

平成21年 4月20日現在

研究種目： 若手研究（スタートアップ）
 研究期間： 2007 ～ 2008
 課題番号： 19860053
 研究課題名（和文） 非ユークリッド空間上の大域的制御とその応用について
 研究課題名（英文） On global controls and application
 of control system on non-Euclidean space
 研究代表者
 都築 卓有規 （ TSUZUKI TAKAYUKI ）
 島根大学・総合理工学部・助教
 研究者番号： 90452549

研究成果の概要：

- 多様体上の非線形制御系の大域的な制御の諸問題について、以下を明らかにした。
- (1) 動的補償器を用いることで、連続制御則による大域漸近安定化法を提案した。
 - (2) 大域漸近可制御性が一般化制御 Lyapunov 関数の存在性を意味することを示した。
 - (3) 我々が提案した一般化制御 Lyapunov 関数から導かれる不連続制御則が、加法的な外乱に対してロバストであることを示した。
 - (4) 最適制御問題において、動的計画法から Hamilton-Jacobi-Bellman 方程式を導出し、さらにその粘性解が半凹関数となる十分条件を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,070,000	0	1,070,000
2008年度	1,130,000	339,000	1,469,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,200,000	339,000	2,539,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：制御理論，非線形，安定化，最適制御，多様体，大域制御，応用数学

1. 研究開始当初の背景

我々は、非ユークリッド空間の一種である多様体上で定義された非線形制御系の大域的な制御問題を理論的に取り扱ってきた。

多様以上の制御系の例としては、人工衛星の姿勢制御、移動ロボットの障害物回避問題が考えられる。人工衛星などの姿勢は回転群により表現され、これは3次元多様体の一種

である。移動ロボットの移動範囲は、平面から障害物部分を除くことにより、穴のある平面となる。これらの制御系には、線形空間の性質を利用した従来の方法では制御不可能な特異点が発生するため制御が困難となる。多様体上の制御理論は、これらの問題を解決する有力な方法である。

一方で、従来の制御工学・理論分野におい

ては、多様体上で定義された制御系についての問題はほとんど研究されていない。

多様体上の制御系の全域漸近安定化問題を扱う方法の一つとして、榎本らにより提案されている勾配的 Morse-Smale 制御系の設計法がある。しかし、この方法は具体的な制御則設計において重要な指針を複数与えはするものの、使い勝手がよいとはいえない。そのため、より具体的な制御系設計法が求められている。

そこで、上記手法と異なるアプローチとして、われわれが一般化制御 Lyapunov 関数による方法を提案している。この方法は、一般化制御 Lyapunov 関数を元に安定化制御則を設計する方法である。この方法では、われわれが遺伝的プログラミングを利用した設計アルゴリズムを提案しているように、より設計に適していると考えられる。しかし、この方法により設計された制御則の性能や最適制御問題における関係は考察されておらず、実際の制御系への応用のためにも、これらの問題を明らかにすることが求められている。

2. 研究の目的

理論面では、主に制御則のロバスト化と最適化問題を扱う。

- (1) 制御 Lyapunov 関数を多様体上の制御系に適用できるように拡張した一般化制御 Lyapunov 関数を定義し、全域漸近安定化可能性との関係を考察する。
- (2) 一般化制御 Lyapunov 関数から導出できる制御則に対して、ロバスト性解析を行い、必要ならばロバスト化する。
- (3) 従来の制御系で用いられている最適化法を、多様体上の制御系に拡張する際の問題点を明らかにし、それを解決する方法を探索する。

また、今までに得られた結果の実機への適

用を行い、その有効性を確認する。

3. 研究の方法

多様体上の制御系の全域制御問題で問題になるのが、ユークリッド空間上の制御系では存在しない特異点の存在である。このような特異点は多様体の位相幾何構造に依存することが知られており、その解決のためには不連続制御則が有効であることが知られている。そのため、本研究では不連続制御則により特異点を解消することで、多様体上の制御系の全域制御問題を扱う。

各研究項目における具体的な方法を下記のとおりである。

(1) 制御系の全域漸近安定化問題について

多様体上の制御系に対しての制御 Lyapunov 関数の拡張として、制御 Lyapunov-Morse 関数があるが、より広いクラスとして一般化制御 Lyapunov 関数を定義し、それを元に一般的な全域漸近安定化問題について考察する。特に不連続制御則による漸近安定化可能性の概念とも考えられる全域漸近可制御性と一般化制御 Lyapunov 関数の関係について明らかにする。

(2) ロバスト性解析について

一般化制御 Lyapunov 関数から自明な形で導出される不連続な全域漸近安定化制御則が提案されている。その問題に対して、制御系のベクトル場に加法的な外乱が存在するときのロバスト安定性について考察する。この場合、特に問題になるのは不安定な特異点近傍であり、この局所的な問題について考察することでロバスト性を解析する。

(3) 最適制御問題について

問題になるのは、多様体上には大域的な座標系が存在しないことである。この点に注意し、局所座標系に依存しない形で従来の最適制御問題を再構築する必要がある。特に、今

回は動的計画法による最適制御問題のスキームに注目し、最適制御問題の値関数と Hamilton-Jacobi-Bellman 方程式の関係を考察する。さらに、値関数と Hamilton-Jacobi-Bellman 方程式の解の関係と性質について考察する。

4. 研究成果

多様体上の非線形制御系の大域制御問題を扱っている。多様体上の制御系には一般には大域的な座標が存在しない。そのため、従来のユークリッド空間上での最適制御問題の手法が数学的に厳密に適用できるかは自明ではない。本研究では、多様体上の制御系の最適制御問題について考察し、以下を明らかにした。

- (1) 従来法では連続制御則では大域漸近安定化不可能である系について、動的補償器を用いることで連続制御則による大域漸近安定化を実現するための十分条件を示した。
- (2) 制御 Lyapunov 関数を拡張した一般化制御 Lyapunov 関数を新しく定義し、それを用いて上記の連続な大域漸近安定化制御則のある設計法を提案した。さらに、ある可制御系に限定されるが、上記の大域漸近安定化制御則を設計するアルゴリズムを提案した。
- (3) 非線形制御系について、任意の初期状態から目標状態へと収束させる不連続制御則が存在することを大域漸近可制御性と呼ぶ。本研究では、多様体上の制御系においてもある一般化制御 Lyapunov 関数の存在性が大域漸近可制御性を導くことを明らかにした。

(4) 制御系に加法的に加わる外乱・モデル誤差についてのある大域漸近安定化制御則のロバスト性について考察した。具体的には、ある一般化制御 Lyapunov 関数が存在する多様体上の非線形制御系について、大域漸近安定性が加法的な外乱に対してロバストであるためのある必要条件を明らかにした。ここで外乱に対してロバストであるとは、任意の大きさの外乱に対して、目標状態を大域漸近安定化可能な時不変で状態について不連続な状態フィードバック制御則が存在することを意味する。

(5) 最適制御問題の主要な方法の一つである動的計画法は、ユークリッド空間上の制御系においては Hamilton-Jacobi-Bellman 方程式に帰結されることが知られている。また、その解は粘性解と呼ばれる通常の解を拡張した解の定義が必要になることが知られている。本研究では、非ユークリッド空間である多様体上の制御系について、同様の観点から最適制御問題を考察し、動的計画法から Hamilton-Jacobi-Bellman 方程式を導出し、それについて粘性解を定義できることを明らかにした。

(6) 最適制御問題の目的は最適制御則を求めることである。その導出に有用な値関数について考察した。ユークリッド空間上の制御系の場合と同様に、多様体上の制御系についても、値関数の存在性を保証する十分条件を明らかにし、また値関数が半凹

関数と呼ばれるある連続関数になるための十分条件を明らかにした。

今回、当初計画した実機による実験を完結することができなかった。しかし、現在のところ車両型移動ロボットによる実験を進行中であり、近いうちに結果が得られると考えられる。

今後の展望としては、最適制御問題をより詳細に考察し、最適制御則の近似解法などを用いて実問題への適用へ繋げていくことを考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Gou Nishida, Takayuki Tsuzuki, Hisakazu Nakamura and Yuh Yamashita: "Global asymptotical stabilization of Morse-Smale systems using weak control-Lyapunov functions," SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 査読有, Vol. 2, 2009, pp. 43-49
- ② 都築卓有規, 山下裕, 不連続制御系の解と大域漸近安定化問題, システム制御情報, 査読無, 52巻, 2008, pp. 84-89

[学会発表] (計5件)

- ① 都築卓有規, 多様体上の制御系の最適制御問題における値関数の半凹な値関数について, 第9回SICE制御部門大会, 平成21年3月4日, 東広島市
- ② 都築卓有規, 山下裕, 多様体上の制御系の最適制御問題について, 第37回制御理論シンポジウム, 平成20年9月19日,

霧島市

- ③ Takayuki Tsuzuki, Yuh Yamashita, Global asymptotic stabilization for a nonlinear system on a manifold via a dynamic compensator, 17th IFAC World Congress, 平成20年7月7日, ソウル
- ④ 都築卓有規, 山下裕, ある不連続制御系のロバスト性解析, 電子情報通信学会非線形問題研究会2007, 平成19年12月19日, 福井市
- ⑤ 都築卓有規, 山下裕, 制御Lyapunov関数と大域漸近可制御性について, 第36回SICE制御理論シンポジウム, 平成19年9月3日, 札幌市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

都築 卓有規 (TSUZUKI TAKAYUKI)
島根大学・総合理工学部・助教
研究者番号: 90452549