

三菱 FBR 核設計コードシステム GALAXY-H/ENSEMBLE-TRIZ の開発 (8)三角柱メッシュに対する多項双曲線関数展開を用いた燃料棒出力再構築法

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

(8)Pin Power Reconstruction Methodology using Polynomial Hyperbolic Function Expansion for
Triangle-Z Geometry

*小池 啓基¹, 左藤 大介¹, 上山 洋平², 森脇 裕之², 菅 太郎²

¹MHI, ²MFBR

高速炉体系の燃料棒出力分布を、三角メッシュ内均質中性子束分布(均質解)の多項双曲線関数展開により算出する手法を開発した。軽核を含む遮蔽体と隣接する局所的に中性子スペクトルが軟らかい体系を対象に、本手法と連続エネルギーモンテカルロ法による燃料棒出力分布を比較し、良好な一致を確認した。

キーワード : GALAXY-H/ENSEMBLE-TRIZ、高速炉、燃料棒出力再構築法、双曲線関数

1. 緒言

MHI では、FBR 核設計コードシステム GALAXY-H/ENSEMBLE-TRIZ を開発中であり、燃料棒出力計算については、商業用軽水炉で主流の燃料棒出力再構築法を採用することとしている[1]。本研究では、双曲線関数の重ね合わせによる均質解作成手法を開発した。本手法による均質解と、集合体非均質計算による形状関数を合成し、燃料棒出力分布を算出する。

2. 計算手法

本手法では、高速炉体系で遮蔽体等と隣接し局所的に中性子スペクトルが軟らかい位置の燃料棒出力の予測精度を向上させるため、炉心計算で得られた単位メッシュの中性子束情報から、三角メッシュの各辺に垂直な方向の1次元座標 x_i ($i = 1, 2, 3$)に対する双曲線関数の重ね合わせにより、均質解を式(1)で表現する。

$$\phi(x, y) = \phi_0 + \sum_{i=1}^3 \{ \alpha_i \sinh(\kappa x_i) + \beta_i \cosh(\kappa x_i) \} \quad (\kappa \equiv \sqrt{\Sigma_r/D}, \Sigma_r : \text{除去断面積}, D : \text{拡散係数}) \quad (1)$$

ここで、7個の未知係数 $\phi_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ は、7個の境界条件(メッシュ平均中性子束1個、コーナー中性子束3個、メッシュ境界正味中性子流3個)から解析的に算出される。三角メッシュの重心を原点とした (x, y) 座標系における均質解は式(2)のように導出でき、各燃料棒位置の均質解計算に適用される。

$$\begin{aligned} \phi(x, y) = & \phi_0 + (\alpha_1 - \alpha_2) \sinh\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\kappa x\right) \cosh\left(\frac{1}{2}\kappa y\right) + (\alpha_1 + \alpha_2) \cosh\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\kappa x\right) \sinh\left(\frac{1}{2}\kappa y\right) + (-\alpha_3) \sinh(\kappa y) + \\ & (\beta_1 + \beta_2) \cosh\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\kappa x\right) \cosh\left(\frac{1}{2}\kappa y\right) + (\beta_1 - \beta_2) \sinh\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\kappa x\right) \sinh\left(\frac{1}{2}\kappa y\right) + \beta_3 \cosh(\kappa y) \end{aligned} \quad (2)$$

3. 検証

本手法を組み込んだ GALAXY-H/ENSEMBLE-TRIZ を使い、中性子減速能力の高い軽核を含む MgO 遮蔽体に隣接する燃料集合体内の燃料棒出力分布を算出した。本ケースでは、局所的に中性子スペクトルが軟らかい集合体コーナー部の燃料棒出力は当該集合体内平均の約 1.3 倍であり、集合体外周部の出力勾配が大きい。本手法による解析結果を連続エネルギーモンテカルロコード MVP による参照解と比較した結果、両者の燃料棒出力分布の良好な一致(差異の標準偏差 1.3%、最大差異+4.5%)を確認した。

4. 結言

多項双曲線関数展開を用いた燃料棒出力再構築法を開発した。本手法による解析結果を MVP 参照解と比較し、高速炉で局所的に中性子スペクトルが軟化した体系への本手法の適用性を確認した。

参考文献

[1] 上山 他、三菱 FBR 核設計コードシステム GALAXY-H/ENSEMBLE-TRIZ の開発 (5) 燃料棒出力再構築モデルの開発 日本原子力学会 2017 年 秋の大会。

* Hiroki Koike¹, Daisuke Sato¹, Yohei Kamiyama², Hiroyuki Moriwaki² and Taro Kan², ¹MHI, ²MFBR