

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02110

研究課題名(和文) 消化管内腔での生検と移動を行えるカプセルロボットの開発

研究課題名(英文) Study on Capsule Endoscopic Robot Technologies inside Gastrointestinal Tract

研究代表者

真下 智昭 (Mashimo, Tomoaki)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20600654

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：マイクロ超音波モータの開発では、15モード素子を用い、従来比約3倍の、トルク40  $\mu$ Nm以上、効率2%以上を達成した。さらに2mm角サイズでは、接触を最適化し、約0.15mNm以上のトルクを発生することができた。マイクロギヤードモータを搭載した車輪型移動ロボットでは、車輪に粘着テープを採用することにより、壁面および天井を移動することが可能になった。ギヤードモータにはセンサを取り付け、複数個のマイクロ超音波モータを同期してフィードバック制御できるようにした。数ミリのリンク機構と視覚フィードバックシステムを開発し、手先軌道の制御を実施した。また半導体集積化技術を用いたモータドライバの開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マイクロ超音波モータの解析、設計、試作を行い、トルクおよび効率の向上に成功したことで、マイクロモータの設計論をより深く理解するために重要な知見が得られた。さらに、このモータとマイクロギヤを用いたマイクロロボットの実施例を示したことは、今後のマイクロロボット研究の参考になるものであり重要な学術的意義がある。マイクロ超音波モータやマイクロギヤは世界最小級の大きさであり、いかに小さくできるかという科学的興味を満足するだけでなく、広い範囲での社会応用が見込まれる。医工学の他にも、レスキュー工学、生体模倣工学、農業工学などでの応用が期待され、その社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：With the thickness-shear effect of piezoelectric elements, the micro ultrasonic motor succeeded in improving its torque to over 40 micro-Nm and an efficiency to over 2%. Furthermore, the motor with a 2 mm-cubic stator generated a torque of 0.15 mNm. The micro wheeled mobile robot driven by the micro ultrasonic motor and micro gears demonstrated the movement on the vertical and inverted surfaces by employing appropriate adhesives. The feedback system incorporating a tiny angle sensor enabled the control of the micro ultrasonic motor. As another application example, a two-link mechanism, in which the length of link is approximately 5 mm, is controlled by a visual feedback system using a high-speed camera. Experiments on semiconductor integration technologies showed a possibility that miniaturizes the motor driver circuits into a few millimeter scale.

研究分野：アクチュエータ

キーワード：アクチュエータ マイクロモータ マイクロロボット 超音波モータ

## 1. 研究開始当初の背景

消化管系がんの早期発見率の向上を目指して、飲み込むだけのカプセル型のロボットが期待されている。カプセルロボットが、胃、小腸、大腸内腔を、カメラで観察しながら、脚などの移動機構を使って移動し、病変が見つければ、その場でマイクロハンドを使って組織の採取（生検）を行う。このような機能を実現できるロボットがあれば、患者にとって検査の負担が少なく、診断精度が高く、内視鏡検査装置の理想形である。

このようなコンセプトは、MEMSの黎明期からあったが、それから数十年経った今でも、カプセルロボットは実現されていない。半導体技術の微細化にともなって、マイコンやセンサなどエレクトロニクス部品の小型・高性能化は確実に進んだ。しかし、アクチュエータの小型化に関する研究開発は遅れており、既存のモータでは、先述のカプセルロボットを駆動するために必要な仕様を満たすことはできない。実現には、新しいマイクロモータとその関連技術の研究開発が不可欠である。

医療などへの応用を目指し、小型モータ開発は世界中で行われてきた。しかし、電磁モータは構造が複雑なため小型化ができず、静電モータはMEMS技術で小型化できるもののトルクは小さい。他の原理（形状記憶合金、機能性流体、磁歪効果など）も実用的な出力を出すのは難しい。シンプルな構造で、エネルギー密度が高い超音波モータは、小型化が期待されるモータである。超音波モータの小型化も、国内外で試みられてきた。国内外の研究機関で、直径1.5mm、長さ5mm程度の細長いモータがいくつか報告されているが、1mm程度まで小型化することは原理的に難しい。豪国や中国の大学から約1mmのモータが報告されたものもあるが、トルクはほとんど出ていない。カプセル内（直径10mm、長さ20mm）に搭載できるサイズで実用的なトルクを出せるモータは、これまでに十分で無かった。

研究代表者は、縦横1.6mm×奥行1mmのステータを用いてマイクロ超音波モータの開発を行ってきた（図1）。従来の小型の超音波モータと異なる点は、駆動原理として、穴の内周に沿って3波を発生する振動モードを用いる点である。この振動モードは奥行き方向（穴の軸方向）の寸法に関係なく振動を発生できるため、小さくしてもある程度の駆動力を得ることができるようになった。約10 $\mu$ Nmの実用的なトルク（ロータ先端で数グラムの力が発生できるトルク）を発生することができ、このサイズのモータが出せるトルクとしては桁違いに大きい値である。しかし、本研究開始前の数年間において、モータのトルクの向上の研究に取り組んできたが、十分なトルク向上は観察できていなかった。一方、マイクロ超音波モータに取り付けるための、マイクロギアの開発を行ってきた。射出成型で製作したマイクロギアをもちいた直径2mmのギアボックスを取り付け（図2）、約100倍の1mNmのトルクを発生できることを示していたが、ギア効率やトルクの再現性でまだ課題が残っていた。

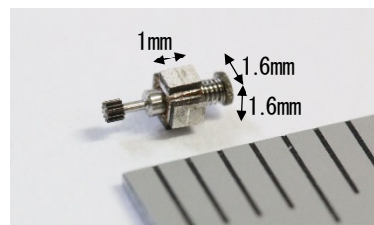


図1 マイクロ超音波モータ

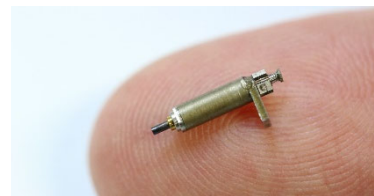


図2 マイクロギアードモータ

## 2. 研究の目的

本研究では、マイクロ超音波モータの効率化・高出力化に取り組み、モータトルク最高50 $\mu$ Nmを目指す。さらに、マイクロギアを取り付け、1mNmのトルクを安定して得られるギアードモータを開発する。このモータを用いて、実用的な力を発生できるシリアルリンク機構とマイクロ移動機構の開発を行う。リンクや移動機構を構成するマイクロ部品の加工や設計手法を明らかにし、機構の動力学を解析と実験でモデリングして制御手法を構築する。さらに、ドライバ回路を窒化物半導体技術によって小型化し、カプセルに収まるサイズのモータ駆動システムを開発する。生検と移動ができるカプセルロボットの実現可能性を高めることが本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

本研究で用いるマイクロ超音波モータでは、駆動原理として、穴の内周面に3波発生する振動モードを用いる。金属部は一辺1.2mmの立方体であり、その中心には、ロータを通すために、一辺の長さに対して70%の直径の貫通穴が開いている。ステータの軸方向の長さ依存せず駆動力を発生することができるため、モータの形状を扁平型にすることもできる。金属部材料には、加工性が良いリン青銅を用いており、切削加工、ワイヤ放電加工などを組み合わせて、加工方法を最適化する。ステータの側面には4枚の圧電素子が接着する。圧電素子は、圧電薄板からダイシング加工等で切り出して作ることができる。金属部材と圧電素子の接着には、エポキシ系接着剤を用いる。サイズに関係なく試作方法は同じになるようにしている。本研究では、圧電素子の分極方向の変更や、PZTから単結晶材料への変更による性能向上について調査を行う。ステータを試作した後は、インピーダンス解析を用いて、共振周波数、品質係数、結合係数などを評価す

る。得られた実験結果は、ステータの FEM 圧電解析シミュレーション結果と比較し、解析結果を実験検証する。

マイクロ超音波モータが十分に性能を発揮するためには、ステータとロータの予圧を管理することが重要である。これまでに、予圧を変えた場合の性能を実験的に明らかにしており、その知見に基づき、本研究で用いるマイクロ超音波モータには全て、直径 1mm 以下のマイクロコイルを用いた予圧機構を採用することとする。

マイクロギアは、射出成型を用いて製作した、直径 2mm 長さ 6mm ギア比 64 または 256 のものを使用する。実験で、長時間の連続運転を行い、安定性と耐久性を評価する。また、射出成型法はコストと時間がかかるため、ギアの試作方法の再検討を行う。直径 1mm 以下のギアを作るには、高精度の光造形機または、2 光子法の超高精細光造形機が候補であり、試作調査を行い、マイクロギアの試作可能性を明らかにする。

モータやギアードモータを開発するには、これまでのノウハウを基に開発した治具を用い、部品の組み立てには、把持・組立を容易にする専用のマイクロマニピュレータを開発し使用する。マイクロロボットを製作するには、数ミリの部品が必要であり、金属切削加工または光造形 3D プリンタで出力する。治具とマニピュレータで、ロボットを試作できるようにする。

試作したマイクロ超音波モータ、ギアードモータ、移動機構、プロペラ機構などの評価には、1000fps 以上のフレームレートを有するハイスピードカメラを用いる。超音波モータは角加速度が大きく、通常のカメラでは記録できないためである。また、モータや機構の運動を、非接触に撮影できることも理由である。モータおよび機構にマーカを取り付け、マクロレンズで拡大して変位と角度を認識できるようにする。マーカの動きを画像処理で追跡し、画像ごとにも得られる変位から運動を算出することで評価できるようなシステムを開発する。

## 4. 研究成果

### 4. 1) マイクロ超音波モータの開発

マイクロ超音波モータの効率の向上を目的として、せん断変形を生じる 15 モード素子と、単結晶圧電材料である PMN-PT の、二種類の圧電材料について検討を行った。まず FEM 圧電解析を行い、それらの有効性を確認した。極小の圧電材料や金属を扱うための治具の開発を行い、小さくても十分に特性を調査できるようにした。15 モード素子を用いたマイクロ超音波モータでは、Q 値および結合係数の改善が見られ、モータを試作し、実験を行ったところ、 $40\mu\text{Nm}$  以上のトルク、2%以上の効率が得られた。これらは、従来のモータと比べて、約 3 倍の性能である。単結晶圧電材料 PMN-PT を用いて、マイクロ超音波モータの試作を行ったところ、トルク、効率ともに、従来比約 2 倍の性能向上が観察された。いずれも 15V 程度の電圧で駆動できるようになり、発熱も抑えられることが確認された。あわせて、マクロレンズ型サーモグラフィでステータの発熱の影響を調査する方法も確立した。さらに、15 モードと、単結晶圧電材料である PMN-PT を組み合わせ、15 方向分極された単結晶素子を用いたマイクロ超音波モータの試作を行い、実験と評価を行った。先の試作結果と比べて、結合係数と Q 値は 2 倍以上となり、モータとして低電圧駆動が可能になった。定電圧における駆動で従来比約 1.5 倍の出力向上が得られたものの、試作の歩留まりが悪化したと共に、モータの駆動後ただちに性能が低下する現象が観察されたが、これは材料特性および分極の状態が要因と考えられる。

低効率の理由として、1mm 角まで小さくなると、金属と圧電素子間の接着層に生じる機械損失が急に大きくなることが分かっていた。金属と圧電素子間の損失の原因を根本的になくす接着レスの単一の圧電セラミックのみで構成するバルクステータの開発を行った。約 1mm のバルクステータの試作を行い、評価したところ、従来のステータと比べて優れたインピーダンス特性を示した。バルクステータ自身がもろく欠けやすいという問題があり、モータとしての性能評価には至らなかった。

ステータとロータの接触は効率向上の重要なポイントであり、ステータとロータの接触を最適化して、性能向上と出力安定化について調査した。新しいロータの設計やコーティングやメッキを行うことで、ステータとロータの接触面の改善による効率向上に取り組んだ。実験では、より評価しやすい 2mm 角のステータを試作し、おおむね目標値である約  $0.15\text{mNm}$  以上のトルクを発生することができた。

以上のマイクロ超音波モータの研究開発により、トルクの向上が確認できた。まだ高い印可電圧を要することや低効率などの課題が残るものの、このサイズのモータとしては、従来の最大トルクの値を大きく更新することに成功した。

### 4. 2) マイクロギアードモータの開発

マイクロ超音波モータに、射出成型を用いて製作したマイクロギアを取り付けたマイクロギアードモータの開発を行った。当初のモータの設計では、モータの出力トルクに対してギアの静トルクが大きい問題があり、駆動が不安定であったが、モータのサイズを 2mm まで大きくすることで、安定して駆動できるようになった。最大で、 $1\text{mNm}$  のトルクを発生することができるようになり、安定して駆動できるようになり、数十秒の連続運転にも耐えられるようになった。

3D プリンタによってマイクロギアを試作する方法の調査を行った。0.1mm~1mm の大きさのギアを精度よく作ることは、現在の光造形製品による小型化の限界であった。2 光子法の超高精細光造形機を用いた方法を用いれば数ミクロンの物体を造形可能であるが、造形時間が長く、装



置が極めて高価であるという問題があった。近年の3Dプリント技術の成長に伴い、紫外線レーザとミラーデバイスによる高速光造形手法が実用化され、この手法がサブミリスケールの部品印刷に極めて適することが調査によりわかってきた。試作および評価を行ったところ、良好な見込みが得られた。この方法を用いて試作したマイクロギアを図3に示す。印刷時のばらつきが十分に予想できないという問題があったものの、印刷したマイクロギアを用いて、直径2mm長さ2mm、ギア比64の遊星歯車の製作を行った。ギアボックスを組み立て、減速できることが確認できた。

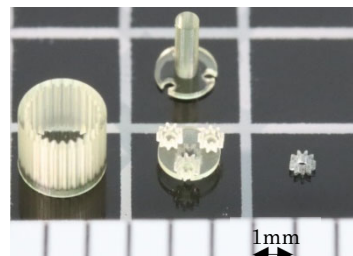


図3 光造形によるギア

#### 4. 3) ギアドモータを用いた移動機構の開発

マイクロギアドモータを用いた車輪型マイクロロボットの開発を行った。図4は試作したマイクロロボットである。ギアドモータがロボットの中心に設置されており、ベベルギアによってモータが発生した駆動力を車輪に伝達する。電力は電線を用いて外部から供給している。図に示すように全体の大きさは約1cmで、重さは1g以下であり、車輪駆動型の移動ロボットでは最も小さいサイズに分類される。この時のギア比は64であり、平面における車輪型ロボットの平均移動速度は、5mm/sであった。試作機を用いて複数の斜面を移動するデモを行い、優れた移動性能を示した。実験では、ギアの出力トルクに対してロボットが小さく軽いためスリップを起こす問題が生じた。移動面に適切な摩擦係数の材料を用いることで、マイクロロボットは安定して駆動できるようになり、最大で45度の斜面を登ることができるようになった。ロボットが自走するために十分な駆動力を発生できることを示すことができた。さらに、車輪に粘着テープを採用することにより、壁面および天井を移動できるマイクロロボットの駆動にも成功している。(壁面移動ロボットに関する成果は、研究期間終了後、国際論文に掲載可となった)。



図4 小型車輪型ロボット

ギアドモータにはセンサを取り付け、複数個のマイクロ超音波モータを同期してフィードバック制御できるシステムの開発を行った。センサ原理として磁気式と光学式の二種類を比較し、それぞれの特徴を明らかにした。結果的に磁気を原理とするTMRセンサを採用し、角度センシングとフィードバック制御を実施した。

#### 4. 4) 高速回転型マイクロモータを用いたプロペラ推進機構

マイクロ超音波モータを高速回転させるための振動モードとして、従来の3波モードとベンディングモードの二種類について比較を行った。ステータが長い場合は、ベンディングモードが有利になり、高い回転数を得られることを明らかにした。新しくベンディングモードを用いるマイクロ超音波モータを設計し、プロペラを取り付けて駆動実験を行った(図5)。20000rpm以上の回転数を得ることが可能になり、予圧を調整することでトルクも20μNm以上に向上した。プロペラを含むモータデバイスの重量よりも、大きな推力を発生できるようになり、装置の短時間の空中浮揚にも成功した。またこのときの動力学を、ブレード要素理論を用いてモデル化し、空気中のみならず液中の駆動にも使えるモデルおよびシステムを提案できた。

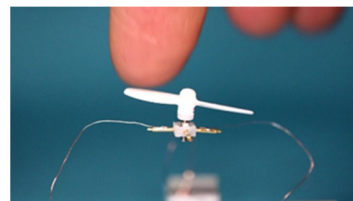


図5 小型プロペラ推進機構

#### 4. 5) マイクロリンク機構、視覚フィードバック制御手法、モータドライバ回路の開発

マイクロリンクの部品設計および扁平型超音波モータの試作をおこなった。電線とリンク部品を一体化するなど、電線による損失を減らす設計とした。超小型の予圧機構などを含めて扁平型モータを新しく設計し、おおむね目標値の約40μNmのトルクを得ることができた。しかし、試作モータの質のばらつきが観察されたため、最終的には安定して駆動できる立方体型のステータを用いて評価を実施した。マイクロリンク機構とハイスピードカメラをフィードバックループに組み込んだ視覚フィードバックシステムの開発を行った。このシステムを用いてリンク手先のフィードバック制御を行い、リンク手先が、円や四角などの与えられた図形に沿って駆動するデモを行ったところ、精度約60μmで制御することが可能であった。

半導体集積化技術により、モータを駆動するために必要な高周波発振器や昇圧回路を含むモータドライバの小型集積化を行った。駆動に必要な位相制御された高周波パルス信号を生成する可変周波数発振回路と位相調整回路を組み合わせた回路を設計し、学内の半導体集積回路クリーンルームで作製されたトランジスタパラメータを用いて現実的な回路設計を行い、回路シミュレーションからモータ駆動に求められる1MHzの周波数での位相制御されたパルス波形生成が得られる回路パラメータを得た。回路パラメータを基に、集積回路チップの作製に必要なマスクレイアウトを作製した。ポリシリコン2層、金属配線1層からなる集積回路作製プロセス条件を決定した。以上の結果より、集積回路技術を応用することでマイクロ超音波モータの駆動制御に必要なエレクトロニクス回路を1mmサイズに集約することが可能であることを示すことができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Mashimo Tomoaki、Izuhara Shunsuke	4. 巻 8
2. 論文標題 Review: Recent Advances in Micromotors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 213489 ~ 213501
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2020.3041457	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 Chiang Eric Tan Kai、Mashimo Tomoaki	4. 巻 329
2. 論文標題 Comparison study of bending and three-wave vibration modes for micro ultrasonic motors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 112801 ~ 112801
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sna.2021.112801	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 Izuhara Shunsuke、Mashimo Tomoaki	4. 巻 329
2. 論文標題 Design and characterization of a thin linear ultrasonic motor for miniature focus systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 112797 ~ 112797
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sna.2021.112797	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 Mashimo Tomoaki、Izuhara Shunsuke、Arai Shiro、Zhang Zhong、Oku Hiromasa	4. 巻 8
2. 論文標題 High-Speed Visual Feedback Control of Miniature Rotating Mirror System Using a Micro Ultrasonic Motor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 38546 ~ 38553
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2019.2957298	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 Kanada Ayato, Mashimo Tomoaki	4. 巻 25
2. 論文標題 Design and Experiments of Flexible Ultrasonic Motor Using a Coil Spring Slider	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	6. 最初と最後の頁 468 ~ 476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMECH.2019.2959614	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 Hutama Rudolf Yoga, Khalil Mohamed M., Mashimo Tomoaki	4. 巻 6
2. 論文標題 A Millimeter-Scale Rolling Microrobot Driven by a Micro-Geared Ultrasonic Motor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 8158 ~ 8164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2021.3104227	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 Chiang Eric Tan Kai, Urakubo Takateru, Mashimo Tomoaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Lift Generation by a Miniature Piezoelectric Ultrasonic Motor-Driven Rotary-Wing for Pico Air Vehicles	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 13210 ~ 13218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3146866	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 Mashimo Tomoaki, Oba Yoshinari	4. 巻 335
2. 論文標題 Performance improvement of micro-ultrasonic motors using the thickness shear mode piezoelectric elements	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 113347 ~ 113347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2021.113347	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 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 M. Hussain, T. Mashimo
2. 発表標題 Experimental Characterization of Submillimeter Scale Ultrasonic Motors
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPMA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Izuhara, T. Mashimo
2. 発表標題 Miniature Hollow Linear Ultrasonic Motor
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPMA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ETK. Chiang, Tomoaki Mashimo
2. 発表標題 Development of Micro Ultrasonic Actuator and Micro Rotor Blade for Micro Aerial Vehicle
3. 学会等名 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A.Kanada, T. Mashimo
2. 発表標題 Design of Flexible Ultrasonic Motor
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPMA2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Izuhara, T. Mashimo
2. 発表標題 Visual Feedback Control of Micro Ultrasonic Motor
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPA2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R.Hutama, Tomoaki Mashimo
2. 発表標題 Development of Movement System Using Micro Gear Robot
3. 学会等名 International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ETK. Chiang, Tomoaki Mashimo
2. 発表標題 Miniaturization of Ultrasonic Motor and Rotor Blade for Rotary-Wing Micro Aerial Vehicle
3. 学会等名 International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Izuhara, T. Mashimo
2. 発表標題 Micro Linear Ultrasonic Motor Using a Thin Stator
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPA2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 K. Kikuchi, T. Mashimo
2. 発表標題 Fabrication and Performance Improvement of Submillimeter-Scale Ultrasonic Motor
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPA2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Khalil, T. Mashimo
2. 発表標題 Minimize Temperature Influence on Micro Ultrasonic Motors
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators (IWPA2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川内智瑛, 吹中茉生, 真下智昭, 岡田 浩
2. 発表標題 AlGaIn/GaNヘテロ構造を用いたモノリシック集積回路の検討
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 岡田浩
2. 発表標題 窒化物半導体電子デバイスのプロセス開発と応用
3. 学会等名 第76回CVD研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021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
研究 分担 者	岡田 浩  (Okada Hiroshi)  (30324495)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授   (13904)	

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