

II-4 フロントエンド

雨谷 純* 川口 則幸*

(昭和59年7月3日受理)

1. 概要

フロントエンドは、VLBI 観測用の Xバンド、Sバンド、偏波測定や超広帯域受信、零ベースライン相関実験等に用いられるもう一つの Xバンドの三つの受信系と、それら受信系のシステム雑音温度やシステム遅延時間の校正機器等で構成される。

本装置は 26 m アンテナ受信器室に設けられた入力立体回路系、前置増幅部、周波数変換部、局部発振部及び VLBI 庁舎内に設けられたフロントエンド状態表示盤から成り立ち、2200~2320 MHz の Sバンド、8180~8600 MHz と 7860~8280 MHz の二つの Xバンド (それぞれ Xバンド 1、Xバンド 2 と呼ぶ) の各信号を増幅、それぞれ 180~300 MHz、100~520 MHz、100~520 MHz の IF 帯に周波数変換する。変換された IF 帯信号は約

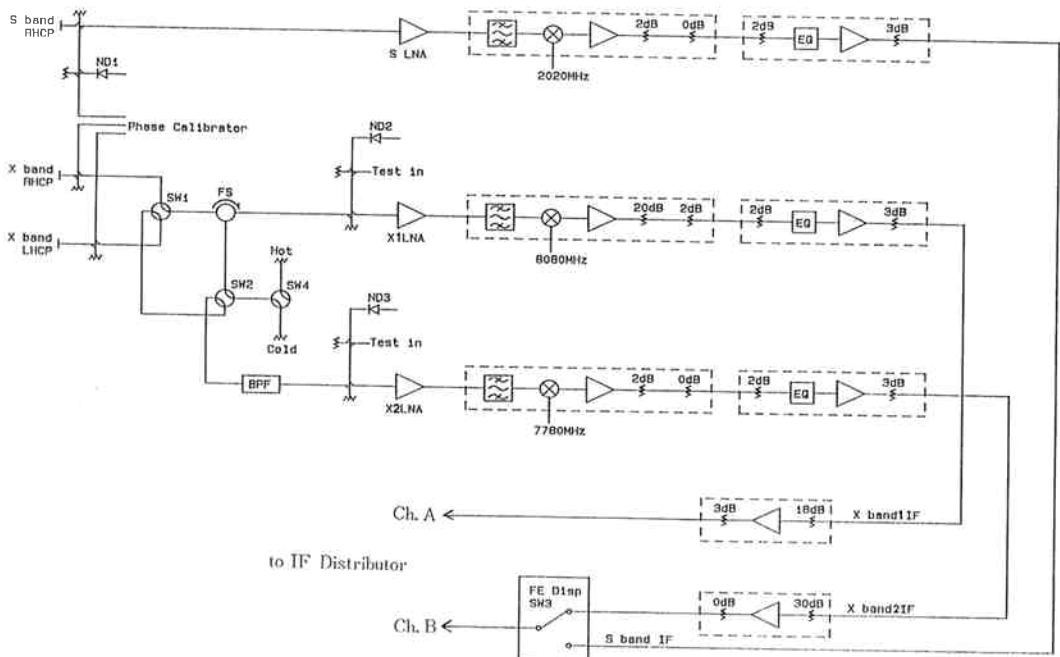
100 m のケーブルを通して、VLBI 庁舎に送られる。VLBI 庁舎にはフロントエンド状態表示盤がありフロントエンドの状態を庁舎内で制御、監視できる。また、IEEE-488 バスを用いホスト計算機からの指令により自動運用することが可能である。

周波数変換に必要なローカル信号は、PLO を用い水素メーザーの出力である 10 MHz の信号に位相同期させている。

フロントエンド部の信号経路を第 1 図に示す。

2. 入力立体回路系と前置増幅部

本部は主に三つの受信系と、システム雑音温度やシステム遅延時間等の校正機器とから構成されている。Sバンド系は、FET 増幅器を有しており、2200 MHz から 2320 MHz までの Sバンド帯の受信を行うことができ



第1図 フロントエンド信号経路

* 鹿島支所 第三宇宙通信研究室

第1表 入力立体回路系と前置増幅部の主要諸元

	X バンド 1	X バンド 2	S バンド
周波数帯域	8180~8600MHz	7860~8280MHz	2200~2320MHz
受信機利得	56.5dB	37.8dB	42.5dB
受信機雑音温度	64.1K	201.2K	96.4K
ND付加雑音温度	120.7K	184.7K	111.6K
遅延校正器内 ND付加雑音温度	8.63K	8.85K	—

通常のルートにした時の、中心周波数での値。
 受信機雑音温度については、一部入力導波管部のロスを含む。
 ND付加雑音温度はすべて受信器入力端換算値。

る。

Xバンド1系は、広帯域低雑音パラメトリック増幅器を有しており、8180 MHz から 8600 MHz までの X バンド帯の受信を行うことができる。

Xバンド2系は、FET による簡易な前置増幅器を有しており、7860 MHz から 8280 MHz までの X バンド帯の受信を行うことができる。Xバンド1系とXバンド2系は8180 MHz から8280 MHz の周波数範囲で共通の受信帯域を有している。

これら受信系の主要な電気的特性を第1表に示す。

入力立体回路系には以上の3つの受信系統以外にシステムチェック並びに実験用に様々な装置を組み込んでいる。

まず導波管スイッチ SW1 を切り換えることにより、Xバンド1系では右旋円偏波 (RHCP) と左旋円偏波 (LHCP) を選択して受信できるようになっており、この時Xバンド2系ではその逆の偏波成分を受信する。無偏波到来波を受信した時、このXバンド1系とXバンド2系はそれぞれ直交する2偏波を受信することになるので受信波間には相関がないはずであるが、もし相関があるとすればそれはアンテナ・給電系総合の交差偏波識別度 (XPD) の劣化を表している。したがって (II-5) で述べるバックエンド機器を用いて両チャンネル間の相互相関をとり、コヒーレンスを求めれば、XPD の測定を行うことができる。

また、給電部出力端で共通の雑音源からの雑音を注入すればバックエンド機器のシステムチェック、100MHz帯域でのバンド幅合成シミュレーション実験等を行うことができる。この際の雑音源としては、遅延校正器内のノイズダイオードを使用する。

導波管スイッチ SW2 を第1図に示すようにセットし、フェライトスイッチ (FS) を同図の逆側に設定する

と、Xバンド1系にはホット/コールドロードが接続されることになり、受信系の雑音温度の較正がおこなえる。コールド・ロード雑音温度はXバンド1前置増幅器の入力端で較正してある。また、SW4 出力端でも較正してあるので、SW4 から切り離してホット/コールド・ロード単体で使うことも可能である。

また、フェライトスイッチを切り換えることによってアンテナ雑音温度を求めることができる。このようにしてシステム雑音温度を正確に較正することは、日米間ベースラインによる電波星のコヒーレントフラックスの絶対値を求める時に是非とも必要となるものである。第1図の状態フェライトスイッチを連続的に切り換えればデイク型のラジオメータにもなり、この時のバランス用雑音源は先の遅延校正器内のノイズダイオードを兼用する。

導波管スイッチ SW2 とフェライトスイッチを第1図に示す方向と逆方向になるようにセットすれば、バンドパスフィルタのカットオフ周波数 (8280 MHz) 以下の周波数帯域は、Xバンド2系に、カットオフ周波数以上の8280 MHz~8600 MHz までの信号はXバンド1系にそれぞれ周波数分波することができる。この機能は、将来の複数受信機間のバンド幅合成の予備実験、受信機帯域幅の制限を越えた超高帯域バンド幅合成等の開発のために用いられる。受信周波数を広帯域化することにより、小口径アンテナでも充分な相関強度が得られるようになるため将来の可搬 VLBI ターミナルにも利用することが可能である。

バンドパスフィルタはストレート導波管と交換可能で、Xバンド2系の周波数変換部の入力バンドパスフィルタの周波数帯域をXバンド1系と共通の物に換え、ローカル周波数を8080 MHz にすることにより8180MHz~8600 MHz のバンド幅合成も行えるようになってい

る。

その他 ND 1, ND 2, ND 3 はシステムノイズの連続監視を行うシステムノイズモニタの付加雑音源として用いられる。またテストインプット端子は様々なシステム試験用（受信系の周波数特性測定等）に用いられる。

システム遅延時間校正装置は、受信系の遅延周波数特性に基づきバンド幅合成チャンネル間の位相の違いを補正するためのもので、フリンジフェーズの基準を提供する。(II-8 参照)

3. 周波数変換部

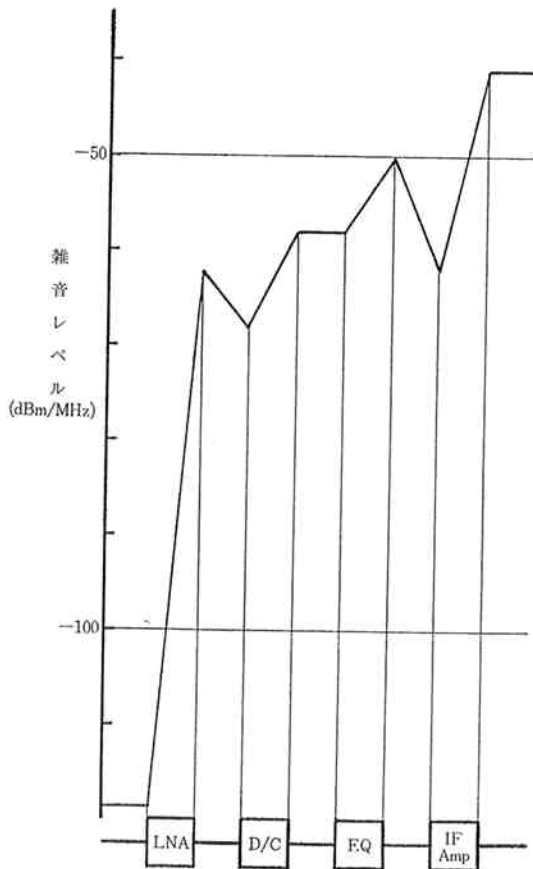
前置増幅部より送られてきた各信号は、まずバンドパスフィルタを通る。バンドパスフィルタは5段のチェビシェフ型を用いている。BPF で帯域制限された各周波数帯はショットキーバリア・ダイオードを用いたダブル

バランスミキサで IF 帯に周波数変換される。

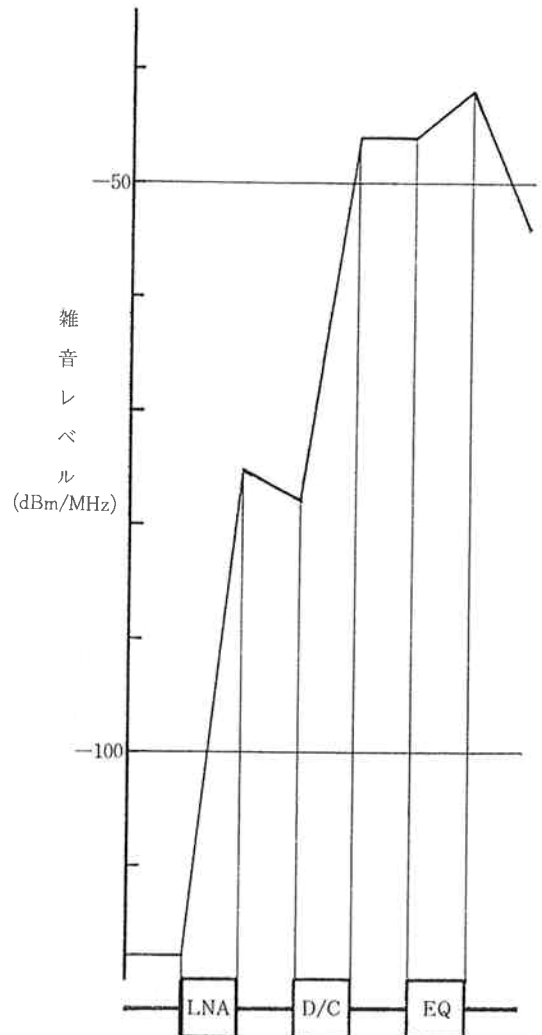
変換された信号は増幅され、ラインイコライザで約 100m のケーブル損失特性を補正した後、VLBI 庁舎へ送られる。3 台のラインイコライザは全く同じ等化特性を持っている。この等化器はトランジスタのエミッタ帰還回路に同軸ケーブルの減衰特性と等しくなる CR 回路網を構成して、ケーブルの減衰と逆の周波数特性を得ている。

VLBI 庁舎に送られた IF 信号は、再び IF アンプで増幅され、IF 分配器におくられる。IF 分配器の入力は 2 系統しかないので、S バンド系と X バンド 2 系はフロントエンド状態表示盤内の同軸スイッチで選択するようにしてある。

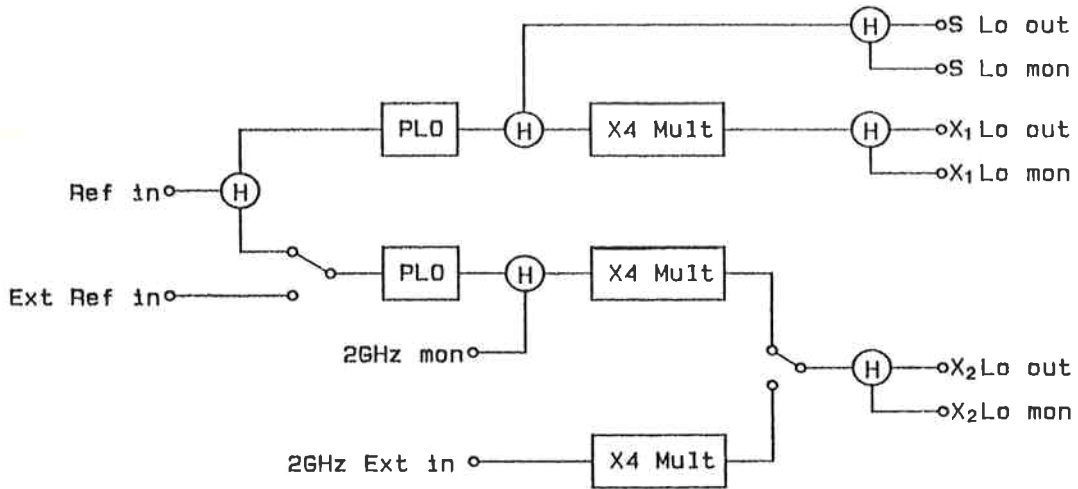
第 2 図に通常の VLBI 測定の際のレベル・ダイアグラムを示す。



第 2 図 (a) Xバンド 1 レベル・ダイアグラム



(b) Sバンドレベル・ダイアグラム



第3図 局 部 発 振 部 の 構 成

種々の観測に対応できるように周波数変換部の各段には置換可能な減衰器が挿入されていて、レベルダイヤの調整が容易にできるようになっている。なお、太陽輝度温度測定等、入力雑音温度の極めて高い時には IF アンプの飽和防止のため、IF アンプの入力にも減衰器を入れる必要がある。

4. 局 部 発 振 部

局部発振部の構成を第3図に示す。

局部発振部は 2 GHz 帯の PLO 2 台を有している。PLO は 10 MHz の基準信号を、まず 2 通倍し、その後 90~116 倍の可変通倍器により 2GHz 帯の信号に変換している。PLO により作り出された 2GHz 帯の信号は 3 台の 4 通倍器により必要に応じて 8GHz 帯の信号に変換される。従って、2GHz 帯では 20 MHz ステップ、8GHz 帯では 80 MHz ステップで周波数を変えることができる。

通常、ローカル周波数は、Xバンド 1 系、8080 MHz、Sバンド系、2020 MHz、Xバンド 2 系、7760 MHz に選ばれる。

2 台の PLO 発信周波数は、それぞれ 2020 MHz、1940 MHz に設定される。2020 MHz の信号は 2 分配され、一つはそのまま S バンド系の局部発振源として用いられ、もう一方は 4 通倍され X バンド 1 系の局部発振源になる。1940 MHz の信号は、もう 1 台の 4 通倍器で 7760 MHz に変換され X バンド 2 系のローカル源として使う。

X バンド 2 系用の発振回路は、局部発振盤前面の U リンクの接続変更によって、他の外部 10 MHz 基準信号あるいは外部 2GHz 信号を原振とすることができる。これは X バンド 1-X バンド 2 を使った独立ローカル実

験 (VLBI シミュレーション) を行うため、2 台の水素メーザからの基準信号をそれぞれ X バンド 1-X バンド 2 の周波数変換部、ビデオ変換器に加えることにより、完全に独立なローカルの実験を行うことができる。また、外部 2GHz をシンセサイザ等で数 kHz シフトさせれば、フリッジ・ローテーション (t_{θ}) を人為的に発生させることができる。

次にローカル発振器の位相雑音による影響について述べる。VLBI で得られる相互相関スペクトル $S_{12}(\omega)$ は、フリッジ・ストップングを施しても、2 局のローカルの位相変動 $\phi(t) = \phi_1(t) - \phi_2(t)$ を受け時間 t に依存し

$$S_{12}(\omega) = S_{12}(\omega, t) = S'_{12} \times \exp(j\phi(t))$$

となり、 $S_{12}(\omega)$ を時間積分すると、 $\phi(t) = \text{const.}$ の場合に比べ $S_{12}(\omega)$ の値が

$$A(T) = \langle |1/T \int_0^T \exp(j\phi(t)) dt|^2 \rangle$$

だけ低下する⁽¹⁾。ここで T は相関積分の際のパラメータ・ピリオド (III-2 参照)、 $\langle \rangle$ はアンサンブル平均を示す。

$\phi(t)$ は平均値 0、1 秒平均のアラン分散 $\sigma_p^2(t)$ の白色位相ガウス雑音であると考え、上式より

$$A(T) = \exp(-\omega^2 \sigma_p^2(T)/3) \dots\dots(1)$$

となる。

一方、干渉計の S/N (コヒーレントな雑音とインコヒーレントな雑音の比) から、相互相関係数 ρ_0 は、

$$\rho_0 = \sqrt{\frac{S_{n1} \cdot S_{n2}}{(T_{n1} + S_{n1})(T_{n2} + S_{n2})}} \dots\dots(2)$$

S_{n1} ; 受信系 1 に入るコヒーレント雑音

S_{n2} ; 受信系 2 に入るコヒーレント雑音

T_{n1} ; 受信系 1 に入るインコヒーレント雑音

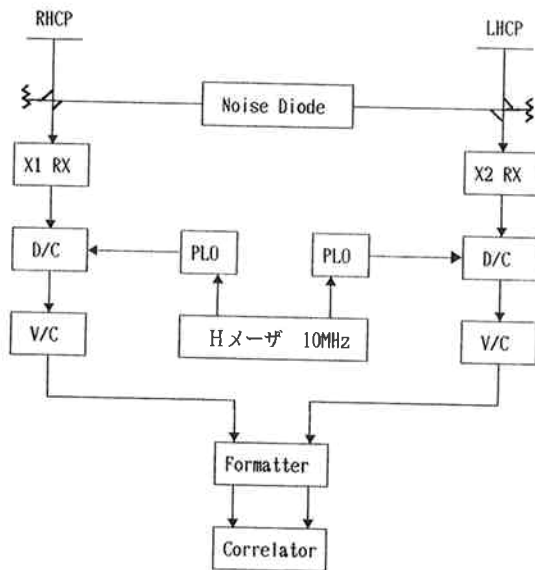
T_{n2} ; 受信系 2 に入るインコヒーレント雑音

で与えられる。

第4図に示すような測定系を用い S_n , T_n , 相関器で得られる相互相関係数 ρ_1 を測定した。コヒーレントな雑音源として遅延較正器内のノイズ・ダイオードを、インコヒーレントな雑音源としては右旋, 左旋円偏波の天空雑音をそれぞれXバンド1, Xバンド2に用いている。その結果 S_n , T_n より求められる相互相関係数 ρ_0 に比して, 相関器から得られた相互相関係数 ρ_1 は,

$$\rho_1/\rho_0=0.821$$

となり, 受信系を通過することにより 17.9% コヒーレンスが低下することがわかった。II-5 で述べるようにバックエンドでのコヒーレンス・ロスは約3%なのでフロントエンドでのコヒーレンス・ロスは約15%と見積もられる。従って, (1)式より $\sigma_\phi = \omega \sigma_p$ として σ_ϕ は約 40° と計算される。



第4図 コヒーレンス・ロス測定系

5. フロントエンドの制御

フロントエンドの制御は, 受信機室のフロントエンド制御盤, または VLBI 庁舎内のフロントエンド状態表示盤上の押しボタンスイッチによるローカル制御と IEEE-488 バスによるリモート制御の二つがある。

各制御の切換えは各盤上のリモート/ローカル切換えスイッチにより行う。各制御の優先順位は, フロントエンド制御盤のローカル制御が一番高く, 次にフロントエンド状態表示盤のローカル制御, リモート制御の順としている。

受信機室のフロントエンド制御盤でのローカル制御は SW 1, SW 2, SW 4 および FS の切換えが行える。主

に, ホット/コールドロードの切換えによる受信機雑音温度の校正を行う際に使用する。

フロントエンド状態表示盤からは SW 1, SW 2, SW 3, FS および三つのノイズ・ダイオードの制御を行う。IF 信号分配器のメーターによるシステムの目視チェックやテスト・レシーバを使つての Yファクタの測定に用いられる。SW 3 は, S バンドと X バンド 2 の IF 信号を選択するのに用いられる。

リモート制御は, 制御計算機から IEEE-488 バスを通じて送られてくるコマンドに従つてフロントエンド状態表示盤内にある CPU が行う。制御は SW 1, SW 2, SW 3, FS, 各ノイズ・ダイオードおよびアラーム・ベルに対し行われる。このうちフェライトスイッチに対する制御は, 通常の切換えコマンドのほか, IF 信号分配器もしくはビデオ変換器からの切換え制御信号を選択するコマンドがある。また各ノイズ・ダイオードの制御に関しては IF 信号分配器もしくはビデオ変換器からの切換え制御信号を選択するコマンドのみ設けられている。先に述べたディック型ラジオメータとして使用する際には, この切換え制御信号選択コマンドを用いる。アラーム・ベルは, 自動運用時に K-3 機器のどれかにフェタル・エラーが発生した場合, 制御計算機がそれを感知し, オペレータに知らせるべく鳴らすものである。

フロントエンドからのアラームは, Xバンド1系前置増幅器の異常とメイン PLO のアンロックの二種で, SRQ (II-12 参照) を発し制御計算機にインタラプトをかけるようにしている。

Xバンド1系前置増幅器の異常としては, ポンプ・パワー異常, 温度異常, 電源異常の3つがある。ポンプパワー異常は, ポンプパワー出力の変調減衰器の減衰量が最小になった時, 温度異常は, 放熱器温度が 80°C 以上 (通常 70°C 以下) になった時, 前置増幅器制御盤前面の LED 点灯と共にアラームを出力する。また, AC 電源が断になった時や, 前置増幅器と前置増幅器制御盤の接続ケーブルがつかない時もアラームが出力されるようになっている。

各制御命令の制御パラメータの代わりに“?”を送るとその制御部分の現在の状態が返送されるようになっている。

6. ま と め

日米システムレベル実験で十分な相関が得られることが確認され, 本装置が大陸間 VLBI 用フロントエンドとしての仕様を満足するものであることが実証された。

装置に対しての今後の課題としては, Sバンドの前置

増幅器の低雑音化があげられる。(2)式でもわかるように、干渉計の相関強度は受信系の雑音等のインコヒーレントな雑音の増加と共に劣化する。従って短時間で高精度に遅延時間を決定しようとする場合、受信系の低雑音化が必要となってくる。現在のSバンド系の前置増幅器は、常温のFETアンプであるが、これを冷却し雑音温度を下げることを考えている。

先にも述べたように本装置は種々の実験に対応できるように設計してある。これらの装置を活用しアンテナ受

信系の測定、VLBIシステムのチェックやシミュレーションを行っていくつもりである。

最後に、御指導、御援助を頂いた第三宇宙通信研究室の河野室長、黒岩研究官、栗原技官、木内技官に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) A. E. E. Rogers and M. Moran ; "Coherence Limits for Very-Long-Baseline Interferometry"

