

【補助事業概要の広報資料】

補助事業番号 27-168
補助事業名 平成27年度 超磁歪材料を用いた連続体の受動制御システムの構築
補助事業
補助事業者名 秋田大学 工学資源学部 機械工学科 准教授 菅原 佳城

1 研究の概要

梁や膜などの連続体とも呼ばれる柔軟構造物に対して超磁歪材料(変形を与えると透磁率が変化する材料)を用いて電源やコンピュータの必要のない受動的な振動制御系を提案する。また提案する制御系の基礎検討のために、対象の定式化を行いさらにその結果を用いて数値解析による検証やパラメータの最適化を行い、基礎実験によってその有効性を確認する。

2 研究の目的と背景

古くから機械システムの振動は機械そのものの目的とする機能に影響を与えるため、そのような振動を抑制することが試みられてきている。様々な機械システムの振動を簡単かつ低消費エネルギーで抑制できる方法として受動制振システムについて様々な研究が古くから行われてきているが、その代表的なものとして圧電素子を用いたものがある。しかしながら、圧電素子を用いた受動制振システムでは、それを実現するための補助回路のパラメータが非現実的なものとなる場合もあり、実用化には至っていない。

近年の製造技術の発展により超磁歪材料の性能が向上しており、入手性も良くなっている。超磁歪材料は圧電素子と同様にスマート材料と呼ばれ、センサやアクチュエータとして様々な機能を持つシステムに組み込める可能性がある上に、受動制振システムの構成要素としての機能も備えている。また、圧電素子に比べて超磁歪材料は様々な性能において優れた値を示すものが製造され始めている。そこで、本研究では圧電素子に変わる素子として超磁歪材料を用いて実用的に応用可能な受動制振システムの構築を目指す。

3 研究内容

(1) 提案手法に対するシステムの定式化

本研究では制振対象の柔軟構造物である連続体として図1に示すように片持ち梁を仮定し、それに対して振動抑制をすることができる超磁歪材料を用いた制振ユニットを接続することを提案した。制振ユニットは図2に示すように、超磁歪材料、バネ、スパーサー、コイル、永久磁石から構成されている。

ここで、連続体(柔軟構造物)に対してはモード合成法を用い、制振ユニットへの連続体の変形による応力の伝わり方を考慮することで、次のような基礎方程式を得ることができた。

$$(M_b + M_m)\ddot{\xi}_i(t)^2 + \frac{RL_m}{R^2 + R_c^2 + (\omega L_m)^2} \frac{K_m d^2}{\mu_T s^H} \dot{\xi}_i(t) + (K_b + K_i)\xi_i(t) - \frac{1}{2}\Theta_i H = F \quad (1)$$

ただし、 ξ_i は第 i 次モード座標、 M_b, M_m はそれぞれ柔軟梁、磁歪材料に関するモード質量、 K_b, K_i はそれぞれ柔軟梁、磁歪材料に関するモード剛性、 R, R_c はそれぞれ外部インピーダンスおよびコイルの抵抗値、 L_i はコイルのインダクタンス、 μ_T は磁歪材料の透磁率、 s^H は磁歪材料の弾性コンプライアンス、 d は磁気定数、 H は磁界の強さ、 F は外力、 Θ_i は結合係数、 ω は角振動数である。

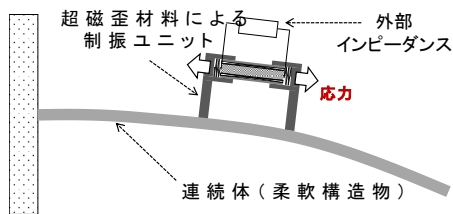


図1 制振対象と制振ユニット

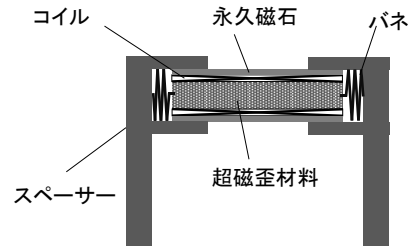


図2 制振ユニット

(2) 提案手法における最適化と数値解析

提案手法の制御性能向上のために、超磁歪材料に接続する外部インピーダンスの値とコイルの線径に着目して最適化を行い、得られた結果に対して数値解析を行った。その際の周波数応答の一例(対象は柔軟梁でパラメータについては略)を図3に示す。この数値解析では、小さな内部粘性減衰を仮定し、モデルに組み込んでいる。図3より明らかなように、制御有かつ最適化無(緑)の場合は制御無(赤)に比べて制振が行われているものの大きな改善とまでは言い難い。しかしながら、制御有かつ最適化有(青)の場合は非常に有効に制振が行われており、最適化の有効性を示すことができた。

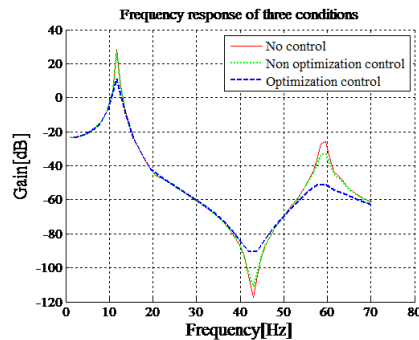


図3 周波数応答の比較 (赤：制御無，緑：制御有&最適化無，青：制御有&最適化有)

4 本研究が実社会にどう活かされるか一展望

連続体に対する受動制振手法は従来の研究ではその多くが圧電素子を用いたものであった。しかしながら、圧電素子では最適化パラメータの実現についていくつかの課題が残っており、まだ研究の余地が多く残っている。一方、本研究で取り扱った超磁歪材料は圧電素子に比べて機械電気結合係数が大きいことや電圧あたりの変形が大きいことから、圧電

素子にくらべてより高い性能の制振効果を実現できる可能性がある。また、受動制振時に発生する電圧そのものが圧電素子に比べて非常に低い電圧であるため、真空中での使用にも適していると考えられる。そのような特性から、宇宙空間で使用されるような大規模宇宙構造物の受動制振系として提案手法を応用できる可能性が高く、より実用的な受動制振システムを実現できると考えられる。また、超磁歪材料は圧電素子に類似した性質や基礎方程式を持つことから、これまで研究がされてきた圧電素子を用いた研究の代替として超磁歪材料を用いることができ、様々な研究課題へと展開できる可能性がある。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は事業者がこれまでに専門としてきた柔軟構造物の定式化・数値解析・制御に強いかかわるものであり、新たに超磁歪材料という磁気に関する知識を必要とするものであった。修士学生および学部学生と共同で本事業を進めることになったが、磁気の影響を考慮するために、定式化における極めて基本的な部分に深く入り込む必要があり、事業者のみならず学生が専門とする機械力学関連の学問を改めて深く知る機会となった。

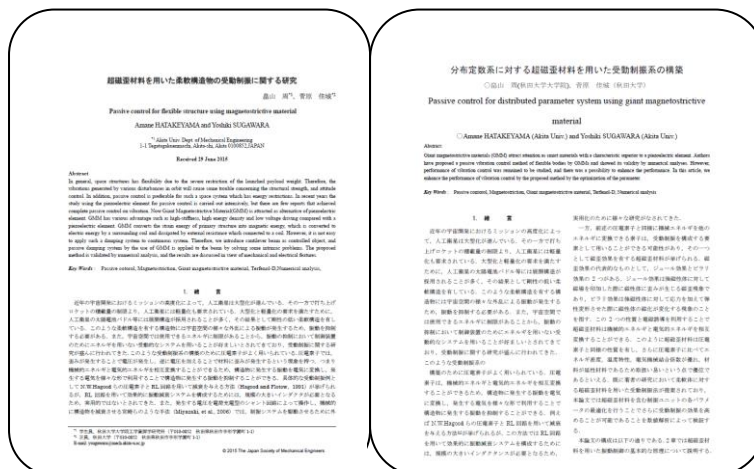
6 本研究にかかわる知財・発表論文等 (学会発表)

- ① 畠山周, 菅原佳城, 分布定数系に対する超磁歪材料を用いた受動制振系の構築, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (2015年12月)
- ② 畠山周, 菅原佳城, 超磁歪材料を用いた柔軟構造物の受動制振に関する研究, 日本機械学会 機械力学・計測制御部門Dynamics and Design Conference 2015 (2015年8月)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

学会において発表した内容の論文集へ収録されたもの



左: 「6 本研究にかかわる知財・発表論文等」の②に該当

右: 「6 本研究にかかわる知財・発表論文等」の①に該当

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 青山学院大学（アオヤマガクインダイガク）

住 所： 〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1

申 請 者： 准教授 菅原 佳城（スガワラ ヨシキ）

担 当 部 署： 理工学部（リコウガクブ）

E-mail： sugawara@me.aoyama.ac.jp

URL： <http://www.me.aoyama.ac.jp/~sugawara/>