

審査の結果の要旨

氏名 前田 孝雄

本論文は、「月惑星探査機の着陸運動解析と脚機構制御による転倒防止法に関する研究」と題し、月や惑星に着陸する探査機の転倒を防止する方法を、脚機構をアクティブ制御するという観点に基づいて考察したものである。

月や惑星の探査は、周回軌道上での遠隔観測から、表面に着陸して詳細な観測を行う、あるいは表面のサンプルを地球に持ち帰るといった時代に入っており、月や火星に関しては有人探査も視野に入っている。また着陸地点は斜面や岩が多く存在するより険しい場所への着陸が求められている。これまでの探査機では、着陸脚にパッシブな衝撃吸収機構を用いてきたが、着陸脚を通して探査機に回転モーメントが加わるため、転倒を防止するためにはより重心を低く設計するなどの対策が必要となり、探査機の搭載機器配置の自由度が失われ、より大型の探査機とせざるを得ない問題があった。

本論文では、これまでの着陸脚が固定パラメータを持つパッシブなものであることが制約になっていると考え、着陸脚のパラメータを着地時に可変とすることを提案している。そのために、着陸運動の理論的解析、計算機シミュレーションを実施した。また、着陸運動を考慮した着陸脚の転倒防止制御法を提案し、その有効性について計算機シミュレーションおよび探査機モデルを使った実験を行って確認している。

第1章「はじめに」では、本研究の背景、課題と目的、着陸船の転倒問題、および関連する研究動向について説明している。すなわち、これからの月惑星探査では不整地への着陸技術が重要であり、天体表面の状態や着陸時の相対速度誤差に対してロバストである必要があること、軽量で信頼性を確保できる機構でこれを実現する必要があることなどを述べている。また先行研究では、着地時の転倒防止について扱った研究は少ないことが述べられている。

第2章「アクティブ制御着陸脚機構の提案」では、転倒防止の手段として、着陸脚をアクティブに制御する方法を提案している。まず物理的な考察から、地面からの反力を制御することにより、転倒防止性能を向上できることを示した。次に、着陸脚の運動方程式から、脚の減衰係数と運動との関係を理論的に

解析し、減衰係数を最大値、最小値の2値で切り替える場合には、脚の収縮速度と探査機の角速度の符号に応じて4象限で切り替えることが最適であることを理論的に導出している。

第3章「二次元着陸シミュレーション」では、提案する制御則の有効性を示すために、2次元平面内での着陸機の運動モデルおよび地面の特性モデルを構築し、様々な斜面の角度、探査機の横方向速度、表面の摩擦係数等について、計算機シミュレーションを行っている。パッシブな着陸脚を用いた場合と提案する制御手法を用いた場合について、転倒防止性能がどの程度異なるかを定量的に示している。

第4章「二次元着陸実験」では、二次元平面内で運動する2脚モデルを製作し、この落下試験を行うことで、着陸時の挙動が計算機シミュレーションと同様であることを示している。また、磁性流体を用いた可変減衰ダンパをDSPを用いて制御することにより、提案手法は実際のハードウェアとして実現可能であることを示している。

第5章「三次元運動の検証」では、第2章での考察を三次元の場合に拡張し、三次元での運動シミュレーションを実施している。三次元の場合、地面に対するねじれ角に応じて挙動が異なるため、様々なねじれ角での着地について、転倒可能性の検討を行っている。ここまでの検討では、着陸脚は四脚であることを前提としてきたが、三脚以上のN脚の場合について計算機シミュレーションを行っている。

第6章「結論」では、本論文での成果のまとめと将来展望を述べている。

以上これを要するに、本論文は、月惑星探査機の着陸脚機構に実装が容易となるアクティブ制御を導入することによって、その転倒防止性能を格段に向上させることができることを、理論・実験両面において明らかにしたものであり、宇宙工学、制御工学、電気電子工学、ロボット工学などの分野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。