2018年春の年会

未臨界体系における積分法を用いたドル単位未臨界度推定

Estimation of Subcriticality in Dollar Units using Integral Method for Subcritical System

*野中 朝日,遠藤 知弘,山本 章夫

名古屋大学

未臨界体系におけるステップ状の任意の状態変化に対して、積分法に基づくドル単位未臨界度推定手法を 考案した。3次元動特性計算により、3次元炉心体系に対する本手法の適用可能性について検証した。

キーワード:積分法、未臨界、未臨界度推定、一点炉動特性、LMW ベンチマーク

1. **緒言** 原子炉の燃料交換は深い未臨界度で実施されるが、未臨界度の常時監視を行うことは安全性向上の 観点から意義のあることと考えられる。また現行規制基準の策定時には反応度誤投入による臨界防止対策が 議論され対策として未臨界度の常時監視が挙がっているものの、現状の実機軽水炉ではその実施に至ってい ない。燃料の再配置・交換を考えた場合、反応度が変化するだけでなく同時に他のパラメータ(β_{eff}, Λ, S)が変 化し得るのが特徴となっている。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、積分法に基づいた手法を考案した。本発表では、LMW ベンチマーク問題の体系を 用いた 3 次元動特性計算により、提案手法による 3 次元炉心体系への適用性について検証した。

2. 提案手法 中性子源ありの一点炉動特性方程式に基づくことで、以下で示す未臨界度推定手法を考案した。 理論式: $\frac{-\rho_{after}}{\beta_{after}} = \left\{ \frac{\Lambda_{after}}{\beta_{after}} (n_0 - n_\infty) + \frac{\Lambda_{after}}{\Lambda_{before}} \frac{\beta_{before}}{\beta_{after}} n_0 \sum_{i=1}^{6} \left(\frac{\beta_{i,before}}{\beta_{before\lambda_i}} \right) - n_\infty \sum_{i=1}^{6} \left(\frac{\beta_{i,after}}{\beta_{after\lambda_i}} \right) \right\} / \int_0^\infty (n(t') - n_\infty) dt' \cdots (1)$ 上式(1)において、未臨界度推定に影響が小さい項を無視することで、以下の概算式を得ることができる。

概算式: $\frac{-\rho_{after}}{\beta_{after}} \approx \frac{(n_0 - n_\infty) \sum_{i=1}^6 \left(\frac{a_i}{\lambda_i}\right)}{\int_0^\infty (n(t') - n_\infty) dt'} \approx \frac{13(n_0 - n_\infty)}{\int_0^\infty (n(t') - n_\infty) dt'} \cdots (2)$ (ここでβ = $\sum_{i=1}^6 \beta_i$ 、 $a_i \approx \frac{\beta_{i,before}}{\beta_{before}} \approx \frac{\beta_{i,after}}{\beta_{after}}$ である。)

提案手法の利点として、①未臨界体系においてステップ状に反応度ρが変化した際に、中性子源強度Sや生成 時間Aが同時に変化しても適用可能、②状態変化後の中性子源強度 1.20 S_{after}・中性子生成時間A_{after}の情報が不明でも、初期中性子計数率 1.15

 $n_0、中性子計数率の時間変化<math>n(t)$ 、中性子計数率の飽和値 n_∞ のみ からドル単位未臨界度を概算可能、という点が挙げられる。

3. 計算結果 LMW ベンチマーク問題[1]の3次元炉心体系に対し て本手法を適用し未臨界度推定の検証を実施した。初期の未臨界 状態における3ケースの制御棒装荷パターンを想定し、制御棒を 瞬間的に全引抜して体系内の未臨界度を変化させ、中性子束の時 間変化を計算した。図1は制御棒引抜後の炉心全体の平均熱中性 子束の時間変化のある1ケースに対して提案手法を適用した際の 概略図である。表1-(a)で示したように、炉心全体の平均熱中性子束 の時間変化に対して積分法を適用した場合、未臨界度推定結果が参 照値とほぼ一致することを確認した。また表1-(b)により、炉外検出 器に相当する反射体領域の場合でも積分法による推定結果の相対誤 差は数十%であり、ドル単位未臨界度のオーダー推定が可能である ことを確認した。

参考文献: [1] S. Langenbuch, et al., *Nucl. Sci. Eng.*, **63**, pp. 437-456 (1977). 謝辞 本研究は JSPS 科研費(17K14909)の助成による。

* Asahi NONAKA, Tomohiro ENDO, Akio YAMAMOTO Nagoya Univ.



図1 本手法によるドル単位未臨界度推定の概略図

表1 ドル単位未臨界度の推定結果

(a) 炉心全体の平均熱中性子束を用いた場合

制御棒挿入	Gr.1	Gr.1&2	Gr.1	
パターン	Full in	Full in	Half in	
理論値 [\$]	7.64	6.81	7.87	
計算結果 [\$]	7.64	6.68	7.84	
相対誤差 [-]	0.01%	-1.97%	-0.43%	
(b) 反射体領域の熱中性子束を用いた場合				
制御棒挿入	Gr.1	Gr.1&2	Gr.1	
パターン	Full in	Full in	Half in	
理論値 [\$]	7.64	6.81	7.87	
計算結果 [\$]	5.29	5.29	5.38	
相対	-30 79%	-22 28%	-31 61%	