

Dynamic Mode Decomposition を用いた即発中性子減衰定数 α 測定手法の開発

名古屋大学工学部物理工学科 量子エネルギー工学コース 山本研究室 西岡楓賀

1. 緒言

即発中性子減衰定数 α は体系内における即発中性子束の指数関数的減衰を表す時定数であり、基本モード成分の α を測定することで体系の未臨界度を求めることができる。パルス中性子法[1]により、中性子計数の時間変化をマスクングし最小二乗フィッティングすることで α を測定できるが、基本モード成分のみを抽出する方法には未だ検討の余地がある。そこで本研究では、基本モード成分の α を測定する手法として DMD の適用可能性について検討した。

2. 解析手法

DMD はデータ駆動型の分析手法であり、時系列データを $f(\vec{x}, t) \approx \sum_{i=1}^m A_i \psi_i(\vec{x}) \exp(\omega_i t)$ (A_i は振幅)に展開し、各モード成分の時定数 ω_i と固有関数 $\psi_i(\vec{x})$ を求める手法である。パルス中性子打ち込み後、 m 個の検出器により時間幅 Δt 毎に中性子を計数する。 n ステップの測定で得られた時系列データを m 行 n 列の行列 \mathbf{X} に並べ、この行列 \mathbf{X} から1番目 $\sim(n-1)$ 番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番目 $\sim n$ 番目を取り出した行列を $\mathbf{X}_{2:n}$ と定義する。DMD では、 $\mathbf{X}_{1:n-1}$ と $\mathbf{X}_{2:n}$ の関係を $\mathbf{A}\mathbf{X}_{1:n-1} \approx \mathbf{X}_{2:n}$ で近似し、時系列データのみで時間発展行列 \mathbf{A} を推定する。この行列 \mathbf{A} を固有値分解することで、各モード成分の固有値 λ_i と固有ベクトル $\psi_i(\vec{x})$ が得られ、 $\omega_i = \ln(\lambda_i)/\Delta t$ の関係式より時定数 ω_i が求められる[2]。ここで、各モード成分の即発中性子減衰定数 α_i は、 $\alpha_i = -\omega_i$ として計算する。

3. 適用結果

加速器駆動の未臨界体系における DMD の適用性を調べるため、図 1 に示す KUCA の A 架台体系でパルス中性子実験を実施した。BF₃ 検出器 4 個、光ファイバー検出器 4 個、核分裂電離箱 FC#1、FC#2 の 2 個で計 10 個の検出器から取得した中性子計数の時系列データに加え、遅発中性子による定常成分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} に追加した上で DMD を適用した。DMD による基本モード成分の α 推定結果と BF₃#3 の計数結果に対して従来のフィッティング法を適用した結果を図 2 に示す。定常信号を加えた DMD を用いることで、従来のフィッティング法と比べてマスクング点数に依らず α の推定値はほぼ一定となり、高次モード成分の影響を軽減できた。

参考文献

[1] B. E. Simmons, J. S. King, *Nucl. Sci. Eng.*, **3**, pp.595-608 (1958).

[2] P. J. Schmid, *Journal of Fluid Mechanics*, **656**, pp.5-28, (2010).

発表実績：西岡楓賀, 遠藤知弘, 山本章夫, 第 51 回日本原子力学会中部支部研究発表会, 名古屋大学, 12 月, (2019).

発表予定：西岡楓賀, 遠藤知弘, 山本章夫, 山中正朗, 卞哲浩, 日本原子力学会 2020 年春の年会, 福島大学, 3 月, (2020).

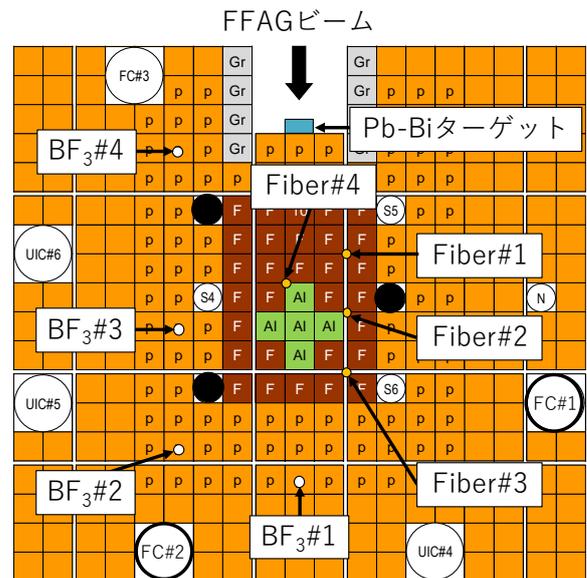


図 1 実験炉心体系 (●は全挿入した制御棒)

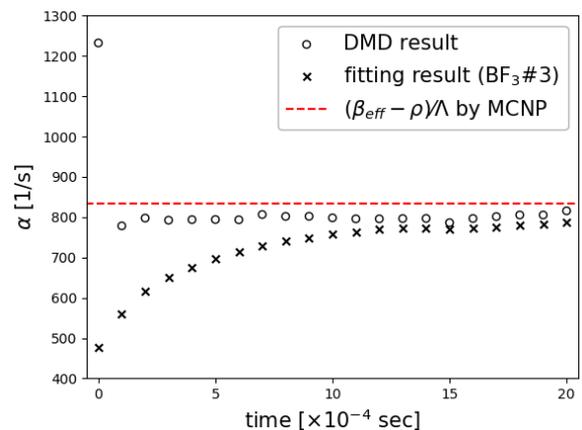


図 2 基本モード成分の α の推定結果