



ガス検出器による暗黒物質探索実験

東野聡 (神戸大)

[代表] 身内賢太郎 竹内康雄 大藤瑞乃 濱田悠斗 生井凌太 (神戸大)
寄田浩平 田中雅士 青山一天 中島理幾 内海和伸 石川皓貴 (早稲田大)

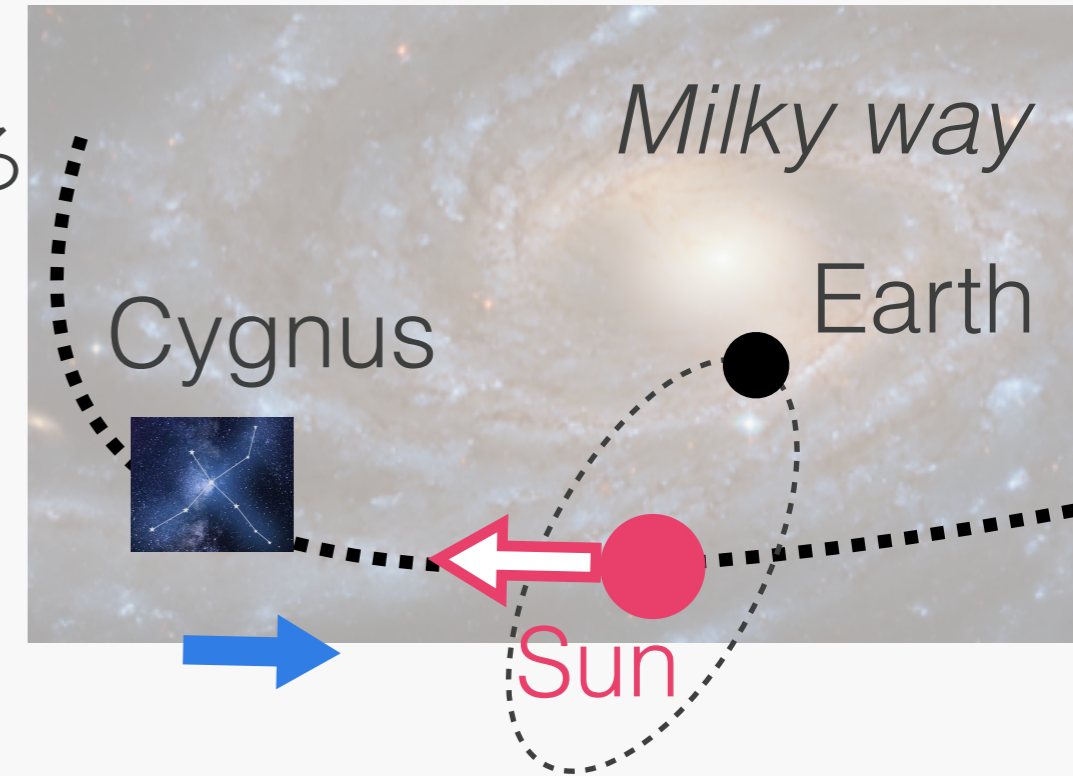
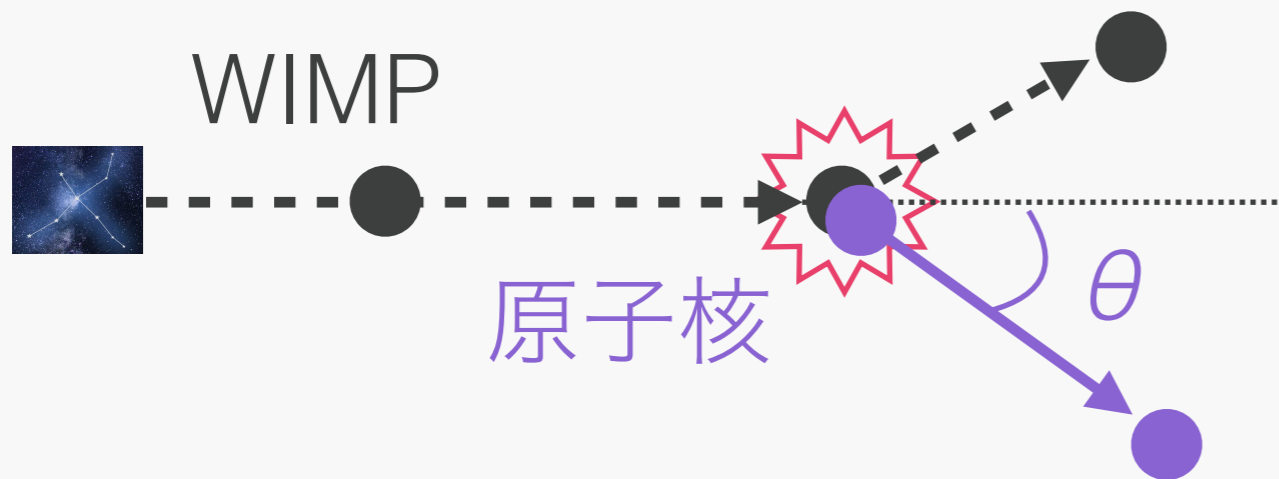
Neil Spooner, Alasdair G McLean (University of Sheffield)
南野彰宏 天内 昭吾 芝山 凌 (横国大)

2024/2/22

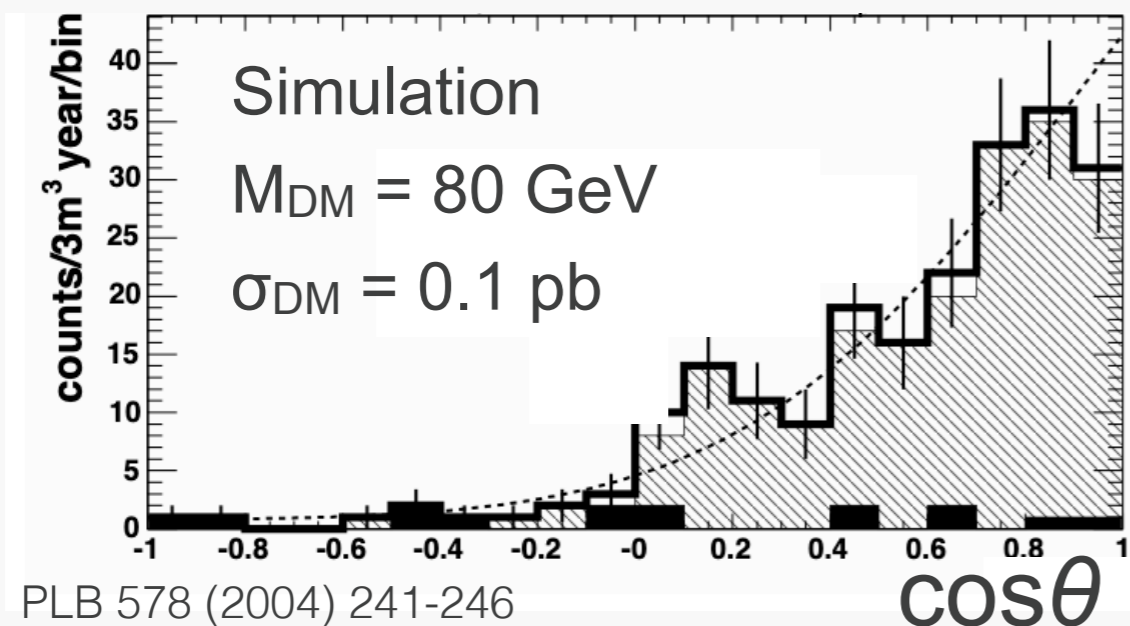
方向に感度を持つ暗黒物質 (DM) 直接探索

● 原子核反跳からDM (WIMP) 到来方向を知る

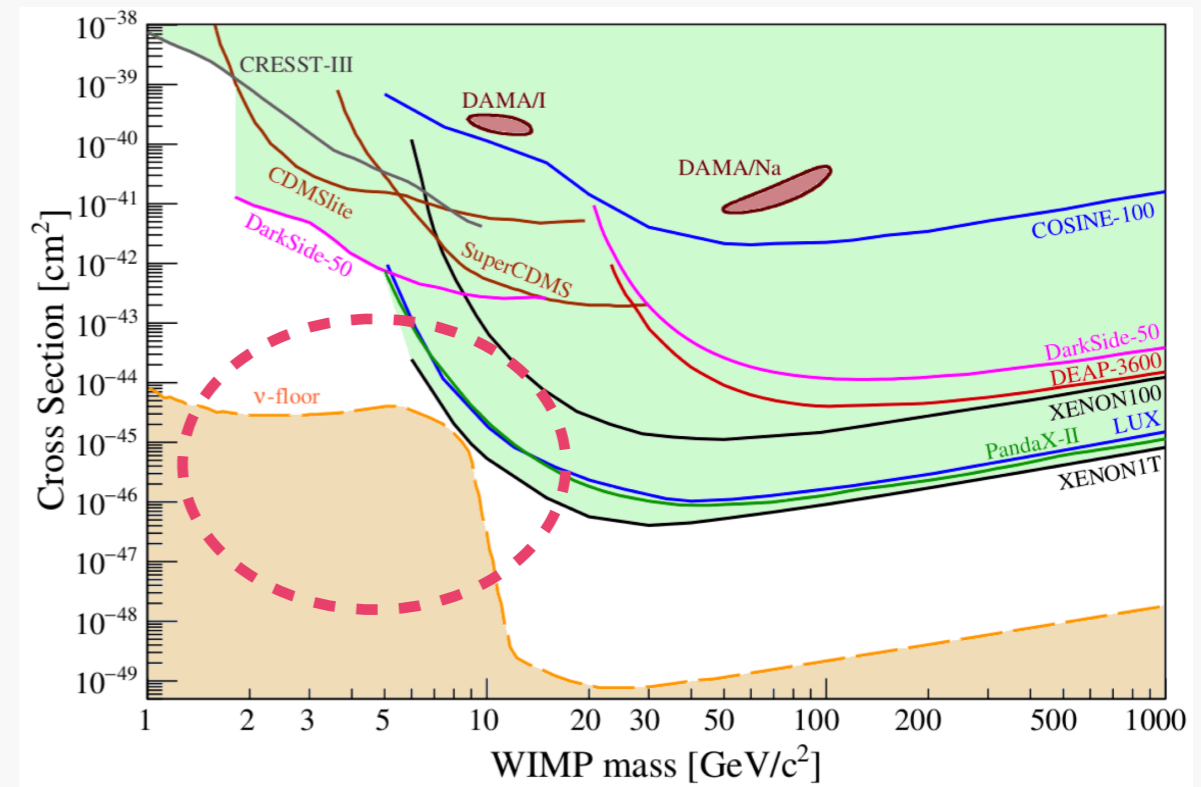
- 異方性がDMの強い証拠に
- ニュートリノ/BGとの分離も可能



WIMP wind from Cygnus!



PLB 578 (2004) 241-246



2023年度報告

- 研究費

- 35万円配分 (物品費5万円、旅費30万円) 執行済

- 研究内容

- **高感度化**

- ▶ **低アルファ μ -PICを用いたDM run (PTEP 2023 (2023) 10, 103F01)**

- ▶ **LBG μ -PIC + 銅シールド DM run**

- 中性子測定 (早稲田、横国グループ)

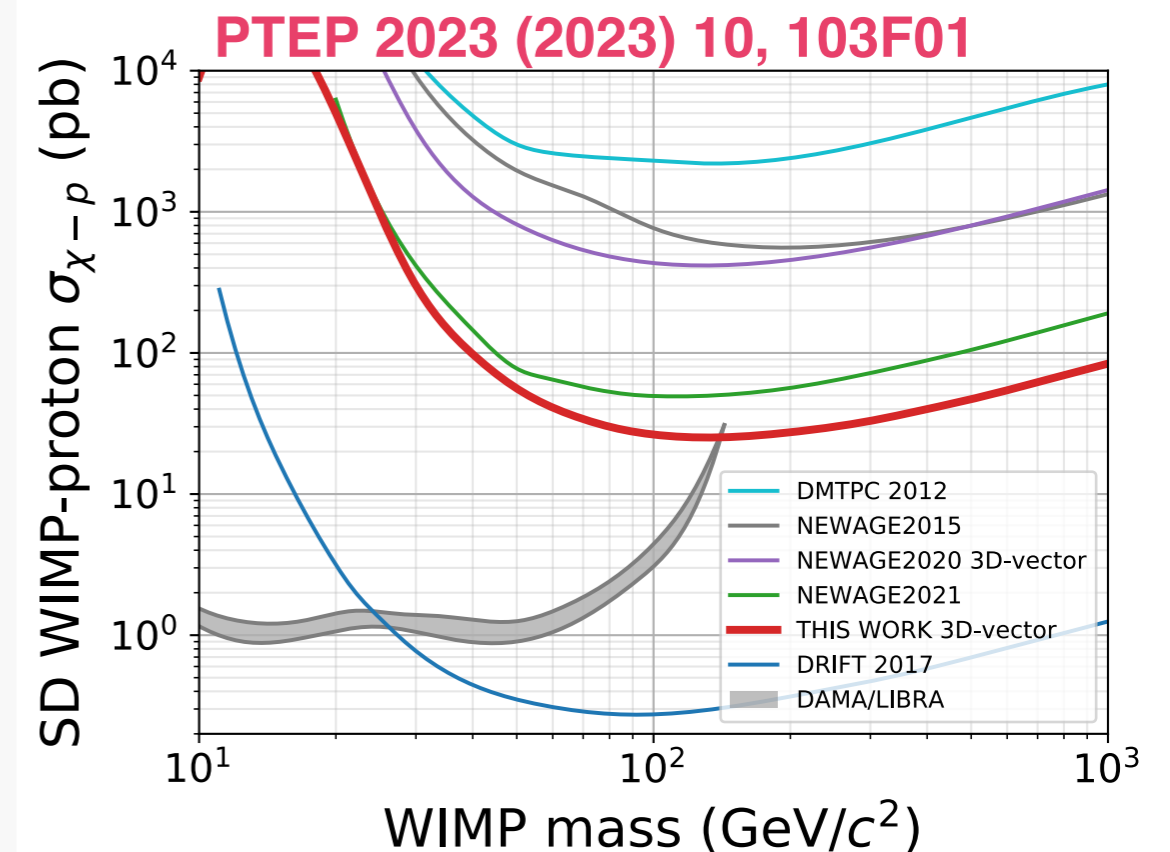
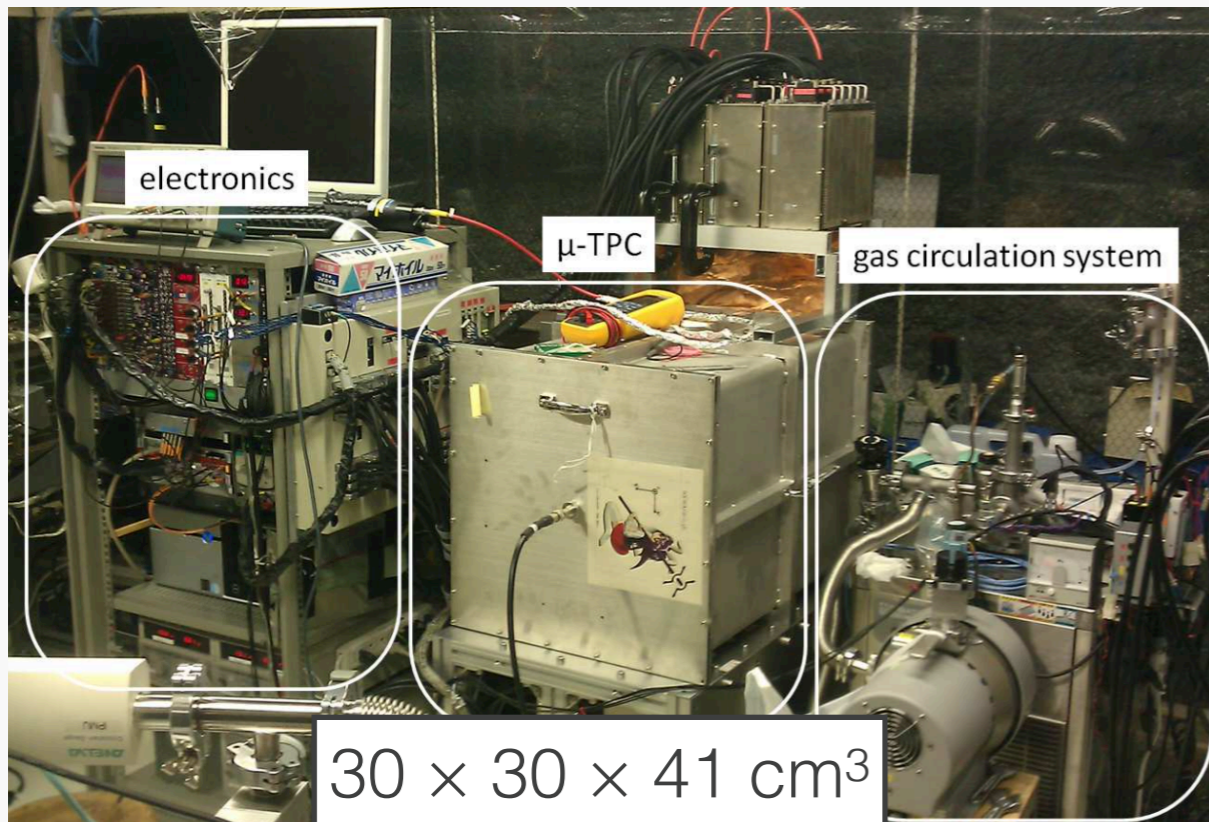
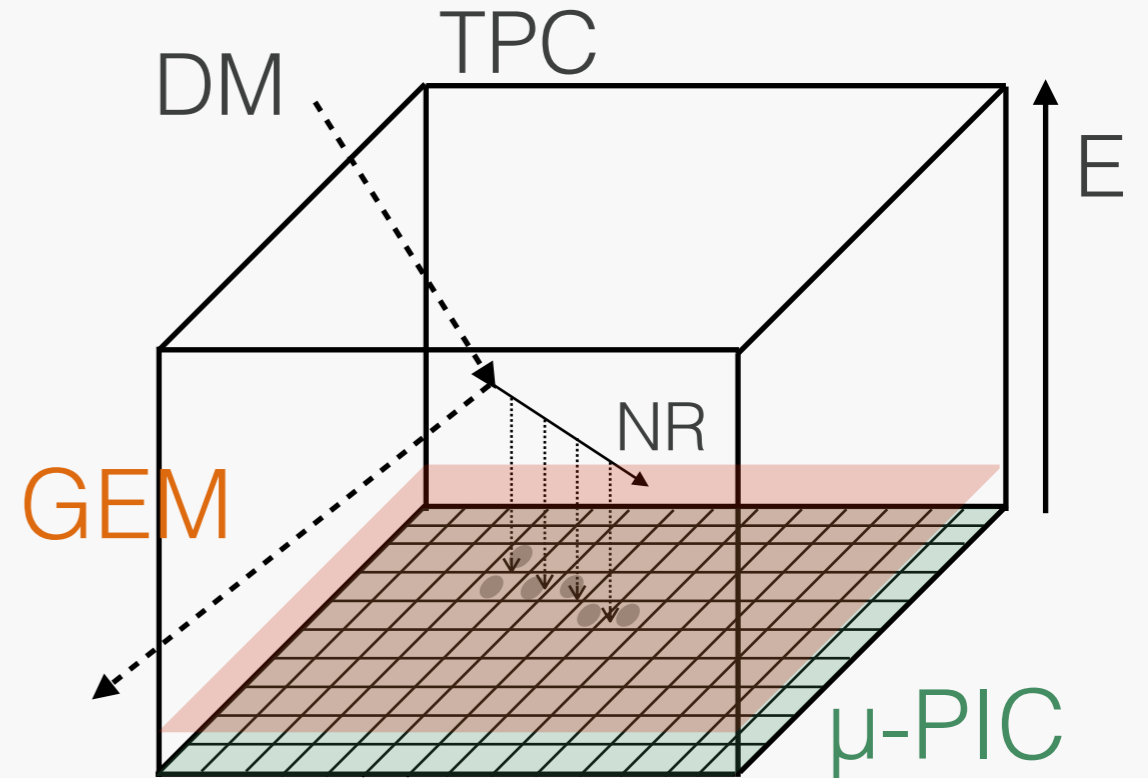
- 陰イオンガス

- **大型TPC (C/N-1.0)**

- **読み出しの微細ピクセル化**

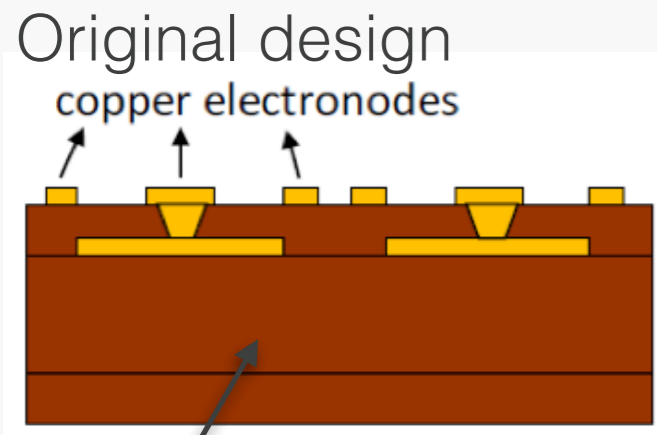
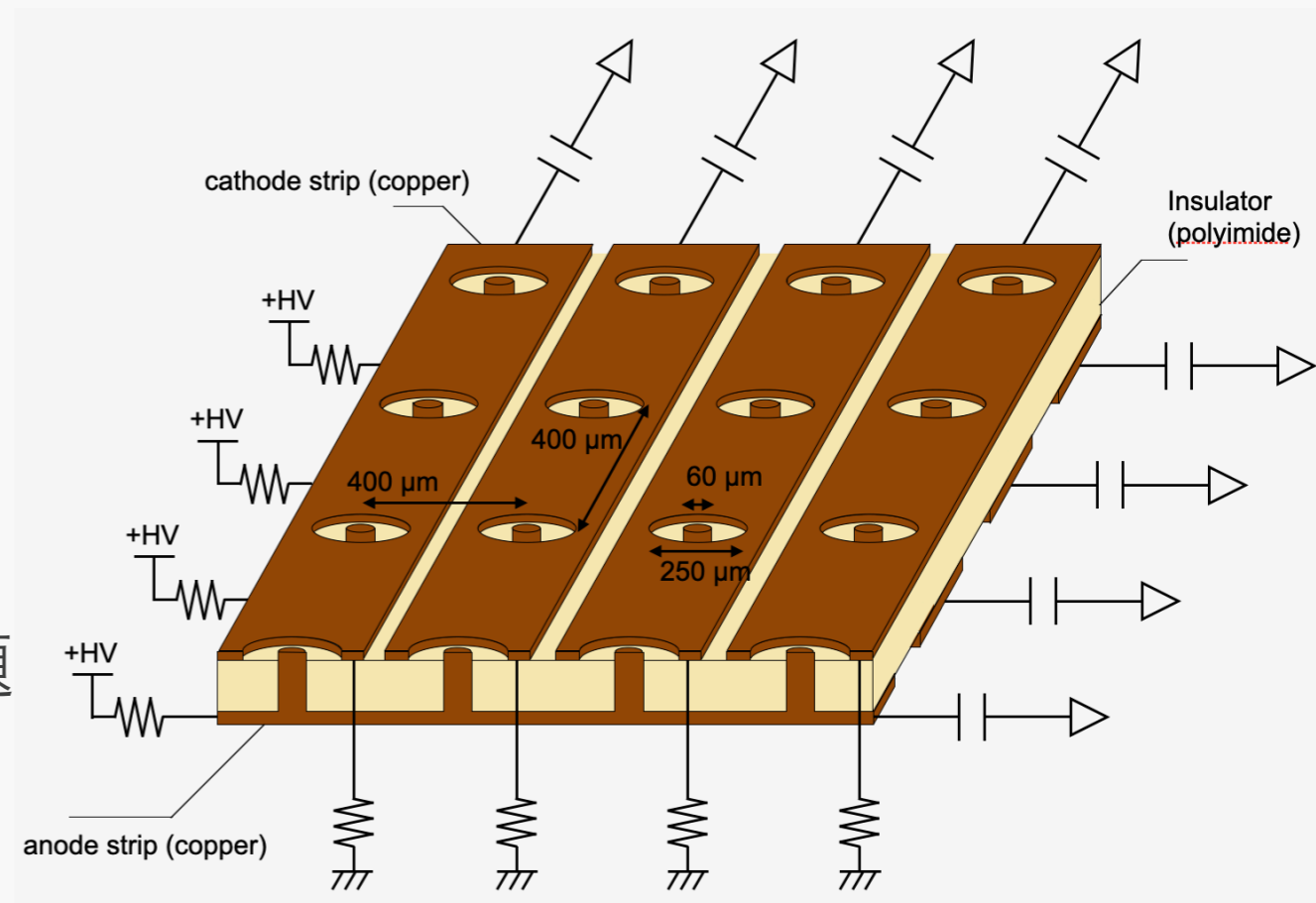
現行NEWAGE

- 神岡坑内 (Lab-B) での地下実験
- 低圧ガスTPCで暗黒物質探索
 - $30 \times 30 \times 41 \text{ cm}^3$ fiducial volume
 - CF_4 ガス (0.1 atm)
- 感度向上に向け、BG削減を目指す



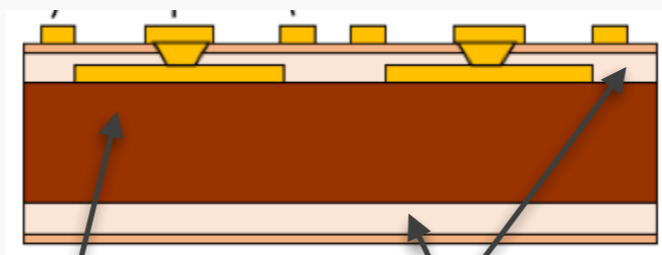
μ-PIC開発の歴史

- 400 μmピッチ電極, 2D読み出し
- 各交点に目玉構造
 - ➔ ガス増幅が可能
- 検出器に含まれる U/Th 系列のRIが問題
 - ➔ 「きれいな検出器」 開発を進めてきた



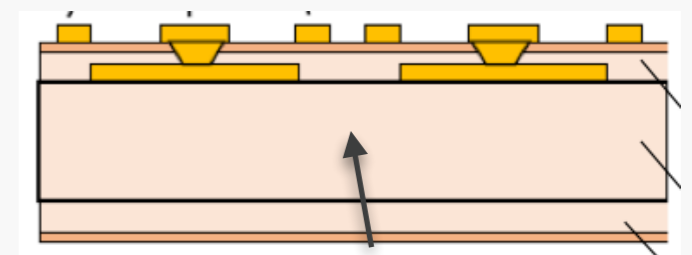
ポリイミド樹脂
ガラスクロス入り
(Rnを含んで汚い)

Low **surface** alpha version
(LAμ-PIC: 2017-)



ポリイミド
ポリイミド ガラスクロスなし
ガラスクロス入り

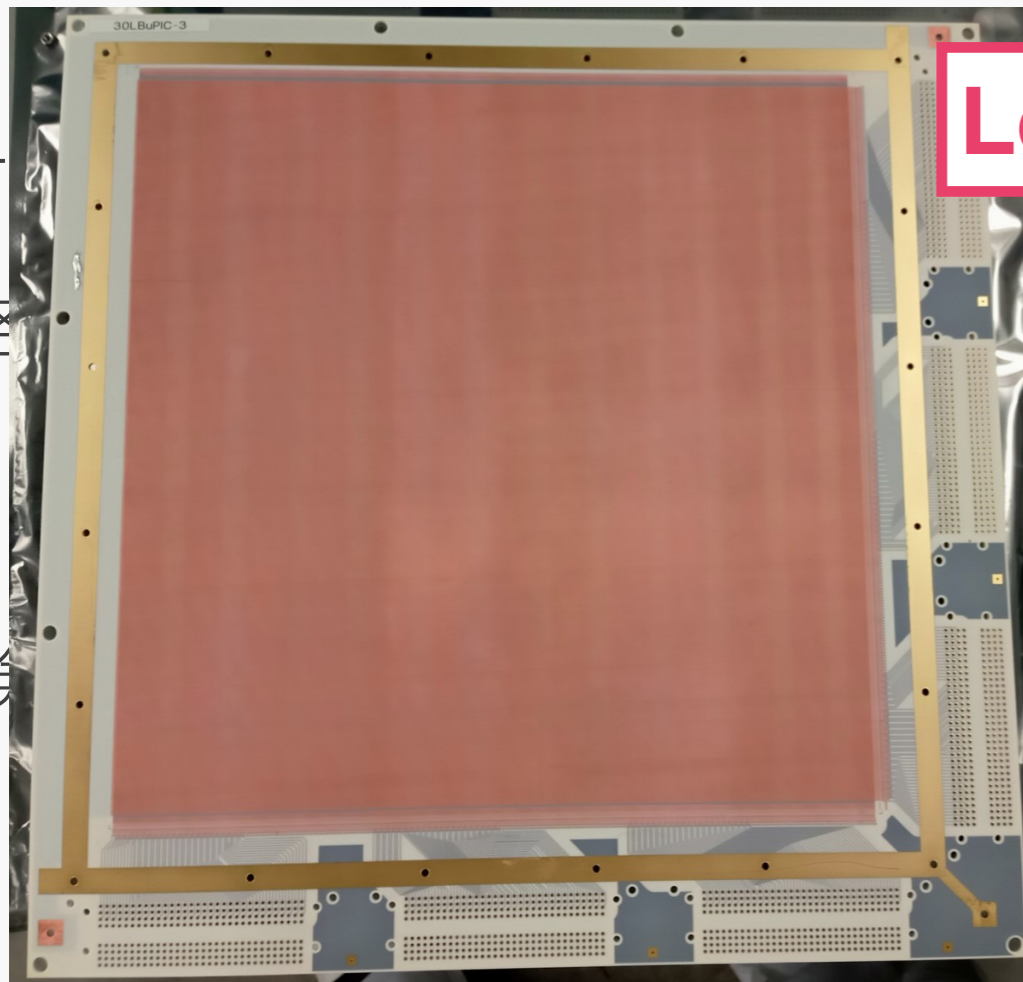
Low BGμ-PIC
(ver0: 2020, ver1: 2023)



Quartz + Resin

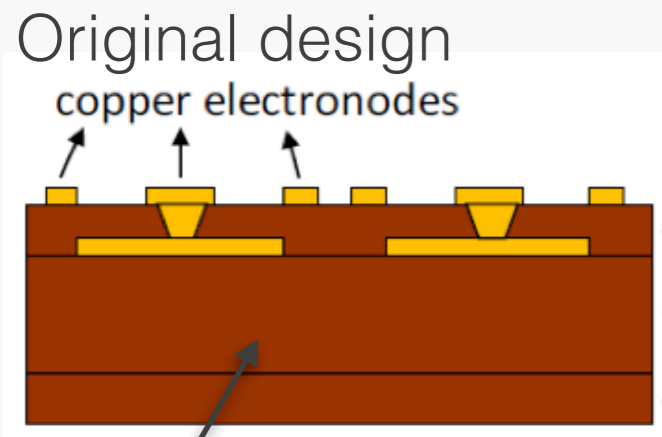
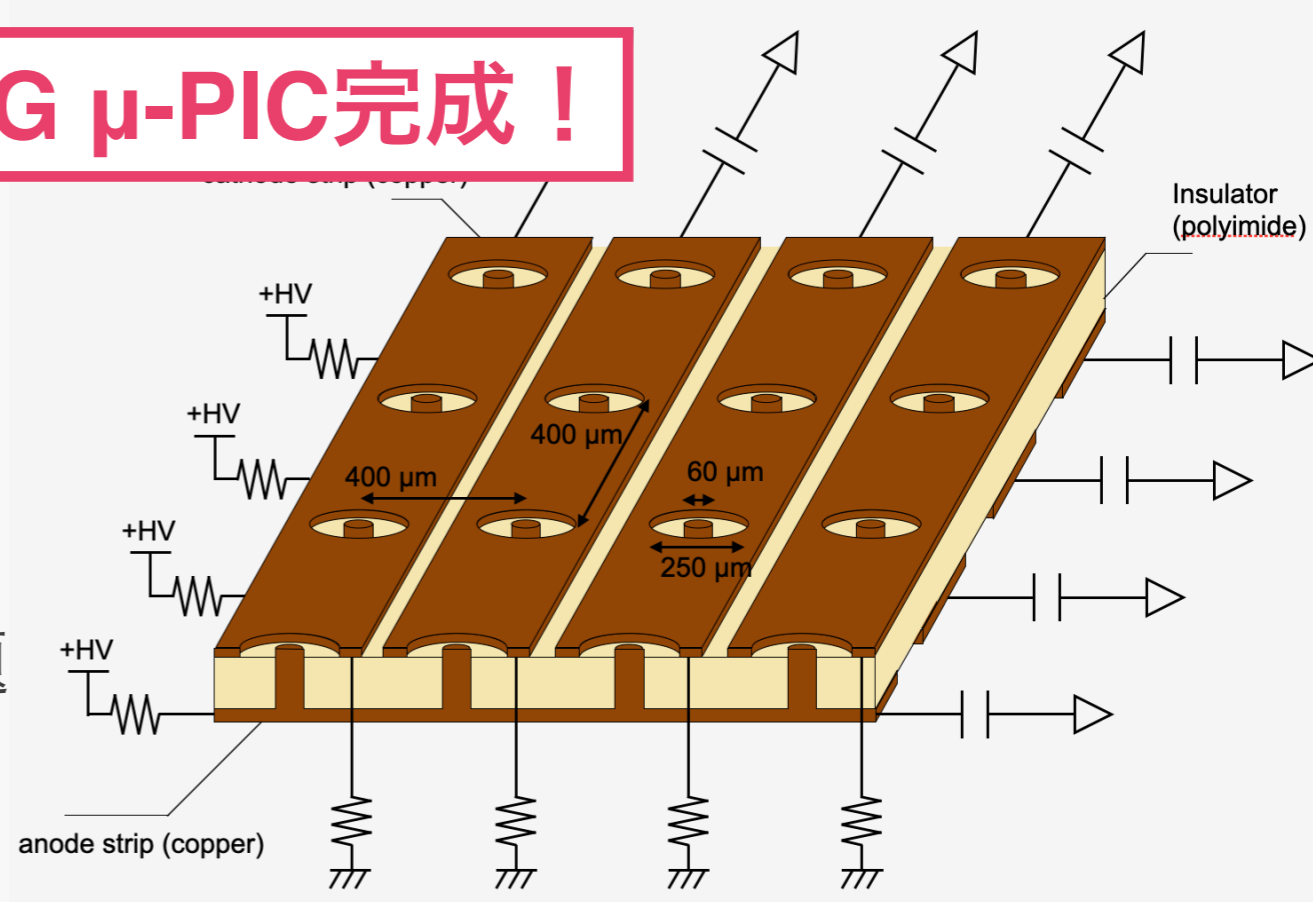
μ-PIC開発の歴史

- 4
- 各
- 検



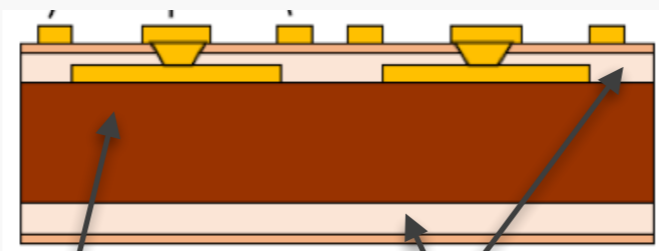
Low BG μ-PIC完成!

が問題
てきた



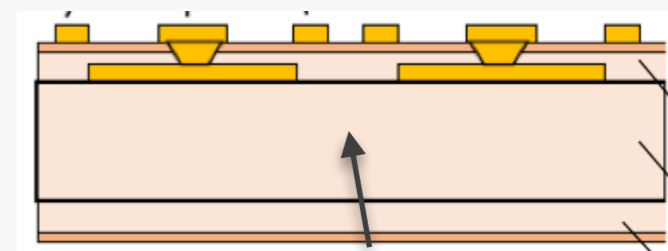
ポリイミド樹脂
ガラスクロス入り
(Rnを含んで汚い)

Low **surface** alpha version
(LAμ-PIC: 2017-)



ポリイミド
ポリイミド ガラスクロスなし
ガラスクロス入り

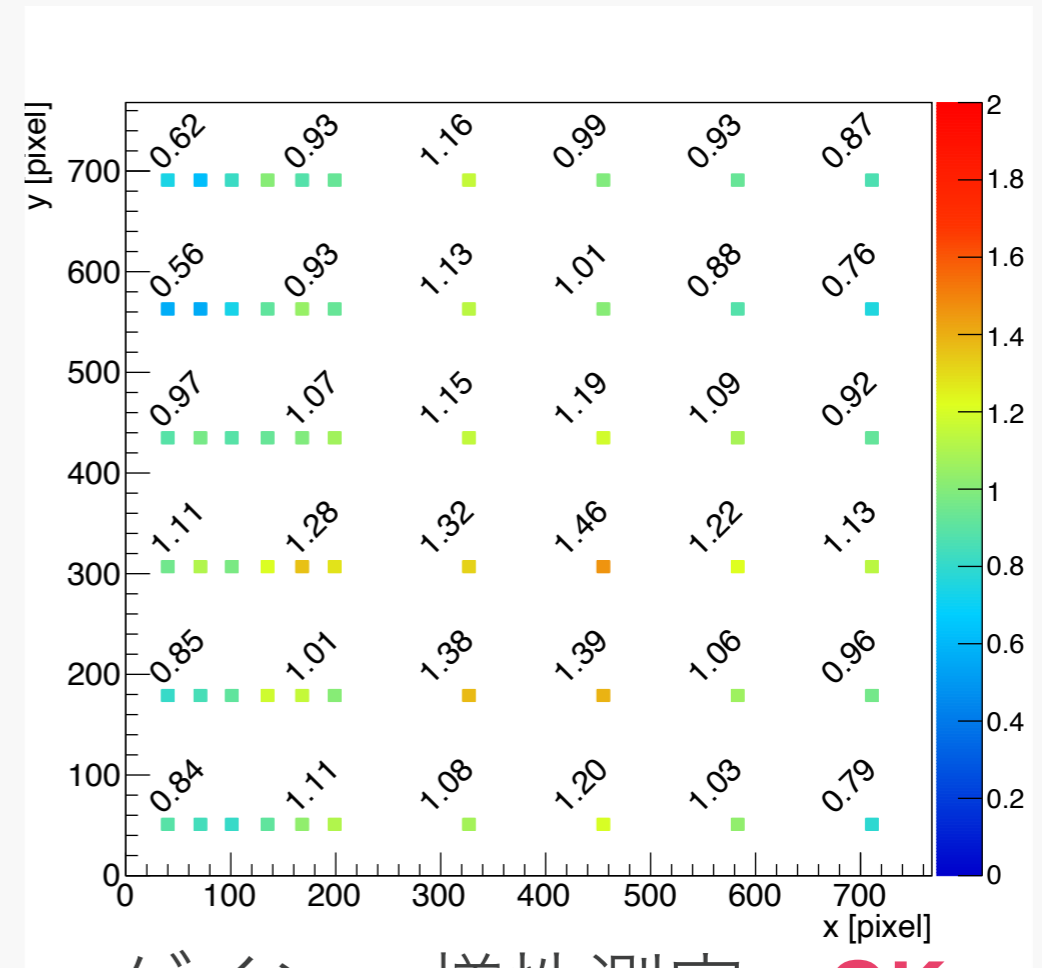
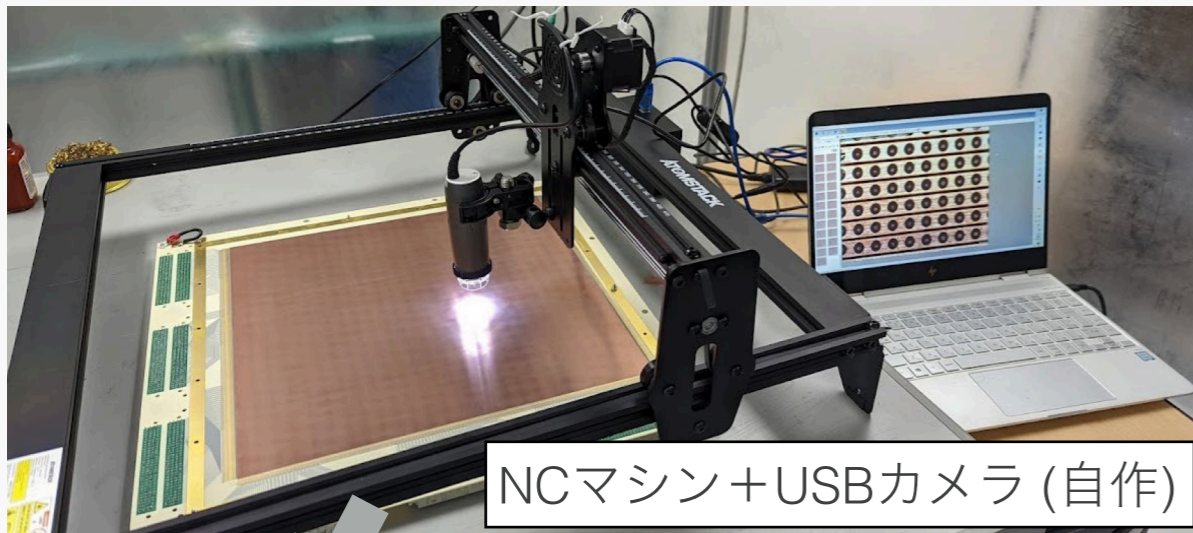
Low BGμ-PIC
(ver0: 2020, ver1: 2023)



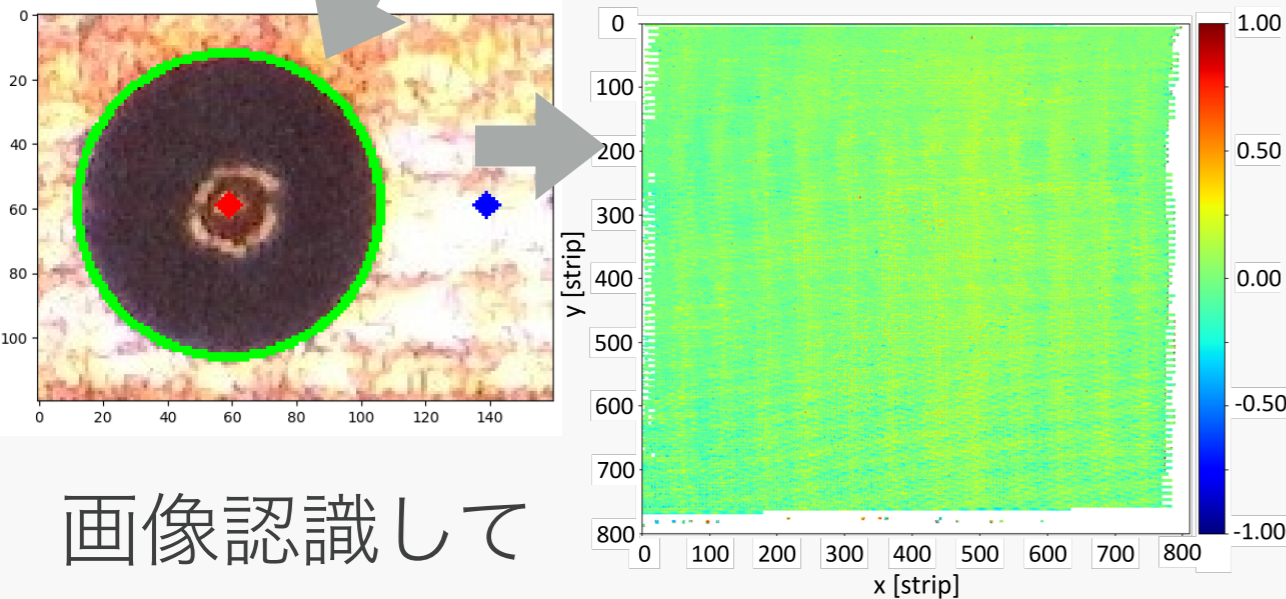
Quartz + Resin

LBG μ -PIC性能評価

- 目視検査、検出器動作確認、BG測定



ゲイン一様性測定 → **OK**



画像認識して

目玉の明るさ分布 = 電極形成確認

目視検査 → **OK**

Sample	^{214}Po rate [count/day]	Radon emanation rate [mBq/m ³]	Radon emanation rate [mBq/ μ -PIC]
LA μ -PIC	34.1 \pm 4.9	85.2 \pm 17.4	2.3 \pm 0.5
LBG μ -PIC2020	< 2.0	< 5.1	< 0.14
LBG μ -PIC2023-1	< 1.4	< 1.0	< 0.03
LBG μ -PIC2023-2	< 1.3	< 0.8	< 0.02

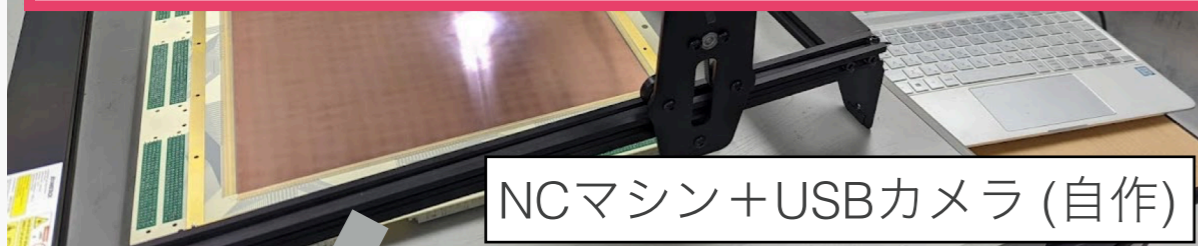
BG測定 → **OK**

DM探索に使える低BG検出器が完成

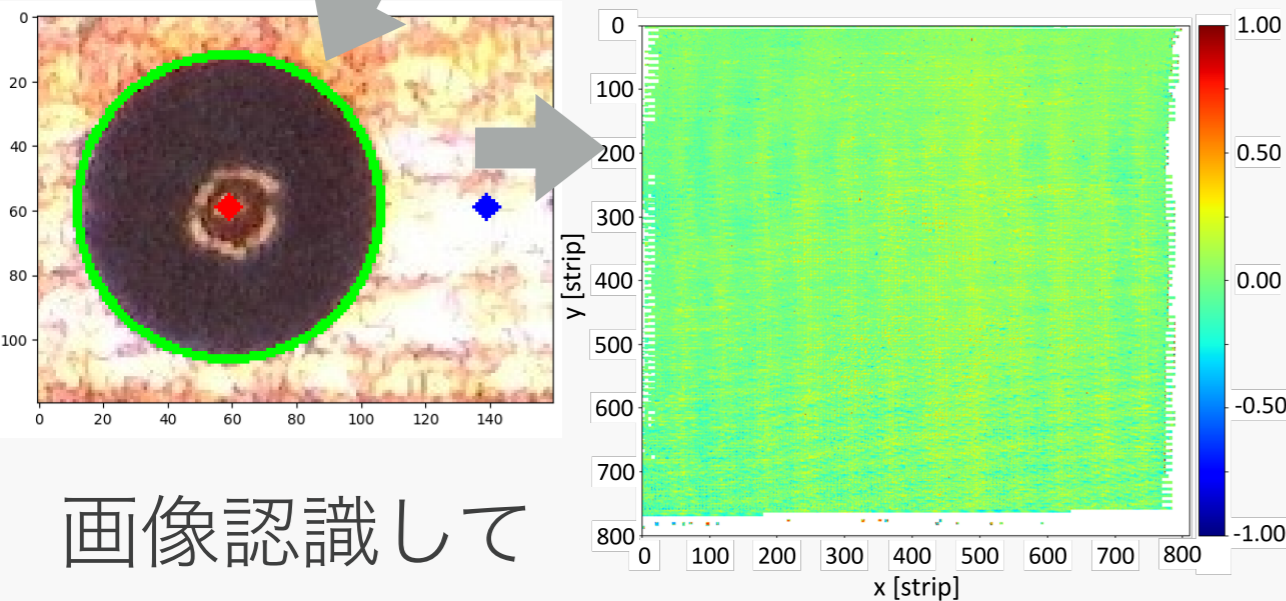
論文執筆中、まもなく投稿 (arxivに公開予定)



神岡検出器に実装 (2023年12月)



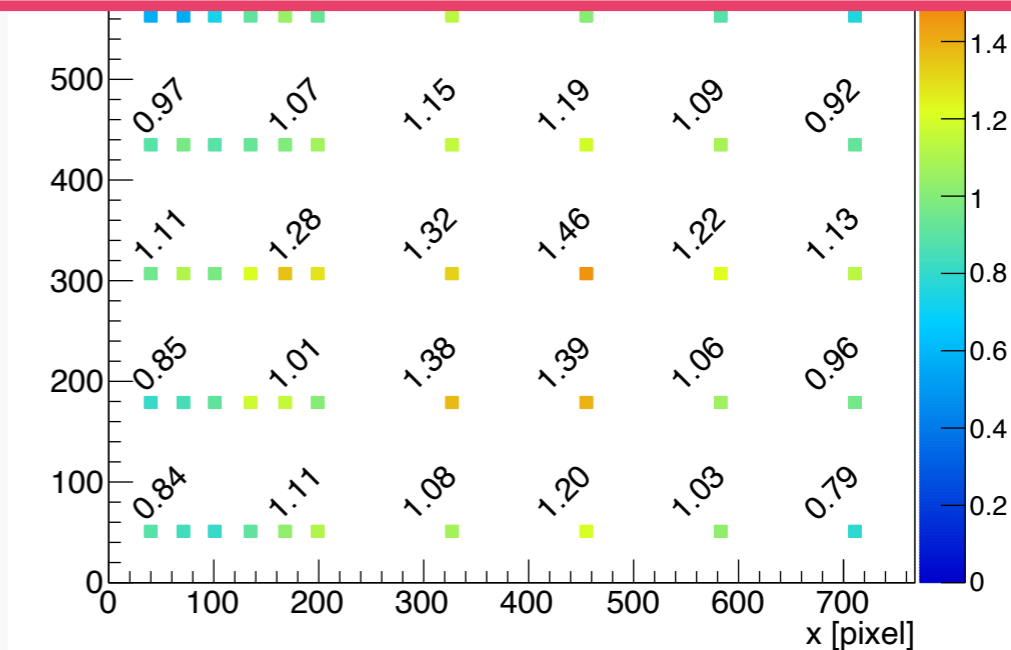
NCマシン+USBカメラ (自作)



画像認識して

目玉の明るさ分布 = 電極形成確認

目視検査→OK



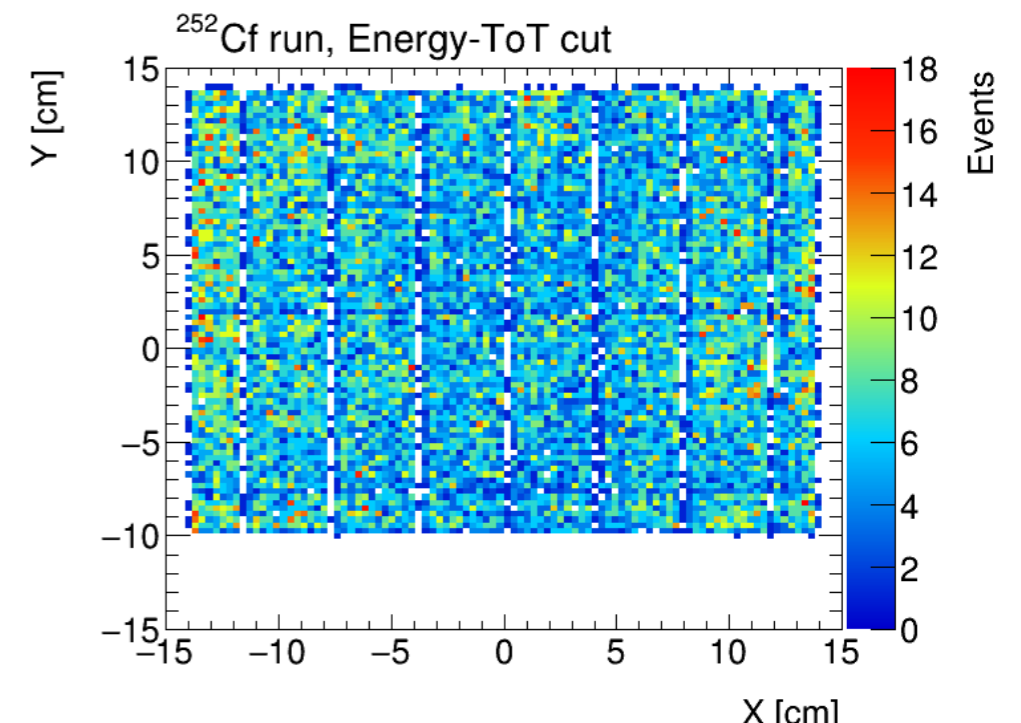
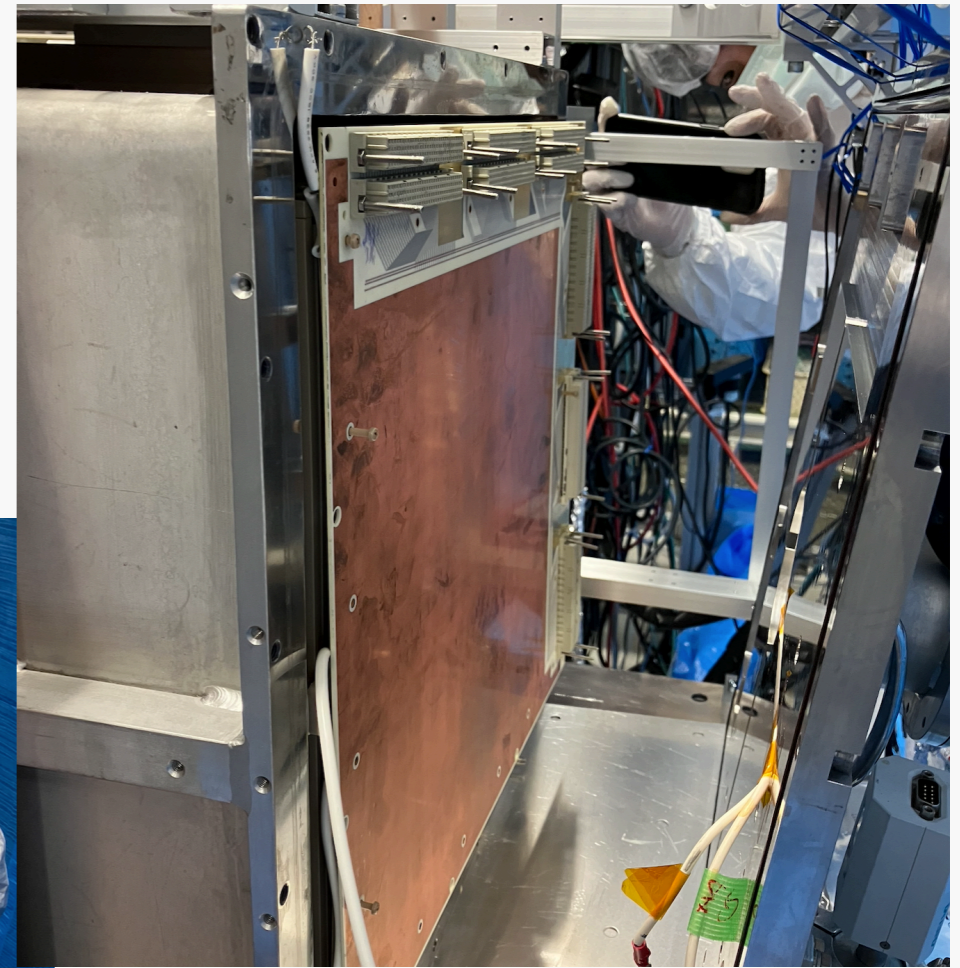
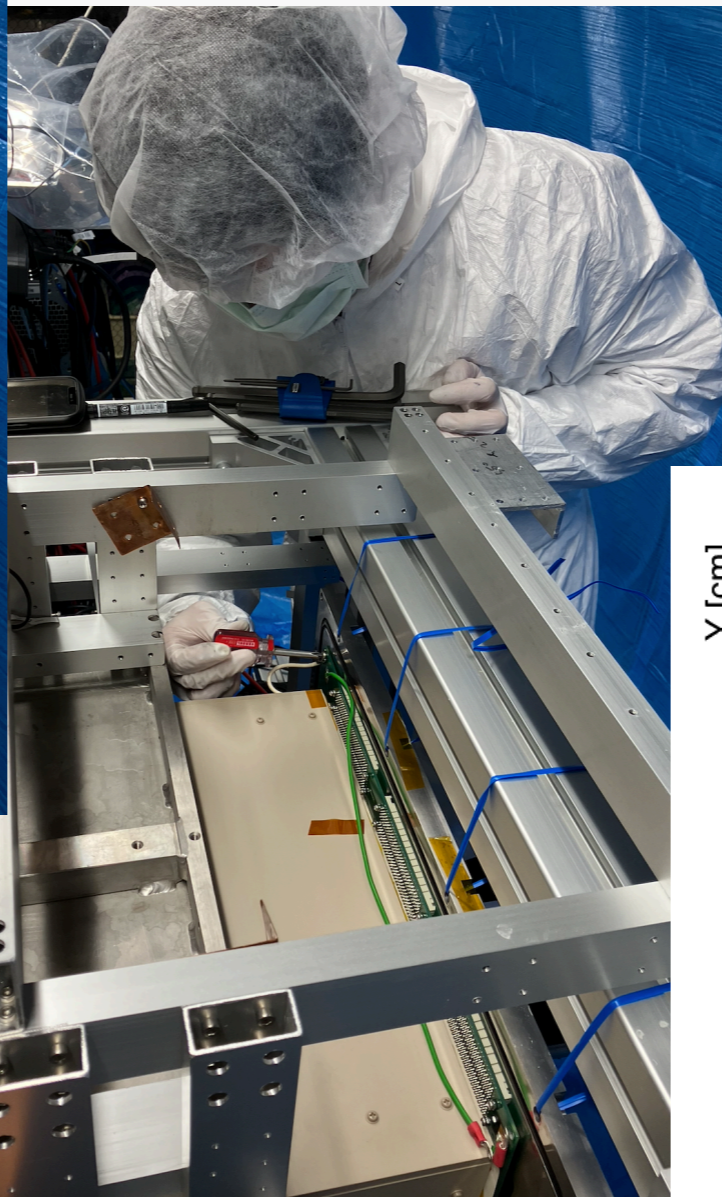
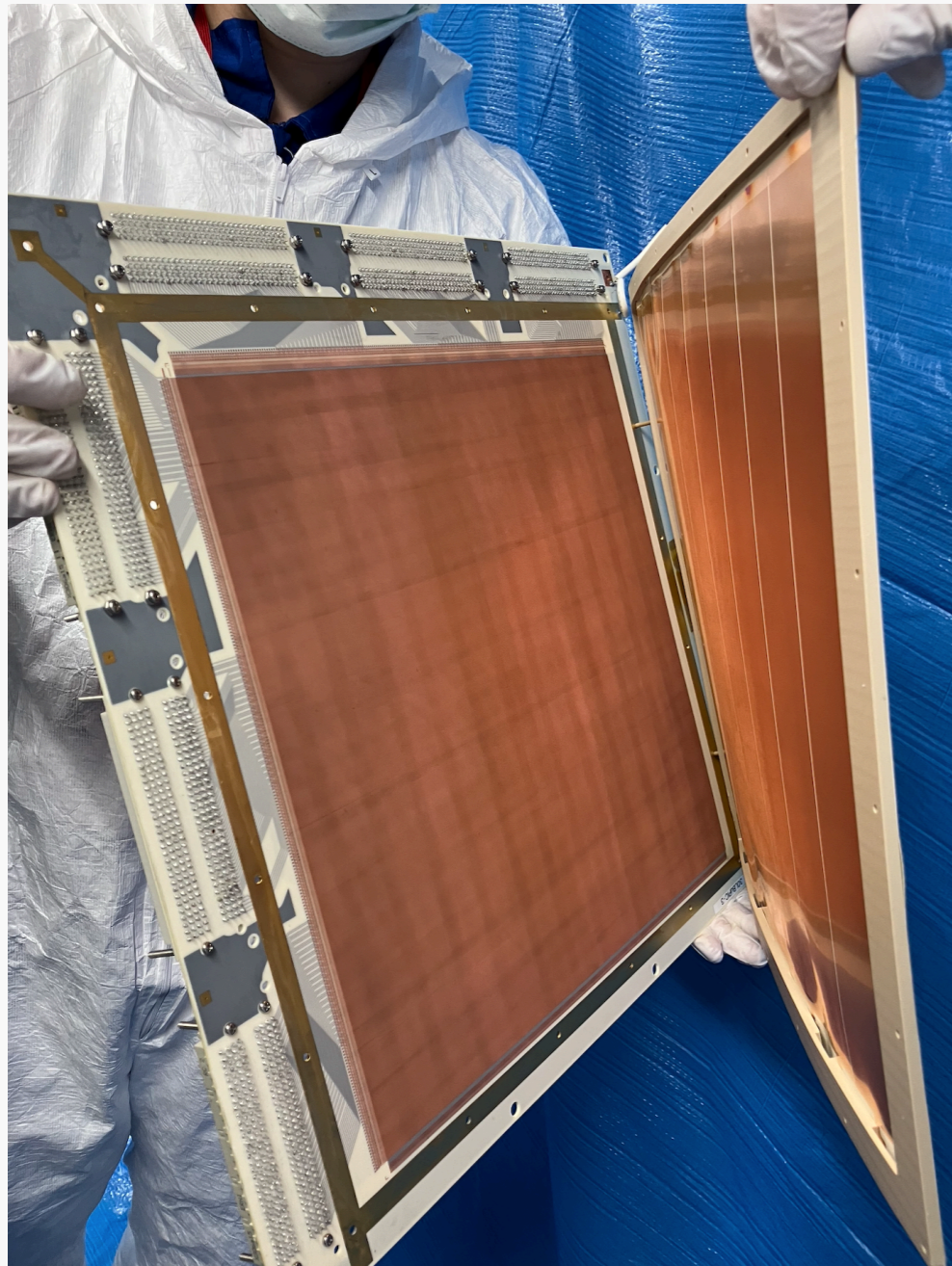
ゲイン一様性測定→OK

Sample	^{214}Po rate [count/day]	Radon emanation rate [mBq/m ³]	Radon emanation rate [mBq/ μ -PIC]
LA μ -PIC	34.1 \pm 4.9	85.2 \pm 17.4	2.3 \pm 0.5
LBG μ -PIC2020	< 2.0	< 5.1	< 0.14
LBG μ -PIC2023-1	< 1.4	< 1.0	< 0.03
LBG μ -PIC2023-2	< 1.3	< 0.8	< 0.02

BG測定→OK

LBG μ -PICの実装

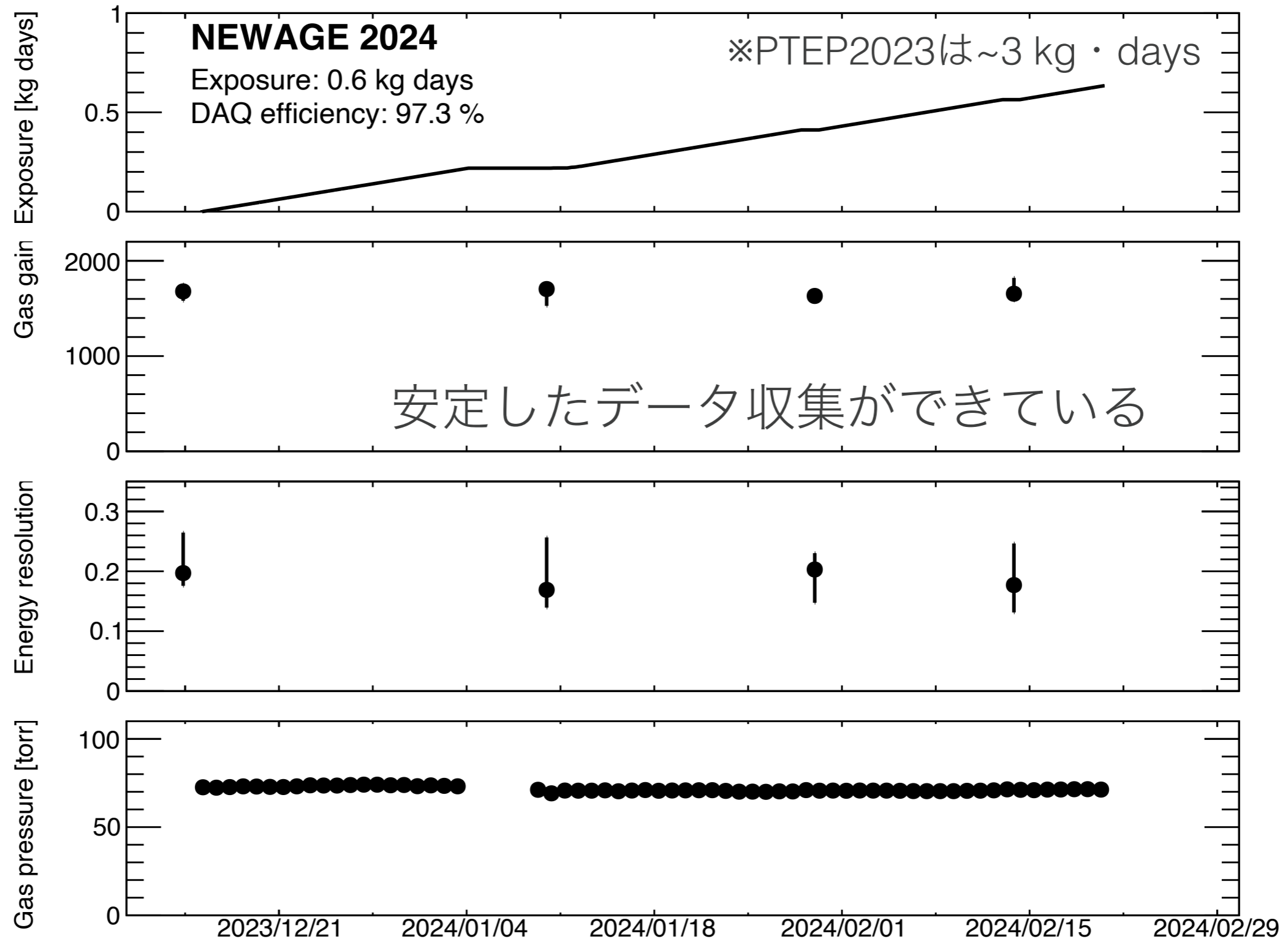
μ -PIC (左側)と
GEM (右側)



インストールの様子
2023年12月15日完了

^{252}Cf での中性子一様照射

LBG μ -PIC実装後のデータ収集



新学術「地下宇宙」領域国際会議 (2024年3月) で最新状況報告予定

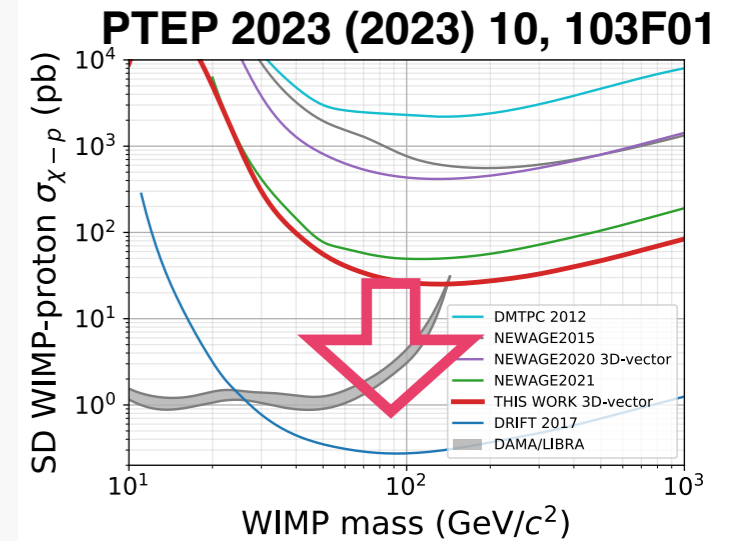
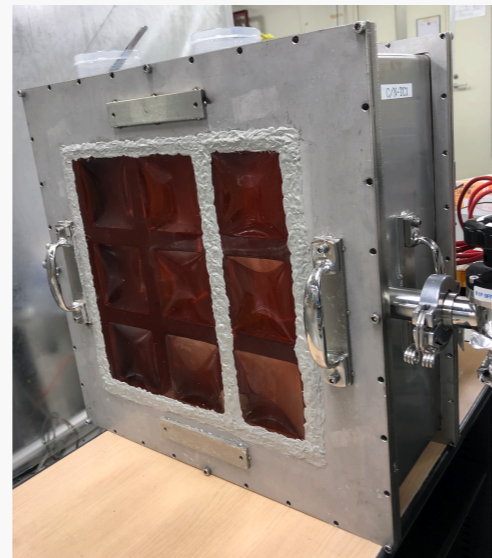
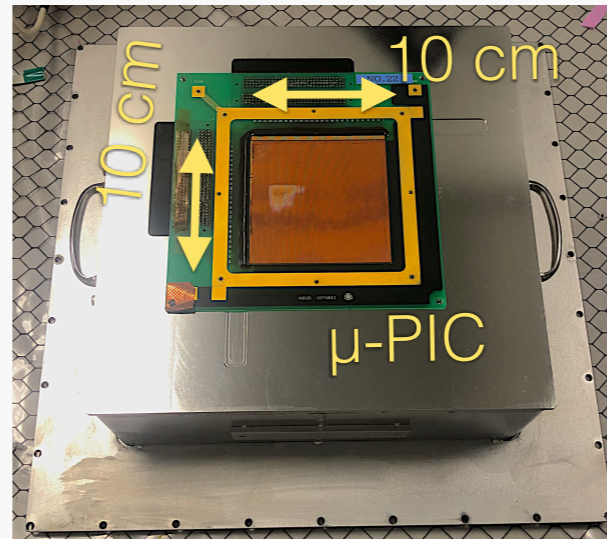
将来計画①：大型ガスTPC

- 1 m³級ガスチェンバー準備完了 (@神戸大)

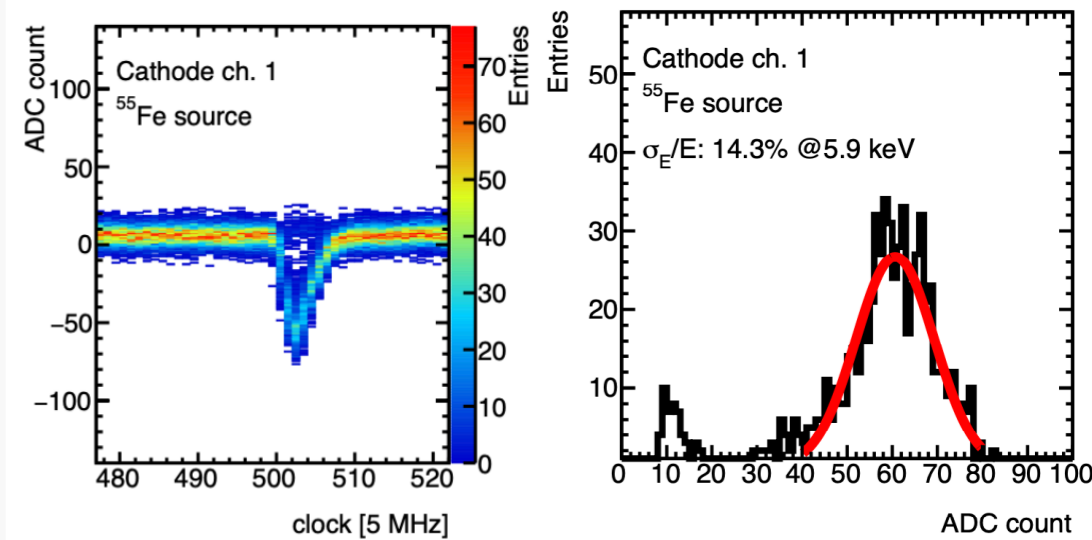
→ 検出器モジュール調整中



Sheffield大と国際協力
UKモジュール試験(2022)



“Module-1”、小型だが
現行NEWAGEと同システム



モジュール型テストチェンバーで
信号確認、飛跡検出に向け調整中

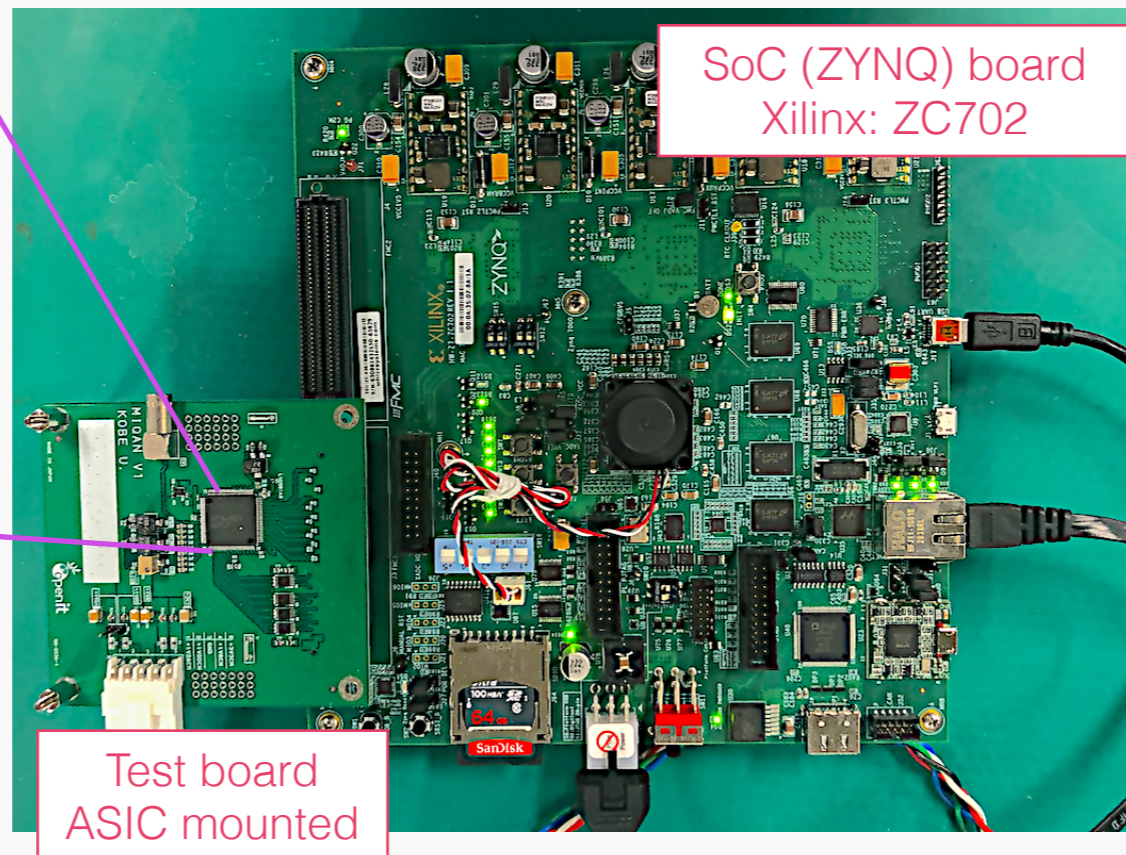
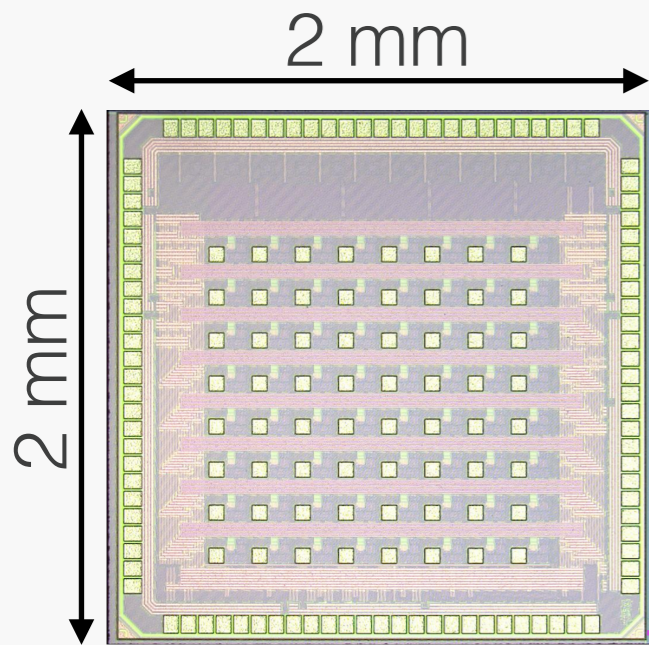
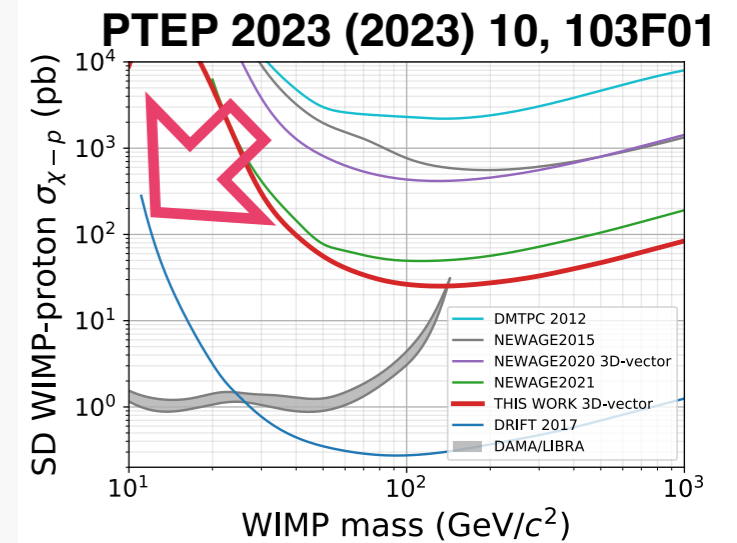
将来計画②：微細ピクセル読み出し

- 低質量側の感度向上に向けた策

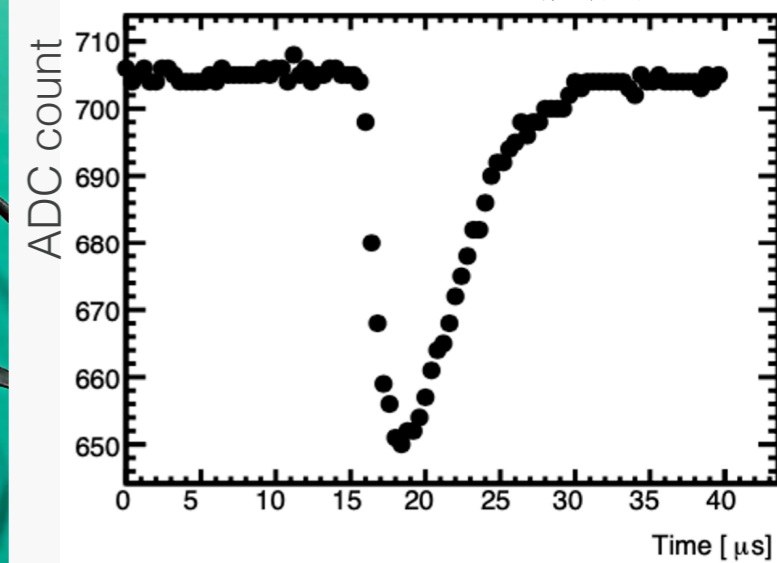
- 低エネルギー反跳 = 短飛跡

- 読み出しの微細化に向け、ピクセル読み出しエレキ開発

- ▶ SoCを用いたコンパクトなシステム構築でプロトタイプ試験へ



とあるチャンネルの
テストパルス波形



読み出しASIC

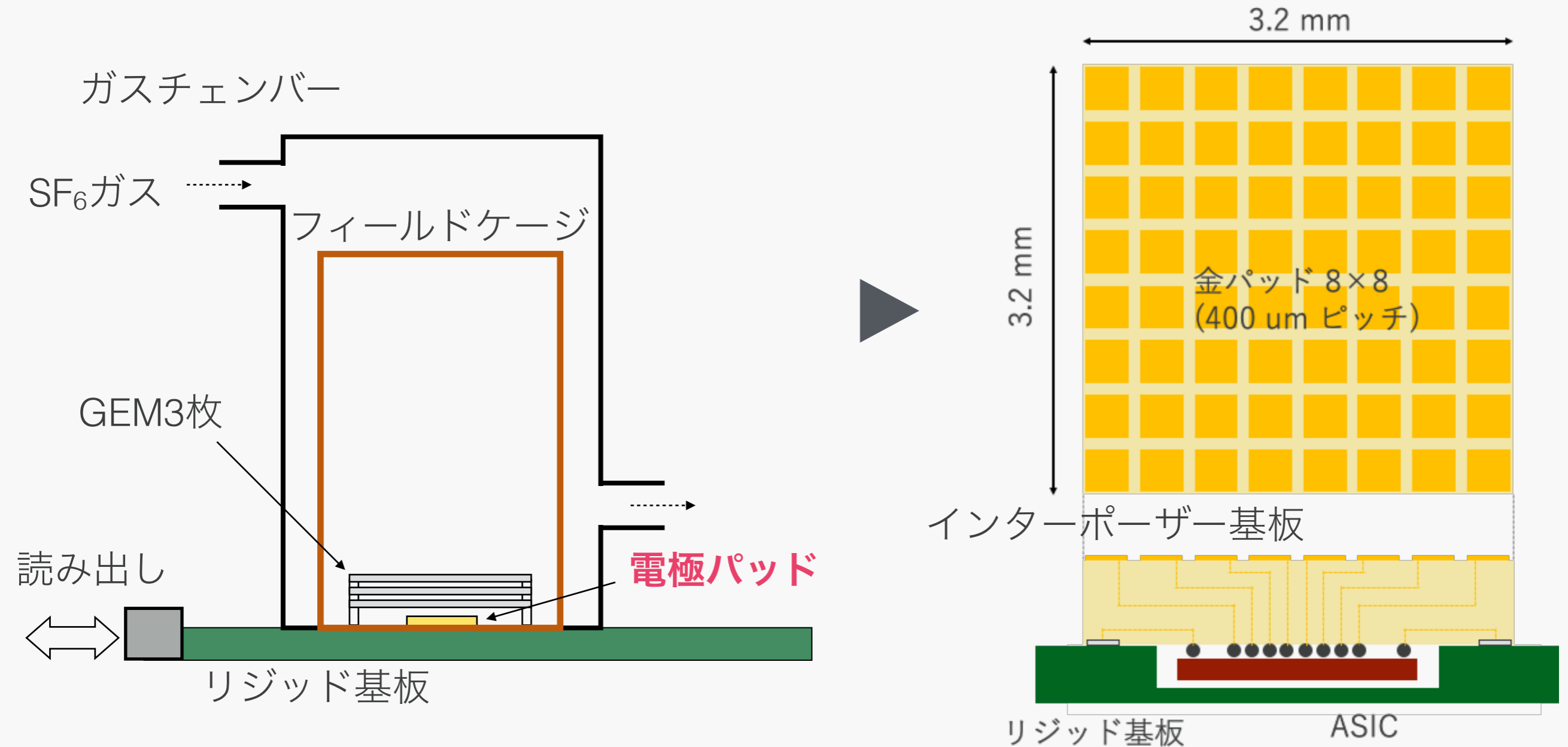
$(155 \text{ um})^2$ pixel pad
 bumps bondingで
上に電極をくっつける

アナログ回路+ADC
ちゃんと動くこと確認

ピクセル読み出し実現に向けて

- 読み出しASICに電極をつける必要あり

→ インターポージャー基板を開発中 (w/ ハヤシレピック)、来年度完成予定



一旦400 μmピッチは据え置きでピクセル読み出しの原理実証目指す

結論

- 感度向上に向けた地下実験進行中 w/ 低BG検出器
- 将来計画①：大型ガスTPC開発、モジュール型検出器調整中
- 将来計画②：微細ピクセル読み出し：エレキ開発完了→検出器開発中

