

令和 5 年度 (2023) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：48Ca の二重ベータ崩壊の研究 英文：Study of double beta decay of 48Ca
研究代表者	梅原さおり (大阪大学核物理研究センター)
参加研究者	(大阪大学核物理研究センター) 能町正治、岸本忠史、南雄人、Anawat Rittirong、瀧平勇吉、松岡健次、(大阪大学理学研究科) 吉田斉、白井竜太、西川隆博、佐久間幹人、野田健太、高草元、安田圭吾、(福井大学学術研究院工学系部門) 橋本明弘、小川泉、中島恭平、戸澤理詞、丹羽雄大、中島諄也、祐伯蓮、中川闕暉、(筑波大学数理物質系物理学域) 飯田崇史、(徳島大学大学院社会産業理工学研究部) 伏見賢一、坂上陽俊、(大阪産業大学デザイン工学部) 裕隆太、Kumsut Pantiwa、Kosinarkaranun Kanyanan、Chonlada Pitakchaianan、(佐賀大学教育学部) 大隅秀晃、(若狭湾エネルギー研究センター研究開発部) 鈴木耕拓、(東京大学宇宙線研究所) 竹本康浩
研究成果概要	<p>ニュートリノを伴わない二重ベータ ($0\nu\beta\beta$) 崩壊の検証は、レプトン数の破れの検証を意味する。これは、宇宙がなぜ物質だけの世界になっているかを説明する際に重要な実験になる。本研究では、^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究を、CaF_2 シンチレータ (メイン検出器 300kg) と液体シンチレータ (ベトー検出器) を用いた CANDLES-III システムを用いて進めている。また、次世代検出器として ^{48}Ca 濃縮と CaF_2 蛍光熱量検出器の開発を進めている。</p> <p>CANDLES-III での測定の主なバックグラウンド事象には下記の二つがある[1]。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 結晶内部の放射性不純物による $^{212}\text{Bi}\rightarrow^{212}\text{Po}$(半減期 0.3$\mu\text{sec}$)の連続信号 2) 結晶内部の放射性不純物による ^{208}Tl 信号 <p>本年は、1) の解析的除去法を開発した。下記に述べる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 結晶内部の放射性不純物による $^{212}\text{Bi}\rightarrow^{212}\text{Po}$(半減期 0.3$\mu\text{sec}$)の連続信号 <p>これまでのパイルアップ波形フィッティングによる $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象識別に加えて、新たに機械学習解析を導入した。その結果を図 1 に示す。ここでは、$^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象候補となる事象の時間差分布を示す。この時間差は機械学習の出力による。$0\nu\beta\beta$事象エネルギー領域である 4MeV 付近の事象において、時間差が 0ch(0nsec)の事象と 1ch(2nsec)以上の事象を識別できていることを示している。事象を除去することで、$^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象除去効率が 99.4%となった。この時の $0\nu\beta\beta$候補事象の検出効率が99%であることも確認できた[1]。</p> <p>機械学習に加えて、$^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象識別のために粒子識別法も導入している。これは、$^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象の ^{212}Po がα崩壊であることを利用し、α線と$\beta(\gamma)$線の波形の違いを利用した除去である。この粒子識別には、Shape Indicator[1]という手法をもとに行っている。</p>

この除去を行った後に予想される事象数を図 2 に示す。横軸が CANDLES III システムで用いている結晶の数、縦軸が予想される残る $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象数となっている。比較的不純物の多い結晶を含む全結晶 93 個を使った 782 日のデータに対して、 $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象数が 1 程度と疑似バックグラウンドフリー環境となることが見積られる。現在、この手法を二重ベータ崩壊測定解析に導入するように進めている。

一方、次期二重ベータ崩壊測定装置として ^{48}Ca 濃縮装置の構築を進めた。チェンバー構築・TOF 装置の導入を終了し、今後、生産量を増やすための改良を加えていく [3]。

[1] R. Shirai, presentation in International Workshop on "Double Beta Decay and Underground Science" DBD23, 1st. Dec, 2023, Hawaii.; R. Shirai, presentation in "6th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan", 26th, Nov. 2023, Hawaii.; 白井竜太, 日本物理学会 2024 年春季大会, オンライン, 2024 年 03 月 19 日,

[2] S. Umehara et al., Phys. Procedia 61, 283 (2015),
T. Fazzini, et al. Nucl. Instrum. Meth, A410, 213 (1998).

[3] R. Anawat, presentation in International Workshop on "Double Beta Decay and Underground Science" DBD23, 1st. Dec, 2023, Hawaii.; R. Anawat, presentation in "6th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan", 26th, Nov. 2023, Hawaii.

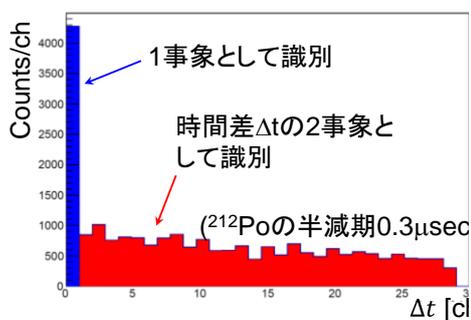


図 1 : $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象候補となる事象の時間差分布。時間差は機械学習の出力による。0 $\nu\beta\beta$ 事象エネルギー領域である 4MeV 付近の事象において、時間差が 1ch(2nsec)以上と判定された事象を除去することで、 $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象除去効率が 99.4%となった。

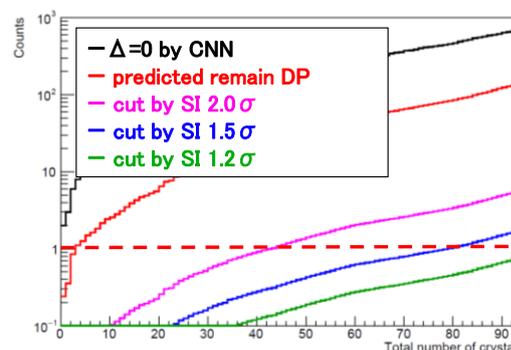


図 2 : 機械学習による $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象の除去と、粒子弁別による $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象の除去を行った後に予想される事象数。比較的不純物の多い結晶を含む全結晶 93 個を使った 782 日のデータに対して、 $^{212}\text{Bi}^{212}\text{Po}$ 事象数が 1 程度と疑似バックグラウンドフリー環境となることが見積られる。