

ロクーンの放球について

石 井 千 尋

ロクーンの放球について書くのが、わたくしの分担であるが、直接放球そのものでなくても放球に関連があって、他の方の分担との境界線上のことがらや、将来の計画に参考になりそうなもので、どなたの受持とも決まらないようなことがらは拾いあげて記すことにした。

1. ロクーンの放球に要求されること

a) 放球前の要求

日本では地理的な条件から、ロクーンロケットの落下地点、したがって発射地点はおのずから海上の限られた地域以外にない。これに対し気球の飛揚場所は、ロクーン開発の初期には船を用いたが、適当の船が得られない等の理由からいまでは陸上へ変わった。安全を期するためには海岸から飛揚させてすぐそのまま海上の発射予定地に流されて行くようにしなければならない。しかもこの間に予定高度に到達していることが要求される。

この目的に合わせるため高層の風の資料を基にして、航跡と気球の上昇速度とを決めなければならない。高度別の 風向風速の大略の値は 累年月別平均値* で予想できるが、いよいよ実施する際には、地域的にも時間的にも最も近い実測値を用いて、三次元の予想航跡を求める必要がある。

b) 放球そのものに対する要求

これは主として安全のための要求である。ロケット本体や外部に添えてある計器類が放球の際に地面や地上設備に衝突するようなことは、もちろん避けなければならない。

万一地面等に衝突でもしようものなら、ロケット暴発という最悪の事態を発生するおそれすらある。極端と思うほど安全に離陸するように計画する必要がある。この目的のために現在は補助気球でロケットを高い位置に吊っているが、なお安全のために十分注意しなければならない。

次に気球自体の機械的な安全を計る必要がある。いったん飛揚して平衡状態になれば静力学的な力以外は作用しないが、気球が放たれてから荷重がこれにかかる瞬間には気球下端に衝撃がかかるので連結綱に緩衝部を挿入する必要がある。

その他、綱が 50 m 位もあるので、これが気球ランチャーやロクーンランチャーに絡みつかぬような考慮がいる。

c) 放球に対する気象条件

i 気球の準備中 気球は水素充填途中が風に一番弱い。むしろ十分水素を満たしてからの方が比較的安いで、この点はゴム気球と趣がちがう。もちろんランチャーに啞えた気球がそのまま地面に叩きつけられるほど風が強い場合は初めから放球不可能である。従来の経験から地上風の瞬間風速 5 m/sec 程度が放球実施できる限度である。5 m/sec を越すと現在の方式では水素の充填ができない。

なお雨をさけなければいけない。放球前に気球が雨にさらされると、附着水滴の重量のため浮力不足になり安全離陸ができなくなる。

ii 放球の瞬間 放球の瞬間の風向に対して気球ランチャー、ロクーン・ランチャー等の配置を選定しなければならない。

放球時の風速がある程度以上になると、たとえ補助気球を使っても、主気球を先発させる関係上ロケットが斜後方になっているから補助気球を切り離したときに振子運動を起こして地面に接触する危険がある。この点からも瞬間風速が 5 m/sec 以下であることが要求される。

2. 気球の浮力、上昇速度、上昇限度の計画

a) 上昇限度、所要水素量

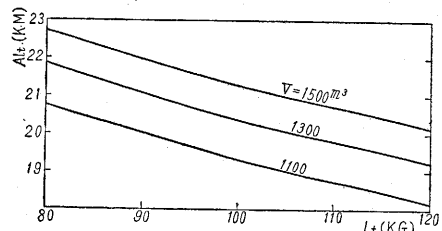
気球には自重と荷重を吊り上げる浮力と、空気抵抗に抗して上昇して行く余分の浮力(自由浮力)を持たせなければならない。そして上昇限に達すると下の開口部から余分の水素を放出して平衡になって流れていく。これらの関係は次の式で計算できる。

定容積 $V(m^3)$ の気球を用いる場合に、自重+荷重に平衡する浮力を $L_t(kg)$ とすると、上昇限度 $P(mb)$ は

$$P = 1013 \cdot \frac{L_t}{V(\rho_a - \rho_h)} \cdot \frac{T_p}{273}$$

ただし ρ_a, ρ_h はそれぞれ空気および水素の密度 (kg/m^3) T_p は P 点の気温 ($^{\circ}K$)

気球が定まると荷重がある程度変化してもあまり到達



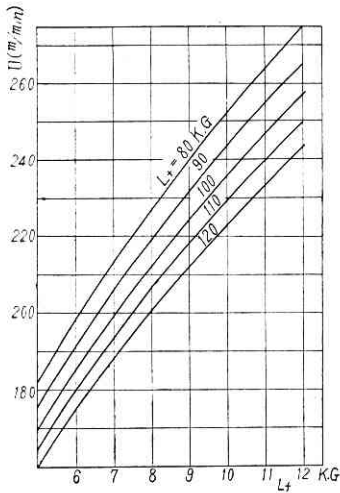
第 1 図 気球の容積 (V) を一定にしたときの荷重 (L_t) による最高高度の変化

限度は変わらない。この関係の1例を第1図のグラフに示す。またこの場合に自由浮力 L_f (kg) 分だけ水素を入れると上昇速度 U (m/min) は大体次の関係で求められる。

$$U = k\sqrt{\frac{L_f}{S}}$$

ただし S は気球の有効水平断面積 (m²)

k は実験的に求めて約 370



第2図 荷重 L_t を一定にしたとき自由浮力 L_f による上昇速度 U の関係

なければならない。

b) 砂時計と機関車

上層の風が下層に比べて弱く、一定速度で上昇させたのでは必要な距離流せない場合が起こる。これに対しては下層でゆっくり上昇させればある程度目的が果たせる。このような要求に対しては、余分の荷重を付けて放球し後にこれを切断する方法を採用することがある。7月の実験では砂袋(約6kg)をつけ、この下端に漏斗をつけて砂を少しずつ落下させることで下層の上昇速度を制御した(砂時計式)。

また時によっては逆の下層の風が強くと距離が延びるため肝心の時にテレメータが効かなくなるおそれも生じてくる。このような場合には、十分水素を満たしある程度上昇すると自然に破裂するように用意されたゴム気球を本気球の先端につないで、下層の強風帯を速やかに突破させる方法が採用される(これを俗に機関車式という)。

3. 気球ロンチャー

a) 設計要旨と機能

ロンチャーは水素を満たした気球を保持して、必要なときに容易に放球する機能がなければかろうが普通はさらに水素の充填をやさしくするとともに、その水素を気球頂部に集中させる役目と、その水素量を測定する機能とを持たせる。

このために気球の中程を確実に締め付けて、啞える部

分、啞えた後水素を充たして浮力を測る部分を持ち、啞えた口を急速に開いて放球する機構が必要である。

千葉での放球試験、本庄のダミーテストには立教大学の宇宙線グループのロンチャーを、青森の第1回、第2回は気象研のロンチャーを用いた。原理的には大差ないのでここでは後者について説明する。

b) 構造概要

写真の1, 2 および第3図に全般を第4図に機能を示

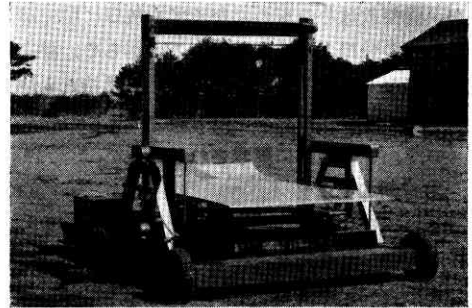


写真1 気球ロンチャー

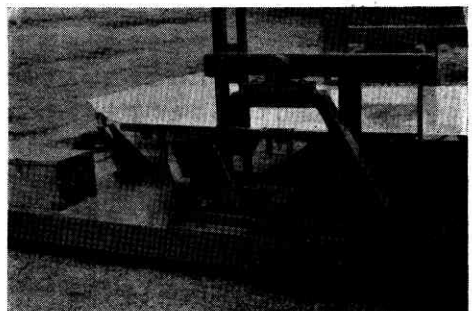
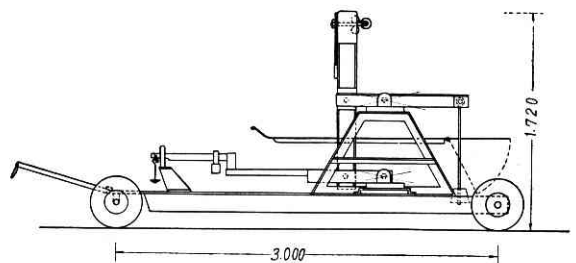
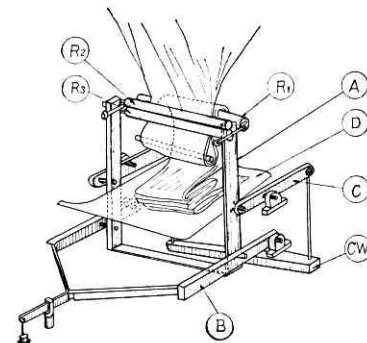


写真2 気球ロンチャーの秤の部分



第3図 気球ロンチャー



第4図 気球ロンチャーの機能を示す

す。要するに一種の天秤で上下自由な縦の柱 A の上部にあるローラー R_1 と R_2R_3 で気球を啞えている。B は気球の自由浮力を測定する秤の腕であり、C は補助腕で柱 A を垂直運動させると同時に、無負荷で B 腕が水平になるようにカウンターウエイト CW を吊る役をする。柱 A には中間に皿 D があって、これに気球の裾全部と負荷に相当する重錘をのせる。

この状態で気球に水素を詰めその浮力 (L_f に当たる) と気球の自重+吊下げの全負荷が平衡になると腕 B は水平になるから、さらに自由浮力 L_f の分だけを腕 B の端の分銅で測定すれば良いことになる。秤としての感量は 100 g 位である。

ロンチャーの自重は 1.5 ton 位あるので、気球に風を受けて移動するような心配はない。

c) 操作, 輸送, 運搬

ロンチャーは 1 種の秤であるから据付けを水平にしないと機能が發揮できないので、前もって風向きを予想して水平に据え付けておく。

水素を充填する前に気球の中程から少し頂上寄りのところを折り込んで R_1 と R_2R_3 の間に入れ、 R_1 を締めてクランプする。このとき気球がローラーの啞口から逃げ出さないように折り込んだ中に補助の棒を通しておく(第 4 図参照)。

水素をつめる間皿 D の上に吊り下げる物を全部のせておけば自由浮力や全浮力の測定については fool proof になって良いのであるが実際にはそうも行かないので、できるだけ実際の荷物をのせて、残りは重錘をのせることにする。

水素を詰め終われば秤として使う必要がなくなるから皿の上の荷物は適当な位置に移すのであるが、もしこの時風向きが放球に都合悪ければロンチャーを移動させることもできる。

放球の時は一側にいて挺子でクランプを外せば、ローラー R_1 が飛び出して気球は上に抜け出し折込みの間に安全のため挿入した棒をほうり出して上がって行く。

整地された場所ならばロンチャーは 3 名位で移動できるが、砂浜等では車輪が小さいため 7~8 名でも困難のことがある。長距離輸送には大型トラックか列車によるほかないが、その際には秤として働くためのナイフエッジを十分保護する必要がある。

4. 気球操作

a) 気球と荷物の結合

主気球の下から約 50 m のナイロン綱をつけその先に補助気球とロケットが結ばれる。補助気球とロケットが別項に記載されているランチャーから放球されたときは一時空間に止まったような状態になるので、主気球放球直後から補助気球切離しまでの間には次のような力が働くと考えられる。

- (i) 主気球の頭を押しつける空気抵抗
- (ii) 主気球の綱が、ほぼ空間に止まっている補助気球とロケットの結合点を引く衝撃的な張力
- (iii) 補助気球を切り離れたとき全負荷が綱にかかる衝撃的張力

なおまれには、補助気球がランチャーを離れない時に主気球が上がり切って作用する張力も考えられる。

(i) の力が作用すると主気球全体が茸のようになり裾から空気を吸い入れるおそれがある。特に気球容積に対して水素量の多い場合にはこの点心配になるので、主気球の下に整形用死荷重をつけたり、あるいは気球開口部に気圧で制御された弁を取り付けたこともあるが、その効果が疑問なので青森の実験にはいずれも用いなかった。

(ii) 以下の衝撃的張力に対しては緩衝部を設ければ良い。

この目的にはビニールパイプのプラスチック変形を利用した。ナイロンの主綱をたるませてその間にこれより短いビニールパイプを 2 本あるいは 3 本張っておく。

力が作用しだすとビニールパイプがまず伸びて主綱を保護するもので現在ビニールパイプは外径 8 mm, 内径 6 mm 位のものを 5 m 位使用している。

なお極めてまれな場合であるが、青森の 7 月の実験では気球の頂上に計器が付けてあるために気球整形用のゴム気球(機関車)をつけた。

各実験ごとの気球と荷物の結合状況は別項にあるので略す。

b) 漏洩試験

気球は製作所から受け取る際に全部ひろげて検査することは事実上不可能である上に、製造後時間の経過で接合部にガス漏れ孔ができる可能性もあるので、飛揚直前に漏洩試験をする。下端開放の気球だから裾の方は初めから問題にならないが、頂上付近は常に力がかかっているから特に漏洩が問題になる。このため水素充填の初期に気球頭部を手許において漏れをさがしてテープで孔塞ぎをする。方法としては、最初水素導口にアンモニア水を少量入れこれから蒸発するアンモニア・ガスを水素とともに送り込む(液体アンモニアを利用する方法もある)。一方フィノール・フタレイン溶液(10% 位のアルコール溶液を等分位の水で稀釈して)をガーゼに浸したものを用意し気球の上にかぶせると、ガス漏れの場所ではガーゼの上に紅色の斑点が出るので容易に発見できる。

漏洩試験をするときに気球の表面を掴み易くする目的で青森で 10 月に用いた気球には小さい耳を付けた。

c) 水素の充填, 速度と温度, 気球のよじれ

水素を充填するための時間はできるだけ短いことが望ましい。これは風の影響を少なくする点からだけ見ても必要である。このため 10 月に用いた気球では水素導

管の周を従来の 40 cm から 60 cm 位に大きくした。これによって水素詰め時間の短縮はできるが、一方ポンベからのガス噴出速度が大になってガス温度降下が甚だしい。水素の温度降下は直接浮力に効いてくるので浮力測定の側から歓迎できない。実際に容易に導管の外側に霜を結ぶ程度になる。

もし水素ガスの温度が 27°C 位低下すると浮力に 10 %位の誤差が出て、結局その分だけ余分に水素を詰める結果になり、気球の上昇速度は予想外に早くなって早期破裂を招くことになりかねない。これは後に述べる熱交換器で解決すべきである。

水素充填作業に特に注意を要するのは若干風のある場合である。ランチャーで啞えた所から上の方にある程度水素が入って、ようやく気球が直立した頃風にあおられると、気球は杓子状に風上側が凹み、回転運動を始める。この運動を始めると水素導管は絡みついて導管閉塞を起こしたりよじり切られる心配が起こったりするし、気球本体も啞口の上がよじれて球皮に無理がかかってくる。さらにまたよじれないでも杓子状の凹みが成長してますます風受けがよくなってランチャーの一部に叩きつけられるようなおそれもでてくる。したがって風の消長を考慮してチャンスを掴み、ある程度短時間に水素を充填してしまう方がよい。相当多量に水素が入ってしまうえば杓子形の凹みはできなくなるし垂直方向の張力も増してくるので割合に風に対して強い。

d) 浮力の測定

無風ならば先に記したランチャーを用いれば総浮力 100 kg 位のときに 0.1%、自由浮力に対して 1% 位まで正確に測れるが、もし風があると気球の見掛けの浮力が増大して、自由浮力に 10% 位の誤差のものであることも起こり得る。実際には 10 秒か 15 秒位の間静かになれば、測定できるから、風の“いき”を見計らって相当正確に測れないこともない。

補助気球の浮力は主気球ほど正確に測る必要もないが必ず荷重より浮力の方が超過していなければならず、主気球の総浮力より大きくなってはいけない。補助気球は下に必要量の重錘を吊るして浮力をきめるが、風によって見掛け浮力の作用することは主気球の場合とまったく同じである。補助気球は特にガス漏れの検査をしないので待機中の漏れの方も心配する必要もある。

e) 作業人員

現在の方式で作業をする場合に必要の人員は、気球の準備のときには 2~3 名、漏洩試験には最低 4~5 名、水素充填のときには突然風がでることも予想しなければならないので最少限 4 名要る。しかし水素を詰め終われば安定してくるので最低 3 名に減らすことができる。

補助気球に対しても 4 名位は必要であり詰め終わって待機する間 2 名は絶対に必要である。

この場合に必要の人員中気球の性質を良く理解して取扱いになれた者が半数位はほしい。これは技術的に特殊かも知れないが、たびたび仕事にたずさわっていれば自然に習熟するものである。

なお水素の火災に関しては十分気を配る必要があり、時と所によっては見張役に人手をさくことも考慮に入れておかなければなるまい。

5. 放球の状況

a) 一般的状況

i) 放球直前の準備 補助気球を用いてロケットを安全の位置におこうという考え方は、生研でロクーンを受け持つように決まって間もなく立案されたもので、あくまでもロケットの安全のためである。したがって両気球の水素充填完了後は十分に気球やロケットその他の結合部等を再点検し、テレメータやロケットの準備完了を待機する。全般の状況を確認した上で作業人員を必要最小限にして残りは全部退避する。それから後は気球ランチャー操作のための 1 名とロケットランチャーに 1 名と放球のため最良のチャンスを掴んで会図をする責任者だけが残る。写真 3 はこの時期の状況を示すものである。

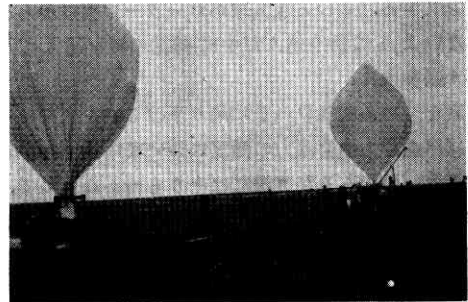


写真 3 気球準備完了待機中 (青森 7 月)

ii) 放球の瞬間 風さえ無ければ予定時刻の“秒読み”で放球できるが、風があるとある程度“風のいき”を見ながらチャンスを掴まなければならない。また主気球と補助気球との自由になる瞬間のタイミングをうまく合わせる必要がある。一般には主気球がランチャーを離れて、吊綱全部がほぼ地上を離れる瞬間に補助気球を放球するように心掛けている。このやり方は 2 月初めの放球テストで得た結論である。

b) 各実験の放球状況

おのおの実験に用いた気球、荷重、自由浮力等は次頁の表の通りである。

i) 生研構内の放球テスト (34 年 2 月 3 日) 補助気球を用いてロケットを中空に浮かせれば、振子運動によって地面に叩きつけられるような心配がなくなるだろうと考えこれを確かめるための実験を行なった。すなわち主・補助両気球の放球のタイミング、主気球の綱につける緩衝部分等について幾回もくりかえし試験をした結果今日の放球方式が決定された。

年月日	場 所 実験種	主 気 球		負 荷	L_i	L_f	補 助 気 球		補 助 球 L_f	備 考
		容 積	自 重				容 積	自 重		
34. 2. 3.	生 研 ランチング テスト	450	11.5	50			70	3.45		
34. 2. 19.	本 庄 ダミー1号	2500	31.55	83.6	115.1	7 kg	70		4 kg	失敗
34. 2. 20.	本 庄 ダミー1号	2500	32.55	85.0	116.4	7.3	70		4	破裂
34. 7. 21.	青 森 ダミー2号	1300	25.33	77,178	102,508	1.9下層 7.5上層	95	3.5		機関車 800g 気球1ヶ 総浮力 3800g 砂時計 5.6kg
34. 10. 1.	青 森 ロクーン 第一次1号	1300	22.5	87.0	112.5	10.0	95		3.4	
34. 10. 1.	青 森 ロクーン 第一次2号	1300	25.9	75.45	101.35	8.55	95		4.55	破裂

ii) 本庄の推奨温度測定 (34年2月19日と20日)
2月19日の1号機実験は放球まではほぼ順調に進行したにもかかわらず、放球直後補助気球主気球ともに切断し、ダミーロケットは落下傘で降下した。これは一つは主気球の糸目の麻が老化したためで、一つは補助気球用タイマーに問題があるためらしい。

翌日は主気球の糸目を補強し、吊網を2本にして安全をはかって実施した。放球は順調であったが、補助気球が最後まで切断されず、このため上昇速度が非常に早くなり予定高度到着直前に主気球破裂を起こした。

iii) 青森のダミーテスト (34年7月20日・21日)
今回は主気球の頂上に計器があり、また気球球皮にサーミスタが付いたりしているので取扱いが面倒であった。頂上の計器をつけて気球の頭がなお直立するように機関車をつけ、下層の風で距離をかせぐため砂時計がつくことになった。

7月20日、風の状況が良くないが正午近くの多少弱まりそうな時を見込んで準備を開始した。水素充填にはかなり困難したが、主気球水素詰めの中約80%位充填した頃気球がロンチャーの啞える口を押し開いて逃げ出し、転倒網がロンチャーの腕にかかって止まった。幸い現場付近に人手が多かったので気球を引きもどし得たがその際気球の一部を破損した。これはロンチャーの啞え圧力不足と安全棒が軟らかいためであったので翌日までに応急改造をやって間に会わせた。

7月21日、気球の準備中は相変わらず風に相当なやまさされたが放球時は風速がおちて楽に放球することができた。

20日の失敗は気球の啞え圧力の不足によるものである。これは今回使ったロンチャーが今まで大きい浮力が必要とする気球飛揚に使用しなかったため啞えの圧力の不足という弱点が発見されなかったためであった。

iv) 青森の第一次ロクーン実験 (34年10月1日)
今回は終始風になやまさされた。特に9月27日に台風退

避作業ではロンチャーを砂地を引きまわすことで意外に手を食った上車輪を破損したりいろいろのことがあった。またロンチャー・クランプ部分の改造不完全のため現地修理も必要であった。

1号機は06:30放球。風のため浮力測定が完全であったとは云えないが、それにしても上昇速度が次第に上がって最後に2倍にもなっているのは、二つの原因があると考えられる。一つは水素温度が詰めたときに冷えていて上空で温められたことである。もう一つは上昇速度を従来の実験値から求めた係数を使って計算したが、実際には今回の気球が縦長のため満膨張に近づくにしたがって抵抗の少ない形になり係数が次第に変化するためであるまいか。

2号機は引きつづき10:30に放球された。この際は特に上記2原因よると思われる上昇速度の急増が見られる。その結果所望高度に達する前に破裂した様子である。

6. 将来に対する私見

Space physics 観測用としてロクーンがどんな役割をすべきか等いろいろ将来問題は多いことと思うが、ここには気球の取扱い、放球等に関するものに限って私見をのべる。

a) 組織

生研がロクーンの担当になるまでは組織的な弱点が多かった。要するに多中心集団であったための欠点が所々に見られた。特に気球関係にはそのうらみが深い。

本年度に入ってからこの傾向は大幅改善されたがまだ組織としては不完全な部分が残っている。その一つは気球飛揚のための陣容である。

要するに寄せ集めでない数名の飛揚に習熟した人を持ち、荷重と発射点の指定さえあれば、これによって準備を進めて放球するまで一手に引き受けられる機構が必要である。この用意をしないとロクーンの将来の発展に障害を残すであろう。(いろいろ放球設備を強化すること

によって作業人員数は節減されるだろう。そうなるもここに云う意味の機構が必要なことには変わらない。

b) 気球ロンチャー

現在のロンチャーで総荷重 (L_t) 100 kg 程度の飛揚には一応問題ないが、4~500 kg 以上になると気球を啜える方式をさらに確実にする必要がある。なお今年青森で使用したロンチャーは特定地を目標に設計されたので砂浜のような不整地には向かない。将来も砂浜を利用する方針ならば車輪や、水平セットの方策についてもっと考慮しなければならない。

新しく設計する場合には浮力測定の感度は 1/2 kg 位まで落としても支障あるまい。それは風のための誤差の方がはるかに大きいからである。

いずれにしても風防方策は必要である。

c) 水素充填について

充填速度を早めることはいずれにしても必要であるがそのためには静電気起電の問題と温度降下による浮力不確定性の問題に留意しなければならない。

静電気による着火については従来いろいろの説がありいずれも真実のように見える。これは現象が非常に複雑なためであろう**。

この両者を考慮して水素ポンベから噴出した気体を一

度温水あるいは常温水を用いた熱交換器を通すのが良い。これは熱交換器として作用するほかに荷電を取り除く役をもする。

d) 風の対策

たびたび述べたように現在の放球およびその準備のやり方では地上風 5 m/sec を越すと飛揚不可能になる。防風壁も一案であろう。防風壁で少なくとも現在よりは改善されるだろうが、どこまで良くなるか——地上風 10 m/sec まで容易に飛揚できるか——という点に疑問もある。

むしろ地理的な条件による局地気象を十分考慮すべき問題かも知れない。

あるいはまた、全然別な考え方に立って——たとえば格納庫のような室内で主気球も補助気球もすべて水平位置で準備しそのまま引き出して水平位置から放球するようなことも考えてみる必要があろう。(1960. 1. 18)

注 * Aerological Data of Japan (5-year period averages) (気象庁発行) 1958 等

** 現に高層気象台で水素ポンベの着火についていろいろの試験が行なわれており、ポンベを接地していても火の着くことも確かにあるし、条件によっては着火しないこともある。

少なくとも現在は酸化鉄の粉が問題になるらしい結果が出ている。

水素ポンベ運搬車と水素充填について

岡 本 智

わが国の宇宙線研究者が大型バルーンを使用する場合これに水素を充填する方法はいわゆる「タコ足」と称するものを用いているようである。われわれもロクーンを始めた当初この方法をご指導いただいた。これは水素ポンベの口の外径に固く差し込み得る内径の耐圧ゴム管数 m のものを数本から十数本用い、これを金属性の多岐管に取り受けたものである。多岐管の太い集合管をバルーンの水素導管(一般には折径 20 cm のポリエチレンパイプが使用されている)に結合する。実際に水素を充填する時は予め所要本数のポンベを並べておき、端から順次ゴム管をはめてバルブを開いて行く。大体ポンベが空になった頃素早く引き抜いて新しい次のポンベに嵌めてバルブを開く。この操作を繰り返しながら必要量の水素を注入するのである。この際高圧水素を噴出させるためか電位が高まり、放電して危険であるからポンベに水を注いでアースさせこの危険を防ぐのである。

このタコ足を使用する方法は簡便であることは確かである。

しかしロクーンの場合はこのような方法でかなり多量の水素ガスが漏洩し、かつアース不完全で万一にも発火すれば大変である。できる限り完全なアースをとる必要

がある。ポンベの運搬も本庄実験の2日目のような場合、多数の人手と時間を要することは不便である。平地でなく不整地の場合は1本ずつ担がなければならない。バルブの操作も一括した方が有利である等の考慮から第1、2図の写真に示すポンベ21本を3段に俵積みにした運搬車を試作した。第1号車を5月7日の地上テストの際試用して関係者のご意見を伺い、これを折り込んで2号車を製作した。7月の沖付海岸のダミーテストから大小バルーン用にそれぞれ1台ずつ使用した。

海岸の砂地が所により軟弱な部分がありジープで牽引しても通過困難なところがあった。今少しタイヤを大きくしたいがその他の点では満足すべきものであった。

構造を簡単に説明すると、台車は三点支持である。前輪は X, Y, Z 3 軸のまわりに回転できるようになっていて不整地の通過と、小回りをよくする点を考えてある。車輪数は写真の通り前後とも各4輪で合計8本のタイヤで支えられている。台車の上面にポンベの直径に合わせた弓形の凹み8個を持つ木製の台を取り付け、この上に水平に 6m³ の水素ポンベ8本を、その上に7本さらにその上に6本、合計21本のポンベを俵積みにして鎖2本で締め付ける。各段ごとに 20φ の銅パイプに連結しこ