

I-B9

テザー衛星システムの振動制御の地上実験

五洋建設	正会員	岩佐 貴史
東京大学大学院工学系研究科	正会員	阿部 雅人
文部省宇宙科学研究所		樋口 健
同上		名取 通弘
東京大学大学院工学系研究科	正会員	堀井 秀之

1. はじめに

テザー衛星の収納時における発散振動の制御に関する研究は注目をあびている。現在までで報告されている姿勢制御法を大別すると次の3つに分けることができ、一つはテザーの張力をコントロールする方法[1]、2つ目は衛星に取り付けられたスラスターを用いることによって振動を抑えようとするもの[2]、そして3つ目にスペースシャトルに据え付けられたブーム自身を動かすことによって振動を制御しようとするもの[3]である。中にはこれらを組合わせて制御を行っているものなども最近では見られるようになった[4]。しかしながら姿勢制御に関する研究の現状としては理論結果のみが先行していき、地上における実験の手段によりその挙動を検証したものはほとんどない。そこで本研究では、まず最初にテザーの出し入れのみを用いるという実用上単純な制御則を提案した後、実験室規模の実験装置を用いることによってその制御則を検討していく。

2. システムモデルと定式化

システムモデルを図1に示す。テザー衛星システムの運動方程式を導くにあたり次の3つの仮定を設ける。

- (1) テザーは不伸長とし質量は無視する。
- (2) テザー衛星の振動は軌道面内のみとし振幅は微小とする。軌道面外に関しては考慮しない。
- (3) 空気による影響は無視する。

以上の3つの仮定を考慮しラグランジュの方法を用いることによって最終的に得られる運動方程式をさらに振幅 θ で線形化すると式(1)が導かれる。

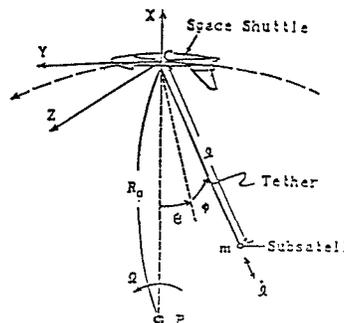


図1 システムモデル

$$\ddot{\theta} + 2\frac{\dot{l}}{l}\dot{\theta} + 3\theta = -2\frac{\dot{l}}{l} \tag{1}$$

ここに θ はテザー衛星の微小振れ角、 l はテザーの長さ、ドットは式(2)

$$\tau = \omega t \tag{2}$$

で示される無次元時間 τ での微分を示す。本研究ではこの式(1)で示される運動方程式を最適レギュレーターを用いて解析を行った。式(1)で示される運動に対しテザーを式(3)で示されるように収納していく。

$$l = ae^{-s\tau} + u \tag{3}$$

ここで u は制御入力を示す。式(3)を式(1)に代入し線形化すると式(4)が導かれる。

$$\ddot{\theta} - 2s\dot{\theta} + 3\theta = 2\left(s - \frac{su}{l} - \frac{\dot{u}}{l}\right) \tag{4}$$

さらに式(4)の右辺を式(5)

$$U = 2s - \frac{2su}{l} - \frac{2\dot{u}}{l} \tag{5}$$

で示されるように U で置き換えマトリックス化された方程式に変換すると、最終的に問題は式(6)

$$J = \int_0^{t_f} \left\{ X^T(t) \cdot Q(t) \cdot X(t) + U^T(t) \cdot R(t) \cdot U(t) \right\} dt \tag{6}$$

で示される評価関数 J を最小にする典型的な最適レギュレーター問題へと帰着される。今回の解析では初めに最適制御入力 U を決定した後、その値を式(5)に代入し数値積分を行い実際に使用する制御入力 u を求めている。

3. 実験装置

図2に実験装置の概略を示す。10度の傾斜角をもつ試験台を回転テーブルの端に設置し試験台表面にテザーで接続された試験体を置く。テザーは斜面上部の滑車を介して回転テーブル下のステッピングモーターの送りネジに接続されており伸展収納はコンピューターで制御されるようになっている。試験体の運動は斜面上部に設置されたビデオカメラにより随時撮影されそれと同時にステッピングモーターの周波数はモデムを介しパーソナルコンピューターに収納されるようになっている。今回の実験では供試体として斜面との摩擦を減らすためドライアイスを用いた。実験装置上の供試体の運動方程式は式(7)

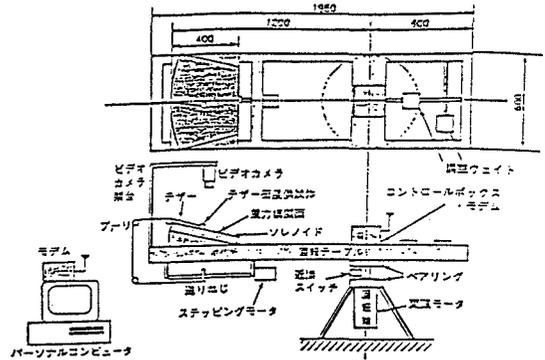


図2 装置の概要

$$\ddot{\theta} + \left(2\frac{l}{l} + c\right)\dot{\theta} + \frac{r}{l}\left(\frac{\bar{g}}{r\omega^2} - 1\right)\theta = -2\frac{l}{l} \quad (7)$$

で示される。

4. 実験結果

実験結果を図3、4に示す。このとき初期値は $\theta = -0.12$ $\dot{\theta} = 0$ $l = 33\text{cm}$ 、収納速度は $\frac{l}{l} = -1/20$ 、回転テーブルの

回転数は4 rpm、評価関数の重みはそれぞれ $Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ 、 $R = 7$ を用いた。

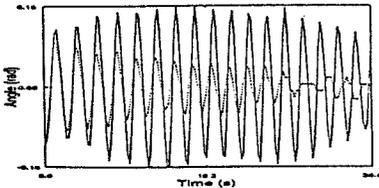


図3 試験体の挙動

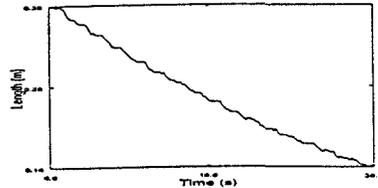


図4 テザーの収納

横軸はそれぞれ実時間を用いており、縦軸は図3は制御した場合としない場合の振幅 θ 、図4は制御した場合のテザー長 l を示す。図より供試体の挙動は制御されており今回用いた制御則の有効性がうかがえる。また図4には試験体の収納されていく様子を示している。 $l = 33\text{cm}$ から引き始め $l = 16\text{cm}$ まで引いている。

5. まとめ

- (1) 最適レギュレーターを用いて実用上単純な制御則を提案した。
- (2) 実験室規模の実験装置を用いて、今回提案した制御則によりテザー衛星システムの振動制御を行うことに成功した。

6. 参考文献

- [1] Rupp, C.C., "A Tether Tension Control Law for Tethered Satellites Deployed Along the Local Vertical," NASA TM X-64963, 1975
- [2] Banerjee, A.K., and Kane, T.R., "Tethered Satellite Retrieval with Thruster Augmented Control," Journal of Guidance, Control and Dynamics, Vol 7, No. 1, 1984
- [3] V.J. Modi, "Dynamics and Control of a Space Station Based Tethered Elevator System," 42nd Congress of the International Astronautical Federation, 1991
- [4] V.J. Modi, "On The Control of Tethered Satellite Systems," 32nd SDM Conf., 1991