

Proceedings of the Research Institute of Atmospheric,
Nagoya University, vol. 29 (1982) - Technical Note-

A CONTROL SYSTEM OF THE λ 8-CM RADIOHELIOGRAPH AT TOYOKAWA

Shoji KOBAYASHI and Shigetoshi TAKATA

Abstract

The λ 8-cm radioheliograph at Toyakawa has been improved in performance of phase stability and sensitivity with an introduction of a low-noise frontend receiver for each antenna and of phase-stable coaxial cable for the transmission of reference frequency and IF signals. The total system of the radioheliograph, thus, becomes complex and is distributed along arrays, a central control system is developed. This system consists of two microprocessors, one of which is used for the backend receivers, and the other for the 2nd IF and frontend receivers respectively. Main tasks of this system are routine control and monitoring of the total system, and to execute simple test jobs such as phase calibration of each antenna, etc. Maintenance, modification, and extension of the system are easily done in both software and hardware aspects by standardization of interfaces.

技 術 報 告

波長 8 cm 電波太陽写真儀の制御装置

小林勝司

高田重利

要旨： 波長 8 cm 電波太陽写真儀は、位相の安定化と感度の向上を目指して改良が行なわれた。それと共に受信機の機器構成が複雑になり配置が広く分散したので、マイクロプロセッサを採用した制御系を製作した。この制御系は、バックエンドの制御、フロントエンド・第2中間周波増幅器部の制御に大きく機能を分けてあり、各部を一点で集中管理して写真儀での観測及び校正、装置の監視等が迅速容易に行なえるようにした。

また 各部を独立で動かす事も可能にし、ハードウェア・ソフトウェア共インタフェースを標準化したモジュールで構成する事により保守、拡張、修正を仕易くした。

1. まえがき

太陽電波研究室では、1975年より波長 8 cm 電波太陽写真儀⁽¹⁾ による観測を続けており、1970年より観測を開始している波長 3 cm 電波太陽写真儀⁽²⁾ のデータと併せて、太陽大気の立体的構造やコロナルホール等の研究を行なつて来た。また 波長 8 cm と 3 cm の干渉計による記録を比較して得られる太陽面上の、各活動領域毎の太陽活動指数の算定にも寄与して来た。

波長 8 cm 電波太陽写真儀システムは、東西 43.7° 南北 21.7° の基線上に、52 台のアンテナが配置され T 型アレイの複合干渉計を構成している。空間分解能は、東西一次元「 $32+2$ (A,B) 素子」で 38 秒角、南北一次元「 $16+2$ (C,D) 素子」で 12.7 分角、写真儀「東西 32 素子 + 南北 16 素子」で 25×25 分角、時間分解能は、一次元クイックスキャンで 10 秒、二次元 / マップ 40 秒である。

1979年 位相の安定化と感度の向上を目指すと共に、将来 実時間像合成電波太陽写真儀とする為の第1段階として、低雑音前置増幅器、位相ロック局部発振器、高位相安定度の同軸ケーブルの採用⁽³⁾ で、システム全体の受信機雑音温度 $1,000^\circ\text{K}$ 以下 位相安定度 $5^\circ\text{rms}/\text{月}$ 以下の目標が達成された。

これと併せてフロントエンドにおける恒温槽の温度の状態、位相ロック局部発振器のロックの状態、ディック変調信号の制御及び第2中間周波増幅器部のアンテナ選択スイッチの ON-OFF、8ビット・デジタル移相器の制御、さらに3台の受信機バックエンドの制御等をコンピュータ・コントロールする事によつて、能率良く集中管理が出来るように1980年に制御系の基本設計⁽⁴⁾ がなされた。

我々は、この基本設計を基に専用の写真儀制御装置を製作した。この装置は、保守、拡張、修正が容易に行なえるようにハードウェア及びソフトウェアの構成を工夫してある。本報告では、この制御装置の概要、動作及び実際の動作例について報告する。

2. システムの概要

波長 8 cm 電波太陽写真儀の制御系は、図1のようにそれぞれのマイクロプロセッサを核とした2つ

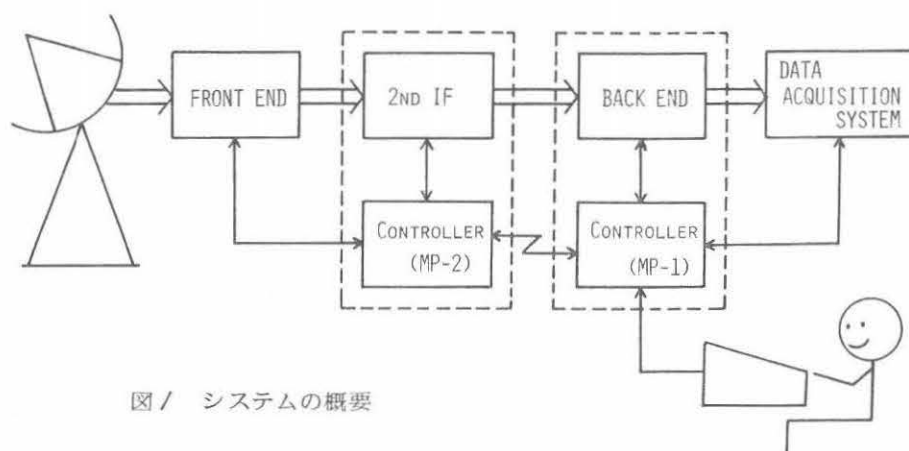


図1 システムの概要

のサブシステム（コントローラ MP - 1, MP - 2）からなっており制御機能を分担させた。2つのサブシステムは緩く結合されており通常は、MP - 1 が主で、MP - 2 が従の関係としてある。しかしそれらを切り離して独立に動かす事も可能である。MP - 1 は、データ集録装置であるミニコンピュータ（NOVA - 01）からの観測モード信号に従って、MP - 2 へのコマンド転送及び観測室内にある受信機バックエンドの制御をする。また ミニコンピュータへ受信機バックエンドの情報（受信機帯域幅、積分時間、減衰器等）の転送もする。

MP - 2 は、フロントエンドの監視並びに制御、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、MP - 1 よりのコマンドで、64点の監視個所と、158点の制御個所を管理している。

3. 制御システムの構成及び動作

3.1 MP - 1 側

MP - 1 は、観測室内に置かれ制御系の核としての役割を持っている。図2に構成を示す。MP - 1 は、予めプログラミングされている1日のスケジュールに従って、観測室内にある3台の受信機バックエンド部の動作パラメータを設定すると共に、MP - 2 に対して制御コマンドを送り出す作業を行なう。また 写真儀システムのオペレータと制御系の会話も MP - 1 で集中して行なう。MP - 1 は、市販のマイクロコンピュータ・セット⁽⁵⁾（COMP0 - BS/80）を一部改造したものに、CRT、プリンタ、デジタルカセット MT 2台を取り付けさらに拡張インタフェースを増設し、そこに標準フロッピー・ディスク2台、タイマ、A-D 変換器、パラレルI/Oポート、シリアルI/Oポートを接続した構成になっている。観測データの一部をモニタ表示する為のカラーグラフィック・モニタ部も、市販のマイクロコンピュータ・セット⁽⁶⁾（PC - 8001）にカラーグラフィック・ディスプレイを取り付けさらに拡張インタフェースを増設して、デジタルカセット MT、パラレルI/Oポート、シリアルI/Oポートを接続した構成になっている。

標準フロッピー・ディスクは、観測制御プログラムの格納、システムの動作状態、MP - 2 との通信内容及び人間との会話のログイングの為に用いられる。A-D 変換器は、観測データの一部をモニタし受信機制御に使うと共に動作状態のモニタの為に用いられる。受信機バックエンド部と MP - 1 は、パラレルI/Oポートによつて結ばれており、受信機帯域幅、積分時間、減衰器の切り換え等の制御及

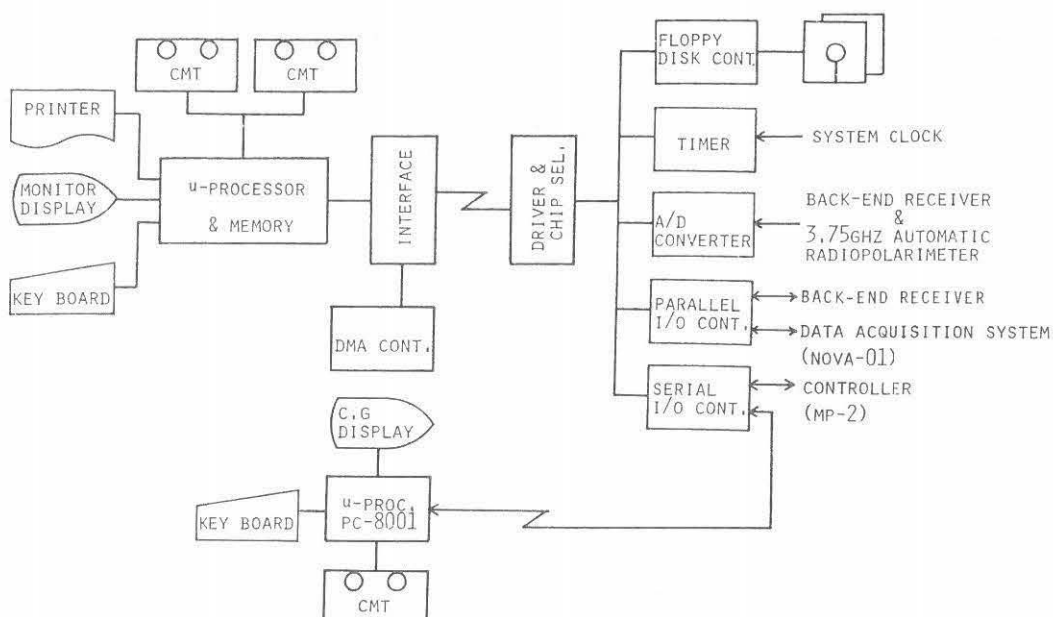


図2 MP - 1 の構成

びそれらの設定状態の監視が行なえるようになっていいる。

データ集録用ミニコンピュータと MP - 1 もパラレル I/O ポートで結ばれており、ミニコンピュータから観測モードに関する指示 (ノ 6 ビット) を受けて写真儀システム各部に指示を送り、システムの情報の一部 (減衰器の値、観測中かシステム校正中かの装置の状態) をミニコンピュータに送り返すようになっていいる。MP - 1 と MP - 2 の間は、全二重のシリアル回線で結ばれており、その距離は 50 m あるがモデムは使用せずに高速で長距離伝送が可能な EIA 標準 (RS - 422 規格) のインタフェース用ドライバ/レシーバ IC⁽⁷⁾ (Am26LS31/Am26LS32) を採用した。MP - 1 とカラーグラフィック・モニタ部は、全二重シリアル回線 (RS - 232C 規格) で行なわれる。

MP - 1 では、観測プログラムの記述の為に N - FORTH⁽⁴⁾ という言語を用いていいる。これは、FORTH⁽⁸⁾ と呼ばれる制御向き言語を、波長 8 cm 電波太陽写真儀向けに改良したものである。

MP - 1 は、多重割込処理を用いており、観測プログラムの実行、MP - 2 との通信、A-D 変換器のデータの取り込みが並列に行なえるようになっていいる。これらのジョブのプログラムの内、後ろの 2 つはアセンブラで記述され ROM に格納されていいる。各ジョブ間のデータの受け渡しは、メモリ上に設けたバッファを仲介して行なうようになっていいる。

3. 2 MP - 2 側

MP - 2 は、T 型アレイの交点 (位相中心) 附近に置かれており、MP - 1 よりのコマンドを受けそれに従って処理を実行すると共に、写真儀の動作状態の監視を行なっている。図 3 にその構成を示す。MP - 2 の CPU 部は、マイクロプロセッサとして μ PD8080A⁽⁹⁾ を使用し ROM 10 K バイト、RAM 1 K バイト、コミュニケーションポートとしてシリアル I/O (RS - 422, RS - 232C \times 2)、制御ポー

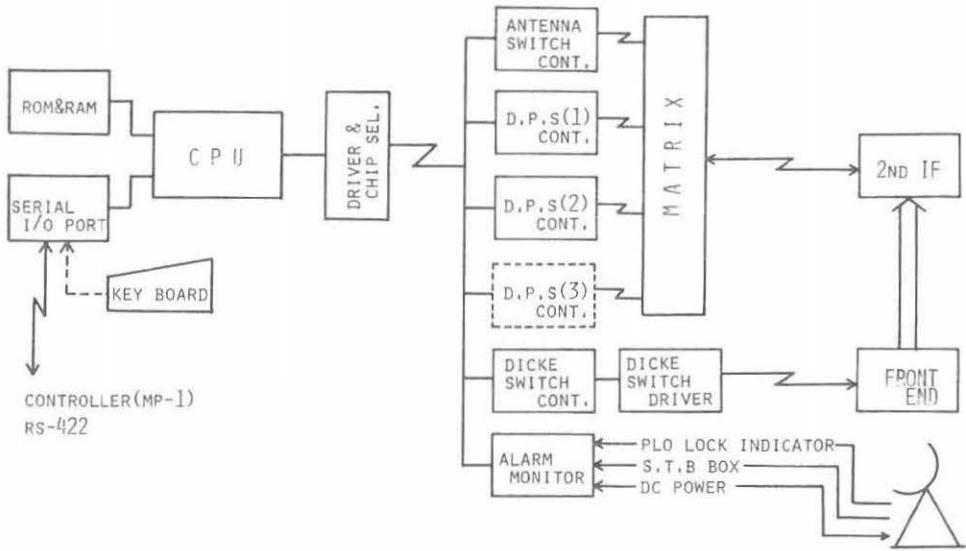


図3 MP-2の構成図

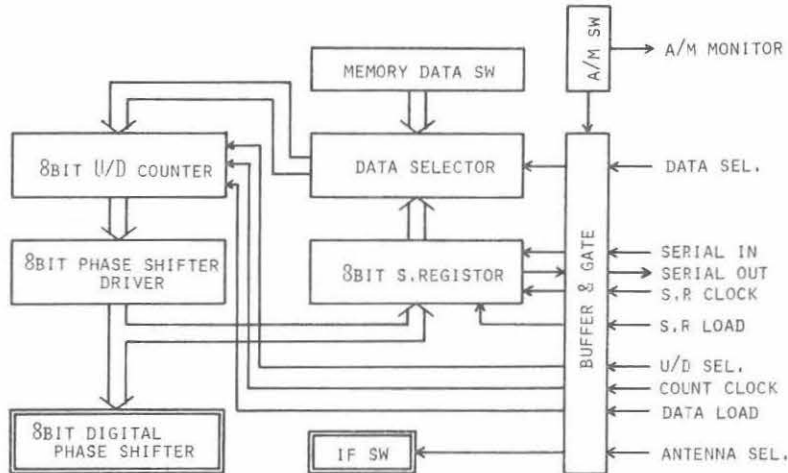


図4 第2 中間周波増幅器部の8ビット・デジタル移相器のブロックダイアグラム
MEMORY DATA SW にセットされている基準位相データまたは、D.P.S (1) コントローラよりシリアルで送られ S.REGISTER にセットされているデータを、DATA SELECTOR で選択して U/D COUNTER にロードする事によって、各アンテナからの位相が調整出来るようになってる。

トとしてコントローラ・インタフェース（メモリマップドI/O）を取り付けたものである。各々のコントローラとの制御信号の受け渡しは、コネクタを規格化したインタフェース・ボードを CPU 部のスロットに差し込み、それを通して行なうようにした為、コントローラの増設が容易に出来るようにしてある。MP - 2 のコントローラは以下のように分れている。

- 1) アンテナ選択スイッチの制御 (IF・SW の ON - OFF)
- 2) 8ビット・デジタル移相器の制御
 - D.P.S (1) = データの送受信
 - D.P.S (2) = データの選択・ロード
 - D.P.S (3) = ビームの走査
- 3) デイック変調信号の制御 (デイック・スルー・カット)

その内の 1), 2) は、第2中間周波増幅器部 (図4にブロックダイアグラムを示す) にマトリックス回路を経由して / 0 本の信号線で結ばれている。第2中間周波増幅器部までは、各々のコントローラより最大5m あるが、ドライバ IC (SN7406, SN7407) で駆動している。データの送受信はシリアルで行なっており、転送速度は約 / 2 0 0 ボーである。

現在の波長8cm電波太陽写真儀は、ビームを走査して太陽像を合成する方式 (ビーム走査方式) である。8ビット・デジタル移相器を用いてビームを動かすには、その動いた方向で受信電波の位相が全部合うように修正しなければならないので、アンテナアレイの位相中心からの距離に比例した位相推移を与えなければならない。⁽¹⁰⁾ デジタル移相器では、ビット当りの移相量が決まっているので、位相推移量に応じた周波数で8ビット U/D カウンタを動作させてやれば良い。この為のカウントパルスの作成には、プログラマブル ROM⁽⁹⁾ (2708, 以下 PROM と略) を使用し、データ集録用ミニコン

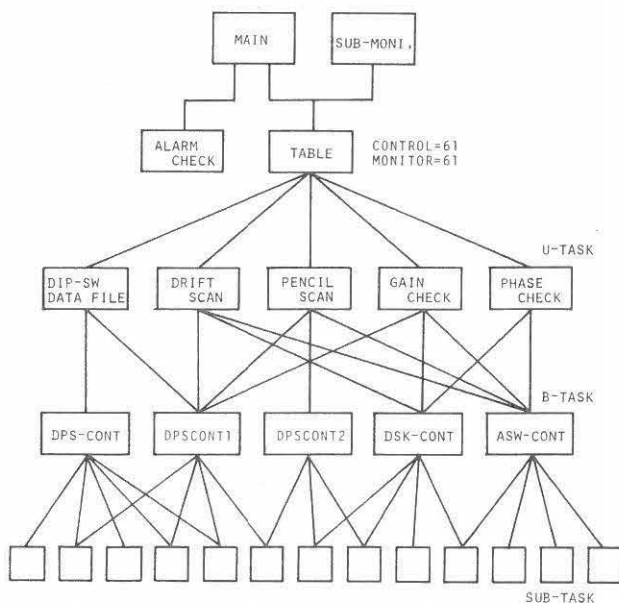


図5 MP - 2 でのプログラムのタスク構造

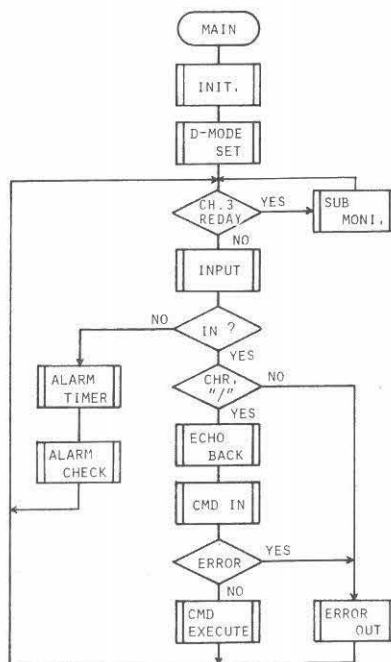


図6 メインプログラムの流れ図

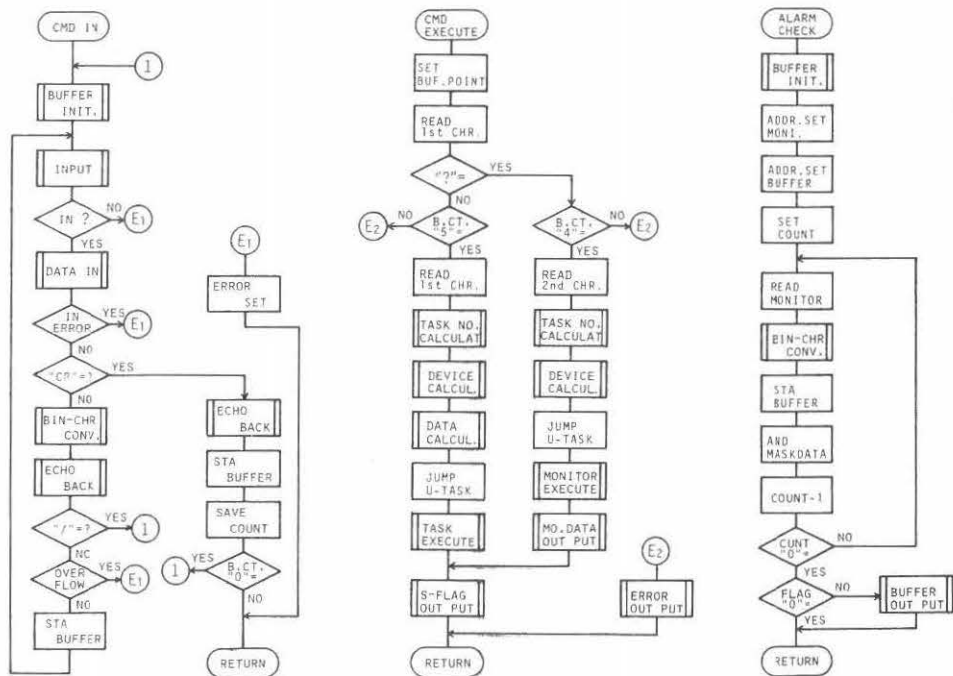


図7 サブプログラムの流れ図

ピュータにより制御された周波数シンセサイザからの信号を、アドレスカウンタに入力して、アドレスカウンタからの出力を PROM のアドレスとして用いている。PROM には、予め各アンテナに対応した周波数でのカウントパルスの波形が書き込まれていて、それから出力されるカウントパルスを、各々のアンテナの 8 ビット・デジタル移相器に送るようにした。位相中心から見て東アームと西アームでは、8 ビット・デジタル移相器の U/D カウンタを逆に動作させる。南アームについても独立に動作させるようにしてある。

図5にプログラムのタスク構造、図6にメインプログラム、図7にサブプログラムの流れ図を示す。MP - 2 でのプログラムは、全てアセンブラで書かれており、図5のようにジャンプ・テーブル、ユーティリティ・タスク (U - TASK)、ベース・タスク (B - TASK)、サブ・タスク (S - TASK) のように4段に階層化してある。

メインプログラムは、最初に USART⁽⁹⁾ (8251)、アラーム・チェックのくり返し時間々隔の設定等の初期設定をした後、各パラメータを標準観測モード (ドリフトスキャン) に設定し、コマンド入力待ちになる。この為、MP - 2 では、停電があつても通電後すみやかに標準観測モードに設定され、コマンド入力待ちになる。

通常コマンドが入力されない時は、約4秒に1回の割合でアラームのチェックを行なっている。アラームの内容は、フロントエンドのある恒温槽の状態及び位相ロック局部発振器のロックの状態、フロントエンドへ送られる電源のヒューズの切断状態等どれか1つに異状があつても、全てのフロントエンドの状態を、9バイトの16進文字に変換し MP - 1 へアラームメッセージとして転送する。

アラームメッセージは、28台のフロントエンドの位相ロック局部発振器のロック状態を/台/ビットに対応させてあり、/バイトでアンテナアレイの/アーム分(8台)に相当する。複合干渉計のA,B,C,Dのアンテナは、4台を下位4ビットに割り当て/バイトとした。恒温槽の状態(温度設定範囲以上、以下の場合がエラー)も同様である。フロントエンドへ送られる電源(低雑音高周波増幅器用 $\pm 5V$,位相ロック局部発振器用 $\pm 20V$,ディック変調器用 $\pm 5V$,中間周波増幅器用 $\pm 5V$)のヒューズの切断状態も下位6ビットに割り当て/バイトとしてある。

異状が生じた場合の例を示す。

「西アームNo.3の恒温槽の温度が異状となり、位相ロックが外れた!」

! 00040000 00040000 00
 (イ) (ロ) (ハ)

! = アラーム記号 (イ) = 位相ロック局部発振器 (ロ) = 恒温槽 (ハ) = 電源 の各状態

MP - 2 では、シリアルポートのステータスを絶えず監視していて、入力開始記号である/を受信すると、それに続くコマンド内容により、属性の判定、タスクNo.の計算、デバイスコードの計算、データの計算等を行ない、ジャンプ・テーブルへ飛び U - TASK が選ばれる。

U - TASK は B - TASK, S - TASK 等と呼んで決められた処理を行なった後、メインプログラムに戻る。

4. 制御例及び測定例

MP - 1 より MP - 2 へのコマンドは、現在制御コマンド20種、モニタコマンド8種(表/)まで作られていて、コマンドは固定長方式を採用した。

CONTROL COMMAND LIST

| / COMMAND | DEVICE-CODE | DATA | C/R |
|-----------|-------------|----------------------------|-----|
| COMMAND 0 | | GAIN CHECK (ANTENNA ARM) | |
| 1 | | HIRU NO KANSOKU | |
| A | | A.SW ARM SET | |
| B | | A.SW PAIR SET | |
| C | | A.SW DATA SET | |
| F | | DICKE SW ARM SET | |
| G | | DICKE SW DATA SET | |
| J | | DIP.SW TO S.REG SET | |
| K | | S.REG DATA SET | |
| M | | DIP.SW TO COUNTER LOAD | |
| N | | S.REG DATA TO COUNTER LOAD | |
| T | | TIMER SET (GAIN CHECK) | |
| W | | DIP.SW DATA TO FILE | |
| X | | COUNTER DATA SET | |
| Y | | FILE+DATA TO S.REG SET | |
| Z | | FILE-DATA TO S.REG SET | |
| : | | TIMER + MENU1 (MP2-INIT) | |
| = | | REG. DATA SET (CHANGE) | |
| # | | MASK CLEAR (INIT) | |
| " | | ALL ALM ERROR MASK SET | |

MONITOR COMMAND LIST

| /? COMMAND | DEVICE-CODE | C/R |
|------------|-------------|----------------------------|
| COMMAND = | | REG. MONITOR (ALM MONITOR) |
| A(E,C) | | A.SW DATA MONITOR |
| D | | 2ND IF ALL AUTO MONITOR |
| F(G) | | DICKE SW DATA MONITOR |
| H | | DICKE SW AUTO MONITOR |
| J | | DIP.SW DATA MONITOR |
| K(Y,Z) | | S.REG DATA MONITOR |
| M(N,X) | | COUNTER DATA MONITOR |

表/ コマンドコード・リスト

| MP-2 | ----- プログラムの起動 | プログラムの内容 |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|
| *00001* | ----- 数字は、コマンドの入力回数 | |
| COMMAND?/1**00 | ----- コマンドを入力 | DRIFT SCAN |
| /1**00 | ----- 通信の状態 | |
| #OK | | |
| *00002* | ----- 2 回目の入力回数 | |
| COMMAND?/0A*00 | ----- コマンドを入力 | EW ARM GAIN CHECK |
| /0A*00 | | |
| #OK | | |
| *00003* | | |
| COMMAND?/2D** | | 2nd IF ALL AUTO MONITOR |
| /2D** | | |
| (00)#OK | | 00 = ALL AUTO |
| *00004* | | |
| COMMAND?/2F | ----- 誤入力の例 | |
| /2F | | 04 = ERROR CODE |
| #04 | | (MONITOR COMMAND FORMAT ERROR) |
| *00005* | | |
| COMMAND?/2AE0 | | DEVICE EQ A.SW MONITOR |
| /2AE0 | | |
| (00)#OK | | (00) = SUN.SKY |
| *00006* | | |
| COMMAND?/A**01 | | ALL A.SW DUMMY SET |
| /A**01 | | |
| #21 | | 21 = ERROR CODE |
| | | (NOT ALL AUTO) |
| *00007* | | |
| COMMAND?/_ | ----- 復改のみ入力してプログラム | |
| | ----- から抜け出す。 | |
| **END-OF-COMMUNICATION** OK | ----- 終了のメッセージ | |

図8 MP - 1 からの制御例

コマンドの構成は、以下のようになっている。

制御コマンド： 入力開始記号(1文字)、制御項目(1文字)、制御デバイス(2文字)、データ(2文字)
 モニタコマンド： 入力開始記号(1文字)、モニタコード(1文字)、モニタ項目(1文字)、モニタデバイス(2文字)

コマンドを入力するとそれに対する処理は直ちに実行され、その結果正常終了であれば #OK または (モニタデータ) #OK が、異常終了であれば # (エラーコード) が表示される。

MP - 1 からの制御例を図8に、MP - 2 からのエラーコードを表2に、受信機利得の測定例を図9に示す。

図9は、写真機位相中心より南のアームの受信機利得測定をしたもので、アンテナは太陽の方向をはずして空に向けてある。アンテナ選択スイッチにより選択されたアンテナ / 系統について、ディック変調信号を切り換える事により、カット (抵抗体=受信機雑音温度+恒温槽温度+273°K)、スルー (空=受信機雑音温度+空の温度3°K)、ディッケ (抵抗体-空) / 2+受信機雑音温度) の各レベルがアナログ記録計に記録される。以下順次測定が各アンテナ系統について繰り返され、アームの受信機利得測定が終る。この記録から、アンテナ / 系統当りの振幅・受信機雑音温度・増幅器利得が以下の方法により求まる。

振幅=抵抗体～空 (メモリ)

受信機雑音温度=((空～バックエンド入力終端) / (抵抗体～空)) × (抵抗体温度-空の温度) °K

増幅器利得=抵抗体～バックエンド入力終端 (メモリ)

受信機利得測定は、振幅・受信機雑音温度・増幅器利得の経年変化を見る為に時々行なわれる。今ま

*** ERROR CODE LIST ***

:MONITOR

01 = COMMAND BUFFER OVERFLOW
 02 = INPUT TIME OUT
 03 = TERMINAL ERROR
 04 = MONITOR COMMAND FORMAT ERROR
 05 = CONTROL COMMAND FORMAT ERROR
 06 = DEVICE ARM NO. ERROR
 07 = DEVICE ANTENNA NO. ERROR
 08 = TASK DATA ERROR
 09 = COMMAND CHARACTER ERROR
 99 = NO OPERATION COMMAND

※

:DICKE SW

21 = NOT AUTO
 22 = NOT DATA SET
 23 = DATA ERROR
 24 = DEVICE ERROR

※

:ANTENNA SW

30 = DEVICE ERROR (**)
 31 = NOT AUTO
 32 = NOT ALL AUTO
 33 = NOT DATA SET
 34 = NOT ALL DATA SET
 36 = DEVICE ERROR (B* C* D* **)
 37 = DEVICE ERROR (NOT **)

:D.P.S 1&2

40 = DEVICE ERROR (**)
 42 = NOT AUTO
 43 = NOT ALL AUTO
 44 = NOT DATA STORE (CONT.REG)
 46 = DATA TRANSMIT ERROR
 47 = NOT COUNTER LOAD
 48 = NOT DATA SET (2ND.REG)

※

:CHANG REG.

50 = DEVICE ERROR
 51 = NOT DATA SET
 52 = CHR. TO BIN. CHANG ERROR(AEMS)
 55 = NO OPERATION DATA ERROR

※

:GAIN CHECK

60 = DEVICE ERROR

※

表2 MP - 2 エラーコード・リスト

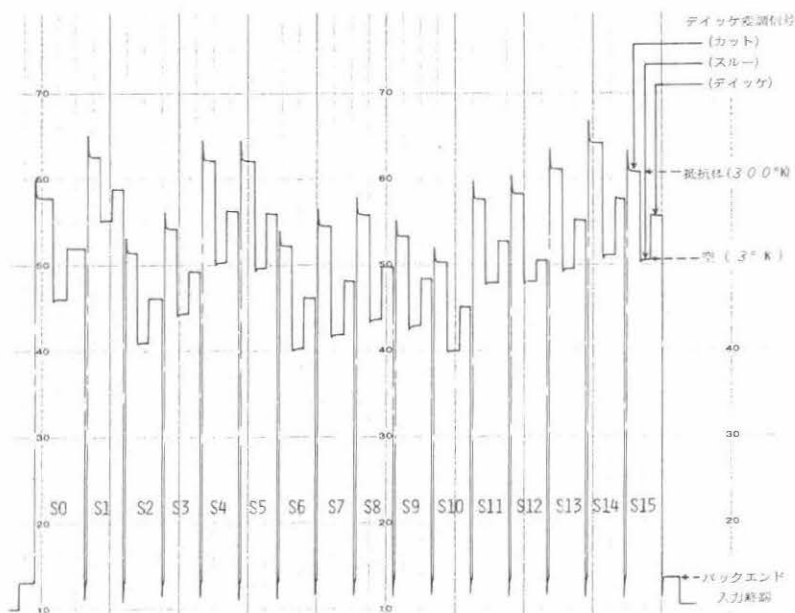


図9 受信機利得の測定例 (コマンド= /0 S0 00)

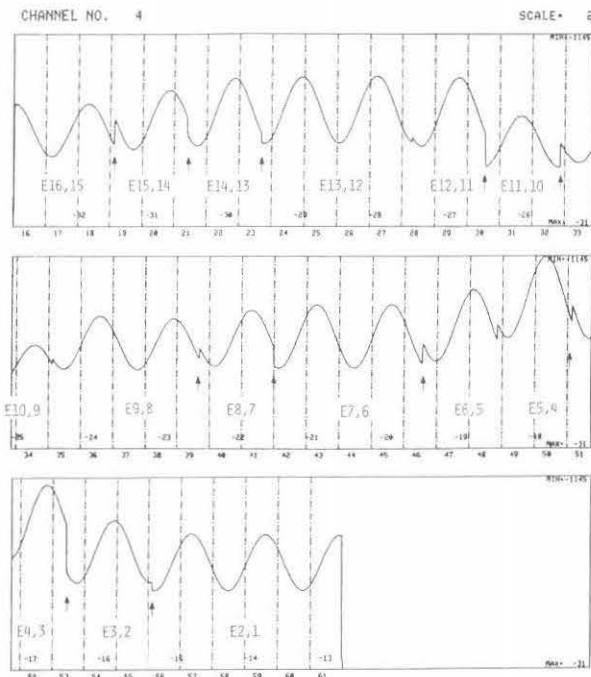


図 / 0 位相合せの測定例。大きく位相がずれている所を↑で示す、記録が上下しているのは雑音指数の違いによる為である。 1981. 5. 20

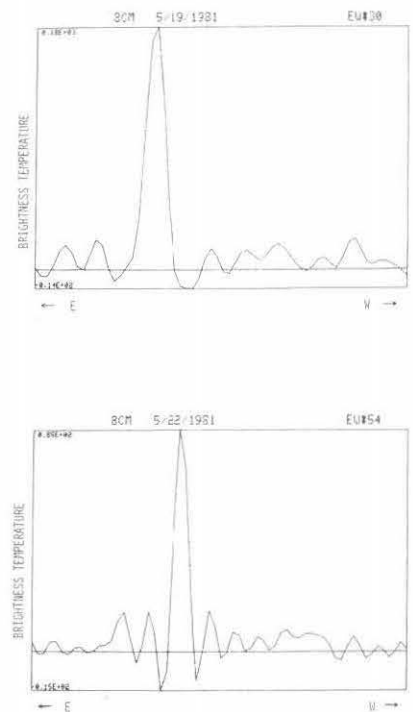


図 / 1 位相合せ前(上图)と後(下图)の太陽電波写真の断面図

ではアンテナ / 系統毎の出力を選択するのに時間がかかった為、アンテナ毎の受信機利得測定が出来なかつたが、これが短時間で出来るようになったので、これをある期間毎に定期的に行ない比較する事により、受信機の状態が今どようになっているかが直ぐわかり、この結果をもとに保守が仕易くなった。

図 / 0 は、写真儀位相中心より東のアームの位相合せの記録である。位相合せは、隣り合つた2台のアンテナからの信号を加算する事によつて得られる正弦波状干渉波形が、アンテナの組み合わせを替えても連続した波形であれば、各アンテナからの位相が合つた事になる。各アンテナから受信機バックエンドまでの位相誤差の計算方法には、1) 従来より行なわれている記録紙上で、時刻と山の位置から求める 2) 最小自乗法を用いる (4) 3) 実時間で求める (12) 等があるが、今回は 2) の方法によつて行なつた。データ集録用ミニコンピュータに取り込まれたデータは、実時間で当研究所の大型計算機に送られた後、計算処理され位相誤差が求められる。この結果を制御系に入力し位相を修正する。今までは、位相合せを行なう為のアンテナ選択に、数人がかりで行なつて来たものが、この装置の完成により / 人でしかも / つのコマンドで行なえるようになった。

参考までに、位相がずれていた時の太陽電波写真の最大電波源での断面図(東西方向)と、位相修正後の太陽電波写真断面図を図 / 1 に示す。

5. 今後の課題

この装置の完成で、観測及び校正、保守が迅速容易に行なえるようになった。しかし現在図3で示した点線の部分「 δ ビット・デジタル移相器のビーム走査コントローラ D.P.S (3)」が未完成であるが、この部分は別に位相調整実験⁽¹²⁾により動作確認されており、これと、MP-1でのA-D変換器から取り込んだモニターデータから位相誤差を求める為のソフトウェアの作成を急いでおり、これらが完成するとさらに短時間で位相校正が行なえるようになる。

アンテナ駆動系については、各々のアンテナの2軸(時間軸・赤緯軸)にステッピングモータを取り付け、マイクロプロセッサで位置制御する事を計画している。これが行なえるようになると、MP-1を核とした観測の自動化が可能となるのでその実現が待たれる。

謝 辞

この報告を書くに当り御助力願った当研究所の鰐目信三助教授・西尾正則助手並びに製作に御協力頂いた鳥居近吉技官に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) Ishiguro, M., Tanaka, H., Enome, S., Torii, C., Tsukiji, Y., Kobayashi, S. and Yoshimi, N.: δ -cm Radioheliograph, Proc. Res. Inst. Atmospherics, Nagoya Univ., 22, 1 (1975).
- (2) Tanaka, H., Enome, S., Torii, C., Tsukiji, Y., Kobayashi, S., Ishiguro, M. and Arisawa, M.: β -cm Radioheliograph, Proc. Res. Inst. Atmospherics, Nagoya Univ., 17, 57 (1970).
- (3) Ishiguro, M., Torii, C., Shibasaki, K., Enome, S. and Tanaka, H.: A Project to Improve the Sensitivity and the Stability of the $\lambda \delta$ -cm Radioheliograph at Toyokawa, Proc. Res. Inst. Atmospherics, Nagoya Univ., 26, 145 (1979).
- (4) Nishio, M.: A New Control System for the Improved $\lambda \delta$ -cm Radiopheliograph, Proc. Res. Inst. Atmospherics, Nagoya Univ., 27, 61 (1980).
- (5) COMPO-BS/80 ユーザーズマニュアル, 1977, 日本電気
- (6) PC-8001 ユーザーズマニュアル, 1979, 日本電気
- (7) デビッド・A・ローズ, ロイ・J・レビー: NIKKEI ELECTRONICS 1979. No.203 P169.
- (8) Moore, C. H.: FORTH: A New Way to Program a Mini-computer, Astron. Astrophys., Suppl. 15, 497 (1974).
- (9) 電子デバイスデータブック, 1978, 日本電気
- (10) 田中春夫, 鰐目信三: 太陽電波観測用高速掃引干渉計, 電子通信学会. 1968. 11. 19 MW68-47 (1968-11).
- (11) マイクロコンピュータユーザーズマニュアル, MCS-85, (1977). インテル
- (12) Itoh, Y. and Torii, C.: Phase Adjustmet of the Improved $\lambda \delta$ -cm Radiopheliograph at Toyokawa, Proc. Res. Inst. Atmospherics, Nagoya Univ., 28, 49 (1981).