

燃料棒単位詳細メッシュ BWR 炉心核計算手法に対応した核定数の取り扱いに関する研究

エネルギー量子制御工学グループ 藤田 達也

1. 序論 現在、日本では、沸騰水型原子炉(BWR)と加圧水型原子炉(PWR)の2種類の原子炉によって商業運転が行われており、その運転前には、設計された燃料装荷パターンが異常な反応度変化や出力分布の偏りを示さないかといった安全性を炉心解析によって確認しなければならない。原子炉内の燃料集合体といった構造物の複雑な幾何形状を正確に取り扱うことは、計算時間の観点から非現実的であるため、従来の計算手法では燃料集合体を1つのメッシュに均質化している。この計算手法は、従来の UO_2 燃料が装荷された炉心に対して、多くの実績と信頼性を有している。しかしながら、高燃焼度燃料や MOX 燃料が装荷された炉心では、中性子束のエネルギー及び空間的な分布の変化が大きくなるため、これまでと同等の精度を保つことが難しい。そこで近年では、従来よりも詳細なメッシュで均質化する、燃料棒単位詳細メッシュ炉心計算手法が注目されている。この計算手法は、中性子束のエネルギー及び空間的な分布の変化が大きい炉心に対しても高精度な解析が可能になると期待されており、PWR では既に適用されている。しかしながら、BWR では、炉内で軽水が沸騰する、十字型制御棒が挿入されるといった、PWR よりも複雑な現象が生じているため、現在適用性が検討されている段階である。また、これらの現象は、炉心計算に必要な核定数を取り扱いにも影響を与えており、BWR への適用における問題点となっている。

2. 核定数ライブラリの作成手法 炉心計算を行うために必要な核反応断面積などの核定数は、炉心のあらゆる状態に対応して用意されなければならない。そのため、炉心計算に先立ち、炉心の特定の状態を想定して計算された核定数が、核定数に影響を与える状態変数に対して、核定数ライブラリとしてテーブル化される。この核定数ライブラリは炉心計算の計算精度に大きな影響を与えるが、燃料棒単位詳細メッシュ BWR 炉心計算手法に対応したものは、まだ検討されていない。そこで本研究では、BWR 特有の現象を詳細に考慮した上で、燃料棒単位詳細メッシュ炉心計算手法に対応した核定数ライブラリの作成手法を検討する。核定数は、燃焼度、状態変数の変化、燃焼履歴に複雑に依存しており、またそれらも相互に依存している。そこで、(1)燃焼度毎で核定数を計算する、(2)BWR 運転中の平均的な状態における核定数に、状態変数の変化及び燃焼履歴についての補正量を派生項として線形結合する、という2つの近似を用いて核定数を表現した。その後、燃焼度、状態変数の変化及び燃焼履歴を考慮した補正量の取り扱いについて検討した。従来の計算手法では、集合体平均燃焼度を利用しているが、燃料棒単位詳細メッシュ炉心計算手法では燃料棒毎の燃焼度が利用可能になる。そこで、集合体平均燃焼度と燃料棒毎の燃焼度を利用した場合の計算精度を比較し、燃料棒毎の燃焼度を直接利用することの適用性を確認した。核定数に影響を与える状態変数は、相互に依存している。そこで、BWR で影響の大きいボイド率と制御棒位置を中心に相互依存性を考慮して、核定数ライブラリを作成するための計算ケースのリストを作成した。また、そのリストを用いて、状態変数の変化を考慮した補正量の状態変数間の相互依存性を考慮した計算方法を考案した。燃焼履歴は、複数の状態変数の変化の履歴(ボイド率の変化の履歴など)の積み重ねである。そこで、燃焼履歴を従来よりも詳細に考慮するため、燃焼履歴を個々の履歴に分離してそれぞれ評価し、計算された各履歴の補正量から必要な補正量を再構成する計算方法を考案した。

3. 精度検証 図1に示す $9 \times 9 \text{UO}_2$ 燃料集合体(平均濃縮度 3.5wt%)の単一集合体体系において、集合体計算コードで直接計算した核定数を用いた場合と核定数ライブラリで計算した核定数を用いた場合の無限増倍率を比較した。燃焼度を通して一定の状態である4つのケースに対する、無限増倍率の計算精度を図2に示す。いずれのケースも、無限増倍率の相対差異は燃焼度全体を通して 0.1% $\Delta k/k$ 以下と小さいことが確認できた。これにより、本研究で検討した核定数ライブラリの作成方法は、十分な精度で核定数を計算可能であることが分かった。

4. 結論・今後の課題 本研究では、BWR 特有の現象を詳細に考慮した上で、燃料棒単位詳細メッシュ炉心計算手法に対応した核定数ライブラリの作成手法を検討した。また、その適用性を確認した。今後は、実際の炉心を想定した計算体系において、検討を行う予定である。

公刊論文一覧

[1] 藤田達也, 多田健一, 山本章夫他, “燃料棒単位核定数の合成における燃焼度の取り扱いの検討”, 日本原子力学会 2010 年春の年会, 水戸, 3/26-28, 2010 (2010).

[2] T. Fujita, K. Tada, A. Yamamoto et al., “Investigation on Macroscopic Cross Section Model for BWR Pin-by-Pin Core Analysis,” *Proc. Physor2010*, Pittsburgh, Pennsylvania, May, 9-14, 2010 (2010). [CD-ROM]

[3] 藤田達也, 大塚一将, 多田健一他, “BWR 体系における燃料棒単位詳細メッシュ炉心核計算手法のエネルギー群構造の検討”, 日本原子力学会 2010 年秋の大会, 札幌, 9/15-17, 2010 (2010).

[4] T. Fujita, K. Otsuka, K. Tada et al., “Investigation of Theoretical Approach to Establish Energy Group Structure for BWR Pin-by-Pin Core Analysis,” *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **103**, 721-723 (2010). [CD-ROM]

[5] 藤田達也, 多田健一, 遠藤知弘他, “燃料棒単位詳細メッシュ BWR 炉心核計算に適したエネルギー群構造の逐次網羅的探索手法の検討”, 日本原子力学会 2011 年春の年会, 福井, 3/28-30, 2011 (2011). (to be presented)

[6] T. Fujita, K. Tada, T. Endo et al., “Treatment of History Effect on Macroscopic Cross Section Model for BWR Pin-by-Pin Core Analysis,” *Proc. ICONE19*, Makuhari, Japan, May, 16-19, 2011 (2011). (to be submitted)

[7] T. Fujita, K. Tada, T. Endo et al., “A Systematic Approach to an Establish Energy Group Structure for BWR Pin-by-Pin Core Analysis,” *Proc. ICONE19*, Makuhari, Japan, May, 16-19, 2011 (2011). (to be submitted)

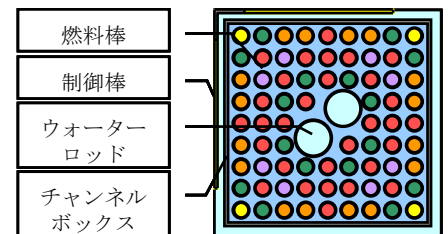


図1 計算体系($9 \times 9 \text{UO}_2$ 燃料集合体)

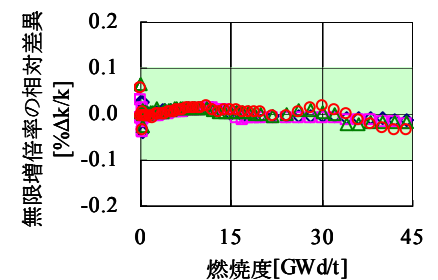


図2 無限増倍率の計算精度

