



NEWAGE61:方向に感度のある 暗黒物質探索実験のための 大型ガスTPC開発

神戸大 東野 聡

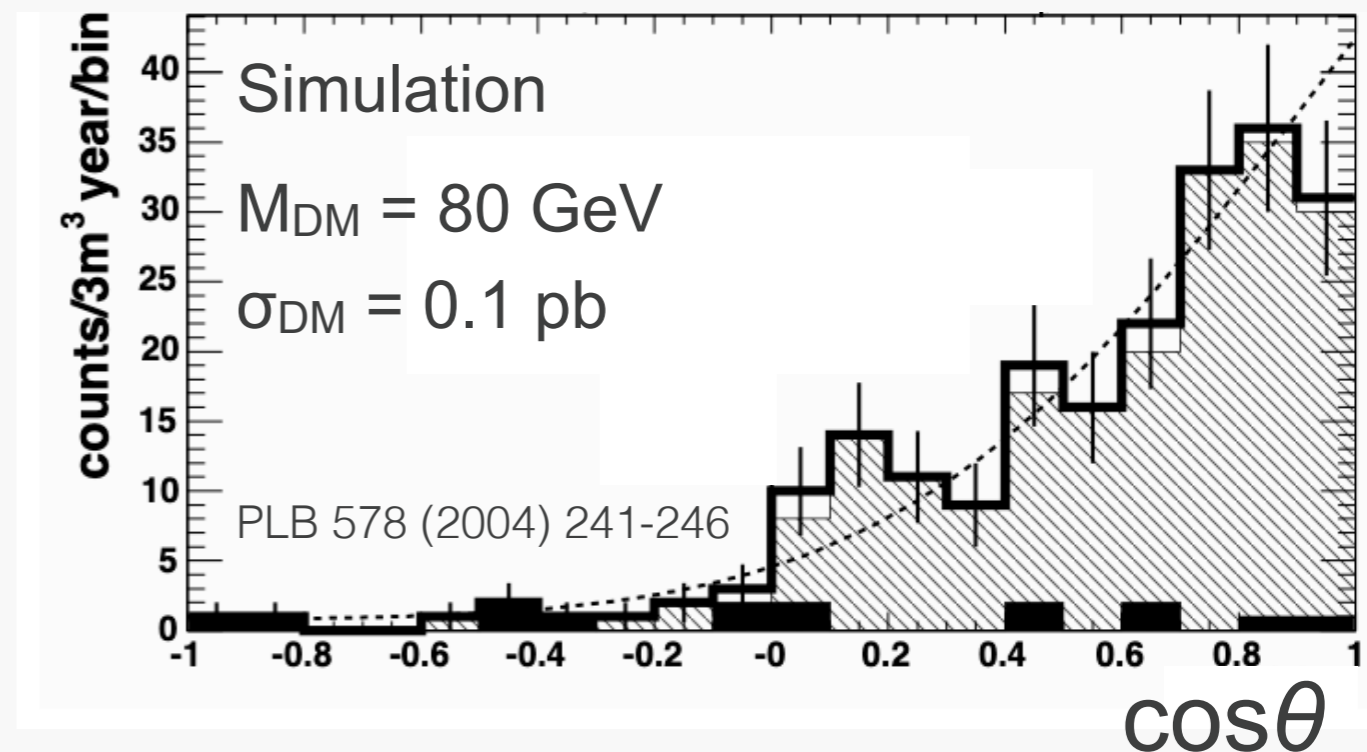
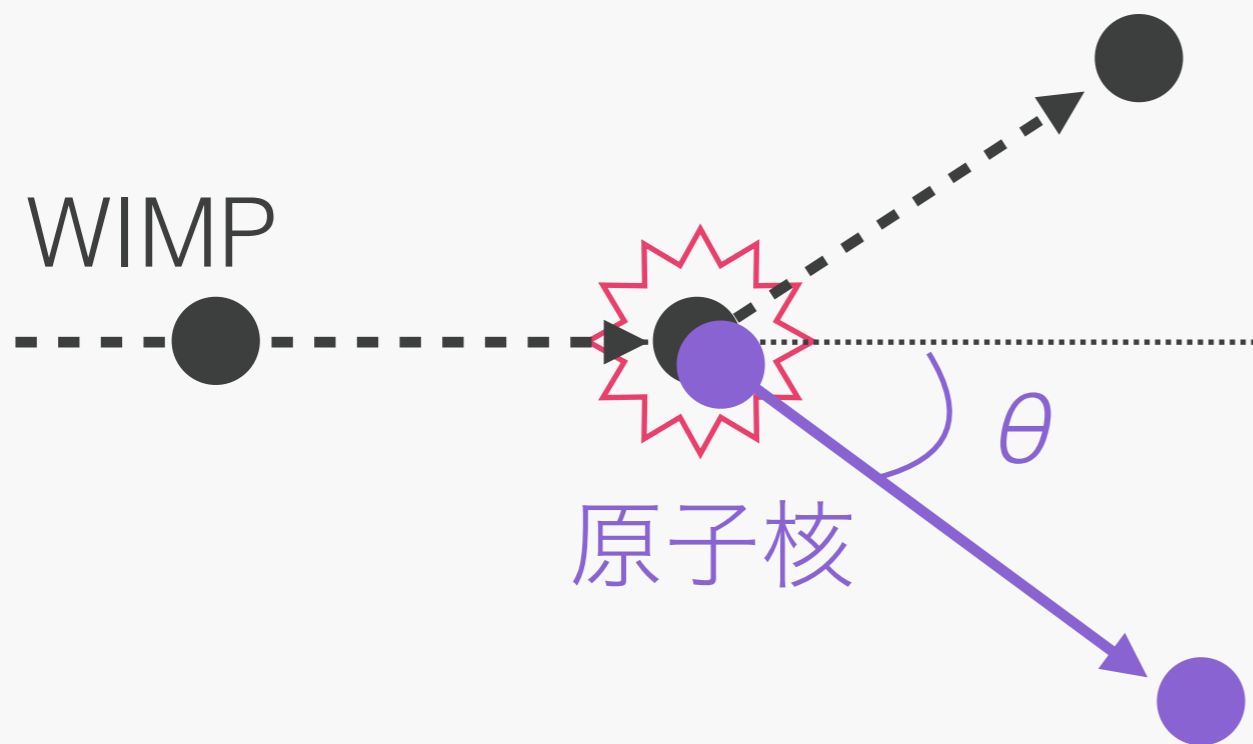
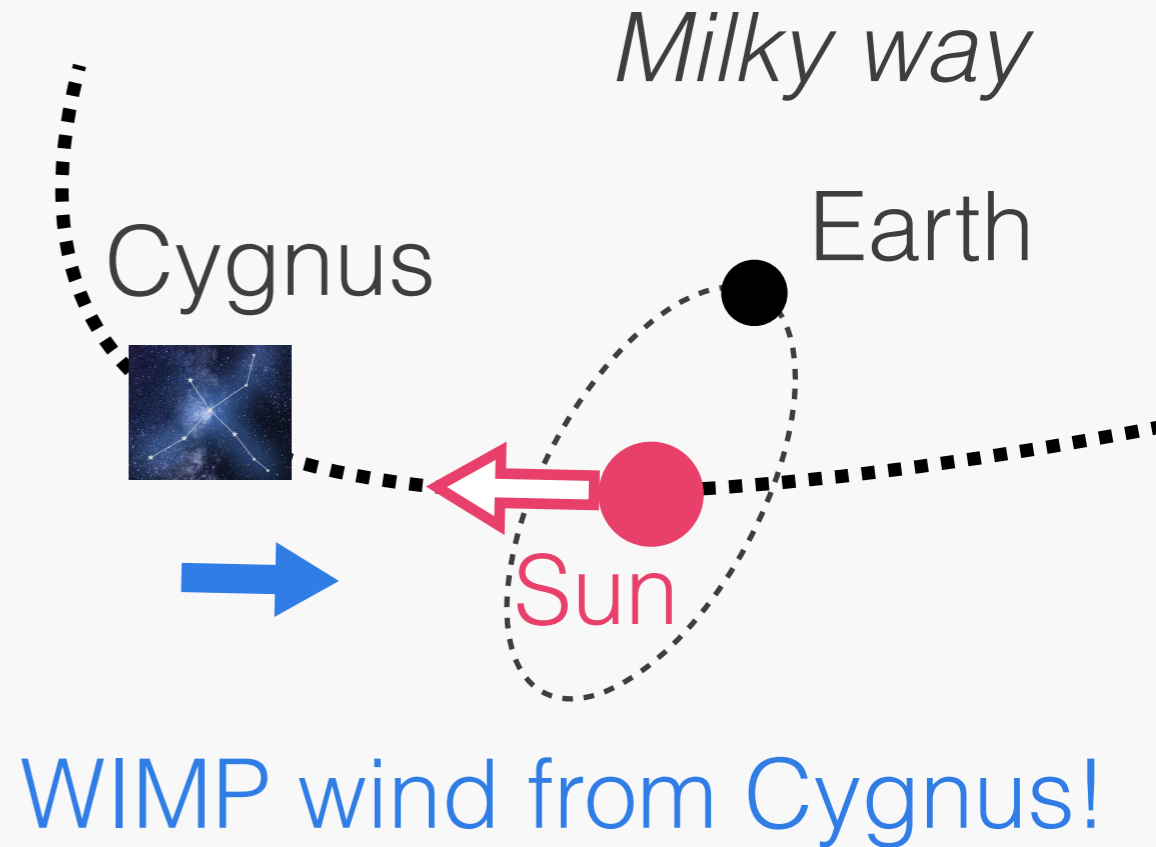
身内 賢太朗 石浦 宏尚 島田 拓弥 窪田 諒

2021年 3月 12日

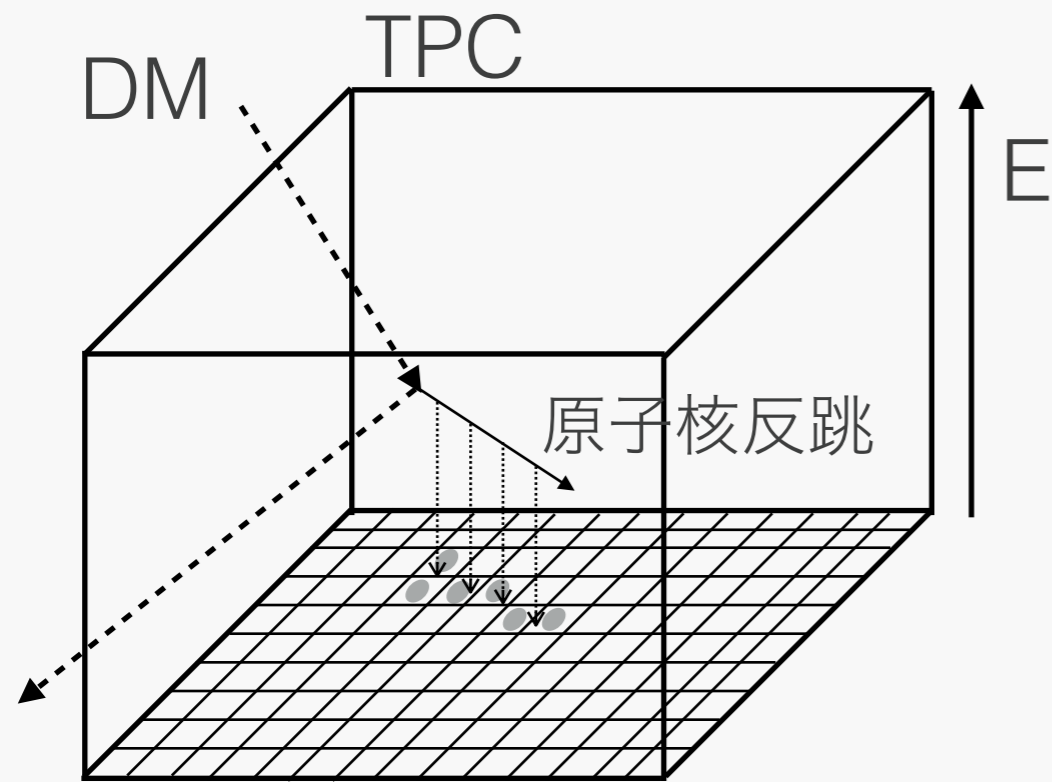
方向に感度を持つ暗黒物質探索

- 神岡坑内の極低BG環境での暗黒物質 (WIMP) 探索

- 原子核反跳の向きからWIMP到来方向観測
- 異方性が暗黒物質の強い証拠となる

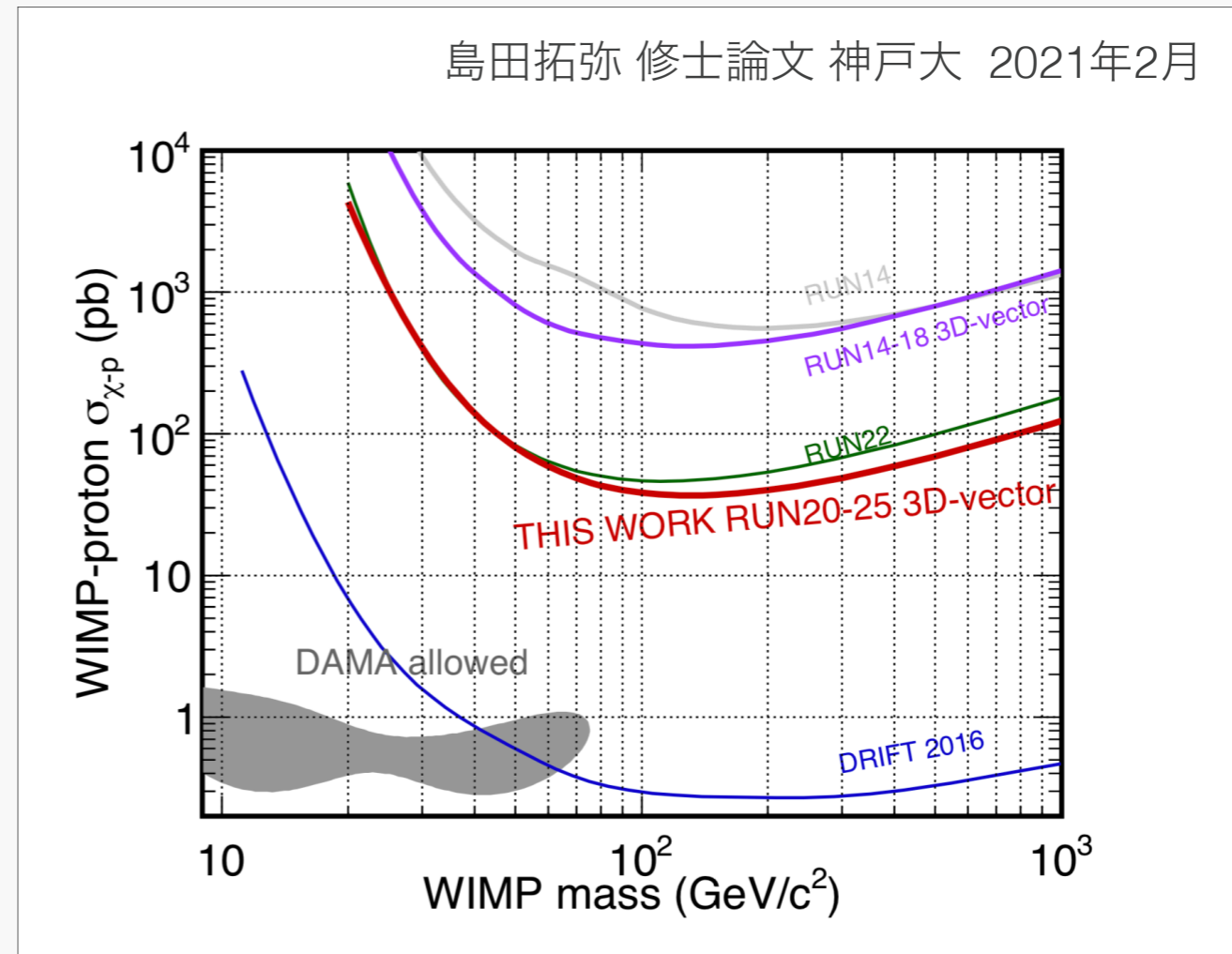


NEWAGEの戦略



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)



● 方向に感度のある探索の感度向上に向けた取り組み

→ 背景事象減らす



低BG検出器開発 (石浦発表: 12pV3-8)

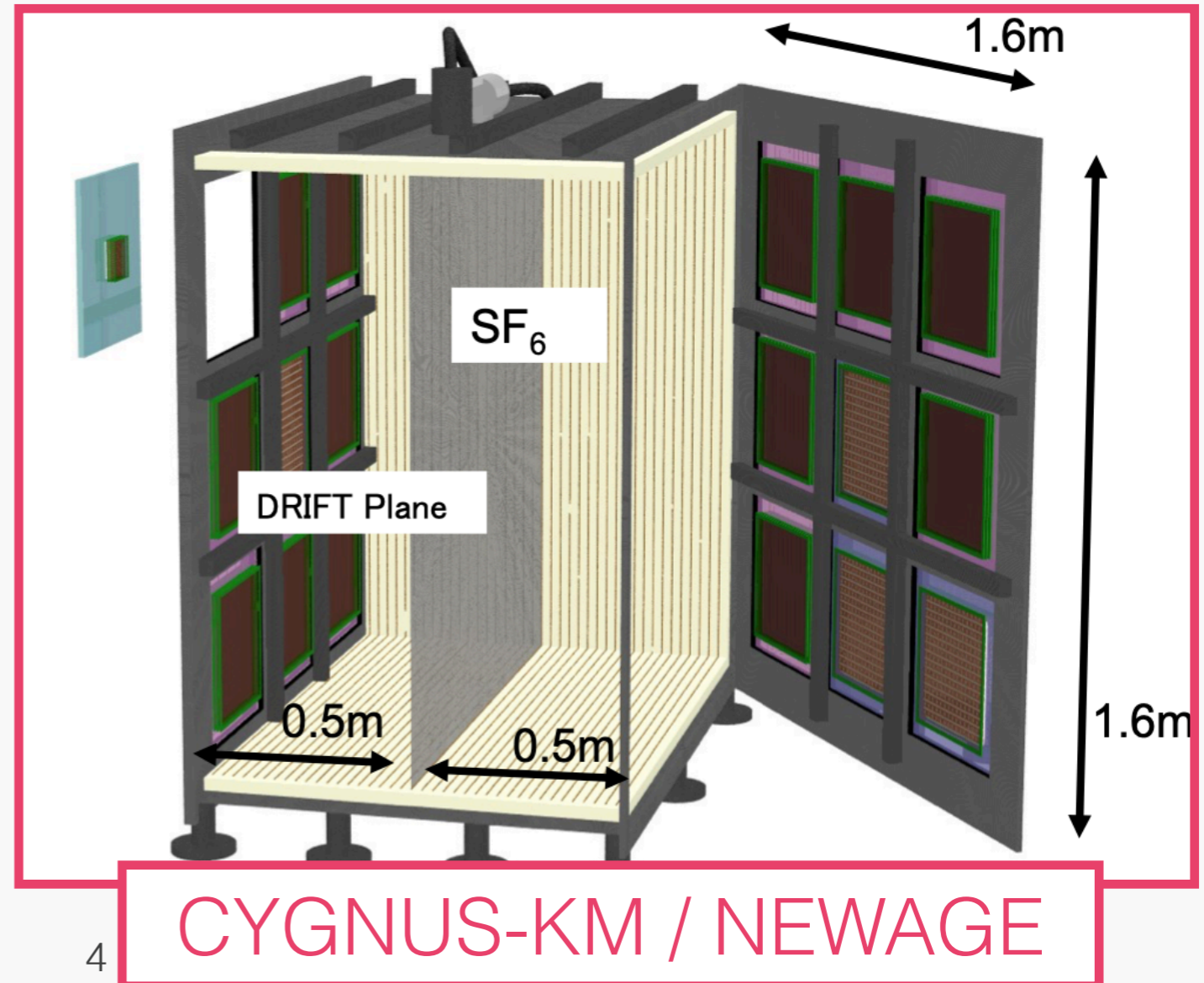
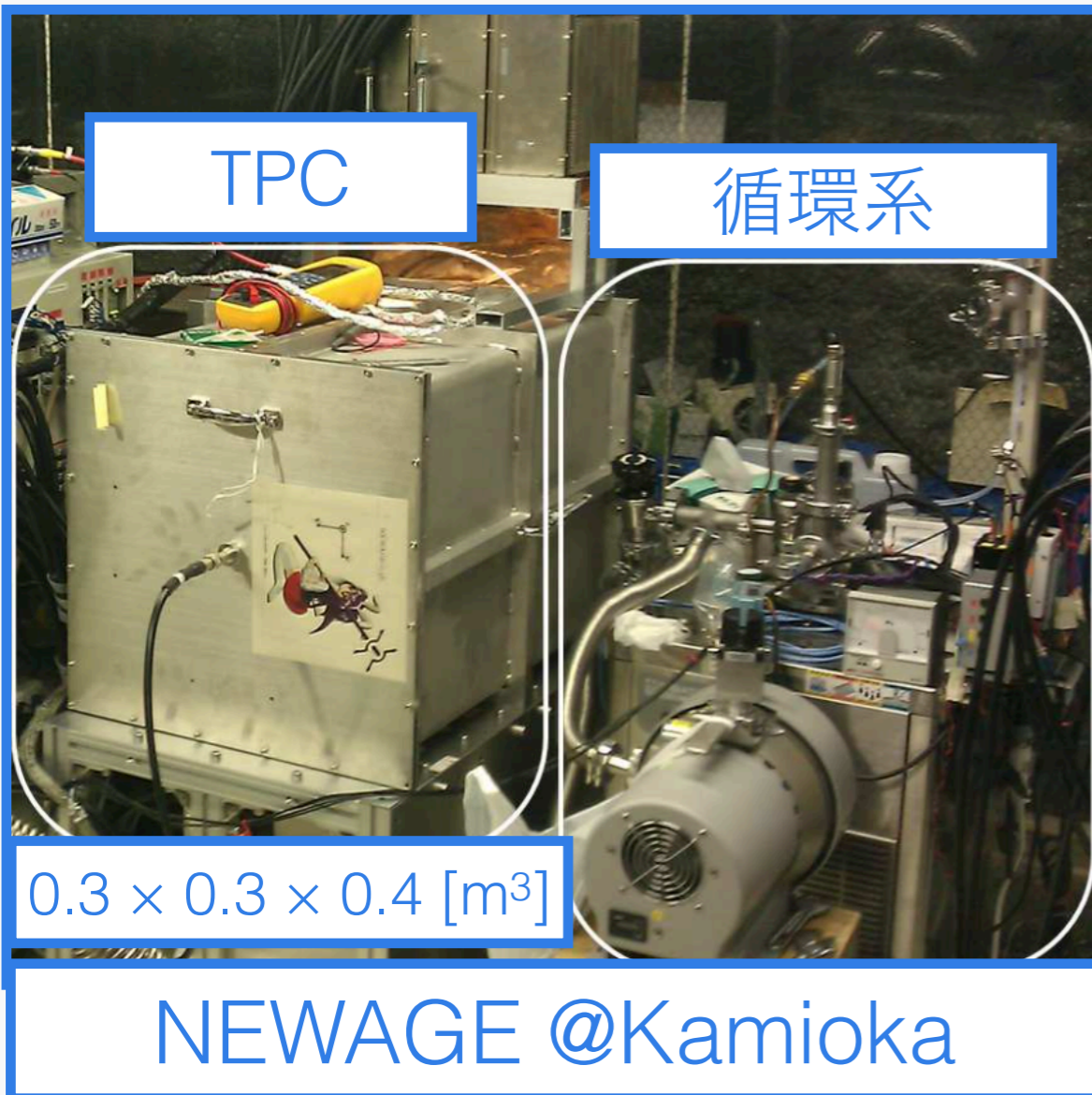
→ 信号数を増やす



低エネルギー閾値化 (窪田発表: 12pV3-9)
検出器大型化 (東野発表: 12pV3-10)

次世代実験：CYGNUS-KM / NEWAGE

- ~**1.0 m³** サイズの大型ガスチェンバーを神岡に設置する計画
 - モジュール化：読み出し検出器を18個実装可、複数実験も想定
 - 国際プロジェクトも始動 (**CYGNUS**)



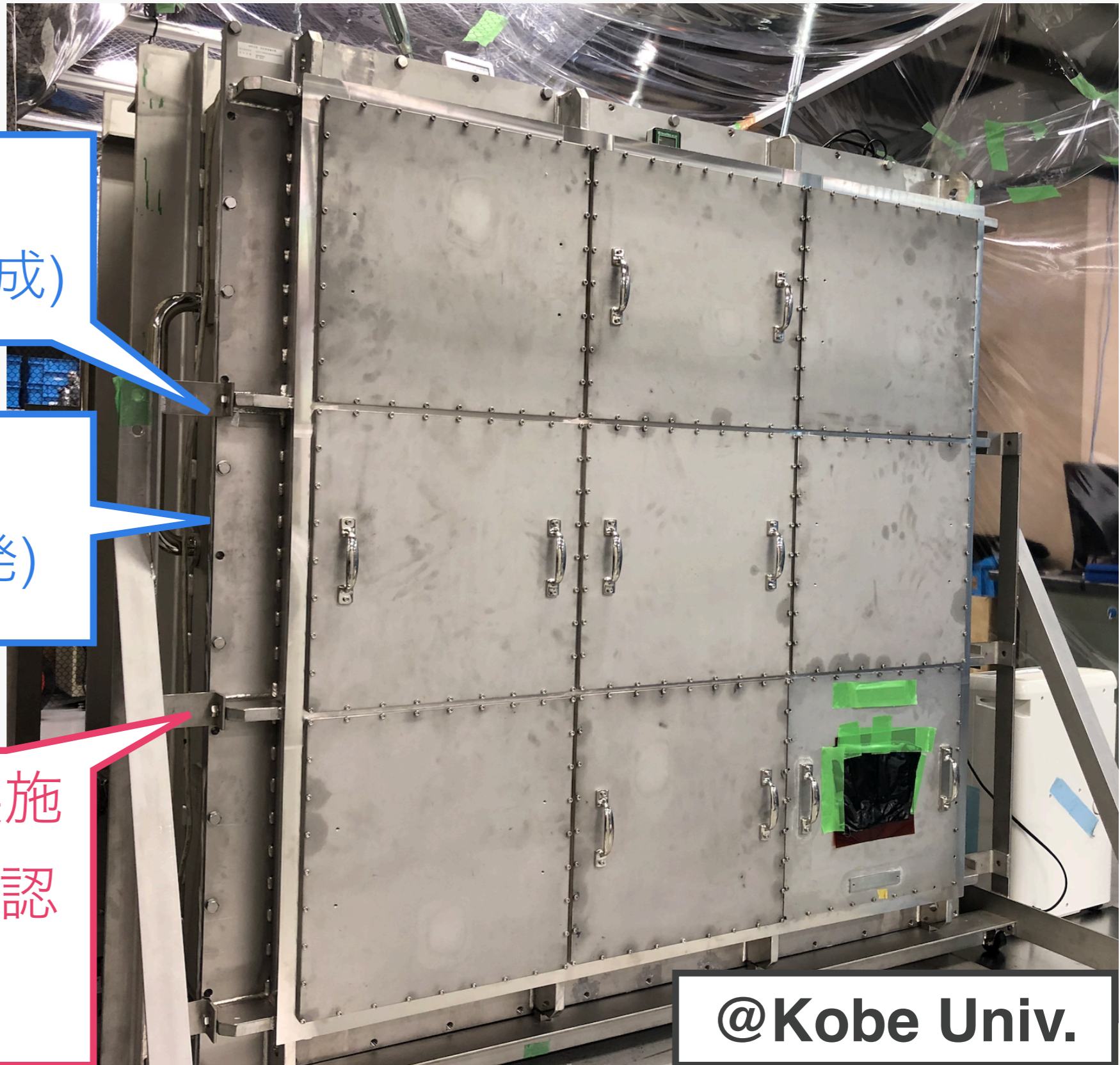
次世代実験：CYGNUS-KM / NEWAGE

本講演では...

TPCの準備
(電場形成のしくみ作成)

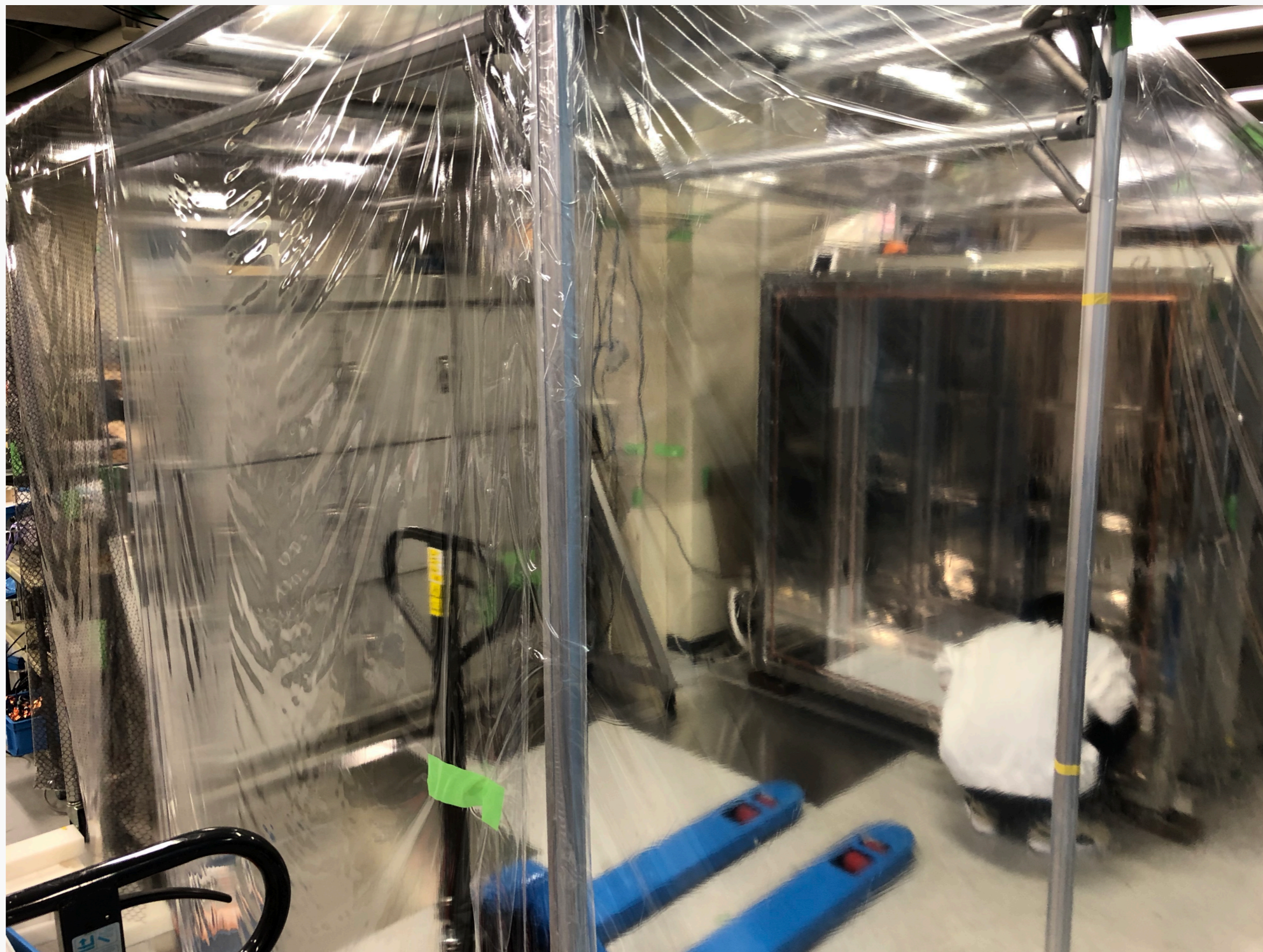
検出器の準備
(電荷読み出し部開発)

それらの統合試験実施
TPCとしての機能確認
その結果を報告



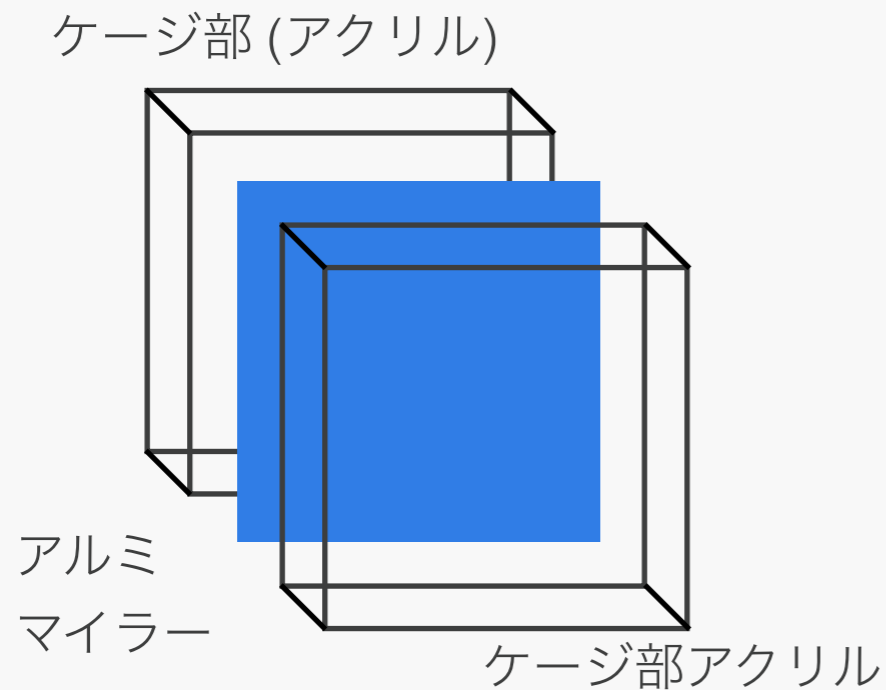
@Kobe Univ.

TPC開発 - フィールドケーシング準備 -



フィールドケージ準備

- ドリフト面設置



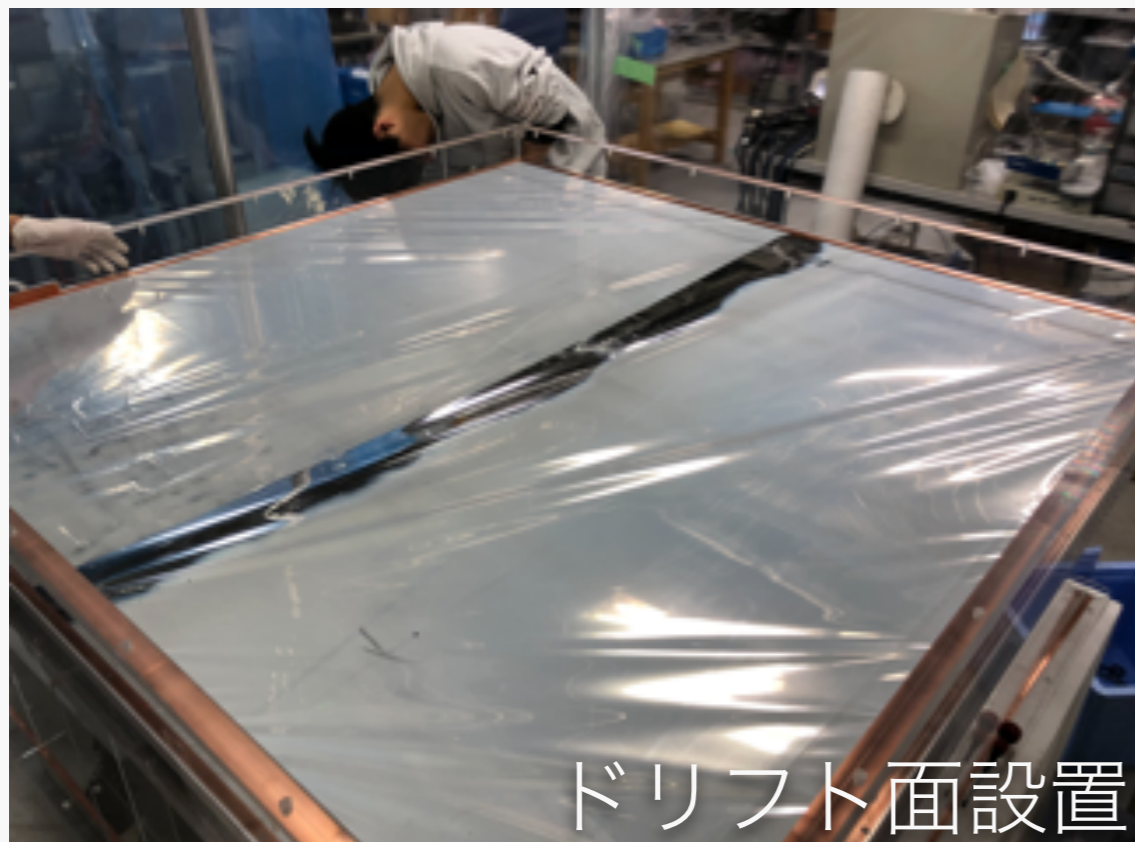
- ケージ部側面に高抵抗シート設置

- 一様電場形成のため

“ビニラス” 使用 (アキレス社製)

→幅方向に $\sim 10^{10} \Omega/\square$ の一様抵抗

(PTEP 2019 (2019) 6, 063H01)

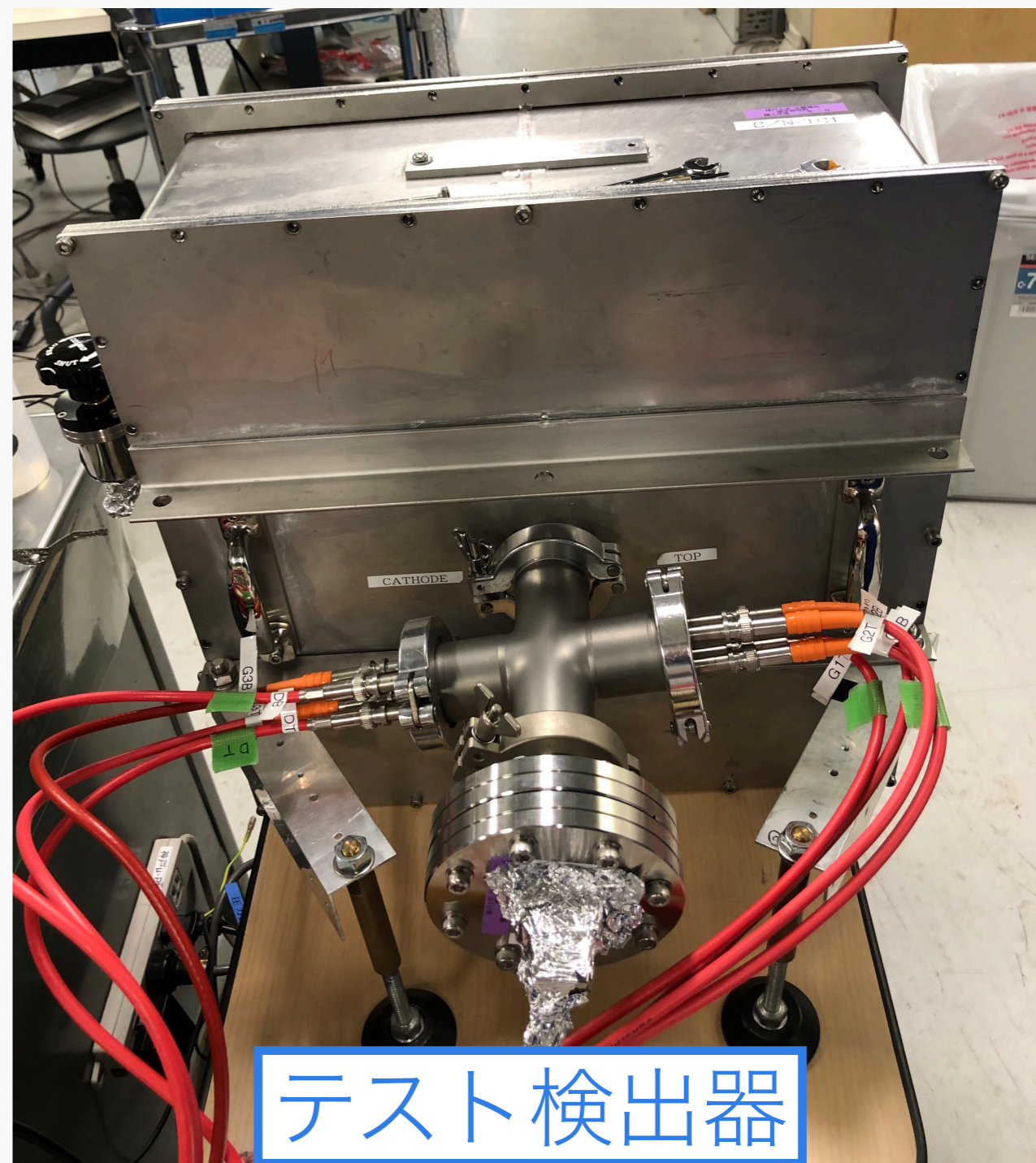
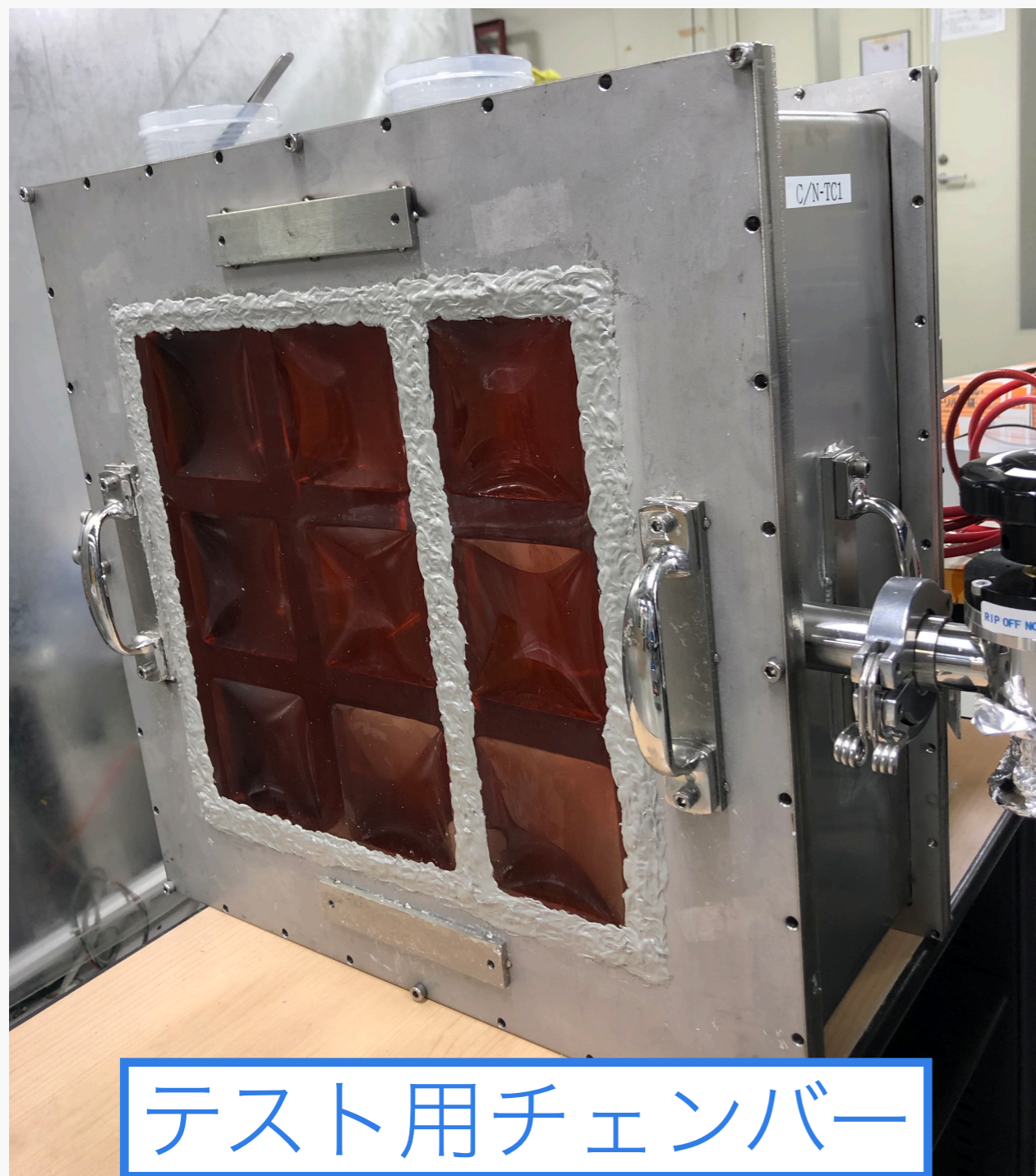


ビニラス貼付→

アクリル素材に
ぺたっと張り付く



検出器開発 - 電荷読み出し部準備 -



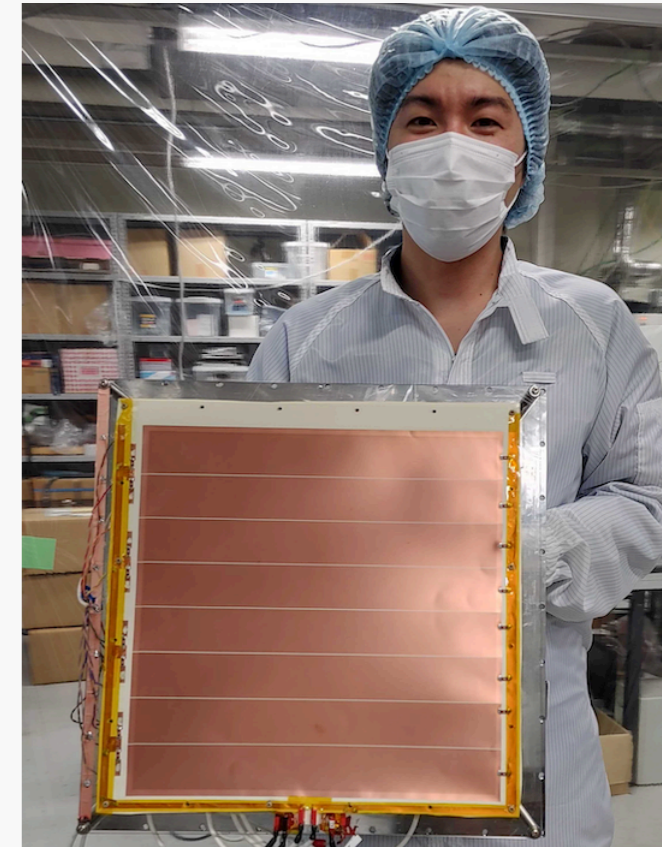
読み出し検出器

- テスト段階として簡易検出器作成

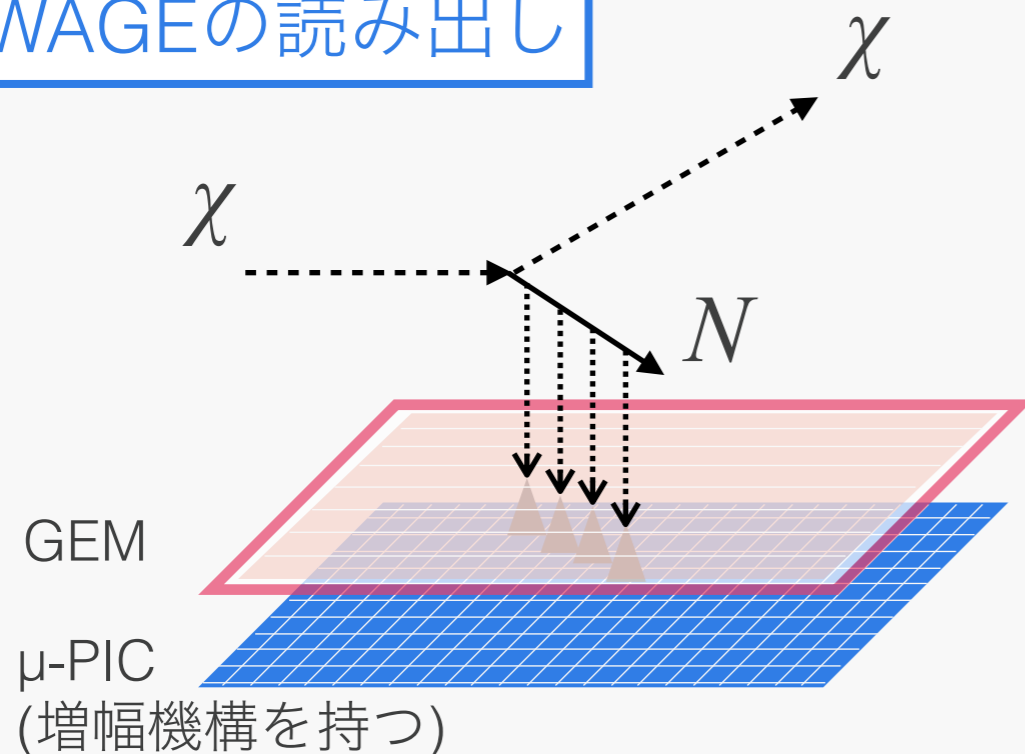
- ➔ NEWAGE: μ -PIC (増幅機構+多チャンネル読み出し)

- ➔ テスト検出器: 8チャンネル電極パッド

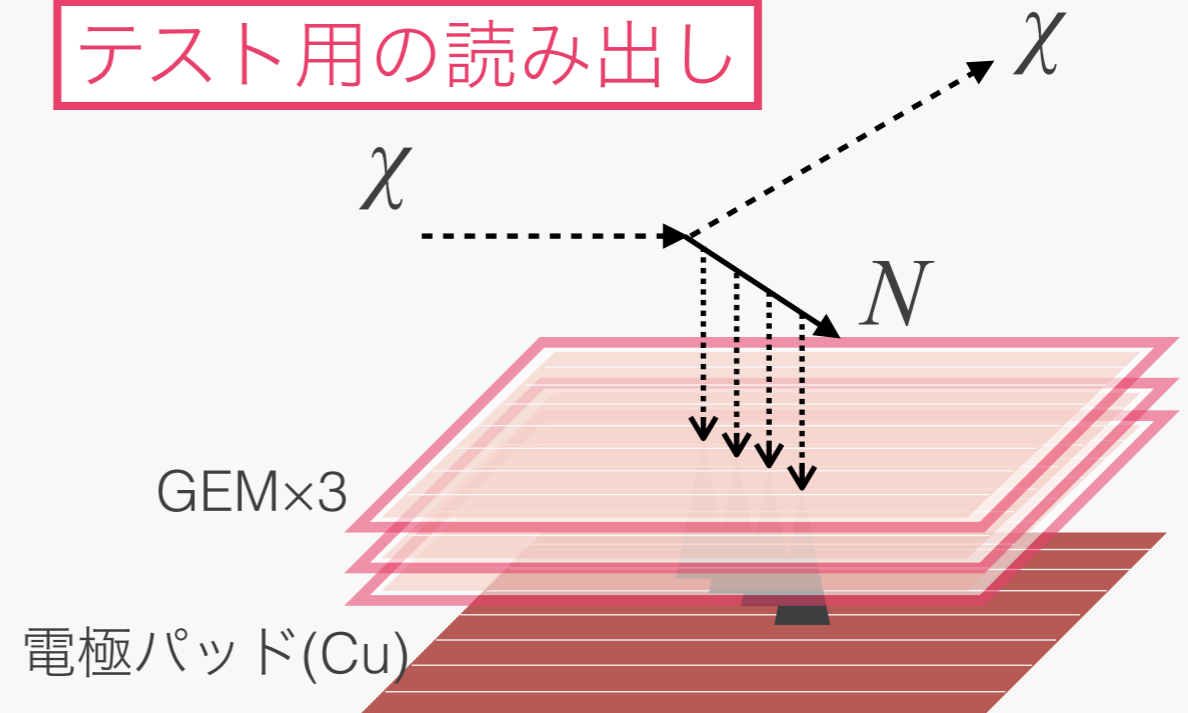
- ▶ Triple-GEMを用いてガス増幅



NEWAGEの読み出し



テスト用の読み出し



読み出しシステム



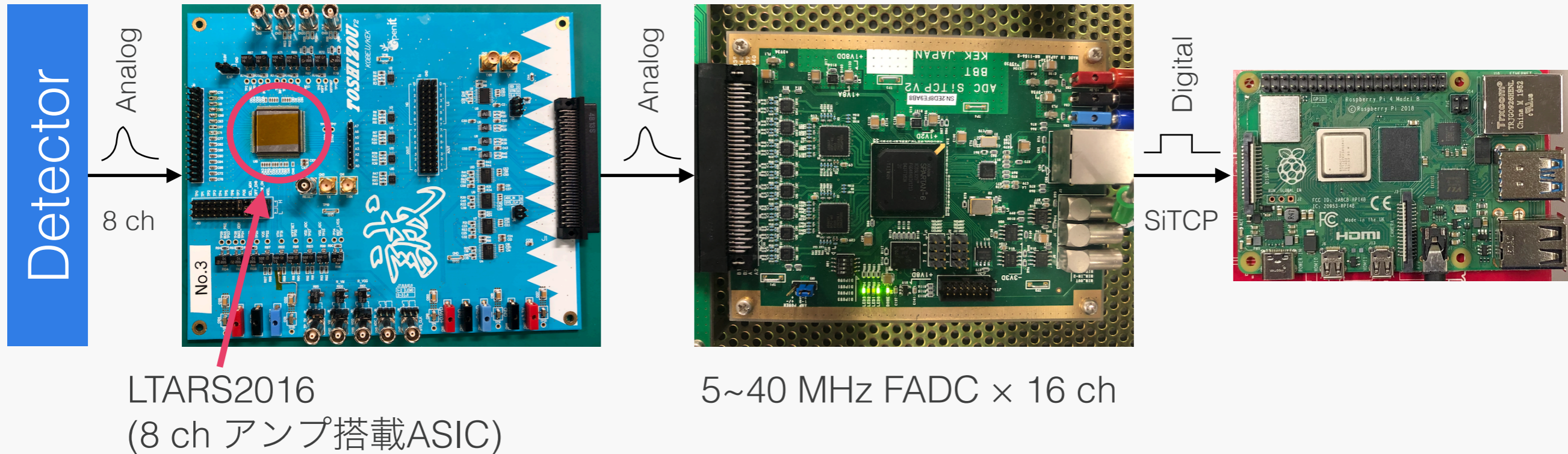
TOSHIZOU v2



ADC SiTCP v2



Raspberry Pi



- 複数チャンネル波形取得が可能でコンパクトなDAQシステム
 - ➔ モジュールボックスに収まる (隣のシステムの邪魔をしない)

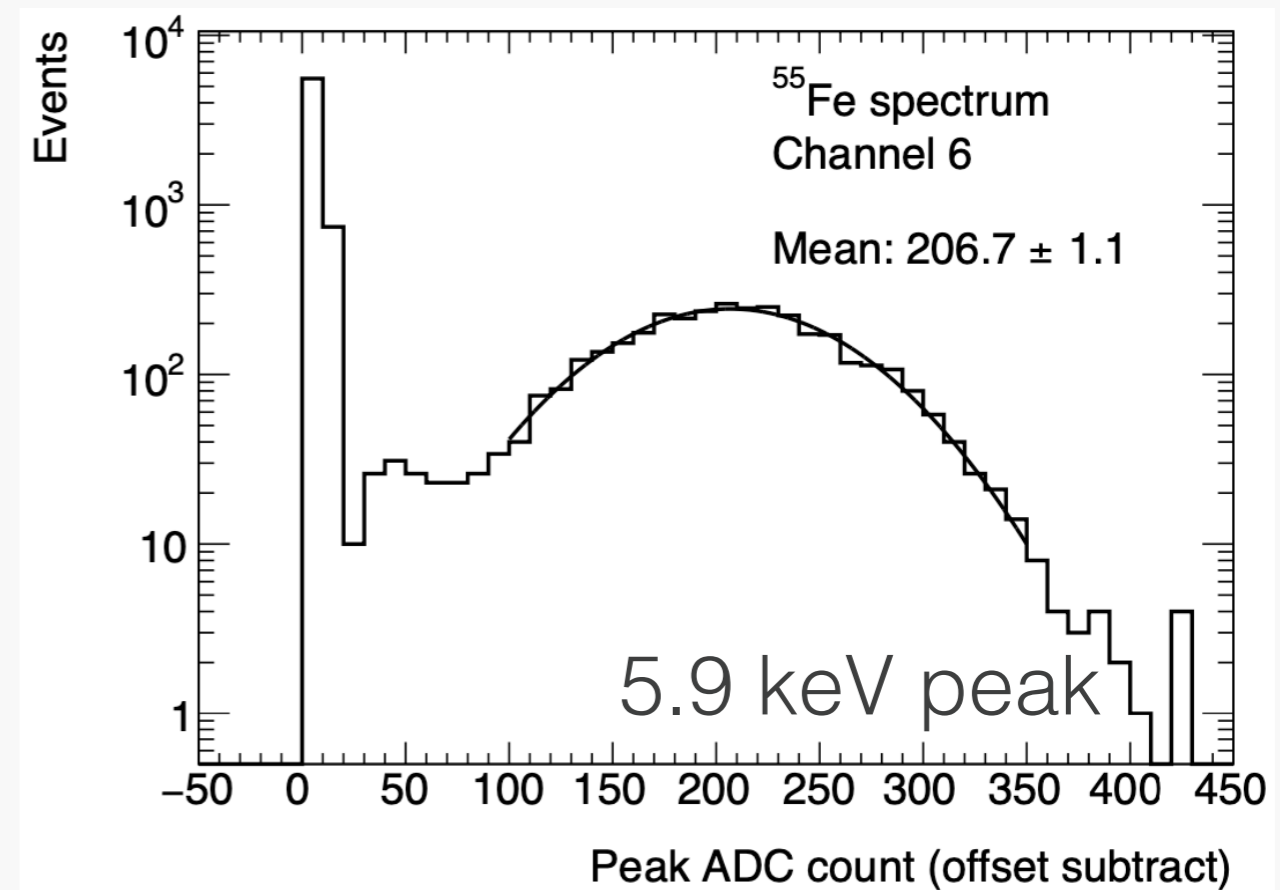
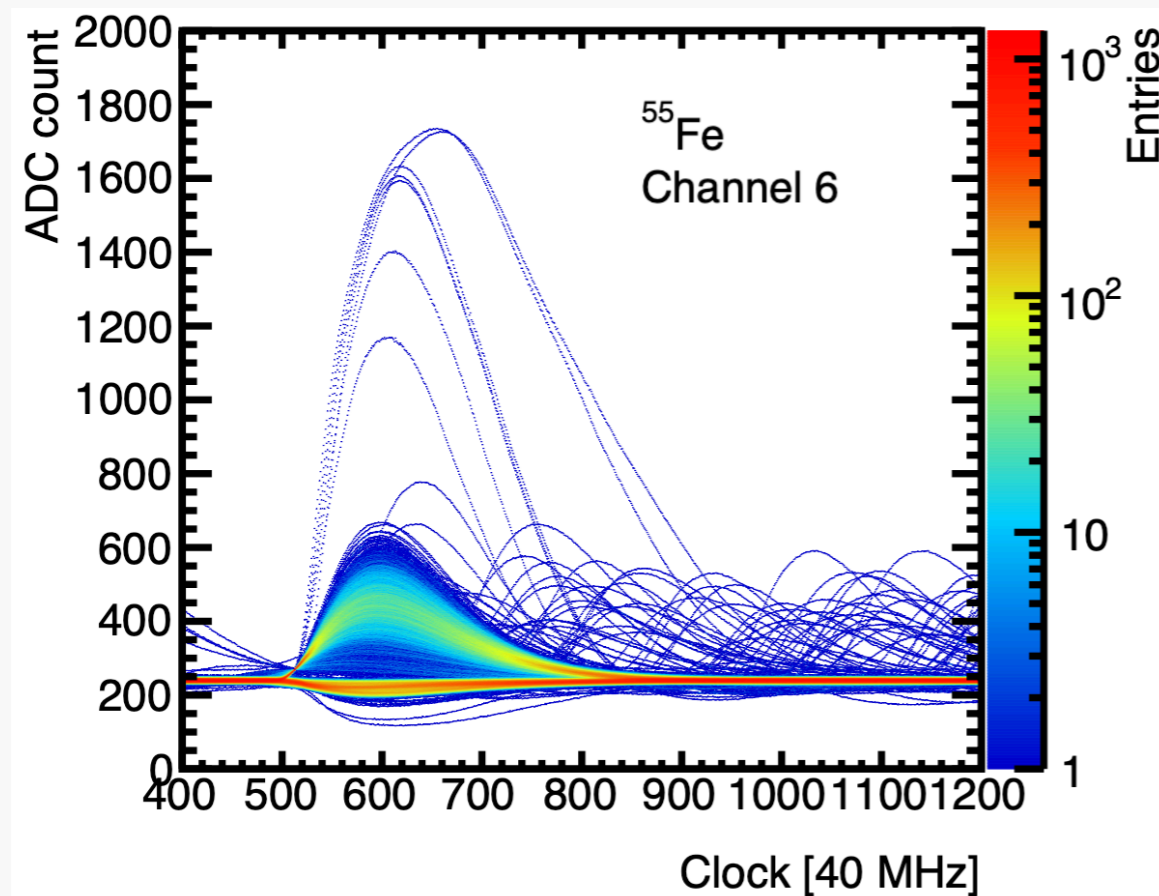
線源を用いた読み出し試験

- ^{55}Fe (5.9 keV X線) 使用

- CF_4 ガス 0.2 atm (NEWAGEでは0.1 atmで運転)

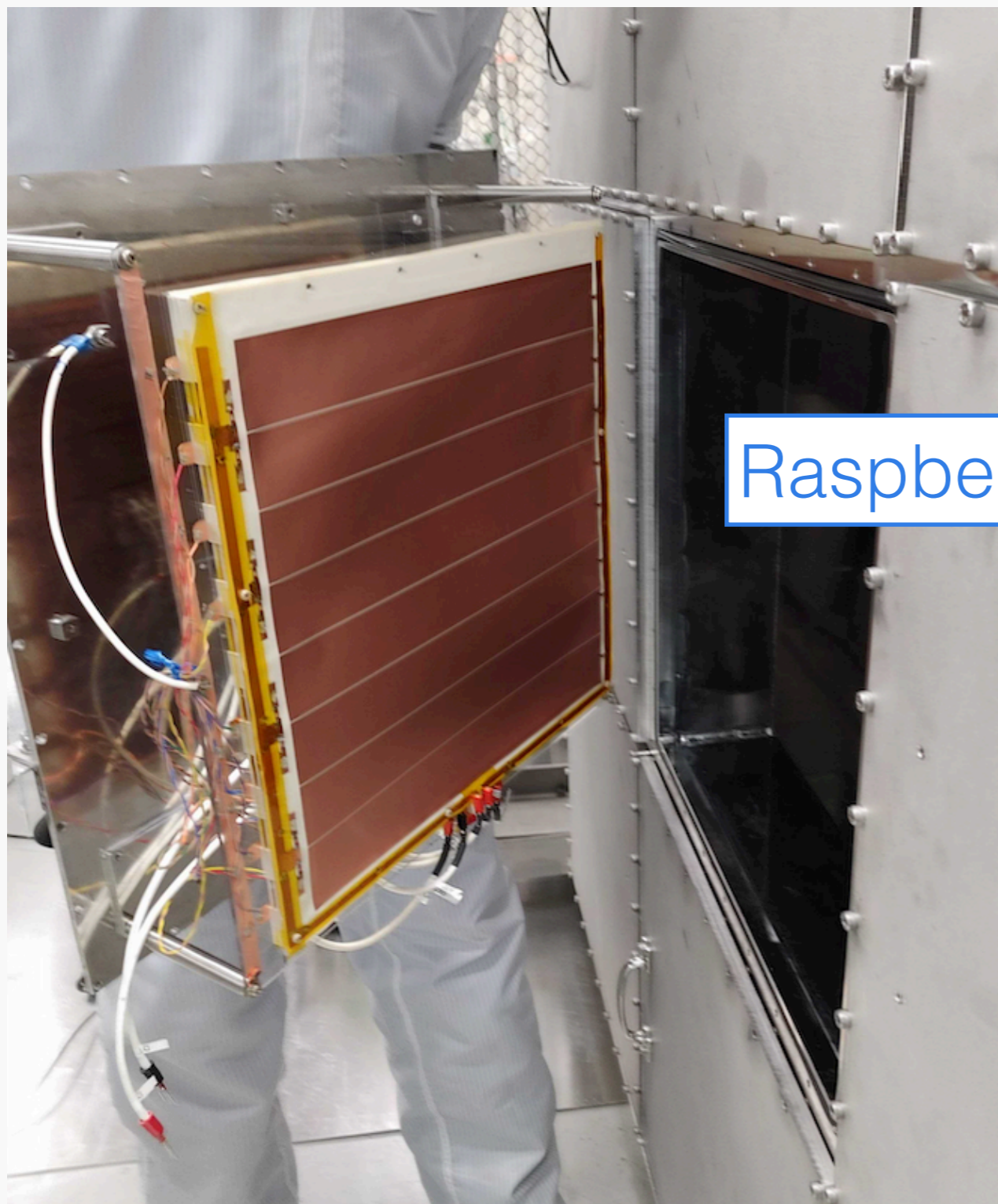
- **セルフトリガーで信号を波形サンプリング、DAQ正常に動作**

- ガスゲイン: 3000 - 7000 達成 (電圧依存、ガスの状態に依るのであくまで参考値)

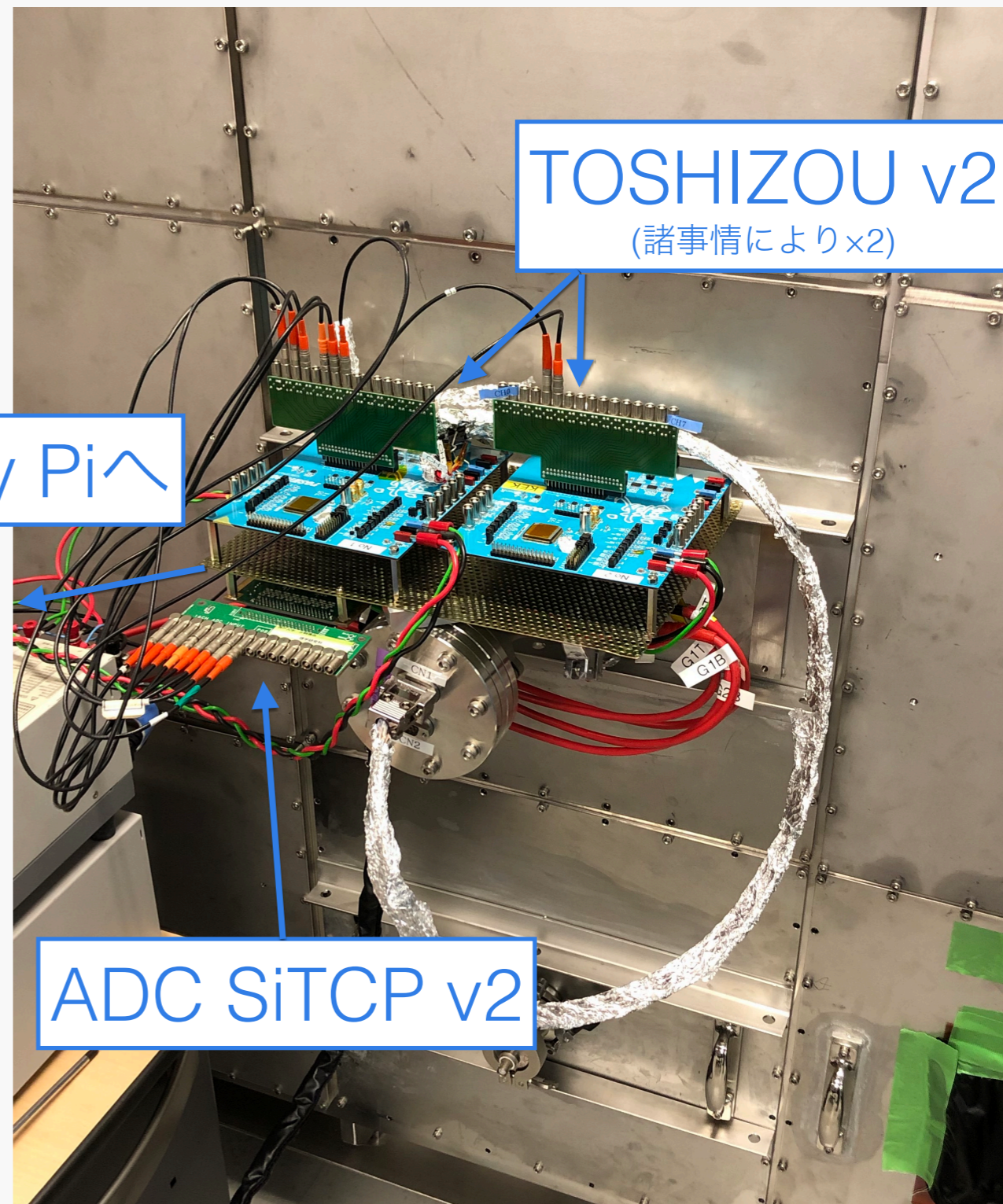


統合試験の準備は整った！

統合試験 - 検出器インストール -



Raspberry Pi^



TOSHIZOU v2

(諸事情によりx2)

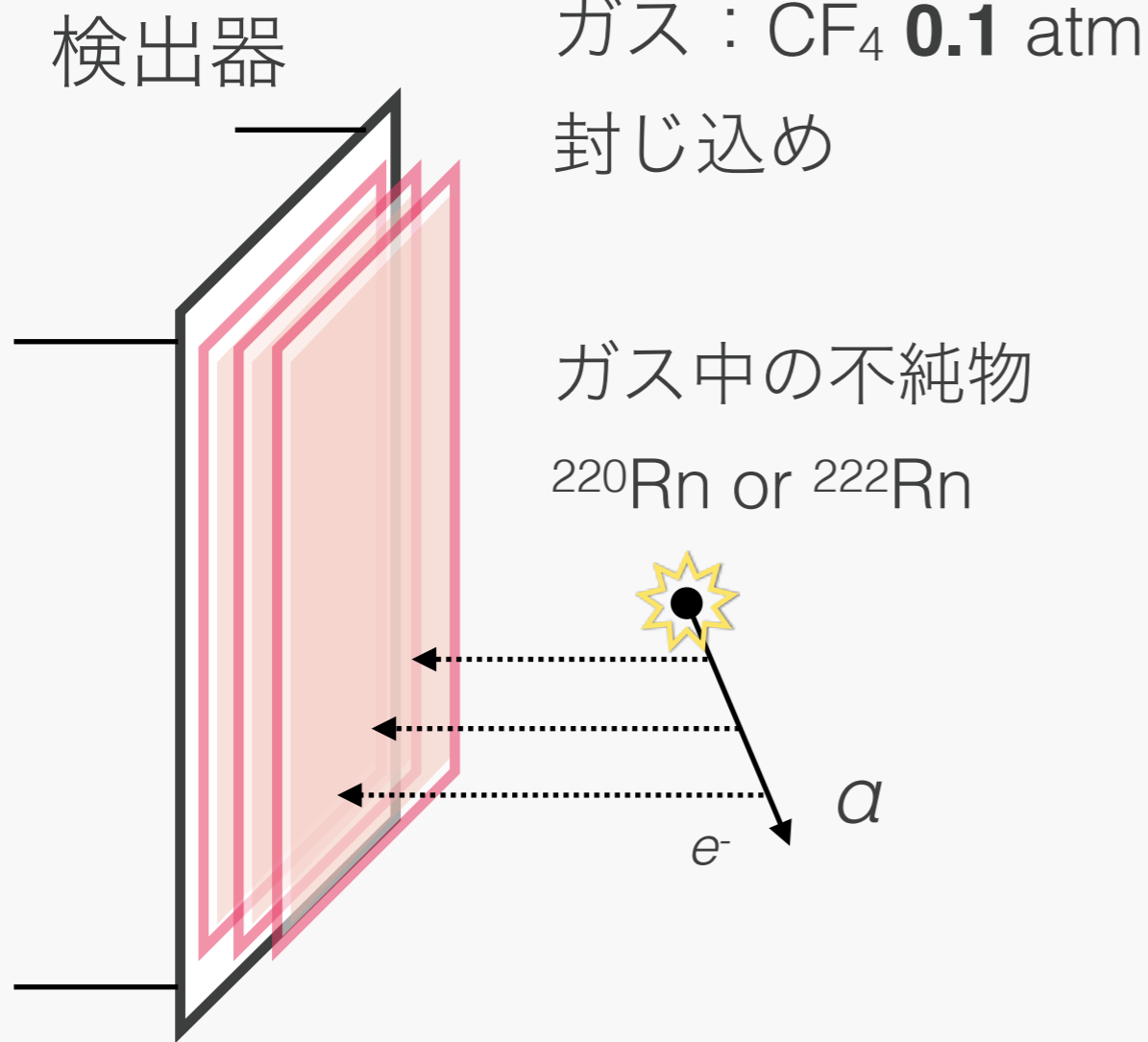
ADC SiTCP v2

セットアップ

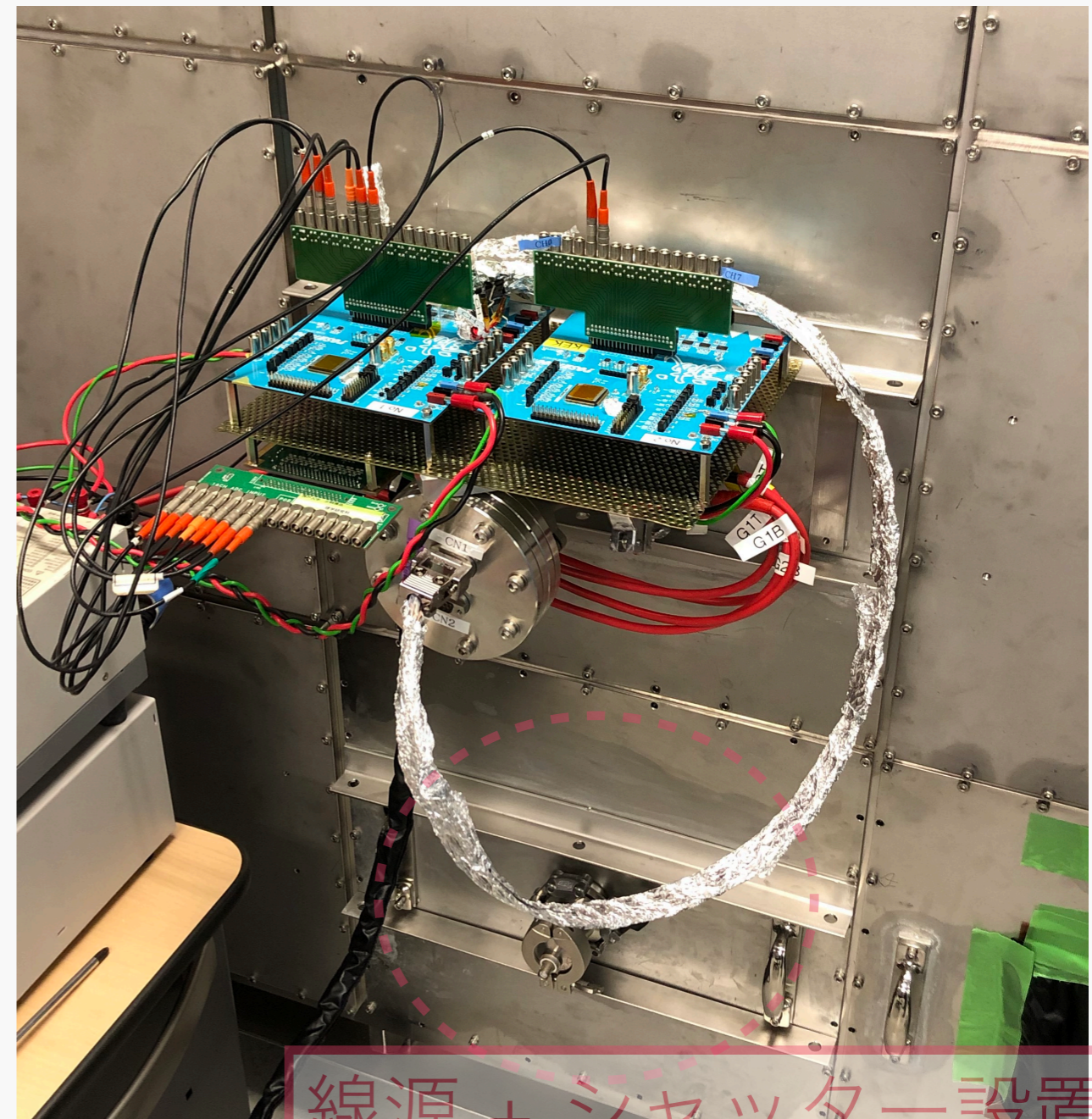
- ガス中の不純物であるラドン由来の α 線検出試験

➔ 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

(本当は α 線源で見る予定だった→シャッターが閉じたまま動かない問題発生)



※本試験は下部 5 chのみ使用

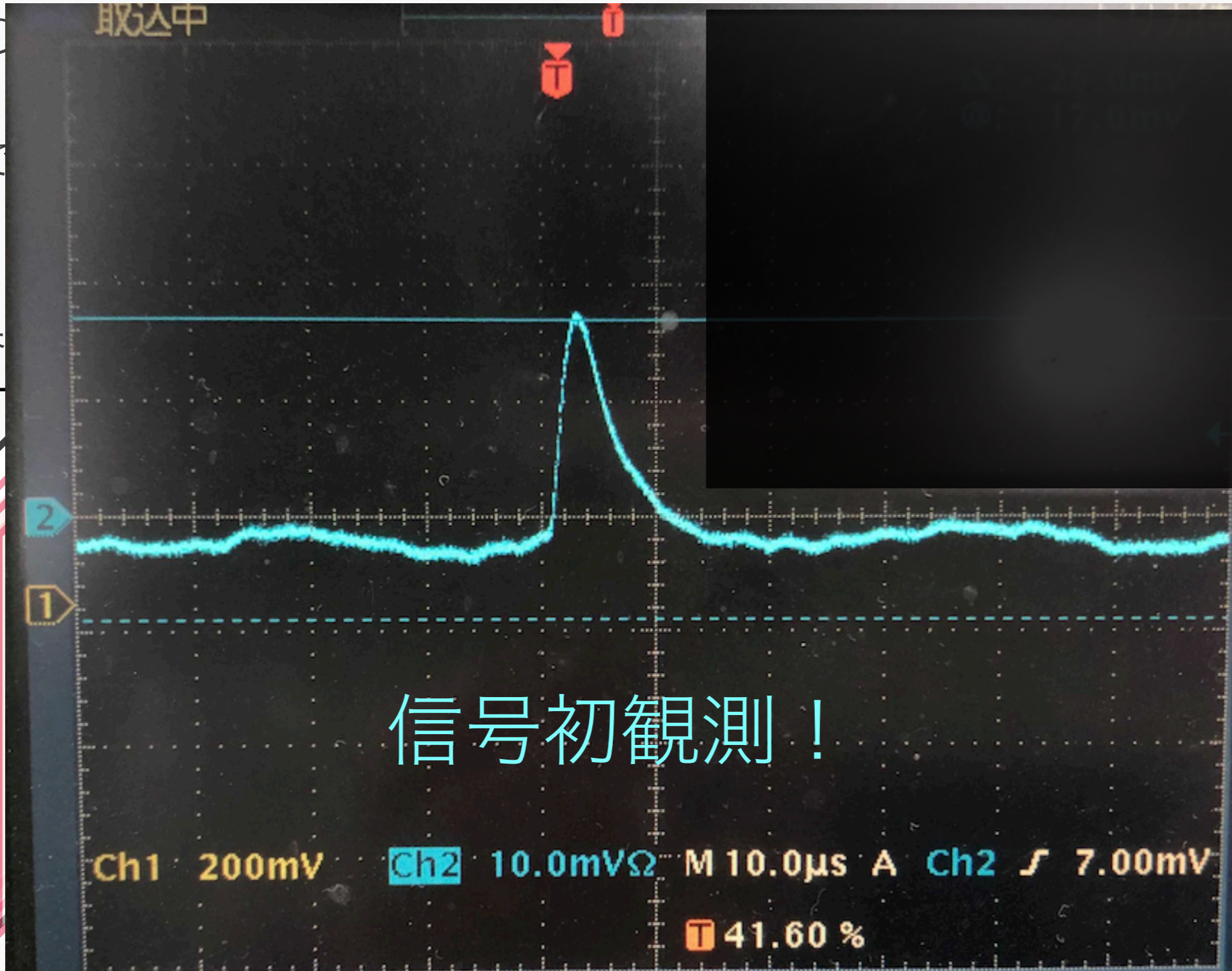


セットアップ

● ガス中の

→ ここで

検出器



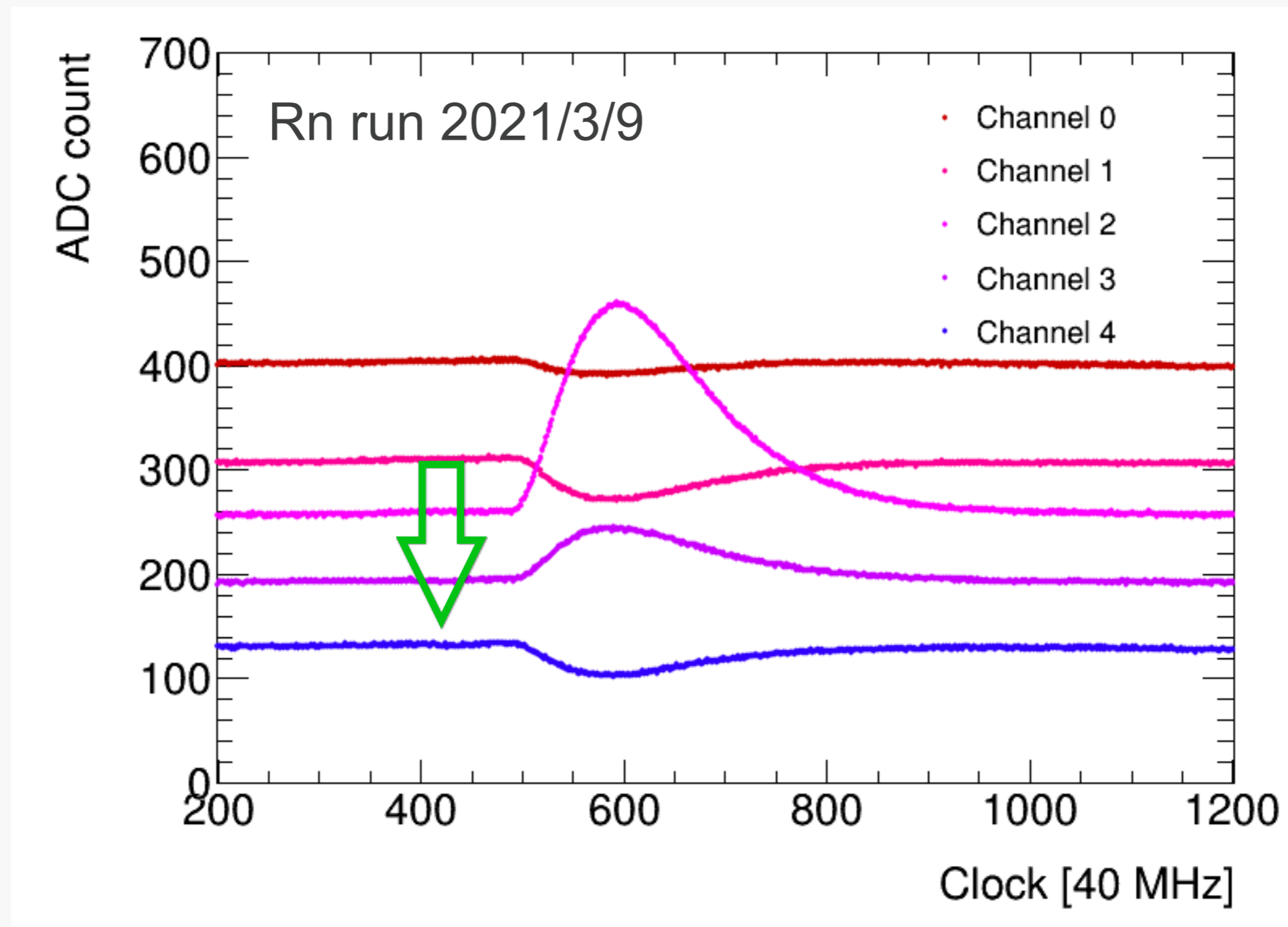
確認したい

(まだ動かない問題発生)

※本試験は下部 5 chのみ使用

テスト結果

- 波形確認、 TPCとして機能している！



結論

- 次世代NEWAGE実験に向けた大型ガスTPC開発

- テスト検出器試験で初めて線源による信号観測
- TPCとしての動作を確認

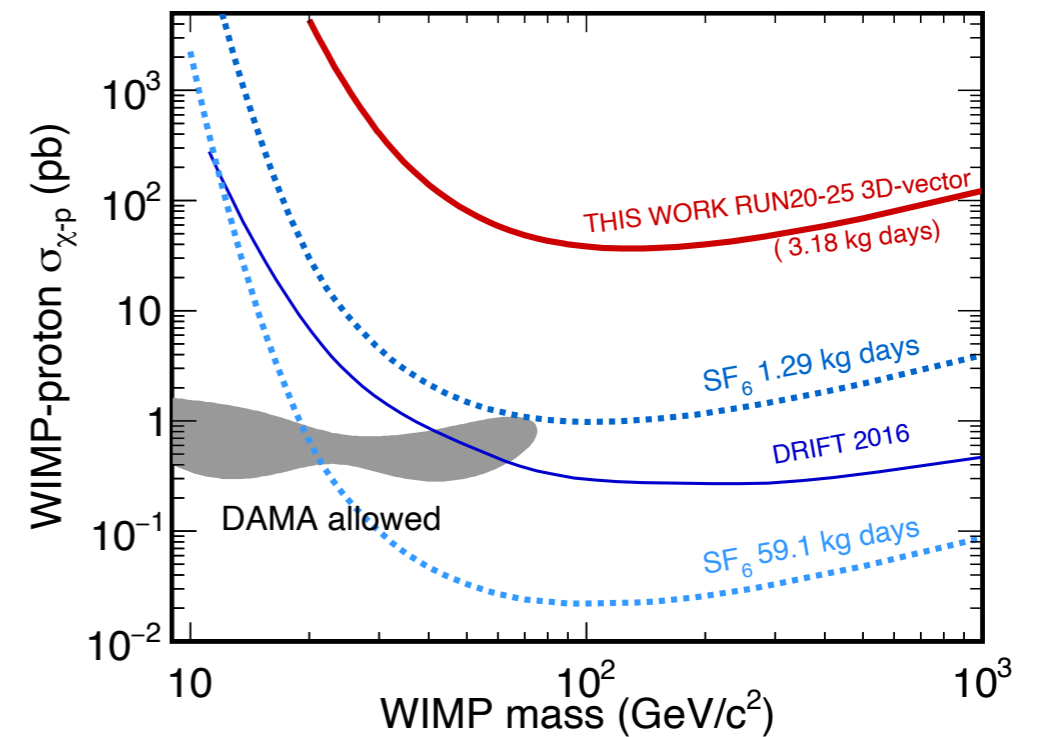
- 今後の展望

- ドリフト電場の一様性確認 (全18箇所試験)
- 陰イオンガス (SF₆) 使用予定 → より高電場が必要、高電圧試験へ
- 2021年夏に神岡坑内に運搬予定、乞うご期待！

- 宣伝：データ解析手法の改善も試行錯誤中

- 機械学習を用いた反跳原子核の飛跡再構成にもトライ (神戸大 島田: 14aT3-6)

大型ガスTPCの到達感度予想



島田拓弥 修士論文 神戸大 2021年2月

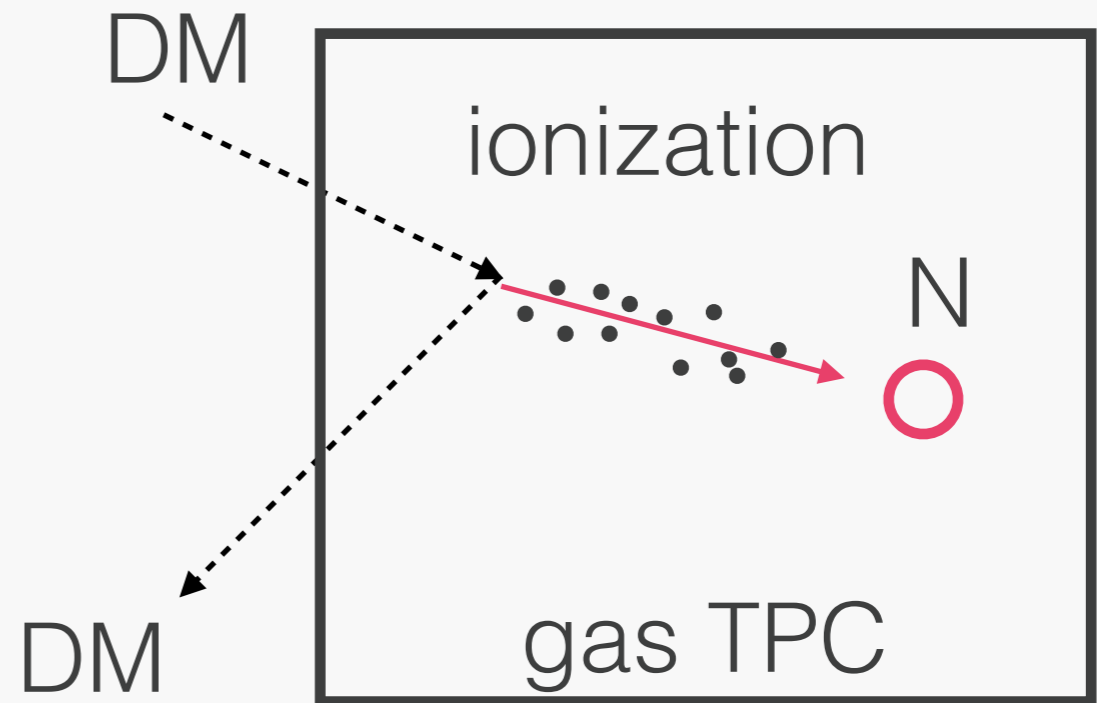
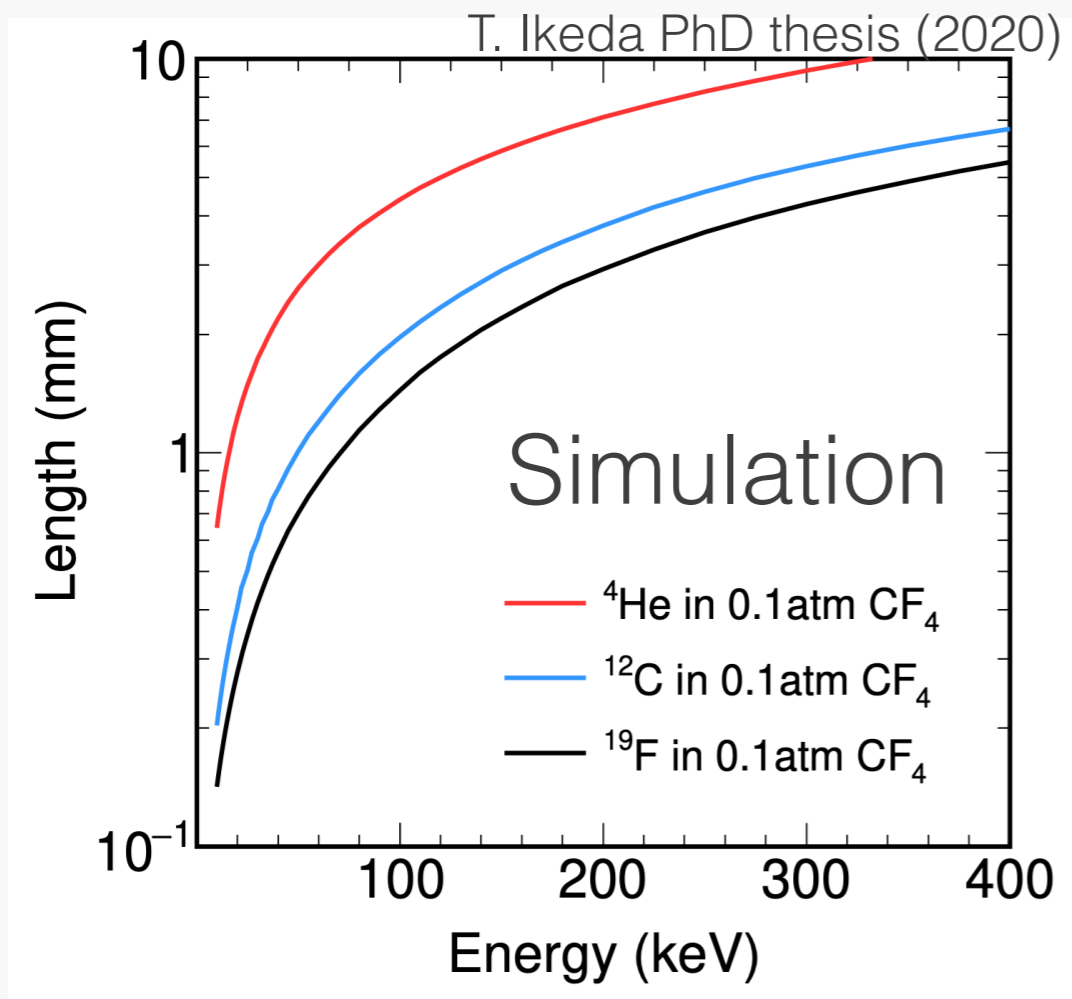
ご清聴ありがとうございました



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

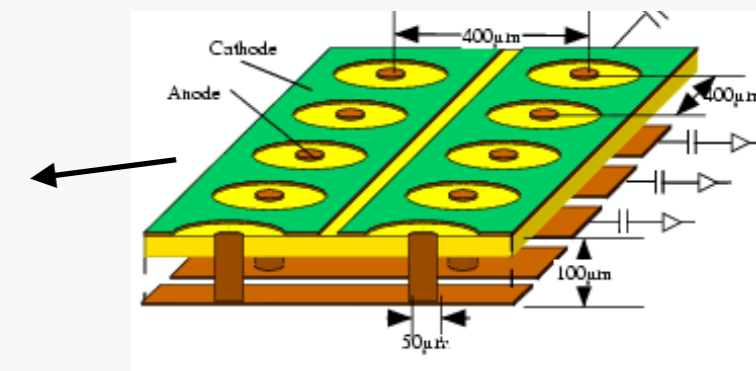
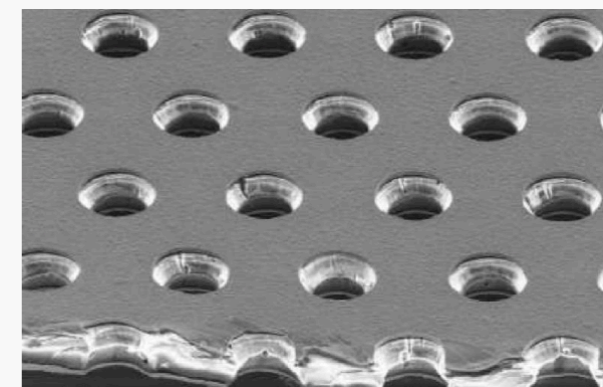
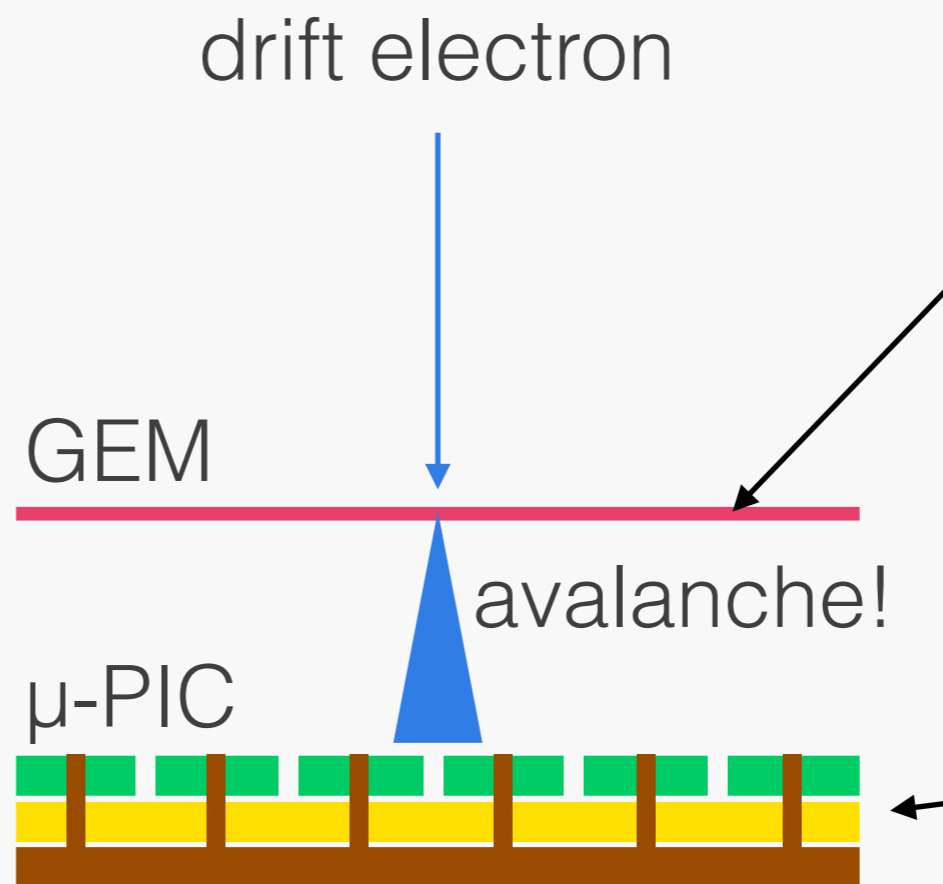
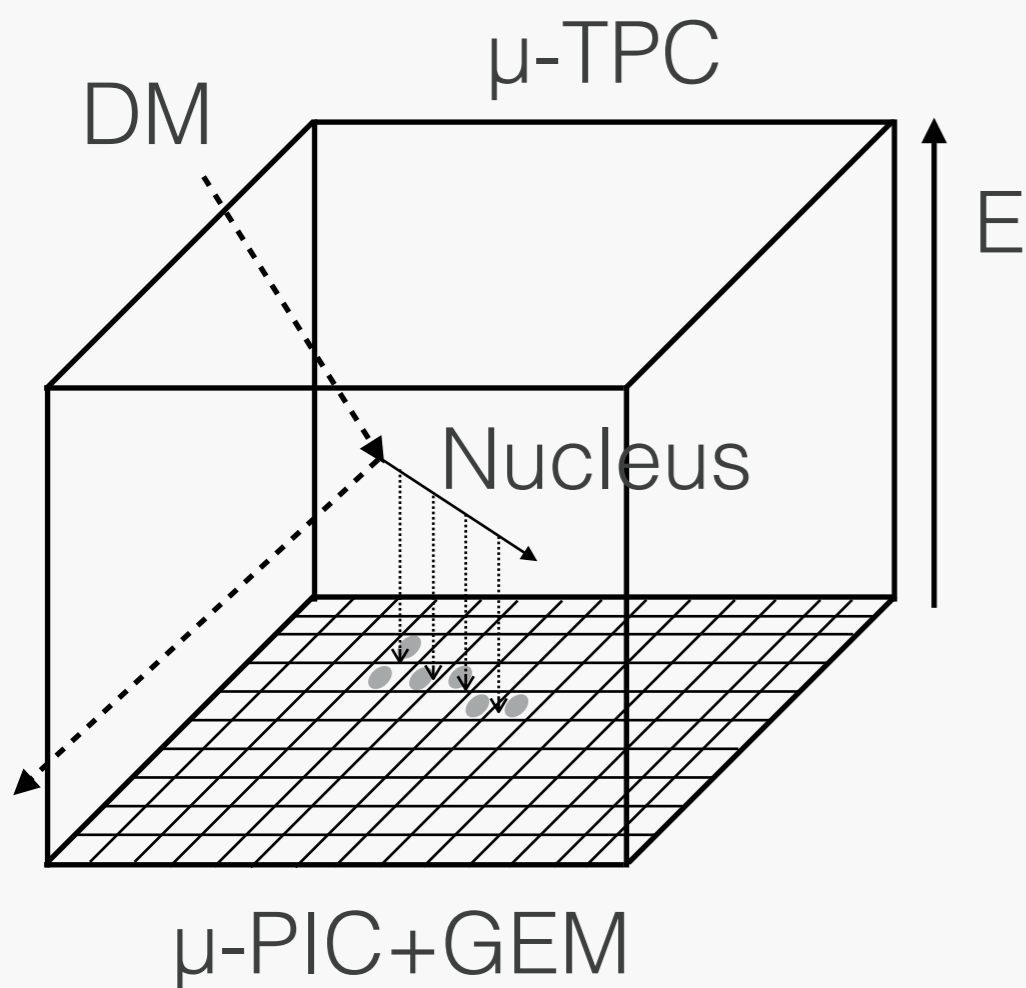
検出器

- micro-strip読み出しを用いたガスTPC (μ -TPC: micro-Time Projection Chamber)

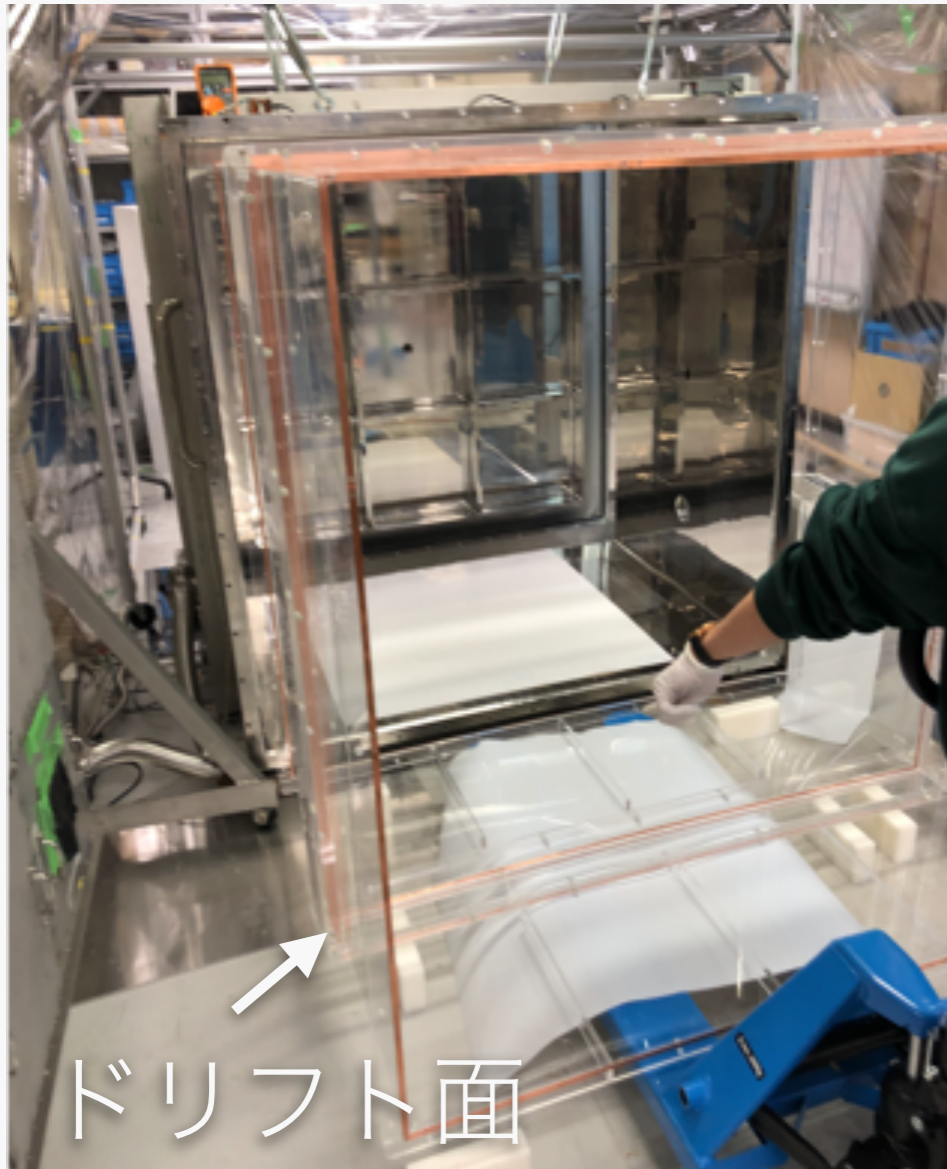
→ $30 \times 30 \times 40 \text{ cm}^3$ チェンバーに CF_4 ガスを 76 Torr で入れる

→ 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

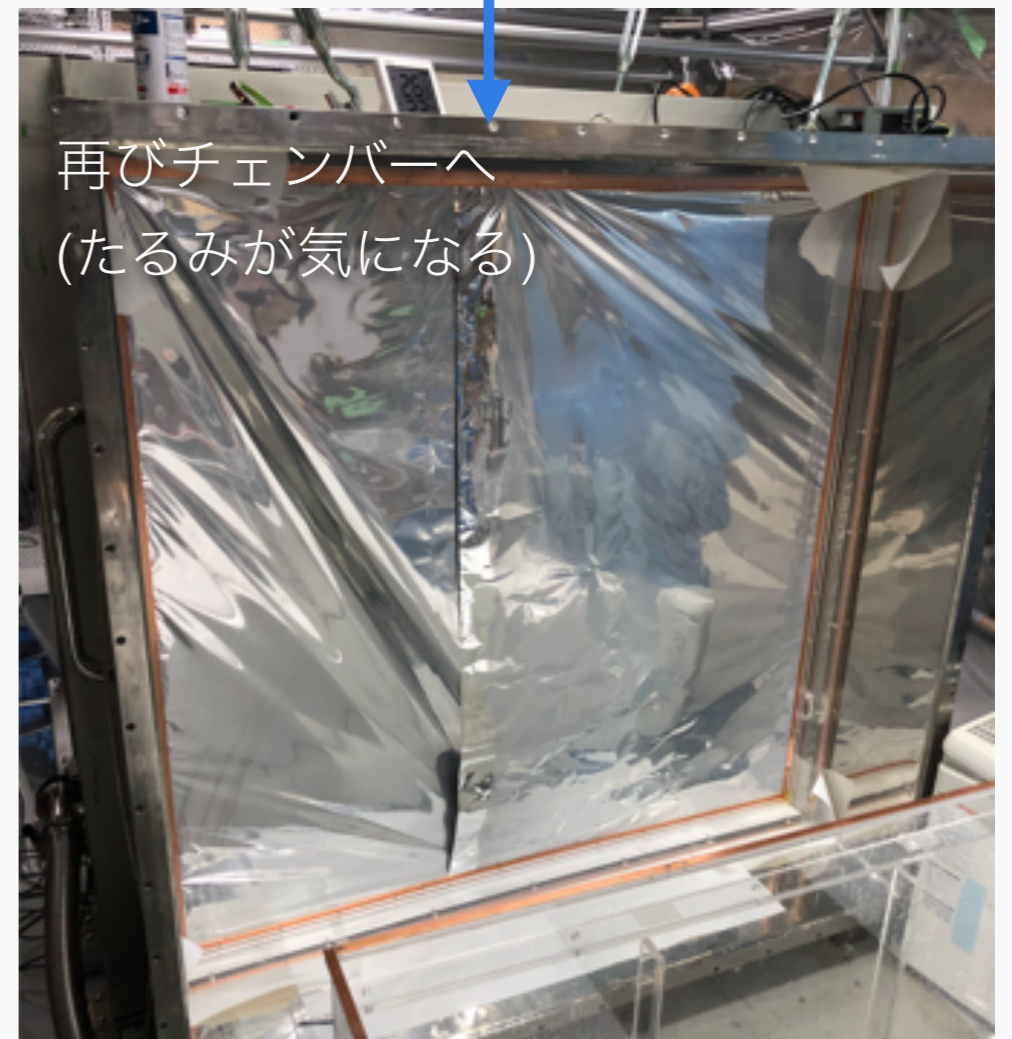
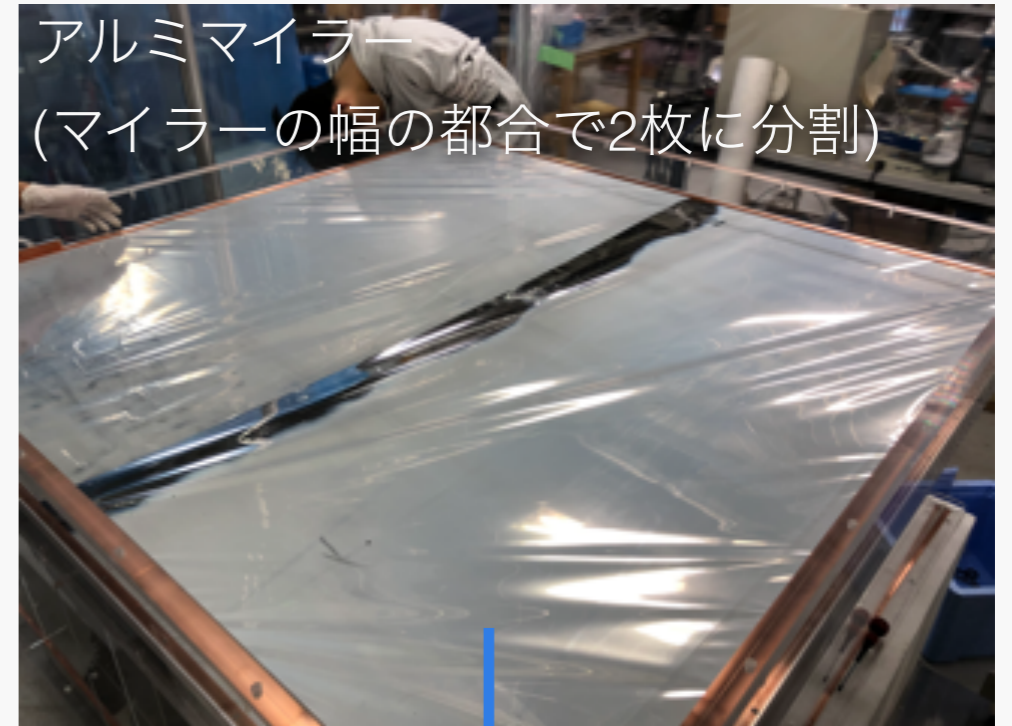
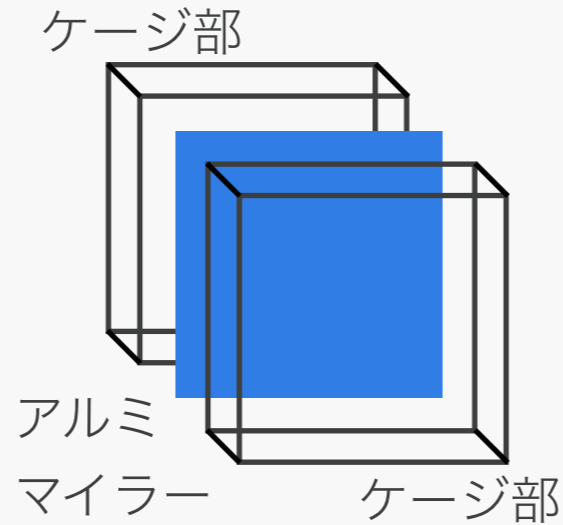


ドリフト面設置



ドリフト面、フィールド Cage 取り出し

分解して倒す

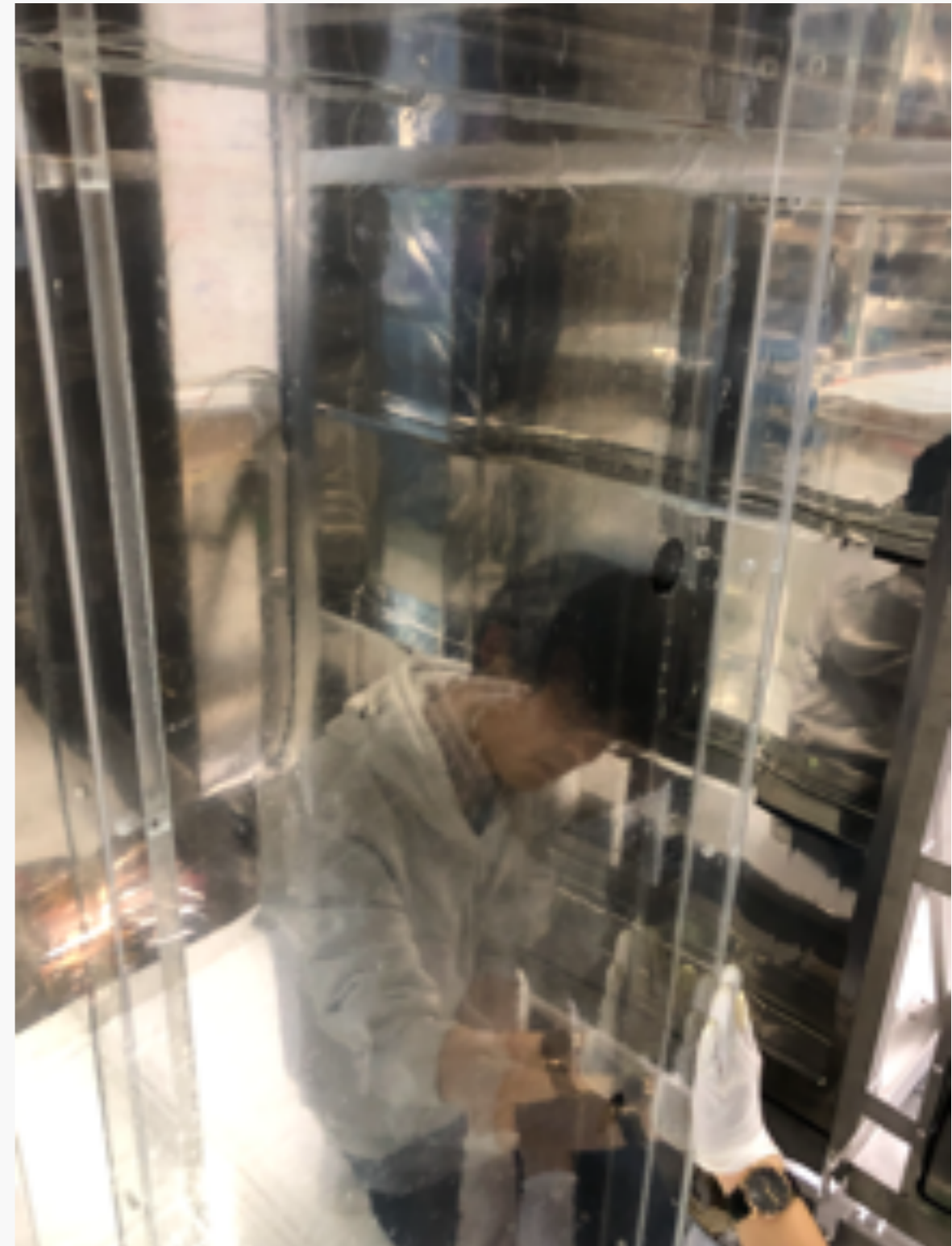


- フィールド Cage の構造物はアクリル
 - ➔ ゆがむので正四角形を保つのが困難
 - ➔ 電場の様子は気になるが一旦先へ進む

フィールドケージ

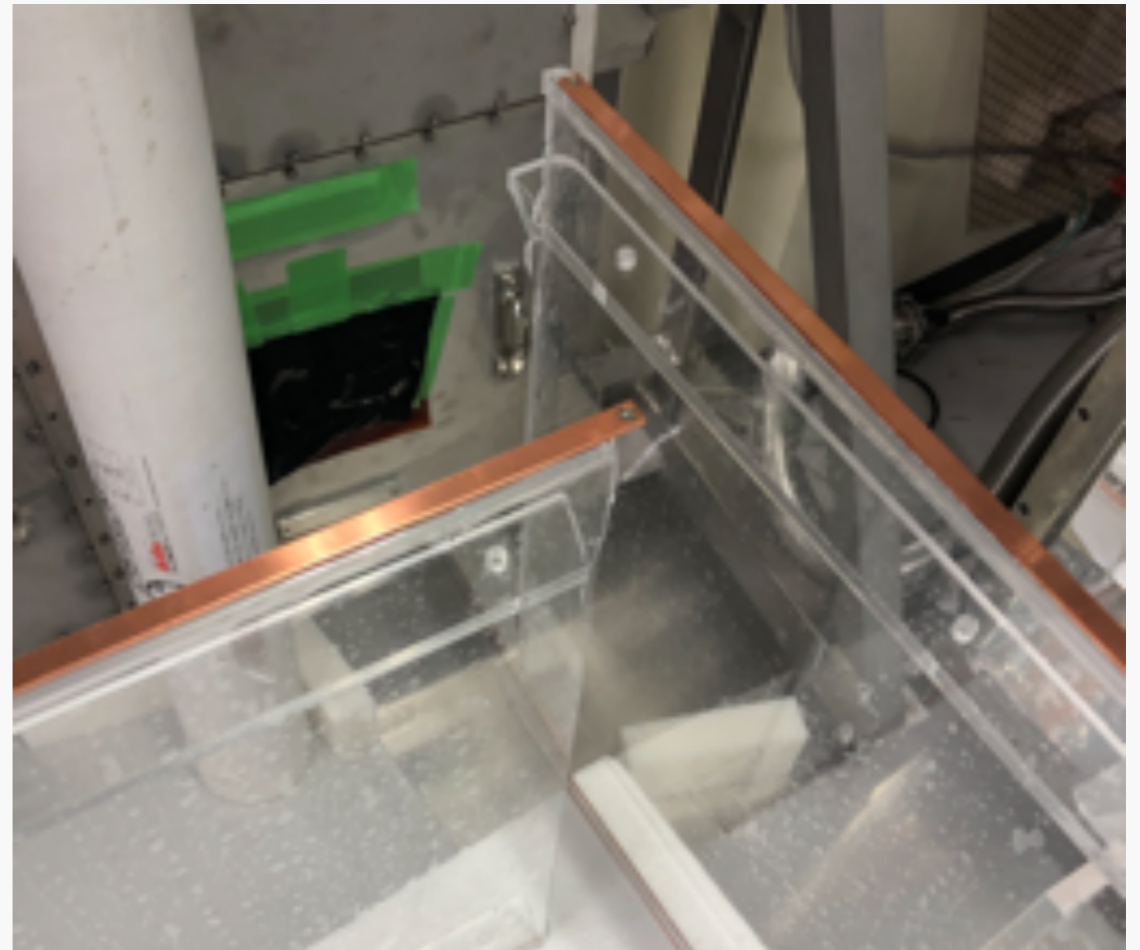
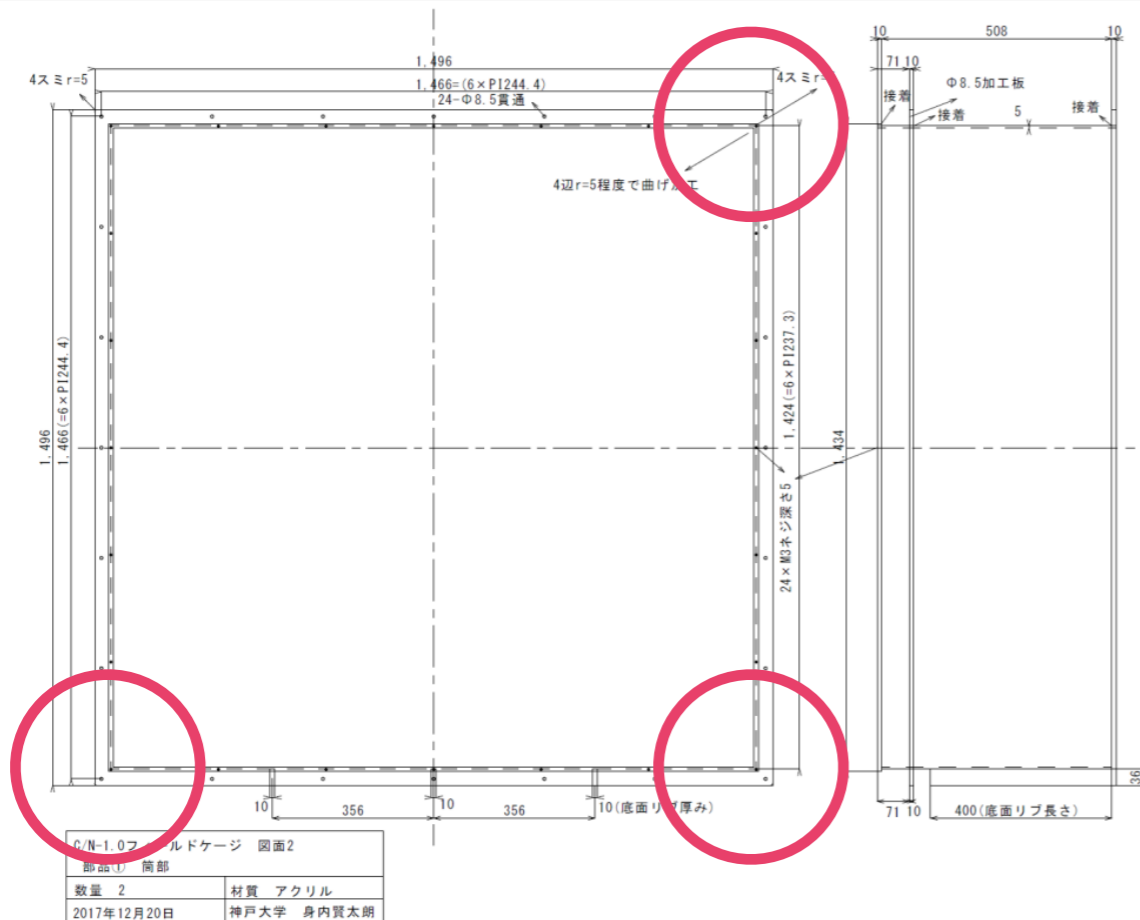
- 一様電場形成のため導電性高抵抗シートを側面に貼り付け
- “アキレス ビニラス”
 - ➔ 市販されている (モノタロウなどで購入可)
 - ▶ ~\$300 (1000 mm × 10 m × 0.2 mm)
 - ➔ 幅方向に沿って一様な抵抗
 - ▶ PTEP 2019 (2019) 6, 063H01

Product name	Material	Size (shipped) [m ²]	Thickness [mm]	Sheet resistivity	
				spec. (Ωm)	meas. [×10 ¹⁰ Ω/□] (along 0.6 m)
Semitron ESd	Polyacetal	0.3 × 0.6	6	10 ⁸ -10 ¹⁰	1-10
Anti-static film	Polyolefin	1 × 200	0.05	< 10	1-100
Anti-static PVC sheet	PVC	1.37 × 30	0.3	1-10	2.0 ± 0.2
Achilles-Vynilas	PVC	1 × 10	0.2	10	3.3 ± 0.3
DPF-arutoron	PVC	1.83 × 50	0.1	51	> 100



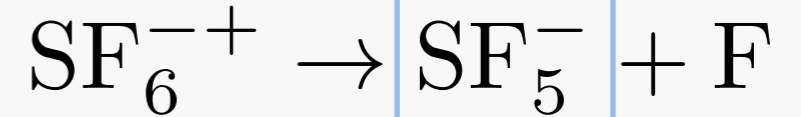
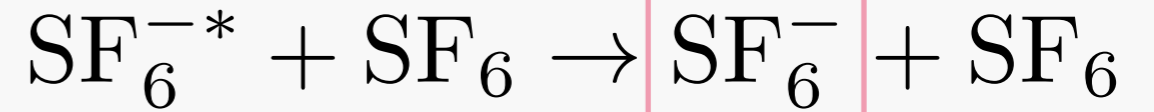
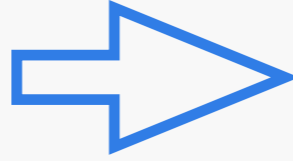
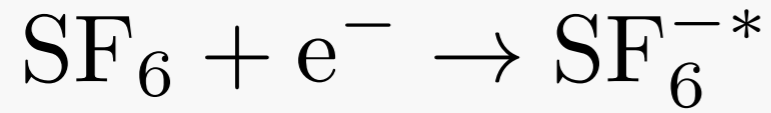
アクリルにぺたっと張り付く

余談

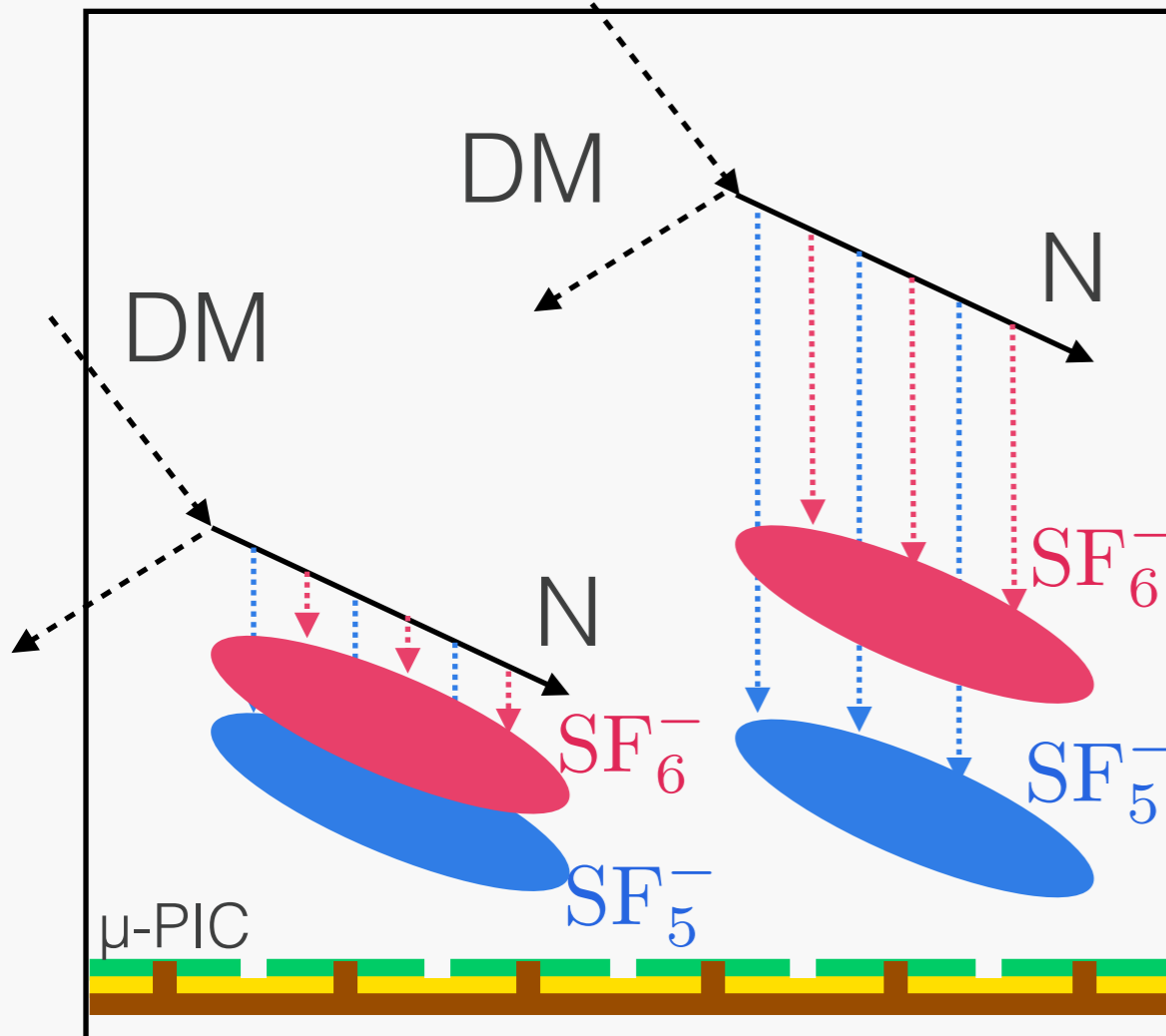


- フィールドケージが割れるトラブル
 - ➔ 空洞の四角柱型なので当然脆い
- 壊したけど、各面がバラバラのほうが扱いやすいのでは？
 - ➔ 完全なる開き直りでそのままチェンバーに再実装、動作試験へ

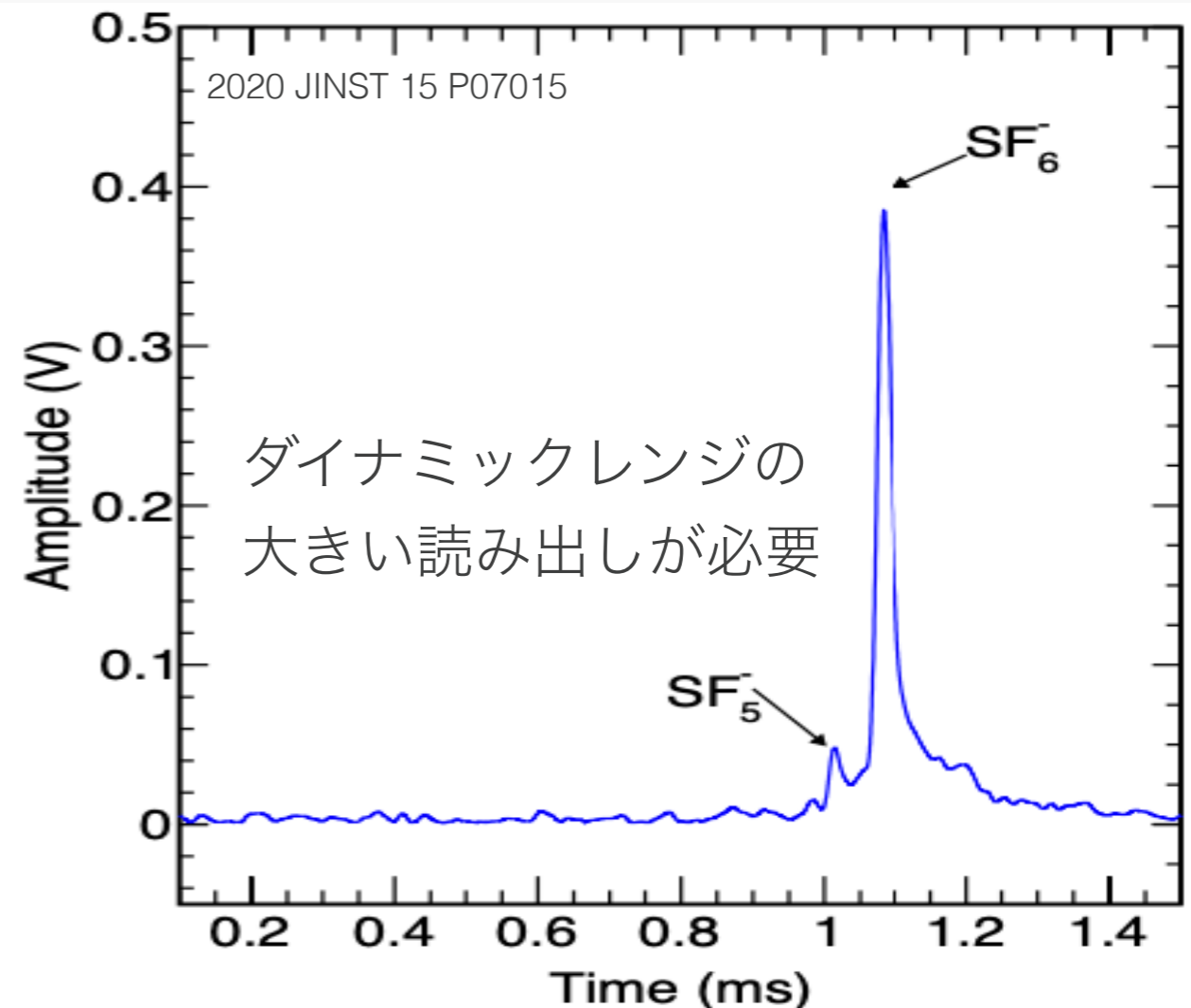
陰イオンガス：SF₆



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

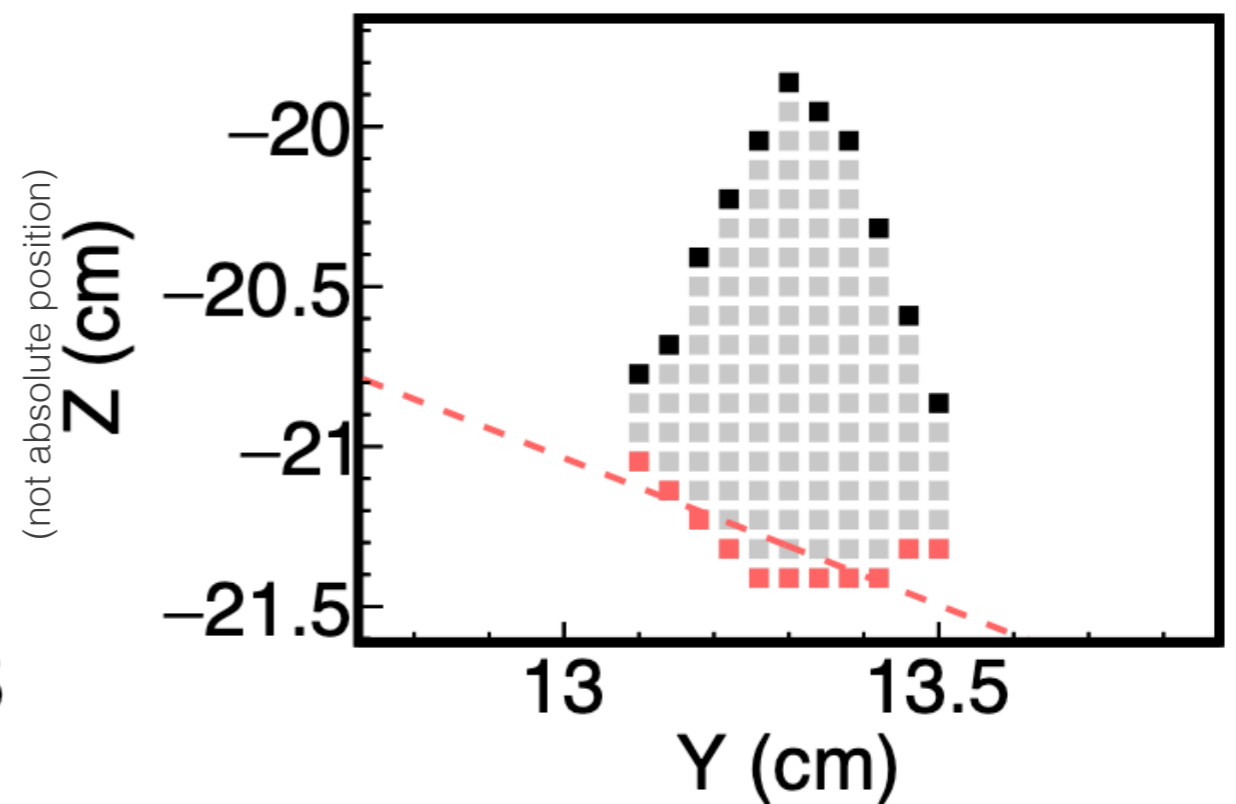
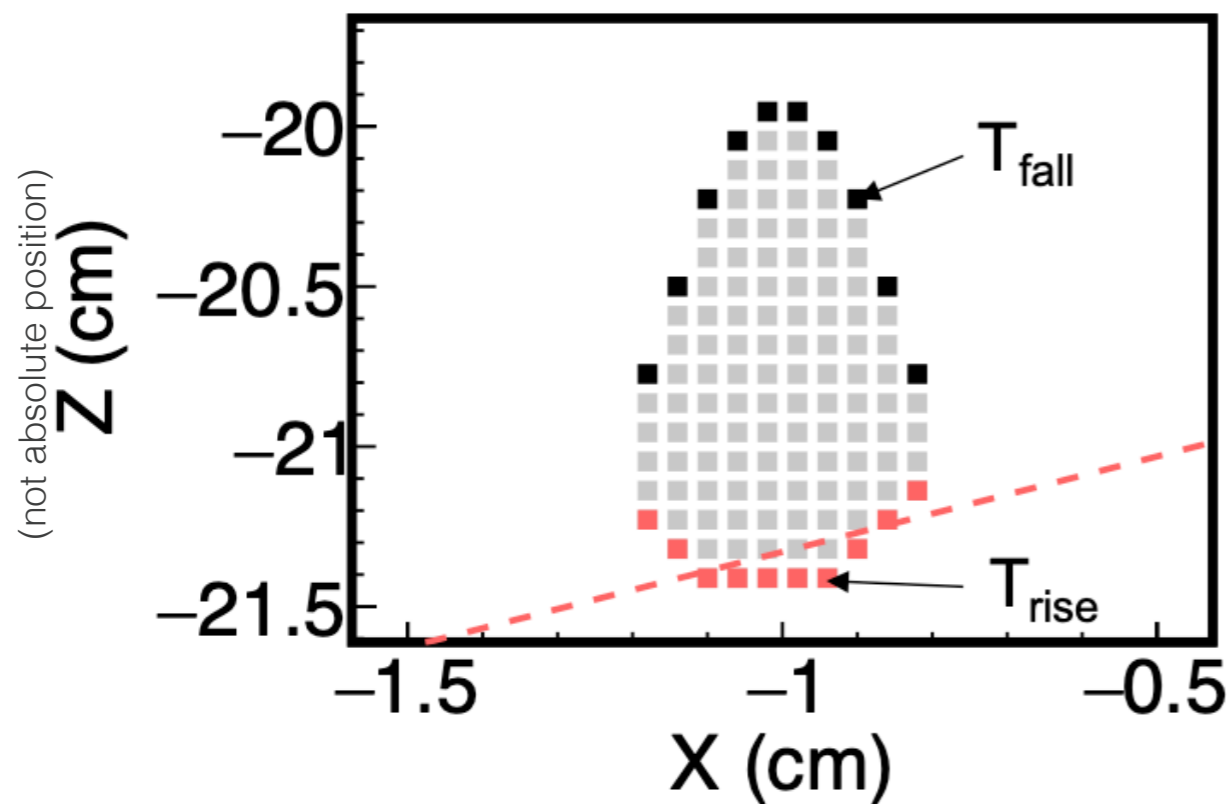
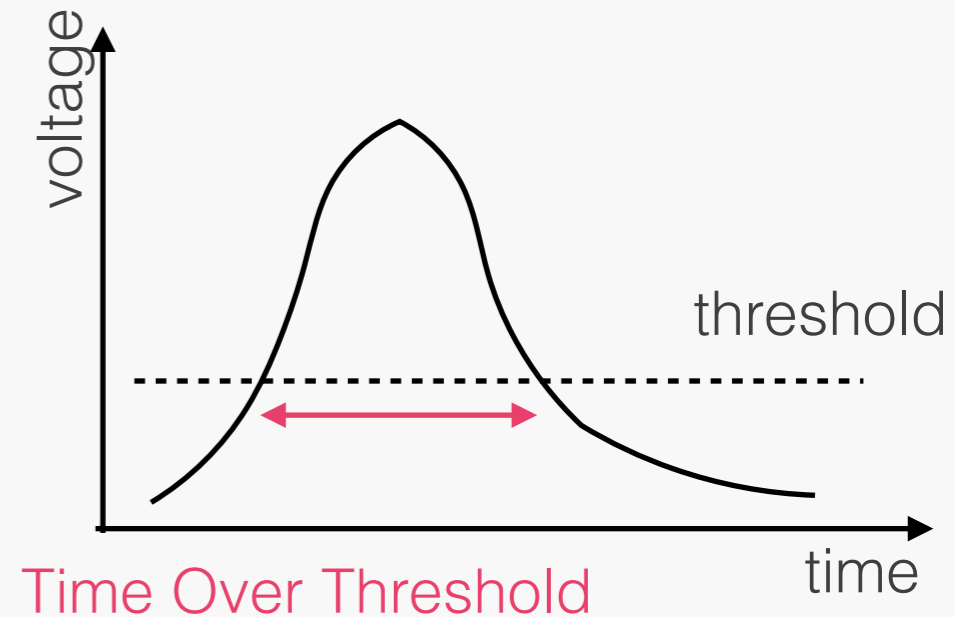


ただし特徴的な波形のため
FADCを用いた波形解析をしたい



Track reconstruction

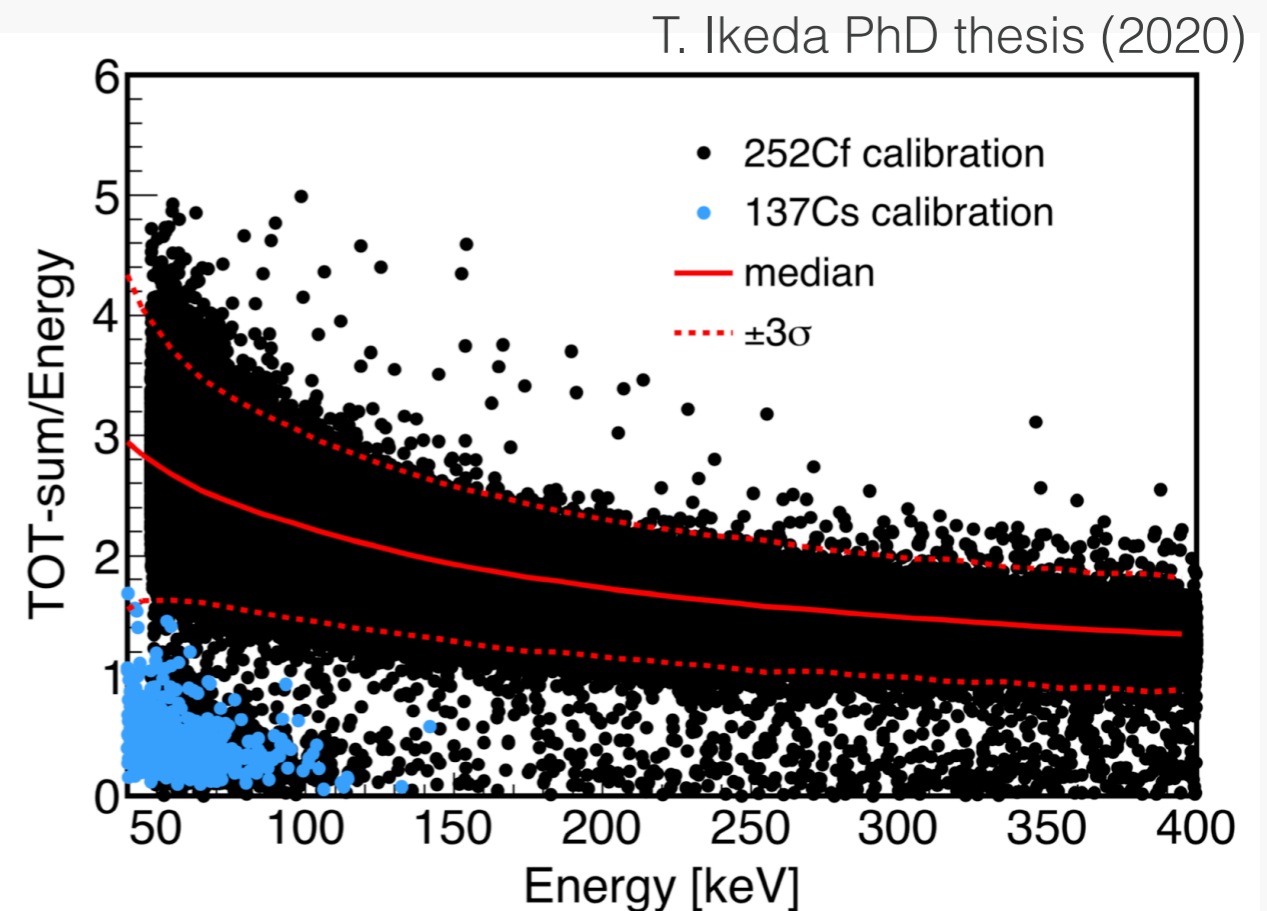
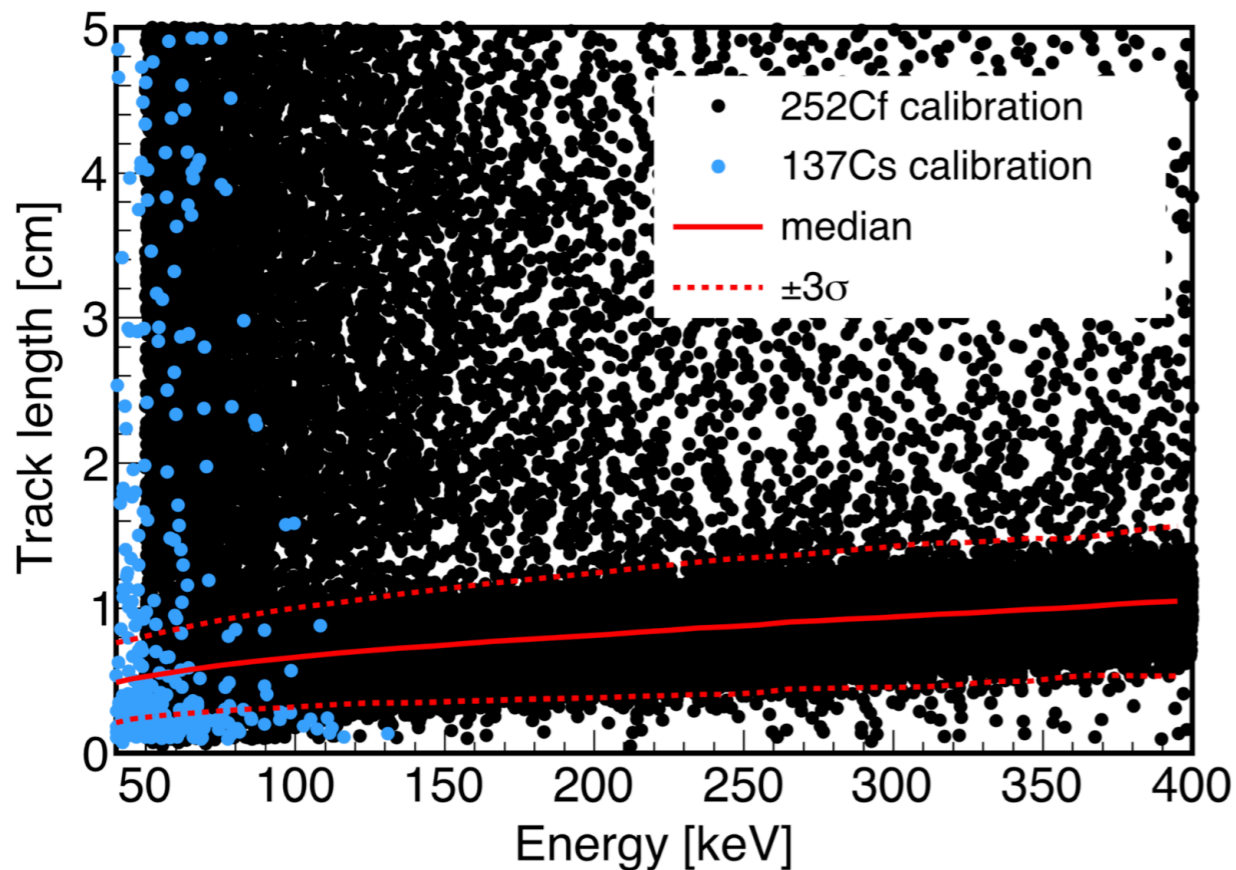
- 3D track is reconstructed by the position and drift time of hits
 - ➔ Note: only relative drift time difference (=relative position of Z) can be measured
- Energy deposition is also measured via Time Over Threshold (ToT)
- Typical event display for nuclear recoil is shown below
 - ➔ Data taken with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



T. Ikeda PhD thesis (2020)

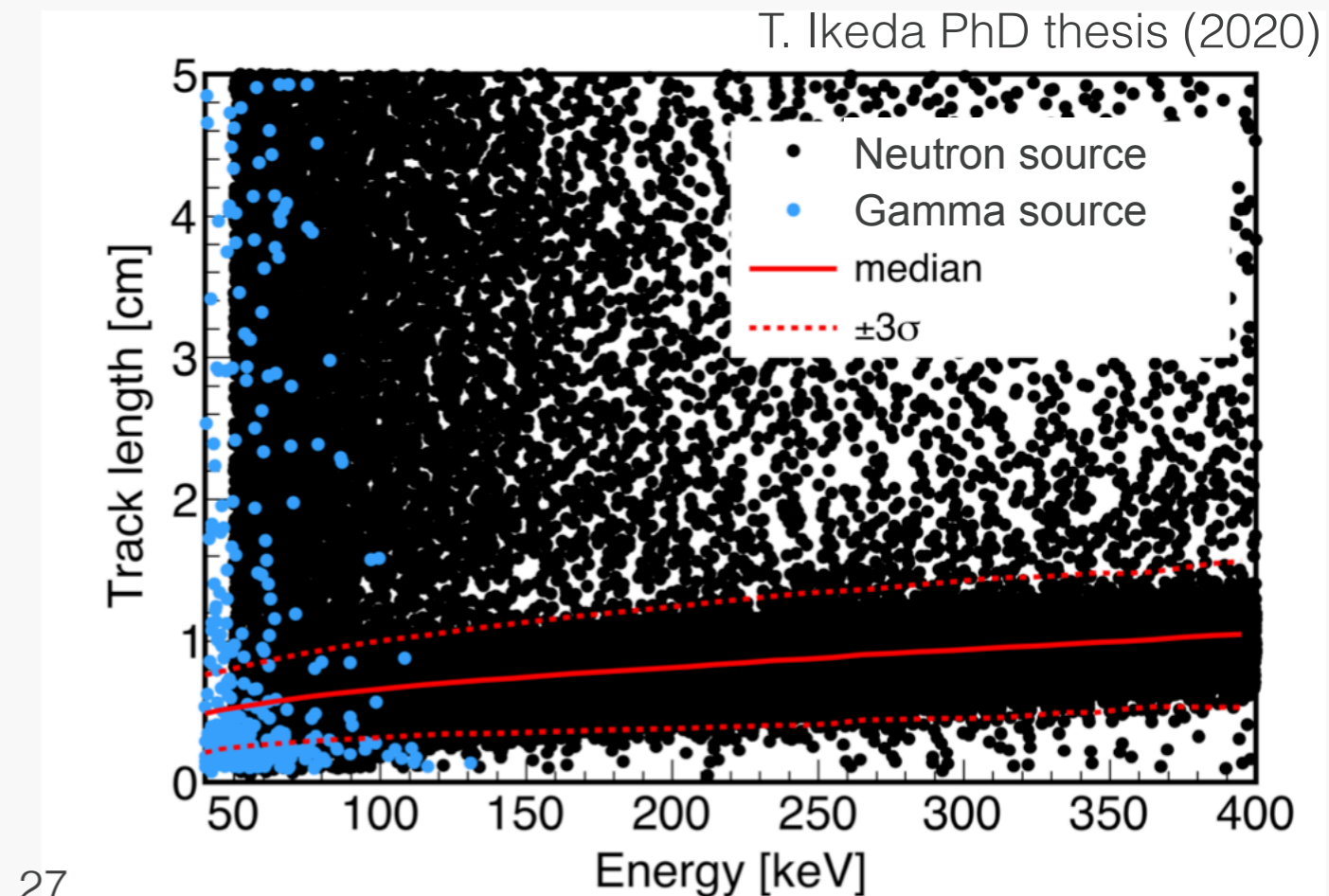
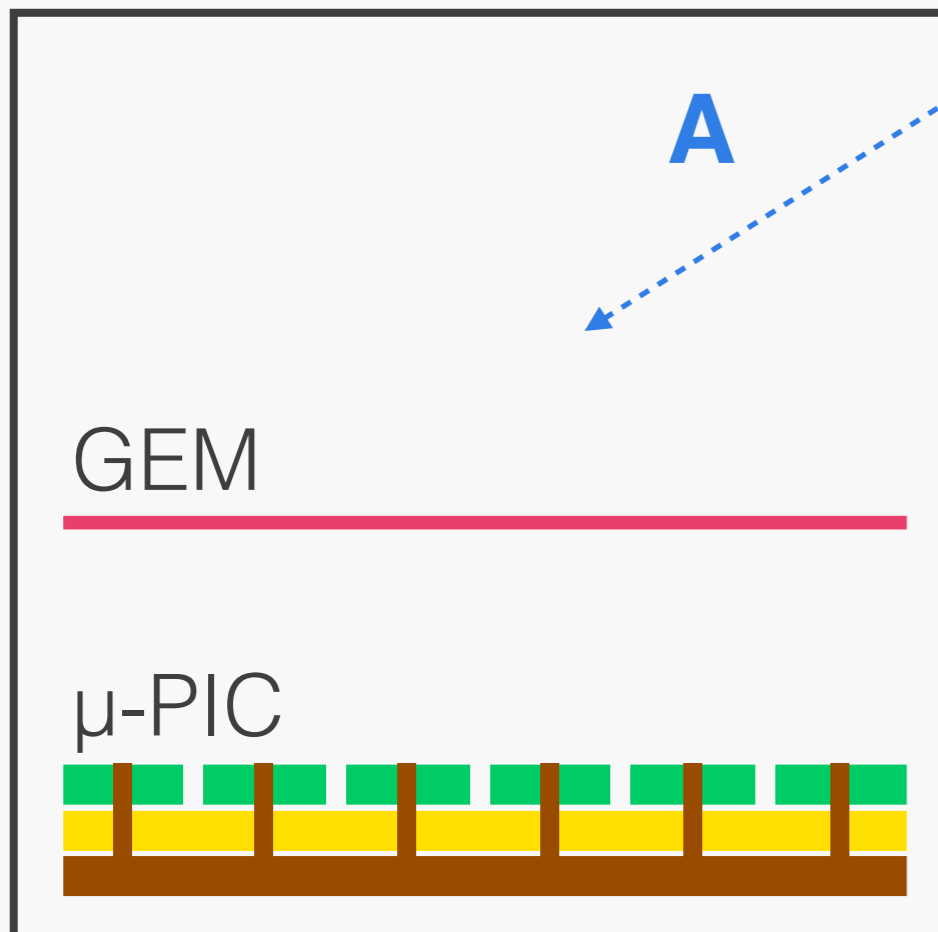
Event topology

- 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)

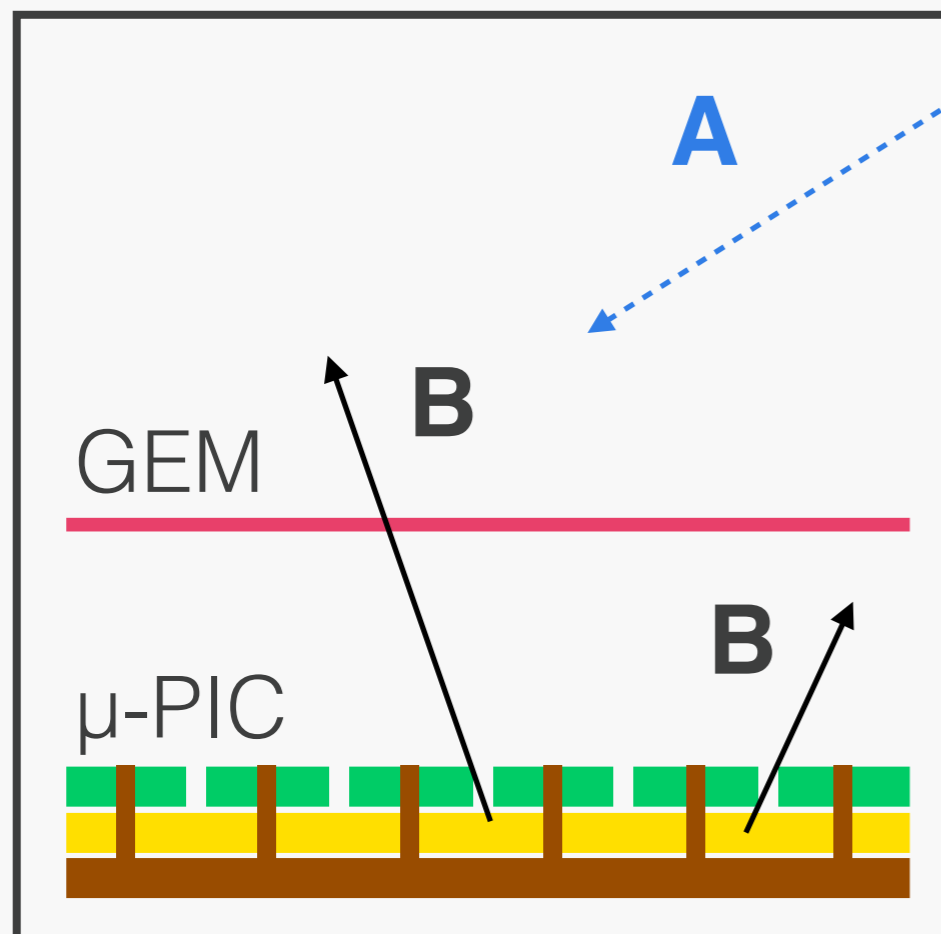
→ Reduced by analysis

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

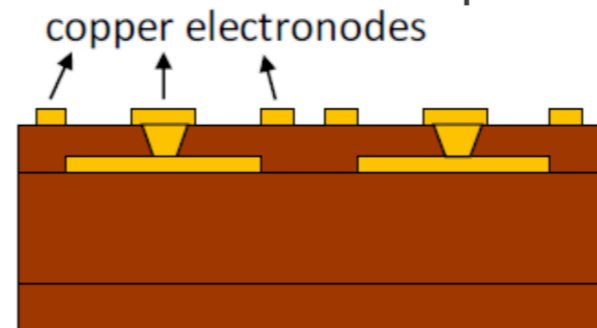
- **B**: Internal BG: Radiative sources

→ Reduced by “clean” detector development

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

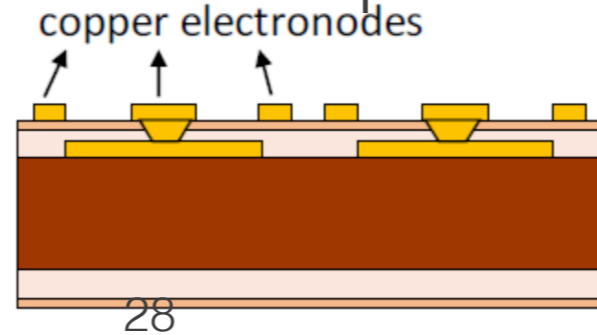


Conventional μ -PIC



replaced to
clean material

Low α μ -PIC



U-Th sources

~ 2 ppm



$< 10^{-2}$ ppm