

プログラム名： 核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化

PM名： 藤田 玲子

プロジェクト名： 核反応データ取得及び新核反応制御法

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成 28 年度

研究開発課題名：

クーロン分解法による核反応データの取得

研究開発機関名：

東京工業大学

研究開発責任者

中村 隆司

# I 当該年度における計画と成果

## 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

原子炉で生成される長寿命の核分裂生成物(LLFP)の反応率の中でも、光吸収反応断面積や中性子捕獲断面積の導出は重要である。しかし、LLFP に対するこうした断面積を直接測定することは LLFP が放射性物質であることから技術的に難しいため、代替方法の検討が必要である。そこで、本研究では、LLFP そのものを不安定核ビームとしたクーロン分解反応を用い、LLFP の光吸収断面積の導出を行う。さらに逆反応の中性子捕獲反応断面積の評価法の確立も目指している。前年度までに、理化学研究所の仁科加速器研究センターの世界的な不安定核拠点施設 RI ビームファクトリー(RIBF)において、LLFP( $^{107}\text{Pd}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{79}\text{Se}$ )を不安定核ビームとして生成し、RIBF の ZeroDegree Spectrometer および SAMURAI Spectrometer を使用してクーロン分解反応を測定した。そこで平成 28 年度は、これまでに測定した実験データの解析を進め、クーロン分解反応断面積の導出および光吸収断面積の導出を行うことを目標とした。また、データ解析が終了したものから投稿論文の執筆をする。

## 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

### 2-1 進捗状況

LLFP である  $^{79}\text{Se}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{107}\text{Pd}$  とその周辺核( $^{80}\text{Se}$ ,  $^{94}\text{Zr}$ ,  $^{108}\text{Pd}$ )を研究対象とし、光吸収反応( $\gamma, n$ ), ( $\gamma, xn$ )の断面積取得を目的として行ったクーロン分解反応実験のデータ解析を進めた。実験は平成 27 年度に、ZeroDegree Spectrometer (ZDS)を使用して反応後の励起状態を特定しないインクルーシブ測定と、SAMURAI Spectrometer を使用して反応後の励起状態を特定するエクスクルーシブ測定を行い、データ取得に成功している。ZDS で行った実験の解析はおおむね終了し最終結果をまとめる段階となっている。また SAMURAI Spectrometer で行った実験データについては解析を進めている状況である。

### 2-2 成果

#### ・ $^{93,94}\text{Zr}$ および $^{107,108}\text{Pd}$ のクーロン分解反応実験

$^{93,94}\text{Zr}$  および  $^{107,108}\text{Pd}$  のクーロン分解反応実験のデータ解析がほぼ終了した。鉛標的を使った分解反応にはクーロン力による寄与と核力による寄与が含まれる。クーロン分解反応断面積を導出するために、核力による寄与が主である炭素標的の断面積を用いて補正を行った。得られたクーロン分解反応断面積を評価するために、グローバルパラメータで計算できる光吸収断面積や先行研究による光吸収断面積との比較を行った。特に、先行研究がある  $^{94}\text{Zr}$  では、実験で得られたクーロン分解反応断面積の結果を説明するには、従来から重要と考えられてきた E1 励起（電気双極子励起）に加えて、E2 励起（電気四重極励起）の効果を考慮する必要があることが明らかになった。以上の結果を  $^{93,94}\text{Zr}$  についてまとめ、投稿論文の執筆を進めた。

#### ・ $^{79,80}\text{Se}$ および $^{93,94}\text{Zr}$ のクーロン分解反応実験

$^{79,80}\text{Se}$  および  $^{93,94}\text{Zr}$  を対象とし、クーロン分解反応断面積を微分値として導出することを目的とした実験を SAMURAI Spectrometer を用いて行った。この実験で得られる断面積は ZDS とは異なり、粒子の散乱角度や励起エネルギーに依存した断面積を導出することが可能である。この物理量を出すために

は、さまざまな検出器の校正を行い粒子識別や運動量ベクトルの導出をする必要がある。今年度は検出器の校正などの基本的な解析を進め、荷電粒子の粒子識別を行った。平成 27 年度に整備した荷電粒子検出用プラスチックホドスコープを用いた粒子識別により、原子番号  $Z=34$  が分離識別できることを確認した。平成 29 年度中にクーロン分解反応断面積を導出することを目的としている。

・クーロン分解反応断面積と光吸収断面積の評価

ZDS で得られたクーロン分解反応断面積を評価するため、プロジェクト 3 と共同研究を進め E1 および E2 励起の遷移強度を用いたクーロン分解反応断面積と比較を行った。遷移強度の計算方法や分布の形などにより断面積の積分値に差が現れるため、積分値だけでは光吸収断面積の評価は難しい。また低励起エネルギー領域のふるまいによる影響が無視できないことがわかった。この低エネルギー領域のふるまいは中性子捕獲反応断面積導出にも影響を与える。積分値で得た ZDS でのクーロン分解反応断面積では説明ができないが、SAMURAI Spectrometer で得られる微分断面積を解析することで、適切な光吸収断面積の分布を得られると期待できる。

### 2-3 新たな課題など

クーロン分解反応では主に E1 遷移と E2 遷移の寄与が考えられるが、ZDS で得られる断面積は積分値であるため、これらの状態を区別することができない。そのため最終的な光吸収断面積にはこれらの寄与の見積もりによる系統的な誤差が生じる。この誤差を小さくするためには、クーロン分解反応断面積を微分値で測定することが重要である。SAMURAI 実験で得られたデータは、クーロン分解反応断面積の粒子の散乱角度や励起エネルギーによる依存性を確認することが可能であるため、前述した E1 および E2 遷移による誤差の低減が期待できる。また、微分断面積は E1 と E2 の寄与を区別するだけでなく、光吸収断面積の形を得るための重要な物理量である。平成 29 年度は詳細な評価・議論ができるように精度向上を目指したデータ解析を行う予定である。

## 3. アウトリーチ活動報告

なし