

論文内容の要旨

博士論文題目 ハミルトン・ヤコビ方程式を用いた
 非線形制御系における特異性について

氏名 今福 啓

本論文では、ハミルトニアンを入力に関して最小化することができない場合と、ハミルトニアンを最小化することはできるがその解がなめらかなものとはならないという非線形系の2つの特異問題について考察した。

従来非線形 H^∞ 制御問題では、外乱入力から評価出力への直達項と、制御入力から観測出力への直達項が列フルランクであるという仮定を満たす標準問題に対して、問題が可解となるための十分条件が導かれている。この仮定を満たさない場合には、ハミルトニアンを入力に関して最小化することができない。この仮定を満たさない特異制御問題（非標準問題）に対して、問題が可解となるための十分条件を導いた。

ノンホロノミックシステムとよばれる非線形特異系においては、Brockettの定理（1983）により「系を漸近安定とするような、なめらかでかつ時不変の状態フィードバック則は存在しない」ということが知られており、最適レギュレータを構成する際に必要なハミルトン・ヤコビ偏微分方程式のなめらかな解（ C^1 級の解）が存在しない。本論文では、偏微分方程式の解の概念を拡張し、粘性解という微分不可能となる点が含まれることを許す、偏微分方程式の大域的な唯一解を求め、最適レギュレータを構成する方法を開発した。具体例として三輪移動体を取りあげ、動的計画法を用いて粘性解を計算する方法、動的計画法における最適解の探索を高速化するためにランダム探索を用いる方法を提案した。また得られた粘性解を用いて最適制御則を構成する際、微分不可能点を考慮して粘性解をスプライン関数で近似し、最適制御則がBrockettの定理の条件を満たさない不連続フィードバックとなるための方法を提案した。さらに、ひとつの最適制御則で三輪移動体が障害物を回避できるためのハミルトン・ヤコビ方程式の粘性解を求める方法、外乱入力のある三輪移動体に対して非線形 H^∞ 制御系を構成するためのハミルトン・ヤコビ・アイザックス方程式の粘性解を求める方法も提案した。最後に、ハミルトン・ヤコビ偏微分方程式の粘性解を実際に計算して、この粘性解を用いて最適制御則を構成した場合の制御性能をシミュレーションにより評価し、その有効性を確認した。

論文審査結果の要旨

本論文は、非線形系の2つの特異制御問題、すなわち、ハミルトニアンを入力に関して最小化することができない場合と、ハミルトニアンを最小化することはできるがその解がなめらかなものとはならない場合について取り扱ったものである。本論文の主な成果は次のように要約される。

1. 外乱入力から評価出力への直達項と、制御入力から観測出力への直達項が列フルランクであるという仮定を満たさない場合には、ハミルトニアンを入力に関して最小化することができない。この仮定を満たさない特異制御問題（非標準問題）に対して、問題が可解となるための十分条件を導いた。

2. ノンホロノミックシステムとよばれる非線形特異系においては、最適レギュレータを構成する際に必要なハミルトン・ヤコビ偏微分方程式のなめらかな解（C1級の解）が存在しない。これに対して、偏微分方程式の解の概念を拡張し、粘性解という微分不可能となる点が含まれることを許す、偏微分方程式の大域的な唯一解を求め、これを使って最適レギュレータを構成する方法を開発した。

3. ひとつの最適制御則で三輪移動体が障害物を回避できるためのハミルトン・ヤコビ偏微分方程式の粘性解を求める方法および外乱入力に対して非線形 H_∞ 系を構成するためのハミルトン・ヤコビ・アイザックス方程式の粘性解を求める方法を提案した。

4. 三輪移動体に対して、ハミルトン・ヤコビ偏微分方程式の粘性解を計算して、この粘性解を用いて最適制御則を構成した場合の制御性能をシミュレーションにより評価し、その有効性を確認した。

以上のように、本論文は、非線形制御系の特異問題について新しい知見を得るとともに新しい解法を示したものであり、システム制御工学の分野において、学術上、実用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。