

氏 名	しん たに あつ ひこ 新 谷 篤 彦
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 145 号
学位授与の日付	平成 9 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	Studies on Stabilization, Active Control and Parameter Identification of a Class of Flexible Structures
審 査 委 員	(主査) 教 授 大 住 晃 教 授 山 本 鎮 男 教 授 森 武 宏

論文内容の要旨

本論文は柔軟構造物の振動抑制問題を研究の対象とし、その構造物の数学モデルの構築から制御システムの設計、さらに数学モデル中に含まれる物理パラメータの同定について論じたものである。特に本論文では、柔軟構造物の境界にアクチュエータを設置して制御を行うというアイデアのもとに制御理論の側面から研究を進めている。

柔軟構造物の制御問題は、これまで主として多質点系モデルを用いて論じられていたが、柔軟構造物は本来無限の自由度をもつ分布定数システム（無限次元システム）であり、多質点モデルで考察するには不十分である。本申請者は新しくその数学モデルを分布定数システムによって記述し、より厳密なモデルのもとで議論を展開している。

本論文は 8 章により構成されている。

第 1 章では、研究の背景および過去の研究を述べ、研究の意義を確認している。

第 2 章では、本論文で研究の対象となる動的アクチュエータを有する柔軟構造物の数学モデルをハミルトン原理に基づいて導出している。制御対象となる柔軟構造物は、その先端に動的アクチュエータを取付けた片持ち梁と単純化し、動的アクチュエータはティップ・マス（tip mass）と呼ばれる外枠質量、ブルーフ・マス（proof mass）と呼ばれる内部質量の二つのマスとダッシュポット、バネ、制御器とからなる。アクチュエータの機構を具体的に与えていることから、本論文で得られた数学モデルは実用上有効なモデルとなっている。制御器に外部からエネルギーを加えることにより、ブルーフ・マスを振動させ、その反力をティップ・マスを介してはりに伝え、はりの振動を相殺しはり全体の振動を抑える仕組みである。運動方程式を導出するに際して、はりの力学的エネルギーに加え、アクチュエータ部のエネルギーをも含めることによりダイナミクスを得ている。その運動方程式は、はり部分についてはオイラー・ベルヌーイ型の偏微分方程式、アクチュエータ部分については 2 階線形常微分方程式で与えられ、これらは境界条件を通して連立した形で考察の対象となる構造物のダイナミクスを記述している。この点が従来の（アクチュエータを考慮しない）モデルとは大きく異なる点である。

第 3 章では、第 2 章で得られた数学モデルをもとに、初期外乱を受ける柔軟構造物を動的アクチュエータを用いてその状態量をフィードバックすることによって安定化させるためのフィードバックゲインの満たすべき数学的十分条件を導出している。

第 4 章では、初期外乱を受けるシステムに対する最適制御問題を考察している。この問題においては、柔軟構造物への制御入力偏微分方程式の境界条件として入力されることから、数学的には非同次境界条

件を持つ（同次）偏微分方程式を取扱わなければならない。そこで本研究では、この非同次境界条件を同次境界条件に変換する境界同次化法を確立し、この方法により得られた同次境界条件をもつ非同次偏微分方程式のモデルを固有関数展開により有限次元近似モデルに低次元化して最適制御システムを構成する方法を確立している。さらに、動的アクチュエータの2つのマスの比率が制御性能に大きく影響を与えることから、その最適なマス比を求めている。

第5章では、不規則な（分布および集中）持続外乱と初期外乱を受ける構造物の動的アクチュエータの状態量のフィードバックによる安定化問題を考察している。不規則外乱として正規性白色雑音を仮定していることから、システムの状態量はすべて確率過程として取扱わなければならない、第3章の議論で用いられた数学モデルを確率微分方程式によって記述し直すことによって状態フィードバック安定化問題が考察されている。

第6章では、不規則な持続外乱と初期外乱を受ける構造物の最適制御問題を考察しているが、これは第4章の確定制御問題の結果を確率的制御問題へ拡張する形となっている。ここでも、第4章で確立した境界同次化法が重要な役割を果たしている。

一般に数学モデル中の物理パラメータは直接測定不能であるものが多い。長さ、密度等のパラメータはその形状が決まれば容易に予め計算で求められる量であるが、減衰係数は振動データにより初めて計算され得るパラメータである。第7章では、取得された振動データからこのような未知物理パラメータを同定する問題、すなわち一種の逆問題に対する同定アルゴリズムの確立を目的としている。問題を単純化するため、第2章で求めた数学モデルを単純化した片持ち梁を考察の対象とし、振動データ履歴から減衰係数と曲げ剛性を同時に求める2種類のアルゴリズムを新しく提案している。まず最初に、空間方向に一定なパラメータのオンライン同定法を、ついでその結果をうけて空間依存型のパラメータの同定法を提案している。上述の2つの未知パラメータのうち1つが、例えば既知量であっても、正確な値でない場合には、他方の同定値が振動しながら発散するという特異な現象が発生することを数値シミュレーションにより示し、同時同定の重要性を強調している。

第8章では、本研究で得られた結果がまとめられている。

本研究では、柔軟構造物として単純化した一次元片持ち梁を考察の対象としているが、境界条件の異なった同種の偏微分方程式で与えられるような構造物（例えば、長大橋、ロボットアームなど）の振動制御問題にも同様の考察を行うことによって理論は適用可能である。

なお、第3～7章の研究により得られた安定化と最適制御アルゴリズムおよび同定アルゴリズムが有効であることはシミュレーション実験により確認されており、さらに第7章後半で提案した空間方向に一定なパラメータの同定アルゴリズムの有効性は実験によっても確認されている。

論文審査の結果の要旨

本論文では、動的アクチュエータの設置を前提とした柔軟構造物のモデリングとシステム全体の安定化および最適制御システムの設計法を与え、さらに柔軟構造物の数学モデルに含まれる未知物理パラメータの同定アルゴリズムについても研究を行っている。柔軟構造物を分布定数システムとして取扱い、その境界にアクチュエータを取付けたシステムモデルは偏微分方程式と常微分方程式の連立によって与えられ、しかも偏微分方程式の境界条件に制御力が入り込むという数学的にも興味ある問題に正面から取り組んで問題を解決している点は学術的にも十分評価され、申請者の業績でもある。また、柔軟構造物中の未知物理パラメータを時々刻々オンラインで同定するアルゴリズムの提案については前例がみられず、これも高く評価される。

本論文の基礎となったのは6編の学術論文で、そのうち4編は申請者が筆頭著者である。6編の学術論文のうち、2編は国内の学会論文誌に、他の4編は査読制度のある国際会議のプロシーディングスに掲載

されている。

本論文が柔軟構造物の制御システムを設計する問題に対する多くの知見を含み、独創性も高く学術的価値を有することから、本審査委員会は本論文を学位授与に十分価すると認める。