

京都大学	博士（工学）	氏名	梅本 和希
論文題目	非線形システムのロバスト制御とマルチロータ型 UAV への応用		
<p data-bbox="188 398 448 427">（論文内容の要旨）</p> <p data-bbox="188 443 1417 645">本論文は、非線形システムにおける繰り返し計算を必要としないロバスト制御アプローチとして、作用素を用いたロバスト右既約分解およびスライディングモード制御について新たな設計手法を提案し、その有効性をシミュレーションあるいはマルチロータ型無人航空機（UAV）を用いた実験により検証するものであり、4章からなっている。</p> <p data-bbox="188 696 1417 1279">第1章は序論であり、非線形システムの制御手法についての先行研究やそれらの手法の問題点について論じている。まず、Maxwell による “On Governors” より始まり確立された線形制御の枠組みを実システムに適用する際に問題となった、システムの非線形性や不確かさの存在の取り扱いに焦点を当てる。線形システムに対するロバスト制御の枠組みは多くの研究者により研究がなされてきた。また、非線形システムに対しては、Isidori らによるフィードバック線形化手法がメカトロニックシステムをはじめとする多くのシステムに有効であることが知られている。しかし、不確かさを有する非線形システムの制御系設計は困難であり、現在に至るまで活発に研究がなされている領域である。この分野において、非線形 H_∞ 制御に代表される多くの非線形ロバスト制御アプローチは繰り返し計算が必要であり、計算コストが高いという問題が存在する。動的システムの制御においてリアルタイム性は重要であり、計算負荷の少ない制御アプローチは重要である。本論文で取り扱う、繰り返し計算を必要としない2つのアプローチである、非線形作用素表現によるロバスト右既約分解を用いた制御系ならびにスライディングモード制御系の利点と問題点を述べている。</p> <p data-bbox="188 1330 1417 1957">第2章では、作用素を用いたロバスト右既約分解に基づいた制御系設計における2つの問題の解決について論じている。1つの問題は、実システムに存在する入力飽和が考慮されていないことである。ほとんどすべての実システムは入力飽和をもち、入力飽和によりワインドアップなどの追従誤差や閉ループの不安定化が引き起こされる。参照軌道の修正を行うことにより、ワインドアップの回避を行い、また、状態の制御系と出力の制御系を切り替えることにより安定化不可能な状態の回避を達成する切り替え型の制御器を提案した。これにより、入力飽和が存在する不安定な非線形システムに対する制御系設計法が確立された。もう1つの問題は、追従制御系設計のためにシステムの右逆作用素を必要とすることである。この条件は設計可能なシステムのクラスを制限することになる。そこで、従来の追従制御系設計条件を必要としない新たな設計手法として、追従誤差のノルム評価に基づく制御系設計法を提案した。これは完全な追従を達成しないが、従来の設計と比較して設計可能な対象システムのクラスが拡大される。また、システムに不確かさが存在する場合における追従誤差の見積もりを行った。2つの問題の解決について、それぞれの有効性を数値シミュレーションにより検証した。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	梅本 和希
<p>第 3 章では，スライディングモード制御について行った研究について論じている．マルチロータ型 UAV を対象とした制御系設計を行い，実機実験により，制御系の有効性および優位性について検討を行った．マルチロータ型 UAV は一般的に 4 次システムとして扱われる特殊なメカトロニクスシステムであるが，測定が難しい風による外乱，正確なモデルが得られにくい空気抵抗，ロータの推力誤差，その他胴体質量および胴体慣性モーメントの変動など，様々な不確かさが想定されるため，先端制御理論の適用対象として非常に興味深い．ここでは，マルチロータ型 UAV に対して 2 つのアプローチにより制御系設計を行った．1 つは単位ベクトルアプローチであり，マルチロータ型 UAV のダイナミクスを垂直および水平の 2 つのサブシステムに分離し制御系の設計を行った．この際，制御系が不可制御となる状況を回避し，全体システムが安定となる参照軌道の条件を導出した．提案制御則とフィードバック線形化手法による制御則との比較をシミュレーションにより行った．フィードバック線形化により設計された制御則に関しては，胴体慣性モーメントに不確かさが存在する場合には制御系が不安定となる結果となった．これに対して，スライディングモード制御則は，胴体慣性モーメントの不確かさに対してロバストであり，追従制御が達成されることを確認した．もう 1 つは符号関数アプローチであり，この手法においては，スライディングモード制御の問題点として広く知られているチャタリング問題を解消した．まず，スライディングモード制御で用いられる切り替え入力のゲインの低減を行い，チャタリングの低減を図る．さらに，飽和関数の導入によりチャタリングの解消を達成する．飽和関数を用いる場合に生じる追従誤差の飽和関数のパラメータに対する影響の解析を行った．数値シミュレーションおよび実機実験により，提案した制御則がフィードバック線形化を用いた制御則と比較してロバストであることを検証した．</p> <p>第 4 章は結論であり，本研究で得られた結果をまとめ，今後の課題および展望について述べている．</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、繰り返し計算を必要としない非線形システムのロバスト制御アプローチとして、作用素を用いたロバスト右既約分解に基づく制御およびスライディングモード制御について研究した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. 入力飽和を考慮したロバスト右既約分解を用いた制御系設計においては、不安定な非線形システムが入力飽和をもつ場合に、参照入力の補正および切り替え型の制御器を導入することにより不安定状態の回避を達成した。
2. 右既約分解およびノルム評価を用いた追従制御系設計においては、追従誤差を許容する新たな追従制御系設計アプローチによって、より広いクラスの非線形システムに対する統一的な制御系設計手法を提案した。
3. 単位ベクトルアプローチによるスライディングモード制御では、マルチロータ型 UAV において、システムが不可制御となる条件が存在することを示し、これを回避し、システムを安定化する制御系設計手法を与えた。
4. 符号関数アプローチによるスライディングモード制御においては、スライディングモードへの到達率を設計可能とすることで、応答速度の設計を可能とした。また、従来から指摘されていたチャタリング問題を、ゲイン低減化および飽和関数の導入により解消した。また、飽和関数の導入により生じる追従誤差の解析も行った。提案制御系の有効性をマルチロータ型 UAV を用いた実機実験により検証した。実験結果より従来の制御系よりも提案制御系がロバストであることが確認された。

本論文は、非線形システムにおける繰り返し計算を必要としないロバスト制御アプローチとして、作用素を用いたロバスト右既約分解に基づいた制御およびスライディングモード制御について、新たな設計法を提案し、それらの有効性を数値シミュレーションおよび実機実験より検証したものであり、学術上、工業上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 26 年 1 月 28 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。