

# 設計効率化及び過度な保守性低減に向けた炉心設計最適化プロセスの整備 —代表例題の設定と炉心設計最適化プロセスの具体化検討—

Development of core design optimization process

towards design efficiency and reduction of excessive conservativeness

—Setting of representative problem and investigation of core design optimization process—

\*浜瀬 枝里菜<sup>1</sup>, 桑垣 一紀<sup>1</sup>, 堂田 哲広<sup>1</sup>, 横山 賢治<sup>1</sup>, 田中 正暁<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAEA

炉心設計解析とプラント動特性解析を連携し、ベイズ最適化を活用した炉心設計最適化プロセスを整備している。代表例題として、炉心性能及び系統熱負荷指標を目的関数とした炉心仕様最適化問題を設定し、まずは、単目的最適化問題に対して簡略的な最適化プロセス実行により最適解の存在を確認した結果を報告する。

**キーワード:** ナトリウム冷却高速炉, 炉心設計, 核設計解析, プラント動特性解析, ベイズ最適化

**1. 緒言** 原子力機構では、炉心、炉構造、並びに保全分野（点検工程）における設計最適化支援ツール ARKADIA-Design<sup>[1]</sup>の整備を進めている。従来の炉心設計では、取合条件の下、核設計、熱流体力設計、燃料健全性評価から成る炉心設計解析を個別に実施して仕様を決定した後、安全評価のためのプラント動特性解析を行い、試行錯誤を繰り返して炉心仕様を調整していた。そのため、設計期間が長期化し、また、取合条件は過度の保守性を含みやすく、最適化の余地があるものの、最適解に近い炉心仕様の提示に留まっていた。そこで、設計効率化及び過度な保守性低減による炉心設計革新を目的に、まず、冷却材流量喪失事象（ULOF）時に炉心損傷を回避でき、炉心性能の高いナトリウム冷却高速炉の炉心設計仕様を最適化するプロセス整備を実施することとした。

**2. 最適化プロセスの具体化検討** 代表例題（図1参照）として、2次元 RZ 円柱体系で模擬した炉心部を含む1次主循環系を簡略化した体系を対象に、炉心性能及び系統熱負荷指標を目的関数、安全性の観点から制約条件を考慮した炉心仕様最適化問題を設定した。最適化プロセスでは、炉心設計解析とプラント動特性解析を連携させ、予備検討<sup>[2]</sup>により適用性を確認した GPflowOpt<sup>[3]</sup>によるベイズ最適化（BO）手法を用いて、最適解を探索することとした。

**3. 最適化プロセスの適用性検討** 第一段階として、核設計解析とプラント動特性解析の連携解析に BO 手法を用いて、目的関数を炉心性能指標である Pu 初期装荷量、制約条件を被覆管最高温度（2次ピーク時）、ボイド反応度、最大線出力、設計変数を炉心直径と炉心高さとした単目的最適化問題に対して最適化プロセス検討を実施した。図2に示すように、制約範囲内で Pu 初期装荷量を最小にする炉心仕様を求めることが可能となった。また、総当たり計算による参照解と良く一致したことから、本最適化プロセスが代表例題へ適用できる見込みを得た。

**4. 結言** 代表例題を設定し、炉心設計最適化プロセスの具体化検討を実施するとともに、本プロセスの適用見込みを確認した。代表例題に対し、一連評価に BO 手法を用いた最適化プロセス整備を進めていく。

**参考文献** [1] 田中 他, 原学会 2022 年春, 1C06. [2] 桑垣 他, 原学会 2022 年春, 1C05. [3] N. Knudde, et al., arXiv preprint (2017).

\*Erina Hamase<sup>1</sup>, Kazuki Kuwagaki<sup>1</sup>, Norihiro Doda<sup>1</sup>, Kenji Yokoyama<sup>1</sup> and Masaaki Tanaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency

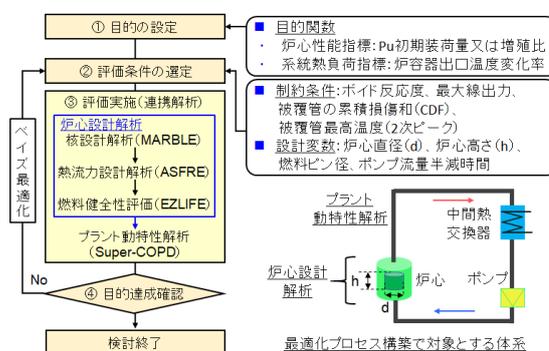


図1 炉心設計最適化プロセス（代表例題）

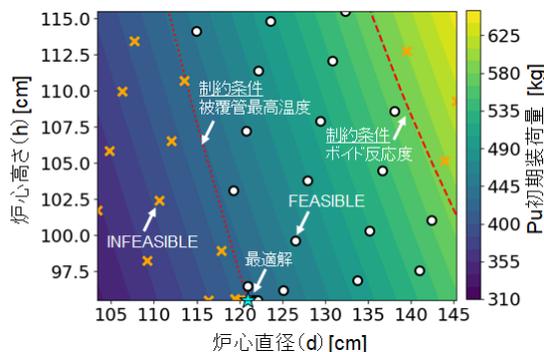


図2 BO手法による最適解の探索