


学位論文の要旨

専攻名	物質生産工学専攻	ふりがな氏名	まるき 丸木 ゆうじ 勇治	
学位論文題目	バックステップング法およびフォーディング法に基づく倒立振子の非線形制御			

本論文では、非線形劣駆動系である台車型倒立振子および車輪型倒立振子の安定化および旋回制御問題について研究を行っている。劣駆動系とは全体の自由度よりもアクチュエータの少ない系のことである。また、倒立振子は Segway などの次世代移動体として注目されている。劣駆動システムである倒立振子では、1つの入力で、振子と台車の制御を同時に行う必要がある。従来、倒立状態での安定化には、平衡点周りで近似線形化した線形系に対して種々の制御法が提案されてきたが、近年は安定可能領域を広げるために、非線形系を直接制御する非線形制御法が提案されている。劣駆動系である倒立振子では、振子系と台車系の両方に入力が入っているため、厳密線形化やバックステップング制御などの一般的非線形制御法を直接適用することができない。このため、振子系のみ非線形制御系を構成し、台車系は独立に安定化を行っていることが多い。ただし、従来研究において、台車系は正フィードバックでなければ倒立振子全体を安定化できないことが特異摂動法を用いて指摘されていた。本論文では、台車型倒立振子において、振子の安定化を適応バックステップング制御で、台車の安定化を正フィードバックによって達成し、シミュレーションと実験により有効性を確認している。ついで、同様の手法を車輪型倒立振子に適用している。さらに、台車型倒立振子において、振子の旋回制御をホモクリニック軌道に収束させるエネルギー法で、台車の安定化をスライディングモードと負フィードバックを用いて達成し、シミュレーションと実験により有効性を確認している。特に、本論文では、振子系と台車系の干渉問題に焦点を当て、振子の倒立点での安定化制御のためには台車系は正フィードバックであることを、近似線形化を用いて示し、振子の旋回制御の場合には、台車系は負フィードバックでよいことを、フォーディング法を用いて示している。第2章では本論文で制御対象とする2つの倒立振子の特徴について説明し、制御問題の設定を行っている。第3章では台車型倒立振子の適応バックステップング制御について述べる。まず台車の安定化のために2段階制御法によりコントローラを導き、振子の安定化のために適応バックステップング制御法によりコントローラを導いている。シミュレーションと台車型倒立振子の実験装置によりコントローラの有効性を検証した。第4章では適応バックステップング制御を車輪型倒立振子に応用する。車体角度の制御のためにバックステップング法によって状態フィードバックによるコントローラを設計し、プラントパラメータが既知の場合と未知の場合のコントローラを導いている。また車輪角度の制御については、線形化してプラントパラメータが既知であると限定してコントローラを導いた。さらに非モデルベース微分器による速度推定器を導入し、出力フィードバック型のコントローラについても実験を行った。第5章では再び台車型倒立振子を対象として、振子系のエネルギー関数の2乗をリアプノフ関数として用い、振子を振り上げてホモクリニック軌道に収束させるコントローラを、台車の安定化にはスライディングモードを用いた非線形フィードバックコントローラを設計している。これら全体の制御がうまく行くようにフォーディング手法により振子と台車の干渉を補償する。最後に第6章ではバックステップング法およびフォーディング法に基づいた、台車型および車輪型倒立振子の非線形制御に関する本研究の結果をまとめている。

(注) 和文 2,000 字又は英文 800 語以内

続紙 有 無

学位論文審査結果の要旨

専攻	物質生産工学 専攻	氏名	丸木 勇治
論文題目	バックステッピング法およびフォワードイング法に基づく倒立振子の非線形制御		
主査	松尾孝美		
審査委員	小川幸吉		
審査委員	今戸啓二		
審査委員	和田 清		
審査委員			
審査結果の要旨 (1000 字以内)			
<p>倒立振子は、台車あるいは車輪の駆動部の上に逆立ちした振子がアクチュエータなしで結合された構造をしており、自動制御のベンチマークテストのひとつとして、様々な制御法が試されてきた。最近では応用分野として、Segway などの次世代移動体の安定化制御やヒューマノイドロボットの歩行制御などで注目されている。倒立振子は、全体の自由度よりもアクチュエータの少ない劣駆動系と呼ばれる難しい制御対象である。従来、倒立状態での安定化には、平衡点周りで近似した線形系に対して種々の制御法が提案されてきたが、近年では、非線形系を直接制御する非線形制御法が提案されている。これらの提案手法では、一般的非線形制御法である厳密線形化法やバックステッピング制御法を用いて、台車と振子を同時に制御することができないことから、振子系のみ非線形制御系を構成し、台車系は独立に安定化を行っていることが多い。本論文では、非線形劣駆動系である台車型倒立振子および車輪型倒立振子の安定化および旋回制御問題の研究を行っている。まず、台車型倒立振子において、振子の安定化を適応バックステッピング制御で行った場合、台車の安定化は正フィードバックによって達成できることを極配置法を用いて証明し、シミュレーションと実験により理論的結果の妥当性を確認している。ついで、同様の手法が、推定すべき非線形時変関数が異なる車輪型倒立振子にも適用できることを示すとともに、台車型倒立振子と異なり、入力から車輪までの近似伝達関数を求めることにより、車輪の安定化は正フィードバックになることを証明している。さらに、台車型倒立振子において、振子の旋回制御をホモクリニック軌道に収束させるエネルギー法で、台車の安定化をスライディングモードと負フィードバックを用いて達成できることをフォワードイング手法により証明し、シミュレーションと実験により結果の妥当性を確認している。特に、本論文の新規性は、適応バックステッピング法を時変パラメータに対応できるように拡張したこと、振子系と駆動系（台車あるいは車輪）の干渉問題に新しい知見を与えたことである。この知見は、倒立振子のみならず、一般の劣駆動系においても有効である。なお、論文審査会や論文公聴会における著者の説明は明確であり、質問に対して的確に回答がなされた。以上のことから、本論文は博士（工学）の学位に値するものと審査委員全員一致して判定した。</p>			