

## M-40 ヨーヨー型低重力装置の改良

是木 武正 (IA/HASTIC)、江上 侑雄 (Uchusen/HASTIC)、  
秋葉 鏖二郎 (USEF/HASTIC)

### Improvements of the reduced gravity device based on the yoyo principle

Takemasa Koreki, Ikuo Egami, Ryojiro Akiba  
HASTIC, Sapporo 060-0819, Japan

**Abstract:** The authors have developed several reduced gravity devices based on the yo-yo principle, and their effectiveness is demonstrated by the various educational experiments. On the other hand, several points to improve are revealed for more public uses. This paper reports a newly developed device combining two pulley systems separating the yo-yo repulsion pulley and the spiral pulley modulating the rotational speed. A cozy design is resulted from those improvements, in addition to the remarkable reduction of the repulsion shock.

**Key words:** Space utilization, Reduced gravity device

ヨーヨー型低重力装置は、ヨーヨーの原理を応用し、落下カプセルの制動時に位置エネルギーを剛体の回転エネルギーに変換し、これを引き続き打ち上げに利用し、反復上昇、落下を可能とする装置である。これにより、上昇－落下過程を通じ、所定の低重力レベルの実験が可能となる。落下のみを利用する場合に比べると、所要の高さが  $1/4$  で済むため、装置が著しく小型となる。その原型については、既に文献 1) で報告した。また、教育目的の実験例については文献 2) を参照されたい。しかし、原型装置については、運動の最下点におけるカプセルの反撥加速度が大きくなること、落下上昇の長さに比例して、滑車系が大きくなるので、装置の利用を普及する上での問題であった。そのための改良策として、著者らは文献 3) において新しく組み合わせ滑車の有効性を示した。

ヨーヨーを特徴付けるのは、図 1 のようにカプセルを吊り下げる紐の一端が滑車に固定されていることで、最下点で紐が解け

切った後再び滑車に巻きつく運動が反撥過程となる。

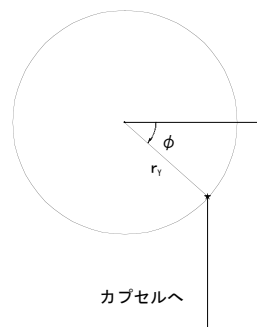


図 1 反撥モデル

カプセルの質量を  $M$ 、ヨーヨー滑車の慣性モーメント  $I_Y$  より、 $I_Y = MK_Y^2$  で  $K_Y$  を定義し、 $v_f$  を反撥過程に入る直前のカプセルの落下速度とすれば、カプセルの反撥最大加速度  $\alpha_{CB}$  は、エネルギー保存の関係より、次式で与えられる。

$$\alpha_{CB} = 2 \left( \frac{r_Y}{K_Y} \right)^2 g + \left[ 1 + \left( \frac{r_Y}{K_Y} \right)^2 \right] \frac{v_f^2}{r_Y} \quad (1)$$

これより、 $r_Y < K_Y$  の条件の下で、ヨーヨー滑車の半径を大きくすることが、反撥加

速度の低減に本質的であることを示している。

### 1. 組み合わせ滑車の概念

原型装置では、反撥過程での滑車半径は螺旋滑車の最小半径であるので、 $v_f$ を下げるために小さく取らざるを得ず、苦しい設計を強いられる。そこで、図2のように、減速のための螺旋滑車とヨーヨー滑車を分離する組み合わせ滑車を考案した。

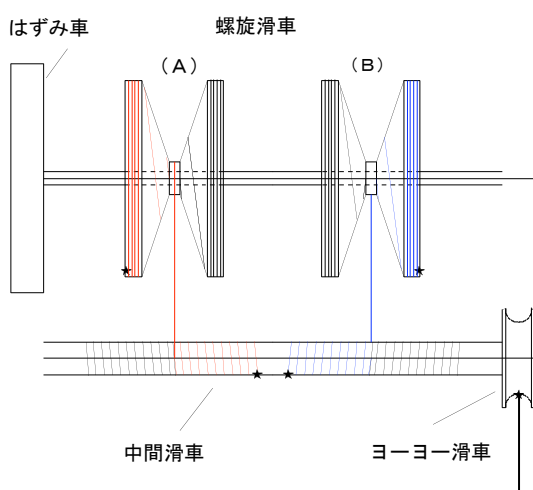


図2 組み合わせ滑車概念図

螺旋滑車と中間滑車が2組となっているのは、紐が張力のみ動力を伝えるため、一方が張力側のとき、他方を紐の繰り出し側とするためである。

### 2. 設計上の問題

(A)、(B)が同一形状で同じ螺旋の対応点に紐が掛かっている状態が保てれば、紐の弛みはない。仮想的にその条件が満たされているならば、2つの紐の位置関係は滑車の軸方向から見て、図3のようになる。ここで、 $\gamma$ は螺旋溝の接線方向と周方向のなす角である。ここで、 $\alpha$ の如何にかかわらず $\delta$ が一定であれば、 $\delta$ の回転角位相

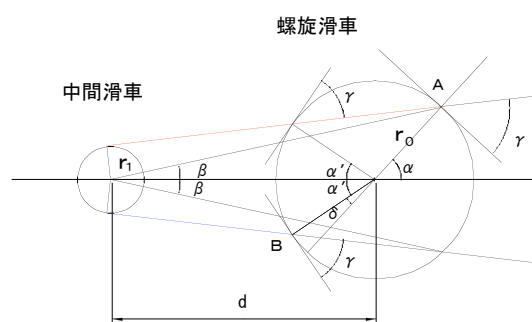


図3 滑車間紐位置

をもって、A、B螺旋を配置すれば、紐の弛みは生じない。しかしながら、図3から、

$$\frac{\sin(\alpha - \beta)}{d} = \frac{\sin \beta}{r} \quad (2)$$

$$(d + r \cos \alpha) \sec \beta = r_1 \cos \sec \left( \frac{\pi}{2} - \gamma - \alpha + \beta \right) \quad (3)$$

$$\delta = \alpha - (\pi - \alpha - 2\gamma) = 2(\alpha + \gamma) - \pi \quad (4)$$

の幾何学的関係が角度間にあるので、一般的にはそれを保証できない。そこで、紐に弛みを生じないように張力付与機能が必要となる。前報告では、伸びのある紐を使った実験結果と、スプリングを用いた張力付与機構の案を示したが、本報告では、後者による模型とその実験結果を述べ、併せて現物を展示する。

### 3. 張力付与機構

図4に中間滑車と張力付与機構の概略図を示す。

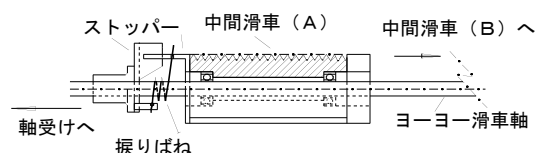


図4 中間滑車と張力付与機構

#### 4. 模型の概略

展示する模型の外形寸法は、ほぼ400×220×130mmで、螺旋滑車の外径は110mm、最小径は15mm、中間滑車の直径は30mm、ヨーヨー滑車の直径は60mmとした。これにより、減加速部長は約500mmとなった。従って、低重力時間1sのためには、高さとして、1.75mの運動長が可能であればよいから、余裕を見て天井高さは床から2.5mが確保できればいい。

図5に、模型滑車形、図6に装置の全景を示す。

動特性は実測していないが、次の理論より推定して、500gのカプセルを使用して0.1gは達成され则认为られる。

#### 5. 組み合わせ滑車の動特性[文献3]

既報のヨーヨー型低重力装置との動特性上の差異は、ヨーヨー滑車と中間滑車の径が異なるので変速率を考慮しなければならないことである。最初に、反撥衝撃の緩和に関して、ヨーヨー滑車の持つ等慣性モーメント $I_Y$ は、螺旋滑車+はずみ車に慣性モーメント $I$ が集中しているとすると、

$$I_Y = \frac{r_1}{r_f} I \text{ で表されることを注意しておく。}$$

$r_f$ は螺旋滑車の最小半径である。次いで、

$$q = \frac{r_Y}{r_1} \text{ で変速率を定義すると、対数螺旋滑車におけるエネルギーの関係より、カプセルの減加速特性は次式で表される。}$$

$$\left(\frac{v}{v_0}\right)^2 = \frac{1 + \frac{K^2}{q^2 r_0^2} + \frac{2q}{c} \sqrt{1+c^2} \frac{g}{v_0^2} (r_0 - r)}{1 + \frac{K^2}{q^2 r^2}}$$

(5)

ここで、 $v$ はカプセルの速度、 $r$ は螺旋滑車の紐が掛かっている半径位置、 $c$ は対数螺旋の定数、 $K$ は螺旋滑車とはずみ車を合わせた慣性能率をカプセル質量で除し、その平方根として定義される慣性半径である。なお、添字0は減速初期値を示す。

対数螺旋以外の螺旋では、分子第3項が異なる。これにより、単純なヨーヨー滑車における $K$ 値が $q$ により可変となるのは大きな利点である。

同様に、無重力レベルは、

$$\alpha \approx \left(\frac{K}{qr_0}\right)^2 g \quad (6)$$

で、 $q$ により可変である。

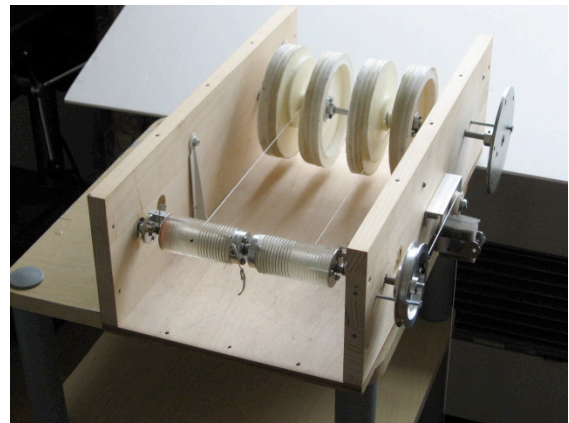


図5 模型の滑車系

#### 結び

新たに構想した組み合わせ滑車によるヨーヨー型低重力装置の実用性が模型により確認された。これにより、反撥衝撃の緩和と装置の小型化が可能となった。

#### 参考文献

- 1) 秋葉鎌二郎、江上侑雄、是木武正、山下雅道、藤田修、宇宙利用シンポジウム、2005/1/12
- 2) Akiba,R.,Egami,I.,Koreki,T.,Fujita,O.,

Yamashita,M.,IAC2005,IAC-05-A2.3.05

3) 秋葉鏢二郎、江上侑雄、是木武正、宇  
宙科学技術連合講演会 2 0 0 7、1 F 0 7



図6 装置全景