炉雑音解析手法への動的モード分解の適用：(1) Rossi-α 法に対する適用

Application of Dynamic Mode Decomposition to Reactor Noise Analysis Method: (1) Application to Rossi-α method

*西岡 楓賀[1]，遠藤 知弘[1]，山本 章夫[1]，渡辺 賢一[2]，卞 哲浩[3]
[1]名古屋大学, [2]九州大学, [3]京都大学複合原子力科学研究所

本研究では、炉雑音解析手法の一つである Rossi-α 法に着目し、京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)で取得した炉雑音測定実データに対して動的モード分解(DMD)を適用することで、基本モード成分の即発中性子減衰定数を推定した。

キーワード：炉雑音解析，動的モード分解，Rossi-α 法，即発中性子減衰定数，基本モード成分

1. 緒言：先行研究により、DMD をパルス中性子法に対して適用することで、基本モード成分の即発中性子減衰定数を頑健に推定可能であることが確認されている。本発表では、DMD の更なる適用性を検討するため、KUCA で炉雑音測定実験を行い、Rossi-α 法と DMD を用いた基本モード成分の即発中性子減衰定数の推定結果について報告する。

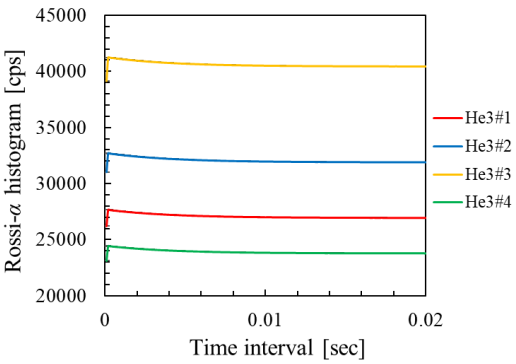

図 1 Rossi-α 法時系列データ

2. 解析手法：Rossi-α 法で得られる中性子検出時間間隔τの頻度分布$P(\tau)$の理論式は、α固有関数展開により$P(\tau) = \sum_i P_i \exp(-\alpha_i \tau) + P_u$と表すことができる($\alpha_i$:$i$次の減衰定数、$P_i$: 相関項の$i$次展開係数、$P_u$:非相関項)。そこで、$m$個の検出器を用いて、Rossi-$\alpha$ 法の頻度分布を時間幅$\Delta\tau$毎にn区間で測定した場合を考える。τの頻度分布をm行n列の行列 $\mathbf{X}$ に並べ、$\mathbf{X}$ から 1 列目-$(n-1)$列目までの時系列データを取り出した行列を$\mathbf{X}_{1:n-1}$、2 列目-n列目を取り出した行列を$\mathbf{X}_{2:n}$と定義する。DMD では、$\mathbf{A}\mathbf{X}_{1:n-1} = \mathbf{X}_{2:n}$となる時間発展行列 $\mathbf{A}$ を、$\mathbf{X}_{1:n-1}$の擬似逆行列を用いて推定する。行列 $\mathbf{A}$ を固有値分解することで、各モードの固有値λ_iが得られ、$\alpha_i = -\ln(\lambda_i)/\Delta\tau$ の関係式により各モードの即発中性子減衰定数α_iが求めることができ、ゼロではない最も小さい減衰定数が基本モード成分に対応することとなる。αの統計誤差評価には、ランダムサンプリング法を使用した。

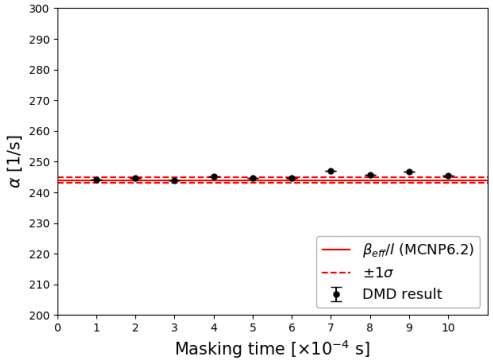

図 2 DMD によるα推定結果

3. 適用結果：Rossi-α 法に対する DMD の適用性を調べるため、臨界状態の KUCA-A 架台(A1/8"p60EUEU(3)+1/8"Pb40p20EUEU 炉心)で炉雑音測定実験を行った。4 個の ^{3}He 検出器から取得した 1 時間の炉雑音測定による Rossi-α 法の時系列データを図 1 に示す。DMD を適用する際は、図 1 の時系列データに加え、Rossi-α 法における非相関項P_uの影響を差し引くため全時間ステップに対して 1 となる定常信号を $\mathbf{X}$ に追加した。DMD による基本モード成分のα推定結果を図 2 に示す。図 2 より、DMD によるα推定結果は、マスキング時間によらず MCNP6.2 によるβ_{eff}/ℓ計算結果と統計誤差の範囲内で概ね一致した。本検討により、KUCA 臨界炉心のβ_{eff}/ℓそのものを実測することができた。

謝辞 本研究は KUCA 共同利用研究(R2CA01)の成果であり、JSPS 科研費(19K05328)の助成による。

*Fuga Nishioka[1], Tomohiro Endo[1], Akio Yamamoto[1], Kenichi Watanabe[2], Cheol Ho Pyeon[3]
[1]Nagoya University, [2]Kyushu University, [3]Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University