

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：核反応モデルとシミュレーション

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 9 年 度

研究開発課題名：

長寿命核分裂生成物の標準的反応評価データベースの構築

研究開発機関名：

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

研究開発責任者

岩本 修

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

(課題1：LLFP核反応モデル計算コードの開発)

核反応断面積に大きな影響を与える準位密度について、微視的理論を利用して精度向上に取り組む。また、得られた成果を核反応モデル計算コード CCONE に導入する。

(課題2：LLFP等の核反応データ評価)

平成28年度までに得られた核構造の基礎的データを用いて、LLFP4核種 (^{79}Se , ^{93}Zr , ^{107}Pd , ^{135}Cs) 及び周辺の二次生成核種に対する陽子・中性子入射の核データ評価を、それぞれ入射エネルギー200 MeVまで実施する。評価ではプロジェクト2において取得された測定データを考慮する。さらにプロジェクト2の九州大学グループと協力し、重陽子入射反応の核データ評価を実施する。

(課題3：PHITS、核変換システム評価用データベース作成)

上記課題2で得られたLLFPおよび二次生成核種の核データ評価結果を ENDF フォーマットにまとめる。さらに粒子・原子核輸送シミュレーションコード PHITS で利用可能な形式 (ACE フォーマット) への変換したデータベースを作成する。

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

(課題1) 微視的核構造理論により予測される原子核変形等の効果を、従来の現象論的準位密度モデルに導入した。得られた準位密度モデルを核反応モデルコード CCONE に導入した。

(課題2) プロジェクト2で取得された測定データに基づいて、高エネルギー核反応の予測計算に必要な前平衡モデルパラメータの最適化を行った。平成28年度までに得られた核構造の基礎的データ及び課題1の成果を組み合わせることにより、数 MeV から約 200 MeV までの範囲において良好に核反応断面積を予測できる枠組みを構築し、200 MeV までの LLFP4核種 (^{79}Se , ^{93}Zr , ^{107}Pd , ^{135}Cs) 及び周辺の二次生成核種に対する陽子・中性子入射の核データ評価を実施した。さらに、プロジェクト2の九大グループが取得した測定データを評価に加えることで、重陽子入射反応の核データ評価を実施した。

(課題3) 課題2で得られた成果を用いて、中性子および陽子入射反応に対して ENDF フォーマット形式にまとめた核データライブラリ「ImPACT/LLFP-2018」を完成させた。また、本核データライブラリを、PHITS コードにおいて利用可能な ACE 形式に変換したデータベースを作成した。

2-2 成果

【課題 1】 球形状と変形状の内部状態密度を異なる準位密度パラメータを持ったフェルミガス模型で記述し、それらを微視的な核構造計算から得られる原子核変形の情報に基づいて遷移させる新モデル“Transitional 準位密度モデル”を構築した。さらに、Transitional 準位密度モデルを核反応計算コード CCONE に導入し、安定核に対する実験データとの比較により核反応断面積の計算精度について調査した。結果の一例を図 1 に示す。変形の効果を顕わに取り扱わない従来の effective モデルを用いた計算と比較して、変形核標的に対する (n,2n) 反応断面積などの計算精度が系統的に改善することが分かった。

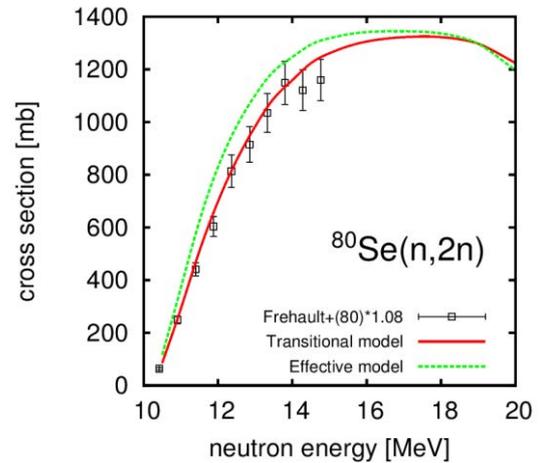


図 1 $^{80}\text{Se}(n,2n)$ 反応断面積に対する計算結果と測定値の比較

【課題 2】 核反応計算コード CCONE を用いて $^{93}\text{Zr}, ^{107}\text{Pd}(p,x)$ 反応の核種生成断面積を計算し、プロジェクト 2 で得られた実験データとの比較を行うことにより、CCONE で用いる前平衡モデルパラメータの最適化を行った。最適化後の計算例を図 2 に赤線で示す。前平衡モデルにおける有効行列要素の漸近パラメータを調節することで、デフォルト (default、緑線) のパラメータでは計算精度の悪かった 196MeV 陽子入射による核種生成断面積の実験データへの再現性を大きく改善することに成功した。また、従来の評価済み核データである TENDL-2017 (青線) と比較しても、本研究結果の優位性が明らかであることが分かる。この成果を用いて、LLFP4 核種及び周辺の二次生成核種の評価を実施した。

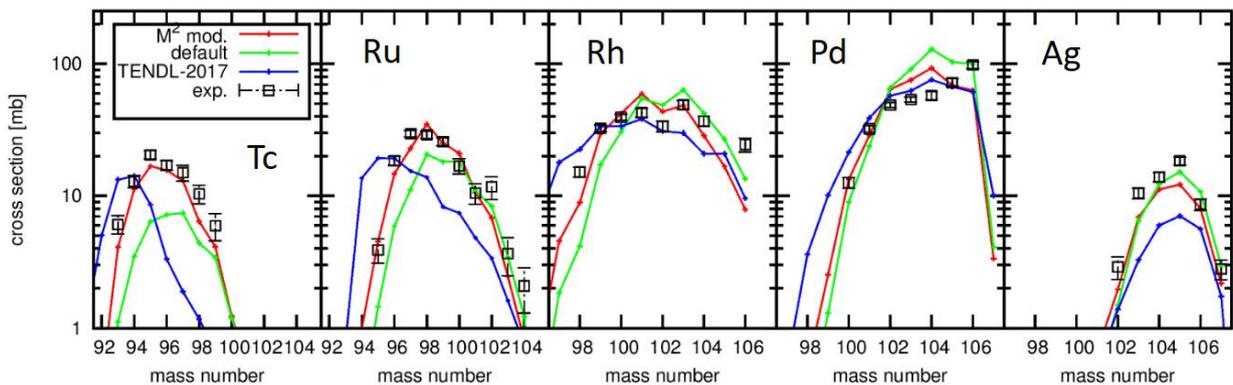


図 2 ^{107}Pd に対する 196 MeV 陽子入射の核種生成断面積 (本結果は M^2 mod)

さらに、プロジェクト2において得られた200MeV重陽子によるLi(d,xn)反応の測定データを利用し、重陽子用核反応計算コード DEURACS を用いて Li(d,xn)反応の核データ評価を実施した。図3に示す通り、DEURACS 内のパラメータを調整することで、入射エネルギー200MeV までのLi(d,xn)反応を精度良く予測することが可能となった。また、DEURACS による核データの評価結果をPHITS用のデータ形式(Frag data形式)にまとめた。作成したデータはPHITSを用いた巨視的シミュレーションにより検証を行い、十分な精度で計算可能であることを確認した。

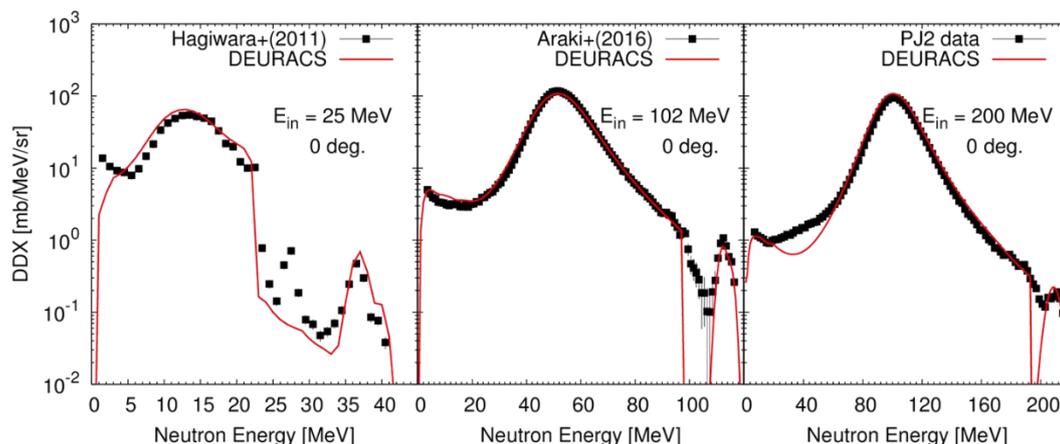


図3 Li(d,xn)反応の二重微分断面積 (左から入射エネルギー25, 102, 200 MeV)

【課題3】課題2で得られた成果を用いて、核変換対象LLFP4核種および周辺核(全160核種)に対する中性子・陽子入射の核データライブラリ「ImPACT/LLFP-2018」を開発した。ライブラリの仕様を図4に示す。なお、20 MeV以下の中性子入射エネルギーに対しては我が国の汎用核データライブラリであるJENDL-4.0を採用した。ただし、JENDL-4.0にはデータが格納されていない数十種類の不安定核種に対しては、本研究で新たに評価した。これらの成果は、核データライブラリの標準的なフォーマットであるENDF形式で格納したデータファイルにまとめた。また、このファイルをPHITSコードにおいて利用可能なACE形式のデータベースを作成した。さらに、薄い標的に対する照射シミュレーション結果と核データライブラリに格納されている断面積の値を比較することにより、PHITSコードにおいて断面積データが正しく使用されていることを確認した。

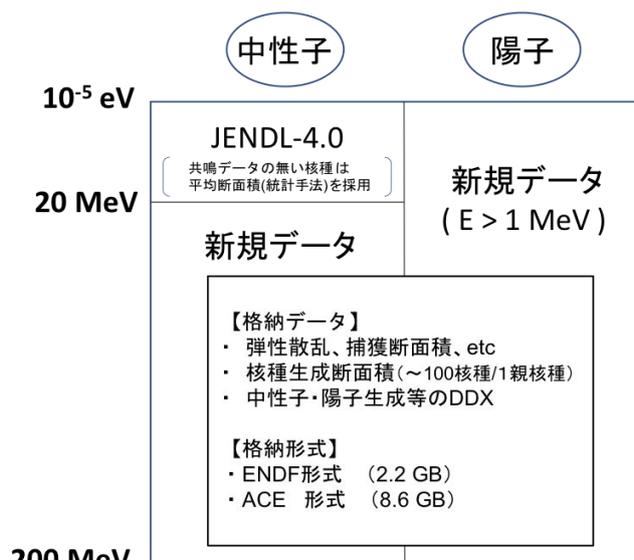


図4 ImPACT/LLFP-2018の仕様

2-3 新たな課題など

特になし。

3. アウトリーチ活動報告

特になし。