

1. 緒言 加圧水型軽水炉では、炉心に燃料集合体が 121~193 体装荷される。それぞれの燃料集合体は互いに異なる特性を有するため、炉心の様々な特性値は炉内燃料集合体の燃料配置(装荷パターン)に大きな影響を受ける。原子炉の安全性や経済性は炉心特性によって決まるため、炉心設計と呼ばれる装荷パターンの作成は原子炉の運転において重要な作業である。一方、軽水炉における燃料の交換は定期点検の際に行い、運転に用いられた全燃料の 1/3~1/4 は廃棄され、残りの燃料集合体は次の運転に引き継がれる。前のサイクルで用いられた燃料は燃焼により核特性が変化するため、あるサイクルの炉心特性は以降のサイクルの炉心特性に影響を与える。この影響を結合効果と呼ぶ。これより、炉心設計では現サイクルの装荷パターンだけでなく、数サイクル先の装荷パターンを同時に勘案し最適化を行うことが望ましい。しかし、複数サイクルの燃料配置最適化は探索空間が非常に大きくなり最適化が困難であるため、現行の炉心設計では単一サイクルにおいて経済性が最大となるように最適化が行われる。本研究では、炉心設計における課題の一つであるサイクル間の結合効果を考慮した装荷パターン最適化を実施する手法を提案する。

2. 手法 炉心反応度は燃料の組成とその燃料の出力分担(炉心に装荷されている各燃料の相対出力)に依存し、各燃料の出力分担が決まれば炉心反応度を求めることができる。本研究では、第一段階として、設定した出力分担を満足する装荷パターンが存在するという仮定の下、出力分担を自由に設定できるとして、燃料のサイクルコストを最小とするような出力分担を探索する。出力分担最適化では、最適化の際に炉心計算を必要としないため、高速に炉心特性値を評価することができ、複数サイクルを直接最適化の対象とすることが可能である。理想的にはそのように求められた最適出力分担を満足するように原子炉内の燃料を配置して運転を行うことが望ましい。しかし、最適出力分担と完全に一致するような燃料配置は一般的には存在せず、実際の原子炉の出力分担と最適出力分担には差異が生じる。そこで本研究では、複数サイクルを対象に得られた最適出力分担をできるだけ満足するように、各単一サイクルの燃料配置を探索する手法を提案する。これにより、①出力分担最適化手法の炉心設計への適用性を検討し、②従来困難とされた結合効果を取り入れた燃料配置最適化手法を確立することを目的とする。

3. 検証計算 上記提案手法が複数サイクルの燃料配置の最適化について有用であるか検証するため、3 ループ PWR 炉心において、連続した 5 サイクルの運転サイクルを対象として燃料配置の最適化を行った。簡単のために各サイクルで投入する新燃料体数を固定し、サイクル長の最大化を目的として燃料配置最適化を行った。原子力発電において燃料費を削減するためには、装荷する新燃料体数を少なくするか、新燃料体数が固定されている場合には、運転期間を表すサイクル長を最大化すればよい。本検証計算では新燃料体数を固定するため、5 サイクルの合計サイクル長が大きいほど経済性が高い炉心であると言える。提案手法との比較として、1 サイクルごとにサイクル長を最大化するように燃料配置を最適化する計算を行った。また、提案手法と比較手法のそれぞれの装荷パターン最適化には焼きなまし法を用いた。焼きなまし法とは確率論的最適化アルゴリズムであり、初期乱数を変えてそれぞれ 50 回の最適化計算を行った。

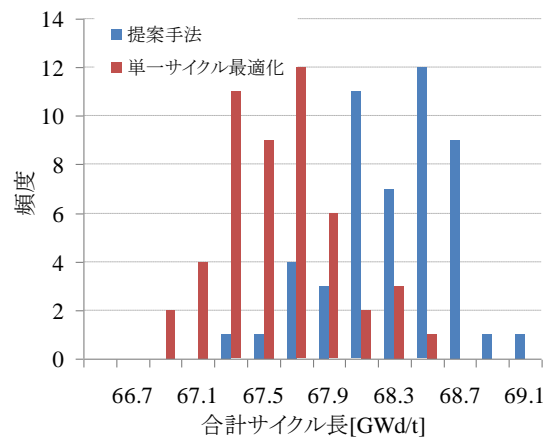


図 1. 合計サイクル長の頻度分布

4. 結果 提案手法と比較計算において、それぞれ 50 回計算した際の合計サイクル長の頻度分布を図 1 に示す。提案手法では複数サイクルを同時に最適化することにより各サイクルで最適化するよりも合計サイクル長が長くなるという傾向が得られ、また、体系を変えた計算においても同様の傾向が得られた。以上から、最適出力分担を用いた炉心設計手法は有用であることを確認し、結合効果を考慮した新しい炉心設計手法を提案できたと言える。

公刊論文(口頭発表)

- 1) 中野幸太郎, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会 秋の大会, 広島大学, 9月 19-21 日, 2012, (2012).