

## 立 て 上 げ 放 球 法

秋山 弘光・西村 純・岡部 選司・並木 道義  
松坂 幸彦・高成 定好

(1982年6月21日受理)

### A New Static Launching Method

By

Hiromitsu AKIYAMA, Jun NISHIMURA, Yoriiji OKABE,  
Michiyoshi NAMIKI, Yukihiro MATUZAKA and Sadayoshi TAKANARI

**Abstract.:** A launch method using rollers to hold a balloon was effectively applied to the launching of balloons with relatively small lift, but we experienced difficulties when applying it to the launching of heavy payloads.

This paper discusses a new static-launch method developed recently in ISAS, which improved the capability for heavier payloads significantly. The main procedure is to extend a whole balloon vertically upon the launcher before release, with squeezing the top bubble of the balloon by a soft collar of air-filling type. Only the bottom portion of a balloon is held by the launcher, so the main part of the balloon is never damaged by the holding mechanism of the launcher.

The new method was successfully applied to the launching of 15 balloons, in 1981, ranging from 5,000 m<sup>3</sup> to 50,000 m<sup>3</sup> with the total lift from 150 kg to 640 kg.

## 1. はじめに

気球の放球法は一般に、スタティック・ランチング方式とダイナミック・ランチング方式に大別される。厳密にどこまでをスタティックと呼ぶか定はかではないが、現在宇宙研で行なわれている放球方法は、スタティック・ランチング方式の1つである。両方式とも地上風に対して、いかに対処するかが大きな問題である。もし、地上が無風状態であれば、気球放球作業は浮力測定のために気球をどこで保持するかが問題であって、比較的簡単に行えるであろう。実際には、三陸で凧の時の放球作業とはいえ、3~5 m/secの風は常にある所に、気球放球技術のむずかしさがある。又、放球場の面積の関係上、我々は将来に於ても、スタティック・ランチング方式を採用せざるを得ない。

一昨年まで、大重量放球法として、従来の放球方式を変えず、ランチャーの大型化[1]によって、約1 tonの浮力を実現しようと試みた。B<sub>500</sub>-1号機[2]にみられるように、総浮力900 kgを飛翔させたが、高度12 kmで気球が突然破壊し結果は不成功に終わった。この原因の1つがランチャーでの気球保持方法によるものと考えられ、従来行ってきた放球法全体を再検討することにした。

従来の放球法は地上風出来るだけ影響されないように、ランチャーでは総浮力のガス量が入る位置(ランチャー線)で気球を保持している。この位置は気球頭部より、20~30%の位置に当たり、上昇中及び満膨脹になった時にも最も内圧やストレスがかかりやすい位置にある。ランチャーへの取り付けに際しては、気球皮膜を傷つけないように出来るだけ皮膜を均等にし、細心の注意をはらって、スリップを生じない最小限の力で締めつけなければならない。しかし、浮力が大きくなると気球を保持するため、ランチャーの締めつけが大きくなり、気球皮膜を損傷する可能性がふえる。そこで気球の最下部を保持する立て上げ放球法の検討を行なった。

立て上げ放球法の地上試験はB<sub>01</sub>で昭和55年に試みた。気球の根元をランチャーでおさえ、風の影響をすくなくするため従来ランチャーでおさえしていた位置をカラーで締めつける。この結果、注入ガス量が満されると、頭部はほぼ球形になり、地上風によって形がくずされず、下部はその浮力によって1本の棒のようになり、地上風の影響を受けにくいことが解った。

この方式の利点は従来のように、ランチャー線をランチャーで強くおさえずに、カラーで締めつけておくのみで、浮力自身は気球の根本をランチャーでおさえることにある。この場合、根元の気球皮膜に若干の損傷を与えたとしても、このために上空で気球が破壊を起こすような事態を招くことにはならない。

昭和56年度の大気球実験は、16機の気球飛翔のうち、15機を立て上げ放球法(そのうち1機はテスト飛翔)で行ない、良い結果を得たのでここに述べる。

## 2. 立て上げ放球システム

今まで、三陸大気球観測所で行われてきた放球法の概略を図-1に示す。

ランチャーは気球を3本のロールで保持し、かつ放球時にはそのロールが瞬時に開く機構と浮力測定の機構を併せ持っている。気球をランチャーに取りつけた後に、ガス注入を

開始するが、浮力の大きい時はガス注入口とランチャー線まではかなりの長さがある。初期の頃は頭部にガスが少し注入されるとそのまま立ててしまったが、地上風で気球が帆をはったような状態になり、ガス注入作業まで困難な事がしばしば生じた。このため、フォークリフトの前面に長さ4 mのローラ支持腕を出し、直径30 cm、幅60 cmのローラを取りつけ、ガス注入量に応じて気球を立て上げて行く方式をとった。気球は或る程度の浮力がつくと安定となり、このローラはガス注入の初期に有効性を発揮した。

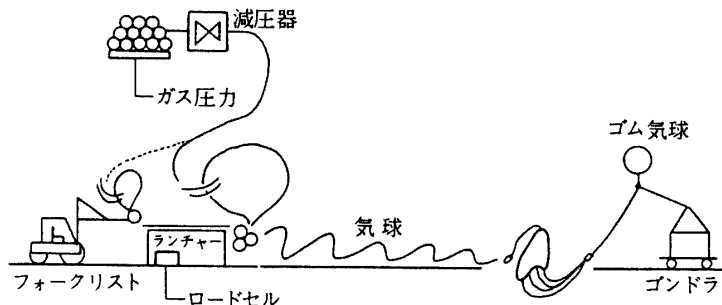
放球時の気球上昇の様子を見ると、最初はまず気球下部を持ち上げながら上昇し、観測器の重量が加わるまではげしく変形し、丁度クラゲに似た形状をとる。

ランチャーに対する観測器の位置は、風向に合せ、気球のランチャー線の下から観測器までの全長と風速とによって決めている。三陸では、主に凧の前後の放球となるが、風が変動するので観測器は放球台車の上に重せて、或る程度位置の調整が出来る。観測器は常にまっすぐに離陸させるようにしている。

一般にスタティック・ランチング方式は用意する放球設備によって種々な形式や、段階が考えられる。今まで宇宙研が採用していた放球法を改善し、浮力を保持する位置を変えて行くと、下記のように分けることが出来る。

1. ランチャー線より上を立てる（従来の放球法）
2. 気球全体を立てる（立て上げ放球法）

#### 従来の放球



#### 気球立て上げ放球

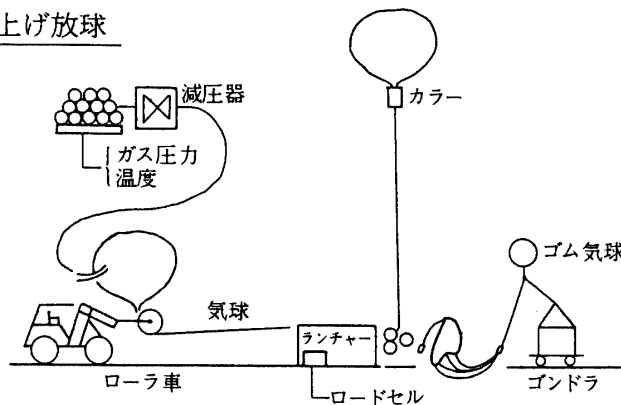


図-1

3. 気球, パラシュート, 紐まで立てる.
4. ゴンドラを浮かす.

立て上げ放球法は上記(2)の段階であり, (3), (4)は現在の我々の有する放球設備では不可能であり, これからの研究課題と考えている.

立て上げ放球法の概略を図-1に示す.

気球の根元を従来のランチャーでおさえ, 気球を一直線に風向を考えて伸ばす. ガス注入はローラを介した気球頭部に入れるため, 従来のガス注入作業と同じである. ガス注入量に従ってローラを移動させ, ランチャー線まで気球を立て上げてきてローラを停止させる. ここで, カラーの取り付け作業と所定の浮力までガス充填を行なう. 浮力はこの場合, ランチャーに取りつけたロードセルでは測れない為に, ガスが充填されているコンテナの圧力変化と温度を測定して, 注入ガス量[4]を決定する. ガス充填の終了後, ローラをランチャーまで移動し, ローラをはずした後, ロードセルにより浮力の再確認を行う.

立て上げ放球法の難点は, 今まで気球全体を立て上げた時に, 地上風によって帆をはってしまうため大変風に弱い点である. 図-2の写真(B<sub>30</sub>-42)に示すように, 従来のランチャー線に相当する所にカラーを取りつけることによって, 気球頭部の形状は, 従来のランチャーでランチャー線をおさえた形と同じになる. 気球下部は浮力の張力によって本体が丸い棒状になり, 3~5 m/secの風では帆をはる形にならない. このことから明らかなよ

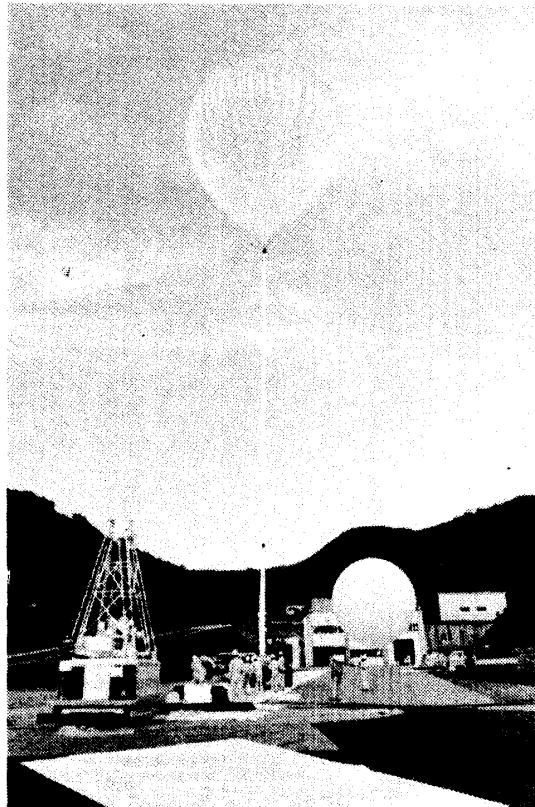


図-2

うに、立て上げ放球法を実現するための大きなポイントは、ランチャー線にカラーを取りつけた事である。

この放球法では、ランチャー取付部から観測器までの間は、単にパラシュートと吊り紐があるだけで、今までの方式に比して、長さが著しく短くなった。観測器を置く位置はこのため、回転テーブル〔5〕内になり風向変化に対して即応出来るし、観測器を動かさなくても、垂直に放球出来るようになった。

放球は、カラー切り離しを確認後、ランチャーリリースを行なう。この時の気球の変形も以前から比べて非常に少ない。このように、気球を立て上げることによって、ランチャーによる気球皮膜の損傷の危険性も除かれ、良い成果を得ることが出来るようになった。

以下、この方式に使用するカラー及びローラ車について述べる。

### 3. カラー (collar)

ランチャーで気球の根元をおさえ、気球を立て上げた状態での地上風の影響を考察してみる。カラーを取りつけた気球上部は、ほぼ球形であり、下部は巾の狭いバンドと考えることが出来るので、地上風で受ける抵抗は小さい。カラーのない場合は、気球を立て上げて行くに従って、円錐形となり、風の抵抗を大きく受ける。

図-3は気球が地上風を受けて、ランチャーの所で垂直からどの程度傾くかを示している。図は代表的な気球として、 $B_5$ と $B_{50}$ を選び、各々の浮力を100 kgと500 kgとした場合の計算結果〔6〕である。この結果から見ると、カラーのある、なしでは大きな差がある。カラーをかけた場合にも、浮力の大きい $B_{50}$ 気球の方が風の影響を受けにくい。

カラーをつけた場合の計算は、気球頭部の抵抗係数、 $C_D=0.5$ とし、下部については、0.5 mの巾のものとして考え、 $C_D=1.0$ とした。気球の自重についても考慮し計算に入れてあ

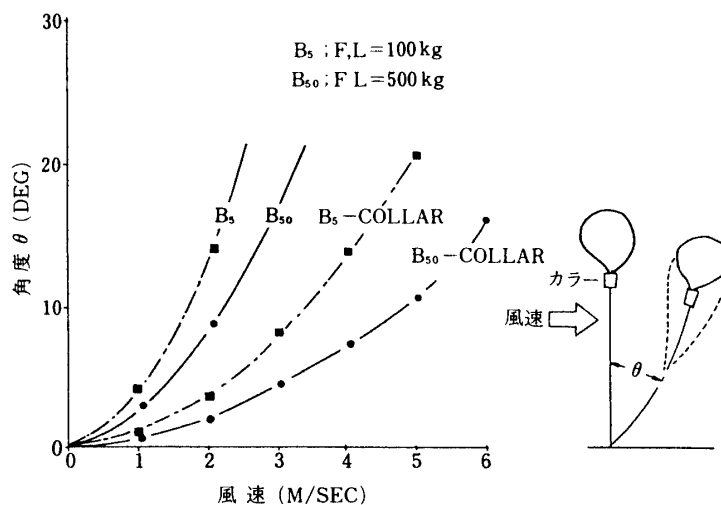


図-3

る。B<sub>50</sub> 気球が地上風に強いのは、傾き角が全浮力の 1/3 乗に逆比例するからで、大重量ゴンドラの放球の場合の方が風の影響を受けにくいという結果になる。

カラーをかけない時の気球が受ける実質投影面積は、風の状況によって変形するので推定はむづかしい。この場合は球の半径の 2 倍として計算してみた。地上試験の結果からみると、これ以上の抵抗を受けているものと思われる。

初期のカラーは、芯の入った布製ベルト (55×38 cm, 重量 900 gr) を製作し、外側には離脱を容易にするために、ゴムひもを補強材として取りつけた。カラー内面の気球皮膜の保護としては、ポリエチレンフィルムとウレタンフォームを巻きつけた。気球への取りつけは、カッターを介した 3 m/m のナイロンロープ 2 本を外側にたすき状にしぼりつけ、その解除は地上からケーブルで行う。しかし、このカラーは離れ方が必ずしも瞬時に開かない例もみられたので、後半の実験では空気袋形式 (57×45 cm 重量 750 gr) のカラーを製作し、気球への密着性及び離脱速度を改善することができた。気球への取付後カラー内に空気を圧入するので、外側から気球皮膜を圧縮し、密着度を上げている。空気圧としては、300 mmHg を設定圧とした。図-4 に写真はカラー取付後の様子を示す。

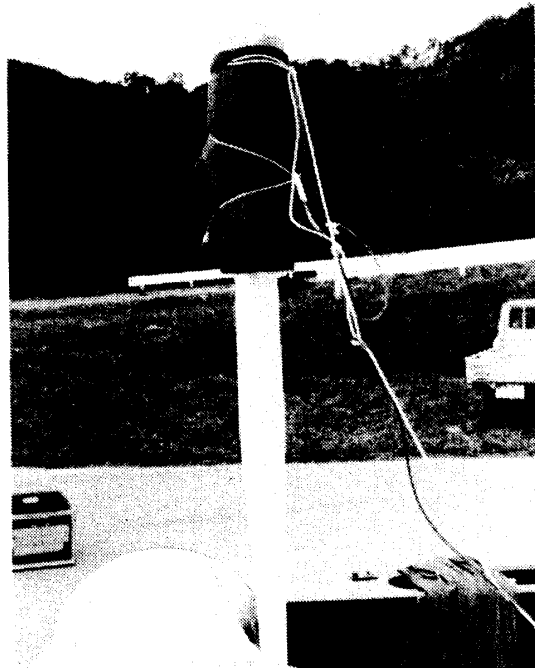


図-4

## 4. ローラ車

従来の放球法に於ても、フォークリフトのローラでガス注入口からランチャー線までを立て上げていたので、このローラを基礎として新しいローラ車を製作した。

立て上げ放球法の場合、主なローラの移動は、気球に全浮力を与えた後に行なう。このため、ローラ自身で気球皮膜に傷をつけない様に、ローラの表面をなめらかにすると共に直径を大きくし、回転も滑らかであることを主眼に製作した。設計基準は、ローラ直径 50 cm, 巾 1 m とし、浮力 1 ton に充分耐える事として、小松製作所のショベルローダ SD-25 (積載量 2.5 ton) を選び、これに改造を加えた。



図-5

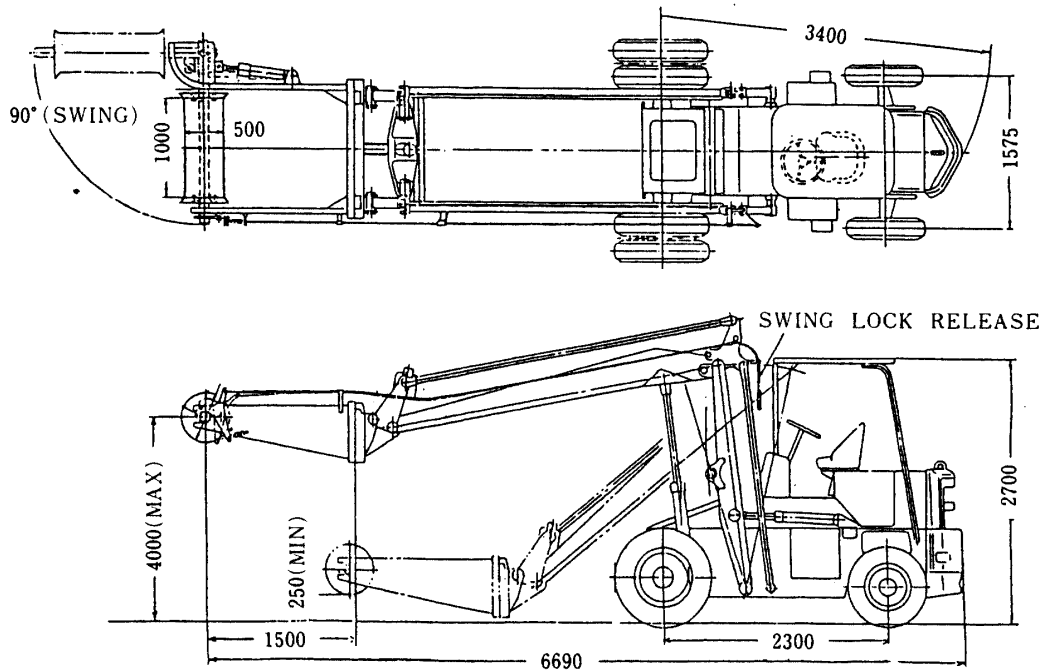


図-6

表1 ローラ車諸元  
小松製作所 小松ショベルローダ SD-25  
諸元

1. 走行速度	前進	0~23 km/hr
	後退	0~15 km/hr
2. 最大牽引力		4.7 ton
3. 登坂能力	無負荷時	22度
4. ホイルベース		2.3 m
5. トレッド	前	1.79 m
	後	1.57 m
6. 最小回転半径		3.4 m
7. 車輛重量		7.5 ton
8. エンジン	水冷4サイクル噴射式ディーゼル機関	
	総排気量	5.393 litter
	最大トルク	28 kg-m
	前輪駆動	
	燃料	軽油. 54 litter
9. 車輛寸法	全長	リーチ引入時 5.47 m
		リーチ最大 6.99 m
	ローラ軸高	最大 4.0 m
		最小 0.55 m
	10. ローラ	直径
	幅	1.0 m
	ローラ回転機構	油圧
	スイング角	90°
	最大浮力	1.0 ton
	ローラアーム寸法	奥行 1.5 m
		幅 1.2 m
	回転解除機構	手動 (ワイヤー) 運転席にて行なう

図-5 に製作したローラ車の写真と図-6 にその外経寸法図を示し、ショベルローダとローラの緒元は表-1 にまとめた。

改造は先端のショベルを取り除き、長さ 1.5 m の腕にローラを取りつけた。取り除いたショベルの油圧機構を利用して、ローラ軸を 90° 回転出来るようにし、気球への着脱を容易にした。

このショベルローダの可動アームは車の両側から出ているために、運転席での視界は非常に良く、運転者は気球の様子を見ながら前進出来るので取扱い上便利である。

一般のショベルローダのアームの油圧シリンダーは、ショベルを持ち上げる時のみ力を出す単動シリンダーであるが、気球の場合は逆に浮力のついた上向きの力を下に保持す



る形で使用するため、上下方向に力を出すことの出来る複動シリンダに交換し、充分な力を得ている。

立て上げて行くローラ下部の気球は、ローラーがランチャーへ近づくにつれ、気球内にある空気が集まって下部がふくらむ。その量はわずかではあるが、このため、ランチャーに近づくにつれて、ローラの位置を高くし、気球をはずす時のローラーの高さは、アーム最高の4mにしている。こうすることにより残った空気が気球皮膜を破る危険性を取り除いている。

図-7には、ローラ車の前、後輪荷重が等しくなるように、ローラ及び腕の鉄材重量を増した。このため、ローラー車は浮力が1.5 tonでも充分安定なハンドル操作が行なえるようになっていた。

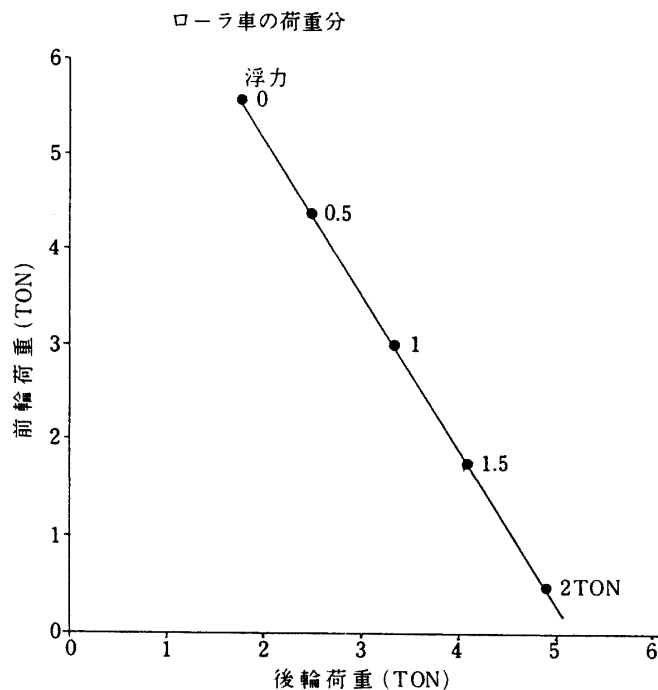


図-7

## 5. 実験経過

昭和55年度の立て上げ放球法の地上試験をはじめとして、今年度は16機放球中、15機を立て上げ放球法で行なった。飛翔重量の大きなものは、B<sub>30</sub>-42 (581 kg) と B<sub>50</sub>-19 (561 kg) である。表-2に各気球の浮力を示した。

実際にこの放球法を採用し、強風下で問題のあった、B<sub>15</sub>-49の例について述べる。B<sub>15</sub>-49気球は作業開始前から少し地上風はあったが作業は開始された。ガス注入終了時頃から風が強くなり始めたので、気球を立て上げて放球体制に移った。5～6 m/secの風が吹いていたので立て上げた気球は傾いてはいたが一様な形を保っていた。しかし突然7～8 m/secの突風が吹いてきて気球頭部が大きく傾き、棒状になっていたカラー下の気球が開き

大きく帆をはりその力で皮膜が破れた。その日の放球は中止され翌日、予備の気球で無事放球された。これは強風下でカラー下部の部分の気球が開いて抵抗をまし、その結果ますます気球を広げるといふ悪循環をおこしたためである。

これ以後、強風に対する対策として、カラー下からランチャーまでの間に補助カラーとして、ベルクロファスナーバンドを巻きつけ、地上から紐を引いて解除するようにした。特に、このバンドはエスケープチューブのふらつきをおさえるのに効果があった。

表2 昭和56年度気球放球表

放球月日	気球	観測項目	全浮力 kg	備考
5月17日	B 15 - 50	立て上げ放球法試験	157.7	従来の放球法
5月21日	B 15 - 45	成層圏、対流圏水蒸気	342.0	
5月26日	B 30 - 40	超高エネルギー現象	460.4	
5月27日	B 15 - 48	新ブーメラン	297.5	
5月31日	B 30 - 39	赤外望遠鏡追尾試験	648.3	
6月3日	B 15 - 49	銀河赤外	301.1	
6月4日	B 30 - 38	大気赤外吸収スペクトル	328.5	
6月5日	B 5 - 105	地磁気観測	124.5	
6月9日	B 30 - 41	緩降下回収試験	349.	
6月10日	B 15 - 47	無動実験体	293.	
8月29日	B 5 - 109	方向制御試験	144.	
9月2日	B 15 - 51	クラブサンプリング	337.1	
9月5日	B 30 - 42	太陽望遠鏡	636.1	
9月21日	B 5 - 110	グライデングシュート	158.0	
9月29日	B 5 - 106	成層圏エアロゾール	169.0	
9月30日	B 50 - 19	宇宙線重粒子	617.1	

## 6. あとがき

立て上げ放球法は、大重量気球の安定な放球法として、従来の放球法から一步前進し、良い成果をおさめることが出来た。

しかし、この本文の中でも述べたように、如何に地上風に対処するかは今後残された問題である。ランチャー周辺機器の開発、カラー及び補助カラー等の放球設備と共に気球にもリーフィングスリーブをつけた形の気球にすることを検討している。

今回製作したローラ車は、小松製作所の西村、助川両氏の設計会議での有意なる助言をもって実現したもので、ここ書面にて厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- [1] 西村純他大気球シンポジウム 昭和55年 p.11
- [2] 西村純他, 大気球シンポジウム 昭和54年 p.45.
- [4] 西村純他, 宇宙研報告 昭和56年, 特集第1号, p.3.
- [4] 西村純, 山上隆正, 藤井正美, 宇宙研報告 昭和56年, 特集第1号, p.9.
- [5] 秋山弘光, 大気球シンポジウム 昭和51年, p.126.
- [6] 秋山弘光他, 大気球シンポジウム 昭和56年, p.13.

## 附 録

立て上げ方式における地上風の影響について。

気球に充填したガスによる浮力と地上風の横風による，気球の傾きについて考える。

図-8 に立て上げ状態の気球を示し，X 軸を地面に，Y 軸を天頂方向とする。

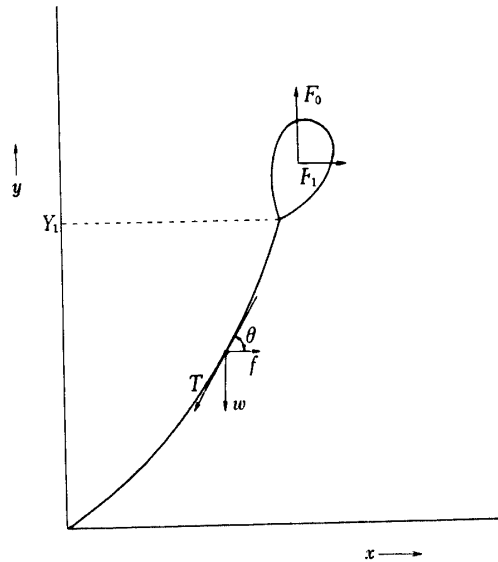


図-8

いま

$F_0$  ; ガス浮力から気球頭部の重量を引いた値

$F_1$  ; ガスが入っている気球の横風による抵抗

$f$  ; カラー下部気球の単位長さ当りの風の抵抗

$w$  ; カラー下部気球の単位長さ当りの重量

とすると，気球のカラー下部の力は次の式で導かれる。

$$\frac{d}{dx} T \cos \theta = -f \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{d}{dy} T \sin \theta = w \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで  $T$  は気球下部の部分にかかる張力である。ランチャーの位置，カラーの位置をそれぞれ  $x, y=0$  と  $y=Y_1$  とおくと，境界条件は，

$$y=0 \quad x=0$$

$$y=Y_1 \quad T=\sqrt{F_0^2+F_1^2} \quad dy/dx=F_0/F_1$$

となる。

物理的な考察から、ランチャーにはさんだ所の気球の傾きは、カラー下部の気球の長さを  $l$  とすれば、 $x, y=0$  では、

$$\frac{dy}{dx} = \frac{F_0 - wl}{F_1 + fl} \dots\dots\dots(3)$$

となる。  $x$  の場所における傾きは、(1), (2)式を積分することにより

$$T \cos \theta = -fy + G_1 \quad G_1 = F_1 + fl \dots\dots\dots(4)$$

$$T \sin \theta = wy + G_0 \quad G_0 = F_0 - wl \dots\dots\dots(5)$$

従って、任意の  $x, y$  における  $dy/dx$  は

$$\frac{dy}{dx} = \frac{wy + G_0}{G_1 - fy}$$

となる。

これを積分して

$$x = -\frac{f}{w}y + (G_1/w + fG_0/w^2)L_n \frac{wy + G_0}{G_0} \dots\dots\dots(6)$$

を得る。

この式を使って、 $B_s$  と  $B_{s0}$  の気球について計算し比較してみる。抵抗係数としては、気球頭部、下部につき、それぞれ、 $C_D=0.5$  及び  $1.0$  を仮定した。

	$B_s$	$B_{s0}$
●浮力	100 kg	500 kg
●気球全長	30 m	70 m
●気球頭部より測ったカラーの位置	10 m	16 m
●気球重量	40 kg	160 kg
●カラーの気球の中	0.5 m	0.5 m

$B_s$  の場合について、若干の数値を示すと

$$F_1 = \frac{1}{2} \rho C_{D1} S v^2 = 0.88 v^2 \quad (\text{kg}) \dots\dots\dots(7)$$

$$fl = \frac{1}{2} \rho C_{D2} S l v^2 = 0.625 v^2 \quad (\text{kg}) \dots\dots\dots(8)$$

となる。この数値から、気球頭部の抵抗と下部の抵抗とは、ほぼ等しく下部の抵抗が重要な役割をはたしていることがわかる。本文に述べたように、リーフィングスリーブの役割が極めて重要なことがわかる。

この数値を使って、気球部分とランチャー部分での傾き角度を求める。

$B_s$  と  $B_{s0}$  の風速に対する角度を表-3に示す。 $\theta_1, \theta_2$  は気球及びランチャーの場所におけ

表3 B<sub>s</sub>, B<sub>s0</sub> の風速に対する傾き角度 (度)

風速(m/sec)		1	2	3	4	5
B <sub>s</sub>	$\theta_1$	0.53	2.1	4.8	8.5	13.3
	$\theta_2$	1.2	4.8	11.	19.	30.
B <sub>s0</sub>	$\theta_1$	0.3	1.2	2.7	4.8	7.5
	$\theta_2$	0.77	2.7	6.0	10.7	17.

$\theta_1, \theta_2$  は気球及びランチャーの場所における  
Y 軸からの傾き角。

る Y 軸から測定した角度とし、色々な風速に対する傾斜角を求めた結果である。表-3 に示した角度は各々の  $\theta_2$  の値である。

この表から見てわかることは、大重量の気球ほど傾き角が小さい。これは次の理由による。

浮力  $F_0$  はガス容積に比例し、地上風による抵抗  $F_1$  はガス球の断面積に比例している。一般に浮力は観測器重量  $W_p$  に比例しているので傾きの角度  $\theta_2$  は  $W_p^{1/3}$  に逆比例することとなる。

立て上げ放球方式では、大重量観測器の放球ほど、地上風の影響が少ないことになる。