

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 14922 号
------	---------------

氏 名 WANG Haitao

論文題目

Study of High-performance Ambient Energy Harvesters based on Instantaneous Charge Release
(瞬時的電荷放電を用いた高性能環境発電素子に関する研究)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	宇佐美 徳隆
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	小橋 眞
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	黒川 康良
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	鳴瀧 彩絵
委員	名古屋大学	工学研究科	准教授	王 謙

論文審査の結果の要旨

WANG Haitao君提出の論文「Study of High-performance Ambient Energy Harvesters based on Instantaneous Charge Release (瞬時的電荷放電を用いた高性能環境発電素子に関する研究)」は、環境に存在するエネルギーの収集に関するもので、独自に考案した瞬時電荷転移の概念に基づく環境発電素子の開発に焦点を当てている。特に、液体-固体および固体-固体界面を利用した環境発電素子の設計を通じて、低周波数で不規則な環境エネルギーから効率良く電力を生成する方法を示している。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、研究の背景として、環境からエネルギーを収集する現在の主流技術とその原理を説明している。具体的には、圧電、強誘電、摩擦電気、および磁歪効果を用いた環境発電素子などである。さらに、水滴発電素子について、その設計の基礎となる発電メカニズム、特に瞬時電荷転移の概念について述べている。

第2章では、先行研究の文献調査を行った結果についてまとめており、それらの内容を総合的に検討することで、本研究において高性能環境発電素子を開発するための戦略について述べている。具体的には、液体-固体界面における瞬時電荷転移に着目し、環境発電素子の測定系の設計と素子評価手法の標準化、構成材料の改善、および構造最適化を行い、水滴発電素子の性能向上に繋げ、それらの知見を固体-固体界面を利用した環境発電素子の開発に繋げるとしている。

第3章では、瞬時電荷転移を強化するために、表面電荷密度が高く、製造が容易な非晶質フルオロポリマーCYTOPT (Cyclic Transparent Optical Polymer) を水滴発電素子の中間層として導入した。CYTOPの厚さ、表面電荷密度、および比表面積を制御することで、水滴発電素子の出力が向上するという有用な知見を得ている。

第4章では、水滴発電素子のさらなる性能向上を目的として、表面電極を針状にすることで、寄生容量の影響を最小限に抑えることを試みた。この構造により、厚さが50 μm のフッ素樹脂FEPを用いた素子において1200 Vを超える高い出力電圧を達成した。さらに、電流を増加させるために、CYTOP膜にBaTiO₃ナノ粒子を導入した複合膜により、エレクトレットの厚さを減少させつつ表面電荷密度の増加を試みた。その結果、1 wt% BaTiO₃を含むCYTOP/BaTiO₃複合膜は、900Vの出力電圧と151 nCの転移電荷を達成した。

第5章では、水滴発電素子の実用化に向け、表面電極上に保護膜を導入した。保護膜を持つ水滴発電素子では、酸やアルカリの腐食に対する耐性が向上することを実証するとともに、水滴が直接表面電極に接触せずに出力を生成できることを初めて示した。また、薄い保護膜の下での高い出力が得られることを、実験と理論の両面から示した。さらに、複数の表面電極を有する水滴発電素子を設計・作製し、表面電極間の隙間を調整することで、複数のランダムな水滴から効果的にエネルギーを収集できることを実証した。このように、実環境における発電に有用な水滴発電素子の設計指針を示したといえる。

第6章では、瞬時電荷転移の原理から着想を得て考案した固体-固体界面を用いた振動発電素子について、発電を実証するとともに、発電メカニズムについて述べている。

第7章は、本研究の結論を述べるとともに、開発した環境発電素子の応用分野や、その将来展望を考察している。関連分野の最近の研究開発状況に鑑み、環境発電素子の社会実装が進んだ未来社会のビジョンについて述べている。

以上のように本論文では、環境エネルギーを効率良く電力に変換するメカニズムとして、瞬時電荷転移に基づく環境発電素子について、多様な材料や構造を用いた研究を詳細に説明している。これらの研究手法と得られた結果は、環境エネルギーの効率的な変換技術の進歩に貢献し、広範な分野において応用され、工学の発展に寄与することが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者であるWANG Haitao君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。