

名古屋大学工学研究科 エネルギー理工学専攻  
エネルギー量子工学講座（協力講座）

## 応用核物理学グループ

柴田理尋(教授)、小島康明(准教授)  
博士前期課程 2 名、学部 2 名 (2023 年度の実績)

---

### 研究分野と研究方針

#### 【概要】

応用核物理学グループは、核エネルギーの源である不安定原子核が持つ多様性の解明と高品質な崩壊核データの測定を目的として研究活動を行っている。京大原子炉(KUR)、原子力研究開発機構(JAEA)タンデム加速器に附置したオンライン同位体分離装置(ISOL)で得られる短半減期の原子核の崩壊に伴う放射線を計測し、高精度の崩壊核データを決定する。特に、単一の検出器としては最高の検出効率を有する 4 つの Ge 結晶による全立体角型クローバー検出器を用いて、核分裂収率の極めて少ない質量数 150 程度の核に着目し、崩壊エネルギーの測定、 $\gamma$ 線測定、核異性体探索などを行っている。また、クローバー検出器と組み合わせる $\beta$ 線検出器を開発して、半減期が数秒で、崩壊 $\gamma$ 線が報告されていない核種の同定を目指して実験している。JAEA の ISOL では、アクチノイド核種を対象に、崩壊核分光および核分裂片測定の研究に取り組んでいる。大学では、Ge 検出器による近距離での測定、高バックグラウンド条件下での測定、体積試料に含まれる微弱な環境中の放射能測定に対して、GEANT、PHITS 等のモンテカルロ計算を併用して、検出効率の簡便な決定法や適切な解析法の開発に取り組んでいる。

#### 【キーワード】

崩壊核データ、不安定核、核分裂生成物、重元素、加速器、研究用原子炉、オンライン同位体分離装置(ISOL)、Ge 検出器、クローバー検出器、 $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線、内部転換電子、検出効率、モンテカルロシミュレーション、GEANT4、PHITS、核構造、核異性体、コインシデンスサムの補正、放射線防護、安全管理

#### 【主な研究と内容】

##### (A) 核分裂生成物の崩壊核データ測定

質量数 150 近傍の領域は、球形から回転楕円体へと変形する遷移領域であり、その崩壊データは、崩壊熱評価として重要であり、また、核構造上も興味深い領域である。核分裂収率が小さく、崩壊核データが調べられていない核種で、京大原子炉に附置したオンライン同位体分離装置（KUR-ISOL）で測定可能と思われる限界の核種について、その崩壊 $\gamma$ 線の同定を及び近傍の核種について崩壊エネルギーの測定を目指す。崩壊エネルギー、 $\gamma$ 線および内部転換電子の測定によって崩壊図式を作成し、遷移の多重極度、スピン・パリティなどを決定するとともに、核異性体の探索などを行っている。

##### (B) 重元素の崩壊核データ測定

アクチノイド元素の中には、長寿命核廃棄物として今後の処理・処分の課題となっているものや、重元素合成過程の中で重要な役割を果たしているものがある。それらを解明するには、信頼できる核反応や核構造の核データを取得することが必要であるが、この領域は線源作成が難しいため、ほとんど研究が進んでいない。重元素を対象として取り扱える JAEA のタンデム加速器施設で、Am や Bk、さらに原子番号の大きい Lr などを対象に、 $\alpha$ /EC 壊変核種の崩壊核分光や核分裂片の測定を行い核構造及び核分裂収率の測定に取り組む。

#### (C) モンテカルロシミュレーションを併用した検出器の検出効率決定法の研究

$\gamma$ 線と物質の相互作用の確率に基づくモンテカルロ計算を行い、より効率的な実験体系の考案、解析方法の妥当性の検証、適当な放射線源が存在しない場合の実験が不可能な領域の補完手法としてモンテカルロシミュレーション GEANT や PHITS を併用する方法に取り組む。

#### (D) 放射線測定技術の放射線安全取扱への適用

X 線装置を含み、放射線業務時の装置および管理区域の線量測定を通して、安全な取扱および管理方法を提案する。

## 2023 年度の研究・教育の概要

### 【核分裂生成物の崩壊核データ測定】

質量数 150 以上の半減期が短い中性子過剰核の崩壊核データは  $^{235}\text{U}$  の核分裂収率が小さいため詳しく調べられていない。KUR-ISOL は、目的とする核種を高強度で分離することができる数少ない装置である。2022 年度に、 $^{157}\text{Nd}$  の崩壊に伴う  $\gamma$ 線を、クローバー検出器の貫通孔にプラスチックシンチレータによる  $\beta$ 線検出器を設置し、ISOL ビームの捕集-測定の時間サイクルを 3 秒-3 秒に設定して測定した。昨年度、崩壊に伴うと考えられる  $\gamma$ 線を 1 本確認したので、詳細なスペクトルマルチスケール解析を継続して行った。折しも、我々の報告に先んじて  $^{252}\text{Cf}$  の自発核分裂を利用したかなり詳しい崩壊図式が発表されたが、そこで報告されている 3 本の  $\gamma$ 線を確認することができた。また、1 秒および 0.5 秒ごとのスペクトルについて、それぞれ、一番最後の 2-3 秒、あるいは、2.5-3 秒のスペクトルを差し引いた差分スペクトルを作り、KX 線領域を短半減期の崩壊を追った。その際、KX 線領域のエネルギー分解能を実験値から推定し、Pm と Sm の 2 成分の KX 線でフィッティングして、ピーク面積を決定した。その結果、娘核 Pm の KX 線がおおよそ 1 秒程度の半減期で減衰していることを確認した。 $^{157}\text{Nd}$  は KUR-ISOL で収率と半減期を考慮すると測定可能な極限領域に存在しており、崩壊  $\gamma$ 線を同定できたことは用いた測定系は検出効率の点で最高性能であることは実証できたが、最初の新同位元素発見には至らなかった。 $^{153}\text{Ce}$  についても予備的な実験を行ったが、実験装置のトラブルで十分な統計精度が得られなかった。

### 【微弱放射能 $^7\text{Be}$ の放射能強度決定にむけた井戸型 Ge 検出器用の宇宙線 veto カウンターによるバックグラウンドの低減】

昨年度、南極でガラス濾紙に補修した空气中エアロゾルに含まれる数 Bq 程度の  $^7\text{Be}$  ( $T_{1/2}=53.2\text{d}$ ,  $477\text{keV}$  の単一  $\gamma$ 線を放出する核種)の微弱放射能強度決定に用いた井戸型 Ge 検出器の測定下限値は、1 日測定で 0.05 Bq 程度であることが判った。井戸型 Ge 検出器は低バンクグラウンド仕様であるが、その結果として宇宙線によるバックグラウンド、特に高速中性子やそれに伴う高エネルギー  $\gamma$ 線および消滅  $\gamma$ 線が顕著に見える。検出器遮蔽の情報に、 $40\text{cm} \times 15\text{cm} \times 5\text{cm}$  厚さのプラスチック

クシンチレーション検出器を宇宙線 veto カウンターとして設置した。その結果、511keV 以下のエネルギー領域におけるバックグラウンドの計数率を約 20% 低減し、検出限界放射能強度も 20% 低減できることが判った。本シンチレーション検出器を 2 台並べて設置して、井戸型 Ge 検出器を見込む立体角が 2 倍にし、宇宙線の影響をより低減する予定である。

【本年度の研究成果発表の概要】

|    | 国内会議発表 | 国際会議発表 | 国際会議予稿 | 学術論文 |
|----|--------|--------|--------|------|
| 教員 | 0      | 0      | 0      | 0    |
| 学生 | 2      | 0      | 0      | 0    |

本年度の卒業論文・修士論文・博士論文のタイトル

【卒業論文】

- ・ 核分裂生成物の $\beta$ 崩壊に伴う X 線のピーク解析に関する研究
- ・ 微弱ガンマ線測定のための宇宙線 veto カウンターによるバックグラウンド低減法の試行

【修士論文】

- ・ オンライン同位体分離装置を用いた微量短半減期核分裂生成物の崩壊核データ研究 –  $^{157}\text{Nd}$  の崩壊 $\gamma$ 線の同定 –