

# エネルギーに関する中性子束の展開基底を用いた共鳴計算手法に関する研究

原子核エネルギー制御工学グループ 山本章夫研究室 近藤諒一

**緒言:** 原子炉の炉心解析では、ボルツマン輸送方程式を数値的に解くことで中性子の挙動を計算し、炉心特性を得ている。一方で、炉心の複雑な形状や核反応断面積のエネルギー依存性を忠実に取り扱うことは、計算機能力の観点から非現実的である。したがって、核設計では、小規模体系において詳細な空間・エネルギー依存性を考慮する計算から、規模を拡大しつつ、空間・エネルギー依存性の粗い計算を行うという多段階の計算が行われる。この段階的な計算は、共鳴計算、格子計算、炉心計算の三つに分けられる。本研究では、最上流にあたる共鳴計算の高度化に取り組む。共鳴計算では、連続エネルギー相当の断面積を数十群から数百群まで群縮約し、格子計算の入力となる実効断面積を供給する。群縮約の一例を図1に示す。共鳴構造の存在により、そのエネルギーにおいて、中性子の吸収が非常に大きくなるため、これを正確に評価することが重要となる。従来の代表的な共鳴計算手法には、超詳細群計算、等価原理、サブグループ法がある。しかしながら、計算精度と計算時間を両立するような手法は原子炉物理の歴史において存在しなかった。本研究では、新しく提案された共鳴計算手法である RSE 法を超詳細群計算と比較し、その妥当性を確認する。

**手法:** RSE 法は、式(1)のように中性子束をエネルギーに関する直交基底で展開する手法である。あるエネルギー群における中性子束の展開係数に対する輸送方程式は式(2)で表される。従来の輸送方程式と類似しており、数値的に解くことが可能である。

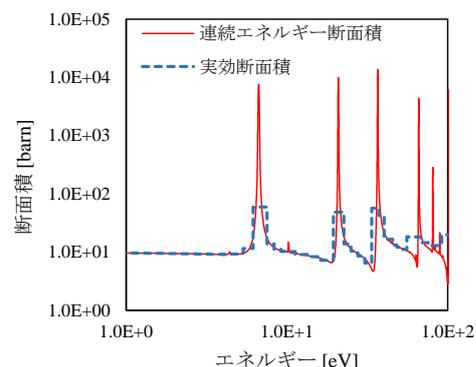


図1 断面積の群縮約

$$\Psi(\mathbf{r}, \Omega, E_g) = \sum_{i=1}^N f_{i,g}(E_g) \Psi_{i,g}(\mathbf{r}, \Omega) \quad (1), \quad \Omega \cdot \nabla \Psi_{n,g}(\mathbf{r}, \Omega) + \sum_{i=1}^N \Sigma_{t,g,n,i}(\mathbf{r}) \Psi_{i,g}(\mathbf{r}, \Omega) = Q_{n,g}(\mathbf{r}) \quad (2)$$

直交基底は、解析対象の中性子束を包絡するような複数の均質体系における中性子束を特異値分解することで抽出される。また、直交基底は対応する特異値の大きさに応じて、寄与の大きいものから抽出されるという性質がある。低次の基底のみを用いて展開することで、計算時間の削減が可能である。これを低ランク近似と呼ぶ。展開された中性子束の一例を図2に示す。展開次数が増えるとともに、参照値に近づく傾向がみられる。

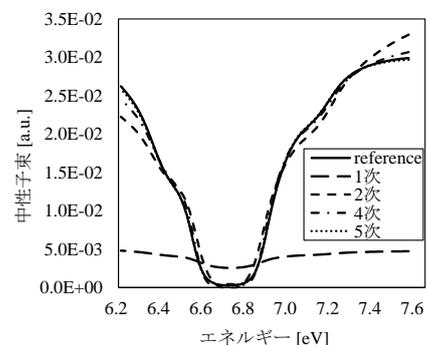


図2 基底で再構成された中性子束

**検証計算:** 3.1 wt% UO<sub>2</sub> 燃料からなる 17×17 単一集合体における 172 群の実効断面積を計算した。RSE 法で得られた実効全断面積は、参照値とした超詳細群計算の結果との差異が 1%未満で一致することを確認した(図3)。さらに、低ランク近似を適用することにより、最大次数で展開する場合と比較して、同程度の精度を保ちながら、計算時間を3分の1まで削減した。以上より、計算精度の観点から本手法の妥当性を示すとともに、高速化が可能であることを示した。

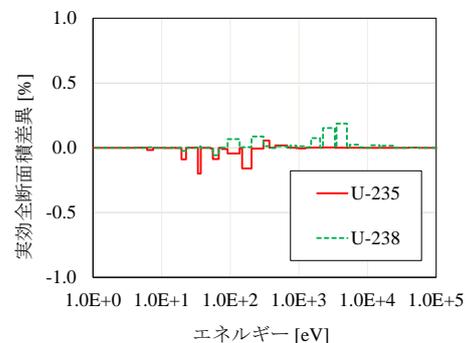


図3 RSE法と超詳細群計算の比較

## 公刊論文および口頭発表

- [1] R. Kondo, T. Endo, A. Yamamoto *et al.*, *Nucl. Sci. Eng.* DOI: 10.1080/00295639.2020.1863066
- [2] A. Yamamoto, R. Kondo, T. Endo *et al.*, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **121**, 1316-1320 (2019).
- [3] R. Kondo, T. Endo, A. Yamamoto *et al.*, *Proc. RPHA19*, Osaka, Japan, Dec. 2 - 3, 2019.
- [4] 近藤諒一, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会春の年会, 福島大学, 3月16日 - 18日, (2020).
- [5] R. Kondo, T. Endo, A. Yamamoto *et al.*, *Proc. PHYSOR 2020*, Cambridge, UK, Mar. 29 - Apr. 2, 2020.
- [6] 近藤諒一, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会秋の大会, オンライン開催, 9月16日 - 18日, (2020).
- [7] R. Kondo, T. Endo, A. Yamamoto *et al.*, *Proc. M&C2021*, Raleigh, NC, Oct. 3 - 7, 2021. (submitted)