

令和 4 年 5 月 5 日現在

機関番号：14303

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21001

研究課題名（和文）超音波伝搬の高速度ナノ分解能3次元動画像計測法の創生

研究課題名（英文）High-speed and three-dimensional measurement of ultrasonic wave propagation with nanometer-order precision

研究代表者

粟辻 安浩（Awatsuji, Yasuhiro）

京都工芸繊維大学・電気電子工学系・教授

研究者番号：80293984

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）：超音波伝搬の様子の3次元動的変化をナノメートルオーダーで計測が可能な技術を創生することを目的として、3次元画像表示技術であるホログラフィを応用した計測法を創成し、その実証システムを設計し構築した。また、構築したシステムを用いて、超音波伝搬の様子と音源の3次元分布の同時動画像計測能力を実証した。

また、複数の超音波源から発せられる異なる周波数のそれぞれの超音波伝搬の様子の動画像記録とそれぞれの周波数の計測能力を実証した。さらに、複数の超音波源から発した超音波の伝搬の様子を1つの動画像内で記録し、それぞれの超音波が伝搬する様子を識別して可視化することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの超音波イメージングでは、超音波センサアレイを用いたり、光干渉計を用いるものであった。前者は、空間分解能が低い、またセンサアレイの存在自体が被検超音波に影響を与えるという問題があった。後者は、超音波の伝搬に対して空間分解能がナノメートルオーダーのイメージングはできるが、音源の3次元分布を特定できなかった。本研究で創生した計測方法では、超音波の伝搬をナノメートルオーダーかつ音源の3次元分布も特定できる新しい方法であり学術的意義が大きい。本法は、稼働中の種々の機械から発せられる超音波の計測や超音波を用いた検査装置の評価に応用できるために、安全なものづくりに貢献でき、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：Aiming to create a technology that can measure three-dimensional (3-D) image of ultrasonic wave propagation on the nanometer order, we established a measurement method based on holography, a 3-D imaging technology. Also, we designed and constructed a demonstration system for this method. Using the constructed system, we experimentally demonstrated the capability of simultaneously measurement of the propagation of ultrasonic waves and the 3-D distribution of ultrasonic sources.

The motion picture recording of the ultrasonic propagation with the different frequencies emitted from multiple ultrasonic sources and the capability of measuring each frequency were also experimentally demonstrated. Furthermore, the propagation of ultrasonic waves emitted from multiple ultrasonic sources was recorded in a single moving picture, and the propagation of each ultrasonic wave was successfully identified and visualized.

研究分野：光応用計測

キーワード：計測工学 超精密計測 画像計測 応用光学・量子光工学 3次元画像 ホログラフィー 位相計測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、種々の最先端科学や工学、工業検査など様々な分野で音波の計測が重要な役割を担っている。例えば、航空機、構造物等が疲弊破壊する前に発する音を調べることにより、破壊の予測と防止に利用されている。一般には、マイクロホンを用いて計測範囲を走査することで音場の画像計測が行われるが、走査が必要なために動的計測が不可能である。この問題を解決するために、これまでに2次元的に配置したマイクロホンアレイの利用が報告されている。しかしこの技術では、マイクロホンを高密度に配置することが困難なために、空間分解能が低くだけでなく得られる結果は音場の2次元分布に限られていた。この問題を解決する方法として、光を用いた音場イメージング技術があり、その1つにシュリーレン法による音場イメージングがある。この方法で得られる音場の空間分解能は、記録に用いる撮像素子の画素ピッチ程度まで得られるので、 μm オーダーと非常に高い。しかし、シュリーレン法は、特定の平面において音場の2次元イメージングできるが、所定の奥行き位置以外の箇所を測ることができず、3次元空間に対する音場のイメージングは困難である。また、光干渉を用いる画像計測法が提案されている。この方法でも、特定の奥行き位置での音場の2次元分布は得られるが、奥行き位置を変えた場合の音場のイメージングが困難であった。音波の中でも通常の可聴音の周波数が $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$ であるのに対して、超音波はその振動数が 20 kHz という高周波である。このように高速で動く透明物体である超音波の伝搬の様子の動画計測や奥行き方向に広がりのある音源の高精度かつ3次元定位は特に困難であった。

2. 研究の目的

超音波伝搬の様子ならびに音源の3次元位置をナノメートルオーダーで計測可能な技術の創生を目指す。そのために、3次元画像表示技術であるホログラフィを応用することで目指す技術を創生し、その技術の実証システムを設計し構築する。また、構築したシステムにより、創生する技術を実証する。

3. 研究の方法

光を用いて音場を記録する技術の概要を図1に示す。空気中を伝搬する超音波は、媒質である空気の粗と密の部分が高速度に振動する波動である。その空気の粗密波に光を通すと、粗の部分では光の位相が進み、密の部分では光の位相が遅れる。通常のカメラでは、光の明るさである振幅は記録できるが光の位相変化は記録できない。一方、ホログラフィでは、光の位相変化を定量的に記録できる。ただし、従来の感光材料を用いて記録するホログラフィでは、ある瞬間の位相分布を記録できるが、超音波が伝わる様子などを動画像として記録できない。そこで、感光材料に変えて撮像素子を用いてホログラムを記録し、物体光の複素振幅分布をコンピュータを用いて数値再生できるデジタルホログラフィを本研究における光の位相変化の記録に用いる。しかも、超音波は高速で振動・伝搬するために、通常のデジタルホログラフィにおいてホログラムの記録に用いるカメラを単に高速度カメラに置き換えるだけであれば、非回折光や共役像が所望の像に重畳するために、超音波の正確な像を記録することが困難である。そこで、本研究では、高速度偏光カメラを用いた並列位相シフトデジタルホログラフィで超音波の伝搬の様子と音源の3次元位置を同時に記録する。

並列位相シフトデジタルホログラフィは、1回の画像撮影で物体からの光の複素振幅を記録できる技術である。図2に並列位相シフトデジタルホログラフィの基本的な考え方の概略を示す。この技術では、位相シフトデジタルホログラフィで必要とする複数枚のホログラムを空間分割多重技術を用いて一度で記録する。記録された1枚のホログラムに対して計算機処理を行うことで、ホログラムを記録した瞬間における不要像が重ならない物体の正確な複素振幅が得られる。

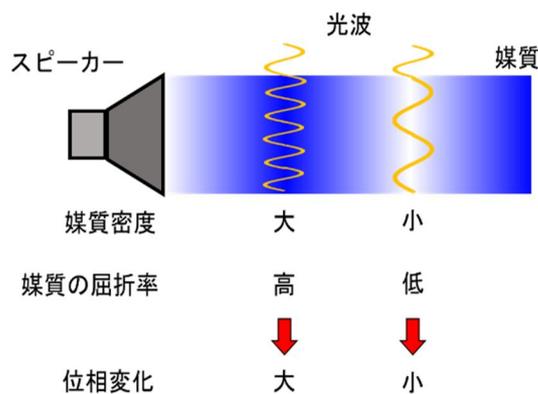


図1 音場の光学的記録の原理。

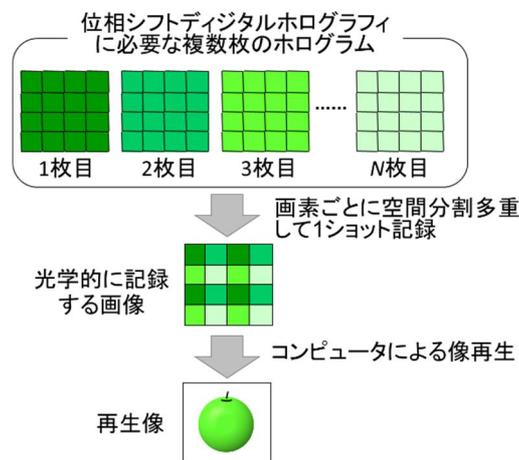


図2 並列位相シフトデジタルホログラフィの基本的な考え方。

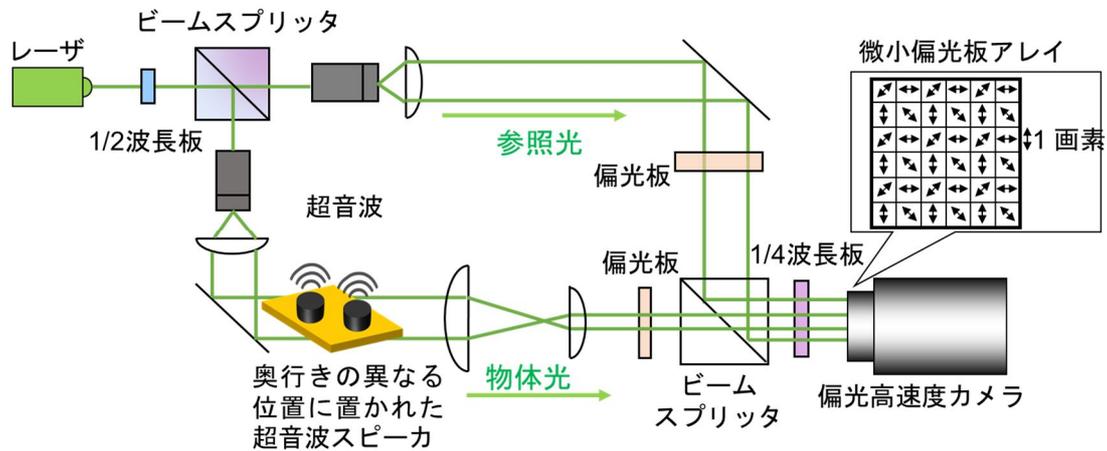


図3 構築したシステムの概略。

(1) 超音波伝搬の様子と音源の3次元位置計測
 超音波伝搬の様子と音源の3次元位置計測を行うために並列位相シフトデジタルホログラフィシステムを構築した。構築したシステムの概略を図3に示す。このシステムはマッハツェンダ干渉計を基本として、光源には連続波レーザー、ホログラムの記録には偏光高速カメラを用いた。偏光高速カメラのイメージセンサの各 2×2 画素では、図3中に示すように、4方向の直線偏光を検出できる機能を有している。偏光高速カメラとして(株)フォトロン Fastcam SA5-Pを用いた。このカメラを用いてホログラムを毎秒10万コマで記録した。光源として波長532nmの連続波を発するNd:YVO₄レーザーを用いた。超音波の音源として村田製作所MA40S4Sを2個設定した。奥行き位置を81mm異ならせて配置した。また、図4のように透明フィルムに「3」と「D」を印刷した透明フィルムをカメラに近い側、遠い側のそれぞれのスピーカに貼り付けた。奥のスピーカからは41kHz、手前のスピーカからは40kHzの超音波を発した。

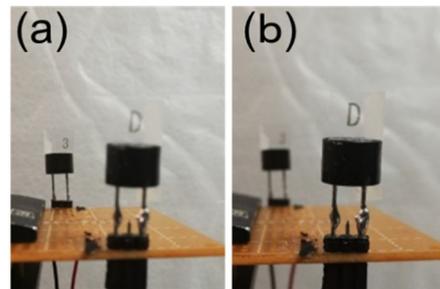


図4 スピーカの写真 (a)奥のスピーカに焦点を合わせて撮影した写真、(b)手前のスピーカに焦点を合わせた写真。

(2) 2つのスピーカから発する、異なる周波数を持つ超音波のそれぞれの伝搬の様子を可視化
 2つのスピーカから発する、異なる周波数を持つ超音波のそれぞれの伝搬の様子を識別しそれぞれの可視化を行った。実験システムは図3に示したものと同一のものを用いた。奥のスピーカからは39.5kHz、手前のスピーカからは40.5kHzの超音波を発した。ホログラムの記録速度は毎秒10万コマとした。

図5に、超音波の伝搬の様子とその周波数の空間分布を同時に可視化するまでの処理流れ図を示す。まず、ホログラムから位相画像を再生する。超音波による光の位相変化十分小さいので、超音波伝搬のイメージングのために、時間的に連続する2枚の位相画像から超音波の伝搬を復元する。その復元された音場画像の画素値を輝度の情報として保存しておく。次に、先に得られた位相画像に短時間フーリエ変換を行い各画素の周波数の時間変化を調べる。その時々音圧が最大の周波数を抽出して、これを色相の情報として保存する。先に得られた輝度の情報、色相の情報、観察のし易さのために固定した彩度の情報を組み合わせ、これをカラー画像を形成する。以上の手順により、音の伝搬と周波数の空間分布を同時に可視化できる。

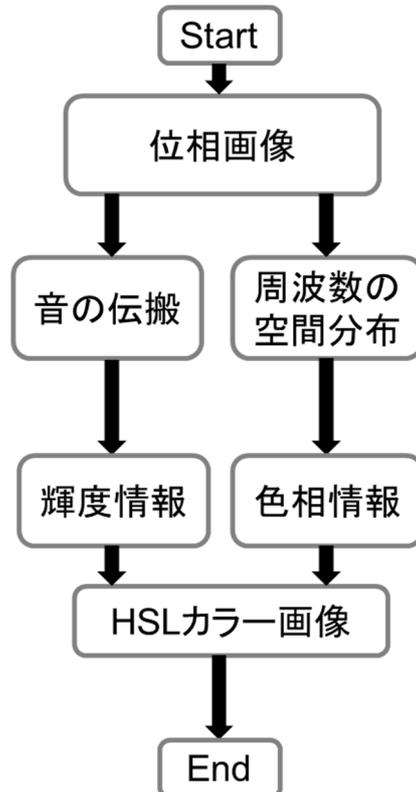


図5 超音波の伝搬の様子と周波数の空間分布を同時に可視化するまでの処理流れ。

4. 研究成果

(1) 超音波の伝搬の様子と音源の3次元位置を同時記録
 超音波の伝搬の様子と音源の3次元位置を同時に獲得する実験の結果について述べる。まず、図6に得られた超音波伝搬の動画像から抜き出した10枚の画像を示す。各コマで超音波による光

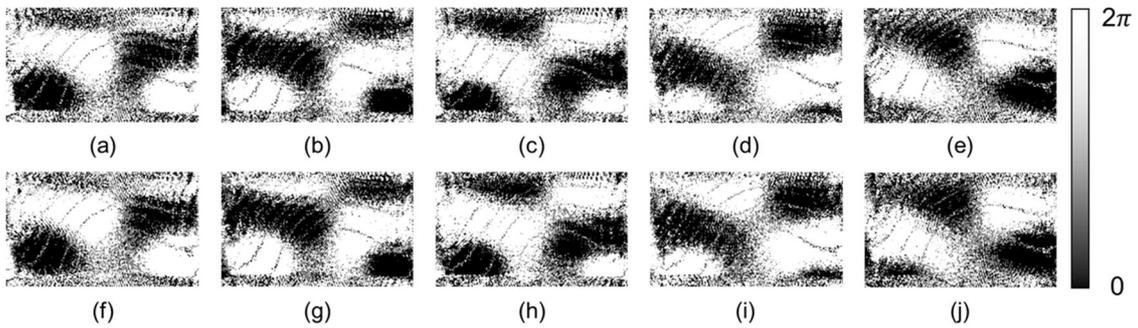


図 6 超音波伝搬の動画像から抜き出した画像．各コマで底辺の左右にそれぞれスピーカが配置されており，上方に向かって超音波を発している．各スピーカから発せられる超音波の周波数は，左側 41 kHz，右側 40 kHz である．隣接するコマとの時間間隔は $10\ \mu\text{s}$ である．これらの画像はカメラから 74.9 cm 離れた面で再生した画像である．

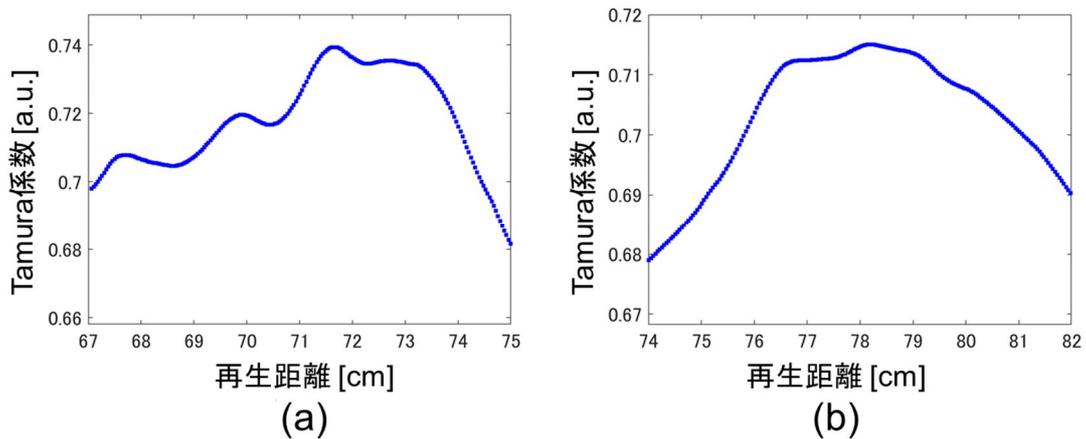


図 7 再生距離に対する Tamura 係数．透明フィルムに書かれた文字は(a)「3」, (b)「D」.

の位相変化がグレースケールで示している．この図が示すように，超音波伝搬の動画像記録に成功した．

次に，記録したホログラム画像から，図 4 に示したスピーカに取り付けた透明フィルムに書かれた文字の像を再生した．再生面を奥行き方法で変化させて，得られる振幅画像に対して Tamura 係数 を算出した．その結果を図 7 に示す．透明フィルムに書かれた文字「3」に対する Tamura 係数は再生距離が 71.64 cm，「D」に対しては 78.22 cm において最大になり，この位置にそれぞれの超音波スピーカの位置が得られた．

このように，超音波伝搬の動画像と音源の 3 次元定位を同時に得ることに成功した．

(2) 複数のスピーカから発する異なる周波数を持つ超音波のそれぞれの伝搬の様子の識別

複数のスピーカから発する異なる周波数を持つ超音波のそれぞれの伝搬の様子を可視化し識別するための実験の結果について述べる．周波数が異なるスピーカから発せられる超音波を図 3 に示したシステムで記録・再生した．再生された位相動画像から超音波の周波数を求めた．図 8 に求められた超音波の周波数スペクトルを図 8 に示す．この図が示すように，それぞれのスピーカから発せられた超音波の周波数が 39.5 kHz，40.5 kHz であることが確認できた．

次に，図 9 に可視化により得られた動画像から抜き出した 5 枚の画像を示す．超音波の周波数の空間分布が図 9 中に示すカラーバで示している．この結果が示すように，複数のスピーカから発する異なる周波数を持つ超音波がそれぞれ伝搬する様子の可視化と識別に成功した．

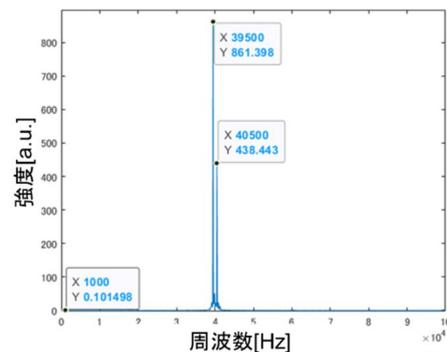


図 8 2 つのスピーカから発せられた超音波を図 3 のシステムで記録したホログラムから算出された周波数スペクトル．

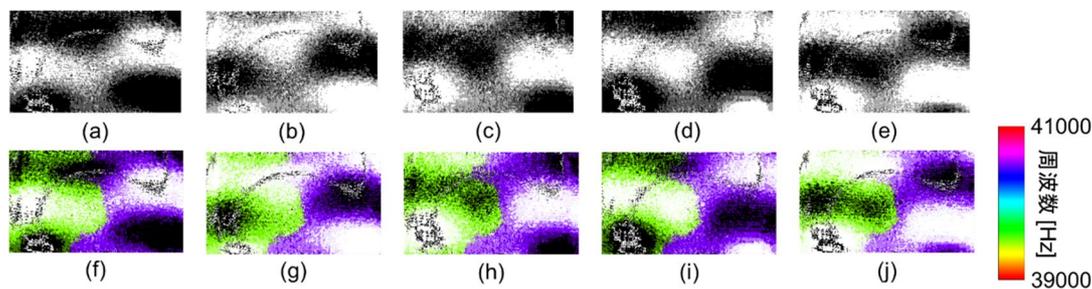


図9 複数のスピーカから発する異なる周波数を持つ超音波のそれぞれの伝搬の様子を可視化結果。各コマで底辺の左右にそれぞれスピーカが配置されており，上方に向かって超音波を発している。各スピーカから発せられる超音波の周波数は，左側 39.5 kHz，右側 40.5 kHz である。(a)-(b) 超音波の周波数の可視化前の動画像。(f)-(j) 超音波の周波数の可視化後の動画像。隣接するコマとの時間間隔は 10 μ s である。

< 引用文献 >

- E. G. Williams, J. D. Maynard, and E. Skudrzyk, "Sound source reconstructions using a microphone array," *J. Acoust. Soc. Am.* **68**, 340–344 (1980).
- X. Huang, "Real-time algorithm for acoustic imaging with a microphone array," *J. Acoust. Soc. Am.* **125**, EL190–EL195 (2009).
- E. Fernandez-Grande, "Sound field reconstruction using a spherical microphone array," *J. Acoust. Soc. Am.* **139**, 1168–1178 (2016).
- M. J. Hargather, G. S. Settles, and M. J. Madalis, "Schlieren imaging of loud sounds and weak shock waves in air near the limit of visibility," *Shock Waves* **20**, 9–17 (2010).
- N. Chitanont, K. Yatabe, K. Ishikawa, and Y. Oikawa, "Spatio-temporal filter bank for visualizing audible sound field by Schlieren method," *Appl. Acoust.* **115**, 109–120 (2017).
- F. Souris, J. Grucker, J. Dupont-Roc, P. Jacquier, A. Arvengas, and F. Caupin, "Time-resolved quantitative multiphase interferometric imaging of a highly focused ultrasound pulse," *Appl. Opt.* **49**, 6127–6133 (2010).
- K. Bertling, J. Perchoux, T. Taimre, R. Malkin, D. Robert, A. D. Rakić, and T. Bosch, "Imaging of acoustic fields using optical feedback interferometry," *Opt. Express* **22**, 30346–30356 (2014).
- K. Ishikawa, K. Yatabe, N. Chitanont, Y. Ikeda, Y. Oikawa, T. Onuma, H. Niwa, and M. Yoshii, "High-speed imaging of sound using parallel phase-shifting interferometry," *Opt. Express* **24**, 12922–12932 (2016).
- K. Ishikawa, R. Tanigawa, K. Yatabe, Y. Oikawa, T. Onuma, and H. Niwa, "Simultaneous imaging of flow and sound using high-speed parallel phase-shifting interferometry," *Opt. Lett.* **43**, 991–994 (2018).
- J. W. Goodman and R. W. Lawrence, "Digital image formation from electronically detected holograms," *Appl. Phys. Lett.* **11**, 77–79 (1967).
- Y. Awatsuji, M. Sasada, and T. Kubota, "Parallel quasi-phase-shifting digital holography," *Appl. Phys. Lett.* **85**, 1069–1071 (2004).
- I. Yamaguchi and T. Zhang, "Phase-shifting digital holography," *Opt. Lett.* **22**, 1268–1271 (1997).
- Y. Takase, K. Shimizu, S. Mochida, T. Inoue, K. Nishio, S. K. Rajput, O. Matoba, P. Xia, and Y. Awatsuji, "High-speed imaging of the sound field by parallel phase-shifting digital holography," *Appl. Opt.* **60**, A179–A187 (2021).
- P. Memmolo, C. Distanto, M. Paturzo, A. Finizio, P. Ferraro, and B. Javidi, "Automatic focusing in digital holography and its application to stretched holograms," *Opt. Lett.* **36**, 1945–1947 (2011).
- S. Hashimoto, Y. Takase, T. Inoue, K. Nishio, P. Xia, S. K. Rajput, O. Matoba, and Y. Awatsuji, "Simultaneous imaging of sound propagations and spatial distribution of acoustic frequencies," *Appl. Opt.* **61**, B246–B254 (2022).

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Awatsuji Yasuhiro, Inamoto Junya, Fukuda Takahito, Inoue Tomoyoshi, Matoba Osamu	4. 巻 11548
2. 論文標題 3D trajectory of minute object by parallel phase-shifting digital holographic microscope	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 115480R-1~6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2573722	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 Takase Yuki, Shimizu Kazuki, Mochida Shogo, Inoue Tomoyoshi, Nishio Kenzo, Rajput Sudheesh K., Matoba Osamu, Xia Peng, Awatsuji Yasuhiro	4. 巻 60
2. 論文標題 High-speed imaging of the sound field by parallel phase-shifting digital holography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 A179~A179
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/AO.404140	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 Xia Peng, Ri Shien, Inoue Tomoyoshi, Awatsuji Yasuhiro, Matoba Osamu	4. 巻 141
2. 論文標題 Dynamic phase measurement of a transparent object by parallel phase-shifting digital holography with dual polarization imaging cameras	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics and Lasers in Engineering	6. 最初と最後の頁 106583-1~5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.optlaseng.2021.106583	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 Kumar Manoj, Matoba Osamu, Quan Xiangyu, Rajput Sudheesh K., Awatsuji Yasuhiro, Tamada Yosuke	4. 巻 60
2. 論文標題 Single-shot common-path off-axis digital holography: applications in bioimaging and optical metrology [Invited]	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 A195~A195
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/AO.404208	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 稲本純也, 井上智好, 西尾謙三, 夏 鵬, 的場 修, 粟辻安浩	4. 巻 43
2. 論文標題 一枚の写真: モジュール化した高速度3次元動画画像顕微鏡	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 OplusE	6. 最初と最後の頁 455~456
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 夏 鵬, 李 志遠, 井上智好, 粟辻安浩, 的場 修	4. 巻 26
2. 論文標題 2台の偏光カメラを用いた高速透明気体の3次元動画画像計測技術	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 検査技術	6. 最初と最後の頁 1~7
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 Inoue Tomoyoshi, Sanpei Akio, Kawade Yasutaka, Suzuki Masashi, Ochiai Ryotaro, Awatsuji Yasuhiro	4. 巻 49
2. 論文標題 Identification of Pollens From Polymer Particles Levitating in an RF Plasma by the Polarization Imaging Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Plasma Science	6. 最初と最後の頁 2967 ~ 2971
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPS.2021.3105559	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 Inoue Tomoyoshi, Sanpei Akio, Kawade Yasutaka, Suzuki Masashi, Ochiai Ryotaro, Awatsuji Yasuhiro	4. 巻 49
2. 論文標題 Identification of Pollens From Polymer Particles Levitating in an RF Plasma by the Polarization Imaging Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Plasma Science	6. 最初と最後の頁 2967 ~ 2971
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TPS.2021.3105559	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14件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 稲本純也, 井上智好, 西尾謙三, 夏 鵬, 久保田敏弘, 的場 修, 粟辻安浩
2. 発表標題 並列位相シフトデジタルホログラフィック顕微鏡によるボルボックスの三次元追跡
3. 学会等名 Optics and Photonics Japan 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 粟辻安浩, 井上智好, 西尾謙三, 夏 鵬, 角江 崇, 的場 修
2. 発表標題 ホログラフィーによる超高速イメージング
3. 学会等名 第157回微小光学研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 橋本蒼太, 粟辻安浩,
2. 発表標題 並列位相シフトデジタルホログラフィを用いた2音により生じるビートの画像計測
3. 学会等名 日本光学会 情報フォトンクス研究グループ 第19回関西学生研究論文講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲本純也, 井上智好, 西尾謙三, 夏 鵬, 久保田敏弘, 的場 修, 粟辻安浩
2. 発表標題 並列位相シフトデジタルホログラフィック顕微鏡法によるボルボックスの三次元軌跡計測
3. 学会等名 2020年度レーザー学会関西支部・中国四国支部連合若手学術交流研究会(第33回研究会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 J. Inamoto, S. Genko, T. Inoue, K. Nishio, O. Matoba, T. Kubota, Y. Awatsuji
2 . 発表標題 Simultaneous three-dimensional tracking of a mother colony and a daughter colony of a moving Volvox by parallel phase-shifting digital holographic microscope
3 . 学会等名 The 7th Biomedical Imaging and Sensing Conference (BISC'21) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Awatsuji, Y. Takase, S. Hashimoto, T. Inoue, K. Nishio, P. Xia, T. Kakue, S. K. Rajput, O. Matoba
2 . 発表標題 High-speed imaging by parallel phase-shifting digital holography
3 . 学会等名 International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2021 (ISOM'21) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 S. Hashimoto, Y. Takase, T. Inoue, K. Nishio, P. Xia, S. K. Rajput, O. Matoba, Y. Awatsuji
2 . 発表標題 "Detection of acoustic beat by parallel phase-shifting digital holography
3 . 学会等名 International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2021 (ISOM'21) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Y. Awatsuji, S. Hashimoto, J. Inamoto, T. Inoue, K. Nishio, P. Xia, T. Kakue, O. Matoba
2 . 発表標題 High-speed 3D imaging of dynamic object by holography
3 . 学会等名 Optics and Photonics Japan 2021 (招待講演)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 橋本蒼太, 高瀬裕基, 井上智好, 西尾謙三, 夏 鵬, Sudheesh K. Rajput, 的場 修, 粟辻安浩
2. 発表標題 並列位相シフトデジタルホログラフィーによる2 音の動画像記録及びその周波数の空間分布の可視化
3. 学会等名 Optics and Photonics Japan 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Awatsuji, S. Hashimoto, J. Inamoto, T. Inoue, K. Nishio, P. Xia, T. Kakue, O. Matoba,
2. 発表標題 High-speed imaging of dynamic and transparent object by parallel phase-shifting digital holography
3. 学会等名 Optics & Photonics Taiwan International Conference, 26th Annual Meeting of MOST Photonics Program, 2021 Annual Meeting of Taiwan Photonics Society 2021 (OPTIC2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Sanpei, T. Inoue, R. Ochiai, H. Wakimoto, Y. Awatsuji
2. 発表標題 Levitation of pollens in an RF plasma and identification of them from polymer particles by the polarization imaging method
3. 学会等名 第22回微粒子プラズマ研究会(WFPP22)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Awatsuji, S. Hashimoto, Y. Takase, T. Inoue, K. Nishio, P. Xia, T. Kakue, S. K. Rajput, O. Matoba
2. 発表標題 Sound-field imaging by parallel phase-shifting digital holography
3. 学会等名 The 11th Japan-Korea Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野津手駿, 粟辻安浩
2. 発表標題 周波数フィルタリングを用いた特定周波数の選択的音場イメージング
3. 学会等名 日本光学会 情報フォトニクス研究グループ 第20回関西学生研究論文講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 公文雄基, 粟辻安浩
2. 発表標題 並列位相シフトデジタルホログラフィを用いた熱源周辺の温度分布の記録
3. 学会等名 日本光学会 情報フォトニクス研究グループ 第20回関西学生研究論文講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

粟辻安浩のホームページ http://www.cis.kit.ac.jp/~awatsuji/index-j.html 超音波が伝搬する様子の動画観察と音源の3次元定位を同時に実現する技術の実証に世界で初めて成功 https://www.kit.ac.jp/2020/11/news20201109/ 超音波が伝搬する様子の動画観察と音源の3次元定位を同時に実現する技術の実証に世界で初めて成功 https://www.kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/news/2020_11_09_01.html 高速度3次元動画画像計測ならびに超高速動画画像記録技術 https://www.kit.ac.jp/2020/05/chuumokukenkyu202005/
--

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