

局所探索に基づく原子炉燃料装荷パターンの最適化

Loading pattern optimization for pressurized water reactors using local search

今堀慎治¹、村上秀行¹、遠藤知弘²、山本章夫²、張 紹良¹

S. Imahori, H. Murakami, T. Endo, A. Yamamoto, S.-L. Zhang

¹名古屋大学 大学院工学研究科 計算理工学専攻

²名古屋大学 大学院工学研究科 マテリアル理工学専攻

¹Department of Computational Science and Engineering,

²Department of Materials, Physics and Energy Engineering,

Graduate School of Engineering, Nagoya University, Nagoya 464-8603

加圧水型原子炉では、約一年に一度、炉心に 20cm×20cm×400cm 程度の燃料集合体とよばれる核燃料を百数十体装荷する作業が生じる。本研究では、核燃料の配置を組み替え、翌年の運転に対して適切な燃料装荷パターンを決定する組合せ最適化問題を取り扱う。

原子炉の運用には厳しい安全性基準が課せられ、この基準を満たす燃料装荷パターンを用いることが条件となる。また、炉心の運用には年間数十億円に及ぶ燃料コストがかかるため、コスト削減を目標とした燃費のよい燃料装荷パターンが求められる。最適な燃料装荷パターンの計算は、以下の三つの観点から難しい問題と考えられている。

1. 可能性のある解（燃料装荷パターン）の総数が指数的に多い。
2. 燃料の微小な組み替えにより、炉心特性が大きく変化することがある。
3. 解の評価の際に、計算機シミュレーションが必要であり、時間がかかる。

よって、本問題を厳密に解くことは難しく、メタ戦略などの近似解法（発見的解法）が現実的な解決策となる。実際、原子炉物理学分野では、アニーリング法や遺伝アルゴリズムなどのメタ戦略を用いた解法が数多く提案されてきた。しかし、これらの異なる戦略に基づく解法はそれぞれ独立したものと考えられ、各解法に共通する基本的な性質について深く考察している研究は少ない。

本研究では、多くのメタ戦略アルゴリズムの基本となる局所探索法に注目し、燃料装荷パターン最適化問題に対する局所探索法を提案する。局所探索の構成要素である、初期解生成、近傍定義、移動戦略を、問題の特性にあわせて設計することで、解精度と計算効率の向上を目指す。また、解の評価の際に用いる計算機シミュレーションについての再検討を行い、効率的な解の評価方法の提案を行う。提案法の有効性の検証を数値実験によって行い、従来から用いられてきた標準的な局所探索法と比較して、得られる解の精度は向上し、計算時間を 15%程度削減できることを確認した。本研究で提案する局所探索法やその構成要素は、アニーリング法や遺伝アルゴリズムなどのメタ戦略を設計する際にも利用可能であり、実用上有効な解法の設計が期待される。