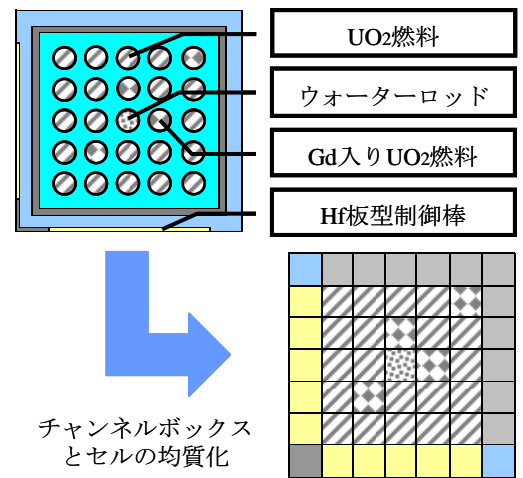


Pin-by-pin 体系における燃料棒単位核定数のテーブル化手法の検討

量子エネルギーシステム工学講座 エネルギー量子制御工学グループ 藤田 達也

1. 緒言 BWR 炉心解析は一般的に、核計算、燃焼計算及び熱水力計算から成り立っている。核計算では、炉内の中性子束分布を、燃料セル単位のセル計算、燃料集合体単位の集合体計算、炉心全体における炉心計算を用いて求める。炉心計算では、セル計算及び集合体計算によって断面積などの核定数をあらかじめ計算しておく必要があるため、制御棒位置、ボイド率、燃料温度、減速材温度、燃焼度などの核定数に影響を及ぼす状態変数の特定の組み合わせについてあらかじめ計算を行い、求められた核定数のテーブル化を行う。そして、炉心計算で用いる核定数は、作成したテーブルの内挿や多項式フィッティングなどによって求める。多田らの研究における Pin-by-pin 詳細メッシュ炉心計算手法は、燃料集合体を集合体単位で均質化を行う現行の計算手法と異なり、燃料棒単位で均質化を行う。そのため、炉心設計において重要な炉心パラメータの計算精度の向上が期待される。しかし、Pin-by-pin 詳細メッシュ炉心計算に用いるための核定数のテーブル化手法が確立していないことから、Pin-by-pin 詳細メッシュ炉心計算手法の実用化には、より少ないデータ点数で高精度な核定数を与えるテーブル化手法の開発が大きな課題となっている。本研究では、BWR 炉心計算において、状態変数の変化に伴う核定数の変化について考察することにより、Pin-by-pin 詳細メッシュ炉心計算手法の実用化の技術的な障害となっている核定数のテーブル化手法について検討を行った。

2. 計算体系 計算に用いた体系は、図 1 に示すような BWR 集合体を模擬した $5 \times 5 \text{UO}_2$ 燃料集合体体系で、 UO_2 燃料、Gd 入り UO_2 燃料、ウォーターロッド及び Hf 板型制御棒から構成されている。チャンネルボックスは、材質である Zr の吸収断面積が小さく、減速材内と Zr 内で中性子束の空間分布に大きな差異がないことから、体積重みで均質化を行った。計算には、汎用核計算コード SRAC2002 の衝突確率計算モジュール及び格子燃焼計算モジュールを用いた。核定数の状態変数としては、制御棒位置、ボイド率、燃料温度、減速材温度、燃焼度を考えた。また、各燃焼度点において、状態変数の瞬時変化に伴う核定数の変化を考慮するため、燃焼途中で制御棒の有無といった体系の変化が可能なブランチング燃焼計算モードを利用した。求められた核定数は、セル毎に均質化した。

図1 $5 \times 5 \text{UO}_2$ 燃料集合体

3. 計算結果及び検討 あらかじめ計算した状態の核定数を補間することで、別の状態における核定数の再現を行った。補間から求めた核定数及び SRAC から求めた核定数を用いて、多田らが開発した三次元燃料棒単位詳細メッシュ炉心計算コード SUBARU にて燃料集合体の核分裂率及び無限増倍率を計算し、比較することで核定数の補間の精度を検証した。燃焼度については、多項式近似を用いることで、核定数を表現することが可能であった。この際、可燃性毒物であるガドリニウムの燃焼による影響を考慮することが必要であった。ボイド率については、減速材密度を変数とした 2 次多項式及び自然対数関数を組み合わせることで、精度良く補間可能であった。図 2 に燃焼度に対する核分裂率の相対誤差を示す。燃料温度については、線形補間を用いることで、精度良く補間可能であった。減速材温度については、2 次多項式による補間を用いたが、ガドリニウムの燃焼の影響により、ガドリニウムが燃え尽きる燃焼度付近において、誤差が急激に増加した。制御棒の有無については、制御棒が挿入されている状態における核定数と制御棒が引き抜かれている状態の核定数との相対差異を利用した重み付けを用いたが、燃焼が進むにつれて、誤差が増大した。

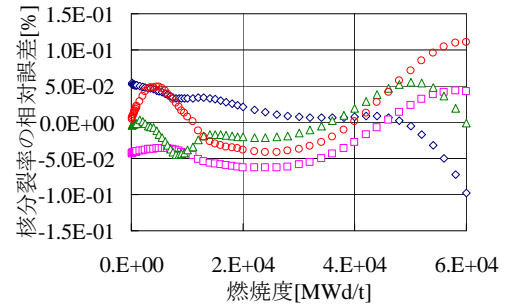


図2 核分裂率の相対誤差(ボイド率の補間)

を補間可能であった。燃焼度については、線形補間を用いることで、精度良く補間可能であった。減速材温度については、2 次多項式による補間を用いたが、ガドリニウムの燃焼の影響により、ガドリニウムが燃え尽きる燃焼度付近において、誤差が急激に増加した。制御棒の有無については、制御棒が挿入されている状態における核定数と制御棒が引き抜かれている状態の核定数との相対差異を利用した重み付けを用いたが、燃焼が進むにつれて、誤差が増大した。

4. 結言及び今後の課題 Pin-by-pin 体系における核定数テーブルの検討として、各状態変数に対して核定数の補間を検討した。燃焼度、ボイド率、燃料温度については、精度良く補間することが可能であった。一方で、減速材温度及び制御棒位置については、ガドリニウムの燃焼による影響や制御棒の挿入による燃焼の履歴効果を考慮できていなかったため、十分な精度が得られなかった。今後は、補間すべき断面積を、巨視的だけでなく、微視的にも取り扱うことで、これらの問題点について検討するとともに、実機 BWR で用いられている燃料集合体を用いて核定数のテーブル化を行う。