

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 武市 昇

修士(工学)武市 昇 提出の論文は「楕円軌道におけるテザーシステムのダイナミクスとその制御に関する研究」と題し、6章と5項目の補遺とから成っている。

テザーシステムとは、宇宙空間で複数の宇宙構造物をテザーと呼ばれる紐で接続することにより構成されるシステムである。それは容易に大型の宇宙構造物システムを構成しうるので、将来の宇宙開発における多くの用途が期待されている。本研究では、直接には高層大気観測システムの実現のために楕円軌道に着目して、そのテザーシステムの基本的な挙動を解明している。楕円軌道であるので、テザーシステムは重力傾斜と軌道角速度の変化を常に受け、また、近地点付近では空気抵抗を受けることになる。そのような場合には、いわゆる振り子運動に対応する秤動運動が周期解を平衡解とする運動であり、その周期解が最小エネルギー解となっているという基本的な運動の本質をはじめて明らかにした。さらに、その周期解を制御目標とする基本的な考え方を提示して、その有効性を示している。本論文の成果は、テザーシステムの秤動運動が可能な円軌道を含む任意の離心率の軌道において有効で、円軌道のテザーシステムについて同様の内容を扱った従来の研究を包含できるものとなっている。

第1章は序論であり、研究の背景と本研究の目的を述べている。

第2章では、現実のテザーシステムにより近い力学モデルとして、テザーの柔軟性や分布質量、テザーシステムに作用する空気抵抗、子衛星の姿勢運動などを考慮した多自由度離散質点モデルによる数値実験を行っている。その結果、テザーシステム全体の秤動運動が、空気抵抗の影響で周期運動から徐々に発散する場合があります、その時にはシステム全体が回転運動に至ることを示している。また、複数の子衛星を持つテザーシステムの場合、スラック状態が部分的に生じ、一部の子衛星のみが不安定になる場合があることを示した。

第3章では、秤動運動とテザーの伸縮のみを考慮した2自由度の力学モデルによる数値実験とシューティング法により、数値的にはあるが厳密に周期解を求めて、楕円軌道におけるテザーシステムの秤動運動の発散のメカニズムを明らかにした。近地点通過前後に秤動運動が周期解よりも速い場合には、より大きい遠心力がかかるのでテザーが伸び、テザーシステムの下端部は密度の大きい大気中を通過する。この時システムが受ける空気抵抗は、周期解と一致する場合に受ける空気抵抗よりも大きくなり、速い秤動運動はさらに加速される。逆に、遅い場合には空気抵抗は小さくなり、遅い秤動運動がさらに減速される。また、周期解の安定性を解析して、子衛星重量・テザー自然長・テザー断面積などのテザーの弾性に関するパラメータが秤動運動の

安定性を決定し、空気抵抗係数・空気抵抗断面積・近地点高度などの空気抵抗の大きさを決定するパラメータは主として秤動運動の発散あるいは収束の速さのみを決定することを示した。

第4章では、剛体モデルにより、秤動運動と軌道運動の相互作用を考慮して、秤動運動の周期解の力学的特徴を明らかにしている。非線形運動方程式の近似解析解を Lindstedt の摂動法により求め、姿勢運動エネルギーと重力傾斜ポテンシャルエネルギーの和を求めて、運動が周期解と一致するときそれが最小値を取ることを示した。そして、テザーシステムの柔軟性や空気抵抗などの軌道運動以外の影響がある場合や、軌道運動と秤動運動の相互作用を無視した場合でも、秤動運動が周期解を平衡解とする運動であり、周期解が最小エネルギー解、つまり姿勢運動に関する力学的エネルギーが最小となっているという基本的な運動の性質が変わらないことを指摘している。過去の研究では、円軌道において静止している状態、つまり平衡状態が最小エネルギー解であるということが自明なこととして扱われてきたが、本章では秤動運動が可能な任意の離心率の軌道において最小エネルギー解が存在することを示し、その理論的根拠を明らかにした。

第5章では、楕円軌道にあるテザーシステムの秤動運動の制御について、制御目標を平衡解であり最小エネルギー解である周期解とする基本的な考え方を提示した。ごく一般的なスラスターの周期的オンオフ制御を試みて、1自由度簡易モデルおよび多自由度離散質点モデルのいずれの場合にも、秤動運動が周期解に十分収束した場合には制御入力 0 に収束していることを示して、提示した制御の考え方が有効であることを明らかにした。

第6章は結論であり、本研究の成果を要約している。

以上要するに、本論文は、楕円軌道で空気抵抗を受けるテザーシステムの特徴的なダイナミクスを示し、そのメカニズムと運動の力学的特徴を明らかにし、さらにその理解に基づいた基本的な制御の考え方を示したものであり、宇宙工学上、特に宇宙構造物工学、および構造動力学の分野において、貢献するところが大きい。

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。