

1.緒言 原子炉の設計では、数値シミュレーションを利用した炉心解析によって原子炉の安全性や経済性を評価する。しかし、炉心解析により評価される炉心特性予測値には様々な要因に起因する不確かさが付随する。そこで、高い信頼性をもって原子炉の炉心特性を評価するため、この不確かさの評価および低減技術の高度化が求められる。また、炉心特性予測値の主要な不確かさ要因の1つに入力パラメータとして利用される核データ起因の不確かさがある。本研究では、この核データに起因する炉心特性予測値の不確かさ評価及び低減を目的とした検討を行なった。具体的には、臨界実験等により得られた測定データに基づいて断面積をもっともらしく調整する手法である断面積調整法を軽水炉炉心解析の解析フローに導入することで、軽水炉炉心解析における炉心特性予測値の不確かさ低減を試みた。

2.断面積調整法 断面積調整法では実験測定誤差、解析モデル誤差および断面積誤差の誤差分布を正規分布と仮定し、ベイズの定理に基づいて断面積を調整する。この基礎式を(1)式に、断面積調整後の断面積の不確かさを表す式を(2)式に示す。なお、ここで T_0 および T はそれぞれ断面積調整前後の断面積セット、 M と M' はそれぞれ T_0 と T の共分散行列、添字 T および $+$ は転置行列およびムーアペンローズ型一般化逆行列を表す。

$$T = T_0 + MG^T [GMG^T + V_e + V_m]^{-1} [Re - Rc(T_0)] \quad (1)$$

$$M' = M - MG^T [GMG^T + V_e + V_m]^{-1} GM \quad (2)$$

V_e : 実験誤差の共分散行列 Re : 実験測定値

V_m : 解析モデル誤差の共分散行列 G : 感度係数行列

$Rc(T_0)$: 断面積 T_0 に基づく炉心特性予測値

3.開発手法 図1に軽水炉炉心解析の解析フローの概要図を示す。開発手法では、まず核データライブラリの共分散データに基づき、格子燃焼計算コードの入力値である微視的多群断面積を対象として多変量正規分布に基づくランダムサンプリングを実施する。これにより、集合体タイプおよび燃焼度間の断面積の相関関係を考慮した集合体均質化断面積の共分散行列(= M)が評価される。次に、予め評価した炉心特性値に対する少数群微視的断面積の感度係数行列(= G)を利用し、(1)式に基づいて少数群巨視的断面積を対象に断面積調整を実施する。

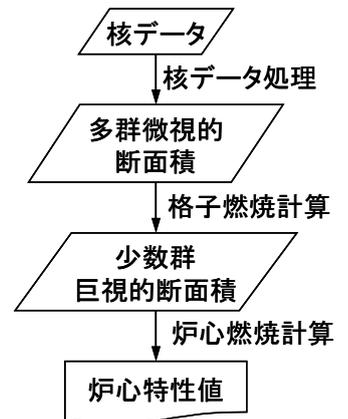


図1 軽水炉解析フロー

4.適用計算・考察 開発手法の検証のため、図2の多集合体体系の実験値を用いて、開発手法に基づく断面積調整を実施し、調整断面積の適用による設計炉心(図3)の炉心特性値予測精度の変化を評価した。この適用計算では、共分散行列評価と独立したサンプリングにより得られたある断面積セットに基づく計算値を、仮想的な実験値(真値)とみなして断面積調整を実施した。断面積調整前後における設計炉心の実効増倍率予測値と仮想的な真値との差異と不確かさを図4に示す。図4から、調整断面積の適用により設計炉心の実効増倍率予測精度が向上し、炉心特性予測値の不確かさが低減されたことが分かる。

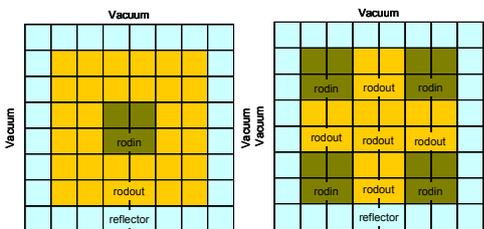


図2 実験炉心

図3 設計炉心

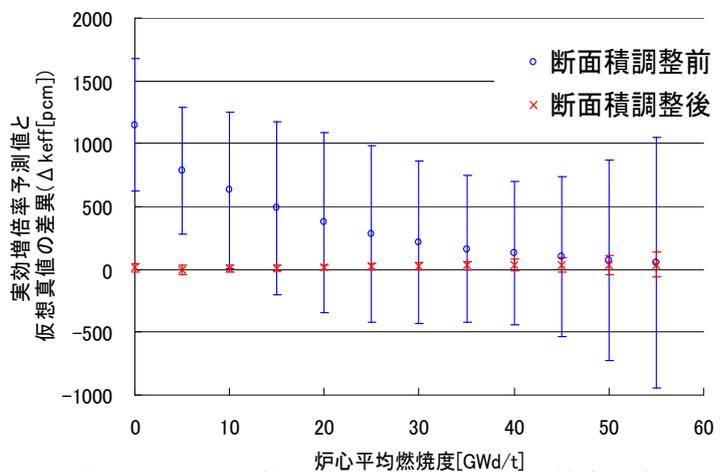


図4 断面積調整による実効増倍率予測精度の変化

公刊論文

- 1) S. Kato, T. Endo, A. Yamamoto et al., *Trans. Am. Nucl. Sci.*, **105**, 851-854, 2011 (2011).
- 2) 加藤慎也, 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日-21日, 2012 (2012).
- 3) 加藤慎也, 遠藤知弘, 山本章夫 他, *KURRI-KR(CD)*, **39**, 92-101, 2012 (2013).
- 4) 加藤慎也, 遠藤知弘, 山本章夫 他, 日本原子力学会 春の年会, 近畿大学, 3月26日-28日, 2013 (2013). (to be presented)