

4 地球局システムの開発

4 Development of earth stations

4-1 Ka帯フィーダリンク局

4-1 Ka-band feeder-link earth station

山本伸一 小原徳昭 大橋 一

YAMAMOTO Shin-ichi, OBARA Noriaki, and OHASHI Hajime

要旨

技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)は、2004年夏期に打ち上げを予定している。通信総合研究所では、ETS-Ⅷに音声通信用搭載交換機、高速データ通信用衛星搭載パケット交換機及び高精度時刻比較装置を搭載し、様々な実験を予定している。

Ka帯フィーダリンク局は、ETS-Ⅷと地上間のフィーダリンクを形成するために鹿島宇宙通信研究センターに設置され、各種移動体衛星通信、放送サービスに関する実験に用いられる。

Engineering Test Satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ) is schedule to be launched in the summer of 2004. The Communications Research Laboratory (CRL) is planning various mobile satellite communication experiment using On-Board Processor, On-Board Packet Switch, etc. which were carried in the satellite, and the satellite broadcasting experiment.

A Ka-band feeder-link earth station is installed in the Kashima Space Research Center, forms a feeder-link in the communication and the broadcast experiment between ETS-Ⅷ, and carry out the central role of an experiment.

This paper describes the outlook of a Ka-band feeder-link earth station and the electrical characteristic.

[キーワード]

衛星通信, 技術試験衛星Ⅷ型, Ka帯フィーダリンク局

Satellite communication, ETS-Ⅷ, Ka-band feeder-link earth station

1 はじめに

Ka帯フィーダリンク局は鹿島宇宙通信研究センターに設置され、技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ: Engineering Test Satellite Ⅷ)と地上間のフィーダリンクを形成し、様々な通信実験の中心的な役割を担う。

ETS-Ⅷは、2004年夏期にH-IIAロケットで種子島宇宙センターから打ち上げられる予定になっており、当所は音声通信用搭載交換機^[1]、高速データ通信用衛星搭載パケット交換機^[2]及び高精度時刻基準装置^[3]を衛星に搭載し、移動体

衛星通信・放送実験^[4]及び高精度時刻比較実験^[5]を行う予定である。

Ka帯フィーダリンク局は、搭載交換機を介した移動体との音声やデータ通信、パケット交換機を介した高速パケット通信の基地局として、また、CDクラスの高品質な音声放送実験では、移動体向けの放送信号を送出する局として用いられる。

ここでは、Ka帯フィーダリンク局を構成する各部の性能及び電気的特性について報告する。

2 Ka帯フィーダリンク局の構成

Ka帯フィーダリンク局は、大きくアンテナ部とRF部に分けられる。第1図にその外観を示す。

第2図にKa帯フィーダリンク局のブロック図を示す。



図1 Ka帯フィーダリンク局外観

2.1 アンテナ部

アンテナ部は、5mφカセグレンアンテナ、給電部、駆動制御部及び乾燥空気充填装置で構成されている。

本アンテナ部は技術試験衛星Ⅵ型(ETS-Ⅵ)の通信実験で使用したものである。アンテナの反射

鏡、AZ-EL駆動機構及び遠隔操作盤は点検整備を行い流用し、給電部、導波管、制御ケーブル及び乾燥空気充填装置については新規で製作した。図3に主反射鏡及び一次放射器の構成を示す。

外観についてはアンテナ指向方向が異なるため、AZ駆動機構部ベースプレートが改修されている以外ETS-Ⅵのアンテナ部と同じ構造となっている[6]。

一次放射器はコルゲート円錐ホーンと反射鏡で構成されており、中心リング内の筒を経由し

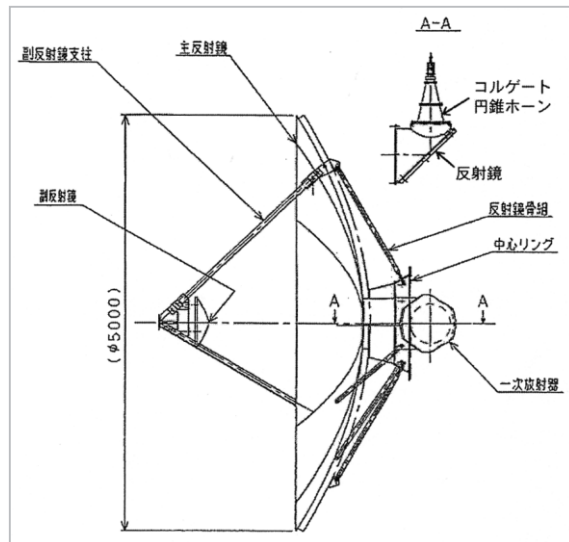


図3 主反射鏡及び一次放射器の構成

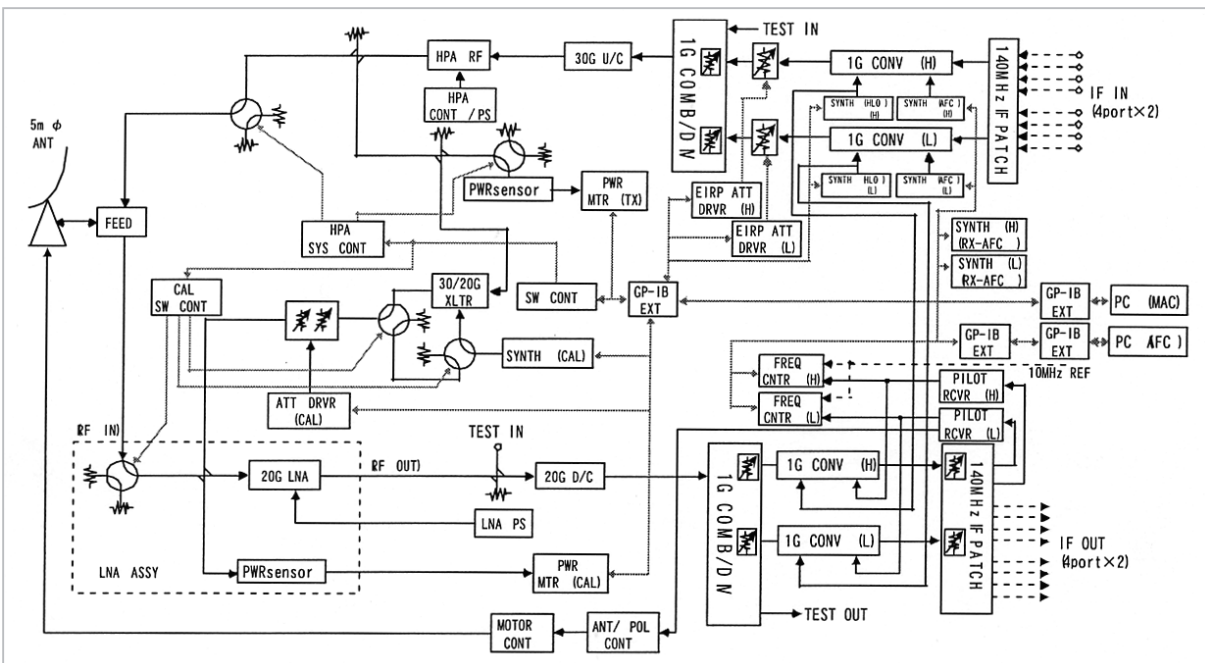


図2 Ka帯フィーダリンク局ブロック図

表1 機械的性能

項目	性能
アンテナ開口直径	5.0m (有効直径)
アンテナ形式	カセグレン
マウント形式	AZ - EL
駆動範囲	EL : 初期設定角度 ± 5°
	AZ : 初期設定角度 ± 10°
駆動速度 (公称値)	仰角 0.005° /s
	方位角 0.007° /s
追尾精度 (20m/s平均風速時)	0.002° rms (AZ, EL共)
鏡面精度	0.25mm rms (設置時)
運用可能風速	平均 20m/s
	瞬間最大 30m/s
耐風速	瞬間最大 60m/s

表2 電気的性能

項目	性能	
	送信	受信
周波数帯域	30.56 - 30.68 GHz	20.78 - 20.84 GHz
偏波	右旋円偏波	左旋円偏波
利得	62.1 dBi (給電部入力端)	59.1 dBi (給電部出力端)
雑音温度 (仰角45° 晴天時)	-	57.4 K (給電部出力端)
VSWR (給電部)	1.07 以下	1.04 以下
サイドローブ特性	96.60%	99.50%
軸比	2.7 dB以下	2.3 dB以下
送受分離度	-100 dB 以下	
G/T	-	35.8 dB/K

て副反射鏡に対して信号波を送受信している。

表1にアンテナ部の機械的性能、表2に電気的性能を示す。

G/Tはアンテナ部と低雑音増幅装置の性能から算出した値である。

図4に送受信アンテナパターンを示す。

サイドローブ特性は、図より送受信共96.6%以上であり、良好な特性を有していることが分かる。

図5に給電部のブロック図を示す。

送受分離度は送信帯域において、送信端子から受信端子への送信波の漏れ量である。

低雑音増幅装置は給電部受信端子の直後に取り付けられている(低雑音増幅装置の詳細は後述する。)。アンテナの駆動は、ACモータのON/OFFによって行っている。駆動モードには、AUTO、MAN、PRESETの三つがあり、AUTO

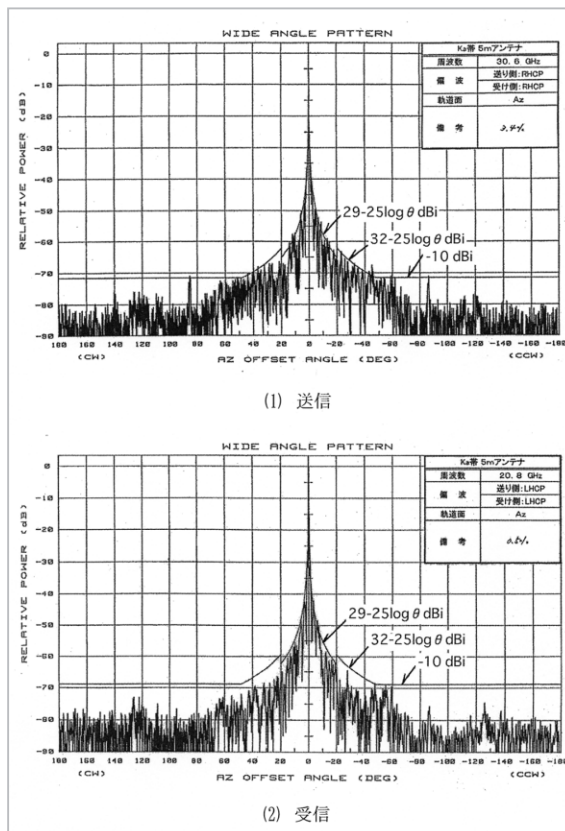


図4 送受信アンテナパターン

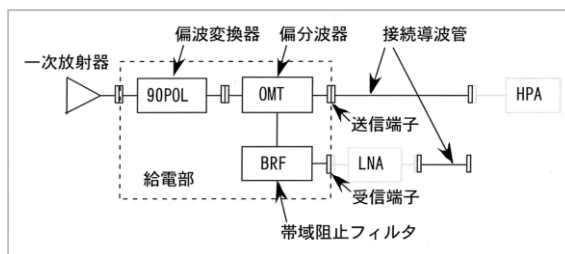


図5 給電部ブロック図

モードは、ステップ追尾による自動追尾モードで、受信ピーコンレベルが最大となる方向にアンテナを駆動し、衛星を追尾する。MANモードは、アンテナをUP/DOWN、CW/CCWの4方向に駆動する。PRESETモードは位置指令を与えて駆動するモードである。このほかに、ハンドルによって手動で駆動することが可能である。なお、AZ、ELごとに駆動範囲に応じた電気的リミットスイッチを有している。

2.2 RF部

RF部は、L帯周波数変換部、Ka帯周波数変換部、大電力増幅部、低雑音増幅部、AFC制御部及び監視制御部で構成されている。

L帯周波数変換部は、1GHz帯送受信周波数変換装置(1G CONV)、1GHz帯IF分配・合成装置(1G COMB/DIV)及び140MHz帯IF分配・合成装置(140M IF PATCH)から構成されている。1G CONVは、140M IF PATCHからの140MHz帯IF信号を、30GHz帯送信周波数変換装置へ送出する1.2GHz帯送信信号に周波数変換する送信周波数変換機能、20GHz帯受信周波数変換装置からの20GHz帯受信信号を、140M IF PATCHに送出する140MHz帯IF信号に周波数変換する受信周波数変換機能を有している。1G CONVには1G CONV(H)と1G CONV(L)の2系統があり、それぞれ送受信周波数のHIバンドとLOWバンドに対応している。

1G COMB/DIVは、1G CONV(H)及び(L)の送信部から出力されるそれぞれの1GHz帯送信信号を可変減衰器でレベル調整後、2系統のテスト信号入力ポートと合成器にて4合成し、30GHz帯送信周波数変換装置へ出力する。さらに、20GHz帯受信周波数変換装置から出力される1GHz帯受信信号を分配器で4分配し、そのうちの2系統を

手動型可変減衰器でレベル調整後、1GHz CONV(L)又は(H)の受信部に出力する。また、残りの2系統をモニタ用として出力する。

140M IF PATCHは、端局装置から入力される4系統の140MHz帯送信信号を合成器にて4合成し、1G CONVの送信部へ出力する。入力端子は(H)、(L)の系統ごとに独立して準備されている。入力レベルは-10dBm typ./1波である。また、1G CONV受信部から出力される140MHz帯受信信号を分配器により5分配し、そのうち4系統を端局装置へ、残りの1系統をビーコン受信装置へ出力する。出力端子はビーコン受信装置(PILOT RCVR)への出力も含めて、(H)、(L)の系統ごとに独立して準備されている。

表3にL帯周波数変換部の主要性能を示す。

Ka帯周波数変換部は、20GHz帯受信周波数変換装置(20G D/C)、折り返し試験装置(30G/20G XLTR)、受信校正装置及び受信信号切替え制御装置(CAL SW CONT)で構成されている。

20G D/Cは、低雑音増幅器(LNA)から入力された20GHz帯RF信号を1.2GHz帯信号に変換し、出力する。

30G/20G XLTRは、大電力増幅部出力側にある方向性結合器によって取り出された30GHz帯RF信号の一部を20GHz帯受信信号に変換して、次段の受信校正パス切替えスイッチ(CAL SW ASSY)に出力する。

受信校正装置は、受信校正用シンセサイザ(SYNTH(CAL))、CAL SW ASSY(校正用減衰

表3 L帯周波数変換部主要性能

項目	性能
1. 140M IF PATCH	
入出力周波数範囲	140MHz ±38MHz
通過損失	6.6dB 以下(送信) 3.7dB 以下(受信)
振幅周波数特性	0.4 dBp-p 以下(送信) 0.7 dBp-p 以下(受信)
2-1 1G CONV (送信周波数変換部)	
入力周波数範囲	137.5 - 177.5MHz
出力周波数範囲	1167.9 - 1207.9MHz (LOW) 1235.1 - 1275.1MHz (HIGH)
変換利得	0dB ±1.1dB 以内
スプリアス	-61.5 dBc 以下
振幅周波数特性	1.7 dBp-p 以下/±38MHz
2-2 1G CONV (受信周波数変換部)	
入力周波数範囲	950 - 1450MHz
出力周波数範囲	140MHz ±38MHz
変換利得	36dB ±0.6dB 以内
スプリアス	-60.3dBc 以下
振幅周波数特性	0.9dBp-p 以下/±38MHz
3. 1G COMB/DIV	
入出力周波数範囲	1167 - 1276MHz
合成数(送信部)	4
分配数(受信部)	4
通過損失(送信部)	10dB 以下(ATT 最小減衰時)
通過損失(受信部)	10dB 以下(ATT 最小減衰時)

表4 Ka帯周波数変換部主要性能

項目	性能
1. 20G D/C	
入力周波数範囲	20.77 - 20.85 GHz
出力周波数範囲	1170 - 1250 MHz
変換利得	35dB ±5.4dB 以内/80MHz
スプリアス	-66.8 dBc 以下
振幅周波数特性	0.5 dBp-p 以下/80MHz
2. 30G/20G XLTR	
入力周波数範囲	30.56 - 30.6312 GHz 30.5728 - 30.6528 GHz
出力周波数範囲	20.7788 - 20.85 GHz 20.77 - 20.85 GHz
変換損失	19.8dB 以下
振幅周波数特性	0.4 dBp-p 以下

器含む)及びパワーメータ(PWR MTR(CAL))で構成されている。

CAL SW ASSYには、30G/20G XLTRからの折り返し信号とSYNTH(CAL)からの校正信号の二つが入力されており、CAL SW CONTからの切替え信号によって、どちらかが出力としてCAL OUT端子より校正用減衰器で出力レベルを調整された後、出力される。出力された信号は、低雑音増幅部に入力され、LNAの校正に用いられる。折り返し信号が選ばれた場合は、SYNTH(CAL)からの信号は30G/20G XLTRのローカル信号となる。

表4にKa帯周波数変換部の主要性能を示す。

大電力増幅部は、30GHz帯周波数変換装置(30G U/C)、大電力増幅装置(HPA)及び送信信号切替え制御装置(HPA SYS CONT)で構成されている。

30G U/Cは、入力される1.2GHz帯IF信号を30GHz帯送信信号に周波数変換し、次段のHPAへ出力する。また、前面パネルのダイヤルにより利得を可変することができる。

HPAは、30G U/Cから送られてくる30GHz帯RF信号を所要電力まで増幅する機能を持ち、固体励振増幅器とTWT(進行波管)増幅器の2段構成で、50dBの利得を得ている。

HPA SYS CONTは、HPAシステムの系統切替え制御及び表示を行うもので、次の機能を持つ。

- 1 送信出力のアンテナとダミーロードの切替えと表示
- 2 送信出力のパワーメータの電力表示ON/

表5 大電力増幅部主要性能

項目	性能
1. 30GHz U/C	
入力周波数範囲	1220MHz ±60MHz
出力周波数範囲	30.56 - 30.68 GHz
変換利得	22 dB 以上 (最大設定時)
出力1dB 圧縮点	+16.5dBm
振幅周波数特性	0.2dBp-p 以下
2. HPA	
出力周波数範囲	30.56 - 30.68 GHz
飽和出力電力	+50.6dBm 以上
利得	50 dB 以上 (飽和時)
利得変動	0.1 dB /h 以下 (50W 出力時)
振幅周波数特性	0.9dBp-p 以下
スプリアス	-61.2dBc 以下

OFFの切替え及び表示

3 REMOTE/LOCAL制御モードの設定

4 HPAの動作状態及び各導波管スイッチのポジション状態のREMOTEへの出力

表5に大電力増幅部の主要性能を示す。

図6にHPA単体の入出力特性の一例を示す。

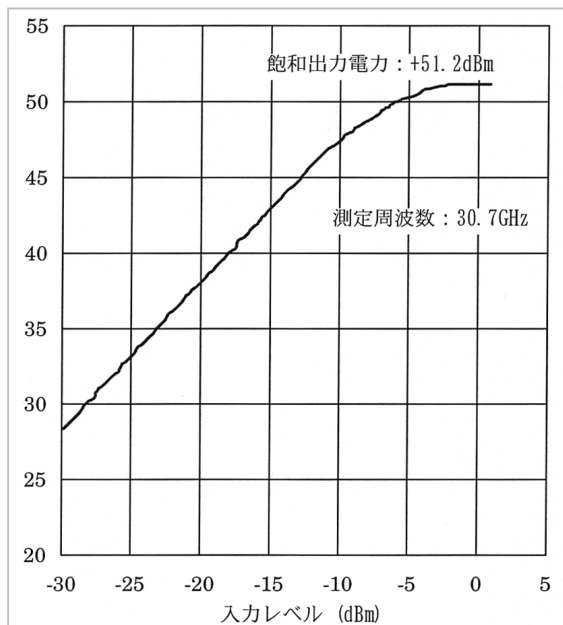


図6 HPA入出力特性 (@30.7GHz)

HPAの飽和出力電力は51.2dBmである。30G U/Cの入出力特性(@30.68GHz)については示さないが、最大利得設定時の飽和出力電力は+17dBm、出力1dB圧縮点は+16.5dBm(入力電力:-5dBm)となっている。

低雑音増幅部は、アンテナの給電部直下のRF部収容箱内に取り付けられており、LNAと入力切替え導波管回路から構成されている。図7にブロック図を示す。

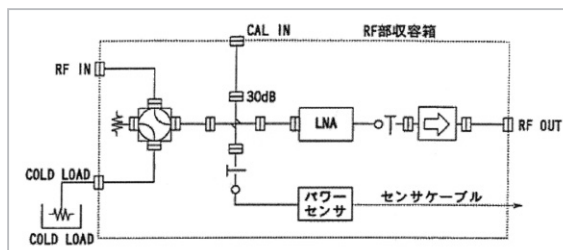


図7 低雑音増幅部ブロック図

本低雑音増幅部は、給電部より入力される20GHz帯の受信信号を所要のレベルまで低雑音

増幅し、次段の20G D/Cへ出力する。受信系雑音温度測定のためにCOLD LOAD端子を有しており、標準雑音源(窒素ダミー)を取り付けることができる。また、受信校正用信号はCAL IN端子より入力され、30dBカップラを経由してLNAに入力される。

表6に低雑音増幅部(LNA単体)の主要性能を示す。

図8にLNA単体の入出力特性を示す。

表6 低雑音増幅部(LNA単体)主要性能

項目	性能
入出力周波数範囲	20.78 - 20.84 GHz
雑音温度	157.1K 以下 (LNA入力端)
利得	54.1dB ±0.1dB
出力1dB圧縮点	+6.5dBm
温度特性	1.6dBp-p 以下 / -10℃~+55℃

AFC制御部は、フィーダリンク局RF系において、主に衛星局のローカル周波数ドリフトの影響を補償するためのシステムである。

基本的な動作は、衛星から送信されるビーコン信号をビーコン受信装置(PILOT RCVR)で受信し、その受信周波数の測定値とビーコン信号の周波数のノミナル値との差から、衛星内のビーコン信号を発生する発振器から、フィーダリンク局のPILOT RCVRまでのルートにおける周

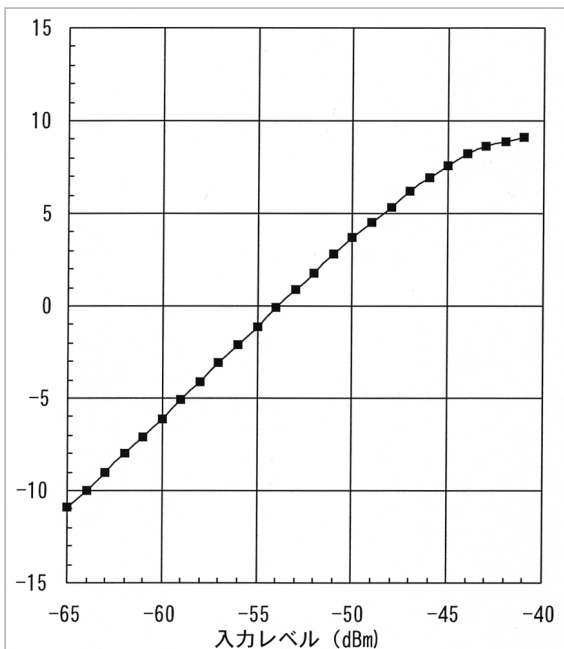


図8 LNA単体入出力特性

波数の誤差情報を得て、フィーダリンク局の送受信周波数を自動的に調整するものである。

ただし、本AFC制御では、衛星が動くことによって発生するドップラ効果による周波数ドリフトの補償は行うことはできない。

監視制御部は、監視制御装置(MAC)により主にGP-IBインタフェースによって、各機器の監視制御を行う。

図9に監視制御の系統図を示す。

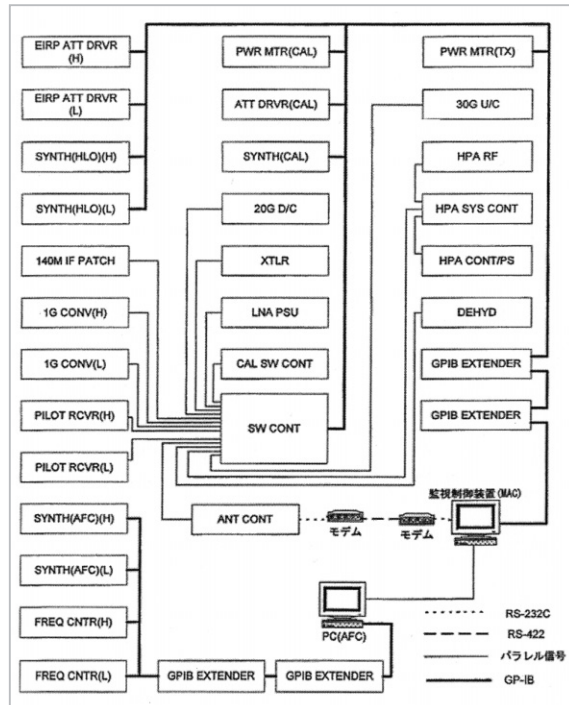


図9 監視制御系統図

主な機能は以下のとおりである。

- 1 衛星通信機器の状態監視
- 2 衛星通信機器の個別制御
- 3 ANT/DUMMY、ANT/TEST切替え機能
- 4 ブザー鳴動/停止機能
- 5 履歴機能
- 6 送信パワーのログ機能
- 7 保守機能
 - (1) 日時設定
 - (2) ブザー設定
 - (3) ログバックアップ
 - (4) ローカル操作有効/無効
 - (5) AFC監視有効/無効

図10にRF部総合の振幅周波数特性の一例を示す。測定ルートは、送信系が140M IF PATCH

から HPA まで、受信系が LNA から 140M IF PATCH までである。

は 0.8dBp-p である。Hi バンドでは、送信系が 0.1dBp-p 以下、受信系が 0.8dBp-p となっている。

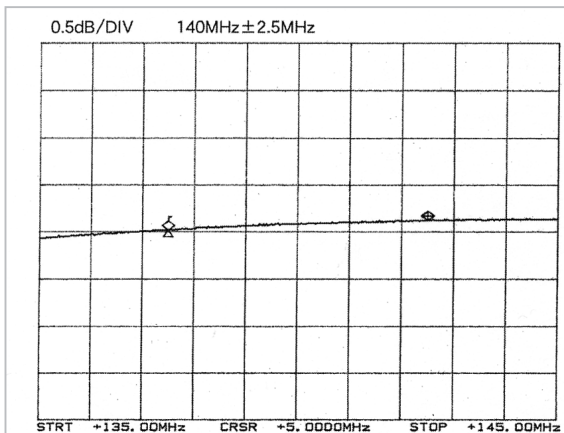
図 11 に送信系のスプリアスの一例を示す。

スプリアスは、140MHz、-10dBm の信号(標準入力)を 140M IF PATCH から入力し、HPA 出力(方向性結合器のカップリング出力)で測定した。特に目立ったスプリアスはない。

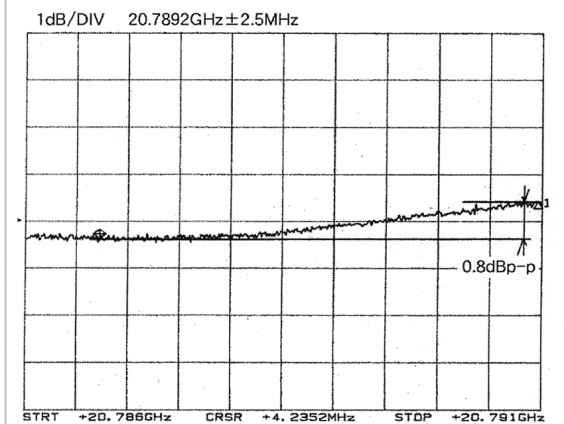
図 12 に送信系のレベルダイヤ、図 13 に受信系のレベルダイヤを示す。

送信系では、EIRP ATT 及び 1G COMB 内の ATT により、送信レベルを可変することができる。また、30G U/C では前面パネルのダイヤルにより利得を可変することができる。可変範囲は 17dB-23dB (カタログ値) である。本レベルダイヤは入力を -10dBm (標準)、ATT はどちらも 0dB、30G U/C の利得は 22.3dB (最大利得) の最大運用時について示した。

受信系では、1G DIV 内 ATT 及び 140M IF PATCH 内の ATT により、出力レベルを可変す



(1) 送信系振幅周波数特性 (Low)



(2) 受信系振幅周波数特性 (Low)

図 10 RF 部総合振幅周波数特性の一例

振幅周波数特性は一例として送受信共 Low バンドについて示した。送信系は 0.1dBp-p、受信系

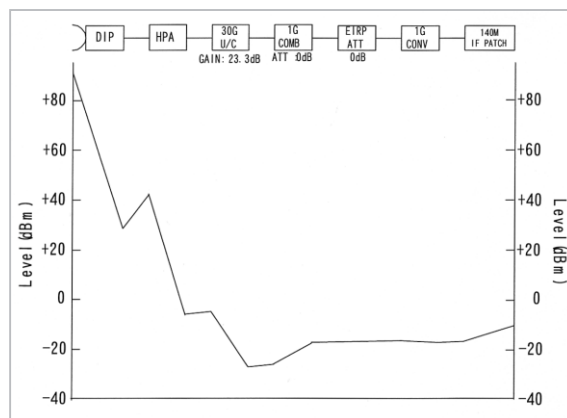


図 12 送信系レベルダイヤ

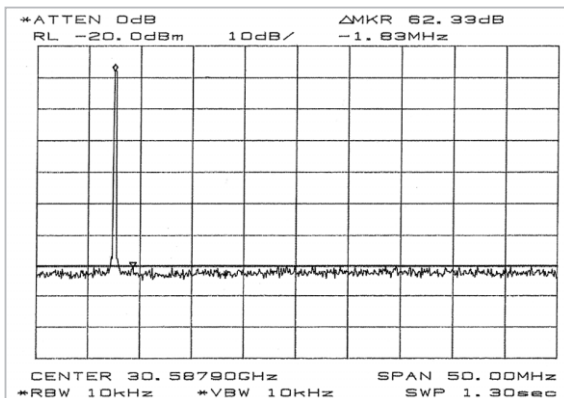


図 11 送信系スプリアス (Low)

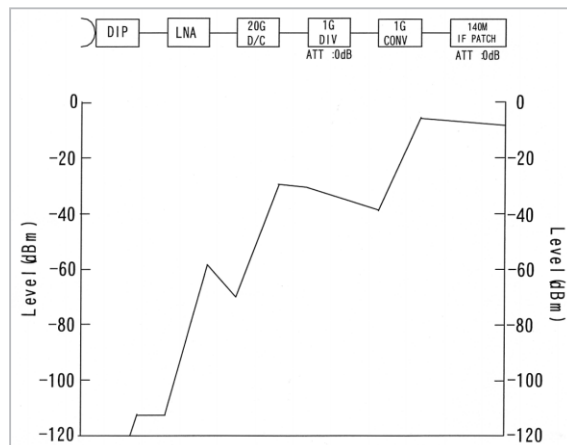


図 13 受信系レベルダイヤ

ることができる。本レベルダイヤはどちらのATTも0dBとしたときを示した。

3 おわりに

Ka帯フィーダリンク局の構成と性能について紹介した。ETS-Ⅷの打ち上げは、2004年夏期に

予定されており、本地球局は通信実験において中心的な役割を果たすことになる。今後は、実験に用いる通信端末などとのインタフェースの確認作業及びドップラ補償のためのシステムの検討など、本番の実験が円滑に行えるよう十分な準備を行う予定である。

参考文献

- 1 橋本, “音声通信用搭載交換機”, 本特集.
- 2 平良, 橋本, 浜本, “高速データ通信用パケット交換機”, 本特集.
- 3 野田, 佐野, 浜, “高精度時刻基準装置”, 本特集.
- 4 平良, 浜, 吉本, 浜本, “移動体衛星通信・放送実験”, 本特集.
- 5 高橋, 後藤, 中川, 藤枝, 木内, 細川, 今江, “高精度時刻比較実験”, 本特集.
- 6 田中健二, 吉村直子, 森川栄久, 若菜弘充, “フィーダリンク地球局アンテナ装置”, 通信総合研究所季報, Vol.40, No.2, pp.187-194, 1944.
- 7 飯田尚志, “ウェーブサミット講座 衛星通信”, オーム社, 1997.



やまもと しんいち

山本伸一

無線通信部門鹿島宇宙通信研究センター
モバイル衛星通信グループ主任研究員
移動体衛星通信

おぼらのりあき

小原徳昭

元電磁波計測部門電離圏・超高層グループ主任研究員 博士(工学)
移動体衛星通信、極域衛星通信、アンテナ・伝搬

おおはし はじめ

大橋 一

無線通信部門宇宙通信応用グループ主任研究員
衛星通信工学