

jh230036

## 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、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んでいる。今年度は、引き続き波動解析を高度化すると共に、AI やデジタルツインの応用を取入れたシミュレーションを行った。数多くの数値解析例を示すことで、開発した手法の有効性等を検討した。

### 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 (HPCI 資源利用課題のみ)

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 の活用まで携わる。

【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、逆解析の高度化に携わる。

【古川陽・岩下武史(北海道大学)】

それぞれ境界要素法への応用研究に携わっている。

【加藤毅(群馬大学)】

機械学習や深層学習の応用に携わる。

【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。

【中島未椰(群馬大学)、山崎泰誠(愛媛大学)、朝日快佳(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。そのためには、弾性波動方程式を適切な境界条件等の下で解く必要がある。しかし、UT で対象とする超音波の波長は数 mm 程度と短い。そのため、高精度な数値解析を行うために必要な計算要素長は、この短い波長の数十分の

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が必要となる。

申請者らは、2017 年度から 2020 年度まで、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きた。このような新課題に対しても、R3、R4 年度共に良好な審査結果を頂いた。

R5 年度はこれまでの内容を踏襲し、弾性波動シミュレーターの適用範囲の拡大、デジタルツイン等、非破壊検査におけるデジタルライゼーションを見据えた研究を行った。実際の計測実験も応用し、実用化を見据えた研究も行った。

### 3. 当拠点の公募型共同研究として実施した意義

研究題目にある 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、デジタルラ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のことを指す。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 JHPCN 課題で培ってきた高性能波動解析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非破壊検査の様子を再現することで、検査の高度化だけでなく、予防保全にも資する技術を開発するシーズを持っていることとなる。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、様々な研究者と共同研究を実施し、技術検証や改善に取り組むことが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応用力学の研究者、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、データサイエンスを熟知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、AI やデータ駆動型のアプローチを含む学際的研究となる。

また、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く。それぞれが応用力学や計算力学、弾性波動論、非破壊評価に詳しいものの、スーパーコンピューターを各自の所属大学で利用できる訳ではない。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ためには、スーパーコンピューター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。近年の課題では、非破壊検査に AI やデータサイエンス等も取り入れ、Society5.0 等の社会的要請にも対応する内容とな

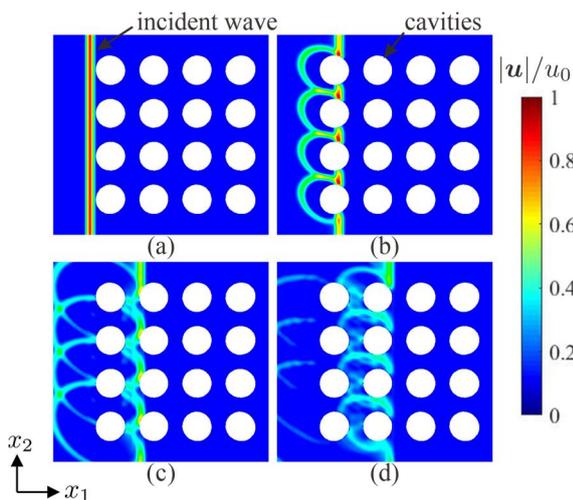


図 1: グラファイトエポキシ中の多数のマクロ空洞による異方性・粘弾性波動散乱解析結果の一例. 異方性の影響を受け, 散乱波は等方に伝搬せず偏向する. また入射波及び散乱波の振幅は粘弾性の影響を受け, 減衰しながら伝搬している.

っている. そのため, 本研究を実施する意義は大きい.

#### 4. 前年度までに得られた研究成果の概要

2023 年度は 3 年目の継続課題である. 年度毎に, 次の 5 節で示す A-1) 等の小テーマを設定しているが, それらの大テーマである (A)-(C) は各年度共通である. よって, 本節では大テーマ (A)-(C) 毎に前年度までに得られた研究成果の概要について述べる.

##### (A) 弾性波動シミュレーターの高度化

大テーマ(A)では, 主に時間領域境界要素法や有限要素法, 動弾性有限積分法といった代表的な波動解析手法の高度化等に取り組んだ. 例えば, 時間領域境界要素法については, 研究代表者らが開発を続けている演算子積分時間領域境界要素法を, 異方性・粘弾性の両者を考慮した弾性波動問題へと拡張し, その高速化を図った. 現在までに, 2次元面外波動場, 面内波動場を解析できるまでに至っている. 図 1 に示す面外波動場を対象とした解析は, 国際学術雑誌に投稿し, 既に掲載[1]されている. 面内波動場を対象とした解析の成果は, その第一段階として 5 月末に講演を予定している[22]. また境界要素法で用いる基本解を用いたメ

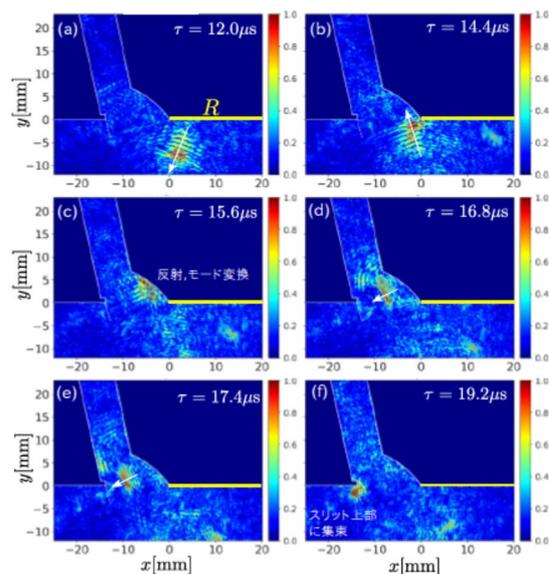


図 2: 時間反転法を用いたき裂の検出結果の一例. 計測実験で得られた波形を時間反転解析における入力に与えることで, 正しくき裂を検出できていることがわかる.

ッシュフリー型の波動解析手法も提案した[9].

一方, 有限要素法や動弾性有限積分法をベースとした弾性波動シミュレーターは並列計算により高度化され, 大テーマ(B), (C)の推進に活用されてきた[13][14]. R5 年度も, 後に示す B-1)や C-2)におけるレーザ超音波や板波のシミュレーション等に活用されている.

##### (B) 逆解析の高度化とセンシングデータの応用

非破壊検査の最終目的は欠陥の有無, 大きさ等の推定である. そのため, 最終的には受信点で得られた波動データを用いて欠陥を決定する逆問題へと帰着される. このような理由から大テーマ(B)を別途設けてある. また NDE4.0 のキーワードにはデジタルツインやデータサイエンスが含まれる. そのため, 大テーマ(B)ではそれらと相性の良い逆解析手法の構築を行ってきた.

例えば, 図 2 は実際の溶接継ぎ手を模擬した試験体に対するデジタルツインを構築し, 溶接部の欠陥を時間反転法で推定した結果の一例である. 時間反転法では, 多数の受信点で得られた計測波形を時間反転させ, デジタルツイン空間上でその時間反転波の集束位置から欠陥有無等を判定する方法であり, シミュレーションが必須である. 大

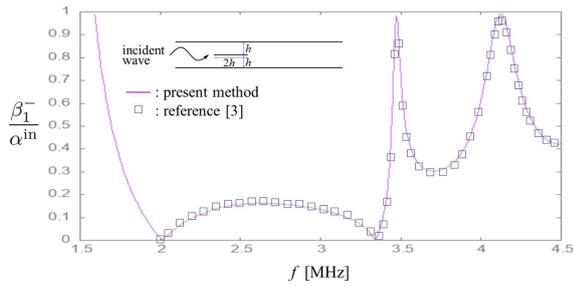


図 3: 無限平板中の水平き裂による反射係数の計算 (実線は境界要素法, 記号は有限要素法による結果)。

テーマ(A)で高度化された有限要素法を応用し, 図 2 のような良好な結果を得ている。

一般的に時間反転法は, 多数の計測データが必要であるが, 逆に少ないデータで欠陥を検出するスパースモデリングの応用も行ってきた。このような先駆的な内容を含めた review 論文[3]は, 2023 年の AI・データサイエンス論文特別賞の受賞に至っている。

### (C) AI の UT への応用

現在, 非破壊検査の世界では将来の検査員不足が懸念されている。そのため, 検査の一部を AI で代替できれば有益である。また, AI を活かした順解析や逆解析手法の開発も有用であろう。これらの点を念頭に大テーマ(C)を設定してある。

非破壊検査の概念は, 医療分野における検査と同じである。ただし医療分野では DICOM と呼ばれる医療データ画像の国際規格が定められており, 数多くの患者に対するデータを利用できるようになっているが, 非破壊検査ではそのような規格は利用できない。そのため, 非破壊検査に AI を利用する場合, 数多くの学習データを準備する必要がある。ただし, 非破壊検査は医療と異なり, 検査対象となる構造・材料に多様性があるため, それら全てに試験体を準備し, データを取得することは効率的ではない。そこで, 本研究では大テーマ(A)で開発した高性能波動解析技術を活かして, 様々な欠陥に対する人工的な計測データをシミュレートし, それらを AI に必要な学習データに転用することを行ってきた。また, AI の基礎となる深層学習を応用した順解析や逆解析技術の開発を行

ってきた。成果の一部は書籍化[25]もなされている。

## 5. 今年度の研究成果の詳細

今年度は 4 節で述べたこれまでの内容を踏襲し, 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) AI を援用した新しい境界要素法の開発 (斎藤・古川・加藤・岩下・牛島)

2 次元ラプラス方程式を対象に深層学習を用いて人工的に作成した基本解を組込んだ境界要素法を提案した。成果の一部は, 第 28 回計算工学会で Keynote 講演を実施[24]する等に至っている。現在は査読論文の投稿準備を行っている。

#### 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 (斎藤・中畑)

有限要素法, 境界要素法両者を対象に平板中の無限遠方での波動を効率的に計算する周波数領域での新しい定式化を開発した。2 次元無限平板中の欠陥による散乱問題を解き, 遠方場での反射係数, 透過係数を求めることで, 本手法の有効性を示した (図 3)。境界要素法, 有限要素法両者に対して, 同様の定式化を施すことができている。この定式化は, 8 月に開催される世界理論応用力学講演会等[17][20]で発表することが決まっている。対応する査読論文についても, 現在投稿の準備をしている。また, 波動の相反性を取入れた遠方場の解析手法は既に論文に投稿し, 掲載が決定した [8]。

### (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)

昨年度の 2 次元面外波動問題に対する成果を拡張し, 2 次元弾性波動問題を対象に板内部の表面き裂を検出するための時間反転法を開発した。解析対象とする平板に対してデジタルツインを作成し, デジタルツイン上で再現された平板中に, 受信弾性波動を時間反転させて再入射することで板内部の表面き裂を決定することを行った。図 4(a)-(d)は A-2)で開発した有限要素法を用いて無限平

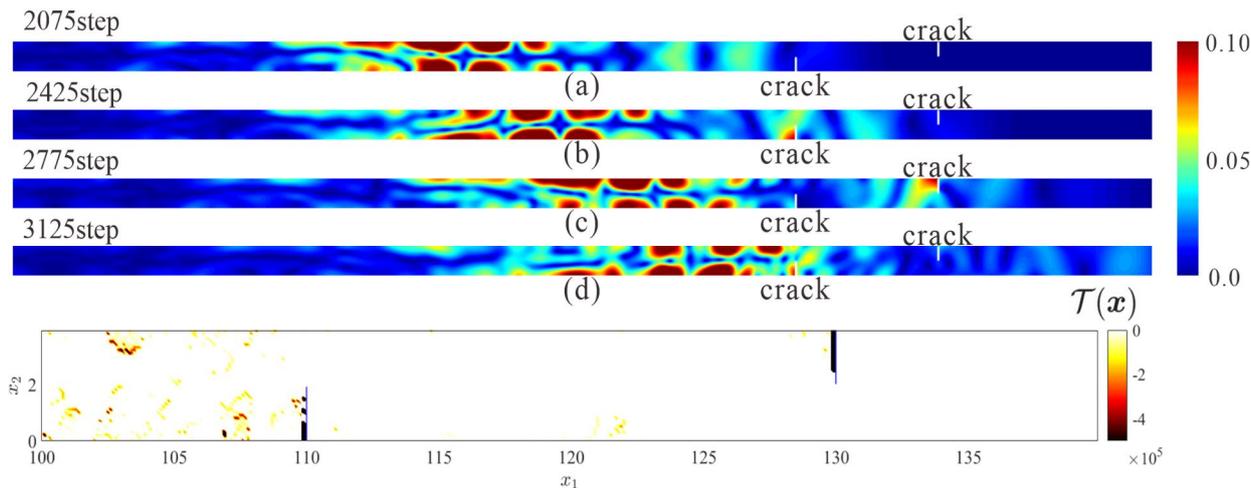


図 4: 時間反転法を用いた 2 次元弾性波動場における無限平板中の表面き裂の推定. 上段(a)-(d)は有限要素法を用いた 2 つの表面き裂に対する板波の散乱解析結果の例. 下段は時間反転法による表面き裂の推定結果. 青線が実際のき裂, 黒色が推定結果. 両者は概ね一致している.

板中の表面き裂による散乱問題を解いた結果である. また, 同下段図は, これら平板中に生じた板波を複数点で受信し, 時間反転させた後, 平板中に再入射させる時間反転法にて表面き裂を画像化した結果である. 2 次元弾性波動問題に対しても, き裂を正しく推定できていることがわかる. この成果は国際誌に投稿し, 既に掲載されている [2]. また, 同手法の 2 次元異方性純面外波動問題への拡張も検討し, 成果の一部を国際会議で発表した [16].

### B-2) 移送型開口合成法の検証 (中畑・阿部)

超音波アレイプローブを用いて, 液体中の欠陥や堆積物を, 移送型開口合成法である全波形サンプリング処理(FSAP)で映像化を試みた. ここでは, 水中で移送できる防水型のプローブを製作し, このプローブを移動させながら超音波を送信し, 送信毎にアレイプローブの各素子で散乱波を受信した. 受信した全波形はメモリに記録しておき, ポスト処理で液体の全面素子に集束ビームを再構成してイメージングした. 図 5 に水中堆積物を模擬した試験体の映像化結果を示す. 特に, 散乱波の位相情報を用いる場合, 堆積物のラテラル表面の再構成能の向上がみられた. なお, マルチ CPU で並列計算を実施しており, 図 5 は 64 並列でおよそ 5 分程度の解析時間である.

### (C) AI の UT への応用

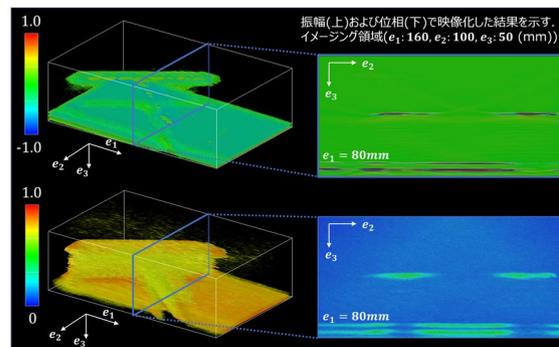


図 5: 移送開口合成法を用いた水中堆積物を模擬した試験体の映像化結果の一例.

### C-1) 3 次元スカラー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)

予定通り 3 次元スカラー波動問題に対する深層学習ベース逆散乱解析法を開発し, 国際会議等 [15][18]で発表した. 2 次元面外波動問題や弾性波動問題に対しても, 査読付き論文 [4][6][11]に投稿し, 掲載が決定している.

### C-2) 順解析を援用した LUVT に対する自動非破壊評価法の開発 (斎藤・加藤)

(A) で開発したシミュレーターを使って, レーザ超音波可視化試験に対する超音波シミュレーション結果を大量に用意し, それらと実際の実験結果に対する転移学習を実施することで, 自動非破壊評価法のプロトタイプを開発した. VGG16 や ResNet 等の公開された深層学習モデルを組み込

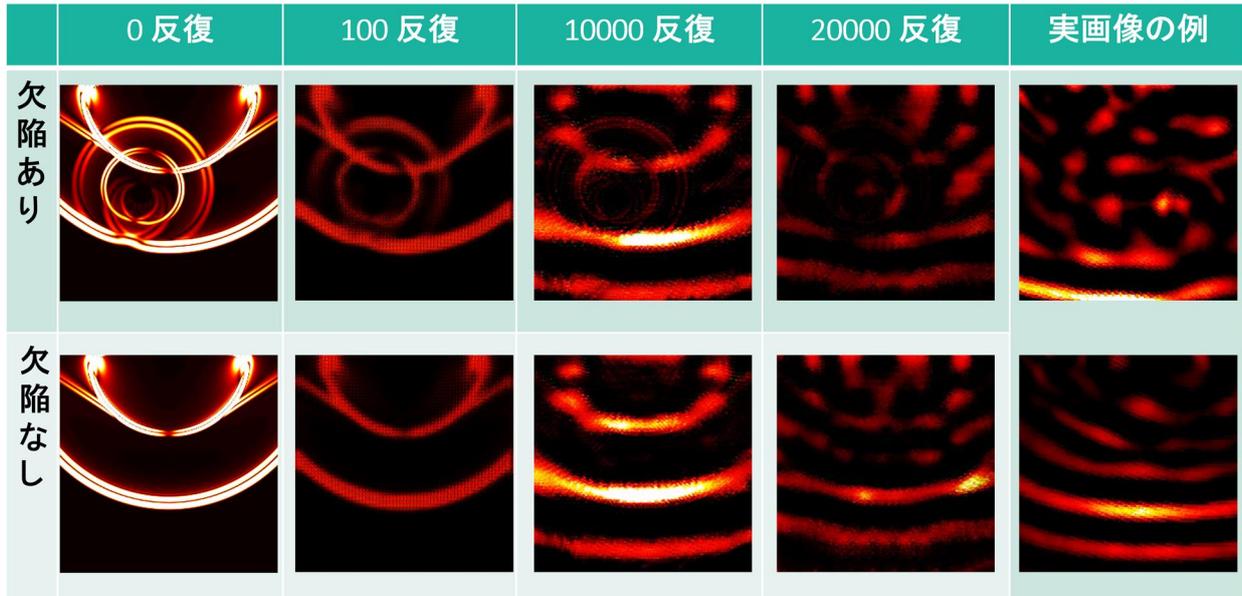


図 5：時間領域差分法で求めた LUVT 可視化試験に対するシミュレーション結果に Style 変換を適用した一例。上段は欠陥有り，下段は欠陥無しの場合。Style 変換により元のシミュレーションで得られた画像は徐々に実際の LUVT 画像の様態に近づいていることがわかる。

み，自動非破壊評価の高精度化を図った。ただし，実際の LUVT 結果は，シミュレーションで得られた結果に比べ，ノイズ等の多くの不確定要素を含んでおり，単にそのまま学習データに転用すると AI による欠陥検出精度の低下を招く。そこで，本研究では，GAN の一種である Style 変換をシミュレーションで得られた LUVT 画像に用い，それらの様態を実際の LUVT 結果に近づけた後に学習データとして用いることで，自動 LUVT 検査の高精度化を図った。

図 5 は(A) で開発した時間領域差分法で求めた LUVT 試験に対するシミュレーション結果を，Style 変換で実際の LUVT 画像に近づけた計算の一例を示している。最左列の結果はシミュレーション結果であり，ノイズ等のない理想的な結果である。Style 変換により徐々に再右端のような実際の LUVT の様態に近づいていることがわかる。このように，直接シミュレーション結果を学習に用いるのではなく，一度 Style 変換を適用することにより，LUVT に対する自動非破壊評価法の精度を大幅に向上させることができた。

## 6. 進捗状況の自己評価と今後の展望

進捗状況の自己評価と今後の展望を 5 節で述べ

た項目毎に示す。なお，本課題は最終年度となるが，2024 年度より参加研究者や拠点を一部変更し，ここで述べる今後の展望に沿うように新テーマを掲げ，新たな取組に着手している。

### (A) 弾性波動シミュレーターの高度化

#### A-1) AI を援用した新しい境界要素法の開発

基本解が閉じた形で与えられた簡単な問題に対して，実際に AI を援用した新しい境界要素法を構築できたので，概ね目標は達成できたと言える。なお，AI の基礎となる深層学習では GPU を用いた高速計算が必須である。本課題の後継課題としてスタートした 2024 年度からの新課題では，GPU を用いた高速計算を取入れることを念頭に，東京工業大学を拠点研究機関の一つとして新たにお問い合わせをしており，今後更なる進展が期待できる。

#### 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

今後は，開発した手法を 2 次元面内弾性波動問題や，3 次元問題へと拡張する予定である。開発した手法は，拡張の自由度が高いことから，関連する様々な問題へも応用する予定である。また，解析結果の詳細等は順次，論文として公表する。

### (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

当初の予定通り、これまで開発を行ってきた時間反転法を弾性波動問題や異方性純面外波動問題へと拡張できた。今後は 3 次元問題への拡張を行うとともに、未発表データの論文誌への投稿を進める予定である。

### B-2) 移送型開口合成法の検証

原子炉の配管検査を目的とし、プログラムコードを開発した。国内学会発表[19]を終えたため、現在、査読付論文投稿の準備をしている段階である。実際の 3 次元問題に対するコードを開発したため、本研究トピックはこれで一区切りとなる。

## (C) AI の UT への応用

### C-1) 3 次元スカラー波動問題に対する深層学習ベース逆散乱解析法の開発

2 次元面外波動問題から 3 次元スカラー波動問題に至るまで順調に開発、発表[23]を行ってきた。残された点は 3 次元弾性波動問題への拡張であるものの、定式化に本質的な差異もなくおおよそ完成している。よって成果は十分得られたと判断し、国際誌への論文投稿を進める。

### C-2) 順解析を援用した LUVT に対する自動非破壊評価法の開発

当初の予定通り研究は進捗し、既にいくつかの査読付学術雑誌や国際会議で発表している[5][7][10][21]。当初予定では、非破壊評価の対象を均質な金属材料と仮定していた。想定以上に進展したため、より難解で代表的な非均質材料であるコンクリートを対象とした研究も実施した[12]。2024 年度の新しいテーマとして現在進行中である。

## 7. 研究業績

### (1) 学術論文 (査読あり)

- [1] T. Saitoh: Convolution quadrature time-domain boundary element method for antiplane anisotropic viscoelastic wave propagation, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, vol.164, 105753, (2024)
- [2] T. Saitoh: 2-D elastodynamic time-reversal analysis for surface defects on

thin plate using topological sensitivity, *Axioms*, 2612934, 12(10), 920, (2023)

- [3] 斎藤隆泰・廣瀬壮一: 波動解析や逆問題および非破壊評価における AI・データサイエンス活用の動向, *AI・データサイエンス論文集*, vol.4(3), pp. 852-866, (2023)
- [4] 斎藤隆泰・木本和志: 畳込みニューラルネットワークを用いた 2 次元弾性波動場における欠陥の推定, *AI・データサイエンス論文集*, vol.4(3), pp. 265-273, (2023)
- [5] M. Nakajima, T. Saitoh and K. Kato: A study on deep CNN structures for defect detection from laser ultrasonic visualization testing images, *International Journal of intelligence, informatics and infrastructure*, vol.4(3), pp.1-11, (2023)
- [6] 斎藤隆泰: 最新の超音波イメージング-深層学習の応用を中心に-, *非破壊検査*, vol.73(2), pp.73-77, (2024)
- [7] M. Nakajima, T. Saitoh and T. Kato: Simulation-aided deep learning for laser ultrasonic visualization testing with style transfer, *International Journal of intelligence, informatics and infrastructure*, (2024) (掲載決定済)
- [8] B. Köhler, K. Takahashi and K. Nakahata: Application of reciprocity for facilitation of wave field visualization and defect detection, *Research in Nondestructive Evaluation*, Vol 34(5-6), pp.222-246, (2023)
- [9] 古川陽: 弾性体の界面剥離による平面波の散乱解析に対するメッシュフリー型解析手法の開発, *計算数理工学論文集*, Vol.23, pp.99-107, (2023)
- (2) 国際会議プロシーディングス (査読あり)
- [10] T. Saitoh, Y. Kuwabara and T. Kato: Determination of the presence or absence of defect for laser ultrasonic

- visualization testing using transfer learning, *Advances in Computational Mechanics and Applications*, vol.2, pp.80-92, (2024)
- [11] T. Saitoh, S. Sasaoka and S. Hirose: Scattering source determination using deep learning for 2-D scalar wave propagation, *Methods and Applications for Modeling and Simulation of Complex Systems*, pp.396-407, (2023)
- [12] T. Saitoh, S. Ohyama, K. Kato and S. Hirose: Automatic detection of concrete surface defects using deep learning and laser ultrasonic visualization testing, *4th Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management*, vol.4(1), (2023) (Web 掲載)
- [13] K. Nakahata, A. Miki and T. Maruyama: Simulation of photoacoustic wave generation and propagation in fluid-solid coupled media using finite integration technique, *Advances in Computational Mechanics and Applications*, vol.29, (2023) (Web 掲載)
- [14] K. Nakahata, K. Onodera and T. Maruyama, Mathematical modeling of ultrasonic refraction generated at partially closed crack face, *Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics*, 3P2-14, (2023)
- (3) 国際会議発表 (査読なし)
- [15] T. Saitoh and S. Hirose: Inverse scattering technique using deep learning for 3-D scalar wave propagation, *Proc. International Conference on Computational Methods*, pp.80-85, (2023)
- [16] T. Saitoh: Inverse scattering technique for a defect in anisotropic plates, *10th International Congress on Industrial and Applied Mathematics*, Waseda Univ, (2023)
- [17] S. Hirose and T. Saitoh: Scattering analysis of guided waves using far-field explicit expressions, *The 26th International Congress of Theoretical and Applied Mechanics (ICTAM 2024)*, Degu, Korea, (2024) (採択決定済)
- (4) 国内会議発表 (査読なし)
- [18] 斎藤隆泰・川上真穂: 深層学習を用いた散乱体形状の逆解析, 第 28 回計算工学講演会, つくば国際会議場, (2023)
- [19] 山崎泰誠・中畑和之・阿部雄太・大平克己: 液体中でのアレイプローブの移送による超音波イメージングの実験的検証, 第 31 回超音波による非破壊評価シンポジウム, 東京都立産業技術研究センター, (2024)
- [20] 斎藤隆泰・廣瀬壮一: 有限要素法を用いた板波の散乱解析のための無限境界の扱いについて, 第 67 回理論応用力学講演会, 神奈川大学, (2024) (採択決定済)
- [21] 安藤佑咲・中島未椰・斎藤隆泰・加藤毅: 超音波非破壊検査における拡散モデルを用いた欠陥位置推定, 情報処理学会第 86 回全国大会, 神奈川大学, (2024)
- [22] 斎藤隆泰・古川陽: 純面内異方性・粘弾性波動問題に対する演算子積分時間領域境界要素法, 第 27 回応用力学シンポジウム, 岡山大学, (2024) (採択決定済)
- (5) 公開したライブラリなど  
特になし
- (6) その他 (特許, プレスリリース, 著書等)
- [23] 斎藤隆泰: 最新の超音波イメージングに関する 2, 3 の話題-逆散乱解析から AI の応用まで-, *2023 年度 非破壊検査総合シンポジウム*, 非破壊検査協会亀戸センター, 2023 (招待講演)
- [24] 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, つくば国際会議場 (2023) (Keynote 講演)
- [25] 中畑和之・斎藤隆泰ら: 超音波による非破壊検査・材料評価技術の進展, (2024) (書籍分担執筆, 第 29 章等)