

「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」
平成 27 年度採択研究代表者

H29 年度
実績報告書

年吉 洋

東京大学生産技術研究所
教授

エレクトレットMEMS振動・トライボ発電

§1. 研究実施体制

(1) 東京大学グループ

- ① 研究代表者:年吉 洋 (東京大学生産技術研究所 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 高効率エレクトレット振動発電素子の製作と評価 (平成 27 年度～29 年度)
 - ・ 新規な摩擦振動発電素子の研究開発 (平成 29 年度～30 年度)
 - ・ エレクトレット型振動発電素子の数値モデル構築 (平成 28 年度～平成 30 年度)

(2) 静岡大学グループ

- ① 主たる共同研究者:橋口 原 (静岡大学大学院総合科学技術研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ エレクトレット電位増大 (平成 28 年度～平成 29 年度)
 - ・ 高速エレクトレット形成 (平成 29 年度～平成 30 年度)

(3) 電力中央研究所グループ

- ① 主たる共同研究者:小野 新平 (電力中央研究所 主任研究員)
- ② 研究項目
 - ・ イオン液体の濡れ性とゲル化メカニズム (平成 28 年度～平成 29 年度)
 - ・ ゲル化イオン液体の帯電メカニズム (平成 29 年度～平成 30 年度)
(平成 29 年 10 月までの参加。11 月以降は「さきがけ」に移動)

§ 2. 研究実施の概要

本研究は、「エレクトレット MEMS 振動・トライボ発電」と題し、微小な環境振動から 1mW 程度の電力を回収する MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 型の振動発電素子の研究開発を実施する。研究代表者(年吉、東京大学)は共同研究者(橋口、静岡大学)との連携により、シリコン基板を微細加工した MEMS 機構の電極表面を永久電荷(エレクトレット)で被覆することで、静電誘導電流に基づく振動発電素子を設計・製作・評価するとともに、エレクトレットの形成メカニズムの物理を解明して、振動発電素子の特性を改善するための手法を追究する。また、研究代表者と共同研究者(小野、電力中央研究所)との連携により、イオン液体の電気二重層を用いてエレクトレット型振動発電素子の出力インピーダンスを低下する手法や、イオン液体そのものを用いて新たなトライボエレクトレットリック(摩擦発電)の研究開発に取り組む。

研究3年目の平成 29 年度には本研究チーム内の静岡大学グループにより、シリコン酸化膜エレクトレットの信頼性を改善する新たな手法が示された。本研究のこれまでの材料モデルでは、 SiO_2 中のエレクトレット電位の消失はカリウムイオンの移動によるものと説明していた。しかしながら、アルカリイオンを固定する効果が知られているリン拡散を導入して SIMS 解析したところ、帯電劣化の原因はカリウムイオン(正に帯電)の移動による酸素欠損層(負に帯電)の電気的中和ではなく、別の機構による酸素欠損層の中和が示唆された。そこで従来の SiO_2 単層構造から $\text{SiO}_2/\text{SiN}/\text{SiO}_2$ の多層構造にしたところ、基板側からの酸素欠損層の拡散を抑制し、エレクトレット電位を長期間保持できることが分かった。また、新たに熱刺激電流測定系を構築し、エレクトレット形成手法による電位消失の傾向を定量的に評価する手法を確立した。さらに、ランプアニールやレーザーアニール装置を新たに導入して、スループットの高いエレクトレット膜の形成手法を評価した。

本チームの代表グループである東京大学においては、振動発電素子の MEMS 構造を改良することで、エレクトレット電位を増大した際に必然的に発生する静電拘束力をデバイス内でキャンセルし、低加速度・低周波数でも効率良く機械・電気エネルギー変換する発電機構を考案した。また、実験によりその設計方針の有効性を検証した。これにより、 0.05G (G は重力加速度 9.8m/s^2) における電力取り出し効率 93%を達成した。この値は、2011 年以降に論文等で報告されている振動発電素子(静電、電磁、圧電)の中でも最高値である。また、エレクトレット帯電 250V の素子では、デバイス体積・加速度 2 乗あたりの発生電力密度 (Normalized Power Density) が $30\text{mW}/\text{cm}^3/\text{G}^2$ を越えており、これまでの世界記録(圧電型)性能である $25\text{mW}/\text{cm}^3/\text{G}^2$ を上回った。また、MEMS 製作手法の改善による静電櫛歯構造の高アスペクト比化により、 $430\mu\text{W}$ (瞬時値 $860\mu\text{W}$) の発生電力が得られた。これは、昨年度報告値の $260\mu\text{W}$ (瞬時値 $527\mu\text{W}$) の 1.6 倍である。

また、電力中央研究所グループが主体となり、ゲル化したイオン液体材料に外部から電場を与えてエレクトレット化する手法を確立した。また、東大グループではこの材料を用いて新たに接触・摩擦発電の研究開発を実施した。ゲル内でイオン液体を分極し、電極界面に電気二重層を固定化

するために、二重結合を有するイオン液体(カチオン)とポリマーを組み合わせ、紫外線照射で硬化しながら外部から分極電圧を印加する手法を採った。低周波数(1Hz)での接触/乖離により、外部抵抗 $1M\Omega$ で $77nW/cm^2$ の出力が得られた。

平成 29 年度の代表的な原著論文は、以下の通りである。

1. Hiroaki Honma, Hiroyuki Mitsuya, Gen Hashiguchi, Hiroyuki Fujita, and Hiroshi Toshiyoshi, "Improvement of Energy Conversion Effectiveness and Maximum Output Power of Electrostatic Induction-type MEMS Energy Harvesters by using Symmetric Comb-electrode Structures," Journal of Micromechanics and Microengineering, vol. 28, 2018, p. 064005 (13pp).
(<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6439/aab514>)
2. Chikako Sano, Hiroyuki Mitsuya, Shimpei Ono, Kazumoto Miwa, Hiroshi Toshiyoshi, and Hiroyuki Fujita, "Trieboelectric energy harvesting with surface-charge-fixed polymer based on ionic liquid," Science and Technology of Advanced Materials, vol. 19, no. 1, 2018, pp. 317-323.
(<https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1448200>)
3. Hideaki Koga, Hiroyuki Mitsuya, Hiroaki Honma, Hiroyuki Fujita, Hiroshi Toshiyoshi, and Gen Hashiguchi, "Development of a cantilever-type electrostatic energy harvesters and its charging characteristics on a highway viaduct," MDPI Micromachines, vol. 8, no. 10, 2017, p. 293-307.
(<http://www.mdpi.com/2072-666X/8/10/293>)

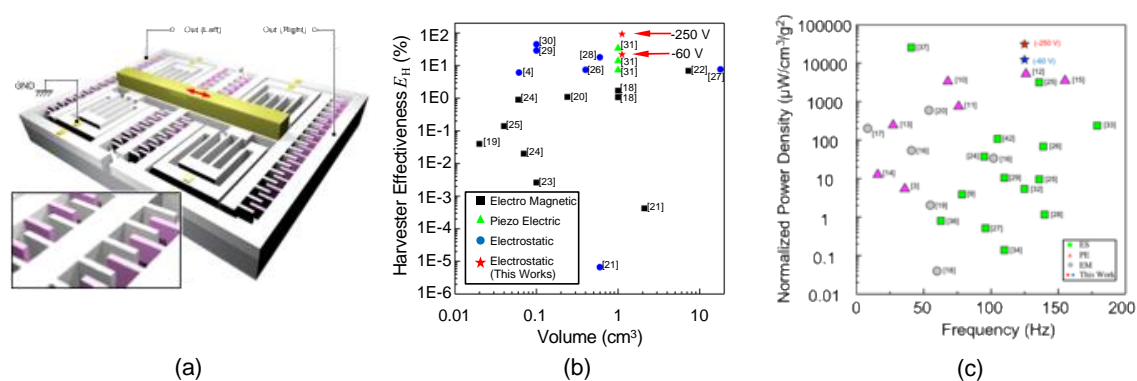


図1 左右最小電極構造により静電拘束力を低減した高効率振動発電素子
(a) 構造概念図、(b) 電力取り出し効率比較、(c) 規格化した電力密度

H. Honma *et al.*, Journal of Micromechanics and Microengineering, vol. 28, 2018, p.064005 より転載。