

博士論文審査報告書

論文題目

Locomotion Performance of Autonomous Mobile
Robot on Rough Terrain for Outdoor Survey

屋外調査用自律移動型ロボットの
不整地移動性能

申請者

Katsuaki	TANAKA
田中	克明

Department of Advanced Science and Engineering,
Research on Physics and Applied Physics B

2018年2月

本論文は、屋外調査用の自律移動型ロボットの不整地での移動性能の向上を目的として、ロボットの機械設計と制御法の提案と、それらを用いた応用例について論じている。

2011年の東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所事故を機に、屋外で活動できるロボットが注目されている。人間が立ち入ることが困難なエリアにおいては、人間による長期間の屋外作業が難しい。そのため人間の代替となる自律移動型の屋外作業ロボットの開発が必要となり、様々な用途での活躍が期待されている。

本論文はこのような屋外作業ロボットへの社会的需要を受け、屋外調査用自律移動型ロボットの開発に取り組んでおり、長期間、広範囲での屋外調査を目指した複数台のロボットを用いた屋外調査システムを提案している。

ロボットの不整地での移動性能は移動ロボットにとって重要な課題の1つである。従来までの研究の多くは、不整地での移動に対応するために、多くのアクチュエータを用い、それがロボットの設計を複雑にし、消費電力を大きくする課題がある。また、ロボットの自律移動の制御法にはカメラやレーザーを用いて地形の情報を取得する手法が多く提案されているが、天候に左右されやすく、計算コストや消費電力が大きい課題もある。

本論文ではアクチュエータの数を必要最低限にすることで、設計の簡易化と消費電力の削減を図り、新規の機械設計や制御法を提案することで、不整地での移動性能の向上を狙っている。具体的には、ロボットの移動機構、車輪や筐体の形状について力学モデルを用いた検討を行い、シミュレーションや実機を用いた実験からその効果について述べている。また、ロボットの内界センサを主に使用した環境認識、走行制御、軌道生成を行う制御法について検討し、実機を用いた実験からその効果について述べている。さらに、開発されたロボットの実社会への実装に向けて、複数の応用例についても触れており、様々な屋外環境でロボットを運用した結果について紹介されている。

本論文は、以下に示す6章から構成されている。各章の要約を示す。

第1章では、序論として研究の背景と目的、関連研究の動向について述べられている。また、ロボットを利用しない他の屋外調査手法との比較や論文の構成についても説明している。

第2章では、移動ロボットの不整地での移動性能を向上させる方法論として機械設計の観点から、移動機構、車輪と筐体形状について述べられている。移動機構では、ベルトを利用することで2つのアクチュエータのみを用いて複数の車輪の軸を回転させる仕組みが提案されている。これは、昆虫の動作にみられる、路面と脚とが接する点で構成される支持多角形の規則的な変化に注目して考案されており、2つのアクチュエータのみで安定した移動と不整地での高い移動性能を両立させるのに役立つ。また、車輪形状として、楕円脚と切りかけ車輪の新規モデルを提案しており、それぞれ力学モデルを利用して、移動路面の状況に合わせた最適な形状を求める方法についてまとめ

られている。さらに、笹や葎などのロボットの背丈より高い植物が存在する路面において移動性能を向上させる方法として、筐体形状の設計について述べられている。

第3章では、移動ロボットの不整地での移動性能を向上させる方法論として制御法の観点から、環境認識と走行制御、軌道生成について述べられている。環境認識として、内界センサを用いた路面状況を推定する手法が提案されている。また、走行制御として、サブサンプションアーキテクチャの構想を基盤としたアルゴリズムが提案されており、内界センサを主に使用した堅牢なシステムが構成されている。これらのアルゴリズムは路面状況の異常を検知するとその場を迂回するような非常に簡易なものであり、ダンゴムシの交替性転向反応に注目して考案されている。さらに、ロボットの移動効率を向上させるために、ロボットが一度移動した路面情報を利用した経路生成の手法について述べられている。

第4章では、上記をもとに開発されたロボットを用いた様々な応用例について紹介されている。具体的には、全方位レンズを用いた都内の公園の監視、放射線測定器を用いた牧草地での環境測定、レーザーレンジファインダーを用いた森林での地形情報の測定の例が紹介され、各環境での実証実験の結果について説明されている。また、更に発展的な例として、トンネル内や天井裏の設備・点検での使用について紹介されている。

第5章、第6章では、考察や結論として上記の研究成果が統括されている。また、今後の展望として、広大な観測システムの構成について言及されている。

以上、本論文では、機械設計の観点から2つのアクチュエータのみを使用したロボットの移動機構と車輪形状、筐体形状が提案され、制御法の観点から内界センサを使用した環境認識、走行制御、軌道生成が提案された。また、開発されたロボットを利用した応用例について紹介された。これらの研究は、屋外調査用の自律移動型ロボットの不整地での移動性能の向上を目的として実施され、評価試験や実証実験からその有効性について検証された。

本研究の成果は、移動ロボットの移動性能を向上させる新しい視点と研究の方向性を与えるばかりでなく、ロボットの実社会への実装に向けて大きく寄与するものである。更に、本研究の延長によって環境や生態系を理解するための効果的な屋外調査の手法を提案できると期待され、環境・生態学の分野に大きく貢献するものと高く評価できる。

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。

2018年1月

審査員

主査 早稲田大学教授
工学博士 早稲田大学
高西 淳夫

早稲田大学教授
博士（理学） 早稲田大学
朝日 透

Professor of Loughborough University
Ph.D. in Biomedical Robotics Scuola Superiore Sant'Anna
Massimiliano Zecca

早稲田大学准教授
博士（工学） 早稲田大学
石井 裕之

トヨタ自動車株式会社
博士（工学） 早稲田大学
近藤 秀樹
