

# 深層学習による燃料シャッフリング時の炉心特性変化量の予測

Prediction of Core characteristics accompanying fuel shuffling in Deep learning

\*高野 渉<sup>1</sup>, 木間 暁<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GNF-J

ABWR の出力分布評価に深層学習を適用し、ノードの無限増倍率を入力、炉心ノード相対出力を出力としたニューラルネットワークを構築した。解析的に算出される入力と出力の感度から、実際の燃料シャッフリングによる出力の変動量が予測可能か検討を行った。

**キーワード**：深層学習、炉心特性、感度、ABWR

## 1. 緒言

原子炉の運転では、1 サイクル毎に最適な燃料装荷パターンを設計し、核的・熱的な運転目標を満足させる必要がある。過去にはメタヒューリスティックな方法に基づいて最適な設計が試みられているが、近年ニューラルネットワーク(NN)が様々な分野で用いられており、ABWR の設計においても NN が燃料装荷パターンの最適化に資するかを検討した。本検討では、炉心の基本特性の 1 つであるノード相対出力に着目した。

## 2. ノード相対出力評価

### 2-1. NN モデル

ノードの無限増倍率  $K_{inf}$  を NN の入力、着目ノードの相対出力を NN の出力とし、全結合 NN 及び部分的畳込み NN(PCNN)を構築した。 $K_{inf}$  は着目ノードを中心とした周囲  $5 \times 5 \times 5$  の 125 個と、炉心全体を軸方向 9、径方向 10 分割のリング状で平均化した 90 個、合わせて 215 個とした。PCNN ではノード周囲 125 個の入力に対して  $3 \times 3 \times 3$  サイズのフィルター 25 個を用いて CNN を適用し、 $3 \times 3 \times 3 \times 25 = 675$  個の値とリング領域の 90 個を第 1 層へと渡す。PCNN モデルの模式図を図 1 に示す。

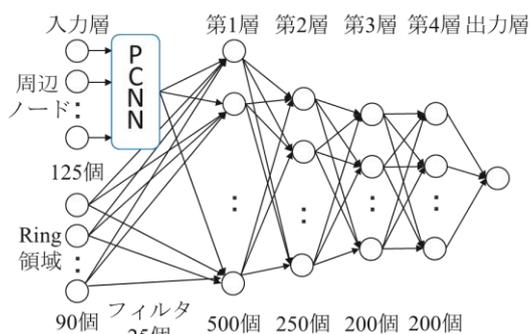


図1 PCNN 構築モデル

### 2-2. 教師データ

熱的特性等を見捨てた高反応度炉心を起点に、GNF-J で開発した遺伝的アルゴリズムコードを用いて炉心最適化を行い、その過程で生成した(最適化初期段階を除く)炉心の炉心シミュレータ AETNA<sup>[1]</sup>の特性評価結果を教師データとした。なお、1/8 鏡面对称として展開した炉心も教師データとし、約 2000 種類の炉心からなる。

### 2-3. 学習精度

教師データに対する学習精度は、例えば全結合 NN で教師データからの平均差異が約 4% となる計算時間で、PCNN では平均差異が約 3% となることを確認した。

## 3. 燃料シャッフリング時の特性予測

### 3-1. 燃料 1 シャッフリング時評価

教師データに含まれる 1 炉心を基点に、着目ノード  $(x, y, z) = (15, 15, 13)$  (制御棒が挿入されない炉心中央付近の燃料)の燃料体と、1/4 炉心でそれ以外の全燃料体 217 体を 1 体ずつ交換した 217 ケースについて、AETNA と NN の予測結果を比較した(図 2)。ケースによって 10% 程度の差異が生じている。

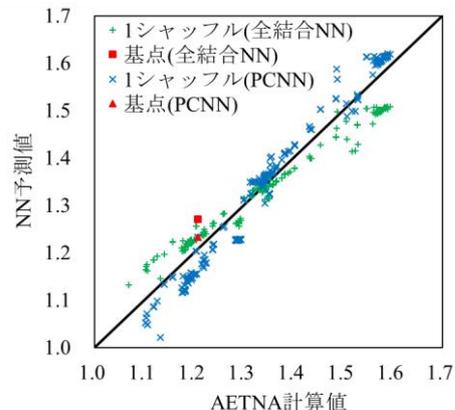


図2 NN による相対出力評価

### 3-2. 感度の利用

PCNN の出力層に対する入力層の偏微分(感度)を解析的に求め、1 シャッフリングによる NN の入力値の差分を掛け合わせることで出力値を評価した。図 2 の PCNN 予測値に対する結果を図 3 に示す。感度から PCNN の結果を高い精度で評価できることが分かる。これより、PCNN が AETNA の結果を予測できる精度で、感度を用いてノード相対出力を予測できることが分かった。

## 4. 結論と今後の予定

ABWR を対象に全結合 NN 及び PCNN を構築し、ノード相対出力評価を実施した。NN から入力層と出力層の感度を評価し、感度から出力値を予測できることを確認した。今後は燃焼を進めた点、その他特性についても拡張し、最適な装荷パターンの探索を実施する。

## 参考文献

[1] GNF-J “炉心核熱水力特性解析システム システム全般”, GLR-005 システム編, 2015 年 4 月

\*Sho Takano<sup>1</sup> and Akira konoma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GNF-J

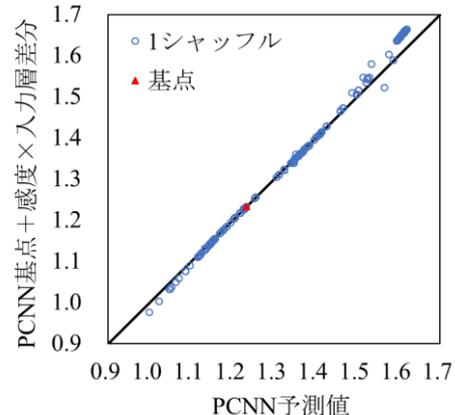


図3 感度による相対出力評価