鹿島34mアンテナ 2003年

年次報告書

通信総合研究所 電磁波計測部門 宇宙電波応用グループ



目 次

1	はじ	めに	1
	1.1	略語集	2
	1.2	主要諸元....................................	2
r	240		4
Z	340		4
	2.1		4
	2.2		5
	2.3	34m アンテナのハックエンドシステム	6
3	運用	状況	10
	3.1	2003 年運用状況	10
	3.2	マニュアル整備	10
4	保守	?状況 1	2
	4.1	定期保守	12
		4.1.1 機械系	12
		4.1.2 付帯設備	12
		4.1.3 電気系	13
		4.1.4 駆動モータのローテーション	14
	4.2	保守方法の検討と改善・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	14
		4.2.1 副反射鏡リニアベアリングの給脂	14
		4.2.2 副反射鏡位置の読み取り変動	15
		4.2.3 保安系統の常時モニタ	16
		4.2.4 重要予備品の準備	16
	4.3	修理・補修	18
		4.3.1 副反射鏡周辺部の補修	18
		4.3.2 副反射鏡表面の剥離	18
		4.3.3 LVDT 用コネクタ交換	20
		4.3.4 背面構造部の補修溶接	20
		435 ナットプレートの交換 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	-0 22
		436 S/X 告トロリーのリーアベアリング	 ??
		4.3.7 A7 レールボルトの折損について	22 22
			20 04
			94 94
		4.3.9 AZ レールカバーの例示 ····································	24 04
		4.3.10 AZ、ELカーハーフィドスイッチの文字	24 04
		4.3.11) 備 ACU の用度八刀刀一「取障	24 96
		4.3.12 34m S/A-band 世相戦止信亏光主部 (PCal) の不具言調査	20 20
		4.3.13 休女系統の絶縁不良 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	28 20
		4.3.14 AZ 毗 追尾訣差	29
		4.3.15 副反射鏡動的制御政障	30
		4.3.16 AZ 町のエンコータ 電気ユニット故障	30
		4.3.17 LNA 等温度の取得不良	30
		4.3.18 ETR 空調故障	30
		4.3.19 ヘリウム圧縮機電源プラグ腐食	31
		4.3.20 屋外コンセントの交換 : : : : : : : : : : : : : : : :	31

		4.3.21 アンテナ制御計算機故障	31
	4.4	発生している不具合現象....................................	31
		4.4.1 EL 軸ハンチング	31
		4.4.2 S/X 帯受信機出力変動	31
		4.4.3 駆動モータ用直流電力増幅器の過電流警報	31
		4.4.4 X-wH 系の T _{sys} の増加	33
_			
5	シス		35
	5.1		35
		 b.1.1 副観戦リ外し削後の測定重めよび測定力法 b.1.1 副観戦リ外し削後の測定重めよび測定力法 	35
		5.1.2 X,Y 成分の変位セナル	36
			37
		5.1.4 副鏡制御機構により Z1 軸,Z2 軸,Z3 軸の XY 座標を求める方法	37
		5.1.5 副鏡上面円の幾何字的中心の測定法	38
		5.1.6 副鏡較正結果	38
	5.2	高温超伝導フィルタによるS帯混信の改善	38
	5.3	デハイドレータ更新	41
	5.4	32GHz 受信機出力変動	44
	5.5	2040MHz 受信試験	44
	5.6	同軸スイッチによる K 帯,Ka 帯,Q 帯切換システム....................	45
	5.7	34m アンテナ遠隔監視・障害発生通報システムの開発	45
	5.8	SCU 改良	47
	5.9	22、32、43GHz 帯のシステム雑音温度測定用常温電波吸収体の設置	47
	5.10	FS9 時計モデルパラメータの改善	48
6	今後	の保守計画	50
Ū	61	2004 年保守計画	50
	6.2		50
	0.2		00
7	終わ	っりに	51
А	付録		52
	A.1	アンテナのステータスメール送信方法....................................	52
	A.2	バックエンド切り替えコマンド・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	52
	A.3	観測制御計算機 Field System 9(FS9) からの受信機制御	52
		A.3.1 受信機制御のための設定	52
		A.3.2 受信機制御のためのコマンド	53
		A.3.3 受信機制御のスケジュールへの組み込み	54
		A.3.4 まとめ	54
	A.4	22GHz 軸較正観測方法	54
	A.5	重要予備品状況	56
R	宇宙	「雷波応田グループ成里論文(発表)リスト(2003年1日-12日)	58
	υЩ		55

1 はじめに

34m アンテナ(図1)は、西太平洋域でのプレート運動の実測を目指した西太平洋電波干渉計プロジェクトの主 アンテナとして、1987年度補正予算により通信総合研究所鹿島宇宙通信研究センター(茨城県鹿嶋市)に建 設されたアンテナである。その後、測地的成果だけではなく電波天文分野においても多くの成果を生み出してき ており、国内外からその重要度が認知されている。定期的な保守により安定に運用されているアンテナではある が、建設後、15年が経過して老朽化も進んでいる。

この報告書は2003年のアンテナ使用状況、保守、修理、改修等を記述することにより、アンテナの現状を 把握するとともに、今後のアンテナの安定した運用に資することを目的としている。



図 1:34mアンテナ

1.1 略語集

本年次報告で使用する略語は以下の通りである。また、アンテナ各部の名称を図2に示す。

ACU	Antenna Control Unit
ADC	Antenna Drive Cabinet
AOS	Acousto-Optical Spectrometer
AZ	Azimuth
CCW	Counter-Clockwise
CW	Clockwise
DCPA	Direct Current Power Amplifier
ESA	European Space Agency
EL	Elevation
ENC	Encoder
ETR	Elevation Tilting Room
FS9	Field System version 9
HTS	High-Temperature Superconductor
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000
IOC	Instantaneous Over Current
J-BOX	Junction Box
JIVE	Joint Institute for VLBI in Europe
KSP	Key Stone Project
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NICT	National Institute of Information and Communications Technology
PIC	Peripheral Interface Controller
PICNIC	PIC Network Interface Card
Pcal	Phase calibration
RBW	Resolution Band Width
RIC	Receive-band Interchange Computer
RSD	Reference Signal Distributor
SCU	Subreflector Control Unit
SDC	Subreflector Drive Cabinet
SEFD	System Equivalent Flux Density
SNR	Signal Noise Ratio
SRD	Step Recovery Diode
Tlim	Travel Limit
TP	Technical Power

1.2 主要諸元

34m アンテナの主要諸元を表1に示す。大型アンテナであるが電波星を高速に切り替えて、単位時間あたりの 電波星観測数を増やすことにより測地 VLBI の精度を向上させるため、このクラスのアンテナとしては大きな駆 動速度 (AZ:0.8°/s) を有する。またワイヤーラップ範囲が通常のアンテナに比べて大きな範囲に取られているた め、天体切り替えにおいて柔軟な追尾が可能である。さらに副反射鏡位置の5軸制御機能により、焦点位置を切 り替えることによって多数の周波数帯での受信が可能となっている。なお仰角は90度まで駆動可能だが、ソフ トウェアにより天体の追尾は88度までに制限されている。



図 2:34mアンテナ各部の名称

主反射鏡開口径	34.073 m			
緯度	北緯 35°57 05.76			
経度	東経 140°39 36.16			
アンテナ中心海抜高	43.6 m			
ITRF2000 における位置と速度	位置 (m)	速度 (m/年)		
(1997年1月1日での値)				
	$\rm X:-3997649.227\pm.003$	$0003 \pm .0004$		
	$Y: 3276690.754 \pm .002$	$.0052\pm.0003$		
	$\rm Z:3724278.825\pm.003$	$0118\pm.0005$		
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			
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 (AZ) 方向	北 ± 270 °(自動運用中)			
仰角 (E L) 方向	7 °~90 °			
副反射鏡 5 軸駆動制御範囲	各軸 ± 60mm			
最大駆動角速度 A Z	0.8°/s			
EL	0.64°/s			
製造	米国 TIW (現 VertexRSI)			

表 1:	34mアンテナの主要諸元
------	--------------

2 34m アンテナの現況

2.1 受信機性能

34 mアンテナの受信周波数帯と受信系の性能を表2に示す。L帯の当初の受信帯域は、1.35~1.75GHzであったが、1.5GHz付近に入る混信を除去するため、現在はLNA出力とD/C入力の間に表3に示すフィルタのいずれかを挿入して受信している。主に中心周波数1400MHz、帯域幅100MHz、11段のフィルタを使用している。

S帯は第3世代携帯電話、IMT-2000 による混信対策のために常温のキャビティフィルタ (通過帯域 2250~2350MHz)を使用していたが、挿入損失が小さく、遮断特性に優れ、遮断帯域での減衰量も大きい、高温超伝導 (HTS)フィルタを設置した。HTSフィルタにより混信波のすぐ近くの周波数域まで受信帯域を拡大することが可能になり、混信の除去に必要な減衰量を確保して、かつ、国際測地実験で受信が必要である 2218MHz も受信可能となった(詳細は「5.高精度化への取り組み」を参照のこと)。

バンド	周波数	T _{rx}	T _{sys}	受信偏波
	(GHz)	(K)	(K)	
L	1.35 - 1.75	18	45	L/R
S	2.193 - 2.35	19	72	L/R
С	4.60 - 5.10	25	108	L
X-n	8.18 - 8.60*	41	52	L/R
X-wH	8.18 - 8.60 #	41	65	L/R
X-wL	7.86 - 8.36 #	40	61	L/R
Κ	21.80 - 23.80	105	141**	L(R)
Ka	31.7 - 33.7	85	50	R(L)
Q	42.3 - 44.9	180	350	L(R)

表 2: 受信機雑音温度 T_{rx} とシステム雑音温度 T_{sys}

*:8GHz LNA 通常帯域用 #:8GHz LNA 広帯域用

**: IF 出力をパワーメータで測定することにより得た値

K帯受信機ブロックダイアグラムを図3に、デュワー内部接続を図4に示す。受信偏波はLHCPであるが、 デュワー内部の導波管接続を変更することによりRHCPも受信可能である。K帯はデュワー入力部分に水滴が 付着して受信機雑音温度(T_{rx})が上昇することがあるので(T_{rx}が225Kの例があった)、観測前にはノイズダイ オードによりシステム雑音温度(T_{sys})の測定を行い、受信機状況を確認することが望ましい。T_{sys}が上昇してい た場合はデュワー接続部の導波管を取り外して水滴を吹き飛ばす作業が必要である。現在、水滴付着防止方法を 検討中である。



図 3: 22GHz 帯受信機ブロックダイアグラム

中心周波数	帯域幅	段数	備考
(MHz)	(MHz)		
1400	100	11	11EZ4-1400/100-S, LORCH, 常用
1400	100	8	8B250-1400/T100-0/0, K&L
1700	200	8	8B250-1700/T200-0/0, K&L
1400	100	4	4B250-1400/T100-0/0, K&L
1600	100	4	4B250-1600/T100-0/0, K&L
1650	200	4	4B250-1650/T200-0/0, K&L
1700	100	4	4B250-1700/T100-0/0, K&L

表 3: L 帯用フィルタ



図 4: 22GHz 帯デュワー内部接続図

Ka 帯受信機ブロックダイアグラムを図 5 に、デュワー内部接続を図 6 に示す。 Ka 帯は 2002 年 12 月 25 日に Taurus A による初受信 (ファーストライト) に成功して、その後、2003 年は木星等を受信して副反射鏡較正を試 行した。受信偏波は RHCP であるが、デュワー内部の導波管を交換することで LHCP も受信することが可能で ある。

Q帯受信機ブロックダイアグラムを図7に示す。K,Ka,Q帯はシステム雑音温度を優先した設計として、導波 管をホーンからデュワーに直結したため、較正系がない。そこで、ホーンの上を電波吸収体で覆うことで較正を 行うことができる。Sky/Hotの切り替えはETRからローカル制御、観測室からのリモート制御が可能である。

2.2 追尾誤差

観測日時 (UT)	周波数帯	残差 (rms) AZ	残差 (rms) EL	軸較正パラメータ
		(1/1000 度)	(1/1000 度)	更新日時 (UT)
9/10 7h ~ 9/11 8h	Х	3.88	3.08	$2003 \ 9/12 \ 09{:}03$
$11/14 \sim 11/16$	Q	2.66	2.40	$2003 \ 11/17 \ 08{:}28$
11/11,13 12/2,5,8,10,11	K	2.84	2.93	2003 12/12 08:24

表 4: 軸較正結果



図 5: 32Hz 帯受信機ブロックダイアグラム



図 6: 32GHz 帯デュワー内部接続図

アンテナ角度エンコーダの読みと実際にアンテナビームが指向する方向は種々の要因(例えば、重力変形や、 エンコーダの偏芯誤差等)により異なっている。そのため、角度エンコーダの読みにある補正量を加えることに より実際のビーム指向方向が正しくなるように調整する。この補正量を求める観測を軸較正観測と呼ぶ。

2003年は副鏡を降ろして保守を行ったので、副鏡位置較正後、順次、軸較正観測を行って、各周波数帯の軸較 正を実施した。表4はこうした軸較正観測により補正を行った後の最終的なアンテナビーム指向誤差を示してい る。34m アンテナの指向誤差は S/X 帯では AZ 方向には約4/1000 度、EL 方向には約3/1000 度である。

観測周波数帯とFS9 起動コマンドおよび使用される軸較正パラメータファイルの関係を表5 に示す。Ka帯用の起動コマンドとしてfs32を2003年1月に作成した。34m アンテナは多周波受信を行うために、トロリーと呼ばれる台車により受信機を焦点位置に移動する構造となっているが、1つのトロリーに複数の受信機が搭載されているトロリーでは真の焦点に位置しない受信機もある。Ka帯受信機のホーンはS/X帯等と同じ真の焦点に位置する受信機であるので、軸較正パラメータファイルは暫定的にS/X帯用のパラメータを使用している。

なお軸較正パラメータファイル等の変更は FS9 起動コマンドにより行われるのでオペレータが意識する必要はない。

2.3 34m アンテナのバックエンドシステム

鹿島 34m アンテナで利用可能なバックエンドは、K3、K4、Mk-IIIA、S-2、K5、そして K5/VSI(ギガビット 系)が準備されている。34m アンテナシステムでは、VLBI 技術開発センターの開発成果の評価検証という位置





周波数帯	FS9起動コマンド	軸較正パラメータファイル
L, S/X	fssx	mdlpo.ctl.sx
С	fs5G	m mdlpo.ctl.c
Κ	fs22	m mdlpo.ctl.k
Ka	fs32	mdlpo.ctl.ka
Q	fs43	mdlpo.ctl.43g

表 5: 軸較正パラメータファイル

付けから様々なバックエンドが用意されており、これが多様な VLBI 観測への対応を可能にしている。本年次報告書では、これらのバックエンドの種類と概要について説明する。バックエンドの詳細については説明書が個別に準備されている。

トータルパワー計測システム 電波望遠鏡としては基本となる測定システムである。34m アンテナ IF 信号の全 電力、または任意の周波数から 2,4,8,16MHz などの帯域を選択し、受信電力を計測することができる。トータル パワーシステムにより天体の単一鏡によるポインティング、システム雑音などを計測することができる。測定は フィールドシステム(望遠鏡及び測定装置の制御ソフト、名称 FS/9)により自動化されている。

K4(KSP) システム 定常的に稼動している VLBI データ取得系である。通信総研の開発した 64/128/256Mbps の磁気テープによる観測システムで、自動でテープを交換するロボットにより無人テープ交換運用が可能で ある。100-600MHz または 500-1000MHz の IF 帯域から任意の 16 チャンネルをベースバンドに変換した後、 DFC2000/DFC2100/DFC1100 という AD サンプラで記録する。K4 システムは測地観測で用いられている標準 的なシステムとして、1996 年 ~ 2001 年までの首都圏広域地殻変動観測計画 (KSP) での定常観測、各種測地実験 で使用されたほか、国土地理院に技術移転され我が国の測地網維持に大きく寄与している。運用はフィールドシ ステムから自動的に行われる。

VSOP システム 宇宙科学研究所が VSOP 観測の為に国立天文台と供に整備したシステムでデータレートは 128Mbps である。IF からは 32MHz 幅を AD コンバータの高次モードと呼ばれる周波数に切り出すサンプライン ターフェース、AD コンバータ DFC2000、および TCU と呼ばれる時系制御装置が併用される。制御は CFS と 呼ばれる Windows のソフトウェアから行う。テープデッキ部及びテープ自動交換ロボットは K4 のものが共通に 使用できる。VSOP 衛星の観測頻度が低下し、J-Net 国内 VLBI 観測網で使用されることが多い。



図 8: K4(KSP) システム 左側に局部発信器、ビ デオコンバータ、AD サンプラがあり、右側は自動 テープ交換ロボットである。 256Mbps のデータレートで記録が可能である。

Mk-IIIA システム 米国 Haystack 観測所で開発されたシステムでオープンリール磁気テープを用いる記録シス テムである。56Mbps の記録が可能である。フィールドシステム FS/9 により自動運用が可能であるが、テープ 交換は人間が行う。現在は IVS-T シリーズという地球回転モニタ観測で使用されている。鹿島にあるレコーダ部 は thick テープという厚いテープを用いているが、米国の再生側では thick テープのレコーダが減りつつある。

S-2システム カナダ、オーストラリアで開発された、VHS カセットを並列化した観測装置である。最高 128Mbps の観測記録が可能である。ネットワークから Telnet ターミナルを使用した操作、及び FS9 からの制御が可能である。S-2 レコーダは低ビットレートから高ビットレートまで多くの記録モードがある。現在、16V8-2 という VSOP モードでの記録によるフリンジがオーストラリアとの VLBI 実験で確認されている。

K5 システム AD コンバータが PC のインターフェースに搭載されている為、PC1 台当たり 4ch 入力で構成される新世代のバックエンドである。PC1 台当たり 64Mbps までのデータを取得しハードディスクに記録する新世代 VLBI システムである。

またデータはソフトウエアにより相関処理が行われる。相関処理ソフトウエアは K5 システムの一部として JIVE(Joint Institute for VLBI in Europe) にライセンス提供された他、現在も高速化のための分散相関処理技術 の開発が進められている。

データの相関処理は、これまでのテープ観測で培われた VLBI の解析処理系にインターフェースされており、 スムーズな解析処理が可能となっている。このシステムも技術移転が行われており、国土地理院、大学等でも採 用されつつある。

国内測地実証実験や米国 MIT の Haystack 観測所との間での VLBI 実験により測地システムとしての性能が確認されている。その他、チャンネル数とデータレートの選択の自由度を生かして狭帯域の電波源である衛星と電波天体を受信して飛翔体位置を決定する研究開発が進められている。

K5/VSIシステム PC アーキテクチャで 1024Mbps (最大 2048Mbps)のデータを取得する次世代システムで、 1ch,1Gbpsのサンプラ (ADS1000)、16ch,64Mbpsの多チャンネルサンプラ (ADS2000)の2種が準備されている。 国際標準インターフェースを共通的なデジタル I/F として、Linux上で高速な RAID ハードディスクにデータ取 得を行いながら、同時に高速ネットワークへの送出や、データ処理など極めて高い性能を PC のアーキテクチャ へ与えることに成功した。データ量が膨大である為、相関処理には超高速ソフト相関コアが別途開発されている。 平成 15 年度に構成した標準的なシステムは 2TB の記録容量を持ち、ディスクの交換なしに 3 時間程度の連続観 測が可能である。サンプラ部は国立天文台、記録部は大学などでも開発実験用に採用されている。このシステム を使用した実証観測のためフィンランドとの VLBI 観測を行っている。



図 10: K5/VSI システム 左上が 16ch、64Mbps/ch のサンプラ ADS2000、右上が 1ch、1024Mbps/ch のサンプ ラ ADS1000 である。それぞれの下の PC のハードディスクは 2TB の記録容量を持つ。

ギガビットシステム 通信総合研究所で開発され、1024Mbpsのデータレートで磁気テープへの記録による VLBI を安定的に行っている世界トップレベルの観測装置である。ギガビット AD サンプラ、ADS1000 および磁気レ コーダ GBR1000、メモリ装置 DRA2000VSI、または新型レコーダ GBR2000D を組み合わせて、ネットワーク と ftp によるデータ伝送を使用して観測直後のフリンジチェックが可能なシステムとなっている。この装置は広帯 域であるので 512MHz 以上の帯域幅がある X バンドや K バンドなど高い周波数での観測を主なターゲットとし ている。制御は GS-cnt という統合ソフトウェアが Linux 上より行い、ロボットによるテープ交換が可能である。 24 時間観測のデータ処理はギガビット用の高速ハードウエア相関器 GICO2 による相関処理システムを使用する。

AOS 分光システム 共同研究上鹿児島大学が中心となって開発した AOS(音響光学型)分光装置が整備されて いる。微弱なメーザー天体などの観測に用いている。ミリ波観測時の軸較正観測システムに組み込まれ不可欠の 装置となっている。今後デジタル化への移行も検討されている。

デジタルスペクトラムアナライザ 操作が簡単な積分機能を使って深宇宙衛星信号の可視化等に活用している。

パルサータイミングバックエンド 時間周波数計測グループによるタイミング計測用のバックエンド装置が設置 されている。この装置では口径比でアレシボに迫る精度でのパルサータイミング観測が継続的に実施されている。

3 運用状況

3.1 2003 年運用状況

2003 年1月から12月までのアンテナの観測目的別使用頻度を図11 に示す。観測時間の長短等の違いはある が、一度の観測を1回として集計した。パルサータイミング、飛翔体観測等の宇宙における時空標準基盤技術の 研究プロジェクトに関連した観測に多くの回数が費やされている他に、国内共同や国際測地等の共同研究、国際 協力の観測にも使用されている。

この図で示した統計には含まれていないが図 12 の運用予定表の例に見られるように装置の開発、改良、保守 点検、修理、調整等にも多くの時間が費やされており、年間 100 回以上の観測を支えている。



34mアンテナ2003年運用回数

図 11: 2003 年の 34m アンテナ運用回数

3.2 マニュアル整備

34m アンテナは外部機関も含めた多くの運用者によって観測に使用されている。毎年の定期保守を実施することにより、ここ数年前はトラブルの発生頻度は少なくなったが、発生したトラブル情報を共有して各運用者が円 滑にトラブルに対応できるようにするため、トラブル対処方法等のマニュアルを整備している。2002年までに整備したマニュアルは以下の通りである。

- (1) EL MINOR FAULT 表示時の対処法
- (2) 43GHz 受信機電源切断方法
- (3) FS9 から program コマンドを実行してもドライブ ON が不可の場合の対処法
- (4) FS9 で Cannot allocate memory が発生した場合の対処法
- (5) アンテナが停止した場合の対処法
- (6) トロリーが動かない場合の対処法
- (7) E-stop が表示されて動かない場合の対処法
- (8) SCU ソフト操作法
- (9) SCU ソフト異常時の対処法

يلية. درينين	¥ 192 		iuiuastro.	/piano4m=0011.ntml
20	03 I	Nov		
DAY	· 	EXPERIMENT(UT)	BAND	OPERATOR
1	SAT			
2	SUN			
3 1	THE	Public Holiday	e /v	U. Oaski and V. Kous
4 5	WED	105-0RF23 1730-	0/A	H. Osaki and Y. Koya
6 6	THU	calibration subref 43GHz	0/1	Nichida Ingenata
7	FRI	Pulsar Timing 0200-1000 calibration subref 43GHz	S/L Q	Han ado/Nakagawa/ Tabuchi Imai Nishida Inomat
8	SAT	calibration subref 43GHz	Q	Imai, Nishida, Inomat
9	SUN	calibration subref 43GHz	Q	Imai, Nishida, Inomat
10	MON	calibration subref 43GHz	Q	Imai, Nishida, Inomat
11	TUE	calibration subref 43GHz Hayabusa 1000-1100	Q X	Nishida, Inomata
12	WED	maintenance subref 0000-0800 maintenance antenna control PC 0600-0800		
13	тни	maintenance subref 0100-0300 calibration subref 43GHz		
14	FRI	Pulsar Timing 0100-0900 Hayabusa 0900-1200 calibration subref 43GHz	S/L X	Hanado/Nakagawa/ Tabuchi Ichikawa Nishida, Inomata
15	SAT	calibration subref 43GHz		Nishida, Inomata
16	SUN	calibration subref 43GHz		Nishida, Inomata
17	MON	calibration subref43GHz maintenance subrefbearing0100-0400 K5FT0730-0800 43GHz50FT2100-	X	Nishida, Inomata Ichikawa Nishida, Inomata

図 12: 運用予定表の例、観測予定の合間には装置の開発、改良、保守点検、修理、調整等が行われている。

2003年に新たに整備したマニュアルは以下の通りである。

- (10) アンテナのステータスメール送信
- (11) バックエンド切り替えコマンド
- (12) FS9 による受信機制御
- (13) 22GHz 帯軸較正観測
- (14) VLBA レコーダを使用した観測手順書

アンテナのステータスメール送信機能は、アンテナステータスを電子メールにて送信する機能であるが、この 機能を使用すれば、オペレータが観測室にいなくても携帯電話等のメール機能によってアンテナの運用状態が分 かるので、トラブル発生時の対応が速やかに行えるようになった。FS9 による受信機制御マニュアルは、受信機 等の制御を FS9 から遠隔で行う機能を説明しているが、受信機入力を切り替えて受信電力測定等を行う場合に活 用すれば効率的な測定が可能となる。これらのマニュアルの詳細は付録を参照 (14 は省略) のこと。マニュアル は印刷物として運用卓に置くとともに電子版を宇宙電波応用グループの Web ページにも掲載している。

4 保守状況

4.1 定期保守

2003年の定期保守は6月30日~9月12日の日程で実施した。7月末までに基本的な保守点検を行い、8月に は毎年継続的に行っているバックストラクチャの補修塗装、補修溶接、主鏡パネルを固定しているナットプレー トの交換を実施した。定期保守の主な項目と結果は以下のとおりである。

4.1.1 機械系

機械系保守はアンテナの安全な運用のための基本的な作業で、約400トンという重量構造物が過大なストレス を受けずにスムーズに駆動できるよう鹿島地域の特性を活かし工場群でも用いられるノウハウ、人員を結集して メンテナンスが行われている。

項目	点検内容	結果	備考
AΖ(アジ	AZ ホイールの点検、CW/CCW	良	2002年、2003年はホイール前スク
マス) 旋回	ゾーン判定用 SW の点検、調整		レイパー、避雷用アースブロックの
部			点検は実施対象外とした。
AZ ベース	AZ レールの清掃、シリコーン充填、	良	油種 AZ レール : ユウレカ、EL ギ
プレートお	ウェアストリップ固定ボルトの点検、		ア:モリギヤコンパウンド 900 EL
よびレール	防錆油塗布		ギアは年4回のグリスアップが行わ
部			れている。
AZ/EL(I	リミットスイッチの点検、調整、モー	良	2003 年マイクロスイッチを取り外
レベーショ	タとブレーキのオーバーホール、減		して EL リミットスイッチの点検を
ン) 駆動部	速器注油		行った。取り付け部分の補修塗装も
			行った。
回転部	EL ベアリング、ピントルベアリン	良	
	グの点検注油		
角度検出部	エンコーダ電源電圧の確認	良	2002年、2003年はエンコーダの点
			検を省略したので、次回はエンコー
			ダ光学ユニットの取り付け状態、以
			前、腐食による交換歴のあるカップ
			リング部を点検する必要がある。
主反射鏡	フィードコーン点検、トロリーリミ	良	L帯トロリー上部定位置検出の In-
	ットスイッチの点検、注油		stall SW を交換した。
副反射鏡部	5 軸制御機構点検、注油(2003年は	良	経年により FRP が割れた副反射鏡
	機構部を地上に降ろして分解点検を		周辺部を補修した。
	実施)、リミットスイッチの点検		

4.1.2 付帯設備

直接 34m アンテナの動作には影響しないものの、システムとして不可欠な付帯設備についてメンテナンスを 行っている。2003 年はデハイドレータ、AZ 室及び ETR 空調機の点検は対象外とした。

項目	点検内容	結果	備考
AZ ケーブ	排水ポンプ動作の点検・確認	良	
ルラップ室			
ガスヘリウ	点検、清掃	良	来年度以降、予備配管系統の準備が
ム冷却系			必要である。
ヘリウム冷	点検、コンプレッサ清掃	良	コンプレッサ電源プラグ、コンセン
凍機			トの腐食が進行していたので交換し
			た。
緊急停止ス	動作確認	良	保安系統の配線に絶縁劣化、地落が
イッチ			あった。

4.1.3 電気系

電気系は、34m アンテナシステムを制御する要の機能が集約されている。一方、連続通電、駆動負荷、落雷などの状況にさらされており、細心の注意を払って維持運用されている。

項目	点検内容	結果	備考
駆動制御部			
アンテナ・	動作点検清掃、ステップレスポンス	良	ACU は位置入力カード、CPU カー
コントロー	測定		ド、DC ドライブカード等からなる
ル・ユニット			専用ハードウエア
(ACU)			
サブリフレ	リミット値の確認、LVDT 用電源電	良	SCU は PC、AD・DA カード等の
クタ・コン	圧の確認		汎用品で CRL 製
トロール・			
ユニット			
(SCU)			
アンテナ・	動作点検、モータ制御の点検、ペン	良	ADC 内には 4 つの AZ 用 DCPA、
ドライブ・	レコーダによるサーボ特性計測		2 つの EL 用 DCPA、トルクバイア
キャビ ネッ			ス回路、ヒューズ、リレーが設置さ
⊢(ADC)			れている。
サブリフレ	電源電圧確認	良	2003、2003 年は動作点検を実施せ
クタ・ドラ			ず電源電圧の確認のみとした。SDC
イブ・キャビ			には副鏡用の電源を供給する DC ア
ネット			ンプ、ロジックリレー回路、マニュ
(SDC)			アル動作用回路が設置されている。
信号伝送部	電源電圧確認	良	
屋外配線の	Emergency stop スイッチ系と AZ	良	AZ、EL オーバーライド SW は絶
絶縁点検	オーバーライド (過剰旋回復帰)SW		縁低下のため交換した。 屋外 AC コ
	の絶縁点検		ンセント (100V 系) は絶縁低下のた
			め、配線、コンセント、コンセント
			カバーを交換した。

副反射鏡には可動部の5軸制御機構があり、アンテナ頂部で暴露されているため2年に一度、副反射鏡を地上 に降ろして5軸機構の分解清掃点検を行っており、2003年は地上に降ろして保守を行った。副反射鏡の取り付け 等、定期保守時の写真は章末を参照のこと。

EL ギアのグリスアップは3月11日、6月9日、9月3日、12月4日に実施した。定期保守中には修理も 行っているが、4.3 修理・補修にまとめて記述している。 14

4.1.4 駆動モータのローテーション

34m アンテナは、AZ 駆動に4台、EL 駆動に2台のモータを使用している。更にAZ、EL それぞれ1台づつ の予備モータを保有している。予備モータも含めて定期的に点検を行うためモータ取り付け位置ローテーション を実施している。ローテーションによるモータの配置状況を表6に示す。2003年は、EL モータ予備品であった E2 は絶縁抵抗が低く、1年間は使用できないと考えられたので、保守期間中はEL #1の位置に取り付けてアン テナを駆動したが、ローテーションは行わず、保守を行った現用の2個のEL モータを再度使用することとした。 2003年に予備EL モータを購入することができたので、2004年からはEL モータもローテーションを再開する予 定である。

なお、2000年までは十分な予備品が確保できなかったので、ローテーションが行えず、モータの保守は2回に 分けて行っていた。最初に半分のモータを工場に持ち帰り保守を行い、保守の終了したモータを取り付けた後に 残りの半分のモータの保守を行っていた。そのため、モータの保守期間は約2倍必要であった。

年	AZ#1	AZ#2	AZ#3	AZ#4	AZ 予備	EL#1	EL#2	EL 予備
2000	A1	A2	A3	A4	AS	E1	E2	ES
2001	AS	A2	A3	A4	A1	ES	E2	E1
2002	AS	<u>A1</u>	A3	A4	A2	ES	<u>E1</u>	E2
2003	AS	A1	<u>A2</u>	A4	A3	ES	E1	E2
次回	AS	A1	A2	<u>A3</u>	A4	ES	$\underline{\mathrm{ES2}}$	E1

表 6: 駆動モータのローテーション

下線は定期点検中の1台稼働状態時に取り付けておくモータである。

34m アンテナの各軸の回転は駆動モータについているブレーキによって固定されている。また、保守中もアン テナを駆動する必要があるため、各軸最低1個のモータを取り付けておく必要がある。

モータ保守中の AZ/EL 駆動は1台のモータとなるためモータの過電流に注意して運用する必要がある。さら に複数モータのトルクバイアスによるギアのバックラッシュ防止機構も働かないので慎重にアンテナを駆動する 必要がある。

4.2 保守方法の検討と改善

4.2.1 副反射鏡リニアベアリングの給脂

副反射鏡の駆動機構にはリニアベアリングが使用されている。X、Y軸のリニアベアリングは副反射鏡を地上 に降ろして保守する2年毎にグリスアップを行っており、前回のグリスアップは2001年7月に実施した。43GHz 帯受信機の組み込みが完了した2001年10月から、2003年7月までの2年間は、43GHz受信系の調整、および 観測のために副反射鏡が頻繁に駆動された。また、22/32GHz帯受信機が2002年12月に設置されたことにより、 22GHz帯受信の場合にも5軸機構を駆動して受信することになった。こうした駆動頻度の増加により、リニアベ アリングのグリス切れが発生してリニアベアリングが腐食し、Y軸が2002年3月に、X軸が2003年6月に駆動 できなくなった。

そこで、随時リニアベアリングのグリスアップができるように 2003 年保守時にX、Y軸のリニアベアリング に給脂用のホースを取り付けた。保守のために分解された5軸機構のY軸を図13に示す。リニアベアリングは図 13 に見られる物と同様なプレート3枚に挟まれており、給脂用のホースを取り付けるまでは5軸機構を地上に降 ろして5軸機構分解時のみグリスアップを行っていた。腐食したリニアベアリングを図14に示すが、ベアリン グのボールがグリス切れを起こし、腐食している。

手入れ後のリニアベアリングを図 15 に示す。ベアリング機構の細部まで分解、清掃、給脂してベアリングがス ムーズに移動できるように手入れを行った。手入れ後、レールに取り付けられたリニアベアリングを図 16 に示



図 13: 分解された 5 軸駆動機構。 Y 軸のモータ、アクチュエータ、リニアベアリング 3 組が見える。



図 14: 手入れ前のリニアベアリング

図 15: 手入れ後のリニアベアリング

す。ベアリングカバーの一部を切り取り、給脂口を取り付けた。カバーを切り取った部分にはゴムカバーを取り 付け、リニアベアリングの移動に対応した。

高所で、効率的に給脂できるように、各リニアベアリングからの給脂ホースは図 17 に示すように 1 か所にま とめた。X、Y軸の各3個、計6個のリニアベアリングの給脂を集中的に行うことができる。図 17 の左上に見 えるのがZ軸のリニアベアリングである。Z軸は副鏡が取り付けられた状態でもグリスアップができる構造であ り、従来から定期保守時にグリスアップを行っていた。

保守終了後、第1回の給脂を11月17日に実施した。今後は、年に3回程度グリスアップを行う予定である。

4.2.2 副反射鏡位置の読み取り変動

22GHz 帯、43GHz 帯の使用頻度の増加、また 32GHz 帯受信機の設置による高周波帯での運用増加を考慮して、副反射鏡位置の復元性を高めるために、定期保守開始前と終了後に副反射鏡 5 軸位置の仰角による読み取り 値の変動を測定した。

副反射鏡取り付け直後は、図 18 に示すようにZ 2 軸の変動が 1.2mm 程度と大きくなったので、原因を調査した結果、LVDT の取り付けナットが緩んでいることが発見された。増し締め後は図 19 に示すように保守前と同



図 16: 給脂ホース取り付け口が取り付けられた X 図 17: 効率的に給脂できるように、各リニアベア 軸リニアベアリング リングからの給脂ホースは1か所にまとめた。

様な変化を示すようになった。図 19 は仰角を 90 度から 7 度まで変化させ、その後、90 度まで戻したときの各軸 の初期値からの変位の様子である。X、Y軸は 0.6~0.7mm 程度、Z1~Z3 軸は 0.2mm 程度の変位量である。



図 18: 副反射鏡取り付け直後のZ2軸の仰角に対する変位量

4.2.3 保安系統の常時モニタ

34m アンテナは安全に駆動できるように各種リミットスイッチ、およびインターロックの仕組みがある。この 保安系統の配線には DC24V が印加されており、各種リミットスイッチ、インターロックが動作した時に電圧が 0V となることで、アンテナを停止する仕組みとなっている。

老朽化のため保安系統の配線絶縁抵抗値が不安定となり、絶縁抵抗低下に伴う保安系統の電圧降下により、ア ンテナが停止する誤動作が発生した。定期保守時に保安系統の絶縁抵抗を測定していたが、絶縁抵抗の低下は不 規則に発生するので、定期保守時に全ての現象を発見することができなかった。

そこで、誤動作発生時の保安系統配線の異常を検知できるように保安系統の電圧を常時モニタすることとした。

4.2.4 重要予備品の準備

アンテナ運用上、重要な装置については、可能な限り予備品を確保している。2003年は、新たに角度エン コーダ電気ユニット (VertexTIW 製)、駆動モータ (GE 製)を準備した。また、老朽化対策としてアンテナ制御計 算機、受信機制御計算機、P-cal 信号発生装置の更新準備を開始した。34 mアンテナの機能を維持するために重要 な予備品の状況から、現状で緊急度の高い予備品は以下の通りである。重要な予備品の状況は付録 A.5 に示した。



図 19: 保守前(左)と保守後(右)の各軸の仰角に対する変位量

緊急度の高い重要予備品

(1) ヘリウム配管	旧 43GHz 帯用の別配管が腐食により 2 本とも破断したため、予備系が失われた。
(2)ACU	予備機とともに老朽化しているため、交換時に予備機も不具合発生の可能性が高い。
(3)SCU	2002 年に更新したときは現用1台のみの整備であるため、予備系が必要である。
(4)P-cal	同型の製造ができない。2003 年に故障したときは、26m アンテナで使用
	されていた装置より部品を取り、修理している。新規製作が必要である。
(5) 副鏡リニアベアリング	腐食していた 4 個のリニアベアリング交換が 2005 年に必要である。

4.3 修理·補修

4.3.1 副反射鏡周辺部の補修

保守作業時に副反射鏡背面に乗っての作業が多いため、副反射鏡周辺部に割れが発生する。今までは副反射鏡 を取り付けた状態で、簡易にエポキシ樹脂接着剤等で補修していたが、強度が不足しており、再度、割れてしま う場所があった。2003年保守時に副反射鏡を地上に降ろし、FRP(fiber-reinforced plastics)による副反射鏡周辺 部の全面補修を行った(図 20)。割れが発生している部分はグラスファイバーを二重に施工して強度を高めた。

なお、割れている部分から内部を確認したところ、副反射鏡内部は空洞であり、厚さ 3cm 程度のバルサの上に 反射鏡面が形成されている形状であった。



図 20: 副反射鏡周辺部の全周を FRP で補修した。

4.3.2 副反射鏡表面の剥離

2003年の定期保守時、副反射鏡表面に多数の塗料の剥離によると思われる膨らみが見つかった。副反射鏡の 再塗装は1998年7月に行っているが、1999年、2001年の点検時には見られなかったので、この多数の膨らみは 2001年から2003年の間に発生したと考えられる。発生箇所を図21に、点1の中の一部分の拡大写真を図22に 示す。塗装は膨らんでいたが塗膜に割れは見られなかった。副反射鏡の塗装構造は図23に示すようになってお り、何らかの原因により水が進入して丈夫な上塗り、中塗り塗膜を押し上げていると考えられる。剥離面の状況 を確認するために塗膜の一部を切り取り調査したところ導電塗料は下塗り、中塗りの双方の塗膜に付着していた。 膨らみの進行を防止するためと反射面の変化を少なくするため、比較的大きな膨らみは上塗り、中塗りの塗膜を 除去して、ウレタン塗料2回塗りによる補修塗装を行った。

43GHz 帯受信機の組み込みが 2001 年 10 月に完了し、22/32GHz 帯受信機が 2002 年 12 月に設置されたこと により、副反射鏡較正のために太陽追尾を繰り返していたが晴天時の太陽追尾による副反射鏡の温度上昇が原因 と疑われるので、太陽追尾時の鏡面温度測定を行う予定である。





図 21: 剥離箇所の分布。副鏡表面の6か所に大小多数の膨らみが発生した。膨らみの最大直径は15mm 程度である。

図 22: 図 21 の点 1 の拡大図。導電塗膜の一部は剥 がれて中塗り塗料に付着した部分もあるが、下塗り 側にもほとんど残っていた。

0.04	上塗り(フッ素)
0.03	中塗り(ウレタン)
0.1 <u>*</u>	導電(filler Ag) (ドータイト)
0.05	下塗り(エポキシ)
膜厚(mm) (テストピース平均)	素地(FRP)

図 23: 副鏡表面の塗装構造。何らかの原因により水が下塗りと中塗りの間に進入したと考えられる。導電塗膜は 下塗りと中塗りの双方に付着して膨らんでいた。

4.3.3 LVDT 用コネクタ交換

定期保守時に副反射鏡の位置センサーである LVDT(Linear Variable Differential Transformer)用のコネクタ (Z1 軸、Z2 軸)のケーブル接続部分に浸水の後があり、腐食が見つかったのでコネクタを交換した。

副反射鏡部はアンテナ頂部で風雨に晒される厳しい環境にあるので、コネクタのケーブル接続部分は熱で溶か した樹脂により接着するホットボンドを使用して防水性を向上させた。

4.3.4 背面構造部の補修溶接

34m アンテナ主鏡背面構造は中央から放射状に伸びる角パイプ支柱 (トラス) に図 24 に示すように主鏡パネル を結合するためのチャネルが取り付けられている。



図 24: 背面構造部と主鏡パネルの結合

図 25: 主鏡パネルをはずして上側から見た典型的 な腐食部分の例



図 27: 更に腐食が進行した例

図 26: 腐食箇所の拡大。支柱とチャネルの取り付 け部分が腐食している。

背面構造部の腐食は主にトラスのチャネル取り付け部分で発生している。これは、建設時の溶接時に防錆加工 が不備であったことが主因と考えられる。主鏡パネルをはずして上側から見た典型的な腐食部分の例を図 25 に、 その拡大図を図 26 に示す。近年は更に腐食が進行しており、図 27 のようにケレン (錆等の除去)の結果、チャネ ルがほとんど浮いてしまう個所もでてきている。この結果、後述するように主鏡の面精度の劣化を引き起こし始めている。1998年の点検時、腐食によりトラスのチャネル取り付け部分の穴空きが見つかったため、1998年~2000年の期間、腐食状況を考慮して、図28に示すように海側に面していたトラス1~24~17を外周からパネル5枚分の補修塗装、補修溶接を行った。この補修では後述するナットプレート交換も同時に行った。



図 28: 補修溶接およびナットプレート交換範囲(太線で囲んだ部分)とトラスに穴の空いた位置

2000年に工事を実施した際に、トラス 17~1 にも多くの穴が認められたため、結局、全周にわたって補修を 実施することとなった。腐食が特に進行している外周からパネル2枚分を優先して実施することにして、2001、 2003年の工事で外周の補修を完了した。図28にはトラスに空いた穴の位置もプロットした。穴は図26、27に示 すようにチャネルがトラスに取り付けられた付近で発生しているので、チャネル付近の穴の有無を丸印でプロッ トしたものである。2003年に実施した範囲より内周側にある四角印は作業予定範囲外であったが手が届く部分で あったので、補修溶接を実施したものである。

1999 年から 2000 年にかけて実施したトラス 24 から 17 ではチャネル・トラス接合箇所の約 30% に穴があった が、2001 年に実施したトラス 17 から 6 では、59% に、2003 年に実施したトラス 6 から 1 では 65% に穴が空い ていた (トラス 24 から 17 では外周からパネル 5 枚分の補修を行っているが、他と比較するために外周から 2 枚 分を集計した)。アンテナ建設後、早い箇所では 10 年目頃から穴が空き始め、腐食の進行とともに順次、穴の数 が増加している状況である。

背面構造部の補修工事と合わせて腐食しているナットプレート(主鏡パネルと背面構造部を結合している部品で あり、詳細は図24を参照)の交換も行っている。2000年以降のナットプレート交換では、デプスマイクロメータ により隣接パネルとの高低差を測定することで、ナットプレート交換後のパネル位置復元を行っている。隣接パ ネル間の高低差の平均(rms)と高低差が1mmまたは2mmを超過した割合をプロットしたものが図29である。

なお、2000年は外周部5枚を交換しているが、他の年と比較するため外周部2枚のみのデータをプロットして いる。34mアンテナは建設時、鏡面精度は0.17mm(rms)で調整されている。隣接パネル間の高低差が面精度を 代表すると仮定すると2000年は0.31mm(rms)、2001年は0.55mm(rms)、そして2003年には0.59mm(rms)と 大きくなっていること、高低差が1mmを超える割合が2003年では7%、そして従来なかった2mmを越えるも のも発生していることから、背面構造部の腐食によるパネル面の精度劣化が年々進行しているものと考えられる。



図 29: 隣接パネルとの高低差の経年変化

図 30: 角パイプ支柱の塗膜は剥離、材料の素 地を出して、超音波厚さ計のプローブを当て て、トラスの肉厚を測定した。

トラス角パイプ支柱内側の腐食状況を調査するために、超音波厚さ計を用いて角パイプ支柱の肉厚を測定した。 超音波厚さ計は被測定物の材質に合わせて較正を行う必要があるため、まず、基準板を用いてゼロ調整を行い、 次に被測定物、または同等の固有の音速を持つ厚さが既知の材料を用いて音速の較正を行うが、今回はトラスに 空いた穴の部分にノギスを入れて測定することができたので被測定物で較正を行った。穴の空いた付近の角パイ プ支柱外側の塗料を剥離し、内側の錆も落としてノギスにより角パイプの厚さを測定したところ 2.5mm であった ため、ノギスの測定点と同じ場所を超音波厚さ計で測定した結果が 2.5mm となるように音速を較正した。

各穴から1m程度離れた場所3か所を超音波厚さ計で測定したところ、いずれも肉厚は2.5mmであった(図 30)。このことから、密閉空間であった角パイプ内側の腐食はほとんどなく、穴の補修のみで背面構造部の強度 は保つことができると考えられる。2001年から外周からパネル2枚分の補修を優先して実施してきたが、外周か ら3枚目のパネルが固定されているチャネル付近は、既に約50%に穴が空いている。角パイプ支柱の強度を低下 させないためにも、トラス17~1までについて、外周からパネル3枚目から5枚目までの範囲の補修を早急に実 施する必要がある。

4.3.5 ナットプレートの交換

主鏡パネルと背面構造部を結合しているナットプレートの腐食状況を図 31 に示す。ナットプレートの腐食によ リパネルフレームがロックナットの位置まで落下すると、鏡面精度が保てなくなるので、ナットプレートの交換 を行っている。

交換作業は背面構造部の補修と合わせて実施しており、図 28 に示すように 1998 年~2000 年にトラス1~24~ 17 を外周からパネル 5 枚分のナットプレート交換を行った。しかし、2000 年に背面構造部の補修工事を実施し た際に、トラス 17 以降の角パイプ支柱も補修が必要であったため、ナットプレート交換も外周からパネル 2 枚 分については 2003 年の工事で図 28 に示すように全周の補修を行った。

34m アンテナのナットプレートは全部で 1692 個あるが、外周からパネル 5 枚分を固定しているナットプレート 1152 個の腐食が進行しており、この部分について全てのナットプレート交換が必要と考えている。2003 年までに 768 個 (67%)の交換が完了した。未交換の 33% についても鏡面精度維持のため交換が必要である。

なお、ナットプレートは図 31 に示されるようにパネルフレームを下側から支える構造となっているが、ナット プレート腐食によるパネル飛散を防止するため、パネルフレームの上側からセーフティナットを全数入れている。

4.3.6 S/X 帯トロリーのリニアベアリング

受信機が載っているトロリーはリニアベアリングを介してレール上を移動する。S/X帯トロリー昇降に伴い異 音発生が認められたため調査した結果、リニアベアリングから異音が発生していることが判明した。リニアベア



図 31: 右図は、パネルフレームを固定しているナットプレートの腐食が進行した例。本来は左図 (交換後) のよう にナットプレートとロックナットが密着しているのが正常な状態である。

リングは定期的にグリスアップを行っていたが、構造上グリスアップを行えないベアリングがあった。そのベア リングで、異音が発生していた。リニアベアリングのグリスニップル周辺部にあるスペーサをわずかに移動して グリスを給脂できるようにしてグリスアップを行ったところ異音が発生しなくなった。

4.3.7 AZ レールボルトの折損について

34m アンテナの AZ レールは図 32 に示すように、直径 20 mの円周を 16 分割した構造となっている。1 枚の レールは外側 8 本、内側 8 本のボルトでベースプレートに固定されており、レール全体での固定ボルトの総数は 256 本となる。このボルトの折損が定期保守毎に発見されるが、2003 年定期保守時に新たに見つかった AZ レー ルボルトの折損箇所を図 32 に示す。内側 2 本、外側 2 本であった。図 33 に 2003 年定期保守までの AZ レール ボルトの折損箇所を示す。円周の数字は AZ レールの1番から時計回りに付したボルト位置を示す番号である。 表 7 に 1998 年から 2003 年までの年別のボルトの折損本数を示すが、折損総数は 89 本である。内訳は、内側が 58 本、外側が 31 本であり、内側ボルトの方が外側に比べて約 2 倍多くなっている。

年	内側	外側
1998	14	11
1999	18	15
2000	14	3
2001	4	0
2002	6	0
2003	2	2
小計	58	31
合計	89	

表 7: AZ レールボルトの折損本数



図 32: 2003 年の AZ レールボルト折損箇所

4.3.8 レドームの雨漏り

フィードコーン頂部のレドームとフィードコーンを接続するボルトの穴からの浸水により雨漏りが発生した。 点検した結果、ボルト周辺のシーリングが劣化していたので、接続部分全てのボルトのシーリングを再施行した。 前回のシーリングは1998年11月のレドーム取り付け時に施工したので、5年で劣化したことになる。

4.3.9 AZ レールカバーの防水

34m アンテナの AZ レールは雨水等による腐食を防止するために、レール全体をカバーで覆っている。AZ レール表面の所々に直径 10~20mm 程度の円形に腐食する部分が発見された。レールカバーに水をかけて調査した結果、AZ レールカバーの固定ボルト穴のシーリングが劣化して浸水し、レール上に雨水がたまり腐食を進行させていることが分かった。そこでボルト穴のみでなくカバー支持鋼材の周辺までシールを行い (図 34)、雨漏りを止めたところ、AZ レールの円形状の腐食を防止することができた。

4.3.10 AZ、EL オーバーライドスイッチの交換

AZ ピントルベアリング付近と EL 駆動モータ付近にあるオーバーライドスイッチはアンテナ駆動範囲を超え てリミットに突入した場合に解除するためのスイッチである。プラスチックの押しボタン部分が割れ、また EL 側は絶縁抵抗も低下していたので、スイッチの交換を行った。

4.3.11 予備 ACU の角度入力カード故障

定期点検で予備ACUのパラレル・ポジション・インプット・カードに故障が発見された。角度入力部分のICが故障していたので交換したが、予備機として待機していた(通電なし)ものであるため原因は不明である。



図 33: 2003 年定期保守までの AZ レールボルトの折損箇所



図 34: AZ レールカバーの防水 ボルト穴のみではなく、支持鋼材とカバーの間もシーリングを行い防水した。

4.3.12 34m S/X-band 位相較正信号発生部 (Pcal) の不具合調査

経緯 2003 年 10 月 4 日の岐阜大との VLBI 実験の際に、位相較正信号発生部 (Pcal) レベルが 32 MHz サンプ リングの場合で 0.3-4 % (2100)と非常に低く、Pcal 信号に異常があることが確認されたので、この原因の調査 を行った。

調査結果

1. Pcal 信号レベル

スペクトラムアナライザで確認した S-band、IF=330MHz での Pcal 信号強度は、SNR=12dB (RBW=100Hz)であった。このチャンネルのDFC-1100/DFC-2100で確認した 2MHz バンド幅の時の Pcal 振幅は 1.7%であった。これは Pcal の理論的振幅、

$$\rho = \frac{2}{\pi} \frac{P_{\text{cal}}}{P_{\text{sys}}B} = \frac{2}{\pi} \frac{P_{\text{cal}}}{P_{\text{sys}}RBW} \times \frac{RBW}{B} = \frac{2}{\pi} \frac{\Gamma}{SNR \times \frac{RBW}{B}}$$
(1)

から予想される 1.8%とほぼ符合している。ここで Pcal は Pcal のパワー、Psys はシステム雑音温度の単位 周波数あたりのパワー、B は受信帯域幅(Hz)、RBW はスペクトラムアナライザの周波数分解能である。 16MHz 帯域幅にすると、0.9%程度と予想されるが、実際には 0.3-4%であった。これは 16MHz 帯域幅に注 入された 1MHz おきの他の Pcal 信号が雑音として寄与するため、サンプリングされたあとの 10kHz-Pcal 信号の割合がより少なくなるためと考えられる。

- 2. 受信機室での調査
 - Pcal アンテナユニットに供給されている基準信号(5MHz)のレベルを ETR で確認したところ、約+ 11dBm あった(日通機の RSD 出力)。この値は、昨年の確認値+11.7dBm とほぼ同等であり、 基準信号のレベルは問題ないことが確認された。

From Observation Room HP-Standard 10MHz 10MHz(+28dBm) Signal Dist.	Nittsuki- Standard Signal Dist.	5MHz Pcal-Antenna (+11dBm Unit
	Signar Disc.	

- Pcal ユニット 入力端での 5MHz レベルは+7.5dBm
- Pcal ユニットからの Pcal 出力をスペクトラムアナライザでモニターしたが、S-band はかろうじて信号が見えるが、X-バンドの Pcal 信号は-90dbm 以下で確認できなかった。
- Pcal ユニットのふたを開けて、内部に供給されている DC 電源電圧を計測したところ 24V→13.6V, -5V → -3.1V、+5V → 5V、アンプ → +15V であった。
- 3. Pcal ユニットを実験室に運び、電源と信号(5MHz)を供給して、Pcal ユニットの回路の各ポイントでの 信号強度を確認した。
 - ロジック回路部分の100オーム抵抗(R11)が焼け焦げていることが発見されたが、ロジック自身は 正常に動作していることが、オシロスコープで確認された。
 - マイクロ波スイッチ (PIN ダイオード) に順方向、逆方向の電圧をかけたところ、まったく導通が見られずマイクロ波スイッチの PIN ダイオードが破断していることが確認された。
 - マイクロ波スイッチが破損した状態でも、最終段のデバイダをバイパスして信号をスペクトラムアナ ライザで確認すると信号が確認できたが、信号は微弱であった(図 36. - 110dBm 以下)。



図 35: Pcal ユニットの内部。電源部と SRD, マイクロ波スイッチ、デバイダが見える。背面にマイクロ波スイッ チを駆動するロジック回路が入っている。 ステップリカバリダイオードの代替品として、HEROTEC Inc. 社 (http://www.internix.co.jp/products/herotek/srdcj.htm)のCGA100B(18 GHz までの komb トーン発生出力) を購入し、動作確認など行う予定である。

- 26m アンテナの Pcal アンテナユニットが保存してあり同じマイクロ波スイッチが使用されていたので、このユニットからマイクロ波スイッチ (HP33144A)を取り外し、34m アンテナの Pcal アンテナユニットに取り付けた。しかし、信号強度は弱いままであった。
- 26m アンテナの Pcal ユニットと比較すると、ステップリカバリーダイオード(SRD)の入力信号は 34m アンテナのそれと同等であるが、SRD の出力信号は 26m アンテナの Pcal ユニットが p-p で 2V 程度あるのに対し、34m アンテナのものは数 mV であった。(図 38 参照.電圧は、SRD 出力をテク トロのオシロスコープに OSM のケーブルで接続して測定した)
- 26m アンテナの Pcal ユニットから SRD を取り外し、34m アンテナの Pcal ユニットに取り付けたところ、マイクロ波スイッチ出力後でも振幅 2V 弱のパルス列が確認され、2.2GHz で-72dBm、8.3GHz で-94.7dBm、8.6GHz で 99dBm の Pcal 出力が確認された。(図 38 参照)
- SRD とマイクロ波スイッチを交換した後の Pcal ユニットを 34m アンテナに取り付け、DFC-2100 で Pcal 振幅レベルを確認したところ、X-band でやや Pcal が強かったので 10 dBの減衰器を挿入し、数 %~10%弱の Pcal 強度に調整している。

結論 Pcal 信号の不調の原因は、Pcal アンテナユニットの SRD およびマイクロ波スイッチが破損したことが原 因と考えられる。マイクロ波スイッチの破損に伴って、これをドライブしているロジック回路の 100 オーム抵抗 が焼き切れたのであろう。HP 製の同マイクロ波スイッチ(通過帯域 DC-18GHz、スイッチング速度:7ns 以下) は製造中止になっており、今回幸いにも 26m アンテナの Pcal アンテナユニットがあったため、SRD とマイクロ 波スイッチを交換して復旧できた。またロジック回路の 100 オーム抵抗も交換した。

予備品:代替品

マイクロ波スイッチ HP33144A はスイッチング立ち上がり/立下がり速度が 5-7ns と非常に高速で、18GHz ま

ATTEN	10a 29.9a	IB IBm	10]d B∕	M B	KR - .500	111. 0000	7d Bm 93GH	Z
MKR 8.5(00000	0093	GHz						
-11	7 1	Rm			[
ا الم	i cia di	1	á ceriu a	j Nim . n	MUAK.	i Lui à	n i d	t Den Più (,	
				r i siya Miri		LACUT (FF.)			h iti
			• •					-	
CENTE RBW 3	ENILR B. SUNUUUUUUSGHZ SPAN 1. UUURHZ BW 3.0Hz VBW 3.0Hz SWP 1.62sec								

図 36: マイクロ波スイッチ (破損) を通したあとの Pcal 出力 (X-band)



図 37: 破損したマイクロ波スイッチ HP33144A. スイッチング速度 (Transision time) 7ns 以下。現在は製造が中止されている。

での RF 信号をスイッチングできる優れたスイッチであったが、現在製造中止になっている。この代替品として、Custom Microwave Components Inc.(http://www.customwave.com/prodcap.htm)のCMCS0337(立ち上がり/立下がり速度 2-4ns,周波数帯域 18GHz)を現在取り寄せている。

4.3.13 保安系統の絶縁不良

アンテナが時々停止する現象が発生していたが、原因調査の結果、保安系統の絶縁不良による電圧低下により 保安系統が誤動作して、アンテナが停止していることが判明した。

(1) AZ ケーブルラップ・インターロック系の絶縁不良

AZ 軸の回転限界を超過して回転しないように各種のリミット機構が設置されている。そのひとつがケーブル ラップを保護するための AZ ケーブルラップ・インターロックケーブルである。AZ ケーブルラップにあるケーブ ルに沿わせて機械的に弱いインターロックケーブルが布線されている。ケーブルラップに過大な張力がかかった 場合は、先にインターロックケーブルが切断されることによりインターロック信号を発生してアンテナを停止す る仕組みとなっている。長期間の使用により、このインターロックケーブルの被覆が摩耗して絶縁が低下してい た。損傷部分のケーブルを交換して、スパイラルチューブを巻いて保護した。

(2) AZ # 3 ブレーキ検出配線の絶縁不良



図 38: Pcal 信号出力。SRD 出力 (5MHz のパルス:写真右上)、5MHz のパルス拡大写真 (振幅 1.88V:写真左上)。マイクロ波スイッチで 1MHz のパルスにした信号 (振幅 1.88V:写真左下) 8.3GHz、および 8.6GHz での Pcal 信号強度 (写真右下)

駆動モータのブレーキが動作した状態での駆動を防止するためブレーキがリリースされた状態を検出して、こ れをインターロック信号としている。ブレーキリリース系統の配線がブレーキ内部で摩耗して絶縁不良となって おり、このために電圧が低下してインターロックが誤動作していた。応急処置として配線の摩耗部分に絶縁テー プを巻いた結果、正常に動作するようになった。配線の交換は、次回の保守時に行う予定である。

老朽化により保安系統の不良によるトラブル発生が増加しているので、保安系統の常時モニタを開始した。詳細は、4.2 保守方法の検討と改善を参照のこと。

4.3.14 AZ 軸追尾誤差

AZ 軸に通常より1桁程度大きい0.02度程度の追尾誤差が2003年10月29日に発生した。調査したところ、誤 差角度が小さくなってもACUのサーボタイプがTypeIからIIに切り替わらず、精密な追尾ができなくなって いた。ACUのアンテナ角度制御は誤差角度の大小によりサーボタイプをTypeIとTypeIIに自動的に切り替え て制御しているが、TypeIはサーボループの感度が低く、誤差角度が大きいときに使され、TypeIIは感度が高 く、誤差角度が小さいときに動作するモードである。

ACU の内部設定の Delay(Type II 切り替え角度に入ってから Type II に切り替えるまでの遅延時間)を1秒から 0.5 秒にすることでこの不具合は解消することができたが、不具合を生じた原因は不明である。

4.3.15 副反射鏡動的制御故障

43GHz 帯では、仰角に応じて副反射鏡のY軸を動的に制御することによりアンテナの重力変形を補正して受信 効率の低下を小さくしている。仰角指令値を副反射鏡制御ユニットに取り込むための RS422-RS232 変換器用 AC アダプタが故障したので、電源コネクタを含めて AC アダプタを代替した。

4.3.16 AZ 軸のエンコーダ電気ユニット故障

AZ 軸が 90 度付近であるにも関わらず、角度表示が CW0.000 度となる異常が 2003 年 9 月 16 日に発生した。 AZ エンコーダ接続箱内の AC 電源入力ヒューズが溶断、エンコーダ電気ユニット内部で過電流が発生していた ので、電気ユニットを予備機と交換して復旧した。故障した電気ユニットは修理のためメーカに返送した。

4.3.17 LNA 等温度の取得不良

定期保守中の 2003 年 8 月 19 日に受信機状態を把握するための、LNA、ホットロード、コールドロードの温度 モニタができなくなっていることが見つかった。調査の結果、温度データ伝送用の GPIB コネクタの接触不良と 判明した。34m アンテナのコネクタは多極の物が多く使用され、また作業が困難な場所にある物も多いため、コ ネクタの抜き差しはピンが変形することがないように慎重に行い、確実に固定することが動作不良の防止に重要 である。

4.3.18 ETR 空調故障

(1) ヒータの温度ヒューズ溶断およびリード線の断線

受電所の点検に伴う、24時間停電後の2003年2月22日にETRの加温が不足した。室温設定値21度に対し て10度程度までしか上昇しないため、AZ室の制御装置から順次調査した結果、ETRのヒータ部にあるヒューズ 切れと判明した。溶断したヒューズとリード線が断線した温度ヒューズを交換して復旧した。ETRはトロリーに 搭載された受信機がある上部機器室と受信機電源、冷凍機制御装置等がある下部機器室が通風ダクト2本で結ば れた構造になっている。空調装置は下部機器室に設置されているが受信機等がある上部機器室の温度を一定に保 持するため、下部機器室にふたつある空調吹き出し口の一方を新たなダクトで上部機器室に直接接続するように 改造して、下部機器室を空調するもう一方の空調吹き出し口のダンパーを全閉にして使用していた(ただし、ダ ンパーを全閉にしてもダンパー周囲には空間があるため風量はゼロにはならない)。温度ヒューズ溶断は吹き出し ロダンパーを風量調整のため絞っていた方で発生したが、ヒータが高温状態で運転したこと、かつ、経年的寿命 が原因と考えられる。そこで今回、全閉にしていたダンパーを少し開き、下部機器室側の通風量を少し増加させ た。一方温度ヒューズリード線の断線は送風による共振により断線したと考えられる。

(2) 冷却水不足

冷却水が不足して 2003 年 8 月 4 日に空調が停止したので、冷却水を補充して復旧した。配管等を目視したが 水漏れは確認されなかった。通常圧力(出力側、三方弁全開時)の 0.5MPa が保たれているので、ポンプ軸より 生じるわずかな水漏れが原因と考えられる。少なくとも年 1 回の点検が望ましい。

(3) 放熱器から冷媒ガス漏れ

冷却水が不足して空調が停止した 2003 年 8 月 4 日の点検により、冷媒ガス圧の低下も見つかった。調査した結果、空冷用の放熱器からの微少なガス漏れが発見された。チラーの主要部品である放熱器、圧縮機の腐食が進行 していたので、チラーー式の交換を行って復旧させた。故障中、冷却水循環ポンプを 14 日間停止させたところ、 冷却水循環ポンプの軸が固着して回転しなくなったので、手動で回転させることにより復旧した。今後ポンプは 常時、回転させていることが望ましい。

4.3.19 ヘリウム圧縮機電源プラグ腐食

ヘリウム圧縮機電源プラグの配線接続部分の絶縁低下によりヘリウム圧縮機が停止した。プラグと壁コンセントは15年間使用されており、熱により変色も見られたため、現用と予備の2系統のプラグと壁コンセントを交換した。

4.3.20 屋外コンセントの交換

アンテナ屋外の各所にある AC100V のコンセントが経年変化により絶縁が劣化したのでコンセントカバーとコンセント 11 か所および分電盤からコンセントまでの配線を交換した。

4.3.21 アンテナ制御計算機故障

アンテナ制御計算機 (Hewlett-Packard,382 controller) の HDD, マザーボード, FDD が故障したため予備機と 交換し修理した。HDD は 700MB 程度の SCSI 規格のものを使用する必要があり、今後入手が難しくなる可能性 があるため、予備機の他に別途 1 台 HDD を確保した。382 controller は HP-BASIC ベースの旧式モデルで既に サポートが打ち切られており、今後予備部品のストックが不足する可能性が高い。将来的に Windows ベースの システムに置き換えるために、PC 一式, PCI バス用 GP-IB ボード及び RS-232C/RS-422 変換器を準備した。今 後更新を進める予定である。

4.4 発生している不具合現象

4.4.1 EL 軸ハンチング

AZ 軸追尾誤差増加の原因を調査中の 2003 年 10 月 30 日、予備 ACU ドライブインターフェースカード使用 時に、EL 軸のハンチング現象が発生した。2002 年次は現用機でもまれに発生していた現象であるが、2003 年次 は現用機では発生しなかった現象である。今後調査を行う予定である。

4.4.2 S/X 带受信機出力变動

2003年10月の木星観測時にS帯受信機出力レベルに変動が見られ、調査したところS/X帯受信機ともに仰角 に依存した出力レベル変動があることが分かった。S帯受信機の出力レベル変動を図39に、X帯受信機の出力レ ベル変動を図40に示す。いずれも受信機入力にホットロードを接続して、S帯は仰角を10度から90度へ、X帯 は仰角を90度から10度、そしてまた90度と変化させたときの受信機IF出力を観測室にてパワーメータで測定 したものである。S/X帯ともに40度から50度付近で出力レベルの低下が見られ、X帯では仰角を上げていく場 合と下げていく場合で異なった特性が現れている。レベル変動はS帯で0.3dB、X帯で0.5dBである。2004年1 月に同様な測定を行ったが、S帯を図41に、X帯を図42に示す。S帯では40~50度付近の出力レベルの低下は なくなり仰角が下がると出力が増加している。X帯は10~30度付近で出力が減少するという異なった現象を示 している。原因については今後、更に調査する予定である。

4.4.3 駆動モータ用直流電力増幅器の過電流警報

AZ # 2 の直流電力増幅器 (DCPA) で過電流警報が定期保守実施中の 2003 年 7 月に発生した。DCPA 内の溶 断したヒューズを交換して復旧したが、その後、3か月程度の間に2度過電流警報が発生した。ヒューズは溶断 していないが、何らかの不具合があると考えられるので、今後調査を行う。



図 39: S 帯受信機の出力レベル変動 (2003 年 10 月) 図 40: X 帯受信機の出力レベル変動 (2003 年 10 月)



図 41: S 帯受信機の出力レベル変動 (2004 年 1 月) 図 42: X 帯受信機の出力レベル変動 (2004 年 1 月)



図 43: ゴンドラを使用して背面構造部に足場を仮 設する。



図 44: ナットプレートを交換したパネルを戻す。急 傾斜の反射鏡最外周部へはロープを持って登る。

4.4.4 X-wH 系の T_{sys} の増加

2003 年 11 月 24 日 (月)18:00 UT からの 24 時間実験 (日豪 S2 実験 v131al) に備えて、受信系の事前チェック時 に、X-wH 系のシステム雑音温度 T_{sys} が約 90K と若干高く測定された。従来の値は、X-n 系は 52K、X-wH 系 は 65K である。X-n 系と X-wH 系の雑音温度およびシステム等価フラックス密度 SEFD の測定結果を表 8 に示 す。 T_{sys} と T_{rx} の結果から、LNA は正常で、X-wH 系のフィードから LNA までの系で伝送ロスや反射などが発 生していることが疑われる。

X (Narrow)			
IF (MHz)	T_{rx} (K)	T_{sys} (K)		
100	32	52]	SEED (In)
300	40	57		SEFD (Jy)
500	45	57	V (Nama)	(Cas-A AZ=321.7 度 EI=51.2 度)
X (Wide-H)		\mathbf{X} (Narrow)	310	
100	40	83	A (Wide-H)	678
300	45	94		
500	45	92		

表 8: 受信機雑音温度 (T_{rx}) とシステム雑音温度 T_{sys} (天頂) および SEFD



図 45: EL モータはクレーンで上げ下ろしを行う。



図 46: AZ モータはチェーンブロックで吊り上げて 設置する。

5 システムの改良及び高精度化

5.1 副鏡較正アルゴリズムの確立

2003年の定期保守では副鏡をクオドリポッドから取り外しメンテナンスを行った。副鏡を取り外すと設定すべ き副鏡パラメータが変化してしまうため、副鏡パラメータの再設定(副鏡較正)が必要になる。近年、34mアンテ ナにおける観測は高周波数帯にシフトしており、より高い精度で副鏡較正を行う事が求められている。定期保守 前後で副鏡の位置を正確に再現できれば、副鏡較正観測を行う時間・手間を軽減する事ができ、アンテナの有効 観測可能時間確保の上でも意義がある。定期保守前後で設定すべき副鏡パラメータの変化は、副鏡そのもののク オドリポッドへの取り付け誤差に起因するのみならず、LVDTの副鏡への取り付け誤差によっても引き起こされ るため、その両方の効果を考慮に入れなければならない。副鏡の姿勢を保守前の状態にする事ができれば、その 時の LVDT の値の変化を副鏡パラメータの補正量と考える事ができる。そこで、副鏡の位置を正確に再現するた めに必要な治具を作成すると共に、位置再現に必要なアルゴリズムの開発を行った。

5.1.1 副鏡取り外し前後の測定量および測定方法

定期保守で副鏡を取り外す前に、クオドリポッドの頂部5箇所に治具(図47)を取り付ける。治具の先にノギ スを取り付けクオドリポッドから副鏡上面までの垂直方向の高さを5点で測る。ただし、治具を取り付ける場所 は、ノギスの先が来る箇所の内部が、副鏡の骨格部になるような場所にしておく。(副鏡上面の、内部が骨格部で はない箇所は柔らかい構造となっており、測定誤差が大きくなるため。)副鏡パラメータをS/X 用の値にした上 で、副鏡上面のノギスの先が来た点に極細の油性マジックで印をつける。またこの際に副鏡位置制御機構により X 軸 Y 軸を±5cmの幅, 2.5cm単位でクロススキャンし点を打ち、局所的なX 軸 Y 軸を副鏡上面に書いておく。 副鏡パラメータを 22GHz,43GHz 用の値にもセットし、治具から降ろした5箇所の点に印をつけておく。実際に 点を打った箇所の写真を図 48 に示す。





図 47: クオドリポッド頂部から、取り付けた治具の1つを見下ろした図。

図 48: 治具から降ろした点を原点 とし、クロススキャンにより XY 軸を求めた例。

副鏡を地上に降ろした時点で、治具直下の5つの点の内のひとつを原点とした座標系で (S/X 用パラメータ使用時の)5点の XY 座標を測定しておく。また副鏡上面の円の中心の座標を求め (方法は 5.1.5 で後述)、円の中心を原点とする座標系で5点の座標を出す。((X1,Y1) ~ (X5,Y5) とする。)メンテナンス後に副鏡を戻したら、再度治具からノギスを降ろして5箇所に点を打ち保守前後の x,y 方向の変位を求める。また、クオドリポッド頂部からの高さも再度測り z 方向の変位も測定する事により、5つの各点における保守前後のの相対的な位置変位ベクトルが求まる。(($\Delta x1, \Delta y1, \Delta z1$) ~ ($\Delta x5, \Delta y5, \Delta z5$)とする。)

5.1.2 X,Y 成分の変位モデル

ボルトの締め具合の違いや LVDT 取り付け位置の変化等により生じる、定期保守前後における副鏡上各点の位 置変化の XY 成分について考察する。副鏡取り外し前後の Z1,Z2,Z3 軸 (高さ)方向への変位は、3 つの変位量が 全く同じではない限り、変位ベクトルの X,Y 成分にも射影されるが、この成分は十分小さいので無視する事にす る。その場合、副鏡上面の円が XY 平面内でとりうる任意の位置変化は、副鏡中心軸の周りの角 θ °の回転と XY 平面上の平行移動 ($\Delta X, \Delta Y$)の合成 (図 49)により完全に表す事ができる。副鏡上面円上の点 P(x, y)における 保守前後の変位ベクトル $\mathbf{r}(x, y)$ は、

$$\mathbf{r}(x,y) = \begin{array}{cccc} A & & | & A & | & A & | \\ \cos\theta & -\sin\theta & x & + & \Delta X - x \\ \sin\theta & \cos\theta & y & + & \Delta Y - y \end{array}$$
(2)

と書ける。測定された 5 点の座標 (X1,Y1) ~ (X5,Y5) 及びその各点における r(すなわち、($\Delta x1, \Delta y1$)~ ($\Delta x5, \Delta y5$)) を再現する θ 及び ($\Delta X, \Delta Y$) の最尤推定値は式 (2) を用いる事により最小自乗法で求める事ができる。保守前の副鏡パラメータの XY 成分から ($\Delta X, \Delta Y$) を引く事により、保守後の副鏡パラメータの XY 成分の 推定値が求まる。



図 49: 水平方向の変位モデル。任意の軸の周りの任意の回転及び任意の平行移動を複数回数行っても、原点の周 りの角 θ の回転と ($\Delta X, \Delta Y$)の平行移動 1 回の合成で表現できる。



図 50: 整備が完了した副反射鏡をクレーンで吊り 上げてクオドリポッドに取り付ける。



図 51: 副反射鏡をクレーンで吊り上げてクオドリ ポッドから取り外す。

5.1.3 Z1,Z2,Z3 成分の変位モデル

ここでは定期保守前後の副鏡上の任意の点における変位ベクトルの Z 成分について考察する。Z1,Z2,Z3 軸 (Z1,Z2,Z3 の LVDT が付いている箇所) が副鏡上面の円と交差する点の XY 座標 $(X_{z1}, Y_{z1}), (X_{z2}, Y_{z2}), (X_{z3}, Y_{z3})$ は既知であるとする。(副鏡制御機構を用いてその座標を求める方法については 5.1.4 で後述。) Z1 軸,Z2 軸,Z3 軸 が天頂を正としてそれぞれ $\Delta Z1, \Delta Z2, \Delta Z3$ ずれて設置されたと仮定した時の、副鏡上の任意の点 P(x, y) にお ける鉛直方向の変位 $\Delta Z(x, y)$ を考える。この時、副鏡が全体として鉛直方向に $\Delta Z1$ 平行移動し、さらに Z2 軸 が $\Delta Z2 - \Delta Z1$ 、Z3 軸が $\Delta Z3 - \Delta Z1$ 移動して副鏡が回転したものと考える事ができる。図 52 に示すように、



図 52: Z1,Z2,Z3 軸の位置から決まる斜交座標 系の定義。副鏡再取り付け時には、点 Z_2 は 点 Z_1 に比べ $\Delta Z2 - \Delta Z1$ 上方に、点 Z_3 は $\Delta Z3 - \Delta Z1$ 上方に移動する。



図 53: 副鏡側面を等分し、副鏡の幾何学的中心を求める。

点 Z_1 を原点とし、 Z_1Z_2 を基底ベクトル $\vec{e_1}$ 、 Z_1Z_3 を基底ベクトル $\vec{e_2}$ とする斜交座標系をとり、この座標系で 表現した点 P の座標を (x',y')とすると、

 $\overrightarrow{Z_1P} = x' \ \overrightarrow{Z_1Z_2} + y' \ \overrightarrow{Z_1Z_3}$

の関係がある。上式から x', y' を求める事により、A P における変位ベクトルの垂直成分 ΔZ を、

$$\Delta Z(x',y') = x'(\Delta Z^2 - \Delta Z^1) + y'(\Delta Z^3 - \Delta Z^1) + \Delta Z^1$$
(3)

と表すことが出来る。測定された 5 点の座標 (X1, Y1) ~ (X5, Y5) 及びその点における鉛直方向の変位 $\Delta z1 ~ \Delta z5$ を再現する $\Delta Z1, \Delta Z2, \Delta Z3$ の最尤推定値を、式 (3) を用いて最小自乗法により求め、保守前の副鏡パラメー タ Z1, Z2, Z3 の値から引く事により、保守後の副鏡パラメータ Z1, Z2, Z3 の推定値が求まる。

5.1.4 副鏡制御機構により Z1 軸,Z2 軸,Z3 軸の XY 座標を求める方法

Z2,Z3 軸を固定し、Z1 軸だけ $\Delta Z1$ 動かした時の、5 点の鉛直方向変位量を記録しておく。($\Delta Z1_1 \sim \Delta Z1_5$ とする。)Z2 軸と Z3 軸を通る直線を $y = a_1x + b_1$, この直線から Z1 軸までの距離を z1 とすると Z1 軸を $\Delta Z1$ 動かしたときの点 P(x, y) の鉛直方向変位量 $\delta Z1$ は、

$$\delta Z1 = \frac{|a_1x + b_1 - y| \, \Delta Z1}{|a_1| \, z1}$$

と書ける。測定された $(X1,Y1) \sim (X5,Y5)$ 及び $\Delta Z1_1 \sim \Delta Z1_5$ を再現する $a_1, b_1, \Delta Z1/z1$ の最尤推定値を最小 自乗法により求める。同様に Z1 軸と Z2 軸を通る直線及び Z1 軸と Z3 軸を通る直線を求め、それぞれの交点を 求めれば Z1 ~ Z3 軸の座標 $(X_{z1}, Y_{z1}), (X_{z2}, Y_{z2}), (X_{z3}, Y_{z3})$ の推定値が求まる。

5.1.5 副鏡上面円の幾何学的中心の測定法

副鏡側面にメジャーを当て円周の長さを測る (図 53)。円周の長さを 8 等分する箇所に点を打ち、副鏡上面にも 8 箇所点を打つ。対向する点同士を結ぶ 4 つの直線を引くと、円の中心付近で 6 つの交点が得られるので、この 6 つの交点の平均値を求める事により幾何学的な円の中心の位置が求まる。円の中心から治具から降ろした 5 つ の点への距離をメジャーで測り、最小自乗法により円の中心の座標を求める。

5.1.6 副鏡較正結果

以上の方法により計算された各治具及び Z1,Z2,Z3 軸の XY 座標を表 9 に記す。定期保守前後の副鏡パラメータ 変化 ΔX , ΔY , ΔZ_1 , ΔZ_2 , ΔZ_3 の推定値 (S/X 帯) は、(-3.15, -9.64, -0.88, 2.84, -0.36) であった (単位は mm)。 新しい副鏡パラメータを設定した上で、再度 5 箇所の治具測定点にノギスを降ろし、変位の残差を測った結果が 表 10 である。X,Y 成分は 1.1mm(r.m.s.),Z1,Z2,Z3 成分が 0.2mm(r.m.s.) と、極めて高い精度で位置を再現する 事ができた。鉛直成分はノギスの読みの分解能と同程度の精度で位置を再現できたのに比べ、水平成分の精度は その 5 倍程度の誤差が生じた。ノギスを治具に取り付ける際に水平方向にわずかなぶれが生じた事が原因と考え られる。固定方法を改善する事により、今後さらに高い精度で位置を再現できる事が期待できる。

治具 1	(-1.3385, -0.8377)
治具 2	(-1.3415, 0.8398)
治具 3	(1.5484, 0.842)
治具 4	(1.5406, -0.8279)
治具 5	(0.122, 1.259)
Z1 軸	(-0.9205, 0.6123)
Z2 軸	(1.14711, 0.6247)
Z3 軸	(0.121, -1.1551)

表 9: 副鏡の幾何学的中心を原点とする治具 1~5 及び Z1,Z2,Z3 軸の XY 座標 (単位 [m])

治具1	治具 2	治具 3	治具 4	治具 5
(0,0.6,0.3)	(1.4, -1.2, 0.1)	(-0.9, -1.2, 0.1)	(-1.4, 0.3, 0)	(1.8, 1.2, 0.3)

表 10: 保守前後の変位ベクトル残差 (単位 [mm])

従来は副鏡を取り外す度に副鏡パラメータを決めなおす必要があり、キャリブレーションのための太陽や惑星 の観測を、実観測時間で15日、晴天率等を勘案すると実質1ヶ月程度の期間行っていたが、治具による較正アル ゴリズムが確立された事によりその作業が一切不要になった。アンテナの観測可能時間を確保する上で重要な進 展である。

5.2 高温超伝導フィルタによるS帯混信の改善

鹿島 34m アンテナ周辺で第3世代携帯電話 IMT-2000 の運用が2002年3月2日に開始されたことにより、34m アンテナのS帯受信機に混信が発生した。IMT-2000運用前後のS帯受信機出力を図54に示す。S帯受信帯域の 下限付近に IMT-2000 基地局波が混信して受信機が飽和、受信が困難になった。

IMT-2000 基地局割り当て周波数と 34 mアンテナ S 帯受信周波数の関係を図 55 に示す。IMT-2000 基地局が 使用する周波数は 2110MHz ~ 2170MHz であり、34m アンテナ S 帯受信周波数 2150MHz ~ 2350MHz と重複して



RX output before/after Interference

図 54: IMT-2000 混信前後のS帯受信機出力

いるため混信が発生した。なお、A ブロックは PHS との干渉を避けるため、当面の割り当ては 15MHz となって おり、周波数割り当ての公平性から、他のブロックも同様に当面は 15MHz の割り当てとなっている。



図 55: IMT-2000 割り当て周波数と 34m アンテナ S 帯受信周波数

B ブロックの基地局が 2002 年 3 月 2 日より商用運用が開始されたが、基地局波が S 帯受信機で最大に受信さ れる方向に 34m アンテナを向けた時の基地局波の受信電力 (LNA 出力) は-17.6dBm であった。また、 C ブロッ クの基地局は 2003 年 4 月 1 日より商用運用が開始されたが、最も 34m アンテナに近い基地局は 2003 年 7 月 1 日 から商用運用が開始された。その最大受信電力 (LNA 出力) は-10.3dBm であった。これらの混信により LNA が 飽和しているかどうかの調査を行った。

LNA の飽和調査の測定系統図を図 56 に示す。LNA の較正信号入力端子に信号発生器 (SG) からの信号を入れ、 LNA 出力が理想出力より 1dB 低下する点 (1dB 圧縮点)を調べた。 図 57 に測定結果を示す。この結果、LNA の 1dB 圧縮点は-6.5dBm であることが分かった。このことから、現状は基地局波が最大に受信される条件において も、その出力は 1dB 圧縮点以下であるため LNA はまだ飽和していないと言える。

そこで、LNA 出力と D/C 入力の間にフィルタを挿入して不要波の除去を行うこととした。フィルタは、常温 のキャビティフィルタ、帯域阻止フィルタ、そして高温超伝導 (HTS) フィルタの3種である。常温のキャビティ フィルタは IMT-2000 の商用運用開始に当たり2002 年4月から使用していたが、2003 年5月からは挿入損失が 小さく、遮断特性に優れ、遮断帯域での減衰量も大きい高温超伝導 (HTS) フィルタ ((株) デンソーと共同で開発) を設置した。

両フィルタの特性を表 11 に示す。2170MHz での減衰量 60dB を確保するため常温キャビティフィルタでは低 域側のカットオフ周波数を 2250MHz と設計したが、HTS フィルタは急峻な遮断特性を有するので、カットオフ 周波数を 2193MHz まで下げることができた。その結果、国際測地実験で受信が必要であった 2218 MH z の受信



図 56: LNA 出力の 1dB 圧縮点の測定系統図



図 57: LNA 出力の 1dB 圧縮点は-6.5dBm となった。

も可能となった。これらのフィルタを使用した時の受信機出力特性を図 58 に示す。常温のキャビティフィルタ使

	常温キャビティフィルタ	HTS フィルタユニット
通過带域	$2250 \thicksim 2450 \mathrm{MHz}$	2193 ~ 2473 MHz
減衰量 (2170MHz)	60dB 以上	80dB 以上
段数	19 セクション	32 セクション
挿入損失	1dB 以下	0.5dB 以下
サイズ (mm)	260 × 42 × 27 (突起部分を除く)	60 × 14 (コネクタ部分を除く)
LNA 前置時の Tsys(K)	149(=72+増加分 77(@296K))	81(72+増加分 9(@70K))

表 11: 常温キャビティフィルタと HTS フィルタの特性

用時に見られた 2160MHz 付近の IMT-2000 信号は、HTS フィルタ使用時には完全に抑圧されていることが分かる。上限のカットオフ周波数 2390MHz は D/C 内蔵のフィルタにより制限されたものであり、遮断特性は緩やかなものとなっている。

HTS フィルタユニットの写真を図 59 に示す。HTS フィルタは MgO (Magnesium oxide) 基板上に YBCO (Yttrium, Barium, Copper, Oxygen)を材料として超伝導薄膜を形成したもので、70K で超伝導状態となる。フィ ルタユニットは(株)デンソーのモデル RA-S-32 を使用している。フィルタは新設計により 32 段のフィルタであ りながら直径 60mm と小型で、150g と軽量を実現した。また、比帯域も従来品 (1% 程度)に比べて広帯域 (12%) を実現している。HTS フィルタは超伝導状態を実現するために 70K まで冷却する必要があるので、冷凍機と組 み合わせたサブシステムを使用した。サブシステムを設置した様子を図 60 に示す。サブシステムには小型のチャ ンバーと冷凍機、その制御装置一式が入っている。なお、HTS フィルタ使用前に、暫定的に使用していた帯域阻



図 58: フィルタを使用した後のS帯受信機出力特性



 ϕ 60 mm

図 60: HTS フィルタサブシステム

図 59: HTS フィルタユニット

止フィルタ (BRF) の特性を表 12 に示す。基地局波が最大に受信された場合に必要な減衰量は 10dB 不足するが、 IMT-2000 ユーザーがまだ少ないため、基地局は最大送信電力ではなかったため、2218MHz が受信可能であった。

IMT-2000 混信前とその後の各種フィルタを使用した場合のS帯受信周波数帯域を表13 にまとめた。現状で は、幸いにもLNA は飽和していなかったため、LNA 出力にフィルタを設置することで対策ができた。今後、携 帯電話の利用が進み、混信波が更に強くなってLNA 飽和が生じた場合、HTS フィルタは小型、低損失なため、 LNA 入力部分に挿入して使用することが可能である。S帯の現在のシステム雑音温度 (Tsys) は 72K であるが、 常温のフィルタは大きいためデュワーの前に設置せざるを得ず、その場合、Tsys は 77K 増加しては 149K と大き くなってしまうが、HTS フィルタは小型、低損失なためデュワー内に設置することが容易で Tsys の増加は 9K と小さく押さえることができ、最終的な Tsys は 81K と推定される (表 11)。

5.3 デハイドレータ更新

34m アンテナでは、レドームの内圧を高め形状を安定させる事とホーン内部の乾燥を保ち腐食を防ぐ事を目的 として、デハイドレータ(乾燥空気充填装置)を使用している。現用の Vertex 製デハイドレータは、

中心周波数	2140MHz
ノッチ帯域幅	60MHz 以上
減衰量	50dB 以上
挿入損失	3dB 以下
通過帯域幅	DC ~ 2070MHz、2210 ~ 3500MHz
サイズ (mm)	$120(W) \times 63(H) \times 220(L)$
重量	3.3kg

表 12: 帯域阻止フィルタの特性

表 13: S 带受信周波数带域

フィルタ	受信帯域 (MHz)	備考
従来	2150 ~ 2390	
常温 BPF	2250 ~ 2390	2002 年 4 月から
BRF	2210 ~ 2390	2002 年 12 月から
HTS フィルタ	2193 ~ 2390	2003 年 6 月から

- 過電流により電源ブレーカがたびたびトリップする。
- 本体価格が高価(約200万円)で、メンテナンス費も高い上に、修理が必要な場合には米国に送付するか国内の代替業者を使い部品を取り寄せる必要があるため、復旧までに数ヶ月程度の時間がかかる。
- 圧力バルブの微調整が難しく、要求される圧力 (大気圧 (1013hPa) + 100 Pa(1gf/cm²)) を維持するのが容易ではない。まれに殆ど大気圧と同程度にまで低下してしまう事がある。

という問題がある。一方、KSP 11m アンテナでは住電オプコム製の KSP 用デハイドレータを安定運用している 実績がある。KSP 用デハイドレータの本体価格は Vertex 製の 10 分の 1 以下でメンテナンス費用が抑えられる上 に、大きさも小型化されていて扱いやすいという利点を持つ。予備品の在庫も豊富であるため、34m アンテナで も Vertex 製デハイドレータから KSP 用デハイドレータに更新するのが望ましい。KSP 用デハイドレータを単体 で使用した場合、設定できる圧力の最小値が Vertex 製に比べ高く大気圧 + 1000Pa(10gf/cm²) となる。レドーム やホーンの表面積の小さい KSP アンテナには適しているが、34m アンテナで使用するとレドームにかかる力が 大きくなり、破れてしまう。そこで、山本電気工業製の微差圧スイッチ MS65HV300D を導入して KSP 用デハイ ドレータの電源を制御する事にした。このスイッチにより外気圧と送風管内の圧力差が 100 Pa を越えるとデハイ ドレータの電源が off になり、80 Pa 程度で復帰するといった制御が可能になる。この機能を実現するために、微 差圧スイッチの接点信号をリレーに繋ぎデハイドレータの電源を制御するためのコントローラを開発した。図 61 にコントローラ及びシステムの概念図を示す。ETR 内の乾燥空気分岐口に微差圧スイッチを取り付け、AZ 室と の間に DC 24V を引きリレーによりデハイドレータの電源を制御している。なお、AZ 室に微差圧計を設置した 場合は 100Pa が最適圧力差であったが、ETR に設置する場合は 250 Pa が最適値であった。また、コントローラ のタイマ設定値は 60 秒が最適であった。さらにシステムの安全性を保つために以下に示す機能を実現している。

- 後述する PICNIC によるステータスモニタ機能により、デハイドレータ稼動状況の常時モニタが可能。
- Fail safe 機構 (DC 24V 断線時にデハイドレータ電源オフ)を備える。
- KSP 用デハイドレータには低圧アラーム機構があり、圧力差 500Pa 以下になるとアラーム用接点がオンになる。低圧アラームオフ時に電源を切断する構成とし (本来の使用法と逆)、微差圧スイッチと合わせて2重の過負荷保護機構とする。



図 61: デハイドレータコントロールシステムの概念図

Vertex 製デハイドレータは内部に乾燥剤容器を2組持ち、交互に使用する事により乾燥剤を無交換で運用できる 機構になっているが、KSP用デハイドレータにはこのような機構が無いため、乾燥剤を定期的に交換しなければ ならない。夏季の湿度が高い時期には2週間に一度程度の頻度で交換する必要があり、実用上問題がある。交換 頻度を下げるために、乾燥剤を入れた外部大型タンクを準備中である。

5.4 32GHz 受信機出力变動

32GHz受信機の出力



図 62: 32GHz 受信機出力

パワーメータを使用して 32GHz 帯副反射鏡の較正試験中に 32GHz 受信機出力にステップ状のレベル変動が 発生した。受信機の出力例を図 62 に示すが、約1時間の間に多数のステップ状の変動が発生していることから、 受信機自体の特性とは考えにくい。原因調査の結果、IF 出力とパワーメータを接続するケーブルに起因している ことが判明した。ケーブル交換によりこの不具合は解消した。

5.5 2040MHz 受信試験

ESA の依頼により 34m アンテナにおける 2040MHz の観測可能性について調査を行った。S 帯受信系を使用 し、以下に述べる 2 つの方法により調査した。なお、S 帯用導波管の低域遮断周波数は 1.5GHz と推定される。

図 63 に示すように S 帯受信機内の既存ダウンコンバータ (D/C) の局部発信器 (Lo) の代替として信号発生器 (SG) から 1.9GHz を供給、受信機内蔵のバンドパスフィルタ (BPF) を除去して受信を行ったところ、Tsys は 225K、SEFD は 4600Jy(Cygnus-A) であった。測定においては、第3世代携帯電話 IMT-2000 基地局送信波 2110



図 63: 測定系統図 1

~2170MHz による受信機飽和を防止するために、帯域阻止フィルタ (BRF、通過帯域 DC~2070MHz、2210~ 3500MHz、減衰量 50dB 以上)を使用した。現在、IMT-2000 携帯電話ユーザはまだ少なく、基地局送信波は最大 電力よりも少ないため、このフィルタの減衰量でも受信機は飽和しない。

上記の測定系では 1760MHz がイメージ混信として受信される可能性があるので、別な方法として図 64 に示 す測定系を組んで受信試験を行った。BRF で IMT-2000 基地局波を減衰させ、3.3GHz の LPF で RF2040MHz と Lo4240MHz の和となる 6280MHz のイメージ信号をカットした。2040MHz は Lo:4240MHz の差 2200MHz と して既存 D/C に入力され、既存 D/C の Lo:2020MHz との差で IF:180MHz として受信することができる。この 測定系では 1850MHz ~ 2047MHz の RF 帯域が D/C に入力される。この系統で測定した結果、Tsys は、250K、 SEFD は、5200Jy であった。以上の結果より S 帯受信系では、2040MHz は Tsys 225K ~ 250K、SEFD 4600Jy



図 64: 測定系統図 2

~ 5200Jy で受信できることが分かった。ただし、S 帯本来の帯域内における Tsys は 61K、2240MHz(BW4MHz) での SEFD は 295Jy である。

5.6 同軸スイッチによる K 帯, Ka 帯, Q 帯切換システム

34m アンテナでは K 帯、Ka 帯、Q 帯の高周波 3 バンドの IF 伝送系 (光ファイバ)が共通化されているが、バ ンドを切り替えるためには E/O 変換器入力部に接続する系統を同軸ケーブルを差し替えて選択する必要があっ た。利便性が悪い上に、接続コネクタにかかる負荷の点でも好ましくない状態であったため、同軸スイッチによ リバンドを切り替えるシステムを開発した。同軸スイッチは Hewlett Packard の ラッチ型同軸スイッチ 33311B を使用した。本スイッチの 5GHz-7GHz における減衰及び反射は共に 1dB 以下であり、使用上問題が無い事が 確認されている。33311B(図 65)のスイッチング制御は、写真上中央のコモン端子を基準として-5V の電圧を左上 もしくは右上の端子に与える事により行う。3 入力 1 出力にするため 2 つの同軸スイッチをカスケードしている。 旧 22GHz 系の RHCP/LHCP,Hot/Cold 切換制御線がトロリーまで来ているのでリモート制御用に使用した。こ の制御線を使用する事により、toggle スイッチによる Local 切り替えに加え、AZ 室及び観測室の受信機制御計 算機からの遠隔切り替えも可能になった。図 66,図 67 に K 帯,Ka 帯,Q 帯切替器の回路写真及び回路図を示す。

5.7 34m アンテナ遠隔監視・障害発生通報システムの開発

34m アンテナにはステータスの表示系に完全ではない面があり、障害が発生してもすぐには発見されず、観測 に失敗してはじめて障害発生に気が付く事例がたびたび発生していた。そこで 34m アンテナの各種ステータス を常時監視するシステムを PICNIC(PIC Network Interface Card)を用いて構築した。PICNIC は、PIC マイ コン Microchip PIC16F877を利用した Ethernet に接続する I/O ボードで、デジタル入出力 8ch, アナログ入力 4ch,RS232C 入出力 1ch,温度センサ入力 1ch に対し LAN 経由でアクセスする機能を有する。現在までに、パラ レルポートを通じて Cold head(L,S/X,K/Ka,Q), ヘリウムコンプレッサ,デハイドレータの稼動状況及び ETR 内 温度が、シリアルポートにより HTS フィルタの稼動状況が取得可能である。これらのステータスを常時監視す る PC を走らせて状態のログを記録する (図 68) と共に、cgi プログラムにより現在の状況がリアルタイムで表示



⊠ 65: Hewlett Packard 33311B



図 66: K帯,Ka帯,Q帯切換器



図 67: K帯,Ka帯,Q帯切換器の回路図

(図 69) できるようにした。なお、ステータス常時監視用 PC では気象データも取得しており、PICNIC から得ら れた情報と合わせてリアルタイム気象状況も表示されるようになっている。今後は過去の障害例を参考にしつつ 監視を行う項目を充実させると共に、ステータス異常時に自動的にメールを送信(表 14)し、障害発生時に速や かに対応できる体制を整える予定である。



図 68: システムの概略図

監視項目	Mail 送信条件
デハイド電源 On/Off	一定時間連続 Off(or On)
ヘリウムコンプレッサ On/Off	停止時
ETR 温度	一定時間 T < 16 or T > 26
Cold head(L,S/X,K/Ka,Q) On/ Off	一定時間停止時
HTS filter	デュワー内温度異常時

表 14: ステータス異常時のメール送信条件

5.8 SCU 改良

副鏡制御計算機 (SCU) では、従来、設定すべき副鏡パラメータを手動で入力する必要があったため、受信バンド切替時の入力ミスによる観測失敗の原因なっていた。そこで SCU の副鏡パラメータ設定プログラムに変更を加え、受信バンドを指定すると自動的に副鏡パラメータが設定されるように改良した。今後、SCU にリモート制御機能を付加して FS9 から副鏡パラメータを自由に設定できるようにし、副鏡較正の自動化を図る予定である。

5.9 22、32、43GHz帯のシステム雑音温度測定用常温電波吸収体の設置

22、32、43GHz 帯用の受信系はシステム雑音温度を優先した設計を行っているため、ホーンとLNA 間には余 分な較正系を設置していない。先に整備されていた 43GHz 帯のみホーンの上部に常温電波吸収体が覆うような切 り替え装置が設置してあった。今回、43GHz 帯用の常温電波吸収体の切り替え装置を 22、32、43GHz 帯全ての 受信機で常温電波吸収体が使用できるように改良を行い、容易にシステム雑音温度(T_{sys})の測定ができるよう にした。既に整備されていた 43GHz 帯の常温電波吸収体を取り外して、新たに 22、32、43GHz 帯の各ホーンを 常温電波吸収体が覆うように製作して取り付けを行った(図70)。常温電波吸収体は従来より大型となり厚みも 増したが、形状の加工を工夫することにより他の機器との干渉を避けることができた。常温電波吸収体を使用し ての T_{sys} 測定は以下のように行う。常温電波吸収体と電波源のない空を見たときの受信機出力パワーの比を Y 、

· · ·	·	2 B#	調え	· · · · ·
92.200 Dttp://lecate	st/opi-bin/Status34e.cpi			 リノク ()天気 ()(後常)
気象 (2004/1/24)	状況 13:10:00現在)	34mアンテナ	ステー	-\$7,(2004/01/243:17:40)
		项目	状態	ガ臣
気温	0.5°C	ETR 内温度	23.4°C	過去100分の履歴 過去100時間の履歴
相封温度	55.4%	へりウムコンプレッサ	ON	2004/1/5 09:27:09 から
露点温度	-7.5°C	L band cold head	ON	2004/1/5 09:27:09 から
現地気圧	1007.2 hPa	S/X band cold head	ON	2004/1/5 09:27:09 から
海南気圧	1019.8 hPa	K/Ka band cold head	ON	2004/1/5 09:27:09 から
10分雨量	0 mm	Q band cold head	ON	2004/1/5 09:27:09 から
時間雨量	0 mm			
植算雨量	34 mm			
連続(累加)雨量	0 mm			
平均属速	3.4 m/s (西北西)			
重大瞬間風速	5.6 m/s (北西)			
最大瞬間風速起時	3:04			
最大風速	3.6 m/s (西北西)			
最大風速起時	3:00			
不快指数(夏季)	39.1%			
and the second se				

図 69: 各種ステータスをリアルタイム表示する cgi 画面

 $=P_{hot}/P_{sky}$ とすると T_{sys} は以下のように求められる。

 $T_{\text{sys}} = (T_{\text{hot}} + T_{\text{LNA}})/Y$ '

ここで、Thot は常温電波吸収体の物理温度、TLNA は受信機雑音温度である。

5.10 FS9時計モデルパラメータの改善

観測制御ソフト FS9 は計算機の時計を直接使用するのではなく、内部に計算機時計を補正するオフセットと レートのモデルを持ち、それによって補正した時刻を使用して観測、アンテナの追尾制御を行っている。

4月18日~22日にかけての5日間、FS9の時刻設定を行わずに時刻誤差を蓄積させ、このデータを使って4月23日にレートのパラメータを改善した。

更新後の約8時間の観測では時計のドリフトは-0.03秒程度となり、1日当たりに換算すると0.1秒程度であり、 以前と比較すると10倍程度、時計精度が向上できた。

34m アンテナの代表的な受信周波数帯とビーム幅、許容される時計誤差を表 15 にまとめた。赤緯 0 度の天体は 日周運動により 1 秒間で約 4.2/1000 度動く。例えば、43GHz 帯のビーム幅は 14/1000 度であり、半分の 7/1000 度で受信強度が 3dB 低下する。時刻誤差による追尾誤差を 3dB 低下する角度の 1/10 以内としようとしたとき誤 差角度は 0.7/1000 度以内でなければならない。この角度を赤緯 0 度の天体が日周運動で通過する時間に換算する



図 70: 22、32、43GHz 帯受信機に設置した Tsys 測定用電波吸収体。左から 32GHz、22GHz、43GHz 帯のホーンがある。Tsys 測定時には各ホーンの上を常温電波吸収体が覆うように切り替え装置を改良した。

と0.17秒であり、これが許容時計誤差となる。

周波数帯	HPBW	3dB 低下角度	許容誤差角度	通過時間(秒)
	1/1000 度	1/1000 度	1/1000 度	許容時計誤差
8GHz	73	36	3.6	0.86
$22 \mathrm{GHz}$	27	13	1.3	0.3
43GHz	14	7	0.7	0.17

表 15: 受信周波数帯と許容時計誤差

時計モデルのパラメータ改善により 34m アンテナの全周波数帯の観測において、観測前に一度時刻設定を行 えば 24 時間以内の観測では時計誤差に起因する追尾誤差はビーム幅の 1/10 以内に押さえることができるように なったので、観測中に時刻設定コマンドを実行する必要はなくなった。従来は長時間の観測では観測中に時刻設 定コマンドを実行する必要があった。

6 今後の保守計画

6.1 2004 年保守計画

定期保守を行うことで良好な状態が保たれ、年間100回以上の観測に使用されている34mアンテナであるが、 建設後、15年を経過して老朽化が進んでおり、今後も安定的に運用していくために、2004年には以下の保守、準 備を行うことが望ましい。

- バックストラクチャの補修、ナットプレートの交換:主鏡の背面構造部の状況については、4.3 修理・補修 に述べたように腐食の進行により支柱に多数の穴が空いている状態である。補修塗装を行うとともに、穴の補修溶接を行い、支柱内部からの腐食を防止して、背面構造部の強度を維持することが必要である。
- 予備ヘリウム配管の整備:敷設後、15年が経過して老朽化しており、復旧に長い時間がかかるため予備系を整備することが必要である。旧43GHz用に別に敷設していた配管が予備系の役割を果たしていたが2003年に破断したことにより予備系が失われた状態である。
- ●予備 ACU の準備:2003年の定期点検時、予備 ACU の入力インターフェースカードに故障が見つかった。 予備機は更新後、8年が経過して老朽化しており、現用機故障時に予備機本体も故障している可能性が高 まっている。ACU は米国製品で納入に時間がかかり、復旧に長い時間が必要となるので、予備機、予備ボー ドを準備することが望ましい。
- ・ 位相較正装置の準備:現用機(明星電気製)はメーカ製造中止となっており、故障した時に備えて代替機の 準備(開発)が必要である。
- アンテナ制御・受信機制御(観測室)計算機の更新:メーカ(アジレント社)によるハードウェアサポートが 中止され、4.3 修理・補修で記述しているように、老朽化による故障が頻発している状況であるので、早期 に更新する必要がある。

6.2 長期的保守計画

2005年以降は、受信機温度測定系の更新、副反射鏡制御ユニット (SCU) の予備系の整備、副反射鏡の X、Y 軸リニアベアリングの交換などが望ましい。アンテナメーカによれば 34m アンテナの大規模補修周期を 15 年と しており、2003 年がその 15 年目であった。ただし、鹿島 34m アンテナでは担当者の念入りな日常保守および駆 動系等の定期点検を実施することにより、アンテナはかなり状態良く維持されており、今すぐ不具合により観測 ができなくなるという状態ではない。しかしながら、主鏡を支える構造体の錆の進行は加速度的であり、このま までは後3,4年を経過した後に指数関数的に保守(補修)費が増大することが懸念され、アンテナ自体、次期 中期計画の最終年度まで安全な状態で維持できない可能性もある。今の時期に適切に若返り診断を実施し、その 結果により適切な補修が実施されれば(補修に必要な額は若返り診断後でないと確定しない)、毎年の定期保守 費用を低く押さえることが可能となる。さらに次期中期計画の最終年度まで 34m アンテナを活用することを考え た場合、総額では若返りプロジェクトを実施する場合の方が、低く押さえることが期待できる。

7 終わりに

宇宙電波応用グループが進めている「宇宙における時空標準基盤技術の研究」において本中期計画期間(平成 17年度終了)における実時間地球姿勢決定および相対VLBIによる宇宙飛翔体の位置決定技術の確立を目指 している。平成18年度からの次期5カ年計画では、実際に深宇宙探査体の軌道決定に応用して行くことを計画 している。

今後、国として有人宇宙飛行を検討するなど宇宙開発のニーズが高まる事が予想されるが、5~20年程度の中・ 長期的将来を見据えると、深宇宙に対する情報通信技術が、国家的にますます重要な位置を占めると考えられる。 次期大型アンテナが実現すると、深宇宙探査体の軌道決定のみならず、深宇宙に対する通信技術の確立の上でも 大きな役割を果たす。情報通信を担う研究所として現在わが国で3番目の大きさを持つ大型アンテナを保有し維 持する事は、今後の宇宙技術開発において国内外に対し優位性を保つ戦略の上でも、大変重要な意味を持つと考 えられる。

深宇宙をターゲットとするために、大型アンテナは不可欠であり平成16年度から次期大型アンテナの検討を 行うことにしている。

しかしながら、新たな大型アンテナの建設計画に関しては現時点では全くの白紙状態である。そこで次期大型 アンテナ候補の一つとして34mアンテナの若返りが現実的であるかどうかの調査をアンテナ製造メーカに依頼 することを検討したが、そのための予算を獲得できず、まだ調査を実施する段階に至っていない。

今後引き続き調査のための予算獲得に向けて努力を続けるとともに定期保守の充実を図りたい。

A 付録

A.1 アンテナのステータスメール送信方法

34m アンテナ運用時のアンテナ状態をメールで監視できる機能を新たに整備した。この機能により観測室でコンソールを見なくとも、別な場所でアンテナ状況を確認することができるようになり、不測のトラブルによる観測中断時間を短くすることに役立っている。

ステータスメールは、FS9から program コマンドによりドライブ ON されている間、送信が可能である。デフォルトは送信しない設定になっているので、ステータスメールが必要な時は program コマンドによりドライブ ON とした後、以下のように設定を変更する。

ステータスメールの送付先が書かれている計算機 tobiuo の/usr2/control/logmail.ctl ファイルを以下のように 編集する。ステータスメールの送信先は、デフォルトでは# foo@bar になっているが、先頭の2文字(#)を 削除すれば宇宙電波応用グループの携帯電話にメールを15分毎に送信するようになる。また、各自のメールア ドレスを指定すれば、そこに送信するようになる。メールアドレスをカンマで区切ることにより複数のアドレス にも送信可能となる。

FS9 より standby コマンドを実行したとき、上記のファイルは削除され、メールの送信は止まる。また、次の 観測時、program コマンドによりドライブ ON したときは、もとの設定に戻って、どこにもメールが送信されな いようになるので、メールを送信するには再度ファイルを編集する。

A.2 バックエンド切り替えコマンド

鹿島 34m アンテナには S2、K4、VLBA の 3 つのバックエンドがある。従来、これらのバックエンド制御を切 り替えるには手作業でファイルの設定を変更する必要があったが、FS9 が制御するバックエンドを変更するコマ ンドを用意した。

FS9 を起動する前に以下のコマンドを実行することにより、従来、手作業で変更していた設定ファイルを一括 して変更できる。

コマンド	説明
s2	s2 を選択するコマンド
k4	k4 を選択するコマンド
vlba	vlba を選択するコマンド

表 16: バックエンド切り替えコマンド

A.3 観測制御計算機 Field System 9(FS9) からの受信機制御

鹿島 34m アンテナの受信機の制御は、通常観測室の「受信機制御計算機」からファンクションキーなどを 使って行う。鹿島の Field System 9(FS9) には、この受信機制御計算機に GPIB コマンドを送る機能が組み込ま れており、FS9 から受信機制御計算機 (観測室) を介して受信機を制御することが可能でる。その方法は以下の通 りである。

A.3.1 受信機制御のための設定

受信機制御計算機で Network Status の画面を表示し、Cmd Source を確認する。通常は local になっている (受信機制御計算機が制御するモード)が、これを Change Source (F2)で GPIB に変更する。次に、受信機制御 計算機の背面にある 2 枚の GPIB ボードのうち、FS9 PC と書いてある方に GPIB ケーブルが接続されているこ とを確認する。これらが設定されていれば、FS9から受信機制御用のコマンドを送ることにより、受信機に関連した動作(ノイズソースやHOT/COLDの切り替え、受信偏波のL/Rの切り替え、HOT/COLD/LNAの温度の取得など)を制御できる。

A.3.2 受信機制御のためのコマンド

FS9 から実行する受信機制御用のコマンドは、以下の書式である。

sy=rxcmd < GPIB のコマンド>

sy=rxcmdの部分が受信機制御計算機へ GPIB コマンドを送出するコマンドで、それに続く文字列が GPIB コマ ンドとして送出される。GPIB コマンドは、例えば

POL2.2=R

のような書式である。この例では、S バンドの受信偏波を R に変更している。POL の部分が受信機関連の動作 を表す文字列で、POL (偏波切り替え)、DMY (ソースの HOT/COLD の切り替え;ただし実行はまだ)、CAL (DMY で指定されたソースへの切り替えの実行)などが利用できる。その後についている 2.2 というのは、2.2 GHz、つまり S-Band 受信機に対する制御を示す。この部分が X-Band であれば 8GN (Narrow 系)、8GW (Wide 系)と表記される。Noise Diode の on/off の場合も同様に

ND < 受信機のバンド > = ON (または OFF)

とすると、ON OFF の制御ができる。その他、rxcmd を使って送出できる受信機制御用 GPIB コマンドの詳細 については、観測室本棚にある「34m コンソール関係」というファイルに閉じられている ANTENNA SYSTEM INTERFACE COMPUTER SUBSYSTEM MAINTENANCE AND TROUBLESHOOTING MANUAL の中 の、APPEMDIX B HOST COMPUTER ALLOWABLE COMMANDS AND REQUESTS を参照されたい。た だし、ここには受信機制御計算機だけではなくアンテナ制御計算機へ送るコマンドも書かれているので、利用時 に区別する必要がある。 A.3.3 受信機制御のスケジュールへの組み込み

マニュアル操作でコマンドを送るだけではなく、スケジュールの中に組み込んで実行することも可能である。 以下に、受信機制御を組み込んだスケジュールの一例を示す。

!2003.282.02:57:00	(この日時になったら次の行を実行する)
sy=rxcmd POL2.2=R	(GPIB のレスポンス向上のために送る無害なダミーコマンド)
!+2s	(次を実行するまで2秒待つ)
sy=rxcmd POL2.2=R	(偏波を RHCP に変更)
" "	(コメント)
"1. s-band calibration procedure"	(コメント)
!2003.282.02:58:00	
sy=rxcmd DMY2.2=HOT	(ソースを HOT にする ; キャリブレーションの実行はまだ)
!+2s	
sy=rxcmd CAL2.2=E	(キャリブレーションを実行)
!2003.282.02:58:30	
sy=rxcmd DMY2.2=CLD	(ソースを COLD に変更)
!2003.282.02:59:00	
sy=rxcmd CAL2.2=D	(キャリブレーションを停止)

A.3.4 まとめ

鹿島 34m アンテナの FS9 には、受信機制御を行なう機能が組み込まれている。この機能はスケジュールに 組み込むことも可能である。受信機制御を FS9 から行なうことによって、較正データの取得や、Tsys 測定など の際に、運用者の負担を軽くすることが可能である。

A.4 22GHz 軸較正観測方法

夏季定期保守により副反射鏡を解体オーバーホールした為に副反射鏡較正観測を行い、その後に 22GHz 軸較 正観測を行った。X 帯での軸較正観測では受信レベルの測定にパワーメータを使用するが、22GHz 帯では電波星 の受信レベルが弱くなるので、水メーザの輝線スペクトルのレベルを AOS を用いて測定する。ここでは 22GHz 帯の軸較正観測の方法についてまとめた。

- AOSの準備 22GHz 軸較正観測は水メーザーのレベル測定に AOS を用いて行う。データは PC にある AOS サーバ、AOSSERVER.EXE を用いて収集する。天体観測時に AOS が飽和しないように入力アッテネータ を調整する。調整は受信機のノイズソースを動作させてオシロスコープで AOS が飽和しないレベルから更 にアッテネータを 2dB 入れる。
- バックエンドの準備水メーザーのスペクトルを AOS 入力周波数に合わせるためにワイドコンバータの Lo である SG の周波数は 3.935GHz に合わせる。水メーザーが 22.235GHz であり、1st-Lo が 16.8GHz なので IF は 5.435GHz となり、AOS の入力周波数が 1.5GHz なので Lo の周波数は 3.935GHz となる。SG の出力 はケーブルロスを考えて+10dBm に設定する。AOS では中心周波数が 65MHz、帯域 40MHz の信号を計測 (積分)する。
- FS9 の準備受信レベル測定は通常パワーメータを用いるので AOS に切換えるために、FS9 のアンテナコン トロール(anten)を anten.normal から anten.aos に切換える。

- 観測準備アンテナコントロールの切換えが終了したら天体 (メーザー)を受信して baseline、offset を求める。baseline の幅は 20 チャンネル位にセットして baseline は平らになるようにする。22GHz(水メーザー)に関しては 1~3 秒積分で行う。
- スケジュールの作成各天体が30分に1回程度の観測頻度になるようにスケジュールを作成する。1つの天体の観測はクロススキャンを2回行うため約7分間かかり、次の天体までのアンテナ駆動時間も考慮する。
- エラーの復旧 PC のシリアルポーリングエラーで時々、AOS のデータ収集が停止することがある。復旧に はまず、AOS サーバを終了させてから GPIB リセットを押す。またタスクマネジャーで AOS 関連のプロ グラムが動作していないことを確認する。次に AOS サーバを起動させて FS 9 が正常に動作しているかを 確認する。回復しなければ FS 9よりクロススキャンを終了させる。
- 22GHz 軸較正観測の結果今回の 22GHz 軸校正は定期保守のため副反射鏡調整を行い、その後に軸較正観 測を行った。観測結果より不良データの除去を行い軸較正パラメータの更新を行った結果、アンテナ指向誤 差の残差は方向角方向 0.00284 度(rms)、仰角方向 0.00293 度(rms)になった。

品名	使用	予備	必要	優先	備考
	個数		数	度	
構造部					
パネルサポート	1692	139	0		ナットプレート交換時、再利用不可のみ交換
					する。
ナットプレート	1692	10	-		交換済み 768 個。交換前に必要数を入手する。
AZ レールボルト(旧型)	256	15	-		鉄 5、ステンレス 10
カラー(旧通常)	-	5	-		通常は、強化型を使用する。
カラー(旧小型)	-	15	0		強化型が入らない場所のみ使用する。
					5 個未満時、10 個購入する。
AZ レールボルト (強化型)	-	16	4	В	通常使用する。20 個程度を常時確保。
駆動系					
AZ モータ	4	1	0		予備はローテーション組み込み
AZ モータコイル	-	1	0		
EL モータ	2	2	1	В	予備機1個は新品。もう1個は絶縁低下の
					ため、数か月間の暫定使用が可能。現用機
					1個は旧型のためコイル交換不可能。絶縁
					低下時にモータ購入が必要。
EL モータコイル	-	1	0		新型モータのコイルと交換が可能
補機					
ヘリウム圧縮機	1	1	0		予備はローテーション組み込み
ヘリウム配管	1	0	1	Α	15 年未交換であり、旧 43GHz 用配管が破断
					して予備系が喪失した。更新必要。
デハイドレータ	1	1	1	В	オリジナルが予備だが修理が高額なため、
					現用のKSP型の購入が望ましい。
副鏡					
アクチュエータ	5	0	2	В	X,Y 軸腐食
副鏡モータ、タコ	5	1	1	В	新品 AZ 室棚 1
副鏡ブレーキ	5	1	1	В	
副鏡減速機	5	1	1	В	未整備品階段下1
ロータリリミット SW	5	3	0		AZ 室階段下
LVDT	5	2	3	В	予備は 2003 年購入
リニアベアリング	8	0	4	Α	2003年2個交換。XY軸の残り4個は
					次回整備時、2005年に交換が必要。

品名	使用	予備	必要	優先	備考
	個数		数	度	
フィード、受信機					
冷凍機	4	1	0		冷凍機は使用直前に整備が必要
トロリーモータ	4	1	0		AZ 室棚
光送信機 (5-7GHz)	1	1	0		予備は予防交換品
受信機温度計	5	0	4	В	代替器整備1、他も更新が望ましい
受信機電源	6	0	6	В	更新後約8年経過、予防交換が望ましい
P-cal	1	0	1	Α	S/X 帯用。同型の購入不可、新規製作が
					必要。
受信系制御ボード (Opto22 ブレイン)	18	3	0		B1
Opto22 入力	10	2	0		РВ16К
Opto22 出力	8	2	0		PB16HC、新品1、予防交換品1
Opto22 DC リレー	-	10	0		ODC5R、03年購入
Opto22 AC リレー	-	20	0		OAC5
バス延長器 (ETR ~ Obs)	2	2	0		予備は対で交換可能(black box 社)
AZ 室					
ACU	1	1	1	Α	更新後8年が経過。自然故障が増加して
					いる。現用、予備が同時に故障する可能性
					が高まっているので、予備ボード等を入
					手することが望ましい。
位置入力ボード	-	0	1	Α	
CPU ボード	-	0	1	Α	
ドライブ出力ボード	-	0	1	Α	
SCU	1	0	1	Α	PC, デジタル I/O,AD, リレーカードが必要
422-232 変換器	1	1	0		仰角コマンド取得用。予備は03年購入
角度エンコーダ光学ユニット	2	1	0		
角度エンコーダ電気ユニット	2	3	0		2003年2台購入が現用,予備は予防交換品
エンコーダ電源 PS1	2	1	1	В	予備は予防交換品
エンコーダ電源 PS2	2	1	1	В	予備は予防交換品
受信帯域交換計算機	1	1	2	В	95年更新、HD故障2回。更新必要。
ロジックボード	1	1	0		予備は予防交換品。
DCPA(AZ 駆動)	4	1	0		
DCPA(EL 駆動)	2	1	0		
DCPA(副鏡)	5	2	0		完動品 1(AZ 室), F R 判別回路基板なし 1
バス延長器 (AZ ~ Obs)	2	2	0		HP37204、実験室の棚
観測室					
アンテナ制御計算機	1	1	3	Α	予備は受信機制御計算機と共用。老朽化の
					ため更新が必要。
同上用 RS422I/F	1	1	0		
同上用 422 光延長器	1	1	0		ネットワークサプライ。予備は03年購入
受信機制御計算機	1	1	3	Α	予備はアンテナ制御計算機と共用。老朽化
					のため更新が必要。
同上用 GPIB I/F	1	1	0		
光受信機 (5-7GHz)	1	1	0		

B 宇宙電波応用グループ成果論文(発表)リスト(2003年1月-12月)

原著論文

- Kondo, T., Y. Koyama, J. Nakajima, M. Sekido, and H. Osaki, Internet VLBI system based on the PC-VSSP (IP-VLBI) board, New Technologies in VLBI, ASP Conference Series, Vol.306, pp.205-216, 2003.
- Koyama, Y., T. Kondo, J. Nakajima, M. Sekido, and M. Kimura, VLBI observation systems based on the VLBI standard interface hardware (VSI-H) specifications, New Technologies in VLBI, ASP Conference Series, Vol.306, pp.135-144, 2003.
- Sekido, M., T. Kondo, E. Kawai, and M. Imae, Evaluation of GPS-based ionospheric TEC map by comapring with VLBI data, Radio Sci., Vol.38, pp.8-1–8-22, 2003.

Aonashi, K., T. Iwabuchi, Y. Shoji, R. Ohtani, and R. Ichikawa, Statistical study on precipitable water content variations observed with ground-based microwave radiometers, J. Met. Soc. Japan. (印刷中)

- Fey, A. L., R. Ojha, D. L. Jauncey, K. J. Johnston, J. E. Reynolds, J. E. J. Lovell, A. K. Tzioumis, J. F. H. Quick, G. D. Nicolson, S. P. Ellingsen, P. M. McCulloch, and Y. Koyama, Accurate astrometry of 22 southern hemisphere radio sources, Astronomical Journal. (印刷中)
- Kono, Y., H. Hanada, P. Jinsongm, Y. Koyama, Y. Fukuzaki, and N. Kawano, Precise positioning of spacecrafts by multi-frequency VLBI Earth Planets Space, Vol. 55, pp. 581–589, 2003.
- Shoji, Y., H. Nakamura, T. Iwabuchi, K. Aonashi, H. Seko, K. Mishima, A. Itagaki, R. Ichikawa, and R. Ohtani, Tsukuba GPS dense net campaign observation: improvement in GPS analysis of slant path delay by stacking one-way postfit phase residuals, J. Met. Soc. Japan. (印刷中)

口頭発表(収録論文)

- 市川 隆一, 関戸 衛, 大崎 裕生, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 相対 VLBI 観測による「のぞみ」位置決定を支える周辺技術, 「VLBI 技術による宇宙研究」研究会, 2003 年 2 月 27 日
- 市川 隆一, GPS 測位における大気ノイズ除去法の開発, シンポジウム 2002 大阪「明日をめざす科学技術」, 2003 年 2 月 26 日
- 市川隆一, 関戸衛, 近藤哲朗, 小山泰宏, 大崎裕生, 相対VLBI法による火星探査船「のぞみ」の軌道決定, 地球惑星科学関連 学会 2003 年合同大会, 2003 年 5 月 29 日
- 市川隆一, 瀬古 弘, Michael Bevis, 非静力学モデルによる大気モデル、および測位誤差シミュレーション結果 --その 2-, 地 球惑星科学関連学会 2003 年合同大会, 2003 年 5 月 29 日
- 市川 隆一, 関戸 衛, 大崎 裕生, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 大西 隆史, VLBI 観測による火星探査船「のぞみ」の位置決定結果と今 後の宇宙飛翔体軌道決定技術の開発計画, 日本測地学会第 100 回講演会, 2003 年 10 月 22 日
- 大久保 寛, 米沢 郁人, 川合 栄治, 近藤 哲朗, 大崎 裕生, 西田 和史, 鹿島34mアンテナにおける 22/32G 受信機の現状とホ ログラフィ試験観測結果について, 2002 年度VLBI懇談会シンポジウム, 2003 年1月14日 - 16日
- 大崎 裕生, IP-VLBIシステムの現状, 2002 年度VLBI懇談会シンポジウム, 2003 年1月14日
- 大崎裕生、近藤哲朗、小山泰弘, IP-VLBI システムによる「のぞみ」観測,「VLBI 技術による宇宙研究」研究会, 2003 年 2 月 27 日
- |大崎 裕生, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, VLBI データ記録 'K5' の開発, 地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会, 2003 年 5 月 29 日
- 大崎 裕生, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, K5 システム用 PCVLBI ボードの自己診断ツールの開発, 日本測地学会第 100 回講演会, 2003 年 10 月 23 日
- 川合 栄治, 大久保 寛, 中島 潤一, 雨谷 純, 近藤 哲朗, 次世代携帯電話によるS帯混信の回避方法と高温超伝導フィルタ, 2002 年度VLBI懇談会シンポジウム, 2003 年1月16日
- 川合 栄治, 中島 潤一, 竹内 央, 久保木 裕充, 近藤 哲朗, 高温超伝導フィルタによる 2GHz 帯電波天文用受信機の広帯域化と 混信排除, 日本天文学会秋季年会, 2003 年 9 月 27 日
- 木村 守孝, 中島 潤一, ギガビット VLBI のためのハードウェア相関器とソフトウェア相関器, 2002 年度 V L B I 懇談会シン ポジウム,2003 年 1 月 16 日
- 木村 守孝, 中島 潤一, 近藤 哲朗, 関戸 衛, 2 ギガビット実時間 VLBI 相関器の完成と試験観測, 日本天文学会 2003 年春季年 会, 2003 年 3 月 25 日
- 木村 守孝, 中島 潤一, 近藤 哲朗, 竹内 央, 久保木 裕充, Jouko Ritakari, 汎用 PC による 2Gbps-VLBI システムの完成, 日本 天文学会 2003 年秋季年会, 2003 年 9月 27 日
- 木村守孝, 中島潤一, 竹内 央, 近藤哲朗, 汎用 PC を用いたグリッド型多基線 VLBI システム ~ ギガビット測地 VLBI 観測への応用~, 日本測地学会第 100 回講演会, 2003 年 10 月 23 日

- 木村守孝, 中島潤一, 竹内 央, 近藤哲朗, PC を用いた 2 ギガビット VLBI システム, 2003 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2003 年 12 月 9 日
- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 大崎 裕生, 魚瀬 尚郎, 岩村 相哲, 日米基線による e-VLBI 観測, 2002 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2003 年1月16日

小山 泰弘,のぞみ相対 VLBI観測のための臼田局位置の推定,「VLBI技術による宇宙研究」研究会,2003年2月27日

- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 中島 潤一, 木村 守孝, 大崎 裕生, 大久保 寛, K 5 およびギガビットシステムによる測地 V L B I 試験 観測結果, 地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会, 2003 年 5 月 29 日
- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 大崎 裕生, 高島 和宏, 徂徠 和夫, 高羽 浩, 多基線測地VLBI実験によるK5システムの実証, 日本測 地学会第 100 回講演会, 2003 年 10 月 22 日
- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 大崎 裕生, 平原 正樹, 高島 和宏, 徂徠 和夫, 高羽 浩, 藤沢 健太, David Lapsley, Kevin Dudevoir, Alan Whitney, K5 システムによる測地 VLBI 実験, 2003 年 V L B I 懇談会シンポジウム, 2003 年 12 月 9 日

小山 泰弘, VLBI2010, 2003 年度 VLB I 懇談会シンポジウム, 2003 年 12 月 11 日

- 近藤 哲朗, 市川 隆一, 小山 泰弘, 関戸 衛, 大崎 裕生, 「のぞみ」相対 V L B I グループ, 「のぞみ」相対 VLBI 観測, 2002 年 度 V L B I 懇談会シンポジウム, 2003 年 1 月 14 日
- 近藤 哲朗, 機関報告 通信総合研究所鹿島宇宙通信研究センター (IVS 技術開発センター), 2002 年度 V L B I 懇談会シンポ ジウム, 2003 年 1 月 14 日
- 近藤 哲朗, 関戸 衛, 市川 隆一, 小山 泰弘, 大崎 裕生, 「のぞみ」VLBI観測データの高次フリンジサーチ法の確立, 「VLBI 技術による宇宙研究」研究会, 2003 年 2 月 27 日
- 近藤 哲朗, 大崎 裕生, 小山 泰弘, VLBI相関処理データの高次フリンジサーチについて, 地球惑星科学関連学会 2003 年合 同大会, 2003 年 5月 26日
- 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 大崎 裕生, 測地VLBI用ソフト相関器の現状, 日本測地学会第 100 回講演会, 2003 年 10 月 23 日

近藤 哲朗, 小山 泰弘, 大崎 裕生, K5ソフト相関器の現状, 2003 年度VLBI懇談会シンポジウム, 2003 年 12 月 9 日

- 近藤哲朗,機関報告:通信総合研究所でのVLBI活動報告,2003 年度VLBI懇談会シンポジウム,2003 年 12 月 10 日
- 関戸 衛, 市川 隆一, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 大崎 裕生, のぞみ相対 VLBI 研究グループ, VLBIによる飛翔体「のぞみ」の位 置推定・進捗報告, 2002 年度 VLB I 懇談会シンポジウム, 2003 年 1 月 14 日
- 関戸 衛, 福島 登志夫, 有限距離電波源に対する VLBI 遅延モデル, 「VLBI 技術による宇宙研究」研究会, 2003 年 2 月 27 日
- 関戸 衛, 近藤 哲朗, 市川 隆一, 大崎 裕生, 小山 泰弘, CRL における VLBI 観測による NOZOMI の位置天文解析, 「VLBI 技術による宇宙研究」研究会, 2003 年 2 月 28 日
- 関戸 衛, 市川 隆一, 大崎 裕生, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 吉川 真, VLBI による飛翔体位置決定技術 –位相遅延計測・解析の現 状–, 日本測地学会第 100 回講演会, 2003 年 10 月 23 日
- 関戸 衛, 市川 隆一, 大崎 裕生, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, VLBI による宇宙飛翔体位置計測 –データ解析の現状について–, 第2 5回太陽系科学シンポジウム, 2003 年 12 月 3 日
- 関戸 衛, 市川 隆一, 大崎 裕生, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 吉川 真, 大西 隆史, 「のぞみ」相対 VLBI グループ, VLBI による飛翔 体の観測 –NOZOMI と HAYABUSA-, 2003 年度 VLB I 懇談会シンポジウム, 2003 年 12 月 10 日
- 竹内 央, 中島 潤一, 木村 守孝, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 市川 隆一, 鹿島-苫小牧基線 ギガビット測地 VLBI 実験, 日本測地学会 第 100 回講演会, 2003 年 10 月 23 日
- 竹内 央, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 中島 潤一, 木村 守孝, VLBI@home ~分散型ソフトウェア相関システムの開発, 2003 年度 V L B I 懇談会シンポジウム, 2003 年 12 月 9 日
- 中島 潤一, 木村 守孝, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, PCによるギガビット観測成功 PC-VSIの標準システム化とギガビットV LBIシステムへの結合, 2002 年度VLBI懇談会シンポジウム, 2003 年1月16日
- 中島 潤一, 木村 守孝, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 坪井 昌人, 春日 隆, 汎用科学インターフェースとインターネットによる日本-フィンランド間の 22GHz VLBI ギガビット観測の成功, 日本天文学会 2003 年春季年会, 2003 年 3 月 26 日
- 中島 潤一, 木村 守孝, 竹内 央, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, SAM(Single-Analog-Multiplex) 方式 VLBI GICO2 による開発と K5/PC-VSI への移行方法, 2003 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2003 年 12 月 9 日
- 工藤 理一, 三澤 浩昭, 土屋 史紀, 三好 由純, 渡邉 拓男, 森岡 昭, 近藤哲朗, 藤野義之, 飯舘惑星電波望遠鏡 (IPRT) 給電部の 開発地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会, 2003 年 5 月 26 日
- 大坪 俊通, 久保岡 俊宏, 後藤 忠広, 市川 隆一, レーザ測距データによる大気荷重変形の検出 (2), 地球惑星科学関連学会 2003 年合同大会, 2003 年 5 月 29 日
- 大坪 俊通, 久保岡 俊宏, 後藤 忠広, 市川 隆一, レーザ測距データによる大気荷重変形の検出 (3) "blue sky" 効果, 日本測地 学会第 100 回講演会, 2003 年 10 月 23 日
- 須藤 広志,藤沢 健太,市川 隆一, 関戸 衛, 大崎 裕生, 近藤 哲朗, ブラックホールの軌道運動に伴う電波強度変動を利用した バイナリーブラックホールの探査, 2003 年度 VLB I 懇談会シンポジウム, 2003 年 12 月 9 日

- 三澤 浩昭, 土屋 史紀, 三好 由純, 野沢宏大, 森岡 昭, 近藤哲朗, シンクロトロン電波放射のスペクトル観測による木星内部磁 気圏の探査, 日本天文学会 2003 年春季年会
- 三澤 浩昭, 土屋 史紀, 工藤 理一, 三好 由純, 渡邉拓男, 森岡 昭, 近藤 哲朗, 惑星電波観測用大型メートル・デシメートル波帯 電波望遠鏡の開発, 日本天文学会 2003 年春季年会

高橋 幸雄, 小山 泰弘, 日本の宇宙測地技術の現況と展望, Geomatics Forum (大韓測量協会), 2003 年 10 月 28 日

- Ichikawa, R., Topographic effect on atmospheric gradient estimation based on the numerical simulation through the non-hydrostatic NWM, International Workshop on GPS Meteorology, June 15, 2003.
- Ichikawa, R., H. Seko, Michael BEVIS, An evaluation of positioning error estimated by the mesoscale non-hydrostatic model, International Workshop on GPS Meteorology, June 15, 2003.
- Ichikawa, R., M. Swkido, H. Osaki, Y. Koyama, T. Kondo, and NOZOMI VLBI group, VLBI application for spacecraft navigation (NOZOMI) Part I Overview–, IVS CRL-TDC News, No.22, pp.10–11, June 2003.
- Ichikawa, R., M. Sekido, T. Kondo, Y. Koyama, H. Osaki, Orbit, Determination of the NOZOMI spacecraft using differential VLBI technique, IUGG XXIII General Assembly, July 10, 2003.
- Ichikawa, R., M. Sekido, H. Osaki, Y. Koyama, T. Kondo, T. Ohnishi, M. Yoshikawa, and NOZOMI DVLBI group, An evaluation of VLBI observations for the positioning of the NOZOMI Spacecraft and the future direction in research and development of the deep space tracking using VLBI, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.31–33, Nov. 2003.
- Kawai, E., J. Nakajima, H. Takeuchi, H. Kuboki, and T. Kondo, Wide-band high-temperature superconductor filter on 2.2GHz RFI mitigation, IVS CRL-TDC News, No.22, pp.2–4, June 2003.
- Kawai, E., J. Nakajima, H. Takeuchi, H. Kuboki, and T. Kondo, High-temperature superconductor filter of 2.2GHz, operating status against RFI, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.10–11, Nov. 2003.
- Kimura, M., J. Nakajima, and T. Kondo, Multi baseline grid software correlator, 2nd eVLBI Workshop, Dwingeloo, Netherlands, May 2003.
- Kimura, M., J. Nakajima1, J. Ritakari, and A. Mujunen, First detection of 2-Gbps wideband fringes between two PCbased VLBI systems, IVS CRL-TDC News, No.22, pp.5, June 2003.
- Kimura, M., J. Nakajima, H. Takeuchi, and T. Kondo, 2-Gbps PC architecture and Gbps data processing in K5/PCVSI, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.12–13, Nov. 2003.
- Koyama, Y., T. Kondo, and H. Osaki, Results of test e-VLBI experiments with the K5 VLBI system, Spring 2003 Internet2 Member Meeting, Apr.10, 2003.
- Koyama, Y., T. Kondo, and J. Nakajima, High speed data transmission and processing systems for e-VLBI observations, 21st AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit, Apr.17, 2003.
- Koyama, Y., H. Osaki, and T. Kondo, Results of test e-VLBI experiments with the K5 VLBI system, 2nd eVLBI Workshop, Dwingeloo, Netherlands, May 2003.
- Koyama, Y., T. Kondo, and H. Osaki, Rapid UT1-UTC estimation from Westford-Kashima e-VLBI experiment, IVS CRL-TDC News, No.22, pp.6–9, June 2003.
- Koyama, Y., T. Kondo, and H. Osaki, Rapid turn around EOP, measurements by VLBI over the Internet, IUGG XXIII General Assembly, Jul.10, 2003.
- Koyama, Y., T. Kondo, and H. Osaki, Software correlation for distributed processing of e-VLBI data, 16th APAN Meetings / Advanced Network Conference in Busan, Aug.27, 2003.
- Koyama, Y., T. Kondo, J. Nakajima, M. Kimura, and H. Osaki, Introduction to the K5 System, Second IVS Technical Operations Workshop, Sep.25, 2003.
- Koyama, Y., T. Kondo, H. Osaki, K. Takashima, K. Sorai, H. Takaba, and K. Fujisawa, Evaluation of the K5 system in geodetic VLBI experiments, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.26–30, Nov. 2003.
- Kondo, T., Y.Koyama, R.Ichikawa, M.Sekido, and H.Osaki, Quasi real-time positioning of spacecrafts using the Internet VLBI system, IUGG XXIII General Assembly, Jul.10, 2003.
- Kondo, T., Y. Koyama, and H. Osaki, Current status of the K5 software correlator for geodetic VLBI, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.18–20, Nov. 2003.
- Nakajima, J., Gbps VLBI network experiment in Japan , toward a global radio telescope, APAN2003 Annual Meeting/Conference, June 23, 2003.
- Nakajima, J., Recent technical development to monitoring weak satellite emission at CRL, Kashima 34-m radio telescope, Workshop on Space Radio Monitoring, Sep.24, 2003.
- Nakajima, J., M. Kimura, Y. Koyama, and T. Kondo, Data ownership evolution and flexible handling around PC VLBI, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.14–15, Nov. 2003.

- Nakajima, J., Standard scientific interface connecting radio telescopes in Japan and Finland, ITU New Breeze, Vol.15, No.2, pp.17–19, 2003.
- Osaki, H., T. Kondo, and Y. Koyama, Diagnostic tools for the K5 system, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.16–17, Nov. 2003.
- Sekido, M., R. Ichikawa, H. Osaki, T. Kondo, and Y. Koyama, VLBI application for spacecraft navigation (NOZOMI) Part II – Delay Model and Analysis–, IVS CRL-TDC News, No.22, pp.12–15, June 2003.
- Sekido, M. and T. Fukushima, Relativistic VLBI delay model for finite distance radio source, IUGG XXIII General Assembly, Jul.10, 2003.
- Sekido, M., nd T. Fukushima, Relativistic VLBI model for finite distance radio source, JOURNEES2003, Sep.25, 2003.
- Sekido, M., R. Ichikawa, H. Osaki, T. Kondo, Y. Koyama, M. Yoshikawa, and NOZOMI VLBI Observation Group, VLBI Application for Spacecraft Navigation (NOZOMI) –follow-up on Model and Analysis–, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.34–35, Nov. 2003.
- Takeuchi, H., J. Nakajima, M. Kimura, Y. Koyama, and T. Kondo, Geodetic VLBI experiments using VSI-based giga-bit VLBI system, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.23–25, Nov. 2003.
- Misawa, H., R. Kudo, F. Tsuchiya, A. Morioka, and T. Kondo, Development of a primary feed system for the parabolic rectangular reflector antenna dedicated for planetary radio emission, IVS CRL-TDC News, No.23, pp.57–59, Nov. 2003.
- Ohishi, M., J. Nakajima, and M. Tokumaru, Sharing studies between the radio astronomy telescopes and the power line communication systems in the HF region, 7th International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications (ISPLC 2003), Kyoto, Japan, Mar.28, 2003.
- Otsubo, T., T. Kubooka, T. Goto, and R. Ichikawa, Signal of atmospheric pressure loading in laser ranging data, IUGG XXIII General Assembly, Jul. 2003.
- Tsuchiya, F., H. Misawa, T. Nakajo, I. Tomizawa, J. Nakajima, and M. Ohishi, Interference measurements in HF and UHF bands caused by extension of power line communication bandwidth for astronomical purpose, 7th International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications (ISPLC 2003), Kyoto , Japan, Mar.28, 2003.





National Institute of Information and Communications Technology

鹿島 34m アンテナ 2003 年 年次報告書

	2004年1月30日発行
発行	独立行政法人 通信総合研究所
	電磁波計測部門 宇宙電波応用グループ
執筆	川合栄治,竹内央,久保木裕充,中島潤一,
	関戸衛, 大崎裕生, 近藤哲朗
URL	http://www2.crl.go.jp/ka/radioastro/