

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：11401
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2019～2021
 課題番号：19K04404
 研究課題名(和文) レーザプローブ法による物質の弾・塑性特性の音波伝搬におよぼす定量計測に関する研究

 研究課題名(英文) Research on the quantitative measurement of elastic/plastic properties for the ultrasonic wave using laser probing method

 研究代表者
 今野 和彦 (Imano, Kazuhiko)

 秋田大学・名誉教授・名誉教授

 研究者番号：60125705
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：固体試料中の残留応力や欠陥が超音波の伝搬に与える影響を光で検出することを目的としてレーザー光のビームスポットサイズ(数 μm ～数十 μm)の“微小領域”を高空間分解能で音速測定する方法を述べた。ガラス、PMMA及びアルミニウム試料中の残留応力分布とその領域を通過した超音波の位相測定から欠陥検出する方法を考案し、弾性・塑性の非破壊検査への適用について述べた。また、上記の有限要素解析から、板状試料中の伝搬シミュレーションから欠陥近傍で音波の伝搬モードが変化することをのべた。さらに本方法で圧電振動子の振動分布測定を測定しレーザー光信号の位相測定から数千分の1°程度の分解能で振動分布測定を可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義
 レーザー光をプローブとして固体中の残留応力や欠陥を音波の伝搬に影響を与えずに測定する方法を確立できた。特に音波の位相に着目し、振幅情報からでは得られない微小領域の情報を明確に観測する方法を確立できた。また、音波の可視化法、特に、薄板状試料の形状の変化によって音波が板波(レイリー波、Lamb波)のモード変化を伴いながら伝搬する様子を可視化し、これらの結果を検証するための有限要素解析法の開発を行った。また、透明物質中を伝搬する音波の応力をセナルモン法により定量的に観測する方法の開発も行った。この成果は学術的な意義とともに材料や構造物の新しい検査法として期待でき、社会的な意義も大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：A new method for detecting or visualizing the inner-residual stress or defects was established by using laser probing method. Moreover, the acoustic information of small size around 20 μm which is not acquired from amplitude of ultrasound has been acquired. In addition, the real time visualization method and system for propagation of ultrasound, longitudinal wave Rayleigh wave and Lamb wave, in the water, glass and acrylic resin samples have been constructed and demonstrated. Quantitative evaluation of the ultrasonic sound pressure propagating in the sample has also been achieved. Although it was unplanned, it was also possible to detect nanometer-order non-uniformity in the vibration surface of the piezoelectric transducer. These results described above expected as the new evaluation method in the nondestructive testing. The proposed system and method have the academic meaning, especially in the sustainability of many social structures.

研究分野：超音波工学

キーワード：レーザープローブ法 残留応力 有限要素法 モード解析 レイリー波 Lamb波 セナルモン法 位相測定

1. 研究開始当初の背景

申請者がめざしている超音波音場の観測法として、ストロボ光を用いて音の場に影響を与えずに音場を観測するストロボ光弾性法のデジタル化を行うと共に鋭敏色法とセナルモン法を導入して超音波の定量計測とそのシステムの構築を行ってきた。上記の方法は医用や非破壊検査に用いる MHz 帯超音波を対象とし、特にガラスやアクリルなど透明な固体物質内での外部から或いは内部応力による光弾性現象に起因する複屈折による偏光現象から静的なひずみ量の計測と、動的応力である音波の両者を光弾性法によって同時に可視化可能にしたものである。これらの方法は音場全体の把握に有効であるが、波動の情報として振幅、位相の両方の情報がないと伝搬特性を明らかにできないため音場の細部の音圧や音波の位相についての定量的な情報は得られない。また、ガラス中を伝搬する超音波の可視化像、例えばシュリーレン法のような可視化方法からでは、画像データをデジタル化しても小さな領域の欠陥や音場媒質の不均一については定性的な情報しか得られない。さらに音場媒質内の“点”の情報が得られれば、閉口き裂、ポイドおよび剥離などが検出できると考えられるが、現状ではレーザービーム光のように細長いビームを長距離伝搬させる技術は確立していない。また、有限の大きさを持つ超音波変換器（プローブなど）を用いることによって点状の欠陥や不均一は有限な面積の受波器で空間的に平均化されこれらを検出できないことがある。さらに、物質内での音波の非線形性などを利用した観測では音圧や位相及び周波数特性の定量的な情報は得られない。また、波動の特徴の一つである、音波の伝搬時の回折に伴って位相が進む（遅れ）という現象の解明も必要となる。

このような状況にあって、本研究はこれらの情報を得るためにはどのようにしたらよいかという問題提起を行い、これらに対するシステムの開発が研究の目的でもある。これらの解明のため以下に述べるレーザー光をプローブとして用いた定量計測を目的としたシステムの開発の必要性が重要と考え、新しい測定法を開発する必要性が高まっている状況にあった。

2. 研究の目的

超音波を含む音波の観測方法として従来から、ハイドロホン等の物理的なセンサを音場に直接挿入する方法やシュリーレン法等の光学的観測法が用いられているが音圧、位相等は定量化されるに至っていない。本研究は、レーザー光を用いて超音波の音場に影響を与えずにレーザー光を用いて μm オーダの“点”の領域の超音波特性の定量的な観測をめざす。このため従来の音波の有限領域の平均値情報ではなく点の情報を得るためレーザー光源、フォトセンサ、精密な位置決め・移動装置、位相計測装置からなるシステムを構築する。この方法で光センサから得られる時間波形からはスペクトルを、振幅から音圧を、位相（位相スペクトル）からは音波の伝搬に伴う位相を mdeg. 精度で定量的に計測する。すなわち、有限の大きさを持つ超音波変換器で得られる情報は何を表しているのかというこれまで論じられていない問題に対しての解を得ることをめざすものであり、音速測定の際の音波の位相変化等の原因など波動の根本的な問題を実験から定量データによって明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

上述の波動と計測の問題を考察するための情報を得る方法として、レーザープローブ法による測定法を検討してきた。この方法はレーザー光の細いビーム（ $\approx 20\mu\text{m}\phi$ ）を用いて、これを走査することによって超音波の音速、位相および周波数スペクトルを点で測定を行うことを考え、その検討を行った。

後述のようにレーザー光を用いた PMMA 内のスリットの加工部付近の加工による残留応力分布による音速変化の測定を行った際の測定システムの構築をおこなった。He-Ne レーザからのレーザー光が試料中を透過する際に超音波変換器 (Transducer) から放射された音波の音圧及び残留応力によって位相変調される。すなわち、超音波そのものの情報（既知）と共に残留応力によって生ずる複屈折の両方の情報取得し、光センサ (APD) で受光される。この時の APD 出力は音圧波形と相似であり、水中、空中及びガラス試料で音圧と APD 出力が線形関係であることが確かめられており、光学的に音圧の測定が可能であることが確かめられている。レーザー光は連続発振させ、音波の駆動と波形観測装置の同期を取れば容易に音圧波形が観測できる。き裂などの欠陥が有る場合、APD 出力時間波形スペクトルに高調波が観測される。さらに、セナルモン法によって測定された残留応力と mdeg. オーダの精度で計測した音波の位相変化の関係を測定したものでスリット下部（残留応力の最大点及び塑性変形部分）付近の残留応力の圧縮および引張の変化率に対応して音波の位相の遅れと進みが観測できることがわかる。これをスリットの有無による位相変化の比として測定した。このときの位相変化は、音波の位相速度と比例関係があり、位相速度の変化と考えられ、今後なお検討が必要である。上述のように本方法は、光の点によって音波の伝搬特性を“点”で、特に音波の位相を mdeg. の精度で測定できるという他に類をみない方法である。後述の様に他の光学的な方法と組み合わせることによって定量的なデータが得られる方法に発展させることができる。

4. 研究成果

4-1. はじめに

レーザー光をプローブに用いた固体内部観測の方法を検討し、試料内部の音波波形、伝搬速度

および位相などの超音波伝搬特性を観測できることを明らかにした。この方法では超音波変換器のサイズの問題がなく、レーザ光のビームスポットサイズ程度の高い空間分解が得られる特長があり、上述の微小な領域の観測が可能である。本研究ではガラス、アクリル試料 (PMMA) 中及びアルミニウムに対する実験結果を示す。(後述の図 1、図 2 は、“おわりに”の後に示している)

4-2. レーザ光による音波の観測システム (図 1)

観測システムについては文献に示す。発振器から周波数 5 MHz のバースト正弦波信号 15 波を発生させ、パイポラ増幅器(NFHSA4101)に inputs, 100 V 程度まで増幅し、矩形圧電振動子(Fuji Ceramics:C-9)に印加する。試料中に送波された超音波は試料のスリット付近を伝搬するが、この時にビーム径 20 μ m のレーザ光(He-Ne)を観測対象部分に照射し、試料を透過したレーザ光を APD(Avalanche Photodiode)センサで受光する。レーザ光は試料中を伝搬する超音波によって位相変調されるとともに、試料中残留応力によって複屈折を生じる。すなわち試料を透過したレーザ光は音波と試料中の残留応力の両方の情報を含んでおり、光センサにより受光することで両者の情報を取り出すことができる。本研究では超音波位相の測定から試料の音速を求める方法を採用している。位相変化は音速の変化がない場合、音波伝搬距離の変化の単純な一次関数であるためこれから音速の推定や補間が容易である。残留応力のない部分と存在する部分の位相変化の傾きをそれぞれ a および a' とすると両者の音速比 c'/c との間に $c'/c = a/a'$ の関係がある。

4-3. 位相測定システム (図 2)

上述の方法から傾きの変化から位相変化の比を求める。0.5 mm すなわち 500 点の位相データの回帰直線から位相の傾き a' を求め、残留応力の存在しない部分の位相の傾きを a として式 (1) の関係から音速比 c'/c を算出し、同様の方法で位相の傾きから残留湯応力が求められた。

また、反射法を用いて同様の実験を行った。により位相変調されて光センサ (APD) で受光される。すなわち強化ガラス表層で反射したレーザ光には、レイリー波と試料表面の残留応力の両方の情報が含まれており、光センサにより受光することでそれらの情報を同時に取得することができる。光センサから取得した信号は音圧に比例した超音波時間波形として得られ、この信号を Vector Signal Analyzer (VSA) に入力する。入力された信号は直交位相検波され、超音波位相のデータを取得、位相データから位相変化を求める。

次に反射法を用いたシステムを示す。により位相変調されて光センサで受光される。すなわち強化ガラス表層で反射したレーザ光には、レイリー波と試料表面の残留応力の両方の情報が含まれており、光センサにより受光することでそれらの情報を同時に取得することができる。光センサから取得した信号は音圧に比例した超音波時間波形として得られ、この信号を Vector Signal Analyzer (VSA) に入力する。入力された信号は直交位相検波され、超音波位相のデータを取得、位相データから位相変化を求める。

4 4. 測定対象の強化ガラスについて (図 1)

上述のシステムを使用して強化ガラス試料 (フロートガラス, 300 mm \times 200 mm \times 5 mm) ついで同様の実験を行った。最初に鋭敏色法で内部応力が資料の端部に集中していることを確認した。前述のように試料表面にはレイリー波探触子 (14 mm \times 25 mm \times 20 mm) が取り付けられている。試料の強化ガラスは辺に沿うように残留応力が存在しており、辺に沿って強化されていることが分かる。赤色は音波の伝搬方向に対する圧縮応力 (-), 青色は引張応力 (+) に対応している。また、ガラス端部では一部強力な引張残留応力が存在するため、その領域は青 緑に色が変化して観測されている。応力符号に関しては事前に板ガラス試料に圧縮と引張力を加え鋭敏色との関係を確認している。

4-5. 信号処理方法 (図 1, 2)

前述のように実験では強化ガラス表面に Rayleigh 波を伝搬させ、ガラス端部の残留応力領域にレーザを照射し、2 枚の偏光板 (偏光子および検光子) を通して光センサによって受光する。測定システムにおいて入力の光強度と光センサの電圧出力は電流 - 電圧変換および対数変換によってほぼ直線関係になっており、音圧と比例関係にあることが確かめられている [4]。光センサで得られた音圧に比例した出力電圧波形は VSA に入力され、直交同期検波が行われデータが複素化される。得られたデータから位相の情報を求め、これより位相変化の比を求める。このとき、位相の傾きをそれぞれ a および a' とすると、位相変化の比から残留応力に対応する出力が得られる。

4-6. データ取得法 (図 1, 2)

実験では試料に超音波が伝搬している状態で振動子から 4 mm 離れた位置にレーザ光を照射し、測定範囲内において 1 μ m ずつ計 8001 点の反射光を光センサ (APD) で受光する。光センサから得られた超音波時間波形データ $x(t)$ は VSA に入力し前述の方法によって 8001 点の位相データとして取得し、位相比を求める。上述のように実験では光センサからの超音波時間波形を 1 μ m 間隔で 8001 点取得している。なお、レーザの入出力光を観測する都合でレイリー波探触子から 4 mm 離している。位相

測定結果の波形から VSA により位相を読み取り、8001 点のデータとしてまとめてこのデータから景気直線を求めて位相の傾きの比較を行った。この結果、一見するとデータ全体を通して傾きが単一であるように見えるが、上述の同じシステムによる結果を拡大してみると、全体を通して傾きが変化している。前述のように位相データは $1 \mu\text{m}$ 毎に取得しており、 1 mm 毎、すなわち 1000 点の位相データの回帰直線から位相の傾き (a および a') を求め、それぞれの位相変化を得て式(1)の関係から位相変化 ($1/(d\theta / d\theta')$) を算出する。

4-7. 応力分布測定実験の結果 (図 1)

次に反射法システムを用いた実験によって得られた強化ガラス表面残留応力と位相の関係を示す。右軸には残留応力値をとっている。残留応力値はレーザー光の入力側と反射光側に直線偏光板 2 枚と $\lambda/4$ 波長板を挿入、各測定位置におけるリタデーション R (複屈折量) を測定し算出している。リタデーション R と残留応力値 σ の間には、 $R = \sigma\beta t$ で表される関係がある。光弾性係数 β (強化ガラス: $2.6 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$) および試料の厚さ t ($=5 \times 10^{-3} \text{ m}$) を(7)式を変形した $\sigma = R/\beta t$ の式に代入し、リタデーション R から残留応力値 σ [MPa] を求めている。これはセナルモン法という光学的に確立された手法である。

この実験の結果においても前述の実験と同様に上部に測定位置と対応する鋭敏色画像を表示している。鋭敏色画像に着目すると、測定開始点から応力のない部分 (A 点) 赤色の圧縮応力 (-) が存在している。応力の極性が切り替わる部分 (B 点) 付近に応力の極性が転換する領域があり、以降ガラスの端部付近までは引張応力 (+) が存在している。ガラス端部 (C 点) には引張応力が強くかかっており、鋭敏色の青色 緑色 黄色と変化している。グラフ内赤色の線で示した残留応力値のデータも鋭敏色に対応している。黒線で示した位相変化データと赤線で示した残留応力値のデータを比較すると、B 点付近の残留応力変化率の大きい領域において位相が 3 倍程度変化している。また、B 点付近は応力の極性が転換する領域でもあり、応力の極性変化が位相に影響を与えている可能性も考えられる。また、A 点のような単一応力の働いている領域では B 点で観測されるような急激な位相の変化はみられない。

以上の結果から、本実験のような方法で局所的な残留応力領域を超音波長 (5 MHz の場合、 $\lambda=0.56 \text{ mm}$) よりも十分に小さな寸法を有するレーザー光のような“点” ($20 \mu\text{m}$) をプローブとして用いた測定で位相比の変化に着目して、残留応力の分布やその符号を検出できる可能性がある。

4-8. 位相イメージングについて (図 2)

4-2 ~ 4-7 で述べたシステムを用いて、振動対体 (圧電振動子) の振動面に置いた物体の振動の位相データを用いたイメージング法について検討した。

一つの方法は、円柱状の試料に欠陥を仮定した“穴”をあけ、これを圧電振動子上に置きインパルス状の振動 (以前の研究で開発されたものでありここでは述べない) に対する物体の振動位相イメージングである。試料の円周に沿って 0.1° ごとに回転させて試料を透過したレーザー光を CT アルゴリズムによって三次元表示した。この方法では欠陥 (試料中の穴) と試料が三次元的に表示されるため直感的にも検査に有効であると考えられる。

一方、振動体上に薄い板状の試料を置き、これの位相イメージングを行った。研究の過程で圧電体を上述のインパルス変位を与えると振動面全体にわたって $1/1000^\circ$ 以内に均一化された振動を得る方法を考案し、この方法を用いて薄板の二次元イメージングを行った。この結果、薄板試料のイメージングが以前に行った。振動振幅のデータを用いる方法よりも桁違いに感度がよく、ダイナミックレンジも大幅に (40dB 以上) 向上され、定量的なイメージングが行える可能性を明らかにした。

4-9. 圧電振動子の振動面の振動分布測定への応用 (図 2)

本研究の当初の目的にはなかったが、これまでの成果を活用して圧電振動子の音響法斜面の振動分布測定への適用を図った。

圧電振動子は多くは圧電板の厚み方向 (縦効果) に駆動することが多く、これと直角方向の横効果、すなわち印可電界と直角方向に振動する成分はほとんど利用されない。この横効果振動は厚み振動に伴っても励起され、この結果振動面の振動分布は複雑になる。本研究では厚み駆動での振動の均一化とともに横方向共振および横効果共振から外れた周波数での駆動により $1/1000^\circ$ 以下の振動の不均一をレーザープローブ法によって検出できることを明らかにした。

4-10. まとめ

レーザー光をプローブに用いて、強化ガラスの表層残留応力がガラス表面を伝搬する超音波の位相に与える影響を反射法により観測した。その結果、残留応力変化率の大きい領域において位相が大きく変化することを確認した。このような急激な試料中位相の変化は、強化ガラスのように意図的に試料に残留応力を発生させ強化する場合に有効であるが、意図せず試料に発生した残留応力による場合、試料の予期せぬき裂や破断の発生につながるため、早期の発見が必要である。

本研究で行ったレーザプロービングは、超音波の波長（5 MHz の場合、 $\lambda=0.56$ mm）よりも十分に小さなレーザビーム径（20 μm ）を持つことが特長である。従来の試験ではプローブのサイズが有限であることもあり、見落とす可能性の高い欠陥や物質試料の物性変化などを、本方法を用いて検出できると考えられる。また、超音波時間波形の位相データから位相を求める方法についても、 10^{-3} deg. の高分解能で測定ができるメリットがある。このような特長から、本研究の方法は非破壊検査の新たな手法として有効であると考えられる。

4-11. おわりに

本研究では音波の伝搬に及ぼす固体内部の残留応力のような通常の超音波測定では情報が得られないような場合に、光と音波の相互作用によって生じる音波の振幅や位相情報からこれらを測定できる方法の提案を行った。この結果、透過法や反射法でこれらを測定できる可能性を明らかにし、材料分野や非破壊分野での新しい方法として確立しうることを示した。

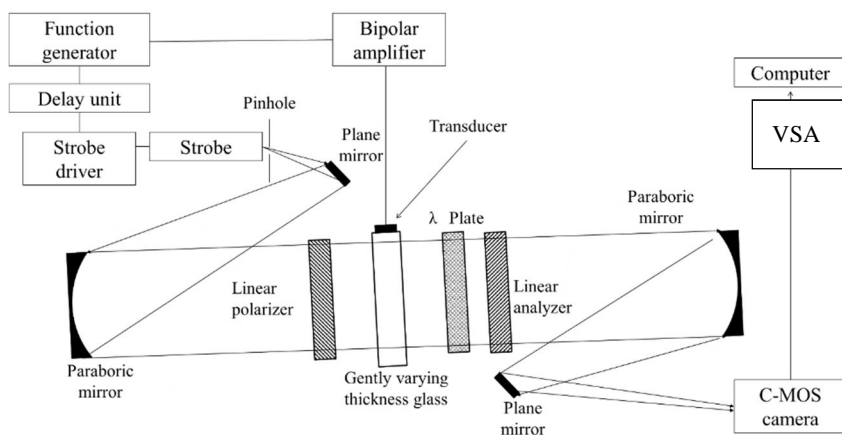


図1 ストロボ光弾性と鋭敏触法による試料内の欠陥、応力分布の可視化装置

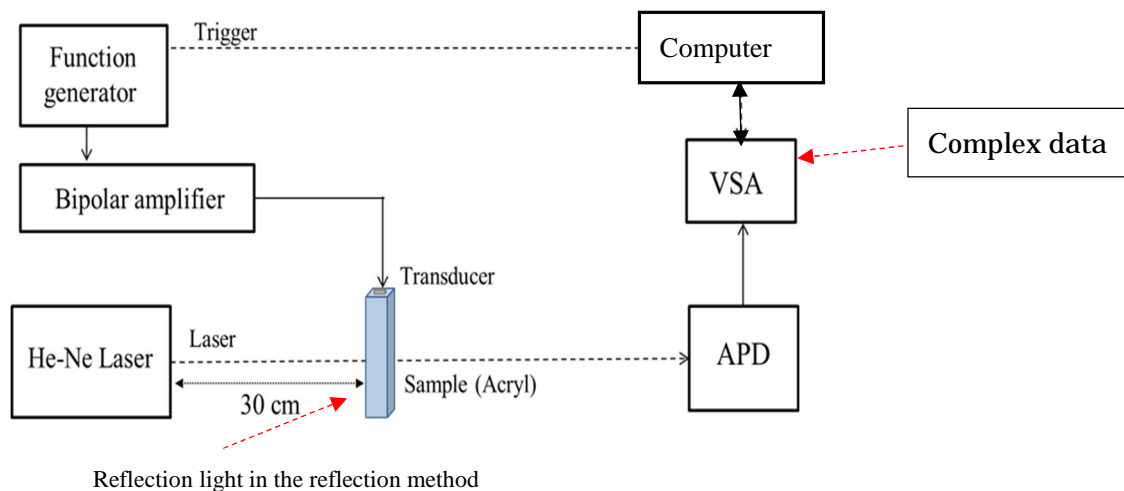


図2 試料内および試料表面も音響情報（振幅、位相）の取得システム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 保坂一貴, 今野和彦	4. 巻 59
2. 論文標題 サイディングによる振動子の振動特性の改善に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本画像学会誌	6. 最初と最後の頁 28 - 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj.59.28	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 保坂一貴, 今野和彦	4. 巻 J103-A
2. 論文標題 電氣的負荷によるサイディングされた圧電振動子の振動特性均一化の一方法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 93-95
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 -
1. 著者名 河野勇希, 今野和彦	4. 巻 J103-A
2. 論文標題 鋭敏色法を用いたガラス板中を伝搬するLamb波の可視化とそのモード判別および波数解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 114-116
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 -
1. 著者名 Kazuhiko Imano	4. 巻 32
2. 論文標題 Detection of subsurface drilled hole of aluminum plate existing the Rayleigh ultrasonic wave field using Laser probing method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 791-797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2020.2659	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鈴木海里, 西平守正, 今野和彦	4. 巻 59
2. 論文標題 有限要素法を用いた鋭敏色可視化法における積分効果の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本画像学会誌	6. 最初と最後の頁 195-200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj.59.195	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 鈴木海里, 今野和彦	4. 巻 76
2. 論文標題 鋭敏色法を用いたガラス板中のLamb波の厚さ方向の分布に関する実験的検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 203-206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20697/jasj.76.4_203	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 今野耀士, 今野和彦	4. 巻 31
2. 論文標題 レーザープローブ法を用いた固体欠陥試料の超音波振動速度イメージング	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本素材物性学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1 - 5
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 -

1. 著者名 今野和彦	4. 巻 31
2. 論文標題 超音波定在波音場下における鋭敏色法およびSenarmont法を用いた固体中の応力測定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本素材物性学会誌	6. 最初と最後の頁 12-15
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 -

1. 著者名 Kazuhiko Imano	4. 巻 32
2. 論文標題 Detection of Unbonded Defect under Surface of Material Using Phase Information of Rayleigh and A0 Mode Lamb Waves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2019-2028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2020.2906	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 保坂一貴、今野和彦	4. 巻 59
2. 論文標題 サイディングによる振動子の振動特性の改善に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本画像学会誌	6. 最初と最後の頁 28-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj.59.28	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 保坂一貴、今野和彦	4. 巻 J-103A
2. 論文標題 サイディングおよびバックングによる圧電振動子の不要輻射の抑制効果の比較	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transfunj.2020JAL2021	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 今野和彦、赤塚雅史	4. 巻 30
2. 論文標題 レーザー光を用いた超音波伝搬のプローピングによる固体試料中の残留応力の一評価法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本素材物性学会論文誌	6. 最初と最後の頁 6-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5188/sjsmerj.30.1_2_6	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 今野和彦, 赤塚雅史	4. 巻 30
2. 論文標題 PMMA中に存在する微小領域の残留応力と超音波位相との関係	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本素材物性学会論文誌	6. 最初と最後の頁 18 - 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5188/sjsmerj.30.1_2_18	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 赤塚雅史, 今野和彦	4. 巻 30
2. 論文標題 レーザーブローピング法による強化ガラス表面のRayleigh波位相と残留応力の関係	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本素材物性学会論文誌	6. 最初と最後の頁 23-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5188/sjsmerj.30.1_2_23	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 鈴木海里, 今野和彦	4. 巻 30
2. 論文標題 有限要素法および鋭敏色法を用いた厚さが緩やかに変化するガラス板中のLamb波の伝搬解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本素材物性学会論文誌	6. 最初と最後の頁 27-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5188/sjsmerj.30.1_2_27	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 Kazuhiko Imano	4. 巻 16
2. 論文標題 Use of energy trapping type piezoelectric transducer to suppress lateral vibration in the transducer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Elex	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/elex.16.20190478	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kazuhiko Imano	4. 巻 32
2. 論文標題 Detection of subsurface drilled hole of aluminum plate existing the Rayleigh ultrasonic wave field using Laser probing method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 791-797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2020.2659	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 今野耀士、今野和彦	4. 巻 60
2. 論文標題 位相情報を用いた薄い板状試料の超音波イメージング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本画像学会誌	6. 最初と最後の頁 17-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj.60.17	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 保坂一貴、今野和彦	4. 巻 J104-A
2. 論文標題 サイディングおよびバックングによる圧電振動子の不要輻射の抑制効果の比較	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌A	6. 最初と最後の頁 127-129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transfunj.2020JAL/2021	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 今野耀士、今野和彦	4. 巻 60
2. 論文標題 圧電振動子の径方向振動を用いた薄い板状試料の超音波位相イメージング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本画像学会誌	6. 最初と最後の頁 127-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11370/isj60.127	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 今野耀士, 今野和彦
2. 発表標題 薄い板状試料の超音波位相イメージングに関する検討
3. 学会等名 電気関係学会東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 保坂一貴, 今野和彦
2. 発表標題 電氣的負荷および音響負荷による圧電振動子の不要振動に関する実験
3. 学会等名 電気関係学会東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 入月涉吾, 今野和彦
2. 発表標題 位相による光学的可視化手法における差異の考察
3. 学会等名 電気関係学会東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石崎大輝, 今野和彦
2. 発表標題 超音波の位相特性を用いた表面付近の欠陥検出実験
3. 学会等名 電気関係学会東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻井晃平, 今野和彦
2. 発表標題 ガラス板中のLamb波とその漏洩波の鋭敏色法による同時観測
3. 学会等名 電気関係学会東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野勇希, 今野和彦
2. 発表標題 鋭敏色法を用いたガラス板中のLamb波の可視化とモード判別および波数解析
3. 学会等名 電気関係学会東北支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石崎大輝, 今野和彦, 西平守正
2. 発表標題 超音波の位相特性を用いた欠陥検出の検討
3. 学会等名 第3回 東北地区音響学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 保坂一貴, 今野和彦
2. 発表標題 サイディングまたはバックングにおける圧電振動子の不要輻射の抑制効果についての検討
3. 学会等名 第3回 東北地区音響学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今野耀士, 今野和彦
2. 発表標題 圧電振動子の横方向効果を使用した薄い板状試料の超音波位相イメージングの検討
3. 学会等名 第3回 東北地区音響学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 入月涉吾, 今野和彦
2. 発表標題 輝度値と位相による光学的可視化手法における差異の考察
3. 学会等名 第3回 東北地区音響学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻井晃平, 今野和彦
2. 発表標題 固体平板試料中のLamb波とその漏洩波の光学的手法による観測
3. 学会等名 第3回 東北地区音響学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野勇希, 今野和彦
2. 発表標題 鋭敏色法を用いたガラス板中のLamb波の可視化とモード判別および波数解析
3. 学会等名 第3回 東北地区音響学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 河野勇希, 今野和彦
2. 発表標題 鋭敏色法を用いたガラス板中のLamb波の可視化およびモード判別
3. 学会等名 日本素材物性学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木海里, 今野和彦
2. 発表標題 有限要素法および鋭敏色法を用いたLamb波の奥行き方向の分布に関する検討
3. 学会等名 日本素材物性学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 信太拓都, 今野和彦
2. 発表標題 Rayleigh波超音波による微小欠陥を有する平板の位相特性に関する検討
3. 学会等名 日本素材物性学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 入月翔吾, 今野和彦
2. 発表標題 鋭敏色法を用いた水中音場における超音波伝搬の可視化と検討
3. 学会等名 日本素材物性学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野耀士, 今野和彦
2. 発表標題 レーザーブローピング法を用いた超音波による固体欠陥試料のイメージングに関する研究
3. 学会等名 日本素材物性学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 信太拓都, 今野和彦
2. 発表標題 超音波位相計測による微小欠陥検出
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部第324回研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木海里, 今野和彦
2. 発表標題 有限要素法を用いたLamb波の奥行き方向及び厚さ方向の分布に関する検討
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野勇希, 今野和彦
2. 発表標題 鋭敏色法を用いたガラス板中のLamb波の可視化およびモード判別
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 信太拓都, 今野和彦
2. 発表標題 Rayleigh波超音波を用いた微小欠陥の位相特性に関する検討
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今野耀士, 今野和彦
2. 発表標題 位相情報を用いた薄い板状試料の超音波イメージングに関する検討
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 入月涉吾, 今野和彦
2. 発表標題 シャドウグラフ法およびシュリーレン法による可視化像の際に関する検討
3. 学会等名 電気関係学会東北支部連合学会
4. 発表年 2019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

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
---------	---------