

|             |                                                                                             |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title       | 圧電素子と電子回路を用いた柔軟構造物の制振に関する研究( Abstract_要旨 )                                                  |
| Author(s)   | 山田, 啓介                                                                                      |
| Citation    | Kyoto University (京都大学)                                                                     |
| Issue Date  | 2007-03-23                                                                                  |
| URL         | <a href="https://doi.org/10.14989/doctor.k13004">https://doi.org/10.14989/doctor.k13004</a> |
| Right       |                                                                                             |
| Type        | Thesis or Dissertation                                                                      |
| Textversion | author                                                                                      |

|          |                             |
|----------|-----------------------------|
| 氏名       | やま だ けい すけ<br>山 田 啓 介       |
| 学位(専攻分野) | 博 士 (工 学)                   |
| 学位記番号    | 工 博 第 2746 号                |
| 学位授与の日付  | 平 成 19 年 3 月 23 日           |
| 学位授与の要件  | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当     |
| 研究科・専攻   | 工 学 研 究 科 精 密 工 学 専 攻       |
| 学位論文題目   | 圧電素子と電子回路を用いた柔軟構造物の制振に関する研究 |

論文調査委員 (主査) 教授 松久 寛 教授 吉村 允孝 教授 松原 厚

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では圧電素子を用いたはりや平板等の曲げ振動の抑制を取り上げ、次の9章からなる。

1章は緒論であり、圧電素子を用いた制振の必要性和従来の研究の問題点、本研究の目的について論じている。

2章では圧電素子とインダクタンス、抵抗から構成されるLR直列回路またはLR並列回路を用いた受動制振における回路の最適値を定点理論に基づいて定式化した。また、振動の評価指標がコンプライアンスの場合だけではなく、モビリティやアクセラランスで評価する場合の回路の理論最適解も求めた。LR直列回路を用いる場合とLR並列回路を用いる場合を比較し、制振性能と最適インダクタンスの値はどちらの場合もほぼ等しいことと、最適抵抗値が大きく異なることを解析的に示した。数値計算と実験を行い、これらの解析結果の妥当性を確認した。

3章では圧電素子を用いた能動制振と受動制振の等価機械モデルと等価電気モデルを理論的に求めた。また、複数の圧電素子を用いて制振する場合についても、圧電素子を一組にまとめて使用する場合とそれぞれに制御器や回路を接続する場合に分けて等価モデルの導出方法を示した。

4章では圧電素子の電気機械結合係数と等価剛性比を、固有振動数のインダクタンス依存性を用いることによって実験で高精度に求める新しい手法を提案した。従来の方法ではこれらの値が小さいために精度が不十分になる場合でも、数値計算と実験の結果がほぼ一致する高精度な値を求められることを理論と実験の両方で示した。また、この手法は主系減衰や使用するインダクタンスや圧電素子が持つ抵抗成分によって精度が低下する場合があるため、その精度の低下を抑制する方法として負性抵抗接続法と周波数応答重ね合わせ法を提案し、これらの有効性についても実験で検証した。

5章では圧電素子と電子回路からなる装置で機械式の二重動吸振器に相当する制振装置を提案した。機械式の二重動吸振器には並列型と直列型があり、5章ではその両方に相当する制振装置を示した。数値計算と実験により、ノミナルモデルで回路を最適に調整した場合は直列二重動吸振器に相当する回路の制振性能が高く、主系の固有振動数の変化を考慮して装置のロバスト性を向上させた回路調整を行う場合は並列型、直列型ともに従来の一重動吸振器に相当する回路よりも制振性能が高いことを示した。

6章では圧電素子とLR回路を用いた受動制振の制振メカニズムを応用し、圧電素子を二組に分けてその制振力を増幅するハイブリッド制振の手法を提案した。回路の最適値を定点理論にもとづいて導出し、理論的に装置内の増幅器と制振性能の関係を明らかにした。また、実験によりこれらの理論解析の妥当性を検証した。この手法では増幅器を用いて制振力を高めるため系が不安定になる場合がある。そこで、不安定化の原因とそれを防ぐ手法を提示し、これによって容易に不安定化を回避できることを実験で示した。また、二組の圧電素子間の応力の伝達が大きくなると、受動制振用の圧電素子のキャパシタンスが増加するため制振性能の低下につながることを示した。

7章では主系の振動変位信号を用いたハイブリッド制振手法を提案した。この手法においても回路の最適値を定点理論にもとづいて定式化し、制振性能と装置内の増幅器の関係を理論的に解明した。また、系の安定性についても解析し、変位セ

ンサーと圧電素子の極性の関係によっては制振対象外の振動モードにおいても減衰付加効果があることを示した。数値計算と実験によりこれらの理論解析の妥当性とこのハイブリッド制振手法の有効性を確認した。

8章では圧電素子とアナログ回路によるハイブリッド多モード制振の手法を提案した。この手法では各振動モードを抑える回路を並列化することでそれぞれの回路の最適調整が独立し、抑える振動モードの数が増加しても各振動モードの制振性能は低下しないことを示した。定点理論にもとづいて回路の最適値を定式化し、実験によりこれらの理論解析の妥当性とこの手法の有効性を検証した。6章で提案したハイブリッド制振の場合と同様に装置内の増幅率が大きい場合は制振対象外の振動モードでスピルオーバーが発生する可能性があるが、バンドパスフィルタを用いることで制振対象外の振動モードへの影響を小さくすれば不安定化を回避できることを実験で示した。

9章は結論であり、本論文で得られた知見をまとめ、圧電素子を用いた制振の展望について記述している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、圧電素子と電子回路を用いてはりや平板等の曲げ振動を低減する手法を考案し、その制振性能を理論解析と実験により検証した研究である。また、これらの制振を行う上で必要となる電気機械結合係数の実測方法や、制振システムと等価な機械力学モデル等の導出も行っている。得られた結果の主たるものは以下の通りである。

1. 圧電素子とインダクタンス、抵抗から構成される LR 直列回路または LR 並列回路を用いた受動制振における回路の最適値を定点理論に基づいて定式化した。また、振動の評価指標がモビリティやアクセラランスの場合の回路の最適解も求めた。
2. 圧電素子を用いた能動制振と受動制振の等価機械モデルと等価電気モデルを求めた。また、複数の圧電素子を用いる場合についても、それらを一組にまとめて使用する場合とそれぞれに制御器や回路を接続する場合に分けて等価モデルを導出した。この等価モデルを用いれば、機械式の制振装置等で得られている知見を、圧電素子を用いた制振で利用することができる。
3. 圧電素子の電気機械結合係数と等価剛性比を、固有振動数のインダクタンス依存性を用いることによって実験で高精度に求める手法を提案し、理論と実験により従来手法よりも精度が高いことを示した。また、提案した手法は主系減衰や回路に含まれる抵抗成分によって精度が低下する場合があるため、その精度の低下を抑制する方法として負性抵抗接続法と周波数応答重ね合わせ法を提案した。
4. 圧電素子と電子回路からなる装置で機械式の二重動吸振器に相当する制振法を提案した。並列二重型と直列二重型を提案し、どちらの場合も従来の一重型に比べて制振性能が高く、ロバスト性の向上にも有利であることを理論と実験で示した。
5. 受動制振用の圧電素子に加わる電圧を抽出し、それを増幅して能動制振用の圧電素子に印加することによって制振力を増幅するハイブリッド制振の手法を提案した。また、一組の圧電素子と主系の振動変位信号を用いるハイブリッド制振の手法も提案した。どちらの場合もアナログ回路のみで高い制振性能となることを理論と実験で証明した。
6. 圧電素子とアナログ回路によるハイブリッド多モード制振の手法を提案した。この手法では各振動モードを抑える回路を並列化することでそれぞれの回路の最適調整が独立し、抑える振動モードの数が増加しても各振動モードの制振性能は低下しないことを示した。

以上、本論文は圧電素子と電子回路を用いた構造物の制振について研究したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年1月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。