

ロクーンにおけるテレメータの実験について

テレメータ研究班

斎藤 成文・野村民也

1. ロクーン用テレメータ装置の特殊条件

観測ロケット用テレメータ装置としては、地上発射ロケットを対象とする限り、すでに多数の経験を重ねて実用的に十分な性能を示すに至っている。ロクーン用テレメータ装置の場合には、ロケットに搭載する送信機の機械的強度、すなわち、耐振動性、耐衝撃性などの問題は多段式の地上発射ロケットでは振動や衝撃が繰り返し作用するのにくらべれば、むしろ楽であるとも考えられ、従来の経験を基礎に妥当な設計を行なうこともでき、また種々の地上試験を行なうことも可能である。しかし、ロクーンでは、放球後ロケットが発射されるまで、長時間にわたる浮遊状態を経過する点で、地上発射ロケットの場合とは異なっていくつかの問題を臆している。

電源の問題：テレメータ送信機は、ロケットが発射されるまでの浮遊期間中においても連続的に動作していることが望ましく、そのためには、容量として2時間以上の使用に耐えるものが必要になる。これをロケット内に装着すれば重量、容積の増加がロケットの上昇性能に大きく影響することになり、一方、容量の大きい電源部を外付する方式では、内臓電源との切替えなどの点で、必ずしも動作の確実を保証しがたい危険をもっている。

温度の問題：ロクーンの浮遊高度では、外気温度は零下50～60°Cに達する。一般に電源電池の能率は低温でいちじるしく劣化し、また、内部抵抗の増加により放電時端子電圧も低下する。場合によっては、電池の凍結のおそれもある。一方、送信機自体は数十Wの電力を消費するから、適当な熱の放散がなければいちじるしい温度上昇をもたらすこととなり、回路部品の損傷から、ひいては送信機の故障を誘発するおそれがある。この場合、上空における日照の影響も同時に考慮せねばならない。もとより、送信機の各部は、地表における動作状態と同じ条件にあることが望ましく、そのためには熱の受授の関係が適当になるよう配慮することが必要である。地上発射ロケットの場合には、飛しょう時間が少ないため、以上のような点はあまり問題でなく、むしろ空力加熱によるロケット温度上昇の影響に十分注意しなければならない。すなわち、配慮の対象は両者おのずから異なっているといえる。

気圧の問題：ロクーンの浮遊高度における大気圧は数十 mmHg 程度になるから、気圧低下による放電の危険

を防止するために、送信機は気密容器内に格納する必要がある。この点は地上発射ロケットの場合でも同様であるが、地上発射の場合には、飛しょう時間が短いために若干の漏洩があっても動作に支障がないことが多い。すなわち、気密容器としてはさほど高度のものでなくとも良いが、ロクーンに用いるものは、十分、嚴重な気密保持の設計でなければならない。

動作の安定性：送信機各部の動作の安定は、電源変動や動作温度などによって影響されるが、動作が長時間にわたるロクーンの場合は、地上発射の場合よりも一層全動作期間を通じての安定度を確保することが難しい。少なくとも、地上発射の場合以上の安定度を目途として回路構成、部品の選定などの点に吟味を尽くす必要がある。

以上の諸点は送信機に関するもののみを挙げたが、そのほかにも、たとえば、ロクーンの浮遊は水平距離にして100～150 kmにもおよび、一方、最終高度は15～20 kmであるから、この状態における電波の伝播条件は、地上発射の場合とは比較にならぬくらい悪いことなども問題となるところである。

これらの問題点のなかには、地上において設計の可否を検討できるものももちろんあるが、大部分は、実際の飛揚実験に際しての資料集積を必要とするものである。これらの資料の集積を行なうこともロクーンにおけるテレメータ実験の一つの目的であった。

2. ロケット搭載テレメータ送信機の設計方針について

ロケット搭載のテレメータ送信機は、ロケットの到達高度を上げる目的からは、できるだけ小型かつ軽量であるべきことは論をまたぬところである。この線に沿って本庄における予備実験までの段階では、設計はかなり切りつめたものであった。しかし、設計が妥当であるためには、前述のような諸点に関する十分な資料を用意する必要がある、それによって初めて合理的な小型、軽量化を図ることが可能になる訳である。こうした意味から、青森における実験以降では、資料の集積を第一義とすることが、設計の根本方針となった。この方針に基づいてとられた措置は下記のような諸点である。

チャンネルの増加：従来は極力送信機を小型軽量化するために、チャンネル数は1～2であった。しかし、開

発段階では、チャンネル数は多々ますます弁すべきであって、この点は地上発射ロケットの場合も同断である。しかし、重量、容積にはおのずから実際の制約があるから、これと見合うものとして、青森実験以降ではチャンネルの数を5に増し、さらにそのうちのいくつかのチャンネルは機械的コミュニケーションによる時分割多重を採用して、極力、計測項目の増加を図った。これにより青森予備実験に際しては、別記のように、温度計測16点のほか、7種類の各種計測を実施している。

傍熱管の採用：直熱管は電力消費が少ないので電源容量が少なく済み、機器の小型、軽量には好都合であるが、一方において、製品の均一性に欠け、また、回路構成上の制約から、安定度、信頼度が害われる欠点がある。傍熱管には、電源の重量、容積の嵩む欠点はあるが、信頼度の高い機器を作ることができることは、従来の地上発射ロケットにおける経験に徴しても明らかであることから、青森実験からは、すべて傍熱管を採用することに改めた。

電源：補助電源を外付し、これをロケット発射とともに内臓電源に切り替える方式は、本庄実験に際して採用されたが、動作の確実性の点で疑問があるところから、すべて内臓する方式を採用することにした。この場合には前項の傍熱管の採用と相まって、極力電源の容積、重量の軽減を図るとともに、安定度を確保できることが問題である。信頼度を高める上からは、電源の構成はできるだけ単純であることが望ましく、いろいろの種類の電池を併用することは避けるべきである。このような見地から、主電池は Yardney HR-15 を4個使用し、これを加熱電源に用いるとともに、これで静止方式による DC-DC コンバータを働かせ、陽極電源としている。消費電力は全部で約 36W で、放電電流は約 6 A、2時間半にわたる連続使用に堪える。この電源部の重量は約 1.5 kg である。

温度：小さな容積の場所に多数の電子回路部品が格納され、しかも密閉構造で約 40W の電力消費量のあるところから、温度上昇はいちじるしい。したがって熱放散を極力良くして、温度上昇をできるだけ抑える必要があるが、一方において HR 型電池の低温特性は良くないから、電池の部分は保温されていなければならない。熱は浮遊に際しては伝導によりロケット本体に伝わり、さらに放射と対流により大気に逃げることになるが、適当にそれらの調和をとって、温度条件を所望の状況にすることは、まだ未解決である。第1次青森実験の際には、気密容器に格納した送信器を黒色塗装のロケット内に装着し外側には電池の部分までを掩うようにポリエチレンのカバーを付した。第2次青森実験では、塗装なしのロケット外壁をそのまま気密容器として送信機を装着し、カバーはかけなかったが、これは第1次実験で、温度上昇が

電池の部分で約 30°C に達し、また送信機内部も地上における試験にくらべて高温になる結果から採られた措置であって、若干温度上昇を防ぐのに効果があったようである。また、第2次青森実験の際、吊下げ部に装着した日電テレメータ送信機は、内面黒色塗装、外面金属地肌の気密容器に格納し、カバーを付さないで用いられたが、内部温度は最初 50°C 以上であったものが飛揚後漸次低下し、約 1 時間で 25°C になっている。構造も異なることであるから一概にはいえないが、これらの結果は、浮遊に際し送信機の温度を適当にコントロールすることの可能性を示すように思われる。

安定度：最も問題になるのは副搬送周波数の安定度である。温度条件が苛酷であるから、部品はこれに適合しうる規格において選定しなければならない。しかし、長時間にわたる安定度は必ずしも十分ではないから、可能な限り校正装置を付加し、信頼度の向上を期することとした。校正装置を送信機に付加するか、計測器に付加するかは、総合的見地よりいずれが有効であるかを判断して決定すべきことである。別稿のように、温度計測では校正は計測器側が受け持っているのは、このような観点からである。

3. 回線設計

改善限界受信レベル以上における信号対雑音比の確保は地上発射ロケットの場合と同様であるから、問題はそれだけの受信レベルを維持できるかどうかにある。スパンを 200 km とし、送信電力を 1W とすると、411 Mc/s の搬送波を改善限界レベル以上で受信できるためには、15 db の利得の受信空中線を必要とする。ただし、送信空中線利得 0 db、受信機帯域幅 300 kc/s、雑音指数 6 db とし、送受信フィーダ損失と不整合損合を総合して 3 db およびマージン 20 db を見込んでいる。このような性能の受信空中線としては、別稿のように、4 素子八木空中線を 4 組複合したものを用いている。

4. 日電テレメータ送信機の併用について

日電テレメータ送信機は、地上発射ロケット用のものの改造であって、これを使用した最初の目的は、将来のカップ 8 型に備えて、到達距離の限界に関する資料を得ることにあつた。すなわち秋田に設置されているテレメータ装置は、到達距離 150 km を目標に設計されているが、果たしてそれだけの能力があるかどうかを、ロクーンの飛揚を利用して実際に測定することにしたのである。

第1次青森実験の際、ロケットに装着されたテレメータ装置は、ロケット本体に関する計測と、気球その他に関する計測の双方を行なった。そのため、各種の結線がいちじるしく複雑になり、これをそのまま第2次青森実験に踏襲すると、ロケット発射時に種々の障害になるおそれがあった。そこで、日電テレメータ送信機が伝播実験の目的を兼ねて、吊下げ計器の部分に装着された計測

器その他の動作の計測を分担することとし、一方、明星電気のテレメータ送信機は、ロケット内に装着された各計測器の計測をのみ行なうことに改めたものである。

5. 計測項目

(1) 本庄予備実験 (昭和 34 年 2 月)

1, 2 号機とも、テレメータ送信機は 2 ch. で、一方は $-10^{\circ}\sim+70^{\circ}\text{C}$ 、もう一方は $0\sim70^{\circ}\text{C}$ の温度範囲に定めて、推葉模型各部 16 点、ポリエチレン・カバー内 1 点、テレメータ室内 1 点、計器収納魔法瓶内 1 点、合計 19 点の温度測定を行なった。

(2) 第 1 次青森実験 (昭和 34 年 7 月)

1, 2 号機ともテレメータ送信機は 5 ch. で、その計測項目は下記の通りである。

- ch. 1 温度計 (高温域), ポリエチレン試験片
- ch. 2 温度計 (低温域)
- ch. 3 上昇速度計, 排風速度計
- ch. 4 精密高度計, 差圧計, 太陽電池
- ch. 5 ゾンデ符号

ch. 1 および 2 の温度計は較正装置内臓で時分割多点測定が行なえるものである。ch. 3 はパルスの高さで 2 種類の情報を弁別する方式、ch. 4 はテレメータ送信機に付属の時分割コンピュータにより多重化を行ない、較正電圧が加えられるようにできている。それぞれの詳細は別稿を参照されたい。

(3) 第 2 次青森実験 (昭和 34 年 9 月)

1, 2 号機とも、ロケット内に明星電気 5 ch. テレメータ送信機を搭載し、吊下げ部に日本電気 3 ch. テレ

明星電気 5 ch. テレメータ送信機

ch. 1	ジャイロ Y 軸
ch. 2	ジャイロ Z 軸
ch. 3	加速度計 (X_1, X_2)
ch. 4	ピラニエ圧計 (2 点), ピラニエ温度 (1 点)
ch. 5	スピン計 (1 号機) 宇宙線計数器 (2 号機)

ch. 1~4 は 1, 2 号機とも同じ計測項目。

日本電気 3 ch. テレメータ送信機 (1 号機)

	タイマー作動前	タイマー作動後
ch. 1	天 頂 輝 度 計	ジャイロ起動電流
ch. 2	天 頂 輝 度 計	タイマー作動時刻
ch. 3	ゾ ン デ 符 号	

日本電気 3 ch. テレメータ送信機 (2 号機)

	タイマー作動前	タイマー作動後
ch. 1	太 陽 電 池	ジャイロ起動電流
ch. 2	テレメータ容器内温度	タイマー作動時刻
ch. 3	ゾ ン デ 符 号	

メータ送信機を装着した。それぞれの計測項目は左表のとおりである。

日本電気の送信機は、タイマーに設けたスイッチにより情報入力端を切り替え、その作動の前後で上記のように計測項目を変更している。

6. 実験結果の概要と考察

(1) 本庄予備実験

1 号機は飛揚に失敗したが、この際回収した機器をそのまま 2 号機に用い、放球後約 60 分で大気球破裂、落下に至るまで、テレメータ送信機はおおむね正常に作動し、また計測器も正常であった。伝播経路が大部分陸上で見透しが失われる恐れがあるため、館野で back up の受信を行なったが、本庄で最後まで受信が可能でありほぼ所期の目的が果たせられた。飛揚全期間を通じ、副搬送波周波数の変動は情報最大変化量に対し約 5%であったが、較正信号の挿入によって、温度計測の精度は大約 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲に収められている。

(2) 第 1 次青森実験

1 号機は大気球ランチャーの事故のため飛揚に失敗したが、2 号機は正常に飛揚し、約 95 分で落下、受信不能に至るまで、テレメータ送信機は正常に作動し、また、各計測器の動作もおおむね正常であった。

テレメータ送信機内部温度は 80°C を超え、予期以上の高温になることが示された。しかし、測定点が真空管の真近であったことから、平均温度はこれより低いものと考えられる。電池室温度も $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ を示しており、電池寿命が予定の 120 分を下回り、落下の頃にはほとんど尽きていた徴候のあるところから、温度上昇を押える方策をたてるべきことが痛感された。

(3) 第 2 次青森実験

1) 1 号機 (昭和 34 年 10 月 1 日, 6: 36 a.m.)

放球後 36 秒で小気球の切離しが加速度計により確認され、また 71 分 07 秒でロケット発射になったことが同じく加速度計により確認された。地上受信空中線は垂直偏波であるから、ロケットが水平になると受信不能になる。72 分 18 秒でこれに該当するとおぼしき受信レベルの急低下が認められ、74 分 01 秒で受信は完全に途絶した。これが海中落下であって、これからロケット発射後の全飛しょう時間は 174 秒、水平になったところを頂点とみれば、頂点までは 71 秒ということになる。

送信機内臓のコンピュータ周期より推定した電池電圧は、放球後 5 分でほぼ一定になったことを示している。これはまた、同じく 5 分以降では、送信周波数がほとんど一定になったことから裏書きされる。送信機各部の動作は極めて安定で、発射時の衝撃にもなんら異常を呈することがなく、機械的強度も十分であることが確かめられた。

受信信号レベルは、直距離約 100 km でマージンは約

13 db であった。この値は回線設計での予期した値を若干下回っているが、実用的には 200 km の伝達は現行方式で十分可能であることが確認できたことになる。

以上はロケット搭載テレメータ送信機に関するものであるが、吊下げ部の日本電気テレメータ送信機の作動も正常であった。受信レベルは 71 分 06 秒まで極めて安定であったが、それ以降は変動が極めて多くなり、75 分 36 秒で受信が途絶するに至った。種々の徴候から、71 分 06 秒以降、吊下げ部は落下状態にあったと推定され、その時刻はほぼロケット点火の時刻に一致しているが、吊下げ計器が焼切り装置によって落下となったのか、ロケットの噴焰によって落下となったのかは、焼切りタイマーの作動確認の手段を講じていないから明かではない。

タイマーの作動は計測項目の変更およびジャイロ起動スイッチの投入を確認し、アンケージおよびイグナイタ投入未確認のままロケット発射となった。信号の記録からアンケージの未確認は、ジャイロ用の外付リード線の脱れていたことによるものであり、一方、イグナイタ・スイッチは、並列 2 回路あり、動作の確認はその一方についてのみ行なっている関係で、たまたま、確認をとっている方のスイッチが動作しないか、あるいは非常に遅れたものとすれば、投入未確認のままにロケットの発射される可能性がある。前述の結果は、こうした現象によるものである。

ジャイロ起動スイッチは投入されたが、起動電流の存在を示す信号は表われていない。起動電流は、アンケージ電流とともに、外付リードによってジャイロに加えられるようになっているから、前述のように、リード線が脱れていたとすれば、起動電流信号がでないのも当然といえる。

落下になるまでの全期間を通じての受信信号強度は、計算による期待値とよく一致しており、伝達実験としての当初の目的は完全に果たすことができた。これによって、将来のカッパ 8 型に対しては、現有のテレメータ装置で十分であることが実証された。

2) 2 号機 (昭和 34 年 10 月 1 日 10:31 a.m.)

加速度計により放球後 34 秒で小気球の切離しが行なわれたことを確認し、飛揚はほぼ順調に行なわれたが、ロケット発射予定時刻の約 6 分前、放球後約 54 分から急に受信信号の状況は不安定となり、落下の様相を示した。記録はかなりの雑音に埋もれているが、それでもそのなかから、ロケット点火と推定できる加速度の変化を拾いだすことができ、これにより、落下しつつロケットは予定のように点火され、正常な燃焼を行なったことが確認された。ロケット点火は 59 分 11 秒で、約 26 秒後、59 分 37 秒で信号は途絶し、海中に突入したと考えられる。落下に至るまでの期間におけるテレメータ装置

の作動は完全であった。

ジャイロの起動は吊下げ部のテレメータにより確認されているが、ジャイロのポテンショメータ電源が 57 分 51 秒に事故を起こしたため、動作信号はえられていない。

吊下げ部のテレメータ送信機は、放球時に地面に衝突したが、回路各部には何の損傷も受けなかった。ただ、空中線が曲がってしまったために、スピンに伴うレベル変動が著しくなった。しかし、改善限界以下にレベルが下がるほどのことはなく、57 分 02 秒に落下状態となつて、著しく受信が不安定になるまで、雑音の混入もなく、情報は完全に記録されている。落下に先立って、タイマーによる計測項目の変更、ジャイロ起動が確認され、また、アンケージ、イグナイタ投入の各段階も確認されている。イグナイタ投入時刻は 59 分 05 秒で、一方、加速度計によるロケット点火の時刻は 59 分 11 秒であるから、時間間隔は 6 秒である。前述のように、イグナイタの投入確認は 2 回路並列のうちの一方についてのみ行なっているのであるから、上記の間隔は必ずしも遅延イグナイタの遅延時間を示すことにはならないことは注意を要すべき点である。タイマー作動信号は、不測の事故による障害のないことを第一義としたため、以上のようなあいまいな点が残る結果となった。将来は十分検討して、極力確定的な方式とすべきであろう。

7. 結 言

第 1, 2 次青森実験を通じて、新たに開発されたテレメータ送信機は、ロクーンの特長条件をある程度まで克服して所望の性能を発揮するものであることが実証され、また、ロクーンの実用的なスパンである 200 km 程度まで、十分使用できる見通しをえたことは貴重な収穫であった。それと同時に、各種の基礎資料が豊富にえられ、ロクーンの開発に寄与することができたことは何よりのことと考える。

現在、地上発射用テレメータ送信機は 5 ch. で総重量は 2.3 kg、そのうち電源部を除くと約 1.5 kg である。一方、青森で用いたものは、同じく 5 ch. で総重量は 3.85 kg、そのうち電源部を除いた重量は約 2.3 kg で地上発射用のものに比べると、若干重量が多い。ロクーンの特長条件、特に気密の問題から構造重量の増加は避けられぬところであるとはいえ、重量の軽減は今後の改善の対象として考慮すべき問題といえる。また今回はロケット装着の空中線に従来のコーン・ダイポールを採用しているが、構造的に若干の不利も認められ、新形式の空中線の開発が必要であろう。今回の一連の実験は、ようやくロクーン・テレメータ実用化の端緒を開いたものというべきであって、さらに総合的に性能向上を期すべきであると考えている。(1960. 1. 25)