

大規模数値解析と機械学習を用いた軸流ファン騒音のデータ駆動解析

Data-Driven Analysis of Axial Fan Noise using Large-Scale Numerical Simulation and Machine Learning

立川智章（東京理科大学）、大林航（東京理科大学）、青野光（信州大学）

研究背景

・大規模数値流体解析

・計算機性能の向上

富岳などのスーパーコンピュータやクラウドコンピューティングの進展により、大きな計算資源を容易かつ安価に利用可能になった

・計算手法の進展

LES(Large Eddy Simulation)を用いた大規模数値解析により、細かな圧力変動を含む詳細な解析が可能になった

・データ解析解析

・低次元化技術を用いた特徴抽出

POD (Proper Orthogonal Decomposition)、DMD (Dynamic Mode Decomposition)などの低次元化手法を用いることで、流体现象の組織的構造を抽出できるようになってきている

・ニューラルネットワークを用いた特徴抽出

CNN(Convolutional Neural Network)、AE(Autoencoder)などの機械学習手法による流体现象の分析が盛んに行われている

課題：ニューラルネットワークの結果は人が解釈することは難しい

小型軸流ファン



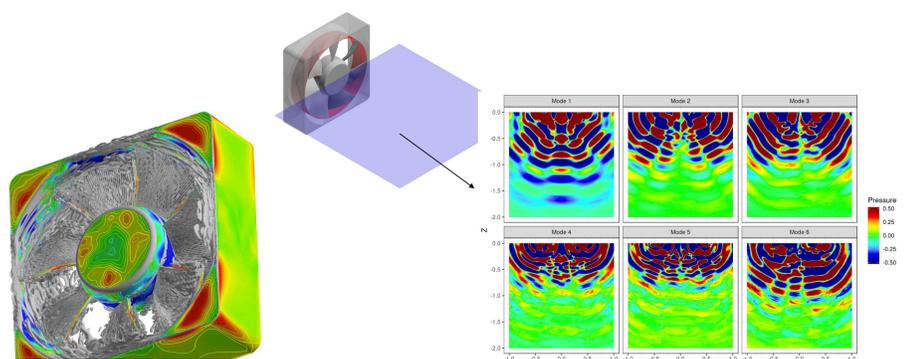
冷却性能の向上

- ・流れ構造の解析
- ・流量の改善

トレードオフ

空力騒音の低減

- ・BPF(Blade Passing Frequency)
- ・Broadband Noise



小型軸流ファンの数値解析結果と固有直交分解結果[1,2]

[1] Obayashi et al., ASME2021FED, (2021), [2] Obayashi, et al., Inter-Noise 2021, (2021)

研究目的

本研究は、流れ場の特徴抽出や騒音源特定につながる新たなデータ分析方法を目指して、軸流ファン周り的大規模数値解析により得られた大規模データに対して画像認識や画像処理分野で用いられているデータ分析手法を適用し、流れを支配する流れ構造を明らかにすることを目的とする

アプローチ

近年、ブラックボックス（ネットワークは自明だがパラメータの解釈は非自明）と言われる深層学習の根拠を計算する技術の研究が進んでいる（Permutation Importance(PI)、Shapley Additive Explanations(SHAP)、Local Interpretable Model-agnostic Explanations(LIME)など）。本研究では特徴マップで出力を微分し可視化するGrad-CAM（類似手法としてGuided Grad-CAMやGrad-CAM++）に注目する。

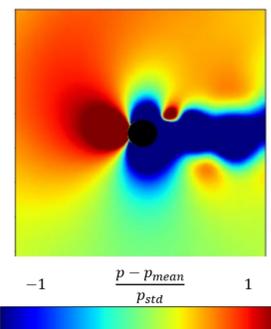
Grad-CAMの適用例[3]



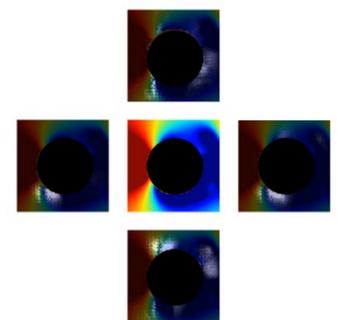
オリジナル画像 Grad-CAM 'Dog'

[3] Selvaraju, et al., IEEE computer vision. 2017.

円柱周りの流れ場へ適用した初期結果



教師データの作成



日本流体力学学会年会2024で発表予定

研究の意義

流れ構造の解析にはCFD手法が有用であり、計算機や手法の向上によって上記のレイノルズ数領域での実問題でも直接的にLES解析を適用することが可能になってきている。しかし、得られた結果の分析は未だ容易ではない。近年、結果の大規模データにPODやDMDなどの低次元化モデルを使って流れの本質を見出す研究が盛んになっているものの、ほとんどが縮約されたデータによる元データの復元や流れ場からの特徴量抽出に留まっているのが現状である。また、ニューラルネットワークの結果はそのままでは人が解釈することが難しい。本研究が注目しているGrad-CAMは入力画像のどの部分がモデルの予測に対して重要であるかを可視化することができるため、新たな視点から流体問題における重要な流れ構造に関する知見が得られることが期待される

計算資源

データ活用社会創成プラットフォームmdxの演算加速(GPU)ノードを利用