

Proceedings of the Research Institute of Atmospherics,
Nagoya University, vol. 31(1984)

TECHNICAL REPORT

IMPROVED ANTENNA DRIVE SYSTEM OF THE λ 8-CM RADIOHELIOGRAPH

Shoji Kobayashi and Naohiko Yoshimi

Abstract

The λ 8-cm radioheliograph at Toyokawa has a T-shaped array consisting of 52 paraboloids. The antenna drive system has been improved by using two stepping motors to drive hour angle and declination of each antenna. In our system, in order to detect the direction of each antenna, absolute encoders are not used but pulse counters are connected to all stepping motors. These counters are installed near the antenna array and count the pulses sent to the stepping motors. By using the stepping motors and the counters, we can realize the cost-effective system and increase the operational performance.

技 術 報 告

ステッピングモータを用いた 波長 8 cm 電波太陽写真儀用アンテナ駆動装置

小林勝司

吉見直彦

要旨： 波長 8 cm 電波太陽写真儀の各素子アンテナの赤経、赤緯両軸の駆動装置を、ステッピングモータとカウンタを組み合わせた駆動装置に置き換え、同時及び任意に 2 軸（赤経軸、赤緯軸）駆動を行えるようにした。

この駆動装置は、アンテナの数が多いこと（52 台）、広い範囲に設置されていることからアンテナを駆動するためのカウンタ部は T 型アレイの交点（位相中心）に置き、ステッピングモータ、減速機及び駆動電源は架台本体に設置すると共に、必要な駆動信号はケーブルで配る方式とし、低価格で多数のアンテナを駆動する装置を製作したので紹介する。

1. まえがき

名古屋大学空電研究所の波長 8 cm 電波太陽写真儀は、直径 3 m のパラボラアンテナを東西に（32 + 2）素子、南北に（16 + 2）素子並べた T 字形のアレイを持った複合電波干渉計である。最大基線長は東西 43.7 m、南北 21.7 m である。この装置は、1978 年から 1979 年にかけて高位相安定化及び高感度化のための改良⁽¹⁾が行われたが、これに伴って、マイクロコンピュータを用いた受信機制御装置⁽²⁾やデジタル位相走査器⁽³⁾が新たに取り付けられ、観測室から受信機各部の遠隔操作や状態の監視ができるようになり、操作性が向上した。

これまで、波長 8 cm 電波太陽写真儀の各素子アンテナの赤経軸の駆動には共通シャフトが使用されていた。その共通シャフトにアンテナが接触することで制限を受け、南中をはさんで土 2 時間しか観測することができなかった。そこで、共通シャフトを取り払い各素子アンテナを独立に駆動するようにし、南中をはさんで土 3 時間の観測時間を確保できるようにした。これによって、東西アームで 6 時間、南北アームで約 6 時間の計 12 時間分の一次元像の観測を行うことができ、地球回転を利用した電波太陽の二次元高分解能観測が可能となった。

各素子アンテナの駆動には、遠隔制御が簡単であるという理由からステッピングモータを用いた。また新たに主制御装置を設け、このアンテナ駆動装置と、従来からの受信機制御装置を一括して管理するようにし、この主制御装置を通してデータ収集装置であるミニコンピュータとのコミュニケーションもできるようにした。

ここでは主にアンテナ駆動装置について報告すると共に、全システムの概要についても報告する。

2. 駆動装置の設計仕様

装置の製作に当たって以下の項目を満足するような設計を行った。

- 1) アンテナの赤経軸指向角度は南中をはさんで±45度(±3時間)以上、赤緯軸指向角度は±50度〜±25度とする。
- 2) 駆動は同期(太陽に同期)駆動及び修正駆動とし、修正駆動は低速及び高速駆動が可能であること。
- 3) 駆動は任意又は同時駆動を可能とし、同期駆動中でも任意のアンテナの修正ができること。
- 4) 修正駆動速度は最大赤経軸で30度/分、赤緯軸で20度/分程度とする。
- 5) 手動制御の他、マイクロプロセッサによる制御もできること。
- 6) 全体を標準化した構成とし、保守及び調整等が容易にできるようにすると共に低価格化を計る。

ステッピングモータの選定に当っては、以下の点を考慮した。

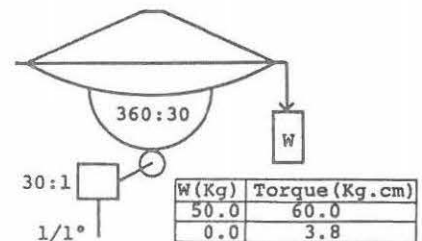
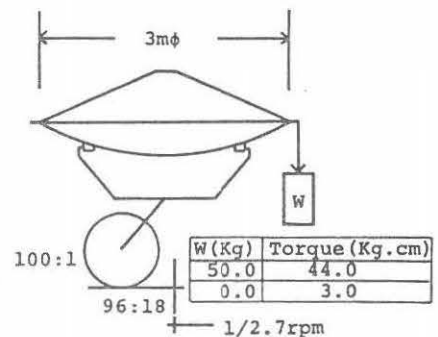
- a) 負荷トルク、慣性モーメント
- b) 共振現象及び減衰振動
- c) モータ容量及び電源

負荷トルクについては実測によった。(図/)

写真儀のアンテナは直径3mあり、赤道儀マウント方式となっている。赤経軸、赤緯軸とも重量的にはバランスが取っているが、風圧によるバランスの変化(負荷トルクの増加)は定量的には計測されていない。しかし、赤経軸では風圧を受ける鏡面とバランスウエイトとの面積の違いが大きいことから、風に対するバランスの変化が大きいことは予測できる。赤緯軸では一様に風圧がかかれば風によるバランスの変化は少ない。これらのことから赤経軸、赤緯軸とも風によるバランスの変化分としてアンテナの端に50Kgの重量をつけ負荷トルクの実測をした。

慣性モーメントはステッピングモータの自起動周波数に影響を及ぼす。我々は、充分な起動トルクが得られる低い周波数で自起動をかけるとともに時定数をかけて増速する方法を用いて、モータの自起動周波数があまり高くなくても高速駆動が可能ようにした。

共振現象は、回転子の固有振動周期に入力パルスが同期するために生ずる現象で、同期ミス、振動音、トルクの減少などの問題があるが、比較的低い周波数で発生するのでそこをさけて使用するようにした。通常、パルス信号を1つ与えてモータを1ステップ動かすと、モータ軸は次の停止位置まで回転して止まるが、この時減衰振動を起こす。この振動対策としては、電氣的または、機械的ダンパーを使うとか、励磁方式を工夫するなど考えられるが、我々は後者の方を採用した。また



図/ アンテナ負荷トルクの測定

上図は赤経軸、下図は赤緯軸を示す。

、振動によって生ずる減速機歯車のネジの緩みはスプリングピンで固定し防ぐようにした。

ステッピングモータの容量は、小さいものを用いるとアンテナを駆動するのに必要な出力トルクを得るために、減速比を大きくとらなければならない。したがって、減速機出力軸の最高回転数が低くなる。同期駆動と修正駆動の速度比（表 / ）もある程度とりたいことからあまり容量の小さいモータは選定できない。しかし、ステッピングモータを駆動する場合、モータより電源の方が高価格（5～10倍）でありむやみに高容量のモータも選定できない。また、駆動した量を記憶しておくトータルカウンタの桁数を増やしたくないことから、1パルス当りのステップ角もあまり小さくできない。

アンテナ修正駆動単位としては、素子アンテナのメインビーム半値幅の1/100程度の測定精度を目安として計算すると1.194分角（実測値）となるが、この値でモニタ用アブソリュートエンコーダの必要ビット数を計算すると。

赤経軸 $90^\circ \div 1.194 \text{ 分角} = 4522 \dots\dots\dots (13 \text{ ビット})$

赤緯軸 $75^\circ \div 1.194 \text{ 分角} = 3768 \dots\dots\dots (12 \text{ ビット})$

となる。

赤経軸、赤緯軸ともに同じものを使用したいこと、アンテナの位置を記憶しておくトータルカウンタの桁数をできるだけ増やさないこと、並びにデータ変換の容易さなどから12ビットとした。したがって、アンテナ修正駆動単位が、赤経軸では分角または秒のいずれかで整数となるようにして1.5分角（6秒）、赤緯軸では符号に1ビット割り当てるとともに分角の位で整数化したので2分角となった。これはアンテナのビーム半値幅の1/80（赤経軸）、1/60（赤緯軸）であり、また1%利得低下の約1/10であるので問題はない。

3. システムの概要及び構成

波長8cm電波太陽写真儀アンテナは図2のように配置されている。駆動装置は図3のような構成になっており、ステッピングモータを駆動するための駆動減速機部と、駆動信号を管理するカウンタ部さらにカウンタ部を制御するモニタ・コントロール部の3つに別れている。

駆動減速機部はアンテナ架台本体に取り付けてあり、赤経軸減速機と赤緯軸減速機及び駆動電源からなっている。また、アンテナ角度検出のためのアブソリュートエンコーダが、基準アンテナの2軸（赤経軸、赤緯軸）に各1台ずつ取り付けてある。カウンタ部には18芯の複合ケーブルで結ばれている。

カウンタ部はT型アレイの交点（位相中心）に置かれており、VCO 発振器、分周回路、角度比較回路、アンテナ選択回路、駆動信号回路、アンテナ毎のトータルカウンタ回路等からなっている。また、モニタ用アブソリュートエンコーダ各1台からの信号を、モニタ・コントロール部へ転送する。

モニタ・コントロール部は、カウンタ部より約200m離れた観測室に置かれており、標準時から地方時への変換回路、アンテナの駆動角度制限回路及び角度表示回路等から構成されており、同期駆

表 / 速度比（赤経軸）

	同期	修正(低)	修正(高)
旧方式	1	50	
新方式	1	24	200

3-1 駆動減速機部

赤経駆動入力軸は、アンテナの種類によって表2のように回転数、最大負荷トルクも異なっているが、減速機は同じ減速比のものを使用し、回転数の違いは減速機と駆動入力軸を結ぶチエーンホイールの歯数で調整した。ステッピングモータは表3のような仕様のものを使用することにした。

赤経軸駆動信号は / ブロック = 96 パルスとして、減速比は $1/6.48$ (東西アンテナ 34 台はチエーンホイールでさらに $1/2$ して $1/12.96$, D アンテナのみ $1/1.44$ とし、さらにチエーンホイールで $1/5/24$) とした。

赤緯軸駆動入力回転数は、全てのアンテナが / 度 / 回転となっており、最大負荷トルクは $60 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$ である。赤緯軸駆動は手で動かせるようにアイドル歯車を入れること、赤経軸ほど駆動速度を要求されないことから減速比を大きくしてモータ容量を抑え、表4の仕様のものを使用した。

赤緯軸駆動信号は / ブロック = $1/28$ パルスとして減速比は、 $1/4.8 \times 1/4$ (アイドル歯車) = $1/19.2$ である。

ステッピングモータは原理的にはソレノイドを多極化したものと同じであるため、各ステップ毎に一定位置にとまる。このさい、減衰振動が起ることからモータに接続される減速機はウオーム減速機が望ましいがやむをえず平歯車で構成した。

3-2 駆動電源部

ステッピングモータを駆動する場合、重要な役割をしめるのは励磁方式、駆動方式及び駆動電源であり、励磁方式には、

- (1) 1 相 (1 ステップ当りの角度精度がすぐれ、消費電力が少ないがトルクが小さい)
- (2) 2 相 (ダンピング効果が勝れ、出力トルクも $20 \sim 40\%$ アップし高周波域まで応答する)
- (3) 1-2 相 (周波数応答は 2 倍になり、モータの回転はスムーズになる)

等があり、駆動方式 (1~2) 及び駆動電源 (3~6) には、

- (1) ユニポーラ駆動方式 (低周波域では若干トルクが少ないが、時定数が低いので高周波域まで大きなトルクを発生できる)
- (2) バイポーラ駆動方式 (巻線の利用効率が良く、低周波域においてはユニポーラに比べて高いトルクを発生するが、高域では時定数が大きいため急激にトルクが減少する)
- (3) 直接法 (単にモータ巻線を ON-OFF するだけで高い周波数特性は望めない)
- (4) 抵抗法 (モータ巻線に外部直列抵抗を入れる、安価であるが消費電力が多い)

表2 アンテナ入力軸回転数
及び負荷トルク (MAX)

		入力軸回転数	負荷トルク
		(rpm)	(Kg・cm)
東西	34台	$1/2.70$	44.0
南北	17台	$1/1.35$	22.0
南 (D)	1台	$1/0.48$	8.0

表3 ステッピングモータ仕様
(赤経軸駆動用)

形式	ハイブリッドタイプ
ステップ角	1.8°
定格電圧	5.0V
定格電流/相	1.9A
ホールディングトルク	$12.0 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$
自起動周波数 ※1	
(400Hz)	$11.0 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$
(800Hz)	$5.5 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$
高速パルス	
(2400Hz)	$6.0 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$

※1 測定値 (電源メーカー)

表4 ステッピングモータ仕様
(赤緯軸駆動用)

形式	ハイブリッドタイプ
ステップ角	1.8°
定格電圧	5.4V
定格電流/相	1.5A
ホールディングトルク	$6.0 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$
自起動周波数 ※2	
(400Hz)	$3.5 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$
高速パルス	
(1200Hz)	$2.0 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$

※2 カタログ値 (モータメーカー)

- (5) 2電源法（モータ励磁を立ち上り時のみ高圧をかけ、その後定格電圧をかける）
 (6) チョッパ方式（定電流駆動=チョッパ回路を用いて、直接高電圧を断続し定電流駆動する。立ち上り特性も良好で発熱も少なく効率的）

等あるが、我々はダンピング特性、高域まで延びる出力特性、立ち上り特性及び消費電力等を考慮して、2相励磁ユニポーラ・チョッパ定電流方式を採用した。

各々の電源の入力信号端子がフォトカプラで絶縁され、パワーコントロールの端子もそなえている2組の電源を、換気扇とともにプラスチックボックスに入れてアンテナ本体に取り付けてある。

この駆動電源部とカウンタ部とは1/8芯の複合ケーブルで結ばれていて、その長さはT型アレイの交点（位相中心）より最大340mある。複合ケーブルは、ノイズ対策を考慮してシールド付ツイストペア線8対と電力用電線1対よりなっており、地下に直接埋設する方法をとった。

3-3 カウンタ部

カウンタ部は、同期駆動及び低速修正駆動を行うための分周回路、高速修正駆動のためのVCO発振器、地方時（プリセット値）南中時刻（固定）プログラムデータ等のデータ選択回路、選択されたデータとアブソリュートエンコーダのデータとの比較回路、アンテナ選択回路、個々のアンテナへの駆動信号回路及びトータルカウンタ回路等より構成されている。（図4）

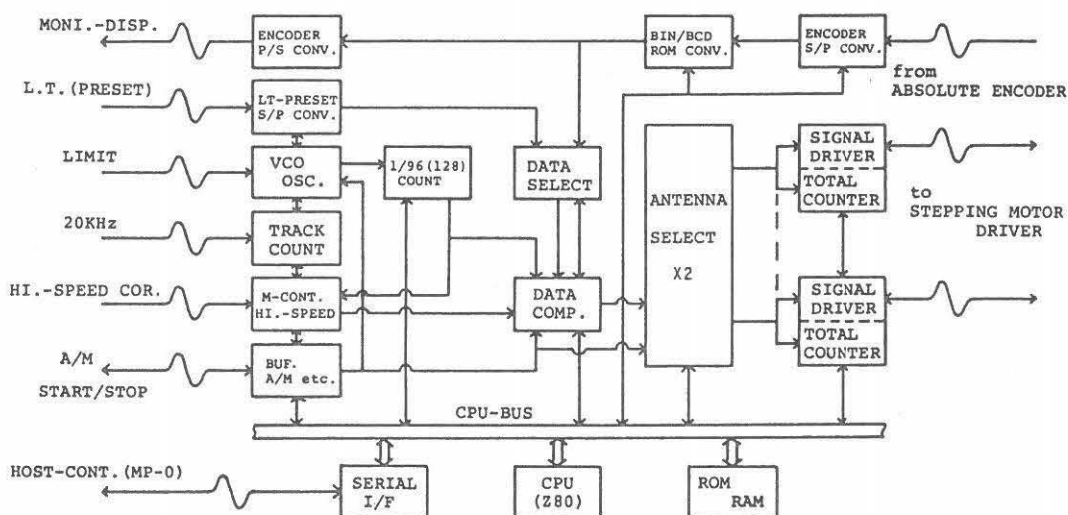


図4 カウンタ部の構成

アンテナを同期駆動で動かす場合のステッピングモータへのパルス信号は、1/6パルス/秒で良い（96パルス/1.5分角（6秒）=1/6Hz）が、信号を送っている途中で停止したり修正駆動した場合、アブソリュートエンコーダでの検出範囲以下の分は誤差となり実際のアンテナ角度と表示角度が異なってくる。このため、アブソリュートエンコーダの1ビット分ずつのパルス（赤緯軸=96パルス、赤経軸=128パルス）をブロックで転送することにした。（図5-1）ブロックで転送する利点は、このほか、ブロックとブロックの間の時間に、ステッピングモータの励磁をOFFすることで

消費電力が少なくなること。その間、信号ラインにノイズが混入しても無視できること。さらに、個々のアンテナのトータルカウンタの桁数を、送られたパルスのブロック数で記憶することで少なくすることができることである。

高速修正駆動するには、まず自起動周波数（赤経軸駆動＝800Hz、赤緯軸駆動＝400Hz）で起動した後、時定数をかけて周波数を徐々に行く（スローアップ）。停止する場合も同じく徐々に周波数を下げてから（スローダウン）行う台形状駆動処理（図5-2）をしている。この場合でも、ブロック毎に区切られて止められるようにしてある。

アンテナを指定する角度にするためには、地方時等の選択されたデータと、アブソリュートエンコーダのデータとの比較によって行われるが、ここで用いるデータはBCDコードを用いた。これは、オペレータの操作のしやすさを考慮したためである。このため、アブソリュートエンコーダの2進データからBCDデータへの変換をする必要が生ずるが、この変換はPROMを用いて行った。

同期駆動中の修正は、修正が優先して動作するようにしてあり、修正駆動時間中に発生する同期駆動パルスのブロックは、修正駆動ブロック数の加減算によって行われる。これにより、太陽の追尾をはずして空のレベルを記録した後、再度太陽の追尾を続けることが容易に行える。

各アンテナの位置を示すカウンタは、ブロック毎のパルスを処理するカウンタと、その出力を記憶するトータルカウンタとに別れている。これらはCMOSで構成されており、停電時でもデータが保存されるようにしてある。記憶されたデータはLEDで表示されるとともに、マイクロプロセッサを通して読み書きができるようになっている。

カウンタ部の各レジスタへのデータの設定、アンテナ駆動選択スイッチのON-OFF、アンテナ駆動の起動及び停止、ステータスのモニタ等は、外部よりターミナルを継ぐだけで制御できるようにしてある。そのためのマイクロプロセッサの動作に必要なプログラムは、全てアセンブラで記述しPROMに書き込んである。

アブソリュートエンコーダのデータ、標準時、

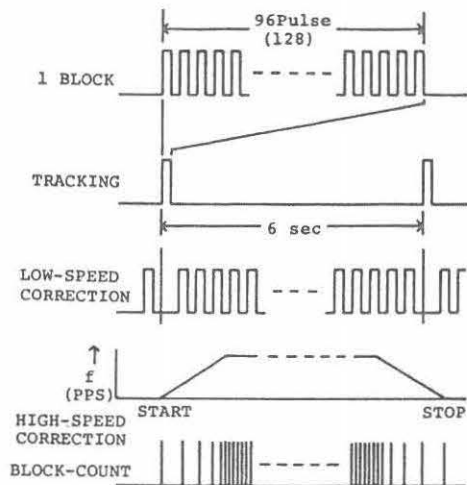


図5-1 / ブロック転送のタイムチャート

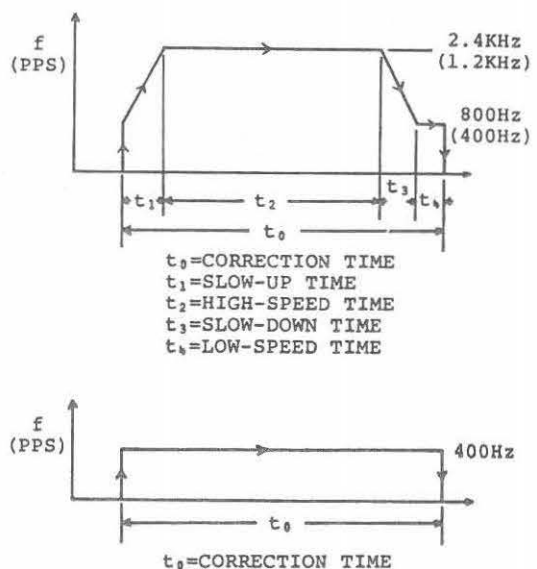


図5-2 ステッピングモータの駆動方法
上図は高速修正駆動、下図は同期及び低速修正駆動方法を示す。

地方時、プリセット値等のデータの転送は全てシリアル転送とし、データとクロックを重畳して送り受信側で分離する方法を取った⁽⁴⁾ (図5-3) 信号転送レベルは、アブソリュートエンコーダのデータを除いて全て RS-422 規格とし、転送レートは 10K ビット/秒である。アブソリュートエンコーダとカウンタ部の間は約 30m と短いこと、アイソレーションをとりたことからプラスチックファイバを使用した光伝送を用いた。

なお、カウンタ部とモニタ・コントロール部との間の起動及び停止信号、モニタ信号等の信号レベルも全て RS-422 規格としてあり、カウンタ部とモニタ・コントロール部とは外被シールド付ツイストペア線 (2 5 対) × 2 本で結ばれている。

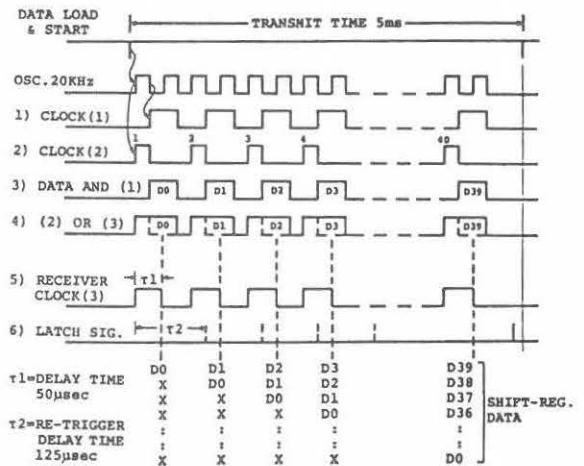


図5-3 シリアル転送のタイムチャート

3-4 モニタ・コントロール部

モニタ・コントロール部は、アンテナ制御に必要な情報の表示 (標準時、地方時、アンテナ角度、駆動方式、動作方向) 及び、アンテナ角度の制限の設定、起動及び停止の手動操作が行えるようになっている。(図6)

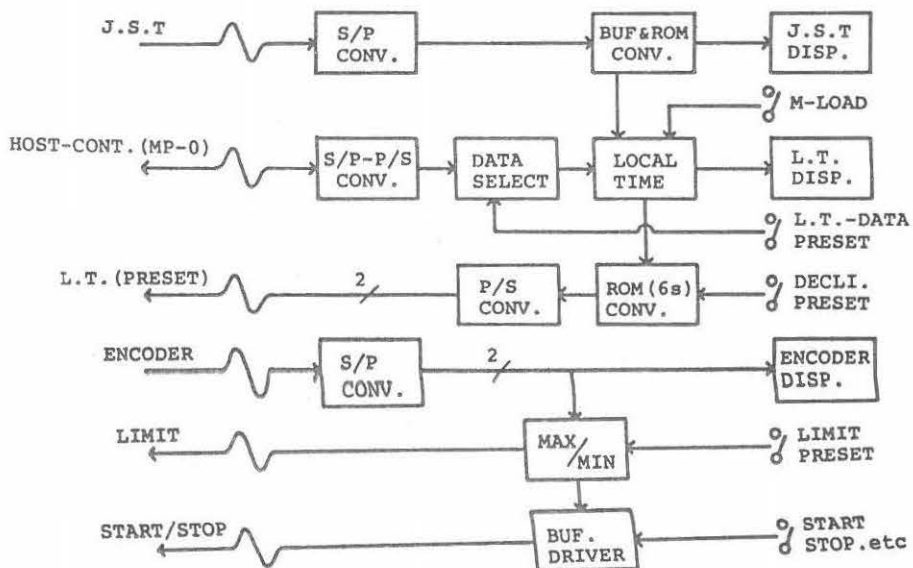


図6 モニタ・コントロール部の構成

太陽電波を観測する場合、アンテナを駆動するのに地方時で行う方が便利であるため、標準時から地方時への時刻の変換が行われるが、それにはプリセットまたは主制御装置よりのデータを、任意もしくは標準時の正分に同期してセットできるようになっている。また、地方時の時刻は表示されると共に、カウンタ部へは6秒毎の表示となるように PROM を用いて変換されてからシリアル転送される。これはカウンタ部でのデータの比較が、6秒ステップでないとアップソリュートエンコードのデータとの一致が取れないためである。標準時データは、データ収集装置に取り付けられている標準時計（ $\pm 2 \times 10^{-8} / \text{DAY}$ ）より、BCD 形式40ビットのデータとしてシリアルで送られて来ている。このデータを、月・日・時間に分解して表示するとともに、設定値と比較してアンテナ駆動角度の制限も行えるようになっている。

4. システムの統合

波長8cm電波太陽写真儀の制御系は、受信機制御系⁽²⁾とアンテナ駆動系とに別れていたが、ステップモータを用いた新アンテナ駆動系の完成により、図7のように制御システムの統合が行われた。

制御系は、高周波・第2中間周波増幅器部を制御する装置（MP-2）、受信機バックエンド部を制御する装置（MP-1）、アンテナを制御する装置（MP-3）と、それらを管理する主制御装置（MP-0）から構成されており、制御機能の分担が計られている。各制御装置はマイクロプロセッサを核とした構造となっている。

MP-0は、従来 MP-1 の持っていたスケジューラの役割、データ収集装置への受信機バックエンドの情報の転送、写真儀システムのオペレータと制御系の会話等のほか、データ収集装置との相互通信等全ての管理を行う。そのため従来 MP-1 は主制御装置の役割もしていたが、MP-0 が設置されたことにより単に受信機バックエンド部の制御のみとし、ソフトウェアについてはアセンブラ記述とした。

MP-2 は従来通り、フロントエンドの監視ならびに制御、アンテナ選択スイッチ、第2中間周波増幅器部の8ビット・デジタル移相器の制御を受け持ち、若干のソフトウェアの改良をした。

新たにアンテナの赤経、赤緯の制御を受け持つ MP-3 が加わったことにより、MP-0 を中心としたこの制御系は、波長8cm電波太陽写真儀の全てを管理できるシステムとなっている。

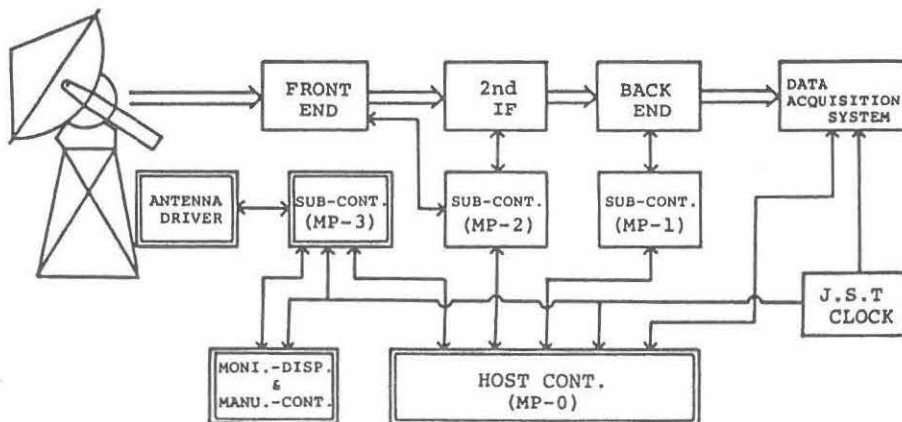


図7 全システムの構成

なお MP-0 は、JST 標準時計、全自動ラジオメータと共に無停電源装置に接続されており、復電後全てのサブシステムの初期化を行い正常動作に復旧させることができるようになっている。

5. 使用試験結果

1983年10月から11月にかけての1ヶ月間、一番遠く離れたアンテナ (B) と、一番近くのアンテナ (C) を使用しての駆動試験を行った。その結果、騒音及び振動が認められるものの、風圧による負荷トルクの増加で引き起こされるステッピングモータの乱調現象や、駆動信号の伝送エラーもなくほぼ満足すべき結果が得られたことで、11月より全アンテナにステッピングモータの取り付けを行なった。全アンテナに駆動装置の付いた11月中旬、アンテナの駆動を新方式に切り換えて、手動制御を行なうようにした。手動制御の場合、地方時とアブソリュートエンコーダのデータとを比較して修正駆動するため、駆動方向が異なった場合に、アンテナのバックラッシュの違い等から最大4ブロック位のアンテナのズレが生じた。このため、各アンテナにアブソリュートポジションセンサを取り付け、この位置でアンテナの角度を校正するようにした。

赤緯軸修正駆動速度も旧方式では、一番遠いアンテナ (B) への動力伝達がトルクシンクロを使用していたため高速駆動できなかった状態から見ると、同期速度に対する速度比が50から200と4倍になり、30度修正するのに52秒間でできる。赤緯軸修正駆動においても、旧方式では、1ステップ=3分角で、1.5秒の修正時間がかかり、各アンテナを順番に1台ずつ駆動していたものが同時に修正駆動できることで、太陽角度の1日の変化分 (最大24分角) がわずかに数秒でできるようになった。

6. まとめ

今回製作したアンテナ駆動装置は、ステッピングモータの特性を生かし低速から高速まで1台のモータでアンテナを駆動することによって、アンテナの駆動範囲を広げ観測可能時間を、南中をはさんで±2時間から±3時間以上に拡大できた。アンテナ角度の検出には、高価なアブソリュートエンコーダを使用しなくても TTL で構成した加減算カウンタと、アブソリュートポジションセンサを組み合わせることで充分実用となる。

アンテナを個別または多数同時に駆動できるこの方式を採用することで、共通シャフト駆動方式では、ねじれ等の問題から難しかった長基線上に配置されたアンテナの駆動や、ランダムに配置されたアンテナの駆動、角度の校正等が容易に行える。また、経緯儀マウント方式のアンテナ駆動へも簡単に応用できる。なお、減速機を既存のアンテナに取り付けたため、減速比が中途半端な値となり平歯車構成となったが、ステッピングモータに取り付ける減速機としては、振動及び騒音を除くこと等からウオーム減速機等を使用した方が望ましい。

謝 辞

この報告を書くに当り御助力願った柴崎清登助手、西尾正則助手並びにソフトウェアの作成に御協力頂いた高田重利技官に対し深く感謝の意を表します。

この装置の製作は、文部省科学研究費補助金一般 (A) 「地球回転を利用した電波太陽の二次元高分解能観測」 (柴崎清登) によって行われた。

参考文献

- (1) Ishiguro, M., Torii, C., Shibasaki, K., Enome, S. and Tanaka, H. : A Project to Improve the Sensitivity and the Stability of the λ 8-cm Radioheliograph at Toyokawa, Proc. Res. Inst. Atmospheric, Nagoya Univ., 26, 145- 150 (1979)
- (2) 小林勝司、高田重利「波長8 cm電波太陽写真儀の制御装置」
Proc. Res. Inst. Atmospheric, Nagoya Univ., 29, 94- 104 (1982)
- (3) 鳥居近吉「波長8 cm電波太陽写真儀用デジタル位相走査器」
Proc. Res. Inst. Atmospheric, Nagoya Univ., 30, 80- 84 (1983)
- (4) 小泉利造「遠隔表示のためのシリアル伝送技術」
トランジスタ技術, 187, 307- 312 (1980)