

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	システム蘇生変換による出力制約を考慮した非線形システムの制御
Title(English)	Control of Nonlinear Systems subject to Output Constraints via System Revival Transformation
著者(和文)	木村駿介
Author(English)	Shunsuke Kimura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10786号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:三平 満司,藤田 政之,山北 昌毅,早川 朋久,畑中 健志
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10786号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

現実のほぼ全ての物理現象は、非線形性を有した微分方程式で記述される。この微分方程式は非線形システムと呼ばれ、線形システムと比較して制御理論の構築が難しいとされている。非線形システムに対する有効なツールとして、座標変換がよく用いられる。その一例として、非線形システムを仮想的な線形システムに等価に変換する、厳密な線形化が挙げられる。仮想的な線形システムに対しては従来の線形制御理論により安定化制御則が得られており、これを使用することで、非線形システムの原点の安定化制御則を設計することができる。このように、座標変換によって対応付けられた仮想システムに対する制御則を利用して、所望のシステムの制御を行うことは、非線形システムの制御に対して有効な手段である。

しかし、この厳密な線形化を用いる手法はすべての非線形システムに有効ではない。そのひとつとして、不可積分な速度制約である非ホロミック拘束をもつシステムがあげられる。このシステムは非ホロミックシステムと呼ばれ、車両やマニピュレータ、宇宙ロボットなど、現実のシステムでよく見られるクラスの広いシステムである。しかし、非ホロミックシステムは時不変連続状態フィードバック制御則ではその原点を安定化できないことが知られている。またこれに起因して、非ホロミックシステムは、非線形システムの安定化に有効な関数であるなめらかな凸関数である制御 Lyapunov 関数を得ることができない。その一方で、なめらかでない局所半凹制御 Lyapunov 関数が存在することが示されている。本論文では、はじめに非ホロミックシステムに対して、局所半凹性と一般化同次性をあわせもつ制御 Lyapunov 関数である、一般化同次局所半凹制御 Lyapunov 関数を定義する。またこの関数を非ホロミックの正準系の一つである Brockett integrator に対して提案し、Brockett integrator の原点を漸近安定化する制御則の設計を行う。Brockett integrator は 2 輪車両型移動体のシステムと局所的に等価な変換をもち、これを利用することで 2 輪車両型移動体のシステムに対しても漸近安定化制御則を得る。以上の提案制御則の有効性を実機実験により確認する。

また、現実の制御対象で考慮しなければならない拘束は非ホロミック拘束だけではない。例えば移動体を任意の位置に制御する問題を考えたとき、目標位置に至るまでに障害物等による移動不可能な領域が存在する。この問題は、位置を出力とした出力制約問題として知られている。出力制約を考慮した制御問題を解決するために、座標変換の前後で状態方程式の形を保持する「システム蘇生変換」を提案する。システム蘇生変換は座標変換と入力変換の写像対であり、出力制約を考慮した制御系設計に有効な変換である。特に、この入力変換は、座標変換により得られる仮想システムを制御対象と同じ形をした状態方程式に蘇生する特徴を持つ。状態方程式の形の保持は、任意の既存制御則に対して出力制約の付加を可能にする。本論文では、システム蘇生変換の性質を明らかにするとともに、システム蘇生変換および、この変換を用いた制御則設計法を提案する。さらに、非線形システムの中でも入力アフィンシステムに対するシステム蘇生変換の設計法を提案する。システム蘇生変換の設計定理には、システムの入力にかかる行列値写像の左逆行列と左零因子を要求するが、それらの設計法も補題として示す。以上の理論を線形システムと非ホロミックシステムへの適用する例を通して、システム蘇生変換とそれを用いた制御則設計の手順を示す。

本論文ではシステム蘇生変換を用いた制御系設計の適用例として、2 輪車両型移動体に対する適用結果を示す。この結果より、提案制御則は出力制約の境界で過大な制御入力を要求する

問題を言及する. この問題に対して飽和関数に基づく写像を導入して, 入力制約を考慮した制御則の設計を行う. その実機実験の結果から入力制約考慮の有効性を確かめる. 他方, 適用例から, システム蘇生変換の設計定理には満たすべき仮定が存在するため, 不等式拘束のような簡素な出力制約以外を扱うことが困難であることも確認できる. そこで, 一般化同次局所半凹制御 Lyapunov 関数と多層最小射影法を用いることにより, システム蘇生変換で得られる出力制約を任意の出力制約に拡張する手法を示す. 提案手法により, システム蘇生変換だけでは設計が困難であった簡素な不等式制約で表せない出力制約と, システム蘇生変換では設計が不可能であった非可縮な多様体で定義された出力制約を満たす, 2 輪車両型移動体の原点安定化制御を示す.