

エネルギー量子制御工学グループ 安江祉洋

1. 緒言 原子力工学の分野では、様々な評価に数値シミュレーションが用いられており、評価技術そのものの高度化と共に、評価予測値に含まれる不確かさ評価・低減技術の高度化が求められている。これは炉心設計時の安全余裕を定量化する際に非常に重要な技術である。炉心特性予測値の不確かさは数値計算誤差や断面積誤差などによって生じている。近似を含まない計算手法や、誤差のない断面積評価は非現実的であることから、計算手法の高度化などにより、直接的に不確かさを低減させることには限界がある。そこで、計算手法の高度化とは異なるアプローチを用いた不確かさ低減手法の検討を行った。

本研究では、相関を用いた不確かさ低減手法を開発した。炉心特性の不確かさは、個々に独立しているわけではなく相互に関連している。そこで、この相関関係を用いることによって、不確かさの低減を行った。

2. 不確かさ低減理論 炉心特性の不確かさ自身とその相関を表す相関係数は共分散行列によって評価される。ここで、不確かさが正規分布に従うとすると、2つのパラメータ x と y のそれぞれの平均値との差 $\Delta x, \Delta y$ は、図1に示すように、不確かさ $\delta x, \delta y$ と相関係数 α に依存した正規分布となる。図2は $\Delta y = 0$ における Δx 方向の頻度分布であり、相関が強い場合に分布の幅が狭くなっている。測定によってあるパラメータの誤差を求め、1つの変数の不確かさを低減し、ある範囲に限定することで、この変数と相関のある他の変数の不確かさを低減できる。

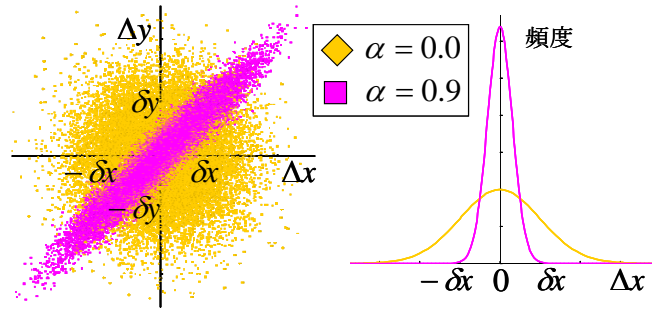


図1 相関を有する分布 図2 $\Delta y = 0$ における頻度分布

3. 感度解析 本研究では、断面積の不確かさ(共分散)のみを考慮した感度解析によって炉心特性の不確かさ間の相関関係を求めた。炉心特性の共分散は(1)式で得られる。(1)式の感度係数行列は炉心計算に用いる断面積の一般的な作成手順に対応しており、(1)式は炉心計算時と同じ計算手法を用いた多段階の感度解析を行う必要性を示している。ここで、感度係数行列は一般化摂動論に基づく感度解析によって求められる。

$$C(\text{core}) = {}^T S(\text{core}, \bar{\Sigma}) \cdot {}^T S(\bar{\Sigma}, \Sigma) \cdot {}^T S(\Sigma, \sigma) \cdot C(\sigma) \cdot S(\Sigma, \sigma) \cdot S(\bar{\Sigma}, \Sigma) \cdot S(\text{core}, \bar{\Sigma}) \quad (1)$$

$C(\text{core})$: 炉心特性の共分散行列
 $C(\sigma)$: 微視的断面積の共分散行列

$S(\text{core}, \bar{\Sigma})$: 炉心特性の感度行列
 $S(\bar{\Sigma}, \Sigma)$: 均質化巨視的断面積の感度行列
 $S(\Sigma, \sigma)$: 比均質巨視的断面積の感度行列

4. 結果・考察 図3に示す体系で、8群拡散理論に基づいて計算を行い、炉心特性の共分散行列を計算した。さらに、共分散行列から相関係数を計算し、それを用いて炉心特性の不確かさをどの程度低減できるか評価した。なお、計算はPWR炉心を模擬した体系で行った。

図4に実効増倍率の誤差が測定によって得られたときの、各炉心特性パラメータの不確かさの低減率を示す。低減率が100%であれば、不確かさが零となることを示す。また、実効増倍率を測定パラメータとして用いたのは、他のパラメータと比べて測定の不確かさが小さいことによる。図4より、相関を用いた不確かさ低減手法を適用することで、不確かさを大きく低減できている。また、低減率の平均値は71.9%である。これは、今回検討した体系において炉心特性の不確かさ間の相関が強かったことによる。すなわち、本研究では微視的断面積の共分散のみを不確かさの要因としたため、同一の核種で構成されている全ての燃料が類似の共分散を有し、さらに同様の理由で燃料間の相関も強くなったことによる。以上から、PWR体系において相関を考慮した不確かさ低減手法を適用することで、炉心特性の不確かさを低減できることを確認した。

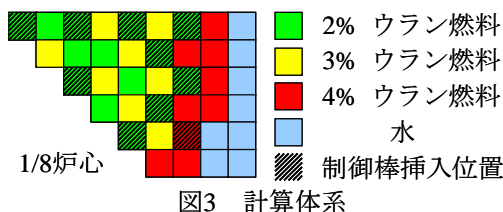


図3 計算体系

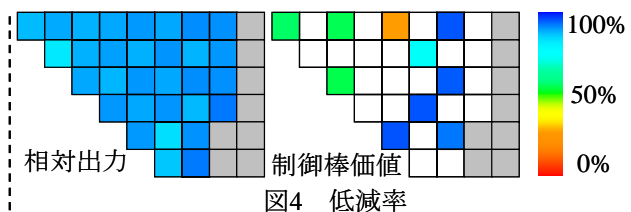


図4 低減率

公刊論文

- 1) 安江祉洋, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 春の年会, 福井大学, 3月 28-30 日, 2011 (2011).
- 2) 安江祉洋, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 秋の大会, 北九州国際会議場他, 9月 19-22 日, 2011 (2011).
- 3) Y. Yasue, T. Endo, A. Yamamoto, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **105**, 486-488, 2011 (2011).
- 4) 安江祉洋, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 春の年会, 福井大学, 3月 19-21 日, 2012 (2012). (to be presented)