

## ベイズ最適化を用いた均質2領域炉心の設計最適化に関する検討

Study on Design Optimization of a Homogeneous Two-region Core Utilizing Bayesian Optimization

\*桑垣 一紀<sup>1</sup>, 横山 賢治<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAEA

原子力機構で開発を進めている設計支援ツール ARKADIA-Design の機能整備の一環として、ベイズ最適化手法を用いた均質2領域炉心の設計最適化に関する検討を行った。

**キーワード**：ベイズ最適化、炉心設計最適化、均質2領域炉心、ナトリウム冷却高速炉

**1. 緒言** ARKADIA-Design<sup>[1]</sup>の開発項目の一つとして、核計算、熱流動解析、燃料健全性評価の連携解析を行い、自動で設計パラメータを最適化するシステムの整備を実施している<sup>[2]</sup>。従来の炉心設計では設計者が経験と知識をもとに設計変数を調整し、最適仕様を提示してきたが、本システムではこの作業を自動化し、設計最適化にかかる期間を短縮するような設計支援ツールの提供を目指している。本研究では炉心設計における最適化計算の成立性確認を目的とし、均質2領域炉心を対象とした最適化例題を設定し、ベイズ最適化手法 (BO)<sup>[3]</sup>によりこの例題の最適解を導出する検討を行った。

### 2. 均質2領域炉心の設計最適化検討

**2-1. 最適化例題の設定** 目的関数を増殖比 (内部転換比)、制約条件を Na ボイド反応度と圧力損失、設計変数を炉心高さ、及び燃料ピンの配列ピッチと直径の比 (P/D) とした2変数最適化例題を設定した。増殖

比を高めようとし、炉心高さを上げると、圧力損失やボイド反応度が高くなってしまふ。そこで、P/D を上げ、流路面積を増加させることで圧力損失を緩和すると、逆にボイド反応度は高くなってしまふ。本システムでは、このような設計変数の調整が難しい問題に対し、自動で設計変数を調整し、最適解を導出する。

**2-2. 核 - 熱連携計算機能の整備** 設定した例題の解析を実施するため、2次元 RZ 体系の核計算結果から対象集合体の出力分布の情報を参照し、熱流動解析コードのインプットファイルを自動で生成し、核 - 熱連携計算を実施する機能を整備した。冷却材流量は、被覆管最高温度が制限値以下という条件で自動調整し、簡易的に設定した。圧力損失は Cheng-Todreas モデル<sup>[4]</sup>により算出した。

**2-3. ベイズ最適化による最適解探索** 本例題の最適解を BO によって探索した予備的解析の結果を図1に示す。BOにより、Na ボイド反応度と圧力損失の制約を満たす範囲で、増殖比が最大となる炉心高さと P/D (図1中の二つの制約条件の境界線の交点) を、自動で導出できることを確認した。

**3. 結言** 本研究では、核 - 熱連携計算を含めた均質2領域炉心の設計最適化例題を設定し、BOによりこの例題の最適解が自動的に求まることを示した。これにより、最適化計算の成立性、及び開発するシステムの炉心設計への適用可能性について確認した。今回は2変数のみを対象としたが、今後扱える変数や制約条件を増やしていくことで、より複雑な設計最適化を実施できるようになり、本システムが設計者にとって有用な支援ツールになることが期待される。また、連携計算機能の整備を進め、燃料健全性評価も含めた設計最適化計算の実施を目指す。

**謝辞** 解析機能の整備における(株)NESI の神智之氏の協力に感謝する。

**参考文献** [1] 田中 他, 日本原子力学会 2022 年春の年会, 1C06. [2] 桑垣 他, 同左, 1C05. [3] D.R. Jones et al., J. Global Optimization, Vol 13 (1998). [4] S.K. Cheng and N.E. Todreas, Nuclear Engineering and Design, Vol. 92 (1986).

\*Kazuki Kuwagaki<sup>1</sup> and Kenji Yokoyama<sup>1</sup> <sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency

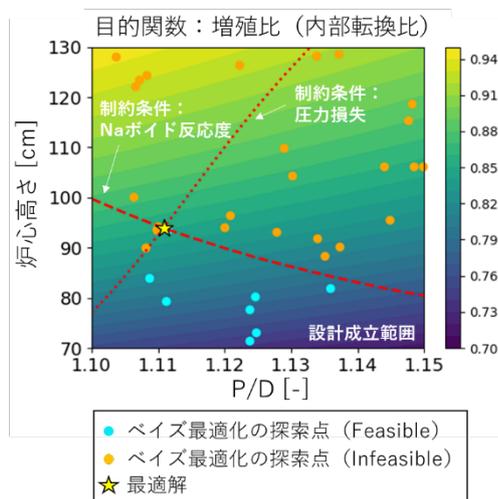


図1：BOによる最適解探索の予備的解析結果