

上昇速度計および排風速度計とその測定結果

岡 本 智

1959年2月埼玉県本庄における実験では、前述のように、小バルーンの切離しができず、また吊り下げたゾンデも故障したので正確な数値は不明であるが、あらかじめ計画した上昇速度 230~250 m/min よりも早い速度で上昇したらしく、放球後 63 分で大バルーンは満膨張になる途端に破裂したのが南天赤道儀で直接確認された。このように大バルーンが破裂することはロクーンの場合重大な問題である。

ポリエチレン製のバルーンに限らず、旧式なバルーンでも高空で破裂した例は一再ならずあるようである。たとえば 1934 年 1 月にはソ連で 3 名搭乗のバルーンは高度 20.5 km で突如破裂し乗員は墜死しており、同年 7 月には米国で同じく 3 名搭乗のバルーンエクスプローラ第 1 号が 17.7 km の高度で破裂し、高度 1 km あたりでさらに爆発したが、幸い乗員はパラシュートで降下し無事に助かっている。

この外にも実験や観測の大型バルーンが破裂した例はいずれの国にも少なからずあるようである。しかしその原因については高空大気の異常振動説のようなものがあるにはあるがあまりはっきりした説明はなされていない。

現在わが国ではこのようなバルーンの破裂を避ける方法として離昇速度を 250 m/min 以下にとることが目安とされている。これは 1954 年頃来朝された英国の Powell 教授が、精密ゾンデを使って実験した結果を説明されて以後のようである。

説明によると、離昇速度を 300 m/min 以上にすると 250 m/min 以下にした場合に比べて、高空での上昇速度の増加が著しく大となり、まれに 1000 m/min を越すことがある。低速の場合バルーンの境界層は層流で、熱の出入りは小であるが、速度が大になると乱流になり、熱の出入りも大となって、温度逆転層以上では内部の水素が温められてますます上昇速度は大きくなり、満膨張以後はついに余分の水素を排風口から吐き切れずに破裂するとのことである。

この説明が正しいとすれば、ロクーンの場合、所望地点の所望高度からロケットを発射するために、高空の風速分布いかんによっては不都合なこともあり得るのでなんらかの対策が必要となる。また一般問題としてもバルーン破裂の真因を確かめておくことは意味のあることと考えられる。

この観点から、われわれは 7 月の青森実験の際上昇運

動中のバルーンの状態を調べる実験を行なった。

別稿 14 ページ第 5 図にこの時使用したロクーンの装置を示した。まずバルーンの内外の差圧を測るために大バルーンの頂上に凹みをつくり精密差圧計を、バルーンの膜温を推定するためにバルーンの 2 カ所にサーミスタを貼りつけ、大バルーンの排風口には風車型の排風計とこの中にも 2 箇のサーミスタを取り付けて、排風速度と排風温度を、またダミーロケットの下の計器桿の一端の水平リング中にやはり排風計とまったく同型の風車型の上昇速度計とこの中に 1 箇のサーミスタを取り付けた。写真 1, 2 に計器の取付けを示す。

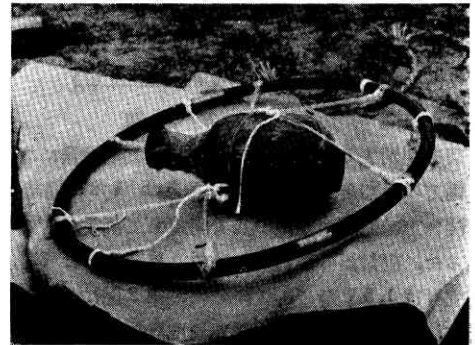


写真 1 排風計

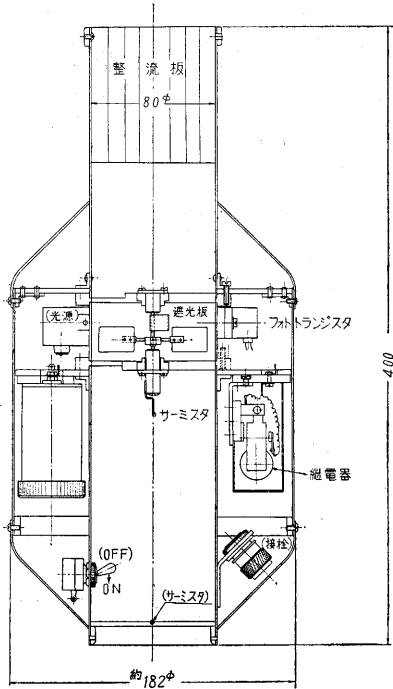


写真 2 上昇速度計 (右端)

この外関係計器として精密気圧計、ゾンデがあるが、ここでは上昇速度計および排風速度計について報告する。

両計器とも平尾教授の発案で風車型にした。第 1 図にその構造を示す。雲母の薄片を翼にした極めて軽い風車をピボット軸受で支えてある。摩擦も慣性も極めて小さいので流通気体の密度差による風車回転数の変化も僅少で一次的には無視し得る程度である。これは別項のように生研玉木研究室で取っていただいた校正曲線からも分

かることである。風車の翼の取付角は約 1° で上方入口には整流板を嵌めてある。回転数を測るには風車軸に取り付けた遮光板で1回転のうち 180° だけフォトトランジスタの光路を遮断して矩形パルスを出す仕組である。この遮光板に工夫を施してパルスの波形から風車の回



第 1 図

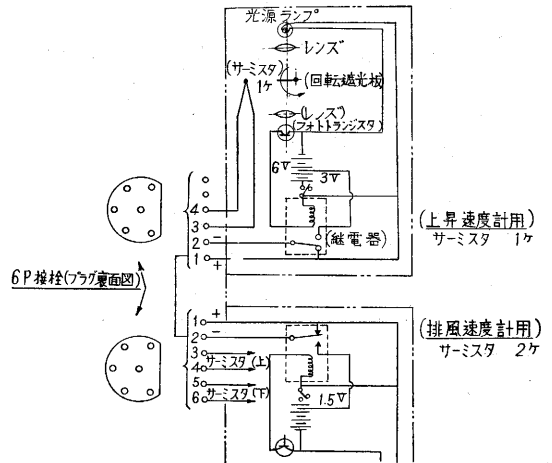
転方向を判別することも考えたが、あまり複雑になり、また両方の計器をテレメータの第 3 ch 1本に同時に乗せる関係上、記録の整理の点も考慮して割愛せざるを得なかった。両計器の区別のために上昇速度計は 3V、排風速度計は 1.5V のパルスにした。第 2 図にその結線図を示す。なお前述のように排風速度計には風車軸の下と念のために通風管出口近くにそれぞれ 1 箇所ずつのサーミスタを、上昇速度計には風車軸の下に 1 箇所のサーミスタを取り付け、これらサーミスタは他のサーミスタとともにテレメータの第 4 ch に乗せた。地上で低温テスト等予備実験をした後使用したが作動はまったく満足すべきものであった。

実験結果

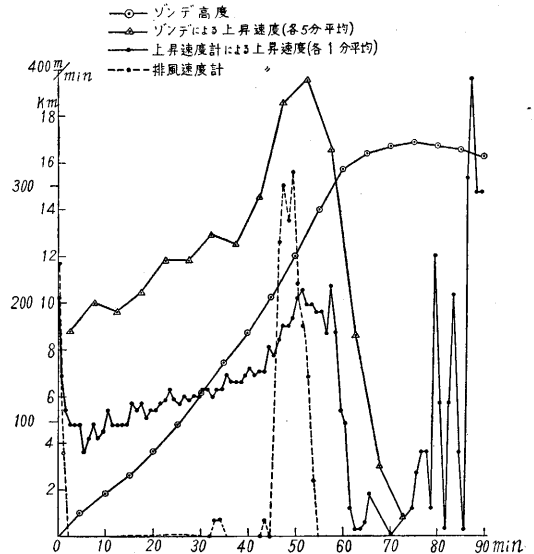
第 3 図はこれらの実験結果を示す。横軸は放球時を 0 とした経過分数である。ゾンデによる到達高度、ゾンデによる 5 分間平均の上昇速度、上昇速度計の回転数による上昇速度 (その点の 1 分間平均) 同じく排風速度計による排風速度をそれぞれ示す。

第 4 図に 46 分から 53 分までの間の排風速度計の風車

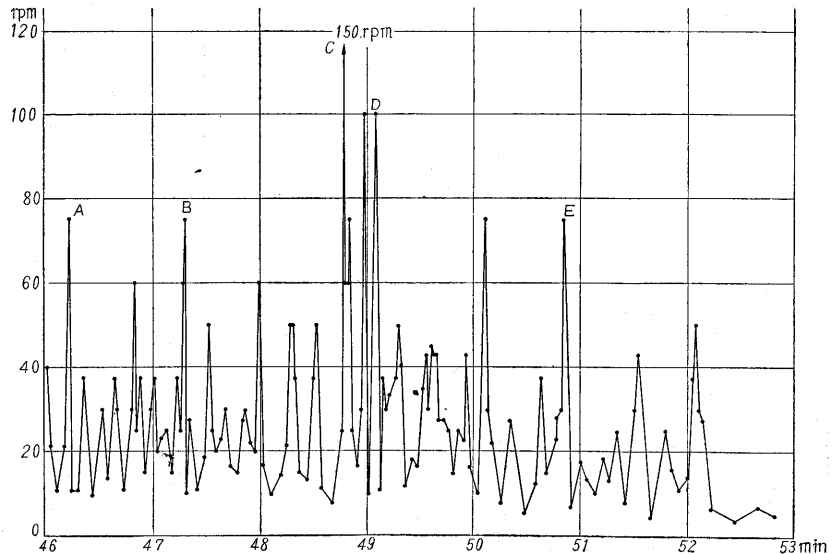
第 4 図→



第 2 図



第 3 図



1 回転ごとの回転速度で排風速度の時間的変化を詳細に示す。

なお温度関係のデータは別項にゆずる。

結果の考察

上昇速度について、ゾンデによるものに比べて上昇速度計によるものの値が約 60% になっているのは、玉木研究室の風洞で大バルーンの後流の影響を調べる追加実験(別項)をやっていた結果から修正するとちょうど一致するので、明らかに大バルーンの後流の影響と考えられる。また曲線に小さな凹凸が不規則に出ているのもこのためと思われる。上昇速度計による値が浮遊状態になった後に極端な値を示しているが前述した通り構造上計器の下から上に空気が流れた場合、回転数の区別はつかず、意味の無い値となるのでこれに相当すると考えられる。また上昇速度が低空から高空に昇るにしたがって約 2 倍に増加しているのは、比較的 low 空の強い西風に乗せて東方に流す目的で別項 14 ページの第 5 図に示すように 5.6 kg の砂時計式の錘を吊り下げ、低空での自由浮力を小さくし高空に昇るにしたがって自由浮力が大となるようにしたこと、大バルーンの形を胴長にしたための抵抗変化が普通形のバルーン程大きくならないことの両方が原因しているためであろう。

次に排風速度計についてであるが、この結果ははなはだ興味ある値を示した。第 3 図のように放球後約 45 分高度約 10 km で突然排風し約 10 分間で終わっている。計算された満膨張高度よりはるかに低い高度である。それ以前にも回転しているがこれは多分大バルーンが空気を吸い込んでいたものと考えられる。したがって前にも述べた通り構造上この値は考察に値するほどの精度はないと考えられる。

大バルーンを含めて総重量 102.7 kg に約 8 kg の自由浮力(この内 3 kg は頂部のゴム気球)を与えたのであるから、最初に加温器を通さず約 100 m³ の低温の水素ガスを 1300 m³ の大バルーンに注入したことになる。温度変化を無視すれば、水素ガスは高度 10 km で約 400 m³ に膨張しているに過ぎない。満膨張になって排風を始めたことは、それまでに約 800~900 m³ 程度の空気を吸い込んでいたことになる。排風計の止まった高度 14 km においても水素は大バルーンの容積の約半分程度に過ぎない。排風計は止まっているが上昇は約 17 km の高度まで、上昇速度は次第に減少しながら続いている。排風計の感度以下の排風速度で当然排風は引き続いて行なわれたであろう。ちなみに高度 17 km で水素の容積は大バルーンの約 80% に膨張した計算になる。空気と水素の密度差は大きいながらもちろん稀釈されて、上昇速度の減少し始める頃から水素と空気の混合状態で排風され、ついに自由浮力が零になって浮遊状態に入ったの

であろう。

したがって第 4 図に示した排風はほとんど空気が吐き出された状態を考えられる。排風口径は 0.8 m で、高度 10 km から 14 km まで上昇する時の平均流出速度は 4.0 m/s に過ぎないが、図中の A, B, E, と C および D 点の排風速度はそれぞれ 11.1 m/sec, 19.6 m/sec, 14 m/sec である。かりに流出係数を 1.0 としてこのための大バルーンの内圧上昇を計算すると、A 点で約 0.2 mb, C 点で約 0.7 mb, D 点では約 0.3 mb となる。流出係数と計器の誤差を考慮すればこれらの値は今少し高くなる。現用のポリエチレン製の大型バルーンの内圧は大体 1 mb 前後であるから、荷重により頂部にかかる内圧、数分の 1 mb を合わせ考えると、バルーン頂部の膜が裂けることも十分考え得る値となる。

一般にバルーンの内圧の大きさを決めるには満膨張になった後、余分の水素が静かになめらかな連続流として吐き出され、このための内圧上昇を 0.1 mb 程度に抑えるように計算し安全係数 0.2 位が使用される。

われわれがこの実験に使用したバルーンの内圧は上記のような計算の後さらに 2 倍の大きさの面積にした。安全係数を 4 倍にとったことになる。にもかかわらず上記のようなかなり危険と考えられる状態になった。普通の排風口にしていただければ内圧上昇のピークは 4 倍になり、これだけで破裂することも有り得たはずである。

バルーンの直径を 10 m として上昇速度のレイノルズ数を計算すると、低空で 2.0×10^6 高度 10 km で 1.3×10^6 程度になる。バルーンのようなものについての実験データが無いので、正確に判定はできないが、他の場合から推定すれば、バルーン境界層は低空ですでに乱流になっていると考えられる。

定性的ではっきりしないのであるが Powell の説明のような場合が温度逆転層以上では、あるいは起こり得るのかも知れないが、少なくともバルーンが満膨張になるや否や破裂する原因については、排風の初期に吐き出されるのは水素ではなくて空気であること、しかも相当激しい脈動を伴って吐き出される点を考慮しなければならないであろう。この脈動のピークにおけるバルーンの内圧上昇はバルーンが破裂するに足る値になり得ることがこの実験によって明瞭になったと考えられる。

最後に種々意見をいただいた平尾教授、面倒な注文に快よく応じて計器の製作や地上実験にご協力下さった東京精密測器 K K, 低温試験にご便宜をはかって下さったジーゼル機器 K K の石山誠一氏、較正実験、追加実験をして下さった生研玉木研究室の方々およびデータの整理に協力して下さった田中千恵子氏に厚く御礼申上げる。

(1960, 1, 21)