

論文の内容の要旨

論文題目 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)

氏名 下田真吾

ロボットが微小重力環境下で、ロボットと地面間に働く摩擦を利用して移動するには、浮上移動する方法が考えられる。ロボットが浮上移動する場合には、さまざまな移動機構を利用することが可能であるが、いかなる移動機構を用いようとも、その原理は同一のものになる。ロボットが浮上移動するためには、体の一部を地面に押し付け浮上力を得る必要がある。その際、地面に押し付けられた部分と地面との垂直抗力は通常状態より大きくなり、より大きな摩擦力を利用して地面と水平方向の速度を生み出すことができる。これが浮上の原理であり、また微小重力環境下で摩擦力を利用して移動することができる理由でもある。さらに、微小重力環境下で目的地点に浮上移動するには、浮上後の姿勢制御、地面への着地も重要な条件になる。

本論文では、浮上の原理に基づき微小重力環境下で浮上移動できるロボットを提案する。提案するロボットは3つの質量系で構成されており、それらの質量系はスプリングとリニアアクチュエータでつながれている。さらに2つのホイールが取り付けられている。ロボットが浮上移動する際、スプリングを利用し、質量系のひとつを地面に押し付け、浮上力を得る。さらにリニアアクチュエータの一つを用いて地面とロボット間の摩擦を利用して、水平方向速度を得ることができる。この際、水平方向速度と垂直方向速度を独立に制御できるため、浮上速度と浮上方向を制御することができる。さらに提案するロボットが着地する際、ロボットの持つ運動エネルギーを弾性エネルギーに変換することで、地面で弾むことなく着地することができる。着地の際、ロボットの一部分が浮上の際と同様に地面に押し付けられるため、摩擦力を利用して、水平方向速度も減速することができる。これらの動きの有効性は、シミュレーションおよび落下等を利用した微小重力実験により実証された。

提案したロボットは2つのホイールを持つ。本論文では、2ホイールを利用した姿勢制御に関する検討も行った。姿勢が変化する際の軌道を単位球面上に射影し、その軌道が単位球面上に描く面積を利用することで、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提案する。フィードバック制御では面積を制御量として利用することで、計画経路に沿ったフィードバック制御を実現した。さらに、ロボットが初期角運動量を持つ場合、姿勢をできる限り目標姿勢付近でとどめておくことを検討し、歳差運動を利用しその際に描かれる面積とホイールを持たない軸周りの角速度を一致させることで、フィードバック制御が可能であることを示した。

本論文によりロボットは微小重力環境下で目標地点に移動可能であることが示された。これらの成果は今後の小天体探査などの微小重力環境下での移動ロボットに必須の技術である。