

Development of a New Method of Subcriticality Measurement Based on the Concept of Imaginary Neutron Source

假想中性子源の概念を用いた新しい未臨界度測定法の開発 川口 真一 (指導教員 代谷 誠治 教授)

化石燃料に代わる、近い将来に十分なエネルギーを生産できる手段としては、核分裂による原子力が現在では唯一の選択である。しかし、核分裂原子炉の利用は、一万年以上の半減期を持つ長寿命放射性廃棄物を生じる。この長寿命放射性廃棄物の処理方法としては、ガラス等で固化し地中深くに埋設する、所謂地層処分が提案されている。しかし、世代間倫理の観点から、かかる放射性廃棄物は我々が安全を保証できる範囲の外に残すことは好ましくない。すなわち、地層処分された放射性廃棄物の監視システムよりも長い寿命を持つ放射性物質を地層処分することには、倫理上の論議がある。そこで、長寿命放射性廃棄物を核変換・消滅処理する装置として加速器駆動未臨界原子炉 (ADS) が有効であると考えられている。この種の原子炉の炉心出力は、原子炉物理学において「未臨界度」と称される量と密接に関係している。従って、未臨界度を正確に測定することは、ADS の出力を制御する上で重要である。

未臨界度測定法としては、いくつかの近似や仮定を用いて、定常状態における中性子検出器の計数率と未臨界度との間に一対一の対応関係を導出する手法がある。これは中性子源増倍法と呼ばれ、具体的には、一点炉近似を用いる方法、高次モード中性子源増倍法、修正中性子源増倍法などがある。しかし、一点炉近似は未臨界度の変化に伴う中性子の空間分布およびスペクトルの変化が考慮されないために精度が悪い、高次モード中性子源増倍法では炉心体系に厳しい制約条件が課される、修正中性子源増倍法は未知体系に対しては適用できない、といった問題点がある。特に、一点炉近似に基づく方法では、本来は炉心全体で定まる値であり位置には依存しない量である未臨界度の測定結果が、検出器位置に依存してしまうという問題がある。

これらの点を踏まえ、本研究では、炉心体系には比較的緩い制約条件のみを課しながら未臨界度を精度良く測定する新しい手法として、仮想中性子源増倍法を提案した。この方法では、未臨界度変化に伴う炉心内の巨視的反応断面積の変化は、仮想的な中性子源の発生とみなされる。ある未臨界度が既知である体系についての数値計算結果を、被測定体系における中性子検出器の計数率と組み合わせることにより、被測定体系の中性子の空間分布、スペクトル、および巨視的反応断面積を推定することができる。この仮想的な中性子源の強度分布は、攝動法によって求められる。巨視的反応断面積の変化を精度良く推定するためには高次の攝動項まで考慮に入れなくてはならないが、計算機資源の都合によっては低次で計算を終わらせねばならないことがある。こうした場合には、高次の項の寄与を補正することにより精度を維持することができる。ただし、この補正法の数学的妥当性は、完全には証明されていない。

この新しい手法は、高次モード中性子源増倍法に比べ、精度を犠牲にすることなく、多様な体系に適用することができるという利点を持つ。このことは、SRAC2003 CITATION コードを用いた拡散計算により数値的に確認された。しかしながら、この方法は未臨界度が既知である体系について十分に精度良く数値計算がなされることを前提としている。従って、測定の精度は数値計算の精度に著しく左右される。京都大学臨界集合体実験装置 (KUCA) における実験により、仮想中性子源増倍法による測定結果が、有意な検出器位置依存性を持つことが確認された。これは、数値計算の精度が不十分であることによる。

今後の課題として、四つの問題点が残されている。一、高次の攝動項に対する補正の数学的妥当性の証明。一、数値計算の誤差が深刻な測定誤差を生じることがないよう、理論を修正すること。一、数値計算の精度を向上させるため、輸送計算による仮想中性子源増倍法が可能であることを確認すること。一、燃料の燃焼やアクチノイドの核変換などによって複雑な形で引き起こされる未臨界度変化に対応できるよう、理論を修正すること。