

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760662

研究課題名(和文)テザーシステムの等速伸展方式の研究と伸展機構の開発

研究課題名(英文)Constant Rate Tether Deployment and its Development

研究代表者

武市 昇(Takeichi, Noboru)

名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90371153

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、テザーシステムの信頼性の高い伸展方式を実現することを目的とし、伸展時の動的挙動の数値解析および伸展機構の開発とその実験による評価を行った。本研究では、伸展抵抗の設計は不可能であると考え、その影響を受けない等速伸展方式に着目し、数値解析により伸展時のテザーの挙動が毎回ほぼ同一となることを明らかにした。つまり等速伸展により高い信頼性を保証することができるということである。次に、このような伸展を可能とする等速伸展装置の試作および試験を行った。伸展機構には耐故障性を実現し、試験により故障時にも伸展を継続でき、さらに張力に変動が生じても伸展速度をほぼ一定に保つことができることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：It is aimed to develop a tether deployment strategy that is able to assure the successful deployment. Through the numerical simulation on the tether behavior during the deployment, it is clarified that the constant rate deployment can achieve the reliable deployment because it eliminates the deployment resistance that is practically impossible to estimate in advance. Through the experiment using the prototype constant rate deployment mechanism, it is confirmed that the mechanism can perform the constant rate deployment even subject to the tether tension fluctuation or the motor single-failure.

研究分野：航空宇宙工学

科研費の分科・細目：誘導・航法・制御

キーワード：テザーシステム 伸展機構 信頼性

1. 研究開始当初の背景

故障や設計寿命を迎えた人工衛星や、ロケットの打ち上げ時に廃棄された部品はその後軌道に漂い続ける。これらはスペースデブリと呼ばれる。そして、スペースデブリ同士の衝突により、更にその数を増すものと予測されている。持続可能な宇宙開発を実現するためには、スペースデブリを予防・除去することにより軌道空間の安全を保持しなければならない。有望視されているスペースデブリの除去手段の一つとして、**Electrodynamic Tether** (以後 EDT とする) が挙げられる。EDT は、導電性の材料からなるテザーと地球の磁場との干渉により生じる誘導起電力を利用し、軌道上のプラズマを電子源としてテザーに電流を生じさせ、それにより生じるローレンツ力を利用してデブリを速やかに再突入させることにより除去する。EDT を既存の大型スペースデブリにロボットで取り付けたり、新たに打ち上げるロケット上段部や低軌道の観測衛星に予め取り付けたりすることにより、スペースデブリの除去および発生予防が可能となるものと期待されている。EDT を用いてデブリ除去ミッションを確実に遂行するためには、所要の長さのテザーを確実に伸展し、さらに伸展完了時にテザーシステムを地心方向にほぼ静止させていることが望ましい。しかし過去のテザーシステムの実験では、テザーの完全な伸展には数例が成功しているものの、いずれの場合も地心方向に静止させるには至っていない。これらの実験では伸展開始時に子衛星に初速度を与え、その減速に伸展抵抗を利用している。この方式を本研究では放出方式と呼ぶこととする。伸展抵抗は摩擦力にも起因するため、その厳密な計測・予測は困難であり、さらにその設計および製造は事実上不可能と考えられる。これら放出方式による伸展実験では、張力の大きな変動や伸展完了後の子衛星の跳ね返りなどが観測されている。これらは伸展抵抗の予測値と実際の値に大きな差が生じたことが原因であったものと考えられる。特に張力が大きく変動する際には、テザーが張力を失うスラック状態が生じる。スラック状態では子衛星とテザーが絡まる、あるいはテザー同士が接触してショートするといった不具合を生じる可能性がある。しかし放出方式によるテザー伸展は、伸展抵抗により伸展速度を制御することを意図しているためスラック状態にならないことを保証できないものと考えられる。そして現在に至るまで、テザーを確実に伸展しかつ地心方向にほぼ静止させられる伸展技術は確立していない。

2. 研究の目的

そこで本研究では、テザーを確実に伸展しかつ地心方向にほぼ静止させられる伸展方式として等速伸展に着目し、その特徴および実現可能性を明らかにする。等速伸展では、伸展抵抗という厳密な予測や設計が不可能

なパラメータの影響を受けないものと考えられる。

3. 研究の方法

テザーが張力を失うスラック状態など、紐としての柔軟性を表現できる離散質点モデルを用い数値計算により伸展時の挙動を調べ、その特徴を明らかにする。数値計算により、放出方式および等速伸展方式による子衛星およびテザーの振る舞いを調べ、初速度のばらつきおよび伸展抵抗のばらつきの影響を明らかにする。また、等速伸展を実現するための伸展機構を試作し、その実現性および実用化までの課題を明らかにする。

4. 研究成果

数値解析の例を図1-4に示す。放出方式ではテザー全長の伸展完了時点から張力の大きな変動が見られ、特にテザーが張力を失うスラック状態が頻繁に発生することが確認された。一方、等速伸展では伸展に従いテザーの張力が徐々に増加し伸展完了後はスラック状態が全く生じないことが明らかとなった。伸展抵抗のばらつきを考慮した数値解析の結果を図5に示す。放出方式では伸展挙動に大きなばらつきが生じることが明らかとなった。伸展抵抗は事前の正確な予測が不可能であるので、伸展時の挙動を正確に予測することが不可能であることを示している。また、伸展抵抗が予測より小さくなってしまった場合には、伸展完了時に大きな伸展速度が残留してしまうため、子衛星の跳ね返りが生じ、その後スラック状態が生じることが避けられないことも明らかとなった。一方、等速伸展は伸展抵抗の影響を受けないため、期待通りの伸展挙動を実現することが可能である。

また等速伸展方式を実現するための伸展機構を試作し、その挙動の試験を行った。試作した伸展機構を図6に示す。信頼性の高い伸展機構を実現するためには、複数のアクチュエータを冗長構成にする必要がある。本研究では超音波モータを並列に接続する方式を考案し、一つが故障しても残りのモータが駆動することにより伸展を継続できる伸展機構を試作した。一部のモータの故障を模擬した試験を行い、故障発生後にも等速伸展を継続できることを明らかにした。

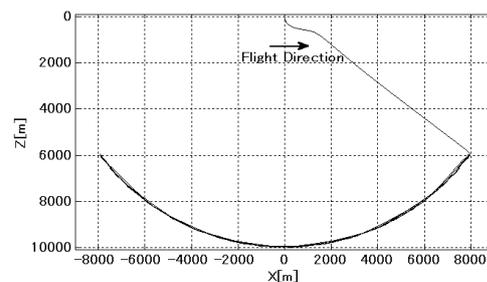


図1 子衛星の軌跡 (放出方式)

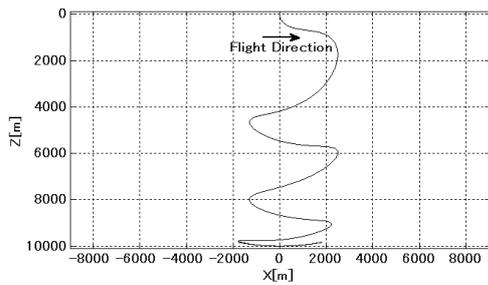
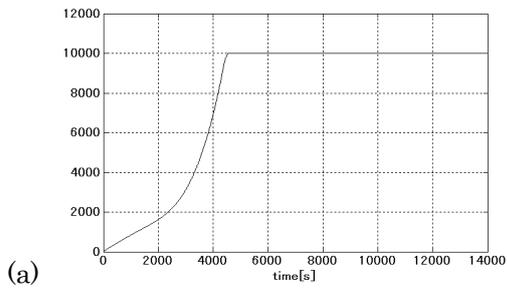
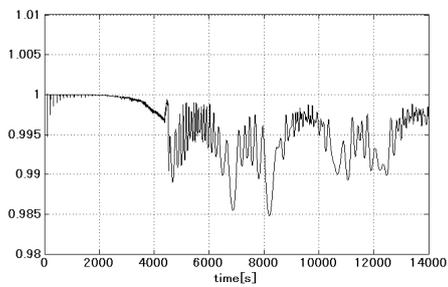


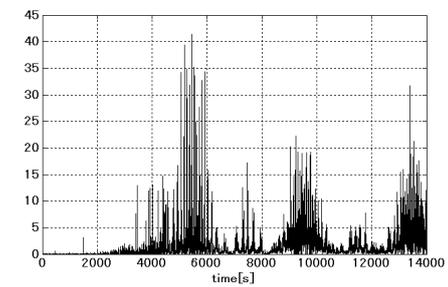
図 2 子衛星の軌跡 (等速伸展)



(a)

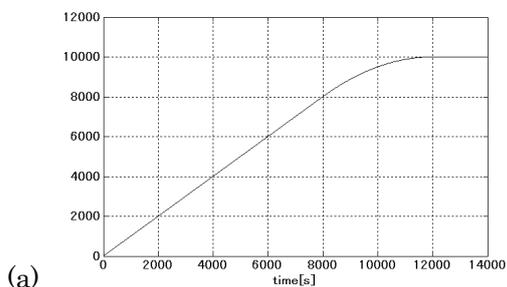


(b)

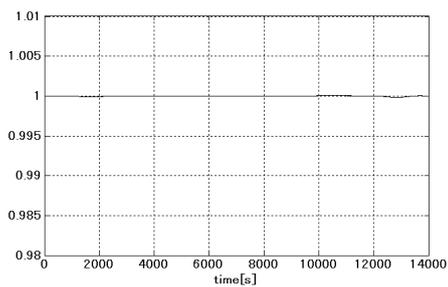


(c)

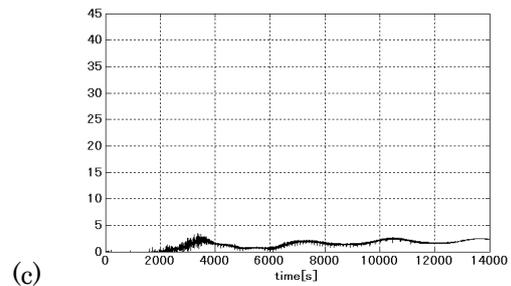
図 3 (a)伸展長・(b)たわみ度・(c)テザー張力の時間履歴 (放出方式)



(a)

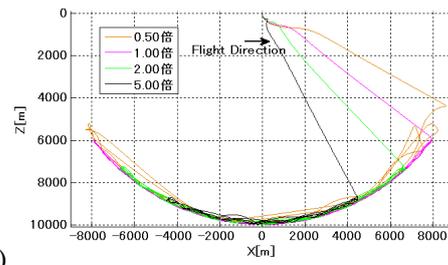


(b)

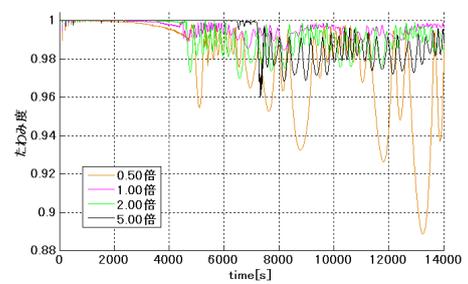


(c)

図 4 (a)伸展長・(b)たわみ度・(c)テザー張力の時間履歴 (等速伸展)



(a)



(b)

図 5 伸展抵抗のばらつきを考慮した放出方式の挙動 (a)子衛星の軌跡, (b)たわみの時間履歴

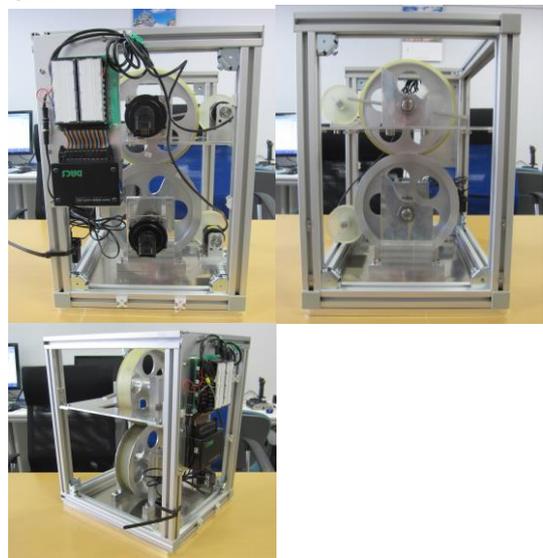


図 6 試作した等速伸展機構

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 1 件)
安藤匠, 武市昇, “等速伸展するテザーシステムの動的挙動の解析,” JSASS-2013-4736, 第 57 回宇宙科学技術連合講演会, 米子, 2013 年 10 月 9~11 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武市 昇 (TAKEICHI, Noboru)

名古屋大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90371153