

3.2.6 集中制御システム

小山 泰弘*¹ 岩田 隆浩*¹ 高羽 浩*¹
後藤 忠広*¹ 金子 明弘*²

(1995年10月16日受理)

3.2.6 CENTRAL CONTROL SYSTEM

By

Yasuhiro KOYAMA, Takahiro IWATA, Hiroshi TAKABA,
Tadahiro GOTOH, and Akihiro KANEKO

One uncommon characteristic of the KSP/VLBI observation system is its highly automated control system, which commands the observation system at each observing station and monitors the overall observing system using a dedicated wide area computer network. It also provides an easy-to-use interface for the operator at the Koganei central station and at the Kashima sub-central station. The operator can monitor the status of the observation system, change various settings to optimize the system, and resolve or at least clarify causes of malfunctions. The central control system consisting of two central control computers at Koganei and Kashima, the central control software, and the wide area computer network is described here in detail.

[キーワード] 宇宙測地, VLBI, システム制御.
Space geodesy, VLBI, System control.

1. はじめに

KSP (Key Stone Project : 首都圏広域地殻変動観測計画) の VLBI (Very Long Baseline Interferometry : 超長基線電波干渉計) 観測局は, 小金井 (東京都), 鹿嶋 (茨城県), 三浦 (神奈川県), 館山 (千葉県) の 4ヶ所に設置され, 1日に1回, 約5時間の VLBI 実験を実施する。従来の VLBI 実験では, 観測スケジュールや手順書の作成, 各観測局での観測システムのセットアップやチェックといった複雑で時間のかかる準備作業が必要であった。また実験中では, 各観測局に少なくとも1名のオペレータが対応し, テープの交換やシステムの状態の監視を行うなど多大な労力を必要としていた。そのため, 連日にわたって観測を行う KSP で従来の方式をそのまま踏襲することは現実的にほとんど不可能であり, 実験の準備や運用を自動的に行う運用システムを導入することは必要不可欠なことであった。

この自動運用システムは, 各観測局で VLBI 観測機器の制御を行う観測制御システム⁽¹⁾, 気象データなどの校正データの収集や水素メーザシステムなどの各種機器の状態を監視する自動監視システム⁽²⁾, および本稿で述べる集中制御システムから構成される。集中制御システムには, 小金井中央局と鹿嶋副中央局に設置する集中制御計算機, それぞれの計算機上で動作する集中制御ソフトウェア, および各観測局の計算機を接続する通信ネットワークが含まれる。

KSP の主たる目的は, 首都圏直下型地震の予兆現象として地殻の歪みに変化が生じた場合, その結果生じる基線長の変化を捉えることである。したがって, システムの不具合などによる観測の中断が最小限に留められること, 解析結果ができる限り早く得られることの2点が要求される。また, さらに観測が休日にも行われることから, 観測に必要な操作がオペレータの技量を要しない簡便なもので, 可能な限りの自動化が図られていることも必要である。集中制御システムはこれらの要求を実現する上で非常に重要な役割を果たすシステムである。小

*¹ 関東支所 宇宙電波応用研究室

*² 標準計測部 時空技術研究室

金井中央局に常駐するオペレータは、この集中制御システムを通じて無人の各観測局の状況を掌握し、非常時にはこのシステムを用いて必要な操作を行うので、集中制御ソフトウェアは視覚的ユーザインターフェース(GUI: Graphical User Interface)を採用して簡便な操作を実現している。また、観測スケジュールの準備や観測の実行、データ処理とデータ解析とに必要な情報を各観測局から収集したりといった毎日同じ作業をする定型的なタスクも集中制御ソフトウェアが担当する。こういった作業を、UNIXにおけるプロセスの時刻管理を行うcronを利用して実現することによって無人化を実現した。

本稿では、この集中制御システムの機能と構成の詳細について述べる。集中制御システムの機能は現段階でもまだ開発の途上であり、最終的なシステムと異なる可能性があるが、ここでは現時点で想定している集中制御システムについて述べることにする。

2. システムの構成

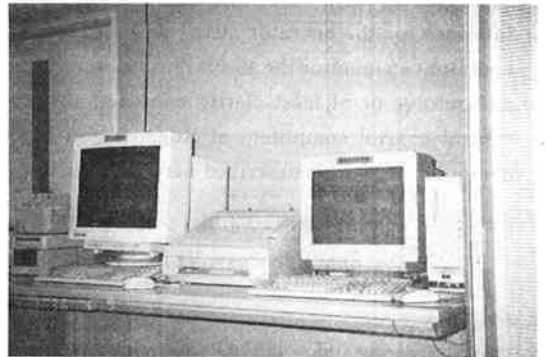
2.1 集中制御計算機

集中制御システムの計算機ハードウェアの構成を第1表に示す。集中制御システムのディスプレイ装置には、計算機本体のコンソール端末のディスプレイとX端末のディスプレイの2つが接続されているが、前者には主に各局の観測制御システムで実行されている観測の状態を表示したり各局の観測機器を操作する集中操作画面、後者にはおもに自動監視システムで取得している各種データの表示と観測システムから発せられるアラーム情報を表示する集中監視画面を表示するようになっている。集中制御計算機の外観の写真を第1図に示す。

集中制御計算機には、各局で取得された気象データ、ケーブル遅延時間補正データ、時刻比較データ、それに観測制御システムで観測スケジュールの実行の際に作成される観測ログの各ファイルがネットワークを通じて転送される。これらのファイルは、データ処理システムの一次処理ソフトウェア⁽³⁾とデータ解析ソフトウェア⁽⁴⁾で使用されるとともに、光磁気ディスクにもコピーして保管する。

無停電電源装置は、10分以内の停電が生じたとしても集中制御計算機に必要な電力を供給し、停電が10分以上継続したときには安全にシャットダウンする機能もっている。また、集中制御計算機に接続されるモデム装置は公衆電話回線に接続し、ネットワークが不通になるトラブルが発生した場合に小金井中央局を除く各局の観測制御計算機にアクセスして様々な作業をすることができる手段を提供する。

2.2 集中制御ソフトウェア



第1図 集中制御計算機本体(右)とX端末(左)

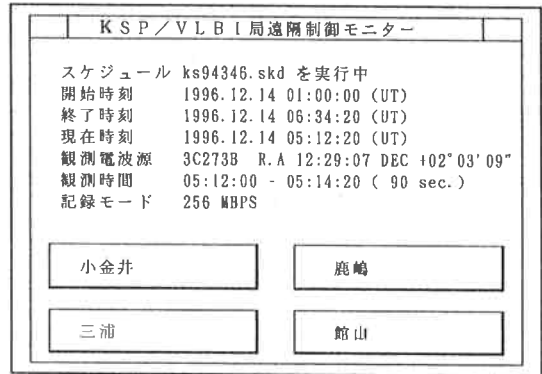
第1表 集中制御計算機の諸元

計算機	NEC EWS 4800/330EX
オペレーティングシステム	UNIX R8.2
ネットワーク	Ethernet, TCP/IP
表示装置	19 インチカラーコンソールディスプレイ X 端末 (19 インチカラーディスプレイ)
記憶媒体	ハードディスク (1.92 GByte) 光磁気ディスク (5.25 インチ倍密度 1024 byte/sector)
周辺機器	モデム (14400bps) 無停電電源装置

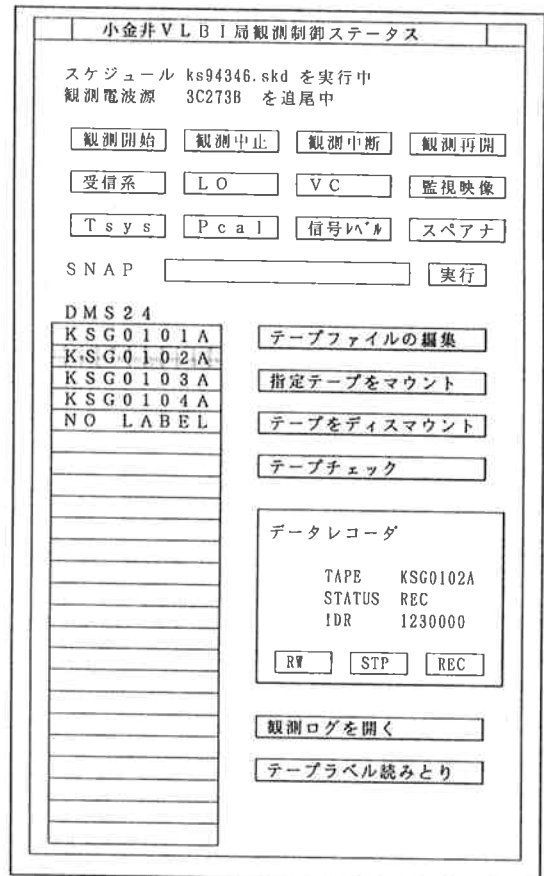
集中制御ソフトウェアは、観測制御システムで動作する観測制御ソフトウェア、自動監視システムで動作する自動監視ソフトウェアとともに、「要石」^{*1}と呼ぶ自動運用ソフトウェアを構成する3つのソフトウェアのうちの1つである。集中制御ソフトウェアの機能は、大きく分類して、毎日定時に同じ動作をする定型プロセス部、観測制御システムを統括する集中操作部、自動監視システムを統括する集中監視部の3つの部分にわけられる。オペレータが関与するのは集中操作部と集中監視部であり、集中操作部では集中制御システムの実行状況の表示や操作を行う画面を、集中監視部では自動監視システムで取得しているデータの表示とアラーム情報を表示する画面を提供する。プログラムは、ほとんどC言語、Fortran、シェルスクリプトのいずれかで記述されており、集中監視部の一部だけ汎用の統合ソフトウェア(Wingz)が使用されている。

定型プロセス部は、UNIXでプロセスの時刻管理を行うcron (clock daemon)を利用して起動され、最小限の実行結果だけをログファイルに記録する。観測制御システムに観測開始の指令を出したり、自動監視システムで取得したデータの加工や保管を行う複数のプログラムがcronに登録され、あらかじめ指定した時刻に逐次実行される。観測スケジュールを自動的に作成する処理も定型プロセス部に含まれるが、この部分はSKEDと呼ばれる従来のプログラムを使用しているため、別の計算機(apollo.crl.go.jp)上で動作する。通常、観測制御システムに観測開始を指令するのは小金井中央局の集中制御計算機であるが、ネットワークの不具合が生じたときなどは鹿嶋副中央局の集中制御計算機がかわりに指令を送る。一方、ログファイルの転送や加工処理は2つの集中制御計算機で独立に実行され、鹿嶋副中央局の集中制御計算機は常に小金井中央局の集中制御計算機をバックアップするように設計されている。

集中操作部は、集中制御計算機のコンソール端末で表示される集中操作画面を提供する。起動後すぐ表示される集中操作画面のメインウィンドウでは、その時刻における観測の状態が表示され、各局の観測制御システムでの観測の状況が緑(良好)と赤(異常)の色分けで一目でわかるように表示される(第2図)。とくに、緑の状態から赤の状態に変化した時には、10分間のあいだボタンの色を明滅させると同時にビーブ音を発生させてオペレータの注意を喚起する機能を設ける予定である。オペレータは、それぞれの観測局に対応するボタンをマウスで選択すると、各局ごとの操作ウィンドウが表示され、



第2図 集中操作画面(起動後)



第3図 集中操作画面(各局の操作画面)

*1 Key Stone Project の名前のもとになった史跡から命名した。

その観測局にある観測機器の状態を調べたり、観測制御ソフトウェアの操作や観測機器の遠隔操作を行うことができる(第3図)。観測の一時停止や中断などの観測制御ソフトウェアの操作は、操作ウィンドウ中のボタンをマウスで選択することによって行うが、各ボタンはシステムの状態に応じて選択可能なものと選択できないものとに分けられる。例えば、観測局の観測制御システムが観測中であれば観測停止と観測中止のボタンが選択可能となり、観測開始や観測再開のボタンは選択できない状態となる。観測停止を選択した場合は、データレコーダにマウントされているテープを残したままアンテナの駆動やデータレコーダの記録を停止し、観測再開ボタンが選択されるまでの間観測を停止する。一方、観測中止ボタンを選択するとアンテナを天頂に向けてスタンバイ状態で固定し、データレコーダからテープを排出させてラックに戻すなど観測を完全に終了させる。テープラックにセットされている磁気テープの情報は、第3図に示されているウィンドウの左側の領域に表示される。当日の実験で使用される磁気テープは、集中制御計算機上にあるマスターファイル(master.txt)であらかじめ指定されている。実際にラックにセットされているテープのうち、マスターファイルで使用予定となっているテープを緑色で表示し、使用予定のテープでラックにセットされていないものがあればエラーを表示する。また、記録チェック時の誤り率が大きかったり記録禁止状態になっているテープは赤色で表示する。マスターファイルの

ファイルフォーマットを第4図に示す。マスターファイルには、各局ごとに毎日行われる実験で使用されるテープのラベルが記述されるが、保守作業などのため観測を休止する場合はその観測局の欄だけラベルを'-----'とし、定型プロセス部ではそれを調べてその観測局に対する観測開始の指令を行わないよう適切な処理を行う。テープラベルはすべて8文字で、3文字目で観測局(R:鹿嶋, G:小金井, B:三浦, Y:館山)を、4文字目と5文字目で実験日を(00の場合は定常実験でない24時間実験などのテープであることを示す)、6文字目と7文字目で実験中で何番目に使用されるテープかを示

```
[master.txt]
#
# YYY DD N KASHIWA KOGANEJ MIURA TATEYAMA
#
1996 001 1 KSR0101A KSG0101A KSB0101A KSY0101A
1996 001 2 KSR0102A KSG0102A KSB0102A KSY0102A
1996 001 3 KSR0103A KSG0103A KSB0103A KSY0103A
1996 001 4 KSR0104A KSG0104A KSB0104A KSY0104A
1996 002 1 KSR0201A KSG0201A ----- KSY0201A
1996 002 2 KSR0202A KSG0202A ----- KSY0202A
1996 002 3 KSR0203A KSG0203A ----- KSY0203A
1996 002 4 KSR0204A KSG0204A ----- KSY0204A
1996 003 1 KSR0301A KSG0301A KSB0301A KSY0301A
1996 003 2 KSR0302A KSG0302A KSB0302A KSY0302A
1996 003 3 KSR0303A KSG0303A KSB0303A KSY0303A
1996 003 4 KSR0304A KSG0304A KSB0304A KSY0304A

# 始まる行はコメント行
# 区切り文字はスペース。複数の連続するスペースは1つのスペースと同じ。
# ラベルの指定が ----- となっている場合は、その観測局の観測制御ソフトは起動しない。
```

第4図 マスターファイル(master.txt)の内容の一部

集中監視(データモニタ)						
		小金井	鹿嶋	三浦	館山	
気象データ	温度	21.6	21.3	22.6	21.3	【℃】
	湿度	68.6	65.3	70.2	70.0	【%】
	気圧	1005.9	1008.2	1006.4	1005.6	【hPa】
	風向	73	253	10	320	【°】
	瞬間風速	0.8	0.5	0.4	0.8	【m/s】
	平均風速	0.4	0.3	0.4	0.3	【m/s】
	恒温室温度	19.5	19.2	20.1	20.0	【℃】
	観測室温度	23.8	24.0	23.5	23.6	【℃】
	観測室湿度	50.2	45.3	52.5	50.5	【%】
	アンテナハブ温度	21.8	21.5	22.8	21.5	【℃】
	アンテナハブ湿度	68.5	65.2	70.1	69.9	【%】
ケーブル遅延データ	ケーブル遅延	1.9923	-0.2355	1.0236	2.4423	【μs】
水素メーザ自己診断データ	発振レベル	2.5500	2.3400	2.6000	2.5000	【μA】
	イオンポンプ電流1	1.7800	1.8000	1.7600	1.7800	【mA】
	イオンポンプ電流2	1.2800	1.3000	1.2600	1.2800	【mA】
	V C X O 制御電圧	0.2234	0.2422	0.2100	0.2255	【V】
時刻比較データ	VLBI-GPS	0.0055	-0.0020	-0.0048	0.0015	【μs】
	メーザ-GPS	0.0052	0.0023	0.0051	0.0012	【ns】

第5図 集中監視画面のデータウィンドウ

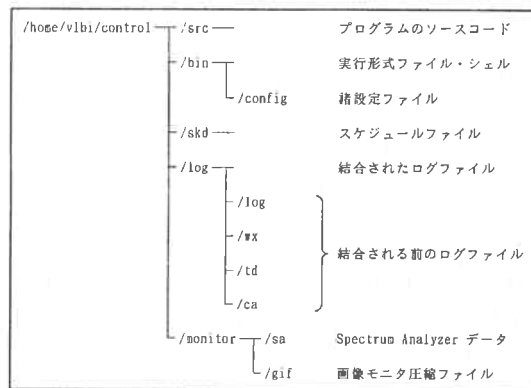
す。8文字目はAとし、新しいテープと交換するごとにこの文字をB, C, D……と変えていく。このようにすることで、マスターファイルはあらかじめ十分長い期間にわたって準備しておくことが可能である。急速観測を中止する必要が生じた場合でも、前日までにこのマスターファイルを編集すれば簡単に対応することができる。

集中監視部は、集中制御計算機のX端末で表示される集中監視画面を提供する。4局の自動監視システムで収集されたデータを表示するデータウィンドウ（第5図）とアンテナをはじめとする機器の状況を表示するステータスウィンドウ（第6図）とを分割して表示する。データウィンドウでは、それぞれの項目についてあらかじめ設定された許容範囲に収まっているかどうかを調べ、収まっている場合には黒色の文字でデータを表示するが、収まっていないときには赤色の文字で表示して異常を知らせる。各局の自動監視計算機からのデータの転送には、ネットワークのOSI（Open Systems Interconnection）モデルのセッション層で規定されるソケット（socket）が利用されている。

これらの一連のソフトウェア群は、自動的に実行されるかまたはGUIによる操作で実行できるので、オペレータはほとんど覚えておかなければならない操作はなく、熟練したオペレータを必要としない。定型プロセス

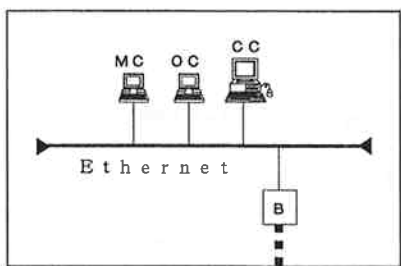
集中監視（ステータスマニタ）					
S LNA	X LNA	S POL.	X POL.	S PLO	X PLO
0000	0000	0000	0000	0000	0000
X' PLO	E/O	O/E	IF DIV	ACU	DCPA
0000	0000	0000	0000	0000	0000
ANT.	WX ST.	AIR CON.	DEHYD.	Network	
0000	0000	0000	0000	0000	

第6図 集中監視画面のステータスウィンドウ

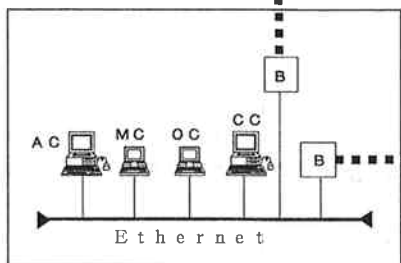


第7図 中制御計算機のディレクトリ構造

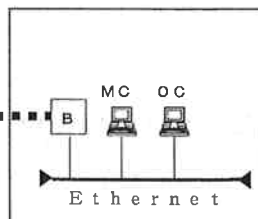
鹿嶋観測局



所内ネットワーク 384kbps



小金井中央局



三浦観測局

INS-P
64kbps

- AC 解析計算機
- MC 自動監視計算機
- OC 観測制御計算機
- CC 集中制御計算機
- B ブルータ
- R リピータ

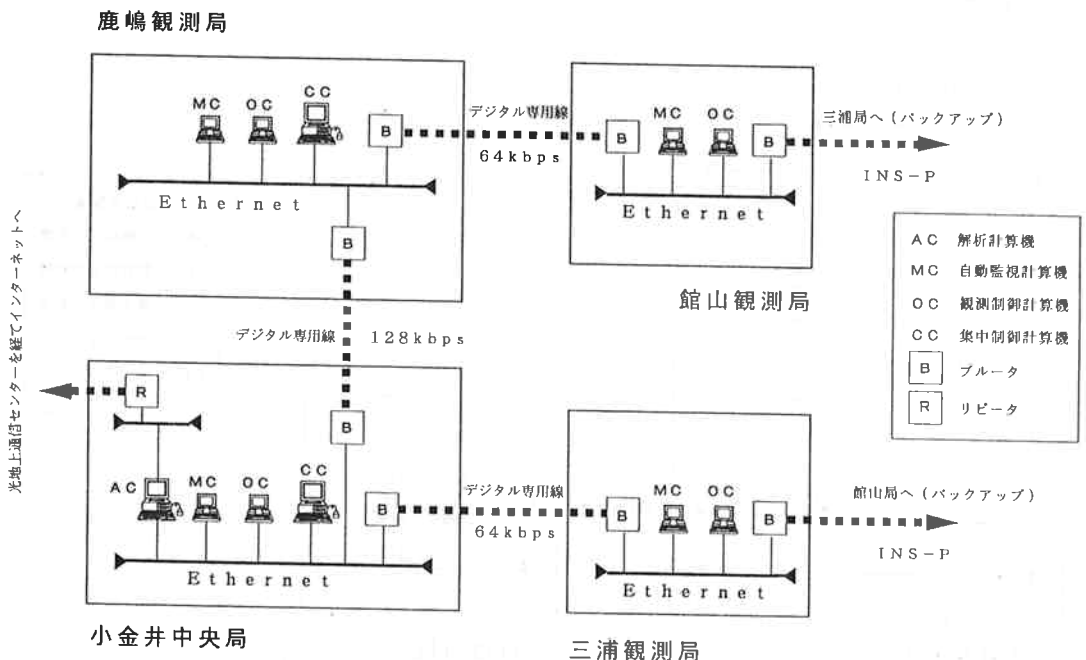
第8図 計算機ネットワークの接続概念図（1995年12月現在）

部は、集中制御計算機を起動したときに cron 管理テーブルに登録され、指定された時刻に順次実行されるほか、集中操作部と集中監視部はそれぞれコンソール端末と X 端末から control というアカウントでログインすれば自動的に表示されるよう設定される。第 7 図に集中制御計算機のディレクトリ構造を示す。定型プロセス部で各プロセスが実行される時刻を指定するパラメタなど、変更が可能な各種パラメタは諸設定ファイルのディレクトリにあるいくつかのテキストファイルを編集することによって変更することが可能なように設計されている。

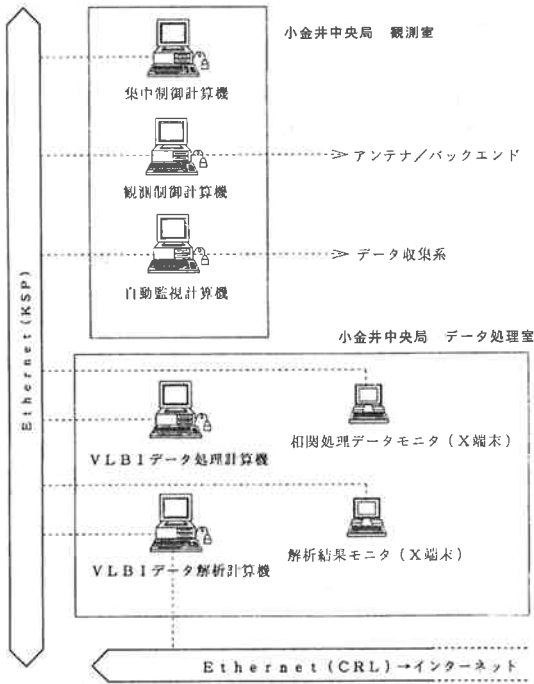
2.3 ネットワーク

KSP の VLBI 観測システムの自動運用システムで使用するネットワークの 1995 年 12 月における構成を第 8 図に、最終的に計画されているネットワーク構成を第 9 図に示す。現時点のネットワーク構成では、鹿嶋—小金井間のネットワークが所内ネットワークを利用して、KSP 専用のネットワークは小金井—三浦間の公衆パケット網のみである。小金井—三浦間で使用している INS-P と呼ばれる公衆パケット網では、通信回線自体の速度は 64 kbps であるが、実効上は 10 kbps 程度の速度しかない。そのため、観測ログファイルや画像ファイルの転送には数分程度の時間を要している。第 9 図に示されているように、最終的には現在の INS-P は 64 kbps の専用デジタル回線で置き換えられる予定であ

るので、通信速度の問題は解消されるものと期待される。鹿嶋—小金井間の専用回線が小金井—三浦間と鹿嶋—館山間の倍の速度の 128 kbps になっているのは、小金井中央局の集中制御計算機と館山局、鹿嶋副中央局の集中制御計算機と三浦局との通信でも同じ回線を重複して使用するためである。通常時は、これらの 3 つの専用回線で 4 つの観測局がネットワークで結ばれる。一方、どこかの観測局のネットワークに問題が生じたり保守のためにネットワークが使えなくなった場合に、他の観測局との通信が確保されるようにするため、三浦局と館山局との間は INS-P でも接続する。このようにすることで、例えば鹿嶋局が保守のときには小金井—三浦間の専用線と三浦—館山間の INS-P 回線を使用して小金井—館山間の通信経路を確保する。INS-P では、通信量に応じて料金が計算されるので、このような目的に非常に適している。また、ネットワーク経由の通信が不可能になった場合においても最低限必要な操作ができるように、モデムと公衆電話回線による通信手段も確保されている。集中制御計算機からは、このモデムを使って各観測局の観測制御計算機にアクセスすることができ、観測制御計算機に接続された電源制御装置を操作すればネットワーク機器などの電源をリセットすることも可能である。このように、単に電源のリセットなどの操作で復旧できるような些細なトラブルの場合には、職員が遠隔地



第 9 図 計算機ネットワークの接続概念図 (将来計画)



第10図 観測局内のローカルエリアネットワーク

の観測局に移動して作業する必要はない。

第10図には、小金井中央局における局舎内の局所ネットワーク (LAN: Local Area Network) の構成ブロック図を示す。LANに接続された計算機の時刻が正しく同期されていることは重要であるが、これはUNIXにおける標準的な時刻同期プロトコルであるNTP (Network Time Protocol) を利用する。観測制御計算機には、パラレルインタフェースを通じてGPSタイムコードリーダーから時刻を供給するので、観測制御計算機の時計は定期的にUTC (Universal Time Coordinated) との時刻同期を行っている。一方、集中制御計算機や自動監視計算機はこの観測制御計算機をNTPの時刻サーバとして設定し、自動的にUTCとの時刻同期を行う。

3. 集中制御システムの運用

3.1 観測スケジュールファイル

観測システムの設定に必要な情報や観測の内容を規定するため、1つの実験を単位として観測スケジュールと呼ばれるテキストファイルを使用する。観測スケジュールファイルは、従来のVLBI観測システムと互換性を維持するため、Mark-IIIファイルフォーマットを採用した。Mark-IIIシステム⁽⁵⁾は、米国航空宇宙局 (National

Aeronautics and Space Administration, NASA) の地殻力学プロジェクト (Crustal Dynamics Project, CDP) のもとで開発されたシステムであり、Mark-IIIフォーマットで記述された観測スケジュールファイルによって、鹿島宇宙通信センターの34mアンテナや26mアンテナをはじめ、世界各国のVLBI観測局も同じ実験に参加して観測を行うことが可能である。観測スケジュールは、NASAのゴダード宇宙飛行センター (GSFC: Goddard Space Flight Center) で開発されたSKEDというソフトウェア⁽⁶⁾を使用して作成する。SKEDには、最初に観測する電波源と観測システムの設定に必要なパラメータを設定しておけば自動的に観測する電波源を選択しながら推定するパラメータの推定誤差を最小にするような最適化した観測スケジュールを作成する機能がある。集中制御ソフトウェアでは、この機能を使用し、観測スケジュールを実験の2週間前に作成し、所定のディレクトリに保管する。観測には、第2表に掲げる比較的フラックス密度の大きい17の電波源を使用する。このうちで最初に観測する電波源は、赤経の離れた2つの強い電波源 (3C84と3C345) から、観測開始時の鹿島宇宙通信センターでの仰角の高い方を選択する。

定常観測では、1日に約5時間程度、磁気テープにして4巻分の観測を単位として行う。観測スケジュールファイルはksYYDDD.skd (YYは西暦の下2桁、DDDは1月1日を1とする通算日) という形式のファイル名で管理する。したがって1日に1回の実験を実施することを基本とし、2回以上の実験を同一の日に開始するということはしない。

3.2 定常観測時の定型プロセス動作手順

第2表 観測に使用する電波源

電波源	赤経	赤緯	記録時間
	(J2000.0)	(J2000.0)	
0059+561	01h02m45.76s	+58°24'11.1"	210秒
0316+413 (3C84)	03h19m48.16s	+41°30'42.1"	90秒
0420-014	04h23m15.80s	-01°20'33.1"	210秒
0537-441	05h38m50.36s	-44°05'08.9"	290秒
0552+398	05h55m30.81s	+39°48'49.2"	90秒
0727-115	07h30m19.11s	-11°41'12.6"	110秒
0923+392 (4C39.25)	09h27m03.01s	+39°02'20.9"	90秒
1226+023 (3C273B)	12h29m06.70s	+02°03'08.6"	90秒
1253-055 (3C279)	12h56m11.17s	-05°47'21.5"	150秒
1308+326	13h10m28.66s	+32°20'43.8"	150秒
1334-127	13h37m39.78s	-12°57'24.7"	140秒
1641+399 (3C345)	16h42m58.81s	+39°48'37.0"	90秒
1730-130 (NRAO530)	17h33m02.71s	-13°04'49.5"	90秒
1921-293	19h24m51.06s	-29°14'30.1"	120秒
2134+004	21h36m38.59s	+00°11'54.2"	90秒
2145+067	21h48m05.16s	+06°57'38.6"	110秒
2251+158 (3C454.3)	22h53m57.75s	+16°08'53.6"	90秒

館山局を除く3局での定常観測が1995年12月1日より始まった。定常観測では、毎日定まった時間に観測を行い、テープを集配して小金井中央局でデータ処理と解析を行う。観測時間やテープの集配時刻は自由に変更することも可能であるが、現在は観測開始を01:00(UT)、観測終了が06:30(UT)、テープ集配時刻は07:00(UT)に行っている。定常観測では、1日に2つ以上の独立した実験を開始できないという制限はあるが、観測開始時刻や実験の継続時間はかなり自由に設定することができる。通常は5時間程度の実験であるが、24時間程度の実験を行うときでも集中制御ソフトウェアはそのままでの設定で実施することができる。また、1日のうちに2つ以上の実験が開始される場合でも、集中制御ソフトウェアの集中操作画面での遠隔操作によって実験を開始させることは可能である。以下に、定常観測で毎日行われる集中制御ソフトウェアの動作について時間の順に述べる。この手順は、実験が00:00(UT)を超えて実施される場合には観測開始の前に前日の実験の観測終了処理が行われたりするが、基本的には観測開始時刻や終了時刻が変更されたときにでも下記の手順はそのまま適用される。

[00:00(UT)]

- まずマスターファイル(master.txt)にアクセスし、その当日に観測を行う観測局があることを確認する。観測がない場合にはその時点で処理を終了する。観測が行われる場合には、各局ごとに使用される予定のテープリストファイルを作成し、当日の観測スケジュールの有無をチェックする。観測スケジュールがなければ過去に使用されたスケジュールを1日前から順に検索し、見つかった観測スケジュールファイルから観測時刻の恒星時が同じになるように1日につき $235.9095 \times D$ 秒ずつシフトした観測スケジュールを作成する。ここで、Dはシフトする日数である。235.9095秒は1日の86400秒を恒星年の日数に1を加えた366.2422で除算することによって得られる。

- 観測スケジュールから観測の開始時刻と終了時刻を調べ、観測開始の指令を行う時刻やログファイルを収集する時刻を設定する。

[観測開始時刻30分前]

- 観測準備ルーチンを起動する。観測準備ルーチンでは、テープラックにセットされているテープのバーコードラベルをスキャンし、どの磁気テープがセットされているかを調べ、上から順にデータレコーダにマウントして巻きもどしと記録品質のチェックを行う。

- テープラックにセットされていたテープと、マスターファイルから作成されたテープリストファイルを比較し、使用が予定されているテープがラックにない場合には集中操作画面上でアラームを表示してオペレータに注意を促す。
- 観測スケジュールファイルをネットワークを經由して各観測局の観測制御計算機に転送する。
- 観測制御計算機の時計をGPSタイムコードリダの時刻と同期させ、そのうえでバックエンドシステムのデジタル部(インプットインターフェース)の時刻を合わせる処理を行う。
- 受信システムのステータスを調べるため、Sバンド、Xバンド(Low/High)の信号スペクトルとシステム雑音温度を取得し、結果を集中制御計算機に集約する。これらの結果は集中監視画面で確認することができるとともに、システム雑音温度が規定値よりも大きな場合にはアラームを出力してオペレータの注意を促す。
- ビデオ帯域変換部の個々のチャンネルの信号レベルをチェックし、適正值範囲に入っていない場合にはプログラマブル・アッテネータを制御して適正温度内に信号強度が入るように調整する。

[観測開始時刻10分前]

- 各局の観測制御システムに観測の開始を指令する。

[実験観測中]

- 各局の観測制御システムの状態を監視する。

[観測終了時刻10分後]

- 観測ログファイルを集中制御計算機に転送し、ケーブル遅延時間補正データ、気象データ、時刻比較(VLBI-GPS)データファイルとまとめて1つの観測ログファイルを作成する。このファイルは相関処理とデータベース作成のときに使用される。

4. まとめ

KSPのVLBI観測における自動運用システムのうち、集中制御システムの構成と機能について述べた。本システムを含めた自動運用システムの開発によって、無人の観測局を遠隔地から制御してVLBI実験を行うことができるようになったが、こういったシステムは世界でも例を見ない先進的なものである。本システムは、1995年12月1日から開始された3局での定常実験で本格的に使用が開始され、連日の無人観測が実現している。従来のVLBI観測システムでは、観測局ごとにオペレータが配置され、観測機器やソフトウェアを操作するなど非常に大きな労力を必要としていたが、本システムの導入に

よって VLBI 観測システムに必要な労力は大幅に軽減された。このように自動化、省力化が推し進められたことで、実験の準備と処理に時間がかかるという従来の VLBI 実験にあった欠点は払拭されたといつてよい。

集中制御システムは、今後ネットワークの整備を行い、また定常観測を実施しながら明らかになった問題点を取り除き、よりよいソフトウェアの構築をめざして開発を継続する必要がある。また、小金井中央局の集中制御計算機に加えて鹿嶋副中央局の集中制御計算機を導入し、2台の計算機で役割を分担したり、互いに他をバックアップする補完機能を開発することもこれからの課題である。現在計画されているリアルタイム VLBI 観測システムでは、現状の集中制御システムをそのまま使用することが可能であるよう検討を進めているが、リアルタイム VLBI 観測に最適な観測形態を実現するためには、システム的设计変更についても検討が必要であると考えられる。

KSP の VLBI 観測システムに最適な観測スケジュールを作成することも今後に残された課題である。現状では、観測スケジュールファイルの作成に SKED を用いているが、16チャンネルの観測に対応していないこと、256 Mbps の記録レートに対応していないことなど、必ずしも最適な観測スケジュールが作成されているとは言えない。これは、そもそも SKED が 14チャンネルと 56 Mbps の通常の VLBI 観測を行うために作成されたソフトウェアであるので、これをそのまま KSP の観測に適用しているためである。そのため、まず 56 Mbps の通常の VLBI 観測として観測スケジュールを作成し、必要な部分をあとで変更して KSP での観測に使用している。また、SKED では Mark-III 型のオープンリールテープでの観測に対応しているため、KSP 観測では不要なテープ先送りやオペレータによるテープ交換に要する時間を余分に確保する。こういった無駄な時間を除くだけでも同じ観測時間で観測の数を増やすことは可能である。このためには、KSP の観測に最適化された観測スケジュールファイルを作成するプログラムの開発が必要である。また、相関処理の結果によって得られる電波源強度のデータを観測スケジュールにフィードバックし、常に最適な観測時間となるようにできれば、電波源強度の低下が原因で十分な信号雑音比が得られない観測の数を

減らすことができると期待できる。このためには、データ処理・解析システムと融合したシステムを構築する必要があるが、KSP の VLBI 観測による測定精度を向上させると考えられるので、今後検討していきたい。

謝 辞

本システムの整備は、栗原主任研究官をはじめ首都圏地殻変動観測施設整備班のメンバー、当初の開発メンバーの 1 人である国立天文台日置助教、さらに日本電気株式会社、日本電気航空宇宙システムの関係者の方々による協力により実現しました。ここに深く謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 高羽浩, 栗原則幸, 岩田隆浩, 小山泰弘, 日置幸介, 金子明弘, 吉野泰造, "3.2.4 観測制御システム", 通信総研季, **42**, 1, pp.45-54, 1996.
- (2) 岩田隆浩, 高橋幸雄, 栗原則幸, 高羽浩, 日置幸介, 小山泰弘, 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, 1996.
- (3) 関戸衛, 高橋幸雄, 近藤哲朗, 木内等, 小山泰弘, "3.4.2 一次処理ソフトウェア", 通信総研季, **42**, 1, pp.99-107, 1996.
- (4) 小山泰弘, 高橋幸雄, 後藤忠広, 日置幸介, "3.4.4 データ解析ソフトウェア", 通信総研季, **42**, 1, pp.121-130, 1996.
- (5) T.A. Clark, B.E. Corey, J.L. Davis, G. Elgered, T.A. Herring, H.F. Hinteregger, C.A. Knight, J.I. Levine, G. Lundqvist, C. Ma, E.F. Nesman, R.B. Phillips, A.E. Rogers, B.O. Ronnang, J.W. Ryan, B.R. Schupler, D.B. Shaffer, I.I. Shapiro, N.R. Vandenberg, J.C. Webber, and A.R. Whitney, "Precision Geodesy Using the Mark-III Very-Long-Baseline Interferometer System", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **GE-23**, No. 4, pp. 438-449, July 1985.
- (6) N.R. Vandenberg, "sked : Interactive/Automatic Scheduling Program", VLBI Software Documentation, NASA Goddard Space Flight Center, Space Geodesy Program, May 1995.