

平成 21 年 5 月 26 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19560846

研究課題名 (和文) 中性子、陽子及び光子入射中高エネルギー核分裂断面積に関する系統性の研究

研究課題名 (英文) Study of Systematic Behavior for Neutron-, Proton- and Photon-induced Fission Cross Sections at Intermediate Energy Region

研究代表者

深堀 智生 (FUKAHORI TOKIO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力基礎工学研究部門・研究主席

研究者番号：50354783

研究代表者の専門分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：炉物理・核データ、解析・評価、核分裂、断面積、中高エネルギー、中性子、陽子、光子、系統式

1. 研究計画の概要

中高エネルギー領域における核分裂断面積は、加速器駆動型未臨界炉システム (ADS) を用いた核燃料廃棄物核変換処理の研究・開発に重要な物理量である。しかし、多くの核物理モデルでの予測精度にはまだ問題が多い。中高エネルギー領域における核分裂断面積測定には、陽子入射核分裂反応については、質量数領域の広い範囲にわたる多くの実験データが存在する。実験データ間のばらつきの大きな核種が存在するが、大部分の核種については、概して同様の傾向を持つと言える。一方、中性子入射核分裂反応の実験データは陽子に比べて非常に少ない。近年、ADS への応用を視野に入れて、米国のロスアラモス国立研究所 (LANL) やロシアのペテルスブルグ核物理研究所 (PNPI) において、中高エネルギー中性子による核分裂断面積の測定が行われている。また、U-235,238 に対する光子入射核分裂断面積は保障措置との関連で比較的豊富であるが、他の測定は殆ど見当たらない。これは、光吸収断面積が、巨大共鳴領域においても核子入射の場合と比べて 1-2 桁小さいことにより、光子入射核分裂断面積が小さいことに起因すると思われる。さらに、中高エネルギー領域では、アクチニド核種以外でも、鉛やビスマス等に核分裂断面積の実験データが存在する。

これら実験データを俯瞰すると、中高エネルギー領域においては、核分裂断面積比 (全反応断面積と核分裂断面積の比) の励起エネルギー依存性の比較から次のような傾向を読み取ることができる。

- 広い質量領域で核分裂断面積比の励起エネルギー依存性が類似している。
- 励起エネルギーが大きくなると核分裂断面積比が一定になる傾向があり、質量数の大きなものほど一定領域の値が大きい。
- しきいエネルギーのようなものが見られ、これは質量数の大きいものほど低い傾向がある。

これらから、核分裂断面積比と励起エネルギーという標識を設定すると、同様の傾向が中性子、陽子や光子入射に共通して見ることができる。

本研究では、中高エネルギー領域における中性子、陽子及び光子入射核分裂断面積の全反応断面積に対する比を最初の複合核の励起エネルギーの関数として表す系統式を提案する。この系統式により、20 MeV から 1 GeV 程度までの中高エネルギー領域において、中性子、陽子及び光子入射核分裂断面積を統一的に 10-20% 程度の予測精度で記述することを目的としている。このため、大まかに次の手順で本研究を進める。

- a 実験データの調査、データベース作成
- b 系統式の開発
- c 系統式に基づくプログラム開発
- d 実験データに基づく③のプログラムの比較・検証
- e シミュレーションコードへの系統式の組み込み
- f e によるシミュレーション結果の検証 (他の方法との比較を含む)
- g 成果発表

2. 研究の進捗状況

「1. 研究計画の概要」における手順 a (以下同様に表記) に関して、実験データは主に文献及び国際的な実験データベース (EXFOR) より収集した。中性子入射核分裂断面積は、しばしば ^{235}U の核分裂断面積との相対測定であり、これを絶対値に変換するために、研究代表者が評価した ^{235}U 核分裂断面積を使用した。本研究における系統式を作成するために、収集した断面積データを最初の複合核の励起エネルギーに対する核分裂断面積比の形に変換し、データベース化した。核分裂断面積比を求めるためには、中高エネルギー領域での全反応断面積の値が系統的に必要となる。中性子及び陽子入射全反応断面積計算に関しては研究代表者等が以前に開発した系統式を、光吸収断面積に関しては JENDL 光核反応データファイルの値を使用した。実験データの収集を補完するため、中高エネルギー核分裂断面積測定を精力的に行っている LANL 等を訪問し、最新の実験データを入手するとともに、測定方法及び論文では得られない実験データに及ぼす系統的な誤差要因に関して調査した。

手順 b、c 及び d に関しては、上述のデータベースを基に、個別の核種に対するフィッティングを行った。フィッティングで得られたパラメータの核種依存性を考慮し、 Z^2/A 及び $(N-Z)/A$ (Z は当該複合核の原子番号 (= 陽子数)、 N は中性子数、 A は質量数 (= $Z+N$)) をパラメータに系統式及びコード (FISCAL) を開発した。FISCAL コードを用いて中高エネルギー核分裂断面積実験データの相対値及び絶対値との比較を行うことにより、系統式及びプログラムの検証を行った。計算結果は、良好な再現性を示した。

手順 e 及び f に関しては、粒子輸送シミュレーションコード PHITS の中性子放出チャンネルと核分裂チャンネルの遷移割合計算部分に、本研究で得られた核分裂断面積比を導入し、これによる結果と従来計算との比較を行い、輸送計算結果の検証することを検討した。手順 g については、原子力学会及び国際会議等の機会を捉えて、国内外の研究者と議論するとともに、情報収集を行った。

3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由)

上記手順 a-g の内、手順 a-e はほぼ終了しており、手順 g は適宜実施している。手順 f についてのみ、シミュレーション結果の検証に関して、現時点では、実験データの少ないマイナーアクチノイド (MA) 核種に起因するような本格的なベンチマーク問題が存在しないため詳細な検討がまだ完了していな

い。ウラン等の主要アクチノイドにかかわる計算結果については、従来の結果と比較して系統式の予測精度に問題はなさそうであるが、主目的である中高エネルギー領域での実験データの少ない MA 核種の核分裂断面積一般に関しては、引き続き検討が必要であると思われる。

4. 今後の研究の推進方策

核データや積分実験を行っている研究機関が一堂に会する米断面積評価ワーキンググループ (CSEWG) や核データ国際会議 (ND2010) 等への参加の結果、本研究で行った系統式及びシミュレーション計算に関して、公開されていないデータに関する適応性等を若干であるが調査できた。すなわち、MA 核種 (^{237}Np 等) に関する新しい実験データが CERN 等で測定されていることがわかった。これらの調査結果を生かして、本研究における系統式の予測精度の検証ができれば、実験データの少ない核種、特に MA 核種の核分裂断面積を与えることができる。これにより、核分裂断面積の直接計算のみならず、これを実験データのように利用することで核物理理論による核分裂モデルの構築に貢献できる。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 深堀智生、「中高エネルギー領域における中性子、陽子、光子入射核分裂反応断面積の統一的記述 (1) 概要及び実験データの現状」、日本原子力学会 2008 年春の年会、2008 年 3 月 28 日、大阪大学
- ② 国枝賢、深堀智生、「中高エネルギー領域における中性子、陽子、光子入射核分裂反応断面積の統一的記述 (2) 系統性の調査」、日本原子力学会 2009 年秋の大会、2009 年 9 月 16 日、東北大学

[その他]

国際会議発表 (計 1 件)

- ① T. Fukahori and S. Kunieda, "Unified Description of Fission Probability for the Intermediate-energy Nuclear Data Evaluation," Int. Conf. on Nucl. Data for Sci. and Technol. (ND2010), Apr. 26-30, 2010, Jeju Island, Korea