

(ご記入日) 令和 7 年 4 月 29 日

公益信託 N E X C O 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱 U F J 信託銀行株式会社 宛

研 究 概 要 書

研究課題：電池レスセンサを用いたイベントドリブン型無線センサ端末
による異常検知システムの創製

研究代表者：九州工業大学 大学院工学研究院 助教 山田 駿介

はじめに

高度経済成長時代に建設された多くのインフラ施設は、建設から数十年が経過し、構造体の老朽化が深刻な問題である。さらに、社会全体の少子高齢化の進行に伴い、インフラ点検や維持管理に従事する専門人材の不足が深刻化しており、これらが重なることで、インフラの劣化を早期に検知・対応する体制の構築は社会基盤の維持という観点のみならず、国民の安心・安全な道路交通環境の実現の喫緊の課題である。こうした背景を踏まえ、AE (Acoustic Emission) センサなどを搭載した無線センサ端末による常時監視システムが新たに注目を集めている。無線センサ端末は、インフラ設備の劣化兆候をリアルタイムかつ人的リソースに頼らないモニタリング体制の実現に寄与すると期待されている[1, 2] (図 1)。しかしながら、既存の無線センサ端末に搭載されている電池には、5~10 年程度で電力が枯渇し、定期的な交換作業が必須となるという大きな課題があった。加えて、交換作業にはコストと労力がかかり、インフラ点検の省力化という本来の目的を損なうリスクも存在する。

1. 研究の目的

こうした中、周囲の環境エネルギーを利用する環境発電素子(エナジーハーベスティングデバイス)が注目を集めていたものの、現状では発電量が極めて小さく、センサ端末を常時駆動するには十分な電力供給が難しいという技術的課題を抱えていた[3, 4]。そこで、本研究では環境発電素子をセンサとして使用して、常時スリープモードで待機し、異常(イベント)が発生したときのみ駆動するイベントドリブン型無線センサ端末を用いて上記課題を解決に挑戦した。本研究は、出力が大きい(大出力発電素子)、小さい(小出力発電素子)2つの環境発電素子を利用する。大出力発電素子は蓄電素子と組み合わせて電源として使用する。無線センサ端末と電源(大出力発電素子)の間に電子回路を挿入して、小出力発電素子が発電すると電源から無線センサ端末に電力を供給するシステムを実現した。

2. 研究方法&結果

2-1. イベントドリブン回路の作製

発電素子がセンシング機能と発電機能の両方を兼ね備えている点に着目し、発電素子をスイッチとして外部回路へ電力を供給する新たな回路を考案した。本回路は常時スリープモードで待機しており、モジュール全体の消費電力を 60 nW まで低減している。そのため、発電素子が発電したエネルギーをキャパシタへ充電することが可能である。外部から振動、熱、光などの入力加わると、発電スイッチが発電し、それに伴いラッチ回路が動作する。これによりキャパシタと外部回路が導通し、キャパシタに蓄えられたエネルギーが外部回路へ供給されて駆動する。外部回路での処理が完了した後、キルスイッチを ON にすることでラッチ回路をリセットし、キャパシタと

外部回路間の接続を遮断する。これにより、モジュールは再びスリープモードへ移行し、キャパシタへのエネルギー再充電できる。この回路の待機時の消費電力は約 60 nW であり、極めて小さい消費電力を実現できた。さらに、駆動時の消費電力は 8.6 μ W と無線センサ回路の消費電力 数十 mW よりも十分小さい値を実現でき、外部回路の動作を妨げない回路を実現できた。

2-2. 応力によるイベントドリブン回路の起動と無線センシング

圧電体 PZT をドライポンプに固定し、ドライポンプの運転中に発生する機械的振動エネルギーを電気エネルギーに変換する構成とした。使用したドライポンプの振動周波数は 25 Hz であり、オシロスコープによる測定により、PZT の出力も同様に 25 Hz の周波数でピーク・ツー・ピーク (peak-to-peak) 3 V_{pp} の電圧が得られることを確認した (図 2)。得られた電力は、コッククロフト・ウォルトン回路型の昇圧回路に接続され、段階的に電圧を昇圧することで後続回路に必要な駆動電圧を確保した。昇圧された電力は、イベントドリブン回路に搭載した 1 mF の電解コンデンサに蓄積した。圧電体 PVDF をスイッチ素子として用い、電解コンデンサに蓄積したエネルギーを用いて無線通信を行い、センサ情報の遠隔伝送を実現した (図 3)。

3. まとめ、今研究で得られた成果、今後の課題等

本手法により電池を用いた無線センサ端末においては、待機時の駆動電力を大幅に低減することで、長期間にわたるメンテナンスフリー運用が可能となる見通しが得られた。最終的には、本システムを用いることで、過積載車両の通行に起因する異常振動や、自然災害・インフラ劣化に伴う微小な振動を高精度に検出し、安心安全な道路インフラの維持管理に貢献することが期待される。

4. 参考文献

- [1] J. Chen *et al.*, *Nature Energy*, Article vol. 1, p. 16138, 09/12/online 2016.
- [2] M. R. Elhebeary, M. A. A. Ibrahim, M. M. Aboudina, and A. N. Mohieldin, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 1, pp. 342-351, 2018.
- [3] A. Abasian, A. Tabesh, N. Rezaei-Hosseiniabadi, A. Z. Nezhad, M. Bongiorno, and S. A. Khajehoddin, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 6, pp. 4447-4456, 2019.
- [4] N. Chen, T. Wei, D. S. Ha, H. J. Jung, and S. Lee, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 9, pp. 7374-7382, 2018.

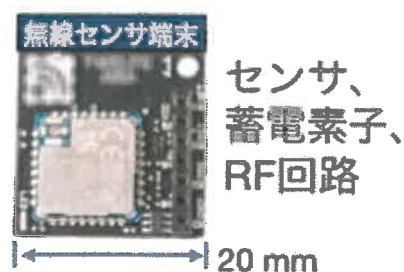


図-1 本研究で実現するインフラモニタリングの一例

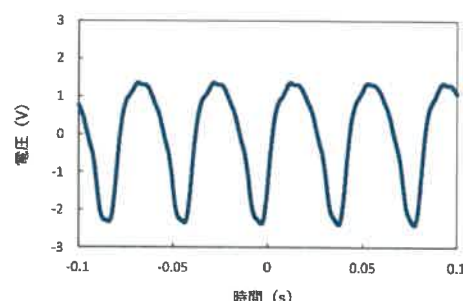


図-2 PZT の出力波形

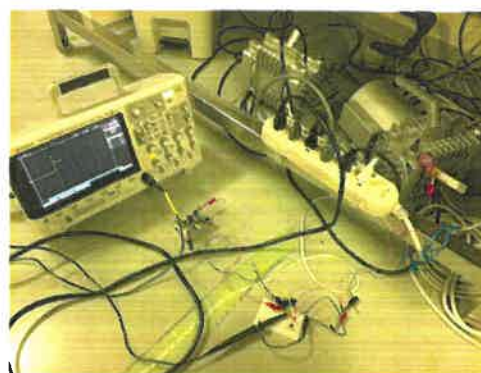


図-3 無線センサ端末の駆動テスト

＜ご執筆にあたってのお願い＞

- 広く一般の方々にも興味を持って理解していただけるよう、できるだけ分かりやすく、平易な文章でご執筆願います。
- 原稿の記述言語は日本語とし、ゴシック体・フォントサイズ 10 ポイントとします。
- 原稿は、全体で A4 版 2 枚程度（フォントサイズ 10 ポイント・50 字×40 行＝1 ページあたり図表を含んで 2,000 字程度）とします。（合計 4,000 字程度）
- 項目の番号の記入要領は、次のように統一します。
 - 第 1 順位：1、2、3 ...
 - 第 2 順位：1－1、1－2、1－3 ...
 - 第 3 順位：（1）、（2）、（3） ...
- 図（写真は図に含みます）・表の作成、本文への挿入にあたって、見出しはゴシック体で「図－1 図の見出し」、「表－1 表の見出し」とし、図の見出しは図の下に、表の見出しは表の上に配置してください。また、図や表を他の著作物から引用する場合は、出典を必ず明記し、必要に応じて原著者の了承を得てください。
- 参考にした文献は、引用・参考箇所〔1〕、〔2〕のように右肩に番号をふり、本文末に出現順にまとめて記載してください。