



2023/09/16 JPS2023秋  
講演番号:16pRC21-7

# NEWAGE実験74: 大型ガスTPCにおける モジュール型検出器の地上実験

神戸大学 M2 大藤瑞乃, 身内賢太郎, 東野聡, 生井凌太

# 目次

---

## ➤ イントロダクション

- 方向に感度を持つ暗黒物質探索

- NEWAGE実験

- 開発中の大型TPC

## ➤ モジュール型検出器

- Module-1について

- 電場構造の問題と改善

- 検出器の基本性能評価

- ガスTPCとしての動作確認: 宇宙線 $\mu$ のデータ取得

## ➤ まとめ・展望

# 方向に感度を持つ暗黒物質探索

➤ WIMPs : Weakly Interacting Massive Particles

➤ 暗黒物質の有力候補

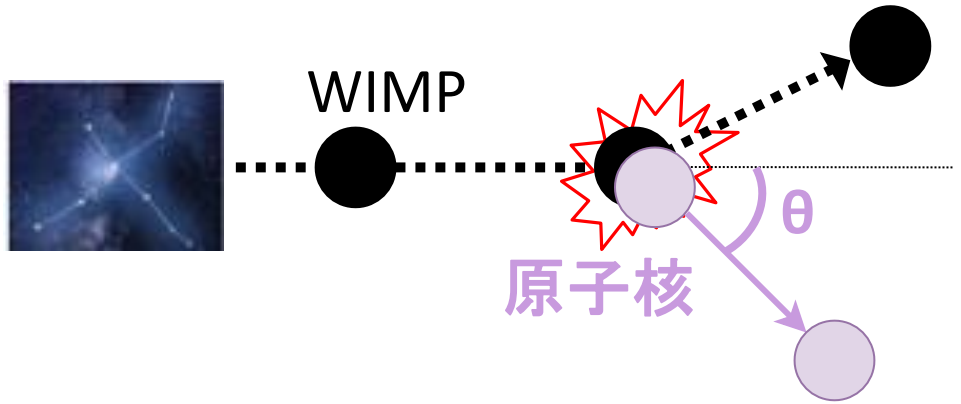
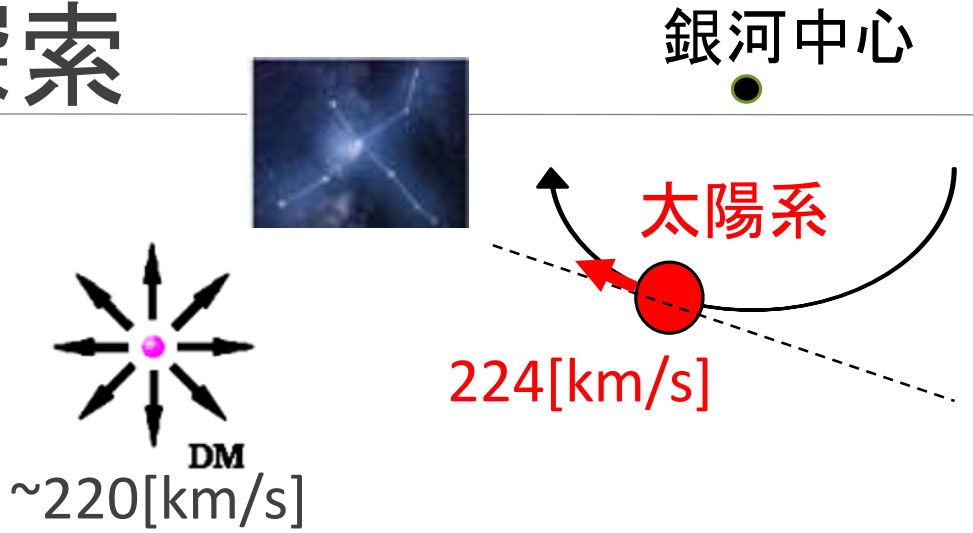
➤ 方向に感度を持つ暗黒物質の直接探索

➤ 太陽系 : 運動方向にはくちょう座が見える

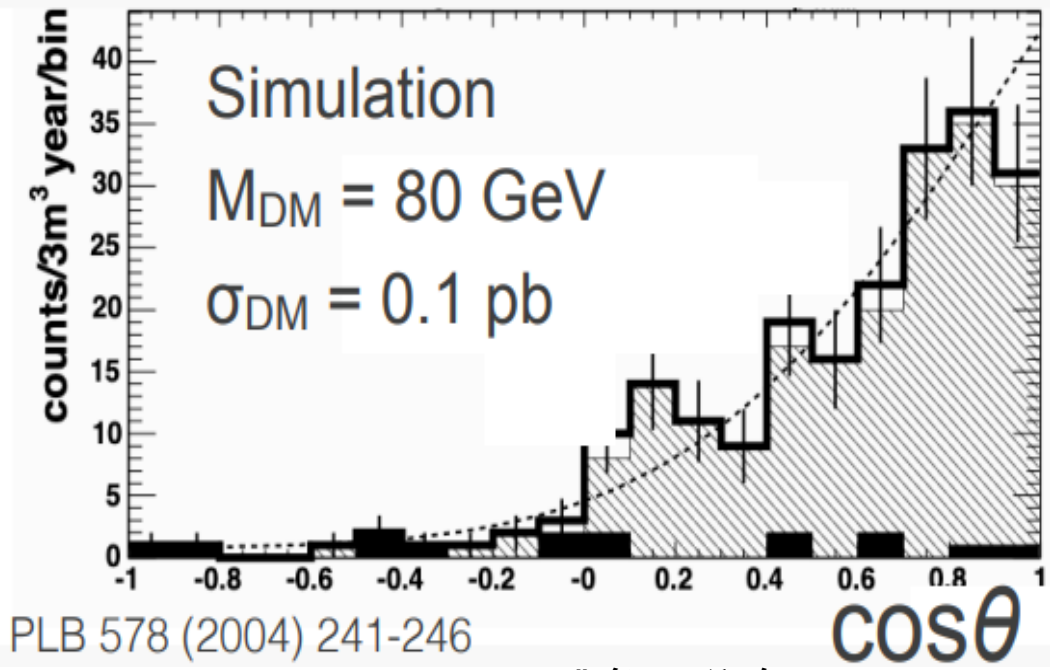
➤ WIMPsの運動が銀河に対して等方的であると仮定

➤ 到来方向は, はくちょう座の方向に偏りが生じる

➤ WIMPsの確実な証拠となる



▲ WIMPと原子核の反跳の様子



▲ 反跳角の分布

# NEWAGE実験

➤ ガスTPCを用いた、方向に感度を持つ暗黒物質の直接探索実験

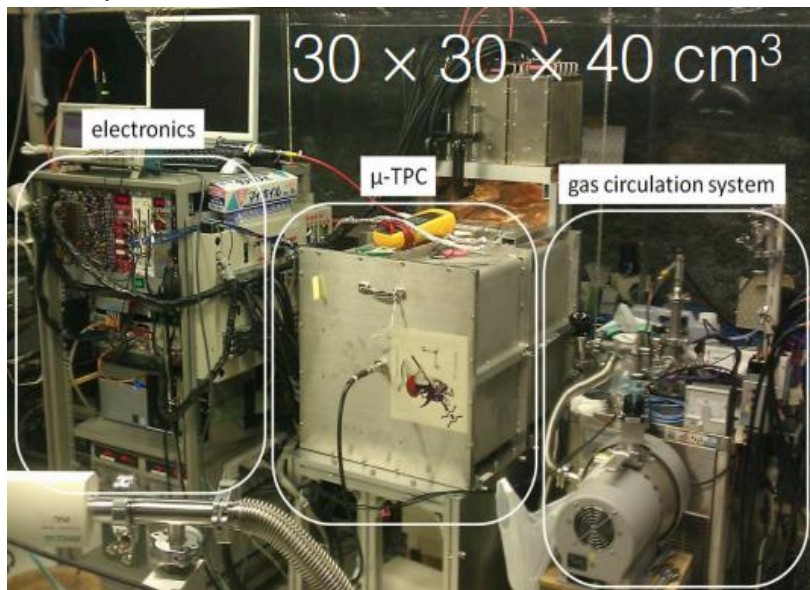
➤ ガスTPC

➤ DMとガス中の原子核が反跳，飛跡にそってガスが電離される

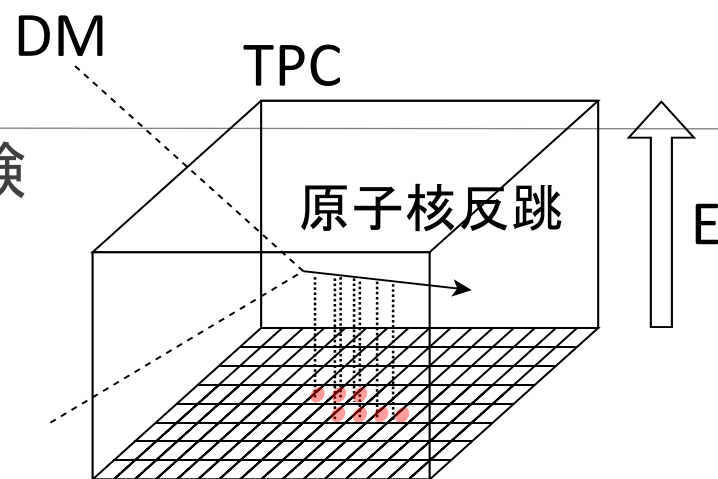
➤ 電場に従い電子/陰イオンがドリフトされる

➤ 30 cm\*30 cm\*40 cmの検出器が稼働中@神岡

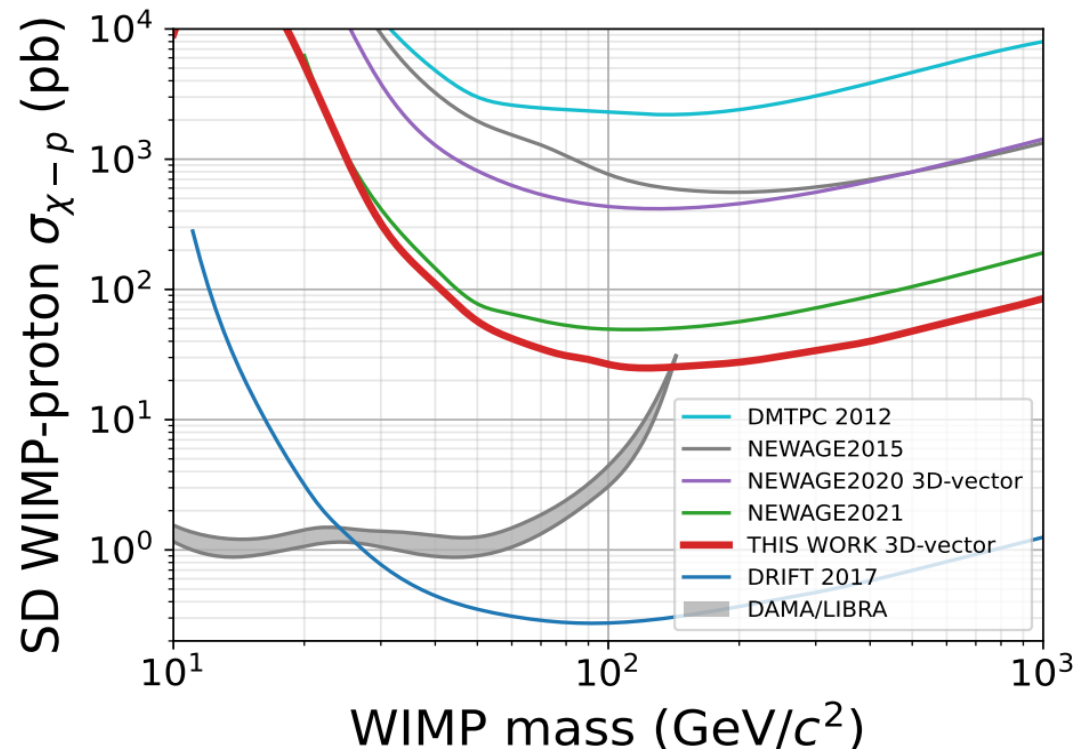
➤ CF<sub>4</sub> 76 Torr



← 運転中の検出器



▲ ガスTPCの検出原理



▲ NEWAGE実験による制限曲線\*

# 開発中の大型TPC

## ➤ C/N-1.0

➤ 検出領域  $\sim 1 \text{ m}^3$

➤ 読み出し面積  $30 \text{ cm} * 30 \text{ cm} * 9 \text{ 枚} * 2 \text{ 面}$

➤ 低圧  $\text{SF}_6$  ガスまたは低圧  $\text{CF}_4$  ガス

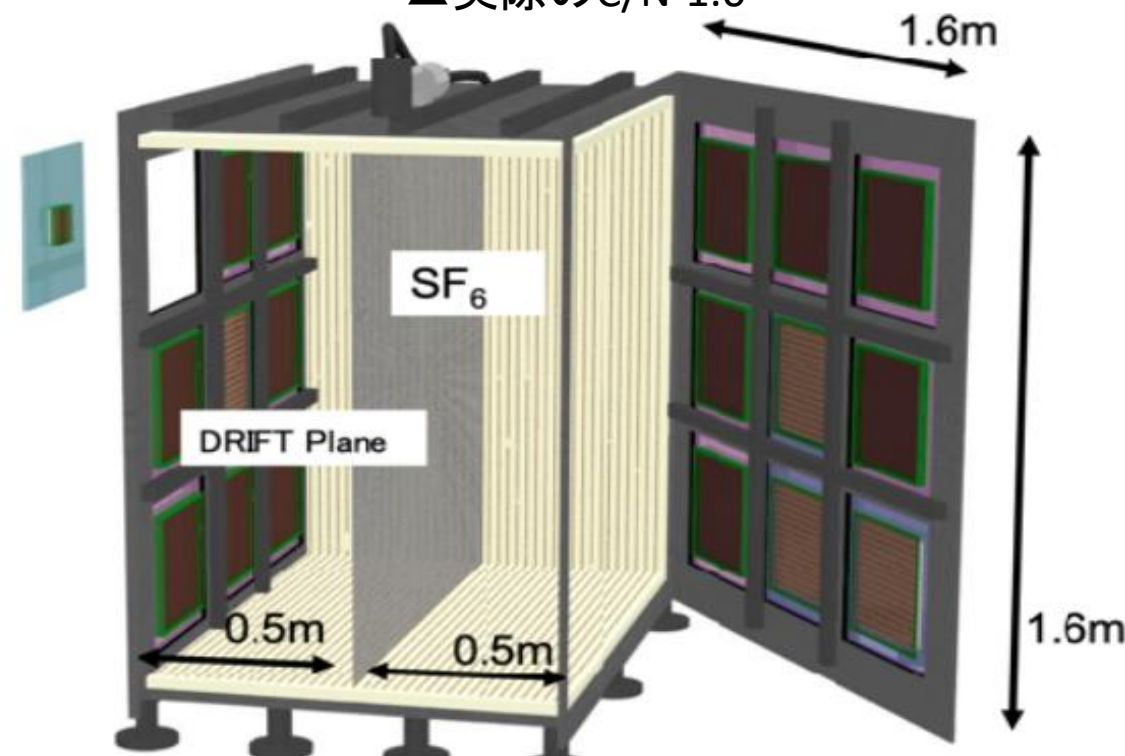
➤ 18ヶのモジュール型検出器

## ➤ 本研究の目的

➤ 現行NEWAGE検出器を模したモジュール型検出器開発



▲実際のC/N-1.0



▲C/N-1.0のサイズ

# Module-1

## ➤ Module-1

➤ 10 cm角GEM +  $\mu$ -PIC

➤ GEM(Gas Electron Multiplier)

➤ 厚さ計110  $\mu$ m, 140  $\mu$ m間隔で直径70  $\mu$ mの穴

➤ 両側の電極に異なる電圧を印加

➤ 強い電場を生成, 雪崩増幅を起こす

➤  $\mu$ -PIC

➤ 400  $\mu$ mピッチのストリップ

➤ Anode電極近傍で強い電場を形成, 雪崩増幅を起こす

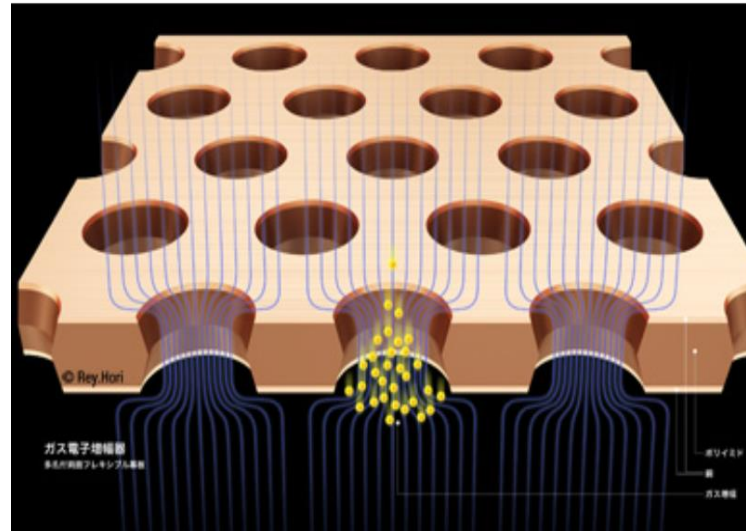
➤ Anode256 ch + Cathode 256 ch

➤ 今回はまとめて4 ch + 4 ch で読み出し

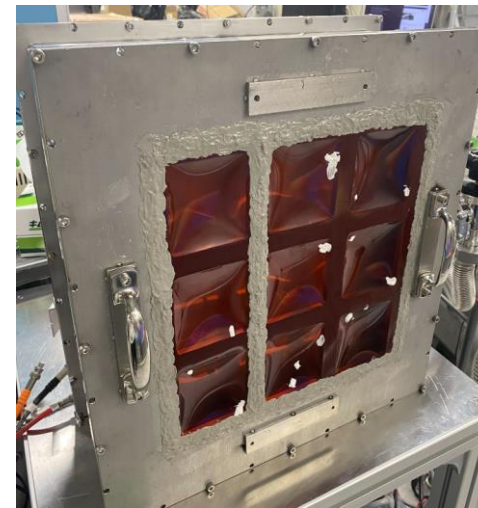
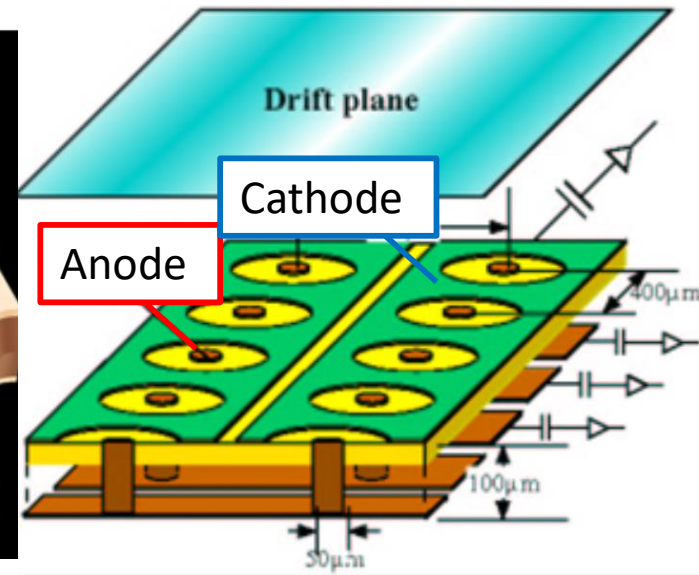
➤ 試験用チェンバー

➤ 30 cm \* 30 cm \* 4 cm (Drift距離)

▼ GEM



▼  $\mu$ -PIC



▲ 試験用チェンバー



▲ Module-1

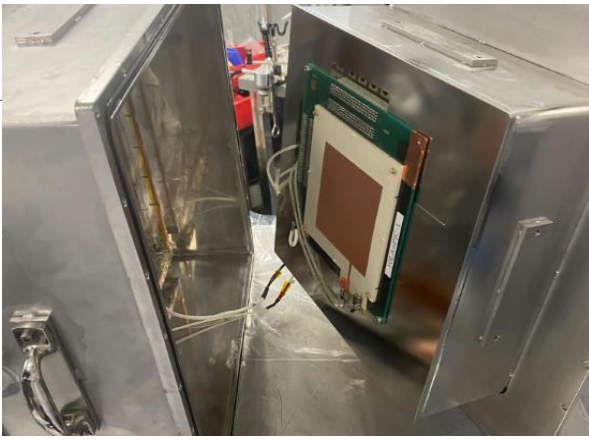
# エレクトロニクス

- ▶ コンパクトな後ろ側読み出しに変更
  - ▶ 隣のモジュールの読み出しとの干渉を防ぐ
  - ▶ 真後ろに読みだすためにフィードスルー(CR)ボードを設置
- ▶ プリアンプ(FE2009BAL $\mu$ -readout)
  - ▶  $\sim 0.35$  mV/fC
- ▶ ADCSiTCPで波形取得
  - ▶ 16 ch, サンプリング40 MHz, 2 V peak-to-peak, 分解能12 bit
  - ▶ self / external(NIM) trigger 設定可能

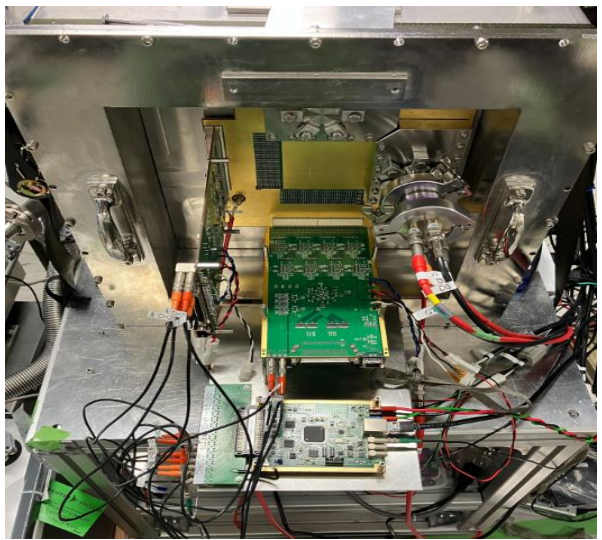
外側にはみ出している



▲従来の状態

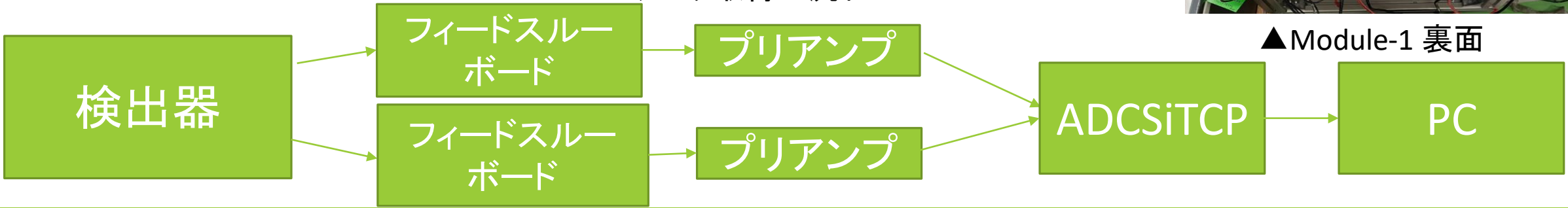


▲Module-1 内面



▲Module-1 裏面

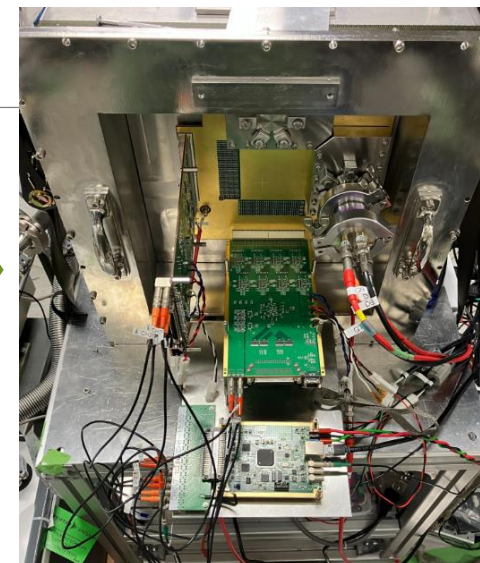
▼データ取得の流れ



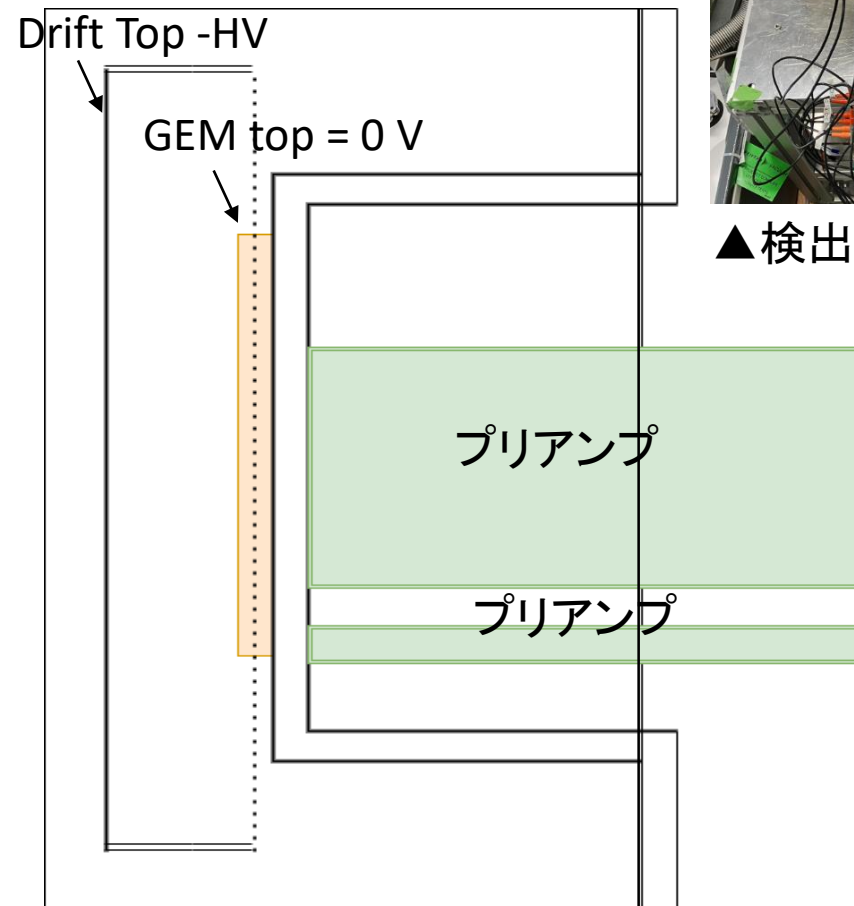
# Module-1の性能評価

- ①Module-1の基本特性確認
- ②C/N-1.0実装に適した動作電圧での性能評価
  - 従来のチェンバーとはGND面が異なるため、電場形成に工夫が必要
- ③TPCとしての準備；電場構造の問題
  - 原因と推定される部分をGNDで覆って改善
- ④宇宙線 $\mu$ を用いたTPCの性能確認

こちらから見た様子



▲ 検出器の周りの様子



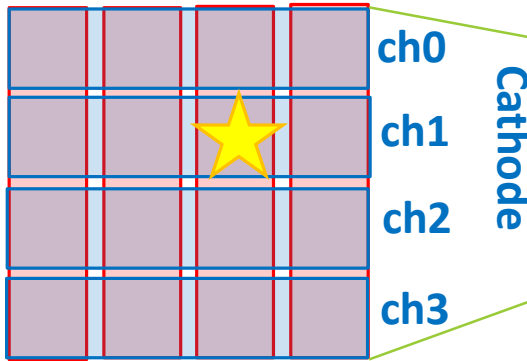
▲ 試験用チェンバーの断面図



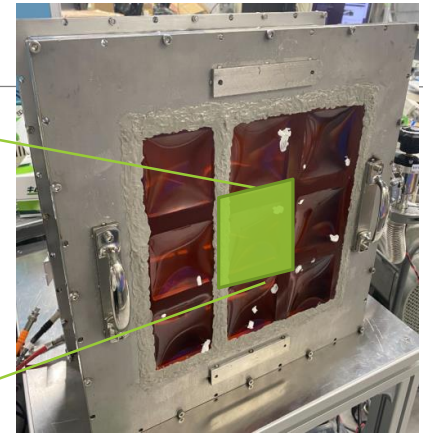
# ① Module-1の基礎特性評価

- $^{55}\text{Fe}$  5.9 keV X線 信号の様子 4 ch\*4 ch
- $\text{CF}_4$  76 Torr
- 分解能  $\sigma/E$ : Anode ch1 ; 17.1%, Cathode ch1 ; 13.3%
- ガス検出器として動作することが確認できた

Anode  
ch3 ch2 ch1 ch0

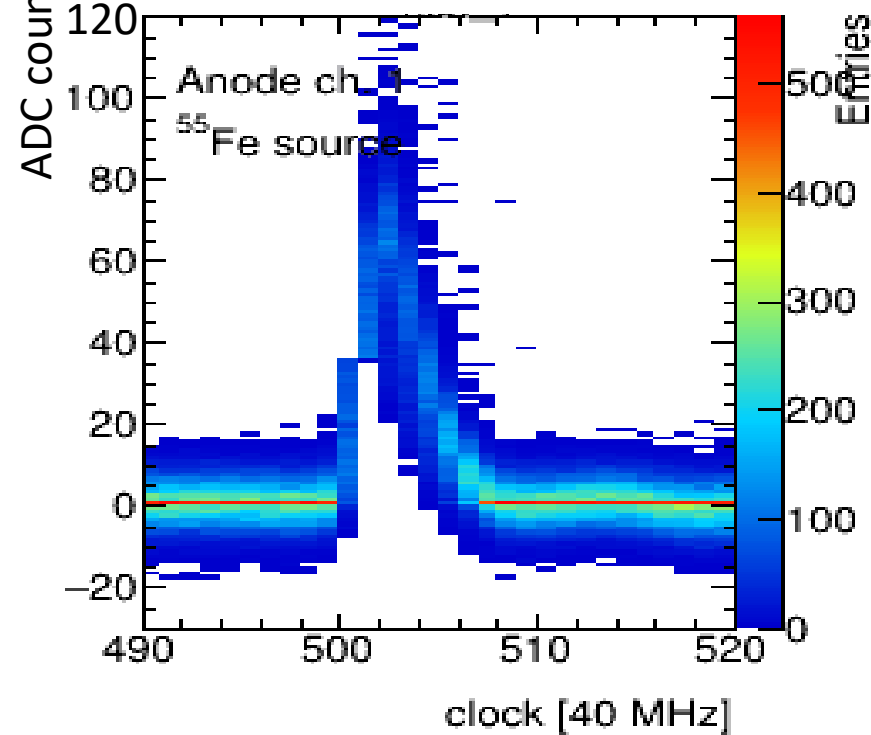


▲各chの分布

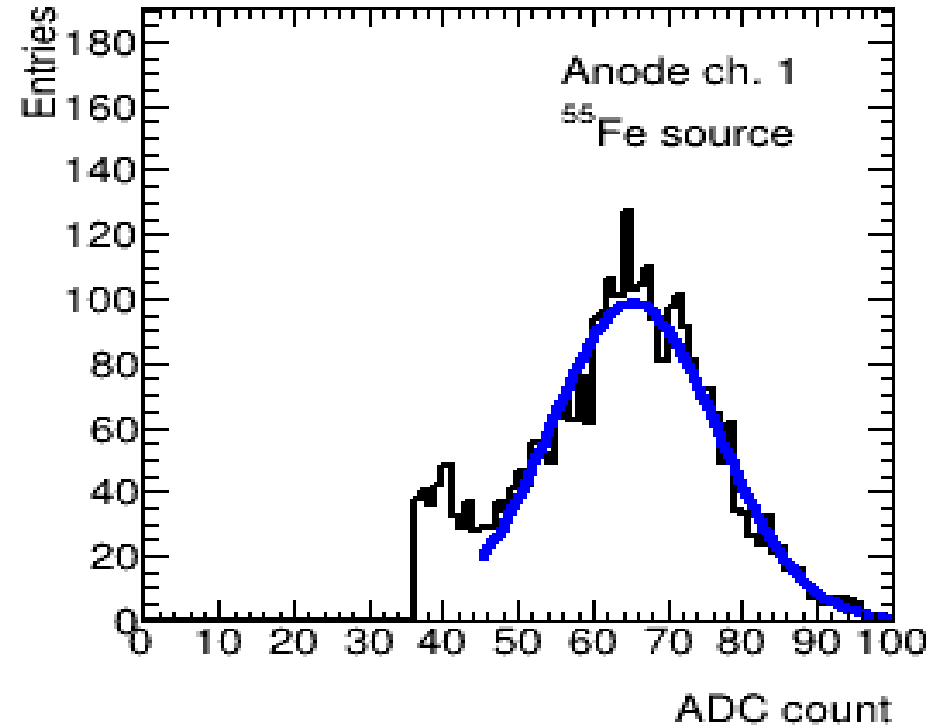


▲試験用チェンバー

▼Anode ch1 waveform



▼Anode ch1 spectrum



# ①各電位差依存のゲインカーブ

## ➤ゲインカーブ

➤例: Cathode ch1

## ➤増幅領域

➤ $\Delta$ GEM依存

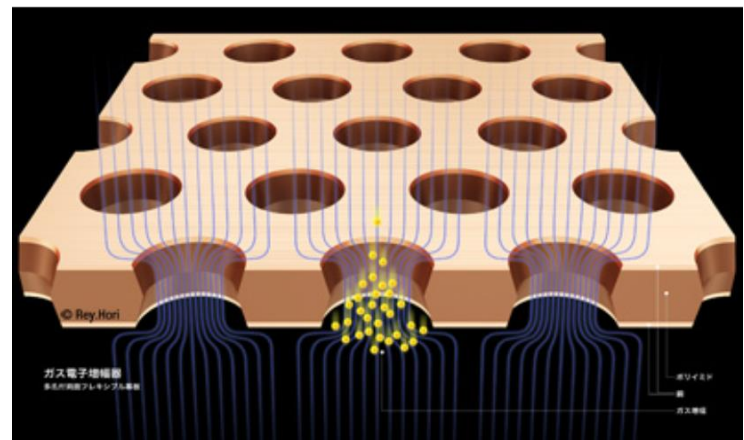
➤Anode-Cathode間依存

➤指数関数的にゲインが増加

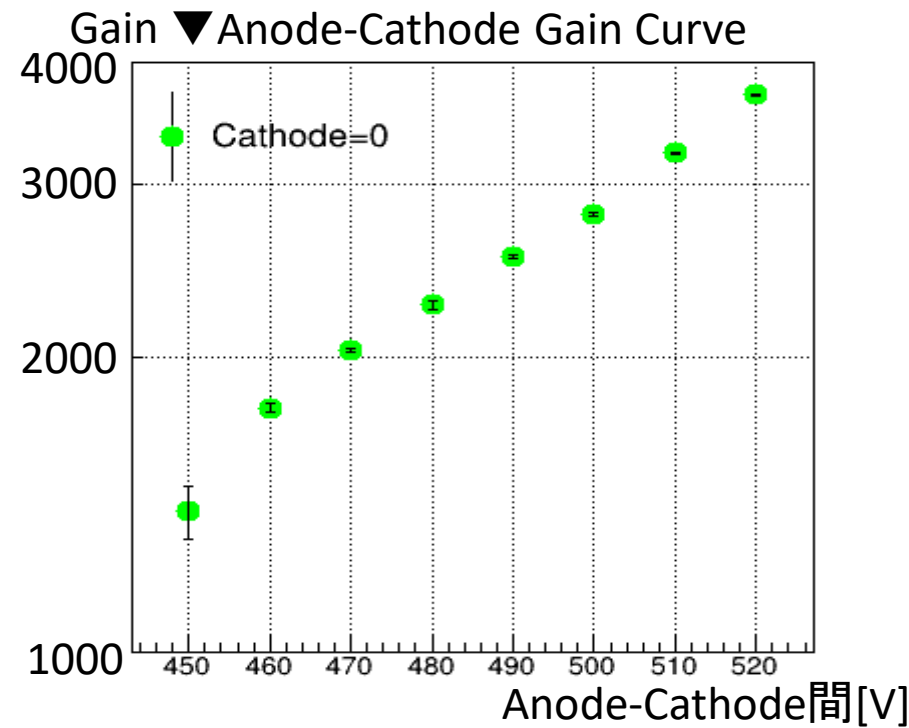
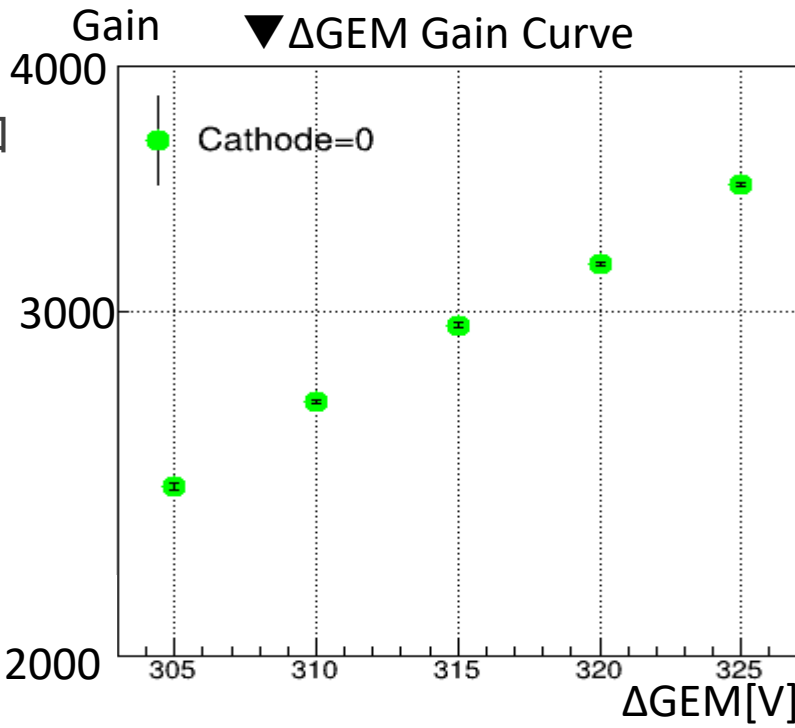
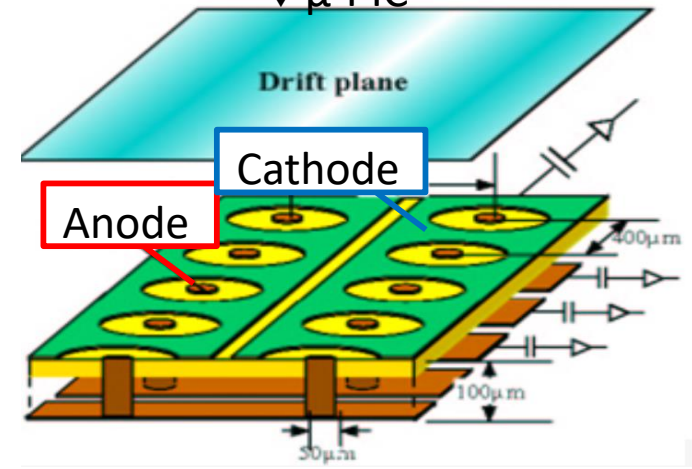
➤要請値:ゲイン2000

➤基礎特性OK

▼GEM



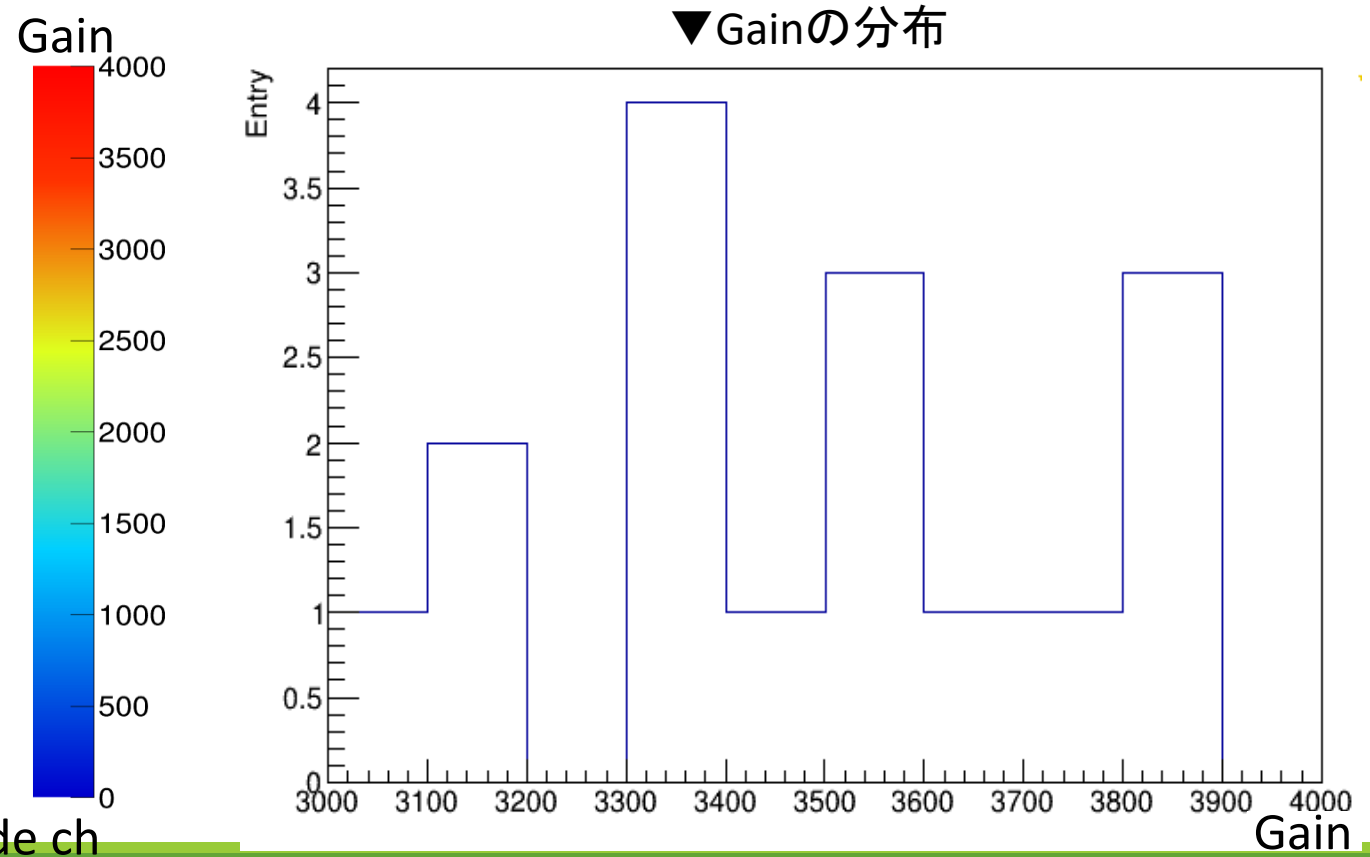
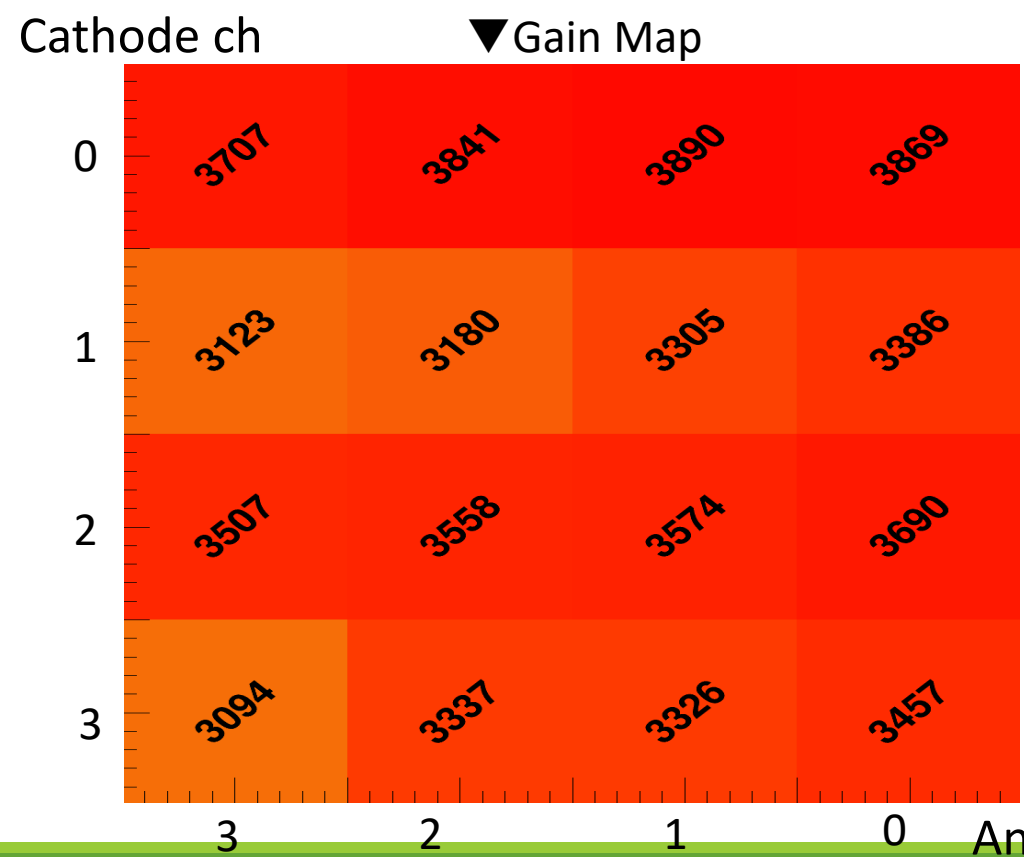
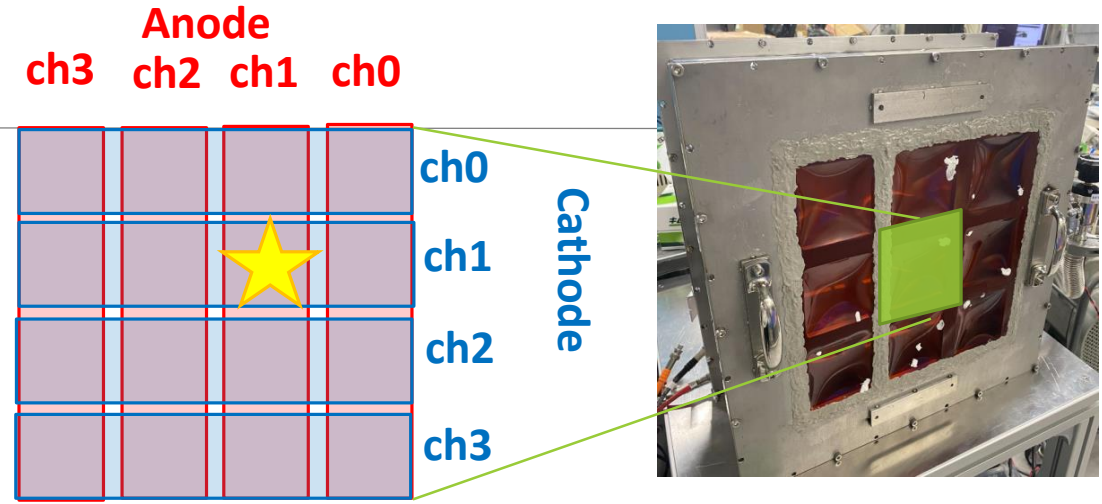
▼ $\mu$ -PIC



# ①ゲインマップ

➤  $^{55}\text{Fe}$ に対する信号からゲインの位置依存を評価した

- meanに対し  $\pm 10\%$ 程度の差
- ゲインを補正して測定可能(要請値達成)



# ②C/N-1.0中の動作電圧での動作確認

➤ C/N-1.0実装にあたり, GEM top = 0 Vとする

➤ 従来の使用方法と異なるため, この影響を調査

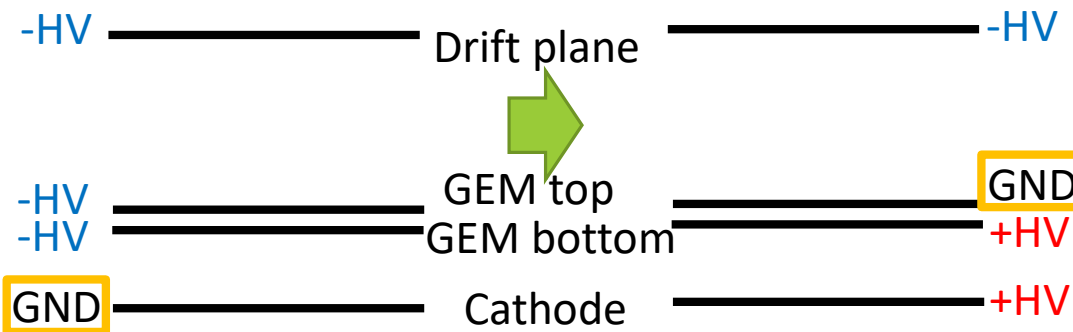
➤ Cathodeに印加する電圧値によってゲインが異なる

➤ Cathode = +450 V (GEM top = 0 V) : 十分DM searchに利用可能

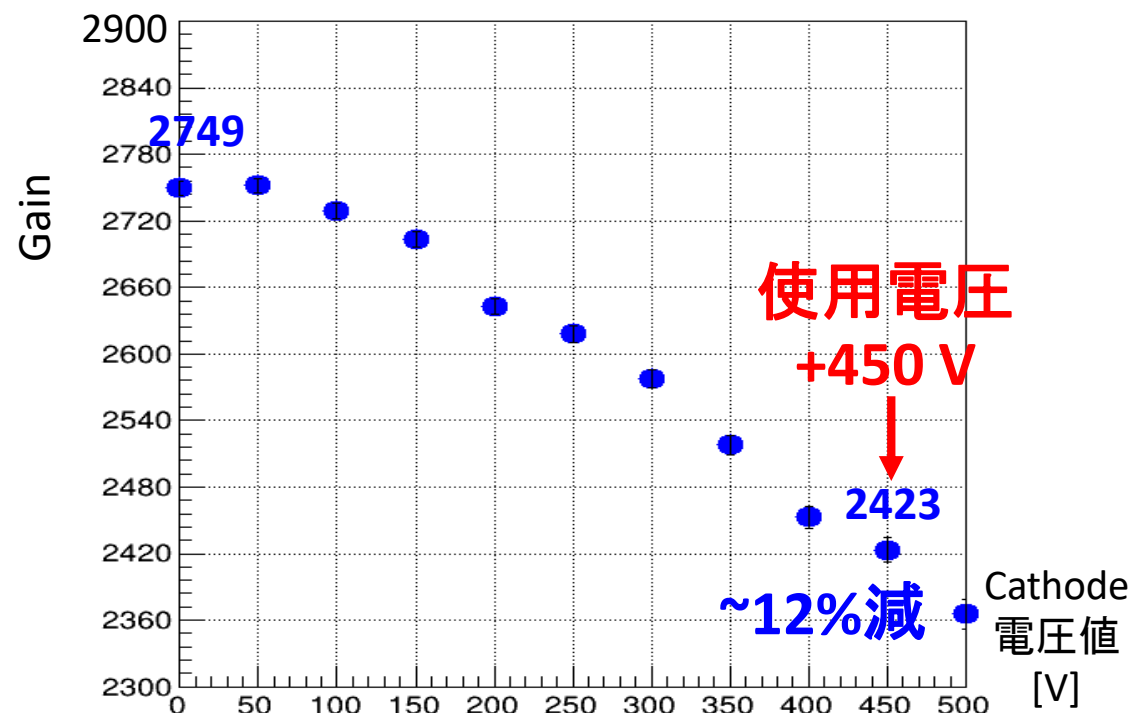
➤ ゲインの変化は電場構造の変化に起因するものと推測

➤ 今後の課題: Garfield++での詳細な解析

▼動作電圧の変更

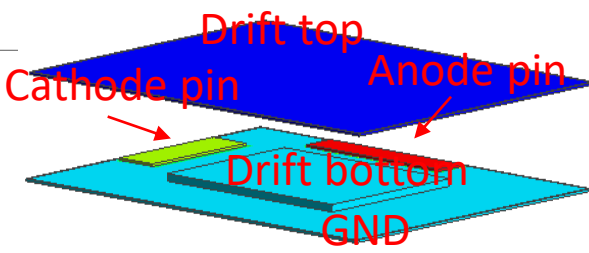
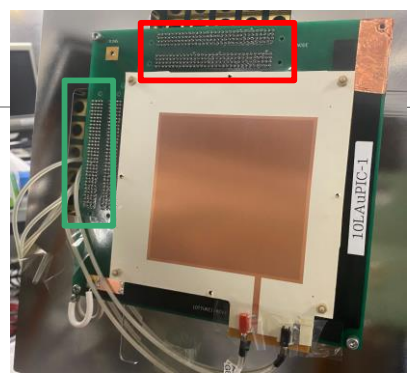


▼Cathode電圧値によるゲイン変化とその割合

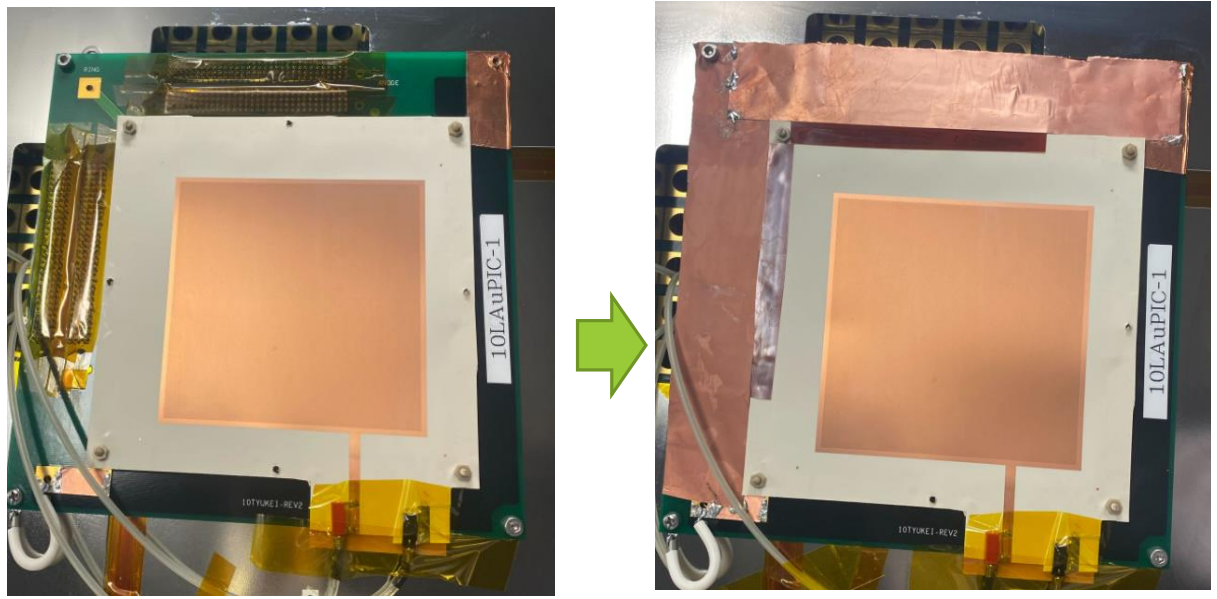
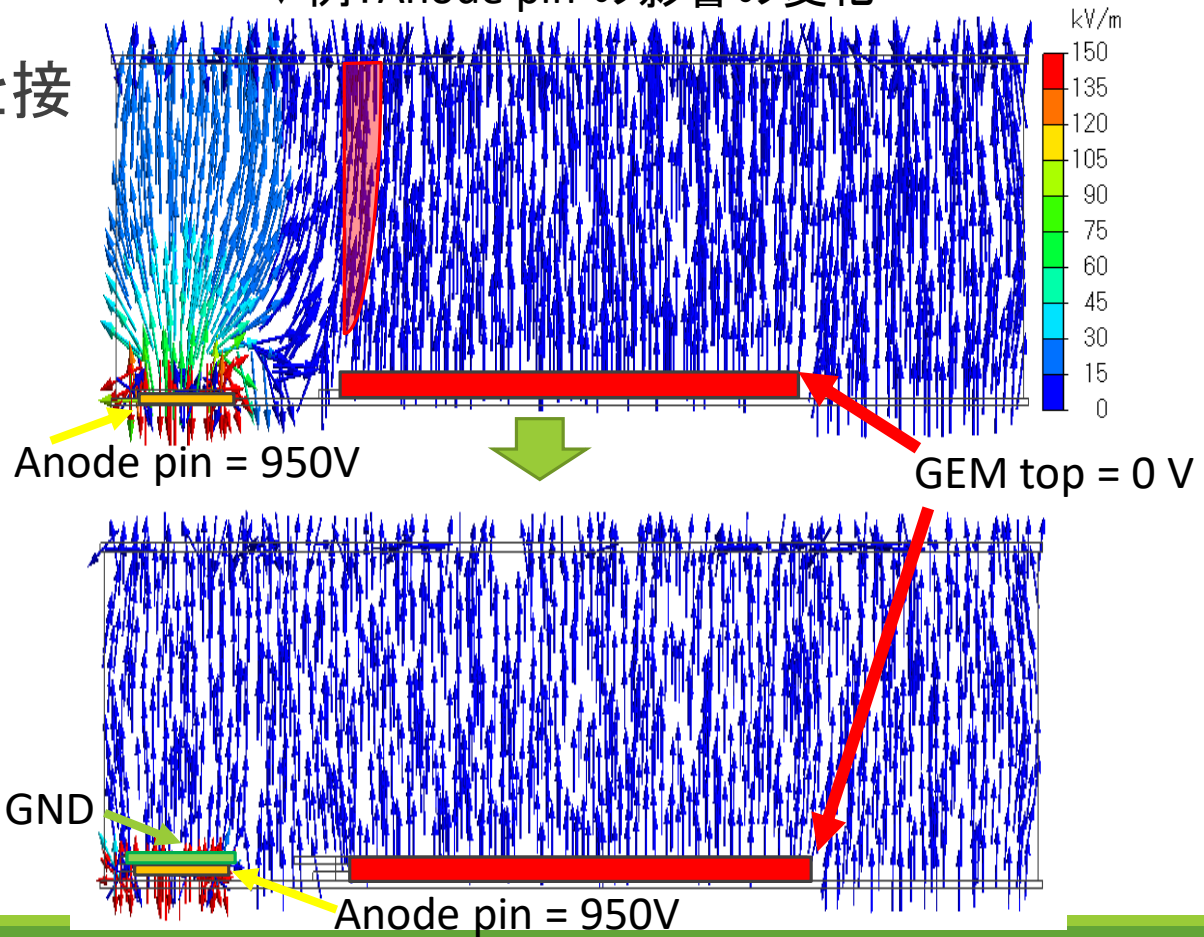


# ③電場構造の改善

- Module-1 : Cathode/Anode pin が表面に露出している
- Femtet : 電場構造を再現
- 電子が一部失われる
- Anode/Cathode pin 上部に銅箔を設置しGNDと接
- 検出不可領域が改善された



▼例: Anode pin の影響の変化



▲改善の様子

# ④宇宙線μ

➤TPCとしての動作確認

➤C/N-1.0でのキャリブレーションにも用いる

➤ $dE/dx = 2.46 \text{ keV/cm}$

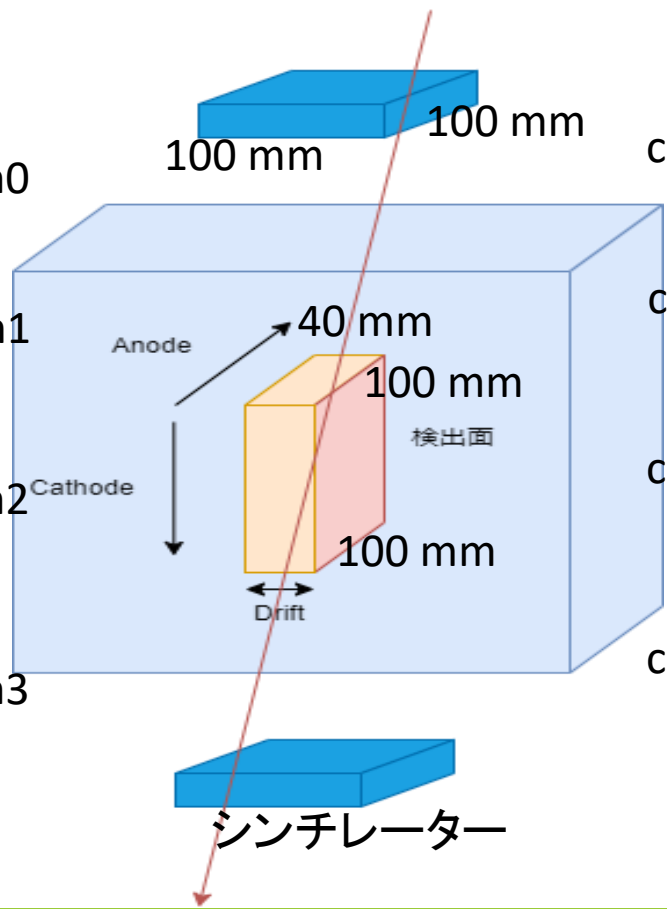
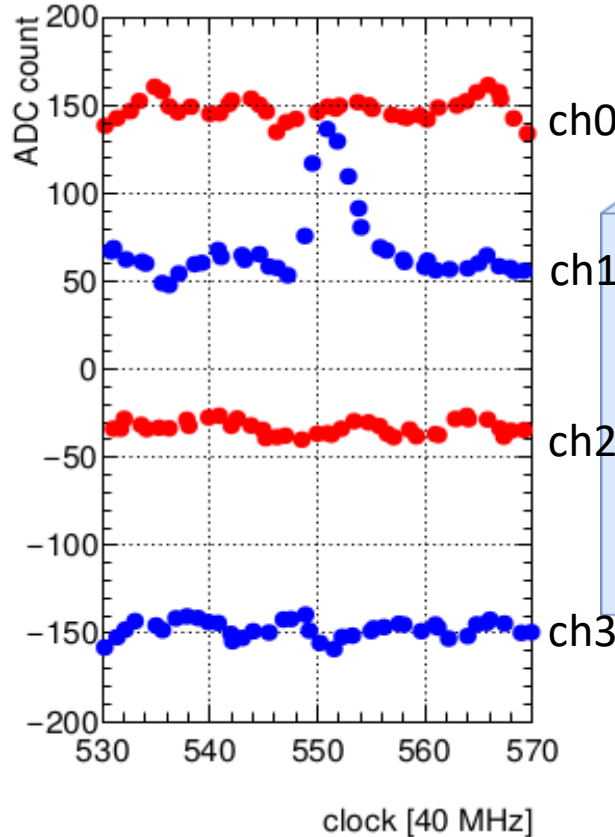
➤イベント例

➤μ粒子の検出に成功

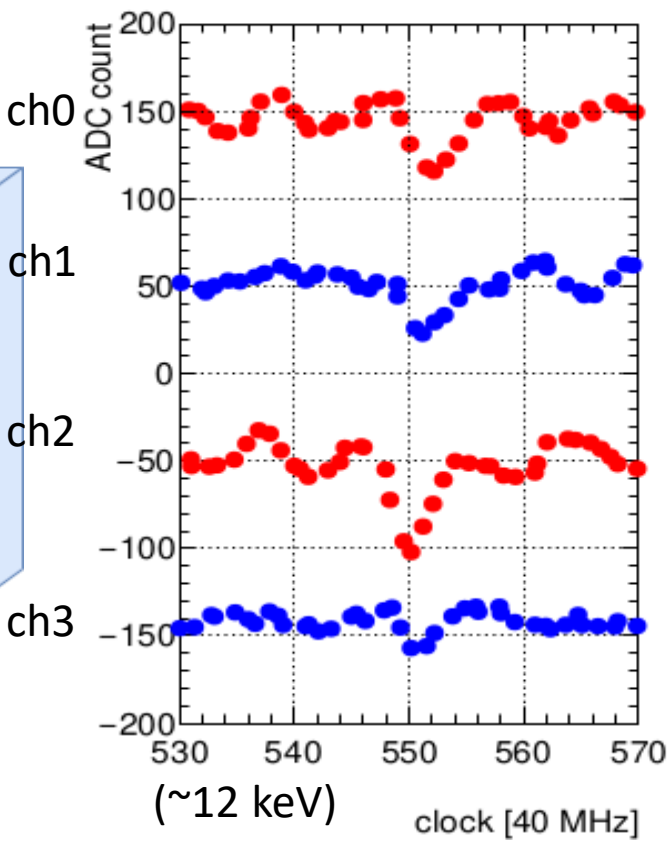
➤今後定量的な評価を行う

▼検出器を宇宙線μが通る様子

▼Anode の信号



▼Cathode の信号



# 展望・まとめ

## ➤ 展望

- Cathode電圧値とゲインの関係を調べる
- 宇宙線 $\mu$ の信号の定量的な評価
- C/N-1.0に導入/実験
  - 同様の動作実験 → 神岡へ運搬/運転開始

## ➤ まとめ

- モジュール型検出器の動作実験・性能評価を行った
  - $^{55}\text{Fe}$ 線源を用いて5.9 keV X線の信号を取得
  - ゲインカーブ, ゲインマップを作成
  - $\mu$ 粒子の検出に成功, 今後定量的な評価を行う