

大型の薄型高高度気球 (BT 120-1)

松坂幸彦*・鳥海道彦*・並木道義*
太田茂雄*・山上隆正*・槇野文命*
廣澤春任*

A Large Plastic Balloon Made With Thin Polyethylene Films (BT 120-1)

By

Yukihiko MATSUZAKA*, Michihiko TORIUMI*, Michiyoshi NAMIKI*,
Shigeo OHTA, Takamasa YAMAGAMI*, Fumiyoshi MAKINO*
and Haruto HIROSAWA*

Abstract: We have been developing plastic balloons made of thin polyethylene films since 1991. Since this balloon is lighter than a normal balloon, it can easily reach an altitude more than 40km with a payload less than 10kgs. In the development of high-altitude balloons, there are following problems. First, the weight of the balloon must be minimized as much as possible. Second, the large volume balloon with thin polyethylene films must be manufactured carefully. Third, the balloon must be stably launch without being damaged. A ceiling altitude of 48.7km was achieved by the balloon with a volume of 30,000m³ in 1995. A thin polyethylene balloon with a volume of 120,000m³ was launched by the new launching method successfully on January 27,1997. The balloon ascended normally with ascending velocity of 275m/minute. and reached the altitude of 50.2km after three hours. These balloons can be used for high altitude observations with low cost, and can be replaced some observations of a small sounding rocket. We describe the launching method and some results of the test flight of the new balloon with the volume of 120,000m³ in this paper.

概要

宇宙科学研究所気球工学部門は、1991年より重量10kg以下の科学観測機器を高度40km以上まで飛翔させる気球の開発・製作を行っている。高高度まで気球を飛揚させるためには、気球本体の自重を如何に軽くし、気球飛翔環境に耐える大容積の気球を製作できるかにかかっている。また、気球にダメージを与えず安全に放球できる放球方法の開発も重要となる。1995年には、従来のフィルムの三分の一の厚さである5.8μmの超薄型ポリエチレン・フィルムを用いて、気球容積30,000m³を製作し、高度47.8kmまでの飛揚に成功した。さらに本年度、50km以上の気球高度をめざし、従来の最大容積の4倍である120,000m³の気球(BT 120)を開

* 宇宙科学研究所

発・製作し、その飛翔性能試験を行った。この気球は長さが92.4mで、気球製作には高度な技術と品質管理が必要であるが予想最高高度の50.2kmに到達した。これまでこの領域での観測は小型ロケットによるものであったが、今回の成功により、経費が少なく手軽に放球できる軽量気球でもこの領域での観測が可能となったことになる。気球の飛翔中の様子はCCDカラービデオカメラ画像伝送装置を通して地上でリアルタイムで鮮明に観察することができた。また、気球破壊強度を調べるため気球内の圧力を測定し期待した結果を得た。気球高度の測定は正確性を考慮し、測距用トランスポンダおよびGPS受信機で行った。ここではBT 120気球の飛翔実験について結果を含めた報告とする。

重要語：高高度気球、超薄型ポリエチレン、大型放球装置

1. はじめに

5.6 μ mの薄型ポリエチレンフィルムを使った高高度気球の開発は1991年から本格的に始まった。図1は高高度気球開発の経過を示したものである。1991年度は気球製作装置として、狭い工場内でも効率良く連続的に熱接着が可能な新型ベルトシーラを開発した[1]。この装置により気球製作の省力化や製作時間の大幅な短縮化、高度な品質管理を行うことができた。同時に、テレメータ、コマンド等の基本搭載機器の軽量化を行い電池を含んだ基本機器の搭載重量を約1kgと軽量化した[2]。基本搭載機器の軽量化は搭載可能な重量が少ない高高度気球にとって極めて重要なことと言える。1992年には容積15,000 m^3 の高高度気球(BT 15)を開発製作し気球到達予想高度の46 kmに到達した。高高度気球の大型化に伴い、放球装置の開発がこの頃から始まった。放球装置はエアバッグで気球を保持する方法で、100 kg以下の浮力を安全に保持することができる。この装置により1994年には容積30,000 m^3 の気球(BT 30)が放球され、気球到達予想高度の47.8kmまで上昇し自然破壊した[3]。1995年からは長時間観測が可能な高高度気球の開発が始まり、排気口を持った高高度気球が製作された。排気口は柔軟性ベルト型と呼ばれ、気球の尾部から円筒型に伸びた形のものである。これにより高高度気球の水平浮遊が可能となり、長時間の観測ができるようになった[4][5]。また、長時間観測に必要な不可欠であるバラスト弁の

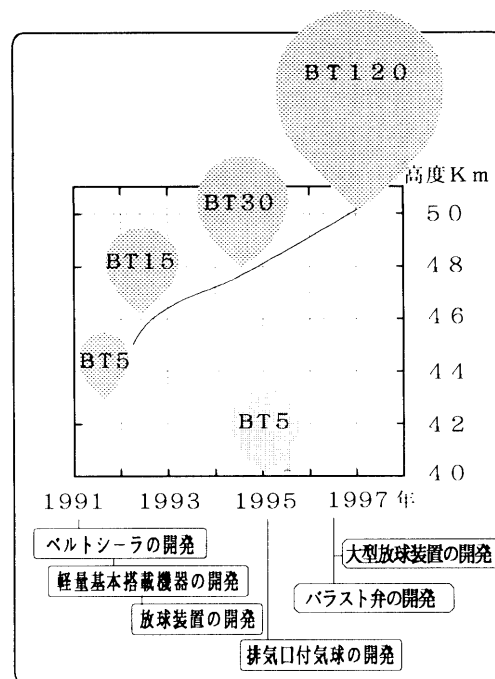


図1. 高高度気球の開発経過

開発も行われ、高高度気球搭載用軽量バラスト弁を製作した [6]。高高度気球も大型のものが製作できるようになり浮力 100 kg を超える気球を対象とした大型放球装置が検討、製作された。この大型放球装置により 1997 年 1 月容積 120,000 m³ の気球 (BT 120) が放球され、高度 50 km を超える高度に到達することに成功した。BT 120 気球打ち上げの成功によって、大型高高度気球の製作技術や放球技術が確立された。

2. 放球方法の検討

薄型高高度気球は気球本体と観測器重量が軽いため、現在大型重量気球に使っている立て上げ放球法を全く同じ形で使うことはできない。これは気球を全長立て上げた場合、総浮力から気球重量分が引かれるため気球浮力として 20 kg 程度しかなく、このため風に対する安定性が極めて悪くなる。このため、無風状態でしか放球できないことを意味する。また、気球のカラー位置を放球装置に固定すれば最も浮力の大きい状態となるため風に対して最も安定になるが、固定位置下の気球長が長い場合狭い放球場では 1 m 以下の風速でなければ放球できないことになる。無風状態の確率は低く期待できないため、2~3 m の風速でも放球可能な放球方法について検討した結果、気球の中腹位置を放球装置に固定する不完全立て上げ方式が最も適した放球法と考えられた。

2. 1. 不完全立て上げ方式

図 2 のように、気球頭部から適当な長さ (L) の位置を放球装置で保持する。L が長くなるほど立て上げ後の浮力が減少するため、風に対する気球抗力は少なく倒れやすくなる。完全に立て上げた場合、浮力は 20~30 kg となり弱風下でも不安定と考えられる。BT 120 の場合、気球重量が約 90 kg であり、気球の中腹を保持した場合、浮力として 60~70 kg となる。この場合 2~3 m/秒の風速に対して気球の傾きは小さく放球には問題がない [7]。

気球保持位置まではローラ車を使って気球上部を立て上げてゆく。気球に対する風の影響を少なくするため気球頭部から 10.5 m の位置にカラーを取り付け、放球時の切り離しは無線で行うことにした。放球直前において放球装置下の気球下部処理を折り畳む方式とするか伸長方式とするかは当日の風状況から判断することとし、風速 2 m 以下で風向が安定している場合は折り畳み方式が適当である。

2. 2. 放球装置

BT 120 気球用に開発した大型放球装置の構造を図 3 に示した。この装置は BT 30 用に開発した装置を一回り大型にしたもので、エアバッグの圧力を 1 kg/cm² とした場合約 120 kg の浮力を保持することが可能である。放球装置の重量は 15 kg である。放球法を不完全立て上げ方式としたことで放球装置が気球を保持するのに必要な力は約 70 kg でよいことになる。したがって、エアバッグの圧力を 1 kg/cm² とすれば、気球が風の影響を受

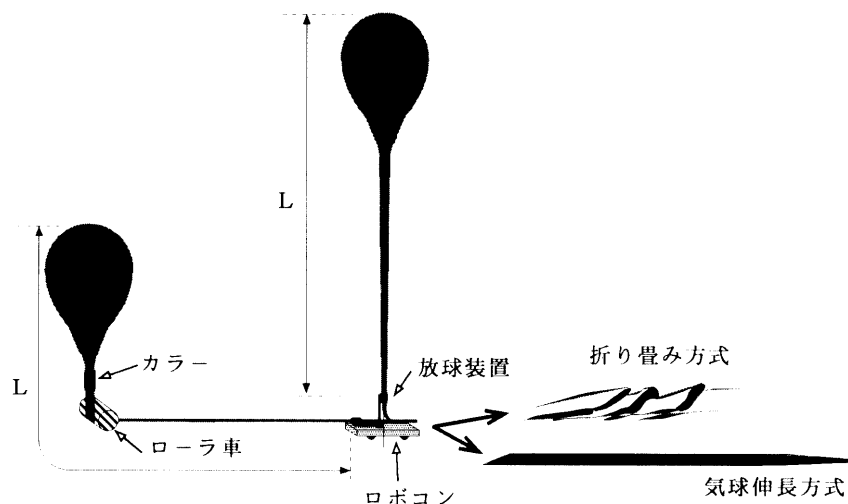


図 2. 不完全立て上げ方式

図からわかるように、1 分間に測距可能な時間幅を 10 秒間とし、残りの 50 秒間は 5 秒間隔で GPS データが送られてくることになる。したがって、測距と GPS データの 2 つの方法により気球高度を知ることができる。カラー CCD カメラ画像および気球内圧データは単独で連続伝送した。

気球内圧データは伝送速度 300 bps の PCM で、Bi ϕ 伝送とした。PCM は分解能 8 ビット、調歩同期方式である。

3. 2. 簡易 PCM コマンド

高高度気球用に開発した軽量 PCM コマンド [2] を搭載した。使用した項目は次の 5 項目である。

CH 1 : 気球切り離しカッター

CH 2 : バラスト装置の切り離し

CH 3 : バラストの投下と投下停止

CH 4 : 画像伝送用送信機の電源 ON/OFF

CH 5 : トランジスタ送信機の電源 ON/OFF および観測器吊り下げ気球の切り離し

CH 4 は画像伝送用送信機による GPS 受信機への電波干渉があった場合の対処法として入れた項目である。CH 5 はトランジスタ送信機の周波数変動を考慮し、他の送信機と周波数が重なった場合の対処法とした。

3. 3. 気球内圧測定

搭載した内圧計センサはユニパルス製 P 592 を使用した。圧力センサ出力は 4 VDC/ ± 12.5 gr で重量は約 70 gr のものである。圧力センサは 0 点の温度ドリフトがあるため、機上での校正を行った。その方法として図 6 に示したように三方弁を使用した。三方弁はシーケーディ (株) の小型直動式 3 ポート弁 USG 2-M 5-2 を用いた。三方弁の重量は約 70 gr で直流 12 V 駆動 (3 W) である。適当な時間だけ圧力センサ入力を大気開放側に切り換え 0 点を校正した。その後センサ入力を気球内圧側に切り換えた。今回は開放時間は 3 秒間とした。開放と計測の切換時間は可変であるが今回は 10 分間隔で行った。

圧力センサの低温試験結果から -40 度での 0 点ドリフトは約 -1.1 V であった。BT 120 気球で測定される予想内圧は 0.1 gr/cm² である。低温でのドリフトを考慮して内圧計測回路のオフセット値およびゲイン値を決定し、最終的な内圧計測回路出力を 1 VDC/0.25 gr とした。圧力計測の分解能は PCM の分解能 8 ビットで決まり、約 0.005 gr/cm² である。

3. 4. その他の搭載機器

GPS 受信機にはソニー IPS 4000 を搭載した。これまで多くの気球に搭載され実績があり、信頼できる機器で

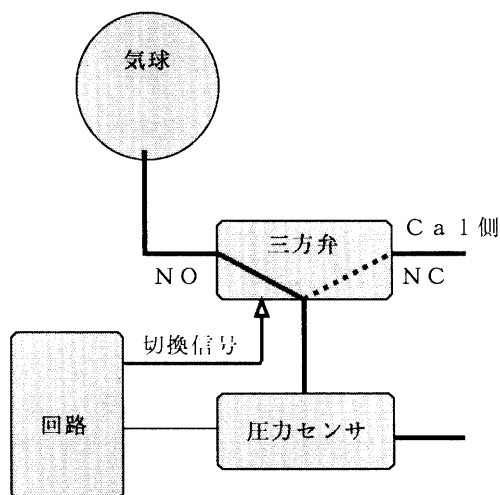


図 6. 内圧計の校正

ある。GPS のデータは通常の 9600bps から 600bps にボーレート変換し、FSK で伝送した。気球の様子を観察する CCD カラービデオカメラは小型軽量で、DC 12V 電源で動作し、画角は約 49 度 (V)×64 度 (H) の広角である。ズーム機能はない。放球後の気球の上昇速度不足を補償するため搭載した軽量バラスト弁の投下量は毎分 500gr で、5kg のバラストを搭載した。また、最終の搭載重量を極力少なくする目的で全バラスト投下後、バラスト装置をカッターで切り離し、パラシュートで降下させる構成とした。

3. 5. 搭載した電池

- | | |
|--------------------------------|--|
| (1) TX 1 (GPS+測距データ用) | 3 B 64 * 7 直列 * 2 並列 |
| 1672MHz 水晶送信器 | (消費電流約 220mA) |
| (2) TX 2 (CCD カラーカメラ画像用) | 3 B 70 * 5 直列 * 2 並列 |
| 1687MHz 水晶送信器+パワーアンプ | (消費電流約 800mA) |
| (3) TX 3 (気球内圧データ用) | 3 B 64 * 7 直列 * 1 並列 |
| | (消費電流約 100mA) |
| (4) CCD カラーカメラ | 3 B 64 * 4 直列 * 2 並列 |
| | (消費電流約 200mA) |
| (5) GPS 受信機 | LiF * 3 直列 * 1 並列 |
| | (消費電流約 100mA) |
| (6) コマンド+回路 | 3 B 64 * 4 直列 * 1 並列 |
| | (消費電流約 50mA) |
| (7) メインカッター | 3 B 70 * 2 直列 * 1 並列 |
| (8) ITV 送信機 ON-OFF リレー | 3 B 70 * 2 直列 * 1 並列 |
| (9) バラスト箱切り離しカッター | UM 3 * 2 直列 * 1 並列 |
| (10) バラスト弁 | 3 B 64 * 4 直列 * 1 並列 |
| | (消費電流約 150mA) |
| (11) 内圧計+PCM+タイマ+回路 | 3 B 64 * 4 直列 * 1 並列 |
| | (消費電流約 50mA) |
| (12) ON-OFF リレー | 3 B 64 * 2 直列 * 1 並列 |
| (13) シリンダ気球切り離しカッター | UM 3 * 4 直列 * 1 並列 |
| | * 3 B 64, 3 B 70 エレクトロケム社製リチウム電池 |
| | * LiF ナショナル製リチウム電池 |
| | * UM 3 アルカリ・マンガン電池 |

4. BT 120 気球の飛翔構成

表 1 に BT 120 気球の重量構成を示した。バラストを含めた観測器重量は約 10kg、総重量が 98.82kg である。総浮力は自由浮力を 12% として 110.68kg であった。表 2 に気球の諸元を示した。使用フィルムはウィンゼン製 S. F (ストラトフィルム) でフィルムの厚さは 5.8 μ m である。

BT 120 気球の放球直後の飛翔荷姿構成を図 7 に示した。気球内圧測定の必要性から PCM エンコーダ、圧力センサ、気球切り離しタイマ (5 時間設定)、計測系回路等を気球下部に配置した。内圧データを送るトランジスタ送信機は圧力センサとの干渉があったため、パラシュートの下に配置し 5m ほど内圧センサから離すことで対処した。観測器に搭載した CCD カラーカメラで満膨張になった気球全体を観察する目的で、気球下の長さを 40m 以上とした。気球下重量は約 12kg であるが、これらの機器を完全に浮かせた状態での放球を考えたため、観測器の上約 10m の位置に浮力約 13kg のポリエチレンシリンダ気球を付けた。シリンダ気球は放球後上空でコマ

表 1. 気球重量構成

気 球	87.0 kg
ゴンドラ	4.3 kg
パラシュート	2.06 kg
バラスト部	0.46 kg
バラスト	5.0 kg
総 重 量	98.82 kg
自由浮力 (12%)	11.86 kg
総 浮 力	110.68 kg

表 2. 気球の諸元

気球名称	BT 120-1	
製造年月	平成 8 年 8 月	
総 重 量	144kg	
パネル枚数	82	
製造会社	藤倉航装株式会社	
フィルム	名 称	S. F
	厚 さ	6μ
	使用反番	60542036, 2040, 2043 60542045, 2047, 2049
	製造年月	1996 年 4 月
	製造会社	ウィンゼン
直 径	69.9m	
全 長	92.4m	
ガス注入口	長 さ	40m
	本 数	1
気球重量	頭 全	6.38kg
	部 体	87.07kg
ロードテープ	なし	
ランチャ線	11m	
引 裂 紐	あり	
弁 座	なし	
弁 線	なし	
マグネット	なし	
吊 り 手	セルフ方式	
備 考	頭部 3m 気密検査 溶接テープ 20μ	

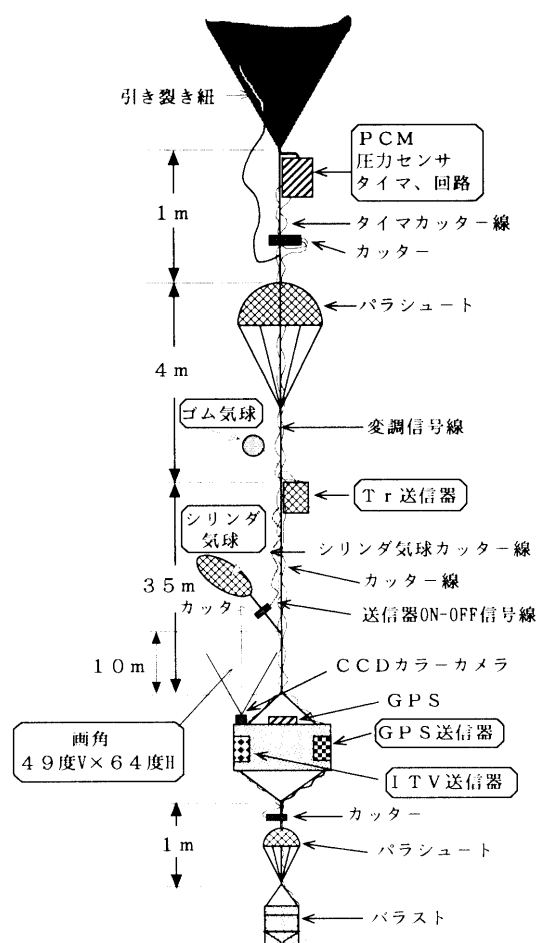


図 7. 飛行荷姿構成

ンドによりカッターで切り離すことにした。シリンダ気球を用いることによって、観測器も含めたパラシュート荷姿関係を全て上空に浮いた状態とすることができるため、放球時には放球装置下の気球上昇にのみ注意を払えば良く放球がより容易になった。また、地上風が多少強くなっても (4~5 m/秒) 放球できる利点がある。

5. 放球経過および放球手順

BT 120-1 気球の放球は 1997 年 1 月 27 日午前 8 時 21 分に行われた。放球までの経過はほぼ放球スケジュールに沿って行われた。実際の放球経過を記述すると次のようであった。

6 時 15 分 フィールド準備開始

(シートの配置, 放球装置の設置, 指令電話系統の準備等)

観測器の噛み合わせ開始

- 6時20分 ゴム気球へのガスの注入
- 6時40分 ゴム気球終了, シリンド気球へのガスの注入
- 7時15分 シリンド気球終了, 気球の搬出開始
- 7時20分 気球重量の計測
- 7時24分 放球装置への気球のセット
- 7時32分 ローラ車への気球頭部のセット
- 7時38分 ガス注入の開始
- 7時45分 無線切り離しカラーの取り付け
- 7時50分 ガス注入終了
- 7時56分 気球尾部からのガス注入
- 8時02分 気球の立て上げ開始
- 8時03分 ベルクロカラーの取り付け
- 8時07分 気球の不完全立て上げ完了
- 8時08分 気球下部の放球配置処理
- 8時13分 回転テーブルの180度回転
- 8時20分 ベルクロカラーの取り外し後無線によるカラーの開放
- 8時21分 放 球

写真1は気球の立て上げ時の様子であるが, この時点での風速は3~4m/秒で気球が風の影響で傾いているのがわかる。写真2はカラーが開放され, 放球直後の様子である。放球時の風速は1m/秒以下であった。

ガス注入から放球前までの手順を図8に示した。放球当日の風速は時折3m/秒を超えることもあるため, 気球の保持位置を当初の50mから40mに変更し, 立て上げ後の気球浮力を大きくした。無線開放型カラーを気球頭部より10.5mの位置に, また, ベルクロカラーを25mの位置に配置し, 立て上げ後に気球が地上風ではらむこと

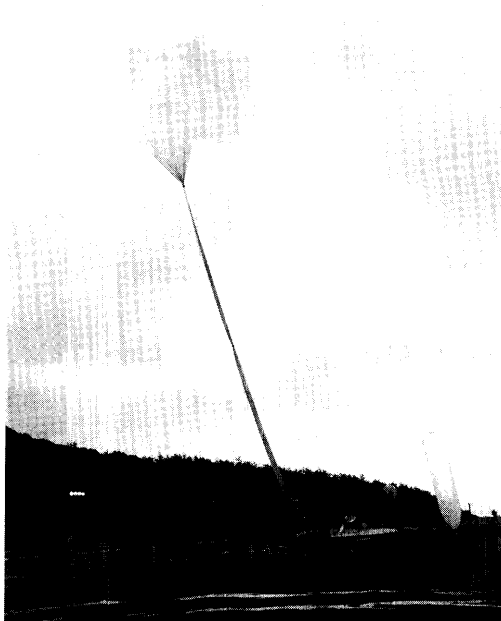


写真1. 気球の立て上げ



写真2. 気球の放球

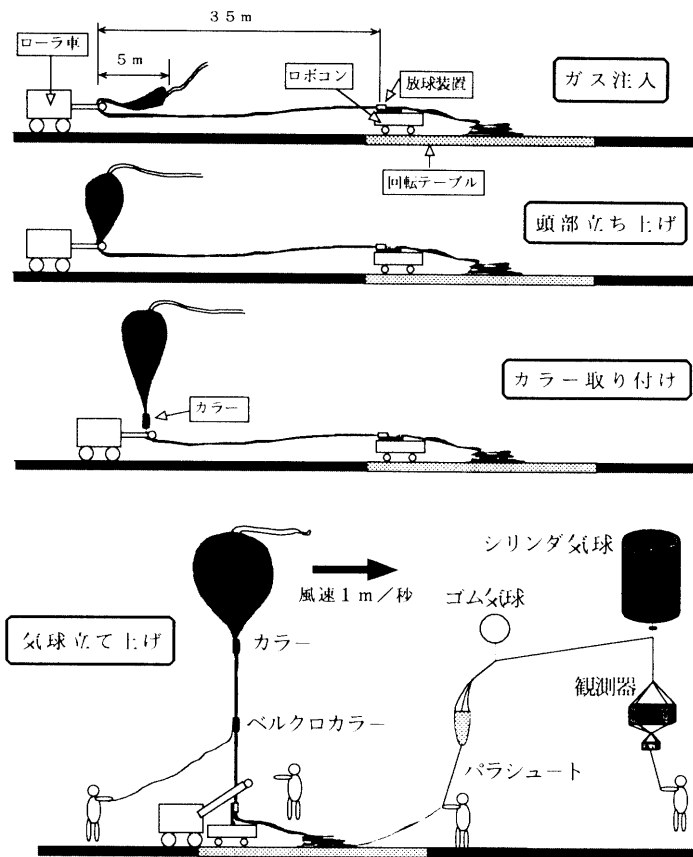


図 8. ヘリウムガス注入から放球までの手順

を防いだ。ベルクロカラーの使用は極めて有効であった。

6. 搭載機器の動作結果

搭載した 3 つの送信機は干渉もなく、内圧データ、GPS データ、画像を正常に受信することができた。CCD カラーカメラの画像は大窪山受信棟に新設した受信機での初めての受信であったが、安定した映像が得られた。気球は三陸受信点から最大約 150 km 東方の地点まで移動したが、十分受信可能距離内であった。軽量バラスト弁については気球の上昇中約 3 kg のバラストを投下し、上昇速度が上がったことから良好に動作したことがわかった。簡易 PCM コマンドも問題無く動作し、気球切り離しやバラストの投下等を正常に行うことができた。

ここでは、気球内圧の測定結果および GPS 受信機で得た高度データ結果について述べる。

6. 1. 気球内圧の測定結果

気球内負圧を検出のために、放球前に気球の尾から気球内部に挿入した内圧計測用ステンレス管 (径 3 mm) から約 1 m³ のヘリウムガスを気球尾部に注入した。カメラ画像からは放球後気球下部のガスは気球頭部方向へは上昇しないで、そのまま下部に詰まった状態で気球下部が膨張して行く様子が見られている。どの高度までこの状態であったかは映像からでは判定することができなかった。

図 9 は放球後からの内圧計データである。2 つの図は圧力スケールを変えて示してある。放球後からの出力の減少は 0 点の温度ドリフトで、さきに述べた低温による影響である。低温試験による圧力センサのドリフト量から推定すると -20 度程度と思われる。0 点校正用の三方弁は動作しているが、負圧は計測されなかった。また、JST で 11 時頃から 10 分間程度乱れた負圧のデータが計測されているが現在のところ原因はわからない。画像を

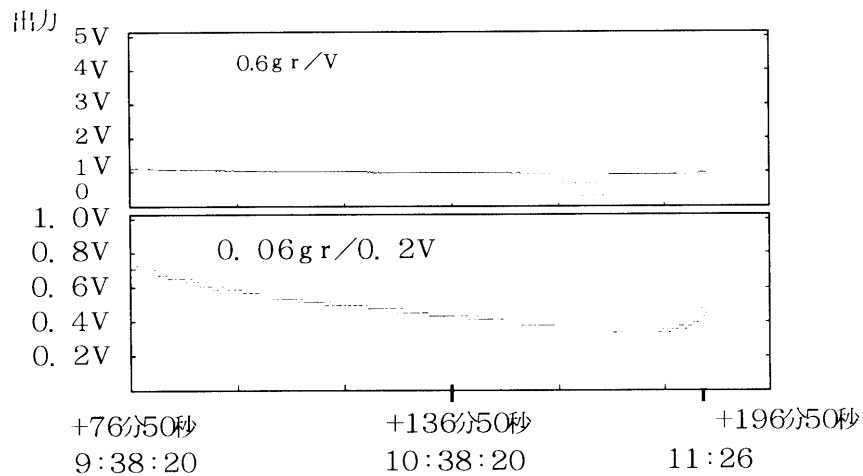


図9. 圧力計による気球内圧の測定

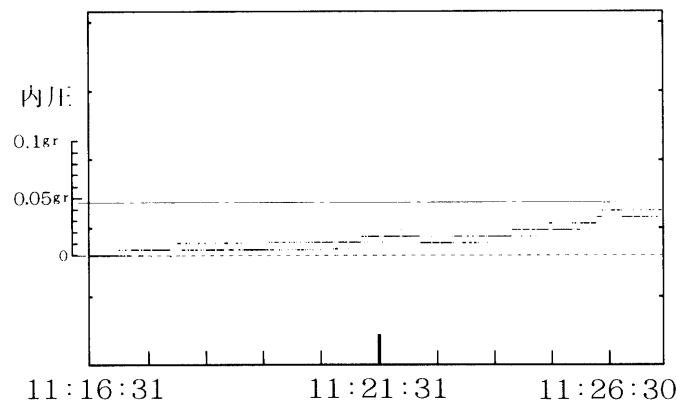


図10. 気球破壊までの内圧

見た限りでは、気球の状態の変化等は見られていない。気球にはJST 11時16分頃から内圧が加わりはじめ、11時26分頃に破壊しているのがわかる。

気球に内圧が加わりはじめたJST 11時16分頃から破壊時までの内圧データを図9に示した。内圧スケールを縦軸上に付加してあるが、計測された内圧は0.04～0.05 gr/cm²であった。

6.1.1. BT 120 気球の理論高度

地上でのガスの体積 (V_0) は圧力、温度とも平衡状態とすると、

$$V_0 = \text{総浮力} / (\rho_0 - \rho_{he}) = 101.9 \text{ (m}^3\text{)}$$

総浮力：110.68 kg

ρ_0 ：空気密度=1.26 (5℃)

ρ_{he} ：ヘリウムガス密度=0.174 (5℃)

となる。フィルムに伸びが無い場合、到達高度 H は次式で求まる。

$$H = \{\rho (1 + 0.00367 t) \times 760\} / 1.293$$

ここで、 ρ は上空での空気密度である。総重量を W (95.82 kg)、気球の体積を V (120,000 m³) とし、 ρ_{he} の温度は上空の温度より10度低いとすると ρ は、

$$\begin{aligned} \rho &= W/V + \rho_{he} \times V_0/V \\ &= 95.82/120000 + 0.199 \times 101.9/120000 \end{aligned}$$

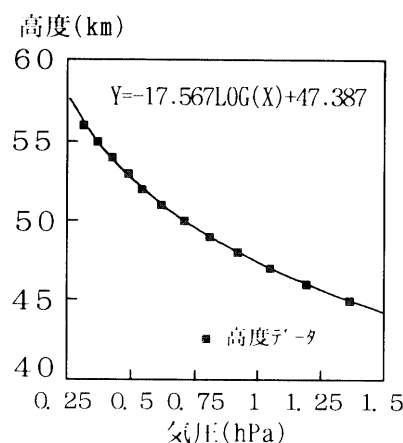


図 11. 高度の変換近似式

$$=9.68 \times 10^{-4} \text{ (kg/cm}^3\text{)}$$

である。従って高度 H (Torr) は、

$$H = \{\rho (1 + 0.00367 t) \times 760\} / 1.293$$

$$=0.5376 \text{ Torr}$$

$$=0.7172 \text{ hPa}$$

$$=49.9 \text{ km}$$

となる。外気温度 t は綾里のロケットデータより、 -15 度とした。また、hPa から高度への変換は図 11 の綾里ロケットデータを近似して用いた。フィルムが伸びて体積が 5%増加した場合、理論高度は 50.3km となり GPS 高度データ 50.22km から気球は破壊するまでには 5%程度の体積膨張があったと考えられる。

6. 1. 2. 気球の破壊圧について

実験の結果、BT 120 気球は気球内圧が $0.04 \sim 0.05 \text{ gr/cm}^2$ で破壊した。米国 NASA の実験による気球破壊内圧は同じ容積を持つ球形気球として推定した値とよく一致していることが知られている。以上のことから破壊内圧の推算を行うと下記のようなになる。

容積 $120,000 \text{ m}^3$ の気球を球形気球とした場合の半径 R は 30m である。

$$\begin{aligned} R \times \Delta P \text{ (破壊圧)} &= 3,000 \times (0.04 \sim 0.05) \\ &= 120 \sim 150 \text{ gr/cm} \end{aligned}$$

となる。

一方理論的に推算すると厚さ $5.8 \mu\text{m}$ のフィルムの -20°C 付近での降伏点強度は $60 \sim 100 \text{ gr/cm}$ である。半径 R の球形とした時の破壊圧は

$$R \times \Delta P / 2 = 60 \sim 100 \text{ gr/cm}$$

で与えられる。従って

$$R \times \Delta P = 120 \sim 200 \text{ gr/cm}$$

となり、今回の実験による破壊圧と大変良く一致する。搭載したカメラ映像から得られた気球破壊の様子は、ほぼ 4 等分した形で上下方向に破壊しており、気球が極めて均一な強度でできていたと思われる。これまでの気球の破壊圧は NASA のデータによると、外気圧の 5~6%程度であるとされている。今回の場合外気圧 0.71 gr/cm^2 であり、破壊圧 P (gr/cm^2) を求めると、

$$\begin{aligned} P &= 0.71 \times (0.05 \sim 0.06) \\ &= 0.036 \sim 0.043 \end{aligned}$$

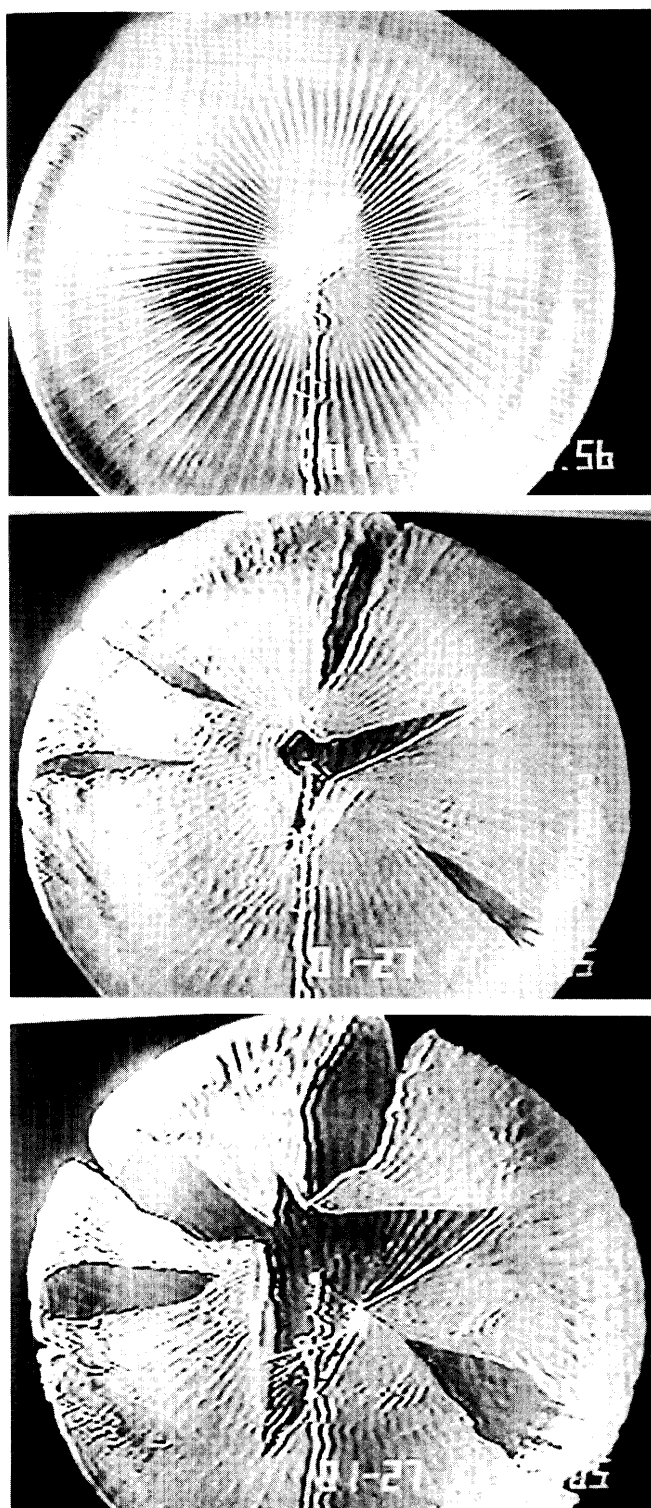


写真3. 気球破壊の様子

となり、測定された内圧値とよい一致が得られている。

写真3は搭載した CCD カラーカメラで写した気球の破壊の様子である。

6. 2. GPS 高度データ

搭載した GPS 受信機は 90% 以上 3 次元測位の状態であり、高度が得られている。データの精度を示す DOP 値についても 3 以下がほとんどであった。放球前の噛み合わせ試験から約 40 分の間に、5 秒間隔で得られた GPS の高度データの変動を調べた。図 12 は約 40 分間に得られた GPS 高度データの海拔 220m (放球場の高度) からの変動の度数分布と割合を示している。度数グラフの様子は円グラフの模様に対応している。

たとえば、 $\pm 40\text{m}$ 以内の度数の割合は 54% であることがわかる。したがって放球前の GPS 高度データにおいては、97% が $\pm 100\text{m}$ 以内の変動であったことがわかる。GPS の測位は S/A モードであるため、高度データには誤差がある。S/A の大きさは人為的に変えられるため日々 (年々) の変動値も変わるが、放球前の GPS 高度データ変動から得られる高度精度は 90% 以上 $\pm 100\text{m}$ 以内と考えるのが妥当である。気球の高度は測距によっても得ているが GPS 高度とよく一致している。図 13 は GPS 高度、図 14 は測距により得られた高度曲線である。また、図 15 には測距で得られた気球の航跡を示した。気球は放球後約 3 時間で最高高度の 50.2km (GPS 高度) に到達し、自然破壊した。上昇速度は毎分 250m \sim 300m で、期待した速度であった。

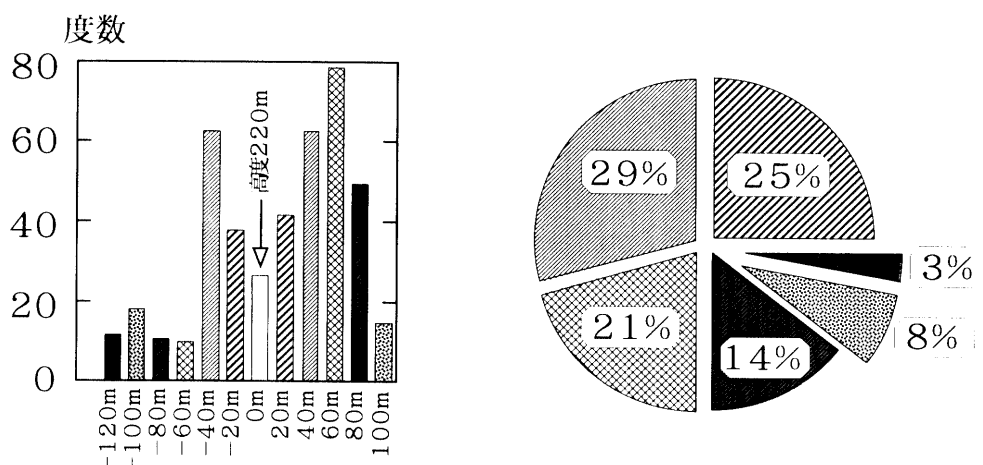


図 12. GPS 高度データの変動

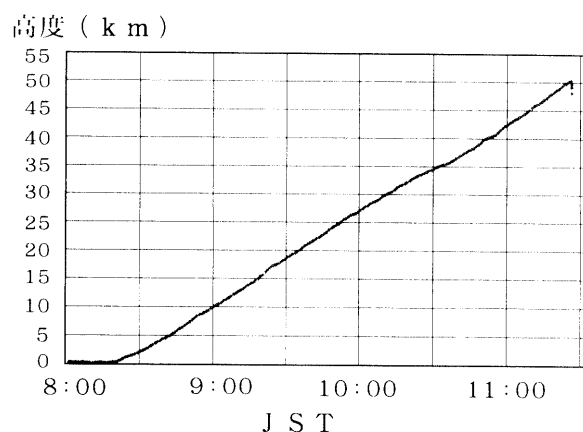


図 13. GPS 高度曲線

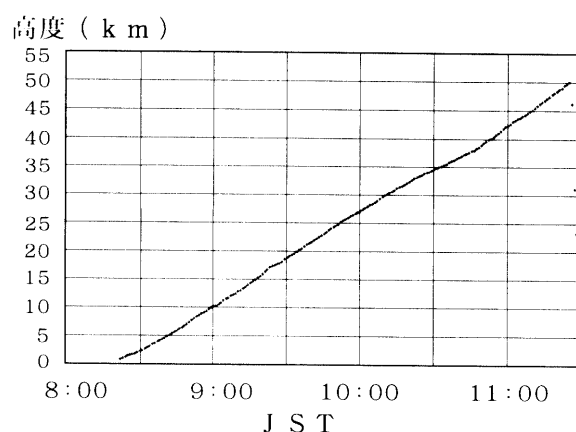


図 14. 測距高度曲線

のである。ディファレンシャル GPS でない気球データはこれより 1 桁程度低い精度と考えられ、6.2. で述べた三陸放球場での GPS 精度と近い誤差と言える。

7. お わ り に

BT 120-1 気球の飛翔は極めて良好で高度 50.2 km に到達した。飛翔試験の成功の要因の一つは気球の製作技術にある。5.8 μm の薄型フィルムを使った容積 120,000 m^3 という大型の高高度気球の製作は技術はもちろんのこと、品質管理、製造工程の管理等が極めて大切なことである。もう一つの要因は大型の高高度気球に傷つけることなくまた無理な力をかけることなく安全に放球できる技術を確立したことである。これらの技術は宇宙研の気球部門が長年にわたって経験と改良を重ねた結果確立したものである。

気球が 50 km を超える高度まで到達したことは、新しい宇宙観測の新しい手段を開拓するものである。これまで 50 km 以上の高度での観測は主にロケットによっていたが、ロケットは観測時間が数分と短く制約が多かった。一方、気球では数時間以上にわたる長時間観測が可能であり、広く利用されることが期待できる。特にオゾン等の超高層大気の観測には最も適したものと考えられる。今後は、より大きな気球の開発、製作を目指すことはもちろんであるが、大型の高高度気球がより容易に、いつでも放球できる放球システムを検討し確立していくことが重要と考えている。

謝 辞

本薄型高高度気球の開発・研究を進めるにあたり、終始懇篤なる御指導を頂いた元宇宙科学研究所長西村 純教授に深く感謝の意を表します。また種々の有益なる御助言ならびに示唆を頂いた宇宙科学研究所奥田治之教授、矢島信之教授に厚く感謝の意を表します。本実験を行うにあたって、日々さまざまな面で御指導、御援助、御協力を頂いた宇宙科学研究所長西田篤弘教授、宇宙科学研究所の各位、運輸省航空局運行課、気象庁高層課の各位に厚く感謝の意を表します。

気球製作用ベルトシーラ、放球装置および軽量バラスト弁の開発・製造に御協力頂いたテックス株式会社の川辺社長はじめ社員各位、また、実際に気球の製作を担当して下さった前藤倉航装株式会社岡田社長、そして、松島課長をはじめとする各位、ならびにテレメータや気球追尾受信を担当して下さった明星電気株式会社の小口部長をはじめとする各位に厚く感謝の意を表します。この実験にあたり、御協力頂いた関係各位に重ねて御礼申し上げます。

参 考 文 献

- [1] 松坂幸彦, 他: 「大気球製作用新型ベルトシーラ」, 宇宙研報告・特集第 31 号・23-36, 1993.
- [2] 松坂幸彦, 他: 「超薄型高高度気球用 PCM コマンド」, 宇宙研報告・特集第 33 号・19-30, 1996.
- [3] Y. Matsuzaka, T. Yamagami, et al.: ISTS, 20th, Gifu, 1996 (In press).
- [4] 鳥海道彦, 他: 「高高度観測用気球の開発」, 大気球シンポジウム報告, 17-20, 1995.
- [5] 山上隆正, 他: 「高高度観測用気球」, 宇宙研報告・特集第 33 号・3-18, 1996.
- [6] 松坂幸彦, 他: 「高高度気球用放球方式および搭載機器の軽量化」, 大気球シンポジウム報告, 72-75, 1996.
- [7] 秋山弘光, 他: 「立て上げ放球法」, 宇宙研報告・特集第 4 号・3-13, 1982.