

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：84431

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14687

研究課題名（和文）構造物内部の音源位置推定手法に関する研究

研究課題名（英文）Sound source localization inside a structure

研究代表者

喜多 俊輔（Kita, Shunsuke）

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・主任研究員

研究者番号：40761622

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、直接的に確認ができない構造物の内部に存在する音源位置を構造物外部から特定する手法の確立を目的としている。これまでに提案した深層学習とシミュレーションを利用した探査手法には、シミュレーション上で構築した学習済みモデルの実環境への適用に課題があった。そこで、半教師あり条件下において、実環境データを擬似的にシミュレーションデータへ変換する学習モデルを利用することで、学習済みモデルを実環境データに適用させる手法を提案し、その有効性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、構造物内部の音源探査問題におけるシミュレーション上で構築した学習モデルの実環境への適用手法の構築であり、間接的な観測データにおける入力推定問題を扱う学術分野に展開できる点で学術的意義がある。

また、本課題である構造物内部の音源探査は、構造物を介して音源を推定する必要があるためハードルが高く、調べた限り既存手法は皆無であった。よって、本研究成果の社会的意義は、従来より解決が困難であった構造物内部の音源による騒音問題の解決に役立つことである。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to establish the method for predicting a sound source inside a structure from the outside. A previous method based on deep learning and simulation have some problems in applying a trained model constructed on simulation to real environment. Therefore, we used a transfer model to transform real environmental data into pseudo-simulation data under semi-supervised conditions. We proposed the method to apply the trained model to real-world data by using a transformation model, and clarified the effectiveness of the method. Consequently, the adaptation of the trained model to the real data by the method is effective.

研究分野：音源探査

キーワード：音源探査 構造物内部 深層学習 シミュレーション ドメイン適応

1. 研究開始当初の背景

(1) 騒音問題に対して低騒音化を検討する場合、音の発生箇所を特定することは重要である。これまでに、時間周波数領域における自己相関関数の最大値を検出することで音の到来方向を推定する手法として、Time Difference of Arrival (TDOA)や Cross-power Spectrum Phase analysis (CSP) が提案され広く利用されてきた。しかし、これらの従来手法は、音源と観測点が同一音響空間に存在し、直接的に音波を観測できる場合に利用できる手法であり、構造物内部に音源が存在する場合は適用できない。そのため、従来から騒音対策は試行錯誤的である。従来手法が構造物内部の音源探査に利用できない理由は、音響と構造が連成するため、音源位置の特定に必要な観測信号の自己相関や独立性が利用できないためである。特に、音が増幅されて騒音となる共振状態は特異点であり、観測信号の位相情報が欠落するため位置を求めることができない。

(2) この課題を解決するため、申請者らは Computer Aided Engineering (CAE)と Deep Neural Network (DNN)を組み合わせた構造内部の音源探査手法を提案してきた[1-5]。先行研究では、構造物外表面に設置された加速度センサーより得られる加速度周波数応答データから構造物内部の音源の推定が可能であることを数値実験と実験から実証し、その有効性と実現性を示した。しかしながら、提案手法には CAE 上で構築した学習モデルを実環境に転移できていないという課題があった。そこで、画像や翻訳の分野で活用されている、あるドメインで構築された学習モデルを別のドメインへ転移させるドメイン適応を導入することによって、構造物内部の音源探査手法の実現を目指した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、構造物内部の音源探査手法の実証である。提案手法は、以下の3つの段階を経て構造物内部の音源探査を実施する(図1)。

<Step 1> シミュレーションによるデータ生成

音源位置を変更する度に CAE を実施し、音源位置 (ラベル行列 T) と対となる応答を解析データ (入力データ行列 X) として生成する。

<Step 2> 音源位置と応答の関係を学習

解析データと音源位置の対 (X, T) の関係を DNN によりモデル化する。

<Step 3> 音源位置の推定

学習済み DNN により、実環境で観測データ X' から音源位置 T' を推定する。

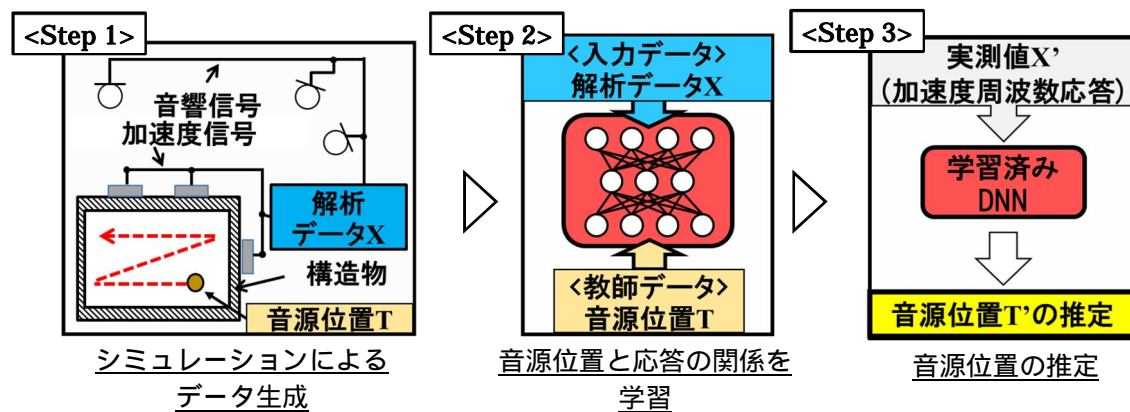


図1 構造物内部の音源探査手法

この手法は、センサー間の相関性や独立性を利用すること無く、音源位置とその対となる応答を明示的にモデル化するため、構造物内部の音源探査が可能である。しかし、シミュレーションデータに対して過学習したモデルが構築されるため、学習済みモデルを実環境で利用する段階 (Step3) において性能が劣化する。なお、本課題は、Step3 に焦点をあてたテーマである。

3. 研究の方法

(1) 音源探査を実施する学習モデル (音源探査モデル) とは別に、学習済みモデルを実環境に適用させるための変換モデルを導入する (図2)。変換モデルは、半教師条件下で実環境のデータを擬似的シミュレーションデータに変換することで、音源探査モデルにとって外挿データである実環境データを内挿データに変換する役割を担う。

(2) 対象の構造物であるアクリルボックス内部に音源が1点のみ存在し、構造物外表面で観測される加速度周波数応答から、音源位置を推定する状況を考える。加速度計は構造物外部の3箇所非対称に設置され、シミュレーションでは周波数応答解析により、実験では計測された加速

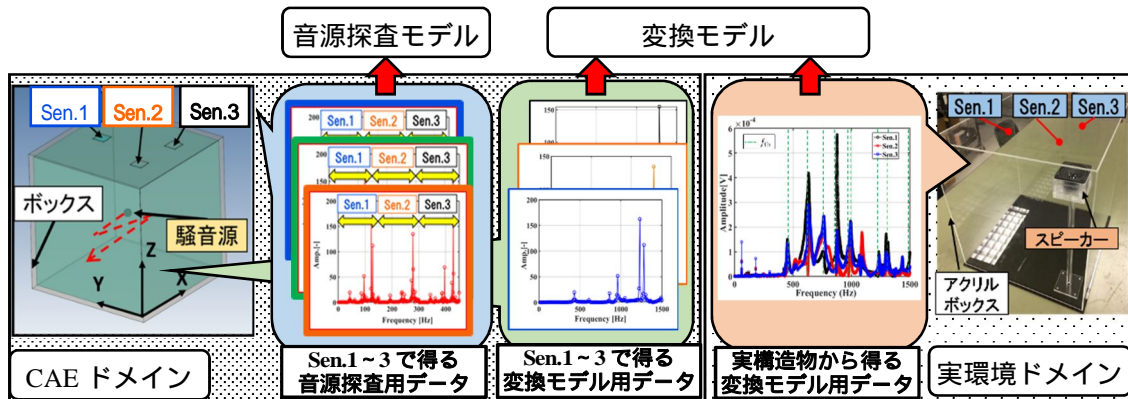


図2 CAEと実環境を繋ぐ手法

度の時刻歴データに対し周波数解析を行うことで加速度周波数応答を得る。

(3) 具体的なデータ生成から音源探査実験の流れは以下となる。

データセットの作成

CAE上で音源位置の移動を行う度に、Sen.1～Sen.3での加速度周波数応答を周波数応答解析により得る（CAEドメインデータ）。同様のセンサー配置条件で、実環境において構造物に設置された加速度センサーより、加速度周波数応答を得る（実環境ドメインデータ）。

変換モデルの構築

実環境ドメインデータの一部である半教師データと対になるCAEドメインデータを用いて変換モデルを構築する。なお、変換モデルはencoder-decoderモデルにより構築し、入力データは実環境ドメイン、ラベルデータはCAEドメインデータとして学習を行う。

音源探査モデルの構築

CAEドメインデータと一部の実環境ドメインデータにより音源探査モデルを構築する。音源位置のラベルに関し、分類問題として扱う場合は、音響空間を8領域に分解しone hot encodingによりラベルを与え、回帰問題として扱う場合は座標値を与えた。

音源探査実験

音源探査精度の評価はホールド・アウトにより検証した。未知音源位置の実験ドメインデータセットを変換モデルに入力し、疑似シミュレーションデータを得る。次に、そのデータを実環境ドメインデータに入力し、音源座標値を予測値として得るとともに、二乗平均平方根誤差より精度を評価した。

4. 研究成果

(1) 変換精度の評価

加速度周波数応答の実環境ドメインデータからCAEドメインデータへの変換精度について、二乗平均平方根誤差による定量評価ならびにt-SNEによる2次元分布上でのマッピングによる定性評価を行った。なお、変換モデルはAuto-encoder(AE)とDeep convolutional auto-encoder(DCAE)を利用し、半教師データの割合ごとに変換精度を評価した。その結果、DCAEによる変換の方がAEを用いた変換よりも精度が高く、学習の安定性においても優れていることがわかった。また、DCAEによる変換は半教師データの割合が増加すると精度が向上し、t-SNEによる分布の可視化からも変換後のデータは、シミュレーションデータとマッチングしていることを確認した。これらの結果から、実環境データをシミュレーションデータに変換する変換モデルを構築することは可能であり、学習済みモデルが実環境データに適応するための変換手法の選択について、事前に評価できることがわかった。特に、ピークやノッチが急峻な加速度周波数応答の変換前後のマッピング評価においては、二乗平均平方根誤差での評価は不十分であり、t-SNEによる分布の可視化が変換データの評価には重要であることが明らかになった。

(2) 音源探査精度の評価

実環境データにおけるテストデータに対して、AEならびにDCAEにより変換された疑似シミュレーションデータを用いて、学習済み音源探査モデルによる音源探査の性能評価を行った。その結果、DCAEによって変換された疑似シミュレーションデータに対する音源探査モデルによる探査性能は、変換モデル非適用のデータに対するものに比べ、大幅に改善されることがわかった。また、半教師データの上昇に伴う性能の向上を確認した。これらのことから、学習済み音源探査モデルによる音源探査の前段に、実環境データを疑似的にシミュレーションデータに変換するモデルを組み込むことによって、実環境データに対応可能なフレームワークの構築に成功したと言える。一方で、変換精度の評価時に得た知見と同様に、変換モデル構築時の誤差関数が平均二乗誤差であることから、その誤差関数は加速度周波数応答の特徴量を表す指標として正しくない可能性があるという新たな疑問が生じた。このことを考慮に入れる変換モデルの誤差関数もしくは音源探査モデルと変換モデルの統合といった新規フレームワークの必要性和それらのモデルによる探査精度向上のための指針構築が必要であるとの新規課題を設定することができた。

<引用文献>

- [1] 喜多俊輔, 他. DNN と CAE を用いた構造物内部の騒音源位置推定に関する基礎的検討. 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp. 371-374, 2018.
- [2] 喜多俊輔, 他. DNN と CAE を用いた構造物内部の未知音源推定に関する精度検証. 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp. 415-418, 2019.
- [3] 喜多俊輔, 梶川嘉延. DNN と CAE を用いた構造物内部の音源位置推定手法に関する精度評価. 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp. 281-284, 2019.
- [4] 喜多俊輔, 梶川嘉延. DNN と CAE を用いた構造物内部の音源探査手法に関する基礎的検討. 電子情報通信学会技術研究報告 応用音響, No. 334, pp. 37-44, 2019.
- [5] S. Kita and Y. Kajikawa, "Fundamental study on sound source localization inside a structure using a deep neural network and computer-aided engineering," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 513, p.116400, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 喜多俊輔
2. 発表標題 DNNとCAEを用いた構造物内部の音源探査に関する研究 - Autoencoderを用いた実環境のデータ変換の適用 -
3. 学会等名 一般社団法人 日本音響学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shunsuke Kita
2. 発表標題 Study on sound source localization inside a structure using a domain transfer model for real-world adaption of a trained model
3. 学会等名 The 51st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	梶川 嘉延 (Kajikawa Yoshinobu)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------