

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 情報学 )	氏名	佐藤 一宏
論文題目	An Algebraic Analysis Approach to Trajectory Tracking Control (軌道追従制御への代数解析アプローチ)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は2自由度制御を用いて軌道追従制御を実現することが容易な非線形システムのクラスと目標軌道のクラスを代数的な方法を用いて特徴付けることによって制御を達成しようとするものである。目標軌道が与えられたとき、実際の軌道との誤差が近似的に従うダイナミクスは時変な線形システムによって表現される。近似線形誤差ダイナミクスが一様完全可制御であれば、非線形な誤差ダイナミクスの原点はその状態フィードバック入力を用いて局所的に指数安定化できるので、一様完全可制御であるか否かを調べることは意義がある。従来の方法では目標軌道が一つ決まると近似線形誤差ダイナミクスが一様完全可制御であるか否かを調べることができた。それに対して本論文では、近似線形誤差ダイナミクスの性質を対象としている非線形システムの性質と目標軌道の性質から決まるということに着目し、非線形システムと目標軌道がどんなクラスに属していれば近似線形誤差ダイナミクスが一様完全可制御になるかを示している。一方で、上述した状態フィードバック入力を利用できない場合、状態の推定値をフィードバックするということが考えられるが、その推定値が真値に指数関数的に収束するようなオブザーバを近似線形誤差ダイナミクスが一様完全可観測であれば設計可能であることが知られている。本論文では、非線形システムと目標軌道がどんなクラスに属していれば近似線形誤差ダイナミクスは一様完全可観測になるかも示している。</p> <p>本論文では代数的な方法を用いた議論が行われている。Malgrange の代数解析を Willems のビヘイビア論へ適用して線形動的システム論を考察した Zerz の手法を非線形動的システムへ応用することにより主要結果を導いている。本論文は以下の5章からなる。</p> <p>第1章では、非線形システムの軌道追従制御の背景を述べるとともに本論文の構成をまとめている。</p> <p>第2章では、常微分方程式で記述される非線形システムに対して代数的可制御性、代数的可観測性、可制御軌道、可観測軌道という概念を導入している。そして非線形システムが代数的可制御ならば任意の周期的な可制御軌道に沿ったすべての時変線形化システムは一様完全可制御であることを示している。また、双対的な結果として、非線形システムが代数的可観測ならば任意の周期的な可観測軌道に沿ったすべての時変線形化システムは一様完全可観測であることを示している。</p> <p>第3章では、微分方程式と代数方程式が混在した非線形システムに対して代数的可制御性、代数的可観測性、可制御軌道、可観測軌道という概念を拡張し、第2章で述べた結果が拡張できることを示している。また微分方程式と代数方程式が混在した非線形システムに対して微分フラットの概念を拡張し、対象システムが微分フラットならば可制御軌道と可観測軌道は容易に生成できることを示している。</p> <p>第4章では、シミュレーションを通して、状態フィードバックが利用可能であるとき、代数的可制御なシステムは可制御軌道为目标軌道にとると軌道追従制御が容易に達成できることを示している。また、状態フィードバックが利用できない場合でもシ</p>			

システムが代数的可観測で可観測軌道を目標軌道にとると状態の推定値が状態そのものへ収束するオブザーバを設計することができ、その推定値をフィードバックすることで軌道追従が達成できることを示している。

第5章では、論文の成果を要約している。

付録では、代数解析をビヘイビア論に応用した Zerz の手法を本論文での議論に参照しやすい形に要約している。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は2自由度制御を用いて軌道追従制御を実現することが容易な非線形システムのクラスと目標軌道のクラスを代数的な方法を用いて特徴付ける研究をまとめたものである。近似線形誤差ダイナミクスの一様完全可制御性を調べることは、非線形な誤差ダイナミクスの原点の局所的指数安定化にとって重要であるが、従来の研究は目標軌道を与えたときの一様完全可制御性についての議論に限定されていた。それに対して本論文では、近似線形誤差ダイナミクスの性質を対象としている非線形システムの性質と目標軌道の性質から決まるということに着目し、非線形システムと目標軌道がどんなクラスに属していれば近似線形誤差ダイナミクスが一様完全可制御になるかを解明している。近似線形誤差ダイナミクスの一様完全可観測であれば状態の推定値を得るオブザーバが設計可能となるが、本論文では、非線形システムと目標軌道がどんなクラスに属していれば近似線形誤差ダイナミクスは一様完全可観測になるかについても考察している。

本論文では、代数解析とビヘイビア論から線形動的システムの理論を議論している Zerz らの研究結果を非線形システムの軌道追従制御に応用しようとするものである。代数的可制御性、代数的可観測性、可制御軌道、可観測軌道という概念を新たに導入することによって、非線形システムが代数的可制御ならば、任意の周期的な可制御軌道に沿ったすべての時変線形化システムは一様完全可制御であることを示している。また双対的な結果として、非線形システムが代数的可観測ならば、任意の周期的な可観測軌道に沿ったすべての時変線形化システムは一様完全可観測であることを示している。さらにこれらの結果を、常微分方程式と代数方程式によって記述される非線形システムのクラスにも拡張している。このことは非線形システムの軌道追従制御問題に対して新規な理論展開をするものであり、学術的意義があるものと認める。

本論文では、状態フィードバックが利用可能であるとき、代数的可制御なシステムは可制御軌道を目標軌道ととると軌道追従制御が容易に達成できることを示している。さらにシステムが代数的可観測で可観測軌道を目標軌道ととると状態の推定値が状態そのものへ収束するオブザーバを設計することができ、その推定値をフィードバックすることで軌道追従が達成できることを示している。これは、軌道追従制御にとって有用性のある結果を導いていると判断できる。

以上の理由により、本論文は、博士(情報学)の学位論文として、価値のあるものとして認める。また平成26年2月18日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。

注)論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨(例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」)を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。  
要旨公開可能日： 年 月 日以降