

# 最近の観測ロケット用エレクトロニクス

野 村 民 也

## 1. は し が き

1955 年、ベビー T 型をもって幕を明けた観測ロケット用のエレクトロニクスは、最初の 5 年間に、当初の目標であった IGY の観測に必要な最小限のシステムをつくり上げ、さらに大型化に踏み出したロケットによる高性能の観測の実現へと、新しい発展の段階を迎えるに至った。

1960 年におけるカッパ 8 型の完成は、観測の高度および観測機器搭載可能重量の点で、飛躍的増大をもたらした。しかも、これによって大型ロケットの開発のための基礎技術が確立し、その後の発展は、かなりはっきりした年次的な計画をもって進めうるようになった。

最近の 5 年間における観測ロケット用エレクトロニクスのあゆみは、こうした情勢を背景にして、複雑かつ大型化しつつある観測上の要求に対して、高い性能と十分な能力をそなえたシステムを実現することにあり、そのために必要な多くの新しい技術の開発が行なわれた。こうした点は、初期の 5 年間にあっては、エレクトロニクス諸装置の信頼性がいまだ十分確立されておらず、そのためどちらかといえば“確実さ”ということに主眼をおいて、控え目な態度でシステムが考えられたのとは大きな違いである。

観測ロケットは、ラムダ 3 型に至って遂に高度 1,000 km を超えるところまで成長した。エレクトロニクス諸装置も、ロケットの進歩に雁行して順調なあゆみを示してきたが、これは、それまでに緒についていた技術を、効率よく伸ばしたものであった。

今後は、新たにミュー型ロケットおよび科学観測衛星の時代に入ることになる。これに伴って、エレクトロニクス諸装置も、従来と異った観点から開発を進める必要がある。あらゆる面で最高の技術を駆使せねばならない点では、観測ロケットの場合よりも一層条件はきびしくなっている。既に必要な研究は始められているが、観測ロケットのエレクトロニクスも、これに伴って、また新しい生長の途をあゆむことになるであろう。

## 2. テレメータ装置

大型化して高高度に達するようにロケットがなるとともに、テレメータ装置は、より多くの測定量を、より遠距離に伝送しうるようにすることが要求される。以下、それぞれについて、どのような方策が講ぜられて現在に至っているかについて述べることにする。

### 2.1 テレメータチャネル数の増加

IGY 計画の開始に当って計画したテレメータ装置のチャネル（同時に伝送可能な測定量の数）は、5 であった。これは今からすればいかにも少ないとも思われるようだが、当時としては誠に当をえたものであった。すなわち、飛しょう性能試験用としては、縦加速度、横加速度、振動、ひずみ、温度など、必要なデータをとることが可能であったし、また、観測用として

も、当時のカッパ6型程度のロケットでは、これ以上のものがあっても、計器搭載可能重量および容積からいって、実際問題としてそれを活用することはむずかしかったであろう。

7~10 kg というカッパ6型の計器搭載能力に対して、カッパ8型のそれは、一挙に5倍に増大した。これに伴って、宇宙線と電離層、大気光と電離層といった組合せで、何種類かの観測項目を複合することが可能になり、また、それぞれの観測項目も、内容において一層高度なものになるに至って、テレメータのチャネル数を増加させる必要を生じた。

#### [a] テレメータ送信機のトランジスタ化

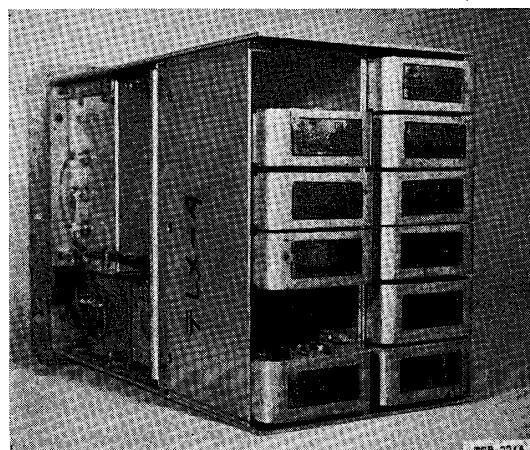
FM-FM 方式のテレメータでは、チャネル数の増加は、システムとして大幅な変更は不要で、送信側において所定の副搬送波発振器を追加し、一方、地上装置において、対応する副搬送波復調装置と記録装置を追加すれば足りることである。しかし、実際問題としてチャネルの増加を可能にしたのは、それまでに基礎開発を終っていた副搬送波発振器のトランジスタ化をあげなければならない。

現在でこそ、わが国のトランジスタ工業はめざましいばかりの躍進を見せているが、IGY の計画当初はまだまだトランジスタを使用して何かをするということ自体が一つの技術的成果たりえた時代であった。しかし、ロケットに搭載する電子機器のトランジスタ化ということは、当然、予見されていたことであったし、われわれも、1957年頃から、テレメータ送信機をトランジスタ化する計画は進めていたのである。

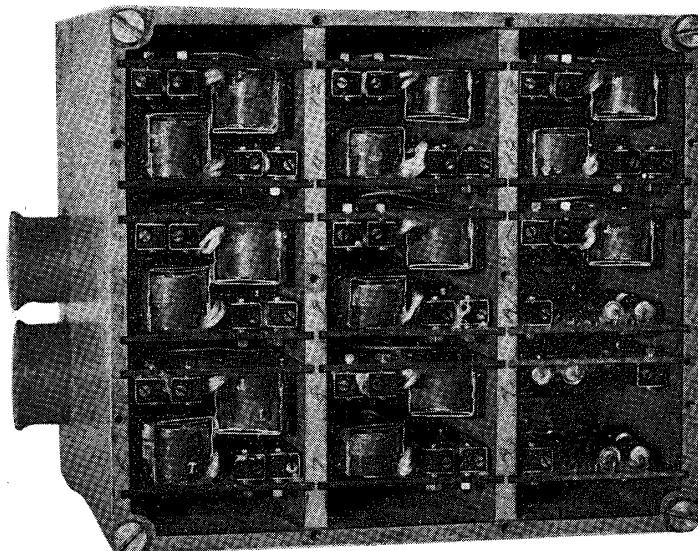
しかし、当時はいまだ“良い観測器”よりも“確実なロケット”をということで、電子機器はロケットのために多くのデータを集めねばならなかった。新しい技術の導入には、それが安定に使えるようになるまで、常に失敗の公算がつきまとっている。新しい電子機器のために、こうしたリスクをおかすことは、ロケット開発プログラムの歯車のかみ合わせを狂わせることになりかねない。そのため、“手なれた”真空管方式のテレメータ送信機が引き続いて使われたのであるが、その間、実験室では、着々と基礎開発が進められ、1960年初めには、各種の試験に合格して、安心して使用できるトランジスタ回路が、テレメータ送信機用として完成していたのである。

真空管方式では、一つの副搬送波発振器ごとに3本の真空管が使用されており、消費電力は、陰極加熱のためだけでも、6.3 V, 0.6 A で約 4 W であり、これに陽極電源のそれを加えると、約 5 W となる。テレメータのチャネルを 10、あるいはそれ以上にしようとすれば、真空管方式では、増大する電力消費のため、第1に自己加熱による温度上昇の問題により、第2には電源電池の容量増加のために、テレメータ送信機を適正な重量、容積におさめて製作することは、非常に困難である。

こうして、1960年後半からは、カッパ8型用として、トランジスタによる副搬送波発振



カッパ8型用 10 チャネル  
テレメータ送信機



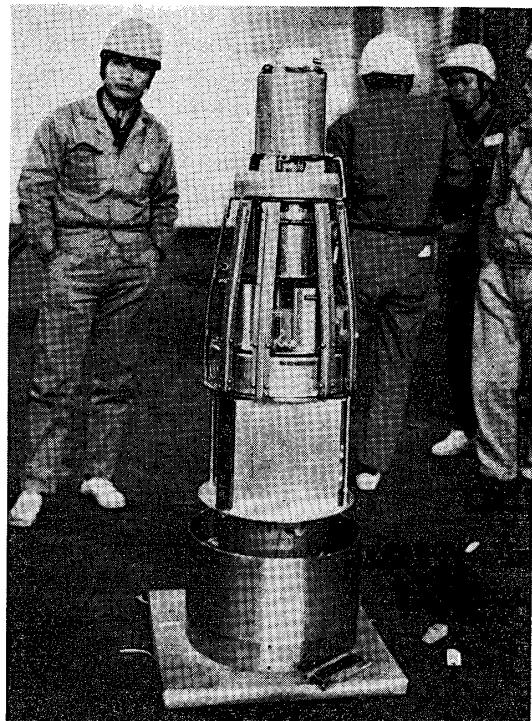
15 チャネルテレメータ送信機

器を用いた 10 チャネルのテレメータ送信機が用いられるようになった。当初懸念された機器内温度の問題も、適当な熱遮蔽の採用によってほとんど支障とならず、むしろ、真空管方式にくらべて、遙かに信頼性の高い伝送が可能となった。現在は最高 15 チャネルまでのテレメータ送信機まで実用になっている。

#### [b] テレメータ送信周波数

ラムダ型のロケットの登場とともに、搭載可能の計器重量、容積はまた、一段と大きな飛躍を見せた。1963 年のラムダ 2 型においては、計器搭載重量は約 150 kg となり、テレメータとしても、20あるいはそれ以上のチャネルが必要となった。

FM-FM 方式では、送信側に必要な数の副搬送波発振器をそなえれば、いくらでも多くのチャネルを得ることができるはずであるが、実際にはチャネル相互の間の漏話が増すため、一つの送信機あたり、10~15 程度が限度である。したがって、数多くの情報を同時に伝送しようとすれば、これらをいくつかに分けて、それぞれを、別な送信周波数で送信することが必要となる。また、ラムダ 3 型のように、第 2 段目および第 3 段目を、ともに観測用として使う場合にも、それぞれに、別な周波数で動作するテレメータ送信機を搭載しなければならない。こうして、テレメータ用と



ラムダ 3 型 3 号機の観測機器

して、ただ1波しか割当てがない状態では、支障をきたす時期が到来した。

わが国の現状では、スペース用の電波に対して、電波行政上からは、必ずしも強い保護が与えられていない。IGY計画の当初から、テレメータ用として割当てられていた225 Mc/sの電波は、増加するテレビジョンのチャネルの前に、1965年をもって廃局すべきことが要望される始末である。

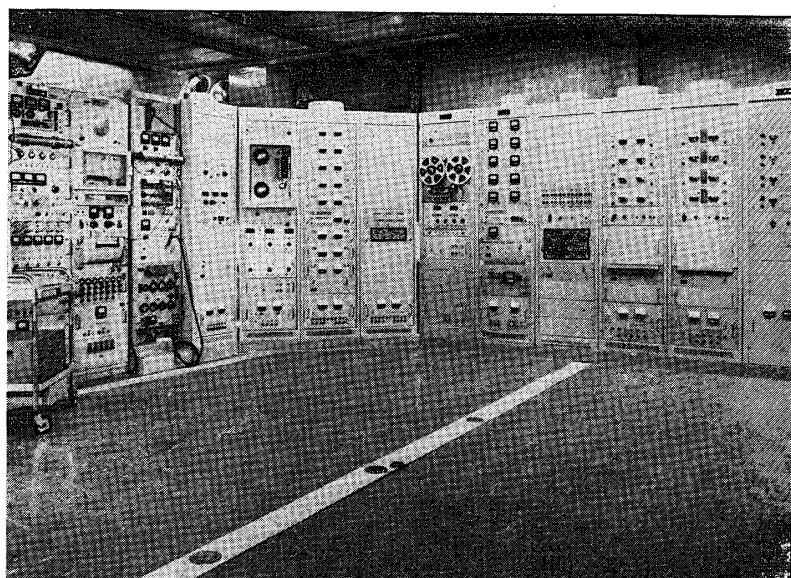
周波数の変更は、地上における受信空中線や受機の設備変更を要する点でまことにぐあいが悪く、少くとも周波数の割当てに際しては、長期的な見通しのもとに、長期間にわたる使用に耐えるように配慮さるべきものである。従来使用してきた225 Mc/sの廃止の問題を契機として、電波管理当局と種々折衝の結果、わが国のスペース用テレメータ周波数としては、将来の需要も考慮して、295.0, 295.6, 296.2および298.1 Mc/sの4波を確保しうることになっている。

第1表 テレメータ受信記録装置

	#1	#2	#3
受信周波数	295.0～298.1 Mc/s	295.0, 295.6, 296.2 298.1 Mc/s	295.0 Mc/s
受信空中線	4素子ヘリカル空中線	4素子ヘリカル空中線	18mφパラボラ空中線
副搬送波復調器	10	15	15
副搬送波周波数	No. 4～No. 13	No. 1～No. 15	No. 1～No. 15
記録装置	3トラックテープレコーダ 2トラックテープレコーダ 32チャネルペン書きオシログラフ 12チャネルフォトコーダ		2トラック テープレコーダ 16チャネルペン書き オシログラフ

副搬送波番号	中心周波数 (c/s)	下限周波数 (c/s)	上限周波数 (c/s)	レスポンス (c/s)
No. 1	400	370	430	6.0
2	560	518	602	8.4
3	730	675	785	11
4	960	888	1,032	14
5	1,300	1,202	1,399	20
6	1,700	1,572	1,828	25
7	2,300	2,127	2,473	35
8	3,000	2,775	3,225	45
9	3,900	3,607	4,193	59
10	5,400	4,995	5,805	81
11	7,350	6,799	7,901	110
12	10,500	9,712	11,288	160
13	14,500	13,412	15,588	220
14	22,000	20,350	23,650	330
15	30,000	27,750	32,250	450

こうして、現在、鹿児島宇宙空間観測所には、第1表に示すような、3系統、総チャネル数40におよぶテレメータ受信記録装置が設置されている。10年前に、ベビーT型でわずかに4チャネルのテレメータが試験されたこととくらべると、観測ロケットの仕事の規模の増大には、目を見張らせるものがある。

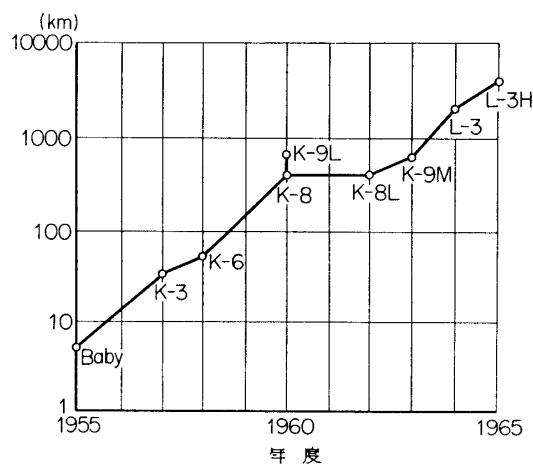


テレメータ受信記録装置

## 2.2 通達距離の増大

IGY計画の当初、観測ロケットの目標とした到達高度は80kmであり、これからエレクトロニクス諸装置は、通達距離150km程度をもって計画が進められた。しかし、年とともに通達距離の増大が必要とされた情況は、第1図に示すとおりである。

遠距離において通信ができなくなるのは、受信される信号の電力がしだいに微弱になって、遂には雑音のためにじょうらんされてしまうためである。したがって、通達距離を拡大する



第1図 通達距離の増大

ためには、i) 雑音の混入をできるだけ少なくする、ii) 受信信号電力を大きくする、iii) 雜音に強い通信方式を使用する、などの方策があり、これらは順次、テレメータ装置に採り入れられてきた。

#### [a] 雑音の減少

通信の妨害になる雑音には、空中線を介して外界から混入する分と、受信装置自体から発生する分がある。衛星通信に使用される数 Gc/s といった周波数帯では、空中線の構造の当否によって、外界から混入する雑音は大きく左右されるが、現在のテレメータが用いている 300 Mc/s 程度では、空中線の構成を変えても外界から混入する雑音はあまり変わらない。結局、雑音を少くするには、受信機から発生する雑音を極力小さくすることが必要である。

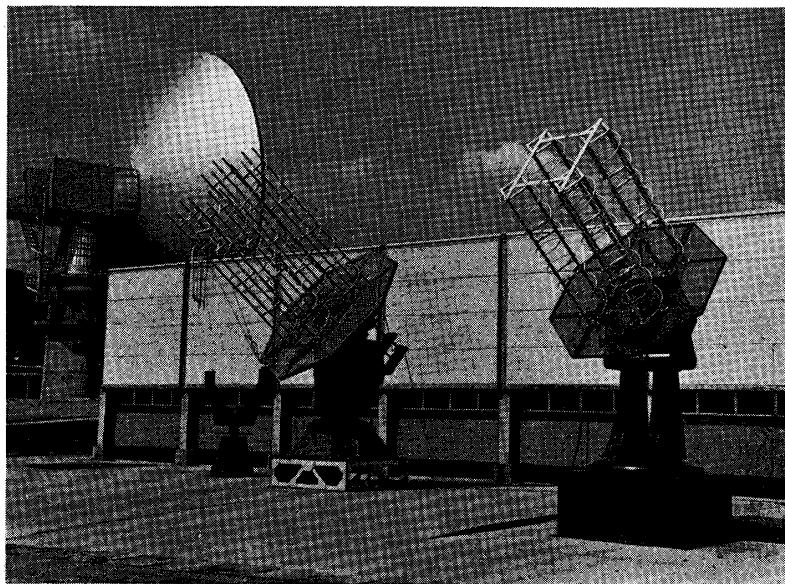
受信機の進歩を雑音指数であらわせば、1955 年当時に 7~8 db であったものが、1960 年には、低雑音真空管と同軸型増幅回路の採用により 4~5 db となり、さらに、現在は 1.8 db のパラメトリック増幅器ができている。これとともに、当初、衝撃その他による周波数変動を懸念して、約 3 Mc/s と必要以上に広くとった復調前域幅は、技術の安定とともに、1/6 の約 500 kc/s に狭められ、これらを総合しての受信機雑音電力は、当初の 1/12 から、1/24 に減少されている。これは、通達距離にして 3.5 倍から 5 倍の増大に相当している。

#### [b] 受信信号電力の増大

受信信号電力が増せば雑音によるじょう乱が小さくなるので、それだけ、遠距離よりの通達が可能になる。

信号電力を大きくするための最も簡単な方法は、送信電力を増すことである。しかし、送信電力を増すことは必然的に送信機の重量、容積の増大をもたらすので、最も好ましくない方法である。結局、地上の受信空中線を高感度にして、できるだけ多くの電力を受信できるようにすることが必要である。

ロケットから送信される電波は、球面波として伝播する。受信電力を大きくすることは、



4 素子ヘリカル空中線

ロケットから受信空中線の有効断面積を見込む立体角を大きくすることであるから、空中線の感度を高めようとすれば、必然的に空中線は大型になっていく。

受信空中線の大型化の第一歩は、それまで、ただ1個の素子を使ったヘリカル型受信空中線を、4素子のものに改めたことに始まった。これによる感度の増加は約4倍で、これだけで受信可能距離は倍に増す。

さらに遠距離におよぶ伝送を目的として、1962年からは、直径18mの大パラボラ反射鏡をもつ受信空中線の建設が始められた。将来にそなえて、7,000 Mc/sまで使用できるように設計したこの空中線の感度は、4素子ヘリカル空中線の約20倍あり、通達距離を4.5倍ほどのがばすことが可能である。

### [c] 高感度復調装置の採用

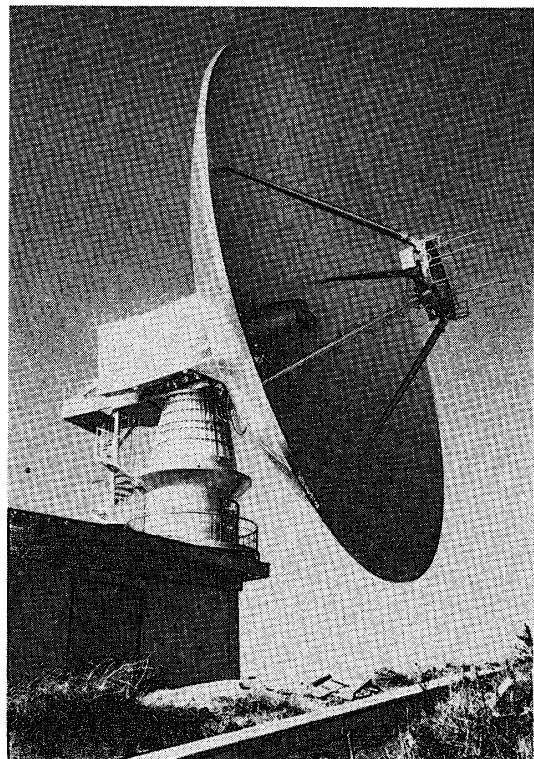
ロケットに搭載する通信装置は、できるだけ重量、容積の低減を図るうえからいって、極力、少い送信電力をもって、所要の情報を伝送しうるようにすることが望ましい。すなわち、こうした意味で、できるだけ効率の高い通信方式を採用すべきである。

こうした効率という点では、FM-FM方式はあまり良いものではない。しかし、一方で送信機器の構成は簡易であるので、実用的には捨てがたい価値をもっており、それゆえにこそ、現在、世界的に見てもなお広く利用されているのである。

普通FM方式で伝送される信号の復調には、振幅制限による振幅雑音の除去を前提としているので、雑音成分が増すと雑音によって振幅制限が行なわれるようになり、そのため、ある限度の信号対雑音比を境として、それ以下のところでは、急激に復調出力の信号対雑音比が低下する性質をもっている。この限界の信号対雑音比をスレショルドといい、9dbないし多少余裕を見れば12db程度の値である。

周波数負饋還復調方式、あるいは位相同期検波方式として知られる復調方式は、普通の振幅制限復調方式にくらべて、より低い信号対雑音比まで、FM方式の利点を保った復調が可能である。すなわち、スレショルドを低くすることができるので、それだけ、受信信号電力が小さくなるまで正常な復調ができることがある。これはそのまま通信距離の増大に大きく寄与することである。

1961年に、14.5kc/sまでの10の副搬送波を±120kc/sの周波数偏移で送信するテレメータ装置において、周波数負饋還復調方式は、スレショルドにおいて、9~10dbの改善をもたらした。これにより、普通の復調方式にくらべて、約3倍に通達距離をのばすことが可能



テレメータ受信用 18 m $\phi$   
パラボラ空中線

となつたのである。

#### [d] 現在のテレメータ通達能力

第2表は IGY 計画の当初における、通達距離 150 km を目標としたテレメータ装置の仕様を示したものである。これを基準として、これまでに述べてきたような通達距離増大のための諸方策が、どのような影響をおよぼしたかを、まとめたものが第3表である。これは、ロケットの姿勢の変化などに基づく利得変動に相当の余裕を見込んだ数字であり、極限の能力はこの3倍以上となっている。

第2表 初期におけるテレメータ装置諸元

送信周波数	225 Mc/s
送信電力	3 W
受信空中線	1 素子ヘリカル空中線、利得 9 db
受信機雑音指数	8 db
受信機帯域幅	3 Mc/s
復調方式	振幅制限・周波数弁別方式
送信空中線利得	0 db
伝送線路損失	3 db
利得余裕	10 db
通達距離	150 km

第3表 テレメータ通達能力の増大

項目	現用装置	改善割合
受信機雑音指数		
同軸増幅器	5 db	3 db
パラメトリック増幅器	1.8 db	6.2 db
受信機帯域幅	350 kc/s	9.3 db
復調方式によるスレッショルド低下	9 db	9 db
受信アンテナ利得		
4 素子ヘリカル空中線	15 db	6 db
18 mφ パラボラ空中線	28 db*	19 db
送信周波数	295~298 Mc/s	-2.5 db
送信電力	0.5~1 W	-7.8~-4.8 db

\* 295~298 Mc/s

総合改善割合

送信電力	0.5 W	1 W
4 素子ヘリカル空中線+同軸増幅器 通達能力	17 db (7.1 倍) 1100 km	20 db (10 倍) 1500 km
18 mφ パラボラ空中線+パラメトリック増幅器 通達能力	33.2 db (45.7 倍) 6800 km	36.2 db (64.6 倍) 9700 km

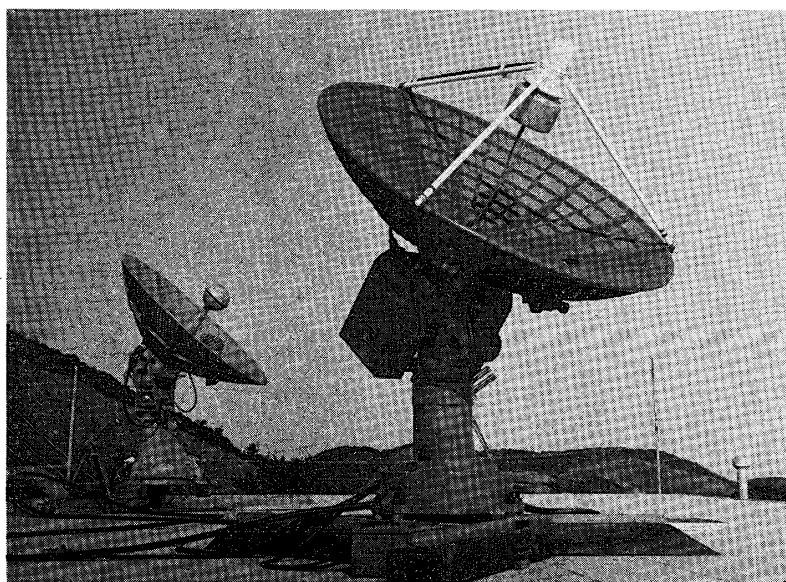
### 3. 自動追尾レーダ装置

IGY 計画が始まった当時、わが国で自動追尾レーダと称すべきものといえば、防衛庁において使用されているものを除くと、わずかに気象庁のラジオゾンデ用のものが知られているのみであった。

これは元来が気球追跡用として設計されたものであるから、追尾の応答速度もそれに見合う程度になっていて、ロケット用としてはもとより不十分である。しかし、若干の性能改善と運用方法を工夫すれば、何とか目的をはたすことはできる見込みであった。何よりも、当時のロケットの能力に見合う程度にトランスポンダを小型化するうえで、ゾンデ用のペンシル管を利用できることは、非常な強みであった。現在に至るまで、われわれのレーダ装置がいわゆるレーダ周波数を使わず、気象援助用の 1,680 Mc/s 帯を用いているのは、そもそもの出発点におけるこうした事情に基づいているのである。

かなりの大きさのパラボラ反射鏡を精密に、しかも速やかに運動させるという機械的部分を含む自動追尾レーダ装置の開発には、産業界がこの方面的経験をほとんどもっていなかつたこともある、種々の困難に逢着したことであった。特にはじめの頃は、ロケットの加速度が非常に大きいに違いないに、飛しょうは必ずしも安定していなかった。そのため、性能を若干犠牲にしても、少しでもデータ取得性を高める考慮も必要であった。1960 年当時、地上の送信および測距受信用にヘリカル空中線をパラボラと別に用いていたのも、かりにパラボラが追尾に失敗したとしても、少くとも距離に関するデータは失われないようにしようという趣旨からであった。しかし、こうした方法では当然通達可能距離は犠牲になっていたのである。

相次ぐロケットの性能向上とともに、増大する通達距離の要求は、こうした犠牲を払うことと許さなくなってしまった。レーダ装置のもつ能力をフルに發揮するとともに、何よりも、信頼性の高い安定した性能をもつことが、重要なこととなつた。こうした方向に沿つて、種々の措置が講ぜられてきているが、そのおもなものについて、概要を述べたいと思う。



新型 2 m $\phi$  レーダ空中線（後方は従来の型）

### 3.1 信頼性の向上——新型 $2 m\phi$ レーダ装置

IGY 計画の当初から用いられてきた GMD-1 A 型の自動追尾レーダ装置は、次々と新しい試みによる実験的改装を受けながらしだいに安定した性能を発揮するようになり、IGY 期間中およびその後におけるロケット実験に、よくその責をはたすようになった。

こうした多くの貴重な経験をもとに、一層安定した信頼性の高い装置の実現を目指として設置されたのが  $2 m\phi$  レーダ装置であって、パラボラ反射鏡の直径が 2 m であるところから、こうした名前で呼ばれている。その特徴とする点をあげると、第 1 に追尾応答改善のために、俯仰軸、旋回軸とも、駆動用にプリントモータを採用したことである。それと共に、駆動の制御に SCR (silicon control rectifier) を用いるようにしたため、従来のサイラトロン制御に比して、格段の安定した動作を望みうるようになった。

第 2 には、地上装置の高周波部を除いては、すべてトランジスタ回路を用いたことである。もちろん、その蔭には温度特性その他に対する慎重な配慮が払われたことではあったが、結果はきわめて良好であって、従来の真空管方式とは格段の、高い信頼性が実現されるに至った。

このレーダ装置の通達能力は、現用の標準型トランスポンダに対して、1,000 km 程度である。追尾精度その他は、あるいは第一級の高性能とはいえないかもしれないが、非常によくバランスのとれた設計であって、いわゆる“使いやすい”装置として、ほとんどあらゆるロケット実験に活躍している。

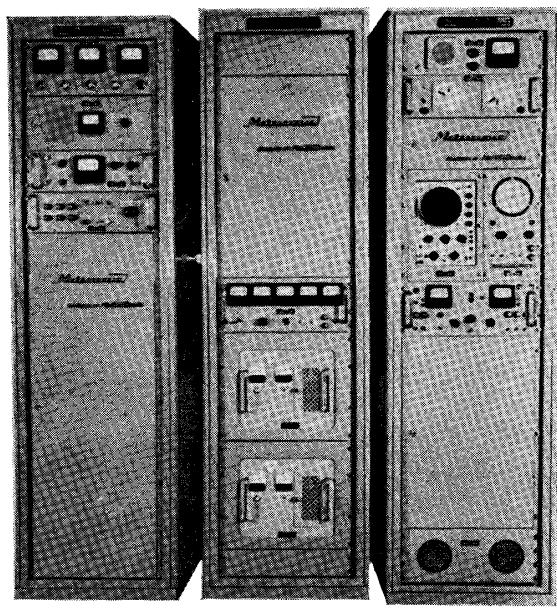
### 3.2 通達能力の増大

#### [a] 大型大出力レーダ装置

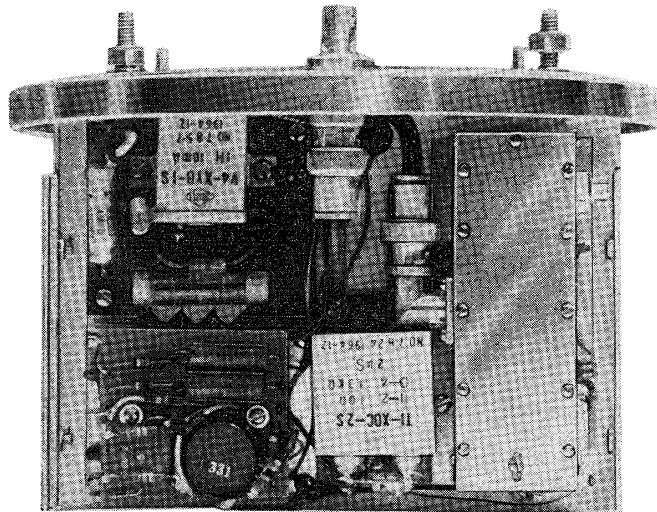
ロケットから送信される信号を受信するだけのテレメータ装置の場合とは異って、レーダ装置の場合には、地上からトランスポンダへの送信と、トランスポンダからの返信波の地上における受信の、双方向の伝送について通達距離増大の問題を考えなければならない。

このうち、トランスポンダから地上への伝送については、テレメータの場合と同様に地上受信装置の雑音を少くし、また、受信空中線の大型化を図ることが有効である。

このうち雑音の低減については、既に 1960 年当時にわが国で最初にパラメトリック增幅器を実用に供し、爾来その効果の著しいことが確かめられている。通常の受信装置に比して雑音は約 1/10 以下であって、これは通達可能距離としては、一挙に 3 倍以上の拡大に相当している。



新型  $2 m\phi$  レーダ装置地上送受信装置

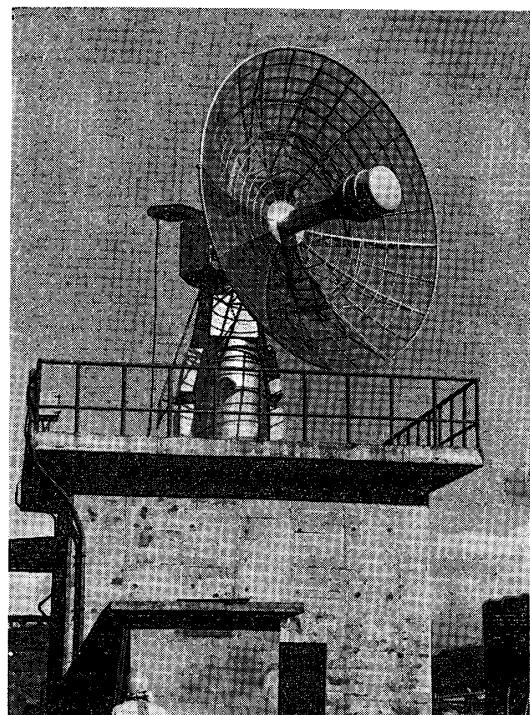


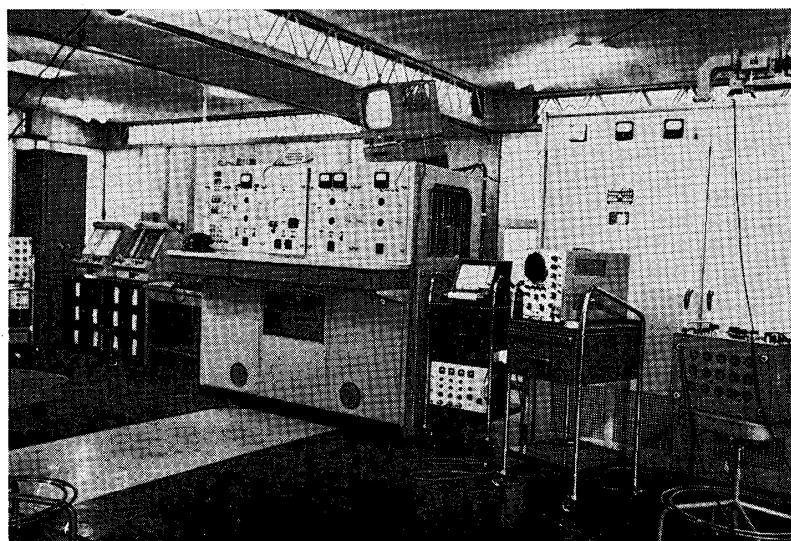
現用レーダトランスポンダ

ロケットに搭載するトランスポンダは、小型、軽量化を図るうえからも、その受信部分の性能を地上装置並みに高くすることは困難である。したがって、地上からトランスポンダに至る通達能力の拡大するためには、大電力の送信を、大型の空中線を用いて行なうことが必要となってくるのである。

こうして、1962年には、順次性能を向上しつつあったロケットに備えて、大型大出力のレーダ装置が設置された。この装置は、わが国において独自に設計製作する自動追尾レーダの最初のものであり、当時として望みうる最高の精度と応答速度に主眼をおいたものであった。

パラボラ空中線の直径を大きくすれば、地上対トランスポンダ、トランスポンダ対地上のいずれの方向の伝送に対しても、ほぼ、その直径に比例して通達距離の拡大を期待することができる。一方、大型の反射鏡を高い精度で、しかも高速度で動くように作ることには、著しい困難がつきまとってくる。こうした点のかね合いから、このレーダ装置ではパラボラ直径を4mに選んだが、仮に現在計画するとしても、やはり同じ大きさにおちつくことであろう。技術的には、きわめて妥当な値であったと考えている。前節で述べた2m $\phi$  レーダ装置と主要諸元を比較したのが、第4表である。通達能力として比較してみると、地上からトランスポンダに至る伝送では、送信電力の増加により約7倍、空中線直径の増大によって約2倍、総合して約14倍の拡大を期待できることになった。一方、ト

4 m $\phi$  レーダ装置空中線部

4 m $\phi$  レーダ装置地上送受信部

第4表 レーダ装置の主要諸元

	2 m $\phi$ レーダ装置	4 m $\phi$ レーダ装置
パラボラ直径	2 m	4 m
地上送信電力(尖頭値)	10 kW	500 kW
動作周波数	1,680 Mc/s	1,680 Mc/s
受信前置増幅器	パラメトリック増幅器	パラメトリック増幅器
受信機雜音指數	2 dB	2 dB
受信機帶域幅	3 Mc/s	3 Mc/s
駆動装置	電動(プリントモータ)	油圧

ranspondaから地上に至る伝送では、空中線直徑の大きくなつた分だけ、2倍の拡大である。

これだけの数字の比較から見ると、両方向の伝送能力の拡大に関しては、バランスがとれていないうに感ぜられるかもしれない。しかし、将来数千kmにおよぶ通達が必要となつた場合、transponderの送信出力を現用の70~100Wからもっと大きく強力なものにすることは可能であり、また、これだけの強力な地上送信能力をもつてば、一次レーダ方式でも使用できることを考慮した結果によるものである。

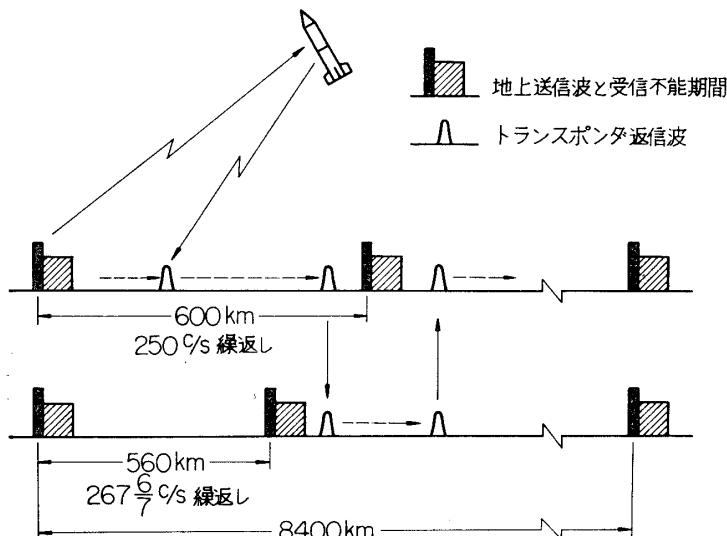
#### [b] 可変繰返し方式

レーダ装置の場合、単に地上受信装置がtransponderからの信号を受信できるからといって、それだけでは通達能力がそれまであるとはいえない問題がある。それは、地上送信の繰返し周波数に基づく制約である。

地上送信が行なわれると、送信波の一部が入り込むため、受信装置は飽和してしまい。それが回復するまでの期間は、受信不能の状態が続く現象がある。ロケットが遠ざかるにつれて、transponderからの返信波が地上に到来する時刻はしだいに遅れていくが、ある距離

のたびに、地上送信が行なわれた直後の受信不能期間中に到来することになって、そこでは信号が失われてしまう。たとえば、地上送信波の繰返し周波数を 250 c/s とすると、地上送信が行なわれてから次の送信が行なわれるまでの時間は 4 ms である。したがって、これだけの時間で電波が往復する距離、すなわち、600 km ごとに、トランスポンダからの信号を地上で受信することができなくなるのである。

こうした障害を取り除く一つの方法は、地上送信の繰返し周波数を遅くすることである。たとえば、繰返し周波数を 100 c/s に下げれば、電波の往復に要する時間が 10 ms までは次の送信波は出ないので、1,500 km まで支障なく受信できるわけである。このようにして、必要な距離範囲に見合うだけ、いくらでも繰返し周波数を遅くすれば良さそうに思われるが、実際には、平均の電力が著しく小さくなってしまうために、雑音によるじょう乱を大きく受けるようになって、満足な追跡を行なうことができなくなるのである。



第2図 可変繰返し周波数方式の原理

になるが両者の位置のズレを利用して、いずれかの繰返し周波数を使って受信不能の期間を避けようというのである。

たとえば最初 250 c/s の繰返し周波数で使用しておいて、距離が 600 km を超えようとする直前に、繰返し周波数を  $267 \frac{6}{7} \text{ c/s}$  の方に切り替える。このときは、既にこの繰返し周波数に対する受信不能期間は過ぎているので、そのまま支障なく受信が継続される。距離が 600 km を超えて、受信不能期間を過ぎたところで再び元の 250 c/s 繰返しにもどせば、そのまま、1,200 km での受信ができる。このようにして、適宜、いずれかの繰返し周波数を使って、受信不能期間を次々と避けて継続した受信ができることになるわけであるが、距離が 600 km と 560 km の最小公倍数である 8,400 km にまで達すると、いずれの繰返し周波数でも同時に地上送信を行なうことになるので、ここが理論上の限界となる。現在のレーダ装置の能力からすれば、これだけの距離にわたって連続受信できるだけになっていれば、むしろ十分と考えて良い。

### [c] 現在の通達能力

繰返し周波数をあまり低くしない今まで、十分な距離範囲にわたって受信不能期間をなくす一つの方法が、可変繰返し方式である。

これを原理的に示したのが第2図である。地上送信の繰返し周波数は、4 mφ レーダ装置の場合 250 c/s と、その 15/14 倍の  $267 \frac{6}{7} \text{ c/s}$  のいずれにも選びうるようにしてある。前者の繰返し周波数では 600 km、後者のそれでは 560 km おきに受信不能の期間があらわれること

第5表 4 m $\phi$  レーダ装置の通達能力

	地上対トランスポンダ		トランスポンダ対地上	
送信電力尖頭値	500 kW	87 dbm	100 W	50 dbm
送信空中線利得		28 dB		0 dB
受信空中線利得		0 dB		28 dB
伝送線路損失		-3 dB		-3 dB
伝播損失 (1,800 km)		-162 dB		-162 dB
受信信号電力		-50 dB		-87 dbm
最小受信可能電力		-80 dB		-97 dbm
利得余裕		30 dB		10 dB
最大通達可能距離		$5.6 \times 10^4$ km		$5.6 \times 10^3$ km

第5表は、現在標準型になっているトランスポンダを対象にした場合、4 m $\phi$  レーダ装置がどの程度の通達能力があるかを示したものである。前述のように、この装置の地上送信は非常に強力であるため、地上からトランスポンダに至る伝送の方が、遙かに高い能力をもっていることがわかる。

表の中に利得余裕とあるのは、距離 1,800 km において、これだけ受信信号電力が減少したとしても、なお、完全に信号の伝達ができる限度を示したものである。

この算定に際しては、ロケットに装着した空中線の利得を 0 dB と仮定した。これは、その指向性が全方向にわたって一様であると考えることであるが、これは理想であって実際には実現しえない条件である。

ロケットに装着した空中線の利得は、どうしても方向によって変化がある。ロケットのスピナや、章動、摂動などによって、地上からロケットを見る方向は大きく変化するため、信号電力が変動することは避けられない。問題はその程度であるが、10 dB 程度の余裕があれば、ほぼ十分であることが従来の経験からわかっている。

したがって、第6表に示してあるとおり、現在の 4 m $\phi$  レーダ装置は、およそ  $2 \times 10^3$  km 程度まではほぼ完全な通達能力をもち、また、時々はデータが途切れることを許容すれば、およそ  $6 \times 10^3$  km 程度までの通達能力をもっているといって良い。それというのも、飛しょう径路の測定を目的とするレーダ装置の場合には、テレメータ装置とは異って、弾道飛行中の径路は理論的に定めうるため、たとえ一部のデータが失われても、適当なデータ処理によって、径路を定めるパラメータを求めることができるからである。

#### 4. 結 言

観測ロケット用のエレクトロニクスとしては、テレメータ、レーダ以外にも、無線司令装置（コマンド）、ドップラ追跡装置など、いろいろのものが実際に使われているが、ここでは、何といっても基本的なものとして、テレメータ、レーダの装置について、それらがここ数年の間に、どのような進展を見せたかについて述べたしたいである。

この稿を草するに当たり、これまでわれわれと共に努力をかさねてこられた、日本電気、明星電気、三菱電機、東京芝浦電気、国際電気各株式会社の関係各位に厚く謝意を表する。