

氏 名	うら く ぼ たか てる 浦 久 保 孝 光
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2085 号
学位授与の日付	平 成 13 年 7 月 23 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 学 研 究 科 航 空 宇 宙 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Control of Dynamical Systems with Kinematic Constraints (運動学的拘束を受ける機械システムの制御)

論文調査委員 (主 査) 教 授 土 屋 和 雄 教 授 井 上 紘 一 教 授 吉 川 恒 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、非ホロノミックシステムに対するフィードバック制御系の新しい設計法を提案し、それを具体的な機械システムに適用した研究の成果をまとめたものであって、6章からなっている。

第1章は序論であり、本論文において対象とするシステムおよびその制御系設計法について、従来の研究と比較して、その重要性および新規性を指摘している。非ホロノミックシステムとは、速度変数に対して線形で非可積分な拘束を受けるシステムであり、この拘束条件の特徴により、いくつかのクラスに分類される。本研究では、ファーストオーダーシステムと呼ばれるクラスを取り扱っている。このクラスは、従来の研究においては取り扱われていない。また、本研究では制御系の設計法として、リャプノフ制御を拡張して時不変な不連続状態フィードバック則を構成する手法を提案している。提案する制御則の適用例として、2輪移動ロボット、2個のホイールを持つ人工衛星、3リンクからなる平面宇宙ロボットの3つの機械システムを取り上げ、個々のシステムが持つ力学的な動特性による制御系の振舞への影響を詳細に解析している。

第2章では、ファーストオーダーシステムに対して、リャプノフ法をもとにした時不変な不連続状態フィードバック則の設計法を提案している。制御入力は2種類の入力の和として設計される。1つの入力はリャプノフ関数の勾配ベクトルに負定対称な行列をかけて構成され、もう1つの入力は勾配ベクトルに歪対称な行列をかけて構成される。設計された制御入力を加えられたシステムにおいては、目標点が唯一の安定平衡点となり、システムは目標点に収束する。提案する制御則を、3状態2入力のシステム、6状態3入力のシステムに適用し、その有効性を解析および数値シミュレーションにより確認している。

第3章では、提案する制御則を2輪移動ロボットの運動制御に適用し、その有効性を確認している。2輪移動ロボットは、車輪が滑らないという仮定の下で、平面上での並進速度、回転角速度を入力とし、非ホロノミックシステムとして表わされる(幾何モデル)。しかし、実際の運動においては、慣性力の影響による車輪の滑り、浮上等が生じ、幾何モデルの仮定は成り立たない可能性がある。本研究では、この幾何モデルをもとに提案する制御則によって制御系を構成する。そして、車輪の滑り、浮上および車輪の駆動トルクを含む力学モデルを導出し、それをもとにした数値シミュレーションおよびハードウェア実験によって制御系の振舞を調べる。その結果、力学的な影響の下でも制御された2輪移動ロボットは目標状態に収束することを確認している。

第4章では、提案する制御則を2個のホイールを持つ人工衛星の姿勢制御に適用し、その有効性を確認している。制御則の設計は、人工衛星の全角運動量が零であり、ホイールの回転角速度が入力であるという条件の下で行われる。しかし、実際の人工衛星では、全角運動量が厳密に零であるという仮定は成り立たない。よって、微小な残留角運動量がある場合の制御系の振舞を解析および数値シミュレーションによって調べる。また、入力がホイールに対する駆動トルクである場合の制御系の振舞についても数値シミュレーションによって調べる。その結果、システムは目標姿勢には収束しないが、姿勢誤差の小さな目標姿勢近傍に収束することを確認している。

第5章では、提案する制御則を3リンクからなる平面宇宙ロボットの姿勢制御に適用し、制御系の振舞を調べている。このシステムは、配位空間内のある曲面上で可制御性の条件を満たさない。本研究では、その全角運動量が零であり、各関節の回転角速度が入力であるという条件の下で制御系を設計し、可制御性の条件を満たさない状態の存在が制御系に与える影響を解析および数値シミュレーションにより調べる。その結果、システムの安定平衡点は目標点以外に数個存在すること、および、システムの運動が可制御性の条件が成立する領域に限られる場合は、得られた制御則によってシステムは目標点に収束することを明らかにしている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、非ホロノミックシステム、すなわち、速度変数に対して非可積分な拘束を受ける機械システムに対するフィードバック制御系の設計法に関する研究の成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. ファーストオーダーシステムと呼ばれるクラスの非ホロノミックシステムに対して、リャプノフ法をもとにした時不変な不連続状態フィードバック則の設計法を提案した。制御入力とは2種類の入力の和として設計される。1つの入力はリャプノフ関数の勾配ベクトルに負定対称な行列をかけて構成され、もう1つの入力は勾配ベクトルに歪対称な行列をかけて構成される。設計された制御入力を加えられたシステムにおいては、目標点が唯一の安定平衡点となり、システムは目標点に収束する。提案する制御則を、3状態2入力のシステム、6状態3入力のシステムに適用し、その有効性を解析および数値シミュレーションにより確認した。
2. 提案する制御則を2輪移動ロボット、2個のホイールを持つ人工衛星、3リンクからなる平面宇宙ロボットに適用した。各システムが持つ力学的な動特性が、制御されたシステムの振舞に対して与える影響について調べ、制御則の実用性を検討した。2輪移動ロボットに対しては、車輪の浮上や滑りなどの慣性力による影響を、力学モデルによる数値シミュレーションおよび実験により調べた。2個のホイールを持つ人工衛星に対しては、微小な残留角運動量による影響を、解析および数値シミュレーションにより明らかにした。3リンクからなる平面宇宙ロボットに対しては、可制御性が成立しない状態が存在するという拘束条件の特異性による影響を解析および数値シミュレーションによって明らかにした。

以上要するに、本論文は、ファーストオーダーシステムと呼ばれるクラスの非ホロノミックシステムに対する状態フィードバック則の設計法を提案し、その実用性を具体的な機械システムへの適用によって検証したもので、その成果は学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年6月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。