

課題番号	GR021
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)  
実施状況報告書(平成23年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	超高性能ポリマーエレクトレットを用いた次世代環境振動・熱発電システムの開発
研究機関・ 部局・職名	東京大学・大学院工学系研究科・教授
氏名	鈴木 雄二

1. 当該年度の研究目的

本研究では、直接・間接的に CO2 削減に貢献しうる3つの出口目標を設定し、まず、その基盤となる3次元ナノ構造を持ち耐液性を有する超高性能エレクトレット膜開発のため、1)ポリマー・エレクトレット中に電荷が保持される電荷保持機構の解明、2)全く新しい高速荷電方法の開発、3)保持電荷量を増やし、より多くの発電量を得るための3次元ナノ構造形成技術の開発を目標としている。さらに、グリーン・イノベーションに貢献するエレクトレット応用発電デバイスとして、1) マイクロ環境振動発電、2) 非定常熱発電、3) 波力発電、の検討を目指している。

平成23年度は、ポリマー・エレクトレット中に電荷が保持される電荷保持機構の解明のため、エレクトレット膜中の電場解析、表面電位の測定と電荷の熱安定性評価手法の確立、新しい高速荷電装置の開発を目的として研究を進めた。また、3次元ナノ構造形成方法の検討と、MEMS 技術を用いた、2つの異なるタイプのマイクロ環境振動発電器の試作、エレクトレットを用いた非定常熱発電のモデル化を目標とした。

2. 研究の実施状況

1) エレクトレット膜中のモデリング

ナノクラスタを分布させた場合のエレクトレット膜中の電界のモデル化を行い、下部電極における放電の可能性について検討した。また、KFMを用いたナノスケールでの表面電位計測の検討、TSD法による電荷の熱的安定性の評価方法(図1)の確立を行い、CYTOP エレクトレットについて計測を行った。

2) 真空紫外線を用いた新しい高速荷電装置(図2)を構築し、荷電条件の最適化を行った。

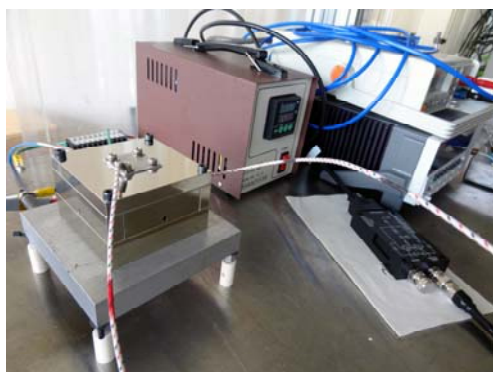


図1 TSD計測装置



図2 真空紫外線荷電装置

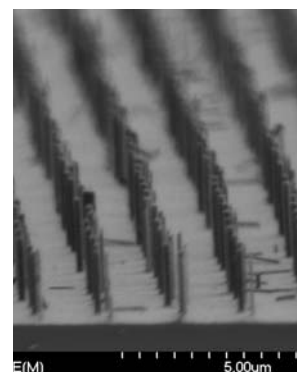


図3 Siナノピラーテスト構造

- 3) 3次元ナノ構造として、耐液性を持つエレクトレット膜の予備検討のための、電子ビームリソグラフィによるピラー構造(図3)の形成方法、およびアークプラズマガンを用いたSiO<sub>x</sub> ナノクラスタの形成方法について検討を進めた。アークプラズマガンにおいては、ガンの近傍から酸素を導入できるように改造を行い、予備実験を行った。
- 4) 2つの基板から構成される振動型エレクトレット発電器について、非線形ばねを持つ広帯域に対応可能な発電器の試作を進め(図4)、40Hz、1.4Gの振動条件において、6μWの発電出力を得た(図5)。さらに、電源管理回路、無線回路を組み合わせた、電池レス無線センサのプロトタイプを試作し、80秒ごとに無線送信が可能であることを明らかにした。また、従来影響が大きいにも関わらず不明な点が多かった寄生容量の定式化に成功し、高い精度で出力を予測できるモデルを構築した。

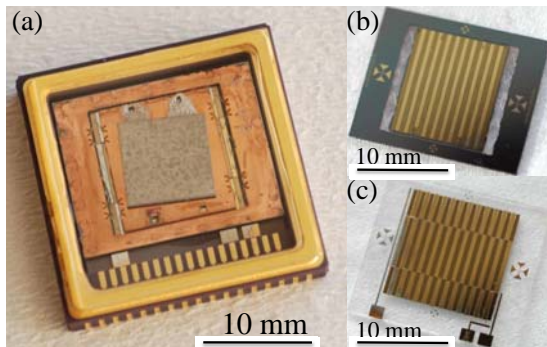


図4 試作発電器

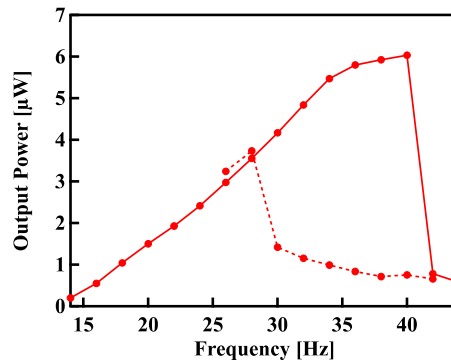


図5 発電出力の周波数特性

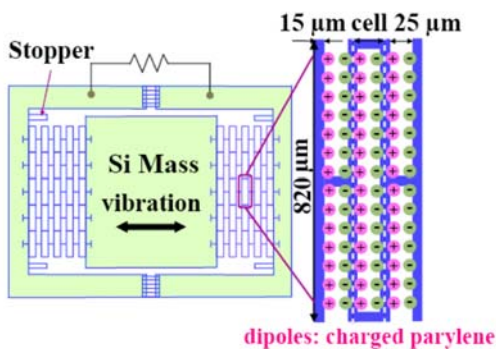


図6 圧電ポリマー構造の概念図

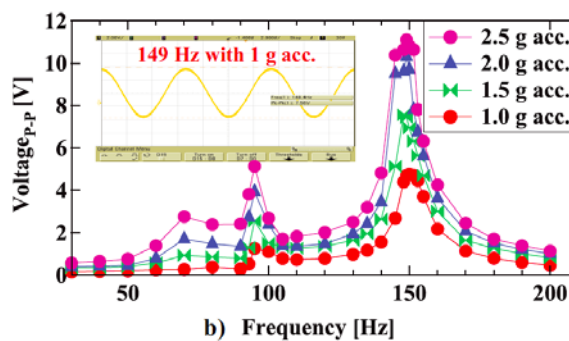


図7 プロトタイプにおける電圧出力の周波数依存性

- 5) 単一基板から構成される櫛歯電極を持つエレクトレット発電器について、SOI基板を用いたMEMSプロセスによる試作を進めるとともに、垂直エレクトレット膜の材料としてフッ素化パリレン樹脂の検討を進めた。さらに、セル構造を有するポリマーを用い、側壁に荷電を行った圧電ポリマー構造(図6)を試作し、振動子を支えるばねが圧電構造として作用し、振動から電圧出力が得られることを明らかにした(図7)。また、垂直エレクトレットへの荷電方法として、軟X荷電について検討を進めた。
- 6) 非定常温度変化からエレクトレットを用いて発電を行うデバイスについて、温度によって誘電率が変化する誘電体層をエレクトレット膜と重ねて電極で挟んだ発電器モデルを構築した。また、PTFEをエレクトレット膜、Nylon66を誘電体層として用いた予備実験から、温度変化によって出力電圧が得られ、モデル計算の結果とほぼ一致することを明らかにした。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 7 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 4 件 Honzumi, M., Hagiwara, K., Iguchi, Y., and Suzuki, Y., "High-Speed Electret Charging Method Using Vacuum UV Irradiation," Appl. Phys. Lett., Vol. 98, Issue 5, 052901 (2011). Suzuki, Y., "Recent Progress in MEMS Electret Generator for Energy Harvesting," IEEJ Trans. Electr. Electr. Eng., Vol. 6, No. 2, pp. 101-111 (2011). Kashiwagi, K., Okano, K., Miyajima, T., Sera, Y., Tanabe, N., Morizawa, Y., and Suzuki, Y., "Nano-cluster-enhanced High-performance Perfluoro-polymer Electrets for Micro Power Generation," J. Micromech. Microeng., Vol. 21, Issue 12, No. 125016, (2011). 松本, 猿渡, 鈴木, 「エレクトレット環境振動発電による電池レス無線センサの試作」, 電気学会論文誌C, 132 巻, 3 号, pp. 344-349, (2012).</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 3 件 鈴木 雄二, 「環境発電技術とその応用」, 月刊トライボロジ, Vol. 25, No. 285, pp. 52-54 (2011). 鈴木 雄二, 「エレクトレットを用いた静電誘導型 MEMS 発電器」, 静電気学会誌, Vol. 35, No. 5, pp. 197-202 (2011). 鈴木, 「環境発電のためのフッ素系ポリマーを用いた高性能エレクトレット膜」, 高分子, 60 巻, 12 号, pp. 859-861 (2011).</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 21 件</p>	<p>専門家向け 計 19 件 Feng, Y., Hagiwara, K., Iguchi, Y., and Suzuki, Y., "Trench-filled Cellular Parylene Structure for Piezoelectric Polymer Electret," 25th IEEE Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS' 12), Paris, pp. 1189-1192, 2012.1.29-2.2. Suzuki, Y., and Kawasaki, S., "An Autonomous Wireless Sensor Powered by Vibration-driven Energy Harvesting in a Microwave Wireless Power Transmission System," 5th European Conf. Antennas and Propagation (EUCAP 2011), Rome, pp. 4061-4064, 2011.4.11-15. Yamashita, K., Honzumi, M., Hagiwara, K., Iguchi, Y., and Suzuki, Y., "Vibration-driven MEMS Energy Harvester with Vacuum UV-Charged Vertical Electrets," 16th Int. Conf. Solid-state Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers ' 11), Beijing, pp. 2630-2633, 2011.6.5-9. Hagiwara, K., Goto, M., Iguchi, Y., Tajima, T., Yasuno, Y., Kodama, H., Kidokoro, K., and Suzuki, Y., "Electret Charging Method based on X-ray Photoionization for MEMS Applications," 14th IEEE Int. Symp. Electrets (ISE14), Montpellier, pp. 13-14, 2011.8.28-31. Kashiwagi, K., Okano, K., Tanabe, N., Sera, Y., Miyajima, T., Morizawa, Y., Sakane, Y., Hamatani, Y., Nonaka, F., Asakawa, A., and Suzuki, Y., "Nano-cluster-enhanced High-performance Perfluoro-polymer Electrets," 14th IEEE Int. Symp. Electrets (ISE14), Montpellier, pp. 71-72, 2011.8.28-31. Suzuki, Y., "Vibration MEMS Power Generator Using Polymer Electrets for Energy Harvesting Applications," Invited talk, 24th Int. Microprocesses Nanotechnology Conf., Kyoto, 25B-2-1, 2011.10.24-27. Matsumoto, K., Saruwatari, K., and Suzuki, Y., "Vibration-powered Battery-less Sensor Node Using Electret Generator," 11th Int. Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS 2011), Seoul, pp. 134-137, 2011.11.15-18. Suzuki, Y., "Recent advances of energy harvesting for wireless sensor network," Keynote talk, France-Japan Seminar Energy Harvesting for Wireless Sensor Networks in Harsh Environment - Towards Infinite Autonomy-, Tokyo, 2011.11.8. 鹿島, 鈴木, 「低消費電力デバイスのためのエレクトレットを用いた非定常熱発電システムの提案」, 第 48 回日本伝熱シンポジウム, 岡山, 2011 年 6 月 1 日-3 日, pp. 467-468. 松本, 猿渡, 鈴木, 「MEMS エレクトレット環境発電器を用いた自立型無線センサの試作」, 第 16 回動力エネルギー技術シンポジウム, 関西大学, 2011 年 6 月 22 日-23 日, pp. 87-88. 松本, 皆川, 猿渡, 鈴木, 「エレクトレット環境振動発電による電池レスワイヤレスセンサノードの試作」, 第 3 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 船堀, 2011 年 9 月 26 日-27 日, pp. 27-28. 萩原, 鈴木, 「環境振動発電器のための X 線光電離を用いたエレクトレット荷電法」, 第 3 回マイク</p>

様式19 別紙1

	<p>ロ・ナノ工学シンポジウム, 船堀, 2011年9月26日-27日, pp. 109-110.          山下, 本泉, 萩原, 井口, 鈴木, 「真空紫外線荷電による垂直エレクトレットを用いた MEMS 振動発電器の開発」, 第3回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 船堀, 2011年9月26日-27日, pp. 111-112.          鈴木, 萩原, 「X線および真空紫外線照射を用いた MEMS 振動発電器用エレクトレット荷電法」, 映像情報メディア学会冬季大会, 工学院大学, 2011年12月21日-22日, No. 2-10.          鈴木, 「ポリマー・エレクトレットを用いた MEMS 環境振動発電器」, 招待講演, 最先端実装技術シンポジウム, 東京, 2011年6月3日.          鈴木, 「高性能ポリマー・エレクトレットの開発と環境振動発電への応用」, 分科内招待講演, 秋期72回応用物理学学会学術講演会, 山形, 2011年9月1日.          鈴木, 「低消費電力無線デバイスのための MEMS 環境振動発電システム」, ソサイエティ招待講演, 2011年度電子情報通信学会ソサイエティ大会, 札幌, 2011年9月15日.          鈴木, 「グリーンイノベーションのためのマイクロ環境発電」, 招待講演, 日本学術振興会シリコン超集積システム第165委員会, 東京, 2011.10.27.          鈴木, 「ポリマー・エレクトレットを用いた環境振動発電」, 招待講演, セラミックス協会関西支部セミナー, 京都工芸繊維大学, 2011.12.16.</p> <p>一般向け 計2件          「グリーンイノベーションのための環境発電」, 招待講演, JEITA 技術フォーラム「地球環境と再生エネルギー・資源の将来展望」, 東京, 2011.9.8.          「グリーンイノベーションのためのエレクトレット環境発電」, 招待講演, 文部科学省第10回ナノテクノロジー総合シンポジウム, 東京, 2012.2.17.</p>
図書	
計0件	
産業財産権 出願・取得状況	(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件
計0件	
Webページ (URL)	<a href="http://www.mesl.t.u-tokyo.ac.jp">http://www.mesl.t.u-tokyo.ac.jp</a>
国民との科学・技術対話 の実施状況	2011/7/20-22 に日本能率協会主催で東京ビッグサイトにて開催された展示会テクノフロンティア 2011(来場者数約 75,000 名)の環境発電展にブースを設け, ポスター展示, デバイス展示により, 本プロジェクトの成果の公開を行った(ブースの訪問者500名以上). また, 2011/12/23に東京大学オープンキャンパスの際に工学部2号館で開催した「未来のエネルギー2011」に, 12 件の展示の1つとして, 本プロジェクトのポスター展示を行った.
新聞・一般雑誌等掲載	
計0件	
その他	

4. その他特記事項

## 実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

## 1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	127,000,000	85,219,000	0	41,781,000	0
間接経費	38,100,000	25,565,700	0	12,534,300	0
合計	165,100,000	110,784,700	0	54,315,300	0

## 2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	82,153,947	0	0	82,153,947	81,546,804	607,143	0
間接経費	25,565,700	0	0	25,565,700	0	25,565,700	0
合計	107,719,647	0	0	107,719,647	81,546,804	26,172,843	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	61,327,838	両面マスクアライナ, MEMSプロセス材料費他
旅費	3,413,046	研究発表(MEMS2012), 共同研究打合せ(独・フライブルグ大学)他
謝金・人件費等	7,320,908	博士研究員, 事務補佐員人件費
その他	9,485,012	国際会議参加登録費, 実験室・クリーンルーム借室料
直接経費計	81,546,804	
間接経費計	0	
合計	81,546,804	

## 4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
手動両面マスクア ライナ	SUSS MA6 S PEC-TU/4	1	33,600,000	33,600,000	2011/8/22	東京大学
マイクロ・サーモ ビューアー		1	4,663,890	4,663,890	2011/6/24	東京大学
振動コントローラシ ステム		1	2,093,700	2,093,700	2011/5/25	東京大学
APG蒸着装置	特注, イマイ真空	1	1,899,975	1,899,975	2012/1/25	東京大学
マルチフィジックス 数値解析ソフトウェ ア	ANSYS	1	1,890,000	1,890,000	2011/9/22	東京大学
VUVランプ照射装 置	特注, イマイ真空	1	1,731,578	1,731,578	2011/8/25	東京大学
クリーンルーム借 室料	東京大学武田CR	1	1,401,559	1,401,559	2012/3/23	東京大学
ターボポンプオー バーホール費	サムコ, TG230 3RA	1	987,000	987,000	2011/12/22	東京大学
ワークステーション	HP Z800/CT	1	970,620	970,620	2011/8/25	東京大学

窒素ガス発生装置	ボエック, PNT N2-13-2	1	934,500	934,500	2011/8/25	東京大学
ハイパーアークプラ ズマガン改造	ULVAC, ガス導 入UFC型ヘッド	1	819,000	819,000	2011/12/22	東京大学
実験室使用料	工学部2号館61 D2号室	1	775,000	775,000	2012/4/25	東京大学
海外渡航旅費	ドイツ・フライブル グ大学	1	719,680	719,680	2011/12/22	東京大学
AUターゲット	2インチ	1	625,905	625,905	2011/11/25	東京大学
硝子ブランクマスク	ST-TLR6-T QZ-5009	1	588,000	588,000	2011/7/25	東京大学
海外渡航旅費	フランス・パリ	1	543,550	543,550	2011/12/22	東京大学
数値解析ソフトウエ ア	Fluent Resear ch	1	525,000	525,000	2011/5/25	東京大学
窒素ガス発生装置 配管、電気工事		1	506,677	506,677	2011/8/25	東京大学