

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

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	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
氏名	鈴木 雄二

【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、環境発電と呼ばれる。電力レベルとしては小さく直接的な 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。このようなデバイスは、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、研究代表者のこれまでのエレクトレットに関する研究成果を基礎的検討、応用開発の両面でさらに発展させ、グリーン・イノベーションに実質的な貢献をすることを目標とする。

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、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) 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、を行う。

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は、1) マイクロ環境振動発電、2) 非定常熱発電、3) 波力発電、を検討する。マイクロ環境発電では、これまで進めてきた MEMS 振動発電器の更なる高出力化を図る。また、エレクトレットを用いてキャパシタを構成し、エレクトレット＝電極間の高誘電率材料の誘電率が温度により変化することを用いて、非定常温度変化から発電する全く新しい熱発電デバイスを提案する。本デバイスはポリマー材料などで構成されるため、通常の熱電素子に比べて廃棄時の環境負荷が格段に小さい。

さらに、エレクトレットを用いた大型の振動発電システムにより、波力発電への応用可能性を検討する。試算によれば、周波数 0.2Hz、波による振幅 1 m の場合、300W/m³ 程度の発電が可能であり、従来型の電磁誘導方式に比べ、単位体積当たりの発電出力が 2 倍大きく、大量の永久磁石が不要となる。本研究では、開発した 3 次元構造を持つ超高性能エレクトレット膜を用いて縮小モデルによる評価を行い、実用的な波力発電システムに対し具体的な指針を得ることを目標とする。

【総合評価】	
	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】	
① 総合所見	
<p>研究代表者は、エレクトレットを用いた静電誘導発電に関する研究を長年実施してきており、Power MEMS 分野で世界的に評価されている。その経験をもとに当該研究課題では 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の開発を提案し、着実に成果を上げた。また、それを応用したエレクトレット応用発電デバイス開発についても研究開発が順調に進展しており、無線センサネットワークの電源への応用等、グリーン・イノベーションへの貢献が大いに期待される。</p>	

② 目的の達成状況	
<p>エレクトレットを用いた発電システムの開発に向け、必要な基盤的知識やプロトタイプ、さらにはその性能評価手法等が整備され、グリーン・イノベーションに向けた技術的な指針が示されるという意味で、所期の目的の達成している。また、目標として設定した発電性能については、実証試験でほぼ確認している。</p>	

③ 研究の成果	
<p>・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が (<input checked="" type="checkbox"/> ある ・ <input type="checkbox"/> ない)</p>	
<p>・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が (<input checked="" type="checkbox"/> 創出された ・ <input type="checkbox"/> 創出されなかった)</p>	
<p>・当初の目的の他に得られた成果が (<input checked="" type="checkbox"/> ある ・ <input type="checkbox"/> ない)</p>	
<p>研究代表者は、エレクトレットを用いた静電誘導発電に関して世界的先駆けとなる研究を推進しており、現在、PowerMEMS 分野を牽引している。特に、真空／遠紫外光を用いた高速荷電技術は実用的な高性能発電デバイスへの応用が期待できる。また、フッ素樹脂にナノ構造体を埋め込んだエレクトレット膜開発は、今後の高発電出力デバイス開発に貢献が予想される。</p>	

MEMS 構造を有する振動発電器を着想して、プロトタイプを製作しており、比較的大きな電圧出力が得られることを確かめている。この成果をさらに改良することによって、性能向上に向けた大きなブレークスルーをもたらした。

産業応用上、優位であることが予想される単一ウェハから作製可能な発電デバイスについても別途提案しており、実際に試作や理論検討を進めた。

さらに、単一ウェハから構成できる櫛歯型発電器、ハニカム樹脂ばね構造をもつ圧電ポリマー型発電器の開発は当初の目的を超えた成果であり、高く評価できる。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

エレクトレット膜研究に関しては、新しい高速荷電法やナノ構造を埋め込んだポリマーエレクトレット膜の開発等、実用的な超高性能デバイス開発への応用が期待される。また、エレクトレット応用発電デバイス開発についても高性能振動発電デバイスの実現や新しい非定常熱発電デバイス等を実現し、実用化の可能性を確認するなど、当該分野の進展に寄与している。

提案されたエレクトレット発電デバイスは、インフラモニタリング等で実用化が期待される無線センサネットワークの電源として用いることが可能で、既存システムへの電池の代わりに使用することで省エネルギー機能の付加や電池の廃棄量削減などでグリーン・イノベーションへの貢献が期待される。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

研究目的の達成に向けて着実に研究は進められており、その実施体制やマネジメントも適切に行われた。助成金についても、主として本課題に必要な装置類の導入に使用されており、有効に活用された。さらに、指摘事項に対しては、対応する検討を十分に進めており、性能向上への指針を得るとともに、産業界とも連携して実用化に向けた努力を続けている。