

令和 7 年度 (2025) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文： ^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究英文：Study of double beta decay of ^{48}Ca

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) 三島賢二、Anawat Rittirong、廣本政之、柴田真尚、瀧平勇吉、松岡健次、能町正治、岸本忠史、(大阪大学理学研究科) 吉田斉、高草元、谷川秀憲、野田健太、堤智、松本朋也、(福井大学学術研究院工学系部門) 小川泉、中島恭平、戸澤理詞、中川闘暉、服部圭汰、峯松尚哉、(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、西島涉悟、(大阪産業大学デザイン工学部) 碓隆太、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

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。このニュートリノを伴わない二重ベータ ($0\nu\beta\beta$) 崩壊の半減期は 10^{26} 年以上とされており、極低放射能環境を必要とする。我々は、 ^{48}Ca の二重ベータ崩壊の研究を、 CaF_2 シンチレータと液体シンチレータを用いた CANDLES-III システム[1]を用いて進めている。また、次世代検出器として CaF_2 蛍光熱量検出器の開発[2]、 ^{48}Ca 濃縮[3]、高純度 CaF_2 結晶の開発、を進めている。また、次世代検出器開発には低バックグラウンド素材のスクリーニングが必要である。そのため、実験室 D 後室に設置した Ge 半導体検出器を用いたスクリーニングを行っている(図 1)。

2025 年度は、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊の半減期の下限値を更新と $2\nu\beta\beta$ 崩壊の半減期を得るための解析を進めた。ここでは、これまでに個別開発したバックグラウンド事象の識別解析の統合を進めた[1]。

また、次世代検出器の開発も進めた。開発する蛍光熱量検出器は、10mK 程度の極低温環境で微弱な温度上昇と蛍光を検出することによる放射線検出器である。我々は、 CaF_2 を蛍光熱量検出器として使用し、 $Q_{\beta\beta}$ 値領域 (4.3MeV) でのエネルギー分解能 0.5%を目指している。 CaF_2 蛍光熱量検出器の開発として、本年度は、MMC と SQUID センサーを大阪に設置した冷凍機を用いて性能評価を行った (図 2)。

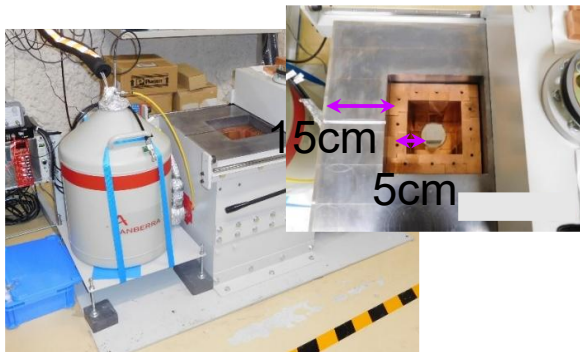
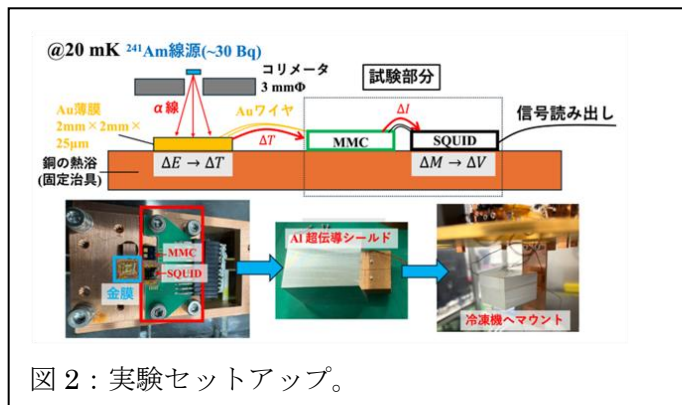


図 1：放射性不純物測定用 Ge 半導体検出器。サンプルエリアは $15 \times 15 \times 15 \text{cm}^3$ 。

ここでは、検出器を希釈冷凍機により約 15 mK まで冷却し、極低温環境下でのエネルギー測定を行った[2]。測定では、 α 線源を用い、放出される α 線を吸収体で受けることでエネルギーを熱へと変換する。このときのエネルギー付与は温度変化 (ΔT) として現れ、これを金 (Au) ワイヤを介して金属磁カロリメータ (MMC) に伝達



する。MMC では温度変化が磁化変化 (ΔM) に変換され、さらにこの磁束変化が SQUID によって電圧信号 (ΔV) として読み出すシステムを用いる。エネルギースペクトル測定では、 α 線源を用い、放出される α 線を吸収体で受けることでエネルギーを熱へと変換する。図 3 に、本実験で得られたエネルギースペクトルを示す。 ^{241}Am の α 崩壊を用い、ベースライン ($E=0$) と 5486keV のピークでエネルギーキャリブレーションを行った。その結果、大阪大学の希釈冷凍機環境下で初めて物理信号を確認することができた。一方で、3000～4900 keV に未同定イベントが存在し、5486 keV でのエネルギー分解能は 2.89 % とえられた。原因について調査した結果、分解能の約 20 % (約 0.6 %) がゲインドリフト起因であることが分かった。現在、ゲインドリフトを補正するために、ヒーターによる人工パルスを用いた補正を検討している。

他、CANDLES-III システムを用いて測定については[1]など、蛍光熱量検出器の開発については[2]など、 ^{48}Ca 濃縮については[3]などで報告した。

[1] CANDLES プロジェクトについては、S. Yoshida 他、INPC2025, South Korea 他

[2] 蛍光熱量計開発については、K. Noda 他、INPC2025, South Korea 他

[3] 濃縮開発については、Anawat Rittirong 他、INPC2025, South Korea 他

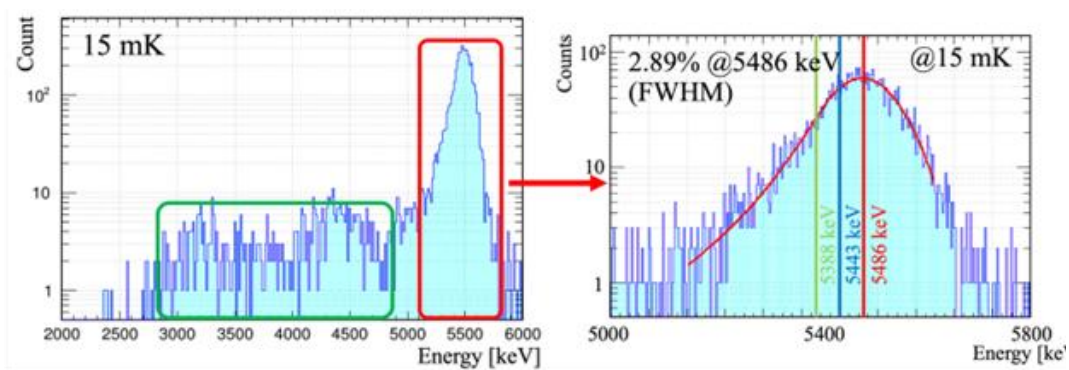


図 3：エネルギースペクトル。 ^{241}Am から放出された α 線によるピークが観測されている。