

# レーダ装置の改造・増設について

高木 昇・斎藤成文\*・浜崎襄二\*\*・長谷部 望\*\*\*  
亀尾要道\*\*\*\*・市川 満・関口 豊

## 1. 序

ロケットの大型化・性能向上により、飛しょう距離は日々増大している。レーダ製作当初 1800 km までの追尾で十分と思われていたが、今日ではラムダ型ロケットの出現により 1800 km 以上の飛しょうは日常的なものとなってしまった。ここではそれ以上連続追尾するための 4 mφ レーダおよび 2 mφ レーダの測距装置の改造について概略を述べ、そのほかに 4 mφ レーダ用ディジタルプリンタおよび 2 mφ レーダ速報用計算機についても記してある。

## 2. 4 mφ レーダ測距装置の改造

1800 km 以上の連続追尾方式を種々検討した結果、従来の 83.3 c/s のパルス繰り返し周波数[1]に細工を施したのでは、このレーダとしての性能向上は、これ以上むづかしいものと思われる。ロケットからの受信パルスは PPI レーダと異なり、単一であるため繰り返し周波数による制限はない。しかしあまり繰り返し周波数を上げると操作上繁雑になるので、単位時間当りの情報量の多い、従来 2 mφ レーダが使用していた 250 c/s を採用した。250 c/s は距離にして 600 km でありロケット追尾用としては適当な値である。ところが 600 km 前後にロケットからの受信パルスがきたときに、そのままでは受信パルスと地上送信パルスが重なり追尾不能になるので、もう一系統 267 6/7 c/s のパルス繰り返し周波数（距離にして 560 km）をそなえ、その繰り返し周波数に切換えることにより解決した。以後 600 km の倍数ごとに同様な操作を繰り返すことにより、最大 8400 km まで連続追尾することができるので、この装置では十分と思われる。

そこで測距装置の系統図は第 1 図に簡単に示してあるが、従来 83.3 c/s 単一で行なっていた関係で測距装置の大部分は新設された。

第 1 図でわかるように分周関係は、30 kc の原発振器から分周して 15 kc を作り、それを分周して 250 c/s 系統と 267 6/7 c/s 系統にわけている。

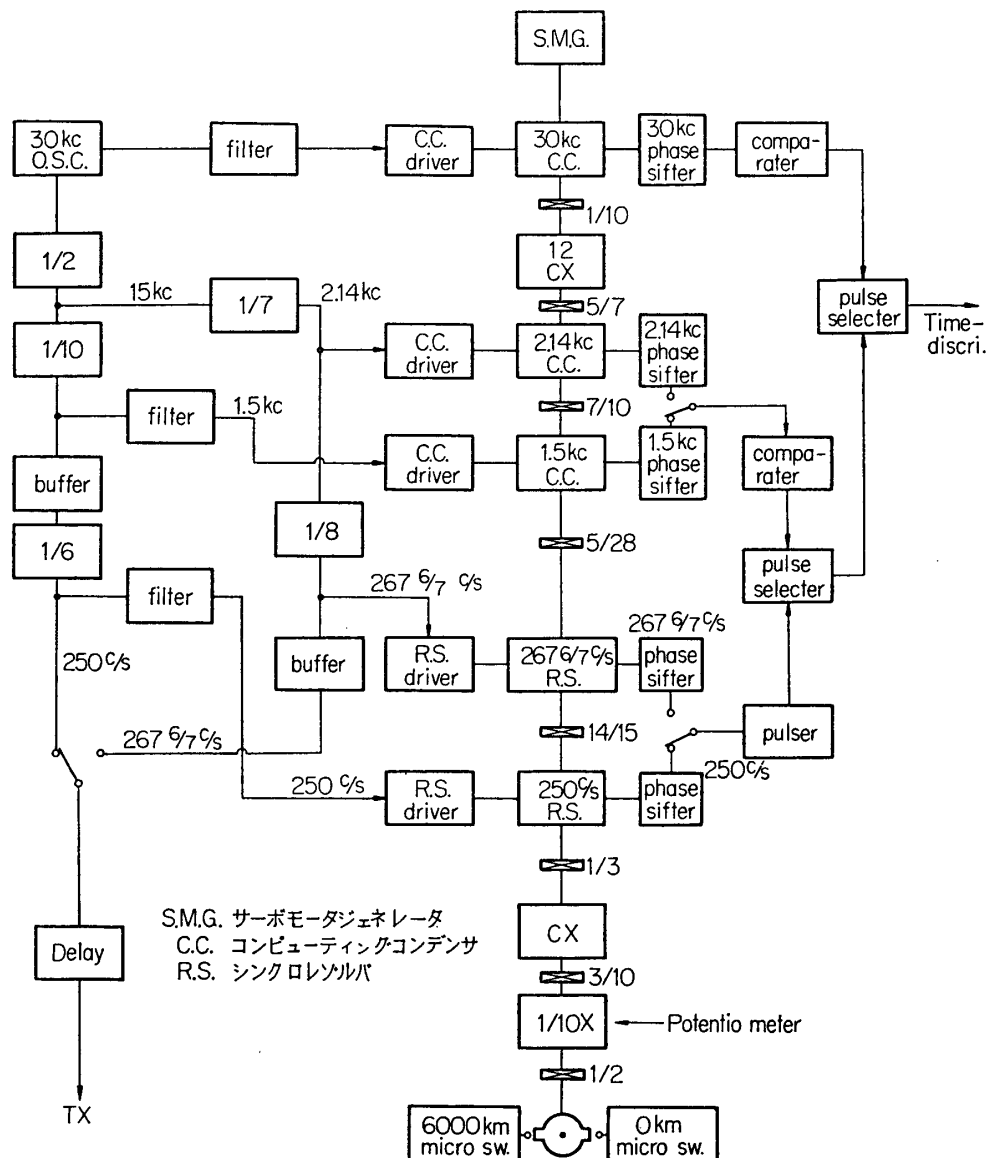
250 c/s 系統は 1/10 分周して 1.5 kc を作り、1.5 kc コンピューティングコンデンサ (c. c) に供給すると共に、それを 1/6 分周して 250 c/s を作っている。

267 6/7 c/s 系統は 1/7 分周して 2.14 kc を作り 2.14 kc の c. c に供給し、それを 1/8 分周して 267 6/7 c/s を作っている。

一方サーボ追尾機構は第 1 図に示すような減速歯車により 30 kc の c. c, 2.14 kc の c. c, 1.5 kc の c. c, 276 6/7 c/s のレゾルバ, 250 c/s のレゾルバおよび指示計がサーボモータジ

\* 宇宙研併任教授（東大生産研）・\*\* 宇宙研研究担当（東大生産研）

\*\*\* 東大生産研講師・\*\*\*\*東大生産研 斎藤研究室



第1図 4mφ レーダ Range 改造系統図

エネレータに結合されている。

250 c/s および 267 6/7 c/s はどちらか一方が手動によって、任意に切換え選択されるようになっている。

たとえば、250 c/s 系統について考えると、前述のように分周された 1.5 kc と 250 c/s が 1.5 kc c.c と 250 c/s レゾルバに供給されサーボモータの回転に比例して移相された 250 c/s で 1.5 kc の移相された正弦波から作られたパルスを選び出している。その 1.5 kc から選ばれた 250c/s で、同じく移相された 30 kc から作られたパルスを選び出している。すなわち、最終的なパルスの精度は 30 kc の正弦波の位相検出精度まで保証される。以上のように 250c/s と 1.5 kc の 2 段ゲートにより選び出された精度のよいパルスをタイムディスクリ

に送り、受信パルスとの比較で得た誤差信号により、サーボモータジェネレータを駆動し、常に誤差が零になるようにサーボモータが回転して、自動測距を行なうようになっている。  
267 6/7 c/s 系統も同様である。

### 3. 2 mφ レーダ測距装置改造

従来は 2 mφ レーダ (第1レーダ) が 250 c/s のパルス繰り返し周波数を使用し、600 km 前後では原点シフト方式 [2] を採用していた。ところが 4 mφ レーダ (第2レーダ) が上記のように 250 c/s と 267 6/7 c/s の二系統方式を採用したため、従来の方法では 600 km 通過時に、2 台のレーダは連係追尾を行なっている関係上、パルス繰り返しが変わってしまうので追尾不能になる。

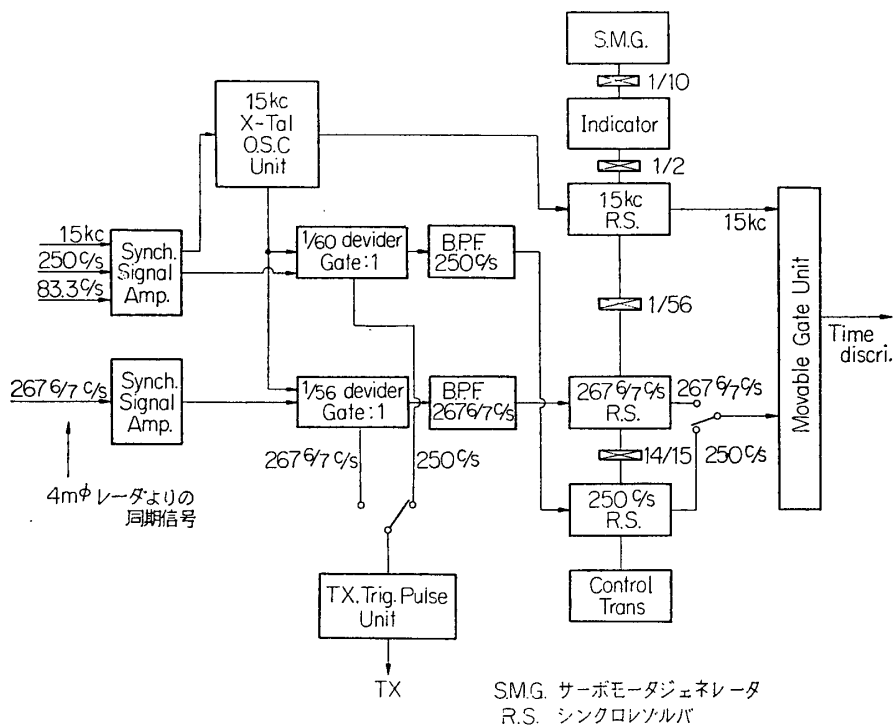
そこで一方のレーダが送信パルス繰り返し周波数を変化させたときに、支障なくロケットを追跡するためには以下のことを満足しなければならない。

第1レーダまたは第2レーダおのこの片方が送信繰り返し周波数を変えたとき、両方のレーダ共同時に繰り返し周波数が自動的に変るようにする。

送信繰り返し周波数を 250 c/s と 267 6/7 c/s の2系統とし、いずれの周波数を使用しても、異状なく測距できるようにする。

通常の使用状態においては、第2レーダから 15 kc, 250 c/s および 267 6/7 c/s を受けて第1レーダの同期信号として使用するが、第1レーダ自体単独でも使用できるようにする。原則として 250 c/s, 267 6/7 c/s の繰り返し周波数の切換えは手動にて行なう。

以上の目的を満すために、第2図に示すように 267 6/7 c/s 測距系統の追加をした。



第2図 2 mφ レーダ Range 改造系統図

その追加のおもなものは、第2レーダと連係動作するために貰った  $267.6/7$  c/s の信号の位相を合わせるためのシンクロユニット、 $15$  kc の基準周波数を  $1/56$  に分周して  $267.6/7$  c/s に落すディバイダユニット、従来のレンジ系統に  $267.6/7$  c/s 系統が追加になったため、その位相回路とシンクロレゾルバおよびギヤ機構系統の切換えスイッチおよびその切換えを予測するランプと動作確認ランプの付加、送信パルスを駆動する TX トリガーパルスユニットに切換えリレーの追加、第1レーダ・第2レーダのパルス繰り返し周波数切換えのための同期信号線の結線等である。

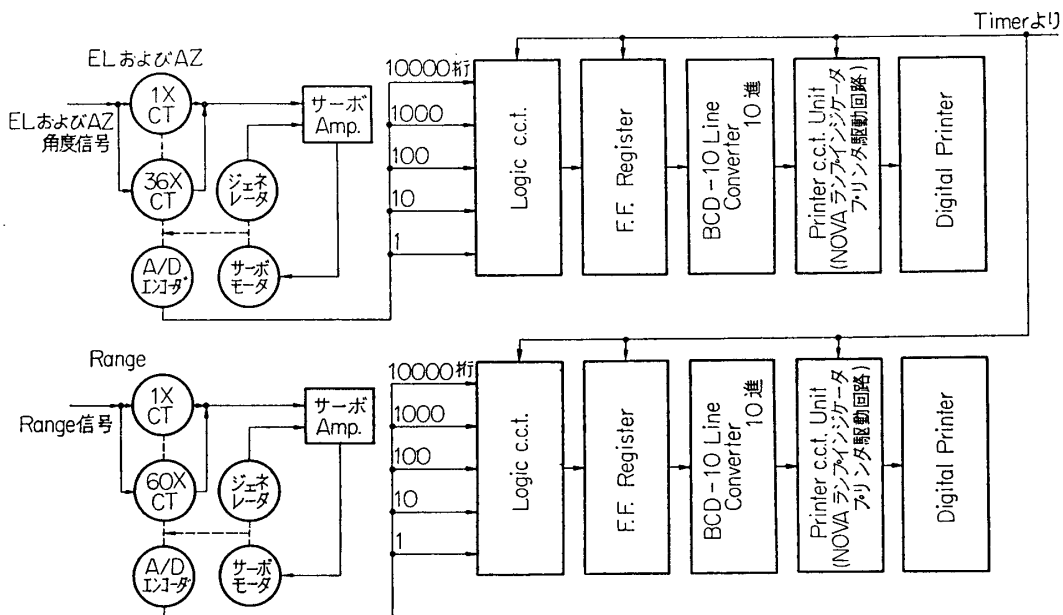
#### 4. $4\text{ m}\phi$ レーダデジタル記録装置

$4\text{ m}\phi$  レーダは従来記録系としては、速報用として X-Y レコーダの水平面と垂直面があり、記録用として  $16\text{ mm}$  シネ記録装置がある。

最近のようにロケットの発射機数の増加と各種ロケットの性能向上による飛しょう時間の増大により、フィルムからの読出しに手数がかかるため、レーダ結果を出すまでに非常に時間がかかっていた。またフィルムであるため、現像のミスは少しも許されないため現地での詳細なデータの解析はできなかった。

そこで下記のようなデジタル記録装置を製作した。

第3図に簡単な系統図が示してある。高度角および方位角の信号変換系統図は同様であるから、一系統のみ記してある。その概略を説明すると、 $4\text{ m}\phi$  レーダ本体から直距離 ( $R$ )、高度角 ( $EL$ ) および方位角 ( $AZ$ ) を電気的な信号で受け、それをリピータにより機械的角度に変換する。 $R$ ,  $EL$  および  $AZ$  のギャブロックよりおのおの  $1\text{ km/r}$ ,  $1^\circ/\text{r}$  および  $1^\circ/\text{r}$  のシャフトが取り出されシャフトエンコーダに接続されている。エンコーダは寿命および分解能を上げるためフォトタイプを使用している。エンコーダは1回転が100分割されているので、 $R$ ,  $EL$  および  $AZ$  はおのおの  $10\text{ m}$ ,  $0.01^\circ$  および  $0.01^\circ$  のユニットとして A/D 変換される。



第3図  $4\text{ m}\phi$  デジタル記録装置系統図

エンコーダよりの信号は増幅されシュミット回路によりおのおの波形成形されフリップフロップレジスタに記憶される。A/D ロジック回路にはアムビギュイティ除去回路が使用されている。記憶器はタイマの 0.5 秒パルスにより駆動され、0.5 秒毎に新しい信号を記憶する。

時間は標準時刻発生装置より、BCD パルスと 0.1 秒パルスを受けて表示すると共に 0.5 秒パルスを作り、ロジック回路のメモリ指令およびプリント指令に使用している。

記憶された信号は 0.5 秒毎に 10 進変換され、プリント回路と表示器へ送られる。プリント回路では、指定された秒時のプリント指令信号を作り出しプリンターを駆動している。おもな性能は次の通りである。

レンジ最大	プリントおよび表示	R: 10,000 km, EL, AZ: 360°
分解能		R: 10 m, EL, AZ: 0.01°
エンコーダ		フォト型シャフトエンコーダ 10 線式
A/D コンバータ		BCD-10 線式
A/D コンバータメモリ指令信号		1 回/0.5 sec
追従速度		R: 10 km/s, EL, AZ: 10°/s
指示器 アナログ		R: 1800 km/r, 50 km/r, EL, AZ: 360°/r, 10°/r
デジタル		R: 6 けた, EL, AZ: 5 けた, TIME: 6 けた
プリンタ	プリント速度	10 LINE/sec max
	プリントけた数	25 けた
	プリント要素	R: 6 けた, EL, AZ: 5 けた, TIME: 6 けた, condition: 1 けた
プリント指令信号		1 回/0.5, 1, 5, 10, 30, 60 sec および MAN

## 5. 2mφ レーダ速報用ロケット飛しょう径路計算機

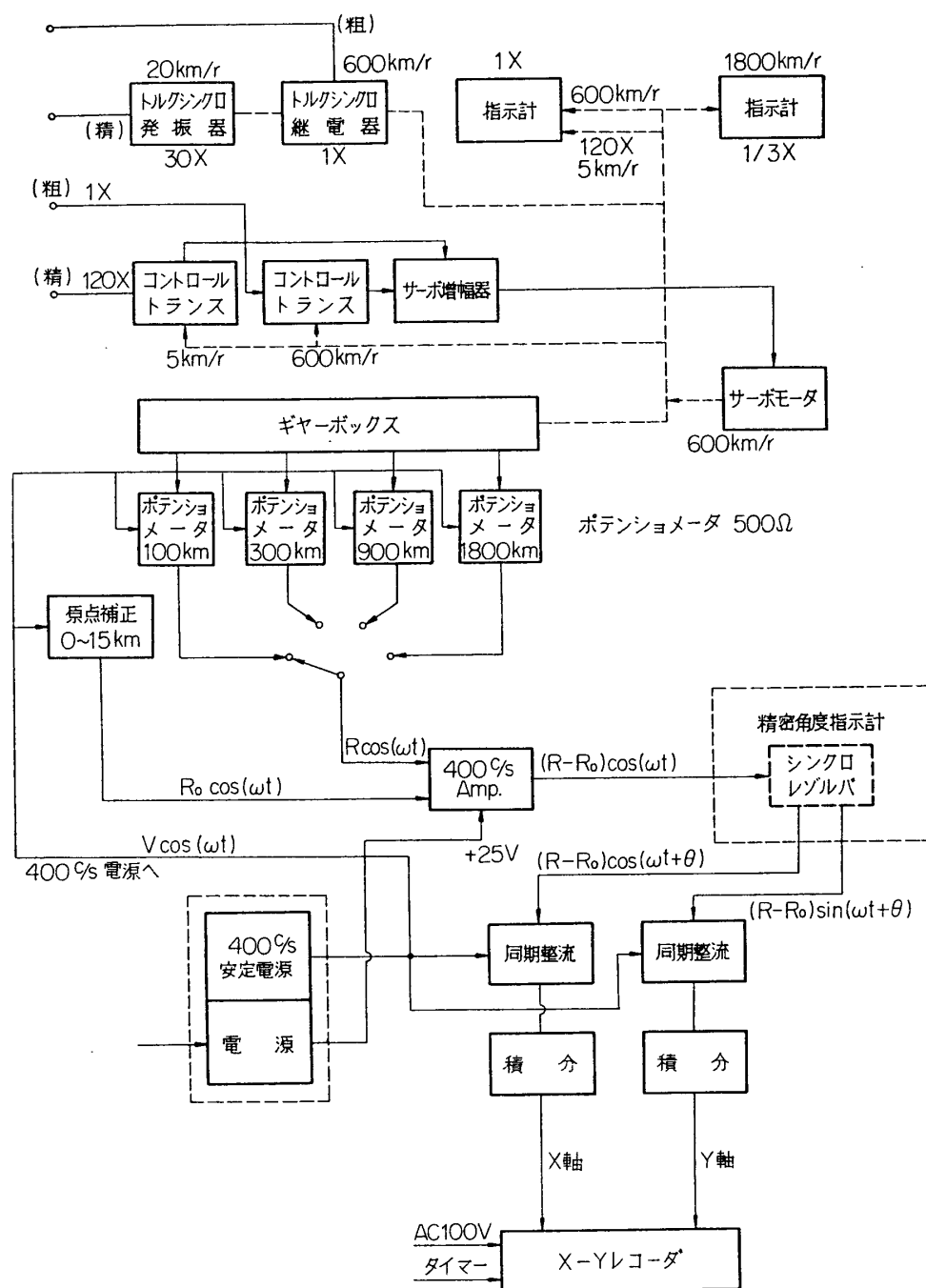
2mφ レーダは従来ロケット飛しょう後データを読み出し、計算してからグラフにプロットして速報を出していた。そのため飛しょう中にロケットの状態がわからないことと速報を出すのに非常に時間がかかっていた。

そこで保守および操作が簡単な以下に述べるような計算機を製作し、昭和 40 年 12 月実験より使用し非常な好成績をおさめている。

この計算機は、観測点からロケットまでの直距離 ( $R$ ) および高度角 ( $\theta$ ) をレーダ本体から受けて、 $R \cdot \cos \theta$ ,  $R \cdot \sin \theta$  を計算し X-Y レコーダ上に垂直面内の航跡を記録すると共に、タイマーにより発射時からの時間もトラジェクトリー上に記録するものである。

その構成は第 4 図に示す。その概略を説明すると、2mφ レーダからの直距離信号はサーボシンクロのコントロールトランスで受け、その 1 X, 120 X の信号を混合し、サーボ増幅器によりサーボモータを駆動し減速歯車を介して必要な回転速度にして、指示計とポテンシオメータに接続されている。指示計は 1 回転 5 km と 600 km の複針および 1800 km の単針である。

ポテンシオメータは、0~500 Ω エンドレスのもので減速歯車により 1 回転 100, 300, 900, 1800 km のものが 4 個結合され最大飛しょう距離により任意に切換えできるようになっている。4 個切換えにしたのは、各種ロケットに対して計算精度を上げるためである。



第4図 速報用計算機系統図

ポテンショメータの電源は、400 c/s の交流で 400 c/s 電源より与えられ、各レンジにより直距離に比例した電圧を発生する。

直距離に比例したポテンショメータからの 400 c/s の信号は、レーダ本体内に組込まれている精密角度指示計の *EL* に機械的に結合されているシンクロレゾルバの電源として供給されている。

そのシンクロレゾルバの出力である移相された信号は  $EL$  角度に比例し,  $R \cdot \sin(\omega t + \theta)$  と  $R \cdot \cos(\omega t + \theta)$  の交流として取り出され, そのおののを同期検波し, 積分回路を通してから X-Y レコーダに接続されている. 以上計算機の性能は次の通りである.

- 精密角度指示計
  - 複速サーボ指示 誤差
  - EL { 精目盛 5°/r 0.025%
  - 粗目盛 360°/r
- シンクロレゾルバー
  - TS 74 E 1 26 V 400 c/s 精度 0.05%
- 直距離追従
  - 追尾速度 1 X にて 10 km/sec 以上
  - 追尾精度 120 X にて  $\pm 0.05$  km 以内
  - 入力信号 1 X, 120 X
- ポテンショメータ
  - 1 回転 0~500  $\Omega$  精度 0.3% フルスケール
- X-Y レコーダ
  - 入力抵抗 X 軸, Y 軸 15 k $\Omega$
  - フルスケール移動速度 X 軸 1.2 sec
  - Y 軸 0.8 sec
  - 記録紙 JIS A-3 判 (400×280 mm)
  - 確 度  $\pm 0.2\%$
- 総合性能
  - 直距離レンジ 最大 { 100 km
  - 切 換 { 300 km
  - { 900 km
  - { 1800 km
  - 原点補正 各レンジ 0~15 km
  - 精度 フルスケールに対して 1% 以内

## 6. 結 び

以上レーダ装置の改造, 増設について概略を報告した. レーダ測距装置の改造以来 L-3H L-4S 型ロケットを2台のレーダを使って同時追跡を行ない性能的にも非常に向上したことを確認した. また数千 km 以上の追跡に対し, 何ら支障なく安定に作動することも確かめた.

第1レーダは, X-Y レコーダの付加により非常に便利になった. このような簡易型計算機でも較正をよくすれば精度1%以内で記録することができる.

MT ロケットのように長期間飛んでいるものには, その状態が時々刻々わかるのでこのレコーダは非常に有効である. そのほかにもロケットの性能計算をあらかじめプロットしておき, そこに実際の航跡を画かせることにより, 飛しょう中のロケットの状態および性能が比較できるので興味がある.

第2レーダは, デジタルプリンタの設置によりロケットの飛しょう状況およびレーダの作動状態が飛しょう後, ただちに解析できるので便利になった.

レーダの改造にあたり, 絶大なる協力をして下さった三菱電機, 明星電気各株式会社の関係各位に厚く謝意を表する.

1967 年 1 月 23 日 宇宙工学

### 参 考 文 献

- [1] 野村民也ほか：4m $\phi$  レーダ装置，生産研究 15, 7
- [2] 斎藤成文・野村民也ほか：一周波多段ロケット同時追尾レーダ方式，生産研究 16, 11
- [3] 野村民也：最近の観測ロケット用エレクトロニクス，宇宙研報告 2, 1(B) (1966)