



NEWAGE実験73: 大型ガスTPCのための モジュール型検出器の動作実験

神戸大学 M1 大藤 瑞乃, 身内 賢太郎, 東野 聡, 中山 郁香

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

- 開発中の大型TPC : C/N-1.0

➤ モジュール型検出器の動作実験・性能評価

- モジュール型検出器

- 動作実験

➤ 展望・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

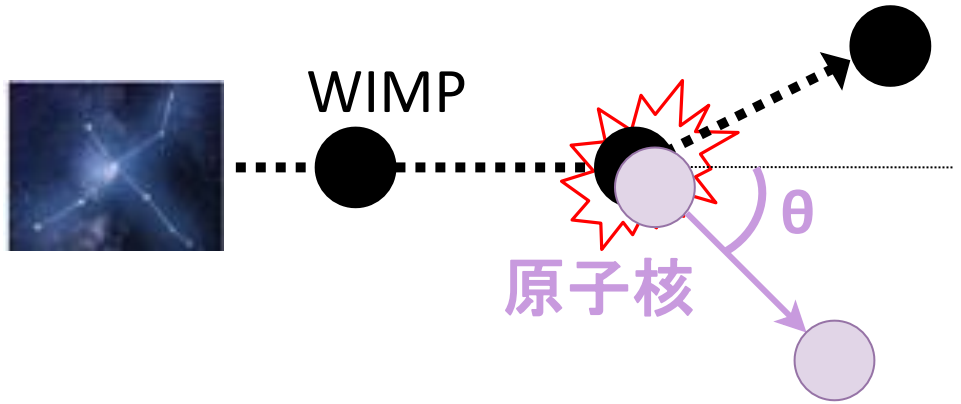
➤ 方向に感度を持つ暗黒物質の直接探索

➤ 太陽系: 運動方向にはくちょう座が見える

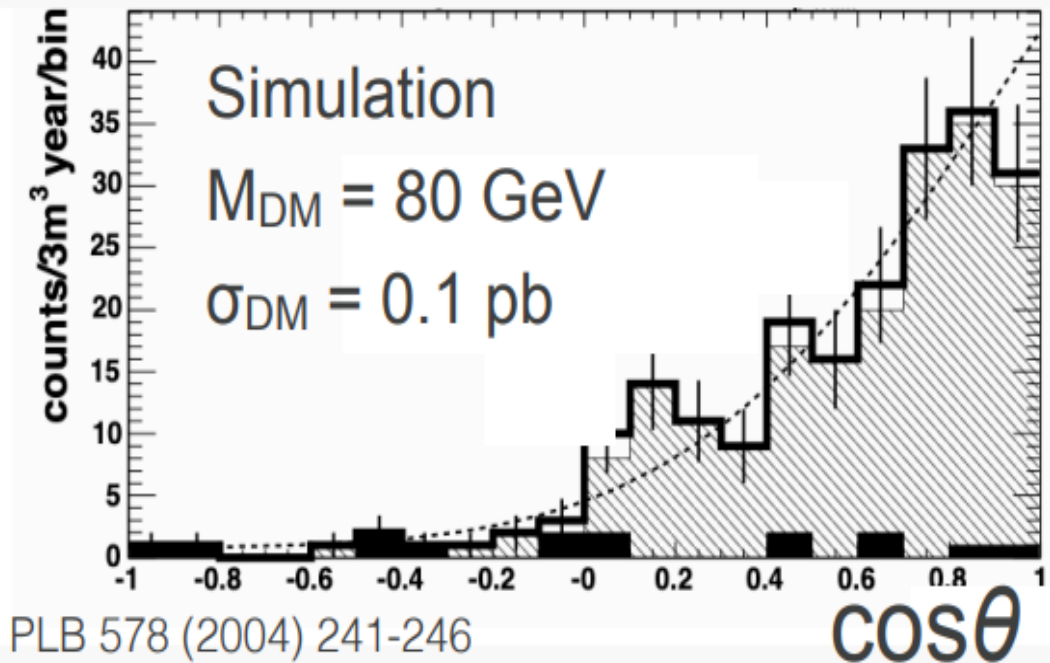
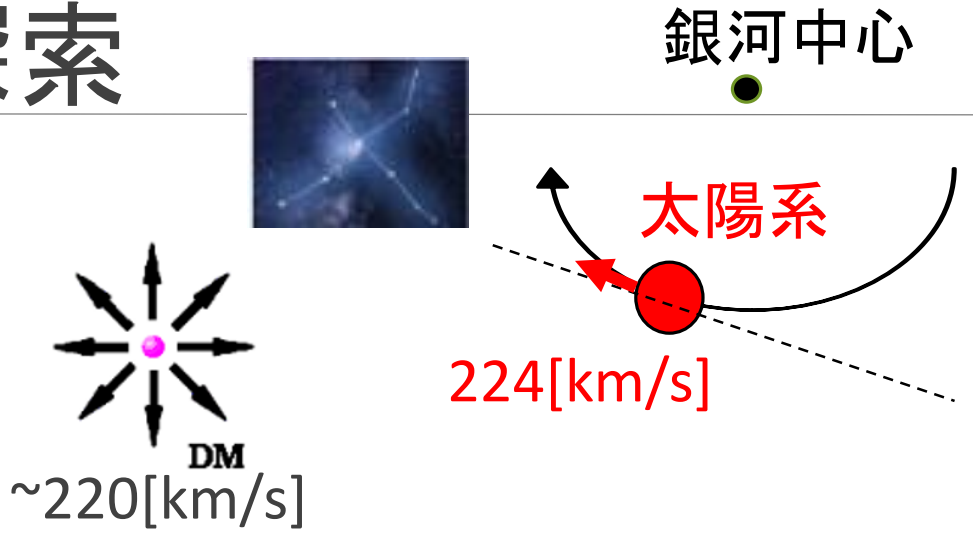
➤ WIMPsの運動が銀河に対して等方的であると仮定

➤ 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

➤ ガスTPC

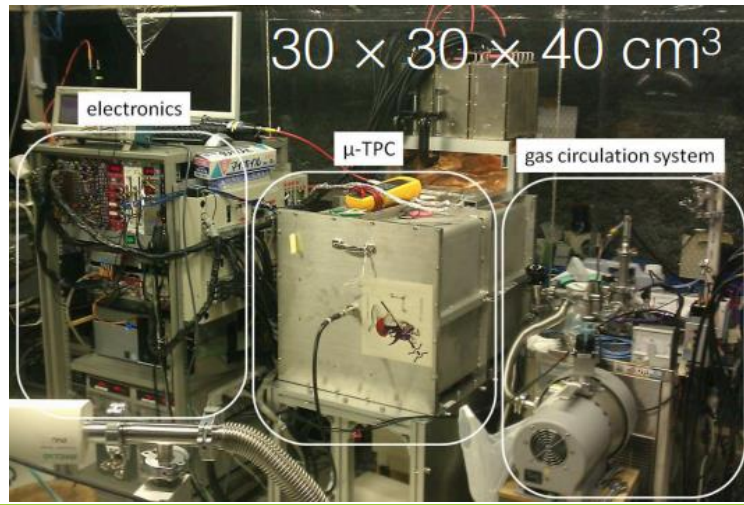
➤ DMとガス中の原子核が反跳，飛跡にそってガスが電離される

➤ 電場に従い電子/陰イオンがドリフトされる

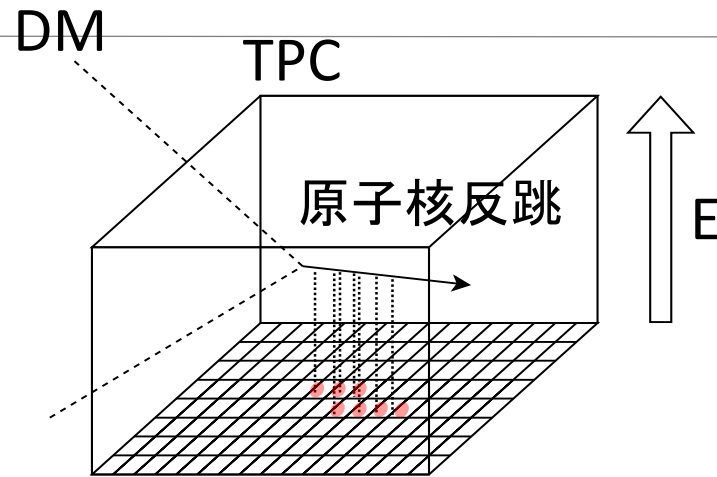
➤ 30 cm*30 cm*40 cmの検出器が稼働中@神岡

➤ CF₄ 76 Torr

➤ ~1 m³の検出領域の大型検出器：C/N-1.0を開発中@神戸

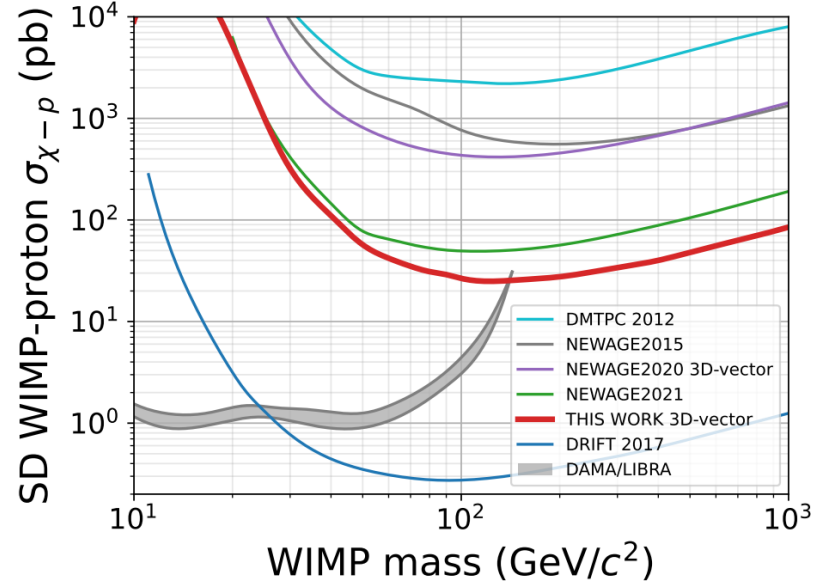


← 運転中の検出器



▲ ガスTPCの検出原理

*arXiv:2301.04779



▲ NEWAGE実験による制限曲線*

開発中の大型TPC

➤ C/N-1.0

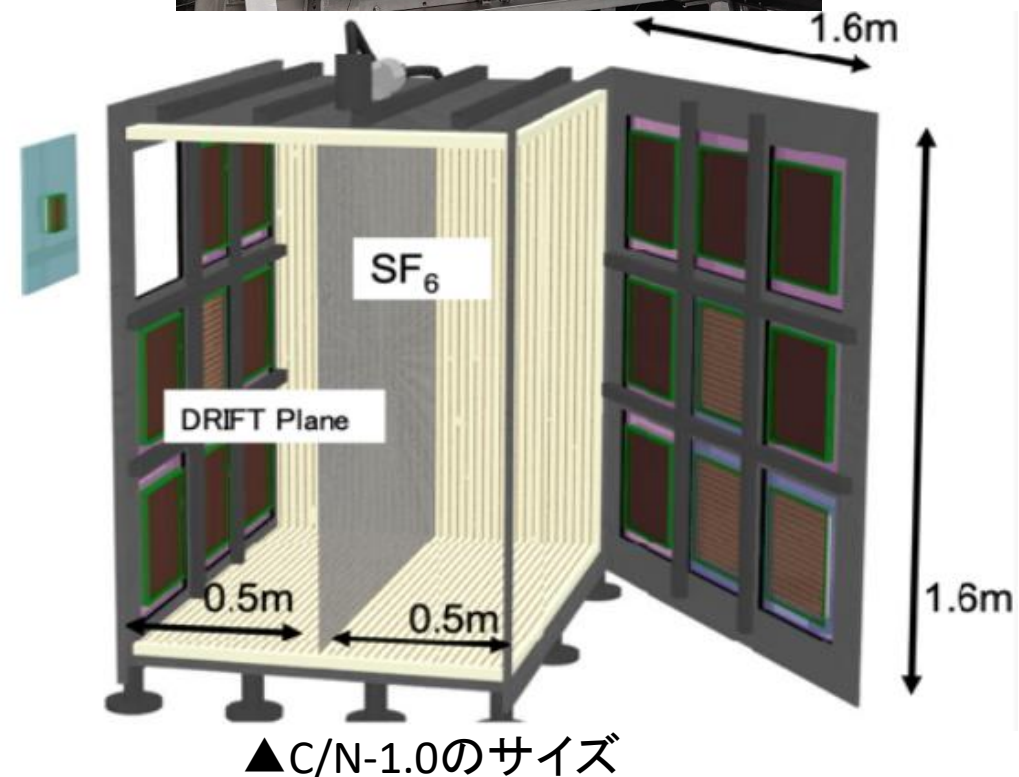
➤ 検出領域 $\sim 1 \text{ m}^3$

➤ 読み出し面積 $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 9 \text{ 枚} \times 2 \text{ 面}$, ドリフト領域 50 cm

➤ 低圧 SF_6 ガスまたは低圧 CF_4 ガス

➤ 18ヶのモジュール検出器

➤ 導入予定のモジュール0号機を開発 : Module-0



Module-0

➤ Module-0

➤ 30 cm角

➤ 8 chのAnode Pad で読み出し

➤ Anode Padに対応した8短冊が並んだGEMを三枚用いたモジュール

➤ GEM間の距離 6 mm = GEM枠 4 mm + スペーサー 2 mm

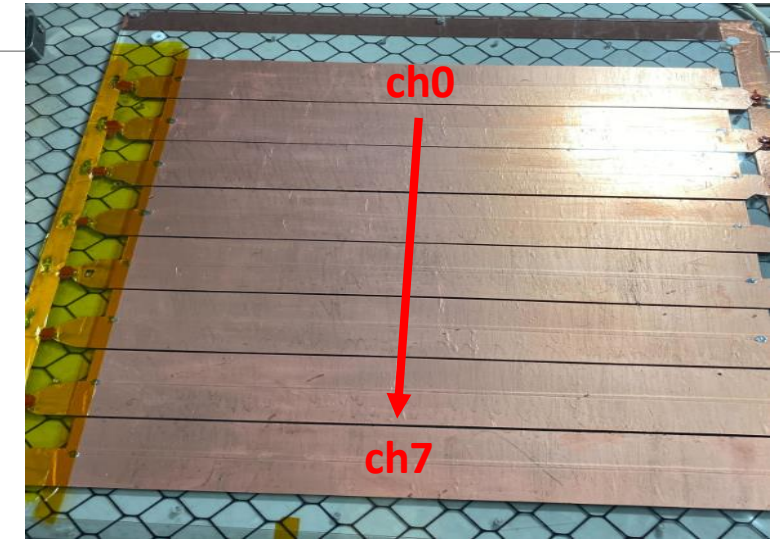
➤ GEM(Gas Electron Multiplier)

➤ 厚さ100 μm , 140 μm 間隔で直径70 μm の穴

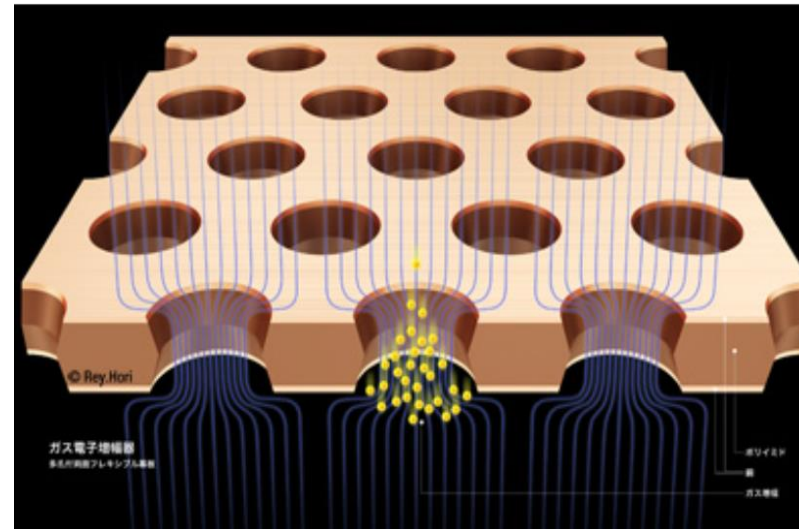
➤ 両側の電極に異なる電圧を印加

➤ 強い電場を生成, 雪崩増幅を起こす

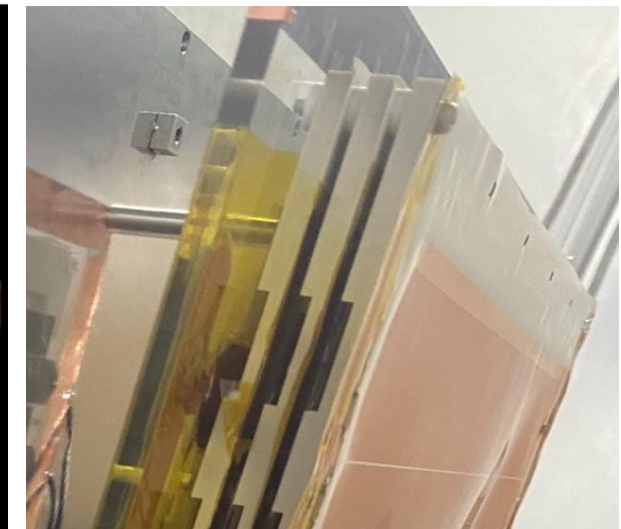
▼ Anode Pad



▼ GEM



▼ GEMを重ねている様子



モジュール型検出器の性能評価

➤ 試験用のチェンバーで性能評価

➤ ^{55}Fe 線源からのX線(5.9 keV)を用いた

➤ 信号・スペクトル取得, 分解能測定

➤ ΔGEM 依存のゲインカーブ取得

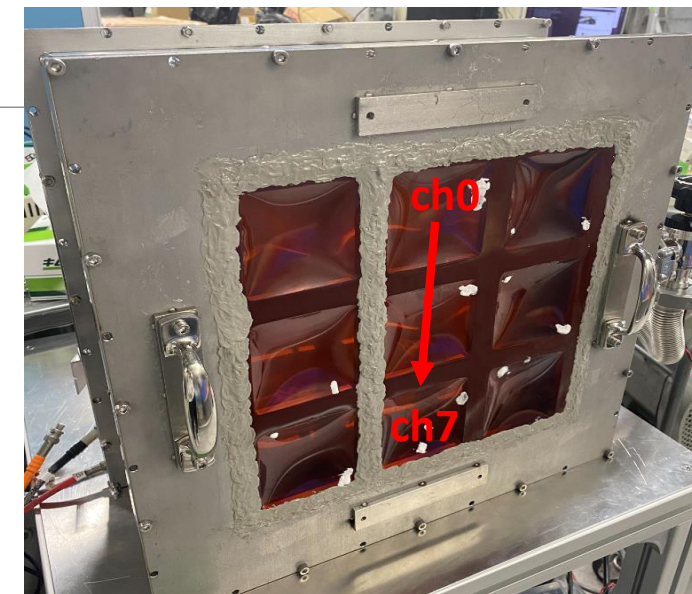
➤ Transfer/Induction電圧依存のゲインカーブ取得

➤ ゲインマップ取得

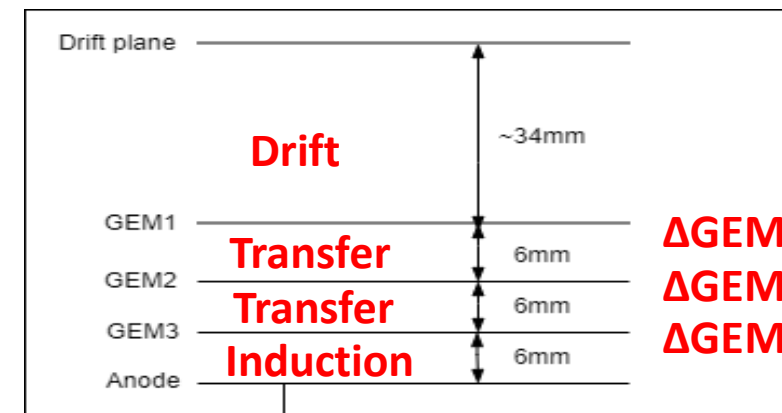
➤ CF_4 を用いた場合のModule-0の動作電圧を決定

➤ 現行の検出器のゲイン : **1000~2000**目標

➤ CF_4 76 Torr(論文, 学会発表[JPS2021秋 14aV2-7 東野]), 152 Torr



▲試験用チェンバー



▲チェンバー断面図

動作実験：エレクトロニクス

➤ チャージアンプ：ORTEC 142

➤ 1V/pC

➤ シェイパーアンプ

➤ ゲイン：20

➤ shaping time：5 μ S

➤ MCA：データ取得

➤ 1 V：10 bit

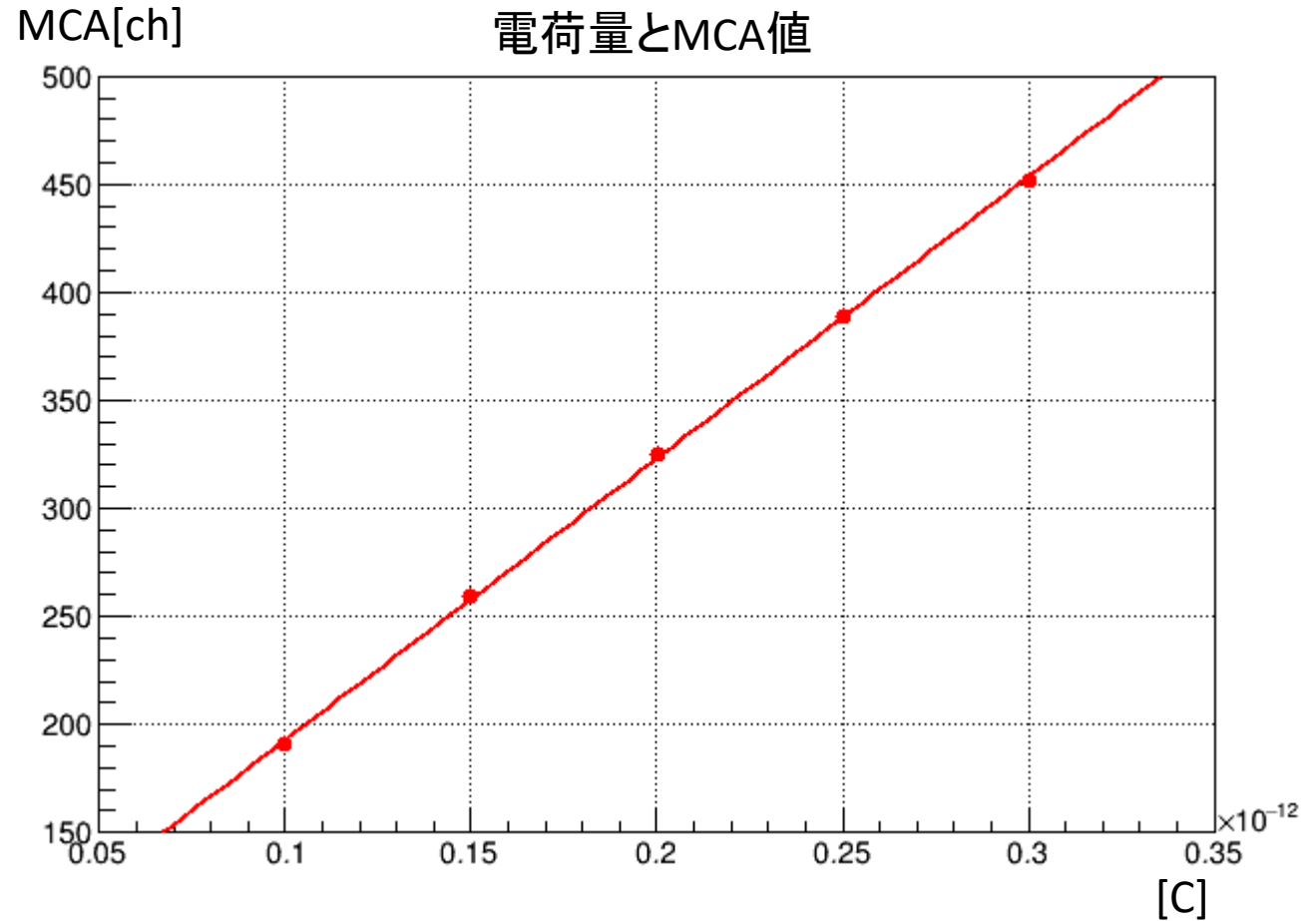


動作実験：テストパルスを用いたMCAの較正

➤ テストパルス

➤ 1 pFのコンデンサを介してパルスジェネレーター を出力

➤ $C_{in}[C] \sim (MCA[ch]-62.4) \times 10^{-15}$

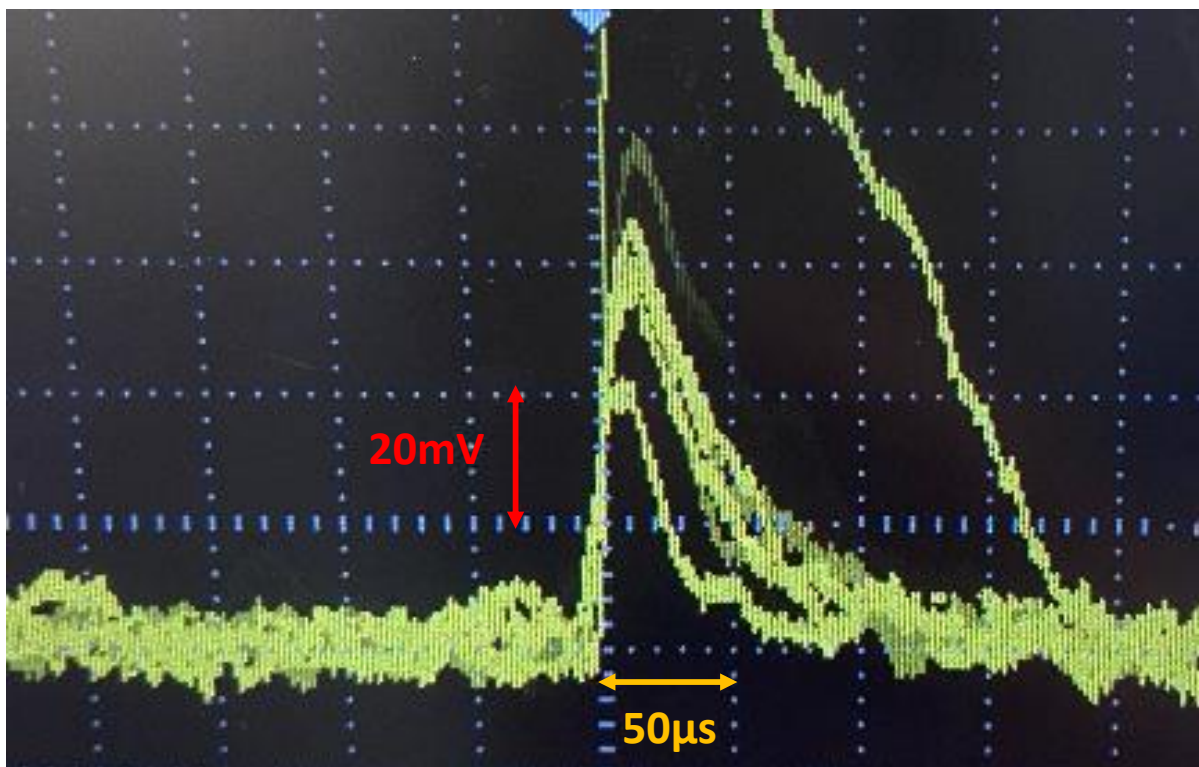


動作実験： ^{55}Fe の信号取得

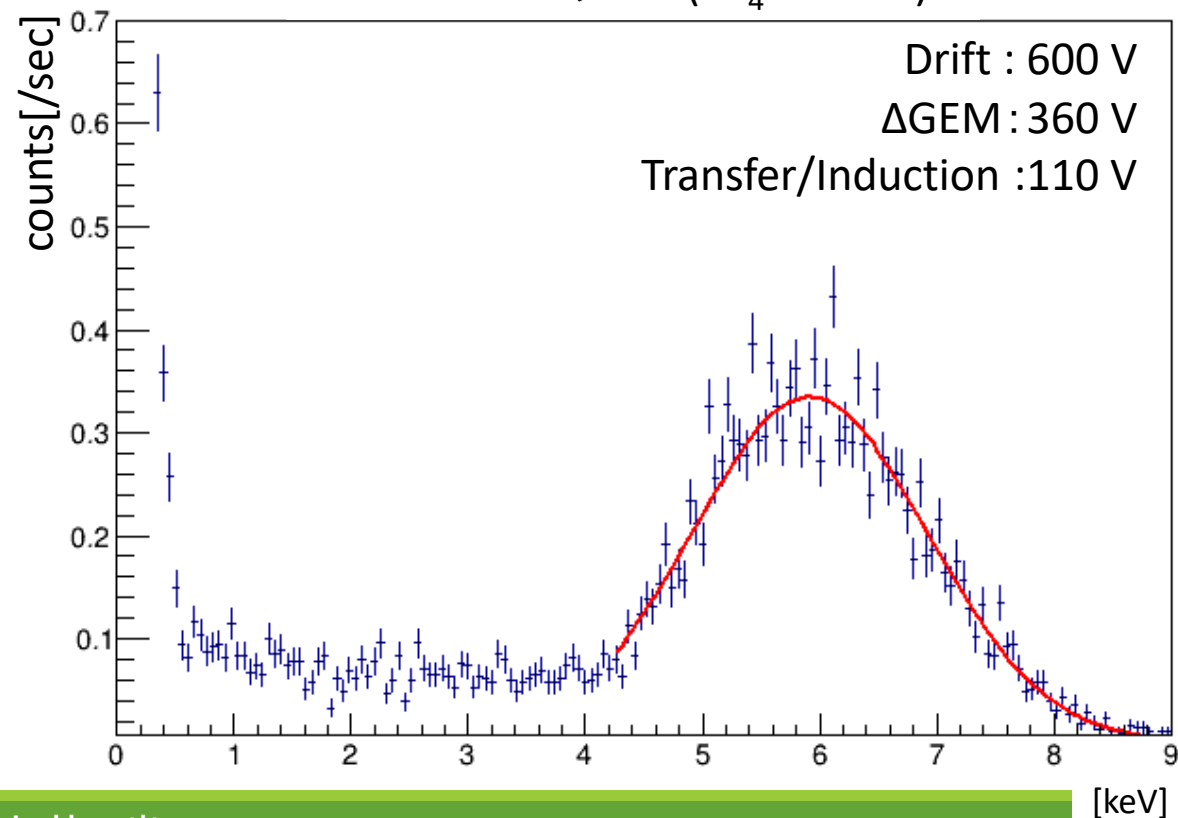
➤ CF_4 での ^{55}Fe (5.9 keV X線)線源による信号を取得

➤ 分解能 : 35.95 %(FWHM)

▼ ^{55}Fe の信号(CF_4 152 Torr)



▼ ^{55}Fe のスペクトル(CF_4 76 Torr)

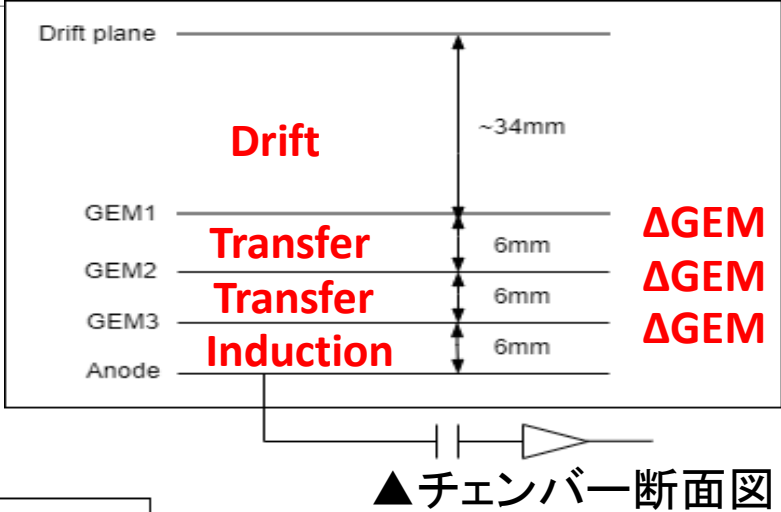


動作実験： Δ GEM依存のゲインカーブ

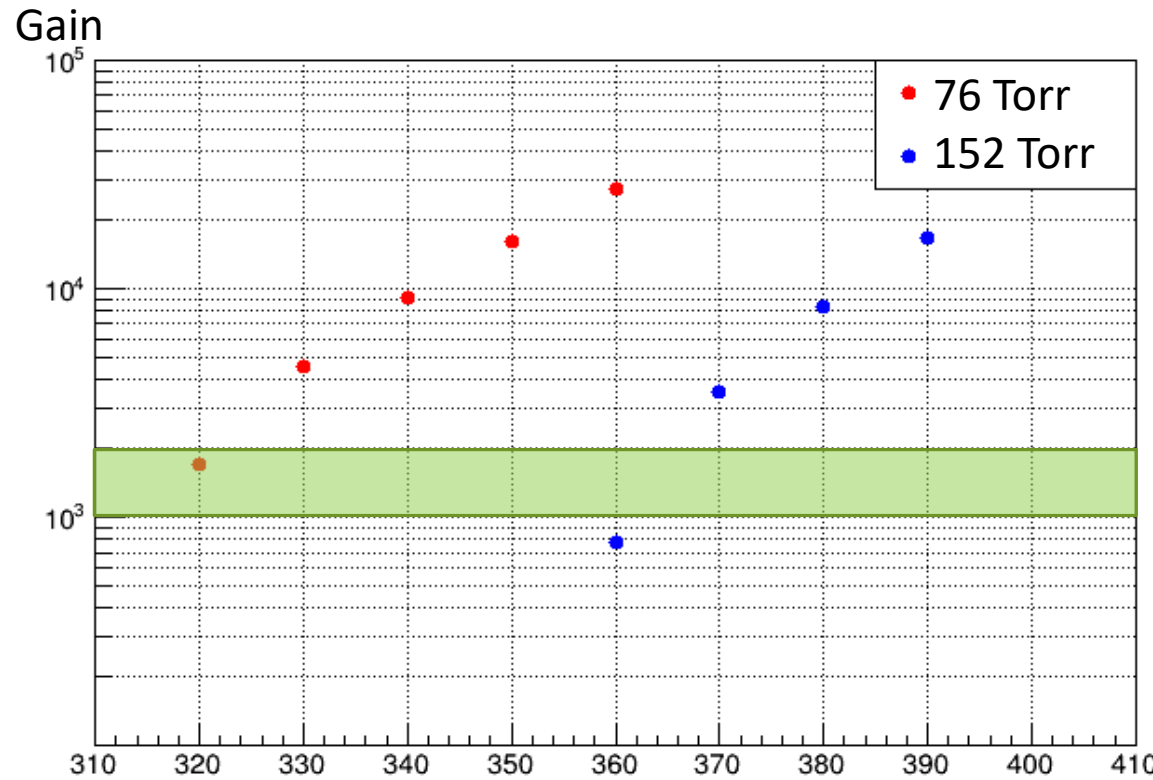
➤ CF_4 76 Torr/152 Torrでの Δ GEM依存性

➤ *NEWAGE地下測定： CF_4 76 Torrを使用

➤ 目標ゲイン：1000~2000 を十分に達成



Δ GEM依存性



Drift : 600 V
Transfer/Induction : 120 V

動作実験：Transfer/Induction依存のゲインカーブ

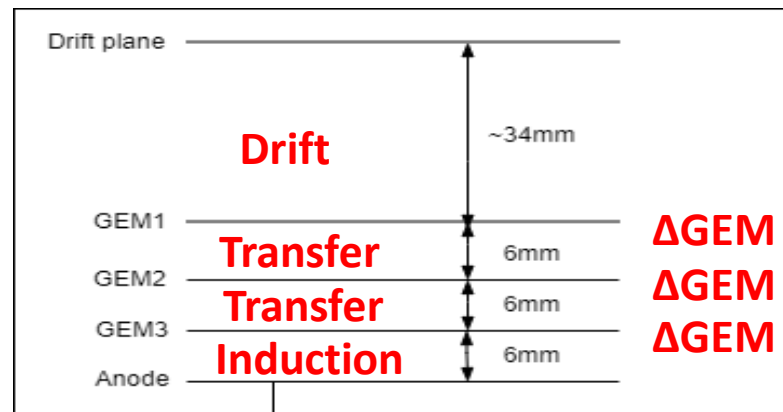
➤ CF_4 76 Torr/152 TorrでのTransfer/Induction依存を測定

➤ GEMで増幅された電子を上段から下段に移動させるための電場を形成

➤ 目標ゲイン：1000~2000 を十分に達成

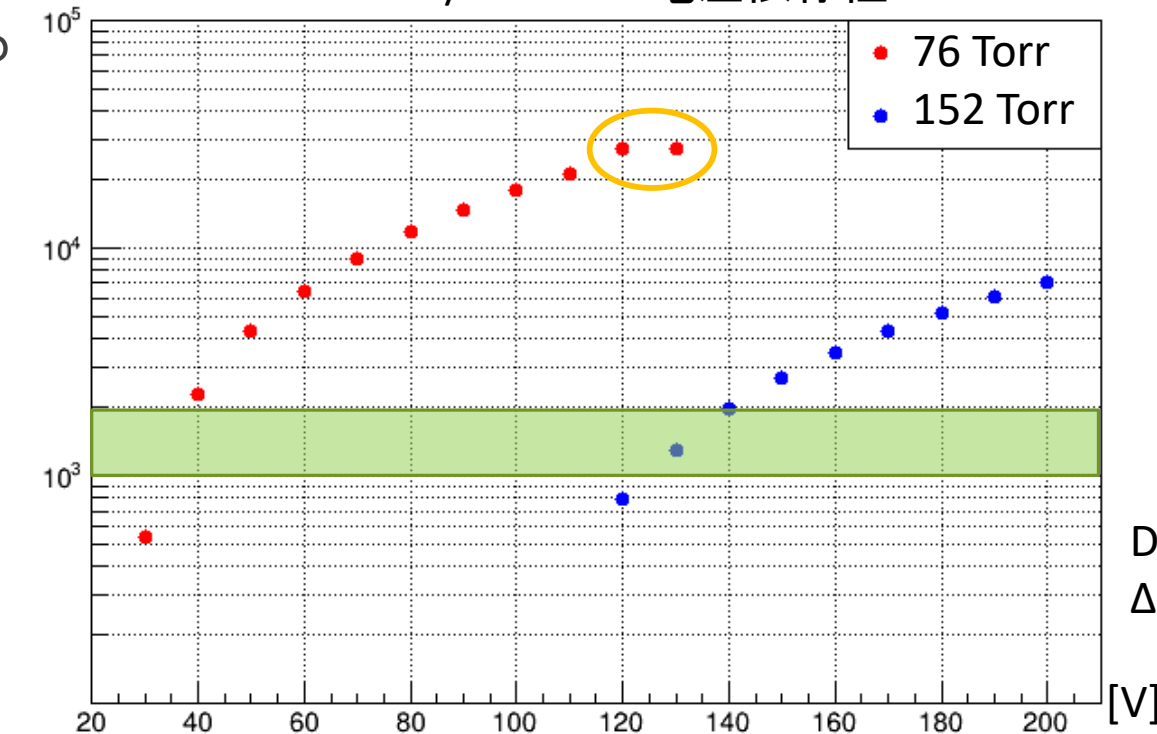
➤ プラトーになっている様子が見える

➤ 増幅した電子が十分に検出できている



▲ チェンバー断面図

Gain Transfer/Induction電圧依存性



Drift : 600 V
 Δ GEM : 360 V

動作実験：ゲインマップ

➤ チャンネルごとのゲインの違い

➤ チャンネル0のゲインに対する比で表示

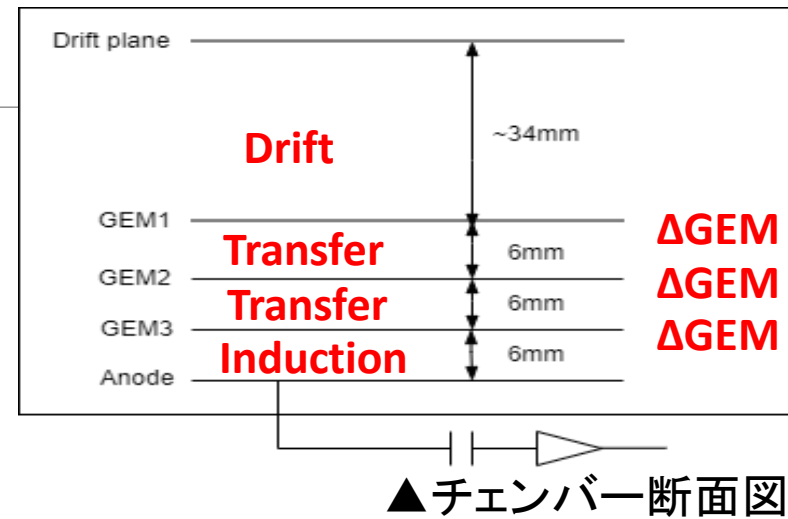
➤ ^{55}Fe 線源を各チャンネルのAnode Pad上に設置して測定

➤ チャンネル5はGEM導通のため故障中

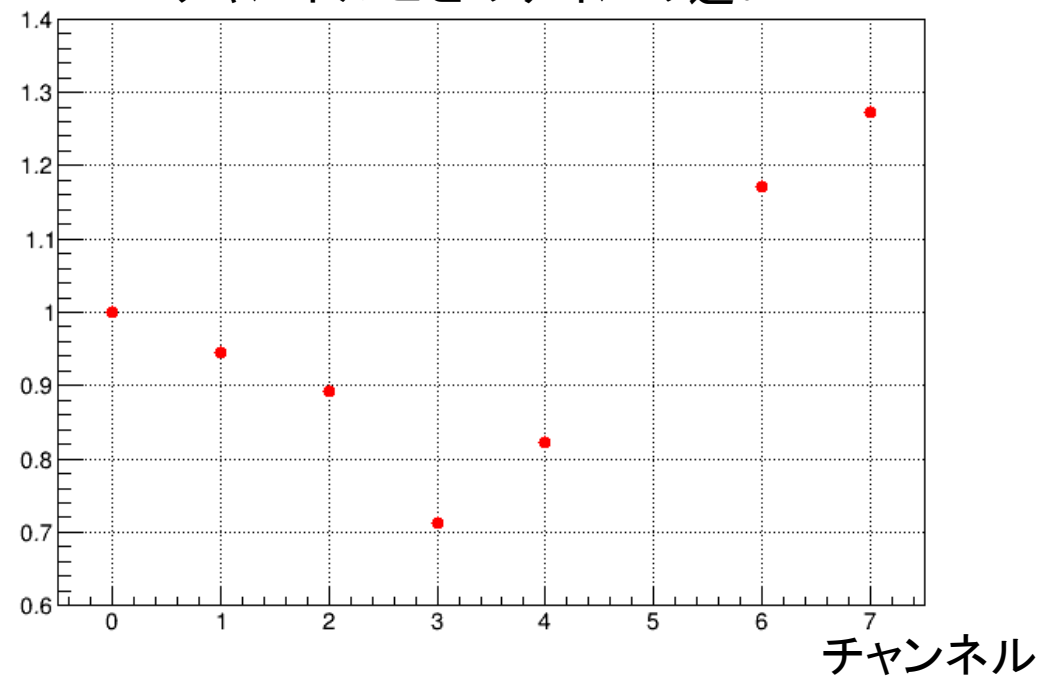
➤ GEMのたるみによってGEM間の距離が変化している可能性

➤ Transfer/Induction電場が変化する

➤ 原因は調査中



相対ゲイン チャンネルごとのゲインの違い



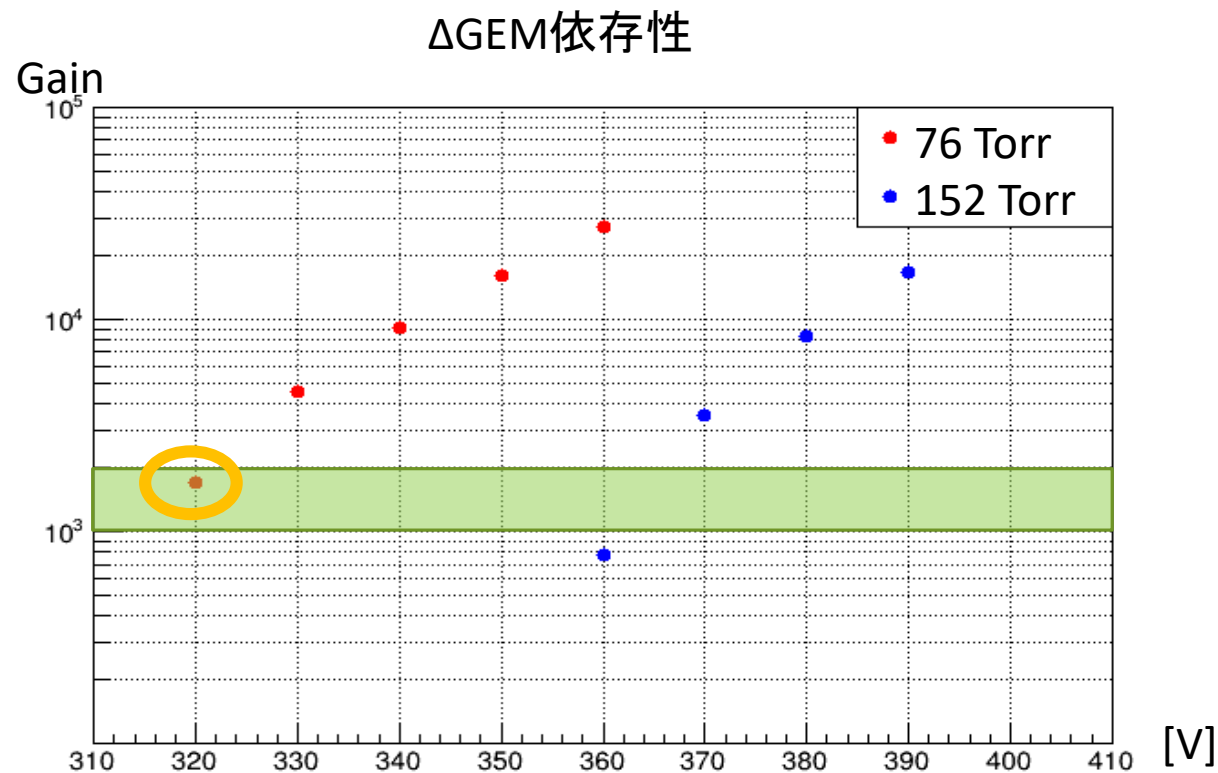
Drift : 600 V

ΔGEM : 360 V

Transfer/Induction : 120 V

動作実験：結果

- 30 cm角のモジュール型検出器が低圧CF₄ガスで動作することを確認した
- 現行の検出器のゲイン：**1000~2000**を達成するための電圧を決定した
- 十分なTransfer/Induction電圧：120 V (プラトーに達する程度)
- CF₄ 76 Torr : ΔGEM=320 V程度が最適



展望・まとめ

➤ 展望

- バックグラウンドモニター
 - Rn由来の α 線(~6 MeV) -> バックグラウンド測定
 - 適切なゲインで動作させることで測定可能
- SF₆ 20 Torr ~ 120 Torr での測定
- 多チャンネル読み出し
- C/N-1.0に導入/実験
 - CF₄ 76 Torrにおいて, Drift : ~ 9 kV
 - 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
 - ⁵⁵Fe線源を用いて5.9 keV X線の信号取得
 - CF₄ 76 Torr, 152 Torrに関して Δ GEM依存性, Transfer/Induction電圧依存性を測定
 - チャンネルごとのゲインを測定