

1. 緒言

原子力発電における発電コストは燃料費、運転管理費、資本費によって決まる。その中の燃料費は、取出平均燃焼度によって決まり、取出平均燃焼度を高めることは燃料費の低減につながり、経済性を高める上で有効である。燃焼度とは、初期の燃料に含まれる重金属量 1 トン当たりに発生した積算燃料[GWd/t]であり、取出平均燃焼度は定期検査時に取り出された集合体の平均の燃焼度である。また、集合体ごとの炉心平均出力に対する比を出力分担と定義する。

炉心に装荷される燃料は 1 サイクル燃焼しただけで取り出されることはなく、通常は数サイクル燃焼する。そのため、炉心にはサイクル初期において、特性の異なる数種類の燃料がある。それらの異なる種類の燃料の配置の組み合わせ（装荷パターン）が決まると各集合体の出力分担も決まり、炉心のサイクル長（運転期間）や取出平均燃焼度は決まる。

取出平均燃焼度を最大化するためには、装荷パターンを最適化する必要があるが、装荷パターンの最適化は、組み合わせ最適化である。しかし、組み合わせ最適化には微分の情報を用いることができないため、最適化は困難である。そこで、各集合体の出力分担を自由に設定できるとし、それを満たすような装荷パターンが存在すると仮定する。出力分担が連続であれば、微分の情報を最適化に用いることができるため、出力分担の最適化は容易にできる。そのため、本研究では、装荷パターンではなく、各集合体の出力分担を最適化することにした。

従来は 1 サイクルごとに取出平均燃焼度が高くなるように炉心設計しているが、それを長期的に取出平均燃焼度が高くなるように設定したときの取出平均燃焼度の差を見ることにした。

2. 計算方法

まず、BWR の炉心に装荷されている燃料を、装荷位置、燃焼回数、Gd 濃度ごとにグループ化した。それらのグループの出力分担、無限増倍率 (k_{inf}) から炉心のサイクル長を以下のように算出する。集合体の燃焼度と k_{inf} は Fig.1 のような相関を持つ。サイクル長を仮定すると、EOC における各集合体の燃焼度が決まり、Fig.1 より EOC における k_{inf} を与えることができる。この k_{inf} を(1)式のように出力分担で重み付けしたものから、 k_{eff} が求まる。ただし、最外周の出力分担によって、漏れによる k_{eff} の低下の効果 $f(p_{outer})$ を考慮に入れる。この方法で k_{eff} が 1.0 になるまで、Newton 法を用いて、サイクル長を求めた。

このサイクル長と出力分担を用いて、各集合体の燃焼度を更新し、高いものから交換する。交換する集合体の平均の燃焼度から取出平均燃焼度を求める。

3. 最大化方法

1 サイクルごとの取出平均燃焼度が高まるように、最急勾配法を用いて 1 サイクルごとに出力分担を変更する方法を逐次最適化とする。それに対して、全サイクルの取出燃焼度の平均が高まるように、全サイクルの出力分担を最急勾配法を用いて同時に最適化する方法を同時最適化とし、それぞれの最適化を実行し、結果を比較検討する。

4. 結果と考察

逐次最適化と同時最適化の取出平均燃焼度の結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 から同時最適化の場合のほうが逐次最適化の場合より、よい結果が得られることが分かる。また、逐次最適化をする場合と同時最適化する場合で取出平均燃焼度の推移に違いが見られる。これは逐次最適化の場合の最適な出力分担と同時最適化の出力分担に違いがあるためである。逐次最適化の場合、取出平均燃焼度がそのサイクルで最大になるように出力分担をサイクルごとに最適化しているため、後のサイクルで使うべき余裕（取出燃焼度）を使ってしまっている。それに対して、同時最適化では全サイクルの合計が最も高くなるように出力分担を最適化しているため、取出平均燃焼度に大きな揺らぎがなくなっている。

5. 結言

複数連続サイクルに対して、出力分担を最急降下法を用いて変更することで、取出平均燃焼度を最大化することを検討した。

これらの結果から、同時最適化が逐次最適化より有効であることを確認した。

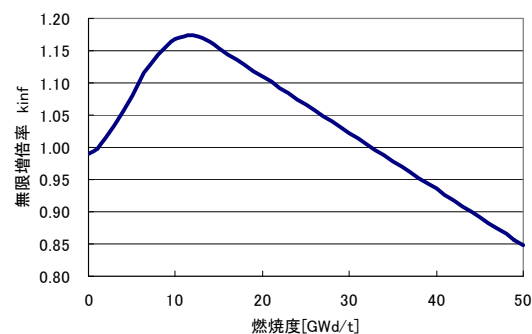


Fig. 1 燃焼度と無限増倍率の相関

$$k_{eff} = \frac{\sum_{i \in \text{all group}} n_i p_i k_{inf,i}}{\sum_{i \in \text{all group}} n_i p_i} - f(p_{outer}) \quad (1)$$

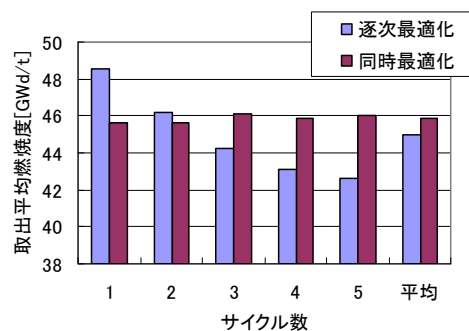


Fig. 2 サイクル数と取出平均燃焼度