

方向に感度を持つ暗黒物質探索における SF_6 ガスを用いた 陰イオンマイクロTPCの開発

神戸大学理学研究科

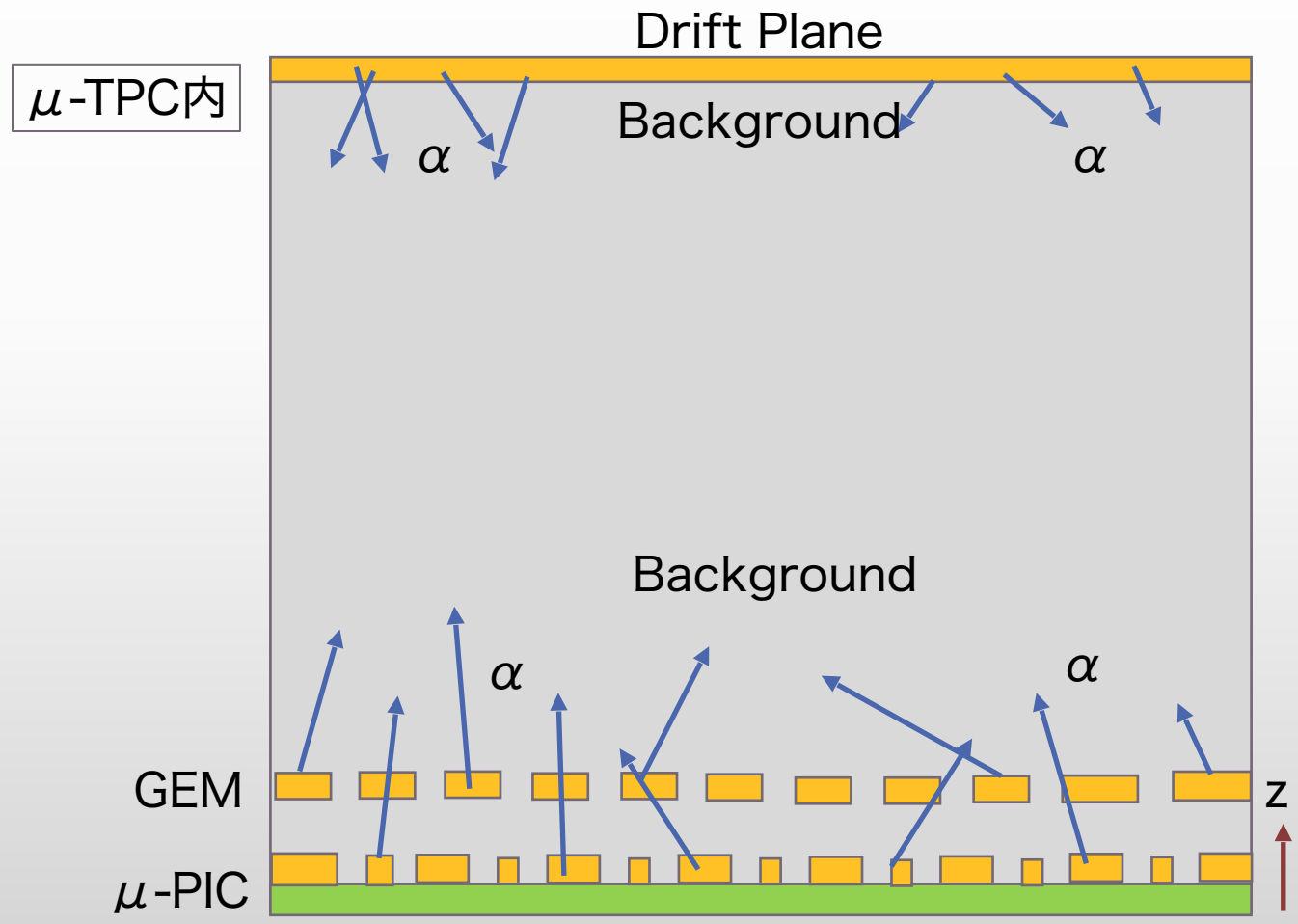
島田 拓弥

身内 賢太郎、池田 智法、石浦 宏尚、中村 拓馬、中村 輝石

2019.09.18

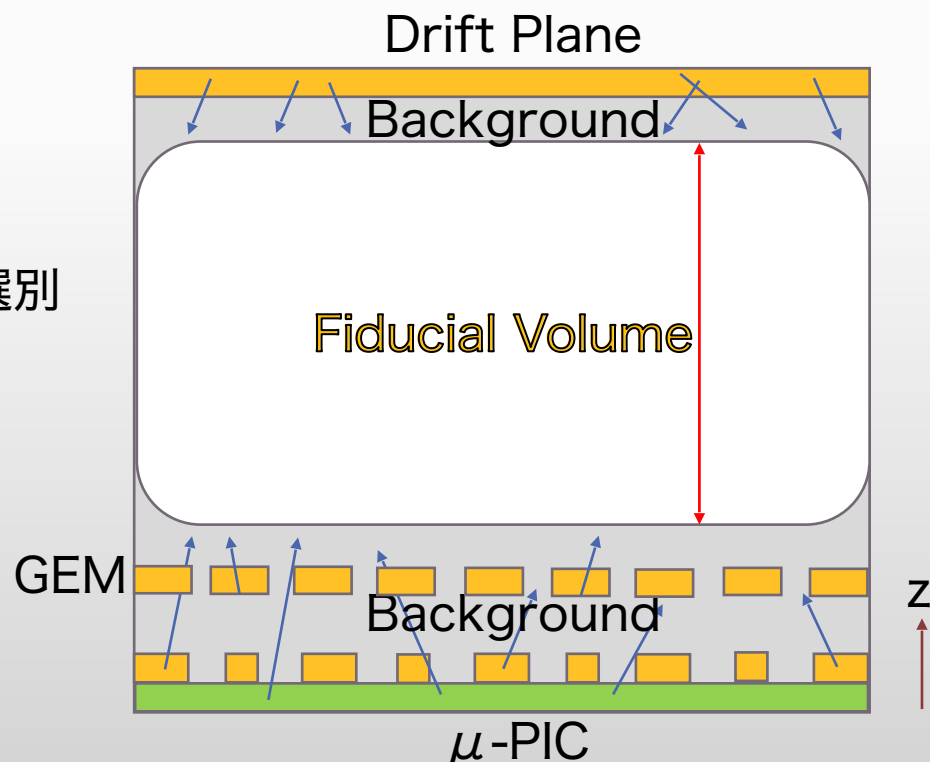
2019年日本物理学会秋季大会

- ◆ 方向に感度を持つ暗黒物質探索（NEWAGE実験）における課題
 - > μ -PICなどの検出器由来の**表面アルファ線**が主なBackground



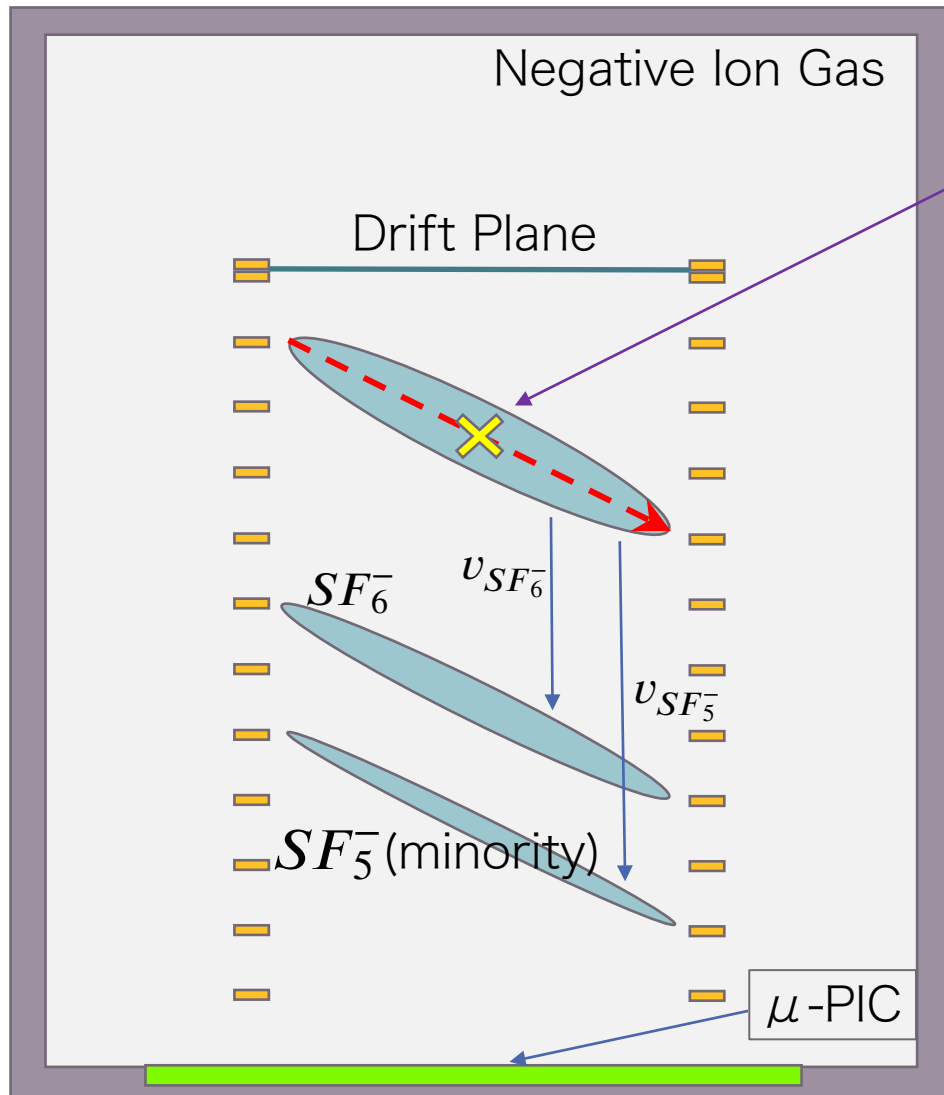
□ 陰イオンガス μ -TPCの導入

- ◆ 電離した電子を電子捕獲して陰イオンがドリフト
- ◆ 陰イオンガスを用いることによる低拡散
 - > 角度と位置の高分解能の μ -TPC
- ◆ Z(ドリフト方向)絶対値決定
 - > μ -PICなどの検出器の表面事象選別
 - > Zの有効体積カットが可能
- ◆ 本研究での陰イオンガス
 - > SF_6

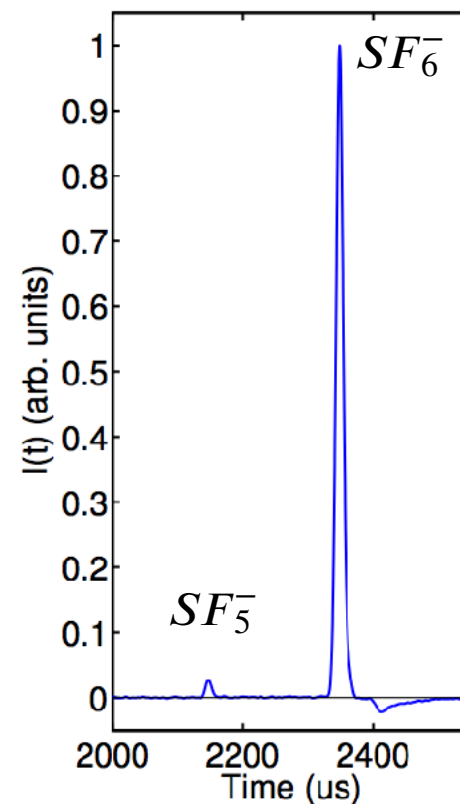


Zの絶対位置決定の原理

- ◆ ドリフト速度の違う2種類のキャリアを用いることで、絶対位置Zを測定

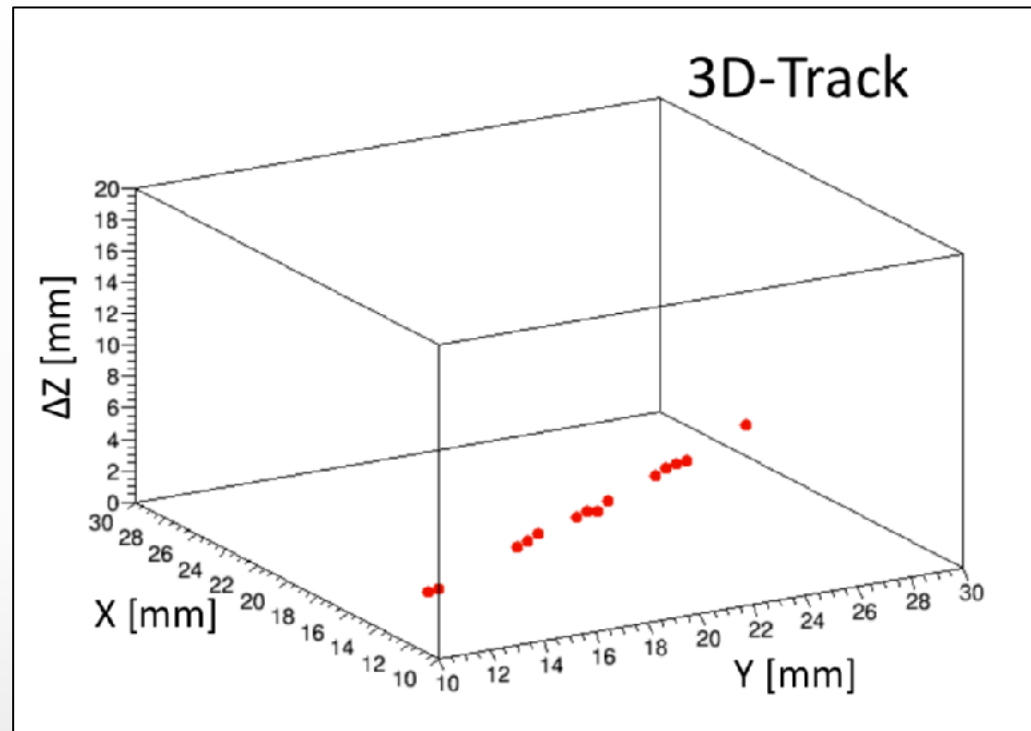
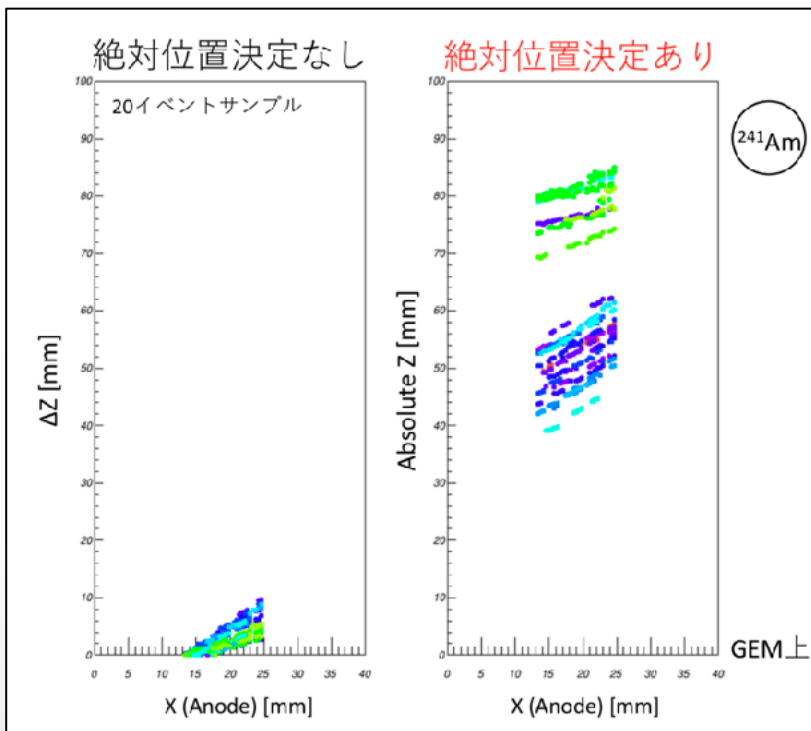


$$Z = (t_{SF_6^-} - t_{SF_5^-}) \frac{v_{SF_6^-} \cdot v_{SF_5^-}}{(v_{SF_5^-} - v_{SF_6^-})}$$



N. Phan Journal of Instrumentation 12 (02) (2017) P0201

本研究の目的



2018.03.23 第73回JPS 神戸大 池田発表より

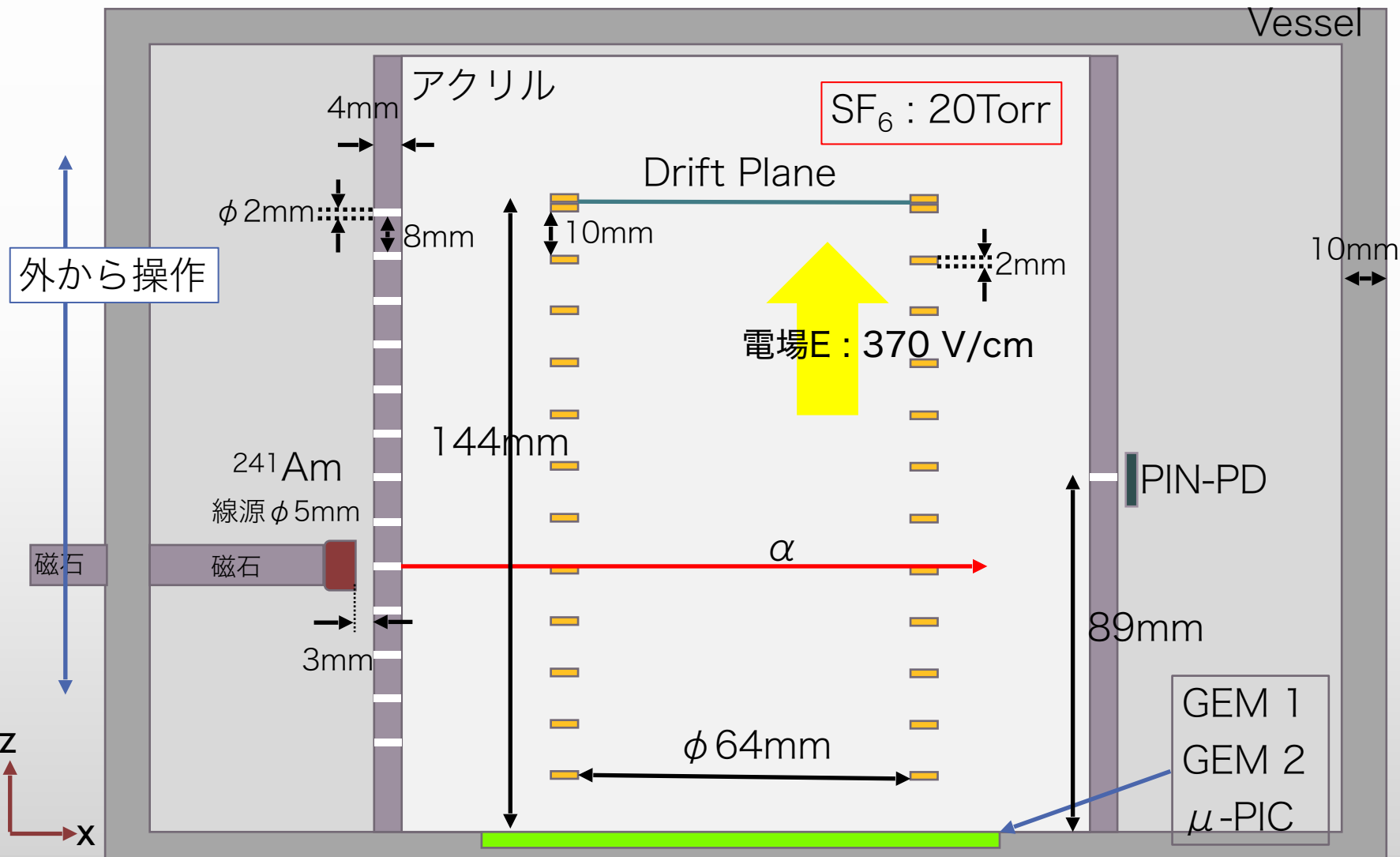
✓ 先行研究で、Z絶対位置の決定($\sigma_z = 14\text{mm}$)・3次元飛跡再構成に成功！！

◆ 本研究：SF₆陰イオンガスを用いた μ -TPCの再構成の定量評価

-> ^{241}Am を用いたZの位置較正・位置分解能の評価

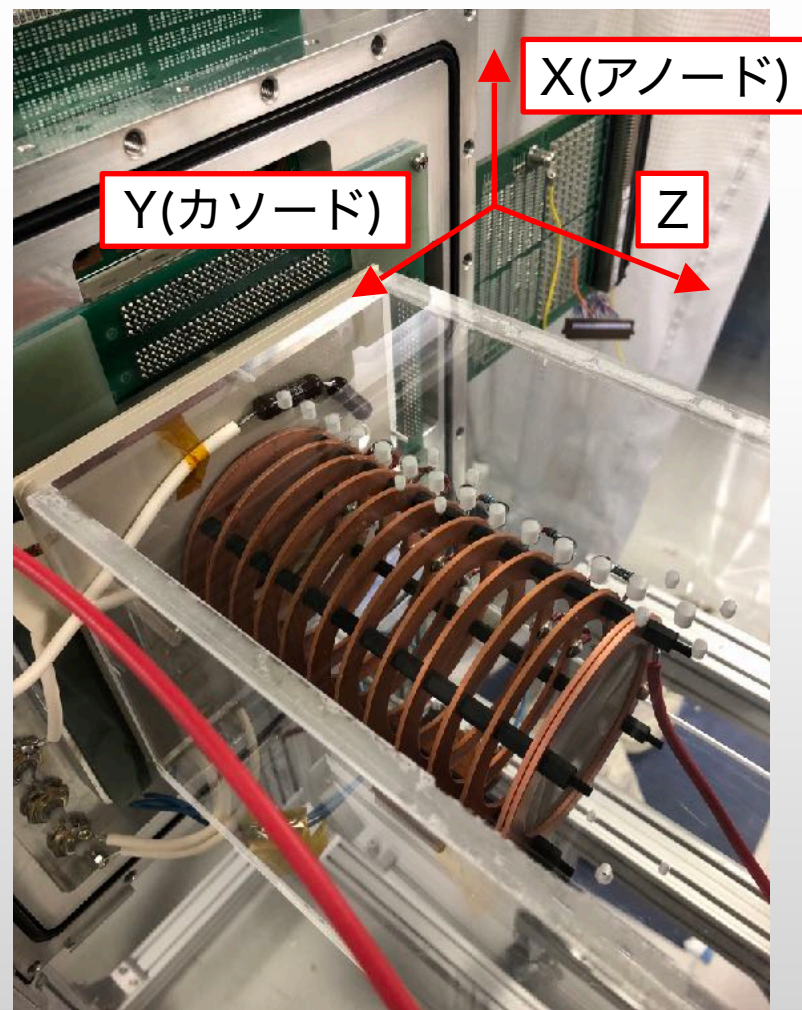
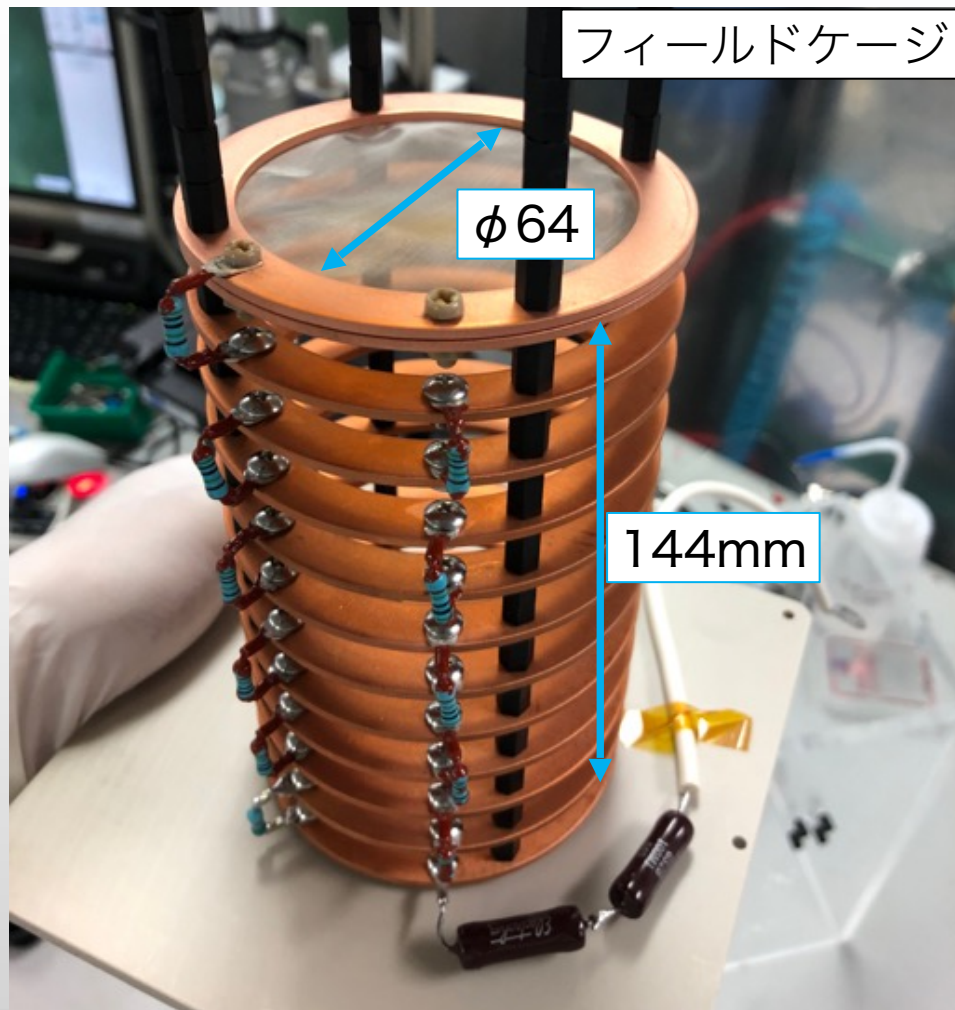
セットアップ

- ◆ 穴の空いたアクリルでそれぞれのZ位置の依存性を測定
- ◆ ^{241}Am 線源で測定 -> 磁石で外から線源を操作 (NEW)



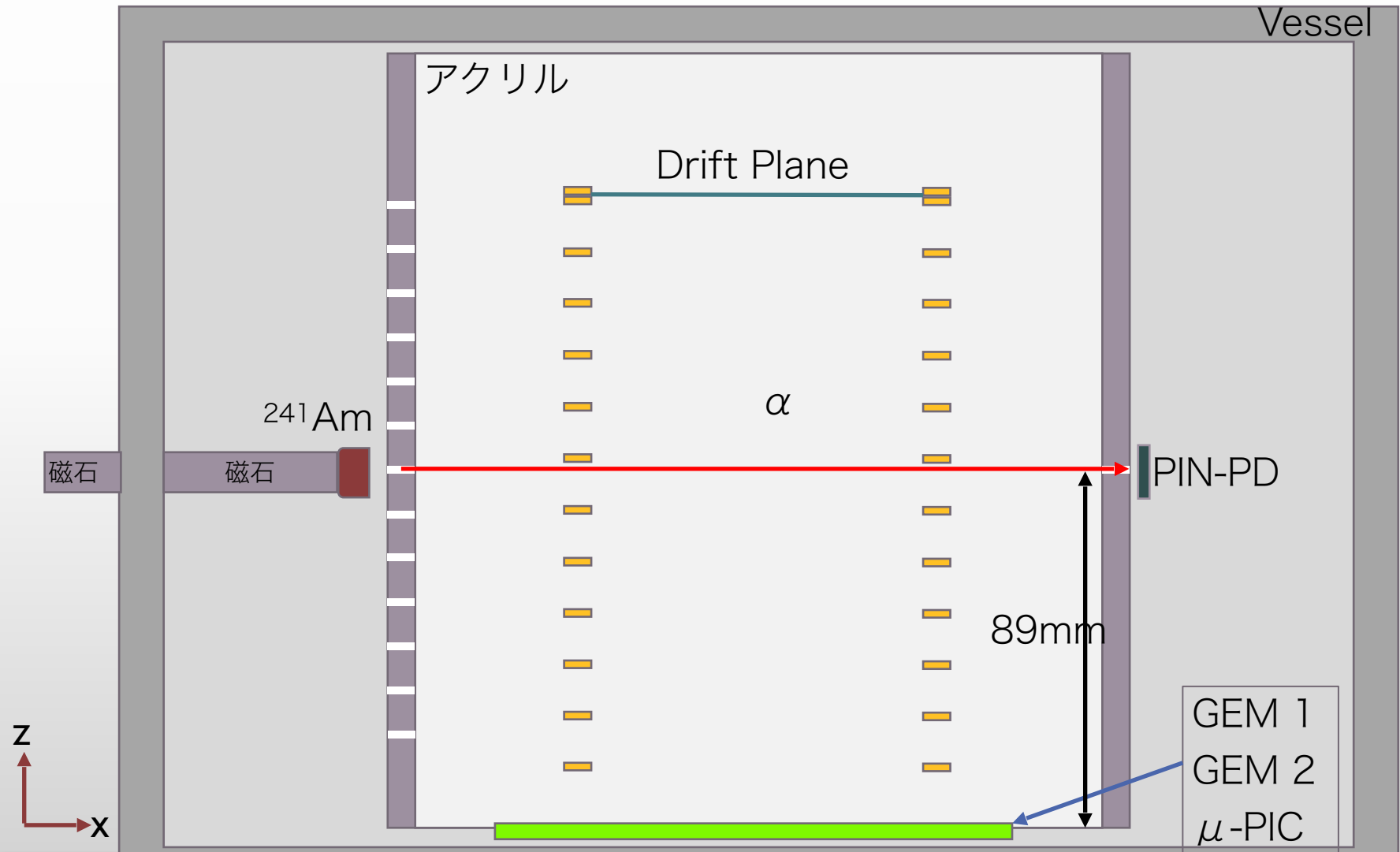
セットアップ

- 有感体積：12.8mm × 25.6mm × 144mm
- ガス増幅 & 読み出し装置：GEM2枚（10cm角） & μ -PIC（10cm角）



SF₆⁻ · SF₅⁻ ドリフト速度測定

- ◆ PIN-PDでトリガ → Z = 89mmで陰イオンのドリフト速度を測定

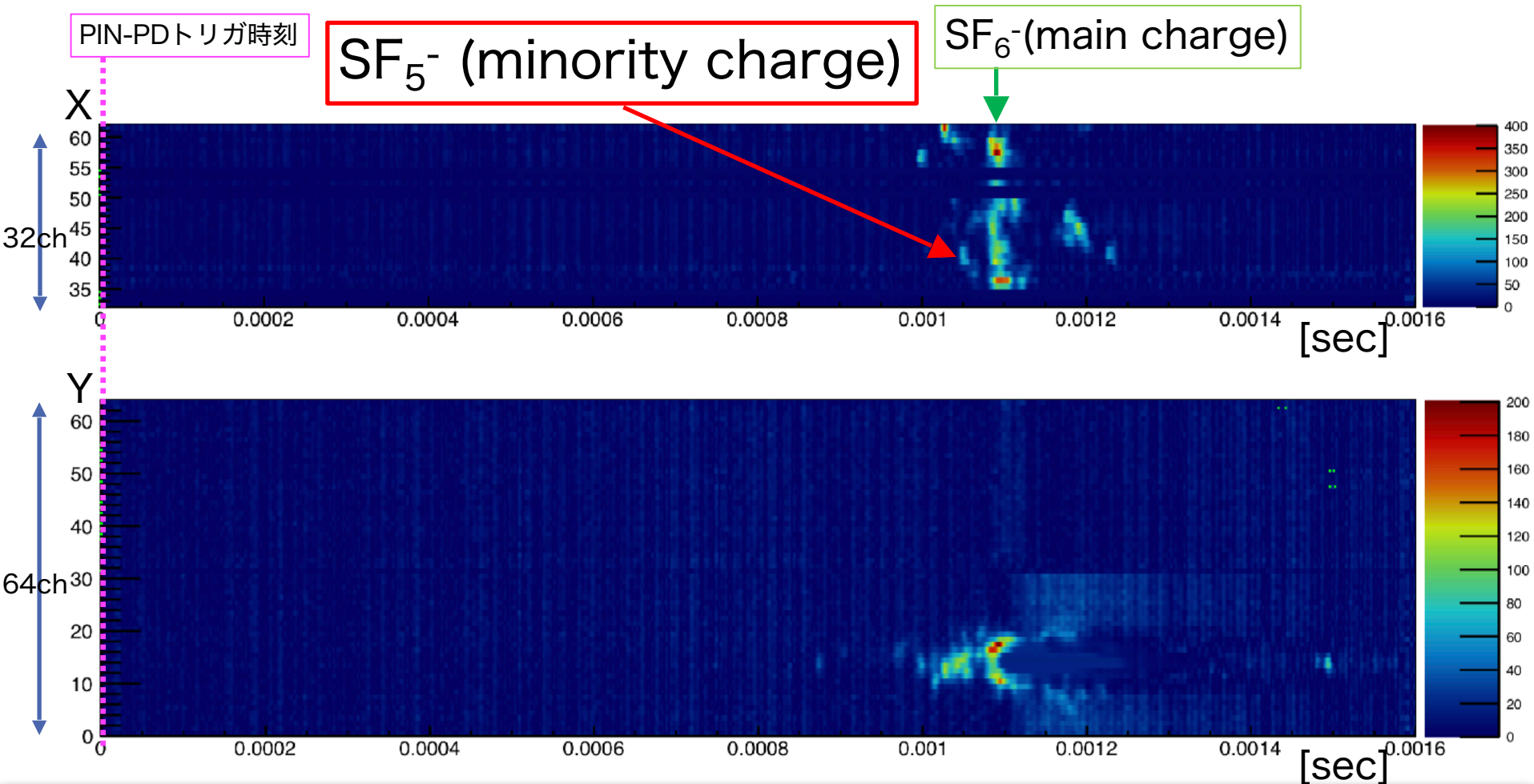


SF₆⁻ · SF₅⁻ ドリフト速度測定

◆ 1イベントの様子 ↓

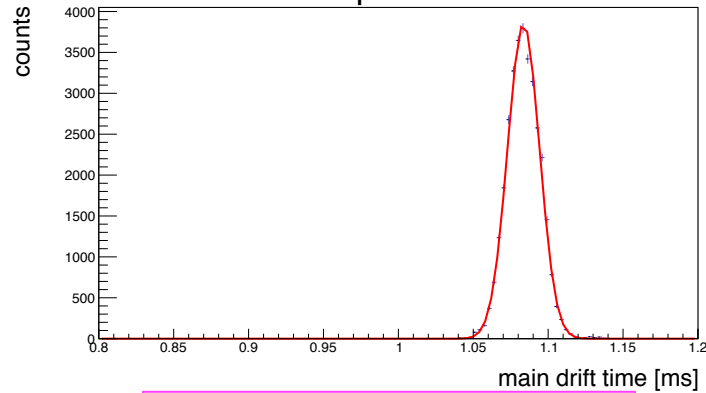
縦軸：ストリップ番号 (ストリップ間隔：400μm)

横軸：PIN-PDトリガ時刻からの経過時間 [sec]



SF₆⁻ · SF₅⁻ ドリフト速度測定

main peak time



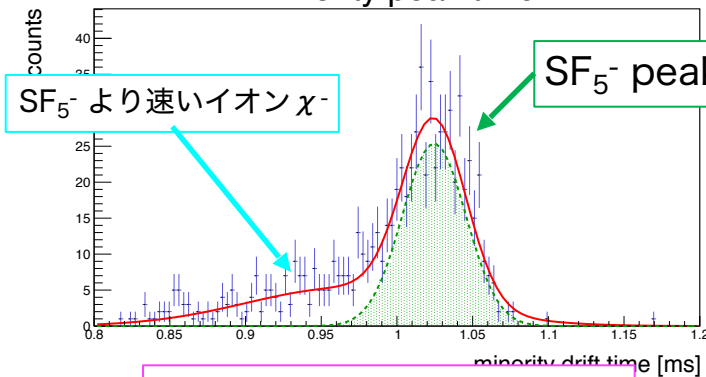
$$U_{SF_6^-} = 82.1 \text{ [mm/ms]}$$

- SF₅⁻イオンより速いイオンが存在
- SF₅⁻ minority chargeのみを考えてZの絶対位置を決定する

$$Z = (t_{SF_6^-} - t_{SF_5^-}) \frac{v_{SF_6^-} \cdot v_{SF_5^-}}{(v_{SF_5^-} - v_{SF_6^-})}$$

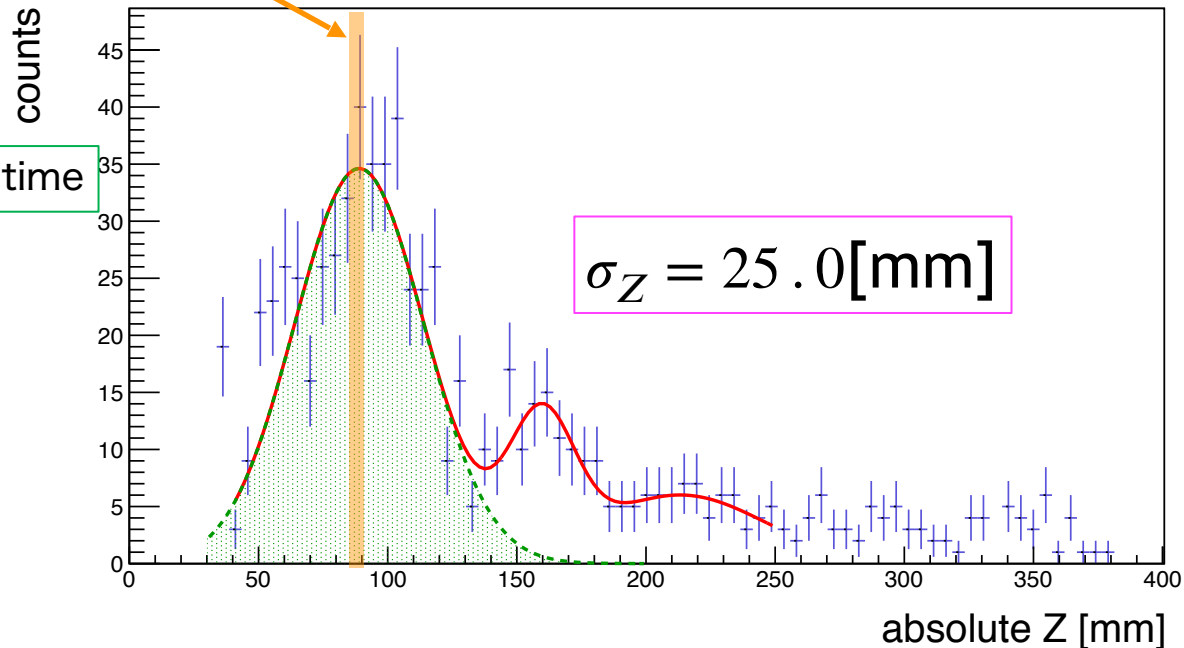
- Z決定への分解能はあまり良くない (先行研究: $\sigma = 14\text{mm}$)

minority peak time



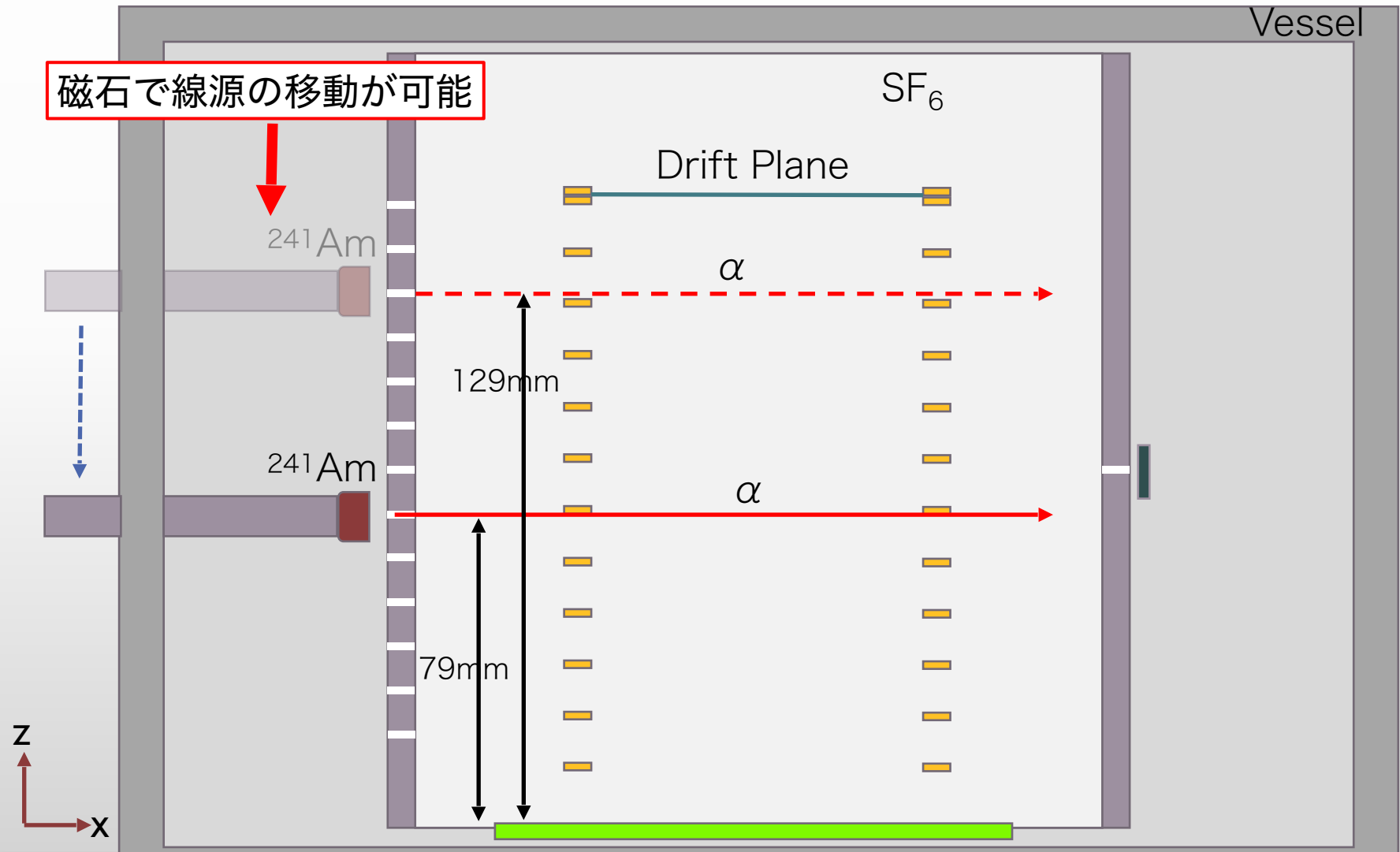
$$U_{SF_5^-} = 86.9 \text{ [mm/ms]}$$

241Amの位置



Zの位置依存性の評価

- ◆ セルフトリガ -> Z = 29~139mm(12点)の穴の位置でZ位置較正



- ◆ ストリップごとにメインピーク・マイノリティピークを決定する
メインThreshold : 100mV、マイノリティThreshold : 40mV
- ◆ ピーク間の時間平均からZの絶対位置を決定する。

$$\Delta t_{ave} = \sum \frac{1}{N} (t_{SF_6} - t_{SF_5})$$

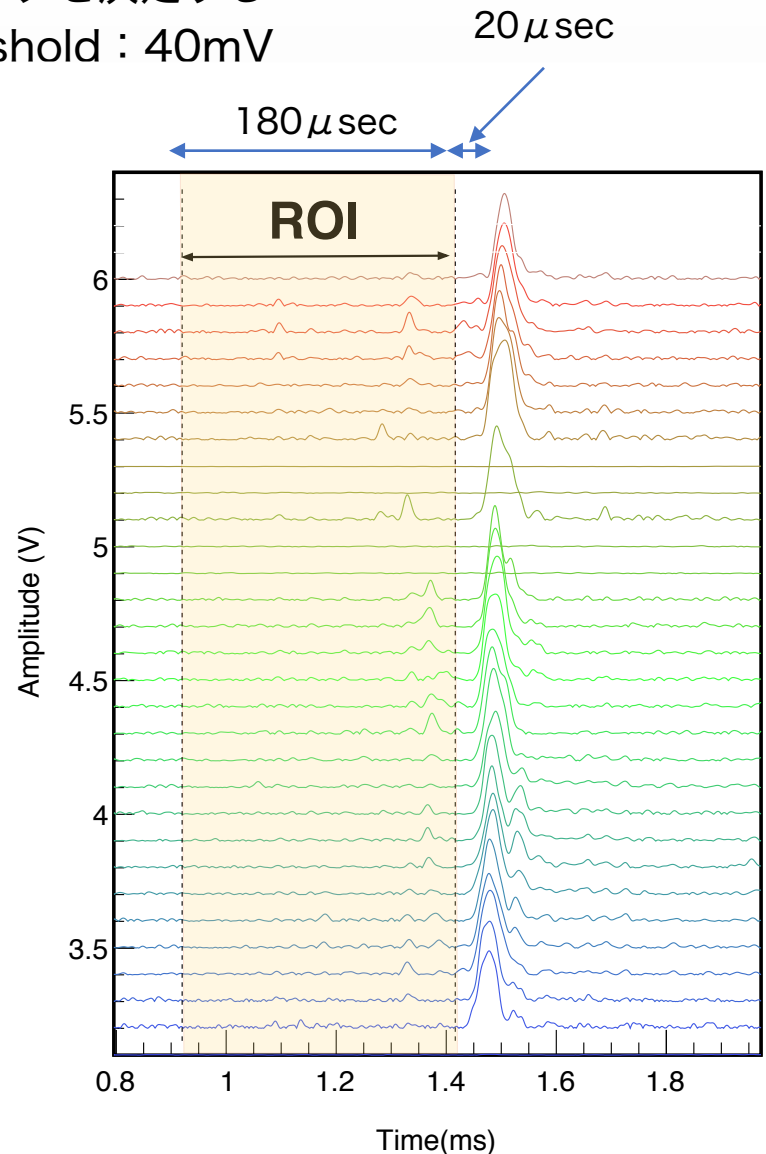
$$absolute\ Z = \Delta t_{ave} \frac{v_{SF_5} \cdot v_{SF_6}}{v_{SF_5} - v_{SF_6}}$$

t_{SF_6} : SF₆のピークタイム

t_{SF_5} : SF₅のピークタイム

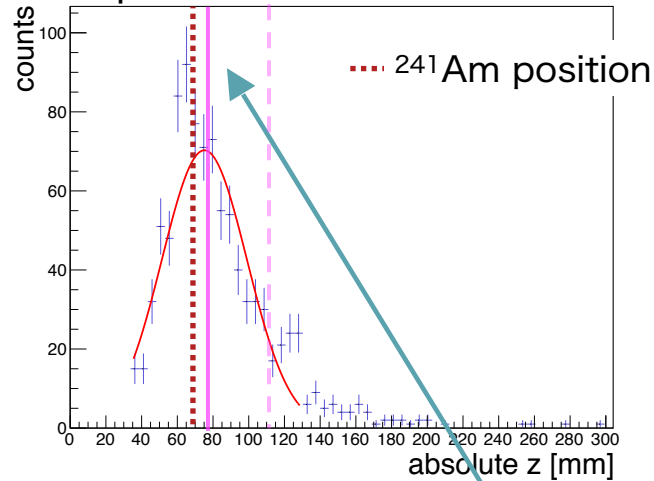
N : ピークを観測できたストリップの数

- ◆ マイノリティ探索領域
: メインピークの時刻から -20~-200 μ sec
-> 30mm < absolute Z
(メインピークとマイノリティピークの違いがつか領域)

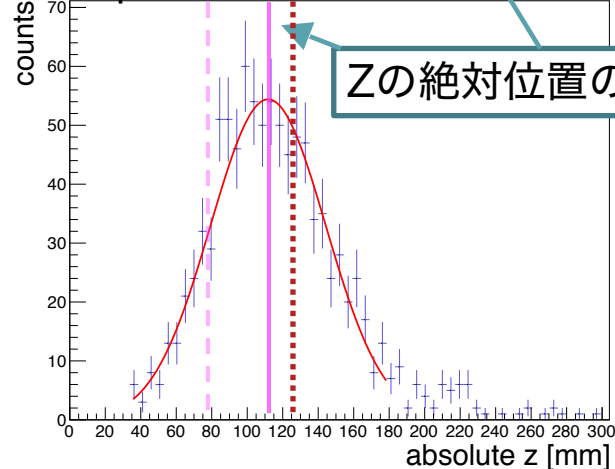


Zの位置依存性の評価

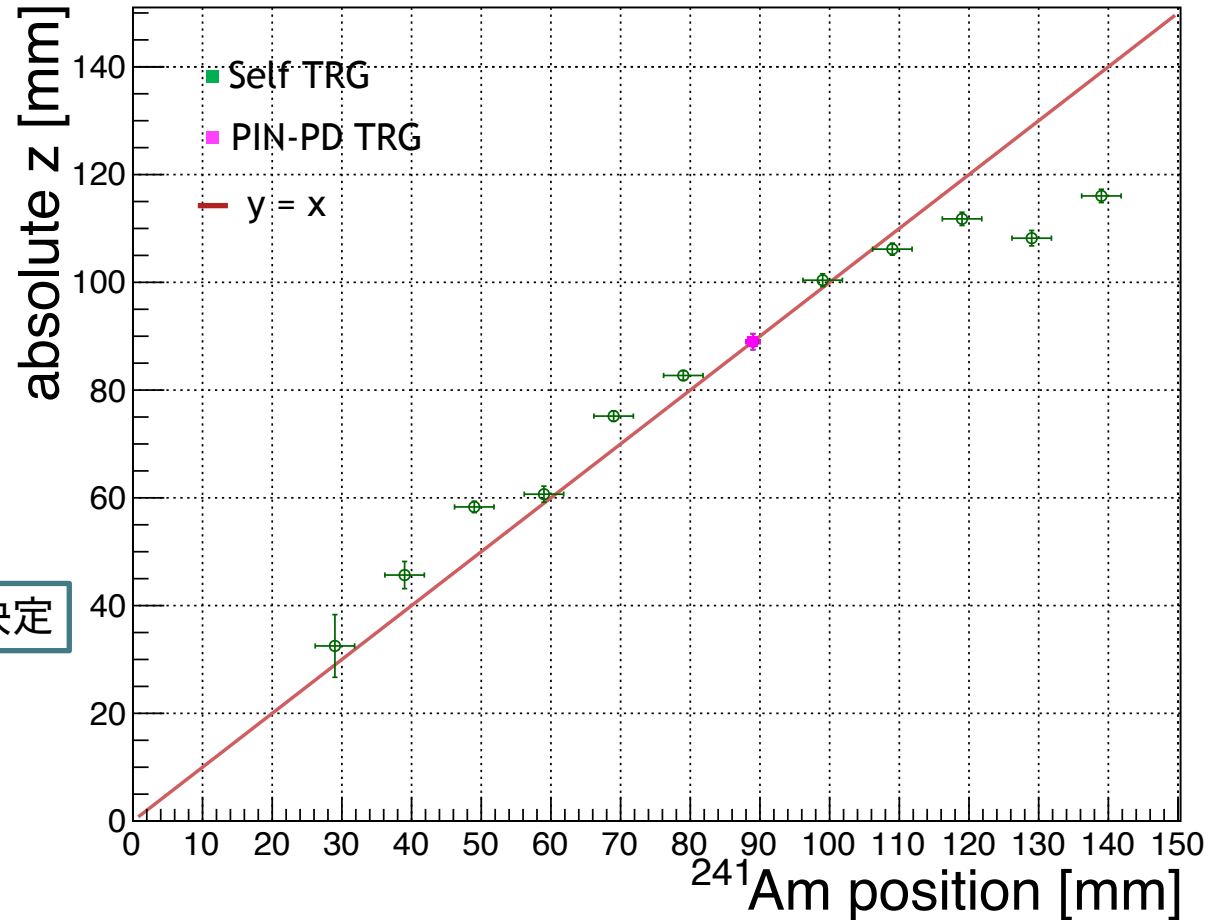
^{241}Am position $z = 69\text{mm}$



^{241}Am position $z = 119\text{mm}$

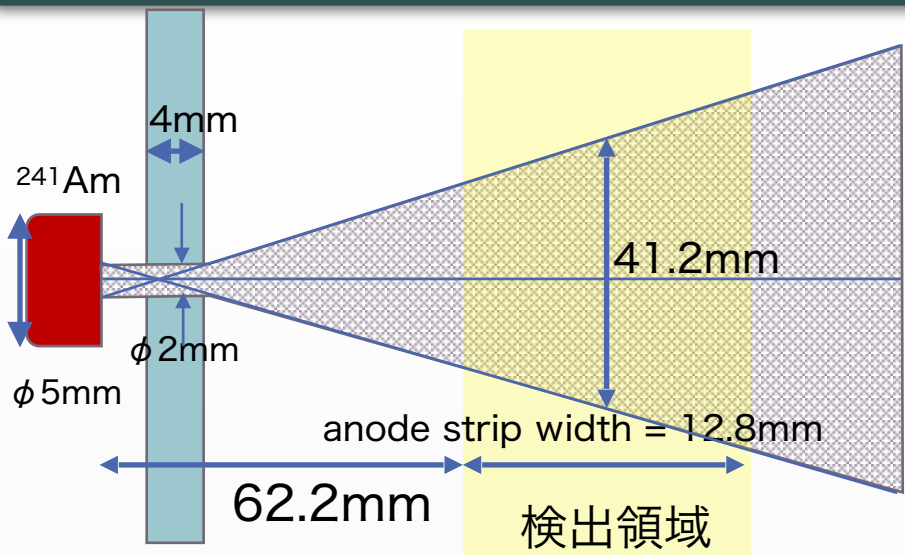


Zの絶対位置の決定



- ◆ ^{241}Am の位置に対してZ=**30~120mm**でZの絶対位置を較正
横軸誤差：アクリルの穴の大きさが有限であるため α 線のz決定精度が低い。

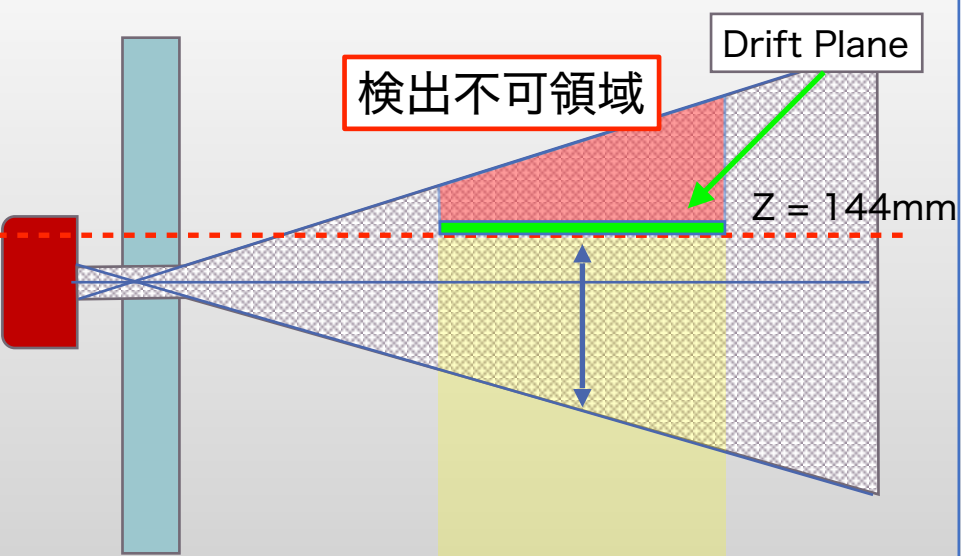
Zの大きい領域について



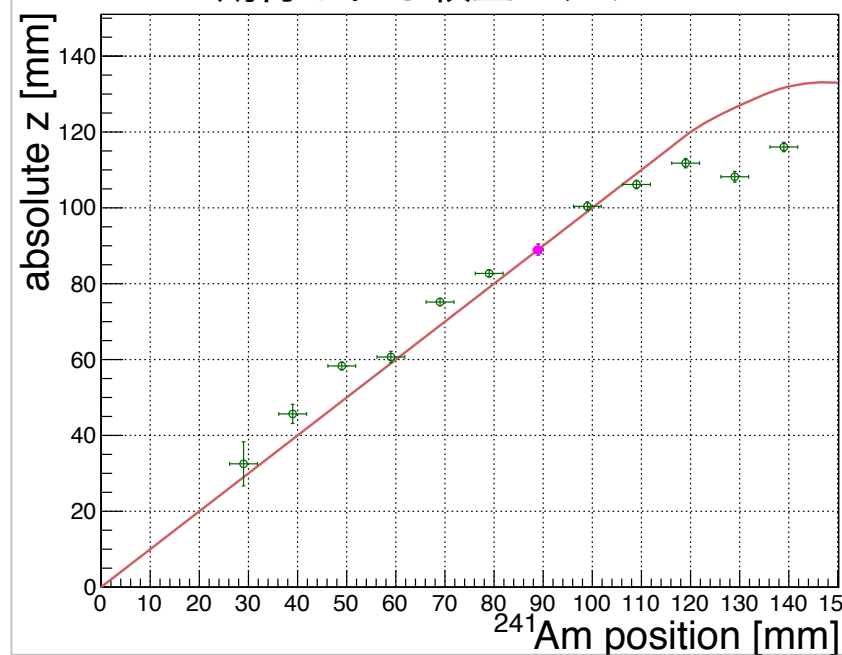
← アクリルの大きさが**有限**であるために
 α 線はこの領域内を通ることになる

- ◆ Zの大きい領域について
- Z > 144mmのイベントは検出できない
- Zの低いイベントが比較的が多くなる↓

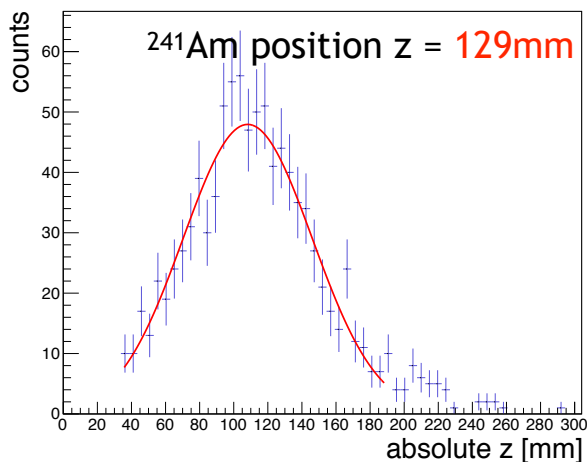
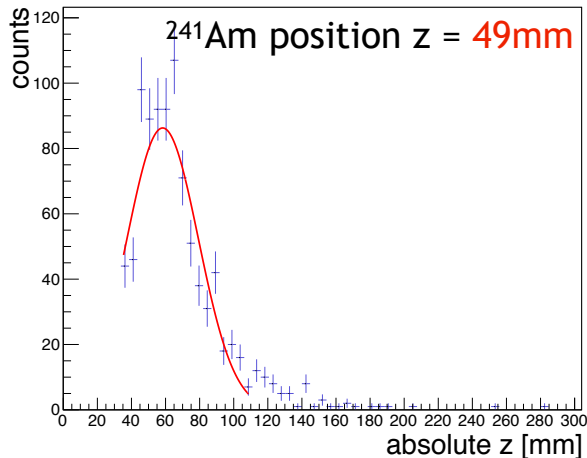
Zが大きい場合



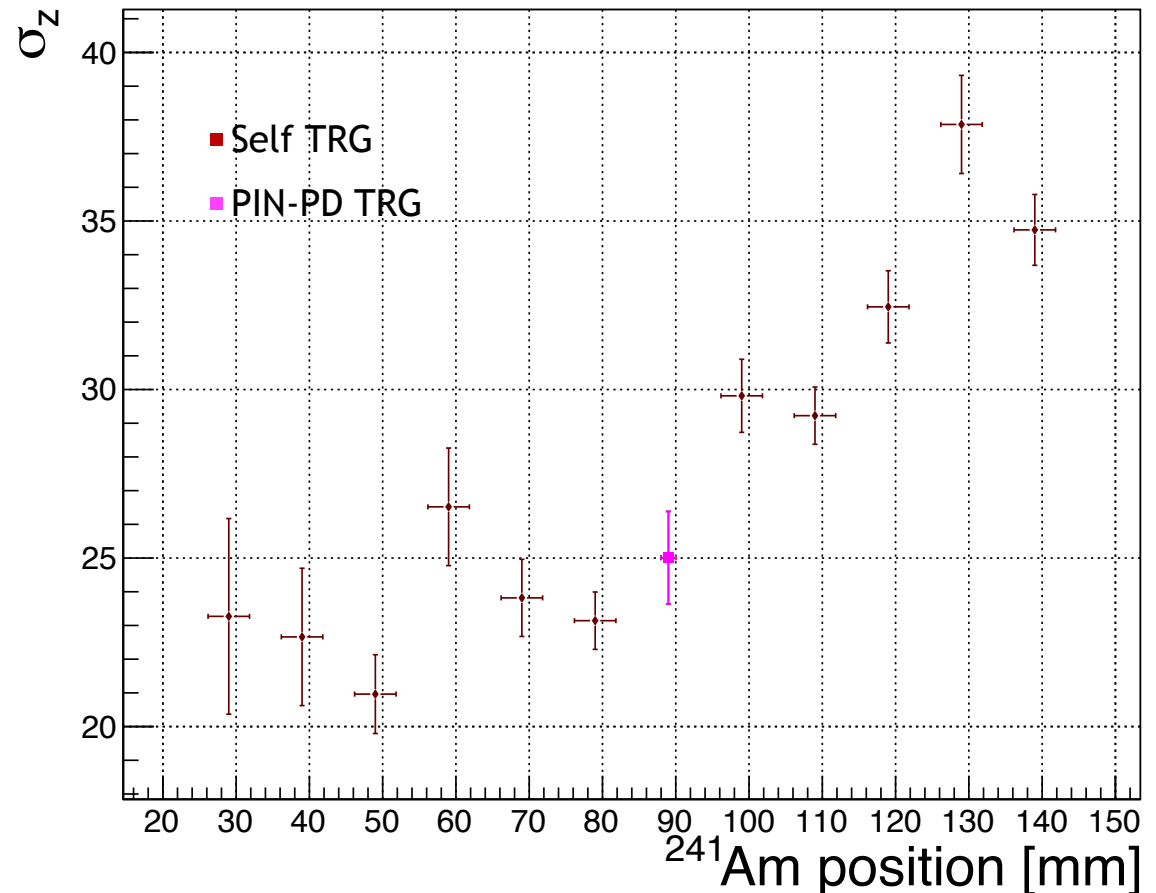
期待される較正のグラフ



Zの再構成における位置分解能



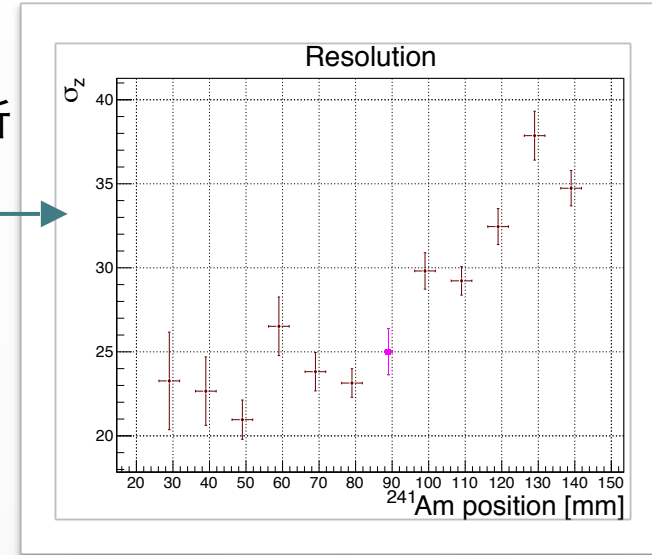
Resolution



- 先行研究に比べて分解能は悪い (先行研究 $\sigma_z = 14\text{mm}$)
- 分解能にZ依存性が存在！ -> Zが大きいほど悪くなる
- **Z > 30mm** でZの絶対位置決定が可能！ (分解能が良いとは言えないが...)

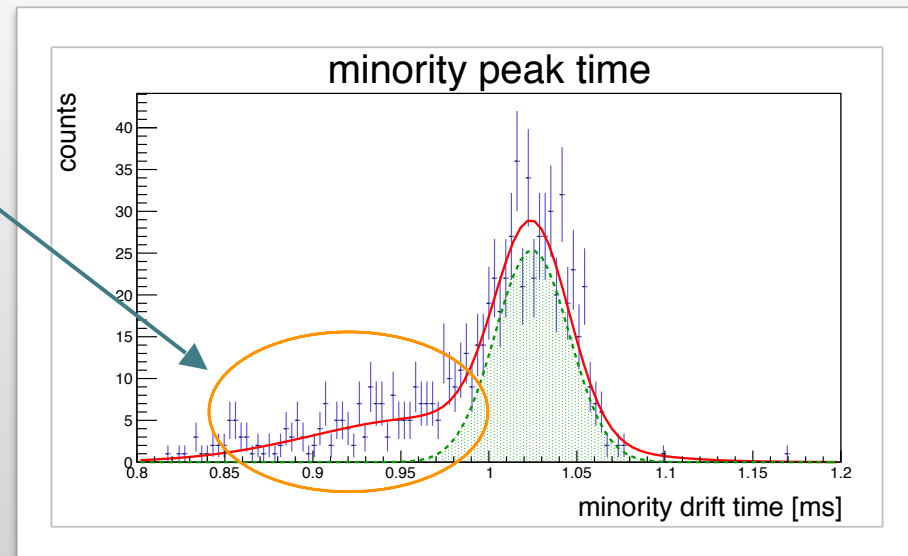
◆ 課題点

- 較正のためのZ決定精度の向上 -> 3次元飛跡検出による解析
- 分解能が悪い ($\sigma_z > 20\text{mm}$: 先行研究 $\sigma_z=14\text{mm}$)
- NI μ -TPCの特徴であるDiffusionのZ依存性の測定
 - > ガス増幅率UP (約2倍・トリプルGEM)
 - > ドリフト速度を上げる (高電場 > 500V/cm)



◆ 将来性

- SF₅⁻より速いマイノリティキャリアの探求
- 大型化による性能評価
- NEWAGE実験への導入
 - >有効体積カットでバックグラウンドを除去



- まとめ

本研究では、 SF_6 陰イオンガス μ -TPCのZ再構成における定量的評価を行った

- > SF_6^- と SF_5^- のドリフト速度測定

- > Z再構成のための較正

- > Z再構成における分解能のZ依存性の存在

- next...

- > 較正のためのZ決定精度の向上

- > Z絶対位置決定の高分解能

- > DiffusionのZ依存性の測定

- > 大型化・暗黒物質探索への導入