

補助事業番号 2020M-131  
補助事業名 2020年度 ゼロエネルギーで振動を自律制御するスマート制振構造の開発に  
関する 補助事業  
補助事業者名 金沢大学 理工研究域 フロンティア工学系 ダイナミックデザイン研究室  
浅沼 春彦

## 1 研究の概要

モータや油圧ダンパなどを用いた従来の制振技術と比較して、圧電スマート制振構造物は軽量且つ省スペースで、更に、高価な制御装置、センサ、外部電源を一切使用せずに構造物に生じる振動を抑制する新規の制振技術である。未だ萌芽的段階にあり、実用化に向けた課題は、性能予測や構造設計の際に必要なとされる解析手法を確立する事、より広い振動周波数帯域に渡って振動を抑制できる構造の検討である。本事業では、これら技術課題の解決に取り組み、圧電スマート制振構造物の実用化に必要な基礎技術の確立を目指す。

## 2 研究の目的と背景

自動車や電車などの車両に生じる機械振動は車体の制御を困難にし、人間に不快感をもたらす。工場の生産機械やインフラ設備に生じる機械振動は、生産効率の低下や機械の老朽化を早める原因になる。これら不要な機械振動を抑制する優れた技術として、モータや油圧ダンパをアクチュエータに用いたアクティブ制振法が広く用いられる。この技術は、センサを用いて構造物の変位や加速度の情報を読み取り、高速信号制御機器を用いて適切なタイミングでアクチュエータを作動させて機械振動を抑制する。高い制振性能が得られるが、作動タイミングの制御に高価な制御機器が必要で、更にアクチュエータ自身の重量、体積、大きな消費電力が使用用途によって課題である。

一方、圧電素子を用いた制振技術は、圧倒的に軽量且つ省スペースで、精密な振動制御を得意とし、適用可能な周波数帯域が広いという利点を持つ。これらの利点から、特に平板形状の構造物の制振に優れ、防振マウントや遮音パネルへの応用、車体の振動低減、飛行機や宇宙構造物の翼体の制振が検討されている。更に、センサ、外部電源、信号制御機器を一切使用せずに高い制振性能が得られる圧電スマート制振技術が開発された。この技術は、圧電素子が発生するエネルギーの一部を消費して自律駆動する電子回路が、センサと信号制御機器の役目を果たす。したがって、圧電素子と自律駆動制振回路を揃えれば気軽に構造の振動を抑制できる。

しかしながら、圧電スマート制振技術は構造、圧電材、自律駆動制振回路の3つの物理特性が複雑に交わり最終的な制振性能が決定されるため、その構造設計や性能予測は容易ではない。現在、線形の圧電方程式を基にした機械-電気解析モデルが開発され幅広く利用されているが、解析値と実験値で大幅な乖離が生じていた。また、応用先によっては多数の振動モードの振動抑制が求められ、それに適した構造が模索されていた。本事業では、構造設計や性能予測を可能にする新規の連成解析モデルの開発、多数の振動モードを抑制する構造の検討に取り組む。

### 3 研究内容

#### ゼロエネルギーで振動を自律制御するスマート制振構造の開発

<https://sites.google.com/view/smart-mat-struct-reports>

##### (1) 圧電スマート制振構造物の性能予測技術の開発

図1に評価素子と自律駆動する制振回路、提案の解析手順、実験値(丸)と解析値(実線)の比較を示す。実験と解析では、変位、圧電電圧、共振周波数の加振加速度依存性を評価した。初めに、変位の実験データから分かるように、この回路を接続するだけで変位を約80%低減する事が出来る。従来の解析手法と比較して新規の解析手順はより多くの計算ステップが必要になるが、これらは一度開発できれば自動的に処理が可能である。メーカーから提供される材料データから予測が難しい物理パラメータを決定する方法として、ハーモニックバランス法と非線形最適化を併用する手法を開発した。自律駆動する制振回路(発表論文(1)参照)は4つのトランジスタから構成され、この回路と非線形項を含む機械構造系を連成解析する事は容易ではない。提案の解析手法を用いる事で、初めて解析が実験を再現することが出来た。

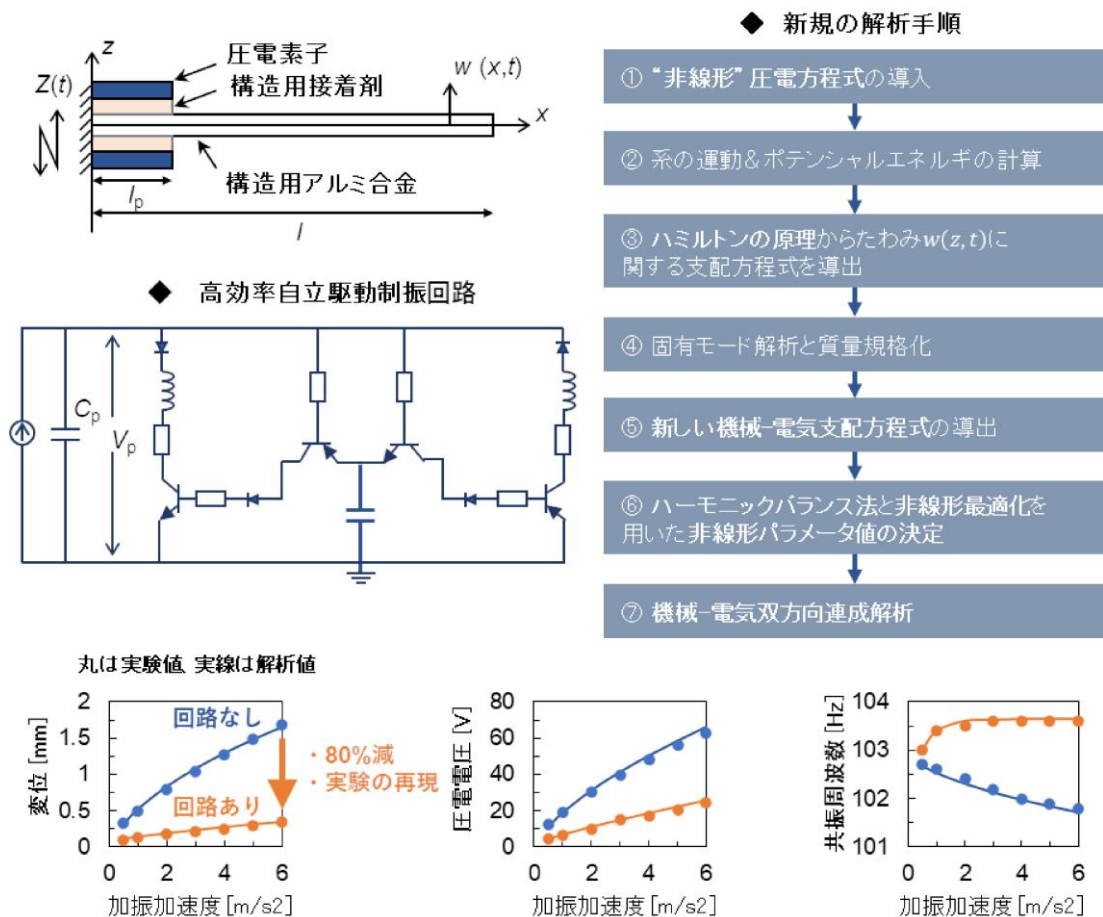


図1 評価素子と回路、解析手順、および実験値と解析値の比較

(2) 圧電スマート制振技術とメタ構造を用いた多数の振動モードの抑制

メタ構造は、振動子を周期的に構造に設置してバンドギャップ(振動遮蔽周波数帯)を形成し、構造に生じる振動を劇的に低減する。一方で、振動子を付与する副作用で不要な振動モードを新たに生み出す。圧電スマート制振技術でこの振動モードを抑制することで、より広い周波数帯域で安全に使用可能なメタ構造が実現可能である。

図2に、片持ち梁と両持ち梁の圧電素子付きメタ構造と振動伝達率の周波数特性を示す。振動子が無い場合、バンドギャップの周波数領域で共振が起きて構造が破損する。それを防ぐようにメタ構造をデザインする。導入コストを考慮して圧電素子は端部のごく一部に存在する。制振回路は図1と同じである。振動伝達率の周波数特性が示すように、圧電スマート制振技術を融合することで、1次と2次の振動モードでは約80%、3次では約40%の振動低減を実証した。

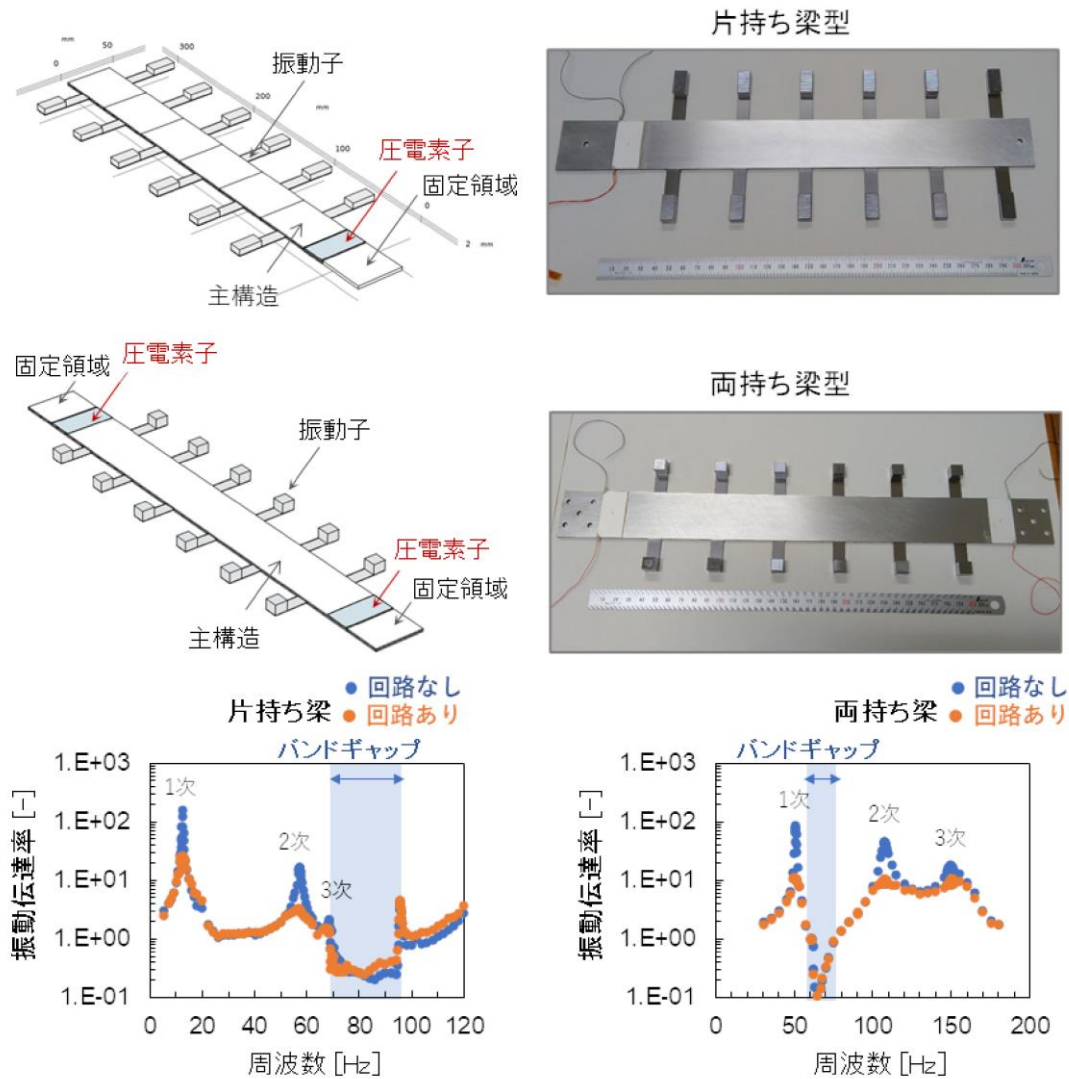


図2 片持ち梁および両持ち梁型メタ構造と振動伝達率の周波数特性の対数プロット

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

性能予測技術が開発された事により、圧電スマート制振構造物の性能予測や構造設計が容易になった。また、圧電スマート制振技術とメタ構造を融合した新たな技術によって、より広い周波数帯域で安全に使用可能な構造が実現できると思われる。本事業で得られた基礎的な研究成果を基に、車両の防振マウントや遮音パネル、ヘリコプタのブレードや飛行体の翼の制振、切削ツールのびびり振動の抑制などへの応用を検討していく。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

担当者は材料物性学、半導体/MEMSプロセス、機械工学、電子回路の研究分野に携わり、近年は圧電素子を用いたスマートデバイスの開発に従事してきた。特に、圧電型の振動発電で非線形回路と振動発電素子の複雑な機械-電気特性を解析する手法を考案し、本事業の複雑な解析に発展することが出来た。今後は本事業で得られた基礎的な成果を活用し、圧電スマート制振構造の実用化や構造を伝播する波動の解析と制御の研究に取り組む。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) Haruhiko Asanuma, "Selecting nonlinear piezoelectricity for fully autonomous self-sensing synchronized switch damping on inductor technique," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 159C (2021) 107846. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2021.107846>

#### 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

事業の成果報告書(PDF形式)

<https://sites.google.com/view/smart-mat-struct-reports>

- (2) (1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

#### 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 金沢大学 フロンティア工学系(カナザワダイガク フロンティアコウガクケイ)

住 所: 〒920-1192

石川県金沢市角間町 金沢大学 自然科学3号館 3A616

担 当 者: 助教 浅沼 春彦(アサヌマ ハルヒコ)

担 当 部 署: フロンティア工学系(フロンティアコウガクケイ)

E - m a i l: [h-asanuma@se.kanazawa-u.ac.jp](mailto:h-asanuma@se.kanazawa-u.ac.jp)

U R L: <https://ridb.kanazawa-u.ac.jp/public/detail.php?id=4405>