

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 榎原 幹十朗

修士（工学）榎原 幹十朗 提出の論文は「**Energy-recycling Semi-active Vibration Suppression of Space Structures**（宇宙構造物のエネルギー回生型準能動的制振に関する研究）」と題し、本文6章及び付録2項から成っている。

宇宙構造物の振動は様々なミッションの障害になるため、その制振は宇宙構造工学上の重要な課題である。従来、構造物に制御力を積極的に与える能動的制振と、構造減衰や摩擦などの減衰力を利用する受動的制振が主として研究されてきたが、これに加えて構造物の受動的制振能力が極力大きくなるよう系を制御するいわゆる準能動的制振も一部で研究されてきた。準能動的制振は受動的メカニズムにより振動エネルギーを散逸させるので、外部からのエネルギー供給を必要としない上、能動的制御とは異なり、たとえ不適切な制御が行われても系を不安定化することが無い点が大きな利点である。しかしその制振能力は、受動的制振には勝るものの、一般に能動的制振には及ばない。そこで準能動的制振の制振性能を更に高める手法が望まれている。

このような現状に鑑み、本論文では、準能動制振の高い安定性やエネルギー供給不要の長所は保持しつつ、その制振性能を高める手法の実現を目的としている。制振とは振動する構造物から振動エネルギーを奪うことに他ならないが、本論文では、奪ったエネルギーを有効に活用して更に効率的な制振を実現するエネルギー回生型準能動的制振を、構造物中の圧電トランスデューサに接続した受動的電気回路内のスイッチを巧みに開閉又は切り替えることにより実現している。複数の圧電トランスデューサを有する構造物の多モード制振にも対応できる制御則を提案し、その高い制振性能を数値計算や実験により確認している。

第1章は前書きであり、本研究の背景を述べ、関連する研究を紹介しながら、本研究の目的と意義を明確にしている。

第2章では圧電トランスデューサの数学モデルを構築するとともに、本論文で使用する圧電トランスデューサについて数種の実験を実施し、数学モデルに現れる係数の値を決定している。

第3章では圧電トランスデューサを持つ一自由度構造系を例として用い、本論文で提案する制振手法の基本的事項について述べている。まず、能動制御理論から得られる制御量を参照して圧電トランスデューサに結合した受動的電気回路内のスイッチを切り替えるとする制御戦略が述べられている。次に、後の比較のために、エネルギーの回生及び有効利用を意図せずに本戦略を適用する場合の回路と制御則を導出している。続いて、回路にインダクタンスを導入する

ことにより、圧電素子内に蓄えられた電気エネルギーを効率的制振に有効活用できることを示すとともに、そのためのエネルギー回生型準能動的制振の制御則を提案している。更に、これらの制振手法の実施を容易とするために、電気回路にダイオードを導入する等の工夫により、これらの制御則を更に簡略化している。

第4章では圧電トランスデューサを持つトラス構造物の運動方程式を定式化し、第3章で提案したエネルギー回生型準能動的制振手法の性能を数値シミュレーションにより吟味している。先ず、自由振動をするトラスの制振シミュレーションにより、エネルギーを回生しない準能動的制振や最適に調節された受動制振に比べ、はるかに高い制振性能が得られること、及び、複数の圧電トランスデューサを有するトラス構造物の多モード振動を効率良く制振できることを示している。更に、正弦波加振やランダム波加振を受ける構造物の制振についても吟味し、同様に本エネルギー回生型準能動的制振が高い性能を持つことを確認している。

第5章では、第3章で提案したエネルギー回生型準能動的制振が、現実の構造物に対して有効であることを実験により確認している。実験には、第4章と同様の圧電トランスデューサを持つトラス構造を用いている。先ず、単一モードの制振実験を行い、本手法が意図したとおりに機能すること、及び、エネルギーを回生しない準能動型制振に比べ、はるかに高い制振効果が得られることを示している。更に、圧電トランスデューサを用いた準能動的制振ではこれまで実現されていなかった多モード制振が可能である事を実証している。また、制振実験結果と数値計算結果の間の差異の原因を詳細に調査した結果、圧電トランスデューサは等価抵抗を有し、しかもその値が電圧印加履歴に依存することを見出し、このことが制振性能に有意に影響を及ぼすことを指摘している。

第6章は、結論であり、本研究で得られた成果を総括している。

以上を要するに、本論文は、高性能で、多モード制振にも柔軟に適用できるエネルギー回生型準能動的制振手法を新たに提案するとともに、数値シミュレーションと実験によってその有効性を示したものであり、宇宙構造物の制振技術、航空宇宙工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。