

氏名	さくら まかず のり 櫻 間 一 徳
学位の種類	博士 (情報学)
学位記番号	情博第 103 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 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	情報学研究科システム科学専攻
学位論文題目	Trajectory Tracking Control of Hamiltonian and Hybrid Control Systems (ハミルトン系とハイブリッド系の軌道追従制御)
論文調査委員	(主査) 教授 杉江俊治 教授 足立紀彦 教授 片山 徹

論 文 内 容 の 要 旨

物理システムに対する軌道追従制御は工学的に非常に重要な問題である。近年、物理システムの中でも、多くの物理系を統一的に表現でき応用範囲の広い一般化ハミルトン系と、物理系でしばしば現れるベクトル場や状態の不連続性を表現したハイブリッド系が注目されている。本論文はこれらのシステムに対する軌道追従問題を検討したものであり、7章から構成されている。

第1章は序論であり、対象となる一般化ハミルトン系とハイブリッド系に対する従来研究を概観し、その問題点を指摘した後、軌道追従制御の背景と重要性に言及し、最後に本研究の目的について述べている。

第2章では、一般化ハミルトン系の軌道追従問題を考察している。広いクラスの物理システムを統一的に扱うことができる手法の確立が期待されるため、従来よりこのシステムに対して安定化問題が多く検討されてきたが、軌道追従は平衡点に変化する困難性のため、これまであまり議論されていない。本章では、このシステムに対して、一般化正準変換を用いて、物理システムに固有の受動性を活用した軌道追従制御法を提案している。さらに、この方法を機械システムおよび電気-機械結合システムに適用し、それらに対する軌道追従制御補償器を具体的に導出している。最後に、ロボットマニピュレータに対するシミュレーションと磁気浮上系に対する実験によりその有効性を検証している。

第3章では、前章の結果に基づいて、非ホロノミックな拘束をもつシステムの軌道追従問題について検討している。近年、非ホロノミックシステムに対する研究が盛んに行われているが、それらの結果はシステムの特性を活用したものではなかった。本章では、力学システムに現れる、あるクラス非ホロノミックシステムに対して、受動性を利用した軌道追従制御法を与えている。さらに、車両モデルに対するシミュレーションによってその有効性を検証している。

第4章では、ハイブリッドシステムの重要なクラスの一つである区分的アファインシステムを対象とした軌道追従問題について検討している。このシステムは物理系に現れるベクトルの不連続性を含むシステムであり、一意解の存在性や安定性に関する基礎的な結果が既に得られている。しかし、ベクトル場の不連続性などから、軌道追従は難しい問題であり、今までほとんど議論されていなかった。ここでは、ベクトル場の不連続性を考慮した上で、追従可能な参照軌道の十分条件を与え、区分的線形な補償器を用いた軌道追従制御法を導出している。最後に、弾性的な衝突のある台車系のシミュレーションによりその有効性を検証している。

第5章では、前章に比べシステムのクラスを限定し、一入力一出力区分的線形システムに対する軌道追従問題について考察している。前章の結果は、与えられた参照軌道から参照システムおよび補助システムを作成し、これらによって追従可能な参照軌道の十分条件が導かれていた。本章では、非線形システムの線形化に似た手法を用いることで、追従可能な参照軌道の十分条件を、参照および補助システムを作成することなく、与えられた参照軌道から直接確認することが可能な形式で与えている。

第6章では、ハイブリッド系の重要なクラスの一つとして状態のジャンプを持つ線形システムを取り扱っている。このよ

うなシステムに対しては今まで十分な解析結果が得られていないため、本章では、一意解の存在性や安定性などのシステムの重要な基本性質に対する解析を行っている。その結果、一意解が存在するための必要十分条件を導き、ある不変集合内での安定性に対する十分条件を線形行列不等式によって表現している。最後に、一例として、水位に制約を持つタンクがインパルスコントローラによって制御されるシステムをとりあげ、シミュレーションにより提案した解析法の有効性を検証している。

第7章では、結論として以上の各章の内容を要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、物理系の制御という観点から、事実上、重要なシステムに対する軌道追従問題に関する研究をまとめたものである。特に、多くの物理系を統一的な枠組みで表現することのできる一般化ハミルトン系と、物理系でしばしば現れるベクトル場や状態の不連続性を表現したハイブリッド系についての検討を行い、その主な成果は以下のとおりである。

1) 機械システムやメカトロニクス系などの物理システムを統一的に扱える一般化ハミルトン系についての考察を行った。このシステムに対する軌道追従問題について検討し、物理システム固有の受動性と呼ばれる特性を活用した制御法を提案した。さらに、この方法を機械システムや電気-機械システム、非ホロノミックシステムに適用し、それらに対する軌道追従制御補償器を具体的に導出している。さらに、磁気浮上系に対する実験によりその有効性を検証している。

2) ハイブリッドシステムの重要なクラスの一つである区分的アファインシステムを対象とした軌道追従問題について検討した。システムの不連続性を考慮した上で、追従可能である参照軌道の十分条件を明らかにし、区分的に線形な補償器を用いた軌道追従補償器を導出した。また、弾性的な衝突のある台車系のシミュレーションによって有効性を検証している。さらに、一入力一出力系に限定した場合を対象に、参照軌道の追従可能条件をより単純化した形で与えている。

3) ハイブリッドシステムの重要なもう一つのクラスとして状態のジャンプを持つシステムを取り扱った。このようなシステムに対しては今まで十分な解析結果が得られていないため、一意解の存在を保証する性質や安定性などのシステムの重要な基本性質に対する解析を行った。その結果、一意解が存在するための必要十分条件を導き、ある不変集合内での安定性を線形行列不等式によって表現した。さらに、水位に制約を持つタンクシステムのシミュレーションによって提案した解析法の有効性を検証している。

以上、要するに、本論文は一般化ハミルトン系とハイブリッド系を対象として軌道追従制御に関して検討し、事実上重要なクラスの物理システムの制御問題に対する有益な知見を与えたものであり、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年1月26日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。