

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 21 日現在

機関番号： 10101
研究種目： 若手研究(B)
研究期間： 2010 ～ 2011
課題番号： 22760164
研究課題名（和文） コンポジット圧電素子による局所異方性振動モード制御

研究課題名（英文） Design of vibration mode shape for composite piezoelectric material by using local anisotropy

研究代表者
本田 真也 (Honda Shinya)
北海道大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号： 90548190

研究成果の概要（和文）：

軽量・高剛性の先端複合材料である，炭素繊維強化積層複合材の新機能創出のため，曲線状繊維や部分強化などの従来とは異なる複合材構造を提案し，構造内部に局所的な異方性を実現した．本研究では，曲線形状や強化材配置を最適に設計することで，構造の振動モード形状を任意に制御した．また，以上の技術を応用することで MEMS 機器などを想定したスマート複合材の振動制御最適化技術を開発した．これらにより振動モード形状を考慮した振動現象の効率的な利用，または効果的な抑制が可能である．

研究成果の概要（英文）：

The present study generated a new function of carbon fiber reinforced laminated materials, known as advanced composite materials with high specific stiffness and strength. New structures of composite materials with curvilinear reinforcement fibers and variable-thicknesses were proposed in this study, and this structure realized local anisotropy in different positions of structures. Optimum placements of local anisotropy induced by optimum curvilinear fiber shape and distributed thickness resulted in controlling shapes of vibration mode arbitrary. The technique was applied to design optimum smart composite structures to enhance the performances of vibration suppression. From above, it is concluded that the present technique enables effective usage or suppression of vibration by considering the shape of vibration mode.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：複合材料，振動制御，最適設計，異方性構造

1. 研究開始当初の背景

MEMS などの超小型機器では、振動モード形状が重要な意味を持つ。従来の機器では部材寸法に対して振幅は非常に小さく、そのモード形状は機器を設計する上で重要ではなかった。しかしながら、近年ではマイクロポンプやマイクロセンサなど、共振を積極的に利用し、共振による部材の大変形を駆動力として用いた超小型機器が開発されている。

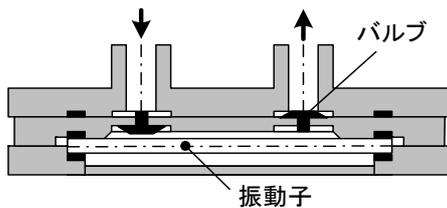


図1 マイクロポンプの概念図

例えば、図1に示したマイクロポンプでは、圧電振動子の共振を利用して作動流体の駆動を行っている。構造物の振幅を駆動力として利用した場合、設計上の駆動領域である低周波領域において流体抵抗による影響を大きく受け、駆動効率が低下することが報告されている[1]。そのような現象を回避し、より効率のよい MEMS 機器を開発する手法の一つとして、振動モード形状制御があげられる。

ポンプと同様、流体を駆動するエンジンの燃焼室形状は流体の吸入・排出を効率よく行うために最適に設計されている。一方、マイクロポンプのような微小機器では物理的なスペースが限られているため、流体の作動領域(ポンプ室形状)を設計することは困難である。そのため、駆動体である圧電振動子自身の振動モード形状を制御することで、作動領域の形状を最適に設計し高効率化を図る。

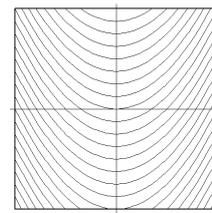
以上のように、これまで注目されていなかった振動モードの形状も微小機器の性能を決める重要な要素となり得る。マイクロポンプをはじめ、MEMS に関する研究は国内外で広く行われており、その寸法効果を考慮したマイクロフィジクスの研究が盛んに行われている。微小構造物の振動に関しても多数の研究報告があるが[2]、振動モード形状制御に関する研究はこれまで行われていない

- [1]. Isaka H. et al., Proceedings of D&D 2009, CD-ROM, No.262
- [2]. 例えば, Renaud M. et al., Sensors and Actuators A, 145-146, (2008), 380-386

2. 研究の目的

先に述べた通り、MEMS などの超小型機器では部材の共振を駆動力として利用した機器が多く開発されている。また、MEMS 機器の振動制御に関しては、スマート構造化が有力な解決手法であり、効率的な振動制御を行うためには、アクチュエータやセンサ配置と同様にモード形状も重要である。以上のように、振動モード形状も機器の性能を決定する上で重要な要素の一つであり、任意の振動モード形状を設計することで効率的な機器の開発につながる。

本研究では、例えば図2に示した曲線状の強化繊維を有する複合材のように、部材に局所的な異方性を実現することで、任意の歪んだ振動モード形状を制御する新たな手法を開発する。またモード形状を考慮したスマート構造の設計手法を提案する。



二次関数状の強化繊維を有する板

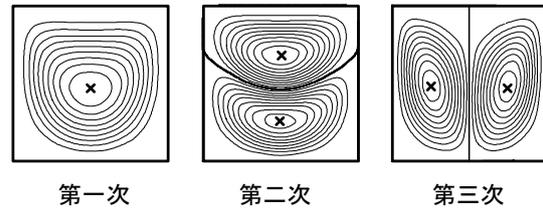


図2 曲線状繊維によって強化された板の振動モード(全周固定)

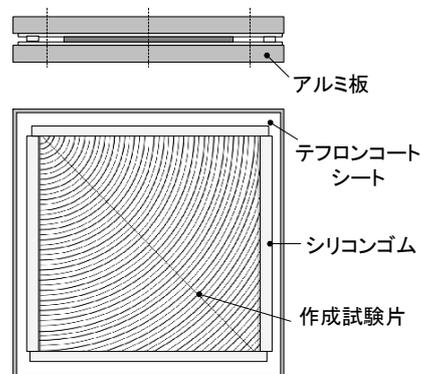


図3 試験片作成方法(同心円状の例)

3. 研究の方法

(1) スチールワイヤーによる試験片の作成

局所異方性構造を簡易に実現する工夫として、スチールワイヤーおよびエポキシ樹脂により試験片を作成する。スチールワイヤーは塑性変形させることで、その形状を保つことができるため、実験室レベルでも容易に曲線繊維材が作成可能である。作成方法は図3に示す通りであり、電気炉内で樹脂を硬化させる。作成した試験片に対して、実験モード解析を行う。得られた実験結果と解析結果を比較し、実験モデルおよび数値モデルの妥当性を検証する。

(2) 任意モードの制御手法の開発

設計者が指定した通りのモード形状を有する繊維形状の設計技術を開発する。曲線形状は三次元曲面の等高線を平面に射影することで表現する(図4)。解析手法は独自に開発した FEM コードを利用し、最適化手法としては、遺伝的アルゴリズム(GA)を採用する。また、繊維形状の曲率(生産性)と機械的特性にはトレードオフの関係があるため、非優劣ソート遺伝的アルゴリズム(NSGA-II)を用いて、曲率および機械的特性に関する多目的最適化を行う。

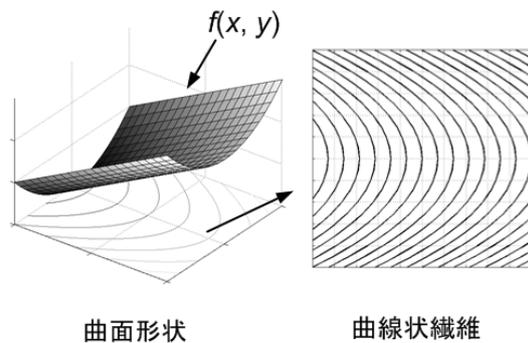


図4 曲線形状の表現方法

(3) モード形状を考慮したスマート複合材の設計手法の開発

本研究で開発するマイクロ・スマート複合材の統合最適化手法の手順を図5に示す。複合材の繊維配向角度を設計変数として含めることで、振動モード形状の最適化も同時に行える。また、最適化過程で FEM を繰り返し行うことは計算時間が膨大になるため得策ではない。そのため、予めモーダルパラメータのデータベースを作成し、最適化計算中では FEM を繰り返さない工夫を行う。

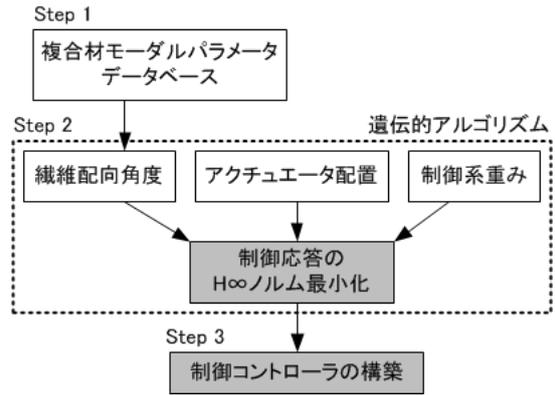


図5 統合最適化手順

4. 研究成果

(1) スチールワイヤーによる試験片の作成

図6に作成した試験片と数値計算により得られた第一次から第三次まで振動モード形状を示す。両者ともよく一致した形状を示しており、また、均質な異方性構造では得られない独自の歪んだモード形状が現れていることがわかった。振動数に関しても実験と数値計算の結果で許容範囲内に収まっていたため、本研究で提案した計算手法の妥当性が確認できた。

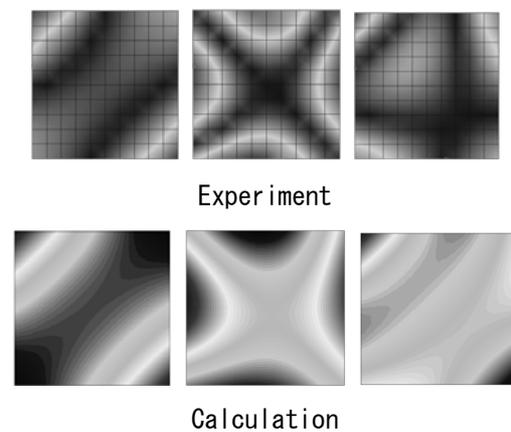


図6 実験結果と計算結果

(2) 任意モードの制御手法の開発

図7に多目的最適化により得られた、二つの目的関数に関して非優越な個体集合である、パレート解集合を示す。非対称な境界条件を有する正方形板に関する結果であり、縦軸が曲率、横軸が無次元化した振動数を示している。また、図8には図7中で示した代表的な個体の繊維形状を示す。

(a)は直線状の繊維形状を示しており、(b)、(c)に向かうにつれて、徐々に曲率が大きくなっていることがわかる。以上により本手法によって得られたパレート解は、直線状の繊維形状から大曲率形状まで広範囲に分布したパレート解を算出できていることがわかった。

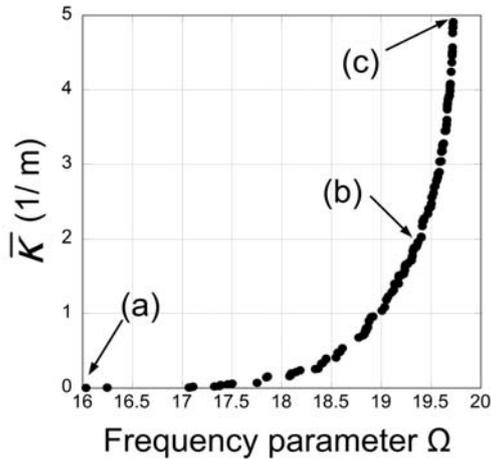


図7 振動数と曲率に関するパレート解

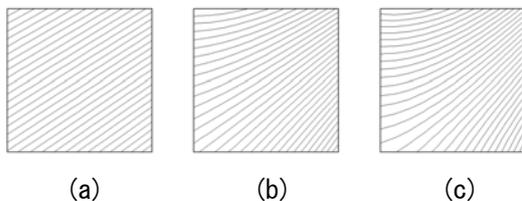


図8 代表的な繊維形状

(3) モード形状を考慮したスマート複合材の設計手法の開発

図9に統合最適化によって得られた結果より作成したスマート複合材を示す。また、実際に制御実験を行った結果を図10に示す。得られた結果は数値計算結果ともよく一致しており、また、他の代表的な積層構成や圧電素子配置を有するスマート複合材よりも優れた振動制御性能を有することがわかった。

(4) まとめ

- ① 曲線状繊維形状設計による、異方性最適配置を実現することで任意の歪んだモード形状の設計が可能である。
- ② 繊維曲率と機械的特性にはトレードオフの関係があり、提案最適化手法により広範囲に分布したパレート解を算出できる。また、目的関数を所望のモード形状との差とすることで、任意の振動モード形状設計が可能となる。

③ 振動モード形状とアクチュエータを同時に最適化することで、より優れた振動制御性能が得られ、曲線状繊維などの局所異方性構造と組み合わせることで、今後、優れた特性を有するMEMS構造の設計が可能となる。

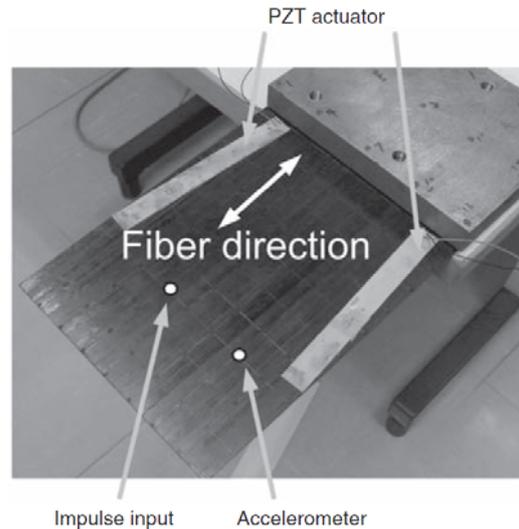


図9 最適スマート複合材

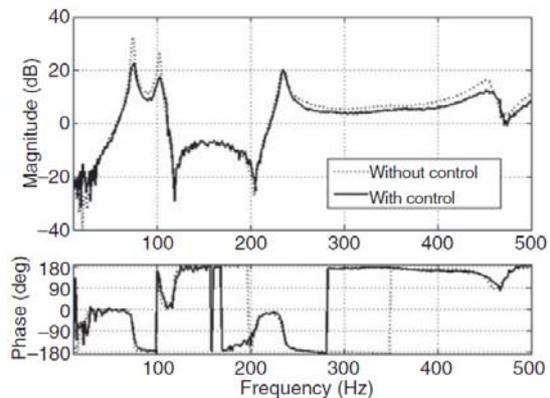


図10 振動制御実験結果

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8件)

① Shinya Honda and Yoshihiro Narita, Natural Frequencies and Vibration Modes of Laminated Composite Plates Reinforced with Arbitrary Curvilinear Fiber Shape Paths, Journal of Sound & Vibration, Vol. 331 (2012) pp. 180-191. 査読有

② Shinya Honda, Takeru Kato, Yoshihiro Narita, and Daisuke Narita, Multidisciplinary Design

Optimization of Surface Shapes and Lay-up Configurations for Laminated Composite, Journal of System Design and Dynamics, JSME, Vol.5, No.8 (2011), pp.1662-1673. 査読有

③ Shinya Honda, Itsuro Kajiwara, and Yoshihiro Narita, Multidisciplinary Design Optimization for Vibration Control of Smart Laminated Composite Structures, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 22, No. 13, (2011), pp. 1419-1430. 査読有

④ 本田 真也, 加藤 大翔, 成田 吉弘, 成田 大祐, 繊維強化複合材シエルの曲面形状と積層構成の統合最適化, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 77, No. 777 (2011), pp. 1793-1802. 査読有

⑤ Shinya Honda and Yoshihiro Narita, Vibration Design of Laminated Fibrous Composite Plates with Local Anisotropy Induced by Short Fibers and Curvilinear Fibers, Composite Structures, Vol. 93 (2011), pp. 902-910. 査読有

⑥ 本田 真也, 大渡 康介, 成田 吉弘, 曲線状繊維によって強化された複合材積層板の応力集中最小化, 日本機械学会集(A編), Vol. 76, No. 769 (2010), pp. 1139-1146. 査読有

⑦ 上甲 康之, 本田 真也, 成田 吉弘, 実験計画法を用いた複合材料構造の多目的最適化, 日本機械学会集(C編), Vol. 76, No. 765 (2010), pp. 1062-1067. 査読有

⑧ 本田 真也, 大西 良昌, 成田 吉弘, 曲線状繊維によって強化された複合材積層板の座屈解析, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 76, No. 765 (2010), pp. 1056-1061.

[学会発表] (計 19 件)

① Shinya HONDA, Vibration Testing Method of Smart Micro-Composite with Laser Excitation, The 14th Asia-Pacific Vibration Conference (APVC14), 2011.12.6, HongKong Polytech University, HongKong

② 本田 真也, レーザー加振を用いたスマートマイクロ複合材の振動制御性の評価, 日本複合材料学会, 第 36 回複合材料シンポジウム講演論文集, 2011.10.21, 仙台, フォレスト仙台, 仙台市, 宮城県

③ 湯上 訓平, 翅脈構造を有する CF/AI ハイブリッド複合材の振動特性評価, 日本機械学会, 北海道支部第 50 回講演会, 2011. 10. 1, 旭川高専, 旭川市, 北海道

④ 本田 真也, 繊維強化複合材により局所的に強化された板の振動数最大化, 日本機械学会, Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 2011.9.8, 高知工科大学, 香美市, 高知県

⑤ 五十嵐 輝樹, 曲線状繊維によって強化された複合材の多目的最適化, Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 2011.9.6, 高知工科大学, 香美市, 高知県

⑥ 小坂 互, 積層パラメータを用いたスマート複合材の統合最適設計, 日本機械学会, Dynamics and Design Conference 2011 (D&D2011), 2011.9.5, 高知工科大学, 香美市, 高知県

⑦ Shinya HONDA, DESIGN OF SMART COMPOSITE FOR VIBRATION SUPPRESSION USING LAMINATION PARAMETERS, The 18th International Conference on Composite Material (ICCM18), 2011.8.23, ICC Jeju, Jeju, Korea

⑧ Shinya HONDA, Study on Vibration Design of Laminated Fibrous Composite Plates Reinforced by Short Fibers and Curvilinear Fibers, 8th International Symposium on Vibration of Continuous Systems (ISVCS8), 2011.7.20, Delta Whistler Village Suites, Whistler, British Columbia, Canada

⑨ 本田 真也, 曲線状繊維強化複合材の振動・曲率に関する多目的最適設計, 日本機械学会 第 12 回「運動と振動の制御」シンポジウム (MOVIC2011), 2011.6.30, メルパルク長野, 長野市, 長野県

⑩ Shinya HONDA, MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION FOR FIBROUS COMPOSITE REINFORCED BY CURVILINEAR FIBERS, 9th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO-9), 2011.6.13, グランシップ静岡, 静岡市, 静岡県

⑪ 本田 真也, 振動制御を目的とした複合材積層板のスマート化に関する最適設計, 日本機械学会 第 9 回最適化シンポジウム (OPTIS2010), 2010.12.10, 愛知県産業労働センター ウィンクあいち, 名古屋市, 愛知県

⑫ Shinya Honda, Optimization of Fibrous Composite Plates for In-Plane Strength Using Curvilinear Fibers, The 7th Asian-Australasian Conference on Composite Material, 2010.11.18,

Taipei Int'l Convention Center (TICC), Taipei,
Taiwan

⑬ 本田 真也, 積層複合材のスマート化による振動制御を目的とした統合最適化, 第 53 回自動制御連合講演会, 2010.11.6, 高知城ホール, 高知市, 高知県

⑭ 本田 真也, スマート複合材料の振動制御に関する統合最適化, 第 14 回「スマート構造システムの将来技術と実用化に関する研究会」(招待講演), 2010.11.2, 芝浦工業大学, 豊洲, 東京都

⑮ Shinya Honda, Multidisciplinary design optimization of actuator arrangements, lay-up configurations and control systems for smart laminated composite structures, ASME 2010 Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems(SMASIS 2010), 2010.9.29, Double tree hotel, Philadelphia, USA

⑯ 本田 真也, スマート複合材料の振動制御に関する統合最適化, 日本機械学会 第 23 回計算力学講演会(CMD2010), 2010.9.25, 北見工業大学, 北見市, 北海道

⑰ 本田 真也, 繊維強化複合材シェルの曲面形状と積層構成の同時最適化, 日本機械学会 D&D2010, 2010.9.16, 同志社大学, 京田辺市, 京都府

⑱ 湯上 訓平, 曲線状強化繊維を有する複合材モデルの最適化と実験モード解析, 日本機械学会 D&D2010, 2010.9.16, 同志社大学, 京田辺市, 京都府

⑲ Shinya Honda, Static design for the fibrous composite plates reinforced by curvilinearly shaped fibers, European Conference on Composite Materials (ECCM-14), 2010.6.10, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Hungary

[その他]

研究代表者所属の研究室ホームページ
http://labs.eng.hokudai.ac.jp/lab/intelligent_design/

6. 研究組織

(1)研究代表者

本田 真也 (HONDA SHINYA)
北海道大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 90548190

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

成田 吉弘 (NARITA YOSHIHIRO)
北海道大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 00137407

梶原 逸朗 (KAJIWARA ITSURO)
北海道大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 60224416