

三次中性子相関に基づく未臨界度測定法の検討

原子核第一講座 遠藤知弘

序論

未臨界度 $(-\rho)$ とは、核燃料物質を含んだ体系が臨界に対してどの程度余裕があるかを示す指標である。臨界安全の観点から未臨界度測定は非常に重要である。現在までに未臨界度測定法として多くの手法が考案されてきたが、本研究では古橋により提案された三次中性子相関法に着目した。三次中性子相関法とは、体系内の中性子数の時間的ゆらぎが未臨界度に依存することを利用して、中性子検出数の平均・分散・三次モーメントを測定することで未臨界度の絶対値を求める手法である。三次中性子相関法を用いた未臨界度測定は、体系に動的な変化を加える必要が無く、また定常外部中性子源と中性子検出器のみで簡便に測定できるという利点がある。しかし、従来の三次中性子相関法には、体系の空間依存性の効果が全く考慮されておらず、そのため実際の測定では正しく未臨界度を評価することができなかった。そこで、空間依存性を考慮に入れた三次中性子相関法を新たに考案した。

空間・中性子エネルギー・方向依存性を考慮に入れた三次中性子相関法

時間幅 T の間に検出された中性子数の平均、不偏分散、不偏三次モーメントをそれぞれ $m(T)$ 、 $v(T)$ 、 $s(T)$ とする。三次中性子相関法では、これらの $m(T)$ 、 $v(T)$ 、 $s(T)$ より二次相関量 Y 値、三次相関量 X 値を以下のように評価する。

$$Y(T) \equiv (v(T) - m(T)^2) / m(T) \quad (1), \quad X(T) \equiv (s(T) - 3v(T) + 2m(T)^3) / m(T) \quad (2)$$

こうして評価された Y 、 X 値に対して、検出時間幅 $T \rightarrow \infty$ における飽和値 Y_∞ 、 X_∞ を推定することで、未臨界度の絶対値を求めることができる。本研究では、空間・中性子エネルギー・方向依存性を考慮に入れた三次中性子相関法を新たに考案した。解析式は以下のように表される。

$$\omega \frac{X_\infty}{Y_\infty^2} = \frac{3}{1 + \delta_{2,0}(-\rho)} + F_0 \frac{\{1 + \delta_{3,0}(-\rho)\}(-\rho)}{\{1 + \delta_{2,0}(-\rho)\}^2} \quad (3) \quad \begin{array}{l} \omega : \text{高次モード補正因子} \\ \delta_{2,0}, \delta_{3,0}, F_0 : \text{未臨界度換算係数} \end{array}$$

本手法の改良点は、従来法で用いられる未臨界度換算係数 δ_2 、 δ_3 、 F に、空間・中性子エネルギー・方向依存性の効果を考慮に入れた点である。ただし本手法を用いる場合、測定された Y 、 X 値から空間高次モード成分をできる限り排除し、空間基本モード成分のみを抽出する必要がある。空間高次モード成分を完全に排除できない場合には、 ω を数値計算により求め補正する必要がある。逆に、空間基本モード成分のみを抽出することができれば、 $\omega \equiv 1$ となり、この補正は必要ない。

検証方法

外部中性子源が一様に存在した、厚さ 100cm の 1 次元平板・均質体系に対して、モンテカルロシミュレーションを利用して三次中性子相関法による実験を模擬した。ここで体系の中性子増倍率を 0.990、0.950、0.900、0.800 の 4 通りに変化させた。また中性子を検出する領域を変化させて検討を行った。

結果

一例として、体系の中心 5cm の領域で中性子を検出した場合に得られた、未臨界度評価結果を Table 1 に示す。Table 1 より、空間依存性を無視した従来法に比べて、空間依存性を考慮に入れた本手法のほうが、より真値に近い未臨界度を評価できることが分かる。

Table 1: モンテカルロシミュレーションを用いた三次中性子相関法による未臨界度評価結果の一例

	$(-\rho)$ [% $\Delta k/k$]		
	真値	従来法	本手法
1.01	6.04 ± 0.09	3.9 ± 0.1	
5.26	12.76 ± 0.05	5.83 ± 0.05	
11.11	19.70 ± 0.05	11.42 ± 0.04	
25.00	34.18 ± 0.05	25.89 ± 0.05	

結論

空間依存性を考慮に入れた三次中性子相関法により、未臨界度を正しく評価できることを数値計算により確認した。今後は実際の実験に本手法を適用し、本手法の妥当性を検討したい。

公刊論文リスト

- [1] 遠藤知弘, 他, "三次の中性子相関を用いた未臨界度絶対評価法の検討," 日本原子力学会中部支部 第 34 回研究発表会, (2002).
- [2] 遠藤知弘, 他, "データの有限性を考慮に入れた三次中性子相関に基づく未臨界度絶対評価法の検討," 日本原子力学会 2003 年春の年会, (2003).
- [3] T. Endo, et al., "Absolute measurement of the subcriticality based on the third order neutron correlation in consideration of the finite nature of neutron counts data," ICNC2003, Mito, Japan, (2003).

- [4] 遠藤知弘, 他"階乗モーメント方程式に基づいた Feynman- α 法の数値解析," 日本原子力学会 2004 年春の年会, (2004).

参考文献

- 1) A. Furuhashi and A. Izumi, "Third moment of the number of neutrons detected in short time intervals," J. Nucl. Sci. Technol., **5**, 48-59 (1968).