



NEWAGE実験62: 方向に感度のある 暗黒物質探索実験の現状と今後

神戸大 東野 聡

身内 賢太郎 石浦 宏尚 窪田 諒 中山 郁香

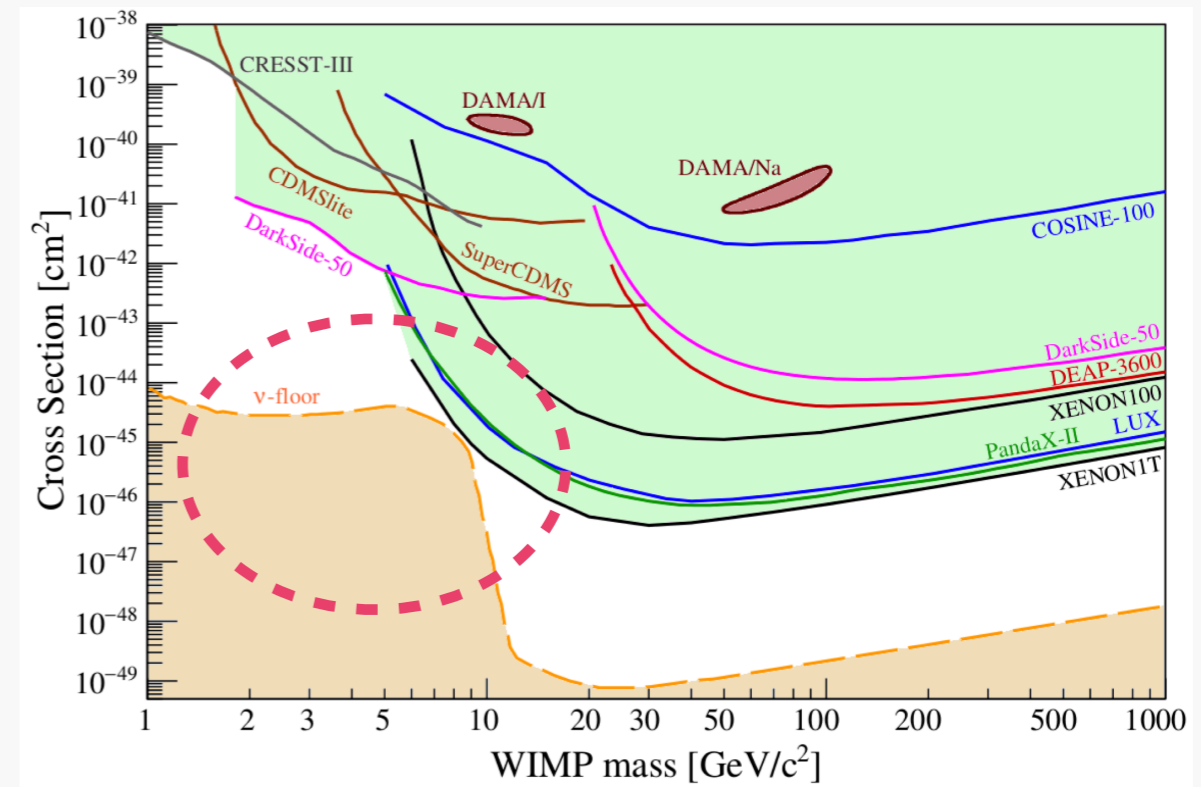
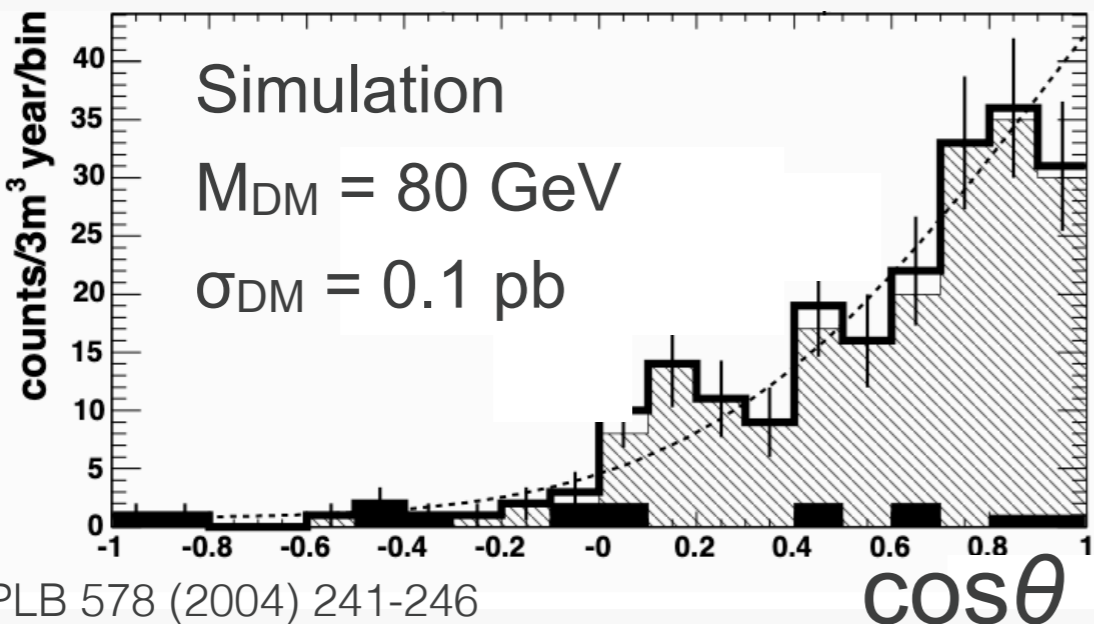
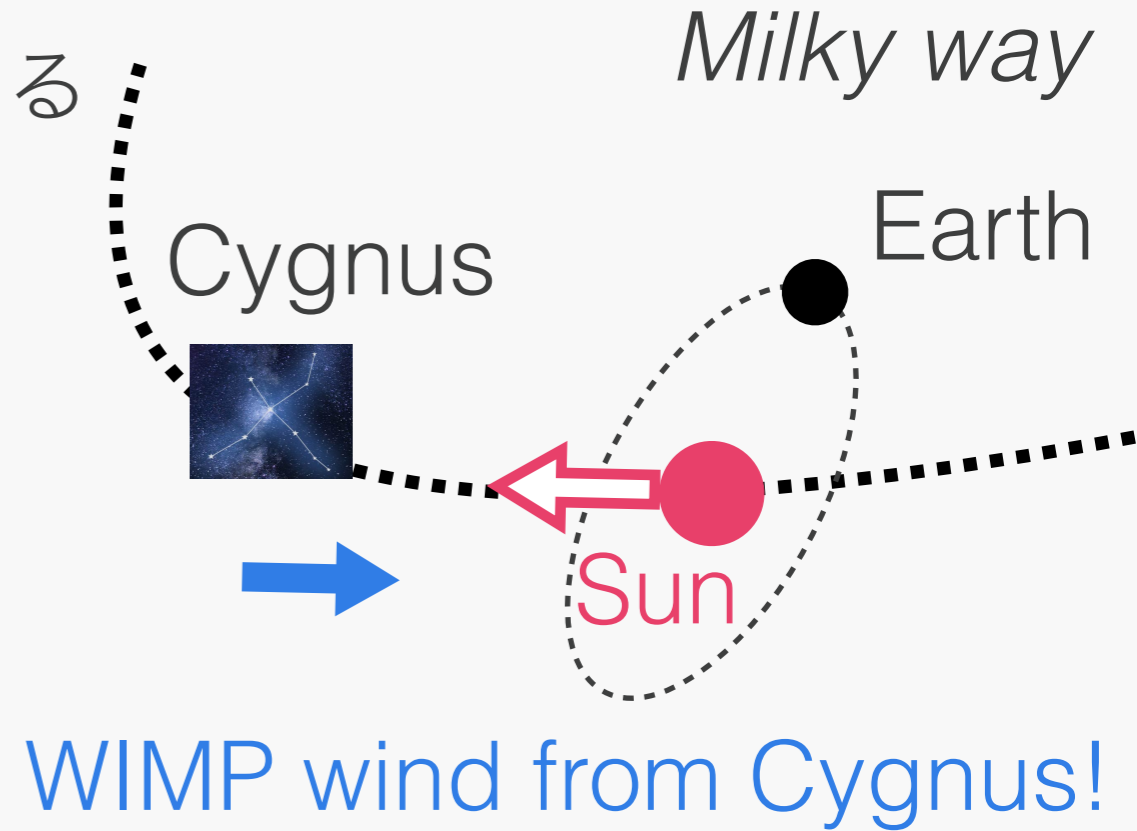
2021年 9月 14日

方向に感度を持つ暗黒物質 (DM) 直接探索

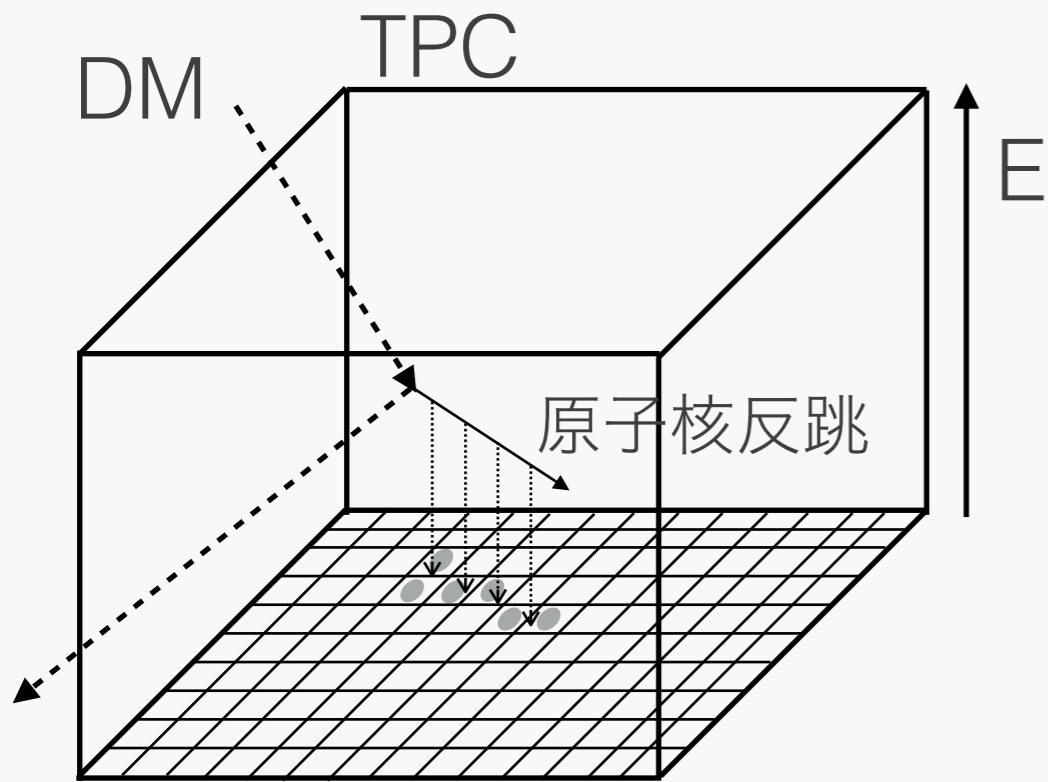
● 原子核反跳からDM (WIMP) 到来方向を知る

→ 異方性がDMの強い証拠に

→ ニュートリノBGとの分離も可能



ガスTPCによる原子核反跳の3次元飛跡検出



- ターゲットはTPC中のガス (CF_4)
- 飛跡から原子核反跳方向測定

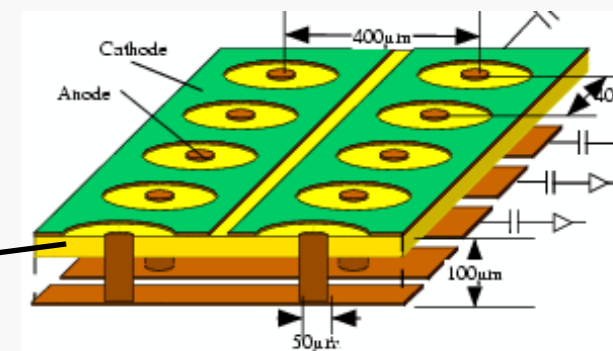
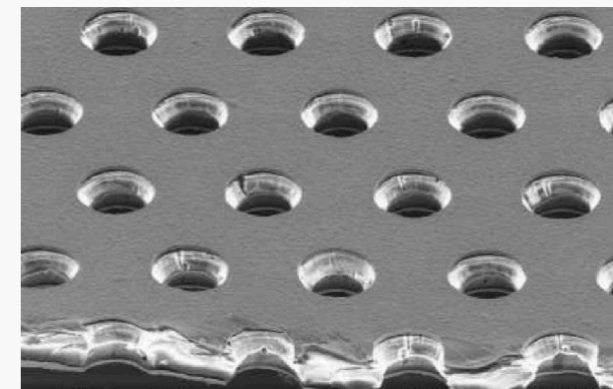
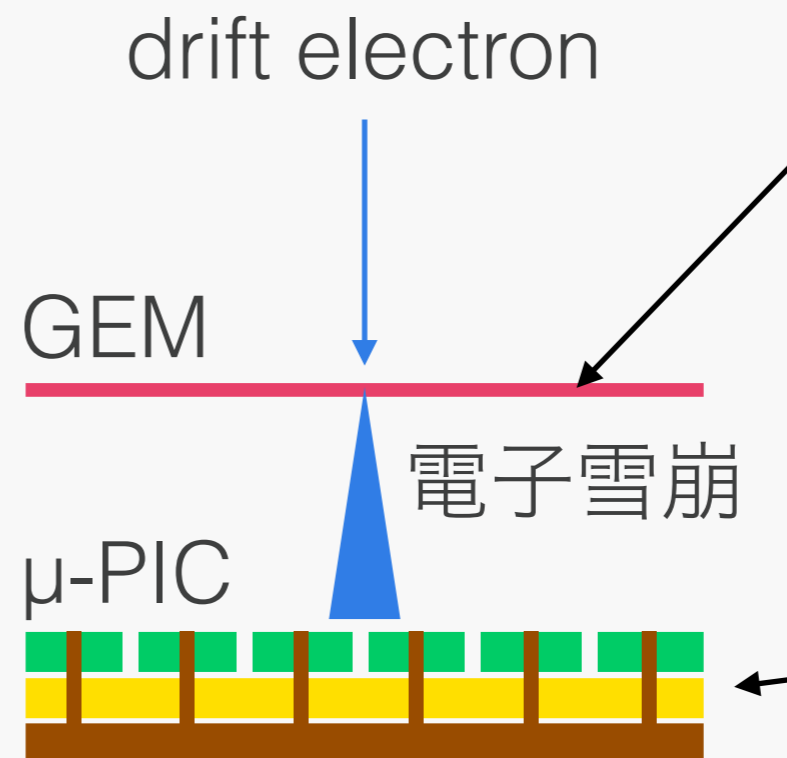
2次元位置検出器 + ドリフト時間

→ 3次元飛跡でWIMP探索 (世界唯一)

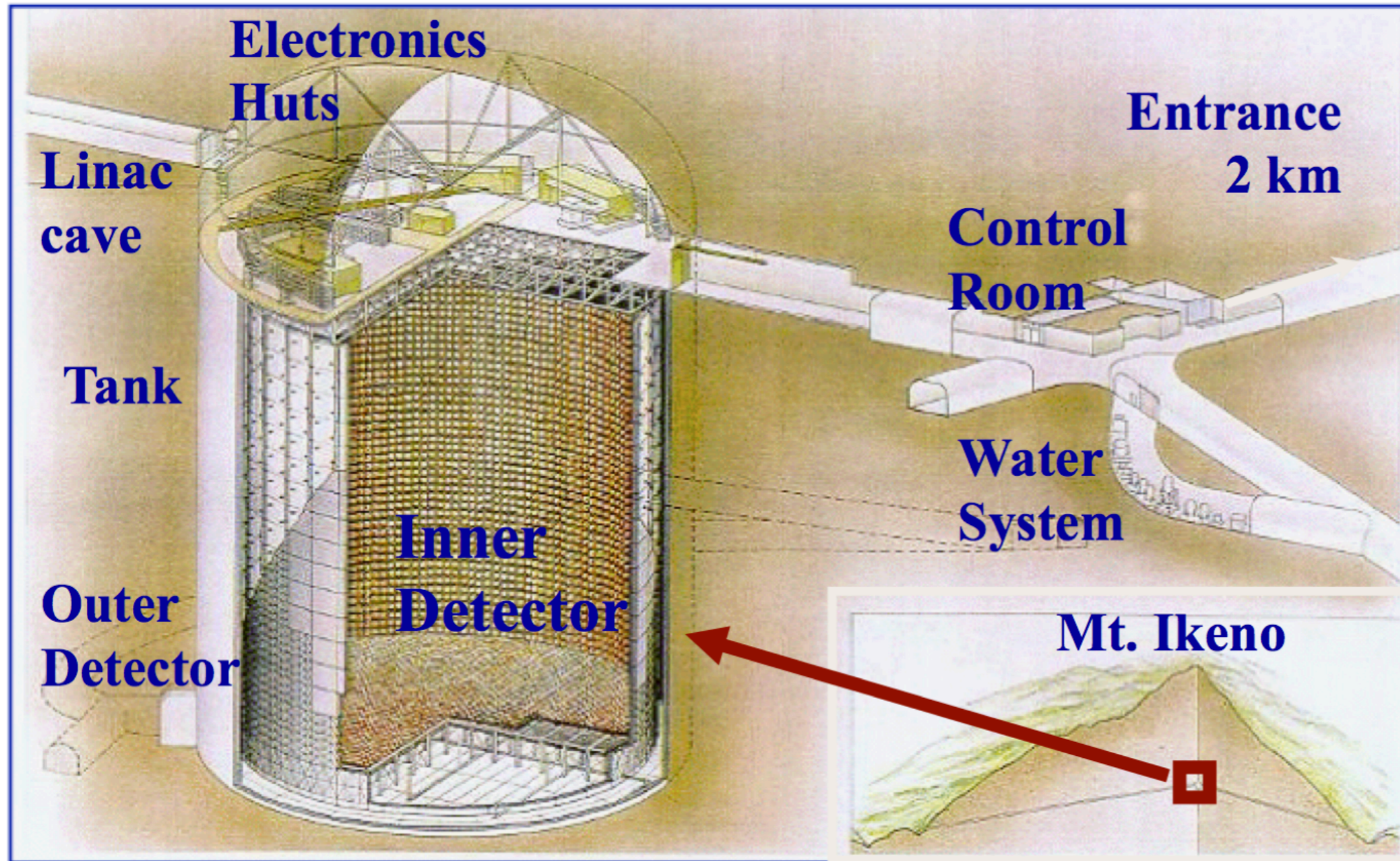
- 2次元読み出しはu-PICが担う

→ 400 μm ピッチの2D strip

- ガス増幅はGEM + μ -PIC

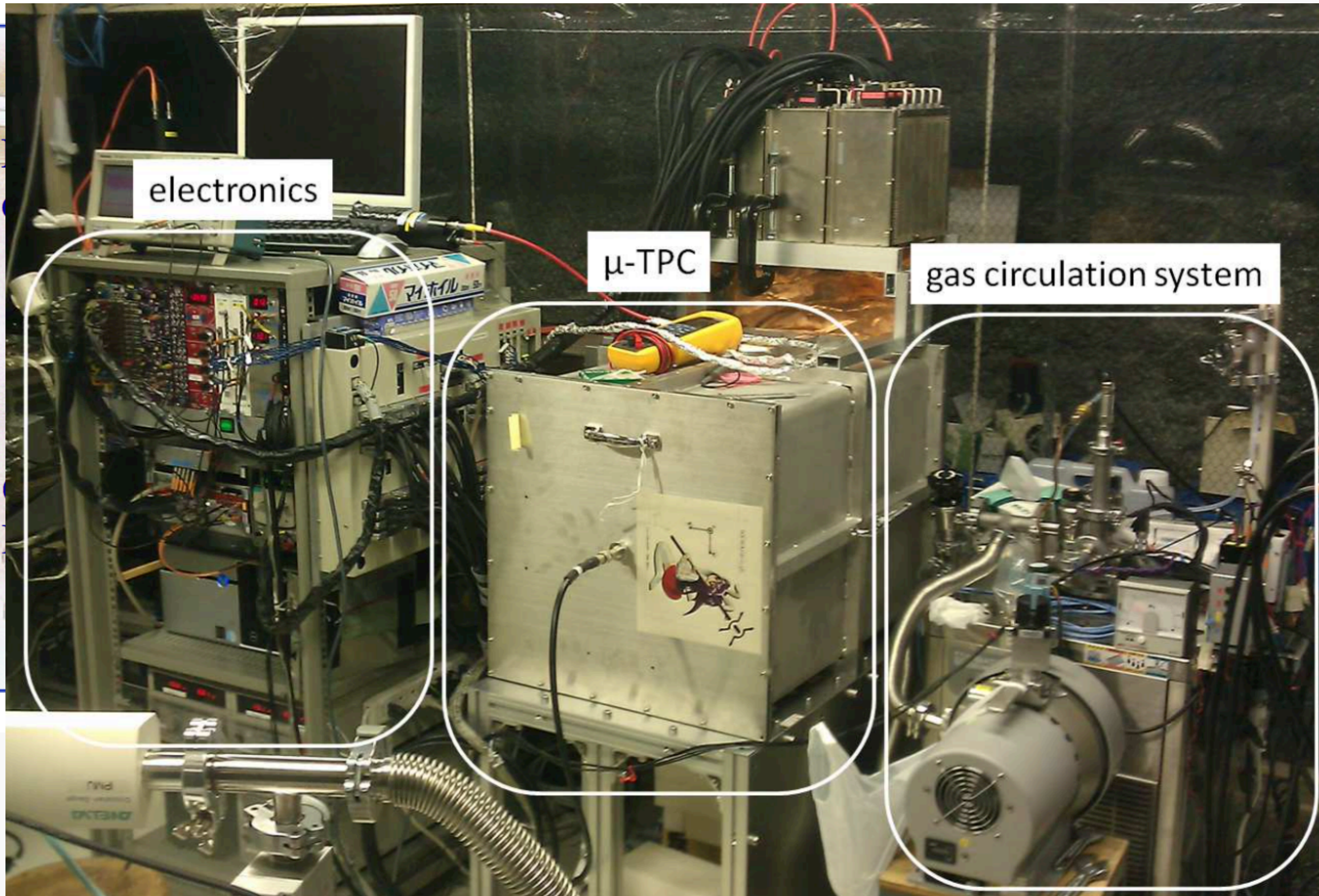


NEWAGE



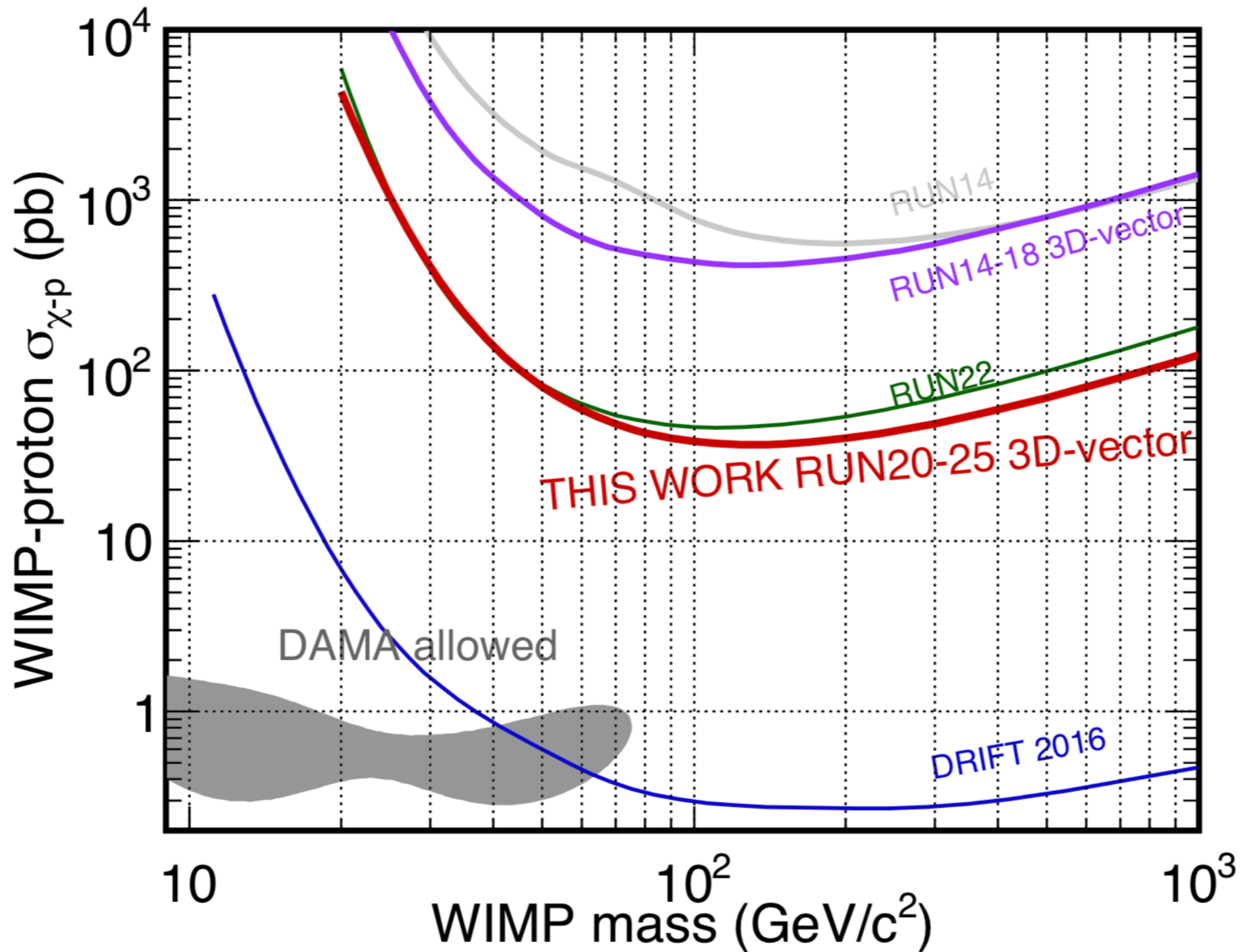
our Lab.

NEWAGE



NEWAGE

島田拓弥 修士論文 神戸大 2021年2月




NEWAGEの戦略


- 信号検出の効率を上げる
- ターゲット (+測定時間) を増やす
- 背景事象を減らす

NEWAGEの戦略


- 信号検出の効率を上げる

 低エネルギーの原子核反跳検出
高ガスゲインでの運転

- ターゲット (+測定時間) を増やす

 大型検出器開発

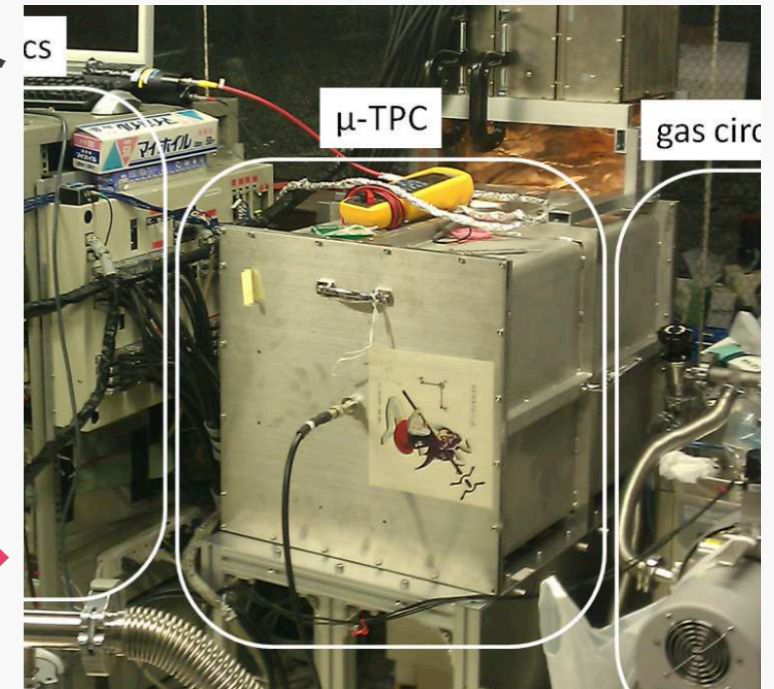
- 背景事象を減らす

 内部要因BGの削減 ← 14aV2-8 石浦
外部要因BGの削減 ← 14aV2-9 中山

NEWAGEの戦略

- 信号検出の効率を上げる

⇒ 低エネルギーの原子核反跳検出
高ガスゲインでの運転



(0.3 m)³ chamber in Kamioka

- ターゲット (+測定時間) を増やす

⇒ 大型検出器開発



(1.0 m)³ chamber in Kobe U.

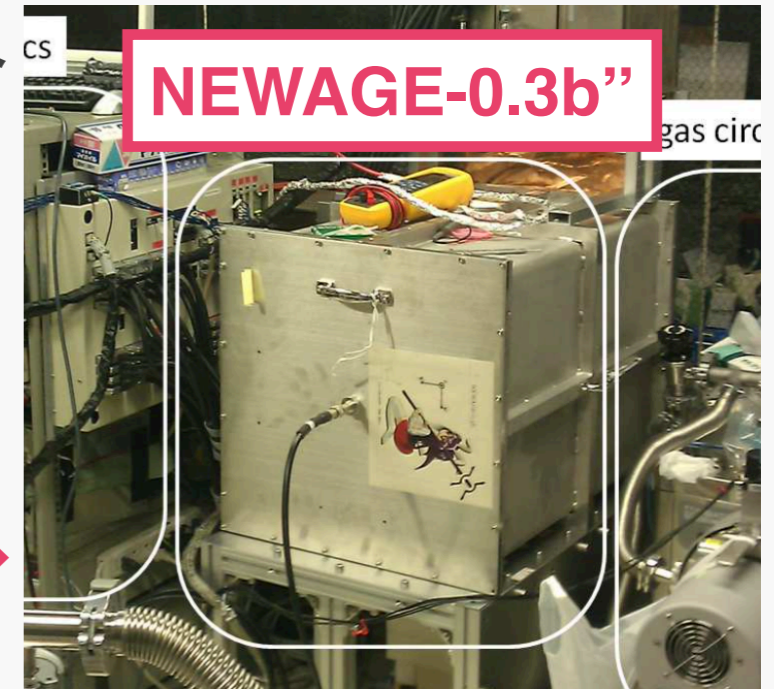
- 背景事象を減らす

⇒ 内部要因BGの削減 ← 14aV2-8 石川
外部要因BGの削減 ← 14aV2-9 中山

NEWAGEの戦略

- 信号検出の効率を上げる

⇒ 低エネルギーの原子核反跳検出
高ガスゲインでの運転



NEWAGE-0.3b

(0.3 m)³ chamber in Kamioka

- ターゲット (+測定時間) を増やす

⇒ 大型検出器開発



C/N-1.0

(1.0 m)³ chamber in Kobe U.

- 背景事象を減らす

⇒ 内部要因BGの削減
外部要因BGの削減

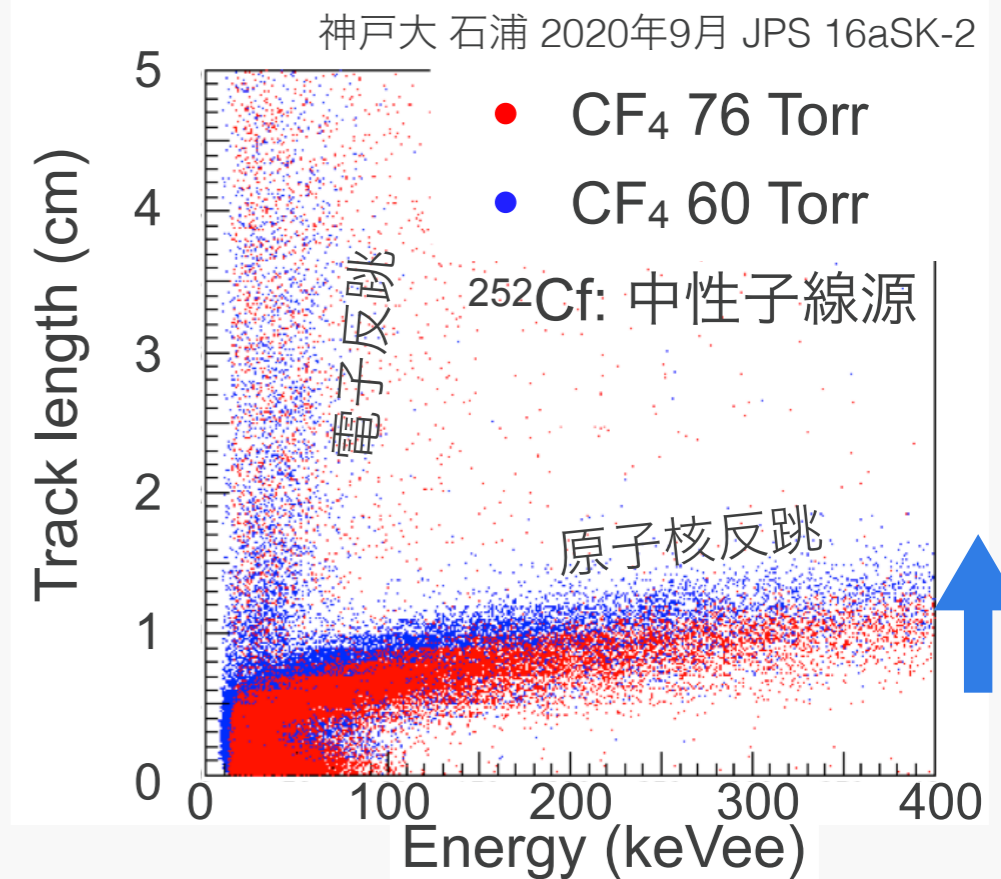
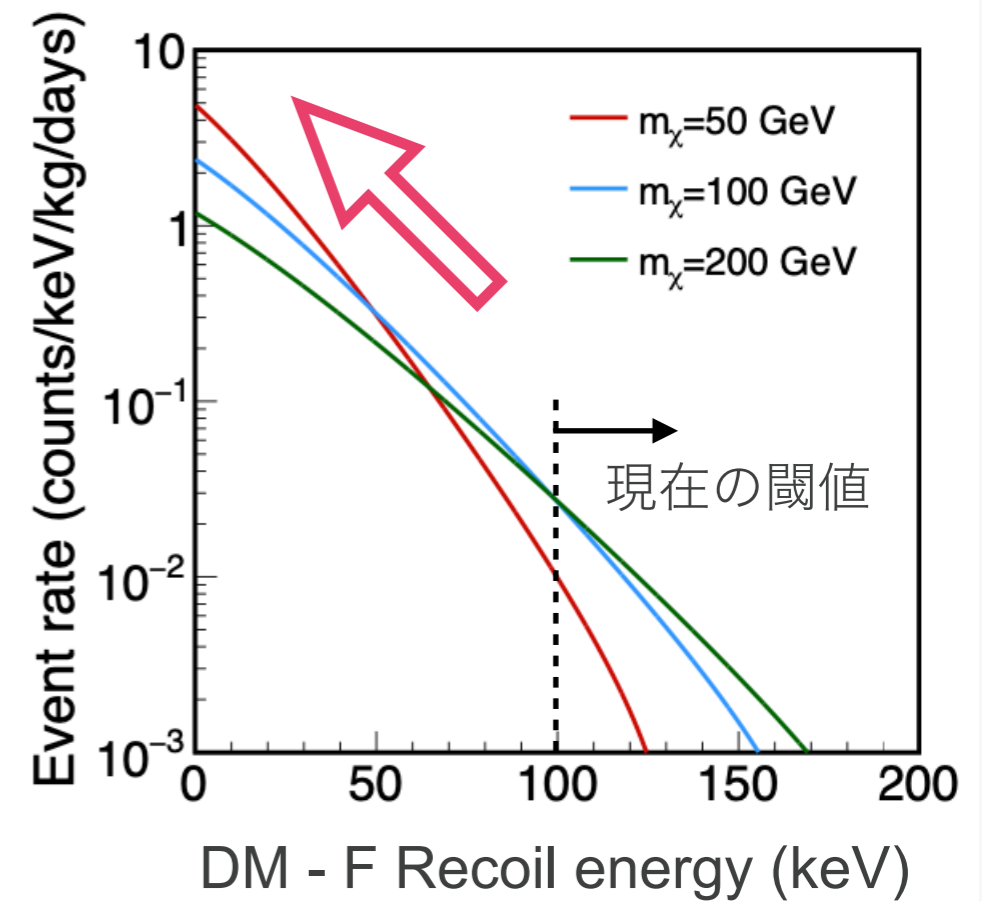
← 14aV/2-8 石席

本講演ではこれらの話をします

NEWAGE-0.3b” in 神岡 のお話

低圧CF₄ガス + 高ゲイン

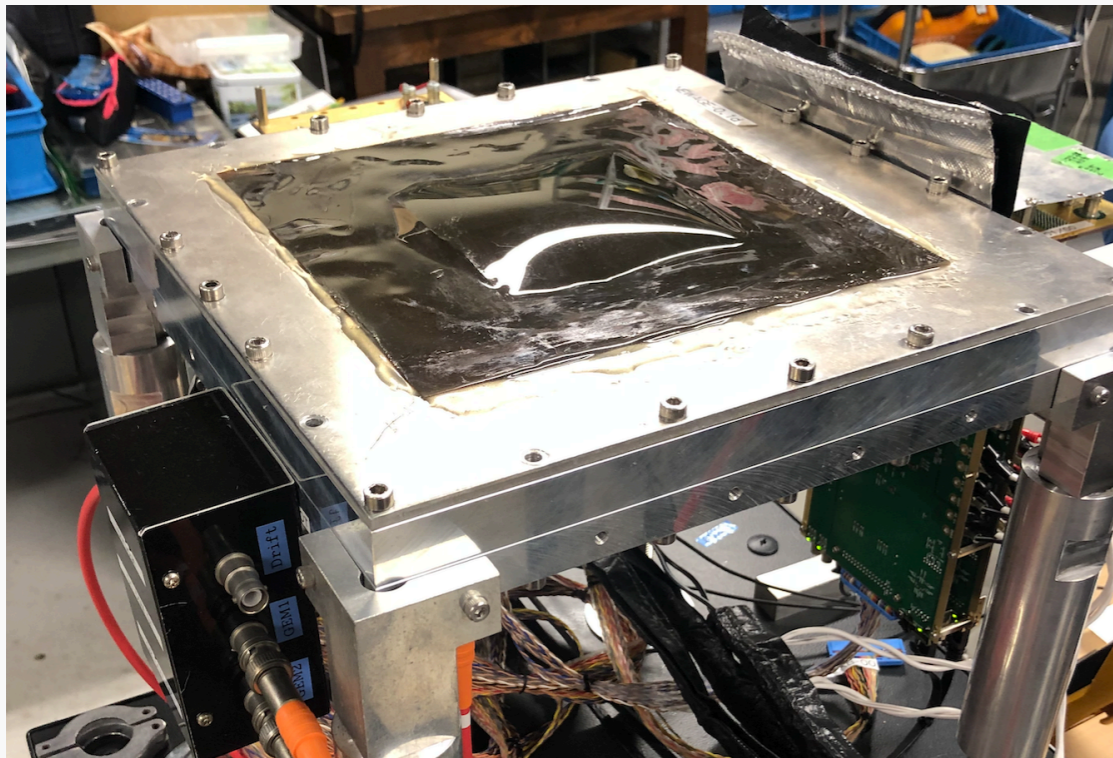
- 低エネルギー反跳ほど高レート
 - 特に**低質量WIMP**に対して感度向上
- **短飛跡**のため検出困難
 - 読み出しピッチ (400 um) で律速
- **低ガス圧化により飛跡長伸ばす**戦法
 - 一方低圧化による放電増加で低ゲイン問題
 - 信号の検出効率低下
- CF₄ガス 76 → 60 Torr で先行研究
 - たしかに飛跡長伸びていることを実証
- **高ゲインを保ったままさらに低圧へ**



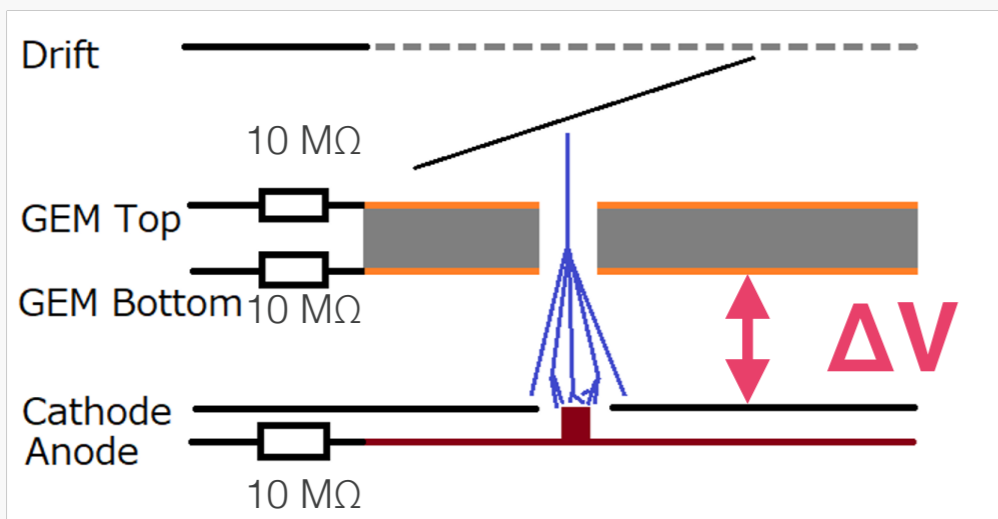
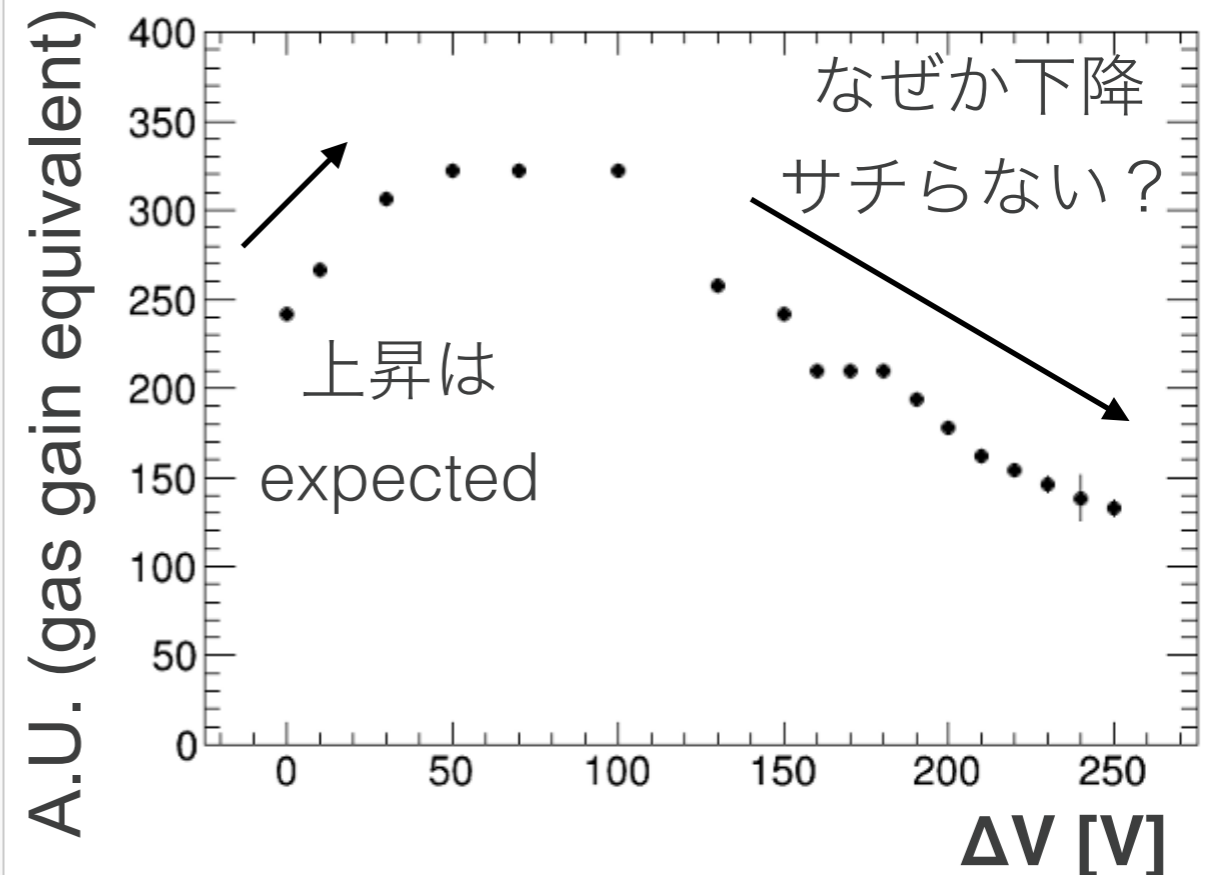
低圧ガス下でのガスゲイン

- ゲインが全く出ない! ?

→ 低圧ガス下の放電 (?) に苦戦しながら電圧最適化



小型チェンバー (@神戸) で検証



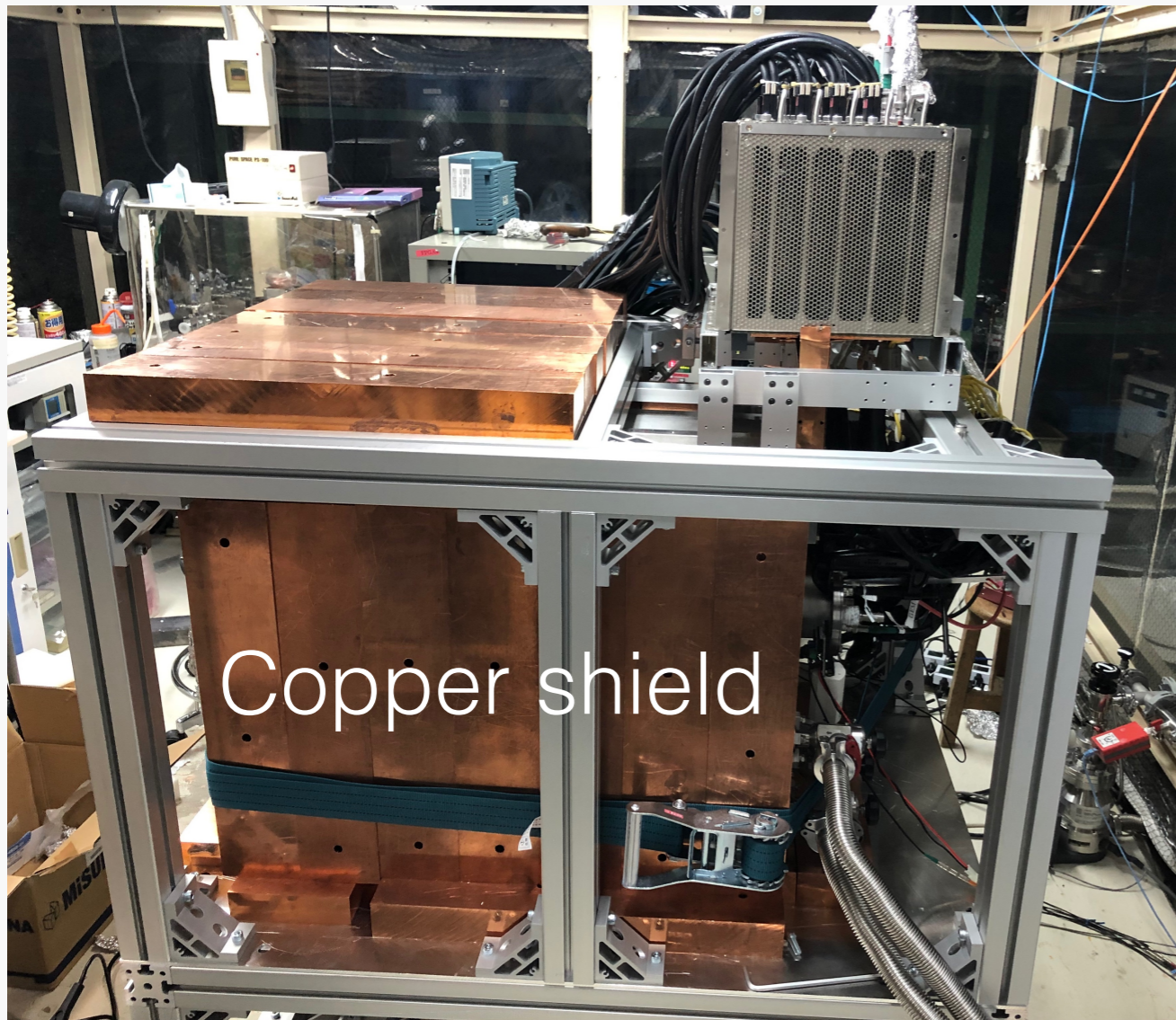
圧力、ゲイン、安定性を踏まえ

50 Torrでの運転に決定

が、ゲイン増加に伴い

8 環境ガンマBGも増加→要対策

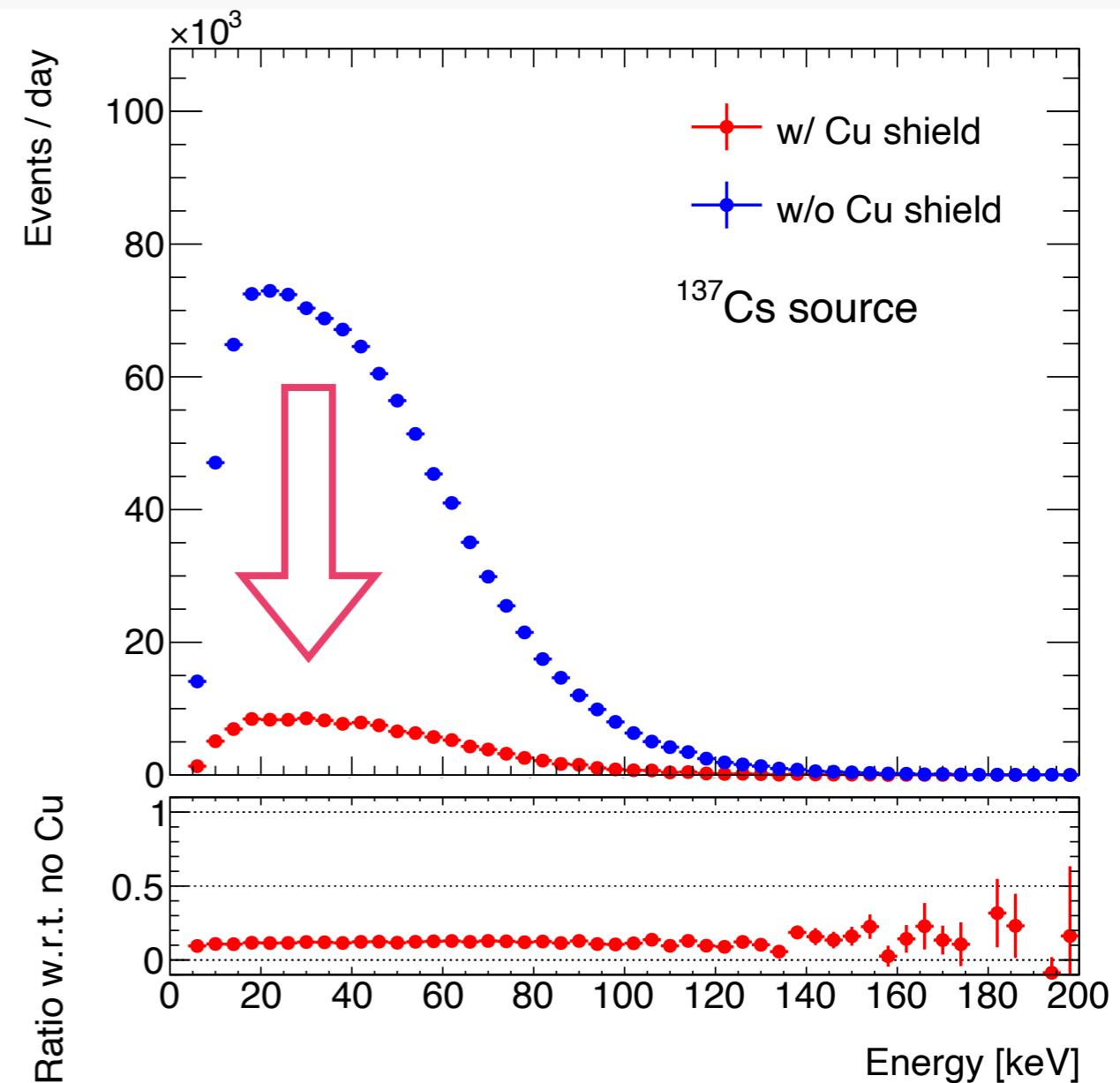
銅シールド



主に岩盤のRIからのガンマ
5 cm厚の銅板で囲んで遮蔽

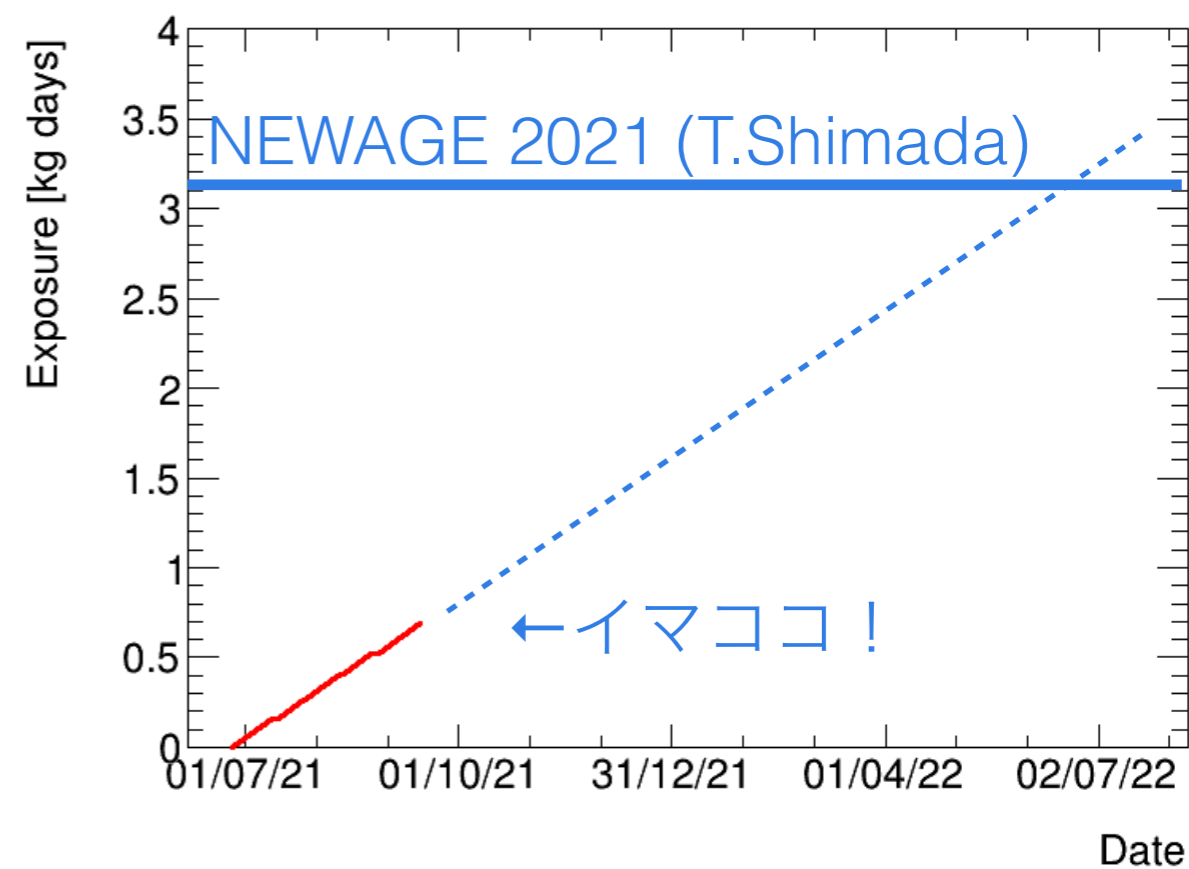
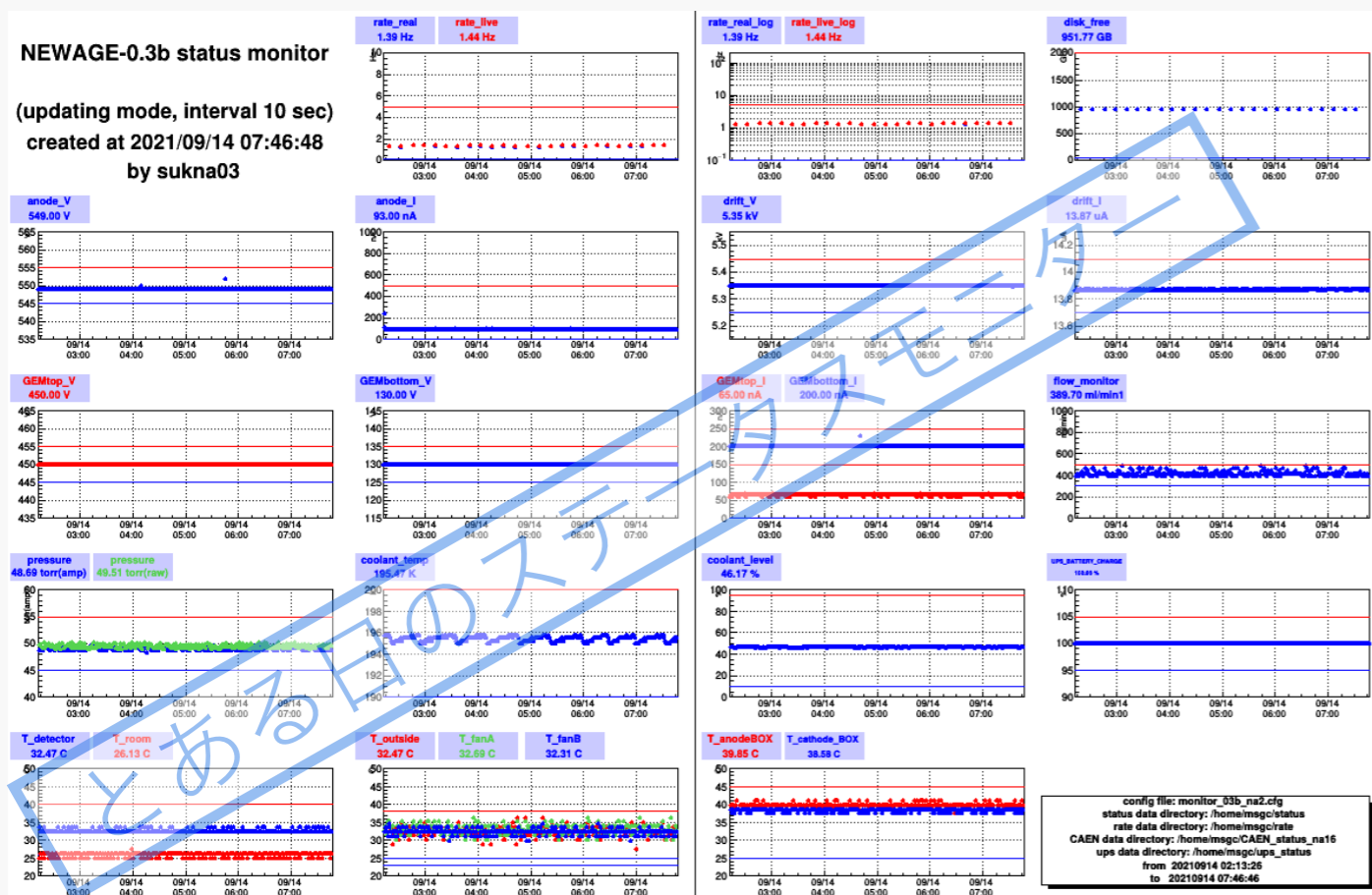
^{137}Cs 線源由来の事象を評価

→ **10 %に削減!**



近況

- 低圧ガスで**安定した運転**ができるようになった
 - ➔ その他ガスフィルター役の活性炭用の冷凍機故障など
前途多難なトラブルを乗り越えた
- **ただいま絶賛DM探索実施中！最新結果に乞うご期待！**



CYGNUS-KM / NEWAGE-1.0

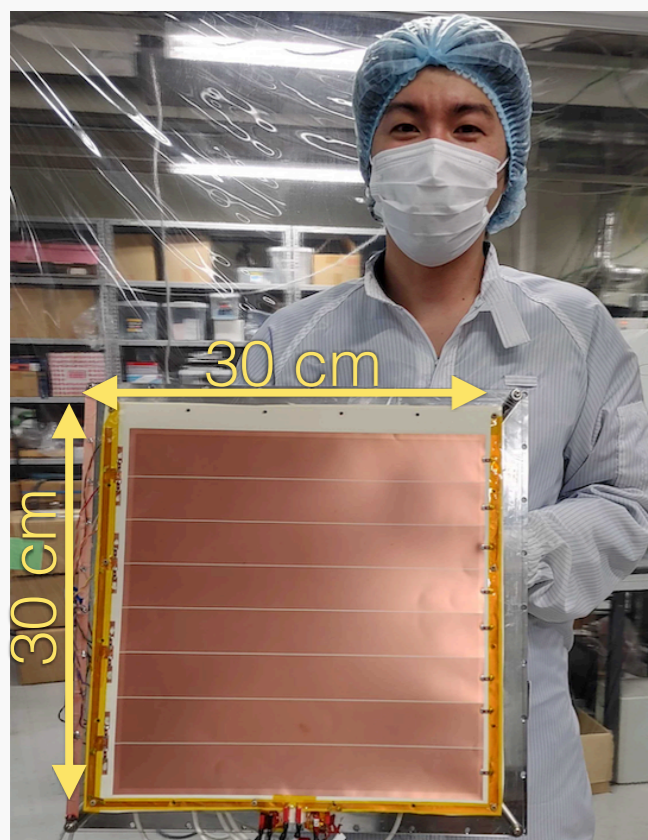
C/N-1.0 in 神戸 のお話

C/N-1.0 のステータス

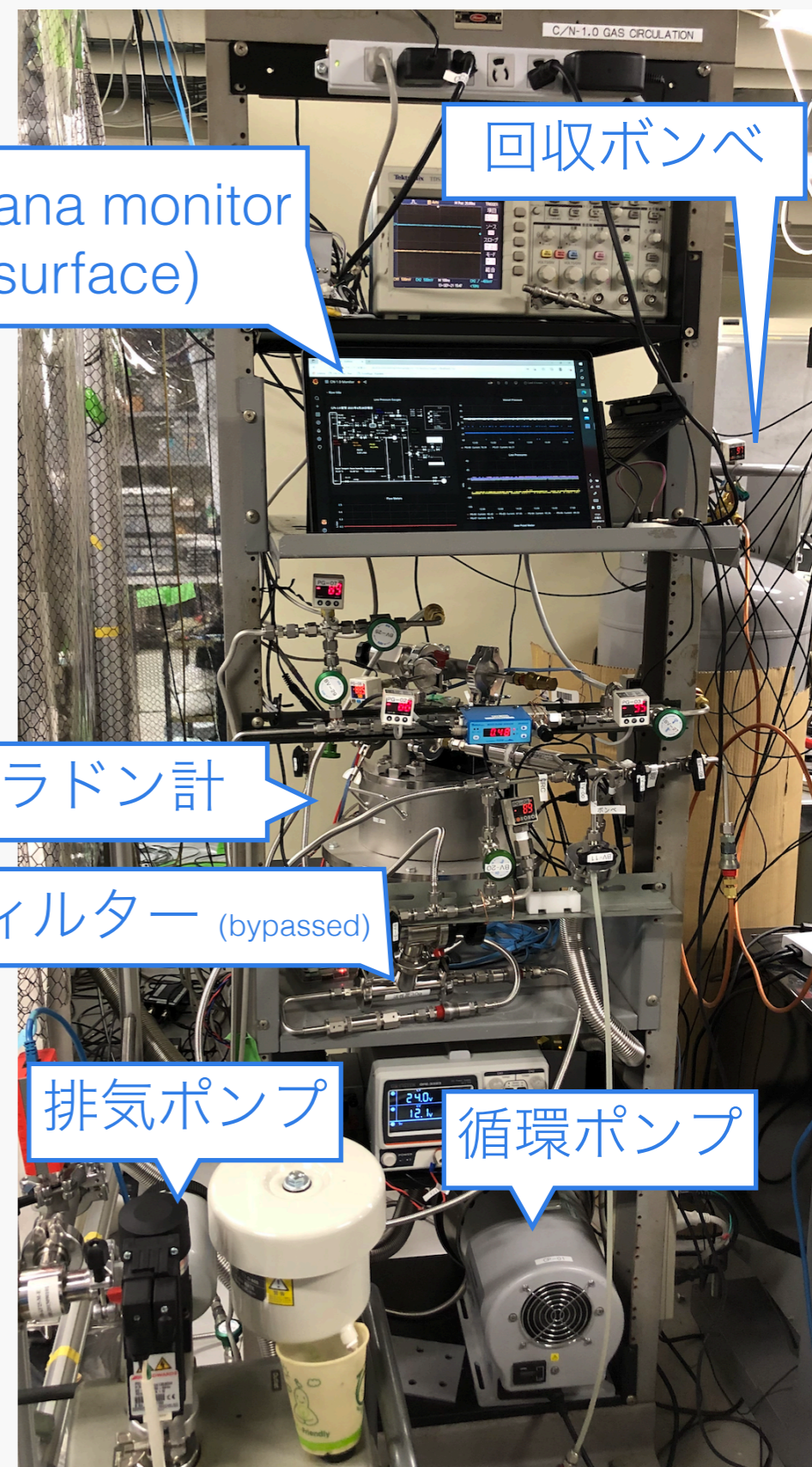
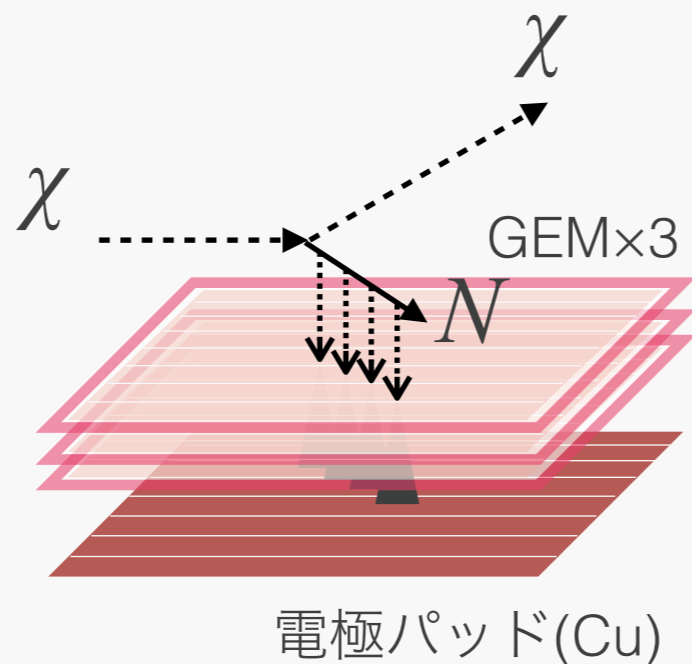
- CF₄ガス 76 Torrにて信号検出

2021年3月 JPS 神戸大 東野 (12pV3-10)

- TPCとして機能していることを確認



テスト用 Triple-GEM 検出器

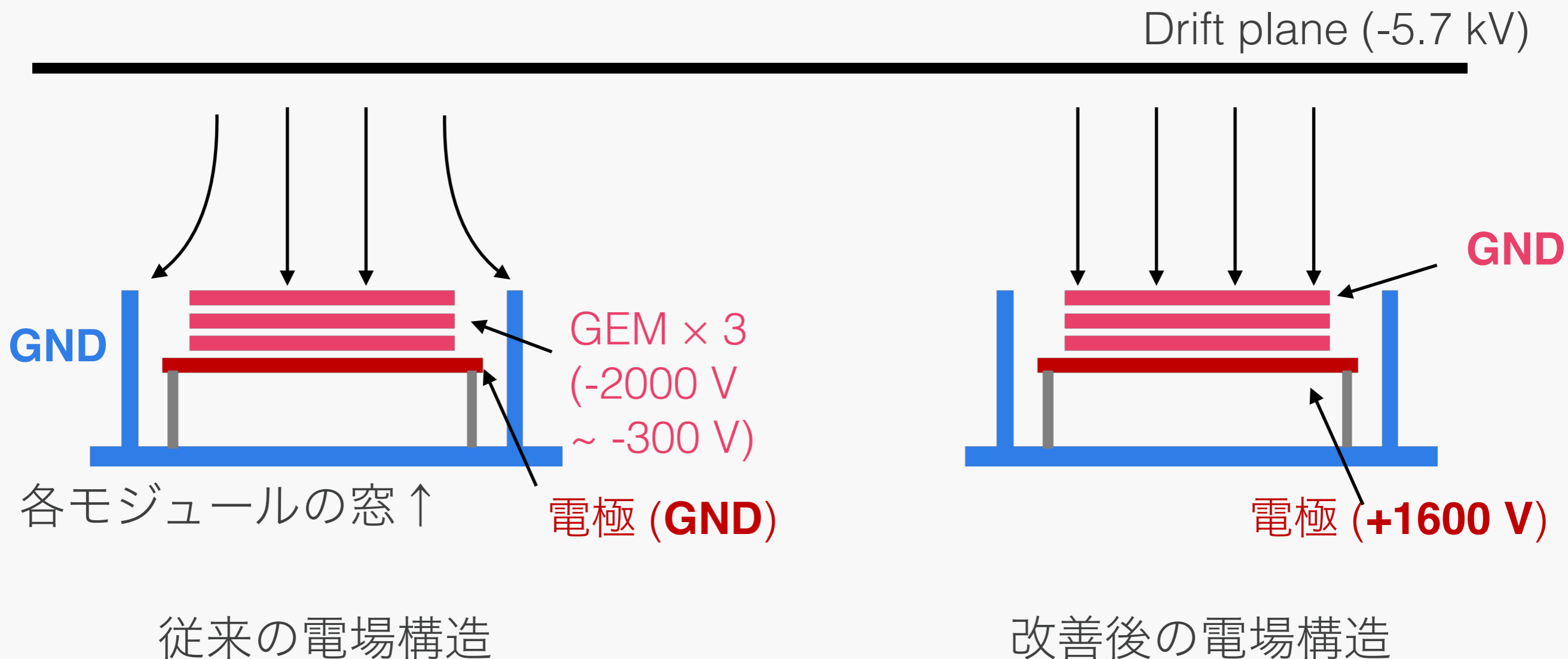


- ガス循環系を導入

- 同時に導入したガスを回収する機構を実装

Triple-GEM 検出器改善

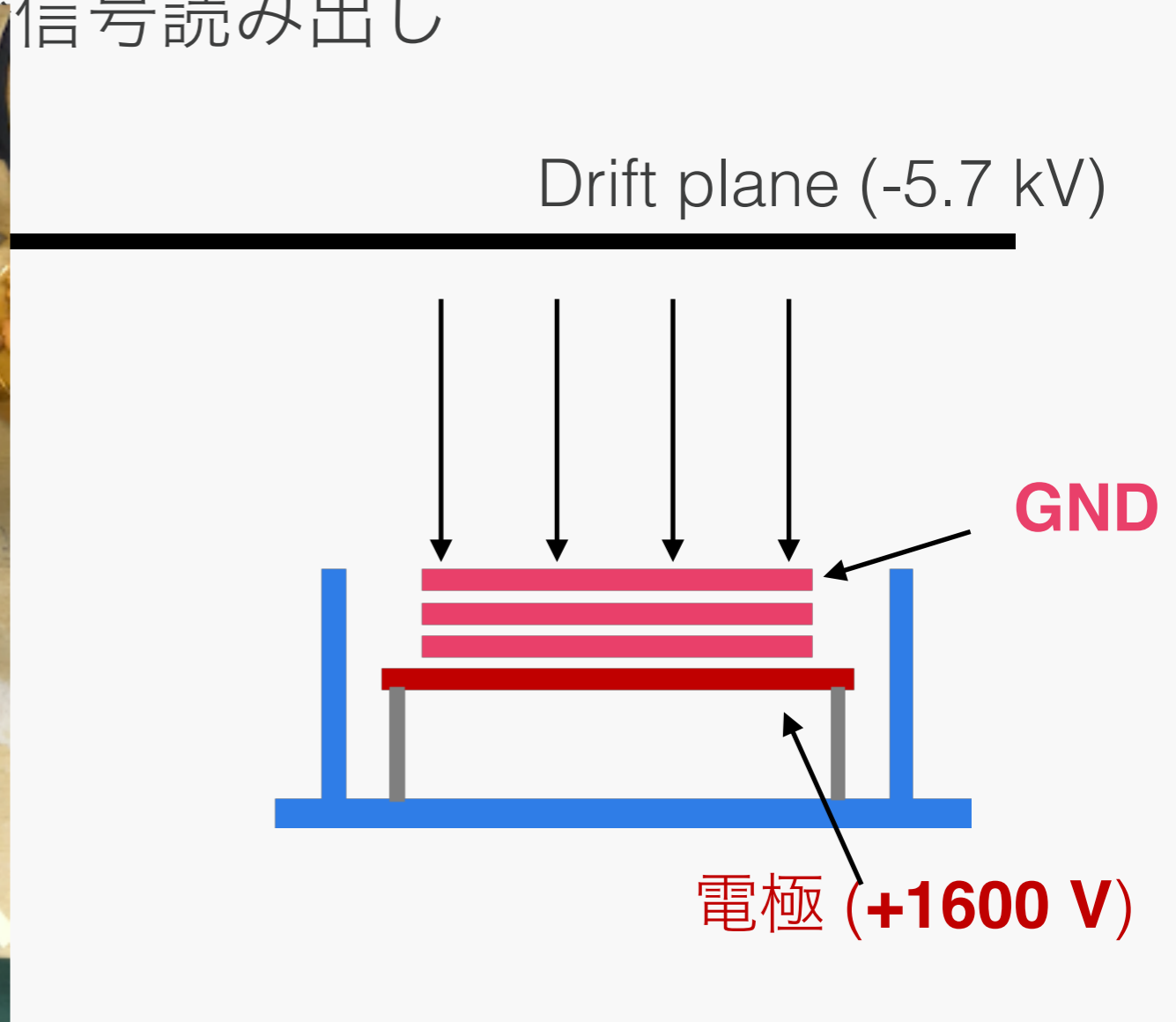
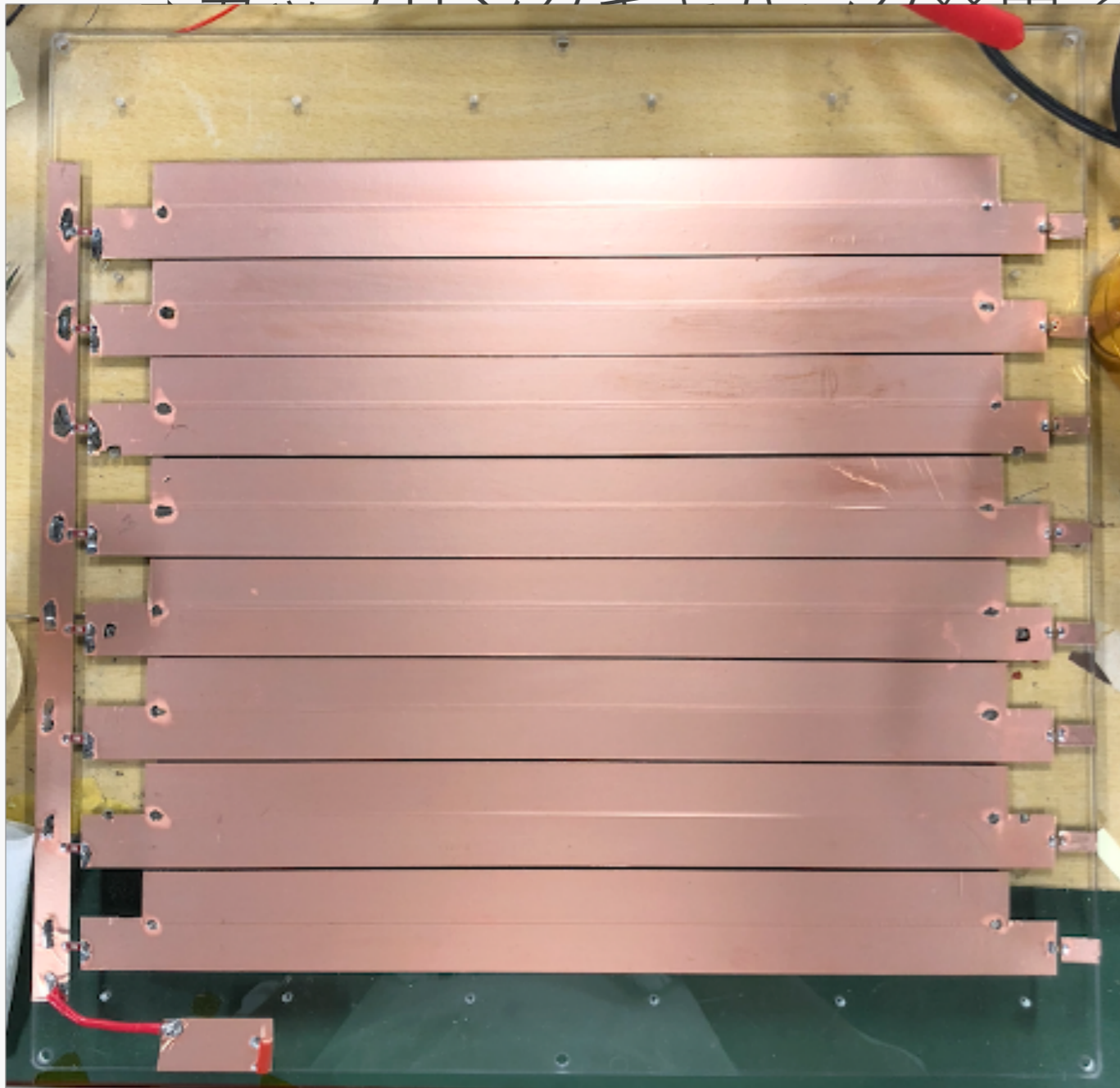
- 電場構造の歪みを修正→電極に電圧をかける必要あり
 - ➔ カップリングキャパシタ経由で信号読み出し



Triple-GEM 検出器改善

- 電場構造の歪みを修正→電極に電圧をかける必要あり

ケーブル、データケーブル、パルス信号読み出し



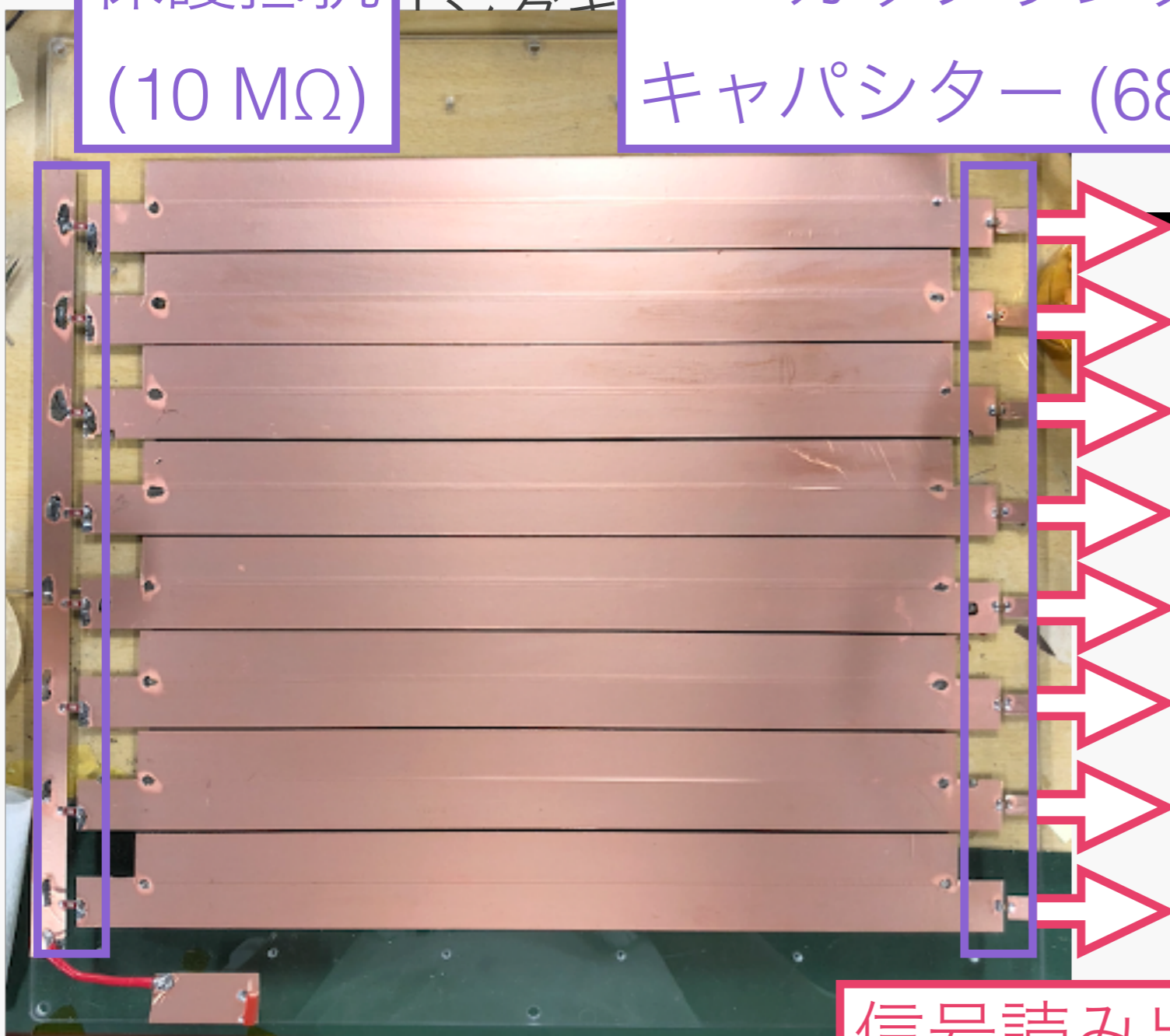
改善後の電場構造

Triple-GEM 検出器改善

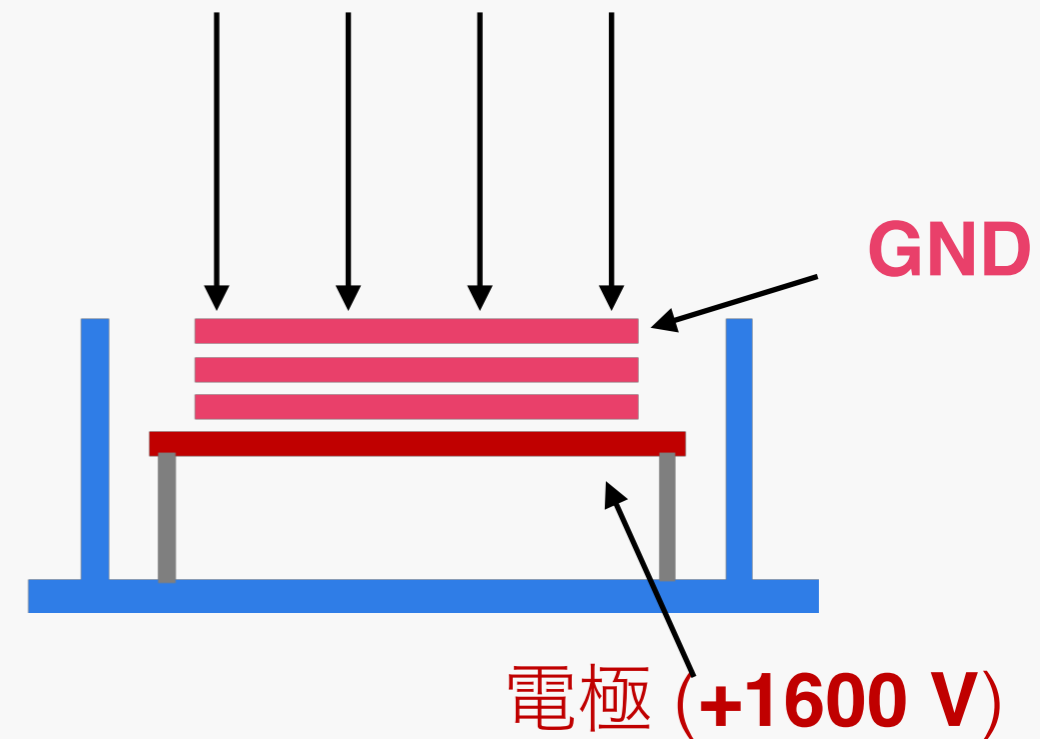
- 電場構造の歪みを修正→電極に電圧をかける必要あり

保護抵抗
(10 MΩ)

カップリング
キャパシター (680 pF)



Drift plane (-5.7 kV)



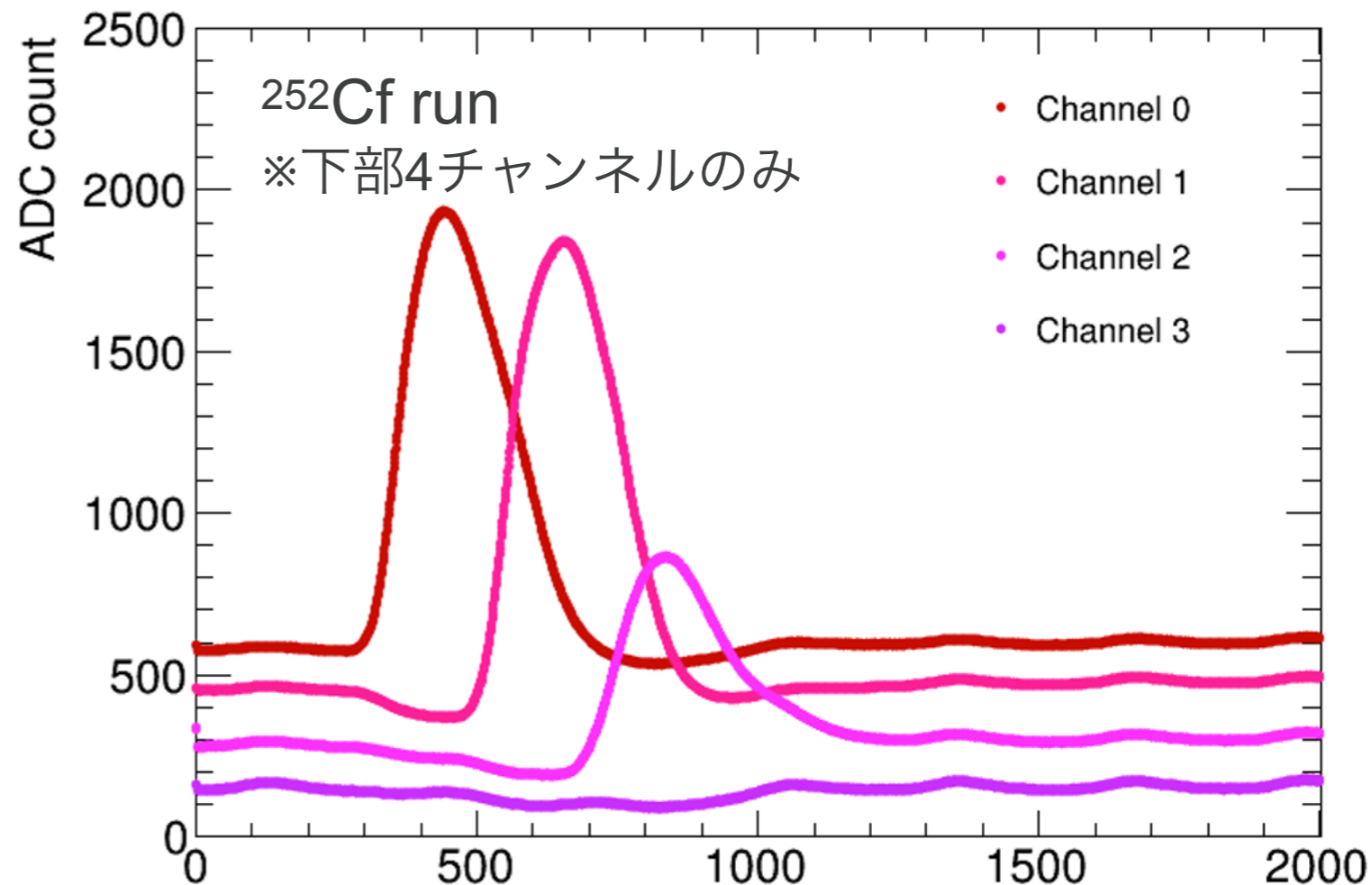
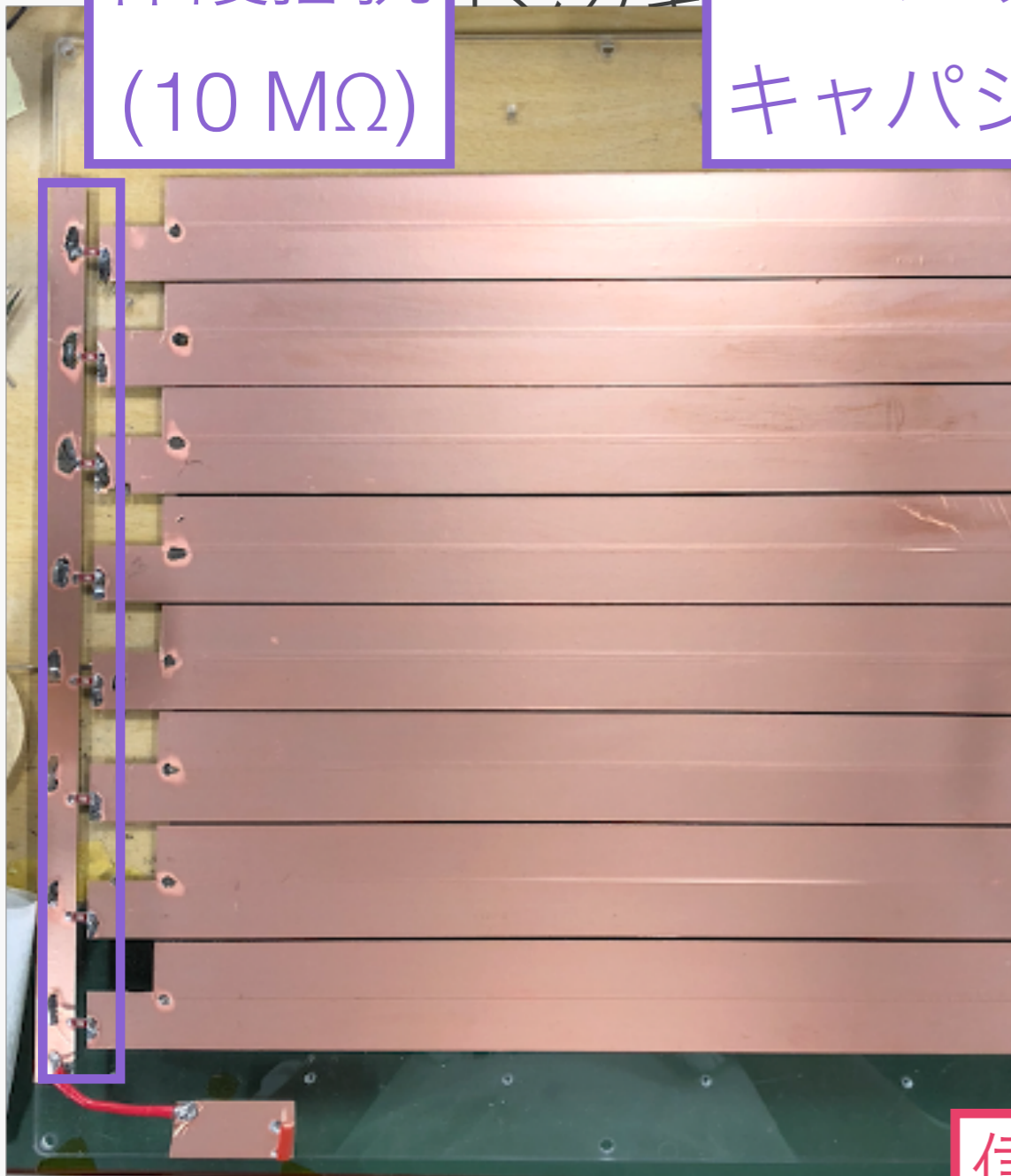
改善後の電場構造

Triple-GEM 検出器改善

- 電場構造の歪みを修正→電極に電圧をかける必要あり

保護抵抗
(10 M Ω)

カップリング
キャパシタ (680 nF)



信号読み出し

正常に信号読み出し
できることを確認

↑ HV line

将来計画

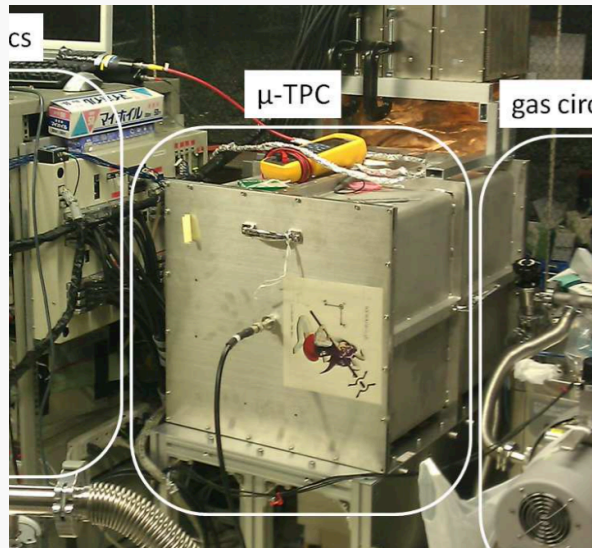
2021年11月
神岡搬入

2022年4月
運転開始



2021年10月
測定開始

studyのフィードバック



将来計画



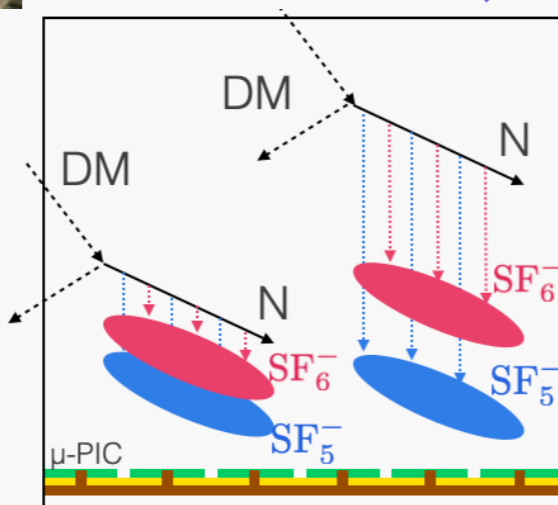
2021年11月
神岡搬入

2022年4月
運転開始

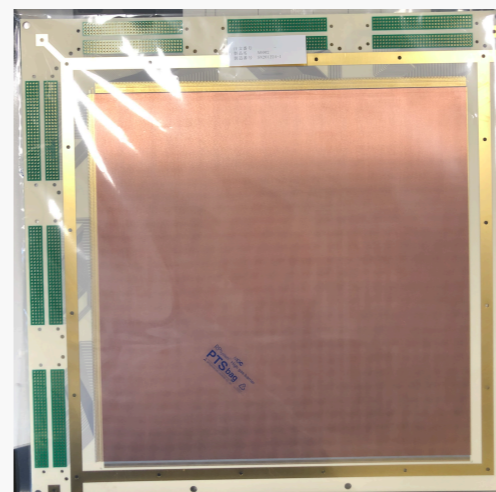


2021年10月
測定開始

studyのフィードバック



陰イオンガス導入



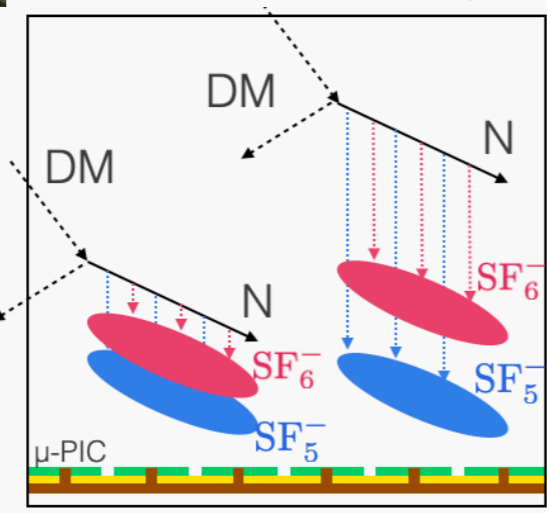
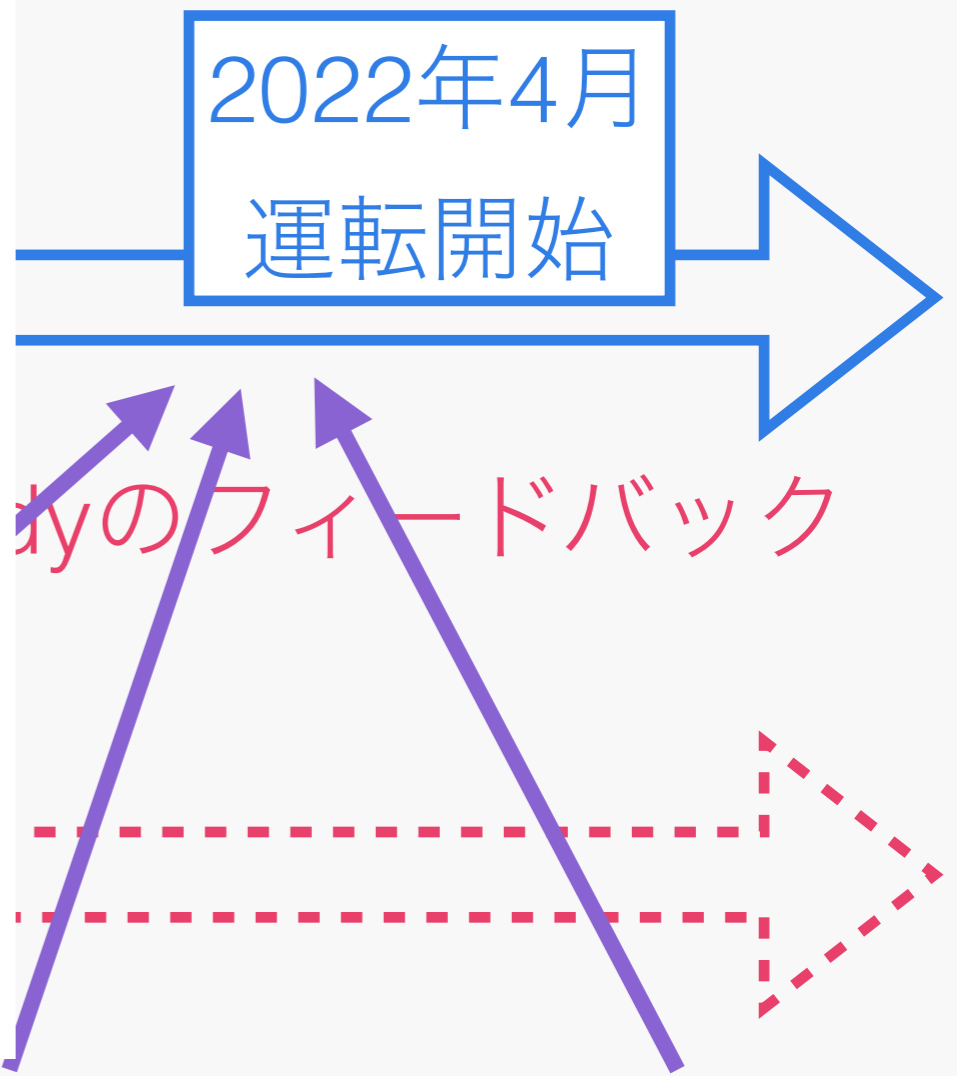
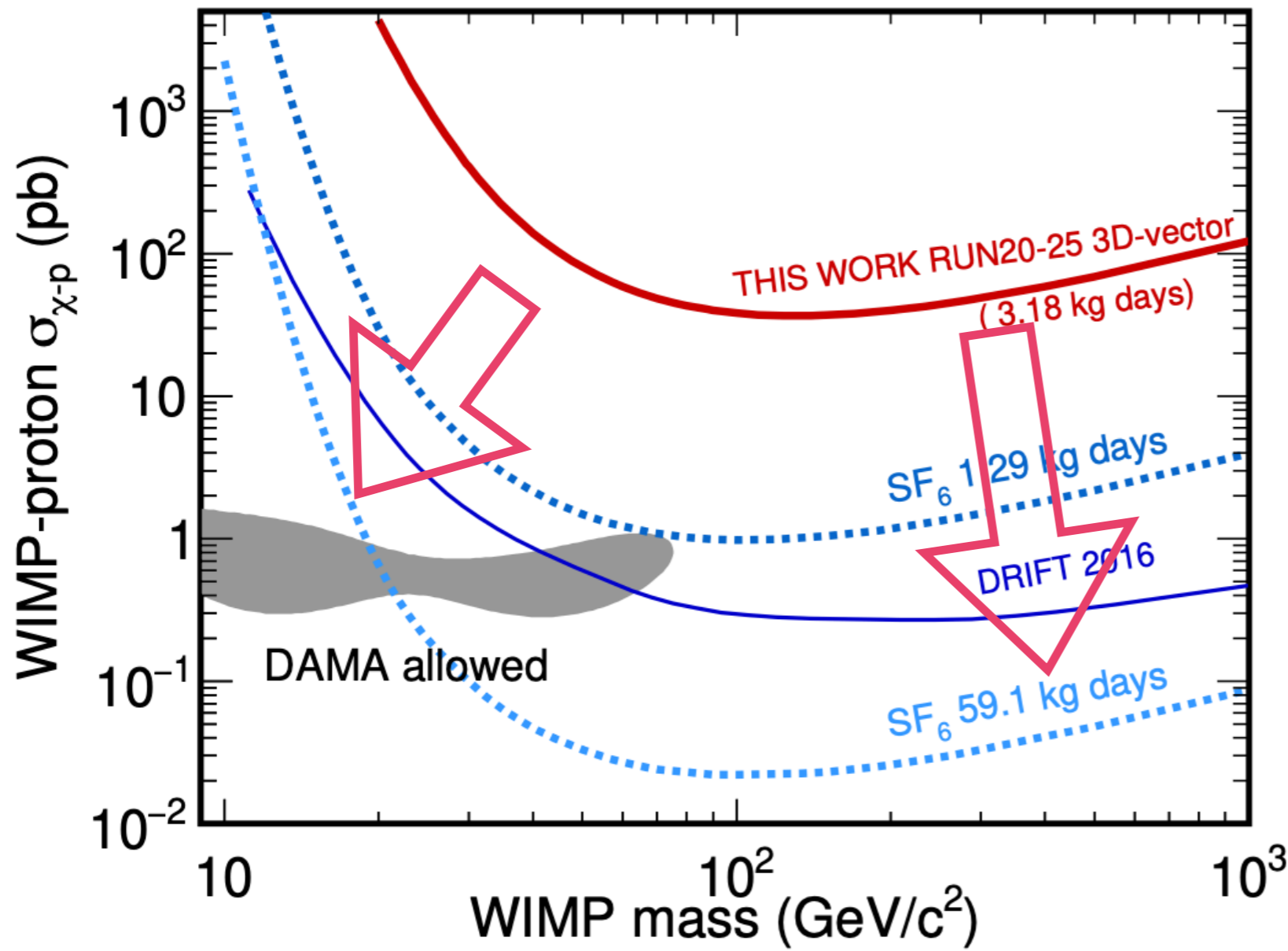
内部BG削減



外部BG削減

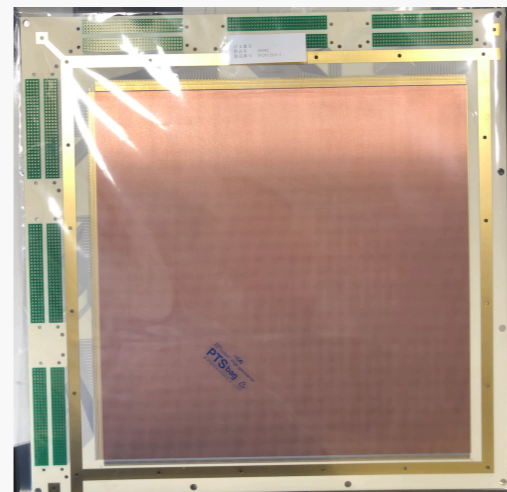
(14日午後 東野、窪田発表) 14(このあと 石浦発表)

(このあと 中山発表)



陰イオンガス導入

(14日午後 東野、窪田発表) 14(このあと 石浦発表)



内部BG削減

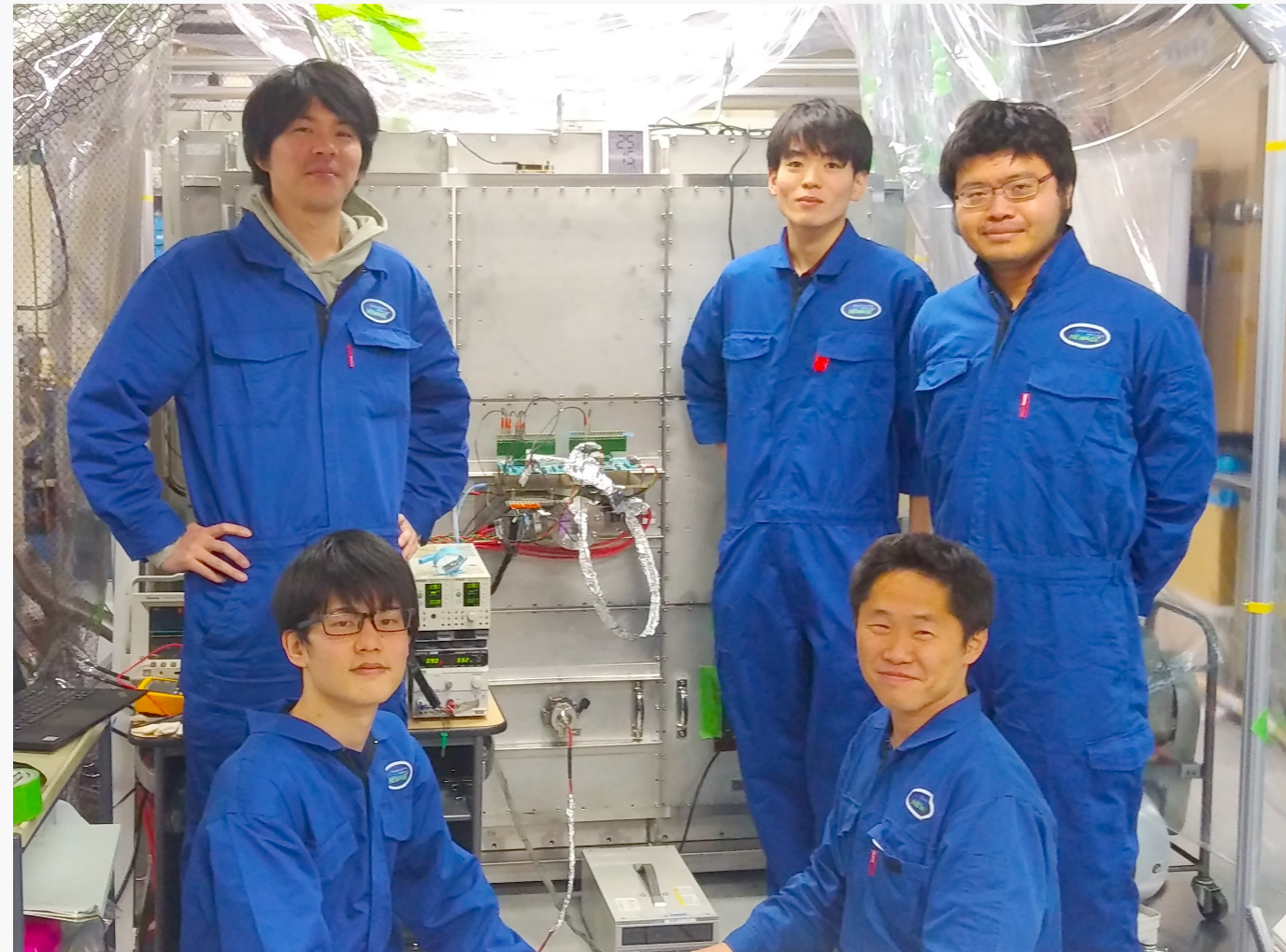


外部BG削減

(このあと 中山発表)

限られたマンパワーで奮闘中
応援よろしくおねがいします！

←2020年度
@神戸大

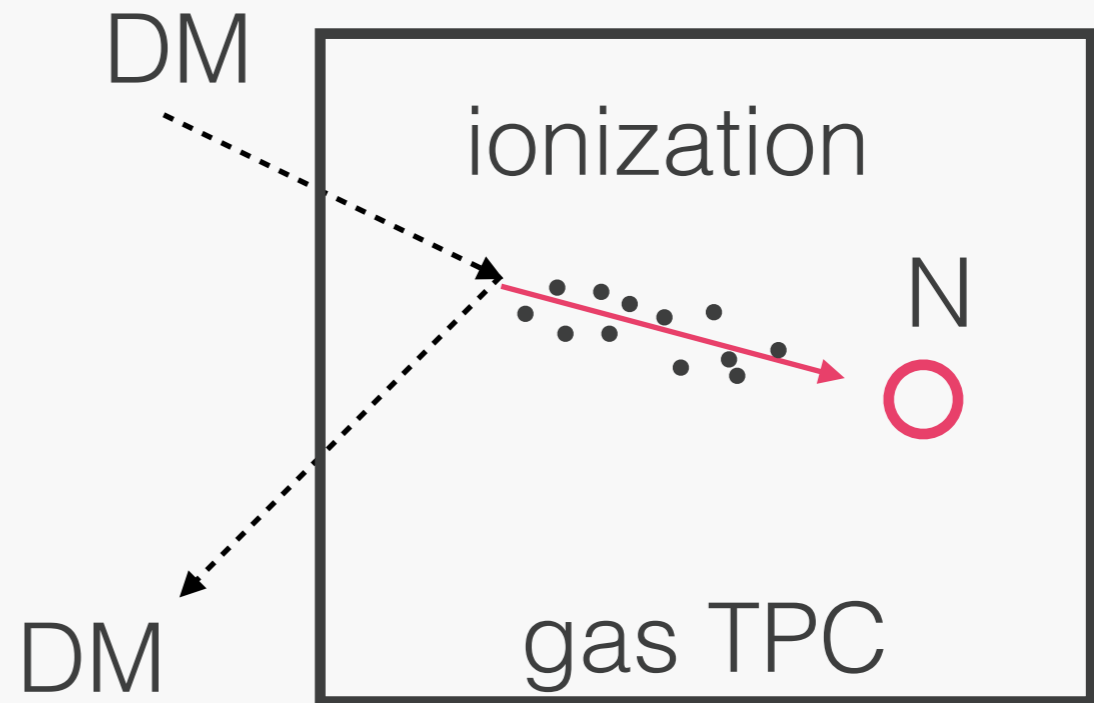
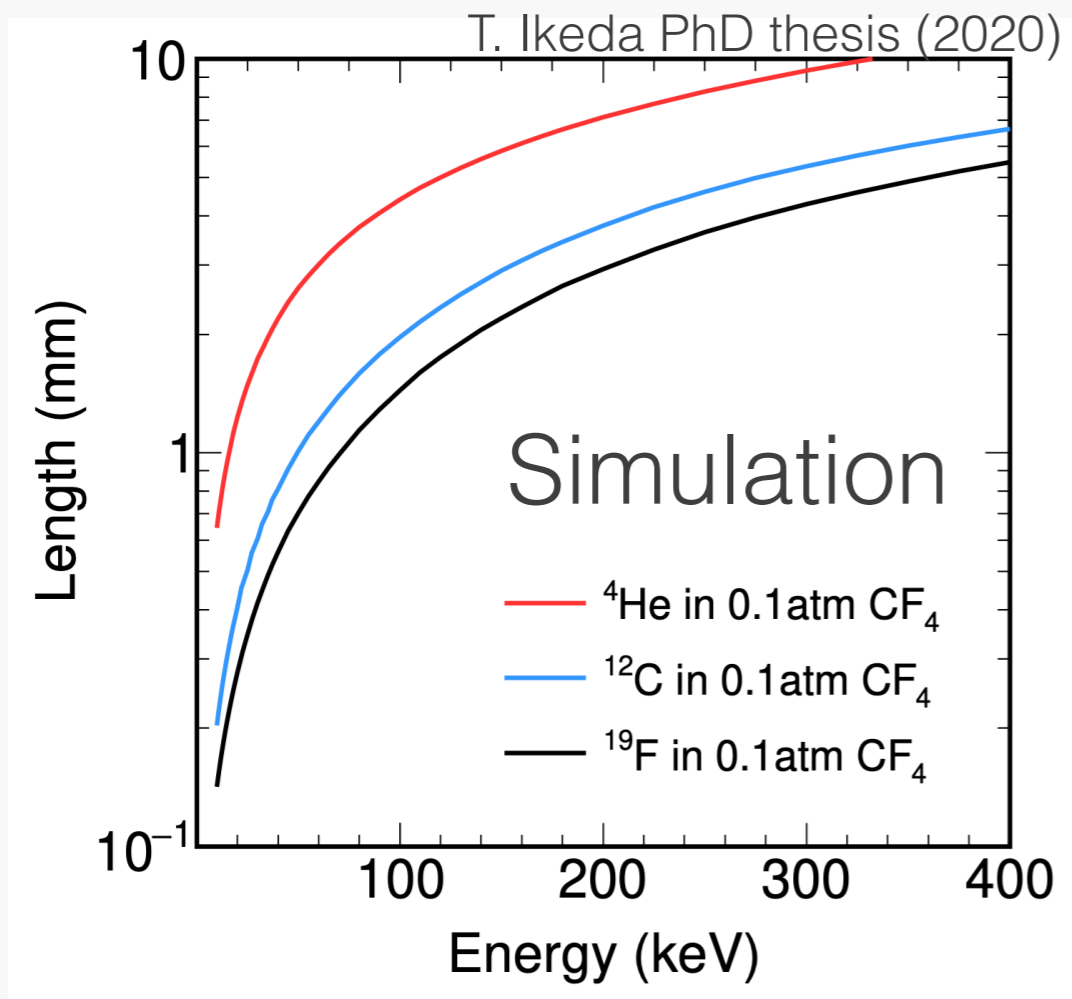


2021年度→
@神戸大

Backup

どうやって方向を測定する？

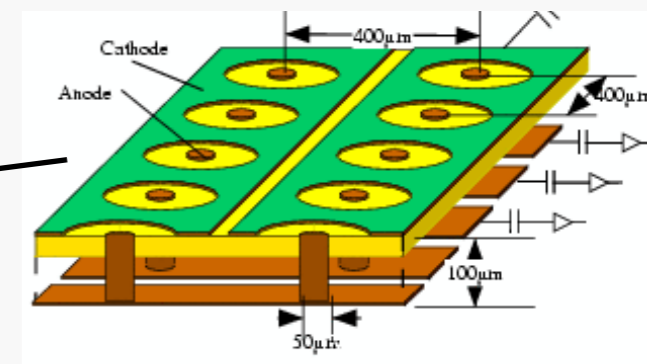
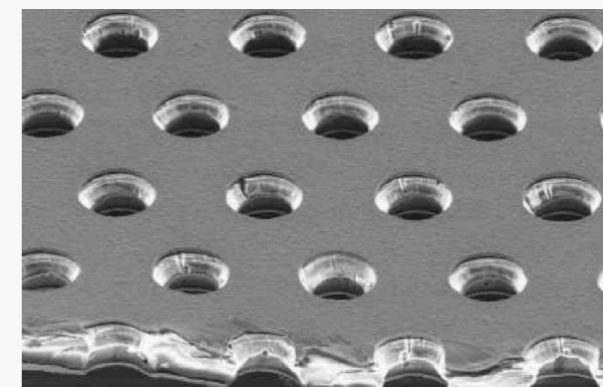
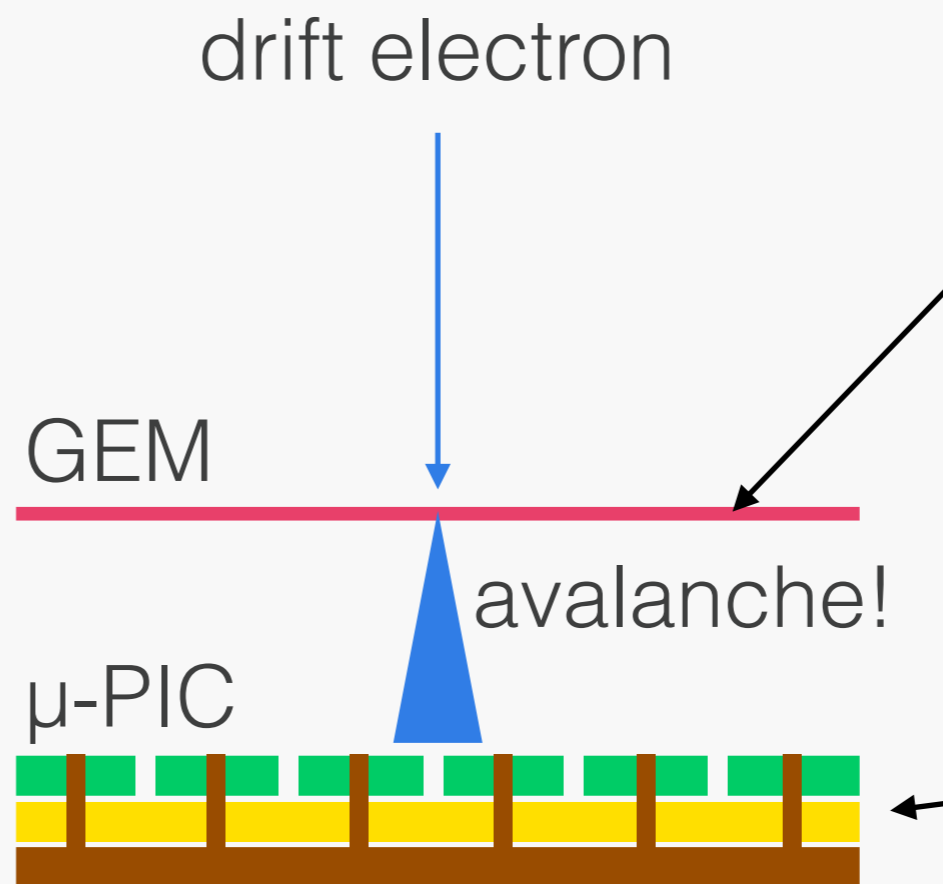
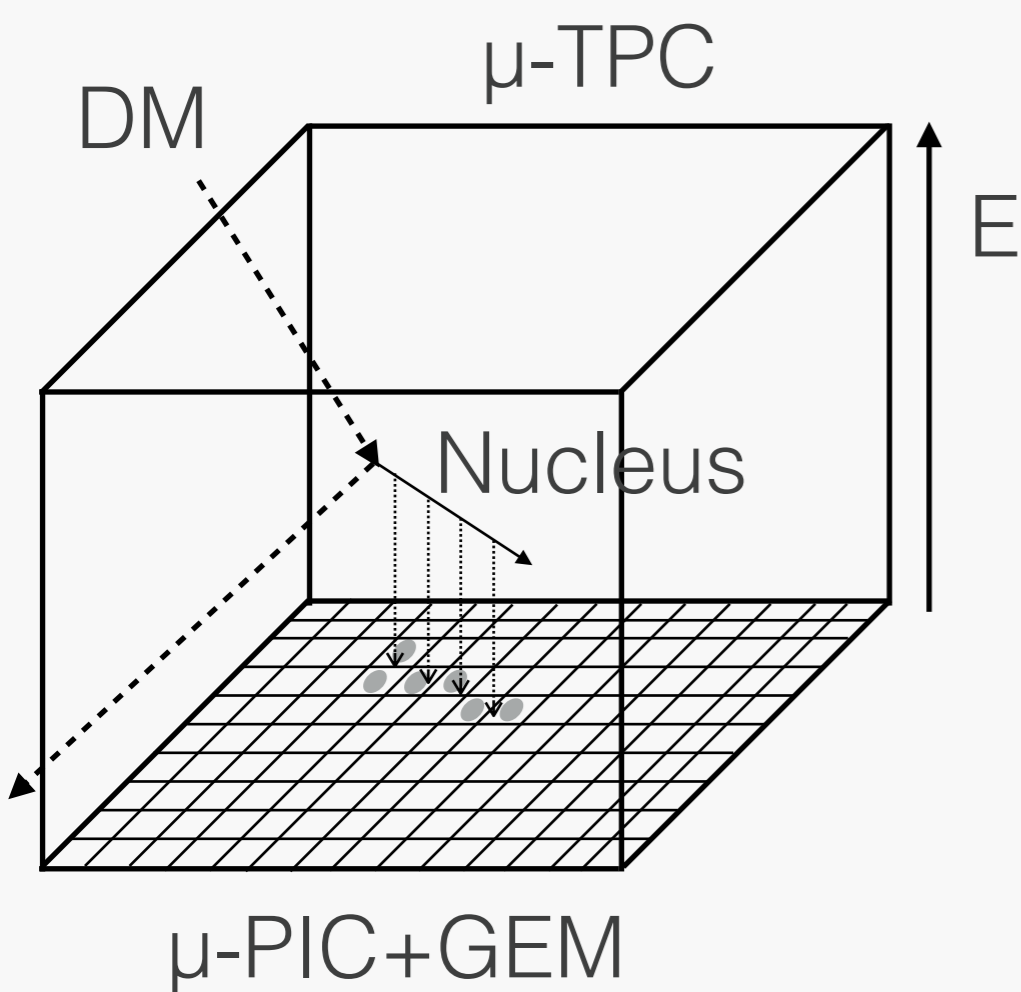
- 反跳する原子核の方向 (反跳原子核の飛跡) を測定することで可能
- 低エネルギーの原子核反跳を観測する必要あり ($O(1-100 \text{ keV})$)
 - 物質中だと短飛跡のため、低圧なガスをターゲットにするのがよい
 - ▶ 飛跡長: CF_4 ガスを 76 Torr (= 0.1 atm) で用いても $O(1 \text{ mm})$ 程度



高位置分解能でドリフト電子
(またはイオン)を読み出す必要あり

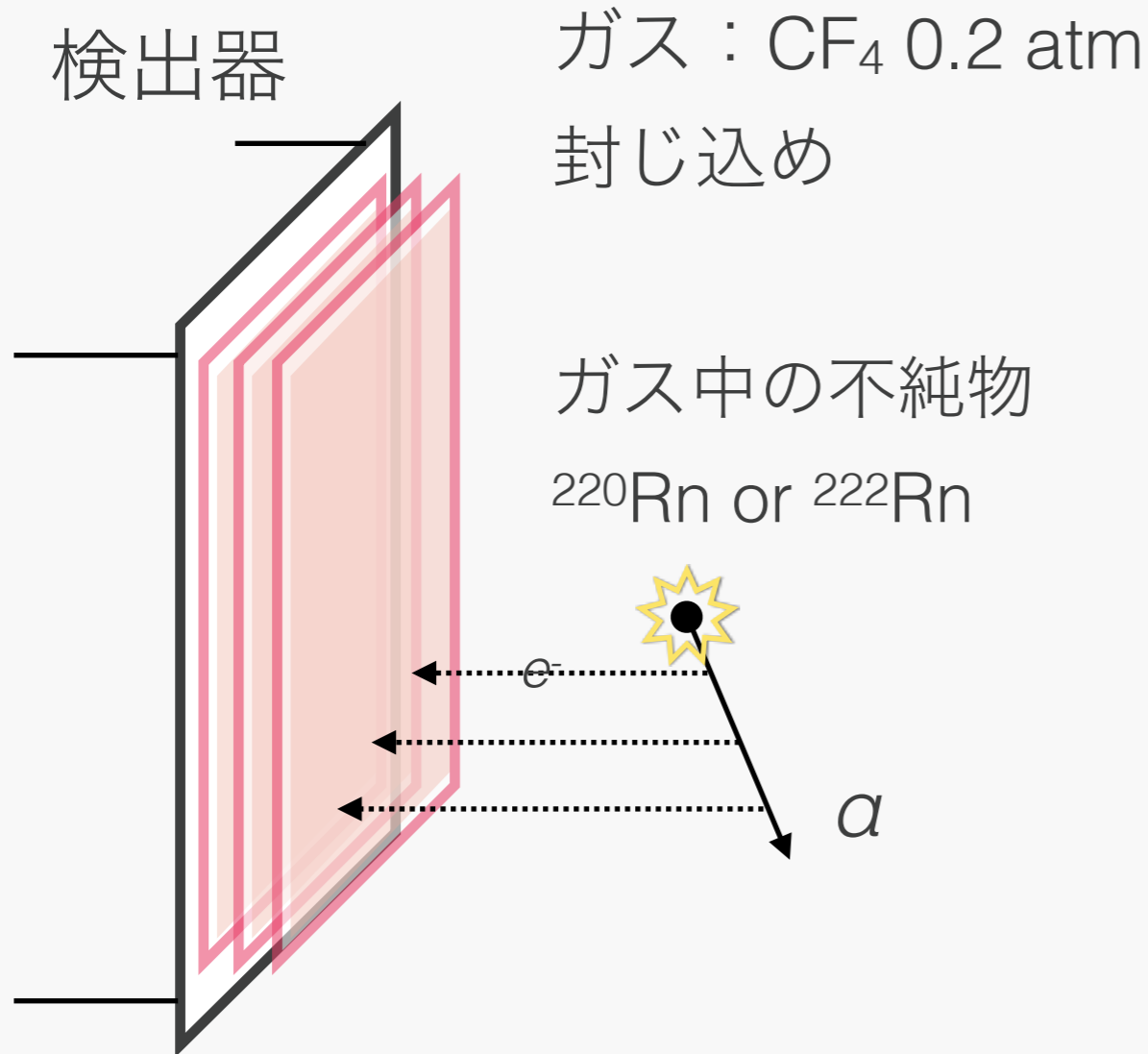
検出器

- micro-strip読み出しを用いたガスTPC (μ -TPC: micro-Time Projection Chamber)
 - ➔ $30 \times 30 \times 40 \text{ cm}^3$ チェンバーに CF_4 ガスを 76 Torr で入れる
 - ➔ μ -PIC: 400 μm pitch strip readout (2D), 増幅機能付き
 - ➔ ドリフト電子を GEM (Gas Electron Multiplier) でさらに増幅

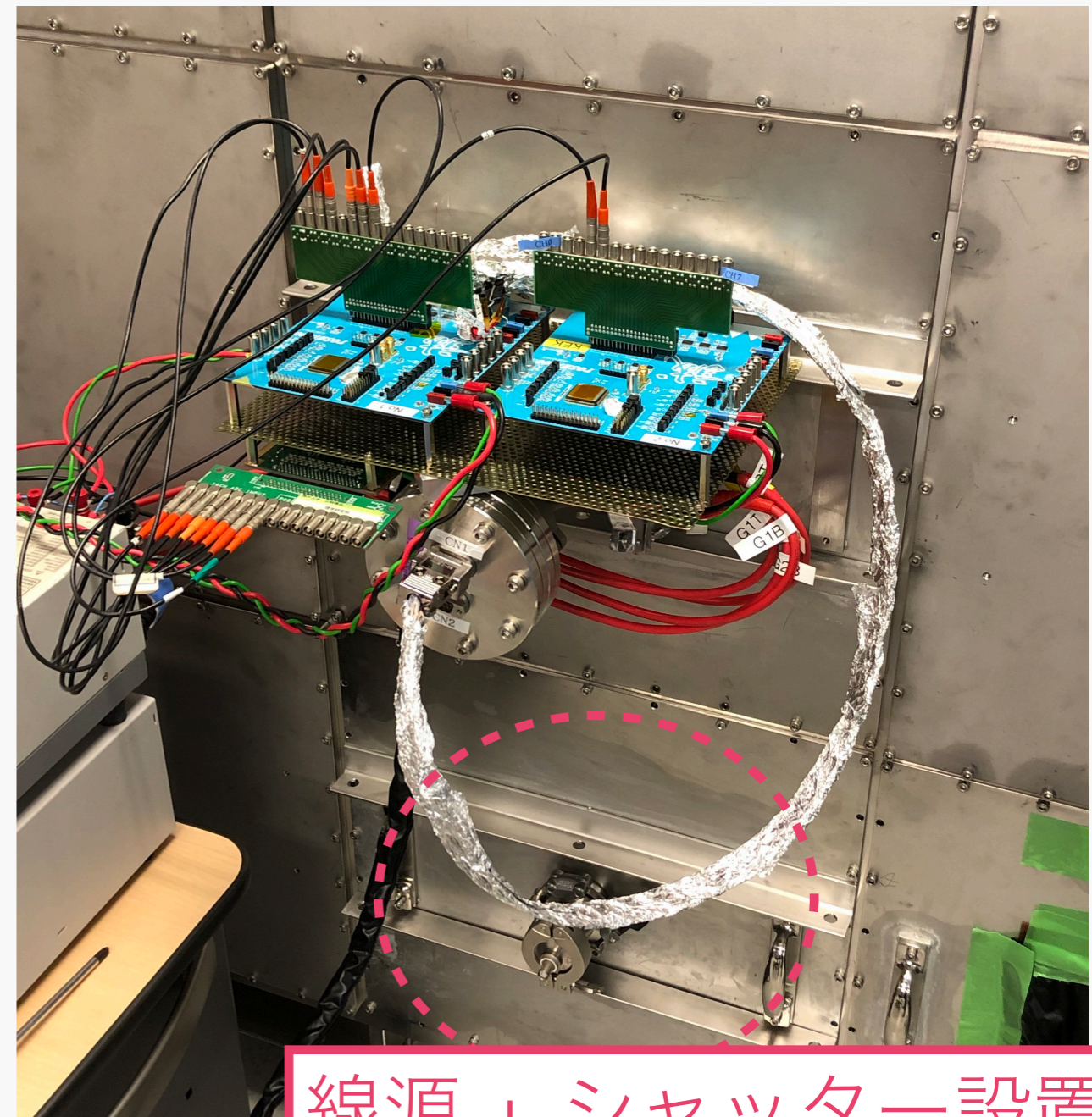


セットアップ

- ガス中の不純物であるラドン由来の α 線検出試験
 - ➔ ここでは α 線検出自体が目的、ドリフト距離による信号の時間差を確認したい

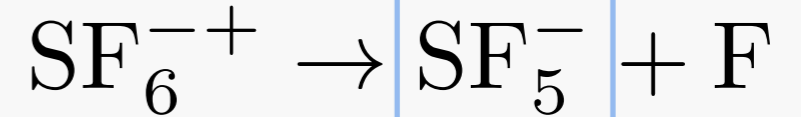
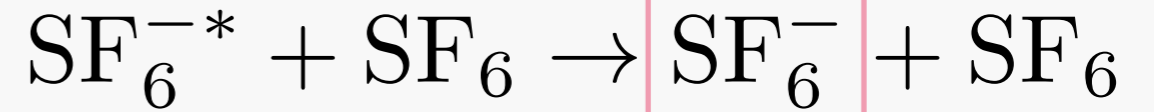
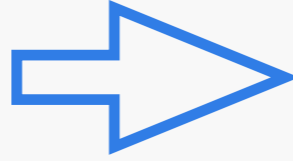
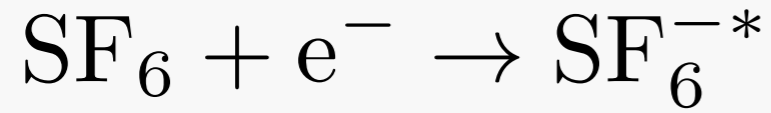


※本試験は下部 5 chのみ使用

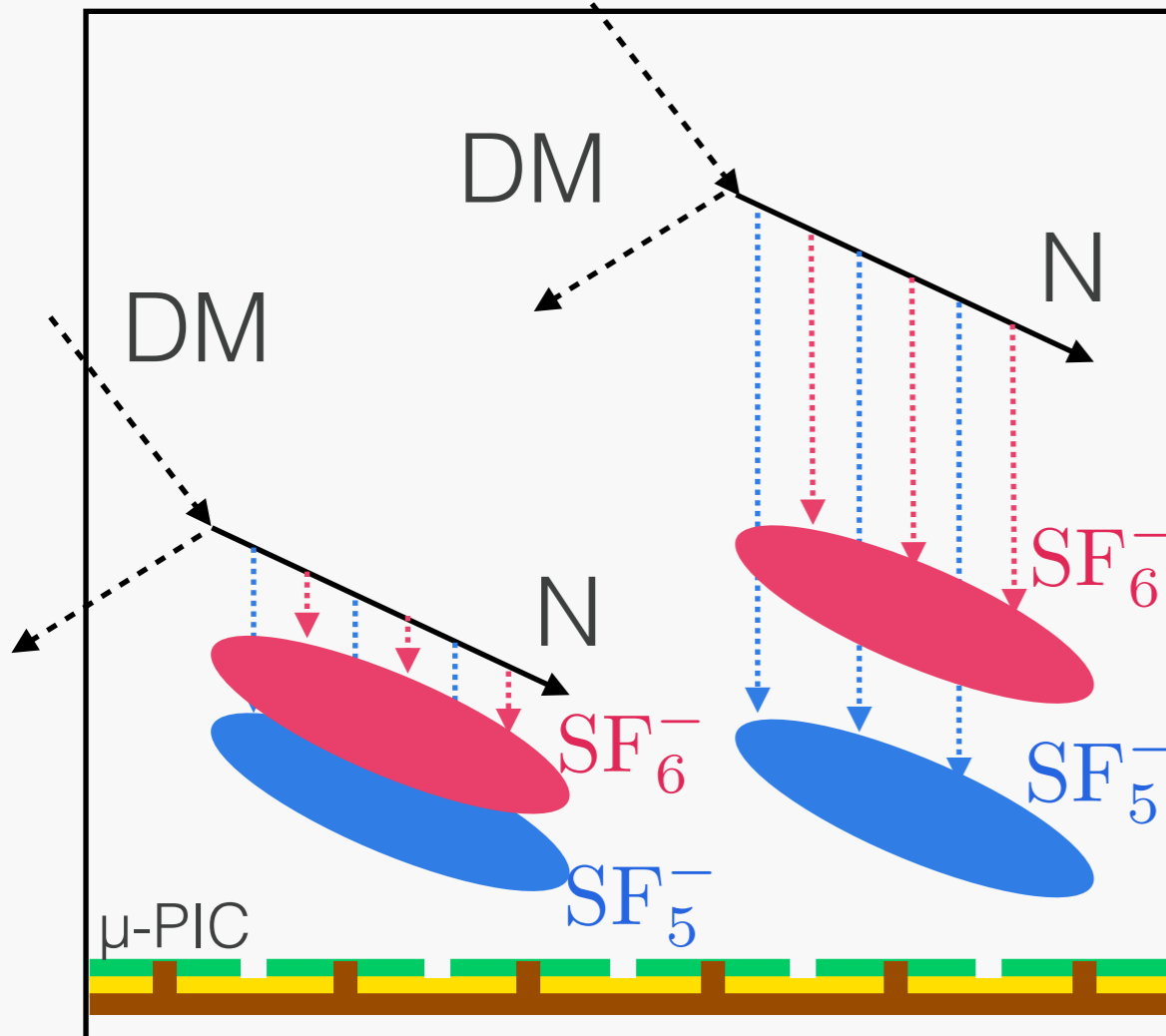


線源 + シャッター設置

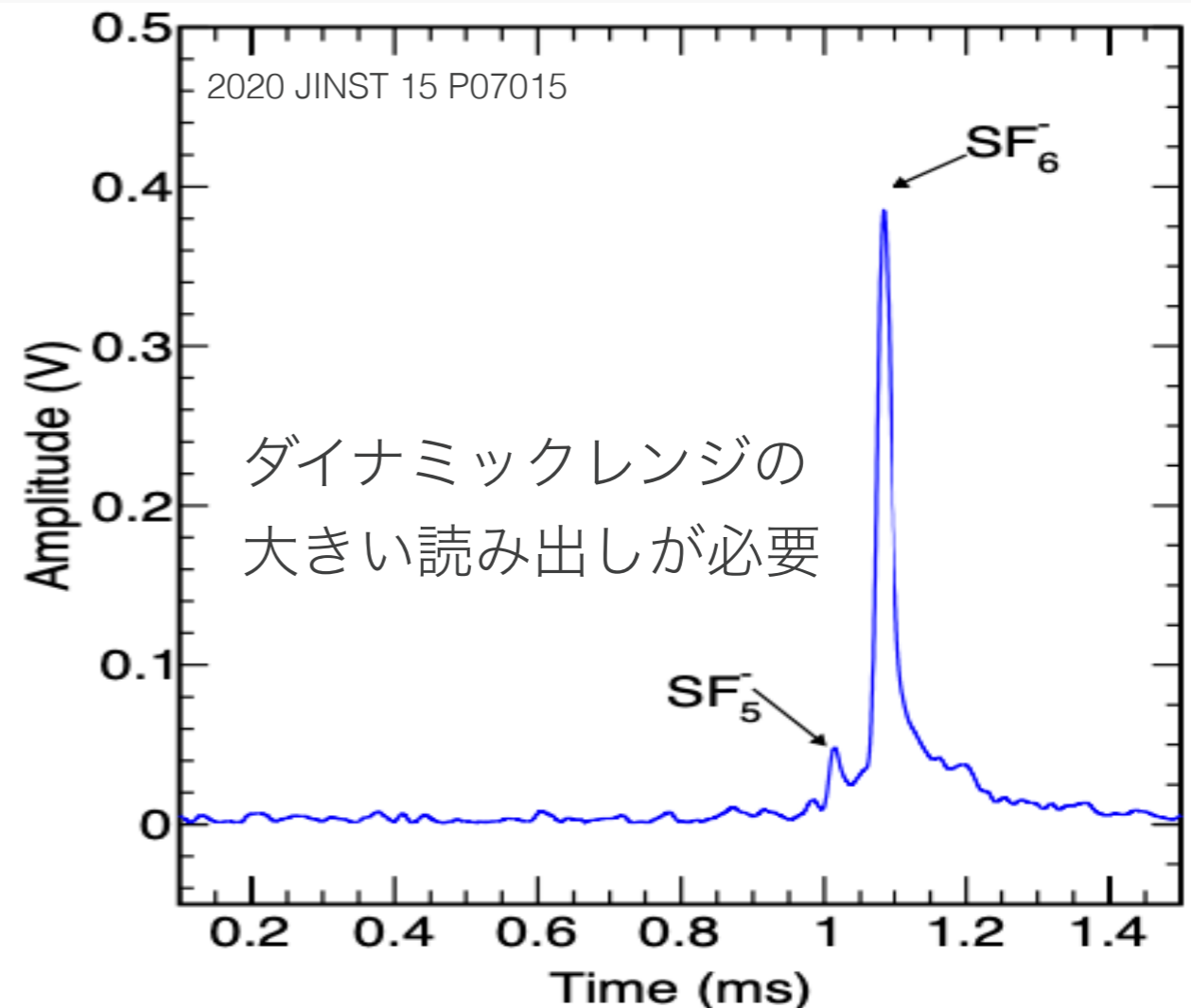
陰イオンガス：SF₆



時間差を見ればドリフト方向の
絶対位置測定可、かつ低拡散

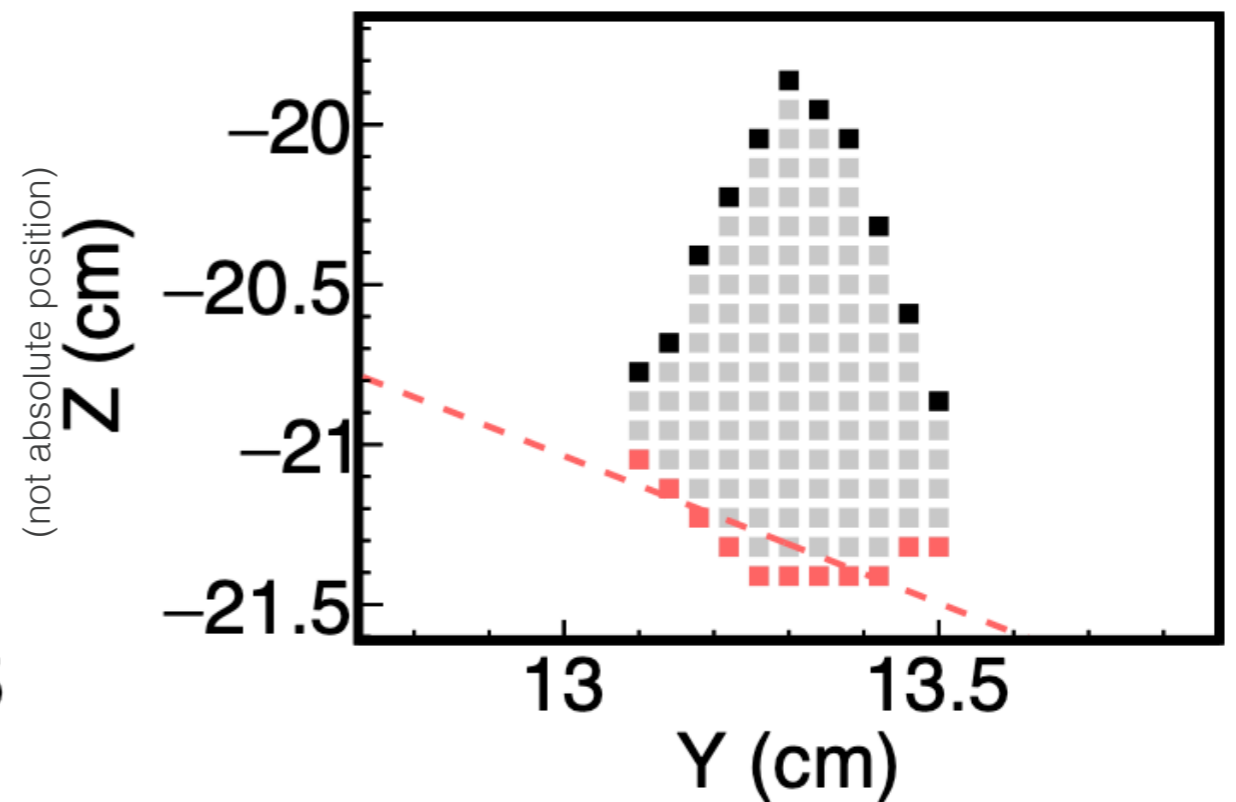
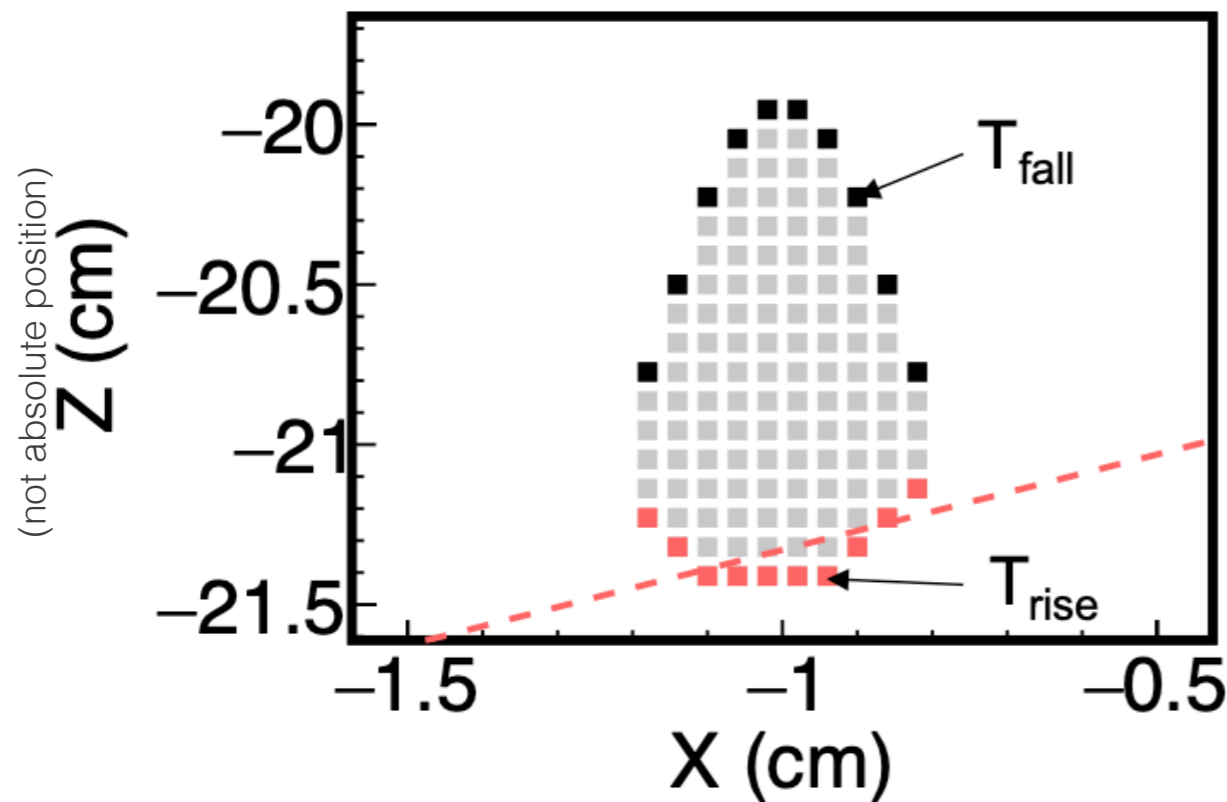
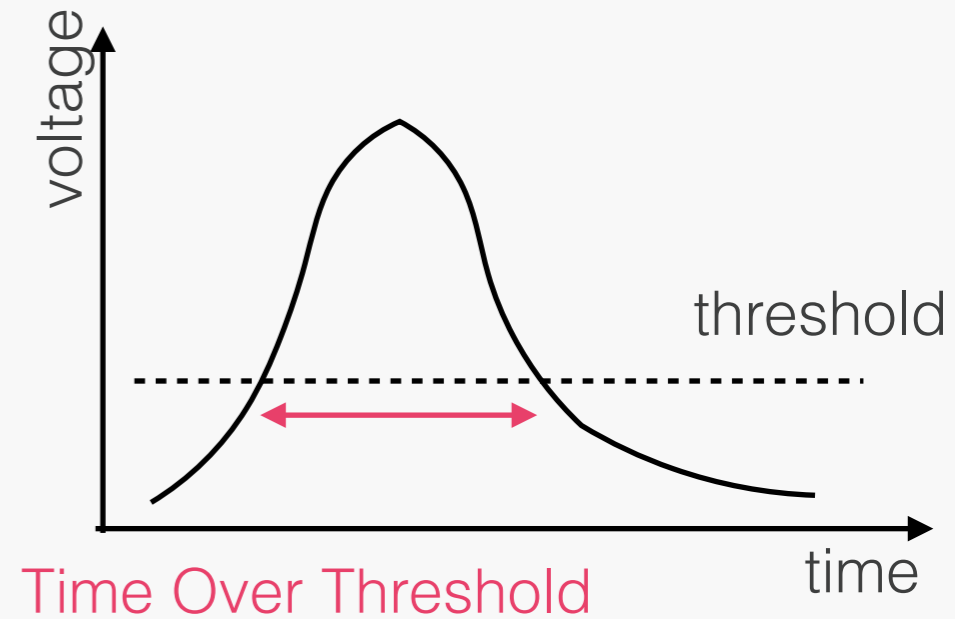


ただし特徴的な波形のため
FADCを用いた波形解析をしたい



Track reconstruction

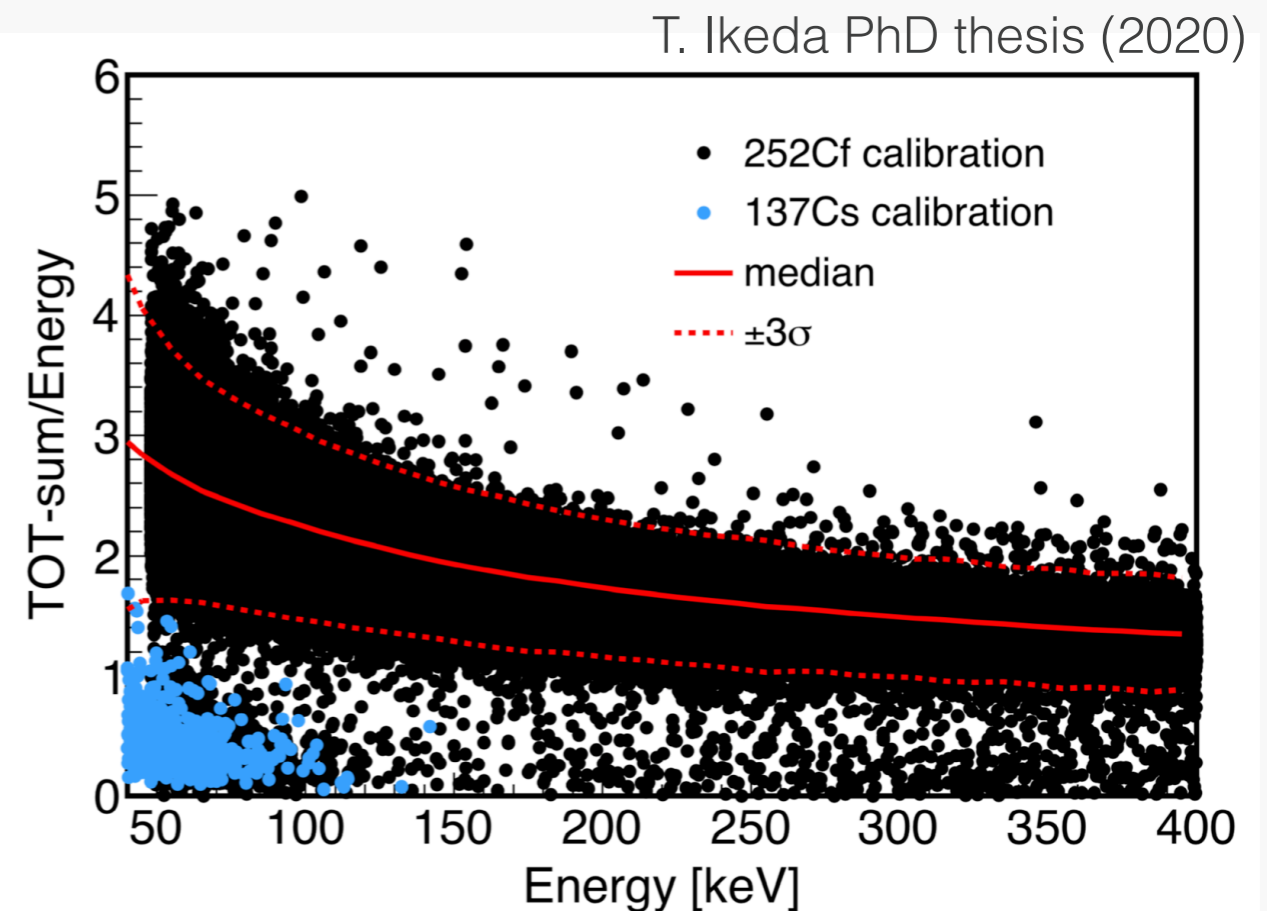
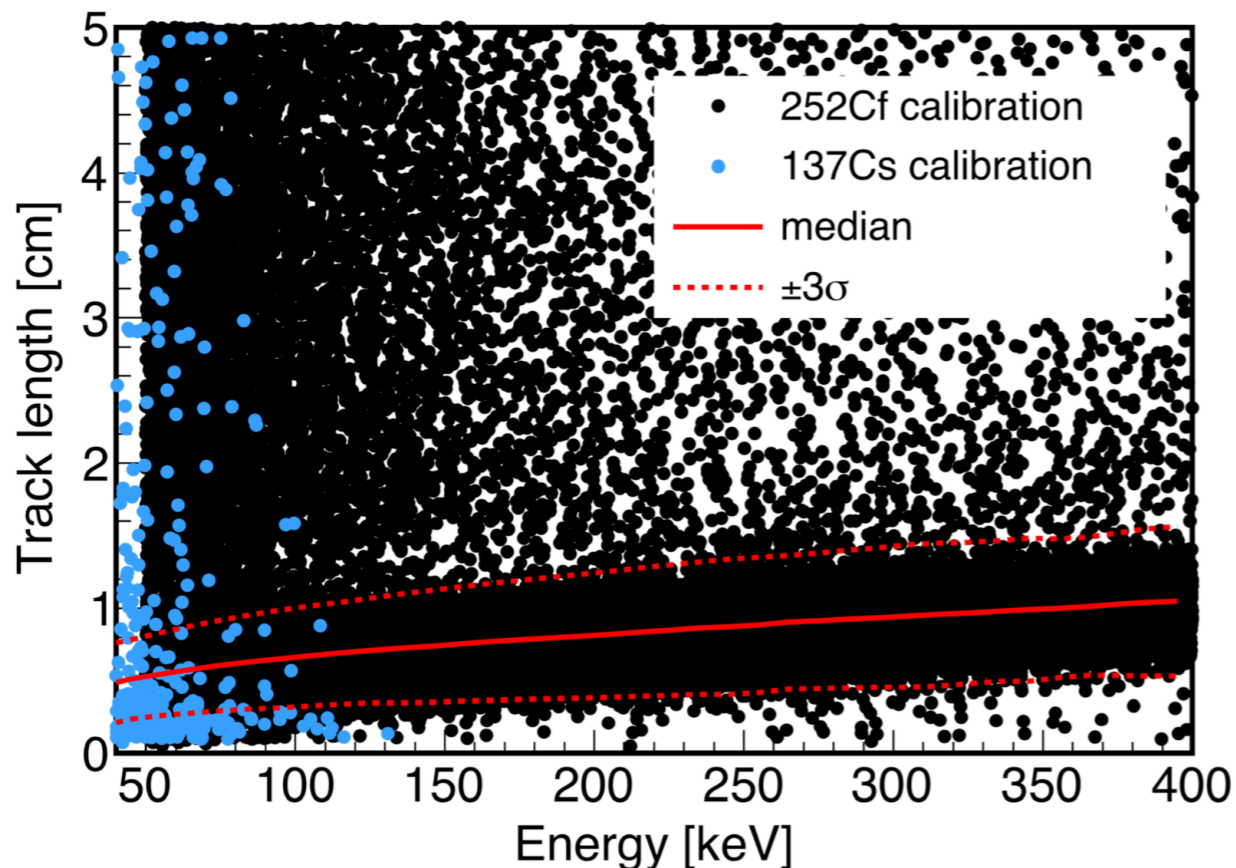
- 3D track is reconstructed by the position and drift time of hits
 - Note: only relative drift time difference (=relative position of Z) can be measured
- Energy deposition is also measured via Time Over Threshold (ToT)
- Typical event display for nuclear recoil is shown below
 - Data taken with ^{252}Cf source (neutron source)



T. Ikeda PhD thesis (2020)

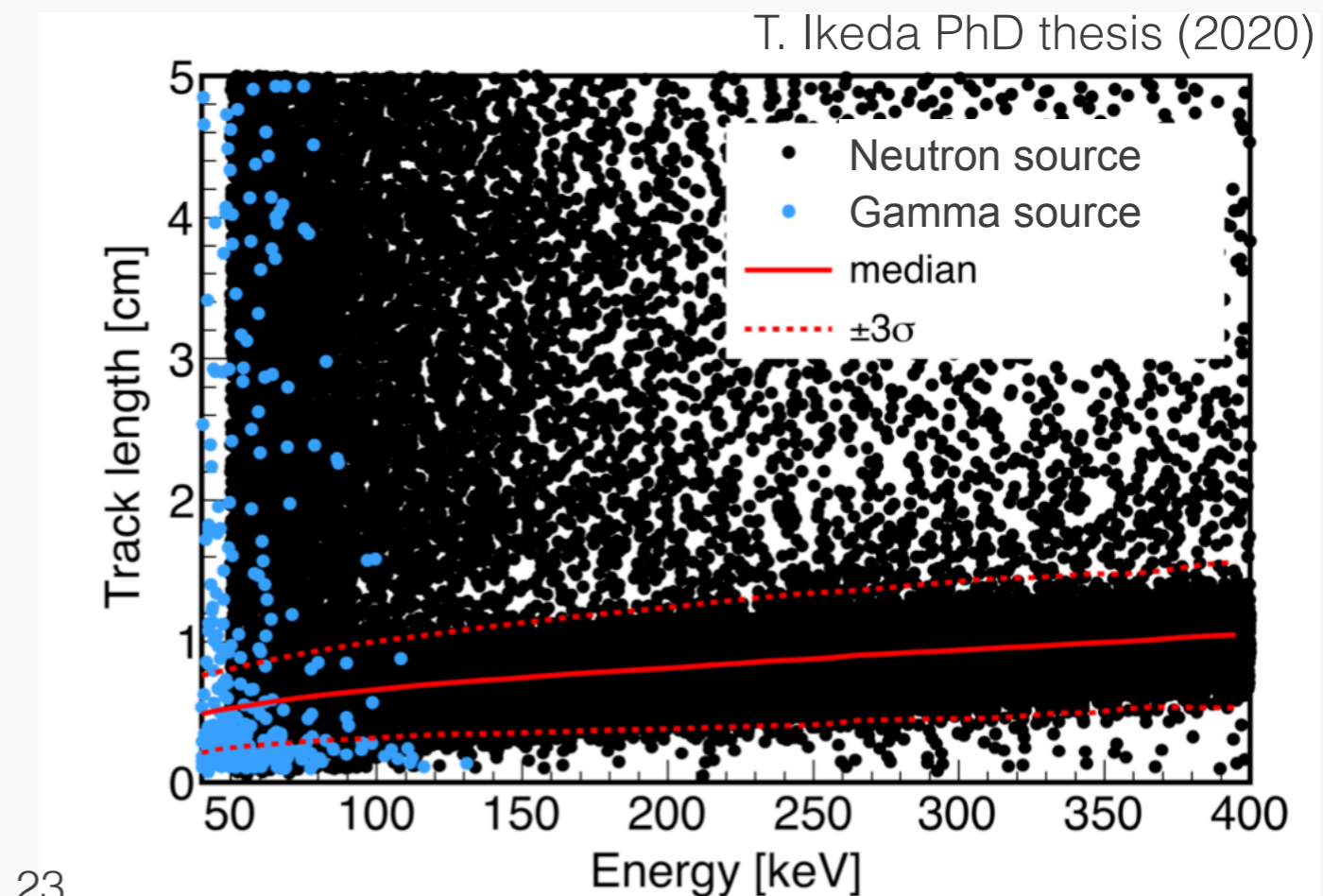
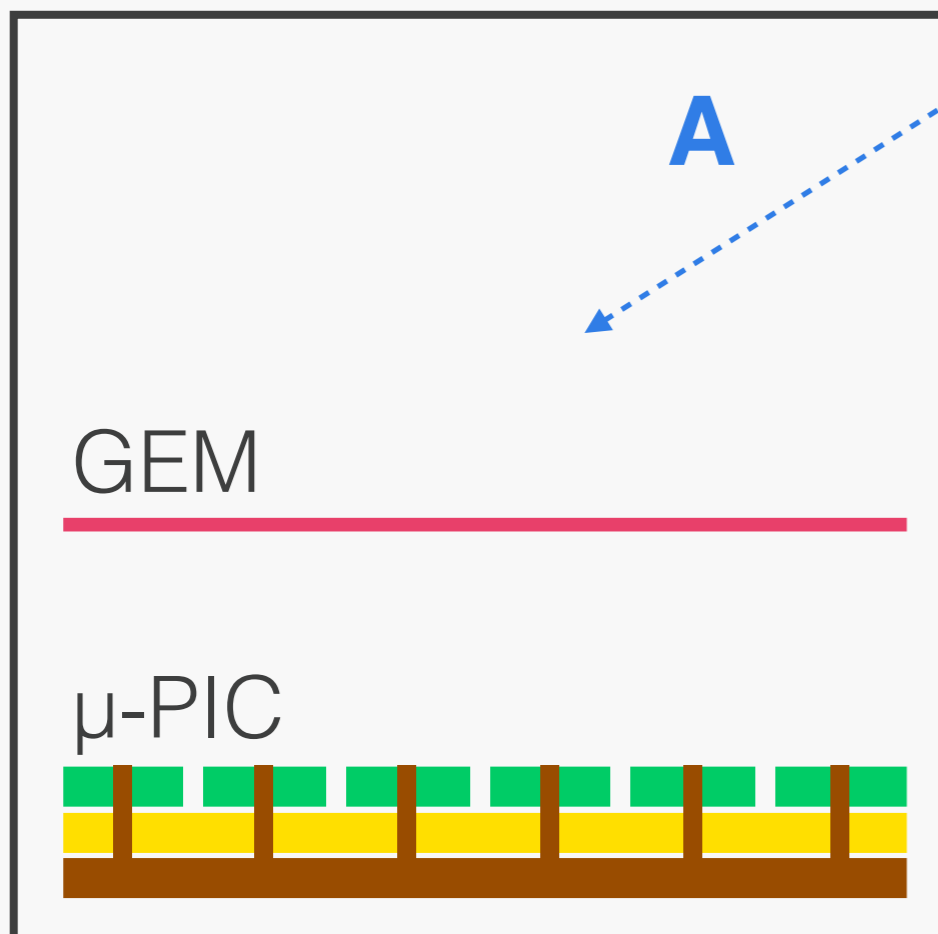
Event topology

- Three correlating parameters are used to separate nuclear recoil events with electron recoil
 - ➔ Total energy deposition
 - ➔ Track length
 - ➔ Sum of ToT's for all hits
- Fiducial cut is also applied to reduce BG's from chamber walls



Main backgrounds

- **A**: External BG: Gamma (recoiled electrons are misidentified to nucleus)
 - Reduced by analysis
 - ▶ Events tend to have larger track length and dE/dx relative to nuclear recoil events



Main backgrounds

- **A**: External BG: Gamma (recoiled electrons are misidentified to nucleus)

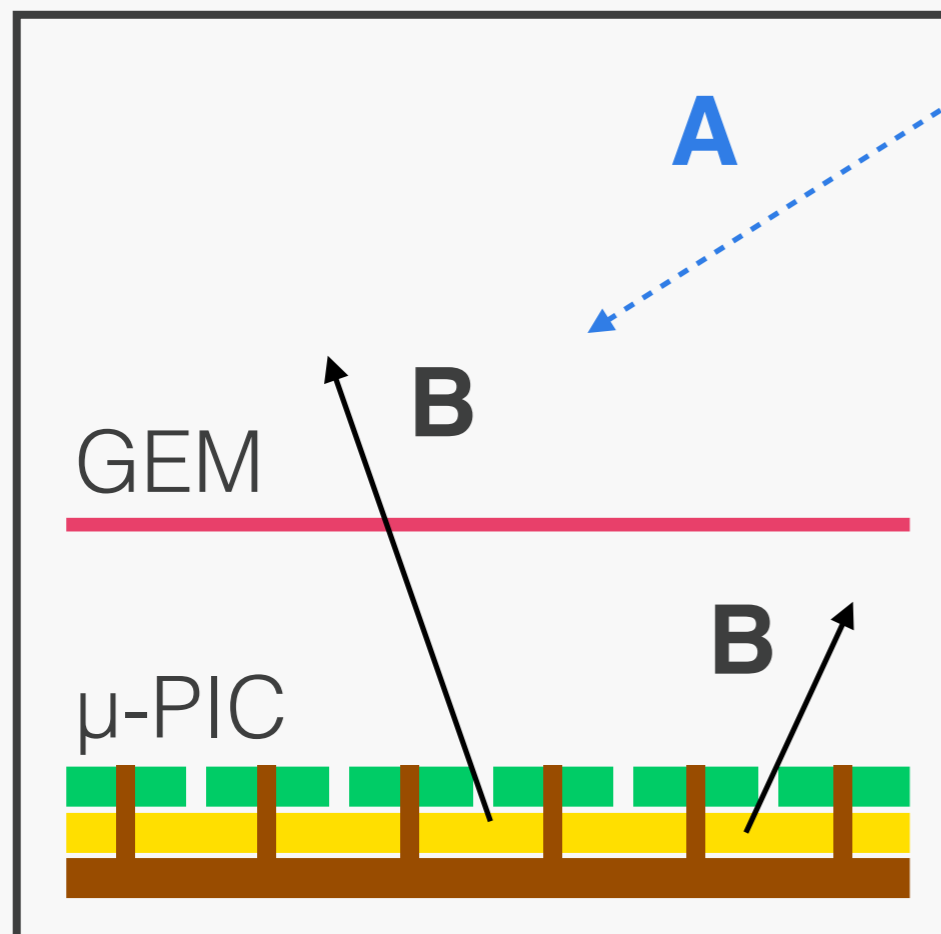
→ Reduced by analysis

- ▶ Events tend to have larger track length and dE/dx relative to nuclear recoil events

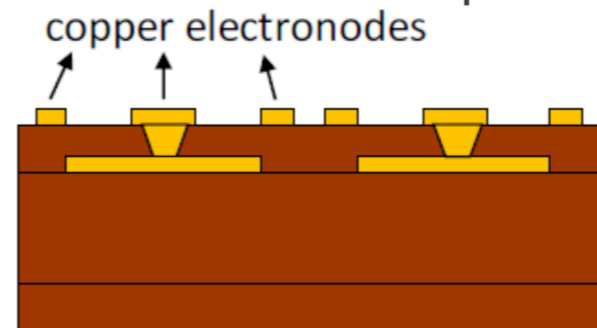
- **B**: Internal BG: Radiative sources

→ Reduced by “clean” detector development

- **NEW** ▶ New μ -PIC (Low α μ -PIC) was installed to reduce alpha source from the μ -PIC surface

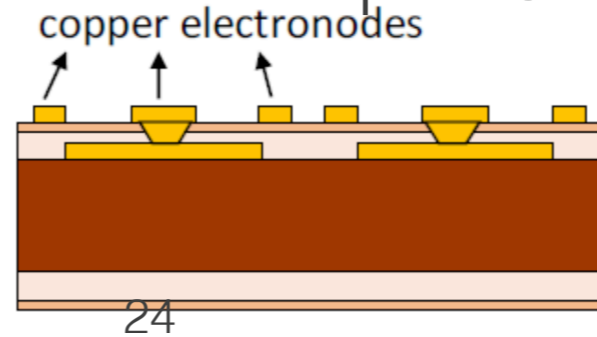


Conventional μ -PIC



replaced to
clean material

Low α μ -PIC



U-Th sources

~ 2 ppm



$< 10^{-2}$ ppm