

II-3 26 m アンテナ駆動・プログラム追尾

栗原 則幸* 村上 秀俊**

(昭和59年7月3日受理)

1. はじめに

鹿島 VLBI 観測局のアンテナは、直径 26 m、全天指向型 AZ・EL マウントタイプの高利得アンテナである。本アンテナは、建設後 15 年の歳月を経たが、これまで駆動系に関して大きな改造もなく経過してきた。

現在、本アンテナの駆動には、駆動制御卓上での、「手動モード」と、計算機の介入する「プログラムモード」の 2 種類のモードが用意されている。

VLBI 観測では、このアンテナをプログラム追尾モードで駆動して、観測局間で共通可視範囲内にある多くの電波源を切換え、長時間連続観測を行う。プログラム追尾用の計算機としては、K-3 型 VLBI システムハードウェアの中核となる自動運用計算機が使用され、自動運用ソフトウェア (KAOS, II-13 参照) によってアンテナ駆動が行われる。

こうしたことから、アンテナ駆動系には、アンテナビームを目的とする電波源に正確に指向させる高い駆動精度、電波源切換えに伴う速い駆動速度及び長時間にわたる連続観測に耐える高い駆動安定度が要求される。従って、本アンテナ駆動系の充実を図るために、機器の新

設、交換、点検、調整を行う駆動系改修工事が行われ、プログラム追尾システムの確立を図るために、アンテナプログラム追尾インタフェース装置 (APIU: Antenna Pointing Interface Unit) が開発された。

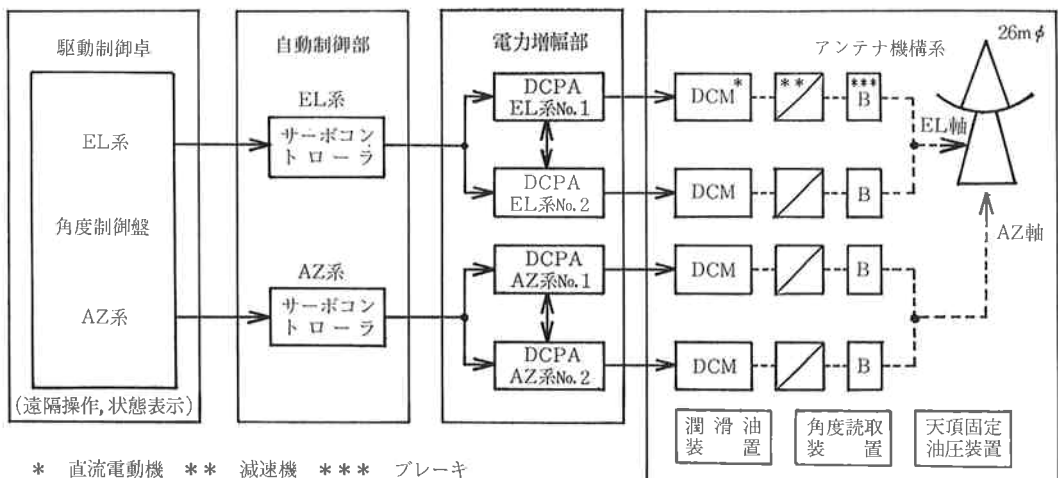
以下に本アンテナ駆動系の概要、駆動系の改修及びプログラム追尾系の順で記述する。

2. 駆動系

アンテナ駆動系とは、AZ・EL 各軸を実際に駆動する電動機と、それを制御する駆動制御系の各種装置 (部) 及び潤滑油系、角度読取装置等のアンテナ機構系の一部の総称である。本アンテナ駆動系の構成を第 1 図に示す。

本アンテナ駆動系には、応答速度及び制御精度等に優れた性能を持つサイリスタレオナード方式と呼ばれる電気駆動方式が採用されている。この方式は、駆動制御系を構成する自動制御部からの速度命令に基づいて、電力増幅部内サイリスタの点弧角を制御し、駆動用直流電動機の回転方向及び速度を制御するものである。

駆動用電動機は、AZ・EL 各軸に 2 台 1 組づつ取り付けられ、電力増幅部から各軸 2 台の電動機に相反する逆方



第 1 図 駆動系構成図

* 鹿島支所 第三宇宙通信研究室
 ** 元 鹿島支所 第三宇宙通信研究室

向のトルクバイアスを印加する。こうした制御により、アンテナの各駆動軸は、2台の駆動トルク差に応じて駆動され、ギヤ列のバックラッシュが等価的に零となる。従って、バックラッシュに起因する駆動制御系内各種ループの安定度が改善され、駆動精度の向上が図られている。また、AZ・EL各軸の1系統（電力増幅部、駆動用電動機等）に障害が発生した場合でも、残りの1系統を用いての「片肺駆動」も可能である。

2.1 駆動制御系

駆動制御系は、駆動制御卓、自動制御部、電力増幅部、直流電動機及び角度検出器（プログラム追尾の場合は、角度読取装置）等で構成される。第1表に駆動制御系の主要性能を示す。駆動制御系の機能、性能等については、文献1に報告されているので詳細は省略するが、各部の機能の概略について述べる。

第1表 駆動制御系主要性能

駆動方式	サイリスタレオナード方式
制御モード	プログラム追尾モード： (PROGRAM) 手動モード：(SLEW I) (SLEW II) (POSITION)
駆動範囲	AZ：±365° EL：-1°～+95°
駆動速度	最大：1°/sec 以上 最小：0.002°/sec 以下
電動機	定格出力：26kW 定格回転数：1000 rpm
歯車減速比	AZ：1/5993.6 EL：1/5999.1
歯車バックラッシュ	0.005°以下
オーバーシュート量	30%以内

(1) 駆動制御卓 (DRIVE CONTROL CONSOLE)

アンテナ駆動系に関連する装置の遠隔操作及びその状態を表示し、手動モード (SLEW I, SLEW II, POSITION) を選択した場合に、アンテナの指向角度制御が可能になる。

(2) 自動制御部 (SCA : Survo Control Amp)

これは、駆動制御卓または、アンテナプログラム追尾インタフェース装置 (APIU 4.2 参照) からの位置

指令信号を、位相及び振幅補償したのちに速度指令信号に変換するサーボ増幅器からなる。このサーボ系は、角度検出器からの角度信号をフィードバックする位置ループと駆動用電動機に直結したタコジェネレータからの速度信号をフィードバックする速度ループとの2つのループを構成する。サーボ系の帯域幅を3段階に、サーボタイプを2段階に切換えることが可能である。

(3) 電力増幅部 (DCPA : Drive Control Power Amp)

自動制御部からの速度指令信号とタコジェネレータからの速度信号との差をパルス移相器に入力し、サイリスタの点弧角を制御する。移相器入力信号の極性に依りてサイリスタの正接続側あるいは、逆接続側が導通するため、AZ・EL各軸の電動機が正転/逆転する。

また、電源電圧及び負荷電圧変動による電動機の速度変動を防ぐための電流ループを持つと同時に、アンチバックラッシュ駆動を行うためのトルクバイアスを印加する。

(4) 駆動用電動機 (DCM : DC Motor)

他励磁型低慣性性能率の直流電動機

(5) 角度検出器 (シンクロ系)

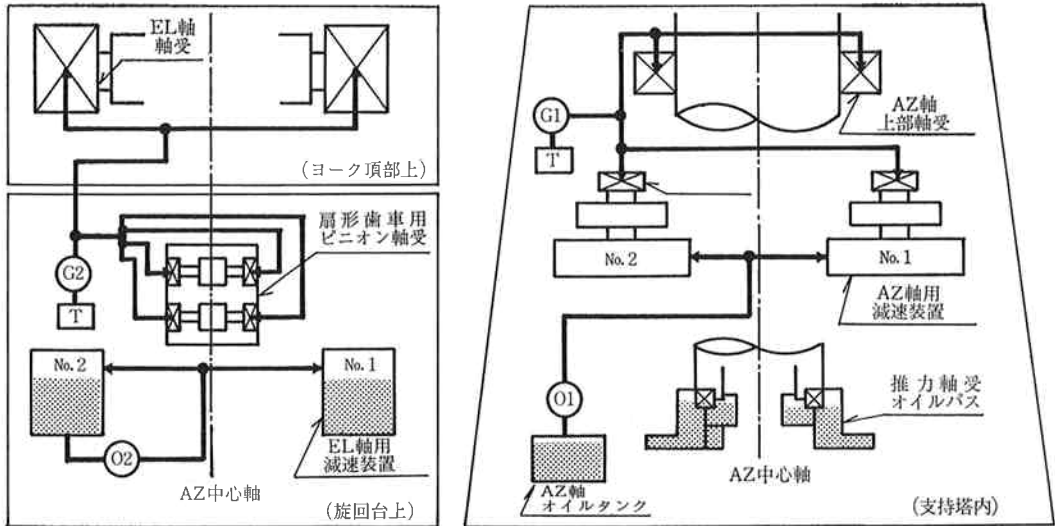
実際のアンテナ指向角度 (実角度) を検出するもので、AZ・EL各軸に直結した角度検出用複速度シンクロ発信機 (1X, 45X) で角度を検出し、角度情報を3相400 Hz 信号に重畳し、駆動制御卓内で検波・合成する。この実角度信号は、手動モードを使用する場合に、駆動制御系の位置ループの位置誤差入力信号となると同時に、アンテナ角度制御盤内メカニカルカウンタにAZ・EL各軸の実角度を表示する。

(6) 角度読取装置 (プログラム追尾系)

前項の角度検出器 (シンクロ系) とは、別系統でアンテナの実角度をより正確に検出するものである。AZ・EL各軸に直結したロータリインダクトシン及びレゾルバを用いて精密に角度を検出し、バイナリコードで駆動制御卓へ伝送する。この実角度信号は、プログラム追尾モードを使用する場合、駆動制御卓内バッファアンプを経由してAPIUに伝送され、プログラム追尾系の位置ループを構成する。同時に駆動制御卓実角度表示盤及びAPIUにAZ・EL各軸の実角度を表示する。

2.2 潤滑油系

本アンテナを駆動する場合には、アンテナ機構部の各部に常時潤滑油を供給する必要がある。このため、AZ・EL各軸の減速歯車へオイルを供給する強制注油装置、各種軸受けへ4系統に分割してグリースを定期的に供給



O1 ; AZ系強制注油装置, G1 ; AZ系電動グリース油滑装置, T ; グリースタンク
 O2 ; EL系強制注油装置, G2 ; EL系集中電動グリース油滑装置

第2図 潤滑油系給油ルート図

する集中電動グリース油滑装置が用意されている。第2図に本アンテナ潤滑油系給油ルートを示す。その他に、6カ月ごとにグリース塗布を必要とする箇所が4箇所、2年ごとにオイル交換を必要とする箇所が1カ所ある。

ちなみに、全潤滑油の総量(グリース類を除く)は、795 lである。駆動系改修工事中に、集中電動グリース油滑装置の配管(特に屋外露出部分)に老朽化に伴う腐蝕が見られたので、今後の潤滑油供給作業及び保守の簡易化を図るために、AZ系に電動グリース油滑装置を増設した。

3. 駆動系の改修

本アンテナが建設されて15年を経たことは、先に述べたが、昭和53年にECS実験主要施設整備工事で小規模な駆動系改修工事が実施されている⁽²⁾。今回は、今後のVLBI観測に備え、改めてアンテナ機構系を含む駆動系の改修を実施し、本アンテナ駆動系の機能、性能を確認した。

以下に作業項目ごとに分類し、作業内容を記述する。

3.1 機器の新設

- (1) 角度読取装置に結露防止用デハイドレータ設置。
- (2) AZ系電動グリース油滑装置。

3.2 機器の交換

- (1) 天頂固定油圧装置(設置場所もEL No.2駆動室に変更)。
- (3) 天頂固定油圧装置ロックピン検出スイッチ。
- (3) EL系集中電動グリース油滑装置。
- (4) AZ・EL各軸の電磁ブレーキ。

- (5) 給電系ホーンカバー。

3.3 機器の点検整備

- (1) 電動機(AZ・EL駆動、強制注油、駆動電動機の冷却用)の点検・分解清掃及び部品交換。
- (2) 駆動制御卓内アンテナ角度制御盤の点検を実施し、シンクロサーボ系を含むユニット及び部品交換。
- (3) 駆動制御卓及び関連装置で使用するリレーユニット及び部品交換。
- (4) 駆動制御卓からの制御機能及び状態表示の点検。
- (5) シンクロ系400 Hz電源装置。
- (6) 自動制御部AZ系セカント補正機構部。
- (7) 本アンテナのアース系。

3.4 機器の再調整

- (1) 駆動制御系(自動制御部)の位置ループ及び速度ループを含む系全体の利得、位相等の調整。
- (2) 電力増幅部内移相器及びサイリスタ等の調整。

4. プログラム追尾

VLBI観測で使用するプログラム追尾は、一般のプログラム追尾と同様に、あらかじめ予測計算された電波源の予測角度と実際のアンテナビーム指向角度が一致するように計算機でアンテナを駆動する追尾方式である。プログラム追尾システムは、電波源の軌道計算、大気補正、アンテナ軸オフセット等のソフトウェアとアンテナ駆動系とが一体となった系で構成される。

これまで、本アンテナのプログラム追尾は、鹿島支所内の大型アンテナ4基(CS/BS 13m, ECS 10m, 26m)

のプログラム追尾を行う NEAC 3200 システムで行われてきた。しかし、K-3型 VLBI システムの開発に伴い、自動運用計算機 (HP 100/10 L, 以下ではホスト計算機という) によって、K-3型ハードウェア全デバイスの制御及びデータ収集を行う必要性が生じたため、本アンテナのプログラム追尾も、ホスト計算機を用いたシステムに変更された。

そこで、ホスト計算機とアンテナ駆動系とを IEEE-488 バスで結び、制御するために、マイクロプロセッサを内蔵した汎用性の高いプログラム追尾インタフェース装置 (APIU) を開発した。また、旧システム (NEAC 3200) の機能を継続して残し、他の大型アンテナ 4 基のプログラム追尾も可能なように信号のインタフェースを統一するインタフェース盤を併せて製作整備した。こうした開発整備により、本アンテナ及び鹿島支所内の他の大型アンテナは、ホスト計算機によるプログラム追尾はもちろん、IEEE-488 バスを持つ簡単なデスクトップ計算機によるアンテナ駆動、駆動状態のモニタ、駆動特性の測定が容易に行えるようになった。

ここでは、プログラム追尾系のインタフェース盤及び APIU について述べる。なお、プログラム追尾系のソフトウェアについては、KAOS (II-13)、アンテナ軸オフセットについては、26m アンテナ・給電系 (II-2) を参照して頂きたい。

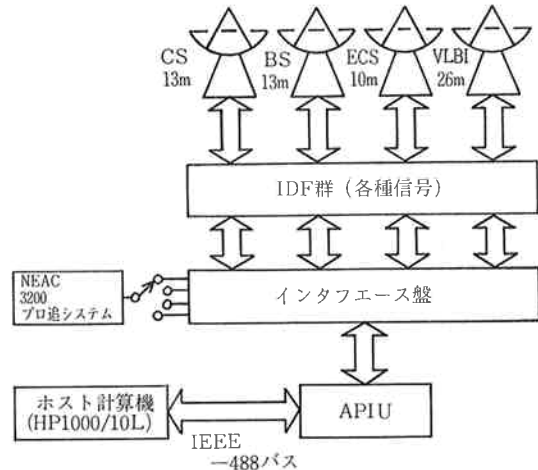
4.1 プログラム追尾系の構成

プログラム追尾系は、ホスト計算機、インタフェース盤、駆動制御系、角度読取装置から構成される。第 3 図にその構成を示す。

インタフェース盤は、4 種類のアンテナの実角度信号の電氣的インタフェースが、それぞれ異なるため、26m アンテナと同じように統一することと、プログラム追尾

の対象となるアンテナを選択するアンテナ切換え機能を持つ。また、ホスト計算機、あるいは NEAC 3200 によるプログラム追尾のどちらかの選択は、APIU と NEAC 3200 に入力されるコネクタの着脱によって行われる。

第 4 図に APIU と鹿島支所内のアンテナとのインタフェースを示す。



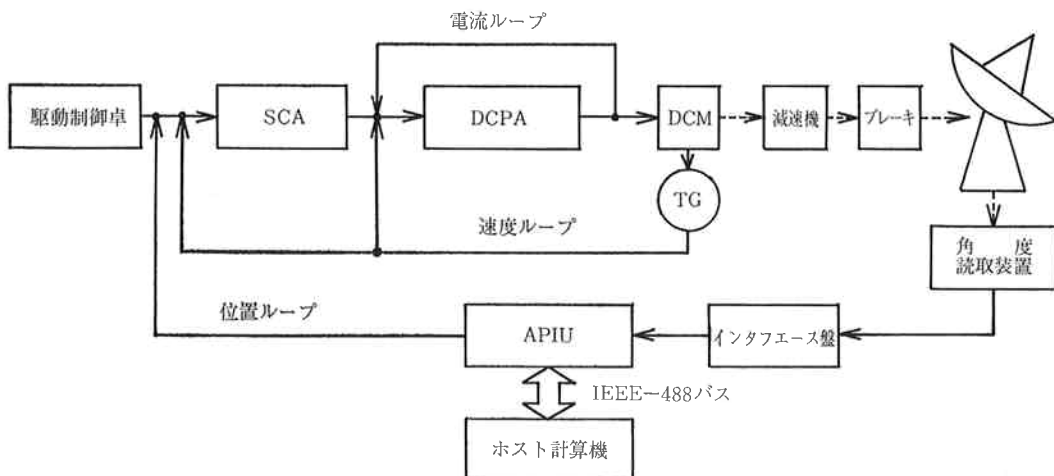
第 4 図 鹿島支所内アンテナインタフェース

4.2 プログラム追尾インタフェース装置 (APIU)

4.2.1 APIU 開発目標及びその結果

APIU は、ホスト計算機とアンテナ駆動系とをハードウェア及びソフトウェア的に結びつけることを目的として開発したことは、先に述べたが、装置の開発にあたり以下に述べる目標を掲げた。

- (1) NEAC 3200 システムと同等以上の機能を有すること。
- (2) 小型軽量で操作が容易であること。
- (3) ホスト計算機とのインタフェースは、IEEE-488



第 3 図 プログラム追尾系の構成図

第2表 APIU プロトコル表

○制御命令

制 御 項 目	命 令 形 式	パ ラ メ ー タ 及 び そ の 内 容
方位角設定 (AZ) 初期値に増分値が PRC 時間 毎に加えられ設定値となる。	AZP=<Para 1>, <Para 2>	<Para 1>=nnn・nnn : 初期 AZ 角度 (0~360°) <Para 2>= $\frac{(+)}{-}$. nnnn : AZ 角度増分 (単位 deg)=U: 増分なし
仰角設定 (EL) 初期値に増分値が PRC 時間 毎に加えられ設定値となる。	ELP=<Para 1>, <Para 2>	<Para 1>=nn・nnn : 初期 EL 角度 (0°~90°) <Para 2>= $\frac{(+)}{-}$. nnnn : EL 角度増分 (単位 deg)=U: 増分なし
PRC (Predict Refresh Cycle 設定)	PRC=<Para 1>, <Para 2>	<Para 1>=nnn : PRC 時間 (単位10msec) <Para 2>=mmmm : Mmax 設定=*: PRC-SRQ Disasle
角 度 設 定 Query (Return Only)	ANG=<Para 1>, <Para 2> <Para 3>, <Para 4>	<Para 1>=nnn・nnn : AZ 実角度 <Para 2>=nn・nnn : EL 実角度 <Para 3>=nnn・nnn : AZ 設定値 <Para 4>=nn・nnn : EL 設定値
PROGRAM READY 信号の送信	PRG=<Para>	<Para 1>=ON : PROGRAM READY 信号を送信し, プロ追モードにする。 <Para 2>=OFF : PROGRAM READY 信号を送信し, プロ追モードを解除する。 デフォルト値: OFF
誤差出力 ON/OFF 制御	AZE=<Para>	<Para>=ON : AZ 誤差電圧出力 =OFF : AZ 誤差電圧断 (Forced 0 V) デフォルト値: OFF
	ELE=<Para>	<Para>=ON : EL 誤差電圧出力 =OFF : EL 誤差電圧断 (Forced 0 V) デフォルト値: OFF
誤 差 感 度 設 定	AZV=<Para>	<Para>=±nn : AZ 誤差感度 (単位 V/deg) デフォルト値 +50
	ELV=<Para>	<Para>=±nn : EL 誤差感度 (単位 V/deg) デフォルト値 +50

制 御 項 目	命 令 形 式	パ ラ メ ー タ 及 び そ の 内 容
アンテナ種別識別 (Return Only)	ANT=<Para>	<Para>=CS : CS 13mφ アンテナ =BS : BS 13mφ アンテナ =EC : ECS 10mφ アンテナ =26 : 26mφ アンテナ
ワイヤラップ領域設定	ZON=<Para>	<Para>=CW : 真北より東に回した領域 =CCW : 真北より西に回した領域 デフォルト値: CW
Service Request Enable (ビームロック状態が変わった時に SRQ 送出するかどうかの制御)	SRQ=<Para>	<Para>=ON : AZ or EL ビームロック ON/OFF ステータスの変化時に SRQ を送出する。 =OFF : AZ or EL ビームロック ON/OFF ステータスが変化しても SRQ を送出しない。 デフォルト値: ON

○ステータス

バイト No.	ビット No.	内 容	“0” の 時	“1” の 時
1	LSB 1	AZ ビーム ON/OFF	ビーム ON	ビーム OFF
	2	EL ビーム ON/OFF	ビーム ON	ビーム OFF
	3	NU	} ビットは常に“0”	—
	4	NU		—
	5	NU		—
	6	NU		—
	7	NU		—
	MSB 8	NU		—

○SRQ アラームの内容

SRQ の 項 目	内 容	対 応
ビームロック ON/OFF	ビームロックステータスがロック ON/OFF の境界を横切って変化した。 (AZ と EL に関しては両者のどちらかにステータス変化があった場合とする。)	GP-IB SRQ ステータスバイトに状態をセットし, SRQ にて HOST の注意を喚起する。 但しこれは SRQ Enable が ON の時のみ。
PRC オーバー	Predict Refresh の回数が Mmax を超えた。	GP-IB SRQ ステータスバイトに状態をセットし, SRQ にて HOST は次の角度設定命令を送るが, 送られてこない場合マイコン側は, 次の角度設定命令がくるまで最終値を保持する。

バスを使用すること。

- (4) ホスト計算機の負担を軽減できること。
- (5) プログラム追尾に関する情報を表示すること。
- (6) 誤差電圧 (アンテナ位置誤差信号) を表示すること。
- (7) アンテナ駆動系の特性測定ができること。
- (8) アンテナ駆動プログラムの作成が容易で、ユーザの負担が軽減できること。

以上で述べた目標は、全てが開発前に設定されたものでなく、製作過程で盛り込まれたものもある。しかし、結果的には、関係者の努力で掲げた目標を全て満足するものが完成した。次に各目標に対する結果の概要を項目ごとに述べる。

- (1) 前システムと同等以上の機能を持ち、かつ、NEAC 3200 プログラム追尾システムも現状のまま残した。
- (2) 48×25×36 cm でバックエンド系 K-3 補助架に格納。
- (3) 他の K-3 型機器同様に IEEE-3 バスを使用。
- (4) ホスト計算機から指向角度等の情報を非同期で数秒間隔で受け取り、APIU 内部で直線近似し、10ミリ秒以下の周期で誤差を出力する。
- (5) ホスト計算機からのプログラム追尾に関する情報及びアンテナ実角等を表示する。
- (6) ブラウン管上に駆動状態や、アンテナの駆動軌跡を X-Y 表示する。
- (7) プログラム追尾特性、ステップ応答特性等が X-Y 表示画面及びフロントパネル端子で測定可能。
- (8) 観測目的に応じた駆動用プログラムの作成が容易になり、ディストロップ計算機を使用する各種プログラムがユーザの手によって開発されている。

4.2.2 APIU の機能

APIU は、VLBI 実験室 K-3 補助架内に格納され、ホスト計算機と IEEE-488 バス経由で接続されている。この間のプロトコルは、次の3種類に大別される。

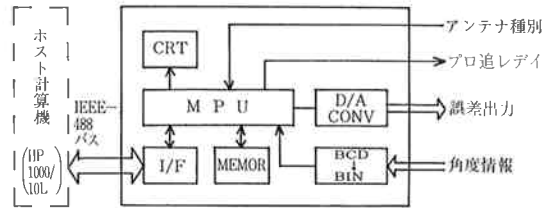
- 制御命令及び制御ステータスのレスポンス
- ステータス出力命令及びレスポンス
- SRQ 要求及び SRQ ステータスバイトの送出

第2表に APIU 関連のプロトコルを示す。

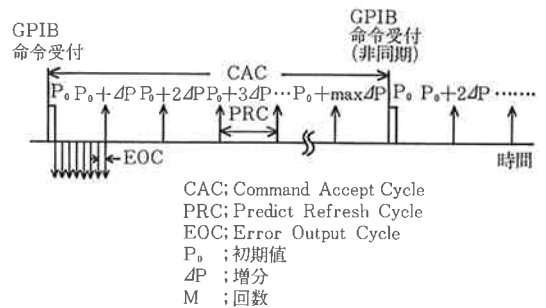
一方、APIU とアンテナ駆動系とのインタフェースは、次の4種類である。

- アンテナ種別識別信号
- AZ・EL 各軸の実角度信号
- プログラム追尾レディ信号
- AZ・EL 各軸の駆動用誤差電圧信号

APIU のブロック図を第5図、制御シーケンスを第6図に示す。次に APIU の機能及び性能を以下にのべる。



第5図 APIU ブロック図



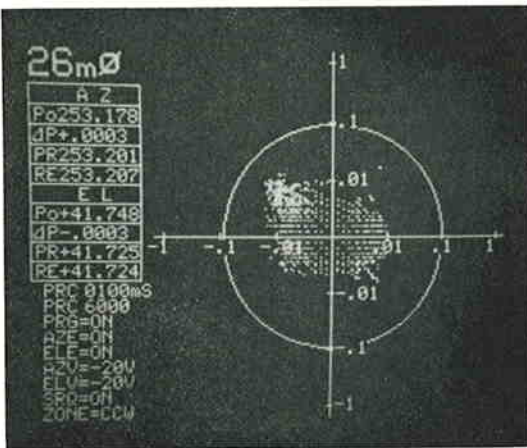
第6図 APIU 制御シーケンス

- (1) ホスト計算機からの初期設定パラメータを解読し、それを画面に表示する。
- (2) ホスト計算機からの、AZ・EL 初期 Predict, Predict の増分、Predict 更新期間の設定に関する命令「PRC」を解読し、画面に表示する。この命令は、ホスト計算機から1秒から10秒周期で送出される。この周期を「CAC」と呼ぶ。
- (3) APIU 内のマイクロプロセッサは、「PRC」ごとに、初期 Predict に Predict 増分を加算し、Predict を出力する。すなわち、「CAC」間を直線近似する。「PRC」は、10ミリ秒単位で最大10秒まで設定可能。
- (4) 上記の動作は、「CAC」の終りまで続けられるが、「PRC」の回数があるかじめ設定された回数を越えた場合 (何らかの原因でホスト計算機から Predict 及び「PRC」に関する命令が入力されない) は、増分の加算動作を中断し、Predict を最終値のまま固定して、アンテナの暴走を防ぐ。
- (5) アンテナ実角度信号を入力し、アンテナ種別に応じて、Real 角度に変換する。
- (6) Predict と Real との差を取り、アンテナ種別に応じた誤差感度を乗じたのち、D/A コンバータ経由で誤差電圧 (アンテナ駆動用信号; 駆動制御系位置ループの位置誤差入力信号) を出力する。この誤差出力周期「EOC」は、10ミリ秒以下である。
- (7) 上記誤差電圧を画面に X-Y 表示する。この表示は、瞬間のアンテナ位置を示すドット表示、又は、

ドット表示を連続して軌跡を残すトレース表示が可能である。

- (8) Predict と Real の差が $\pm 0.1^\circ$ 以上の場合、 $\pm 0.05^\circ$ 以内に入るまで LOCK OFF, $\pm 0.05^\circ$ 以内の場合は、 $\pm 0.1^\circ$ まで LOCK ON を表示する。
- (9) 上記の LOCK ON/OFF に応じて、誤差電圧表示用 X-Y 軸の表示範囲を拡大縮小する。
- (10) ホスト計算機からの要求に応じ、各種データをホスト計算機に送出する。

第7図に APIU 画面表示例を示す。



第7図 APIU 表示画面例

5. むすび

以上、26 m アンテナの駆動及びプログラム追尾系について概略を記述した。

駆動系に関しては、改修工事中に取得した各部の測定データにより、プログラム追尾に関しては、別途報告さ

れている日米 VLBI 試験観測結果⁽⁶⁾及び各種観測結果により、課せられた所期の目的は、十分達成されたと考えている。

更に、特筆すべき点は、これまでの NEAC 3200 システムに代表されるような大がかりなシステムから、小型で気軽に利用できる汎用性の高いシステムが完成したことである。APIU 画面に表示される誤差電圧をモニターすることによって、視覚的にアンテナの動き、あるいは、駆動特性が容易に把握できる。また、APIU の完成後、VLBI 観測のみならず、観測目的に応じた駆動用プログラム（例えば、電波星、太陽、月のプログラム追尾）の開発がユーザによって行われ有効に利用されている。

本アンテナを使用する VLBI 観測はもとより、各種観測の遂行のためには、今後とも初期の性能を維持できるようにアンテナ駆動運用法や保守態勢等について十分考慮する必要がある。

最後に、常に暖い御指導と御助言をいただきました第三宇宙通信研究所の河野室長、川口主任研究官、雨谷技官に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 山谷幸作, 村田一夫, 遠藤幸雄, 古川忠雄; "308 宇宙通信用 26mφ アンテナ駆動制御系の特性", 第12回自動制御連合講演会(昭和44年11月27日28日29日)
- (2) 川口則幸, 高橋富士信, 小池国正, 川尻轟大; "実験用静止通信衛星(ECS)実験用地上施設特集号2-2, 26m アンテナ", 電波季, 26, 136, pp. 67-72, Feb. 1980
- (3) 川口, 高橋(富), 吉野, 小池, 近藤, 国森, 高橋(幸); "V. 日米試験観測による成果", 本特集号

|||||