

# 論文審査の結果の要旨

氏名 甲斐 健也

近年、制御工学やロボット工学の分野において「非ホロノミックシステム」の研究が盛んに行なわれ、車・宇宙ロボット・劣駆動マニピュレータなど「線形拘束」と呼ばれる速度に関して線形な拘束条件をもつシステムを対象に多くの成果が得られてきた。一方、初期角運動量を持つ宇宙ロボットや回転盤上のコイン・球などに代表される「アファイン拘束」と呼ばれる速度に関してアファインなクラスの拘束条件も世の中には存在し、そのシステム制御論的検討が望まれている。しかし、アファイン拘束の可積分性・非可積分性に関する理論的な結果は得られておらず、そのためアファイン拘束を受ける運動学システムや動力学システムの非線形制御論的解析も、現在まで全く行われていなかった。

本論文は「Geometric Structure and Control Analysis of Nonlinear Systems with Affine Constraints (アファイン拘束を受ける非線形システムの幾何学的構造と制御論的解析)」と題し全7章からなり、多様体上で定義されるアファイン拘束の微分幾何学的解析および非線形制御論的解析を目的としている。

第1章「Introduction」では、本論文の背景と動機およびその目的について述べている。

第2章「Affine Constraints」では、本論文を通して扱うアファイン拘束を定義し、アファイン指数を用いたアファイン拘束の分類法およびアファイン拘束の幾何学的表現について述べるとともに、いくつかの物理的・工学的例を示している。

第3章「Integrability and Nonintegrability of Affine Constraints」では、アファイン拘束の可積分性・非可積分性に対する必要十分条件を導出している。さらに、可積分の場合における第1積分を計算する求積アルゴリズムを提案し、多様体の葉層構造に関する解析などの微分幾何学的な新しい結果を得ている。

第4章「Accessibility of Kinematically Asymmetrically Affine Control Systems with Affine Constraints」では、運動学制御モデルである「アファイン拘束を受ける運動学的非対称アファインシステム (KAACS)」に関して、その可到達集合の分布の解析を行っている。その結果、KAACSの局所可到達性に関するアファイン拘束に関する必要十分条件を導出し、「可積分なアファイン拘束が存在していても局所可到達となる場合がある」、「完全非可積分性と局所強可到達性は等価」などの新しい結果を得ている。

第5章「Controllability and Stabilizability of Kinematically Asymmetrically Affine Control Systems with Nonholonomic Affine Constraints」では、KAACSの局所可制御性お

よび線形状態フィードバック・なめらかな非線形状態フィードバックによるKAACSの平衡点への局所漸近可安定性について議論している。その結果、「線形近似システムが可制御」、「なめらかな非線形状態フィードバックで安定化の可能性がある」など、これまで線形拘束に対してのみ知られていた特性を超える結果を得ている。

第6章「Nonlinear Control Analysis on Nonholonomic Dynamic Systems with Affine Constraints」では、動力学制御モデルである「アファイン拘束を受ける非ホロノミック動力学システム (NDSAC)」に関して、NDSACの局所強可到達性・局所可制御性、そして線形状態フィードバック・なめらかな非線形状態フィードバックによるNDSACの平衡点への局所漸近可安定性について議論している。その結果、第5章の運動学モデルの結果と同様に、これまで線形拘束に対してのみ知られていた特性を超える結果を得ている。

第7章「Conclusion」では、本論文のまとめを行うとともに、今後の研究課題について述べている。

なお、本論文第2章と第4章は木村英紀氏との共同研究、また第3、第5、第6章は木村英紀氏および原辰次氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析及び理論展開を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。