

気球用巻下げ機

太田茂雄・秋山弘光・大塚豊

1. ま え が き

気球による科学観測においては、しばしば、気球と観測器との間隔をなるべく長くとりたいという要望がある。たとえば、空中電気関係の観測では気球の帯電の影響を少なくするために、気球と観測器との間隔を長くする必要がある。また、宇宙塵の収集においても、気球に付着した地上の塵を除くため気球と観測器との間隔を長くする様に望まれている。

一方、気球を放球する側にとっては比較的狭い実験場において放球を行なうため、気球と観測器ゴンドラとの間隔が長いことは望ましくなく、地上風の状況が問題となり、気球と観測器ゴンドラとの間隔を短かくとった方が放球の機会が多く、かつ、安全な放球が行なえる。

この様なことから、放球時においては気球とゴンドラとの間隔が短かく、放球後、必要な長さに間隔を伸ばす気球用巻下げ機があれば両者共満足できる放球が期待される。

日本では従来歯車式の巻下げ機を使用しており一応の成果を収めてきたが、取り扱いおよび信頼性にやや不満足な点があり、新たに、電磁ブレーキ式の巻下げ機を開発し、昭和47年度の大気球実験において使用したところ良好に動作し、以下に述べる結果が得られたので、これを中心に報告する。

2. 巻下げ機の方式

巻下げ機は落下速度をコントロールする機構として、

- (i) ラチェット式
- (ii) 歯車式
- (iii) 電磁ブレーキ式
- (iv) 遠心ブレーキ式

など種々なものが考えられる。

ラチェット式はゴム気球などに用いているもので、10kg以下の軽負荷用であり、ラチェットの爪でゴンドラの落下のエネルギーを消費する構造上重い負荷の場合には適さない。

歯車式は歯車の摩擦とギアオイルの粘性によって落下速度をコントロールする方式であり、昭和45、46年度に亘ってゴンドラ重量30~60kgのものに対して5~6機使用しほぼ良好に動作したが、一部オイルの粘性が適当でなかったものについては、巻下げ中に歯車の破損が起り完全な巻下げが行なえないものがあった。歯車式の巻下げ機は負荷の重量によって、適当な歯車比とオイルの粘性を選ばねばならないので、取り扱いがめんどうである。なお、この方式の巻下げ機についての詳細は昭和45年度の大気球シンポジウムにおいて報告されている。

電磁ブレーキ式の巻下げ機については次項で述べる。

遠心ブレーキ式の巻下げ機は巻枠の回転が一定になる様に遠心ブレーキがコントロールされる方式で、負荷の軽重に関係なく一定の巻下げが行なえる。この方式はビルなどの緊急避難用の降下装置にも使用されており、巻下げ機として理想的な性能を持っているので、現在気球用巻下げ機として開発中である。

3. 電磁ブレーキ式巻下げ機の原理

電磁ブレーキ式巻下げ機はゴンドラの落下速度を電磁ブレーキでコントロールするものである。

第1図にその原理図を示した。ゴンドラの重量を W [kg]、ロープの張力を T [kg 重]、ゴンドラの落下速度を v [m/sec]、電磁ブレーキの動トルクを T_d [kg 重 m]、ロープの巻径を r [m] とすると、ロープの張力は、

$$T = \frac{T_d}{r} \quad (1)$$

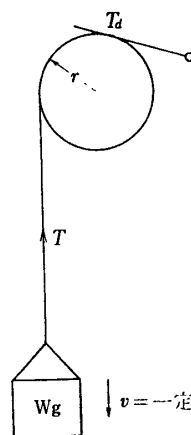
となり、ゴンドラが一定速度で落下するためには $T = Wg$ であるので、

$$Wg = \frac{T_d}{r} \\ \therefore T_d = r \cdot W \cdot g \quad (2)$$

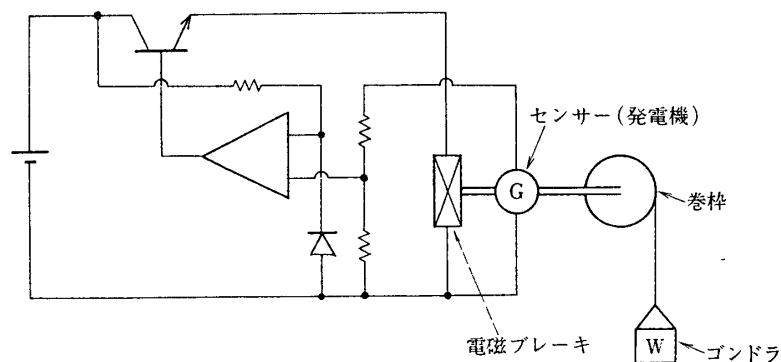
となる。一方、ロープの巻径の値はゴンドラの落下にともない漸減するので、このまま行くと落下が停止してしまうため r の値に従いの T_d 値をコントロールする必要がある。

このため巻枠の回転速度を検出するセンサーを設けて回転速度に比例した電気信号をとり出し、第2図の様に電磁ブレーキにフィードバックをかけて巻枠の回転を一定に保つ様に自動制御を行なっている。したがって、 rWg の値が電磁ブレーキの動摩擦 T_d の最大値以内ならば、ロープの巻径やゴンドラの重量に無関係に安定した巻下げを行なうことができる。

回転速度のセンサーとしては発電機、パルス発生器、ポテンショメータなどが考えられ



第1図 巻下げ機の原理図



第2図 電磁ブレーキ式巻下げ機の原理図

る。

4. ショックについて

巻下げ機の使命は気球とゴンドラとの間隔を引き離すことにあるが、さらに、巻下げの最終段階において観測器に与えるショックを許容値以内にすることも重要である。

ここではゴンドラに与えるショックについて解析を試みる。

イ) つりひもの伸びとショックとの関係

ショックをつりひもの伸びに比例する力とすると、

$$\Delta v = \sqrt{ng\Delta l}$$

$$\therefore n = \frac{(\Delta v)^2}{g\Delta l} \quad (3)$$

ここで、 v はゴンドラの落下速度、 ng はショックの力、 g は重力加速度、 Δl はひもの伸びである。

たとえば、 Δl を 1 m にとれば

Δv [m/sec]	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
n	0.004	0.025	0.1	0.4	1.0	2.5

となり、この場合 1 m/sec の速度でつりひものを伸ばした時には最終的に 0.1 g のショックがかかるだけである。

ロ) 具体的な例について

長さ 10 m、安全率 4 のナイロンロープを使用したとき、張力として 4 g かかると 30%、つまり 3 m 伸びる。このとき、(3)式の Δl は $n/4 \times 3$ m となるので、

$$n = \frac{\Delta v}{\left(\frac{3}{4}g\right)^{1/2}} = 2.71$$

たとえば、 $l=10$ m のとき

v [m/sec]	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
n	0.07	0.18	0.37	0.73	1.1	1.8
伸び [cm]	5	14	27	55	82	150

$l=100$ m のとき

v [m/sec]	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
n	0.02	0.06	0.12	0.23	0.35	0.58
伸び [m]	0.17	0.43	0.87	1.7	2.6	4.3

結論として、巻下げ機の最終段階における落下速度が 1 [m/sec] 以下ならば問題はなさそうである。

5. 構造およびコントロール回路

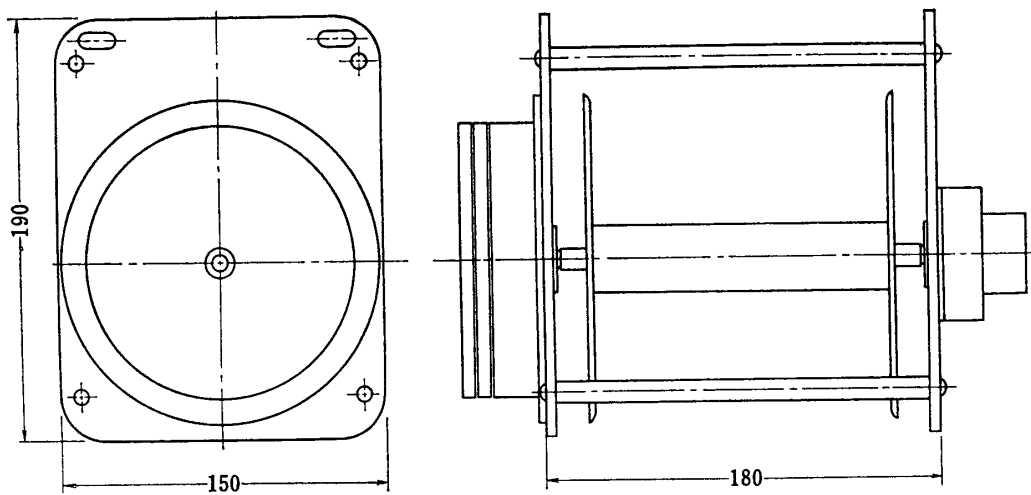
昭和47年度大気球実験において、大気電場電流および上空における水蒸気の観測に要求される巻下げ機の性能は、

ゴンドラ重量 $W = 50 \text{ kg}$

巻下げ距離 $l = 100 \text{ m}$

であった。これを電磁ブレーキを用いて設計した。

第3図にその構造図を示す。4mmφのナイロンロープを使用するとすれば、巻枠の寸法は、半径7.5cm、幅14cmあれば十分である。



第3図 電磁ブレーキ式巻下げ機の構造図

電磁ブレーキの動トルクとしては(2)式により、

$$T_{d(\max)} = r \cdot Wg = 0.08 \times 50 = 4 \text{ [kg重m]}$$

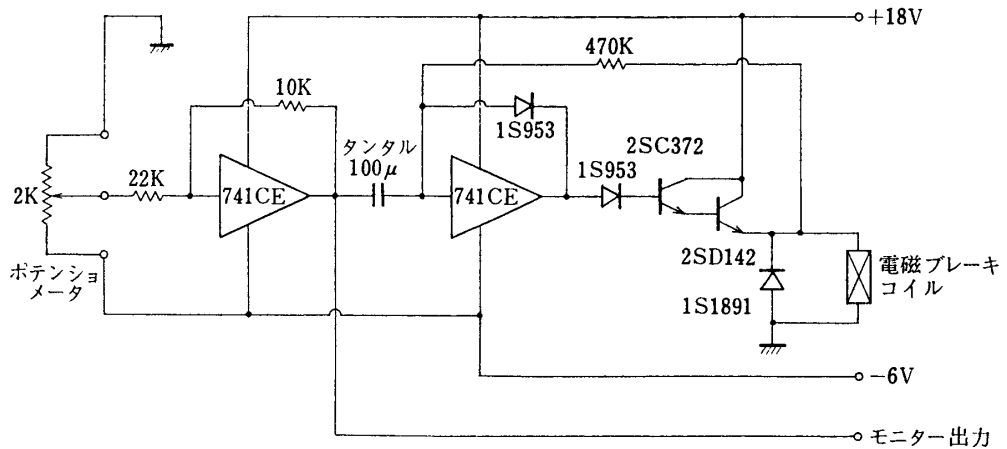
あればよい。これに適合する電磁ブレーキとしては三木プーリー K. K. の 111-12-12 型があり、下にその仕様の一部を示す。定格電圧は 24 V である。

動トルク ($\Delta v = 10 \text{ r. p. m}$ 時) T_d [kg·m]	静トルク T_R [kg·m]	最高回転数 [r. p. m]	入力 (at 20°C) [W]	アマチュア 重 [kg]	ステータ 重 [kg]	熱放散量 (100 r. p. m. 時) P [kg·m/時]
4.0	4.5	4000	25	0.75	1.22	650

なお、ブレーキの温度上昇はゴンドラの位置エネルギーがすべて熱に変わったとしても、

$$t = \frac{Wl}{JmC} = \frac{50 \times 100}{427 \times 1.97 \times 0.108} \doteq 55 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

となり問題ない。ここで、 J は熱の仕事当量で 427 [kg·m/kcal]、 m はブレーキの重量 [kg]、 c は比熱であり、ここでは鉄の比熱をとっている。



第 4 図 コントロール回路

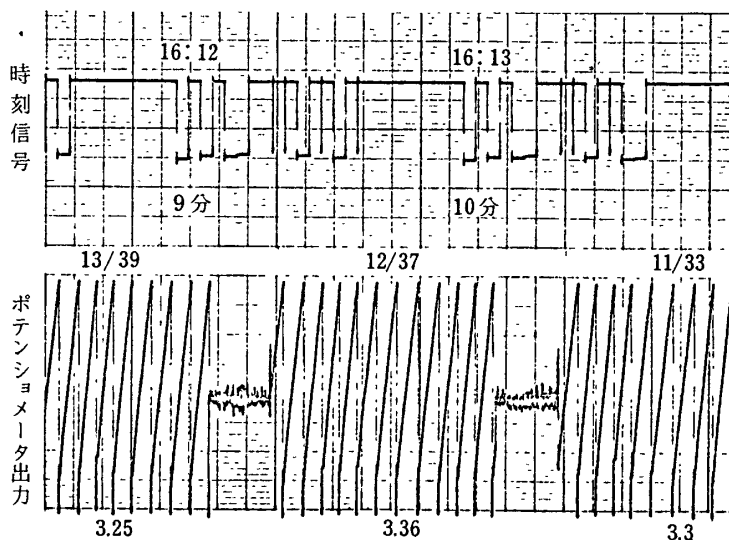
第 4 図はコントロール回路である。巻枠に直結したポテンシオメータの出力を 741 CE のバッファアンプをとおして微分し、回転速度信号となし、正の電圧だけ取り出して直列トランジスタを駆動し、電磁ブレーキをコントロールしている。図中モニター出力とあるのはテレメータをとおして巻下げ機の動作を確認するためのものである。

なお、電源としては +18 V および -6 V を必要とするので、4 AA 型の乾電池を 4 個使用することになる。

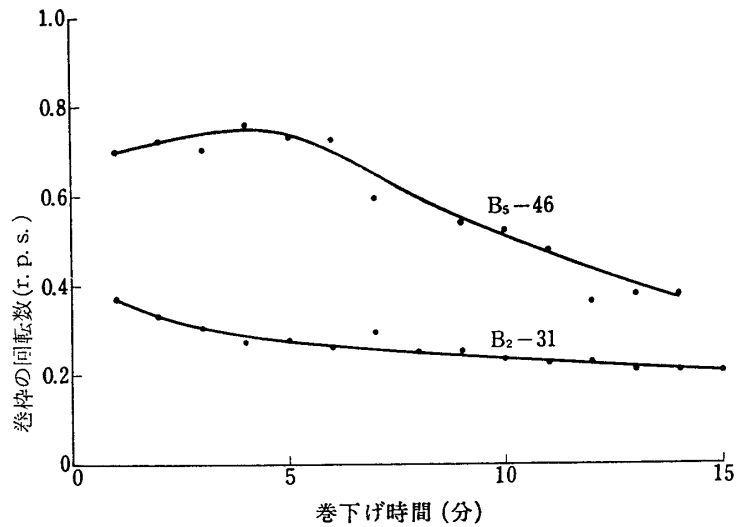
6. 実験結果

この巻上げ機は今年度 2 台製作し、6 月 23 日に放球した B₂-31 気球および 10 月 10 日に放球した B₅-46 気球に搭載し、水蒸気および大気電場電流の観測に使用した。

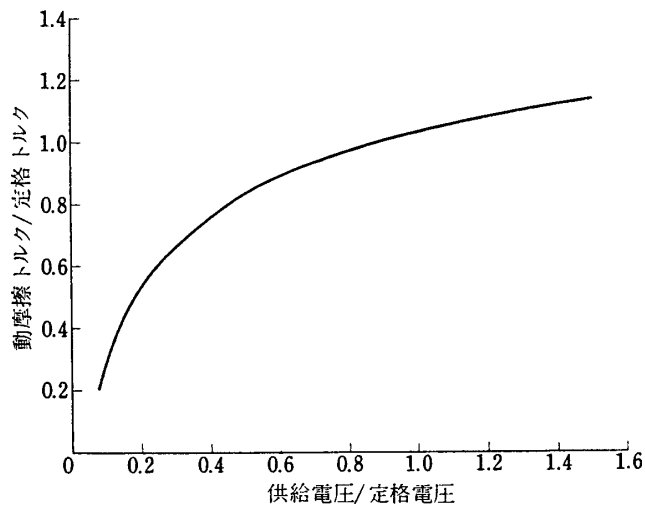
第 5 図はテレメータで送られたポテンシオメータの出力で、巻枠の回転状態を示してお



第 5 図 ポテンシオメータの出力



第6図 巻下げ機の回転数



第7図 電磁ブレーキのトルク特性

り、両機とも正常に動作したことが確認された。

第6図は巻枠の回転数の変化であり、巻下げの進行とともに回転数が下がっている。これは電磁ブレーキの供給電圧と動摩擦トルクとの関係が、第7図に示す様に磁気飽和の影響によって比例関係にないためであり、フィードバック系のゲインを大きくすればこの影響を減少することができる。しかし、実用上は何ら支障がないので、この状態で使用している。

また、巻下げの最終段階における落下速度は巻径が小さくなるので、それぞれ2ないし5 [cm/sec] となり、ゴンドラに与えるショックはほとんどゼロになっている。

7. 結 び

電磁ブレーキ式の巻下げ機は従来の歯車式巻下げ機に比べて動作が安定であり、取り扱い

も簡単であるが,

i) 電源が必要.

ii) 放球時に電源線の断線などが起った場合, 全くブレーキが働かない.

などの欠点があり, 現在開発中・開発中の遠心ブレーキ式巻下げ機が完成するまでの継ぎ的な性格を持っているが, この方式としては一応完成しているので報告することにした.

1973 年 1 月 31 日 新設部 (工学)