

令和 5 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H00733

研究課題名（和文）圧電・磁歪材料力学設計による電子複合材料の高エネルギー変換機能の創出

研究課題名（英文）Piezoelectric and Magnetostrictive Mechanical Design and Development of High Energy Conversion in Electronic Composite Materials

研究代表者

成田 史生（Narita, Fumio）

東北大学・環境科学研究科・教授

研究者番号：10312604

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 29,400,000円

研究成果の概要（和文）：圧電・磁歪材料力学に基づくマルチフィジックス数値シミュレーション法を確立し、複合材料のマイクロ・ナノ構造制御を起点とした素子開発技術と協働することで、様々なモノに貼ることができる軟らかくて強靱な圧電・磁歪フィラー分散複合材料の開発を試み、電磁力学特性とエネルギー変換機能を解明した。そして、最適な作製条件や構造を見出し、高効率な環境発電デバイスの設計指針を提供した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果は、電磁材料力学、複合材料工学、エネルギー変換工学を融合した学際領域学術体系の確立と応用に資する点で重要な意義を有し、機能材料・構造とエネルギー・環境を融合した新しい学際領域学術体系の確立が期待される。また、環境発電デバイスの設計指針を提供することが可能となり、最適設計されたエネルギー変換デバイスにより、IoT機器の動作に合わせた電力供給を実現する環境発電ユニットが社会実装でき、経済・社会的影響は多大である。

研究成果の概要（英文）：By establishing multi-physics numerical simulation methods based on the mechanics of piezoelectric and magnetostrictive materials, and by collaborating with device development technology based on micro/nano structural control of composite materials, flexible and high strength piezoelectric/magnetostrictive filler-dispersed composite materials were developed. Their electrodynamic properties and energy conversion performance were then discussed. The optimum fabrication conditions and structures were found, and the design guidelines for highly efficient energy harvesting devices were provided.

研究分野：工学

キーワード：マルチスケール材料力学 数値シミュレーション 材料試験 強誘電材料システム 高分子系複合材料
電磁場-力学場相互干渉 振動発電 スマート材料・構造

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

あらゆるモノがインターネットにつながるモノのインターネット (Internet of Things: IoT) は、様々な分野でビジネスのあり方を大きく変えようとしている。モノにセンサが搭載され、プロセスがデータとして収集された後、インターネットを経由することで、品質・効率の向上や新しい価値・サービスの創出が可能となる。一方、センサの数は、爆発的な勢いで増えることが予想され、2030年には1兆個に達するといわれている。センサの駆動やデータの通信には、電力が必要であり、1兆個レベルのセンサに電池を使用する場合は、環境面、資源面およびコスト面で極めて大きな社会問題となる。このため、自然界環境に広く存在する未利用のエネルギー (振動、熱、光、電波など) から電力を回収するエネルギーハーベスティングが注目を集め、センサ駆動・データ通信電力としての利用が期待されている。

エネルギーハーベスティング材料として有望な圧電セラミックスは、脆く、また、絶縁体であるため、振動で得られる電圧が大きくても電流が小さく、大きな電力は得られない現状にある。また、振動発電を可能とするチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) 系圧電セラミックスには、有害物質 (鉛) が含まれているため、環境問題上、非鉛系圧電材料の開発が急務の課題となっている。一方、1000-3000 ppm (ppm は 10^{-6}) 程度の超磁歪特性を示す Tb-Dy-Fe 合金 (Terfenol-D) は、脆さや渦電流発生などが問題となっており、高価格であるという欠点も有している。また、FeGa 合金 (Galferol) は、300 ppm 程度の磁歪特性を示すが、生産・加工の難しさが製品化の障害となっている。最近、FeCo 磁歪合金が鍛造・冷間加工によって開発され、合金組成と熱処理の影響が検討されている。

上述のように、圧電効果や逆磁歪効果を有する材料の開発研究が実施されているが、エネルギーハーベスティング材料としては未だ実用化・商品化に至っていない状況にある。

2. 研究の目的

本研究は、環境に配慮した非鉛系圧電材料と、比較的安価なコバルト系磁歪材料を取り上げ、エネルギー変換効率を最大限に引き上げるための基盤技術を創出し、柔軟で強靱な複合材料に展開することを第一目標としている。また、試作した複合材料の電磁材料力学的挙動を解明・制御する点も目標の一つである。

3. 研究の方法

(1) チタン酸バリウム (BTO)・ニオブ酸カリウムナトリウム (KNN) ナノ粒子分散複合材料をモデリングし、数値シミュレーションを行って、複合材料特性を明らかにする。また、ナノ粒子分散複合材料を試作し、分極処理を施して、材料特性を評価する。さらに、BTO・KNN ナノ粒子複合ポリマーの発電試験を実施し、発電量を明らかにする。

(2) 電磁場-力学場相互干渉に関するマルチスケール・マルチフィジックス数値シミュレーション法を確立・応用し、磁歪複合材料の特性や応力・磁束密度を明らかにする。また、磁歪ファイラーを分散させたポリマーを試作し、電磁力学特性を評価する。さらに、磁歪ファイラー複合ポリマーの振動・衝撃発電試験を実施し、発電量を明らかにする。

(3) 圧電ナノ粒子と磁歪フィラーを分散させたポリマーや GFRP・CFRP プリプレグを作製・積層し、環境発電に関する数値シミュレーション・実験を行って、発電エネルギーを評価する。

4. 研究成果

(1) BTO・KNN ナノ粒子分散ポリマー複合材料を作製し、圧電定数に及ぼすコロナ放電分極条件の影響を解明した。また、振動発電実験を行い、非定常風力発電挙動を明らかにした。さらに、圧電複合材料の熱物性を考慮した有限要素解析および実験を行い、温度変化発電挙動と振動発電挙動を解明した。スピコーティング法とホットプレス法を併用し、柔軟な圧電傾斜機能材料の作製方法を提案した。また、走査型電子顕微鏡やX線回折により微細構造を評価した。さらに、圧縮衝撃・曲げ振動発電実験を行い、エネルギー変換機能および衝撃・振動発電性能と傾斜組成分布との相関を明らかにした。スピコーティング法のみによる圧電傾斜機能材料作製技術を開発し、エネルギー変換機能を解明して、発電性能の大幅向上を実現した。

(2) 圧電ナノ粒子分散樹脂を作製し、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を積層して電極として用い、コロナ放電分極に成功した。図 1(a) は圧電 CFRP の積層構成を示したもので

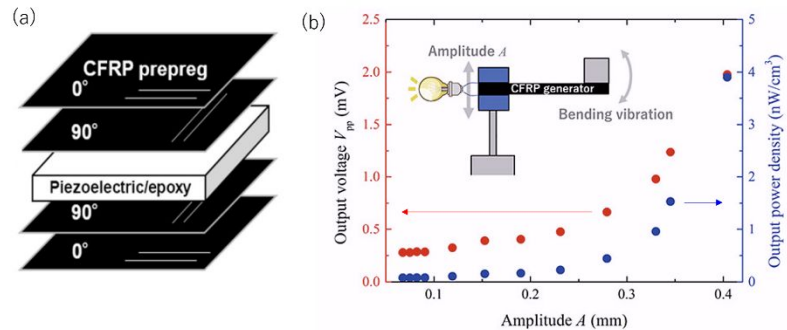


図1 (a) 圧電CFRPの積層構成, (b)曲げ振動による出力電圧 V_{pp} ・電力密度と振動振幅 A の関係

ある。また、振動・衝撃発電実験を行い、曲げ振動や圧縮衝撃荷重から電圧・電力を回収できる CFRP 複合材料の実現可能性を示した。図 1(b)は曲げ振動によって生じる電圧振幅 V_{pp} と電力密度と振動振幅 A との関係を示したもので、電圧振幅・電力密度は振動振幅の増加に伴い非線形的に増加している。さらに、圧電ナノ粒子分散ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)複合材料の作製と振動・衝撃発電評価を行った。その他、改良型小型パンチ試験やナノインデンテーション試験を行い、電気力学特性についても検討を加えた。強靱な繊維と加工が容易な熱可塑性樹脂との複合化に着目し、圧電ナノ粒子分散ムライト繊維織物複合材料を作製して、振動・衝撃発電性能を解明した。

(3) 圧電繊維/アルミニウム(Al)複合材料の電気力学応答に及ぼす残留熱応力の影響を有限要素法により解明した。圧電繊維/エポキシ複合材料の動的電気力学応答を有限要素解析し、曲げ振動出力電圧に及ぼす集中荷重の影響を明らかにした。図 2 は曲げ振動を受ける圧電複合材料の出力電圧と周波数 f との関係を示したものである。圧電複合材料に集中荷重 Δm が作用することに

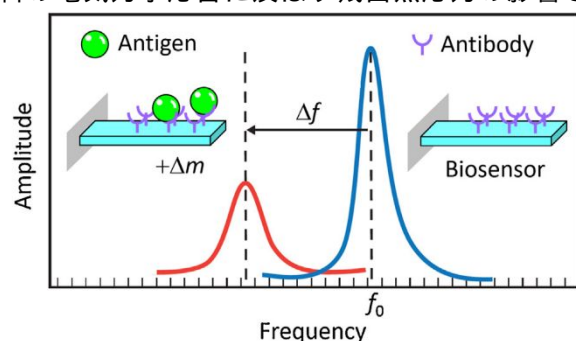
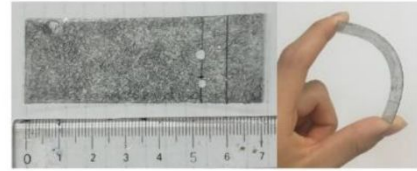


図2 曲げ振動による電気信号と周波数 f の関係

より，共振周波数 f_0 が Δf だけ低下する．これにより，振動・衝撃発電デバイスの他，ウイルスセンサの設計指針提供に資する結果が得られた．



- (4) Fe-Co 短繊維・粒子とエポキシ・アクリル・ポリウレタン樹脂やナノセルロースからなる複合材料を作製し，磁場 - 力学場相互干渉を解明した．図 3(a)は試作した Fe-Co 短繊維分散エポキシ複合材料を示したものである．また，図 3(b)は磁歪と磁場の強さ H との関係を示したもので，Fe-Co 短繊維の体積含有率 2.5 %および 4 %の場合である．

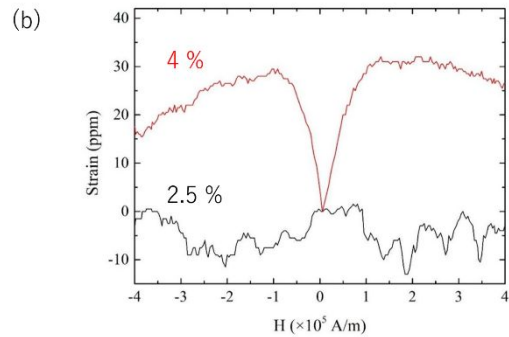


図3 (a) 磁歪短繊維分散複合材料，(b)ひずみと磁場Hの関係

Fe-Co 長繊維分散複合材料およびガラス・炭素繊維強化 Fe-Co 長繊維分散複合材料を開発し，磁気力学特性を解明して，センサ・環境発電デバイスへの応用可能性について考察した．図 4 は作製した Fe-Co 撚り繊維配向複合材料の写真である． Fe-Co 繊維を Al に埋め込む技術確立し，衝撃を電気に変換する軽金属複合材料を開発(図 5)した他，2本の Fe-Co 繊維を撚って埋め込み，圧縮衝撃発電挙動に及ぼす構造の影響を明らかにして，高出力化に成功した．

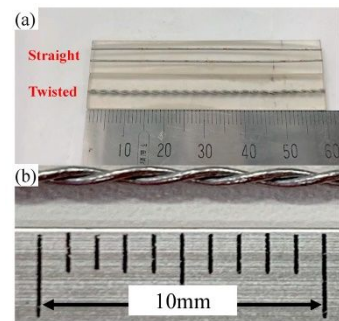


図4 (a) 磁歪長繊維配向エポキシ複合材料，(b) 配向させた撚りFe-Coワイヤ

- (5) Fe-Co 合金とニッケル(Ni)合金との積層材料を作製し，曲げ振動実験および有限要素解析を行って，振動発電挙動を解明した．また，Fe-Co/Ni 積層材料の動的磁気力学応答を解明して，ウイルス検出機能について検討した．アモルファス磁歪薄膜をシリコン基板上に成膜し，残留応力と透磁率の関係を評価した．

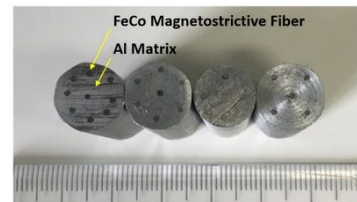


図5 磁歪ワイヤ配向アルミニウム合金

- (6) Fe-Co 合金の磁気・磁歪挙動に及ぼす微量添加元素や熱処理の影響を解明した． Fe-Co 合金の三次元積層造形に成功し，磁気・磁歪特性や振動・衝撃発電性能に及ぼす構造の影響を解明した．図 6 に示す写真は Fe-Co 合金を三次元積層造形したもので，(a)は平板，(b)はハニカム構造である．また，図 6(c)は圧縮衝撃荷重による平板 (Fully dense) とハニカム構造 (Honeycomb) の出力電力密度を示したものであり，ハニカム構造の出力電力密度は平板に比べ 5 倍ほど大きい．

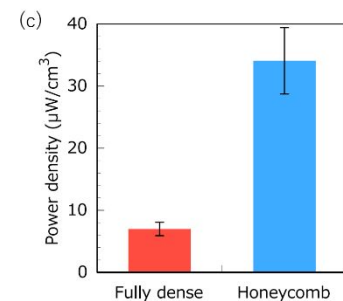


図6 三次元造形した(a) 磁歪平板と(b)磁歪ハニカム構造，(c)圧縮衝撃による出力電力密度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Wang Yinli, Shi Yu, Narita Fumio	4. 巻 327
2. 論文標題 Design and finite element simulation of metal-core piezoelectric fiber/epoxy matrix composites for virus detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 112742 ~ 112742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2021.112742	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 Yang Zhenjun, Wang Zhenjin, Nakajima Kenya, Neyama Daiki, Narita Fumio	4. 巻 210
2. 論文標題 Structural design and performance evaluation of FeCo/epoxy magnetostrictive composites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Composites Science and Technology	6. 最初と最後の頁 108840 ~ 108840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compscitech.2021.108840	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 Mori Kotaro, Wang Yinli, Katabira Kenichi, Neyama Daiki, Onodera Ryuichi, Chiba Daiki, Watanabe Masahito, Narita Fumio	4. 巻 14
2. 論文標題 On the Possibility of Developing Magnetostrictive Fe-Co/Ni Clad Plate with Both Vibration Energy Harvesting and Mass Sensing Elements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 4486 ~ 4486
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma14164486	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 Yu Yaonan, Narita Fumio	4. 巻 13
2. 論文標題 Evaluation of Electromechanical Properties and Conversion Efficiency of Piezoelectric Nanocomposites with Carbon-Fiber-Reinforced Polymer Electrodes for Stress Sensing and Energy Harvesting	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 3184 ~ 3184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym13183184	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 Takaishi Kei, Kubota Yuki, Kurita Hiroki, Wang Zhenjin, Narita Fumio	4. 巻 105
2. 論文標題 Fabrication and electromechanical characterization of mullite ceramic fiber/thermoplastic polymer piezoelectric composites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 308 ~ 316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.18047	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 Wang Zhenjin, Maruyama Kohei, Narita Fumio	4. 巻 214
2. 論文標題 A novel manufacturing method and structural design of functionally graded piezoelectric composites for energy-harvesting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials and Design	6. 最初と最後の頁 110371 ~ 110371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2021.110371	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 Nakajima Kenya, Leparoux Marc, Kurita Hiroki, Lanfant Briac, Cui Di, Watanabe Masahito, Sato Takenobu, Narita Fumio	4. 巻 15
2. 論文標題 Additive Manufacturing of Magnetostrictive Fe-Co Alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 709 ~ 709
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15030709	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 Kurita Hiroki, Keino Takumi, Senzaki Takahiro, Narita Fumio	4. 巻 337
2. 論文標題 Direct and inverse magnetostrictive properties of Fe-Co-V alloy particle-dispersed polyurethane matrix soft composite sheets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 113427 ~ 113427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2022.113427	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 Kurita Hiroki, Lohmuller Paul, Laheurte Pascal, Nakajima Kenya, Narita Fumio	4. 巻 54
2. 論文標題 Additive manufacturing and energy-harvesting performance of honeycomb-structured magnetostrictive Fe52Co48 alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Additive Manufacturing	6. 最初と最後の頁 102741 ~ 102741
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.addma.2022.102741	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 Maruyama Kohei, Kawakami Yoshihiro, Mori Kotaro, Kurita Hiroki, Shi Yu, Jia Yu, Narita Fumio	4. 巻 223
2. 論文標題 Electromechanical characterization and kinetic energy harvesting of piezoelectric nanocomposites reinforced with glass fibers	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Composites Science and Technology	6. 最初と最後の頁 109408 ~ 109408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compscitech.2022.109408	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 K. Nakajima, S. Tanaka, K. Mori, H. Kurita and F. Narita	4. 巻 24
2. 論文標題 Effects of Heat Treatment and Cr Content on the Microstructures, Magnetostriction, and Energy Harvesting Performance of Cr-Doped Fe-Co Alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 2101036 ~ 2101036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adem.202101036	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 K. Mori, F. Narita, Z. Wang, T. Horibe and K. Maejima	4. 巻 24
2. 論文標題 Thermoelectromechanical Characteristics of Piezoelectric Composites Under Mechanical and Thermal Loading	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 2101212 ~ 2101212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adem.202101212	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 H. Kurita, G. Diguët, J. Froemel and F. Narita	4. 巻 343
2. 論文標題 Stress Sensor Performance of Sputtered Fe-Si-B Alloy Thin Coating under Tensile and Bending Loads	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors & Actuators: A. Physical	6. 最初と最後の頁 113652 ~ 113652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2022.113652	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 R. Komagome, K. Katabira, H. Kurita and F. Narita	4. 巻 228
2. 論文標題 Characteristics of Carbon Fiber Reinforced Polymers Embedded with Magnetostrictive Fe-Co Wires at Room and High Temperatures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Composites Science and Technology	6. 最初と最後の頁 109644 ~ 109644
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compscitech.2022.109644	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 H. Kurita, S. M. B. Fakhrudin, D. Neyama, K. Y. Inoue, T. Tayama, D. Chiba, M. Watanabe, H. Shiku and F. Narita	4. 巻 345
2. 論文標題 Detection of Virus-Like Particles Using Magnetostrictive Vibration Energy Harvesting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors & Actuators: A. Physical	6. 最初と最後の頁 113814 ~ 113814
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2022.113814	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 Wang Zhenjin, Mori Kotaro, Nakajima Kenya, Narita Fumio	4. 巻 13
2. 論文標題 Fabrication, Modeling and Characterization of Magnetostrictive Short Fiber Composites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 1494 ~ 1494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma13071494	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 Yang Zhenjun, Wang Zhenjin, Seino Manabu, Kumaoka Daisuke, Murasawa Go, Narita Fumio	4. 巻 14
2. 論文標題 Twisting and Reverse Magnetic Field Effects on Energy Conversion of Magnetostrictive Wire Metal Matrix Composites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica status solidi (RRL) - Rapid Research Letters	6. 最初と最後の頁 2000281 ~ 2000281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssr.202000281	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 Wang Zhenjin, Kurita Hiroki, Nagaoka Hiroaki, Narita Fumio	4. 巻 199
2. 論文標題 Potassium sodium niobate lead-free piezoelectric nanocomposite generators based on carbon-fiber-reinforced polymer electrodes for energy-harvesting structures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Composites Science and Technology	6. 最初と最後の頁 108331 ~ 108331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compscitech.2020.108331	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 Kurita Hiroki, Wang Zhenjin, Nagaoka Hiroaki, Narita Fumio	4. 巻 32
2. 論文標題 Fabrication and Mechanical Properties of Carbon-fiber-reinforced Polymer Composites with Lead-free Piezoelectric Nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2453 ~ 2453
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2020.2820	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 Wang Yinli, Yanaseko Tetsuro, Kurita Hiroki, Sato Hiroshi, Asanuma Hiroshi, Narita Fumio	4. 巻 20
2. 論文標題 Electromechanical Response and Residual Thermal Stress of Metal-Core Piezoelectric Fiber /Al Matrix Composites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 5799 ~ 5799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20205799	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 K. Katabira, H. Kurita, Y. Yoshida and F. Narita	4. 巻 19
2. 論文標題 Fabrication and Characterization of Carbon Fiber Reinforced Plastics Containing Magnetostrictive Fe-Co Fibers with Damage Self-Detection Capability	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s19224984	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 Z. Wang and F. Narita	4. 巻 126
2. 論文標題 Fabrication of Potassium Sodium Niobate Nano-Particle/Polymer Composites with Piezoelectric Stability and Their Application to Unsteady Wind Energy Harvesters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 224501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5127937	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34件(うち招待講演 1件/うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Kohei Maruyama, Zhenjin Wang, Fumio Narita
2. 発表標題 Design and Finite Element Analysis of Electromechanical Performance for Piezo-Functionally Graded Composites
3. 学会等名 16th International Symposium on Functionally Graded Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zhenjin Wang, Fumio Narita, Kohei Maruyama
2. 発表標題 Energy-Harvesting Functionally Graded Piezoelectric Composite Material Improvement Via Manufacturing Process Optimization
3. 学会等名 16th International Symposium on Functionally Graded Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 真壁 慧, Gildas Diguët, Joerg Froemel, 栗田 大樹, 成田史生
2. 発表標題 Fe-Si-B合金薄膜の磁気特性・引張応力センサ機能評価
3. 学会等名 日本機械学会第29回機械材料・材料加工技術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 駒込 良祐, 帷子 健一, 成田 史生
2. 発表標題 Fe-Co合金ワイヤを埋め込んだ炭素繊維強化ポリマーの磁気・磁歪特性の評価
3. 学会等名 日本機械学会第29回機械材料・材料加工技術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 根山大輝, 栗田大樹, 成田史生
2. 発表標題 磁歪Fe-Co/Ni フィルムの作製と質量検出評価
3. 学会等名 日本機械学会第29回機械材料・材料加工技術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丸山 衡平, 王真金, 成田史生
2. 発表標題 圧電傾斜機能材料の設計と電気力学特性の有限要素解析
3. 学会等名 オンラインフォーラムFGMs2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 余瑠楠, 成田史生
2. 発表標題 炭素繊維強化ポリマー電極を備えた圧電ナノ粒子複合材料の電気機械特性の評価
3. 学会等名 第13回 日本複合材料会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 帷子健一 宮下友希 成田史生
2. 発表標題 磁歪Fe-Co繊維を埋め込んだガラス繊維強化プラスチック複合材料の非接触曲げ応力モニタリング
3. 学会等名 第13回 日本複合材料会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 丸山 衡平 川上 祥広 成田 史生
2. 発表標題 エアロゾルデポジション法によって形成したBaTiO ₃ 膜のナノインデンテーション試験によるヤング率測定
3. 学会等名 強誘電体会議 FMA-39
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Maruyama, Z. Wang and F. Narita
2. 発表標題 Development of Functional Graded Piezoelectric Structure Based on Barium Titanate Embedded Poly(Vinylidene Fluoride-Co-Trifluoroethylene) for Energy Harvesting
3. 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Takaishi, Y. Kubota, H. Kurita, Z. Wang and F. Narita
2. 発表標題 Fabrication and Sensor Performance Evaluation of Mullite Ceramic Fiber Reinforced Polymer Composites with Piezoelectric Particles
3. 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Wang and F. Narita
2. 発表標題 Design of Metal-Core Piezoelectric Fiber/Epoxy Matrix Composite for Virus Detection by Finite Element Method
3. 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Neyama, Z. Yang, S. M. Fakhruddin, H. Kurita, S. Osana, K. Y. Inoue, R. Onodera, D. Chiba, M. Watanabe and F. Narita
2. 発表標題 Development of Magnetostrictive Clad Plate Biosensors for Detecting Bacteria and Viruses
3. 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Tanaka, H. Kurita, K. Nakajima and F. Narita
2. 発表標題 Evaluation of Relationship between Magnetostrictive Properties and Microstructures of Fe-Co Alloys for Vibration Energy Harvesting Applications
3. 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 R. Komagome, K. Katabira, H. Kurita and F. Narita
2 . 発表標題 Evaluation of Magnetic and Magnetostrictive Characteristics of Carbon Fiber Reinforced Polymers Embedded with Fe-Co Alloy Fibers
3 . 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Makabe, G. Diguët, H. Kurita, J. Froemel and F. Narita
2 . 発表標題 Evaluation of Magnetic and Inverse Magnetostrictive Properties of Fe-Si-B Alloy Thin-Film for Stress Sensor Applications
3 . 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Keino, H. Kurita, K. Katabira, T. Senzaki and F. Narita
2 . 発表標題 Evaluation of Magnetic Properties and Magnetostrictive Responsiveness of Fe-Co-V Alloy Particle Dispersed Soft-Material-Based Composite Sheets
3 . 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 K. Katabira, T. Miyashita and F. Narita
2 . 発表標題 Damage Self-Sensing Capability of Magnetostrictive/Glass Fiber Reinforced Polymer Composites at Cryogenic Temperatures
3 . 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Z. Wang, K. Maruyama and F. Narita
2. 発表標題 Impact Energy Harvester Based on Lead-free Functionally Graded Piezo-composite
3. 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Z. Yang, H. Kurita and F. Narita
2. 発表標題 Design, Fabrication and Evaluation of FeCo-based Composites for Harvesting Kinetic Energy
3. 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Yamamoto, K. Nakajima, H. Kurita and F. Narita
2. 発表標題 Magnetostrictive Properties of Heat-treated Fe-Co Alloy in a Magnetic Field
3. 学会等名 7th Asian Conference on Mechanics of Functional Materials and Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 景野託実, 栗田大樹, 先崎尊博, 成田史生
2. 発表標題 FeCo粒子分散ソフト複合材料の磁気特性および磁歪特性評価
3. 学会等名 第12回 日本複合材料会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮下友希, 帷子健一, 成田史生
2. 発表標題 極低温における磁歪 / ガラス繊維強化プラスチック複合材料の損傷自己センシング機能
3. 学会等名 第 1 2 回 日本複合材料会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 王 真金, 栗田 大樹, 長岡 弘朗, 成田 史生
2. 発表標題 振動発電機能を有する炭素繊維強化プラスチック複合材料の開発
3. 学会等名 第 1 2 回 日本複合材料会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久保田 勇希, 高石 佳, 栗田 大樹, 成田 史生, 中里 亜紀子, 山本研吾
2. 発表標題 発電機能性複合材料の開発
3. 学会等名 第 1 2 回 日本複合材料会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Z. Yang, K. Nakajima, L. Jiang, H. Kurita, G. Murasawa and F. Narita
2. 発表標題 Electromagnetic-Mechanical Energy Conversion of a 1-3 Metal-Matrix Lightweight Magnetostrictive Fiber Composites
3. 学会等名 Second International Conference on Mechanics of Advanced Materials and Structures (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Z. Yang and F. Narita
2. 発表標題 Magnetomechanical Design and Energy Harvesting Evaluation of Magnetostrictive Iron-Cobalt Composites
3. 学会等名 2019 Joint-Symposium on Mechanics of Advanced Materials & Structures (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 王 真金, 成田史生
2. 発表標題 チタン酸バリウム/エポキシ複合材料のコロナ放電分極と非正常風力発電
3. 学会等名 日本機械学会 2019 年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長岡弘朗, 王 真金, 成田史生
2. 発表標題 鉛フリー圧電粒子/CFRP複合材料の作製および出力電特性評価
3. 学会等名 日本機械学会 2019 年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 王 真金, 楊 鎮駿, 帷子健一, 栗田大樹, 成田史生
2. 発表標題 鉄コバルト磁歪フィラー/エポキシ樹脂シートの開発と特性評価
3. 学会等名 日本機械学会 2019 年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島賢也, 栗田大樹, 古屋泰文, 成田史生
2. 発表標題 Co 過剰型 Fe-Co 合金圧延材の磁歪・磁気・機械特性に及ぼす微量添加元素の影響
3. 学会等名 日本機械学会 2019 年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長岡弘朗, 王真金, 吳宸, 成田史生
2. 発表標題 鉛フリー圧電CFRP複合材料の作製と出力電圧特性評価
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 孝太郎, 前嶋研祐, 堀辺忠志, 西 剛志, 王 真金, 成田史生
2. 発表標題 熱物性を考慮した傾斜機能圧電複合材料の環境発電特性評価
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 帷子健一, 栗田大樹, 成田史生
2. 発表標題 Fe-Co磁歪繊維を挿入した炭素強化プラスチックの作製とセンサ機能評価
3. 学会等名 第 11回 日本複合材料会議
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計9件

産業財産権の名称 磁歪材料の製造方法、磁歪材料およびエネルギー変換部材の製造方法	発明者 栗田大樹、成田史生、中島賢也、渡辺将仁、佐藤武信、江	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-067990	出願年 2021年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 発電用複合材料および発電用複合材料の製造方法	発明者 王真金、丸山衡平、成田史生	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/25058	出願年 2021年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 磁歪特性を有する組成物及びその硬化物	発明者 先崎尊博、栗田大樹、成田史生	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/008636	出願年 2022年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 荷重センサおよび荷重検出装置	発明者 成田史生、井上久美、栗田大樹、他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/009375	出願年 2022年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 磁歪材料の製造方法、磁歪材料およびエネルギー変換部材の製造方法	発明者 栗田大樹、成田史生、中島賢也、渡辺将仁、佐藤武信、江	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/11109	出願年 2022年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 磁歪材料、エネルギー変換部材およびその製造方法ならびに振動発電装置	発明者 栗田大樹、成田史生、渡辺将仁、浦川濂、他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-44485	出願年 2022年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 磁歪複合材料および磁歪複合材料の製造方法	発明者 王真金、成田史生	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-071912	出願年 2020年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 磁歪特性を有する組成物及びその硬化物	発明者 先崎尊博、栗田大樹、成田史生	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-031516	出願年 2021年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 荷重センサおよび荷重検出装置	発明者 成田史生、井上久美、栗田大樹、長名シオン、他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-041320	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

衝撃を電気に変換できる軽金属複合材料を開発
<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2020/11/press20201109-01-wire.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	川上 祥広 (Kawakami Yoshihiro) (20527361)	公益財団法人電磁材料研究所・その他部局等・主任研究員 (71301)	
研究 分担者	荒木 稚子 (Araki Wakako) (40359691)	埼玉大学・理工学研究科・教授 (12401)	
研究 分担者	栗田 大樹 (Kurita Hiroki) (40643226)	東北大学・環境科学研究科・助教 (11301)	
研究 分担者	森 孝太郎 (Mori Kotaro) (40712740)	茨城大学・理工学研究科(工学野)・講師 (12101)	
研究 分担者	宮本 直人 (Miyamoto Naoto) (60400462)	東北大学・未来科学技術共同研究センター・准教授 (11301)	

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