

鹿島34mアンテナ  
2006年  
年次報告書



情報通信研究機構  
新世代ネットワーク研究センター  
光・時空標準グループ

**NICT**



# 目次

1	はじめに	1
2	34m アンテナの現況	2
2.1	主要諸元	2
2.2	受信機性能	3
2.3	受信状況	3
2.4	追尾誤差	8
2.5	34m アンテナのバックエンドシステム	10
2.6	34m アンテナ併設の観測機器など	13
2.6.1	測地用 GPS	13
2.6.2	水蒸気ラジオメータ	14
2.6.3	APPS	14
2.6.4	CARAVAN2400	15
3	運用状況	17
3.1	2006 年運用状況	17
4	保守状況	18
4.1	定期保守	18
4.1.1	機械系の点検整備	18
4.1.2	電気系の点検整備	20
4.1.3	駆動モータのローテーション	20
4.1.4	副反射鏡位置歪み調査	21
4.2	修理・補修	23
4.2.1	背面構造部の補修	23
4.2.2	AZ レールボルトの折損	24
4.2.3	ブレーキ誤動作の発生 -TLim 誤動作-	24
4.2.4	ヘリウム配管交換	27
5	開発	28
5.1	ACU 自動リセット装置	28
5.2	X 帯局部発振出力の 4 分配化	28
5.3	2.4m アンテナテストベッド “CARAVAN2400” での各種試験	31
5.3.1	CARAVAN2400	31
5.3.2	2006 年度予備試験	34
5.4	ADS2000 を用いた測地実験	40
5.5	Internet2 初代 IDEA 賞を受賞	40
6	終わりに	42
A	略語集	43
B	鏡面測定法	45
C	S/X 帯軸較正用電波源	46
D	SEFD とは	47

E 鹿島 VLBI グループ成果論文（発表）リスト（2006年1月 - 12月）

48

## 1 はじめに

34m アンテナ (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 (現 情報通信研究機構鹿島宇宙技術センター)(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。建設後、18 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種々の対策により安定な運用を実現している。

2006 年は NICT 第 1 期中期計画の最終年度および新たな中期計画 (第 2 期中期計画) 5 ヶ年の開始年度であった。この新たな中期計画開始に伴い NICT の改組も実施され、それまで 34m アンテナの運用母体であった電磁波計測部門宇宙電波応用グループは第一研究部門 新世代ネットワーク研究センター 光・時空標準グループ 時空統合標準プロジェクトのもとに位置づけられることになった。また、鹿島宇宙通信センターは鹿島宇宙技術センターと改名された。

第 1 期中期計画 (2001 年 4 月 ~ 2006 年 3 月) では、34m アンテナは「宇宙における時空標準基盤技術の研究開発」という課題を遂行するために必要な微弱な天体電波源や小惑星探査機「はやぶさ」などの深宇宙探査機からの電波受信において重要な役割を果たした。

新たに開始された時空統合標準プロジェクトでは『電磁波の干渉技術を用いた基準座標系の高精度化として極運動で 40 マイクロ秒角、UT1 で  $2 \mu s$  を達成するために、リアルタイム地球姿勢決定技術の研究開発を行うとともに、測位における距離基準を確立するための研究開発』をプロジェクト課題の一つとして掲げており、34m アンテナはプロジェクトを達成する上で引き続き重要な役割を担っている。

この報告書は 2006 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、今後も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。更に 2006 年の研究グループの活動成果についても代表的なものを記した。



図 1.1: 34m アンテナ

## 2 34m アンテナの現況

### 2.1 主要諸元

34m アンテナの主要諸元を表 2.1 にアンテナ位置を 2.2 に、アンテナ各部の名称を図 2.1 に示す。受信機性能は 2.2 以降に記している。なお本報告で使用される略語については付録 A にまとめた。

34m アンテナはミリ波帯までの受信要求から鏡面精度の仕様値を 0.5mm rms としたが、建設時の実測値では仰角 45° で 0.17mm rms を得た。現在 1.5GHz 帯から 43GHz 帯のミリ波帯までの多数の周波数帯の受信機が搭載されている。光学系での分類は鏡面修正カセグレンアンテナであり、マウント方式は車輪レール形 AZ (方位角) - EL (仰角) マウント方式である。測地 VLBI の基準点となる AZ 軸と EL 軸の交点は測地 VLBI の基準点となるが、両軸が 1mm 以下で交わるように設計されている。さらに高精度測位解を得るため、熱変形による基準点の移動を低減するための工夫が施されており、アンテナ脚部の鉄骨を鉄板で覆うことにより、直射日光による鉄骨の熱変形を避けている。

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。

表 2.1: 34m アンテナの主要諸元

主反射鏡開口径	34.073 m
アンテナ形式	鏡面修正カセグレン
マウント形式	車輪レール型 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 (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 AZ	0.8 °/s
EL	0.64 °/s
製造	米国 TIW (現 VertexRSI)

表 2.2: 34m アンテナの位置 (1997 年 1 月 1 日での値)

ITRF2000 における AZ-EL 直交点の位置と速度	位置 (m)	速度 (m/年)
	X : -3997649.227 ± .003	-.0003 ± .0004
	Y : 3276690.754 ± .002	.0052 ± .0003
	Z : 3724278.825 ± .003	-.0118 ± .0005
世界測地系での AZ-EL 直交点の位置	北緯 35°57' 21.78	
	東経 140°39' 36.32	
	標高 43.4 m	

\*注：2005 年版までの年次報告書での緯度、経度は間違っているのに注意すること

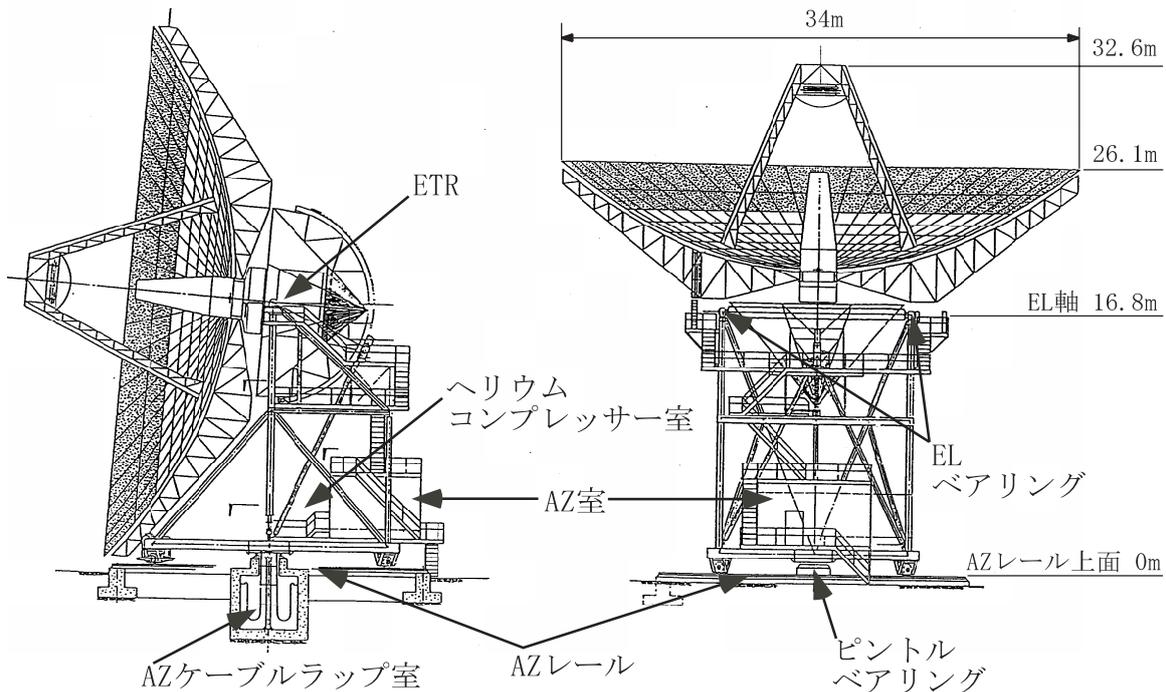


図 2.1: 34 mアンテナ各部の名称

## 2.2 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 2.3 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 入力の間を表 2.4 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。

X 帯の国際測地 VLBI 実験では測定精度向上のためにより広帯域の受信周波数範囲が要求されるようになったため 2005 年に上限周波数を 9080MHz まで拡大した。この改修により、従来の X-n 帯 (8.18-8.60GHz) が使用できなくなっていたが、局部発信器出力を分配することにより、X-n 帯を復活させた (詳細は「5.2X 帯局部発振出力の 4 分配化」参照)。なお、X 帯の 3 つの受信系の呼称のうち X-wL を X-b に変更した。

## 2.3 受信状況

34m アンテナの L 帯、S 帯、C 帯、X 帯および 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した。その結果を図 2.2 ~ 図 2.19 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 回掃引および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。

L 帯は挿入するバンドパスフィルターを交換して中心周波数が 1400MHz (帯域 100MHz) の場合と 1700MHz (帯域 200MHz) の場合のそれぞれについて受信状況を測定した結果を示している。図 2.2 と図 2.3 は中心周波数 1400MHz のバンドパスフィルターを使用した場合で、1 回掃引 (掃引時間 150ms) および最大値保持モードで 30 分間計測した結果を示しており、図 2.4 と図 2.5 は中心周波数 1700MHz のバンドパスフィルターを使用した場合の 1 回掃引 (掃引時間 225ms) および最大値保持モードで 3 分間計測した結果を示している。最大値保持モ

表 2.3: 受信機雑音温度  $T_{rx}$  とシステム雑音温度  $T_{sys}$ 

バンド	周波数 (GHz)	$T_{rx}$ (K)	$T_{sys}$ (K)	開口効率	SEFD (Jy)	受信偏波
L	1.35 – 1.75	18	45	0.68	200	L/R
S	2.193 – 2.35	19	72	0.65	340	L/R
C	4.60 – 5.10	100	127	0.70	550	L
X-n	8.18 – 8.60	41	52	0.68	230	L/R
X-wH	8.18 – 8.60 <sup>#</sup>	41	53	0.68	290	L/R
X-b (従来の呼称 X-wL)	8.58 – 9.08 <sup>#</sup>	–	50	0.68	270	L/R
K	21.80 – 23.80	105	141 <sup>*</sup>	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)

<sup>#</sup> : 8GHz LNA 広帯域用 (広帯域化を行ったが、高域側に  $T_{sys}$  の上昇が見られる)。

<sup>\*</sup> : 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) はシステム雑音温度 (K)、アンテナ開口面積、および開口効率から産出している。詳細は「D.SEFD とは」を参照されたい。

表 2.4: L 帯用フィルタ

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

ドの測定結果からわかるように、L 帯のほぼ全域 (1250MHz ~ 1800MHz) に亘って混信波が認められる。なお図 2.3 の通過帯域の途中で混信のない部分は 1400 ~ 1427MHz の電波天文バンドである。

S 帯の受信状況を図 2.6 に 1 回掃引、図 2.7 ~ 図 2.9 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 (IF で 500MHz の信号) 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。また 2000MHz における急峻なカットオフ特性は高温超伝導フィルタの特性である。1 分の最大値保持モードでは帯域内に混信は認められないが、10 分では帯域内に混信が認められることから、混信は常時発生しているのではなく、数分の時間スケールで発生していると思われる。そのため、測地 VLBI においては数 10 ~ 数 100 秒の観測を単位とした観測 (スキャンと呼ぶ) を繰り返すが、このスキャン中のデータが混信の影響を受けることなく生き残る可能性は高いと考えられる。実際の観測では混信の起こらない周波数を選んで観測していることもあり、まだ測地 VLBI での S 帯の観測は成立している。

C 帯、X 帯、K 帯の受信状況を図 2.10 から図 2.19 に 1 回掃引および最大値保持モードで受信した状況の例を示す。X 帯については X-n 系 (8180MHz ~ 8600MHz 帯域) は 2005 年の広帯域化後使用できなくなっていたが、局部発振器出力に分配機をつけることにより復活させた (詳しくは「5.2X 帯局部発振出力の 4 分配化」参照)。X-b 系は従来の受信系の呼び名は X-wL 系で 8580MHz ~ 9080MHz 帯域である。C 帯、X 帯、K 帯とも顕著な混信は認められない。

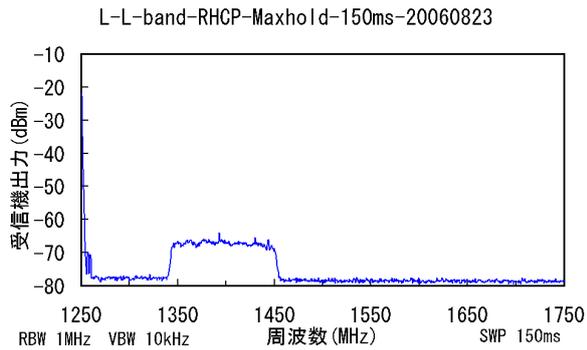


図 2.2: L 帯 (RHCP:1400MHz 帯フィルター使用) 受信状況。スペクトラムアナライザにより 1 回掃引モードで計測した結果。測定日 2006 年 8 月 23 日。

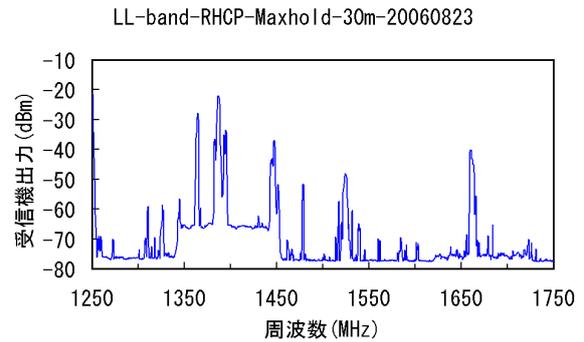


図 2.3: L 帯 (RHCP:1400MHz 帯フィルター使用) 受信状況。最大値保持モードで 30 分間測定した結果。

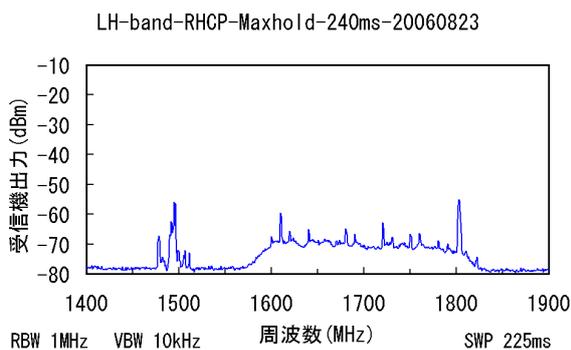


図 2.4: L 帯 (RHCP:1700MHz 帯フィルター使用) 受信状況。1 回掃引。観測日 2006 年 8 月 23 日。

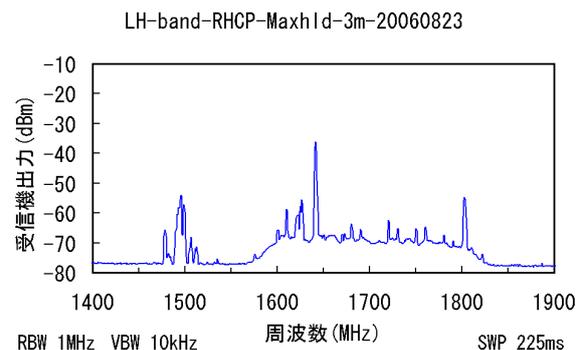


図 2.5: L 帯 (RHCP:1700MHz 帯フィルター使用) 受信状況。最大値保持モードで 3 分間測定した結果。

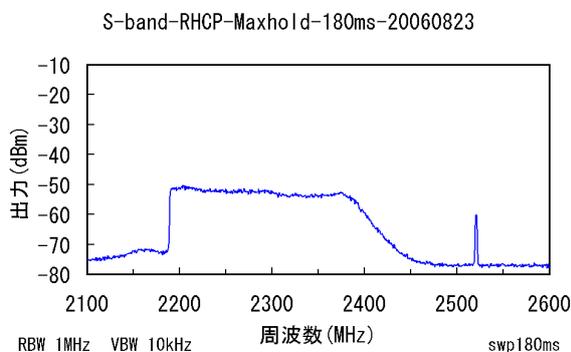


図 2.6: S 帯 (RHCP) 受信状況。1 回掃引。2006 年 8 月 23 日。

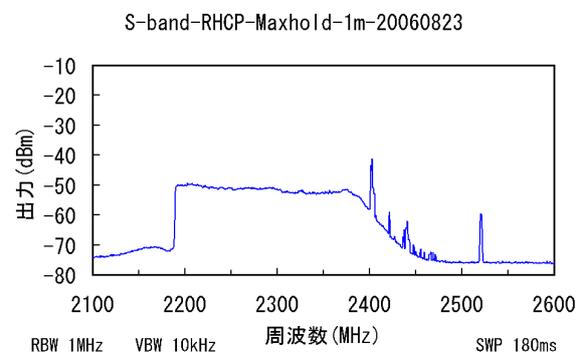


図 2.7: S 帯 (RHCP) 受信状況。最大値保持モードで 1 分間の測定結果。

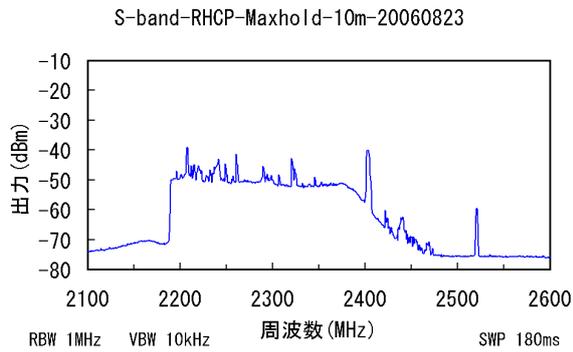


図 2.8: S 帯 (RHCP) 受信状況。最大値保持モードで 10 分間の測定結果。

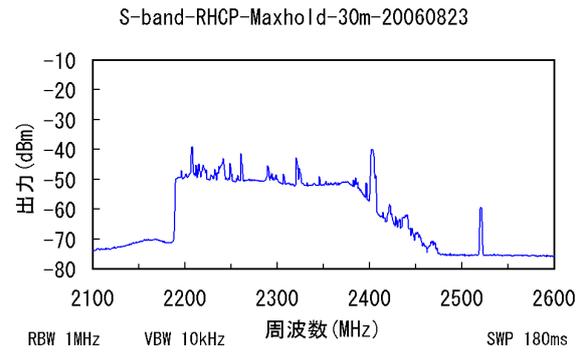


図 2.9: S 帯 (RHCP) 受信状況。最大値保持モードで 30 分間の測定結果。

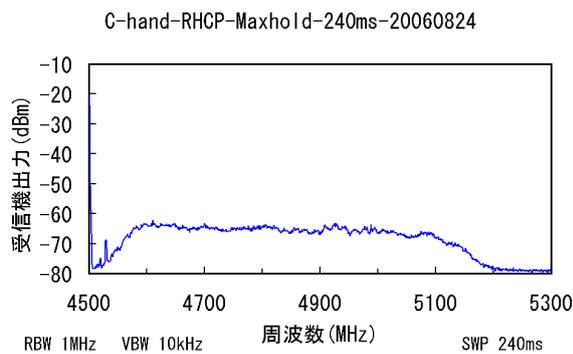


図 2.10: C 帯 (RHCP) 受信状況。1 回掃引。2006 年 8 月 24 日。

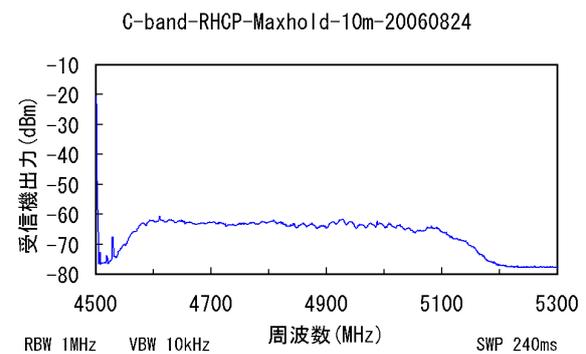


図 2.11: C 帯 (RHCP) 受信状況。最大値保持モードで 10 分間の測定結果。

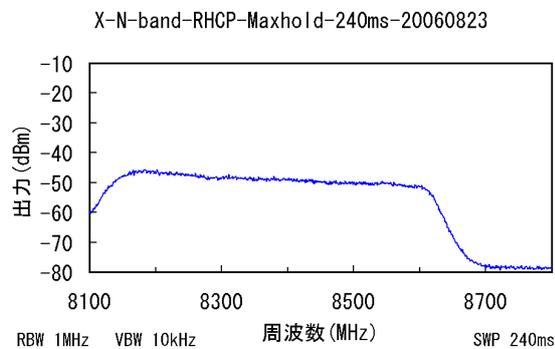


図 2.12: X-n 帯 (RHCP) の受信状況。1 回掃引。2006 年 8 月 23 日。

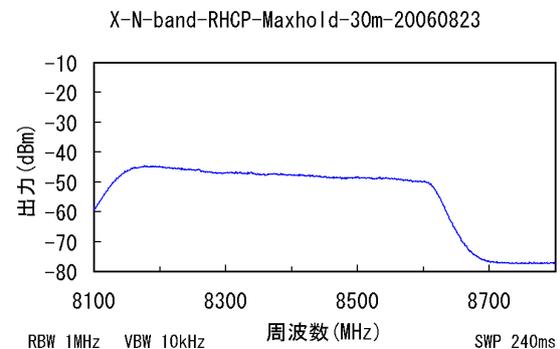


図 2.13: X-n 帯 (RHCP) の受信状況。最大値保持モードで 30 分間の測定結果。

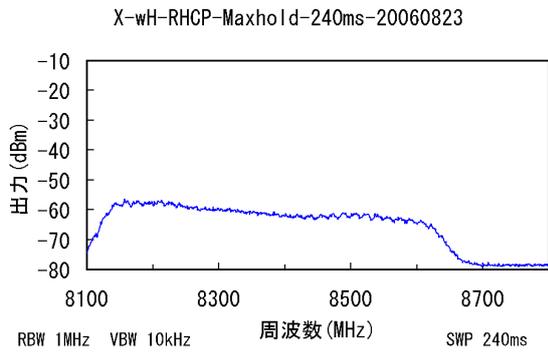


図 2.14: X-wH 帯 (RHCP) の受信状況。1 回掃引。2006 年 8 月 23 日。

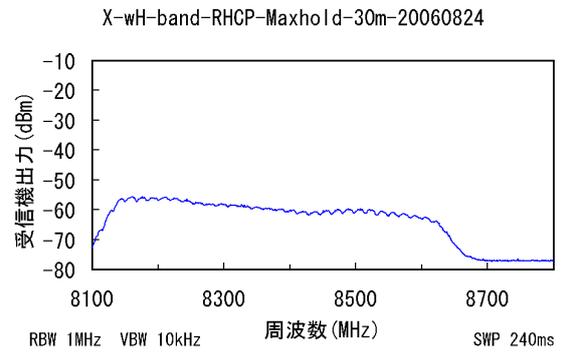


図 2.15: X-wH 帯 (RHCP) の受信状況。最大値保持モードで 30 分間の測定結果。

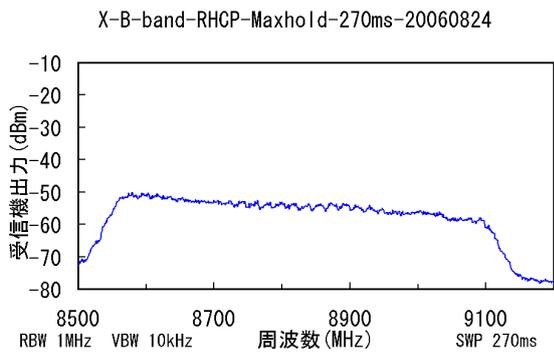


図 2.16: X-b (従来の呼称は X-wL) 帯 (RHCP) の受信状況。1 回掃引。2006 年 8 月 24 日。

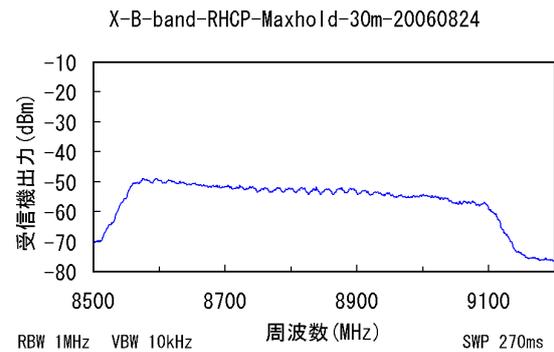


図 2.17: X-b (従来の呼称は X-wL) 帯 (RHCP) の受信状況。最大値保持モードで 30 分間の測定結果。

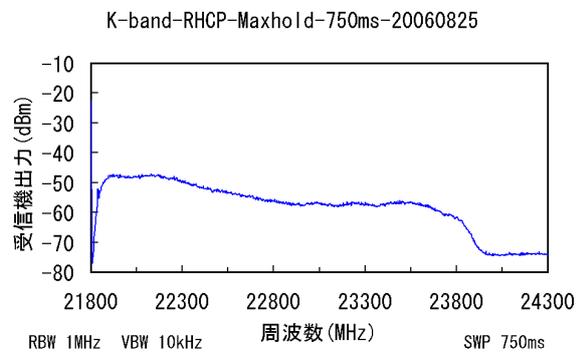


図 2.18: K (RHCP) の受信状況。1 回掃引。2006 年 8 月 25 日。

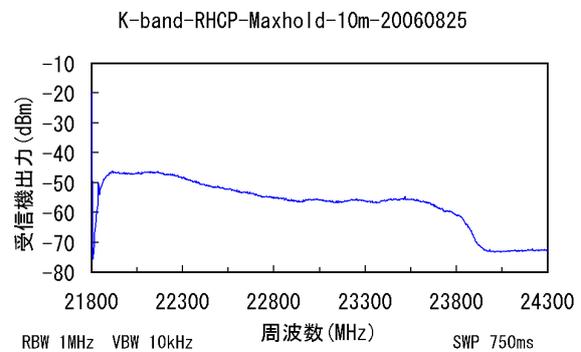


図 2.19: K 帯 (RHCP) の受信状況。最大値保持モードで 10 分間の測定結果。

S帯は第3世代携帯電話からの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3世代携帯電話からの混信波は見られないが、図2.20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（IMT-2000）では2115～2130MHzがKDDI(au)、2130～2150MHzがNTTドコモ(FOMA)、2150～2170MHzがSoftBankのそれぞれの基地局用に割り当てられている。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ドコモの2135MHz～2145MHzの2波（1波は5MHz幅）だけであったが、2005年7月5日の測定ではドコモが2135MHz～2150MHzの3波に増波され、ボーダフォンも2160MHz～2165MHzの1波が使用されていた。更に2006年8月21日の測定では2120MHzの電波が確認された。

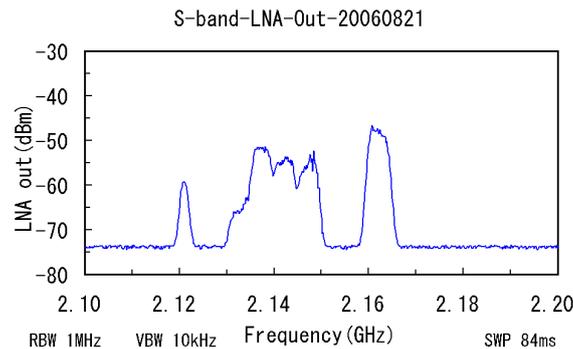


図 2.20: S帯 LNA 出力 (HTS フィルタを通す前の LNA 出力) の状況。2006 年 8 月 21 日。

## 2.4 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校正観測と呼ぶ。

表 2.5 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。2006 年は Q 帯での軸校正観測を 1 月 20 日から 2 月 6 日にかけて 1 回だけ実施した。Q 帯においては軸校正観測を SiO メーザ源を用いて行うため、軸校正観測時に AZ、EL オフセットの測定と受信周波数測定を同時に行う。

表 2.5: 2006 年の軸校正結果

観測日 (通日) 時 (UT)	周波数帯	残差 (rms) AZ (1/1000 度)	残差 (rms) EL (1/1000 度)	軸校正パラメータ 更新日時 (UT)
2006/1/30(30)1930 ~ 2/6(37)0100	Q	3.15	2.94	2006/3/7(66) 0518
2005/11/22(326)0640 ~ 11/23(327)0720	X	3.34	3.07	2005/11/28(332) 0848
2005/11/ 4(308)2230 ~ 11/ 5(309)2210	K	2.84	3.82	2005/11/7(311) 0741

観測周波数帯と FS9 起動コマンドおよび使用される軸校正パラメータファイルの関係を表 2.6 に示す。

周波数帯ごとに軸校正パラメータが分かっているのは、周波数帯ごとに受信機の位置が異なるためである。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

表 2.6: 軸較正パラメータファイル

周波数帯	F S 9 起動コマンド	軸較正パラメータファイル
L、S/X	fssx	mdlpoctl.sx
C	fs5G	mdlpoctl.c
K	fs22	mdlpoctl.k
Ka	fs32	mdlpoctl.ka
Q	fs43	mdlpoctl.43g

いるが、1台に複数の受信機が搭載されているトローリーでは真の焦点に位置しない受信機があり、副反射鏡を制御することによりこうした非焦点位置の受信機にも焦点を合わせている。したがって、こうした異なる焦点毎に軸較正観測を実施している。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 C 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。

## 2.5 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-III A、S-2、K5/VSSP、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。情報通信研究機構の開発した 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。



図 2.21: 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、右側は自動テープ交換ロボットである。



図 2.22: K5/VSSP システム。ラック組込型の PC4 台により 256Mbps のデータレートで記録が可能である。

**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共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。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ェアにより相関処理が行われる。相関処理ソフトウェアは 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。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。

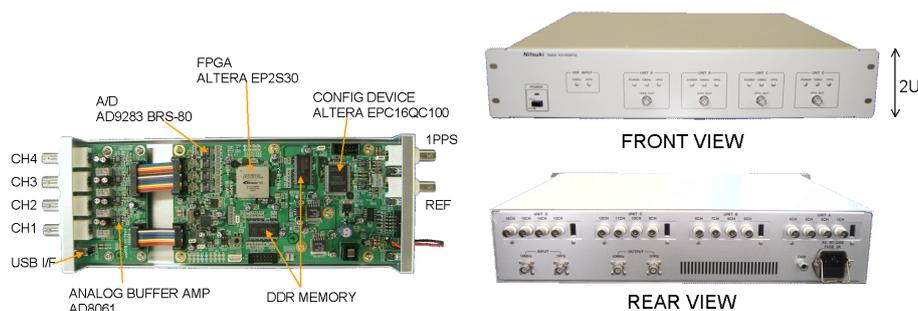


図 2.23: K5/VSSP32 システム。4-ch ユニット (左) および 16-ch モジュール (右)。

**K5/VSI システム** RAID ハードディスクを用いることにより 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およびケーブルで接続しデータ記録を行う (図 2.24)。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付や、ソフトウェアによる実時間デジタルデータ処理が可能である。膨大なデータを実時間で処理するため、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 2003 年度に構成したシステムでは 2TB の記録容量を持ち、ディスクを交換することなく 4 時間程度の連続観測が可能であったが、ハードディスク単体の容量増加と 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 PC あたりの総記録容量は 8TB となった。1Gbps のデータレートで記録を行った場合、約 17.8 時間連続して記録できることになる。さらに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により記録容量の拡張が可能である。



図 2.24: K5/VSI システム。左上が 16ch、64Mbps/ch のサンブラ ADS2000、右上が 1ch、1024Mbps/ch のサンブラ 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。

**K4/GBR システム** 情報通信研究機構で開発され、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 サンブラ、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ッ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ェア関連器 GICO2 による関連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** 高速サンブラ ADS1000 と高速 PC を用いて AOS 分光システムに代わる新たな分光計として鹿児島大学と協力して開発した装置。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の開発に続いて、4 台の PC による並列演算による帯域幅 256MHz、周波数分解能 32kHz の分光処理が可能なシステムも開発された。

**デジタルスペクトラムアナライザ** FFT 方式による実時間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** 旧時間周波数計測グループが開発したタイミング計測用のバックエンド。ミリ秒パルサーは信号強度が非常に弱いことから、直径 60m 以上のアンテナが観測局の主流となっているが、本装置では広帯域受信（最大帯域幅 200MHz）と、パルスの長時間実時間積分（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 を用いているのが本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。

## 2.6 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。

### 2.6.1 測地用 GPS

NICT は、全世界約 300 点の GPS 観測点からなる IGS(International GNSS Service) 観測網に参加しており、34m アンテナを含む所内の VLBI 観測局近傍に GPS 観測点が 2 カ所併設されている。これらの観測点を表 2.7 に示す。

表 2.7: NICT で運用する VLBI 局近傍の IGS/GPS 観測点

GPS 局観測点名	アンテナ設置場所
KSMV	茨城県鹿嶋市 NICT 鹿島宇宙通信研究センター構内
KGNI	東京都小金井市 NICT 小金井本所構内



図 2.25: NICT で運用する GPS 観測点 (鹿島 KSMV 局)。後方は 11m アンテナ。

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<sup>1</sup> 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 (図 2.25 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

<sup>1</sup> <http://www.scign.org/>

集処理などをなされた後に CDDIS に ftp 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<sup>2</sup> 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) の点が、鹿島(観測点番号: 93009)と小金井(観測点番号: 93019)にそれぞれ 1 基ずつある。なお、これらについての詳細は地理院 WEB サイト<sup>3</sup> で紹介されている。

### 2.6.2 水蒸気ラジオメータ

宇宙電波応用グループ庁舎屋上には水蒸気ラジオメータが設置されており、基本的には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<sup>4</sup> 製の WVR1100 型で、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 2.26 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出来る AZEL 追跡ドライバが付属しており、例えば VLBI や GPS の観測時にクエーサーや 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。



図 2.26: NICT で運用する水蒸気ラジオメータ Radiometrics 社 WVR1100 型。本体の下部に付属している白い小さな箱は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 追跡ドライバ。

### 2.6.3 APPS

高度精密測位システム APPS(Advanced Precise Positioning System) 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、情報通信研究機構が開発したシステムである。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 RINEX 形式<sup>5</sup> での GPS データを電子メールの添付ファイル

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

<sup>3</sup> 国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/>

<sup>4</sup> 米国 Radiometrics 社 <http://www.radiometrics.com/>

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

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ー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年に旧通信総合研究所と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、ユーザーから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ー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ーに返送する。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はユーザーが送信したGPS観測データの局位置推定結果をユーザー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～世界複数の機関 (BERN 大学、GFZ[GeoForschungsZentrum]、JPL、MIT、スクリップス海洋研究所 [SIO] など) で生産される超高速暦 (ultra rapid orbit)、高速暦 (rapid orbit)、精密暦 (final orbit)
- 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<sup>6</sup> 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メーカー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。

#### 2.6.4 CARAVAN2400

CARAVAN(Compact Antenna of Radio Astronomy VLBI Adapted for Network)とは情報通信研究機構(以下NICT)が開発を進めている、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<sup>7</sup>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。NICTでは2002年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エーサー

<sup>6</sup> <http://www2.nict.go.jp/ka/radioastro/APPS/>

<sup>7</sup> Kimura, M. et al., The implementation of the PC based giga bit VLBI system, IVS CRL-TDC News, No.21, pp.31-33, Nov. 2002.

のフリンジ検出に成功したている<sup>8</sup>。さらに測地分野での機能評価を目的として3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 2.27 に CARAVAN2400 の外観を、また表 2.8 に仕様を示す。2005 年 12 月に太陽電波を鹿島 11m と共に同時受信し、初の VLBI 観測および待ち受けでの CasA 単独鏡受信にも成功した。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いる。詳細な報告は「5.3 2.4m アンテナテストベッド “CARAVAN2400” での各種試験」を参照されたい。



図 2.27: CARAVAN2400 の外観

表 2.8: CARAVAN2400 の仕様

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

<sup>8</sup> Yonezawa, I. et al., Development of compact VLBI system, IVS CRL-TDC News, No.21, pp.29–30, Nov. 2002.

### 3 運用状況

#### 3.1 2006年運用状況

2006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3.1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、2006年12月に約1か月間実施した定期保守は含まれていない。使用時間の合計は1717時間で前年の2025時間からは約300時間減少した。主な要因は、

- (1) アンテナの保守、高精度化及び較正作業時間が減少したこと
- (2) 飛翔体観測が減少したこと

などである。

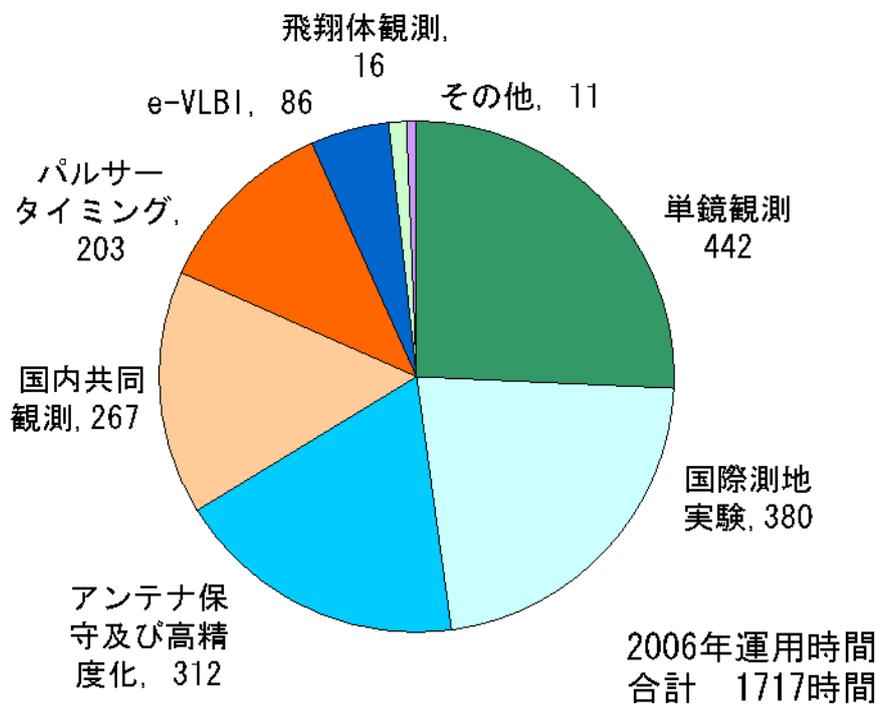


図 3.1: 2006年の34mアンテナ運用時間

## 4 保守状況

### 4.1 定期保守

NICTの新中期計画5ヶ年期間の開始に伴う経費削減のため、34mアンテナの定期保守についての頻度と中身の見直しを行い、毎年実施していた定期保守を1年半毎の実施頻度とした。

そのため2006年は夏期に行っていた定期保守は冬期(12月8日～28日)に実施した。毎年継続的に行っていた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補修工事は10月12日～11月7日に実施した。ELギアのグリスアップは4回実施した。

34mアンテナの定期保守は機械系と電気系のそれぞれについて実施されるが主な項目と結果を以下に示す。

#### 4.1.1 機械系の点検整備

項目	結果	備考
AZ(アジマス) 旋回部		
AZ ホイール回転部の異音の有無の確認	異常	No.2で異音発生。駆動モータのトルクバイアスには異常がないため経過観察中
スクレイパーの点検	異常なし	スクレイパー4箇所とも再調整実施
避雷用アースブロック点検	異常なし	アースブロックとアース線の固定ボルトをステンレスから真鍮へ交換実施
CW/CCW ゾーン判定用SW	要調整	位置調整実施
AZ レール部		
AZ レール点検、清掃	完了	ウェアストリップ防錆油塗布およびレール部の再シーリング実施。レールの結合箇所すべてにバリが発生していたが、ディスクグラインダーを用いてバリを除去した。(図4.1)
固定ボルトの調査点検	異常	AZ レールボルト:16本(すべて旧型ボルト)折損。交換実施
AZ 駆動部		
AZ リミットスイッチの点検、動作確認	異常なし	アクチュエータ稼働部へのグリス補給実施
AZ モーターの定期オーバーホール	実施	AZ#3(保守期間中のアンテナ駆動用)以外のオーバーホールを実施し、異常の無いことを確認
EL 駆動部		
EL 歯車の異音の有無の確認	異常なし	
EL リミットスイッチの点検、動作確認	異常なし	アクチュエータ稼働部へのグリス補給実施
EL モーターの定期オーバーホール	実施	異常の無いことを確認
回転部		
EL ベアリングの異音の有無の確認	異常なし	
ピントルベアリングの異音の有無の確認	異常なし	
角度検出部		

AZ,EL 角度エンコーダの電源電圧確認	異常なし	
取り付け状況、内部錆の発生状況他の目視点検	異常なし	EL エンコーダに軽微な内部錆あり
反射鏡部		
目視可能な範囲の腐食状況の確認	異常	バックストラクチャーに重度な発錆あり(図 4.2)
フィードコーンの目視点検、フィードトロリーの目視点検および動作点検	異常なし	
副反射鏡部 <sup>9</sup>		
5 軸制御機構目視点検	異常なし	アクチュエータ・アップリング、リミットスイッチボックスへのグリス注入実施ジョイントボックスの乾燥剤交換
5 軸制御リミットスイッチの動作確認	異常なし	
付帯設備		
AZ ケーブルラップ室の排水ポンプ動作確認	異常なし	
ガスヘリウム冷却系のオーバーホール	異常なし	コンプレッサを右機から左機へ変更。He 配管を銅ホースからステンレスホースへ接続変更
緊急停止スイッチの動作確認	異常なし	
各部リミットスイッチ(AZ 駆動部ガードバンパー、AZ 室タラップバンパー、反射鏡出入口ハッチ、EL アライン、ストーピン挿入確認)の点検確認	異常なし	

AZ レールに生じたバリ AZ レールに生じたバリの様子とディスクグラインダーを用いてバリを除去した後の様子を図 4.1 に示す。



図 4.1: AZ レールのバリ(左図)とディスクグラインダーを用いてバリを除去した後の様子(右図)。

<sup>9</sup> 地上に降ろさない状態での点検を実施

バックストラクチャーの重度な発錆 バックストラクチャーに生じている重度な発錆の様子を図 4.2 に示す。主鏡パネル取り付け部の補修は昨年の補修でほぼ全体の補修を終えたので、今後はパネル取り付け部以外の重度の発錆箇所を計画的に補修していくことが重要である。



図 4.2: バックストラクチャーの重度な発錆。

#### 4.1.2 電気系の点検整備

項目	結果	備考
駆動制御部		
アンテナコントロールユニット (ACU) の点検・動作確認	異常なし	ステップレスポンズデータ取得
サブプリフレクタ・コントロール・ユニット (SCU) の設定確認	異常なし	
アンテナ・ドライブ・キャビネット (ADC) の点検・動作確認	異常なし	
サブプリフレクタ・ドライブ・キャビネット (SDC) の点検・電圧確認	異常なし	
信号電送部		
バンド・インターチェンジ・ドライブ・キャビネットの点検・電圧確認	異常なし	

#### 4.1.3 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 台ず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 4.3 に示す。定期点検前の 2006 年 9 月 15 日に AZ#3 で不具合 (TACH LOSS / OVER SPEED 点灯) が発生したため、モータ AS をそれまでの予備モータ A2 と交換した。取り外したモータ AS は点検整備後、定期点検時のローテーションで AZ#1 に組み込んだ。

表 4.3: 駆動モータのローテーション

回数	年	AZ#1	AZ#2	AZ#3	AZ#4	AZ 予備	EL#1	EL#2	EL 予備
初期	2000	A1	A2	A3	A4	AS	E1	E2	ES
1 回目	2001	<u>AS</u>	A2	A3	A4	A1	<u>ES</u>	E2	E1
2 回目	2002	AS	<u>A1</u>	A3	A4	A2	ES	<u>E1</u>	E2
3 回目	2003	AS	A1	<u>A2</u>	A4	A3	<u>ES</u>	E1	E2
4 回目	2004	AS	A1	A2	<u>A3</u>	A4	E3	<u>ES</u>	E1
5 回目	2005	<u>A4</u>	A1	AS	A3	A2	<u>E1</u>	ES	E3
*	2006	A4	A1	<u>AS</u>	A3	A2	E1	ES	E3
				A2		<u>AS</u>			
6 回目	2006	AS	A1	<u>A2</u>	A3	A4	E1	<u>E3</u>	ES

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。

\* 2006 年 9 月 15 日に AZ#3 の入れ替え (AS⇒A2) 実施 (TACH LOSS / OVER SPEED 点灯のため)。

#### 4.1.4 副反射鏡位置歪み調査

22GHz 帯、43GHz 帯という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確認するために、毎回の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ている。

図 4.3 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 4.3 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 軸は 0.0 ~ 0.6mm 程度、Y 軸は 0.0 ~ -0.5mm 程度、Z1 軸は 0.1mm 以下、Z2、Z3 軸は 0.0 ~ 0.2mm 程度あった。2005 年の保守時には Z1 軸のステップ状の変位が見られたが、今回はそうした異常は認められなかった。また変位量、傾向とも 2005 年測定時 (ただしステップ状変位は除く) と同様であった。

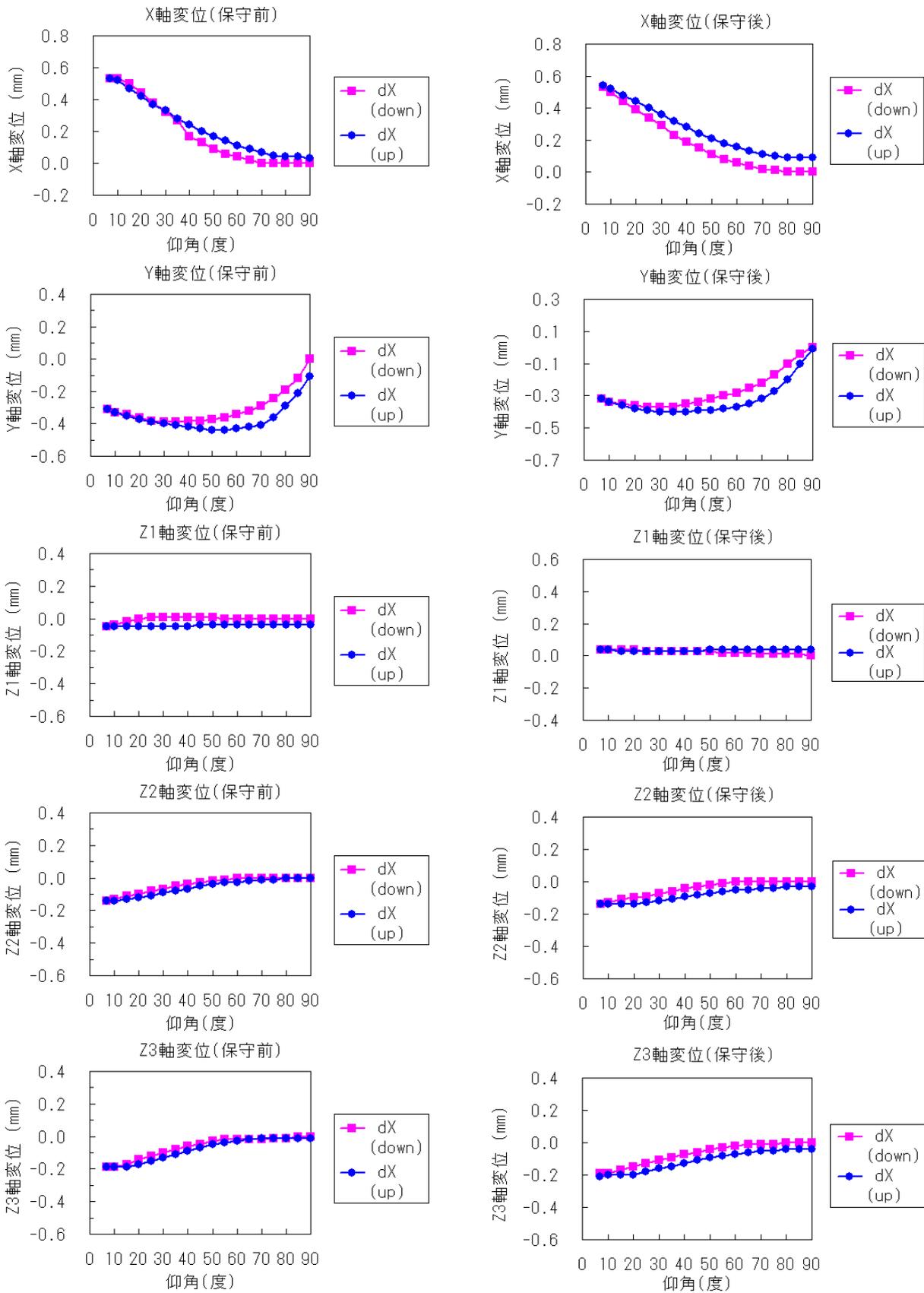


図 4.3: 5 軸制御装置の読みの仰角に対する変化: 保守前(左)、保守後(右)

## 4.2 修理・補修

### 4.2.1 背面構造部の補修

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 4.4 に示すように主鏡パネルを結合するためのチャン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ンネル取り付け部分で発生し、支柱に穴が開いている箇所 (図 4.5 に例を示す) では当板を当てて補修溶接を行う。

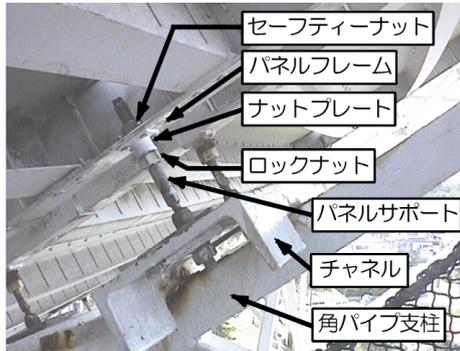


図 4.4: 背面構造部と主鏡パネルの結合



図 4.5: 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

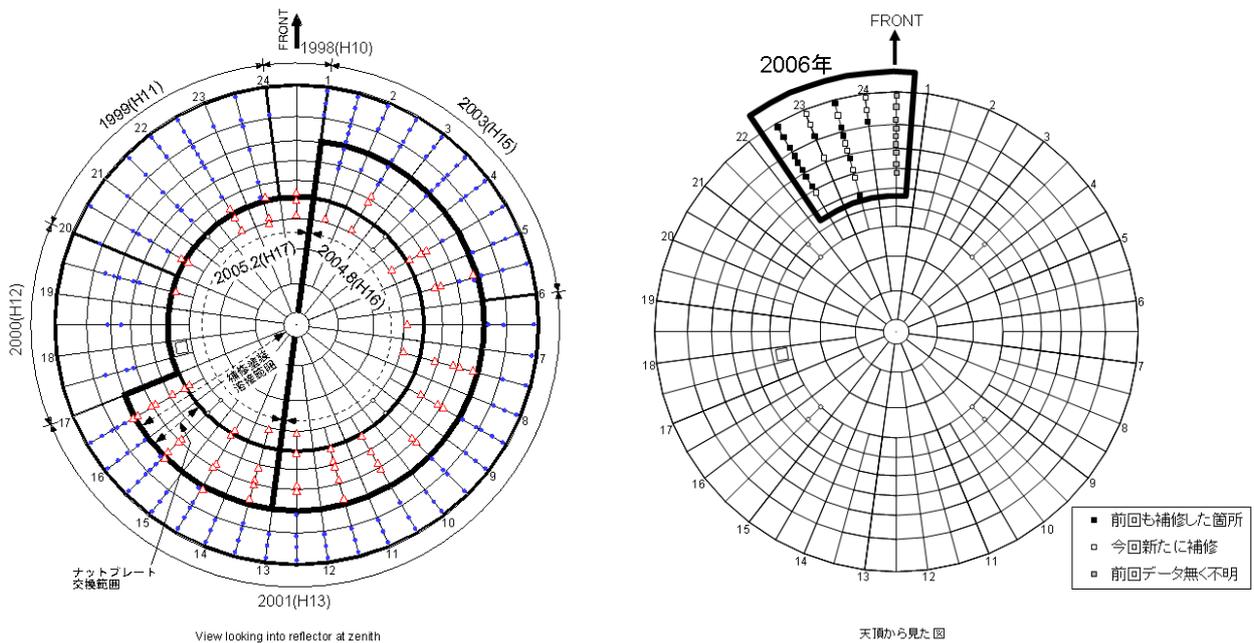


図 4.6: 背面構造部補修箇所。左図は 2005 年までの実施状況、右図は 2006 年の実施状況 (太線で囲んだ部分)。右図の凡例は以前の補修時に補修溶接が必要だったところで今回も補修が必要だった箇所、今回初めて補修を行った箇所、前回の情報が無く今回補修を行った箇所の区別を示している。

1998 年から主鏡背面構造のブロック毎の補修を行ってきたが、2004 年～2005 年の大規模補修で一応主鏡背面構造全体の補修を終えた。しかしながら、海岸部や工場地帯に近いという環境のため、錆の進行が早く、2006 年からは 2 巡目の補修を開始した。2006 年の補修工事は 10 月 12 日～11 月 7 日にかけて実施された。今回の補修

範囲は図 4.6 の右図に示すようにトラス 22～24 の外周 1～4 枚目である。凡例には過去の補修の有無を示しているが過去にも補修した箇所が今回も補修が必要である箇所、過去からずっと補修を要しない箇所は今回も補修を要しなかったという傾向が見られる。

図 4.7 に補修の前後を示す。角パイプ支柱に開いていた穴は補修溶接により塞がれ、防錆塗装の後、上塗り塗装がされている。なお、鏡面精度を保つためには補修前後で鏡面パネル位置（特に高さ方向）に変化が無いことが重要であるが、隣接するパネル間の相対高をパネルの 4 隅で測定することにより、鏡面パネルの高さに変化が無いこと（0.05mm 以内に収まっていること）を確かめている。鏡面調整法の詳細は「B 鏡面測定法」を参照されたい。今回はパネルの取り外しは行っていないがパネルの取り外しを伴う補修の場合、この鏡面測定および調整は重要である。

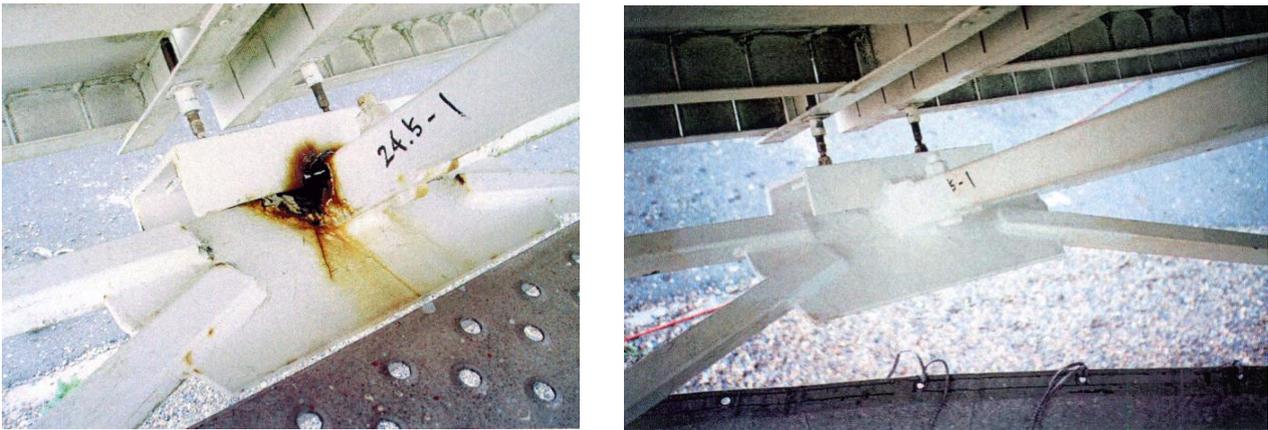


図 4.7: 今回の主鏡背面構造補修前（左図）と補修後（右図）の例。

#### 4.2.2 AZ レールボルトの折損

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（図 4.8）。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、2006 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 4.8 に示す。内側 10 本、外側 6 本であった。すべて旧型のボルトで 2000 年より折損ボルトの交換時に使用している強化ボルトでの折損は今の所皆無である。2000 年以降に交換したボルトで再度ボルトを交換した箇所が 5 箇所（2002 年交換内側 3 番、2005 年交換内側 4 番、2006 年交換内側 14 番、2002 年交換内側 31 番、2006 年交換外側 122 番）あるが、これらは交換に際して古いボルトを使用せざるを得なかった箇所であった。

図 4.9 に 2006 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 4.4 に 1998 年から 2006 年までの年別のボルトの折損本数を示すが、折損総数は 116 本である。内訳は、内側が 72 本、外側が 44 本であり、内側ボルトの方が外側に比べて約 1.6 倍多くなっている。なおボルトの折損は首の部分で発生するため 2000 年より首の部分を強化したボルトを折損ボルトの交換に使用している（図 4.10）。

#### 4.2.3 ブレーキ誤動作の発生 -TLim 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 誤動作によるアンテナ停止が時々発生する。2005 年の調査では、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らしいことが判明し、スパー

2006年 AZ レール交換箇所

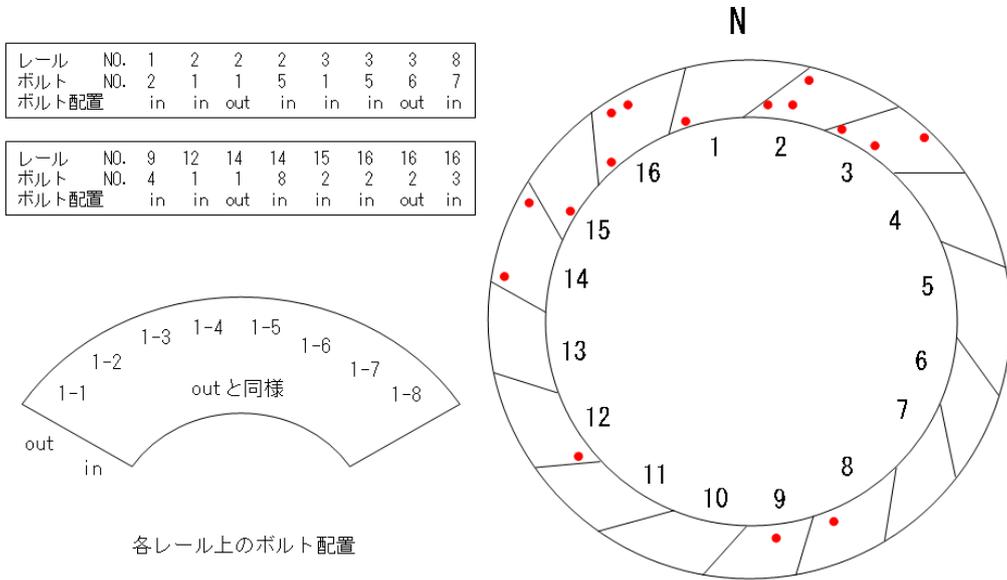


図 4.8: 2006 年の AZ レールボルト折損箇所

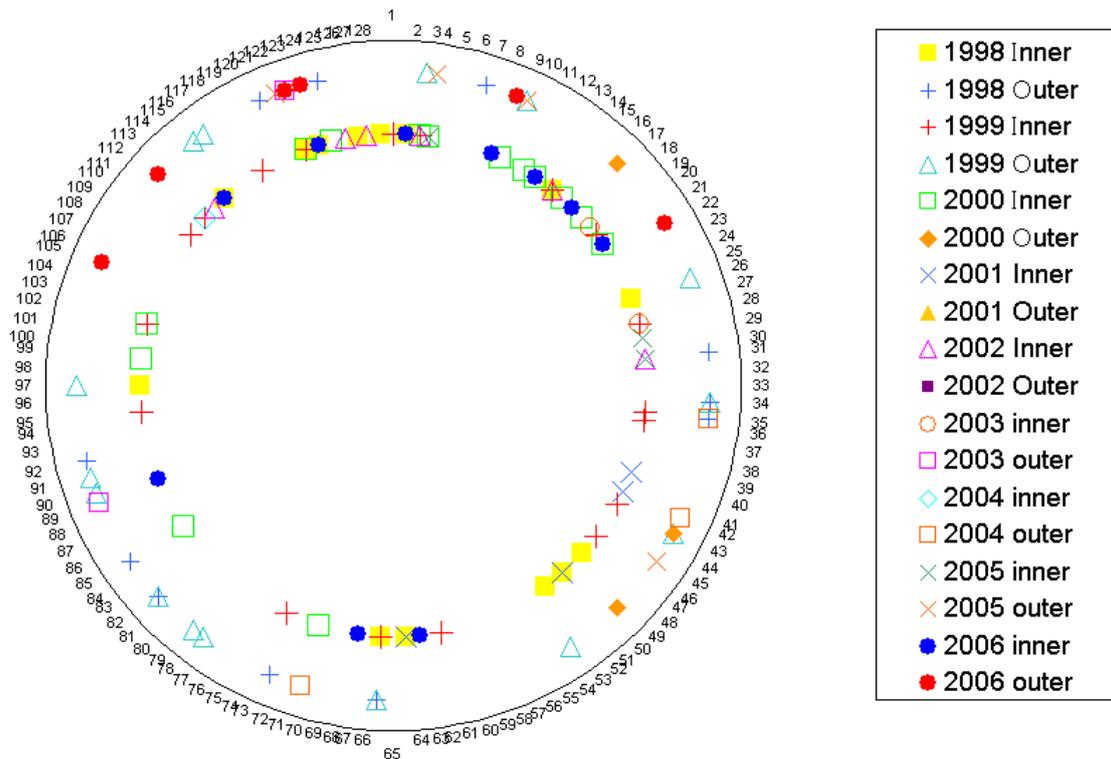


図 4.9: 2006 年定期保守までの AZ レールボルトの累積折損箇所

表 4.4: AZ レールボルトの折損本数

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	計
内側	14	18	14	4	6	2	1	3	10	72
外側	11	15	3	0	0	2	3	4	6	44
計	25	33	17	4	6	4	4	7	16	116



図 4.10: AZ レールボルト。左から折損したボルトの頭部、従来型のボルト、そして一番右側が 2000 年から使用を開始した強化ボルト。

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）を取り付けたり、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、それ以降の TLim 発生も認められ、抜本的な原因は特定されていない。そこで、対処療法として 2005 年には観測制御ソフトに TLim 発生検出ソフトウェアを組み込み、TLim 発生時にメールを送り、直ちに手で復旧できるようにしたが、2006 年には自動的に ACU のリセットを行う装置を手作りし、自動運用が行えるようにした（詳細は「5.1 ACU 自動リセット装置」参照）。

#### 4.2.4 ヘリウム配管交換

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ので調査したところ、現用系のヘリウム配管（2004 年 9 月に敷設）にリーク（図 4.11 左図）が発見された。そこで予備系に切り替えて復旧させた。2006 年 3 月にリークが発生している配管を撤去し、予備系として新規にもらい錆び対策（熱収縮チューブで保護）を施した配管を敷設した（図 4.11 右図）。

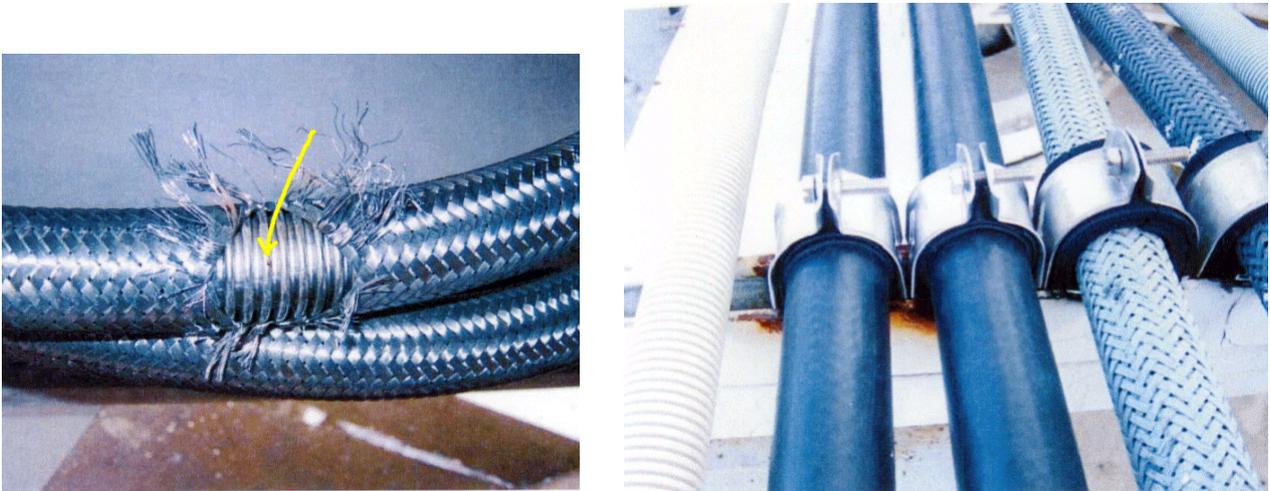


図 4.11: ヘリウム配管のリーク箇所（左図の矢印の先）と、新たに敷設した錆び対策（熱収縮チューブで保護）を施した配管（右図中央の 2 本）。

## 5 開発

### 5.1 ACU 自動リセット装置

トライステート社製 PICNIC Ver.2 とリレー回路を使用して、ACU でトラベルリミットエラーが発生した場合、エラーリセットを行う装置を手作りした（図 5.1）。PICNIC は LAN に接続してデータの入出力をするアダプターで、8ch のデジタル入出力と 4ch のアナログ入力を有している。このデジタル入力 2ch を使用してトラベルリミットエラーの発生（ALARM と STAND-BY ステータスを検知）を検出し、デジタル出力 3ch を使用してリレー回路をシーケンシャルに制御することによりエラーリセットを行う。リレー回路でシミュレートする ACU リセット作業は以下の通りである。

ALARM ボタンを押す ⇒ 数秒待つて再度 ALARM ボタンを押す ⇒ MAC ボタンを押し下げる ⇒ CMD POS ボタンを押し下げる ⇒ MAC ボタンを押し下げる

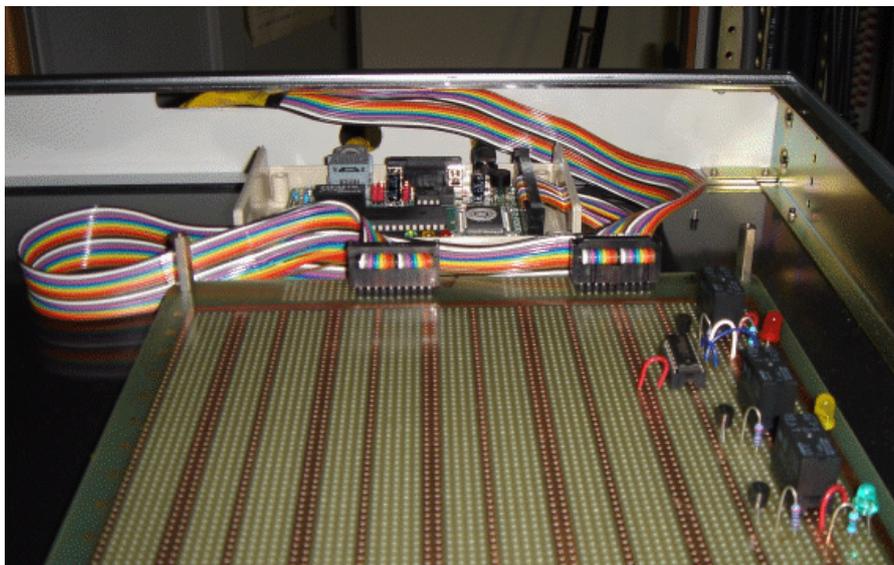


図 5.1: ACU リセットシステム。奥が PICNIC VER.2、右手前がリレー回路（3 台）。それぞれのリレーが ACU の ALARM ボタン、MAC ボタン、CMD POS ボタンをシミュレートする。

### 5.2 X 帯局部発振出力の 4 分配化

2005 年 9 月に X 帯広帯域化（X 帯広帯域系は X-wL 系を使用。以下、X-b と呼ぶ）を実施したが、X 帯の局部発振出力は 2 分配器（YL-56：TRIANGLE MICROWAVE）により X 帯広帯域系（X-b 系）と X-wH 系に入力されていた。X 帯の両偏波を同時受信する場合には X-n 系が必要になるため、局部発振出力の接続変更が必要となる。そこで 2006 年 5 月 17 日に分配器を 4 分配器（44020：Anaren）に変更（図 5.2）してすべての受信系で同時に受信できるようにした。

分配数の増加により局部発振出力のミキサー入力低下するが正常に受信できることを確認した。2 分配器を使用した場合、X 帯広帯域系ミキサー（旧 X-wL）の局部発振入力レベルは約 + 13.6dBm であるが、4 分配器に交換した場合 + 8.6dBm となった。そこで図 5.3 に示される接続にてミキサーの局部発振入力レベルの変化による IF 出力レベル変動を測定した。結果を図 5.4 に示すが、局部発振入力レベルがおよそ +5dBm 以下では変換ロスが大きくなり IF 出力レベルが弱くなるが、今回の分配器交換によるミキサーの局部発振入力レベル +8.6dBm では IF 出力レベルにはほとんど影響がないことが確認できた。

観測室での分配器交換前後の Trx、Tsys、SEFD を測定した結果を表 5.1 に示す。局部発振信号分配器を 4 分配器に交換した翌日の 5 月 18 日に各受信系の特性を測定したが、この日は雨天であったため曇天の 5 月 22 日に

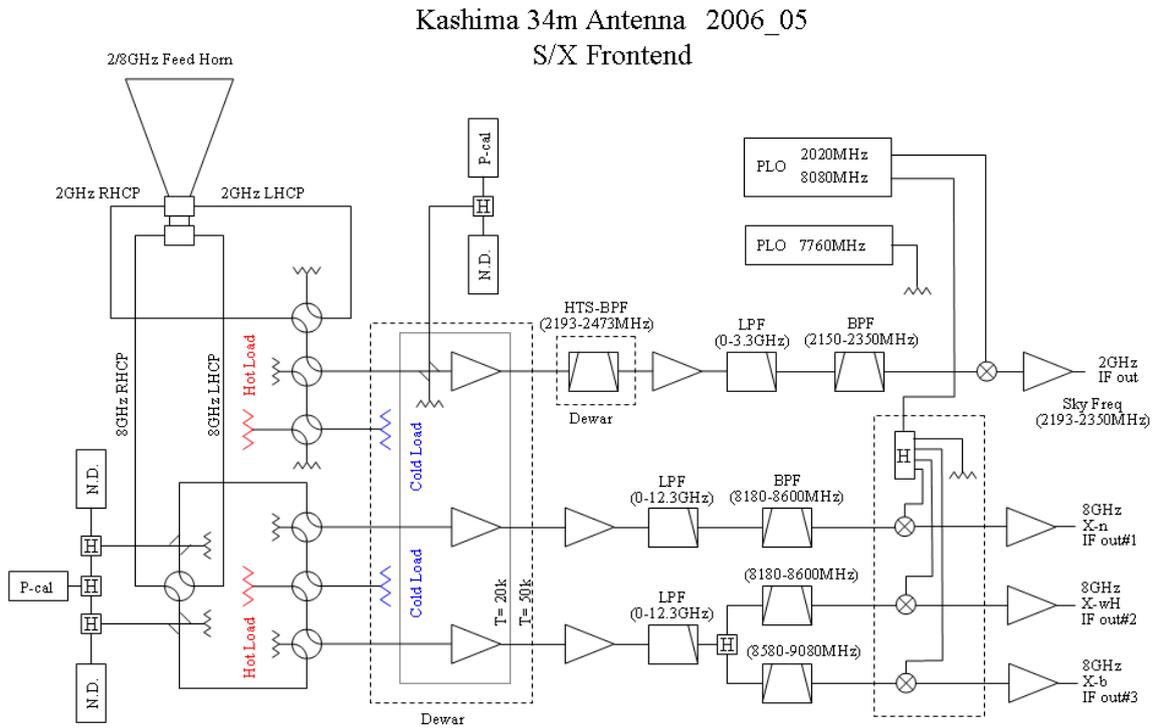


図 5.2: X 帯フロントエンド (2006 年 5 月)

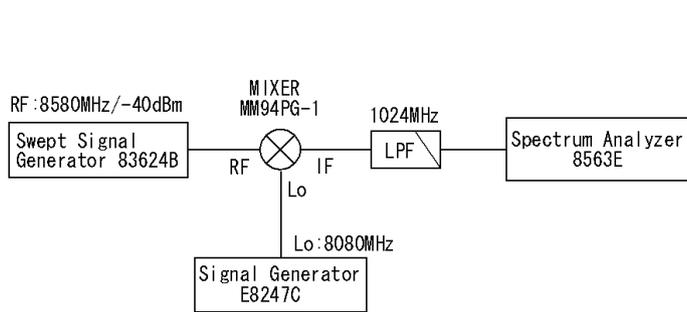


図 5.3: ミキサー測定系統図。

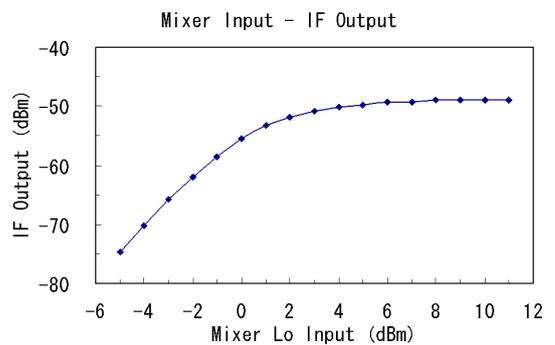


図 5.4: ミキサー局部発振入力レベルと IF 出力レベル。

表 5.1: 分配器交換前後の  $T_{rx}$ 、 $T_{sys}$ 、SEFD

日付	公称値	2006/4/25	2006/5/18	2006/5/22
分配器	2 分配器	2 分配器	4 分配器	4 分配器
天候	–	くもり	雨	くもり
天体名	–	Virgo-A	Virgo-A	Cas-A
AZ, EL	–	169, 66	328, 21	322, 53
X-n	$T_{rx}$ (K)	41	*	37
	$T_{sys}$ (K)	53	*	86
	SEFD (Jy)	230	*	650
X-wH	$T_{rx}$ (K)	41	40	39
	$T_{sys}$ (K)	53	78	103
	SEFD (Jy)	290	465	721
X-b	$T_{rx}$ (K)	–	65	62
	$T_{sys}$ (K)	–	106	133
	SEFD (Jy)	–	595	695

\* : 局部発振信号を X-b 系に使用したため測定していない。

再度測定を行った。 $T_{rx}$  については 3 系統の受信機 X-n, X-wH, X-b のいずれも分配器交換前後において同様の値が得られており、X 帯の局部発振出力を 2 分配から 4 分配に変更しても影響がないことが確認できた。X-n、X-wH の  $T_{sys}$ 、SEFD は曇天の 5 月 22 日の値でも公称値より高くなっているため今後調査を行う。

## 5.3 2.4m アンテナテストベッド “CARAVAN2400” での各種試験

### 5.3.1 CARAVAN2400

**システム概要** 2.4m アンテナは、もともとは国土地理院により可搬局として運用されていたもので、これを NICT 前身の通総研時代 (2002 年) に小型 VLBI 局テストベッドとして譲り受けた。駆動系、制御系の改修工事を経て、2005 年 2 月に鹿島宇宙技術センター構内旧 KSP/SLR 観測棟脇にアンテナが設置された。なお、NICT では 22GHz 受信機を搭載した超小型 VLBI 局開発<sup>10</sup> “CARAVAN” から始まる一連の流れとして 2.4m アンテナの整備を位置づけており、このアンテナを核とした VLBI システムを、“CARAVAN2400” と呼んでいる。図 5.5 は 2.4m アンテナ外観と周辺の状況を、図 5.6 にシステムブロック図を示す。また、図 5.7 は CARAVAN2400 の LNA<sup>11</sup>、及びフロントエンド部を示した写真である。

また、表 5.2 に CARAVAN2400 の仕様をまとめた。



図 5.5: 正面の球形ドームが旧 KSP/SLR 観測塔、そのすぐ左に CARAVAN2400 がある。左端は 34m アンテナ、右端に見えるのが 11m アンテナである。この写真は 2006 年 3 月 15 日に実施した 3 局フリンジテスト (実験コード: ft6074) の時に撮影した。

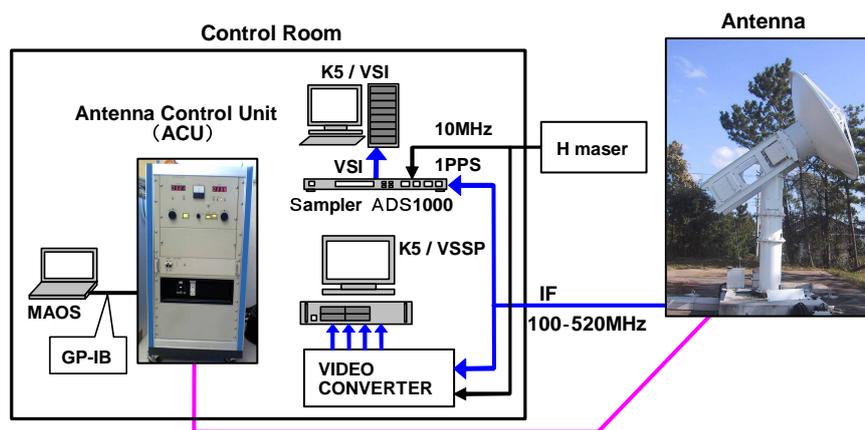


図 5.6: CARAVAN2400 のシステムブロック図

その後、2005 年初頭より本格的な VLBI 局として稼働させるべく作業を進め、2005 年 3 月 30 日に太陽電波受信に成功するファーストライトを達成、その後、受信機雑音温度、システム雑音温度、アンテナ開口効率、アン

<sup>10</sup> Yonezawa, I., Nakajima, J., Ohkubo, H., Tsuboi, M., and Kasuga, T.: “Development of compact VLBI system”, *CRL IVS TDC news*, No.21, pp.29-30, 2002.

<sup>11</sup> この LNA は鹿島、及び小金井の 11m アンテナで使用されている X 帯常温 LNA と同形式である

テナビーム幅などの各種測定に基づく性能評価を進め、2005年12月に太陽電波を鹿島11mと共に同時受信しての簡易VLBI観測、さらに同12月に待ち受けでのCasA単独鏡受信、そして2006年3月15日には銀河系外天体からの電波受信による初のフリンジ検出に成功した(後述/図5.10参照)。引き続き2006年3月29日に小金井11m局との間で初の測地VLBI実験を実施した。残念ながらこの実験では測地解析にかけられる品質のデータが得られず、測位解の推定には至らなかった。

2006年初頭からは、アンテナ制御用ソフト“MAOS”による運用確立を進めた結果、汎用の観測スケジュールに基づいて電波源を追尾することができるようになった。先の2006年3月のフリンジテスト成功の成果は、この改修によるものである。さらに、2006年度に入ってから、軸校正試験を実施、さらに電波源の追尾性能向上をはかった。2006年9月に国土地理院つくば32m局との間で実施した2回目の測地実験では、ついに測位解の算出に成功、測地VLBI観測局の仲間入りを果たした。これらの一連の試験内容については別項で詳述する。

**アンテナ可視域** CARAVAN2400の設置当初、周辺の松林のためにアンテナ可視範囲が大きく制限を受けていた。2005年の段階では、図5.8に示すように仰角30度以下での観測がほぼ絶望的な状態であった。この状態を改善するために、2006年9月にCARAVAN2400周辺の伐採作業を実施した結果、大幅に可視範囲が拡大し、9月末の測地実験で十分な数のOBS数を確保することが出来た<sup>13</sup>。

**アンテナ制御系改修** CARAVAN2400のアンテナ制御は、将来的なシステムの小型化をにらんで簡便な制御系を整備するとの位置付けで、市販の赤道儀型光学望遠鏡の駆動制御に用いられている“SkySensor 2000PC(ビクセン社製)”を改造したシステムの開発を進めてきた。このシステムは2005年3月に完成し、太陽待ち受け観測や初期の軸校正観測に用いられた。

その後、VLBI観測を行うにあたり、観測スケジュールにしたがってアンテナを自動運用する必要性から、アン

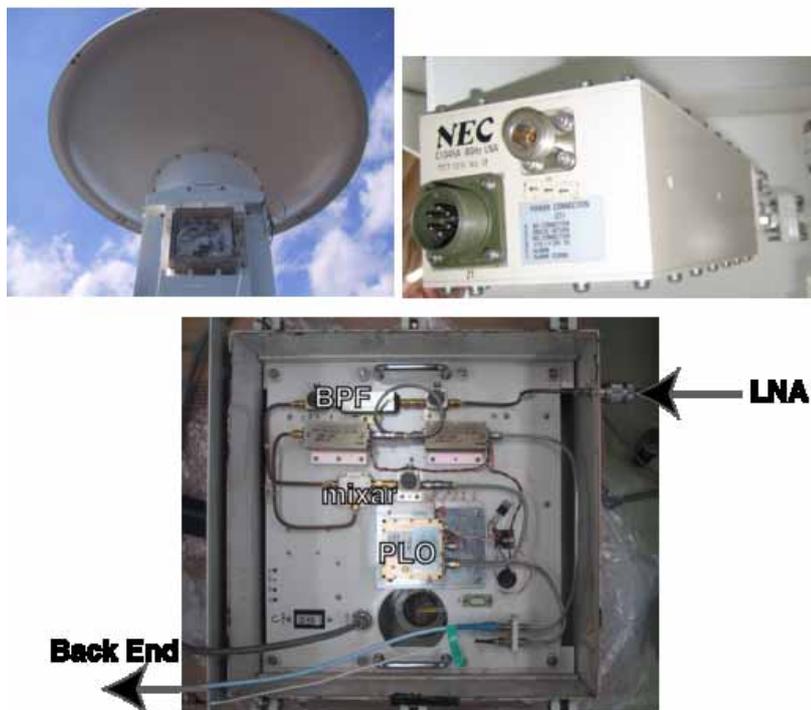


図 5.7: CARAVAN2400 のフロントエンド取り付け状態 (上左)、CARAVAN2400 の X 帯 LNA(上右) とフロントエンド部 (下)

<sup>13</sup> 西側には旧 KSP/SLR 観測塔があるため、依然として視野が遮られている。

表 5.2: CARAVAN2400 の仕様

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 + アンテナ制御専用ソフトウェア “MAOS <sup>12</sup> ”
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

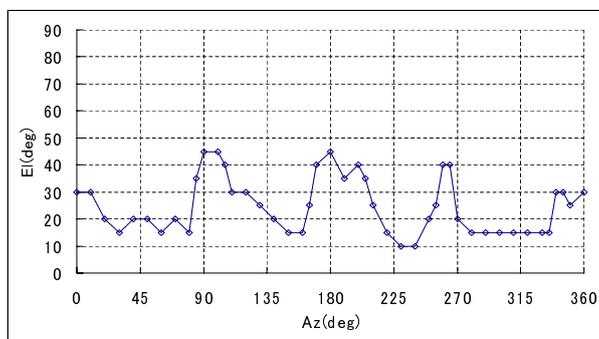


図 5.8: CARAVAN2400 周辺の可視域を示すスカイマスク図。この図は周辺の松林伐採前の 2006 年 9 月以前の状況。伐採後は西側を除いてほぼ仰角 10 度までの視野が確保できるようになった

テナ制御にかつて使用されていた “MAOS” ソフトウェア<sup>14</sup> の改良を行うこととした。2006 年度末までに改良版 MAOS、すなわち “MAOS2400” の改良を終え、NASA/GSFC(“Goddard Space Flight Center”) による Mk-III 標準ファイルフォーマットに準拠して記述されたスケジュールファイル<sup>15</sup> <sup>16</sup> によるアンテナ運用が可能となった。その他、MAOS2400 には、VLBI フォーマッター (DFC-1100) の時刻に同期して PC 内部時計を校正する機能もある。

なお、今後、既に鹿島 34m アンテナや 11m アンテナの制御で実績のある “FS9(Field System 9)” によるアンテナ制御が可能となるように整備を進める予定である。

磁気圏探査衛星 GEOTAIL の信号受信 アンテナ制御系の改修により人工衛星の追尾も可能となった。2006 年 3 月 17 日に磁気圏探査衛星 GEOTAIL のダウンリンクを受信することを試みた。GEOTAIL 追尾中に CARAVAN2400 の IF 信号をスペクトラムアナライザでみた結果を図 5.9 に示す。CARAVAN2400 の初段ローカル信号の発振周波数は 8080MHz なので、ピークを指し示すマーカーは RF 周波数 8474.688MHz の信号にあたる。このピークは、GEOTAIL のダウンリンク周波数 8473.6MHz の近傍にあり、ドップラーシフトを考慮すると予想される GEOTAIL 信号の周波数とほぼ一致する。この結果よりアンテナの追尾性能と受信周波数の確認を行うことができた。

<sup>14</sup> かつて 3m アンテナを制御するために HP BASIC を用いて旧 CRL で開発された “MAOS” の改造版

<sup>15</sup> Ed Himwich, N. Vandenberg, T. Clark: “Goddard Space Flight Center IVS Technology Development Center”, International VLBI Service for Geodesy and Astrometry: 1999 Annual Report, NASA/TP-1999-209243, 256-258, 1999.

<sup>16</sup> 汎用の VLBI 観測スケジュール作成ソフトウェア “SKED” などによって作成できる

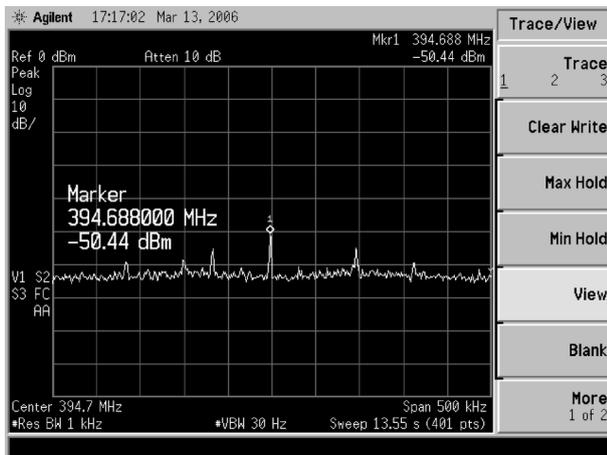


図 5.9: CARAVAN2400 による GEOTAIL 信号受信

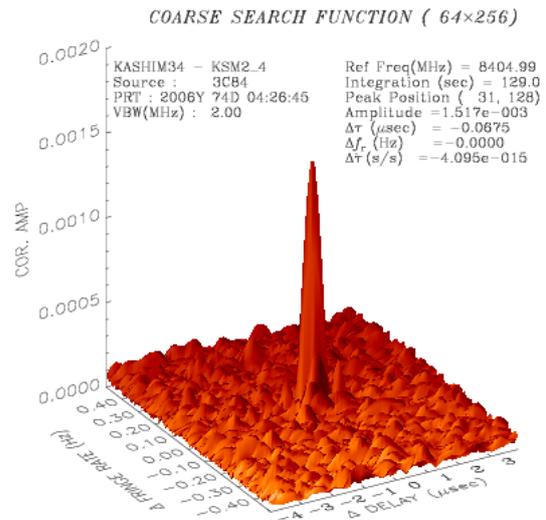


図 5.10: 2006年3月16日のフリッジテスト実験ft6074において、CARAVAN2400と鹿島34m局との間で検出された3C84の初フリッジ

フリッジテスト 前述の MAOS 導入によるアンテナ制御系の改修を行い、キューサーを観測対象としたフリッジテストを2006年3月8日に実施した。CARAVAN2400と鹿島34mアンテナとで3C84からの信号を受信した結果、フリッジ検出に成功した(図5.10参照)。これらのフリッジテストの結果より、CARAVAN2400がVLBI観測局として運用可能と確認できた。

### 5.3.2 2006年度予備試験

LNAの温度依存性 CARAVAN2400は常温低雑音アンプ(LNA)を使用している。そのため、そのゲイン変動の温度依存性が、雑音温度測定や電波星観測に影響している可能性がある。そこで、これらについて調べてみた。まず数日間(2006年4月18日夕方~20日朝)にわたり、IF信号トータルパワーと温度とを記録した。アンテナを天頂へ向けた状態でIF信号のパワーを連続的に測定し、同時にLNA筐体の温度(Ch1)、及びPLOやIFアンプを収納しているBOX内の気温(Ch2)を測定した。

測定の結果を図5.11に示す。グラフ中の“WINS”は34mアンテナの気象観測システムにより記録された外気温を表す。LNA筐体やPLOの収納BOXは特にでないため、これらの温度は気温とほとんど連動して変化する。また、IF信号のトータルパワーの変化はLNA温度や気温とはあまり相関が見られない。その他、WINSの雨量計の検出限界以下ではあったものの、4月19日のJST22時過ぎから少量の降雨があった。そのため、この時間でのIF信号Powerの変動が大きくなっている。

次に比較的IF信号パワーの変動が少ない4月19日のJST22時までのデータのばらつきを調べた(図5.12)。1分間あたりの標準偏差をみると、時間帯にもよるが大体 $1\mu W$ (約0.1%)以下であった。これまで得られたCasA、TauA、及びOriAを待受け観測した場合の信号出力は、約 $2\sim 4\mu W$ である。したがって、受信機変動振幅の小さい時間帯を選べば、これらの電波星によるアンテナアライメントは可能と考えられる。

さらにLNAゲインの温度依存性を調べるために、LNAをドライヤーで強制的に暖め、そのときのLNA筐体の温度とIF信号パワーの時間変化を測定した。このとき主鏡の向きを $AZ = 310$ 度、 $EL = 40$ 度とした。この結果を図5.13に示す。この計測では、ドライヤーON、OFFに連動して明らかにIF信号のパワーが変化する様子が確認できた。IF信号のパワーの変化は、時定数の小さな影響が最初に現れ、その後時定数の大きな変動要因

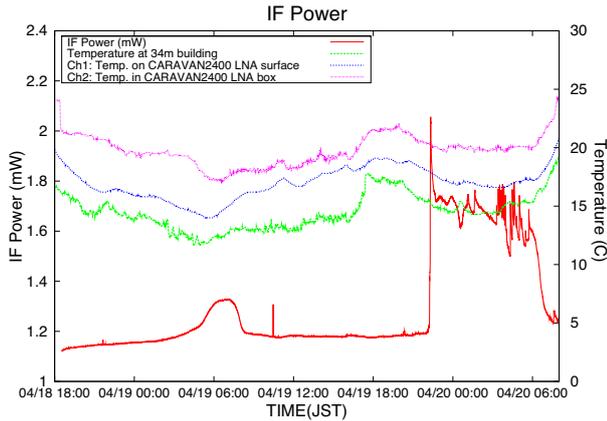


図 5.11: IF 信号強度変化から見た LNA の温度依存性 (2006.4.18-20)

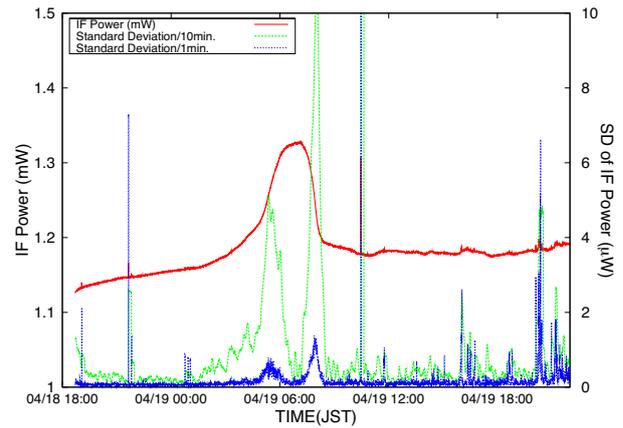


図 5.12: IF 信号パワー変動静穏時のデータのばらつき

が卓越するように見える。以上の結果から、この LNA はシールされているものの、急激な温度変化 ( $3^{\circ}C/1$ 分) では 5% 程のゲイン変動を示すことがわかった。

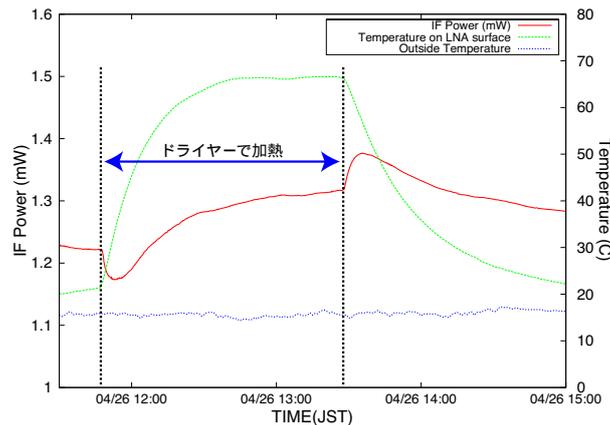


図 5.13: IF 信号強度変化から見た LNA の温度依存性 (2006.4.26)。ドライヤーによる LNA の直接加熱

MAOS2400 機能追加 CARAVAN2400 のアンテナ制御に使用している MAOS2400(前述) の機能追加を行った。具体的には、

軸校正観測 (Cross) モードの追加 元々MAOS には軸校正観測のルーチンが実装されていたが、現在使用しているパワーメーターを制御するように書かれていなかった為、パワーメーターの値取り込み分を改修し、動作するように整備

太陽追尾機能 松本<sup>17</sup> の方法に従い時間を引数として太陽の視赤経、視赤緯を計算するルーチン作成し、太陽追尾モードと太陽観測による軸校正観測モードを追加

といった機能である。これらにより、後述の軸校正観測を効率良く実施することができた。

アンテナ軸校正試験 軸校正観測は 2006 年 9 月 8 日～12 日にかけて実施した。観測対象は太陽、TAU-A、ORI-A、CAS-A である。観測数は太陽で 35obs(約 10 時間)、太陽以外の電波星では 233obs(約 80 時間)であった。総観

<sup>17</sup> 松本真一：“太陽視赤緯と均一時差計算に関する一考察”、日本建築学会東北支部研究報告集、第 68 号 pp.89-96、2005。

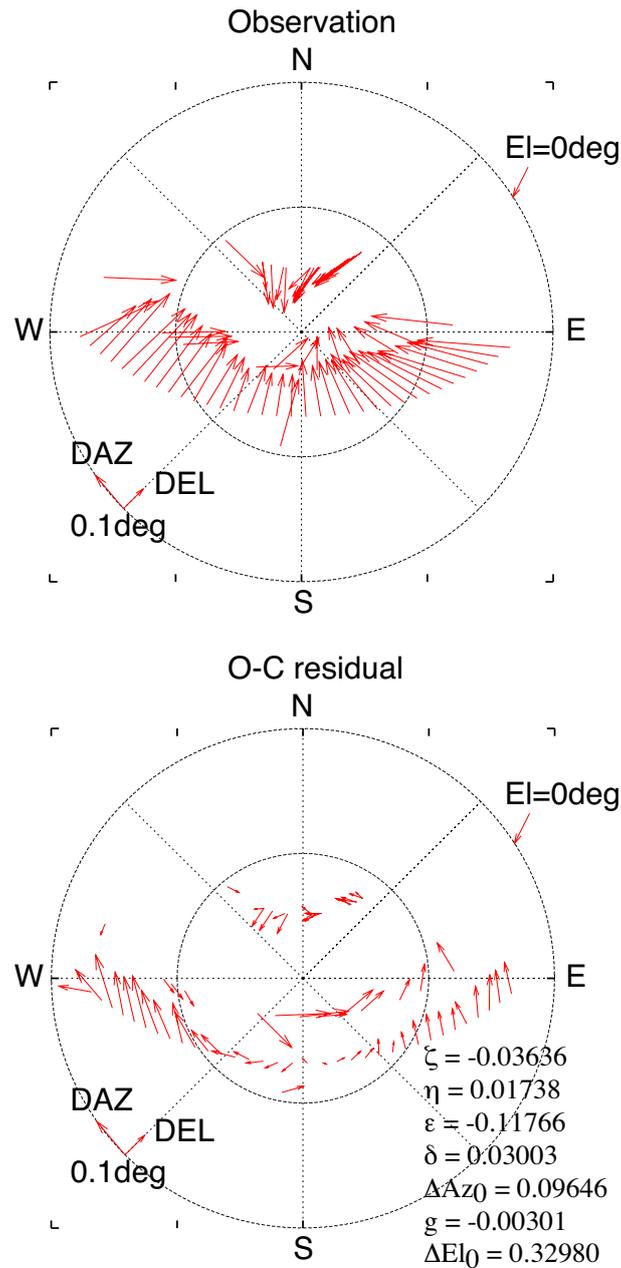


図 5.14: 軸校正観測結果 (観測数 67obs/上段)、軸校正パラメータ推定後の AZEL モデル残差 (O - C/下段)

測数は 268obs であるが、 $\Delta Az$ 、 $\Delta El$  が正しく推定できていないもの、エラーフラグが立っているもの、振幅の推定値が小さいもの、ばらつきの大きいものを棄却した。その結果観測数は 67obs となった (棄却 obs:201 個)。なお、太陽観測での棄却データはなかった。これら 67obs より最小自乗法で各パラメータを推定した。結果を図 5.14 に示す。また、この推定から得られた各パラメータの値、及び補正量を表 5.3 にまとめた。

**AZEL 直交点計測** 測地 VLBI 観測では、位置の基準となるのはアンテナの AZEL 直交点である。解析の初期値として、各観測局の AZEL 直交点を少なくとも 10cm 程度の精度で a priori に与える必要がある。そこで、CARAVAN2400 の AZEL 直交点を GPS 測位により測定した。

GPS 観測は、2006 年 7 月に実施した。まず、グランドプレーン付きの 2 周波 GPS アンテナを図 5.15 のように CARAVAN2400 の副鏡支柱の頂点に治具を介して取り付け、これを天頂に向けた状態で GPS 測位を行った。

表 5.3: 推定された軸校正パラメータと補正量

	parameter
$\xi$	-0.03636
$\eta$	0.01738
$\varepsilon$	-0.11766
$\delta$	0.03003
$g$	-0.00301
補正量	
$\Delta Az_0$	0.09646
$\Delta El_0$	0.32980



図 5.15: CARAVAN2400 の副鏡上に設置された GPS アンテナ (2006 年 7 月)



図 5.16: GPS アンテナと取り付け用の治具

表 5.4: GPS 解析 (2006.7) による解析結果

	position(ITRF2000)
X(m)	-3997492.08318
Y(m)	3276830.18715
Z(m)	3724309.31079
position(BLH/GRS80)	
B(°)	35.9563084618
L(°)	140.6577901467
H(m)	69.48008

これにより、副鏡の支柱頂点の座標を求めることができる。ただし、GPS アンテナの中心が AZ 軸直上に位置するような治具の設置が難しかったため、水平方向のオフセット量は現地で計測した。また、副鏡支柱頂点から AZEL 直交点までの長さは図面から読み取った。以上の計測から、間接的に AZEL 直交点の座標を知ることができる。なお、ここで使用した GPS アンテナ取り付けのための治具 (図 5.16) は、アルミアングルを組合せて製作し副鏡の支柱にクランプで固定した。

以上の GPS 観測の結果は表 5.4 の通りである。なお、座標は ITRF2000 準拠となっている。

ここで、副鏡支柱が集まる点と解析の基準となる GPS アンテナの底面が同じ高さにあると仮定する。この位置か

表 5.5: GPS 解析による CARAVAN2400 の AZEL 直交点座標推定値 (2006.7)

position(ITRF2000)	
X(m)	-3997490.90752
Y(m)	3276829.22343
Z(m)	3724308.20809
position(BLH/GRS80)	
B(°)	35.956308462
L(°)	140.657790147
H(m)	67.60208

ら AZEL 直交点までの距離を図面から読み取ると、1878mm であった。この距離を表 5.4 に示す高度 69.48008m から差し引くと、AZEL 直交点の緯度、経度、高度は、表 5.5 のように計算できる。なお、一連の座標変換には国土地理院による変換ソフトウェア“TRNS2000”<sup>18 19</sup> を使用した。

測地予備 VLBI 実験– K5/VSSP – 本格的な測地実験を実施する前に、CARAVAN2400 の性能評価のため下記のような概要で VLBI 実験を実施した。

実験コード ft6257

目的 CARAVAN2400 と鹿島 34m アンテナとの間で測地実験に準じた実験により CARAVAN2400 の性能評価を目的とする。

概要 この実験は CARAVAN2400 の性能評価の他、実験担当者の作業習熟も目的とした。また、この実験は短基線で実施するため、PCAL 信号のフリッジ検出を避ける意味で、観測の最初と最後に PCAL を挿入した観測を行いそれ以外は PCAL を挿入しないこととした。

観測実施日時 2006 年 9 月 14 日 01:00UT(10:00JST) - 9 月 15 日 01:00UT(10:00JST)

参加局 鹿島 2.4m、鹿島 34m

観測モード K5/VSSP、及び K5/VSSP32() を使用。帯域 8MHz、8ch、1bit  
⇒ 128Mbps でのデータ取得

この実験では、図 5.17 に示すようにフリッジ検出に成功し、CARAVAN2400 での測地実験実施に問題ないことが確認できた。

第 1 回測地 VLBI 実験– K5/VSSP – 2006 年 9 月 21 日に 2.4m アンテナを用いた初の測地実験を国土地理院つくば 32m アンテナとの間で実施した(実験コード:ca6264/“ca”は“CARAVAN2400”の頭文字 2 字から取っている)。実験の概要は以下の通りである。

実験コード ca6264

目的 CARAVAN2400 の測地 VLBI 観測性能を評価するための実証実験

概要 K5/VSSP によるデータ取得を行い、相関処理、測地解析を実施する。観測相手局は国土地理院つくば 32m 局とする。

観測実施日時 2006 年 9 月 21 日 05:00UT(14:00JST) - 9 月 22 日 05:00UT(14:00JST)

参加局 つくば 32m、鹿島 2.4m、鹿島 34m(34m については一部 OBS のみ参加)

<sup>18</sup> 飛田幹男：“世界測地系対応ソフトウェア集”、日本測量協会、東京、42 ページカラー冊子 + CD-ROM、2002.

<sup>19</sup> 飛田幹男：“世界測地系と座標変換”、日本測量協会、東京、174 ページ、2002.

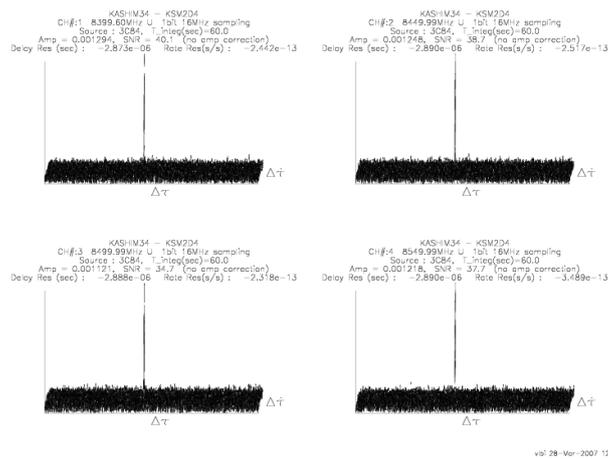


図 5.17: K5/VSSP によるデータで得られた ft6257 実験での QSO “3C84” のフリンジ

観測モード K5/VSSP を使用。帯域 8MHz、8ch、1bit  
 ⇒ 128Mbps でのデータ取得

この観測では、X 帯のみ全 8ch で 243 個 (OBS 数) のデータを取得した。このうち 221OBS のデータを用いて、Calc8.2/SOLVE5.0129 により解析を行った。なお、大気遅延とクロックパラメータは 3 時間毎に推定した。つくば局を固定局として推定した CARAVAN2400 の局位置を表 5.6 に示す。X 帯のみの観測であるため、電離層遅延の除去は標準的なモデルに頼らざるを得ないが、xyz の各成分とも 7mm 程度の内部誤差で決定できた。

表 5.6: 第 1 回測地実験での CARAVAN2400 局位置

	position
X(mm)	-3997490990.3 ± 7.3
Y(mm)	3276829289.1 ± 7.1
Z(mm)	3724308242.4 ± 7.2
baseline(mm)	53814845.9 ± 2.6

#### 5.4 ADS2000 を用いた測地実験

NICT では日本通信機株式会社と協力して、多チャンネルの測地 VLBI 観測に適した高速 AD サンプラーユニット ADS2000 の開発を進めてきた。ADS2000 は、1 チャンネルあたりの帯域 32MHz、サンプリング速度 64Msps、サンプリング量子化数 2bits/sample の高速サンプリングをサポートし、データ出力に VLBI 標準インターフェース仕様である VSI-H に準拠したポートを装備しており、K5/VSI ボードと接続することで K5 システムの一部として利用することができるように設計されている。ところで K5/VSI ボードの入力に VSI-H 仕様でオプションとして定義されていた 64MHz クロックをサポートできるように改良を加えた結果、総データレート 2048Mbps での測地 VLBI 観測が初めて可能となった。そこで、2006 年 3 月 17 日に鹿島 11m-小金井 11m 基線を用いてバンド幅合成方式としては世界最高となる 2048Mbps での多チャンネル測地 VLBI 観測 (GEX14) を実施し、良好な解析結果を得ることに成功した。相関処理には K5 ソフトウェア相関器を用い、2048Mbps でのソフトウェア相関器の有効性を実証したということもできる。解析結果は、2005 年に実施した 1024Mbps での実験 (GEX13) 結果ともよく一致し、高感度化によって短時間で同等の精度での測地 VLBI 観測が可能であることが示された。表 5.7 に鹿島 11m-小金井 11m 基線の解析結果の比較を示す。



図 5.18: 多チャンネル AD サンプリング装置 ADS2000。

表 5.7: GEX13 (1024Mbps での実験) と GEX14 (2048Mbps での実験) との解析結果の比較

実験コード	GEX13	GEX14
実験日	2005 3/11 03:00- (24 hours)	2006 3/17 03:00- (11 hours)
観測モード	32Msps × 16ch × 2bits(1024Mbps)	64Msps × 16ch × 2bits(2048Mbps)
有効観測数	916	425
遅延時間残差 (rms)	37 psec	36 psec
基線長推定結果	109099636.0 ± 1.3mm	109099636.7 ± 1.3mm

#### 5.5 Internet2 初代 IDEA 賞を受賞

米国ワシントン DC で開催された Internet2 2006 Spring Member Meeting において、初めて創設された IDEA (Internet2 Driving Exemplary Applications) 賞の表彰式があり、Very High Speed Electronic Very Long Baseline Interferometry (e-VLBI) が他の 3 つの研究チームと並んで表彰された。受賞対象となった e-VLBI は、日米欧の VLBI 研究機関と研究用高速ネットワークを運営する多くの研究機関が協力し、高速な国際ネットワーク接続によって従来不可能であった地球規模のリアルタイム VLBI 観測を可能としたシステムであり、自然科学の研究におけるネットワークの価値を大きく高めたこと、および国際的な規模での高速ネットワークの構築を牽引したこ



図 5.19: IDEA 賞盾。IDEA 賞は、研究および教育を目的とした Internet2 の提供する傑出した高速ネットワーク環境を活用し、その可能性を飛躍的に高めることに貢献した革新的なネットワークアプリケーションを表彰することを目的として創設された賞。

とが高く評価された。



図 5.20: 表彰式(2006年4月26日)で受賞スピーチを行う MIT ヘイスタック観測所の Alan Whitney 氏(右端)。共同受賞者として、欧州 VLBI 研究機構 Arpad Szomoru 氏、NTT 研究所魚瀬尚郎氏と並んで NICT から小山泰弘研究マネージャー(写真では代理受賞の平原正樹ネットワークアーキテクチャグループリーダー)が表彰を受けた。

## 6 終わりに

鹿島34mアンテナは新たに開始された時空統合標準プロジェクトにおいて「リアルタイム地球姿勢決定技術の研究開発」および「測位における距離基準を確立するための研究開発」を遂行する上で重要な役割を担っているアンテナである。NICTのプロジェクトだけでなく、国際的なVLBI組織(IVS)の観測においても重要な役割を担っているアンテナであり、測地学的な成果ばかりではなく、国立天文台や国内大学と連携して、電波天文学的成果をも生みだしているアンテナでもある。そのため、今後も引き続き34mアンテナの安定した維持運用に研究グループ一丸となって取り組んで行く所存である。



## A 略語集

本年次報告で使用する略語を以下に示す。

ACU	Antenna Control Unit
ADC	Antenna Drive Cabinet
AOS	Acousto-Optical Spectrometer
APPS	Advanced Precise Positioning System
AZ	Azimuth
CARAVAN	Compact Antenna for Radio Astronomy VLBI Adapted for Network
CCW	Counter-Clockwise
CDDIS	Crustal Dynamics Data Information System
CONT05	Continuous VLBI Campaign 2005
CW	Clockwise
DCPA	Direct Current Power Amplifier
ESA	European Space Agency
EL	Elevation
ENC	Encoder
ETR	Elevation Tilting Room
FS9	Field System version 9
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
HALCA	Highly Advanced Laboratory for Communications and Astronomy
HTS	High-Temperature Superconductor
IGP	Instituto Geofisico del Peru
IGS	International GNSS Service (formerly International GPS Service)
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000
IOC	Instantaneous Over Current
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
IVS	International VLBI Service for Geodesy and Astrometry
J-BOX	Junction Box
JIVE	Joint Institute for VLBI in Europe
KSP	Key Stone Project
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
MAC	Monitor And Control
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NICT	National Institute of Information and Communications Technology
Pcal	Phase calibration
PIC	Peripheral Interface Controller
PICNIC	PIC Network Interface Card
PLO	Phase Locked Oscillator
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

SiO	Silicon Oxide
SNR	Signal to Noise Ratio
SRD	Step Recovery Diode
T <sub>lim</sub>	Travel Limit
TP	Technical Power
VLBI	Very Long Baseline Interferometer
VERA	VLBI Exploration of Radio Astrometry
VSOP	VLBI Space Observatory Programme
VSSP	Versatile Scientific Sampling Processor

## B 鏡面測定法

背面構造部の補修は場合によっては該当個所のパネルを取り外してから補修を行い補修後にパネルを取り付ける作業を行うことがある。このとき、パネルを取り外し前の状態（高さ）に戻すことは、鏡面精度を保つために重要である。パネルの取り外しを行わない補修においても補修の前後でパネル高の測定を行うことは鏡面精度を保持するために重要である。34 mアンテナでは、図 B.1 に示されるような方法で、該当するパネルと隣接パネル間の相対高を補修前後で測定することにより、鏡面精度を保っている。具体的には、補修前に隣接パネル間の位置合わせケガキ線 8ヶ所（最外側のパネルでは 6ヶ所）に沿って、パネル間の高さを読みとり精度 0.01mm のデプスマイクロメータ（図 B.2）で測定する。補修後に再度パネル間の高さを計測し、ずれている場合はパネル高を調整する。ただし、この方法では何度かの補修中に系統的誤差が蓄積していく可能性は排除できない。

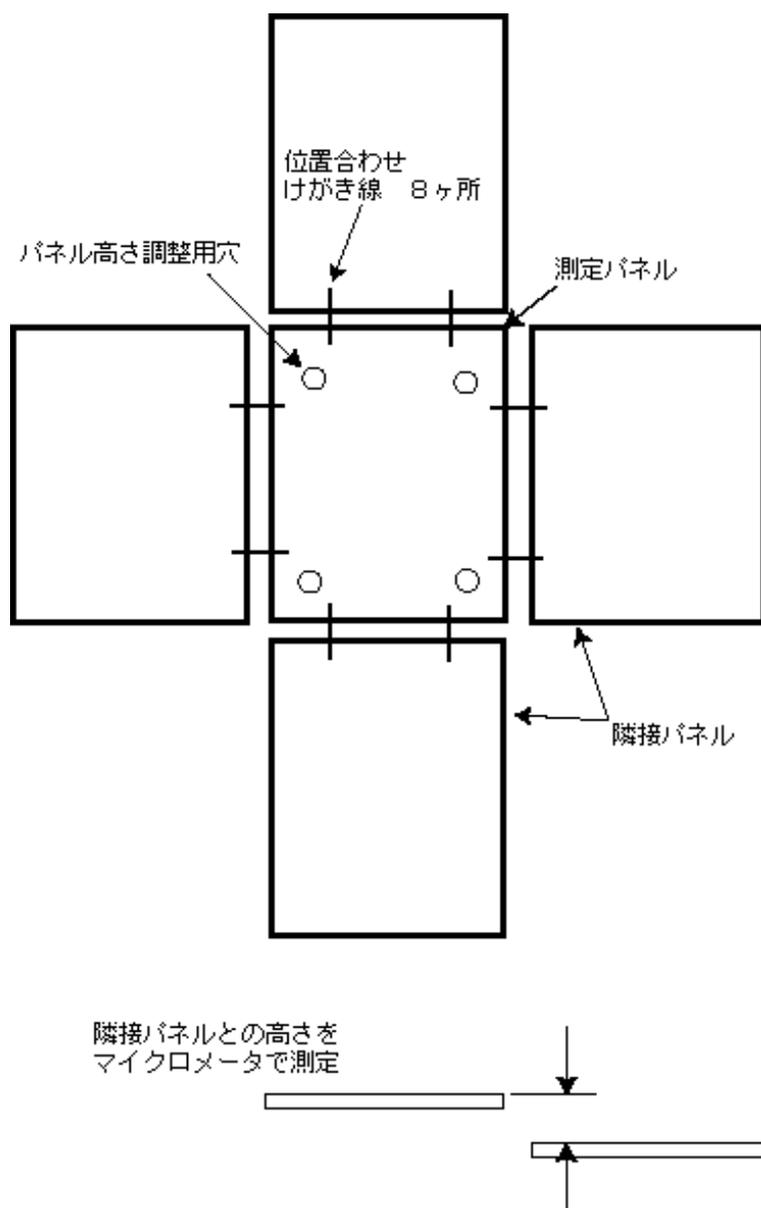


図 B.2: パネル高測定に使用するデプスマイクロメータ。

図 B.1: パネル高測定法

## C 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 C.1 に示す。

表 C.1: S/X 帯の軸較正観測に使用する電波源

		Northern Sources						Total Flux Densities		
Source and letter code		Position (1950.0)			Size*			S-Band	X-Band	
a	3C84	03 16 29.54	+41 19 51.7	< 1"		40	50–60	VAR		
b	3C123	04 33 55.2	+29 34 14.	20"		32.9	10.1			
c	0521–365	05 21 13.2	–36 30 19.	15"		13.5	5.5			
d	Taurus A	05 31 31.	+21 59 00.	3' × 5'		815	552			
e	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	VAR		
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	VAR		
l	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	VAR		
o	3C348	16 48 40.0	+05 04 35.	115"		27.0	6.8			
p	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			
s	1921–293	19 21 42.18	–29 20 24.9	< 1"			5–10	VAR		
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	VAR		
v	3C454.3	22 51 29.53	+15 52 54.2	< 1"		10–15	10–20	VAR		
w	Cas A <sup>+</sup>	23 21 09.	+58 32 30.	3'		1510 <sup>+</sup>	528 <sup>+</sup>			

VAR The flux density of these sources varies with time. The value given is a rough average.

\* Sources larger than about 0.1 times the half-power beamwidth will be partially resolved, and their apparent peak flux densities will be less than the values in this table. Centroid positions will be nearly unaffected for these sources.

<sup>+</sup> The flux density of Cas A is slowly decreasing. The values given here are for 1984.0. The S-Band flux density is decreasing by 0.86% per year, and the X-Band flux density is decreasing by 0.69% per year. The S-Band flux density was revised from 1397 to 1510 Jy as of September 1, 1993.

(Field System Documentation Antenna Performance より抜粋)

## D SEFD とは

SEFD とは System Equivalent Flux Density ( システム等価フラックス密度 : 単位はジャンスキー (  $\text{Jy} = 10^{-26} \text{Wm}^{-2}\text{Hz}^{-1}$  ) ) のことで以下の式で表される。

$$SEFD = \frac{2kT_{sys}}{A\eta} \quad (\text{D.1})$$

ここで  $k$  : ボルツマン常数 ( $1.38 \times 10^{-23} \text{WHZ}^{-1}$ )

$T_{sys}$  : システム雑音温度 (K)

$A$  : アンテナ開口面積 ( $\text{m}^2$ )

$\eta$  : アンテナ開口効率

ところで、2つのアンテナでフラックス密度  $F(\text{Jy})$  の電波星を受けたときのアンテナ温度の増加分をそれぞれ  $T_a$ ,  $T'_a$  とし、システム雑音温度をそれぞれ  $T_{sys}$ ,  $T'_{sys}$  とすると、規格化相関強度 ( フリンジ強度 ) は

$$\rho = \sqrt{\frac{T_a \cdot T'_a}{T_{sys} \cdot T'_{sys}}} \quad (\text{D.2})$$

となる。ただし、電波星は分解されておらず、 $T_{sys} \gg T_a$ ,  $T'_{sys} \gg T'_a$  とする。また電波星のフラックス密度とアンテナ温度の増加分の関係は

$$kT_a = \frac{1}{2}FA\eta \quad (\text{D.3})$$

$$kT'_a = \frac{1}{2}FA'\eta' \quad (\text{D.4})$$

で与えられる。ここで  $A'$ ,  $\eta'$  は2つ目のアンテナの開口面積および開口効率である。1/2 は一つの偏波しか受信しないことを示している。式 (D.3)(D.4) から

$$\sqrt{T_a \cdot T'_a} = \frac{F\sqrt{A\eta \cdot A'\eta'}}{2k} \quad (\text{D.5})$$

式 (D.1)(D.5) を使って規格化相関強度 ( フリンジ強度 ) を SEFD で表すと

$$\rho = \frac{F}{\sqrt{SEFD \cdot SEFD'}} \quad (\text{D.6})$$

となる。ここで  $SEFD'$  は2つ目のアンテナの SEFD である。この式を使うと、2つのアンテナの SEFD および電波星の強度から相関強度を見積もることができる。また式 (D.6) を変形すると

$$F = \rho\sqrt{SEFD \cdot SEFD'} \quad (\text{D.7})$$

となる。つまり、規格化相関強度 ( フリンジ強度 ) に2つのアンテナの SEFD の幾何平均を掛けるとフラックス密度単位になおすことができる。

## E 鹿島 VLBI グループ成果論文 (発表) リスト (2006年1月 - 12月)

## 原著論文

- Hobiger, T., T. Kondo,** and H. Schuh, Very long baseline interferometry as a tool to probe the ionosphere, *Radio Sci.*, 41, RS1006, doi:10.1029/2005RS003297, 2006.
- Imai, H., T. Omodaka, T. Hirota, T. Umemoto, K. Sorai, and **T. Kondo**, A collimated jet and an infalling-rotating disk in G192.16-3.84 traced by H<sub>2</sub>O maser emission, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 58, pp.883-892, 2006.
- Koyama, Y., T. Kondo,** M. Hirabaru, **M. Kimura,** and **H. Takeuchi**, 5-2 Research and developments for e-VLBI utilizing global high speed network connections, *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, Vol. 52, Nos.3/4, pp.131-139, 2005.
- McCool, M, R. Spencer, S. Kumar, R. Beresford, S. Durand, **Y. Koyama,** S. Parsley, A. Whitney, and P. Maat, Enhancing the sensitivity of radio telescopes using fiber-optic networks, *Radio Science Bulletin*, No.317, pp.9-18, June, 2006.
- Mendes Cerveira, P. J., **T. Hobiger,** R. Weber, and H. Schuh, Spatial spectral inversion of SOPAC GPS data, *Proc. IAG Scientific Assembly 2005*, 130, pp.194-201, 2006.
- Sekido, M.** and T. Fukushima, A VLBI delay model for radio sources at a finite distance, *Journal of Geodesy*, Vol.80, pp.137-149, doi:10.1007/s00190-006-0035-y, 2006.
- Takeuchi, H., M. Kimura, J. Nakajima, T. Kondo, Y. Koyama, R. Ichikawa, M. Sekido,** and **E. Kawai,** Development of a 4 Gbps multifunctional very long baseline interferometry data acquisition system, *Pub. Astron. Soc. Pacific*, Vol.118, pp.1739-1748, 2006
- Takiguchi, H.** and Y. Fukuda, Reduction of influences of the Earth 's surface fluid loads on GPS site coordinate time series, *J. Geod. Soc. Japan*, Vol.52, No.2, pp.141-154, 2006.

## 口頭発表・収録論文等

- 石井 敦利, 小山 泰弘, 市川 隆一, 久保木 裕充, 高島 和宏, 藤咲 淳一, CARAVAN2400 による VLBI 観測, 2005 年度 VLBI 技術による宇宙研究シンポジウム & 第 5 回 IVS 技術開発センターシンポジウム, 2006/02/10.
- 石井 敦利, 市川 隆一, 久保木 裕充, 小山 泰弘, 中島 潤一, 高島 和宏, 藤咲 淳一, 小型 VLBI システム CARAVAN2400 の開発, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006/05/16.
- 石井 敦利, 市川 隆一, 瀧口 博士, 久保木 裕充, 中島 潤一, 小山 泰弘, 藤咲 淳一, 高島 和宏, 1m 級アンテナを用いた比較基線場検定用 VLBI システムの開発, 2006 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2006/12/25.
- 市川 隆一, 関戸 衛, 竹内 央, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 飛翔体 VLBI グループ, 「はやぶさ」相対 VLBI 観測におけるクエーサー選択と大気遅延相殺効果, 2005 年度 VLBI 技術による宇宙研究シンポジウム & 第 5 回 IVS 技術開発センターシンポジウム, 2006/02/09.
- 市川 隆一, 久保木 裕充, 堤 正則, 小山 泰弘, 小門 研亮, 石本 正芳, 藤咲 淳一, 高島 和宏, CONT05/VLBI 観測期間中のマイクロ波放射計観測結果, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006/05/14.
- 市川 隆一, 石井 敦利, 久保木 裕充, 中島 潤一, 小山 泰弘, 藤咲 淳一, 高島 和宏, 小型 VLBI システム CARAVAN2400 の開発, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006/05/14.
- 市川 隆一, 石井 敦利, 瀧口 博士, 久保木 裕充, 中島 潤一, 小山 泰弘, 藤咲 淳一, 高島 和宏, 1m 級アンテナを用いた基線場検定用 VLBI システムの開発 -序報-, 日本測地学会 2006 年秋季 (第 106 回) 講演会, 2006/10/17.
- 市川 隆一, 関戸 衛, 小山 泰弘, 数値天気予報データを用いた大気伝搬遅延量推定ツールの開発, 日本航空宇宙学会第 50 回宇宙科学技術連合講演会, 2006/11/08.
- 市川 隆一, 最新の数値天気予報データを用いた大気伝搬遅延量推定ツールの開発 -序報-, 2006 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2006/12/25.
- 今井 一雅, 徳久 陽一, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, インターネット木星電波 VLBI システムの開発, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006/05/16.
- 川口 則幸, 河野 裕介, 小山 友明, 倉山 智晴, 小林 秀行, 梅本 智文, 魚瀬 尚郎, 村田 泰宏, 高島 和宏, 高羽 浩, 須藤 広志, 小山 泰弘, 永山 匠, 面高 俊宏, 藤沢 健太, 光結合 VLBI 観測網の進展, 日本天文学会 2006 年春季年会, 2006/03/28.
- 木村 守孝, 小山 泰弘, 小林 秀行, 川口 則幸, 小山 友明, 三鷹 FX 相關器互換のソフトウェア相關処理システムの構築, 日本天文学会 2006 年秋季年会, 2006/09/21.
- 小山 泰弘, 市川 隆一, 神崎 政之, 丹野 貴之, 西村 史睦, 熊 敏, 位置認証技術試験システムの開発, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006/05/16.
- 小山 泰弘, e-VLBI で UT1 を測る, 第 13 回天網の会, 2006/06/13.
- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 木村 守孝, 関戸 衛, 中島 潤一, 久保木 裕充, 川合 栄治, 2Gbps 多チャンネル測地 VLBI システムの開発, 日本測地学会 2006 年秋季 (第 106 回) 講演会, 2006/10/18.

- 小山 泰弘, NICT 鹿島機関報告, 2006年度VLBI懇談会シンポジウム, 2006/12/25.
- 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 木村 守孝, 関戸 衛, 中島 潤一, 久保木 裕充 川合 栄治, 2Gbps 多チャンネル測地VLBIシステムの開発, 2006年度VLBI懇談会シンポジウム, 2006/12/26.
- 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 竹内 央, 木村 守孝, NICT の新 VLBI サンプラーユニット K5/VSSP32, 2005 年度 VLBI 技術による宇宙研究シンポジウム & 第 5 回 IVS 技術開発センターシンポジウム, 2006/02/10.
- 近藤 哲朗, ホビガー・トーマス, 市川 隆一, 関戸 衛, 小山 泰弘, 高羽 浩, 相対 VLBI 観測時の位相遅延接続について, 日本測地学会 2006 年秋季 (第 106 回) 講演会, 2006/10/18.
- 関戸 衛, 市川 隆一, 2005 年のハヤブサの観測データについて, 2005 年度 VLBI 技術による宇宙研究シンポジウム & 第 5 回 IVS 技術開発センターシンポジウム, 2006/02/09.
- 関戸 衛, 市川 隆一, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, 竹内 央, 吉川 真, 望月 奈々子, 加藤 隆二, 村田 泰宏, 大西 隆史, ハヤブサの VLBI 観測報告, 2005 年度 RISE 研究会, 2006/02/16.
- 関戸 衛, 市川 隆一, 吉川 真, 望月 奈々子, 加藤 隆二, 村田 泰宏, 大西 隆史, 2005 年度の「はやぶさ」の VLBI 観測報告, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006/05/16.
- 関戸 衛, 小山 泰弘, 近藤 哲朗, 木村 守孝, 平原 正樹, NICT における e-VLBI アクティビティ, 光結合 VLBI サイエンス ミーティング, 2006/08/22.
- 関戸 衛, 市川 隆一, 吉川 真, 望月 奈々子, 村田 泰宏, 加藤 隆二, 市川 勉, 竹内 央, 大西 隆史, 相対 VLBI による軌道決定 - これまでの状況 -, 先進的軌道計測・決定技術に関する研究会, 2006/10/31.
- 関戸 衛, 市川 隆一, 吉川 真, 望月 奈々子, 村田 泰宏, 加藤 隆二, 市川 勉, 竹内 央, 大西 隆史, イトカワ接近時の HAYABUSA を使った相対 VLBI 観測の精度評価, 日本航空宇宙学会第 50 回宇宙科学技術連合講演会, 2006/11/10.
- 関戸 衛, 小山 泰弘, 木村 守孝, 原井 洋明, 池田 貴俊, 平原 正樹, e-VLBI Activity in NICT, 2006 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2006/12/25.
- 関戸 衛, 市川 隆一, 吉川 真, 望月 奈々子, 村田 泰宏, 加藤 隆二, 市川 勉, 竹内 央, 大西 隆史, 2005 年 11 月イトカワタッチダウン時の HAYABUSA 観測-位相遅延量を使った相対 VLBI 観測精度の評価 -, 2006 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2006/12/26.
- 高羽 浩, 若松 謙一, 須藤 広志, 川口 則幸, 河野 祐介, 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 (6), 日本測地学会 2006 年秋季 (第 106 回) 講演会, 2006/10/18.
- 瀧口 博士, 福田 洋一, Estimation of mass-redistribution-induced crustal deformation due to the Earth's fluid envelope to GPS site coordinate time series, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006/05/16.
- 瀧口 博士, 石井 敦利, 市川 隆一, 久保木 裕充, 中島 潤一, 小山 泰弘, 藤咲 淳一, 高島 和宏, 1 m 級アンテナを用いた基線場検定用 VLBI システムの開発 -CARAVAN2400 を用いた測地実験-, 日本測地学会 2006 年秋季 (第 106 回) 講演会, 2006/10/18.
- 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, 飛翔体の VLBI 観測への高速サンプリングの応用, 2005 年度 VLBI 技術による宇宙研究シンポジウム & 第 5 回 IVS 技術開発センターシンポジウム, 2006/02/10.
- 竹内 央, 加藤 隆二, 吉川 真, 市川 勉, 村田 泰宏, 望月 奈々子, 市川 隆一, 関戸 衛, VLBI(Delta-DOR) による深宇宙軌道決定, 第 7 回宇宙科学シンポジウム, 2006/12/21.
- ホビガー・トーマス, 近藤 哲朗, 小山 泰弘, Probing the ionosphere by means of VLBI, 2006 年度 VLBI 懇談会シンポジウム, 2006/12/27.
- Hirabaru, M. and **Y. Koyama**, International e-VLBI Experience, *International Workshop on Protocols for Fast Long-Distance Networks*, 2006/2/2.
- Hobiger, T., T. Kondo**, and H. Schuh, VLBI as a tool to probe the ionosphere, *IVS 2006 General Meeting Proceedings*, pp.344-348, 2006.
- Hobiger, T., T. Kondo**, K. Takashima, and H. Schuh, Detection of short period ionosphere variation from VLBI fringe phases, *IVS 2006 General Meeting Proceedings*, pp.349-350, 2006.
- Hosokawa, M., K. Inamura, **Y. Koyama**, H. Toriyama, S. Hama, Time and frequency activities at the NICT, *Asia Pacific Time and Frequency Workshop (ATF-2006)*, 2006/12/11.
- Ichikawa, R., M. Sekido, H. Takeuchi, Y. Koyama**, and **T. Kondo**, Analysis center at National Institute of Information and Communications Technology, *IVS 2005 Annual Report, NASA/TP-2006-214136*, pp.253-255, 2006.
- Ichikawa, R., M. Sekido, Y. Koyama**, and **T. Kondo**, An evaluation of atmospheric path delay correction in differential VLBI experiments for spacecraft tracking, *IVS 2006 General Meeting Proceedings*, pp.226-230, 2006.
- Ichikawa, R., H. Kuboki, M. Tsutsumi, Y. Koyama**, J. Fujisaki, K. Kokado, M. Ishimoto, and K. Takashima, Atmospheric parameter comparisons at the Tsukuba and Kashima VLBI stations during the CONT05 VLBI campaign, *EGU General Assembly 2006*, 2006/04/06.
- Ichikawa, R., Y. Koyama**, M. Kanzaki, and Xiong Min, Development of Advanced Precise Positioning System (APPS) for automated geodetic GPS processing, *Asia Oceania Geosciences Society 3rd Annual Meeting (AOGS2006)*, 2006/07/15.

- Ichikawa, R., H. Kuboki, M. Tsutsumi, and Y. Koyama**, Zenith wet delay comparisons at Tsukuba and Kashima VLBI stations during the CONT05 VLBI campaign, *IVS NICT-TDC News, No.27*, pp.19–22, Aug. 2006.
- Ichikawa, M. Sekido, R., H. Takeuchi, Y. Koyama, and T. Kondo**, An numerical simulation of atmospheric path delay correction in differential VLBI experiments for spacecraft tracking, *IVS NICT-TDC News, No.27*, pp.23–25, Aug. 2006.
- Ishitsuka, J., M. Ishitsuka, N. Kaifu, M. Inoue, M. Tsuboi, M. Ohnishi, **T. Kondo, Y. Koyama**, T. Kasuga, K. Fujisawa, K. Miyazawa, M. Miyoshi, T. Umemoto, T. Bushimata, S. Horiuchi, and E. Vidal, A new astronomical facility for Peru: Transforming a telecommunication's 32 meter antenna into a radio telescope, *XXVIth IAU General Assembly*, 2006/08/21.
- Kawai, E., H. Takeuchi, and H. Kuboki**, Kashima 34-m radio telescope, *IVS 2005 Annual Report, NASA/TP-2006-214136*, pp.83–86, 2006.
- Kondo, T., Y. Koyama, H. Takeuchi, and R. Ichikawa**, Technology development center at NICT, *IVS 2005 Annual Report, NASA/TP-2006-214136*, pp.290–293, 2006.
- Kondo, T., Y. Koyama, H. Takeuchi, and M. Kimura**, Development of a new VLBI sampler unit (K5/VSSP32) equipped with a USB 2.0 interface, *IVS 2006 General Meeting Proceedings*, pp.195–199, 2006.
- Kondo, T., Y. Koyama, H. Takeuchi, and M. Kimura**, Development of a new VLBI sampling processor equipped with a USB interface, *EGU General Assembly 2006*, 2006/04/04.
- Kondo, T. and T. Hobiger**, An XF-type software correlator developed by NICT, *Next Generation Correlators for Radio Astronomy and Geodesy Workshop*, 2006/06/28.
- Kondo, T., T. Hobiger, M. Sekido, R. Ichikawa, Y. Koyama, and H. Takaba**, Phase delay connection in differential VLBI, *AGU Fall Meeting*, 2006/12/11.
- Koyama, Y.**, Kashima and Koganei 11-m VLBI stations, *IVS 2005 Annual Report, NASA/TP-2006-214136*, pp.87–90, 2006.
- Koyama, Y.**, Data center at NICT, *IVS 2005 Annual Report, NASA/TP-2006-214136*, pp.202–205, 2006.
- Koyama, Y., T. Kondo, M. Kimura, H. Takeuchi, and M. Hirabaru**, e-VLBI developments with the K5 VLBI system, *IVS 2006 General Meeting Proceedings*, pp.216–220, 2006.
- Koyama, Y., T. Kondo, H. Takeuchi, M. Kimura, and M. Hirabaru**, Real-time high volume data transfer and processing for e-VLBI, *Asia Oceania Geosciences Society 3rd Annual Meeting (AOGS2006)*, 2006/07/15.
- Koyama, Y., T. Kondo, M. Kimura, M. Sekido, M. Hirabaru, and H. Harai**, Developments for real-time software correlation e-VLBI, *5th e-VLBI Workshop*, 2006/09/19.
- Machida, M., Ishimoto, M., K. Takashima, **T. Kondo, and Y. Koyama** K5/VSSP data processing system of small cluster computing at Tsukuba VLBI correlator, *IVS 2006 General Meeting Proceedings*, pp.117–126, 2006.
- Niell, A., A. Whitney, B. Petrachenko, W. W. Schlüter, N. Vandenberg, H. Hase, **Y. Koyama**, C. Ma, H. Schuh, and G. Tuccari, VLBI2010: Current and future requirements for geodetic VLBI systems, *IVS 2005 Annual Report, NASA/TP-2006-214136*, pp.13–20, 2006.
- Sekido, M., Y. Koyama, M. Kimura, and H. Takeuchi**, VLBI correlators in Kashima, *IVS 2005 Annual Report, NASA/TP-2006-214136*, pp.182–185, 2006.
- Sekido, M. and T. Fukushima**, VLBI delay model for a radio source at finite distance, *IVS 2006 General Meeting Proceedings*, pp.59–63, 2006.
- Sekido, M., M. Kimura, Y. Koyama, T. Kondo, and M. Hirabaru**, e-VLBI technology development in NICT, *GEMnet2 AccessNova Forum 2006*, 2006/06/02.
- Sekido, M., R. Ichikawa, T. Kondo, Y. Koyama, E. Kawai, M. Yoshikawa, N. Mochizuki, Y. Murata, T. Kato, and T. Ohnishi**, VLBI application for space navigation, *GEMnet2 AccessNova Forum 2006*, 2006/06/02.
- Sekido, M., R. Ichikawa, M. Yoshikawa, N. Mochizuki, Y. Murata, T. Kato, T. Ichikawa, H. Takeuchi, and T. Ohnishi**,  $\Delta$  VLBI test observation at HAYABUSA's approach to Itokawa, *16th Astrodynamical symposium in JAXA*, 2006/08/01.
- Sekido, M. and H. Harai**, e-VLBI over GMPLS, *Super Computing 2006*, 2006/11/13.
- Takeuchi, H., M. Kimura, J. Nakajima, R. Ichikawa, M. Sekido, T. Kondo, and Y. Koyama**, A VSI-compliant 2-Gsps DAS for spacecraft differential VLBI, *IVS 2006 General Meeting Proceedings*, pp.221–225, 2006.
- Takeuchi, H., M. Kimura, J. Nakajima, T. Kondo, Y. Koyama, R. Ichikawa, M. Sekido, and E. Kawai**, Development of a 4 Gbps multifunctional very long baseline interferometry data acquisition system, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 118*, pp.1739–1748, 2006.
- Takiguchi, H., T. Otsubo, and Y. Fukuda**, Reduction of influences of the Earth's surface fluid loads on GPS site coordinate time series and global satellite laser ranging analysis, *AGU Fall Meeting*, 2006/12/12.

Todorova, S., **T. Hobiger**, and H. Schuh, Combination of GPS and satellite altimetry data for global ionosphere maps, *Proceedings of the International Scientific Conference SGEM 2006, June 12-16, 2006, Albena, Bulgaria, Vol.2*, pp.265-277, 2006.

Vidal, E., J. Ishitsuka, and **Koyama, Y.**, Application of the field system-FS9 and a PC to antenna control interface in radio astronomy in Peru, *XXVIth IAU General Assembly*, 2006/08/21.

***NICT***

独立行政法人 情報通信研究機構