

3. アンテナシステムの高機能化に関する成果

3.1 34m アンテナシステムの改良

川合 栄治^{*1} 栗原 則幸^{*2} 近藤 哲朗^{*1} 中島 潤一^{*1} 小山 泰弘^{*3}
 関戸 衛^{*1} 高羽 浩^{*4} 大崎 裕生^{*5} 大久保 寛^{*5}

3. Antenna System Improvements

3.1 34-m Antenna System Improvement

By

Eiji KAWAI, Noriyuki KURIHARA, Tetsuro KONDO, Junichi NAKAJIMA,
 Yasuhiro KOYAMA, Mamoru SEKIDO, Hiroshi TAKABA,
 Hiro OSAKI, and Hiroshi OKUBO

The 34-m antenna at Kashima in Japan was constructed in 1988 as the main station of the Western Pacific VLBI network. The antenna was manufactured by TIW (existing VertexRSI) of the U.S.A. About thirteen years have passed since it was constructed. Since then, the radio telescope has been used for both geodetic VLBI and radio astronomy studies. The control system was continuously improved to provide better performance. This paper describes these improvements and other technical enhancements, focusing mainly on the hardware.

[キーワード] 電波望遠鏡, VLBI, 電波天文, 低雑音受信機, 光ファイバー

Radio telescope, VLBI, Radio astronomy, Low noise receiver, Optical fiber

1. はじめに

鹿島宇宙通信センターの34mアンテナ（第1図）は西太平洋電波干渉計⁽¹⁾を構成する主局として昭和62年度（1987年度）に建設された、AZ-EL駆動方式の大型パラボラアンテナである。本アンテナは米国TIW（現VertexRSI）社製であり、主にNASAのDeep Space Network（DSN）局用として開発されたものを基本に通信総合研究所仕様として納入されたが、この間CRLでは研究のため種々の改良や高精度化が行われてきた。

本稿では建設後13年間余りに行われた機能向上をまとめるとともに、今後期待される34mアンテナのユーザーがシステムを理解し必要な情報の集積が得られるようにした。



第1図 34mアンテナ

*1 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室

*2 標準計測部 周波数標準課

*3 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室
(2001年1月より内閣府技官に併任)

*4 岐阜大学 工学部

*5 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室
(科学技術振興事業団 重点研究支援協力員)

2. 基本システム

34m アンテナの主要諸元を第1表に、その制御システムの概要を第2図に示す。34m アンテナの初期性能については建設時の特集号⁽¹⁾に詳しく掲載されている。その後の変更点として最大駆動速度が変更されている。また、受信機性能については第2表に示すとおりである。

2.1 駆動系システムの概要

第2図に示すように34m アンテナでは観測制御計算機からアンテナ制御計算機を経由してAntenna Control Unit (ACU) に角度信号が送出される。ACUは現在角度と指令角度を比較してAzimuth (AZ) モータ4基、Elevation (EL) モータ2基を駆動して追尾する。第1表に示すように、ワイヤーラップが通常のアンテナに比べて大きいので天体切り替えにおいて柔軟な追尾が可能である。ACUからの制御の他に保守のためにPortable Control Unit (PCU) によりアンテナ近くからの操作も可能である。

AZ, EL等のリミットスイッチ、各所に配置された非常停止スイッチの信号はAntenna Drive Cabinet

(ADC)内のロジックボードに入力され異常事態が発生した場合は直ちにアンテナを停止する。また、保守等でアンテナ可動部に入る、または接近する場合は誤ってアンテナが動かされないようにする措置としても非常停止スイッチは使用される。

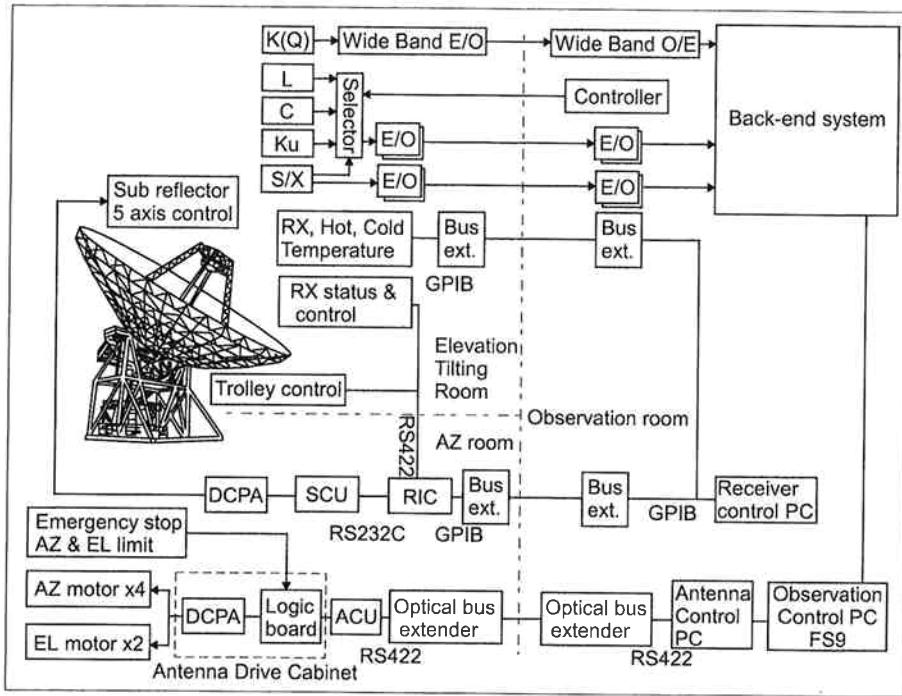
2.2 受信系制御システムの概要

34m アンテナの特徴のひとつは多周波帯の信号が受信できることと、その切り替えが比較的容易に行えることである。従来のこのような多周波受信アンテナの場合は受信機の切り替えにある程度の時間と人手を要したが、本アンテナの場合は人手を介さず、遠隔制御が可能である。このことを可能にしたのはトロリー (trolley) と呼ばれる直線レールの上を移動する台車による受信機切り替え、カセグレン焦点の位置を複数個並んだフィードのうちの一つに移動させる副反射鏡5軸制御機構である。

第2図に示すように観測室にある受信機制御計算機からRx-band Interchange Computer (RIC) を経由してトロリーを遠隔制御可能である。また、受信機の制御(電源のON, OFF, 右旋、左旋偏波の切り替え等)、状態のモニターができる。トロリーの昇降はアンテナが天

第1表 34m アンテナの主要諸元

主反射鏡開口径	34.073m	
緯度	北緯 35° 57' 05.76"	
経度	東経 140° 39' 36.16"	
アンテナ中心海拔高	43.6m	
アンテナ位置海拔高	26.3m	
アンテナ形式	鏡面修正カセグレン	
マウント形式	AZ-EL マウント (AZ モータ4基、EL モータ2基)	
主反射鏡鏡面精度	0.17mm r.m.s. (EL=45°建設時)	
駆動可能範囲	方位角方向	北 ±270° (自動運用中)
		北 ±359° (自動運用解除時)
		仰角方向 6.8°~90.2° (仰角方向)
副反射鏡	直径 3.8m	
5軸駆動制御範囲	各軸 ±60mm	
耐風速	瞬間最大風速 60m/s	
重量	約 370 トン	
	AZ	EL
最大駆動角速度	0.8°/s	0.64°/s
最大駆動角加速度	0.4°/s ²	0.36°/s ²
	(H12年度定期保守実測値)	



第2図 34m アンテナの制御システムの概略

第2表 受信機雑音温度 T_{LNA} とシステム雑音温度 T_{SYS}

BAND	Frequency (GHz)	T_{LNA} (K)	T_{SYS} (K)
L	1.35-1.75	18	45
S	2.15-2.35	19	72
C	4.60-5.10	25	108
X-n	8.18-8.60 *	41	52
X-wH	8.18-8.60 #	41	65
X-wL	7.86-8.36 #	40	61
Ku-L	14.40-14.90	60	130
Ku-H	14.90-15.40	64	110
K	21.80-23.80	300	330

* 8GHz LNA 通常帯域用 # 8GHz LNA 広帯域用

頂を向いた状態で行う。

副反射鏡の位置を5軸で制御するのはAZ機器室にあるSub-reflector Control Unit(SCU)である。SCUではコントロールパネルからX, Y, Z1, Z2, Z3の値を入力し、サーボループにより指定位置へ副反射鏡を位置させる。また、観測室にある受信機制御計算機でもその位置をモニターできる。

3. アンテナの改良

3.1 受信系の概要

34mアンテナの光学系はカセグレン給電である。トロリーにより複数の受信機をカセグレン焦点に位置させる。複数フィードがあるトロリーでは副反射鏡5軸制御機構により焦点を変更する。

受信機はVLBI、電波天文用に冷却した低雑音の受信機を搭載している。低雑音化のためヘリウムガスを使用した冷凍機により初段LNAを20K程度に冷却している。受信電力の較正のため50K程度に冷却したコールドロード、常温のホットロードを備えている。ただし、C帯は設置が容易でメンテナンスフリーの小型冷却受信機に変更したためコールドロードはない。導波管切り替え器により受信信号の変わりにこれらの較正信号を受信機に入力する。また受信信号の右旋／左旋円偏波の切り替えも導波管切り替え器により遠隔制御で行える。

3.2 L帯受信機の変更

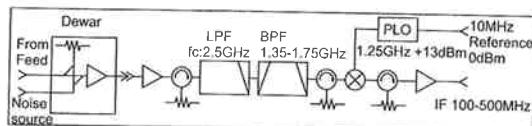
L帯受信機はパルサーテイミング観測の高精度化のため第3図(a)のオリジナル受信系から第3図(b)のように受信帯域を1.6~2.4GHzに1993年7月より広帯域化して使用し、その後は1995年3月に34mアンテナとの間でパルサーのVLBI実験を行うロシア64mアンテナの受信帯域が1.38~1.45GHzであることから第3図(c)のように局部発信器等を元の系(局部発信周波数:1.25GHz)に戻して運用している。

最近では携帯電話等の移動体通信にL帯が使用され

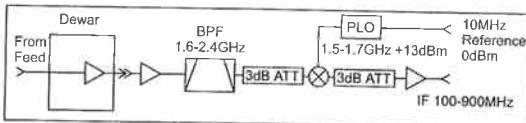
混信が増加している。このため観測目的に合わせて初段の Low Noise Amplifier (LNA) と後段 LNA の間に狭帯域のバンドパスフィルタを入れて後段のポストアンプが飽和しないようにして観測に使用している。しかしアンテナ方向によっては初段LNAが混信波により飽和するケースもあり初段LNAの前に熱雑音を増加させないように冷却したバンドパスフィルタを入れる等の対策が望まれる。

3.3 S/X 帯受信機の変更

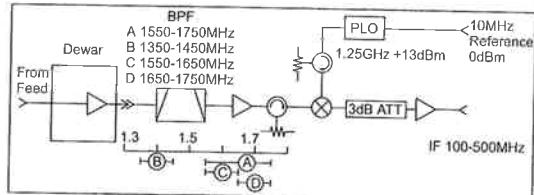
34m アンテナにおいて測地用の主たる受信機になる



第3図 a) オリジナルのL帯受信系



第3図 b) 広帯域化後のL帯受信系



第3図 c) オリジナルに戻して混信対策を行った現在のL帯受信系

のがこのS/X帯(2, 8GHz)である。S/X帯受信機は測地VLBI実験のため同一フィードによる2周波同時受信ができるよう製作されている。受信機雑音温度が上昇したため初段のLNAを1998年に交換している。

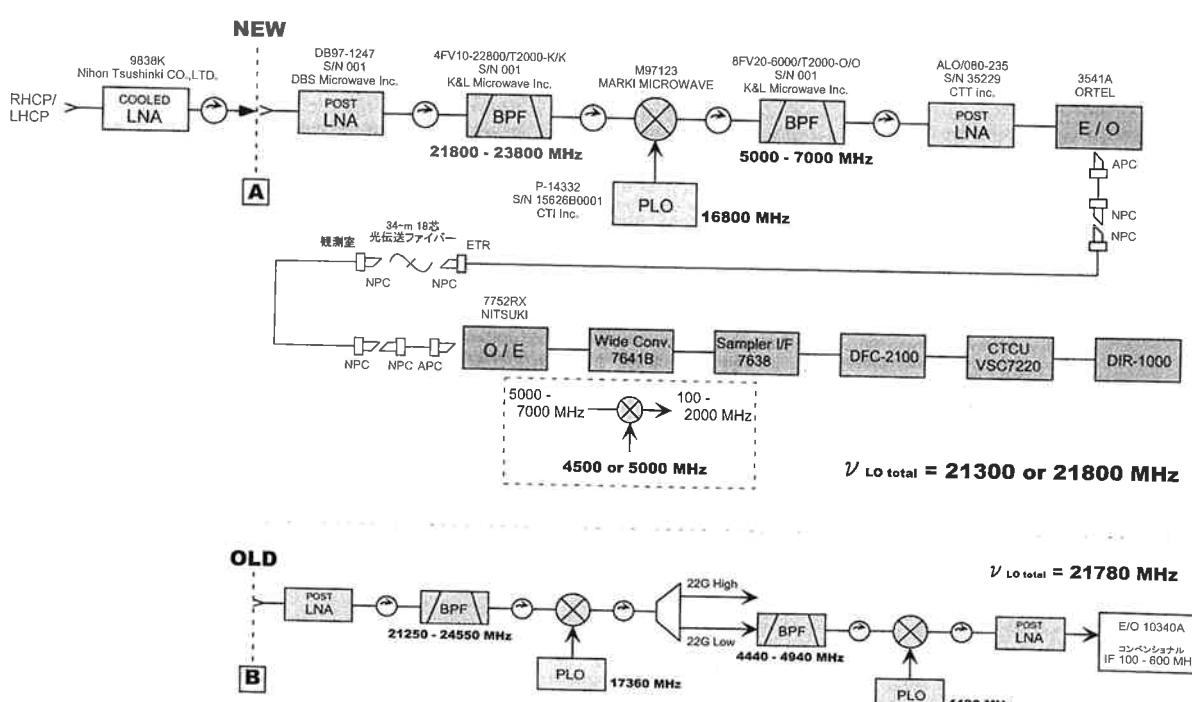
3.4 K帯受信機の変更と5~7GHz IF系の整備

22GHz帯はより広帯域な観測ができるように後述のIF系の光ファイバー化とは別系統で第4図のように広帯域の光ファイバー伝送方式に変更した。これに合わせて周波数変換部を改修した。21.8~23.8GHzの信号を5~7GHzのIF信号に変換して、これを光ファイバーで伝送している。光送信機にはORTEL社の3514A-020、帯域0.1~10GHzを用いた。5~7GHzのIF信号に対して4.5GHzまたは5GHzのローカル周波数を選択することにより従来のコンベンショナルなIF信号または500~1000MHzのIF信号を供給できるように工夫されている。受信機雑音温度が上昇したので初段のLNAを1996年に交換している。

3.5 C帯受信機の交換

1999年9月より5GHz帯の受信機に米MITEQ社製のCLNA (Cooled Low Noise Amplifier)を使用している。このCLNAの特徴は冷媒を使用した圧縮機を用いた閉サイクルで真空引きが不要なため、メンテナンスフリーで冷却HEMT (High Electron Mobility Transistor)が使用可能な点である。

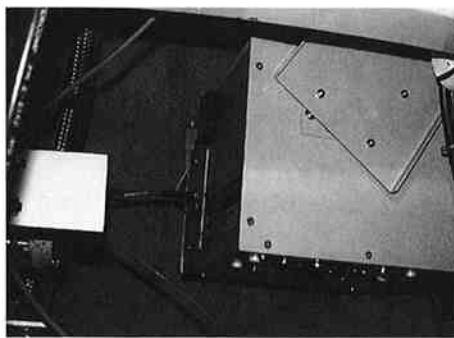
34mアンテナでは常温LNAを使用してVLBI実験などに使用していたが、より低雑音システムの要求から性能向上を図る必要が出てきた。従来電波天文観測用に



第4図 22GHzの受信系統と5~7GHzのIF信号伝送系

第3表 常温LNAとCLNAの性能

	T_{LNA} (K)	T_{SYS} (K)	$T_{SYS} - T_{LNA}$ (K)
常温 LNA (日通機製) 1999/12/08	92	127	35
CLNA (MITEQ 製) 2000/04/12	25	108	83



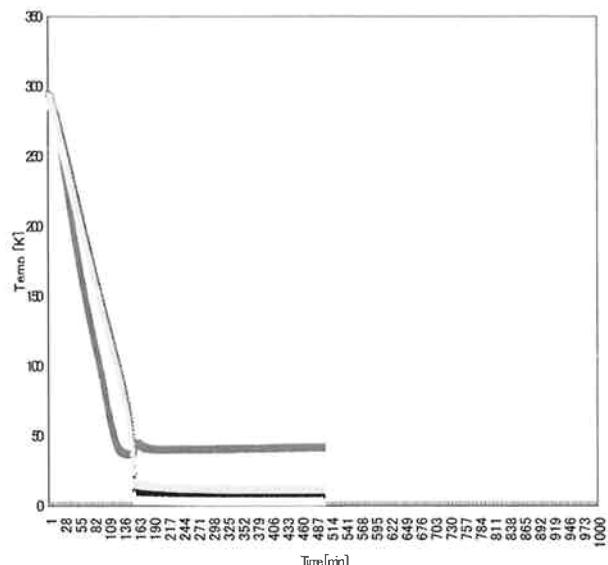
第5図 アンテナに搭載されたCLNA

マイクロ波帯で使用してきた冷却HEMTはヘリウムコンプレッサー、ヘリウム供給系、デュワーと大きな設備が必要であるが、このCLNAは冷却受信機を簡便に実現することができる。ただし、小型のためコールドロードがないのでコールドロードを使用した受信電力の較正はできない。

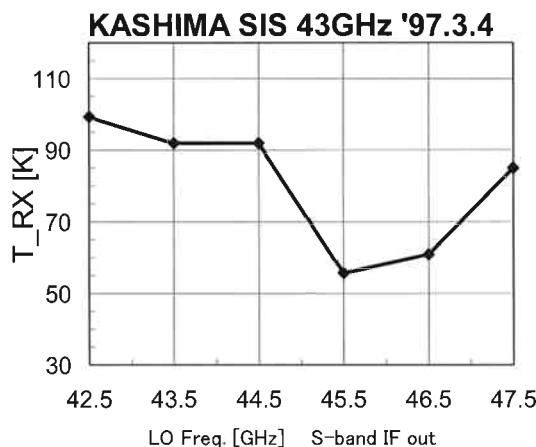
CLNAは一つのユニット ($309.4\text{mm} \times 189.7\text{mm} \times 258.6\text{mm}$) の中に高性能LNAと冷却システムを組み込んだもので、本体にDC24V電源だけを接続すれば受信機雑音温度で25K程度の性能が実現できる。これは従来の冷却HEMTに匹敵する性能である。第5図にアンテナに搭載されたCLNAを示す。第3表にLNA交換前後の性能を示す。CLNAは冷却部の性能を安定に発揮させるため、常に水平状態に置かれていなければならないという制約があるため、アンテナに搭載する上でスイベルを使用した支持ホルダーを製作し、仰角の角度に関わらず常に水平に保てるようにした。しかし導波管からの信号を1mのケーブルを介してCLNAに入力しているため、このケーブルのロスによりCLNA本来の性能が発揮できず、第3表で $T_{SYS} - T_{LNA}$ が大きくなっている。そのためシステム雑音温度で比較すると常温LNAより若干良い程度である。このため2001年4月より新たにCLNAのアンプ部分のみを切り離しアンピリカルコードで冷媒をアンプ部に送り冷却するシステムを導入予定である。これにより現在のケーブルロス部分をなくすことができるためシステム雑音温度で70K程度を実現できる。

3.6 ミリ波43GHz受信機の開発

鹿島34mアンテナでは一酸化ケイ素(SiO)の発す



第6図 GM冷凍機による冷却データ、冷却ステージが4K、中間ステージが50Kまで2時間程度で冷却される。これは既存のJT型冷凍機に対し著しく早い



第7図 完成したSIS受信機の受信機雑音温度

る43GHz帯のメーザを受信する為のSuperconductor Insulator Superconductor (SIS)超伝導型の受信機の開発を1995年～1998年にかけて行った。34mアンテナにSIS型の受信機を載せる場合一番大きな問題になるのは冷凍機による素子の冷却である。SIS型素子は超伝導という性格を持つ以上、この効果が現われる4K程度に冷却をすることが要求される。ところがこの時点でも

型のGM冷凍機はその性能が充分でなかった為、冷凍機を真空デュワーに45°傾斜して取り付けるシステムの開発が行われた。この冷凍機は第6図に示すように120分程度という極めて短時間で冷却が行われることが確認され、初期観測でVY_Cma（りょうけん座VY星）周囲のSiO放射を捉えることができた。また受信機雑音も第7図のように良好であった。34mアンテナには第8図のように実装されたが、レドームによるアンテナ温度の上昇、SIS受信機のバイアス調整に加え副反射鏡の調整などが必要となったため、HEMT受信機に比較して制御系は複雑で、現在は再びHEMT方式に変更して搭載の準備が進んでいる。これらの研究は国立天文台や茨城大学との共同研究のもとに進められている。

3.7 IF系の光ファイバー化

アンテナ建設当初は100~600MHzのIF信号を低損失同軸ケーブルで受信機室から観測室に伝送するシステムが採用されていた。高域での伝送ロスが増加する同軸ケーブルの周波数特性を打ち消すようにイコライザーアンプが使用されていた。温度変化等による位相特性の変化を避けるため光ファイバーによる伝送系に変更した。

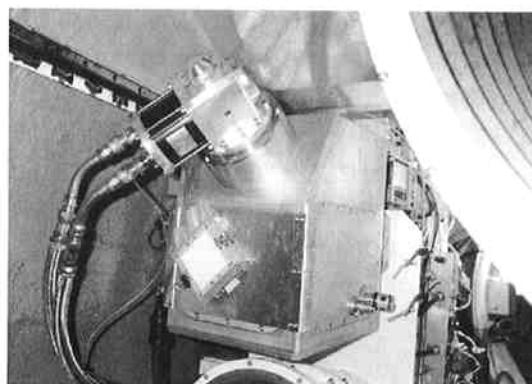
第9図に光送信機とIF信号切り替え器、第10図に光受信機とIF信号切り替え制御器を示す。光送信機にはORTEL社の10340A、帯域0.1~5.0GHz、光受信機には同社の10450A、帯域0.01~3.0GHz、出力アンプは帯域0.01~2.0GHzを用いた。IF出力周波数はコンパネナルな100~600MHzである。

34mアンテナは多周波受信できるので受信機からのIF信号が10系統程度ある。第4表のように受信機の使用頻度からS帯、X帯は専用當時接続として2本、その他の信号はIF切り替え器を使用して2本の計4系統の光ケーブルによるIF伝送系を整備した。S/X帯以外のいずれの受信機からの信号を光ファイバーで観測室に伝送するかの選択も観測室にあるIF切り替え制御器により遠隔制御で切り替えることができる。第2図では省略しているが、E/O変換部はロスが大きいので入力の前に利得38dBのアンプを増設して信号レベルを補った。

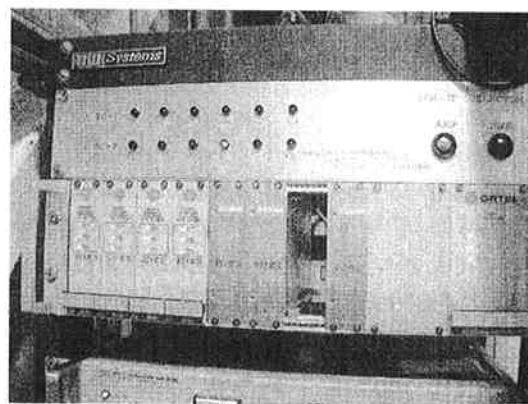
このように従来の同軸ケーブルによるIF伝送系を光ファイバー伝送系に変更したが伝送帯域は従来の100~600MHzである。Key Stone Project (KSP) システム⁽²⁾やその他のVLBIシステムではオクターブバンドとなる500~1000MHzへの移行が進んでいるため、これに適合する100~600MHzを500~1000MHzに変換するアップコンバータを観測室に備えている。

3.8 運用ソフト

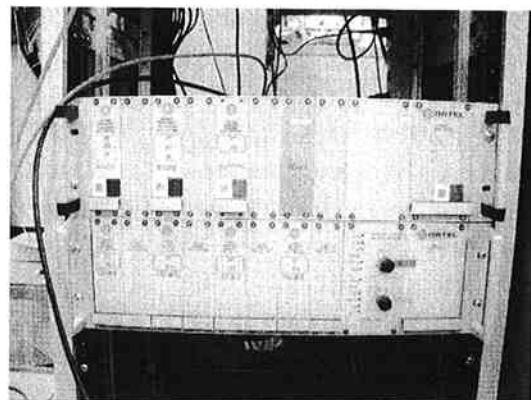
鹿島34mアンテナを用いてVLBI観測を行うために開発されたものがNKAOS (New Kashima Automatic Operating System)⁽³⁾であった。そのベースとなったのは、鹿島26mアンテナで用いていたKAOS (Kashima



第8図 34mアンテナフィードに実装された43GHz受信機を上側（電波の入射方向）から見たもの、菱形の部分に偏波板が設置されている



第9図 受信機室の光送信機、IF切り替え器



第10図 観測室の光受信機、IF切り替え制御器

第4表 光ファイバー系統と受信機IF信号

Line 1	X-wL, 15G-L, 10G, 22G-L, AUX
Line 2	X-wH, 1.5G, 15G-H, 22-H, AUX
Line 3	X-band (normal band width) exclusive
Line 4	S-band exclusive

Automatic Operating System) である。

VLBI 観測では、観測局の情報を入れてオリジナル・スケジュールと呼ばれる観測スケジュールを作成する。オリジナル・スケジュールには観測局全ての情報が記述されており、相関処理時にもこれを用いる。しかし観測局においてはそのままでは使えないため、オリジナル・スケジュールから、観測局で必要な情報のみを抜き出し、時系列で作業を指示するスナップ (SNAP: Standard Notation for Astronomy Procedures) ・スケジュールと呼ばれる、一種の自動制御言語を用いた観測スケジュールを作成し、実行するフィールド・システム (VLBI 自動観測ソフトウェアおよび制御計算機) が用いられている。

KAOS もアメリカの NASA/GSFC で開発されたフィールド・システムを元に作成され、スナップ・スケジュールで VLBI 自動観測を行っていた。しかしスナップ・スケジュールは 1 行に 1 つのアクションを記述するため、24 時間の測地実験ともなると膨大な行になり、途中で中断、再開などの作業を行うとそこまで読むためにかなりの時間を必要とする、という問題があった。通信総研ではオリジナル・スケジュールを用いる、超小型の 3m 移動 VLBI 局用に MAOS (Mobile Automatic Operating System) という VLBI 観測ソフトを作成し、運用する実績を持っており、オリジナル・スケジュールを使用する方が作業が簡単になることがわかっていた。

そこで NKAOS では、オリジナル・スケジュールを用い、またスナップ・コマンドを別に定義して観測時に呼び出すことで、ビデオ・コンバータの周波数制御などの複雑な制御もできる方式を採用することとした。計算機はヒューレット・パッカード社の HP1000/A400 を用いた。この計算機は KAOS で用いていた HP1000 計算機の後継機であり、KAOS で開発した機器制御のサブルーチン (アセンブラーおよびフォートラン言語による) をそのまま使用することができたので、オリジナル・スケジュールを読み、そこからスナップ・コマンドを発生するメインプログラム (フォートラン言語) を作成することで比較的短時間に NKAOS の開発を行うことができた。

OS は RTE-A という、リアルタイムで機器制御を行う機能を持ち、そのためのサブルーチンを豊富に持っているものである。また、マルチタスクでいくつかの機器制御ソフトを同時に走らせながら、システムコモンでソフト間のパラメータを共有することで統一を取り方を採用し、アンテナ追尾を行いながらデータレコーダなど複数の機器を同時に制御することが可能となった。34m アンテナの建設と並行して開発を進め、26m アンテナを用いて天体追尾、データレコーダ等の制御の確認を行い、34m アンテナの完成時には原型がほぼ出来あがっ

ていた。

当初はオリジナル・スケジュールを読み、メモリに入れた後に実行していたが、VLBI 観測方法の改良が進み、サブネット化など、オリジナル・スケジュールの変更が何度かあったため、正常に読めるか確認するために NKAOS.SKD という独自のフォーマットのスケジュール・ファイルを作成し、事前にチェックができるように改訂を行った。この独自フォーマットは簡単に編集できるため、これをを利用して IPS (惑星間空間シンチレーション) やパルサーの自動観測を行うことも可能となった。

NKAOS は K-3 型データレコーダおよび K-4 型データレコーダの制御を行うことができるが、K-4 型データレコーダではカセットタイプであるため、1994 年にテープ交換を自動で行う DMS-24 を導入することで、長時間の無人観測も可能となった。24 卷のテープを用い、64Mbps で観測する場合、1 卷あたり 200 分の記録ができるので、連続で 80 時間の記録ができる。通常の測地 VLBI では天体切り替えに半分程度の時間を必要とするので、倍の 160 時間として、1 週間の無人観測が可能となる、世界でも唯一の画期的なものとなった。NKAOS の開発コンセプトは、1993 年から開発が始まった首都圏広域地殻変動観測計画 (KSP) の自動制御系においても引き継がれている。

前節に述べられているように、鹿島宇宙通信センター (KSRC) では独自に NKAOS という電波望遠鏡運用ソフトが開発され、利用してきた。しかし、もし各観測局で共通の運用ソフトを利用できるなら、観測スケジュールの作成や調整の点で大きなメリットがある。そこで、VLBI 運用ソフトとして世界標準である Field System 9 (FS9) を 34m 電波望遠鏡で利用できるようにするための拡張作業が、日本の国土地理院 (GSI) や米国 National Aeronautics and Space Administration (NASA) の Goddard Space Flight Center (GSFC) との共同で行われた。

FS9 の特徴は、フリーで利用できる堅牢な OS として知られている Linux の上で動作するように作られていること、そして、ソフトウェアが共通のソースコードで配布されていること、の 2 点である。FS9 がソースコードで配布されていることには、コード上で何か問題が発生した場合にも各観測局での原因の究明が容易であり、また、解決策を他の利用者へフィードバックすることも容易に行なわれるというメリットがある。

KSRC で利用している FS9 用 PC の仕様を以下の第 5 表に示す。

このように、PC でよく利用されているハードウェア / ソフトウェアを使ってシステムが構成されており、システム全体を安価に構築することができる。

KSRC では、FS9 を利用するために以下のような拡

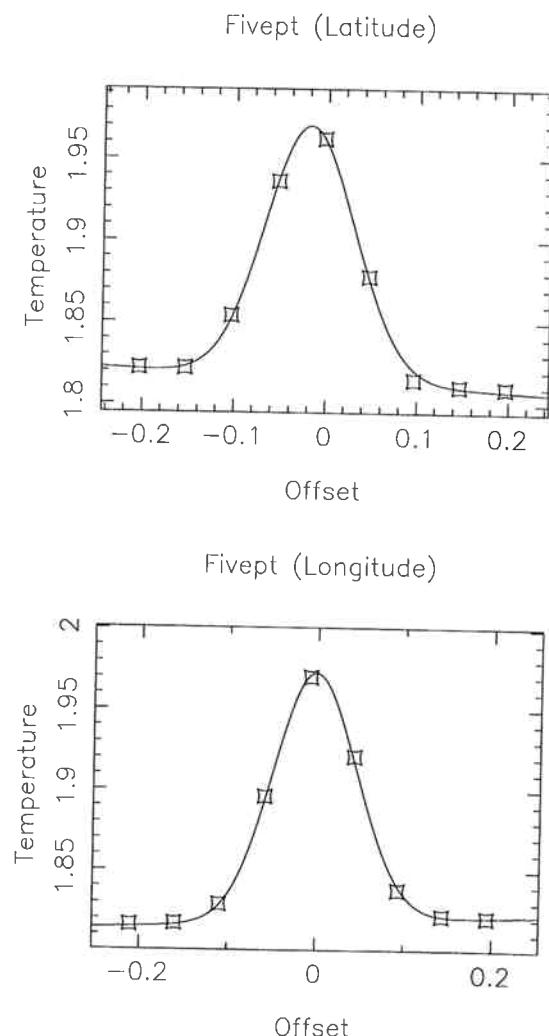
第5表 FS9で使われているPCの仕様

CPU	Pentium 200 (MHz)
RAM	32 (MB)
ハードディスク	SCSI 2 (GB) x2; 1台はバックアップ用
SCSI カード	53c8xx
ネットワークカード	3c590
Video カード	Stealth 64
OS	Debian GNU/Linux 2.0 (kernel 2.0.34)
観測機器制御	GPIB (シリアルポートから National Instruments GPIB-232CT-A を経由し GPIB 信号に変換)
アンテナ制御	GPIB (National Instruments AT-GPIB)

張作業を GSI, NASA/GSFCとの共同で行ってきた。

まず、日本で広く利用されているK-4レコーダを利用できるようにするための作業が行われた。FS9は当初米国の標準的なレコーダであるMark-IIIやVLBAに対応していたが、後にその発展型であるMark-IVや、カナダで開発されたS2レコーダへとその対応を広めていった。K-4への対応が行なわれたことにより、先進的なものを除いて、世界で利用されている代表的なデータレコーダ全てについての対応が完了した。このK-4に関する機能は、現在はまだ主流のFS9に対してK-4への拡張を施した傍系のディストリビューションになっているが、将来はFS9の主流ディストリビューションに完全に組み込まれることになっている。

次に、観測からアンテナのオフセット値を求めるルーチン(fivpt)の可視化が行われた。FS9には軸較正を行うためのソフトウェア群が最初から組み込まれている。それらを利用して、非常に容易に最終的なアンテナオフセットパラメータの決定を行うことができる。しかし、それらのルーチンの基幹部であるfivptは単に数値データを返すだけであり、個々のオフセット観測の様子について直観的に把握することは難しかった。そこで、返される数値データ(ベースラインオフセット、スロープの傾き、ガウス分布にフィットしたパラメータ)を視覚的に把握しやすくするためのサブルーチンを作成した。そのプロットの一例を第11図に示す。横軸がオフセット値(度)、縦軸が観測された温度である。また、上図が緯度方向、下図が経度方向を示している。各観測は緯度/経度共にビーム幅の0.4倍刻みの角度ごとに行われている。従ってこの図は、34mアンテナのオフセットパラメータが適切に与えられており、観測時にオフセットによる影響が非常に小さい(ビーム幅の1/10以下)ことを示している。このサブルーチンは次期K-4版FS9に取り込まれることが予定されている。



第11図 オフセット観測の一例

次に、風速を監視するルーチンの導入が行われた。鹿島 34m アンテナは、アンテナの保全のために、風速が平均 10m/s 以上であるかまたは最大 15m/s 以上であるという状態が過去 30 分以内にあれば、運用をしない（天頂に向けてブレーキをかける）ということが決められている。鹿島宇宙通信センターの気象観測データを監視し、このような条件が満たされた時には自動的にアンテナが天頂に向いてブレーキをかけるようなルーチンが開発された。

この他にも、受信機の制御や観測前の初期設定の自動化等、種々の拡張作業が現在も進行中である。FS9 はソフトウェアがソースコードで提供されているため、このような拡張作業を行ったり、また新たに開発されたものを他の観測局へフィードバックするのに非常に適したシステムである。

3.9 ACU と角度エンコーダ系

アンテナ建設当初の Antenna Control Unit (ACU) は、TTLを中心としたボードコンピュータで動作していたが経年により信頼性が低下したので 1996 年に AC3 と呼ばれる新タイプに更新している。AC3 は PC のように機能ボードにより機能拡張ができる。アンテナ制御はプログラムとして書かれ EPROM に入っている、EPROM を交換することで容易にプログラムを交換できる。CPU ボード、ポジション入力ボード等の機能ボードをマザーボードのコネクタに挿入する構成になっているので故障時も予備の機能ボードとの交換が容易にできる。

ACU のアンテナ位置制御は、モータにブレーキをかけてアンテナを停止させておく Stand by、ある一定の速度指令を送る Manual Rate (MAN RATE)、指令位置に収束するように制御される Command Position (CMD POS)、遠隔制御の Monitor and Control (MAC) のモードがある。

遠隔制御の場合、ACU は RS422 インターフェイスでアンテナ制御コンピュータから受け取った指示値と 20 ビット分解能の光学エンコーダ値とを比較しながら、誤差が小さくなるように DCPA (Direct Current Power Amplifier) に制御電圧を与える。アンテナ駆動の角速度、角加速度等の特性を ACU が制御している。モータの過電流等の保護は ADC 内の DCPA、速動ヒューズ等で行っている。

エンコーダ系のエラーによりビット落ちなどがある場合にはハンチングが生じエンコーダの取り付けが悪い場合にも追尾誤差が発生する。34m アンテナではエンコーダ電源のノイズ除去、エンコーダ取り付け軸で偏心を吸収する flexure プレートの改善などが行われた。

ACU、角度エンコーダ系はしばしば故障により運用に支障が生じるユニットであるので 34m アンテナでは

ACU、角度エンコーダ（光学ユニット、電気ユニット、電源ユニット）の予備を準備している。これにより障害時の復旧が短時間で行え、観測への支障を低減した。また、ACU の改修時には予備系で改修を確認後、現用系に切り替えることで、効率よく作業が行えるようになった。

3.10 コンプレッサー系

冷却受信機では、コールドヘッドと呼ばれる冷凍機に圧縮したヘリウムを供給しその膨張サイクルで真空断熱下から吸熱し LNA を極低温とする。これまで 3 台あるコールドヘッドのために使用するヘリウムガス (He) の圧縮機は米国製 3 台のうち 2 台を組み合わせて交互運転を行っていた。これらが老朽化したので 2000 年より国産 2 台の He 圧縮機の交互運転に切り替えた。

He 圧縮機室は圧縮機からの廃熱を屋外に排気するためにファンが設置されている。当初、空気の流れは暖まった空気の自然な流れの方向に合わせて上部にあるファンから排気（従って、下側通気口から吸気）していたが、砂、塵埃等を下部吸気口から室内に吸い込むことが多く圧縮機のトラブルが発生した。そこで空気の流れを上部から吸気（従って下側から排気）となるように変更した。また、上部吸気口には簡易な空気フィルタを設置して定期的に交換するようにした。

34m アンテナでは He 圧縮機室と受信機デュワーに取り付けられている冷凍機が 50m 以上離れているため He パイプの管路損失や He パイプ自体の暴露による劣化、He ガスのリークが可能性として存在する。これは一次焦点に受信機を置くシステムにおける不利な点である。

3.11 副反射鏡 5 軸駆動機構の改良

34m アンテナでは副反射鏡の位置を変更するため 5 軸の駆動機構が採用されている。5 軸機構は DC モータ、電磁ブレーキ、1:6 減速機、ウォームギアによるアクチュエータからなり、X, Y, Z1, Z2, Z3 軸が制御できる。その位置は LVDT (Linear Variable Differential Transformer) により読み出され、AZ 機器室にある Sub-reflector Control Unit (SCU) からリモート制御される。Sub-reflector Drive Cabinet (SDC) からのマニュアル制御もできる。電磁ブレーキのソレノイドコイルがまれに焼損することが発生し、その原因がブレーキの取り付けにあったので、改善した。この副反射鏡 5 軸駆動機構は 34m アンテナでも、もっとも厳しい環境下に置かれるため、2 年に一度、大型重機を用いて副反射鏡と 5 軸駆動機構一式を地上に降ろしてメンテナンスを行っている。

3.12 AZレール周辺とボルト交換

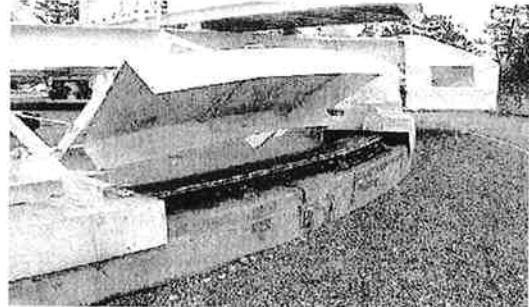
34m アンテナは昭和 62 年度（1987 年度）に建設されたが、1992 年頃には AZ レール上面にあるウェアストリップの摩耗が大きくなり、ホイール走行面が 1mm 程

度摩耗したので、ウェアストリップを交換した。この時にウェアストリップの土台となるベースプレートを研磨している。

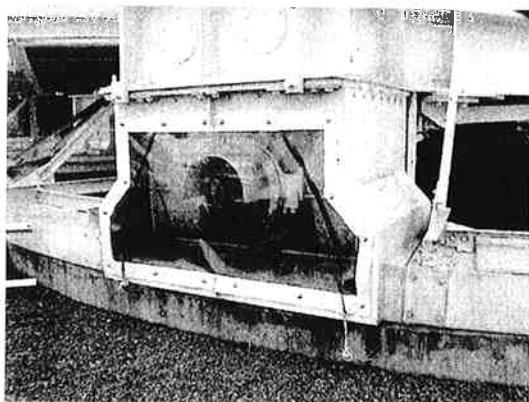
また、ウェアストリップ交換に合わせて暴露されていたAZレール全面を覆うステンレスのカバーを設置した。(第12図)これによりウェアストリップが直接雨滴にさらされることがなくなった。加えて羊毛脂を主成分とするオイルを塗油している。地上に近いAZレールへの塗油は塵埃や砂埃等の付着によるレールの摩耗の可能性があるが鹿島では腐食の進行を低減させることを優先して塗油を行い、良好な状態が保たれている。

1997年頃よりウェアストリップをAZレールの基礎であるベースプレートに固定しているボルトの折損が発生するようになり、随時交換していた。2000年の定期保守時には交換した新しいボルトにも折損が発見された。このボルトはヘキサゴナルボルトで繰り返し荷重と応力集中から折れているので、今後、形状を変更して首の部分を強化したボルトを使用する。

1997年には折れかけたボルトがウェアストリップ上の障害物を除去するスクレイパーに当たりスクレイパーが破損することがあったので、ホイール部分が容易に目視できるようにホイール部分のカバーをステンレス製の網に変更し、レールカバーも容易に開閉できるように工



a) AZ レールカバー



b) ホイールカバー

第12図

夫した。しかし、ホイールカバーの変更は、網のため雨水が浸入することになり、着脱も容易ではないことから、1998年に透明ビニール製のカバーを取り付けた。容易に目視、点検できること、雨水が侵入しないことが実現できた。この例に見られるように細かい改良が加えられている。

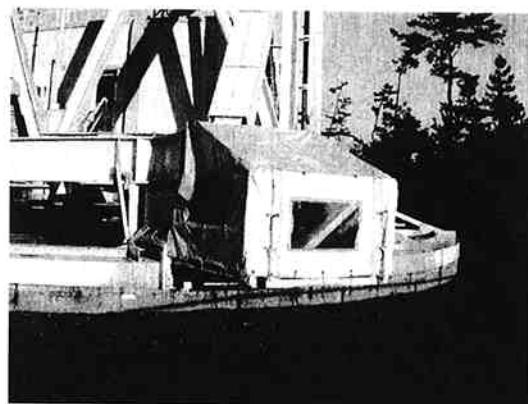
3.13 駆動モータ

34mアンテナはAZに4基、ELに2基のモータを使用して駆動している。4台のAZモータは2台づつが組になって4つあるホイールのうちの2つに付けられている。

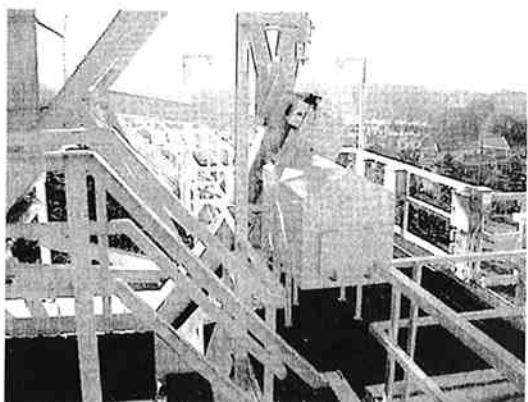
モータは電磁ブレーキ、軸の偏心を吸収するチェーンカップリング、減速するためのサイクロドライブを経てホイールを駆動する。2つのモータはそれぞれ対になって取り付けられており、バックラッシュを防止するためトルクバイアスがかけられている。

ACUから速度信号はADC内にあるDCPAで増幅されてモータを駆動する。ADC内にあるロジックボードで各モータ間のトルク差が発生するようにトルクバイアスがかけられる。

駆動用のAZ、ELモータは開放型のため腐食、絶縁



a) AZ モータカバー



b) EL モータカバー

第13図

低下のトラブルがしばしば発生するので第13図のようなカバーを設置した。AZモータのカバーは構造部を利用してテント生地で製作した。ELモータカバーは金属製である。モータの冷却を考慮したことと、またいざれも窓を付け観測者でも容易に異常の発見ができるようにした。年に1回の定期保守でアーマチュア、フィールドコイル、コミューターのメンテナンスを行うとともに予備モータを準備することで機能を維持している。

3.14 リミット機構の改善

34mアンテナでは以前、あってはならないことだが、AZリミット系の障害により捻回ケーブルを損傷するトラブルが発生している。AZ軸は柔軟な観測を可能とするため北を中心に±359度回転できる構造になっている。そして時計回り(CW)、反時計回り(CCW)ゾーンの判定と組み合わせてリミットが動作する構造になっている。普通のアンテナではあり得ない大きな捻回状態でもCW、CCWいずれかの値を取り得るためゾーン判定を誤るとトラブルになる。そこで、まったく別系統として捻回ケーブルに沿わせたワイヤーが巻き取られておよそ±270度で動作するリミットスイッチを追加した。さらに捻回ケーブルに沿った電線が切断されると動作するリミットスイッチも設置した。オリジナルの1次、2次リミットに加えて、4重の安全装置になった。

ELリミット系も風雨にさらされる構造になっているので、ファイナルリミットを追加した。以上によりオリジナルのプレ、1次、2次リミットと合わせて、4重になった。通常の計算機からのリモート制御ではさらにソフトウェアリミットもあるので5重の安全装置となる。

保守予算が手当でされて年1回の定期保守でリミットスイッチ、ゾーン判定機構等の保守を実施することで1次リミットを越えるようなことはもちろん最終リミットが動作するようなことも発生していない。

3.15 アンテナ制御線の光ファイバー化

34mアンテナでは、アンテナ側はACUが指示されたAZ、ELに対してアンテナが指向するというところで切り分けられており、アンテナ制御計算機がその指示値を随時送信することになる。これまでにはアンテナ制御計算機はRS422信号をメタルケーブルで伝送していた。この線は落雷により、アンテナ制御計算機あるいはACUの故障を誘発する可能性がある。そこで、1997年に観測室からAZ機器室までのケーブルを光ファイバ化した。その後、雷によるRS422 I/Fの故障はない。

3.16 AZ捻回部地下室換気ファンの設置

AZ捻回部は地下にあるため雨水等を排水するためにポンプが設置されている。また、分電盤もあるので、乾燥するように地下室入り口に換気ファンを設置した。地下室内部にも空気を攪拌するように送風ファンを設置した。これにより乾燥が保たれる。また、酸素欠乏、ガス

第14図 WWWのCGIでインタラクティブに34mアンテナ使用予約が行える

中毒等の心配もなくなった。

3.17 WWWによる運用予定の公開

34mアンテナの運用予定は研究室のホワイトボードに掲示して一元的に管理していた。研究室外との共同実験を行う場合は、電話、fax等により研究室の担当者にアンテナ空き時間の確認をしてから申し込みが必要であった。

定期的な保守が行われアンテナが安定して運用できるようになったこともあり、研究室外のアンテナ利用が半数を超えるようになりWWW(World Wide Web)で運用予定を公開して外部からも予約を受け付けるとともに予定を確認できるようにした。

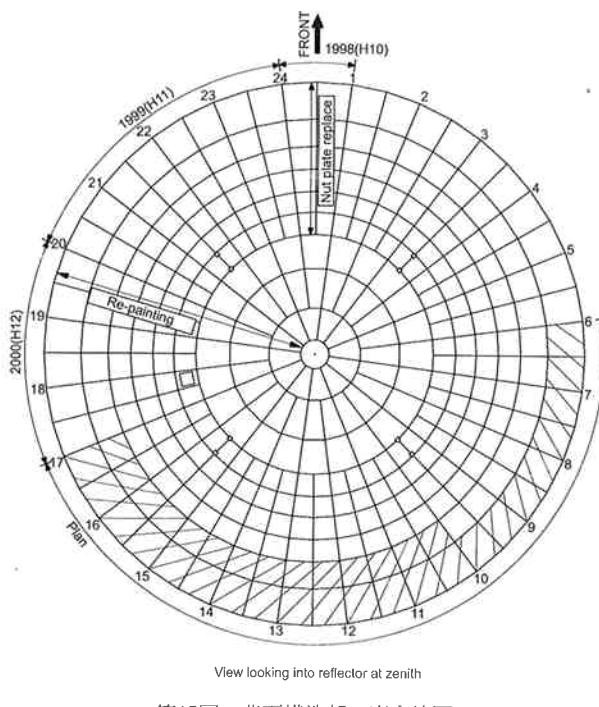
34m Radio Telescope Operation Schedule

<http://www.crl.go.jp/ka/radioastro/plan34m.html>

また、第14図のようにWWWのCGI(Common Gateway Interface)を使用してインタラクティブにアンテナの使用予約を受け付けるようにした。空き時間の確認に担当者が煩わされることなくなり、また共同研究者は観測が割り当てられたことを直接確認できるようになっている。

4. 残る問題点

34mアンテナでは予算で許される限り、2~3年ごとに補修塗装、防錆処理を行っているが主反射鏡背面構造部の腐食が進行し、これが構造上の大問題になっている。特に中心から放射状にのびるトラスと円周上に配置されているフープの接合部の腐食が著しい。これは鹿島という臨海工業地域で常に潮風と工業地域からの亜硫酸ガスにさらされる結果であると考えられる。第15図に示すように腐食の進行している部分をH10年度からH12年度にかけて1/3程度の対策を行った。背面構造部のケレン補修塗装と溶接補修を行っている。また、背面構造部と主鏡パネルを固定しているパネルサポートのナットプレートにも腐食があり、補修塗装に合わせて



第15図 背面構造部の腐食範囲

ステンレス製のナットプレートに交換している。今後は特に腐食が著しい最外周部を先行して対策を行う予定である。

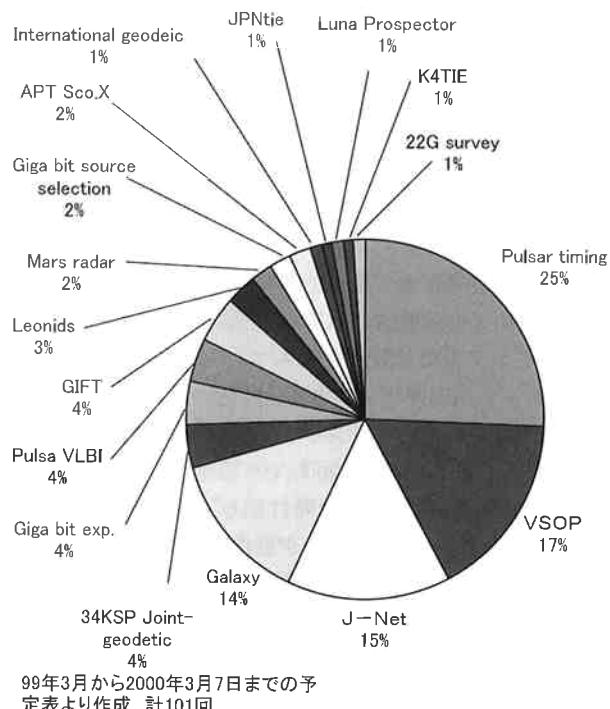
5. 運用時間分析

第16図に1999年3月からおよそ1年間のアンテナ使用頻度を示す。パルサーティミング観測は通信総合研究所小金井本所時空計測研究室の観測であり、VSOP、J-Netは外部との共同研究であり、これらでは運用者を外部機関から派遣してもらっている。時間、電波天文、測地、ギガビット装置開発等、多岐に渡った観測が行われている。また、このように大半の観測が外部運用者により実施されているが問題が発生しないのは定期保守によりアンテナが安定して使用できるようになり、また運用体制も整ってきたためである。その他の時間は装置の開発、改良、保守点検、修理、調整等に使用されている。

ほとんどの機能が遠隔制御可能であるが運用前には必ずアンテナ運用前チェックシートにより点検を行う。アンテナ外観、AZレール、ヘリウム圧縮機、駆動制御機器、受信系機器、受信機室内機器、等の点検を行う。また、運用中は駆動モータの過熱、異音等についても点検する。これらの点検は正常にアンテナが運用され観測が成功するだけでなく異常の早期発見により障害を最小限にすることに役立っている。

6. 運用体制

国立天文台野辺山宇宙電波観測所の45mアンテナ、宇宙科学研究所臼田宇宙空間観測所の64mアンテナは



第16図 34mアンテナの使用頻度

アンテナ建設メーカーの支援を受けて運用している。一方、34mアンテナは通常の運用は研究所のメンバーのみで行っている。人手不足を解決する方法として、共同研究機関から観測時の運用者の協力を受けている。また、科学技術振興事業団の研究支援者の制度により2名をアンテナ専門スタッフとして活用している。

定期保守、補修作業はアンテナ輸入代理店に依頼して実施している。しかし、技術的に高度な内容は米国の製造会社からの支援を受けなければならず、この場合には応答に時間がかかるのが実状である。

7. まとめ

34mアンテナを使用した観測の参考になるように建設当初から変更が加えられた部分を中心に述べた。また変更がない部分も概要を記してアンテナシステムの理解に役立つように記述した。

定常保守経費が得られて定期保守、補修が行われた結果、ここ数年はアンテナの信頼性が高まりアンテナに起因する観測失敗はほとんど発生しなくなっている。また運用信頼性の向上は外部オペレータでの観測も可能にして、アンテナリソースを有効に活用できている。信頼性の高いアンテナ運用を行うには今後も継続的な保守が重要であると考える。

謝辞

34mアンテナ運用に当たり関連する会社、共同研究機関の関係者の協力に感謝する。また、定期保守、補修

契約では鹿島センターの管理課、本所の総務部の方々に感謝する。

参考文献

- (1) 小山泰弘、高羽 浩、栗原 則幸、川口 則幸，“II.2 鹿島局 34m アンテナシステム、西太平洋電波干渉計システムの開発”，通信総研季 36 8, pp.39-50,

January 1990.

- (2) “首都圏広域地殻変動観測システム特集号”，通信総研季, 42, 1, March 1996.

- (3) 高羽 浩、小山泰弘、今江理人，“IV 34m アンテナ試験観測結果、西太平洋電波干渉計システムの開発”，通信総研季, 36, 8, pp.131-139, January 1990.