

Tethered CubeSat の安定的なテザー伸展について Stable tether deployment of Tethered CubeSat

○小池魁舟¹, 横田隼², 青木義男³

*Kaishu Koike¹, Shun Yokota², Yoshio Aoki³

Abstract: Tethers are light-weight and easily stored mechanical elements, and the use of them in tethered systems allows for the easier construction of massive structures; and they are gathering attention in the field of space research for the variety of new missions they make possible. One example of such a system is the partial space elevator, a space infrastructure for transportation, where a climber moves along a very long tether to carry payloads between different orbits. By using such a system, it is thought that the cost performance and energy efficiency for low-earth to geosynchronous orbit transfers is far greater than that of conventional rockets; it may be the stepping stone to new technologies for finding resources in space. In recent years, proposals have been made to conduct space elevator demonstration experiments using CubeSat. The first step indispensable for this space elevator technology demonstration is to deploy the tether linearly. However, with tethered CubeSat, there are cases where the tether deployment of the planned length could not be performed, so the establishment of stable tether deployment technology is indispensable. Therefore, in this report, we conducted a tether deployment experiment on a two-dimensional plane using the developed air levitation gravity compensator and examined a stable tether deployment method.

1. 緒言

テザーは軽量、優れた収納性などの利点を有する機械要素であり、これを利用したテザーシステムは大規模システムの構築が容易なことから、人工衛星で可能なミッション範囲の拡大を目指す宇宙分野で注目されている。このようなシステムの一例として、部分的宇宙エレベータ(partial space elevator)と呼ばれる、長大なテザー上を移動するクライマにより軌道間輸送を行う宇宙輸送インフラが挙げられる。これを用いることで、低軌道から静止軌道への輸送において、打上げロケットを用いた方法と比較してエネルギー効率の良い輸送が行えると考えられることから、宇宙資源探査の基盤技術になり得る。近年、この宇宙エレベータシステムの技術実証を、CubeSat を利用して行う提案がなされてきたが、計画した長さのテザーを展開できなかった例もあり、安定的なテザー伸展技術の確立は不可欠である。また、宇宙空間でのテザー展開及びクライマ移動がシステム全体に与える影響については未だ明確でない点が多い。そこで本研究では、同システムの技術実証を目的とする衛星の開発を念頭に、その地上実験として、開発した空気浮上式重力補償装置により二次元平面上においてテザー伸展実験を行い、安定的なテザー伸展の方法を検討した。

2. テザー伸展実験

ここでは、空気浮上式重力補償装置を用いて、衛星を浮上した状態でテザー伸展を行い、システム全体の挙動を確認する。本実験の概観を Fig.1 に示す。また、テザー伸展の送り条件を Table.1 に、テザーの仕様を Table.2 に示す。

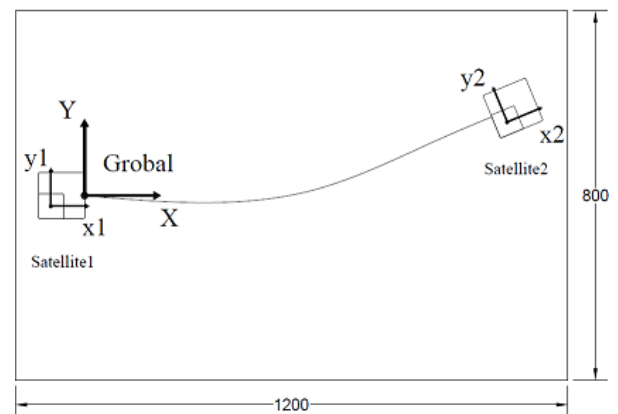


Figure 1. Outline of tether deployment experiment

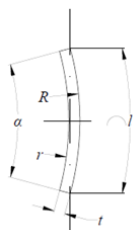
Table 1. Tether deployment conditions

No.	Tether	Length [mm]	Velocity [mm/s]	Acceleration [mm/s ²]
1	A	900	200	500
2	B	900	50	50
3	B	900	200	500

1 : 日大理工・院(前)・精機 2 : 日大理工・院(後)・精機 3 : 日大理工・教員・精機

Table 2. Tether dimensions

Type.	l [mm]	T [mm]	r [mm]	R [mm]
A	13	0.15	35	35.15
B	6	0.15	15	15.15



3. 実験結果及び考察

Table.1 の 3 条件によるテザー伸展時の Satellite2 の挙動を Fig.2, 3, 4 に示す. また, テザー張力及び, 伸展時の衛星の挙動を Fig.5, 6, 7 に示す.

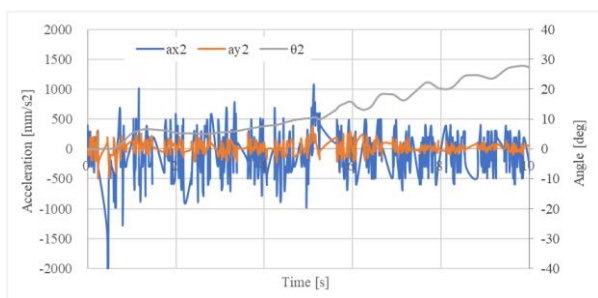


Figure 2. Tether deployment No.1 satellite2

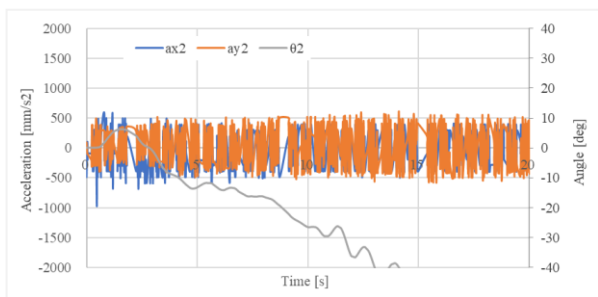


Figure 3. Tether deployment No.2 satellite2

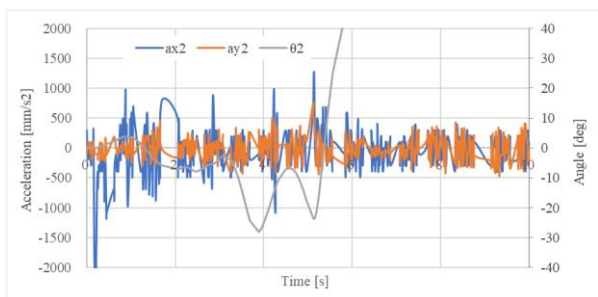


Figure 4. Tether deployment No.3 satellite2

No.1 と No.8 の結果を比較することで, テザーの断面二次モーメントが大きいほどテザー伸展中における衛星の回転運動を抑制することができ, さらに伸展終了後においても衛星の回転運動を抑制することができるかと推測される. また, No.1 と No.2 の結果を比較すると, テザーの送り出し速度及び減速加速度を制御することで, 衛星の持つ伸展方向の運動量を小さく抑え, リバウンドを抑制することが可能と考えらる.

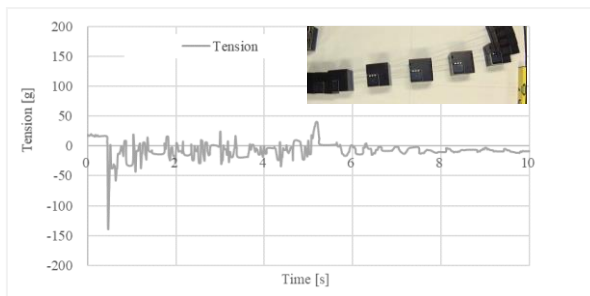


Figure 5. Tether deployment No.1 tension

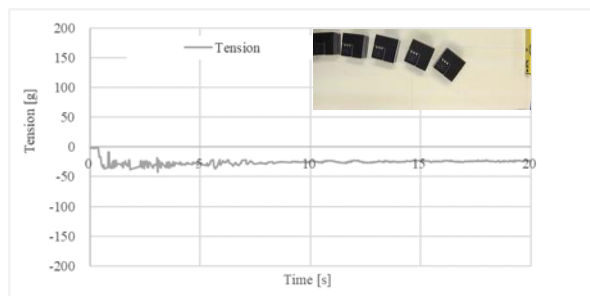


Figure 6. Tether deployment No.2 tension

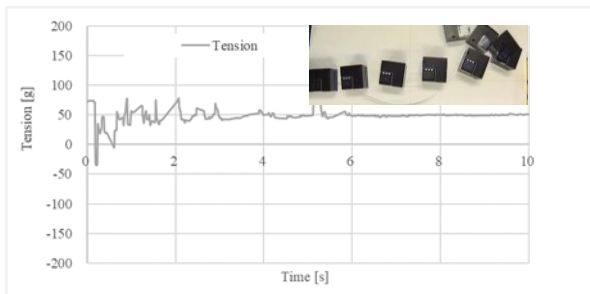


Figure 7. Tether deployment No.3 tension

4. 結論

本報告では空気浮上式重力補償装置を用いることで, 二次元平面上でのテザー伸展挙動を観測し, 安定的なテザー伸展に関わる要因を検討した. 実験により, テザーの曲げ剛性が伸展の直線性に影響を与えることが確認された. しかし, CubeSat ではテザーの収納容積に限りがあるため, テザーの曲げ剛性を増すには限界がある. そこで, テザーを送り出す際の加減速を制御することでリバウンドに繋がる運動量を減少させることが可能であることを示した.

5. 参考文献

佐藤, 田尾, 能見, 山極 (静大), 青木 (日大), 大塚, 石川 (大林組): テザー小型衛星におけるテザー伸展挙動解析, 平成 28 年度宇宙輸送シンポジウム講演集録 (STEP-2016-041), 2017
 [2] 日本学術会議: 第 23 期学術の大型研究計画に関するマスタープラン, 計画番号 155 学術領域番号 34-1, 2017