

1. 緒言

高レベル放射性廃棄物の核変換処理を行うため、加速器中性子源と未臨界炉心から成る加速器駆動システム ADS の開発が行われている。この ADS の開発において、マイナーアクチニドを多く含む未臨界炉心の解析に伴う、不確かさの低減が求められている。炉心解析の不確かさ低減手法の一つであるバイアス因子法は、新設計炉心の解析に際し、類似する実験炉心に対する臨界実験の結果と解析結果の差を反映することで、新設計に対する解析の不確かさを低減する手法である。ADS の未臨界炉心に対しては、未臨界実験の結果を応用することが期待されているが、未臨界実験に関しては、バイアス因子法での利用に必要な核特性と測定値の相関を解析する手法が未確立であり、測定値を従来のバイアス因子法にて利用することが困難であった。

本研究では、ランダムサンプリング法を利用して未臨界実験の測定値と核特性の相関を解析することで、未臨界実験データをバイアス因子法による不確かさ低減に用いる手法を開発した。そして、京都大学臨界集合体実験装置 KUCA におけるパルス中性子法による未臨界実験データを利用し、手法の検証を行った。

2. 理論

ランダムサンプリング法を利用したバイアス因子法[1]の概念を図 1 に示す。本手法では、新設計 R の解析対象の解析結果を並べたベクトル  $\vec{C}_R$  とその分散共分散行列(不確かさ)  $\mathbf{V}_C^{(RR)}$  を考える。同様に、実験対象の解析結果  $\vec{C}_M$  (不確かさ  $\mathbf{V}_C^{(MM)}$ ) を考え、ランダムサンプリング法によって  $\vec{C}_R$  と  $\vec{C}_M$  の相関(分散共分散行列  $\mathbf{V}_C^{(RM)}$ ) を計算する。さらに、実験炉 M における実験結果を並べたベクトル  $\vec{E}_M$  (不確かさ  $\mathbf{V}_E^{(MM)}$ ) と  $\vec{C}_M$  を用いて、式(1)から(3)によって解析結果  $\vec{C}_R$  をより確かな値  $\vec{E}'_R$  に補正し、不確かさ  $\mathbf{V}_C^{(RR)}$  を  $\mathbf{V}_{E'}^{(R)}$  に低減する。

本検証では、面積比 AR と即発中性子減衰定数  $\alpha$  の測定結果を利用し、実効増倍率  $k_{\text{eff}}$  および実効遅発中性子割合  $\beta_{\text{eff}}$  の核データに起因する不確かさの低減を試みる。AR は、図 2 に示すようなパルス中性子源に対する中性子検出器の応答のうち、即発中性子成分  $A_p$  と遅発中性子成分  $A_d$  の比  $A_p/A_d$  である[2]。また、 $\alpha$  は即発中性子成分の減衰の時定数である[3]。バイアス因子法適用時に必要となる、AR および  $\alpha$  と  $k_{\text{eff}}$  および  $\beta_{\text{eff}}$  の相関(共分散)は、ランダムサンプリング法を利用して評価する。

3. 実験結果

2013 年に KUCA において実施された、AR および  $\alpha$  を測定したパルス中性子法実験の結果を用い、実験を行った体系における実効増倍率  $k_{\text{eff}}$  および実効遅発中性子割合  $\beta_{\text{eff}}$  の核データに起因する不確かさの低減を試みた。結果を図 3 に示す。図 3 の横軸について、補正後の項目のラベルは補正に用いた値を示す。

図 3 に示す結果から、AR や  $\alpha$  の値を用いることで  $k_{\text{eff}}$  の不確かさ低減が可能であることが分かる。また、 $\beta_{\text{eff}}$  については、AR や  $\alpha$  の値を単独で用いても不確かさをあまり低減できないものの、AR と  $\alpha$  を併用することで不確かさ低減が可能であることが確認された。

4. 結言

ADS の炉心解析の不確かさを低減するため、未臨界実験の測定対象そのものを解析することで、未臨界実験データを用いるバイアス因子法を開発した。そして、面積比 AR と即発中性子減衰定数  $\alpha$  の実験結果を利用し、実効増倍率  $k_{\text{eff}}$  および実効遅発中性子割合  $\beta_{\text{eff}}$  の核データ起因不確かさの低減が可能であることを確認した。

参考文献

[1] Tomohiro Endo, Akio Yamamoto and Tomoaki Watanabe, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **53**, 10, pp.1494-1501 (2016).  
 [2] G. I. Bell and S. Glasstone, *Nuclear Reactor Theory*, Van Nostrand Reinhold, New York, 546-554 (1970).  
 [3] T. Endo, G. Chiba, W. F. G. van Rooijen, M. Yamanaka, C. H. Pyeon, *J. Nucl. Sci. Technol.*, (2018).

公刊論文

[1] T. Kimura, T. Endo, A. Yamamoto, *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **115**, pp.1081-1084 (2016).  
 [2] 木村俊貴, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2017 年春の年会, 東北大学, 3 月 27 日-29 日 (2017).  
 [3] T. Kimura, T. Endo, A. Yamamoto, *Proc. M&C2017*, Apr.16-20, 2017, Jeju, Korea (2017).  
 [4] 木村俊貴, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2017 年秋の大会, 北海道大学, 9 月 13 日-15 日 (2017).

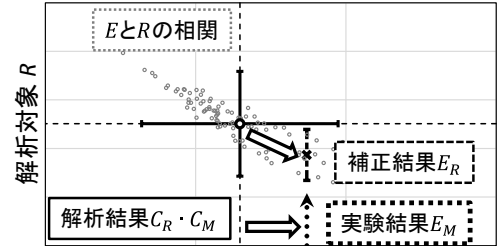


図 1 バイアス因子法の概念図

$$\vec{E}'_R = \vec{C}_R + \mathbf{K}(\vec{E}_M - \vec{C}_M) \quad (1)$$

$$\mathbf{V}_{E'}^{(R)} = \mathbf{V}_C^{(RR)} - \mathbf{K}\mathbf{V}_C^{(MR)} \quad (2)$$

$$\mathbf{K} = \mathbf{V}_C^{(RM)} \{ \mathbf{V}_C^{(MM)} + \mathbf{V}_E^{(MM)} \}^{-1} \quad (3)$$

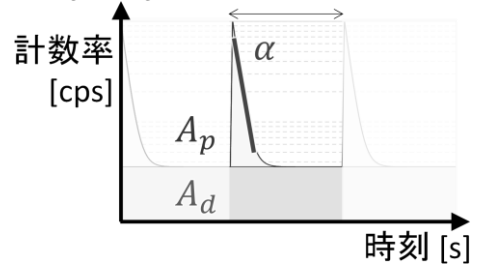


図 2 パルス中性子法の概念図

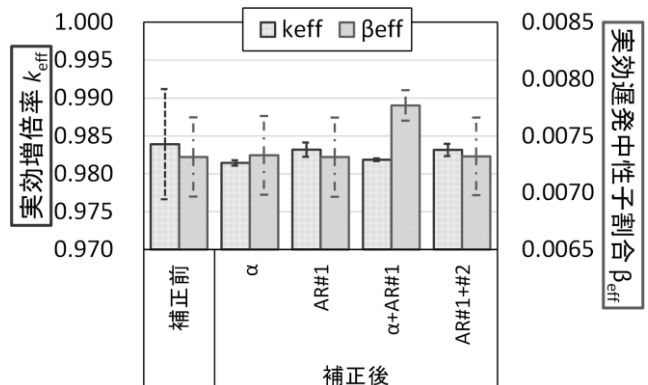


図 3 KUCA 実験データの適用結果