

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H05619

研究課題名(和文) Development and quantitative interpretation of acoustic and phoxonic metamaterial devices from kHz to GHz frequencies

研究課題名(英文) Development and quantitative interpretation of acoustic and phoxonic metamaterial devices from kHz to GHz frequencies

研究代表者

O・B Wright (Wright, Oliver)

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：90281790

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 107,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、自然界には見られない、局所共鳴に基づく材料である音響メタマテリアルに関するものである。空気中の音波の波長よりも遥かに小さな音響イメージングをするkHz周波数での顕微鏡法を実現した。波長サイズのメタサーフェスによって水から空気に効率的に音を伝達することに成功した。特定の周波数のすべての弾性振動を遮蔽する単一材料のメタビームとメタロッドを初めて実証した。広帯域の音を遮蔽するメタアトムを作製した。さらに電磁メタマテリアルと音響メタマテリアルの両方の特性をもつメタマテリアルの作成を目指し、数値シミュレーションを実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

音響メタマテリアルは海外では盛んな研究分野であったが、自動車や音響技術産業からの関心にもかかわらず、本研究開始時点では日本の大学/政府機関で力を入れていた研究室はほとんど存在しなかった。本研究では、音響透過特性が増幅する異常透過現象をイメージングに応用可能なことを示した。特定の周波数範囲のすべての振動モードを遮蔽する硬い単一材料からなる軽量の棒状の防振メタマテリアルを開発した。これらの研究は産業への応用が期待できる。他にも、ダブルネガティブ曲げ振動メタマテリアルや、Phoxonicメタマテリアルは、学術的な新規性が高い。

研究成果の概要(英文)：We propose the development and quantitative interpretation of acoustic and phoxonic metamaterial devices from kHz to GHz frequencies, opening new frontiers in metamaterials. We will generate acoustic waves with frequencies ~0.1 kHz-1 GHz and wavelengths from the millimeter scale down to micro- and nano-scales to control bulk, rod, plate and flexural acoustic waves in both fluid and solid metamaterials, as well as developing the new field of phoxonic, i.e. simultaneous photonic and phononic, metamaterials with the aim to create practical devices. We will investigate metamaterial-based acoustic microscopy, metasurfaces for air-water transmission, lightweight single-component metapillars, metaplates or meta-atoms for wideband multimode acoustic isolation or sub-diffraction limit focusing, as well as the creation of phoxonic metamaterials.

研究分野：音響メタマテリアル

キーワード：音 メタマテリアル フォノン 電磁波 メタサーフェス 音響イメージング 負の屈折

## 1. 研究開始当初の背景

メタマテリアル、つまりサブ波長構造を内部に含む自然界には見られない人工材料は、物理学、材料科学、技術に新しい機会を提供する。電磁メタマテリアルと音響メタマテリアルの両方の進歩により、大きな関心が寄せられている[1]。電磁メタマテリアルとしては、負の透磁率を与えるスプリットリングと、負の誘電率を与える I 字型のワイヤ要素で構成されるものがある。音響メタマテリアルには、低位相速度の内包構造を利用したものや、単位格子内に質量-ばねシステムなどをもつものがある。音響メタマテリアルでは、負の体積弾性率と負の質量密度が示されている[2]。負の体積弾性率と負の質量密度のどちらかが負になるシングルネガティブ音響メタマテリアルを使用すると音波を減衰させることができ、振動を遮断することに応用できる[3]。ダブルネガティブ音響メタマテリアルは、Pendry の電磁メタマテリアルのスーパーレンズのアイデアと同様に、音波を回折限界より下の小さな領域に集束させることができる[4]。音響メタマテリアルのもう 1 つの重要な進展は、異常透過として知られる、媒質中の小さなサブ波長の開口での共鳴や、音響特性が不一致の媒質間にインピーダンス整合のメタアトムを配置することを利用した、強化された音響透過を増幅する実証である[5]。

本研究では、音響メタマテリアルの 3 つの重要な学術的な問いに答える。(1)メタマテリアルを介した音響伝達を大幅に強化して、実用的な機能デバイスで使用できるか。(2)複数の振動モードの防振や、スーパーレンズなどの便利な機能を備えた軽量でシンプルな単一コンポーネントの音響メタプレートまたはメタピラーを作成できるか。(3)音響と電磁の両方を同時に実現するメタマテリアルを作成して、「クアドラプル(4つの)ネガティブ」メタマテリアルなどの新しい種類を作成することは可能か。

[1] T. Koschney *et al.* J. Opt. 19, 084005 (2017); S. A. Cummer *et al.*, Nature Rev. 1, 16001 (2016).

[2] S. Lee *et al.*, Phys. Rev. Lett. 104, 054301 (2010).

[3] J. Mei *et al.*, Nat. Comm. 3, 756 (2012); M. Yang *et al.*, Mat. Horizons 4, 67 (2017).

[4] S. Zhang *et al.*, Phys. Rev. Lett. 102, 194301 (2009); J. Pendry, Phys. Rev. Lett. 85, 3966 (2000).

[5] J. J. Park *et al.*, Phys. Rev. Lett. 110, 244302 (2013); B. Eun *et al.*, Phys. Rev. Lett. 120, 044302 (2018).

## 2. 研究の目的

本研究では、音響メタマテリアルデバイスと photonic と phononic の両方の性質を併せ持つ phoxonic メタマテリアルの物理学を解明し、それらの使用法を実証し、音響メタマテリアルと電磁メタマテリアルに新しい応用や展望を示すことを目的とする。

(1) 空気中メタマテリアルの異常透過に基づく走査型音響顕微鏡を作る。また、特に水から空気へ、または空気から水への、音響インピーダンスが大きく異なる媒体間の効率的な音響透過のためのメタサーフェスを作る。

(2) 突起物または穴や溝が掘られた板を使って、シンプルで軽量の単一材料からなる音響メタマテリアルを作成する。これにより、広範囲の周波数ですべての振動モードを遮蔽したり、板のダブルネガティブな動作を実現する。

(3) シリコンまたは金属誘電体ナノ構造を使って phoxonic メタマテリアルを作成し、光学および音響の周波数特性解析を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) 音響メタマテリアルに基づく音響顕微鏡法:

音響波長よりも十分に小さな物体をイメージングする異常透過現象を利用した走査型音響顕微鏡の開発を行う。これは、スピーカーを配置した筒の先端を細くして先に振動膜を付けたものである。振動膜の外側にある音響波長よりも小さな幅の障害物は、音響特性の違いにより共振周波数を変化させ、顕微鏡の筒内部の音響反射率を変更する。顕微鏡筐体と試料の相対位置が 2 次元的に横方向に走査しながら、この音響反射率を測定する仕組みである。

測定対象として色々な形状や大きさの試料を 1 ~ 100 kHz の範囲 (音響波長として ~ 1 cm から 200  $\mu\text{m}$  程度) で試しモデル化する。 / 20 横方向および / 100 深さ方向の分解能を達成する (ここで、 ~ 30cm からサブ mm である)。

### (2) 空気と水の間の音響透過のメタサーフェス:

空気から水、または水から空気へ 30% を超える kHz 帯の音響パワーを伝達するために、正方格子の単位構造をもち面積 1  $\text{m}^2$  を超えるメタサーフェスをモデル化して作成する。本手法は、一般に水中マイクロフォンよりも感度の高い空中マイクロフォンを使用して、水中音を空気に伝達してから検出できるため、複数周波数の共振器を使って広帯域化と組み合わせることで水中マイクロフォンへの応用が想定される。また液体だけでなく、効率的な空気と固体間の音響透過を利用したマイクロフォンへの拡張も調査する。

### (3) 広帯域な複数モードの振動を遮蔽するメタピラーやメタプレート:

周波数が kHz で幅が cm スケールの、複数の共振器周波数の広帯域 (  $f/f$  40% ) のメタピ

ラーとメタプレートを製造、モデル化、最適化する。周波数領域のシミュレーションと加速度計を使った測定により、その分散関係と透過特性を評価する。

#### (4) シングルネガティブおよびダブルネガティブの曲げ振動メタプレート：

シミュレーションによって負の屈折を示すことを確認した、正方格子および三角格子のらせん状に配置したスリットをもつメタプレートの基本構造を設計する。10 kHz-1 GHz の周波数に合わせた構造を、平面上にブロックやプリズムの形で並べたものを製造およびモデル化し、それらのシングルネガティブ (SNG) およびダブルネガティブ (DNG) となる周波数での振る舞いを周波数または時間領域の光学測定法を使って画像化し、その音響分散を計測する。

#### (5) 新しい物理や応用を目指した Phoxonic メタマテリアル：

光学メタマテリアル用に確立されたシリコンおよび金属誘電体の周期ナノ構造に、局所的な音響 GHz 共振を持たせて負の質量や弾性率も示す、可視や赤外光範囲の電磁メタサーフェスを作成およびモデル化する。音響および光学的な反射・透過性能を調査しながら、音響波長と光学波長の両方を走査することで、新しい「4 重ネガティブ」材料の特性評価が可能になる。音響光学変調および回折限界以下に共に集束したの音響・光学ビームへの応用を探索する。

### 4. 研究成果

本研究は、局所共振に基づく人工材料である音響メタマテリアルに関するものである。以下に、それぞれの項目についての研究内容を述べる。

#### (1) メタマテリアルベースの音響顕微鏡法：

この研究は、音響位相の測定に成功し投稿論文を準備中の段階である。この部分の研究成果は未発表のため詳細な説明は割愛する。この手法により、画像化される対象物に関する追加情報が提供され、対象物の表面凹凸像だけでなく、その音響特性も推定できるようになるであろう。

シミュレーションによって、2 つのタングステンブロック間に接続された、ギガヘルツ音響メタアトムとして機能する、タングステンナノワイヤ構造内での音響異常透過を実証した。最適な寸法の同心溝 (ブルズアイ) 構造を作ることにより、縦波で異常音響伝達効率が世界記録となる 500 を超える値まで劇的に向上させることと、流体-固体系で見られるものと同様の指向性出力ビームを生成することを示した。これは、将来のイメージングおよびセンシングへの応用に役立つ。3 つの異なる形状の音響振幅の典型的な結果を図 1 に示す。この研究論文は Science Advances 誌に掲載された [T. Devaux, et al., Sci. Adv. **6**, eaay8507 (2020).]。展望として、MHz 音響周波数範囲への拡張を考えており、その研究は進行中である。

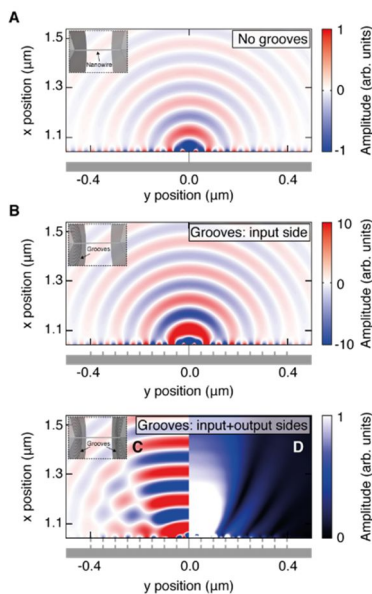


図 1：3 つの形状の構造でのナノワイヤからの音響出力場の比較。下のブロックにバルク縦波平面波が入射したときの出力側の上のブロックの、ナノワイヤの最低共振周波数での音響場 (膨張ひずみをプロット)。(A) 溝がない場合。(B) 入力側に 8 本の溝がある場合。溝寸法が最適化されている。(C) 両側に 8 本の溝がある場合、溝の寸法は同様である。(D) 膨張のフーリエ振幅。それぞれに対応する構造は、各プロットの下に示されている。挿入図は試料構造の 3 次元図である。

#### (2) 空気と水の間の音響透過のメタサーフェス：

実際にメタサーフェスを作成して音響透過の実験を行い、原理が期待どおりに機能することを実証した。理論モデルを開発し、その結果をもとに投稿論文を執筆している。この研究も、未発表のため詳細な節系は割愛する。この研究の応用として、船の操縦士がダイバーに危険を警告する際に使用できる実用的な装置を製造したい。

#### (3) 広帯域な複数モードの振動や音を遮蔽するメタビラー・メタプレート・メタアトム：

単一材料のメタビーム (長方形断面) とメタロッド (円形断面) のシミュレーションと実験を行った。メタビームとメタロッドが、すべてのモードについて、つまり伸長、2 方向の曲げ、ねじれ振動に対して、完全バンドギャップを持つことを実証した。単位構造およびそれらの共振モードパターンを、図 5 と図 6 に示す。10 個の単位格子からなる長さ 800 mm の構造を実験で測定した完全なバンドギャップはシミュレーションと一致した。これらどちらの研究も Applied Physics Letters 誌に掲載された [F. Fujita et al., Appl. Phys. Lett. **115**, 081905 (2019) . A.

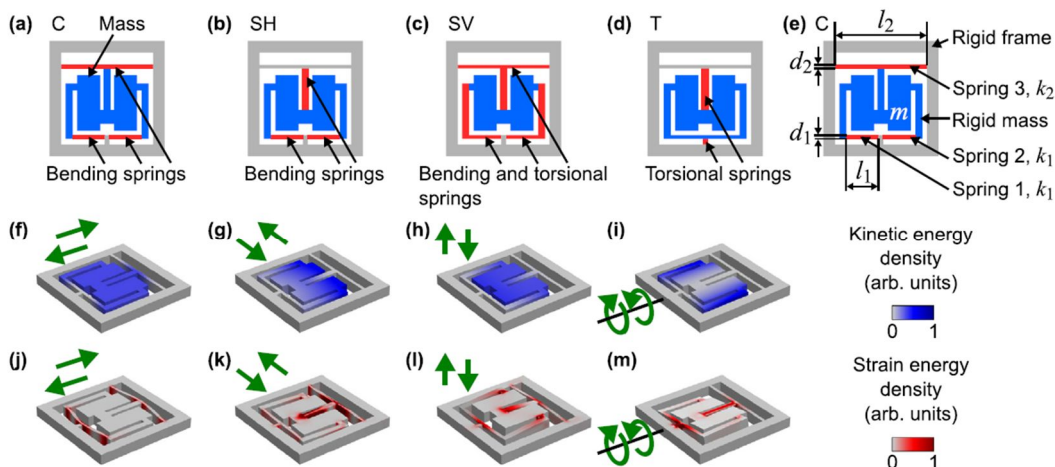


図 2 : メタビームの形状とシミュレーションで求めた単位格子の固有振動モード。(a) 圧縮 C、軸方向に沿った運動、(b)水平せん断 SH、幅方向に沿った運動、(c) 垂直せん断 SV、面外屈曲運動、(d) ねじれ T、軸方向に沿った軸の周りの回転。青と赤の領域は、質量とばね、灰色の領域は剛体として機能している。(e) 圧縮モードの分析。(f)-(m) : 4つの固有モードの運動エネルギーとひずみエネルギー分布。緑の矢印は変位方向を示す。

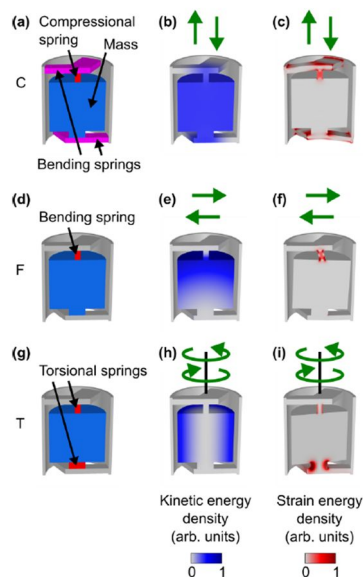


図 3 : (a) 圧縮 (C、軸方向に沿った運動) 共振の解析に関連するメタロッドの形状とモデル。赤い領域はばね、青の領域は質量、灰色の領域は剛体棒として働く。(b)(c) 圧縮固有モードの運動エネルギーとひずみエネルギー分布。緑の矢印は、支配的な変位方向を示す。(d-i) 曲げ (F、軸方向に垂直な運動) およびねじれ (T、軸方向に沿った軸の周りの回転) 振動の場合。2つの曲げモードは対称性により縮退している。

実験で用いた構造は、10個の長さ 80mm、外側の筒の厚さ 8mm の単位格子からなる全長 800 mm で、内部が見えるように全てアクリルで作製した。

これらの研究を応用して、さらに広帯域の振動を遮蔽する応用研究も進行している。図 4 の単位構造を基本構造として、単位構造を徐々に太さが変わる相似形にして配置することによる広帯域動作のメタビームを開発した。図 7 に 5つの相似単位構造を並べた幅 145 80 mm、厚さ 8 mm、全長 576 mm のメタビームのシミュレーションと実験結果を示すように、600Hz から 1000Hz の範囲の音を遮断することを確認している。この成果も Applied Physics Letters 誌に投稿中である。

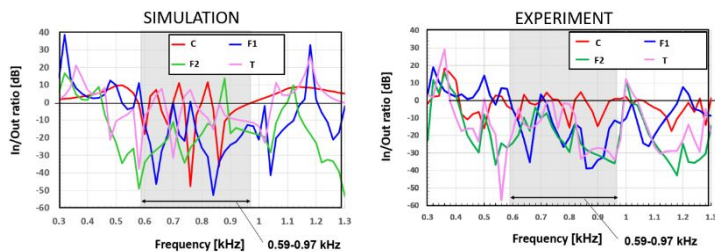


図 4 : 図 2 の単位格子をテーパ状に相似構造を並べて配置したタマテリアル梁の両端での音響振幅比。影付きの領域は、遮蔽周波数帯を示す。シミュレーション(左)と実験(右)の結果はよく一致している。

さらに関連研究として、音響三重共鳴に基づいて、迷路球と呼ばれる空気中の音波を遮蔽するメタアトム構造を設計し実験を行った。この構造は正八面体対称の迷路構造である。3D プリントされた直径 90mm のボールによって、直径 200 mm の円筒形導波管内の音の 67% をブロックできることを示した。この際、体積充填率はわずか 13% である。この研究作品は、Applied Physics Letters に発表した[T. Zhang, et al., Appl. Phys. Lett. 120, 161702 (2022).]。



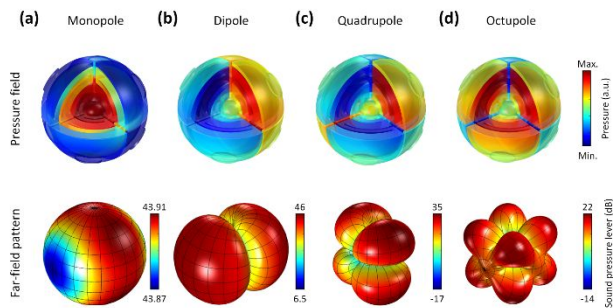


図 5：迷路球の物理モデルと形状。  
 (a)単極子および複数極子共鳴をサポートできる 3次元 Mie 共鳴メタアトムの物理モデルの概略図。

#### (4) 曲げ振動メタプレート：

正方形または三角格子のらせん状に配置されたスリットを備えたメタプレートを設計し、GHz 周波数のプリズムおよびブロック試料を使用した面内せん断波と対称 Lamb 波の両方について、負の屈折とフォノン集束効果を持つこと発見した。電子線ビームリソグラフィなどの微細構造作製技術で作製した試料で試行実験を行ったが、厚さ 100 nm のサンプルの面外振動が大きすぎるため、確定的な実験結果は得ていない。プレートのゼロ次の対称 Lamb 波とゼロ次の面内せん断波についての、シミュレーションの結果を公開用に準備している。

#### (5) Phoxonic メタマテリアル：

マイクロ波領域でのダブルネガティブ電磁特性と kHz 周波数帯でシングルネガティブの音響特性を同時に持つメタマテリアルの設計とシミュレーションを行った。この研究は、京都工芸繊維大学の 上田 哲也 教授との共同研究である。この研究成果は招待講演論文として、the 8th International Conference on Antennas and Electromagnetic Systems (AES2022), Marrakech, Morocco, May 24-27, 2022 に受理された。

この設計を図 6 の単位格子図に示す。上田教授によって以前に提案されたダブルネガティブマイクロ波電磁メタマテリアルに、低弾性率のシリコンゴム層を組み込むことによって音響特性を持たせている。高誘電率のセラミックディスクをエポキシに埋め込み、それをシリコンゴムの薄層で囲む。穴の開いた 2 つの薄い銅層を使い、 $6 \times 6 \times 3.5 \text{ mm}^3$  の寸法の単位格子を形成する。ダブルネガティブの電磁特性は 10 GHz 領域で起こる。電磁気学 (ANSYS) と音響学 (COMSOL) の両方で数値シミュレーションを実行し、分散関係と伝搬特性を決定した。図 7 に、損失が無い場合で計算した  $-X$  方向の電磁波と音響波の分散関係を示す。分散関係に赤い点でマークを付けた点について説明する。電磁波の場合、周波数 11.7 GHz で  $y$  偏光電場で誘電率と透磁率が共に負になる。音響波の場合、周波数 0.924 kHz で  $xz$  方向の変位を持つ。これより上の周波数では、中央のエポキシ/セラミック部分が質量、シリコンゴムがバネとして働く振動の共振周波数より高くなった部分にバンドギャップが開くので、負の有効密度を持つメタマテリアル、つまりバンドギャップ特性を示すシングルネガティブの音響メタマテリアルに対応する。

ダブルネガティブ音響メタマテリアルを生成するための要素を設計にまだ導入していないが、局所的な機械的共振から生じる音響メタマテリアルギャップの存在は、構造がシングルネガティブ音響でダブルネガティブ電磁のトリプルネガティブ特性を持つ Phoxonic メタマテリアルの例であることを意味する。研究展望として、4 重ネガティブ設計、実際の材料の製造および電磁/音響の実験をしていく予定である。

構造をマイクロ/ナノ領域まで小型化して、電磁波を近赤外または可視域に、音響周波数を GHz 域まで実現する可能性を積極的に追求している。この目的のために、私たちは金で作られた光フィッシュネットに基づく設計と、プラズモニクスに基づく超高速光励起を追求している。金の棒での GHz 音響変換をプラズモニック励起・検出で行い、その研究結果を Nano Letters 誌に発表した[Y. Imade et al., Nano Lett. 21, 6261 (2021)]。

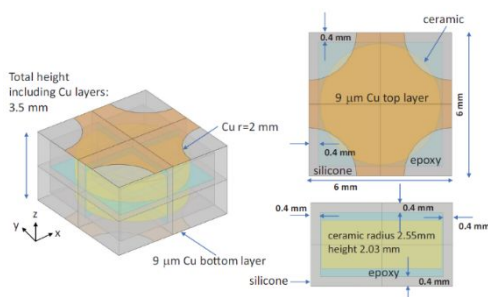


図 6. Phoxonic メタマテリアルの概略図

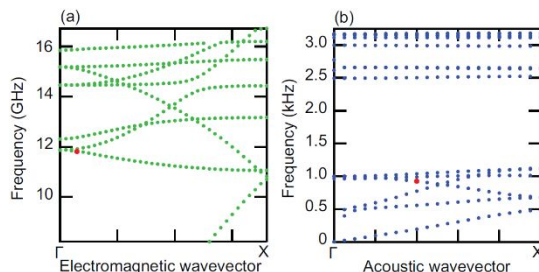


図 7：損失がない場合の Phoxonic メタマテリアルの  $-X$  方向の (a)電磁分散関係と (b)音響分散関係の数値計算。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Ting Zhang, Eun Bok, Motonobu Tomoda, Osamu Matsuda, Jianzhong Guo, Xiaojun Liu, and Oliver B Wright	4. 巻 120
2. 論文標題 Compact acoustic metamaterial based on the 3D Mie resonance of a maze ball with an octahedral structure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 161701-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0084030	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 Yuta Imade, Vitalyi E. Gusev, Osamu Matsuda, Motonobu Tomoda, Paul H. Otsuka, and Oliver B. Wright	4. 巻 21
2. 論文標題 Gigahertz Optomechanical Photon-Phonon Transduction between Nanostructure Lines	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 6261-6267
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.nanolett.1c02070	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 C. Li, R. T. Harley, P. G. Lagoudakis, O. B. Wright, and O. Matsuda	4. 巻 103
2. 論文標題 Coherent phonon detection gated by transient spin-polarized electrons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L241201-1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.103.L241201	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 A. Ogasawara, K. Fujita, M. Tomoda, O. Matsuda, O. B. Wright	4. 巻 116
2. 論文標題 Wave-canceling acoustic metarod architected with single material building blocks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 241904-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/5.0011319	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 C. Li, R. T. Harley, P. G. Lagoudakis, O. B. Wright, and O. Matsuda	4. 巻 103
2. 論文標題 Coherent phonon detection gated by transient spin-polarized electrons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L241201-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.L241201	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 T. Devaux, H. Tozawa, P. H. Otsuka, S. Mezil, M. Tomoda, O. Matsuda, E. Bok, S. H. Lee, O. B. Wright	4. 巻 6
2. 論文標題 Giant extraordinary transmission of acoustic waves through a nanowire	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eaay8507-1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aay8507	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 Oliver B. Wright、松田理、友田基信	4. 巻 48
2. 論文標題 音響メタマテリアルの基礎原理	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 光学	6. 最初と最後の頁 488~496
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 Fujita Kentaro, Tomoda Motonobu, Oliver B. Wright, Osamu Matsuda	4. 巻 115
2. 論文標題 Perfect acoustic bandgap metabeam based on a quadruple-mode resonator array	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 081905~081905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5117283	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 -

〔学会発表〕 計32件（うち招待講演 17件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 O. B. Wright
2. 発表標題 Designing acoustic metamaterials for wave blocking and modulation
3. 学会等名 International School of Quantum Electronics, Progress in Photoacoustic and Photothermal Phenomena, Erice, Sicily, Oct. 16-23, 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 O. B. Wright
2. 発表標題 Confinement of acoustic fields in a honeycomb phononic crystal slab
3. 学会等名 European Optical Society Annual Meeting (EOSAM) 2021, Rome, Italy, Sept. 13-17, 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 O. B. Wright
2. 発表標題 Perfect-bandgap tapered nanophononic metamaterial beam for thermal insulation
3. 学会等名 CLEO-Europe-EQEC-2021, June 20-24 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田 理, Chunyong Li, Richard T. Harley, Pavlos G. Lagoudakis, Oliver B. Wright
2. 発表標題 ナノスケール音響波検出のスピンの偏極電子による変調
3. 学会等名 USE 2021 第42回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム、オンライン、10月25日～27日
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 友田基信, 田島滉也, 武田颯, 大宮哲, 田中之博, 松田理, Oliver B. Wright
2. 発表標題 1次元古典振動子系におけるトポロジカルな境界モードの演示
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会、9月20日～23日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本啓岐, 川田拓弥, 河口真志, 林将光, 友田基信, 松田理
2. 発表標題 2次元フォノンニックグラフェンにおける表面弾性波フォノンの伝導特性
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会、3月15日～19日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大宮 哲、猪野 真大、武田 颯、松田 理、ライト オリバー、友田 基信
2. 発表標題 ウェーブマシンを用いた時間境界による透過反射現象の実現
3. 学会等名 第69回 応用物理学会春季学術講演会、ハイブリッド開催、3月22日～26日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Motonobu Tomoda, Kentaro Fujita, Osamu Matsuda, Oliver B. Wright
2. 発表標題 Acoustic metamaterial beam with a perfect bandgap based on a quadruple-mode resonator array
3. 学会等名 META 2021, the 11th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics, 20-23 July, University of Warsaw, Poland (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Oliver B. Wright, Thibaut Devaux, Hiroya Tozawa, Paul H. Otsuka, Sylvain Mezil, Motonobu Tomoda, Osamu Matsuda, Eun Bok, Sam Hyeon Lee
2. 発表標題 Giant extraordinary transmission of longitudinal acoustic waves
3. 学会等名 META 2021, the 11th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics, 20-23 July, University of Warsaw, Poland (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Oliver B. Wright
2. 発表標題 Real contact area probed by ultrafast electron diffusion
3. 学会等名 International Nanotribology Forum, Chiang Rai, Thailand, Jan. 13-17, 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Oliver B. Wright
2. 発表標題 Acoustic metamaterial wizardry
3. 学会等名 Meta-Mat.org online seminar series, Lecture 20, Dec. 1, 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 友田 基信、小笠原 央、藤田 健太郎、松田 理、Oliver B. Wright
2. 発表標題 単一材料でできた完全バンドギャップをもつ音響メタマテリアル棒
3. 学会等名 USE 2020 第41回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム、オンライン開催、11月25日～27日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大宮 哲、友田 基信、猪野 真大、藤田 健太郎、松田 理、Oliver B. Wright
2. 発表標題 ウェーブマシンによるフォノンニックバンドギャップの再現
3. 学会等名 USE 2020 第41回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム、オンライン開催、11月25日～27日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 相原 真哉、藤田 健太郎、上野 翔平、友田 基信、オリバーライト、松田 理
2. 発表標題 任意周波数測定法を用いた 1 次元フォノンニック結晶表面音響波の時間分解イメージング
3. 学会等名 USE 2020 第41回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム、オンライン開催、11月25日～27日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Oliver B. Wright
2. 発表標題 フォノンニック結晶キャビティのGHzフォノンイメージング
3. 学会等名 第4回 フォノンエンジニアリング研究会、オンライン、12月11日～12日（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 友田 基信
2. 発表標題 ウェーブマシンによる 1 次元フォノンニック結晶のトポロジカルモードの演示
3. 学会等名 第4回 フォノンエンジニアリング研究会、オンライン、12月11日～12日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 友田 基信、田島 滉也、武田 颯、松田 理、Wright Oliver B
2. 発表標題 1次元フォノン系におけるトポロジカルな境界モードの演示
3. 学会等名 第68回 応用物理学会春秋季学術講演会、オンライン開催、3月16日～19日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田理, 筒井寛大, 藤田健太郎, 友田基信, Gwenaelle Vaudel, Thomas Pezeril, Vitalyi Gusev
2. 発表標題 金属グレーティング構造を形成した透明媒質におけるGHz縦・横音響波の光学的生成と検出
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会、オンライン開催、3月12日～15日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Oliver B. Wright
2. 発表標題 Imaging GHz surface phonons on phononic crystals, acoustic metamaterials and microstructures
3. 学会等名 11th International Symposium on Ultrafast Surface Dynamics, Qiandao Lake, China, June 8-12 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Oliver B. Wright
2. 発表標題 Ultrafast optoacoustic nanowire-to-nanowire surface acoustic wave excitation and detection
3. 学会等名 20th International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena (ICPPP20), Moscow, Russia, July 7-12 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田 健太郎、友田基信、松田理、ライトオリバ
2. 発表標題 完全バンドギャップをもつ音響メタマテリアル梁の開発
3. 学会等名 電子情報通信学会 超音波研究会 7月29日、北海道大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motonobu Tomoda, Mashahiro Ino, Osamu Matsuda, Oliver B. Wright
2. 発表標題 Development of a wave machine to model phononic crystals and elastic metamaterials
3. 学会等名 Meta 2019: The 10th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics, Lisbon Portugal, Jul 23-26 (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motonobu Tomoda
2. 発表標題 Development and demonstration of a wave machine to model phononic crystals and elastic metamaterials
3. 学会等名 The 4th A3 Metamaterials Forum 2019, Sapporo, Aug. 21-24 (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Oliver B. Wright
2. 発表標題 The magic of acoustic metamaterials
3. 学会等名 Symposium on Parallels between acoustic and EM radiation in structured materials, Grasmere, UK, Oct. 28- 31 (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Oliver B. Wright
2. 発表標題 The magic of acoustic metamaterials
3. 学会等名 メタマテリアル第187委員会 2019年度第2回研究会、東京、2019年9月9日（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motonobu Tomoda, Akihisa Kubota, Akira Tooda, Hiroyuki Matsuo, Vitalyi Gusev, Roberto Li Voti, Osamu Matsuda, Oliver B. Wright
2. 発表標題 Quantitative imaging of microstructures and strain in transparent media by time-domain Brillouin scattering
3. 学会等名 2019 International Congress on Ultrasonics (ICU), Bruges, Belgium, Sept. 3-6（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田 颯、Paul Otsuka、友田 基信、松田 理、Oliver B. Wright
2. 発表標題 GHz弾性表面波を用いた超音波トモグラフィ
3. 学会等名 USE 2019 第40回 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム、明治大学、11月25日～27日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小笠原 央、藤田 健太郎、友田 基信、松田 理、Wright Oliver
2. 発表標題 完全バンドギャップを有する音響メタマテリアルロッドの単一材料設計
3. 学会等名 第80回 応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、9月18日～21日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 友田 基信、猪野 真大、大宮 哲、藤田 健太郎、松田 理、Wright Oliver
2. 発表標題 ウェーブマシンによる波動伝搬制御の演示
3. 学会等名 第80回 応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、9月18日～21日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Oliver B. Wright、Qingnan Xie、Sylvain Mezil、Paul H. Otsuka、Motonobu Tomoda、Jerome Laurent、Zhonghua Chen、Osamu Matsuda
2. 発表標題 Two-dimensional Imaging of Zero-Group-Velocity Lamb Waves
3. 学会等名 第80回 応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、9月18日～21日（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田 理、村本 裕貴、古賀 裕章、西田 浩紀、藤田 健太郎、友田 基信、ライト オリバー
2. 発表標題 2次元フォノンニック結晶のGHz音響特性の任意周波数イメージング法を用いた解析
3. 学会等名 第80回 応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、9月18日～21日（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大宮 哲、友田 基信、猪野 真大、藤田 健太郎、松田 理、Wright Oliver B.
2. 発表標題 ウェーブマシンによる時間的な波動制御
3. 学会等名 第67回 応用物理学会秋季学術講演会、上智大学、3月12日～15日
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

北海道大学 大学院工学院 応用物理学専攻 量子機能工学研究室 ホームページ  
<http://kino-ap.eng.hokudai.ac.jp/j-index.html>

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	松田 理  (Matsuda Osamu)  (30239024)	北海道大学・工学研究院・准教授   (10101)	
研究 分担者	友田 基信  (Tomoda Motonobu)  (30344485)	北海道大学・工学研究院・助教   (10101)	
研究 分担者	野村 政宏  (Nomura Masahiro)  (10466857)	東京大学・先端科学技術研究センター・准教授   (12601)	

	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	上田 哲也  (Ueda Tetsuya)  (90293985)	京都工芸繊維大学・電気電子工学系・教授   (14303)	

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			
フランス	Le Mans Universite	Tours University		
韓国	Yonsei University			
米国	Massachusetts Institute of Technology			
イタリア	Universita di Roma			
中国	Nanjing Univ. Info. Sci. Tech.	Nanjing University		