鹿島34mアンテナ2005年年次報告書

情報通信研究機構 電磁波計測部門 宇宙電波応用グループ



図 1: 鹿島宇宙通信研究センター 34m パラボラアンテナ。



図 2: CARAVAN2400。口径 2.4m、8GHz 帯受信機を搭載しており、2005 年には太陽に続き、天体電波源 Cas-A の受信に成功した。詳細は 14 ページ、3.6.4 参照。



図 3: e-VLBI 技術の説明に耳を傾けられる天皇皇后両陛下 (2005 年 6 月 5 日)。詳細は 3 ページ、2 参照。





図 4: K4/KSP システム。左側に局部発振器、ビデ オコンバータ、AD サンプラがあり、右側は 24 巻の テープを自動で交換できる大容量データストレージ システムである。詳細は 11 ページ、3.5 参照。

図 5: K5/VSSP システム。ラック組込型の PC4 台 により最高 512Msps のデータレートでハードディス クに記録することが可能である。詳細は 11 ページ、 3.5 参照。



図 6: K5/VSSP32 システム。4-ch ユニット (左) および 16-ch モジュール (右)。詳細は 11 ページ、3.5 参照。



図 7: K5/VSI システム。左上が 16ch、64Msps/ch の サンプラ ADS2000、右上が 1ch、1024Msps 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。2005 年時点でさらに 8TB、 17.8 時間の記憶容量を実現している。詳細は 12 ページ、 3.5 参照。



図 8: VLBI 用としては世界最高速の 2Gsps/8bit (外部出力は最大 4Gbps)のVSI 準拠 AD サンプラ ADS3000。CompactFlash ポートを通じて FPGA 内部演算回路を自由に書き換えを行うことが可能 であり、目的に応じて様々な演算処理を追加する 事ができる。詳細は 12 ページ、3.5 の K5/VSI の 項を参照。



図 9: 高速 AD サンプラ (ADS1000) と汎用 PC4 台からなるデータ処理部によって構成されたデジタル分光計。帯 域幅 256MHz、周波数分解能 32kHz の分光処理を実時間で行うことができる。詳細は 42 ページ、5.3 参照。



図 10: IGS(国際 GNSS 事業)の観測点として登録され、運用を行っている鹿島宇宙通信研究センターのGPS観測点のアンテナ及びピラー部(観測局 ID:KSMV)。他に小金井本部でも同様のGPS 観測点を設置し、運用を行っている(観測局 ID:KGNI)。 左側後方は11m アンテナ。詳細は13ページ、3.6.1参照。



図 11: 水蒸気ラジオメータ Radiometrics 社 WVR1100 型。本体の下部、三脚 の上部にラジオメータのアンテナを任意 の仰角・方位に向けるための AZEL 追跡 用駆動装置が備わっている。詳細は 13 ページ、3.6.2 参照。



図 12: 2005 年定期保守までの AZ レールボルトの累積交換箇所。詳細は 26 ページ、4.3.5 参照。

目 次

第1章	はじめに	1
第2章	トピックス	3
第3章	34m アンテナの現況	4
3.1	主要諸元....................................	4
3.2	受信機性能	5
3.3	受信状況....................................	5
3.4	追尾誤差	9
3.5	34m アンテナのバックエンドシステム	11
3.6	34m アンテナ併設の観測機器など....................................	13
	3.6.1 測地用 GPS 観測点	13
	3.6.2 水蒸気ラジオメータ	13
	3.6.3 APPS(高度精密測位システム)	13
	3.6.4 CARAVAN2400	14
3.7	2005 年運用状況	16
第4章	保守状況	17
4.1	定期保守	17
	4.1.1 機械系	17
	4.1.2 電気系	18
	4.1.3 付帯設備	18
	4.1.4 駆動モータのローテーション	18
	4.1.5 副反射鏡取り付け状況	20
4.2	保守方法の検討と改善・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	20
	4.2.1 重要予備品の準備	20
	4.2.2 FS9 時計パラメータ更新	22
4.3	修理・補修	22
	4.3.1 AZ 室空調機更新	22
	4.3.2 AZ ケーブルラップ室排水ポンプコンセント接触不良	22
	4.3.3 フィードコーンレドームへの浸水	22
	4.3.4 背面構造部の補修 (2004 年度後期)	24
	4.3.5 AZ レールボルトの交換	26
	4.3.6 ACU 更新と EL 軸の追尾誤差増加 (サーボモード切替不良)	27
	4.3.7 TLim の発生によるブレーキの誤動作	27
	4.3.8 直流電力増幅装置の故障	28
	4.3.9 観測制御計算機の更新	28
	4.3.10 ETR 空調装置	28
	4.3.11 ヘリウムガス配管のガスリーク	29
	4.3.12 副反射鏡駆動部、位置読み取り部の故障	29

	4.3.13 配管サポート交換	31		
	4.3.14 AZ 軸八ンチング	31		
	4.3.15 HTS フィルタのファン交換	32		
	4.3.16 C帯トロリーの制御系不具合	33		
4.4	解決すべき課題....................................	33		
	4.4.1 ブレーキの誤動作	33		
	4.4.2 X 帯トロリーインストール停止不良	33		
	4.4.3 DCPA 過電流	33		
	4.4.4 S/X 帯受信機性能の改善	33		
第5重	開発	34		
5.1	 X 帯の広帯域化	34		
	5.1.1 背景	34		
	5.1.2 T _{sys} とSEFDの周波数特性	34		
	5.1.3 今後の計画	38		
5.2	観測室の標準信号分配アンプの交換....................................	38		
5.3	高速 AD と PC を用いたデジタル分光計	42		
第6章	今後の計画	43		
付 録	A S/X 带軸較正用電波源	44		
付 録	B 略語 4			
付 録	○ 宇宙電波応用グループ成果リスト (2005 年 1 月 - 12 月) 4			

第1章 はじめに

34m アンテナ (p.iii、図1 および p.1、図 1.1) 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測地 VLBI 観測用主アンテナとして、1987 年度補正予算により通信総合研究所 (現 情報通 信研究機構:NICT) 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、同アンテ ナは測地学的成果だけではなく電波天文学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。現在、建設後約 17 年が経過しているが、定期的な保守および安定運用性向上を図る様々 な対策を継続して実施することによりほぼ安定に運用されている。

2005年はNICT 第1期中期計画の4年度目から最終年度にかけての年にあたり、宇宙電波応用グループでは、 電磁波計測時空計測分野において「宇宙における時空標準基盤技術の研究開発」という課題の元で研究開発を行っ た。本課題の目的は宇宙空間における時空基準を構築し、宇宙飛翔体の位置と時間を正確に決めるシステムを実 現するために必要な要素技術を確立することである。そのため微弱な天体電波源や小惑星探査機「はやぶさ」、 磁気圏観測衛星「GEOTAIL」(ジオテイル)といった深宇宙探査機からの電波を受信して研究開発に必要な観測 データを取得することが必要であるが、その上で直径34mという大型アンテナは非常に重要な役割を果たしてい る。宇宙空間における位置を正確に計測するためには、まず座標系の基準となる天球基準座標系と地球基準座標 系を高精度に決定して維持すること、およびこれら2つの基準座標系の関係を定める地球姿勢を高精度に決定す ることが重要である。そのため、宇宙電波応用グループでは国際VLBI事業(IVS)に積極的に参画し、IVSの国 際VLBI 観測網の重要な観測局の一つとして天球基準座標系および地球基準座標系構築のための国際VLBI 観測 に参加している。とりわけ、鹿島34mアンテナは、1983年から2003年まで運用された26mアンテナで蓄積さ



図 1.1: 天体電波源や宇宙飛翔体からの微弱な電波の受信に重要な鹿島宇宙通信研究センター 34m パラボラアン テナ。2005 年には測定精度向上のため 8GHz 帯受信機の広帯域化が試行された。 れた極めて高精度の基準点位置と速度のデータを引き継ぐ観測局として日本国内はもとよりアジア地域における 重要な観測点の一つとして認識されている。また、NICT は IVS の技術開発センターとして指定されており、特 に高速ネットワークを活用した大容量データ伝送とリアルタイム処理による高精度地球姿勢即時決定を目指す研 究開発では各国の研究機関と協力しつつ IVS のもとでの技術開発における主導的役割を担ってきた。特に、2004 年からは、鹿島宇宙通信研究センターは研究開発用テストベッドネットワーク JGN II の主要なノードの一つと して接続されており、この環境を活用して e-VLBI 技術の研究開発を効率的に推進することが可能となった。

このほか、34m アンテナは NICT 内外のグループとの研究協力、共同観測にも活発に活用されている。その一 つの例が、時間周波数計測グループで実施されているミリ秒パルサーの高精度タイミング計測の研究開発である。 ミリ秒単位の周期で規則的に電波パルスが放射されるパルサー天体からの高精度パルスタイミングを長期安定時 系の構築に応用することを目的として、長期間にわたって品質の高いデータの取得に 34m アンテナが活用され ている。また、国立天文台の VERA システムと大学等が運用する電波望遠鏡を結合することで VERA のイメー ジング性能をより一層向上して新たな研究の展開を目指している大学 VLBI 連携観測においても 34m アンテナ はその大きな集光力のために重要な観測局として位置づけられ、多くの電波天文 VLBI 観測が実施されるように なった。

このように 34m アンテナは、NICT における研究開発に活用されているのにとどまらず、国内外の研究機関との共同研究など、その利用目的の幅が従来にも増してますます広がってきている。この報告書は 2005 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、必要な基礎的 情報を利用者・関係者で共有し、今後のアンテナの安定運用・機能向上に資することを目的としている。

第2章 トピックス

34m アンテナは多数の周波数帯を受信できることが特徴であるが、近年、測定精度を向上させるために、X帯では34m アンテナの設計受信周波数より高い方向に周波数が拡大された観測が行われており、これに対応するため2005年にX帯の広帯域化を試みた。概要は p.5の3.2受信機性能に、詳細は p.34の5.1X帯の広帯域化に記述する。前述のX帯の広帯域化のほか、IVS国際実験、はやぶさをターゲットとした相対 VLBI 実験、後述する滞在研究者による観測等により34m アンテナの運用時間が前年比55%増加して大いに活躍した。詳細は p.16、3.7 2005年運用状況を参照のこと。

研究者の受け入れも活発に行われ、オーストリア、ペルー、中国から計6名の研究者が特別研究員や招へい研究 員として宇宙電波応用グループに滞在した(表 2.1)。Thomas Hobiger 氏は、鹿島滞在中の成果で Radio Science に投稿していた論文、VLBI as a tool to probe the ionosphere が 2005年11月にアクセプトされ、出版された (p.46、付録 C 参照)。またウィーン工科大学の学位も取得した。Ishitsuka Iba Jose Kaname 氏、Vidal Safor Erick Dennis 氏はペルーのアンテナ立ち上げのために来所していた。鹿島が NASA と協力して開発してきた FS9(Field System Version 9)というソフトウェアを使用することを想定しており、鹿島に滞在してペルーのアンテナを制御 するためのソフトウェア開発を行うことを目的に特別研究員として滞在した。ペルーで使用する観測制御システム の整備と合わせて、34m アンテナの観測制御システム FS9の更新も行われた。Zheng Weimin 氏と Shu Fengchun 氏は最新の VLBI ソフトウェア相関器と e-VLBI 技術の習得、そして将来、中国の月計画に e-VLBI 技術の使用 可能性についての調査等を行った。また、中国ウルムチ天文台 Liu Xiang 氏が宇宙飛翔体の相対 VLBI 研究、天 体電波源の短周期変動観測のため滞在した。

2005年6月5日、天皇皇后両陛下が潮来市の水郷県民の森で開催された全国植樹祭にご臨席された後、鹿島宇 宙通信研究センターをご視察された。図3(p. iv)は鹿島センターの展示室で天皇皇后両陛下が熊谷電磁波計測部 門長の e-VLBI技術の説明に耳を傾けられているところである。なお、センター本館玄関前からは34m アンテナ の動く様子もご覧頂いた。

名前	所属	期間	テーマ	備考
Thomas Hobiger	オーストリア ウィーン	2004.7.1 -	VLBIによる電離	日本学術振興会
	工科大学	2005.3.31	層研究	(JSPS) フェロー
Ishitsuka Iba Jose	ペルー地球物理研究所	2004.10.26 -	VLBI運用ソフト	国立天文台より特別
Kaname		2005.3.31	ウェア FS9	研究員として滞在
Vidal Safor Erick	ペルー地球物理研究所	2004.10.26 -	VLBI運用ソフト	国立天文台より特別
Dennis		2005.3.31	ウェア FS9	研究員として滞在
Zheng Weimin	中国科学院上海天文台	2005.10.15 -	e-VLBI ソフトウェ	招へい研究員
		11.30	ア相関器	
Shu Fengchun	中国科学院上海天文台	2005.10.15 -	e-VLBI ソフトウェ	招へい研究員
		11.30	ア相関器	
Liu Xiang	中国科学院国家天文台	2005.11.1 -	e-VLBI 短周期変動	招へい研究員
	ウルムチ観測所	2006.1.29	観測	

表 2.1: 2005 年受け入れ研究者一覧

第3章 34mアンテナの現況

3.1 主要諸元

34m アンテナの主要諸元を表 3.1 に、またアンテナ各部の名称を図 3.1 に示す。受信性能について 3.2 にまとめた。本年次報告で使用される略語については付録 B を参照されたい。

34m アンテナは 1.5GHz 帯から 43GHz 帯のミリ波までの多数の周波数帯を受信でき、高い周波数を受信でき るように鏡面精度が仰角 45 度の実測が 0.17mm(rms) と高い。そして、支持構造部を補強することにより重力変 形を極力低減して全天での開口能率を確保している。測地 VLBI 観測で精度の高い測位解を得るためにできるだ け全天の観測を行う方が有利であるのでこの点も重要である。そして、サイドローブのゲインを抑えるために最 適に設計された鏡面修正カセグレン方式を採用している。また、AZ 軸と EL 軸の交点が測地 VLBI の位置基準 点となるので両軸が 1mm 以下で交わるように製作されている。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 3.1: 34m アンテナ各部の名称

主反射鏡開口径	34.073 m			
副反射鏡直径	3.8 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: $3276690.754 \pm .002$	$.0052\pm.0003$		
	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 °3	建設時)		
駆動可能範囲 方位角 (AZ) 方向	北 ± 270 °			
仰角 (EL)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 3.1: 34m アンテナの主要諸元

3.2 受信機性能

34 mアンテナは、さまざまな周波数帯で宇宙電波を低雑音で受信できるように工夫されたアンテナである。その受信周波数帯と受信系の性能を表 3.2 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 3.3 に示すフィルタのいずれかを挿入して受信している。主に使用するフィルタは中心周波数 1400MHz、帯域幅 100MHz、11 段のフィルタである。

S帯は第3世代携帯電話 IMT-2000 による混信対策のために 2002 年から 2003 年にかけて開発した挿入損失が 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)フィルタを設置している。

34m アンテナ X 帯の建設時の受信周波数帯は最近行われている一部の国際観測 (IVS) で必要とされる 8600MHz 以上の周波数帯をカバーしていないため、受信周波数を 9080MHz まで広帯域化する改修を開始した。初期の改 修として、RF バンドバスフィルタ交換による広帯域化を行い、上限周波数付近で Tsys の上昇は見られたが、 CONT05 実験の鹿島 34 - つくば 26 の基線において広帯域化された周波数を含む X 帯の全チャンネルで信号の 相関を検出することに成功した。詳細は 5.1X 帯の広帯域化 (p.34) を参照のこと。

3.3 受信状況

34m アンテナのL帯、S帯、C帯、X帯、K帯の受信状況を確認するため各周波数帯の受信機出力をスペクト ラムアナライザを用いて測定を行った。その結果を図 3.2~図 3.16 に示す。測定はトロリーを焦点位置に上げ、 副鏡パラメーターは各周波数帯の既定値に合わせ、アンテナは天頂方向、各周波数帯のIF 信号を O/E 変換器背 面の IF 出力からスペクトラムアナライザ(HP 8566B)を用いて1回掃引、最大値保持モードで取得した。周波 数は受信周波数に換算して表示している。S帯に関しては混信状況を把握するため LNA 出力も測定している。

L 帯の受信状況を図 3.2 に 1 回掃引(掃引時間 50ms)したものと図 3.3 に最大値保持モードで 3 分間取得した例を示す。L 帯は混信が激しいため、LNA 出力と D/C の間に BPF(11EZ4-1400/100-SLORCH、中心周波数 1.4GHz、帯域 100MHz)を使用している。掃引時間 50ms の 1 回掃引では混信がほとんどないが最大値保持モー

バンド	周波数	$T_{\rm rx}$	$T_{\rm sys}$	開口効率	SEFD	受信偏波
	(GHz)	(K)	(K)		(Jy)	
L	1.35 - 1.75	18	45	0.68	200	L/R
S	2.193 - 2.35	19	72	0.65	340	L/R
С	4.60 - 5.10	100	127	0.70	550	L
X-n	8.18 - 8.60*	_	_	0.68	230	L/R
X-wH	$8.18 - 8.60^{\#}$	41	53	0.68	290	L/R
X-wL	$8.58 - 9.08^{\#}$	_	50	0.68	270	L/R
Κ	21.80 - 23.80	105	141**	0.5	850	L(R)
Ka	31.7 - 33.7	85	150	0.4	1100	R(L)
Q	42.3 - 44.9	180	350	0.3	3500	L(R)

表 3.2: 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 (広帯域化改修により受信不可)、[#]:8GHz LNA 広帯域用 (広帯域化を行った が、高域側に Tsys の上昇が見られる。詳細は 4. 開発を参照のこと)。**:IF 出力をパワーメータで測定す ることにより得た値。SEFD(システム等価フラックス密度) は $2kT_{sys}/A\eta$ より算出している。ここで、k は ボルツマン定数で 1.38×10^{-23} (J/K)、 T_{sys} はシステム雑音温度 (K)、A は開口面積 (m²)、 η は開口効率、 $1Jy=10^{-26}$ Wm⁻²Hz⁻¹ である。

中心周波数 (MHz)	帯域幅 (MHz)	段数	備考
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 3.3: L 帯用フィルタ

ド3分間では1250MHz~1750MHzのほぼ全域に混信が入っていることから混信波は間欠的に発信されていると 考えられる。図3.3の通過帯域の中程で混信の見られない部分は1400~1427MHzの電波天文バンドとして保護 されている周波数帯に相当する。

S 帯の受信状況を図 3.4 に 1 回掃引、図 3.5~図 3.7 に最大値保持モード 1 分、10 分、30 分の例を示す。各図の 2520MHz にある信号は観測室の周波数アップコンバータで使用されている 500MHz の局部発振器の信号が入っ ているものである。

C 帯、X 帯、K 帯の受信状況を図 3.8 から図 3.15 に 1 回掃引、最大値保持モードで受信した状況の例を示す。 X 帯について従来、8180MHz ~ 8600MHz の帯域は X-n 系の受信機出力を示していたが、2005 年に広帯域化 (詳 しくは 5.1X 帯の広帯域化を参照。)したため、受信機を変更した。8180MHz ~ 8600MHz の帯域は X-wH 系の受 信機出力であり、8580MHz ~ 9080MHz の帯域は X-wL 系の受信機出力である。8580MHz ~ 9080MHz の帯域を 最大値保持モードで 30 分間、測定した図 3.13 にはおよそ 8948, 8982, 9016, 9053, 9091, 9124, 9160MHz 付近 (約 33 ~ 38MHz 間隔) に信号が見られるが、1 回掃引により測定した図 3.12 には見られないことから間欠的な信号と 考えられる。

S帯は混信を防止するために通常はHTSフィルタを使用して受信しているため、観測室での受信機出力には第



図 3.2: L帯 (RHCP) の受信状況。スペクトラムア ナライザにより1回掃引モードで受信機出力の周 波数特性を取得した。2005年10月25日10時。天 候は晴。



図 3.4: S帯 (RHCP) 受信状況。スペクトラムアナ ライザにより1回掃引モードで受信機出力の周波 数特性を取得した。2005年10月25日14時。天候 は晴。



図 3.6: S帯 (RHCP) 受信状況。スペクトラムアナ ライザにより 10 分間の最大値保持モードで受信機 出力の周波数特性を取得した。





図 3.3: L帯 (RHCP) の受信状況。スペクトラムア ナライザにより 3 分間の最大値保持モードで受信 機出力の周波数特性を取得した。



図 3.5: S帯 (RHCP) 受信状況。スペクトラムアナ ライザにより1分間の最大値保持モードで受信機 出力の周波数特性を取得した。





図 3.7: S帯 (RHCP) 受信状況。スペクトラムアナ ライザにより 30 分間の最大値保持モードで受信機 出力の周波数特性を取得した。



図 3.8: C帯 (RHCP) 受信状況。スペクトラムアナ ライザにより1回掃引モードで受信機出力の周波 数特性を取得した。2005年11月16日16時。天候 は晴。



図 3.10: X帯 (RHCP)wH系の受信状況。スペクト ラムアナライザにより1回掃引モードで受信機出 力の周波数特性を取得した。2006年1月20日16 時。天候は晴。





図 3.12: X帯 (RHCP)wL系の受信状況。スペクト ラムアナライザにより1回掃引モードで受信機出 力の周波数特性を取得した。2005年10月25日15 時。天候は晴。



C-band_RHCP_Maxhold_10m_20051116



図 3.9: C帯 (RHCP) 受信状況。スペクトラムアナ ライザにより 10 分間の最大値保持モードで受信機 出力の周波数特性を取得した。

X-band_RHCP_wH_30m_20060120



図 3.11: X帯 (RHCP)wH系の受信状況。スペクト ラムアナライザにより 30 分間の最大値保持モード で受信機出力の周波数特性を取得した。



図 3.13: X帯 (RHCP)wL系の受信状況。スペクト ラムアナライザにより 30 分間の最大値保持モード で受信機出力の周波数特性を取得した。



図 3.14: K帯 (RHCP) の受信状況。スペクトラム アナライザにより1回掃引モードで受信機出力の 周波数特性を取得した。2005年10月24日15時。 天候は晴。 K-band_RHCP_Maxhold_10m_20051024



図 3.15: K帯 (RHCP) の受信状況。スペクトラム アナライザにより 10 分間の最大値保持モードで受 信機出力の周波数特性を取得した。



図 3.16: S 帯 (RHCP) の LNA 出力状況 (HTS フィルタ通過前)。スペクトラムアナライザにより 1 回掃引モード で LNA 出力の周波数特性を取得した。2005 年 7 月 5 日 16 時。天候は晴。

3 世代携帯電話からの混信波は見られないが、図 3.16 に HTS フィルタを通過する前の LNA 出力 (デュワー出力、 トロリーは焦点位置)での S 帯の状況を示す。第3世代携帯電話は 2GHz 帯では A ~ C の 3 ブロックに割り当て があるが、2002 年 3 月 2 日に鹿島周辺で第3世代携帯電話のサービスが開始された頃は B ブロックの 2135MHz ~ 2145MHz の 2 波 (1 波は 5MHz 幅) だけであったが、2005 年 7 月 5 日の測定では B ブロックが 2135MHz ~ 2150MHz の 3 波に増波され、C ブロックも 2160MHz ~ 2165MHz の 1 波が使用されていた。

3.4 追尾誤差

アンテナ角度エンコーダの読みが示す方向と実際にアンテナビームが指向する方向には種々の要因(例えば、 重力変形や、エンコーダの偏芯誤差等)により誤差が生じるため、ビームを正しく指向するには角度エンコーダ の読みに補正量を加える必要がある。この補正量を求める観測を軸較正観測と呼ぶ。

表 3.4 は軸校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。保守後の 2005 年 9月9日に X 帯、10月24日に K 帯の軸較正パラメータを更新したが、故障による AZ エンコーダの交換が 11月 2日に行われた。エンコーダ交換後、X 帯において 4 天体 8 点でオフセットを確認したところ、X 帯のビーム幅 0.073 度に対して、AZ 軸は+0.001~+0.006 度 EL 軸は-0.002~+0.003 度であったので、オフセット量と観測ス ケジュールを勘案して X 帯は 11月22日から 23 日に軸較正観測を行い 11月28日に軸較正パラメータを更新し

観測日 (通日) 時	周波数帯	残差 (rms) AZ	残差 (rms) EL	軸較正パラメータ
(UT)		(1/1000 度)	(1/1000 度)	更新日時 (UT)
$4/17(117)1200 \sim$	Q	2.49	3.88	$2005\;5/16\;1123$
4/19(119)1230				(136)
5/14(134)0640 ~	Κ	3.09	3.71	$2005\;5/16\;1129$
5/15(135)0550				(136)
9/ 8(251)1010~	Х	3.64	3.50	2005 9/ 9 0611
5/15(135)0550				(136)
10/14(287)1535 ~	Κ	2.99	3.75	$2005 \ 10/24 \ 0743$
10/15(288)1015				(279)
11/ 4(308)2230~	Κ	2.84	3.82	$2005 \ 11/ \ 7 \ 0741$
$11/\ 5(309)2210$				(311)
11/22(326)0640~	Х	3.34	3.07	2005 11/28 0848
11/23(327)0720				(332)
$12/22(356)1100 \sim$	Q	3.18	2.66	$2005 \ 12/23 \ 1022$
12/23(357)1010				(357)

表 3.4: 軸較正結果

表 3.5: 軸較正パラメータファイル

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	mdlpo.ctl.c
Κ	fs22	mdlpo.ctl.k
Ka	fs32	mdlpo.ctl.ka
Q	fs43	mdlpo.ctl.43g

た。K帯のビーム幅は 0.027 度であるので、11 月 4 日から軸較正観測を行い、11 月 7 日に軸較正パラメータを 更新して観測に使用した。

K帯、Q帯においては軸校正観測をメーザ天体を用いて行うため、軸較正観測時にAZ、ELオフセットの測定 と受信周波数測定を同時に行う。K帯の軸較正観測は、H₂Oメーザ源を、Q帯はSiOメーザ源を使用して軸較 正観測を実施している。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 3.5 に示す。

周波数帯ごとに軸較正パラメータが分かれているのは、以下のような理由による。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台に複数の 受信機が搭載されているトロリーでは最適な焦点に位置しない受信機があり、周波数帯により焦点位置が異なる ためである。Ka帯受信機のホーンはS/X帯等と同じ焦点位置に移動するので、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。付録AにS/X帯の軸較正観測に使用する電波源を示す。

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。

3.5 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/VSSP、K5/VSSP32、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。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 FS9)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 (p.iv、図 4)。NICT 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。2005 年は VSOP 衛星の観測がなく、大学 VLBI 連携観測等で使用された。

S-2 システム カナダ、Crestech で開発された、S-VHS カセットレコーダを並列化した観測装置である。最高 128Mbps まで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、 DFC2000 と時系制御装置 (CTCU) を組み合わせて、16V8-2 という VSOP モードでの日豪 VLBI 実験などで利 用されている。

K5/VSSP 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 (p.iv、図 5)。現在、PC1 台当たり最高 64Mbps までのデータレート でハードディスクに記録することができる。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/VSSP32 システム PC とのインターフェースに USB2.0 を採用した AD コンバータユニット 1 台当たり 4ch 入力で構成されるバックエンドであり、K5/VSSP システムの後継機として 2005 年に新たに開発された (p.v、 図 6)。PC1 台当たり最高 256Mbps (1ch 当たりの最高サンプリング周波数 64MHz) までのデータレートでハー ドディスクに記録することができる。データフォーマットはヘッダー部以外は K5/VSSP と互換性を有しており、 K5/VSSP 用に整備された観測ソフトウェアおよび相関処理ソフトウェアは、すべて K5/VSSP32 システムでも 使用できるよう改修がなされている。

K5/VSI システム RAID ハードディスクを用いる事により PC 1台あたり最大 2048Mbps でデータ取得を行う、汎用 PC ベースの VLBI データ記録システムである。1ch,1024Msps の天文観測用 AD サンプラ (ADS1000)、 16ch、64Msps/ch の測地 VLBI 観測用多チャンネルサンプラ (ADS2000)、1ch、2048Msps,8bit の汎用 AD サン プラ (ADS3000) と 国際標準インターフェースである VSI(Versatile Scientific Interface) 規格に準拠したコネク タ及びケーブルで接続し、データ記録を行う (p.v、図 7 および図 8)。OS に Linux を利用し、高速 RAID ハード ディスクにデータ記録を行いながら、同時に、高速ネットワークへのリアルタイムデータ送出や、ソフトウェア によるリアルタイム デジタルデータ 処理が可能である。膨大なデータ量をリアルタイムに処理するため、相関処 理には超高速ソフト相関処理コアプログラムが別途開発されている。平成 15 年度に構成したシステムでは 2TB の記録容量を持ち、ディスクの交換なしに 4 時間程度の連続観測が可能であったが、単体のハードディスクの容 量増加と、16 台のハードディスクをサポートする RAID カードの採用により 1PC あたりの総記憶容量は 8TB が 達成された。この容量は、1Gbps のデータレートでの記録を行った場合、約 17.8 時間連続して記録できる容量に 相当する。さらに記憶容量が必要な場合にはファイバーチャンネルなどの方式で RAID システムを追加接続する ことで拡張することも可能である。

K4/GBR システム NICT 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で 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 共同研究協力協定により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。

デジタル分光計 高速サンプラ ADS1000 と汎用の PC を用いて AOS 分光システムを代替する新たな分光計とし て鹿児島大学と協力して開発している装置 (p.v、図 9)。1 台の PC を用いて帯域幅 32MHz、周波数分解能 16kHz の分光処理を実時間で行う分光計を開発したのに続いて、4 台の PC による並列演算により、帯域幅 256MHz、周 波数分解能 32kHz の分光処理が可能なシステムの開発にも成功した。(詳細は p.42、5.3 高速 AD と PC を用いた デジタル分光計を参照)。

デジタルスペクトラムアナライザ 同時刻にすべての周波数を時間的にも欠落することなく観測を行えるリアル タイムスペクトラムアナライザである。操作が簡単な積分機能を使って深宇宙探査機からの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。ミリ秒パルサーは信号強度が非常に弱いことから、60m級以上のアンテナが観測局の主流となって いるが、当装置においては、広帯域受信(最大帯域幅200MHz)と、パルスの長時間リアルタイム積分(最大1600 万回)により、十分な感度でミリ秒パルサーを検出している。広帯域化においては狭帯域のチャンネルを多数連 ねる必要があるが、ここに AOS を用いているのが当システムの特徴である。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。

3.6 34m アンテナ併設の観測機器など

ここでは、34m アンテナに併設された、特に測地用途の観測機器、測地用 GPS 受信システム、水蒸気ラジオ メータ、APPS(高度精密測位システム)、そして小型電波望遠鏡 CARAVAN について概説する。

3.6.1 測地用 GPS 観測点

NICT は、全世界約 300 点の GPS 観測点からなる IGS(国際 GNSS 事業)の国際観測網に参加しており、34m アンテナを含む VLBI 観測局近傍に GPS 観測点を 2 カ所併設して運用を行っている。これらの観測点を表 3.6 に 示す。

GPS 局観測点 ID	アンテナ設置場所
KSMV	鹿島宇宙通信研究センター
KGNI	小金井本部

表 3.6: NICT で運用する VLBI 局近傍の IGS/GPS 観測点

各局に設置されている GPS 受信機は、測地用 2 周波タイプと呼ばれるもので、いずれも米国 Ashtech 社製の Z12 型である。また、鹿島、小金井ともに、チョークリングアンテナ (型式:SCIGN レドーム¹ 付きの ASH700936E 型) アンテナは鉄製のピラー上に設置されている (p.vi、図 10 参照)。それぞれの観測点のデータは、毎日 24 時 間の観測終了後に宇宙電波応用グループ内に設置された専用サーバによりダウンロードされ、データ圧縮・ヘッ ダの編集処理などをなされた後に CDDIS に ftp により伝送されている。また、2005 年 4 月より韓国の IGS デー タセンターにも同データの伝送を開始した。これらのデータは数日後には、IGS 各局のデータと共に国土地理院 の他、IGS や CDDIS の匿名 ftp サイト² などより自由に取得できる。

なお、NICT 構内には国土地理院が運用する全国約 1400 箇所の GPS 観測網からなる GEONET(GPS Earth Observation Network)の観測点が、鹿島宇宙通信研究センター (観測点番号: 93009) と小金井本部 (観測点番号: 93019) に設置されている。これらについての詳細は国土地理院 Web サイト³ で紹介されている。

3.6.2 水蒸気ラジオメータ

鹿島宇宙通信研究センター 34m アンテナ実験庁舎屋上には水蒸気ラジオメータが設置されており、常時観測を 行っている。我々が使用しているのは、米国 Radiometrics 社⁴ 製の WVR1100 型の装置で、同装置は 23.8GHz、 および 31.4GHz の 2 周波を受信して視線方向の水蒸気積分量を計測できる。ビーム幅は約 5 度である。

図 11(p.vi) は、屋外で観測中の WVR1100 の様子である。写真にあるように、宇宙電波応用グループで運用する WVR1100 には、ラジオメータのアンテナを任意の方位・仰角に向けることのできる AZEL 追跡用駆動装置が 付属しており、例えば VLBI や GPS の観測時にクェーサや GPS 衛星などの電波源の視線方向の水蒸気観測が可能である。ちなみに、2005 年 9 月に実施された 15 日間の国際測地 VLBI 連続観測 CONT05(Continuous VLBI Campaign 2005) では、鹿島 34m アンテナ局近傍の他、国土地理院つくば 32m 局でも WVR 集中観測を実施した。

3.6.3 APPS(高度精密測位システム)

高度精密測位システム (APPS) とは、「いつでも」「だれでも」「かんたんに」、高精度な測位結果を得られる ことをめざして、開発を行っているシステムである。不特定多数のユーザを対象とし、個々のユーザが取得した

¹ http://www.scign.org/

² 例えば http://cddis.gsfc.nasa.gov/ftpgpsstruct.html, http://igscb.jpl.nasa.gov/components/data.html などを参照のこと。

³ 国土地理院 http://www.gsi.go.jp/

⁴ 米国 Radiometrics 社 http://www.radiometrics.com/

RINEX 形式⁵ での GPS データを電子メールの添付ファイルとしてサーバに送信すると、サーバでは自動的に GPS 解析を行い、その解析結果をユーザーに返信する。

このシステムは、測地学、あるいは GPS に関する専門的な知識のないユーザでも容易に信頼性の高い高精度 測位を行うことを可能とすることを目的としている。システムそのものは、2000 年に日立造船情報システムとの 共同で開発を開始し、2002 年に試作品を完成させ、その後試験運用に入っている

APPSの中核をなすのは、GPS データの自動解析サーバである。このサーバでは、ユーザから RINEX データ を添付した電子メールを受信すると、そのデータの解析に必要な複数の GPS 観測データ (当初は我が国周辺の IGS 点データのみ)、軌道情報、地球回転パラメータ (EOP) などを ftp により自動で収集し、電子メールに記述さ れているユーザの要求に応じて干渉測位解析を行う。解析結果は、ユーザからの要求に応じて、基線長や 3 次元 位置情報の独自形式のファイル、および SINEX ファイルなどをテキストファイルとしてメールに添付してユー ザに返送する。RINEX データの送信から解析結果の受領までに要する時間は平均して 10 分程度である。なお、 サーバでの解析エンジンとしては、BERN 大学開発の GPS 解析ソフトウェア Bernese Ver.4.2 を用いている。こ れらの一連の処理は全自動で実行され、ユーザは測地学や GPS に関する特別の知識がなくても、ただ単に GPS 受信機を設置するだけで信頼性の高い解析結果を得ることができる。

2006 年 1 月現在、APPS はユーザが送信した GPS 観測データの局位置推定結果をユーザにメール返信で提供 するにあたり、以下の付加機能が使用可能である。

- 国土地理院電子基準点網 GEONET データを含めた解析
- 大気遅延量推定機能(天頂遅延量、及び大気勾配係数)
- 多様な軌道情報の利用~ベルン大学やスクリップス海洋研究所などの研究機関で生産される超高速暦、高 速暦、および精密暦
- ユーザ側で用意する ftp サイトに格納された GPS データを自動推定する機能

この他、WEB ブラウザを用いた APPS 利用についても開発途上である。これらの詳細と APPS 利用については、APPS 説明サイト⁶を参照されたい。

今後、APPS の信頼性を高めるために、引き続き公開運用を継続する。なお、GPS メーカから随時リリース される新型受信機やアンテナの形式に関する情報を APPS に反映させるための機能、電離層遅延の推定機能、潮 汐モデルの組み込みなどを予定している。一方、NICT では、高速インターネット回線を用いた準リアルタイム EOP 決定の研究を推進しているが、将来的には即時決定された EOP を用いた軌道情報、および測位精度の評価 実験を APPS で行いたいと考えている。

3.6.4 CARAVAN2400

CARAVAN(Compact Antenna of Radio Astronomy VLBI Adapted for Network) とは小型で持ち運び可能な 電波望遠鏡システムの総称である。CARAVAN 開発の究極的な目標は、現在電波望遠鏡の観測網が手薄な大洋域 や南半球なども含めて汎地球的規模での観測が可能な VLBI システムの実現であり、高精度コロケーションや柔 軟な運用スケジュールでの深宇宙飛翔体追尾観測などへの寄与を念頭においている。また、基線検定場での VLBI 観測と GPS 観測との比較による GPS 受信機検定への応用で、より高いトレーサビリティが実現可能となる。

また、VLBIシステムのバックエンド系は汎用 PC により大幅な小型化と低コスト化が進んでいる。特に NICT が 開発したギガビットでのデータ取得可能な K5/VSIシステム⁷ による高感度化は、小型 VLBIシステムの実用化を 達成する上での重要な鍵の一つとなっている。2002 年には既に試作機としてアンテナ直径 65cm の CARAVAN650 の 1 号機を完成させ、鹿島 34m パラボラアンテナとの間で 22GHz 帯の信号受信によるクェーサーの相関信号の

⁵ RINEX 形式 http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Rinex2.html

⁶ http://www.nict.go.jp/ka/radioastro/APPS/

⁷ Kimura, M et al., The implementation of the PC based giga bit VLBI system, IVS CRL-TDC News No.21 pp31-33, Nov. 2002.

検出に成功⁸ している。さらに測地分野での機能評価を目的として2年前から2.4m 口径のパラボラアンテナを用いた CARAVAN2400の開発を進め、2005年度からは国土地理院と共同で、天体からの信号を受信する実験を開始した。

図 2(p.iii) に CARAVAN2400 の外観を、また表 3.7 に仕様を示す。現在、本格的な測地 VLBI 観測を目指して 立ち上げ作業を進めており、2005 年 12 月に太陽電波を鹿島 11m アンテナと同時受信し、初の VLBI 観測に成功 した (図 3.17)。また、同じく 12 月には、図 3.18 に示すように待ち受けでの天体電波源 Cas-A 単独鏡受信にも成 功し本格的な測地 VLBI 観測に向け着実に作業を進めている。

アンテナ直径	2.4 m		
受信周波数	X-band(8.18 8.60GHz)		
HPBW	1.1°		
偏波	右旋円偏波 (RHCP)		
雑音温度	125K(常温 LNA)		
アンテナ制御方法	専用アンテナコントローラー + SkySensor		
アンテナ指向精度	0.1°		
アンテナ駆動速度	1°/sec (AZ、EL ともに)		
形式	カセグレンアンテナ、AZ-EL マウント		
重量	アンテナ 105kg、架台 535kg		

Power(mW)

表 3.7: CARAVAN2400 の仕様



図 3.17: 鹿島 11m アンテナと CARAVAN2400 で太 陽を同時受信した際に得られた相互相関関数。太陽 電波によるシグナルが高い SNR で検出されている。



16:20 16:22 16:24 16:26 16:28 16:30 16:32 16:34 16:36 16:38 16:40 16:42 Time(h:m)

図 3.18: 天体電波源 Cas-A を待ち受け受信したと きのパワーメータの記録。横軸は時間の経過、縦軸 は受信パワーを示す。

⁸ Yonezawa, I. et al., Development of compact VLBI system, IVS CRL-TDC News No.21 pp29-30, Nov. 2002.

3.7 2005年運用状況

2005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3.19に示す。観測の他、アンテナ保守、較正 等も含めてアンテナ使用時間単位で集計した。アンテナ保守、較正等には日常的な保守、測定、保守後のアンテ ナ立ち上げ時の副反射鏡較正、軸較正観測等も含んでいるが、2005年2月~3月に約1か月間実施した補修工事、 7月~8月の2か月間の定期保守は含まれていない。使用時間の合計は2026時間で、前年の1308時間から約700 時間(55%)の増加となった。その主な要因は、

- (1) 位相準拠方式に主眼をおいた世界的にもユニークな VERA システムと大学等が運用する電波望遠鏡が加わることで VERA のイメージング性能がより一層向上し新たな研究の展開を目指している大学 VLBI 連携観測が活発に行われたために国内共同観測が約 100 時間増加した。
- (2) 招へい研究員の Liu 氏の電波源短期変動観測が約 100 時間、共同研究で鹿児島大学が銀河系中心領域の研 究のため月 3 回程度実施した 22GHz 帯/43GHz 帯のメーザ観測等のため単鏡観測が約 70 時間増加した。
- (3) ブレーキ誤動作の調査、AZ 軸ハンチング調査、AZ 軸エンコーダ交換、エンコーダ交換後に軸較正観測、 および X 帯広帯域化のための測定等のためにアンテナの保守、高精度化及び較正のための時間が増加した。

などである。図 3.20 に運用予定表の例を示すが観測予定の合間に装置の開発、改良、保守点検、修理、調整等 が行われ、連日のようにアンテナが使用された。



図 3.19: 2005 年の 34m アンテナ運用実績

in Met				2 H
31	4D 1	ERID ARW SHOTE MIT-SELT-AD DOING	6.05	76
6	2.4	🕽 🗿 🥥 🛛 Huttimenetaria/tatianistick	a Ofai-G	811 Med 🖸 🔕
20	05	Noz		
DAY		EXPERIMENT(UT)	BAND	OPERATOR
1	TUE.	veccumize dever D-bard maintenance AZ encode 0000-1000		
2	WED	veccenice dever 1-tani maintenance A2 encoder 0000-1000 Universities fileteorik 13/0-2100	x	Nagayama, Tal-ada
9	DHU	Public Holday perparation Hayabusa Universities Network 1500-2100 Hayabus 2100-0300	××	Napiyama, Takada Johkawa, Sakidu
4	FRE	-0008 canoled Pulser Timing (100-0900 Universities Network 15/0-2100	s/L X	Hanado Napayama, Taliada
5	SAT	calibration pointing K-band	к .	Napiyama, Takada
6	SUN	Optical linik 0300-9600 Universities Network 0800-1400	X.	Najayama, Tal-eda
1	MON	Optical line 0300-0600 calibration pointing confirmation K-band 0710-0800 Optical line 1200-1330	×к×	Nagayama
	TUE	maintenance replace HTS filter fan 0000-0100 maintenance AZ nal 0700-0000		
9	WED	insidenance ACU (EL ang)		
112	THU	maintenance AGU (EL ang)		
11	FRI	Pulsar Timing 0100-0800 Hayabata 2130-	S/L X	Hanado Ichikawa, Sekido
12	SAT	-0809 canceled (strong wind) calibration pointing)-band	x	
13.	OL/H	carookd fatrong wind) calibration pointing 7-band	х	
14	MON	maimenance EL gear 000-0600 maimenance AZ encoder power 0600-1000		
15	TUE	maintenancia EL gear 0000-0100 e=VLSI (SuperComputing2005) 1300-2300	s/x	Y. Koyama et al
16	WED	maintenance observatios control PC 0100-0200 #-VLEI (SuperComputing2005) 1300-2300	s/x	Y. Kiyama et al.
17	THU	mainwance ETR AC 000-0000 e-VLBI (SuperConguting2005) 1300-2300	s/x	Y. Koyama et al.
510	FAC	U D NT		++ 0

図 3.20: 運用予定表の例。観測予定の合間に装置 の開発、改良、保守点検、修理、調整等が行われて いる。

第4章 保守状況

4.1 定期保守

2005年の定期保守は、8月上旬に重要な観測(「はやぶさ」の相対 VLBI 観測)が予定されたため、7月7日~ 7月26日と8月5日~9月5日の二期に分けて実施された。当初、後半の終了予定は8月26日であったが、副 反射鏡取り付け後にZ1軸リミット誤動作、SDCの電源 PS1(24V)系統で漏電(ブレーカが動作)等の不具合が発 生(詳細は p.22、4.3 修理・補修を参照)したため延長して対応した。7月末までに基本的かつ8月上旬に予定さ れていた観測に支障を与えない部分の保守点検を行い、8月からは副反射鏡を含めた保守作業を行った。

毎年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 は 2004 年度に大規模補修工事 (2004 年 7 月~8 月および 2005 年 2 月 14 日~3 月 11 日の期間) として 2005 年に 実施する予定の箇所を先行して実施したため、2005 年夏期にはバックストラクチャの補修を行わなかった。2005 年 2 月の補修工事の終了により背面構造部の補修範囲が一通り終了した。

定期保守の主な項目と結果は以下のとおりである。定期保守中には修理も行っているが、p.22の4.3修理・補修にまとめて記述している。

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メンテナンスが行われている。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、2005年は地上に降ろして保守を行った(図4.1)。ELギアのグリスアップは4月19日、7月25日、11月14 日、1月11日に実施した。以下の表に点検項目と点検結果を示す。



図 4.1: 2005 年は副反射鏡をアンテナ頂部より取り外して保守を行った。

項目	点検内容	結果	備考
AZ旋回部	AZ ホイールの点検、CW/CCW	良	スクレイパ及び避雷用アースブロッ
	ゾーン判定用 SW の点検、調整		クの点検は2006年に実施する予定。
AZ ベース	AZ レールの清掃、シリコーン充填、	良	AZ レールにはユウレカ、EL ギア
プレート及	ウェアストリップ固定ボルトの点検、		にはモリギヤコンパウンド 900 を
びレール部	防錆油塗布		使用。EL ギアのグリスアップは年
			4回実施している。
AZ/EL 駆	リミットスイッチ調整、モータとブ	良	マイクロスイッチを取り外して EL
動部	レーキのオーバーホール、減速器注		リミットスイッチの点検を行った。
	油		
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	光学ユニットとカップリング部の点
			検は2006年に実施する予定。
主反射鏡	フィードコーン点検、トロリーリミ	良	
	ットスイッチの点検、注油		
副反射鏡部	機構部を地上に降ろして5軸制御機	良	
	構の点検と注油、リミットスイッチ		
	の点検を実施。		

表 4.1: 34m アンテナ機械系の点検項目と保守結果

4.1.2 電気系

電気系の点検項目および点検結果は表 4.2 の通りである。ACU は老朽化していた現用システムおよび予備系シ ステムとともに新しいシステムに更新した(詳細は p.27、4.3.6 ACU 更新と EL 軸の追尾誤差増加 を参照)。6 台 ある DCPA のうち、以前から過電流が発生することのあった1台の DCPA を定期保守時に交換することを計画 していたが、保守前に故障して動作不良となったため予定を前倒しして保守期間前に予備品と交換した(詳細は p.28 ページ、4.3.8 直流電力増幅装置の故障 を参照)。

4.1.3 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行ったメンテナ ンス結果は表 4.3 の通りである。このほか、2005 年 7 月にヘリウムガス配管からのガスリークが発生したため既 に保有していた予備系に切り換えることによって対策を実施した (詳細は p.29、4.3.11 ヘリウム配管リークを参 照)。また、AZ 室空調機は老朽化のため長期動作に不安があり、2005 年 1 月に新しいシステムに更新した (詳細 は p.22、4.3.1AZ 室空調機更新を参照)。

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4.4に示す。2005年は保守開始時にモータA4を 位置 AZ#1に取り付け、AZ#1にあったモータA4が予備機として保管される順番であったが、モータを点検し

項目	点検内容	結果	備考
ACU	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
	測定		ド、DC ドライブカード等からなる
			専用ハードウエア。現用、予備系 2
			式を更新。
SCU	リミット値の確認、LVDT 用電源電	良	SCUはPC、AD・DAカード等の
	圧の確認		汎用品を組み合わせた NICT 製
ADC	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、
	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
			ス回路、ヒューズ、リレーが設置さ
			れている。
SDC	電源電圧確認	良	2002~2005 年は動作点検を実施せ
			ず電源電圧の確認のみとした。SDC
			には副鏡用の電源を供給する DC ア
			ンプ、ロジックリレー回路、マニュ
			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 ケーブルラップ保護用のイン
絶縁点検	オーバーライド (過剰旋回復帰)SW		ターロックケーブルは回転位置によ
	の絶縁点検		っては 2004 年と同様に 0.5 M ま
			で絶縁低下する場所があった。

表 4.2: 34m アンテナ電気系の点検項目と保守結果

表 4.3: 34m アンテナ付帯設備の点検項目と保守結果

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	コンセントの接触不良が発生した。
ルラップ室			
ガスヘリウ	点検、清掃	良	配管途中でリークが発生したため予
ム冷却系			備系に切り換えた。
ヘリウム冷	点検、コンプレッサ清掃	良	
凍機			
緊急停止ス	動作確認	良	
イッチ			

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	$\overline{\mathrm{ES}}$	E2	E1
2002	AS	<u>A1</u>	A3	A4	A2	ES	<u>E1</u>	E2
2003	AS	A1	<u>A2</u>	A4	A3	$\underline{\mathrm{ES}}$	E1	E2
2004	AS	A1	A2	<u>A3</u>	A4	E3	ES	E1
2005	<u>A4</u>	A1	AS	A3	A2	<u>E1</u>	ES	E3
次回	<u>A4</u>	A2	A1	A3	AS	E1	<u>E3</u>	E3

表 4.4: 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。

たところ、モータ A2 のアーマチュアコイルの一部に断線があったこと、モータ AS のブラシホルダーにひび割れ がありモータ A2 から転用したため、予定を変更してモータ A4 は位置 AZ#1 で再び使用してモータ A2 はアー マチュアコイルとブラシホルダーの交換準備のため保管した。

なお、2000年までは十分な予備品が確保できなかったので、ローテーションは行わなかった¹ため、モータの 保守期間は現在の約2倍必要であったが、現在は予備モータの整備により保守期間が短縮された。34m アンテナ 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。保守中もアンテナを駆動するため、各 軸最低1個のモータを取り付けておく必要がある。1台のモータでのAZ/EL駆動時は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。

4.1.5 副反射鏡取り付け状況

22GHz 帯、43GHz 帯という高周波帯の運用では mm オーダの副反射鏡位置調整が必要なことを考慮して副反 射鏡の取り付け状況を確認するために、定期保守の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。

図 4.2 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。測定開始の 90 度での値を変位 0mm としている。測定の事情により 7 度において各軸を 90 度での位置 に戻して、その後に仰角を 90 度まで変化させて各軸の変位を記録したが、図 4.2 では 7 度での値が連続するよう に補正している。変位量は X、Y 軸は 0.5 ~ 0.8mm 程度、Z1 を除く Z2、Z3 軸は 0.2mm 程度あり、前回、2003 年の保守後の変位量とほぼ同様であるが、Z1 軸は 90 度から 7 度に下げる時は前回と同様の 0.2mm 程度の変位 であるが、7 度から 90 度に上げる時に 10 度から 20 度付近において 0.5mm 程度のステップ状の変位が見られる ので、アクチュエータの摩耗、位置読み取り系の異常等に注意しながら保守を行う必要がある。

4.2 保守方法の検討と改善

4.2.1 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。2004年はACUを新たに調達する ことができ、2005年1月に設置調整を行った。2005年にはエンコーダ光学ユニットの発注と相前後してAZ軸 のエンコーダ光学ユニットの故障が発生して予備品の重要性が再認識された。

¹2000年まではモータの保守は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。



図 4.2:保守前(左)と保守後(右)の各軸の仰角に対する変位量

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判断して、現状で緊急度の高い整備すべき予備 品は以下の通りである。重要な予備品の状況は 2003 年年次報告書の付録 A.5 を参照のこと。

SCU: 2002年に更新したときは現用1台のみの整備でり、現在は予備品がない。

エンコーダ光学ユニット: 2005 年度に予備品を1個手配したが、修理は長期間かかるため修理期間中の故障に対応するためにもう1個予備品を保有することが望ましい

4.2.2 FS9 時計パラメータ更新

FS9 を新しい計算機にインストールし、2005 年 3 月 23 日に従来使用していた観測制御計算機の更新 (p.28、 4.3.9 を参照) を行った。観測制御計算機では 2 種類の時計が使用される。一つは PC 時計で PC のシステムクロッ クで、ファイルのタイムスタンプ等に使用される。もう一つは、FS9 時計で PC のクロックから作られるが、歩 度は PC 時計とは独立しており、観測制御に使用される。FS9 時計の歩度は PC のシステムクロックと外部の正 確な時計 (GPS 等) と比較することにより決定するが、4 月 1 日 1155UT ~4 月 4 日 0554UT までの約 66 時間の 計測で PC のシステムクロックの歩度の補正が-3.6825 秒/日と求まった。このパラメータを設定して 4 月 11 日 0041UT ~4 月 12 日 0044UT までの約 24 時間の計測時の時刻ずれは 0.01 秒であった。また、4 月 8 日 0633UT ~4 月 11 日 0041UT までの約 63 時間後の時計のずれは 0.09 秒であり、1 日当たりのレートに換算すると 0.034 秒/日であった。レートを求めた 4 月 1 日 ~4 月 4 日までとの環境の違いによりレートは変化するが、新しい観測 制御システムの FS9 時計は現状で約 0.03 秒/日の精度を保持しているといえる。これは通常の水晶発振器の精度 から考えて妥当な値である。一方、計算機の時計は NTP で正確に保つように設定した。

4.3 修理·補修

4.3.1 AZ 室空調機更新

ここ数年の点検において腐食が指摘されていた AZ 室空調屋外機の腐食が進行したため空調屋外機、屋内機の 更新を 2005 年 1 月 18 日から 19 日にかけて行った。屋外機は日本冷凍空調工業界標準規格 JRA9002 に基づく耐 塩害仕様の機器を用いた。電気配線と冷媒配管は状態が良かったため、分電盤から屋内機、屋外機等への電気配 線の絶縁抵抗 (基準 1 M 以上) が 5 M ~ 20 M あることを、また冷媒配管も漏れがないことを確認して従来 の物を使用することとした。

4.3.2 AZケーブルラップ室排水ポンプコンセント接触不良

AZ 軸の回転を吸収するためのケーブル巻き取り機構がある AZ ケーブルラップ室は地下にあるため排水ポン プを備えている。2005 年 1 月 21 日の点検時に、AZ ケーブルラップ室のピットがほぼ満水になっていることが 発見された。調査した結果、排水ポンプの電源コンセントの接触不良と判明したので接触を改善したところ排水 されるようになった。今後は電源コンセントに関しても定期的な点検を行うことにした。

4.3.3 フィードコーンレドームへの浸水

2005年1月19日の22GHz帯観測準備においてT_{sys}の上昇が見られたためS/X帯とともに点検したところ表 4.5に示すような状況となっていた。まったく違う受信系においてともにT_{sys}が大きく上昇していたため、フィー ドコーンにあるレドームを点検したところ、二重構造になっているレドーム内のエアーチャンバーに水が侵入し ていることが判明した。

レドームは高さ約 30m のフィードコーンの先端にありアクセスが困難なため 1998 年に交換して地上に保管してあった旧レドームを参考に対策を検討した。レドームは約 10mm 厚のリング状の板に接着剤でシートを貼り合

バンド	$T_{sys}(K)$					
	1月19日	水抜き直後				
S	142	72(90)	74			
Х	165	52(130)	77			
Κ	300-400	141	235			

表 4.5: フィードコーンレドーム浸水によるシステム雑音温度 T_{sys} の変化



図 4.3: クレーン車を用いて高所にあるレドームでの作業を行った。



図 4.4: 側面に穴を開けたところ約 0.2 リットルの 水が排水された。



図 4.5: リークチェックによりシートと押さえ板の間から気泡が発生していることがわかった。

わせた構造であり、シートを復元できるように剥がすことができなかったため、約10mm(3/8インチ)厚の板の 脇に穴を開けて水を抜く方法を採用することにして1月27日にクレーン車を用意して復旧作業を行った(図4.3)。 10mm 厚の板が EL7 度時に下方となる位置に直径 4mm の水抜き穴を開けたところ、約 0.2 リットルの水が出た (図 4.4)。ほとんどの水が排水された後、ねじ穴用に 5mm の下穴を開け、6mm のタップでねじを切りねじを仮 止めした。フィードコーンにあるレドーム内部には乾燥空気充填装置から乾燥空気 (ポンプ動作時 220~230Pa 程 度、停止時 30Pa 程度)が加圧されている。リークチェックに先立ち加圧を確認したところ ETR 上部機器室(受 (信機室)にあるフィードコーンへ乾燥空気を分岐するバルブが詰まっており加圧されていないことが判明した。1 月 14 日の S 帯でのホイヘンス観測直前までは Tsys は正常であったことから、1 月 15 日夜から 16 日にあった 暴風雨時に浸水したと推測された。ホースからの加圧確認時は、乾燥空気充填装置のポンプ停止時の 30Pa 程度 の圧力では内径 4mm のホース先端を水の中に入れると気泡は出ないが、表面に置くとわずかに気泡が発生する 程度であるので、市販のガス漏れ検知用リークチェックスプレーを使用した。バルブの詰まりを解消して正常に フィードコーンレドームに加圧されるようになってからレドームのリークチェックスプレーでエア漏れチェックを 「行ったところ、シートと押さえ板のフランジの間から全体的に微少なリークがあることが分かった (図 4.5) ため、 コーキングを行った。シーリング材は表面に塗装はできないが耐候性、耐久性に優れているシリコーン系1成分 形オキシム型 (GE 東芝シリコーン (株) トスシール 381) を塗布した。ただし、同シリコーン専用プライマーは使 用しなかった。仮止めしていた水抜き穴のボルトにもシリコーンを塗布することにより防水対策とした。水抜き 直後の T_{svs} は表 4.5 に示すように X 帯、K 帯は正常値より高かったが、レドーム内が乾燥した後はほぼ正常値 に戻った。

4.3.4 背面構造部の補修 (2004 年度後期)

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 4.7 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。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 生しており、支柱に穴が開いているところもあるため、主鏡背面構造の補修溶接を 2004 年に大規模に実施した。 ところが、必要な工期が確保できなかったため、2005 年 2 月 14 日から 3 月 11 日までの約 1 か月間に残りの補修 作業を行った。2005 年 2 月からの補修は図 4.6 に示すようにトラス 13~17 の外周 3 枚目から内側およびトラス 17~24~1 の外周 6 枚目から内側について実施した。

補修溶接箇所を図 4.6 に 2003 年までに実施した箇所を''で、2004 年 8 月と 2005 年 2 月に実施した箇所を ''で示した。2004 年の補修範囲にある''は 2003 年に実施した際に本来は補修範囲外であったが作業できる 範囲であったので先行して補修溶接したものである。2005 年 2 月から実施した範囲中、外周からパネル 3 ~ 5 枚 目 (トラス 17 ~ 13)の溶接箇所割合は 28%(54 箇所中 15 箇所)であり、2004 年夏期に実施した範囲中の外周から パネル 3 ~ 5 枚目 (トラス 13 ~ 1、左回り)の 27%とほぼ同じであった。外周からパネル 6 枚目の範囲 (トラス 24 ~ 13、左回り)の割合は 20%(50 箇所中 10 箇所)であり、2004 年夏期の同様な範囲の割合 12%より増加しており、 経年劣化により腐食が内周に向かって徐々に進行していると推定される。2004 年度 (2004 年 8 月、2005 年 2 月) の大規模補修時の補修溶接により背面構造部の強度低下は防止できたと考えられるが、2005 年 2 月から実施した 補修時に隣接する過去 (1998、1999 年)に補修を実施した範囲 (トラス 1~24~20)にも 4 箇所の腐食による穴が 認められ補修を行っている。今後も古い箇所から順次、補修が必要と考えられる。

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 4.9 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。ナットプレート交換は補修範囲の中の外周からパネルの3枚目から5枚目までが実施箇所である。

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であった。2003 年までに 768 個 (67%) の交換が完了していたため 2004 年には未交換の残り 384 個 (33%) について交換を計画し、7 月から 8 月にかけて図 4.6 のトラス 1 から 13 の外周からパネル 3 枚目から 5 枚目までにあるナットプレート 288 個 を交換した。さらに、2005 年 2 月から 3 月に図 4.6 のトラス 13 から 17 の外周からパネル 3 枚目から 5 枚目まで にあるナットプレート 96 個の交換が完了し腐食が進行していて交換が必要であったすべてのナットプレートの交



View looking into reflector at zenith

図 4.6: 補修溶接およびナットプレート交換範囲 (太線で囲んだ部分の左側) とトラスに穴の空いた位置 ()。太線で囲んだ部分の右側 (トラス 1~13) は 2004 年 8 月から 9 月に行った前期工事の範囲である。



図 4.7: 背面構造部と主鏡パネルの結合



図 4.8: 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 4.9: 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。

換が完了した。

なお、ナットプレートは図 4.9 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おり、今まで に交換されていない外周から5枚目のパネルから内側は腐食はあまり進行していないが、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箇所 (ナットプレートを交換 した箇所も含む) に挿入している。

4.3.5 AZ レールボルトの交換

34m アンテナの AZ レールは直径 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、2005 年定期保守時に新たに見つかった AZ レールボルトの交換箇所を 図 4.10 に示す。図に示した通り、2005 年にボルト交換を要した箇所は内側 3 本、外側 4 本であり、内側と外側 とに有意な差は認められない。



図 4.10: 2005 年の AZ レールボルト交換箇所

図 12(p. vi) に 2005 年定期保守までの AZ レールボルトの交換箇所を示す。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 4.6 に 1998 年から 2005 年までの年別のボルトの交換本数を示すが、交換総数は 100 本である。内訳は、内側が 62 本、外側が 38 本であり、内側ボルトの方が外側に比べ

年	内側	外側	備考
1998	14	11	
1999	18	15	
2000	14	3	交換用は強化ボルトを使用開始
2001	4	0	
2002	6	0	
2003	2	2	
2004	1	3	
2005	3	4	
小計	62	38	
合計	1(00	

表 4.6: AZ レールボルトの交換本数

て約2倍多くなっている。ボルトの折損は首下で発生しているので2000年より首下を強化したボルト(2001年 年次報告書4.2(9)折損AZレールボルトの交換を参照)を使用しているが、交換ボルトの数は2001年以降、明 らかに減少しており強化ボルトの効果が実証されたといえる。強化ボルトに交換した箇所にはこれまで折損は発 生していない。未強化のボルトの交換は引き続き発生しているが、年1回の定期点検により交換すれば運用上は 問題はないと考えられる。

4.3.6 ACU 更新と EL 軸の追尾誤差増加 (サーボモード切替不良)

アンテナ制御装置(ACU)はアンテナの位置や速度等を制御する重要な装置であるが老朽化により動作不良が 発生していたため予備系と合わせて2台を新たに購入し、2005年1月に旧システムと交換した。ところが、新し いACUと交換した直後、EL軸のハンチングおよびCWとCCW回転速度差が発生したため、ACUのパラメー タを変更して正常に動作するように対策した。また、2台の内、製造番号112004-01のACUはフロントパネル の電源スイッチを押してもADCに通電されない現象が発生したが、フロントパネルのスイッチ配線の半田付け を再度行って正常に通電できるようになった。

2005 年 11 月 11 日のパルサー観測において EL 軸の追尾誤差が通常の 0.003 度 ~ 0.005 度程度より大きい 0.010 度程度になっていることが発見された。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 Type I と Type II に自動的に切り替えて制御している。Type I はサーボループの感度が低く、誤差角度が大きいとき に使用され、Type II 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。動作モードは ACU 内部に ある出力ボード上の LED で確認でき、AZ-T1 または EL-TI 表示の LED が点灯している場合が Type-I である。 EL 軸の追尾誤差増加を点検した結果、EL 軸のサーボモードが Type I から Type II に切り替わらず、精密な追 尾ができなくなっていることが判明したため、ACU パラメータの内、サーボ設定の遅延時間 (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 秒に変更して、この不具合に対処して サーボモードが Type II に正常に切り替わるようになった。なお、この異常が生じたのは製造番号 112004-02 の ACU である。

4.3.7 TLim の発生によるブレーキの誤動作

34m アンテナのアンテナ制御装置(ACU)には仰角が設定範囲(6.8度~90.2度)外となった場合には直ちに ブレーキを動作させアンテナを保護するトラベルリミット(TLim)機構が組み込まれている。しかし、設定角度 範囲内であるにも関わらず、TLimが発生しアンテナのブレーキが誤動作する現象が時々発生した。調査したと ころ、乾燥空気充填装置の始動、停止時と ETR 空調用冷水循環ポンプの瞬断時のノイズが一因であることが判 明した。そこで、乾燥空気充填装置には電源回路と並列に岡谷電機産業(株)のスパークキラー(コンデンサと抵抗を直列に接続したスナバ回路)XE1202型を取り付け、切り替わりの過渡状態で発生する高いスパイク電圧を減衰させてノイズの発生を防止した。冷水循環ポンプの瞬断は、空調用チラーの温度設定が誤って2°C低く設定されていたため、過剰冷却となって凍結防止運転に切り替わることで発生していたことが判明した。そのため温度設定を正しい設定(12°C)とすることで凍結防止運転への切り替わりによる瞬断が発生しないようにした。ポンプの瞬断について詳しくは p.29、4.3.10 凍結防止運転の誤動作を参照のこと。

しかし、まだ TLim 発生によるアンテナのブレーキ誤動作が発生していることから、冷水循環ポンプの瞬断時 や乾燥空気充填装置始動時に発生するノイズだけが原因でないことが明らかとなった。そこで、角度信号へのノ イズ混入防止のために ACU の商用電源線へのラインフィルタ挿入や角度信号ケーブルへのフェライトクランプ の取り付けなどを行ったが、顕著な効果は見られていない。そのため、原因究明を継続するとともに筐体のシー ルド、個々の信号線へのフェライトビーズの取り付け等の対策を試行中である。TLim の発生によるブレーキ誤 動作の問題を解決するまでの暫定措置として、観測の長時間中断を防止するため、観測制御ソフトに TLim 発生 検出ソフトウェアを組み込み、TLim 発生時に指定したメールアドレス (通常設定ではアンテナ保守班用携帯電話 であるが、任意のアドレスに変更可能) に E-メールを送り、直ちに復旧できるような体制をとっている。

4.3.8 直流電力増幅装置の故障

34m アンテナでは、アンテナ制御装置 (ACU) からの速度コマンド電圧を全部で6個 (AZ用4個、EL用2個) の直流電力増幅装置 (DCPA) を用いてそれぞれの直流モータを駆動している。

DCPA の AZ#3 は、2005 年 3 月 23 日に IOC(瞬時過電流) 警報が点灯する不具合が発生していたが、5 月 31 日に current limit と field loss の警告灯が点灯する不具合が発生した。原因を調査したところ、DCPA 内のユニットの一つであるフィールドパワーモジュールの故障により同ユニット内のヒューズ 2 本が切れたためと判明し、 予備機のフィールドパワーモジュールを取り付けることにより復旧した。

また、DCPA の AZ#2 は、2005 年 3 月 24 日に over current がほぼ常時点灯状態となる不具合が発生して、その後、5 月 31 日に current limit が点灯する不具合が発生した。その後 7 月 20 日に current limit 警告灯が点灯して動作停止に至ったため、原因を調査したところ DCPA 本体の故障と判明したため、予備機と交換して復旧した。

4.3.9 観測制御計算機の更新

34m アンテナやバックエンドの制御を行う観測制御計算機 (Debian GNU/Linux 2.0, kernel 2.0.34, FS9 Ver.9.5.12) は最初に導入して以来長期間経過していたため、2005 年 3 月 23 日に新しいシステムに更新した。 ペルーの電波望遠鏡の観測制御システムの開発のために滞在していた Vidal Safor Erick Dennis 氏 (p.3、表 2.1) により新たな制御計算機 (Debian GNU/Linux 3.0, kernel 2.2.20) に FS9 Ver.9.6.9 がインストールされた。従来 使用していた制御計算機は予備機として利用することとした。

4.3.10 ETR 空調装置

受信機等が設置されている ETR 室は、受信機の温度変化による特性の変化を防止するために空調装置により 一定の温度に保持している。その空調装置に以下のような故障等が発生した。

ヒータ交換 2005年4月13日、外気温10°C程度の時に設定温度21°Cに対して受信機等が設置されている ETR内の温度が17°C程度までしか上昇していなかったことが確認された。電気ヒータの各相の電流(定格28.8A) を測定したところ、R相:26A、S相:15A、T相:26Aとなっていたことが判明した。さらに後日、ヒータ部を点検 したところ、ヒューズのリード線が切断されていたことが判明した。2004年にリード線が切断しにくい板状リー ド線のヒューズを導入していたが、再度切断した原因はヒータ固定部の劣化による振動の増大と判断した。その ため、ヒータユニットを交換することとし、10月23日に新しいヒータに交換して復旧した。 チラー制御基板故障 2005 年 7 月 13 日にチラー異常で空調装置が停止したため、点検したところ、チラー内部 の制御基板の故障と診断されたため、7 月 28 日に基板を交換して正常に動作するように復旧した。

凍結防止運転の誤動作 空調装置には冷却用循環水の凍結を防止するため、循環水の温度が低下した場合に強制 的に循環ポンプを回転させる凍結防止運転機構が組み込まれている。気温が高いにも関わらず、通常の冷房運転 中に凍結防止運転が誤動作する問題に関して 2005 年 7 月 28 日に保守会社より温度設定に誤りがあったと回答が あった。チラーの冷水入口温度設定は 12 °C が正しく、チラー内で約 5 °C 冷却されて出口では約 7 °C となる。 凍結防止は約 4 °C で動作するが、34m アンテナでは入口温度設定が誤って約 10 °C に設定されていたため、出 口温度が凍結防止温度になり凍結防止運転に切り替わっていた。通常運転から凍結防止運転に切り替わる時、ポ ンプへの通電が瞬間的に切断されるために過渡状態で高いスパイク電圧が発生して 4.3.7 ブレーキ誤動作の発生 の項目で述べているようにアンテナ停止の一因となっていた。正しい温度に設定することにより、凍結防止運転 に切り替わることはなくなった。なお、ポンプの通常の起動、停止時においてもノイズが発生しないように電磁 接触器において負荷と並列に岡谷電機産業(株)のスパークキラー(コンデンサと抵抗を直列に接続したスナバ回 路)XE1202 型を取り付け、切り替わりの過渡状態で接点に発生する高いスパイク電圧を減衰させてノイズの発生 を防止した。

外気温検出サーミスタの動作不良 チラーの通常運転電流は16A であるが、2005年9月7日にチラー始動後20 秒ほどかけて電流が16A から徐々に増加して28A 程度となったところでチラーの運転が停止するという不具合 が発生した。調査の結果、外気温検出サーミスタの動作不良によりチラーの冷却ファン制御が誤動作したためと 判明した。チラー冷却ファンが2台運転されるべき所、1台しか運転されなかったことにより冷却不足となり運 転電流が増加し、保護装置が動作して、運転が停止したものである。2005年9月8日にサーミスタを交換して正 常に復旧した。

冷却水循環ポンプ、シャッター交換 冷却水を循環させるポンプは屋外型を使用していたが、故障等でしばらく 停止した後に絶縁抵抗計で測定した抵抗値が0M となっていたため、2005年12月19日にポンプを全閉防まつ 屋外型に予防交換した。また、屋内機の老朽化して室内吹き出しエア量が調整できなくなっていたシャッターも 合わせて交換した。

4.3.11 ヘリウムガス配管のガスリーク

34m アンテナでは受信機内部雑音を小さくするために初段の LNA を 20K 程度に冷却した受信機を使用してい る。2005 年 7 月 5 日に受信機の冷却不良が発見されたため調査したところ、ヘリウムガス圧が低下したため冷却 されなくなっていたことが判明した。そこで 7 月 8 日に保守会社により点検を行っていただいたところ、ヘリウ ムガスコンプレッサ室から ETR までのサプライ側配管の途中にガスリークが発見されたため、既に保有してい た予備系に切り替えて復旧した。

ヘリウムガス配管は、建設時から1度も交換せず約16年間使用していたため、予防交換として2004年9月13 日に敷設したものであった。ところが、交換後、約10か月でガスリークが発生したこととなるので、配管メーカ により8月18日に現場調査を行っていただいた。配管の材質は代表的なステンレスSUS304よりも耐食性に優 れたステンレスSUS316Lを使用していたが、メーカの見解はもらい錆による腐食とのことであり、対策につい て検討していただき、2006年前半に対策品と交換していただく予定である。

4.3.12 副反射鏡駆動部、位置読み取り部の故障

34m アンテナの副反射鏡はカセグレン焦点位置を変更して多周波受信を可能とするために X、Y、Z1、Z2、Z3の5軸駆動装置および位置読み取り装置を有している。2005年は以下のような故障が発生した。

Z1 軸駆動モータ配線の断線、絶縁不良、位置読み取りセンサの断線 定期保守後半の 2005 年 8 月 24 日にアン テナ頂部に副反射鏡を取り付け後の点検において、Z1 軸のリミット誤動作 (Z1 軸警告灯が誤点灯)、副反射鏡ド ライブキャビネット (SDC)の電源 PS1(+24V)系統で漏電(漏電ブレーカが作動)、Y 軸の読み取り不良が見つ かった。点検の結果、リミット誤動作と漏電は Z1 軸駆動モータ配線の断線、絶縁不良によるもの、Y 軸の読み 取りは位置読み取りセンサ(LVDT)コネクタ部の断線によるものと判明して復旧した。

Z3 軸位置読み取りセンサのコネクタ接触不良 2005 年 11 月 24 日に Z3 軸の読み取り異常が時々発生するようになった。異常が現れた 12 月 5 日に調査したところ、LVDT のコネクタ接触不良と判断されたので 12 月 12 日に暫定的に直結して復旧した。LVDT のコネクタは副反射鏡を地上に降ろす時に取り外す必要があり、Z1 軸でも接触不良が発生しているため、次回の保守時に 5 軸全部のコネクタ交換を予定している。

リニアベアリング給脂ホース接続金具の交換 副反射鏡を駆動するためにあるリニアベアリングは定期保守時と 合わせて年3回グリスアップを行うようにしているが、2005年5月10日のグリスアップ時に給脂ホースとY1ベ アリングとの接続金具が折損していることが発見された。副反射鏡は2年に1度地上に降ろして保守を行ってお り2005年は地上で整備する年であったため、接続金具は定期保守時に修理することにした。リニアベアリングは X軸に3個、Y軸に3個、そして2軸には2個使用されている。Z軸はアンテナ頂部でもリニアベアリングに給 脂できるが、X軸とY軸は地上に降ろして駆動部を分解した時にしかグリスを給脂できない構造であったが、副 反射鏡駆動頻度の増加により腐食が発生したため2003年の保守時にX軸とY軸のリニアベアリングに給脂ホー スを取り付けて保守性を向上させている。保守中の2005年8月9日に副反射鏡駆動部を分解して点検したとこ ろ合計3個の給脂ホース接続金具が折損していることが発見されたため、金具を交換した。2003年に給脂ホース を取り付けるためにリニアベアリングのカバーに開口部を設けたが、なるべく風雨にさらされないように少し接 触するように取り付けたゴム板が硬化していた。ホースには傷は見られなかったため、硬化したゴム板により折 損したと考えられたので、ゴム板は取り外すことにした(図4.11)。



図 4.11: 副鏡 Y 軸を移動させるリニアベアリング。この上にプレートが取り付けられ Y 軸方向に動く。給脂ホースを取り付けるために切り欠いた開口部を閉じるため給脂ホースの金具に少し当たるように取り付けられていたゴム板は取り外した。

ブーツ交換 5 軸機構により駆動するためのアクチュエータ、位置読み読み取りセンサには風雨に暴露されるア ンテナ頂部の厳しい環境から保護するためにブーツが取り付けられているが、保守中の2005年8月9日に点検 したところ、一部のブーツに劣化、穴あきが見られた (図 4.12) ため新しいものに交換した。これらのブーツは 1998年7月~8月に行った保守時に交換した物であった。

リニアベアリング交換 副反射鏡を地上に降ろして行う保守は2年ごとに実施している。副反射鏡駆動頻度の増加により2003年の保守時、X軸、Y軸のリニアベアリングに腐食が発見されたが、2003年の保守時には予備リニアベアリングは2個だけであったため、X軸3個、Y軸3個の中で特に腐食が進行していた2個だけを交換していた。そこで、2005年はZ軸2個も含めて残りの6個のリニアベアリングを交換した。



図 4.12: 穴の空いたブーツ。後方のアクチュエータが上下に伸縮して副反射鏡の Z3 軸の位置調整を行う。手前の ブーツの中にあるセンサー (LVDT) が位置の変位量を読み取る。

4.3.13 配管サポート交換

腐食が進行して強度が不足していた EL 軸付近の配管サポートと EL モータ背面の配管サポートを、2005 年 8 月 24 日から 25 日に交換した。

4.3.14 AZ 軸ハンチング

2005 年 10 月 13 日の観測から AZ 軸で時々ハンチングが発生するようになった。34m アンテナの AZ 軸角度読 み取りは図 4.13 に示すようになっている。EL 軸もエンコーダ光学ユニットが取り付けられている場所の違いだ けで基本的な構造は同一である。



図 4.13: AZ 軸の角度読み取り系統図。

AZ エンコーダ電源の予防交換作業後であったため、まずエンコーダ電源を元に戻し、ACU、エンコーダ電気 ユニットも交換したが、それでも現象は回復しなかった。2005 年 10 月 31 日には ACU とエンコーダ電気ユニッ ト間のケーブル各信号線の対地絶縁抵抗を測定したが、いずれも 30 M 以上あり、問題ないことが確認された。 更に調査した結果、ハンチングの原因は AZ 軸のエンコーダ光学ユニット不具合により、読み取り角度が 0.04 度 程度瞬間的に変化するためであることが判明した。34m アンテナの角度信号は D0 から D19 の 20 ビットで伝送 されている。信号ビットと角度の対応を表 4.7 に示す。角度飛びが発生する時はビット D5 と D7 が異常となって いた (D7 ビットが 0.04395 度に対応している)。

そこで、さらに原因を究明するため、予備のエンコーダ光学ユニットを電気ユニットに接続して試験を行った。 エンコーダ光学ユニットの軸に長さ約 1m のパイプを取り付け、パイプの先端を慎重に動かすことにより 0.01 度

bit	angle	bit	angle	bit	angle
	(degree)		(degree)		(degree)
D19	180	D12	1.40625	D5	0.01099
D18	90	D11	0.70313	D4	0.00594
D17	45	D10	0.35156	D3	0.00275
D16	22.5	D9	0.17578	D2	0.00137
D15	11.25	D8	0.08789	D1	0.00069
D14	5.625	D7	0.04395	D0	0.00034
D13	2.812	D6	0.02197		

表 4.7: 信号ビットと角度の対応



図 4.14: 角度オフセットカード。

程度の変化が ACU で目視確認できる程度に回転させた。その結果、予備エンコーダ光学ユニットでは正常に動 作することが確認できたため、エンコーダ光学ユニットを 11 月 2 日に交換し、AZ 軸のハンチングは発生しなく なった。さらに、エンコーダ光学ユニットの交換前後で AZ 軸の角度読み取り値が一致するようにエンコーダ電気 ユニット内にあるスイッチでオフセットを調整することで、ハンチングが発生しはじめる前の正常状態に復旧し た。エンコーダ電気ユニット内のオフセットカードにある各スイッチのオフセット量を図 4.14 に示す。オフセッ ト量を示す数値の位置にトグルスイッチがあり、スイッチの状態が 1 の場合、そのオフセット量が加算され読み 取り角度のオフセットが調整できるようになっている。例えば、角度読み取り値が 70 度、スイッチ設定が 90 度 =1、45 度=0 となっている時に角度読み取り値を 25 度としたい時には 90 度=0、45 度=1 に変更すれば角度読み 取り値を 25 度に調整できる。この方法でエンコーダ光学ユニット交換前後のオフセットを 0.001 度以内まで調整 した後、各周波数帯で軸較正観測を行った (詳細は p.9、3.4 追尾誤差の項を参照)。なお、今回のエンコーダ光学 ユニット交換により、予備機がなくなったため、予備エンコーダ光学ユニットを購入した。

4.3.15 HTS フィルタのファン交換

S帯は第3世代携帯電話(IMT-2000)からの影響を防止するために受信機には急峻な遮断特性、低通過帯域ロス、小型という特徴を有する高温超伝導(HTS)フィルタを使用している。HTSフィルタは70Kまで冷却して超伝導状態にするための冷却サブシステムに組み込まれており、このサブシステムの中の小型冷凍機を冷却するためにファンが使用されている。このファンから少し離れると聞き取れなくなる程度の小さなキー、キー、というベアリング故障の予兆と考えられる異音が2005年10月27日に確認された。共同研究先の株式会社デンソーに連絡したところ、急遽交換用ファンを送付していただき11月1日に到着し、11月8日に交換した。HTSフィル

タ自体はこの1年間順調に動作している。

4.3.16 C帯トロリーの制御系不具合

34m アンテナは多周波受信を行うために、複数の受信機をトロリーと呼ばれる台車に搭載して、必要な受信機 が搭載されたトロリーを焦点位置に移動することにより容易に受信周波数を切り換えることができる構造になっ ている。2005 年 11 月 16 日の点検時、C 帯トロリーを焦点位置から下げる時に待機位置で停止させるリムーブ リミットスイッチ動作不良によりトロリーが停止せず、トロリー制御をロックさせるラッチスイッチが動作した。 ラッチスイッチはアンテナを保護するインターロックになっており当該トロリーだけでなく他のトロリーも制御 が一切できなくなるため、C 帯トロリーを暫定的に待機位置に調整して他のトロリーの制御を復活させて受信が 可能となるようにした。その後、12 月 12 日にリムーブリミットスイッチの交換、位置調整を行って C 帯トロリー 制御は正常に復旧した。

4.4 解決すべき課題

4.4.1 ブレーキの誤動作

4.3.7 ブレーキ誤動作の発生で述べたように TLim 発生によりブレーキが誤動作している。いくつかの対策を実施したが、まだブレーキの誤動作が発生している。EL 角度信号へのノイズ混入防止のため、電源線へのラインフィルタを挿入し、個々の信号線へのフェライトビーズを取り付ける等の対策に対して評価を行って有効な対策を検討し、ブレーキ誤動作の発生を防止する必要がある。

4.4.2 X帯トロリーインストール停止不良

9月14日観測前点検において X 帯トロリーのインストール側ラッチスイッチが動作していることが発見された。点検の結果、インストール位置で停止しない現象は再現したが、観測スケジュールと作業時間の都合により、 それ以上の調査は後日行うことにして観測を行った。しかし、保守日を設定して2005年10月5日に再度調査した時には現象が再現しなかった。リミットスイッチの接触不良等が疑われるので、再度現象が発生した時には接触抵抗を測定して原因を調査し、トロリーが正常に停止するように復旧させる予定である。

4.4.3 DCPA 過電流

34m アンテナの AZ 軸を駆動するための電力を供給する DCPA の AZ#1 で 11 月 13 日に IOC(瞬時過電流) が 確認されている。AZ#2、AZ#3 では 4.3.8 項で述べているように IOC、current limit 警告が発生して、その後 に装置交換が発生しているため、注意する必要がある。

4.4.4 S/X帯受信機性能の改善

S/X 帯受信機には仰角変化による受信機出力変動が認められているため、仰角による出力変動箇所を調査し、 出力の安定化を行う必要がある。また、X 帯受信機の X-wH 系の Tsys 増加が発生したことがあるため、実験時 には Tsys を注意深く点検し、同じ現象が発生した時に原因を調査し、Tsys の増加原因を除去する必要がある。

第5章 開発

5.1 X帯の広帯域化

5.1.1 背景

34m アンテナ X 帯のオリジナル受信周波数帯は 7860~8600MHz とされたのは、国内測地実験の遅延時間測定 精度を向上するためであった。しかし、34m アンテナ建設後、広帯域の国際測地 VLBI 実験が X 帯の高周波側、 9080MHz にまで拡張されて実施されるようになった。そこで、拡大された周波数領域を使用する国際測地 VLBI 実験に参加できるようにするため、34m アンテナの X 帯受信帯域を 9080MHz まで高い周波数側に拡大すること を試みることにした。一般に測地 VLBI の測定精度は受信帯域が広いほど良いため、この広帯域側により、遅延 時間決定精度を向上させることができると期待される。

5.1.2 T_{svs} と SEFD の周波数特性

表 5.1 にオリジナルの受信周波数と広帯域化後の受信周波数を示す。34m アンテナ X 帯は狭帯域系 (X-n) と広帯域系の高域側 (X-wH) と広帯域系の低域側 (X-wL) の計 3 つの受信系がある。また、狭帯域系と広帯域系では お互いに逆旋の円偏波受信が可能である。

	従来の	広帯域化後の
受信系	受信周波数	受信周波数
	(MHz)	(MHz)
X-n	8180-8600	*
X-wL	7860-8360	8580-9080*
X-wH	8180-8600	8180-8600

表 5.1: 変更前後の X 帯の公称受信周波数帯

*: X-n 系受信機の局部発信信号を X-wL 系受信機に供給したため、 X-n 系受信機は暫定的に使用できなくなっている。

まず、受信帯域を 9080MHz まで拡大した場合の受信性能を確認するため、ダウンコンバータ内にある狭帯域 系 (X-n) のフィルタを公称周波数 8180 ~ 8600MHz から高周波側にシフトした場合の周波数 8580 ~ 9080MHz に 交換した場合のシステム雑音温度 (T_{sys}) と等価システム雑音フラックス密度 (SEFD)の測定を行った。測定 時のブロックダイアグラムを図 5.1 に示す。測定を行ったのは X-n 系の受信機である。 T_{sys} は Y ファクタ法によ り測定した。LNA 入力をコールドロードに接続した時のビデオ出力 (Pcold) とスカイ (電波源のない方向)に接 続した時の出力 (Psky) の比を Y₁(=Pcold/Psky)、LNA 入力をホットロードに接続した時の出力 (Phot) と Psky の比を Y₂(=Phot/Psky) とすると、

$$Tsys = \frac{T_H - T_C}{Y_2 - Y_1}$$

ここで、T_H はホットロードの温度、T_C はコールドロードの温度である。測定結果を図 5.2(上段) に示す。受信 周波数 8180-8600MHz での T_{sys} はほぼフラットな特性を示し約 53K であった。高域側の 8600MHz から 8850MHz



図 5.1: X 帯広帯域化時の性能測定系統図

までの T_{sys} は低域側とほぼ同じ約 50K であるが、8900MHz より高い周波数では T_{sys} が上昇している。SEFD は Virgo-A(8GHz におけるフラックス密度: 46Jy) を用いて次式により求めた。

$$SEFD = \frac{S}{(P_{on} - P_{off}) - 1}$$

ここで、*S* は既知電波源のフラックス密度 (Jy)、*P*on は天体を受信した場合の受信機出力 (W)、*P*off は天体 を受信していない場合の受信機出力 (W) である。測定結果を図 5.2(中段) に示す。低周波数側測定時の仰角は 64 度、高周波数側測定時の仰角は 52 度であった。なお、受信レベルの仰角補正は行っていない。SEFD は低周波数 側では平均 232Jy、高周波数側の内、8580MHz から 8850MHz までは低周波数側とほぼ同じ平均 237Jy であった。

ホットロード入力時の受信電力を図 5.2(下段) に示す。周波数が高くなるほど受信電力が低下しており、Tsys と SEFD がともに 8900MHz 付近から急速に上昇しているのは 8900MHz 以上では IF 出力が非常に弱くなるため T_{sys}、SEFD が正しく測定されていないためと考えられる。LNA(8~9GHz)、IF セレクタ&アンプ(~1GHz)、 光送信機 E/O(~5GHz)、光受信機 O/E(~3GHz)、O/E 後の出力アンプ (~2GHz) は十分な帯域があるので、 LNA 後のポストアンプ、ミキサー後のダイプレクサ、IF 増幅器の周波数帯域特性が十分でないと考えられる。そ こで、これらの特性を測定した結果、図 5.3 に示すようにダイプレクサが 750MHz(RF では 8830MHz) 以降急激 に減衰するローパスフィルタ特性 (861MHz(RF では 8941MHz) では約 10dB 程度の減衰) を示すことが分かっ た。IF アンプもローパス特性を示すが、その特性はダイプレクサに比べると緩やかであり(図 5.3 下段)、T_{svs}、 SEFD が 8900MHz 以降急激に上昇している主な原因はダイプレクサの周波数特性によるものであることが推測 された。そこで、実際の観測に使用する X-wL 系においてバンドパスフィルタをオリジナルの 7860-8360MHz か ら新しい 8580-9080MHzに、またダイプレクサを取り外す変更を行った。2005年9月以降の暫定的なS/X帯受信 機系統図を図 5.5 に示す。X-wL 系を新しい周波数範囲に変更するため、X-n 系の局部発信信号 (8080MHz)を一 時的に取り外して X-wL 系に使用した。このため、X-n 系は一時的に受信できなくなっている。この変更を行った 後、前述と同様に Virgo-A を用いて 9 月 6 日に X 帯の SEFD を測定した。測定した結果を図 5.4 に示す。 8180~ 8600MHz までの SEFD の平均は約 232Jy、8600~8850MH z までの平均は約 237Jy となり高域側も従来の低域 側とほぼ同程度の性能であることが確認された。しかし、SEFD が 8900MHz では 250Jy、8980MHz では 430Jy へと上昇する問題は残されたままである。受信周波数の上端、9080MHz 側の性能が悪化する理由はダウンコン バータ内の構成にまだ不十分な部分があると考えられるので、更に原因を解明して SEFD を改善したいと考えて いる。

広帯域化後の性能を評価するため、CONT05 として実施されていた 15 日の連続観測の内、2005 年 9 月 16 日の 1 日のみ鹿島 34m アンテナを用いて観測に参加した。TSUKUB32-KASHIM34 基線のみの初期的な解析を行っ た結果、全スキャン数 316 のうち解析に使用された遅延時間データは 304、遅延時間残差の RMS は 115psec、基 線長推定値の 1 は 5.1mm であった。X 帯の全チャンネルで相関を検出することができ、基線解析も問題なく 実施することができ、広帯域化した X 帯で測地 VLBI 観測できることが確認された。



図 5.2: X-n 系受信機試験時、X 帯広帯域化時の Tsys(上)、SEFD(中)、ホットロード時の受信機出 力(下)である。

図 5.3: ダイプレクサ(上)と IF アンプ(下)の周波 数特性

Sky freq. (MHz)

Intermidiate Frequency (MHz)

Sky freq. (MHz)

Intermidiate Frequency (MHz)

Gain (dB) 07 07 08

-10 -20

-30

Aattenuation (dB)

Ó -0

IF-Amp gain

Diplexer attenuation



図 5.4: 観測に使用する X-wL 系での SEFD 測定結果。



図 5.5: 広帯域化後の暫定的な S/X 系統図 (2005 年 9 月)。



図 5.6: 基準信号の品質比較のために、Pcalを使って高調波を発生し、1.5GHz の周波数近傍のスペクトルを比較 した。接続図(左)と使用した Pcal 装置(右)

5.1.3 今後の計画

受信機のダウンコンバータ内の RF バンドパスフィルタの交換およびダイプレクサを取り除くことにより鹿島 34m アンテナ X 帯の広帯域化を行った。受信システムの性能を測定したところ、高域側 (8580~9080MHz) の内 8580MHz から 8850MHz までは従来の公称受信周波数帯 (8180~8600MHz) と同等の SEFD が得られることが 分かった。高域側で Tsys、SEFD が上昇している原因はダウンコンバータ内の構成にまだ不十分な部分がある ためと考えられる。広帯域化した X 帯での測地 VLBI 実験が一応可能となったが、今後は、受信周波数の上端、 9080MHz 側の受信性能が低下する問題の改善と、従来有していた両偏波同時受信を広帯域化とともに実現したい。

5.2 観測室の標準信号分配アンプの交換

2004年に基準信号分配アンプ (RSD)の性能について比較を行った結果、現在使用している RSD をよりスプリ アスの少ない RSD に交換することが望ましいことが前回の比較により判明した。^{1 2}。しかし、2004年後半の 時点では、水素メーザ基準信号発生器 (以下、水素メーザ)2号機 (#2)の信号は 50Hz のスプリアスノイズが大 きく、水素メーザ1号機 (#1)は、オーバーホールのためメーカの工場に移設されており、使用することができな かった。その後、2005年2月には水素メーザ#1がオーバーホールを完了し、2005年の夏期保守期間中に RSD の 交換作業を実施した。2004年に行なった比較では、5MHz 信号の標準信号分配アンプは、その種類による大きな 差は見られなかったが、10MHz の RSD に関しては、観測室において使用中 (交換前)の HP 製の RSD (50Hz ス プリアス比: -58dB)よりも、HP 製 4 号機 (50Hz スプリアス比:-67dB),や Kvarz 製 (50Hz スプリアス比:-65dB) のほうが性能がよいことがわかっていたが、HP 製 4 号機は 10MHz の出力数が少ないことから、今回 Kvarz 製 の RSD への交換を行った。

まず、観測室に設置してある HP 製の RSD をロシア Kvarz 社の RSD に交換することによって、信号品質が改善することを確認し、その後実際に交換を行うという手順をとった。基準信号の品質の比較計測には、2004 年に行なった比較と同様に、N 逓倍すると位相雑音が N² に比例して増加するという性質を利用して、Pcal 装置の高次非線型性により生じた高調波の近傍スペクトルを確認する方法をとった。この節の以下に掲載しているスペクトルの図は周波数分解能 1Hz で計測したものである。

最初に、標準信号分配器入力前の信号品質を調査するため水素メーザ室にて、水素メーザ#1 の信号を Pcal 装置に入力して、 高調波を計測した。図 5.6 に測定系のブロックダイアグラムと Pcal 装置の写真を図 5.6 に示す。 水素メーザ 10MHz、5MHz のそれぞれチャンネル 1、2 の信号を使った Pcal 出力を図 5.7 と表 5.2 に示す。

次に、交換を行う前後で、図 5.8 に示す (A)、(B)、(C-1)、(C-2)の箇所で信号の確認を行い、Kvarz 製 RSD を使った場合に HP 製 RSD と同等以上の品質が得られることを確認した。 まず水素メーザ#1 からの信号を観 測室に伝送し、観測室において Pcal 装置で逓倍した結果を図 5.9 に示す。スプリアス比を比較すると、同じ水素 メーザからの標準信号を逓倍した信号であるが、観測室で計測した場合にはメーザ室で計測した場合よりもスプ リアス比が数 dB 劣化していることがわかる。次に、HP 製 RSD または、Kvarz 製 RSD の出力標準信号を Pcal 装置で 1.5GHz の逓倍し、その近傍のスペクトルをモニタした結果を図 5.10 および表 5.3 にまとめた。 この結

¹ 関戸、久保木、「宇宙電波応用グループが所有する基準信号分配アンプの性能比較 (II)」, http://www.nict.go.jp/ka/radioastro/antenna-34m/reports/manual/34m-station/Ref-sig/RSD-rep040720.pdf

²関戸、久保木、「2004 年秋 34m アンデナ立ち上げ前、基準信号 PLO Monitor」, http://www.nict.go.jp/ka/radioastro/antenna-34m/reports/manual/34m-station/Ref-sig/040927RefSig_rep.pdf



図 5.7: 水素メーザからの基準信号 (5MHz, 10MHz) を入力とした Pcal 出力のスペクトル。左側の各図は水素メー ザ出力 ch1, 右側の各図は ch2 の信号を使った場合である。また上段の各図は 10MHz 入力の場合、下段の各図は 5MHz 入力の場合である。

表 5.2: 水素メーザからの基準信号 (5MHz, 10MHz) を入力とした Pcal を使った逓倍出力 O(1.5GHz) の周辺のス プリアスレベル。

入力信号	Ch1	Ch2	スプリアスのオフセット周波数 (Hz)
10MHz	$-70.5 \mathrm{dB}$	$-68.0 \mathrm{dB}$	50 Hz
5MHz	$-57.5\mathrm{dB}$	$-66.7 \mathrm{dB}$	50 Hz

果からわかるように、観測室の初段の RSD を取り換えて逓倍波のスプリアスを比を比較すると、Kvarz 製 RSD を使用したほうが、HP 製 RSD を使用するよりもよい品質の基準信号が得られた。

水素メーザ室で生成された基準信号は、観測室の RSD で増幅されて、34m アンテナの ETR に送られる。観 測室の初段の RSD を交換することによる ETR における信号品質の改善を確認するため、図 5.8 の (C-1)、(C-2) の場所で、Pcal 装置を使った同様の測定を行なった。そのスプリアス比の測定結果を表 5.4 にまとめた。この表 からも、観測室の RSD を HP-RSD から RU-RSD に変更することによって、ほとんどの場合³ で基準信号の品質 が改善していることがわかる。

 $^{^3}$ 例外的に、日通機の RSD の 5MHz 出力で Pcal 1.5GHz のスプリアス比 が HP-RSD の方が若干よくなっている。測定ミスではないか、確認の必要がある。



図 5.8: 観測室の HP 製 RSD を Kvarz 製 RSD に変更時に標準信号の品質チェックを行った箇所 (A),(B),(C-1), および (C-2)。



図 5.9: 観測室において水素メーザからの信号 (5MHz、10MHz) を Pcal を使って逓倍し、スプリアスの様子を 確 認した。左側は 10MHz の信号を、右側は 5MHz の信号を Pcal の入力として使った場合の 1.5GHz の近傍スペク トル。両方ともに 50Hz のスプリアスが見られるが、キャリアに対する比は 10MHz の場合で-65.8 dB, 5MHz の 場合で-57.3 dB であった。

表 5.3: 観測室において最初の RSD を HP 製 RSD または Kvarz 製 RSD にした場合の標準信号品質を Pcal を 使った逓倍信号 (1.5GHz) で比較した。測定箇所は (A) の 10MHz および、(B) の 10MHz, 5MHz である。モニタ したスペクトルを図 5.10 に示す。

測定点と	HP 製 RSD	Kvarz 製 RSD	スプリアスの周波数オフセット (Hz)
入刀周波致			
(A) 10MHz	$-58.5 \mathrm{dB}$	-64.3 dB	100
(B) 10 MHz	$-42.8~\mathrm{dB}$	-44.3 dB	206
(B) $5 MHz$	$-52.2~\mathrm{dB}$	-54.5 dB	50

表 5.4: 34m アンテナの ETR における標準信号の品質を、観測室の初段 RSD として HP 製、または Kvarz 製を 使った場合で比較した。図 5.8 の (C-1)、(C-2) の出力において、標準信号を Pcal 装置を使って逓倍し、1.5GHz 周 辺のスプリアスをモニタした。近傍のスプリアスの主要な物は \pm 100Hz, \pm 200Hz の周波数オフセットであった。

入力信号	HP 製 RSD	Kvarz 製 RSD		
(C-1) 10MHz	$-55.7~\mathrm{dB}$	-61.0 dB		
(C-2) 10MHz	$-57.2~\mathrm{dB}$	$-64.7~\mathrm{dB}$		
(C-2) 5MHz	$-56.0~\mathrm{dB}$	-52.0 dB		



図 5.10: 図 5.8 の (A),(B) における基準信号を Pcal 装置を使って逓倍して得られた、1.5GHz 近傍のスペクトル を示す。左側の各図は HP 製の RSD を使用した結果。右側の各図は Kvarz 製の RSD を使用した結果である。上 の段の図は図 5.8 の (A) で 10MHz 信号を入力とした場合、中段の図は図 5.8 の (B) で 10MHz 信号を入力とした 場合、下段の図は図 5.8 の (B) で 5MHz 信号を入力とした場合である。スプリアス比を表 5.3 にまとめている。

5.3 高速 AD と PC を用いたデジタル分光計

天体からの 22GHz 帯の H₂O(水) メーザ、43GHz 帯の SiO(一酸化珪素) メーザを受信し分光観測する場合、従 来は音響光学素子を使用した AOS 型分光システムを用いていた。しかし、AOS には音響光学素子によって固有に 生じるバンドパス特性やそれに起因するベースラインのうねりによる質の劣化、解析における困難がつきまとう。 また、装置自体のセッティングや不具合時のメンテナンスなどハードであるがゆえの手間といった問題がある。そ こで、それらの問題を解決すべく鹿児島大学と協力して高速サンプラ ADS1000 と汎用の PC を用いて AOS 型分 光システムを代替できる新たなデジタル分光計を共同で開発した。その第一段階として、まず1台のPCを用い て帯域幅 32MHz、周波数分解能 16kHz の分光処理を実時間で行う分光計を開発した。これは、H₂O メーザ、SiO メーザ天体の分光処理が必要な22GHz、43GHz帯の軸較正観測への利用が期待される。また続いてintelのCPU、 Xeon 2.8GHz を 2 つ搭載した汎用 PC を 4 台用いることにより帯域幅 256MHz、周波数分解能 32kHz の分光処 理を実時間で行う分光計を実現した。図 9(p.v) は後者のデジタル分光計一式である。ADS1000 でサンプリング されたデータはデジタルデータ分配部として用いる PC から4台の演算用 PC からなるデータ処理部に送られる。 分配されるデータ量は1024Mbps にのぼるが、実時間の高速フーリエ変換が実現されている。図 5.11 はこのデ ジタル分光計を用いて鹿児島大学 6m 電波望遠鏡で観測した銀河中心領域 (Sgr A) の NH₃(J,K)=(1,1),(2,2),(3,3) **輝線である。これら3**輝線を同時に観測することにより、分子雲の温度など天文学上非常に有用なパラメータを 精査することが可能となる。ソフトウェアによるデジタル分光計は、混信除去や特殊な観測対象に対してプログ ラムの変更で柔軟に対応できるメリットがあり、共同研究を行う大学や広範囲な科学工学分野での利活用が期待 される。



図 5.11: 銀河中心領域の天体電波源 Sgr A で観測されたスペクトル。

第6章 今後の計画

X帯の広帯域化については、2005年は高い周波数領域において Tsys が上昇する問題が残されている。今後は これを改善することと並行して従来有していた両偏波同時受信が行えるように改修を進めていきたいと考えてい る。また、定期保守を行うことで良好な状態が保たれている 34m アンテナであるが、1988年3月の完成から 17 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、2006年には以下の保守、準備を行うこと が望ましい。

- TLim 誤動作対策
- 背面構造部の補修
- 観測制御計算機の予備機の整備
- SCU 予備機の整備
- 受信機温度計の更新

リミット範囲を超えた異常な角度となった場合にアンテナを保護するためのトラベルリミット (TLim)機構の誤動作が発生していることにより、アンテナ運用時の負担、特に24時間実験時のアンテナモニターに大きな負担が 生じており、アンテナの安定運用が行えるようにすることと並行して、運用監視の負担減少と誤動作によりアン テナが停止しても状態をチェックして問題がなければ自動的に機能を回復することで観測ロスを減少させ安定運 用性を向上させる必要がある。

34m アンテナの背面構造部の腐食に関しては、4.3.4 で示したように 2004 年度に大規模な補修を行い、支柱に 多数の穴が空いて安全が懸念されるような状況ではなくなった。しかし、図 4.6(p.25) に示すように 2004 年度に 補修した箇所と接する初期、1998 年 ~ 1999 年に補修した箇所に補修が必要な場所が 4 箇所あった。今後も順次 補修塗装等が必要であり、まず 7 ~ 8 年が経過した初期部分の補修が必要であると考えている。主鏡面を固定して いるナットプレートの交換は完了しているので補修塗装、補修溶接を行えば良いが、鏡面精度の維持、確認のた めに補修作業の前後においてはナットプレート交換時と同等な鏡面高低差測定を行う必要がある。

観測全体を制御する観測制御計算機は、4.3.9 で述べたように、現用機は 2005 年 3 月に更新できたが、予備機 は老朽化しておりシステムを更新することが必要である。

副反射鏡制御装置 (SCU) も 2002 年に更新した時に現用系 1 台のみしか整備できなかったので、早急に予備系 を準備する必要がある。新たに準備した装置を現用系として通常使用して、現在の装置を予備系にすることが望 ましい。受信機温度計も老朽化しており、今後、早期に更新することを検討したい。

鹿島 34m アンテナは、第2期中期計画で安心安全のための情報通信技術領域における研究開発として掲げられ ている時空標準に関する研究協力の中で、時空統合標準技術の研究協力の研究課題において活用することを計画 している。同研究課題では、高精度・高信頼の時刻・位置情報を容易に利用できるようにするため、様々な研究 開発を実施する計画であるが、34m アンテナは特に e-VLBI による即時地球姿勢決定技術、天球基準座標系と地 球基準座標系の高精度即時決定、距離基準計測技術の研究開発において重要な役割を担っている。そのため今後 も引き続き安定に 34m アンテナを運用することが必要であり、この年次報告書がそのために活用されることを期 待する。

謝辞

本年次報告書の執筆にあたり時間周波数計測グループの花土ゆう子主任研究員、鹿児島大学大学院理工学研究 科 永山匠氏にご協力頂いた。ここに記して感謝いたします。

付 録A S/X帯軸較正用電波源

S/X帯の軸較正観測に使用している電波源リストを Field Systemの取扱書から抜粋して表 A.1 に示す。

					m (•,•
Ş	ource and	Position	(1950.0)	$Size^*$	10t	al Flux De	nsities
le	etter code				S-Band	X-Band	
\mathbf{a}	3C84	$03 \ 16 \ 29.54$	$+41 \ 19 \ 51.7$	< 1"	40	50 - 60	#
b	3C123	$04 \ 33 \ 55.2$	+29 34 14.	20"	32.9	10.1	
с	0521 - 365	$05\ 21\ 13.2$	-36 30 19.	15"	13.5	5.5	
d	Taurus A	$05 \ 31 \ 31.$	+21 59 00.	$3' \times 5'$	815	552	
е	Orion A	$05 \ 32 \ 49.$	-05 25 15.	4'	440	340	
f	3C147	$05 \ 38 \ 43.52$	+49 49 42.4	< 1"	15.6	4.9	
g	3C161	$06\ 24\ 43.2$	-05 51 12.	< 3"	13.1	4.0	
h	3C218	$09\ 15\ 41.2$	-11 53 05.	200"	27.7	8.4	
i	3C273	$12\ 26\ 33.25$	+02 19 43.5	< 20"	30	30 - 40	#
j	Virgo A	$12\ 28\ 17.57$	+12 40 02.0	Core/Halo	141	46	
k	3C279	$12 \ 53 \ 35.83$	$-05 \ 31 \ 07.9$	< 1"	10	10	#
1	3C286	$13\ 28\ 49.66$	+30 45 58.7	< 1"	11.6	5.2	
m	3C295	$14 \ 09 \ 33.5$	+52 26 13.	4"	14.4	3.4	
n	3C345	$16\ 41\ 17.64$	+39 54 11.0	< 1"	5 - 10	10	#
0	3C348	$16\ 48\ 40.0$	$+05 \ 04 \ 35.$	115"	27.0	6.8	
р	3C353	$17 \ 17 \ 53.3$	$-00\ 55\ 50.$	150"	39.9	13.6	
q	3C380	$18\ 28\ 13.47$	+48 42 41.0	< 1"	11.	5.2	
r	3C391	$18 \ 46 \ 48.5$	$-00\ 58\ 58.$	4.5'	16.	7.5	
\mathbf{S}	1921 - 293	$19\ 21\ 42.18$	$-29 \ 20 \ 24.9$	< 1"		5 - 10	#
\mathbf{t}	Cyg A	$19\ 57\ 44.4$	+40 35 46.	115"	966	190	
u	2134 + 004	$21 \ 34 \ 05.23$	$+00 \ 28 \ 25.0$	< 1"	6	10 - 13	#
v	3C454.3	$22\ 51\ 29.53$	+15 52 54.2	< 1"	10 - 15	10 - 20	#
W	${\rm Cas}~{\rm A}^+$	$23 \ 21 \ 09.$	+58 32 30.	3'	1510^{+}	528^{+}	

表 A.1: S/X 帯の軸較正観測に使用する電波源

これらの電波源のフラックス密度は時間によって変動するため、大まかな平均値を記している。

* アンテナのビーム幅 (半値幅) の 10%より大きな天体は分解されるため、観測されるフラッ クス密度は表中の値よりも小さくなる。ただし、その場合でも中心位置は大きく変化しない。 + Cas A のフラックス密度は年とともにゆっくり減少している。この表に記した値は、1984 年1月1日現在のものである。S 帯のフラックス密度は 0.86%/年で減少し、X 帯は 0.69%/年 で減少している。S 帯のフラックス密度は 1993 年 9 月 1 日に 1397Jy から 1510Jy に修正され た。

(Field System Documentation Antenna Performance より抜粋)

付録B 略語

ACU Antenna Control Unit	ITRF 1
ADC Antenna Drive Cabinet	J-BOX
AOS Acousto-Optical Spectrometer	JIVE
APPS Advanced Precise Positioning System	KSP I
AZ Azimuth	LVDT
CCW Counter-Clockwise	MAC 1
CDDIS Crustal Dynamics Data Information System	NICT
\mathbf{CW} Clockwise	Pcal P
DCPA Direct Current Power Amplifier	PIC Pe
EL Elevation	PICNI
ENC Encoder	PLO I
ETR Elevation Tilting Room	RBW
FS9 Field System version 9	RIC Re
${\bf GNSS}$ Global Navigation Satellite Systems	RSD 1
GPS Global Positioning System	SCU S
HALCA Highly Advanced Laboratory for Com- munications and Astronomy	SDC S
HTS High-Temperature Superconductor	SEFD
IGP Instituto Geofisico del Peru	SRD S
IGS International GNSS Service	TLim 7
IMT-2000 International Mobile Telecommunications-	VLBI V
2000	VERA
IOC Instantaneous Over Current	VSOP

${\bf ITRF}$ International Terrestrial Reference Frame
J-BOX Junction Box
JIVE Joint Institute for VLBI in Europe
KSP Key Stone Project
${\bf LVDT}$ Linear Variable Differential Transformer
\mathbf{MAC} Monitor And Control
NICT National Institute of Information and Com- munications Technology
Pcal Phase calibration
PIC Peripheral Interface Controller
PICNIC PIC Network Interface Card
PLO Phase Locked Oscillator
RBW Resolution Band Width
${\bf RIC}$ Receive-band Interchange Computer
RSD Reference Signal Distributor
${\bf SCU}$ Subreflector Control Unit
SDC Subreflector Drive Cabinet
SEFD System Equivalent Flux Density
SRD Step Recovery Diode
TLim Travel Limit
VLBI Very Long Baseline Interferometer
VERA VLBI Exploration of Radio Astrometry

VSOP VLBI Space Observatory Programme

付 録C 宇宙電波応用グループ成果リスト(2005年 1月 - 12月)

原著論文

- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 平原 正樹, 木村 守孝, 竹内 央, 高速ネットワークの国際接続を利用した e-VLBI 研究開発, 情報通信 研究機構季報, Vol.51(2005), Nos.3/4, pp.116-126.
- Ichikawa, R., M. Bevis, J. Foster, and M. Nobutaka, GPS meteorology: Evaluating the anisotropic mapping function using the JMA 10-km spectral model, J. Phys. and Chem. of the Earth (submitted).
- Hobiger, T., T. Kondo, and H. Schuh, Very long baseline interferometer as a tool to probe the ionosphere, *Radio Sci. Vol.* 41 (2006), doi:10.1029/2005RS003297.
- Horiuchi, S., S.J.Tingay, C. J. West, A.K. Tzioumis, C.Philips, J. E. J. Lovell, J. E. Reynolds, S. P. Ellingsen, P. B. Reid, G. Cimò, J. F. H. Quick, Y. Koyama, F. H. Briggs, W. F. Brisken, The pc-scale structure and evolution of the BL Lac object PKS 0003-066: Precession of the jet with a 5.5 yr period, Astrophys. J. (submitted).
- Ilyasov, Y. P., M. Imae, Y. Hanado, V. V. Oreshko, V. A. Potapov, A. E. Rodin, and M. Sekido, Two-frequency timing of the pulsar B1937+21 in Kalyazin and Kashima in 1997-2002, Astron. J. Let., Vol. 31 (2005), No. 1, pp.30–36.
- Jauncey, D.L., J.E.J. Lovell, **Y. Koyama and T. Kondo**, Intra-day variability and long-lived interstellar scintillation in B0059+581, Astron. J. Let. (submitted).
- Koyama, Y., T. Kondo, M. Hirabaru, M. Kimura, and H. Takeuchi, Research and Developments for e-VLBI Utilizing Global High Speed Network Connections, J. National Institute of Information and Communications Technology (in printing).
- Niell, A., A. Whitney, W. Petrachenko, W. Schluter, N. Vandenberg, H. Hase, Y. Koyama, C. Ma, H. Schuh, G. Tuccari, VLBI2010: A Vision for Future Geodetic VLBI, Proc. of the Joint Assembly of IAG, IAPSO, and IABO, in Cairns, Aug. 2005 (submitted).
- Sekido, M., T. Fukushima, A VLBI delay model for radio sources at a finite distance, J. Geodesy (submitted).
- Takeuchi, H., M. Kuniyoshi, T. Daishido, K. Asuma, N. Matsumura, K. Takefuji, K. Niinuma, H. Ichikawa, R. Okubo, A. Sawano, N. Yoshimura, F. Fujii, K. Mizuno, and Y. Akamine, Asymmetric sub-reflectors for spherical antennas and interferometric observations with an FPGA-based correlator, *Publ. Astron. Soc. Japan, Vol. 57 (2005), No. 5,* pp.815–820.
- Ojha, R., A. L. Fey, P. Charlot, D. L. Jauncey, K.J. Johnston, J.E. Reynolds, A.K. Tzioumis, J. F. H. Quick, G. D. Nicolson, S. P. Ellingsen, P. M. McCulloch, and Y. Koyama, VLBI observations of southern hemisphere ICRF sources. II. Astrometric suitability based on intrinsic structure, Astron. J. Let., Vol. 130 (2005), pp.2529–2540.

口頭発表・収録論文等

- 雨谷 純,後藤 忠広,藤枝 美穂,近藤 哲朗,ソフトウェアによる衛星双方向時刻比較信号の検出,電子情報通信学会 総合大会, 2005/3/22
- 市川隆一,関戸衛,竹内央,小山泰弘,近藤哲朗,望月奈々子,NICTにおける宇宙飛翔体位置決定を目的とする VLBI 実験結果-,電子情報通信学会 宇宙・航行エレクトロニクス研究会 (SANE研), 2005/8/26
- 市川隆一,関戸衛,竹内央,小山泰弘,近藤哲朗,村田泰宏,望月奈々子,吉川真,市川勉,加藤隆二,大西隆史,GPS 解析に基づく「はやぶさ」相対 VLBI 観測での大気遅延相殺効果,日本測地学会第 104 回講演会, 2005/10/25
- 市川 隆一, 竹内 央, 近藤 哲朗, Parameswaran Namboothiri, 黒岩 博司, 高橋 冨士信, TCP/IP 衛星回線を用いた宇宙測地 データの分散相関処理実験, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同学会, 2005/10/25
- 川合 栄治,久保木 裕允,小山 泰弘,近藤 哲朗,鹿島34mアンテナX帯の広帯域化,日本測地学会第104回講演会,2005/5/22
- 木村 守孝, 汎用計算機と汎用回線を用いたリアルタイム VLBI システムの開発, 日本天文学会 2005 年秋季年会, 2005/10/8
- 木村 守孝, PC-VLBI システムを用いた VERA 用相関処理系の構築, 2005 年度 VLBI シンポジウム, 2005/12/9
- 小山 泰弘, 測地 VLBI の国際的な技術動向, VERA による測地・地球物理研究のワークショップ「mm、µ arcsec、nGal で 開く測地・地球物理」, 2005/1/20

- 小山 泰弘, e VLBIおよび汎用科学インターフェースの研究開発,「宇宙地球系情報科学研究会」および「巨大データ ベース構築に関する研究集会」, 2005/12/16
- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 木村 守孝, 竹内 央, 多チャンネルギガビットVLBIシステムによる測地VLBI試験観測, 地球惑 星科学関連学会 2005 年合同大会, 2005/5/25
- 小山 泰弘,近藤 哲朗,木村 守孝,竹内 央,多チャンネルギガビットVLBIシステムによる測地VLBI試験観測(2),日 本測地学会第 104 回講演会,2005/10/25
- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 市川 隆一, 関戸 衛, 川合 栄治, 竹内 央, 木村 守孝, 久保木 裕允, NICT 鹿島機関報告, 2005 年度 VLBI シンポジウム, 2005/12/9
- 近藤 哲朗,小山 泰弘, K5/VSSP (IP-VLBI) システム用バンド幅合成ソフトウェアの開発,地球惑星科学関連学会 2005 年合 同大会, 2005/5/25
- 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 竹内 央, 木村 守孝, USB インターフェース VLBI サンプラーユニット (K5/VSSP32) の開発, 日本測 地学会第 104 回講演会, 2005/10/25
- 須田 浩志, 川口 則幸, 河野 裕介, 小山 友明, 山内 彩, 小山 泰弘, 光結合 VLBI 観測網の4局化とイメージング, 日本天文学会 2005 年秋季年会, 2005/10/8
- 関戸 衛,市川 隆一, 飛翔体の VLBI 群遅延計測に適した信号形態についての検討, 計測自動制御学会 SI 部門講演会 SI2005, 2005/12/16
- 関戸 衛, 市川 隆一, 近藤 哲朗, 吉川 真, 加藤 隆二, 村田 泰弘, 飛翔体の VLBI 計測ー相関処理手法について, 第5回宇宙科 学シンポジウム (JAXA), 2005/1/6
- 関戸 衛, 市川 隆一, 近藤 哲朗, 竹内 央, 小山 泰弘, 川合 栄治, 高精度軌道決定に向けた HAYABUSA の VLBI 観測 状況 報告 , 第 15 回アストロダイナミックシンポジウム, 2005/7/26
- 関戸 衛, 市川 隆一, 竹内 央, 小山 泰弘, 川合 栄治, 近藤 哲朗, 高精度軌道決定に向けた HAYABUSA の VLBI 観測 状況 報告 , 第 15 回アストロダイナミックシンポジウム, 2005/7/26
- 関戸 衛, 市川 隆一, 吉川 真, 加藤 隆二, 大西 隆史, 望月 奈々子, 村田泰弘, 飛翔体 VLBI グループ, 飛翔体の VLBI 観測 -2005 年状況報告, 2005 年度 VLBI シンポジウム, 2005/12/8
- 関戸 衛, Hobiger Thomas, 市川 隆一, 近藤 哲朗, 吉川 真, 飛翔体の VLBI 観測技術 相対 VLBI と位相遅延量の不定性の除去, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 2005/5/25
- 関戸 衛,福島 登志夫,銀河系内天体を VLBI 観測する際の有限距離効果について, VERA による測地・地球物理研究のワークショップ, 2005/1/18
- 梁島 一輝, 高橋 冨士信, 近藤 哲朗, 吉田 勇児, ソフトウェア VLBI への bitset および MPI の応用, 日本測地学会第 104 回講 演会, 2005/10/25
- 高羽 浩, 若松 謙一, 須藤 広志, 吉田 稔, 川口 則幸, 河野 裕介, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 須田 浩志, 高島 和宏, 石本 正芳, アス トロメトリの高精度化に向けた光結合測地 VLBIの開発, 日本天文学会 2005 年春季年会, 2005/3/29
- 高羽 浩, 若松 謙一, 須藤 広志, 吉田 稔, 川口 則幸, 河野 裕介, 須田 浩志, 高島 和宏, 石本 正芳, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 関戸 衛, 竹内 央, スーパー SINET による測地 e-VLBI の開発, NRO ユーザーズミーティング, 2005/9/12
- 高羽 浩, 若松 謙一, 須藤 広志, 吉田 稔, 川口 則幸, 河野 裕介, 須田 浩志, 高島 和宏, 石本 正芳, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 関戸 衛, 竹内 央, スーパー SINET を用いたギガビット・測地 e-VLBIの開発(5), 日本測地学会第 104回講演会, 2005/10/25
- 高羽浩,若松謙一,須藤広志,吉田稔,川口則幸,河野裕介,須田浩志,高島和宏,石本正芳,近藤哲朗,小山泰弘,関戸 衛,竹内央,アストロメトリの高精度化に向けた光結合測地 VLBIの開発(2),日本天文学会2005年秋季年会,2005/10/8
- 竹内 央, 木村 守孝, 中島 潤一, 市川 隆一, 関戸 衛, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, VSI 対応 2Gsps A/D サンプラの開発, 2005 年度 VLBI シンポジウム, 2005/12/8
- 竹内 央,木村 守孝,中島 潤一,近田 義広,電波天文に最適な高速 FFT ライブラリの開発,日本天文学会 2005 年秋季年会, 2005/10/8
- 竹内 央, 中島 潤一, 木村 守孝, 近藤 哲朗, DBBC 機能を持つ VLBI 用 2Gsps A/D サンプラの開発, 日本天文学会 2005 年 春季年会, 2005/3/29
- 西田和史, 面高俊宏, 近藤 哲朗, 中島 潤一, 木村 守孝, 竹内 央, 汎用 PC による広帯域デジタル電波分光計の開発, 日本天文 学会 2005 年春季年会, 2005/3/29
- 花土 ゆう子, 中川 史丸, 細川 瑞彦, 関戸 衛, NICT における超高安定ミリ秒パルサーの高精度タイミング計測, 2005 年秋季 第 66 回応用物理学会学術講演会, 2005/9/10
- 平原 正樹,小山 泰弘,木村 守孝, SC2005 におけるリアルタイム e-VLBI 実験報告, APAN-JP NOC 会合, 2005/12/21
- 三澤 浩昭, 土屋 史紀, 森岡 昭, 近藤 哲朗, 月における低周波惑星電波観測, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会, 2005/5/22
- Hirabaru, M. and Y. Koyama, e-VLBI: Science over high-performance networks, APEC AP Grid Workshop, Sept. 6, 2005.
- Hirabaru, M., Y. Koyama, and M. Kimura, e-VLBI updates, APAN-JP NOC Meeting, Jan. 20, 2005.

- Hirabaru, M., Y. Koyama, M. Kimura, M. Sekido, H. Takeuchi, and T. Kondo, e-VLBI deployments with research Internet, APAN Conference 2005 in Bangkok, Jan. 2005.
- Hobiger, T. and T. Kondo, How VLBI can contribute to ionospheric research, 17th European VLBI Meeting, Apr. 2005.
- Hobiger, T., and T. Kondo, An FX software correlator based on Matlab, 17th European VLBI Meeting, Apr. 2005.
- Hobiger, T., Y. Koyama, and T. Kondo, K5 software correlation users manual, Apr. 2005.
- Ichikawa R., H. Takeuchi, A. Hasegawa, T. Kondo, H. Kuroiwa, F. Takahashi, E. Vari, P. Samisoni, D. Phillips, and M. Bevis, Data transmission and long distance correlation processing experiments for space geodesy through the satellite TCP/IP link in the south Pacific, *EGU2005 (Vienna, Austria)*, Apr. 24, 2005.
- Ichikawa R., M. Sekido, H. Takeuchi, M. Kimura, Y. Koyama, T. Kondo, N. Mochiduki, Y. Murata, M. Yoshikawa, and T. Ohnishi, A preliminary result of precise positioning of the interplanetary spacecraft using differential VLBI measurements, *EGU2005 (Vienna, Austria)*, Apr. 24, 2005.
- Ichikawa R., H. Kuboki, Y. Koyama, J. Nakajima, and T. Kondo, Development of the new VLBI facility with a 2.4-m dish antenna at NICT, *NICT IVS TDC News, No. 26,* pp.13, Sept. 2005.
- Ichikawa R., M. Sekido, H. Takeuchi, M. Kimura, Y. Koyama, T. Kondo, N. Mochiduki, Y. Murata, M. Yoshikawa, and T. Ohnishi, An evaluation of atmospheric path delay correction in differential VLBI experiments for spacecraft tracking, *NICT IVS TDC News*, No. 26, pp.14–19, Sept. 2005.
- Ichikawa R., M. Sekido, Y. Koyama, and T. Kondo, An evaluation of atmospheric path delay correction in differential VLBI experiments for spacecraft tracking, AGU Fall Meeting 2005, Dec. 2005.
- Imai, H., Y. Koyama, and T. Kondo, K5 software correlation users manual, Third IVS Technical Operations Workshop, May 2005.
- Kawai, E., H. Takeuchi, and H. Kuboki, Kashima 34-m radio telescope, *IVS 2004 Annual Report, NASA/TP-2005-212772*, pp.64–67, Feb. 2005.
- Kawai, E., H. Kuboki, Y. Koyama, and T. Kondo, On the expansion of the frequency coverage of an X-band of Kashima 34-m antenna, *NICT IVS TDC News, No. 26*, pp.23–25, Sept. 2005.
- Kimura, M., Development of the software correlator for the VERA system, *NICT IVS TDC News, No. 26*, pp.26–27, Sept. 2005.
- Kondo, T., Y. Koyama, and H. Takeuchi, Technology development center at NICT, *IVS 2004 Annual Report*, *NASA/TP-2005-212772*, pp.272–275, 2005.
- Kondo, T., Y. Koyama, H. Takeuchi, and M. Kimura, Development of a new VLBI sampler unit dedicated to e-VLBI for near real-time monitoring of earth rotation, *AGU Fall Meeting 2005*, Dec. 2005.
- Kondo, T. and Y. Koyama, Comparison of observed delays and delay rates between K4 and K5/VSSP, NICT IVS TDC News, No. 26, pp.2–5, Sept. 2005.
- Koyama, Y., Data Center at NICT, IVS 2004 Annual Report, NASA/TP-2005-212772, pp.178-181, Feb. 2005.
- Koyama, Y., Kashima and Koganei 11-m VLBI Stations, *IVS 2004 Annual Report, NASA/TP-2005-212772*, pp.68–71, Feb. 2005.
- Koyama, Y., Current plan for e-VLBI demonstrations at iGrid2005 and SC2005, 20th APAN Meeting, Aug. 25, 2005.
- Koyama, Y. and T. Kondo, e-VLBI with the high speed international research networks, *Third IVS Technical Operations Workshop*, Jan. 2005.
- Koyama, Y. and T. Kondo, Introduction to the K5 system, *Third IVS Technical Operations Workshop*, May 11, 2005.
- Koyama, Y., T. Kondo, D. Smythe, M. Tituand, A. Whitney, Timing offset of the K5/VSSP system, NICT IVS TDC News, No. 26, pp.6–8, Sept. 2005.
- Koyama, Y., T. Kondo, M. Kimura, and H. Takeuchi, Multi-channel Gbps geodetic VLBI experiment, *NICT IVS TDC News, No. 26*, pp.9–12, Sept. 2005.
- Koyama, Y., T. Kondo, M. Kimura, M. Sekido, H. Takeuchi, and M. Kimura, Developments of the K5 VLBI system, 17th Working Meeting on European VLBI for Geodesy and Astrometry, Apr. 2005.
- Koyama, Y., T. Kondo, M. Kimura, H. Takeuchi, M. Sekido, and R. Ichikawa, e-VLBI developments at NICT, Japan, 4th e-VLBI Workshop, Jul. 2005.
- Sekido, M. and T. Fukushima, VLBI delay model for radio sources at finite distance, Journees 2005 Systemes de Reference Spatio-Temporels "Earth dynamics and reference systems: five years after the adoption of the IAU 2000 Resolutions", Jun. 2005.
- Sekido, M., H. Kuboki, and E. Kawai, Phase calibration signal generator –preliminary evaluation–, NICT IVS-TDC News, No. 26, pp.20–22, Sept. 2005.

- Sekido, M., R. Ichikawa, H. Takeuchi, Y. Koyama, E. Kawai, and T. Kondo, VLBI application for spacecraft navigation, Asia Pacific Space Geodynamics (APSG) Workshop 2005 Geodynamics and Natural Hazards, Sept. 2005.
- Sekido, M., H. Kuboki, and E. Kawai, Phase calibration signal generator -preliminary evaluation, NICT IVS TDC News, No. 26, pp.20-22, Sept. 2005.
- Sekido, M., R. Ichikawa, H. Takeuchi, Y. Koyama, E. Kawai, T. Kondo, M. Yoshikawa, N. Mochizuki, Y. Murata, and R. Kato, VLBI observation of spacecraft for navigation –Approaches with group delay and phase delay–, XXVIIIth General Assembly of International Union of Radio Science(URSI), J06-P.7, (0859), Oct. 2005.
- Sekido, M., Y. Koyama, M. Kimura, and H. Takeuchi, VLBI correlators in Kashima, International VLBI Service Annual Report 2004, pp.158–161, Feb. 2005.
- Takeuchi, H., A multi-stream FFT library for VLBI, NICT IVS TDC News, No. 26, pp.28–30, Sept. 2005.
- Takeuchi, H., Y. Koyama, and Y. Chikada, An FFT library optimized for VLBI software correlators, 4th e-VLBI Workshop, Jul. 2005.
- Takeuchi, H., T. Kondo, Y. Koyama, and R. Ichikawa, A VLBI correlator with Internet-based distributed computing, URSI GA2005, Oct. 27, 2005.

特許

- 高橋 冨士信, 梅野 健, 近藤 哲朗, 認証システム、認証装置、認証方法、プログラム、ならびに、情報記録媒体、特許第 3660985 号, 2005/4/1
- 小山 泰弘, 衛星測位端末受信機の検定方法及び検定システム, 特許第 3760238 号, 2006/1/20
- 関戸 衛, 宇宙航行システムおよび方法, 特願 2003-202489, 2005/12/21 査定
- 中島 潤一,木村 守孝,アナログ / デジタル変換器の性能測定システム及び性能測定方法、並びに、デジタル / アナログ変換 器の性能測定システム及び性能測定方法,特許第 3692405 号,2005/7/1
- 中島 潤一, 木村 守孝, パラボラアンテナの性能評価システム及び性能評価方法, 特許第 3718719 号, 2005/9/16

鹿島 34m アンテナ 2005 年 年次報告書

	2006年1月31日発行
発行	独立行政法人 情報通信研究機構
	電磁波計測部門 宇宙電波応用グループ
執筆	川合栄治,久保木裕充,竹内央,中島潤一
	市川隆一,関戸 衛,近藤哲朗,小山泰弘
URL	http://www.nict.go.jp/ka/radioastro/