

**1. 緒言：** 原子炉の安全性および経済性を確保するためには、原子炉内の核反応をボルツマン輸送方程式に基づき精度良く予測する必要がある。一方、ボルツマン輸送方程式を解く際に用いられる中性子と原子核の反応確率を表す断面積は、数万のエネルギー点で構成されている。計算コストと計算誤差の観点から、炉心解析ではボルツマン輸送方程式を多段階に分けて解くモデルが一般的に採用されている。このモデルでは、単純な体系で詳細なエネルギー群数の断面積を取り扱い、その結果を基に体系を徐々に大型化させ、それに伴いエネルギー群数を少なくしている。その最も上流に位置する計算手順として、中性子束の変動に起因する空間自己遮蔽効果とエネルギー自己遮蔽効果の両方の効果を考慮し、詳細群の断面積の平均化を行っているのが共鳴計算である。共鳴計算手法の一つとして、超多群計算が挙げられる。超多群計算では、(1)式に示す中性子のバランス式を用いて、詳細群の中性子束 $\phi_i(E)$ を計算する。

$$\sum_{i,i} (E) \phi_i(E) V_i = \sum_j P_{ji}(E) S_j(E) V_j \quad (1)$$

そして、得られた中性子束を重みとして、断面積の平均化を行う。この手法はエネルギー自己遮蔽効果を表す減速中性子源 $S_j(E)$ に関する減速計算と、空間自己遮蔽効果を表す衝突確率 $P_{ji}(E)$ に関する空間輸送計算の両方を厳密に計算するため、共鳴計算の中で最も精度が良い手法である。一方、衝突確率 $P_{ji}(E)$ に関する空間輸送計算は、エネルギー群ごとに実施する必要があるため、複雑な任意幾何形状の体系に適用した際に、計算コストの大幅な増加が問題となる。そこで、本研究では、超多群計算の空間自己遮蔽効果を扱う空間輸送計算の改良に取り組んだ。

**2. 超多群計算における空間輸送計算の高速化：** まず、空間自己遮蔽効果を扱う空間輸送計算の改良に着目し、エネルギー自己遮蔽効果を扱う減速計算には以下の3つの近似、1)共鳴干渉効果の無視、2)全核種の散乱断面積がエネルギーに依存せず一定、3)共鳴の幅が狭い仮定(NR近似)、を用いる。これらの近似の導入により、(1)式は以下のように書ける。

$$\phi_i(E) = (\sigma_{p,r} + \sigma_0(E)) / (\sigma_{t,r}(E) + \sigma_0(E)) / E \quad (2)$$

$$\sigma_0(E) = \sum_j \sum_{k \neq r} P_{ji}(E) N_{k,j} \sigma_{p,k} V_j / \left( \sum_j P_{ji}(E) N_{r,j} V_j \right) \quad (3)$$

このように、衝突確率の計算を背景断面積 $\sigma_0(E)$ の計算に置き換えることで、超多群計算において中性子束を求める(1)式は、衝突確率を陽的に含まない(2)式になる。また、この背景断面積は、体系の巨視的断面積が決まれば、一意に決まるといった性質を持っている。例として、図1に示した多重分割したピンセル体系の中心円領域に着目すると、その背景断面積と巨視的断面積の関係は図2のようになる。この性質を利用して、予め背景断面積と巨視的断面積の内挿表を作っておけば、詳細群の背景断面積は内挿で評価できる。つまり、内挿で詳細群の背景断面積を作成し、時間のかかる衝突確率の計算の代わりに、(2)式に代入して中性子束を評価することで、超多群計算の計算コストが削減できる。

**3. 検証計算：** 図1に示した $^{238}\text{U}$ 燃料棒と $^1\text{H}$ 減速材からなるピンセル体系で検証計算を行った。体系を等体積に10分割し、燃料領域の中性子束を検証計算の対象とする。参照解の中性子束は、衝突確率 $P_{ji}(E)$ を厳密に評価し、(1)式を用いて求めた。そして、提案した改良法の結果、参照解および両者の相対差異を図3に示す。両者は0.05%以内の相対差異で一致し、改良法の妥当性が確認された。また、参照解の計算時間は4.8時間だったのに対して、改良法は6.7分と計算時間の短縮を実現した。

**4. 結論：** 超多群計算の空間自己遮蔽効果を扱う空間輸送計算に関する改良法を提案し、高速かつ高精度に計算できることを確認した。改良法は複雑な任意幾何形状の体系にも適用可能である。

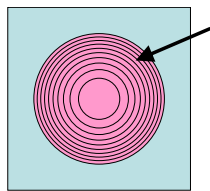


図1 ピンセル体系

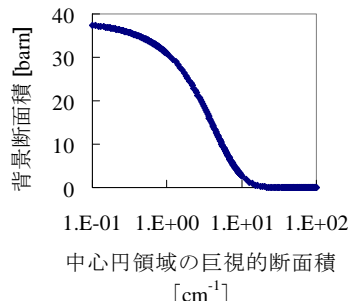


図2 背景断面積と巨視的断面積の関係

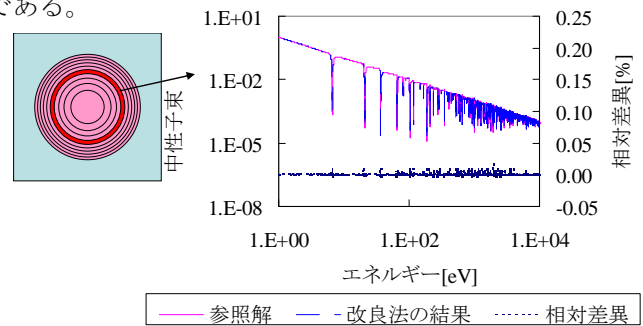


図3 計算結果

#### 公刊論文

- [1] 喻昊, 山本章夫, 山根義宏, “MOCを用いた Tone の方法による実効断面積作成手法の検討,” 日本原子力学会 2010 年春の年会(2010).
- [2] H. Yu, A. Yamamoto, Y. Yamane, “Resonance Calculation for Large and Complicated Geometry Using Tone's Method by Incorporating Method of Characteristics,” *Proc. ICONE18*, Xian, China, May, 2010(2010).
- [3] H. Yu, T. Endo, A. Yamamoto, “Resonance Calculation for Large and Complicated Geometry Using Tone's Method by Incorporating the Method of Characteristics,” *J. Nucl. Sci. Technol.* [in print]