

三菱 FBR 核設計コードシステム GALAXY-H/ENSEMBLE-TRIZ の開発

(9) ランダムサンプリング法に基づく拡張炉定数調整法

Development of Mitsubishi FBR Nuclear Design Code System GALAXY-H/ENSEMBLE-TRIZ

(9) Extended Cross-Section Adjustment Method based on Random Sampling Technique

*家山 晃一¹, 小池 啓基¹, 浅野 耕司¹, 上山 洋平²

¹MHI, ²MFBR

高速炉の核特性不確かさを低減するため、ランダムサンプリング法 (RS) に基づく拡張炉定数調整法を開発した。単一集合体系の無限増倍率を対象に検証した結果、一般化摂動論 (PT) に基づく拡張炉定数調整法と同等の不確かさ低減効果が得られ、本手法の有効性を確認した。

キーワード: GALAXY-H/ENSEMBLE-TRIZ、高速炉、不確かさ低減、炉定数調整法、ランダムサンプリング法

1. 緒言

MHI は、FBR 核設計コードシステム GALAXY-H/ENSEMBLE-TRIZ を用いた高速炉炉心設計にあたり、核特性の不確かさの定量化及び低減に取り組んでいる。本研究では、一般化摂動論 (PT) で必要な感度係数評価用の随伴中性子束、一般化中性子束及び一般化随伴中性子束が不要で、燃料棒局所出力を含むすべての核特性について、不確かさを簡単に扱うことができる RS[1] に基づく拡張炉定数調整法を開発した。

2. 手法

本手法は、実験体系と設計対象炉心の相関を考慮することで、設計対象炉心の核特性不確かさを低減可能な拡張炉定数調整法をベースとする。PT に基づく拡張炉定数調整法[2]と同様、中性子増倍率、反応度価値及び反応率比等の核特性不確かさを低減できる。RS に基づく拡張炉定数調整法の調整後核データ共分散 W' は、次式の通り導出され、感度係数を使用することなく上記核特性の不確かさを扱うことが可能である。

$$W' = W + \left[\frac{1}{N} \Delta T \Delta R_1^T + \Delta T \Delta R_2^+ V_m^{12T} \right] \left[\frac{1}{N} \Delta R_1 \Delta R_1^T + V_{e1} + V_{m1} \right]^{-1} \left[\Delta T \Delta R_2^+ V_m^{12T} \right]^T \\ - \frac{1}{N} \Delta T \Delta R_1^T \left[\frac{1}{N} \Delta R_1 \Delta R_1^T + V_{e1} + V_{m1} \right]^{-1} \left[\frac{1}{N} \Delta T \Delta R_1^T + \Delta T \Delta R_2^+ V_m^{12T} \right]^T$$

添え字 1 : 実験体系、添え字 2 : 設計対象炉心、 W : 調整前の核データ共分散、
 ΔT : RS に基づく断面積摂動量、 ΔR : 断面積摂動による核特性変化量、
 ΔR^+ : ΔR に対する Moore-Penrose 一般化逆行列、 N : RS のサンプル数、 V_e : 測定起因不確かさ、
 V_m : 手法起因不確かさ、 V_m^{12} : 体系間の相関を考慮した手法起因不確かさ

3. 機能検証

Na 冷却高速炉における MOX 単一集合体系 (設計対象) の無限増倍率を対象に、実験体系と設計対象のデータを用い、拡張炉定数調整法に基づき核データ起因の不確かさを低減した。表に示す通り、RS 手法による不確かさは PT 手法と同等となり、その有効性を確認できた。

表 無限増倍率への適用結果(単位 : % $\Delta k/k$)

共分散調整の有無	PT	RS
なし	0.67	0.63
あり (拡張炉定数調整法)	0.14	0.14

・実験体系 : 集合体ピッチ約 10cm の六角集合体
 ・設計対象 : 集合体ピッチ約 20cm の六角集合体
 ・ $\sqrt{V_{m1}} = 0.1\% \Delta k/k$ 、 $\sqrt{V_m^{12}} = 0.07\% \Delta k/k$ を入力

4. 結言

RS に基づく拡張炉定数調整法を開発し、検証を通じて本手法の有効性を確認した。今後、高速炉全炉心体系の核特性に適用し、FBR 核設計コードの核特性不確かさ評価に対する本手法の適用性を確認する。

参考文献

[1] T. Watanabe, et. al., "Cross section adjustment method based on random sampling technique," J. Nuc. Sci. Tech., Vol. 51, 590, 2014.

[2] K. Yokoyama, et. al., "Extended cross-section adjustment method to improve the prediction accuracy of core parameters," J. Nuc. Sci. Tech., Vol. 49, 1165, 2012.

* Koichi Ieyama¹, Hiroki Koike¹, Koji Asano¹, Yohei Kamiyama², ¹MHI, ²MFBR