

準定常状態の出力挙動方程式を用いた反応度評価における SG 法の適用

Application of SG method to reactivity estimation based on subcritical quasi-state power profile equation

*山根 祐一
原子力機構

未臨界の核燃料を対象とし、その準定常状態における出力挙動に基づいてドル単位の反応度を評価する目的で、未臨界過渡実験で得られた中性子計数率データに Savitzky-Golay 法を適用して平滑化と数値微分を行った。その結果、出力挙動を表す方程式を直接利用して反応度評価が可能であることがわかった。

キーワード：未臨界、反応度評価、一点炉動特性、準静的状態、Savitzky-Golay 法

1. 緒言

核燃料溶液の臨界管理されていない容器への流入、福島第一原発の燃料デブリへの適用等を想定し、未臨界の核燃料の反応度が変化した直後の準静的状態における出力 P の挙動を表す方程式 $P = \alpha_y q + P_\infty$ (式 1) を導出した^[1]。ここで q は P の時間微分 $\dot{P}$ の関数であり、これを計算する上で中性子計数率の揺らぎやノイズが影響することを避けるために、式 1 を積分して反応度を評価する手法を開発し、検証用の実験データを取得して評価を行ってきた^[2]。

データの平滑化手法として知られている Savitzky-Golay 法 (SG 法)^[3]を TRACY の未臨界過渡実験で得られたデータに適用し、 P 及び $\dot{P}$ を計算したところ、その他の移動平均に比べて精度よくデータを平滑化し、微分値を計算することができた。これにより、式 1 が示すように点 (q, P) が傾き α_y 、切片 P_∞ となる q - P 平面上の直線となることを示すとともに、反応度を出力が安定するまで待つ必要なく評価できる見通しを得た。

この成果は、任意の未臨界体系における数値解析に依存しない反応度測定手法の整備に寄与するとともに、核燃料施設や原子炉施設の安全性向上、核燃料物質を取り扱う際の臨界防止に役立つことが期待される。

2. SG 法によるデータの平滑化

図 1 に示す TRACY の未臨界過渡実験データ (黒丸) は、0.01s ごとの中性子計数率である。以下では、出力 P の代わりにこの中性子計数率を用いる。時刻 t における計数率の平滑化した値 $n(t)$ を得るため、 t の 5 秒前から 5 秒後までの合計 1001 点に対して 3 次の SG 法を適用し、 $n(t)$ 及び $\dot{n}(t)$ を算出した。算出した $n(t)$ を図 1 に示す。パルス中性子発生装置 (PNS) がオフになる前後では、急激に計数率に変化するため、 $n(t)$ の形状が歪んでいるが、それ以外のところでは滑らかになっている。PNS オフ後に点 (q, n) が式 1 で予測される傾き $-1.7 (= 1/(-1.4) - 1)$ の直線上を原点に向かう様子が図 2 に示されている (視認性を良くするため、移動平均も用いたが、以下の反応度評価では用いていない)。

3. 反応度評価

図 2 の例 (初期 $\rho_s = -1.4\$$) で評価結果は $-1.36\$$ となった。

参考文献

- [1] 山根祐一、「一点炉動特性方程式に基づく未臨界状態における出力の漸近的挙動」日本原子力学会 2017 春の年会予稿集、1F04 (2017)。
- [2] 山根祐一他、「準定常状態の出力挙動に基づく反応度評価手法の改良」日本原子力学会 2019 秋の大会予稿集、2J03 (2019)。
- [3] A Savitzky, MJE Golay, Anal. Chem., **36**, 1627(1964)。

*Yuichi Yamane

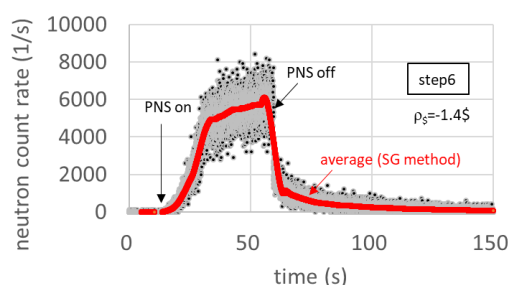


図 1. 中性子計数率に SG 法を適用した結果

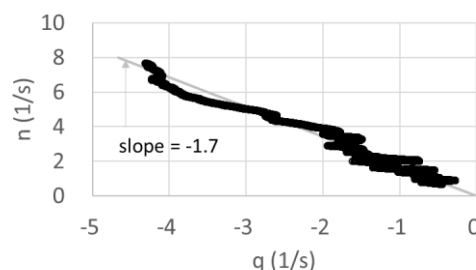


図 2. 点 (q, n) の計算結果