

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13926

研究課題名(和文) 橋梁の微振動で実用的な発電を行うU字型磁歪式振動発電デバイスの開発

研究課題名(英文) Development of U-shaped magnetostrictive vibration power generation device for practical power generation by micro vibration of bridge

研究代表者

上野 敏幸 (Ueno, Toshiyuki)

金沢大学・電子情報学系・准教授

研究者番号：30338256

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：我々は橋梁などの微小な振動から実用的な電力を取り出す技術に関して研究を行っている。今回、磁歪式振動発電デバイスをフレーム構造をU字型にすることで感度を大幅に向上させた。その結果、30Hz、0.1G～0.2G程度の微小な振動から1V以上の発生電圧、1mW以上の電力を取り出すことに成功した。以上の結果、橋梁などの微小な振動で無線センサシステムが自立的に動作する可能性を実証した。

研究成果の概要(英文)：We are conducting research on technology to extract practical electric power from minute vibration such as bridge. In this time, the sensitivity was greatly improved by making the magnetostrictive vibration power generation device into a U-shaped frame structure. As a result, we succeeded in extracting a generated voltage of 1 V and electric power of 1 mW or more from a minute vibration of about 30 Hz, about 0.1 G to 0.2 G. As a result, the possibility that the wireless sensor system operates autonomously with minute vibration such as a bridge was demonstrated.

研究分野：振動発電

キーワード：振動発電 磁歪材料 U字構造 微小振動

### 1. 研究開始当初の背景

現在、高度成長期に建設され多く橋梁が、老朽化を迎えている。国・自治体の厳しい財政から更新は難しく、暫くは修繕と保守・点検により利用しなければならない。定期的な目視・打音検査は人的な負担で、よって劣化の診断を行うヘルスマonitoringシステムの導入が期待されている。これは変位や撓み、振動周波数の計測で、劣化の程度や異常を判断し知らせる。ただし、これらのセンシング・データ通信において配線敷設、無線の場合は電池交換が必要で、橋梁のような大型構造物においては、これらの手間およびメンテナンスが導入の足かせになっている。一方、橋梁は車の通行で振動する。このシステムの電源に振動発電が利用できれば以上の問題は解決する。橋梁の振動について、周波数、加速度は最大でも 20 Hz, 0.1 G 程度である。この微振動からセンサ・無線モジュールの動作に十分なミリ・サブワットの発電を行うのは難しい。圧電素子やエレクトレットを利用するシステムが提案されているが、未だ実用化に至っていない。これは大型構造物に対しデバイスサイズが小さく、マイクロワットの発電しかできないからである。

### 2. 研究の目的

金沢大学の上野は、磁歪材料を用いた画期的な振動発電技術を開発している。発電デバイスは、鉄系磁歪材料である Fe-Ga 合金の高い強度、良好な加工性、大きな逆磁歪効果を生かし、シンプルで堅牢、高効率、低インピーダンスの特徴を有す。またこれまでにミリワットからワットの実用的な電力を取り出せることを試作で実証している。今回、デバイスの構造的な改良、工夫により、橋梁で発生する微小振動で実用的な発電を行う技術の可能性を検証した。

### 3. 研究の方法

発電デバイスは図 1 のように磁歪素子の板と磁性体の板の平行梁を基本とし、素子の両端を磁性体に強固に接合したものである。素子にはコイルが巻いてある。平行梁の両端には直角に連結部が取り付け、これらは一体の U 字型で構成され、ヨークと構造体の役割を兼ねる。また連結部の間には、これらの橋渡しをするバックヨークが付き、その中央に永

久磁石が配置され、適度なバイアス磁界が素子に付与される。また連結部には振動板が取り付け、一枚の振動板の先端は振動源に固定される。発電原理を説明する。図 2 のように振動加速度に比例した慣性力が先端に作用し、2 枚の振動板の開口部がハの字のように開閉する変形がデバイスに発生する。このとき平行梁には曲げモーメントが作用し、素子内部には一様な引張りもしくは圧縮の応力が交番状に発生する。このとき素子内の磁束は逆磁歪効果により増減し、この磁束の時間変化によりコイルに起電力が発生する。このデバイスにおいては、低周波数かつ低加速度の振動でも効率よく励振し、発電するようデバイスの構造を U 字型とする。これにより振動中、連結部に垂直な力で、平行梁には曲げモーメントのみが作用する。結果、平行梁は一様に湾曲し、素子内部には一様な応力が発生する。これにより平行梁に直線にヨークが付いた従来に比べ変換効率が向上する。また平行梁における素子と磁性体の間隔（コイルの窓面積）を適度に大きくし、コイル巻き数の増加で、起電力を大きくする。

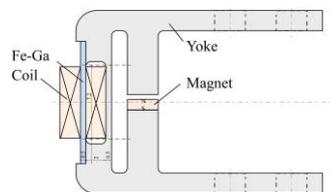


図 1 デバイスの構造

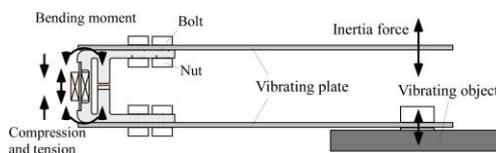


図 2 発電原理

### 4. 研究成果

デバイスの試作し特性を評価した。磁歪素子は  $6 \times 0.5 \times 12 \text{ mm}^3$  の Fe-Ga 合金、コイルは線径 0.08 mm、巻き数 1540 ターン、抵抗  $102 \Omega$  を用いた。図 3 は電圧/加速度の周波数応答で、共振周波数は 29 Hz, Q 値は 83 であった。29 Hz の正弦波でデバイスを加振したときの開放電圧  $v$  の時間応答を図 5 に示す。加速度 0.1, 0.2 G でそれぞれ 0.5 V, 1 V の最大電圧が発生した。図 5 は抵抗  $R$  を接続し、加速度 0.18 G の時の  $R$  と  $v^2/R$  のピーク電力  $P$  の関係をプロットしたもので、最大 1.6 mW の電力が得

られた。加速度が 0.2 G の正弦波で 20 周期のバーストモードで励振した時の  $a$  と  $v$  の応答を図 6 に示す。これは橋の上を 0.7 秒間、自動車通過した状態を模擬したもので電圧は 13 周期程度で最大値に到達した。

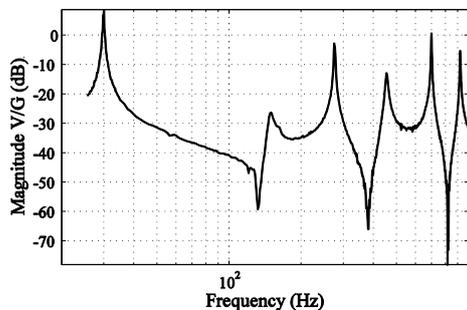


図 3 電圧/加速度の周波数応答

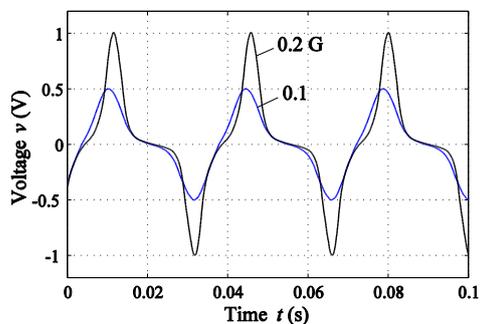


図 4 開放電圧  $v$  の時間応答 (29 Hz)

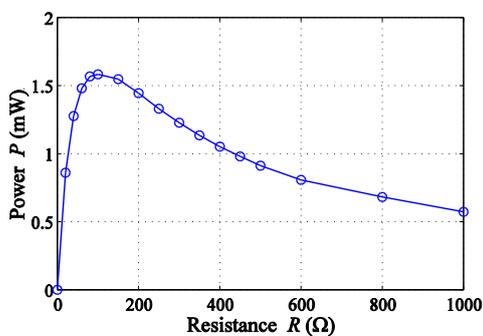


図 5 負荷抵抗  $R$  と発生電力  $P$  (29 Hz, 0.18 G)

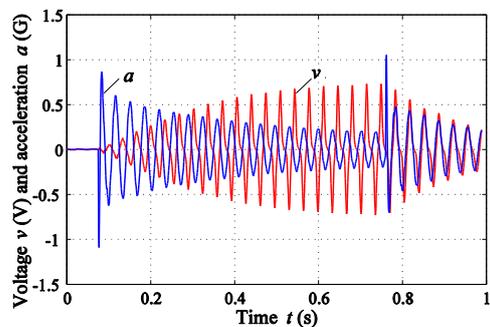


図 6 20 周期バースト時の応答

また本研究では、板状の磁歪素子をフレームヨークに貼り付けるデバイス構造を提案した。その結果、 $4 \times 0.5 \times 13 \text{mm}$  の Fe-Ga 合金を利用したデバイスにおいて、30Hz 0.1G 程度の微小な振動から 1V, 1mW 以上の電力を取り出すことに成功した。なお磁歪式振動発電において発生電力は体積に比例し、デバイスの大型化も十分可能である。以上の結果、橋梁などの間欠的で微小な振動から発電し、無線センサシステムが自立的に動作する可能性を実証した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

- (1) 松岡, 上野, "実振動下での磁歪式振動発電の共振周波数調整に関する研究, 平成 29 年電気学会全国大会, 2017 年 3 月 15 日, 富山県・富山市
- (2) 上野, "橋梁ヘルスマモニタリングの電池フリー化の実現に向けた磁歪式振動発電デバイスの開発", 第 27 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, pp.355-358, 2015 年 5 月 15 日, 長崎県・佐世保市

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 発電素子及びこの発電素子の構造を利用するアクチュエータ

発明者: 上野 敏幸

権利者: 金沢大学

種類: 特許

番号: 特願 2014-53551

出願年月日: 2015 年 2 月 25 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://vibpower.w3.kanazawa-u.ac.jp/index.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

上野 敏幸 (Ueno Toshiyuki)

金沢大学・理工研究域電子情報学系・

准教授

研究者番号: 30338256

(2)研究分担者

北川 章夫 (Akio Kitagawa)

金沢大学・理工研究域電子情報学系・

教授

研究者番号： 10214785

深田 幸史 (金沢大学)

金沢大学・理工研究域環境デザイン学系・

准教授

研究者番号： 10313686