

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：33910

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420176

研究課題名(和文)ねじりひずみを用いた新しい非共振型振動発電機構の研究

研究課題名(英文)A novel non-resonant type piezoelectric vibration energy harvester based on  
torsional strain of host structure

研究代表者

安達 和彦 (ADACHI, Kazuhiko)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：30243322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、丸棒のねじりひずみを利用した新しい圧電振動発電の方式を提案し、振動発電機構を試作して発生電圧の実測評価およびシミュレーションによる発電機構の基本設計を行った。また、ねじりひずみを利用した圧電振動発電機構の新規用途として、沿岸域での減災技術として「ねじりひずみ型の圧電発電機構」の実現可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：In this study, a novel non-resonant type piezoelectric vibration energy harvester based on torsional strain of host structure is proposed. And then, during the research period, both experimentally and numerically AC and DC output power performance was investigated. Furthermore, a smart structure concept for the coastal disaster mitigation was proposed and the multi-mission usage of the proposed structure was discussed based on the proposed non-resonant type piezoelectric vibration energy harvester.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：機械力学・制御 振動工学 振動発電 圧電コンポジット ねじりひずみ 減災工学 沿岸域

### 1. 研究開始当初の背景

稼働中の機械構造物に生じる振動を抑制するため、構造物に圧電素子を取り付けて電氣的に減衰を強化する設計方法(圧電ダンピング、Piezoelectric shunt damping)は、1990年代始めに Hagwood らの研究グループ(米国MIT)によって定式化が完成し、その後、多くの類似研究が行われた。そこでは、機械振動エネルギーを電気エネルギーに変換した後、圧電素子の電極間に接続した電気回路の抵抗でジュール熱損として散逸させ、機械構造物の見かけの減衰能を増加させた。近年(およそ平成17年頃)、各種電子デバイスの超低消費電力化( $\mu\text{W}$ クラス)の達成で、熱損として消散させずに電気エネルギーとして回収・利用する技術(Vibration Energy Harvesting、振動発電)が実現可能となり、世界的に注目されるようになった。

振動発電の研究は、入手と取り扱いの容易な圧電素子を用い、かつ、設計と試作の容易な片持ちはり型の発電機構を用いたものが大多数である。研究代表者も、保有する圧電ダンピングに関する知見と実験技術を駆使し、平成19~20年度に科学研究費補助金 基盤研究(C)(一般)「状態監視センサ用マイクロピエゾジェネレータシステムの研究」にて、圧電素子を用いた片持ちはり型の機械共振式の振動発電装置の試作と発電性能の実測評価を行った。さらに、平成23~25年度と同補助金 基盤研究(C)(一般)「超磁歪・圧電ハイブリッドマイクロパワージェネレータの研究」にて、磁歪素子と圧電素子を用いた機械共振式の振動発電装置の試作と実験的評価を行っている。しかし、片持ちはり型の振動発電機構では機械共振によって発電するため、当然のことながら非共振状態で発電量が零となる欠点を有している。この欠点に対して発電可能周波数範囲の広域化(Broad band)が、関連学会(例えば、米国機械学会 SMASIS や Power MEMS など)での振動発電に対する主要な研究課題となり、周波数変換技術(Frequency Up Conversion)、非線形振動技術(硬化ばね特性やリミットサイクルの利用)、共振周波数可変技術、の3つの技術アプローチで研究が行われている。なお、電気電子系の国際会議で Energy Harvesting の研究が多数発表されているが、研究対象は Micro Electro Mechanical System が主流でありかつ材料開発(特に薄膜系の創製)に重点が置かれているようである。

一方、研究代表者が2012年12月の第20回機械材料・材料加工技術講演会ワークショップ「減災・サステナブル工学創成に向けて」で行った招待講演での質疑応答で、「どのような振動数に対しても常に発電可能な振動発電機構の創出が、減災技術の今後の発展に不可欠である」との結論が得られた。以後、申請者は非共振型振動発電機構の構造についてアイデア検討を重ね、『トーションバーではねじりひずみが棒全体に分布する』ことに

着目し、「固定端近傍に曲げひずみが偏って分布する片持ちはり型」から「ねじりひずみ型」に振動発電機構を転換することによって非共振型振動発電実現の見通しを得た。

### 2. 研究の目的

本研究では、ねじりひずみを利用した新しい非共振型の振動発電機構を考案し、その発電性能を評価することを目的とする。この目的を達成するために以下の課題に取り組む。

- (1) ねじりひずみを用いた非共振型の振動発電の実現可能性を実験的に検証するために、トーションバー型の振動発電機構を試作し、発電性能を実測評価する。
- (2) 実測結果に基づいてシミュレーションによる発電機構の基本設計を行い、非共振型振動発電機構の設計指針と設計式を確立する。

また、

- (3) ねじりひずみを利用した圧電振動発電機構の新規用途として、沿岸域での減災技術として「ねじりひずみ型の圧電発電機構」の実現可能性を検討する。

### 3. 研究の方法

本研究で提案した圧電振動発電の方式は、図1に示すように円形断面の棒材の表面に圧電コンポジットを貼付し、棒を繰り返しのねじり変形させることによって生じる繰り返しのねじりひずみから圧電コンポジットにて繰り返しの振動数に応じた電圧を発生させ、外部接続した電気回路(負荷)で微小交流電力を得るものである。

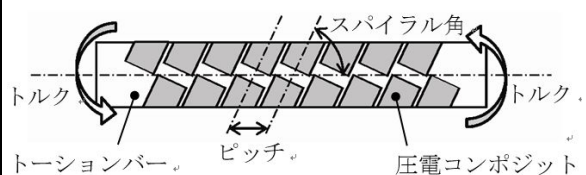


図1 トーションバー型圧電振動発電機構

研究方法は以下の通りである。本研究では、丸棒のねじりひずみを利用した新しい圧電振動発電の方式を提案し、振動発電機構を試作して発生電圧の実測評価およびシミュレーションによる発電機構の基本設計を実施する(平成26~27年度)。また、本研究課題の着想に至る過程で検討した「どのような振動数に対しても常に発電可能な振動発電機構の創出が、減災技術の今後の発展に不可欠である」との考えを具体化し、ねじりひずみを利用した圧電振動発電機構の新しい実用的な用途として、沿岸域での減災技術への応用

を想定し、「ねじりひずみ型の圧電発電機構」の応用実現可能性を示す（平成 28 年度）。

#### 4. 研究成果

平成 26 年度は、トーションバー型の圧電振動発電機構を試作し、提案方式による振動発電の実現可能性を検証した。また、コイルバネ型の圧電振動発電機構の基本設計を行った。続く平成 27 年度は、前年度の基本設計を発展させ複数条のコイルバネ型圧電振動発電機構の設計を市販の汎用有限要素解析ソフト(Abaqus)を用いて行った。コイル型振動発電機構は、研究代表者が過去に試作した片持ちはり型振動発電機構に比べて発電機構部全体の重量と寸法が増大し、発電機構自体が荷重負荷可能な構造体を構成できるものとなった。本研究で対象とする振動発電は圧電コンポジットを使用していることから、主に次の二つの欠点を有する。

- (1) 圧電コンポジットを構成する圧電材料が脆性材料であることから、長期の振動環境下での発電性能維持が困難であることが予想される。
- (2) 現時点で民生品として市場で入手可能な圧電コンポジットは鉛系圧電材料である。

この欠点の改善については、新規の圧電材料の出現を待つか、あるいは磁歪合金への転換が想定される。磁歪合金を用いた振動発電については、片持ちはり型振動発電機構を含む国際特許（例えば、上野敏幸、他 2 名、発電素子および発電素子を備えた発電装置、WO 2011/158473 A1、2011 年 6 月 9 日）が存在し、実用化の面では制約がある。しかし、本研究で提案したトーションバー型およびコイル型の圧電振動発電機構については、類例についての情報を研究代表者は 2017 年 5 月の段階においても得ていない。

発電機構自体が荷重負荷可能な構造体を構成できるものであることを利用する観点から、平成 28 年度（最終年度）は沿岸域での減災技術として「ねじりひずみ型の圧電発電機構」を用いた構造体による波浪エネルギーの低減効果を検討し、減災技術への応用可能性を示した。具体的検討について以下に概説する。

海中構造物の構想においては、自然災害発生時にのみ使用する設備では平時の維持管理が問題となると予想されることから、平時・発災時・復旧時の各フェーズでの使用用途を検討する。また、構造物の運用に必要な動力源を平時のインフラに依存すると、自然災害発災下から収束後に至るまでの長期に亘る災害対応に問題があるので、平時・発災時・復旧時を問わず動力源を自立的に確保する方法として、海流や波浪を利用した Energy Harvesting が有力候補となる。海洋構造物の使用用途として以下のものが挙げられる。

- (1) 平時の用途：

海洋調査、海洋資源保護（漁礁、漁業監視） 航路保全（灯台・航路標識） 其他監視用途

- (2) 発災時の用途：

海洋汚染防止（油流出）、地震観測（震源・規模の推定、警報の発出）、津波対策（予測、被害抑制）

次に、構造物の動力源について以下の候補技術が挙げられる。

- (1) 海洋発電：

- ・ Ocean Wave Converter (OWC)
- ・ Dielectric Elastomer Generator (DEG)
- ・ Piezoelectric Polymer Generator (by Dr. Ji Su)
- ・ Gyro-type Generator (by Prof. H.Kanki)
- ・ Turbo and Hydraulic-type Generators

- (2) 洋上風力発電：Wind Energy Converter

- (3) 洋上太陽光発電：

Solar Energy Converter

この内、洋上構造物を必要とする(2)と(3)については例えば台風に対しての構造健全性が要求されることになる。図 2 に海中構造物の構想例を図示する。

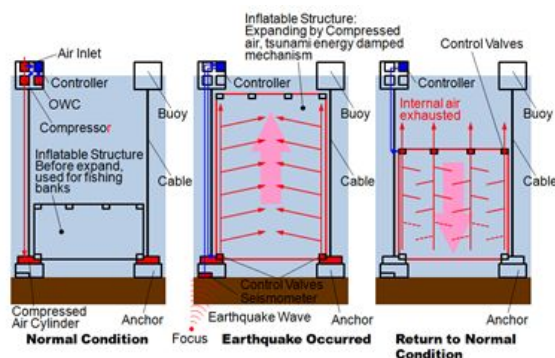


図 2 海中構造物の構想例

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 8 件)

安達和彦、沿岸域の減災のためのトーションバー型振動発電機構に関する基礎研究、日本機械学会 2017 年度年次大会、2017 年 9 月 4 日、埼玉大学（埼玉県・さいたま市）

安達和彦、沿岸域減災のためのスマート構造、日本機械学会 2016 年度年次大会 機械材料・材料加工部門企画「先端技術フォーラム」減災・サステナブル工学、2016 年 9 月 12 日、九州大学（福岡県・福岡市）

安達和彦、浅沼 博、沿岸域の減災のためのスマート構造に関する検討研究、日本機械学会 2016 年度年次大会、2016 年 9 月 12 日、九州大学（福岡県・福岡市）

K.Adachi, H.Asanuma, A Novel Underwater Inflatable Structures for Smart Costal Disaster Mitigation, The ASME 2015 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, 2015年9月22日, Colorado Springs( USA )  
R.Shimizu, M.Yamaguchi, K.Adachi, Wireless vibration monitoring system powered by piezocomposite vibration energy harvester for machine condition monitoring applications, The SPIE Smart Structures/NDE 2015, Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems IX, 2015年3月12日, San Diego ( USA )

山口昌宏、清水亮多、安達和彦、振動状態監視に用いる無線デバイスの特性評価 ( 振動発電による電力供給下でのセンサ観測波形の伝送実証実験 )、日本機械学会第13回評価・診断に関するシンポジウム、2014年12月11日、北九州国際会議場( 福岡県・北九州市 )

山口昌宏、清水亮多、安達和彦、自己給電式振動状態監視装置の開発に関する研究 ( 第三報 無線による計測データの送信実験 )、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2014, 2014年8月27日、上智大学 ( 東京都・千代田区 )

清水亮多、山口昌宏、安達和彦、圧電コンポジットを用いた振動発電装置の定電圧直流電力供給性能の実験的評価 ( 第二報, インピーダンスマッチング条件および充放電時間の評価 )、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2014, 2014年8月27日、上智大学 ( 東京都・千代田区 )

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計0件)

取得状況 (計0件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安達 和彦 ( ADACHI, Kazuhiko )

中部大学・工学部・教授

研究者番号 : 30243322