



大型ガスTPCのための モジュール型検出器の動作実験

2023/2/20 ICEPPシンポジウム

神戸大学 M1大藤瑞乃



大型ガスTPCのための モジュール型検出器の動作実験 など, 大型ガスTPCのための研究

2023/2/20 ICEPPシンポジウム

神戸大学 M1大藤瑞乃

目次

- 概要
- イントロダクション
 - 暗黒物質の直接探索
 - NEWAGE実験
 - 開発中の大型検出器
- ガス不純物フィルターについての研究
- 電場の一様性についての研究
- モジュール型検出器の動作実験
- まとめ

目次

- **概要**
- インTRODクシヨン
 - 暗黒物質の直接探索
 - NEWAGE実験
 - 開発中の大型検出器
- ガス不純物フィルターについての研究
- 電場の一様性についての研究
- モジュール型検出器の動作実験
- まとめ

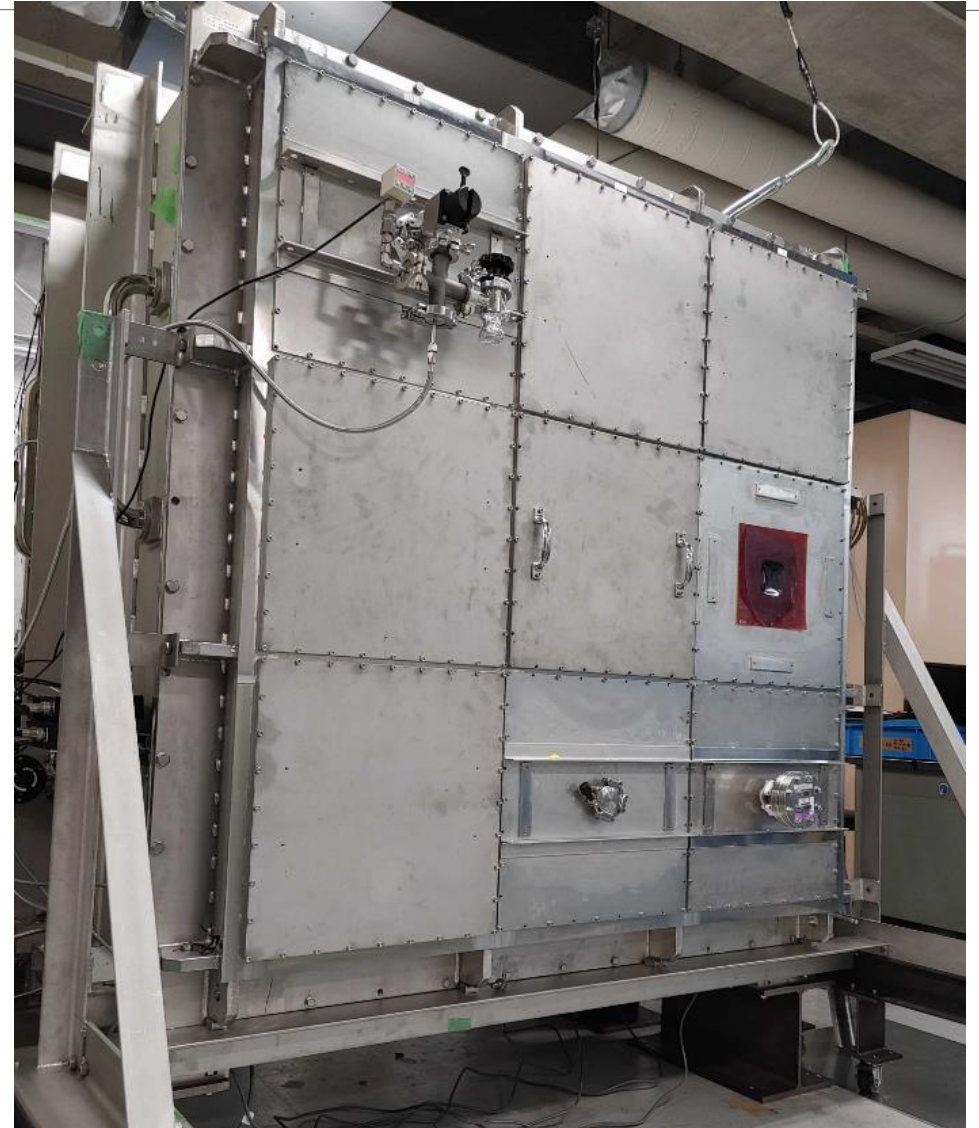
概要

➤ NEWAGE実験

- 方向に感度を持つ暗黒物質の直接探索
- 大型TPCを開発中

➤ 大型TPCのための研究

- ガス不純物フィルター
- 電場の一様性
- モジュールの動作確認



▲開発中の大型検出器

目次

- 概要
- **イントロダクション**
 - 暗黒物質の直接探索
 - NEWAGE実験
 - 開発中の大型検出器
- ガス不純物フィルターについての研究
- 電場の一様性についての研究
- モジュール型検出器の動作実験
- まとめ

イントロダクション

➤ 暗黒物質(DM)

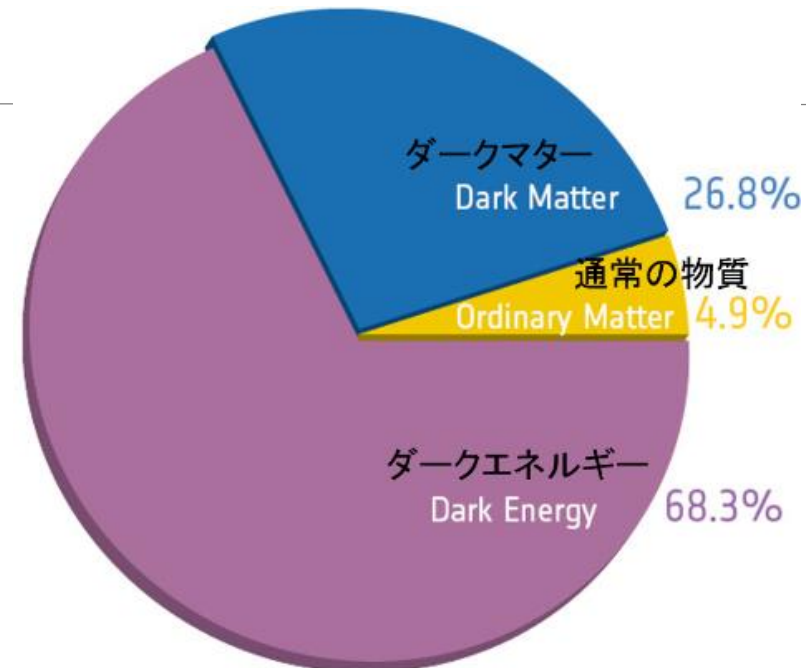
➤ 光で観測することができない物質

➤ WIMPs : Weakly Interacting Massive Particles

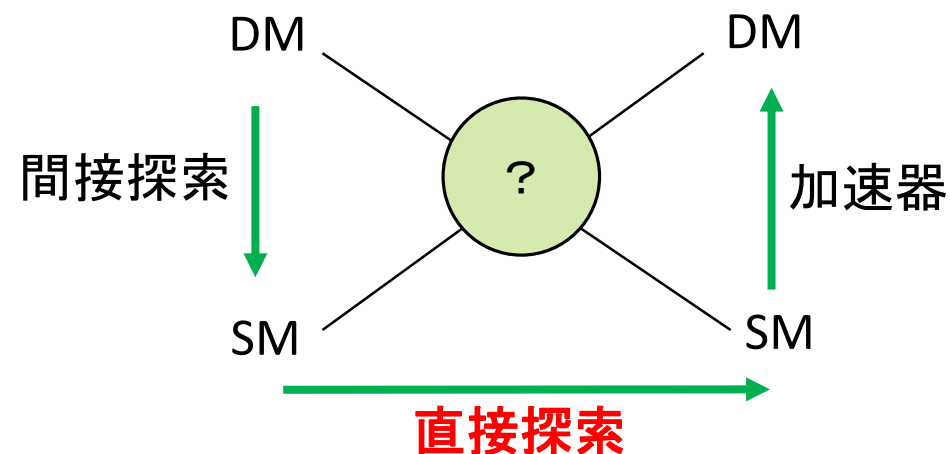
➤ DMの候補

➤ 暗黒物質の直接探索

➤ 標準理論(SM)粒子とDMが直接相互作用する事象を探索

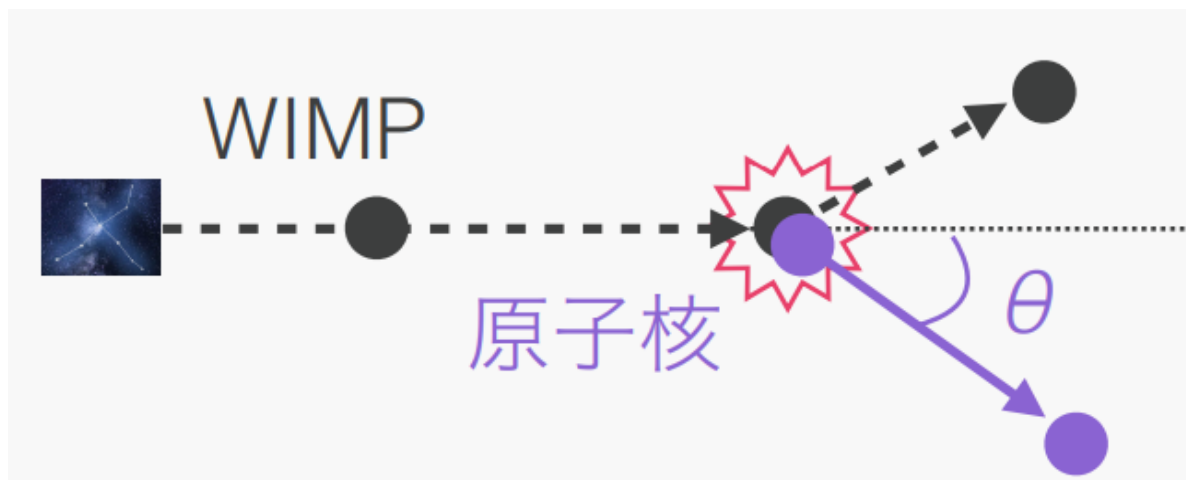
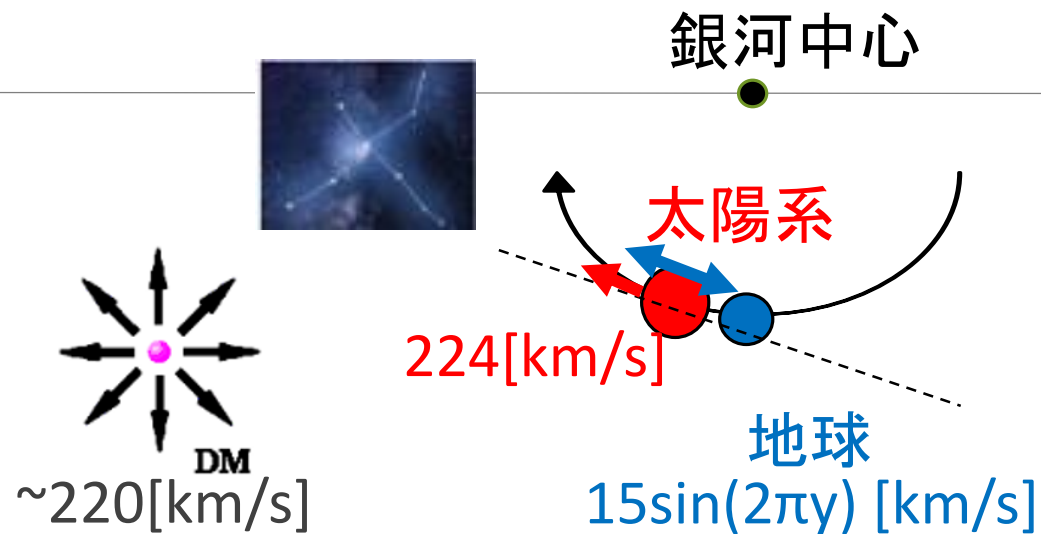


▲ 宇宙全体のエネルギー密度

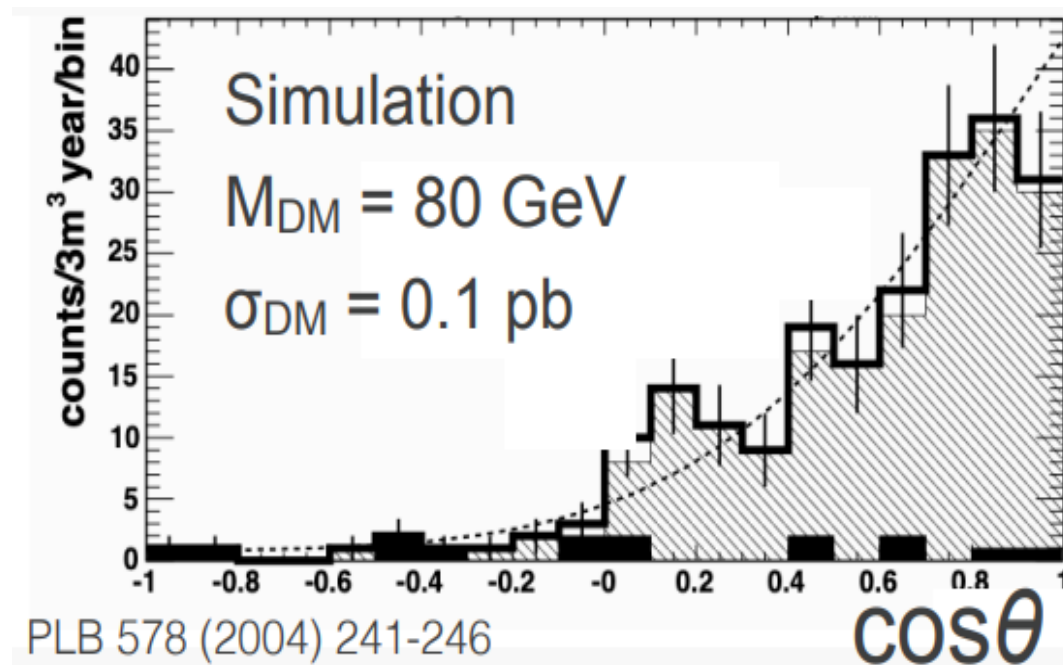


イントロダクション

- 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
 - DM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
 - DM発見の確実な証拠となる



▲ WIMPと原子核の反跳の様子

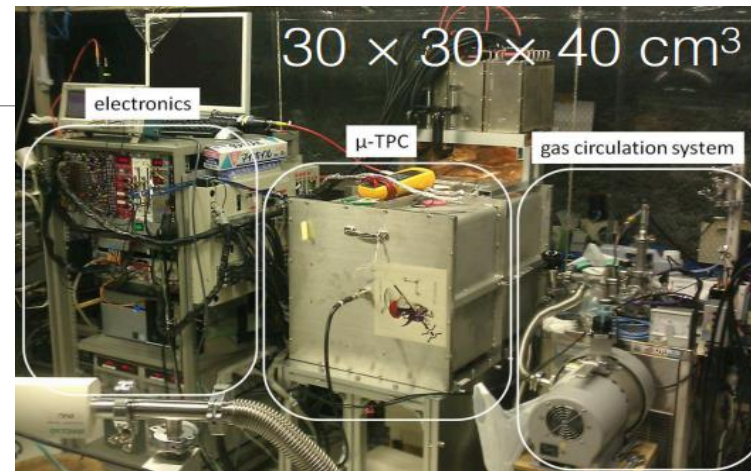


▲ 反跳角の分布

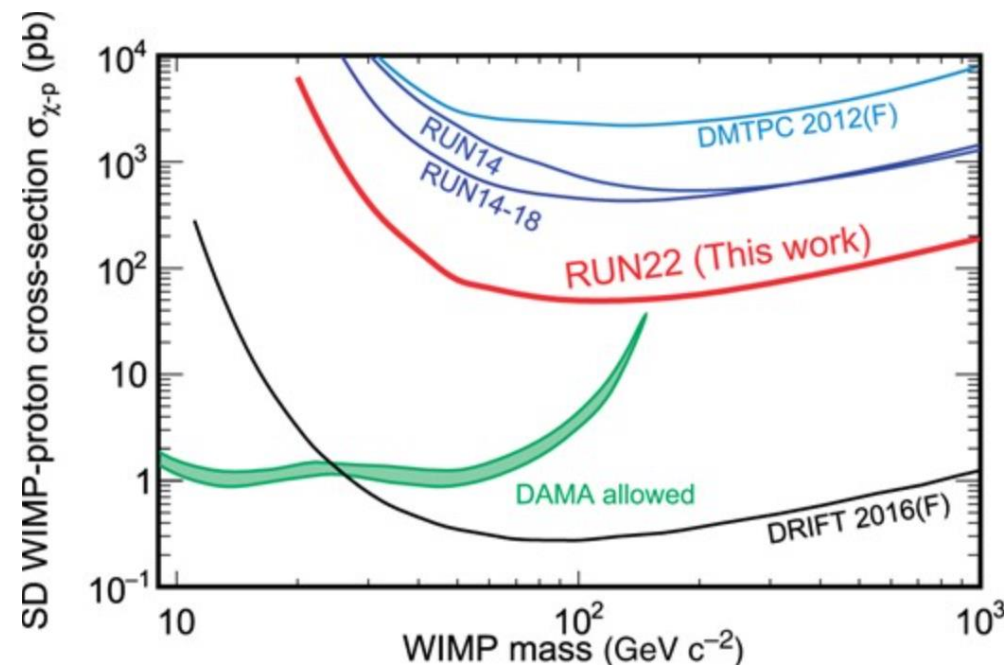
イントロダクション

➤ NEWAGE実験

- 方向に感度を持つ暗黒物質の直接探索
- 30 cm × 30 cm × 40 cmの検出器が稼働中@神岡
- 1m³の大型検出器を開発中



▲ 運転中の検出器



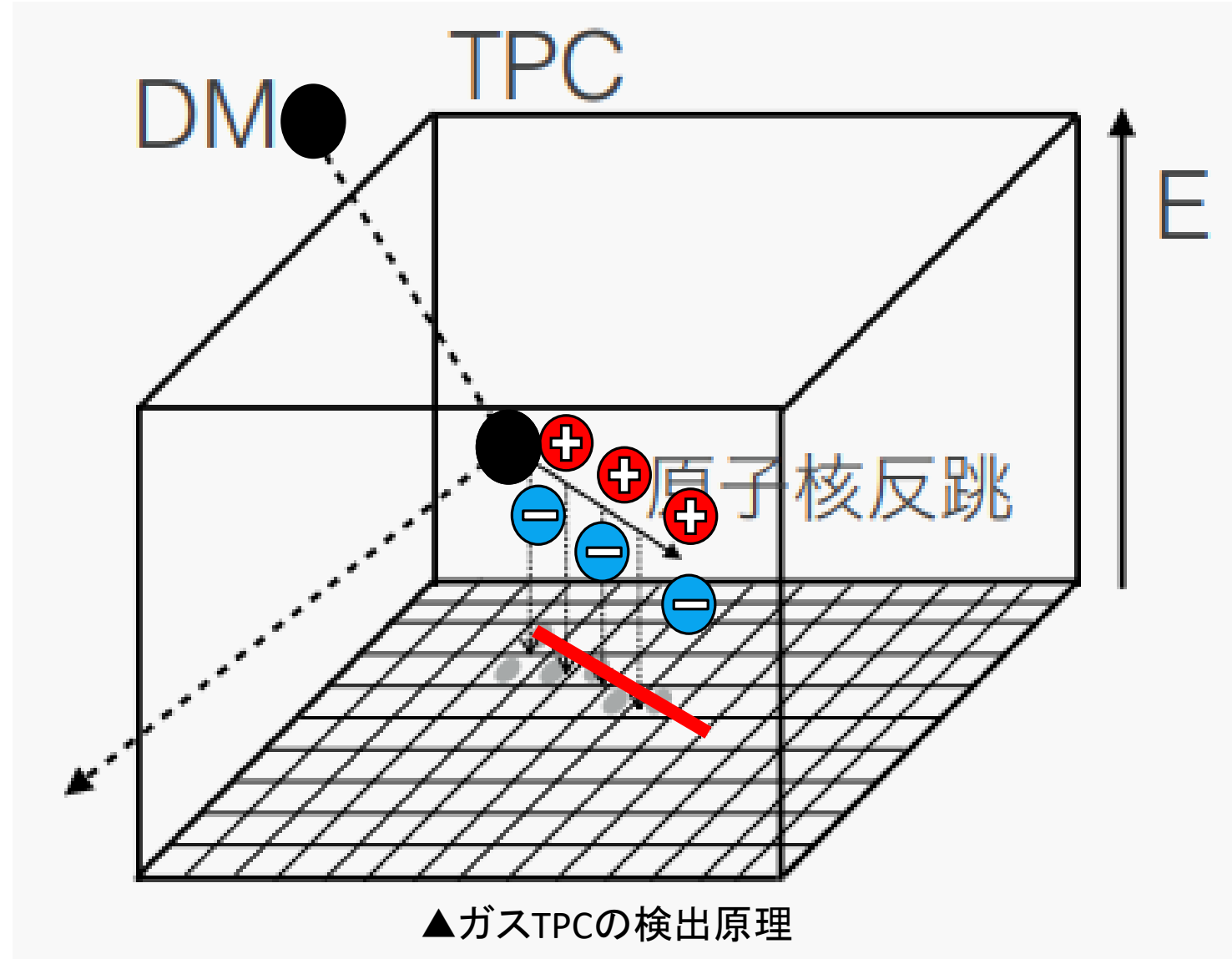
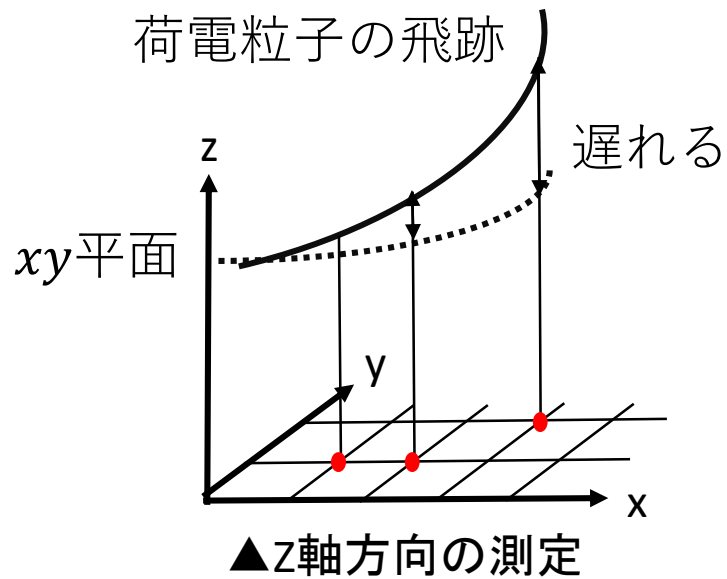
▲ NEWAGE実験による制限曲線*

*PTEP 2021 (2021) 6, 063F01

ガスTPC

➤ ガスTPCの検出原理

- DMとガス中の原子核が反跳
- 原子核の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



NEWAGE実験での検出器

➤ ガスTPC

➤ GEM + μ -PICで増幅

➤ GEM

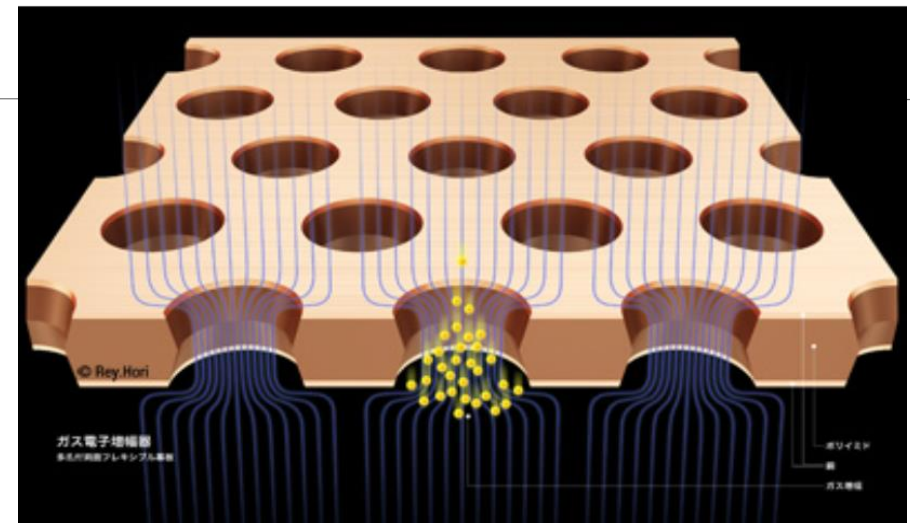
➤ 厚さ100 μm , 140 μm 間隔で直径70 μm の穴

➤ 両側の電極に異なる電圧を印加することで強い電場を生成, 雪崩増幅を起こす

➤ μ -PIC

➤ アノード近傍の強い電場によりさらに増幅

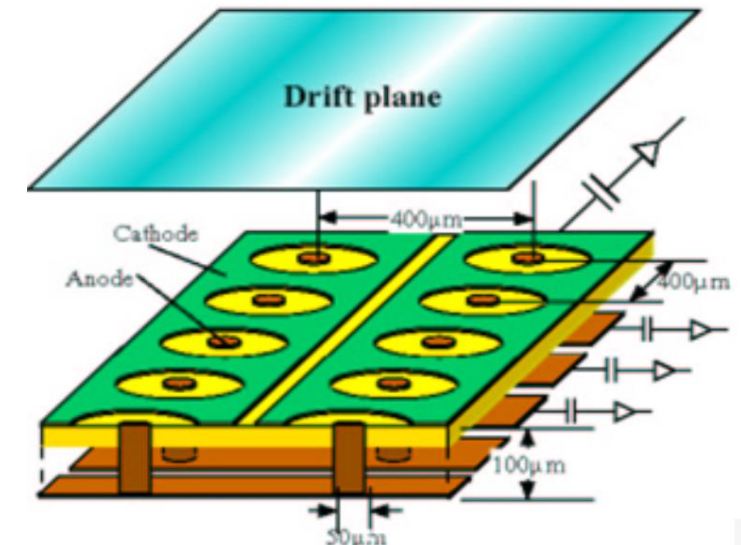
➤ 400 μm ピッチのストリップで2次元読み出し



▲ GEM

▼ μ -PIC

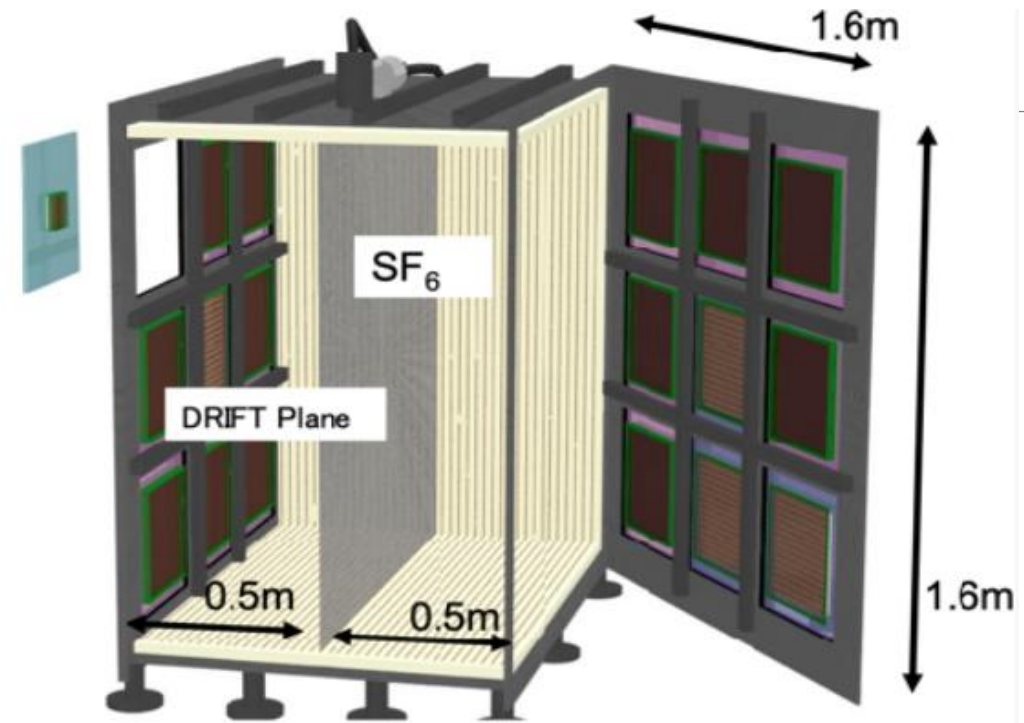
Micro Pixel Chamber



開発中の大型検出器

➤ 検出器詳細

- 検出領域 $\sim 1 \text{ m}^3$
- 低圧SF₆ガス
- 電極枠にアクリルを使用
- 18ヶのモジュール検出器



▲大型検出器のサイズ



▲電極枠のアクリル

目次

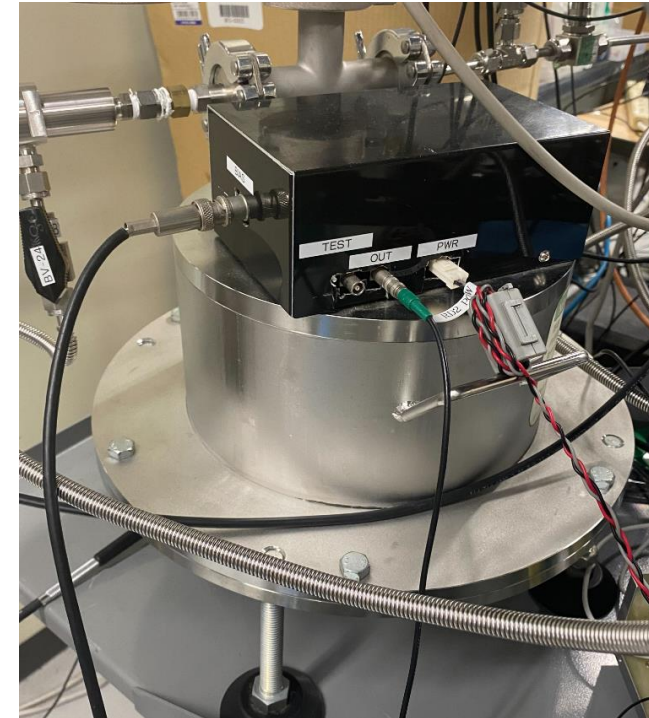
- 概要
- イン트로ダクション
 - 暗黒物質の直接探索
 - NEWAGE実験
 - 開発中の大型検出器
- **ガス不純物フィルターについての研究**
- 電場の一様性についての研究
- モジュール型検出器の動作実験
- まとめ

ガス不純物フィルター

- 予想される不純物
 - H₂O: 2500 ppm以下を要請
 - SF₆ガスの挙動に影響
 - 大気中の水分がアクリル表面に付着, 時間経過で放出される
 - 露点計で測定
 - 20 Torrでは19000 ppmまで測定可能
 - ²²²Rn: ~0.1 mBq/m³以下を要請
 - 検出器内部表面などに付着
 - 娘核の²¹⁸Po, ²¹⁴Poが崩壊, α線を放出する
 - 静電捕集型Rn計で測定
 - 3.8 L



▲露点計

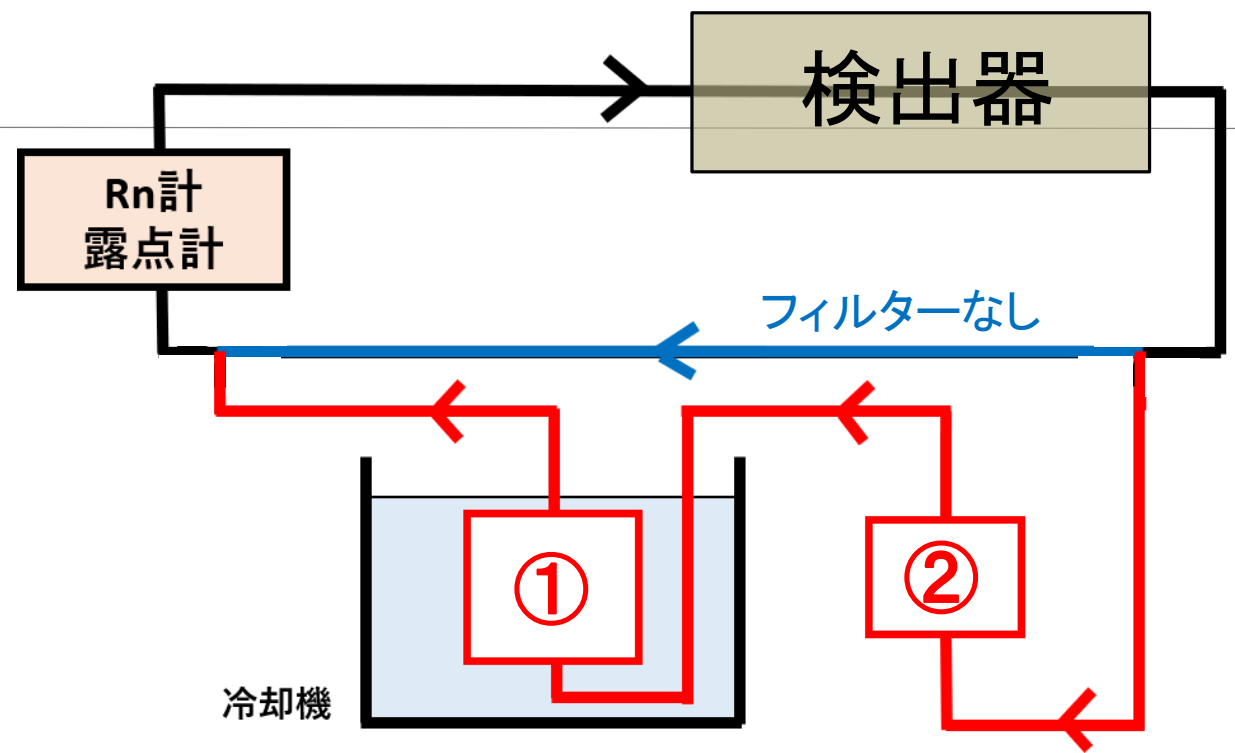


▲静電捕集型Rn計

ガス不純物フィルター

- 低BGゼオライト – 100 g : ①
 - 日本大学・小川さんが開発 2021年製造
 - Arガスに関しては冷却時²²²Rnを90%以上除去
 - 5Å(H₂O, Rnともに吸着)の格子構造

- ゼオラム – 0(10²) g : ②
 - 3Å(H₂Oのみ吸着)の格子構造
 - 1.40~2.36 mmの粒



▲ 低BGゼオライト: ①

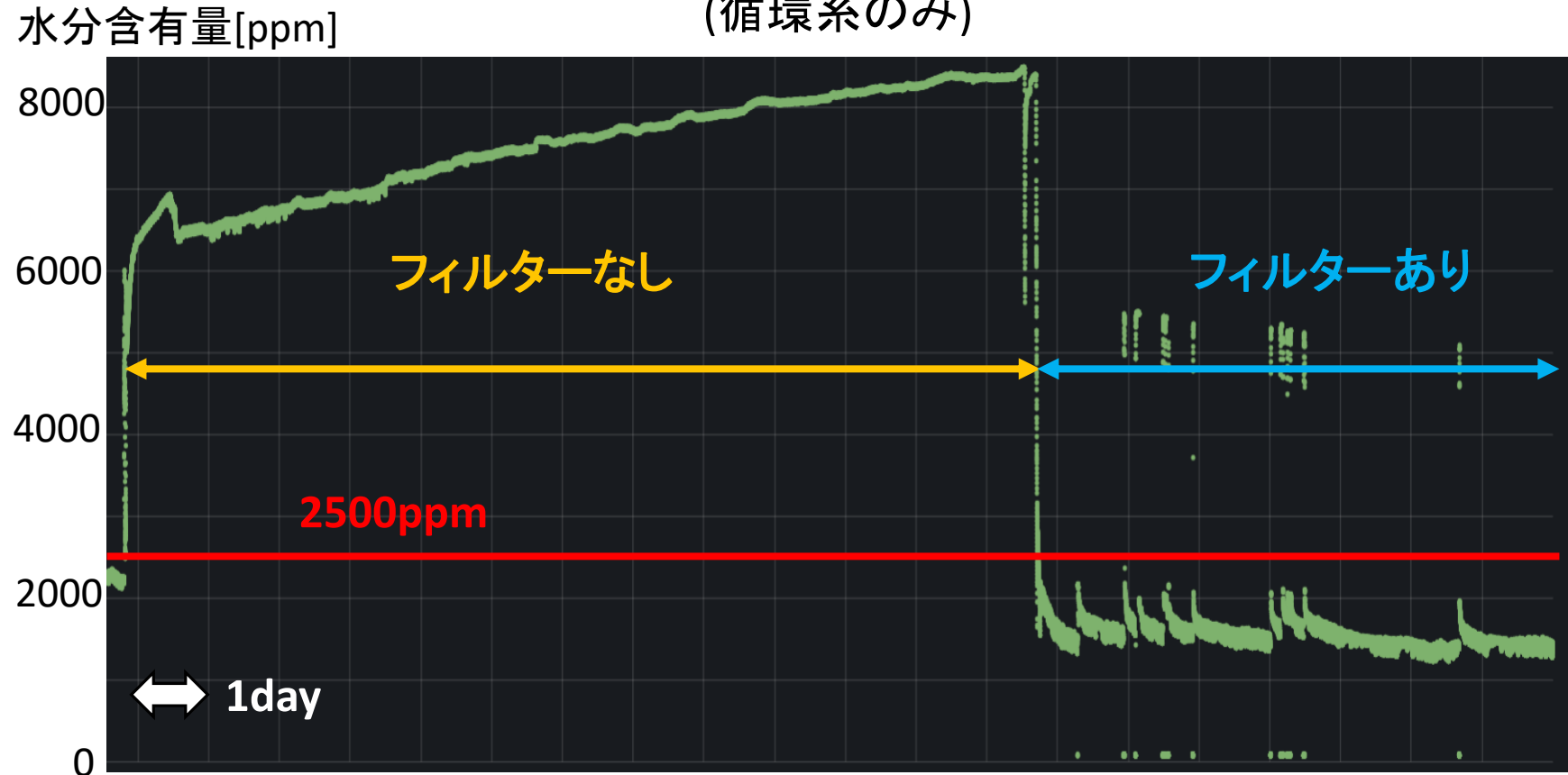


▲ ゼオラム: ②

ガス不純物フィルター

- H₂O : 2500 ppm以下を要請
- 循環系のみ
- 要請達成
- 検出器込み
- 要請達成
- 循環系のみと同程度

フィルターによる水分含有量の変化
(循環系のみ)



ガス不純物フィルター

➤ ^{222}Rn : $\sim 0.1 \text{ mBq/m}^3$ 以下を要請

➤ 循環系のみ

➤ フィルター不使用時の60%削減

➤ 検出器込み

➤ ^{214}Po : $< 0.94 \text{ counts/day (95\%CL)}$

➤ ^{218}Po : $0.75^{+0.73}_{-0.41} \text{ counts/day (1}\sigma)$

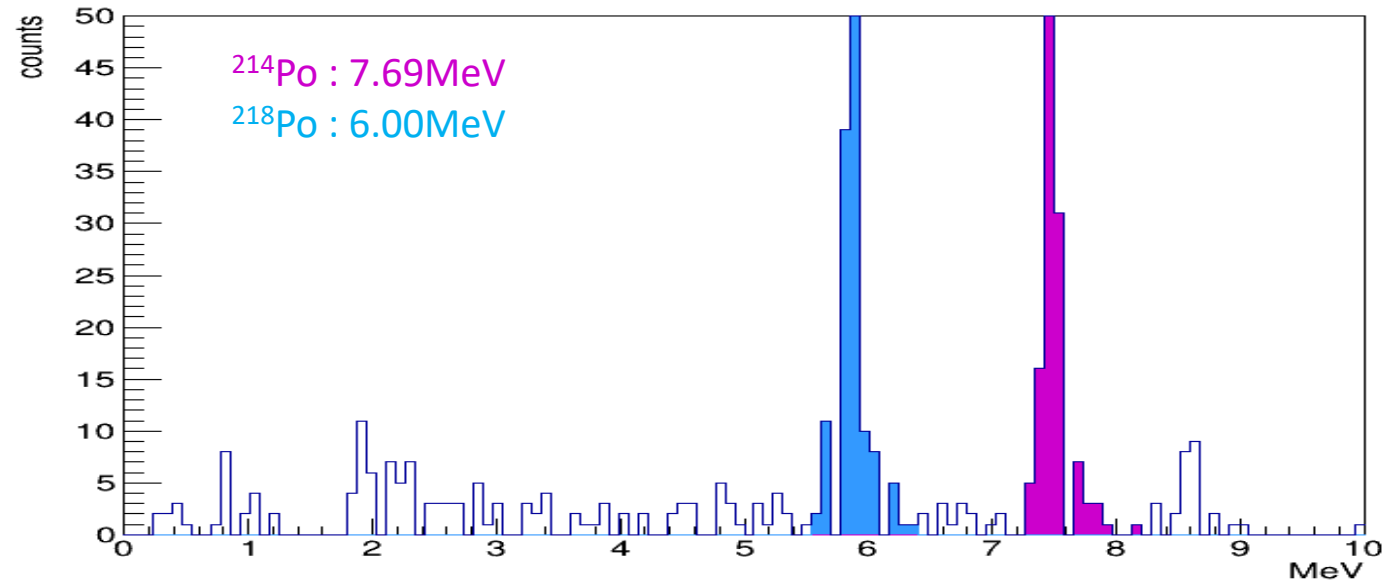
➤ 展望

➤ ^{222}Rn 検出量の絶対評価

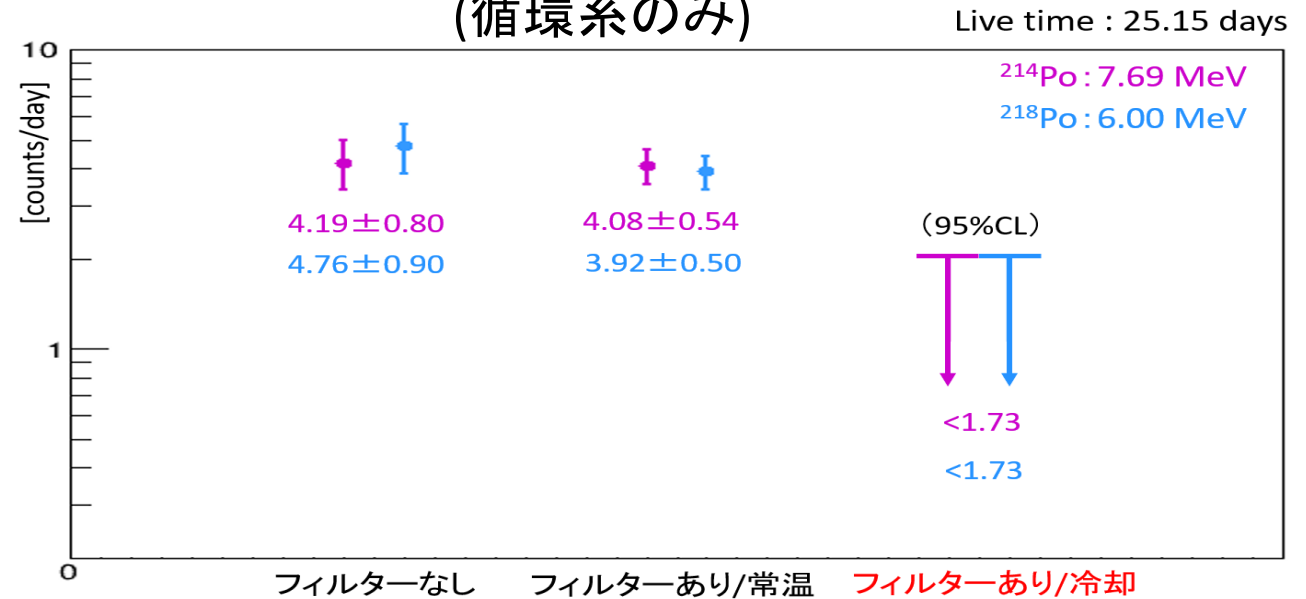
➤ 適切なフィルター量の決定

➤ 他のガス分子の絶対含有量

Poのエネルギースペクトル



フィルターによる ^{222}Rn 検出量の変化 (循環系のみ)



RGA

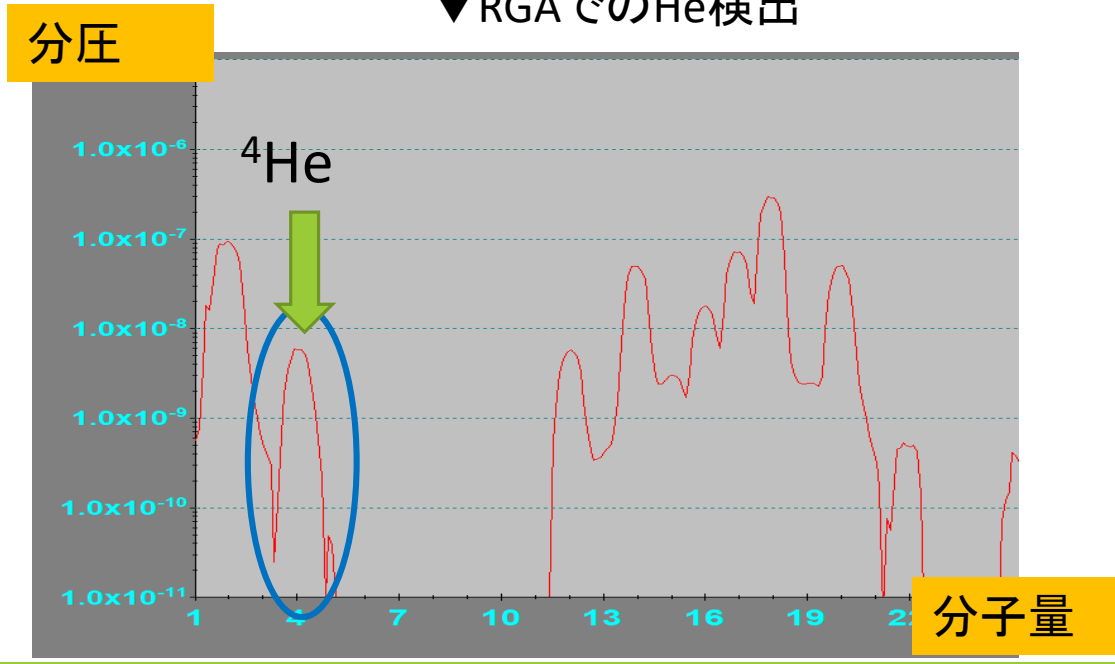
- RGA: 循環系内のガス不純物を調べる
 - RGA – Residual Gas Analyzer
 - 真空状態に含まれる残留ガスを分圧で測定
 - 真空引きしつつ少しだけ流入させて測定する
 - 時間変化を確認できる



▲ RGA



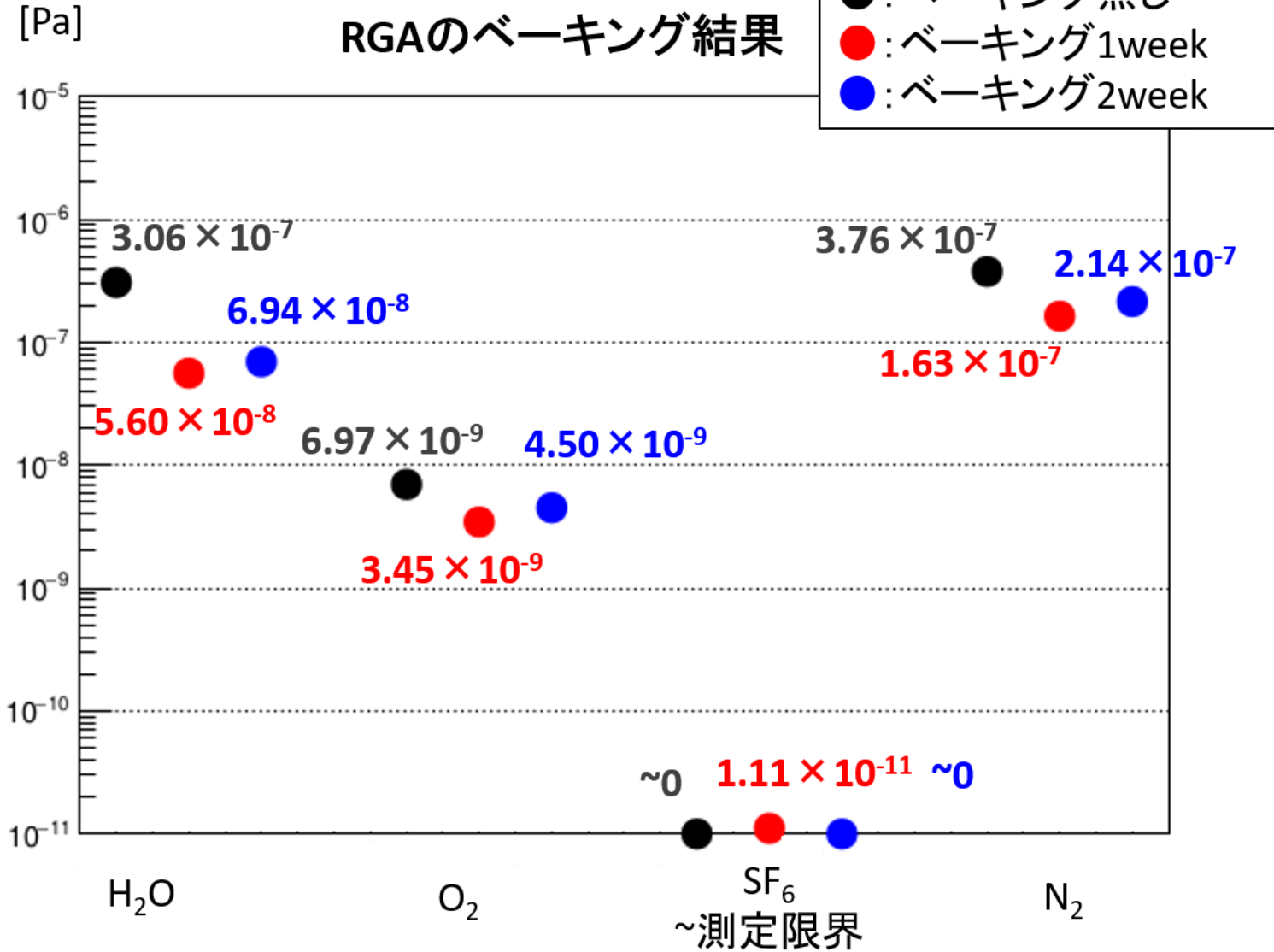
Heを噴射
→



▼ RGAでのHe検出

RGA

- RGA自体がバックグラウンドを含む
- ベーキングにより減少
- 実際に運用して十分か確認

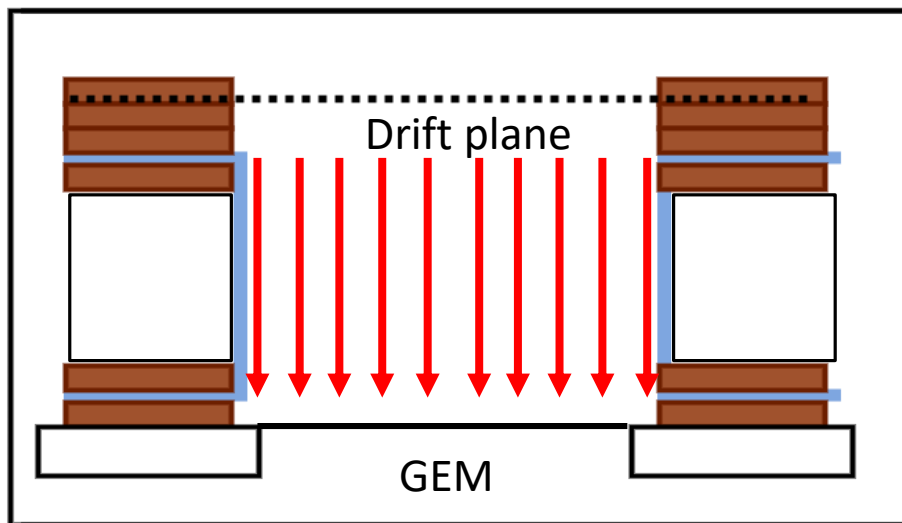


目次

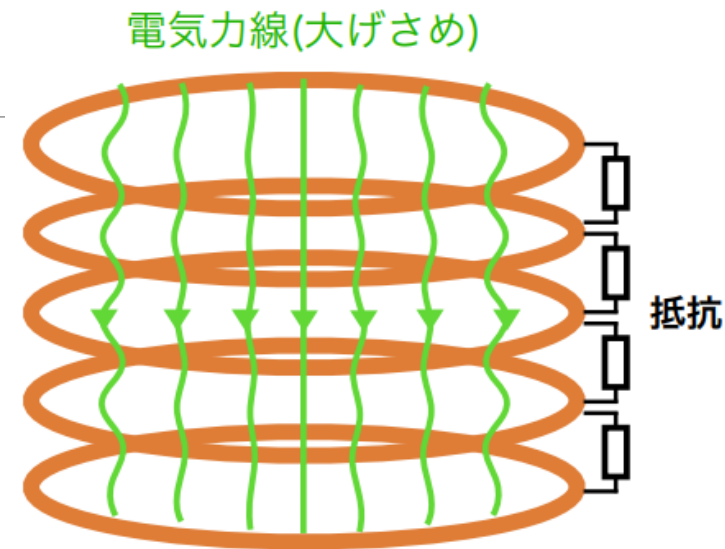
- 概要
- インTRODクシヨン
 - 暗黒物質の直接探索
 - NEWAGE実験
 - 開発中の大型検出器
- ガス不純物フィルターについての研究
- **電場の一様性についての研究**
- モジュール型検出器の動作実験
- まとめ

高抵抗シートを用いたTPC

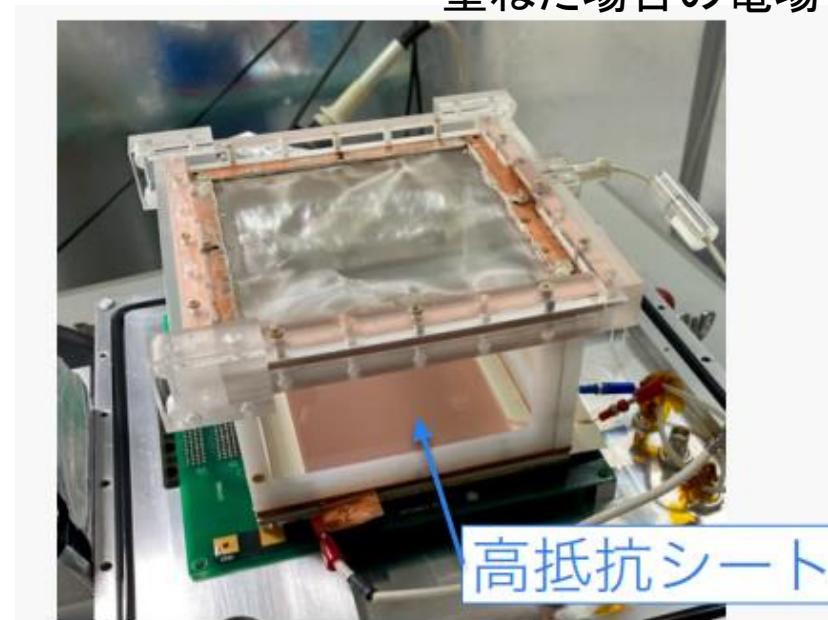
- 高抵抗シート: アキレス社製ビニラス
 - 厚さ0.2 mm
 - 体積抵抗率 $10^{10} \Omega\text{cm}$ の一様抵抗
- 一様電場を形成可能
 - 複数リングを連ねるのに比べむらがなく, 電場一様性が高い



▲高抵抗シートを用いたTPC

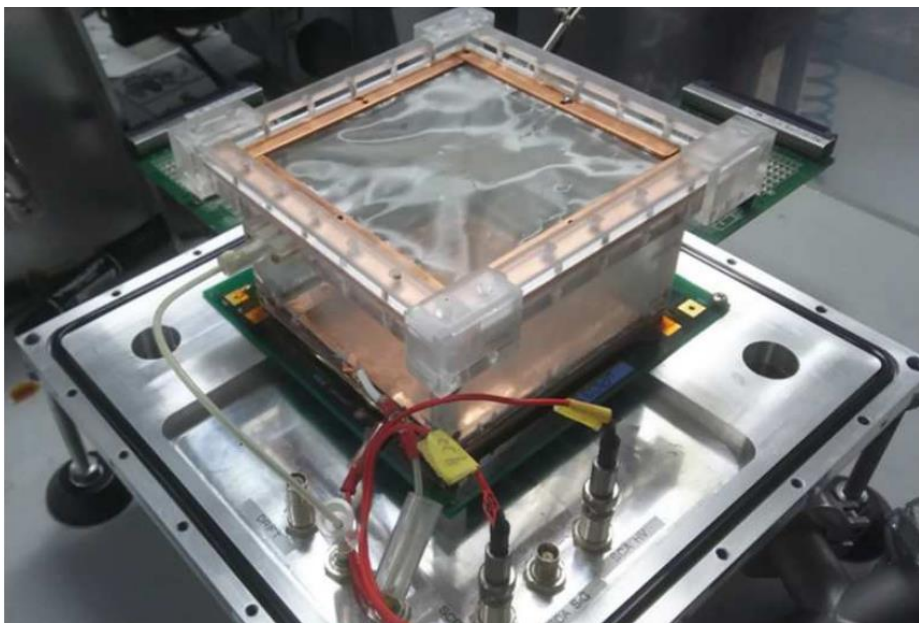


▲金属のリングを重ねた場合の電場

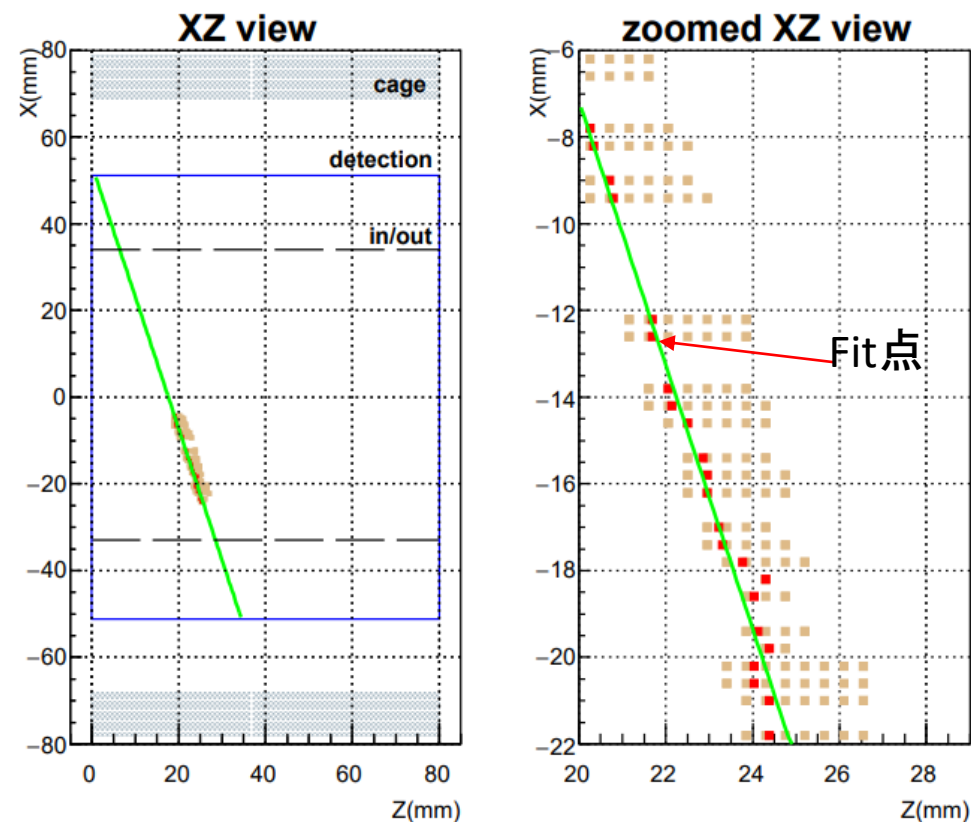


高抵抗シートを用いたTPC

- 短期的な性能は確認されている
 - (PTEP 2019 (2019) 6, 063H01) 1903.01663
 - フィールドケージはアクリル
- 10cm角 μ -PICと組み合わせて μ の飛跡を取得



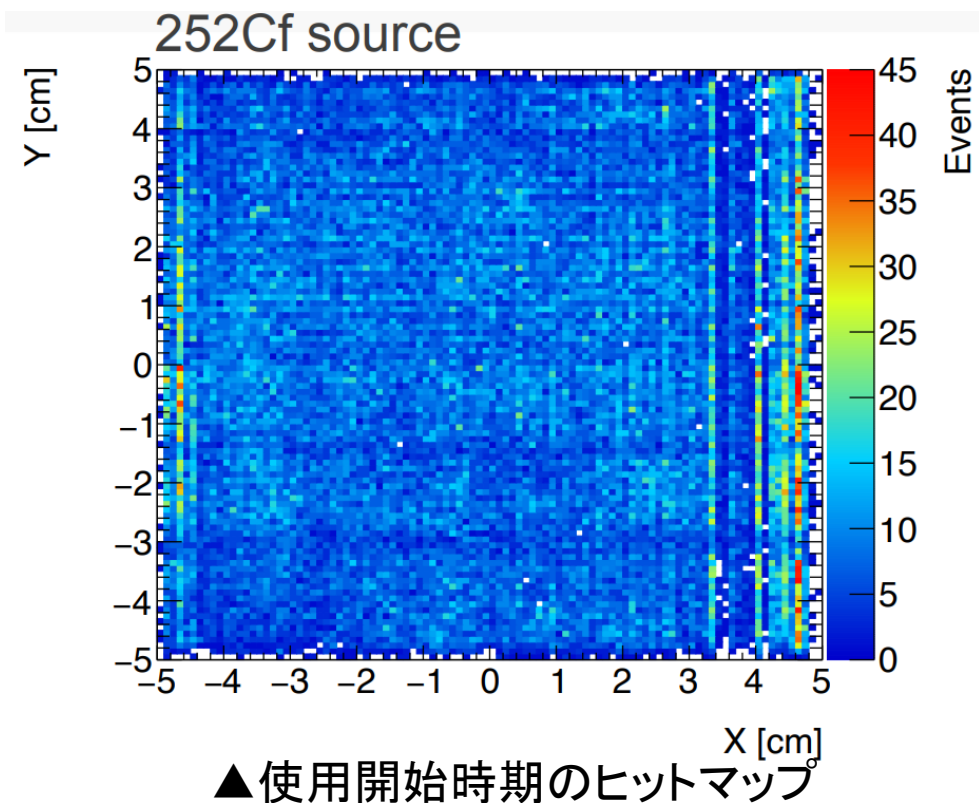
▲実験を行ったTPC



▲ μ の飛跡解析

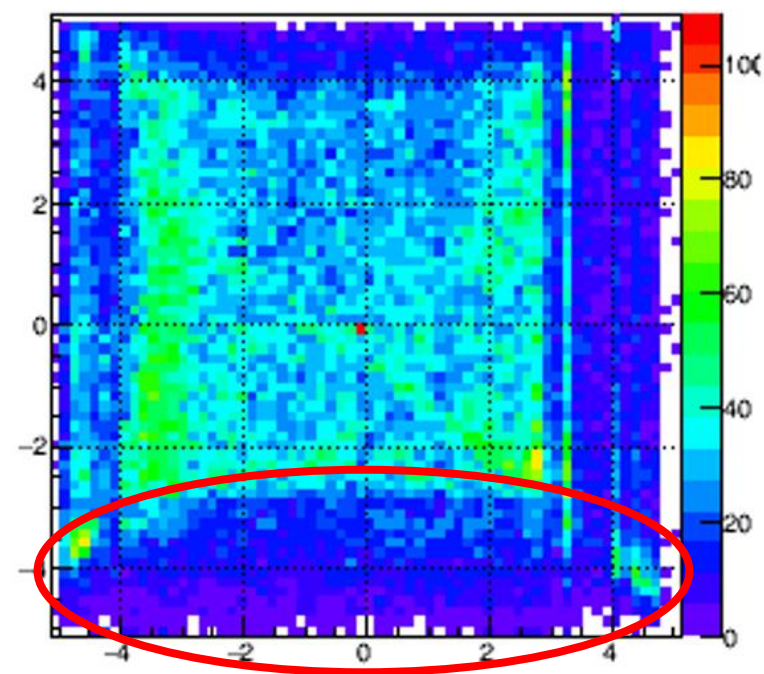
高抵抗シートを用いたTPC

- 電場の長期安定性に問題がある
 - チェンバーの壁に近い部分のヒット分布が欠ける
 - 安定的に使用できるのは長くととも10か月以下



約10か月

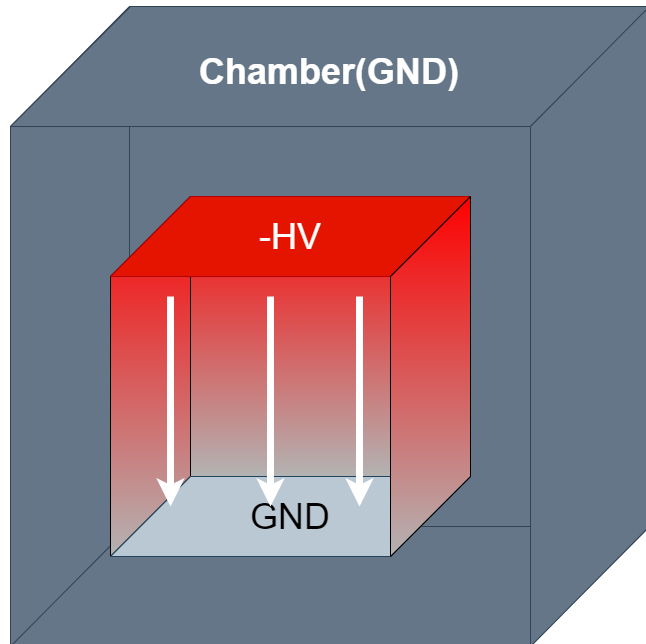
すべての辺でイベントが減少



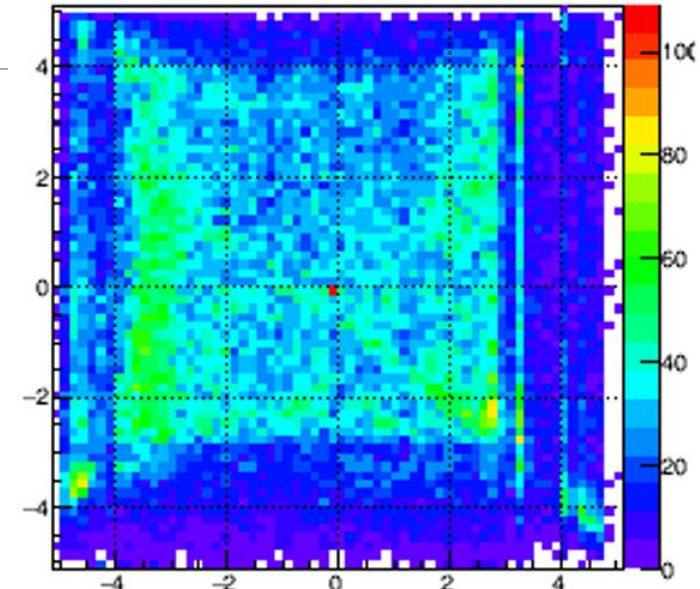
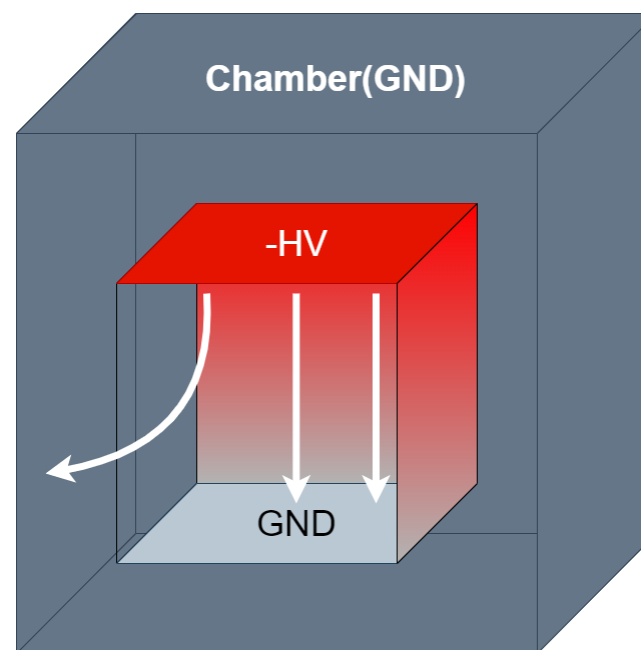
問題が起きた原因

- 高抵抗シートに電圧がかかっていない
- 電気力線が外に向かうために電子が外向きにドリフトされる
- チェンバーの壁に近い部分の飛跡が検出できなくなっている

理想的な状態



接続できていない場合



▲使用開始10か月程度での
ヒットマップ

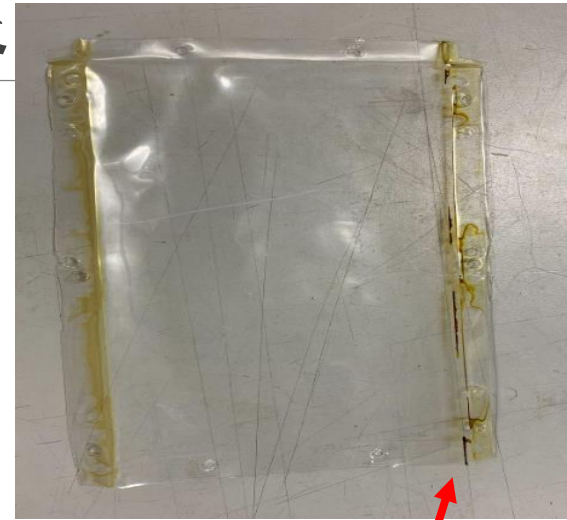
高抵抗シートを用いたTPCの改良

➤原因

- シートの劣化？
- 高抵抗シートと銅極の接触が十分でない？
- 絶縁性の化合物が生成されている？
- シートと銅の接触部分(高抵抗シート谷折り)に黄色い物質が付着

➤改良: 導電性のゴム棒を挟む

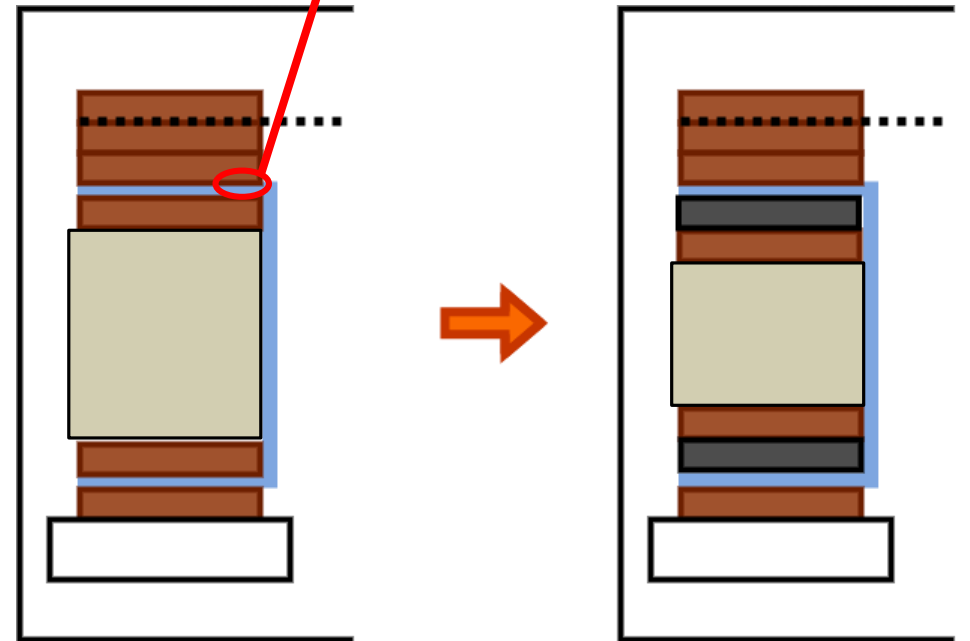
- 十川ゴム製 体積固有抵抗値: $1.0 \times 10^2 \Omega/\text{cm}^2$
- 接触度が向上
- 高抵抗シート谷折り部分での直接接触がなくなる



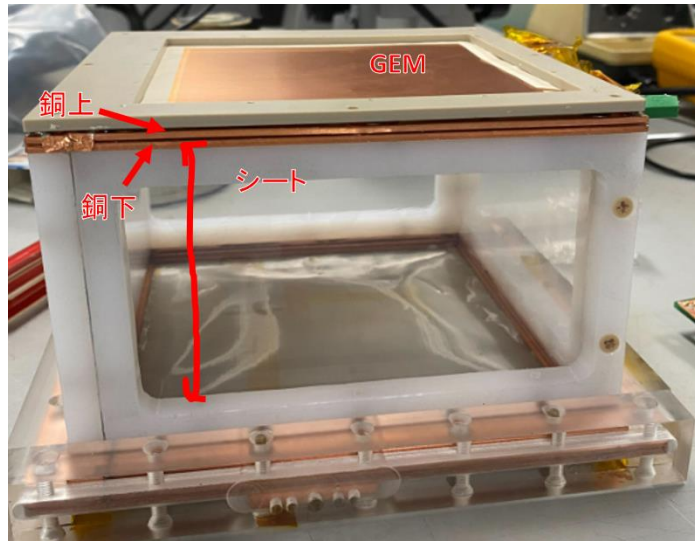
▲取り外した高抵抗シート



▲導電性のゴム



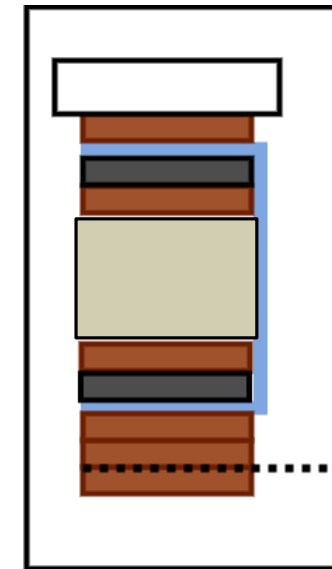
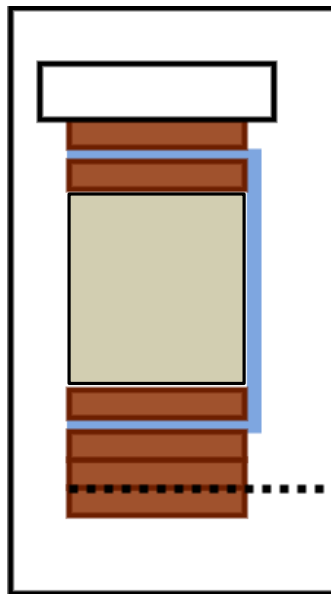
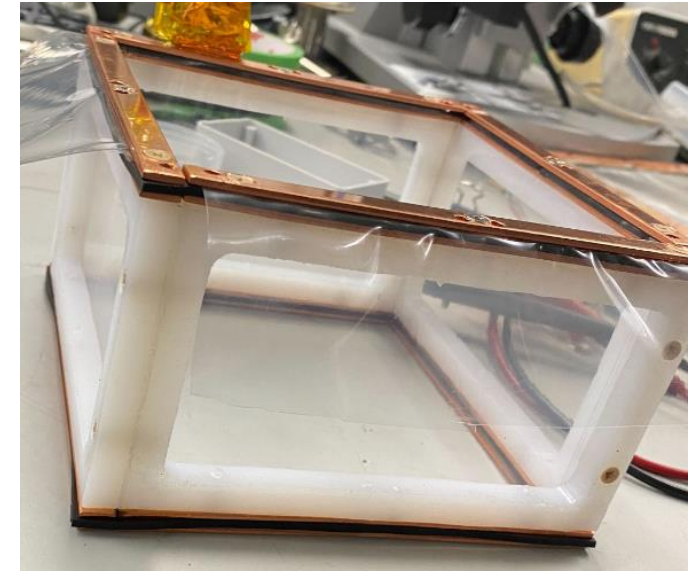
高抵抗シートを用いたTPCの改良



▼使用したゴム枠

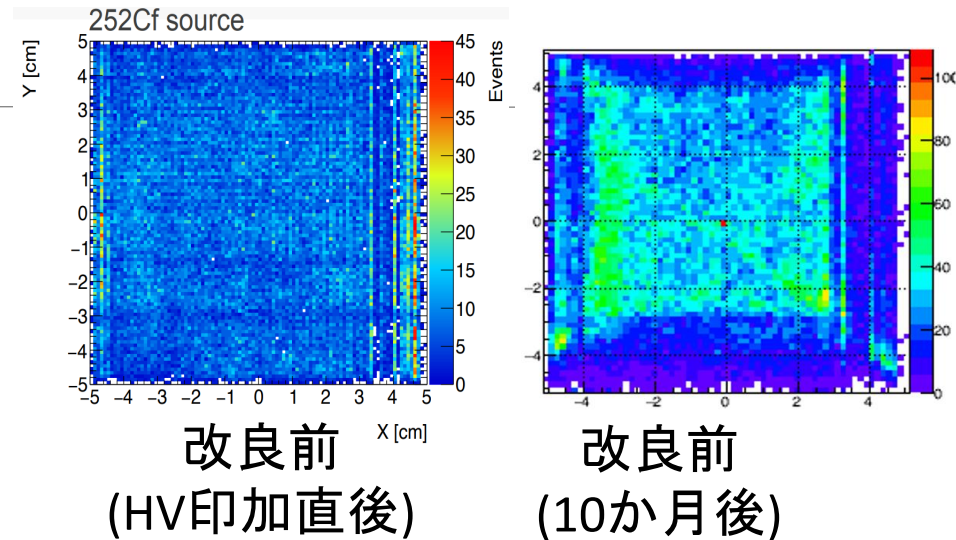


厚さ2mm
辺の幅8mm程度

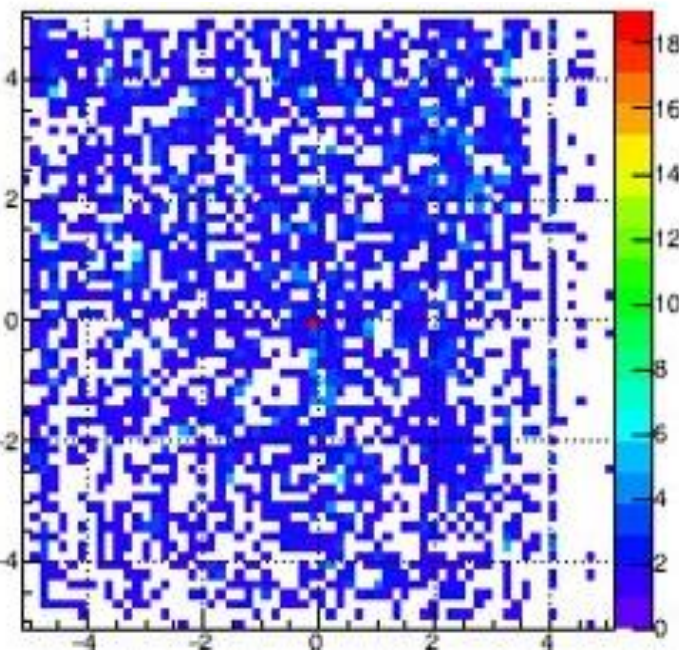


高抵抗シートを用いたTPCの改良

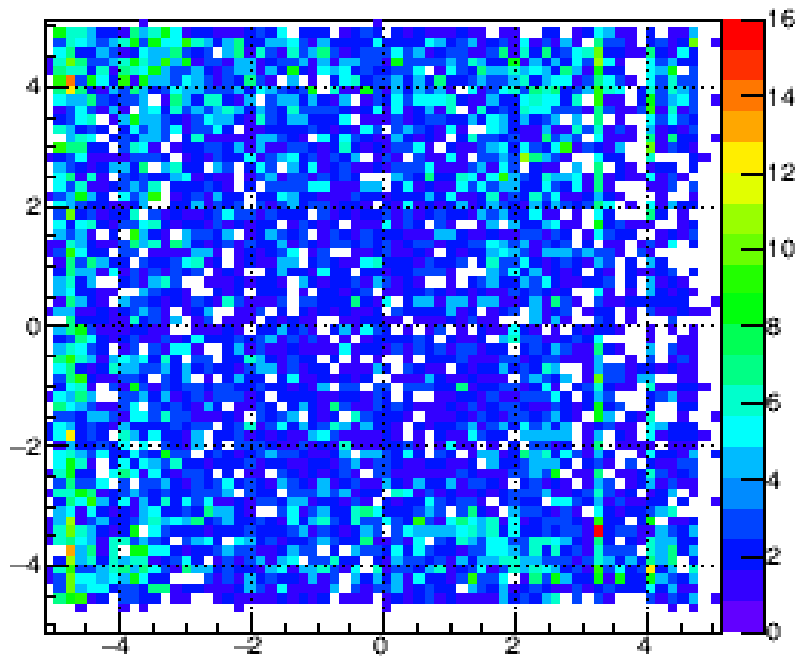
- HV印加 : 2022/10/26-
- 長期運用におけるヒットマップの変化を調査 – 252Cf
 - 顕著な変化は見られない



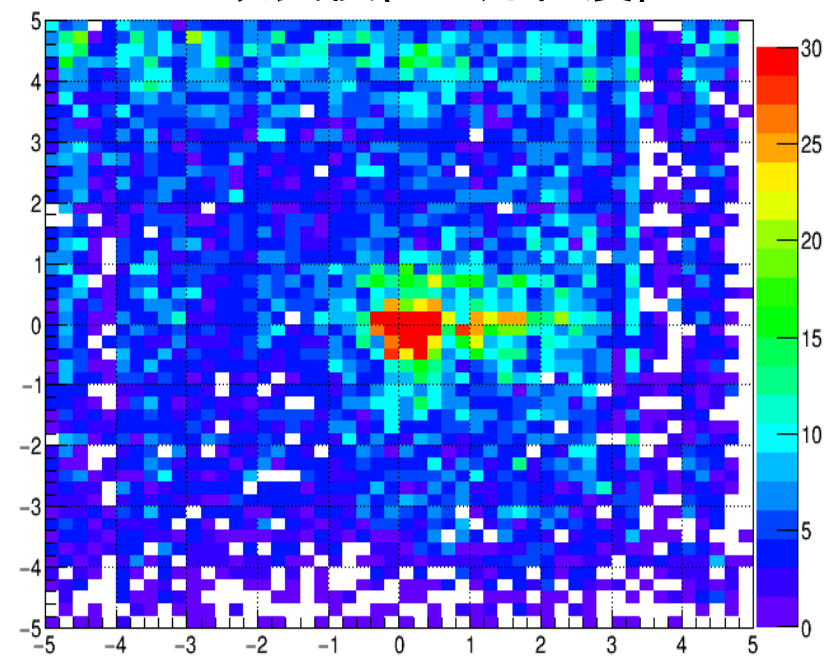
改良後(3週間程度)



改良後(1か月半程度)



改良後(4か月程度)



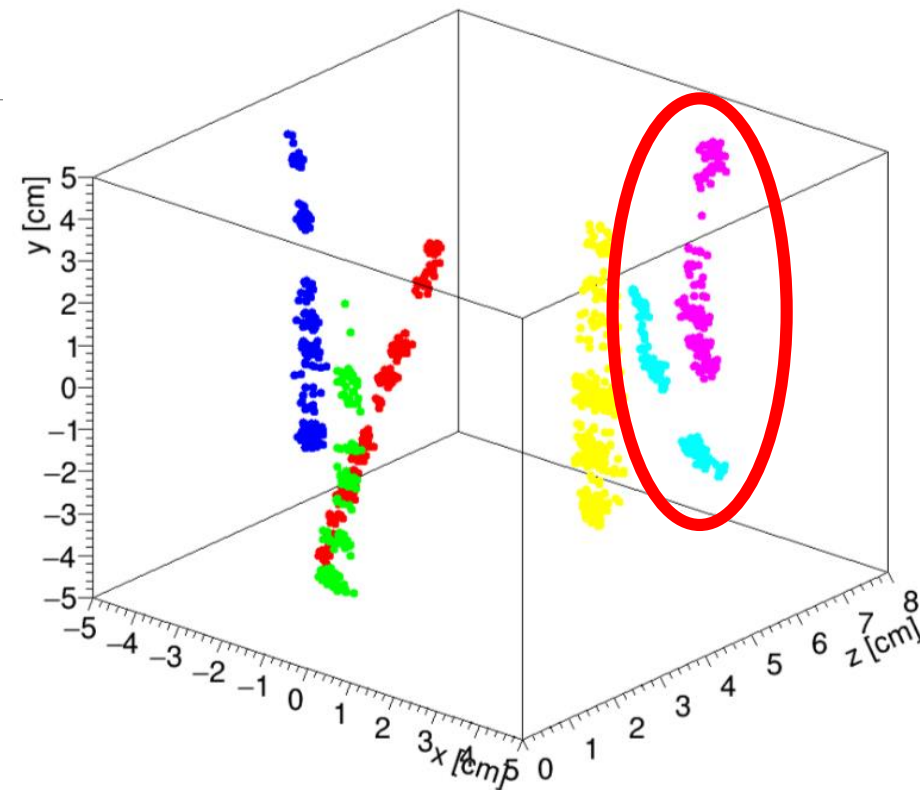
高抵抗シートを用いたTPCの改良

➤ 実験

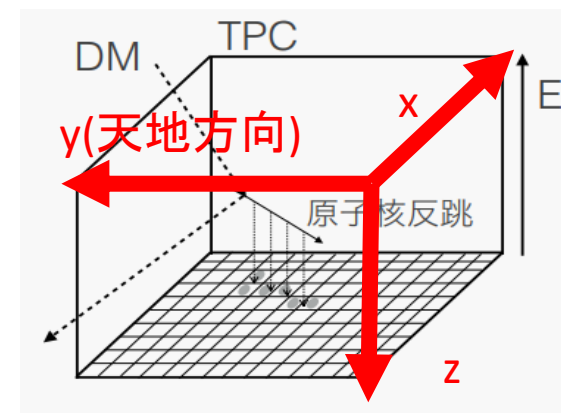
- 10 cm角検出器で宇宙線 μ の飛跡を測定
- 端付近で飛跡が曲がってしまっている

➤ 展望

- 銅と高抵抗シートの直接的な接触を防ぐため、銅以外の素材を挟むことを検討
- 現在実験中
- 詳細な調査を行い、維持可能期間等を測定する



▲ μ の飛跡



目次

- 概要
- インTRODクシヨン
 - 暗黒物質の直接探索
 - NEWAGE実験
 - 開発中の大型検出器
- ガス不純物フィルターについての研究
- 電場の一様性についての研究
- **モジュール型検出器の動作実験**
- まとめ

モジュール型検出器の動作実験

➤ 動作確認を行うモジュール

➤ GEMを三枚用いたモジュール

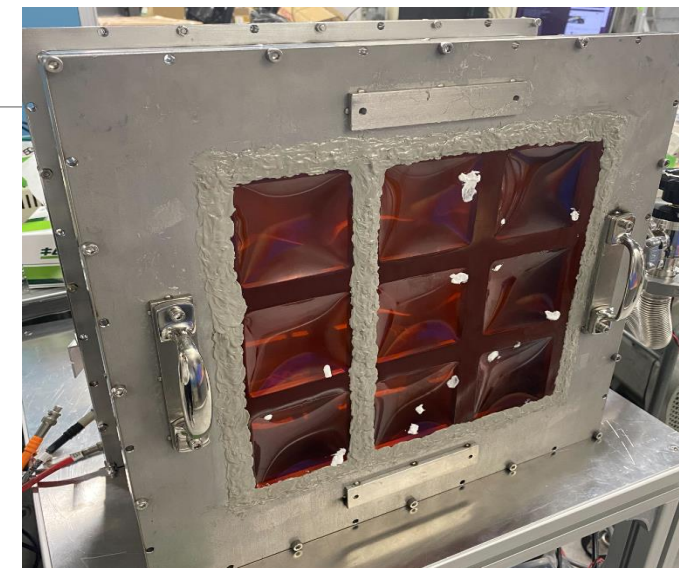
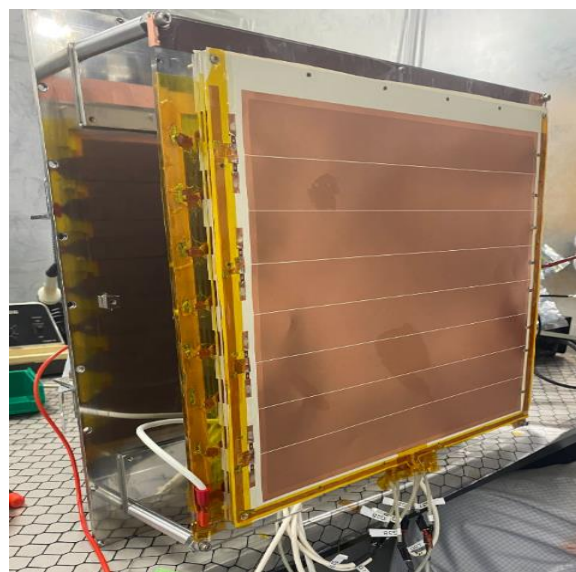
➤ 30 cm角 (8 ch)

➤ CF_4 0.2 atm

▼ Anode Pad

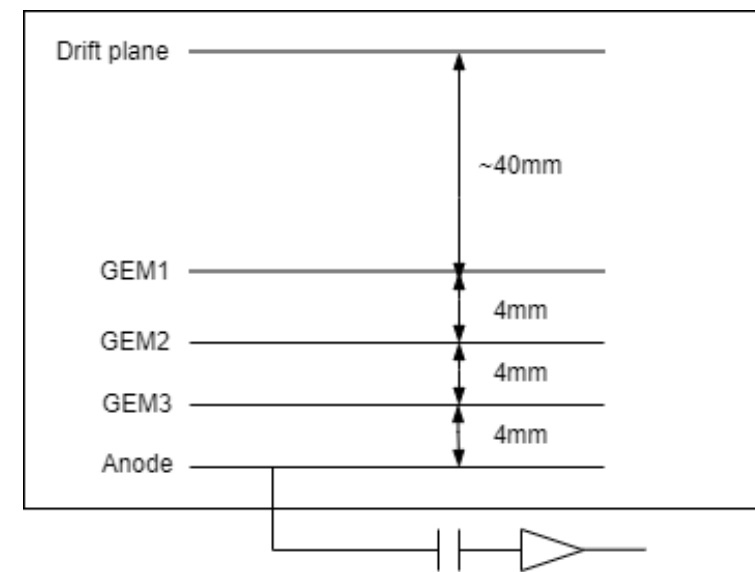


▼ GEM表面



▲ 試験用のチェンバー

▼ チェンバーの断面図

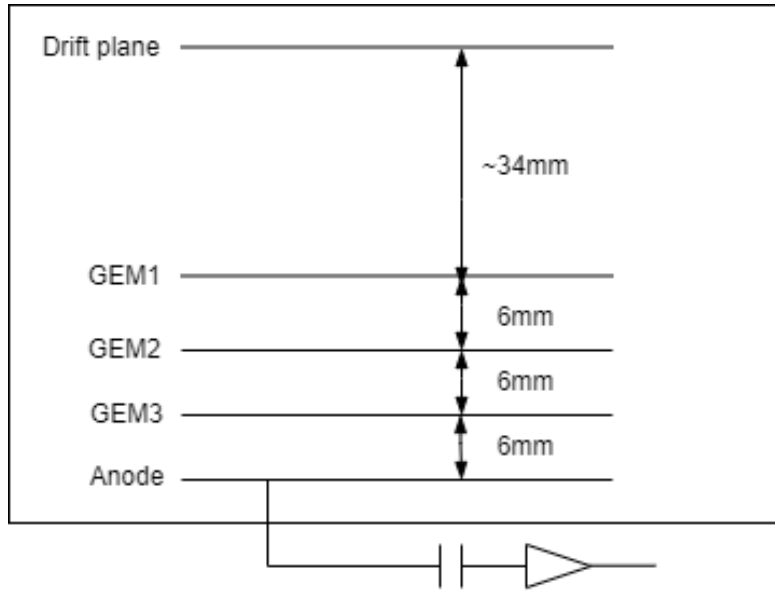


モジュール型検出器の動作実験

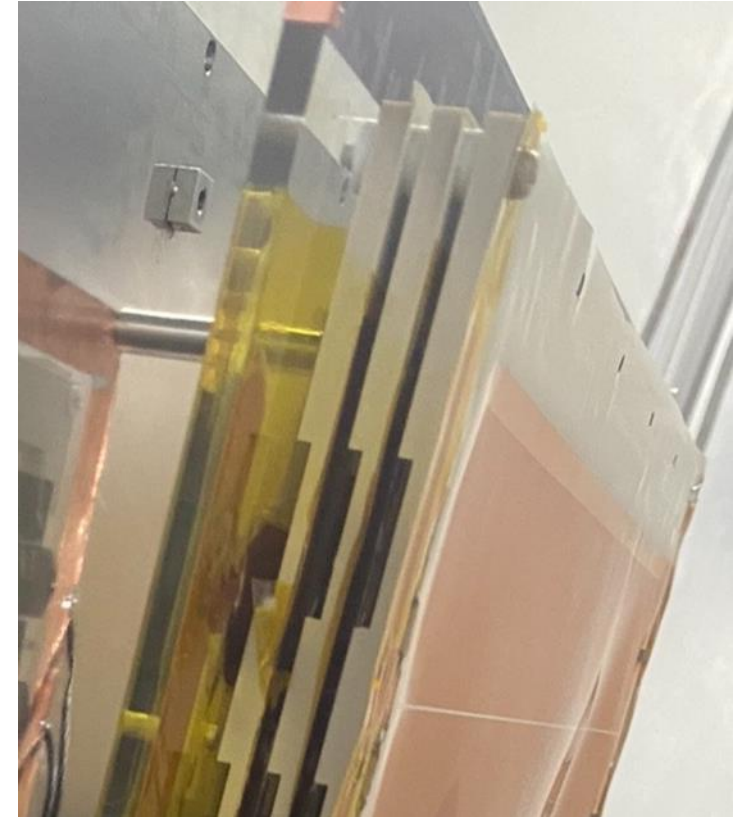
- テンションが弱く中央付近がたるんでしまい, GEM間の距離が一定でない
 - 距離が近い部分で高ゲイン・放電しやすい
- GEM間に2 mmスペーサーを導入
 - GEM間のインダクション電場は大きくする必要がある



▲スペーサー



▲スペーサーを含めた場合の
チェンバー断面図

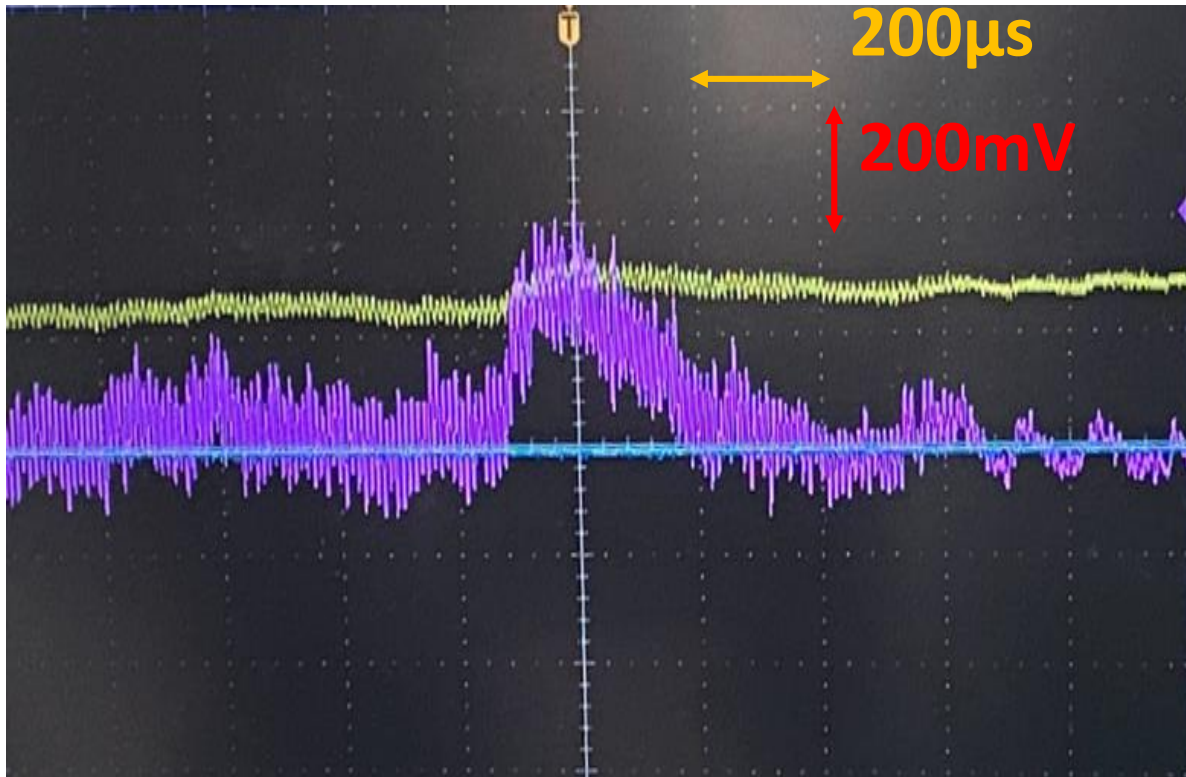


▲実際に挟んでいる様子

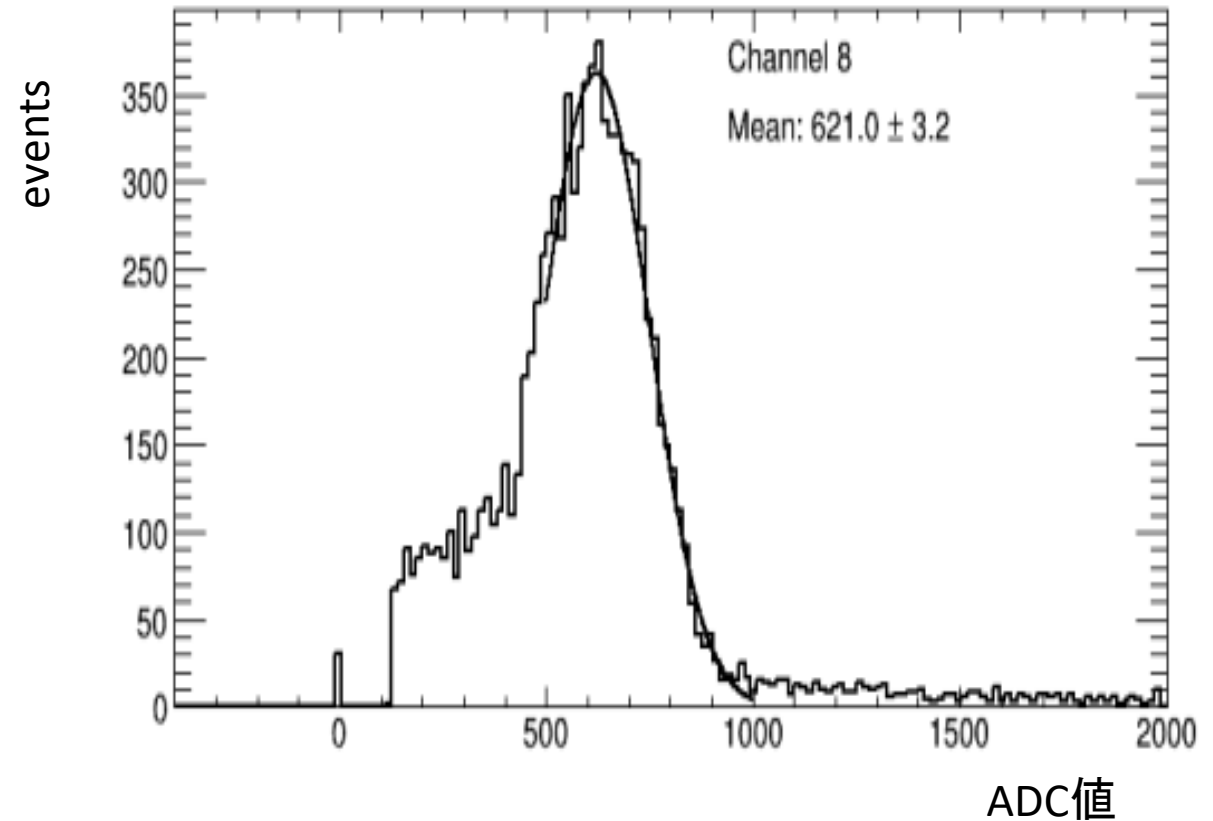
モジュール型検出器の動作実験

➤ 結果

➤ ^{90}Sr の信号



➤ ^{55}Fe スペクトル



モジュール型検出器の動作実験

➤ ^{55}Fe でのチャンネルごとのゲイン測定

➤ Ch6は故障

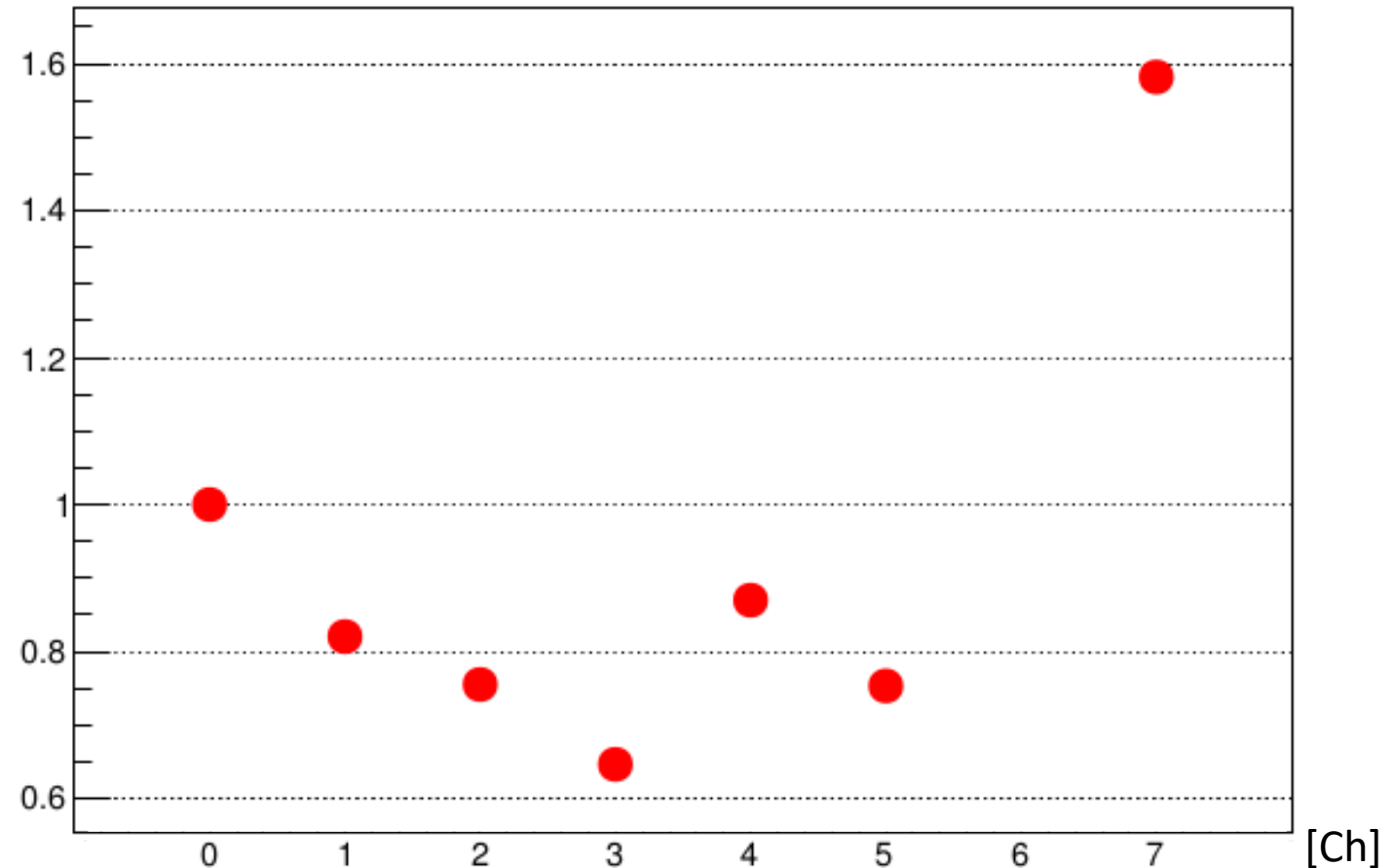
➤ 展望

➤ SF_6 を使用している実験

➤ 大型検出器に設置している実験

Ch0に対するゲイン

チャンネルごとのゲインの違い



目次

- 概要
- イントロダクション
 - 暗黒物質の直接探索
 - NEWAGE実験
 - 開発中の大型検出器
- ガス不純物フィルターについての研究
- 電場の一様性についての研究
- モジュール型検出器の動作実験
- **まとめ**

まとめ

- ガス不純物フィルターの評価を行った
 - H₂Oを十分に減らすことができることがわかった
 - ²²²Rn検出量も減少することが分かった
 - 絶対量の評価を行う
 - H₂O, ²²²Rn以外のガス不純物についても測定を行う
- 高抵抗シートの長期運用における電場の一様性について調査した
 - 今回の改良では大きな改善は見られず
 - 解析を進める
- 開発中の大型検出器に導入予定のモジュールの動作確認を行っている
 - 実際に大型検出器に導入しての動作確認を行う