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：

中性子ノックアウト反応

研究開発機関名：

国立研究開発法人理化学研究所

研究開発責任者
大津秀暁

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

1) 原子核反応を用いた核変換反応として、中性子ノックアウト反応の系統的データ取得を行う。具体的には理研・RI ビームファクトリー（RIBF）に於いて、長寿命核分裂生成物の RI ビームと陽子標的との(p,xn),(p,pxn) 中性子放出反応をはじめ、重陽子標的との中性子放出反応を、逆運動学の手法をもちいて断面積測定する。昨年度取得した 100 MeV/u 領域に引き続き、直接反応過程と複合核反応過程の両方が主たる役割を果たす 50 MeV/u 領域のデータ取得を行う。測定は、RIBF の基幹実験装置であるインフライトセパレータ BigRIPS で RI ビームを生成選択し、標的との反応生成物を ZeroDegree スペクトロメータをもちいて粒子識別する。
2) これらの測定は、中性子破砕反応のグループと協調して、同じセットアップで取得できるように実験セットアップを構築する。取得したデータは共有する。
3) 測定データを(n,2n) 反応に焼きなおすために、PJ3 グループと協調し、(n,2n) 反応を合理的に記述する手法を測定されたエネルギー領域について開発する。
4) 上記目標のために、長寿命核分裂生成物の RI ビーム（^{79}Se, ^{107}Pd, ^{135,137}Cs, ^{93}Zr, 可能なら ^{90}Sr）と陽子及び重陽子標的との中性子放出反応を 50 MeV/u の領域で行い、既存の理論モデルでその解析を行う。

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

H28 年度は、50 MeV/u およびそれ以下のエネルギーでの測定のために、装置開発を行った。また後期のマシンタイムを使って、LLFP を用いた逆運動学での断面積測定の実験を行った。

既存の RIBF の検出器群では、50 MeV/u を下回る反応生成核種を効率良く粒子識別することができなかった。そこで粒子通過によるエネルギー損失に加えて、全エネルギーを不感領域なく取得するためのイオンチェンバーの設計を行い、作成およびそのテストを行った。このイオンチェンバーは H28 年後期のマシンタイムに実際に使用された。

50 MeV/u での重イオンの測定では、標的としてポリエチレン(CH_2)や重水素化ポリエチレン(CD_2)を用いると、そこに含まれる炭素の成分を引き算する必要があり、著しく低い S/N 比での測定を余儀なくされる。このため、H27 後期の測定では液体水素および液体重水素標的を用いたが、50 MeV/u においては、標的厚さの非一様性がネックになり、液体標的を用いることができないことがわかった。このため、50 MeV/u の測定のために、高圧かつ低温のガス標的をあらたに整備して、これを用いた。

後期のマシンタイムとしては、対象 LLFP のうち、^{107}Pd, ^{93}Zr を二次ビームとして供

給した。二次ビームのエネルギーは核子当たり50 MeV であった。これに加えて、前年度までには取り残していた^{126}Snの100 MeV/u および 200 MeV/u の二次ビームも供給した。反応標的としては、高圧低温気体標的H2/D2 およびバックグラウンド評価のための空セルをもちいた。前方に放出される残留核をZeroDegree スペクトロメータと、最終焦点面F11 に配置したイオンチェンバーで分析し、粒子識別した。それぞれの残留核の計数から、H/D について反応断面積を得た。

50 MeV/u のデータの解析はすすめられており、次年度にはPJ3 のメンバーに供給し、PHITSを始め核反応を記述するフレームワークに対して修正をはかる作業に資される予定である。

2-2 成果

H27 年度前期に取得したLLFP 核種の一つである^{107}Pd の100,200 MeV/u 陽子および重陽子に対する反応断面積の解析を完了し、原著論文としてまとめ、誌上発表をおこなった。これらのデータはPJ3 に提供され、PHITS の拡張仕様としてデータを直接参照するモードを実装するに至った。

LLFP 核種のうち107Pd と93Zr については、あらたに50 MeV/u のデータ取得が完了した。現在解析が進められている。

2-3 新たな課題など

^{107}Pd の100,200 MeV/u 陽子および重陽子に対する反応断面積の結果を参照すると、単純に100-200 MeV/u のビームを照射しただけでは、長寿命核種がある程度の量再生産されてしまうことがわかった。これらはPJ4,5 のプロセス検討においては重要な知見となった。H28 年度に取得した50 MeV/u のデータ解析が進み、再生産される超寿命核種の分量のエネルギー依存性が得られることが早急に望まれる。

これらを踏まえ、より低いエネルギーである25 MeV/u のデータ取得も必要と考えられる。幸いにもOEDO ビームラインがH29 年度に完成するので、良質なビームを供給されることが期待される。このビームラインを用いて25 MeV/u のデータ取得を行うことを新たにH29 年度の課題とした。これに伴って、50 MeV/u での測定に用いたイオンチェンバーを低圧動作等させられるように拡張する必要がある。

３．アウトリーチ活動報告

^{107}Pd の論文発表に伴い、プレスリリースを行った。その際に記者に対してレクを行った。