

低中性子計数率条件下で利用可能な未臨界度監視法に関する検討

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 森部 太陽

1. 緒言 東京電力福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出し作業時には、臨界状態(実効増倍率 $k_{\text{eff}} = 1$)からのずれの度合いを表す反応度($\rho = (k_{\text{eff}} - 1)/k_{\text{eff}}$)を監視する必要がある。その際、反応度の推定に必要な情報(例: 燃料デブリの核種組成の分布)が不明であること、使用可能な中性子検出器の制限による検出効率の低下が課題となる。上記課題を解決するため、改良型単純フィードバック法[1]と最小二乗逆動特性法[2]を組み合わせることで、中性子計数率のみから反応度を推定する手法を新たに考案した。さらに、中性子計数率測定時の統計的不確かさを低減方法として、エッジ保存平滑化フィルタの1つであるバイラテラルフィルタ[3]を上記提案手法に適用することで、低中性子計数率条件下でも反応度が推定できるよう改良を試みた。

2. 提案手法 中性子計数率の時系列データ P_n の測定値($n = 0, 1, \dots$)から、平均的な遅発中性子の寄与 \bar{A}_n を逐次計算し、改良型単純フィードバック法による推定式 $(\rho/\beta_{\text{eff}})_n = 1 - (\bar{A}_n + S_0)/P_n \dots(1)$ に基づいて、ドル単位の反応度 ρ/β_{eff} を逆推定する。ここで、反応度推定時に必要となる中性子源強度 S_0 の値は、ステップ状の反応度変化が生じた際に、横軸を \bar{A}_n 、縦軸を P_n でプロットした散布図に対して式(1)をフィッティングすることで求める(最小二乗逆動特性法[2])。さらに、中性子計数率測定時の統計的不確かさを低減するため、バイラテラルフィルタの重みは $w_{n,j} = e^{-(t_{n+j}-t_n)^2/2\sigma_t^2} e^{-(P_{n+j}-P_{\text{med}}(t_n))^2/2\sigma_p^2} \dots(2)$ のように設定した($-d \leq j \leq d$)。ここで、 n はフィルタの適用対象となる時間ステップ、 t_{n+j} 、 P_{n+j} は、対象時間ステップ n から j だけ離れた時間ステップにおける時刻と中性子計数率、 $P_{\text{med}}(t_n)$ は、 $t_{n-d} \leq t \leq t_{n+d}$ における中性子計数率の中央値をそれぞれ表す。通常のバイラテラルフィルタと異なり、中性子計数率の中央値を用いて重みを評価することで、外れ値に対してより頑健となるよう工夫した。

3. 実験結果 近畿大学原子炉の臨界近接実験時に、3通りの検出効率で測定された中性子計数率の時系列データを用いて、提案手法の妥当性確認を実施した。妥当性確認のため、反応度の参照値(reference)は、別の測定で評価した各制御棒の反応度値および余剰反応度(全制御棒全引抜時の原子炉反応度)から求めた。フィルタ未適用の場合と、バイラテラルフィルタを適用した場合について、各検出効率($P_{0,\text{low}} \approx 5 \text{ cps}$, $P_{0,\text{middle}} \approx 70 \text{ cps}$, $P_{0,\text{high}} \approx 800 \text{ cps}$)における反応度推定結果と反応度参照値の比較結果を図1、図2にそれぞれ示す。図1、図2から分かるように、バイラテラルフィルタを適用することで統計誤差を大幅に低減でき、中性子計数率の測定データのみから提案手法により反応度が推定できることを実証した。

参考文献 [1] T. Endo et al., AESJ 2022 年秋の大会, 2G16 (2022); [2] J. E. Hoogenboom and A. R. van der Sluijs, *Ann. Nucl. Energy*, **15**, p. 553 (1988); [3] C. Tomasi and R. Manduchi, *Proc. ICCV'98*, p. 839 (1998).

口頭発表: 1. 森部太陽, 他, 第55回日本原子力学会中部支部研究発表会, R17, 12月14,15日(2023); 2. 森部太陽, 他, 日本原子力学会2023秋の大会, 2M04, 9月6-8日(2023); 3. 森部太陽, 他, 日本原子力学会2024春の年会, 3L05, 3月26-28日(2024). (発表予定) 4. T. Moribe et al., *PHYSOR2024*, April 21-24 (2024). (accepted).

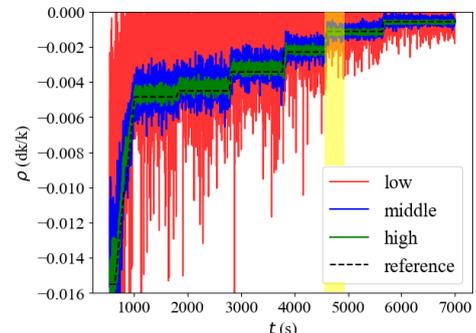


図1 反応度推定結果 (フィルタ未適用)

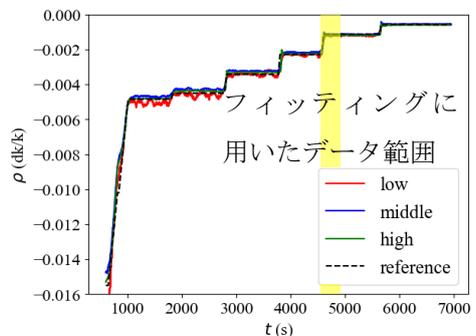


図2 反応度推定結果 (バイラテラルフィルタ適用)