

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560231  
 研究課題名（和文） 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  
 研究課題名（英文） Investigation of piezo generator system for machine condition monitoring  
 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

## 研究成果の概要：

国際規格 ISO 10816-1「回転機械の非回転部分の振動」のクラス I 機器（15kW 以下の電動機）で新設時の振動許容値上限（ $7.1 \times 10^{-4}$  (m/s RMS)）に対応する振動レベルにおいて、 $90 \mu\text{W}$  の電力を常時発電できる振動発電機構（マイクロピエゾジェネレータ）を開発した。発電量は微小であるが、超低消費電力の電子回路と MEMS センサを組み合わせることで、無線方式の回転機械状態監視システムの動力源として応用可能である。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：スマート構造工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：状態監視、振動発電、圧電発電、エネルギーハーベスト、不つり合い振動、回転機械、圧電素子、スマート構造

## 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る。

この減衰強化方法に代わり、圧電素子によって振動エネルギーから変換された電気エネルギーを利用する、すなわち、あらゆる人工的な機械振動からエネルギーを回収して動力源とする Energy Harvesting というキーワードで説明される新しい技術分野を近年急激に形成しつつある。Energy Harvesting は、広義には自然環境に存在するさまざまな自然エネルギーを動力源とすることを指す。Energy Harvesting に対応する邦文用語は確定していないようであり、『エネルギー収穫』

や『環境発電』など称されるか、そのまま『エネルギー・ハーベスト』などカタカナ表記される。2005 年度には、Journal of Sound and Vibration 誌に Energy Harvesting に関するレビュー記事が掲載され、Journal of Intelligent Material Systems and Structures 誌では Energy Harvesting の特集号が発行された。Energy Harvesting は過去 1~2 年の間に急速に研究レベルが進展した注目すべき分野となった。

産業界で動力源として広く用いられている回転機械では、構成要素の製造時の加工誤差、運用中の熱変形や環境中での経時変化により本質的に振動が不可避となる場合が多い。不釣り合いによる数十 Hz の回転同期の振動、流体機械の羽根枚数依存の百数十 Hz から数百 Hz の振動、歯車の噛み合いによる歯数依存の kHz 帯の高周波振動が、機械の運転中に常時発生する。回転機械では ISO の規格で振動レベルのモニタリングが規定され、軸または軸受箱やケーシングでの振動許容値が設定され、回転機械は許容値以下で振動し続ける。この振動を新たなエネルギー源と考えて、熱力学的に散逸させるのではなく、電気エネルギーに変換して利用することが考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、回転機械の不釣り合いによって常時発生する振動をエネルギー源とし、片持ちはり型の共振機構に圧電コンポジットをバイモルフ形状に貼り付けた振動発電機構（マイクロピエゾジェネレータ）の開発を目的とする。

- (1) 圧電材料を組み込んだ共振機構（振動発電機構）の最適設計
- (2) 圧電材料を組み込んだ共振機構（振動発電機構）の試作
- (3) 試作機の振動試験を行い発電性能の評価

をそれぞれ行い、振動発電機構（マイクロピエゾジェネレータ）の開発を実現する。

## 3. 研究の方法

振動発電機構は、厚さ 0.8mm の鋼板製片持ちはりの両面に圧電コンポジット（Smart Material 社製：d31 型および d33 型 Macro-Fiber Composite (MFC)）を、両面テープまたは二液性エポキシ樹脂接着剤で貼り付けてバイモルフ型圧電素子を構成した。圧電コンポジットの種類（d31 型と d33 型）と貼り付け方法（両面テープと二液性エポキシ樹脂接着剤）が発電特性に及ぼす影響を加振実験により実験的に評価し、二液性エポキシ樹脂接着剤を用いて d31 型圧電コンポジットを接着した圧電振動発電機構が振動発電

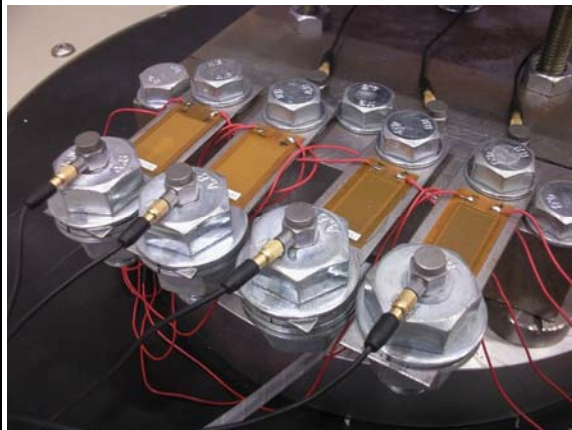


図1 振動発電機構

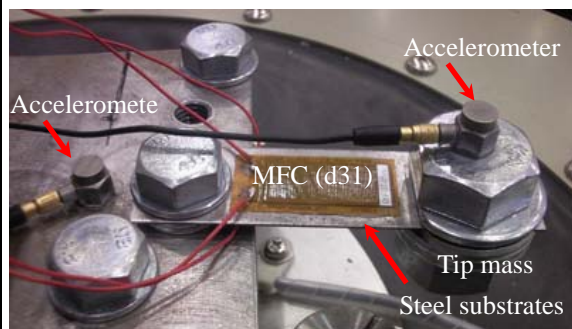


図2 振動発電機構の詳細

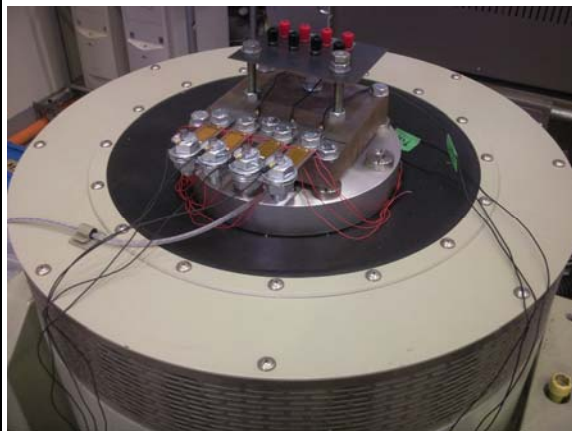


図3 振動発電機構の加振試験（発電性能試験）

に適していることを確認した。図1に試作した4種類の振動発電機構を示す。図2に振動発電機構の詳細を示す。

振動発電機構の発電性能を調べるために、図3に示すように動電型加振器に振動発電機構を取り付け、発電性能評価実験を行った。実験の詳細は以下の通りである。

国際規格 ISO 10816-1「回転機械の非回転部分の振動」のクラス I 機器（15kW 以下の電動機）で新設時の振動許容値上限（ $7.1 \times 10^{-4}$  (m/s RMS)）に対応する振動レベルを発

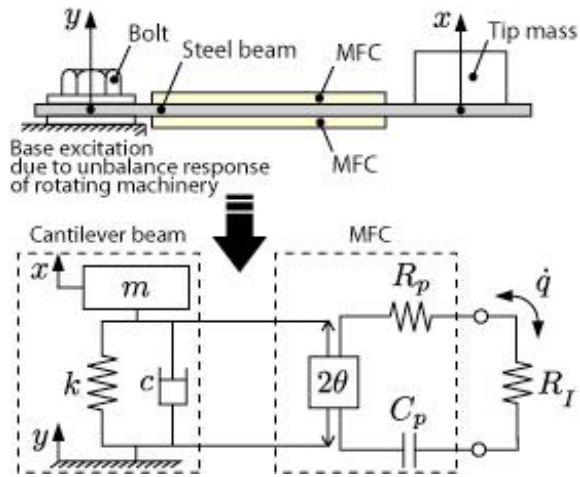


図4 振動発電機構の数値シミュレーションモデル

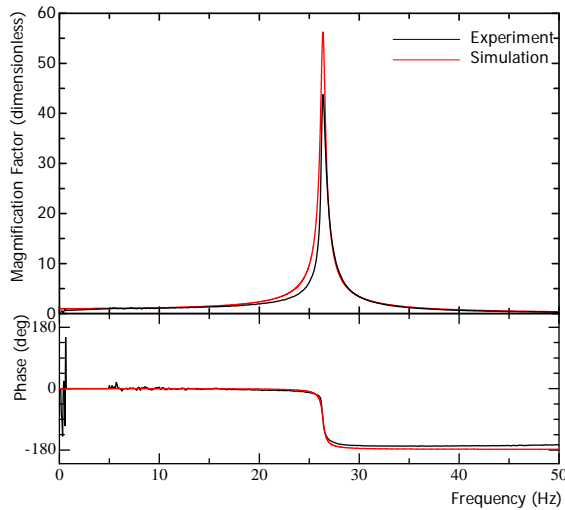


図5 振動発電機構の伝達関数（実験値および数値シミュレーション）

電性能評価のための加振強度として用いた。動電型加振器 (EMIC 社製, 定格加振力 6860 (N RMS) (ランダム波加振)、最大加振加速度 450.8 (m/s<sup>2</sup> RMS) (ランダム波)、加振周波数範囲 5 (Hz) ~ 2000 (Hz)) を用いて、圧電振動発電装置に速度一定振幅の振動を与えた。振動発電機構の片持ちはり部の固定端と自由端の両方に取り付けた加速度ピックアップ (PCB 社製, A353B15) で加速度を測定した。伝達関数は、FFT アナライザ (ONO SOKKI 社製, CF-5210) で測定した。負荷抵抗に発生する電圧および電流を電力計 (HIOKI 社製, POWER HiTESTER 3332) で測定した。電力計における電圧計の入力インピーダンスは 2 (M Ω)、電流計の入力インピーダンスは 2 (m Ω) であった。圧電コンポジットの電気インピーダンスは、LCR メータ (HIOKI 社製, POWER HiTESTER 3522)

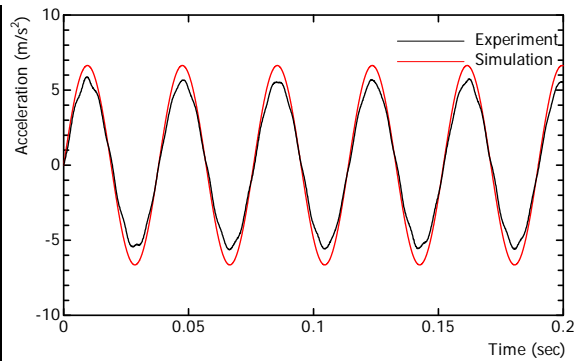


図6 振動発電機構の片持ちはりの自由単振動応答（実験値および数値シミュレーション）

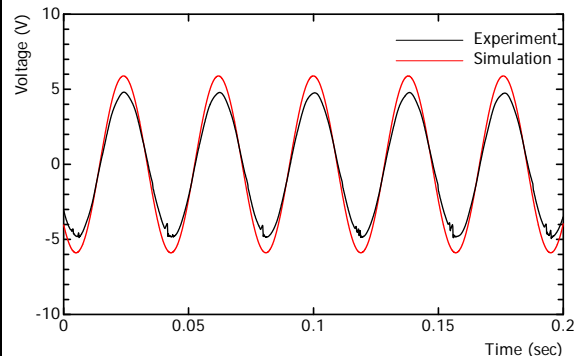


図7 振動発電機構の負荷抵抗に発生する電圧（実験値および数値シミュレーション）

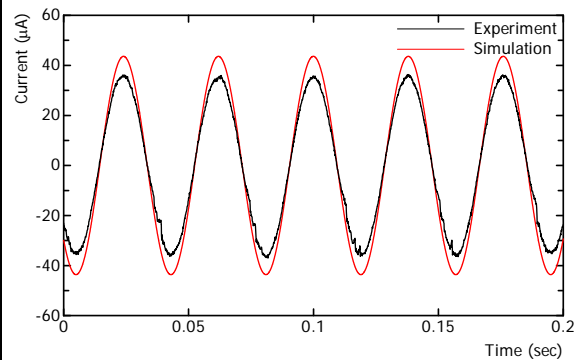


図8 振動発電機構の負荷抵抗に発生する電流（実験値および数値シミュレーション）

で測定した。

圧電コンポジットを用いた片持ちはり型の圧電振動発電機構は、図4に示すような1自由度ばね・質量・ダッシュポット系でモデル化し、振動発電機構の設計に供するための数値シミュレーションモデルを構築した。

振動発電機構の片持ちはりの固定端加速度から自由端加速度までの伝達関数を実測し、数値シミュレーションモデルのパラメータを同定した。図5に伝達関数の実測結果とシミュレーション結果を示す。本研究では、圧電振動発電機構の片持ちはりの曲げ振動の1次固有振動数が約 26.3 (Hz) になるよう

に先端質量を用いて調整した。この固有振動数の値は、4極三相誘導電動機で駆動する回転機械を60(Hz)の商用電源で駆動させた時に発生すると予想される不釣り合い振動応答の振動数に近い値として設定した。圧電振動発電機構の片持ちはりの曲げ1次共振周波数26.3(Hz)の正弦波で振動発電機構を定常加振した時の自由端加速度応答、負荷抵抗に発生する電圧および電流の実測結果とシミュレーション結果を図6、図7および図8にそれぞれを示す。発電性能試験では圧電コンポジットの電気インピーダンスと負荷抵抗を等しくするために、負荷抵抗135(kΩ)を接続した。定常加振時に固定端に発生する加速度から加振速度振幅を実測し、数値シミュレーションモデルに対する入力とした。

以上の動電型加振器を用いた振動発電機構の発電性能評価実験の結果、国際規格ISO10816-1「回転機械の非回転部分の振動」のクラスI機器(15kW以下の電動機)で新設時の振動許容値上限( $7.1 \times 10^{-4}$ (m/s RMS))に対応する振動レベルにおいて、90μWの電力を常時発電できることを確認した。数値シミュレーションでは、モデル化されていない機械系及び電気系の損失により、有効電力128.4(μW)の微小電力が回収できるシミュレーション結果を得た。数十ミリワット級の振動発電機構(マイクロピエゾジェネレータ)の実現には至らなかったが、通常の回転機械の振動で常時入手可能な電力量を確定することができ、超低消費電力の電子回路およびMEMSセンサを組み合わせることで、無線方式の回転機械状態監視システムの動力源として応用可能であることが明らかになった。

#### 4. 研究成果

圧電コンポジットを利用した片持ちはり型の振動発電機構を開発し、加振実験を行い、回転機械の振動によって90μWの電力を常時得ることが可能となった。

加振実験結果を用いて、試作した振動発電機構に対する2自由度の機械-電気連成モデルを構築した。数値シミュレーションの結果、圧電コンポジットと負荷抵抗のインピーダンスマッチングにより、圧電振動発電機構から最大電力を回収することが可能であることが明らかになった。

#### 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1件)

① K. Adachi and T. Tanaka, “A preliminary study of piezoelectric vibration energy harvester for vibration condition monitoring applications of rotating

machinery,” Proceedings of the ASME 2008 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, SMASIS2008-483 on CD-ROM, 2008, 査読有り

[学会発表] (計2件)

① 安達和彦・田中亨・神吉博, “圧電コンポジットを利用した振動発電装置の発電特性評価,” 日本機械学会 関西支部第84期定時総会講演会, 2009年3月16日, 近畿大学(東大阪市)

② 安達和彦・田中亨・神吉博, “圧電コンポジットを利用した機械共振機構による振動エネルギー回生に関する研究,” 日本機械学会 機械力学計測制御部門講演会 第7回評価・診断に関するシンポジウム, 2008年11月26日, 新都心ビジネス交流プラザ(さいたま市)

#### 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