

三菱 3次元詳細輸送計算コード GALAXY-Z の開発

(5) RSE法を用いた共鳴計算の検証

Development of Mitsubishi Three-Dimensional Heterogeneous Transport Calculation Code GALAXY-Z

(5) Verification of Resonance Calculation using the RSE Method

*山路 和也¹, 小池 啓基¹, 家山 晃一¹, 左藤 大介¹, 山本 章夫², 竹田 敏³¹MHI, ²名大, ³阪大

中性子スペクトルを基底関数で展開する RSE(Resonance calculation method using energy Spectral Expansion) 法に基づく共鳴計算手法を GALAXY-Z に導入している。その妥当性確認のために、超詳細群共鳴計算手法のピンセル、燃料集合体体系での計算結果と比較し、その精度を確認した。

キーワード: GALAXY-Z、共鳴計算、RSE 法、基底関数

1. はじめに

三菱重工では、次期核設計コードとして、3次元詳細輸送計算コード GALAXY-Z を開発中である。複雑な幾何形状や共鳴干渉効果を精度良く取り扱うことのできる共鳴計算手法として RSE 法を GALAXY-Z に導入している[1]。その妥当性確認のために、超詳細群共鳴計算手法(UFG 法)[2]の計算結果と比較した。

2. GALAXY-Zにおける RSE 法による共鳴計算プロセス

- ① 炉内の減速材条件を包絡する種々のピンセル体系において、燃料・減速材領域の超詳細群中性子スペクトルを特異値分解し、中性子束のエネルギー依存性を表現する基底関数を作成する。
- ② 基底関数を用いて、基底毎のトータル断面積マトリックス $\Sigma_{t,g,n,n'}$ 、散乱マトリックス $\Sigma_{s,g'n' \rightarrow gn}$ を求める。適用体系において、(1)式に示す輸送方程式を解くことで、中性子束モーメント ϕ_n^g を計算する。

$$\vec{\Omega} \cdot \nabla \begin{pmatrix} \psi_1^g \\ \vdots \\ \psi_N^g \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Sigma_{t,g,1,1} & \cdots & \Sigma_{t,g,1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{t,g,N,1} & \cdots & \Sigma_{t,g,N,N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \psi_1^g \\ \vdots \\ \psi_N^g \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q_1^g \\ \vdots \\ Q_N^g \end{pmatrix} \quad (1)$$

但し、 $Q_n^g = \frac{1}{4\pi} \sum_{g'} \sum_{n'=1}^N \Sigma_{s,g'n' \rightarrow gn} \phi_{n'}^{g'}$,
 $\phi_{n'}^{g'} = \int_{4\pi} \psi_{n'}^{g'} d\vec{\Omega}$,
 g, g' : エネルギー群、 n, n' : 基底次数、
 N : 最大基底次数

- ③ 基底関数と ϕ_n^g から超詳細群中性子束を再構築し、超詳細群断面積をエネルギー縮約することで実効断面積(172群 XMAS 構造)を得る。このとき、SPH 因子法を用いて反応率を保存する。

3. 検証

4.8wt%ウラン燃料、MOX 燃料のピンセル体系において、減速材密度を 0.71(高温全出力)、0.4、0.1g/cm³と変化させた解析を実施した。連続エネルギーモンテカルロ計算(MVP)との比較から、RSE 法(ウラン: N=6、MOX: N=9)の実効増倍率(kinf)は、UFG 法と同程度の精度であった。(表 1) PWR の 17×17 燃料集合体体系(高温全出力)においても、kinf、出力分布共に UFG 法と同程度の精度であることを確認した。(表 2)

表 1 ピンセル体系での検証

減速材密度 [g/cm ³]	kinfのMVPとの差 [%dk/k]			
	ウラン		MOX	
	UFG	RSE	UFG	RSE
0.71	-0.03	-0.03	-0.08	-0.07
0.40	-0.02	-0.02	-0.11	-0.08
0.10	0.12	0.15	0.00	0.03

表 2 17×17 燃料集合体体系での検証

MVPとの差	ウラン		MOX	
	UFG	RSE	UFG	RSE
kinf [%dk/k]	-0.03	-0.03	-0.08	-0.09
出力分布 最大差[%]	-0.15	-0.15	0.21	0.19
標準偏差[%]	0.07	0.07	0.11	0.10

MVPの統計誤差 kinf<0.01%dk/k, 出力分布<0.2%

4. 結言

GALAXY-Z に導入した RSE 法による共鳴計算について、UFG 法の結果と比較し、その精度を確認した。

参考文献

[1] 山路 他、三菱 3次元詳細輸送計算コード GALAXY-Z の開発 (4) RSE 法を用いた共鳴計算 日本原子力学会 2020年 春の年会 [2] YAMAJI K. et al., *J. Nucl. Sci. Technol.* 2018;55,756.

* Kazuya Yamaji¹, Hiroki Koike¹, Koichi Ieyama¹, Daisuke Sato¹, Akio Yamamoto² and Satoshi Takeda³, ¹MHI, ²Nagoya Univ., and ³Osaka Univ.