

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12787

研究課題名（和文）フェムト秒光パルス列重なり変調による2光子光音響顕微鏡の開発

研究課題名（英文）Development of two-photon photoacoustic microscopy with spatial overlap modulation of femtosecond optical pulse trains

研究代表者

山岡 禎久（Yamaoka, Yoshihisa）

佐賀大学・理工学部・准教授

研究者番号：80405274

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：2光子蛍光顕微鏡は生体深部を高空間分解に観察できる方法として、生物学、医学の分野で使用されているが、生体深部になればなるほど、焦点以外からの信号により、像コントラストが悪くなる問題がある。この問題を解決するために、本研究では、フェムト秒光パルス列を用いた空間重なり変調による2光子光音響顕微鏡を提案した。本装置の構築、及び、重なり変調による2光子光音響波発生原理の検証を行い、深さ分解能のある可視化が可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において開発を行った空間重なり変調を用いた2光子光音響顕微鏡により、生体深部を高コントラスト、高空間分解に観察できるようになる。そのため、医療の分野においては、特に皮膚や管腔臓器の壁を深部方向に細胞の大きさに匹敵する空間分解能で観察できることが、がんの広がり診断を有効にする。また、生物学の分野においても、ミリメートルを超える深部観察が必要なスフェロイドの評価や脳機能の評価に有効であると考えている。

研究成果の概要（英文）：Two-photon fluorescence microscopy has been used in the fields of biology and medicine as a method for observing deep parts of living cells and tissues with high spatial resolution. However, the deeper the observation depth is, the worse the image contrast is due to signals from other than the focal point. To overcome this drawback, we have proposed a two-photon photoacoustic microscopy based on spatial overlap modulation using femtosecond optical pulse trains. We have constructed this microscopy system and verified the principle of two-photon photoacoustic wave generation by overlap modulation. In addition, we have clarified that visualization with depth resolution is possible.

研究分野：生体医工学

キーワード：光音響イメージング 光音響顕微鏡 2光子吸収 非線形光学 空間重なり変調 生体光イメージング

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

CT, MRI, 超音波エコーは, 生体深部を観察する方法として一般的に医療で使用されているが, それらの空間分解能はmmを切る程度であり, 生体内の細胞を観察できるほどの空間分解能を有していない. 画像のコントラストに関しても, 造影剤を使うことで補うことができるが, 十分ではないのが現状である. 一方, 光学顕微鏡に代表される光イメージングは, 高空間分解, かつ, 高コントラストに生体を観察できるという特徴を持っている. 光はX線に比べ低侵襲であり, 分子による吸収, 蛍光によってコントラストが作られるため, 分子特異的な画像の取得が可能である. 蛍光プローブの発展, 自家蛍光の利用, 光計測技術の発展により, 様々な生体の機能や形態が観察できるようになりつつある. しかしながら, 光は生体内で高散乱するため, 生体深部の観察が困難であるという問題点が存在する. このように, CT, MRI, 超音波エコーが得意な観察領域, 光イメージングが得意な観察領域が存在するが, 数mmから数cmの深さ, 数から数十 μm の空間分解能の領域にギャップが存在している(図1). 数から数十 μm の太さの小血管は臓器と血液をつなぐ働きをしており, 生体の恒常性や代謝に密接に関係している. ヒトの細胞も数から数十 μm の大きさであり, がんの正確な範囲診断には, この空間分解能を有する技術が必要不可欠である. サブから数mmは皮膚上皮や真皮, 血管内膜, 消化管粘膜層や粘膜下層などの厚さであり, これらの深さに存在する小血管構造や細胞機能を評価することは非常に重要である. 特に再生医療分野において損傷を受けた様々な臓器の機能復元評価に, 小血管構造, 微小循環の観察は必要とされている. また, 皮膚における悪性度の高いがんの一種である悪性黒色腫(メラノーマ)はどのくらい真皮に深達しているかによって予後が変わってくるため, その正確な広がりや細胞レベルで評価することは重要である.

そのような状況下で, 図1に示されるイメージング技術のギャップ領域を埋めるための方法として, 光音響イメージングに注目が集まっている. この方法は, 光で対象となる生体を励起し, それによって発生する音響波を検出することにより, イメージングを行う方法である. 分子の吸収により光音響波が発生するため, 生体組織の形状を観察するだけでなく, 中身(構成分子)を無染色で観察することができる. 例えば, ヘモグロピンは可視域に大きな吸収を持ち, 造影剤を使用することなく, 血管の走行を観察することができる. さらに, ヘモグロピンは酸素化, 脱酸素化により吸収スペクトルが変化するため, 励起波長を変化させることにより, 動脈と静脈を区別した生体深部の血管走行を観察することが可能である.

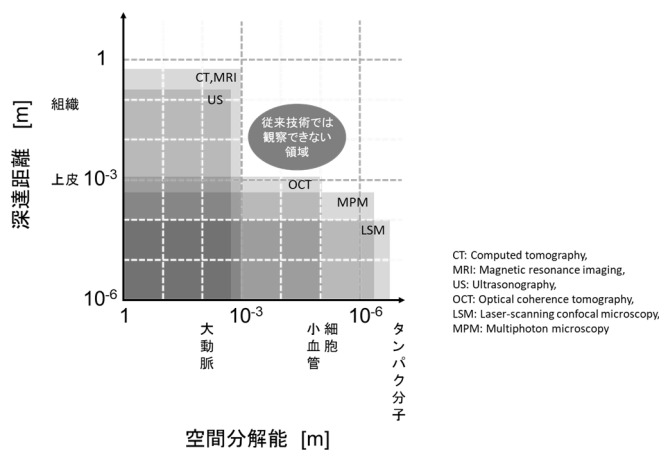


図1 既存の生体イメージング

我々は, 現在までに数mmの生体深さを細胞が観察できる空間分解能で可視化することを目的として, 2光子吸収と光音響効果を組み合わせた2光子光音響顕微鏡を開発してきた. 2光子吸収とは, 2つの光子を同時に吸収することにより, 励起状態に遷移する現象である. そのことにより, 横分解能のみならず, 深さ分解能も光学的に決定することができる. 深さ方向の分解能を光学的に決定することにより, 生体内での減衰の大きい光音響波の高周波成分を使うことなく, 空

間分解能を高くすることができる。すなわち、発生する光音響波の低周波成分を検出することにより、深部観察に有利な方法である。しかしながら、2光子光音響顕微鏡における2光子光音響波の選択的抽出は、十分ではないのが現状である。

2. 研究の目的

そのような状況下で、フェムト秒光パルス列の空間的重なりを変調することにより2光子光音響波を選択的に検出する方法を提案することが目的である。原理を図2に示す。2本のビームの一方を固定し、もう一方を走査すると重なりが変調されるため、光音響波が発生する。また、焦点以外では重なり変調が起こらないため、信号は発生せず、焦点のみで信号を検出することができる。そのため、2光子蛍光顕微鏡で問題となる焦点以外からの信号を除去することができ、コントラストを高いまま、深部観察が可能となる。また変調周波数の高調波成分を検出することにより、2光子吸収による光音響波の歪み成分を取り出すことができ、選択的検出に有効であると考えた。

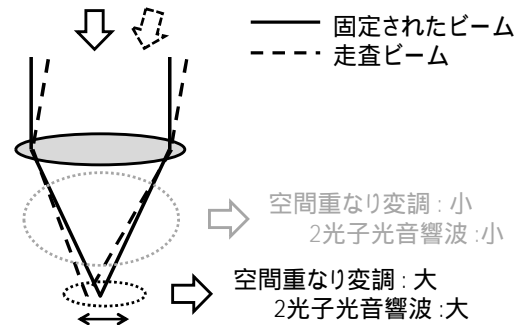


図2 空間重なり変調による2光子光音響波の抽出

3. 研究の方法

空間重なり変調による2光子光音響顕微鏡の試作を行い、その装置を用いて、空間重なり変調により2光子吸収の変化が起こっているのかどうかを評価するために、2光子蛍光の時間変化、平均パワー依存性と発生する光音響波のスペクトルを測定する。その後、最適化された2光子光音響波の選択的検出法を用いて、生体ファントムに対して横方向、深さ方向の光音響プロファイル測定を行う。その結果をもとに、空間重なり変調法による2光子光音響顕微鏡の有効性を評価する。

4. 研究成果

図3に示されるような空間重なり変調による2光子光音響顕微鏡を試作した。本実験では、励起光源としてフェムト秒パルスレーザー (Mai Tai BB; Spectra-Physics) を使用した。2光子吸収は、光子密度の高い状態を物質内に作った場合に起こる現象で、ピークパワーの高いフェムト秒光パルスを高倍率のレンズで絞れば、物質内の光子密度が高くなり、発生確率が高くなる。まず、 $\lambda/4$ 板でレーザーを円偏光にし、偏光ビームスプリッターを用いて水平偏光 (図3) と垂直偏光 (図3) の光路に分割する。対物レンズ通過後、KTN

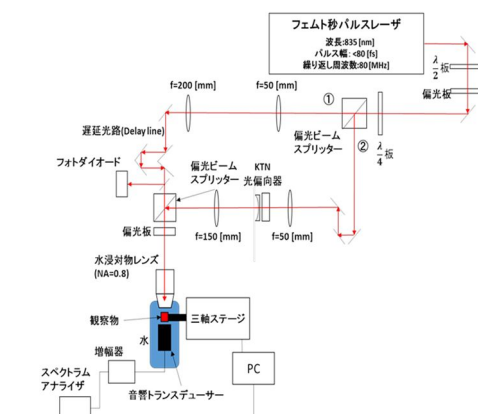


図3 重なり変調による2光子光音響顕微鏡。

偏光器で偏向させない場合は、の2つの光パルスは時間的にも空間的にも重なっている必要があるため、の光路上に遅延光路を設け、光路長が等しく、かつ、空間的にも重なるように調整を行った。の光は偏光板を通過して40倍の水浸対物レンズ (LUMPlanFI/IR;

オリンパス, NA=0.8)に入射し,試料に集光照射する.発生した光音響波を音響トランスデューサで検出し,検出した信号を増幅アンプ(SA-230F5; エヌエフ回路)で増幅した後,スペクトラムアナライザ(MS2721A; アンリツ)で測定を行う.イメージングを行う際は,XYZ軸に移動できるステッピングモーター駆動ステージに試料を固定し,試料の走査を行った.

2光子吸収が空間重なり変調によって変調されているのかどうかを確認するために,近赤外域において2光子吸収断面積の大きい Rhodamine B 溶液に対して発生する蛍光の時間変化を観察した.その結果,蛍光強度は時間変調されており,変調2光子蛍光信号のフェムト秒光パルス列の平均パワー依存性から,2光子蛍光強度は平均パワーの2乗に比例していることが分かった(図4).また,報告されている2光子吸収断面積と光音響信号の波長依存性は一致していた.以上のことから,2光子吸収が空間重なり変調により変調されていることが明らかとなった.

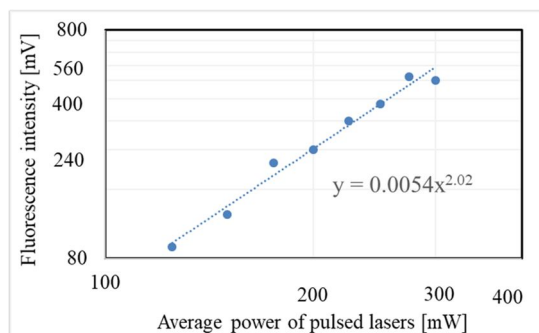


図4 Rhodamine B 溶液蛍光強度の平均パワー依存性.

また,同様の試料を用いて発生する2光子蛍光の時間波形,及び,周波数スペクトルから,KTN 偏向器による変調周波数の2倍の周波数で信号が発生していることが分かった.これは光パルス列の空間重なりが1往復する間に2回重なるため,2倍の周波数になるためであると推察された.また,KTN 偏向器に印加する電圧により,ビームの変位が変化しますが,印加電圧が大きすぎると2つのビームが重なっている時間が短いため,変調周波数の2倍の成分が小さくなり,また,印加電圧が小さすぎると空間重なり変調が起こらない.2光子蛍光の変調周波数の2倍の成分の印加電圧依存性から,今回の試作した光学系における最適な KTN 偏向器への印加電圧を 50V と決定した.

最適化された測定光学系を用いて Rhodamine B 溶液に対して空間重なり変調によって発生する光音響波のスペクトルを測定した.結果として,蛍光測定と同様に,変調周波数の2倍の周波数を有する光音響波が確認された.この結果は,変調周波数の2倍周波数を選択的に検出することにより,焦点近傍の2光子光音響波を選択的に測定できることを意味する.また,Rhodamine B 溶液を入れたガラスセルに対して横方向と深さ方向に焦点を移動させた場合の光音響プロファイルを図5に示す.この図から分かるように,焦点が Rhodamine B 溶液内にある場合のみ,信号が発生している.通常,光音響信号は焦点の位置に関係なく発生するため,焦点位置によって信号強度はあまり変化がない.しかしながら,今回得られた信号は深さ位置依存性があり,そのことは2光子吸収による光音響波発生を意味する.以上の結果から,空間重なり変調による2光子光音響顕微鏡により,深さ分解能を持つ可視化が可能であることを明らかにした.

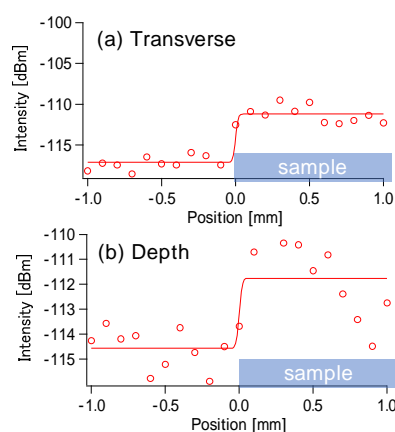


図5 空間重なり変調による2光子光音響(a)横プロファイルと(b)深さプロファイル.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10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 1件）

1. 著者名 Notsuka Yusuke, Kurihara Makoto, Hashimoto Nobuyuki, Harada Yoshinori, Takahashi Eiji, Yamaoka Yoshihisa	4. 巻 30
2. 論文標題 Improvement of spatial resolution in photoacoustic microscopy using transmissive adaptive optics with a low-frequency ultrasound transducer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 2933 ~ 2933
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.446309	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 Yoshihisa Yamaoka	4. 巻 50
2. 論文標題 Preface to Special Issue on Laser Technology for Medical Care in the Post-Corona Era	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The review of Laser Engineering	6. 最初と最後の頁 66-67
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 Yasin Amina, Nair Vijayakumar S., Ab Rahim Mohd Hasbi, Yamaoka Yoshihisa, Yelleswarapu Chandra S., Jose Rajan	4. 巻 9
2. 論文標題 Structural parameters <i>versus</i> third-order optical susceptibility of zinc porphyrin molecules	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 17461 ~ 17470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TC04777A	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 山岡禎久	4. 巻 48
2. 論文標題 光音響顕微鏡による皮膚血管走行の可視化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 660 ~ 664
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 Yamasumi Kazuhisa, Notsuka Yusuke, Yamaoka Yoshihisa, Mori Shigeki, Ishida Masatoshi, Furuta Hiroyuki	4. 巻 26
2. 論文標題 Synthesis of Helically Extended N Confused Porphyrin Dimer via meso Bipyrrole Bridge with Near Infrared II Absorption Capability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 13590 ~ 13594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202002406	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 Wang Yue, Ogasahara Koki, Tomihama Daisuke, Mysliborski Radomir, Ishida Masatoshi, Hong Yongseok, Notsuka Yusuke, Yamaoka Yoshihisa, Murayama Tomotaka, Muranaka Atsuya, Uchiyama Masanobu, Mori Shigeki, Yasutake Yuhsuke, Fukatsu Susumu, Kim Dongho, Furuta Hiroyuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Near Infrared III Absorbing and Emitting Dyes: Energy Gap Engineering of Expanded Porphyrinoids via Metallation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 16161 ~ 16166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202006026	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 Yamaoka Yoshihisa, Funatsu Kaito, Yoshidumi Yuta, Kubo Akari, Notsuka Yusuke, Takahashi Eiji	4. 巻 59
2. 論文標題 A compact scanning probe for photoacoustic microscopy using ultrasonic actuator stage	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 030906 ~ 030906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ab7061	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 Notsuka Yusuke, Kurihara Makoto, Hashimoto Nobuyuki, Takahashi Eiji, Yamaoka Yoshihisa	4. 巻 11240
2. 論文標題 In vivo visualization of blood vessels in mouse ear by photoacoustic microscopy with transmissive liquid-crystal adaptive optics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 1124039
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2545777	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 Shimomura Keito, Kai Hiroto, Nakamura Yuma, Hong Yongseok, Mori Shigeki, Miki Koji, Ohe Kouichi, Notsuka Yusuke, Yamaoka Yoshihisa, Ishida Masatoshi, Kim Dongho, Furuta Hiroyuki	4. 巻 142
2. 論文標題 Bis-Metal Complexes of Doubly N-Confused Dioxohexaphyrins as Potential Near-Infrared-II Photoacoustic Dyes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 4429 ~ 4437
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b13475	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 Wang Yue, Kai Hiroto, Ishida Masatoshi, Gokulnath Sabapathi, Mori Shigeki, Murayama Tomotaka, Muranaka Atsuya, Uchiyama Masanobu, Yasutake Yuhuke, Fukatsu Susumu, Notsuka Yusuke, Yamaoka Yoshihisa, Hanafusa Mamiko, Yoshizawa Michito, Kim Gakhyun, Kim Dongho, Furuta Hiroyuki	4. 巻 142
2. 論文標題 Synthesis of a Black Dye with Absorption Capabilities Across the Visible-to-Near-Infrared Region: A MO-Mixing Approach via Heterometal Coordination of Expanded Porphyrinoid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 6807 ~ 6813
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.0c01824	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

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 金子昂司, 能塚雄介, 前原正司, 浜野修次郎, 山岡禎久
2. 発表標題 2光子光音響信号選択的抽出法による深さ断面プロファイルの評価
3. 学会等名 第1回 バイオメディカル・フォトンクス先端技術の応用に向けた協同研究委員会 (第 期)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉積雄太, 能塚雄介, 山岡禎久
2. 発表標題 医療応用へ向けた小型走査型光音響イメージングプローブの開発
3. 学会等名 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 能塚雄介, 栗原誠, 橋本信幸, 石田真敏, 山岡禎久
2. 発表標題 透過型液晶補償光学素子を用いた2光子光音響顕微鏡による血管断面像観察
3. 学会等名 第16回光音響イメージング技術専門委員会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 池下彰一, 能塚雄介, 波田悠暉, 濱野純, 山岡禎久
2. 発表標題 がん広がり診断へ向けた内在性分子からの光音響信号測定
3. 学会等名 2021年度 日本生体医工学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林知志, 山岡禎久
2. 発表標題 空間重なり変調法を用いた2光子励起顕微鏡の高深達距離化に向けた基礎的検討
3. 学会等名 2021年度 日本生体医工学会九州支部学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 能塚 雄介, 栗原 誠, 橋本 信幸, 金子 昂司, 山岡 禎久
2. 発表標題 透過型液晶補償光学素子を用いた2光子光音響顕微鏡の高感度化
3. 学会等名 レーザ顕微鏡研究会 第46回 講演会・シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 濱野純, 能塚雄介, 山岡禎久
2. 発表標題 生体深部可視化へ向けた円二色性光音響スペクトル評価
3. 学会等名 電気学会バイオメディカル研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 能塚 雄介, 栗原 誠, 橋本 信幸, 山岡 禎久
2. 発表標題 透過型液晶補償光学素子を用いた2光子光音響イメージング
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koki TSUCHIYA, Hideo TAKAKURA, Yusuke NOTSUKA, Yoshihisa YAMAOKA, Mikako OGAWA
2. 発表標題 Photoacoustic Imaging of Cancer Cells using pH-Activatable Imaging Agents
3. 学会等名 31st International Symposium on Pharmaceutical and Biomedical Analysis (PBA2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 濱野 純, 能塚 雄介, 高橋 英嗣, 山岡 禎久
2. 発表標題 円偏光ビームを用いた光音響イメージング装置の開発
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金子 昂司, 前原 正司, 浜野 修次郎, 高橋 英嗣, 山岡 禎久
2. 発表標題 2光子光音響波選択検出のための信号差分抽出法の検証
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 能塚 雄介, 栗原 誠, 橋本 信幸, 高橋 英嗣, 山岡 禎久
2. 発表標題 透過型液晶補償光学素子を用いたin vivo高NA光音響顕微鏡の空間分解能向上
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上 翔太, 能塚 雄介, 高橋 英嗣, 山岡 禎久
2. 発表標題 血管走行可視化を目指した波形相互相関光音響イメージング
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山岡 禎久
2. 発表標題 非線形光学現象を融合させた光音響顕微鏡の開発
3. 学会等名 オプトシンフォニズム公開シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉積 雄太, 能塚 雄介, 高橋 英嗣, 山岡 禎久
2. 発表標題 超音波アクチュエータステージを用いた光音響顕微鏡システムの構築および性能評価
3. 学会等名 光・量子デバイス研究会「バイオメディカルフォトンクス応用」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岡 禎久
2. 発表標題 生体深部血管走行評価に向けた光音響顕微鏡の高性能化
3. 学会等名 第45回日本乳腺甲状腺超音波医学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山岡 禎久, 能塚 雄介, 吉積 雄太, 松本 航希, 宇野 和樹, 高橋 英嗣
2. 発表標題 光音響顕微鏡の小型化, 高空間分解能化, 高コントラスト化への取り組み
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第40回年次大会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本 航希, 高橋 英嗣, 山岡 禎久
2. 発表標題 光音響イメージングへの応用を目指したKTN 光偏向器を用いた重なり変調法の基礎的検討
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 能塚 雄介, 栗原 誠, 橋本 信幸, 高橋 英嗣, 山岡 禎久
2. 発表標題 透過型液晶補償光学素子を用いた光音響顕微鏡による in vivo マウス耳内部血管走行観察
3. 学会等名 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山岡禎久, 船津海斗, 能塚雄介, 高橋英嗣
2. 発表標題 超音波アクチュエータステージを用いた光音響顕微鏡の小型化
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上翔太, 能塚雄介, 高橋英嗣, 山岡禎久
2. 発表標題 光音響イメージングにおける信号対雑音比向上のための波形相互相関法
3. 学会等名 電気学会バイオメディカル・フォトニクス先端技術の応用に向けた協同研究委員会 第1回研究会「バイオメディカルフォトニクス応用」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 東祐希, 能塚雄介, 高橋英嗣, 山岡禎久
2. 発表標題 血管走行可視化のための光音響LED励起光源の最適化
3. 学会等名 2019年度第4回光超音波画像研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihisa Yamaoka, Koki Matsumoto, Yusuke Notsuka, Eiji Takahashi
2. 発表標題 Photoacoustic microscopy by spatial overlap modulation using femtosecond optical pulse train
3. 学会等名 Photonics West BiOS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusuke Notsuka, Makoto Kurihara, Nobuyuki Hashimoto, Eiji Takahashi, Yoshihisa Yamaoka
2. 発表標題 In vivo visualization of blood vessels in mouse ear by photoacoustic microscopy with transmissive liquid-crystal adaptive optics
3. 学会等名 Photonics West BiOS 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020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
---------	---------