

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13140 号
------	---------------

氏 名 村田 勇樹

論文題目

時間的制約充足型統合制御に基づく事象駆動型6脚移動ロボットの
不整地歩行

(Dynamic Walking on Irregular Terrain of Event-Driven Hexapod
Robot based on the Time Constraint Satisfaction Problem for
Control Architecture Integration)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	稲垣 伸吉
委員	岐阜大学	教授	伊藤 聡
委員	名古屋大学	教授	東 俊一
委員	名古屋大学	教授	鈴木 達也

論文審査の結果の要旨

村田勇樹君提出の論文「時間的制約充足型統合制御に基づく事象駆動型6脚移動ロボットの不整地歩行」は、6脚移動ロボットにおける歩行環境に依存しないロバストな制御器設計の設計法を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、多脚移動ロボットの不整地歩行における関連研究と課題および研究目的を述べている。特に多脚移動ロボットではその多自由度故に実時間制御の困難さがある。これに対して、筆者は関連研究が取ってきたアプローチとその問題点について分類・分析し、本研究の課題を明らかにしている。本研究の課題は、歩容制御、姿勢制御、運動計画、および接触センサを用いた局所制御などの複数の制御要素を統合しようとするとき、それらを干渉させずに、かつ多脚移動ロボットを歩行させるといった制御目的を実現しつつ、いかに統合するかである。本章の最後ではこの課題を解決するためのアプローチを概説し、研究の段階毎の研究の目的を明らかにしている。

第2章では、本研究で対象とする6脚移動ロボットについて開発した実機について概説し、その歩容制御ための開発した事象駆動型歩行制御法について説明している。その歩行制御法は本来ムカデ型ロボット用に開発された接地点追従法を6脚用に改良したものである。改良としては、静的安定性を保証するための遊脚タイミングの調整法と実時間での姿勢制御の導入が行われており、6脚移動ロボットに優れた移動能力を実現する汎用的な歩行制御法を実現しているという点で有用性が高い。また、運動計画や局所制御などの導入といった拡張性についても言及しており、さらなる研究の発展が期待できる。

第3章では、システムの仕様に対する充足性を検証するためのモデル検査について説明している。モデル検査は後の章にて紹介される複数の制御要素の統合手法に共通して利用される手法である。モデル検査では、オートマトンなどにより表現されたシステムが仕様を満たすかを、数学的な保証の下に計算機的に保証する。モデル検査を機械工学へ活用した関連研究についても紹介し、ツールとしての可能性を示している。

第4章では、モデル検査を活用して、ロボットの動作仕様を保証する時間制約の導出手法を提案している。6脚移動ロボットにおける動作仕様とはデッドロックを回避することである。複数の制御要素を搭載したロボットの動作を時間オートマトンによりモデル化し、動作仕様を満たすかを形式検証により判定する。その際、時間オートマトンの各モードで許容される経過時間の最小値と最大値をパラメータとして変動させ、直積的に最も大きくなるパラメータの組を導出する。本章ではその導出アルゴリズムの提案と共に、導出したパラメータの組をロボットの設計（物理）パラメータに対応させる手法を提案している。ロボットの設計にモデル検査を活用した点は新規性があり、また実際に導出したパラメータを6脚移動ロボットに適用して実験し、不整地踏破能力が向上することを明らかにしてその有用性を示している。

第5章では、時間制約を歩行制御内で直接保証する制約充足型統合制御手法「Timekeeper制御」を提案し、実機実験により前章の手法よりさらに不整地踏破能力が向上することを明らかにしている。モデル検査を用いて時間オートマトンのパラメータを導出するところまでは第4章の手法と同じだが、そこから物理パラメータに対応させるのではなく、そのパラメータを持つ時間オートマトンをスーパーバイザとしてロボットの動作を監視、もしくは介入を行う点が違う点である。これにより、仕様を満たすという制約充足を満たしつつ、4章の手法よりもロボットに許容される動作の範囲が広がるため、さらに不整地踏破能力が向上する。著者は実機実験によりその有効性を明らかにしている。

第6章では、Timekeeper制御の改良を提案しており、前章からより多くの時間制約の変数を扱えるように時間オートマトンのモデルを変更し、パラメータの新しい導出アルゴリズムを提案している。実機実験により、6脚移動ロボットに多様な歩容を実現でき、かつ不整地踏破能力が向上することを明らかにした。

第7章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では、不整地環境においても動作仕様を保証できる6脚移動ロボットの歩行制御器の設計法を明らかにしている。これらの評価方法並びに得られた結果は、6脚移動をベースとした様々な移動体を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である村田勇樹君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。