様式８

# 令和６年度（2024）　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）Anawat Rittirong、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、西川隆博、野田健太、高草元、谷川秀憲、堤智、松本朋也、（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、中川闘暉、服部圭汰、（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、西島渉悟、（大阪産業大学デザイン工学部）硲隆太、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（0νββ）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。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（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 $CaF_2$ 蛍光熱量検出器の開発、$^{48}$Ca 濃縮、高純度 $CaF_2$ 結晶の開発、を進めている。下記では、CANDLES-III での測定のバックグラウンド事象の低減解析と高純度 $CaF_2$ 結晶の開発について述べる。

CANDLES-III での測定の主なバックグラウンド事象に、結晶内部の放射性不純物による $^{208}$Tl 信号がある。本年行った解析的除去法を下記に述べる。$^{208}$Tl 事象は、$CaF_2$ 結晶にふくまれる放射性不純物から放出されるものである。この $^{208}$Tl は、$^{212}$Bi→$^{208}$Tl(半減期 3.1 分)という連続崩壊の中で起こる。そのために、先行する $^{212}$Bi のα崩壊事象を識別することは、$^{208}$Tl 事象を弁別するために有効である。これまでこの $^{208}$Tl 事象を識別するためには、「2 事象の時間差が半減期 3 分」と「2 つの事象位置が同結晶」、のほか、エネルギー情報を解析に用いていた。この情報での除去効率は 70%程度であった。さらに除去効率を上げるために識別解析に最尤法を導入し、「先行信号がβ線事象、遅延事象がα線事象であることによる波形の違い」も用いることとした。そのために、先行信号と遅延信号の波形のシミュレーションによる再現を進めた。シミュレーションの結果を図１に示す。各種類の光電子増倍管（PMT）の１光電子波形情報（左図）を用い、これを、エネルギーごと、また、粒子種ごと、事象位置ごとの情報を取り込んで、各 PMT ごとの波形をシミュレーションで作成する（中図）ことで、CANDLES-III で得られる波形を作成できている。今後、このシミュレーション波形の最尤法への適用を進めていく[1]。

また、高純度 $CaF_2$ 結晶開発について述べる。$CaF_2$ は、１）カルシウム原料となる $CaCO_3$ 等から $CaF_2$ を合成する、２）$CaF_2$ をるつぼに入れ、ヒーターを用いて溶融・結晶化する、の手順で作成される。この結晶作成時に検討できる高純度化法は、１）（製造過程）カルシウム原料の純化：（高純度化法）ウラン・トリウムのための吸着樹脂を用いることによるカルシウム原料の高純度化、２）（製造過程）るつぼを用いた $CaF_2$ 粉末の溶融・結晶化：（高純度化法）A)高純度るつぼを用いることによってるつぼからの不純物を混入させないことによる高純度化、および、B)$CaF_2$ の焼結・結晶化の過程における不

純物の偏析による高純度化、がある。この偏析効果を確認するために、本年は、東北大学金属材料研究所の協力のもと、高純度 $CaF_2$ 粉末を使って長尺結晶を作成し、筑波大学の協力のもと、ICP-MS による微量分析技術を確立し、偏析効果を調査した。結果を図 2 に示す。ストローク一回の結晶について、ウランに偏析効果が表れていることを確認するとともに、偏析 $CaF_2$ 結晶に、原料となる $CaF_2$ 粉末の不純物よりも多くの不純物が含まれていることが確認できた。今回、0.1g という少量結晶内に含まれる不純物量分析手法を確立できたため、より細かな偏析効果の評価が可能となった。効果的な純化手法の確立を進める[2]。

他、$CaF_2$ 蛍光熱量検出器の開発、$^{48}Ca$ 濃縮については、[3]などで報告した。

1] 丹羽雄大（福井大学修士論文）、高草元（日本物理学会第 79 回年次大会）、他
2] 西島渉悟、第 10 回「極低放射能技術」研究会発表、2025 年 03 月 08 日
3] 蛍光熱量計開発については、西川隆博（大阪大学修士論文）、野田健太（日本物理学会第 79 回年次大会）、堤智、松本朋也（極低放射能技術研究会）など。$^{48}Ca$ 濃縮については、Anawat Rittirong（原子力学会）、谷川秀憲（極低放射能技術研究会）など。

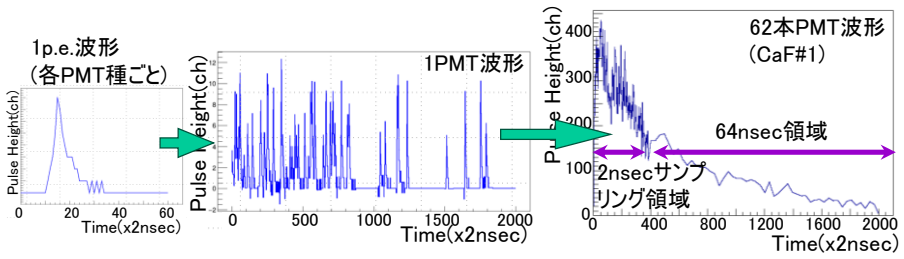


図１：シミュレーションで作成した CANDLES-III での波形。各種類の光電子増倍管（PMT）の 1 光電子波形情報（左図）を用いる。これを、エネルギーごと、また、粒子種ごと、事象位置ごとの情報を取り込んで、各 PMT ごとの波形をシミュレーションで作成する（中図）。それを足し合わせることで、CANDLES-III で得られる波形を作成する[1]。

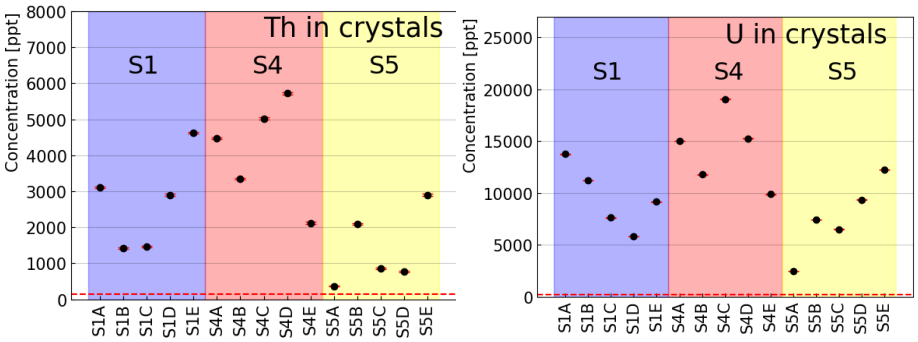


図２：長尺結晶から切り出した結晶サンプルの不純物量を ICP-MS で分析した結果[3]。トリウム不純物量、ウラン不純物量それぞれを示す。この結果より、ストローク一回の結晶について、ウランに偏析効果が表れていることを確認するとともに、偏析 $CaF_2$ 結晶に、原料となる $CaF_2$ 粉末の不純物よりも多くの不純物が含まれていることが確認できた[2]。

整理番号　B11