

## 4-6 可搬局

### 4-6 Portable earth station

#### 4-6-1 可搬局用RF系

##### 4-6-1 RF Unit for Portable earth station

張 宰赫 三浦 周 山本伸一

JANG Jae-Hyeuk, MIURA Amane, and YAMAMOTO Shin-ichi

#### 要旨

平成17年度に打ち上げ予定の技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)の搭載アンテナの軌道上における電気的特性を評価するために、衛星からのビーム照射地域の離散的な位置における受信電力強度を測定する実験を計画している。そこで、この実験のために可搬局を開発し、その電気的性能を測定した。測定の結果、可搬局として想定した性能どおりに動作することが分かった。

For the purpose of verifying the in-orbit electrical characteristics of the Engineering Test Satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ) on-board antenna, we plan to measure the receiving signal power at multiple points in the beam area of it. We developed the portable earth station for measuring the receiving signal power and measured the electrical performance. The measurement results show that the expected performance can be achieved for the portable earth station.

#### 【キーワード】

技術試験衛星Ⅷ型, 搭載アンテナ, 軌道上における電気的特性, 可搬局

Engineering Test Satellite Ⅷ, On-board antenna, In-orbit electrical characteristics, Portable earth station.

### 1 まえがき

技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)には、ハンドヘルドターミナルによる音声通信や高速データ通信などの移動体衛星通信実験を行うため、高利得の大型展開アンテナ(展開時の実効開口径が13m)が搭載される[1][2]。このような大型展開アンテナの地上及び軌道上における特性評価は、今後の衛星搭載アンテナの開発のために、ひいては将来の一層発展した衛星通信システムのために重要である。地上における電気的特性や展開試験などの評価は既に行われ、その結果が報告されている[3][4]。一方、軌道上における搭載アンテナの特性評価は平成17年度予定のETS-Ⅷの打ち上げ後に行われる予定である。

通信総合研究所では、ETS-Ⅷ搭載アンテナの

軌道上における放射パターンや鏡面変形度などの特性評価を行うために、衛星からの一つのビーム内に複数台の可搬局を離散的に配置させ、各地点における受信電力強度を測定する実験を計画しており、そのための可搬局を複数台製作する予定である。この可搬局はIF信号入出力の変復調器を接続することで通信実験ができるようにRF系としても設計されている。本論文では、試作した可搬局の構成及び電気的特性について述べる。

### 2 可搬局の構成

#### 2.1 回路構成

図1に可搬局の回路構成図を示す。可搬局は、アンテナの利得が12dBiのとき、20dBW以上の

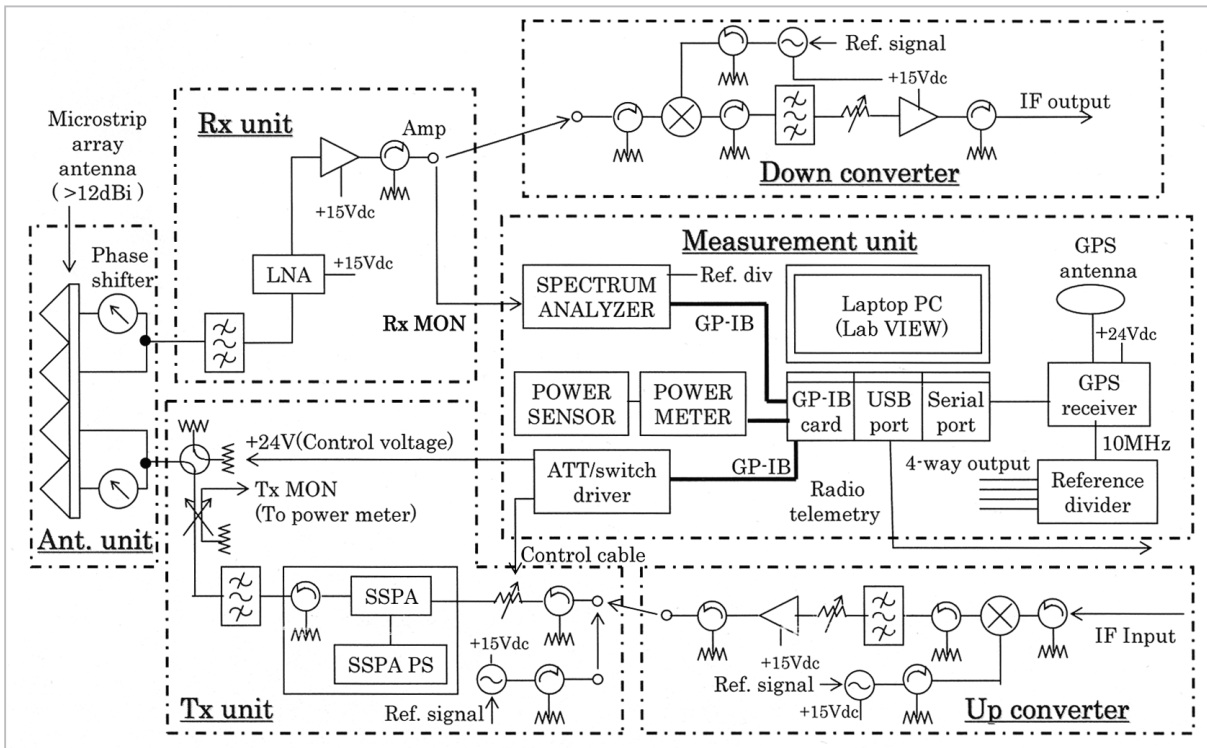


図1 可搬局の回路構成図

送信 EIRP、 $-15\text{dB/K}$  以上の G/T (LNA の出力端で)、受信電力強度の測定ダイナミックレンジ  $30\text{dB}$  以上、送信周波数帯域が  $2657.5 \pm 2.5\text{MHz}$ 、受信周波数帯域が  $2502.5\text{MHz} \pm 2.5\text{MHz}$  などの主な目標仕様で設計された。

可搬局を大きく分別すると、アンテナ部、送信部、受信部、測定及び制御部、周波数変換部から構成されており、以下に各構成について述べる。

① アンテナ部 (Ant. unit)

アンテナ部は車載局アンテナとしても利用する S 帯階段型アンテナとそれに必要となる電力分配器及び移相器から構成される。このアンテナは  $1 \times 4$  素子アレーをシーケンシャルにして 4 列に並べ、前方の 2 列を送信アンテナ、後方の 2 列を受信アンテナにしたものである。実験結果、アンテナ利得は送受  $12\text{dBi}$  以上得られている。アンテナ部の構成及び電気的特性については **4-5** 車載局にて詳細に述べられているので、ここでは省略する。

② 周波数変換部 (Up/Down converter)

周波数変換部は、搭載アンテナ特性の測定時には使用せず、通信実験時のみに利用することにしており、 $140\text{MHz}$ 、 $-10\text{dBm}$  の IF 信号を入

出力する変復調器を接続することで、通信実験ができるようにした。周波数変換部は、アップコンバータとダウンコンバータから構成されている。

アップコンバータは、周波数  $140\text{MHz}$ 、電力レベル  $-10\text{dBm}$  の IF 信号を入力したとき、出力端で  $2657.5\text{MHz}$ 、 $0\text{dBm}$  以上の RF 信号になるように回路を構成した。ダウンコンバータは周波数  $2502.5\text{MHz}$ 、電力レベル  $-30\text{dBm}$  の RF 信号を入力したとき、出力端で  $140\text{MHz}$ 、 $-10\text{dBm}$  以上の IF 信号になるように回路を構成した。表 1 と 2 にアップ及びダウンコンバータの構成部品的主要性能を示す。

③ 送信部 (Tx unit)

周波数変換部は通信実験のみに使用することにしたため、搭載アンテナ特性の測定実験時の送信信号として利用する CW 信号源が必要となる。そこで、送信部に水晶発振器とアップコンバータの BPF と同性能のフィルタを組み込み、搭載アンテナの特性の実験を行うようにした。

送信部は、入力端からステップ可変減衰器、高周波出力増幅器 (SSPA)、バンドパスフィルタ、 $30\text{dB}$  方向性結合器、スイッチ、無反射終端器の順で回路が構成されており、周波数変換部のア

表1 アップコンバータ構成部品の主要性能

装置	性能
ローカル 発振器	出力周波数：2517.5 MHz、 出力電力：17.4 dBm、 DC current：450mA(MAX) @15V
ミキサー	Triple balanced mixers 入力周波数： LO/RF .005 to 3.0GHz IF .005 to 2.0GHz 変換損：7.5dB typ
BPF	$f_0$ ：2657.5MHz、 Pass band： $f_0 \pm 2.5$ MHz、 Stop band： $f_0 \pm 150$ MHz に おいて、-70dB 以上減衰、 振幅周波数特性： $f_0 \pm 3$ MHz にて 0.5dBp-p 以内、 耐電力：1W
可変減衰器	入力周波数：2～4GHz、 可変範囲：>20dB、 VSWR：<1.5:1、 挿入損失：<0.2dB
AMP	入力周波数：0.1～3GHz 利得：32.8±0.9dB、 1dB Comp.：21dBm、 NF：4.77dB、 DC current：364mA@15V

アップコンバータからの信号又は送信部に組み込んでいる水晶発振器からの信号を入力したとき、送信出力端で2657.5MHz、40dBm (10W) 以上に出力されるようにした。

ステップ可変減衰器とスイッチは、測定及び制御部の ATT/Switch ドライバーにて制御を行うようにしており、送信信号の電力レベルの調整及び送信信号の終端と送端との切替えを行う。送信信号のモニタリングは方向性結合器の30dB 結合端子からの出力を測定及び制御部のパワーメータで測定して行うようにした。送信部の構成部品の主要性能を表3に示す。

#### ④ 受信部 (Rx unit)

受信部は、入力端子からBPF、LNA、AMPの順で構成されており、2502.5MHz、-100dBmの信号を入力したとき、出力端で-30dBm以上の

表2 ダウンコンバータ構成部品の主要性能

装置	性能
ローカル 発振器	出力周波数：2363.5 MHz、 出力電力：14.4 dBm、 DC current：450mA(MAX) @15V
ミキサー	アップコンバータと同一
LPF	$f_0$ ：140MHz、 Pass Band：150MHz、 Stop Band：300MHz にお いて、-70dB 以上減衰、 帯域内振幅偏差： $f_0 \pm 3$ MHz にて 0.5dBp-p 以内、 耐電力：1W
可変減衰器	入力周波数：DC～250MHz 可変範囲：>15dB VSWR：<1.5:1 挿入損失：<0.9dB
AMP	入力周波数：10～200MHz 利得：45.7dB(MIN) 1dB Comp.：24.4dBm NF：2.5dB DC current：176mA@15V

出力レベルになるように回路を構成した。受信部の構成部品の主要性能を表4に示す。

#### ⑤ 測定及び制御部

測定及び制御部は、スペクトラムアナライザ、パワーセンサー及びパワーメータ、ラップトップ型のパーソナルコンピュータ(ラップトップPC)、ATT/Switch ドライバー、GPS アンテナ及び受信機、4出力端子信号分配器から構成され、送受信信号のモニタリングや測定装置の制御などを行う。

スペクトラムアナライザは受信信号電力の測定に、パワーメータは送信信号のモニタリングに用いる。ATT/Switch ドライバーは、送信部のステップ可変減衰器及びスイッチの制御を行う。GPS アンテナ及び受信機は、測定装置及び局部発振器を同期させるためのレファレンス信

表3 送信部の構成部品の主要性能

装置	性能
ローカル 発振器	出力周波数：2657.5 MHz 出力電力：15dBm DC current：450mA(MAX) @15V
BPF	アップコンバータの BPF と同一
ステップ 可変減衰器	入力周波数：2~4GHz 可変範囲：81dB@1dB Step VSWR：<1.5:1 挿入損失：<0.2dB
SSPA	入力周波数：2.6~2.7GHz 利得：40dB 以上 最大出力電力：10W 以上 1dB Comp.：39dBm 以上 NF：12dB 以下 AC：100V/, 50/60Hz, 3A
BPF	$f_0$ ：2657.5MHz Pass Band： $f_0 \pm 2.5$ MHz、 Stop Band： $f_0 \pm 150$ MHz において、-70dB 以上減衰 帯域内振幅偏差： $f_0 \pm 3$ MHz にて 0.5dBp-p 以内 耐電力：20W
Coupler	入力周波数：2~4GHz Coupling level：30dB 耐電力：50W
RF Switch	VSWR：<1.2:1 挿入損失：<0.2dB Isolation：80dB(MIN)
Termination	入力周波数：DC~18GHz 耐電力：20W

号(10MHz)の供給と時刻・位置データの取得のために組み込んだものである。レファレンス信号は4出力端子信号分配器を用いて測定装置などに供給するようになっている。ラップトップPC

表4 受信部の構成部品の主要性能

装置	性能
BPF	$f_0$ ：2520MHz Pass Band： $f_0 \pm 20$ MHz、 Stop Band： $f_0 \pm 150$ MHz に おいて、-90dB 以上減衰 帯域内振幅偏差： $f_0 \pm 20$ MHz にて 0.5dBp-p 以内 耐電力：1W
LNA	入力周波数：2.3~2.7GHz 利得：45dB(MIN) 1dB Comp.：16.4dBm NF：0.38dB DC current：200mA@15V
AMP	入力周波数：2~4GHz 利得：31dB(MIN) 1dB Comp.：19.3dBm NF：1.7dB DC current：251mA@15V

には、GPIBカード及びシリアルポートが装備されており、測定装置の制御及び測定装置からの取得データの記録にはGPIBケーブルを、GPS受信機からの位置及び時刻データの記録にはシリアルケーブルを用いる。

⑥ その他(データ収集システム)

衛星搭載アンテナの放射パターンなどの電気的特性を評価するために、複数台の可搬局を製作し、各可搬局を衛星からのビーム内に離散的に配置させ、受信電力強度を測定する予定である。そこで、離散的に配置された可搬局の遠隔操作や各可搬局における取得データの一括収集などを行うためのホスト計算機を用意し、その計算機と各可搬局をインターネット回線でリンクさせ全可搬局を一元管理できるデータ収集システムを構成する予定である(遠隔操作やデータ収集方法などについては、4-6-4データ収集システムを参照)。そのために、携帯電話あるいはPHSなどの無線通信端末器も可搬局に組み込む予定である。

## 2.2 試作可搬局RF系の構成

図1の回路構成に従って試作した可搬局のラックの外観及び構成図を図2に示す。アンテナ部、受信部、GPSアンテナは、ラックから離して見通しのよいところに設置又はラック本体の上に設置するなど、ラックの設置場所及び使用目的に応じて変えられるような構成を検討中であるため、図2には示していない。

ラックの大きさは、1100mm(高)×570mm(幅)×750mm(奥行)である。ラックの内部は6段で構成されており、背面にはファンを取り付け、放熱を図っている。

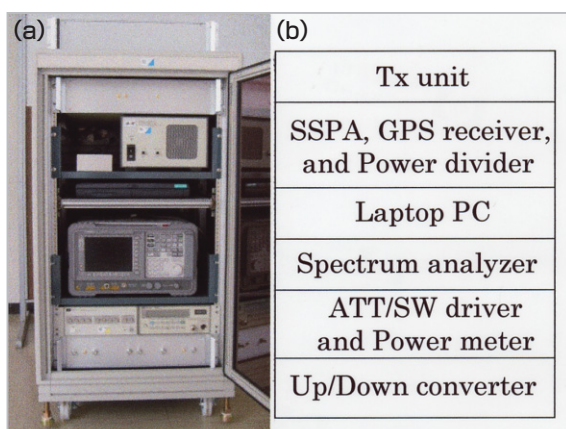


図2 試作可搬局の写真及び構成図  
(a)可搬局の写真、(b)構成図

ラック内の最上段のサブラックには、送信部の回路が組み込まれているが、SSPAだけはラックの2段目に組み込んだ。使用したSSPAは、DC電源と放熱用ファン付きの一体型のもので、サブラックの中に組み込むにはサイズに限界があったため、2段目に組み込んだ。送信部を使用するときには、送信部のサブラックの前面パネルに設けているRF信号入出力端子とSSPAの前面のRF信号入出力端子とRFケーブルで接続し使用する。

SSPAを除いて、2～5段目には測定及び制御部が組み込まれている。2段目にはGPS受信機と4出力端子信号分配器(GPS受信機の出力端子の前)が組み込まれており、3段目にはラップトップPC、4段目にはスペクトラムアナライザ、5段目にはATT/Switchドライバーとパワーメータが組み込まれている。3段目のラップトップPCは、スライドレール付きスチールテーブルの上

に載せており、引出しのように、使用時にはそのテーブルを引き出し、未使用時には閉めるようになっている。最下段のサブラックにはアップ及びダウンコンバータの周波数変換部回路が組み込まれている。

## 3 可搬局の電気的特性

### 3.1 アップコンバータの電気的性能

図3にアップコンバータのレベルダイヤを示す。図3は140MHz、-10dBmのIF信号を入力し、可変減衰器の減衰値を0dBにしたときに測定したものである。このときのアップコンバータの出力信号は2657.5MHz、13.6dBmであった。アップコンバータの最大利得は23.6dBであった。また、スプリアス特性は-70dBc@2657.5±2GHz以下、振幅周波数特性は0.41dBp-p@2657.5±3MHzであり、可変減衰器の可変範囲は27dBであった。アップコンバータは通信実験に用いるので、ローカル発振器の位相雑音をあらかじめ

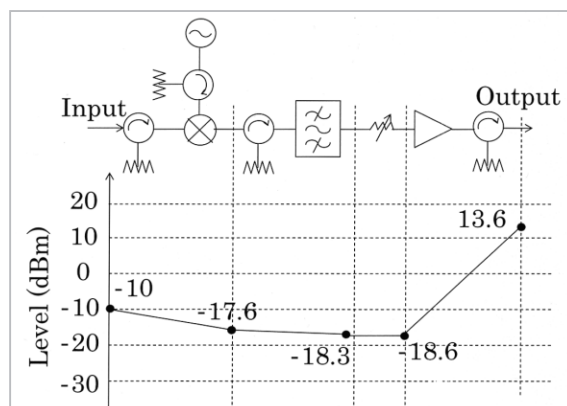


図3 アップコンバータのレベルダイヤ

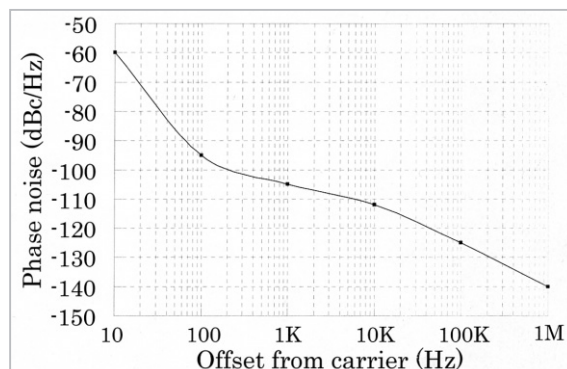


図4 アップコンバータのローカル発振器の位相雑音@2517.5MHz

測定しておく必要がある。そこで、アップコンバータのローカル発振器の位相雑音を測定した。図4にその位相雑音を示す。

### 3.2 送信部の電氣的性能

図5に送信部の入出力特性を示す。図5は、周波数を2657.5MHz、送信部の可変減衰器を0dBにし、方向性結合器の30dB結合端子から測定したものである。入力が0dBmのときから飽和し始めており、そのときの出力は41.5dBmであり、線形領域での利得は41.5dBである。

送信部の回路構成(2.2)にも述べたように、送信部の入力信号としては、アップコンバータからの信号、あるいは送信部の発振器からの信号を用いる。そこで、両信号をそれぞれ送信部に入力し、可変減衰器を用いて出力が40dBmになるようにしたときのスプリアス特性及び振幅周波数特性を測定した。スプリアス特性は両信号とも $-70\text{dBc}@2657.5\pm 2\text{GHz}$ 以下であった。振幅周波数特性は、アップコンバータからの信号を用いた場合が $0.6\text{dBp-p}@2657.5\pm 3\text{MHz}$ 、発振器からの信号を用いた場合が $0.5\text{dBp-p}@2657.5\pm 3\text{MHz}$ であった。

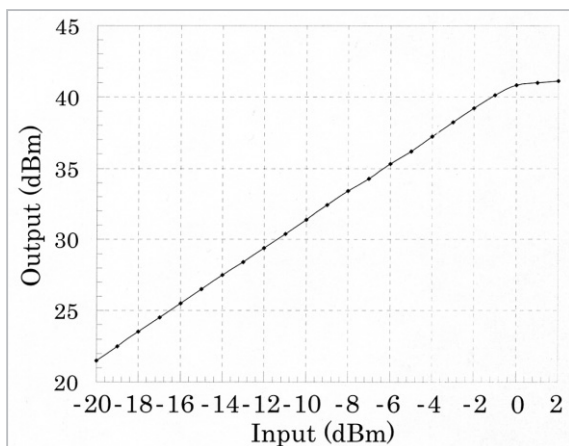


図5 送信部の入出力特性@2657.6MHz

### 3.3 受信部の電氣的性能

図6に受信部のレベルダイヤを示す。図6は2502.5MHz、 $-100\text{dBm}$ のRF信号を入力したときに測定したものである。受信部の利得は84.8dB、出力レベルは $-15.1\text{dBm}$ であった。また、振幅周波数特性は $0.6\text{dBp-p}@2502.5\pm 3\text{MHz}$ で、C/N比は $32\text{dB}@2502.5\pm 3\text{MHz}$ 以上(スペクトラ

ムアナライザのRBWが3kHzのとき)であった。このC/N値が受信電力の測定ダイナミックレンジとなる。

図7に受信部のLNAの入出力特性を示す。LNAの利得は約50dBであった。LNAの雑音指数は0.4dBであり、アンテナの利得を12dBi、給電損失1dB、アンテナ雑音温度300K、环境温度を300Kと仮定してG/Tを計算すると、 $-14.17\text{dBK}$ のG/Tが予想される。

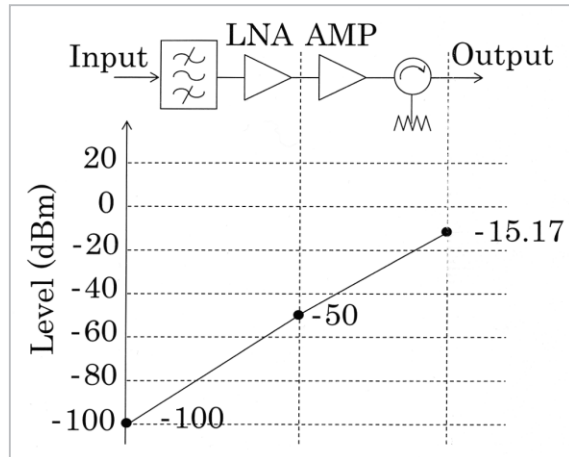


図6 受信部のレベルダイヤ

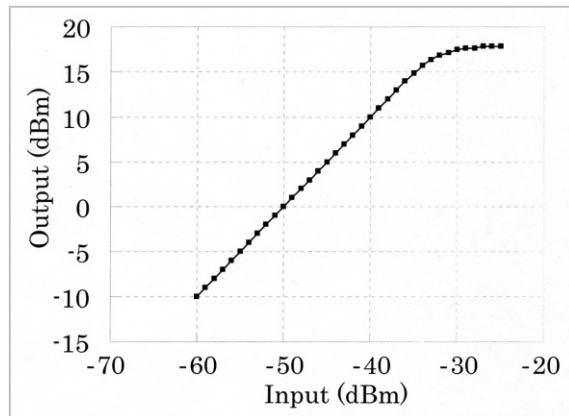


図7 LNAの入出力特性@2502.5MHz

### 3.4 ダウンコンバータ

図8にダウンコンバータのレベルダイヤを示す。図8は2502.5MHz、 $-30\text{dBm}$ のRF信号を入力し、可変減衰器の減衰値を0dBにしたときに測定したものである。このときのダウンコンバータの出力信号は140MHz、 $11.6\text{dBm}$ であり、最大利得は41.6dBであった。また、スプリアス特性は $-30\text{dBc}@140\pm 3\text{MHz}$ 以下、振幅周波数特性は $0.6\text{dBp-p}@140\pm 3\text{MHz}$ であり、可変減衰器の

可変範囲は21dBであった。

図9にダウンコンバータに使用したアンプ単体の入出力特性を示す。線形領域での利得は49.3dBであり、入力レベルが約-22dBmのときから飽和し始めた。

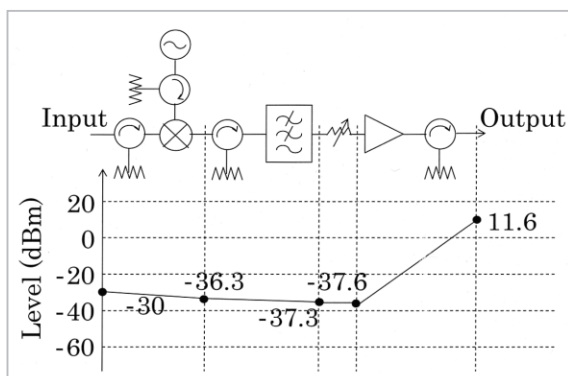


図8 ダウンコンバータのレベルダイヤ

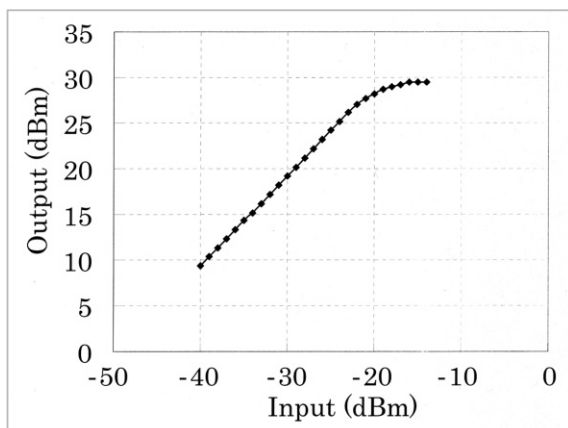


図9 ダウンコンバータのアップの入出力特性 @140MHz

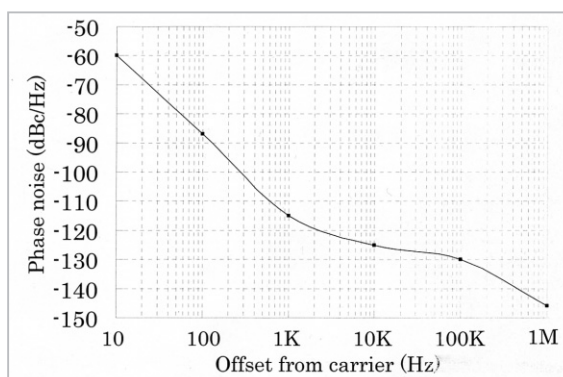


図10 ダウンコンバータのローカル発振器の位相雑音@2363.5MHz

アップコンバータと同様にダウンコンバータのローカル発振器の位相雑音を測定した。図10にその結果を示す。

## 4 むすび

ETS-VIIIの搭載アンテナ電気的特性の測定実験及び通信実験を行うために試作した可搬局の回路構成及び電気的特性について述べた。ETS-VIIIは平成17年度に打ち上げ予定であり、打ち上げ後の搭載アンテナの初期チェックアウトに可搬局が利用される予定である。その後、基本実験フェーズにおいて搭載アンテナ電気性能実験及び通信実験に利用される予定である。今後は、可搬局を平成15年度までに5台製作し、それと同時に搭載アンテナの測定方法、可搬局の配置場所の検討、各可搬局の較正方法など、打ち上げ後の実験に向け十分な準備を行う予定である。

### 参考文献

- 1 N. Hamamoto, Y. Hashimoto, M. Sakasai, Y. Tsuchihashi, and M. Yoneda, "An experimental multi-media mobile satellite communication system using the ETS-VIII satellite", AIAA-98-1301, A collection of technical papers of the 17<sup>th</sup> ICSSC, pp. 408-416, Feb. 1998.
- 2 Y. Kawakami and S. Yoshimoto, "The onboard mission system for satellite mobile communications and broadcasting in the ETS-VIII", AIAA ICSSC, 2000-1149, 2000.
- 3 織笠, 内丸, 辻畑, 宮坂, "ETS-VIII搭載大型展開アンテナの開発 電気性能評価について," 信学技報, A-P2001-138, 65-72, Nov. 2001.
- 4 T. Kuroiwa, Y. Tsutsumi, T. Maruyama, M. Homma, A. Tsujihata, A. Miyasaka, "Deployment testing for large deployable reflector", 51<sup>th</sup> IAC, IAF-00-I.1.06, Oct. 2000.



張 宰赫(JANG Jae-Hyeuk)  
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専攻研究員 博士(工学)  
アンテナ、電波伝搬、衛星通信



三浦 周  
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 博士(情報科学)  
アンテナ、衛星通信



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