

## 運転計画の不確実性が長期燃料運用計画最適化に与える影響評価

エネルギー制御工学グループ 大堀和真

**1. 背景および目的** 原子炉を運用する際、より経済的な燃料運用の実現を目的として、長期燃料運用計画が策定される。長期燃料運用計画では、将来の運転サイクルで必要となる新燃料体数および燃料運用の方針が検討される。この際、複数の運転サイクルに対して、解析、最適化を実施するが、このとき、予め定められた運転計画に従って、各サイクルの運転期間には一意の値を与えることになる。しかし、実際には、プラントのトラブルや運転計画の変更により、元々計画されていた運転期間(計画サイクル長)が変更される場合がある。つまり、現実の世界においては、運転計画には不確実性が含まれることになる。近年、複数サイクルを同時に最適化するというマルチサイクル最適化が、経済的な長期燃料運用計画を策定する方法として注目されているが、この手法は運転計画の不確実性の影響を強く受ける可能性があり、不確実性が含まれる場合にも、有効であるかどうかについては確認されていない。そこで、本研究では、運転計画の不確実性が長期燃料運用計画に与える影響を評価することにした。これにより、運転計画に不確実性が含まれる場合、従来用いられてきた単一サイクル最適化とマルチサイクル最適化、どちらの最適化方針が経済的な燃料運用を実現できるのかを明らかにすることができる。

**2. 出力分担最適化** 本研究では、各運転サイクルの出力分担を最適化することによって、長期燃料運用計画を決定することとした。出力分担とは、炉心に装荷されている燃料に割り振る相対出力を指す。炉心の増倍率や取出平均燃焼度といった炉心特性は、出力分担に依存している。そのため、出力分担を最適化することによって、経済的な燃料運用の方針を決定することができる。出力分担最適化の特長として、出力分担という連続変数を最適化対象とするため、組み合わせ最適化と比較して高速に解を探索することが可能であるということが挙げられる。そのため、複数サイクルを対象としたマルチサイクル最適化の場合にも、実用的な時間内で最適出力分担を得ることができる。

**3. 不確実性評価** 上記の出力分担を用いた炉心特性の評価を行う際、各燃料のサイクル末期(EOC)における燃焼度  $B_{i, eoc}$  は式(1)のように更新される。ここで、 $C_{plan}$  は計画サイクル長[GWd/t]であり、 $B_{i, boc}$  はサイクル初期(BOC)の燃焼度である。本研究では、式(1)中の出力分担  $p_i$  を最適化することで、取出平均燃焼度の最大化を図る。しかし、実際には、計画サイクル長  $C_{plan}$  は不確実性の影響で変動することになる。ここで、 $C_{plan}$  が不確実性の影響で  $C_{rand}$  だけ減少したとすると、EOCにおける燃焼度は式(1)ではなく式(2)に従うことになる。つまり、 $C_{rand}$  が変動することにより、次サイクルに引き継がれる各燃料の燃焼度が、想定していたものから変化することになる。これにより、新燃料体数や取出平均燃焼度といった最適化結果についても、不確実性の影響を受けたものとなる。本研究では、式(2)の  $C_{rand}$  をランダムに変動させることにより、最適化結果である取出平均燃焼度がどのような影響を受けるのかをモンテカルロ・シミュレーションによって評価した。なお、 $C_{rand}$  の確率分布は平均0、分散1[GWd/t]の正規分布の負側を切り出したものと仮定した。

**4. 結果** 上記の評価法を用いて、1サイクル毎に最適化する単一サイクル最適化(SO)と、マルチサイクル最適化(MO)を対象に、不確実性の影響を評価した。ここで、解析対象の炉心は3ループPWRを想定した。本稿では、サイクル数4、各サイクルの計画サイクル長を16.0GWd/tとした場合に得られた取出平均燃焼度の頻度分布を図1に示す。図1より、MOによって得られた取出平均燃焼度の結果は、SOで得られたものよりも十分大きなものとなっていた。続いて、計画通りに運用した場合に得られる取出平均燃焼度と、図1に示した頻度分布の平均値との差異を表1に示す。この差異は不確実性による影響を示しており、差異が大きいくほど影響が強く現れているといえる。表1に示したように、SOと比較して、MOの方が、差異が大きくなっている。つまり、今回の条件では、MOの方が不確実性の影響を強く受けていた。しかし、SOと比較しても、MOにおける不確実性の影響は、MOの優位性を失わせるほど大きいものでは無かった。これにより、運転計画に不確実性が含まれていたとしても、マルチサイクル最適化を用いることで、より経済的な長期燃料運用計画を策定することが可能であるということが分かった。

### 公刊論文(口頭発表)

大堀和真, 他, "計画サイクル長の不確実性が長期炉心燃料運用最適化に与える影響評価," 日本原子力学会 2010 年秋の大会 (2010).  
K. Ohori, T. Endo, A. Yamamoto, "Effect of Uncertainty of Planned Cycle Length in Multicycle Fuel Optimization," *Trans. Am. Nucl. Soc.*, 103, 707-710 (2010). [CD-ROM]

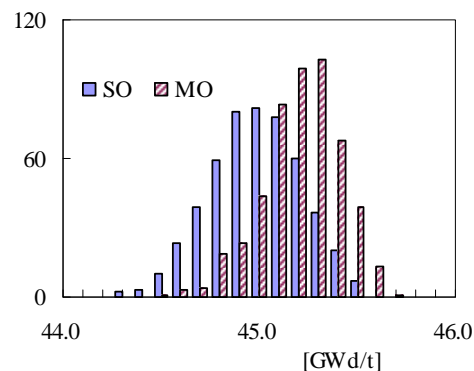


図1. 各最適化方針によって得られた頻度分布

表1. 不確実性の影響に伴う取出平均燃焼度の差異  
(単位:GWd/t)

	計画通り	頻度分布の平均値	差異
SO	45.49	44.94	0.55
MO	45.76	45.16	0.60