

5.2 高度移動体衛星通信実験 副 局

齋藤 春夫*¹ 竹内 誠*¹ 小原 徳昭*¹
長谷 良裕*²

(1996年11月14日受理)

5.2 SUB-STATION FOR THE COMETS ADVANCED MOBILE SATELLITE COMMUNICATIONS EXPERIMENTS

By

Haruo SAITO, Makoto TAKEUCHI, Noriaki OBARA, and
Yoshihiro HASE

In this paper we present a brief description of the substation for advanced mobile satellite communications experiments using the Communications and Broadcasting Engineering Test Satellite (COMETS). The substation is one of the two central stations in the COMETS advanced satellite mobile communications experiments system. The central station is the standard station in terms of the frequency and the power and can transmit pilot signals. The substation consists of: the Ka-band subsystem, the millimeter-wave-band subsystem, the frequency standard subsystem, and the experimental terminal.

[キーワード] 通信放送技術衛星, 副局, 地球局, Ka帯, ミリ波帯, ルビジウム原子発信器.
COMETS, Substation, Earth station, Ka-band, Millimeter-wave-band, Rubidium atomic frequency standard.

1. はじめに

高度移動体衛星通信実験副局は、高度移動体衛星通信実験主局（通信総合研究所鹿島宇宙通信センター（茨城県鹿嶋市）に設置されている）と並び、通信放送技術衛星（COMETS）高度移動体衛星通信実験の中心となる地球局であり、通信総合研究所本所（東京都小金井市）内に設置してある。本地球局は、COMETS高度移動体衛星通信実験を行う際の周波数及び電力の基準局となることができるように設計されている。また、移動局の周波数基準のため及びアンテナ追尾のためのパイロット信

号を送信することができる。

以下に高度移動体衛星通信実験副局の概要について述べる。

2. 高度移動体衛星通信実験副局の構成

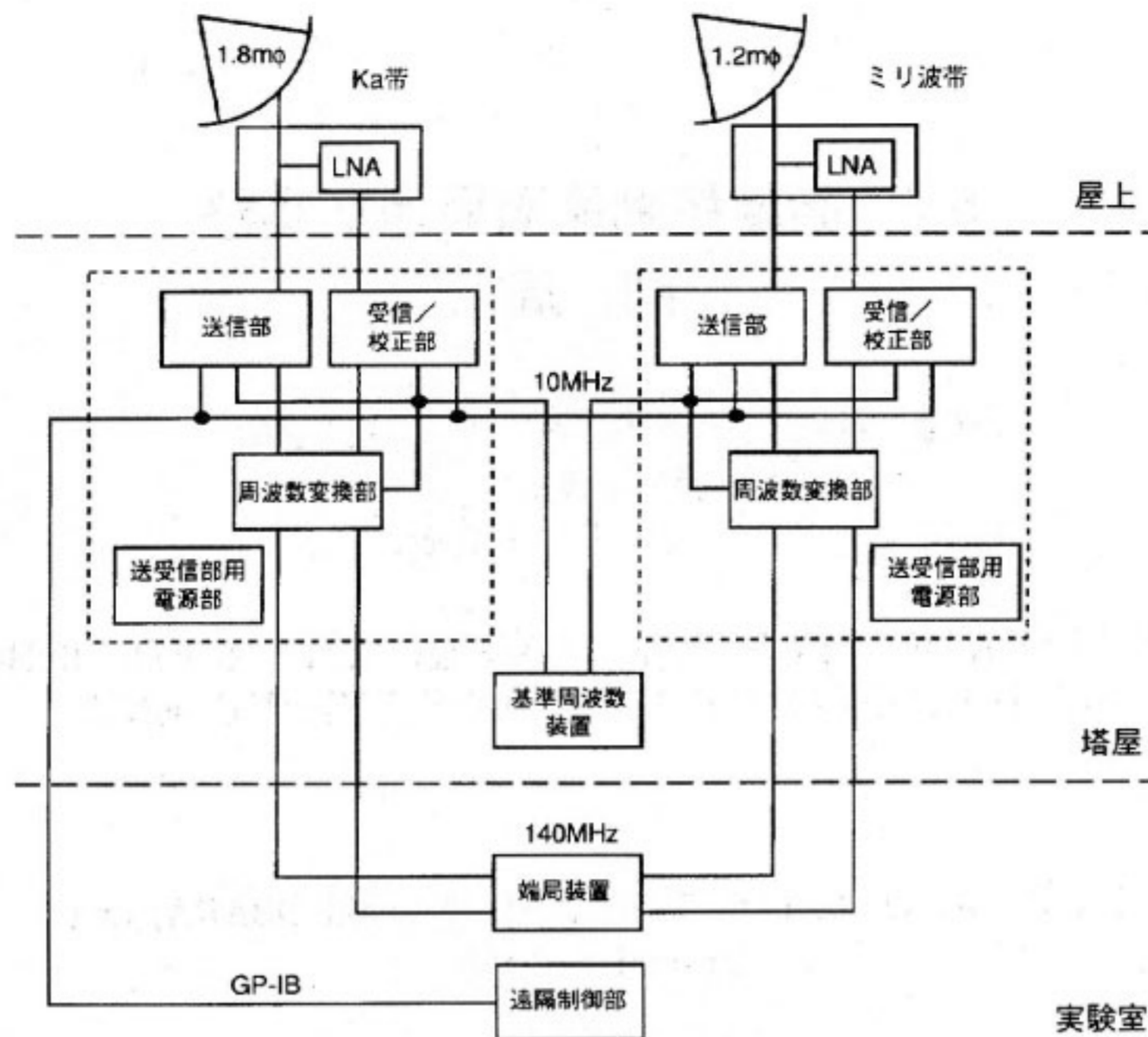
高度移動体衛星通信実験副局はKa帯地球局装置、ミリ波帯地球局装置、基準周波数装置及び端局装置から構成される。第1図に高度移動体衛星通信実験副局の構成図を示す。

高度移動体衛星通信実験副局の端局装置で用いる変復調器ユニット及び音声符復号化器ユニットは、主局端局装置⁽¹⁾の一部として設計製作したユニットと同じものを使用している。

副局折り返しの回線設計例を第2図に示す。

*¹ 宇宙通信部 衛星通信研究室

*² 総合通信部 高速移動通信研究室



LNA : 低雑音増幅器
GP-IB : General Purpose Interface Bus

第1図 高度移動体衛星通信実験副局の構成図

地球局	情報伝送速度	kbps	2.4	12.0	36.0	12.0
	変調方式		BPSK	QPSK	QPSK	QPSK
	送信電力	dBm		5.6		5.8
	空中線利得	dB		44.0		47.0
伝搬路	周波数	GHz		30.8		46.9
	自由空間損失	dB		213.7		217.3
	降雨減衰	dB		0.0		0.0
COMETS	空中線利得	dBi		47.1		47.5
	システム雑音温度	K		565.5		798.7
	上り回線 C/No	dB·Hz		54.1		52.6
	中継器利得	dB		140.0		140.0
伝搬路	送信電力	dBm		23.1		23.0
	空中線利得	dB		45.7		48.6
	周波数	GHz		21.0		43.8
	自由空間損失	dB		210.3		216.7
地球局	降雨減衰	dB		0.0		0.0
	空中線利得	dBi		49.0		47.0
	システム雑音温度	K		527.2		477.6
COMETS	下り回線 C/No	dB·Hz		78.8		73.7
	総合 C/No	dB·Hz		54.1		52.6
	総合 Eb/No	dB	20.3	13.3	8.6	11.8
	所要 Eb/No	dB		4.0		4.0
COMETS	回線マージン	dB	16.3	9.3	4.6	7.8

地球局送信電力は、衛星受信機入力電力がSCPC 1波当たりの標準入力電力である-117 dBmとなるように設定した。

所要 Eb/Noは、誤り訂正 (符号化率1/2, 拘束長7の畳込み符号, 8値軟判定のViterbi 復号) 後におよそ10⁻³のビット誤り率となるのに必要な値。

第2図 副局折返しの回線設計例

3. Ka 帯地球局装置

3.1 システム構成

Ka 帯地球局装置はアンテナ部、受信/校正部、送信部、送受信部用電源部、周波数変換部及び遠隔制御部（ミリ波帯地球局装置と共用）で構成される。送信部、受信部、送受信部用電源部及び周波数変換部は1架のラックで構成されている。アンテナ部は通信総合研究所本所4号館屋上に、ラックは同じ4号館屋上にある塔屋内の実験室に、遠隔制御部は4号館4階の衛星通信実験室に設置されている。

全体の構成を第3図に、主要諸元を第1表に示す。

端局装置から入力した $140\text{MHz} \pm 18\text{MHz}$ の第1中間周波数帯の送信信号は、周波数変換部内で $672\text{MHz} \pm 18\text{MHz}$ または $728\text{MHz} \pm 18\text{MHz}$ の第2中間周波数帯の信号にアップコンバートされ、更に送信部内で Ka 帯の送信周波数帯 ($30.772\text{GHz} \pm 18\text{MHz}$ または $30.828\text{GHz} \pm 18\text{MHz}$) にアップコンバートされる。Ka 帯に変換された信号は、進行波管増幅器で所望の電力まで増幅された後アンテナ部に給電され衛星に向け送信される。

衛星から送信されアンテナ部で受信した Ka 帯の受信信号 ($21.000\text{GHz} \pm 18\text{MHz}$ または $21.056\text{GHz} \pm 18\text{MHz}$) は、低雑音増幅器で増幅され、受信/校正部内の周波数変換器で $672\text{MHz} \pm 18\text{MHz}$ または 728MHz

$\pm 18\text{MHz}$ の第2中間周波数帯の信号にダウンコンバートされて周波数変換部に送られる。周波数変換部では更に $140\text{MHz} \pm 18\text{MHz}$ の第1中間周波数帯の信号にダウンコンバートされ、端局装置に出力される。

受信/校正部では校正用として、送信信号を受信周波数にダウンコンバートした信号若しくは信号発生器からの信号を受信部の低雑音増幅器に入力する系を構成することができる。

本地球局装置の各種制御は、衛星通信実験室に設置されている遠隔制御部から、GP-IB (General Purpose Interface Bus) により遠隔制御ができるようになっている。

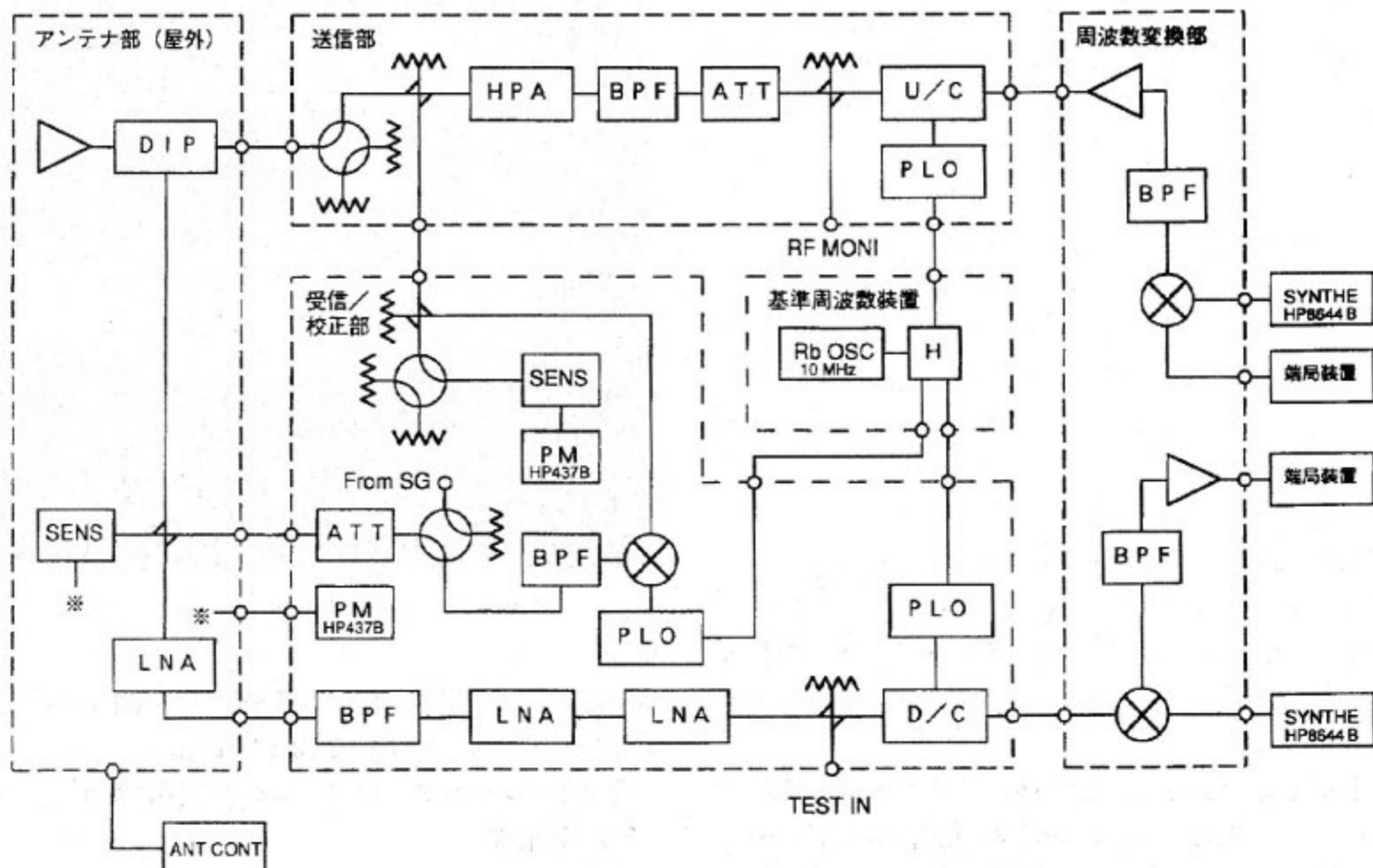
3.2 アンテナ部

アンテナ本体は開口径 1.8m のカセグレンアンテナである。アンテナの開口径は COMETS が定常段階で軌道保持範囲内にあるときに、アンテナの指向方向追尾が不要になるように選択した。アンテナ本体は仰角方向、方位角方向共に衛星指向方向に対して $\pm 10^\circ$ 以上の駆動が電動式により可能である。

アンテナの偏波は送信が右旋円偏波、受信が左旋円偏波である。

アンテナ利得は 30.8GHz (送信) で 51dB 以上 (仕様値), 21.028GHz (受信) で 48dB 以上 (仕様値) である。

アンテナ部と送信部を接続する給電線として、給電損



第3図 Ka 帯地球局装置の構成

第1表 Ka帯地球局装置主要諸元

項目	性能
◎ アンテナ部	
形式	1.8 mφカセグレンアンテナ
周波数帯域幅	21 GHz~31 GHz
偏波	送信：右旋円偏波 受信：左旋円偏波
利得	送信：51 dBi以上 (30.8 GHz) 受信：48 dBi以上 (21.0 GHz)
駆動	仰角、方位角共に衛星方向に対して±10°以上の電動駆動が可能
◎ 送信部	
周波数帯域幅	30.772 GHz±18 MHz (関東ビーム) 30.828 GHz±18 MHz (東海ビーム)
出力電力	10 W (TWT出力端)
線形利得	約40 dB
周波数変換 (30G-U/C)	IF周波数：672 MHz±18 MHz (関東ビーム) 728 MHz±18 MHz (東海ビーム)
◎ 受信/校正部	
低雑音増幅器	PHEMT (Pseudomorphic High Electron Mobility Transister)
雑音指数	2.3 dB
周波数帯域幅	21.000 GHz±18 MHz (関東ビーム) 21.056 GHz±18 MHz (東海ビーム)
周波数変換 (20G-D/C)	IF周波数：672 MHz±18 MHz (関東ビーム) 728 MHz±18 MHz (東海ビーム)
◎ 周波数変換部	IF周波数：140 MHz±18 MHz

失を少なくするためにそのほとんどの部分に誘電体導波路を用いている。誘電体導波路の長さはおよそ6.5mであり給電損失はおよそ7dBである。

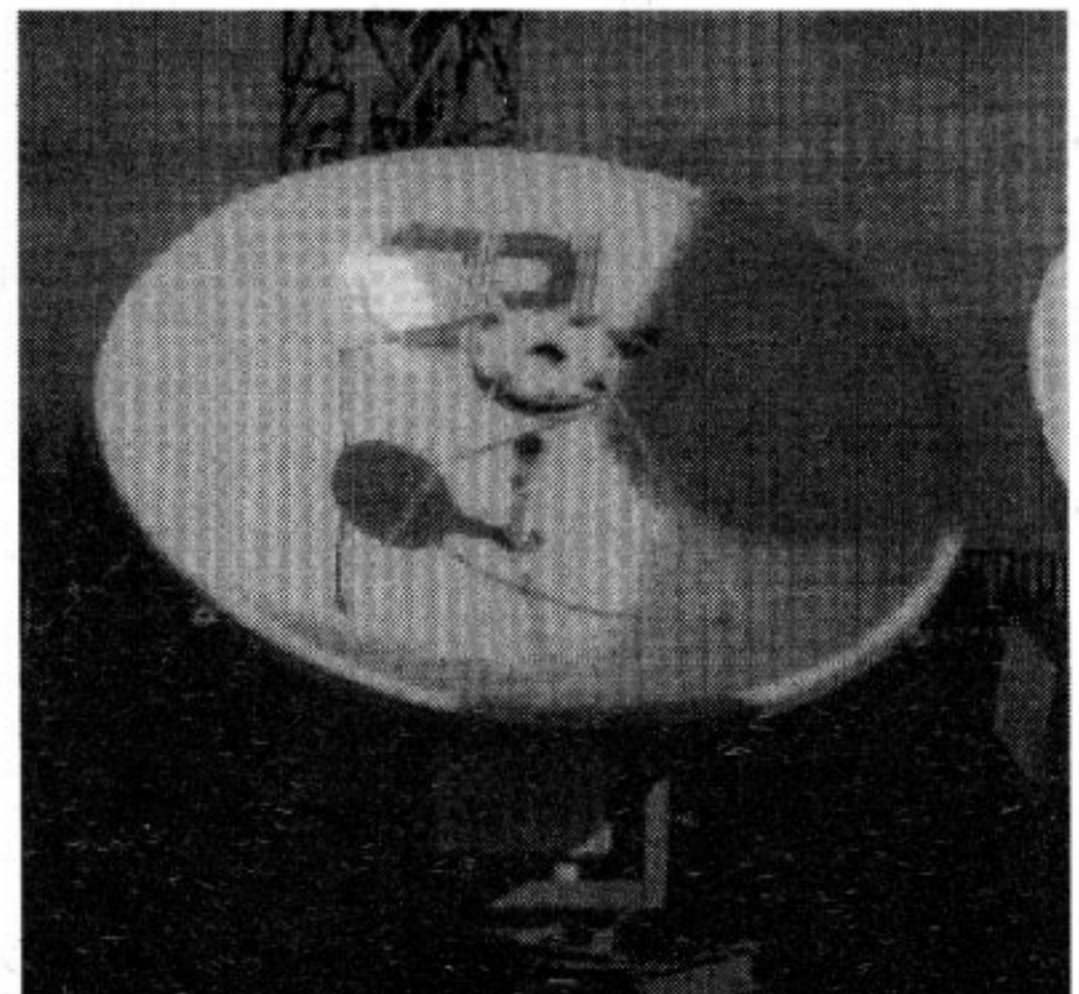
アンテナ部の外観を第4図に送信アンテナパターンをCCIR (International Radio Consultative Committee) 勧告第465-3による参照パターンと共に第5図に示す。

3.3 受信/校正部

受信/校正部は低雑音増幅器3段、第2中間周波数帯(672MHz±18MHzまたは728MHz±18MHz)への周波数変換器及び校正用の送受信周波数変換器で構成される。

3段ある低雑音増幅器のうち1段目の低雑音増幅器は、給電損失による雑音温度の増加を少なくするためアンテナの主反射鏡直下のボックス内に設置してある。この低雑音増幅器はPHEMT (Pseudomorphic High Electron Mobility Transister) 増幅器であり、雑音指数(NF) 2.3dB、利得は中心周波数で23.7dBである。

第2中間周波数帯に周波数変換をするための周波数変換器は、ミキサ、10MHzの周波数基準発振器(ルビジウム原子発振器)に位相同期した20.328GHzの局部発振



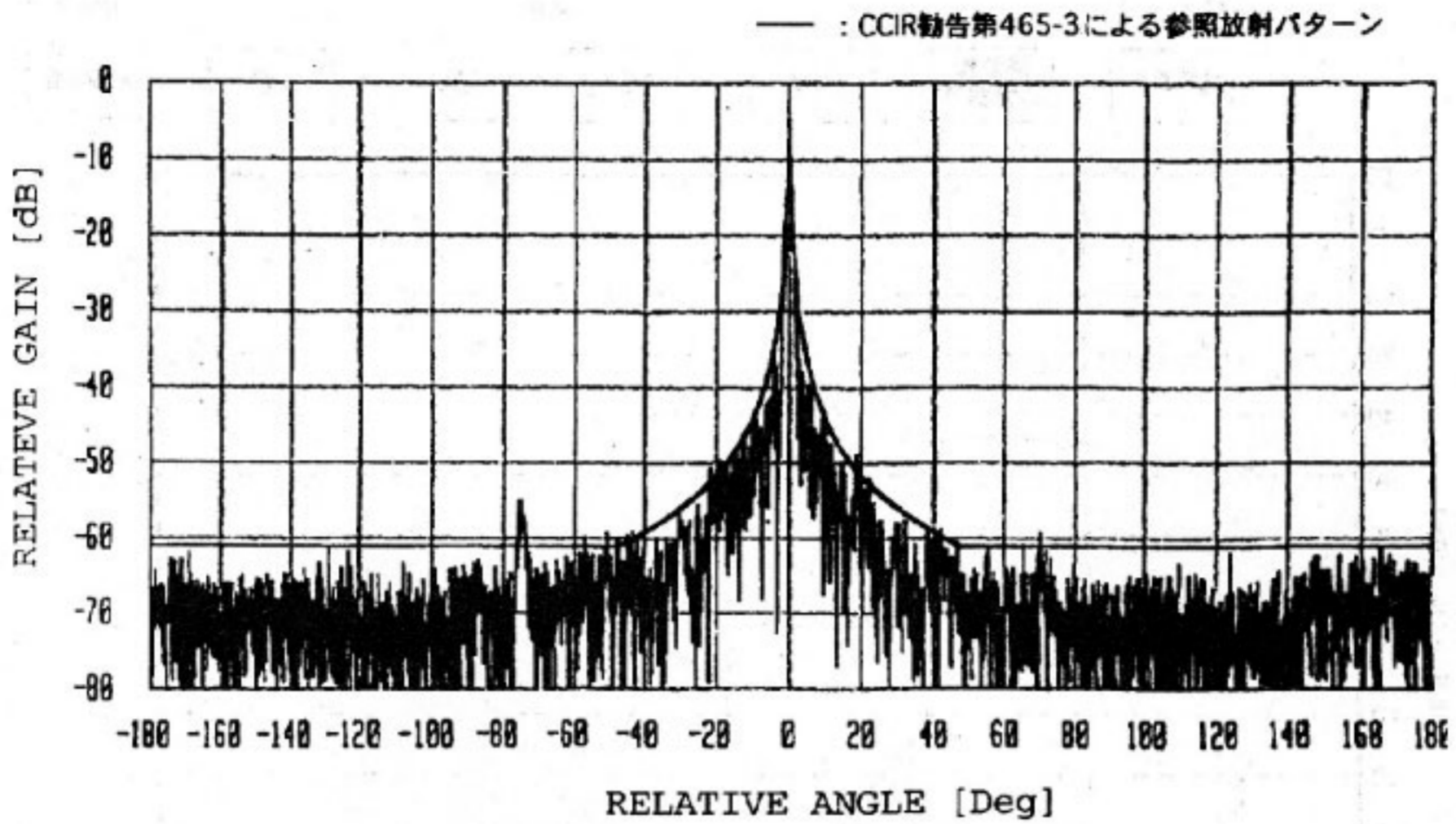
第4図 Ka帯地球局装置アンテナ部の外観

器及びイメージ信号、周波数変換用局部発振信号を阻止するバンドパスフィルタで構成される。

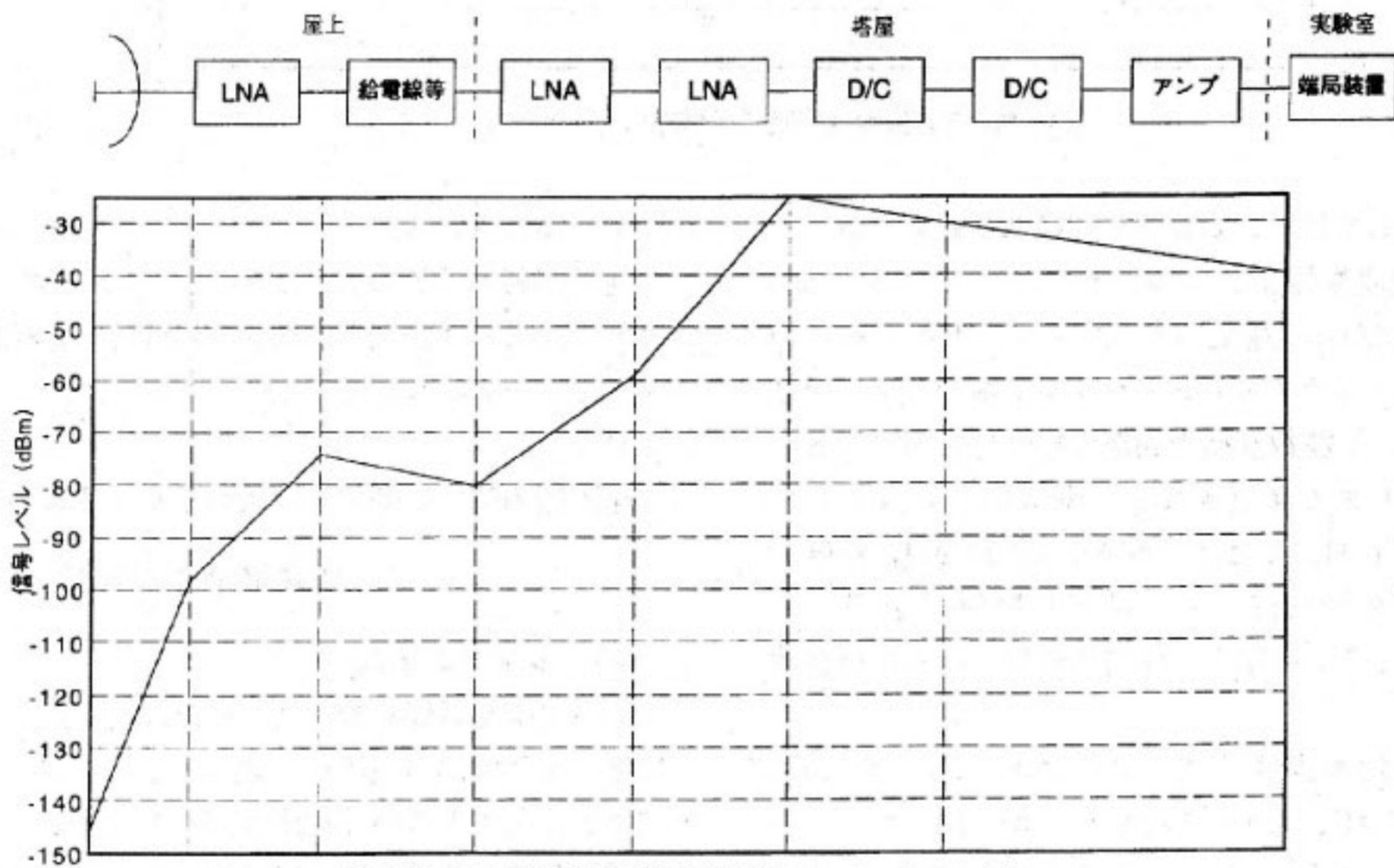
受信部のレベルダイヤグラムを第6図に示す。

3.4 送信部

送信部は第2中間周波数帯からKa帯送信周波数への



第5図 Ka帯地球局装置アンテナ部の送信アンテナパターン



第6図 Ka帯地球局装置受信部のレベルダイヤグラム

周波数変換器，及び進行波管電力増幅器で構成される。

672MHz ± 18MHz または 728MHz ± 18MHz の第2中間周波数帯から Ka 帯送信周波数へ周波数変換をするための周波数変換器は，ミキサ，10MHz の周波数基準発振器（ルビジウム原子発振器）に位相同期した 30.1GHz の局部発振器及びイメージ信号，周波数変換用局部発振信号を阻止するバンドパスフィルタで構成される。

進行波管電力増幅器は送信部とは別筐体になっており，出力 10W，線形利得およそ 40dB である。

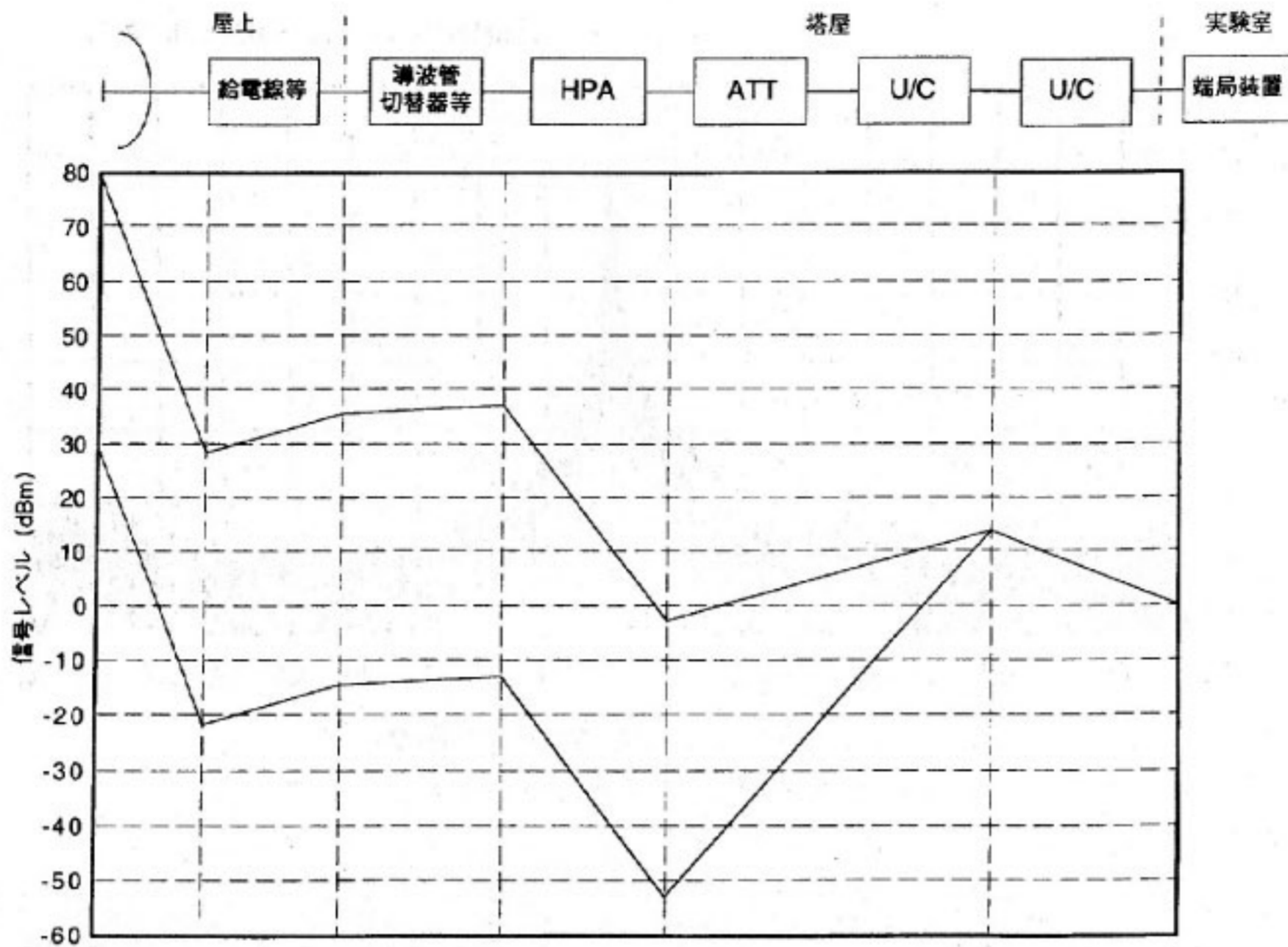
送信部のレベルダイヤグラムを第7図に示す。

3.5 送受信部用電源部

送受信部用電源部は送受信部に直流電源を供給する。また，外部測定器用電源コンセントを持つ。

3.6 周波数変換部

周波数変換部は第2中間周波数帯（672MHz ± 18MHz または 728MHz ± 18MHz）から第1中間周波数帯（140MHz ± 18MHz）への受信周波数変換器，及び第1中間周波数帯（140MHz ± 18MHz）から第2中間周波数帯（672MHz ± 18MHz または 728MHz ± 18MHz）への送信周波数変換器で構成される。衛星の Ka 帯中継器入出力スイッチの切り替えによる送受信周波数



第7図 Ka帯地球局装置送信部のレベルダイヤグラム

帯の変更に対しては、この周波数変換部で対応する。

受信周波数変換器はダブルバランスドミキサ、532 MHz又は588MHz（衛星の入出力スイッチによる）の局部発振用シンセサイズドシグナルジェネレータ、及びイメージ信号、周波数変換用局部発振信号を阻止するバンドパスフィルタで構成される。受信部から入力した672MHz ± 18MHzまたは728MHz ± 18MHzの第2中間周波数帯の受信信号を、局部発振信号を用いて140MHz ± 18MHzの第1中間周波数帯の信号に周波数変換する。

送信周波数変換器はダブルバランスドミキサ、532 MHz又は588MHz（衛星の入出力スイッチによる）の局部発振用シンセサイズドシグナルジェネレータ、及びイメージ信号、周波数変換用局部発振信号を阻止するバンドパスフィルタで構成される。端局装置から入力した140MHz ± 18MHzの第1中間周波数帯の送信信号を、局部発振信号を用いて672MHz ± 18MHzまたは728 MHz ± 18MHzの第2中間周波数帯の信号に周波数変換する。

送受信周波数変換器で用いている局部発振用シンセサイズドシグナルジェネレータは、基準周波数装置にあるルビジウム原子発振器からの基準信号を、周波数基準参照信号として用いている。

3.7 遠隔制御部

遠隔制御部は遠隔制御用計算機及びGP-IBエクステ

ンダで構成される。

遠隔制御用計算機はDOS/Vマシンであり、主記憶容量32MB、ハードディスク500MB、遠隔制御用インターフェースとしてGP-IBインターフェースを装備している。

遠隔制御部で制御できる項目を第2表に示す。

4. ミリ波帯地球局装置

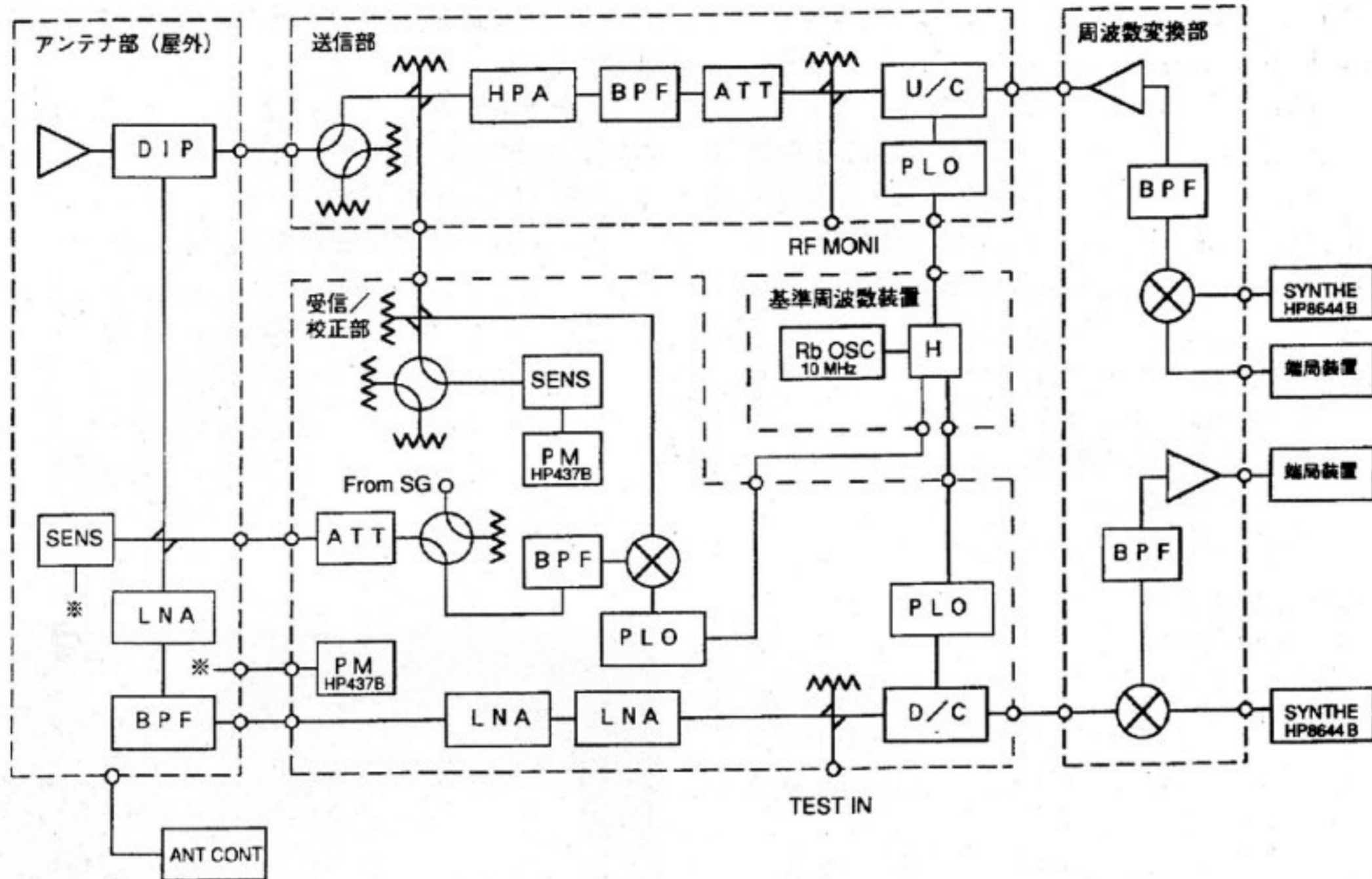
4.1 システム構成

ミリ波帯地球局装置はアンテナ部、受信/校正部、送信部、送受信部用電源部、送受信部と140MHzの端局装置との間に入る周波数変換部及び遠隔制御部（Ka帯地球局装置と共用）で構成される。送信部、受信部、送受信部用電源部及び周波数変換部は1架のラックで構成されている。アンテナ部は通信総合研究所本所4号館屋上に、ラックは同じ4号館屋上にある塔屋内の実験室に、遠隔制御部は4号館4階の衛星通信実験室に設置されている。

全体の構成を第8図に、主要諸元を第3表に示す。

第2表 遠隔制御部で制御できる項目

HPA入力電力
送信出力の系統
校正用信号源の種類
校正用電力計



第8図 ミリ波帯地球局装置の構成

第3表 ミリ波地球局装置主要諸元

項目	性能
◎ アンテナ部 形式 周波数帯域幅 偏波 利得 駆動	1.2 mφカセグレンアンテナ 44 GHz~47 GHz 送信：右旋円偏波 受信：左旋円偏波 送信：51 dBi以上 (46.9 GHz) 受信：50 dBi以上 (43.8 GHz) 仰角、方位角共に衛星方向に対して±10°以上の電動駆動が可能
◎ 送信部 周波数帯域幅 出力電力 線形利得 周波数変換 (47G-U/C)	46.886 GHz±18 MHz (関東ビームのみ) 10 W (TWT出力端) 約37 dB IF周波数：860 MHz±18 MHz
◎ 受信/校正部 低雑音増幅器 雑音指数 周波数帯域幅 周波数変換 (44G-D/C)	PHEMT (Pseudomorphic High Electron Mobility Transister) 3.4 dB 43.764 GHz±18 MHz (関東ビームのみ) IF周波数：700 MHz±18 MHz
◎ 周波数変換部	IF周波数：140 MHz±18 MHz

端局装置から入力した $140\text{MHz} \pm 18\text{MHz}$ の第1中間周波数帯の送信信号は、周波数変換部内で $860\text{MHz} \pm 18\text{MHz}$ の第2中間周波数帯の信号にアップコンバートされ、更に送信部内でミリ波帯の送信周波数帯 ($46.886\text{GHz} \pm 18\text{MHz}$) にアップコンバートされる。ミリ波帯に変換された信号は進行波管増幅器で所望の電力まで増幅された後アンテナ部に給電され衛星に向け送信される。

衛星から送信されアンテナ部で受信したミリ波帯の受信信号 ($43.764\text{GHz} \pm 18\text{MHz}$) は、低雑音増幅器で増幅され、受信/校正部内の周波数変換器で $700\text{MHz} \pm 18\text{MHz}$ の第2中間周波数帯の信号にダウンコンバートされて周波数変換部に送られる。周波数変換部では更に $140\text{MHz} \pm 18\text{MHz}$ の第1中間周波数帯の信号にダウンコンバートされ、端局装置に出力される。

受信/校正部では校正用として、送信信号を受信周波数にダウンコンバートした信号若しくは標準信号発生器からの信号を受信部の低雑音増幅器に入力する系を構成することができる。

本地球局装置の各種制御は、衛星通信実験室に設置されている遠隔制御部から GP-IB により遠隔制御ができるようになっている。

4.2 アンテナ部

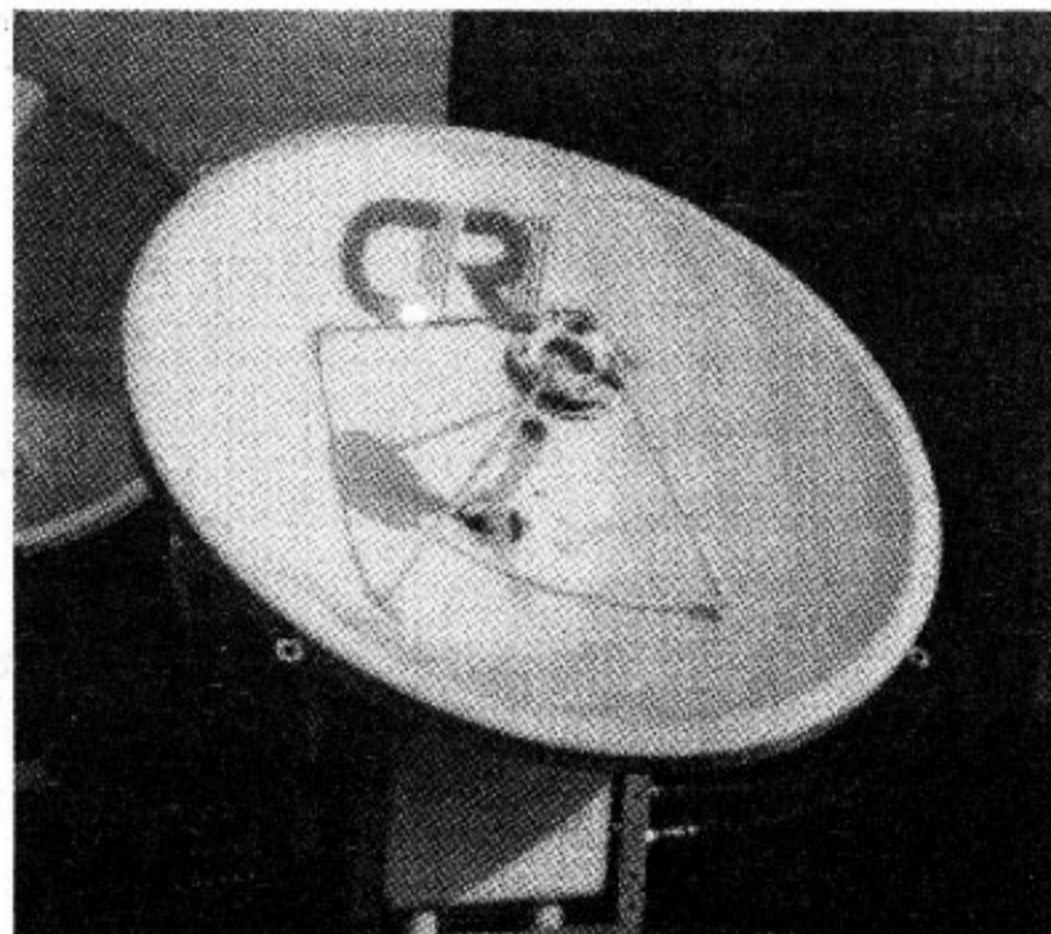
アンテナ本体は開口径 1.2m のカセグレンアンテナである。アンテナの開口径は COMETS が定常段階で軌道保持範囲内にあるときに、アンテナの指向方向追尾が不要になるように選択した。アンテナ本体は仰角方向、方位角方向共に衛星指向方向に対して $\pm 10^\circ$ 以上の駆動が電動式により可能である。

アンテナの偏波は送信が右旋円偏波、受信が左旋円偏波である。

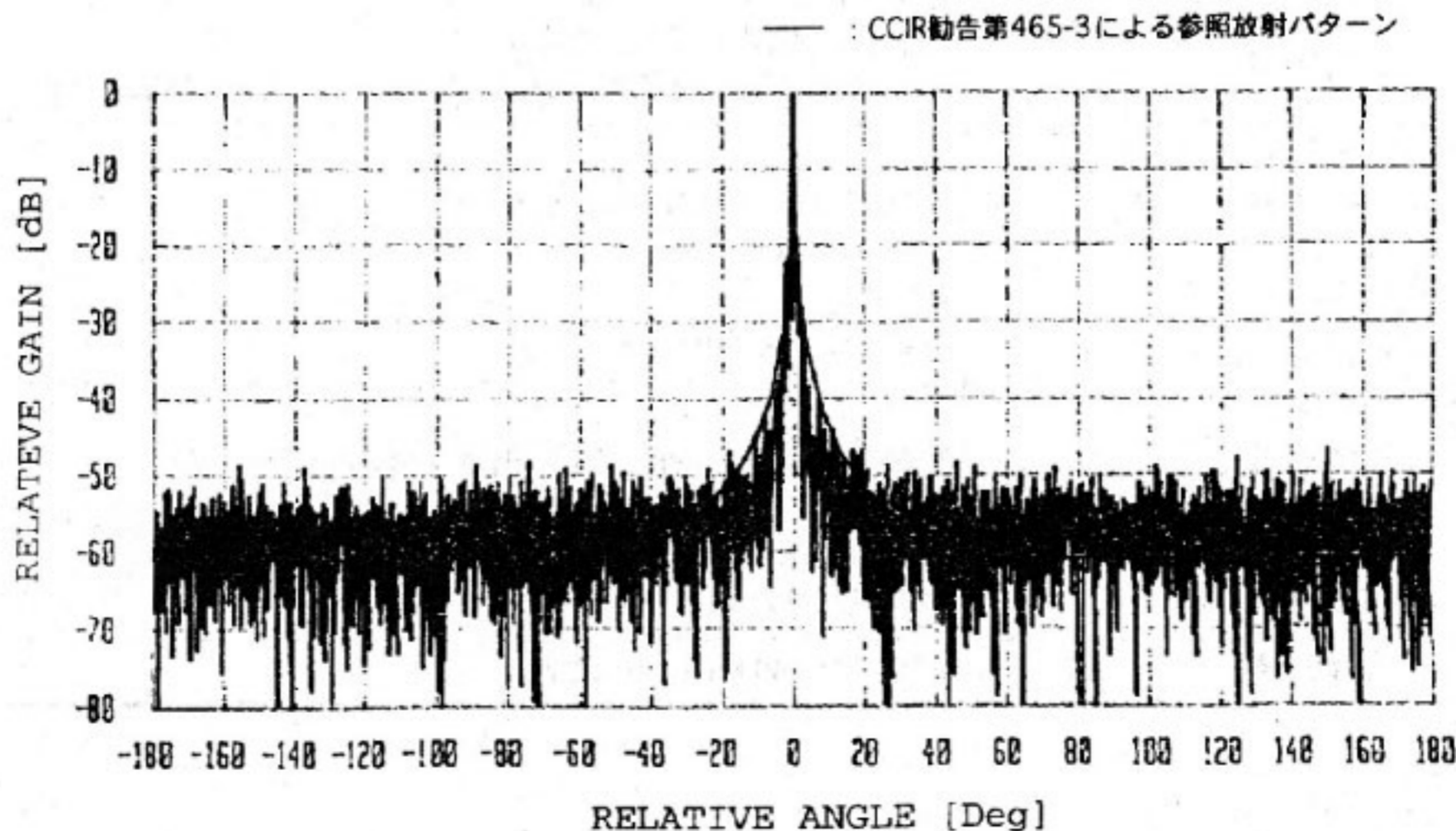
アンテナ利得は 46.9GHz (送信) で 51dB 以上 (仕様値)、 43.8GHz (受信) で 50dB 以上 (仕様値) である。

アンテナ部と送信部を接続する給電線として、給電損失を少なくするためにそのほとんどの部分に誘電体導波路を用いている。誘電体導波路の長さはおよそ 4.5m であり、給電損失はおよそ 4dB である。

アンテナ部の外観を第9図に送信アンテナパターンを CCIR 勧告第465-3 による参照パターンと共に第10図に示す。第10図において実測したアンテナパターンのサイドローブが参照パターンを上回っているように見える。



第9図 ミリ波帯地球局装置アンテナ部の外観



第10図 ミリ波帯地球局装置アンテナ部の送信アンテナパターン

るのは、測定系の雑音によって実際のサイドローブパターンがマスクされてしまったためである。

4.3 受信/校正部

受信/校正部は低雑音増幅器3段、第2中間周波数帯(700MHz ± 18MHz)への周波数変換器及び校正用の送受信周波数変換器で構成される。

3段ある低雑音増幅器のうち1段目の低雑音増幅器は、給電損失による雑音温度の増加を少なくするためアンテナの主反射鏡直下のボックス内に設置してある。この低雑音増幅器は PHEMT 増幅器であり NF3.4dB, 利得22dB である。

第1中間周波数帯に周波数変換をするための周波数変換器は、ミキサ、10MHzの周波数基準発振器(ルビジウム原子発振器)に位相同期した43.064GHzの局部発振器及びイメージ信号、周波数変換用局部発振信号を阻止するバンドパスフィルタで構成される。

受信部のレベルダイヤグラムを第11図に示す。

4.4 送信部

送信部は第2中間周波数帯からミリ波帯送信周波数への周波数変換器、及び進行波管電力増幅器で構成される。

860MHz ± 18MHzの第2中間周波数帯からミリ波帯送信周波数へ周波数変換をするための周波数変換器は、ミキサ、10MHzの周波数基準発振器(ルビジウム原子発振器)に位相同期した46.026GHzの局部発振器及びイメージ信号、周波数変換用局部発振信号を阻止するバンドパスフィルタで構成される。

進行波管電力増幅器は送信部とは別筐体になっており、出力10W, 線形利得およそ37dB である。

送信部のレベルダイヤグラムを第12図に示す。

4.5 送受信部用電源部

送受信部用電源部は送受信部に直流電源を供給する。また、外部測定器用電源コンセントを持つ。

4.6 周波数変換部

周波数変換部は第2中間周波数帯(700MHz ± 18MHz)から第1中間周波数帯(140MHz ± 18MHz)への受信周波数変換器、及び第1中間周波数帯(140MHz ± 18MHz)から第2中間周波数帯(860MHz ± 18MHz)への送信周波数変換器で構成される。

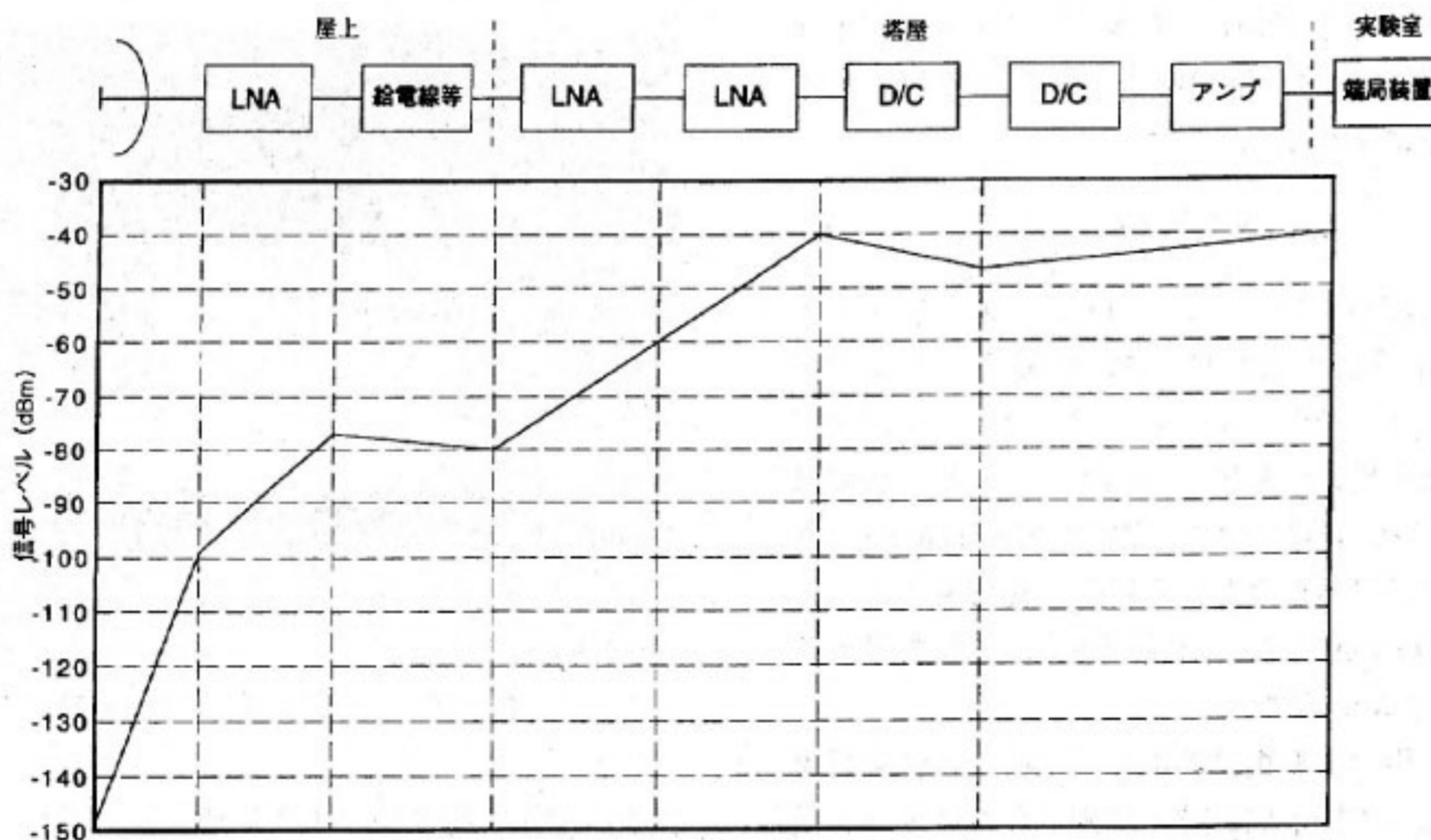
受信周波数変換器はダブルバランスドミキサ、560MHzの局部発振用シンセサイズドシグナルジェネレータ、及びイメージ信号、周波数変換用局部発振信号を阻止するバンドパスフィルタで構成される。受信部から入力した700MHz ± 18MHzの第2中間周波数帯の受信信号を、局部発振信号を用いて140MHz ± 18MHzの第1中間周波数帯の信号に周波数変換する。

送信周波数変換器はダブルバランスドミキサ、720MHzの局部発振用シンセサイズドシグナルジェネレータ、及びイメージ信号、周波数変換用局部発振信号を阻止するバンドパスフィルタで構成される。端局装置から入力した140MHz ± 18MHzの第1中間周波数帯の送信信号を局部発振信号を用いて860MHz ± 18MHzの第2中間周波数帯の信号に周波数変換する。

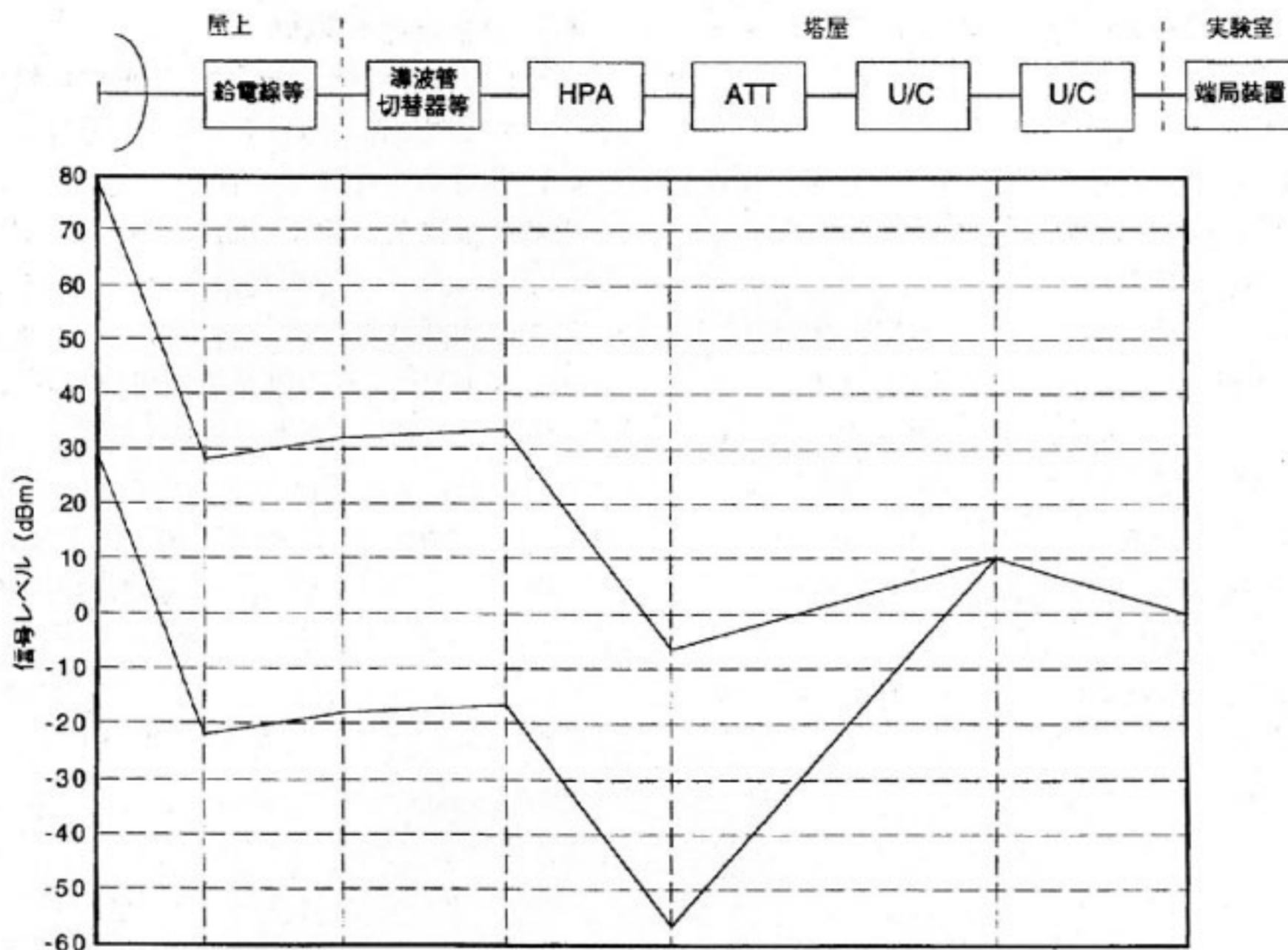
送受信周波数変換器で用いている局部発振用シンセサイズドシグナルジェネレータは、基準周波数装置にあるルビジウム原子発振器からの基準信号を周波数基準参照信号として用いている。

4.7 遠隔制御部

3.7 遠隔制御部と共用のため、同項を参照のこと。



第11図 ミリ波帯地球局装置受信部のレベルダイヤグラム



第12図 ミリ波帯地球局装置送信部のレベルダイヤグラム

5. 基準周波数装置

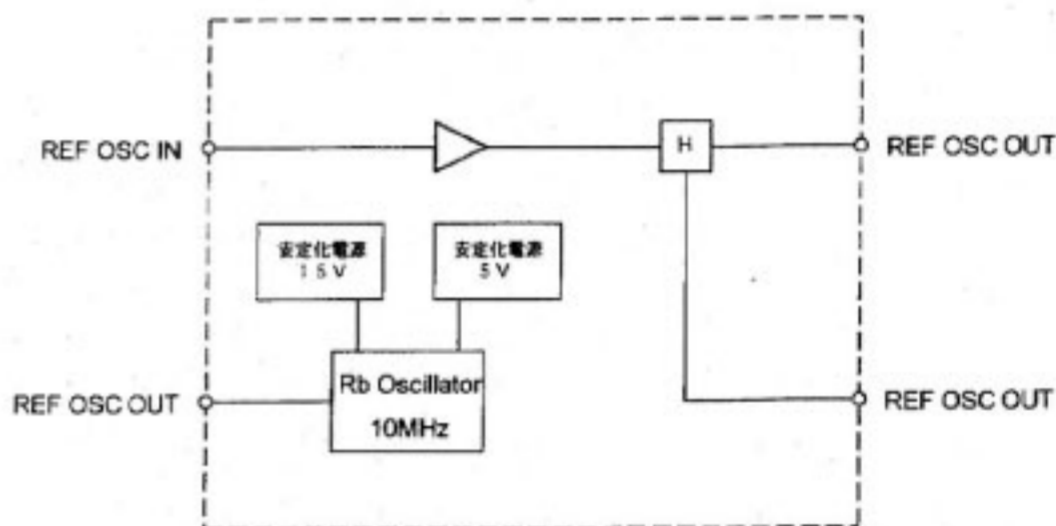
5.1 システム構成

基準周波数装置は10MHz ルビジウム原子発振器、アンプ、ハイブリッド及び電源で構成される。全体構成を第13図に示す。

本装置はKa帯地球局装置及びミリ波帯地球局装置に周波数標準信号を供給する。

5.2 ルビジウム原子発振器

本装置で用いている10MHz小型ルビジウム原子発振器の外観を第14図に、位相雑音特性を第15図に、また特性を第4表に示した。

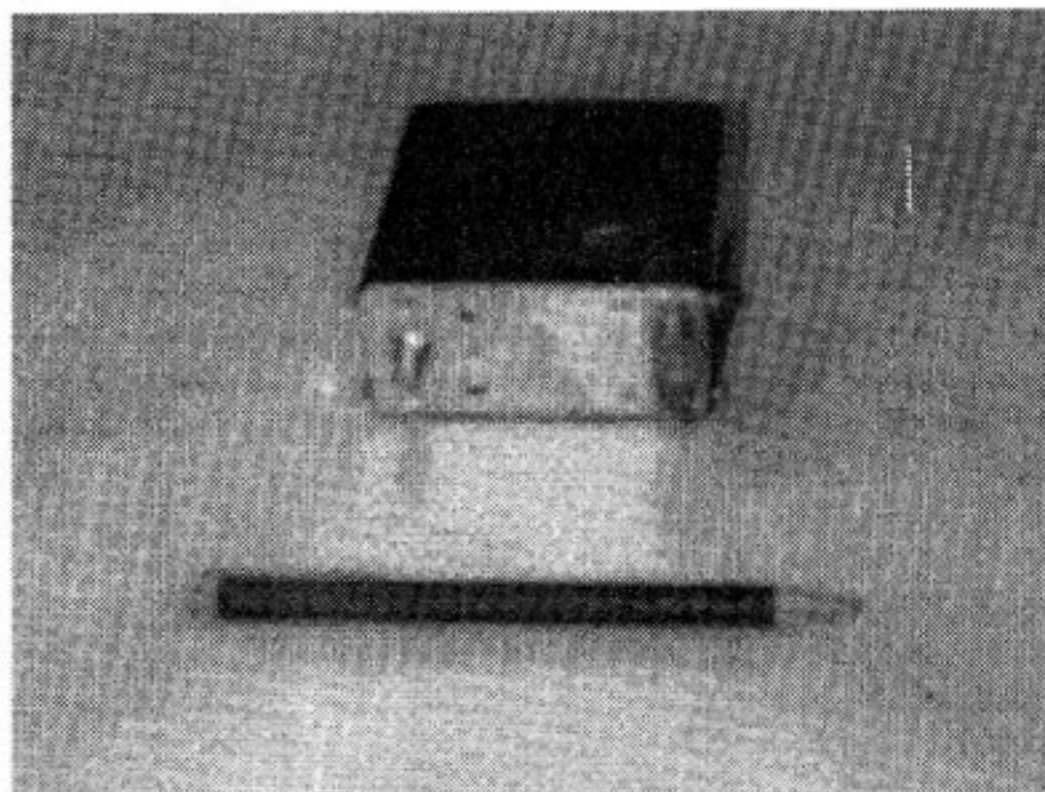


第13図 基準周波数装置の構成

6. 端局装置

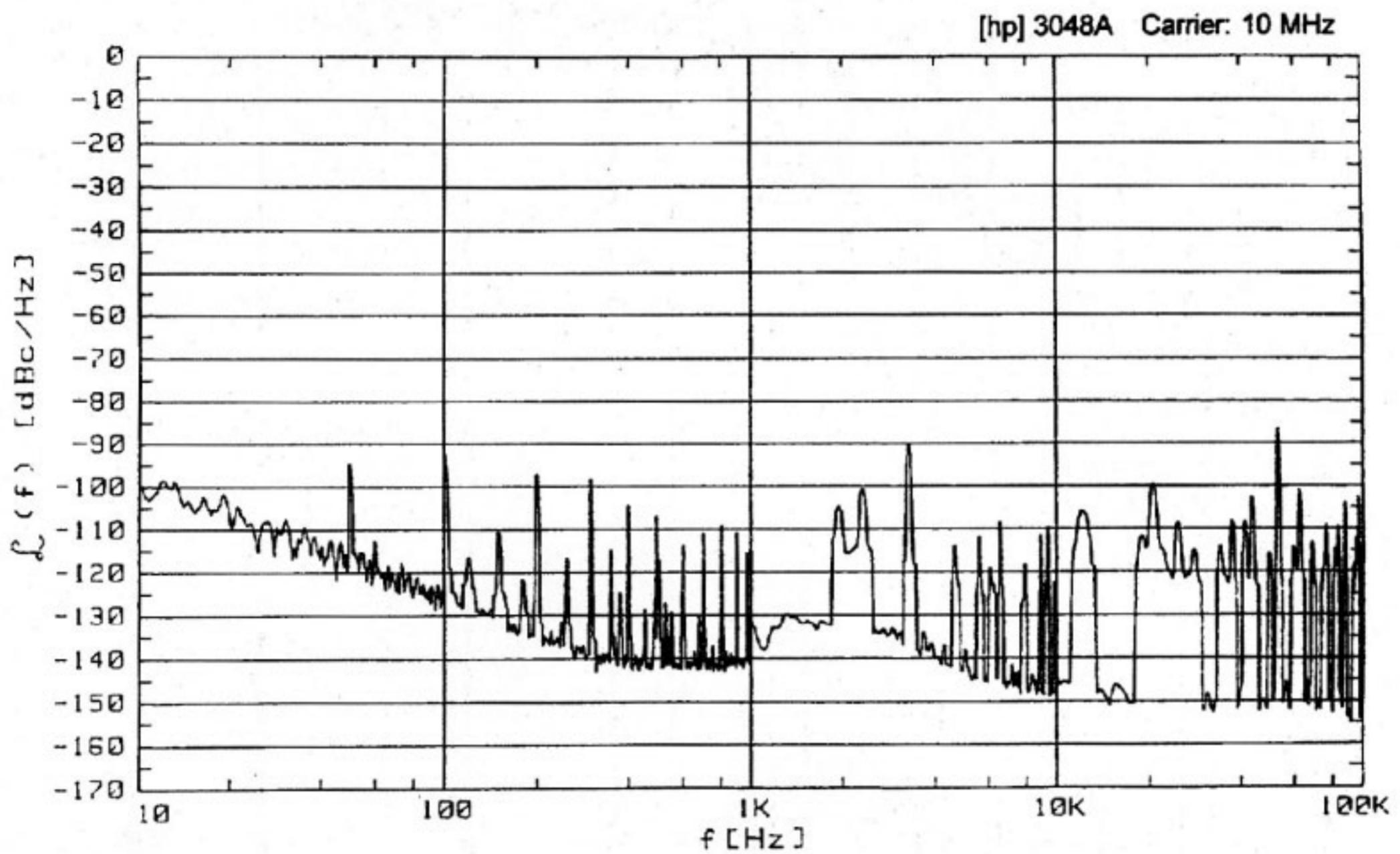
端局装置は外部からのデータ、符号化された音声又は疑似雑音で変調された140MHz帯の変調信号又は標準信号発生器で発生させたパイロット信号をKa帯地球局装置又はミリ波帯地球局装置へ送出する。本端局装置はまた、Ka帯地球局装置又はミリ波帯地球局装置から送出されたデータ、符号化された音声又は疑似雑音で変調された140MHz帯の変調信号を復調する。本端局装置の構成図を第16図に示す。

本端局装置で用いる変復調器ユニット並びに音声符復号器ユニットは、主局端局装置で整備したユニットと同じものを使用する。従って、変復調器並びに音声符復号



第14図 ルビジウム原子発振器の外観

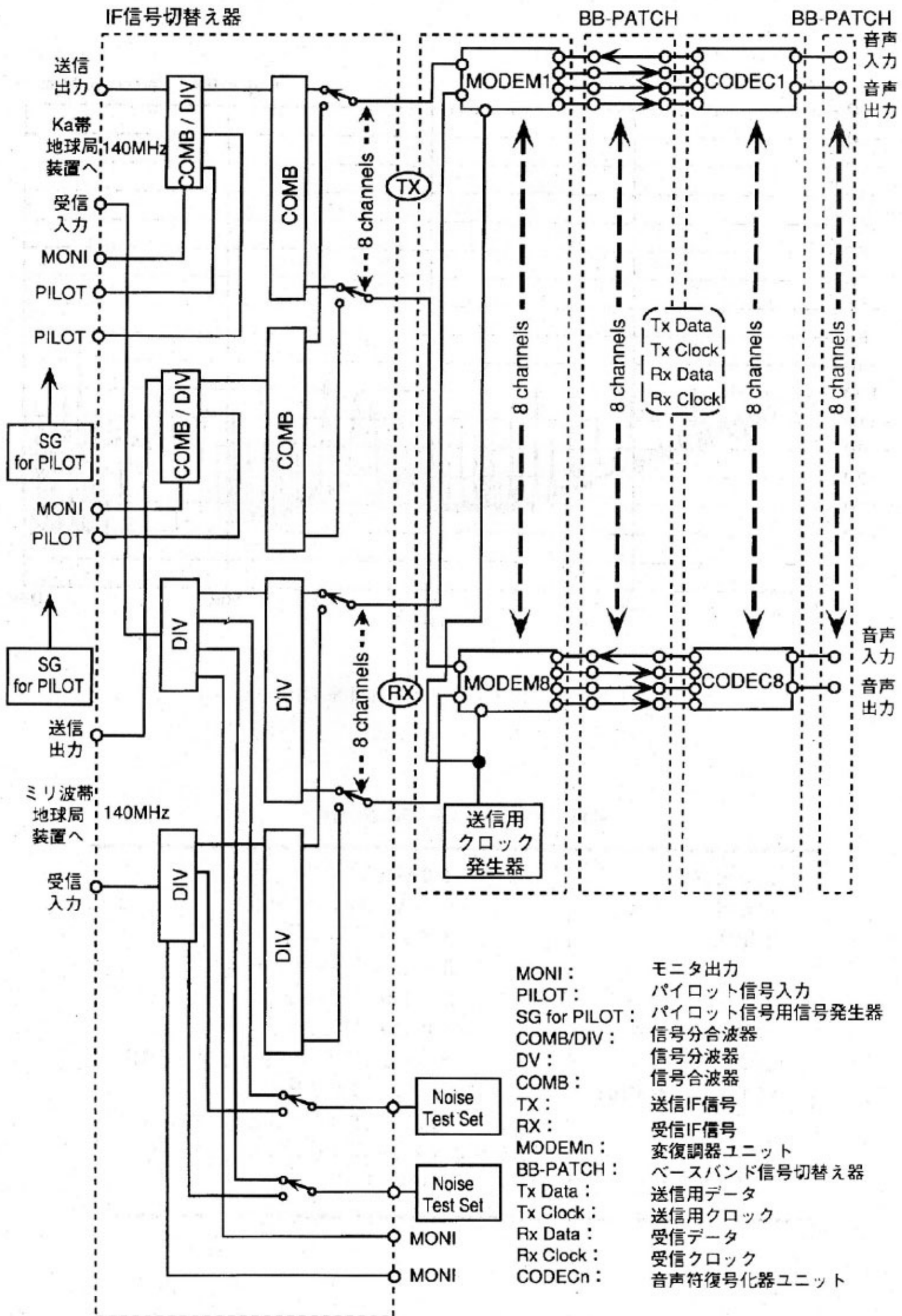
化器の諸元、特性等は本季報特集号の5.1.4 高度移動体衛星通信実験主局端局装置の項を参照されたい。



第15図 ルビジウム原子発振器の位相雑音特性

第4表 ルビジウム原子発信器の特性

出力周波数	10 MHz
出力電圧	0.5 V _{rms} (50 Ω)
安定度	$3 \times 10^{-11} / \sqrt{t}$ $2 \times 10^{-9} / \text{year}$ $2 \times 10^{-11} / \text{day}$
再現性(Retrace)	5×10^{-11}
温度変動	$\pm 3 \times 10^{-10}$ (-5 to +50 °C)
位相ノイズ(10MHz)	10 Hz : -90 dBc 100 Hz : -125 dBc 1000 Hz : -145 dBc
スプリアス	-60 dBc



第16図 端局装置の構成図

7. おわりに

高度移動体衛星通信実験副局は本論文執筆時点において全て完成しておらず、一部の装置については設計仕様に基づいて記述している。COMETSの打上までに本副局を完成させ、その特性を測定し打ち上げ後の実験に備える予定である。

参考文献

- (1) 李還帮, 西田正純, 井家上哲史, 岡本英二, 峯野仁志, 竹内誠, 長谷良裕, 川又文男, “5.1.4 高度移動体衛星通信実験主局端局装置”, 通信総研季, 43, 1, pp.119-126, Mar.1997.

略語

- COMETS : 通信放送技術衛星
- GP-IB : General Purpose Interface Bus
- CCIR : International Radio Consultative Committee
- PHEMT : Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor
- NF : 雑音指数 (Noise Figure)



齋藤 春夫
Haruo SAITO
宇宙通信部 衛星通信研究室
衛星通信
E-Mail: saito@crl.go.jp



竹内 誠
Makoto TAKEUCHI
宇宙通信部 衛星通信研究室
衛星通信, 変復調方式, 符号化方式
E-Mail: makoto@alien.crl.go.jp



小原 徳昭
Noriaki OBARA
宇宙通信部 衛星通信研究室
衛星通信路におけるアンテナ・伝搬
E-Mail: obara@crl.go.jp



長谷 良裕
Yoshihiro HASE
総合通信部 高速移動通信研究室
移動通信及び移動体衛星通信システムの研究に従事
E-Mail: hase@crl.go.jp

