

136 MHz 角度追尾受信装置

野村民也・長谷部 望*・倉茂周芳**
小羽根澄夫**・山本正信**

1. 概 要

1.1 目 的

本装置は、スペーステレメータ用として割当てられた VHF 帯すなわち 136~138 MHz 帯の受信装置であり、主として人工衛星よりのテレメータ信号波を、ときにはビーコン波を対象として、次の動作を行なうことを目的とする。

- (1) 人工衛星方向を測定する。
- (2) 測定した衛星方向角度データをデータ伝送システムへ供給する。
- (3) 人工衛星よりの電波信号を増幅し、ドップラ検出装置へその信号を供給する。
- (4) テレメータ送信機よりの電波信号を増幅変換して 30 MHz の信号としてテレメータ復調装置にその信号を供給する。
- (5) 148 MHz コマンド空中線そのほかに本装置の空中線の角度信号を供給する。

(1)、(2) および (5) が本装置のおもな目的である。

鹿児島宇宙空間観測所では、18 mφ パラボラ空中線装置にて正確に衛星の方向を測定するが、本装置はそのバックアップとして動作する。

したがって本装置から測定された角度データは、常にデータ伝送システムに送られるが、ほかの装置よりの観測値が得られないときのみ使用される。

同じ観測室に 400 MHz 自動追尾受信装置が設置される予定であるが、設置された後は 400 MHz 受信装置よりの観測データが得られないときのみデータ伝送システムに本装置のデータが送られる。

ほかの観測室に設けられているドップラ検出装置およびテレメータ復調装置により良質な人工衛星よりの信号を必要とするとき (3) および (4) の動作にてそれらに本装置より信号をそれぞれ供給する。

(5) の動作により 148 MHz コマンド空中線を常に本装置の空中線と同じ方向に指向せしめて人工衛星方向に固定しコマンド操作を確実なものとする。

また、400 MHz 自動追尾受信装置および 18 mφ パラボラ空中線装置の初期設定の役目を果たす。

1.2 系 統 図

本装置は、空中線装置、受信機、アンテナ制御機、データ記録機、コード変換機およびプログラム追尾装置より成り立っていて、第 1 図のごとき動作系統を構成している。

* 東京大学生産技術研究所

** 明星電気目黒研究所



写真 1 136 MHz 角度追尾受信装置

写真 1 は左より受信機，アンテナ制御機，データ記録伝送およびプログラム追尾装置を，写真 2 はコード変換機を示す。

人工衛星よりの電波信号を受信するには受信空中線の対象物への指向および受信周波数の同調の二つの動作が必要である。受信周波数の同調は後述のごとく自動的に行なえるが，まず第一に受信空中線を対象物方向へ指向せしめることが必要である。

この初期設定のために本装置は第 1 図に示すごとく三系統の角度信号導入口が用意されている。

- (1) 2 mφ レーダ，(2) プログラム信号
- (3) 400 MHz 自動追尾受信装置

(1) の系統を選べば本装置の受信空中線は 2 mφ レーダ空中線と同じ方向を指向する。

鹿児島宇宙空間観測所では人工衛星を打上げることもあるので，ロケットステージからの観測が必要となる。

その際この系統が利用される。

(2) の系統を選べば電子計算機にて計算された予測方向に本装置の空中線を指向せしめることができる。

電子計算機にて計算された予測角度データは東京よりデータ伝送システムにて本観測室の

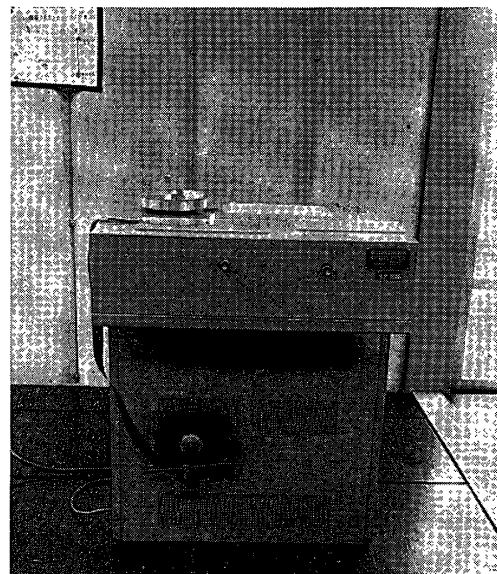


写真 2 コード変換装置

NEAC ライタまで送られる。このデータはコード変換機をへてプログラム追尾装置にて電気信号に変換されアンテナ制御機に加えられ空中線の角度を制御する。

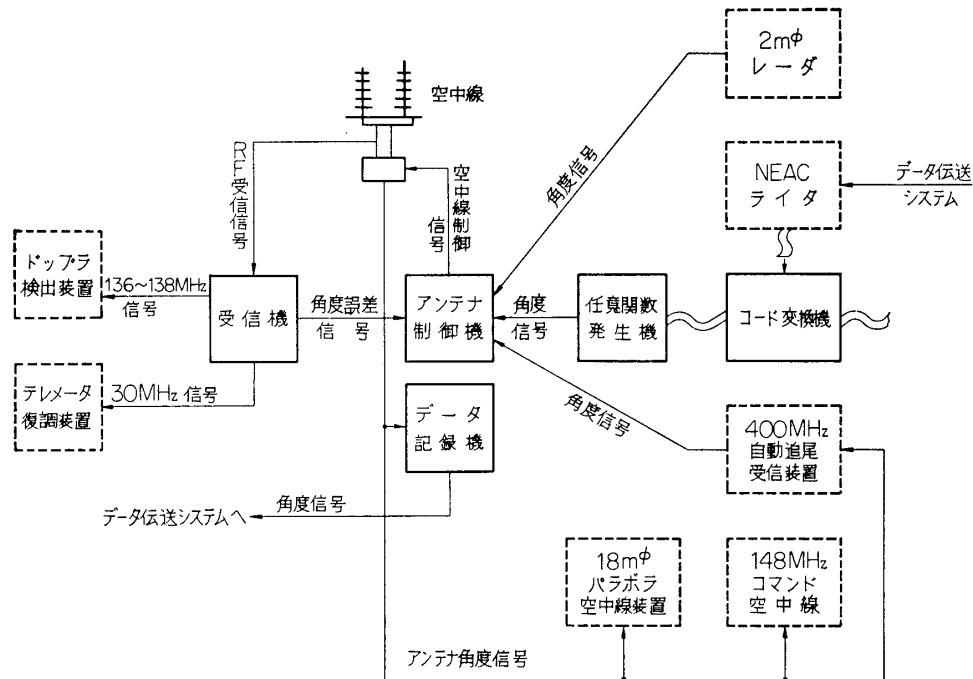
周回している人工衛星を捕捉する場合に一番多く使用される系統である。

(3)の系統をえらぶと、400 MHz 自動追尾受信装置の空中線と同じ方向に本装置の空中線も指向する。

この系統はまだ設けられていないが、本装置の自動角度追尾動作が満足に動作していないときに使用される補助的なものである。

この三つの系統のほかに、空中線の初期設定には後述のごとくポジション制御掃引制御および手動制御などが用意されている。

第 1 図に示すごとく本装置の空中線の角度信号は、148 MHz コマンド空中線、400 MHz 自動追尾受信装置および 18 mφ パラボラ空中線装置などに送られ、それらの空中線の角度を制御 (スレーブ) することができる。



第 1 図 動作系統図

また、観測された人工衛星の方向角度信号はデータ記録機にて記録されると同時に、データ伝送システムへ 2 秒ごとに送られる。

この場合新設される 400 MHz 自動追尾受信装置の観測値が必ず優先し、400 MHz 受信装置の観測状況が悪いときにのみ本装置の観測値が送られる。

受信機よりの受信々号は、ドップラ検出装置およびテレメータ復調装置に送られる。

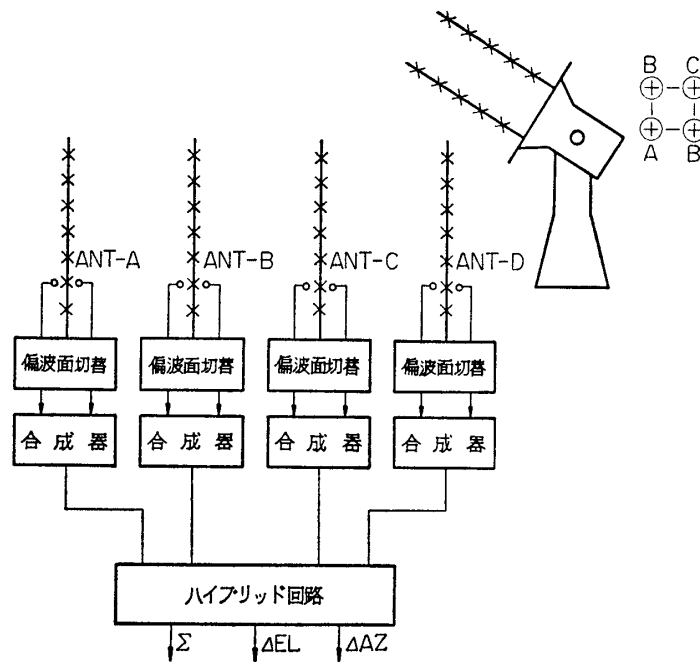
ドップラ検出装置は、正確に人工衛星上の送信機の周波数を測定する必要があるので本装置では増幅のみを行ない、VHF 帯の信号のまま送出する。本装置の空中線のビームが常に人工衛星方向に指向しているため、より良質な受信々号が得られる。

テレメータ復調装置には取り扱いやすい 30 MHz の中間周波信号に変換し送出する。

2. 角度追尾受信アンテナ

アンテナの詳細については別稿で述べているので、ここではその概要についてのみしることにする。

その構成は反射板を有する八木タイプ（導波器4本）アンテナを直交して、ターンスタイル形とし、これを4素子合成したサイマルテナスローピングアンテナである。受信偏波は、アンテナの架台部に組み込んだ偏波面切替器により、水平・垂直々線偏波および左・右旋円偏波受信を制御盤より切替えて選択できるようになっている。第2図はアンテナの構成を示す。



第2図 アンテナ構成図

このアンテナは観測所内の立地条件のよい気象観測台地（標高 344 m）に設置され、コンクリート製のアンテナ台の上へ設置され、回転中心まで 8.7 m 高である。

以下にアンテナの諸元をしるす。

アンテナ形式	ターンスタイル	トラッキングモード	自動 (NEAR, FAR)
素子数	5		手動 (ポジション, スピードコントロール)
アレイ数	4		スキャン (中心角度, スキャン幅, スピード)
利得	16 dB		スレーブ (プログラム)
偏波面	右旋・左旋・水平および垂直		追尾, ほかのトラッキングアンテナ)
サーボモータ	PM-12 (カップモータ)		
最大速度	2°/sec : EL, 6°/sec : AZ		

指示器

アナログ, デジタル

3. 受信機

本 136 MHz 自動追尾受信装置の受信機のブロックダイヤグラムは、第 3 図に示すとおりである。

本受信機の入力信号は空中線装置 (136 MHz 角度追尾受信および 148 MHz コマンド送信アンテナの項参照 p. 299) で説明したとおり、和信号 (規準信号)、方位角差信号、および仰角差信号の 3 種類よりなり、受信機はダブルスーパーヘテロダイン方式の基本回路を 3 チャンネル用いている。

和信号チャンネルは方位角差信号、仰角差信号の各誤差チャンネルの角度誤差を検出するための位相基準信号を作る意味で重要である。本装置では角度誤差検出の方式として、オープンループとロックドループの二種類の方式を使用している。オープンループの場合はアンテナで合成された和信号成分をそのまま角度誤差検出の基準信号として使用し、ロックドループの場合は受信された電波のドップラ変化に追尾する位相同期検波方式をローカルのループに使用して、受信機内部の基準信号を角度誤差検出の基準信号として使用している。

第 1 ローカルはスポットオシレータ 5 チャンネルとシンセサイザによる任意の周波数設定用 1 MHz との VCXO とから構成されている。

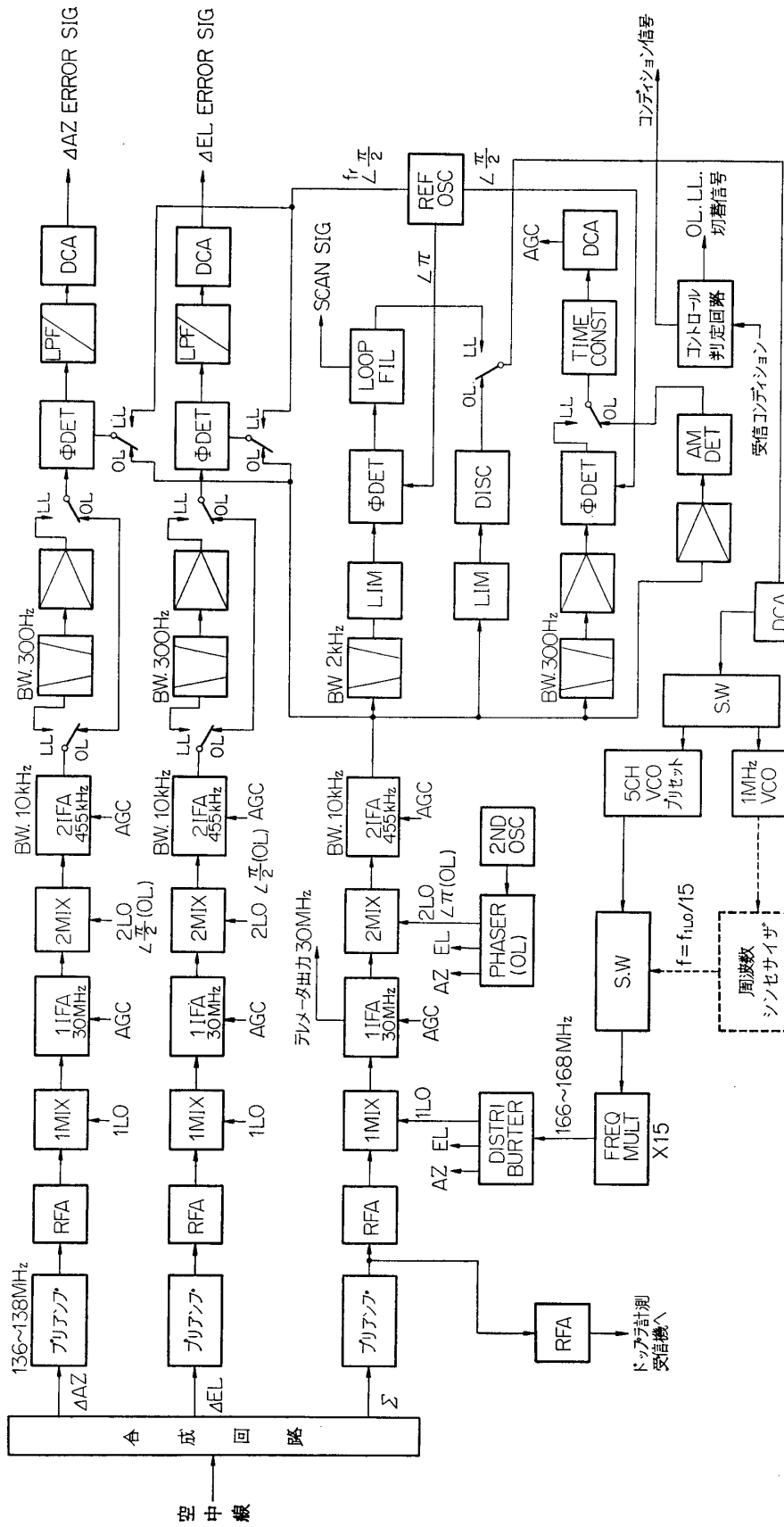
前にのべたオープンループとローカル周波数のプリセットにより、この追尾装置の目的の一つである衛星からの電波の早期捕捉角度追尾を行なっている。第 1 ローカルの周波数制御は、オープンループの場合は AFC、ロックドループの場合は位相同期検波方式になる。

信号強度の変化に対しては角度誤差検出感度を一定に保つため和信号チャンネルにおいて得られた AGC 電圧を角度誤差チャンネル回路の IF 部に加える。

受信電波の捕捉の問題については VCO スキャンニング方式と AFC 方式を使用している。ロックドループの場合は VCO 自動掃引回路を設けており判定回路により掃引を停止させ自動的に位相同期状態に入る。一般に位相同期回路の引込範囲は狭く、信号周波数に同期させるためには VCXO の掃引を必要とする。本装置では信号が同期可能な範囲に入ると掃引は停止し、ランプに表示すると共に位相同期状態になり、かつ掃引電圧を記憶する。同期状態で AGC 電圧が得られている間は掃引は停止しており、信号がなくなると再び掃引を開始する。掃引を手動で行なうことも可能である。自動掃引の場合一掃引時間は 6 秒~40 秒可変できる。オープンループは普通の AFC 付受信機として動作し、割あて周波数のドップラ変化範囲と考えられる周波数範囲 (中心周波数 ± 5 kHz 以内) は別に同調またはローカルの掃引電圧などを加えることなく受信できるように考慮した。なお受信モード中に“オープンループ・オート”というモードがあり、オープンループで受信していて位相同期状態が可能な場合は自動的にロックドループに判定回路により切替えることができる。

本装置より分岐してテレメータ受信機などに信号を送出するため和信号チャンネルの第 1 中間周波増幅器中にテレメータ用信号出力コネクタを有している。中心周波数 30 MHz、帯域幅 500 kHz、中継出力までの増幅度 60 dB である。

また本装置より 136 MHz~138 MHz の受信電波をそのまま増幅しドップラ周波数計測用



第 3 図 受信機ブロックダイヤグラム

第1表 受信機の性能表

項 目	性 能
受信周波数	136 MHz~138 MHz
雑音指数	4 dB
位相同期スレシヨールドレベル	-145 dBm 以下
入力信号レベル	-145 dBm~-60 dBm
影像信号抑圧比	70 dB 以上
感度抑圧効果	±25 kHz において -45 dB 以上
ドップラ追尾範囲	±3.5 kHz 以上
ドップラ変化率追尾範囲	±300 Hz/s ² 以上
位相同期等価雑音帯域幅	強信号において約 560 Hz スレシヨールドにおいて 5 Hz 10 " 20 " 40 " 80 " 200 "
定常位相誤差	強信号において ±3.5 kHz の周波数変化に対して ±6° 以内
AGC制御特性	-145~-60 dBm において 4 dB 以内
和信号差信号間 AGC 偏差	-140~-70 dBm において 3 dB 以内
和信号差信号間位相偏差	-140~-70 dBm において 6° 以内
角度誤差検出感度	0.25 V/度 ±3 dB
“ ダイナミックレンジ	0.01~30°
オープンループ AFC	±5 kc にて ±150 Hz 以内

受信装置に送り込む、136~138 MHz 帯の中継器を付加中である。

受信機の出力は角度誤差信号および受信コンディション信号でおのの空中線駆動装置および記録伝送装置へ送り出している。そのほかに受信状態を記録するアナログ記録装置へ、角度誤差電圧、信号強度、スピン強度、位相同期誤差電圧、動的位相誤差電圧、空中線偏波面モード信号、AFC 電圧などの信号を送り出している。

4. アンテナ制御機

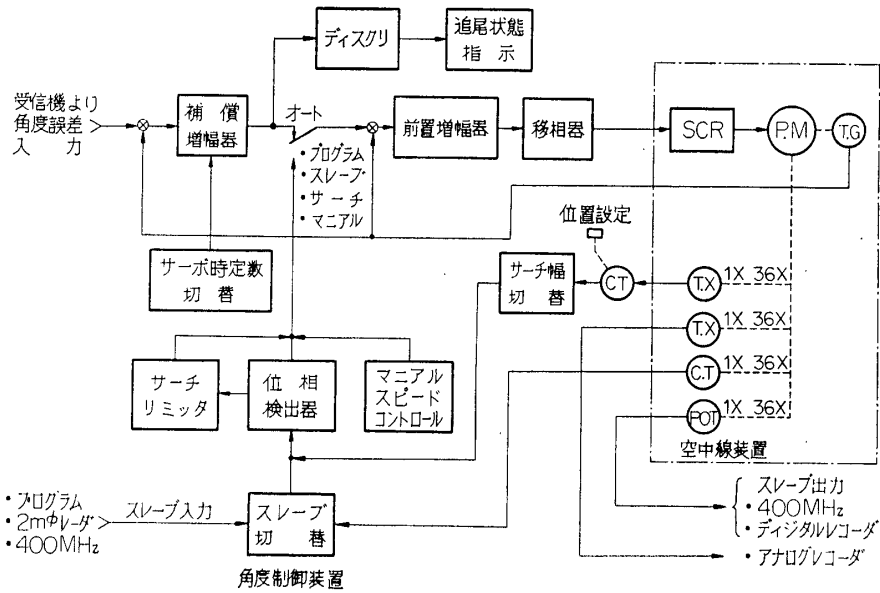
角度追跡系では、サーボ補償増幅回路、サーボバンドの選択回路、トラッキングモード選択回路、SCR、駆動用モータ (DC カップモータ)、速度饋還回路、角度指示器などが含まれると共に、制御パネルにおいては、本系統の制御、動作の監視のほか、アンテナ偏波の切り替えなどが行なえる (第4図参照)。

角度追跡のモードは、大別するとつぎの五つに分けられる。

(イ) MANUAL

MANUAL MODE は、空中線装置において操作できる局部制御と角度制御架において操作できる遠隔制御に分けられ、空中線を任意の方向に向けることができる。

(ロ) SEARCH



第 4 図 角度追跡系ブロックダイヤグラム

SEARCH MODE は、空中線を方位方向および仰角方向に SEARCH が行なえる MODE で、SEARCH 幅は、仰角では 0 度、20 度、40 度、80 度、方位角では 0 度、40 度、80 度、160 度を選択できる。また SEARCH SPEED は最大速度まで任意に制御できる。

(ハ) PROGRAM

PROGRAM MODE は、プログラム追尾装置より、衛星軌道の PROGRAM 信号を受けて TRACKING を行なう。

(ニ) SLAVE

SLAVE MODE は、2 系統に分けられ、その一つは 2mφ レーダより、ほかの一つは 400 MHz 自動追尾空中線より SLAVE 信号を受けて SLAVE TRACKING を行なう。

(ホ) AUTO

AUTO MODE では、受信装置より角度エラー信号を受けて TRACKING を行なうが、サーボバンドの選択が行なえる。

(ロ)~(ニ) の各 MODE におけるエラー検出には、制御シンクロを用いており、それぞれの基準正弦波とこの制御シンクロの角度エラー正弦波とを同期検波して得られた脈流分をろ波して、その直流分を取り出し、サーボ補償増幅回路に導入し、駆動モータを制御している。

駆動モータの SCR 制御電源は全波整流方式を用いており、駆動モータに加わる電流に直流分が多くなるように考慮されている。

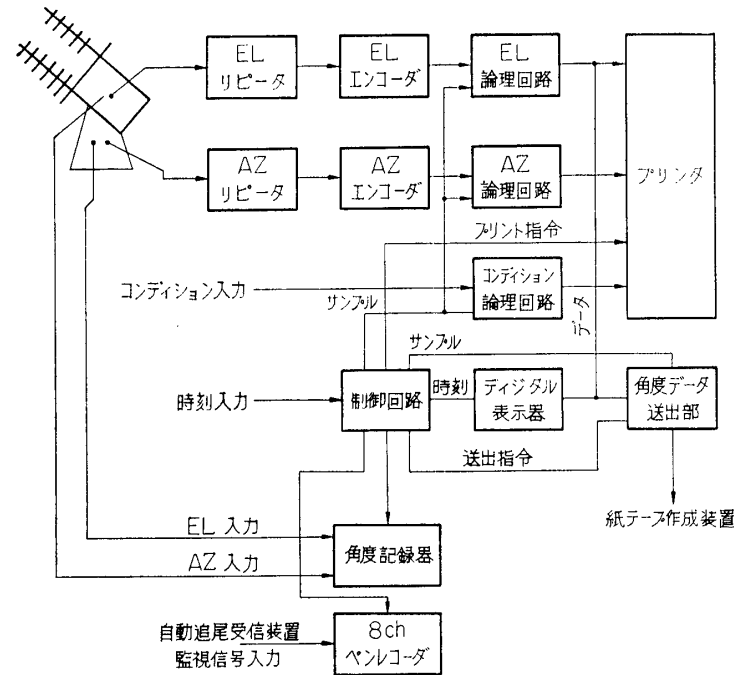
空中線装置よりの角度信号は、デジタル記録装置へ 1 X, 36 X の複速度のシンクロ発信機、アナログ記録装置へ 1 X のポテンショメータ、スレーブ信号出力として、数十個の制御シンクロ変圧機がブランチできるような大容量のトルクシンクロ発信機などを用いている。

角度指示器は、数字表示ランプを用いたデジタル表示で、方位角、仰角共 10 進 5 けたの信号をデジタル記録装置より受けている。

5. データ記録伝送装置

このデータ記録伝送装置は、自動追尾受信装置の空中線角度、受信追尾の状態をアナログおよびデジタルで時刻と共に記録するものである。

また空中線角度と受信追尾状態の良否はBCD信号に変換されて、紙テープ作成装置に伝送される。



第5図 記録伝送装置システムブロック図

第5図は本装置のシステムブロック図である。角度のデジタル化はエンコーダで行なう。空中線の角度は複速サーボ系で構成されたリピータにより局舎内に持ち込まれ、これに結合したエンコーダにアナログ角度信号を軸の回転角として与える。本装置を最も特徴づけているものはこのエンコーダで多回転型光電式10線10進符号のものを採用している。このエンコーダは橋絡型のロータリースイッチを歯車を介して減速しながら結合したものと等価である。現在一般的に用いられているものと比べて非常に単純化されており、光電式の採用によってその寿命は半永久的となっている。更に“あいまいさ”の解決はまったく外部論理回路のみにより行なわれている。“あいまいさ”を除いた角度信号はプリンタにより印字を行なうために一時レジスタに書き込んでから印字指令を出す。

プリンタは小形のラインプリンタ型式で活字車は常時回転しており、印字指令信号を受けると入力信号と活字との対応を取りながら順次印字を進める。

印字内容は時刻、コンディション、AZ、ELである。また同一の内容を光点式表示器を用いてデジタル表示している。

コンディションは受信機の受信レベルから“NO-SIGNAL”、“SIGNAL”、“GOOD”の3段階を作り、それに“OPEN LOOP”と“LOCKED LOOP”の切替え、オペレータの追跡“良”

の判定である“GOOD”，更にデータ送出の“ON”，“OFF”を組み合わせて符号化し，印字を行なう．プリンタの印字の色は赤と黒の2種類で受信レベルがGOODでオペレータがGOODと判定しスイッチを押せば黒で印字を行ない，これ以外のときは赤となりデータの識別が容易になる．また，データ送出時の良否識別信号も同一のものである．角度データの伝送は表示および印字に用いている10線10進符号を1, 2, 4, 8BCD符号に変換してから使用する．印字および表示用レジスタは5または1Hzでデータをサンプリングしているためにここでは更にレジスタを設け時刻の偶数秒時に合せて2秒ごとにサンプリングを行なう．この送出用レジスタの出力でリレーは駆動され接点信号として紙テープ作成装置に伝送される．

制御回路はシステムの制御を行なうと共にアナログ記録器用としてタイムマークを発生する．

アナログ記録器には空中線角度記録用として2ch自動平衡記録器と自動追尾受信装置の追尾受信状態の監視記録用として8chのガルバ式ペンレコーダを備えている．アナログ空中線角度はエンドレスポテンシオメータにより与えられる．監視用信号は“AGC LEVEL”，“AZ, EL ERROR”そのほか計8項目である．

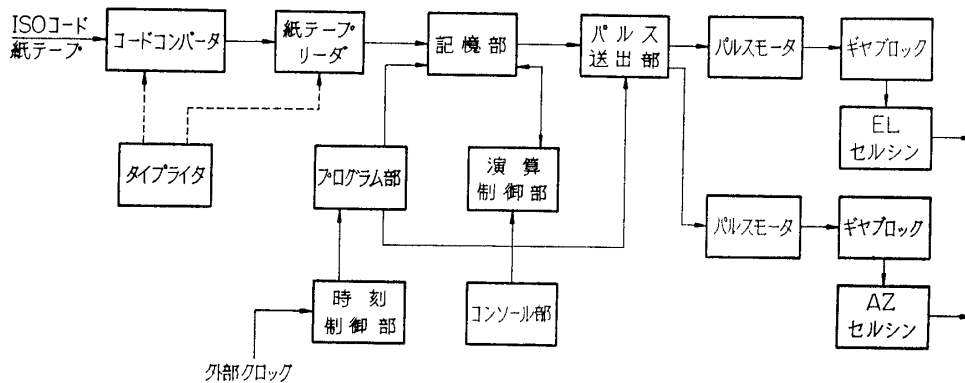
第 2 表 データ記録伝送装置性能一覧

リピータ	型式 追尾速度 精度	36X複速サーボ 10°/SEC 1°/100以内
エンコーダ	型式 符号形式 量子化数	多回転形光電式 10線10進コード 36,000 (000.00°~359.99°)
エンコーダ 論理回路	機能 サンプル数 サンプル時間	“あいまいさ”除去 サンプル，ホールド 5回/SECまたは1回/SEC 10μSEC
コンディション 論理回路	機能 サンプル数	コンディションの符号化 サンプル，ホール 5回/SECまたは1回/SEC
表示	形式 表示内容	光点式 時刻 (UT) 6けた AZ 5けた EL 5けた
プリンタ	けた数 印字内容	21けた 時刻 6けた コンディション 3けた AZ 5けた EL 5けた

プリンタ	印字色 印字速度 入力信号	余白 2けた 赤および黒 (データの良否で自動選択) 7行/SEC (プリント指令に非同期) 10線10進符号
角度データ 送出部	機能 サンプル数 サンプル時間 送出型式 信号内容	符号変換 (10線10進~1, 2, 4, 8BCD) サンプル, ホールド 1回/2SEC (時刻の偶数秒時に同期) 10μSEC リレー接点による AZ 18bit EL 18bit コンディション 1bit
制御回路	機能	サンプル指令発生 印字指令発生 タイムマーク発生 (アナログ記録用) データ送出指令発生 時刻信号符号変換 (1, 2, 4, 8BCD~10線10進)
角度記録器	形式 記録内容 精 度	自動平衡2ペン AZ アナログ信号 EL アナログ信号 タイムマーク 0.1°以内
8ch ペンレコーダ	形式 記録内容	ガルバ式8ペン 空中線偏波面モード信号 AGC レベル スピン サーボモード信号 AZ 角度誤差信号 EL 角度誤差信号 AZ サーボ入力信号 EL サーボ入力信号 静的位相同期誤差電圧 動的位相誤差信号電圧

6. プログラム追尾装置

本装置は空中線を、プログラム追尾するための専用機である。その機能の概要は第6図に示すごとく、人工衛星の AZ, EL の予測値と時刻をせん孔した紙テープを読み込み、そのデータをもとにして、関数の計算を行ない、その結果を正負の信号とパルス数として、D/Aコンバータに送る。D/Aコンバータはその正負の信号を UP.-DOWN(EL), CW-CCW(AZ)



第 6 図 プログラム追尾装置ブロック図

方向の判定に用い、パルス信号を機械的角度信号に変換する。これによりシンクロコントロールトランスミッタを駆動して、次の空中線追尾装置にプログラムモードとして接続される。入力の紙テープは ISO コードを使用しており、本装置は HIPAC 103 コードを使用しているため、コードコンバータ装置が付加されている。

観測開始時刻前に空中線の AZ, EL を観測予測値の初期値にセットして、時刻および AZ, EL の角度データ (単位 1/100 度) を読み込み、一分間の変位差を計算する。

そして、観測開始時刻直前に 1 分間の変位差をパルス周波数 (1/100 度-1パルス) として D/A コンバータに送出する。次に次の一分後のデータを読み込み計算を始める。そしてパルス送出部が動作を終了すると、その結果を送り出す。これを繰り返し行ない、一回分のデータが終了すると、必ず空中線をもとの位置にもどす方向にパルスを送出し、次の観測位置にセットされるよう計算し、制御する。変位差を計算するにあたって、端数が生じたときは切りすてを行なう。したがってその場合は若干早く、規定の位置に到達してしまうが、そのときの最大誤差は 4.9 度までである (176.99°/分の時)。しかし誤差は 1 分ごとに補正されるので積算されない。以上のごとく本装置は任意関数の 1 分ごとの直線近似が特徴となっている。

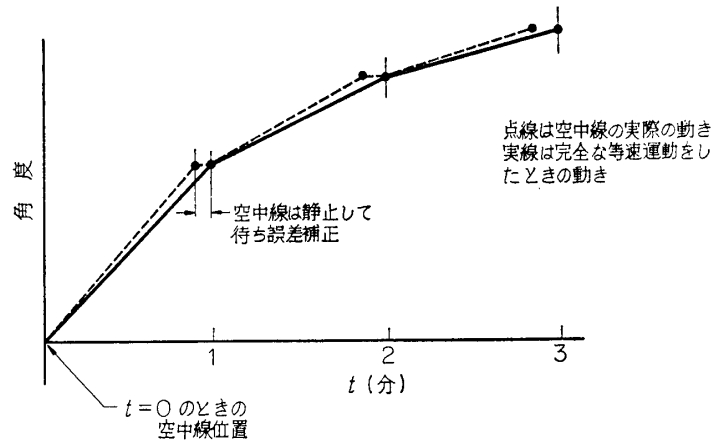
D/A コンバータはパルスモータとシンクロコントロールトランスミッタおよびギヤブロックから構成されている。パルスモータは 5°/1 パルスのものを使用しており、1/500 のギヤ比でセルシンに接続されている。

紙テープにせん孔された予測値をシフトするための時刻シフトおよび AZ・EL の角度シフトがマニュアルでセットできるようになっている。

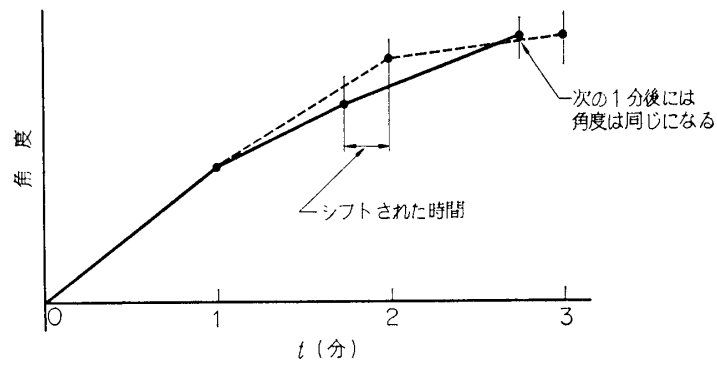
これら空中線の時間に対する角度の関係を第 7 図 (a), (b), (c) に示した。

○ 主要性能

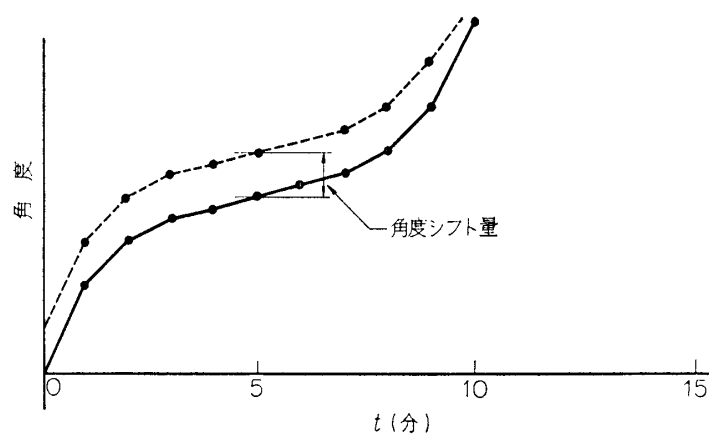
入力紙テープのコード	ISO	最高追尾速度	5°/sec
AZ データ	5 けた (0.01 度ステップ)	時刻シフト	±100 sec
EL データ	5 けた (0.01 度ステップ)	セコンドシフト	±10 sec
時刻データ	6 けた (時・分・秒)	角度プリセット	±20°
計算機プログラム	(固定)	(AZ, EL)	
計算機計算間隔	1 分		



第 7 図 (a) 空中線の角度と時間の関係



第 7 図 (b) Second Shift 時の角度と時間の関係



第 7 図 (c) AZ 角度シフト時の空中線方位角度と時間の関係

7. あとがき

以上、136 MHz 角度追尾受信装置は衛星搭載の 136 MHz ビーコン電波またはテレメータ電波をじん速に発見して、これを自動追尾し、その角度情報をほかの追尾装置へ送出してこれをスレーブし、テレメータ信号取得のためのコマンド送信を行なわせ、またより精度の高

い自動追尾アンテナへの引き渡しの役目を持つ。これと同時に角度データを記録・伝送して衛星からの情報取得軌道測定に用いる。

この装置の評価およびオペレーションのトレーニングのため、現存の衛星からの 136 MHz 電波を受信してトラッキング・記録・スレーブおよびデータの送出行なした結果は、予期したとおり、衛星の早期発見・捕捉ができ、EL 角度 30° 以上では十分 $\pm 1^\circ$ 以内に入っていた。しかし、立地条件もあり、アンテナ設置位置が北東から南西に長方形をした台地に東よりの海に面しているため、この方向での角度誤差 (Multi-path) は少ないが、これより西まわりに衛星が位置したときは、特に EL 角度 30° 以下で Multi-path の影響が大きかった。わが国で、はじめに採用される衛星軌道が傾斜角 30° であることより考えると、衛星の通過に対しては比較的好条件で受信できると考えられ、十分その能力を発揮できると確信できた。

1969 年 1 月 27 日 宇宙工学