

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560260

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Investigation of magnetostrictive and piezoelectric hybrid type vibration energy harvester

研究代表者

安達 和彦 (ADACHI, KAZUHIKO)

神戸大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30243322

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：超磁歪素子と圧電素子を組み合わせたハイブリッド型の振動発電を提案し、市販入手可能なTerfenol-D材を用いた振動発電装置の試作と発電性能評価を行った。Terfenol-D材を用いたハイブリッド型振動発電では、圧電式の振動発電に比べて、極めて低い発電性能しか得ることができなかった。一方、振動発電装置で発電したAC電力を利用するための整流変換部についての研究では、市販の環境発電専用素子を用いることで約77%の交直変換効率が得られ、センサ駆動に必要な1mW以上の直流電力供給の目的が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this study, a novel magnetostrictive and piezoelectric hybrid type vibration energy harvester for remote wireless vibration condition monitoring applications was proposed. The feasibility study of the proposed hybrid type vibration energy harvester under the low intensity excitation condition was performed. The vibration energy harvester consists of Terfenol-D and piezocomposite. The intensity of the excitation for experimental evaluation of the proposed vibration energy harvester was 0.71 mm/sec RMS according to ISO standard. The experimentally obtained AC power generation performance of the proposed vibration energy harvester was quite low comparing with the previously developed piezocomposite vibration energy harvester.

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械力学・制御

キーワード：機械力学・制御 振動発電 超磁歪材料 状態監視 機構設計 変換効率

1. 研究開始当初の背景

運用中の機械構造物に生じる振動を抑制するため機械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方法(圧電ダンピング)の設計式が、1990年代始めにMITのHagwoodらによって確立し、その後、多くの類似研究が行われた。そこでは、機械的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熱力学的に散逸させ、機械構造物の見かけの減衰能を増加させている。しかし、熱損として消散させずに電気エネルギーのまま利用可能なエネルギーとして回収する研究(Vibration Energy Harvesting)が、各種電子デバイスの超低消費電力化の実現で、近年(おおよそ平成17年頃から)、世界的に注目されるようになった。機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換して利用する技術は、Energy Harvestingの一種として位置付けられる。

Vibration Energy Harvestingの研究では、その大半が圧電素子を用いている。研究代表者は、平成19年度からの2年間の研究課題「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」(科学研究費補助金 基盤研究(C))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評価実験を行い、回転機械を想定した定常振動下で90 μ Wの微小AC電力を常時発電できることを実証した。

研究代表者が試作した圧電振動発電装置を構成する圧電素子は静電容量成分を有するため、圧電素子を含む電気回路のインピーダンスが複素数となる。一方で、超磁歪素子では、超磁歪素子に振動変位を与えることによって素子に生じる磁場変化を素子の周囲に配置した発電用コイルで交番電圧として取り出すことにより、振動源から微小電力が生成できる。そこで、超磁歪素子に取り付けた発電用コイルの誘導成分と圧電素子の静電容量成分とで電気共振回路を構成することが可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、超磁歪素子と圧電素子を組み合わせたハイブリッド型の微小電力発生器(Hybrid Micro Power Generator: HMPG)の創製を最終目的とする。

最終目的達成のために、超磁歪振動発電の実現可能性評価、超磁歪振動発電装置を設計するための設計式の導出、超磁歪振動発電の試作と発電性能評価、ハイブリッド型発電装置の試作と発電性能評価、発電した電力を利用するための整流変換部の性能評価、を研究期間内の達成目標小課題とする。

3. 研究の方法

研究期間内に、

- (1) 超磁歪素子の振動・電磁・温度特性の実験的評価と超磁歪振動発電の実現

可能性の実験的検証(研究の目的の小課題と)

- (2) 超磁歪素子を用いた共振式超磁歪振動発電装置の試作と発電性能評価実験(研究の目的の小課題と)
- (3) ハイブリッド型振動発電装置の試作と発電性能評価実験(研究の目的の小課題と)

を行った。

なお、研究の進展に伴い、Terfenol-D材を用いた超磁歪式振動発電が圧電式振動発電に比べて発電性能が極めて低い状況であることが明らかになり、最終年度には振動発電装置で発電したAC電力を利用するための整流変換部の研究(研究の目的の小課題)を並行して進めた。

振動発電に用いる超磁歪素子には、国内で入手可能であったTerfenol-D材の円柱形状品(直径6mm、長さ25mm)を用い、縦割りにして片持ちはり様の振動子を構成した。振動子には永久磁石を配置して、超磁歪素子にバイアス磁界を加えた。動電型加振器で前記の超磁歪素子から構成した振動子を加振し、磁場計測器で磁束変化を測定した。また、加振時の超磁歪素子表面温度を熱画像カメラで計測した。加振強度は、過去に試作した圧電振動発電装置での加振強度と同じ0.71mm/s [RMS]とした。

図1に共振式超磁歪式振動発電装置の外観を示す。また、図2にハイブリッド型振動発電装置の外観を示す。図2の振動発電装置では、超磁歪式単独の発電性能評価を行った後に、ハイブリッド型に改修して発電性能評価を引き続き行った。

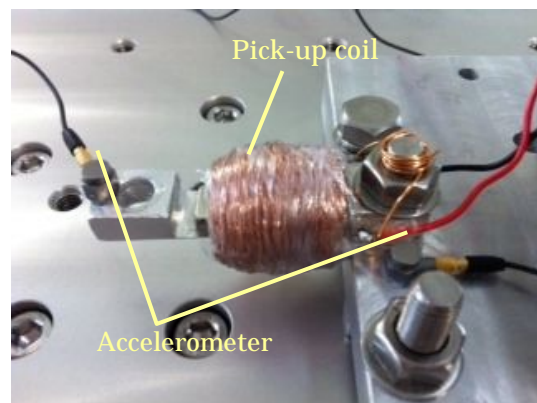


図1 共振式超磁歪式振動発電装置

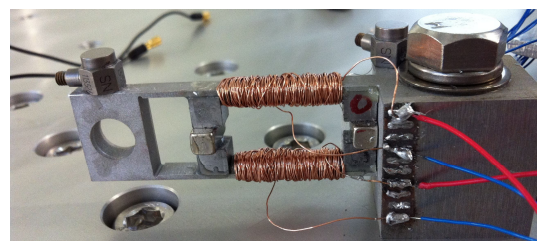


図2 ハイブリッド型振動発電装置

図1に示す共振式超磁歪式振動発電装置は、Terfenol-D材の円柱形状品の縦割りにしたものをアルミ製の片持ちはり形状の振動片の片面に永久磁石と併せてエポキシ樹脂接着剤で取り付け、超磁歪素子を取り付けたアルミ製振動片に発電用コイル（ポリウレタン線）を巻き付けて発電装置を構成した。発電部の共振周波数は73.23Hzであった。加振強度は、前述の0.71mm/s [RMS]に加えてこの加振強度の2倍、5倍、10倍、20倍、50倍と100倍とした。100倍すなわち、71mm/s [RMS]の加振強度での加振時に、超磁歪素子の破損は確認されなかった。発電性能は、発電コイルの抵抗値が30Ωであったので、デジタルマルチメータ（入力インピーダンス10MΩ）で発生電圧を測定し、開放電圧と見做して評価した。発生電圧は、加振強度0.71mm/s [RMS]で0.09mV、加振強度71mm/s [RMS]で5.9mVであった。推定発生電力は加振強度71mm/s [RMS]で0.6μWであり、過去に試作した圧電振動発電装置での発電性能実績100μW（60Hz、加振強度0.71mm/s [RMS]）に比べて大幅に下回った。図3に加振強度0.71mm/s [RMS]の時の発生電圧の時刻歴波形の一例を示す。なお、発生電圧が超磁歪素子に起因することを確認するために、超磁歪素子の代わりに非磁性の金属片を取り付けた同様の発電部を試作し（永久磁石込み）加振試験を行い、発生電圧がほとんど観視できるレベルであることを確認した。発生電力が非常に僅かであることは、試作した超磁歪振動発電装置で磁気回路が閉じていないことが原因と推定され、磁気回路を閉じることができる図2に示す改良型の発電装置の設計と試作を行った。

図2の振動発電装置では、超磁歪素子には図1と同様にTerfenol-D材の円柱形状品を縦割りにしたものをを用い、ワイヤ放電加工でアルミ合金部材から切り出し整形した平行四辺形状の上下対向する二辺の1対の振動部にそれぞれ超磁歪素子と圧電素子を接着した。超磁歪素子については、永久磁石と組み合わせ合わせて閉じた磁気回路を構成した。超磁歪素子を取り付けた振動部に発電用コイル（ポリウレタン線）を巻き付けて発電部を構成した。試作した発電装置の振動部の共振周波数は750Hzで振幅倍率が約30であった。

振動発電性能評価のための加振強度は、発電実績のある圧電式振動発電装置で用いた加振強度と同じ0.71mm/s [RMS]とした。加振実験中に超磁歪素子の破損は確認されなかった。発電性能は、デジタルマルチメータ（入力インピーダンス10MΩ）で発生電圧を測定し、開放電圧と見做して評価した。発生電圧は、加振強度0.71mm/s [RMS]において上側の振動部で0.87mV、下側の振動部で0.53mVであった。推定発生電力は上側の振動部で0.079μW、下側の振動部で0.056μWであった。図4に加振強度0.71mm/s [RMS]の時の超磁歪式単独の場合の発生電圧の時刻歴波形の

一例を示す。ハイブリッド型に改修して行った発電性能実験では、超磁歪式単独の場合とほとんど発電性能に差が認められなかった。発電部の振幅倍率は750Hzの共振時で約30であったが、併設した圧電素子のひずみが小さいことが原因と推定される。

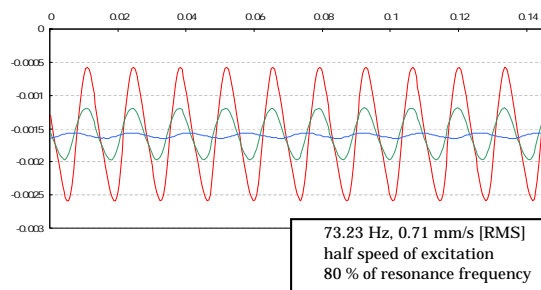


図3 共振式超磁歪式振動発電装置の発電性能評価実験結果

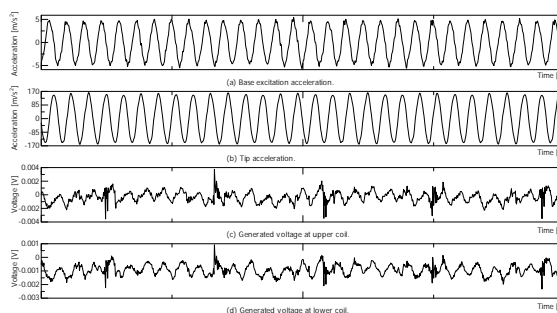


図4 ハイブリッド型振動発電装置（超磁歪式単独）の発電性能評価実験結果

前述のようにTerfenol-D材を用いた超磁歪式振動発電が圧電式振動発電に比べて発電性能が極めて低い状況であることが明らかになり、最終年度に振動発電装置で発電したAC電力を利用するための整流変換部の研究を並行して進め、以下の成果を得た。整流変換部には市販の環境発電専用のレギュレータ内蔵の整流素子を用い、直流出力側のインピーダンスマッチング特性の評価と蓄電用コンデンサによる直流電力供給性能の向上に取り組んだ。環境発電専用素子を用いることで直流出力側の負荷抵抗の値によらず約77%の交直変換効率が得られ（図5）、2~50mFクラスの蓄電用コンデンサを用いることで、センサ駆動に必要な1mW以上（最大実績100mW）の直流電力供給の目途が得られ（図6）、無線デバイスによるセンサ情報の送信実現が今後の課題として残った。

4. 研究成果

超磁歪素子と圧電素子を組み合わせたハイブリッド型の振動発電を提案し、市販入手可能なTerfenol-D材を用いた振動発電装置の試作と発電性能評価を行った。

ハイブリッド型振動発電では、超磁歪式単独の振動発電と同様の発電性能を得るに留まった。さらに、Terfenol-D材を用いた超磁

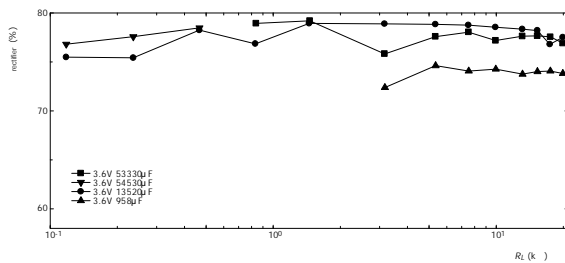


図5 整流変換部の交直変換効率

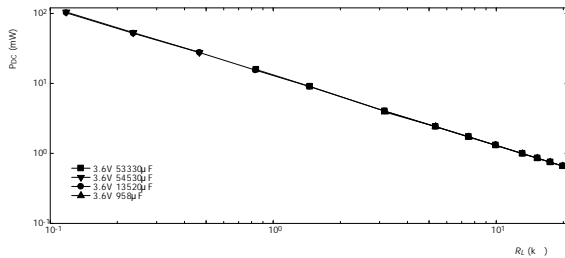


図6 直流電力供給性能

歪式の振動発電では、研究代表者がこれまでに性能評価を行った圧電式の振動発電に比べて、極めて低い発電性能しか得ることができなかった。

一方、最終年度に、振動発電装置で発電したAC電力を利用するための整流変換部について並行して行った研究では、市販の環境発電専用素子を用いることで約77%の交直変換効率を得られ、適切な蓄電用コンデンサを用いることでセンサ駆動に必要な1mW以上の直流電力供給の目途が得られた。

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2件)

K.Adachi、T.Sakamoto、Experimental Performance Evaluation of Vibration Monitoring Sensor Prototype driven by Piezocomposite Vibration Energy Harvester under Low Intensity Excitation Condition、Proc. of the ASME 2013 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems、査読有、SMASIS2013-3228 on CD-ROM、2013

安達和彦、坂本達哉、圧電コンポジットを用いた振動発電装置のエネルギー変換効率に関する研究(システムのエネルギーバランスと発電効率の評価)、日本機械学会論文(C編)査読有、Vol.78、No.789、2012、pp.1575-1585

[学会発表](計9件)

山口昌宏、安達和彦、清水亮多、自己給電式振動状態監視装置の開発に関する研究(第二報 低消費電力無線デバイスの駆動)、日本機械学会 関西支部第89期定時

総会講演会、2014年3月18日、大阪府立大学(堺市)

清水亮多、安達和彦、山口昌宏、圧電コンポジットを用いた振動発電装置のインピーダンスマッチングの実験的評価、日本機械学会 関西支部第89期定時総会講演会、2014年3月18日、大阪府立大学(堺市)

安達和彦、機械構造物での制振と振動発電、第23回日本MRS年次大会(MRSJ2013)、2013年12月10日、万国橋会議センター(横浜市)

山口昌宏、安達和彦、超磁歪式振動発電装置の開発に関する基礎研究、第56回自動制御連合講演会、2013年11月16日、新潟大学工学部(新潟市)

山口昌宏、安達和彦、清水亮多、坂本達哉、自己給電式振動状態監視装置の開発に関する研究(第一報、振動計測性能の評価)、第56回自動制御連合講演会、2013年11月16日、新潟大学工学部(新潟市)

安達和彦、山口昌宏、坂本達哉、超磁歪材 Terfenol-Dを用いた振動発電装置の開発(第1報、基本特性の実験的評価)、日本機械学会2013年度年次大会、2013年9月9日、岡山大学(岡山市)

坂本達哉、安達和彦、山口昌宏、圧電振動発電で駆動する振動状態監視装置の開発に関する研究、日本機械学会第13回「運動と振動の制御」シンポジウム、2013年8月30日、九州産業大学(福岡市)

坂本達哉、安達和彦、山口昌宏、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、日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2013、2013年8月29日、九州産業大学(福岡市)

安達和彦、流体関連振動におけるエネルギーハーベストとヘルスマニタリングへの期待、第20回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2012)ワークショップ「減災・サステイナブル工学創成に向けて」、2012年12月1日、大阪工業大学(大阪市)

[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)
神戸大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号:30243322

(2)研究分担者

該当無し

(3)連携研究者
該当無し