

# 可搬型 V L B I 局用 2.4 m $\phi$ アンテナ・受信系の特性

栗原 則幸\* , 高橋 幸雄\* , 金子 明弘\*\*

\* 関東支所 宇宙電波応用研究室 , \*\* 現 企画調査部

## 1. はじめに

通信総合研究所 (CRL) は、V L B I 技術を利用した地球温暖化による海水面変動をモニターする V L B I システム開発を建設省国土地理院と共同で行っている。このシステム開発の主目的は、移動実験を手軽に安価に行なえるような『可搬型 V L B I 局』の整備で、測地応用を目的とした V L B I 観測局では世界最小の 2.4 m  $\phi$  アンテナを使用する。

システム開発は3年間の計画で平成2年度にスタートし、システム開発後は国内に配置された検潮所に運んで CRL 鹿島局との間で V L B I 実験を繰り返す。現在、2.4 m アンテナ・受信系およびバックエンド系の一部が完成し、1992年5月8日に CRL 鹿島局との間で初のフリンジを検出した。

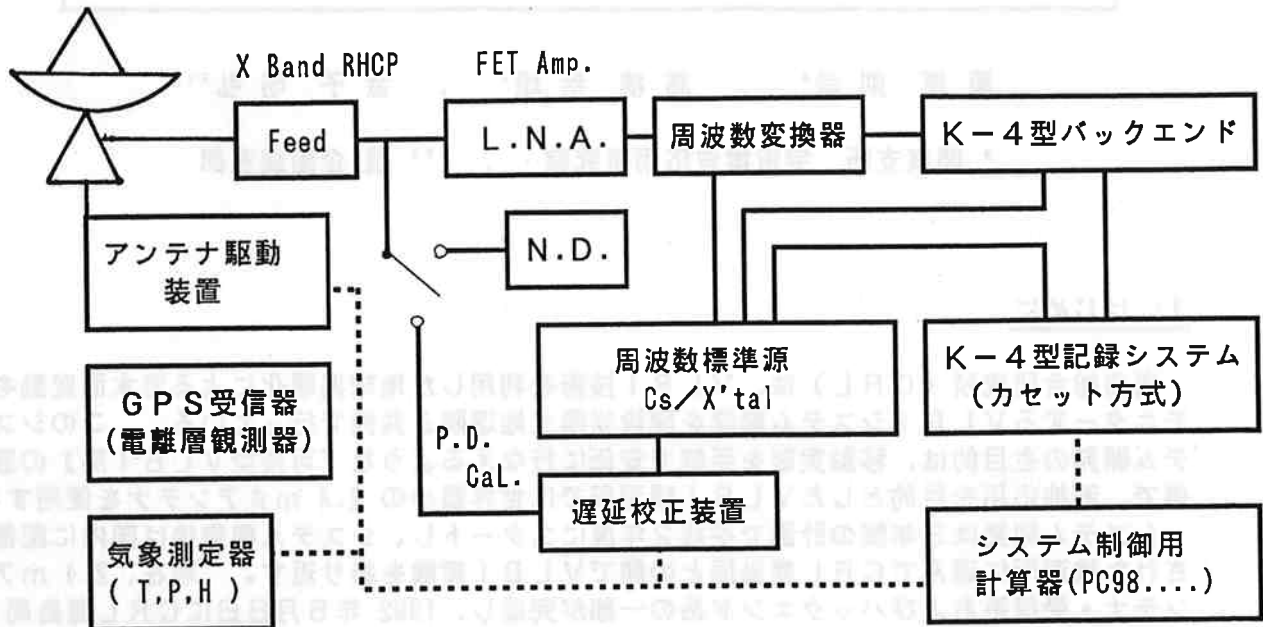
本報告では、システム開発段階での経過報告として、完成した 2.4 m アンテナ・受信系の性能特性について述べる。今報告の特徴は、天体電波源『月』を利用して行った 2.4 m アンテナの開口効率測定で、『新月』・『満月』と観測日を2回に分けて電波源強度が異なるそれぞれの観測で得られた結果を比較している。また、システム雑音温度特性やアンテナ駆動架台の角度オフセット補正に関しても触れる。

## 2. アンテナ・受信系

**使用目的 :** 海水面は全国の検潮所 (国土地理院・気象庁・海上保安庁・運輸省港湾建設局の潮位観測所) で長年観測されている。ここで、本来の目的である『海水面変動』だけを抽出するには、検潮所で直接観測される『海水面情報』に含まれる検潮所付近の『地殻変動分』を正確に取り除く必要がある。即ち、V L B I 技術を利用して『海水面変動』をモニターするには V L B I で得られる位置推定精度 (誤差)、特に鉛直方向の推定精度を正確に評価することが肝要である。将来の海水面変動の見通しや地殻変動の評価 etc についての詳細は他に譲るが、高橋 他の文献<sup>(1)</sup>によれば、開口直径 2 m 程度のアンテナと 34 m クラスのアンテナとの間で通常の V L B I 実験を行った際の鉛直方向の位置推定精度は 2 cm 程度と報告され、5年間継続するれば『海水面変動』がモニターできる、言い換えればこうした V L B I による海水面変動モニターには最低 2 m 程度のアンテナが必要であると報告している。

**アンテナ・受信系の概要 :** 『可搬型 V L B I 局』を開発整備するうえで、アンテナ・受信系は大きなウェートを占める。アンテナ開口径が大きい程、位置推定精度は向上することは前述した。さらに開口径については他の要因も考慮しなければならない。即ち、道路輸送を行なう場合の道路交通法の制限・荷物搬出入や建設時の重機の調達・再組立の容易性・性能の維持・実験経費 etc も重要である。こうした背景の中で、『可搬型 V L B I 局』で必要とする機能性能については、CRL 鹿島 34 m 局を観測相手局として

行なうことを想定して定めた。その結果、『可搬型VLBI局』のアンテナ開口直径 2.4 mで受信周波数帯は X Band 1波とした。また、位置推定精度を向上させるために、アンテナの開口効率 は 50 % 以上でシステム雑音温度は 120 K を目標値とした。『可搬型VLBI局』のハードウェアの構成を第1図、構成する装置の概要を第1表に示す。



第1図 『可搬型VLBI局』のハードウェア構成ブロック図

第1表 『可搬型VLBI局』ハードウェア構成装置の概要

装置	備 考
アンテナ	開口直径 2.4 m、 X (8 GHz) バンド AZ/EL カセグレンタイプ、開口効率 50 %
受信系	X Band 常温 FET 低雑音増幅器 ( $T_{sys} = 120 K$ )
バックエンド	K-4 タイプ
データ記録系	K-4 タイプ (カセット方式)
周波数標準源	Cs/X'tal 結合方式 または 小型可搬型メーザ
局内遅延補正	遅延校正器 (P/D Cal.) 利用
電離層補正	GPS 利用による全電子数測定装置の利用
駆動系	速度 1.5 deg/sec、角度検出器の分解能 0.1 deg.
プログラム追尾	パソコン (PC 98シリーズ) 利用

### 3. 天体電波源を利用した特性測定

『可搬型VLBI局』は、全国の検潮所に移動 (設) して実験を行なう。従って、全ての機器 (装置) はトラック等の車両で運ばれるが、移動先でのハードウェアの性能が確保されているか否か、評価確認する必要がある。雨谷 他の報告によれば<sup>(2)</sup> バックエンド系については CRL 3m 小型局による豊富な使用実績 (経験) が有り、移動先でのトラブル発生 の確立は低い。しかし、2.4 m アンテナ・受信系については初期性能を正確に

把握することや、今後の移動運用を意識した特性測定が必要であった。

**a. アンテナ開口効率測定 :**

移動先でのアンテナ設置や再組立後の性能試験にも役立つことを目的とした、天体電波源『月』を利用した 2.4 m アンテナ特性測定を実施した。この特性測定は、現在設置されている建設省国土地理院（筑波）に出向いて実施した。栗原 他は、天体電波源として『月』を利用した小型アンテナの特性測定<sup>(3)</sup>を報告している。この方法では、天体電波源『月』の電波放射強度と、被測定アンテナが受信した『月』の寄与による観測雑音温度上昇分から被測定アンテナの開口効率が算出できる。

ここで、『月』の電波放射強度 (Flux Density) は D.F.Wait の論文<sup>(4)</sup> から、

$$S = 7.349 \cdot f^2 \cdot T_b \cdot d_m^2 \quad (\text{Jy})$$

Jy;  $10^{-26} \text{ W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$

f; 周波数 (GHz)

$T_b$ ; 月の輝度温度

$d_m$ ; 月の視直径 (deg)

$$T_b = T_{b0} \{ 1 - (T_{b1}/T_{b0}) \cdot \cos(w \cdot t - \xi) \}$$

$T_{b0}$ ; 月の平均輝度温度

t; 月齢 (days)

$\xi$ ; 位相項

$T_{b0}$ ;  $207.7 + 24.43 / f$

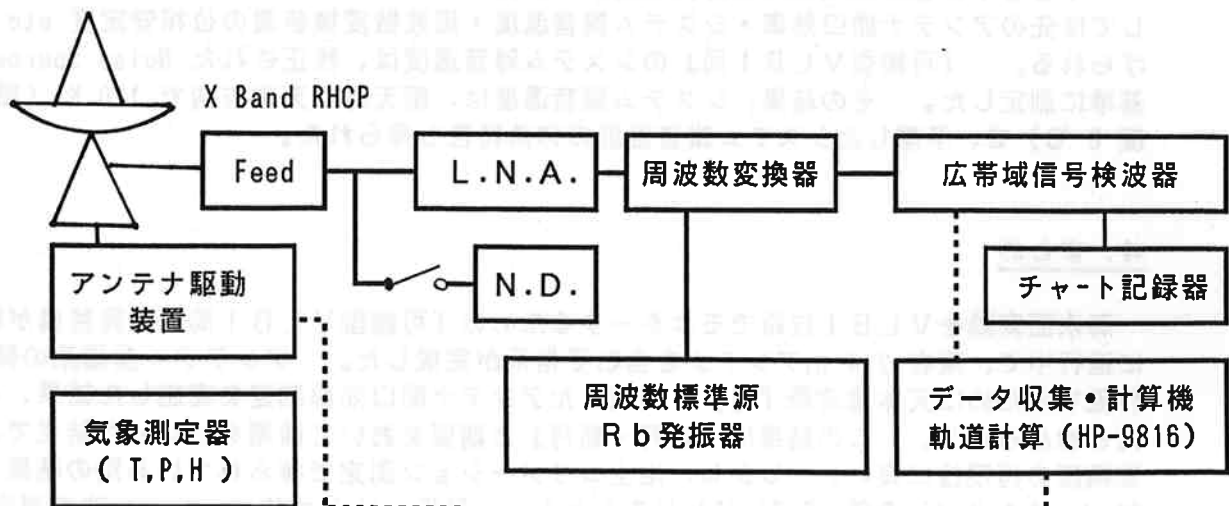
$$T_{b1}/T_{b0} = (0.004212) \cdot f^{1.224}$$

w = 12.19 (deg/day)

$$\xi = 43.83 \text{ deg} / (1 + 0.0109 \cdot f)$$

と求められる。

一方、『月』の寄与による観測雑音温度は、方向性結合器経由で注入する標準雑音温度源 (Noise Source) を基準温度として換算できる。第2図に天体電波源『月』を利用した 2.4 m アンテナ開口効率測定ブロック図を示す。今度の『可搬型 V L B I 局』用 2.4 m アンテナについては、『満月』・『新月』の2つの時期の観測結果を得ている。次ページ第2表に 2.4 m アンテナで観測された観測雑音温度実測値、天体電波源『月』観測で得られた 2.4 m アンテナ開口効率測定結果を第3表に示す。



第2図 天体電波源『月』観測時の測定系ブロック図

第2表 2.4 mアンテナによる『月』観測で得られた観測雑音温度

観測日	月齢 (days)	視直径 (deg)	電波放射強度 ( Jy )	観測理想温度 ( K )	観測実測温度 ( K , 観測数)
19 Dec.1991	13.3	0.544	33,198	54.4	19.9 (3)
4 Feb.1992	0.4	0.491	25,061	41.1	14.4 (5)
5 Feb.1992	1.4	0.493	25,069	41.1	15.2 (5)

第3表 天体電波源『月』観測で得られた 2.4 mアンテナの開口効率

観測日	補正係数	大気補正	開口効率
12月19日(満月)	0.889	4%	45%
2月4日(新月)	0.908	4%	43%
2月5日(新月)	0.908	4%	45%
広がりおよび大気補正後のアンテナ開口効率(平均値)			44%

b. アンテナ設置角度補正 :

『可搬型VLBI局』の移動先となる検潮所では、2.4 mアンテナの角度検出装置の分解能に匹敵する位置情報(真北・水平方向)が得られる保証は無い。また、2.4 mアンテナ架台の機械軸とアンテナビーム電気軸との『差』も補正しなければならない。そこで、十分な電波強度を持つ天体電波源『月』を連続追尾観測して、方位角(Az)と仰角(EI)のオフセット角度を求めるソフトウェアを作成した。これにより、移動先でのアンテナ架台の設置誤差が数度程度でも充分補正可能である。現在設置されている国土地理院筑波ではAz角度1.1度、EI角度0.8度のオフセットが判明し、ほぼ全天に渡りこのオフセットは変化しないことが確認できた。

c. システム雑音温度測定 :

VLBIの位置推定精度を評価決定する要素は幾つか有るが、アンテナ・受信系に関しては先のアンテナ開口効率・システム雑音温度・周波数変換装置の位相安定度 etc が挙げられる。『可搬型VLBI局』のシステム雑音温度は、校正されたNoise Sourceを基準に測定した。その結果、システム雑音温度は、晴天時の天頂方向で110 K(環境温度8℃)で、予想したシステム雑音温度の仰角特性も得られた。

4. まとめ

海水面変動をVLBI技術でモニターするための『可搬型VLBI局』開発整備が順調に進行中で、現在2.4 mアンテナを含む受信系が完成した。アンテナ・受信系の特性を評価するために天体電波源『月』を利用したアンテナ開口効率測定を実施した結果、44%と求められた。この結果は『満月・新月』と期間において観測を行なった結果で、測定精度の再現性は良い。しかし、地上コリメーション測定で得られている別の結果55%と約10%の差(0.97 dB)がみられた。最近、地上コリメーション法の測定精度の問題点が提起され、コリメーション法については再度測定する予定である。

システム雑音温度についてはNoise Sourceを温度基準とした測定を行ない、晴天時天

頂方向で 110 (K) が得られた。この値は、『常温ダミー』を温度基準として実施した別の測定結果とほぼ一致した。さらに、仰角特性も測定して VLBI 実験に支障無いことを確認した。

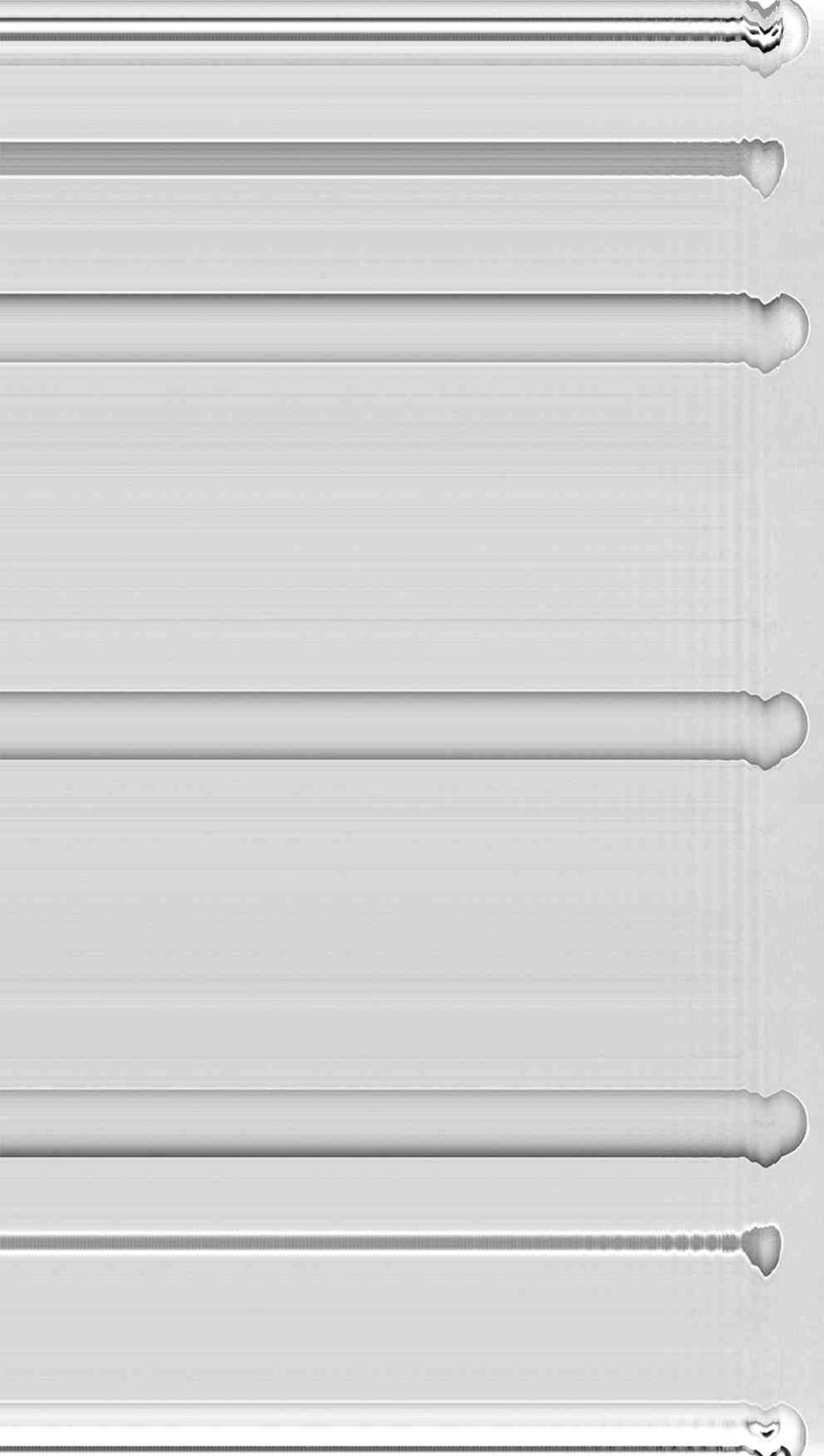
2.4 m アンテナを移動先で設置する場合、設置角度誤差 (角度オフセット) を取り除くソフトウェアを作成した。これにより、VLBI 実験前に天体電波源『月』の確認観測が可能となり、VLBI 実験時のアンテナポインティング誤差の軽減に役立つ。

一連の 2.4 m アンテナ・受信系の特性評価を終えた 5 月 8 日に、国土地理院筑波で電波源『3C84』を追尾観測した。CRL 鹿島 34 m アンテナも同時に観測を行い、『可搬型 VLBI 局』との間で初めてのフリッジを検出し、VLBI 実験への第 1 歩を踏み出した。残されたハードウェアおよび解析関連ソフトウェアの整備を急ぎ、『可搬型 VLBI 局』システムの開発を終え本実験に望みたい。

最後に、『可搬型 VLBI 局』の開発整備を国土地理院側で支える中堀義郎、米沢武次、松阪茂、飛田幹男の各氏、いつも有益な助言を頂く鹿島宇宙通信センター宇宙電波応用研究室の諸氏に感謝する。

## 5. 参考文献

- (1) 高橋幸雄 他、"小型可搬型 2.4 m アンテナを用いた海水面変動モニタシステムの計画概要"、中小口径アンテナシンポジウム集録、国立天文台水沢、12 Mar. 1992.
- (2) J. Amagai et al. "Geodetic Experiments Using the Highly Transportable VLBI Station", J. Commun. Res. Lab., Vol. 37, No. 151/152, Jul./Nov. 1990.
- (3) 栗原則幸 他、"月電波観測による小型アンテナの絶対利得測定"、信学技報 A.P 86-137, Feb. 1987.
- (4) David F. Wait, "Precision Measurement of Antenna System Noise Using Radio Stars", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. IM-32, No. 32, Mar. 1983.



寸法表  
（寸法）

寸法  
（寸法）

寸法  
（寸法）

寸法  
（寸法）

寸法  
（寸法）

寸法  
（寸法）

寸法  
（寸法）