

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02151

研究課題名（和文）生体内3次元構造全体のナノ振動計測を指向した光断層撮像システムの開発

研究課題名（英文）Development of optical tomographic imaging system for in-vivo nano-vibration measurement of whole 3D structure in biological tissue

研究代表者

崔 森悦（Choi, Samuel）

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：60568418

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、生体内3次元構造全体のナノ振動計測を指向した光断層撮像システムの開発を目指し、主に3段階の開発を進めた。まず3次元の生体断層スキャンと共に振動分布を計測できるヘテロダインコヒーレンスマイクロスコープの原理の検証実験によってその有用性を示し、次にコム発生器を用いた装置を構築した。20MHzスキャンレートの超高速計測を実現することで深さ分布と共に振動様態の過渡的な計測が可能な手法を提案した。最後に同光源を干渉顕微鏡に適用し、数百 μm ～mmの深さ範囲で高精度な3次元計測が可能な装置を製作した。生体の3次元断層と振動の空間的分布を約1秒で計測・可視化可能な新手法の可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メカノバイオロジー分野において、生体内振動現象を3次元的に捉え解析する手法や装置の開発が必須である。また、生体計測分野のみならず、広い範囲の高速なナノ振動の計測と可視化はMEMSや工業製品検査などの生産現場における品質管理等、多岐に渡って重要な課題である。本研究では、これらの社会的要望に対して、光コムを用いた新たな計測手法を提案し、3次元断層計測と振動計測を同時に可能とする装置の開発を進めた。これらの技術が今後社会インフラや工業生産分野、また生体計測分野へ及ぼす波及効果は大きい。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to develop an optical tomography imaging system oriented to nano-vibration measurement of the entire 3D structure at the biological tissue. First, we proposed the principle of a heterodyne coherence microscope that can measure the vibration distribution along with a three-dimensional tomographic scan, and demonstrated its usefulness through validation experiments. Next, we constructed a system using a DD-MZM comb generator and proposed a method to realize ultra high-speed measurement at a scan rate of 20 MHz, which enables transient measurement of the vibration state as well as depth profile. Furthermore, by applying the same light source to a spatial interference microscope, it was shown that 3D measurements with nano-order precision over a wide depth range of several hundred micrometers to millimeters are possible. The possibility of the proposed method was demonstrated.

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：光コム 干渉計測 光コヒーレンストモグラフィ スーパーコンティニウム光

1. 研究開始当初の背景

生体組織の構成要素を「細胞レベル」で描出し、その高速ナノ振動を広範囲において追尾する必要がある。本研究では、これらの要望に対して 3 次元ボリューム全体の断層構造と振動様態の同時計測を実現する新規イメージング装置の開発を目指す。そのためには、「光コム」の電子的走査を用いた断層振動イメージング装置を提案する必要がある。そこで、我々は、光源である超広帯域光コムの周波数間隔と波長を巧みに操作することで、測定対象の 3 次元断層と振動分布を同時に計測し可視化する方法と、周波数間隔の高速掃引によってプローブ光の当たる領域における超音波振動の深さ分布をリアルタイムで計測する方法を開発する。

2. 研究の目的

聴覚における鼓膜や感覚上皮帯の微小振動など、多岐に渡る生体振動現象を「生きた」状態で可視化できれば、それらの破綻である病態や疾患の仕組みが明らかにされる。本研究では、生体組織の構成要素を「細胞レベル」で描出し、その高速ナノ振動を広範囲において追尾するために、「光コム」を用いた先端的断層振動イメージング装置を創出する。この装置は、超広帯域光コムの周波数間隔と波長を巧みに操作することで測定対象の 3 次元断層と振動分布を同時に計測し可視化できる。装置開発と並行して、医学系研究者との協働により生きた動物の感覚上皮帯を計測しながら本装置を最適化・調整する。また、この装置から得られた 3 次元データの効率的な雑音除去と解析のために、機械学習とスパース表現を用いた革新的な信号復元法を適用する。以上の研究体制により医学応用可能な 3 次元生体内振動イメージング手法を確立する。

3. 研究の方法

本研究では、生体内 3 次元構造全体のナノ振動計測を指向した光断層撮像システムの開発を目指し、主に 3 種類の計測手法を段階的に発展させた。最初に 3 次元の生体断層スキャンと共に振動分布を計測できるヘテロダイン・コヒーレンス・干渉顕微鏡計測法(4. 研究成果の)の原理を提案し検証実験を行って有用性を示した。また、機械学習を用いた効率的な新規ノイズ除去技術を導入して、効率的な断層像の鮮明化に取り組んだ。次に、DD-MZM(Dual drive Mach-Zehnder modulator)型の EO(Electro-optics)コム発生器から生成したマルチギガヘルツコムを用いた超高速断層振動計測装置(4. 研究成果の)を構築し、20MHz スキャンレートの超高速計測を実現することで深さ分布と共に振動様態の過渡的な計測が可能なる手法を提案した。更に、同光源を干渉顕微鏡に適用し光コム広視野断層振動計測装置(4. 研究成果の)を製作した。検証実験の結果、数百 μm ~ mm の広い深さ範囲でナノオーダーの高精度な 3 次元断層計測が可能であることが示された。生体の 3 次元断層と振動振幅の空間的分布を約 1 秒で計測して可視化可能な新手法の可能性を示した。

4. 研究成果

3 次元立体構造全体の計測を目指したヘテロダイン・コヒーレンス干渉顕微鏡計測法の提案

先行研究での *en-face* OCT による 2 次元振動計測については、特定の深さのみの平面に限られていた。そのため、最初に断層を撮像してデータを 3 次元構築したのちに、標的平面を決める必要があった。従って、振動計測モードに移るまでに時間がかかり、動物の状態が刻々と変化する *in vivo* 計測では、標的平面を的確に把握することが難しかった。

そこで、立体構造全体の概略的な 3 次元振動分布を、断層像と共に迅速に計測・可視化できる、ヘテロダイン・コヒーレンス干渉顕微鏡計測法を提案した。この方式により、対象物全体に対し 1 回のスキャンの中で標的平面を即座に決められるようになり、内耳蝸牛間隔上皮帯等の生体計測において、迅速に振動計測モードへと移行できることが期待された。

当装置の干渉計部の参照アームには、深さ方向のスキャンを担う可動部と、高速で正弦波振動する参照ミラーが搭載された。検証実験では、参照ミラーに取り付けられたピエゾ素子により、参照光の位相を 40 kHz で変調させた。高速 CMOS カメラによって *en-face* 断層振動を撮像した。

原理確認実験として、測定物体をピエゾ素子により周波数 35 ~ 43 kHz の範囲で振動するガラス板とし、計測を行った。その結果、各ピクセルで得られる干渉信号を短時間フーリエ解析することで、掃引による干渉縞のキャリア周波数成分と振動による差周波成分によって生じる側帯波との信号強度比から、測定物体の深さ位置ごとの 2 次元振動振幅分布を求めることができた。深さ 1 mm の範囲の計測時間は 0.25 秒 (撮像速度: 20,000 フレーム/秒、撮像枚数: 5,000 フレーム/スキャン) を達成し、検出可能な最小振動振幅は約 25 nm、標準偏差による測定精度は約 7 nm と見積もられた (図 1)。すなわち、本手法では、3 次元立体構造全体の微小な超音波域高速振動を 20 ~ 30 nm の検出感度で可視化できることが示された。つまり、感覚上皮帯の精密な計測には不十分な性能であるが、測定領域全体の大まかな振動分布を把握する用途として有用であることが示唆された。以上の成果をまとめ、論文投稿準備中である。

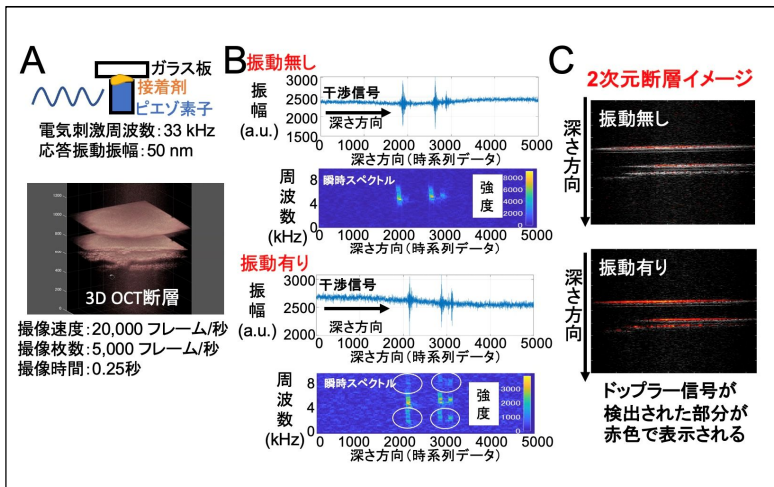


図 1 ヘテロダイン・コヒーレンス干渉顕微鏡計測法の概要
 (A) 測定試料 (ピエゾ素子に接着されたガラス板) の模式図 (上半分)、3 次元断層撮像写真 (下半分) (B) 振動刺激の無し、有り、それぞれの条件下で得られた干渉信号の短時間フーリエ解析結果の比較。例として xy 平面のある一点での信号を示した。(C) 断層像に振動振幅分布情報をオーバーレイした xz 平面 2 次元断層イメージ。振動が生じている部分が赤く着色されている。

更に、干渉顕微鏡での en-face 計測における信号雑音を除去するために、機械学習による新たな手法を提案した。標本が生きているがゆえに、撮像データには、光乱反射や試料の動きによるノイズ成分、測定深度と対物レンズの焦点距離とのずれが含まれる。それらを効率的に除去するため、反復的な逐次計算によって不完全なデータから画像を再構成する、新たな画像復元法を創出した。ここでは、なるべく単純で疎、つまりは“スパース”な表現で画像を表すパラメータ群 (特徴的な干渉信号の形) を探し、決定する。新技術では、既知のデータを学習した上で、自動構築して得た観測波形モデルを採用し、ノイズに埋もれた反射点の自動検出に利用した。生体の屈折率分布はほとんど実際の組織の形状を反映するという事前知識を反射点の検出条件として、主-双対近接分離法による逐次計算を実行した。最初に、生体以外の非生物の散乱体の観測から、干渉信号の「形 (またはパターン)」を同定した。しかし、この実験において、OCT による断層撮像の工程である参照ミラーのスキャンに必要なピエゾ素子の動作に歪みが生じていることが判明した。そして、この歪みが計算解析における障害となったので、補正した上で、シミュレーションと実験の両方で有効性を確認した。次に、干渉信号と生体の持つ屈折率分布の特徴を同時に考慮した最適化計算により、干渉信号に似た信号のみをマウスの感覚上皮帯データから回収し、3 次元画像を復元した (図 2)。この手法は、人の手によらない画像の先鋭化とノイズ除去を可能とした。以上の成果を *IEEE Transactions on Computational Imaging* へ投稿した。

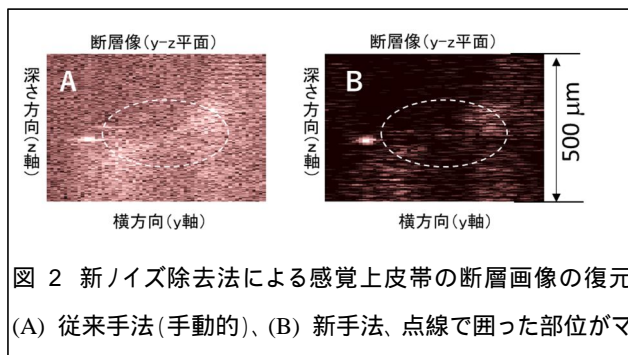


図 2 新ノイズ除去法による感覚上皮帯の断層画像の復元 (A) 従来手法 (手動的)、(B) 新手法、点線で囲った部位がマ

マルチギガヘルツ EO コムを用いた超高速断層振動計測装置

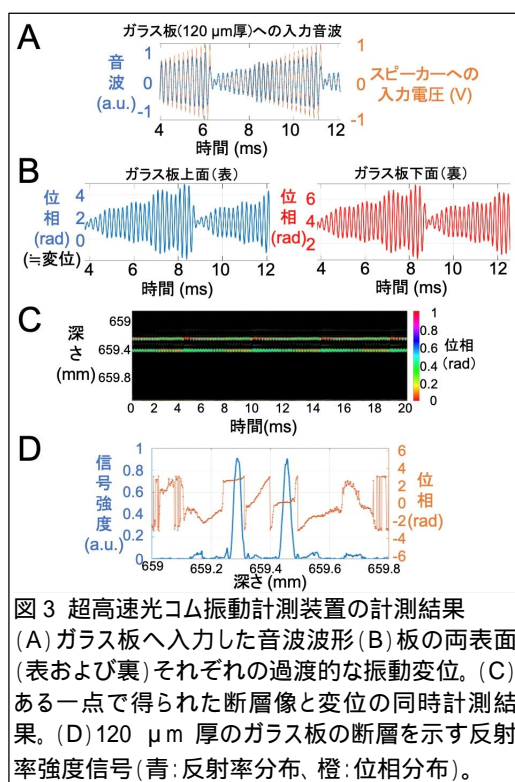
(1) 広帯域マルチギガヘルツ EO コムの実現

R2 年度からは電子制御性の超広帯域光コム光源を開発し、本格的に振動計測への応用を試みた。マルチギガヘルツコム光源では、コム間隔を高速かつ精密に直接制御でき、先行研究の OCT 装置に搭載されていたファブリペロフィルタを機械的に動かして光コムを調節する方法より、深さ方向に対し格段に速いスキャンと正確な位置情報の取得が実現された。

種光源として 1,550 nm の波長可変半導体レーザを用いた。コム状のスペクトルを発生する機器として DD-MZM を導入した。光コムの 10 GHz コム間隔を生成するために Radio frequency (RF) 信号を発生する特殊装置 (高周波 RF 信号発生器) を用いた。この信号発生器では、20 MHz までの周波数変調が可能であるため、創製した超広帯域光コム光源を用いることで MHz オーダーの超高速計測が実現できた。得られた光コムは、高出力 Er 添加ファイバ増幅器と非線形分散補償ファイバから構成される広帯域化機構を通して帯域を広げることができた。最終的に、周波数間隔が 10 GHz となる光コムを、帯域 45 nm に渡って生成できた (コムの強度が -10 dB まで減少する幅を帯域とした場合)。この光のコヒーレンス波形の半値全幅は約 50 μm (OCT の分解能としては約 25 μm) まで狭細化できた。従って、1 秒間に 2 千万回の深さ方向スキャンが可能で、かつ、1 スキャンごとにナノレベルの変位が検出できる、「過渡的変位」を検出可能な超高速 OCT 装置が実現可能になった。

(2) 超高速光コム振動計測装置の製作

R2 年度以降は、上記の広帯域光コム光源を用いてプロトタイプの計測系を構築し、さらなる振動計測への可能性を模索した。検証実験によって、「スキャンレートが最高 20 MHz までの超高速計測」、「変位の検出感度 0.9 nm (非生物)」、及び「繰り返しの振動だけでなく過渡的な変化を計測」の優れた特徴を示した。先行研究で困難であった過渡的振動現象の追従と、深さ方向の振動分布の計測が実現し、本装置を用いることで、z 方向の断層と振動の同時計測が可能となった。



以上の成果を、Choi et al., *Opt Express* 29(11):16749-16768 (2021) に出版した。

(3) 光コム広視野断層振動計測装置の製作

さらに、「超広帯域光コム光源」と先行研究の「*en-face* OCT 装置」を融合した「光コム *en-face* 振動計」を構築した。この装置は、3 次元立体全体の振動計測を指向した一括計測を目的とした。図 5 にその実験系と結果を示す。先述の超広帯域光コム光源からの光を倍率 10 倍の対物レンズ (OPTEM 10X M PLAN) とマイケルソン干渉計で構成された干渉顕微鏡に入射した。検出器として 865 フレーム/秒、640 \times 512 画素の高速赤外カメラ (Cheetah-640-CL, Xenics) を用いた。計測時には、参照ミラーをピエゾ素子によって正弦波状に 108.125 Hz で振動させ、位相変調信号が光コムによる高次の低コヒーレンス干渉振幅に印加されるように設定した。コム間隔を掃引した際の干渉信号をフーリエ解析することで、振幅分布とそのピーク点での位相値を求めた。この干渉ピーク点から物体反射位置が μm の精度で得られた。さらに、位相値から nm 精度で物体表面の微小変位が求まった。これらは対物レンズと赤外カメラによって xy 平面一括で検出されるので、1 回のスキャンで 3 次元の形状計測が可能となった。これは同時に、電子的で正確なコム間隔掃引によって

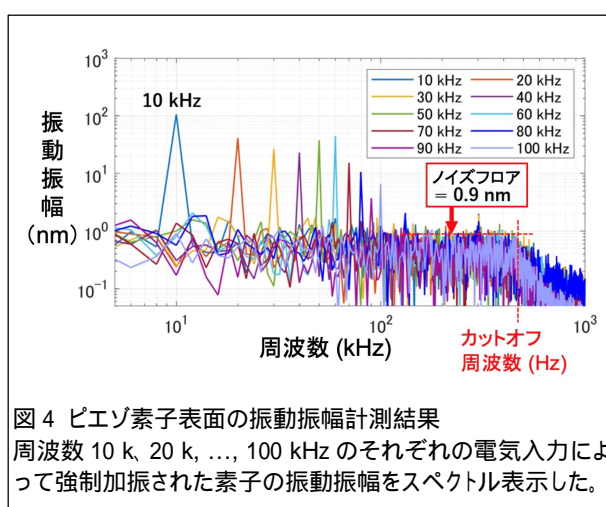


図 3 に超高速光コム振動計測装置の計測結果を示す。検証実験では、スピーカーからの音波によって 1 kHz 及び 10 kHz で振動する厚さ 0.12 mm のガラス膜の過渡的な断層・振動を計測した。さらに、図 4 に周波数 10 kHz から 100 kHz まで印加したときのピエゾ素子表面の過渡的振動計測の結果を示す。超音波の領域においてもピエゾ素子の表面位置の挙動を 0.9 nm 精度で観測することができた。

数 mm の領域でナノレベルの精密計測が可能となることを意味し、 で開発したヘテロダイン位相変調技術を導入することで、将来的に振動分布の計測も可能となると示唆された。

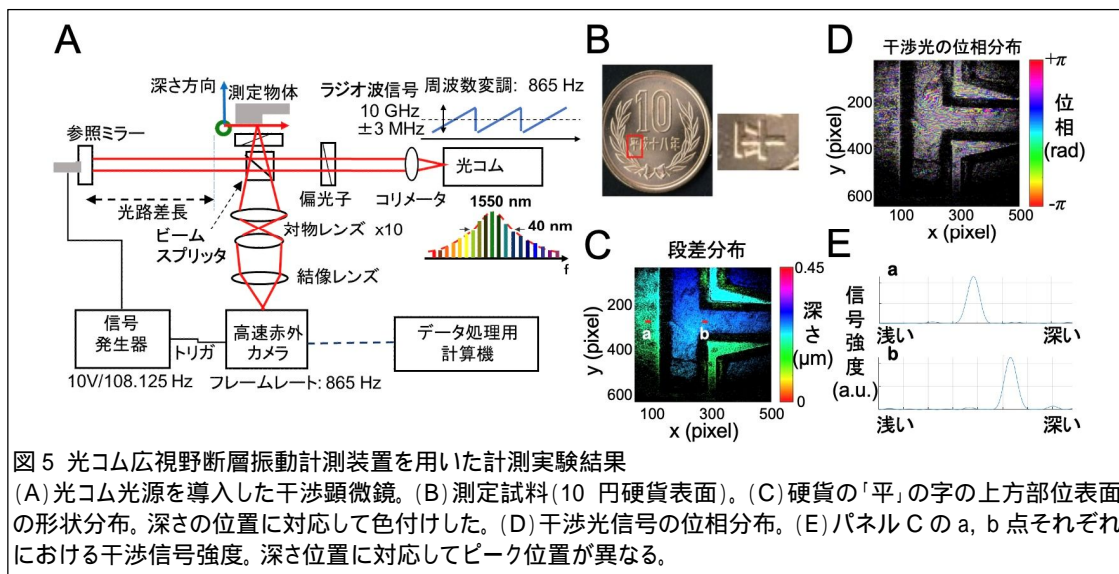


図5 光コム広視野断層振動計測装置を用いた計測実験結果

(A) 光コム光源を導入した干渉顕微鏡。(B) 測定試料(10 円硬貨表面)。(C) 硬貨の「平」の字の上方部位表面の形状分布。深さの位置に対応して色付けした。(D) 干渉光信号の位相分布。(E) パネル C の a, b 点それぞれにおける干渉信号強度。深さ位置に対応してピーク位置が異なる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 4件）

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Zhang K, Choi S, Sasaki O, Luo S, Suzuki T, Liu Y and Pu J. | 4. 巻 3 |
| 2. 論文標題 Shape measurement of large thickness glass plates with a white-light scanning interferometer using a compensation glass and a fixed reference surface. | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Engineering Research Express | 6. 最初と最後の頁 25044 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2631-8695 | 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 |
| 1. 著者名 Zhang K, Choi S, Sasaki O, Luo S, Suzuki T, Liu Y, and Pu J. | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 Large thickness measurement of glass plates with a spectrally resolved interferometer using variable signal positions. | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 OSA continuum | 6. 最初と最後の頁 1792-1800 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OSAC.417141 | 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 Choi S, Ota T, Nin F, Shinoda T, Suzuki T, Hibino H. | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 Rapid optical tomographic vibrometry using swept multi-gigahertz comb | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Optical Express | 6. 最初と最後の頁 16749-16768 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.425972 | 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 Zhang K, Choi S, Sasaki O, Luo S, Suzuki T and Pu J. | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Measurement of phase refractive index directly from phase distributions detected with a spectrally resolved interferometer | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Applied Optics | 6. 最初と最後の頁 10009-10015 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.438267 | 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 Suzuki T, Kaneko Y, Choi S, and Sasaki O. | 4. 巻 47 |
| 2. 論文標題 External-cavity laser diode using acousto-optic deflector as tunable grating | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Optics Letters | 6. 最初と最後の頁 1871-1874 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OL.454021 | 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 Takamasa Suzuki, Jiro Shimazaki, Osami Sasaki, Samuel Choi | 4. 巻 12057 |
| 2. 論文標題 Optical coherence tomography using nonstationary signal processing based on continuous wavelet transform | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Proc. SPIE | 6. 最初と最後の頁 120574L |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2606987 | 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 Nin F, Choi S, Ota T, Qi Z, and Hibino H | 4. 巻 28 |
| 2. 論文標題 Optimization of spectral-domain optical coherence tomography with a supercontinuum source for in vivo motion detection of low reflective outer hair cells in guinea pig cochleae | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Optical Review | 6. 最初と最後の頁 239-254 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10043-021-00654-8 | 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 崔 森悦, 任 書晁, 太田 岳, 佐藤 洸平, 村松 正吾, 日比野 浩 | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 生体振動のen-face可視化: 内耳感覚上皮帯の振動を見る光断層振動撮像顕微鏡 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 光学 | 6. 最初と最後の頁 247 |
| 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 Luo S, Suzuki T, Sasaki O, Choi S, Chen Z, and Pu J. | 4. 巻 58 |
| 2. 論文標題 Signal correction by detection of scanning position in a white-light interferometer for exact surface profile measurement | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Applied Optics | 6. 最初と最後の頁 3544-3588 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.58.003548 | 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 Choi S, Nin F, Ota T, Sato K, Muramatsu S, and Hibino H | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 In vivo tomographic visualization of intracochlear vibration using a supercontinuum multifrequency-swept optical coherence microscope | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Biomedical Optics Express | 6. 最初と最後の頁 3317-3342 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/BOE.10.003317 | 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 Ohara Y, Suzuki T, Choi S, Sasaki O. | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Vibration distribution measurement using downsampling phase-shifting interferometer | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Optics Engineering | 6. 最初と最後の頁 34112 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/1.OE.59.3.034112 | 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 Ota T, Nin F, Choi S, Muramatsu S, Sawamura S, Ogata G, P. Sato M, Doi K, Doi K, Tsuji T, Kawano S, Reichenbach T, Hibino H. | 4. 巻 472 |
| 2. 論文標題 Characterisation of the static offset in the travelling wave in the cochlear basal turn | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Pflugers Archiv - European Journal of Physiology | 6. 最初と最後の頁 625-635 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00424-020-02373-6 | 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 該当する |

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Gai YAMAMOTO, Yuya KODAMA, Shogo MURAMATSU, Samuel CHOI, Gwanggil JE |
| 2. 発表標題 Acceleration of PDS-Based High-Dimensional Signal Restoration |
| 3. 学会等名 APSIPA Annual Summit and Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takamasa Suzuki, Jiro Shimazaki, Osami Sasaki, Samuel Choi |
| 2. 発表標題 Optical coherence tomography using nonstationary signal processing based on continuous wavelet transform |
| 3. 学会等名 Twelfth International Conference on Information Optics and Photonics (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉水 海斗、大田 岳、任 書晃、日比野 浩、鈴木 孝昌、崔 森悦 |
| 2. 発表標題 低コヒーレンス・ヘテロダイン干渉顕微鏡を用いた3次元断層振動計測 |
| 3. 学会等名 Optics Photonics Japan2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 山崎 拓朗、崔 森悦、吉水 海斗、鈴木 孝昌、塩田 達俊、日比野 浩 |
| 2. 発表標題 光コムを用いた位相変調干渉顕微鏡によるフルフィールド断層計測 |
| 3. 学会等名 Optics Photonics Japan2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 崔 森悦、大田 岳、日比野 浩、鈴木 孝昌、塩田 達俊 |
| 2. 発表標題 広帯域GHz光コムを用いた高速断層振動計測 |
| 3. 学会等名 Optics Photonics Japan2021 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 吉水 海斗、崔 森悦、太田 岳、任 書晃、日比野 浩 |
| 2. 発表標題 多波長走査型OCMの広視野一括振動計測の性能評価と測定感度の向上 |
| 3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 崔 森悦、大和田 悠斗、鈴木 孝昌、田中 洋介、日比野 浩 |
| 2. 発表標題 周波数間隔可変広帯域光コムを用いた高速干渉計測法 |
| 3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 崔 森悦、村松正吾、任 書晃、太田 岳、日比野 浩 |
| 2. 発表標題 高速度カメラを用いたフルフィールドOCT顕微鏡と内耳振動可視化 |
| 3. 学会等名 情報センシング研究会 (IST) (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 崔森悦 |
| 2. 発表標題 生体からインフラ分野まで応用できる非接触・形状・断層・振動計測技術 |
| 3. 学会等名 新潟大学新技術説明会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 太田 岳、任 書晃、崔 森悦、日比野 浩 |
| 2. 発表標題 内耳感覚上皮ナノ振動の計測とその制御機構の解析 |
| 3. 学会等名 2020(令和2)年度生理研研究会 生体コモンスペース研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Choi S, Nin F, Ota T, and Hibino H |
| 2. 発表標題 In-vivo tomographic visualization of intracochlear vibration using supercontinuum multifrequency-swept optical coherence microscope |
| 3. 学会等名 OPIC2019 The 8th Advanced Laser and Photon Sources(招待講演)(国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 吉田祐太, 藤井元暉, 村松正吾, 崔森悦, 小野峻佑, 太田岳, 任書晃, 日比野浩 |
| 2. 発表標題 3次元非分離冗長重複変換によるOCTボリュームデータ復元 |
| 3. 学会等名 電子情報通信学会信号処理研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Choi S, Nin F, Ota T, Sato K, and Hibino H |
| 2. 発表標題 Intracochlear vibration measurement using supercontinuum multifrequency-swept optical coherence microscope |
| 3. 学会等名 Optical Design and Fabrication 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 任書晃, 太田岳, 崔森悦, 日比野浩 |
| 2. 発表標題 改良型イメージング振動計測装置による内耳感覚上皮帯のナノ振動の深度分布 |
| 3. 学会等名 生体コモンスペース研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 太田岳, 任書晃, 崔森悦, 日比野浩 |
| 2. 発表標題 音に呼応する内耳感覚上皮帯の非典型的な動きとその分析 |
| 3. 学会等名 NEURO2019 (第42回日本神経科学大会、第62回日本神経化学学会大会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Choi S, Muramatsu S, Ota T, Nin F, Suzuki T, Hibino H |
| 2. 発表標題 Volumetric data restoration of inner ear sensory epithelia based on sparse modeling with multifrequency swept optical coherence microscope |
| 3. 学会等名 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 日比野浩, 太田岳, 崔森悦, 任書晃 |
| 2. 発表標題 改良型光学振動計による内耳ナノ振動の解析 |
| 3. 学会等名 シンポジウム「メカノバイオロジー研究の新展開 - “力”による生命現象制御の理解深化に向けて -」: 第92回日本生化学会大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 任書晃, 太田岳, 崔森悦, 日比野浩 |
| 2. 発表標題 内耳感覚上皮帯を構成する外有毛細胞のナノ振動動態の同定 |
| 3. 学会等名 生理学研究所研究会「シグナル動態の可視化と操作に基づく多階層機能解析の新展開」 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 任書晃, 太田岳, 崔森悦, 日比野浩 |
| 2. 発表標題 内耳の感覚上皮帯を構成する有毛細胞のナノ動態の同定, |
| 3. 学会等名 日本薬理学会北部会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Suzuki T, Liu B, Choi S |
| 2. 発表標題 3D thickness measurement using pulse-driven optical coherence tomography based on wavelet transform |
| 3. 学会等名 SPIE Applied Optical Metrology III (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Fujii G, Yoshida Y, Muramatsu S, Ono S, Choi S, Ota T, Nin F, Hibino H |
| 2. 発表標題 OCT Volumetric Data Restoration with Latent Distribution of Refractive Index |
| 3. 学会等名 2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 任書晃, 太田岳, 崔森悦, 日比野浩 |
| 2. 発表標題 内耳の感覚上皮帯を構成する外有毛細胞のナノ動態の同定 |
| 3. 学会等名 中部日本生理学会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Choi S, Ota T, Nin F, Muramatsu S, and Hibino H |
| 2. 発表標題 En-face multifrequency-swept optical coherence microscope for in vivo intracochlear vibration visualization |
| 3. 学会等名 ISOM ' 19 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Nin F, Ota T, Choi S, Hibino H |
| 2. 発表標題 In vivo nano-scale vibrometry in apical-basal ends of contractile outer hair cells in the mammalian cochlea by supercontinuum source spectraldomain OCT |
| 3. 学会等名 Dynamics and Fluctuations in Biomedical Photonics XVII, SPIE Photonic West (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Choi S, Nin F, Ota T, Hibino H |
| 2. 発表標題 Multifrequency-swept optical coherence microscopy for full-field in-vivo intracochlear vibration measurement |
| 3. 学会等名 Optical Coherence Tomography and Coherence Domain Optical Methods in Biomedicine XXIV, SPIE Photonics West (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 任書晃, 崔森悦, 太田岳, 日比野浩 |
| 2. 発表標題 高解像光コヒーレンストモグラフィを用いた蝸牛有毛細胞のナノ振動動態計測 |
| 3. 学会等名 第97回日本生理学会大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 崔森悦、日比野浩 | 4. 発行年 2021年 |
| 2. 出版社 生体からインフラ分野まで応用できる非接触・形状・断層・振動計測技術 | 5. 総ページ数 5 |
| 3. 書名 月刊JETI 6月号 | |

〔出願〕 計1件

| | | |
|---------------------------------|--------------|-------------------|
| 産業財産権の名称 測定システムおよび測定方法 | 発明者 崔森悦 | 権利者 国立大学法人新潟大学 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-200889 | 出願年 2021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 | 村松 正吾 (Muramatsu Shogo) (30295472) | 新潟大学・自然科学系・教授 (13101) | |
| 研究分担者 | 日比野 浩 (Hibino Hiroshi) (70314317) | 大阪大学・医学系研究科・教授 (14401) | |
| 研究分担者 | 任 書晃 (Nin Fumiaki) (80644905) | 岐阜大学・大学院医学系研究科・教授 (13701) | |
| 研究分担者 | 田中 洋介 (Tanaka Yosuke) (20283343) | 東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (12605) | |

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 |
|---------|---------|
| | |