

# 炉心管理コードシステム SHIKOKU2 の開発

## (1) 燃焼計算モデルの改良

Development of Core Management Code System SHIKOKU2

(1) Improvement of Burnup Calculation Model

\*平野雅美<sup>1</sup>, 川本洋右<sup>1</sup>, 吉田絵美<sup>1</sup>, 宮脇康介<sup>1</sup>, 大堀和真<sup>2</sup>, 馬越豊<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 四電エンジニアリング(株), <sup>2</sup> 四国電力(株)

SHIKOKU2 コードの冷却計算の精度向上及び計算時間短縮のため、燃焼計算モデルを改良し MMPA 法[1]を実装した。モデル改良後の燃焼計算および冷却計算において、従来手法と同等の精度を確保した上で計算時間を短縮できることを確認した。

**キーワード** : SHIKOKU2、ASMOC3D、燃焼計算、MMPA 法。

### 1. 緒言

四国電力では炉心管理に係る解析業務の効率化・高精度化に資するため、自社コードの開発・運用を行ってきた。3次元輸送計算手法の一つである ASMOC3D に基づいた最新の炉心管理コードシステム SHIKOKU2 は、2018年3月より社内検討用として実運用を開始し、その後も改良を進めている。本発表では SHIKOKU2 の改良点の一つである燃焼計算モデルへの MMPA 法実装の影響を報告する。

### 2. 手法

従来の SHIKOKU2 コードでは燃焼計算における指数行列の解法として Krylov 部分空間法を採用していたが、本手法は長期冷却等の時間幅が長い問題を対象とした場合において、計算精度の悪化や計算が発散する等の課題があった。これらの課題を解決するため、計算精度が燃焼行列のノルムに影響されないという特長を有する MMPA 法を実装した。SHIKOKU2 コードに実装した MMPA 法では、指数行列を以下の 32 次の行列多項式にて近似する。

$$\exp(\Delta t \mathbf{A}) \approx a_0 \mathbf{I} + \sum_{i=1}^{32} a_i \{ (\Delta t \mathbf{A} + c \mathbf{I}) (\Delta t \mathbf{A} - c \mathbf{I})^{-1} \}^i$$

ここで、 $\Delta t$  は時間幅、 $\mathbf{A}$  は燃焼行列、 $a_i$  は MMPA 法の近似係数、 $\mathbf{I}$  は単位行列、 $c$  は定数 (=24.1) である。なお、SHIKOKU2 では MMPA 法による個数密度の誤差を更に低減するため、サブステップにより  $\Delta t$  を分割する方法を採用している[2]。

### 3. 結果

モデル改良後の SHIKOKU2 により燃焼計算および冷却計算を実施した。MMPA 法による解析結果は、現行の Krylov 部分空間法と同等の計算精度であることを確認した。また、燃焼計算に要する計算時間は約 1 割、冷却計算は約 200 倍高速化された (表 1)。冷却計算での高速化が著しいのは、タイムステップ数が大幅に削減されている

(Krylov 部分空間法 : 55 ステップ → MMPA 法 : 2 ステップ) ためである。

### 4. 結論

SHIKOKU2 コードの冷却計算の精度向上及び計算時間短縮のため、燃焼計算モデルに MMPA 法を実装し、従来手法と同等の精度を確保した上で計算時間を短縮できることを確認した。

### 参考文献

- [1] Y. Kawamoto, G. Chiba, M. Tsuji, T. Narabayashi, "Numerical solution of matrix exponential in burn-up equation using mini-max polynomial approximation," Ann. Nucl. Energy, 80, p.219 (2015).  
 [2] A. Isotalo, M. Pusa, "Improving the Accuracy of the Chebyshev Rational Approximation Method Using Substeps," Nucl. Sci. Eng., 183[1], 65-77 (2016).

\*Masami Hirano<sup>1</sup>, Yosuke Kawamoto<sup>1</sup>, Emi Yoshida<sup>1</sup>, Kosuke Miyawaki<sup>1</sup>, Kazuma Ohori<sup>2</sup> and Yutaka Umakoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Yonden Eng., <sup>2</sup>YONDEN.

表 1 SHIKOKU2 による解析結果の比較  
(17×17 4.8wt%UO<sub>2</sub> 燃料集合体 80GWd/t 3年冷却)

	核種数 密度最大 差異[%]	計算時間[s]		
		全体	燃焼計 算部分	冷却計 算部分
MMPA 法	3.9E-04 (Cm246)	158	80	9E-3
Krylov 部 分空間法		172	92	2