

レーザー駆動中性子源を用いた核共鳴透過分析システムの開発

Development of a Neutron Resonance Transmission Analysis system using a Laser Driven Neutron Source

*伊藤 史哲¹, 李 在洪¹, 弘中 浩太¹, 高橋 時音¹, 鈴木 敏¹, 余語 覚文², 藍 沢塵²,
堀 順一³, 寺田 和司³, 小泉 光生¹
原子力機構¹, 大阪大学², 京大複合研³

核不拡散技術開発の一環として、レーザー駆動中性子源(LDNS)を用いた中性子共鳴透過分析(NRTA)技術開発を行っている。本発表では、LDNSを用いたNRTAシステム開発状況を報告する。

キーワード: レーザー駆動中性子源, 中性子共鳴透過分析, 中性子飛行時間測定

1. 緒言

保証処置や計量管理において、使用済み核燃料などを非破壊で分析する技術の向上が求められている。NRTA[1]はパルス中性子を試料に透過させ、透過中性子エネルギーを飛行時間(TOF)により測定し、試料の共鳴ピークの位置や深さを分析することで、試料中の核種を非破壊にて定量する技術である。従来NRTAは、TOFを精度よく測定するため、長い中性子飛行距離と短パルスの中性子源を要する大規模なTOF測定施設にて、研究用などの限定的な用途に導入されてきた。しかし、核物質の計量管理が必要な様々な施設に適用させるためには、NRTAシステムのコンパクト化が求められ、そのため様々なコンパクトNRTAシステムの提案がなされている[2, 3]。本研究においては、短パルス中性子源であり、レーザー技術発展によりその小型化が期待される、LDNSを用いたNRTAシステムを開発を進めており、その現状を報告する。

2. NRTA システムの開発

コンパクトなNRTAシステムを設計するに当たり、TOF測定のための中性子飛行距離を短くすることは、重要である。しかし、TOF測定の際の主要な背景事象(BG)となるガンマ線は、中性子発生時から指数関数的に減衰していく時間依存BG源であるため、飛行距離が短くなり中性子飛来時間が早まるほど、BGが指数関数的に増加してしまう。そのため、高い中性子検出効率を持ちながらガンマ線への感度を抑えた検出器を開発した。また、LDNSはその特性上、高頻度の繰り返しよりも、高いピーク強度により、高中性子フラックスを達成することが予想される。短い飛行距離と合わせ、中性子計数率が非常に高くなるため、高計数率下においても中性子信号の数の落としが少い検出システムを開発を進めている。更に、LDNSから発生した高速中性子を、ウランやプルトニウムの共鳴ピークが観測される熱外中性子エネルギー領域まで減速させるモデレータが必要である。LDNSにおいて、TOFの時間分解能はモデレータの影響が支配的なため、モデレータの素材、形状等と、時間分解や減速効率の関係について、包括的なシミュレーション研究を行った。

3. 実証実験

LDNSのNRTAへの適応可能性を実験的に検討するため、大阪大学、レーザー科学研究所にて、TOF測定実験を行った。LFEXレーザーを用いたLDNSから3.6m離れた場所に検出器を設置し、中性子飛行経路上にはインジウム(In)と銀(Ag)を設置した。3回のレーザー照射によるTOFスペクトルを合計したところ、LDNSを用いたTOF計数法として、世界で初めてInとAgによる共鳴ピークを観測した。

謝辞: 本研究開発は、文部科学省「核セキュリティ強化等推進事業費補助金」事業の一部である。

参考文献

[1] P. Schillebeeckx et al., JINST. 7, C03009 (2012). [2] H. Tsuchiya et al., Plasma Fusion Res. 13, 2406004 (2018). [3] E.A. Klein et al., Phy. Rev. App. 15, 054026 (2021)

*Fumiaki Ito¹, Jaehong Lee¹, Kota Hironaka¹, Tohn Takahashi¹, Satoshi Suzuki¹, Akifumi Yogo², Zechen Lan², Jun-ichi Hori³, Kazushi Terada³, Mitsuo Koizumi¹. ¹JAEA, ²Osaka Univ., ³Kyoto Univ.