

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：82641

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01240

研究課題名(和文) 環境(振動)発電による自立型センサを活用した地域防災・見守り支援に関する研究

研究課題名(英文) Research on disaster prevention and status monitoring support using energy harvesting wireless sensor

研究代表者

朱牟田 善治 (Shumuta, Yoshiharu)

一般財団法人電力中央研究所・地球工学研究所・上席研究員

研究者番号：90371434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、常時から非常時まで遠隔から監視できる見守りセンサネットワークシステムを開発した。具体的には、ドアの開閉など人の日常的な動作から発電を行うデバイスを搭載した動き判定センサを開発した。また、災害時に人や設備の異常判定を行うために、常時は定期的な振動計測を行うとともに、地震などの突発的な振動発生時には、トリガー起動により地震波形も計測する振動センサを開発した。この振動センサを応用して日常の振動を計測し、異常判定を行う学習型の見守り支援モデルを提案した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a watching sensor network system that can be remotely monitored human activity and housing performance from daily to emergency. To put it concretely, a motion detection sensor was developed with a device, which generates electricity from daily human activities such as opening and closing of a door. In order to detect any abnormality of human behavior and equipment performance at the time of a disaster, a vibration sensor also was developed that regularly measures the vibration and irregularly measures the seismic waveform during an earthquake. Based on the developed system, we proposed a learning type watching support model that determines abnormality of human behavior and equipment performance with measuring a daily vibration generated by resident activities.

研究分野：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：環境発電 無線センサ 見守り支援 磁歪材料 振動

1. 研究開始当初の背景

我が国においては、世界一の超高齢社会を迎え、常時はもとより災害時にも独居高齢者を見守り・安否を確認できる要素技術が不可欠となっている。高齢者の見守りを実現する技術としては、これまでに様々なシステムが提案されているものの課題も多い。たとえば、携帯型のウェアラブルセンサ、およびスマートフォン等は、常に身に付けなければならない、その電池交換も大きな負担である。また、カメラに代表される据え置き型センサも、それ自体が大型で高価、充電や電池の交換に手間がかかる、設置が面倒、およびメンテナンス性が悪いなどの点で、高齢者が利用するには実用的でなかった。

2. 研究の目的

本研究では、環境（振動）発電による自立型無線センサをベースにした高齢者見守り支援システムを開発する。課題は、高齢者に利用を意識させないセンシング、また、その情報で正常・異常を正確に判定する技術の実現にある。そこで、人の日常的な動作から実用的な発電を行うデバイスと、これを電源に動作する動き判定センサを開発する。また、常時から非常時までを遠隔から監視できる見守りセンサネットワークを構築し、常時と災害時など状況に応じて、高齢者やその周辺設備の正常・異常を判断するシステムを開発する。

3. 研究の方法

本研究は、大きく2つの検討項目からなる。まず、人の行動のモニタリングに関して、ドアを開く動きで発電し、その動きの信号を無線送信し、クラウドに上げるシステムを開発する（発電デバイスと起電力センサ）。鉄ガリウム合金の逆磁歪効果を利用する振動発電デバイスは、シンプルで安価にできる構造とし、目標発電量（エネルギー）として一回の開く動きで近距離無線モジュールが動作し、無線信号を送信する。このデバイスを、実際にドアの模型に取り付け、発電、無線送信の動作を実証する。

図1に開発した発電デバイスの構造を示す。デバイスはU字フレームの上部に磁歪素子（鉄ガリウム合金）を接合したユニモルフ構造で、その周りにコイルを巻いたものである。またU字のフレームの間には磁歪素子に適度な磁気バイアスを与えるため磁石が付く。デバイスの先端に入力が加わると、デバイス先端が自由振動を行う。この時、素子には圧縮・引張の応力が交互に作用し、逆磁歪効果により素子の磁束が変化し、コイルにはその鎖交磁束の時間変化で起電力が発生する。今回、ドアの動きから発電を行うようデバイスへの入力には、図2に示すように磁石の脱着力を利用した。これにより、ゆっくりした動作から、磁石の脱着時の突発的な高周波の振動を励振させることが可能となりデバイス

の発生電圧および発電量を増加できる。実際の試作したデバイスの構成要素としてフレーム(SPCC)、素子(Fe81.6-Ga18.4, 4×13×0.5 mm)、コイル(線形0.1 mm, 3638巻)、ネオジム磁石(4×3×2 mm³)を用いた。また先端には磁極板(Fe, 3×9 mm)をスポット溶接した。脱着部の各材料は磁極板、脱着用ネオジム磁石2個を用いた。脱着用の磁石2個の磁極を反転させて配置し漏れなく磁束を収束させ磁力を強めた。脱着部は評価試験においては上下に移動可能なステージに取り付けた。ステージを下げることで吸着を行う。その後、ステージを上げていき脱着力以上の力が加わると脱着し自由振動を行う。試作したデバイスでは、先端を折り曲げ加工で傾斜させており、磁石の脱着時のストローク幅を大きく得られるように工夫してある。

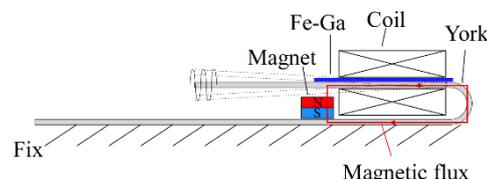


図1 発電デバイスの構造

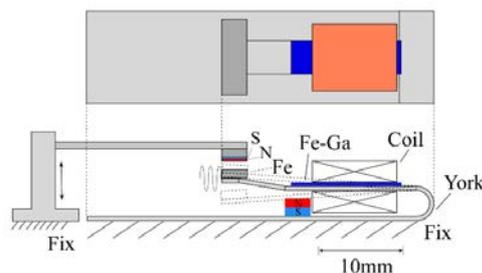


図2 磁石の吸脱着による励振機構

このデバイスに全波整流回路もしくは倍電圧整流回路、その後蓄電コンデンサ、無線送信モジュール(interplan社のIM315)を接続し、一度の動きで無線が送信できるかを検証した。図3はシステムの回路構成である。

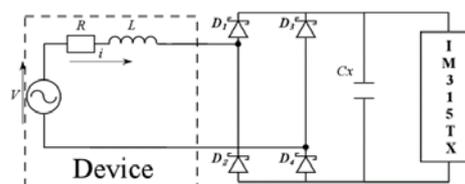


図3 システムの構成

もう一方の検討として、人や設備の異常判定や災害時の地震波形も安定して遠隔から監視できることを実現する無線型の加速度センサを開発する（加速度センサと異常判定

の方法)。



(a)加速度センサ (b)電源基盤と(c)無線チップ



(d)加速度センサとして組み上げた状態

図4 無線型加速度センサ

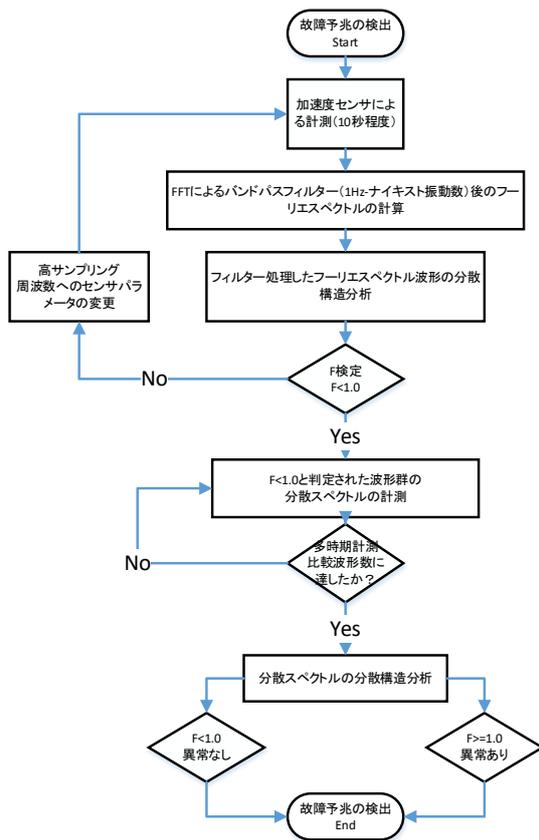


図5 異常判定評価フロー

図4に開発した無線加速度センサを示す。3軸のMEMS加速度センサとしてLIS3DSH(STMicroelectronics社製)を4台と、フラッシュRAM(FM24V10)4枚を基盤に埋め込み、最大4個の加速度により同時に計測し、最大1600Hzのサンプリング周波数で、加速

度データをフラッシュメモリに直接蓄積できる。また、無線チップにマルチホップ機能を備えたCRESSON-MD920を採用し、常時は、定期的な振動計測を行えるとともに、地震などの突発的な振動発生時には、トリガー起動により、地震波形も計測することが可能である。さらに、複数センサノードを同時に起動させる時刻同期機能や電力消費を抑えるための間欠動作が可能となる機能も有している。

図5に、開発センサを用い、定点で振動を常時観測している前提下、観測した振動の対象(人や設備)が正常か異常かを、その差分情報により判断するための異常判定評価フローを示す。開発センサは、MEMS型加速度センサの特性により、サンプリング周波数が高くなるほど、ノイズレベルが大きくなる特性を有する。この問題に対処するために、低サンプリング周波数(100Hz程度を想定)でも計測が可能で再現性のある安定した振動波形(エイリアシングしている可能性のある振動波形)に着目する。本研究では、開発したセンサに搭載した4つの加速度センサにより、位相のずれた波形を同時計測することにより常時と異なる振動波形を検出する方法論を提案し、手法の有効性の検証を行う。

4. 研究成果

(1) 発電デバイスと起電力センサ

デバイスの固定方法、脱着用磁石、磁極板の厚さを検証することで、最終的に一度の動作で0.6mJ程のエネルギーを発生させることに成功した。また蓄電コンデンサ C_x をパラメータとした無線モジュールの動作検証においては、 C_x が小さくなるほど負荷にかかる最大印加電圧は増加し、 C_x が10 μ F以下で動作電圧1.9V以上となり一回の磁石の脱着で無線送信ができた。一例として C_x が4.7 μ Fの場合の電圧(青)と電流(赤)の時間波形を図6に示す。この結果を受けてドアの模型を製作し、これにデバイスを取り付けた実証試験を行った。図7は、試作したシステムの写真と図8はドアの開閉で発電する動作する原理である。ドア閉時、磁石は吸着している。ドア開時、磁石が脱着を行いデバイス先端が自由振動を行う。これが入力となり、発電および無線送信を行う。今回の試験では整流回路には全波整流回路、平滑用コンデンサ C_x として10 μ Fを用いた。また今回、受信モジュールの信号をマイコン、LTEモジュールを介し、クラウドに上げ、スマートフォンに表示するシステムも開発した(図9)。これによりドアの開く動作で発電した結果が、瞬時にスマートフォンへと表示され、結果、リアルタイムでのモニタリングが可能であることがわかった。以上、人がドアを開ける動作を電池フリーでクラウドに送信する技術モデルを完成させた。

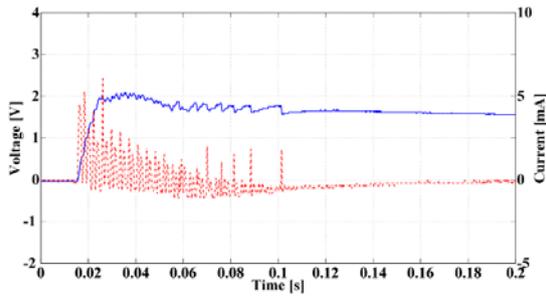


図 6 電圧と電流の時間波形

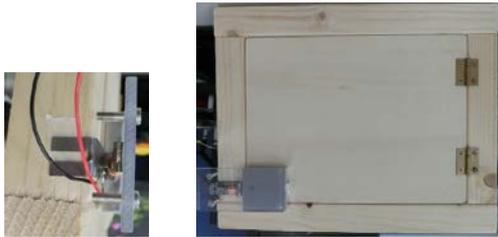
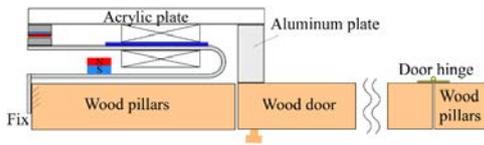
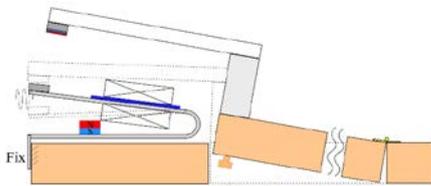


図 7 模擬ドアとデバイス



(a) 模擬ドア閉時



(b) 模擬ドア開時

図 8 ドアで発電する原理

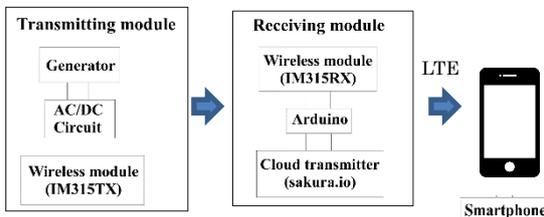


図 9 モニタリングシステム

(2) MEMS 型加速度センサの開発

図 4 に示す 920MHz 帯の無線帯域を用いた MEMS 型の加速度センサを試作し、良好に振動を計測できることを確認した。開発した加速度センサは、上記発電デバイスを含む多様なエネルギーハーベスティング電源の入力を可

能とし、920MHz 帯を用いたマルチホップ双方向通信が可能である。これにより自律的に電源を確保できるとともに、遠隔から計測パラメータの自動チューニングも可能となり、発電とオートチューニング機能を備えた自律型のセンサとして機能することが期待できる。また、加速度センサを 4 台実装して微妙に位相をずらして同時計測することにより、計測した波形のサンプリング周波数が妥当かどうか判断することが可能である。

図 10 は、図 4 で示した加速度センサを小型振動台に設置し、固有振動数 10Hz の sin 波を発生させて 200Hz のサンプリング周波数で計測することを 4 回繰り返し、4 時期のフーリエスペクトル群の分散波形をそれぞれ比較している。すなわち、図 10 では、(a)～(d)の 4 つの異なる時期の同一地点の振動を内蔵した 4 つの加速度センサで同時に計測し、その振動波形のフーリエスペクトルを算出し、同一時期、同一周波数ごとにその分散値を評価した結果を示す。ただし、図 10(d)は、設備の異常を模擬するために、小型振動台と開発センサを固定しているボルトをゆるめ、多少がたを与えて計測した結果を示す。図 10 の(a)～(c)の 3 時期の 3 分散波形に対して、図 5 の評価フローに従い、仮説検定値である F 値を計算したところ、0.15 となった。この結果は、図 5 の評価フローに従えば、異常がない健全な状態であるという判定となる。一方、異常を模擬した(d)を加えて図 10 の 4 時期で F 値を計算したところ、1.29 となった。この結果は、図 5 の評価フローに従うと、図 10(d)は、明らかに前 3 つの振動特性と異なる兆候があり、異常であると判定される。この事例が示すように、健全状態にある時期のスペクトル分散波形をリファレンス波形として学習しておき、振動波形を定期的にサンプリングして傾向管理しておけば、本提案手法により、異常兆候を検出できることを明らかにした。

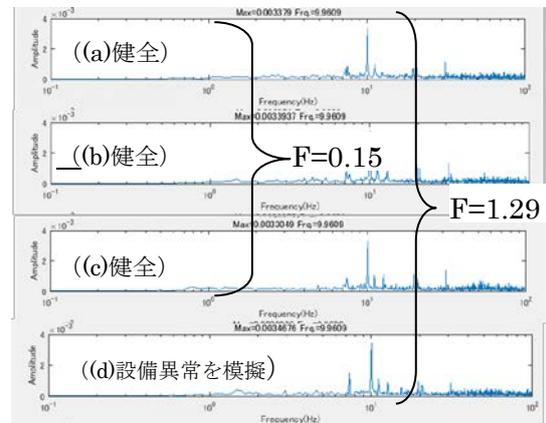


図 10 4 時期のスペクトル分散値の F 値を検定した例 (固有振動数 10Hz の sin 波を 200Hz サンプリングで計測。時期を変えたスペクトル分散値の F 検定結果)

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)

[学会発表] (計 5 件)

開地 成人, 上野 敏幸, 磁歪式振動発電デバイスのコンデンサ挿入による出力向上に関する基礎的検証, 第 26 回 MAGDA コンファレンス in 金沢講演論文集, pp. 319-320, 2017

開地 成人, 上野 敏幸, 磁歪式振動発電を用いた磁石の脱着で動作する電池フリーIoT モジュールに関する研究, 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, 2018

朱牟田 善治, 見守り支援技術の基礎検討—920MHz 帯無線加速度センサの試作とその応用可能性—, 平成 27 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, 2015.

朱牟田 善治, 松野 隆, 斎藤 潔, 吉澤 健一, 小串 和紀, 田代 浩恒, 無線加速度センサを用いた見守り支援システムの基礎検討, 平成 28 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, 2016.

朱牟田 善治, エイリアシング波形を用いた見守り振動センサの開発, 平成 29 年度電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, 2017.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 予兆検出装置, 予兆検出方法, 予兆検出プログラムおよび予兆検出システム

発明者: 朱牟田 善治

権利者: 朱牟田 善治

種類: 特許

番号: 特願 2017-151006

出願年月日: 2017 年 8 月 3 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

朱牟田 善治 (SHUMUTA, Yoshiharu)

一般財団法人電力中央研究所・地球工学研究所・上席研究員

研究者番号: 9 0 3 7 1 4 3 4

(2) 研究分担者

上野 敏幸 (UENO, Toshiyuki)

金沢大学・電子情報学系・准教授

研究者番号: 3 0 3 3 8 2 5 6

福富 広幸 (FUKUTOMI, Hiroyuki)

一般財団法人電力中央研究所・材料科学研究所・上席研究員

研究者番号: 6 0 3 7 1 3 2 4

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

北川 章夫 (KITAGAWA, Akio)

金沢大学・理工学研究域・教授

研究者番号: 1 0 2 1 4 7 8 5

伊藤 雅彦 (ITO, Masahiko)

一般財団法人電力中央研究所・材料科学研究所・主任研究員

研究者番号: 4 0 5 5 6 7 4 2