

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K21910

研究課題名（和文）実構造物の高信頼化と欠陥発生機構解明に挑戦する超多点レーザ走査3D超音波映像法

研究課題名（英文）Ultra-Multiple-Point Laser Scanning 3D Ultrasonic Imaging Method for Challenging to Improve Reliability of Actual Structures and Elucidate Defect Generation Mechanisms

研究代表者

小原 良和（Ohara, Yoshikazu）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：90520875

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：発電プラント、鉄道車両、ロケット、自動車部材などに発生する「き裂」は、複雑な3次元形状を有する。実構造物の内部欠陥の3次元映像化が実現されれば、正確な3次元欠陥形状に基づくより高度な信頼性保証が可能となり、さらには実構造物の欠陥発生機構解明にもつながることが期待できる。しかし、現場適用可能な非破壊映像法は、最新の超音波フェーズドアレイでも2次元映像化に限られていた。本研究では、大振幅超音波送信技術と超多点レーザ走査アレイ受信の融合により「超多点レーザ走査3D超音波映像法」の創出に挑戦し、その基盤技術を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

発電プラント、鉄道車両、ロケット、自動車部材などに発生する「き裂」は、複雑な3次元形状を有する。実構造物の内部欠陥の3次元映像化が実現されれば、正確な3次元欠陥形状に基づくより高度な信頼性保証が可能となり、さらには実構造物の欠陥発生機構解明にもつながることが期待できる。本研究で基盤を確立した「超多点レーザ走査3D超音波映像法」は、実構造物に適用可能な世界初の高分解能3D映像法として、様々な分野での活用が期待される。

研究成果の概要（英文）：Cracks in power plants, trains, rockets, and automotive components have complex 3D geometries. If 3D imaging of internal defects in actual structures is achieved, it will enable to ensure the reliability of actual structures based on accurate 3D defect geometry and will also lead to the elucidation of the defect generation mechanism in them. However, ultrasonic imaging methods applicable in the field have been limited to 2D imaging, even with the latest ultrasonic phased array. In this study, we challenged creating a high-resolution 3D ultrasonic imaging method based on ultra-multiple-point laser 2D scan and large-amplitude ultrasonic transmission technology and established the fundamentals for this method.

研究分野：材料計測評価学

キーワード：超音波探傷 非破壊評価 フェーズドアレイ レーザドップラー振動計 3次元映像

1. 研究開始当初の背景

実構造物に発生する「き裂」は、発電プラントの枝分かれ応力腐食割れ、クリープ・疲労き裂、鉄道車両やロケット推進剤タンクの摩擦撹拌接合のき裂、自動車部材の電縫鋼管のフッククラックなど、複雑な3次元(3D)形状を有する。実構造物の内部欠陥の3D映像化が実現されれば、正確な3D欠陥形状と破壊力学に基づく新たな効率的強度評価や維持管理が可能となり、さらには実構造物の欠陥発生機構解明にもつながることが期待できる。しかし、従来の3D映像化は、大型X線μCT装置による小型試験片の計測に限られていた。超音波は、X線に比べて金属材料の透過性に優れ、き裂状欠陥に高感度であり、最近では圧電アレイ探触子を用いた超音波フェーズドアレイの適用も始まった。しかし、現場適用可能な映像法は、最新の超音波フェーズドアレイでも1Dアレイ探触子を用いた2次元(2D)映像化に限定されていた(図1左)。ラボレベルでは、2Dアレイによる3D映像化の研究も始まったが(図1右)、作製技術・装置価格の問題による圧倒的な素子数不足(最多でも256:16×16)がボトルネックだった。

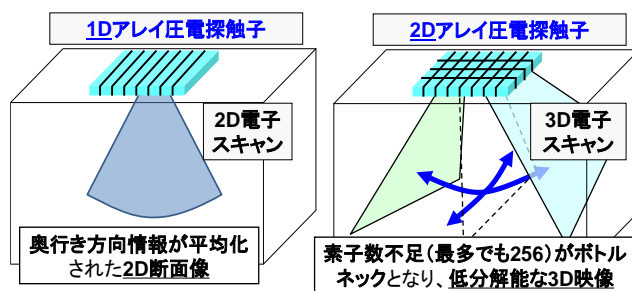


図1 従来の超音波フェーズドアレイ(圧電アレイ)

2. 研究の目的

本研究では、従来の2D映像化の限界を打ち破るべく、圧電アレイを用いる従来法とは全く原理の異なる「レーザ振動計走査による超多点2DアレイPLUS(piezoelectric and laser ultrasonic system)」を提案し、その基盤技術を確立することを目的とする。

3. 研究の方法

PLUSでは、送信に圧電素子と楔で構成される斜角探触子を、受信にレーザ振動計を用いる。受信された波形はデジタルオシロスコープを介して、テキストデータとしてPCに保存される。この受信波形をコンピュータ上で任意の映像化焦点ごとに位相整合することで映像が得られる。本研究では、高次の配列計算を行うため、行列演算を簡潔に記述し高速に実行可能なプログラム言語であるMATLABを用いてアルゴリズムの構築を行った。

図2にPLUSの映像化原理を示す。既存の2D映像化アルゴリズムを3Dに拡張し、各受信点の受信波形を試験体内部に設定した映像化領域ごとに位相整合して足し合わせ、その焦点における散乱強度を計算する。試験体の長手、奥行、深さ方向にそれぞれ x, y, z 軸を定義する。アレイセンサ中心 s_0 を原点 $(0, 0, 0)$ とする。試験片の縦波音速を V_L とする。 x 軸方向と y 軸方向の受信点数をそれぞれ N_x, N_y とし、受信点の x 軸、 y 軸方向の任意の受信点番号をそれぞれ n_x, n_y とする。受信点の中心間の距離を受信点ピッチ ΔS とし、任意の受信点の座標を $S_{n_x, n_y}(X_{n_x, n_y}, Y_{n_x, n_y}, 0)$ とする。超音波が圧電素子の中心から楔中を伝搬し試験片表面に到達する位置を $T(X_t, 0, 0)$ とする。映像化焦点座標を $F(X, Y, Z)$ とし、映像化焦点の x, y, z 軸方向の各ピッチをそれぞれ $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ とする。

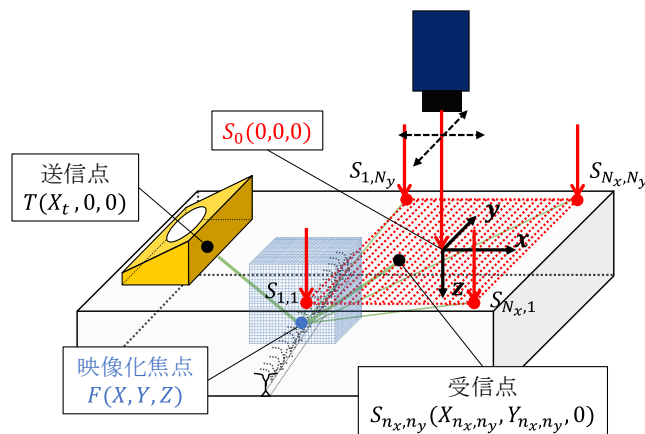


図2 PLUSの映像化原理

楔中の伝搬時間を t_w とし、縦波入射かつ映像化焦点位置でモード変換せずに縦波のまま伝搬したと仮定すると、圧電素子の中心から映像化焦点 $F(X, Y, Z)$ を經由して受信点 $S_{n_x, n_y}(X_{n_x, n_y}, Y_{n_x, n_y}, 0)$ に超音波が到達するまでの伝搬時間 t_{n_x, n_y} は、

$$t_{n_x, n_y} = t_w + \frac{\sqrt{(X_t - X)^2 + Y^2 + Z^2}}{V_L} + \frac{\sqrt{(X_{n_x, n_y} - X)^2 + (Y_{n_x, n_y} - Y)^2 + Z^2}}{V_L} \quad (1)$$

で求められる。原点と任意の受信点との伝搬時間差 $\Delta t_{n_x, n_y}$ は、

$$\Delta t_{n_x, n_y} = \frac{\sqrt{(X_{n_x, n_y} - X)^2 + (Y_{n_x, n_y} - Y)^2 + Z^2} - \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}{V_L} \quad (2)$$

で求められる。式(2-2)で与えられる遅延則に従って映像化焦点ごとに位相整合を行う。この処理をシフト加算 (Delay and Sum: DAS) という。受信点 $S_{n_x, n_y}(X_{n_x, n_y}, Y_{n_x, n_y}, 0)$ で収録した受信波形を $u_{n_x, n_y}(n_x, n_y, t)$ 、受信波形の数を $N(X, Y, Z)$ とする。映像化焦点 $F(X, Y, Z)$ に合わせて DAS 処理を適用すると、DAS 波形 $U(X, Y, Z, t)$ は、

$$U(X, Y, Z, t) = \frac{1}{N(X, Y, Z)} \sum u_{n_x, n_y}(n_x, n_y, t_{n_x, n_y} - \Delta t_{n_x, n_y}) \quad (3)$$

で求められる。

次に、DAS 波形 $U(X, Y, Z, t)$ の二乗平均平方根 (Root Mean Square: RMS) 値を求める。受信波形はテキストデータとしてパーソナルコンピュータに保存されるため、コンピュータ上では無数のデータ点の連なりが波形を形成している。そのデータ点の周期を T_n とすると、ある波形における単位時間あたりの総データ点数 (サンプリング周波数 f_s という) は、 $f_s = 1/T_n$ で求められる。図3に示した模式図は、中心周波数 5MHz で5サイクルの波を入射させ受信したときの、総データ点数 10000 点、収録時間 40 μ s の場合を示している。本研究では、この RMS 値の計算に使用する範囲 (RMS 範囲) を小さくすることで、映像化処理速度の時間領域での高速化を図る。 S_0 における伝搬時間を t_0 、時間窓を Δt とし、DAS 波形 $U(X, Y, Z, t)$ の RMS 値を散乱強度 $I(X, Y, Z)$ とすると、

$$I(X, Y, Z) = \left[\frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} U^2(X, Y, Z, t) dt \right]^{1/2} \quad (4)$$

で求められる。最後に各映像化焦点の座標に計算した散乱強度を代入し、設定したカラースケールに対応させて表示することで 3D 映像化を行う。

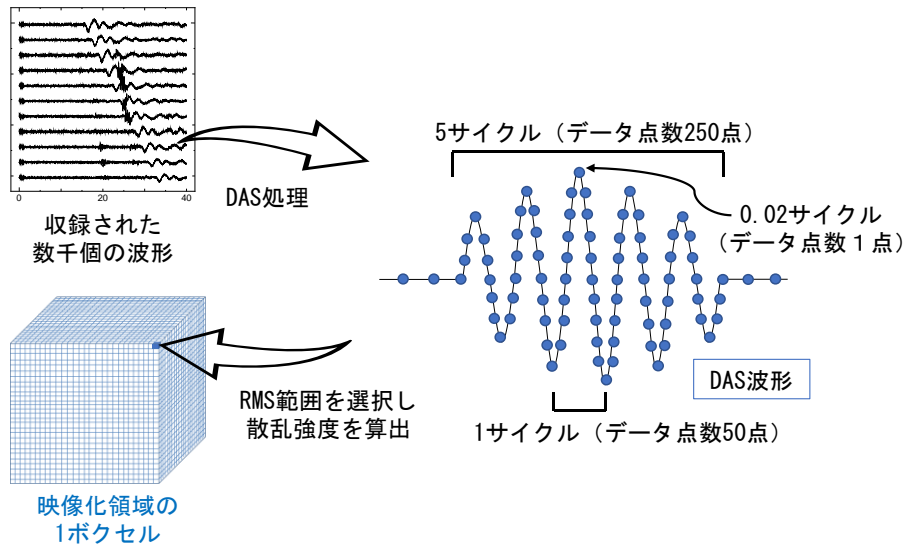


図3 3D映像化処理の概念図

4. 研究成果

まず、PLUSの3D映像化の基本性能を検証するため、アルミニウム合金 A5052 に、底面から $\phi 3$ mm、高さ 10 mm の平底穴 FBH (flat bottom hole) を導入した試験片を用いた (図4)。送信には、斜角 45°の横波入射の圧電探触子 (振動子径 12.8 mm、周波数 5 MHz) を用いて、電圧 200V、2 サイクルのバースト波で励振した。受信には、レーザ照射スポットの局所的な面外振動を遠隔から計測可能なレーザドップラー振動計 (Polytec 社 OFV505) を用いた。これを電子制御の機械ステージに載せて 2D スキャンを行ったが、ここでは受信点数として、4×4 (=16 点)、8×8 (=64 点)、16×16 (=256 点: 従来法の最多素子数に相当)、および超多素子に相当する 64×64 (=4096 点) を選択した。ここで、スキャンピッチは x 方向、y 方向ともに 0.5mm で固定した。3D 映像化処理は、FBH を含むように 50 mm×50 mm×50 mm の領域に対して行った。

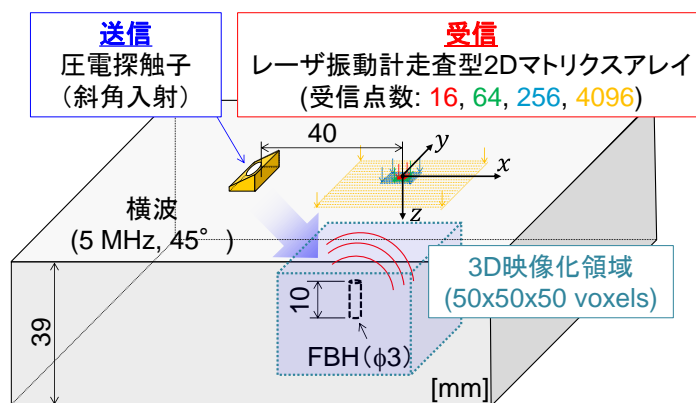


図4 平底穴 FBH の映像化条件

FBH の映像化結果を図 5 に示す。ここでは、しきい値以下の散乱強度の応答を透明化する表示方式を採用し、映像化結果を異なる視点で表示した (図 5 上: 斜め 45°からの 3D 像、図 5 下: FBH 真上から見た映像)。受信点数 16 (図 5(a),(b)) および 64 (図 5(c),(d)) では、実際の FBH サイズより大きく映像化され、実用に耐えうる分解能は得られなかった。受信点数 256 (図 5(e),(f)) では、応答が実欠陥サイズに近づいたが、依然として、実欠陥サイズより大きかった。一方、PLUS の特徴でもある、従来法より一桁以上多い受信点数 4096 (図 5(g),(h)) では、高分解能な映像が得られ、実際の欠陥サイズ ($\phi 3$ mm) とよく一致した。以上より、PLUS の 3D 高分解能映像化性能が確認された。

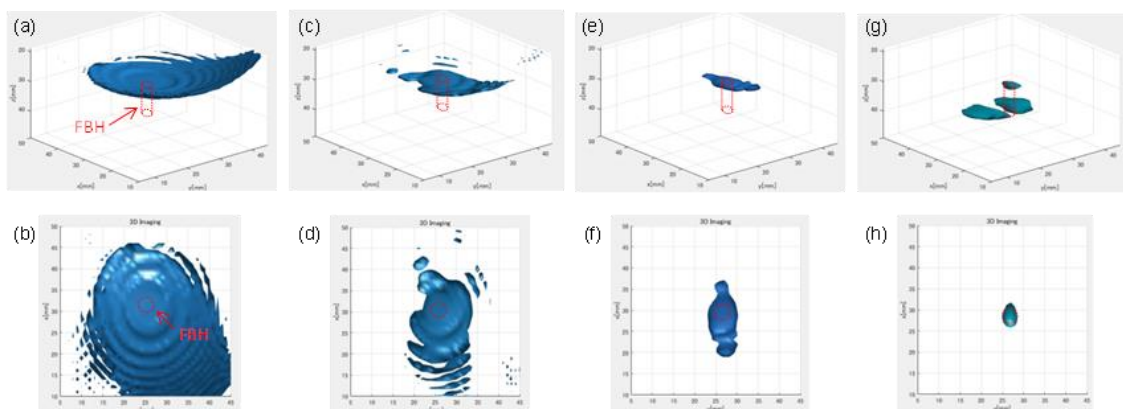


図5 PLUS による平底穴 FBH の 3D 映像化結果 : (a),(b) 16 素子(4×4)、(c),(d) 64 素子 (8×8)、(e),(f) 256 素子 (16×16)、(g),(h)1024 素子 (64×64)

より複雑な欠陥における PLUS の 3D 映像化性能を実証するため、約 10 mm の疲労予き裂先端から枝分かれ SCC を導入した試験片 (ステンレス鋼 SUS304) (6) を用いた。図 6 に示すように、FBH の計測 (図 4、図 5) と同じ装置を用いて、レーザドップラー振動計の 2D スキャン点数が 3600 点 (100×36) の条件で映像化を行った。

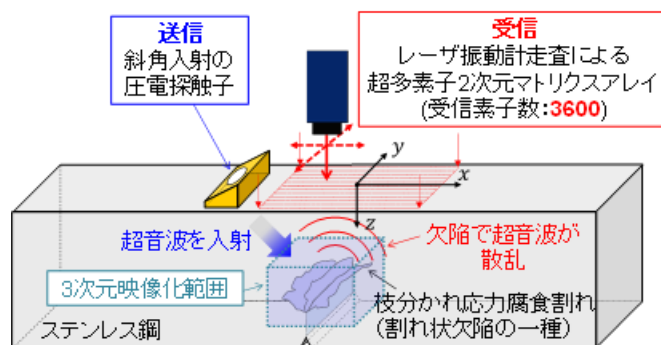


図6 枝分かれ応力腐食割れ SCC の映像化条件

異なる視点から表示した枝分かれ SCC の 3D 映像化結果を図 7 に示す。3D 映像化により、疲

勞予き裂先端から、SCC が 3D 的に複雑に枝分かれしていることが確認された。これは、同様の方法で作製し、切断・断面観察を行った過去の研究ともよく一致する。以上より、本手法が、複雑形状を有するき裂の 3D 映像化に有望であることが実証された。

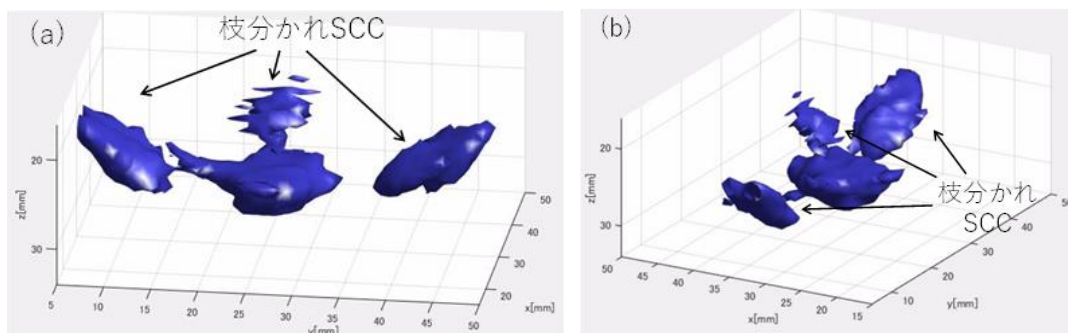


図 7 PLUS による枝分かれ応力腐食割れ SCC の 3D 映像化結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名 Yoshikazu Ohara, Marcel C. Remillieux, Tomomi Onuma, Kosuke Tsunoda, Toshihiro Tsuji, Tsuyoshi Mihara | 4. 巻 117 |
| 2. 論文標題 Toward an Ultra-High Resolution Phased-Array System for 3D Ultrasonic Imaging of Solids | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Letters | 6. 最初と最後の頁 111902-1-5 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0021282 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Yoshikazu Ohara, Taisei Umezaki, Ewen Carcreff, Sylvain Hauptert, Toshihiro Tsuji, Tsuyoshi Mihara | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Experimental Analysis of Linear and Nonlinear Ultrasonic Scatterings at Closed Fatigue Crack Using Fixed-Voltage Fundamental Wave Amplitude Difference with Radarlike Display | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 SDDB01-1-8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abe2e7 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 小原良和 | 4. 巻 63(3) |
| 2. 論文標題 材料内部の欠陥を3次元で可視化する超音波映像法PLUSの開発 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 配管技術 | 6. 最初と最後の頁 21-24 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 小原良和 | 4. 巻 32(4)[7-8] |
| 2. 論文標題 アレイの特徴を活かした基本波振幅差分の非線形超音波フェーズドアレイ | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 超音波TECHNO | 6. 最初と最後の頁 29-35 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Y. Ohara, H. Nakajima, S. Hauptert, T. Tsuji, T. Mihara | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Imaging of three-dimensional crack open/closed distribution by nonlinear ultrasonic phased array based on fundamental wave amplitude difference | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 SKKB01 ~ SKKB01 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab79ea | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Ohara Yoshikazu, Kikuchi Kosuke, Tsuji Toshihiro, Mihara Tsuyoshi | 4. 巻 21 |
| 2. 論文標題 Development of Low-Frequency Phased Array for Imaging Defects in Concrete Structures | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Sensors | 6. 最初と最後の頁 7012 ~ 7012 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21217012 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Ohara Yoshikazu, Oshiumi Taro, Wu Xiaoyang, Uchimoto Tetsuya, Takagi Toshiyuki, Tsuji Toshihiro, Mihara Tsuyoshi | 4. 巻 119 |
| 2. 論文標題 High-Selectivity imaging of the closed fatigue crack due to thermal environment using surface-acoustic-wave phased array (SAW PA) | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Ultrasonics | 6. 最初と最後の頁 106629 ~ 106629 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2021.106629 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Ohara Yoshikazu, Hauptert Sylvain, Li Sinan | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Ultrafast phased-array imaging with pump excitation for closed-crack imaging | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Applied Physics Express | 6. 最初と最後の頁 126505 ~ 126505 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac3d1e | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 Ohara Yoshikazu, Marcel C. Remillieux, T.J. Ulrich, Ozawa Serina, Tsunoda Kosuke, Tsuji Toshihiro, Mihara Tsuyoshi | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 High-resolution 3D phased-array imaging of fatigue cracks using piezoelectric and laser ultrasonic system (PLUS) | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac48cd | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 小原良和 | 4. 巻 70 |
| 2. 論文標題 基本波に着目した非線形超音波フェーズドアレイ映像法の新展開 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 非破壊検査 | 6. 最初と最後の頁 379 ~ 385 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 小原良和 |
| 2. 発表標題 非線形超音波フェーズドアレイ映像法と3Dへの展開 |
| 3. 学会等名 日本非破壊検査協会 2021年度第1回 先進超音波計測に関する萌芽技術研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshikazu Ohara, Marcel C. Remillieux, T. J. Ulrich, Serina Ozawa, Kosuke Tsunoda, Toshihiro Tsuji, Tsuyoshi Mihara |
| 2. 発表標題 3D Ultrasonic Phased-Array Imaging of Fatigue Cracks Using a Piezoelectric and Laser Ultrasonic System (PLUS) |
| 3. 学会等名 The 42nd Symposium on UltraSonic Electronics (USE2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yota Oyabu, Yoshikazu Ohara, Toshihiro Tsuji, Tsuyoshi Mihara |
| 2. 発表標題 Proposal of Shear-Wave-Excited Evanescent Super-Resolution Imaging Method for the Detection of Micro Defects and Its Fundamental Study |
| 3. 学会等名 The 42nd Symposium on UltraSonic Electronics (USE2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小原良和 |
| 2. 発表標題 高精度き裂計測のための最先端非破壊評価技術～超音波フェーズドアレイ映像法の新展開と非接触計測の活用例 |
| 3. 学会等名 Polytec社ウェビナー（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yoshikazu Ohara, Taisei Umezaki, Ewen Carcreff, Sylvain Hauptert, Toshihiro Tsuji, Tsuyoshi Mihara |
| 2. 発表標題 Experimental Analysis of Linear and Nonlinear Ultrasonic Responses at Fatigue Cracks Using Fundamental Wave Amplitude Difference |
| 3. 学会等名 The 41st Symposium on UltraSonic Electronics (USE2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Marina Ishibashi, Taisei Umezaki, Toshihiro Tsuji, Yoshikazu Ohara, Tsuyoshi Mihara |
| 2. 発表標題 Development of Large-Displacement Laminated Transducer and Its Application to SPACE |
| 3. 学会等名 The 41st Symposium on UltraSonic Electronics (USE2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Taisei Umezaki, Marina Ishibashi, Toshihiro Tsuji, Yoshikazu Ohara |
| 2. 発表標題 Study on the Characteritics of Aluminum-Alloy Fatigue Cracks and the Behavior of Subharmonic Generation |
| 3. 学会等名 The 41st Symposium on UltraSonic Electronics (USE2020) (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小原良和 |
| 2. 発表標題 閉じたき裂の高精度計測のための非線形超音波フェーズドアレイ映像法 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2020年秋季(第167回)講演大会(招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 梅崎泰生, 石橋万里奈, 辻俊宏, 小原良和, 三原毅 |
| 2. 発表標題 金属材料の疲労き裂性状とサブハーモニック波発生挙動の検討 |
| 3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2021 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 石橋万里奈, 梅崎泰生, 辻俊宏, 小原良和, 三原毅 |
| 2. 発表標題 大振幅 SPACE の開発とき裂映像化への適用 |
| 3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2021 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yoshikazu Ohara, Hironichi Nakajima, Sylvain Hauptert, Toshihiro Tsuji, Tsuyoshi Mihara |
| 2. 発表標題 Imaging of Three-Dimensional Crack Open/Closed Distribution by Nonlinear Ultrasonic Phased Array Based on Fundamental Wave Amplitude Difference |
| 3. 学会等名 The 40th Symposium on UltraSonic Electronics (USE2019) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 梅崎泰生, 石橋万里奈, 辻俊宏, 小原良和, 三原毅 |
| 2. 発表標題 Al7075 合金の疲労き裂性状とサブハーモニック発生挙動 |
| 3. 学会等名 日本非破壊検査協会 第27回超音波による非破壊評価シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 石橋万里奈, 梅崎泰生, 三原毅, 小原良和 |
| 2. 発表標題 大振幅SPACEのための積層探触子の開発とき裂映像化への適用 |
| 3. 学会等名 2019年度日本非破壊検査協会 秋季講演大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

| | | |
|--|--------------------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 THREE-DIMENSIONAL BROADBAND NONLINEAR PHASED ARRAY IMAGING | 発明者 M. C. Remillieux, Y. Ohara | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、62/924,463 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 外国 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

http://www.material.tohoku.ac.jp/~hyoka/database_jp.html

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 |
|-------|---|--------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 三原 毅 (Mihara Tsuyoshi) (20174112) | 東北大学・工学研究科・教授 (11301) | |
| 研究分担者 | 辻 俊宏 (Tsuji Toshihiro) (70374965) | 東北大学・工学研究科・助教 (11301) | |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|