

炉心解析手法起因の不確かさ評価モデルに関する研究

名古屋大学工学部物理工学科 量子エネルギー工学コース 山本研究室 花井智海

1. 緒言

炉心解析とは、数値シミュレーションにより原子炉内部の状況を解析することである。原子炉の安全性は、炉心解析により求められる炉心の核特性と制限値を比較することにより担保される。原子炉の運転時には、炉内の状況が常に変化することから、多数ケースの炉心解析を行う必要がある。このため、計算コストを考慮して、炉心解析には空間離散化・多群近似などの様々な近似が用いられているが、その一方で、解析結果には近似に起因する不確かさが生じる。このような炉心解析手法起因の不確かさは原子炉の安全性に影響を与えるが、研究の対象となっている例は少ない。炉心解析手法起因の不確かさは、近似の少ない詳細計算と近似を多く用いる設計計算との差異で定量評価可能であるが、全ての炉心設計条件において両方の計算を行うことは現実的でないことが課題である。そこで本研究では、炉心解析起因の不確かさの評価の一環として、設計計算より容易に得られる別の核特性パラメータから、設計計算と詳細計算で得られた核特性(本研究では実効増倍率 k_{eff})の差異 δ_k を評価することを目的とする。本研究では、地球統計学分野で活用されているクリギング法に注目し、核特性パラメータと実効増倍率の差異 δ_k の関係を評価できるモデルを作成する。また、クリギング法による推定に用いる核特性パラメータとそのモデルの適用性について考察した結果について述べる。

2. 解析手法

クリギング法は、有限個の入力と出力のデータセットを学習して、非線形の回帰を行い、未観測の入力と出力の関係を推定できることが出来る手法である。推定に用いるデータを求めるため、図1の燃料及び減速材の2領域からなる燃料ピンセル体系において、燃料セルピッチ l_p 及び燃料ペレット半径 r_1 を変化させた計100ケースについて、設計計算と詳細計算の両方を行った。計算結果より、設計計算と詳細計算の実効増倍率の相対差 δ_k (単位:pcm = $10^{-3}\%$)と、設計計算から出力される核特性パラメータをまとめたデータセットを作成した。クリギング法の推定に用いる適切な入力パラメータを探索するために、MIC(Maximum Information Coefficient)を用いて核特性パラメータと相対差 δ_k との非線形相関関係を求めた。以上の結果を踏まえて、相対差 δ_k との相関が最も大きい3群巨視的捕獲断面積 Σ_{c3} (エネルギーが0.625 eV – 5.53 keVの中性子に対する断面積)、並びに、相関が最も小さい燃料ペレット半径 r_1 を入力パラメータとして、相対差 δ_k との関係を評価できるモデルをクリギング法により作成した。

3. 検討結果

燃料セルピッチ l_p 及び燃料ペレット半径 r_1 及び燃料半径を変化させたときの、実効増倍率の相対差 δ_k の関係について、クリギング法により作成したモデルを図2及び図3に示す。図2及び図3を比較すると、相対差 δ_k との相関が大きい3群巨視的捕獲断面積 Σ_{c3} をクリギング法の入力パラメータとした場合、モデルがデータセットをより再現している。従って、実効増倍率の相対差 δ_k との相関の大きい核特性パラメータをクリギング法の入力パラメータとすることで、炉心解析手法起因の不確かさ評価が可能であることが明らかになった。

発表実績

1) 日本原子力学会中部支部 第48回研究発表会, 12月14-15日, 名古屋大学, (2016).

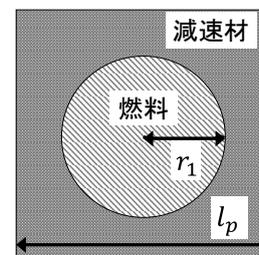


図1 計算体系

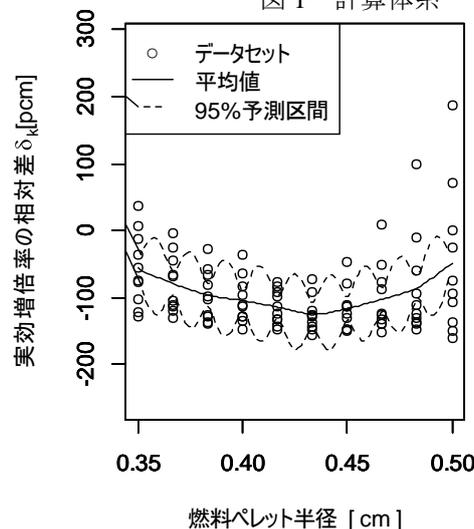


図2 燃料ペレット半径 r_1 を入力としたときのモデル

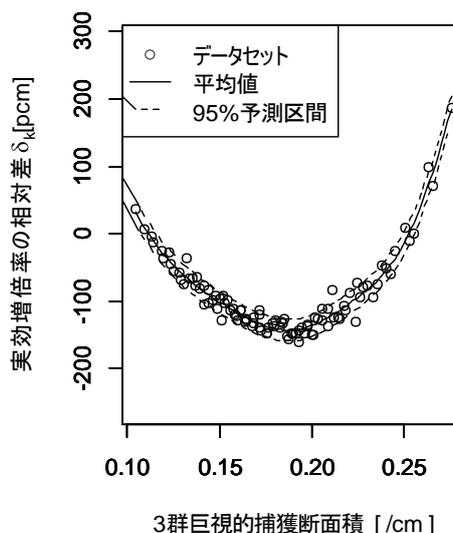


図3 3群巨視的捕獲断面積 Σ_{c3} を入力としたときのモデル