

NEWAGE実験のための 大型ガスTPCに向けた モジュール型検出器の開発と性能評価

神戸大学 M2 大藤 瑞乃

目次

➤ イントロダクション

➤ NEWAGE実験

➤ C/N-1.0

➤ Module-1

➤ 開発

➤ 性能評価

➤ まとめ

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

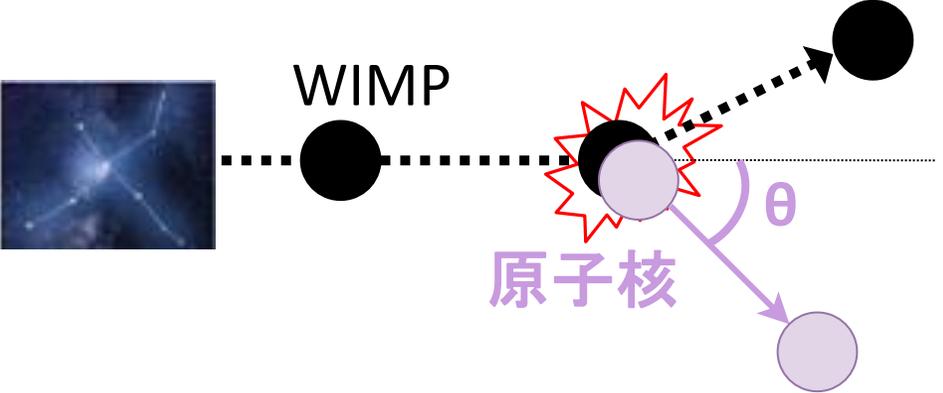
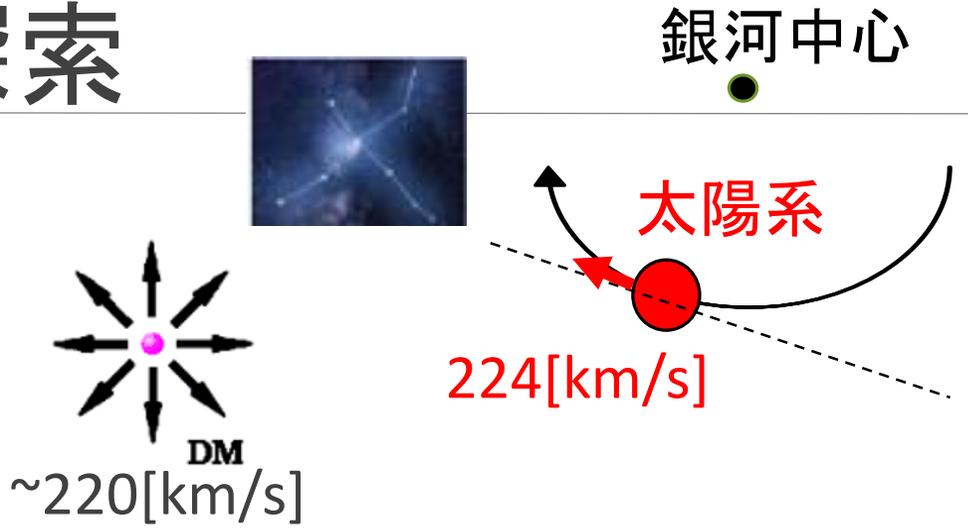
➤ 方向に感度を持つ暗黒物質の直接探索

➤ 太陽系 : 運動方向にはくちょう座が見える

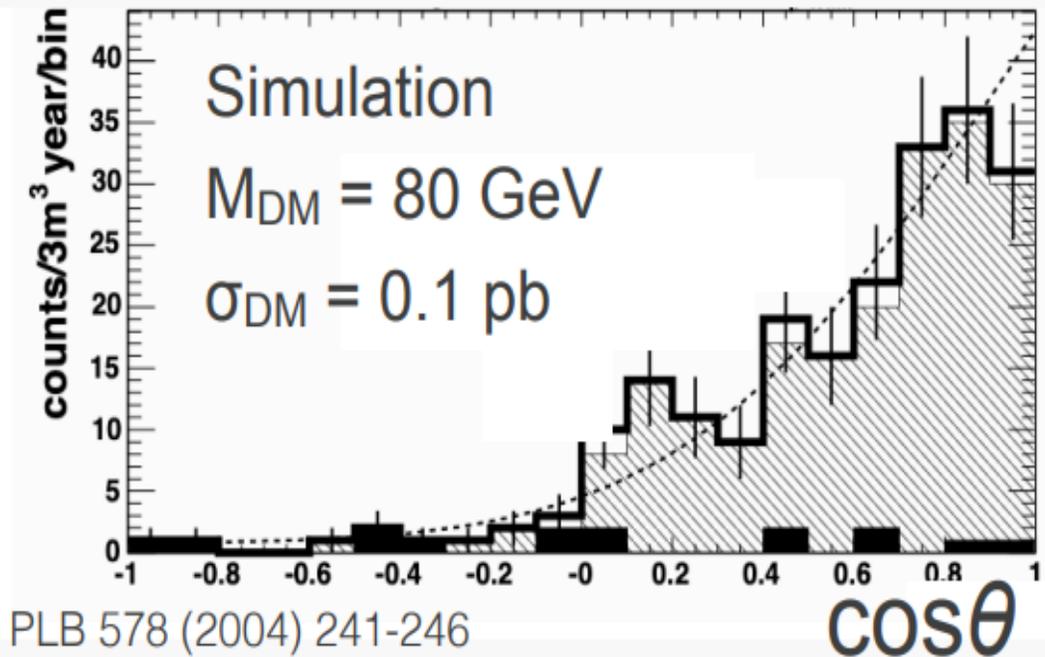
➤ WIMPsの運動が銀河に対して等方的であると仮定

➤ 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



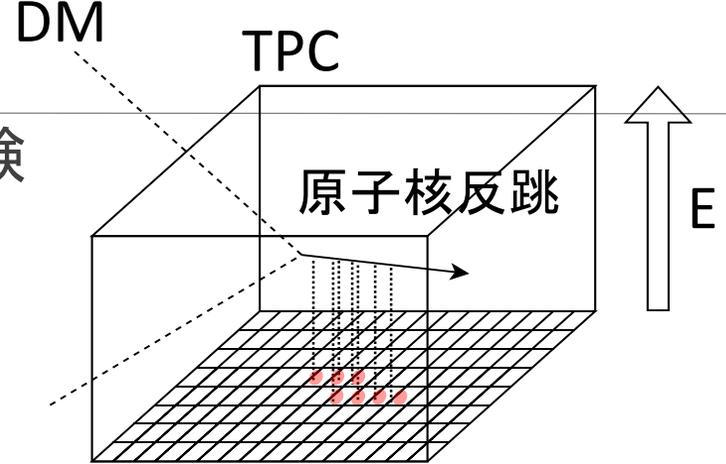
▲ 反跳角の分布

NEWAGE実験

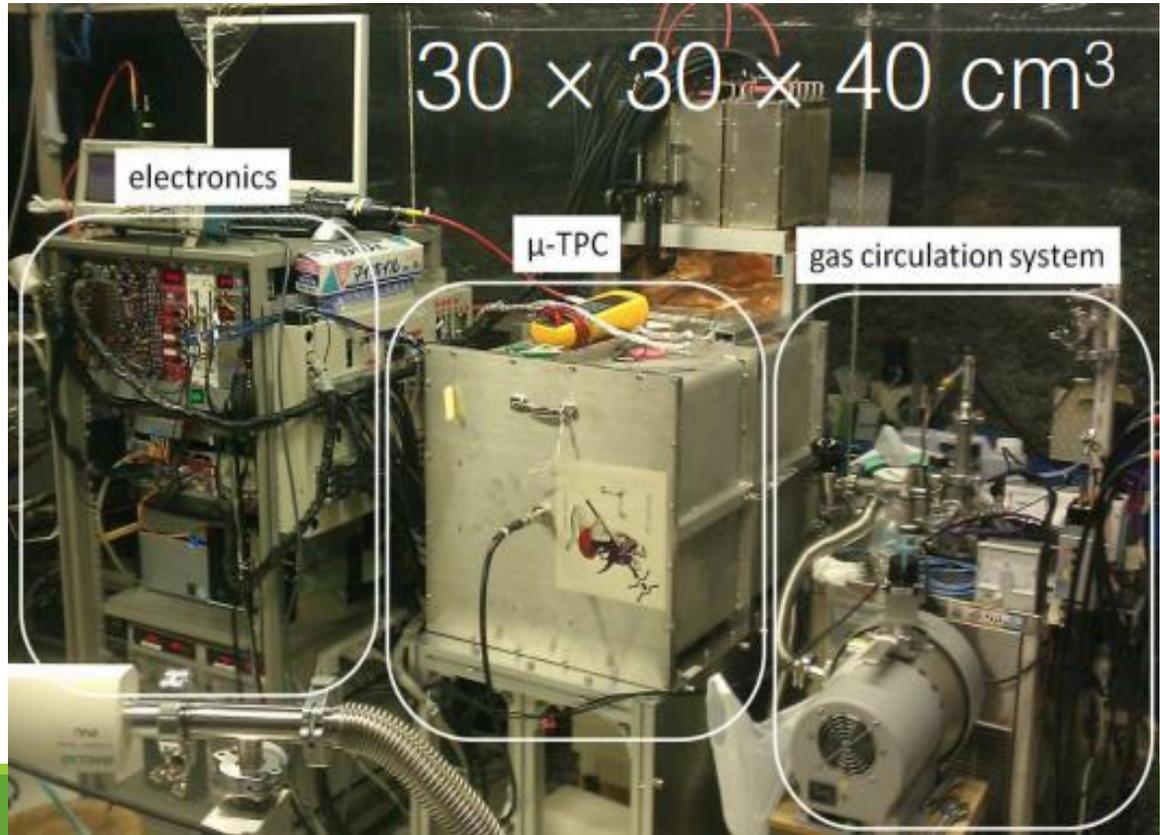
➤ ガスTPCを用いた、方向に感度を持つ暗黒物質の直接探索実験

➤ 30 cm*30 cm*40 cmの検出器が稼働中@神岡

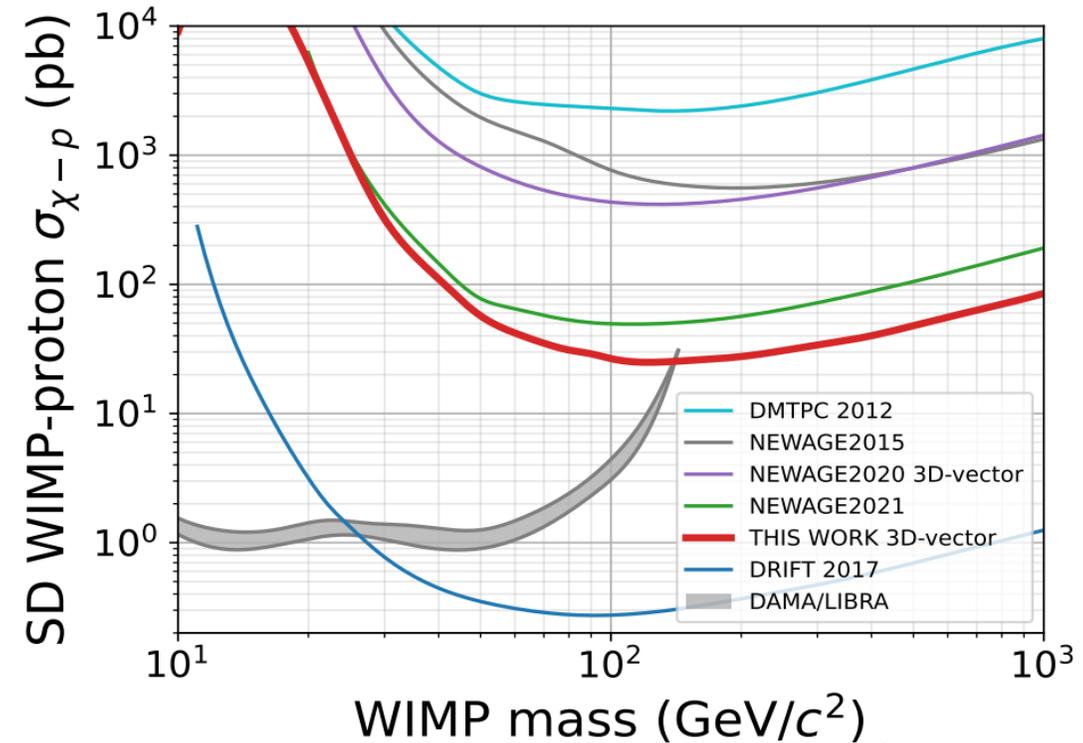
➤ CF₄ 76 Torr



▲ガスTPCの検出原理



← 運転中の検出器



▲ NEWAGE実験による制限曲線*

NEWAGE実験で使用しているガス検出器

➤ 主にGEM+ μ -PICで構成

➤ 10 cm/30 cm角

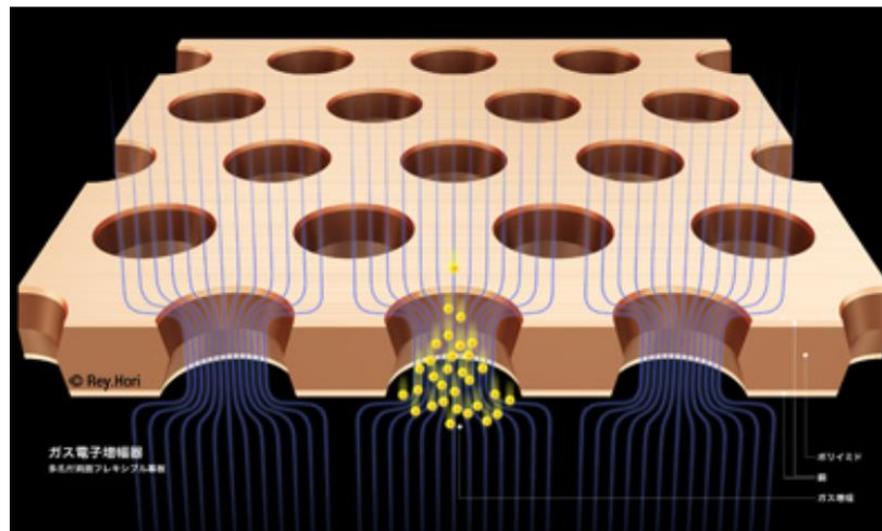
➤ GEM

➤ 厚さ100 μm , 140 μm 間隔で直径70 μm の穴

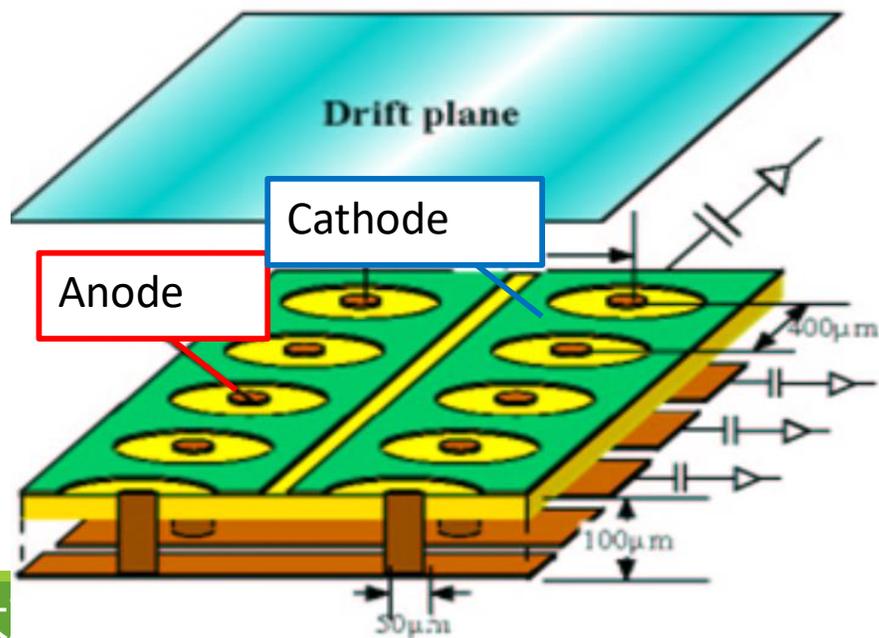
➤ μ -PIC

➤ 400 μm ピッチのストリップ

▼ GEM



▼ μ -PIC



NEWAGE実験で開発中の大型TPC

➤ C/N-1.0

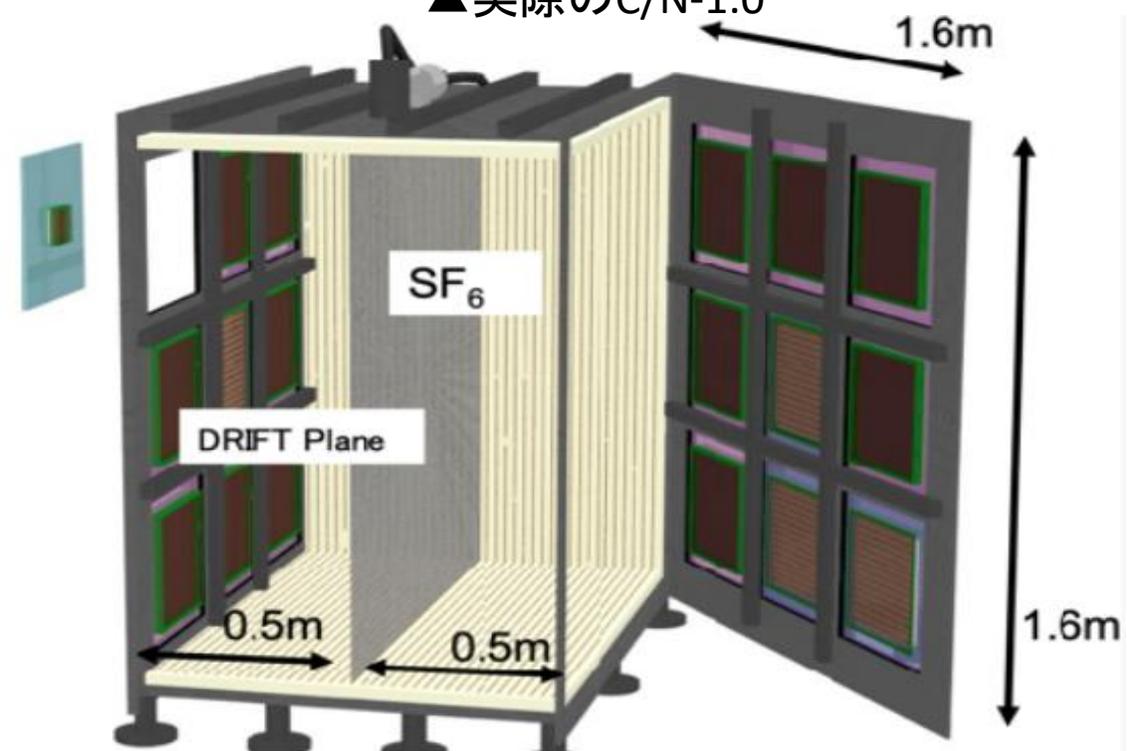
- 低圧SF₆ガスまたは低圧CF₄ガス
- 検出領域 ~1 m³
 - 読み出し面積30 cm*30 cm*9枚*2面
 - 18ヶのモジュール型検出器

➤ 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
 - Module-1(10 cm角GEM + μ-PIC)



▲実際のC/N-1.0



▲C/N-1.0のサイズ

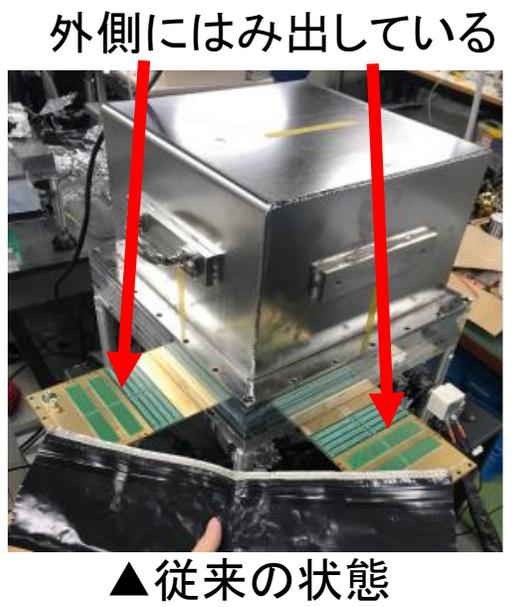
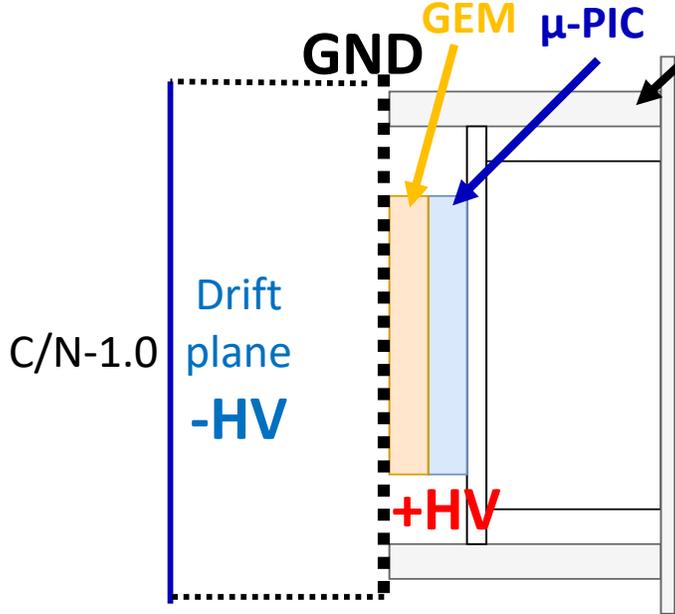
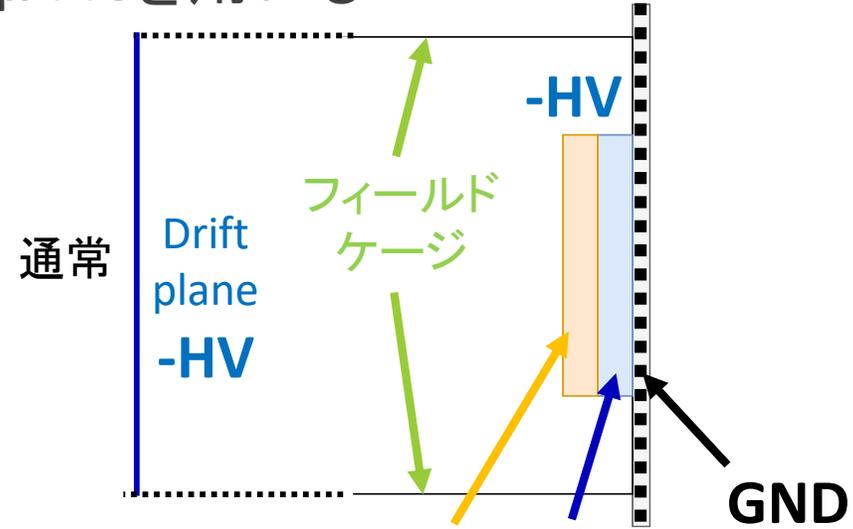
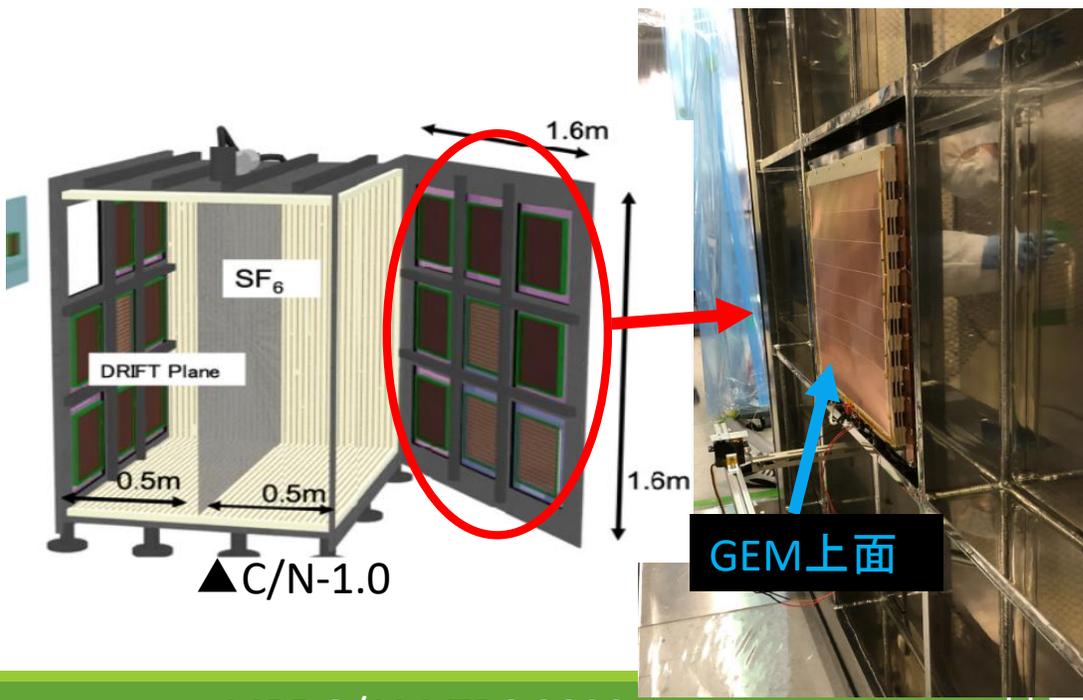
モジュール型検出器開発

➤ C/N-1.0の構造上, 従来と異なる使い方で μ -PICを用いる

➤ ドリフト電場に影響を与えない工夫が必要

➤ 検出器裏側での読み出しが必要

➤ 横ではなく真後ろへ読み出す必要がある



電場設計

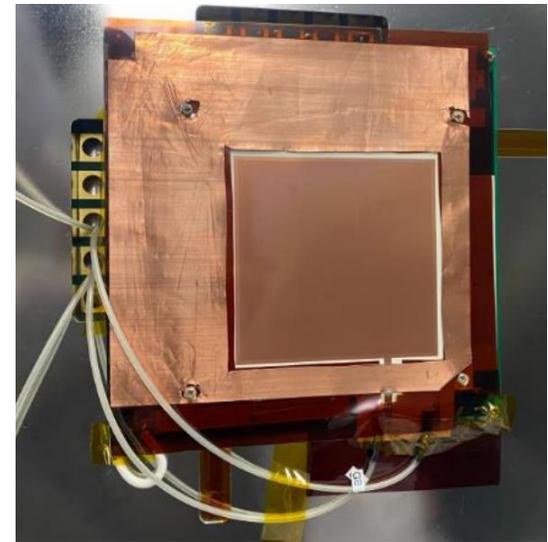
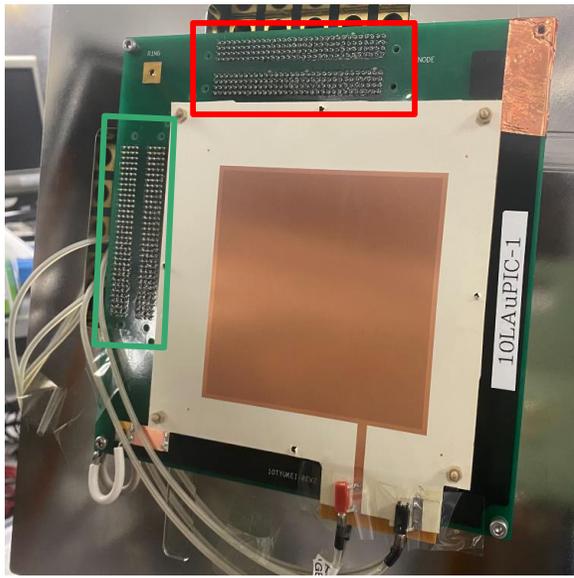
➤ μ -PIC: Cathode/Anode pinが表面に露出している

➤ 電圧例-Cathode/Anode : 0 V/+500 V(通常) \rightarrow +450 V/+950 V(C/N-1.0組み込み時)

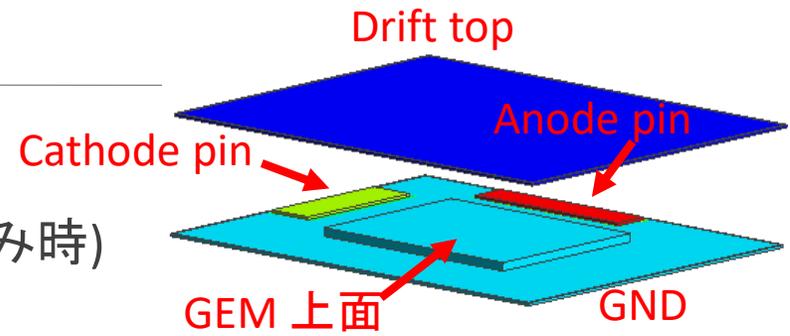
➤ Femtetによる電場計算:ドリフト電場が乱れる

➤ Anode/Cathode pin を銅箔で遮蔽

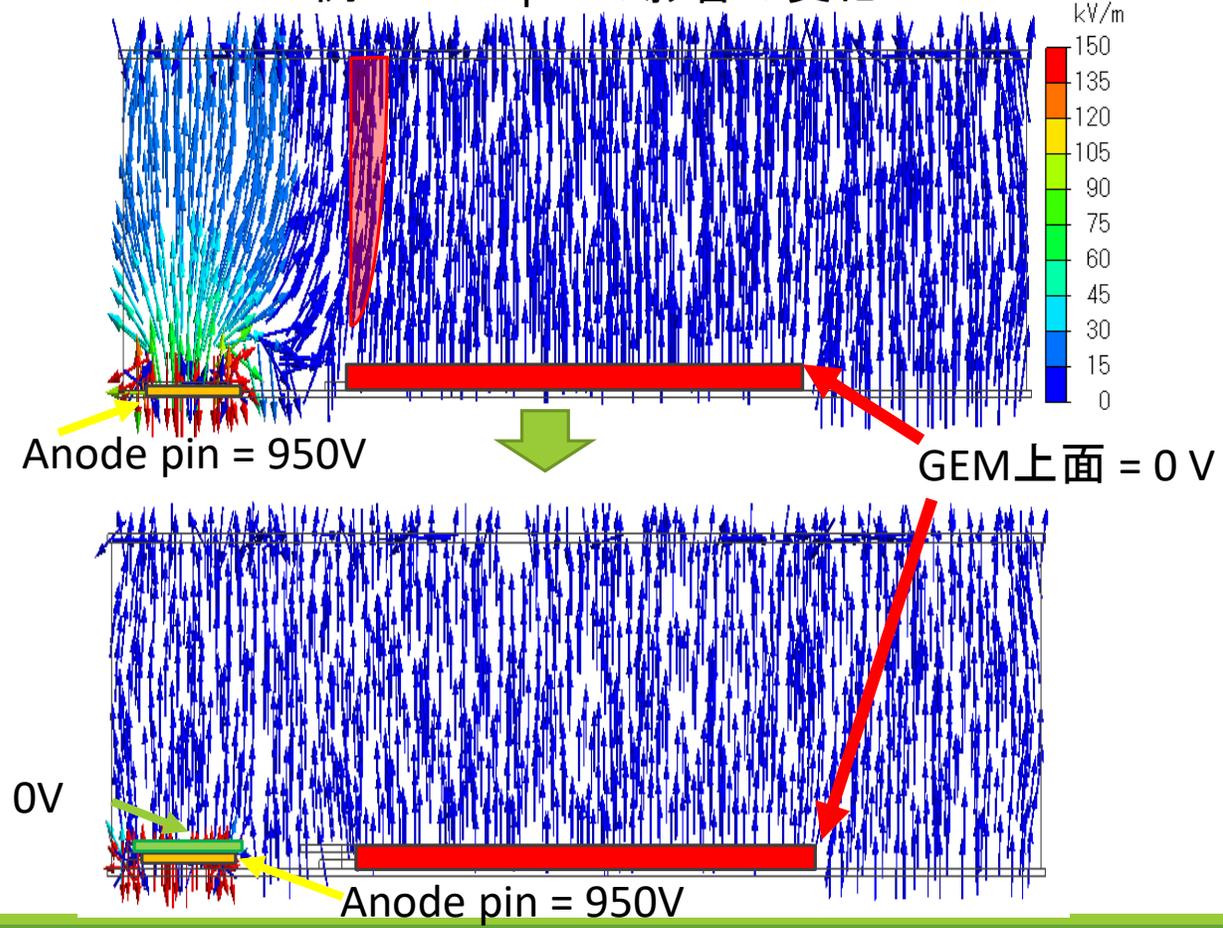
➤ GEM上面と接続



▲遮蔽の様子



▼例: Anode pin の影響の変化

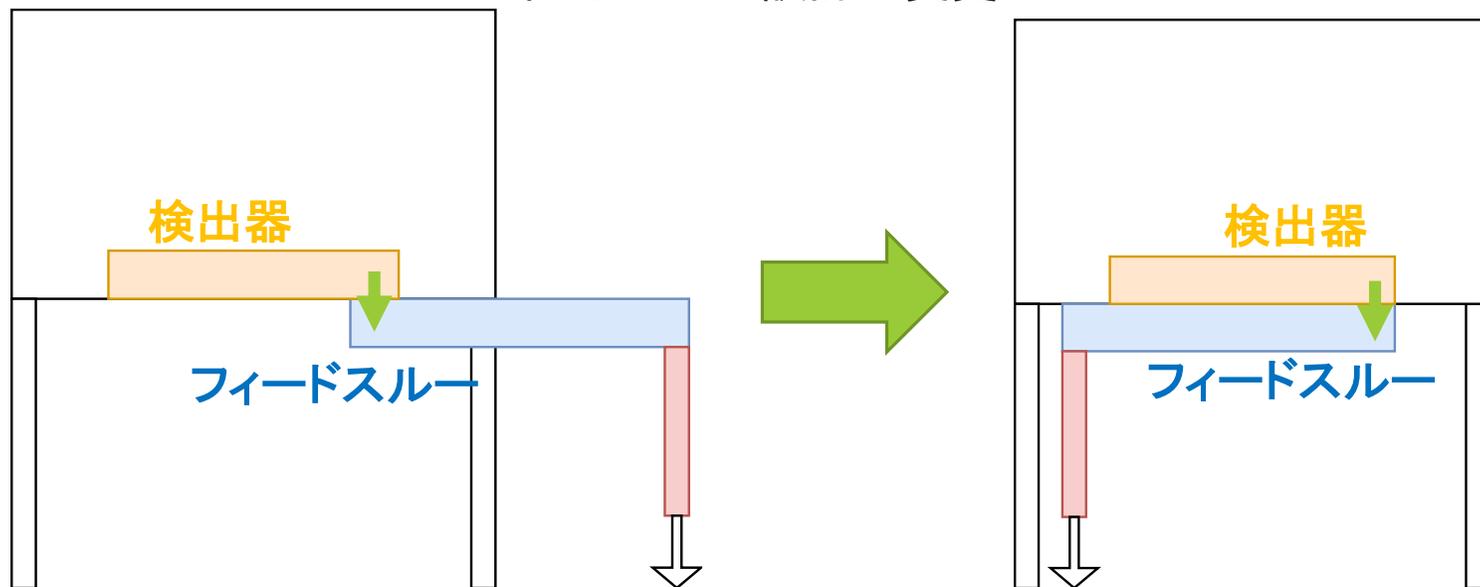


検出器裏側での読み出し

フィードスルーが外側にはみ出している

- 従来のフィードスルーボードは検出器の外側にはみ出す
- 隣のモジュールの読み出しとの干渉を防ぎたい
- コンパクトな後ろ側読み出しに変更
 - 従来と異なるフィードスルー(CR)ボードを使用
(京大 高田さん設計)

▼フィードスルー設計の変更



▲従来の状態

Module-1開発

Module-1

➤ Module-1

➤ 10 cm角GEM + μ -PIC

➤ μ -PIC

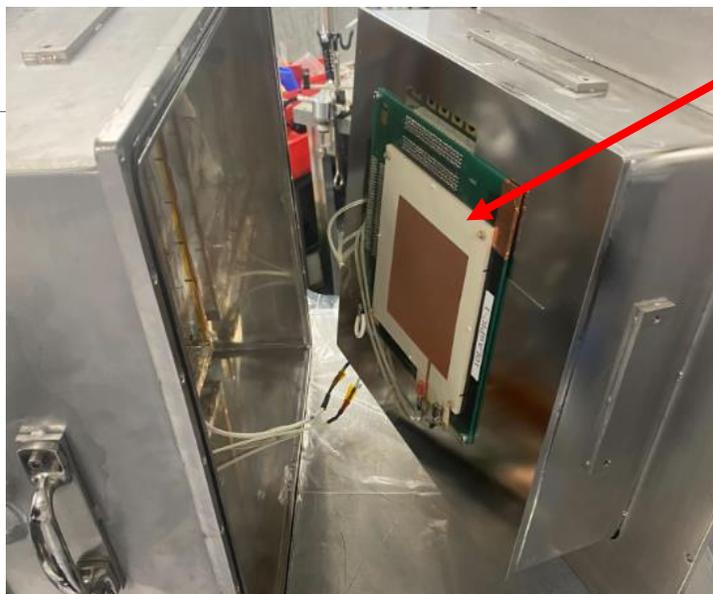
➤ Anode 256 ch + Cathode 256 ch

➤ 今回はまとめて4 ch + 4 ch で読み出し

➤ 課題: 800 μ mピッチでの飛跡検出

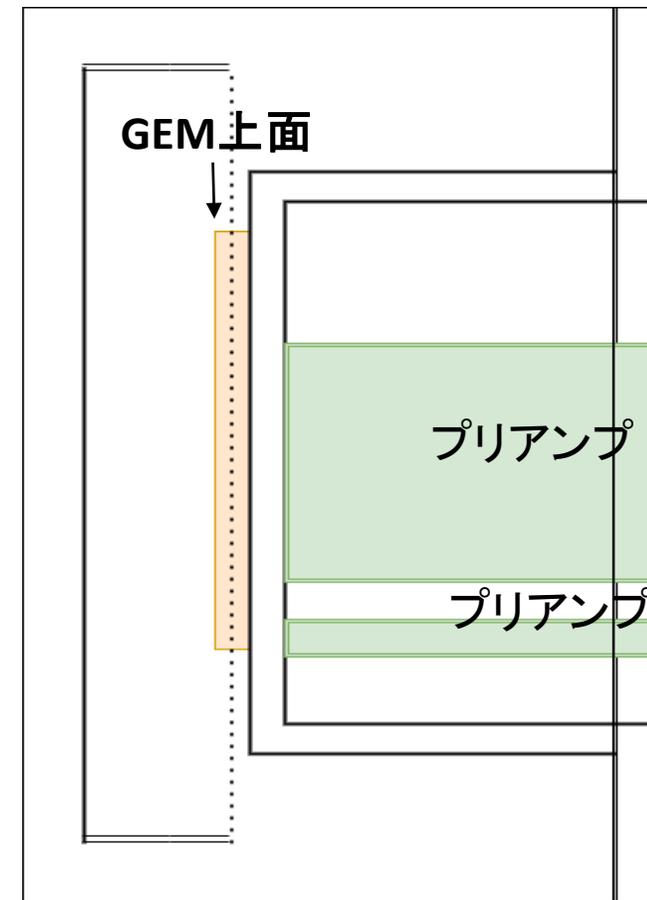
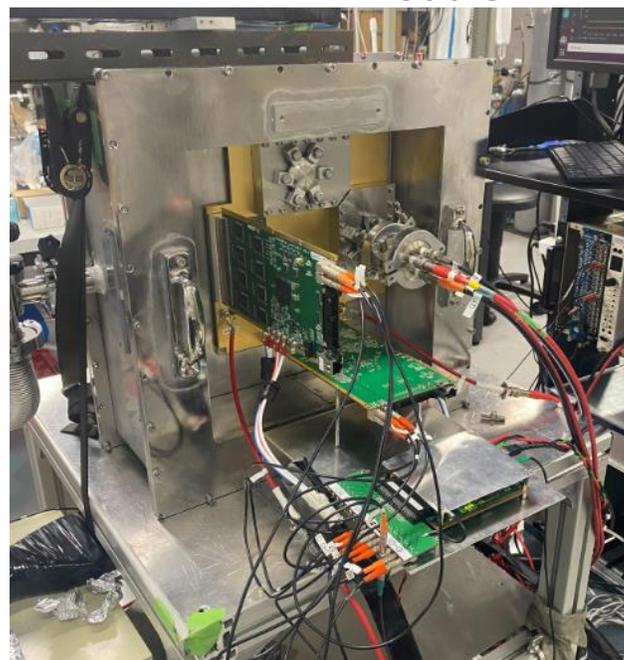
➤ 試験用チェンバー

➤ 30 cm * 30 cm * 4 cm (Drift距離)



飛び出ている

▲ Module-1

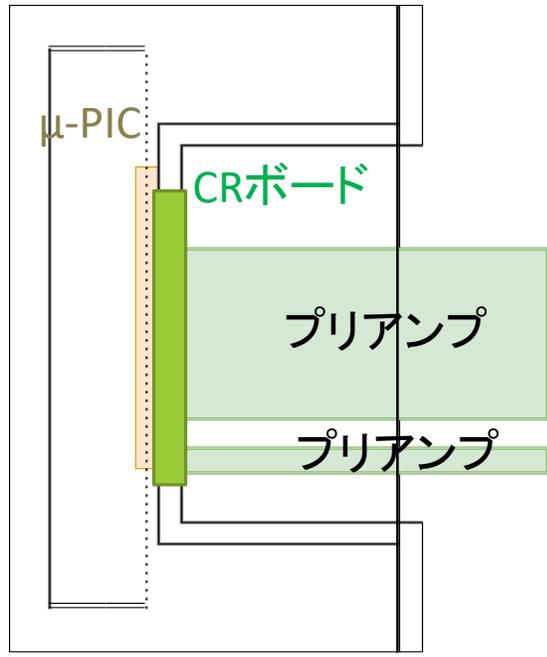


▲ 試験用チェンバーの断面図

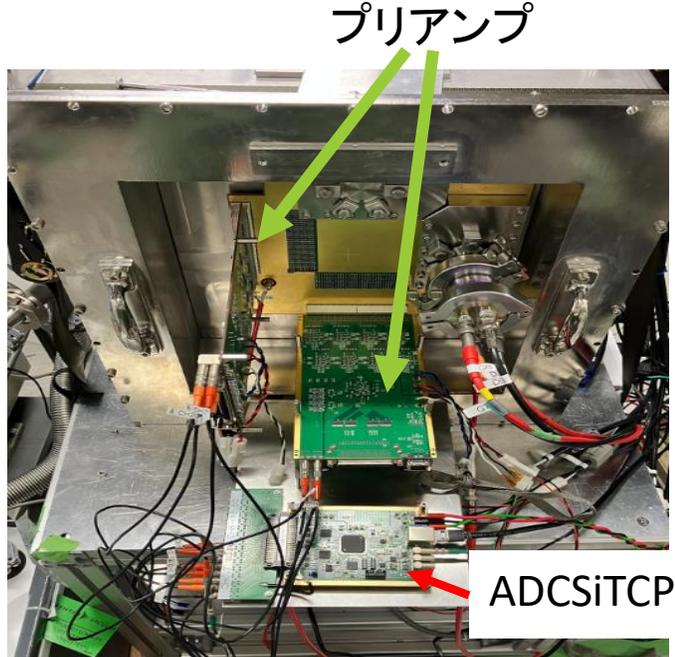
エレクトロニクス

➤ プリアンプ (FE2009BAL μ -readout)

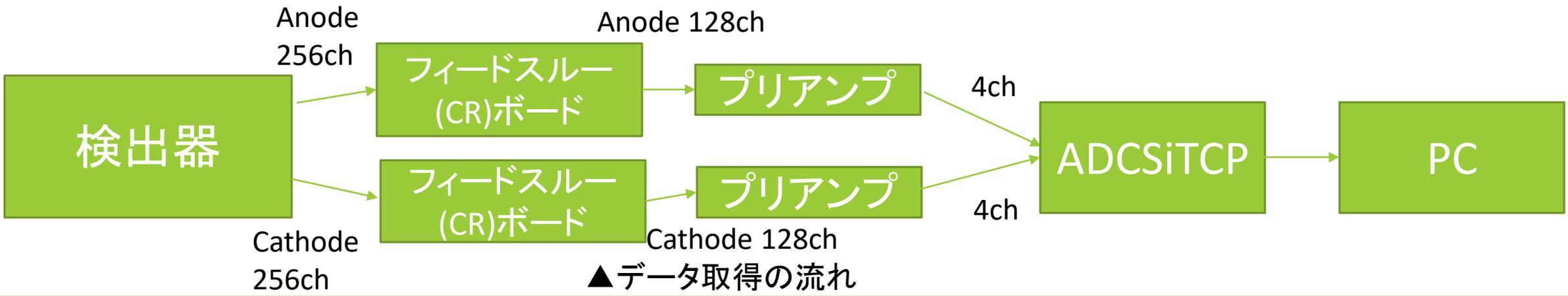
- ~ 0.35 mV/fC
- ADCSiTCPで波形取得
- サンプリング 40 MHz, 2 V peak-to-peak, 分解能 12 bit
- self / external (NIM) trigger 設定可能



▲ チェンバーの断面図



▲ チェンバー裏面



Module-1の性能評価

➤①Module-1の基本特性確認

➤ ^{55}Fe を用いた5.9 keV X線信号の確認

➤ゲインカーブ

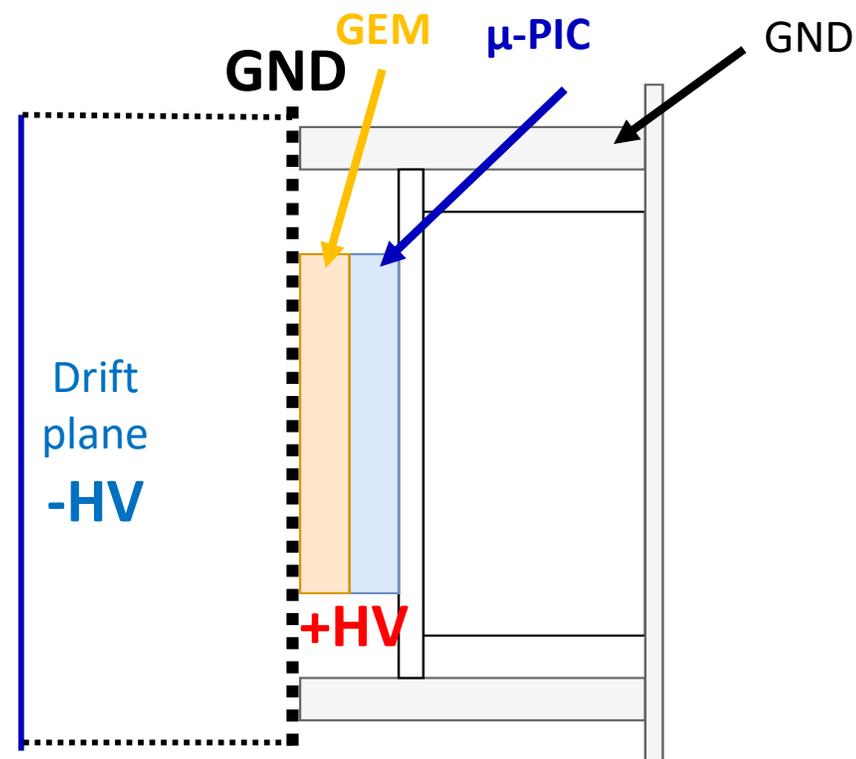
➤ゲインマップ

➤ゲインの時間変化

➤②C/N-1.0実装に適した動作電圧での動作確認

➤GEM上面をGND電位にする

➤ $\mu\text{-PIC}$ のCathodeに電圧を印加



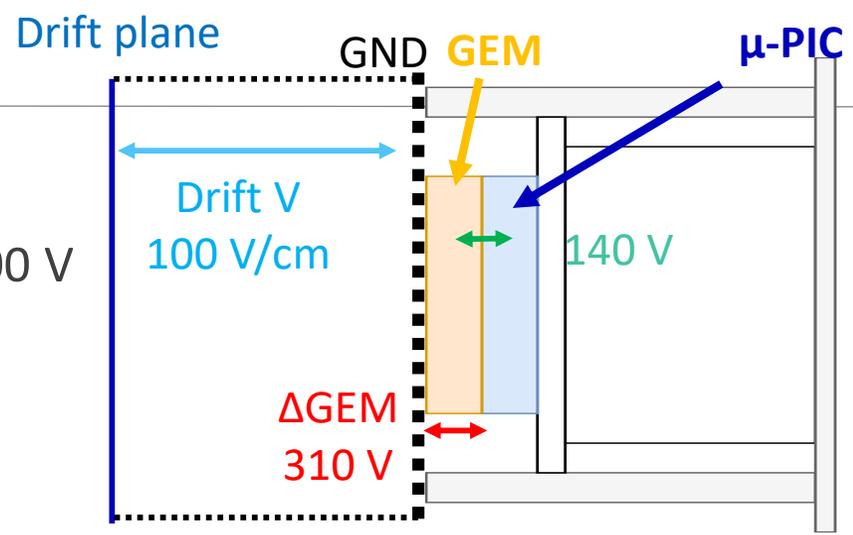
▲C/N-1.0での印加電圧

① Module-1の基礎特性評価

➤ ^{55}Fe 5.9 keV X線 信号の様子

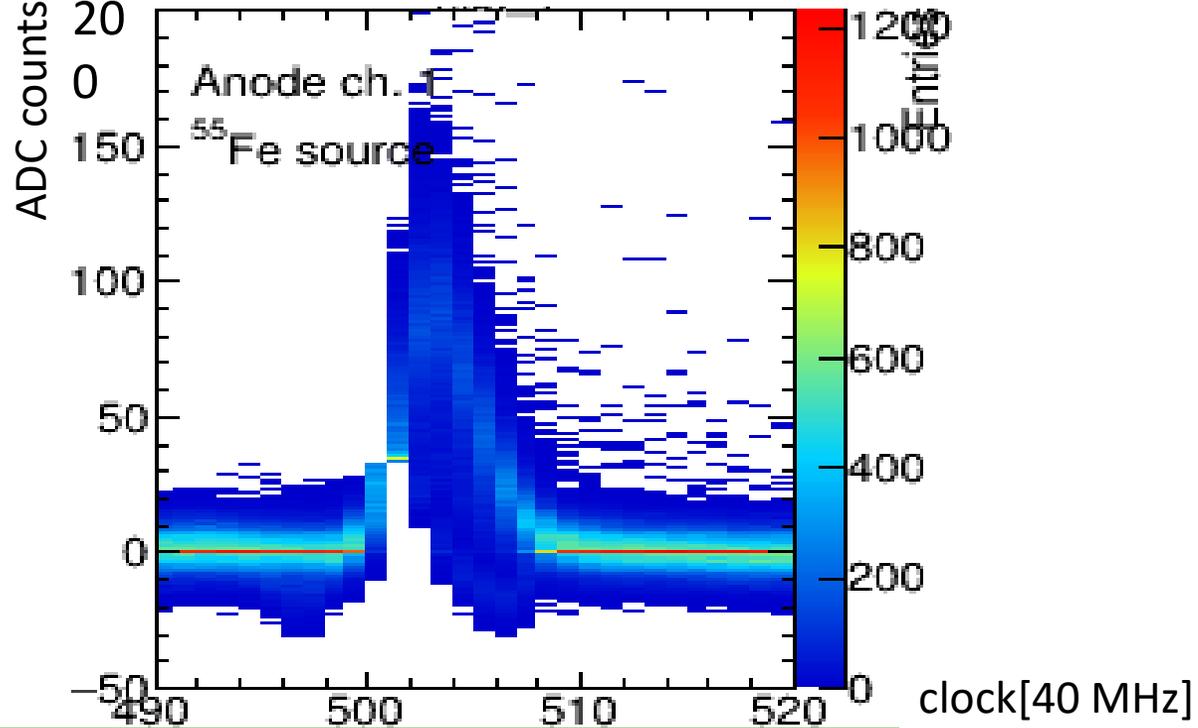
➤ Drift V: 100 V/cm , ΔGEM : 310 V , GEM - $\mu\text{-PIC}$: 140 V , Anode - Cathode: 500 V

➤ CF_4 76 Torr

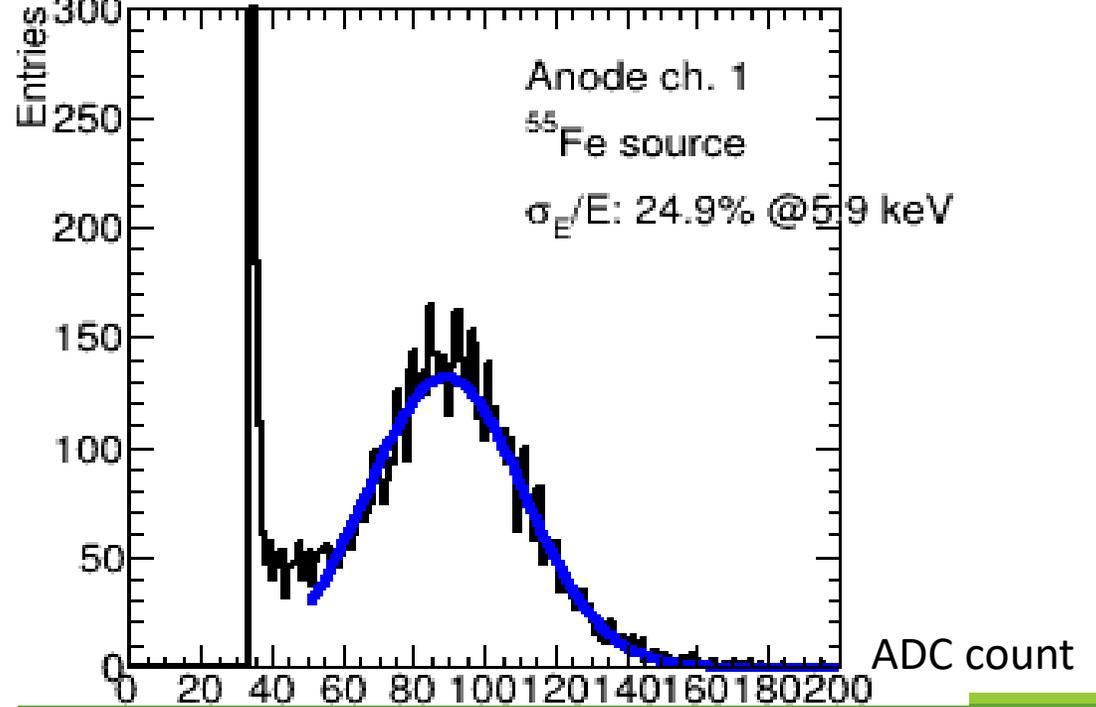


▲印加電圧

▼Anode waveform

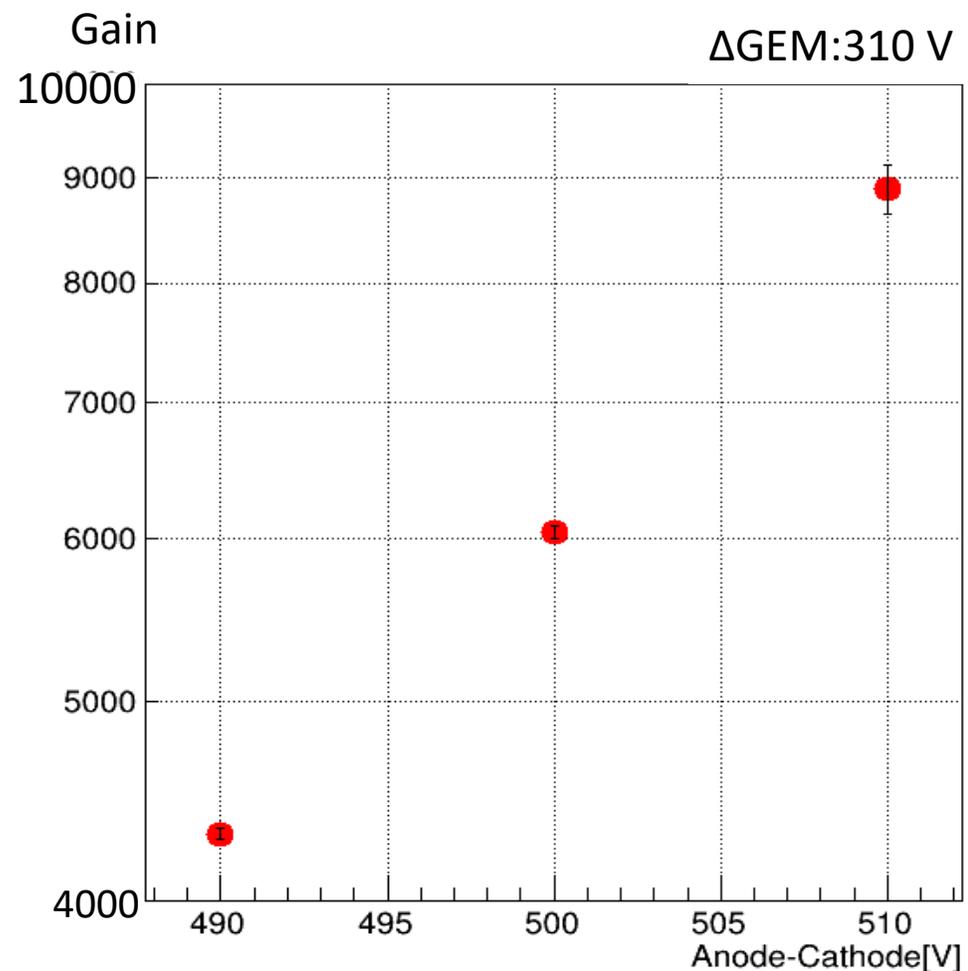
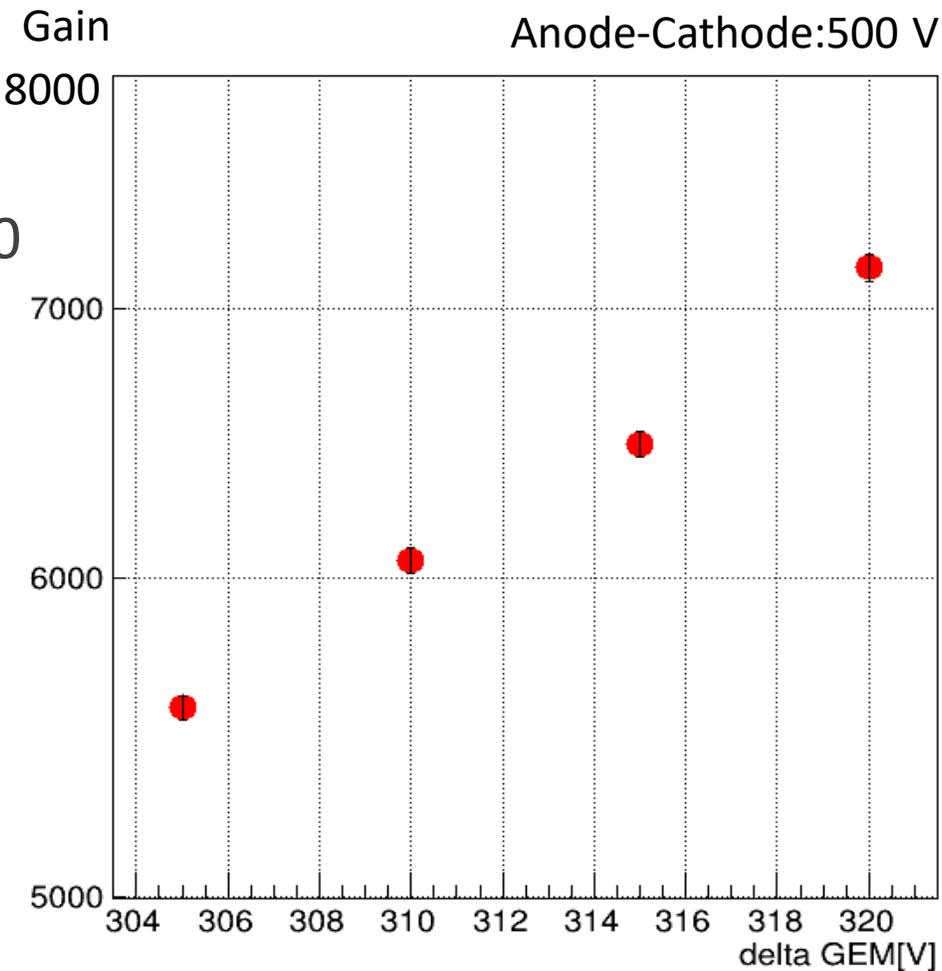


▼Anode spectrum



①各電位差依存のゲインカーブ

- Δ GEM依存
- Anode-Cathode間依存
- 最大ゲイン ~9000
- 要請値:ゲイン 2000
- 基礎特性OK

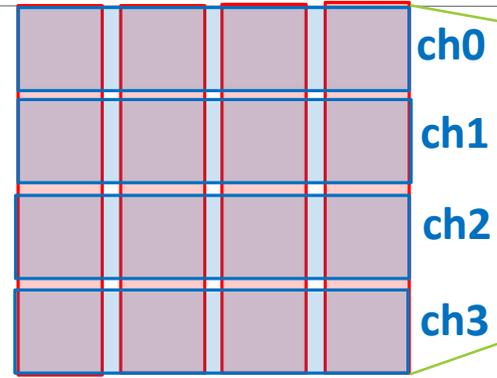


①ゲインマップ

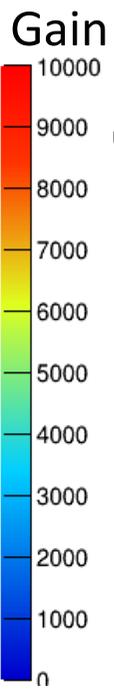
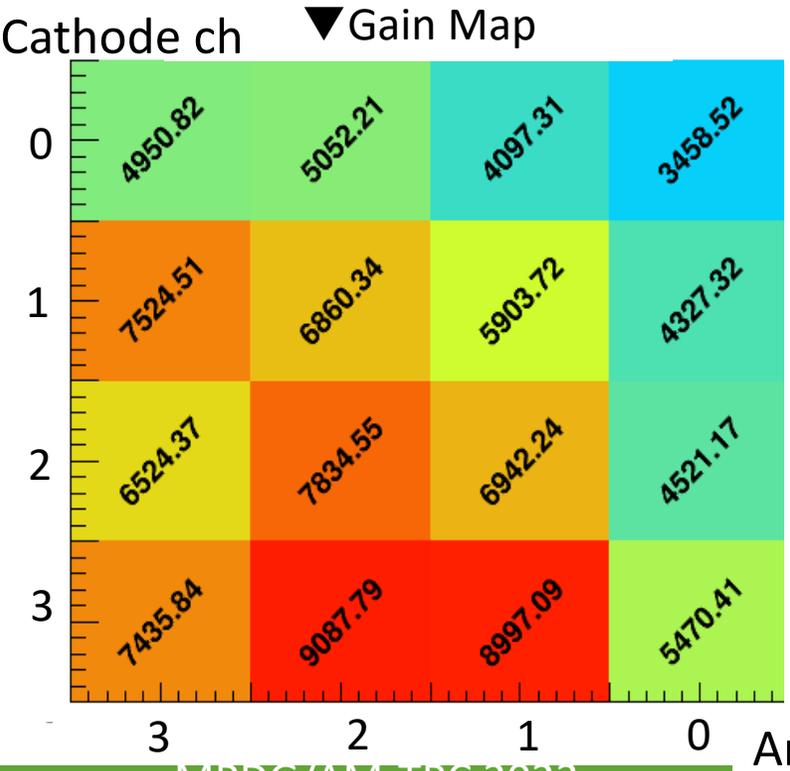
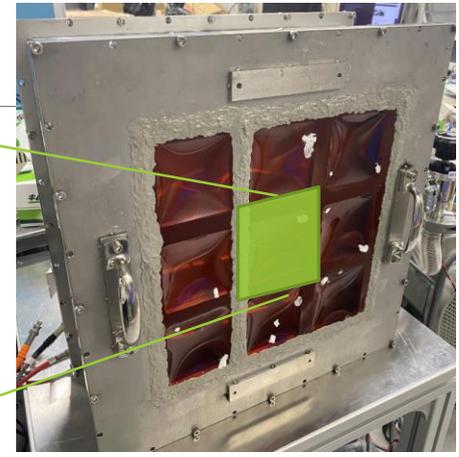
➤ ^{55}Fe の5.9 keV X線信号でゲインの位置依存を測定

- Anode-Cathodeのオフラインコインシデンス
- どの位置でも十分なゲインを達成
- 銅箔を貼った際にGEMが歪んだ可能性

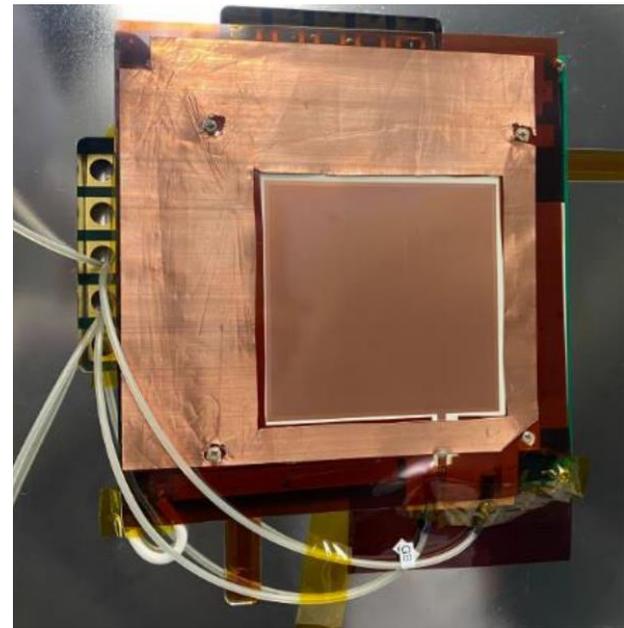
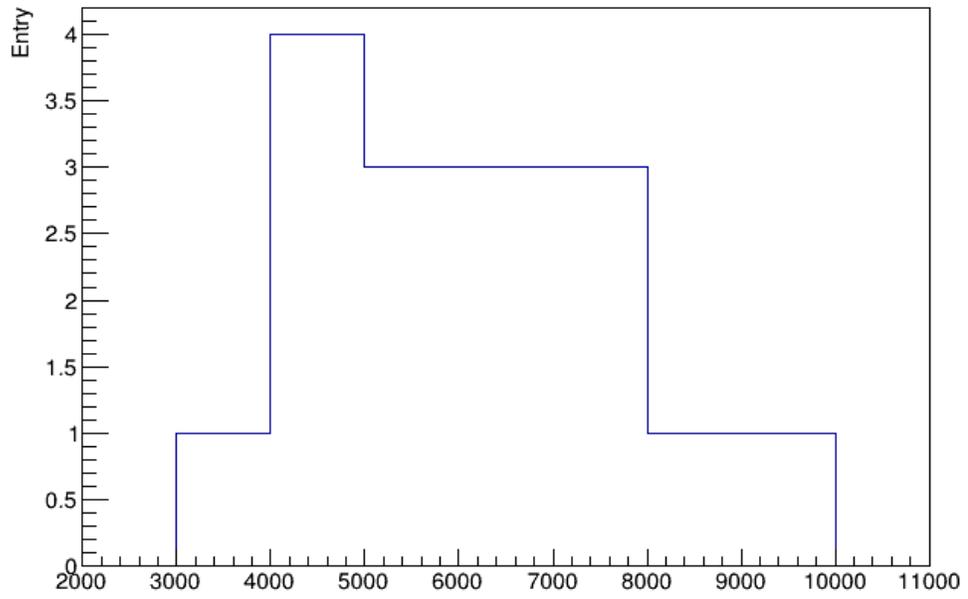
Anode
ch3 ch2 ch1 ch0



Cathode



▼ Cathode Gainの分布



①ゲインの時間変化

➤ CF₄(76 Torr)のゲインの時間変化

➤ 約一日の時定数で安定

➤ 誘電分極による？

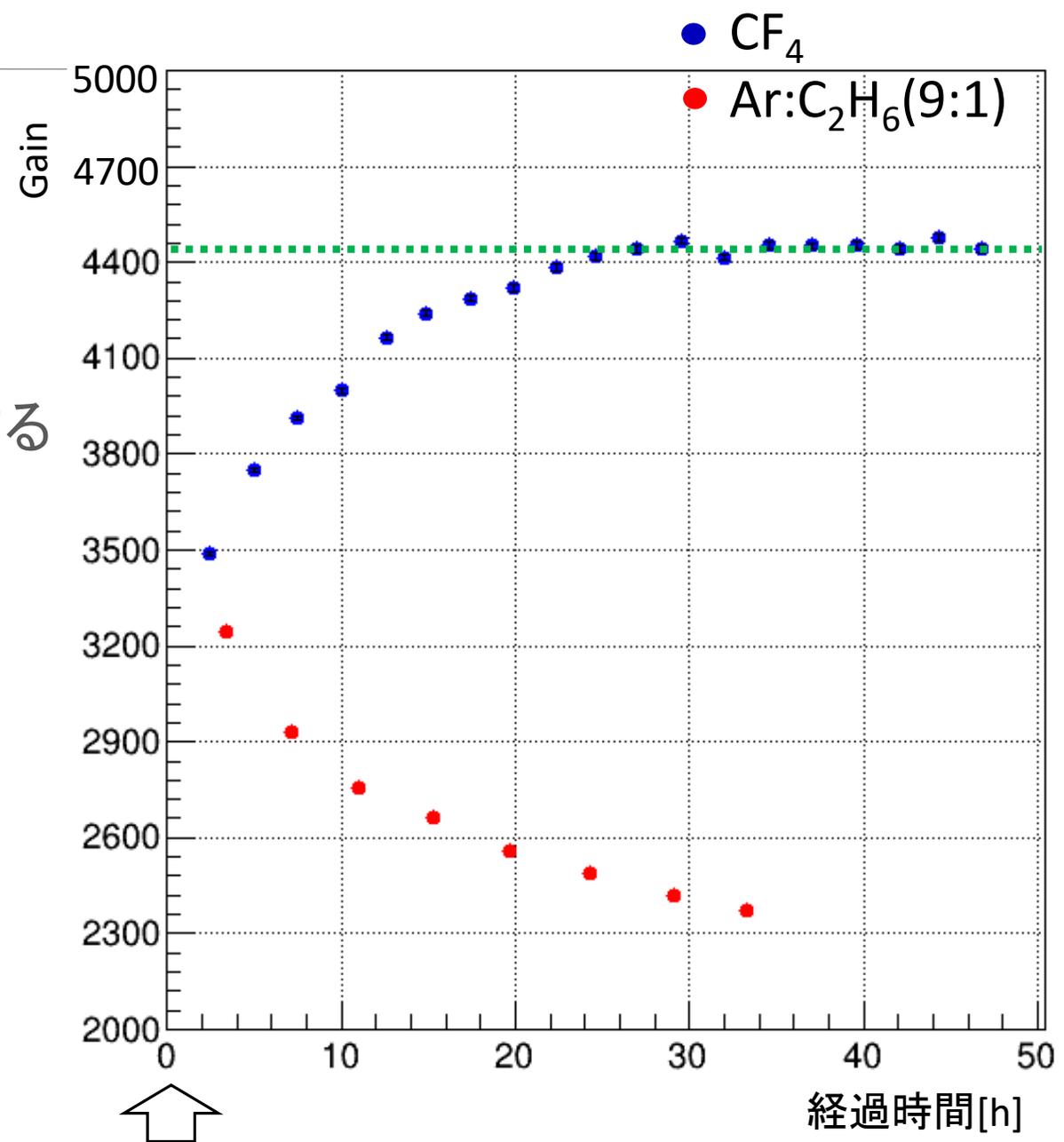
➤ Ar:C₂H₆(760 Torr)は時間経過でゲインが減少する

➤ 誘電分極だけが原因ではない

➤ ガス特有の何か？

➤ ガス導入/電圧印加から1日程度

時間を置けば使用可能



ガス導入&電圧印加

② C/N-1.0に適した電圧での動作確認

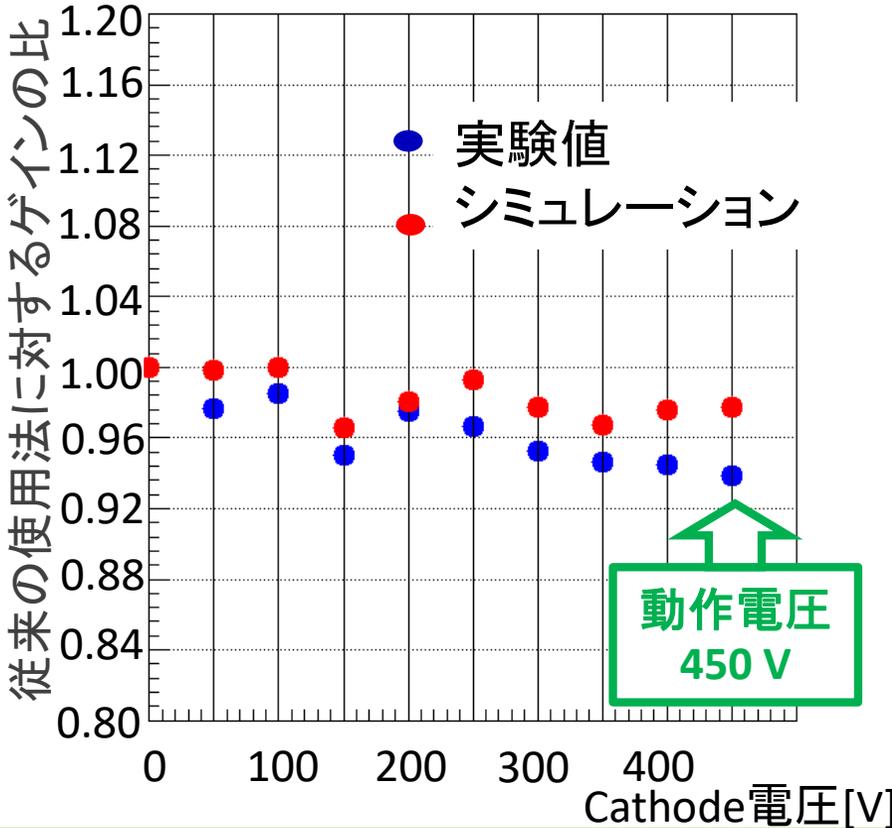
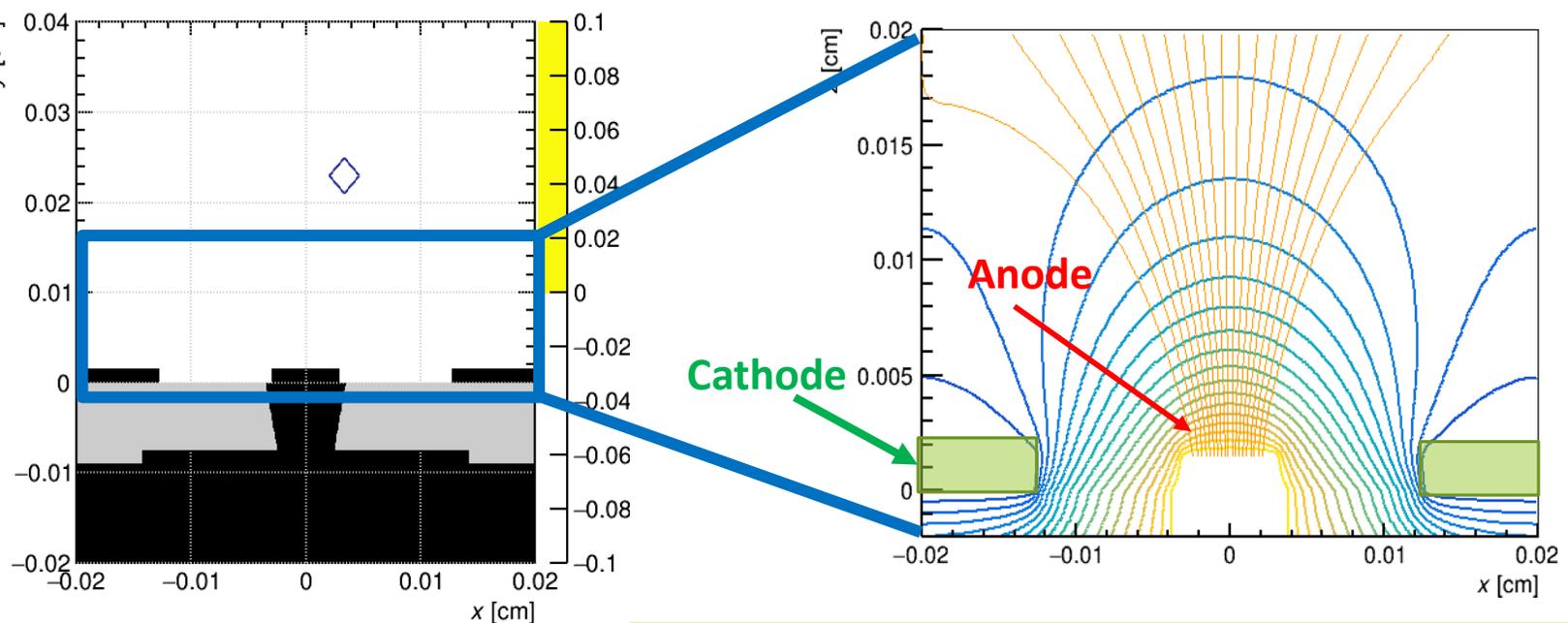
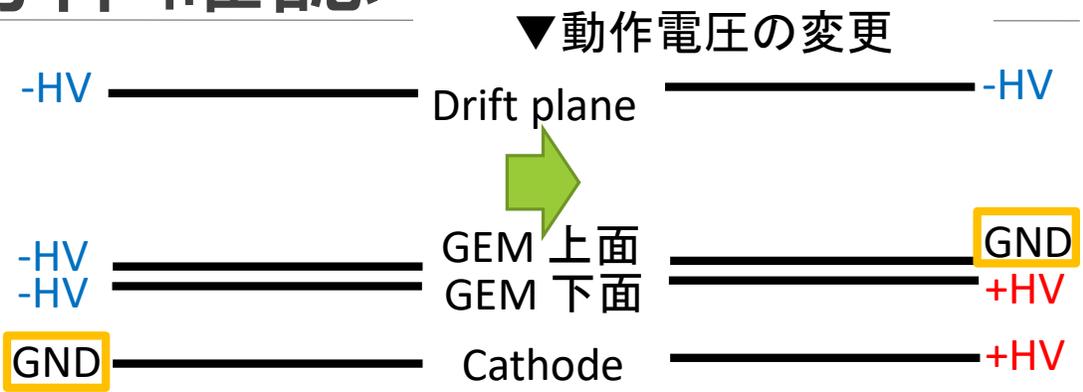
➤ C/N-1.0実装にあたり, GEM上面をGND電位とする

➤ 従来の使用方法と異なるため, この影響を調査

➤ 実際の測定結果とシミュレーションの比較

➤ Garfield: GEM設計なし

➤ 最大5%程度のずれで一致: 動作に影響なし



まとめ

- C/N-1.0に導入するモジュール型検出器を開発
- 動作実験・性能評価を行った
 - ^{55}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
 - C/N-1.0に適した動作電圧でも問題なく動作することを確認
- 今後の課題
 - 128 ch + 128 ch飛跡検出
 - 宇宙線 μ 信号の定量的な評価
 - C/N-1.0での地上実験キャリブレーションに用いる
 - 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