

令和 4 年度 (2022) 共同利用研究・研究成果報告書

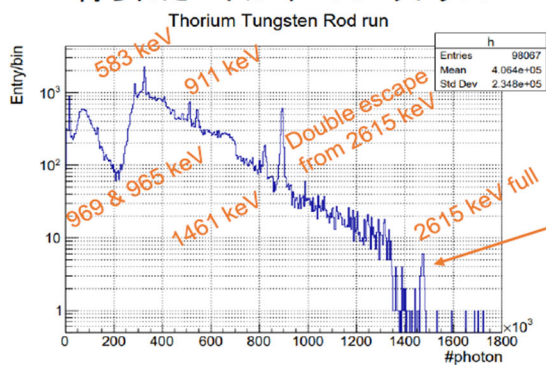
研究課題名 和文：高圧キセノンガス検出器を用いたニュートリノレス二重ベータ崩壊探索
 英文：Search of neutrinoless double beta decay with high-pressure Xenon gas detector

研究代表者 市川温子 (東北大学)
 参加研究者 中村輝石 (東北大学)、品川響 (東北大学)、小原脩平 (東北大学)、坂下健 (高エネルギー加速器研究機構)、中家剛 (京都大学)、吉田将 (京都大学)、菅島文悟 (京都大学)、疋田純也 (京都大学)、木河達也 (京都大学)、身内賢太郎 (神戸大学)、関谷洋之 (東京大学)、中島康博 (東京大学)

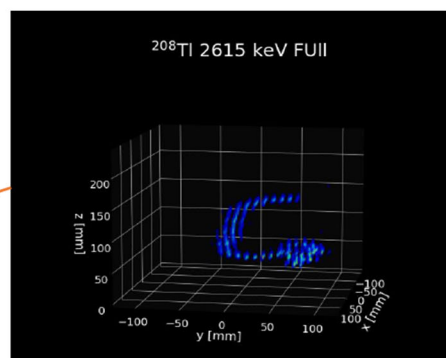
研究成果概要

ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索に向けて、高圧キセノンガスを用いた大型の Time Projection Chamber 検出器：AXEL を開発している。キセノン-136 の二重ベータ崩壊の Q 値である 2.5 MeV 事象での原理実証および性能評価をするため、180 L サイズの試作機の製作・運用や、1000L サイズの検出器の設計・製作を実施している。性能評価では主に我々独自の読み出し機構である Electroluminescence Light Collection Cell (ELCC) での読み出しの原理実証およびエネルギー分解能の評価を行った。ELCC は等間隔に並んだセルと電極および各セルにある光検出器(MPPC)から構成されている。セル内に高電場を形成し、検出器内で生じた電離電子をセル内部に引き音で Electroluminescence 光 (EL 光) を発生させて MPPC で読み出すことでエネルギーおよび飛跡を再構成することができる。以下では、本年度の進捗である、Q 値を超えるガンマ線の検出、陽イオン検出技術開発、物理探索の実証実験に向けた準備について述べる。

得られたエネルギースペクトラム



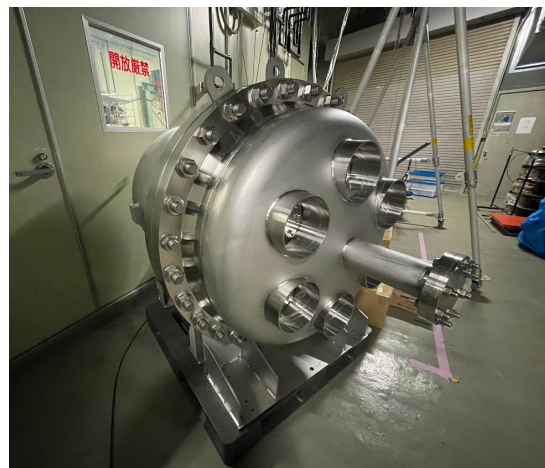
再構成されたトラックの例



Q 値 (2.5MeV) における性能評価のために、Tl-208 からの 2.6MeV のガンマ線の検出を行った。大量のトリタン棒をチェンバー周囲にとりつけ、ELCC12 ユニット (672ch) ににより十分な統計量のデータを得ることができた。1 頁の図は得られたエネルギースペクトルと飛跡の例である。2.6MeV のフルピークが分離できており、二重ベータの Q 値付近でも高い分解能でエネルギー測定が可能であることを示した。エネルギー分解能の内訳については、理解できていない成分が存在しており、ガンマ線のトポロジーや信号の伝達経路などを調査し、さらなる向上を目指している。飛跡については電子の止まり際の多重散乱によりつくられるブロブ構造を含めて鮮明に取得することができた。また、2.6MeV のガンマ線が電子陽電子対生成を起こし陽電子の対消滅ガンマ線が逃げた場合のダブルエスケープ事象からは、2 本の荷電粒子が放出される様子も捉えることができています。

陽イオン検出技術開発では、ワイヤー表面に付着する不純物を瞬間的に加熱して飛ばしイオンの検出効率を上げるための加熱可能なセットアップの検証実験や、ワイヤーそのものの材質や表面状態についての調査を実験的に行った。結果については品川が修士論文としてまとめている。

物理探索の実証実験に向けて、1000L の体積での実験に向けて準備を進めてきた。神岡のスーパーカミオカンデ倉庫内のクリーンルームの一部の利用を認めていただき、2022 年度末には宇宙線研究所の協力のもと、スペースの片付けとガス容器の搬入を行った (右図)。ガス容器の重量は 1.4 トンであり圧力は真空から 10 気圧まで耐えることができる。信号のフィードスルー部には、ケーブルをなるべく短く、そしてキセノンのデッドスペースが少なくなるようにするために、凹んだ形状のフランジを特注した。ガスシステムについては、キセノンガスの導入・回収・循環が可能なシステムについて、



て、基幹部は東北大に作成済みであり、モニター系などをそろえている。読み出し回路について、チャンネル数の増加と集積度が増すことから、64ch のボードを開発している。高集積化と発熱量を抑える改善に加え、アンプのゲインを最適化することで MPPC の線形性を損なわないように変更予定である。ドリフト領域に印加する高電場を発生させるため、キセノンガス中でのコッククロフトウォルトン回路開発を行っている。大気中では AXEL グループ史上最高電圧となる -49kV を記録した。キセノン中でも -30kV までの印加に成功している。また、より放電しにくいパターン構造についても開発を進めている。EL 光を検出する光検出器 MPPC について、これまでの 3mm \square から 4.7mm ϕ のものに変更すべく、性能評価を実施し、大きな問題は見つかっていない。また、パッケージに含まれるセラミックはウラントリウムの含有量が多くバックグラウンド源となり得るため、FPC 上に直接実装する予定である。試作品のダークカウント測定ではゲイン、波形ともに問題ないことを確認している。