

大気球搭載用電動昇降機

松坂 幸彦・山上 隆正・西村 純

(1984年6月5日受理)

Improvement of Balloon-Borne Reel up and Down System

By

Y. MATSUZAKA, T. YAMAGAMI, J. NISHIMURA

Abstract: Reel-up/down balloon-borne winch is developed and improved in order to observe stratospheric vertical microstructures.

In order to reduce the power consumption in reeldown, we developed a system with a hysteresis brake and a magnetic brake. This system was used in an observational flight of stratospheric turbulence in September 1983. We carried out three times scanings of a 13 Kg payload through 1000 m.

1. はじめに

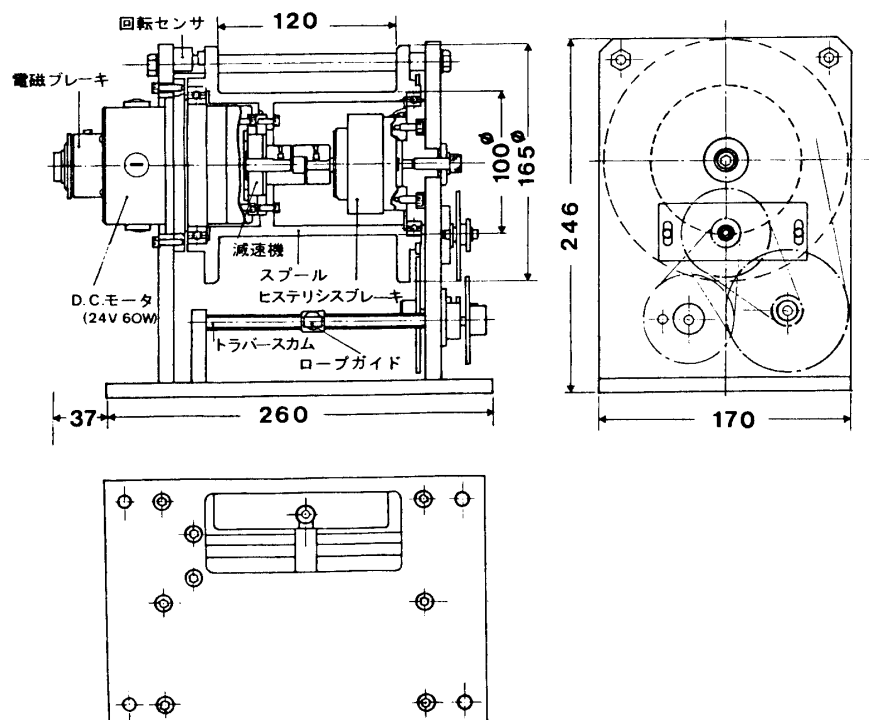
最近、大気球を用いた科学観測の中には、観測器を気球から長距離上げ下げする必要性のある観測項目があり、昭和56年度から大気球搭載用機器として、電動の昇降機の開発に着手している[1][2][3]。なお、大気球から観測器を巻下ろすだけの装置は、数年前に開発し、ほぼ完成した気球搭載用機器となっている[3]。

昭和57年度の大気球実験において、成層圏の乱流層の観測に最初の電動昇降機を搭載し、6 Kgの観測器を気球から約600 mの距離上げ下げを行い良好な結果を得ている[2][3]。以上の成果をもとに開発を行い今年の大気球実験では、重量、距離共に昨年の約倍の12 Kgの観測器を1 km上げ下げの、約3往復の動作に成功した。今回の電動昇降機は昨年と比べると機構面での改良により、特に巻下げに要する消費電力の非常に少ないものとすることができた。ここに装置の構造ならびに動作結果について報告する。

2. 電動昇降機の構造

本装置は吊り下げ重量約10 Kgのものを1000 m巻上げ巻下げすることを目的としている。1000 mの巻上げ、巻下げには各々約1時間要するものとして設計した。製作した電動

昇降機の構造を第1図に示す。構成としては、駆動部(モータ, 減速機), 制動部, 糸巻部, 巻取部からなる。構成は昨年とほぼ同様であるが, 今回は主に駆動部, 制動部に改良を加えた。大きさは約30 cm×17 cm×25 cmで重量は約10 Kgである。写真1に製作した電動昇降機を示す。



第1図 電動昇降機の構造

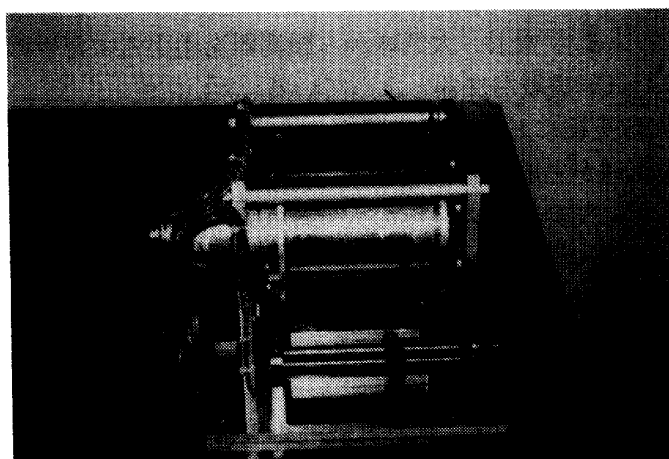


写真1

2.1 駆動部

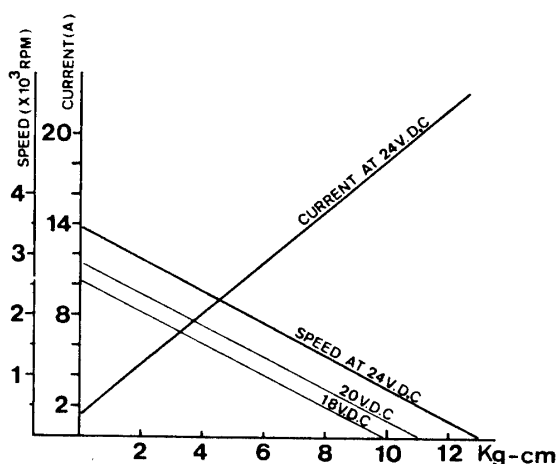
モータおよび減速機からなる。モータは定格回転数 3000 rpm の D.C 24V, 60 ワットの直流サーボモータである。モータの負荷特性を第 2 図に示す。減速機はハーモニックギヤ (FB-20-80-2) を使用しており、減速比は 1/80 である。昨年はウォームギヤ (減速比 1/25) を用いている。ハーモニックギヤは一段で大きな減速比 (1/80~1/320) が得られ、大きなトルク容量、優れた効率を持つのが特徴である。今回使用したものは重量約 0.3 Kg でハーモニックドライブシステムズ株式会社製のものである。

2.2 制動部

ヒステリシスブレーキ (神鋼電機株式会社 HB-2.5) はトルクの伝達を電磁力により行うもので、電氣的にブレーキトルクを変えることができる。定格電圧 D.C 2.4V で、定格トルク 2.5 Kg・cm を発生する。昨年は制動部にマグネチック・カップリング [2][3] と呼ばれる永久磁石と高ヒステリシス材からなるブレーキを用いたが、ブレーキトルクを簡単に変えることが難かしかった。このため、巻下げ時の十分な安全性を考慮して負荷トルクに対して倍程度のブレーキトルクに設定したため、巻下げに要するモータ電力が非常に多かった [2][3]。今回のヒステリシスブレーキはトルクを電氣的に制御可能なため、観測器重量の変動に対して最適なブレーキトルクを与えられる。電磁ブレーキ (神鋼電気株式会社 ERS-175) は、モータ電源の OFF 後、観測器を完全に停止させるために用いた無効磁作動形のブレーキであり、10 Kg・cm のトルクを持つ。

2.3 糸巻部

スプールの大きさは長さ 12 cm, 最小直径 10 cm, 最大直径 16.5 cm でステンレス材を使用し、表面はアルマイト処理をしている。直径 1 mm のロープを使用すると約 1500 m 巻くことができる。今回使用したロープは直径 1 mm のケブラロープ [3] 1020 m である。約 60 Kg の破断強度をもっている。1020 m のケブラロープの重量は約 1 Kg である。スプールは



第 2 図 直流サーボモータ

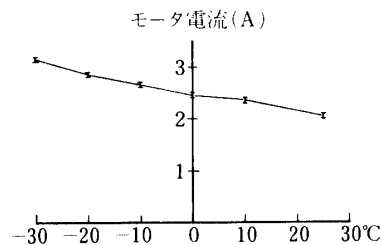
糸量の変化による負荷変動を小さくするために、最小、最大直径差を小さくしてある。最大負荷となる 1020 m の糸巻量の直径は約 14.6 cm である。負荷トルク変動は観測器重量 12 Kg として、最大約 90 Kg・cm～最小 60 Kg・cm となる。スプールの側面には回転検出用の非接触センサを取付け、作動状況をテレメータで送るようにした。

2.4 巻取部

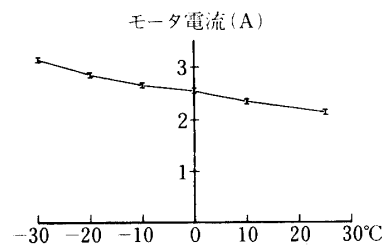
トラバースカムはスプールの回転に同期して、ロープガイドを左右に動かす装置であり、スプールの回転がチェーンでカムに伝達される。この装置により糸の巻取りを均一に行うことができる。巻下げ専用の場合にはこのような装置は必要ないが、巻上げを行うには、糸を効率的にスプールに巻取るために絶対必要な部分である。マイクロスイッチはロープガイドが横方向に 1 往復するごとに信号を得るためのもので、トラバースカム動作のモニタと同時に、巻枠回転のモニタでもある。ロープガイドの 1 往復は巻枠の 155 回転に相当する。

3. 低温性能

大気球にモータ等の機器を搭載する場合、地上での低温試験が必要条件となる。本装置はゴンドラ内部に配置されるため、 -30°C 程度の装置全体の低温試験を行った。結果を第 3 図(a), (b)に示す。(a)は巻上げ方向、(b)は巻下げ方向のモータ電流特性である。結果図からわかるように、巻上げおよび巻下げにおける駆動電流はほぼ同じ値を示しており、 -30°C での電流増加は約 1 A 程度に納まっている。また電流変動も低温による増加が見られず 0.1 A 以内であり、低温による機械的な異常値がなく安定であることが確かめら



(a) 巻上げ無負荷モータ温度試験



(b) 巻下げ無負荷モータ温度試験

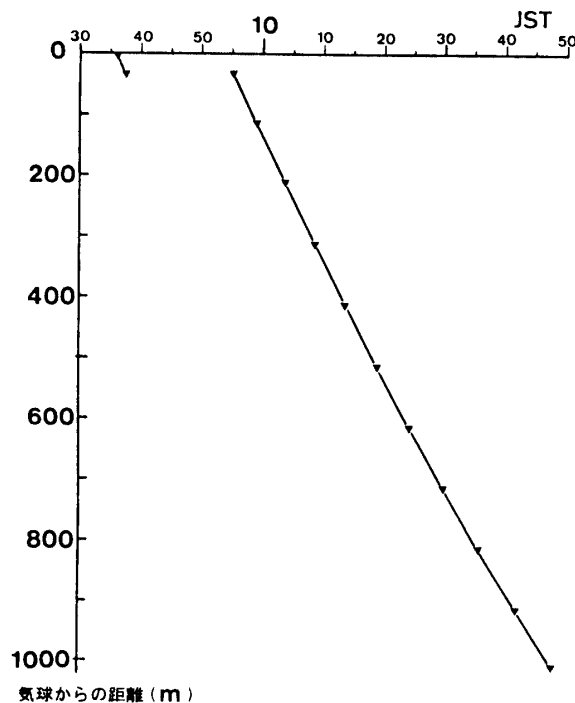
第 3 図 電動昇降機の低温試験

れた。長時間の連続駆動に耐えるため、回転部、摩擦部には、昨年使用して、低温での実用性が確かめられた超低温用グリース（UNIAF グリース）を使っている。

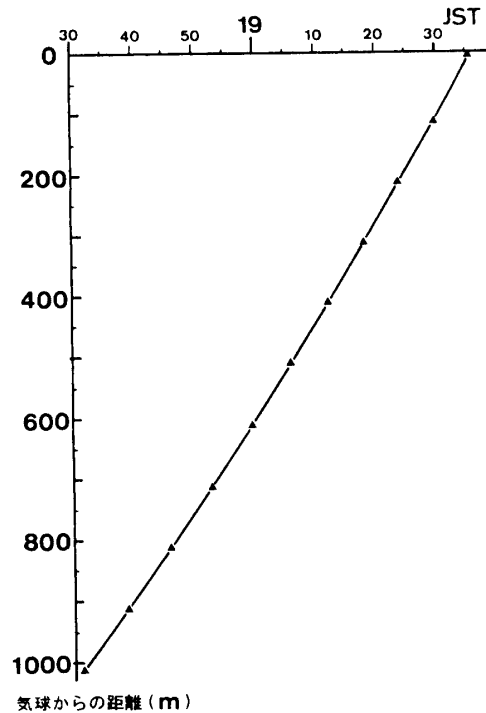
4. 動作結果

昭和58年9月26日に放球したB5-119号気球（成層圏の乱流観測）に今回製作した電動昇降機を搭載した。吊下げ観測器は大きさが約50 cm×50 cm×60 cmで重量が12.2 Kgであり、気球から1010 mの距離を上げ下げした。9時55分ごろから1回目の巻下げを始め約3往復動作することができた。第4図は9時55分ごろから巻下げを開始したときの観測器の気球からの距離と時間の関係を示す。最初の動作でもあり正常に動くかどうかを調べるために1度9時30分に30 m程度巻下げている。第4図より約1000 mの巻下げに要した時間は約55分である。巻下げは3回行っているが、ほぼ同じ結果を得ている。第4図と同様に18時30分頃から行った巻上げに対する距離と時間の関係を第5図に示す。図より約1000 mの巻上げに要した時間は65分である。巻上げも約3回行っているが同様な結果が得られている。第4図、第5図より巻下げ、巻上げに要する時間は設計時に推測した時間とほぼ同じであった。気球からの距離の値は回転パルスの読取り誤差から5 m程度の精度と思われる。

第6図はモータおよび電磁ブレーキ表面に取付けた温度センサから得られた測定結果である。日中の放球であり、電動昇降機はそれほど冷えず動作前で、15°C程度の温度である。



第4図 気球からの巻下げ



第5図 気球からの巻上げ

1000 m の巻上げ時のモータ温度上昇は $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ である。昨年は 300 m の巻下げで約 35°C の温度上昇があり、600 m の距離を連続して巻下ろすことが不可能であった。今回は放熱についても若干の考慮を加えたため、巻下げ時のモータ温度上昇は 1000 m で約 30°C であった。モータ温度は表面の温度であり、内部はその温度より $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 程度高くなっていることが予想される。今後電動昇降機を連続で動作した場合の温度上昇に対する放熱面での検討も必要と思われる。

第7図(a), (b)は、

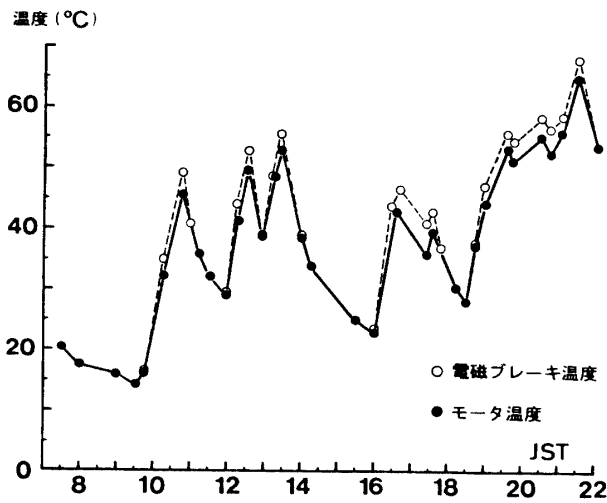
(a) 巻下げ時の巻枠回転数, モータ電流, 巻上げ速度

(b) 巻上げ時の巻枠回転数, モータ電流, 巻上げ速度

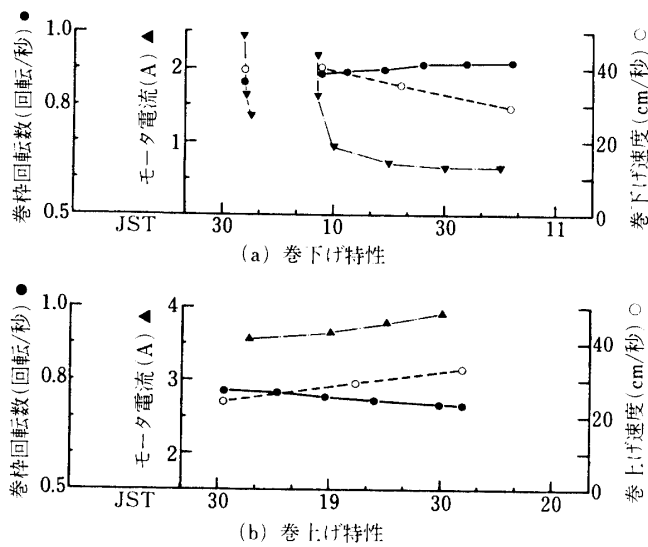
を示す。●が巻枠回転数, ○が巻下げ速度, ▼が巻下げモータ電流, ▲が巻上げモータ電流の測定値である。巻下げ時の巻枠回転数は 1000 m 間で約 $0.86\sim 0.91$ 回転/秒であり、巻下げ速度にすると $40\text{ cm/秒}\sim 30\text{ cm/秒}$ 程度となる。これは昨年の 600 m 間の巻下げ速度約 $42\text{ cm/秒}\sim 14\text{ cm/秒}$ に比べ小さな速度変動である。巻下げモータ電流は定常値で $1\text{ A}\sim 0.6\text{ A}$ 程度であり、昨年の約 $9\sim 10\text{ A}$ に対して $1/10$ 以下となっている。

巻上げ時の巻枠回転数は約 $0.77\sim 0.73$ 回転/秒であり、巻上げ速度にすると $24\text{ cm/秒}\sim 34\text{ cm/秒}$ 程度となる。巻上げモータ電流は約 $3.5\sim 3.8\text{ A}$ と 1000 m 間での電流変動幅が少ない。

第8図はモータ駆動用のバッテリー電圧の測定結果である。使用バッテリーは昨年と同じナ

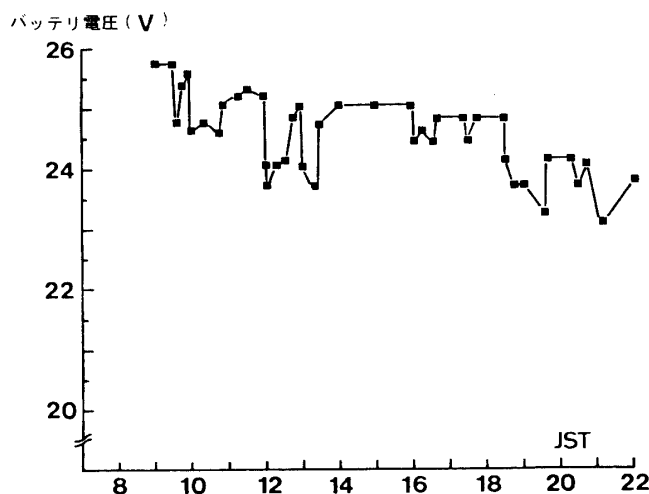


第6図 モータ，電磁ブレーキの温度



第7図 巻枠回転数，モータ電流，巻下げ巻上げ速度特性

シヨナル LCR 11012 型の鉛蓄電池で，公称電圧 12 V，公称容量（5 時間率）10Ah のもので，重量は 4.8 kg である。電源として 2 個直列のものを並列に使用し，約 20Ah の容量がある。1000 m の巻下げ，巻上げ 1 往復には測定値から約 4.8Ah の電力を必要とする。今回約 3 往復の動作を行っており，14.4Ah の電力を消費したことになる。従って容量的には更に 1 往復程度の動作が可能であったと思われる。1000 m の巻下げに要した電力は 0.7Ah であり，昨年の 600 m の巻下げ電力 5 Ah にくらべ大幅に減少している。



第8図 バッテリー電圧の測定値

5. 電動昇降機の巻上げ効率

今回搭載した電動昇降機の巻上げに対する消費電力面での効率について考える。機械的な損失を無視すれば、重量 12.2 kg の観測器を 1000 m 巻上げるのに必要なエネルギー E は、

$$E = 12.2^{kg} \times g \times 1000^m \quad g: \text{重力速度}$$

$$= 12 \times 10^4 J$$

電力 W に換算すると、

$$W \doteq 33 Wh$$

$$\doteq 1.4 Ah$$

実測による 1000 m 巻上げに要した電力は 4.1 Ah であるので、効率 h は、

$$\eta = \frac{W}{4.1} \times 100 = 34\%$$

となる。 η を

$$\eta = \eta_M \times \eta_D \cdots \cdots (1) \quad \eta_M: \text{モータの効率}$$

$$\eta_D: \text{機械的な効率}$$

として、 η_M は次式で示される。

$$\eta_M = \frac{\text{モータ出力 } P_o}{\text{モータ入力 } P_M} \times 100 \quad (\%) \cdots \cdots (2)$$

モータ出力 P_o は

$$P_o = \omega \cdot \tau \quad \tau: \text{負荷トルク } (N \cdot m)$$

$$= 2\pi N \cdot \tau \cdots \cdots (3) \quad N: \text{モータ回転数 } (r \cdot P \cdot S)$$

第2図の負荷特性から負荷電流 4 A 近傍のトルク、回転数は、 $\tau = 0.15 N \cdot m$, $N = 50.8 \text{ rps}$ であり、(3)式より

$$P_0 \doteq 48 \text{ワット}$$

モータ入力 P_M は、

$$P_M = 24 \times 4 = 96 \text{ワット}$$

従ってモータ効率 η_M は(2)式より

$$\begin{aligned} \eta_M &= \frac{48}{96} \times 100 \\ &= 50\% \end{aligned}$$

(1)式より機械的な効率 η_D は、

$$\begin{aligned} \eta_D &= \frac{0.344}{0.5} \\ &\doteq 0.7 \end{aligned}$$

となる。

6. おわりに

今回搭載した電動昇降機は減速機、ブレーキの改良により前回の装置に比べると巻下げ時のモータ電力の非常に少ないものが得られた。吊下げ負荷に対して減速機の減速比、ブレーキトルクの制御幅等のより細かな設計により、モータを使わずにブレーキの電気的な制御によって巻下げを行うことが可能であり、限られた電源容量の節約につながる。同時に今後、巻上げ時のモータ消費電力の効率を高めるための検討も必要である。来年の大気球実験では、ブレーキを電気的に制御することによって、モータを使わずに巻下げを行う事を検討している。動作距離は3 km、吊下げ重量20~30 kgを予定している。将来、より重い観測器を長距離上げ下げするために、巻下げ時における位置エネルギーを利用して発電機等を駆動し、バッテリーを充電する方式も考えてゆきたい。

謝 辞

電動昇降機の設計、製作に多大な御協力をいただいた、テックス株式会社の相馬社長、浜田氏、川辺氏に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- [1] 松坂, 狛: 大気球搭載用巻下げ機, 大気球シンポジウム報告, 1981, 54-63
- [2] 松坂, 山上, 狛, 西村: 気球搭載用電動昇降機, 大気球シンポジウム報告, 1982, 30-40
- [3] 松坂, 山上, 狛, 西村: 大気球搭載用巻下げ機, 宇宙科学研究所報告, 特集8, 1982, 33-49