

# ロケット搭載用抵抗線歪計と白金線温度計

森 大 吉 郎 ・ 富 田 文 治 ・ 岡 田 繁

## 1. はしがき

カップ6型ロケットに用いた抵抗線歪計と白金線温度計について概説する。6月に実験した K-6-1号機は歪計と温度計を搭載した。歪計、温度計はともに全トランジスタ製である。ついで9月に実験した K-6-3,4号機にはメインロケットの4ヶ所の温度測定を実施した。

## 2. 抵抗線歪計

回路方式は前稿<sup>2)</sup>とほとんど同じでトランジスタを使用した歪計である。(写真1)感度および精度,安定度等の諸特性もかわりない。しかし,今回の実験では,1台の歪計でブースタステージではブースタの尾翼の応力を測定しメインステージではメイン・ロケットの尾翼の応力を測定するために,ブリッジ部の接続

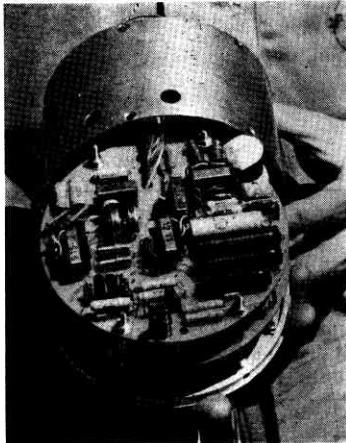
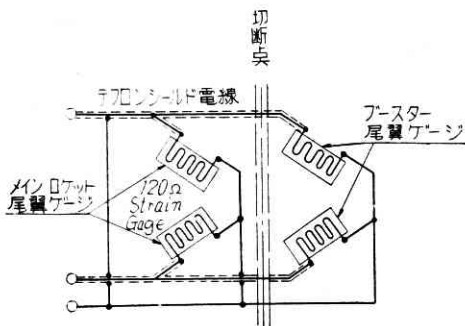


写真1 トランジスタ型抵抗線歪計



第1図 抵抗線歪計のゲージ部

方法を変更した。すなわち第1図に示したようにブースタ段階ではメイン・ロケットのゲージとブースタ・ロケットのゲージを並列に接続して測定するのである。これは、ブースタステージではメイン・ロケットの尾翼は接合部で固定されていてほとんど応力が加

わらないと思われ、ブースタの尾翼の歪のみが測定されることになるからである。そしてこのような接続では歪感度(応力-抵抗変化特性)は約1/2になるがブースタ尾翼の応力が大きいことが考えられたので、メインステージよりも感度を落とす必要があり、その点ではむしろ好都合であると思われた。

ゲージを並列接続したときの歪感度について検討すると、抵抗値  $R\Omega$  の抵抗線歪ゲージが歪のために、ごくわずかに抵抗値が変化しただけとしてその変化を  $\Delta R$  とする。このときに抵抗値  $R\Omega$  の応力のかからないゲージを1枚並列に接続して、これらの合成抵抗を計算すると

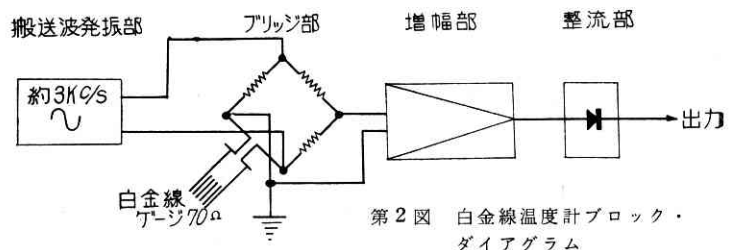
$$\frac{1}{\frac{1}{R+\Delta R} + \frac{1}{R}} = \frac{R(R+\Delta R)}{R+(R+\Delta R)} \approx \frac{1}{2} \left( R + \frac{\Delta R}{2} \right)$$

ただし  $\Delta R \ll R$

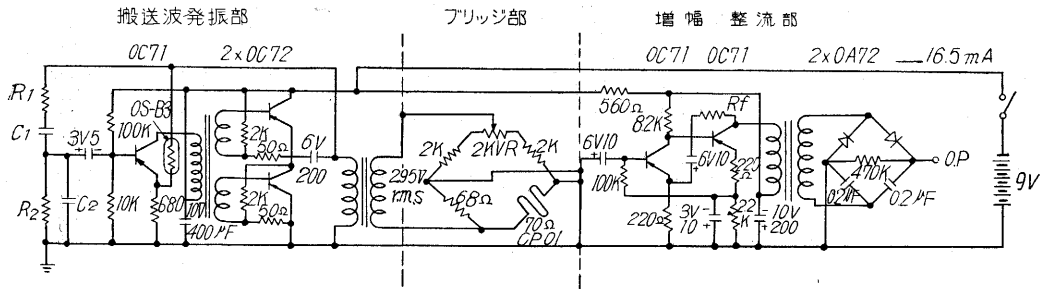
このような抵抗でブリッジを形成し、ブリッジを定電圧電源に接続すると、 $\Delta R$ によって生じた不平衡電圧はゲージ1個の場合の約1/2となり、この値は実測感度曲線とよく合致する。

ブースタとメインの切断のときには、ロケットの接合部付近でゲージ接続用のリード線の一部に細い部分を作っておき、その部分が機械的に軽いショックで切断されるようにした。この部分は約250grの荷重で切れるから、ロケットの切りはなしには何も機械的な影響はない。切れた部分は電気的にも絶縁されるようになっているので、測定器の回路部分にも悪影響がない。

テレメータのチャンネル数が限られていて、しかも搭載計器の形状、寸法ともに制限がある。そこでなるべく数多くのデータを得たいという希望のもとに、種々の計画、実験検討の結果このような方式を採用したのである。しかし実際の飛しょう時には、ランチャー台上でブースタとメインを接合する作業中に、リード線の一本が切断されたので、ブースタ尾翼の応力測定を断念し、メイン尾翼の測定のみを行なった。新方式の効果を収めることができなかったのは残念であるが、メインの応力測



第2図 白金線温度計ブロック・ダイアグラム



第3図 白金線温度計回路図

定は別稿のテレメータ記録のように、その結果は前稿<sup>1)</sup>と大差なく、6型の場合も5型の場合と似た傾向を示している。

3. 白金線温度計 (カッパ6型-1号機用)

白金線温度計は野村助教が開發<sup>2)</sup>されカッパロケットにたびたび使用されて来たので、今回もその方式をそのまま踏襲し、ただ回路をトランジスタ化した。

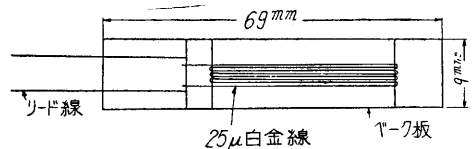
第2図のブロック図に示すように回路は発振周波数約3Kc/sのウィーンブリッジ型RC低周波発振器と70Ωの白金線ゲージを一边とするブリッジ部およびトランジスタ2段よりなる低周波増幅回路と倍電圧整流回路で構成される。

回路図を第3図に示す。試作にあたっては周囲温度変化による零点のドリフトを極力減少させるように留意した。トランジスタ回路では温度特性が一番問題となるからである。設計基準としては0~300°Cの温度変化に対して直流出力が500KΩ負荷のときに0~+5Vになるようにすること、白金線が、25μ程度のものであるために、自己加熱を起こさぬよう白金線に流れる搬送波電流を1mA程度に制限したことなどである。

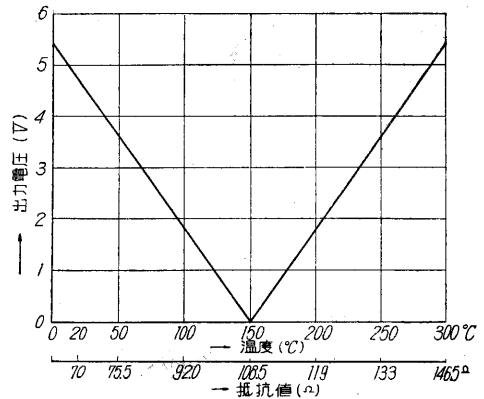
すでにわれわれは抵抗線歪計をトランジスタ化してロケット飛ばし中の尾翼がうける応力を測定した<sup>1)</sup>。その諸特性はロケット搭載用としての条件を備えており、方式も温度計と大差がないのでなるべく歪計の回路を生かすようにした。しかし歪計と温度計とでは抵抗値変化の程度がぜんぜん異なり、歪計は10<sup>-4</sup>の歪に対して、抵抗値変化はせいぜい2×10<sup>-4</sup>であり高利得の増幅が必要である。一方温度計は0~300°Cで約120%も変化する。このように抵抗値の変化が大きいため温度計のブリッジは定電流型とし、増幅器の利得もずっと減少させて2段の増幅回路とし総合的な電圧利得は46dbとなるようにした。そのために増幅器の設計は非常に楽になり、安定度、直線性、S/N比等諸特性の良好な回路を作ることができた。なお回路部分は尾翼の歪を測定する歪計と組み合わせて一つの筐体に収納し電源電池を共用した。歪計を含めた全部の重量は950gr、温度計単独では400grである。また温度計としての寸法は電池および平衡調整用VR、スイッチ等を含めて125φ×30mmhとなった。当初の計画では歪計と温度計の搬送波発振器を

共用して一回路とし、増幅回路のみそれぞれ専用にする予定であったが、発振器が故障すれば歪計も温度計もともに測定不能となるので、やり直し不可能という実験の特殊性にかんがみ多少の重量体積増加(発振回路1セットは20×40×30mm、重量110gr)は止むを得ないとして正規の完全な回路をそれぞれ組み込んだ。

白金線ゲージは第4図に示すように25μ白金線をベークライト板(0.08mm厚)上に抵抗線歪ゲージと同様に貼付したもので常温における抵抗値は約70Ω(69~71Ω)である。



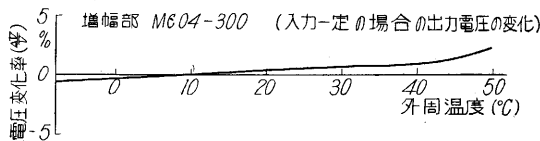
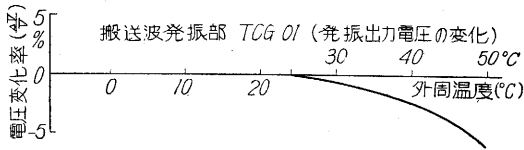
第4図 白金線ゲージ



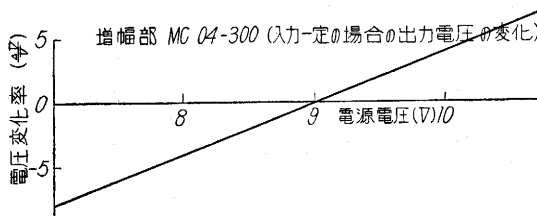
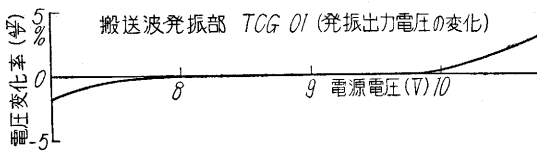
第5図 温度(抵抗)変化—出力電圧特性

この白金線ゲージと第2図の回路とを組み合わせた時の温度—出力特性を第5図に示す。白金線ゲージの実測した温度—抵抗特性は理論値とよく一致するのでブリッジの白金線ゲージを標準可変抵抗器でおきかえて較正したものである。なおこの図では150°Cを0Vとして直線が折れ曲がって対称的な特性を示しているが、これはテレメータへ送り込む出力は0~5Vと制限されており実験の温度があまり高すぎればover scaleしてしまい、逆に低すぎれば測定精度が低下する。その上に2段式ロ

ケットにおいては温度上昇もブースタ段階とメイン段階において2段階の変化を示すのでこの両方とも精度よく測定するために0~5Vのレンジを倍に拡大したのである。すなわちブリッジは150°Cで平衡するように調整し、常温および300°Cにおける不平衡をほぼフルスケール(+5V)の出力となるように感度を設定する。温度変化の傾向が複雑なときには使用不可能であるが、ロケットのような場合には時にこの方法も面白い。この方法はすでに野村助教授<sup>2)</sup>が実施されているところである。



第 6 図 外周温度の影響



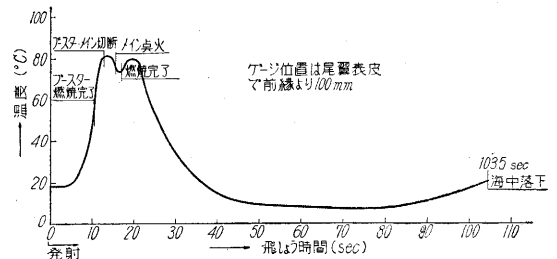
第 7 図 電源電圧変動の影響

次に回路の外周温度の影響と電源電圧変動の影響を第6図および第7図に示す。トランジスタは外周温度の影響を大きく受ける。周囲温度が変化すると利得や内部雑音量が変化するので、この影響に十分注意しなければならない。回路については各部に温度補償を行なっているので第6図に見られるように常温付近での変化は少なく発振部と増幅部の両者が逆の傾向を示しているので、相殺され-10~+40°Cの範囲では、温度変化による指示の変化は±2%以内に入る。雑音レベルは約-80dbであり温度による変化もないので、ほとんど問題にならない。電源電圧が変化した場合の発振出力電圧および増幅

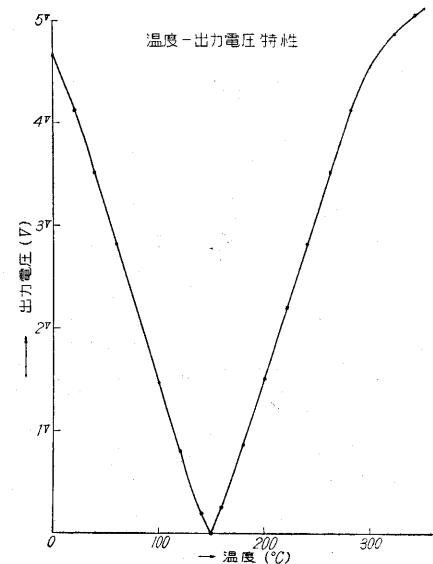
部出力電圧(入力一定)の変化を示したのが第7図であって、発振部電圧はある範囲内では変化しないが、増幅部の利得はほとんど直線的に変化する。したがって電源電圧が9V±1V変化したときに増幅部における指示は±4%変化する。

使用した電源電池はマンガン電池の単三型のものであり、周囲温度が極端に変化しなければ電池電圧の変化はごくわずかである。またこの回路全体での電源電流は16.5mAであり、一方の歪計は25mAである。両者で単三乾電池電源を共用して連続使用したときに、電源電圧が1V低下するまでの時間は約60分である。実際のロケット飛ばし時には、全体を組み立て、最後の調整時間を含めても、電池使用時間は20分以下であるから要求を満足するといえる。

回路部分は3mm厚で110φのパーク円板上に取り付けられ70gの衝撃的加速度に耐え得るものである。



第 8 図 カップ 6 型-1 号機尾翼温度測定結果

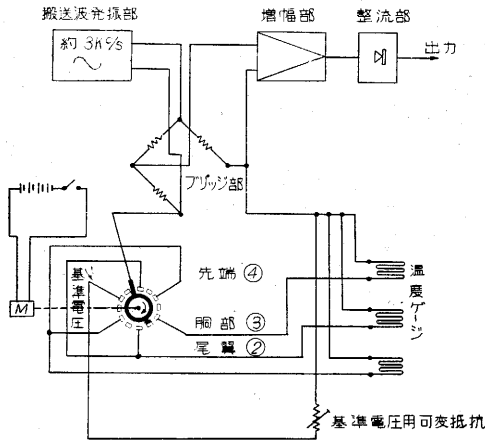


第 9 図 温度—出力電圧特性

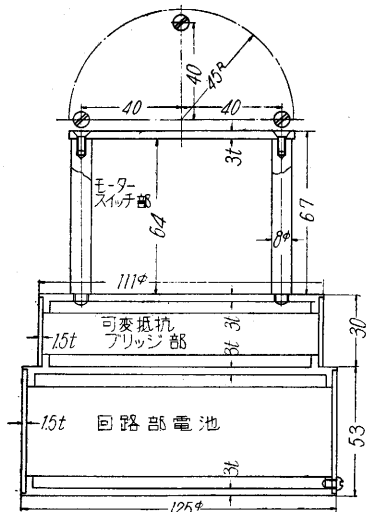
ゲージ貼付位置は尾翼付根付近で前縁より約100mmの個所である。測定結果を第8図に示す。メインの燃焼が中絶したため温度上昇は予想より低かった。

4. 白金線温度計(カップ 6 型-3.4 号機用)

カップ 6 型-3.4 号機用の温度計は回路構成は前述の



第 10 図 切換スイッチ部ブロックダイアグラム



第 11 図 温度計構成

カツパ 6-1号機用と大差ないが、多点測定を実行したこと、出力回路を少し変更したことが異なっている。

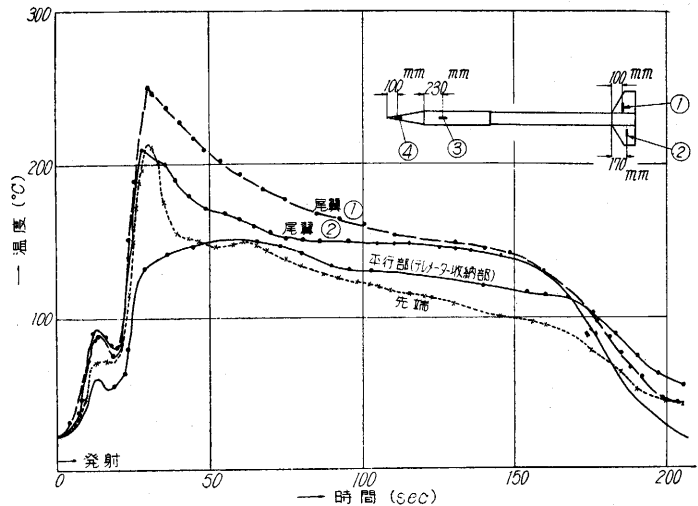
テレメータへの出力回路には 6V のツェナー・ダイオードを接続してリミッタとし、出力電圧が規定値を超過しないようにした。したがって感度特性の 5V に近い部分で、ダイオードの内部抵抗の影響があらわれて、多少の特性が曲がった。第 9 図に特性曲線を示す。

また今回は温度測定を重視し、多点測定を行なう必要があったので 2 チャンネルの割当を受け、一つのチャンネルは最も重要な尾翼前部のみを固定して連続的に測定し他のチャンネルでは各点を切り換えて測定することにした。すなわち 2 段のロータリースイッチをマイクロモータによって回転させて、時分割により選択測定した。ロータリースイッチは 12 極のものを 1 点おきに 6 回路として使用し、第 10 図に示すように、先端、胴部および尾翼の各点を順次切りかえてゆき、基準電圧が一点入

るようになっている。これは半固定の可変抵抗器を使用してブリッジから一定の不平衡電圧を出す方式であるから 0~5V までの任意の電圧を出力端子から出すことができる。

切換速度は一点のサンプリングが約 1 秒で 1 回転は約 7 秒かかる。この速度を速くすると微細な変化まで測定できるが読みとりが困難となる。測定対象が温度変化であってあまり早くはないのでこの切換速度でまず十分であった。

これらの部分を第 10 図に示す筐体に組み込んだ。これは計器をノーズコーンの部分におさめるために階段状になっているのである。重量は約 900 gr で、構造は約 50 g の衝撃に耐えるもので、振動試験においても異状なく動作した。



第 12 図 カツパ 6 型-3 号機温度測定結果

3号機の測定結果を第 12 図に示す。テレメータ記録より読み取ったもので、最高温度は発射後約 30 秒で 250°C に達している。

この実験では 3 号機、4 号機とも同様な記録がとれ、多点測定も成功したので、これにより 6 型メインの各部の温度の状況の概要を確記することができ、設計上大変有益な資料を得た。

装置製作に当っては松下通信工業 K K の中村日色課長以下各位に負うところが多い。(1959. 5. 5)

文 献

- 1) 森・富田・岡田：生産研究 Vol. 10, No. 10, p. 296(1958)
- 2) 野村・山本：生産研究 Vol. 9, No. 4, p. 194(1957), Vol. 9, No. 11, p.460 (1957), Vol. 10, No. 10, P. 299 (1958)