

時間領域分割積分法によるドル単位未臨界度測定

Measurement of Subcriticality in Dollar Units using Time-Domain Decomposition Based Integral Method

野中 朝日¹, *遠藤 知弘¹, 今井 頌¹, 渡辺 賢一¹, 山本 章夫¹, 山中 正朗², 卞 哲浩²

¹名古屋大学, ²京都大学複合原子力科学研究所

中性子計数の時間変化のみからドル単位の未臨界度を推定可能な手法として時間領域分割積分法 Time-Domain Decomposition Based Integral (TDDI)法を考案した。本発表では、京都大学臨界集合体実験装置 KUCA における燃料集合体引抜操作による未臨界過渡変化に対する TDDI 法の適用結果について報告する。

キーワード：未臨界度，積分法，一点炉動特性方程式，京都大学臨界集合体実験装置，過渡変化実験，燃料集合体

1. 緒言 原子炉の燃料シャッフリングにおいて深い未臨界度 $-\rho$ での燃料の再配置・交換を考えた場合、反応度が増えるだけでなく同時に他のパラメータ($\beta_{\text{eff}}, \Lambda, S$)も変化し得る。これまでの本研究では、反応度以外のパラメータも同時に変化する場合にも適用可能な未臨界度測定手法としてTDDI法を考案し、仮想数値実験による検証を進めてきた[1]。本発表では、実際の未臨界実験における適用性を調べるため、KUCAにおける燃料集合体引抜操作による未臨界過渡変化実験に対してTDDI法の適用を試みた。

2. 時間領域分割積分法 TDDI法の理論式を式(1)に示す。また、TDDI法を適用する未臨界過渡変化の例として、状態変化前後は未臨界状態で、時刻($t_0 \leq t \leq t_1$)にかけて、状態変化が発生した場合における中性

子計数の時間変化 $n(t)$ の概念図を図1に示す。TDDI法は一点炉動特性方程式に基づいた手法であり、 $n(t)$ の時間変化と状態変化前後の中性子計数の定常値 n_0, n_∞ データのみから、状態変化後のドル単位未臨界度を概算可能な手法である。TDDI法の場合、状態変化前における未臨界度の基準値は不要で、状態変化前後および途中の一点炉動特性パラメータ($\beta_{\text{eff}}, \Lambda$)と中性子源強度の時間変化に関する情報も不要である。

3. TDDI法の適用結果 KUCA-A 架台において制御棒挿入パターンを変えて①浅い未臨界、および、②深い未臨界の炉心を構築し、加速器中性子源を利用することで、中心架台落下(燃料集合体3体と反射体6体の引抜)による未臨界過渡変化実験を行った。BF₃ 検出器による中性子計数の時間変化 $n(t)$ の測定結果の例として、①浅い未臨界炉心の $n(t)$ 測定結果を図2に示す。また、MCNPによる計算結果と併せて、TDDI法による未臨界度測定結果を表1に示す。結果として、TDDI法による未臨界度の推定結果について、統計誤差の範囲内にMCNP計算結果が含まれることを確認した。本実験結果より、KUCA 中心架台落下のように状態変化がステップ状ではなく一点炉動特性パラメータも変化し得るような過渡変化だとしても、ドル単位の未臨界度を測定する手法としてTDDI法が適用できることを確認できた。

参考文献：[1] A. Nonaka, et al., *Trans. Am. Nucl. Soc.*, **119**, pp.1112–1115 (2018).

謝辞 本研究は KUCA 共同利用研究(CA3101)の成果であり、JSPS 科研費(19K05328)の助成による。

Asahi Nonaka¹, *Tomohiro Endo¹, Sho Imai¹, Kenichi Watanabe¹, Akio Yamamoto¹, Masao Yamanaka², and Cheol Ho Pyeon²

¹Nagoya Univ., ²Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University.

$$\frac{-\rho_1}{\beta_{\text{eff},1}} \approx \frac{\sum_{i=1}^6 \frac{a_i}{\lambda_i} \left(n_0 e^{-\lambda_i(t_1-t_0)} - n_\infty + \lambda_i \int_{t_0}^{t_1} n(t) e^{-\lambda_i(t_1-t)} dt \right)}{\int_{t_1}^{\infty} (n(t) - n_\infty) dt} \dots (1)$$

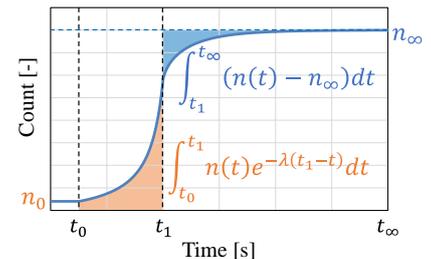


図1 TDDI法適用の概念図

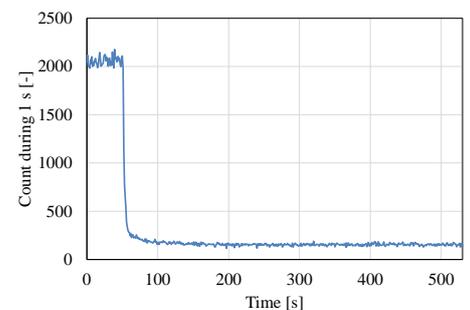


図2 ①浅い未臨界炉心における中性子計数の時間変化

表1 TDDI法による未臨界度の推定結果

	①浅い未臨界	②深い未臨界
MCNP [\$]	5.43 ± 0.04	10.20 ± 0.08
TDDI法 [\$]	6.02 ± 0.96	9.08 ± 1.37