

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820412

研究課題名(和文) 圧電素子を利用した多重動吸振器による大型宇宙構造物のロバスト振動制御に関する研究

研究課題名(英文) Robust vibration control of large space structures by piezoelectric vibration absorbers system

研究代表者

南部 陽介(Nambu, Yohsuke)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：50582392

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、圧電素子を利用した電氣的多重動吸振器のロバスト最適化手法を構築し、トラス構造物の高効率かつ高ロバストな振動制御を実現することである。本研究では大別して、(1) 多重動吸振器を貼付した両端固定梁のロバスト最適化と振動制御実験、(2) 多重動吸振器を組み込んだトラス構造物のモデル化と最適化設計、(3) トラス構造の振動制御実験を実施した。これにより、電氣的多重動吸振器のロバスト最適化を行うための主構造の動特性の同定手法ならびに最適化設計手法を確立し、またトラス構造物の振動制御に電氣的多重動吸振器が有効であることを確認することができた。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to realize highly efficient and robust vibration control method of truss structures. In this research, the following three issues were conducted. (1) Robust optimizations and vibration control experiments of a both-clamped beam structure by using multiple piezoelectric vibration absorbers system. (2) Modeling and optimum design of a truss structure including piezoelectric vibration absorbers system. (3) Vibration control experiments of the truss structure. These study revealed that the proposed identification method, robust design method, and vibration control method were useful.

研究分野：振動制御

キーワード：圧電素子 動吸振器 スマート構造 トラス構造

1. 研究開始当初の背景

近年、宇宙活動利用の分野においては、天体および地球観測衛星、大容量通信衛星、月・惑星探査などにおけるミッション内容の高度化・細分化が進んでいる。それに伴い、ミッション機器およびバス機器双方に関係する構造システムにおいても、より高精度かつ高機能なものが求められている。大型で軽量の構造物では、固有振動が低下し、振動が励起されやすくなると共に、減衰にかかる時間が長くなるため、高精度な形状保持には振動が問題となり、宇宙空間における振動制御は重要な課題である。人工衛星では、制振効果はアクティブと比べると低い、安定性の高いパッシブな振動制御が主流である。パッシブな振動制御手法の中でも、制振性能が高い手法に動吸振器がある。動吸振器は、共振現象を利用して、主構造の振動エネルギーを副構造に効率的に伝送し、副構造の減衰を利用して振動エネルギーを熱に変換する制振デバイスである。共振現象を利用しているため、副構造の固有振動数と減衰比を最適に調整することが重要である。逆に、最適な調整から外れた時には、制振効果が著しく低下してしまう。

この課題を解決するために、研究代表者は、多重動吸振器のロバスト最適設計の研究を行ってきた。多重動吸振器は、複数の動吸振器を協調的に最適化することで、総質量を増加させることなく、制振効果とロバスト性を高めることができる手法である。研究代表者は、ロバスト最適化手法を開発し、理論と実験により、その効果を確認した。

収納性や機構の複雑さを考慮すると、通常の力学的な動吸振器よりも、圧電素子を利用した電気的な動吸振器が適している。力学的な動吸振器は、質量・バネ・ダンパーから構成される1自由度系であるが、電気的な動吸振器は、キャパシタの特性をもつ圧電素子、インダクタ、レジスタから構成される1自由度系である。(図1) 圧電素子が、力学的エネルギーと電気的エネルギーを相互に変換し、主系の振動エネルギーをLCR共振回路に送り込むことができる。研究代表者は、圧電素子を張り付けた両端固定梁を対象に、電気的な動吸振器においても多重化することで、制振効果とロバスト性を高めることができることを理論と実験により確かめた。

2. 研究の目的

より実践的な構造として図2のようなトラス構造を考えた場合、部材の一部が圧電素子となる。このとき、動吸振器としてのパラメータ(固有振動数と減衰比)の最適化と共に、圧電素子の設置場所も重要となる。トラス構造では、圧電素子の設置場所は離散的な

変数となる。したがって、トラス構造物に対する多重動吸振器の最適化問題では、固有振動数と減衰比は連続変数として、設置場所は離散的な変数として、計算に組み込む必要がある。本研究では、圧電素子を利用した電気的動吸振器の固有振動数と減衰比に加え設置場所をも加味したロバスト最適化手法の確立と、それによるトラス構造物の高効率かつ高ロバストな振動制御を実現することを目的とする。

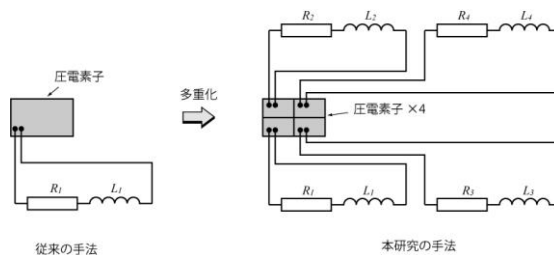


図1 電気的動吸振器の多重化

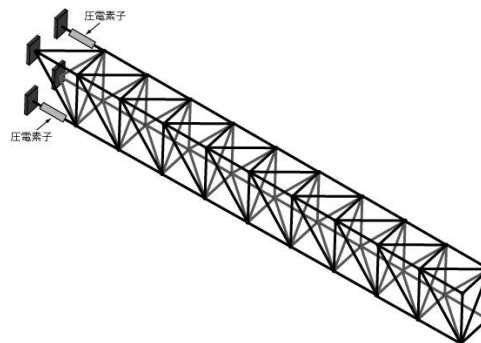


図2 トラス構造物

3. 研究の方法

(1) 多重動吸振器を貼付した両端固定梁のロバスト最適化と振動制御実験

最適化設計の精度向上のためには、システムの動力学特性を精度よく表現することのできるモデルが必要である。そこで、多重動吸振器を貼付した両端固定梁について、実験とシミュレーションを行い、システム同定の手法の確立を試みた。複数種の入力に対する伝達関数を測定し、特定の周波数領域において、実験と数値計算で求めた伝達関数の二乗平均が最小となる動力学特性パラメータを実数値 GA (Genetic Algorithm) によって算出した。

また、温度変化による圧電素子の静電容量変化に対するロバスト最適化問題を定式化し、実数値 GA によって多重動吸振器の最適パラメータを求めた。

さらに、多重動吸振器の制振効果とロバスト性について、恒温槽を用いた実験と数値計算との比較を行った。実験系を図3と図4に示す。制御された温度環境下で、加振用圧電

素子に電圧を加えて梁に外乱を与え、動吸振器の有無ならびに多重化による伝達関数の変化を測定した。実験に際しては、図5に示すようなマイコンによって数値が調整可能なインダクタンスとレジスタンスを有する電子回路基板を作成し、利用した。

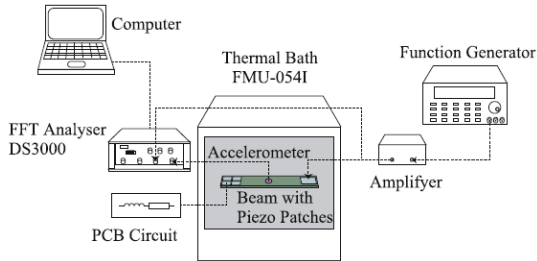


図3 多重動吸振器を貼付した梁の実験系

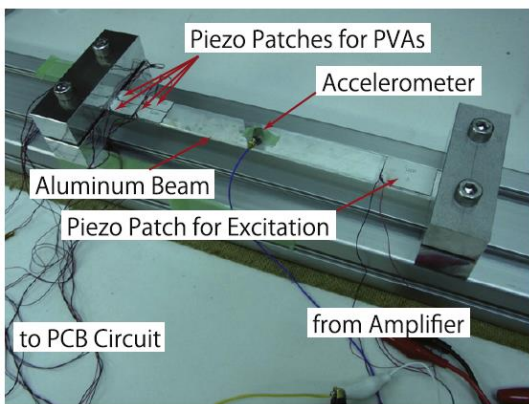


図4 圧電素子を貼付した梁

Microcontroller

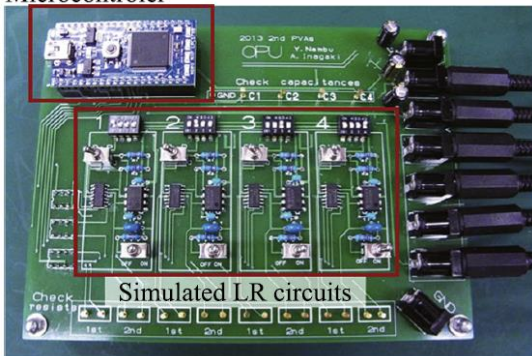


図5 マイコンで数値調整可能なLR回路

(2) 多重動吸振器を組み込んだトラス構造のモデル化と最適化設計

図6に示すようなトラス構造物を1次元部材によりモデル化した。得られた 62×62 の伝達関数マトリクスを用いて、安定度最大化、 H_2 ノルム最小化、 H_∞ ノルム最小化を規範とした最適化設計を行った。

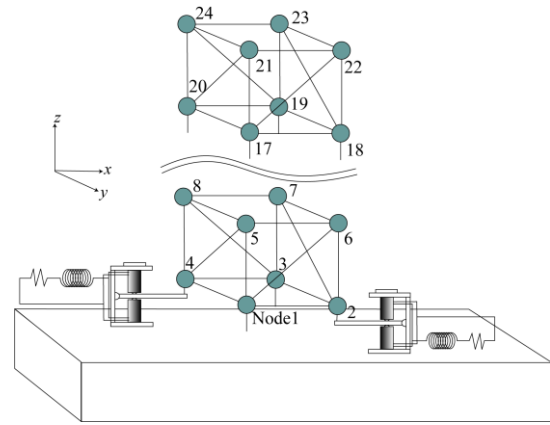


図6 5ベ이의トラス構造物の模式図

(3) トラス構造の振動制御実験

図7に示すようなトラス構造物を構築し、多重動吸振器による制振実験を行った。加振はコイルによって行い、圧電素子は変位拡大機構を介してトラス構造の根元に2か所設置されている。圧電素子は、梁の時と同様のマイコンで数値制御可能なLR回路に接続されている。1次の固有振動モード(曲げモード)について、過渡応答および周波数応答に対する制振効果の測定を行った。

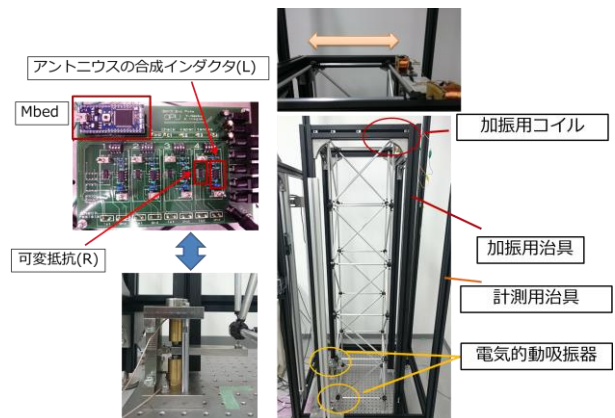


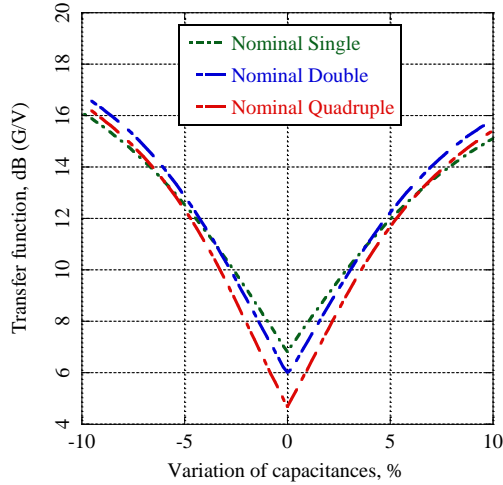
図7 多重動吸振器を組み込んだトラス構造

4. 研究成果

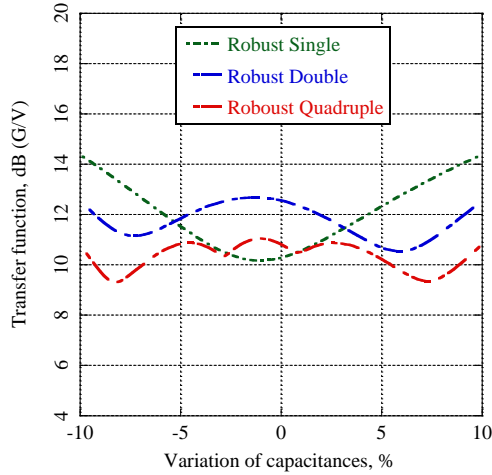
(1) 多重動吸振器を貼付した両端固定梁のロバスト最適化と振動制御実験

従来手法と提案手法によって最適化された動吸振器について、圧電素子の静電容量の変化に対する伝達関数の最大値の変化を図9に示す。圧電素子の静電容量は温度に依存するため、従来手法と比較し、提案手法は幅広い温度範囲において制振性能を維持できることが分かった。また、恒温槽を用いた実証試験の結果を図10に示す。実験における調整はロバスト最適化したものではないが、

シミュレーションと同様に、従来の動吸振器よりも広い温度範囲で制振性能を発揮できることがわかった。



(a) 従来の最適化手法



(b) 提案したロバスト最適化手法

図 8 温度変化に対する伝達関数の最大値の比較

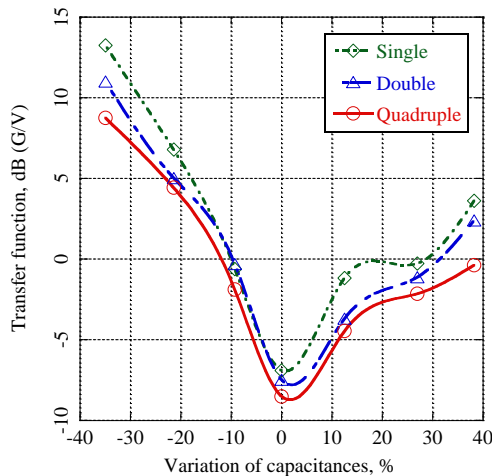


図 9 恒温槽内での制振効果実証実験結果

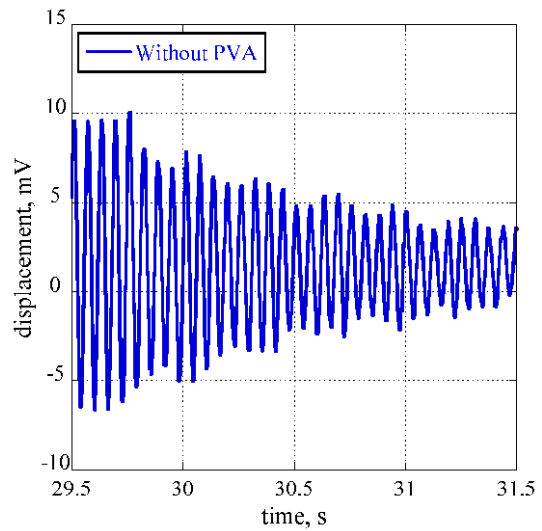
(2) 多重動吸振器を組み込んだトラス構造物のモデル化と最適化設計

有限要素法によってトラス構造のモード関

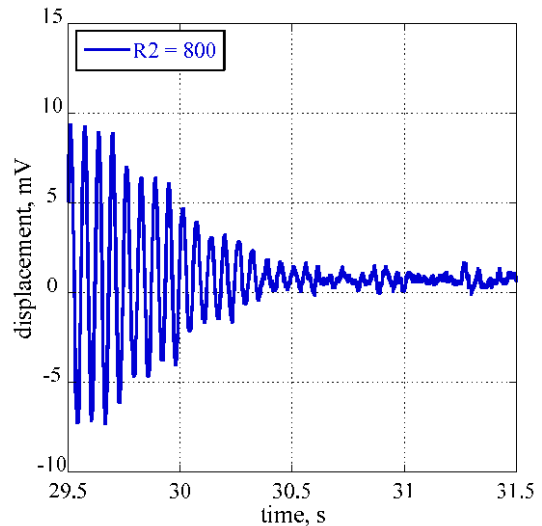
数を求め、モード展開した運動方程式を導出した。圧電素子の配置を対角に配置した場合と、片側に配置した場合とで、モード形状と固有振動数が大きく変化することが明らかになった。したがって、設置位置に関しては、他の変数とは同列に扱うことはせずに、目的に応じて選択した上で最適化を行うことが適切であることが分かった。

(3) トラス構造の振動制御実験

図 10 に電氣的多重動吸振器の有無による、トラス構造物の過渡応答の変化を示す。電氣的動吸振器が機能することによって、より早く振動が減衰することを確認した。



(a) 電氣動吸振器なし



(b) 電氣的動吸振器あり

図 10 トラス構造物の過渡応答実験

また、図 11 に電氣的多重動吸振器の有無による、トラス構造物の周波数応答の変化を示す。電氣的動吸振器が機能することによって、最大値が 3 dB 程度低減されることを確

認した。

以上により、電気的多重動吸振器がトラス構造のような複雑な振動モードを持つ構造の振動制御において有効であることが確認された。

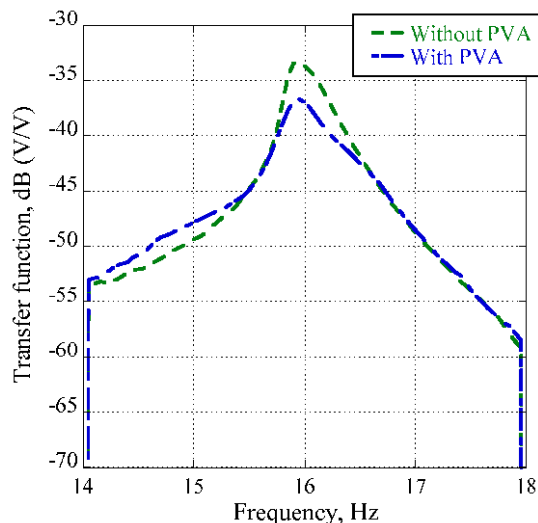


図 11 トラス構造物の周波数応答実験

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Yohsuke Nambu, Toshihide Takashima, Akiya Inagaki, Robust Design Method and Thermostatic Experiment for Multiple Piezoelectric Vibration Absorber System, Smart Materials and Structures, 査読有, Vol.25, 2015, 125016
DOI: 10.1088/0964-1726/24/12/125016/
- ② Yohsuke Nambu, Shota Yamamoto, Masakatsu Chiba, A smart dynamic vibration absorber for suppressing the vibration of a string supported by flexible beams, Smart Materials and Structures, 査読有, Vol.23, 2014, 025032
DOI: 10.1088/0964-1726/23/2/025032
- ③ 南部 陽介, 山元 翔太, 千葉 正克, 汎用マイコンモジュールによるスマート構造のセルフセンシング振動制御, 航空宇宙技術, 査読有, 12 巻, 2013, 65-72
DOI: 10.2322/astj.12.65

[学会発表] (計 4 件)

- ① Y. Nambu, T. Takashima, M. Chiba, Multiple-Piezoelectric Vibration Absorber System for Suppression of Vibration of Truss Structure under Random force Excitation, The 26th

International Conference on Adaptive Structures and Technologies, Kobe, Japan, 14th Oct. 2015.

- ② 高嶋俊秀, 南部 陽介, 千葉 正克, 電気的多重動吸振器によるトラス構造の衝撃低減, 3K15, 第 59 回宇宙科学技術連合講演会, かがしま県民交流センター (鹿児島県鹿児島市), 2015 年 10 月 9 日
- ③ Y. Nambu, T. Takashima, A. Inagaki, M. Chiba, Robustness of Multiple Piezoelectric Vibration Absorbers, The 25th International Conference on Adaptive Structures and Technologies, Hague, Netherlands, 7th Oct. 2014.
- ④ 高嶋 俊秀, 南部 陽介, 千葉 正克, 電気的多重動吸振器のロバスト最適化, 講演論文集, 3B09, 第 58 回宇宙科学技術連合講演会, 長崎ブリックホール (長崎県長崎市), 2014 年 11 月 14 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.aero.osakafu-u.ac.jp/as/nambu/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

南部 陽介 (Nambu Yohsuke)

大阪府立大学・工学研究科・助教

研究者番号: 50582392