

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22931

研究課題名(和文) 摩擦/剥離帯電を用いた革新的な環境発電ナノ技術の提案・開発

研究課題名(英文) Development of a piezo/ triboelectric generator for energy harvesting

研究代表者

陸田 秀実(MUTSUDA, HIDEMI)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：80273126

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)：身の周りの様々な力学的エネルギーを回収することを想定して、異なる発電原理を有する2つの材料A、材料Bについて、その発電特性を明らかにするとともに、その特性に基づく発電性能向上を検証した。材料Aについては、せん断力によるエネルギー回収の適用範囲を検証するため、せん断方向の摩擦振動試験を実施した。材料Bについては、電極と材料Bとの接触界面が発電性能に及ぼす影響を明らかにするために、粘着条件が異なる条件下において、片持ち振動試験を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IoT、スマートウェアラブルデバイスおよび再生可能エネルギーを積極的に活用した超スマート社会(Society 5.0)の実現に向けて、人と物理空間をセンシングする多様なセンサおよびハーベスティング(EH)技術の一つとして活用が期待できる。特に、近年では、そのエネルギー回収効率の向上と適用範囲の拡大に向けた基礎的研究が国内外で活発に行われており、従来開発済のセンサおよびハーベスティング(EH)技術と比べて、同等かそれ以上の出力性能を確認し、当該分野において実用化が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study proposed/developed a TEG into a multi-layered model, combined it with a PEG to form a PEG-TEG harvester, and demonstrated the improvement of the output voltage by modifying the key factors. We found that our hybrid harvester with the multi-layered TEG can improve the electrical energy output in linear terms under a comparatively small device. Furthermore, the key factors have much influence to generate electrical energy instead of compression force, suggesting that a small force is enough to produce a good result. Our result also showed that this linear improvement is possible due to the increase of vibration amplitude, indicating that amplitude adjustment is important, but it is not directly related to a good electrical performance for initial distance. Finally, the complementary relationship between devices was investigated, and it shows good compatibility.

研究分野：環境流体力学

キーワード：環境発電 圧電材 エラストマー エレクトレット

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、IoT(Internet of Thing), スマートウェアラブル, 再生可能エネルギーを最大限に活用した超スマート社会 (Society 5.0) の実現に向けて, 人と物理空間をセンシングする多様なセンサおよびその電源確保が重要となっており, それらの必要数は約 1 兆個と推定されている. 特に, 人体の運動, 移動体・構造体の振動・排熱, 電波, 環境光等の外力エネルギーから, 数 W~mW オーダーの電力を獲得し, 低消費電力技術と無線技術を組み合わせた高付加価値ネットワークシステムを構築する研究開発が, 国内外を問わず活発化している.

2. 研究の目的

本研究では, 発電材(電場により大きなひずみ・発電が励起される弾性材)を用いた摩擦・剥離による発電方式に着目する. ここでは, 革新的な環境発電ナノ技術の一つとして, 軽量かつ柔軟, 耐久性に優れ, 表面粗度を有する発電体 (a Flexible Triboelectric Nano Generator, F-TENG) を新たに開発し, その適用範囲の可能性と拡張性を検証する. 特に, 適用分野の拡大を念頭に, 接触・剥離・圧縮時に作用する摩擦エネルギーを獲得する発電デバイスを提案・開発し, (1) F-TENG の発電メカニズムと発電特性の解明, (2) F-TENG の発電量に及ぼすキーパラメータの影響, (3) F-TENG の理論設計支援ツールの開発を行う.

3. 研究の方法

① F-TENG の発電原理と発電特性の解明

本研究で開発する F-TENG (図 1) は, 発電材と電極(銅板)から成る薄型積層構造を有しており, 下面電極は発電材と接着する一方で, 上面電極は未接着となっている. また, F-TENG は, 厚さ約 1mm 以下(平均表面粗度はマイクロ~ナノスケール程度)で製作し, より摩擦帯電を励起する工夫がなされている. この F-TENG は上面電極と発電材との「接触」により摩擦帯電が生まれ, 一方から他方へ電荷が移動して電位差が生じ, これらを「剥離」させることで高い電圧が生まれ, 起電力を発生させていると考えられている. 本研究では, 接触・剥離・圧縮による振動実験を行い, 高速度ビデオカメラ, レーザー距離計および検力計を用いて, 未だ詳細な解明に至っていない摩擦/剥離帯電による F-TENG の発電原理を解明する.

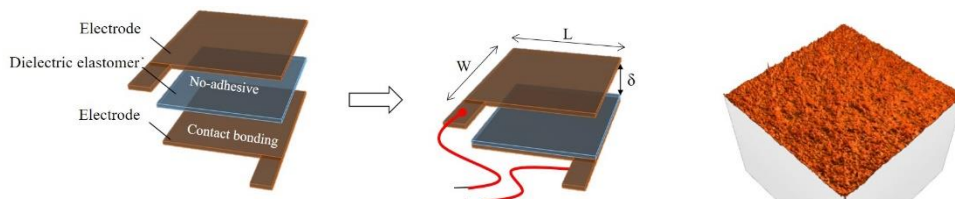


図 1 : F-TENG の積層構造および表面形状イメージ

② F-TENG の発電量に及ぼすキーパラメータの影響

先行研究において, F-TENG の発電量に及ぼすキーパラメータは, 剥離距離, 剥離振幅, 剥離速度および作用外力に関係していることが明らかになりつつある. また, 材料 A, B の誘電率, 表面粗度, 弾性率等と発電量の関係も定性的にわかってきた. ここでは, これらキーパラメータが発電量に及ぼす影響を振動試験により検証する.

③ F-TENG の理論設計支援ツールの開発

F-TENG は, 空気層と材料の 2 つの媒質から成る平行平板コンデンサと仮定し, 接触・剥離帯電に基づく理論計算法を構築する. ここでは, 発電材の上下動によって剥離空気層厚さが変化するため, (a)剥離状態の静電容量は既存の理論式を改良し表記することができる. その他, (b)接触状態, (c)圧縮状態も静電容量を定義する. また, 極板間電位差を考慮し, ガウスの法則, キルヒホッフ則およびオーム則に基づいて電流の時間発展式を導出する.

4. 研究成果

本研究では, 材料の異なる 2 つの発電材 A, B を用いて, 以下の研究を実施した.

① 材料 A を用いたエネルギーハーベスティング技術の基礎的研究

(a) せん断力による出力特性

せん断力によるエネルギー回収の適用範囲を検証するため, せん断方向の摩擦振動試験を実施した. 図 2 はせん断方向の振動周波数と出力の関係を示したものである. 図より, 電極と発電体の被り高さおよび空気層の厚さによって出力特性が大きく変化し, その影響はせん断方向の振動周波数が高いほど顕著であった. このことは, 電極と発電材間の接触界面条件として, 両者がキーパラメータであることを意味している.

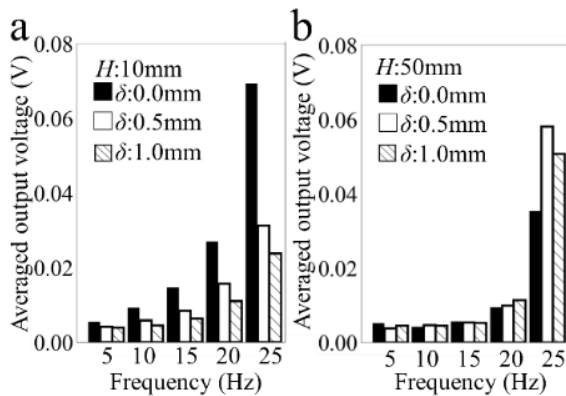


図 2 : せん断方向の振動周波数と出力の関係 (a : H =約 10mm, b : H =約 50mm)

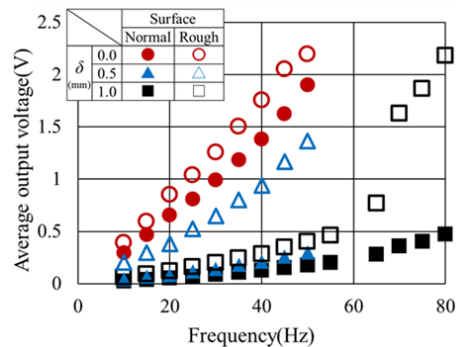


図 3 : 振動周波数と接触荷重に対する出力特性

(b) 圧縮・接触・剥離による出力特性

前節の結果を受けて、FC-TENG 表面に凹凸を付与した粗度あり(Rough)と粗度なし(Normal)の発電性能を明らかにするために、圧縮/接触/剥離振動試験を実施した。加振振幅 A (固定)、加振周波数は f とした。また、初期状態における上面電極と発電材料の距離を調整することで、3 種類 (圧縮条件、接触/剥離条件、非接触条件) の接触界面条件を設定し、電極に取り付けられた検力計を用いて接触荷重を計測することとした。図 3 は、振動周波数と接触荷重に対する出力特性を示したものである。図から、Rough 条件の場合、いずれの接触条件においても発電性能の向上が認められる。特に、接触/剥離及び非接触条件において、その傾向は顕著であることが分かる。

② 材料 B を用いたエネルギーハーベスティング技術の基礎的研究

(a) 曲げ変形による出力特性

電極と材料 B の間の接触界面が発電性能に及ぼす影響を明らかにするために、粘着条件が異なる条件下において、片持ち振動試験を実施した。図 4 は、振動周波数と出力の関係を示したものである。図より、いずれの振動周波数においても、粘着なしの場合、高出力化が期待できることが分かる。これは、材料表面の空孔切断面との僅かな空気層において、界面摩擦と界面剥離が増大し、トラップさ分極状態が大きく変化したことが原因であると考えられる。そのため、接触界面条件が発電性能に関わる重要なパラメータであると考えられる。

(b) 圧縮/接触/剥離による出力特性

次いで、同一条件で圧縮/接触/剥離による振動試験を実施した。ここでは、空隙と厚さの異なる 3 種類の材料について出力特性を比較検証した。図 5 は、振動周波数と接触荷重に対する出力特性を示したものである。図より、全ての種類において、振動周波数および圧縮荷重と出力電圧には高い相関がある。このことから、材料 B 内部および表面において、電荷を帯びた空孔界面の変形速度及び変形量が出力電圧に大きな影響を及ぼしていることを意味している。また、その傾向は接触界面条件に大きく依存している。特に、非接触条件下においても出力が確認されているため、身の周りの様々な流力振動エネルギーを回収する方法やその適用範囲が広がることが期待されよう。

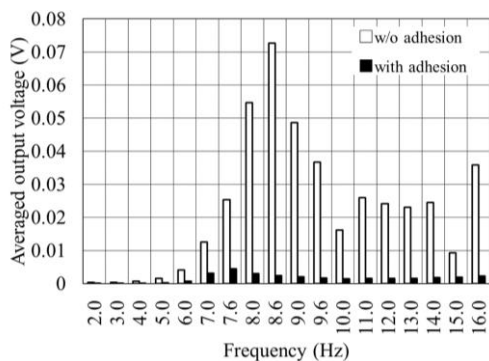


図 4 振動周波数と出力の関係

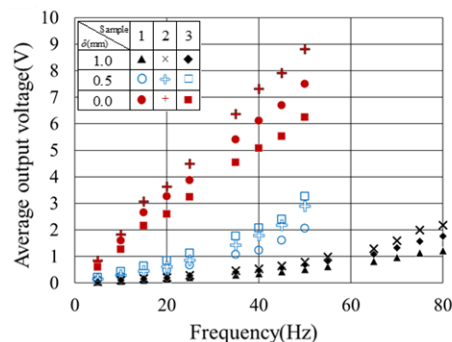


図 5 振動周波数と接触荷重に対する出力特性

以上、本研究では、摩擦・剥離による発電方式に着目し、材料 A と材料 B の発電特性を明らかにした。特に、接触界面条件と電極の表面形状が、発電性能向上に関わる重要なキーパラメータであることが分かった。今後の課題は、界面の幾何学的微細構造と発電性能の定量的な関係性を明らかにすることである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ede Mehta Wardhana, H. Mutsuda, Y. Tanaka, T. Nakashima, T. Kanehira, N. Taniguchi, S. Maeda, T. Yonezawa, M. Yamauchi	4. 巻 42
2. 論文標題 Harvesting contact-separation-compression vibrations using a flexible and compressible triboelectric generator	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sustainable Energy Technologies and Assessments	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.seta.2020.100869	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 Tanaka, Yoshikazu, S. Odake, J. Miyake, H. Mutsuda, A. Popov, R. Patel, and S. McWilliam	4. 巻 64
2. 論文標題 Simply supported FPEDs connected by springs for broadband energy harvesting	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics	6. 最初と最後の頁 201-210
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3233/JAE-209323	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 Ede Mehta Wardhana, Hidemi Mutsuda, Yoshikazu Tanaka, Takuji Nakashima, Taiga Kanehira, Taichi Yamada, Shuhei Maeda, Masaaki Yamauchi	4. 巻 1
2. 論文標題 Harvesting ocean energy using a hybrid type of nanogenerator with PENG and TENG	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 31th International Society of Offshore and Polar Engineers	6. 最初と最後の頁 1-8
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 該当する
1. 著者名 Xinru DU, Hidemi MUTSUDA, Taichi YAMADA, Takuji NAKASHIMA, Yasuaki DOI	4. 巻 1
2. 論文標題 A Bellows Type of Flexible Piezo-electric Energy Harvester for Structural Health Monitoring of Pipelines	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. of The 30th International Ocean and Polar Engineering Conference	6. 最初と最後の頁 —
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 該当する

1. 著者名 Hidemi Mutsuda, Yoshikazu Tanaka, Yasuaki Doi, Yasuo Moriyama	4. 巻 172
2. 論文標題 Application of a flexible device coating with piezoelectric paint for harvesting wave energy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ocean Engineering	6. 最初と最後の頁 170-182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceaneng.2018.11.014	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0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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