

1. 緒言 次世代型原子炉の一つとして開発が進められているナトリウム(Na)冷却高速炉は、安全上重要なパラメータである Na ボイド反応度 $\Delta\rho_{\text{void}}$ の抑制が高速炉固有かつ長年の設計課題である。また従来の高速炉設計手法の課題として、制約条件が厳しいために大域的に設計変数を探索する試みが行われていないこと、設計に工学的知見を用いていることが挙げられる。そこで本研究では、設計変数の制約条件を緩和するとともに数理的な最適化アルゴリズムにより最適な設計変数を探索し、 $\Delta\rho_{\text{void}}$ が負であり固有安全性を有する高速炉の燃料組成・炉心寸法を設計する手法を開発した。本予稿では、開発した手法による高速炉の炉心寸法最適化に関する検討結果について示す。

2. 計算条件 炉心寸法に関する制約条件を緩和し探索範囲を拡大するアプローチとして、1 種類の燃料領域とナトリウムのみで構築した炉心寸法最適化用の二次元円筒体系モデル(図 1)を構築した。本モデルではバームクーヘン状に切った炉心体積が等しくなるように各燃料領域の径方向幅を設定し、各燃料領域の軸方向高さ $h_i (i = 1, \dots, 5)$ を設計変数とした。山登り法に基づく最適化アルゴリズムを適用し、実効増倍率は $1.0 \leq k_{\text{eff}} \leq 1.1$ 、燃焼反応度は $|\Delta\rho_{\text{burnup}}| \leq 0.0417$ の目標範囲のもと、ドップラー反応度 $\Delta\rho_{\text{doppler}}$ と Na ボイド反応度 $\Delta\rho_{\text{void}}$ の合計値ができるだけ負となる方向に h_i を最適化した。装荷燃料は、①もんじゅ内側炉心燃料(U:Pu=78:22 [wt.%])と、②各炉心特性が従来よりも改善しつつ $\Delta\rho_{\text{void}}$ が減少するよう 1 領域無限均質体系において最適化した燃料(Th:Cm=84:16 [wt.%])、の 2 種類について検討した。

3. 最適化結果 異なる 7 種類の初期値に対し初期乱数を 10 回変更したサンプル中で、最も $\Delta\rho_{\text{void}}$ が負側に大きくなった炉心寸法最適化結果を図 2 に示す。図 2-①において、炉心は中心で盛り上がり、従来の平坦な炉心と異なる形状が構築された。また、図 2-②ではより平坦な炉心が構築された。図 3 に示した k_{eff} と $\Delta\rho_{\text{void}}$ の最適化推移は正の相関関係を有するため、 $k_{\text{eff}} \geq 1$ の範囲で燃料の装荷量が少ないほど $\Delta\rho_{\text{void}}$ は減少すると考えられる。そのため、図 2-①ではより少ない燃料で $k_{\text{eff}} \geq 1$ を満足するために凸型の炉心が構築された。一方、Th・Cm の最適化後燃料はもんじゅ内側炉心燃料よりも k_{eff} が増加しやすい燃料組成であるため、図 2-②ではナトリウムボイド化時の中性子漏洩量が多い扁平炉心とすることで $\Delta\rho_{\text{void}}$ をより負側に減少させる炉心が構築された。扁平炉心が $\Delta\rho_{\text{void}}$ の低減に効果的という結果は、高速炉設計における従来の工学的知見と同様である。

口頭発表

- [1] 大池宏弥, 遠藤知弘, 山本章夫, 他, 日本原子力学会 2021 年春の年会, 1C06, オンライン開催, 3月17日-19日 (2021).
- [2] 大池宏弥, 森下裕貴, 山本章夫, 他, 日本原子力学会 2021 年秋の大会, 3K10, オンライン開催, 9月8日-10日 (2021).
- [3] 森下裕貴, 大池宏弥, 山本章夫, 他, 日本原子力学会 2021 年秋の大会, 3K11, オンライン開催, 9月8日-10日 (2021).
- [4] 大池宏弥, 遠藤知弘, 山本章夫, 他, 日本原子力学会 2022 年春の大会, オンライン開催, 3月16日-18日 (2022). (submitted).

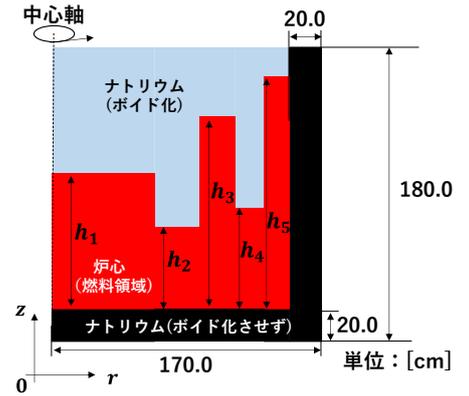
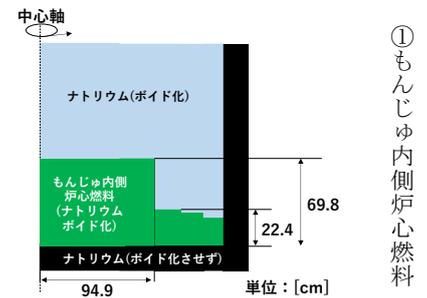
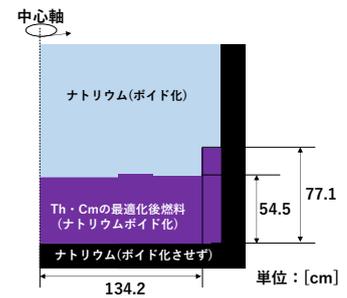


図 1 高速炉の炉心寸法最適化モデル



①もんじゅ内側炉心燃料



②Th・Cmの最適化後燃料

図 2 炉心寸法最適化結果

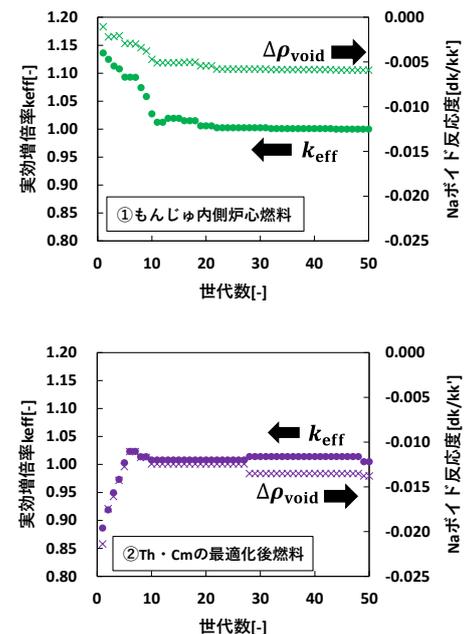


図 3 各燃料装荷時の k_{eff} と $\Delta\rho_{\text{void}}$ の最適化推移