

微小重力下におけるテザーサンプリング用リール機構の機能評価実験

東京工業大学 松永三郎, 山中富夫, 芦田宏樹, 西田淳一

宇宙研 中谷幸司, 森治

Microgravity Experiment of Reel Mechanism for Tethered Sampling

Saburo Matunaga, Tomio Yamanaka, Hiroki Ashida and Junichi Nishida

Tokyo Institute of Technology, Meguro-ku, Tokyo 152-8552

E-Mail: yamanaka@lss.mes.titech.ac.jp

Koji Nakaya and Osamu Mori

Institute of Space and Astronautical Science Yoshinodai, Sagami-hara, Kanagawa 229-8510

E-Mail: Nakaya.Koji@isas.jaxa.jp

Abstract: Tethered sampling method proposed by authors is one of the ways of the sample return mission for minorbody. This method has three phases to get sample. They are shooting, inserting and pulling up and retrieving a corer. The authors developed a reel mechanism for the third phase, the pulling up and retrieving corer and conducted micro gravity experiments. In this paper, the reel mechanism is introduced and results of micro gravity experiments are described.

Key words: Tethered Sampling Method, Reel Mechanism, Micro Gravity Experiment

はじめに

本論文では、テザーサンプリング法に必要な不可欠なリール機構を用いたテザーの回収時の挙動について述べる。テザーサンプリング法とは、小天体を対象としたサンプルリターンの新たな手法の一つとして、著者らが提案した方法である。日本の小惑星探査機である『はやぶさ』は、JAXA/ISAS によって、2003年3月に打ち上げられ、2005年12月には小惑星『イトカワ』へランデブし、タッチダウンに成功した。はやぶさのサンプルリターンが成功すれば、太陽系の起源や進化を解明する証拠を得られるかもしれない。しかし、はやぶさが採用しているサンプルリターンの手法では、サンプルの質量は数100mgほどでしかなく、次期小惑星探査ではさらに多くの試料を採取することが求められる。また、地表の試料だけでなく、地中の層状情報を維持した状態での試料採取が望ましい。著者らが提案するテザーサンプリング法では、上記の要求を満たすことができると考えている。

本方式は、3つの段階から成っている(Fig.1).

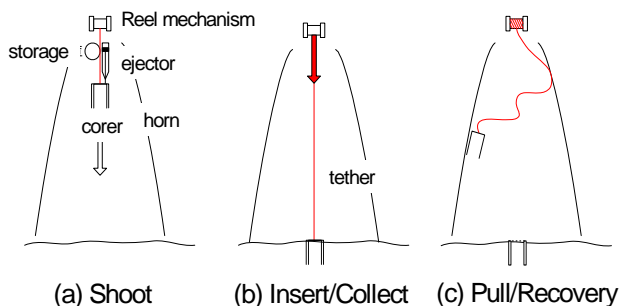


Fig. 1: Tether Sampling Method

- テザーが取り付けられたコアラ(試料採取器)を射出する
- 小天体の地表にコアラを挿入し、サンプルを採取する
- コアラを引抜き、テザーを用いて回収する。

本論文では、回収過程とリール機構を用いたテザー回収の基礎実験について述べる。

リール機構

テザーサンプリング法の引抜き・回収過程で使用するリール機構を開発した(Fig.2).

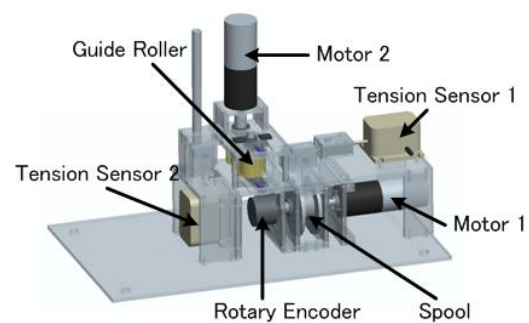


Fig.2: Reel Mechanism Overview

モータ1は、スプールに直接取付けており、モータ2は、ガイドローラーに直接取付けてある。ロータリーエンコーダは、スプールに取付けられており、テザーの回収速度を計測できる。コアラからガイドローラーまでのテザーの張力を外部張力、ガイドローラーからスプールまでのテザーの張力を内部張力と呼んでいる。すなわち、ガイドローラーが内部張力と外部張力を分けている(Fig.3).

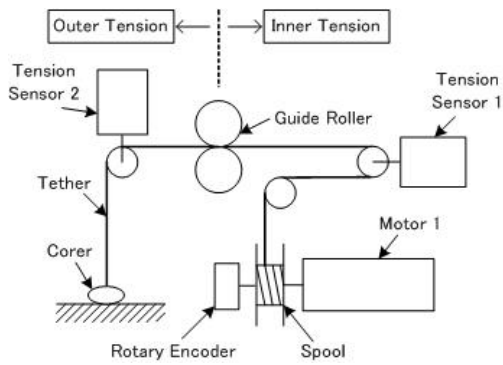


Fig.3: Composition Chart

Fig.3 のテザーの経路から、理論上、張力センサ 1 の計測値は、内部張力の 2 倍($2 * T_1$)となり、張力センサ 2 の計測値は、外部張力(T_2)そのものとなる。本機構の特徴をまとめると、

- 1) テザーの内部と外部張力は、別々に制御可能
- 2) スプール部等でテザーが絡まらないように、内部張力をかけ続けることができる。
- 3) ロータリーエンコーダによって、スプールの回転数を計測し、テザーの回収速度・長さを計算できる。

無重量実験装置

本リール機構の無重量環境下における機能評価試験を日本無重量総合研究所(MGLAB)の落下棟にて実施した。Fig.4 は、無重量実験装置の外観図である。

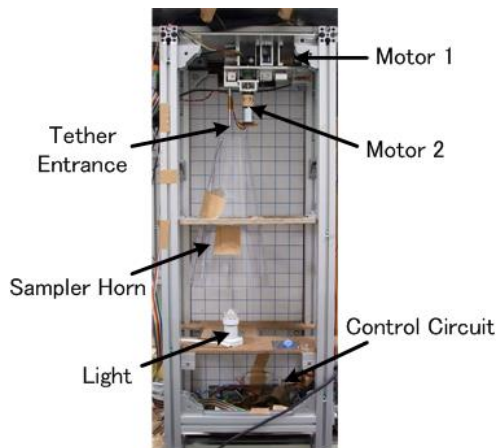


Fig.4. Experimental Setup Overview

実験スペースは、約 200mm*300mm*600mm で、リール機構、サンプラーホーン、コアラ、照明器具、制御回路から構成されている。また、底に 2 つのビデオカメラが、リール機構真横に 1 つのビデオカメラが設置されており、実験中のテザーとコアラの挙

動がモニタできる。リール機構から出ている初期のテザー長さは約 600mm で、たるんだ状態にある。永久磁石をコアラの模擬として用い、磁力を変化させることで、引抜張力を調整した。

実験結果

テザーの回収制御には、テザーの張力と回収速度を用いた PI 制御を適用した。この制御には、さらに過去の影響の項も加えてある。無重量実験は、合計 7 回実施した。実験パラメータと制御パラメータを Table 1 と Table 2 に示す。

Table 1 Experimental Parameters

No.	Motor Control Method	Drawing Tension [N]	Corer Location	Sampler Horn
1	M1: Constant speed recovery (high speed)	2.4	middle	nothing
2	M1: Constant speed recovery (low speed)	2.4	outside	horn
3	M1: Tension FB control M2: Constant speed recovery (high speed)	2.4	outside	horn
4	M1: Tension FB control M2: Constant speed recovery (low speed)	2.4	outside	horn
5	M1: Tension FB control M2: Constant speed recovery (middle)	2.6	outside	horn
6	M1: Tension FB control M2: Constant speed recovery (higher)	1.6	outside	horn
7	M1, M2: Tension FB control	1.6	outside	horn

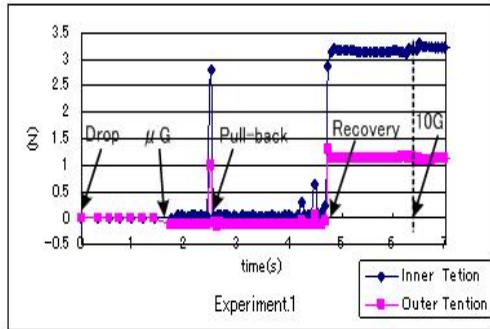
Table 2 Control Parameter

No.	Kp 1	Ki 1	Kpast 1	Kp 2	Ki 2	Kpast 2
3	10	0	0.2	-	-	-
4	10	0	0.2	-	-	-
5	10	0	0.2	-	-	-
6	10	0	0.2	-	-	-
7	10	0	0.2	10	0	0.2

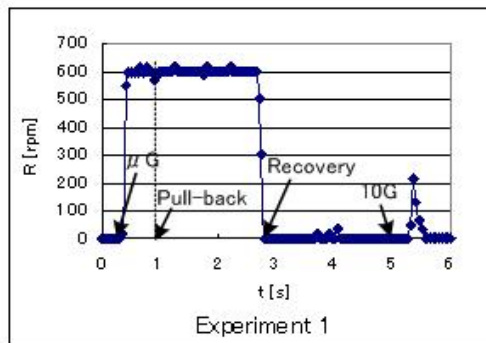
いずれの実験もテザーとコアラの回収に成功し、無重量状態での挙動を計測できた。実験 1, 2 では、ガイドローラーの機能を無効にし、モータ 1 のみを一定速度 (実験 1: 高速, 実験 2: 低速) で駆動させた。Fig.5 に張力値とスプールの回転数を示す。図中の「Drop」は実験装置の入ったカプセルが落下した時刻を、「 μG 」は微小無重量環境になった時刻を、「Pull-back」はコアラが引抜けた時刻を、「Recovery」はテザーの回収が終わった時刻を、「10G」はカプセルに制動がかかった時刻をそれぞれ意味する。両実験とも、Fig.5(b)と Fig.5(d)から、一定速度でコアラとテザーの回収できたことがわかる。また、Fig.5(a)と Fig.5(c)の Pull-back から、コアラの引抜き張力が計測できていることがわかる。

外部張力が、微小重力下になった瞬間に小さくなっているのは、外部張力を測定している張力センサ 2 に取り付けられている滑車の重量が 0 になったことが原因である。これは、7 回の実験を通して、全て現れている。テザーが一定速度で回収されている

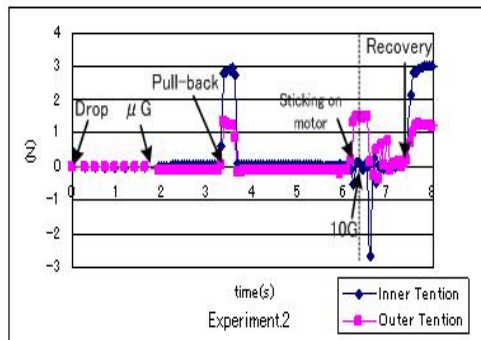
ので、内部張力はほぼ0である。実験2では、コアラが磁力によって、モータ2の側面にくっついた。また、その直後に制動による10Gがかかったため、張力センサ値は回収前に変動している。



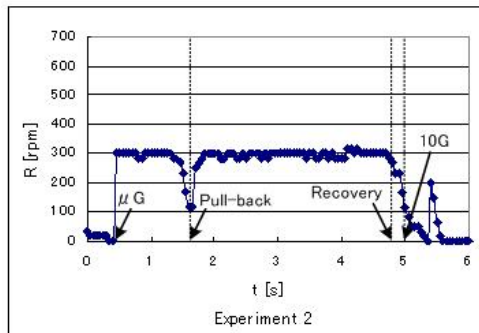
(a) Tether Tension in Ex.1



(b) Motor 1 Revolution in Ex.1



(c) Tether Tension in Ex.2

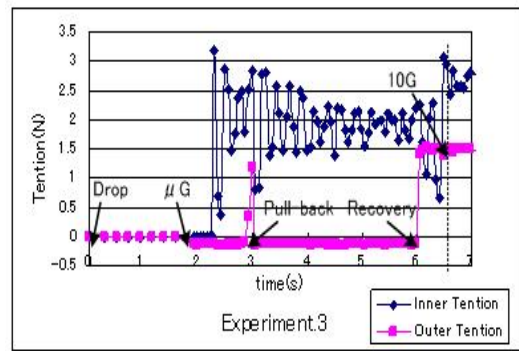


(d) Motor 1 Revolution in Ex.2

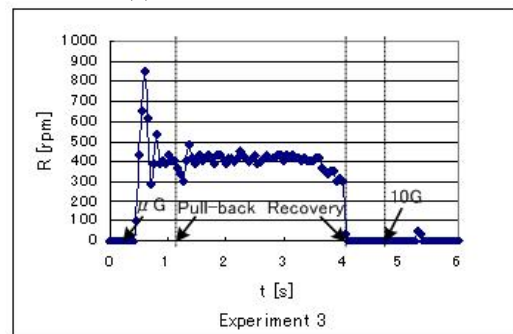
Fig.5 Experimental Results

実験3から6では、モータ1は一定張力フィードバック制御で、内部張力が1Nとなるようにしている。ただし、グラフでは、機構上の性質から内部張力の2倍の値が記されている。モータ2は一定速度で制御されており、その速度は、各実験で毎回異なる。実験3と4の結果をFig.6に示す。

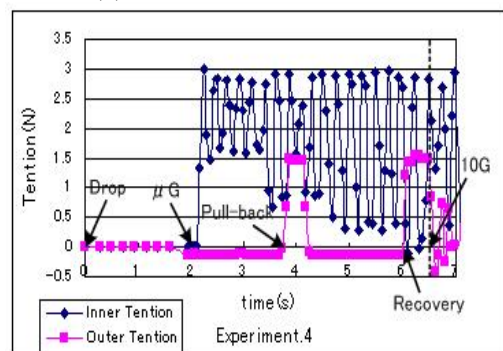
実験4では、Fig.6(c)のように、モータ2の回転速度を遅くした時、内部張力が発散気味に見える。これは、ガイドローラーとテザーとの間に大きな摩擦が生じ、モータ1で出力を維持することが難しかったからだと思われる。一方、実験3,5,6では、内部張力が指定した値に収束した。Fig.7は、回収時の様子である。



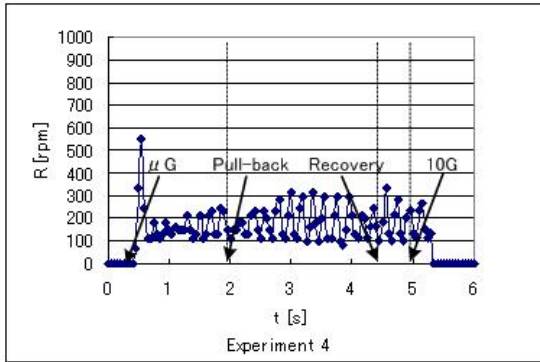
(a) Tether Tension in Ex.3



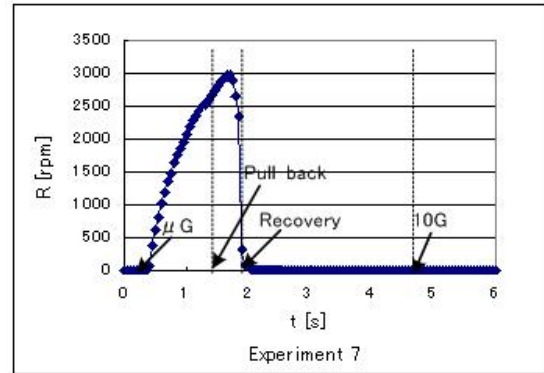
(b) Motor 1 Revolution in Ex.3



(c) Tether Tension in Ex.4



(d) Motor 1 Revolution in Ex.4
Fig.6 Experimental Results



(b) Motor 1 Revolution in Ex.7
Fig.8 Experimental Results

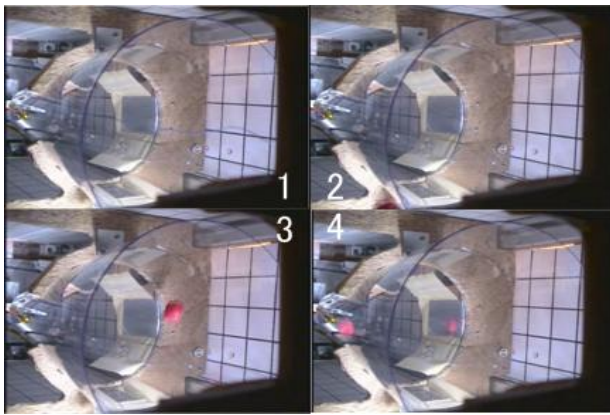
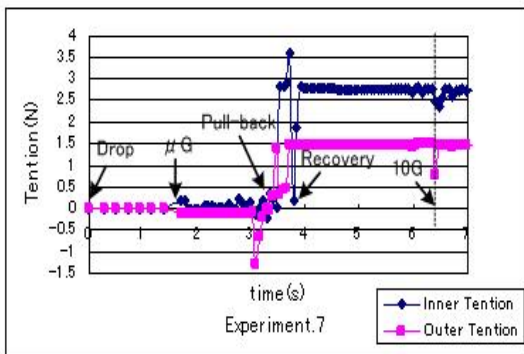


Fig.7 Recovery Motion Overview in Ex.6

実験 7 では、両モータを一定張力制御（外部張力：0.2N，内部張力：0.5N）で駆動させた。また、テザーの初期状態は、前回までの実験よりもたるみました。結果は、Fig.8 に示す。外部張力を一定に維持する制御則をとったので、回収速度は徐々に大きくなっている。



(a) Tether Tension in Ex.7

この実験では、ガイドローラー部でテザーが絡まった。しかし、ガイドローラーは回転を維持していたので、回収は成功した。ビデオ映像によると、テザーの絡まりは、ちょうどコアラの引抜き時に生じている。したがって、引抜きによってテザー張力が変化し、この変化がガイドローラーを通して大きなたるみを生じたと考えられる。

結論

本論文では、リール機構を用いたテザー回収について述べた。テザー回収は、テザーサンプリング法に必要な不可欠な要素であり、その実現可能性を確認するために、落下棟にて無重量実験を実施した。計 7 回実施した実験では、いずれもコアラとテザーの回収に成功し、著者らが開発したリール機構の有効性を示した。

参考文献

- [1] 松永三郎, 榎本晋嗣, 山中富夫, 森 治, 中谷幸司, “小天体テザーサンプリングためのシステム検討,” 第 49 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 広島, 2H02, 2005 年 11 月 9 日~11 日, pp.6.
- [2] S. Matunaga, O. Mori and K. Nakaya, S. Masumoto and T. Yamanaka, “Concept and System Consideration of Tethered Sampling for Minorbody Exploration in Deep Space,” 25th ISTS and 19th ISSFD, ISTS 2006-k-29, Kanazawa, June, 2006.
- [3] S. Matunaga, O. Mori and K. Nakaya, S. Masumoto and T. Yamanaka, “Tethered Recovery and its Behavior of Tethered Sampling for Deep Space Minorbody Exploration,” 25th ISTS and 19th ISSFD, ISTS 2006-d-20, Kanazawa, June, 2006.