

## 加速器駆動システムによる核変換処理の実現に向けた基礎研究

### (3) 決定論的手法 (II): 即発中性子減衰定数および面積比

Basic Research for Nuclear Transmutation Techniques by Accelerator-Driven System

#### (3) Deterministic Method (II): Prompt Neutron Decay Constant and Area Ratio

\*遠藤 知弘<sup>1</sup>, Wilfred van Rooijen<sup>2</sup>, 千葉 豪<sup>3</sup>, 金 宋炫<sup>4</sup>, 卞 哲浩<sup>4</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>福井大学, <sup>3</sup>北海道大学, <sup>4</sup>京都大学

加速器駆動システム(ADS)における未臨界度測定として、直接測定可能な量である即発中性子減衰定数および面積比を対象として、決定論的手法に基づいた数値解析手法に関して検討を実施した。

**キーワード**: 加速器駆動システム、決定論的手法、即発中性子減衰定数、面積比

**1. 緒言** 加速器駆動システム(ADS)の運転を行うにあたっては、通常原子炉と同様に、事前に ADS の核特性を核設計計算により評価し、実際に測定された核特性と比較することで核設計計算の妥当性を確認することが重要である。ADS の重要な核特性として未臨界度が挙げられ、①パルス中性子法や炉雑音解析手法により即発中性子減衰定数 $\alpha$ 、②面積比法により面積比 $A_p/A_d$ の測定がなされる。 $\alpha$ や $A_p/A_d$ は ADS において直接測定可能な測定量であるため、数値解析により $\alpha$ や $A_p/A_d$ の値そのものを評価すれば、両者を比較することで ADS 核設計計算の妥当性を確認できる。そこで本研究では、決定論的手法に基づき以下の検討を実施した。

**2. 即発中性子減衰定数** 中性子束 $\psi$ および遅発中性子先行核 $C_i$ が同一の時定数 $\omega$ で指数関数的に時間変化する( $\psi(t) \propto e^{\omega t}$ ,  $C_i(t) \propto e^{\omega t}$ )と仮定することで、時定数に関する $\omega$ モード固有値方程式(1)式が導出される。

$$\frac{\omega_n}{v(E)} \psi_n = \left( -\mathbf{A} + \mathbf{F}_p + \sum_{i=1}^6 \frac{\lambda_i}{\omega_n + \lambda_i} \mathbf{F}_i \right) \psi_n \cdots (1) \rightarrow \frac{\omega_p}{v(E)} \psi_p \approx (-\mathbf{A} + \mathbf{F}_p) \psi_p \cdots (2)$$

$\mathbf{A}$ : 正味の消滅演算子,  $\mathbf{F}$ : 生成演算子,  
 $v(E)$ : 中性子速度,  $p$ : 即発中性子成分,  
 $i$ : 第 $i$ 群の遅発中性子先行核成分

(1)式で得られる固有値 $\omega_n$ および固有関数 $\psi_n$ は、空間メッシュ数 $\times$ (エネルギー群数+遅発中性子先行核数)の数だけ存在するが、即発中性子減衰定数 $\alpha$ は① $\psi_n$ の空間・エネルギー分布が全て正、かつ② $\omega_n$ の値が最小となる次数 $p$ の固有値に対応する( $\alpha = -\omega_p$ )。 $\alpha > 1000$  [1/sec]の ADS を対象した場合、遅発中性子先行核の崩壊定数 $\lambda_i$ と比べて $\alpha \gg \max(\lambda_i)$ とみなせる。その場合、(1)式は即発中性子のみを考慮した $\omega_p$ モード固有値方程式(2)式で近似できる。まず、簡易炉心(1次元平板エネルギー2群拡散近似)について、C++/Eigenにより(1)、(2)式の固有値・固有関数を全て求め、両者の相対差が十分小さいことを確認し、(2)式の適用が妥当である点を確認した。この知見を踏まえ、S<sub>N</sub>輸送計算コード PARTISN による即発中性子のみを考慮した $\alpha$ 探索計算により、京都大学原子炉実験所(KUCA)における PbBi 装荷 ADS 実験の解析を実施した。 $\alpha$ の C/E 値は 1.02~1.04 であり、SCALE6.2.1/Sampler を活用して評価した核データ起因不確かさ 150~170 [1/sec]の範囲内であった。

**3. 面積比** 一定周期 $\tau$ でパルス中性子を打ち込み続け、遅発中性子先行核数が準定常状態に達した未臨界炉心において、中性子計数(1周期積分)の即発/遅発中性子成分の比を測定することで面積比 $A_p/A_d$ が得られる。不感時間の影響が十分小さい場合、時間依存中性子輸送方程式の両辺を時間積分した(見かけ上、定常状態の)方程式に基づき、②中性子束時間積分値 $\tilde{\psi}$ 、②即発中性子成分のみの時間積分値 $\tilde{\psi}_p$ を得ることで、 $A_p/A_d$ の数値解が容易に評価できる。ドル単位未臨界度/ $(A_p/A_d)$ の比は Bell 因子 $f$ と呼ばれ、中性子源・検出器位置に応じた空間補正因子に対応する。SCALE6.2.1/Sampler と自作拡散計算コードにより、Bell 因子 $f$ が 1 に近い検出器位置ほど、核データに起因した $f$ の不確かさもゼロに漸近し、頑健な測定が可能であることを見出した[1]。

**参考文献** [1] T. Kimura, T. Endo, A. Yamamoto, "Uncertainty Quantification of Spatial Correction Factor for Sjöstrand Method due to Cross-section Data," *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **115**, pp.1081-1084 (2016).

\* Tomohiro Endo<sup>1</sup>, Wilfred van Rooijen<sup>2</sup>, Go Chiba<sup>3</sup>, Song Hyun Kim<sup>4</sup>, Cheol Ho Pyeon<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Nagoya Univ., <sup>2</sup>Univ. of Fukui, <sup>3</sup>Hokkaido Univ., <sup>4</sup>Kyoto Univ.