

## 3.2.4 観測制御システム

高羽 浩\*<sup>1</sup> 栗原 則幸\*<sup>1</sup> 岩田 隆浩\*<sup>1</sup> 小山 泰弘\*<sup>1</sup>  
日置 幸介\*<sup>2</sup> 金子 明弘\*<sup>3</sup> 吉野 泰造\*<sup>3</sup>

(1995年10月16日受理)

## 3.2.4 OBSERVATION CONTROL SYSTEM

By

Hiroshi TAKABA, Noriyuki KURIHARA, Takahiro IWATA,  
Yasuhiro KOYAMA, Kosuke HEKI, Akihiro KANEKO, and Taizoh YOSHINO

The automatic observation system for the KSP 11 m antenna is presented. The KSP VLBI observation system uses a digital mass storage system to exchange 24 tapes automatically, which makes it possible to conduct a fully automatic VLBI experiment for more than 24 hours, even at a recording rate of 256 Mbps. The automatic observation software was installed on the site's observation control computer, which monitors the system and has error management routines to avoid the hardware's fatal error. The observations can be started from a remote computer to run the shell command in the observation control computer through the computer network.

〔キーワード〕 VLBI, 観測制御システム, ソフトウェア.

VLBI, Observation control system, Software.

## 1. はじめに

VLBI (Very Long Baseline Interferometry) の観測制御システムはスケジュールに従って観測装置を制御するものである。アンテナ制御, レコーダー制御などは並行して行う必要があり, また観測機器からのアラームを直ちに読みとるために, マルチタスクでいくつかのソフトウェアを走らせる必要がある。KSP (Key Stone Project) では首都圏に配備した4局のVLBI観測局の無人自動運用を行うこととしており, 観測制御システムには高い信頼性を持つことと並んで緊急の場合には観測を中断するアラーム処理を充実させることが必要とされる。観測は集中制御局からネットワークを通して起動させ, ログをネットワークで収集する遠隔制御方式を採用している。

本論文では, 観測スケジュールについて, 観測制御システムのアンテナ制御計算機と観測制御計算機のハードウェア及びソフトウェアについて概要を紹介する。

## 2. 観測スケジュール

2.1 オリジナル・スケジュールと  
スナップ・コマンド

観測, データ処理に使われるオリジナル・スケジュール (第1図) には観測局, 観測周波数, 天体の位置などが記述された部分と観測のタイムテーブルがある。はじめに周波数設定を行い, タイムテーブルに従ってアンテナ, データレコーダーを制御する。

通信総合研究所では26 mアンテナ, K-3型バックエンド及びK-3型データレコーダーを用いたVLBI実験を行うためのシステムを1983年に完成させた。通常VLBIの自動運用は, アメリカのMark-IIIシステム<sup>(1)</sup>で採用されたスナップ: SNAP (Standard Notation for Astronomy Procedure) と呼ばれる装置毎に簡単な記述で制御を行うコマンドで作成されたスケジュール (スナップ・スケジュール) に従って観測を行っている。スナップ・スケジュールはオリジナル・スケジュールから観測局で行う制御のみを取りだしてスナップ・コマンドに変換し, それを制御を行う順に並べたものである。スナップ・スケジュールではスナップ・コマンド及

\*<sup>1</sup> 関東支所 宇宙電波応用研究室

\*<sup>2</sup> 国立天文台 地球回転研究系

\*<sup>3</sup> 標準計測部 時空技術研究室

```

$EXPER KS95300
$SOURCES
0059+581 $      01 02 45.762413    +58 24 11.13656    2000.0 0.00 ITRF93
0316+413 3C84   03 19 48.160104    +41 30 42.10288    2000.0 0.00 ITRF93
0420-014 $      04 23 15.800729    -01 20 33.06462    2000.0 0.00 ITRF93
0537-441 $      05 38 50.361554    -44 05 08.93845    2000.0 0.00 ITRF93
0552+398 $      05 55 30.805614    +39 48 49.16516    2000.0 0.00 ITRF93
0727-115 $      07 30 19.112471    -11 41 12.59959    2000.0 0.00 ITRF93
0923+392 4C39.25 09 27 03.013902    +39 02 20.85217    2000.0 0.00 ITRF93
1226+023 3C273B 12 29 06.699719    +02 03 08.59880    2000.0 0.00 ITRF93
1253-055 3C279  12 56 11.166506    -05 47 21.52402    2000.0 0.00 ITRF93
1308+326 $      13 10 28.663848    +32 20 43.78307    2000.0 0.00 ITRF93
1334-127 $      13 37 39.782763    -12 57 24.69223    2000.0 0.00 ITRF93
1641+399 3C345  16 42 58.809967    +39 48 36.99406    2000.0 0.00 ITRF93
1730-130 NRA0530 17 33 02.705756    -13 04 49.54730    2000.0 0.00 ITRF93
1921-293 $      19 24 51.055928    -29 14 30.12002    2000.0 0.00 ITRF93
2134+004 2134+00 21 36 38.586322    +00 41 54.21410    2000.0 0.00 ITRF93
2145+067 $      21 48 05.458657    +06 57 38.60451    2000.0 0.00 ITRF93
2251+158 3C454.3 22 53 57.747944    +16 08 53.56102    2000.0 0.00 ITRF93
$STATIONS
A R KASHIM11 AZEL 0.0000 180.0 0 95.0 625.0 180.0 0 10.0 89.9 11.0 PR TR HR
A G KOGANEI  AZEL 0.0000 180.0 0 95.0 625.0 180.0 0 10.0 89.9 11.0 PG TG HG
A C MIURA   AZEL 0.0000 180.0 0 95.0 625.0 180.0 0 10.0 89.9 11.0 PB TB HB
P PR KASHIM11 -3997505.69353 3276878.40415 3724240.71429 KSP95019
P PG KOGANEI  -3941937.47592 3368150.91288 3702235.30017 KSP95019
P PB MIURA   -3976130.02017 3377927.89050 3656753.80565 KSP95142
$CODES
F KSP-SX  KS
C KS X 7794.99 10000.0 1 C 2.000 1(15) 2(16)
C KS X 7824.99 10000.0 2 C 2.000 1(1) 2(2)
C KS X 7884.99 10000.0 3 C 2.000 1(17) 2(18)
C KS X 8064.99 10000.0 4 C 2.000 1(3) 2(4)
C KS H 8274.99 10000.0 5 C 2.000 1(19) 2(20)
C KS H 8424.99 10000.0 6 C 2.000 1(5) 2(6)
C KS H 8544.99 10000.0 7 C 2.000 1(21) 2(22)
C KS H 8574.99 10000.0 8 C 2.000 1(7) 2(8)
C KS S 2104.99 10000.0 9 C 2.000 1(23) 2(24)
C KS S 2124.99 10000.0 10 C 2.000 1(9) 2(10)
C KS S 2194.99 10000.0 11 C 2.000 1(25) 2(26)
C KS S 2274.99 10000.0 12 C 2.000 1(11) 2(12)
C KS S 2314.99 10000.0 13 C 2.000 1(27) 2(28)
C KS S 2324.99 10000.0 14 C 2.000 1(13) 2(14)
C KS S 2324.99 10000.0 15 C 2.000 1(29) 2(30)
C KS S 2324.99 10000.0 16 C 2.000 1(15) 2(16)
$SKED
3C279      10 KS PREOB 95300010550 150 MIDOB 0 POSTOB RWGWBW 1F02024 1F02024
1F02024 YYN 150 150 150
4C39.25    10 KS PREOB 95300010916 90 MIDOB 0 POSTOB R-G-B- 1F03711 1F03711
1F03711 YYN 90 90 90
1308+326   10 KS PREOB 95300011200 150 MIDOB 0 POSTOB RWGWBW 1F04723 1F04723
1F04723 YYN 150 150 150
3C273B     10 KS PREOB 95300011509 90 MIDOB 0 POSTOB RWGWBW 1F06410 1F06410

```

第1図 オリジナル・スケジュールの例

```

DEFINE UNLOD
DMT=01C
!+10s
ENDDEF

```

第2図 プロシジャーの例. テープを1番の棚に戻して10秒ルモード表示画面

びプロシジャーと呼ばれる一連のスナップ・コマンドをまとめた定義文を使用する. スナップ・コマンド及びプロシジャーの例を第2図に示す.

26 mアンテナ用に開発されたKAOS (K-3 Automatic Operation Software) では日米共同実験を行うため, スナップ・スケジュールを用いている<sup>(2)</sup>. アメリカで開発された観測装置はRS-232Cで制御を行っているが, 通信総合研究所ではアンテナ, バックエンドなどす

第1表 KSP観測制御ソフトウェアで用いたスナップ・コマンド

コマンド	動作
"	コメント行
!	時刻コマンド
AZEL	方位角/仰角でアンテナ駆動
AZELOFF	現アンテナ位置にオフセット指示駆動
CAL	ノイズダイオードのON/OFF
CALTEMP	Tsys算出定数の設定
DMT	マスストレージシステムへのテープ収納
ECHO	GPIBデータバスの全データ表示のON/OFF
ET	データレコーダ停止
GPIB	GPIBコマンドによる直接制御
GPIBIN	GPIBコマンドによる直接制御及びデータ取得
IFD	IF分配器のアッテネータ値設定
IFIN	IF受信レベル測定の入力信号切り替え
LABEL	カセットテープID表示
LO	ローカルオシレータの周波数設定
MODE	入力インターフェイスのサンプリングレート設定
MT	データレコーダーにテープ装填
ONSOURCE	アンテナ状態の読みとり
PCAL	入力インターフェイスのP-CAL信号読みとり
PCHK	カセットテープのパリティチェック
RW	データレコーダーのテープ巻き戻し
SOURCE	天体名称、座標指示のアンテナ駆動、自動追尾
ST	データレコーダーの記録開始
STOW	アンテナ固定
SY	UNIXプログラム実行
TAPE	データレコーダーテープ残量読みとり
TDIFF	タイムコードリーダー時刻と内部時計の時刻差読みとり
TPI	CAL=OFFでトータルパワー読みとり
TPICAL	CAL=ONでトータルパワー読みとり
TPZERO	CAL=OFFでシステム雑音ゼロレベルを測定
TSYNC	入力インターフェイスの時刻同期指示
VC	ビデオコンバータの設定
XDISP	実行ログ画面表示の制御

べて GP-IB (IEEE-488) を用いてより簡潔に制御を行うことができるようにしている。GP-IB を用いるという思想は、その後の通信総合研究所で開発された VLBI 装置に引き継がれている。

スナップ・スケジュールは汎用性が高いが、1 コマンドに 1 行を使うので、スケジュール・ファイルが大きくなり、転送に時間がかかること、途中から再開する場合は開始行を指定する必要があるなど、複雑な操作が必要である。また通常の測地実験では、観測はレコーダの制御、天体切り替え程度で、様々な制御を行うスナップコマンドを用いるメリットは少ない。そこで通信総合研究所ではオリジナル・スケジュールから必要な情報のみを取り出して自動観測を行うソフトウェアを開発した。

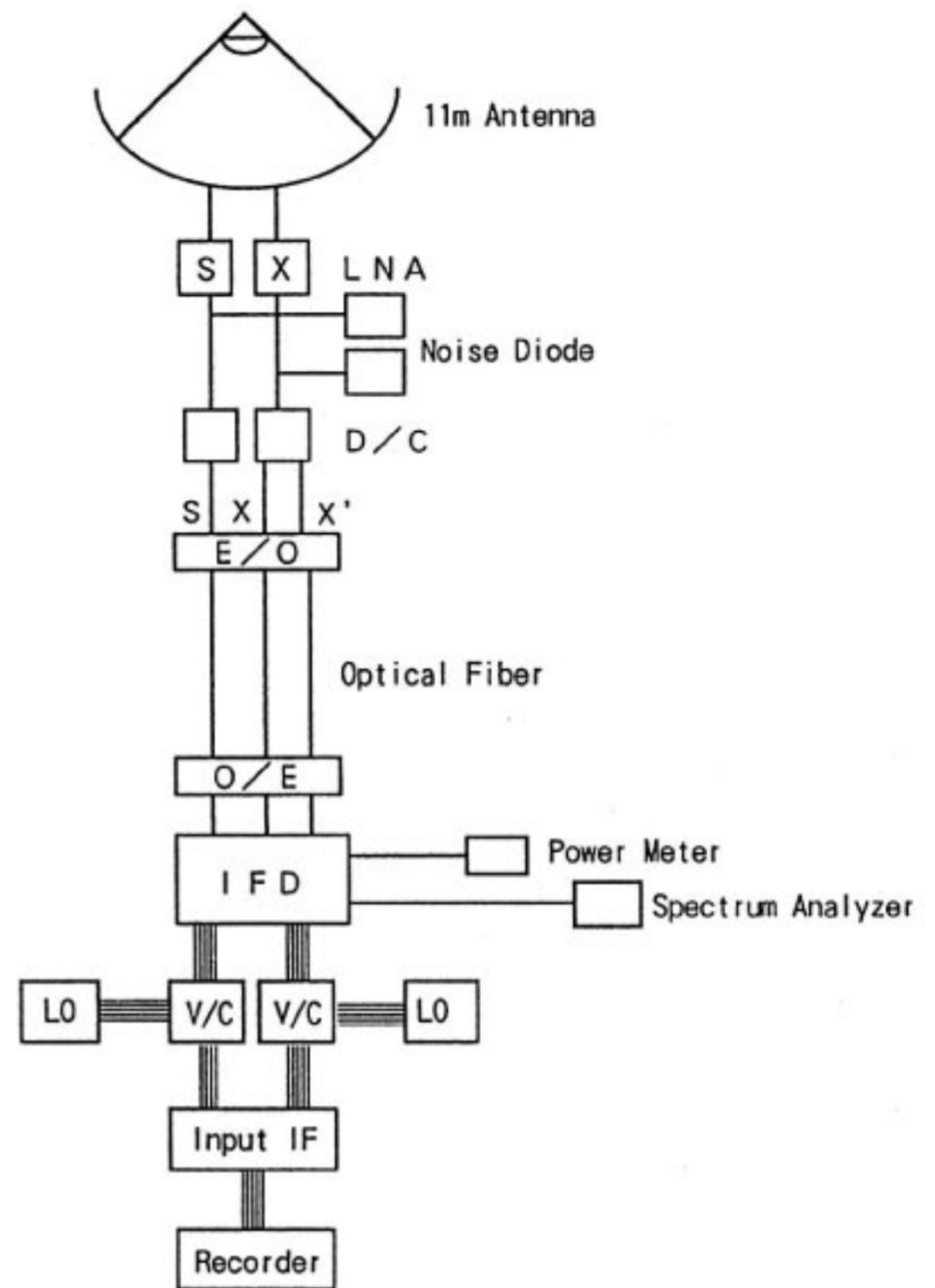
南鳥島の 10 m アンテナや 3 m 超小型局などには、HP 社の汎用ミニコンを用い、BASIC 言語で作成された K-4 型バックエンド及び K-4 型データレコーダとともに使用されている自動観測ソフトを開発した<sup>(3)</sup>。鹿島の 34 m アンテナでは HP 1000 シリーズコンピュータに FORTRAN 言語を用い、電波天文 VLBI 実験も行うことができるように、オリジナル・スケジュールを用いるが、プロシジャーを使用し、観測の前後などにスナップ・コマンド群を実行させることができる自動観測ソフトウェアを開発し、汎用性を持たせた<sup>(4)</sup>。1994 年 10 月には、K-4 型データレコーダのテープを自動で交換するデジタル・マス・ストレージシステム (DMS-24) を用いて、初めて 24 時間以上の無人観測が可能になった。

2.2 KSP の観測制御方式

KSP ではミリメートルの測地精度を目指して K-4 型データレコーダを 256 Mbps 記録が可能な広帯域システムとし、DMS-24 を用いて自動テープ交換を行うことで、連日無人運用が可能なシステムとなることを目標としている。観測制御システムは 34 m アンテナ制御システムで実績のある、アンテナ駆動専用のインターフェイス・コンピュータ (アンテナ制御計算機) を用いる方式を採用した。観測制御システムは 34 m アンテナと同じようにオリジナル・スケジュールを用いるがプロシジャー及びスナップ・コマンドも使用できる方式を採用した。KSP で使用するスナップ・コマンドを表 1 にまとめた。

3. 観測装置及び観測制御システムの概要

第 3 図に信号系概念図を示す。11 m アンテナで受信した S (2.1-2.5 GHz), X バンド (7.7-8.6 GHz) の信号はアンテナ上で 500-1000 MHz の IF 帯に変換される。X バンドは広帯域化のため、X (7.7-8.2 GHz), X'

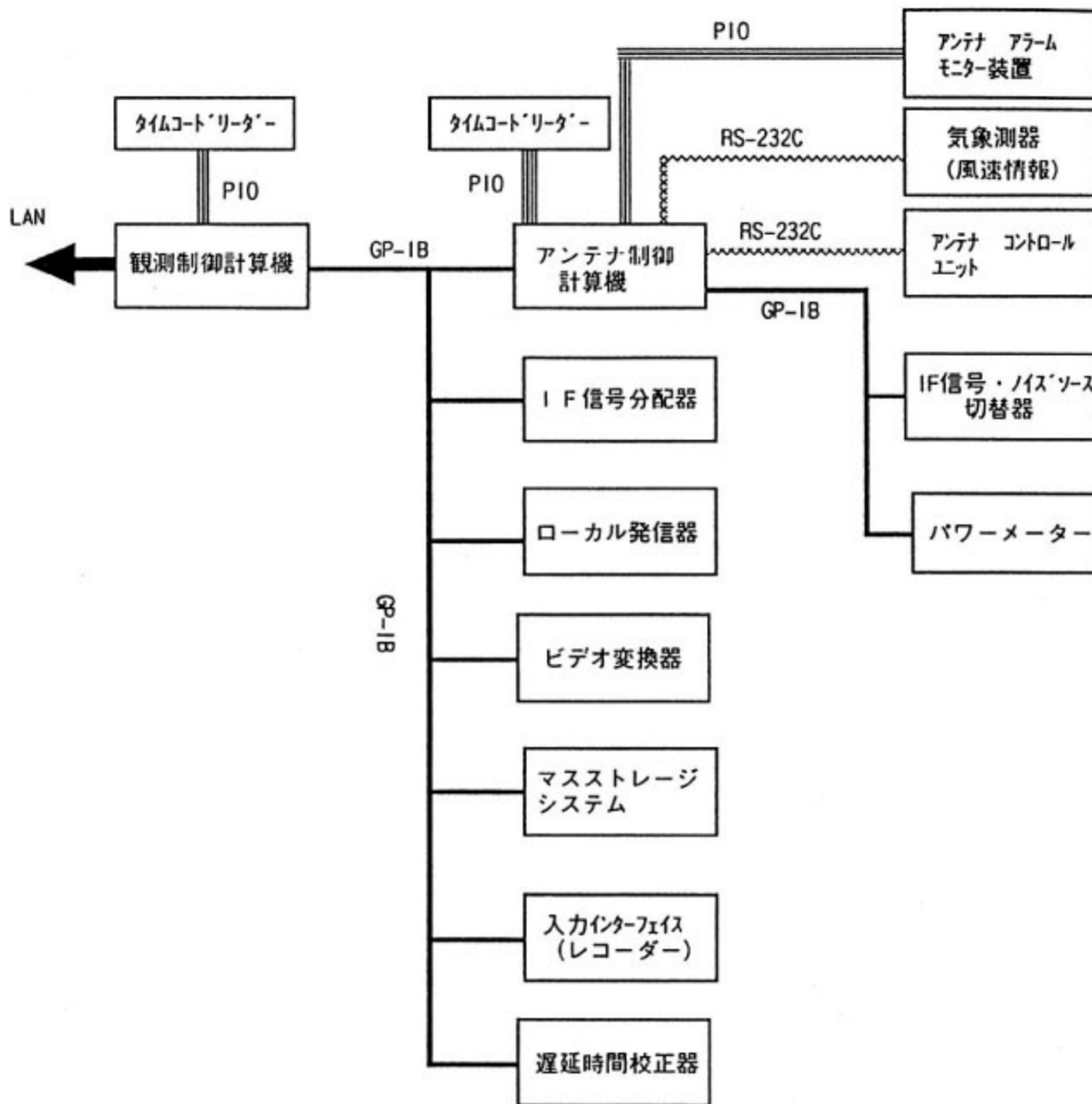


信号系概念図

第 3 図 KSP 11 m アンテナの信号系概念図

(8.1-8.6 GHz) と呼ぶ 2 つの IF 信号に変換される。IF 信号は高い位相安定度を持つ光伝送系でアンテナから観測室に導かれる。観測室の IF 分配器で増幅された信号は、S バンド 8 チャンネル、X バンド 4 チャンネル、X' バンド 4 チャンネルの計 16 チャンネルに分けられビデオ変換器に入れられる。ビデオ変換器ではローカル発振器からの信号と混合してビデオ帯域に変換し、それを入力インターフェイスでサンプリングして、データレコーダに記録する。

第 4 図に観測制御システムの概念図を示す。観測には観測制御計算機とアンテナ制御計算機の 2 台の計算機を用いる。アンテナ制御計算機はアンテナ系及び受信系の制御・監視を行う。観測制御計算機で制御・監視を行うのはアンテナ制御計算機、VLBI アナログ部 (ビデオ変換器、ローカル発振器)、VLBI デジタル部 (K-4 入力インターフェイス、K-4 データレコーダ)、デジタル・マス・ストレージ (DMS-24) である。これらの制御・監視は GP-IB (IEEE-488) で行われる。



制御系概念図

第4図 KSP 11 mアンテナの制御系概念図

GPSからの時刻信号を受けてタイムコードを発生する2台のタイムコードリーダーは、それぞれアンテナ制御計算機と観測制御計算機に接続されている。両計算機では時刻を読み込んで計算機内部時計を正確に合わせる。観測制御計算機はネットワークに接続されており、集中制御計算機から観測制御ソフトを起動させることで無人で観測を行うことができる。

#### 4. アンテナ制御計算機

##### 4.1 アンテナ制御計算機システム

アンテナ制御専用の計算機を用いることでアンテナ、受信系、風速に関するアラームを一元化することができる。その結果、観測を行っていない時でもアラームを出したり、また強風時に自動的にアンテナの保護を行うな

ど、信頼性を高めることができる。また天体追尾機能をアンテナ制御計算機に持たせたことで観測制御計算機の負担を減らすこともできるなどメリットが多いのでこの方法を採用した。

アンテナ制御計算機は、NECの汎用パソコンであるPC 9821 Ap 2を使用した。また拡張ユニットにはGP-IBボード、I/Oボード、RS-232Cボードを2枚ずつ整備した。GP-IBボードは観測制御計算機からの制御を受けるスレーブ用と、IF信号監視架のIF信号切り替え器及びパワーメーターの制御を行うマスター用に使用している。IF信号切り替え器はスペクトラム・アナライザー及びパワーメーターに入るIF信号を切り替える他、RF系のノイズ・ダイオードのオン/オフを行う。これらの制御はスナップ・コマンドで行うことができ、観測制御計算機

ではこの結果からシステム雑音温度の測定を行っている。

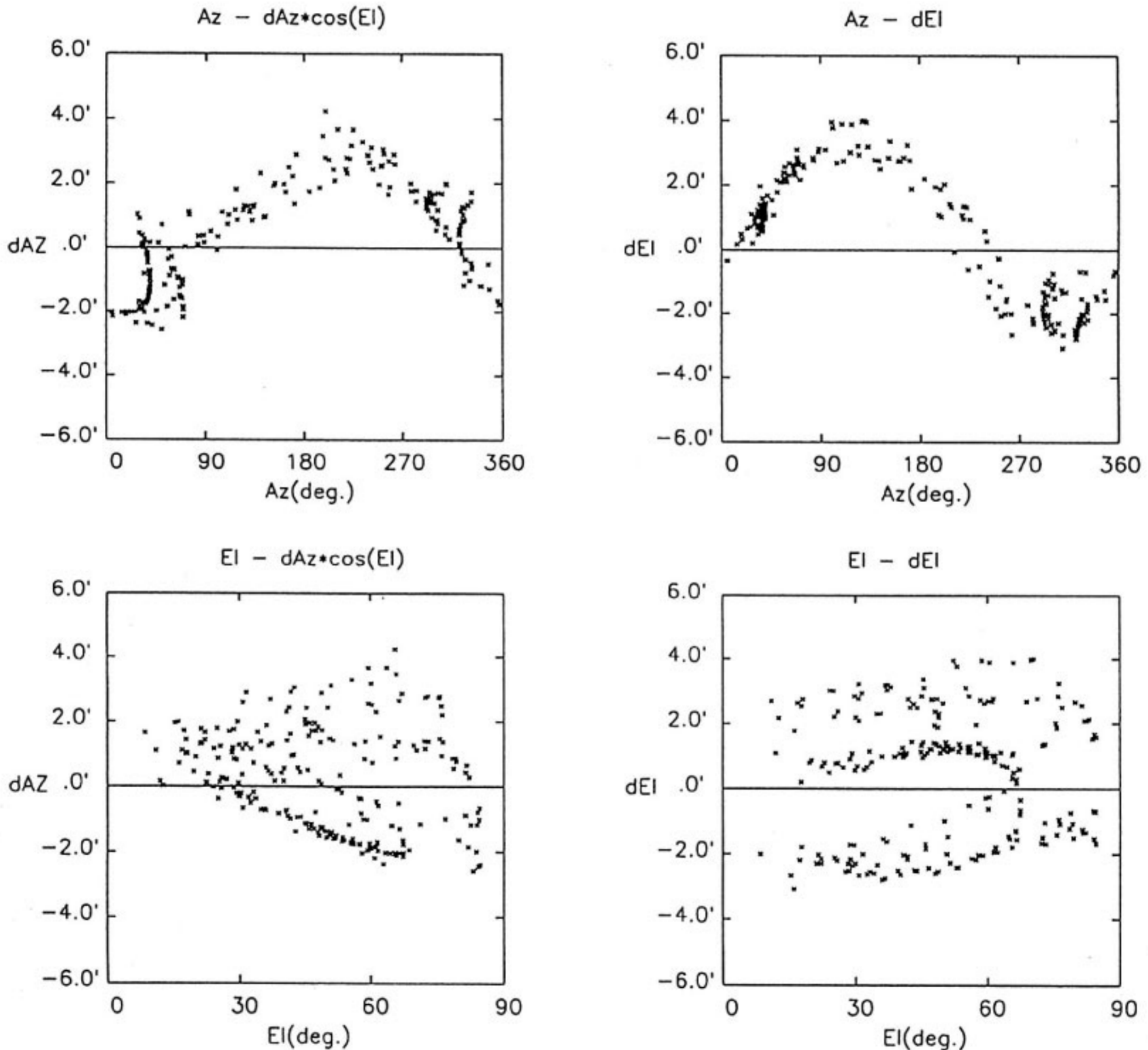
4.2 アンテナ制御ソフトウェア

アンテナ制御ソフトウェア (C\_MAIN.EXE) は天体の赤経, 赤緯, 分点 (1950 または 2000) から天体位置を計算し, アンテナ・コントロール・ユニット (ACU) を制御して天体追尾を行う。他にアンテナを指定角度まで駆動してブレーキをかける機能, 仰角軸ストローピンの操作などを行うことができる。天体追尾時にはアンテナの駆動可能範囲を超えることが無いように, アンテナ制御計算機から ACU に送出する仰角は 5 度から 88 度まで

に限定している。方位角はアンテナ制御計算機では 0 - 360 度を送出する。ACU では送られた角度と現在値を比べて近い方角にアンテナを駆動するが, 北を 0 度として ± 270 度の方位角駆動可能範囲を考慮し, 駆動中にリミットにかかる場合は反対側から駆動することで, 自動観測中に駆動可能範囲を超えることが無いように設定している。

アンテナ制御ソフトはタイムコードリーダーから時刻を読みとり, 30 分毎に計算機内部時計を合わせる。また気象測器から平均風速, 瞬間風速を読みとり, 強風時には自動的に天体追尾を終了し, 天頂を向いて停止しブレー

KSP 11m antenna at Kashima,  
OBSERVED DATA



第5図 KSP 鹿島 11 mアンテナのポインティングエラー。この観測はアンテナ機械軸を調整する前で, 軸の倒れに伴うやや大きな観測誤差が見られる。

キをかける機能を持っている。アンテナ、受信系のトラブルや強風による自動停止など、アラーム発生時にはSRQによって観測制御計算機にステータスを知らせるようになっている。CRTにはアンテナのステータス、電波星の角度情報が表示される。

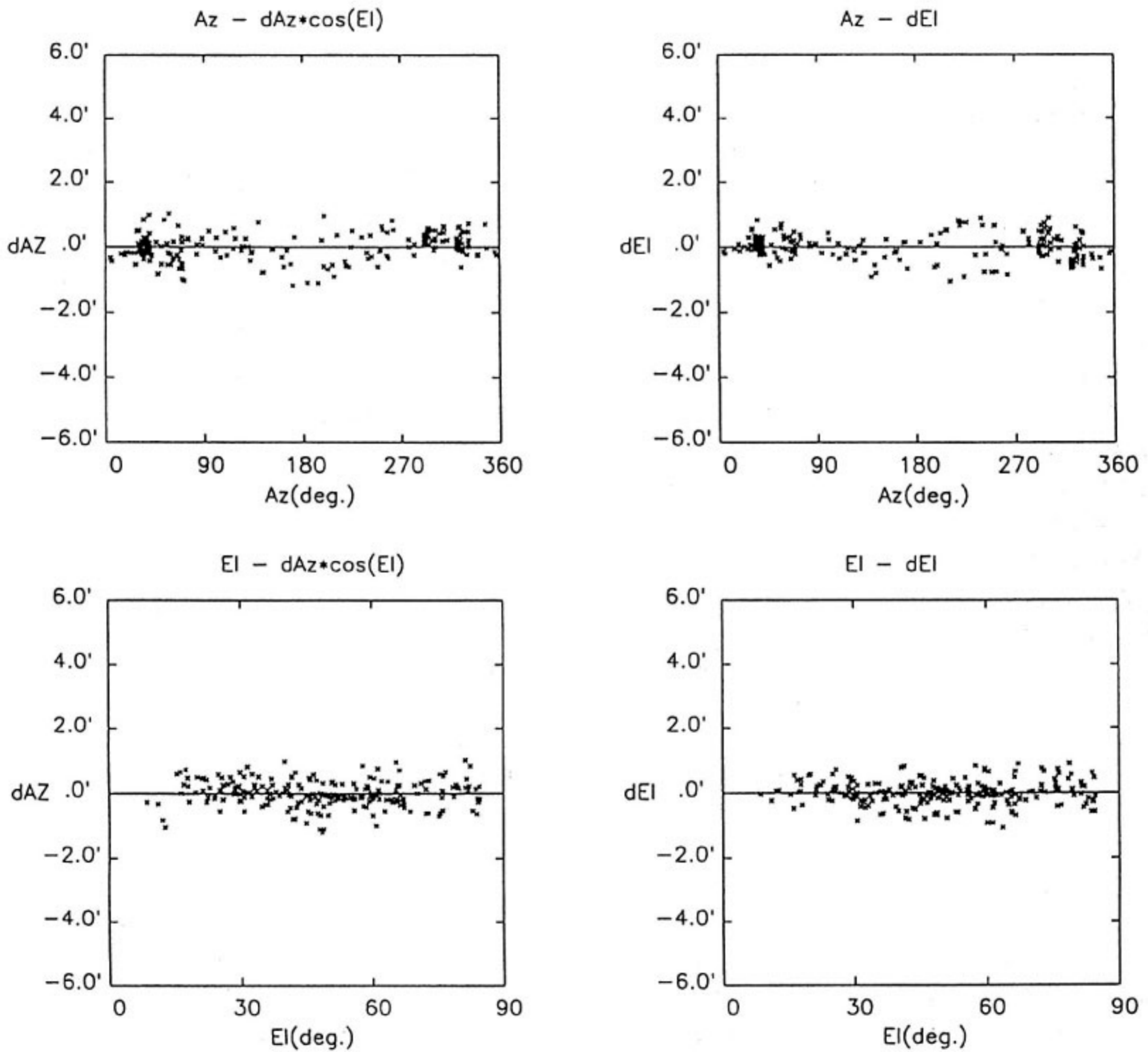
4.3 ポインティング観測ソフトウェア

天体追尾を正確に行うためには、アンテナに固有のパラメータを用いて方位角、仰角のオフセットを加えて校正する必要がある。KSP 11 mアンテナのように方位角-仰角駆動型のアンテナの場合、方位角軸の倒れの大きさと方向、方位角軸と仰角軸との非直交度、電波軸と機

械軸のずれ、重力変形、方位角軸のオフセット、仰角軸のオフセットの7つのパラメータが用いられる。正確にこれらの値を求めるには電波星を用いて全天にわたってアンテナビームのずれを測定することが必要である。そのためにアンテナ制御計算機単体でパワーメータを用いて軸校正観測を自動で行うポインティング観測ソフトウェア (CALANGLE.EXE) を開発した。ポインティング観測を行う時はアンテナ制御ソフトウェアを終了させ、ポインティング観測ソフトを起動する。

通常はパワーメータにXバンドのIF信号を入力し、0.01 dBmの分解能で信号強度を読み込む。天体リスト

KSP 11m antenna at Kashima  
FITTING RESIDUAL



第6図 KSP鹿島11mアンテナのポインティングエラー(第5図)のデータを7パラメータで最小自乗フィットした残差のプロット。

から観測可能な天体を順次切り替え、方位角及び仰角方向に指定角度（Xバンドでは0.1度）オフセットを加えて、オフ点（方位角方向に2度離れた点）との差を読みとり、データをファイルに記録する。方位角、仰角それぞれ7点のデータを取る。データは1日毎に1つのファイルに書き込まれる。解析部は34 mアンテナの軸校正データ処理用のソフトを改修し、Fortran 77言語とグラフィック・ルーチンPGPLOTで2次元表示を行うようにした。Cas-A, Cyg-A, Tau-A, Ori-A, Virgo-Aを用い、24時間程度の観測で軸校正に十分なデータが取得できた。第5図にポインティング観測ソフトによって得られたアンテナビームのずれを示す。第6図に方位角-仰角駆動型アンテナで用いられる7パラメータで最小自乗フィットした残差を示す。残差は0.01度程度であるが、Xバンドのビーム（HPBW）は0.2度なので、1/20程度でアンテナを指向できており、十分な精度である。

ポインティング観測を行うことでアンテナ軸の倒れなどをモニターすることができるのでアンテナ保守時に定期的に観測を行う予定である。

## 5. 観測制御計算機

### 5.1 観測制御計算機システム

観測制御計算機はNECの汎用ワークステーションであるEWS 4800/330を使用している。観測制御ソフトはC言語を用いて開発され、X Windowsによってメニュー画面を用いたインターフェイスを採用している。観測制御計算機は自動監視計算機<sup>(6)</sup>と共にローカルエリアネットワークに接続され、各観測局は電話回線などを通して広域エリアネットワーク（WAN）を構成している。ネットワークの詳細は本特集号3.2.6集中制御システムに記述されている。

### 5.2 観測制御ソフトウェア

自動観測には観測制御ソフトウェア、通称「要石」を用いる。「要石」では従来の観測ソフトとの互換性を持たすため、スナップ・コマンド及びプロシジャーを使用できる機能を入れている。オリジナル・スケジュールを読み込んで各観測局に必要な情報をまとめた中間ファイルを作成し、それを読んで観測を行う。中間ファイルには天体位置をまとめたものとスケジュールをまとめたものの2つがある。中間ファイルのスケジュール例を第7図に示す。

「要石」では起動時に装置のチェックを行い、スケジュールに記述されているコマンドに従って装置の初期化を行う。観測はテープの交換、天体切り替え、レコーダー制御をスケジュールに従って行う。動作は自動的にログに記録される。

```

MODE=4, 1, 16
L001=594.99
L002=624.99
L003=684.99
L004=864.99
L005=674.99
L006=824.99
L007=944.99
L008=974.99
L009=895.01
L010=875.01
L011=805.01
L012=725.01
L013=685.01
L014=675.01
L015=675.01
L016=675.01
READY01
!95300005000
STOW=OFF
!+10S
3C345      95300010000 10 90 0
0552+398  95300010318 10 90 0
3C279      95300010550 10 150 0
4C39.25    95300010916 10 90 0
1308+326  95300011200 10 150 0
3C273B     95300011509 10 90 0
1334-127  95300011717 10 140 0
3C345      95300012121 10 90 0
3C279      95300012347 10 150 0
NRA0530    95300012658 10 90 0
UNLOD01

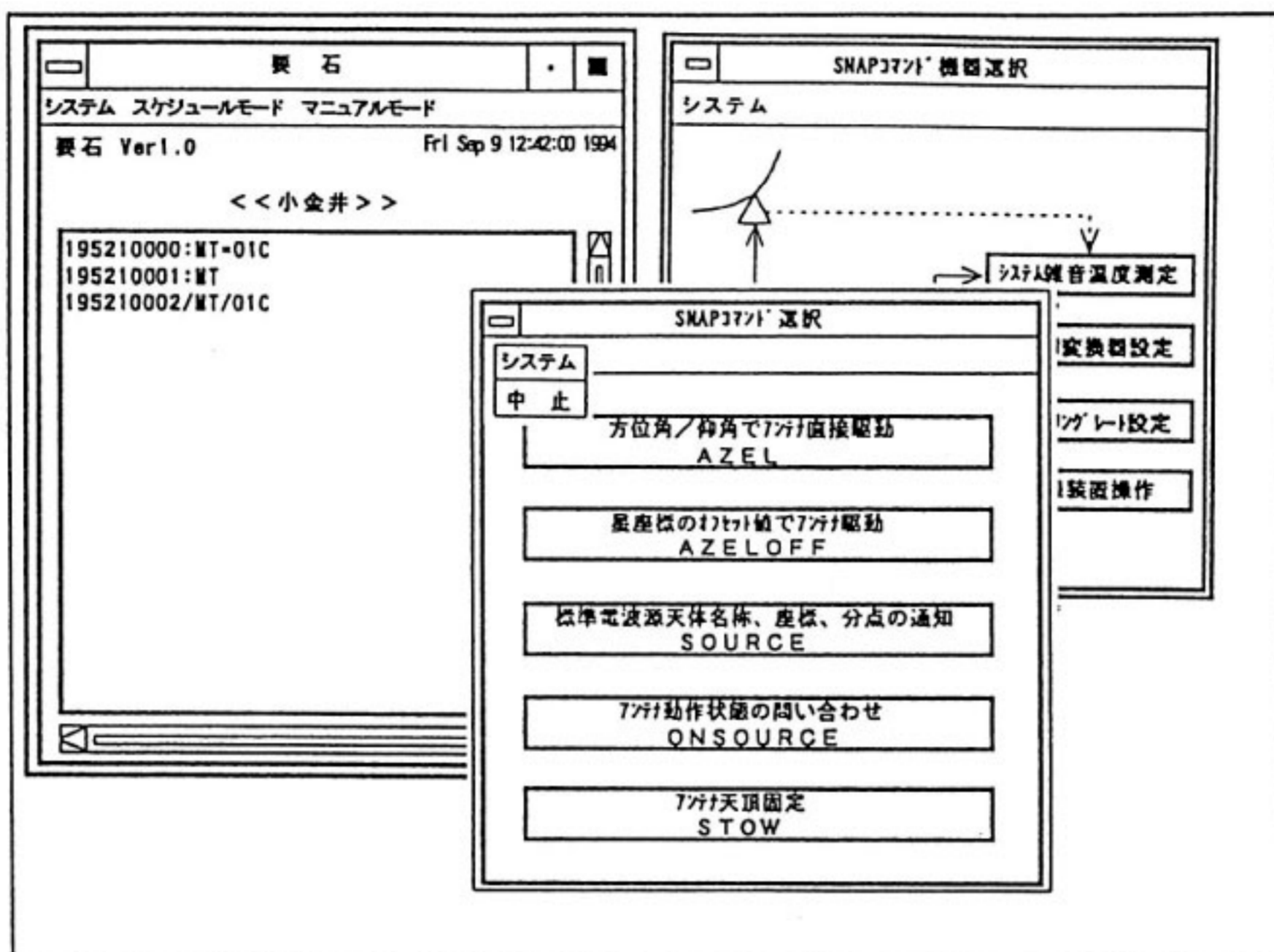
```

第7図 観測制御ソフトウェア「要石」で用いられる中間ファイルのスケジュール例

無人観測を行うために観測装置からのアラーム検出機能を持ち、アラームに応じた処置を自動で行う。観測装置の制御はすべてGP-IB（IEEE-488）を用い、アラーム検出はサービスリクエスト（SRQ）機能を用いている。各観測装置からのSRQアラームは、それぞれエラーの内容と対処を記述したテーブルを用意し、それを参照してエラーメッセージをログに記述する。マイナーエラーであれば観測を続行するが、記録系のメカニカルエラーなどの重大なエラーの場合には観測を中断するように設定することができる。

「要石」は平成5年度に観測局ローカルで自動観測ができるソフトウェアとして開発された。自動観測モードの他にマニュアルモードを持ち、各観測装置にコマンド





第8図 要石のマニュアルモード表示画面

を送って動作確認することが簡単にできる。第8図にマニュアルモードの画面例を示した。平成6年度に集中制御局からネットワークを通してリモート制御できるように改修された。連日運用は平成7年1月より鹿島-小金井局で始まり、同年12月には三浦局が加わった。観測と並行してバグ出し、表示画面の改良などを行っており、本稿の記述に機能追加があるかもしれないが、観測制御システム、ソフトウェアの骨子には変更は無いであろう。

## 6. まとめ

VLBI実験を無人で行う観測制御システムを開発した。従来の実験ではテープ交換に人手を要したが、自動テープ交換器を用いて24巻までテープ交換を自動で行えるようになった。これによって従来の測地VLBI実験の4倍の256 Mbpsの記録密度においても24時間程度の無人運用が可能になった。アンテナ制御計算機には強風時のアンテナ自動停止機能やアラーム検出機能を持たせ、無人運用の信頼性を高めた。観測制御計算機の運用は集中局から遠隔操作で行うが、観測局ローカルでもマニュアル操作によって観測装置のチェックを簡単に行うことができるようにした。将来はデータレコーダを用いず、専用回線でデータ伝送を行うリアルタイムVLBIを

行うことが予定されており、24時間以上の連続運用も行うように改修を加えていく予定である。

## 謝 辞

本観測制御システムの設計については高橋宇宙電波応用研究室長、今江周波数標準課長をはじめ、首都圏地殻変動観測施設整備本部員の方々に多くの助言をいただいた。アンテナ制御、軸校正観測及び観測制御ソフトウェアはCRLの仕様に基づき、日本電気株式会社、日本電気航空宇宙システムが作成した。これらの関係者に感謝します。

## 参 考 文 献

- (1) Vandenberg, N.R. et al., "Overview of the Mark-III VLBI system", NOAA Technical Report NOS 95 NGS 24, 1982.
- (2) 小園普一, 村上秀俊, "K-3型VLBI観測システム自動観測ソフトウェア", 電波研季 30, 特1, pp. 145-156, 1984.
- (3) 金子明弘, 佐藤正樹, 澤田史武, 山本伸一, 栗原則幸, 雨谷純, "南大東島局用11mアンテナシステム及び超小型VLBI局", 通信総研季 30, 特8, pp. 65-74, 1990.

- (4) H. Takaba, "VLBI ANTENNAS OF THE COMMUNICATIONS RESEARCH LABORATORY",  
Journal of the Communications Research  
Laboratory Vol. 30, No.3 pp. 417- 433, 1991.
- (5) 小山泰弘, 岩田隆浩, 高羽浩, 後藤忠広, 金子明弘,  
"3.2.6 集中制御システム", 通信総研季, 42, 1, pp.  
63- 71, Mar, 1996.
- (6) 岩田隆浩, 高橋幸雄, 栗原則幸, 高羽浩, 日置幸介,  
金子明弘 "3.2.5 自動監視システム", 通信総研季,  
42, 1, pp. 55- 61, Mar, 1996.

