

1 次摂動論に基づいた即発中性子減衰定数の核データ起因不確かさの定量評価

Nuclear Data-Induced Uncertainty Quantification of Prompt Neutron Decay Constant
using the First-Order Perturbation Theory

*遠藤 知弘¹, 山本 章夫¹

¹名古屋大学

Godiva 臨界実験を対象として、Sn 輸送計算コード PARTISN により即発中性子減衰定数 α の数値解を求め、1次摂動論に基づくことで核データに対する α の相対感度係数、核データ起因不確かさを評価した。

キーワード: 即発中性子減衰定数、 ω 固有値計算、1次摂動論、感度解析、不確かさ定量評価

1. 緒言 炉物理分野における V&V およびデータ同化手法として、炉雑音解析やパルス中性子法により直接測定可能な「即発中性子減衰定数 α 」に注目し検討を進めている。これまでの研究成果として、1次摂動論に基づくことで、 ω 固有値方程式の forward/adjoint 固有関数を用いた、 α の相対感度係数評価式を導出した。また自作の拡散計算コードにより、直接法により評価された感度係数と比較することで、1次摂動論による感度係数評価手法の妥当性を確認するとともに、 α を推定する場合には遅発中性子項を無視した即発中性子近似が適用可能であることを確認した。以上の結果を踏まえ、本研究では S_N 輸送計算コード PARTISN を用いた α の相対感度係数評価および核データ起因不確かさの定量評価について検討を実施した。

2. 計算手法 α は即発中性子のみを考慮した ω 固有値方程式の基本モード固有値に対応する($\alpha = -\omega_p$)。(1)式において \mathbf{A}, \mathbf{F}_p は中性子消滅演算子、即発中性子生成演算子を表す。

$$\left(\mathbf{A} + \frac{\omega_p}{v(E)}\right) \psi_p(\vec{r}, E, \vec{\Omega}) \approx \mathbf{F}_p \psi_p(\vec{r}, E, \vec{\Omega}) \dots (1)$$

S_N 輸送計算コード PARTISN に実装されている α サーチ機能を利用することで、(1)式を満足する時定数 ω_p を探索し、対応する中性子 ψ_p を求めることができる。(1)式に基づく

$$S_{\alpha, \sigma} = \frac{\sigma}{\alpha} \frac{d\alpha}{d\sigma} \approx \frac{\sigma}{\omega_p} \frac{\langle \psi_p^\dagger \left(\frac{\partial(\mathbf{F}_p - \mathbf{A})}{\partial \sigma} + \frac{\omega_p \partial v_g}{v_g^2 \partial \sigma} \right) \psi_p \rangle}{\langle \frac{\psi_p^\dagger \psi_p}{v_g} \rangle} \dots (2)$$

forward/adjoint の輸送計算を2回だけ実施し、 ψ_p および随伴中性子束 ψ_p^\dagger を求めることで、任意の核データ σ に対する α の相対感度係数 $S_{\alpha, \sigma}$ は(2)式により評価できる。こうして評価された $S_{\alpha, \sigma}$ と核データ共分散行列を用いることで、不確かさ伝播則に基づき核データ起因の α 不確かさを評価することができる。

3. 計算結果 Godiva(HEU-MET-FAST-001)では

臨界時の α が Rossi- α 法により測定されている。SCALE6.2.3/CENTRM により 252 群実効断面積を求め、PARTISN(S64-P5)により感度係数 $S_{\alpha, \sigma}$ を推定した。 $S_{\alpha, \sigma}$ と SCALE の核データ共分散(252groupcov7.1)による α 不確かさ評価結果を図1に示す。なお、実効増倍率 k_{eff} と α の核データ起因の相関は -0.9994 と極めて強い。核データ起因の k_{eff} 不確かさは約 1100pcm だが、 α の手法起因相対誤差が $3\% = \frac{1.144 - 1.11}{1.11}$ だとしても、 α 測定結果を用いたバイアス因子法を適用することで、 k_{eff} 不確かさは 50pcm まで低減可能である。

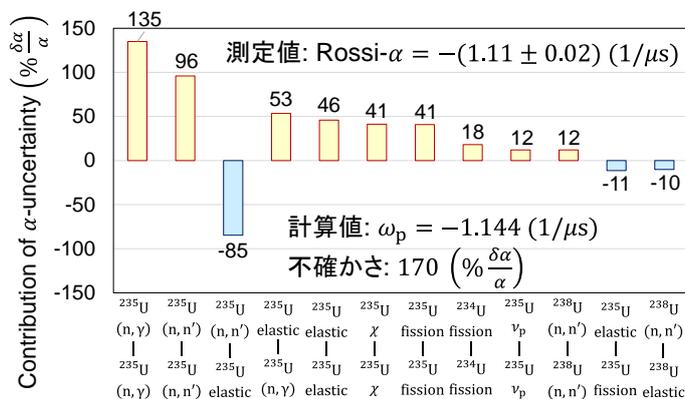


図1 α の核データ起因不確かさの内訳

謝辞 本研究は JSPS 科研費(17K14909)の助成による。

* Tomohiro Endo¹, Akio Yamamoto¹

¹Nagoya Univ.