

# 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

## (3) 識別根拠の可視化

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

### (3) Visual explanation of identification basis

\*渡辺 晃也<sup>1</sup>, 植木 祥高<sup>1</sup>, 相澤 康介<sup>2</sup>

<sup>1</sup>東京理科大学, <sup>2</sup>JAEA

「データ駆動型音響診断手法」の液体金属冷却高速炉への適用を目指した基礎研究を進めている。本シリーズ報告(1)で示した深層学習に課すべきとした沸騰現象の特徴を踏まえて、音響計測信号から特徴量の抽出手法を検討し、沸騰現象の発現を可視化・検知するアルゴリズムを構築することを目標に、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妥当性評価を行った。

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

### 1. 緒言

沸騰現象の発現を可視化・検知するアルゴリズムを構築することを目標に、サブクール沸騰時に生じる音圧データから抽出した時間-周波数表現の特徴量を学習させたラベル分類型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、分類精度の比較から妥当性評価を行なった。また、深層学習モデルの識別根拠の可視化 (Guided Grad-CAM) に通じ、重要度の高い沸騰固有の特徴量を高解像度にて抽出を行った。

### 2. 深層学習による沸騰検知・識別根拠の可視化

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に基づく特徴量の抽出のため、作動流体として超純水（電気伝導率: 0.066 mS/m）を用いた。電極間に水平に張った白金細線（直径 0.3 mm）を通电加熱し、サブクールプール沸騰時に発生する音圧の時刻歴応答をハイドロフォンにより収録した。

音響特徴量の抽出には、時間-周波数分解能に優れたシンクロスライズドウェーブレット変換 (SWT) を用いた。時間-周波数表現の二次元音響

特徴量データを訓練させた深層学習モデルを構築した。深層学習モデルには AlexNet、VGG-16、ResNet-50 の 3 種の畳み込みニューラルネットワークアーキテクチャを採用した。本研究において SWT により抽出した時間-周波数表現の音響特徴量データを AlexNet に適用した場合が最良の正答率 (99±0.4 %) を示した。図 1 (左) は SWT により抽出した、核沸騰開始点近傍領域にて単一蒸気泡が生成消滅する際に発生した急峻な音圧の時間-周波数表現を表す。図 1 (右) は、訓練が完了した AlexNet モデルの識別結果に対し、Guided Grad-CAM による識別根拠の可視化を行った例を示す。これらの結果から AlexNet モデルが核沸騰開始点近傍の離散的な沸騰音を捉え、判断根拠として提示していることがわかる。

### 3. 結言

沸騰検知を特徴付ける音響情報として挙げた沸騰気泡の生成消滅に起因する音圧発生の把握は妥当である。また、この情報は沸騰に固有で有り、外乱との識別の有効性が期待される。本発表は文部科学省原子力システム研究開発事業 (JPMXD0223813040) の成果、科研費 (23K03713) の助成による成果を含む。

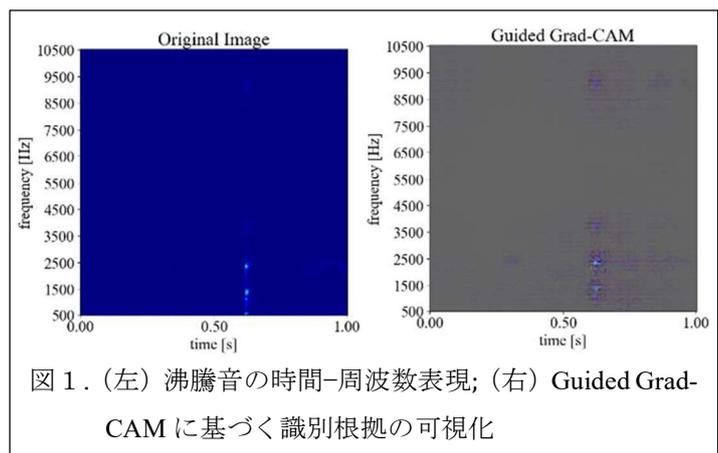


図 1. (左) 沸騰音の時間-周波数表現; (右) Guided Grad-CAM に基づく識別根拠の可視化

\*Koya Watanabe<sup>1</sup>, Yoshitaka Ueki<sup>1</sup> and Kosuke Aizawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TUS, <sup>2</sup>JAEA