

# 炉外検出器信号を用いた固有直交分解に基づく炉内出力分布再構成法

名古屋大学工学部エネルギー理工学科 山本研究室 浦瀬勇希

**1. 緒言** 小型炉では、原子炉压力容器に貫通孔を取り付ける必要のない炉外検出器による炉内出力分布測定が望まれている。本研究では、炉外検出器によって炉内中性子束(≈出力)分布を再構成する方法論として、固有直交分解(POD)に注目した。PODとは少数の基底と展開係数により解を表すことで、解の自由度を大幅に減少させ効率よく解を得る手法である。本研究では、PODに基づく炉内中性子束分布再構成法を新たに考案した。なお、炉内中性子束分布から炉内出力分布は容易に計算することが出来る。

**2. 計算手法** まず、中性子束分布を再構成するために必要となる POD 基底と POD 展開係数を求める。POD 基底を作成するためには、複数の計算条件において計算した中性子束分布を教師データとして用意する必要がある。教師データの作成法として、本検討ではバイナリーサンプリングを用いた。任意の体系を  $I$  個の領域に分け、断面積を摂動させる範囲を決める。各領域に 2 つの断面積を設定した場合、全領域の断面積の組み合わせは、領域数を  $I$  とした場合に  $2^I$  通りとなる。これらの全ての条件について中性子束分布を計算し、教師データとする。得られた教師データを行列の形に並べて特異値分解すれば、POD 基底が得られる。このとき、中性子束分布は  $\vec{\varphi} = \mathbf{U}\vec{f} \dots (1)$  のように基底と展開係数を用いて展開可能である( $\vec{\varphi}$ は中性子束ベクトル、 $\mathbf{U}$ は POD 基底行列、 $\vec{f}$ は POD 展開係数ベクトル)。次に、炉外検出器計数値より POD 展開係数を求める。炉外検出器計数値を求める式は、 $\vec{n} = \mathbf{D}\vec{f} \dots (2)$  である( $\vec{n}$ は検出器計数値ベクトル、 $\mathbf{D}$ は検出器応答係数行列)。 $\mathbf{D}$ について、任意の検出器位置に対応するメッシュの係数は 1、検出器が設置されていない位置に対応するメッシュの係数は 0 とする。式(1)を式(2)に代入して得られた式の両辺に  $\mathbf{DU}$  の一般化逆行列  $(\mathbf{DU})^\dagger$  を乗じると、 $\vec{f} = (\mathbf{DU})^\dagger \vec{n} \dots (3)$  が得られる。式(3)から、未知数である展開係数  $\vec{f}$  を求めることができ、再び式(1)を用いれば POD 基底  $\mathbf{U}$  と、検出器信号  $\vec{n}$  から得られた展開係数  $\vec{f}$  を用いて中性子束分布  $\vec{\varphi}$  を再構成できる。

**3. 計算結果** 計算体系は、NuScale Power 社製 SMR を単純化した二次元体系を用いた。ただし、炉心の直径は 154 cm、炉心周辺を囲う真空領域を 242 cm×242 cm(メッシュ数は 242×242 の 58564 メッシュ)として条件設定した。中性子束分布はエネルギー 2 群の固有値計算により求めた。本検証では、炉心領域を 5 領域に分割したため、バイナリーサンプリング数は  $2^5 = 32$  通りとなる。得られた 32 個の中性子束分布を教師データとして特異値分解し、POD 基底を作成した。炉外検出器数は 8 として、中性子束分布を再構成した。熱群中性子束分布の再構成の一例を図 1 に示す。左図の黄丸は検出器を示している。図 1 より、参照解の中性子束分布を概ね再現出来ていることを確認できる。高速群についても、同様に中性子束分布を概ね再構成できることを確認

した。したがって、本研究で新たに提案した POD に基づく炉内中性子束分布再構成の可能性が示されたといえる。

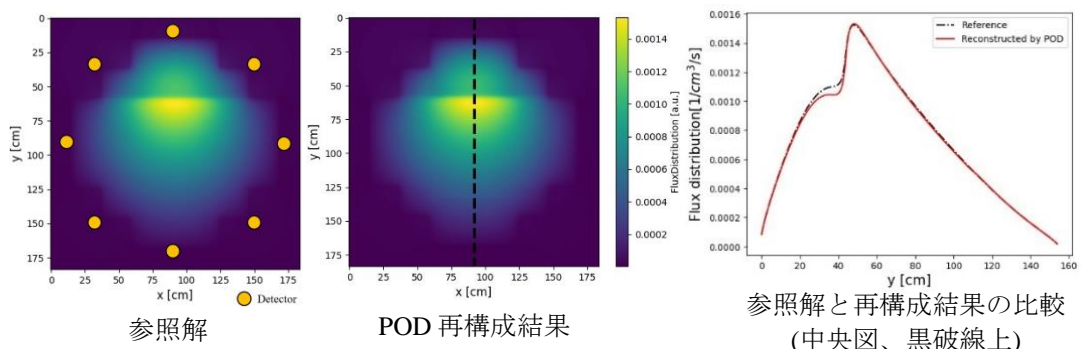


図 1 炉内中性子束分布再構成結果の一例(熱群)

- 口頭発表：1. 浦瀬勇希, 遠藤知弘, 山本章夫, 第 55 回日本原子力学会中部支部研究発表会, R10, 12 月 14 日 (2023).  
2. 浦瀬勇希, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 2024 春の年会, 発表番号 1L08, 3 月 26-28 日 (2024) (発表予定).  
3. Y. Urase, T. Endo, A. Yamamoto, *Proc. PHYSOR2024*, April 21-24 (2024) (submitted).