



Title	Stability Analysis by Using Lie Algebras and Controller Design Based on the Lie Derivative Inclusion for Nonlinear Systems
Author(s)	湯野, 剛史
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/52070">https://doi.org/10.18910/52070</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 湯 野 剛 史 )

論文題名

Stability Analysis by Using Lie Algebras and Controller Design Based on the Lie Derivative Inclusion for Nonlinear Systems  
(非線形システムに対するLie環を用いた安定性解析とLie微分包含式に基づく制御器設計)

## 論文内容の要旨

非線形制御理論で扱われる問題の中には、その厳密解の具体的な計算が困難なものが少なからず存在する。本論文では、非線形制御理論における以下の二つの問題に対して代数学の知見を取り入れ、それらの厳密解を有限回の四則演算で具体的に計算する枠組みの構築を目標とする。一つ目の問題は、状態依存の係数行列を持つ離散時間非線形システムの安定性解析である。まず、代数学におけるLie環の理論を用いて、システムがある種の三角構造を持つか否かを判別する。そして、三角構造を持つシステムに対して、局所および大域的な漸近安定性それぞれの十分条件を導出する。多くの場合、これらの条件を確かめるためには行列の有限回の四則演算を行ったり関数の漸近的挙動を評価したりするだけでよく、Lyapunovの直接法などの発見的手法を必要としない。二つ目に扱うのは、制御器設計に関する問題である。まず、不変集合およびベクトル場の実現やモデルマッチングなど様々な問題において制御器が満たすべき条件を、多項式に関する特定の包含式として統一的に表現する。そして、計算機代数学におけるGröbner基底の理論に基づき、その包含式を満足するような状態フィードバック制御器を設計するアルゴリズムを導出する。また、そのアルゴリズムの出力フィードバックへの拡張を考えた場合、部分代数上の線形方程式を解く必要が生じるが、本論文ではその完全な解法を初めて導出し、前述のアルゴリズムの出力フィードバックへの拡張を与える。これにより、状態フィードバック制御器の出力フィードバック制御器への変換という重要な問題も解決される。これらのアルゴリズムを用いることで、制御目標を達成するようなフィードバック制御器が有限回の四則演算によって明示的に計算できる。出力フィードバック制御器の設計は一般に困難とされているため、この結果は制御理論において非常に意義深いものである。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 湯野 剛史 )		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教 授 細田 耕
	副 査	教 授 飯國 洋二
	副 査	教 授 潮 俊光
	副 査	教 授 大塚 敏之 (京都大学大学院情報学研究科)

## 論文審査の結果の要旨

非線形システムの解析と制御は困難な問題として知られており、線形システムに対する理論を形式的に拡張しても、厳密解を具体的に計算できない場合が多い。それに対し、本論文は、非線形システムの安定性解析と制御器設計に代数学の知見を取り入れ、有限回の四則演算で厳密解を計算する新しい枠組みを提案している。具体的な成果は以下の通りである。

- (1) 数学におけるLie環の理論を用いて、非線形システムの状態方程式がある種の三角構造を持つための必要十分条件を与えている。
- (2) 状態方程式が三角構造を持つ非線形システムに対して、局所的小および大域的な漸近安定性それぞれの十分条件を与えている。これらの条件は状態方程式の微分可能性を必要とせず、多くの場合、行列の有限回の四則演算を行ったり関数の漸近的挙動を評価したりするだけで確かめられる。
- (3) 不変集合およびベクトル場の実現やモデルマッチングなど様々な問題において、制御器の満たすべき条件が多項式のLie微分包含式によって統一的に表現できることを示している。
- (4) 計算機代数学におけるGröbner基底の理論を用いて、Lie微分包含式を満足する状態フィードバック制御器を設計するアルゴリズムを与えている。
- (5) 多項式システムのLie微分包含式を満足する出力フィードバック制御器を設計するアルゴリズムを与えている。出力フィードバック制御器の設計は一般に困難とされているが、部分代数上の線形方程式を解く一般的な方法を導出し、困難を解決している。

これらの結果は新規性が高く応用範囲も広い。したがって、本論文は、システム理論ならびに制御工学の発展に寄与するところが大きく、博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。