

熱圏下部および中間圏探査用強制開傘型パラシュートシステムの開発

小山孝一郎^{*1}・雛田 元紀^{*1}・橋元 保雄^{*1}・徳永 好志^{*1}・佐藤 進司^{*1}・
並木 道義^{*1}・秋山 弘光^{*1}・太田 茂雄^{*1}・松坂 幸彦^{*1}・本田 秀之^{*1}・
岡部 選司^{*1}・山上 隆正^{*1}・矢島 信之^{*1}・河島 信樹^{*1}

Development of an Forced Inflated Parachute System to Explore Lower Thermosphere and Ionosphere

By

Koh-ichiro OYAMA, Motoki HINADA, Yasuo HASHIMOTO, Yoshiyuki TOKUNAGA,
Shinji SATO, Michiyoshi NAMIKI, Hiromitsu AKIYAMA, Shigeo OTA,
Yukihiko MATSUZAKA, Takamasa YAMAGAMI, Honda HIDEYUKI,
Senji OKABE, Nobuyuki YAJIMA and Nobuki KAWASHIMA

Abstract : A forced inflated parachute system is being developed to investigate height regions below 120 km, where insitu reliable measurement by means of a sounding rocket has been prevented due to the aerodynamical heating in the shock since the exploration in this height region started long time ago. In this report we describe manufacturing of the parachute, selection of the vaporizing liquid which should be used to inflate the parachute frames, verification of the system which was carried out by balloon experiment. We also propose a future rocket experiment.

概 要

熱圏下部，中間圏探査のために高度約120kmにおいてロケットより放出させて強制開傘せしめ，その後緩降下するパラシュートシステムを開発しつつある。降下速度はロケットの最高到達高度およびシステムの重さによって決まるが，このシステムには約2～3kgの小型観測器をぶら下げることができる。また，この領域を研究するに必要な上層風の情報は地上からの一次レーダによるシステムの追跡によって得ることができる。

ここでは今までの本システムの開発状況，気球実験結果を述べ，さらに今後のロケット実験への提案を行った。

1. はじめに

1.1 探査用強制開傘型パラシュートとは

1.1.1 探査用強制開傘型パラシュート開発の必要性

高層大気の観測において考えてみると，高度40km以下は測定パラメータなどに制約があるものの気球による

^{*1} 宇宙科学研究所

直接観測が可能である。他方米国の衛星 Atmosphere Explorer-C は高度約140km まで降下してこの高度までのプラズマパラメータ、大気成分などを測定している。すなわち、まだ頻繁とはいえないまでも我々は高度40 km 以下と140km 以上の領域を詳しく確実に観測する手段を手にいれたことになる。

高度40km から140km までの領域の直接の探査手段は今のところロケットであり、第二次世界大戦後の1947年、米国がドイツより持ち帰った V-2 ロケットによる電離層 E 領域の電子温度および密度の測定以来これによる観測は続いている。しかしながら、測定されうるパラメータはロケットが高速で走る事によって測定に影響をうけない磁場等をのぞくと、電子密度、温度などのごく基本的な物理量に限られており、これらのパラメータといえども十分な精度で測定されているわけではない。この理由は、亜音速以上で飛行するロケットの前面に形成される衝撃波であり、この衝撃波はロケットが音速に近いあるいはそれより速い速度で飛行している限り避けることはできない。衝撃波の中と外では物理パラメータは大きく異なっているかも知れない。この意見は最もらしいと受け入れられてきたし、このために私達はこの領域を既存のロケットを用いて探査することに大きなためらいを感じてきた。必然の結果としてこの領域の研究はロケットが今よりはるかに多く打上げられてきた約20年前に比べてほとんど進んでいないのが現状である。ここで何らかの観測手段を考えない限りこれからもこの領域の研究の進展は期待できない。例えばいくつかの D 層の化学反応に関する理論も検証されずに残っているが、確かな観測結果がなければさらなる理論の発展もあり得ない。

多くの人々が、磁気圏、電離圏とその下に横たわる大気圏を総合的に議論すべきであると考えている。しかし以上のような理由からそれに必要なデータの不足に対する適当な手段が提案されていなかった。

ここに提案するのはこの高度領域を探査するための新しい観測手段である。これは強制開傘されたパラシュートを使用することにより観測システムを緩降下させ衝撃波による問題を克服しようというもので、ロケットによるより長時間観測域にとどまり、より信頼性のある測定ができるというメリットがある。

1.2 強制開傘型パラシュートの基本的な考え方と現状

高度40km 以上の高層大気中では図1 のようにかなり空気密度が低く、そのような高空でパラシュートを放出したとしても確実に開傘するか疑問である。そこで強制的にパラシュートを開傘し空気抵抗を使って緩降下させることを考える。降下スピードに関しては第4章において詳しく述べるが、システムはロケットから放出した後その初速度によりある程度上昇し、最高高度に達した辺りで開傘する。その後まず空気抵抗が働いて減速効果

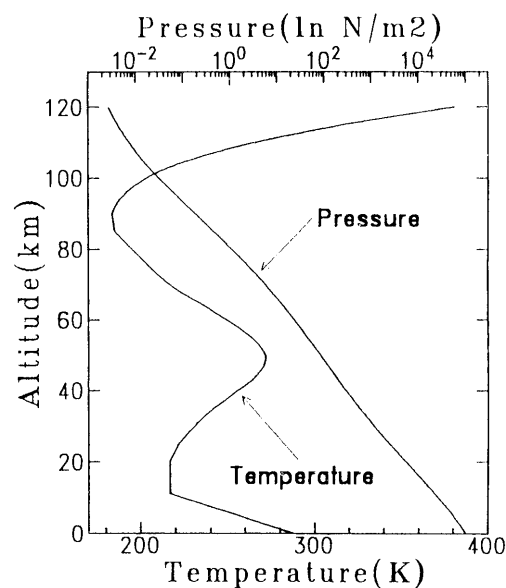


図1 高度に対する気温および大気圧 (CIRA1972, 米国標準大気より)

がみられるはじめる高度約85km までほぼ自由落下するがそれ以後は急速に減速し緩降下する。システム全重量に対してより適切なパラシュート径を使う事により減速効果を最適にできる。観測域（高度）に応じて、放出高度、パラシュート径、総重量を吟味することにより最高速度を音速以下に抑え、衝撃波の影響を受けずに正確な測定を行えるであろう。

いままでに観測用強制開傘型パラシュートのひな型は宇宙科学研究所の籾田教授により S-160型ロケットにより実験が行われたことがある。このときは開傘のためにメチルアルコールと水の混合液の蒸気圧を利用した。その経験を活かして探査用強制開傘型パラシュートシステムの開発に至っている。ここでは以上のようなことを踏まえ、このシステムのとくに強制開傘型パラシュートの研究制作、さらに平成3年9月6日に行った気球による初めての放出開傘実験にいたる研究の成果の収集と整理を行った。

2. 探査用強制開傘型パラシュートの開発と製作

2.1 基本的方法

本システムを使用した観測をはじめるにあたり、上空までシステムを引き上げるために S-310型ロケットの使用を想定している。図2は S-310型ロケットの頭胴部である。探査用強制開傘型パラシュートシステムを本ロケットの最上部に搭載し適当な高度でシステムを放出し、パラシュートを開き緩降下させ観測を試みようとするものである。まずは S-310型ロケットの大きな改良無しで実験を試みたいと考える。

2.2 原理～蒸気圧を利用する

原理的には、トラス部に蒸発性液体を注入した強制開傘型パラシュートを大気圧中でケースに密封封入し上空にまで持ち上げ、地上の気圧（1気圧）と上空の気圧（ $10^{-4} \sim 10^{-5}$ torr 程度）の気圧差を利用してそれを大気中に放出し、トラス部分を膨脹させパラシュートを強制開傘させるというものである。この場合トラスの膨脹のためには、トラス部内に入れた液体の蒸気圧と大気圧の差を利用する方法と、圧縮気体のポンペ等を利用し気体をトラス部内に注入する方法が考えられるが、後者は重量が重くなり、かつ注入の際に熱が発生するなどの不都合が生じることが判明したので、前者の方法を採択した。

地上1気圧のもとで作成された（トラス部）チューブは外気圧が小さくなると外側に引っ張る力が加わる。この際にチューブの内部にその温度で液体である物質をいれておいた場合、その温度でのその液体の飽和蒸気圧が外気圧以上であれば液体は気化しチューブは膨らむ。なおその時、液体が十分あればチューブの内圧は飽和蒸気圧になるが、十分でなければすべて気化してしまいその気体量により圧力が決まる。

この方法によりトラスチューブに注入しておくべき液体の量は、この場合常温で低密度であることから以下のようなボイル-シャルルの式により求めることができる。

$$pV=nRT$$

なお、 p は内圧 [atm]、 V はトラスチューブの体積 [l]、 R は気体定数（ $=8.3145$ [J・K/mol]）、 T は液体温度 [K] であり、 n が求める液体のモル数となる。

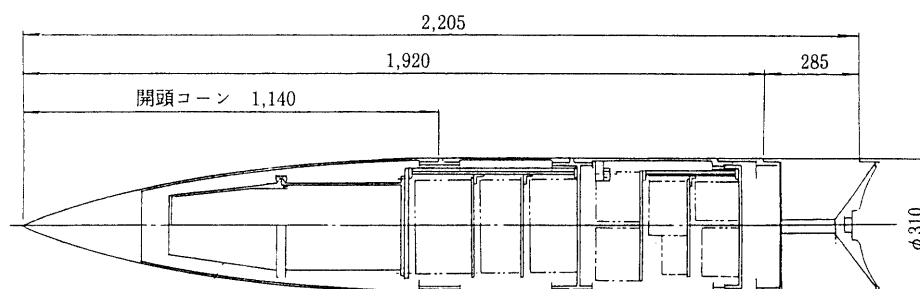


図2 S-310型ロケット頭胴部

例えば、外気圧：76 [Torr]=0.1 [atm]，トラスチューブの体積：10 [L]，温度：300 [K] の状態で開傘させるとすると、 $p=0.1$ ， $V=10$ ， $R=8.314$ ， $T=300$ を代入し $n=4.01 \times 10^{-4}$ [mol] という値が導ける。液体の分子量が m ，密度が ρ であるとき，これを体積に直すと $n \times m \div \rho$ [cc] となる。

これからチューブ内にこの温度でこの外気圧以上の飽和蒸気圧をもつ液体が入っている場合，このモル数よりわずかに多い量の液体が入っていればとにかくチューブは膨張することがわかる。さらに，膨張をスムーズにすばやく行うためには最終的な内圧が外気圧より少々大きくなるように液量を上のモル数より多くする必要がある（ただし，内圧は飽和蒸気圧以上にはならないので，全部気化した時点で飽和蒸気圧以下になるようにしないとその液体が液体のまま，あまることとなり無駄である）。実験で使用した液体および液量については後節で述べる。

S-310型ロケットに搭載することから，容積としてロケットのペイロード程度のサイズのケースに収納でき，取り扱いが容易でかつ製造の信頼性が高いものが必要である。また，強制開傘型パラシュート放出のためにケースの内圧を使用するのでケースの密閉度は少くともパラシュート放出高度で大気圧に近い内圧が保たれる事が望ましい。図1に示した大気温度のグラフから分かるように上空での温度変化が大きいので，液体蒸気圧が適当な値になるように上空の大気温度との兼ね合いで適当な液体の種類を決めねばならない。現在開発中の探査用強制開傘型パラシュートの構造は下記の通りである。

トラス型の強制膨脹型枠組み（トラス部）に薄い幕（キャノピー部）を張る。強制開傘型パラシュートも直径は最終的に10m 以上を予定している。トラス部は地上レーダーにより追跡を可能にするように導電性にする。これにより強制開傘型パラシュートに吊り下げられた測定器による観測データを補うための風向，風速が同時に得られる。テレメータ送信機，観測器をはじめとする電装品（観測機部）はトラス部から紐により吊り下げる。

2.3 強制開傘型パラシュートの材質，形状の選択

強制開傘型パラシュートシステムはトラス部，キャノピー部および吊り下げられる観測機部からなる。ここではポリエチレンとエバールを材料として試作した2種のパラシュートについて，その各部の開発状況を順を追って述べる。

A) ポリエチレン製

まず現在気球実験で使用されている厚さ20 μ m のポリエチレンフィルムを使用し，トラス径約300mm，直径10m のドーナツ型を試作した。剛性を上げるために三角柱トラスを設けた。

製作方法は，幅950mm，長さ3,1420mm に切断したフィルムを長手方向に2つに折り，幅600mm の溶着器で注意深く連続して溶着し筒状にする。それから，ドーナツ状になるように端と端を合わせ外周を低温テープではり合わせる。しかしこのままでは内径と外径に差がないため，ガスを入れてもトラスは直線になろうとする力で何箇所かで折れ曲がってしまいドーナツ状にならない。そこで，ビニールテープを1.1倍に伸ばしたまま内周側全周に張りつけた。これによりビニールテープが収縮し同時にドーナツ状の内周側が収縮する。真空放出試験のため同様の製作方法で，直径3m のパラシュートも製作した。

これの長所としては，ビニールテープの補強は必要であるが，溶着部が溶着後若干収縮するために，溶着部を内周側にすると外周側の伸びも合わせてドーナツ状は容易にできることである。一方，容器に収納する際，折畳む時，この折目が破れやすい，内圧を高く上げられない（ポリエチレンの引張強度0.2kg/cm²）ので，剛性もあまり上げられない等の欠点がある。

上記の短所を踏まえて材料を吟味し(株)クレラ社製のエバール材を使用して試作してみた。エバール材の構造は，ポリエステル（10 μ m）とエバール（ポリエチレン+アルコール16 μ m）を重ね合わせた表面に，アルミ蒸着（2 μ m）を施された三重構造になっている。厚さは28 μ m である。この材料は，(株)クレラ社製で予め任意の径で筒状になるよう2枚のシートが均一に溶着された物を，ロール状で購入した。

この素材を使用して、トーラス部の形状を考え円形型と三角形型の強制開傘型パラシュートを試作した。

B) エバール製

a) 円形型

トーラス径287mm, 直径10m のドーナツ状構造に、剛性を上げるために図3のように高さが2m になるよう4本のトーラスを取り付けた。ドーナツ状にする方法はポリエチレン製と同じで、端と端を合わせ外周を低温テープで張り合わせた。そして、ポリエチレン製と同じく内周側を収縮させて円にするためにビニールテープを張り付ける。エバールは、ポリエチレンと異なり内圧に対して伸びがほとんどなく張力も強いいため、より強固に張り付けなければならない。

同じ方法で、トーラス径287mm, 直径3m のドーナツ型構造物に、高さが1m の三角柱に厚さ20 μ m のポリエチレンフィルムを張り付けた強制開傘型パラシュートを製作した。本パラシュートの長所としては、あらかじめ筒状に成っているため長手方向の溶着が必要ないこと、機械的に傷をつけない限り、かなり乱暴に扱っても破れないこと、気密性が良く丈夫であるため内圧を高くすることができる（エバール材の破壊圧力0.87kg/cm²）ので、筒状の剛性を上げることができること等がある。一方、ドーナツ状にするために、内径側を縮めなければならないビニールテープ等の収縮材を強固に張り付けなければならない等の短所がある。実際に使用される時の温度環境は-20~-80℃の低温であり、この温度環境で伸縮し、かつ強固な接着力を持つテープがない。このような短所の他に、ドーナツ状にする時、端と端を合わせ外周を低温テープで張り合わせるが、長手方向の溶着部を横断するため、この部分の気密性が悪いこと、材料として現存の厚さ28 μ m のエバール材を使うかぎり、ポリエチレンに比べてかなり重くなってしまふ等の短所がある。

b) 三角形型

エバール材は、上にも述べたとおり丈夫なため内圧を高くすることができる。この時の直線的な剛性はかなり頑丈である。この特徴を生かして、直線の組み合わせである三角形型の強制開傘型パラシュートを試作した。図4にその概形を示す。

始めに、直線のトーラスを製作する。エバール材の両端を直線の溶着器で溶着した場合、角の部分の強度が弱くなるので円弧状に溶着する工夫が必要である。そこで、我々は半田ゴテに似た溶着ゴテ（ビニールシーラー）の先端を改造した。エバール材の下にコルク製の下敷を敷き、溶着する部分の上にはカプトンフィルムを被せる。そして、型板に沿って押さえ圧力と移動速度を一定に保ちながら注意深く溶着する。溶着ゴテの温度を適温（135℃）にするため、スライダックで電圧調整を行った。その後本体となる部分を三角形に結合する。ただ単に直線の端と端を結ぶだけでは三角形の剛性が保てないため、図5のような結合を行った。つまり結合する筒同士の内側の斜線部分の面を切り取り、二本の筒が重なる斜線部分に両面テープを挟んで二本の筒を張り合わせ、黒

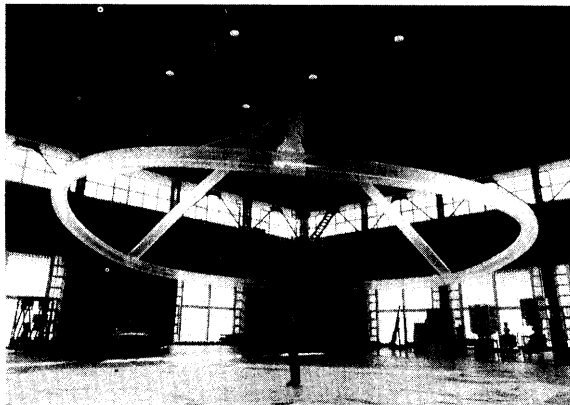


図 3 円形型探査用パラシュートの参考写真

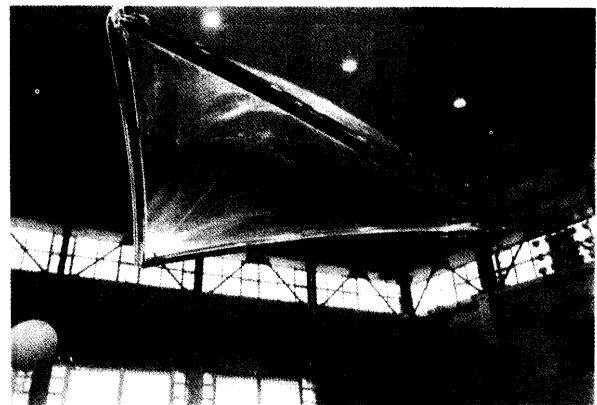


図 4 三角形探査用パラシュートの参考写真

塗り部分を溶着機で適当に溶着する。さらに、二本の筒の内側の両面テープを張り合わせた境目を低温テープで補強し結合する。このような結合をすれば、内圧が上がれば結合部分がお互いに押し合い、ヒンジにならず三角形の剛性を保つことができる。

以上のような結合方法でトラス径287mmで、一辺の長さ10m、一辺の長さ5mにポリエチレンフィルムで高さ2mの三角柱型の膜を取り付けたパラシュート、同じく一辺の長さ3mの円筒に高さ1mの三角柱型の膜を取り付けた三角形型強制開傘型パラシュートを製作した。完成後強制開傘型パラシュートに5kgの錘をぶら下げ、この錘を放り上げ自由落下させる方法で衝撃加重試験を行ったが、強制開傘型パラシュートに破れ等の異常は見当たらなかった。三角形パラシュートは密閉する部分はすべて溶着で行われているので、気密性は完全であること、直線のトラスは比較的容易に製作できること、直線の組み合わせである三角形の結合も再現性良く製作することができること、円形型に比べ、ポリエチレン製の膜が製作し易く、また取り付け易いことなどの長所がある。また短所としては円形型に比べ、開口面積が小さいこと。素材の重量としては、円形型と同じくポリエチレン製に比べ重いこと。溶着ゴテで円弧状に溶着する際に若干のコツが必要であること等がある。

以上のとおり、いろいろな素材や形で試作したが、製作のし易さ、取り扱い易さ等を検討した結果、エバール材を使用した三角形型の強制開傘型パラシュートを選定することにした。

ここで現在我々が考えている探査用強制開傘型パラシュートの製作手順をまとめておくと、まずエバール材をその規模により適当な長さに切り、中に両面テープでガーゼをとめる。

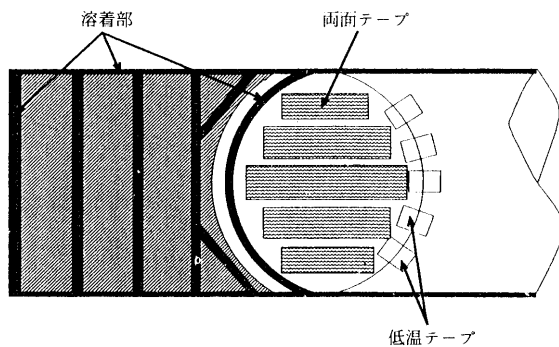


図5 チューブトラスの接合面

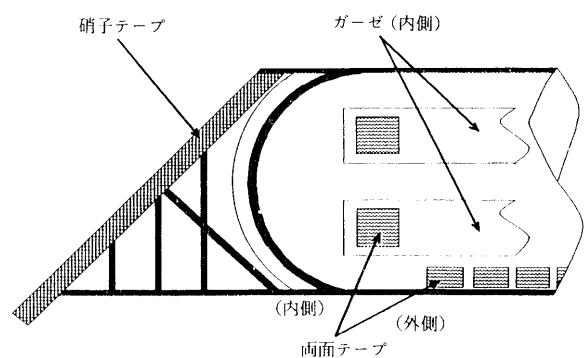
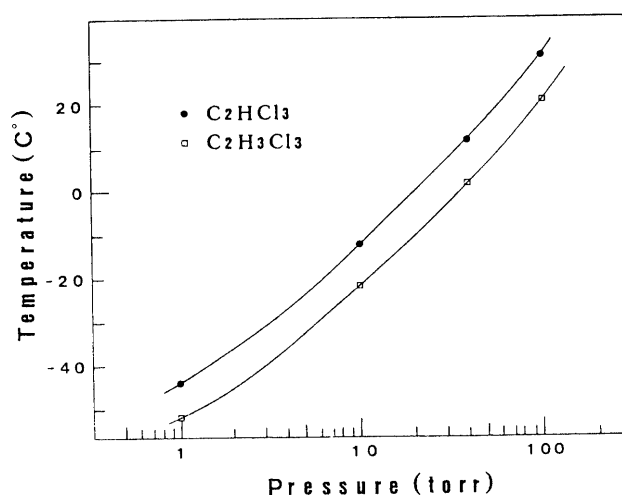


図6 トラスチューブの完成図

図5のように熱圧着し両面テープで三本のトラスチューブを連結する。連結してあまっているチューブの端の部分は開傘したとき下側になる方を長く斜めに切り2枚を巻くように硝子テープを貼る。その先には観測機部を吊り下げるための紐をくり付け硝子テープを折り返し、また結わえてその上から結び目全体を硝子テープで補強する。キャノピー部は3つの側面の形にポリエチレンシートを切り、組み立てた場合、三角錘型の斜めの辺に沿って圧着器で端から約3mm位の場所を下方外側から圧着する。天頂部は空気の逃げ道を作って安定降下させるために各面とも先端を一辺15cmほどの三角窓が開くように切り硝子テープで張り付ける。こうしてできあがったものをトラスチューブの内側、最下端に両面テープで張り付ける。その際接着面が外にでないようにまた気泡が入らないようにする必要がある。図6はトラスチューブの完成図である。

2.4 注入液の選定

注入液の選定条件は、常温で20torrの真空状態でトラス部を膨らませる十分な蒸気圧が得られることと、素材であるエバールを溶かさないこと、また放出後の外気温度で凝固しないことである。ここで注入液として考えられた液体は、エチルアルコール、ベンゼン、アセトン、水、トリクレン（トリクロロエチレン）、トリクロロエタン等である。



トリクレン (●印)

トリクロエタン (□印)

図 7 飽和蒸気圧曲線

始めに、エバール材に対する影響を見るため、直径287mm、長さ500mmのテストピースを作り、これに上記の液体を注入し数日間放置した。その結果、重量計測に変化はなく、また外観状も、どのテストピースにも漏れなどは見当たらなかった。同じテストピースを真空槽に入れ真空試験を行ったところエチルアルコール、アセトンのテストピースは20Torr程度でバーストしてしまった。そこで、それぞれのテストピースを開放し引張試験を行ったところ、エチルアルコール、アセトン、水のテストピースは溶着部の強度が著しく低下していることが判明した。したがってこれらの液体は使用できない。またベンジンは -20°C で氷結してしまい、将来実験が行われる高度80~120Kmの温度(-80°C 前後)での使用はできない。以上の結果、トリクレンを選定することにした。

トリクレン (C_2HCl_3) の物理定数は下記のとおりである。

トリクロロエチレン (トリクレン)

分子量 131.4

融 点 -88.0°C 沸 点 86.6°C

飽和蒸気圧 図7に示す

密 度 0.87366

3. 基礎実験

3.1 真空放出試験

この試験は平成3年7月29日まで数ヶ月にわたって繰り返し行った。

地上の大気圧で収納された強制開傘型パラシュートケースから、トラスチューブを真空中に放出する実験を行った。真空槽として実験に使用された装置は、宇宙科学研究所内特殊実験棟にある惑星環境風洞(変圧風洞)である。この風洞は、内圧を変化させて風洞実験が行える目的で排気速度30,000l/minのロータリーポンプを備えており、風洞内を数torrまで排気するのに要する時間は30分程度である。

はじめに、直径3mのポリエチレン製トラスチューブの放出試験を行った。MT-型ロケットに使用されているパラシュートケースを用い、ケブラー製のバンドをワイヤカッターで切る方法での試験を行い、蓋との解放とトラスチューブの放出は成功したが、液の漏れがあったため膨らまなかった。

そこで、強制開傘型パラシュート材の開発を行い、さらに真空放出試験用強制開傘型パラシュートケースを開

試験 No.	バルート長さ	包帯本数	注入液量	目視結果
1	1m	1本	20cc	膨らみ速度はどちらも ほぼ同じ
	1m	2本	20cc	
2	1m	1本	10cc	放出後10秒かかる 放出後一瞬にして膨らむ
	1m	1本	30cc	
3	1m	1本	20cc	3つとも、 放出後一瞬にして膨らむ
	1m	1本	30cc	
	1m	1本	+空気11 40cc	
4	1m	1本	20cc	2つとも、 放出後一瞬にして膨らむ
	3m	1本	60cc	

発した。大きさは、S-310型ロケット用のケースにほぼ同じく、外直径195mm、最大長さ515mmである。蓋には、気密を保つためにOリングが取り付けられている。真空放出試験では十数回の繰り返し試験を予定しているため、費用があまりかからない方法として電磁式の蓋解放装置を考案した。蓋を固定する時は、3箇所に取り付けられたバネ付きのクランプで止め、クランプがはずれないよう3箇所同時に押さえるようにリングをはめる。蓋を解放する時は、このリングをサポートしているバーを電磁石で引張ることによって、リンクが3箇所のクランプから同時にはずれ蓋が解放される。このようにすれば、繰り返し試験が容易に行える。

次に、エバール製チューブの真空放出試験を行った。この試験の目的は、注入液の量の確認と放出時のバルートの膨らみ具合の確認である。始めの二、三回の真空放出試験で、チューブは放出時にケースの開口方向に出ず、巻き上がるように横方向に出て強制開傘型パラシュートケースのクランプに引っ掛かり、破裂してしまうことが分かった。そこで、強制開傘型パラシュートケース内側にスカート状に保護用の幕を張り付けた。また、長さ5m程の長さになると注入液がトラスチューブ内全体に行きわたらないため、蒸発速度が遅くなり瞬間的に膨脹しないことも分かった。そこで、トラスチューブ内にあらかじめ幅90mmの包帯を端から端まで挿入することにし、それに染み込ませて液体をトラスチューブ内に行きわたらせることとした。

チューブ内に入れるトリクロロエチレンは前述の考え方から、上空で内圧20Torr以上得られれば良いと考えて、トラスチューブ1mあたり10～20cc程度でよいことが計算により求められた。

以上真空放出試験の結果、放出時のバルート保護用に、強制開傘型パラシュートケースの出口にスカート状の幕が必要であること、挿入する包帯は、膨脹の意味からは幅90mmのものを端から端まで1本で十分だが液量が多いときは液が遊ぶため2本の方が良いこと、注入する液量は、直径287mmのトラスチューブの場合でトリクレンを1m当たり、20ccで良いことが確認された。また多少の空気の混入の問題は、長さ1m(つまり体積 0.006m^3)あたり10ccの空気が混入しても内圧は外気圧の40分の1なので上空では 0.0004m^3 となり1割以下にしかならず、実験からもほとんど影響無いことが確認された。

3.2 火薬試験

この試験は平成3年7月24日に行った。

真空放出試験の途中に気球実験で使用する強制開傘型パラシュートケースの設計も行い、紐で蓋を押さえておき、紐の両端をケースの取り付け金具とともに爆薬を使って飛ばし、抑える力が無くなった蓋が飛び出すという方法を採用することにした。

前述の変圧風洞施設を用いて、後述の開傘確認実験に使用するケースおよび爆薬を使って確実に蓋がまっすぐ飛ぶか、気密性は十分かを確かめる試験を行った。

風洞中には3m長のチューブ2本、1m長のチューブ1本をいれ、16Torrの状態では爆薬に点火しケースの蓋を解放した。実験施設内部が狭いため3m長のものは内壁に衝突し折れ破れてしまったが、火薬を使って蓋を解

放するというシステムは正常に働き、ケースの気密性も十分であることが確認された。

3.3 低温試験

この試験は平成 3 年 7 月 29 日に行った。

低温に対するエバール材およびポリエチレン幕の耐性を知るために宇宙科学研究所にある低温槽で 1 時間ほど 1 気圧 -40℃ に保って見たが、張り付き、固化などは認められず、常温の時と変わらない状態であることが確認された。また探査用強制開傘型パラシュート製作に使用した両面テープおよび低温テープは氷点下でも十分に粘着力を発揮する物を使用した。

3.4 ショック試験

この試験は平成 3 年 8 月 6 日に行った。

蓋と観測器部の重量： $m=2.3[\text{kg}]$ ，内圧と外圧の差： $p=0.974 \times 1.033[\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 \cdot \text{cm}^2]$ ，蓋の面積： $s=(9.125)^2 \times \pi[\text{cm}^2]$ ，重力加速度： $g=9.8067[\text{m} / \text{s}^2]$ を用いて衝撃加速度は次式により求められる

$$\alpha = (s \times p \div m) \div g = 11.6655[\text{G}] \quad (1)$$

この値は真空放出試験の際に行った高速度カメラによる観測結果と一致する。本ショック試験では強制開傘型パラシュートケースの蓋に取り付けられる予定の観測機部（送受信およびカメラ）がその衝撃に耐えられるかどうか宇宙科学研究所の環境試験棟にあるショック試験装置によって試験を行った。

図 8 は 20G の衝撃を加えたときの加速度計の出力である。ショック後 1 ミリ秒以内に観測器の状態も立ち直っていることが分かった。このことから実際の実験では放出直後の映像が得られないかもしれないがすぐに正常になるであろうことが予想された。

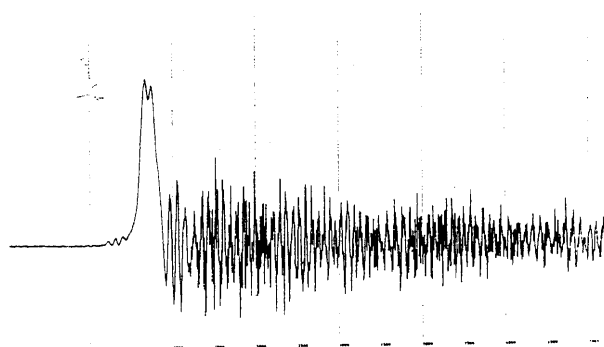


図 8 加速度計の出力
(最大加速度はピーク時で 20G，横軸は 1 ms/div.)

3.5 最終的な強制開傘型パラシュート本体およびケース

以上の様々な検討，試験の結果，次章で述べる実験で使用する実験機として製作したものをまとめてみると，

トーラス部	エバール材	(28μm 厚)
キャノピー部	ポリエチレン	(20μm 厚)
トーラス長 (a)	3.0m	5.0m
キャノピー高さ (h)	1.0m	1.5m
紐内角 (θ)	15°	15°
紐の長さ (b)	6.7m	1.0m
包帯本数	1 本	2 本
液量	25cc/m	20cc/m
他使用材料	ガラステープ，低温テープ，両面テープ	

(※ 2 つの値が書いてあるのは大きさの異なる 2 つの実験機を作成したため。)

筒, 蓋部材質	アルミニウム
筒部厚	4~8.5mm
ヒーター (40W, 24V)	筒に巻き付け
圧力計 (コバル電子)	底部にねじ込み
他使用材料	テフロンシート, 硝子テープ
	真空グリス, ケブラーバンド Oリング, 爆薬

これらは宇宙科学研究所において, ここ1年の試行錯誤の成果として完成したものである。

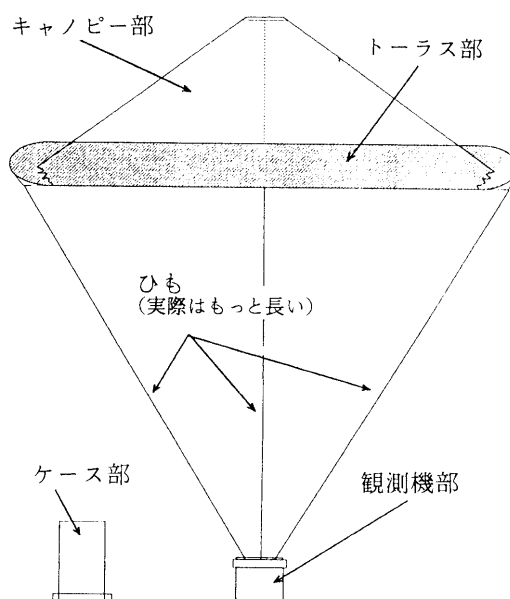


図 9 強制開傘型パラシュート本体

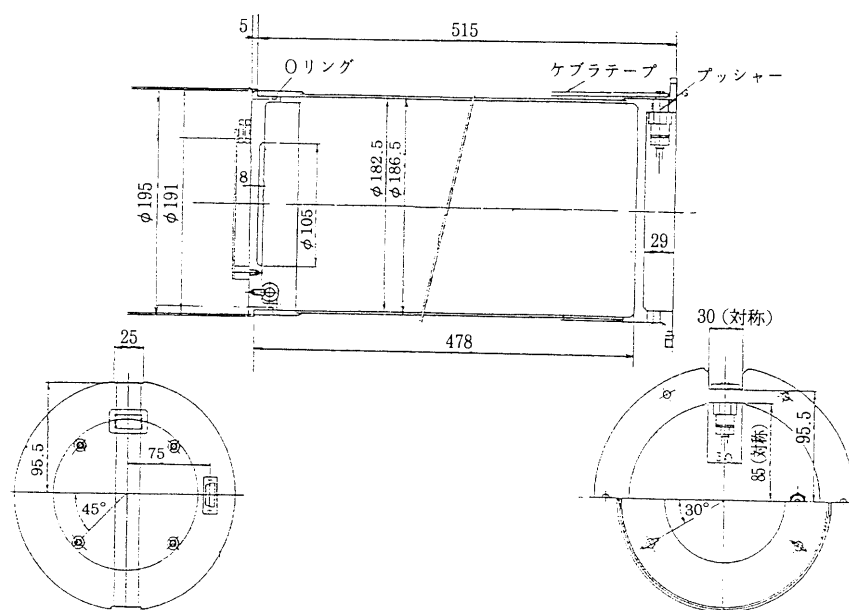


図 10 強制開傘型パラシュートケース

4. 気球を用いた開傘確認実験

4.1 気球による開傘確認実験の目的

我々の考える探査用強制開傘型パラシュートが実用に耐え得るシステムであるかどうか確認するため、大規模な実験を行った。目的としては、

1) 将来のロケットを使用しての観測を踏まえ探査用強制開傘型パラシュートを高空で放出開傘させ、放出機構の動作と開傘状態の確認、2) システム全体としての機能の確認、および 3) 緩降下の際の探査用強制開傘型パラシュートのスピードなど基本的なデータの取得である。

三陸大気球観測所における気球を用いて高度26km から探査用強制開傘型パラシュートを放出した。このとき開傘降下の状態を見るために探査用強制開傘型パラシュート観測機部にカメラを搭載しリアルタイムで映像を確認できるようにした。また、放出の際のショックにより探査用強制開傘型パラシュート側の CCD カメラは最初の1秒程度画像が途切れるので気球のゴンドラ側にも放出状態を確認するためのカメラを設置した。さらに気球とともに上昇する途中のケース内の状態を知るために内部圧力計および温度センサーを取り付けた。そのほか旧受信点を使用して探査用強制開傘型パラシュートを追跡した。

放出予定高度の26km 上空では気圧17Torr、気温 -40°C が予想される。このため20Torr 以上のトーラスチューブ内圧を実現するためには、トリクレンの蒸気圧20Torr になるのは 0°C 程度ということから少なくとも 0°C 以上に保温する必要がある、ここでは放出時の温度降下も考慮してサーモスタット付ヒータにより 20°C に保温した。

4.2 実験シーケンス

この実験で使用した気球は B5-133 という番号が付けられ三陸大気球観測所（放球地点 $39^{\circ}9'25\text{E}$ $141^{\circ}49'1\text{N}$ ）より1991年9月6日午前6時49分19秒に放球された。気球は毎分350m で順調に上昇し、8時5分に観測所より北東45km の北緯 $39^{\circ}22'$ 、東経 $142^{\circ}10'$ の地点で水平浮遊高度26.5km に達した。気球はその後高度を維持して北東に進んだが、その間8時30分に北緯 $39^{\circ}22'$ 、東経 $142^{\circ}5'$ の地点で第1回目の探査用強制開傘型パラシュート（システム1）の投下、9時00分に北緯 $39^{\circ}27'$ 、東経 $142^{\circ}5'$ の地点で第2回の探査用強制開傘型パラシュート（システム2）の投下を行った。

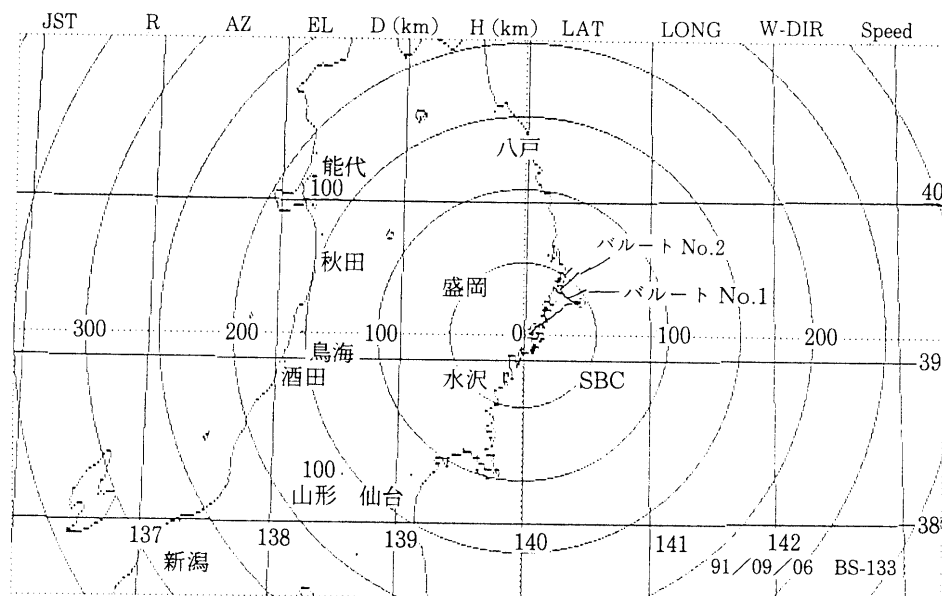


図 11 気球実験関連地図

9時15分、気球が北緯39°29′，東経142°3′に達した時点で地上より指令電波を送り，実験装置をパラシュートで海上に緩降下させた。着水地点は浄土ヶ浜沖の北緯39°34′8，東経142°10′であった（図11）。気球実験のシーケンスは以下のようであった。

項目	+X	J. S. T	備考
1. 気球放球	0	6:49:19	
2. 水平浮遊	1:17	8:06:25	
3. No. 1 TX on	1:23	8:12:59	電源 ON
4. No. 1 放出	1:41	8:30:50	
5. No. 2 TX on	2:14	9:04:16	電源 ON
6. No. 放出	2:25	9:14:50	
7. ゴンドラ切離	2:40	9:30:07	
8. 着水	3:02	9:51:25	

4.3 システム

4.3.1 ゴンドラ形状、各計器搭載位置

この実験で使用したのは藤倉航装社製の気球で図12のように，その下にパラシュート系を挟んでアルミフレームと発砲スチロールを主材料としたゴンドラがぶら下がる構造になっている。ゴンドラ内の各種計器の搭載位置は図13のようになっており，ゴンドラの四方および天頂部を5cm厚の発砲スチロール板で塞いだ。強制開傘パ

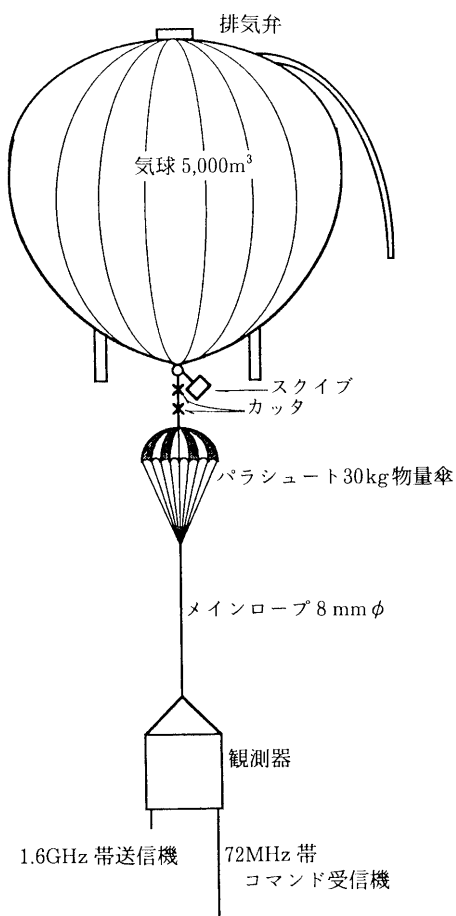


図 12 気球システム概要

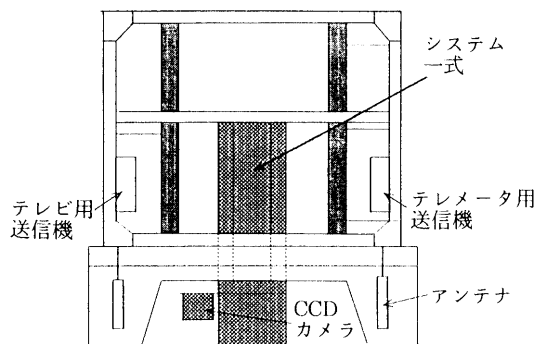


図 13 ゴンドラの側面よりみた計器搭載図

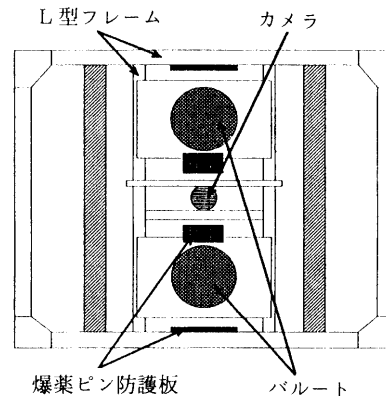


図 14 ゴンドラ下方よりみた強制開傘型パラシュート搭載図

ラシュートは図14のようにこのゴンドラの中央に筒部の底面を 1cm 厚のベーク板を介して 2 台並べて吊られるような格好でゴンドラに取り付けられている。強制開傘型パラシュートの放出の瞬間を見るための ITV カメラが強制開傘型パラシュートケースに挟まれるようにゴンドラの真ん中にビニールテープとアルミ棒で固定されている。また強制開傘型パラシュートケースは強制開傘型パラシュートの観測器部や、特に出っ張っている送信用アンテナが放出の際ゴンドラ下部に当たらないように観測器部の箱が 5cm ほどゴンドラの最下端から出ている程度のところに固定した。さらに放出の際膨脹した強制開傘型パラシュートがゴンドラに当たって、またはパラシュートケースの摩擦で傷つかないようにゴンドラの内側下方解放口はできるだけ丸味をつけ、その上にビニールシートを張り巡らした。

そのほか蓋を開放するために爆薬を使用してベルトを留めているピンを飛ばすことからピンがベルトとともに周りの壁にめり込まないように防護のための金属の板を、各ピンの横に取り付けた。

4.3.2 通信系および電気系システム

このゴンドラ本体には以下のような機器を搭載しており、PCM 入力 8 チャンネルをフルに使用しデータを送信した。

- | | |
|-----------------------------|-------------------|
| 1. 電圧測定回路 | 4. PCM エンコーダ |
| 測定範囲 $\pm 40\text{V}$ | 分解能 13ビット |
| 測定点数 8 箇所 | ビットレート 1200baud |
| 2. 温度測定回路 | 5. FSK 回路 |
| 測定範囲 $\pm 80^\circ\text{C}$ | 周波数 Bi- ϕ 変調 |
| 測定点数 4 箇所 | |
| 3. 精密気圧計の増幅 | |
| ゲイン 約0.7倍～約11倍 | |

また PCM 8 チャンネルのうち、1 チャンネルを 4 つのサブフレームに分けて使用した。以下に PCM 8 チャンネルの内容を示す。

PCM エンコーダ入力	使用した送信機に対する用途
入力 1 カッター応答	ゴンドラ
入力 2 電圧測定	1.6GHz HK データ送信
入力 3 温度測定	1.6GHz ITV 画像送信
入力 4 & 5 精密気圧計 (H, L)	

入力6

sub 1 システム投下モニター

sub 2 システム1内圧

sub 3 システム2内圧

sub 4 P. I. 地磁気

入力7&8 P. I. 地磁気 (H, L)

三陸大気球観測所では大窪山にある受信機で1台のアンテナで2波の電波を同時に受信することが可能であり、同時に旧受信点を運用することにより3つの送信機からの電波を受信可能であり、この実験ではITVを3台（ゴンドラ、システム1、システム2）、受信機4台、送信機4台（ゴンドラはメイン、サブの2台）を使用した。

この内、ゴンドラに搭載された2個の1.6M帯送信機からの電波は大窪山の受信機で受信され、ゴンドラの温度、機器の電圧などのモニター、開傘状態確認のためのITV画像の送信に常時使用された。強制開傘型パラシュートからの電波は旧受信点で受信され、開傘状態確認のためのITV画像送信および位置の計測に使用した。強制開傘型パラシュートは投下直前にコマンドで電源を投入し送信を行い、1つ目の強制開傘型パラシュートシステムのデータを取り終わってから、1つ目の強制開傘型パラシュートシステム電源をOffにし2つ目の強制開傘型パラシュートシステムに電源を投入しデータの送信を行った。またゴンドラおよび強制開傘型パラシュートシステム双方とも電源はリチウム電池である。本実験に使用したコマンド数は13個ある。

これらのコマンドによって動作する回路のうち、強制開傘型パラシュート電源ON/OFFおよび投下安全回路が図15、図16に示されている。

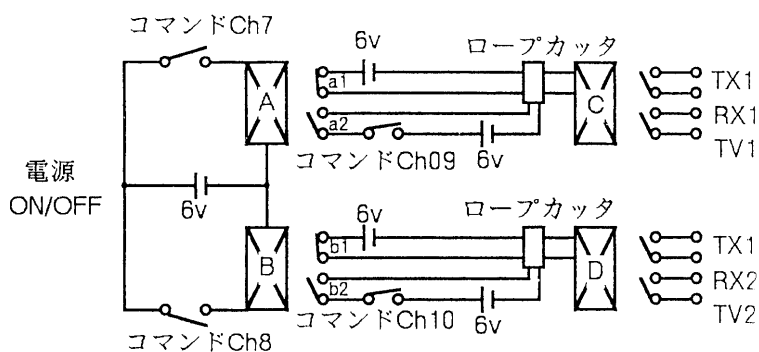


図 15 システム電源 ON/OFF 回路

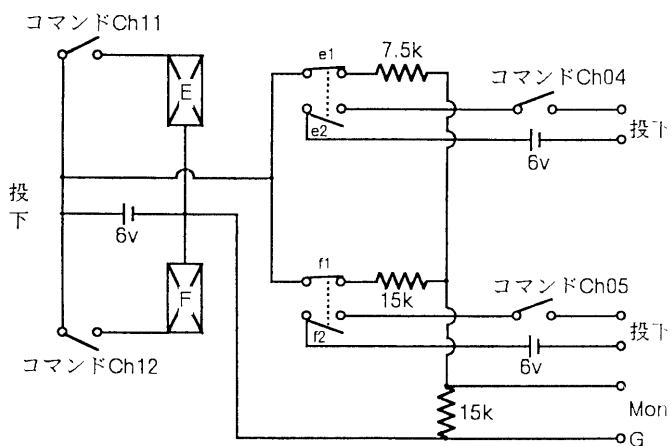


図 16 投下安全回路

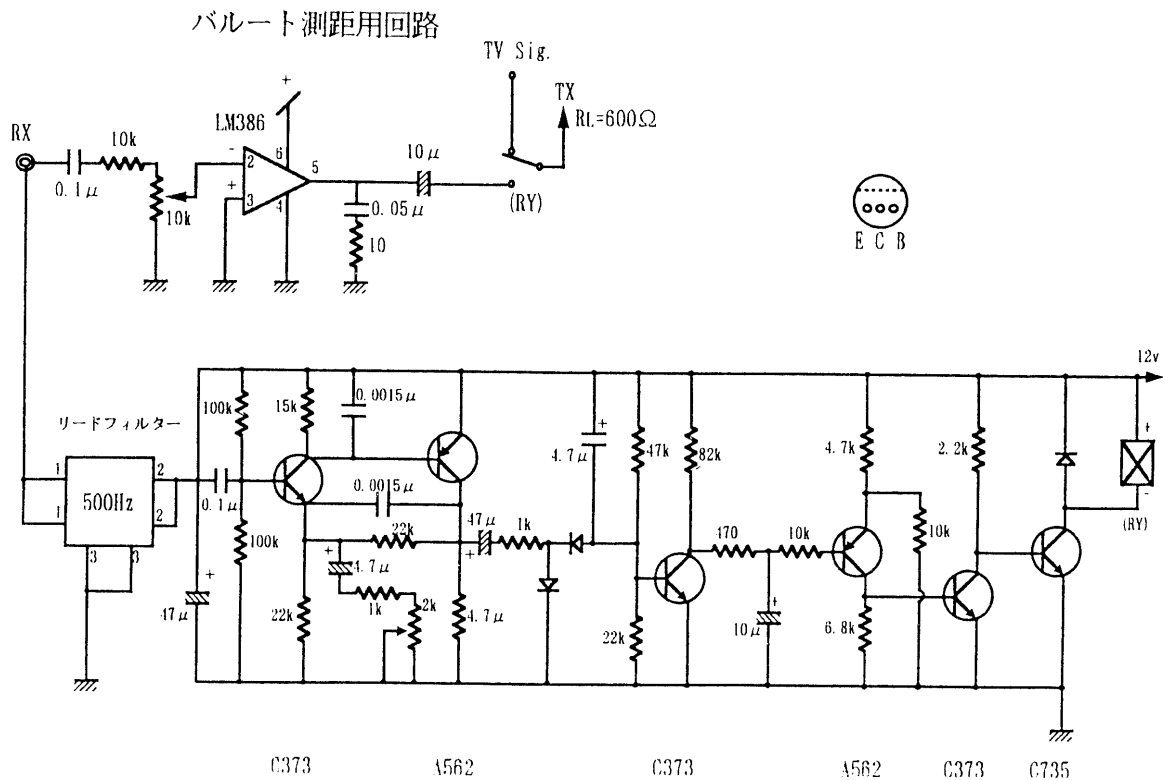
実験に使用したコマンドは以下のとおりである。

- 1) カッタ
- 2) バラスト
- 3) 弁
- 4) No. 1 投下
- 5) No. 2 投下
- 6) カッタ
- 7) No. 1 TX on/off
- 8) No. 2 TX on/off
- 9) No. 1 投下準備リレー線断
- 10) No. 2 投下準備リレー線断
- 11) N. C
- 12) 投下 Ans. 切断
- 13) TX 切り替え (Main)
- 14) N. C
- 15) N. C

さらに、強制開傘型パラシュート測距に使用した回路および、半導体気圧計の回路を図17および図18に示す。

4.3.3 強制開傘型パラシュートシステム

強制開傘型パラシュート本体は前述のように制作したが、今回の実験では将来搭載する観測機器のひな型ともいべき観測機部を製作使用している。図19がその観測機部である。搭載品としては



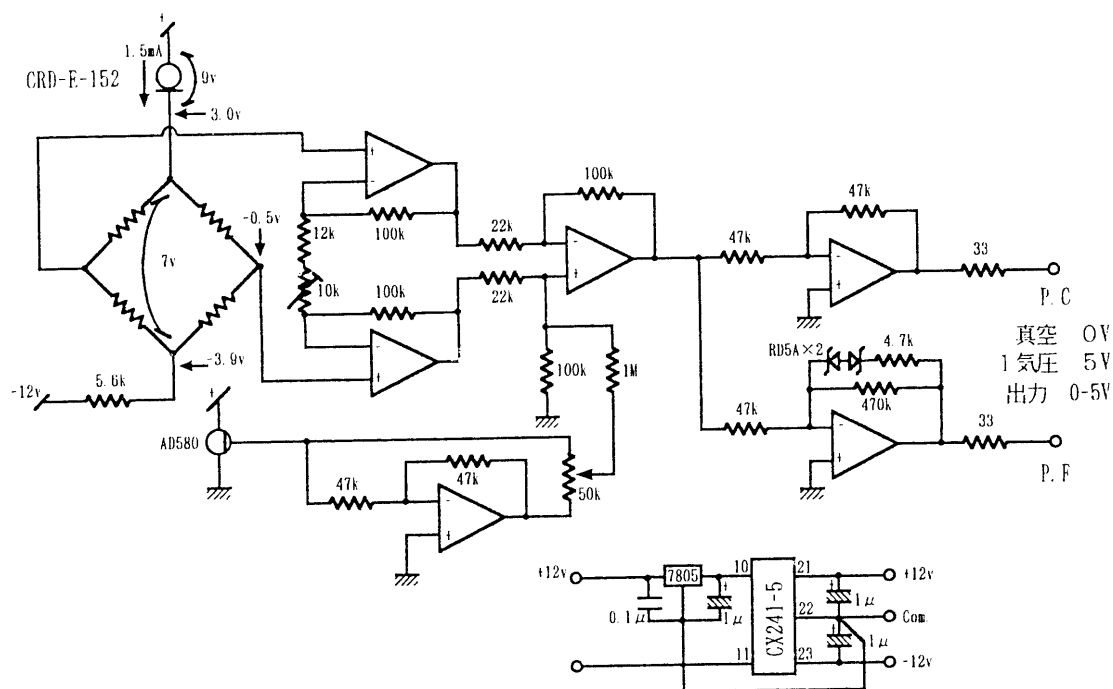


図 18 半導体気圧計の回路

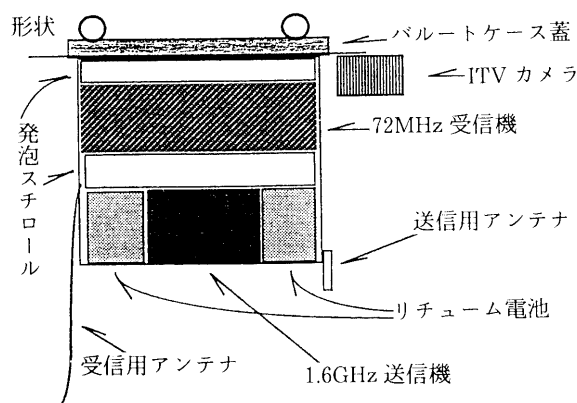


図 19 強制開傘型パラシュート観測機部

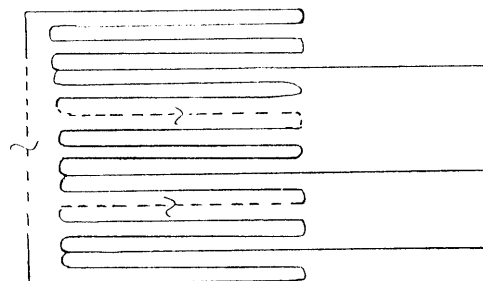


図 20 折り畳み図

*ITV 映像伝送用1.6GHz 帯送信機

*位置測定用72MHz 帯受信機

*小型 TSL 型固体映像素子 (CCD)

*CCD カメラ用ヒーター

*各装置用リチウム電池

- 単 3 型 4 本パック 1 セット (回路+受信機用)
- 単 3 型 7 本パック 2 セット (送信機用)
- 単 3 型 4 本パック 1 セット (ヒーター用)

があり、すべてを発砲スチロールの箱にいれ硝子テープでバルートケースの蓋に取り付けられている。なお CCD カメラは強制開傘型パラシュートの開傘状態を見るため蓋に取り付けられたアルミニウムの板の上に取付けてある。

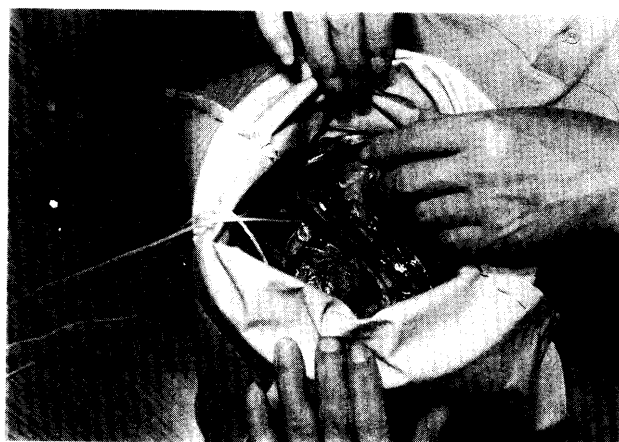


図 21 ケース内にパラシュートを組み込んだ状態

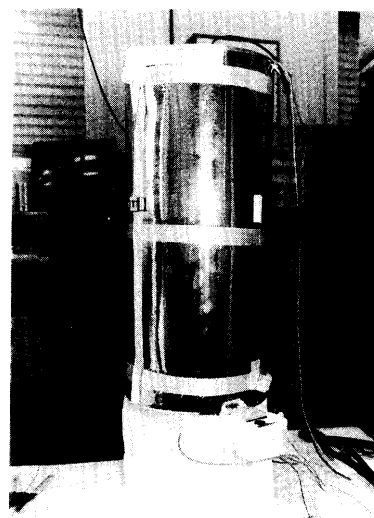


図 22 探査用強制開傘型パラシュートシステム

最終的に三陸の大気球観測所において前述の強制開傘型パラシュート本体（トーラス部、キャノピー部）、観測機部、強制開傘型パラシュートケースの3つを組み合わせ強制開傘型パラシュートシステムを組み立てた。

まず液体（トリクロロエチレン）を注射器を使ってトーラス部に注入し、一様に行きわたらせる。次は強制開傘型パラシュート本体の強制開傘型パラシュートケースへの封入であるが、上空で蓋を開け放出する際にねじれたり絡まったりしないように特別な封入法を考案した。幕の張り付け面を手前にしチューブの一面を広げ、幕は上に引きピンと張りながら中心から右へ蛇腹折りをする。端の接合部は右へ出し次の面も続けて折り続け、反対側からもとの中心まで追ってきたら図20ようになる。

ここではみ出している3つの端の部分をもとめて蛇腹折りした部分を軸にしてくるくる巻く。また強制開傘型パラシュート放出の際の破損防止のため強制開傘型パラシュートケースの口に布を張り付けた（図21）。この布を開放状態にしこの中に強制開傘型パラシュート本体をケースに入れその上から包むように布をかぶせる。紐は3本まとめてその中心から出し、結び先を蓋の裏にある結び目に結び、布の外側に置く。蓋にはOリングがはめ込まれているので接合部に真空グリスを塗り蓋をする。ケースには保温のためのヒーターを巻きその上をテフロンで2.0cmほど覆う。その上からケブラー製のロープで、引っ張り器を用いて十分に締め付け、そのあと蓋の出っ張り板を利用し CCD カメラ、観測器部を蓋の表に硝子テープでしっかりくくり付け強制開傘型パラシュートシステム（図22）として完成する。

4.3.4 全体としてのシステム

この実験で用いられた様々なデータを表にまとめる。

1) 重量

* ギンドラ関係

・気球	44.9kg
・パラシュート	5.1kg
・ギンドラ	75.0kg
バラスト	20.0kg
総重量	147.0kg
自由浮力	22.0kg (15%)
総浮力	169.0kg

*強制開傘型パラシュートシステム関係

	3m 版システム	5m 版システム
・開傘部本体	894g	1510g
・ケース	3896g	3825g
・蓋	989g	981g
・観測器部	1323g	1323g
・CCD カメラ	140g	151g
・爆薬セット	34g	34g
・補強, 固定材	少々	少々
	計 7.31kg	計 7.84kg
	(内, 落下部 約3.4kg)	(内, 落下部 約4.0kg)

2) 素材

- ・キャノピー部
 - ポリエチレン幕 (20 μ m 厚)
 - 低温テープ (低温用半透明薄テープ)
- ・トラス部
 - エバールチューブ (28 μ m 厚, ポリエチレン幕の上にアルミコート)
 - 液体 (トリクロロエチレン)
 - 包帯 (一般用)
 - 両面テープ (低温使用に耐え得るもの)
 - 低温テープ (上記)
 - 硝子テープ (ガラス繊維の入った丈夫なテープ)
 - 紐 (テフロン製)
- ・観測機部
 - 送受信機
 - 電池類 (リチウム電池)
 - CCD カメラ
 - ヒータ (カメラ用)
 - 回路
 - 発砲スチロール箱
 - 硝子テープ (上記)
 - ソフロン材 (断熱, 対ショック用)
- ・ケース部
 - ケース (アルミ製)
 - 蓋 (同上)
 - 圧力計
 - ヒータ (ケース保温用)
 - サーモスタット (同上)
 - ケーブル (ケブラー製密閉用)
 - ケーブル金具
 - O リング (密閉用)

真空グリス	(同上)
爆薬	(蓋開放用)
接着剤	(圧力計, 取り付け部の空気漏れ止め)

4.4 気球および強制開傘型パラシュートの飛翔結果

4.4.1 気温および気圧

本実験では4つの温度計が積み込まれた。そのうち2つは強制開傘型パラシュートケースに取り付けられ、ケース内の温度が推定できるようになっている。もう1つはゴンドラフレームに取り付けられ、外気温の変化が大ざっぱではあるが分かるようになっている。残る1つは精密気圧計に取り付けられ、気圧計の信頼性を推定できるようになっている。そのほか気圧を精密気圧計によって測定し、ゴンドラ高度の確認等にも役立てた。強制開傘型パラシュートケース内の高度に対する気温および気圧のグラフを図23に示す。強制開傘型パラシュートケース内部は0℃以上に保たれ十分な液体蒸気圧が得られたと思われる。このような簡易的なヒーターでも有効であった。図24はゴンドラの時間に対する飛しょう高度を示す。

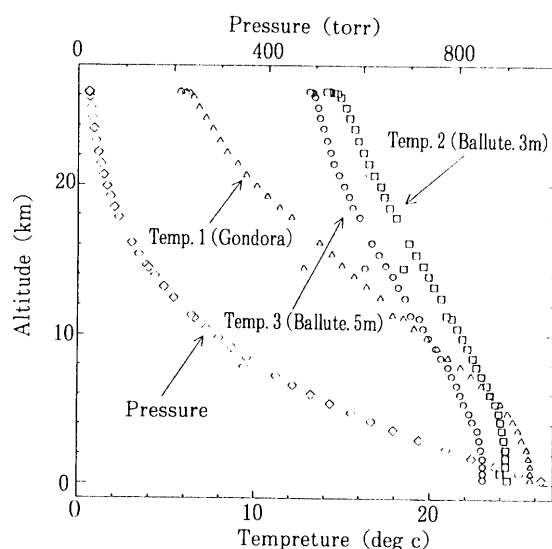


図 23 高度に対する温度および気圧

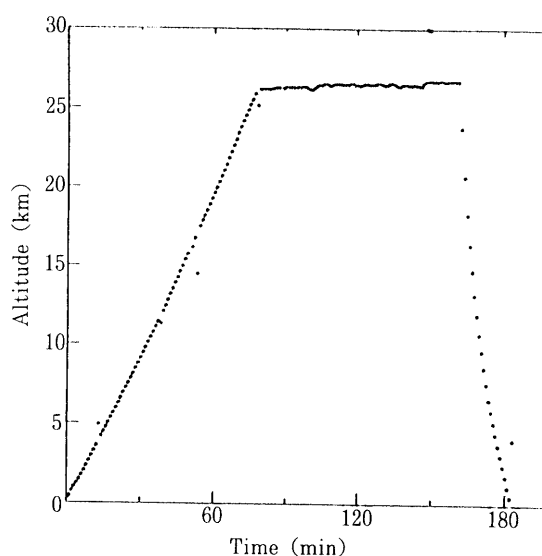


図 24 時間に対するゴンドラの飛しょう高度

4.4.2 ゴンドラおよび強制開傘型パラシュートの移動

大気球に吊り下げられたゴンドラは東向きの風が弱く気球は陸からなかなか離れなかったが、大気球は、順調に上昇しシーケンスに書いたように、ゴンドラ内に取り付けられた強制開傘型パラシュートシステムは1号機(トラス長3m)、2号機(同5m)の順に放出降下させられた。強制開傘型パラシュートの放出時の時間に対する高度は図25に示されている。

4.4.3 強制開傘型パラシュート開傘状態

図26, 図27は1号機(3m版)および2号機(5m版)のCCDカメラによって撮影されたバルートの放出状態を表している。

1号機は無事放出され降下を開始した。しかし観測機部を吊り下げている長さ6.7mの紐が途中で絡まってしまい、観測機部の重さで強制開傘型パラシュート本体を下方内側に向かって必要以上に引くことになり、トラス部がかなり歪んでしまった。幸いチューブが折れ曲がるころまでは行かなかったようで、当初予想した形に

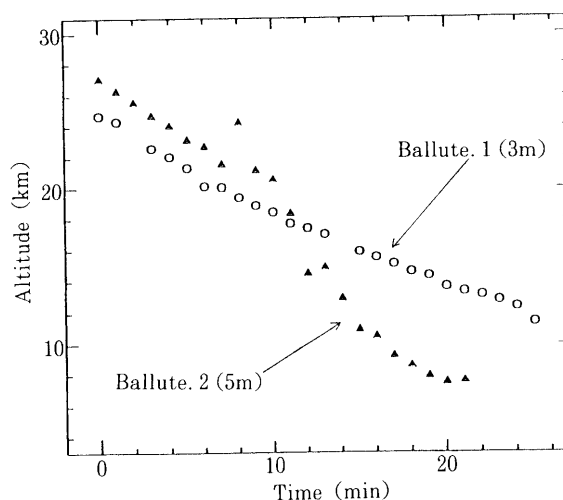


図 25 2種の強制開傘型パラシュートの降下の様子

近い形でキャノピー部にかかる空気抵抗も得られ緩降下した。

2号機は放出の際トラスチューブの1本がバーストしてしまい、強制開傘型パラシュートの完全な形にはならなかった。それでも何とかキャノピー部は破れず開いてくれたようで観測機部もほぼ水平に保たれ降下した。追跡データによると途中までは緩降下していたが、バルートゴンドラから放出されて約10分後にキャノピー部も崩壊したらしく、急激に降下速度が増していることが分かる。

4.5 結果考察

この実験の第1の目的である、放出機構の動作と開傘状態の確認についてはほぼ期待通りの成果がおさめられた。放出機構が有効であること、トラス部とキャノピー部の接合面は十分な強度があること、気球観測で使用されている送信機をデータの取得などに使用することに支障がないこと、現在の地上設備を活用し受信可能なこと、などのことが確認された。また今回は初めての大気中での降下実験であったということで、いくつかの貴重なデータが得られると共に、いままで我々があまり深く考えてなかった様々な問題点が見つかった。とくに放出スピードが速すぎるせいかな今回の2号機(5m版)の様に放出の際強制開傘型パラシュート本体が傷つく可能性があるが、主なものは以下のようなものである。

1) 強制開傘型パラシュート放出の際、強制開傘型パラシュート本体、とくにトラスチューブが受ける衝撃が(強制開傘型パラシュートケース内での摩擦、放出速度を考えると)その耐性以上に大きい可能性があることも見出された。

2) 開傘部と観測機部を結ぶひもが放出時に絡まったりすることが有り得る。

今後さらに大型のものを作る予定でもあり、より信頼性のある放出開傘機構を考案する必要があるかも知れない。

5. 探査用強制開傘型パラシュートの今後の課題と発展

5.1 今後の問題点

第3章の結果考察のところでも少し述べているが、このシステムにはいくつかの改良すべき問題点がある。そのうち現在最も重要と思われるものは、先に述べたように開傘部の放出の際に破損する危険性がある点であるが、放出のスピードをもう少し遅くすることで破損をなくせるのではないかと考えている。

5.2 今後の発展

現在、放出開傘実験が終わったところである探査用強制開傘型パラシュートの開発は、ひと区切りついたとこ

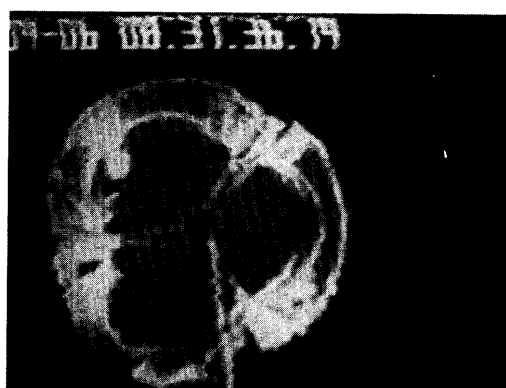
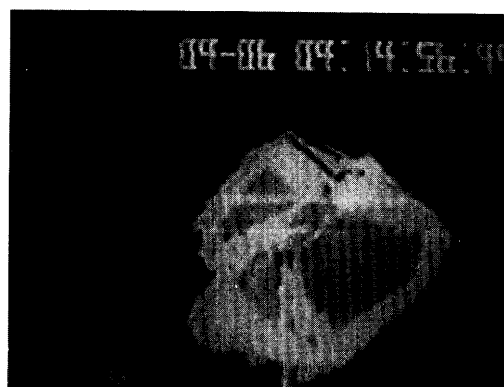
投下約 1 秒後



投下約 2 秒後



3m 開傘状況

投下約 6 秒後
5m 開傘状況

バルート No. 2 (5m)

投下約 1 秒後



投下約 1 分 55 秒後



図 26 3m 版強制開傘型パラシュートの開傘状態

図 27 5m 版強制開傘型パラシュート開傘状態

ろにある。探査用強制開傘型パラシュートもその基本的システムの有効性が確認され、今後は実用化へ向けてより信頼性のあるシステムの設計へと進みたい。再放出開傘実験を行い、その後実際にロケットに搭載して実験を行えればと思う。

5.3 S-310型ロケットの到達速度

現有の S-310型ロケットの重量は約700kg であり最高到達高度約220km である。熱圏下部、あるいは中間圏の研究のためには例えば特にロケットの最高到達高度を100~120km に設定することが望ましいことがあるかもしれない。この場合最高到達高度を120km に抑えるために現有の S-310型ロケットの重量を100kg 増やす必要がある。

5.4 S-310型ロケットへの強制開傘型パラシュートシステムの収納

前述の図2は現有のロケットに何らかの機体の改良も加えずに、強制開傘型パラシュートシステム1基（1基の大きさは図10参照）を搭載するケースであり、システムは頭胴部に搭載する。この場合10kg のシステムの落下速度を約710m/s に抑えるためにはロケットの最高到達高度を約117km に抑える必要があり、このためには前述したように、現有のロケットの重量を約90kg 増やす必要がある。また（図28のように本システムを二基搭載することも可能であろう。また現有の S-310型ロケットエンジン部と頭胴部の間にセクションを設けここに本システムを置くことも考えられる。例えば現有ロケットの頭胴部とエンジン部の間に継ぎ足した部分を入れ、その部分には中間圏あるいは熱圏下部研究のための探査用強制開傘型パラシュートを載せこれを切り放し、現有の頭胴部に従来どおりの測定器を搭載する。この場合バルート部には減速用のパラシュートが必要である。あるいは図29のようにバルート2基をロケットエンジン部と頭胴部に格納する。この場合現有ロケットの平行部を約1.5m 長くすることが必要である。

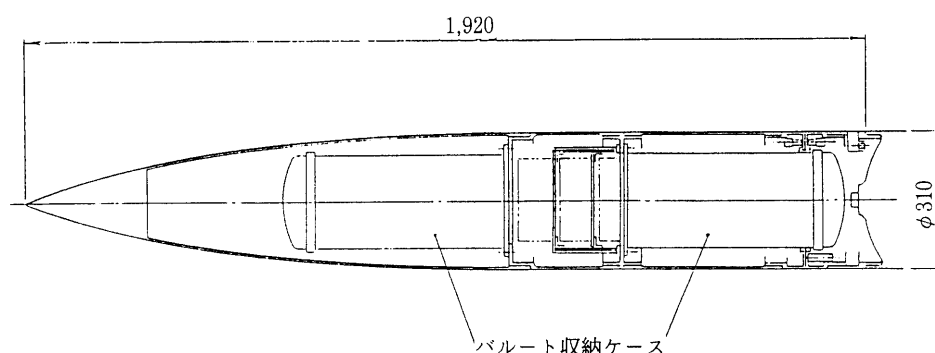


図 28 探査用強制開傘型パラシュート搭載案その 1

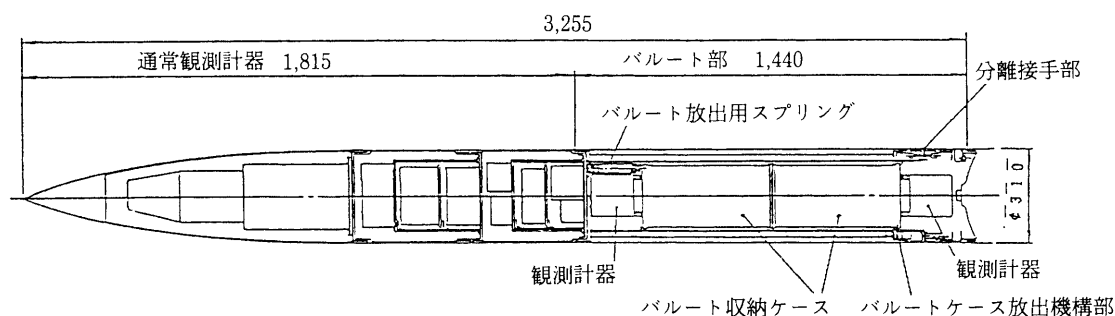


図 29 探査用強制開傘型パラシュート搭載案その 2

5.5 テレメータ電波の受信について

探査用強制開傘型パラシュートを頭胴部の先端にのせる場合、このパラシュートシステムからの電波はロケットの発射以前から受信できる。しかし、機体の平行部に本システムを搭載する場合には平行部に強度が要求されるためその部分は金属製にならざるを得ない。このため中に格納したシステムからの電波はこのままでは受信できない。したがって、打ち上げ前の機器のチェックのためには、テレメータ電波の出力のモニターおよび観測機器の出力のモニターを行うため、平行部に引き抜きコネクターをつけ発射直前までこれをモニターするなどの処置をするか、あるいは本システムを格納した部分のうちテレメータアンテナの位置する部分に小さい穴をあけここを通じて受信する等の工夫が必要である。システムにくみこまれた1680MHz 帯のテレメータから送られてくる観測信号の受信は KSC の現有の地上設備で十分である。また、強制開傘型パラシュートシステム 2 基の場合、現在宇宙科学研究所気球班の有している追跡設備を借用でき、地上系には特別な設備は必要としない。頭胴部に搭載された400MHz のテレメータの受信機からの電波も従来どうりのシステムを使用することが可能である。

5.6 ロケット実験に向けて

強制開傘型パラシュートシステムを利用した研究については現在以下のようなものが挙げられている。

1. 中間圏における電子密度分布とその不規則性の観測
2. 中間圏における電離大気と中性大気による力学的影響
3. 大気の力学的総合に関する研究
4. 紫外線分光と共鳴線ランプを用いた大気微量成分の測定

今後、これらの研究項目について先ず順次鹿児島宇宙空間観測所にて実験を行い、本システムが確立された後においては国外での極域、赤道域での実験も考えられるであろう。

本システムを使って、初年度には先ず研究目的(1)および、(3)に関する実験を提案する。この場合、必要とされる物理測定量は電子密度、およびそのゆらぎ、中性ガス圧およびそのゆらぎ、大気温度および、高度80~100 km の風である。このため、ラングミュアプローブ、およびゆらぎ測定器用の AC アンプ、中性大気密度測定用の電離真空計をロケットの開頭部に搭載し、かつ、これら測定器の一部を強制開傘型パラシュートに吊り下げる。もう1つの強制開傘型パラシュートを地上より一次レーダで追跡することにより上層の風を測定する。

6. ま と め

現有の S-310型ロケットを用いて、上記したような強制開傘型パラシュートシステムによる観測を行うには、S-310型ロケットを約1m 長くし、ロケットの総重量を約100kg 増加せしめることによって最高到達高度を約110~120km に抑えることが必要である。このためには切断部機構の設計、およびその地上での機能テストが必要となるが、今後の S-310型ロケットの大気観測への有効な利用を考えると必要に応じて上記のような機能を持たせることがロケットの有効利用につながるのではないかと考える次第である。

謝 辞

本研究は平成2年、平成3年の「大型宇宙構造物の基礎研究」に分配された経費を使って行われた。この研究を支えてくださった多くの方々に深甚の謝辞を表す。また故中田篤氏には本研究の初期において、いろいろご尽力いただいた。ここに感謝し、かつ氏のご冥福を祈るものである。また、横田力男氏にはパラシュートフィルムおよびフィルムトラスに注入する揮発性液体についていろいろご助言をいただいた。

参 考 文 献

- [1] 小山, 雛田, 橋元, 徳永, 並木, 佐藤, 平山, 中田: バルートの開発-ロケット実験の実現性, 大気圏シンポジウム,

1992年1月.

- [2] 小山, 雛田, 橋元, 徳永: パラシュートとバルーンの合いの子, バルートのシステム試験, 大気球シンポジウム, 1991年12月.
- [3] 小山, 雛田, 橋元, 徳永: バルートの開発, 第7回宇宙構造シンポジウム, 1992年12月.
- [4] 雛田, 小山, 橋元, 徳永, 佐藤, 並木, 山上, 河島, 小竹: 熱圏下部及び中間圏探査様バルートシステム-新しい観測手段の提案-日本地球電磁気・地球惑星圏学会, 1992年4月.
- [5] K.-I. Oyama, M. Hinada, Y. Hashimoto, Y. Tokunaga, M. Namiki, S. Sato, M. Takasaki and N. Kawashima, A forced inflated parachute system to explore earth environment, *Proc. of 18th, ISTS*, 1895-1902, 1992.
- [6] 雛田, 小山, 橋元, 徳永, 中田, 佐藤, 河島, 秋葉: 熱圏下部及び中間圏探査様バルートシステム-新しい観測手順の提案-宇宙科学研究所報告特集号28号, 11-22, 1994年.