

データ駆動型音響診断を基盤とした Na 冷却高速炉の炉内異常の早期検知の検討

Early detection of in-core abnormalities in Na-cooled fast reactors based on data-driven acoustic diagnosis

*植木 祥高¹, 平子 樹¹, 相澤 康介², 荒 邦章¹

¹ 東京理科大学, ² 日本原子力研究開発機構

Na 高速炉の炉心における冷却材沸騰事象の早期検知と推移把握を目的とし、当該炉心局所異常に伴う異常検知技術開発に必要な基礎知見の取得整備並びに基本的成立性を示すことを目標に、音響識別によるサブクール沸騰の発生検知及び推移把握に適合する深層学習の手法構築および性能評価を行った。

キーワード：深層学習、音響診断、沸騰、畳み込みニューラルネットワーク、説明可能 AI

1. 緒言

原子炉システムの安全は深層防護の思想を基本としてプラント安全性が確保されているが、昨今の安全性強化の要求に対してより高い事故耐性が求められており、供用中における異常の早期検知が重要である。Na 冷却高速炉は、高出力密度でなおかつ稠密な炉心構造を有しており、何らかの原因により炉心内に異物が混入した際に流路閉塞が懸念される。局所閉塞の発生時には冷却材の流量減少が生じ、炉心の冷却不十分に続く燃料の過熱を招き、冷却材沸騰の発生が予測される。本研究では沸騰時に発生する音圧を異常の早期検知に活用することを最終的な目的としている。本報告では可視化と現象に応じた音圧変化の時刻歴応答の関係の把握と分析をねらいとし、サブクール沸騰時に生じる音響データを取得し、時間-周波数表現の特徴量を学習させたラベル分類型・回帰分析型の2種の畳み込みニューラルネットワークの深層学習モデルを構築した。

2. 沸騰音響実験・深層学習

本研究のねらいとして異常検知技術開発に必要な基礎知見の取得整備にあり、可視化と現象に応じたプール沸騰時の音圧変化の時刻歴応答の関係の把握を行うべく、作動流体として超純水（電気伝導率：18.2 MΩ・cm）を用いた。電極間に水平に張った白金細線（直径 0.3 mm）に対して、直流電源を用いて電圧を印加し沸騰を発生させ、ハイドロフォンにより収録した。時間 - 周波数表現の二次元音響特徴量データを学習させた畳み込みニューラルネットワークの機械学習モデルを構築した。今回、AlexNet、VGG-16、ResNet-50 の3種のネットワークアーキテクチャを採用した。

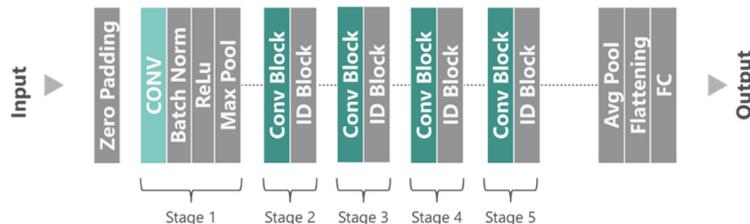


図 1. ResNet-50 ネットワークアーキテクチャ

3. 結言

本研究において短時間フーリエ変換に基づく時間 - 周波数表現の音響特徴量データを ResNet-50 に用いた場合が最良の正答率（99±0.4%）を示した。沸騰発生を高精度で識別することができる他、Grad-CAM に基づく識別根拠の可視化により重要度が高いと深層学習モデルが判定した音響周波数帯域が明らかとなった。また、回帰分析型の深層学習モデルを構築し、沸騰熱流束の数値を高精度（決定係数 0.99±0.00）に予測可能であることを検証した。本発表は文部科学省原子力システム研究開発事業（JPMXD0223813040）、科研費（23K03713）の助成による成果を含む。

*Yoshitaka Ueki¹, Itsuki Hirako¹, Kosuke Aizawa² and Kuniaki Ara¹

¹TUS, ²JAEA.