

## 2020 (令和二) 年度 共同利用研究・研究成果報告書

<p>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および暗黒物質探索 英文：Search for neutrinoless double beta decay and dark matter with high-pressure Xenon gas detector</p>
<p>研究代表者 市川温子 (京都大学) 参加研究者 小原脩平(東北大学)、潘晟(京都大学)、中村和広(京都大学)、吉田将(京都大学)、中家剛(京都大学)、木河達也(京都大学)、菅島文悟(京都大学)、中村輝石(東京大学)、身内賢太郎(神戸大学)、上島孝太(東北大学)、関谷洋之(東京大学)、中島康博(東京大学)、坂下健(KEK)</p>
<p>研究成果概要 ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊 (0νββ 崩壊) 探索や暗黒物質探索のための、高圧キセノンガスを用いた大型のタイムプロジェクトンチェンバー検出器：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2.4 MeV事象での原理実証および性能評価をするため、180 Lサイズの試作機を製作・運用を行った。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。本試作機では今後の大型化を見据えてこのELCCを56ch単位でモジュール化し、それを組み合わせることで大きなELCC検出面を構成できるようにした。本年度においては、昨年度から引き続き168ch(3モジュール)での試験を行った。本年度初めに511 keVでの性能評価の結果としてFWHM: 1.49% (Q値換算でFWHM: 0.68%)というエネルギー分解能を達成した(図1)。ただし、この測定においては読み出し回路およびその制御システムが不安定であったりELCCでの放電が問題となっていたので、その後はこれらの問題を解決に取り組んでいる。読み出し回路についてはファームウェアを改良し安定に動作できることを確認できた。放電についてはELCCモジュールにおいて特に電場が強いことが予想される箇所やチャージアップが予想される箇所に対処した構造のELCCを随時設計・製作して評価を行い、少しずつ放電耐性を強化していった。これらの改良をしつつ662 keVや1.1 MeV・1.3 MeVでの測定および性能評価を行っている。 昨年はガスシステムのポンプの故障およびそれに伴うキセノンガスへの大気混入が問題となった。そこで今年度はガスシステムのセーフティシステムを整備し、ポンプ前後での急激な圧力変化やポンプ・ゲッター付近の温度上昇に対して自動でインターロックが作動するようにした。 本実験では極低放射能環境が要求される。これまでは他実験の先行研究などをもとにして検出器具材を選定してきた。本年度より検出器の各具材の放射能の実際の測定をゲルマニウム検出器を用いて本格的に開始した。光検出器MPPCのパッケージに用いられているセラミックスが放射性同位体を多く含むことが判明したため、メーカーにより低放射能なパッケージのMPPCの開発に着手してもらっている。</p>

さらに、究極の背景事象削減手法としてキセノン-136 の二重ベータ崩壊娘核であるバリウムイオンの検出手法の開発も行っている。最初の R&D として小型のテストベンチにてバリウムイオンの生成・トラップおよびレーザーを照射した際の脱励起光の分光による検出が可能かどうかの検証を試みている。該当年度は大学院生の菅島が中心となってイオン源からイオンが生じていることの確認を行った(図 2)。また、バリウムイオン検出用の機構を導入することに伴い、シンチレーション光を検出する PMT の設置場所を TPC 側面(ドリフト電場形成用のフィールドケージ面)に移動する必要がある。PMT の受光面とフィールドケージの電位を揃えるため、PMT のバイアス電圧をフィールドケージからとることで PMT ごと電位を浮かせ、フォトカップリングによる信号の読み出しをするための回路を考案し、現在試作および原理実証を行っている。

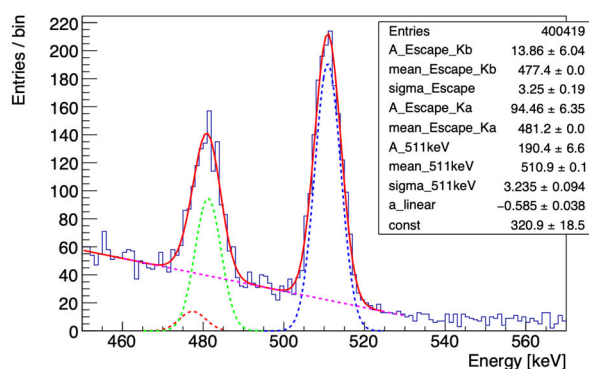


図 1 511 keV 付近のエネルギースペクトル

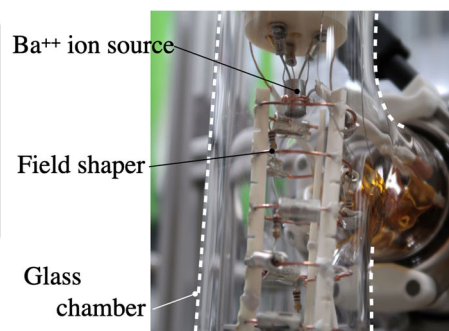


図 2 バリウムイオン検出のテストチェンバー

【発表論文】

- “Front-end electronics for the SiPM-readout gaseous TPC for neutrinoless double beta decay search”, K.Z.Nakamura, S.Ban, A.K.Ichikawa, M.Ikeno, K.D.Nakamura, T.Nakaya, S.Obara, S.Tanaka, T.Uchida, M.Yoshida, IEEE Transactions on Nuclear Science Volume 67 Issue 7 1772 – 1776 (2020), DOI: 10.1109/TNS.2020.2988716
- “Design and performance of a high-pressure xenon gas TPC as a prototype for a large-scale neutrinoless double-beta decay search”, S.Ban, M.Hirose, A.K.Ichikawa, T.Kikawa, K.Z.Nakamura, T.Nakaya, S.Tanaka, S.Obara, M.Yoshida, Y.Iwashita, H.Sekiya, Y.Nakajima, K.Ueshima, K.Miuchi, K.D.Nakamura, A.Minamino, T.Nakadaira, K.Sakashita, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2020 Issue 3 033H01(2020), DOI: 10.1093/ptep/ptaa030