

鈴木 雄二

東京大学大学院工学系研究科
教授

ウェアラブルデバイスのための高出力エレクトレット発電の創成

§ 1. 研究成果の概要

東京大学鈴木グループでは、昨年度に引き続き、有機無機ハイブリッド・ポリマーエレクトレットの開発を行った。正負の荷電をパターンニングすることにより4倍の発電出力が得られるので、分子レベルの議論に基づく正負のエレクトレット荷電メカニズムについて、CYTOPポリマーをベースに計算と実験の両面で検討を進めた。昨年度、アミノ基を複数持つ化合物とCYTOP末端のカルボン酸を反応させることにより極めて高い負の表面電位を実現できることを報告したが、負電荷と正電荷ではCYTOP中の電荷トラップのメカニズムが異なることが明らかになった。また、機械学習を用いて新しい末端基を提案し、実験的に有効であることを明らかにした。さらに、高空間分解能での表面電位計測結果をフィードバックさせながら、軟X線を用いた正負荷電法の検討も行った。

異方性誘電率による発電量向上のため、東京都市大学吉田グループと連携してネマチック液晶について引き続き検討を進め、安定に高抵抗率を保つ手法を検討するとともに、発電状態において液晶配向をリアルタイムで観測のできる偏光顕微鏡を用いた実験系を構築した。

発電デバイスとしては、引き続き手首装着型の回転型エレクトレット発電器に取り組んだ。回転子の特性周波数に着目し、特性周波数を1Hz程度にすることにより低速域を含む広範な歩行速度で発電出力が顕著に向上することを明らかにした。また、エレクトレットに特化した非線形電源回路により、ブリッジ回路に比べて2倍の電気出力が得られることを明らかにした。

東京理科大学田中グループでは、より高性能なセラミックス・エレクトレットの設計のために、ベイズ統計モデリングによる熱刺激電流スペクトル解析の精度向上に向けた検討を行った。また、導体遮蔽による帯電／非帯電パターンを有するエレクトレットについて、ストリップ幅と表面電位の関係が形状効果のみによって説明できることを明らかにした。さらに、オキシ水酸アパタイト(OHA)エレクトレットの表面に電極を接触させることによって得られる誘電電荷量が、接触時間の増加とともに緩やかに増大する電荷湧出現象を示すことを明らかにした。加えて、この新しい発電機序「電荷湧

出現象」によって約3 μ Jの発電出力を得た。

東京大学加藤グループでは、田中グループと連携して、*c*軸垂直配向性HA薄膜の作製とそのエレクトレット特性評価を行った。複合体薄膜中のHA結晶の*c*軸配向制御については熱架橋処理過程に着目し、結晶成長を行ったところ、巨視的な形状を維持したままHA複合体薄膜へ変換することに成功し、*c*軸の薄膜厚み方向への配向を実現した。このようにして得られた巨視的な*c*軸配向性を有するHA複合体薄膜に対して、熱処理を行うことによってHA薄膜を得た。得られたHA薄膜を用いたOHAエレクトレットの作製およびその誘電特性評価を行っている。

以上のように、ポリマー・エレクトレットとセラミックス・エレクトレットのそれぞれを分子ベルの議論から高性能化を進めるとともに、それぞれのエレクトレットに適合性の高い発電機を検討し、新しい電源変換回路の開発も行って、発電デバイスとしての出力向上を進めた。

【代表的な原著論文】

1. Seonwoo Kim, Kuniko Suzuki, and Yuji Suzuki, “Development of A High-performance Amorphous Fluorinated Polymer Electret Based on Quantum Chemical Analysis,” J. Phys. Conf. Ser., vol. 1407, 012031 (2019).
2. Yiran Liu, Adrien Badel, and Yuji Suzuki, “Dual-stage Electrode Design of Rotational Electret Energy Harvester for Efficient Self-powered SSHI,” J. Phys.: Conf. Ser., Vol. 1407, 012021 (2019).
3. Yuki Tanaka, Tomoya Miyoshi, and Yuji Suzuki, “Stochastic Model of Human Arm Swing Toward Standard Testing for Rotational Energy Harvester,” J. Phys.: Conf. Ser., Vol. 1407, 012033 (2019).

§ 2. 研究実施体制

(1) 鈴木グループ

- ① 研究代表者:鈴木 雄二 (東京大学大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・高性能エレクトレット材料の開発
 - ・発電用液晶の開発
 - ・デバイス製作技術の開発
 - ・高出力エレクトレット発電デバイスの開発
 - ・発電デバイスの特性評価方法の標準化

(2) 加藤グループ

- ① 研究代表者:加藤 隆史 (東京大学大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・発電用液晶の開発と物性制御および安定な液晶性薄膜の構築
 - ・c軸配向制御を行った薄膜OHAエレクトレットの開発

(3) 田中グループ

- ① 主たる共同研究者:田中 優実 (東京理科大学工学部 准教授)
- ② 研究項目
 - ・薄膜OHAエレクトレットの開発
 - ・高出力発電デバイスに向けたOHAエレクトレット素子の設計
 - ・OHAの特長を活かした新規振動発電デバイスの提案

(4) 吉田グループ

- ① 主たる共同研究者:吉田 真史(東京都市大学知識工学部 教授)
- ② 研究項目
 - ・粗視化シミュレーションを用いた発電用液晶の評価