

1. 緒言

原子炉炉心を設計する際、原子炉の安全性に関する様々な項目が数値シミュレーションを通して評価される。とりわけ、炉内に装荷される各燃料の燃料棒単位の出力は、運転中の燃料の健全性に関する重要な項目であり、高精度な解析による評価が求められる。しかし、実際の炉心設計においては天文学的な数に及ぶ炉心設計パターンから効率的に優れた炉心を探査する必要があり、近似を適用して簡略化した物理モデルを利用することで計算時間の短縮を図っている。この時、取り入れられる近似の一つに空間均質化がある。空間均質化は、Fig.1 左側に示されるような水、燃料、被覆管等の複数の物質から構成される領域の幾何形状を平均均し、一様な物質とみなす操作を指す。空間均質化を導入することで計算コストは低減される一方、幾何形状を無視することにより燃料棒出力に対する解析の精度は低下する。そのため、解析結果には近似誤差を考慮して大幅な安全余裕が導入されているが、安全余裕の設定に際しても様々な仮定に基づく解析が利用されており、厳密な物理モデルに基づく詳細計算による安全余裕の定量評価が求められている。そこで本研究では高精度かつ効率的な新しい炉心解析手法として、Legendre Expansion of Angular Flux 法(LEAF 法)の開発に取り組んだ。具体的には、原子炉の幾何形状に対する近似が不要な計算手法である Axially Simplified Method of Characteristics を参考に、中性子束分布及び中性子源分布の計算手法の効率化、並列計算に対応したアルゴリズムの実装を行った。本発表では、中性子源の計算手法効率化についてのみ言及する。

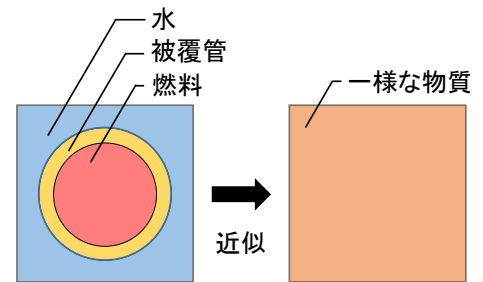


Fig. 1 空間均質化の概念図

2. LEAF 法の理論

LEAF 法は、3 次元的な計算体系を Fig.2 に示すような底面に垂直な無数の長方形領域に分割して取り扱う。このようにすることで、円柱形の燃料棒等を含む体系を全て長方形領域に分割することができ、炉心の幾何形状を近似することなく燃料棒レベルの詳細な解析を可能とする。そして、作成された各長方形領域内において中性子収支のバランスを計算することで体系全体の中性子束を計算する。この時、従来の手法では離散化された各メッシュにおいて中性子束分布及び中性子源分布は一様とする近似が用いられており、中性子束の空間分布を高精度に評価するためには多数のメッシュ分割が必要となる問題があった。そこで、LEAF 法では離散化された長方形内の中性子源分布を、隣接領域内の平均中性子源強度を内挿することにより 1 次多項式に展開する。これにより、少ないメッシュ分割数においても中性子束分布及び中性子源分布の詳細な表現が可能となり、計算効率を向上させることができる。

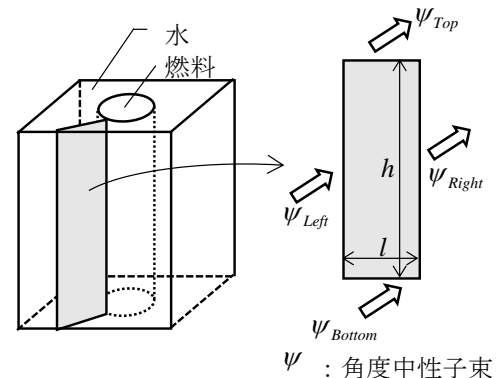


Fig. 2 体系の取り扱い方法

3. 検証計算

提案手法の検証のため、竹田ベンチマーク問題の解析を実施した。計算体系は燃料領域、制御棒挿入用のポイド領域、反射体領域から構成される小型軽水炉体系である。この解析を LEAF 法において中性子源の展開を行う場合、行わない場合の 2 ケースで解析を実施し、反射体領域の熱群中性子束の計算結果を参照解との差異として比較した。計算の結果、中性子源の展開を用いることで同程度の計算時間を達成するために必要な計算時間を大幅に短縮することができ、計算効率の向上を確認することができた。

公刊論文

- 1) 加藤祐生, 山本章夫, 日本原子力学会 春の年会, 東京都市大学, 3 月 26 日-28 日, 2013 (2013)
- 2) Y. Kato, T. Endo, A. Yamamoto, *PHYSOR2014*, Kyoto, Japan, Sep. 28 - Oct. 3, 2014 (2014).
- 3) Y. Kato, T. Endo, A. Yamamoto, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **111**, pp. 1405-1408 (2014)

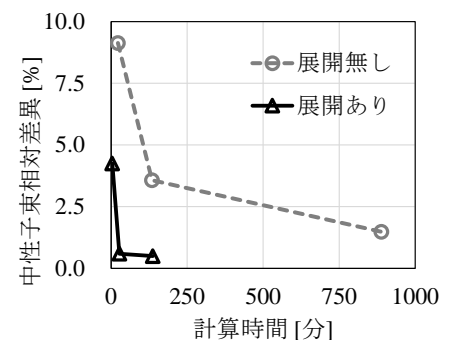


Fig. 3 中性子束計算誤差結果