

氏名	Evi OKTAVIA		
学位の種類	博 士 (生物資源工学)		
学位記番号	博 甲 第 7759 号		
学位授与年月日	平成 28年 3月 25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Electricity Generation from Paper Vibration by Electrostatic Induction (静電誘導を利用した紙の振動による発電)		
主査	筑波大学教授	博士 (農学)	江前敏晴
副査	筑波大学教授	農学博士	大井 洋
副査	筑波大学准教授	博士 (農学)	小幡谷英一
副査	筑波大学准教授	博士 (農学)	中川明子

論 文 の 要 旨

第1章では、静電誘導を利用した紙の振動による発電に関する研究の背景と達成目標を示した。全てのものにセンサーと通信機能を実装し、データを収集したりリモート制御したりするモノ管理社会が構築されつつある。それぞれの機器の駆動に必要な電力をオンサイトで供給するために、環境に存在する散逸エネルギーである光、熱、電波、振動などを拾い集める環境発電技術が盛んに研究されている。本研究では、騒音や声などの音波によって振動する紙から静電誘導により発電する技術を対象とする。静電誘導はマイクロホンにも応用されている原理であり、電荷を蓄えているエレクトレット膜 (静電気を半永久的に帯びた材料) が音で振動すると近接する電極までの距離が変化し、電気が流れる現象である。エレクトレットや電極の支持には紙を用いる。バイオマス由来の紙は環境負荷が少なく、弾性率が高いため振動を伝えやすい材料である。一般的な静電誘導型の振動発電機は、バネに取り付けられた錘が共振することにより大きな往復運動を作り発電するが、本研究での発電機は紙そのものが錘とバネの役割を担って共振する。その特性を利用して紙基板発電機の作製を試みる。

第2章では、紙を伝わる振動がどの程度減衰するのか測定し、それを紙の性質と関連付けた。騒音測定に使われるサウンドレベルメータのマイクロホンの先端にある保護用不織布を取り外し、同一形状に切り抜いた種々の市販紙を取り付け、一定の音源からの距離を保って音響出力レベルを測定した。一般に振動の減衰係数は、材料の比ヤング率 (ヤング率/密度) が低いと大きくなるが、測定した音響出力レベルは、紙の比ヤング率とは相関がなく、紙の厚さの増加とともに低下する傾向を示した。一方、叩解の程度を変えることによって密度の異なる試験用手すき紙を調製し、超音波の伝播速度からヤング率を測定する試験機でヤング率を測定した。その測定と同時に超音波によって振動している紙が発する可聴音の音響出力レベルを同様に測定した。この場合の音響出力レベルは、比ヤング率との間で高い相関を示した。前者では音波が厚さ方向に伝

わるため、厚い紙ほど進行距離が長くなって大きく減衰するが、後者では超音波が表面波となって面（横）方向に伝わるため面方向のヤング率が振動の減衰に大きく影響したと考えられた。

第3章では、面外振動モードの発電機を試作し性能を評価した。ウレタンで摩擦することにより帯電させたテフロンシート（エレクトレット）を板紙に固定し、裏面に銅箔電極を取り付けた。別の板紙に取り付けた銅箔の対向電極を、関数発生器と振動機を使って周波数と振幅を制御しながら強制振動させ、誘導電圧と起電力を測定した。エレクトレット-対向電極間距離が小さいほど起電力が大きくなった。間隔1 mm、強制振動周波数46 Hzで、最大誘導電圧2.3 Vが得られた。電源の性能を示す電力を、発電機の両極間に負荷抵抗を接続して測定したところ、抵抗値2 M Ω 時に最大起電力11.8 μ Wを得た。

第4章では、面内振動モードの発電機を試作した。櫛歯状の2つの銅箔電極を接触しないように噛み合わせる配置で板紙に固定した。対向する板紙に固定したエレクトレットの表面を同じ櫛歯形状の銅箔で覆い、両方の板紙を平行にする。一方をスライドさせると2つの電極間に誘導電圧が発生した。手動で往復運動させたとき、間隔1 mm、往復運動周波数3~4 Hzで、最大の誘導電圧8.2 V及び起電力8.7 nWを得た。

本研究を総括すると、騒音や声などの音源から音が紙を伝播する場合、その方向が面方向か厚さ方向かによって紙の性質との関連が異なることがわかった。このことは、エレクトレットを積層する位置を音源から離すか、音源近くの紙の真裏にするかのような発電機設計に必要な情報となった。さらに試作発電機の構造を考えたとき、面内よりも面外振動を利用した方が大きい起電力が得られることが分かった。得られた起電力は、消費電力の非常に小さいものしか駆動できないレベルであるが、今後センサー等の超小型化が進めば、音波による紙振動発電方式もワイヤレスでかつオンサイトで給電できる装置の1つとなることが期待される。

審 査 の 要 旨

この論文は、紙の持つ特性を生かした環境発電技術を新規に開発しようとする研究である。騒音や声などの音波のエネルギーは、紙を振動させることによりその一部が一時的に紙に蓄えられる。この紙に静電気を帯びた材料であるエレクトレットを予め積層しておき、これと平行に電極を積層した別の紙を置く。振動によりエレクトレットと電極間の距離が変動すると交流が発生する。このような静電誘導の原理に基づいて発電機を試作し、振動機で強制振動させたところ、最大起電力11.8 μ Wを得た。紙をスライドさせる振動でも櫛形電極を使うことにより発電できることを確認した。紙を伝播する音の減衰を、音響出力レベルを測定して評価し、表面波は紙の比ヤング率と、厚さ方向に伝播する実体波は紙の厚さととの相関がそれぞれ高いことを明らかにした。騒音の多い場所でのデータ収集や声に反応するポスターなどの応用に繋がる環境発電技術の一分野を開拓したと言える。

平成28年1月27日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（生物資源工学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。