

# 未臨界度測定に向けた一般化面積比法の開発

## Development of Generalized Area Ratio Method for Subcriticality Measurement

\*方野 量太<sup>1</sup>, 西原 健司<sup>1</sup>, 辻本 和文<sup>1</sup>, 遠藤 知弘<sup>2</sup>

<sup>1</sup>日本原子力研究開発機構, <sup>2</sup>名古屋大学

未臨界度の絶対値測定を行う面積比法を一般化した理論を考案し、数値計算によって妥当性について検証した。

**キーワード**：面積比法、未臨界度、KUCA、基底関数展開

### 1. 緒言

未臨界度の絶対値測定が可能な手法の一つとして、面積比法がある[1]。しかし、面積比法では中性子束分布の即発中性子成分および遅発中性子成分が基本モードに比例するという一点炉近似を仮定しているため、未臨界が深くなるにつれ高次モード成分が励起され、未臨界度の測定結果が検出器位置によってばらつく。そこで本研究では、面積比法から一点炉近似を排除し一般化された手法を提案し、数値実験を通じて妥当性について検証した。

### 2. 提案手法

周期的なパルス中性子源を与えた時間依存中性子輸送方程式は、パルス1周期分の範囲で時間積分すると、見かけ上固定源定常輸送方程式となる。この方程式の解である中性子束 $\phi$ の即発中性子成分 $\phi_p$ および遅発中性子成分 $\phi_d$ を、基本モード成分と元の分布から基本モード成分を除去したモードの線形結合である

$$\phi_p = a_{p,0}\phi_0 + a_{p,1}(\phi_p - h_p\phi_0) \quad (1), \quad \phi_d = a_{d,0}\phi_0 + a_{d,1}(\phi_d - h_d\phi_0) \quad (2)$$

$$h_p = \langle \mathbf{F}_d \phi_p \rangle / \langle \mathbf{F}_d \phi_0 \rangle \quad (3), \quad h_d = \langle (\mathbf{A} - \mathbf{F}) \phi_d \rangle / \langle (\mathbf{A} - \mathbf{F}) \phi_0 \rangle \quad (4)$$

として式(1)および式(2)で展開する。ただし、 $a_{p,j}$ および $a_{d,j}$  ( $j=0, 1$ )は展開係数、 $h_p$ および $h_d$ は式(3)および式(4)で与えられる直交化定数である( $\mathbf{A}$ は輸送方程式の消滅演算子、 $\mathbf{F}$ は生成演算子、 $\mathbf{F}_d$ は遅発中性子に関する生成演算子)。式(1)~(4)を用いて $\phi_p$ および $\phi_d$ を展開すると、ドル単位の未臨界度は基本モード成分に対する展開係数の比 $a_{p,0}/a_{d,0}$ で近似される。展開係数の比は、検出器 $i$ (断面積 $\Sigma_i$ )における面積比に関する等式(式(5))の左辺に測定結果を代入して得られる連立方程式を最小二乗法で解くことで求める。なお、直交化定数 $h_p$ 、 $h_d$ および各検出器位置における $p_i$ 、 $q_i$ は数値計算によって事前に評価する。

$$R_i = \frac{\langle \Sigma_i \phi_p \rangle}{\langle \Sigma_i \phi_d \rangle} = \frac{(a_{p,0}/a_{d,0}) + (a_{p,1}/a_{d,0})p_i}{1 + (a_{d,1}/a_{d,0})q_i} \quad (5)$$

$$p_i = \left( \langle \Sigma_i \phi_p \rangle / \langle \Sigma_i \phi_0 \rangle - h_p \right) \quad (6)$$

$$q_i = \left( \langle \Sigma_i \phi_d \rangle / \langle \Sigma_i \phi_0 \rangle - h_d \right) \quad (7)$$

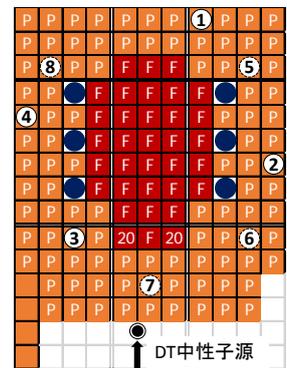


図1 体系図

### 3. 数値実験

京都大学臨界実験装置 KUCA 固体減速架台を想定した未臨界体系を計算体系とし、DTパルス中性子源による面積比法の数値実験を実施した(図1)。数値実験では、計算と実験との差を模擬するために、仮想実験体系としてアルミ合金濃縮ウラン板中のウラン/アルミ重量比を、板の重量密度を保ったまま約0.6%減らした体系を考慮した。連続エネルギーモンテカルロ計算コードMCNP6.1を用い、図1の①~⑧の位置で仮想的に設置した<sup>3</sup>He検出器のパルス入射後の検出器応答を解析することで、面積比法の実験を模擬した。仮想実験体系において、遅発中性子有り/無しの固定源計算を行い各検出器位置における面積比 $R_i$ を求めた。なお、未臨界度参照値には固有値計算で得た値2.3620[\$](統計誤差 $1\sigma = 0.80\%$ )を用いた。表1は従来手法(仮想実験体系で得られた面積比を計算体系で求めたBell因子で補正したもの)に対しては、参照値との差が最小/最大である検出器位置での結果、提案手法に対しては8個の検出器のうち中性子源に近い検出器⑦を考慮する/しない場合の結果を示した。提案手法では、従来手法では補正を加えても差異が大きい検出器の結果を含めても、参照値と統計誤差の範囲で一致している。これは提案手法が一点炉近似を用いていないためであり、より検出器位置に対してロバストな測定の可能性が示された。提案手法の不確かさ評価や実際の実験への適用性の検討は今後の課題である。

#### 参考文献

[1] N. G. Sjöstrand, *Arkiv för Fysik*, **11**[13], pp. 233-246, (1956).

[2] T. Endo, A. Yamamoto, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **107**, pp. 1208-1211, (2015).

\*Ryota Katano<sup>1</sup>, Kenji Nishihara<sup>1</sup>, Kazufumi Tsujimoto<sup>1</sup> and Tomohiro Endo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup>Nagoya Univ.

表1 未臨界度推定結果

		未臨界度[\$]相対差異[%]	
参照値		2.3620	-
従来手法	検出器④	2.3797	0.75
(補正有り)	検出器⑦	2.7405	16.03
提案手法	すべて考慮	2.3793	0.74
	⑦のみ除外	2.3667	0.20