

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：13903

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18821

研究課題名（和文）電流電圧の協奏を目指す新奇なバイナリー創エネ材料の研究

研究課題名（英文）Novel Binary Energy Generation Materials for Current-Voltage Concertation

研究代表者

柿本 健一（Kakimoto, Ken-ichi）

名古屋工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：40335089

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：焦電性と圧電性を兼ね備えた新材料を各種合成し、外部から動的歪みを与えた場合の内部電位の可視化や界面の絶縁耐性の評価、振動力/焦電発電および電気熱量効果に関する各種評価試験を実施し、電流電圧出力特性の類似性と協奏メカニズムを明確にした。さらに、片持ち梁状の振動付与と比較して、振り子型の振動付与では圧電体のせん断変形モードが強く働くことなど、振動を付与する環境も上記の協奏現象に影響することを実測とシミュレーションで解析可能とし、圧電/焦電効果を組合せた新奇なバイナリーエネ変換材料の創成とその精密評価技術の獲得に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IoT社会を見据えた現在、電池不要化技術に関心が集まるが、出力源の偏在性や発生電力などに注目するあまり、基本となる電流と電圧の関係性についての科学的関心がいっそう希薄になってきた。そこで本研究では、環境発電に関して、電流と電圧の秩序ではなく、協奏に着目し、温度差不要の熱発電と振動発電を同時に協奏させた新機軸のバイナリー創エネ材料の研究に挑戦した。材料工学以外にも特に機械工学的な観点から見たマルチタスク有限要素解析を進めることにより、受振特性と発電性能に優れる材料形状等の最適解も獲得したことで、扱い難い300 以下の廃熱エネ変換など、卓越した工業的成果への発展が期待できる重要な知見を得た。

研究成果の概要（英文）：Various new materials with both pyroelectric and piezoelectric properties have been synthesized. The internal potential was visualized, and the insulation resistance of the interface was evaluated when they were subjected to external dynamic strain. We also conducted various evaluation tests on the vibratory force/pyroelectric power generation and electric calorific effect to clarify the similarity of current-voltage output characteristics and the concerted mechanism. Furthermore, the environment in which vibration is applied also influences the above concerted phenomena, such as the shear deformation mode of the piezoelectric material working strongly in the pendulum-type vibration compared to the cantilever-type vibration, through actual measurements and simulations. We have succeeded in developing novel binary energy conversion materials that combine piezoelectric/pyroelectric effects and a cutting-edge precise evaluation technology.

研究分野：材料工学

キーワード：環境発電

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

“電流”が先か“電圧”が先か? 「電力の出自」は謎であり、その独立制御も不可能である。IoT (Internet of Things) 社会を見据えた現在、電池不要化技術(環境発電 = Energy Harvesting、EH)に関心が集まり、各種の環境発電方式が出揃いつつある。しかし、出力源の偏在性(場所、時間、連続性など)や発生電力に注目するあまり、基本となる電流と電圧の関係性についての科学的関心がいっそう希薄になってきた。例えば、太陽光発電、温度差発電、振動発電といった代表的な発電方式では、それぞれ室内光への対応、温度差の確保、製造コストの削減などが克服すべき技術課題として挙げられ、小さな発電出力密度を補うために、昇圧コンバーターの改良など回路設計が研究開発の中心になっている。

しかし、パワーエレ应用を含むトランスデューサーの設計では、電力の「出自」を無視し、磁束密度の変化を介して電界変化 電流発生順に考えるのが常である。一方、自ら電気機械的な結合を示すトランスデューサー材料“圧電体”では、磁束ではなく電束密度の変化を介して、応力を加えると誘電分極を生じ、逆に電界を加えると歪みを生じる。さらに、電界や応力を与えなくとも、自発的な誘電分極をすでに持ち、温度の刺激だけで電束密度が変化する“焦電体”もある。

圧電体による振動発電では、単発振動時でも数 10V の電圧が発生するが、逆に電流量が僅少のため、そのままでは EH 応用しにくい。しかし、熱源と材料を適性配置すると、振動変位は電圧発生と同時に、一定温度の熱源との距離を変化させることも可能とし、その往還温度差によって焦電効果が機能し、電流発生を促すものと想定した。その結果、“ある程度”暖かい廃熱振動源さえあれば、腐心してわざわざ温度差を作らなくとも、一つの材料中で電圧と電流をそれぞれ圧電および焦電効果によって協奏的に取り出すといった新機軸の EH 材料が提案可能と見込んだ。

2. 研究の目的

そこで本研究では、EH に関して「革新的かつ全く新しい発想に基づく研究」に挑戦することを目的とし、電圧と電流の秩序(順序)ではなく、“協奏”に着眼した。そのキーワードは、“熱源への自発的な接近と離脱(往還)”であり、一つの材料中において圧電/焦電機能を同時に誘引すれば、図 1 に示す概念図の通りに電圧と電流出力を協奏させた優れた EH 素子が創出可能であるとの着想に基づく。また、振動付与形態を変更した場合の発電電力の変化についても一考した。

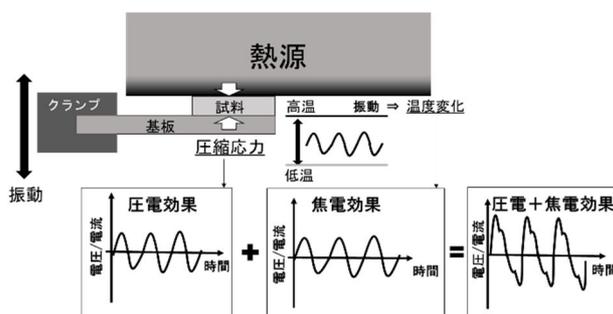


図 1 . 圧電/焦電バイナリー発電の概念図

3. 研究の方法

(1) 圧電/焦電バイナリー材料の製作と発電評価

本研究では以下に示す 2 つのモデル材料 i) 及び ii) に対して、振動および熱を付与した場合の創エネ測定を実施した。熱利用に際して熱変性が低い 0-3 型高分子複合材料の適用を目的とし、イミド結合を有する耐熱性高分子とセラミックフィラーからなる複合材料シートを作製した。固相反応合成した酸化物系セラミック粉末を体積割合で 0~30 vol.% となるようにイミドワニス中に分散させ、スラリーを調整した。得られたスラリーをテープ成型し、加熱による脱水重合反応(イミド化)させて、シート状の固化体を得た。一方 ii) 特に室温付近に優れた圧電・焦電特性を有するキューボイド状の酸化物系セラミック材料も得た。温度可変評価が可能となる振動発電評価機構として、赤外線集光加熱器による局所加熱と振動発生器により、特に曲げ振動の付与を特徴とする装置群を使用した(図 2)。

i) 高分子複合材の場合は、長辺方向に対して加熱(室温~200 まで)しながら曲げ振動を付与し、この時に生じた電圧変化を記録した。他方、有限要素プログラムを用いて、複合組織内のミクロ構造を模した 2 次元単位モデルを作成し、ミクロ物性からマクロ物性が予測可能なマルチスケール解析により複合体内部の変形挙動と併せて電圧変化値を予測し、実測と比較した。

ii) キューボイド材料の場合は、その圧電及び焦電効果により誘起される電圧及び電流波形が互いに打ち消し合うことなく計測評価可能とするため、

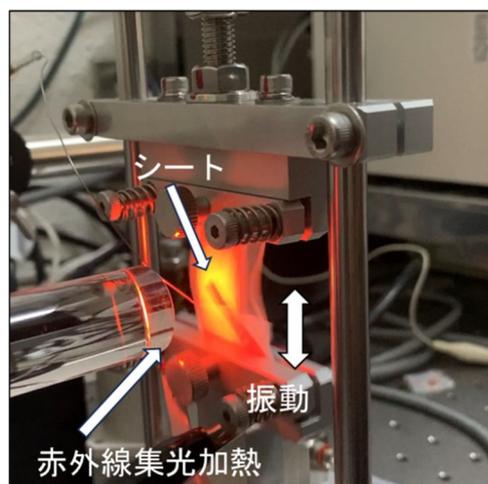


図 2 . 局所加熱可能な振動発電評価

熱源直下にて試料が往還運動する特殊な評価装置を製作した(図3)。すなわち、テスト材料をステンレスビームの先端に接着し、固定熱源下にてカンチレバー型の振動を促すことで、試料が受けるせん断(シエア)応力を抑えつつ、同一材料の表裏に生じる「圧縮負荷と加熱」(熱源への接近)並びに、「圧縮緩和と冷却」(熱源からの離脱)が得られる。さらに、圧電/焦電連成解析によりこの発電波形を予測可能とした。

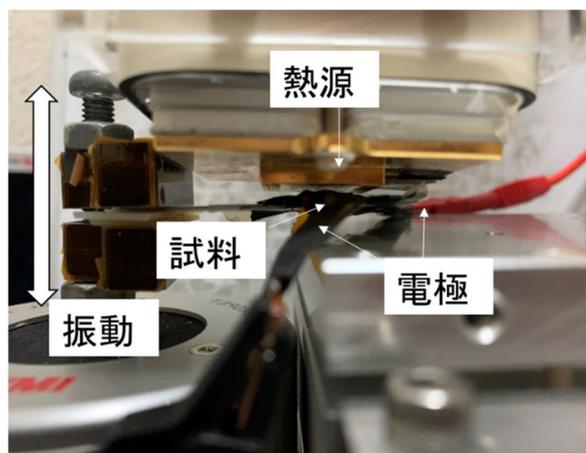


図3．熱源との間を往還する振動発電評価(図2と違い、熱源と振動付与方向が平行)

(2) 振り子式圧電シエアモード素子の製作と発電評価

上記とは異なり、圧電シエアモードに特化した発電評価装置を用いて、振動発電におけるシエアモードの効果を検証した。モデル材料は上記(ii)と同系の酸化セラミックスで、その試料長辺方向に電極を塗布し、適切な条件のもと分極処理した。その後、電極を研磨除去し、次に90度直行した試料厚み方向に電極を新たに塗布し、シエアモード由来の発電特性のみ強調して得られる素子を製作した。厚み方向にカンチレバー式単純振動を与える比較方式(L字型)に対して、シエアモード特化方式(I字型)の評価では、試料の両表面を長さの異なるステンレス金属板にそれぞれ接着し、一方をシェイカーに固定、他方は錘をつけた配置とし(図4)、シェイカーによる振動周波数を10-200 Hzとして設定して発電量を計測した。また、有限要素シミュレーターFemtet®を用い、振動付与時の圧電セラミックス中の応力分布も解析した。

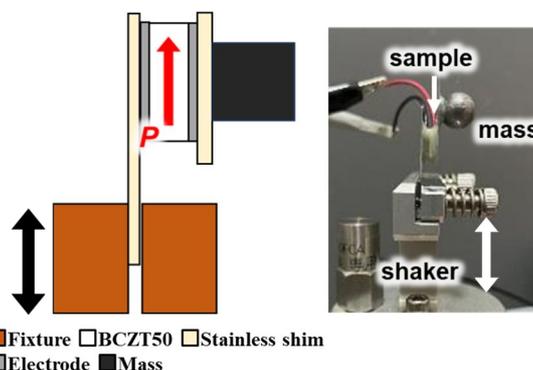


図4．振り子式圧電シエアモード素子の評価

4. 研究成果

(1) 圧電/焦電バイナリー材料

セラミックフィラー(0-30vol%)が分散した高分子複合シートには、目立った気泡痕やクラックは無く、理論密度、機械特性、誘電率の評価により、良好にイミド化した試料を得られた。すべての試料において、熱分析結果から、200℃まで熱変性の無いことが確認され、曲げ振動により生じる電圧も200℃までの優れた温度特性を示した。またフィラーが分散したモデルにおける有限要素解析により、変形時の材料内のひずみ分布や、電束密度、電位分布といった電気物性を可視化にも成功した。併せて、複合組織内の不均一なひずみ・電位・電束密度分布や、熱膨張によって応力伝搬そのものが緩和されるといった、副次的な要因も発電計測値に寄与していることを検証可能とした。

キューボイド状のセラミックス単体に対して、熱源下の往還運動において、異なる負荷抵抗(1kΩ~10GΩ)に接続した際の電圧・電流値を測定した結果、圧電効果のみに由来する電圧や電流波形が新たに得られ、有限要素シミュレーションで予測された波形と傾向が一致した。さらに、負荷抵抗が圧電・焦電効果を分離して評価できる重要な要因であることが明らかになり、電圧および電流値の大小だけではなく、出力波形の形状そのものを変化させていることも判明した。このうち、熱源下における2Hzの往還振動条件では、試料表面に最大4℃の温度差が生じ、室温下の結果と比較すると、負荷抵抗10GΩにおけるピーク電圧値は1.5倍増加し、1kΩではピーク電流値が2.6倍増加した。圧電と焦電波形は、それぞれ応力と熱の伝搬速度差に基づいて、両効果が分離して観測できることが初めて明らかとなった。これは、圧電・焦電両効果により生じる電圧波形をモデル計算した結果からも支持された。すなわち、熱源下における材料の往還運動(変形)を利用して、圧電効果と焦電効果による電圧および電流の分離評価法を確立した。

(2) 振り子式圧電シエアモード素子

圧電式振動発電において発生する電圧は圧電定数に起因することが知られ、圧電定数 d_{33} に比べ、材料種によってはシエアモードの d_{15} が50%程度高い値を持つことがあるため、せん断応力を利用する振動発電素子も候補に加わる。これまで、カンチレバー構造(L字型)を用いた圧電

シヤモードの振動発電例が多数報告されているが、試料への印加応力と発電量の相関については不明のままである。そこで、この相関について調べることに加え、L字型以外にせん断応力が最も寄与すると考えられる振り子型（I字型）の素子の振動発電特性について比較した。L字型では65 Hzにおいて一つのピークを持ち、その出力電圧は最大410 mVであった。一方、I字型では140 Hzにおいて最大値が815 mVのピークがあり、加えて10-100 Hz帯の低周波数帯でも300mVレベルの出力が広範囲に観測された。出力電圧の大きさは、圧電セラミックスにより大きな応力が負荷されたためと考えられるが、方向が異なる応力成分の複合的な寄与によって周波数依存性にこのような特徴的な傾向が現われていることが予想された。有限要素解析によると、L字型では主な応力成分はカンチレバー形状の厚み方向曲げ変形による圧電セラミックス両表面で生じる圧縮及び引張応力成分であり、せん断応力は僅かに印加されるだけであることが確認できた。他方のI字型の出力曲線では、せん断変形や曲げ変形からなる複雑なマルチモード変形によるものと解析できた。そのため、圧電・焦電効果の協奏と性能向上には「振り子型」も重要な振動形態であることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件/うち国際共著 12件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Zhuo Fangping, Eckstein Udo R., Khansur Neamul H., Dietz Christian, Urushihara Daisuke, Asaka Toru, Kakimoto Ken-ichi, Webber Kyle G., Fang Xufei, Roedel Juergen	4. 巻 105
2. 論文標題 Temperature induced changes of the electrical and mechanical properties of aerosol deposited BaTiO ₃ thick films for energy storage applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 4108 ~ 4121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.18377	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 Eichhorn Franziska, Schiegerl Helmut, Koellner David, Kakimoto Ken-ichi, Fey Tobias	4. 巻 259
2. 論文標題 Stress and Deformation Behavior of 2D Composite Cellular Actuator Structures of Ceramic Building Blocks and Epoxy Resins	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 physica status solidi (b)	6. 最初と最後の頁 2100591 ~ 2100591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.202100591	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 Samma Takahiro, Fuchigami Teruaki, Nakamura Shuichi, Fey Tobias, Kakimoto Ken-ichi	4. 巻 259
2. 論文標題 Aligned Porous Structure of (Ba,Ca)(Ti,Zr)O ₃ Piezoelectric Ceramics for Enhanced Catalytic Activity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 physica status solidi (b)	6. 最初と最後の頁 2100611 ~ 2100611
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssb.202100611	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 Koellner David, Biggemann Jonas, Simon Swantje, Hoffmann Patrizia, Kakimoto Ken-ichi, Fey Tobias	4. 巻 10
2. 論文標題 Additive manufactured replica foams	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Open Ceramics	6. 最初と最後の頁 100258 ~ 100258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceram.2022.100258	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 Yamamoto Ryota, Hegendoerfer Andreas, Mergheim Julia, Kakimoto Ken-ichi	4. 巻 61
2. 論文標題 Temperature-dependent vibration energy harvesting performance of polyimide/(Na,K)NbO ₃ piezoelectric composites	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SN1028 ~ SN1028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac835c	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 Martin Alexander, Webber Kyle G., Kakimoto Ken-ichi	4. 巻 61
2. 論文標題 Mechanical and electrical properties of Na _{0.55} K _{0.45} NbO ₃ + 0.2% MnO/Al ₂ O ₃ composites for energy harvesting applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SN1032 ~ SN1032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac85f7	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 KoeIIner David, Simon Swantje, Niedermeyer Sebastian, Spath Isabella, Wolf Edwyn, Kakimoto Ken-ichi, Fey Tobias	4. 巻 25
2. 論文標題 Relation between Structure, Mechanical and Piezoelectric Properties in Cellular Ceramic Auxetic and Honeycomb Structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 2201387 ~ 2201387
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adem.202201387	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 Eichhorn Franziska, Bytomski Julia, Gerauer Markus, Kakimoto Ken-ichi, Fey Tobias	4. 巻 15
2. 論文標題 Improved Mechanical Amplification of Monolithic PZT and PZT Composite via Optimized Honeycomb Macrostructures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 7893 ~ 7893
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15227893	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 Eckstein Udo, Khansur Neamul H., Urushihara Daisuke, Asaka Toru, Kakimoto Ken-ichi, Fey Tobias, Webber Kyle G.	4. 巻 48
2. 論文標題 Defect modulated dielectric properties in powder aerosol deposited ceramic thick films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 33082 ~ 33091
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2022.07.241	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 Hoffmann Patrizia, Koellner David, Simon Swantje, Kakimoto Ken-ichi, Fey Tobias	4. 巻 13
2. 論文標題 Modular lead-free piezoceramic/polymer composites with locally adjustable piezoelectric properties	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Open Ceramics	6. 最初と最後の頁 100320 ~ 100320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceram.2022.100320	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 Martin Alexander, Webber Kyle G., Kakimoto Ken-ichi	4. 巻 13
2. 論文標題 Influence of Oxygen Vacancies on the Impedance Spectrum of Al ₂ O ₃ Na _{0.5} K _{0.5} NbO ₃ Composites	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 463 ~ 463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst13030463	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 Yamamoto Ryota, Hegendoerfer Andreas, Mergheim Julia, Kakimoto Ken-ichi	4. 巻 60
2. 論文標題 Vibration energy harvesting and internal electric potential of (Na,K)NbO ₃ /polyimide piezoelectric composites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SFEE01 ~ SFEE01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac1c3e	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16件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 山本凌大、A. Hegendoerfer、J. Mergheim、柿本健一
2. 発表標題 ポリイミド/(Na,K)NbO ₃ 複合シートの振動発電と温度依存
3. 学会等名 第39回強誘電体会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 A. Martin , K. Webber and K. Kakimoto
2. 発表標題 Mechanical and Electrical Properties of Piezoelectric Al ₂ O ₃ -KNN 0-3 Composites
3. 学会等名 第39回強誘電体会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本庄正弥、淵上輝顕、柿本健一
2. 発表標題 BCTZ/PVDF 無機有機複合シートの圧延処理と絶縁破壊挙動
3. 学会等名 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Martin Alexander、Kakimoto Ken-ichi
2. 発表標題 Energy harvesting properties of 0-3 Al ₂ O ₃ -(Na,K)NbO ₃ composites
3. 学会等名 日本セラミックス協会第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本庄正弥, 淵上輝顕, 柿本健一
2. 発表標題 熱プレスした無機有機複合シートの電気熱量効果
3. 学会等名 2022年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川瀬歩夢, Hegendoerfer Andreas, Mergheim Julia, 柿本健一
2. 発表標題 有機無機複合シートのねじり振動発電評価
3. 学会等名 2022年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 嘉藤直帆, MARTIN Alexander, 柿本健一
2. 発表標題 振動発電に及ぼす圧電セラミックスにおける弾性率の影響
3. 学会等名 2022年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細野真希, 三摩享弘, 柿本健一
2. 発表標題 多孔質圧電セラミックスの表面電荷密度測定
3. 学会等名 日本セラミックス協会2023年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Kakimoto
2. 発表標題 Recent Advances in Ferroelectric Ceramics for Vibration Energy Harvesting, Piezocatalytic and Electrocaloric Properties
3. 学会等名 日本セラミックス協会2023年会（国際セッション）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 R. Yamamoto, R. Hasegawa, J. Mergheim, K. Kakimoto
2. 発表標題 Fabrication and Vibration Energy Harvesting of Polymer/Ceramic Multilayer Structure
3. 学会等名 AMF-AMEC 2022（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Martin、野崎拓実、小林凌太、柿本健一
2. 発表標題 0-3 ceramic-ceramic composites for enhanced mechanical and energy harvesting properties
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本凌大、A. Hegenroterfer、J. Mergheim、柿本健一
2. 発表標題 ポリイミド/圧電粒子コンポジットの振動発電と耐熱性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本凌大、A. Hegendoerfer、J. Mergheim、柿本健一
2. 発表標題 有機無機コンポジット振動発電素子の内部電位
3. 学会等名 第41回電子材料研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本凌大、A. Hegendoerfer、J. Mergheim、柿本健一
2. 発表標題 ポリイミド/(Na,K)NbO ₃ 圧電シート積層体の作製と振動発電評価
3. 学会等名 2021年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本庄正弥、淵上輝顕、柿本健一
2. 発表標題 強誘電性有機無機複合シートにおける界面制御と電気熱量効果
3. 学会等名 2021年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本凌大、Hegendoerfer Andreas、Mergheim Julia、柿本健一
2. 発表標題 電界紡糸法による有機無機コンポジット積層体の作製と振動発電評価
3. 学会等名 日本セラミックス協会2022年年会
4. 発表年 2022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
研究協力者	ウェバー カイル グラント (Webber Kyle Grant)		
研究協力者	メルグハイム ユリア (Mergheim Julia)		
研究協力者	ファイ トビアス (Fey Tobias)		
研究協力者	マーチン アレクサンダー (Martin Alexander)		

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		
ドイツ	Univ. Erlangen-Nuremberg		