

平成 27 年 3 月 31 日

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 PM

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 26 年度

研究開発課題名：

「中性子ノックアウト反応」

研究開発機関名：

理化学研究所

研究開発責任者

大津秀暁

## 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

本研究開発では、LLFP の中性子に対する断面積を導出するため、まずは、陽子および重陽子の断面積データを RIBF で供給可能な 100 MeV/u から 200 MeV/u の入射エネルギーで取得することを目標としている。当該年度は、LLFP のうち、 $^{107}\text{Pd}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{135}\text{Cs}$  とその周辺核について、ZD スペクトロメータを用いてデータ取得する準備および、年度をまたぐが実験を遂行することを目標とした。また、2015 年度後期に行う SAMURAI スペクトロメータを用いた実験の準備も並行して年度をまたいで行うことを目標とした。

この目標に基づき、ZD スペクトロメータを用いた実験については、関連する核破砕反応(責任者: 渡辺)とクーロン分解反応(責任者: 中村)を担当する研究チームを合わせ、かつ BigRIPS チーム(責任者: 吉田)も合わせた合同実験チームを編成した。相互の計画をまとめて実験体制を構築した。この編成は今後 SAMURAI を用いた実験へと継承されるため、非常に重要なプロセスであった。実験は 3 月末から 4 月上旬にかけて、12 日間のマシンタイムの割り当てを得て遂行された。2015 年度中、可能ならば前半中に結果をまとめて公表したい。

SAMURAI を用いた実験では、これまで対象にしていた中性子過剰原子核とは異なり、破砕反応の終状態に多くの陽子が放出されることが予想される。この陽子を中性子と同時に計測するのは、これまでの実験プログラムでは困難とされ、かつ中心的なプロセスではないことから、デバイスが準備されていなかった。本計画で新規にこのデバイスの開発と製作を行う。2014 年度には、このデバイスの架台も含めたトータルのデザインを行い、要素となるシンチレータと磁場中での応答性能のよい MPPC の組み合わせを調達し、製作を開始したところである。

### 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

当該年度の進捗としては、1. に示した目標および計画に対し、非常に順調に遂行されている。特に新しく研究に参画したポスドクのメンバーが実験準備および本実験に積極的に関わってくださり、実験遂行中も含めて高度化の方策を提案してくれている。2015 年秋に予定されている SAMURAI を使った実験は ZD のそれに比べてかなり込み入った測定を行う予定なので、積極性の備わった人的リソースは不可欠であり、その意味でもよい準備ができていると考えている。

12 日間のマシンタイムでは、本プログラムでは、 $^{107}\text{Pd}$ ,  $^{93}\text{Zr}$  の 100 MeV/u のデータ取得に成功した。 $^{93}\text{Zr}$  の 2 次ビームの設定では  $^{90}\text{Sr}$  の混ぜ込みを積極的に行い、この核種についても十分な統計のデータを得ている。今後プロジェクト 3 と連携し、精度の高い中性子入射の断面積に焼き直すプロセスを実行する。 $^{135}\text{Cs}$  については、入射エネルギーがそれほど高くないことから、電子が捕獲されている状態が支配的となり、それらが混じることから、スペクトロメータを用いた粒子識別が煩雑になることが分かった。今後の解析でデータとして十分な精度を確保できるよう、工夫した解析手段の導出が必要となる。

## 2-2 成果

中性子ノックアウト反応は、陽子および重陽子によるノックアウト反応の実測定を入力に、プロジェクト3のモデルを使って中性子による反応に焼き直す必要がある。本年度は実測定の準備および測定実験の遂行を目標としており、概ね目標を達したと言える。図1. は、2014年度3月から行われた実験において、重陽子を含むCD<sub>2</sub>標的に<sup>107</sup>Pdを照射した際の、2次ビーム分離および標的により生成されるノックアウト残留核の粒子識別を示したものである。左図で、2次ビームが飛行時間、磁場による偏向および検出器内のエネルギー損失の情報から、イベント毎に粒子識別されていることがわかる。ここから<sup>107</sup>Pdを選び出し、その母集団において、反応から生じる残留核を同定する。この計数から断面積の導出を行う。解析は現在進行中で、暫定報告はなされているが詳細な解析の後、2015年度前半には報告される予定である。

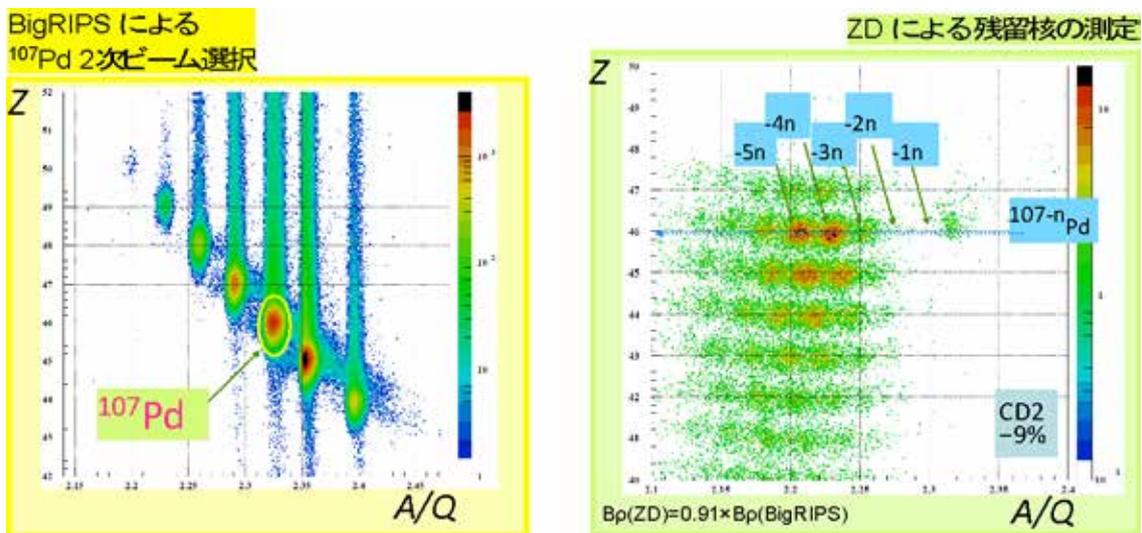


図1. (左)BigRIPS 2次ビーム生成分離装置による<sup>107</sup>Pdの選択。同中性子体である他の同位体が含まれているが、イベント毎にタグしているため、反応に資されたビームが何であったかは同定できる。(右)ZDスペクトロメータによる標的(この場合はCD<sub>2</sub>標的)で反応した残留核の同定。ZDスペクトロメータはこの場合は-9%設定されており、中性子ノックアウト反応による残留核が十分分離されて観測されている。

## 2-3 新たな課題など

予想されていた範囲ではあるが、<sup>135</sup>Csの測定では、電子が1、ないしは2個ついた状態が含まれるため、磁気スペクトロメータだけの測定は、エネルギーが下がるにつれ困難になることが分かった。100 MeV/uでの測定では、フルストリップ、1価、2価のそれぞれの比は約3:5:2であった。より低いエネルギーを目指すためには、これらを克服できる検出器デバイスが必要となる。

## 3. アウトリーチ活動報告

2014年度においては、アウトリーチ活動はありません。