

気 球 に つ い て

八木 寿直・有 野 勇・大竹 庸郎

大型高々度観測用気球が日本の空に姿を現わしてから4~5年になる。水素ガスを用いて大空に上がるものは、軽気球、飛行船、風船、アドバルンといったように古くからまた子供のころから身近にわれわれの親しんだものである。しかしこれが空へのあこがれとしてよりは観測用として価値があり、多く使われていることは専門家以外案外知らないのではなからうか。航空機の発達によって飛行船や人の乗る繫留気球は利用価値がほとんど無くなり、日本においてもノモンハン事件以来全く影をひそめ、古い写真で面影をしのぶ程度になってしまった。今用いられているのは観測用とアドバルンで、その目的に応じて材料や形状を異にし、あるいは繫留して用いられるいは自由飛行をさせる等、その運用方法や上昇高度も種々雑多である。観測用だけについても小形のゴム風船からポリエチレンの数万立方mのものまであり、それぞれ高度や荷重が異なっている。以下にこれら大型気球の概略を記してみる。

1. 材料 気球は一口にいえば「水素を入れる袋」であるので、その材料すなわち球皮は、気密性がよく、軽いことが第1であり、ある程度の抗張力と伸びを有し(可変容積のものは伸びを必要とする)、加工しやすく、大量に入手できるものでなければならない。大型気球には古くは牛の腸の1部、ゴム引絹布、ゴム引絹布、紙(こんにゃく糊で貼り合わせて風船爆弾に用いた)等が用いられたが、最近ではプラスチックが発達したので、アドバルンには塩化ビニール、その他にはポリエチレンのフィルムが用いられている。小型には昔からゴムラテックス製が今も変わらず用いられている。これら材料はそれぞれ上に記したような特性を一応具備しているが、なお一長一短があり、今後のプラスチック・フィルムの開発に期待するところが多い。

プラスチック・フィルムの中では、塩化ビニールは強靱で加工しやすく、価格も安く耐候性もよいが、耐寒性が悪く、比重が大きいことがポリエチレンに劣り、高々度大型気球にはもっぱらポリエチレン・フィルムが用いられている。マイラー、ナイロン等のフィルムはまだ試験期である。さらにポリエチレンについても物理的および化学的処理によって、気球材料としての性質の優れたものを作る研究が外国で進められている。

ポリエチレン・フィルムは、昭和30年頃には全部輸入ポリエチレンを使用して製膜していた。大型気球用として米国市販のアルカセンとアラソン10とを用い積水化学にて製膜したものを、簡単な試験と比較により後者に決

定し使用したのが始まりである。途中「玉ポリ」という会社で製膜するようになったが、材料はそのままアラソン10を今日まで継続使用している。気球用フィルムは金魚袋や牛乳罐の蓋とは一見似ているが、大いに異なっている。

製膜すなわちフィルムを作る方法は通常2通りある。インフレーション法は溶融したプラスチックをリング状のダイス(口金)の間隙から円筒形に、機械的に吹き出し、捲き取るまでに空気で円筒形を拡大させ、同時に膜の厚さを所望の厚さまで薄くし、冷却したところで封筒のように二つ折りにして捲き取る方法である。ダイス法というのは、間隙から1枚の平板状に吹き出し、伸展冷却させながら捲き取る方法である。

いずれの方法によるも、できたフィルムの全幅に対し厚さのムラが少なく、タテとヨコの抗張力および伸びに差が少なく、異物の混入、ピンホール、しわ等の欠陥のない、性質の良いフィルムが望ましい。

特に厚さのムラはその薄い所が全体の最弱点と考えられ、その強さによって気球全体の強さが決まってしまう。他の厚いところは気球の重量を増すのみになって、軽いことを望む気球に対し二重に欠陥として作用する。抗張力と伸びとはダイスを出た後の伸展率により異なり、できる限り多くタテ、ヨコとも伸張したものの方がよい。しかし過度に伸展を行なうと膜が幾分固くなり、しわができやすく、機械的にも困難を伴うのでおのずから限度がある。従来はインフレーション法の方がタテとヨコの差が少なく、フィルムの均斉度が高いのでこれを用いてきた。

フィルムの長さは十分長くすることができるが幅はいずれの製膜法でもダイスと伸展率により限定される。幅の広いほど、気球の接合工程を少なくするので望ましい。現在使用しているものの諸元は次のとおりである。

厚さ	50 μ	35 μ	25 μ	20 μ	15 μ 以上
厚さの範囲	基準	+10 -8	+7 -5		
	実際	+10 -7	+10 -5	+10 -5	25~17 23~15
抗張力	基準	タテ、ヨコとも	100 kg/cm ² 以上		
	実際	タテ	150~170	ヨコ	125~150
幅	1,900% 以上有効				

検査は、厚さを5mごとに幅中5点を取り、切口では1枚の厚さ、その他では2枚または4枚重ねて測定し記録する。ただし2枚または4枚は1枚ほど正確ではないので、危険のある場合にはマークを付し1枚の厚さを

精測する。目視により、しわ、小さいキズ等を調べ、必要に応じてパッチを貼りあるいは部分的に不合格とし切除する。フィルムの触感と重合度、製膜条件、その他測定し得ない要素、亀裂やしわのできやすさ、加工の難易等の間に関係があるようであるが明らかでない。しかしやわらかいものの方がよく、透明度が高く、フィルム面がしっとりして生き生きとした感じのするものの方が良い。この他高々度における耐寒性、帯電、耐光性の問題、地上における耐揉性、保存性の問題、さらには反復使用の問題等多々あるが、今後の研究にまつものが多い。ただ現在では製作した気球をポリエチレンの袋に入れ密封して保存するときは 1~2 年は差し支えないことと、演習用程度なら水素を抜いて 2~3 回位は使えそうであることだけはいえる。

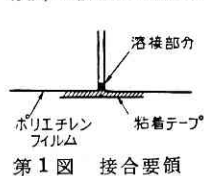
2. 加工 インフレーション法によるポリエチレン・フィルムは円筒形を平たく二つ折りにしてあるので、一側を切り開いて他と互いに溶接して気球とする。

ポリエチレンの融点は $120^{\circ}\text{C}\sim 130^{\circ}\text{C}$ であり、軟化温度は 100°C 付近であるが、水分と親和性がないので水蒸気を用いることなく、主として乾熱を用いて溶接する。また現在のフィルムは極性がないので高周波ウェルダを用いることはできない。したがって電気ごて、熱風、ガスの炎、熱ロール等によっているのが普通である。われわれは石炭ガスを用いる方法とその装置を考案し気球の製作にこれを適用して今日まで続けている (写真 1 参照)。



写真1 フィルムの溶接

ポリエチレンは加熱すると容易に溶融して粘着凝縮し、冷やすと硬化する性質があるので、加工の方法は、この間の事情を取捨選択し、上手に利用するものでないと良いものとはいわれない。石炭ガスによる方法はただ一つ欠点として、誤ってフィルムに小穴を作ることがある以外は極めて簡便確実なよい方法である。



第1図 接合要領

接合形式は従来から、フィルム2枚を重ねて上から溶融接着させ開いて拌み合わせのようにし、接合部に念のためテープを貼着した (第1図参照)。種々の試験では溶接部なるがゆえに切断の原因とな

ることはないという結果が出ているので、テープはあくまでも念のためではあるが、やはり気球全体としてはかなりの重量増となるので、これを除くことが望ましい。それには拌み合わせより重ね接ぎ (第2図参照) の方が一般的には強いと考えられる。重ね接ぎによる場合に絶対に小穴を生じない溶接が必要である。各種の溶接工具はそれを有効に働かせる治具と相まって 第2図 重ね接ぎ拡大図 結果が確実に均一になるのであるが、重ね枚数が増し、曲線の接合や厚薄の接合等複雑なものになってくるとまだ決定的なものを得られていない。

3. 形状 飛行船や繫留気球は、風に対する抵抗の少ないように流線型にするが、自由気球のように風に乗って移動するものは従来から球形であった。これは表面積すなわち気球の自重に対する体積の割合および満膨張状態での強度の点から自然に選ばれたもので大型気球といえども同様である。しかし定容積式の観測気球で荷重が大きくなってくると、球形よりは水滴形の自然型 (ナチュラル・シェープ) が採用され、米国の1部でこれを常用している。これらはいずれも気球球皮の裁断が曲線となり、直線の場合よりも材料が無駄になりやすく、また接合が曲線同志の接合となり、しわが入りやすく難かしくなるので大型気球製作の場合には材料と工数がかかなり増大する。通常大型気球は定容積式であるので、満膨張の際、下部に設けた排気口から排気して内圧の過度の上昇を防ぐようになっていて、その形状は地上の水素注入完了時と上空での満膨張になった時とで全く異なっている。気球の強さは水素注入完了時とか、放球の際の気球の保持とか、上昇中の気球と荷重の運動あるいは気球の縦長と風の方角との関係等に耐える機械的強度が要求されそれに耐える補強処置を講じている。形による強さの低下は

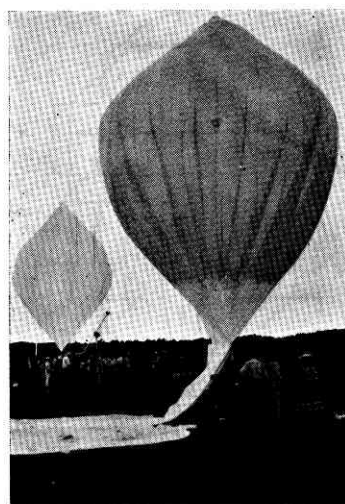
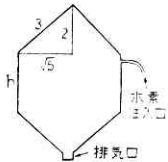


写真2

右—ランチャーに取りつけた大気球
左—同ほぼ満膨張の小気球

むしろ多少犠牲にして製作簡易な直線形を採用している。ポリエチレン・フィルムは前にも述べたように、検査が終わったものは台上に展げ、所要寸法を罫書き裁断をし、溶接して成形するが、でき上がったものは多角錐と多角柱との結合体であるはずである。しかし水素を入れてみると形が大きいのと、

球皮材料が薄く柔軟であるために球形あるいは自然形とまでは行かなくても円筒と円錐の結合であるように見える(写真2左の小気球参照)。多角錐は多角柱の上下に同形のものが結合されていて、その断面形の寸法関係は通常第3図のようである。図中hは2~5の割合で、容積、



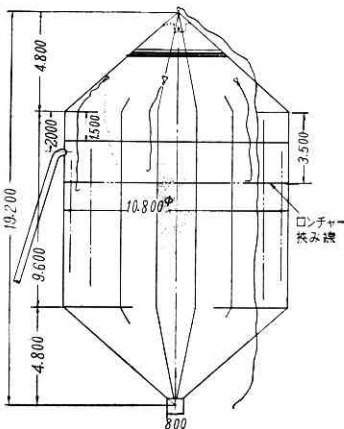
第3図 気球のポリエチレン・フィルムは前記した寸法比

上昇速度、球皮の強さ等の関係から適宜選定している。多角柱すなわち円筒部分の直径はポリエチレン・フィルムの幅の整数倍が周長となるようにするので、これの $1/\pi$ となる。ように製膜可能な最大幅で、1,850 m/mとか1,900 m/mとかを基準とする。したがって荷重、自重、上昇高度等から容積が決定され、第3図の寸法比にしたがって枚数、直径、h等の値を算出している。しかしポリエチレン・フィルムを加工する際には気球にガスが入っている時ほどフィルムを緊張させていないので、実際の気球は計算値よりごく僅かではあるが大きくなりがちである。

今までにポリエチレン・フィルムで作った一番小さい気球は70立方mであり、一番大きい気球は19,000立方mであった。今後フィルムの均一性が増し、重ね接ぎが可能となり、テープを要しなくなれば、さらに高々度に上昇する大型気球も出現するようになる。気球の自重は球皮の厚さの配分、補強テープ、索具等の状態によって異なるが、小さく軽いものは約3kgから重いものは150kg近くのものまであった。これに積む荷重も10kg位から450kg近くまで各種あった。もちろん今後は自重は軽く荷重は重くなる方向に向かうのは当然である。

4. 構造の概要 気球の構造は、写真および図によってすでに大体は

分かったことと思うが「水素を入れる袋」である気球には、必ず水素の注入口がある。時として、下部排気口から導管を挿入して注入する場合もあるが、通常は写真3のように予定水素量を入れ終わった際、注入口が膨張位置より僅か下に来るよう、またランチャー



一般に使用される外形よりも角柱に相当する胴部が倍の長さになっている。頂部に精密差圧計用の凹部とパイプがあり、排気口も大きくなっている。肩の線から下方1.5mまでは厚さ50μの黄色のポリエチレンで、その他は30μの透明なポリエチレンである。

第4図 7月実験の大バルーン

の挟み位置より僅か上にあるように設ける。* 注入口にはポリエチレンの管を溶接して注入の導管としているので、注入が終われば管を注入口近くで切断して密封し、気球にへそをつけたようになる。排気口は前にも述べたように下部につけられ、初めから開放しておくか、昇騰途中で開くような弁をつける。上昇中ここから空気を吸い込むと、水素の純度が低下し予定高度まで達しないで水平飛行に移ることがあるので、弁を装置してできる限り空気の混入を防ぐわけである。

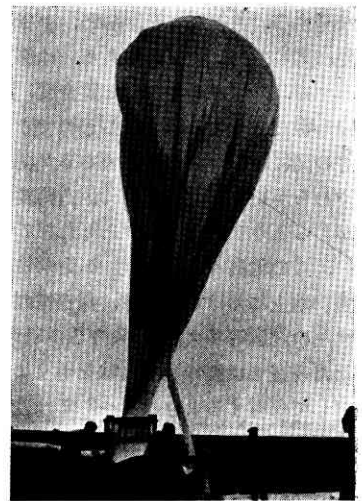
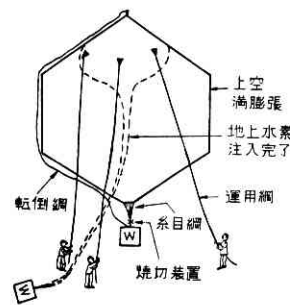


写真3 水素注入中

気球は写真3のように気球ランチャーに取りつけて水素を注入し、また写真2のようにこのランチャーから放球する。このために特別の装置を気球に取りつけてあるわけではなく、前記のように水素注入口取り付け位置と、ランチャーの挟み位置との関係を考慮すると、挟む位置を気球に印し、必要に応じてその上下の気球重量を測定しておくとかの処置をする。ランチャーを用いないで気球の水素注入、放球等を行なう場合およびランチャーにて気球を膨張する場合等に、気球の位置を適宜コントロールするために運用網を取りつけておくのが便利である。写真3では気球の中央よりやや上に黒い小さなものが3個ほどあり、それから綱が出ているのが見えているが、これが運用網で、強度およびコントロールの程度に応じ3本以上10数本つけることもある。このほか気



第5図 綱具類

球の天頂から排気口付近に達する丈夫な索を取りつけ気球をまっさかさまにし、排気口を上にして水素の放出を行なわせることがある。この綱を転倒綱という(第5図参照)。

荷重を吊るすためには通常排気口の周囲付

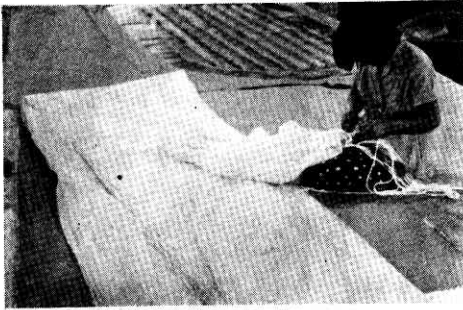


写真 4 糸目調製

と荷重が落下し、転倒網を引くので気球の天頂が下に引かれ気球はまっさかさまになり、排気口を上にし、水素を排出しながら荷重とともに降下してくる。気球と荷重とがまったく絶縁される場合には荷重の静かな降下および回収のために荷重の上に落下傘をつけるのが普通である。この荷重は前記したように数十 kg 以上になると気球の糸目の取りつけが非常に難しくなるので、この荷重を気球全体に分布するために、糸目網の延長の意味で、

軽くて丈夫で薄く、取りつけやすいテープを気球に貼りつける。テープの材料としてはタテのみ強いナイロン布あるいは米国ではガラス布を用いている。その幅は約 1 吋位で接合線上に粘着剤を用いて貼りつけるか、あるいはポリエチレン・フィルムのカバーを被せその両側を溶接で止めて固定する（写真 4 の気球の左側にこの補強テープの列が見えている）。

以上のほか、ポリエチレン・テープを気球の要所に補強のために貼ることもある。荷重が種々の計器であったり、あるいはその取り付け方法が特異なものである場合には、気球本体にかなり思い切った特殊部品を取りつける場合もあり、またこの懸吊法が特殊のため索具を気球内部に取りつけるような場合もある。ただ従来の気球類にあるもので全然用いてないものは引裂弁と放電線のみである。引裂弁は急速放気の際気球の上部を切り裂いて放気するためのものであり、放電線は排気弁付近から金房による先端放電を行なわせ、静電気による事故を防ぐために用いたものである。（1960. 1. 20）

ロクーン用気球の強さに関する二三の問題について

大井 光 四 郎・浅 野 六 郎

1. はしがき 現在日本で試みられている観測用の大型気球には、ロケットを 20km 程度の高さまで持ち上げて発射する目的のものと、写真乾板を 40~50km 持ち上げてなるべく長時間浮遊させる目的のものとの 2 種類がある。20km の高さにおける大気密度は地上のその約 1/20 であるので、単位体積当たりの浮力もこの割合で減少する。40km の高さになると密度はさらに 1/20 になって浮力は 1m³ 当たり 2gr 程度になってしまう。それゆえたとえ 100kg の荷物を持ち上げるとしても後者の場合には気球の容積は膨大なものになって、また気球の自重も極度に切りつめなければならない。同程度の荷物を 20km まで持ち上げるのはこれに比べるとずっと容易なわけであるが、なおしばしば上空で気球が割れることがあるのはなぜであろうか。

気球が破れる原因として、いろいろなことが想像される。ポリエチレンの膜の欠陥、ポリエチレン膜の溶接技術の問題、製作の際に必ずしも理想的な形に仕上がらないために生ずる気球膜の部分的な引きつれ、ポリエチレンの上空における紫外線等による劣化、上空における突風による衝撃、上昇速度と排風速度との不調和等が最初に考えられた原因の主なものであった。これらの原因は単独に働くものではなく、重なり合って作用するものであろうが、そのなかでも一番決定的な地位をしめるものは何であろうか。あるいはほかの重大な原因が見落とされているのではないであろうか。この問題を解くために

は気球に関して組織だった研究が必要であるが、ここに述べる報告は決して組織的な研究結果ではなく、断片的な結果の寄せ集めにしか過ぎない。しかし気球の強度上の問題点はかなり明らかになってきたと思う。

2. 気球について 説明の便宜上最初に現在用いられている気球について簡単に述べる。気球の主な材料は厚さ 35~50 μ のポリエチレン膜である。膜は一定の幅の長いシートとして製造される。これを適当に裁断して、溶接して気球の形にする。溶接線は念のためにナイロン・テープをはりつけて補強してある。このテープは吊っている荷物の重量を気球全体に伝える役目もする。

放球するときには気球の下半分は折りたたんだ状態で中頃の部分をローラにはさんで、上半分に所定の浮力になるまで水素を入れる。

たとえば 20km まで上げたいときには必要な水素の量は全容積の 1/20 の程度である。このとき水素は気球の頭部に集っている。ローラを外すと気球は上昇し始める。外気の圧力が減少するにつれて水素は膨張する。浮力は水素の重量と同体積の外気の重量との差で与えられるから、水素の温度が外気のそれと等しければ浮力は上昇中一定である。気球が上昇して満膨張に達し、さらに上昇を続けると気球の下端にある排気口から水素の放出が行なわれて浮力が減少して、浮力と重量とが平衡して浮遊状態に入り、やがて水素の拡散により浮力が失なわれて気球は次第に下降する。