核燃料燃焼計算に用いる擬似 FP 作成アルゴリズムに関する検討

(1)アルゴリズムの概要

Development of pseudo FP generation algorithm for nuclear fuel burnup calculations

(1) Outline of the algorithm

*柳原 健人¹, 千葉 豪¹

¹北海道大学

簡易燃焼チェーンにて無視される核分裂生成物 (FP) の寄与を考慮するための擬似 FP (PFP) に関して検討を行い、3つの擬似核種が連結する構造をもつ PFP を作成した。本稿ではアルゴリズムの概要について記す。

キーワード：燃焼計算、核分裂生成物、擬似 FP

1. 背景：炉心設計計算において、全ての FP を各々の媒質に対して直接的に考慮することは理想的ではあるものの現実的ではない。従って、一般的には燃焼計算において重要な FP のみを直接的に取り扱い、それ以外は擬似的な核種としてまとめて取り扱われる。直接的に取り扱うべき FP の選択方法に関する研究は近年活発に行われている一方、無視される FP の寄与を考慮するための PFP の作成には開発の余地がある。

2. アルゴリズムの概要：本アルゴリズムは主に3つのステップからなる。

2-1. 簡易燃焼チェーンにて無視される FP の中性子吸収反応率の定量化

UO₂ もしくは MOX の未燃焼状態の中性子スペクトルから各 FP の 1 群反応断面積を計算した。そして、得られた断面積を用い、核分裂性核種の 1 回の核分裂反応により生じる FP の崩壊と中性子吸収の核反応を考慮した燃焼計算を行い、詳細なチェーンと簡易チェーンにおける FP の時間依存の中性子吸収率を定量化した。そして、その 2 つの差をとり、簡易チェーンにて無視される中性子吸収率を定量化した。なお、燃焼計算は北海道大学で開発している炉物理解析コード CBZ において中性子束レベルを一定として行った。

2-2. 定量化された中性子吸収反応率の複数の指数関数の重ね合わせによる近似

n 個の核種からなる線形燃焼チェーンにおいて、中性子吸収率の総和は核種 i の数密度 N_i と微視的反応率 s_i を用いて式 (1) のように記述可能である。従って、複数の擬似核種が連結する PFP を導入することとし、2-1 にて定量化した中性子吸収率 $R(t)$ を複数の指数関数の重ね合わせにて近似し、個々の擬似核種の崩壊定数及び微視的反応率を決定した。なお、ここでは 1 つ目の擬似核種の初期数密度 $N_1(0)$ はノンゼロ、それ以外の $N_i(0)$ はゼロとした。また、中性子束を 1.0 に規格化しているため、微視的反応率は 1 群中性子吸収断面積と等しい。

$$R(t) \approx \sum_{i=1}^n \frac{N_1(0)s_i}{\lambda_i} \sum_{j=1}^i \lambda_j \alpha_j^i \exp(-\lambda_j t) \quad (1)$$

$$\alpha_j^i = \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^i \frac{\lambda_k}{\lambda_k - \lambda_j} \quad (i > 1) \quad (2)$$

2-3. 擬似 FP の作成

擬似核種を実際の燃焼計算で用いるにはエネルギー依存の反応断面積が必要となる。そこで、2-2 にて得られた擬似核種の 1 群断面積と 223 の FP の 1 群断面積を比較した。そして、同等の 1 群断面積を持つ FP の反応断面積を擬似核種のエネルギー依存の断面積とした。

* Kento Yanagihara¹, Go Chiba¹

¹ Hokkaido University