

論文の内容の要旨

論文題目 「音響連成を利用した圧電振動発電による
エネルギー回収システムの構築」

学位申請者 土屋 寛太郎

キーワード 機械音響連成 音響エネルギー 圧電振動発電 空洞 高次モード

円筒構造は各種容器や輸送機器などに広く用いられており、特に軽量化の観点から薄肉円筒構造が多く普及している。このような薄肉構造が外部周期力を受けると構造内の空間に形成された内部音場と構造振動の間に機械音響連成が生じる。この機械音響連成が促進した場合、構造物は共振状態となり構造破壊につながり、音場は共鳴状態となり航空機では客室内の騒音につながる。従来では、構造強度や騒音問題などから機械音響連成の抑制が主に研究されてきた。

一方で、従来音響エネルギーは機械的エネルギーに比べて非常に小さく応用範囲も非常に限られていたが、近年ではこれらのエネルギー回収方法として熱音響機関や圧電振動発電の研究が盛んに行われている。その中でも特に圧電振動発電では圧電素子を表面に貼付したはり構造を用い、外力等ではりが振動する際に生じる圧電素子の伸縮により、振動エネルギーの一部を電気エネルギーに変換させている。圧電振動発電における発電特性は圧電素子の力学的挙動に依存することになるが、この場合、発電時の力学的挙動は振動体の振動特性にも深く関与することになる。そのため発電特性を理論的に検討する場合、圧電素子を含む振動系の振動特性と圧電素子の電気的特性間の関連を考慮する必要がある。このようなエネルギーの回収にはエネルギー量を増大させることが重要であり、前述の機械音響連成現象の促進は内部音場の活性化だけでなく構造振動も活性化させるため、圧電振動発電の発電特性の向上に非常に有用な手段であると考えられる。

そこで本研究ではまず基本的な二次元構造である円板のみを用いた圧電振動発電システムの発電特性を明確にした上で、円筒の両端に弾性板を配置させる。この場合、単一円筒構造と、内部に仕切り板を配値した円筒構造を連結させた構造を取り上げる。この場合、一方を加振したときの圧電振動発電の特性を理論及び実験から明らかにすると共に、機械音響連成の利用による特性改善を目的とする。さらに実環境下での使用を目指し、高次の振動モードについても実験的に検討する。

本論文は6章で構成されており、以下に各章ごとの概略を示す。

第1章は序論であり、本研究の目的について説明し、さらに、本論文の特色と構成および概要について述べられている。

第2章では、円板中央に圧電素子を貼付した際の圧電振動発電における電気機械連成について論じる。第1章でも述べたように従来の圧電振動発電ははり構造における振動発電

が多く検討されてきたが、はり構造は一次的な構造であるため汎用性が低いという難点があり、実用レベルには汎用性の高い二次元構造で研究を行う必要がある。そこで本研究ではその点を考慮して振動系に薄肉の円板を用い、円板中心に圧電素子を貼付した振動発電システムを採用する。

また、本研究の最終的な目的である機械音響連成による圧電振動発電の性能の向上を検討するにあたり、円板振動のみの発電特性を把握することは非常に重要である。本章で述べる円板振動のみの発電特性は、円板の振動特性と圧電素子に生じる圧電効果に強く依存することになる。そのため円板中央に圧電素子を貼付した際の振動特性と共に、圧電素子の発電特性にも注目する。その結果、加振棒を介して点加振力が付加されている場合、固有周波数の低周波数化を含む円板の振動特性について明らかにした上で、圧電振動発電の発電特性を検討した。

第3章では両端に円板を有する単一空洞を用いて、その一方を加振した際の端板振動と内部音場との連成現象を利用した圧電振動発電を取り上げ、位相差、円板の振動特性と音場特性より、連成現象及び発電特性を検討する。その結果、単一空洞における機械音響連成は円板の面外変位に大きく依存し、円板の面外変位が大きく変化する筒長において音圧レベルが最大になることを明らかにした。また機械音響連成を利用した振動発電では、円板のみの圧電振動発電に比べ発電効率が向上することを確認し、一定条件下において発電効率の予測を可能にした。

第4章では単一空洞に空洞を付加した連結空洞を取り上げ、その一方を加振した際の端板振動と内部音場との連成現象を利用した圧電振動発電について、各円板の振動特性と発電特性などについて検討する。その結果、円板の板厚の増加による固有振動数の高周波数化は発電効率を増大させ、発電特性の改善効果が広範囲に及ぶことを明らかにした。

第5章では第2章、第3章及び第4章で述べた各圧電振動発電の実環境下への適用を目的とし、高次モードについて検討する。高次モードではモードに節が生じるために圧電振動発電特性が大きく変化することが考えられるため、その中でも非軸対称モードについて実験的に検討する。その結果、振動モードの最大振幅が発生しやすい箇所に圧電素子を貼付することで発電効率が向上することを確認した。

第6章は本論文の結論であり、第2章から第5章までに得られた本研究の成果を総合して述べると共に、本研究成果に立脚した将来への展望を言及する。

以上、本論文の成果としてははり構造に代表される圧電振動発電現象に対し、単一及び連結空洞を付加することで円板振動により放射される音響エネルギーを回収し、圧電振動発電の発電特性が改善することを明らかにした。今後は圧電素子の枚数や寸法を変更することで発電装置としての特性改善を進めると共に、音響エネルギー回収装置としての役割も期待できる。