

CAD データを用いたモンテカルロ計算による 形状変化が実効増倍率に与える影響評価

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 嶋倉 海倫

1. 緒言 高速炉では、温度差による燃料集合体の形状変化が中性子の実効増倍率 k_{eff} に影響を及ぼす。先行研究において、燃料集合体の熱変形による反応度フィードバック効果を解析するために一次摂動論に基づいた手法が整備されている[1]。しかし、変形量が大きくなった場合の精度の悪化や、複数の燃料集合体に変形した場合の干渉効果が十分考慮できていない等の課題が残っている。また、妥当性確認用の詳細評価手法については国内において十分整備されていない。そこで本研究では、原子炉の形状変化による反応度フィードバック効果を解析する手法として、CAD 形状を取り扱えるよう機能を拡張した連続エネルギーモンテカルロコードを利用することが可能か、検討を行った。さらに予備調査として、水中で PWR の燃料棒が変形した体系について CAD データを作成し、形状変化が k_{eff} に与える影響について調べた。

2. 計算環境の構築 本研究では、CAD 形状ファイルを作成するためメッシュ生成ソフト Coreform Cubit [2] を用いた。Coreform Cubit は CAD 入力形状の作成機能だけでなく、その入力形状を自動的に最適なメッシュに分割する機能を有している。また、連続エネルギーモンテカルロコードとしてオープンソースコードである OpenMC [3] に注目し、CAD データが扱えるように OpenMC の機能を拡張した。以上により、Coreform Cubit で生成した CAD データを OpenMC の入力幾何形状ファイルとして与えることで、燃料棒の変形など複雑な幾何形状に対して、実効増倍率 k_{eff} の計算を実施することができるようになった。

3. 計算結果 水中における燃料棒の形状変化が実効増倍率 k_{eff} に与える影響を調べるために、BEAVRS ベンチマーク問題[4]の PWR 燃料棒情報を参考として、変形前の燃料棒、変形後の燃料棒の計算体系をそれぞれ作成し、変形前後の燃料棒体系について実効増倍率 k_{eff} を計算した。変形後の燃料棒については、仮想的な機械的変形を想定し図 1 のように折り曲げた。ただし、アカデミックライセンス版の Coreform Cubit には、メッシュ分割数に制限が設けられていたため、本研究では完全反射境界条件を利用することで、無限に燃料棒が等間隔で並んだ体系を模擬し、CAD データのメッシュ分割数の削減を行った。この工夫により①メッシュ分割を十分細かくした体系(詳細メッシュ)が作成可能となり、②Coreform Cubit のデフォルト設定のメッシュ分割が粗い体系(粗メッシュ)と併せて、2 種類の体系について燃料棒の曲げ角度を変化させて、実効増倍率 k_{eff} の変化を調査した。図 1 で示すように、燃料の変

形により k_{eff} が一旦増加し、その後減少することが分かった。ただし、②粗メッシュ体系の k_{eff} 計算結果が、①詳細メッシュ体系より過小評価となる。この原因について調査し、②粗いメッシュ分割により体積が実際より小さくなっていることが分かった。この誤差を低減する方法として、モンテカルロ法で②体系の体積を計算し、真の体積との比に基づいて原子数密度を補正する方法③について検討し、メッシュ数を修正することなく①体系の計算結果に近い解を得ることができた。

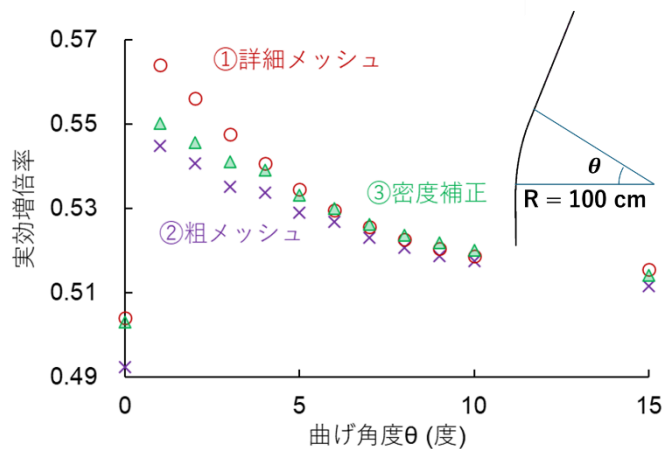


図 1 燃料棒の曲げ角度に対する実効増倍率の変化

参考文献 [1] A. Uchibori *et al.*, *Nucl. Eng. Des.*, **413**, 112492 (2023); [2] Coreform Cubit 2024.8 User Documentation; [3] P. K. Romano *et al.*, *Ann Nucl. Energy*, **82**, p.90 (2015); [4] BEAVRS, ver. 2.0.2, MIT (2018).

口頭発表 : 1. 嶋倉海倫, 他, 第 56 回日本原子力学会中部支部研究発表会, 12 月 17-18 日 (2024).