

jh220033

## NDE4.0 の実現に向けた高性能波動解析技術と データサイエンスの融合

齋藤 隆泰 (群馬大学)

**概要** 近年、超音波を用いた非破壊検査法(UT)に注目が集まっている。一般に、超音波は固体中で弾性波の性質を示す。そのため、超音波非破壊検査で要求されるシミュレーションは、欠陥や材料界面等による弾性波動散乱問題となる。しかしながら、計算に必要な要素長等は超音波の波長に比べて小さいため、その解析は一般的に大規模となる。これまで、このような大規模計算を効率的に実施するために、HPCI-JHPCN の支援の下、非均質・異方性材料中を伝搬する弾性波動解析手法の開発を行って来た。本研究では、その波動解析手法と機械学習等のデータサイエンスを融合させて、Industry4.0 に準えて非破壊評価の分野で提唱された NDE4.0 の実現に向けた新しい波動解析技術・逆解析技術等の開発に取り組む。異方性・粘弾性の両者を考慮した波動解析や、深層学習を取り入れた逆解析等、NDE4.0 に資する解析結果等を示し、提案手法の有効性を示した。

### 1. 共同研究に関する情報

#### (1) 共同利用・共同研究を実施している拠点名

北海道大学 情報基盤センター

京都大学 学術情報メディアセンター

#### (2) 課題分野

大規模計算科学課題分野

#### (3) 共同研究分野

超大規模数値計算系応用分野

#### (4) 参加研究者の役割分担

【齋藤隆泰：群馬大学・研究代表者】

本研究を統括している。弾性波動解析や、逆解析手法の開発、AI の活用までを行う。

【中畑和之：愛媛大学・副研究代表者】

有限要素法や有限積分法を用いた大規模波動解析、欠陥イメージング等に携わる。

【古川陽・岩下武史：北海道大学】

それぞれ境界要素法、H-matrix 法の境界要素法への応用研究に携わっている。

【丸山泰蔵：愛媛大学】

境界要素法や有限要素法、スパースモデリングを用いたイメージングに携わる。

【牛島省・小山田耕二・京都大学】

並列化や計算結果のポスト処理の効率化、機械学習に関する有益な助言を頂いている。

【一色正晴・愛媛大学】

大規模データの取り扱いや、計算結果の可視化の一部を担当している。

【豊田哲志 (群馬大学)、松尾太聖 (愛媛大学)、阿部雄太 (日本原子力研究開発機構)】

計算実行、解析結果のデータ整理等に携わる。

### 2. 研究の目的と意義

工業部品や構造物の健全度評価に非破壊検査が行われている。特に、超音波を用いた非破壊検査(UT)は、現場での適用が比較的容易であることから、最も広く利用されている。超音波は固体中で弾性波の性質を示すため、弾性波の特性を把握し、有効活用することが UT の高度化に寄与することは言うまでもない。しかし、UT で対象とする超音波の波長は数 mm 程度であるため、高精度な数値解析を行うために必要な計算要素長は、この数十分の一程度に設定する必要がある。よって、僅か数

センチ角の試験体に対する 3 次元解析でさえ、一般的には大規模計算となる。そのため、申請者らは、2017 年度から 2020 年度まで、HPCI-JHPCN による支援の下、「非均質・異方性材料中を伝搬する弾性波動解析手法の開発と非破壊検査への応用」に関する研究を継続して行い、複雑材料に対する大規模波動解析手法を開発し、良好な審査結果を頂いてきた。2021 年度から、新たに研究課題を「NDE4.0 の実現に向けた高性能波動解析技術とデータサイエンスの融合」と定め、データサイエンスと計算力学を融合させた新しい UT の開発を目的に研究を進めている。このような新課題に対しても、R3 年度に良好な審査結果を頂いた。そこで R4 年度は、R3 年度の研究を踏襲し、さらに人工知能の基礎となる深層学習等を取り入れた、以下の 5. で詳述するテーマの研究に取り組んだ。非破壊検査のデジタルイゼーションを見据えた、先駆的な取り組みであり、計測実験も含めた実践的研究課題とも言える。

### 3. 当拠点の公募型研究として実施した意義

研究題目の NDE4.0 とは、Industry4.0 に準えて非破壊評価の分野で提唱された概念である。Industry4.0 と同様、デジタルイゼーションによる非破壊検査の高度化・効率化のための技術開発やデータの交換・管理などの改革を描いたロードマップが NDE4.0 である。NDE4.0 の主導権を獲得するために、欧米では国家プロジェクトとして革新的技術の開発に取り組みつつある。我々、日本の研究者らの強みは、これまでの HPCI-JHPCN で培ってきた高性能計算技術と逆解析技術である。我々の研究グループでは、現実的な数値モデルを用いて大規模計算ができるため、実大実験が主流である今の非破壊検査に、デジタルツインを導入できることが最大の特徴である。つまり、現実世界の様々な機器や材料の状況をセンシングし、サイバー空間上にデジタルツインとして再現することで、検査の高度化だけでなく、予防保全にも資する技術となる。本研究で提案する革新的 UT 技術を、日本が掲げ

る NDE4.0 の目玉とするためには、共同研究による技術の検証や改善は非常に大きな意義を持つ。非破壊検査は、元来、機械、土木、建築、電気等、様々な分野で実施されている。そのため、本研究で実施するような最先端のプロジェクトを掲げ、実行する場合、非破壊検査専門の研究者のみならず、材料や弾性波動理論を熟知した力学の研究者、そして、それらを離散モデルとして扱うことができる計算力学を専門とする研究者らが、大型計算機を使用できる環境下で相互連携して研究を行う必要があるだろう。また、効率的な計算コードの開発にはハードウェアにも詳しく、コードチューニングを得意とする研究者や、プリ・ポスト処理の専門家の参画も必要である。一方、NDE4.0 の実現には、データサイエンスに精通した研究者の協力も必要だろう。次節で述べる研究計画は、いくつかの研究項目が同時進行するが、最終的なゴールは、いずれもデジタルツインとして実装可能な UT モデルの構築である。これまでの数理的モデリングに加えて、人工知能の応用やデータ駆動型のアプローチを含む学際的研究となる。

本研究で主体となる研究者達は、主に地方国立大学に籍を置き、応用力学や計算力学、弾性波動論、非破壊評価には詳しいものの、一般には大型計算機を各自の所属大学で利用できない。現状、このような大規模波動解析を掲げた挑戦的な課題を実施するには、大型計算機を有する拠点研究機関のサポートが必須であろう。一方、拠点研究機関で協力を仰ぐ研究者は、並列化計算やデータサイエンス等に詳しい。本研究は、このような分野横断的な協力体制の下、本公募型共同研究として実施すべき必要性が高い研究であり、大規模波動解析が実施できる環境下でのみ、効率的かつ実践的な研究展開が可能となる。人工知能やデータサイエンス等も取り入れた本研究は、Society5.0 等の社会的要請にも対応する内容となっている。そのため、本研究を実施する意義は大きい。

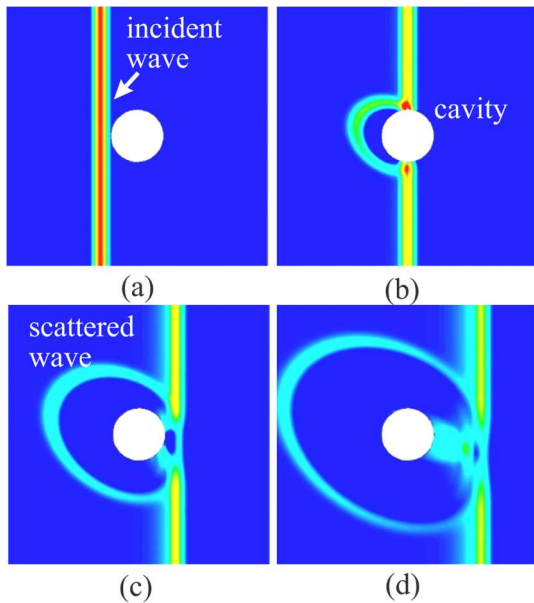


図 1：異方性主軸が 45 度傾いたグラファイトエポキシ中の空洞による入射波の散乱解析結果。

#### 4. 前年度までに得られた研究成果の概要

2 年目の継続研究であるため、ここでは昨年度の成果を項目毎に簡単にまとめておく。

##### (A) 弾性波動シミュレーターの高度化

##### A-1) 異方性および粘弾性を考慮した新しい時間領域境界要素法の開発 (斎藤・古川・丸山)

研究代表者らが開発を続けてきた演算子積分時間領域境界要素法を 3 次元粘弾性波動問題および 3 次元異方性弾性波動問題に拡張した。一方、粘弾性および異方性の両者を考慮した演算子積分時間領域境界要素法を開発し、2 次元純面外波動解析を行った。空洞による入射平面波の散乱問題を解くことで、提案手法の有効性等を示した(図 1)。なお、本研究では過去に拠点研究機関に並列化を施して頂いたコードを一部参考にして、並列化を実装している。

##### A-2) 有限要素法・有限差分法を用いたレーザー超音波シミュレーション (斎藤・中畑・丸山・古川)

NDE4.0 では遠隔検査の導入が目標として掲げられており、レーザー超音波はそれを実現できる技術の 1 つである。非接触検査が可能のため、将来のロボット検査への応用も期待されている。そこで、本研究では有限要素法や有限差分法を用いてレーザー超音波により励起される超音波を解析す

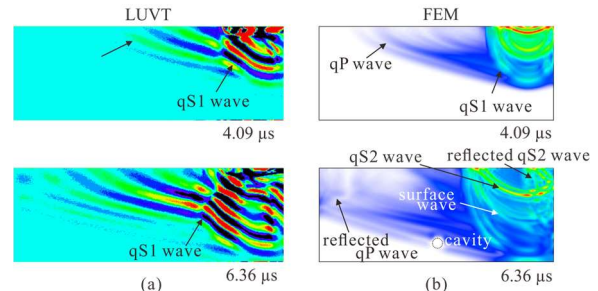


図 2：LUVT と求めた弾性定数を入力データとして与えた有限要素法による CFRP 内部の波動伝搬解析結果の例(a) LUVT 結果(b) 有限要素法結果。

る手法の開発を行った。図 2(a)に、レーザー超音波を用いて CFRP 試験体表面の超音波伝搬を可視化(LUVT)した結果を、図 2(b)に有限要素法で解析した結果を示す。なお、解析で必要となる CFRP の弾性定数も、機械学習により求めている[13][17]。図 2 では、LUVT における受信側探触子のモデル化を行ってないため、励起された超音波の数等に若干の差異はあるものの、音響異方性を示す CFRP 中の波動伝搬の波面の形状は概ね一致している。

##### (B) 逆解析の高度化とセンシング計測データの応用

##### B-1) 時間反転法を用いた欠陥形状再構成手法の開発 (斎藤・中畑・丸山)

デジタルツイン非破壊評価では、実際と同等の試験体を仮想空間で作成する。本研究では、計測波形を時間反転させ、仮想空間上で再入射することで、再入射した波動の集束位置より欠陥を検出する時間反転法をデジタルツイン UT における第一の逆解析手法として検討した。その際、近年機械工学の分野で注目を集めているトポロジー最適化の概念を取り入れて、材料内部の欠陥形状を再構成する方法について検討した。ここでは、まず、厚板中の欠陥に対する散乱解析を行い、次に、板波が発生する薄板中の欠陥を対象とした検討を実施することで、提案手法の有効性を示した。

##### B-2) スパースモデリングを利用した多チャンネル欠陥イメージング手法の開発 (中畑・丸山)

近年、ビックデータを活用し、深層学習へ応用する等の方策に注目が集まっているが、逆に大量のデータから主要因となるデータを抽出する技術である、スパースモデリングにも注目が集まって

いる．そこで，本研究では，Multiple Signal Classification (MUSIC) と呼ばれる逆解析手法を弾性波動問題に拡張し，実際の計測波形を用いてその有効性を確認した．リニアアレイ探触子の実測データを入力とした複素周波数 MUSIC による超音波イメージング結果等を示した[3]．

### (C) AI の UT への応用

#### C-1) 転移学習を用いた人工知能レーザー超音波非破壊評価手法の開発 (斎藤・中畑)

医療の分野では，AI を用いた画像診断が積極的に検討されている．しかし UT の場合，材料や欠陥種別に多様性があること，画像の規格も現場によって様々であること等が要因で，機械学習に必要な数多くの計測データを集めることは容易ではない．そこで，本研究では LUVT をターゲットに，検査に AI を組み込むことを考える．申請者らは，レーザーを用いて試験体表面の超音波伝搬を計測実験により直接可視化し，時系列データとして画像化できる．ここでは，上記(A)等で開発した境界要素法や有限要素法による弾性波動解析手法を用いてレーザー超音波の数値シミュレーションを実施し，その波動伝搬解析結果を深層学習することで，LUVT に対する AI のプロトタイプを作成した．その後，深層学習のアルゴリズムを改良し，転移学習を行うことで，AI の精度を向上させる試みを行った．AI による判定結果は，検査員と同程度の欠陥判定確率となることを示した．なお，これらの結果の一部は，文献[8]で掲載が決定した．

#### C-2) 機械学習を利用した画像補完による超音波イメージングの高精度化 (中畑・丸山)

水等を介して超音波を固体内部に送信し，固体内部の欠陥を映像化する場面が，特に遠隔検査において数多く存在する．その際，水と固体の界面で超音波が屈折するため，正しく界面形状を捕捉しないと内部欠陥の映像化精度が格段に劣ることが問題となる．そこで，本研究では，機械学習を導入することにより，界面を正確に補完する技術を開発した．学習データセットを水増しするためにデジタルツインを作成し，シミュレーションを援用した AI 開発を試みた．解析の一例を図 3 に示

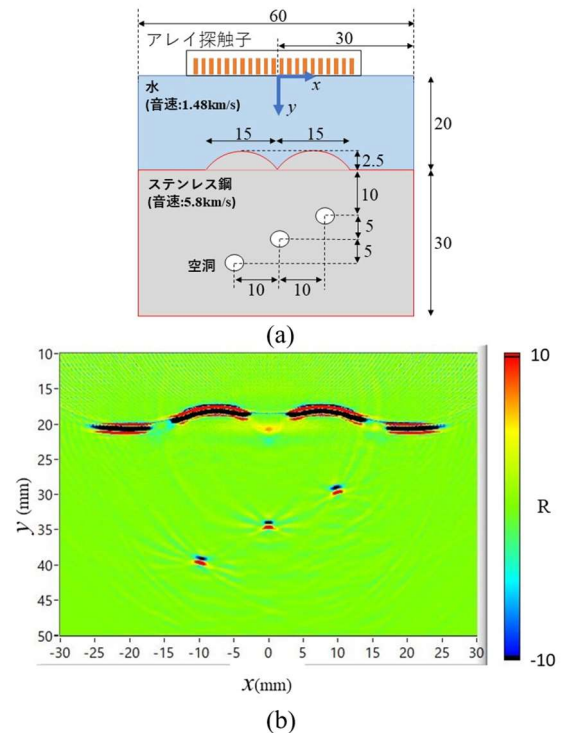


図 3：粒子フィルタを用いたアダプティブ FSAP 方式の高精度化(a)解析モデル (b)イメージング結果．

す．図 3(a)のような水とステンレス鋼から成る二層体中のステンレス鋼側に存在する 3 つの空洞をイメージングする．その際，2 層体の界面形状を機械学習と粒子フィルタで最適化しながら，内部欠陥の形状の再構成精度を向上させる．図 3(b)より，界面形状と欠陥の両者を，共に正しくイメージングできていることがわかる[1]．

## 5. 今年度の研究成果の詳細

今年度は昨年度の内容を踏襲し，下記のテーマを設定，実施した．

### (A) 弾性波動シミュレーターの高度化

#### A-1) 異方性・粘弾性体に対する新しい時間領域境界要素法 (斎藤・古川・丸山・岩下・牛島)

異方性・粘弾性体に対する面内波動問題の時間領域境界要素法を開発し，空洞による散乱問題を解くことで本手法の有効性を確認した．また，H-matrix 法による高速化を試み，等方性の弾性定数を代入した場合に得られる結果を，通常的时间領域境界要素法で得られた結果と比較・検討した．両者の結果はおよそ一致することを確認した．



## A-2) 遠方場からの散乱波を高精度に再現するための数値解析手法の開発 (中畑・丸山・斎藤)

流体-固体からなる導波路を伝搬する波動の解析において、半解析的有限要素法による分散解析で求めたノーマルモードのみの Green 関数を数值的に構成して、遠方での受信波形の計算を行った。また、開発したコードを時間反転波動場の計算にも用いた。なお、ここでは Green 関数を数值的に構成したが、後の C-2) で示すように、深層学習を用いて Green 関数を構成することも行い、簡単な問題ではあるが、有益な結果を得ている。

### (B) 逆解析の高度化とセンシングデータの応用

#### B-1) 時間反転法を用いた欠陥形状再構成手法の開発 (斎藤・中畑・丸山)

実際に欠陥を有する試験体に対して、超音波計測実験を実施することで、欠陥からの散乱波を取得した。次に、取得した散乱波を前年度までに開発した 2 次元時間反転法に与えることで、欠陥有無の検出性能について検討した。図 4 は、溶接部を模擬した試験体中のき裂を検出した一例である。図 4 中の左上から右下に向かって、時間反転波が徐々に溶接部に存在するき裂に集束していく様子を見て取れる。このように、これまでに開発した時間反転法を、実問題に応用した場合においても、欠陥の位置等を精度良く推定できることを示した [5][21]。

#### B-2) 移送型開口合成法の開発 (中畑・阿部)

効率的にセンシングを実施するために、移動しながらセンシングして集めたデータを開口合成し、試験体中の欠陥を検出できれば有用であろう。そこで、本年度は、そのような移送型開口合成法を開発した。ここでは、送信素子をリニアアレイ素子の中心にマウントし、送受信を行うアレイ探触子を(A)で開発した数値シミュレーション等を駆使して設計した。今年度末に探触子が完成したので、次年度はこのアレイ探触子を用いた実験も行う予定である。また、本研究で行った開口合成法のシミュレーションも、A-1) 同様、過去に拠点研究機関と共に行った解析コードの高速化の知見が活かされている。これらの成果は例えば文献[22]

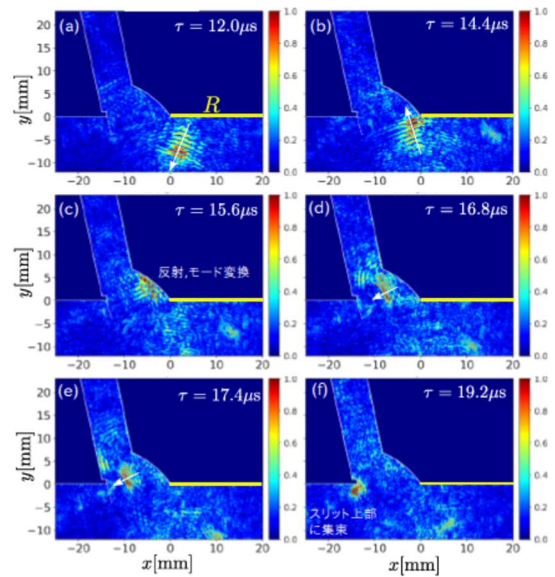


図 4: 時間反転法を用いたき裂の検出結果の一例。計測実験で得られた波形を時間反転解析における入力に与えることで、正しくき裂を検出できていることがわかる。

等で発表を行っている。

### (C) AI の UT への応用

#### C-1) 2次元面外波動問題に対する深層学習ベース逆散乱解析法の開発 (斎藤・中畑・一色)

超音波アレイ探傷法では、複数の超音波素子を用いて、位相差をつけて超音波を効果的に送信し、かつ、欠陥からの散乱波を効率的に受信することができる。しかし、グレーティングローブ等といった擬似エコーが発生することが知られており、この擬似エコーを欠陥エコーと取り違えることが欠陥検出精度を大きく低下させる原因となっている。そこで、超音波アレイ探傷法を数値シミュレーションで模擬し、欠陥からの散乱波形を多数求め、それらを深層学習させることを行った。その際、欠陥の位置情報も同時に学習させることで、最終的に与えられた超音波アレイ探傷法における波形データから、擬似エコーと欠陥を区別し、欠陥位置等を推定する深層学習モデルを開発した。結果の一例を図 5 に示しておく。

#### C-2) AI を搭載した時間領域 BEM の開発 (斎藤・古川・小山田)

境界要素法では、解くべき問題に対する基本解(グリーン関数)を用いる必要がある。しかし、

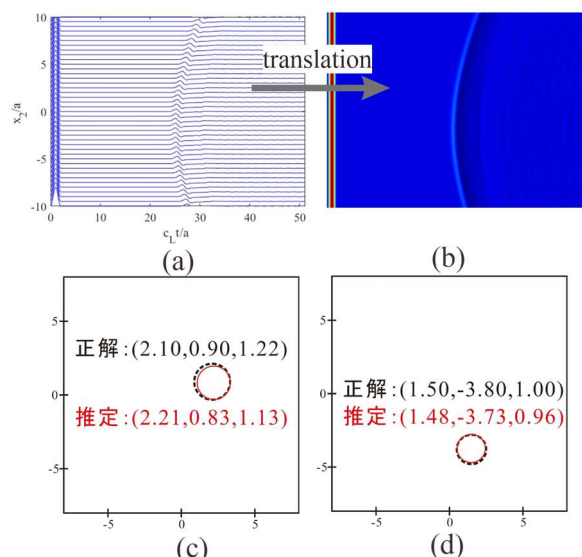


図 5: 深層学習を用いた逆散乱解析結果の一例 (a)のような複数の素子で得られる波形群を深層学習しやすいよう、一度(b)のようなカラーマップに変換した後、深層学習を実施している。深層学習で推定した空洞の位置や大きさは、(c)、(d)のように概ね正解と一致している。

波動が分散性を示すような問題や、半無限領域を扱う問題等では、この基本解を閉じた形で求めることができないため、境界要素法の適用範囲が限られている。そこで、本研究では、深層学習で擬似的な基本解を作り出し、境界要素法に用いる研究を今年度より新たに開始した。今年度は初年度ということもあり、閉じた基本解が知られている 2 次元ラプラス方程式等の基本的な問題に対して深層学習を実施し、基本解（グリーン関数）を人工的に作成した。作成した人工的な基本解を用いた境界要素法を使って得られた数値解と、通常の境界要素法で得られた結果を比較し、本手法の有効性について検討した。結果の一例を図 6 に示す。図 6 は、解析結果が線形となるような問題を解いた結果である。特異性の影響で計算精度が一部低下している箇所があるものの、開発手法による結果は、正解（赤丸）に近い結果となっている。

## 6. 進捗状況の自己評価と今後の展望

本研究成果等は、7 節で示すように、いくつかの招待講演[23]-[26]を含む多くの学会で数多く発表している。下記の内容を実施し、引き続き論文

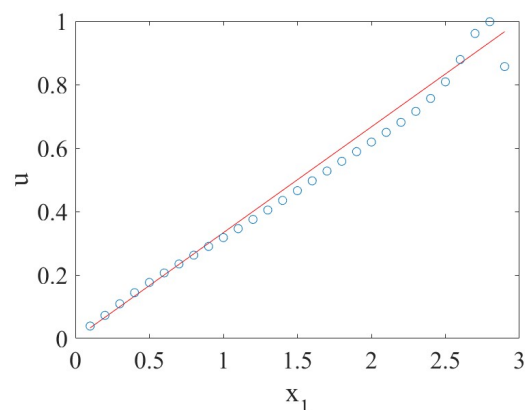


図 6: AI を用いた BEM で得られた精度確認結果の一例. AI を用いた BEM の解 (青丸) は解析解 (実線) を近似しているものの、さらなる高精度化の検討が必要。

等で発表する。

### (A) 弾性波動シミュレーターの高度化

#### A-1) 異方性・粘弾性体に対する新しい時間領域境界要素法 (斎藤・古川・丸山・岩下・牛島)

今年度の目標は、2 次元異方性・粘弾性波動問題に対する演算子積分時間領域境界要素を開発すること、新しい時間領域境界要素法に H-matrix 法を適用することであった。前者については、権威ある国際学会[10]で発表済みであり、概ね目標を達成している。今後は、数値解析例を増やし、査読付き論文に投稿する予定である。一方、後者については、並列化なしの場合ではあるものの、一通りコード化できている。今後は、令和 5 年度後期に予定されている集中利用の際に大規模問題を解析できるようコードの並列化を進め、学会発表、査読付論文へ投稿する予定である。

#### A-2) 遠方場からの散乱波を高精度に再現するための数値解析手法の開発 (中畑・丸山・斎藤)

解析的な遠方場を動弾性有限積分法の初期・境界条件として取り込んで計算するコード開発を行った。今後は、学会発表等でその成果を報告する予定である。一方、C-2)のように、深層学習を用いて遠方場の基本解を構成し、境界積分方程式を解くことで散乱波を高精度に計算する方法についても取り組む予定である。

### (B) 逆解析の高度化とセンシングデータの応用

#### B-1) 時間反転法を用いた欠陥形状再構成手法の

## 開発 (斎藤・中畑・丸山)

予定通りこれまで開発を行ってきた時間反転法に対し、実際に計測実験で得られた波形データを与えて欠陥検出を行い、その有用性を確認できた。その成果は実際に査読付論文[5]に投稿し、採択されている。よって、当初の目標は達成できたと言える。今後は、3次元解析への応用や、異方性弾性波動問題への拡張を予定している。ただし、異方性弾性波動問題の場合、時間反転法における欠陥検出指標となるトポロジー感度が極めて複雑になることが予想される。そのため、例えばトポロジー感度を深層学習で求める等、何らかの工夫を行うことを検討している。

## B-2) 移送型開口合成法の開発 (中畑・阿部)

MPI を用いた並列計算コードは作成済みである[22]。GPGPU 化も概ね順調に実施できている。今年度末にアレイ探触子が完成したので、次年度はこの探触子を用いた実証実験を行う予定である。

### (C) AI の UT への応用

## C-1) 2次元面外波動問題に対する深層学習ベース逆散乱解析法の開発 (斎藤・中畑・一色)

2次元面外波動問題に対する深層学習ベース逆散乱解析手法を開発した。既に査読付き論文[6]や国際会議[9]で発表しており、目標は達成したと言える。なお、令和5年度も本手法に関する研究を引き続き継続する予定であるが、そのための前段階となる研究成果も、例えば文献[11][15]で既に発表しており、進展は良好である。

## C-2) AI を搭載した時間領域 BEM の開発 (斎藤・古川・小山田)

令和4年度の目標は、簡単な問題に対する基本解を深層学習で作成し、AI を搭載した時間領域 BEM の開発可能性を探ることが目標であった。今年度の成果の一部は、第28回計算工学講演会の境界要素法のセッションにおいて、Keynote 講演(斎藤隆泰: 深層学習によって作られた基本解の境界要素法への応用, 2023年5月31日発表予定)で発表する予定である。そのため、目標は十分達成されたと考える。

## 7. 研究業績

### (1) 学術論文 (査読あり)

[1] 齋藤 泰彦, 林 恭平, 丸山 泰蔵, 中畑和之, 廣瀬 壮一: 粒子フィルタを併用したアダプティブ FSAP 方式の精度向上の試み, AI・データサイエンス論文集, vol. 3 (J2), pp. 682-692, (2022)

[2] 三木 陽大, 丸山 泰蔵, 中畑 和之: 有限積分法による光音響波の発生および伝搬シミュレーションとその実験的検証, 土木学会論文集, vol. 79 (15), 22-15004, (2022)

[3] 松尾太聖, 丸山泰蔵, 中畑和之: 複数周波数 MUSIC 法を用いた超音波イメージングの実験的検討, 計算数理工学論文集 vol. 22, pp. 163-169, (2022)

[4] 古川陽, 斎藤隆泰, 廣瀬壮一: 異方性材料の面外波動問題に対する基本解近似解法の適用, 土木学会論文集, vol. 79 (15), 22-15024, (2023)

[5] 木本和志, 斎藤隆泰: き裂による散乱波の反響環境下での時間反転集束, 土木学会論文集 A2, vol. 79 (15), 22-15007, (2023)

[6] 斎藤隆泰, 笹岡真次, 廣瀬壮一: 固体中の欠陥位置および大きさ推定のための深層学習ベース 2次元逆散乱解析, AI・データサイエンス論文集, vol. 3 (J2), pp. 935-944, (2022)

[7] 中島未耶, 斎藤隆泰, 加藤毅: レーザー超音波可視化試験における欠陥検出のための深層 CNN 構造の検討, AI・データサイエンス論文集, vol. 3 (J2), pp. 916-924 (2022)

### (2) 国際会議発表 (査読あり)

[8] T. Saitoh, Y. Kuwabara and T. Kato: Determination of the presence or absence of defect for laser ultrasonic visualization testing using transfer learning, Olympiad in Engineering Science, (2023) (掲載決定済)

### (3) 国際会議発表 (査読なし)

[9] S. Sasaoka, T. Saitoh and S. Hirose: Deep-learning based inverse scattering for a

- defect in 2-D isotropic solids, 15th World Congress on Computational Mechanics (WCCM-XV) and 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM-VIII), (2022)
- [10] T. Saitoh, A. Furukawa and S. Hirose: Convolution quadrature time-domain boundary element method for 2-D pure inplane anisotropic viscoelastodynamics, 15th World Congress on Computational Mechanics (WCCM-XV) and 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM-VIII), (2022)
- (4) 国内会議発表 (査読なし)
- [11] 斎藤隆泰, 笹岡真次, 川上真穂, 廣瀬壮一: 3次元波動問題における深層学習ベース逆散乱解析, 第30回超音波による非破壊評価シンポジウム, (2023)
- [12] 中島未椰, 斎藤隆泰, 加藤毅: LUVT 非破壊探傷のためのデータ拡張, 第15回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, (2023)
- [13] 豊田哲志, 斎藤隆泰, 中畑和之: 機械学習を用いた一方向 CFRP に対する新しい弾性定数推定法の開発, 第66回理論応用力学講演会, (2022)
- [14] 中島未椰, 塚越勇真, 斎藤隆泰, 加藤毅: レーザー超音波可視化検査におけるスタイル変換を用いたデータ拡張手法の検討, 情報処理学会第85回全国大会, (2023)
- [15] 斎藤隆泰, 笹岡真次, 廣瀬壮一: 2次元異方性純面外波動問題における深層学習ベース逆散乱解析, 2022年度非破壊検査秋季講演大会 (2022)
- [16] 斎藤隆泰: 深層学習を用いた異方性弾性体中の欠陥形状再構成, 最適化シンポジウム2022, (2022)
- [17] 斎藤隆泰, 豊田哲志, 中畑和之: レーザー超音波を用いた一方向 CFRP の弾性定数の推定, 日本機械学会 M&M2022 材料力学カンファレンス, (2022)
- [18] 斎藤隆泰: 3次元粘弾性体中のき裂に対する形状再構成, 日本応用数理学会 2022年度年会, (2022)
- [19] 豊田哲志, 斎藤隆泰, 加藤毅, 廣瀬壮一: LUVT と深層学習を用いた等方性材料中の表面欠陥の自動検出, 令和4年度土木学会全国大会, 京都大学, (2022)
- [20] 笹岡真次, 斎藤隆泰, 廣瀬壮一: 2次元波動問題を対象とした深層学習ベース逆散乱解析手法の開発, 令和4年度土木学会全国大会, (2022)
- [21] 中畑和之, 中村悠人, 丸山泰蔵, 斎藤隆泰: トポロジー導関数を用いた超音波イメージングの実験的検証, 日本機械学会 2022年度年次大会, (2022)
- [22] 山崎泰誠, 中畑和之, 大高雅彦, 阿部雄太, アレイ型受信プローブの移送による液体中の超音波イメージング, 日本機械学会 2022年度年次大会, (2022)
- (5) その他 (特許, プレスリリース, 著書等)
- [23] 中畑和之: 非破壊検査の DX ~NDE4.0 とセンシングデータの利活用~, 第22回保全セミナー, 2023年2月24日 (招待講演)
- [24] 斎藤隆泰: 非破壊評価とシミュレーション・データサイエンス, 2022年接着・接合技術コンソーシアム第3回非破壊検査WG, 2022年7月5日, オンライン (招待講演)
- [25] 斎藤隆泰: 波動解析が拓く NDE4.0 の実現-社会インフラ構造物への応用を見据えて-, 数値解析が拓く次世代情報社会~エッジから富岳まで~, 京都大学益川ホール, 2022年10月14日 (招待講演)
- [26] 斎藤隆泰: データサイエンスの応用力学への応用 -順解析から逆解析まで-, 令和4年度西部地区応用力学フォーラム「スパコンとデータサイエンスを援用したあたらしい物理エンジン」, 九州大学, 2023年3月12日 (招待講演)