

機関番号：14301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760169

研究課題名（和文）

曲げ振動の低減に用いる圧電素子の性能向上に関する研究

研究課題名（英文）

Enhancement of efficiency of piezoelectric elements for bending vibration suppression of beams

研究代表者

山田 啓介（YAMADA KEISUKE）

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：80456798

研究成果の概要（和文）：はりや平板等に圧電素子を貼付し、それに回路等を接続して電氣的に曲げ振動を制御する手法が多数提案されているが、機械式の装置に比べていずれも制振性能が低い。そこで、圧電素子の効果を高める方法として、貼付対象と圧電素子の曲げ剛性を整合する手法を提案した。なお、スペーサを介して対象に圧電素子を貼付することで曲げ剛性の整合を行った。また、さらに効果を高める方法としてスペーサを長手方向に延長する方法と負剛性を付加する方法を提案し、電氣的に静電容量を調整する方法についても検討した。

研究成果の概要（英文）：A lot of vibration suppression methods using piezoelectric elements have been proposed thus far. Usually piezoelectric elements are bonded to beams or plates and coupled to electrical impedance. The performance of such methods is not so high and they are inferior to mechanical vibration suppression methods. In order to improve the efficiency of piezoelectric elements, a new attachment method based on mechanical impedance matching was proposed in this research. The impedance was matched by using spacers. More effective methods using extended spacers in longitudinal direction and negative stiffness were also proposed. The capacitance tunable circuit was also investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

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：振動制御、圧電素子、スマート構造、柔軟構造物、受動制振、アクチュエータ

## 1. 研究開始当初の背景

平板型の圧電素子をはりや平板等に貼り付け、その曲げ振動を低減する手法がこれまでに多数提案されている。圧電素子を用いた制振では、圧電素子に電子回路を接続したり、コントローラで制御電圧を加えて、受動的あるいは能動的に制振する。平板型の圧電素子

は機械式の制振装置に比べて小型化や軽量化に有利であるが、未だに広く利用されていない。最も致命的な問題は、電気系と機械系の変換係数である電気機械結合係数の値が小さいことである。圧電素子の数を増やしたり、振動モードの曲率が大きい位置に貼付したりすることで改善するが、それらを

前提としても機械式の制振装置に比べると制振性能が低い。能動制振では制御電圧の大きさを調整することで高い制振効果が得られるが、実際には安定性や消費電力の大きさが問題になる。これまでに提案された種々の制振手法が実用化されるためには、圧電素子の電気機械結合係数自体の向上が望まれる。

## 2. 研究の目的

圧電素子を能動制振に用いる場合には電気機械結合係数が、受動制振に用いる場合にはその二乗の項を含む等価剛性比が制振性能に影響する。これらの値が大きくなれば、これまでに提案された制振手法で十分な制振効果を得ることができる。そこで、本研究では等価剛性比と電気機械結合係数の向上を目的とする。本研究では、圧電素子の圧電定数等の値を改善することによって達成を目指すのではなく、既存の圧電素子の貼付方法を工夫することによって値の向上を目指す。また、上記のような機械的な手法だけでなく、静電容量調整回路を用いて電気的に見かけの等価剛性比を高める方法についても検討する。

## 3. 研究の方法

本研究では、圧電素子の等価剛性比と電気機械結合係数を向上させることを目的として、以下の手法を提案し、研究を行った。いずれの手法についても、理論的に効果を検討した上で数値計算と実験によって手法の有効性と理論解析の妥当性を確認した。

- (1)はりに圧電素子を直接貼付するのではなく、スペーサを介して設置する手法の検討
- (2)圧電素子の貼付に用いる接着剤が等価剛性比と電気機械結合係数に及ぼす影響の確認
- (3)圧電素子貼付範囲に負剛性を付加することで変形量を増やし、効果を高める手法
- (4)(1)のスペーサを長手方向に延長し、貼付範囲を広げる手法
- (5)圧電素子に静電容量調整回路を接続することで見かけの等価剛性比を高める手法

## 4. 研究成果

(1)はりに圧電素子を直接貼付するのではなく、スペーサを介して設置する手法の検討  
 一般に圧電素子をはりに貼付する場合は、図1(a)のように直接貼り付けるが、本研究では図1(b)のようにスペーサを介して設置する手法を提案した。この装置ではスペーサの高さを調整することで主に圧電素子の曲げ剛

性を変えることができる。対象と圧電素子の曲げ剛性がほぼ一致する時に等価剛性比と電気機械結合係数が最大となることを理論的に明らかにし、スペーサの最適な高さを求めた。図2に実験で求めたスペーサの高さと等価剛性比および電気機械結合係数の関係の一例を示す。実験結果からもスペーサに最適な高さが存在することが分かる。

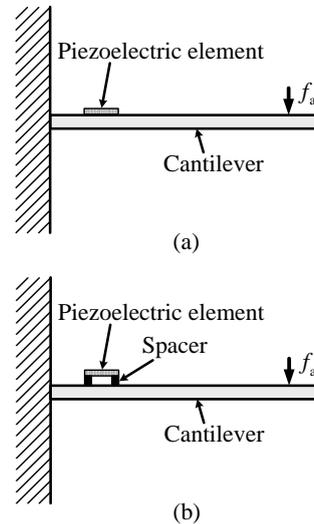


図1 二種類の圧電素子の貼付方法

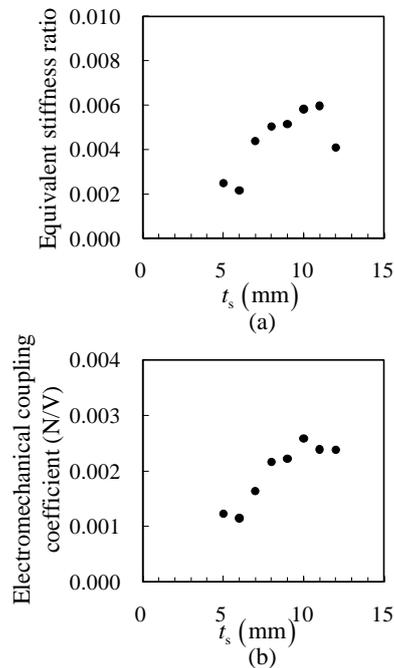


図2 実験で求めたスペーサ高さと同値剛性比および電気機械結合係数の関係

(2)圧電素子の貼付に用いる接着剤が等価剛性比と電気機械結合係数に及ぼす影響の確認

圧電素子を対象に直接貼付する場合は長

手方向と幅方向に、スペーサを介して設置する場合は長手方向のみに、接着剤によって圧電素子は拘束される。接着剛性が高いほど対象と圧電素子との力の伝達は大きくなる。逆に接着剛性が十分でないと、圧電素子と主系の間で力が伝達されない。等価剛性比や電気機械結合係数への接着剛性の影響を調べるため、接着剤の拘束を図3に示すようにばねでモデル化し、等価剛性比と電気機械結合係数に及ぼす影響を理論的に明らかにした。図4に数値計算の一例を示す。この結果より長手方向だけでなく、幅方向についても接着剛性は高い方が有利であることが分かる。

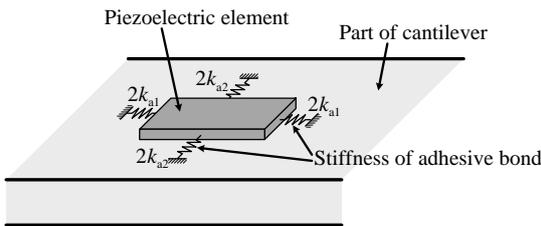


図3 圧電素子を拘束する接着剤の解析モデル

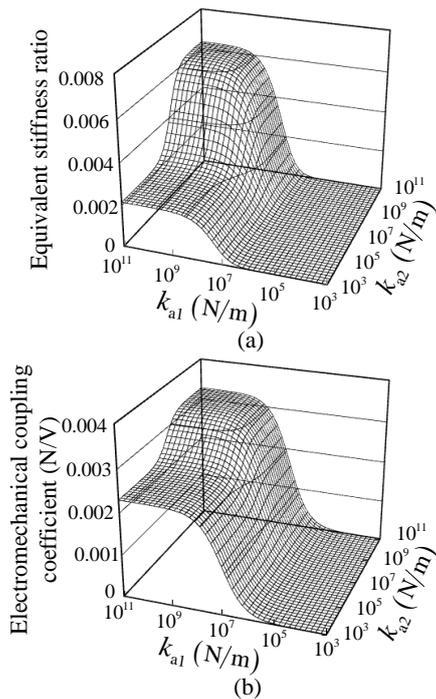


図4 接着剛性と等価剛性比および電気機械結合係数の関係の数値計算結果

(3) 圧電素子貼付範囲に負剛性を付加することで変形量を増やし、効果を高める手法

(1)で述べた手法は機械インピーダンスの整合に基づいた手法であると言えるが、(1)の方法では機械インピーダンスを高い方に整合することで最適化を行った。しかし、本来は低い方に整合する方が圧電素子の変形

量が大きくなるため効果は高い。そこで、負剛性を付加することでそれを達成する手法を提案した。図5に示すように、制振用圧電素子に制御電圧を加えることで制振と同時に負剛性の付加も行える装置を提案した。図6に実験で求めた負剛性の割合と等価剛性比の関係の一例を示す。負剛性の効果が確認できる。

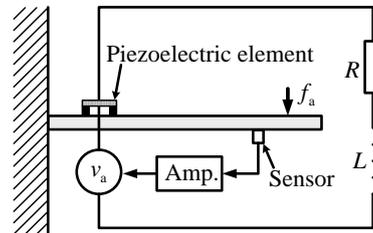


図5 負剛性を付加する手法の概略

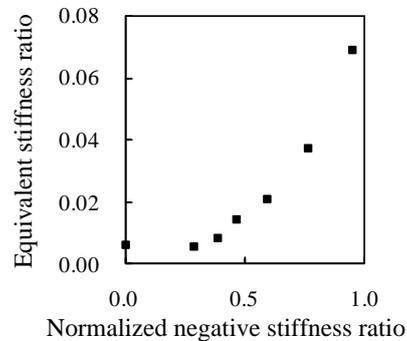


図6 負剛性を付加した場合の実験結果

(4)(1)のスペーサを長手方向に延長し、貼付範囲を広げる手法

(3)と同様に低い機械インピーダンスで整合する方法として、図7のようにスペーサを長手方向に延長する手法を提案した。長手方向への延長により設置範囲が長くなるため、はりが曲がりやすくなる。本手法では最適なスペーサの高さが低くなる利点もある。図8に実験で求めた長手方向への延長の割合と等価剛性比の関係の一例を示す。等価剛性比は取り付け範囲の長さにはほぼ比例し、圧電素子の長さには依存しないことが実験でも確認できた。

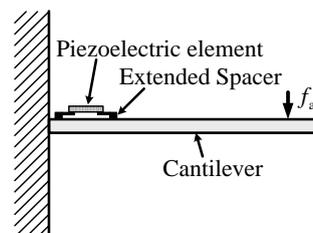


図7 長手方向に延長したスペーサを用いる手法

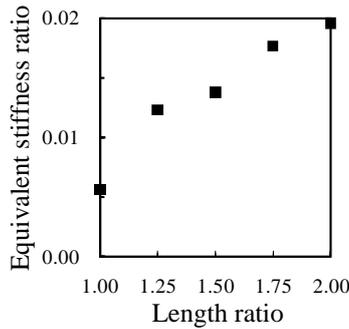


図8 延長したスペーサを用いた実験の結果

(5) 圧電素子に静電容量調整回路を接続することで見かけの等価剛性比を高める手法

等価剛性比の定義式には分母に圧電素子の静電容量が含まれる。静電容量を小さくすることができれば、等価剛性比は大きくなる。そこで、圧電素子の見かけの静電容量を調整する手法として、図9のような回路を提案した。図10に本手法とLR直列回路を用いて実験で求めたコンプライアンスの結果の一例を示す。本手法では回路内の増幅率 $\alpha_p$ によって等価剛性比の大きさを調整できる。

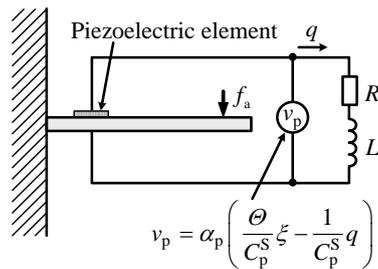


図9 静電容量調整回路を用いる手法

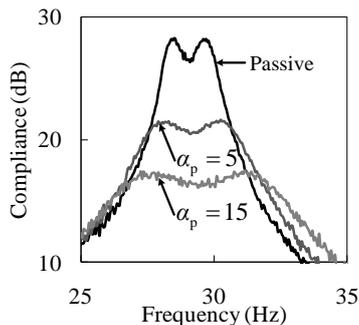


図10 コンプライアンスの実験結果

## 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 Keisuke Yamada, Hiroshi MATSUHISA, Hideo UTSUNO, and Katsutoshi Sawada, Optimum tuning of series and parallel LR circuits for passive vibration suppression

using piezoelectric elements, Journal of Sound and Vibration, Vol. 329, No. 24 (2010), pp. 5036-5057, 査読有

[学会発表] (計5件)

- ① 坂口太介, 山田啓介, 松久寛, 宇津野秀夫, 澤田勝利, 静電容量調整回路を用いて圧電素子の等価剛性比を向上させる手法, 日本機械学会関西支部第86期定時総会講演会, 2011年3月19日, 京都工芸繊維大学
- ② 坂口太介, 松久寛, 宇津野秀夫, 山田啓介, 澤田勝利, 圧電素子の制振性能を高める機械的・電気的な手法に関する研究, Dynamics and Design Conference 2010, 2010年9月14日, 同志社大学
- ③ Keisuke YAMADA, Hiroshi MATSUHISA, Hideo UTSUNO, Katsutoshi SAWADA, Yusuke MIURA, and Keiji YAMAGUCHI, Enhancement of Equivalent Stiffness Ratio of a Piezoelectric Element Attached to a Beam, The 10th International Conference on MOTION AND VIBRATION CONTROL, 2010.8.19, Tokyo.
- ④ 山田啓介, 三浦裕介, 松久寛, 宇津野秀夫, 澤田勝利, 山口恵司, 圧電素子の電気機械結合係数を向上させる貼付手法, 第8回評価・診断に関するシンポジウム, 2009年12月10日, 金沢工業大学
- ⑤ 山田啓介, 三浦裕介, 松久寛, 宇津野秀夫, 澤田勝利, 山口恵司, 圧電素子の電気的剛性を高める貼付手法の研究, Dynamics and Design Conference 2009, 2009年8月7日, 北海道大学

[その他]

ホームページ等

<http://vibration.jp/yamada/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 啓介 (YAMADA KEISUKE)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号: 80456798

(2) 研究分担者

なし

研究者番号:

(3) 連携研究者

なし

研究者番号: