

平成 29 年 4 月 28 日

公益信託 NEXCO 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 UFJ 信託銀行株式会社 御中

研究概要書

研究課題：高速道路の防災に資する電池レス無線センサの開発

研究代表者：東京大学大学院工学系研究科 教授 鈴木 雄二

はじめに

地震などの災害への対応や不慮の事故を未然に防ぐために、低い人的コストで高速道路における各種設備を維持管理するための、自立電源を用いた電池レス無線センサが注目され、一部、具体的な検討が始まっている^[1]。このようなシステムの実現をはかるため、環境のエネルギー、特に機械的振動を吸収して持続的に発電するマイクロデバイスの検討を行った。

1. 研究の目的

本研究では、研究代表者らがこれまで進めてきた、エレクトレットを用いたマイクロ振動発電デバイス^[2]と、新しい電源管理回路、超低消費電力無線回路を組み合わせることによって、高速道路の橋脚、標識、トンネル内壁に設置可能な超小型の電池レス無線センサのプロトタイプを開発することを最終目標としている。エレクトレットは、絶縁体に電荷を打ち込んだものであり、半永久的に外部に電場を形成することができる。この外部電場の中で電極を相対運動させることによって、静電誘導による発電が可能である。これまで、数 10 Hz 程度の機械振動からの発電に適した振動発電器の検討を進めてきたが、本年度は、数 Hz 程度の低周波数振動に適した回転型エレクトレット発電機の検討を行った。

2. 回転型エレクトレット発電機のモデル化

図 1 に、エレクトレットを用いた回転型発電機のコンセプト^[3]を示す。回転子、固定子に扇型の多極電極・エレクトレットがパタニングされ、回転子の動きで上下の電極とエレクトレットの重なり面積が変化することで誘導電荷量が増減し、外部回路に交流出力が得られる。エレクトレット発電では、低い相対速度でも高い出力電圧・発電量が得られる^[2]のが特長である。極数を増やすと重なり面積変化率も比例で増える一方、寄生容量も増大するので、極数には最適値が存在する。Nakano ら^[3]は、回転型発電機の解析モデル^[4]と寄生容量モデル^[5]を用いて極数を最適化し、MEMS 技術により、回転子の直径 40 mm の発電機プロトタイプを試作した。エレクトレットの表面電位 -160 V に対して、回転数 1 Hz、外部負荷は 1 MΩ に対して、3.6 μW の発電出力を得た。しかし、ボールベアリングを用いて回転基板を支持するこのプロトタイプでは、上下基板の距離や軸合わせの制御が難しく、上下基板の距離の設定値は 0.1 mm であるにもかかわらず、実際の値は測定できず、発電

実験結果と設計値との相違について定量的な評価ができなかった。

そこで、本研究では、上下基板の位置制御を厳密に行うことのできる発電テストベンチを構築し、既存モデルとの比較を行い、改良モデルの提案を行った。

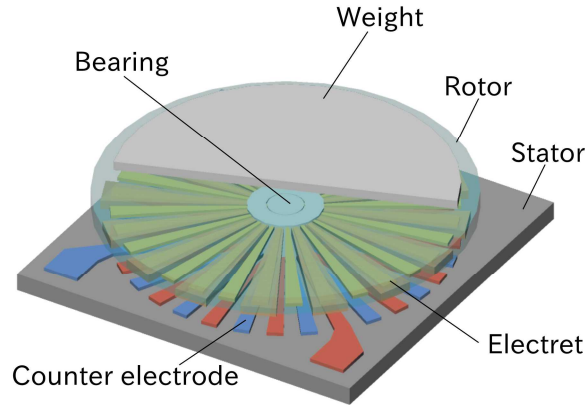


図1 エレクトレットを用いた回転型発電機のコcept^[3]

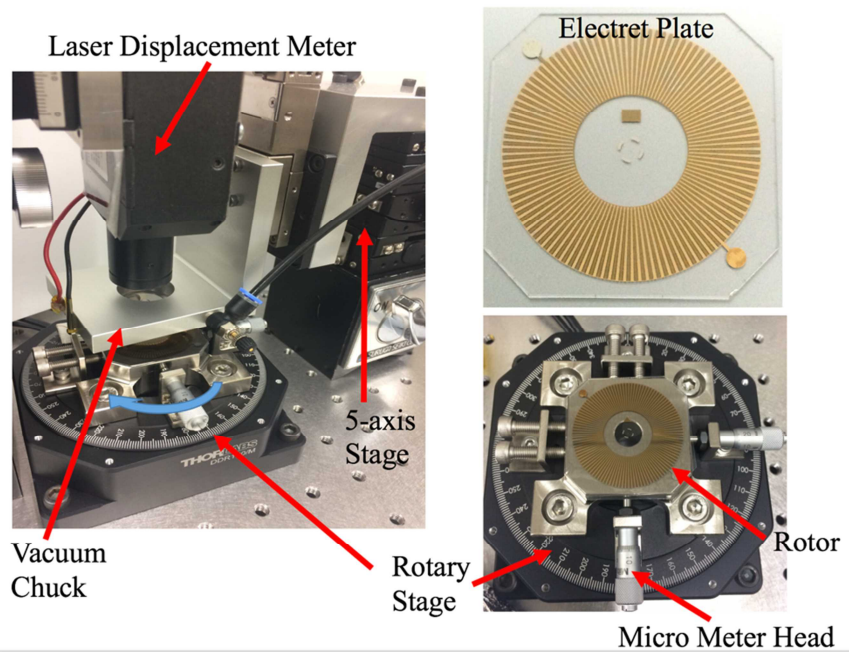


図2 回転型エレクトレット発電機のテストベンチ^[6]

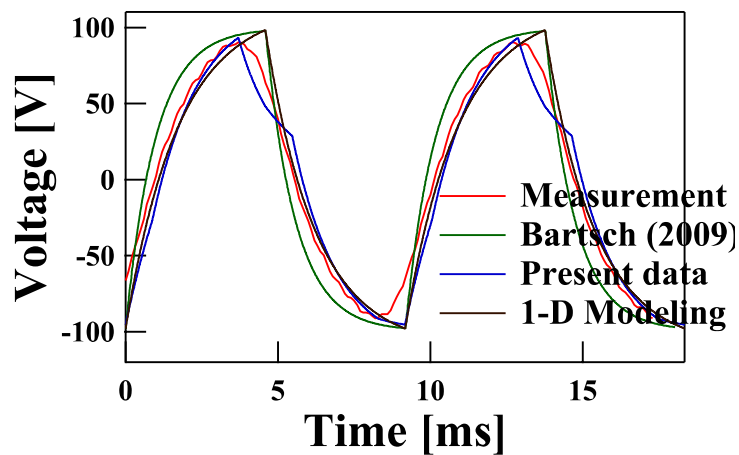


図3 1 rps における出力電圧波形とモデルとの比較

図2にテストベンチの概要を示す。MEMS技術によって試作されたエレクトレットを持つローターを回転ステージに固定し、その上部に固定子を5軸ステージにより位置決めすることによって、軸合せ $8\ \mu\text{m}$ 以下、上下基板間隔 $2\ \mu\text{m}$ 以下に設定した。エレクトレット材料としては、ポリマーエレクトレットとして最高性能を示す、旭硝子社製CYTOP EGG[7, 8]を用いた。

図3に、平均表面電位 $-843\ \text{V}$ 、基板間隔 $65\ \mu\text{m}$ 、外部負荷 $10\ \text{M}\Omega$ 、回転数 $1\ \text{rps}$ での出力電圧波形を示す。Bartschら^[4]のコンデンサモデルでは、出力電圧を過大評価し(発電出力換算で約40-50%)、一方、一次元静電場を用いたモデル^[9]では改善が見られ、特に電極間の空隙の影響を考慮した本研究のモデルでは、ピーク部分の形状も含めて最も良く実験結果を再現できるが明らかとなった。

3. まとめ

本研究では、数Hz程度の低周波数振動に適した回転型エレクトレット発電機の検討を行った。特に、上下基板の位置制御を厳密に行うことのできる発電テストベンチを構築し、既存モデルとの比較を行い、改良モデルの提案を行った。また、直径 $40\ \text{mm}$ 、回転速度 $1\ \text{rps}$ の発電機において、 $400\ \mu\text{W}$ 以上の発電出力が得られる可能性を明らかにした。

参考文献

- [1] 藤原博, “環境発電による道路モニタリングシステム,” 環境発電ハンドブック (監修 鈴木雄二), エヌティエス, pp. 314-319.
- [2] Suzuki, Y., “Recent Progress in MEMS Electret Generator for Energy Harvesting,” IEEJ Trans. Electr. Electr. Eng., Vol. 6, pp. 101-111 (2011).
- [3] Nakano, J., Komori, K., and Hattori, Y., and Suzuki, Y., “MEMS Rotational Electret Energy Harvester for Human Motion,” J. Phys.: Conf. Ser., Vol. 660, No. 012052 (2015).
- [4] Bartsch, U., Sander, C., Blattmann, M., Gaspar, J., and Paul, O., “Influence of Parasitic Capacitances on the Power Output of Electret-based Energy Harvesting Generators”, Proc. PowerMEMS 2009, Washington D.C., pp. 332-335 (2009).
- [5] Igreja, R., and Dias, C. J., “Analytical Evaluation of the Intedigital Electrodes Capacitance for Multi-layered Structure,” Sensors Actuators, A, 112, pp. 291-301 (2004).
- [6] Adachi, M., and Suzuki, Y., “Improved Model of MEMS Rotational Electret Energy Harvester,” Int. Symp. Micro-Nano Sci. Tech. 2016, Tokyo, SuP1-A-3 (2016).
- [7] Sakane, Y., Suzuki, Y., and Kasagi, N., “Development of High-performance Perfluorinated Polymer Electret Film and Its Application to Micro Power Generation,” J. Micromech. Microeng., Vol. 18, 104011 (2008).
- [8] Kashiwagi, K., Okano, K., Miyajima, T., Sera, Y., Tanabe, N., Morizawa, Y., and Suzuki, Y., J. Micromech. Microeng., Vol. 21, 125016 (2011).
- [9] Tada, Y., “Experimental Characteristics of Electret Generator Using Polymer Film Electrets,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 31, pp. 846-851 (1992).