

ノート

圧電セラミクスを用いた矩形平板のアクティブ振動制御

福田 良司^{*1)}

Active vibration control of rectangular plate using piezoelectric ceramics

Ryoji Fukuda^{*1)}

キーワード: アクティブ振動制御, 圧電セラミクス, スピルオーバー

Keywords: Active vibration control, Piezoelectric ceramics, Spillover

1. はじめに

構造物にアクティブ制御を講じる際には、センサ、アクチュエータ、コントローラが必要である事は改めて述べるまでもないが、スピルオーバー問題を回避する事も、アクティブ制御を講じる上で、重要な考え方である。このスピルオーバー現象を招いてしまうと、いかに高等な制御系を構築しても、制御効果を得る事ができないか、制御を講じた事によって状況を悪化させてしまう事がある。これは振動制御において、逆加振を招く事になり、最悪の場合、対象構造物にダメージを与えてしまう恐れがある。したがって、スピルオーバー問題は制御系設計の際に回避しておきたい問題であるが、物理的に避けられない事もある。例えば、加速度ピックアップに起因する観測スピルオーバーがある。振動計測においてもっとも一般的なセンサであるが、センサの設置位置によって、観測スピルオーバーが生じる。なお、スピルオーバーには観測スピルオーバー、制御スピルオーバーなどの種類があるが、本研究で対象とするのは制御スピルオーバーである。

本研究では、分布定数系アクチュエータを用いて、不可制御モードの発現を防ぐ立場から、スピルオーバーを回避する手法を提案する。はじめに、アクチュエータの形状について、先の論文で提案している、スマート・クラスタ・センサ⁽¹⁾を用い、アクチュエータとの間に相反性が成り立つとの仮定のもとに、形状関数を提案する。次いで、提案した形状関数によってシェーピングされたアクチュエータが、不可制御モードの発現を防ぐ事ができる事を示す。最後に、振動制御系のアクチュエータとしての性能を検証するため、クラスタ制御系を構築し、提案する新たなアクチュエータによる振動制御効果を実証する。

2. 分布定数系アクチュエータ

振動モードのノードラインの影響を受けずに、構造物の振動情報を検出するセンサとして、スマート・クラスタ・センサを提案した⁽¹⁾。本研究では、制御のアクチュエーション

ンにおいて、センサと同様に、振動モードのノードラインの影響を受けずに、制御力を確実に講じる事ができるアクチュエータを提案する。先のクラスタ制御における研究において、クラスタフィルタリングとクラスタアクチュエーションの間には相反性がある事が報告されている⁽²⁾。これは集中定数系のセンサ、アクチュエータにおける議論であったが、分布定数系のセンサ、アクチュエータにおいても同様に相反性がある事が考えられる。そこで、センサと同様の形状を有するアクチュエータを具現化すれば、アクチュエータ上をノードラインが通過しても、当該モードを励起する事が可能なアクチュエータを実現できる。

まず、形状関数 $\psi(\mathbf{r})$ によってシェーピングされた2次元分布定数系アクチュエータが貼付された平板において、当該アクチュエータによる平板の振動方程式は次式の様に記述できる。

$$D\nabla^2\nabla^2w(\mathbf{r},t) + \rho h\ddot{w}(\mathbf{r},t) = -ke(t)\left(d_{31}\frac{\partial^2\psi(\mathbf{r})}{\partial^2x} + d_{32}\frac{\partial^2\psi(\mathbf{r})}{\partial^2y}\right) \dots\dots\dots (1)$$

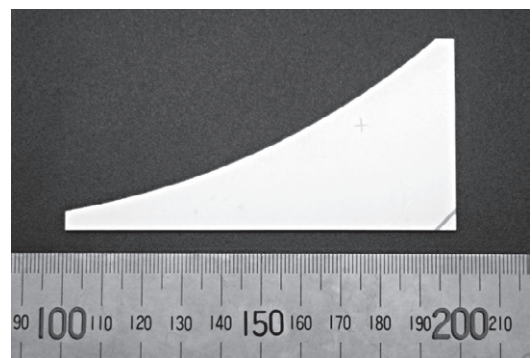


図1. 2次関数に従ってシェーピングした圧電セラミクス

事業名 平成21,22,23年度 科研費若手 (B)
*1) 機械技術グループ

ここで、 D は平板の曲げ剛性、 ∇ は微分演算子、 ρ は平板の密度、 κ は圧電材料の厚さに関する定数、 e は入力電圧、 d_{31} 及び d_{32} は圧電材料の圧電定数をそれぞれ表す。本研究では、2次元分布定数系アクチュエータの形状関数を、先の研究成果から2次関数とし、図1に示す様な圧電セラミクスを作成した。

3. 矩形平板の振動制御

2章で提案したアクチュエータを用いて、矩形平板(0.628 m × 0.4 m, 板厚0.0016 m)の振動制御実験を行う。本研究では、制御スプルーオーバー問題を解決するために、圧電セラミクスのアクチュエータを採用しているが、集中定数系のアクチュエータでは対処できない振動モードの例として、図2に平板の(1, 3)モードと(2, 3)モードの振動形状を示す。これらは、いずれもスキヤニングレーザ振動計により計測したものである。本実験では、図2に示すモードのノードライン上にアクチュエータを貼付し、制御力が得られる事を実証する。なお、本アクチュエータを用いて(1, 3)モード、(2, 3)モードが励振できる事を実験により確認したが、紙面の都合上、実験結果は省略する。

次に、振動制御実験による制御効果を図3に示す。はじめに、本制御系で制御対象となるのは13個存在するモードのうち、奇数/奇数クラスタに属する5つのモードである。これを踏まえたうえで図3をみると、5つのピークに制御効果が表れている事がわかる。たとえば、48 Hzの(1, 1)モードは、制御を講じた事により10 dBの低減効果が得られている。同様に308 Hzの(3, 1)モードは15 dBの低減など、5つの奇数/奇数モードに制御効果が表れている。なお、アクチュエータ上をノードラインが通過する(1, 3)モードについては、(2, 1)モードが近接しているため、制御効果がわかりにくい、10 dBの低減効果が得られている。この結果から、振動モードのノードラインがアクチュエータ内を通過しても、当該モードを十分に抑制できる事が実証された。更に、制御対象とするモードのみに制御力を講じ、他のモードには影響を与えないという、クラスタ制御の特徴も、本実験結果から明らかになった。

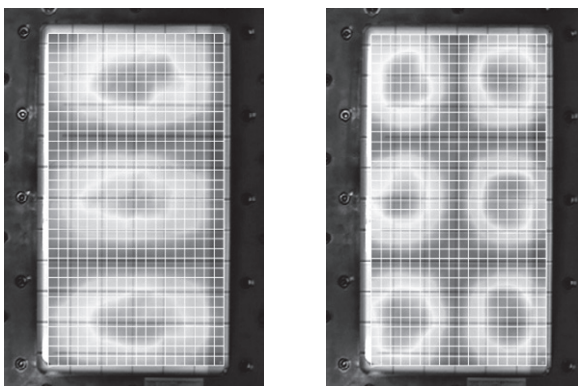


図2. 平板の振動形状 [左](1, 3)モード [右](2, 3)モード

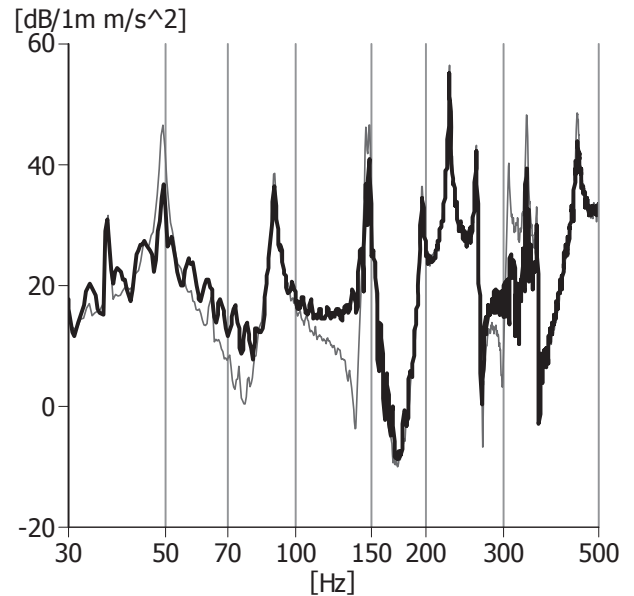


図3. 矩形平板の振動制御実験結果
——: 制御なし ———: 制御あり

4. まとめ

本研究では、ポイントアクチュエータに起因する制御スプルーオーバー問題の回避を指向し、圧電セラミクスを用いた分布定数系のアクチュエータについて提案し、その効果について検証した。はじめに、先の研究で提案したスマート・クラスタ・センサをベースに、センサ形状を提案した。最後に、制御系としての効果を確認するため、クラスタ制御系を構築した。本研究では、アクチュエーションのみクラスタ制御とし、センシングは平板の加速度をダイレクトにセンシングする、いわばセミクラスタ制御系を構築した。実験の結果、振動モードのノードラインが分布定数系のアクチュエータ上を通過しても、制御対象の振動モードのピークを十分に抑制する事が可能な事を実証した。

最後に、本研究は平成21~23年度科学研究費補助金若手研究(B)によって行われたものである事を記し、ここに感謝の意を表す。

(平成25年7月19日受付, 平成25年8月15日再受付)

文 献

- (1) 福田良司, 田中信雄: 「矩形平板における一般化スマート・クラスタフィルタリングとスマート・クラスタ制御について」, 日本機械学会論文集C編, Vol.68, No.667, pp.825-832 (2002)
- (2) 田中信雄, 菊島義弘: 「分布定数系構造物の振動制御に関する研究: クラスタ制御の提案」, 日本機械学会論文集C編, Vol.64, No.619, pp.780-787 (1998)