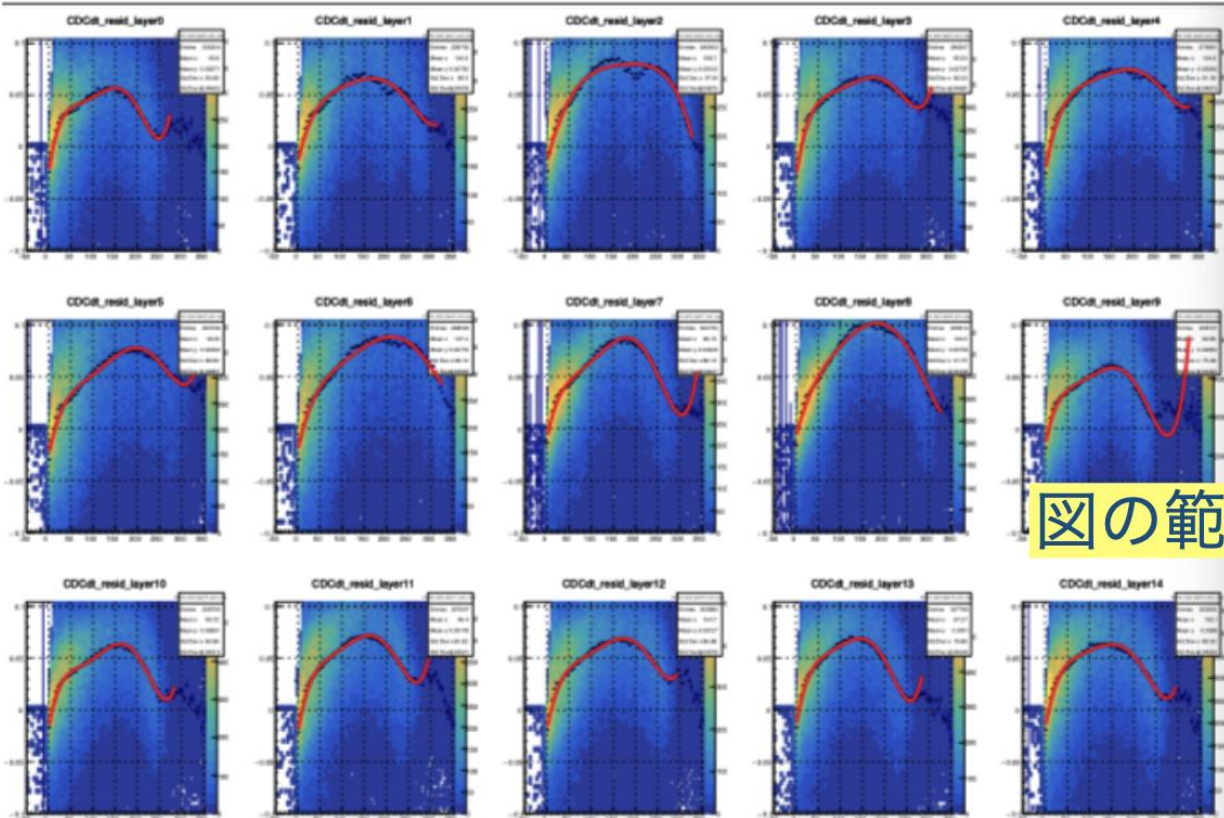
Back up; 世の中のCDC

Jlab
GlueX
HERMES

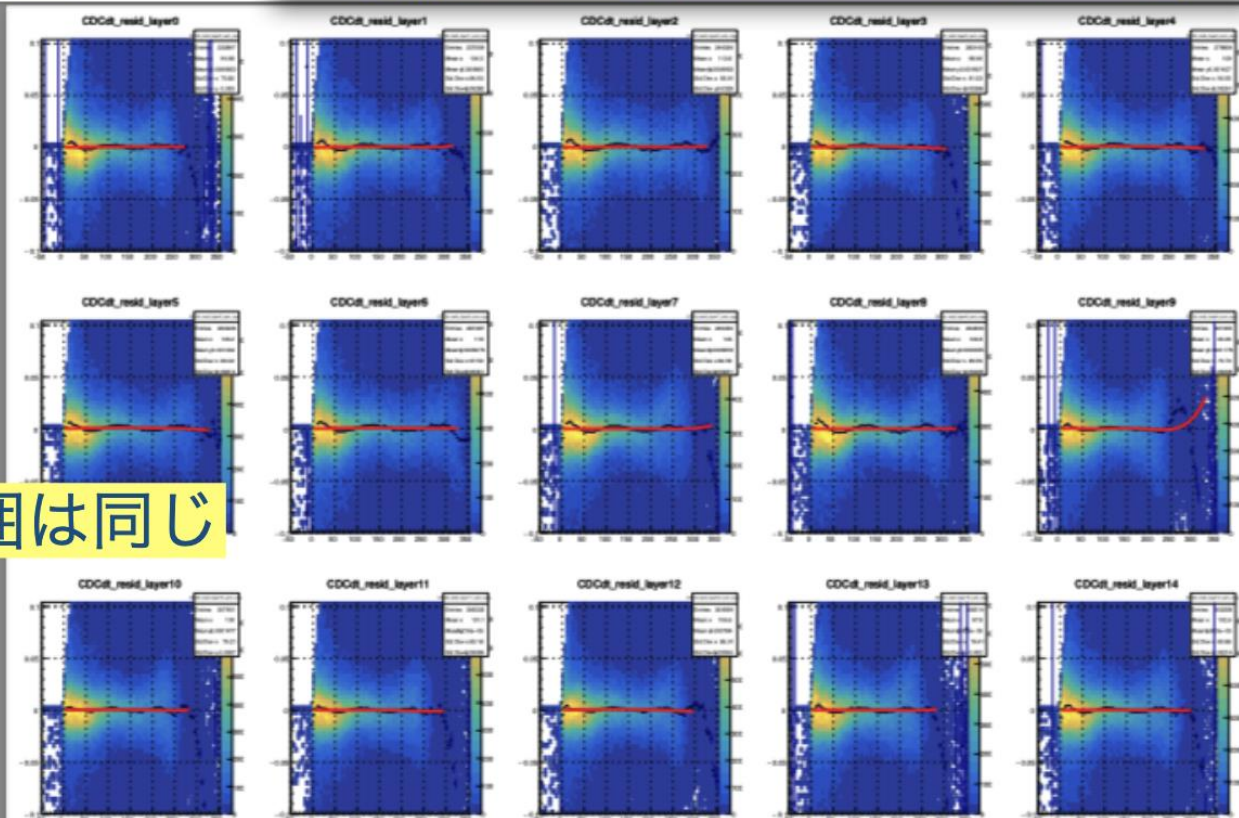
Drift Time vs Rresidual, 2350 V (Run 44)

- How to iterate; $pol5_{n+1} = pol5_n - 0.9 \times pol5_n^{corr}$
- 50,000 events

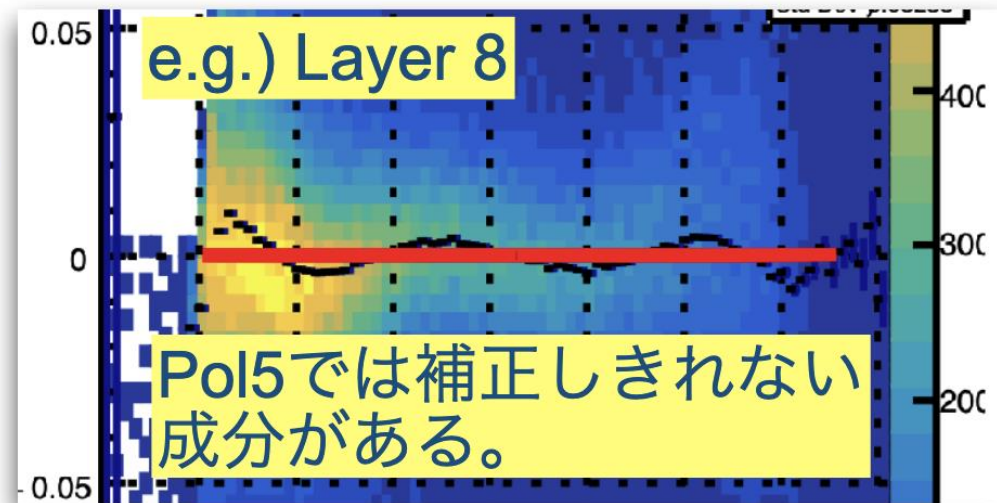
0

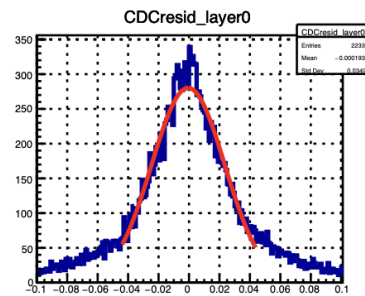
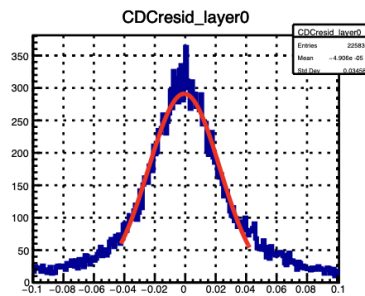
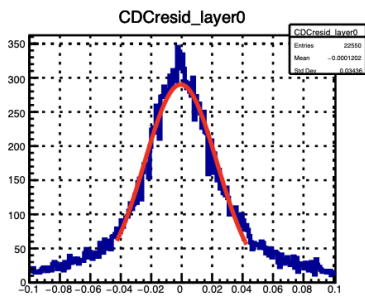
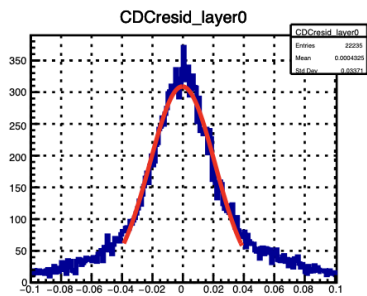
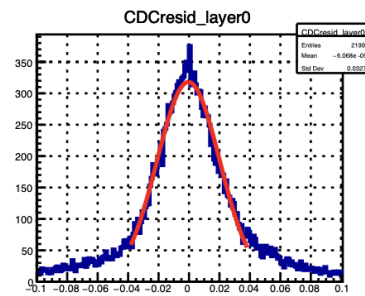
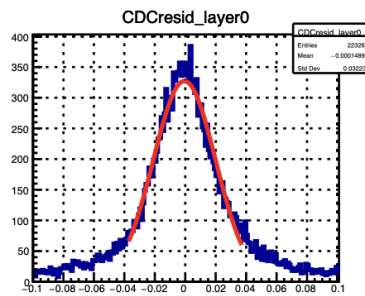
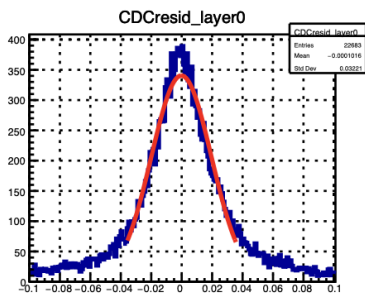
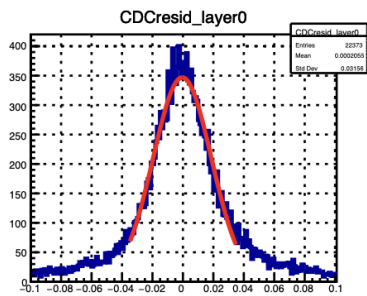
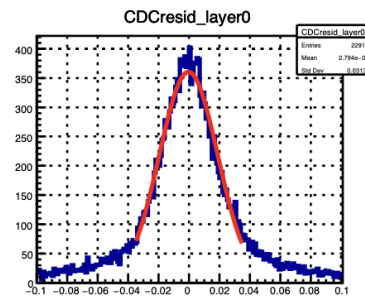
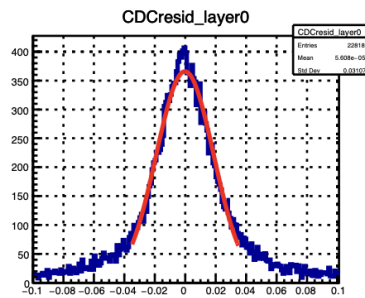
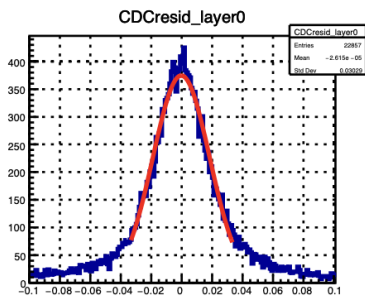
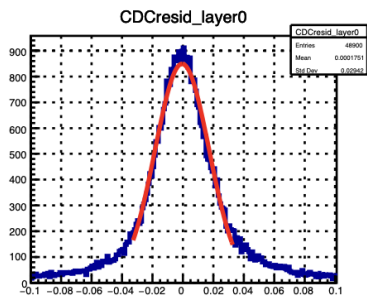


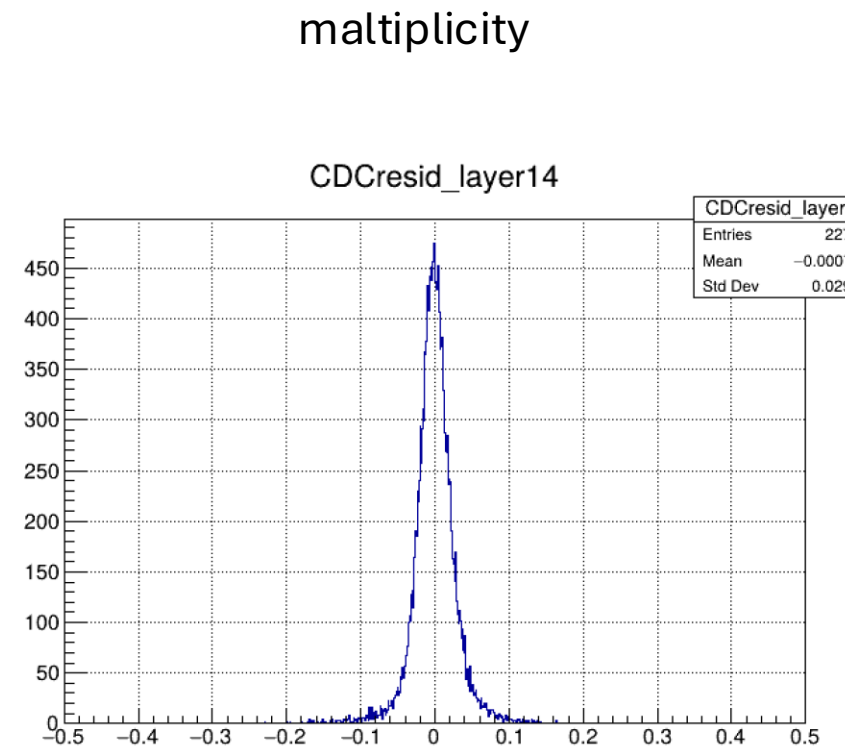
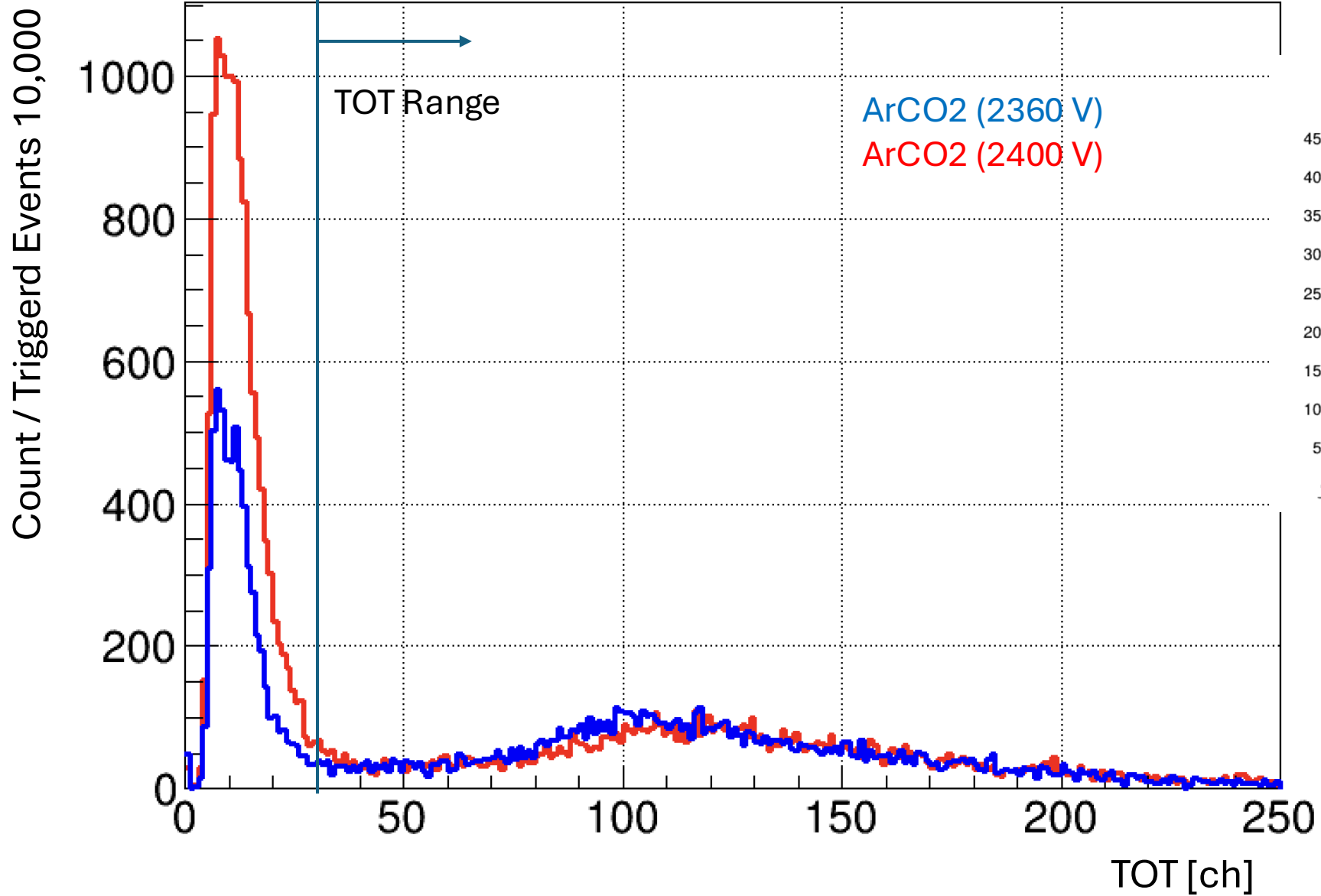
10



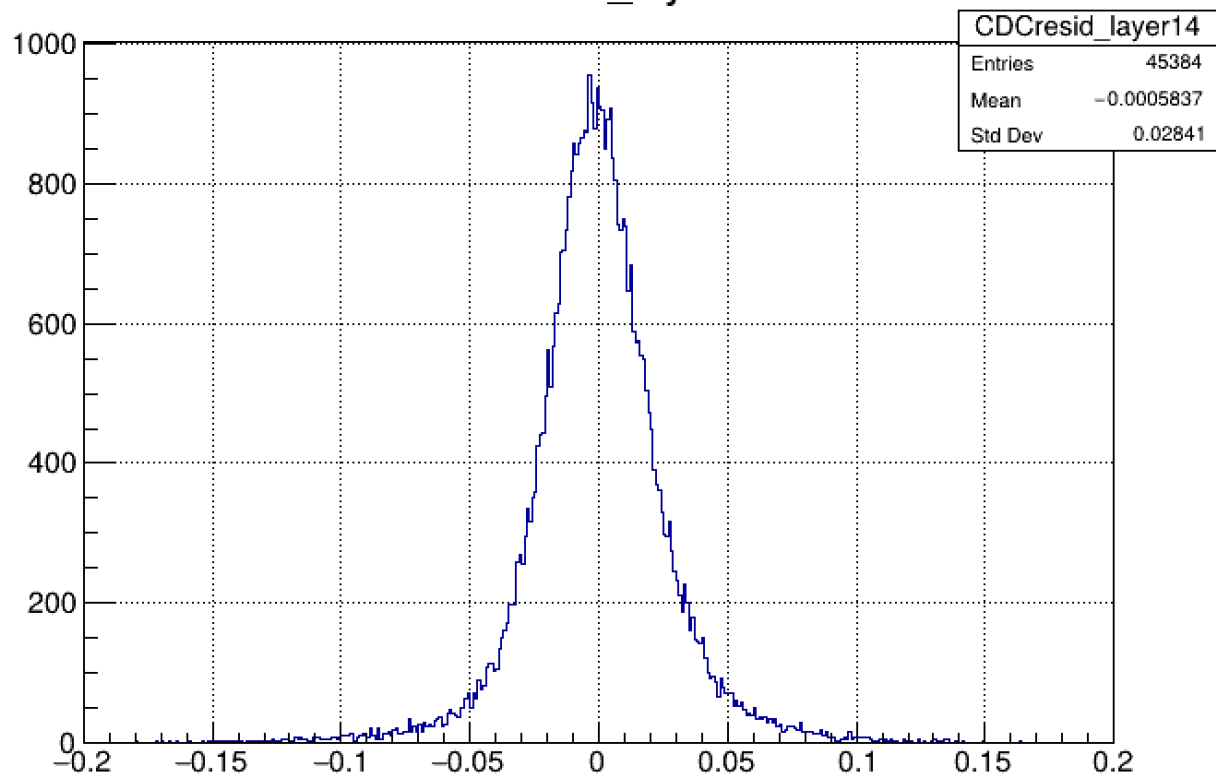
図の範囲は同じ



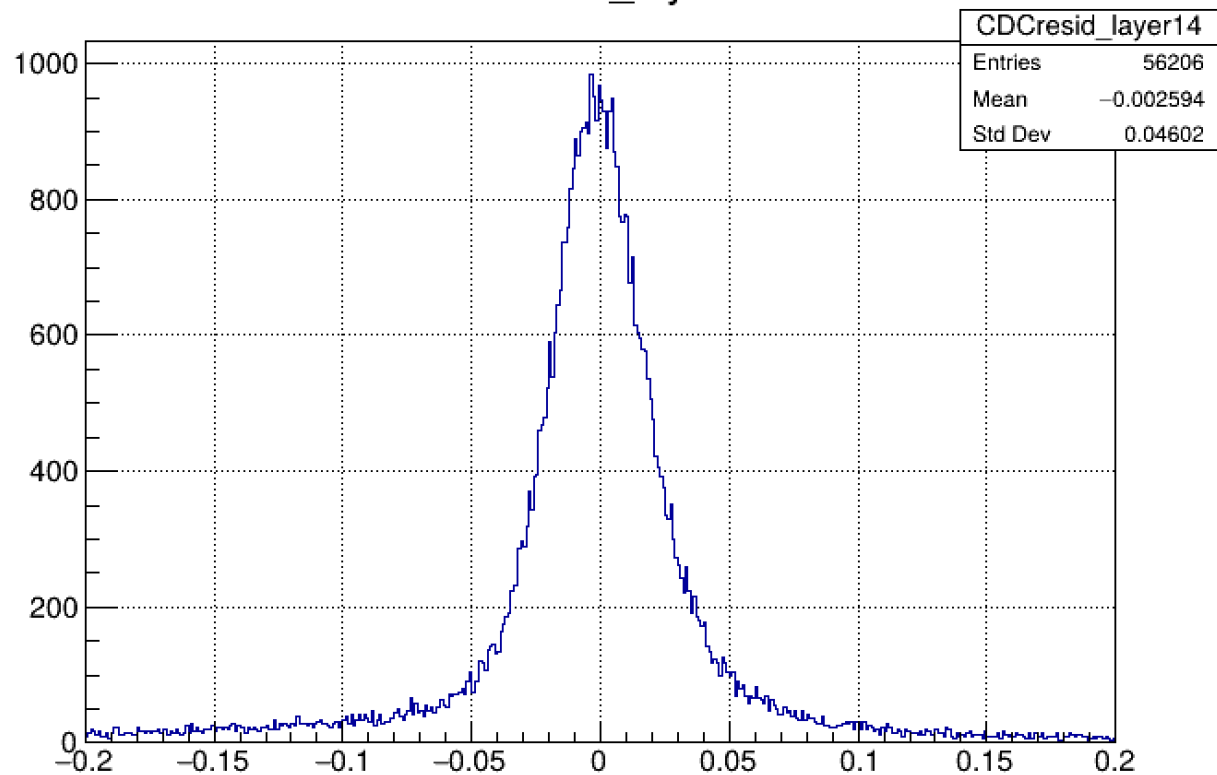


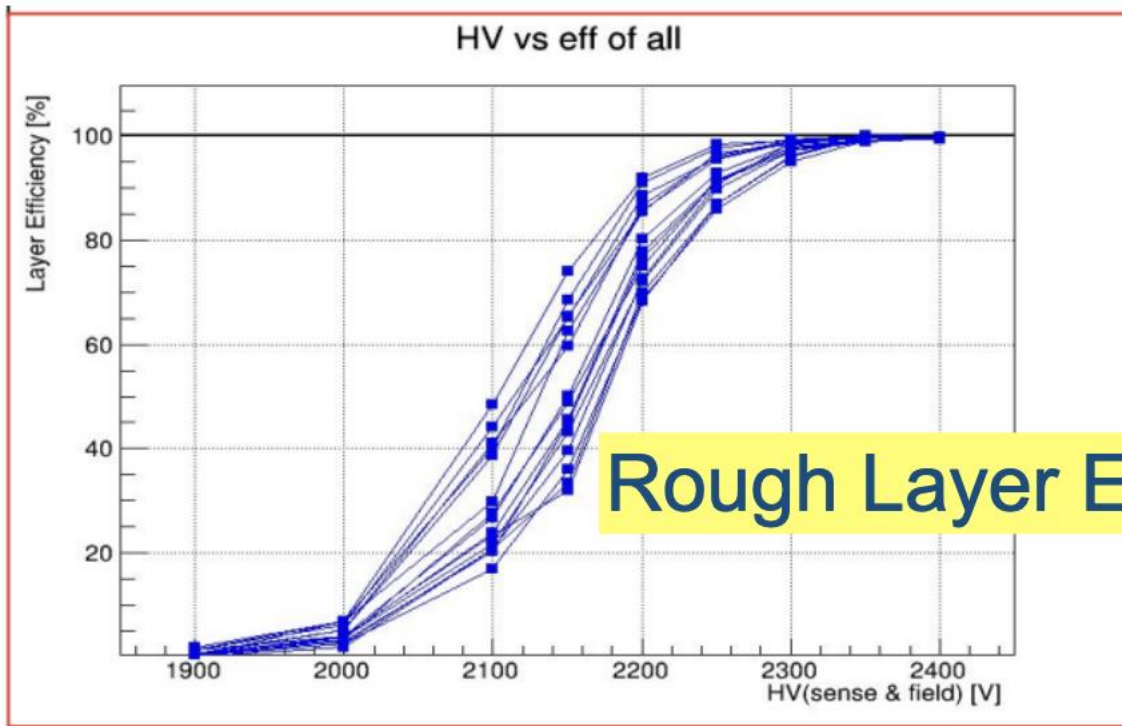


CDCresid_layer14



CDCresid_layer14



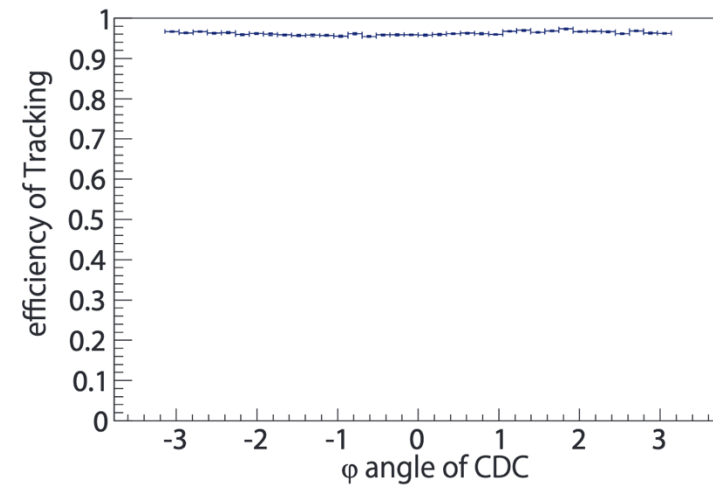
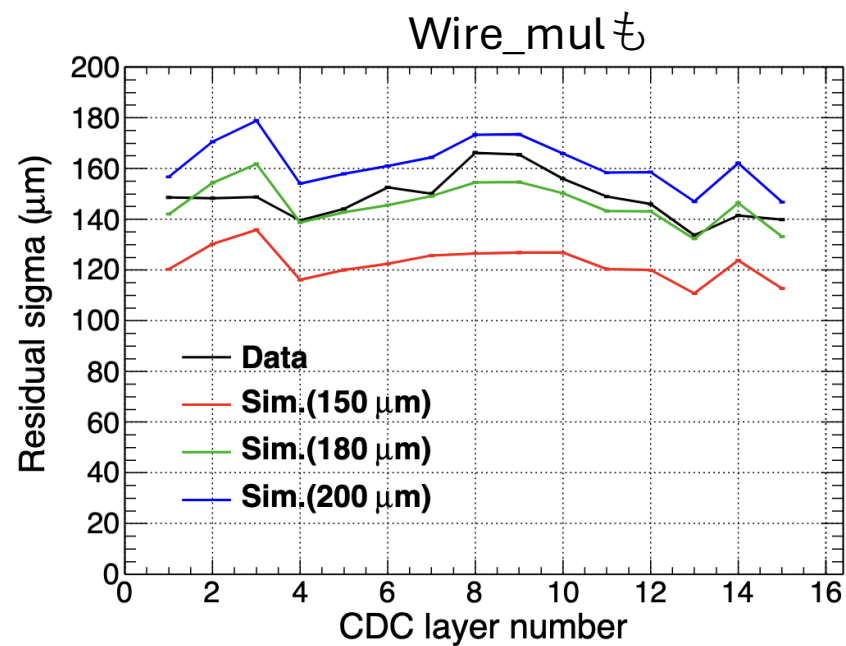


Wire type	Wire diameter	Wire material	Number of wires	Wire tension
Sense	$\phi 30 \mu\text{m}$	Au-W	1,816	70 g
Filed	$\phi 80 \mu\text{m}$	Be-Cu	5,376	240 g
Guard	$\phi 80 \mu\text{m}$	Be-Cu	1,052	240 g
In total			8,244	1.67 tons

Back Up

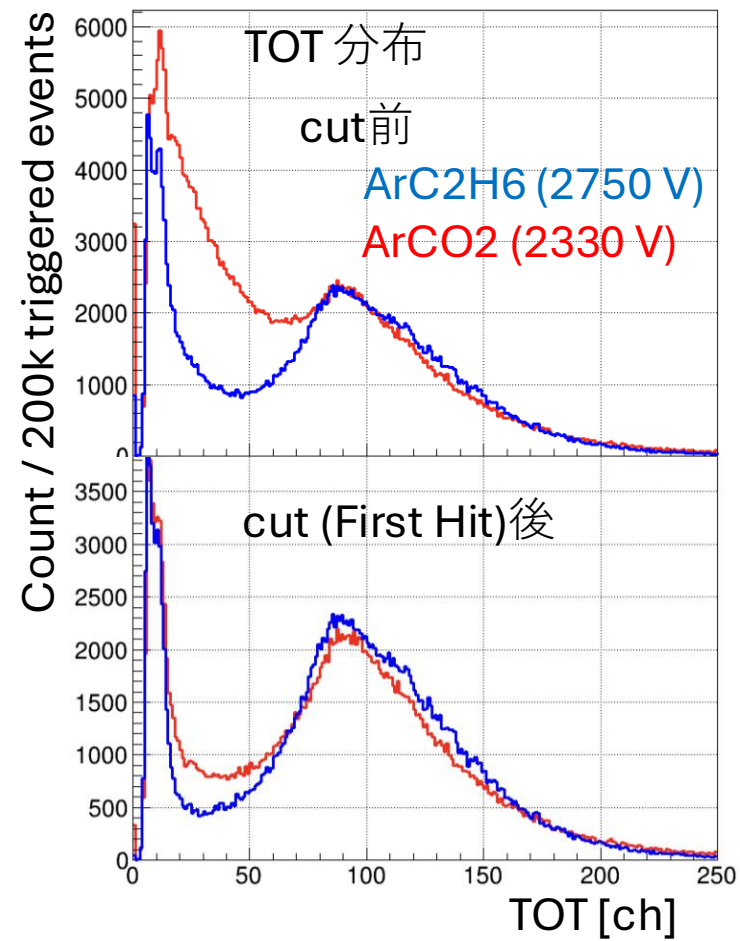
ゴミヒットの量比較ArC2H6,2350,2400Vでtot thre scan

生のマルチプリ



Back up: ゴミ比較

➤ TOT



ゴミは多いがFirst Hitを課すことで
C2H6とほぼ同様のTOT分布が得られる。