

## 深層学習による燃料装荷パターンの直感的生成手法の検討

Study on Fuel Loading Pattern Intuitive Generation Method by using Deep Learning

\*石谷 和己<sup>1</sup>

<sup>1</sup>原電エンジ

自動探索コードにより最適化された装荷パターンを教師データとして深層ニューラルネットワーク(DNN)に与え学習させ、もっともらしい装荷パターンを出力させる方法について検討した。

**キーワード：燃料装荷パターン最適化， 深層学習， ニューラルネットワーク**

**1. 研究の背景** 取替炉心設計では、限られた期間内に天文学的な組合せから設計条件を満たす装荷パターンを探し出す必要がある。その際、使用可能な燃料(新燃料、継続/再使用燃料)の中からの燃料を用いるかも併せて考える必要がある。使用する燃料が絞りこまれていれば自動探索コードにより最適化探索が可能となるが、探索には少なくとも数十分を要するので、自動探索コードを用いる価値の有る燃料構成(燃料リスト)を迅速に見極める必要があった。

**2. 着想と狙い** 装荷パターン探索は複数組の配置の入替えと炉心特性値評価の試行錯誤的な繰り返しにより行われる。複数の選択肢から、最終的な炉心特性の改善が見込める燃料移動を決定する方法として強化学習の1手法であるQ学習(Deep Q-Network)の活用が提案されている<sup>1</sup>。装荷パターン探索は最善と思われる選択を繰り返す点は囲碁と類似しているが、囲碁には対局者が存在し棋譜を無視して終局状態だけ真似ても意味を為さないのに対し、装荷パターン探索は最終的に得られた配置それ自体に価値がある点が異なっている。膨大な設計事例の中から、装荷したい燃料の無限増倍率ベクトルとの平均二乗誤差が最小となる装荷パターンを選び出す方法も考案されているが<sup>2</sup>、最適化探索の初期パターンとして利用するものであった。本研究では、画像のクラス分類などで画期的な成果を収めているDNNの汎化性能に着目し、使用する燃料リストを与えてもっともらしい装荷パターンを推定させる方法を検討した。

**3. 深層学習による燃料装荷パターンの推定** 国内4ループPWRの1/8炉心を対象とし、全結合型で6層のDNNを構築した。各層のユニット数は、入力層31、中間層496, 248, 124, 62、出力層31とした。出力層はNo.0のユニットを炉中心、No.1~12を軸対称位置、No.13~30を1/8対称位置の炉心座標に対応させた。教師データとしては、新燃料取替体数6ケース(60,64,...,80体)×Gd新燃料割合2ケース×継続使用燃料割合8ケース×直前サイクルの引継燃焼度5ケース(8,9,...,12GWd/t)の計480ケースについての最適化探索結果を用意した。最適化探索には自動探索コードSAMPLS<sup>3</sup>を用いた。入力層に無限増倍率で降順に整序した燃料リスト、出力層に最適化された装荷パターン(無限増倍率ベクトル)を教師データとして与え学習を行った。DNNに未学習の燃料リスト約100ケースを与え、出力された装荷パターンについてSIMULATE-3の2次元計算で炉心特性値を評価することで、もっともらしい推定が行えたか確認した。

### 参考文献

- [1] 巽, "深層学習と強化学習による燃料装荷パターン最適化手法の検討 (1)燃料装荷パターン情報を用いた炉心核特性の予測", 日本原子力学会 2017年春の大会(2017).
- [2] X.Mouney, "ARPEGE, THE EDF TOOL FOR CORE RELOAD PATTERN", Advances in Nuclear Fuel Management III(2003).
- [3] K.Ishitani, et. al., "Development of Multi-Stage Stochastic PWR Loading Pattern Search Code SAMPLS", Advances in Nuclear Fuel Management IV(2009).

\*Kazuki Ishitani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nuclear Engineering and Services Company