

審査の結果の要旨

氏名 坂本 康輔

本論文は「Study on Hopping Behavior Strategy for Planetary Exploration (惑星探査のための跳躍移動戦略に関する研究)」と題し、月惑星表面における跳躍移動とその未知環境適応性に着目し、ロボットの移動探査機能の高度化をめざしたものである。その実現のために、主に探査ロボットの跳躍移動を研究対象とし、「地盤との相互作用モデル」「跳躍機構の設計」「跳躍移動ロボットの行動計画」の3つの観点について、環境に対してロバストで効率的な移動探査を行う手法について研究したものであり、7章からなる。

第1章「Introduction」(序論)では、本研究の背景、目的、研究のアプローチ方法、研究の新規性と貢献についてまとめている。

第2章「Literature Review of Mobility Systems for Planetary Exploration」(惑星探査のための移動システムに関する従来研究)では、従来の探査ロボットの移動機構に関する研究について紹介し、その問題点と限界を述べている。

第3章「The RFT-based Soil Interaction Model for Hopping Motion Estimation」(RFT 地盤相互作用モデルに基づく跳躍移動推定)では、ホッピングロボットの跳躍挙動に影響を与える跳躍機構と地盤との相互作用に対して、従来用いられてきたRFTモデルの問題点を明確にし、速度の二乗項を考慮する必要性と新しい相互作用モデルを提案している。提案した新しいモデルに基づき、ホッピング挙動の数値シミュレーションおよびハードウェア実験を行い、提案モデルの有効性を示している。

第4章「Novel Foot Pad Design based on the Soil Interaction Model」(土壌相互作用モデルに基づく跳躍機構の新設計)では、第3章で提案した地盤相互作用モデルを用いて、跳躍移動が最適となる機構形状の最適化を行う手法を述べている。実際にいくつかの形状を生成し、シミュレーション検討および設計した跳躍機構を用いた実験を行い、提案手法の有効性を示している。

第5章「Hopping Path Planning in Uncertain Environments」(未知環境における跳躍経路経画)では、惑星表面の地形および地質によるホッピング挙動のあいまいさを考慮し、不確実な跳躍移動においても、目的地に到達可能な経

路計画およびホッピング行動を生成する手法を新規に提案している。提案した跳躍移動戦略手法は、種々のシミュレーションにより、その有効性を評価している。

第6章「Behavior Planning for Wheel-Hopping Locomotion by Reinforcement Learning」（強化学習を用いた車輪・跳躍型ロボットの行動計画）では、環境情報が少ない場合を想定し、車輪による方位制御と跳躍による移動の2つの機能を有するハイブリッド型探査ロボットの移動行動について強化学習を用いることにより、行動を獲得する手法を提案している。実際に惑星表面地形を模擬する3Dシミュレータを用いて、その有効性について論じている。

そして、第7章「Conclusion」（結論）では、本論文の総括と今後の課題を具体的に記述している。

以上要するに、本論文は、月惑星環境で活躍するロボットの移動探査機能の高度化をめざして、探査ロボットの跳躍移動を研究対象とし、跳躍移動に適応可能な地盤との相互作用モデルを新規に提案し、また柔軟地盤においてホッピングを大きくする機構形状の最適化設計手法を構築、さらにホッピングの不確実性を考慮した経路計画手法および跳躍行動獲得手法を提案、柔軟地盤モデルに基づくシミュレーションおよび実験により提案手法の有効性を示しており、跳躍移動機能の高度化と行動戦略を実現したもので、電気工学、ロボット工学、宇宙工学への貢献が少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。