

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 25 日現在

機関番号：24403

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22860051

研究課題名（和文） 動吸振器による張力安定化構造の振動制御

研究課題名（英文） Vibration Control of Tension Stabilized Structures
by Tuned Vibration Absorber

研究代表者

南部 陽介 (NAMBU YOHSUKE)

大阪府立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：50582392

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、弦や膜面などの張力安定化構造の振動を効果的かつロバストに抑制することである。特に、主構造の代わりに自らが振動することで制振効果を発揮する動吸振器に着目して研究を行った。主な成果としては、動吸振器のロバスト最適設計手法の確立と、マイコンを利用したセルフセンシング制振手法の確立が挙げられる。これにより、動吸振器の欠点である適応性の低さを克服することができ、張力安定化構造の制振を従来よりも効果的かつロバストに行えるようになった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to establish the efficient and robust method to suppress vibration of tension stabilized structures such as a cable or a membrane. We especially noted vibration absorbers that absorb vibration of a main structure by harnessing resonant phenomena. Our major results are to build a new robust optimization method and to realize a self-sensing vibration control method using a microcomputer. These results make the vibration absorbers overcome their drawback and establish the more efficient and more robust method to damp vibration of tension stabilized structures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011 年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,420,000	726,000	3,146,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：機械力学・制御，航空宇宙工学，構造工学

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。張力安定化構造は、軽量，高収納効率という点において優れており、これまでも広く利用されてきた。今後も、宇宙太陽光発電衛星，ソーラー

セイル、テザー衛星などへの適用が検討されており、その利用は益々進んでいくものと期待される。

張力安定化構造は、その大部分が弦や膜面で構成されている。すなわち、曲げ剛性がほとんどなく、その面外剛性は、張力による寄与が支配的である。また、線密度や面密度が非常に小さいという特徴をもつ。高度なミッションにおいては、高精度の姿勢制御や幾何形状の維持が求められるため、張力安定化構造を構成する弦や膜面の振動制御は極めて重要な課題である。しかし、弦や膜面の場合、線密度や面密度が非常に小さいことから、アクチュエータやセンサおよびプロセスを必要とする通常の能動的な振動制御を用いることは適さない。

弦の振動制御に関する初期の研究としては、動吸振器の原理を利用した受動的な制振方法がある。動吸振器の利点は、任意の場所に設置可能なこと、振動方向に減衰力を発生させるため微小振幅時でも制振効果が低下しないこと、比較的軽量で高い制振効果を得られることである。一方、モデル誤差や経年劣化による固有振動数の変化に対するロバスト性が低いという欠点をもつ。

能動的な制振手法としては、弦の張力を制御し、所謂剛性制御による制振を扱った研究がある。この手法であれば、境界付近にアクチュエータを設置すれば良いため、密度の問題を考慮する必要がなくなる。しかし、変位が小さくなるにつれて、制御力と振動方向が直交していくため、制振効果が著しく低下してしまう。その後も様々な制振手法が提案されたが、これまでの制振手法は一長一短であり、包括的に弦や膜面の振動を抑える手法は、いまだ発展途上にある。

2. 研究の目的

本研究では、高度な要求を有するミッションに対し張力安定化構造を適用するために、ロバスト性が高く、かつ微小振幅においても制振性能が低下しない革新的な制振手法を提案し、その実用性を数値計算と実験により示すことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、背景において述べた動吸振器の利点に着目し、その欠点を補うために、以下のふたつの手法を扱う。

- (1) 多重動吸振器による受動的な制振手法
- (2) 圧電素子を利用した動吸振器による適応的制振手法

これらの研究は独立ではなく、適応的動吸振器の研究には、受動的動吸振器の研究成果が必要である。具体的には、まず、非線形振動系に対する多重動吸振器の最適設計理論を確立することからはじめる。弦などの張力安定化構造では、非線形性が現れるため、励振力の振動数だけでなく、振幅によっても応答振幅が異なる。本研究では、こうした非線形性を加味した設計法を確立する。これは同時に、ロバスト最適設計理論を確立することにもなる。

さらに、制振効果を下げることなくロバスト性を向上させるため、圧電素子を利用した適応的動吸振器を開発する。従来、拘束型粘弾性層梁で作っていた動吸振器をスマート構造にすることで、動吸振器の性能向上を図る。

4. 研究成果

- (1) 新しいノルムを導入し、より安定な動吸振器の H_{∞} 最適化手法を確立した。周期的な励振を受ける主系の振動を広帯域で抑制するためには、伝達関数の H_{∞} ノルムを最小化する必要がある。主系が減衰のない1自由度系である場合を除いては、動吸振器の最適化は数値計算に頼らざるを得ない。しかし、 H_{∞} ノルムを目的関数に最適化問題を定式化した場合、その収束性は極めて悪く、数値的に解を得るのは容易ではない。この収束性の悪さは、動吸振器を付加した系の伝達関数のピークが近い周波数に複数存在し、最適化アルゴリズムを回している間に、 H_{∞} ノルムを与えるピークが飛び移ることに起因する。そこで、本研究では、すべてのピークの p 乗平均 p 乗根 (p は任意の自然数)により伝達関数のノルムを定義し、これを最適化問題の目的関数として、利用した。 p が十分に大きいとき、このノルムは H_{∞} ノルムへ収束する。これにより、他自由度系に対する多重動吸振器の最適設計を容易に行えるようになった。図1は、周期的な外乱を受ける弦に付加された動吸振器について、総質量一定の下、多重化 (m : 動吸振器の数)を行ったときの周波数応答を示したものである。6重動吸振器とした場合、単動吸振器よりも20%以上制振効果が向上することが分かった。

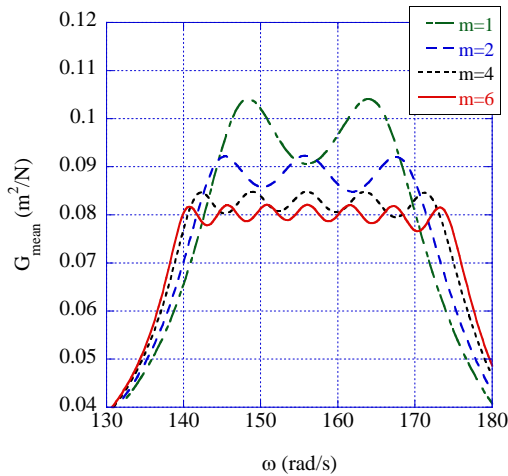


図 1 多重動吸振器を付加した弦の伝達関数

(2) 新たな H_{∞} 最適化手法を圧電素子のシャント回路に適用し、ロバスト最適設計を行った。本研究が提案したノルムは、その定義から明らかなように、複数の伝達関数の最大値の最小化を同時に行うことができる。したがって、主系のモデル誤差を加味した複数の系に対して、提案したノルムを適用し、それを目的関数とすることで、ロバスト最適化を行うことが可能である。図 2 と図 3 は、それぞれロバスト最適化を適用してない場合とした場合の電氣的動吸振器（圧電素子とシャント回路により構成）が付加された片持ち梁の周波数応答を示したものである。両者を比較すると、ロバスト最適化を適用すると、主系の固有振動数の変動に対して、制振性能がほとんど変化しなくなることが確認できる。

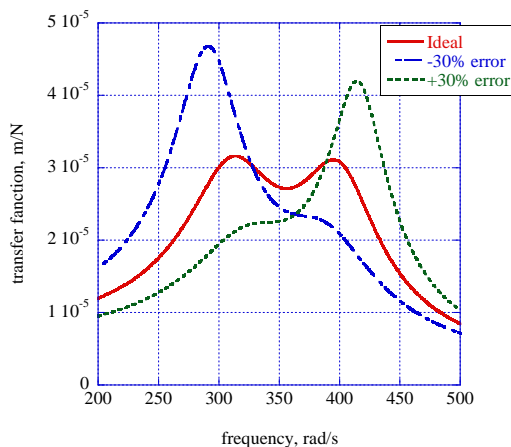


図 2 ロバスト設計を適用していない単動吸振器の性能劣化

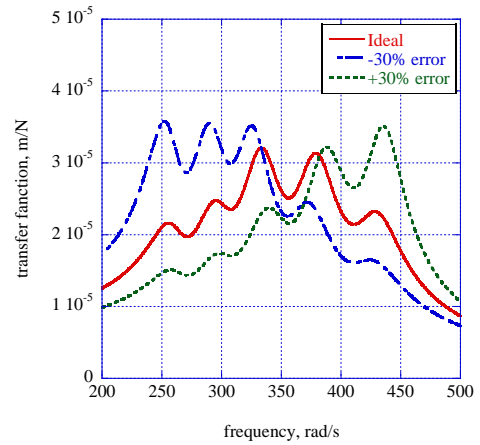


図 3 ロバスト設計を適用した多重動吸振器の性能劣化

(3) 圧電素子のシャント回路の多重化により制振効果を向上できることを数値シミュレーションと実験により示した。電氣的多重動吸振器の効果を片持ち梁において確認した。図 4 はシミュレーション結果であり、図 5 は実験結果である。実験では、シャント回路の性能が十分ではなく、制振効果の向上は確認できなかったが、多重化によって、周波数応答関数が平滑化されることを確認した。

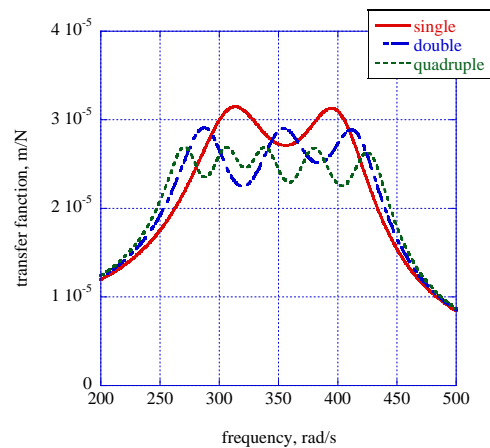


図 4 多重シャント回路と接続したスマート梁の伝達関数（シミュレーション）

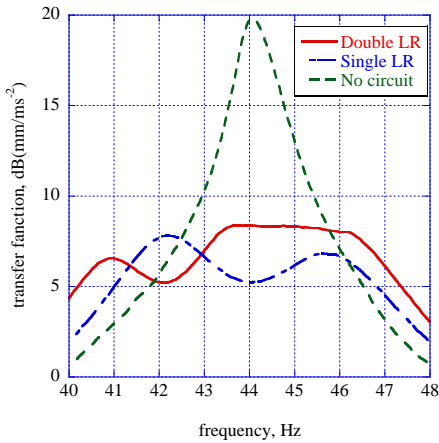


図 5 多重シャント回路と接続したスマート梁の伝達関数（実験結果）

(4) 動吸振器による柔軟な梁に支持された弦の振動制御の実験的研究を行った。より実践的な張力安定化構造として柔軟な梁に支持された弦を扱い、その固有振動モードを解析的に導出するとともに、動吸振器による振動制御が効果的であることを実験により示した。図 6 は実験装置、**エラー! 参照元が見つかりません。**は先端変位を比較したものである。動吸振器を付加した場合とそうでない場合とでは、減衰の速度が大きく異なることが確認できる。

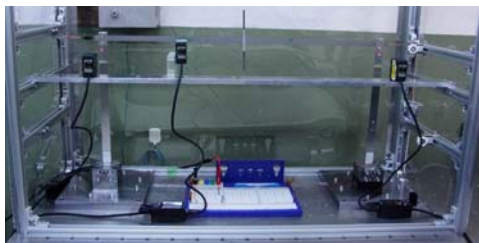


図 6 柔軟な梁で支持された張力安定化構造の制振実験装置

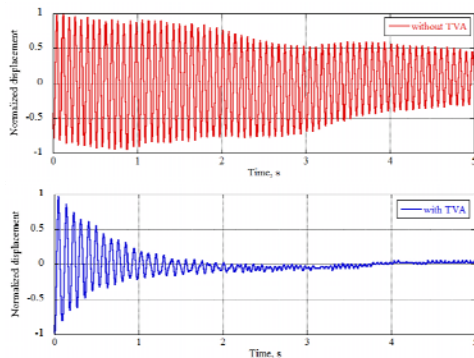


図 7 動吸振器の有無による張力安定化構造の自由減衰振動の比較

(5) MBED (ARM マイコン) を用いたセルフセンシング振動制御を提案した。試験片は、圧電素子を貼付したアルミ片持ち梁である。MBED は、比較的演算速度の速いマイコンであり、WEB 上のアプリケーションによって C 言語によりプログラムが可能である。従来のアクティブ振動制御はパソコンなどを利用した大掛かりなものであったが、MBED を用いれば、非常に小型に振動制御を行うことができる。スマート構造の宇宙利用において重要な役割を果たすと期待される。図 8 は、MBED と振動制御を行うための周辺回路である。図 9 は、試験片の変位の時刻歴である。はじめは制御を行っておらず、6 秒後あたりから制御を開始した。制御の開始と共に試験片の変位振幅が大きく下がっていることが分かる。

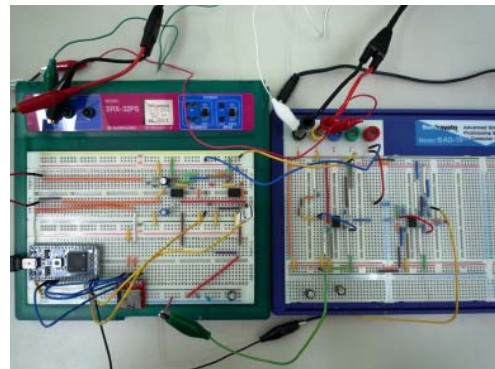


図 8 MBED と周辺回路

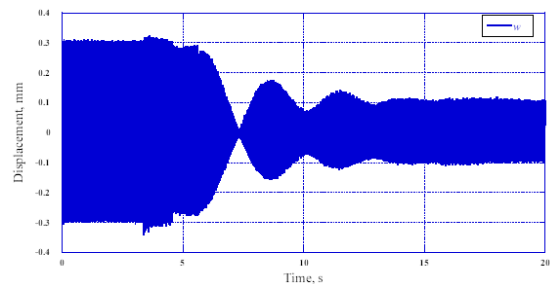


図 9 MBED による周波数応答の制振

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 1 件)

- ① Y. Nambu, J. Onoda New Optimization Method of Multiple Tuned Mass Dampers for Tension-Stabilized Structures, TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, 査読有, 8, 2010, C41-c47

[学会発表] (計 6 件)

- ① Y. Nambu, S. Yamamoto, M. Chiba, New optimization approach for multiple dynamic vibration absorbers, 63rd International Astronautical Congress, 2012 年 10 月 2 日, Naples, Italy
- ② S. Yamamoto, Y. Nambu, M. Chiba, Vibration control for membrane by smart dynamic vibration absorber, 63rd International Astronautical Congress, 2012 年 10 月 3 日, Naples, Italy
- ③ Y. Nambu, Optimal Tuned Vibration Absorber for Damping Liberation of Gravity Gradient Stabilized Satellite, 28th International Symposium on Space Technology and Science, 2011 年 6 月 9 日, 沖縄
- ④ 南部 陽介, 山元 翔太, 千葉 正克, 弾性梁で支持された弦の動吸振器による振動制御, 第 27 回宇宙構造・材料シンポジウム 2011 年 12 月 8 日, 相模原
- ⑤ 山元 翔太, 南部 陽介, 千葉 正克, 変断面の影響を考慮したスマート梁の状態量推定, 第 27 回宇宙構造・材料シンポジウム, 2011 年 12 月 8 日, 相模原
- ⑥ 南部 陽介, 動吸振器による重力傾度安定化衛星のライブラレーションダンピング, 第 26 回宇宙構造・材料シンポジウム, 2011 年 12 月 10 日, 相模原

[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://yonambu.web.fc2.com/index.html>

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

(2) 研究分担者

該当者なし

(3) 連携研究者

該当者なし