

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02095

研究課題名（和文）メカニカルメタマテリアル設計理論とウェアラブル振動発電技術への応用

研究課題名（英文）Mechanical metamaterial design theory and its application to wearable vibration energy harvesting technology

研究代表者

鈴木 孝明（Suzuki, Takaaki）

群馬大学・大学院理工学府・教授

研究者番号：10378797

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）：ワイヤレス分散配置型の次世代IoT(Internet of Things)においては、メンテナンスフリーとするためのセンサノード用の環境発電技術が必須となる。本研究では、独自の微細加工技術である3次元リソグラフィにより作製するメカニカルメタマテリアル構造を用いて、低周波数・広帯域で効率良く発電するウェアラブル小型振動発電デバイスを開発した。自然界の材料では得ることが難しい特性を得るメタマテリアル構造を用いた設計原理を構築するとともに、機械的特性を任意に設計可能なデバイスにより、人体活動のランダム性の高い微小振動エネルギーを電気エネルギーに高効率に変換する振動発電素子を複数製作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メタマテリアルに関する研究は、主に電磁気学や光学の分野で急進している一方で、機械工学的なメタマテリアル（メカニカルメタマテリアル）に関する研究は、その基礎的な材料力学的特性に関する検討が多く、その構造を実際にデバイスに組み込んだ例はいまだ少ない。その中で、本研究の成果である論文では、メカニカルメタマテリアルを振動発電デバイスに応用し、そのコンセプトを実際に製作したデバイスで実証した最初の例として、スマートマテリアル系の総説論文などで紹介されるなどその学術的意義は高い。また、これらの構造や設計理論は、既存のMEMSデバイスの性能改善にも貢献できる可能性があり、現在、企業との共同研究も進めている。

研究成果の概要（英文）：Energy harvesting technology for sensor nodes is essential for maintenance-free next-generation IoT (Internet of Things) with wireless communications. In this research, we developed a wearable compact vibration energy harvesting device that efficiently generates power at low frequencies and broadband using a mechanical metamaterial structure fabricated by 3D lithography, a unique microfabrication technology. In addition to constructing the design principle of compliant mechanism using metamaterial structures, devices having arbitrarily design mechanical properties will enable power generation from random human motion. Vibration energy harvesting devices based of piezoelectric and triboelectric phenomena were manufactured to convert vibrational energy into electrical energy with high efficiency.

研究分野：マイクロメカトロニクス

キーワード：ナノマイクロメカトロニクス MEMS IoT 振動発電 圧電 摩擦帯電 メタマテリアル

1. 研究開始当初の背景

環境発電とは、環境中の微小なエネルギーを電気エネルギーに変換して利用する技術であり、 μW から mW 級の電力を得ることで、IoT (Internet of Things) システムを構成する膨大な数のセンサノードや、電源供給が難しい環境下での利用が想定されるモビリティ用・生体用ウェアラブルデバイスなどの自立電源として期待されている。特に、環境・健康モニタリング用途の次世代 IoT 向け環境発電デバイスには、環境や人の活動を妨げずに、それらが普段から発する微小エネルギー (風・熱・振動など) の利用が求められる。本研究では、環境発電の中でも早期の実現性が期待されている環境振動から発電する振動発電に関するものであり、ウェアラブルとなる小型化・軽量化を目的としている。ここで、効率良く発電するためには、環境や人の振動と、デバイスの固有振動数をあわせる必要があるが、一般にデバイスの固有振動数は、デバイスの小型化と共に高くなるため、未だ十分でないのが現状であった。

そこで本研究では、人とその周りの環境をターゲットとして、低周波数・広帯域な振動に対する振動発電技術として、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) を用いて設計・製作するボタン電池サイズのポリマーMEMS 振動発電デバイスについて、原理検証とその応用について検討することとした。とくに、その特性を実現する構造として、自然界に存在する物質にはありえない物性を持つ人工構造の物質であるメタマテリアルに着目した。従来、メタマテリアルは、光システムにおける負の屈折率を有する構造の研究などが盛んに行われてきた。さらに、メタマテリアル研究の中で、実施例は少ないがメカニカルメタマテリアルと呼ばれる特殊な機械的特性をもつ物質として、負のポアソン比を有する構造の探索などが続いているが、研究開始当初は、数値計算のみで加工が困難な構造や寸法であったり、構造検討のみで実用となるデバイスは未検討であったりした。

2. 研究の目的

本研究では、申請者の独自微細加工技術である 3D リソグラフィ法を用いて微細構造を組み合わせたメカニカルメタマテリアル構造を製作すると共に、その構造を用いて、デバイス外部環境の機械エネルギーをデバイス内部の振動、変形エネルギーに効率的に変換する圧電型振動発電デバイスを開発した。具体的には、人とその周りの環境の振動をターゲットとして、低周波数 (数十 Hz 以下)・広帯域 (インパルス、ランダム) な振動に対するボタン電池サイズの振動発電技術を、メタマテリアル構造を組み合わせたポリマーMEMS 振動発電デバイスを検討した。さらに研究期間の後半からは、デバイスの用途探索として、子供や高齢者などの生活弱者のみまもりや自然環境・農業・健康モニタリングなどの端末用電源、また、災害時の緊急用電源などの用途を中心に、振動発電デバイスの応用研究を推進した。

3. 研究の方法

本研究では、申請者の独自微細加工技術である 3D リソグラフィ法を用いて微細構造を組み合わせたメカニカルメタマテリアル構造を製作すると共に、その構造を用いて、デバイス外部環境の機械エネルギーをデバイス内部の振動、変形エネルギーに効率的に変換する圧電型振動発電デバイスを開発した。具体的には、3つの研究項目として、メカニカルメタマテリアル構造の検討、振動発電デバイスの発電特性評価、ウェアラブル応用検討からなる。

研究項目 については、メタ原子と呼ばれる周期的なメカニカルメタマテリアル構造を厚膜フォトリソグラフィを材料として 3D リソグラフィ法により複数作製検討し、1) 負のポアソン比、2) 面内ひずみの均一性、3) 柔軟性などについて、カンチレバー型や引張型などのモデルを使って有限要素法解析 (構造解析、モーダル解析) と実験による試作評価を比較しながら、メカニカルメタマテリアル構造の設計原理を抽出した。

研究項目 については、メカニカルメタマテリアル構造を含む振動発電デバイスとして、複数のデバイス形状 (ユニモルフ型、バイモルフ型、ダイヤフラム型など) の検討を行った。有限要素法による圧電 - 構造連成解析による発電量の予測に基づき、より最適な素子形状を検討した。また、デバイスの試作においては、圧電膜の成膜再現性が従来低かったが、分極処理の方法を検討し、分極時に膜質を電氣的に計測しながら処理する方法を検討した。

研究項目 については、人の歩行振動による発電特性検証をすすめた。小型無線モーションレコーダを用いて歩行振動を計測し、振動制御器を組み合わせた加振器によって、デバイスを実環境に近い状態で振動評価した。特に、人体の運動のランダム性として、繰り返し時の加速度のばらつきや、加速度の周波数の変化などを考慮に入れた実験系を構築し、ウェアラブルデバイスとしての有用性を検証した。

4. 研究成果

項目毎に成果をまとめる。

研究項目 については、メタ原子と呼ばれる周期的なメカニカルメタマテリアル構造を厚膜フォトリソグラフィ法により複数作製検討し、メカニカルメタマテリアル構造の設計原理を抽出した。本研究項目では、デバイス弾性層に適したメタマテリアル構造設計を構築することで、デバイス性能向上を検討した。また、広帯域化の手法として提案されている、インタポータと呼ばれる外部機構を用いたデバイスへの双安定特性付与についても、既存デバイスの広帯域化を目的として設計、試作を検討した。従来型の提案されているインタポータは磁気型双安定機構であるため、アセンブリを必要とし、デバイス構成の複雑化が懸念された。そこで、本研究では、モノリシック構造により双安定特性を有する曲がり梁に着目し、曲がり梁を用いたインタポータの振動特性を有限要素法解析およびデバイス作製により評価した。その結果、双安定特性の一例であるスナップスルーを伴う振動において、インパルス入力で生じる並行梁自由振動による周波数変換、および、ポテンシャルエネルギーを用いた大加速度振動による広帯域化および高効率化が可能であることがわかった。今後、非線形性を有する振動についての評価が進むことで、さらに機能を最適化したインタポータ設計が期待できることもわかった。

研究項目 については、メカニカルメタマテリアル構造を含む振動発電デバイスとして、複数のデバイス形状（ユニモルフ型、バイモルフ型、ダイヤフラム型など）を検討した。そのうち、圧電型の振動発電は、普遍的なエネルギー源やエネルギー密度の高さ、微細加工技術との親和性の高さなどから盛んに研究されてきた。特に、共振を利用し高い発電量を得るカンチレバ型デバイスは、構成が単純であるために設計が容易であり、大型化することで共振周波数を比較的下げやすいことから、低周波数向けデバイスとして研究されてきた。しかし、圧電カンチレバでは固定端付近に変形時のひずみが集中することや、高発電量を得るために振幅が大きくなりデバイスの占有体積が大きくなることから、スペースの有効活用が難しい。特に、低周波数化のためにポリマー材料が用いられる場合、固定端における強度について懸念される。一方で、固定部の多い両持ち型やダイヤフラム型では、カンチレバ型よりも広範囲にひずみが分布することが期待できるが、一般的に固定部が多いデバイスでは共振周波数が高い。そこで本研究項目では、柔軟であり、かつ負のポアソン比と呼ばれる特殊な変形挙動を示すオーセチック構造を弾性層に組み込むことで、デバイスサイズを変えることなく、デバイス全体の剛性を下げる方法について、有限要素法解析により検討した。その結果、オーセチック構造を有するダイヤフラム型デバイスについて、デバイスの低共振周波数化と高発電量を目的とした設計を行い、さらに、実際に、デバイスを試作・評価して、ダイヤフラム型 PVEH の有効性について検証した。その結果、デバイスの共振周波数は、オーセチック型で 53.6 Hz であり、比較対象として作製した平板型の共振周波数 76.8 Hz より約 31%低い周波数化が得られた。また、発電量についてはオーセチック型で 0.45 μ W を発生し、平板型と比較して 20%大きい値を示した。発電量については分極時の電界を 100 V/mm とすることで 2 倍以上の出力とすることが期待できる。また、デバイスの変位は 1 mm であり、カンチレバ型の変位と比較して、占有体積を減らすことができた。

研究項目 については、人の歩行振動による発電特性検証をすすめた。研究代表者らが検討してきた、デバイスの弾性層に柔軟性を有するメタマテリアル構造を有するメタマテリアル構造を取り入れることによって、小型デバイスにおける低共振周波数化と発電量の向上を達成してきたが、これまでのカンチレバ型振動発電デバイスは面外方向の振動を想定していた。ここで、デバイス実装の観点から、デバイスの設置角度のずれや、振動方向のずれが生じたとき、振動源から入力される振動は、面外方向からずれた振動になることがあり、面外方向以外の振動では発電効率が下がってしまうことが、懸念された。そこで本研究項目では、メタマテリアル構造と平板構造の弾性層を持つカンチレバ型 PVEH の加振方向と発電量の関係を解析と実験により評価することで、振動方向にずれが生じたときの発電性能への影響を評価した。その結果、解析結果より、カンチレバ型デバイスは角度を傾けたとき、メタマテリアル構造と平板構造では、発電量を正規化した時に変化はないため、角度を傾けても、発電量の比は一定であることが分かった。今回の検討範囲内では、圧電層膜厚が 5 μ m の時に、メタマテリアル構造の効果が大きく、傾けた場合にもその効果が持続することが分かった。また、実験評価系として、回転ステージを用いた傾斜治具を作製し、同様の特性を実験により得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Sekiguchi Ten, Ueno Hidetaka, Menon Vivek Anand, Ichige Ryo, Tanaka Yuya, Toshiyoshi Hiroshi, Suzuki Takaaki	4. 巻 35
2. 論文標題 UV-curable Polydimethylsiloxane Photolithography and Its Application to Flexible Mechanical Metamaterials	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 1995 ~ 1995
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM4351	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 Sano Ryota, Koyama Kentaro, Fukuoka Narumi, Ueno Hidetaka, Yamamura Shohei, Suzuki Takaaki	4. 巻 14
2. 論文標題 Single-Cell Microarray Chip with Inverse-Tapered Wells to Maintain High Ratio of Cell Trapping	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 492 ~ 492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi14020492	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 Yanagita Kosuke, Iida Taiki, Honma Hiroaki, Hashiguchi Gen, Toshiyoshi Hiroshi, Suzuki Takaaki	4. 巻 141
2. 論文標題 Triboelectric Nanogenerator with Microstructure Fabricated by 3D Lithography at Contact Interface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Sensors and Micromachines	6. 最初と最後の頁 254 ~ 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.141.254	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 鈴木孝明	4. 巻 59
2. 論文標題 微小エネルギー利用技術とそれを支える微細加工	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 伝熱 (日本伝熱学会学会誌)	6. 最初と最後の頁 27 ~ 32
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kuriyama Nobuaki、Nakajima Takashi、Ichige Ryo、Suzuki Takaaki	4. 巻 32
2. 論文標題 Piezoelectric Polymer Multilayer Coating Method for Vibration Energy Harvester	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2503 ~ 2503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2020.2875	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 Ueno Hidetaka、Maruo Katsuya、Inoue Masatoshi、Kotera Hidetoshi、Suzuki Takaaki	4. 巻 11
2. 論文標題 Cell Culture on Low-Fluorescence and High-Resolution Photoresist	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 571 ~ 571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi11060571	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 鈴木孝明	4. 巻 89
2. 論文標題 3次元リソグラフィ技術を用いた微細加工	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 応用物理 (応用物理学会誌)	6. 最初と最後の頁 589 ~ 593
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 Ichige Ryo、Kuriyama Nobuaki、Umino Yohei、Tsukamoto Takuya、Suzuki Takaaki	4. 巻 318
2. 論文標題 Size optimization of metamaterial structure for elastic layer of a piezoelectric vibration energy harvester	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 112488 ~ 112488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2020.112488	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50件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Kota Morishita, Vivek Anand Menon, Gen Hashiguchi, Hiroshi Toshiyoshi, Takaaki Suzuki
2. 発表標題 Power generation characteristic of a metamaterial PVEH device with directional misalignment between external and device vibration
3. 学会等名 2022 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kosuke Yamada, Yuya Tanaka, Takaaki Suzuki
2. 発表標題 Development of single cell trapping method using centrifugal force for chromosome stretching analysis
3. 学会等名 2022 JSME-IIP/ASME-ISPS Joint International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野涼太, 小山健太郎, 上野秀貴, 山村昌平, 鈴木孝明
2. 発表標題 マイクロアレイと三次元微小構造ウェル内の流れ場による細胞操作
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下浩多, 田中有弥, 本間浩章, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 圧電ポリマー振動発電デバイスのインパルス加振に対する発電特性評価
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田光将, 田中有弥, 鈴木孝明
2. 発表標題 遠心力を用いた細胞固定操作のためのマイクロ流体チップの設計
3. 学会等名 日本機械学会 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山健太郎, 佐野涼太, 田中有弥, 鈴木孝明
2. 発表標題 3Dリソグラフィ法を用いたマイクロアーチ構造アレイの作製
3. 学会等名 日本機械学会 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下浩多, 田中有弥, 本間浩章, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 圧電ポリマー振動発電デバイスのインパルス加振に対する発電特性
3. 学会等名 日本機械学会 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 関口天, 上野秀貴, Vivek MENON, 田中有弥, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 三次元裏面露光を用いたUV-PDMS製マイクロ構造の作製
3. 学会等名 日本機械学会 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野涼太, 小山健太郎, 上野秀貴, 山村昌平, 鈴木孝明
2. 発表標題 細胞マイクロアレイの三次元構造ウェルの流れ場による細胞固定効率
3. 学会等名 日本機械学会 第13回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丸山博史, 山吉慧, 山田駿介, 森下浩多, 田中有弥, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 フレキシブル自己発電型摩擦帯電センサをトリガとしたイベントドリブンセンサ端末
3. 学会等名 電気学会 第39回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木孝明
2. 発表標題 3次元微細形状を有するポリマー振動発電デバイス
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会分科企画シンポジウム「マイクロ・ナノスケール微細加工の表面界面先端技術」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木孝明
2. 発表標題 3次元微細形状を有するポリマー振動発電デバイス
3. 学会等名 第16回グリーンシステム技術分科会センシング技術応用研究会グリーンシステム技術(GST)分科会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Mikito Kitazawa, Vivek ANAND Menon, Hiroaki Honma, Gen Hashiguchi, Hiroshi Toshiyoshi, Takaaki Suzuki
2. 発表標題	Power-Harvesting Flexible Printed Circuit Board with Built-in Mechanical Metamaterial
3. 学会等名	The 35th International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Kosuke Yanagita, Yuki Sorimachi, Hiroaki Honma, Gen Hashiguchi, Hiroshi Toshiyoshi, Takaaki Suzuki
2. 発表標題	Triboelectric Nanogenerator with Random Nano-Microstructures Fabricated by Metal-PDMS Composites and Plasma Etching at Contact Interface
3. 学会等名	Materials Research Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	Ryota Sano, Kentaro Koyama, Narumi Fukuoka, Hidetaka Ueno, Shohei Yamamura, Takaaki Suzuki
2. 発表標題	Single Cell Microarray with Overhang Wells for Analyzing Calcium Response
3. 学会等名	The 25th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (国際学会)
4. 発表年	2021年

1. 発表者名	関口天, 市毛亮, 上野秀貴, 鈴木孝明
2. 発表標題	フォトリソグラフィを用いて作製したUV-PDMS製マイクロ構造の形状評価
3. 学会等名	日本機械学会 情報・知能・精密機器部門 (IIP部門) 講演会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 佐野涼太, 小山健太郎, 福岡なるみ, 上野秀貴, 山村昌平, 鈴木孝明
2. 発表標題 細胞脱落を抑制する微細構造ウェルからなる単一細胞マイクロアレイ
3. 学会等名 日本機械学会 情報・知能・精密機器部門 (IIP部門) 講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐野涼太, 小山健太郎, 福岡なるみ, 上野秀貴, 山村昌平, 鈴木孝明
2. 発表標題 液の流れによる細胞脱落を抑えたマイクロアレイ
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関口天, 市毛亮, 上野秀貴, 鈴木孝明
2. 発表標題 マイクロデバイス応用に向けた光硬化性シリコンゴムの微細加工法
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山健太郎, 佐野涼太, 福岡なるみ, 鈴木孝明
2. 発表標題 3Dリソグラフィ法を用いたマイクロアーチ構造アレイの作製とそのバイオ応用
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳田幸祐, 山吉慧, 本間浩章, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 接触界面に微小入力荷重に対応した微細構造を有するトライボ発電デバイス
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北澤幹人, Vivek MENON, 本間浩章, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 圧電ポリマーを用いた発電フレキシブルプリント基板のためのメタマテリアル弾性層の設計
3. 学会等名 日本機械学会 第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山 健太郎, 佐野涼太, 福岡なるみ, 鈴木孝明
2. 発表標題 単一細胞マイクロアレイの初期細胞固定率を向上するウェル構造の設計
3. 学会等名 日本機械学会 第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳田幸祐, 飯田泰基, 本間浩章, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 微小入力エネルギーに対応したマイクロ界面構造を有するトライボ発電デバイス
3. 学会等名 日本機械学会 第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関口天, 市毛亮, 上野秀貴, 鈴木孝明
2. 発表標題 UV-PDMSの微細加工における露光後硬化条件の定量的評価
3. 学会等名 日本機械学会 第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 青木悠里, 田村隆大, 小此木孝仁, 鈴木 孝明
2. 発表標題 マイクロ流体チップと一体成型可能な3Dインレット構造の高耐圧化
3. 学会等名 日本機械学会 第12回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野涼太, 小山健太郎, 福岡なるみ, 上野秀貴, 山村昌平, 鈴木孝明
2. 発表標題 単一細胞マイクロアレイのウェル形状最適化とカルシウム応答解析への応用
3. 学会等名 電気学会 第38回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関口天, 市毛亮, 上野秀貴, 鈴木孝明
2. 発表標題 UV-PDMSのフォトリソグラフィによる微細加工特性の評価
3. 学会等名 日本機械学会 2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山健太郎, 佐野涼太, 福岡なるみ, 鈴木孝明
2. 発表標題 複数の液排出構造を備えた細胞マイクロウェルアレイの加工と評価
3. 学会等名 電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐野涼太, 小山健太郎, 福岡なるみ, 上野秀貴, 山村昌平, 鈴木孝明
2. 発表標題 三次元リソグラフィを用いて作製した単一細胞固定マイクロアレイのサイズ選択性
3. 学会等名 電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丸山博史, 青木将也, 鈴木孝明
2. 発表標題 マイクロスケールのアンカー効果によるポリマーMEMS材料の接合強度への影響
3. 学会等名 電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木孝明
2. 発表標題 染色体を伸長解析するバイオチップの微細加工と応用
3. 学会等名 新技術説明会：先端ものづくり技術
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木孝明
2. 発表標題 3次元微細形状を有するポリマー振動発電デバイスの開発
3. 学会等名 サイエンス&テクノロジー株式会社 セミナー「振動発電技術の開発動向」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hidetaka Ueno, Yuri Aoki, Kenji Hanamura, Mai Yamamura, Tomoaki Shirao, Takaaki Suzuki
2. 発表標題 Development of Closed and pumpless Platform for Co-culture in Minimalized Space
3. 学会等名 The 24th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木悠里、田村隆大、鈴木孝明
2. 発表標題 マイクロ流体デバイスに実装可能な高耐圧3Dインレット構造の作製
3. 学会等名 電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳田幸祐、飯田泰基、本間浩章、橋口 原、年吉 洋、鈴木孝明
2. 発表標題 接触界面に微細ピラミッド構造配列を有するトライボ発電デバイス
3. 学会等名 電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北澤幹人、本間浩章、栗山頌明、橋口原、年吉洋、鈴木孝明
2. 発表標題 ポリマー圧電材料を用いた発電フレキシブルプリント基板の開発
3. 学会等名 日本機械学会 2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳田幸祐、飯田泰基、本間浩章、橋口原、年吉洋、鈴木孝明
2. 発表標題 3D リソグラフィ法により作製した微細ピラミッドアレイを接触界面に有する トライボ発電デバイス
3. 学会等名 電気学会 第37回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市毛亮、栗山頌明、海野陽平、塚本拓野、鈴木孝明
2. 発表標題 圧電振動発電デバイスのためのメカニカルメタマテリアル弾性層の寸法最適化
3. 学会等名 電気学会 第37回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木悠里、田村隆大、鈴木孝明
2. 発表標題 ソフトリソグラフィ法を用いてマイクロ流路と一体成形可能な3D流体コネクタの開発
3. 学会等名 電気学会 第37回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須賀海成, 鈴木孝明
2. 発表標題 3次元リソグラフィを用いたクローズド染色体伸張解析チップの作製
3. 学会等名 日本機械学会 第11回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗山頌明, 海野陽平, 塚本拓野, 市毛亮, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 2Dメカニカルメタマテリアル構造を有するダイヤフラム型振動発電デバイスの作製と評価
3. 学会等名 日本機械学会 第11回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市毛亮, 上野秀貴, 本間浩章, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 振動発電のための双安定構造を用いた周波数変換インターポーザの開発
3. 学会等名 日本機械学会 第11回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北澤幹人, 本間浩章, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 メカニカルメタマテリアル構造を有した発電フレキシブルプリント基板
3. 学会等名 日本機械学会 第11回マイクロ・ナノ工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青木悠里, 田村隆大, 小此木孝仁, 鈴木孝明
2. 発表標題 マイクロ流路と一体成型可能な3Dインレット構造の開発
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柳田幸祐, 飯田泰基, 本間浩章, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 3Dリソグラフィ法により作製したマイクロメートルオーダーの界面構造を有するトライボ発電デバイスの開発
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市毛亮, 上野秀貴, 本間浩章, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 MEMS振動発電デバイスのための周波数変換インターポーザの開発
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 栗山頌明, 海野陽平, 塚本拓野, 市毛亮, 橋口原, 年吉洋, 鈴木孝明
2. 発表標題 多層圧電膜とメカニカルメタマテリアル構造を組み合わせたダイヤフラム型MEMS振動発電デバイスの開発
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須賀海成, 鈴木孝明
2. 発表標題 微細加工技術を用いて作製したヒト染色体向け遺伝子解析マイクロチップ
3. 学会等名 日本機械学会関東支部群馬ブロック研究・技術交流会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木孝明
2. 発表標題 ポリマーMEMSの微細加工法の構築とその振動/変形発電応用
3. 学会等名 将来加工技術第136委員会 令和2年度第2回研究会(招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 桑野博喜(分筆_14章:鈴木孝明)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 287
3. 書名 オンサイトエネルギー	

1. 著者名 執筆者:54名、技術情報協会(分筆:鈴木孝明、第8章、第2節)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 508
3. 書名 メタマテリアルの設計、作製と新材料、デバイス開発への応用	

1. 著者名 日本学術振興会将来加工技術第136委員会 / 編 (分筆: 鈴木孝明)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 日本工業出版株式会社	5. 総ページ数 160
3. 書名 将来加工技術の展望	

1. 著者名 鈴木 雄二、秋永 広幸、神野 伊策、篠原 真毅、竹内 敬治、八馬 弘邦、舟橋 良次、宮崎 康次 (分筆: 鈴木孝明、第4編、第1章、第4節)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 528
3. 書名 環境発電ハンドブック 第2版	

〔産業財産権〕

〔その他〕

群馬大学 鈴木孝明 研究室 HP https://mems.mst.st.gunma-u.ac.jp/ 若手優秀講演フェロー賞と若手優秀講演表彰を受賞 https://www.st.gunma-u.ac.jp/20210322-mskuriyamasuga/ 奨励賞を受賞 https://www.st.gunma-u.ac.jp/news2020120802/ Young Researcher Paper Award 2019を受賞 https://www.st.gunma-u.ac.jp/20200410-msiida/

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