

## II-10 遅延基準用標準受信装置

栗原 則 幸\* 川口 則 幸\* 雨谷 純\*

(昭和59年7月3日受理)

## 1. はじめに

VLBI 観測を行うと、観測局間の相対位置関係が数 cm の精度で決定されると同時に、観測局で使用している時系の同期誤差も 0.1 ナノ秒の高精度で求めることが可能である。しかし、VLBI 観測で得られる実際の遅延観測量には、観測局を結ぶベクトルと電波源の方向ベクトルとの内積で定義される幾何学的遅延時間差の他に、観測局の局内遅延時間差（アンテナ・給電系及び受信系の遅延時間差）と、観測局で使用する時系の同期誤差が含まれている。

測地応用・位置天文を目的とする VLBI 実験では、遅延量の変化から、観測局間の距離や地球回転等の各種物理量の精密測定を行なうので、局内遅延時間差や時系の同期誤差が一定値であれば、データ処理でこれを推定できるので、その絶対値を知る必要がない。しかし、観測期間中に、受信系遅延時間差や時系の同期誤差が不規則に変動すると、幾何学的遅延時間差との分離ができなくなるために、その変動を補正しなければならない。従って、アンテナ・給電系を除く局内遅延時間差、すなわち、受信系の変動を補正するために遅延校正器（詳細は II-8 参照）が用意されている。時系の同期誤差変動については、その変動が一定の傾向を持つために、データ処理過程（詳細は IV-6 参照）で補正できる。

一方、時刻同期を目的とする VLBI 観測の場合には、局内遅延時間差の変動を補正するだけでなく、アンテナ・給電系の遅延時間も知る必要がある。すなわち、各観測局のアンテナ・給電系の遅延時間とその変動及び受信系の遅延時間変動を測定し、時系の同期誤差のみを分離しなければならない。

Otoshi<sup>(1)</sup>らによると、VLBI 観測で大型アンテナを使用する場合には、アンテナの仰角変化に伴いアンテナ機構系に変形 (Deformation) が生じ、それによってアンテナ光学系（詳細は II-2 参照）での遅延時間変動が見られるという報告がなされている。これまで、26m アンテナでは、アンテナ光学系での遅延時間及びその変動の測定がなされていない。

こうした各種の要求を満たすために、VLBI 観測局のアンテナ、給電系での遅延時間及びその変動を主受信系（アンテナ・給電系及び受信系）と組合せて測定する補助的な受信装置、すなわち超小型で容易に移動が可能な Xバンド帯（8GHz帯）の遅延基準用標準受信装置を開発した。

本装置は、主受信系のアンテナとの相対位置関係が明確な場所に据付けられ、通常の VLBI 観測と同様の手法でアンテナ・給電系の遅延時間及びその変動を測定するが、それ以外に4. で述べるような用途にも応用できる。以下に、本装置の構成、各部の機能、性能及び各種観測計画について記述する。

## 2. 構成及び機能

本装置は、単独で VLBI 局受信系を構成することになるので、主受信系と同等の機能を持った各部つまり、アンテナ・給電部、遅延校正信号注入部、低雑音前置増幅部、周波数変換部、局部発振部、増幅部、筐体部、及び電源部より構成される。また、本装置は主受信系と異なり、移動して使用することから構成する各部は全て超小型化が図られている。本装置の構成を第1図に示し、26m アンテナ副反射鏡背面に取付けられた本装置の写真を第2図に示す。以下に各部ごとに機能を記述する。

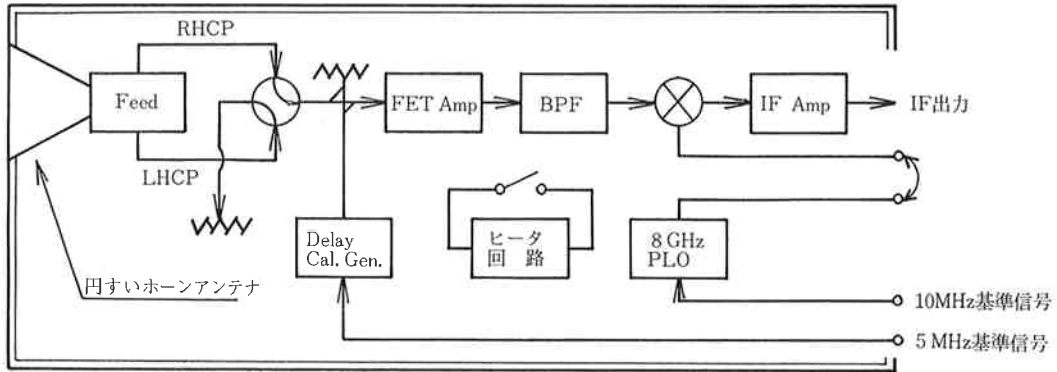
## 2.1 アンテナ・給電部

アンテナは、開口径 23.2 cm の円すいホーンアンテナで給電部 (Feed) は、最新技術の小型で簡易な高性能セプタム型ポライザを採用した。円形セプタム型ポライザは、円形導波管の中に隔壁を設け、この形状を最適調整することによって高軸比の円偏波給電を可能にする。このポライザを直接 Magic T タイプの偏分波器及び先のホーンアンテナと組合せることによって、アンテナ・給電部は、非常にコンパクトにすることができた。

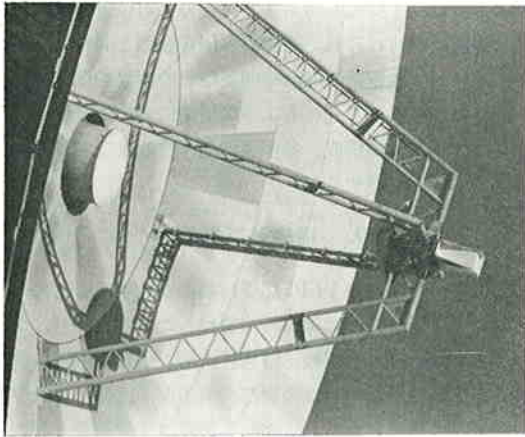
また、偏波分離された右旋円偏波 (RHCP) と左旋円偏波 (LHCP) は、電動式導波管切換器の制御電圧を ON/OFF することによって、どちらか一方の円偏波が選択される。この受信偏波切換制御は、電源部フロントパネルのスイッチ操作によって行なわれる。

## 2.2 遅延校正信号注入部

\* 鹿島支所 第三宇宙通信研究室



第1図 遅延基準用標準受信装置構成図



(26mアンテナ副反射鏡背面に取付けられている)

第2図 遅延基準用標準受信装置

遅延校正信号注入部は、遅延校正信号発生器 (Delay Cal. Gen.) と方向性結合器からなる。遅延校正信号(詳細は II-8 参照)は、受信系や信号ケーブル等の遅延時間の変動及び遅延決定精度の向上を図るバンド幅合成(詳細は III-5 参照)を行なう際に必要な信号である。この信号は、遅延校正信号発生器内の SRD(Step Recovery Diode) を使用して作られるパルス信号で、水素メーザ基準信号に位相同期した繰返し周波数 5 MHz の極めて幅の狭い信号である。このパルス列は、最適レベルに設定し、20 dB の結合度を持つ方向性結合器で、Xバンド帯 RF 信号に重畳される。

また、本装置前置増幅部以降の受信系の試験を行なうために、Xバンド帯高周波信号、あるいは、ノイズダイオードを取付け、ノイズを注入することも可能である。

### 2.3 低雑音前置増幅部

低雑音前置増幅部は、入力アイソレータ付き常温 FET 増幅器 (FET Amp) で、Xバンドの周波数帯域 (8180 ~ 8600 MHz) で、約 35 dB の利得を持ち、受信機雑音

温度は、188Kである。この周波数帯域は、主受信系(詳細は II-4 参照) Xバンド1系と完全に一致し、Xバンド2系とも共通である。

### 2.4 周波数変換部

周波数変換部は、バンドパスフィルタ (BPF) (8180 ~ 8600 MHz) とミキサにより構成される。フィルタの入出力端には、アイソレータが挿入され、VSWR の改善を図っている。ミキサは、広帯域バランスドミキサ方式により低変換損失を実現し、100~520 MHz の IF 帯に周波数変換する。この IF 信号周波数帯域は、主受信系の Xバンド1系と完全に一致し、バックエンド系(詳細は II-5)に出力することが可能である。

### 2.5 局部発振部

周波数変換部で必要とする局部発振信号(8 GHz PLO)は、高い安定度が要求されるために、フェーズロックドオシレータ (PLO) を使用し、水素メーザの 10MHz 基準信号と位相同期している。PLO の発振周波数は、7760 ~ 8400 MHz 間で、10 MHz ステップで設定することが可能であるが、通常 8080 MHz に設定されている。また、局部発振信号は、筐体部のパネル面でモニタすることができる。

### 2.6 IF 増幅部

周波数変換部からの IF 信号 (100~520 MHz) は、約 71 dB の利得を持つ広帯域増幅器 (IF Amp) で電力増幅される。この増幅器の入力端で、固定パッドを用いて IF 増幅器の入力レベルを調整することにより、IF 増幅器の動作点を最適に調整できる。

### 2.7 筐体部

本装置の電源部を除く全てを格納し、降雨時でも支障なく運用できるように防水密封されている。また、26m アンテナ副反射鏡及び別途開発された水蒸気ラジオメータ(詳細は II-11 参照)マウント部にも取付け可能である。

前面は、アンテナ開口面、裏面は、各種入出力接栓が配置され、各種信号及び制御信号が電源部とインタフェースされている。筐体内部は、温度変化に伴う各部の動作変動（特に8GHz帯 PLO）を防ぐために、簡易なヒータ回路を設け、温度制御も行なっている。

2.8 電源部

電源部は、筐体内に格納された各部の動作に必要な、直流電圧3系統とヒータ用100Vを供給する。また、受信偏波の切換操作が前面パネルスイッチで行なうことが

第1表 主要性能

1 アンテナ・給電部	
(1) 受信周波数帯域	8180~8600MHz
(2) アンテナ利得	22.5dB (偏分波器損失を含む)
(3) アンテナビーム幅	12° (-3dB)
(4) 左・右円偏波分離度	28dB
(5) 偏分波器出力定在波比	1.2
2 遅延校正信号注入部	
(1) 方向性結合器	結合度 20.2dB 挿入損失 0.1dB
(2) 位相基準周波数	5MHz
(3) 位相基準入力信号レベル	+26dBm
3 低雑音前置増幅部	
(1) 周波数帯域	8180~8600MHz
(2) 受信機雑音温度	188K
(3) 利得	35dB 標準
(4) 最大入力レベル	-10dBm
4 周波数変換部(入力 B.P.F)	
(1) 通過周波数帯域	8169~8611MHz (-3dB)
(2) 信号周波数帯域	8210~8570MHz (-0.3dB)
(3) 帯域内リップル	±0.3dB 以内
(4) 帯域内遅延偏差	±4ナノ秒以下
(5) 帯域外減衰量	400MHz 離調で 40dB
4' 周波数変換部(ミキサ部)	
(1) 入力周波数	8180~8600MHz
(2) 出力周波数	100~520MHz
(3) 変換損失	5dB 以下
(4) L-R アイソレーション	45dB
5 局部発振部	
(1) 出力周波数	通常8080MHz
(2) 出力レベル	+20dBm
(3) 位相基準周波数	10MHz
(4) 位相基準入力信号レベル	-3~+3dBm
6 IF 増幅部	
(1) IF 周波数	100~520MHz
(2) 利得	71dB
(3) 最大出力レベル	+16dBm

できる。

3. 性能

本装置の主要性能を第1表に示す。これらの性能をもとに、本装置と26m主受信系との間でVLBI観測を実施した場合の相関検出感度、遅延決定係数、所要電波源強度を算出する。

「相関検出感度」とは、 $1Jy (=10^{-26} Wm^{-2} Hz^{-1})$  の強度を持つ電波源の観測から得られる相関振幅、「遅延決定係数」とは、 $1Jy$  の強度を持つ電波源の観測で達成できる遅延の決定精度、「所要電波源強度」とは K-3 型 VLBI システムの目標精度である 0.1 ナノ秒で遅延を決定するために必要な最小電波源強度をそれぞれ意味する。これらの諸量を求める算出式は、II-1 を参照して頂きたい。

ここで得られた性能及び II-2 で与えられている 26m アンテナの特性並びに II-4 で求められている 26m 主受信系のデータ（まとめて、第2表に示す。）を用いると、以下のように相関検出感度等に関する諸量が求められる。

第2表 26m主受信系・遅延基準用標準受信装置の特性及び観測パラメータ

	26m主受信系	遅延基準用標準受信装置
アンテナ開口径	26m	0.232m
アンテナ開口効率	53%	42.8%
システム雑音温度	100K	210K
コヒーレンスロス*		0.5*
積分時間		360秒
観測モード**		モードC**

(注) \*;本特集号 II-1 参照, \*\*;本特集号 II-5 参照

相関検出感度 =  $2.6 \times 10^{-4}$  (%/Jy)  
 遅延決定係数 = 4090 (psec. Jy)  
 所要電波源強度 = 40.9 (Jy)

従って、電波源強度の強い Tau-A (563.4Jy), Cas-A (514.2Jy) 等を電波源として使用すれば、0.1 ナノ秒の遅延決定精度が十分得られる。本装置と主受信系は、基線長ゼロの干渉計 (ZBI; Zero Baseline Interferometry) となることから、上記 Tau-A, Cas-A のような強力な電波源であるが、拡がりを持っているものでも分解することなく使用できるので、4. で述べる観測計画を実施するにあたって、本装置は十分な性能を持っていると結論できる。

4. 観測計画

本装置開発の主目的は、VLBI 観測局で使用している主受信系の遅延時間差を取り除き、時系の同期誤差を分離することであったが、その他の観測にも応用できる。以下に、計画されている観測項目をあげ、その概要を記述する。

#### 4.1 アンテナ・給電系の遅延測定

現在、本装置は26mアンテナ副反射鏡背面に取付けられているため、主受信系のAZ・EL 駆動軸と同じ軸上で駆動される。また、本装置と主受信系には、共通の基準周波数源、すなわち水素メーザ基準信号に位同期した局部発振信号及び遅延校正信号を供給することができる。

従って、本装置と主受信系との間で、VLBI 観測と同様の手法で遅延差を決定すれば、本装置と主受信系アンテナとの間の相対位置関係が既知(26mアンテナ構造図より算出済み)であるために、主受信系のアンテナ・給電系の遅延時間が実測できる。

本装置は容易に移動できることから、本装置を他のVLBI 観測局へ移動して同様の測定を行えば、本装置を「ものさし」として、VLBI 観測局主受信系の遅延時間差が求められ、VLBI 観測で観測される時系の同期誤差のみが分離できる。

#### 4.2 アンテナ遅延変動測定

大型カセグレンアンテナのアンテナ遅延(光学遅延)時間は、EL 角度変化に伴って変動すると報告<sup>(1)</sup>されている。この遅延変動は、アンテナ機構系の変形や、副反射鏡の位置が変位することにより発生する。文献(1)によると、カリフォルニア州ゴールドストーン局の64mアンテナの場合、距離に換算したアンテナ遅延変動は、主反射鏡と副反射鏡との間の距離の変化量の1.8倍に $\pm 3$ cmの周期的な変動が重畳された値になると報告されている。このような、EL 角度に依存するアンテナ遅延変動が26mアンテナにも発生すれば、K-3型 VLBI システムの遅延決定精度0.1ナノ秒に対し、無視できない値となる。従って、EL 角度変化に伴う26mアンテナのアンテナ遅延変動の有無を検証する必要がある。

そこで、本装置を4.1と同様に主受信系と組合せて、EL 角度を変えながら、VLBI 観測を行ない、遅延差の変化を検出する。

#### 4.3 ホログラフィを用いたアンテナ特性測定

アンテナの鏡面精度測定法として、電波ホログラフィ技術を用いた測定法<sup>(2)</sup>が報告されている。この技術では、被測定アンテナに、もう1台の基準となるビーム幅の広いアンテナを取付ける。それぞれの受信系には、位同期したローカル信号を供給して、AZ・EL 方向にアンテナを掃引しながら電波源(点波源)からの信号を受

信する。この2台の受信系で受信した信号の相関を取り、画像処理することによって被測定アンテナ鏡面の精度(構造)を知ることができる。本装置は、この基準アンテナとしても使用できる。

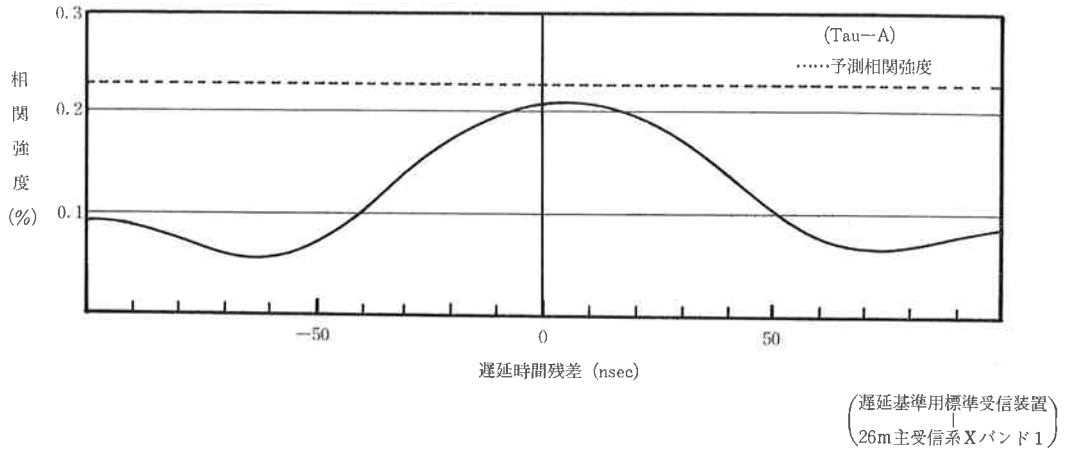
#### 4.4 アンテナの交差偏波特性の測定

同一周波数の2つの直交する交差偏波成分を同時に使って情報を伝送する、いわゆる直交偏波共用通信が実用に供されるようになって、交差偏波識別度の優れたアンテナに対する需要が高まってきた。これに対して高交差偏波識別度を達成するためのアンテナ製造技術は急速に向上したが、完成されたアンテナの交差偏波特性測定技術の方は確立されたとは言えないのが現状である。現在、様々な測定法が提案されているが、優れた測定法の一つに VLBI 技術を応用した相関による交差偏波特性測定法があげられる。この方法は、ある基準となるアンテナ系から出力される2つの偏波成分と、被測定アンテナ系から出力される2つの偏波成分間の4つの相関測定結果から被測定アンテナの交差偏波成分を求めるもので、相関検出技術には、VLBI で培われたものがそのまま使える。また、観測対象に自然の電波放射源、電波星を使用すれば、コリメーション用送信設備は不用で、かつ任意の仰角におけるアンテナ交差偏波特性が測定できる。特に衛星通信用アンテナなど高仰角でも使用が予想されるものについては、重力による主反射鏡の変形等で地上コリメーション方向で測定されたものと交差偏波特性が大きく異なる事が考えられる。

本装置は、この相関によるアンテナ交差偏波測定用基準アンテナとしても最適で、これを使って26mアンテナの交差偏波特性の測定が計画されている。交差偏波識別度の劣化は、VLBI におけるコヒーレンスファクタ(詳細は II-1 参照)の低下にもつながるので、本測定方法の確立は、単に直交偏波共用通信の基礎測定技術にとどまらず重要なものと考えている。

## 5. あとがき

本装置の完成後、各部の機能、性能を確認し本装置を26mアンテナ副反射鏡背面に取付けた。1984年1月に、ホーンアンテナ前面のホーンカバー(テフロンシート)が鳥により破られ本装置内部に雨水が浸水するというアクシデントが発生した。その後、修復不可能な部品は交換、ホーンカバーは強化プラスチックに変更して26mアンテナ副反射鏡背面に再設置した。現在、先の観測計画4.1で示した主受信系の遅延時間を測定すべく観測を開始し、電波源として、Tau-A を選び、本装置と主受信系との間で相関が検出でき、ほぼ予想された相関強度が得られている。遅延時間を粗決定した際のサーチ関数



第3図 粗決定サーチ関数列

(詳細は III-5 参照) を第3図に示す. 次のステップとして, バンド幅合成を行ない, アンテナ・給電系の遅延時間を高精度に求める作業を現在進めている.

最後に, 本装置の開発にあたり, 常に暖い御指導と御助言をいただきました第三宇宙通信研究室の河野室長をはじめとする室員諸氏に深く感謝いたします.

参 考 文 献

(1) Otoshi, T. Y., Young, L. E., "An Experimental

Investigation of the Changes of VLBI Time Delays Due to Antenna Structural Deformation", TDA Progress Report 42-68, January and February 1982.

(2) Charles E. Mayer, John H. Davis, William L. Peters, III, and Wolfhard J. Vogel, "A Holographic Surface Measurement of the Texas 4.9-m Antenna at 86 GHz", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-32, No. 1, pp. 102-109, MARCH 1983.

