

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：82636

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01456

研究課題名（和文）自然光の高速レンズレス分光3次元動画イメージング法の創成

研究課題名（英文）High-speed lensless multispectral three-dimensional motion-picture imaging method with natural light

研究代表者

田原 樹（Tahara, Tatsuki）

国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所電磁波先進研究センター・主任研究員

研究者番号：50709095

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：1回の露光で自然光のフルカラーホログラムを取得・イメージングする方法および光学システムを複数種類開発した。蛍光顕微鏡へ開発した光学システムを適用し、1回の露光でカラーホログラフィックイメージング可能なカラー蛍光3次元動画顕微鏡システムの開発に成功した。また、太陽光の単一露光フルカラーホログラフィックイメージングを実証し、建造物のホログラム記録にも成功した。また、光学システムのコンパクト化に取り組み、複数種類の手のひらサイズの自然光デジタルホログラフィシステムの試作に成功した。空間的、時間的にインコヒーレントな光のホログラム記録に関する理論をまとめ、原著論文誌に投稿した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

レーザー光に限らず、自然光等のような光に対しても、フルカラーホログラムを1回の露光で取得できることを明らかにした。また、蛍光顕微鏡へ適用しビデオレートを超えてカラー3次元動画イメージング可能である事を実験的に明らかにした。太陽光のホログラムを1回の露光で得られることを実証し、家屋など建造物のホログラム記録が可能である事を実証した。デジタルホログラフィの光学システムを手のひらサイズにまでコンパクト化可能である事を示した。そして、空間的、時間的にインコヒーレントな光のホログラム記録に関する理論を構築し、方法論としてまとめた。以上、あらゆる光のホログラムを記録する基礎理論及び方法論を社会に提供した。

研究成果の概要（英文）：Incoherent digital holography techniques for acquiring a full-color hologram of natural light with a single-shot exposure and their optical systems have been developed. The techniques have been applied to fluorescence microscopy. Then, a color fluorescence three-dimensional motion-picture microscopy system with which color holographic imaging with a single-shot exposure is achievable has been successfully developed. Single-shot full-color holographic imaging of sunlight has also been demonstrated and a digital hologram of a house has been recorded successfully. During telework, compact hologram recorders have been developed, and a palm-sized hologram recorder "holosensor" has been successfully worked out. Then, theory for obtaining a hologram of spatially and temporally incoherent light has been confirmed through the experiments using a wavelength-multiplexed holosensor with a phase encoder.

研究分野：ホログラフィ

キーワード：デジタルホログラフィ 自然光ホログラフィ カラーホログラフィック蛍光顕微鏡 太陽光フルカラーホログラフィ ホロセンサ デジタル動画ホログラフィ 時空間インコヒーレントホログラフィ MPH

1. 研究開始当初の背景

3次元映像表示、自動運転、ロボティクスにおける高速の3次元画像センシング・物体認識など、3次元画像記録・可視化技術に対する要求は高まる一方である。また、生命科学の分野では、生細胞内部の組成の理解、生命現象の解明のために、超解像蛍光顕微鏡、ライトシート顕微鏡、ラマン散乱顕微鏡に代表される様にマルチスペクトルの3次元形態可視化が重要視されている。多分野にわたり多波長3次元画像可視化に対する需要には特筆すべきものがあり、特に、生細胞から人体、自動車に至るまで、あらゆる空間スケールにおいて、動体に対しマルチカラーひいてはマルチスペクトルの3次元画像情報を高速・高分解能に取得できる技術が求められている。

撮像素子でホログラムを電子的に取得するデジタルホログラフィは、3次元画像取得にレンズアレイを必要とせず、レンズレス撮像素子の単一露光で3次元画像情報を記録できるため、高い空間分解能を有し、コンパクトな3次元カメラを実現できる技術である。しかしながら、当該技術では干涉縞画像の取得のためにレーザを必要とするため、前述の用途に適用できない。そして、デジタルホログラフィに限らず、既存のカメラシステムではカラーフィルタアレイや多数枚の波長フィルタ、または分光プリズムを用い、波長情報の取得には空間的または時間的に波長を分けなければならない。そのため、色吸収による波長情報取得のために限られた光量での高速情報計測が困難、計測波長数が限られると共に装置の大型化や複数イメージセンサの3次元的位置合わせの必要性など、高速の分光3次元イメージングを妨げるいずれかの要因が挙げられ、それらが未だに解決できていない。

以上より、多様な画像センシングのシーンにおいて光利用効率・空間分解能・計測波長数に優れた高速分光3次元動画イメージングシステムの開発が必要である。

2. 研究の目的

ホログラフィに基づき自然光の高速・レンズレス・分光3次元動画イメージングを実現する方法を提案し、光学システムを開発する。また、顕微鏡等の光学システムとの融合により、有効性を検証する。図1に提案法の概略を示す。提案法は、自然光のホログラムを記録可能にするインコヒーレントホログラフィ(J. Opt. Soc. Am. **55**, pp.1555-1556 (1965).)と、ホログラムに位相変調を与えながら多波長情報をモノクロカメラで多重記録し、位相シフト干渉法に基づき分光する計算コヒーレント多重方式(T. Tahara, *et al.*, Opt. Lett. **40**, pp.2810-2813 (2015); T. Tahara, *et al.*, Opt. Express **25**, pp.11157-11172 (2017).)を融合させたものである。

計算コヒーレント多重方式とは申請者が提案する、各波長の3次元画像情報を位相シフト量でホログラム内にエンコーディングする、位相シフト干渉計測法を多波長計測へ拡張した方式である。波長毎に異なる位相シフト量を与えながら波長多重ホログラムを連続記録することにより、計測波長数の2倍程度の記録枚数により分光し、デジタルホログラフィによる像再生手続きを通じて3次元画像情報も取得できる。従来技術になされていなかった、少数の波長多重画像から、空間分解能、視野を犠牲にせず、波長フィルタによる色吸収なく、分光3次元画像情報の取得を可能にするため、高速・広視野・高空間分解能のマルチスペクトル3次元動画イメージングが実現可能と期待できる。また、申請者は単一光路のインコヒーレントデジタルホログラフィシステム(T. Tahara, *et al.*, J. Opt. (IOP Publishing) **19**, p.065705-1-8 (2017).)を提案・実証していることから、各要素技術を組み合わせて実装する。

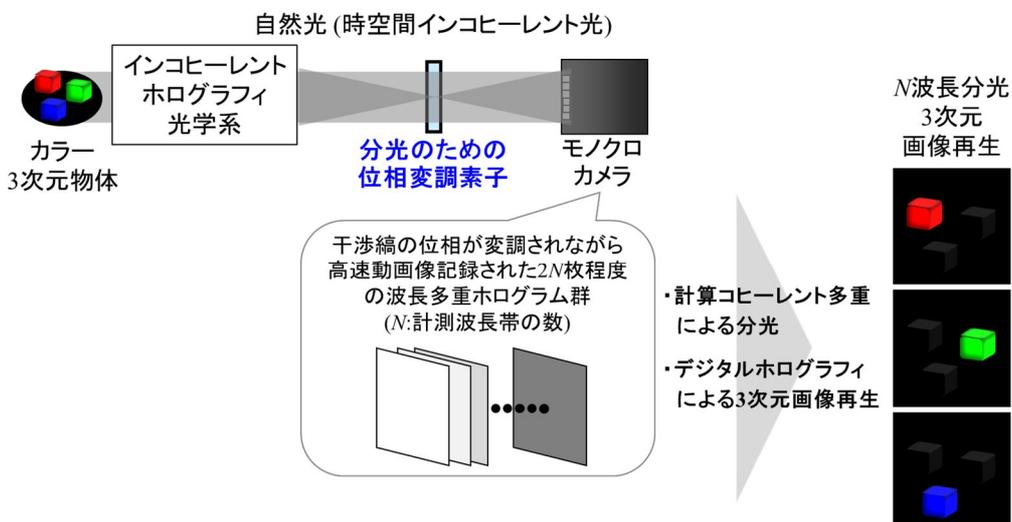


図1. インコヒーレントホログラフィに基づく高速レンズレス分光3次元イメージング法の概略。

3. 研究の方法

自然光に対しても多波長のホログラフィック 3 次元動画イメージングが可能なシステムを開発する。図 2(a)に、申請時に挙げたホログラフィシステムの実施形態の概略を示す。本システムは、計算コヒーレント多重方式とインコヒーレントデジタルホログラフィの光学システムの融合により実現される。当該システムでは、インコヒーレントな光のホログラムを得るために、曲率半径の異なる 2 光波を生成し、その主光線に対し光路差を波長以下にまで調整する系、計算コヒーレント多重方式に必要な位相シフトを高速に与える位相変調機構、波長多重画像を記録するモノクロカメラシステムの融合を特徴とする。当該システムによる多波長 3 次元画像取得における時間分解能は、カメラの取り込みレートと位相変調機構の性能のボトルネックと、計測波長数により決まる。研究題目には、[1]計算コヒーレント多重方式に基づくインコヒーレントデジタルホログラフィシステムの開発、[2]光学システムの高速度化と各種機器の同期、[3]開発システムの顕微鏡応用と生体試料への適用、[4]測定対象に対する高光利用効率化のためのシステム改良を挙げた。[3]では、図 2(b)に示す様に、インコヒーレント光の顕微鏡システムに融合することで、インコヒーレントホログラフィの顕微鏡応用を行なう。

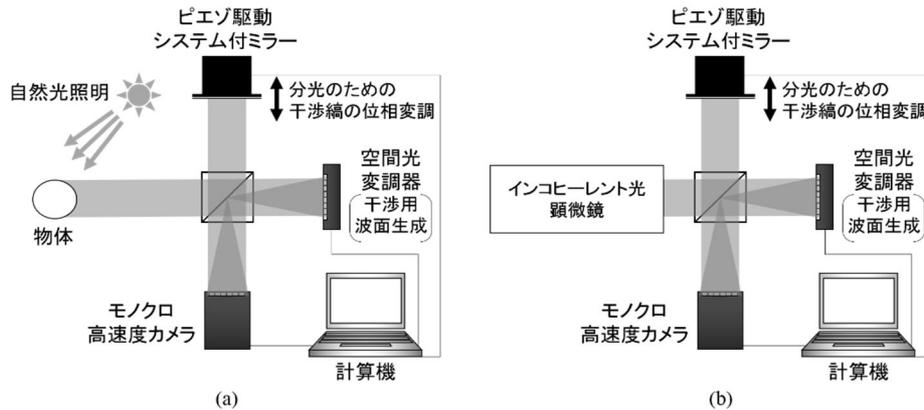


図 2. 申請時に示した実施形態。(a)提案光学システムの例。(b)顕微鏡システムとの融合例。

4. 研究成果

申請時の光学システムでは耐振動性に課題が感じられたため、単一光路の波長多重自己干渉計を導入することを考えた。そこで計算コヒーレント多重方式と、図 3 に示す(a)のフレネルインコヒーレント自己相関ホログラフィ(Fresnel incoherent correlation holography: FINCH)の光学システム、または(b)の複屈折レンズ、偏光子、LCoS-SLM、マルチバンドパスフィルタからなる分光ホログラフィック干渉計を融合させる光学系を開発した。図 3(a)の系では波長帯数 $N=3$ として図 1 の原理検証に成功し、図 3(b)の系ではハロゲンランプを光源とする白色照明光の顕微鏡を用いた生体試料のフルカラー 3 次元イメージングに成功した。詳細については、図 3(a)では [https://doi.org/10.1364/OE.383692]、図 3(b)では [https://doi.org/10.1364/OL.386264] を参照されたい。以上より、研究題目[1],[3]を達成した。また、ホログラフィック蛍光顕微鏡への応用を検討し、図 3(b)の顕微鏡部分に市販の倒立型蛍光顕微鏡を導入することで、カラー蛍光染色された生体試料のカラー多重ホログラフィック蛍光イメージングに成功した。詳細については、[https://doi.org/10.1364/AO.406068] を参照されたい。また構築したカラー多重ホログラフィック蛍光顕微鏡システムの 3 次元的な空間分解能を実験的に評価し、図 4 が示す通り、3 次元的にサブミクロンの空間分解能を得られることが判明した。詳細については [https://doi.org/10.1364/OL.414083] を参照されたい。[2]の高速度化に向けては、単一露光のインコヒ

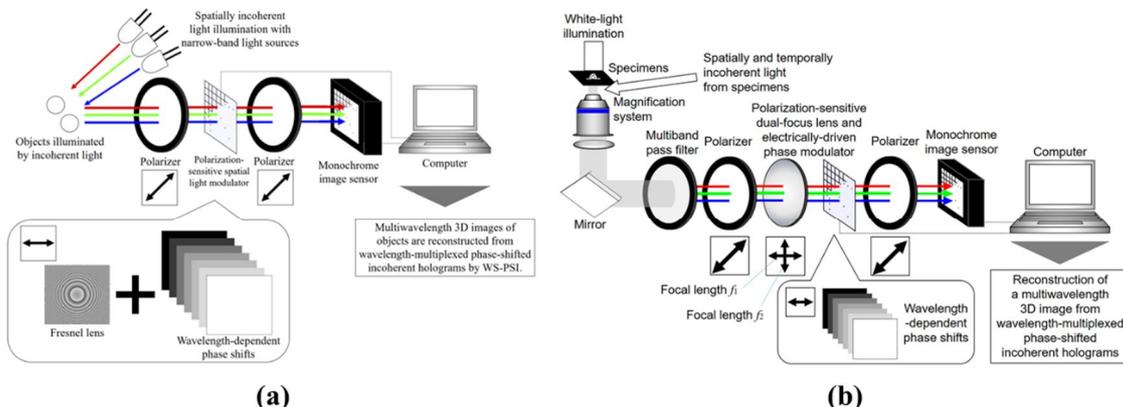


図 3. 開発した単一光路の波長多重インコヒーレントデジタルホログラフィシステム。(a)FINCH システムと融合させた光学系、(b)複屈折光学系とマルチバンドパスフィルタを適用した光学系。

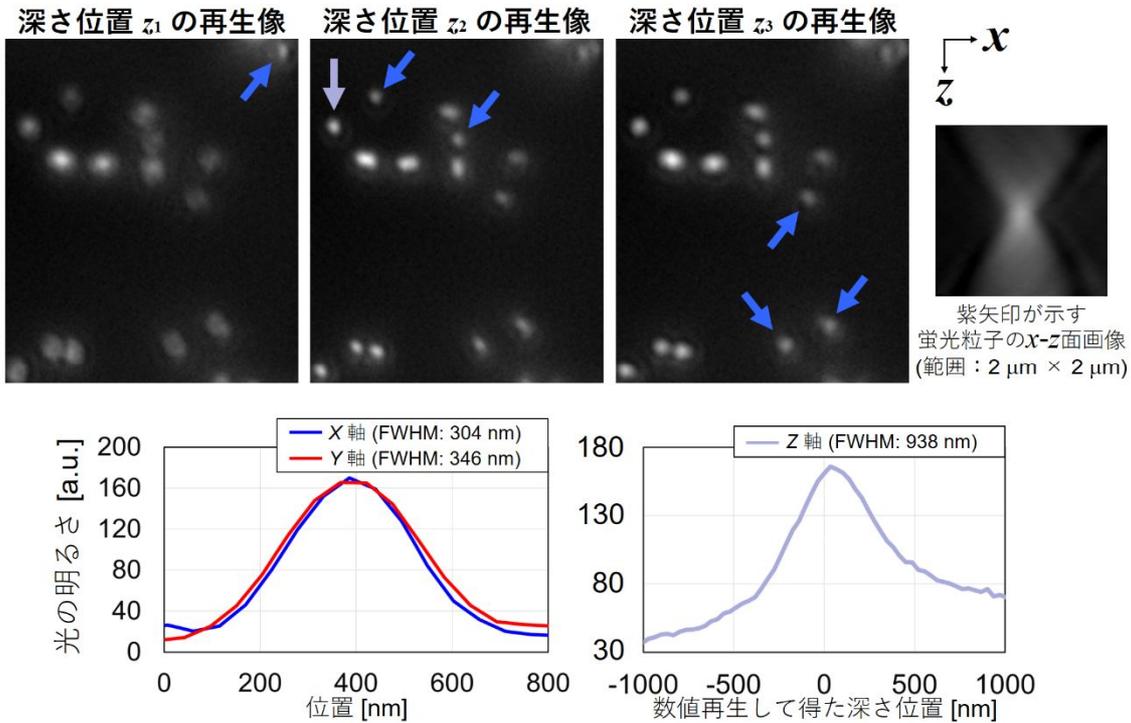


図 4 . 蛍光粒子を用いた 3 次元的空间分解能の実験的評価結果。左上: 開発したシステムにより得られた、異なる深さにある蛍光粒子の再生像 (粒径約 $0.2\ \mu\text{m}$ 、矢印が合焦した粒子) 右上: 紫矢印が示す蛍光粒子の x - z 面画像、深さ z ごとに集光・発散する様子を画像化したもの、左下: 面内方向における蛍光粒子の再生像の半値全幅 (FWHM) のグラフ、右下: 深さ方向における蛍光粒子の再生像の FWHM のグラフ。

ーレントデジタルホログラフィシステム (J. Opt. (IOP Publishing) **19**, p.065705-1-8 (2017).) を発展させる方向に研究を展開し、計測波長数よりも高速化を重視した光学システムを採用した。まずは時間的、空間的にインコヒーレントな白色光に対して多波長のホログラム動画を記録可能かどうか検討するために、カラー偏光イメージングカメラを用いる単一露光のフルカラー自然光デジタルホログラフィシステムを構築した。明視野顕微鏡と融合させ、単一露光でフルカラーイメージング可能である事を実証した。詳細については、3 次元画像コンファレンス 2019 予稿集 4-1 および[<https://doi.org/10.1088/2040-8986/abb007>]を参照されたい。その後、単一露光記録による太陽光のフルカラーホログラフィックイメージングにも成功した。また、波長板アレイ素子を適用する事でカラーフィルタアレイが不要な、計算コヒーレント多重方式に基づく単一露光多波長多重インコヒーレントデジタルホログラフィ法および光学システムを提案し、カラーホログラフィック蛍光動画顕微鏡システムの開発及び単一露光のカラーホログラフィック蛍光イメージングに成功した。詳細については、[<https://doi.org/10.1063/5.0011075>]を参照されたい。その後、カラー蛍光染色された HeLa 細胞群に対して 72 fps の記録速度でカラー蛍光ホログラフィック動画イメージングを達成した。記録速度および記録波長数の増大に向けては、波長板アレイ素子の仕様の再策定及び再試作、アレイ素子に適合するカメラの選定、アレイ素子の位相シフト分布の情報をカメラに転送する像転送光学系の再検討などが有効であると考えられる。[4]に対しては、偏光子を取り除く事で光利用効率を向上させる光学システムを提案し、PCT 出願を行なった[出願番号: PCT/JP2021/033220]。提案した光学システムの実装が今後の課題である。

本研究課題から派生して得られた研究成果の一つとして、インコヒーレントデジタルホログラフィ光学系のコンパクト化が挙げられる。偏光イメージングカメラ、偏光フィルム、偏光ダイレクトフラットレンズという市販の光学素子の組み合わせにより、1 辺が $25\ \text{mm}$ のホログラムセンサの試作と動作確認に成功した。詳細については、[<https://doi.org/10.1364/OSAC.431930>]を参照されたい。手のひらサイズに収まるホログラフィ光学システムを「ホロセンサ」とし、波長多重ホログラムを記録できるホロセンサの試作にも成功した。波長多重型のホロセンサを用いた実験を通じて、波長だけでなく、他の物理量も位相シフト量でエンコードでき、さらには光波の種類も識別できる、計算コヒーレント多重方式を拡張させたデジタルホログラフィ方式を考案できた。当該方式は、研究期間後の時期であるが、査読付き原著論文として掲載された。当該論文では、空間的、時間的にインコヒーレントな光のホログラム記録に関する理論を収めた[“Multidimension-multiplexed full-phase-encoding holography,” Opt. Express **30**, pp.21582-21598 (2022), <https://doi.org/10.1364/OE.456229>]. 他には、LED を用いた透明体の定量位相動画計測を達成した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Tahara Tatsuki	4. 巻 2
2. 論文標題 Review of Incoherent Digital Holography: Applications to Multidimensional Incoherent Digital Holographic Microscopy and Palm-Sized Digital Holographic Recorder - Holosensor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Photonics	6. 最初と最後の頁 829139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphot.2021.829139	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 J. Rosen, V. Anand, A. Ishii, S. Juodkazis, N. Kim, P. Kner, T. Koujin, Y. Kozawa, A. Matsuda, T. Nobukawa, T. Nomura, M. Potcoava, R. Oi, T. Tahara, et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 Roadmap on Recent Progress in FINCH Technology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Imaging	6. 最初と最後の頁 197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jimaging7100197	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 Tahara Tatsuki, Kozawa Yuichi, Oi Ryutaro	4. 巻 30
2. 論文標題 Single-path single-shot phase-shifting digital holographic microscopy without a laser light source	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 1182 ~ 1194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.442661	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 Tahara Tatsuki, Kozawa Yuichi, Matsuda Atsushi, Oi Ryutaro	4. 巻 4
2. 論文標題 Quantitative phase imaging with single-path phase-shifting digital holography using a light-emitting diode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 2918 ~ 2927
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.435949	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 Tahara Tatsuki, Oi Ryutaro	4. 巻 4
2. 論文標題 Palm-sized single-shot phase-shifting incoherent digital holography system	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 OSA Continuum	6. 最初と最後の頁 2372 ~ 2380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.431930	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 田原樹	4. 巻 49
2. 論文標題 多次元多重インコヒーレントデジタル動画ホログラフィの検討と展望	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 321-324
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 Tahara Tatsuki, Ishii Ayumi, Ito Tomoyoshi, Ichihashi Yasuyuki, Oi Ryutaro	4. 巻 117
2. 論文標題 Single-shot wavelength-multiplexed digital holography for 3D fluorescent microscopy and other imaging modalities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 31102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0011075	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 Tahara Tatsuki, Koujin Takako, Matsuda Atsushi, Ishii Ayumi, Ito Tomoyoshi, Ichihashi Yasuyuki, Oi Ryutaro	4. 巻 60
2. 論文標題 Incoherent color digital holography with computational coherent superposition for fluorescence imaging [Invited]	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 A260-A267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.406068	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 Tahara Tatsuki, Ito Tomoyoshi, Ichihashi Yasuyuki, Oi Ryutaro	4. 巻 22
2. 論文標題 Single-shot incoherent color digital holographic microscopy system with static polarization-sensitive optical elements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Optics	6. 最初と最後の頁 105702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2040-8986/abb007	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 Tahara Tatsuki, Kozawa Yuichi, Ishii Ayumi, Wakunami Koki, Ichihashi Yasuyuki, Oi Ryutaro	4. 巻 46
2. 論文標題 Two-step phase-shifting interferometry for self-interference digital holography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 669-672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.414083	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 Tahara Tatsuki, Ito Tomoyoshi, Ichihashi Yasuyuki, Oi Ryutaro	4. 巻 45
2. 論文標題 Multiwavelength three-dimensional microscopy with white light based on computational coherent superposition	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Letters	6. 最初と最後の頁 2482-2485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.386264	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 Hara Takayuki, Tahara Tatsuki, Ichihashi Yasuyuki, Oi Ryutaro, Ito Tomoyoshi	4. 巻 28
2. 論文標題 Multiwavelength-multiplexed phase-shifting incoherent color digital holography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 10078 ~ 10089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.383692	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 Tahara Tatsuki, Endo Yutaka	4. 巻 58
2. 論文標題 Multiwavelength-selective phase-shifting digital holography without mechanical scanning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 G218 ~ G225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.58.00G218	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 Tatsuki Tahara, Reo Otani, and Yasuhiro Takaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Wavelength-Selective Phase-Shifting Digital Holography: Color Three-Dimensional Imaging Ability in Relation to Bit Depth of Wavelength-Multiplexed Holograms	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 2410-1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app8122410	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 田原樹, 大谷礼雄, 高木康博	4. 巻 29
2. 論文標題 波長多重画像を用いるレンズレスカラー3次元画像センシング	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 画像ラボ	6. 最初と最後の頁 23-28
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 田原樹, 大谷礼雄, 高木康博	4. 巻 440
2. 論文標題 ホログラフィック波長多重と位相変調の設計を活用するレンズレスカラー3次元画像センシング技術	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optronics	6. 最初と最後の頁 126-130
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 田原樹, 大谷礼雄, 高木康博	4. 巻 61
2. 論文標題 波長選択抽出位相シフト法とレンズレスカラー3次元画像センシング応用 : 波長選択抽出位相シフトデジタルホログラフィ	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 配管技術	6. 最初と最後の頁 7-11
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 -

[学会発表] 計22件 (うち招待講演 16件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 田原樹, 小澤祐市, 石井あゆみ, 岡本亮
2. 発表標題 自然な光を用いるホログラフィック顕微鏡と太陽光ホログラフィへの応用
3. 学会等名 第196回 次世代画像入力ビジョンシステム部会定例会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田原樹
2. 発表標題 位相シフトインコヒーレントデジタルホログラフィシステムにおける位相シフト段数と画質の関係の検討
3. 学会等名 2022年第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田原樹
2. 発表標題 自然光デジタルホログラフィの進展 自然光デジタルホログラフィック顕微鏡と手のひらホログラム検知器「ホロセンサー」
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第42回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田原樹
2. 発表標題 自然な光を用いるデジタルホログラフィとインコヒーレント多次元動画顕微鏡への応用
3. 学会等名 応用物理学会フォトニクス分科会 第6回フォトニクスワークショップ「光が拓く科学技術の未来!!」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuki Tahara, Yuichi Kozawa, Takako Koujin, Atsushi Matsuda, and Ryutaro Oi
2. 発表標題 Incoherent digital holographic microscopy for high-speed three-dimensional motion-picture sensing
3. 学会等名 SPIE/COS Photonics Asia 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuki Tahara, Ryo Okamoto, Ayumi Ishii, Yuichi Kozawa, Takako Koujin, Atsushi Matsuda, and Ryutaro Oi
2. 発表標題 Phase-shifting interferometry for multidimensional incoherent digital holography and toward ultimately low light sensing
3. 学会等名 Optics Frontier-The 12th International Conference on Information Optics and Photonics (CIOp2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuki Tahara, Yuichi Kozawa, Yasuyuki Ichihashi, and Ryutaro Oi
2. 発表標題 102 fps incoherent digital motion-picture holography system for sensing of moving fluorescence nanoparticles
3. 学会等名 OSA Digital holography and 3-D imaging (DH2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuki Tahara, Takako Koujin, Atsushi Matsuda, Yuichi Kozawa, Yasuyuki Ichihashi, and Ryutarō Oi
2. 発表標題 72 fps incoherent two-color digital motion-picture holography system for fluorescence cell imaging
3. 学会等名 OSA Digital holography and 3-D imaging (DH2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tatsuki Tahara, Yuichi Kozawa, Takako Koujin, Atsushi Matsuda, and Ryutarō Oi
2. 発表標題 Multidimensional incoherent digital holography with phase-shifting interferometry
3. 学会等名 IEEE Summer Topicals Meeting Series 2021 (SUM) Photonics for Information Processing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田原樹、小澤祐市、荒神尚子、松田厚志、岡本亮、石井あゆみ、伊藤智義、市橋保之、大井隆太郎
2. 発表標題 流れ場中の蛍光ナノ粒子群を 3 次元測定する103 fpsインコヒーレントデジタル動画ホログラフィと複数波長同時記録
3. 学会等名 2020年度第4回ホログラフィックディスプレイ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田原 樹、石井あゆみ、荒神尚子、松田厚志、小澤祐市、岡本亮、伊藤智義、涌波光喜、市橋保之、大井隆太郎
2. 発表標題 多次元ホログラフィック顕微鏡法とカラー蛍光3次元イメージング
3. 学会等名 光塾2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田原 樹, 石井あゆみ, 岡本亮, 小澤祐市, 伊藤智義, 涌波光喜, 市橋保之, 大井隆太郎
2. 発表標題 多次元多重インコヒーレントデジタルホログラフィック顕微鏡法
3. 学会等名 Optics and Photonics Japan 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Tahara, R. Okamoto, A. Ishii, T. Ito, K. Wakunami, Y. Ichihashi, and R. Oi
2. 発表標題 Multidimensional digital holographic microscopy based on computational coherent superposition for coherent and incoherent light sensing
3. 学会等名 SPIE Photonics Asia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Tahara, T. Ito, R. Okamoto, K. Wakunami, Y. Ichihashi, and R. Oi
2. 発表標題 Approaches for Simultaneous Holographic Multicolor Motion-picture-microscopy Sensing of Multiple Natural Light Sources
3. 学会等名 OSA Digital holography and 3-D imaging (DH2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田原 樹, 遠藤 優, 涌波 光喜, Boaz Jessie Jackin, 市橋 保之, 大井 隆太郎
2. 発表標題 波長選択抽出位相シフト法に基づく複数波長定量位相イメージング
3. 学会等名 ホログラフィック・ディスプレイ研究会(HODIC) 2019年第3回研究会, 首都大学東京秋葉原サテライトキャンパス, 2019年9月13日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Tahara, Yutaka Endo, Koki Wakunami, Boaz Jessie Jackin, Yasuyuki Ichihashi, and Ryutaro Oi
2. 発表標題 Multiwavelength holographic image sensing of various light
3. 学会等名 The 9th Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2019), Korea Photonics Technology Institute, 大韓民国 光州, 2019年12月17-20日 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田原 樹
2. 発表標題 計算コヒーレント多重に基づく多種光源のホログラフィックマルチカラーセンシング
3. 学会等名 2019年度千葉大学シンポジウム, 千葉大学西千葉キャンパス, 2019年12月26-27日. (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuki Tahara, Tomoyoshi Ito, Ryo Okamoto, Koki Wakunami, Yasuyuki Ichihashi, and Ryutaro Oi
2. 発表標題 Approaches for simultaneous holographic multicolor motion-picture-microscopy sensing of multiple natural light sources
3. 学会等名 OSA Imaging and Applied Optics Congress: Digital holography and 3-D imaging 2020 (DH2020), Online conference, 2020年6月22-26日(予定) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田原 樹, 原 貴之, 市橋 保之, 伊藤 智義, 大井 隆太郎
2. 発表標題 計算コヒーレント多重に基づく複数自然光源の同時ホログラフィックマルチカラーセンシング
3. 学会等名 Optics and Photonics Japan 2019, 大阪大学, 2019年12月5日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Endo, T. Tahara, Y. Takaki
2. 発表標題 Multicolor lensless three-dimensional imaging with full space-bandwidth product and no mechanical scanning by wavelength-selective phase-shifting digital holography
3. 学会等名 OSA Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田原樹
2. 発表標題 デジタルホログラフィによる多次元光画像センシング
3. 学会等名 第20回光科学若手研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田原樹
2. 発表標題 多数光源の同時ホログラフィックセンシングとマルチカラー 3次元イメージング応用
3. 学会等名 平成30年度 千葉大学シンポジウム ホログラフィによる3次元映像技術の現状と今後の展望 (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田原樹 / 分担, 原田慶恵, 永井健治 / 編	4. 発行年 2018年
2. 出版社 羊土社	5. 総ページ数 236
3. 書名 生きてるものは全部観る! イメージングの選び方・使い方100+	

〔出願〕 計6件

産業財産権の名称 干渉光生成素子およびホログラム記録装置	発明者 田原 樹	権利者 情報通信研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021- 56121	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 像再生装置、ホログラム記録装置、およびデジタルホログラフィ装置	発明者 田原 樹	権利者 情報通信研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-152433	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 干渉光生成素子及び干渉イメージング装置	発明者 田原 樹	権利者 情報通信研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-184599	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 LIGHT INTERFERENCE GENERATOR AND INTERFERENCE IMAGING DEVICE	発明者 Tatsuki Tahara	権利者 NICT
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/008425	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 IMAGE REPRODUCTION DEVICE, HOLOGRAM RECORDING DEVICE, AND DIGITAL HOLOGRAPHY DEVICE	発明者 Tatsuki Tahara	権利者 NICT
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/033220	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 LIGHT INTERFERENCE GENERATOR AND INTERFERENCE IMAGING DEVICE	発明者 Tatsuki Tahara	権利者 NICT
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/037197	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>研究期間終了後、空間的、時間的にインコヒーレントな光のホログラム記録に対する理論をまとめた内容が査読付き原著論文に掲載。 T. Tahara, "Multidimension-multiplexed full-phase-encoding holography," Opt. Express 30, pp.21582-21598 (2022), https://doi.org/10.1364/OE.456229</p>

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	石井 あゆみ (Ishii Ayumi) (70406833)	帝京科学大学・生命環境学部・准教授 (33501)	

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