

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 探索実験

中村輝石(東北大)

2023/02/21

ICRR共同利用研究会



ニュートリノレス二重ベータ崩壊： $0\nu\beta\beta$

- 動機：マヨラナニュートリノの検証

- シーソー機構の前提 異常に軽いニュートリノ質量
- レプトジェネシスの前提 物質優勢宇宙

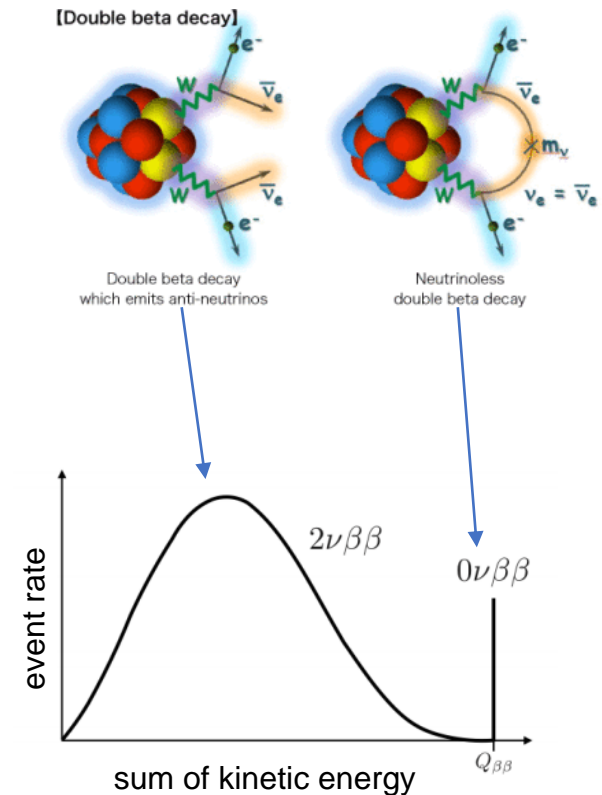
$$\textcircled{\nu} \stackrel{?}{=} \textcircled{\bar{\nu}}$$

- $0\nu\beta\beta$ の特徴

- レアイベント： $>1e26$ year (^{136}Xe)
- モノエネルギー： 2.5MeV (^{136}Xe)

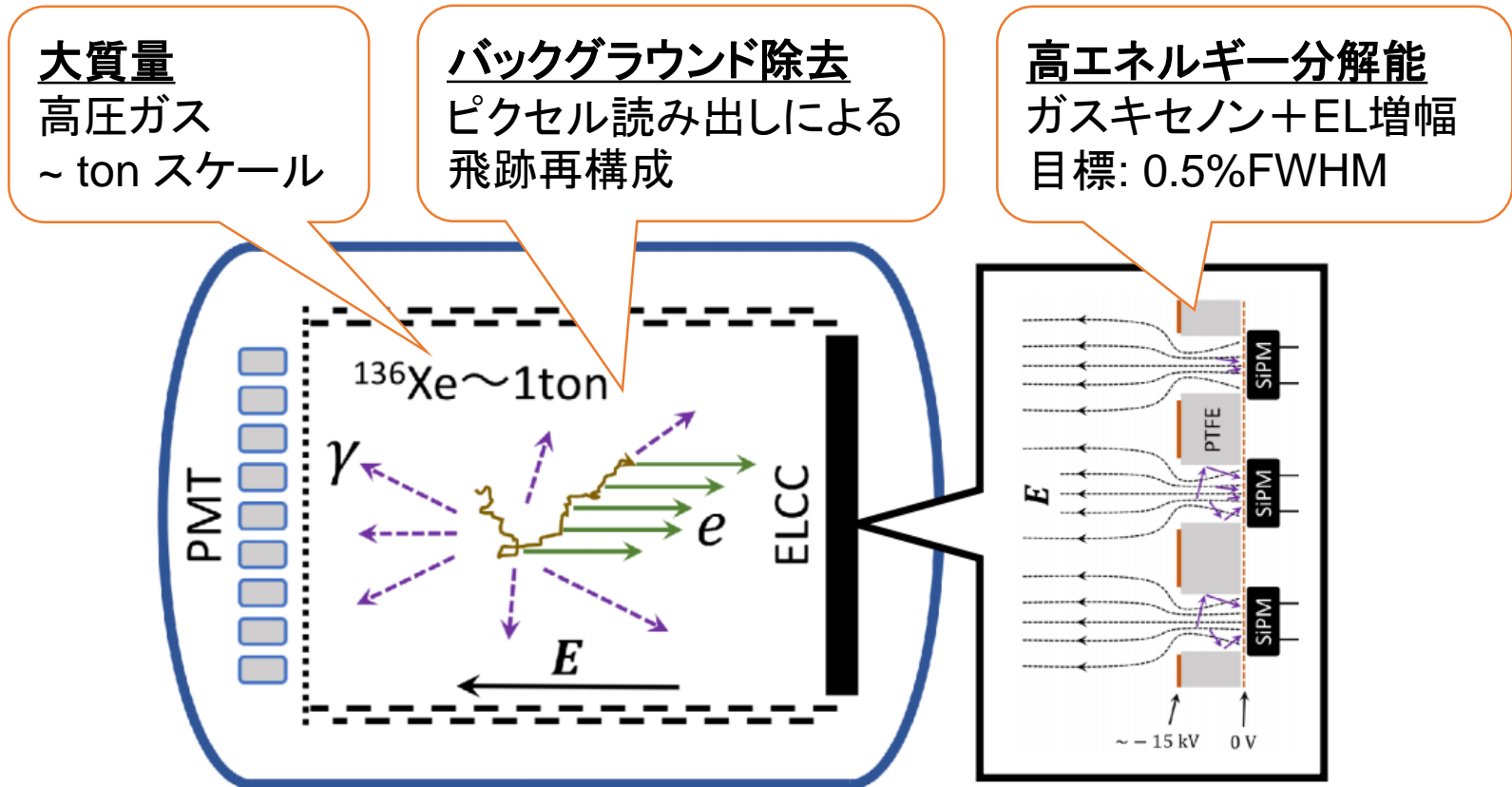
- 検出器への要請

- 大質量(大量の崩壊核)
- 低バックグラウンド
- 高エネルギー分解能



AXEL実験

- 高圧キセノンガスTPCによる $0\nu\beta\beta$ 探索実験



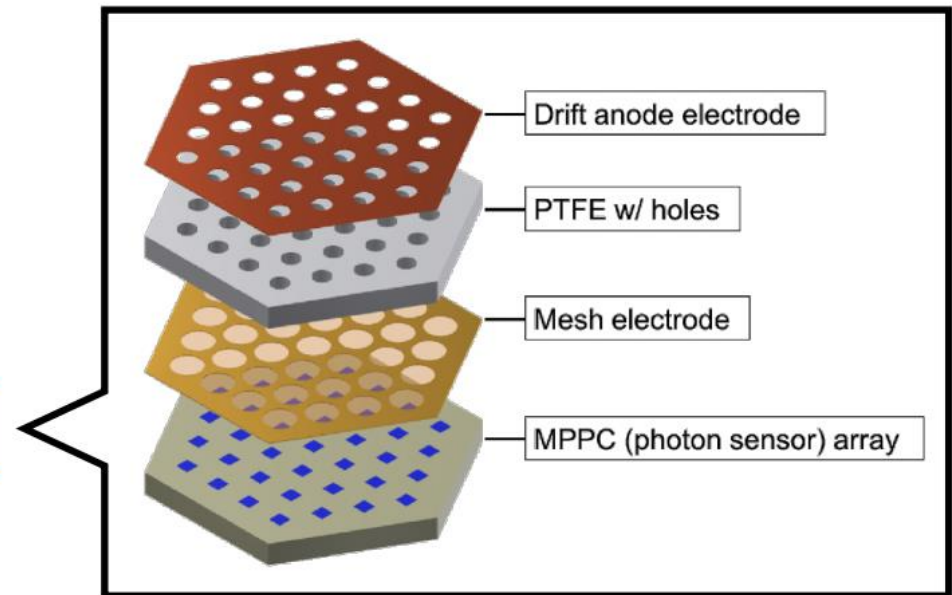
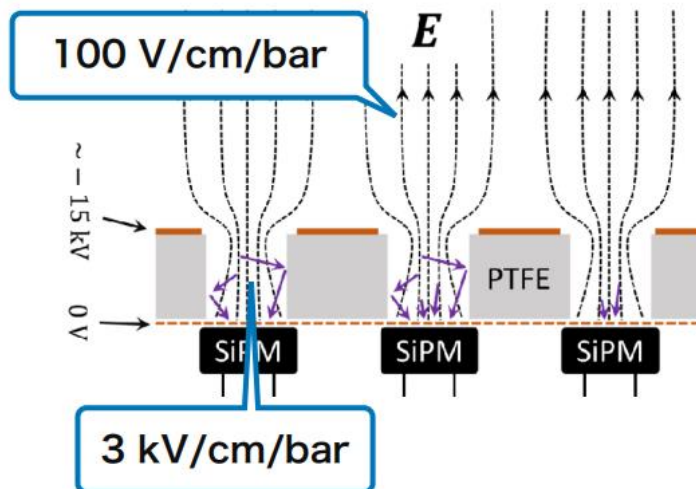
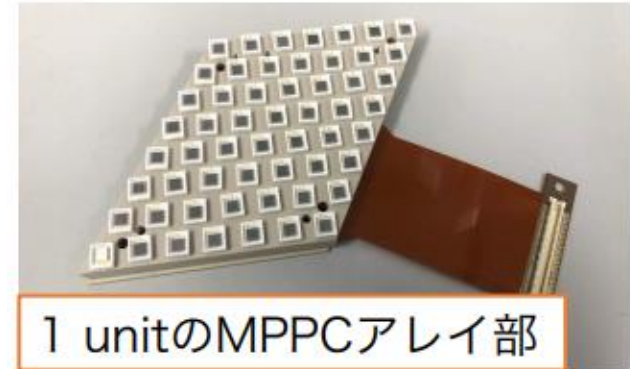
独自開発したEL光読み出し面: ELCC

• 構造

- セルごとに電離電子によるEL光を発生 & 検出する
- ピクセル読み出し ⇒ 飛跡再構成

• 特徴

- 発行と検出が対応 ⇒ 広範囲で一様な性能が期待
- 堅牢な構造(メッシュのたわみがない) ⇒ 大型化

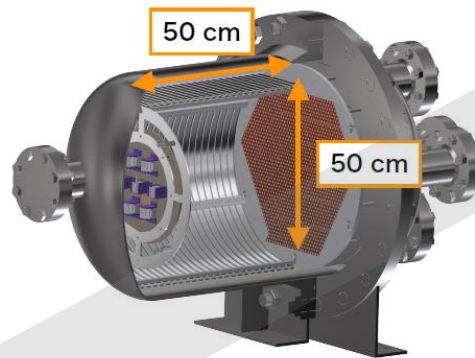
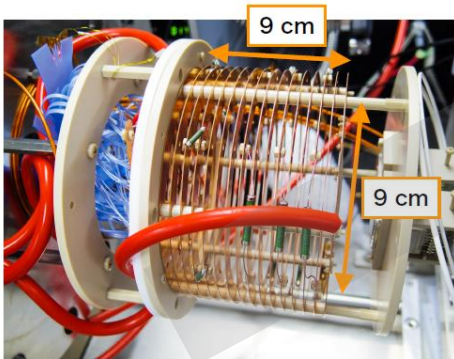


ロードマップ

- トンスケール検出器による $\langle m_{\beta\beta} \rangle = 10 \text{ meV}$ の感度を目指している
- 10-L, 180-L のプロトタイプ検出器を製作
- 物理ランを見据えた1000-L検出器の開発中

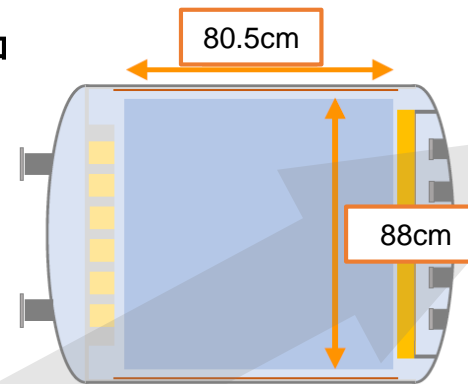
10-L prototype

- 2014 - 2018
- 0.05kg @ 8bar
- ELCC proof of concept



180-L prototype

- 2018 -
- ~4.5kg @ 8bar
- phase-1 : 168ch
- phase-2 : 672ch



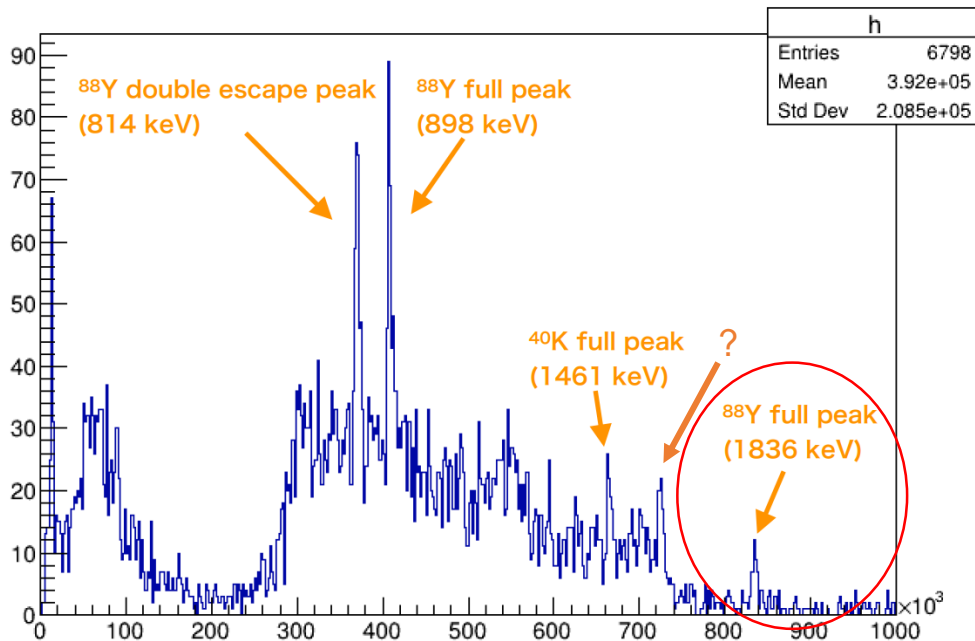
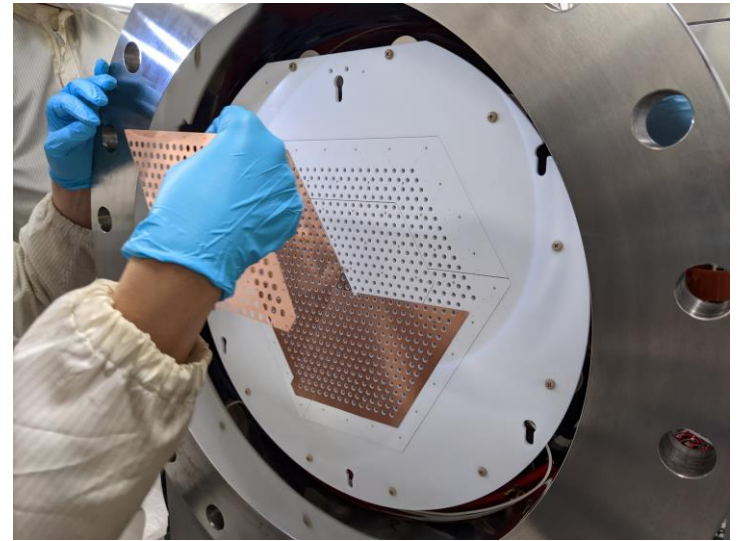
1,000-L detector

- 2024 -
- Physics run
- Underground
- 6kch

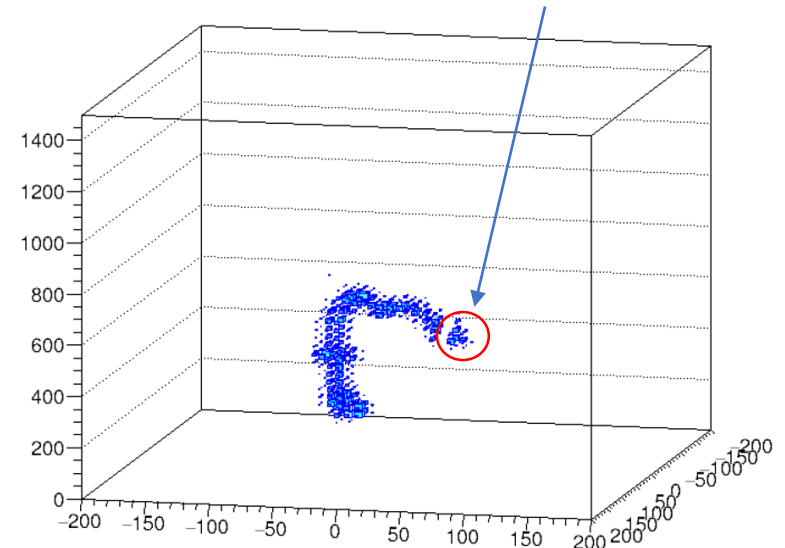
ton scale

180-Lの結果(前回)

- 180L検出器
 - MPPC:672ch
 - ガス:キセノン8気圧
 - 検出領域:600cm²×20cm
- 結果
 - イットリウムの1.8MeVのガンマ線を検出
 - 飛跡も取れている



特性X線(~30keV)と思われる

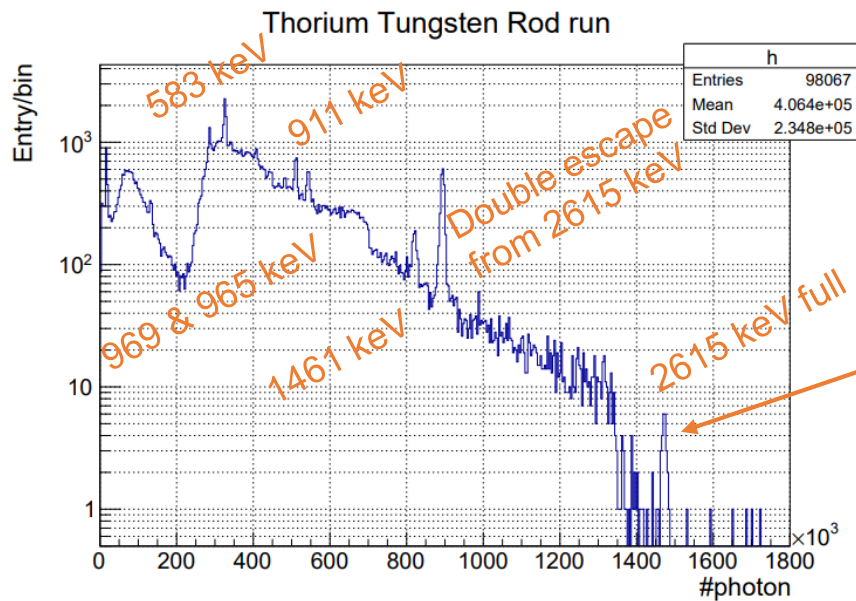


1.8 MeVイベントの電子の飛跡

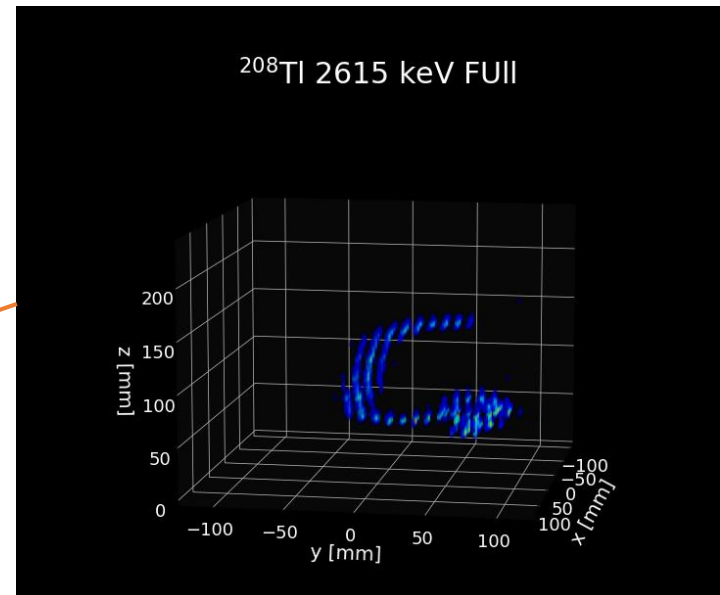
180-L の結果 (最新)

- トリタン棒を使って ^{208}Tl の統計を貯めた
- 2.6MeVのガンマ線($0\nu\beta\beta$ のQ値以上のエネルギー)の取得について成功!

得られたエネルギースペクトラム

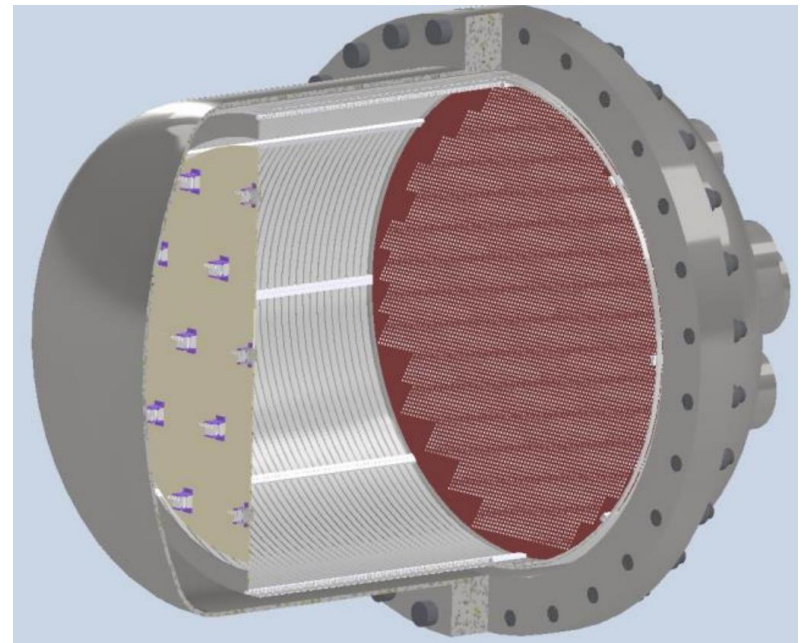
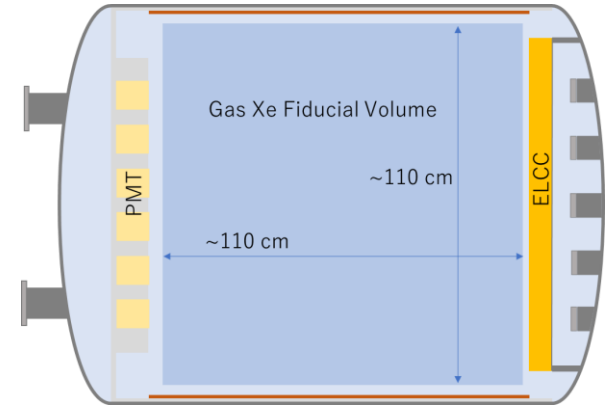


再構成されたトラックの例



1000L検出器

- 目的
 - 地下実験による物理測定
- 開発項目
 - 圧力容器製作
 - ガスシステム
 - エレクトロニクス
 - 高電圧(CW)
 - 大型MPPC on FPCフィルム
 - 64chのFPCケーブル
 - DLC電極による耐放電ELCC



圧力容器

• 3月末に完成予定@神岡

• サイズ

• 1m Φ × 1.5m

• 体積: 1000L

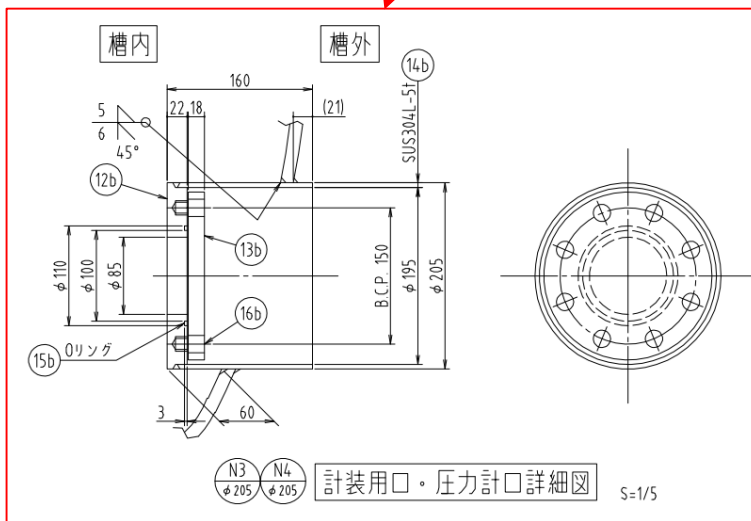
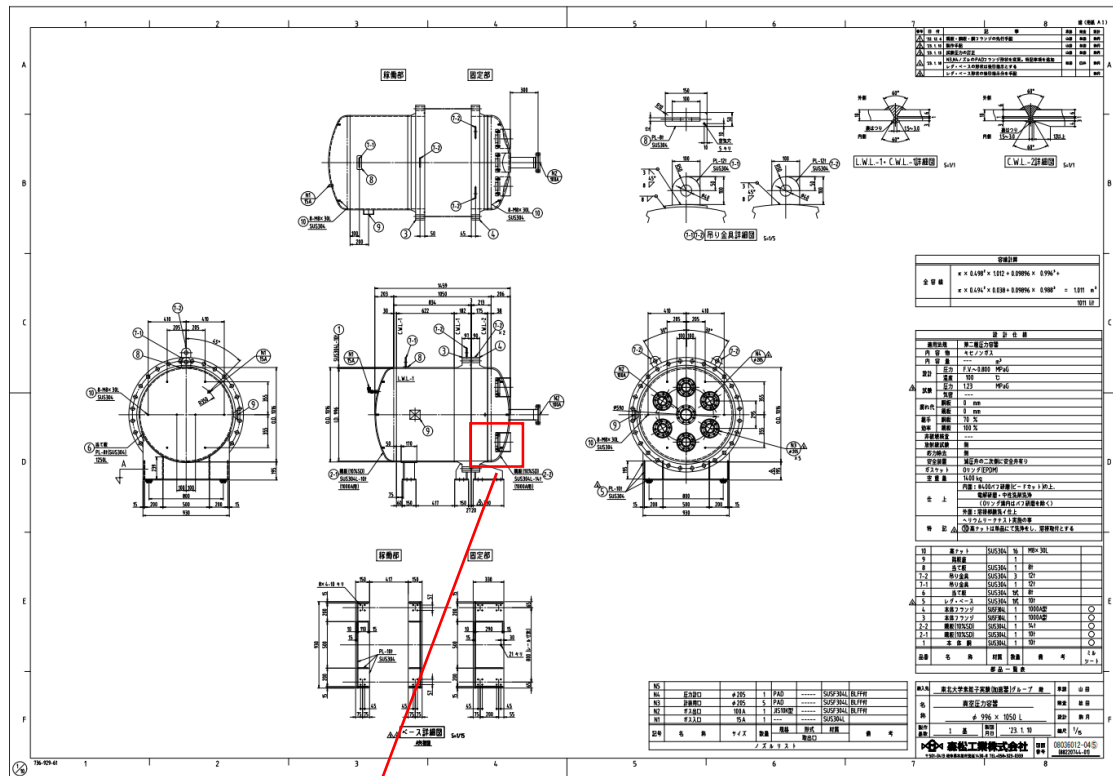
• 重量: 1.4トン

• 圧力: 真空 ~ 10気圧

• 凹フィードスルーフランジ

• キセノン効率よく使う

• ケーブルをなるべく短く



真空試験用の凹フランジ

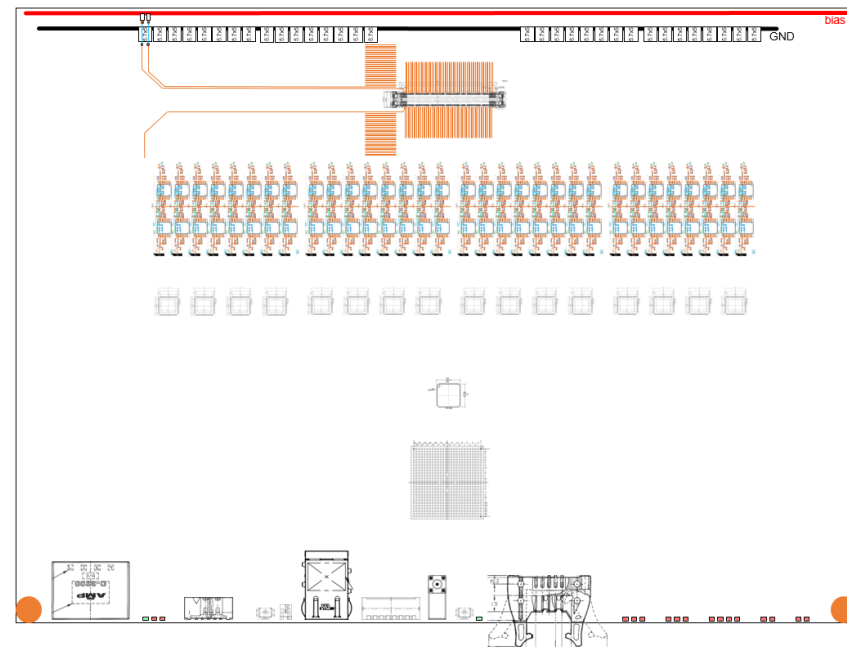
ガス系統

- キセノンガスの導入・回収・循環が可能なシステム
- 実装予定の機能
 - キセノンを誤操作で排気したり大気混入させないためのモード切替
 - 真空系への高圧流入や循環ポンプの過発熱に対するインターロック
- 現状
 - 循環部が完成@東北



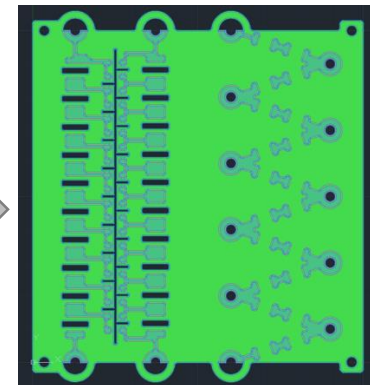
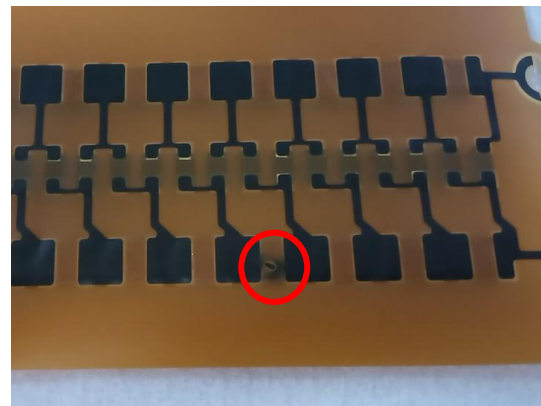
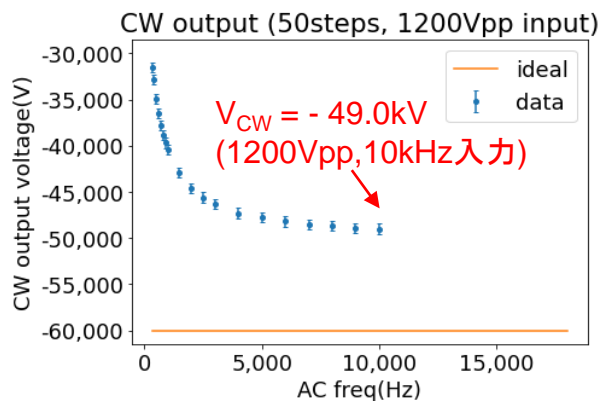
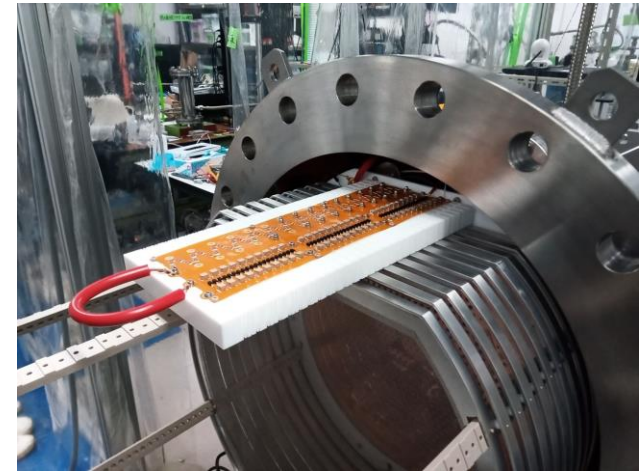
エレクトロニクス

- 更新点
 - 56ch⇒64ch(コネクタも高集積度のものに)
 - 消費電力の多かったバッファチップを排除
 - 負電源を外部入力できるように(ボード上での発熱抑制)
 - ゲインの最適化(MPPCが大きくなるので)
- 現状
 - GNDと設計を詰め中
 - パーツは1ボードの試作分は何とか確保



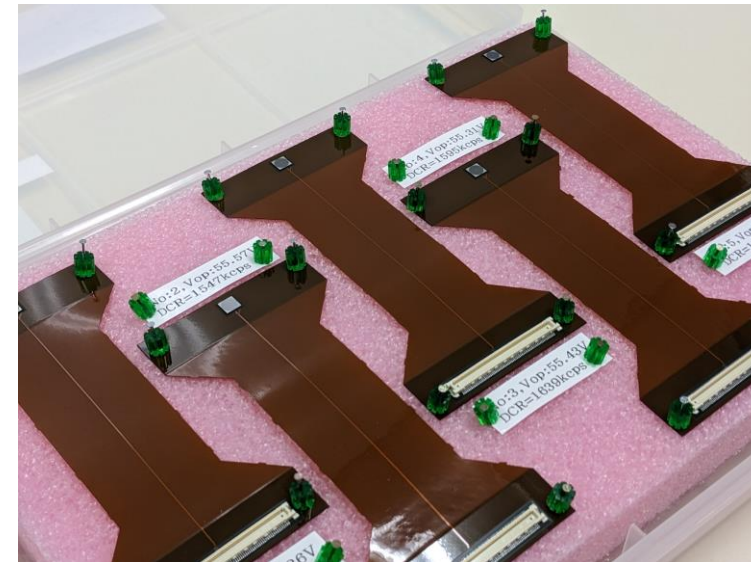
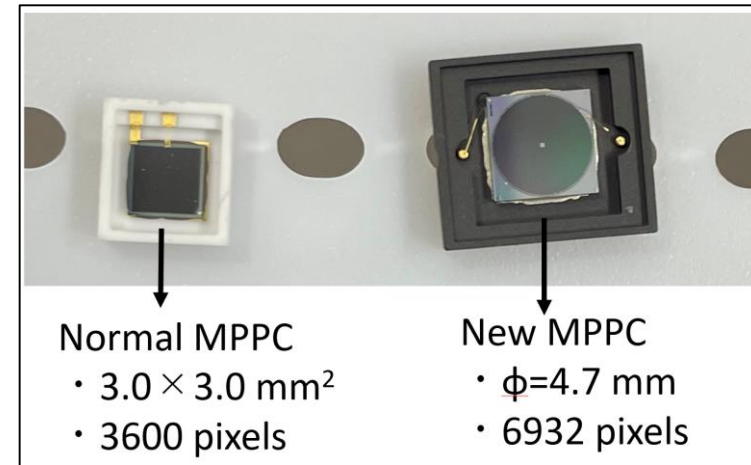
高電圧 (CW)

- 大気中でグループとして最高電圧を記録
 - -49.0kV
- 高圧キセノンガス中での動作確認を実施
 - 約-30kV
- より放電しにくいパターンの開発も進行中



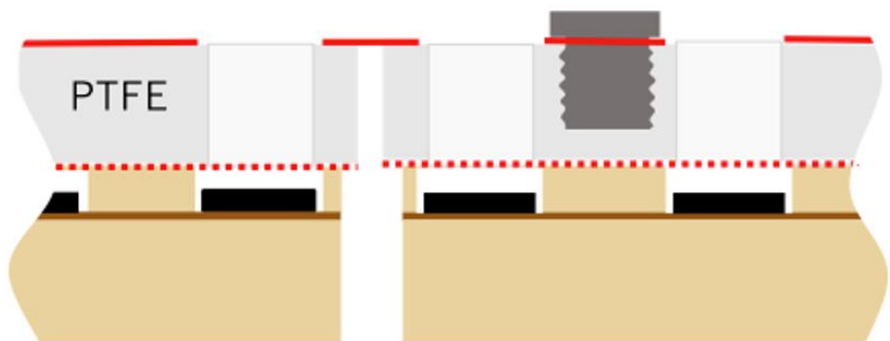
新型MPPC

- MPPCの大型化、円形化
 - 3mm□ ⇒ 4.7mmφ (面積比約2倍)
 - EL光の統計揺らぎが減る
 - ダークカウントが減る
 - LEDで基礎特性を測定 (PDEなど)
 - スペックシート通りを確認 (大型化の効能がある)
- MPPCのパッケージレス化
 - FPC基板の上に64個のMPPCを直接実装
 - セラミックス (RI不純物が多い) パッケージを排除
 - まずは1chのMPPConFPC試作機を作成
 - ダークカウントを測定 (ゲイン、波形に問題なし)
 - FPCに乗せて問題ないことを確認



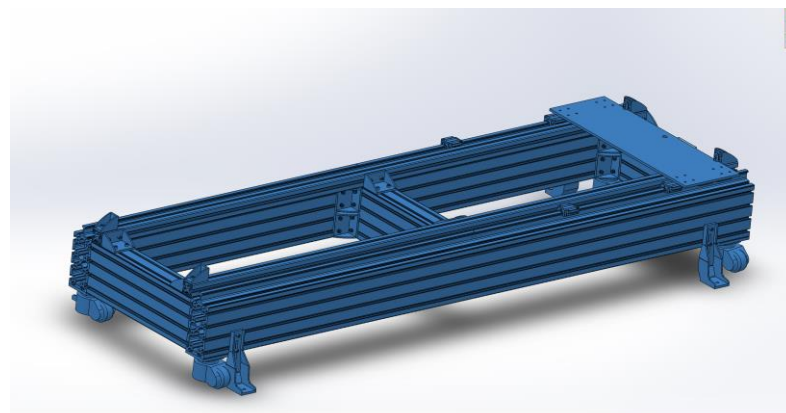
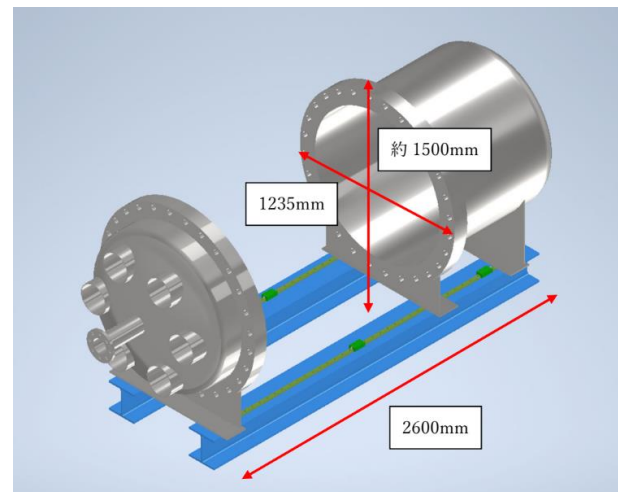
耐放電性 ELCC

- 放電しやすい溝や穴の周囲を高抵抗素材(DLC,150M Ω)に変更
- 試作品が先週納品！これから試験予定



神岡準備

- HP1000Lの建設を開始するために、神岡地下スーパーカミオカンデ倉庫内のクリーンルーム内の一部の利用を認めていただいた(神岡にて対応いただいた担当者・責任者の方を含め宇宙線研究所には感謝いたします)
- 今年度は3月中に片付けと容器の搬入を予定している



まとめ

- AXEL実験
 - 高圧キセノンガスTPCによる $0\nu\beta\beta$ 探索実験
 - 特徴: 高エネルギー分解能、大質量、飛跡再構成
- 180L試作機
 - 2.6MeV(Q値以上)のガンマ線の検出に成功
 - さらなる分解能向上に向けた解析や検出器理解を進めている
- 1000L検出器
 - 地下実験に向けて準備中
 - 今年度は圧力容器搬入を予定
 - 来年度は検出器を一部(予算次第)でも組み立て、通常のキセノンによる地下での検出器動作とノウハウ獲得
- トンスケールへのR&D
 - TPC内での陽イオン検出の技術開発 ⇒ 品川(東北大) 修士論文

R4年度査定額: 10万円
使途: 神岡への旅費