



Title	柔軟構造物のパラメータ変動に対してロバストな制御
Author(s)	島, 岳也
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40165
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	しま たくや 島 岳 也
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 13170 号
学位授与年月日	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 工学研究科電子制御機械工学専攻
学位論文名	柔軟構造物のパラメータ変動に対してロバストな制御
論文審査委員	(主査) 教授 池田 雅夫 教授 大川 善邦 教授 古荘 純次

論文内容の要旨

本論文は柔軟構造物のロバストな制御手法として、閉ループ系の極のパラメータ変動に対する低感度特性を有する制御手法の開発を目的として行われた研究成果を取りまとめたもので、以下の7章より構成されている。

第1章では、大型宇宙構造物に代表される線形系、及び柔軟多体系に代表される非線形系を例にとり、従来行なわれているモデリング、及び制御手法とその問題点について述べ、本研究の意義と目的を明らかにしている。

第2章では、自己随伴系で記述される柔軟構造物に対して、詳細釣合い原理を用いたロバストな振動制御系設計手法を提案している。提案された制御系設計手法を用いると閉ループ系は非ジャイロスコピック散逸系で記述され、その結果パラメータ変動に対する極の感度が低く抑えられることを解析的、及び数値的に検証している。

第3章では、第2章で提案した振動制御手法(PD制御)を形状制御手法(PID制御)に拡張し、その手法を用いて設計された閉ループ系のパラメータ変動に対するロバスト性を数値例、及びハードウェア実験によって検証している。

第4章では、重み付き残差法を用いて柔軟多体系の漸化型動力学モデルを導出している。重み関数を適切に選択することによってLagrange形式、およびNewton-Euler形式に対応した動力学モデルが導出され、それらを用いて逆動力学計算がリンクの数に比例した回数で行なえる効率的な計算アルゴリズムを提案している。

第5章では、第4章で導出したLagrange形式に対応した動力学モデルを仮想リンク座標系で記述して、2リンク柔軟マニピュレータの逆運動学アルゴリズムを提案している。具体的に手先の軌道が静止-静止軌道、周期軌道で与えられる場合をとり挙げ、それぞれについて逆運動学解法を提案している。

第6章では、第5章で用いた動力学モデルを接線座標系に変換したモデルを用いて、2リンク柔軟マニピュレータの軌道制御手法を提案している。提案した制御手法は、第5章で導出した柔軟体モデルに基づく周期逆運動学解を目標軌道とし、関節角信号をフィードバック制御信号とした非線形補償方式のフィードバック制御である。非線形補償項を閉ループ系の構造が対称となるように設計し、フィードバック項を第2章で提案した手法を用いて設計することによって、閉ループ系の特性乗数のパラメータ変動に対するロバスト性を与えている。そして提案された軌道制御手法の有効性を数値例、及びハードウェア実験によって検証している。

第7章では、本論文で導かれた結論と今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

機械構造物が作業空間の拡大等による要求から大型化する一方で、エネルギー消費を抑えるためにその構成要素に対しては極力軽量化が図られる。このような軽量化、さらには作業の高速化が進められるにつれて、その構成要素を剛体として扱えない状況が大型宇宙構造物や宇宙ロボット等に現れている。従って高精度な運動性能を達成するためには構造物が持つ柔軟性を考慮に入れて制御系を設計する必要がある。柔軟構造物のロバストな運動制御技術の開発は現在の重要な技術課題の一つである。柔軟構造物の制御において要求されるロバスト性には一般にモデル化誤差に対するものとパラメータ変動に対するものが存在するが、本論文は特に後者に対するロバストな制御系設計手法の開発を目的として行われた研究成果をまとめたものである。本論文で得られた主要な成果は以下のように要約される。

- (1) 柔軟構造物の運動方程式は一般に自己随伴系で記述される。この系に対し詳細釣合い原理を導入し、安定化状態フィードバックゲインのパラメトリゼーションを用いることによって、閉ループ系が対称な非ジャイロスコピック散逸系となるロバストな振動制御手法（PD制御）を提案している。提案した制御手法とロバスト性は固有ベクトルの近似直交化に基づくものであり、その有効性を極の感度に着目した解析的、及び数値的検討によって明らかにしている。またこの手法は容易に形状制御手法（PID制御）に拡張でき、その有効性を弾性平板を用いたハードウェア実験によって検証している。
- (2) 柔軟多体系の漸化型動力学モデルを、重み付き残差法に基づき導出している。重み関数選択時に多体系のジョイント部におけるリンク間の並進、及び回転変位の連続性に着目するか否かで、Lagrange形式、及びNewton-Euler形式に対応した動力学モデルが導出される。前者では後者と違ってリンク間に働く拘束力、及び曲げモーメントが未知変数として陽に現れてこない。得られた二通りの動力学モデルを用いてリンクの数に比例した効率的な逆動力学計算アルゴリズムを与えている。
- (3) 2リンク柔軟マニピュレータに対して、繰り返し計算を必要としない効率的な逆運動学アルゴリズムを提案している。具体的に手先の軌道が静止-静止軌道、周期軌道で与えられる場合をとり挙げ、前者では区間の両端でモード振幅速度が与えられた許容誤差以下に抑えられる両端静止時間の設計アルゴリズムを提案している。また後者では特解法を用いることによって周期逆運動学解が求められることを明らかにしている。
- (4) 2リンク柔軟マニピュレータに対して、その手先が与えられた周期軌道に追従するような軌道制御手法を提案している。その特徴はフィードバック制御の目標軌道に柔軟マニピュレータの周期逆運動学解を用いていること、及び柔軟マニピュレータシステムの持つ構造（慣性、及び剛性行列の対称性）に着目し、閉ループ系においてもその構造が保存されるような非線形フィードバック制御手法を提案していることである。設計された閉ループ系のパラメータ変動に対するロバスト性は線形化システムの特異値を用いて数値的に確認し、またその手法の有効性をハードウェア実験によって検証している。

以上のように本論文は、自己随伴系で記述される柔軟構造物に対しては詳細釣合い原理を用いて効果的なロバスト振動・形状制御が行えること、また柔軟多体系に対しては重み付き残差法によって使用目的に適した動力学モデルが導出でき、それをを用いて効率的な逆運動学・逆動力学計算アルゴリズムが与えられること、及び動力学モデルの持つ構造（対称性）に着目した効果的なロバスト軌道制御が行えることを明らかにしており、ロボット工学、及び制御工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。