

2014年日本原子力学会秋の大会

核データ部会, 「シグマ」特別専門委員会合同セッション
「核データ分野における大型研究開発プロジェクトの現状と展望」

(2) マイナーアクチニドの中性子核データ精度向上に係る 研究開発

日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究センター
核工学・炉工学ユニット
原田 秀郎
harada.hideo@jaea.go.jp

1. はじめに

マイナーアクチニド (MA) を中心とする放射性廃棄物にかかわる環境負荷低減技術の基盤データとして、放射性核種の核データの精度向上が求められている。経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) 原子力科学委員会 (NSC) の核データ評価国際協力ワーキングパーティ (WPEC) に設置されたサブワーキンググループ SG26 「最新共分散データ評価による革新的原子力システムのための核データ現状精度、及び要求精度」では、環境負荷低減や安全性・経済性向上等の実現を目指す革新的原子力システム設計に必要な核データの精度と現状の精度評価を実施し、2008年にNEA レポート No.6410 として公開した[1]。本レポートでは、核種、核反応、エネルギー領域毎に必要な精度と現状の精度評価を纏めているが、MA 核種の中性子捕獲断面積に限って眺めると、**現状の核データ精度は、必要とされる精度に比較し、2~5 倍悪い**ことがわかる。

このような核データ精度向上のニーズを受けて、放射性核種の核データ精度を向上させるために、核破砕反応による大強度パルス中性子源を適用した核データ測定研究が世界的に展開されている。欧州では、欧州原子核研究機構 (CERN) において中性子飛行時間測定 (TOF) 法を適用した核データ測定プロジェクト (n_TOF プロジェクトと呼ばれる) が進捗しており、最近では Am-243 の中性子捕獲断面積の測定結果を報告している[2]。米国においても、ロスアラモス国立研究所において核破砕反応による大強度パルス中性子源を用い、TOF 法を適用した核データ測定研究が実施され、2008年には Np-237[3]及び Am-241[4]の中性子捕獲断面積が論文発表されている。

我が国においても、大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の物質・生命科学実験施設 (MLF) において、中性子核反応測定装置 ANNRI が開発・設置され[5]、TOF 法を適用した核データ測定研究が開始されている。ANNRI を用いた研究成果として、2012 年には、地下核実験の他には測定例がない、高い比放射能を有する Cm-244 の中性子捕獲断面積の測定結果 [6]や、Np-237 の中性子捕獲断面積の測定結果[7]が論文発表されるとともに、ND2013 では、Am-241 の中性子捕獲断面積も報告された[8]。

大強度パルス中性子源の利用により、比放射能の高いサンプルの測定が可能になるとともに、系統的な誤差要因の 1 つである中性子のサンプル中での自己吸収及び多重散乱効果の補正精度が極めて高くなるという測定上の進展があった[8]。この結果、TOF 法で測定した中性子捕獲断面積のエネルギー依存性は、高い測定精度が実現されつつある。一方、中性子捕獲断面積の絶対値については、サンプル量の絶対値誤差が大きいため、評価値の熱中性子捕獲断面積に規格化すること等が行われており、依然大きな不確実性が残っている。核データの精度向上を達成するためには、高精度の規格化（絶対値の高精度決定）及び積分実験による検証が重要であることが、ND2013 会議での専門家間での議論や OECD/NEA/WPEC に設置されたサブワーキンググループ SG31「核データ高精度化の要求に答えるための検討」でも指摘された[9]。

この最新技術知見を反映した研究提案「マイナーアクチニドの中性子核データ精度向上に係わる研究開発」が、平成 25 年度（2013 年度）の原子力システム研究開発事業に採択され、平成 25 年 10 月より研究活動を開始した。本研究は、最先端核データ測定装置と位置付けられる ANNRI を活用するとともに、核データ測定・炉物理・放射化学・核データ評価の 4 分野の研究者が相互に協力することにより、従来測定が困難であるため測定誤差が大きい放射性核種 (Np-237, Am-241, 243, Tc-99, I-129) に対して、各種核変換システムによる環境負荷低減効果の定量的評価とその設計に重要な中性子核データの高精度化を目指すものである。なお、本研究プロジェクトの愛称は、課題名の英訳“Research and development for Accuracy Improvement of neutron nuclear data on Minor ACTinides”の頭文字から AIMAC プロジェクトという。プロジェクトメンバーは、以下の通りである。

(原子力機構) 原田 秀郎、岩本 修、岩本 信之、木村 敦、寺田 和司、
中尾 太郎、中村 詔司、水山一仁
(東工大) 井頭 政之、片渕 竜也
(京大) 堀 順一、佐野 忠史、高橋 佳之、高宮 幸一、卞 哲浩、福谷 哲、
藤井 俊行、八木 貴宏、八島 浩

(敬称略)

2. AIMAC プロジェクトの全体研究計画

本研究開発の実施予定期間は、平成 25 年 10 月から平成 29 年 3 月までの 3 年半であり、次の 5 つの研究項目、①熱中性子捕獲断面積の高精度化、②TOF 測定に用いるサンプル量の高精度決定のための技術開発、③全中性子断面積測定を組み合わせた共鳴パラメータの決定、④測定エネルギー範囲の高速中性子領域への拡張、並びに、⑤測定と評価のキャッチボールによる高品質評価を実施する。これらの研究により、高精度の規格化（絶対値の高精度決定）及び積分実験による検証を実現し、核データの精度向上に反映することを目指している。

本プロジェクト研究では、目的とする物理量を測定するにあたり、可能な限り複数の独立した測定手法を適用し、相互比較を行う計画となっている。この取り組みにより、従来見落とされてきた誤差要因を同定するとともに、従来誤差を超えて差異のあったデータ間の謎を可能な限り解明したいと考えている。

研究の背景と概要は、日本原子力学会 2014 年秋の大会の核データ部会・シグマ特別専門委員会合同セッションで発表した予稿集 (JS01) を、各研究項目の計画と進捗は、同大会においてシリーズ発表した以下 11 件の予稿集 (N35~N45) を参照頂ければ幸いである。

マイナーアクチニドの中性子核データ精度向上に係る研究開発；

- (1) AIMAC プロジェクトの全体計画、(JAEA) 原田秀郎、他
- (2) 熱中性子捕獲断面積の高精度化 (放射化法)、(JAEA) 中村詔司、他
- (3) 熱中性子捕獲断面積の高精度化 (可変中性子場)、(京大) 堀 順一、他
- (4) TOF 測定に用いるサンプル量の高精度決定のための技術開発 I_{γ} 、
(JAEA) 寺田和司、他
- (5) TOF 測定に用いるサンプル量の高精度決定のための技術開発 カロリーメータ、
(JAEA) 中尾太郎、他
- (6) TOF 測定に用いるサンプル量の高精度決定のための技術開発質量分析、
(京大) 藤井俊行、他
- (7) J-PARC/MLF/ANNRI における高精度共鳴パラメータの導出、(JAEA) 木村 敦、他
- (8) 全中性子断面積測定と組み合わせた共鳴パラメータの決定 (京大炉ライナック)、
(京大) 高橋佳之、他
- (9) J-PARC/MLF/ANNRI における中性子捕獲断面積測定の高速中性子領域への拡張、
(東工大) 片渕竜也、他
- (10) 測定と評価のキャッチボールによる高品質評価、(JAEA) 岩本 修、他
- (11) keV 領域における ^{99}Tc と ^{129}I の捕獲断面積共分散評価、(JAEA) 岩本信之

3. おわりに

本研究開発の成果によって、環境負荷低減を目指す原子力システムによる環境負荷低減効果を高精度で評価可能にするとともに、当該原子力システムの成立性や安全設計に資することが期待できる。また、開発される高精度核データ測定技術及び本研究開発を通じて得られる核データ高精度化のノウハウは、広く核データの高精度化に適用できるものであり、保障措置技術や宇宙の起源を探るための核データの高精度化ニーズ等への波及効果も期待できる。さらに、当プロジェクトでは、ポスドク研究者（本事業の場合、原子力機構では、特定課題推進員）及びリサーチアシスタントとしての学生が、世界最高レベルの放射線計測技術あるいは核データ研究手法を会得することが期待され、次期の原子力を支える若手研究者育成の意義も大きい。

原子力開発用核データの精度向上は、1章でも述べたように国際的に重要性が認識され、近年活発な研究活動が行われている。本 AIMAC プロジェクトは、核データ測定・炉物理・放射化学・核データ評価の4分野の研究者が協力して事業を推進する点で、世界的にも特色ある取り組みとなっている。本プロジェクトの成果により、国際的に関心の高い原子力開発用核データの精度向上研究をリードすると共に、マイナーアクチニド (MA) を中心とする放射性廃棄物にかかわる環境負荷低減技術開発に大きく貢献すべく、プロジェクトメンバー一同研究開発に取り組んでいる。

謝辞

本報告は、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務として、独立行政法人日本原子力研究開発機構が実施した平成 25 年度及び平成 26 年度「マイナーアクチニドの中性子核データ精度向上に係る研究開発」の成果である。

参考文献

- [1] M. Salvatores et al., OECD/NEA Report NEA No. **6410** (2008).
- [2] E. Mendoza et al., Phys. Rev. C **90**, 034608 (2014).
- [3] E.-I. Esch et al., Phys. Rev. C **77**, 034309 (2008).
- [4] M. Jandel et al., Phys. Rev. C **78**, 034609 (2008).
- [5] Y. Kiyonagi et al., J. Korean Phys. Soc., **59**, 1781 (2011).
- [6] A. Kimura et al., J. Nucl. Science Tech. **49**, 708 (2012).
- [7] K. Hirose et al., J. Nucl. Science Tech. **50**, 188 (2012).
- [8] H. Harada et al., Nuclear Data Sheets **119**, 61 (2014).
- [9] H. Harada et al., Nuclear Science, NEA/NSC/WPEC/DOC **446** (2014).