

1. 序論

近年、三次元の複雑な体系における中性子や光子等の粒子輸送計算にはモンテカルロ法が用いられることが多くなっている。モンテカルロ法とは、乱数を用いた計算シミュレーションを繰り返すことにより解を近似的に求める計算手法である。核計算では体系内の任意の位置の中性子の動きを、モンテカルロ法を用いてシミュレートしている。モンテカルロ法は、幾何形状表現の自由度が大きく正確なモデルが再現でき、粒子と物質の衝突過程を厳密に取り扱うことができる。しかし、この手法は乱数を用いることによる統計誤差が生じる確率論的手法である。取り扱う粒子の数（ヒストリー数）を多くとるほど統計誤差は低減するが、体系のサイズによってはヒストリー数を多く設定する必要がある。ピンセルなどの小型の体系では数分程度の計算時間で精度の良い計算結果を得ることができるが、PWR や BWR の全炉心といった大型の体系では、求めたいパラメータによっては信頼度の高い解を得るために莫大なヒストリー数をとる必要があり、非常に大きな計算コストを要するため現実的ではない。また、時間をかけずに計算を行おうとすると統計誤差が大きくなってしまいうため、有意な計算結果を得ることが困難である。本研究では、モンテカルロ法を用いた計算コードである GMVP を用いた計算を、体系を徐々に大型化させて行ない、生じる差異と体系の大きさの関係をヒストリー数、統計誤差の観点から評価した。

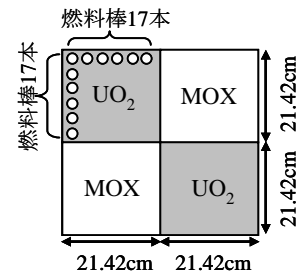


図1 2×2集合体

2. 計算

体系の大型化に伴うモンテカルロ法の誤差の変化を評価するために、図 1 で示すような 17×17 本の燃料棒から成る UO₂ 燃料集合体と MOX 燃料集合体を交互に組み合わせた 2×2 集合体体系を起点とし 3×3、4×4、…といった具合に 6×6 集合体体系まで拡張したマルチ集合体体系、さらに PWR 全炉心体系について GMVP を用いて総ヒストリー数を変化させながら計算を行なった。計算においては捨てバッチ数を 30 (PWR 全炉心体系は 100) に固定し、総ヒストリー数 (捨てバッチ分のヒストリーを含まない) を 100 万~10 億の間で変化させた。計算により得られた無限増倍率および燃料棒毎の核分裂率を、AEGIS コードを用いて求めた決定論的手法による参照解と比較した。

3. 結果および考察

参照解と比較した結果、無限増倍率については体系を大型化してもよく一致していた。一方、燃料棒毎の核分裂率の相対差異の平均値 (以下 RMS : Root Mean Square) については、図 2 のような関係になった。図 2 より、総ヒストリー数を増加させれば RMS は低減する。図 2 より、2 倍の統計精度を得るために約 4 倍のヒストリー数が必要であることが分かる。総ヒストリー数を固定した場合、体系の大きさと RMS の関係は両対数グラフにおいて直線で近似できる。図 2 より、体系の面積が x 倍になると、誤差は約 \sqrt{x} 倍になることが分かる。また、図 3 の統計誤差のグラフも RMS とほぼ同じ傾きである。すなわち RMS は統計誤差と同等の変化をする、ということである。これらの関係を利用すれば、体系の大きくした場合やヒストリー数を変更した場合の誤差の概算が可能であり、計算コストの削減にもつながる。

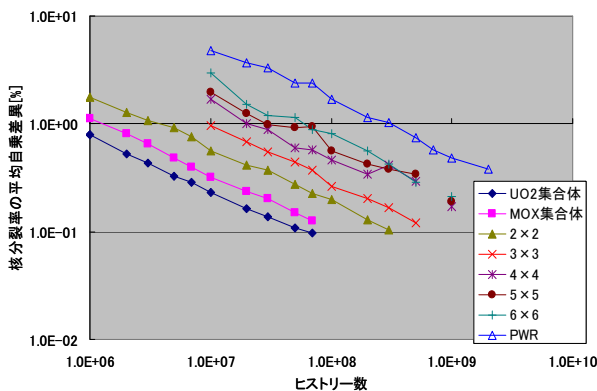


図 2 燃料棒毎の核分裂率の RMS

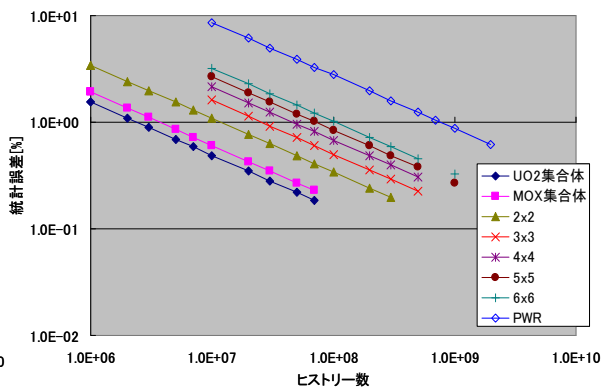


図 3 燃料棒毎の核分裂率の統計誤差