

研究成果報告書

研 究 題 目		受動的自己調整現象による共振とエナジーハーベスティングへの応用	実 施 年 度
			2018 年度
代 表 研 究 者	所 属	広島大学・大学院工学研究科・輸送環境システム専攻	
	氏 名	田中 義和	印

1. 研究の目的・背景

近年、持続可能な社会の実現に向けて、エナジーハーベスティング(環境発電)に関する研究が国際的に注目を集めている。代表者らは、圧電フィルムと柔軟素材(シリコンゴム、PET 樹脂など)を用いた柔軟圧電デバイス(Flexible piezoelectric device; FPED)を提案し、自動車などの振動エネルギー、風力は波力といった自然エネルギーを用いたエナジーハーベスティング(環境発電)の研究を実施し、多数の学術論文や特許を公開してきた。近い将来、代表者らが提案している FPED も含め、国際的に研究されているエナジーハーベスティング技術が、実用に供されるためには、エナジーハーベスター(発電デバイスを指す、以下ハーベスターとする)の発電能力の飛躍的な向上(μW 、 mW から W オーダーへ)が望まれる。

この期待に答えるアプローチとして、機能性材料(圧電、超磁歪など)を用いたハーベスターを分類することを考える。ハーベスターは、大きく2つの系統に分けられ、1つは共振型のハーベスター、もう一つは抗力型のハーベスターに分けられると考えている。世界的には、共振型が主に研究されている。共振型ハーベスターは、これまで多くの研究がなされてきたが、効果的に発電できる振動数が、ハーベスターの固有振動数に依存していることが問題であった。FPED に関しても同様な問題があった。また、風力や波力といった自然エネルギーの振動数は、エンジンやモータに起因する振動数に比べ低く、10 Hz 以下と想定される。このような低い振動数でエナジーハーベスティングを実施するためには、共振型ハーベスターを適用するよりも、大きく変形して発電する抗力型ハーベスターを開発し、適用する方が有利であると考えられる。

そこで、本研究の目的として、発電能力が飛躍的に向上したエナジーハーベスターもしくはエナジーハーベスティングシステムを一般力学と電磁気学に基づき探求し、その仕組み・原理を明らかに、持続的な社会のための再生可能エネルギーを用いた発電技術を開発することと設定する。この目的を達成する方法として、方法1:複数の FPED を用いたエナジーハーベスティングシステムを提案し、その振動・発電特性の理論的評価方法を開発し、製品開発の基盤構築、方法2:受動的自己調整現象(Passive-self tuning 現象)による共振を用いた FPED によるエナジーハーベスティングの理論的評価方法を開発し、製品開発の基盤構築、方法3:曲がりなり形状の FPED (Curved beam FPED)を用いた抗力型エナジーハーベスティングの理論的評価方法を開発し、製品開発の基盤構築

が挙げられる。本助成申請においては、方法2の受動的自己調整現象(Passive-self tuning 現象)による共振を用いた FPED によるエナジーハーベスティングに関する研究を実施する。

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

受動的自己調整現象(Passive-self tuning 現象)による共振を引き起こす方法として、プルーフマスの活用がある。しかし、そのメカニズムは世界的にも研究途上である。そこで、本研究においては、既往の文献を参考にしつつ、過去の我々の研究成果を元に、複数のプルーフマスを設計し、プルーフマスを有する FPED(以下デバイス)の加振機を用いた強制振動実験を行い、受動的自己調整現象が発生する状態を探索した。

設計したプルーフマスの基本構成の1つを Fig. 1 に示す。部品は 3D プリンタを用いて製作した。プルーフマスの総重量や、上部と下部の質量比を調整できるように、錘を取り付けられる機構にしている。FPED の基本構成を Fig. 2 に示す。FPED の基盤には PET 樹脂を使用している。PVDF の端の両面には銅テープによって銅線が付与されている。これにエポキシ系樹脂接着剤を用いて PET 樹脂とフィルムで挟み接着している。

強制振動実験装置の構成を Fig.3 に示す。デバイスを加振機に装着し、強制振動させる。A/D コンバータを用いて FPED からの発生電圧を計測する。プルーフマスを中心に固定した状態において、共振時に振動加速度が 5 m/s^2 となる設定で実験を開始する。実験は実験開始時に、プルーフマスを FPED の中心に置くパターンと FPED の端に置くパターンの計 2 パターンで行った。また、加振振動数はパターン1では 12 Hz から 16 Hz、パターン2では 15 Hz から 10 Hz で変化させる。

実験結果の一例を Fig. 4、5 に示す。Fig. 4 はプルーフマスを FPED の中心に置き実験したときの発生電圧の時系列波形であり、Fig. 5 はその短時間フーリエ変換(STFT)である。Fig. 4、5 から、加振振動数が 12 Hz から 13 Hz、13 Hz から 14 Hz、15 Hz から 16 Hz に変化した際に発生電圧が一度下がった後、再び上がっていることが確認できる。これは加振振動数変化時、プルーフマスが移動し、再びデバイスが共振しているからであり、受動的自己共振現象が起きていることがわかる。Fig. 8 にプルーフマスを固定した場合と移動できる場合の共振曲線を示す。Fig.8 より、移動できることで、発電帯域が広帯域化していることが確認できる。（申請時の達成度合い 60%）

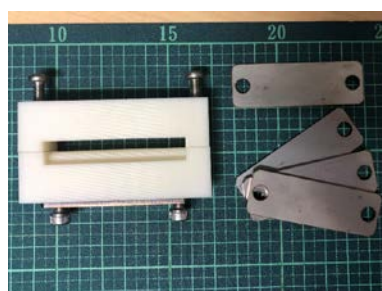


Fig. 1 Composition of proof

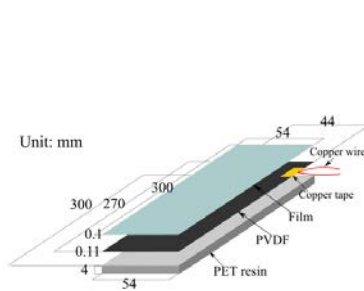


Fig. 2 Composition and length of FPED

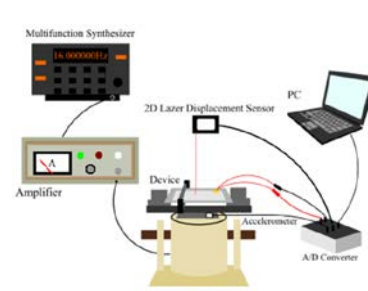


Fig. 3 Experimental composition

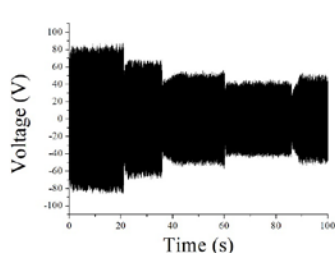


Fig. 4 Experimental result of the voltage(center to edge)

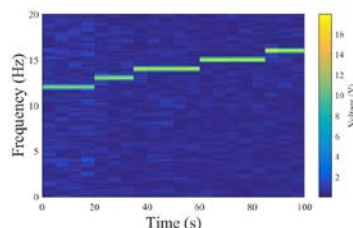


Fig.5 Short time Fourier transform result of acceleration (center to edge)

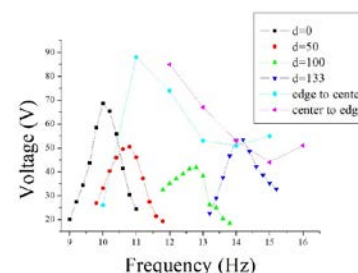


Fig. 6 Experimental result of the voltage

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

経費については、会計報告書の記載するように、当初の計画に概ね沿った執行を行っている。申請時の研究経費は 200 万円であり、助成いただいた助成金 160 万円であった。このことを考慮し、経費執行を行った。助成金 160 万円の使用内訳は、設備備品費に 474,012 円（申請時 55 万円）、消耗品費に 543,132 円（申請時 117 万円）、旅費に 159,120 円（申請時 8 万円）、謝礼金に 423,736 円（申請時 20 万円）であった。設備備品費は、申請時の計画通りデータ計測・処理用 PC 購入に使用した。申請時の消耗品費については、別の研究経費を利用した。旅費については、研究の進展に伴い学会の発表機会が増えたため、申請時から増加している。謝礼金については、研究の進展に伴い実施内容が多くなったため、申請時から増加している。

以上のように、本研究課題を進展させることに重きをおきつつ、申請時の計画を踏まえて執行を実施しており、本研究課題を進展させる上で、妥当な経費使用状況であると判断する。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究では、受動的自己調整現象 (Passive-self tuning 現象) による共振を用いた FPED によるエネルギーハーベスティングの広帯域化を実現するために、受動的自己調整現象を生じるプルーフマスの一案を見出した。このプルーフマスを用いることにより、発電帯域の広域化を達成できること示した。プルーフマスを用いた受動的自己調整現象については、世界的にも理論的にまだ明らかになっていない。本研究においても、定式化を試みたが、実験を再現できるまでには至っていない。今後は、この現象をシミュレーションできる理論定式化の検討を引き続き実施する。

受動的自己共振現象は、現在、世界的に研究がなされており、その理論的評価方法はまだ開発されていない。国外の研究論文を参照するとほとんどが実験に基づく受動的自己共振現象に関する論文である。いくつかの論文には、理論的定式化を記述しているが、その定式化に基づいた結果は報告されていない。なぜなら、示されている理論的定式化は、非線形な方程式群であるため、解くことが困難であるからである。しかしながら、本研究で示したような受動的自己共振現象を起こすシステムは、エネルギーハーベスティングにとって大変重要である。従来の共振型エネルギーハーベスティングの問題点の 1 つは、狭帯域であることである。すなわち、共振点付近では大きく発電するが、共振点を外れると発電量は大きく低下する。この特性を変える方法として、受動的自己共振現象の活用は、非常に本質的な方法であり、将来におけるエネルギーハーベスティング技術の活用拡大に大きく寄与するものと思われる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

- 1) 田中義和、小澤拓海、男武悟、三宅潤、受動的自己共振現象と柔軟発電体への応用に関する研究、第30回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集、pp. 63-66、5月、(2018)、長野、5月23日～5月25日
- 2) 田中義和、男武悟、三宅潤、陸田秀実、Rupesh Patel、Atanas A.Popov、Stewart McWilliam、複数の圧電発電デバイスを用いた発電領域広帯域化の研究、第30回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集、pp. 67-72、5月、(2018)、長野、5月23日～5月25日
- 3) 小澤 拓海、田中 義和、三宅 潤、移動する錘を取り付けた柔軟発電体に関する実験的検討、第27回MAGDAカンファレンスin葛飾 講演論文集、4ページ、10月、(2018)
- 4) 三宅 潤、田中 義和、陸田 秀実、摩擦・接触発電に関する基礎的研究、第27回MAGDAカンファレンスin葛飾 講演論文集、4ページ、10月、(2018)
- 5) 吉川 賢吾、田中 義和、小澤 拓海、陸田 秀実、プルーフマスを備えた柔軟発電体の研究、第31回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集、4ページ、5月、(2019)、東京、5月22日～5月24日