

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 29 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

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。昨年度までに、200, 100, 50 MeV/u のデータ取得が完了した。本年度は、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 領域のデータ解析と、これまで取得した 200,100 MeV/u の断面積データとの統合的な理解をはかるための物理モデルの構築を行う。また、OEDO 装置完成にともない、より低いエネルギーでのデータ取得が可能となったが、基幹検出器の一つである全エネルギー測定用イオンチェンバーを供与し、低圧動作させることにより低エネルギー入射による断面積測定を可能にする。これらについて技術協力を行う。

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

H29 年度は、前年度に取得した 50 MeV/u 入射の 107Pd のデータ解析を進めた。50 MeV/u でのデータ取得に引き続き、OEDO を用いた 20/30 MeV/u でのデータ取得を行った。前期のマシントイムでは OEDO ビームラインのコミッショニングと残留核を取得するスペクトロメータの整備が行われた。50 MeV/u でのデータ取得に用いられた全エネルギー取得型イオンチェンバー(図 1.)が ZeroDegree スペクトロメータから移設され、動作チェックがなされた。後期のマシントイムでは実際に装置が稼働し、107Pd については 20/30 MeV/u のデータが取得された。このデータセットは CNS グループ、九州大グループと協力して解析がすすめられている。

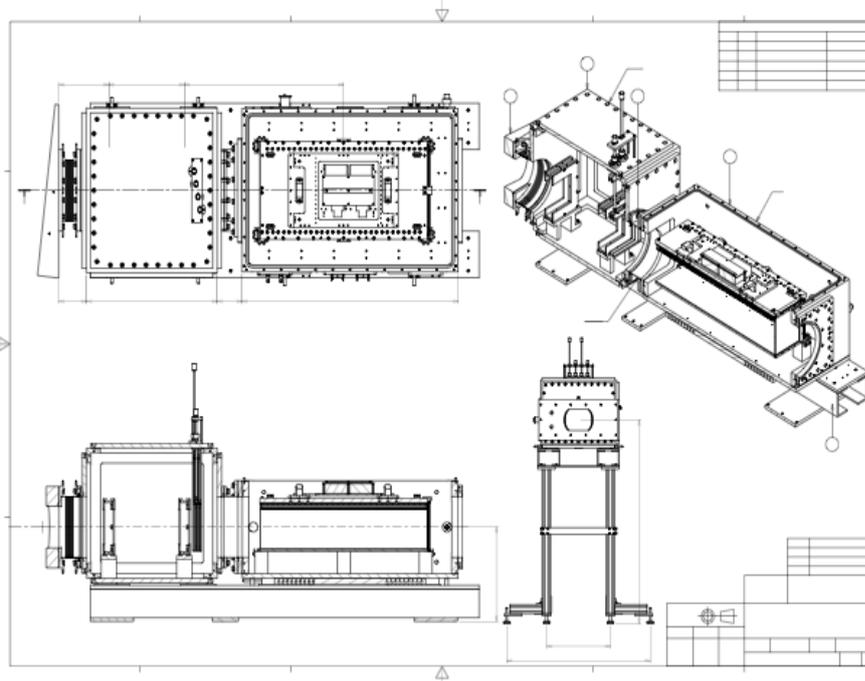


図 1.

H28 年度に作成したイオンチェンバーを、OEDO の標的の下流スペクトロメータ焦点面に配置。

反応生成物は重イオンでエネルギーが低いいため、イオンチェンバー内で止めて、エネルギー損失(ΔE)と全エネルギー(E)を

イオンチェンバー単体で取得できるように最適化した。

前年度までに取得したデータのうち、特に ^{136}Xe の 168 MeV/u のデータセットに関して、 p, d, C の反応断面積の解析も進めた。これらは、GSI で取得されている、 $500, 1000\text{ MeV/u}$ のデータと比較し、エネルギー依存性について議論した。

2-2 成果

この 50 MeV/u エネルギー領域では、反応の入り口である直接反応過程が $100, 200\text{ MeV/u}$ に比べて複雑で、特に陽子が一旦標的核に吸収されたのち、複合核から中性子放出する過程が顕著となる。実際に陽子入射のデータでは、 ^{107}Pd ($Z=46$) から Ag ($Z=47$) 同位体になる断面積が 100 mb 以上あり、 $100, 200\text{ MeV/u}$ の反応断面積と顕著に異なっていることがわかった。(図 2.)

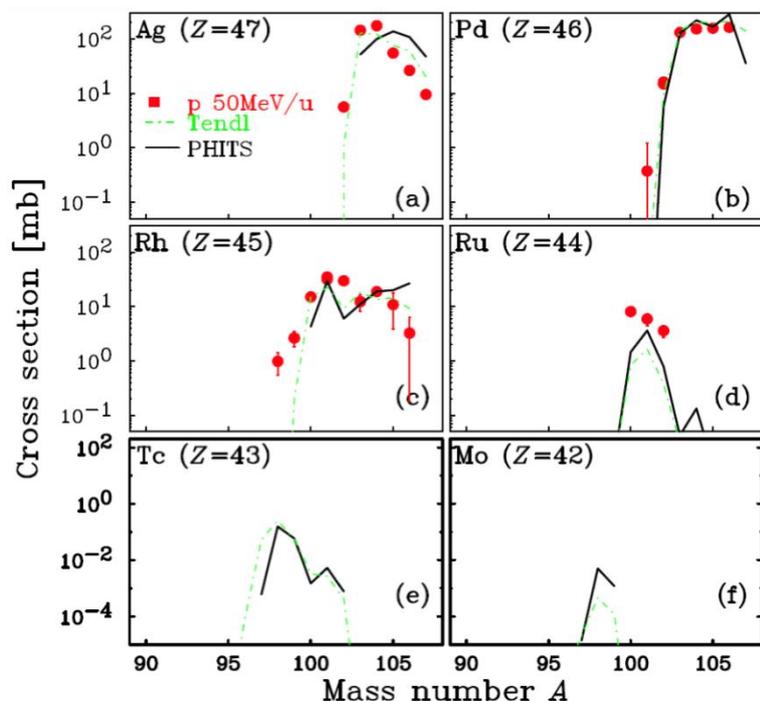


図 2.
 $^{107}\text{Pd}+p$ の 50 MeV/u 入射での断面積。中性子ノックアウト反応に相当する Pd 同位体の断面積の同位体分布は 100 MeV/u に比べて狭くはなっているが、大きな変化はない。一方、1 陽子を吸収する Ag 同位体への断面積が顕著に大きくなることがわかった。陽子がノックアウトされる $Z=45, 44$ への断面積はかなり小さくなっていることもわかった。

これらは、反応の入り口で陽子を吸収するチャンネルがより高いエネルギーに比べて支配的になることを示唆している。重陽子入射のデータにも同様の傾向が見られる。これらについては理論モデルとの比較を行っている。ただ、重陽子入射については分解過程をうまく取り入れ、かつ引きつづき起こる蒸発過程 (GEM もしくは CCONE コード) へ繋げる枠組みが、本年度は見つかっておらず、重陽子入射データの物理解析とモデルとの比較は、Tendl コードとの比較を行う程度にしか進まなかった。

50 MeV/u 入射の ^{107}Pd のデータに関して、国際会議で発表を行った。 ^{136}Xe のデータに関しても、国内会議で発表を行った。

2-3 新たな課題など

50 MeV/u エネルギー領域では、反応の入り口で陽子を吸収するチャンネルがより高いエネルギーに比べて支配的になることが示唆されていることと、同様に重陽子入射の

データにも同様の傾向が見られたが、これらについては理論モデルとの比較に関しては、重陽子入射については分解過程をうまく取り入れることが重要と考えられる。この課題について、次年度は JAEA の中山氏が開発された DEURACS コードは核子入射反応の蒸発過程をよく取り扱っている CCONE コードと基本的には同じ取り扱いをするので、そのコードを用いた物理解釈を進める。

また、RIBF で行ってきた逆運動学にもとづく解析手法を一般化、および効率化し、後続の研究者が使えるフレームワークを構築することが重要である。

3. アウトリーチ活動報告

本年度は特にありません。