

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 キッティパイサルシルパ カシディス

環境振動発電は、環境の中に広く存在する振動エネルギーから微小電力を取り出す技術であり、IoT デバイス向けのメンテナンスフリー電源などとして、大きな期待が寄せられている。なかでも、誘電体中に電荷を保持させたエレクトレットを用いる静電誘導発電は、小容積、低周波数においても効率良く発電できる手法として注目されている。本論文では、エレクトレット振動発電デバイスの発電量を向上するため、エレクトレットと対向電極間の空隙に異方性誘電率を持つ液晶を注入する手法を初めて提案し、そのメカニズムを液晶の動的配向計測をもとに解明したものである。

本論文は、5 章からなっている。第 1 章は序論であり、環境発電について概観し、エレクトレットを用いた振動発電の発電出力がエレクトレットと対向電極の間の誘電率に比例するため高誘電率液体の注入が効果的であること、また、発電出力が寄生容量によって低下するため等方的誘電率を持つ液体では効果が限定的であることを述べている。そして、寄生容量の制御による出力向上に関する研究のレビューを行い、本研究の目的である、エレクトレット振動発電器への異方性誘電率を持つ液体の適用について述べている。

第 2 章では、ネマチック液晶の特性評価と液晶により強化された静電誘導型振動発電器の計測結果について述べている。いくつかのネマチック液晶について異方性誘電率をインピーダンス計測により算出するとともに、理想的に垂直配向した場合の静電場モデルについて述べている。そして、比誘電率 1.91 の FC-3283 では空気ギャップの場合の 2.6 倍の発電出力に留まるのに対して、異方性誘電率が増大するに従って発電出力は増大し、異方性誘電率 9 の BCH-5F.F.F では 67 倍の発電出力が得られることを明らかにした。一方、エレクトレットの放電を防ぐには、 $10^{16} \Omega \text{cm}$ の極めて高い体積抵抗率が必要であり、異方性誘電率と体積抵抗率は負の相関があるため、エレクトレット発電器には異方性誘電率 3 の MLC-7030 が適していることを示した。そして、振動発電実験により、発電出力は空気ギャップの場合の 7 倍となることを明らかにした。

第 3 章では、液晶配向のその場計測と発電器モデルの構築について述べている。顕微 FT-IR により電極間の静的配向分布を示すとともに、高速度カメラを装着した偏光顕微鏡上にエレクトレット振動発電器を組み込み、発電実験中の液

晶配向を計測できるシステムを開発した。そして、高電場が加わるエレクトレットと対向電極間では垂直配向であるのに対して、それ以外の部分では水平配向であること、また、電極間のすき間では、その中間であることを明らかにした。この配向計測結果をもとに、電場依存で誘電率が変化する発電器モデルを構築し、実験結果を再現できることを示した。また、粘性損失分に比べて、発電出力の向上分が 1.5 倍程度得られ、液晶の適用が極めて有効であることを明らかにした。

第 4 章では、液晶の体積抵抗率を低下させるイオン性不純物の制御について検討している。強誘電体粒子を液晶に混入することによって長期間高い抵抗率が維持できることから、原子層堆積法によって $\text{Hf}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$ (HZO) 膜を基板上に形成し、HZO 膜によっても液晶の抵抗率を維持できることを明らかにし、液晶を注入したエレクトレット発電器への適用可能性を示した。

第 5 章は結論であり、本論文の結論をまとめている。

以上要するに、本論文は、エレクトレット発電器に異方性誘電率を持つネマチック液晶を用いることにより、顕著な発電出力の向上が得られることを初めて示し、また発電器内部の液晶の配向計測をもとに構築した発電器モデルにより、その詳細を明らかにしたものである。本論文の成果は、環境発電への適用範囲をさらに広げるものであり、エネルギー工学、デバイス工学などの進展に寄与するところが多い。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。