

可燃性毒物が含まれた燃料集合体の燃焼計算における予測子・修正子法の高度化

Improvement of the predictor-corrector method for burnup calculation in nuclear fuel
containing burnable absorbers

*宮沢 風雅¹, 千葉 豪¹, 辻田 浩介², 三輪 周平²

¹北大, ²原子力エンジ

予測子・修正子法で行われる Corrector 計算の負荷を抑制し、1 燃焼ステップの計算コストを低減させた。

キーワード：可燃性毒物，燃焼計算，予測子・修正子法，簡易モデル

1. 背景 可燃性毒物を含んだ燃料集合体に対する燃焼計算手法として予測子・修正子法（Predictor-Corrector method、PC 法）が広く知られている。この PC 法を改良して当研究室で開発した AOWPC 法[1]では 2.0GWD/t 程度の粗い燃焼ステップで中性子無限増倍率 k_{∞} をおよそ 100pcm 以内の誤差で再現することが可能である。一方で、PC 法では 1 燃焼ステップあたりに 2 回の燃焼計算を行う必要があるため 1 燃焼ステップの計算コストは大きい。従って、この計算コストを低減することができれば、燃焼計算に要する総計算時間を大幅に短縮させる可能性を持つ。本研究の目的として、参照解の k_{∞} から 100pcm 以内の再現誤差に収めることに加え、Corrector 計算の負荷を極限にまで小さくすることを目指した。

2. 検討手法 本手法では中性子輸送計算のコストを低減させる簡易モデルの導入とその簡易化による誤差を低減させる補正手法を採用する。詳細な計算条件を Original model (om)、簡易化した計算条件を Simplified model (sm) と区別する。sm には、Ray-tracing 条件として角度分割数および Tracing 幅を粗くした条件を設定し、加えて群縮約を用いることで輸送計算 1 回あたりのコスト短縮を図った。これら簡易化による誤差を低減させるために補正が必要となる。Predictor 計算において om および sm それぞれの輸送計算から微視的反応率を算出し、om の微視的反応率を再現するような補正因子を導出した。Corrector 計算では sm のみで輸送計算を行い補正因子を適用した。以下に適用される補正式を示す。

$$\theta^{C,om} = \theta^{C,sm} \times (\theta^{P,om} / \theta^{P,sm})$$

ここで θ は一群断面積もしくは全中性子束を示し、 P, C はそれぞれ Predictor 計算、Corrector 計算を表す。

3. 検討結果 検証計算はガドリニア燃料を中心に配置しウラン燃料で取り囲んだ 3x3 マルチセル体系で行った。0.1GWD/t 刻みの AOWPC 法による燃焼計算を行い k_{∞} の参照解を取得し、検討では 2.0GWD/t 刻みでの燃焼計算を行い k_{∞} を取得した。簡易モデルには、

Ray-tracing 条件の簡易化に関して詳細条件から角度分割数を 1/8 に、Tracing 幅をおよそ 7 倍と最も粗い条件とした。加えて詳細条件の XMAS172 群構造から新たに提案する 20 群構造へと縮約させた。検討計算で得られた k_{∞} の再現誤差を図 1 に示す。比較として、AOWPC 法(2.0GWD/t)と補正を適用していない結果を併せて示す。図 1 より、簡易モデルのみの結果では、非常に粗い簡易化に対して再現誤差が大きく生じなかった。これは AOWPC 法特有の、過去の数密度・反応率履歴を考慮した Gd 同位体に対する補正によって簡易化による誤差が軽減されたと考えられる。更に補正式を組み込むことで燃焼全体を通して再現誤差 100pcm 以内に収まった。また、計算時間を比較すると AOWPC 法(2.0GWD/t)から 70%程に短縮することが可能となった。

参考文献 [1] J.Sasuga, et al., *J.Nucl. Sci. Technol.* 58:1134-1144(2021).

*Fuuga Miyazawa¹, Go Chiba¹, Kosuke Tsujita², Shuhei Miwa²

¹Hokkaido Univ., ²NEL

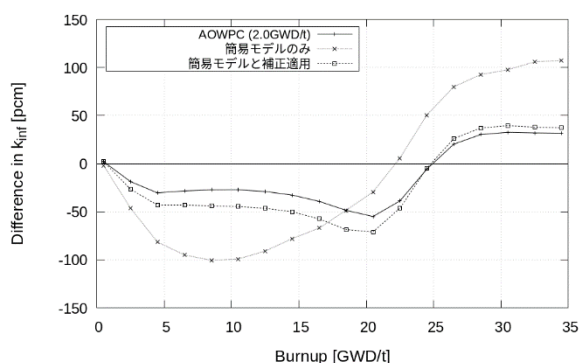


図 1 : k_{∞} の参照解との再現誤差