

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) 実績報告書

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 機械工学専攻 教授
氏名	鈴木 雄二

1. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受けた額	利息等収入額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	127,000,000	127,000,000	0	127,000,000	127,000,000	0	0
間接経費	38,100,000	38,100,000	0	38,100,000	38,100,000	0	0
合計	165,100,000	165,100,000	0	165,100,000	165,100,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	2,331,285	61,327,838	9,646,020	5,831,714	79,136,857
旅費	600,510	3,413,046	2,241,549	2,051,160	8,306,265
謝金・人件費等	51,800	7,320,908	3,086,363	6,568,917	17,027,988
その他	81,458	9,485,012	6,974,221	5,988,199	22,528,890
直接経費計	3,065,053	81,546,804	21,948,153	20,439,990	127,000,000
間接経費計	0	0	0	38,100,000	38,100,000
合計	3,065,053	81,546,804	21,948,153	58,539,990	165,100,000

4. 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
SUB FAリモート・ソース・メータ	ケースインスツルメント社6430	1	1,650,915	1,650,915	2011/3/7	東京大学
手動両面マスクアライナ	SUSS MA6 SPEC-TU/4	1	33,600,000	33,600,000	2011/8/22	東京大学
振動コントロールシステム		1	2,093,700	2,093,700	2011/5/25	東京大学
マイクロ・サーモビューアー		1	4,663,890	4,663,890	2011/8/24	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, TG2303RA	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	ホエック, PNTN2-13-2	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
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-TQZ-5009	1	588,000	588,000	2011/7/25	東京大学
数値解析ソフトウェア	Fluent Research	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
フォトイオナイザ	L9490 浜松ホトニクス(株)	1	567,000	567,000	2012/4/6	東京大学
サイトップ	EGG-811 旭硝子(株)製品	1	525,000	525,000	2012/5/18	東京大学
誘導型プラズマドライエッチング装置	MUC21住友精密工業(株)	1	1,792,486	1,792,486	2012/8/23	東京大学
窒素ガス発生装置	PTN3-05-01	1	703,500	703,500	2012/9/24	東京大学

5. 研究成果の概要

新しいエレクトレット膜については、まず、アークプラズマガンでCYTOP表面に酸化ナノ粒子を制御性良く分布させることにより、初期表面電荷密度が最大40%向上できることを明らかにした。また、ナノピラー構造により、Cassie-Baxter状態を保って荷電面への液体の接触を抑制できることを構築した新しいモデルにより示した。また、新しい光荷電を用いた荷電方法を開発し、その荷電特性を明らかにした。さらに、ナノピラー構造はコロナ荷電が適用できないのに対し、本研究で開発した光電離による荷電方法により荷電可能であることを明らかにした。

また、これまで進めてきた発電器のさらなる出力向上のための検討を進めた。X型ばね構造による振動子の振動垂直方向への揺動の抑制、電極をパリレン樹脂のハニカム構造上部に形成することによる寄生容量の低減を実現し、それぞれ、1.5倍、1.4倍(両方で2.1倍)の発電出力向上のポテンシャルがあることを明らかにした。

また、櫛歯型電極を持つMEMSエレクトレット発電器の開発を行い、重なり面積変化型と間隔変化型の櫛歯電極を混合した新しい構造を考案し、軟X線による荷電により、間隔 $7\mu\text{m}$ の極めて狭い櫛歯電極の側壁に対しても $\pm 60\text{V}$ の均一な表面電位が得られることを明らかにした。さらに、発電実験を行い、 260Hz の比較的低い共振周波数において、 $1.6\mu\text{W}$ の発電出力が得られることを明らかにした。これは、エレクトレット発電器としては最高レベルの変換効率57%に相当し、極めて高い効率が得られることを示した。

パリレン樹脂のハニカム構造内部に荷電させた圧電ポリマー型のMEMS振動発電器を提案した。パリレン梁内部に形成される幅数 μW 程度の空隙中に導電性樹脂を表面張力により導入する手法を開発し、これにより荷電時のバイアス電圧を上げ、表面電圧の向上を実現した。選択的に電気的な絶縁を行うための「バルブ構造」の設計方法を確立し、その有効性を実証した。さらに、この電極構造を組み込んだ圧電ポリマー発電器を試作し、高い圧電係数を実現した。

温度変化による発電については、誘電体の温度変化による誘電率変化を用いた発電方法を提案し、そのモデル化を行って、設計上の重要なパラメータを明らかにした。

波力発電への適用について、従来の20倍以上の面積を持つ回転型の発電機を設計し、 $1000\text{W}/\text{m}^3$ を越える発電密度が可能であることをシミュレーションにより明らかにした。

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) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	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
	Development of next-generation vibration-driven/thermal energy harvesting system using ultra-high-performance polymer electret
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	国立大学法人東京大学・大学院工学系研究科 機械工学専攻・教授
	The University of Tokyo, Graduate School of Engineering, Professor
氏名 (下段英語表記)	鈴木 雄二
	Yuji Suzuki

研究成果の概要

(和文):

3次元ナノ構造を持つ超高性能ポリマーエレクトレット膜を基盤技術として、グリーン・イノベーションに貢献する新規性の高い発電デバイスの提案を行った。まず、MEMS技術を用いて、新たな平板電極型、櫛歯電極型、圧電ポリマー型のエレクトレット振動発電器を試作し、環境振動発電における発電性能を評価した。そして、電池レス無線センサへの適用可能性を示すと同時に、特に櫛歯型では50%以上の極めて高い変換効率が得られることを示した。また、非定常温度変化、波力発電を想定した発電器の初期プロトタイプを試作し、それぞれ、熱電材料、電磁誘導を用いた発電器に比べ、環境負荷、発電密度の面で優位性があることを示した。

(英文):

Novel power generation devices for contributing to “green innovation” are developed based on ultra-high-performance polymer electret films with three-dimensional nano structures. By using MEMS technologies, newly-designed electret generators with two-plate, comb-drive, and piezoelectret polymer types are prototyped for vibration energy harvesting, and their applicability for battery-less wireless sensor nodes is confirmed. Especially, with the comb-drive generator, extremely-high effectiveness as high as 50 % has been achieved. In addition, early prototypes of electret generators for unsteady temperature change and for ocean tide are developed, and their advantages over conventional thermoelectric/electromagnetic generators in terms of environmental burden/power generation density are confirmed.

1. 執行金額 165,100,000 円
(うち、直接経費 127,000,000 円、間接経費 38,100,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

近年、持続的社會構築のため太陽光、風力、波力などの自然エネルギーが注目されており、直接的な CO₂ 排出量削減への貢献が期待されている。一方、「人」の周囲環境に存在する、振動、体温を含む低温排熱、室内光なども未利用エネルギーとして考えられ、そこから微弱な電力を取り出す技術は、環境発電 (Energy harvesting) と呼ばれる。電力レベルとしては数 μW ～数 mW と極めて小さく、直接的には CO₂ 削減に貢献しないが、センサ、CPU、無線通信回路を組み込み、環境情報を無線送信する無線センサネットワークノードのための自立電源として大きな注目が集まっている。このような電池レスのセンサネットワークノードは、居住環境のエネルギーマネジメント、各種プラント、自動車・航空機・鉄道などの移動体に適用され、エネルギーの有効利用、重金属を含むボタン電池の使用量削減など、環境負荷低減に重要な役割を果たすと期待されている。環境発電のための発電原理として、電磁誘導、圧電、静電誘導などが考えられるが、例えば環境振動の場合、振動周波数が低いことから、静電誘導、特に誘電体に電子を打ち込んだエレクトレットを用いた発電が有利である。

本研究では、エレクトレット発電の高出力化のため、3次元ナノ構造を持つ超高性能エレクトレット膜の開発を行う。また、それを基盤として、間接的に環境負荷低減に貢献するマイクロ環境振動発電、非定常熱発電、および直接的に CO₂ 排出量削減に貢献可能な波力発電、の3つの出口目標を設定し、プロトタイプデバイスの開発とその評価を行って、将来実用に供するシステムのための指針を得ることを目的とする。

4. 研究計画・方法

(1)新しい高速荷電方法、および3次元ナノ構造を持つエレクトレット膜形成技術の開発

末端基由来のナノクラスタを含有するポリマー・エレクトレットがエレクトレット性能向上に有効であることから、金属酸化物のナノクラスタをポリマー中に打ち込むことによる荷電性能の向上を検討する。また、軟 X 線、真空紫外光を照射して気体を電離させ荷電する、申請者らが考案した新しい荷電方法の検討を行い、コロナ荷電に代わる高速荷電方法として確立させる。さらに、3次元構造により荷電量を増やすとともに、液体とエレクトレットとの接触面積を減らし、電荷を安定化させる手法の実現可能性について検討を行う。

(2)マイクロ環境振動発電デバイスの開発

超高性能エレクトレット膜を用いて、従来よりも高出力のマイクロ振動発電器の開発を目指す。これまで進めてきた平板電極型に加え、櫛歯電極型、圧電ポリマー型の新しい発電器の検討を行う。さらに、誘電体の温度による誘電率変化を利用した、エレクトレットによる非定常熱発電デバ

イスについて検討を行う。

(3)エレクトレットを用いた波力発電プロトタイプシステムの開発

波力発電に適したエレクトレット膜および発電器構造の設計を行い、電磁誘導発電よりも高発電密度のエレクトレット発電の検討を行う。

5. 研究成果・波及効果

(1)新しい高速荷電方法、および3次元ナノ構造を持つエレクトレット膜形成技術の開発

数 μm の開口部を持つ深溝に軟X線を照射することによって、深溝の側壁のエレクトレット膜を荷電する手法を検討し、ケルビン力顕微鏡を用いた測定から、7 μm の開口部に対して70 μm の深さまで一様な表面電位が得られることを示し、3次元構造への荷電が可能であることを明らかにした。真空紫外線を用いた高速荷電装置を構築し、荷電条件の最適化を行って、新しい荷電方法として確立した。コロナ荷電では3分間程度かかっていた荷電時間が、わずか数秒で完了することを示した。これらの光電離を用いた荷電方法は、デバイスの組立後にも荷電を行うことができ、実用上、極めて重要な成果と考えられる。

また、アークプラズマガンにより形成した金属ナノクラスタを雰囲気酸素と反応させた後にエレクトレット膜に打ち込む手法を開発し、 TiO_x クラスタによって CYTOP エレクトレットの初期表面電位が最大40%(発電量換算で2倍)向上することを明らかにした。

さらに、ナノピラー構造により、Cassie-Baxter 状態を保って荷電面への液体の接触を抑制し、電荷の安定性を向上させる手法を提案し、ナノピラー構造を持つ SiO_2 エレクトレットを試作した。電荷を持つピラー構造上では気液界面は静電場により下方に引き寄せられるが、気液界面の安定性についてピラー部でのピンニング効果を加味した新たなモデルを構築し、実験結果との比較から500Vの表面電位に対しても Cassie-Baxter 状態が保てることをモデル計算で示した。実際に荷電したナノピラー表面での液膜の安定性の検証はまだ完了していないが、これまで前例のない耐液性を持つエレクトレット膜の実現可能性を示すことができた。

(2)マイクロ環境振動発電デバイスの開発

MEMS 技術を駆使して、図1に示すような、平板電極型、櫛歯電極型、圧電ポリマー型のエレクトレット発電器の開発を行った。まず、2つの基板から構成される平板型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行った。片側1mmの大振幅振動が可能であり、振幅が大きくなると2次ばねに振動子が接触することによってばね定数が増大し、非線形ばねとして機能する。このプロトタイプ発電器を用いて、40Hz、1.4gの振動条件において、6 μW の発電出力を得た。また、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秒ごとの無線送信を実現した。さらに、振動垂直方向の振動子の動きを抑えるため、新規性の高いX型のばね構造を提案・試作し、回転振動を1/5に減少させることに成功した。これは、電極幅を現在の1/2の150 μm とした場合、発電量が2.5倍に増大することに相当する。

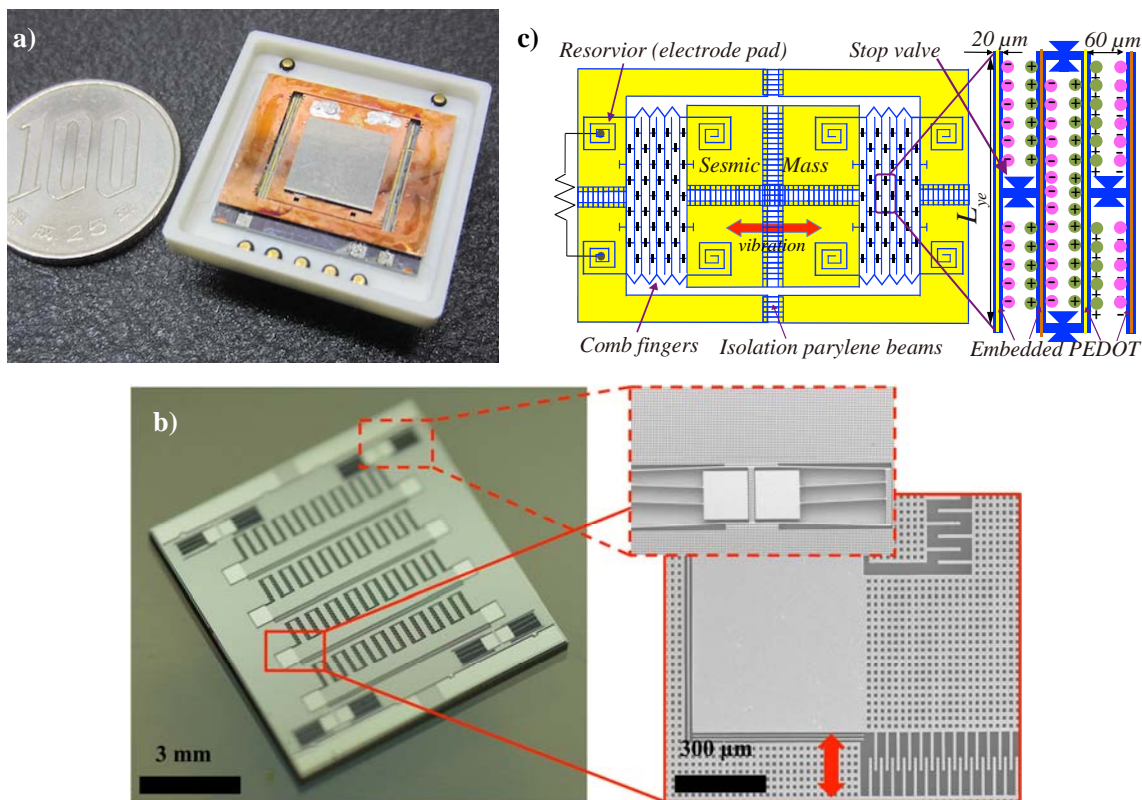


図1 開発したMEMS エレクトレット振動発電器。 a) 平板型, b) 櫛歯電極型, c) 圧電ポリマー型

また、従来、発電出力劣化の主な原因である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、高精度で出力を予測できるモデルを構築した。そして、寄生容量の低減のため、電極をパリレン樹脂のハニカム構造上部に形成する手法を新たに考案し、等価的な基板の比誘電率を1.8にまで低減し、出力を50%増加できることを発電実験により明らかにした。以上の新たに開発した発電器構造により、平板型振動型エレクトレット発電器の発電量は約4倍に増大させることが可能である。さらに高誘電率液体を導入することで、数値目標とした発電量を実現することが可能と考えられる。

エレクトレットを用いた発電器としてはほとんど例がない、櫛歯型電極を持つMEMS 発電器の開発を行った。小さな振動加速度でも、大きな振動加速度でも相対的に大きな発電量が得られるように、重なり面積変化型の櫛歯電極と間隔変化型の櫛歯電極を混合した構造を考案し、プロトタイプを試作した。エレクトレット材料としては、parylene-Cを用い、軟X線による荷電により、±60Vの均一な表面電位を得た。260Hzの比較的低い共振周波数において、1.6 μW(最大 3.6 μW)の発電出力が得られることを明らかにした。これは、エレクトレット発電器としては最高レベルの変換効率 57%に相当し、極めて高い効率が得られることを明らかにした。本発電器は、平板型に比べ体積は1/16であり、発電密度としては10倍に相当し、共振周波数 100 Hz オーダーであれば、平行平板型よりも極めて高い性能が得られることを明らかにした。

さらに、パリレン樹脂のハニカム構造内部に荷電させた圧電ポリマー型の MEMS 振動発電器を提案し、プロトタイプを試作を行った。幅 15 μm のパリレン梁からなるハニカム構造を、Si トレンチにパリレンを蒸着した後にモールドの Si を除去することで形成し、軟 X 線を用いて荷電した。ハニカム構造が圧縮・伸張することにより、圧電ポリマーとして作用する。共振周波数 149Hz、1g において 4V の電圧振幅を得た。また、荷電時の実効的バイアス電圧を上げて、さらに圧電係数を向上させるため、パリレン梁の中に表面張力駆動流により導電性樹脂を埋め込む、全く新しい製作方法を開発した。この電極構造を組み込んだ圧電ポリマー発電器を試作し、初期プロトタイプながら 1138 pC/N の高い圧電係数を実現し、205Hz の振動から 53nW の出力を得た。

エレクトレットを用いた非定常温度変化による静電誘導発電を提案した。エレクトレットと温度により誘電率が変化する誘電体を直列に接続し、誘電体の温度を変化させることによって、誘導電荷量が増減し、電流が流れる。回路モデルを構築し、無次元発電量が、エレクトレット部分と誘電体の初期静電容量の比、および想定される温度変化に対する誘電体の誘電率の変化割合によって定まることを明らかにした。そして、BaTiO₃ プレートと SiO₂ エレクトレットを用いた初期プロトタイプによる発電実験を行い、発電出力がモデル計算の結果と良く一致することを明らかにし、パラメータを最適に選ぶことによって、より大きな出力が実現できることが示された。

(3)エレクトレットを用いた波力発電プロトタイプシステムの開発

波力発電への将来的な応用を想定し、これまで取り組んできたマイクロ発電器よりも大面積の発電器構造を検討した。MEMS 技術を最大限利用するため、100mm 直径のウェハをそのまま基板として使用した回転型とした。本研究で開発された寄生容量のモデルを組み込んだモデル計算から、電極数、電極間隔の最適化を行って初期プロトタイプを試作し、1 Hz の極めて遅い回転速度から最大 7 mW の発電出力を得た。これは発電密度では 900 W/m³に相当し、低回転速度では空隙が空気の場合でも電磁誘導と同等の出力が得られることを実験により示し、高誘電率の液体の封入により電磁誘導よりも優れた性能が得られることを明らかにした。

エレクトレットを用いた発電に関するこれらの成果は、雑誌論文で公表した他、採択率3割程度の査読の極めて厳しい国際会議において7件の発表を行った。それらは世界的にも高い評価を受け、専門家向け10件、一般向け5件の招待講演を行った。また、本プロジェクトの成果を実用化させるための共同体として、旭硝子株式会社、オムロン株式会社、THINK WIRELESS TECHNOLOGIES JAPAN、テクノデザイン株式会社、小西安株式会社と、エレクトレット環境発電アライアンスを設立し、展示会で合同出展したブースでは3000人以上の来訪者を集めるなど、産業界からも大きな注目を集めた。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 17 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計7件 Honzumi, M., Hagiwara, K., Iguchi, Y., and Suzuki, Y., "High-Speed Electret Charging Method Using Vacuum UV Irradiation," <i>Applied Physics Letters</i>, Vol. 98, Issue 5, 052901 (2011). Suzuki, Y., "Recent Progress in MEMS Electret Generator for Energy Harvesting," <i>IEEE Transaction on Electrical and Electronic Engineering</i>, 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," <i>Journal of Micromechanics and Microengineering</i>, 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」, <i>電気学会論文誌C</i>, 132 巻, 3 号, pp. 344-349, (2012). Hagiwara, K., Goto, M., Iguchi, Y., Tajima, T., Yasuno, Y., Kodama, H., Kidokoro, K., and Suzuki, Y., "Electret Charging Method Based on Soft X-ray Photoionization for MEMS Applications," <i>IEEE Transaction on Dielectrics and Electric Insulation</i>, Vol. 19, No. 4, pp. 1291-1298 (2012). Feng, Y., Hagiwara, K., Iguchi, Y., and Suzuki, Y., "Trench-filled Cellular Parylene Electret for Piezoelectric Transducer," <i>Applied Physics Letters</i>, Vol. 100, Issue 26, 262901 (2012). Chen, R., and Suzuki, Y., "Suspended Electrodes for Reducing Parasitic Capacitance in Electret Energy Harvesting Devices," <i>Journal of Micromechanics and Microengineering</i>, Vol. 23, Issue 12, 125015 (2013).</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 10 件 鈴木 雄二, 「環境発電技術とその応用」, <i>月刊トライボロジ</i>, 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」, <i>静電気学会誌</i>, Vol. 35, No. 5, pp. 197-202 (2011). 鈴木 雄二, 「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」, <i>高分子</i>, 60 巻, 12 号, pp. 859-861 (2011). 鈴木 雄二, 「エネルギーハーベスティングへの期待」, <i>空気調和・衛生工学</i>, 87 巻, 2 号, pp. 79-82, (2013). 鈴木 雄二, 「振動発電によるエネルギーハーベスティング技術」, <i>2012 エネルギーハーベスティング技術</i>, <i>電子ジャーナル</i>, pp. 17-21, (2012). 鈴木 雄二, 「ポリマーエレクトレットを用いた MEMS 振動発電器の開発」, <i>これからの蓄・省エネルギー材料の開発における機能性付与技術</i>, 技術情報協会, 第 9 章 6 節, (2012). 鈴木 雄二, 「MEMS と電子デバイスの融合によるエナジー・ハーベスティング技術の期待」, <i>異種機能デバイス集積化技術の基礎と応用</i>, CMC 出版, pp. 201-208, (2012). 鈴木 雄二, 「エネルギーハーベスティングへの期待」, <i>空気調和・衛生工学</i>, 87 巻, 2 号, pp. 79-82, (2013). 鈴木 雄二, 「振動発電技術の原理と将来展望」, <i>日本エネルギー学会誌</i>, 93 巻, pp. 227-233, (2014). 鈴木 雄二, 「エネルギーハーベスティングへの期待」, <i>空気調和・衛生工学</i>, 87 巻, 2 号, pp. 79-82, (2013).</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 53 件</p>	<p>専門家向け 計 47 件 Feng, Y., Hagiwara, K., Iguchi, Y., and Suzuki, Y., "Trench-filled Cellular Parylene Structure for Piezoelectric Polymer Electret," <i>25th IEEE Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS' 12)</i>, 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," <i>5th European Conf. Antennas and Propagation (EUCAP 2011)</i>, Rome, pp. 4061-4064, 2011.4.11-15.</p>

	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 船堀, 2011年9月26日-27日, pp. 109-110.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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回応用物理学会学術講演会, 山形, 2011年9月1日.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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>Suzuki, Y., "MEMS Electret Generator for Energy Harvesting: Material, Design and Evaluation," Invited talk, 6th Asia-Pacific Conf. Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT 2012), Nanjing, 2012.7.8-11.</p> <p>Minakawa, Y., and Suzuki, Y., "X-shaped High-aspect-ratio Parylene Spring for</p>
--	--

	<p>Low-resonant-frequency MEMS Electret Energy Harvester,” 6th Asia-Pacific Conf. Transducers and Micro-Nano Technology (APCOT 2012), Nanjing, 2012.7.8-11, ac12000235.</p> <p>Suzuki, Y., “Nano-particle-enhanced High-performance Polymer Electret for Vibration Energy Harvesting,” Keynote talk, IUMRS Int. Conf. Electr. Materials (IUMRS-ICEM2012), Yokoyama, 2012.9.23-28, B-7K24-005.</p> <p>Feng, Y., Hagiwara, K., Iguchi, Y., and Suzuki, Y., “MEMS-based Cellular Parylene Structure for Piezoelectric Polymer Electret,” IUMRS Int. Conf. Electr. Materials (IUMRS-ICEM2012), Yokoyama, 2012.9.23-28, B-7O24-006.</p> <p>Feng, Y., and Suzuki, Y., “All-Polymer Soft-X-Ray-Charged Piezoelectret with Embedded PEDOT Electrode,” 26th IEEE Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS’ 13), Taipei, 2013.1.20-24, pp. 865-868.</p> <p>Chen, R., and Suzuki, Y., “Metal-On-Nothing Electrodes for Reducing Parasitic Capacitance in Electret Energy Harvesting Devices,” Proc. 12th Int. Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS 2012), Atlanta, 2012.12.2-5, pp. 121-124.</p> <p>Minakawa, Y., and Suzuki, Y., “Low-resonant-frequency MEMS Electret Energy Harvester with X-Shaped High-aspect-ratio Parylene Spring,” Proc. 12th Int. Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS 2012), Atlanta, 2012.12.2-5, pp. 133-136.</p> <p>Y. Suzuki, “MEMS Energy Harvester Using Polymer Electret/Piezoelectret,” Invited talk, Center for Wireless Integrated MicroSensing and Systems (WIMS2) Seminar, University of Michigan, Ann Arbor, 2012.12.7.</p> <p>鈴木 雄二, 「高付加価値エネルギー源のためのマイクロ発電の展開」, 日本機械学会 2012 年度年次大会講演資料集, 金沢, 2012.9.9-12, F22007, 4pp.</p> <p>萩原 啓, Yue Feng, 井口 義則, 鈴木 雄二, 「軟X線光電離を用いたエレクトレット荷電法の開発とその MEMS 振動発電器への応用」, 第4回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 小倉, 2012.10.22-24, pp. 95-96.</p> <p>Rui Chen, 鈴木 雄二, “Reduction of Parasitic Capacitance of Electret Energy Harvester for Higher Power Output,” 第4回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 小倉, 2012.10.22-24, pp. 101-102.</p> <p>植田 誠, 鈴木 雄二, 「エネルギーハーベストに用いるエレクトレット発電器の電源管理回路の性能評価」, 第4回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 小倉, 2012.10.22-24, pp. 275-276.</p> <p>鈴木 雄二, “MEMS 技術を用いたエレクトレット環境振動発電器の開発,” 招待講演, 日本学術振興会第 151 先端ナノデバイス・材料テクノロジー委員会, 東京大学, 2012.7.23.</p> <p>鈴木 雄二, “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, 日本機械学会北陸信越支部特別講演会「振動発電を中心としたエネルギーハーベスト技術」, 信州大学, 2012.11.12.</p> <p>鈴木 雄二, “ポリマーエレクトレット・圧電ポリマーを用いた MEMS 環境振動発電,” 招待講演, 半導体理工学センター・STARC アドバンス講座, 川崎, 2013.1.15.</p> <p>鈴木 雄二, “MEMS 技術を用いたマイクロ環境発電の技術動向と将来展望,” 招待講演, 電子情報通信学会電子デバイス研究会専門委員会・特別ワークショップ「電子デバイスから見たエネルギーハーベストの最新技術と展開」, 秋葉原, 2013.3.4.</p> <p>Feng, Y., and Suzuki, Y., “All-polymer High-aspect-ratio Spring with Embedded Electrode,” Proc. 17th Int. Conf. Solid-state Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers ’ 13), Barcelona, 2013.6.16-20, pp. 1569-1572.</p> <p>Minakawa, Y., Chen, R., and Suzuki, Y., “X-shaped-spring Enhanced MEMS Electret Generator for Energy Harvesting,” Proc. 17th Int. Conf. Solid-state Sensors, Actuators, and Microsystems (Transducers ’ 13), Barcelona, 2013.6.16-20, pp. 2241-2244.</p> <p>Song, K.-Y., Morimoto, K., and Suzuki, Y., “New Mathematical Model for Electrostatic Stability of</p>
--	--

	<p>the Cassie State on MEMS-based Pillard Surface,” 17th Int. Conf. Miniaturised Systems for Chemistry and Life Sciences (MicroTAS 2013), Freiburg, 2013.10.27-31, pp. 714-717.</p> <p>Fu, Q., and Suzuki, Y., “Large-Dynamic-Range MEMS Electret Energy Harvester with Gap-closing/Overlapping-area-change Electrodes,” 13th Int. Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS 2013), London, 2013.12.3-6, pp. 542-546.</p> <p>Yoshida, J., Morimoto, K., and Suzuki, Y., “Electrostatic Thermal Energy Harvester Using Unsteady Temperature Change,” 13th Int. Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS 2013), London, 2013.12.3-6, pp. 376-380.</p> <p>Fu, Q., and Suzuki, Y., “MEMS Vibration Electret Energy Harvester with Combined Electrodes,” 27th IEEE Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS’ 14), San Francisco, 2014.1.26-30, pp. 409-412.</p> <p>Feng, Y., and Suzuki, Y., “All-polymer Piezoelectret Energy Harvester with Embedded PEDOT Electrode,” 27th IEEE Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS’ 14), San Francisco, 2014.1.26-30, pp. 374-377.</p> <p>吉田 洵也, 森本 賢一, 鈴木 雄二, 「高誘電率セラミックスを用いた静電誘導型 MEMS 非定常熱発電デバイス」, 第 50 回日本伝熱シンポジウム, 仙台, 2013 年 5 月 29 日-5 月 31 日, pp. 552-553.</p> <p>K.-Y. Song, 森本 賢一, 鈴木 雄二, 「MEMS ピラー構造を用いた超撥水面におけるピッチの影響に関する研究」, 第 50 回日本伝熱シンポジウム, 仙台, 2013 年 5 月 29 日-5 月 31 日, pp. 550-551.</p> <p>付 乾炎, 鈴木 雄二, 「Development of MEMS Vibration Energy Harvester with Soft-X-ray-charged Vertical Electrets」, 第5回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 仙台, 5AM2-C-3, 2013 年 11 月 4 日-11 月 6 日.</p> <p>植田 誠, 鈴木 雄二, 「エレクトレット振動発電器を用いた無線センサノードの性能評価」, 第5回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 仙台, 6PM3-PMN-010, 2013 年 11 月 4 日-11 月 6 日.</p> <p>鈴木 雄二, 招待講演, “エレクトレットを用いた MEMS 環境発電デバイスの開発,” 第 7 回集積化 MEMS 技術研究会, オムロン京阪奈イノベーションセンター, 2013.5.24.</p> <p>一般向け 計 6 件</p> <p>”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.</p> <p>“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> <p>Yuji Suzuki, “MEMS-based Energy Harvester Using Polymer Electret/Piezoelectret,” UK-Japan Workshop on Energy Harvesting (日英環境発電ワークショップ), 東京大学, 2012.9.28 (研究代表者が主催した国際ワークショップ).</p> <p>鈴木 雄二, “豊かな環境低負荷型社会のための環境振動を用いたエネルギーハーベスティング,” 基調講演 (参加者 367 名), ネプコンジャパン, 東京ビッグサイト, 2013.1.17.</p> <p>鈴木 雄二, “環境振動発電,” 招待講演, 日本表面科学会関西支部・市民講座, 大阪, 2013.8.3.</p> <p>鈴木 雄二, “環境発電,” 基調講演, サイエンスフォーラム 2013, 日本電波工業, 狭山市, 2013.9.28.</p>
<p>図書</p> <p>計1件</p>	<p>鈴木雄二 (監修および分担執筆), 環境発電ハンドブック ~電池レスワールドによる豊かな環境低負荷型社会を目指して~, エヌ・ティ・エス, (2012), 総ページ数 404 ページ.</p>
<p>産業財産権</p> <p>出願・取得状況</p> <p>計 3 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 3 件</p> <p>発電素子 (鈴木雄二, 特願 2011-114956, 特開 2012-244850 号, 平成 23 年 5 月 23 日出願, 東京大学, THHINK Wireless Technologies Japan)</p> <p>電源回路 (鈴木雄二・猿渡久美雄, 特願 2012-108356, 特開 2013-236506 号, 平成 24 年 5 月 10 日出願, 東京大学, テクノデザイン)</p> <p>電源回路 (植田誠・鈴木雄二・服部泰, 特願 2012-170939, 平成 24 年 8 月 1 日出願,</p>

	特開 2014-033494 号, 東京大学, 鳥取コスモサイエンス, THHINK Wireless Technologies Japan)
Webページ (URL)	http://www.mesl.t.u-tokyo.ac.jp
国民との科学・技術対話の実施状況	<p>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。</p> <p>2012/7/11-13 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 2012(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 600 名以上)。また, 2013/1/13 に開催された展示会ネブコンジャパンにおいて一般向けの基調講演(参加者 367 名)を行った。</p> <p>2012/9/28 に, 東京大学本郷キャンパスにて, 在日イギリス大使館のサポートも受けて「日英環境発電ワークショップ」(参加費無料)を主催した。東京大学の他, イギリス大使館, インペリアルカレッジ, シェフィールド大学からの招待者, 日本の企業, 大学からの研究者から計10件の講演を行い, 80 名を超える参加者(3/4が産業界)を得て, 活発な討論を行った。 (詳細は, http://www.mesl.t.u-tokyo.ac.jp/UK-Japan/index-j.html を参照)。</p> <p>さらに, 東京大学が実施したポスター展示「未来からの招待状」(2012. 8-10 月, 東京大学病院, 2013. 1. 16-17, 文京シビックホール) 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。</p> <p>2013/7/17-19 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 2013(来場者数約 75,000 名)の環境発電展に, 旭硝子社, オムロン社など5社とエレクトレット環境発電アライアンスとしてブースを設け, 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 2000 名以上)。また, 2013.8.3 に大阪で開催された日本表面科学会関西支部・市民講座において一般向けの招待講演(参加者約 100 名)を行った。</p> <p>2013/12/6 に, ロンドンの英国王立協会にて, 「第3回日英環境発電ワークショップ」を主催した。東京大学の他, インペリアルカレッジ, シェフィールド大学からの招待者, 日本の企業, 大学からの研究者から計8件の講演を行い, 50 名を超える参加者(4/5 が産業界)を得て, 活発な討論を行った。(詳細は, http://www.mesl.t.u-tokyo.ac.jp/UK-Japan/index-j.html を参照)。</p>
新聞・一般雑誌等掲載計 5 件	<p>2012/8/5 フジテレビ新報道 2001 (7:30 - 8:55) での UKTI (英国貿易投資総省) を紹介するコーナーにて, UKTI の日本での活動の一環として, UKTI の本研究への関心が紹介された。</p> <p>2013/7/23 電気新聞 4 面「振動発電の商品化へ 東大, オムロンなどが協議体設立」</p> <p>2013/7/29 日刊工業新聞 21 面「微弱振動→電気に変換 技術普及へ組織」</p> <p>2013/8/5 日経産業新聞「揺れで発電, 能力 16 倍」</p> <p>2013/9/16 03:00-03:28 NHK BS Great Gear (NHK 国際放送) テクノフロンティア2013特集</p>
その他	

7. その他特記事項

経済産業省平成 24 年度国際標準化推進事業委託費 (戦略的国際標準化加速事業 (国際標準共同研究開発事業: MEMS 振動発電デバイスの特性測定方法に関する国際標準化フェージビリティスタディ)) の標

様式21

準化事業委員会委員長として、本研究に関連した環境振動発電の標準化への取り組みを行った。また、経済産業省平成25年度社会ニーズ(安全・安心)・国際幹事等輩出分野に係る国際標準化活動(MEMS振動発電デバイスの特性測定方法に関する国際標準化)の標準化事業委員会委員長として、本研究に関連した環境振動発電の標準化への取り組みを行った。

本プロジェクトの成果を実用化させるための共同体として、旭硝子株式会社、オムロン株式会社、THHINK WIRELESS TECHNOLOGIES JAPAN、テクノデザイン株式会社、小西安株式会社と、エレクトレット環境発電アライアンスを設立した。