

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 下田 真吾

本論文は「Hopping Mobility under Microgravity(微小重力環境下における浮上移動に関する研究)」と題し、近年の惑星探査において重要性が高まってきている移動ロボットの小惑星や彗星の表面、宇宙ステーション内などの微小重力環境における移動手法について検討したものである。微小重力環境下の移動において、地面を蹴って浮上する方法が優れていることを示し、移動を浮上制御、空中移動、着地制御の3段階に分けて、それぞれの原理を検討することで、目標地点に浮上移動するための条件を導いている。さらにその条件をもとに新しい浮上移動メカニズムを提案し、その有効性をシミュレーションと実験の両面から検証しており、6章から構成される。

第1章は「Introduction」であり、研究の背景、目的について述べ、この研究の位置づけを明確にしている。

第2章は「Hopping Mobility」と題し、微小重力環境下で摩擦力のみを使い移動する場合の浮上移動の利点について述べている。移動を浮上制御、空中移動、着地制御の3段階に分けてそれぞれの原理を検討している。さらにそれらの原理より、浮上移動に求められる条件を導き、これまでに提案された浮上移動ロボットとその条件を比較して、それらに欠けている点を指摘している。

第3章は「New Mechanism」と題し、第2章で導いた条件に基づき、微小重力下での浮上移動に適した新しいメカニズムの提案を行っている。提案するメカニズムは3質量系とスプリング、リニアアクチュエータ、ホイールを組み合わせた構成であり、地面とロボットの相互干渉を利用しながらエネルギー変換を行うことで微小重力環境下での浮上、着地が実現するものである。提案されたロボットの機構および、モビリティの特徴を明らかにするとともに、提案したメカニズムが、微小重力環境下での目標方向への浮上、地面で弾むことのない着地を実現できることを数値シミュレーションにより示している。

第4章は「Attitude Control」と題し、ロボットが地面と接触をもち空を移動している間の姿勢制御法について議論を行っている。本研究ではロボットの軽量化の観点から、2つのホイールを用いて姿勢制御を行う場合について検討している。姿勢や姿勢変化経路を単位球面上で表現し、姿勢変化経路が単位球面上に描く面積を指標として、姿勢変化の経路計画および計画経路に沿ったフィードバック制御を行う手法を提案し、その有効性を数値シミュレーションにより示している。本手法はロボットの姿勢制御のみならず、一般的な衛星の姿勢制御に有効であり、3自由度以上の姿勢制御機構を持つ衛星の故障対策としても非常に有効な手法であることを示している。

第5章は「Experiments」と題し、2種類のプロトタイプロボットを製作し浮上、着地の有効性の検証を実験を通じて行った結果を述べている。実験は2種類行い、1つ目は水平テーブルを利用した2次元微小重力環境、2つ目は落下塔を利用した人工微小重力環境でおこなった。いずれの実験においても、ロボッ

トが微小重力環境下で目標方向に浮上可能であり、かつ着地の際に運動エネルギーを弾性エネルギーに変換し跳ね返りを押さえることが可能であることが示された。

第6章は「Conclusion」であり、本論文をまとめ、研究の成果について総括されている。

以上これを要するに、本論文は小惑星表面など微小重力環境下で最も優れた移動方法として浮上移動を採り上げ、その原理を明らかにするとともに、原理より導かれる条件から浮上移動に適した新しいメカニズムを提案し、数値シミュレーションおよび実験によりその有効性を示したものであり、ロボット工学、電子工学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格すると認められる。