



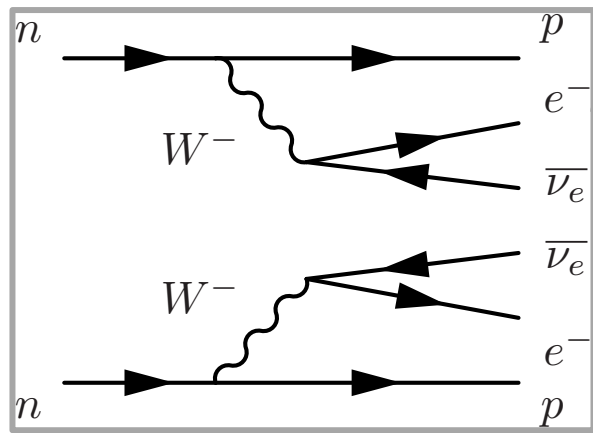
# 高圧キセノンガス検出器を用いた ニュートリノレス二重ベータ崩壊探索

京都大学 吉田 将  
for the AXEL collaboration

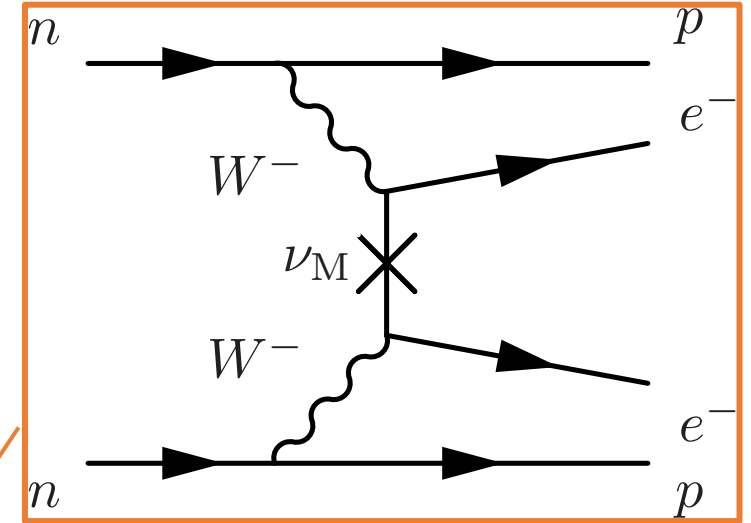
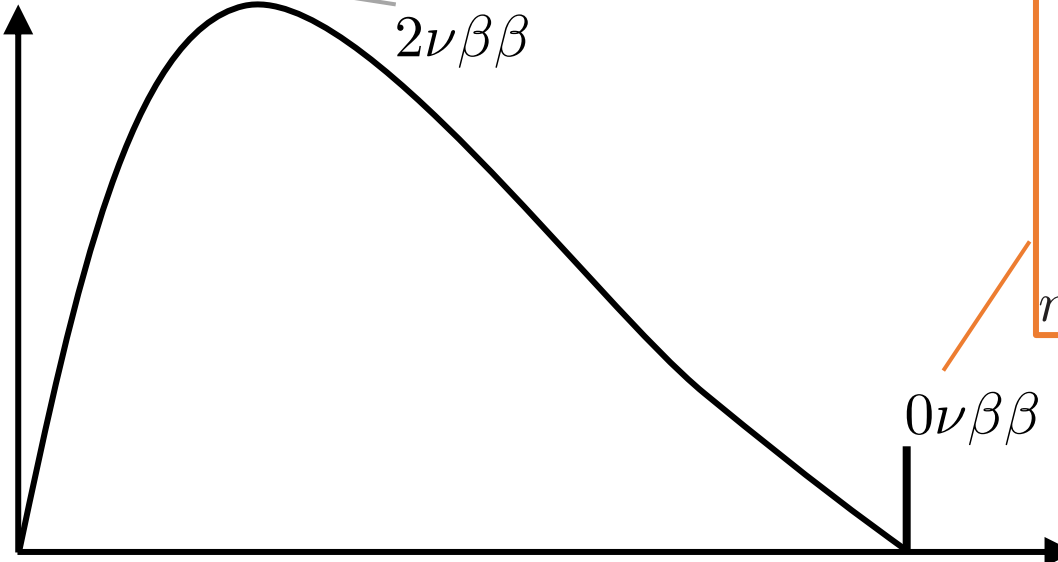
2024/02/22

令和5年度東京大学宇宙線研究所共同利用研究成果発表会

# ニュートリノレス二重ベータ崩壊



$$T_{1/2}^{2\nu} \sim 10^{21} \text{ yr}$$



$$0\nu\beta\beta \quad T_{1/2}^{0\nu} > 2.3 \times 10^{26} \text{ yr}$$

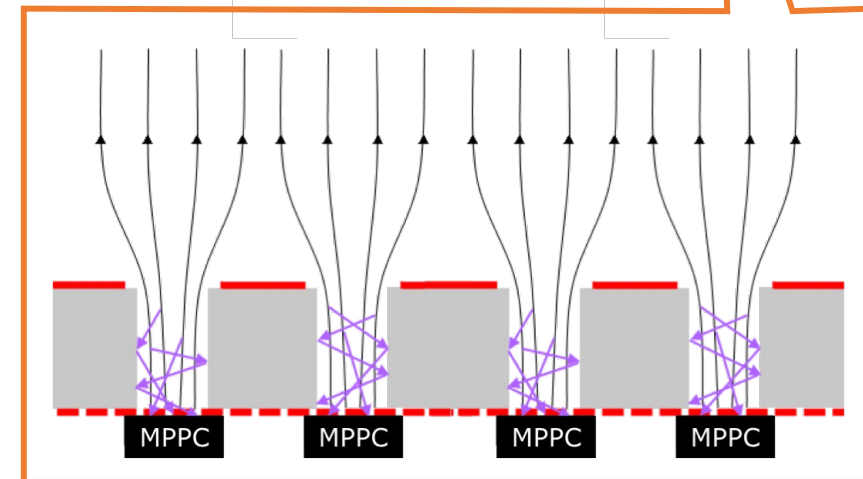
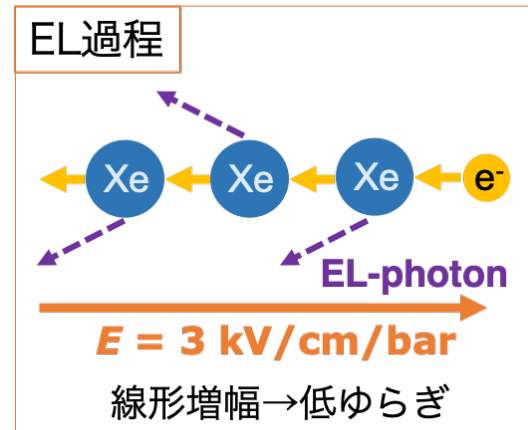
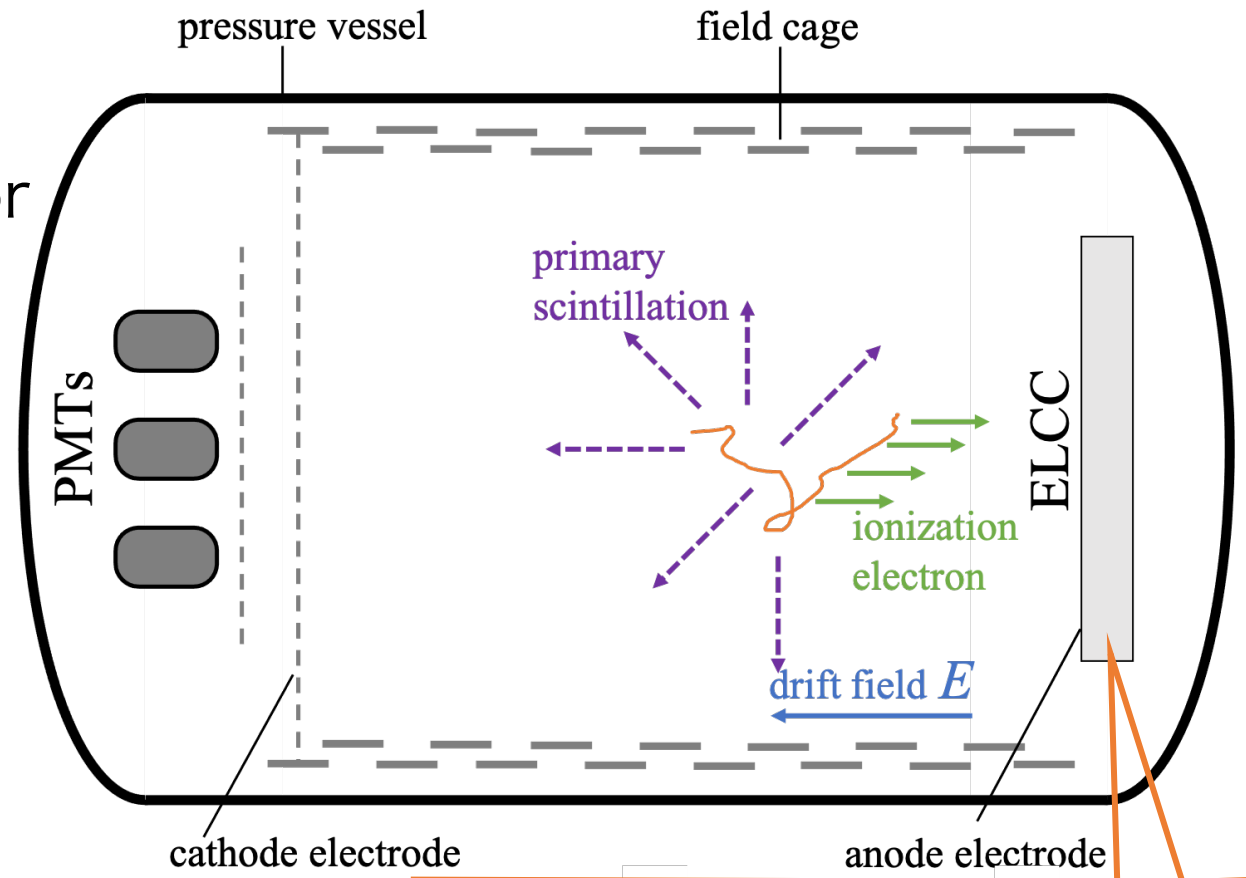
※for  $^{136}\text{Xe}$

- ✓ ニュートリノがマヨラナ質量項をもつときに限り発生 → 発見すればマヨラナ性の直接証拠
- ✓ 軽いニュートリノ質量の起源(See-Saw mechanism)や宇宙の物質反物質非対称性の起源(Leptogenesis)に迫る
- ✓ 高いエネルギー分解能・大質量・背景事象除去 が高感度探索のキーポイント

# AXEL

## A Xenon ElectroLuminescence detector

- 高圧キセノンガスTPC
- $^{136}\text{Xe}$ が二重ベータ崩壊核
- ✓ 高エネルギー分解能
  - 電離電子の初期揺らぎ: 0.25% FWHM @Q-value 2458 keV
  - Electroluminescence読み出し
- ✓ 大質量
  - 拡張可能な設計の検出面(ELCC)
  - 高圧ガス (8 bar)
- ✓ 背景事象除去
  - 3次元飛跡再構成



# ロードマップ

ton scale

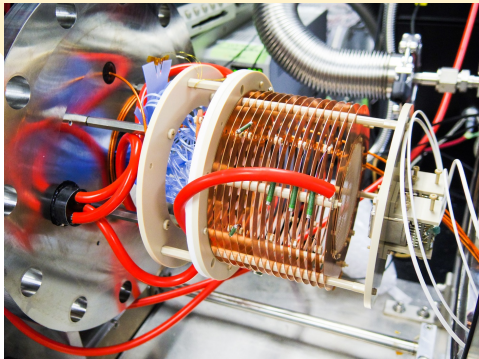
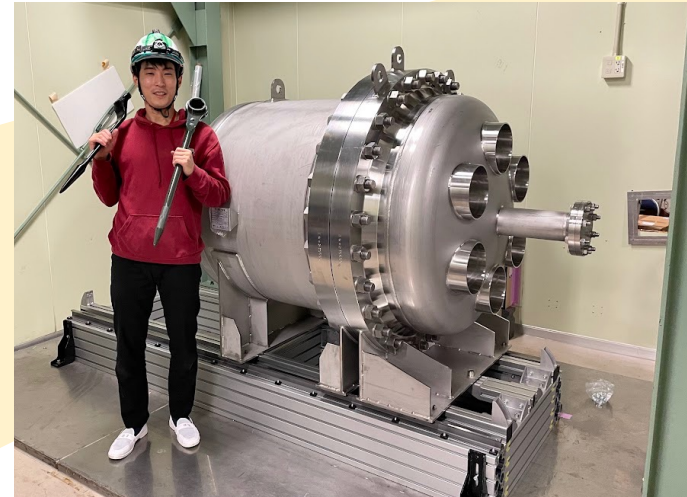
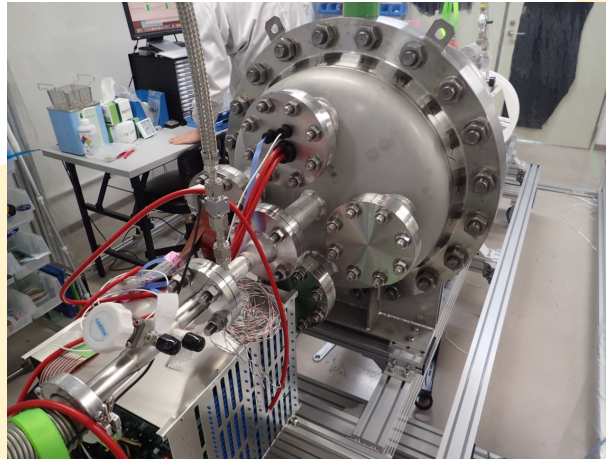
180 L prototype  
2018 -

- ~4.5 kg @8 bar
- 分解能評価@Q値
- 大型化のノウハウ

200 kg scale

10 L prototype  
2014 - 2018

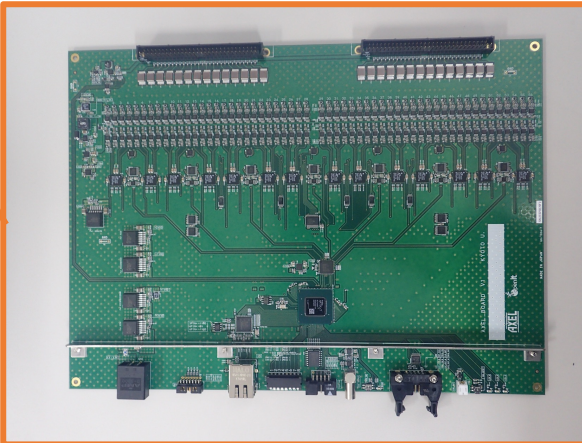
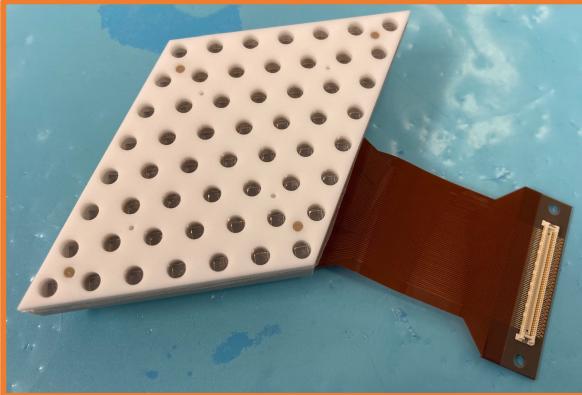
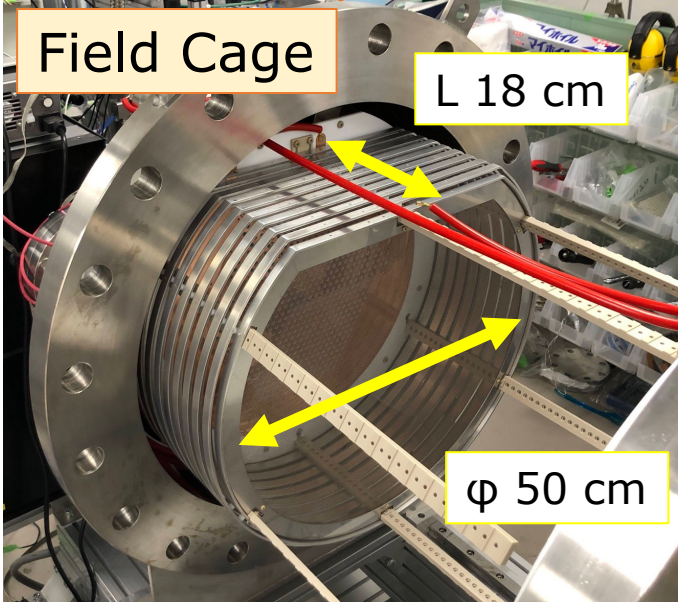
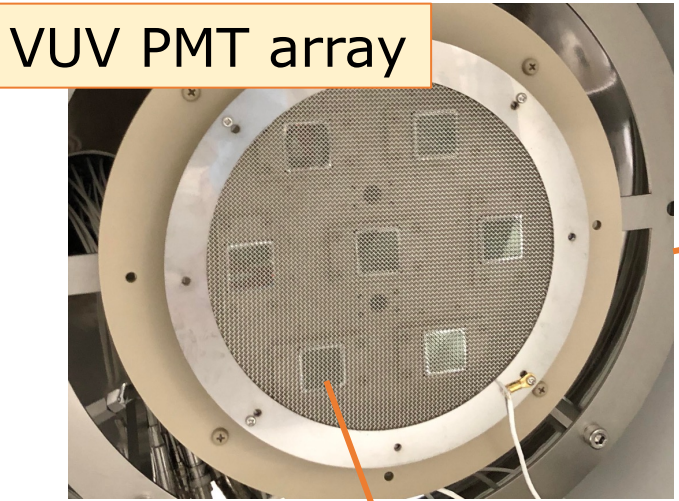
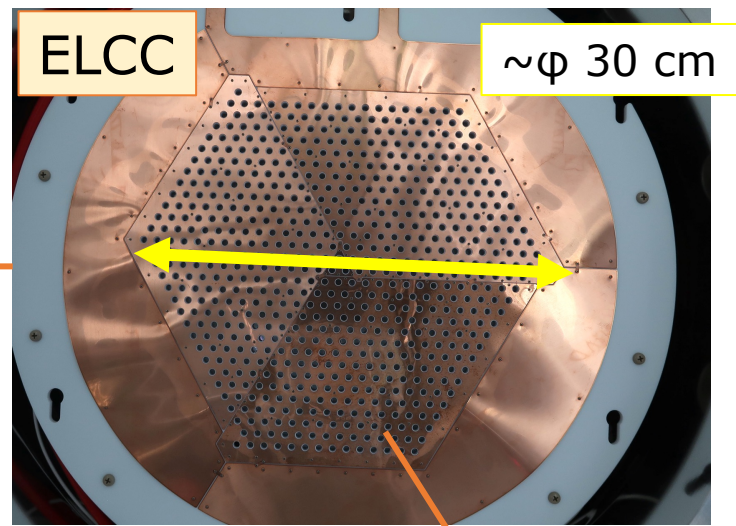
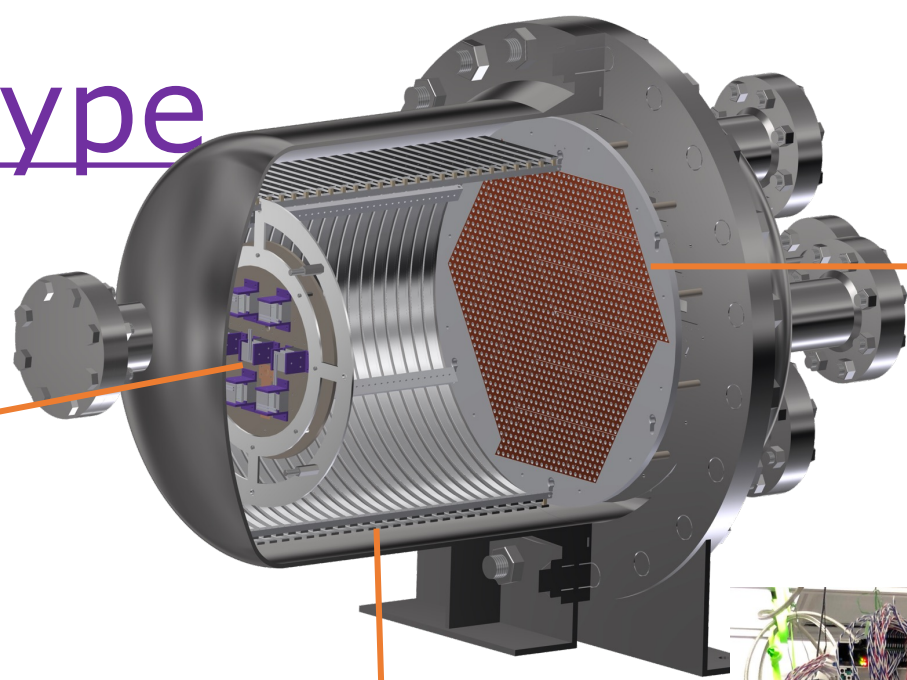
- ~0.05 kg @8 bar
- ELCCの原理検証
- 分解能評価 $\leq 356$  keV



1000 L detector  
2023 -

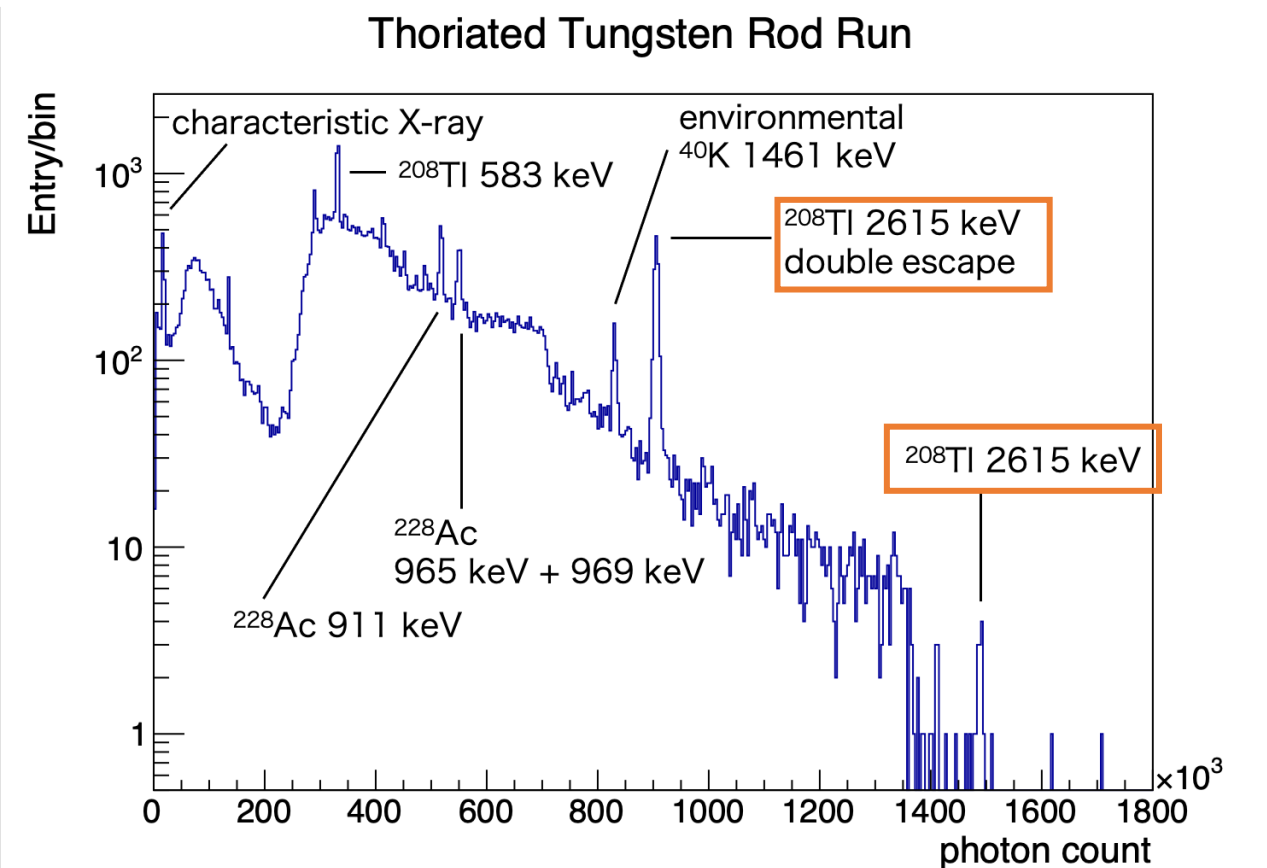
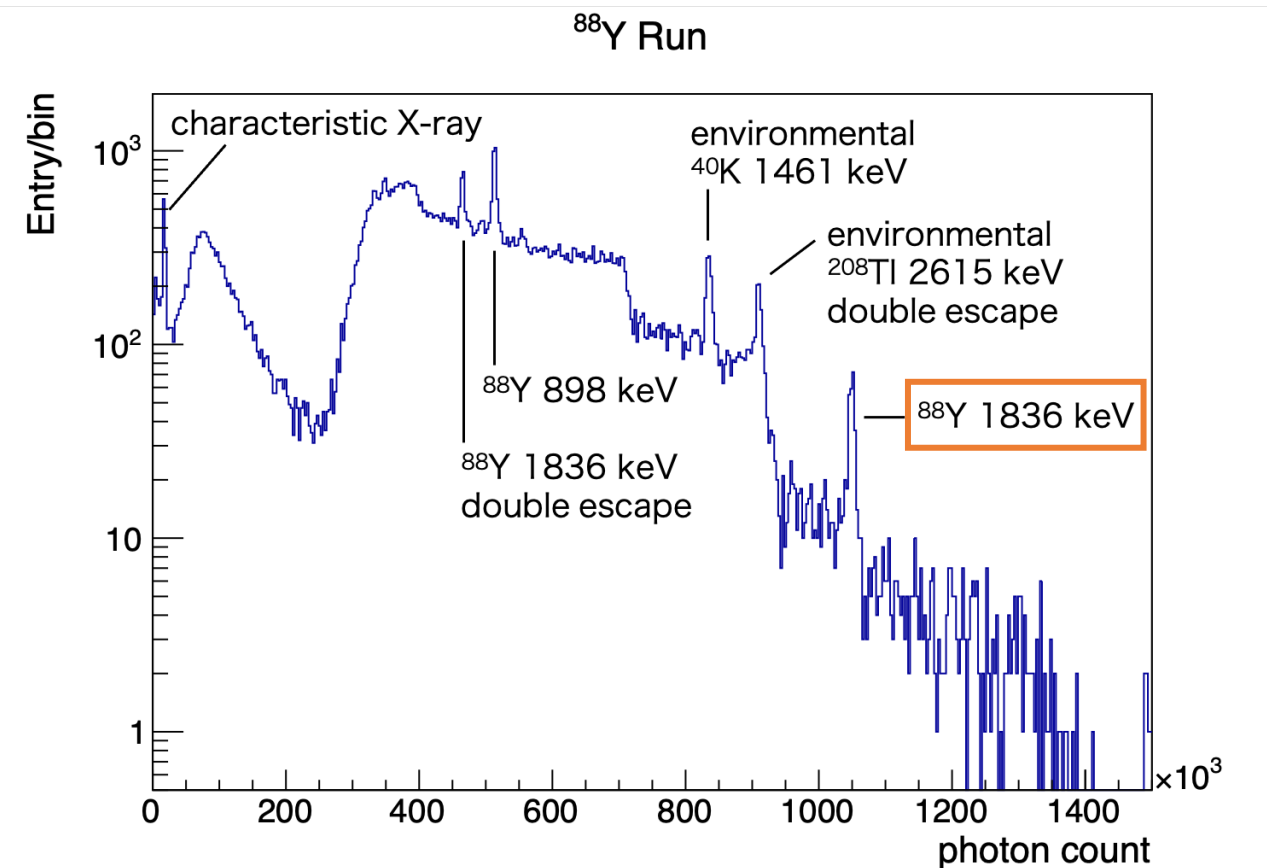
- ~20 kg @8 bar
- 物理測定にむけて  
神岡地下に圧力容器搬入

# 180 L prototype



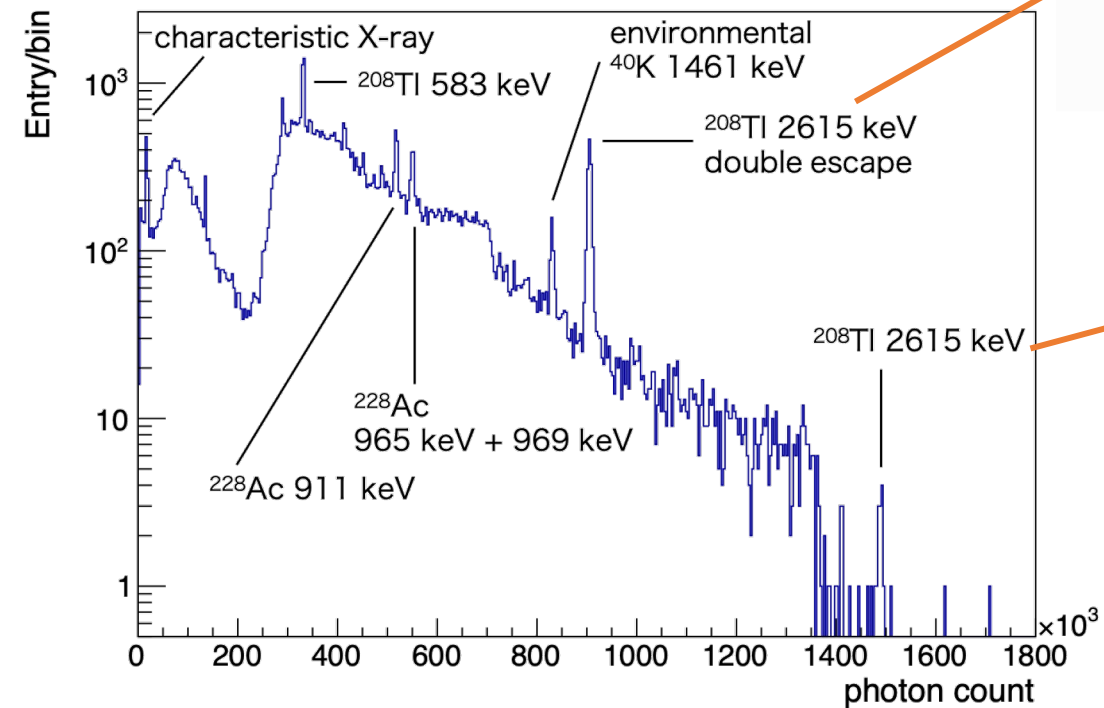
# エネルギースペクトル

- 180 L試作機に2種類の線源を照射
  - $^{88}\text{Y}$  (898 keV  $\gamma$ , 1836 keV  $\gamma$ )
  - トリウムタングステン棒 (トリウム系列: 特に $^{208}\text{Tl}$  2615 keV  $\gamma$ )
- $^{136}\text{Xe}$ の二重ベータ崩壊Q値は2458 keV

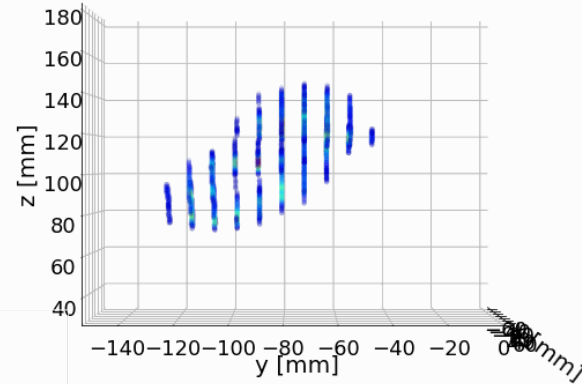


# 三次元飛跡

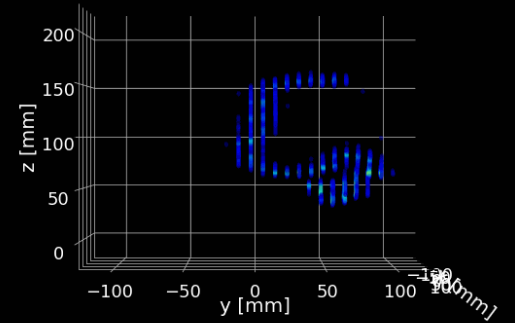
## Thoriated Tungsten Rod Run



## $^{208}\text{Tl}$ Double Escape



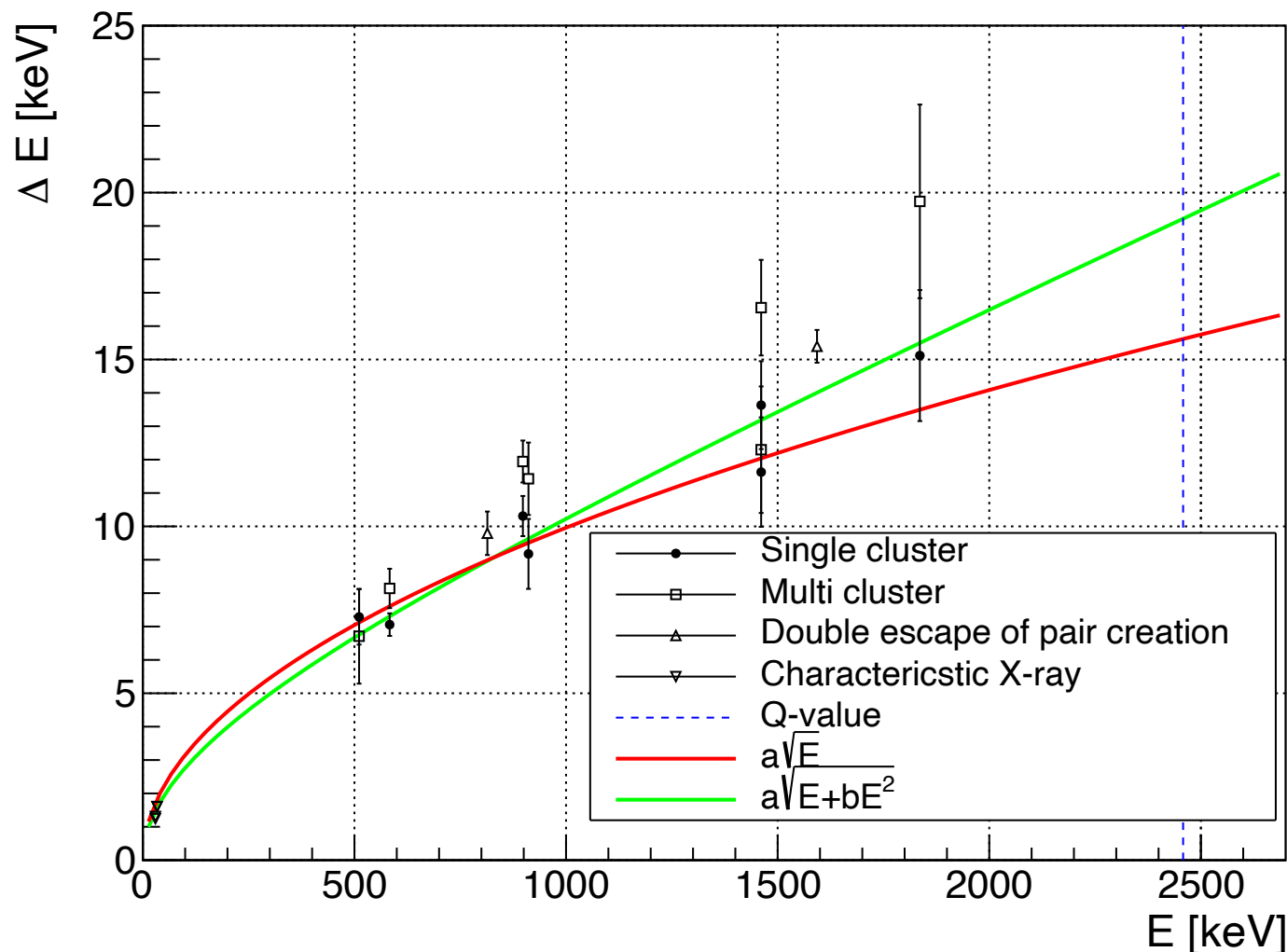
## $^{208}\text{Tl}$ 2615 keV Full



- イベントで発生した電子(陽電子)数に応じた飛跡終端(blob)を確認  
→ Sig/BG弁別に有効

# エネルギー分解能

- 二種類の関数でフィットしてQ値に外挿
  - $a\sqrt{E}$  : 統計ゆらぎのみ
  - $a\sqrt{E + bE^2}$  : システムティック込み
- (2615 keVは統計が少なく分解能を評価できず)
- ガンマ線のシングルクラスターのみをフィット



外挿した結果、Q値(2458 keV)での分解能は

$$\frac{a\sqrt{E}}{a\sqrt{E + bE^2}} : (0.60 \pm 0.03)\% \text{ (FWHM)}$$
$$\frac{a\sqrt{E + bE^2}}{a\sqrt{E + bE^2}} : (0.70 \pm 0.21)\% \text{ (FWHM)}$$

$0\nu\beta\beta$ のためのキセノン検出器としては  
世界最高のエネルギー分解能

エネルギー分解能を決定する要因も評価  
→ ELCCの更なる開発で分解能の向上が可能  
詳しくは [PTEP 2024 1 013H01](#)

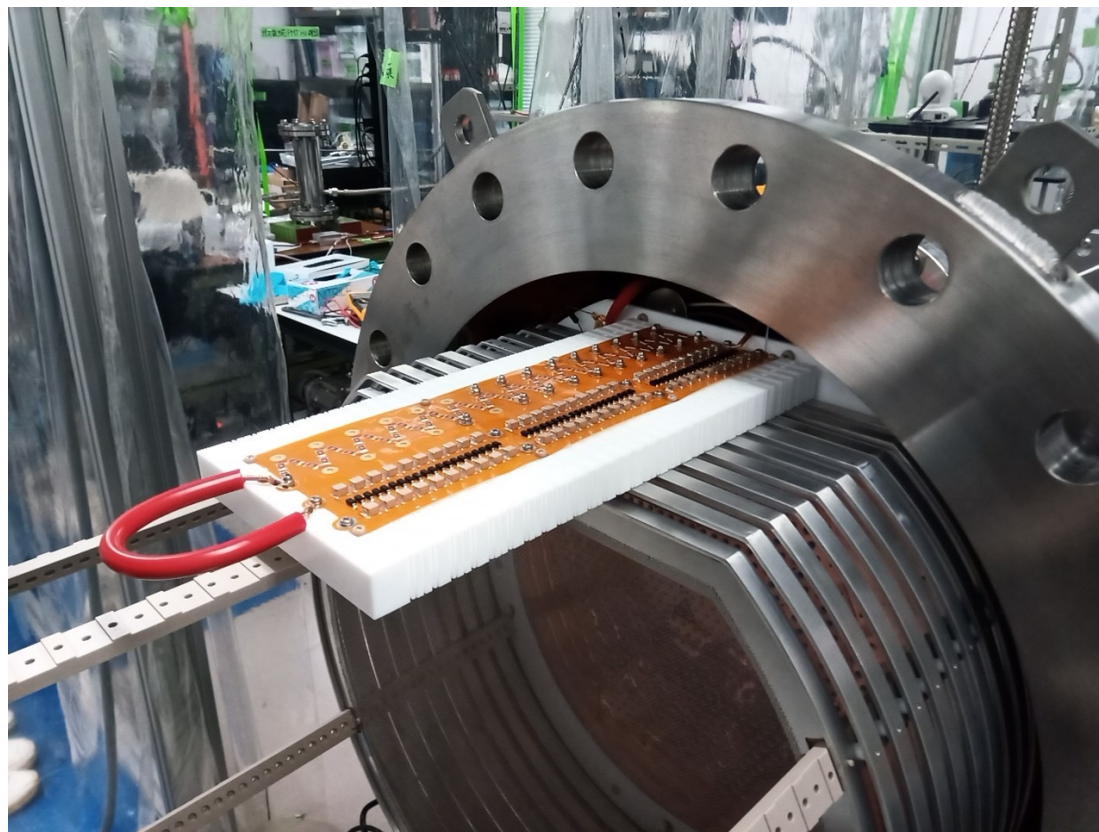


# 1000 L検出器に向けた開発



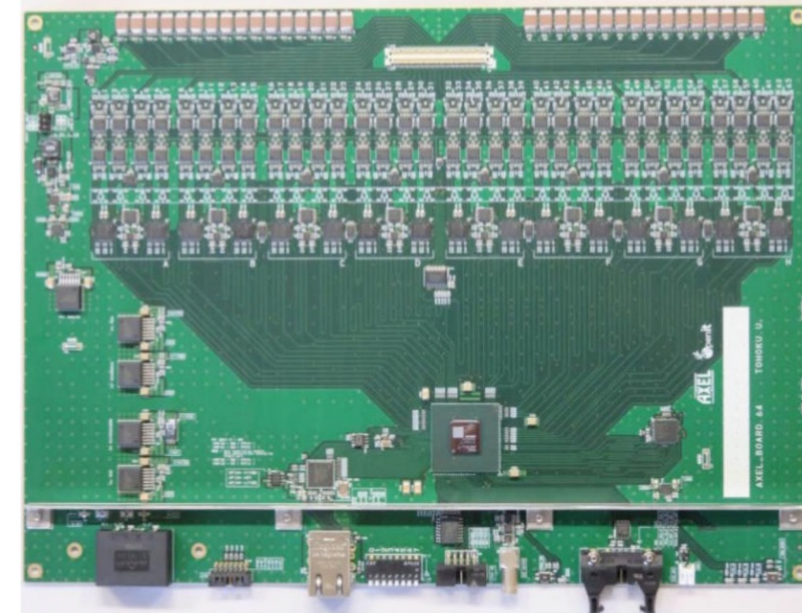
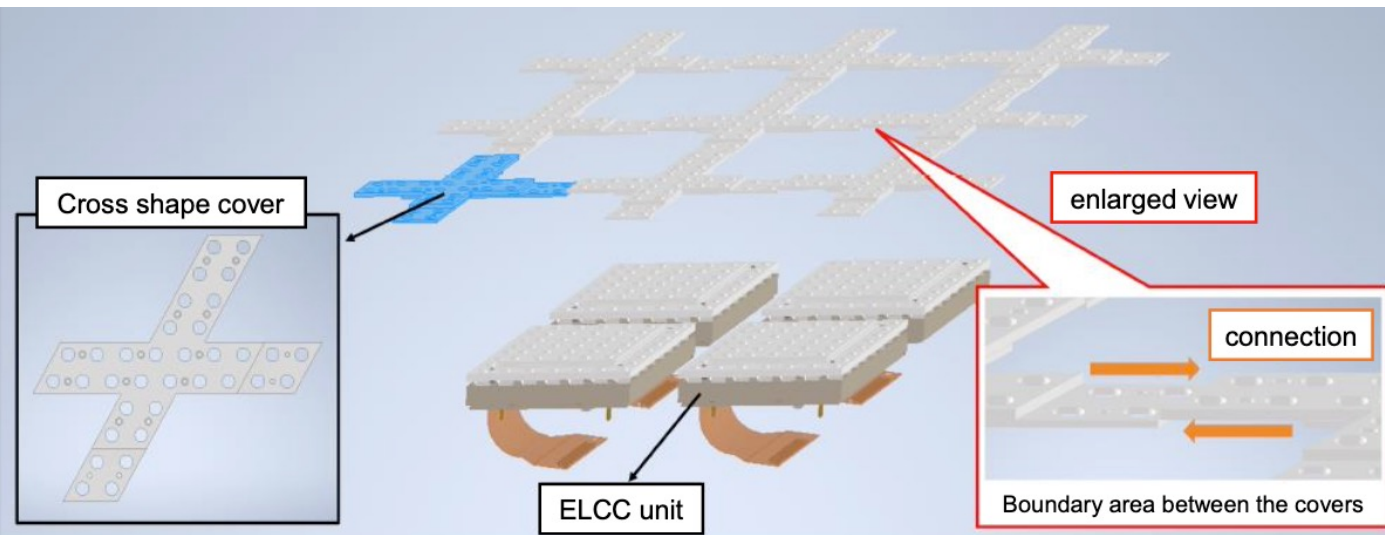
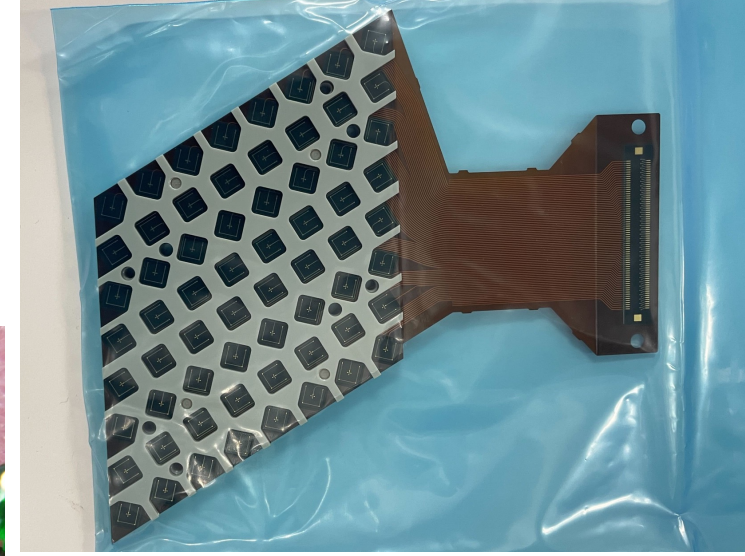
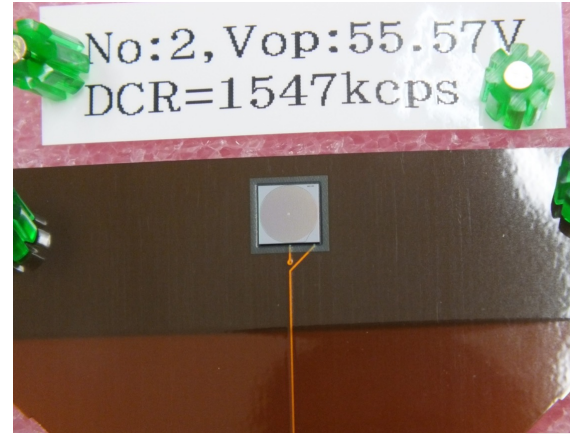
Test in atmosphere

- Cockcroft-Walton回路によるキセノン中での高電圧生成
- 電圧導入部での放電を防ぐ
- 1000 L検出器での目標はキセノン中で76 kV
  - 空気中で72 kV・キセノン中で30 kVの生成に成功
- TPCとしての動作・データ取得も成功



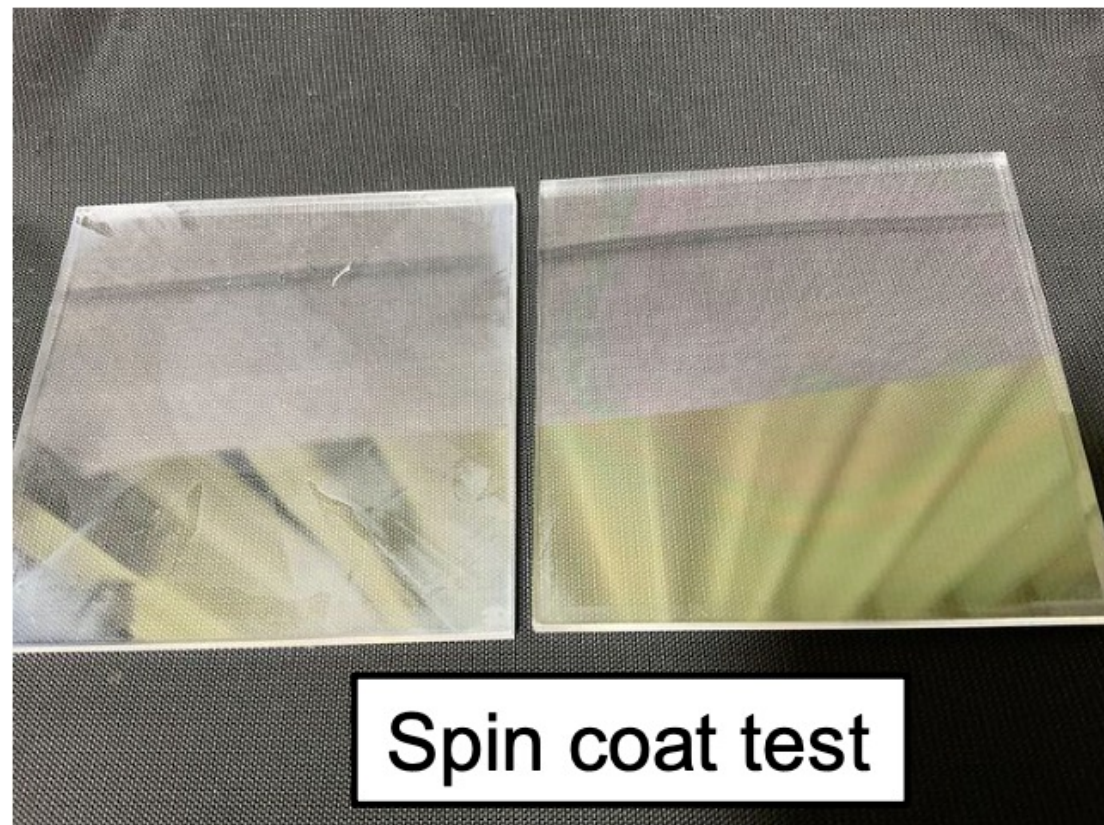
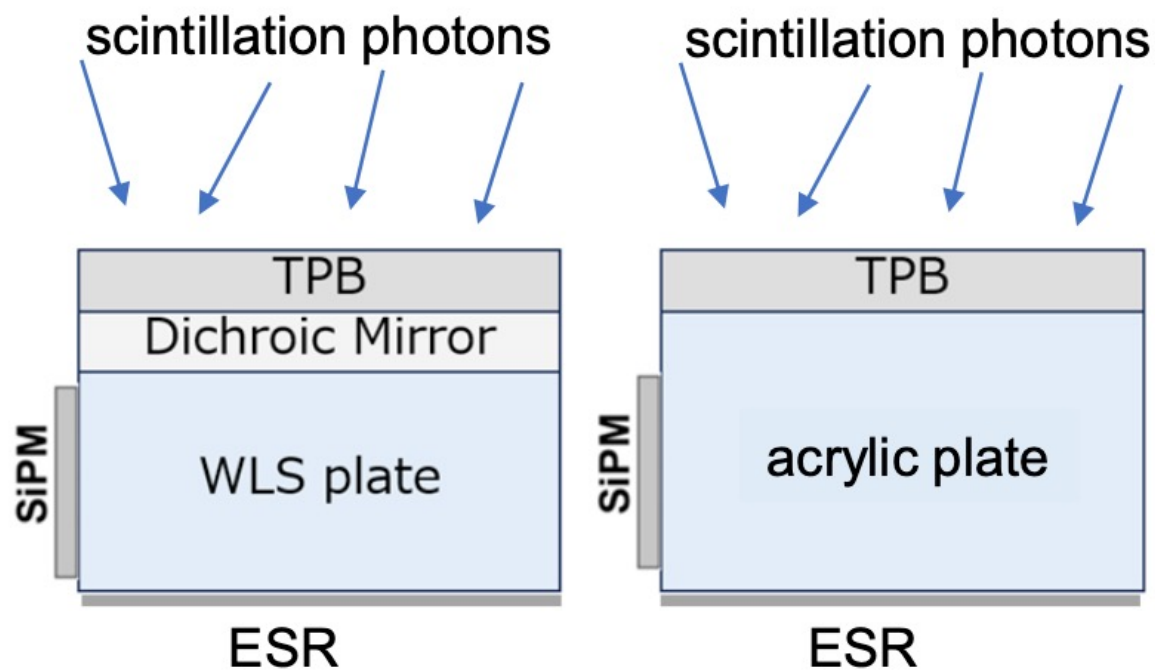
# 1000 L検出器に向けた開発

- より放電しにくいELCCの構造をテスト中
  - キセノン中で2.85 kV/cm/barの安定印加に成功
  - 目標は3 kV/cm/bar
- 大型MPPC 64ch/unitの新型ELCC unit
  - MPPC1つを表面実装したモックアップ
  - MPPCなしの64chモックアップ
- 64chに対応した新型エレキ
  - 試作機が1枚完成



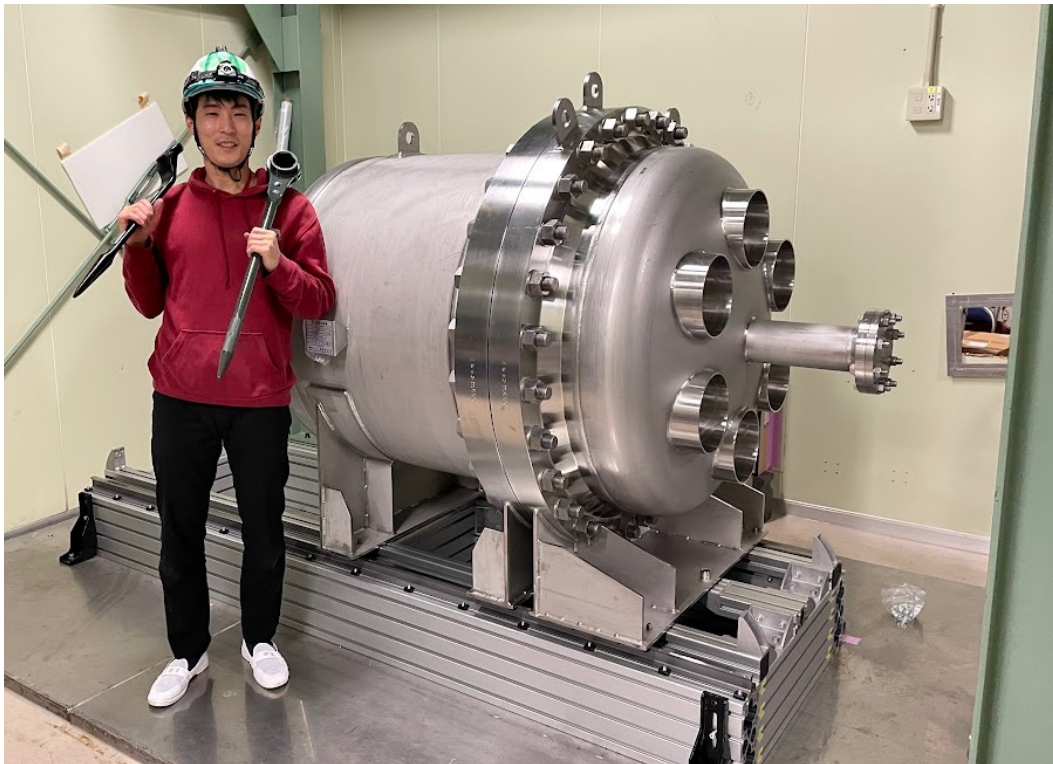
# 1000 L 検出器に向けた開発

- 波長変換プレートを用いたシンチレーション光検出機構
- シンチレーション光の検出効率を高めてイベントのz位置再構成精度を向上させる。
- アクリル板に波長変換材をスピコート



# 1000 L検出器の準備状況

- 神岡地下SK倉庫内のクリーンルームの一角を利用させていただいています。
  - 今年度5月に圧力容器をクリーンルーム内に設置。
    - 開閉可能な状態になった。
  - クリーン度を保って入室するための前室を設置。
- 今年度査定額20万円は神岡現地作業のための旅費として使用。



# Summary

- $0\nu\beta\beta$ 探索のため大質量・高エネルギー分解能・背景事象除去を同時に満たしたい  
→ 高圧キセノンガスTPC
- AXEL実験: ELCCを用いた高圧キセノンガスTPC  
高エネルギー分解能・大質量・背景事象除去の達成を目指して開発中  
段階的な大型化
- 180 L試作機: Q値2458 keVで  $(0.60\pm 0.03)\%$  FWHM or  $(0.70\pm 0.21)\%$  FWHM  
→  $0\nu\beta\beta$ 探索のためのキセノン検出器としては世界最高  
再構成した飛跡で発生した電子数に応じた終端のblobを確認 →  $0\nu\beta\beta$ 信号選択の鍵
- 1000 L検出器: 新規の技術要素の開発を進めている  
圧力容器はすでに神岡地下に設置完了