

## 2 m, 4 m $\phi$ レーダの増設, 改造について

齋藤 成文\*・浜崎 襄二\*\*・関口 豊  
市川 満・遠藤 義昭†・福島 茂††

### 1. ま え が き

2 m, 4 m $\phi$  レーダの 42 年 4 月から 43 年 10 月までの間に増設・改造されたものについて記述すると, 4 m $\phi$  レーダ用デジタルデータ装置 (これは追跡結果を精測レーダ用計算機に与え, リアルタイムでデータ処理をさせるもの), 2 m, 4 m $\phi$  レーダ用視準塔, 2 m $\phi$  レーダ用 X-Y プロッタ増設 (これは従来垂直面のみであったものに水平面も増設し, コントロールセンタにも併設した), 4 m $\phi$  レーダ用同期装置 (これは 4 m $\phi$  レーダと精測レーダとを同期させるためのもの) などである. 以下これらについて報告する.

### 2. 4 m $\phi$ レーダ用デジタルデータ装置

#### 概要

4 m $\phi$  レーダによって観測された距離・方位角・仰角のアナログデータをデジタルに変換し, 必要な計算をして, その結果を pure binary で精測レーダ用の電子計算機に送り込む機能を持つ.

#### 動作機能

4 m $\phi$  レーダ (GTR-1) の空中線に取付けられた方位角・仰角の 1 X (粗), 36 X (精) のシンクロ電気信号を Follow up servo で, 受信し, 1 X, 36 X の回転角に変換し, これらの軸に取り付けられたマグネチック・エンコーダを駆動し, その出力を検出することによりデジタル角度信号を得ている. 出力は 13 ビット並列でデータの更新時には読み取り禁止パルスをコンピューターへ送出する. 方位角・仰角の動きうる範囲は

方位角 (AZ) 0~360°

仰角 (EL) -5~+85°

距離については DC ポテンショ出力電圧を A/D 変換し, 600 km (267 MHz 系については 600×14/15 km) ごとに大区分し, 各区分について送信パルスと受信パルス間の時間差に比例したパルス数を計数することにより精密なデータを得て大区分した部分と精密なデータとを組み合わせることで計算し, 4800 km までの追尾距離を計算することができる.

出力は 18 ビット並列でコンピューターへ送り出され, データの更新時には読み取り禁止パ

---

\* 併任教授 (東大生産研)

\*\* 研究担当 (東大生産研)

† 三菱電機株式会社

†† 明星電気株式会社

ルスも同時に送出する。

性能諸元

入力

1. AZ, EL 共に 1 X, 36 X シンクロ電気信号 (400 Hz)
2. TX トリガー (送信)
3. DC ポテンショ出力 (最大 6000 km)
4. 250, 267 9/4 PRF 切り替え信号

出力

1. AZ, EL 共に  
13 bit pure binary (LSD…… $360^\circ/2^{13}$ ) parallel output および inhibit pulse
2. 距離  
18 bit pure binary (LSD…… $4800 \text{ km}/2^{18}$ ) parallel output および inhibit pulse
3. 負荷  
レーダ接続装置入力インピーダンスは  $200 \Omega$
4. 距離零調整  
0~37.5 km まで  $4800 \text{ km}/2^{18}$  (LSD……18.4 m) の分解能で任意に距離零を移動させることができる。

各部の説明と動作原理

#### 1. 距離系

計算方式

$$\text{距離} = 600 \times n + (\text{カウンタ内容}) + (\text{OFFSET}) \quad \text{PRF が } 250 \text{ Hz のとき}$$

または

$$\text{距離} = 560 \times n + (\text{カウンタ内容}) + (\text{OFFSET}) \quad \text{PRF が } 267 \frac{9}{4} \text{ Hz のとき}$$

#### 2. $n$ の決定

$n$  の決定は  $4 \text{ m}\phi$  レーダより DC Potentiometer の出力 (6000 km/50 V) と Reversible Counter の出力を A/D 変換したものととの和を Reversible Counter の入力とし Reversible Counter (Coarse 系 Counter) は、この両者の和が零になるように動いて安定する。

次に TX と slant marker 間は TX パルスでカウンタをスタートさせ、slant marker でストップさせる。以上の Reversible Counter と Fine Counter の出力を判別・考慮して  $n$  を決定する。

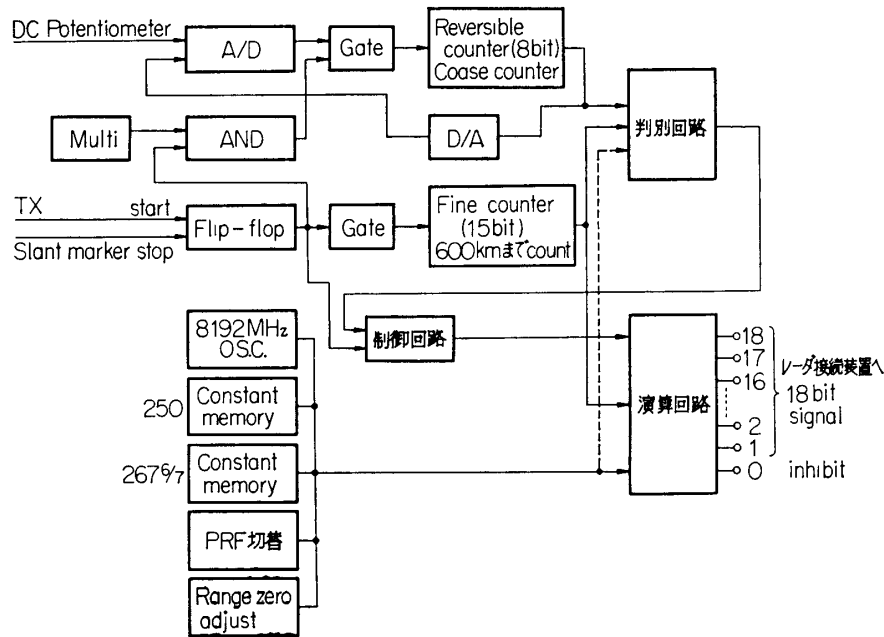
距離系全体のブロック図は第 1 図に示してある。

#### 3. 情報の送り出し

PRF が 250 Hz の場合には 8 ms に 1 回計算し、PRF が  $267 \frac{9}{4}$  Hz の場合は 7.2 ms に 1 回計算して送出する、情報処理時間は最小 4 ms または 3.6 ms ( $267 \frac{9}{4}$  Hz) である。

#### 4. 角度系

$4 \text{ m}\phi$  レーダの空中線の軸に取り付けられた精粗の制御発振器の信号を follow up servo で受けて所定の軸 (64 倍にギヤアップしたところ) にエンコーダ (encorder) を取り付けて空中線とまったく同じ動きをエンコーダに行なわせて必要な角度を得ることができる。



第 1 図 距離系ブロック図

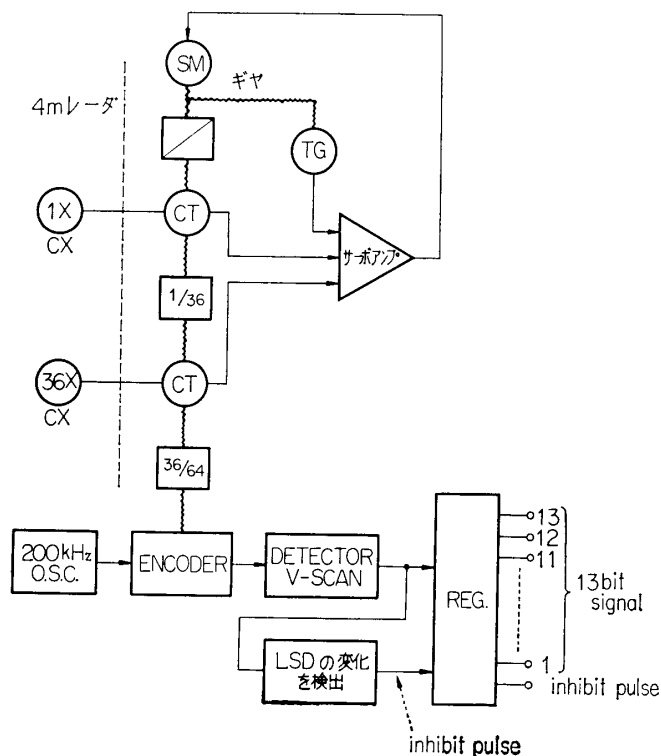
第 1 表 ENCODER の特性表

Total count	8192
code	pure binary V-scan
count per turn	128
Power requirement	1.0 W Max
Interrogation freq.	200 kHz~1 MHz
"    current	350 mA
Logical "1" out put V	6 V P-P MIN
"    "    "	1 V P-P MAX
out put impedance	180Ω
Life	500×10 <sup>6</sup> MIN TURNS
Allowable shaft speed	0 to 10.000 RMS

エンコーダの仕様は第 2 表のとおりである。

エンコーダの動作は、エンコーダを 200 kHz の正弦波で励振するとエンコーダのシャフトの位置によって出力が種々変化する。すなわちコアが現在飽和であるか不飽和であるかによって波形が変化する。この波形を検波整形し、V-scan 方式によってデータの処理を行なう。

このエンコーダは pure binary を使っているので数 bit 同時に変化したとき過渡現象の情報に誤った情報が入ってくる可能性がある。このエンコーダでは 2 bit から 13 bit まですべて Lead 信号と Lag 信号を出し、その両信号を使って V-scan を行ない、読み取りミスを無くしている。



第 2 図 角度系ブロック図

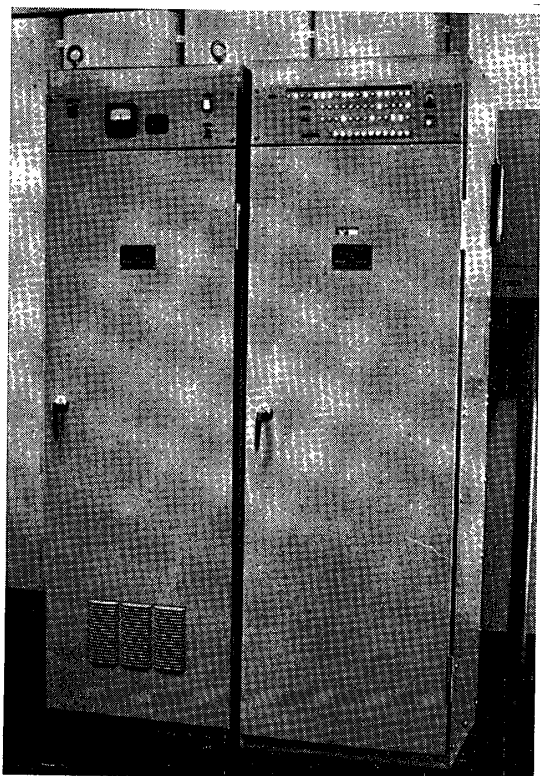


写真1 4m レーダデジタルデータ装置

以上のような方法で AZ, EL の角度検出を行なっている,

角度系ブロック図は第 2 図に示してある。

4mφ デジタルデータ装置の概観は写真 1 に示す。

このような距離の信号と角度の信号は精測レーダ用のレーダ接続装置に送られ計算される。

### 3. 2 m, 4 mφ レーダ用視準塔

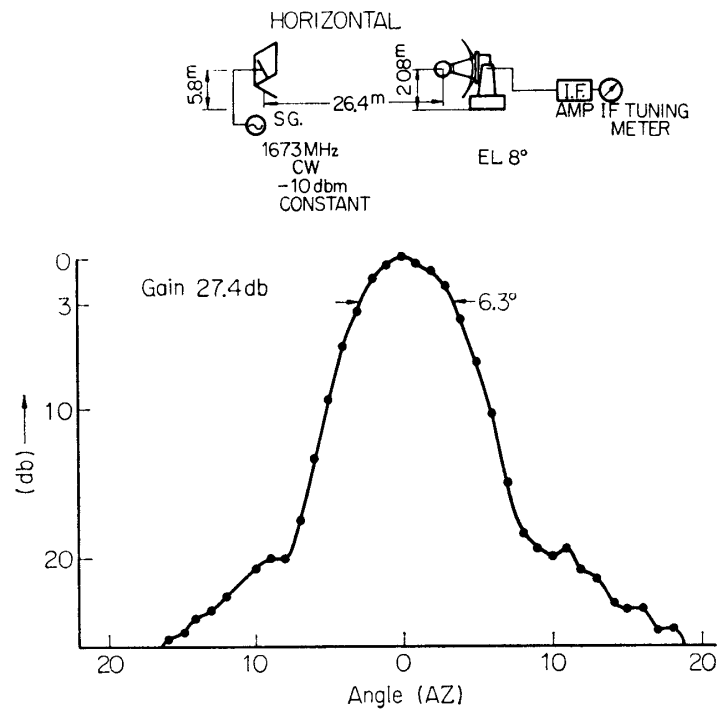
レーダの動作状態・性能を検査するために視準塔は不可欠のものであるが、特にレーダの調整時と発射前のチェックには欠かすことはできない。そこで下記のような視準塔を製作した。

2mφ レーダ用視準塔

2mφ レーダ用は KSC 場内の气象台地にパラボラアンテナを設置した。气象台地と 2

第 2 表 視準塔装置の仕様

	名 称	2 m レーダ用	4 m レーダ用
視準塔 アンテナ	パラボラアンテナ直径	2 mφ	2 mφ
	アンテナ型式	ダイポール	ダイポール
	偏 波 面	垂直 (可変)	水 平
	定格周波数	1673±2 MHz	1673, 1687±2 MHz
	周波数範囲	1680±20 MHz	1660~1700 MHz
	利 得	27 dB	27 dB
	ビーム幅 (半値)	6.3°	6.3°
	VSWR	2.0 以下	2.0 以下
	インピーダンス	50Ω	50Ω
送受信機	受信周波数	トリガーケーブルにて受信	1687 MHz
	送信周波数	1673 MHz 可変	1673 MHz
	送信出力	0~-80 dBm 可変	
	繰り返し周波数	250, 267 1/4 Hz	250, 267 1/4 Hz
	リモコン装置	レーダ側より SG SW on off	レーダ側よりトランスポンダ 電源 on off



第 3 図 4 mφ レーダ視準塔 Antenna Pattern

mφ レーダのあるテレメータセンタとは 400 m 前後しか離れていないので地形および建物の反射をさけ、出力および周波数が可変できる SG を使用している。SG のトリガー信号は

別系統のケーブルでトリガー伝送装置を介して伝送している。仕様は第 2 表に示してある。

#### 4 mφ レーダ用視準塔

4 mφ レーダ用はレーダセンタ裏側にあたる精測レーダ用視準塔に併設してある。この視準塔はパラボラアンテナを使用し、送受信はトランスポンダあるいは信号発生機を用い、周波数、レベル、偏波状態が可変となっている。トランスポンダを用いるときにはレーダからの信号 1687 MHz を受信し、1673 MHz に変換して送り返している。視準塔用パラボラアンテナのパターンは両者ほぼ同じであるので、4 mφ 用のみ第 3 図に示してある。

視準塔装置の仕様は第 2 表のとおりである。

### 4. 2 mφ レーダ用 X-Y プロッタの増設

改造前の装置の概略は、距離系は 1 X, 120 X の信号をサーボシンクロで受けてギヤボックスを回転させ、計算精度を悪くさせないため各 Range ごとにポテンショメータを 4 個持っている。その各々を最大距離が 100 km, 300 km, 900 km, 1800 km, の 4 種類で各ロケットの性能に応じて選択される。角度系はレーダの角度追尾の指示計にシンクロリゾルバをギヤ結合して角度指示に相当した位相変化を取り出している。ポテンショメータおよびシンクロリゾルバには 400 Hz の交流を供給し、ポテンショメータで距離に応じた 400 Hz の電圧を得て、シンクロリゾルバーに供給し、そこで角度に応じた位相変化を受ける。その信号を増幅し、同期整流を行なったのち、直流増幅して X-Y プロッタに接続し、航跡を描かせている。

以上のことは次の計算をしていることになる。

$$Z = (R - R_0) \sin \theta \quad \theta: \text{EL Angle}$$

$$X' = (R - R_0) \cos \theta$$

が計算され、垂直面の航跡を描かせている。

改造部分では距離系はほとんど前と同じであるが、唯一つ自動距離選択機能を追加したことである。自動距離選択はたとえば 1800 km の航跡を描く場合に最初の数百 km の航跡を拡大して見たいときは最初の 300 km は 300 km Range を使って拡大し、300 km を過ぎると 900 または 1800 km Range にセットすることにより各 Range を通過すると自動的に切り替えを行なってくれるようにしたものである。角度系は従来の EL のほかにさらに AZ 軸にシンクロリゾルバを結合して EL と同様 AZ 成分の計算を行なっている。計算式は

$$X = X' \cos(\varphi - \varphi_0) \quad \varphi: \text{Azimuth angle}$$

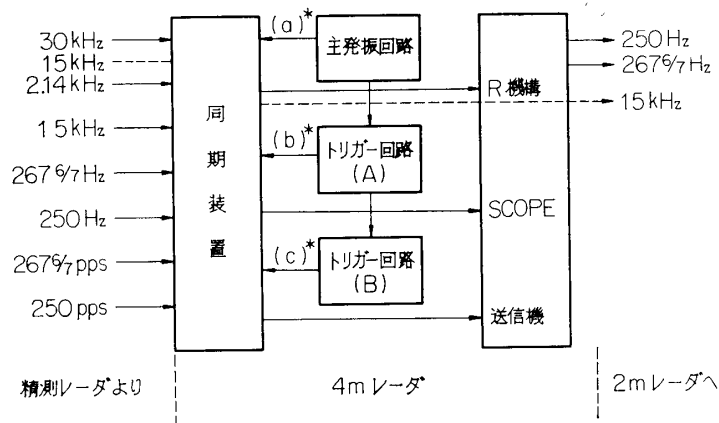
$$\varphi_0: \text{Azimuth Launching angle}$$

$$Y = X' \sin(\varphi - \varphi_0)$$

である。X, Y, Z を直流増幅してレーダ用とコントロールセンタ用に各々垂直面、水平面の航跡を描かせている。

### 5. 4 mφ レーダ用同期装置

精測レーダの設置により 4 m レーダと精測レーダの送信のタイミングを合わせないで動作させた場合、お互に干渉が起る可能性がある。そこで両者の同期をとるために同期装置が



第 4 図 各レーダ間同期信号

用いられる。この装置は精測レーダの送信時と 4 m レーダの送信時を合わせるため、精側のタイマー系より 4 m レーダのタイマー系に必要な信号を送り込むことによって行なう。同期をとるために必要な信号は距離追尾系としては、30 kHz の正弦波、250 pps 系送信のときは最精距離ゲートを選択するための 1.5 kHz と 250 Hz の正弦波であり、267 pps 系送信のときはおのおの 2.14 kHz と 267 7/7 Hz の正弦波が必要である。距離追尾系以外の信号はスコープ系に必要な距離マーカー信号で 50 km (3 Kpps), 100 km (1.5 Kpps), 300 km (500 pps) の各信号である。また送信機へは 250 pps または 267 pps の送信トリガを必要とする。

同期装置と各レーダとの信号関係は第 4 図のとおりである。

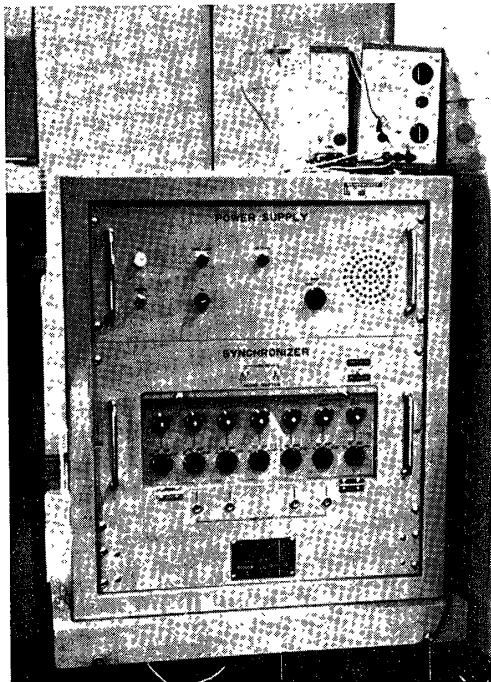


写真 2 4 m レーダ同期装置

同期装置内では精測よりくる各信号間の位相は 4 m レーダの各信号の位相と必ずしも合っていないので移相器により 4 m レーダと同じ位相に合わせている。また、マーカー信号は精測レーダ信号間の途中の周波数で送り出してやる必要があるため、高い方の周波数 (30 kHz) よりフリップフロップを使ってカウントダウンしている。カウントダウンの途中で位相を合わせるため 250 Hz または 267 7/7 Hz によって強制位相同期を行なっている。送信トリガについては 30 kHz と送信トリガ間の位相関係が精測レーダと 4 m レーダとは同じでない。このために精測レーダに同期する場合は精測よりの 250 pps あるいは 267 pps のトリガで、新しく 30 kHz の正弦波より送信トリガを作っている。両者の位相を合わせるため送信トリガの位相は可変になっている。

4 mφ レーダ用同期装置の概観は写真2に示す。

#### 動作概要

この同期装置は、動作上 30 kHz クロック信号同期部, Resolver 駆動移相正弦波部, Dunking pulse 部および 15 kHz rectangular wave 伝送部に分けられる。また、各部共精測、4 m レーダの切り替えスイッチにより精測側入力と 4 m レーダ入力切り替えが可能である。

#### 30 kHz クロック信号同期部

入力 30 kHz 正弦波を低インピーダンスに変換してクロック正弦波信号を取り出し、また一方同入力を移相させ、別の 1.5 kHz 正弦波に同期した 50 km 距離マーカ信号および 250 Hz 正弦波に同期した 100 km, 300 km の距離マーカ信号を取り出す機能を有する。

#### 正弦波移相部

30 kHz に同期した 2.14 kHz および 1.5 kHz 正弦波を適当に移相しおのおのレーダの R 機構部に供給するものと、同様に上記 30 kHz に同期した 267 9/10 Hz および 250 Hz 正弦波を受け、これらを適当に移相しておのおのレーダの resolver drive 信号として送り出す。

#### Dunking pulse 部

267 9/10 Hz および 250 Hz の正パルスを受け、おのおのパルスが一致した時刻の次の 30 kHz 信号時に dunking pulse として正パルスをおのおの取り出す。

#### 15 kHz rectangular wave 伝送部

15 kHz rectangular wave 入力を増幅して立ち上がり、下りの早い一定レベルの rectangular wave に直し低インピーダンスで取り出す。

#### Relay Signal および電源部

レーダの resolver 駆動に使用されている周波数が 250 Hz か 267 9/10 Hz かを判別した、PRF の警報を司るもので精測側と 4 m レーダ側の接続上、同期信号の使用状態および警報を伝える。この操作は自動手動切り替えどちらでもできる。以上の装置を使用することにより精測レーダと 4 m レーダは同期し、4 m レーダと 2 m レーダとの同期は 15 kHz, 250 Hz, 267 9/10 Hz の 3 信号により行なわれている。250・267 9/10 Hz は 4 m レーダのリゾルバードライブ用信号をもらい、15 kHz は 4 m 同期のときは従来どおり、精測同期のときは精測の 15 kHz 矩形波よりフィルタと移相器を通してもらい 2 m, 4 m レーダは同期する。4 m レーダ、精測レーダは同期装置により同期するのでおのおのレーダは完全に同期し相互の干渉を最小限度にすることができる。

## 6. お わ り に

以上の増設・改造により精測レーダと 4 m, 2 m レーダとの同期が行なわれ、4 m デジタルデータ装置により精測レーダが稼動するとき以外は 4 m レーダのデータ処理として精測用計算機が使用でき正確な結果が KSC で得られるようになった。視準塔の設置はレーダの精度・性能の向上に一役買うだろうし、2 mφ レーダの X-Y プロッタの増設により、より正確にレーダ用またはコントロールセンタにデータを提供するであろう。最後に改造・増設に当り三菱電機・明星電気・日本電気の関係各位の協力に対し感謝する。

1969年1月29日 宇宙工学