

捕食者を加えた多集団 MFO を用いた PWR 燃料配置の最適化 In-Core Fuel Loading Pattern Optimization for a PWR using Multi-Swarm Moth Flame Optimization Method with Predator

*石黒 諭美¹, 遠藤 知弘¹, 山本 章夫¹

¹名古屋大学

Moth Flame Optimization method (MFO)に対して、捕食者を導入した複数の群れを用いて探索を行うという改良を行い Multi-Swarm MFO-P を作成した。この手法を PWR における燃料配置の最適化問題に適用し、その結果得られた目的関数値を焼きなまし法(SA)等の従来の最適化手法により得られた目的関数値と比較した。
キーワード：燃料装荷パターン、最適化、MFO、PWR

1. 緒言

燃料配置を適切に決定するという問題は数学的に見れば組合せ最適化の範疇に所属する問題である。しかし燃料配置の組合せ総数が膨大であることから、全数探索によって優れた燃料配置を決定することは非現実的である。これまでに様々な最適化手法が提案されてきたが、本研究では近年提案された MFO[1]を改良した Multi-Swarm MFO-P(MSMFO-P)を燃料配置の最適化手法として提案する。本発表では燃焼計算を含んだ PWR 炉心に対して MSMFO-P と従来手法(焼きなまし法)による最適化を実施し、結果を比較した内容を報告する。

2. 計算手法

MFO[1]に捕食者(Predator)[2]を加えた MFO-P を複数回実施する最適化手法である Multi-Swarm MFO-P の計算手法を以下に述べる。各集団の中で MFO-P を実施するために以下の 1~9 の操作が行われ、その後複数集団の結果を統合し、すべての集団の中の最良解を得るために 10 の操作が行われる。なお、燃料配置については各集合体の kinf の値を並べたベクトルをインプットとして使用する。

1. 燃料配置の解候補(moth)をランダムに moth_num 個生成し、それぞれ目的関数の値を計算する。
2. 目的関数の値が優れた解候補(moth)から順に並べ替え、並べ替えられた解候補(moth)を良解候補(flame)として保存する。今回初めて flame を保存するため、moth_num 個全てを flame として保存する。
3. より優れた良解候補(flame)に向かって解候補(moth)が移動するようにそれぞれの解候補(moth)に対してそれぞれ目的地の良解候補(flame)を設定する。
4. 解候補(moth)とその目的地である良解候補(flame)について燃料配置のインプット(kinf のベクトル)間の距離を計算し、距離に応じたランダムな摂動を flame に与えることで flame の周りに新しく moth を移動させる。
5. 新しい moth の目的関数の値を評価する。
6. 最良の flame を捕食者とし、一定距離以内の moth について捕食を行い一定数消滅させる。
7. 消滅した moth の N 倍の moth をランダムに発生させ群れに加える。
8. 次世代に残す flame の数である flame_no を決定する。ここで flame を減らすことで、世代が進むにつれて flame の数は減る。
9. flame と moth をあわせて目的関数値順に並び替え、上位 flame_no 個を次の flame とする。
10. 炉心計算の回数が上限に達するまで 3~9 を繰り返す。ここまでの MFO-P による最適化である。
11. 各集団それぞれについて 1~10 を行い、全集団中の最良解を複数集団のうちの最良解として得る。

3. 検証計算

3 ループ PWR を対象に提案手法を適用した。2 群拡散計算を用いて燃焼計算を実施し炉心特性を評価した。出力ピーキング係数と集合体最高燃焼度が制限値を満しつつサイクル長が長くなるほど目的関数値が低くなるように目的関数を設定し、この目的関数の値を最小化するよう最適化を行った。

4. 計算結果

提案手法と SA による最適化結果を表 1 として示す。提案手法(MSMFO-P)による最適化を行った場合、従来手法である SA による最適化を行った場合よりも優れた目的関数値を得ることができた。

参考文献

[1] S. Mirjalili, Knowledge-Based System, **89**, 228-229, (2015).

[2] N. Inukai, T. Inoue, Y. Uwate, Y. Nishino, Technical Report of IEICE., 113[271], 109-112, (2013), [in Japanese].

*Satomi Ishiguro¹, Tomohiro Endo¹ and Akio Yamamoto¹

¹Nagoya Univ.

表 1 最適化によって得られた目的関数値

experiment	MSMFO-P	SA
#1	-0.9888	-0.9709
#2	-1.0038	-0.9731
#3	-1.0012	-0.9555
#4	-0.9921	-0.9631
#5	-0.9998	-0.9661
#6	-0.9875	-0.9708
#7	-1.0041	-0.9581
#8	-0.9873	-0.9583
#9	-0.9927	-0.9544
#10	-1.0054	-0.9553
average	-0.9963	-0.9626
std.dev	0.0073	0.0072