

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03888

研究課題名(和文)非線形ホログラフィック並列細胞操作技術を備えた4次元マルチモーダル顕微鏡

研究課題名(英文)Four-dimensional multimodal optical microscopy with nonlinear holographic parallel manipulation of cells

研究代表者

的場 修(Matoba, Osamu)

神戸大学・先端融合研究環・教授

研究者番号：20282593

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,600,000円

研究成果の概要(和文)：非線形ホログラフィック並列細胞操作技術を備えた4次元マルチモーダル顕微鏡の構築に向けて、デジタルホログラフィーまたは強度輸送方程式を用いて、位相と蛍光情報の空間3次元と時間1次元の同時観察可能な4次元マルチモーダル顕微鏡を構築し、動植物細胞に適用した。さらに計算機ホログラフィーによりマルチ光スポットを形成し、レーザーアブレーション等による並列細胞加工で植物の幹細胞化の誘導可能性を調べる技術を導入した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
光技術によるイメージング情報は生命科学や物理学など多くの研究分野の進展に役立ってきた。本研究では、位相と蛍光の2つの物理量を同時に空間3次元と時間1次元の4次元観察することを可能にし、動植物において生きた細胞観察に適用できることを実証した。これらの研究成果は、生命科学研究に有用なツールを提供することに繋がる。また、観察だけでなく植物の幹細胞化誘導に向けた光操作機能を有するシステムが完成すれば基礎研究、応用研究に役立つものと期待できる。

研究成果の概要(英文)：In order to construct a four-dimensional multimodal microscope with nonlinear holographic parallel manipulation of cells, we constructed four-dimensional multimodal optical microscopes with simultaneous observation of phase and fluorescence in three-dimensional space and one-dimensional time using digital holography or transport of intensity equation, and applied them to animal and plant cells. In addition, we introduced a technique of creating multi-spots using computer-generated holography for inducing stem cells in plant by parallel cell processing such as laser ablation.

研究分野：応用光学

キーワード：マルチモーダルイメージング 4次元イメージング デジタルホログラフィー 強度輸送方程式 計算機ホログラフィー

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年のノーベル化学賞受賞に見られるように STED (Stimulated Emission Depletion) や STORM (STochastic Optical Reconstruction Microscopy) などバイオ分野において新規な超解像光学顕微鏡が次々と誕生している。これらは回折限界以下の大きさの対象の観察を可能にし、細胞内の微小な構造や生命現象の解明に役立つ。一方、生命科学においては、微小な構造や現象の解明に加えて、複数細胞間のネットワーク構造の3次元観察や、生きたままの状態における観察や反応制御への要求が高まっており、現在主流であるシャーレ上の2次元反応場から今後は生体内部の状態に近い3次元反応場へと実験系が移行することが期待されている。3次元組織内部の細胞における複数物理量を非接触、低侵襲にイメージングし、かつ細胞を操作することのできる技術は今後の生命系研究のキー技術になると期待できる。

2. 研究の目的

これまでの光学顕微鏡として、位相や蛍光など複数の物理量を同時観察するものはなく、さらに一度の計測で複数物理量の3次元情報を取得するものもない。本研究では、蛍光及び位相の同時4次元マルチモーダルイメージング技術を開発することで、植物における幹細胞化プロセスを一細胞レベルから複数細胞の範囲で観察することに用いる。さらにホログラフィックフェムト秒レーザー加工技術により、細胞に対してプログラマブルな3次元光照射により自在に細胞を刺激し、幹細胞化を誘導する光操作技術に利用可能な基礎技術の開発を試みる。この多次元情報のマルチモーダルイメージング技術とホログラフィック並列加工技術を一体化した新規光学顕微鏡システムを開発するための基礎研究を実施する。具体的には、(1) 生物の構造や分子局在といった複数の物理量を、生きたまま3次元、リアルタイムかつ同時に観察できるマルチモーダル多次元イメージング技術の創出と、(2) 植物細胞での幹細胞化プロセスを発現させるための細胞機能3次元並列操作技術の創出を目指す。そのために、(1) 位相及び蛍光を同時、3次元かつリアルタイムに観察可能とするマルチモーダル4次元イメージング技術と、(2) ホログラフィーを用いて3次元の複数かつ任意の位置にフェムト秒レーザー加工による非線形ホログラフィック細胞機能制御技術を開発する。この2つの技術を一体化させることで、生命科学研究に必要な不可欠な3次元細胞操作技術を備えた4次元イメージングを可能とする革新的プラットフォームを提供できる。さらに、開発する細胞機能操作可能な新規光学顕微鏡システムでは、従来行われているフィルタ交換やピント合わせなどの操作を完全に排除したオペレーションフリーを実現し、ユーザーが望む情報を自在に映像化できるだけでなく、細胞機能を自在に制御できる。これにより顕微鏡をブラックボックスとして利用する多くのユーザーにも受け入れられることからバイオ分野にブレイクスルーをもたらす。

3. 研究の方法

蛍光タンパク質によって標識された細胞核の情報を蛍光イメージングで取得し、細胞壁や細胞厚さの情報を定量位相イメージングで取得することで、生きた植物細胞の状態を多角的に観察することが可能となる。そのためには、蛍光と位相の3次元情報を同時取得可能なマルチモーダル3次元イメージング技術の開発が必須である。本研究では、この開発に向けて2つの異なる方法を提案した。第1の方法はマルチモーダルデジタルホログラフィック顕微鏡であり、第2の方法は強度輸送方程式を用いたマルチモーダル顕微鏡である。以下、2つの方法を説明する。

蛍光及び位相情報取得において時間的に安定し、コンパクト化に適した共通光路型マルチモーダルデジタルホログラフィック顕微鏡の実験系を提案した。その実験系を図1に示す。この顕微鏡は蛍光デジタルホログラフィーと位相デジタルホログラフィーの2つで構成される。図1の右側が蛍光デジタルホログラフィック顕微鏡であり、左側が位相計測用デジタルホログラフィック顕微鏡である。蛍光デジタルホログラフィック顕微鏡では、対物レンズの焦点面付近にある蛍光物体から出た蛍光は対物レンズで平行光に近い状態になる。ここで、蛍光物体の奥行き位置情報は2次の位

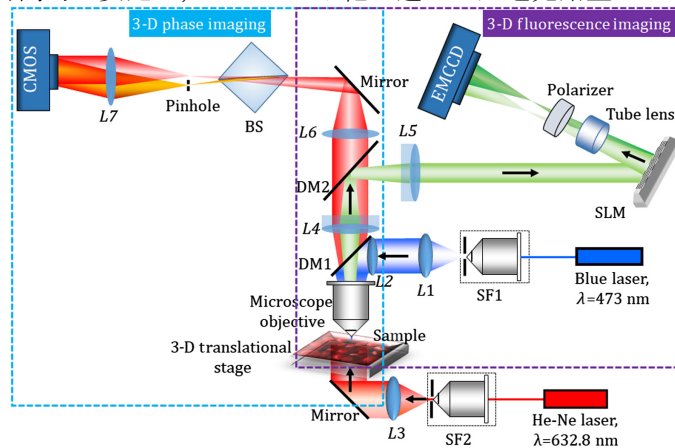


図1 共通光路型マルチモーダルデジタルホログラフィック顕微鏡システム (Kumar et al., J. Biomed. Opt., 2020)

相項として含まれる。計算機で3次元再構成を行うためにはこの2次の位相項を保持する必要がある。また、蛍光は低コヒーレンス光であるため、回折光学素子を用いて干渉可能な2つの光波を生成する。蛍光の干渉を形成するために、本研究では、液晶素子による位相変調型空間光変調素子 (SLM) の偏光依存性を利用する。常光線は SLM の変調を受けることなく、そのまま通過する。一方、異常光線は SLM で変調され、レンズと回折格子により2次の位相分布が変化し、さらに伝搬方向が傾く。この2つの光波は偏光子を通過し、干渉する。この干渉縞はイメージセンサで記録される。変調された2次の位相項により蛍光物体の奥行き情報が保持され、傾いた伝搬方向により等傾角に近い干渉縞が得られ、一度の記録で蛍光物体の3次元情報を記録できる。記録された干渉縞は蛍光ホログラムと呼ばれ、オフアキシスホログラフィー処理により蛍光の振幅分布と位相分布が得られる。この蛍光の振幅分布と位相分布を用いて、光伝搬計算を行うことで、測定対象である蛍光物体の3次元像が再構成される。位相計測用デジタルホログラフィック顕微鏡には、長時間のタイムラプス計測に適した同軸型光学系を構築した。プリズムとピンホールを用いることで、物体を通過したレーザー光波を2つに分け、ピンホールにより平面参照波を形成する。さらに2波長を用いた同軸型配置を新規に提案し、位相変調量の観測範囲を拡張した。

次に3次元マルチモーダル観察技術として強度輸送方程式と光伝搬計算を組み合わせたシステムを構築した。デジタルホログラフィーと比較して強度輸送方程式による方法は、物体光のみで計測できるため、光エネルギー利用効率が高い。さらに結像面近くで観察できるため、光強度を大きくできる利点がある。そのため、光毒性を回避し、細胞にダメージを与えない計測手法の開発に繋がる。光学系を図2に示す。強度輸送方程式では位相推定のために光軸方向に位置を変化させた物体光の複数枚の強度画像を用いる必要がある。そのため、可変焦点レンズを用いることで、機械的可動部なしで対物レンズ下のフォーカス面の奥行き位置を変化させることができる。本研究では、蛍光3次元測定に強度輸送方程式を利用した点と、蛍光と位相の同時イメージングを実現した点で新規性がある。

非線形ホログラフィック細胞機能制御技術では、計算機ホログラフィーにより3次元マルチ光スポットを形成し、レーザーアブレーション等により細胞に障害を与えることで幹細胞化のトリガーを生成することを目指す。そのため、再生増幅器付きフェムト秒レーザー (波長 800 nm, 繰り返し 1 kHz) の光源を用い、最大 3 mJ のパルスエネルギーで植物細胞に刺激を与える。

4. 研究成果

初めに、マルチモーダルデジタルホログラフィック顕微鏡の結果を示す。蛍光タンパク質が遺伝子導入されたヒメツリガネゴケを用いた実験結果を図3に示す。図3 (a) は通常の蛍光顕微鏡で観察した像である。細胞は奥行き方向に分布しているため、物体を奥行き方向に移動させることで焦点面が変化する。そのため、3枚の蛍光画像でフォーカスの合う位置が異なることが観察される。このように、従来の蛍光顕微鏡では一度に3次元情報を記録できない。提案した手法では、蛍光ホログラムを取得し、それから蛍光分布の振幅と位相を得る。この振幅分布と位相分布を用い、光伝搬計算により伝搬距離を設定することで断層画像として3次元蛍光分布を再構成した。図3 (b) が異なる伝搬距離での3枚の再構成像である。3枚の画像で焦点の合う細胞核の蛍光画像が異なることから3次元再構成が可能であることが

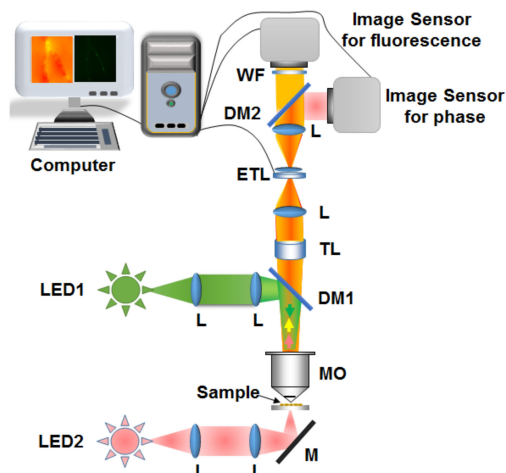


図2 強度輸送方程式を用いたマルチモーダルデジタル顕微鏡 (Sudheesh *et al.*, JSTQE, 2021)

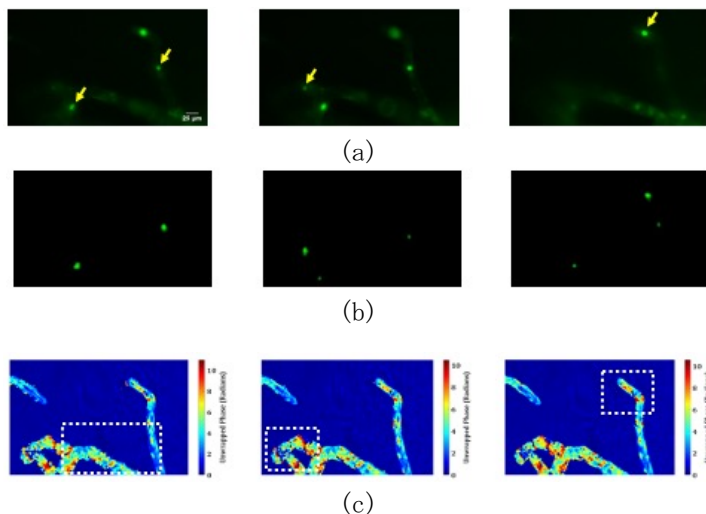


図3 植物細胞ヒメツリガネゴケの蛍光と位相同時イメージング結果; (a) 従来の蛍光顕微鏡による奥行き異なる画像, (b) 提案手法の蛍光再構成像, (c) 提案手法の位相再構成像 (Kumar *et al.*, J. Biomed. Opt., 2020)

わかる。図 3 (c) は再構成された位相画像である。図 3 (b) とは異なり、ヒメツリガネゴケの細胞形状、厚み、葉緑体を鮮明かつ定量的に計測することに成功した。また、細胞の境界を見ることで焦点の合った位置が分かる。このように、蛍光と位相を同時に 3 次元計測することで細胞の状態を多角的に知ることが可能になることを実験で実証した。この時間安定化させた一体化顕微鏡システムのパフォーマンスとして時間的に位相揺らぎの大きさを計測した。位相揺らぎの標準偏差は、2 光波が空間的に分かれるマッハツェンダー型干渉計では 0.2 rad であったのに対して、構築した光学系では 0.01 rad へと 20 分の 1 に低減させることに成功した。次に溶液中を浮遊する蛍光ビーズを用いてタイムラプス計測が可能であることを実証した (図 4)。焦点の合った再生距離と位置を調べることで時間とともに移動する蛍光ビーズの様子を再現することに成功した。システム設計では、パラメータとして波長幅に加えて、光源の大きさを導入することで実験条件に近づけた評価用シミュレータを構築した (図 5)。さらに、定量位相計測を温度分布計測に適用した。

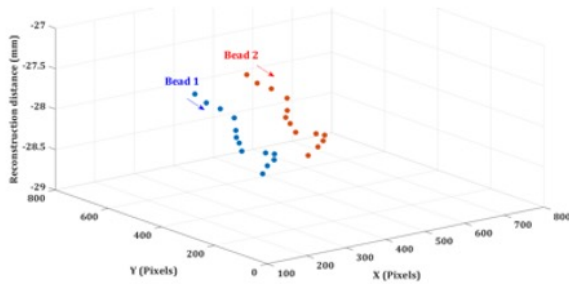


図 4 浮遊する蛍光ビーズの位置追跡結果 (Kumar *et al.*, J. Biomed. Opt., 2020)

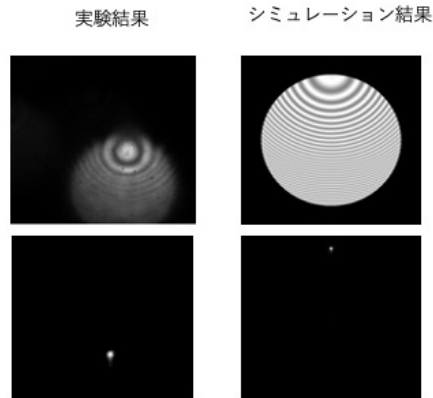


図 5 シミュレータによる蛍光ホログラムの性能評価

次に、強度輸送方程式を用いたマルチモードイメージングの結果を示す。測定対象として、蛍光タンパク質が遺伝子導入されヒメツリガネゴケを用いた。その結果を図 6 に示す。図 6 上段は位相画像であり、下段は蛍光画像である。それぞれは再生距離の異なる再構成画像である。図 3 と同様に、蛍光を通じて細胞核の状態をモニタでき、位相画像からは細胞形状、厚さ、葉緑体を知ることができる。蛍光画像から奥行き位置を計算機内で変えることで焦点の合う細胞核が左上、中央、右下と変化することがわかる。このように計算機上で後から焦点の合う画像を再構成できるのが提案手法の最大の利点である。また、蛍光と位相ともに定量的な計測が可能であることを実証した。さらに、構築したシステムをマウスの脳神経細胞の観察に適用した。図 7 に結果を示す。図 7 (a) の 3 枚の画像はデフォーカスしておりボケた画像になっているが、強度輸送方程式により位相を抽出し、伝搬計算により図 7 (b) に示すように焦点の合った鮮明な画像が再構成されることが分かる。以上の成果より、植物、動物の細胞観察に適用し、提案手法が 3 次元観察に利用可能な

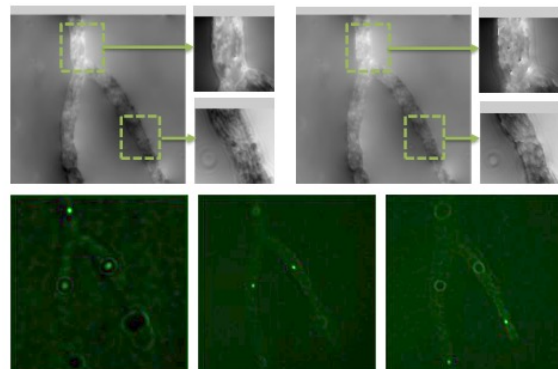


図 6 強度輸送方程式を用いた位相・蛍光同時 3 次元イメージング結果 (Sudheesh *et al.*, JSTQE, 2021)

図 7 (a) の 3 枚の画像はデフォーカスしておりボケた画像になっているが、強度輸送方程式により位相を抽出し、伝搬計算により図 7 (b) に示すように焦点の合った鮮明な画像が再構成されることが分かる。以上の成果より、植物、動物の細胞観察に適用し、提案手法が 3 次元観察に利用可能な

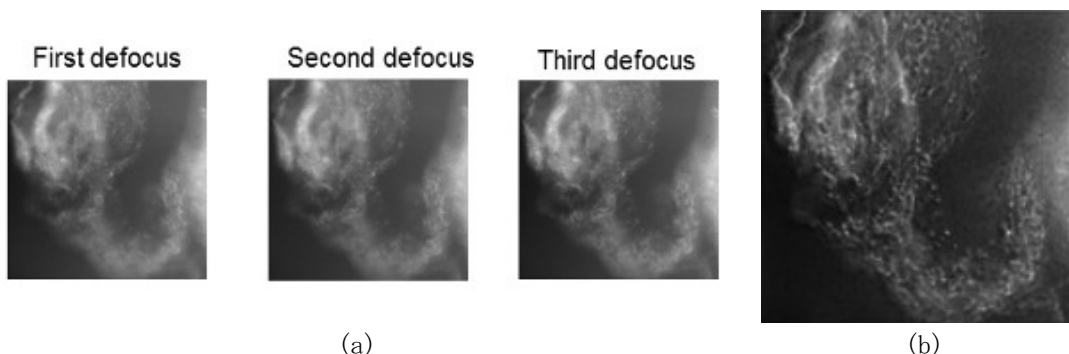


図 7 マウスの脳神経細胞の蛍光画像の再構成結果; (a) 3 枚の強度画像, (b) 伝搬計算後のフォーカス像

ことを実証した。

次に、非線形細胞操作に関しては、中心波長 800 nm、繰り返し 1 kHz、パルスエネルギー 3.5 mJ の再生増幅器付フェムト秒レーザー光源を用いて、計算機ホログラフィーにより 3 次元マルチ光スポットの作製を行い、ヒメツリガネゴケにダメージを与える実験に着手した。この光照射により幹細胞化を誘導するためには、室温の維持や、細胞の長時間保持などの環境を整えて、パルス光の露光エネルギー、スポット数などを変化させて、幹細胞化が起こる条件を抽出する必要がある。

以上の結果より、非線形ホログラフィック並列細胞操作技術を備えた 4 次元マルチモーダル顕微鏡の構築に向けて、デジタルホログラフィー及び強度輸送方程式を用いた空間 3 次元と時間 1 次元の位相と蛍光を同時観察可能な 4 次元マルチモーダル顕微鏡を完成した。さらに計算機ホログラフィーによるマルチ光スポットを形成し、レーザーアブレーション等による並列細胞加工による幹細胞化を誘導することに向けた技術を導入した。これらの結果より、生命科学分野において新しい顕微鏡を構築することに成功したが、幹細胞化を光照射で誘導する実証に向けて、今後研究を継続する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tounsi Yassine, Kumar Manoj, Siari Ahmed, Mendoza-Santoyo Fernando, Nassim Abdelkrim, Matoba Osamu	4. 巻 44
2. 論文標題 Digital four-step phase-shifting technique from a single fringe pattern using Riesz transform	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 3434 ~ 3437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.44.003434	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 Tounsi Yassine, Kumar Manoj, Nassim Abdelkrim, Mendoza-Santoyo Fernando, Matoba Osamu	4. 巻 58
2. 論文標題 Speckle denoising by variant nonlocal means methods	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 7110 ~ 7120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.58.007110	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 Kumar Manoj, Quan Xiangyu, Awatsuji Yasuhiro, Cheng Chaoyang, Hasebe Mitsuyasu, Tamada Yosuke, Matoba Osamu	4. 巻 25
2. 論文標題 Common-path multimodal three-dimensional fluorescence and phase imaging system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Biomedical Optics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.JBO.25.3.032010	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 Quan Xiangyu, Kumar Manoj, Matoba Osamu, Awatsuji Yasuhiro, Hayasaki Yoshio, Hasegawa Satoshi, Wake Hiroaki	4. 巻 43
2. 論文標題 Three-dimensional stimulation and imaging-based functional optical microscopy of biological cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 5447 ~ 5450
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.43.005447	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, Quan Xiangyu, Awatsuji Yasuhiro, Tamada Yosuke, Matoba Osamu	4. 巻 10
2. 論文標題 Digital Holographic Multimodal Cross-Sectional Fluorescence and Quantitative Phase Imaging System	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-64028-x	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 Kumar Manoj, Quan Xiangyu, Awatsuji Yasuhiro, Tamada Yosuke, Matoba Osamu	4. 巻 59
2. 論文標題 Single-shot common-path off-axis dual-wavelength digital holographic microscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 7144 ~ 7144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.395001	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 Quan Xiangyu, Kumar Manoj, Rajput Sudheesh K., Tamada Yosuke, Awatsuji Yasuhiro, Matoba Osamu	4. 巻 27
2. 論文標題 Multimodal Microscopy: Fast Acquisition of Quantitative Phase and Fluorescence Imaging in 3D Space	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTQE.2020.3038403	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 Rajput Sudheesh K, Matoba Osamu, Kumar Manoj, Quan Xiangyu, Awatsuji Yasuhiro, Tamada Yosuke, Tajahuerce Enrique	4. 巻 27
2. 論文標題 Multi-Physical Parameter Cross-Sectional Imaging of Quantitative Phase and Fluorescence by Integrated Multimodal Microscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTQE.2021.3064406	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 該当する

[学会発表] 計21件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 O. Matoba, X. Quan, M. Kumar, Y. Awatsuji
2. 発表標題 Active 3D fluorescence imaging based on holography
3. 学会等名 SPIE Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kumar, X. Quan, Y. Awatsuji, Y. Tamada, O. Matoba
2. 発表標題 Observation of Plant Cell by Holographic 3D Illumination and Imaging Functional Optical Microscopy
3. 学会等名 OSA Digital Holography and 3-D Imaging Topical Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 O. Matoba, X. Quan, M. Kumar, Y. Awatsuji
2. 発表標題 Multimodal digital holography for live plant cell imaging
3. 学会等名 SPIE Photonics Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 O. Matoba, M. Kumar, S. K. Rajput, X. Quan, and Y. Awatsuji
2. 発表標題 3D Fluorescence Imaging Techniques for Biomedical Applications
3. 学会等名 International Workshop on Holography and Related Technologies 2019 (IWH2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kumar, O. Matoba, X. Quan, S. K. Rajput, and Y. Awatsuji
2. 発表標題 Multimodal imaging based digital holography
3. 学会等名 SPIE Future Sensing Technologies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kumar, X. Quan, Y. Awatsuji, Y. Tamada, O. Matoba
2. 発表標題 Single-shot high-stable common-path off-axis digital holographic microscope
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 全 香玉, マノジ クマー, 柿田 康孝, 的場 修, 粟辻 安浩
2. 発表標題 蛍光オフアキスデジタルホログラフィーと空間コヒーレンスの考察
3. 学会等名 日本光学会年次学術講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 的場 修, 全 香玉, Manoj Kumar, 栗辻 安浩
2. 発表標題 空間光変調技術を用いた蛍光顕微鏡
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Osamu Matoba, Xiangyu Quan, Yasuhiro Awatsuji
2. 発表標題 Three-dimensional imaging based on common-path off-axis incoherent digital holography
3. 学会等名 SPIE, Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xiangyu Quan, Osamu Matoba, Yasuhiro Awatsuji
2. 発表標題 Multimodal digital holographic microscopy for simultaneous phase and fluorescence imaging
3. 学会等名 SPIE, The 4th Biomedical Imaging and Sensing Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osamu Matoba
2. 発表標題 Multi-parameter imaging based on digital holography
3. 学会等名 The 10th International Conference on Digital Image Processing (ICDIP2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xiangyu Quan, Osamu Matoba, and Yasuhiro Awatsuji
2. 発表標題 Multimodal digital holographic microscopy and applications on live cell imaging
3. 学会等名 The International Conference on 3D Systems & Applications 2018 (3DSA2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osamu Matoba, Xiangyu Quan, Manoj Kumar, Yasuhiro Awatsuji
2. 発表標題 Multi-dimensional digital holographic microscopy
3. 学会等名 Optical Design and Testing VIII, Photonics Asia 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xiangyu Quan, Manoj Kumar, Osamu Matoba, Yasuhiro Awatsuji, Yoshio Hayasaki, Satoshi Hasegawa, Hiroaki Wake, Mitsuhiro Morita
2. 発表標題 A New Type of Microscopy for Light Stimulation and 3D Imaging
3. 学会等名 International Workshop on Holography and Related Technologies 2018 (IWH2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osamu Matoba, Xiangyu Quan, Sudheesh K. Rajput, Manoj Kumar, Yasuhiro Awatsuji
2. 発表標題 Applications of Digital Holography to Biology and Sound Field Imaging
3. 学会等名 PHOTONICS-2018: International Conference on Fiber Optics and Photonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osamu Matoba, Manoj Kumar, Xiangyu Quan, Yasuhiro Awatsuji
2. 発表標題 Multi-physical parameter imaging based on digital holography
3. 学会等名 17th Workshop on Information Optics (WIO2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osamu Matoba, Sudheesh K. Rajput, Manoj Kumar, Xiangyu Quan, Yosuke Tamada, Yasuhiro Awatsuji, and Enrique Tajahuerce
2. 発表標題 Non-interferometric 3D fluorescence imaging for bio-applications
3. 学会等名 SPIE, Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Manoj Kumar, Osamu Matoba, Xiangyu Quan, Yosuke Tamada, Yasuhiro Awatsuji
2. 発表標題 Stable multimodal three-dimensional imaging
3. 学会等名 OSA Imaging and Applied Optics Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sudheesh K Rajput, Osamu Matoba, Manoj Kumar, Xiangyu Quan, Yasuhiro Awatsuji, Yosuke Tamada
2. 発表標題 lant cell observation by TIE-based fluorescence imaging
3. 学会等名 OSA Imaging and Applied Optics Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ホログラフィック 3次元マルチスポット光刺激装置及び方法	発明者 的場 修, 全 香 玉, 和氣 弘明	権利者 神戸大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-130309	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究 分担者	全 香玉 (Quan Xiangyu) (40814778)	神戸大学・システム情報学研究科・助教 (14501)	
研究 分担者	粟辻 安浩 (Awatsuji Yasuhiro) (80293984)	京都工芸繊維大学・電気電子工学系・教授 (14303)	

	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 協力者	玉田 洋介 (Tamada Yosuke)		

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		
スペイン	Department of Physics	Universitat Jaume I	