

電波誘導に関する電波系設備及び機器

齊藤 成文[†]・浜崎 襄二[†]・座間 知之[†]
松井 正安[†]・林 一雄[#]・藤岡 誠[#]
布宮 貞夫[#]・吉本 聖志[#]

1. 緒 言

本報告は、M-3C 計画の電波誘導で使用された電波設備、機器の概要を纏めたものである。この計画で用いられた司令制御精密レーダーはM-4S 計画のために設計、製作された使用されたものであったが、M-3C 計画で電波誘導を実施するに当って若干の地上設備が増設され、また、ロケットに搭載されたトランスポンダ、コマンドデコーダにも改良が加えられた。増設された地上設備は、コマンドコンソール、コマンドコンソール模擬装置、ラジオガイダンス表示装置、レンジセーフティ用表示装置である。

本文では、司令制御精密レーダー（精測レーダー）による司令伝達の概要と、増設設備、トランスポンダおよびコマンドデコーダの概要を述べる。

2. 精測レーダーと電波司令の伝達方式

2.1 鹿児島宇宙空間観測所におけるレーダーの沿革

昭和38年に東京大学鹿児島宇宙空間観測所が開設された時、秋田県道川にあったロケット実験場から二基の自動追尾レーダーが移設された。それらは、地上送信周波数 1.673 GHz、地上受信周波数 1.687 GHz のパルス型の二次レーダーで、2m ϕ のパラボラアンテナを有する近距離用と 4m ϕ のパラボラアンテナを有する遠距離用のレーダーであり、いずれもコンカルスキャン方式の追尾機構を持ち、幅 1 μ s の単一パルス（繰返し周波数 250 pps）で動作するものであった。

ミュー計画の進展に伴って、高精度でかつ電波司令の可能なレーダーが必要となるにおよび、昭和42年には 4m ϕ のレーダーが設置されていた宮原レーダー地区にモノパルス方式の 5.6 GHz 帯レーダー（司令制御精密レーダー）が設置され、同時に付属計算機が設備された。現在、電波誘導に使用されているのはこのレーダーである。

人工衛星打上げ用ロケットに電波司令を送って誘導制御する場合には、制御直前のロケットの精密な軌道情報を取得することと、軌道情報、搭載プログラム設定値その他から総合的に算定された指令信号の確実な伝達が必要である。また、海に囲まれた我が国の地理的環境と本所における研究規模より、複数の前進基地にレーダーを配置稼働させることは困難であったので、レーダーの設置点はロケットの発射点に比較的近い所に限られた。以上の条件のもとで、司令制御精密レーダー（略称は精測レーダー）は設計され、レーダーのハードウェア、

[†] 東京大学生産技術研究所

[#] 日本電気株式会社

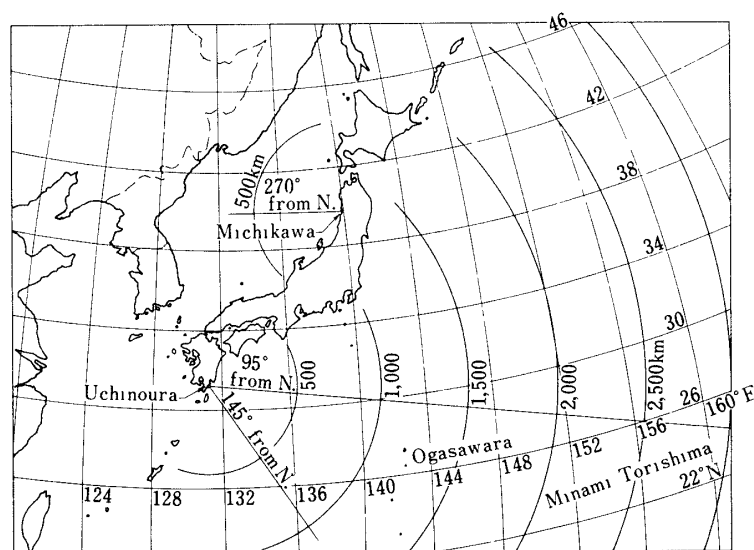
ソフトウェアは、初期捕捉の確実性、軌道測定精度の向上、管制官との交信の柔軟性に考慮を払って製作されたものである。

昭和45年2月に打上げられた我が国最初の人工衛星は1.6GHzのトランスポンダのみを搭載したL-4S型ロケットで打上げられた関係で、4m ϕ レーダーと精測レーダー用の計算表示設備が用いられたが、昭和44年8月に打上げられたM-3Dロケット以来のミューロケットには打上げの度に精測レーダーが使用された。初期のM-4S型ロケットではL-4S型ロケットと同じく最終段ロケットの点火時刻のみ制御可能であったが、人工衛星軌道の精密化のために開発されたL-4SC型ロケットと続いてM-3C型ロケットでは順次制御項目が増し、近く打上げられるM-3C3号機では第2段のTVCプログラマ修正が二回と最終段の方向と点火時刻の制御が行われる予定である。

第1図は精測レーダーによる航跡測定範囲の概略を示すための日本周辺の地図である。九州南端の内之浦から打上げられる場合、北から東廻り90°~95°の方向は、人工衛星打上げロケットの発射方向であり、数千軒にわたって危険水域が設定し易い方向である。M-4S型ロケットおよびM-3C型ロケットの最終段の点火は内之浦よりそれぞれ1500km、800kmの地点の上空附近である。

昭和42年に精測レーダーが設置されて後、電波誘導計画の進展に伴って制御司令卓(コマンドコンソール)、トランスポンダ及びデコーダ試験用のコマンドコンソール模擬装置、電波誘導の効果を知するためのラジオガイダンス表示装置、破壊落下海域を予測するためのレンジセーフティ用表示装置が逐次増設された。これらのハードウェアの増強と相伴ってソフトウェアも増強されて現在使用されている。

本章では、まづ精測レーダーのハードウェアの概略を述べた後、精測レーダーによる司令伝達方式の概要を述べる。搭載アンテナについては文献[6]を参照されたい。また、上記の



第1図 日本近海とロケットの打上げ航跡

他、計算機系ではコア記憶装置が増設され現在 81 KCHS が使用可能であり、カード読取装置も増設された。更に、捕捉レーダーの追尾距離の増大のため捕捉レーダー受信機にパラメトリック増幅器が増設されている。これらについては本文では触れない。

2.2 精測レーダーの概要

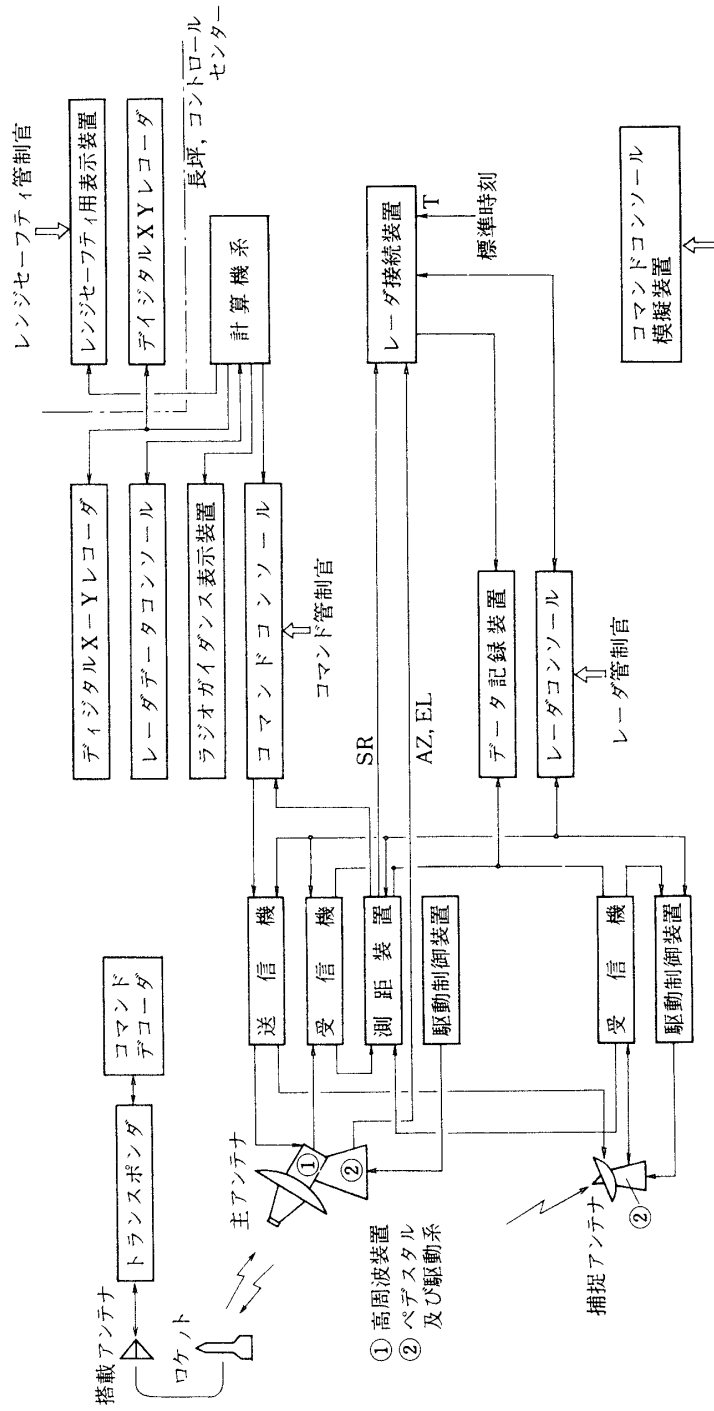
精測レーダーは、東京大学宇宙航空研究所、生産技術研究所、日本電気株式会社、三菱電機株式会社が協力して昭和39年から設計を開始し、両社によって製作され、昭和42年夏に現地に設置されたレーダーであり、我が国における最初の精密級自動追尾レーダーである。このレーダーは直径 4m のカセグレイン 4 ホーンモノパルス型の主アンテナ（半値幅 0.95° 、指向性利得 42dB 余）と尖頭電力 1 MW の司令コード送信可能な送信機を備えた C バンド (5.6 GHz) パルスレーダーである。また、追尾限界受信電力 -100 dBm のモノパルス受信機を備えているので、尖頭電力 500 W のパルス式トランスポンダを搭載したロケットを 8000 km まで自動追尾、司令交信可能である。アンテナマウントは旋回俯仰 (Azimuth-Elevation) 型であって角度追尾精度 0.1 mil ($6^\circ/1000$) を持ち、測距系は回転型移相器を用いた電気機械式の可変スプリットゲート方式であって距離追尾精度は 10 m 以下である。パルス（パルス列）の繰返し周波数は 250 フレーム毎秒を標準としているが、600 km 毎に現れる送受信パルスの重なりを避け、また 600 km の整数倍だけ異なる距離の任意性を除去するために 267 6/7 フレーム毎秒の繰返し周波数も用い得るようになっている。更に、近距離捕捉及びアンテナのサイドローブに起因した誤った角度捕捉を避けるために、直径 0.8 m のコニカルスキャン型のフロントフィードアンテナ（半値幅 4.9° 、指向性利得 28 dB）とその受信装置、駆動装置が附属していて、眼鏡及び ITV 装置と共に初期捕捉の確実性を高めている。

第 2 図には精測レーダーの系統図を、第 1 表には主な性能諸元を示す。人工衛星打上げ全体における精測レーダーの占める位置、精測レーダー系統の各装置の詳細については文献 [1],[2],[3] を参照されたい。

このレーダーには記憶容量 81 KCHS のコア記憶装置と 4 台の磁気テープを持った電子計算機 (NEAC 2200/400) が付属しており、これを用いて観測値の記録、目標から電波が受信されない場合のアンテナと測距ゲートの制御、実時間フィルタリング、軌道予測値の実時間表示、司令値の算出、自由落下地点の実時間予測、プロッタの制御等を行っている。基本プログラムについては文献 [4] を参照されたい。

レーダーの観測結果の主な記録は、0.1 秒毎のデータの形で磁気テープに収納される。これに記録される観測量は時刻 (JST)、方位角 (Azimuth)、仰角 (Elevation)、直距離 (Slant Range) に関する精密光学読み出しエンコーダ出力値とそれぞれのサーボエラー電圧の A/D 変換値と受信信号レベルの A/D 変換値であるが、それらと共に、レーダーの受信追尾状態、その時に使用されていたプログラムの指定番号、送受信機及び追尾系統の操作状態を示すコード、実時間プログラムによる算出値の主要な量も記録される。その他 10 秒毎の生データの数値が記録され、ペンレコーダによるアナログ信号記録には、サーボエラー、タコゼネレータ出力電圧、主受信機、捕捉受信機の AGC 電圧が記録される。またレーダー一点局地座標系で表わされた飛跡はアナログ X-Y レコーダに記録される。コマンド系の記録については後述 3.1 節を参照されたい。

レーダー装置と電子計算機の間データの授受はレーダー接続装置を用いて行われる。レ



第2図 精測レーダの接続系統図

第1表 精測レーダーの主要性能表

主アンテナ	反射鏡 開口角 駆動 走査 一次放射器 偏波 指向性利得	4 m ϕ カセグレインパラボロイド 150° 旋回俯仰型, 油圧モータ駆動 4 ホーンモノパルス方式 矩形導波管形 4 ホーン 右円偏波及び 45° 直線偏波 42.5 dB
送信部	方式 周波数 送信電力 パルス幅 測距パルス 指令コード 繰返し周波数	ハードチューブ — マグネトロンパルス変調 2次レーダ: 5586 MHz 1次レーダ: 5636 MHz 尖頭値 1 MW 及び 20 kW 2次レーダ: 0.3 μ s 1次レーダ: 1 μ s 2次レーダ: 3 又は 5 μ s 間隔のダブルパルス 1次レーダ: シングルパルス スタートパルス付 3 アウトオブ 6 コード 250 CPS 又は 267.6/7 CPS
受信部	方式 周波数 中間周波 総合 NF チャンネル間アイソレーション ゲート幅	AGC 付スーパーヘテロダイン方式 誤差信号検出: 同期検波 5636 MHz 30 MHz, 帯域幅 3 MHz 5 dB 以下 40 dB 以上, 相対位相誤差 2° 以下 33 μ s, 8.3 μ s, 1.5 μ s
測定精度 追尾限界	エンコーダ 距離精度 角度精度 測距最大速度 測角最大速度 捕捉最大速度 最小受信感度	光学読み出し方式, 測角19ビット, 測距23ビット 10 m 以下 0.006° (0.1 ミル) 以下 15 km/s 以上 10°/s 以上 10 km/s, 2°/s -100 dBm 以下
捕捉レーダ	アンテナ 送信電力 最小追尾可能レベル 測角精度 捕捉最大速度	0.8 m ϕ パラボロイド, 利得 28 dB 20 kW -85 dBm 0.1° 10 km/s, 10°/sec

ータ接続装置は、データの編集、前述の10秒毎の生データ記録器の制御も行っている。

2.3 二次レーダーの信号検出と司令の伝達

ロケット搭載のトランスポンダ、コマンドデコーダにおいてもまた地上局の受信系においても、到着信号の検出が必要である。精測レーダではインコヒーレントなパルスレーダ方式が用いられているので、検波回路によってパルス変調された到来電波の飽絡線を求め、飽絡線を示す電圧が予め設定された閾値を越えたときにパルス信号の検出が行われる。

信号検出の理論によれば、振幅（尖頭値） E_s の正弦波信号が周波数帯域制限を受けたガウス型雑音（分散 ψ_0 ）と重畳されており、これらが直線的検波回路に加えられた場合、検波出力電圧が E と $E+dE$ の間の値をとる確率 $dP(E, E_s, \psi_0)$ は次式で表わされる。

$$dP(E, E_s, \psi_0) = f(E, E_s, \psi_0) dE \quad (E \geq 0) \quad (1)$$

$$f(E, E_s, \psi_0) = E\psi_0^{-1} \exp[-(E^2 + E_s^2)(2\psi_0)^{-1}] I_0(EE_s\psi_0^{-1}) \quad (2)$$

$I_0(x)$ は零次の変形ベッセル関数

信号対雑音電力比は $S/N = E_s^2(2\psi_0)^{-1}$ と定められるので、 $S/N \gg 1$ の場合には

$$f(E, E_s, \psi_0) \sim \frac{\exp[-(E - E_s)^2(2\psi_0)^{-1}]}{\sqrt{2\pi\psi_0}} \cdot \sqrt{\frac{E}{E_s}} \left[1 + \frac{\psi_0}{8EE_s} + \frac{9}{128} \left(\frac{\psi_0}{EE_s} \right)^2 + \dots \right] \quad (2)'$$

閾値電圧を $E_t = kE_s$ (k は $0 < k < 1$ なる定数), とする時、信号があるにも拘らず検出されない確率 $1 - p_d$ は $S/N \gg 1$ の場合

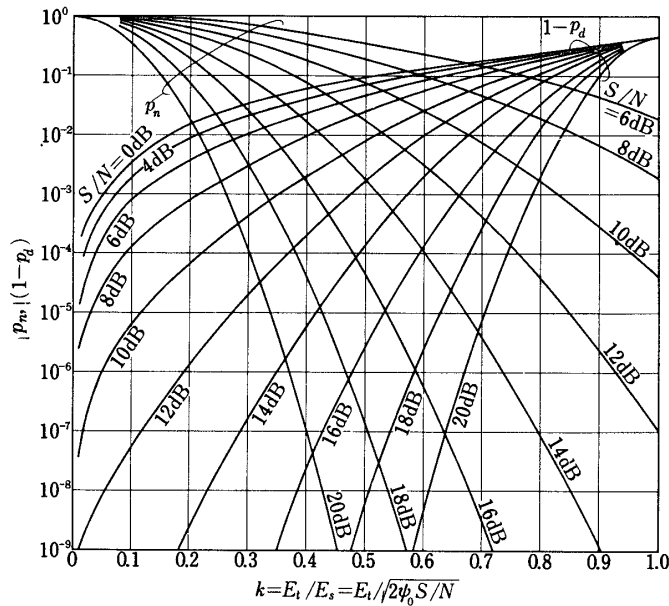
$$1 - p_d \sim \frac{\exp[-(1-k)^2(S/N)]}{2(1-k)} \sqrt{\frac{k}{\pi(S/N)}} \left[1 - \frac{3+6k-k^2}{16k(1-k)^2(S/N)} + \dots \right] \quad (3)$$

ここに $p_d = \int_{E_t}^{\infty} f(E, E_s, \psi_0) dE$ である。また信号がないのにも拘らず雑音のため信号があると誤って検出される確率 p_n は

$$p_n = \int_{E_t}^{\infty} f(E, E_s = 0, \psi_0) dE = \exp[-E_t^2(2\psi_0)^{-1}] \quad (4)$$

第3図は S/N をパラメータとして $1 - p_d$, p_n が閾値パラメータ k とともに変化する様子を示したものである。

トランスポンダ受信部、地上局受信機にはスーパーヘテロダイン方式が用いられている。トランスポンダ受信部の雑音指数は、送受共用のためのサーキュレータ、混信除去のためのプリセクタ（帯域通過濾波器）等の損失を含めて $NF_t \approx 11$ dB 程度である。地上送信パルスの幅は使用マグネトロン（制約等）で $\tau \approx 0.3 \mu s$ であるが、局部発振器の安定性等も考慮してトランスポンダ受信部の中間周波帯域幅は $B \approx 10$ MHz 程度に選ばれている。したがって

第3図 検出の誤りの確率 $1-p_d$, p_n と k , S/N との関係

等価入力雑音電力は -93dB 程度である。地上送信パルス列の繰返し周波数が $f_r \approx 250\text{cps}$ とする時、10分間に1回程度の誤り率を許すならば $1/f_r$ 秒の間の許容誤り率は $p_a \approx 0.7 \times 10^{-5}$ となる。測距を行うために単発のシングルパルスを用いる場合と時間間隔の定まったダブルパルスを用いる場合を比較すると

$$\text{シングルパルスの場合} \quad p_a \geq B(2f_r)^{-1} p_n + 1 - p_d$$

$$\text{ダブルパルスの場合} \quad p_a \geq B(2f_r)^{-1} p_n^2 + 2p_r p_d + 2(1 - p_d)$$

前例の場合に当てはめると、シングルパルスのとき、 $k = 0.60$ で $S/N = 18.0\text{dB}$ 、ダブルパルスのとき $k = 0.53$ で $S/N = 16.7\text{dB}$ が必要となる。このような考察から確実な動作を保証する測距信号パルスとしては $-77 \sim -75\text{dBm}$ の受信信号レベルが必要となることが判明する。

スタートパルスと 3 out of 6 の司令コードを伴ったダブルパルスで作ったパルス列が地上局から送信されている場合には、パルスの数が6ケになるのでそれだけ誤りの確率も増大する。パルスの間隔がある基準間隔の整数倍となるようにパルス列が作られている場合には、誤り易い司令コードが発生する。一方、司令内容が誤って通達実行される事は許されないのので、精測レーダでは次のような照合再送方式を用いている。すなわち、まず、20ケの 3 out of 6 コードの中から2つのパルスが同時に誤らなければ（2つのパルスが検出されず、同時に他の位置で2つのパルスが誤って検出されるような事が起らなければ）グループ内の他のコードに誤ることがないように3つのグループ（各グループは4つのコードより成立する）が選定され、残りのコードを一群として全体の20ケのコードは4つのグループに分類される。前者の3つのグループはそれぞれ、ピッチ、ヨー、タイムの単位量の修正に使用され、1つのグループ内の4つのコードに Reset, +1, -1, Activation が割振られる。後者のグルー

アの8ケのコード中1ケは何の司令もしないもので Dummy と名付けられ、残りの7ケにはそのグループの Reset, $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4$, Activation が割振られる。この 2^i ($i = 1, 2, 3, 4$) はピッチ, ヨー, タイムの単位修正以外の特定の指令に使用される。指令は1ステップずつ行われるが、コマンドデコーダで解読されたコード内容は、トランスポンダが返信するレンジパルスから予めコード別に定められた時間だけ遅れたアンサーバックパルスによって地上局に送り返され地上局で照合される。そして、照合内容が送信内容と一致した時に Activation コードが地上局から送られて通達内容の実行に移る。照合が不完全な場合には Reset コードを送信した後に、通達すべきコードの送信が繰り返される。司令を行わない時には4つのグループの Reset 信号が交互に繰り返される。したがって、レーダーの回線状態が悪い時には指令の通達は行われぬが、回線状態の回復を待って確実な指令の通達が1ステップずつ行われる事になる。文献[5]を参照。

第2表にはコードの分類を示す。詳細については、第3.1節, 第3.2節, 第4.1節を参照されたい。第4図はS/Nの概略を知るための受信信号レベルと直距離の関係を示したものである。図中には送信信号レベルの切換, 送信アンテナの切換, 受信機に挿入される減衰器

第2表 コードの分類と司令内容の分解

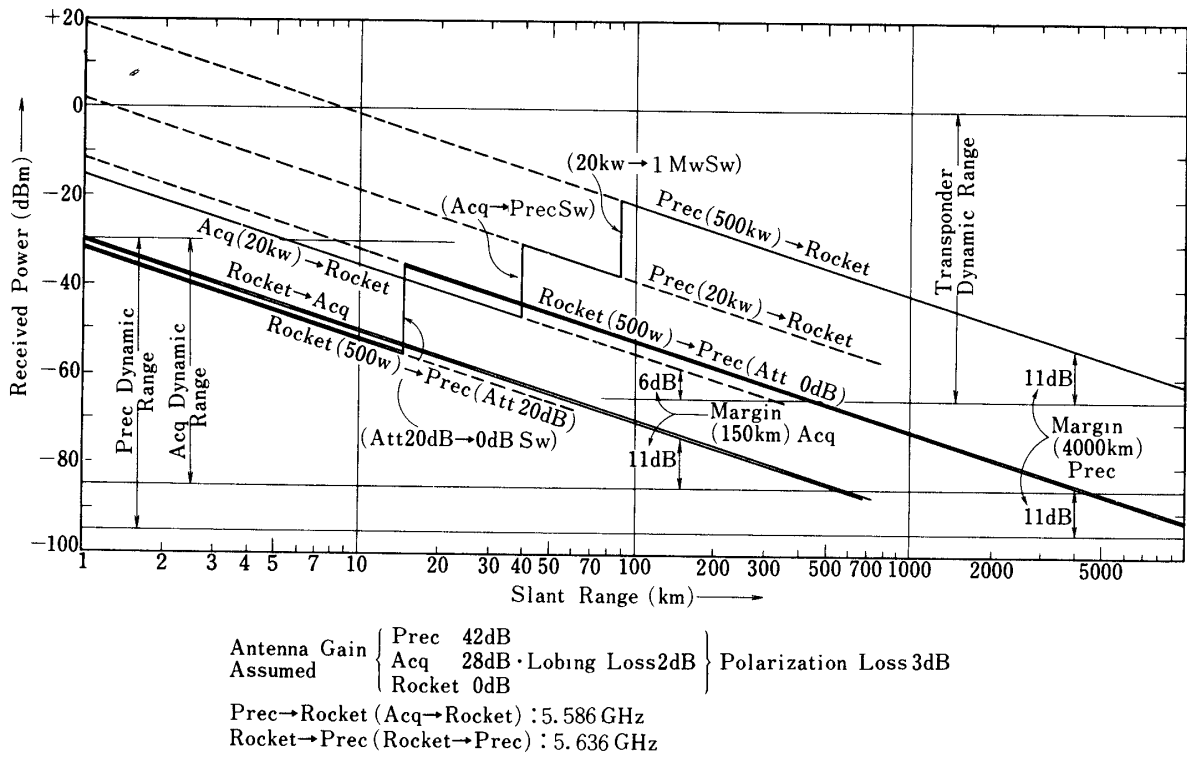
	PITCH	YAW	TIME	NUMBER	DUMMY
SET	$P_+ (+1)$ $P_- (-1)$	$Y_+ (+1)$ $Y_- (-1)$	$T_+ (+1)$ $T_- (-1)$	$N_0 (2^0)$ $N_1 (2^1)$ $N_2 (2^2)$ $N_3 (2^3)$ $N_4 (2^4)$	
ACTIVATION	P_A	Y_A	T_A	N_A	
RESET	P_R	Y_R	T_R	N_R	
DUMMY					D

(注) NUMBER の予め定められた特定の組合せは優先コマンド司令

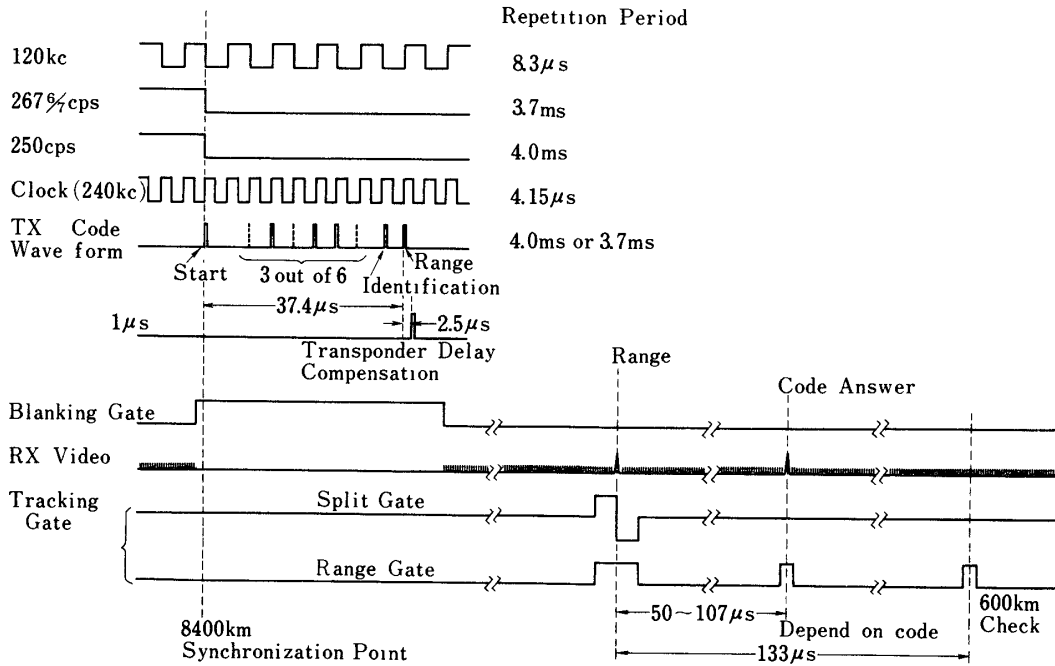
ピッチ+3, ヨー-2, タイム+5, ナンバー $2^1, 2^3$ の指令の分解
 $P_+, Y_-, T_+, P_+, Y_-, T_+, P_+, T_+, T_+, T_+, (N_1, N_3)$

コード P_+ の送信

- 1) P_+ 送信; $\dot{P}_R \dot{P}_R \dot{D} \dot{P}_+ \dot{P}_+ \dot{P}_+ P_+$ (待合せ)
 ・符号の照合確認, 確認がとれなければ1)に帰って P_+ 送信を行う。確認出来れば2)へ。
- 2) P_A 送信; $\dot{P}_A \dot{P}_A \dot{P}_A \dot{P}_A \dot{P}_A \dot{P}_A D$ (待合せ)
 ・符号の照合確認, 確認がとれなければ2)に帰って P_A 送信を行う。確認出来れば次のもの(上例では Y_-)に移る。
- 3) 全部送信し終えたなら $P_R Y_R T_R N_R$ を繰り返す。
- 4) (N_1, N_3) は N_1 と N_2 を一連の符号で送り同一の P_R, P_A を用いる意味である。



第4図 直距離と受信信号電力との関係



第5図 送受信の時間関係

の切換等も示されている。これらの切換は、初期捕捉及び追尾の確実性を向上するために実行されるものである。第5図は送受信の時間関係を示す図である。

3. 電波誘導に関連した地上系増設設備

3.1 コマンドコンソール

コマンドコンソールは電波誘導地上系のうち、ロケットに与えるコマンド信号を、操作、表示、制御する装置で、写真1に示す外観をしている。

第6図にコマンド系の系統図を示す。コンピュータからコマンドコンソールに与えるコマンドは、第7図に示す21文字から構成され、1ステップとはコマンドによって姿勢制御系が動作する最小単位を意味する。

コマンドコンソールはこの入力を、第3表の20種類の3 out of 6 コードの組合せに分解し、測距装置および送信装置はこれをレーダーの測距パルスに同期させ、約4msに1コードずつロケットに送信する。ロケット搭載のトランスポンダは、これに対する確認応答として、対応したPPM信号(アンサーバック)を地上に送り返す。

一方コマンドコンソールは測距装置に出力したコマンドを一時記憶し、対応するPPMアンサーバック信号が地上で受信される時に、受信コードとして再び測距装置に出力する。

前述の1ステップのコマンドは、誤動作を防止するために冗長度を持たせ、最低12個の3 out of 6 コードに変換される。コマンドコンソールは各々のアンサーバックをすべて監視し、確実にロケットがコマンドを受信し、かつ誤ったコマンドを受信されないように、送信する

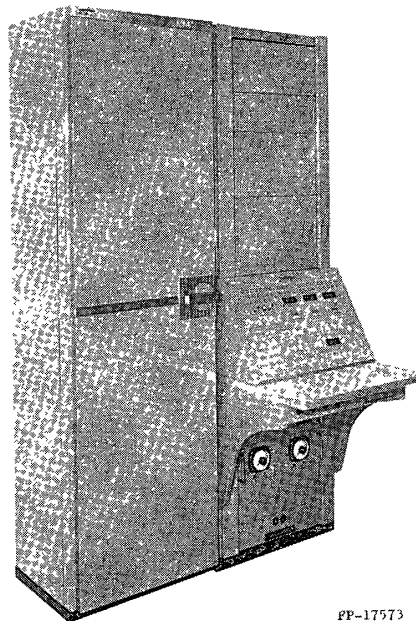


写真1 コマンドコンソール外観

コード列を制御する。送信コード列の例を第8図に示す。

アンサーバックの判定条件には次の3レベルがあり、任意に選択できる。

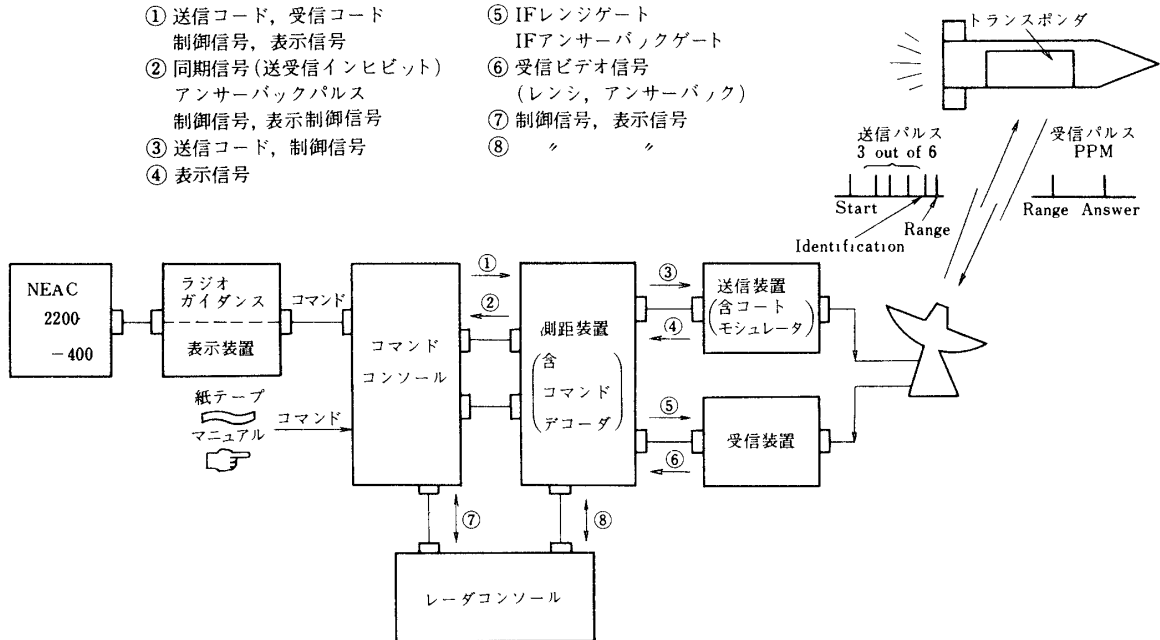
- ① アンサーバックがすべて受信されること。
- ② アンサーバックがロケット搭載機器の動作に必要な数 (Dummy 以外のコードが送信数の半分) 受信されること。
- ③ 無条件 (再送は行わない)

コマンド履歴は6チャンネルペンレコーダに第9図の形式で記録され、その内容は次の通りである。

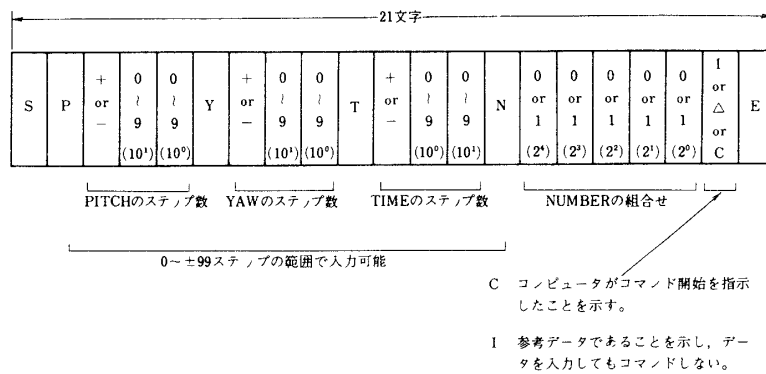
- (1) ステップ単位に集約したコマンド出力結果
- (2) アンサーバック判定条件 (3レベル)
- (3) 測距パルスロックオンの有無
- (4) アンサーバックパルス受信状況
- (5) 時刻パルス (1秒, 10秒, 60秒)

第3表 コマンドコード一覧表

コマンド項目		略号
Dummy		D
Pitch	Reset	P_R
	+1	$P+1$
	-1	$P-1$
	Activation	P_A
Yaw	Reset	Y_R
	+1	$Y+1$
	-1	$Y-1$
	Activation	Y_A
Time	Reset	T_R
	+1	$T+1$
	-1	$T-1$
	Activation	T_A
Number	Reset	N_R
	2^4	2^4
	2^3	2^3
	2^2	2^2
	2^1	2^1
	2^0	2^0
	Activation	N_A



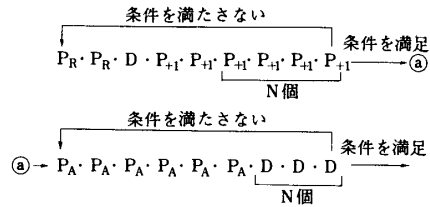
第6図 コマンド系統図



第7図 コンピュータ出力フォーマット

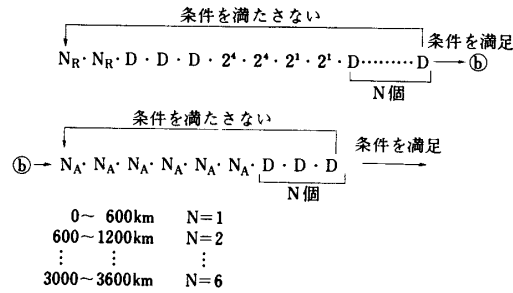
A. Pitch Yaw Time

(例) Pitch₊₁の場合

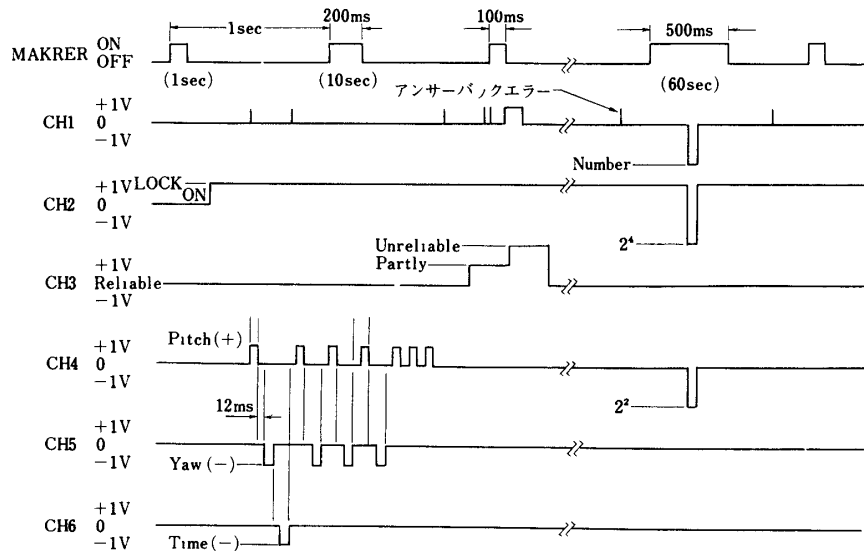


B. Number

(例) 2⁴ 2¹をSetする場合



第8図 1ステップのコマンド送信



第9図 ペンレコーダ記録形式

3.2 コマンドコンソール模擬装置

コマンドコンソール模擬装置は、電波誘導用搭載機器の性能を地上で十分に試験するための装置で、そのために実際に起こりうる種々のコマンドコードの組合せを与え、搭載機器の応答を記録解析する機能を有する。

写真2に本装置の外観を示し、第10図に試験系統図を示す。第10図のうち本装置は3.1項のコマンドコンソールに対応し、RF系試験装置は測距装置および送受信装置に対応する。

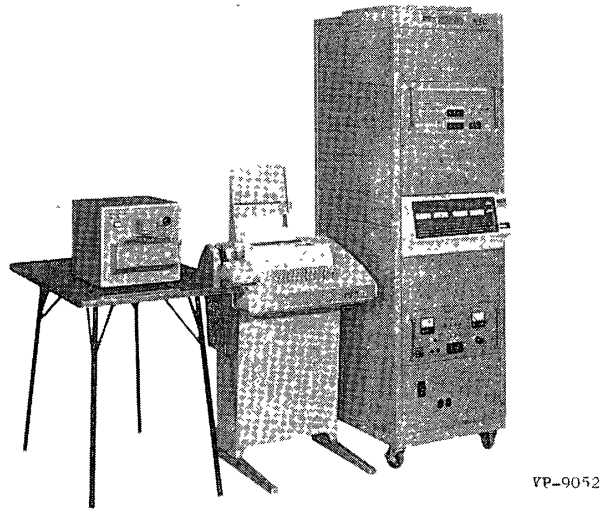
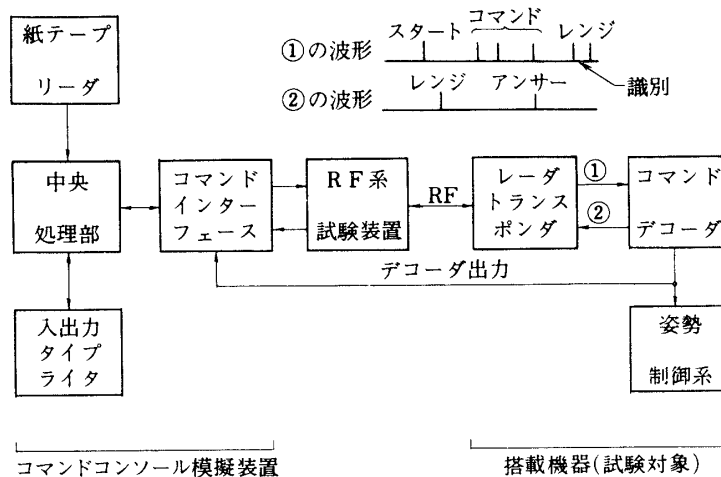


写真2 コマンドコンソール模擬装置

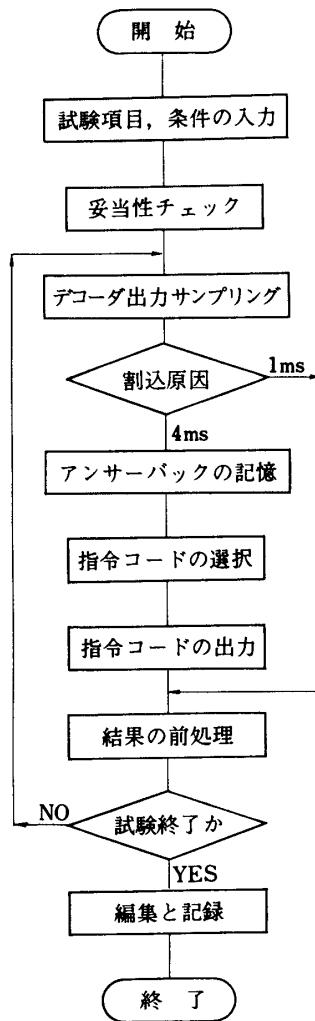


第10図 試験系統図

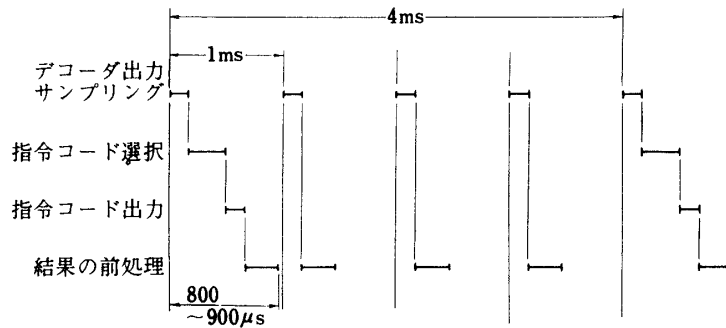
本試験系の試験機能はおよそ次の通りである。

- ① コマンドコンソールを模擬するコマンドコードの発生
- ② 搭載機器の応答を詳細に試験するための任意のコード列の発生
- ③ 1msごとの搭載機器応答の監視と記録
- ④ コード別のアンサーバック受信状況の記録
- ⑤ レーダトランスポンダの受信性能の測定
- ⑥ レーダトランスポンダの送信性能の測定
- ⑦ コマンド PPM アンサーバックの時間間隔測定

このうち①～④の機能を分担するのが本装置である。本装置は中央処理部にミニコンピュータ (NEAC M-4) を使用しているため、試験の種類は中央処理部にロードし実行するプログラムにより選択でき、現在2種類の試験プログラム、すなわち実際のコマンド送信を模



第11図 模擬試験プログラムフローチャート



第12図 模擬試験プログラムタイムチャート

L15S
SP+50Y-25T+10N10100E

RG 0000KM
TM 04.488MS

	P	Y	T	N
START	+50	-25	+10	10100
STOP	+00	+00	+00	00000
DEC	+00	+00	+00	00000
ERROR	-50	+25	-10	10100

	S	A	S	A	S	A	S	A
0	50	50	24	25	10	10	1	1
1	0	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0

	PR	P+	P-	PA	YH	Y+	Y-	YA	TH	T+
CMD	100	100	0	300	52	0	52	150	20	20
ANS	100	100	0	300	52	0	51	150	20	20
A.R	1000	1000	0	1000	1000	0	980	1000	1000	1000

	T-	TA	NR	N4	N3	N2	N1	N0	NA	D
CMD	0	50	2	2	0	2	0	0	6	88
ANS	0	50	2	2	0	2	0	0	6	88
A.R	0	1000	1000	1000	0	1000	0	0	1000	1000

第13図 模擬試験プログラム記録計

擬する模擬試験プログラムと、任意のコマンドコード列を発生して応答を詳細に記録する動作解析試験プログラムが用意されている。

模擬試験プログラムはコマンドコンソールの機能に加えて、コマンドデコーダ出力を1msごとにサンプルし、コマンド終了後に試験結果をプリントする機能を有する。このプログラムのフローチャート、タイムチャートおよび記録例を第11図～第13図に示す。

動作解析プログラムはコマンドデコーダの動作を詳細に記録し、応答の解析を行うためのプログラムである。

試験は紙テープにパンチした任意のコード列を入力して搭載機器に出力し、その1msごとの結果を第14図のフォーマットで、すべて記録することにより行われる。図中の左端の5桁の数は経過時間（単位ms）をあらわし、結果に変化のない場合は記録が省略される。

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CMD	5	4	0	12	1	0	0	0	1	0
ANS	5	4	0	11	1	0	0	0	1	0
A.R	1000	1000	0	916	1000	0	0	0	1000	0

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
CMD	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
ANS	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5
A.R	0	0	1000	0	0	0	0	0	0	1000

第14図 動作解析プログラム記録例

3.3 ラジオガイダン用表示装置

電波誘導表示系の系統図を第15図に示す。表示系は新旧の2系統に分かれ、更にレーダセンタとコントロールセンタの2地区に分割されている。

第15図の下半分すなわち旧表示系は、現在のロケットの軌道を表示し、残りの部分すなわち新表示系は衛星の達成軌道を表示する

各装置の表示項目をまとめると第4表になる。

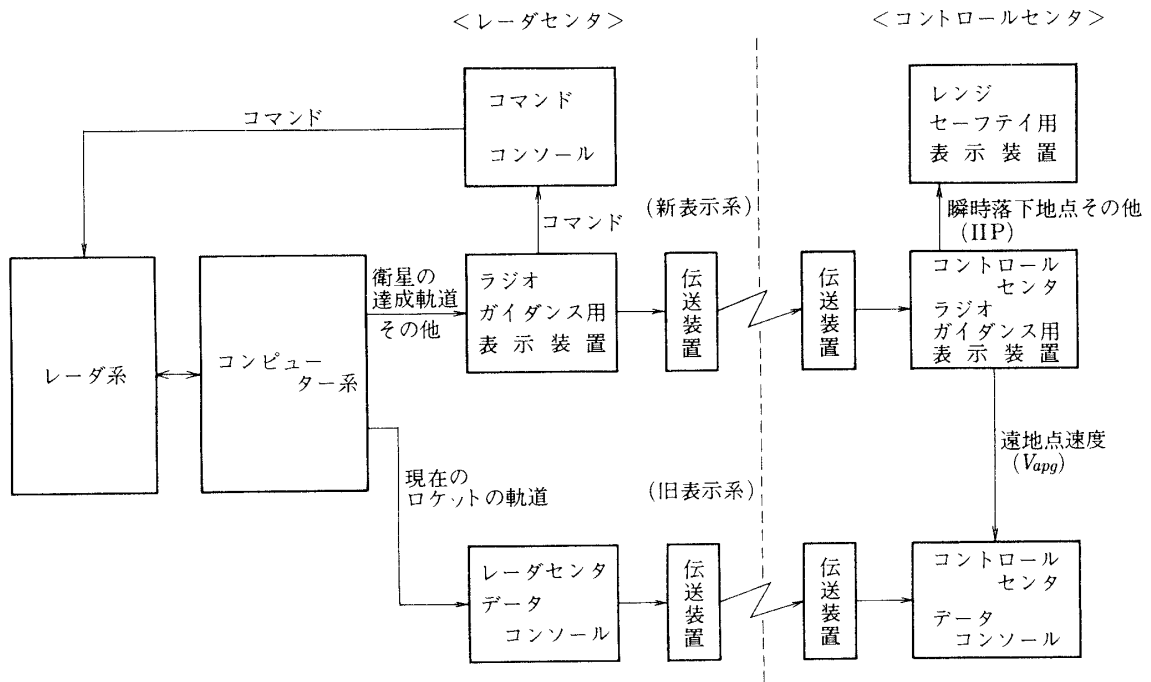
現在のロケットの軌道とは、その瞬間のロケットの軌道要素から計算した予測軌道を表わし、初期設定の最終段軌道とは、あらかじめ設定した姿勢制御が行われた場合の最終段(衛星)の予測軌道を表わす。また誘導後の最終段軌道は、初期設定に更に電波誘導による修正が加わった場合の予測軌道を表わし、誘導制御量はその時にロケットに与えるコマンド量を表わす。

表示データは、コンピュータで設定されたBCDコードに対応した数値を表示し、更に必要に応じてデータの全部または一部を消灯することができる。

また表示データの更新周期は、旧表示系が1秒、新表示系が2秒であり、その間は表示装置でデータが保持される。

写真3および4にラジオガイダンス用表示装置とレーダセンタ・データコンソールの外観を示す。

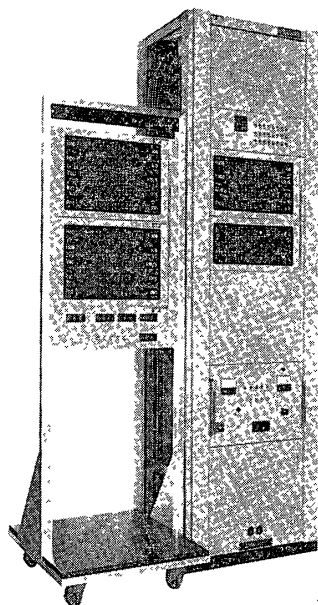
なおコマンドコンソールおよびレンジセーフティ用表示装置については、第3.2節および第3.4節を参照されたい。



第15図 電波誘導表示系系統図

第4表 電波誘導表示系 表示項目

分類	項 目	表示内容	レーダセンタ		コントロールセンタ		
			データコ ンソール	ラジオガ イダンス 表示装置	データコ ンソール	ラジオガ イダンス 表示装置	
現 在 の ロ ケ ッ ト の 軌 道	遠地点コード	H_{apg}	××××.×× km	○	○	○	
	遠地点速度	V_{apg}	××.××× km/s		○	○	
	遠地点方位角	AZ_{apg}	±××.××× deg	○	○	○	
	遠地点時刻	T_{apg}	××時××分××.×秒	○	○	○	
	終段点火時刻(Xマーク相対)	T_1	××時××分××.×秒	○	○	○	
	終段点火タイム コマンド時刻(")	T_c	±××時××分××.×秒	○	○	○	
	現在時刻(")	X	××時××分××.×秒	○	○	○	
	俯仰角の予測値の重み	$1/K_E$.××××	○			
	方位角 "	$1/K_A$.××××	○			
	直距離 "	$1/K_R$.××××	○			
	俯仰角観測値の標準偏差	σ_{EL}	.×××× deg	○			
	方位角 "	σ_{AZ}	.×××× deg	○			
	直距離 "	σ_R	×.×××× km	○			
	俯仰角の予測現在値	EL	±××.××× deg	○			
	方位角 "	AZ	±××.××× deg	○			
直距離 "	R	×××× ××× km	○				
初最 期終 設段 定軌 道の	遠地点高度	H_{ap}	±××××.×× km		○		○
	近地点高度	H_{pe}	±××××.×× km		○		○
	遠地点速度	V_{ap}	±××.××× km/s		○		○
	軌道面傾斜角	I_{nc}	±××.×× deg		○		○
	周期	P_{rd}	×××.×× 分		○		○
誘最 導終 後段 軌道の	初期設定の最終段 軌道と同じ	"	"		○		○
	プログラムモード	—	×××		○		○
誘 導 制 御 量	ピッチ修正量	—	±×× ステップ		○		○
	ヨー修正量	—	±×× ステップ		○		○
	タイム修正量	—	±××ステップ(×2組)		○		○
	ナンバー	—	2進5ビット		○		○



AP 13991

写真3 ラジオガイダンス用表示装置外観

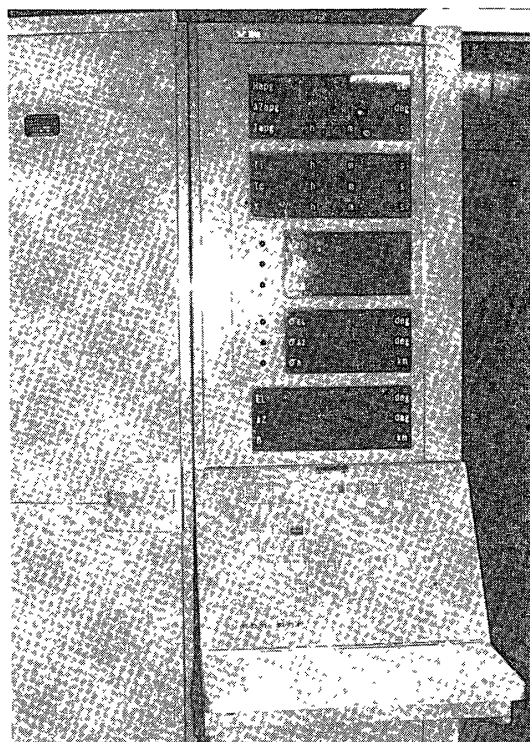


写真4 レーダセンタデータコンソール外観

3.4 レンジセーフティ用表示装置

本装置は第3.3節で述べたラジオガイダンス用表示装置を介して、コンピュータからロケットの瞬時落下地点（IIP）等のデータを入力し、XYレコーダに表示する装置で、写真5に示すように1台の操作盤と3台のXYレコーダを備えている。

操作盤はコンピュータの処理内容を識別するプログラムモードを表示するほか、XYレコーダの初期設定、校正等のためのスイッチを備えている。

XYレコーダは速い変化に应答できるようにアナログXYレコーダを使用し、記録面は縦25cm×横38cmである。右上のXYレコーダは横軸が発射後の経過時間を表わし、縦軸が対地速度の大きさを表わす。記録範囲は精粗2種類あり、スイッチで選択できる。下の2台のXYレコーダは、コンピュータで予測した瞬時落下地点を、精（右側）および粗（左側）の地図上に同時に記録できる。これらの記録範囲は装置内の半固定メモリで設定されており、現在は第5表の値に設定されているが、容易に変更可能である。

本装置への入力にはプログラムモード、落下点経度、落下点緯度、速度および時間の5種類で、すべて並列の2進信号で連続して与えられ、コンピュータのプログラムにより2秒または1秒ごとに更新される。このうちXYレコーダに記録するデータは、記録範囲に合わせてスケール変換を行った後アナログ信号に変換される。この2秒毎に変化するアナログ電圧は、XY記録面上の不連続な点を表わすが、XYレコーダのX軸とY軸の应答特性が異なるため、このままでは、2点間が直線にならない。従って本装置ではX軸とY軸に同じ特性のローパ

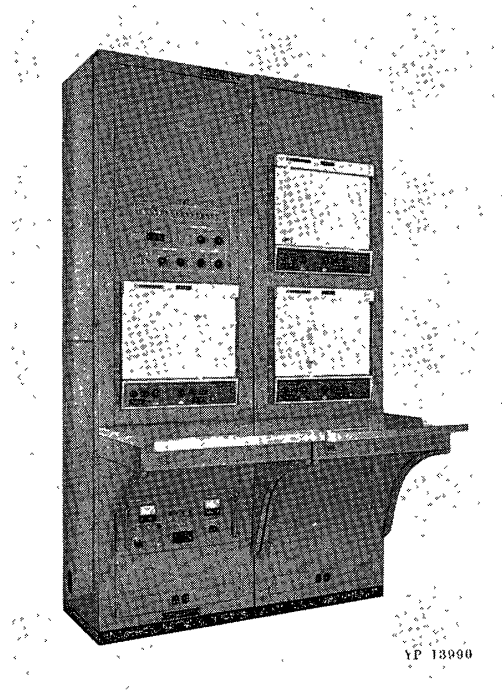


写真5 レンジセーフティ用表示装置外観

スフィルタを入れ、直線内挿を行っている

XYレコーダの外観および記録例を写真6および第16図に示す。

XYレコーダへの記録性能は次の通りである。入力の最大速度はX軸、Y軸共に3cm/ステップであるが、最大速度を越えても記録の直線性が劣化するだけで、デジタルXYプロッタのようにオフセットが残ることはない。

記録範囲 25cm(Y軸)×38cm(X軸)

記録精度 フルスケールの±0.4%

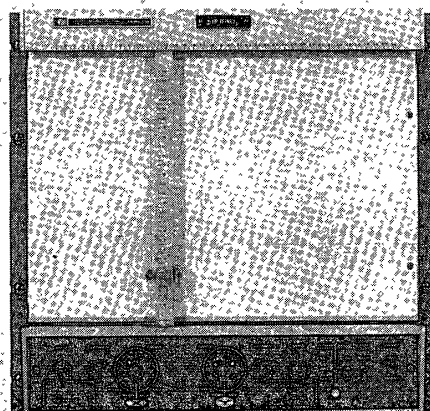
最大速度 3cm/ステップ

1ステップは1秒または2秒

第5表 XYレコーダの記録範囲

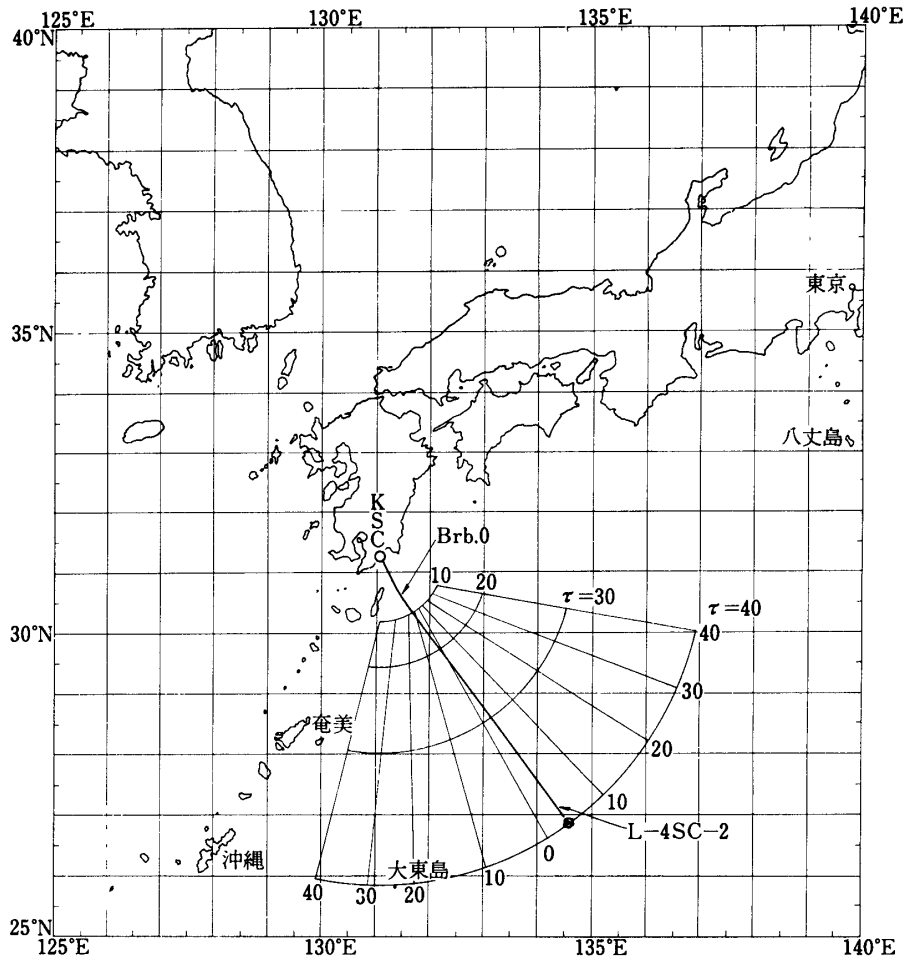
		内容		記録範囲	尺度		記録長
瞬時 落下地点	精	X	落下点東経	127°30'~145°	2.17 cm/deg	(注)44 km/cm	38 cm
		Y	落下点北緯	25°~35°	2.5 cm/deg	44 km/cm	25 cm
	粗	X	落下点東経	125°~158°45'	1.13 cm/deg	(注)85 km/cm	38 cm
		Y	落下点北緯	20°~40°	1.25 cm/deg	89 km/cm	25 cm
速度 対時間	精	X	経過時間	0~380 s	0.1 cm/s	10 s/cm	38 cm
		Y	対地速度	0~6.25 km/s	4 cm/km/s	0.25 km/s/cm	25 cm
	粗	X	経過時間	0~950 s	0.04 cm/s	25 s/cm	38 cm
		Y	対地速度	0~10 km/s	2.5 cm/km/s	0.4 km/s/cm	25 cm

(注) 発射点付近の緯度における値である。



1P 18596

写真6 XYレコーダ外観



第16図 XYレコーダの記録

4. レーダートランスポンダおよびコマンドデコーダ

4.1 概要

電波誘導を目的としたレーダートランスポンダ及びデコーダは、L-4S-4、L-4SC-2、M-3C-1及びM-3C-2において飛しょう実験を重ね、その機能の確認と改善を行ってきた。

トランスポンダはロケットに搭載され、地上レーダーステーションからのインタロゲーションに対して測距用のアンサーバック信号を返信し高精度の位置測定に供されるものである。使用周波数はアップリンクに 5586 MHz、ダウンリンクに 5636 MHz を、インタロゲーションコードとしてパルス間隔 $3\mu\text{s}$ のダブルパルスを使用し、検波出力を、デコーダに供給するためのビデオ信号出力機能と、外部からのトリガによりパルスを送信する外部トリガ機能を有している。

デコーダは、トランスポンダと共に搭載され、電波誘導を行うために地上からのコマンド信号を解読する装置である。コマンド信号には 3 out of 6 の PCM コードが用いられ、20

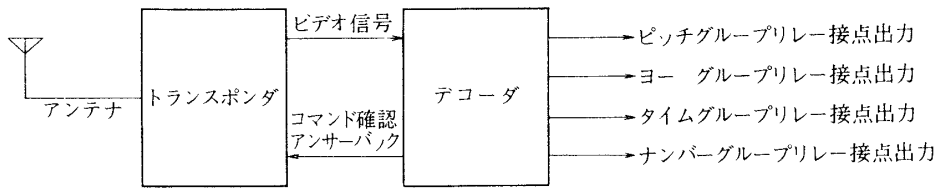
項目のコマンド信号に対して、20項目のコマンド確認用アンサーバック PPM 出力及び15項目のリレー接点出力を有している。

トランスポンダ及びデコーダは第17図に示すインターフェースを有する。

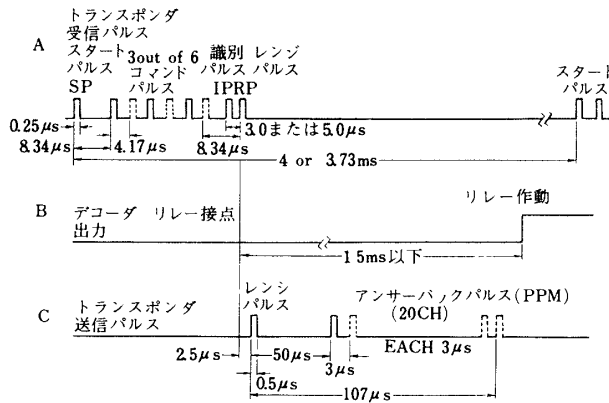
地上からの誘導コマンドは、第18図、Aに示す PCM-AM 変調波となってトランスポンダに送られる。トランスポンダはこれを検波しビデオ出力信号としてデコーダに出力すると共に、識別パルス IP とレンジパルス RP で構成されたダブルパルスを検出して測距用のアンサーバックパルスを返信する。

デコーダはトランスポンダのビデオ出力信号を解読してリレー接点出力を動作させると共に、解読した信号に対応したコマンド確認用アンサーバックパルスを発生させ、トランスポンダを介して地上に送り返す。

コマンド項目を第3表に示す。これらの項目のうち、ピッチ及びヨーのグループのデコーダリレー接点出力は CN 電気部とインターフェースを有し姿勢角修正に用いられ、タイムグループのリレー接点出力はタイムセクタとインターフェースを有し最終段打ち出し時刻修正に用いられる。ナンバーグループのリレー接点出力は最終段点火指令（瞬発）、姿勢角修正終了指令等のイベント指令に用いられる。デコーダからは、ナンバーグループのコマンドを除き、他はすべてリレー接点 ON, OFF のパルス数の形で修正量出力される。これはレ



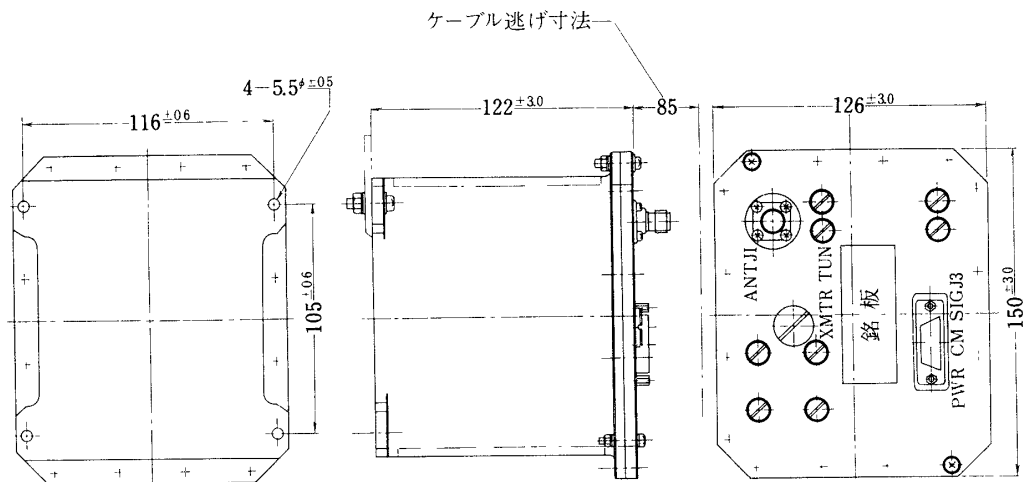
第17図 トランスポンダ-デコーダインターフェース概念図



第18図

第7表 トランスポンダの一般的電気性能

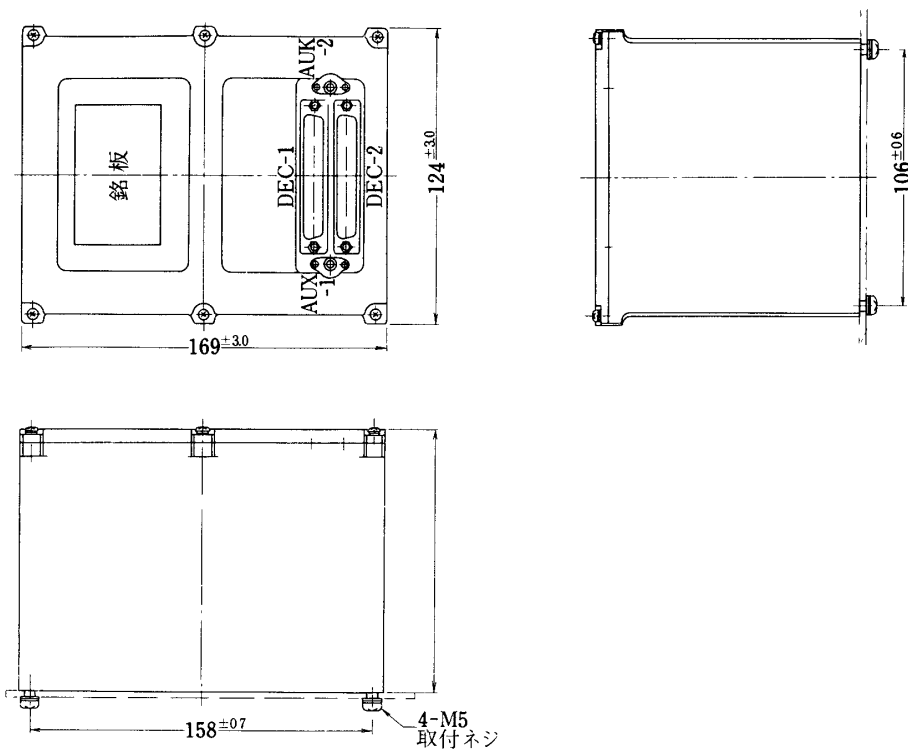
送受信周波数	5400～5900 MHz の指定される一波で送受信周波数間は 50 MHz 以上離れて指定されること
周波数安定度	± 3 MHz
送信電力	400W 以上 (尖頭値)
送信パルス幅	0.9 ± 0.1 μ sec
受信帯域幅	約 10 MHz
受信感度	- 70 dBm 以下 (99 %同期)
識別パルス間隔	3 μ sec または 5 μ sec
固定遅延時間	2.5 ± 0.1 μ sec
遅延時間変動	50 n sec P-P 以下
電 源	28 ± 4 V 0.5 A 以下
重 量	3 kg 以下



第20図 トランスポンダ外観図

第8表 デコーダの一般的電気性能

入力特性	
入力パルス電圧	50 mV ~ 3V (P-P) 負極性 注1 (この値はトランスポンダ本体との噛み合わせ結果により変更することができる)
入力パルス幅	250 n sec
入力インピーダンス	300 オーム
ダブルパルス間隔	3 μ sec または 5 μ sec
コマンド符号間隔	4.17 μ sec
コマンド符号パターン	3 out of 6 PCM (第18図参照)
コード繰り返し率	250 または 267 6/7 CPS
出力特性	
デコード項目	20項目 (第3表参照)
リレー接点出力	15項目 \times 2
アンサーバック出力	4 V (P-P)
整合負荷インピーダンス	300 オーム以上
電源	
電源電圧	18 V (16V ~ 20V)
消費電流	300 mA 以下 (平均) 380 mA 以下 (ピーク値)
消費電力	5.4 W 以下 (平均)
重量	3.0 kg 以下



第21図 デコーダ外観図

4.3 回路構成と動作概要

4.3.1 トランスポンダ

トランスポンダのブロック図を第22図にパルス形式を第18図に示す。回路は動作機能上大きくわけて次に示す4つの部分から構成されている。

- ①地上局からの信号を受信する受信部
- ② $3\mu\text{sec}$ のダブルパルスを解読するDPデコーダ部
- ③レンジパルス及びアンサーバックパルスを送信する送信部
- ④各部に必要な電力を供給する電源部

トランスポンダは第18図に示したパルス形式のうち定められた時間間隔をもつダブルパルスを解読してレンジパルスを送信する。デコーダからのアンサーバックパルスは、DPデコーダ部の途中に入力される。以下各部の動作概要について述べる。

(1) 受信部

受信部はシングルスーパーヘテロダイン方式を採用しておりその構成はアンテナ系を送受共用とするための4端子サーキュレータ、半同軸型のキャビティを用いたプリセクタとミキサ、トランジスタを用いた局部発振回路及び70MHzの中間周波増幅器から構成される。

アンテナで受信された信号は4端子サーキュレータからプリセクタに入力され不用電波が除去された後ミキサで局部発振回路からの信号との差である70MHzの中間周波数に変換され中間周波増幅器で増幅検波される。中間周波増幅器は、受信々号のダイナミックレンジを大きくとる様に対数増幅器を使用しているため信号を飽和することなく増幅検波が行われる。検波された信号は2つに分岐され一方はダブルパルスを解読するDPデコーダ部に他方はコマンドデコーダに出力される。

(2) DPデコーダ部

DPデコーダ部は、遅延安定化回路及びダブルパルス識別回路から構成される。

中間周波増幅器で検波されたビデオ信号は遅延安定化回路に入力され、測距精度に直接関係するトランスポンダの遅延時間の変動が抑圧されてダブルパルス識別回路に送られる。遅延安定化回路では、入力換算60dBのダイナミックレンジに相当するビデオ信号のレベル変動に対して、遅延時間の変化幅は50nsecの変動に抑圧される。

ダブルパルス識別回路は、そのトランスポンダに割り当てられたパルス間隔のみを識別する機能を有しており識別された出力信号により送信部のトリガ信号を発生する。

又地上レーダからの信号入力がない場合においても、トランスポンダから送信信号を発生し、角度追尾が可能な様に自走発振器を有している。

デコーダからのアンサーバック信号は、PPMでDPデコーダ部に入力されこの信号に対しても送信部へのトリガ信号を発生する回路構成となっている。

(3) 送信部

送信部はSCRをスイッチング素子として用いたラインタイプ変調回路と5600MHz帯の送信パルスを発振するマグネトロンから構成される。

ラインタイプ変調回路はDPデコーダからのトリガ信号を受けマグネトロンが規定のパルス幅($0.9\mu\text{sec}$)を発振するのに必要な高圧パルス約2400Vを発生する。この高圧パルス

はマグネトロンのアノードに印加され尖頭電力約 500W の C バンド出力を得る。マグネトロンの発振出力は 4 端子サーキュレータを通りアンテナ端子に導びかれる。サーキュレータはアンテナ端子での負荷変動に対してマグネトロンの送信出力、周波数の安定化を図っている。又サーキュレータは、アンテナの送受共用回路としての機能も有している。

(4) 電源部

電源入力電圧は +28V (±4V) であるが、シリアズレギュレータで +20V に安定化された後 DC-DC コンバータにより +300V, +12V, -12V, 5V AC の 4 系統の電圧を得て各部に供給している。

4.3.2 デコーダ

デコーダのブロック図を第23図に、各部の概略波形を第24図に、そのタイムチャートを第25図に示す。回路は動作機能上大きく分けて次の4つの部分から構成されている。

- ① 3 out of 6 コードを解読する信号解読部
- ② アンサーバック信号を発生させるアンサーバック部
- ③ 出力リレーを動作させるリレー部
- ④ 各部に必要な電圧を供給する電源部

デコーダは読み込み動作のトリガとして第18図-Aに示した入力パターンのうち、定められた時間間隔 (5 または 3 μ s) をもつ尾部のダブルパルス IP, RP を利用していて、これが検出された時まで 3 out of 6 のコマンドコードを読み込み解読するようになっている。

また、このパルスパターンの頭部のスタートパルス SP はデコーダ内部のレジスタをリセットするために使用している。

以下各部の動作概要を述べる。

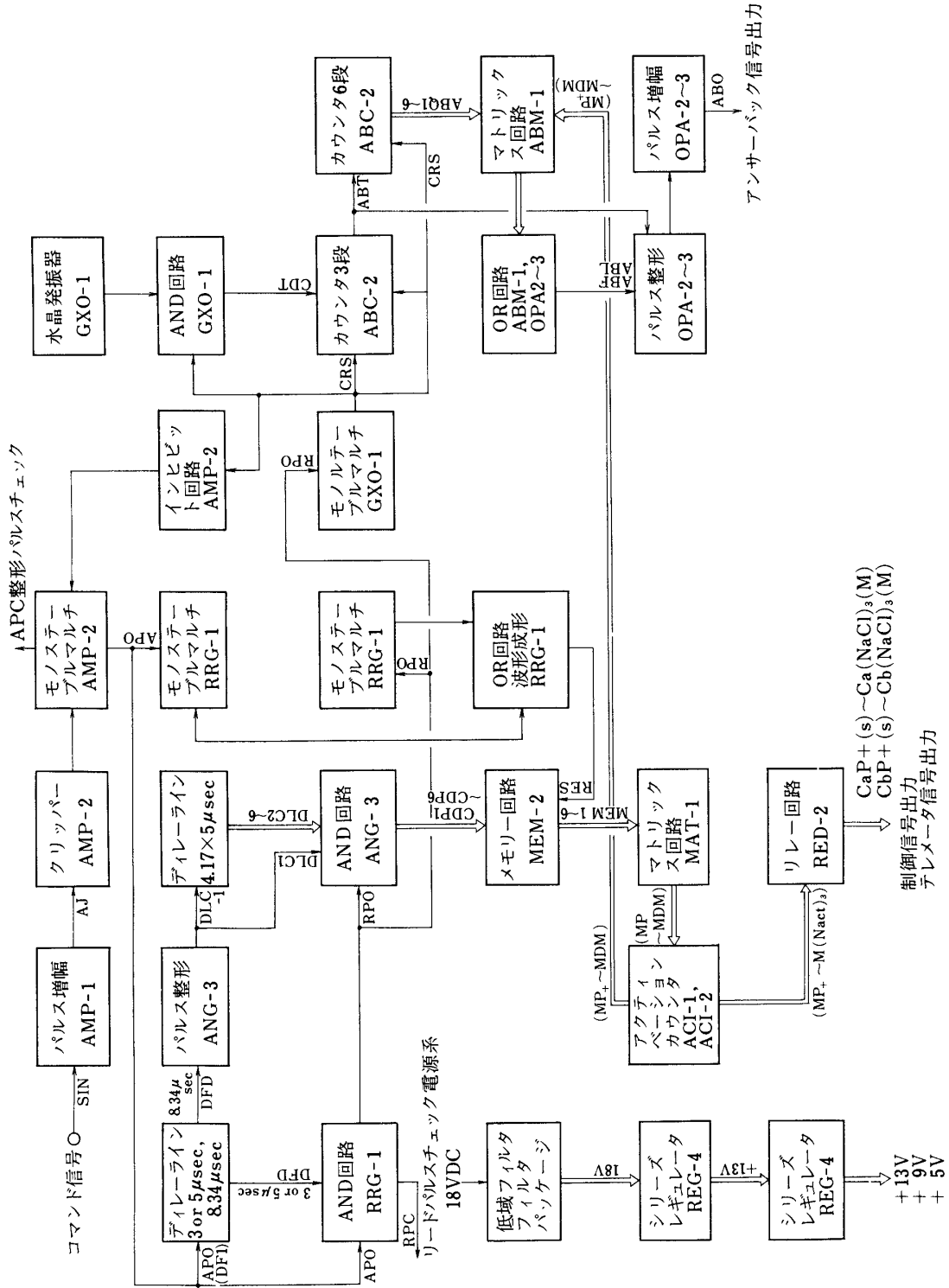
(1) 信号解読部

トランスポンダからのビデオ信号 (第25図-A) の各パルスは入力アンプで増幅整形された後 (第24図 APO), ディレイラインでそれぞれ定められた時間だけ遅延され RP のパルス位置に一致する (第25図 B)。

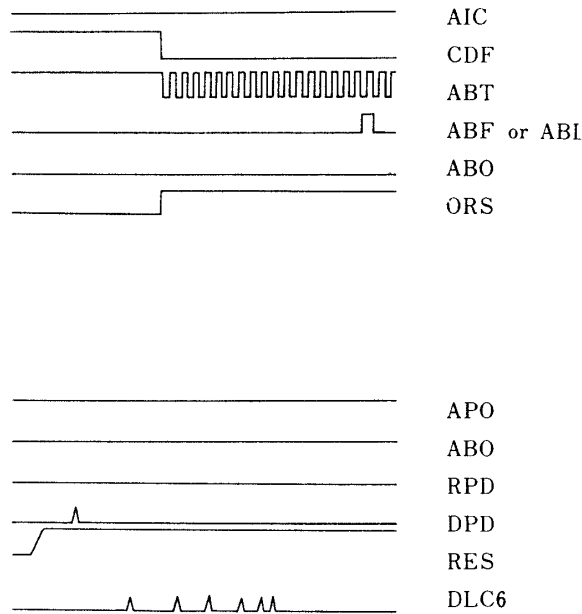
このように時間位置の一致した信号のうち、IP と RP は AND がとられ、3 out of 6 コード (C1~C6) をメモリレジスタに読み込むためのトリガパルス (これを READ-PULSE と呼ぶ第24図-RPD) となる。またこの READ-PULSE はアンサーバック用クロック信号と入力アンプインヒビット回路をスタートさせ同時にメモリレジスタのコード記憶時間 (約 3ms) を定めるモノマルチをスタートさせる。C1~C6 の 3 out of 6 コードは READ-PULSE によりメモリレジスタに読み込まれる。メモリレジスタでは 3 out of 6 コードを約 3ms の間記憶し、これをマトリックス回路で解読し 20 項目のコマンドとしてリレー部とアンサーバック部に送る。

(2) リレー部

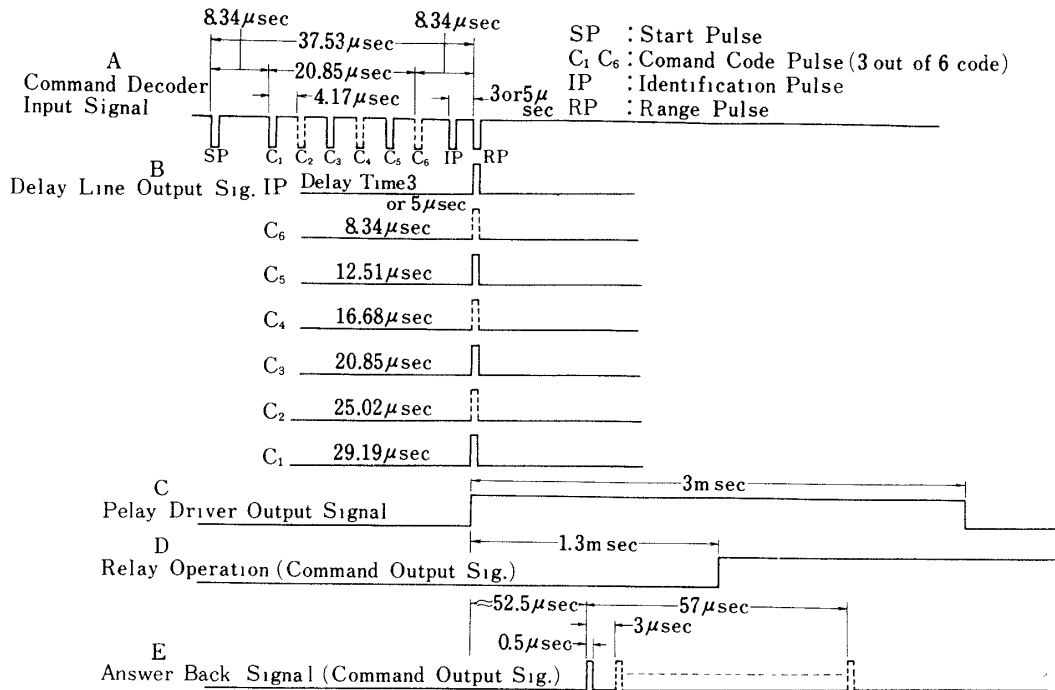
20項目のコマンドのうちアクティベーション項目のリレードライバには3進のアクティベーションカウンタが付加され、3回以上アクティベーションコードが入った場合にのみこの項目のリレーが動作するようになっている。このアクティベーションカウンタは、そのコマンドグループに対応するリセットコマンド (ピッチグループであればピッチリセット) を受



第23図 デコーダブロック図



第24図 デコーダ各部の概略波形



第25図 コマンドデコーダのタイムチャート

信するとリセットされる。

リレーは小型のラッチングリレーを使用していて一度あるコマンドを受信しその項目のリレーがセットされるとそのコマンドに対応したリセットコマンドを受信するまで保持される。

(3) アンサーバック部

アンサーバック部は水晶発振回路を原振としてカウントダウンされた $3\mu\text{s}$ 周期のゲートドクロック信号(第24図 ABT. このクロック信号は前述の READ-PULSE でスタートする)をカウンタでカウントし各 PPM 信号の時間位置に対応するパルス信号を作り、このパルス信号と信号解読部のマトリックス回路の出力との AND をとり、入力コードに対応した PPM 信号(第24図, ABO)を出力している。

(4) 電源部

電源入力電圧は $+18\text{V}$ (-2 , $+4\text{V}$)でシリーズレギュレータにより $+13\text{V}$, $+9\text{V}$, $+5\text{V}$ の3系統の安定化された電圧を作り各部に供給している。

4.4 設計要点

トランスポンダデコーダの設計にあたっては人工衛星打上げロケットの搭載電波誘導機器として要求される小型軽量化, 低消費電力化, 高信頼性を図ると共に, 国産技術による開発, 設計, 製造のみならず国産部品の使用に重点を置いた。

トランスポンダは大出力の送信機と高感度の受信機が同一電源同一ケースに配置されることから種々の機械的電磁的検討を加え, デコーダは回線条件の厳しいトランスポンダのビデオ出力から高速のコマンドパルスを捕捉し確実に解読を行うため回路的また情報伝送的検討を加えた。

電波誘導のためのコマンドコードはレーダー回線の特殊性, 地上及び搭載側ハードウェアの各制約条件, レーダステーション及びランチャーの立地条件等を考慮して構成されたものであり, 諸外国文献の入手難等の理由もあって, 今回開発されたトランスポンダデコーダは我が国独特のものとなっている。各々の設計要点を次に示す。

4.4.1 トランスポンダ設計要点

トランスポンダの設計においては大きな出力を発生する送信部と微小な信号を受信する受信部の相反する機能のものが同一ケース内に実装されることから, 干渉の問題を特に考慮しなければならない。又受信入力レベルのダイナミックレンジが広く要求されること, 高圧パルスに対する放電の防止等についても留意しなければならない。

トランスポンダは, マグネトロンを除きすべて固体化されており小型軽量低消費電力化されかつ堅牢で高い信頼性を得ている。送受間の干渉防止については, 構造的な面から各部のシールドを十分にとる構造とし又電気的な面からは, 回路的にノイズに強い回路方式を採用した。このことにより送信時の RF 出力, ノイズ等に対しても不安定な動作はおこらない。

IF 部は受信入力信号レベル変動のダイナミックレンジを広くとるために各段増幅後のエミッタから検波出力を取り出し加算を行って対数増幅特性を得ている。これにより DP デコーダ部の遅延安定化回路とあわせて 60dB のダイナミックレンジに対し遅延時間の変動幅は 50nsec 以下となっている。

マグネトロンのアノードに印加される高圧パルスは, ラインタイプ変調回路から発生する

がその電圧が約 2400V であるため放電の問題が生じてくる。その防止策としては、ケースを気密構造とし内部を一気圧に一定させると同時に変調回路は、シリコンパウンドによるポッティングを施している。

4.4.2 デコーダ設計要点

デコーダの設計において特に留意しなければならない点はデコーダハードウェアの動作の確実性とコマンド伝送における誤動作の最小化である。

動作の確実化のため回路の大部分はデジタル化し、時間位置精度を要求されるアンサーバック信号のパルス位置変調回路には水晶発振器によるクロック信号を使用したデジタル式パルス位置変調方式を採用している。回路のブロック図を第 23 図に示す。主要な回路構成部品は国産の低電力 DTLSSI 及びスイッチングトランジスタ等であるが、サブモジュール式高密度軽量実装方式の採用により国産部品使用時の難点、すなわち IC の集積度が低い、部品の形状が大きい等を解決している。

機械内部の電磁干渉問題に対しては低電力 DTLSSI の低速性、LC ディレーラインのフィルタ効果を利用して回路的に、さらに電源パッケージ、ディレーライン等必要な個所にはシールドを施して電磁的に対処している。

機器の信頼性を確保するため、回路、実装方式、製造技術、使用部品等は従来の科学衛星で実績のある技術、品種を中心としてさらに検討を加えロケット搭載機器として適切なものを使用している。

レーダ回線を介するコマンド信号の伝送は伝送路の帯域幅の広さに比較してパルスデューティが低く、また回線状態の変動の過大さに対して確実な対策手段を欠く等の理由により情報論的に必ずしも有利であるとはいえない。しかし、情報伝送に冗長性を持たせ、適切なハードウェアを組み合わせる事により確実なコマンド伝送が可能であり、コマンドの伝送においてはシステムの、ハードウェア的に種々の配慮が払われている。

デコーダのハードウェアとしては下記の配慮を行っている。

a. デコーダのビデオ入力アンプの帯域幅を 4 MHz 程度として等価雑音帯域幅を制限して S/N 比の向上を図っている。

トランスポンダは、局部発振器の周波数安定性、ドップラー効果等を考慮して中間周波帯域幅を約 10 MHz に設定しており、また、測距精度向上の意味によりビデオ帯域幅を制限するのに限界がある。一方、デコーダはノイズの誤検出確率が重要な問題であり、250 nsec のパルスが通り得る 4 MHz 程度のビデオ帯域幅とした。

b. 入力パルスを検出するスレシヨールドレベルを安定化した。

レーレー雑音を検出する確率並びに信号を検出する確率はスレシヨールドレベルの変動に対して指数的に変化する。従ってスレシヨールドレベルを安定化することは誤動作率、不動作率を保持する意味で重要である。

c. ディレーラインを用いてコードのすべてのパルスを遅延記憶させ、コード尾部のダブルパルスを検出した時点でレジスタにコマンドコードを読み込んで解読を行っている。この方式はコードの最初のパルスで読み込みを開始する方式に比較して散発的なノイズで誤って読み込みを開始する確率が極めて小さくノイズの多いレーダー回線に適した方式である。

また解読用レジスタに3 out of 6 以外のコードが読み込まれた場合は不動作になるようにしている。

4.5 構造と内部実装

4.5.1 トランスポンダ

トランスポンダはケースにパネル（フタに相当）を取りつける構造で電気部品はすべてパネルに実装されており、パネルとケースを結合しているネジを取りはずしパネルを引き上げるにより内部の状態がチェックできる。

電気部品の実装は、機能単位毎にユニット化し、パネル面に積み重ねる構造となっている。電気部品のうち電源用のパワートランジスタおよびマグネトロンは、比較的発熱量が大きいことからパネル面に直接取り付け放熱効果を良くしている。

これらのユニットのうち電源部、変調部、およびDPデコーダ部はそれぞれプリント板に実装し機械的強度を増すためにシリコンパウンドによりポッティングを行っている。このコンパウンドは軟質のものであり振動、衝撃に対する緩衝材としての効果も期待できる。

中間周波増幅部は、プリント板に実装された後シールドケースに収納している。

その他のRF部等の立体回路で構成されるブロックについては、ポッティングによる補強は行わず、構造的に堅牢な形状としている。

4.5.2 デコーダ

デコーダはケース内にメインブロック3個を積重ねて挿入する構造になっている。上部2段は主要回路で、すべてプリント基板による高密度実装を主体とし、メインプリント板上に発泡エポキシ樹脂により定形化されたサブプリント板を縦に並べた構造であり、メインプリント板の余白部分も発泡樹脂により埋めている。

電源部及びデレーラインは他とのシールドを必要とするので各々独立した金属ケースにユニット化され、上記2つのブロックに揃えた1枚のベースプレート上に取り付け空間を発泡樹脂により充てんしてブロック化している。

以上の3つのブロックは4隅でボルトで結合された後1体としてケースに収納され、予め結線されている外部接続用接栓をケースの上窓から外部に露出させる構造である。

サブプリント板は比較的薄い板厚を採用し、強度的には低比重の発泡樹脂で保証しているため極めて軽量なものとなっており、また、上述のようにケース内実装部分はすべて発泡樹脂によりブロック化されているので荷重の分布は平均化されている。

本装置では特に緩衝を必要とする実装品はないので構造的には緩衝の考慮はあまり払われていない。

デコーダ内の熱の移動は、上述の実装方式により対流輻射による方法はほとんど無視して考えられる。従ってモジュール内部の消費電力を極力抑えると共に、発熱が集中する部分には伝導による放熱を考慮した。内部で発生する熱量の分布は電源部に集中しているが、電源部はケース底部に配置され、ここで発生した熱は金属体を介してケース底面に逃がす構造としている。

5. 結 言

以上、M-3C 計画で使用された電波誘導に関する電波系設備、機器の概要を述べた。本装置は近く打上げられる予定の M-3C-3 号機においても使用される予定である。

本文の機器の開発に当っては宇宙航空研究所野村民也教授、東口実教授、石谷久助教授、雛田元紀助教授、生産技術研究所長谷部望講師から有益な御検討、御助言をいただいた。また本計画に参加された宇宙航空研究所、日本電気株式会社の各位にも多大の御援助をいただいた。以上の方々に深謝する。

1976年1月30日 新設部(工学)

参 考 文 献

- [1] 高木, 斉藤, 野村: "東京大学におけるスペースエレクトロニクスの開発研究" 電子通信学会雑誌 50. 6, pp. 137~174, 昭和42年6月
- [2] 斉藤, 浜崎, 渡辺, 他: "指令制御精密レーダー" 日本電気技報 103 pp. 188~236., 昭和47年5月
- [3] 斉藤, 浜崎, 野村, 他: "精測レーダー — 角度追尾系への要求とその解決 —" 三菱電気技報, 47, pp. 300~309, 昭和48年3月
- [4] 渡辺, 浜崎, 原, 池田, 山口: "精測レーダ用オンライン計算機のソフトウェア" 東京大学宇宙航空研究所報告 8, 2(C), pp. 594~640, 昭和47年6月
- [5] 浜崎, 石谷: "ロケット追尾レーダと計算機処理" 昭和48年電気四学会連合大会講演予稿集 164, pp. 638~641
- [6] 長谷部, 座間, 谷岡: "ロケット搭載Cバンド円偏波アンテナ" 昭和48年通信学会全国大会講演予稿集 603, pp. 606
- [7] 東京大学宇宙航空研究所 SES データセンター編: "M-3C-2 実験報告書 レーダ追跡結果" 昭和50年4月