固有直交分解を用いた local/global 反復法に基づく詳細炉心解析手法の開発

名古屋大学工学部エネルギー理工学科　山本研究室　伊藤雅人

1. 緒言 原子炉を安全かつ、新たに装荷する燃料体をより少なく運転するためには、最適な燃料装荷パターンの探索が重要となる。装荷パターン探索のため膨大な回数の炉心解析を実施するには、低計算コストで高精度な炉心計算を実現可能な手法開発が必要である。先行研究において、集合体単位で均質化された体系を対象とした拡散計算に対して、空間メッシュを詳細に分割する代わりに、固有直交分解(Proper Orthogonal Decomposition, POD)を活用することで、解くべき支配方程式の次元(求める未知数の総数)を削減できることが確認されている[1]。しかし、燃料棒単位で非均質な詳細炉心体系を解く際には、体系内の中性子束空間分布は極めて複雑となり、全炉心計算に対して直接 POD を適用しても、POD の有効性を十分発揮できないという課題があった。この課題を解決するため、本研究では、POD を用いた local/global 反復計算手法を新たに開発し、非均質詳細メッシュ炉心計算を実施することで、提案手法の有効性に関する検証を実施した。

2. 提案手法 POD を活用することで、中性子束分布を互いに線形独立な少数のベクトル(POD 基底)により効率よく展開でき、求めるべき未知数の総数をメッシュ数Nから POD 基底の総数rまで削減できる。炉心は燃料集合体が多数連結された体系であるため、各集合体に対して同じ POD 基底により中性子束を展開し、連結した炉心計算を実施できれば、POD の有効性を十分に発揮できると考えた。そこで本研究では、local/global 反復法に POD を適用した新たな炉心解析法を開発した。提案手法では、収束条件を満足するまで以下の 4 つの計算を反復させる：①燃料棒単位で非均質な単一集合体体系の POD 計算(local 計算)→②集合体単位の均質化・不連続因子の計算→③単一集合体単位で均質化した全炉心体系の粗メッシュ計算(global 計算)→④集合体間の境界条件の更新。local 計算を適切に実施するためには、隣接集合体からの中性子輸送効果を評価する必要があり、global 計算結果を利用して集合体間の境界条件を更新する。一方、global 計算はメッシュ分割が粗く離散化誤差が大きいため、local 計算時の詳細な中性子流を精度よく再現するための補正パラメータ(不連続因子)が必要となる。以上の反復法を実現するため、本研究では以下 2 つの方法を新たに開発した：1) 隣接する集合体効果を考慮するためにアルベド境界条件を組み込んだ POD 計算手法、2) POD を用いた local 計算結果に基づく不連続因子の評価法。

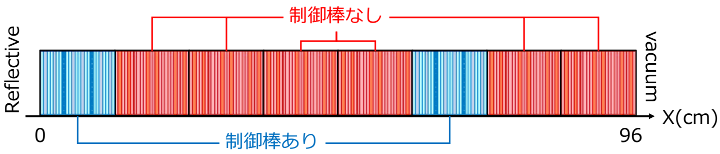
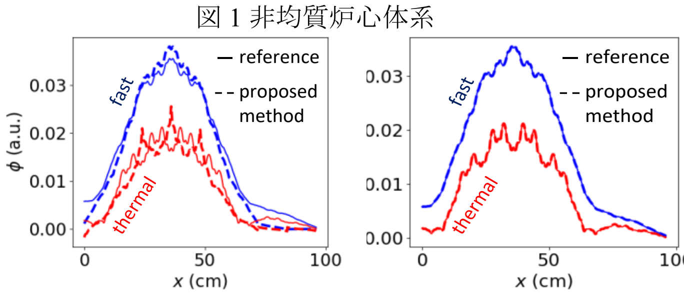


図 1 非均質炉心体系



POD 基底数$r = 2$

$k_{\mathrm{eff}} = 1.14430$

POD 基底数$r = 7$

$k_{\mathrm{eff}} = 1.15056$

図 2 提案手法より得られた中性子束の空間分布及び実効増倍率（参照解$k_{\mathrm{eff}} = 1.15057$）

3. 検討結果 計算体系として図 1 に示す 8 体の単一集合体を並べた非均質炉心体系を対象として提案手法による炉心計算を行った。local 計算及び全炉心詳細メッシュ計算(参照解)では 1 メッシュ長さを 0.05 cm とし、各単一集合体長さを 12 cm とした、すなわち 1 単一集合体あたり 240 メッシュをとった。各エネルギー群の POD 基底を$r = 2, 7$本用いて提案手法により中性子束を計算した。詳細メッシュ拡散計算と提案手法により得られた中性子束分布及び実効増倍率k_{eff}を図 2 に示す。POD 基底を増やすことで、中性子束及び実効増倍率の計算結果は参照解とほぼ一致した。以上より、各集合体計算で求める未知数の総数を 240 から 7 まで削減できた。

参考文献：[1]K. Tsujita, T. Endo, and A. Yamamoto, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **58**(2), pp.173–183 (2021)

口頭発表：[1]伊藤雅人, 天野虎之介, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2021 秋の大会, 2I06, 2021 年 9 月 9 日 (2021)

[2] 伊藤雅人, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 第 53 回日本原子力学会中部支部研究発表会, R24, 12 月 17 日, (2021)