

背景と目的 現在の原子炉の炉心設計は1サイクルごとに燃料装荷パターンを決定することにより行われているが、1サイクルごとに最適化されたものと複数（マルチ）サイクルを通して最適化されたものでは結果が異なる。しかし、燃料装荷パターンの最適化は1サイクルでも困難であり、これをマルチサイクルで最適化するのは非現実的である。そこで、燃料装荷パターンからではなく、燃料の出力分担（炉心平均に対する相対出力）から炉心設計を直接行えると仮定することにより、マルチサイクルでの最適化を行う。マルチサイクルでの最適化の結果は、本来あるべき理想的な出力分担を示しているため、実際の炉心設計時における指標になると考えられる。

サイクル長・取出燃焼度評価法 炉心に装荷されている燃料を燃料履歴によりグループ分けする。それぞれのグループにおいて、出力分担は同じ値を持つものとする。また、燃料の増倍率はFig. 1に従うものとする。このとき、炉心の実効増倍率を次のように計算する。

$$k_{eff} = \frac{\sum_{i \in \text{全グループ}} n_i p_i k_i}{\sum_{i \in \text{全グループ}} n_i p_i} - f$$

n:グループに属する体数, p:出力分担, k:無限増倍率, f:最外周からの漏れによる増倍率の低下の効果とする。サイクル長をC, サイクル初期における燃焼度を B_{boc}

で表すと、サイクル末期における燃焼度 B_{eoc} は $B_{eoc} = B_{boc} + p_i \times C$ で表される。これにより、出力分担からサイクル長の計算が可能となり、サイクル初期における燃焼度、出力分担およびサイクル長からサイクル末期の燃焼度も求められる。さらに、各サイクルにおける新燃料体数の値より取出燃焼度を求めることが可能である。

最適化法 マルチサイクルにおける出力分担の最適化法と新燃料体数の最適化法にはそれぞれ別の手法を用いる。出力分担の最適化法には最急降下法を用いる。一方、各サイクルにおける出力分担と新燃料体数が作る解空間は広大で多峰性に富んでいる。そのため、局所解から脱出するため、決定論的最適化手法のみでなく確率論的最適化手法として焼きなまし法（SA）と遺伝的アルゴリズム（GA）を用いる。本研究では、5サイクルに対して出力分担と新燃料体数の最適化を行った。各サイクルでのサイクル長は10.0[GWd/t]とした。目的関数としては取出燃焼度の最大化と新燃料体数の最小化を行った。

結果・結論 現在の炉心設計方針である新燃料体数の単サイクル最小化と、理想的な最適化手法であるマルチサイクルにおける取出燃焼度の最大化における取出燃焼度と新燃料体数 (Table 1)と出力分担の推移(Fig. 2)を示す。Table 1より、逐次最適化と同時最適化（決定論的手法）で、新燃料体数は等しいものの、取出燃焼度を0.6[GWd/t]程度高めることができた。取出燃焼度が異なる理由は、逐次最適化では、新燃料と2サイクル目燃料に出力分担を大きく依存しすぎているためである。一方、同時最適化では、新燃料の出力分担は逐次最適化と比較して低く3, 4年目燃料の出力分担は逆に高い。これより、無限増倍率の小さい燃料にもある程度、出力分担を割り振る必要がある。マルチサイクル最適化により得られた炉心設計の指標となる最適出力分担をTable 2に示す。

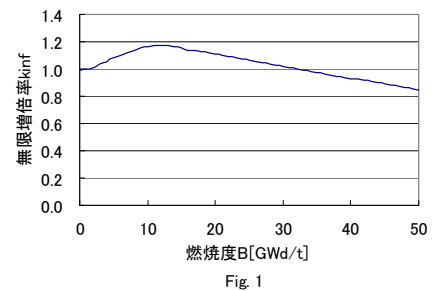


Fig. 1

| | | 取出燃焼度 [GWd/t] | 新燃料体数 [体] |
|----|-----|------------------|--------------|
| 逐次 | 決定論 | 46.40 | 112.8 |
| | 決定論 | 47.02 | 112.8 |
| 同時 | GA | 46.98 | 113.7 |
| | SA | 47.27 | 111.5 |

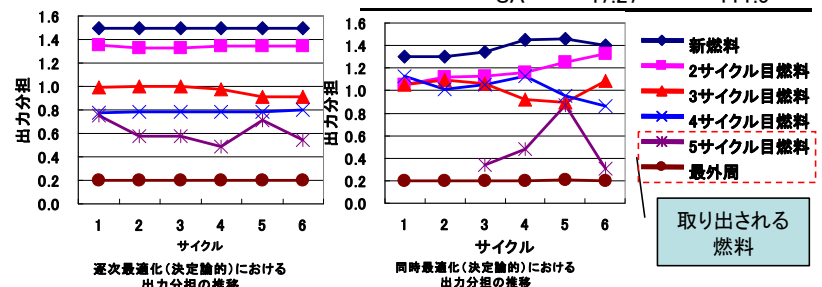


Fig. 2

| 最適出力分担 | |
|----------|---------|
| 新燃料 | 1.3~1.4 |
| 2~4サイクル目 | 1.0~1.2 |
| 5サイクル目 | ~0.7 |
| 最外周 | 極力低く |

公刊論文

岩田智樹, 他, “マルチサイクルにおいて取出平均燃焼度を最大化する最適出力分担の検討,” 日本原子力学会, L29, 大阪大学, (2008年3月27日)

T. Iwata, et al, “Optimization of Batch Power Sharing to Improve Discharge Burnup for Multicycle,” American Nuclear Society 2008 Winter Meeting, Reno, (November 12, 2008)