

審査の結果の要旨

氏名 梅 旭濤

タイヤなどの回転する物体の中にセンサなどの電子デバイスを取り付ける場合、外部からワイヤを介した電力供給は難しい。そのため、タイヤ内部で発生する振動を用いて発電を行うエネルギーハーベスティング技術が期待されている。一方、振動からの発電技術においては、振動を増幅させることが重要である。共振が利用されることも多いが、振動を増幅させることができる周波数帯が狭く、増幅できた時は、振幅が大きくなりすぎる問題があった。非線形振動系、特に多安定系を用いることにより、それらの問題を解消することが期待されている。そのような背景から、回転運動中の非線形振動系をモデリングして、性能を評価することが求められているが、回転運動によって生じる遠心力が非線形振動系に与える影響をモデル化した例は少なく、またこの遠心力の影響をエネルギーハーベスティングの性能向上に用いることを提案した研究はなかった。本研究では、回転体の中で振動発電を行うことを目的にした、片持ち梁によって構成された多安定系非線形振動系を利用したエネルギーハーベスティング装置を扱う。自由端に質量を持つ片持ち梁が遠心力を受ける時の力学モデルを作成し、遠心力が梁の等価的な剛性を変化させる効果があることを解析的に示し、数値計算と実験によってモデルの妥当性と、等価剛性の向上がエネルギーハーベスティング装置の発電性能向上に寄与することを示すことを目的とする。

第 1 章において、研究の背景と目的が述べられている。一般的なエネルギーハーベスティングの手法、回転運動体におけるエネルギーハーベスティング技術、有効な周波数帯の拡張技術方法、現在の問題点が述べられ、本研究の動機と目的が述べられている。

第 2 章においては、回転体の中での非線形振動系のモデリング手法が述べられている。設計原理が述べられた後、遠心力を考慮した片持ち梁の力学モデルが導出され、理論的な解析が行われている。最後に、実験による妥当性検証方法が議論されている。

第 3 章においては、双安定系、三安定系、四安定系、非対称多安定系といった様々な非線形振動系が紹介され、それらの系の理論的力学解析がなされている。様々な安定系を用いることにより、ポテンシャルエネルギーの分布をある程度自由に設計することができることが述べられている。これにより、安定点間に存

在するポテンシャルエネルギーの壁を小さくするなどして、振動特性に応じたエネルギーハーベスティングに有利なダイナミクス系を構築することができることを述べている。これらのモデルの妥当性が実験を通じて検討され、回転体の中で作用する遠心力を考慮する必要性が述べられている。

第 4 章では、これらの系において、遠心力が梁の等価剛性を上げ、振動が大きくなる周波数領域が拡大することが実験によって示されている。さらには、回転数の増加と固有角振動数の上昇の割合が一致する時が理想的であることを述べ、それが実現する条件を明らかにした。

第 5 章においては、片持ち梁を回転体に反対方向に取り付ける、すなわち、質量のある自由端を中心に向着て、固定端を外側に配置する時は、遠心力により片持ち梁の剛性が低下する影響があることを理論的に説明し、実験によってその効果を示している。比較的回転速度の低い回転体内でのエネルギーハーベスティングに有効であることを、実験を通じて示している。また、その手法が有効になる応用先の例として風車の翼を挙げている。

第 6 章においては、今後の研究の発展の方向性が議論されている。自動車のタイヤに用いる場合は、回転軸自体の並進運動が生じる。加減速時に影響があることが想定されるが、今後は、その影響も評価する必要があることが考察されている。また、応用を目指すためには、実機での実験の必要性、電気電子回路設計等が必要であることが述べられている。最後に、本研究の知見を元にした、非線形振動系を利用したエネルギーハーベスティング装置の最適設計法が議論されている。

第 7 章で全体の要約と導き出された結論が述べられている。

上記の通り、今まで考慮されてこなかった遠心力の影響を、数式を用いてモデル化し、その妥当性を実験によって検討している。さらには、その遠心力を発電能力の向上に利用することを提案し、様々な種類の安定系を解析し、回転数の増加と、等価剛性の向上による固有振動数の上昇割合が一致する、最適なエネルギーハーベスティングの条件を導いている。また、発電機の回転体への取り付け方法を変えることによって、遠心力によって等価剛性を下げて、回転数が低い、もしくは、低い固有振動数を持つ系に適用することを提案し、その効果を実験によって示している。このように、振動工学、特に振動発電工学分野の研究において、新しい知見を与え、その発展への貢献が認められる。

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。