

**緒言** 原子炉炉心解析研究においては、実効増倍率や中性子束等の核特性を限られた計算時間の中で精度よく予測するため、数値計算への適用性を考慮した、ボルツマン輸送方程式(1)の近似解法を考案し、実炉心解析に対する適用性を高めることが恒常的な中心課題となっている。方程式中に現れる中性子反応断面積 $\Sigma$ の有する、エネルギーに依存した複雑な共鳴構造を効率的に取り扱うため、一般的には中性子エネルギー領域を多数の群に離散化し、各群 $g$ に対する中性子バランス方程式(2)が解かれる。このとき、式(2)において定数とみなす群平均断面積 $\Sigma_g$ は、式(3)のように、未知物理量である中性子束 $\phi$ の厳密解を用いた加重平均の形式で定義され、 $\Sigma_g$ を求める核計算過程を共鳴計算とよぶ。従来は $\phi$ のエネルギー $E$ 依存性を近似的に評価し、空間位置 $\mathbf{r}$ 依存性をバイアス補正に基づき陰に考慮する手法が適用されてきたが、MOX燃料を含む核的非均質性の高い複雑体系の解析に対し、従来手法には精度面より適用限界が生じる。本研究では、中性子の空間とエネルギーの効果を陽的に考慮することで、複雑体系に対して汎用的に適用可能となる共鳴計算手法を考案した。

$$\Sigma(\mathbf{r}, E)\phi(\mathbf{r}, E) = S(\mathbf{r}, E) \quad (1), \quad \Sigma_g(\mathbf{r})\phi_g(\mathbf{r}) = S_g(\mathbf{r}) \quad (2), \quad \Sigma_g(\mathbf{r}) = \int_g dE \Sigma(\mathbf{r}, E)\phi(\mathbf{r}, E) / \int_g dE \phi(\mathbf{r}, E) \quad (3)$$

**空間とエネルギーの効果を陽的に考慮した共鳴計算** 本研究で提起する共鳴計算では、(I) 着目群 $g$ 内を共鳴断面積の大きさに応じた3~5個の不連続サブエネルギー群 $sg(\in g)$ にわけ、各 $sg$ に対して輸送方程式(4)を解くことにより中性子エネルギーの効果を陽的に考慮する。その際、(II)  $sg$ に対する群平均断面積 $\Sigma_{sg}$ を、式(5)で表すように、燃料ピンに共鳴吸収される中性子の指数関数的空間減衰効果を陽的に考慮することにより評価する。ここで、(I)(II)の物理的イメージを図1, 2にそれぞれ示す。このとき、群平均断面積 $\Sigma_g$ を式(4)の解 $\phi_{sg}$ を用いて式(6)より求めることができる。

$$\Sigma_{sg}(\mathbf{r})\phi_{sg}(\mathbf{r}) = S_{sg}(\mathbf{r}) \quad (4), \quad \Sigma_{sg} = f(\exp(-\Sigma x)) \quad (5), \quad \Sigma_g(\mathbf{r}) = \left\{ \sum_{sg \in g} \Sigma_{sg}(\mathbf{r})\phi_{sg}(\mathbf{r}) \right\} / \left\{ \sum_{sg \in g} \phi_{sg}(\mathbf{r}) \right\} \quad (6)$$

**検証計算**  $^{238}\text{U}$ 燃料棒とH減速材よりなる集合体内単位燃料格子体系において、群平均断面積の燃料内径方向空間分布を計算した。図3に示すように、本手法の結果は、式(1)を連続エネルギー相当で厳密に解くことにより得られる参照解と最大4%以内で一致し、本手法の妥当性を確認した。

**結言** 空間とエネルギーの効果を陽的に考慮した共鳴計算手法を考案し、単位燃料格子体系における検証を通して、本手法が空間依存群平均断面積を精度よく評価できることを示した。

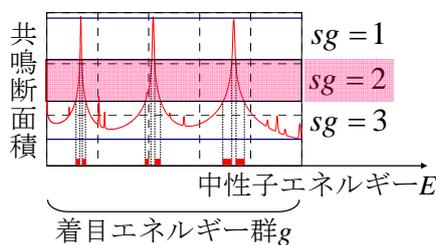


図1 サブエネルギー群の概念

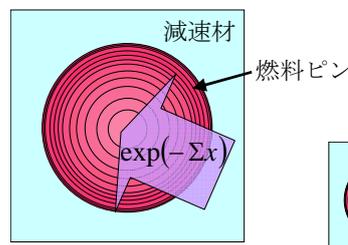


図2 ピン内の中性子減衰

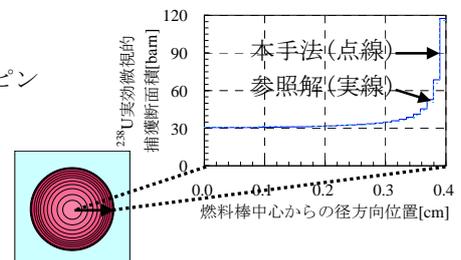


図3 計算結果

公刊論文

- [1] 小池啓基, 山本章夫, 山根義宏, “不連続エネルギー群構造の中性子輸送計算に基づく実効断面積計算手法の開発,” 日本原子力学会 2008 年秋の大会(2008).
- [2] Hiroki Koike, Akio Yamamoto, Yoshihiro Yamane, “Development of a Resonance Calculation Method based on Discrete Treatment of Energy Ranges,” *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **99**, 674-676(2008).
- [3] 小池啓基, 山本章夫, 山根義宏, “不連続エネルギー群構造の中性子輸送計算に基づく実効断面積計算手法の開発 (2)計算理論,” 日本原子力学会 2009 年春の年会(2009).
- [4] 小池啓基, 山本章夫, 山根義宏, “不連続エネルギー群構造の中性子輸送計算に基づく実効断面積計算手法の開発 (3)検証計算,” 日本原子力学会 2009 年春の年会(2009).