

ミリ波疑似衛星局

門脇 直人*¹ 高橋 靖宏*² 鈴木 良昭*¹
(1994年1月24日受理)

THE MILLIMETER-WAVE BAND USER SATELLITE SIMULATOR
FOR ETS-VI EXPERIMENTS

By

Naoto KADOWAKI, Yasuhiro TAKAHASHI, and Yoshiaki SUZUKI

The millimeter-wave band is suitable for intersatellite communications, because it has a wide bandwidth and it does not suffer from atmospheric attenuation in intersatellite paths. CRL has developed a millimeter-wave band transponder for the ETS-VI project, but no other satellite has an intersatellite communication capability in that band. Therefore, the authors developed a millimeter-wave band user satellite simulator (mmW-USS) for experiments. The mmW-USS consists of an antenna, high power amplifier (HPA), low noise amplifier (LNA), frequency up convertor (U/C) and frequency down convertor (D/C). The RF frequencies is 43.0 GHz for transmitting and 38.0 GHz for receiving. The antenna gains are 50.6 dBi at 43.0 GHz and 49.5 dBi at 38.0 GHz. The HPA has an output of 30 watts generated by a traveling wave tube (TWT). The LNA uses GaAs MESFET and PHEMT devices to achieve noise figure of 2.23 dB. The intermediate frequency for connecting terminal equipment is 1.7 GHz. The bandwidth is 100 MHz. This mmW-USS is also used as a hub station in a millimeter-wave band personal satellite communications experiment.

[キーワード] ETS-VI, ミリ波, 衛星間通信, パーソナル通信.

ETS-VI, millimeter-wave, Intersatellite communications, Personal communications.

1. はじめに

技術試験衛星VI型(ETS-VI)を用いたミリ波衛星間通信実験では、衛星の開発に着手した当初、ユーザ衛星として米国が建設予定の宇宙ステーションに設備される日本実験モジュール(JEM)を想定していた。また、各種予備実験および基本実験を目的として、地上に設置する疑似衛星局を用意する計画であった。しかし、宇宙ステーションの建設計画が大幅に遅れたため、現在では疑似衛星局が唯一衛星間通信実験のためのユーザ衛星にかわる施設である。

疑似衛星局は 43/38 GHz 帯を用い、ETS-VI のミリ

波通信実験機器(OCE)との通信が可能な施設である。ミリ波帯の衛星通信実験では気象条件による影響が大きいため、様々な地域で実験することを想定して、本施設は容易に移設できるよう可搬型である。

2. 実験計画の概要

現在計画されている地球環境観測衛星や今後登場する移動体通信衛星によって、周回衛星の利用が進むことが明らかである。周回衛星と静止衛星を組合わせたシステムも提案されており、このような状況では衛星同志の相対位置の変化、ドップラーシフト、信号レベルの変動等の静止衛星通信とは異なる条件が存在し、これらを克服する技術が要求される。そのため、ETS-VI とミリ波疑似衛星局を用いて、衛星間通信技術に関して初期衛星補足

*¹ 宇宙通信部 衛星間通信研究室

*² 企画部 企画課成果管理係

実験、衛星間通信プロトコル実験及び将来の実用化を目指したテレオペレーション基礎実験を行う計画である。

また、OCE を用いてミリ波パーソナル衛星通信基礎実験を行う予定であるが、本施設はミリ波折返しモードでのパーソナル衛星通信基礎実験においてハブ局として使用される。

以下にこれらの実験の概要を述べる。

2.1 初期補足実験

本実験では、ユーザ衛星の初期補足に関して特に次の項目に注目して実験を実施する計画である。

(1) アンテナポインティング技術

衛星搭載アンテナをあらかじめ疑似衛星局とは異なる方向に向けておき、指令により疑似衛星局方向に指向させる実験を行う。このような操作は、ユーザ衛星が静止衛星からみて地球の陰から出てきた場合などに必要である。

(2) ドップラーシフト補償技術

疑似衛星局において、与えられた軌道情報に基づいて送受信周波数に周波数変動を与え、この状況下で通信可能なような周波数補償を行う方法を確立する。

2.2 衛星間通信プロトコル実験

周波数及び信号レベル変動と同時に、複数のユーザ衛星回線が干渉することなく通信するための変復調方式及び通信手順を検討し、実験を行う。

2.3 テレオペレーション基礎実験

技術試験衛星VII型 (ETS-VII) 及び宇宙ステーションを用いて行われるテレオペレーションを想定して、衛星回線を介した装置の操作を行う場合の遅延時間の影響及び回線上の誤り等が及ぼす影響について基礎的な実験を通じて検討を行う。

2.4 パーソナル衛星通信基礎実験

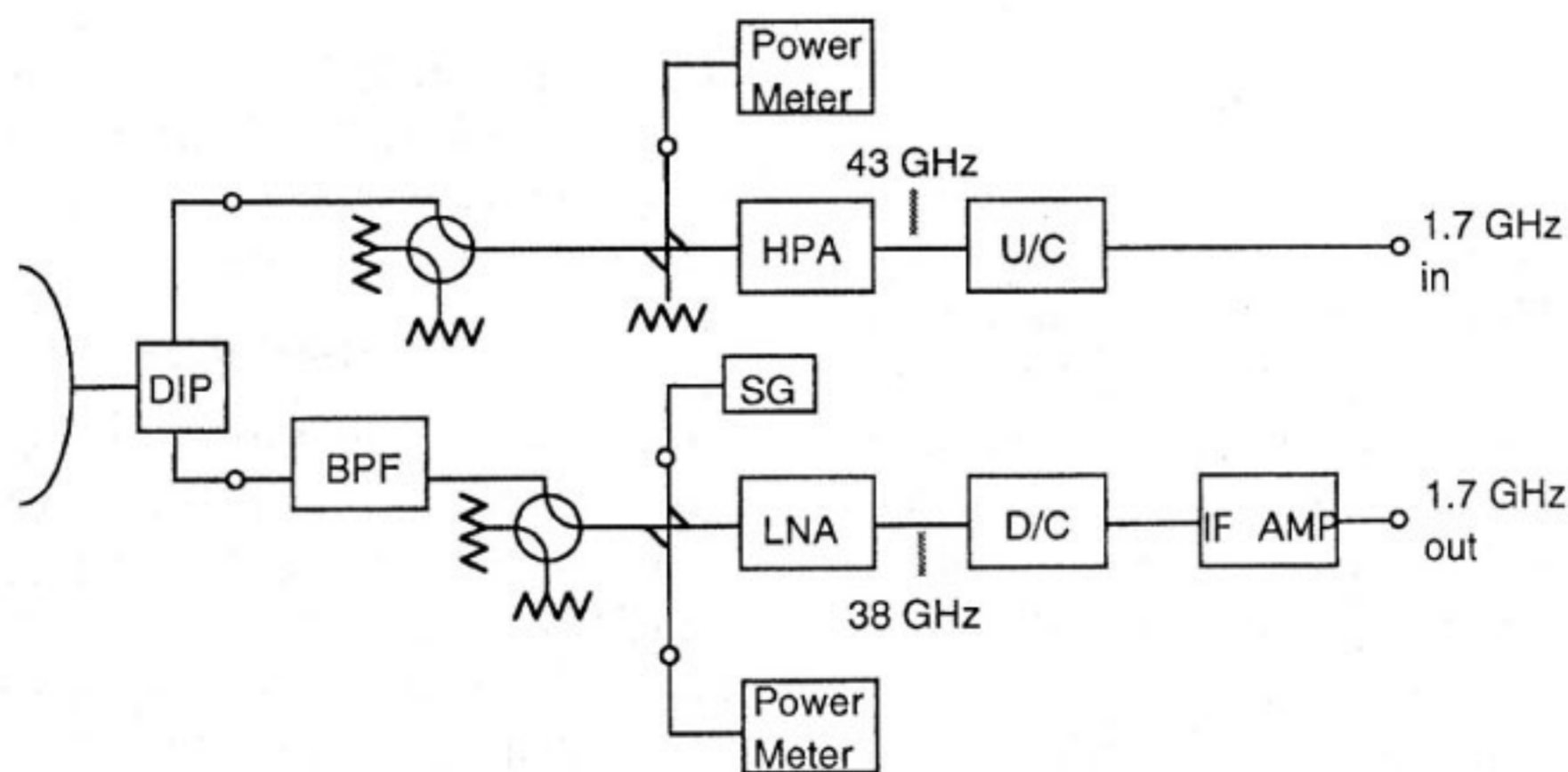
パーソナル衛星通信基礎実験では、超小型のパーソナル通信用ターミナルを開発することが大きな目標であるが、研究開発予定の技術要素として、簡易なアンテナポインティング技術、周波数利用効率の高い変復調方式、プロトコル及びネットワークアーキテクチャ等がある。これらに関連した実験を計画している。

3. 装置の構成と主要諸元

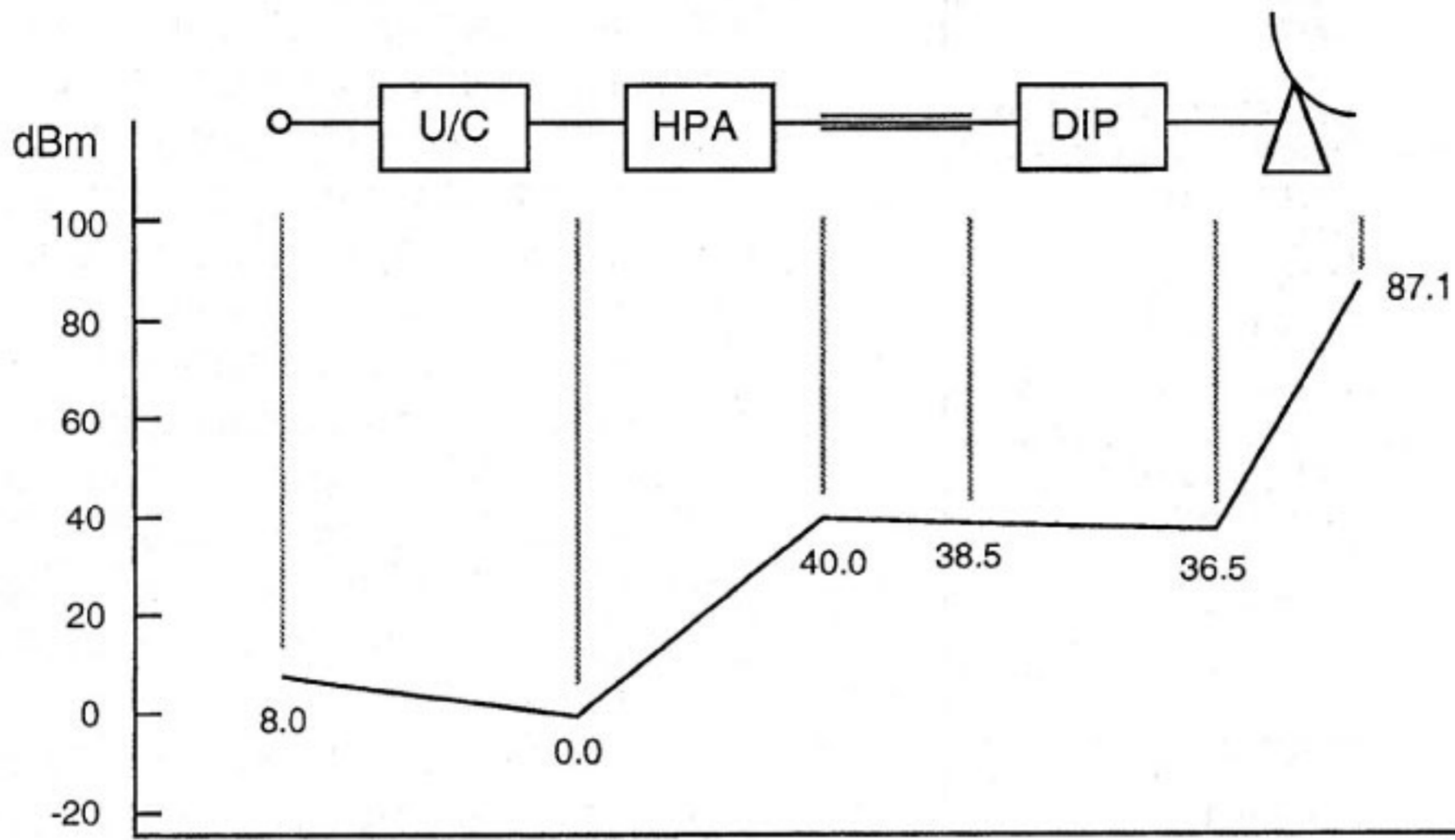
ミリ波疑似衛星局は、第1図に示すようにアンテナ (ANT)、ダイプレクサ (DIP)、高電力増幅器 (HPA)、低雑音増幅器 (LNA)、アップコンバータ (U/C)、ダウンコンバータ (D/C)、帯域通過フィルタ (BPF)、及び導波管スイッチ、方向性結合器等の周辺機器で構成される。ミリ波帯の通信機器は現在のところ開発要素も大きく非常に高価であるが、できるだけ低廉化を図るため、主要装置の大部分は既設計の製品を採用してインテ

第1表 ミリ波疑似衛星局の主要諸元

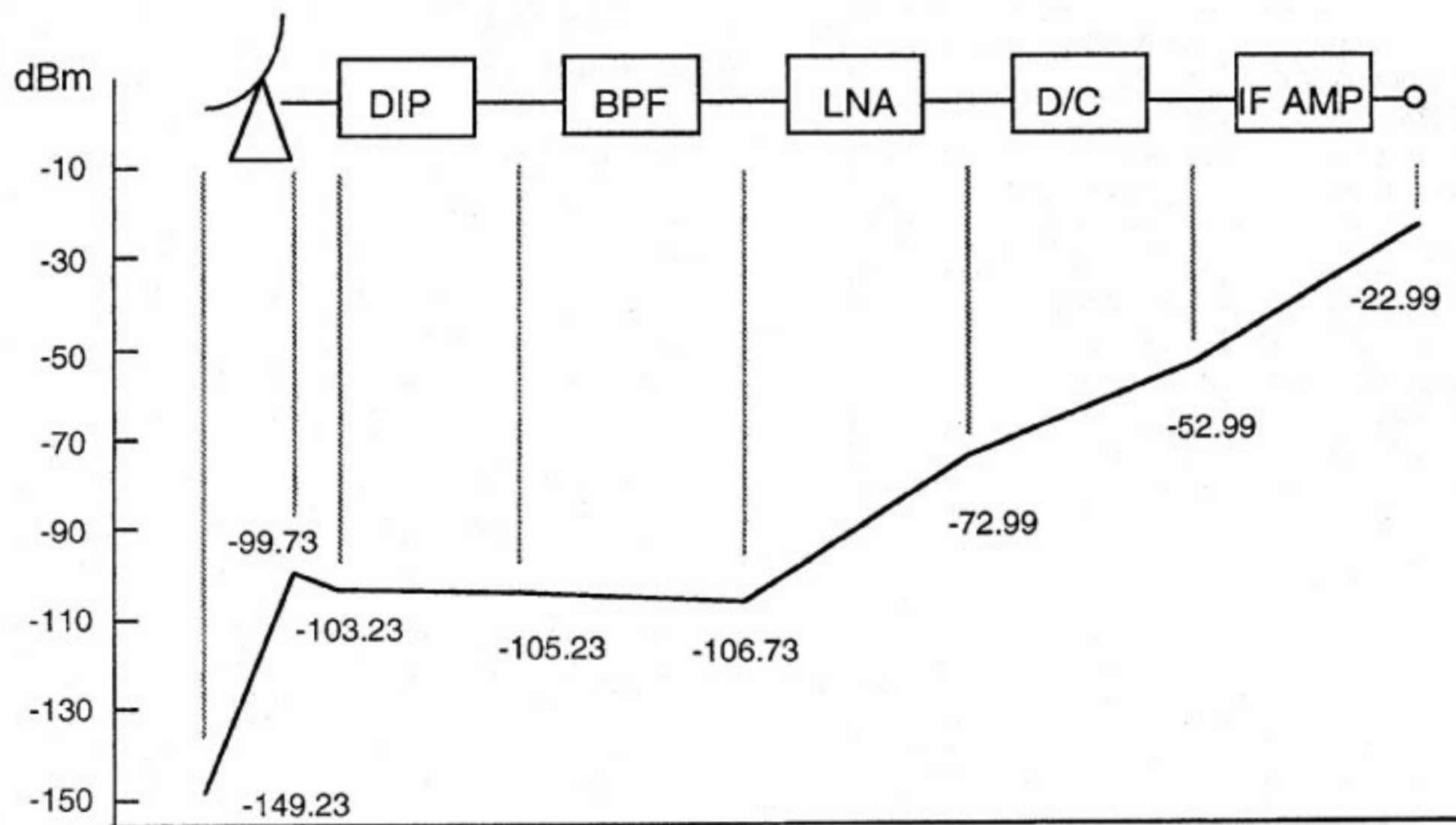
アンテナ直径	1.2 m
送信周波数	43.0 GHz ± 28.0 MHz
受信周波数	38.0 GHz ± 18.8 MHz
IF周波数	1.7 GHz
伝送帯域幅	60 MHz (フラット帯域)
EIRP	61.87 dBW
雑音温度	925 K
G/T	19.5 dB/K



第1図 ミリ波疑似衛星局の構成



第2図 ミリ波帯疑似衛星局送信系レベルダイヤ



第3図 ミリ波帯疑似衛星局受信系レベルダイヤ

第2表 装置の主要諸元

アンテナ装置	
形式	軸対称カセグレン型
直径	1.2 m
周波数帯域	送信:43.0 GHz \pm 50 MHz 受信:38.0 GHz \pm 50 MHz
利得	送信:50.6 dB 受信:49.5 dB
定在波比	1.30以下
楕円偏波率	2.0 dB 以下
電力半値幅	約0.5°
HPA	
進行波管	HUGHES 8901H
周波数	42 to 46 GHz
TWT出力	30 W
利得	40 dB以上
消費電力	600 W
BPF	
通過帯域	37.6 ~ 38.4 GHz
挿入減衰	1.5 dB以下
アイソレーション	36.7 dB (36.5 GHz) 37.0 dB (39.5 GHz)
LNA	
中心周波数	30.8 GHz
利得	33.74 dB以上
利得偏差	\pm 0.95 dB
雑音指数	2.23 dB
U/C	
局部発振器	GUNN発振器
局部発振周波数	41.3 GHz
局部発振器出力	68 mW
入力周波数	1.7 GHz
出力周波数	43.0 GHz
D/C	
局部発振器	GUNN発振器
局部発振周波数	36.3 GHz
局部発振器出力	34 mW
入力周波数	38.0 GHz
出力周波数	1.7 GHz

グレーションしている。

本装置の主要諸元を第1表に示す。また、送受信レベルダイアグラムを第2図、第3図に示す。送信系では8 dBmのIF入力に対して43 GHz帯で37 dBmの出力が可能である。受信系では-150 dBmのRF入力に対して-23 dBmのIF出力が可能である。IF周波数は1.7 GHz帯で、送受信帯域はフラット帯域で60 MHzである。

第2表に各主要装置の諸元を示す。

アンテナは直径1.2 mの軸対称型カセグレンアンテナ

ナであり、43.0 GHzの送信周波数に対し50.6 dBi、38.0 GHzの受信周波数に対して49.5 dBiの利得を有する。電力半値幅は約0.5度である。ダイプレクサの送受信分離度は70 dBであるが、受信側にBPFを挿入することで最終的に100 dB以上の分離度を実現している。

HPAは、ヘリックスタイプの進行波管(TWT)を用いており、第2表のHPAの欄に示す性能を有している。TWT出力は30 W、周波数は42 GHzから46 GHzをカバーしている。利得は40 dB以上である。

LNAはGaAs MESFET及びPHEMTデバイスを用いており、中心周波数38.0 GHzにおいて利得33.74 dBを有し、また雑音指数(NF)は2.23 dBである。

LNAの前段には、送信周波数におけるアイソレーションを十分にとるためにBPFを挿入している。通過帯域は37.6 GHz~38.4 GHz、39.5 GHzにおける減衰量は37.0 dBである。

U/Cは、ミリ波帯の局部発振器としてガン発振器を用いている。発信周波数は41.3 GHz、発振出力は68 mWである。U/Cとしては1.7 GHzの入力に対し、43.0 GHz、7.3 dBmの出力を得ることができる。バランスドミキサの後段に帯域幅6.45 GHzの帯域通過フィルタが挿入されており、周波数変換時の損失の合計は約8 dBである。

D/CもU/Cと同様ミリ波帯の局部発振器としてガン発振器を用いている。発信周波数は36.3 GHz、出力は34 mWである。D/Cとしては38.0 GHzの入力に対し、1.7 GHzの出力を得ることができる。周波数変換に伴う損失は5.5 dBであるが、IFプリアンプを内蔵しており、入出力端間の利得は総合で20 dBである。

4. 回線設計

第3表に回線設計例を示す。OCEのフラット帯域はクロスリンクモードで約60 MHz、ミリ波折返しモードで約1.2 MHzであり、信号レベルが小さい場合、雑音成分に費やされる電力が無視できない。特にOCEの運用にあたっては、雑音成分を考慮すると入出力特性の非線形領域から飽和領域で動作することが多い。この場合、希望波信号の出力電力は、入力電力に利得を掛けたものにはならない。したがって今回線計算ではOCEの受信系で発生する雑音電力と信号電力の和から総合出力電力を求め、総合出力電力中の雑音成分をシェアリングロスとして差し引くことにより、増幅された信号電力を算出している。

クロスリンクモードにおけるフィーダリンク局との通信においては、フォワードリンクで512 kbps、リターンリンクで1024 kbpsの通信が可能である。またミリ

第3表 回線設計 (1/2)

Feeder Link to mmW(1.2m)

Freq.(FL)	[GHz]	29.77
K-Output pwr.	[dBm]	30.00
K-Feeder loss	[dB]	6.40
K-ANT diameter[m]		5.00
K-ANT gain	[dB]	61.63
K-EIRP	[dBm]	85.23
K-Pointing loss	[dB]	0.50
Distance	[km]	37500.00
Pass loss	[dB]	213.40
Absorp. loss	[dB]	0.80
F-ANT gain	[dB]	46.20
F-Rx In	[dBm]	-83.27
F-Feeder loss	[dB]	0.90
F-T sys	[K]	1839.78
T ant	[K]	300.00
T Ina	[K]	1197.30
NF Ina	[dB]	7.10
F-No	[dBm/Hz]	-165.95
C/No)up	[dB-Hz]	82.69
F-XPDR BW	[MHz]	80.00
F in Power	[dBm]	-82.32
F-Rx gain	[dB]	60.50
IF out Power	[dBm]	-21.82
Sig.Power	[dBm]	-23.37
Noise Power	[dBm]	-27.03
IF cable Loss	[dB]	4.20
IF-SW Loss	[dB]	7.01
O-Xmtr In	[dB]	-28.83
O-Xmtr Out	[dBm]	-6.83
O-Hyb Loss	[dB]	3.53
O-SSPA1 In	[dBm]	-10.36
O-Tx out	[dBm]	27.65
Share. Loss	[dB]	1.56
O-Tx Sig.Power	[dBm]	26.09
O-Feeder loss	[dB]	1.34
O-ANT gain	[dB]	38.70
EIRP	[dBm]	64.79
Freq.(ISL)	[GHz]	38.00
Pass loss	[dB]	215.52
Absorp. loss	[dB]	1.70
M-ANT dia.	[m]	1.20
M-ANT gain	[dB]	49.50
Pointing loss	[dB]	0.30
M-Feeder loss	[dB]	3.50
M-Rx power	[dBm]	-103.23
M-T sys	[K]	924.92
T ant.	[K]	130.00
T Ina	[K]	194.62
NF Ina	[dB]	2.23
M-No	[dBm/Hz]	-168.94
C/No)down	[dB-Hz]	65.71
C/No)total	[dB-Hz]	65.63
Bit Rate	[kbps]	512.00
Margin	[dB]	0.13
(BER:1.0 e-4)		

mmW(1.2m) to Feeder Link

Freq.(ISL)	[GHz]	43.00
M-Output pwr.	[dBm]	40.00
M-Feeder loss	[dB]	3.50
M-ANT diameter [m]		1.20
M-ANT gain	[dB]	50.60
M-EIRP	[dBm]	87.10
M-Pointing loss	[dB]	0.30
Distance	[km]	37500.00
Pass loss	[dB]	216.59
Absorp. loss	[dB]	2.50
O-ANT gain	[dB]	40.20
O-Rx In	[dBm]	-92.09
O-Feeder loss	[dB]	1.55
O-T sys	[K]	1350.90
T ant	[K]	300.00
T Ina	[K]	648.42
NF Ina	[dB]	5.10
O-No	[dBm/Hz]	-167.29
C/No)up	[dB-Hz]	75.21
O-XPDR BW	[MHz]	56.00
O-Rx gain	[dB]	50.59
IF out Power	[dBm]	-37.20
Sig.Power	[dBm]	-41.50
Noise Power	[dBm]	-39.22
IF cable Loss	[dB]	4.20
F-Tx in	[dBm]	-41.40
F-Tx Gain	[dB]	54.30
F-Tx out	[dBm]	12.90
Share. Loss	[dB]	4.29
F-Tx Sig.Power	[dBm]	8.60
F-Feeder loss	[dB]	0.90
F-ANT gain	[dB]	46.20
EIRP	[dBm]	53.90
Freq.(FL)	[GHz]	19.94
Pass loss	[dB]	209.92
Absorp. loss	[dB]	0.50
K-ANT dia.	[m]	5.00
K-ANT gain	[dB]	59.45
Pointing loss	[dB]	0.50
K-Feeder loss	[dB]	0.43
K-Rx power	[dBm]	-97.56
K-T sys	[K]	374.51
T ant.	[K]	51.60
T Ina	[K]	265.13
NF Ina	[dB]	2.82
K-No	[dBm/Hz]	-172.87
C/No)down	[dB-Hz]	75.30
C/No)total	[dB-Hz]	72.24
Bit Rate	[kbps]	1024.00
Margin	[dB]	3.74
(BER:1.0 e-4)		

第3表 回線設計 (2/2)

mmW(1.2m) to/from mmW(45cm)

Freq.	[GHz]	43.00	43.00
M-Output pwr.	[dBm]	23.00	30.00
M-Feeder loss	[dB]	3.50	1.50
M-ANT diameter	[m]	1.20	0.45
M-ANT gain	[dB]	50.60	42.60
M-EIRP	[dBm]	70.10	71.10
M-Pointing loss	[dB]	0.30	0.30
Distance	[km]	37500.00	37500.00
Pass loss	[dB]	216.59	216.59
Absorp. loss	[dB]	2.50	2.50
O-ANT gain	[dB]	36.70	36.70
O-Rx In	[dBm]	-112.59	-111.59
O-Feeder loss	[dB]	1.55	1.55
O-T sys	[K]	1350.90	1350.90
T ant	[K]	300.00	300.00
T Ina	[K]	648.42	648.42
NF Ina	[dB]	5.10	5.10
O-No	[dBm/Hz]	-167.29	-167.29
C/No)up	[dB-Hz]	54.71	55.71
O-Rx gain	[dB]	77.97	77.97
O-Rx BW	[MHz]	1.35	1.35
IF out Power	[dBm]	-27.16	-26.96
Sig.Power	[dBm]	-34.62	-33.62
Noise Power	[dBm]	-28.02	-28.02
IF-BPF Loss	[dB]	5.76	5.76
IF-sw Loss	[dB]	0.23	0.23
O-Xmtr In	[dB]	-33.15	-32.95
O-Xmtr Out	[dBm]	-11.15	-10.95
O-Hyb Loss	[dB]	3.53	3.53
O-SSPA1 in	[dBm]	-14.68	-14.48
O-Tx out	[dBm]	27.12	27.19
Share. Loss	[dB]	7.46	6.65
O-Tx Sig. power	[dBm]	19.67	20.53
O-Feeder loss	[dB]	1.34	1.34
O-ANT gain	[dB]	35.70	35.70
EIRP	[dBm]	54.03	54.89
Freq.(ISL)	[GHz]	38.00	38.00
Pass loss	[dB]	215.52	215.52
Absorp. loss	[dB]	1.70	1.70
M-ANT dia.	[m]	0.45	1.20
M-ANT gain	[dB]	41.50	49.50
Pointing loss	[dB]	0.30	0.30
M-Rx power	[dBm]	-121.99	-113.13
M-Feeder loss	[dB]	0.50	3.50
M-T sys	[K]	568.45	1293.44
T ant.	[K]	130.00	130.00
T Ina	[K]	359.23	359.23
NF Ina	[dB]	3.50	3.50
M-No	[dBm/Hz]	-171.05	-167.48
C/No)down	[dB-Hz]	49.06	54.36
C/No)total	[dB-Hz]	48.02	51.97
Bit Rate	[kbps]	4.80	9.60
Margin	[dB]	2.80	3.75
(BER:1.0 e-4)			

波折返しモードでは、アンテナ直径 45 cm の超小型局との間でフォワードリンクで 4.8 kbps 程度、リターンリンクで 9.6 kbps 程度の通信が可能である。

5. おわりに

本稿では ETS-VI 搭載の OCE を用いた通信実験に使用するミリ波疑似衛星局について述べた。本施設はアンテナ直径 1.2 m、出力 30 W の TWTA を有した、ミリ波帯では比較的規模の大きい地球局施設である。本施設を用いたミリ波帯の衛星通信実験により、ミリ波帯の衛星通信への適用性が評価されることになるであろう。

参考文献

- (1) M. Tanaka, H. Kitahara, C. Harada and T. Kawanishi, "Experimental Intersatellite Data Relay and Tracking System for ETS-VI", Proceedings of 13th AIAA International Communications Satellite Systems Conference, pp. 878-885, 1990.
- (2) 門脇, 島田, 鈴木, 井上, 齊藤, "ETS-VI搭載ミリ波帯中継器の設計と特性", 信学論 B-II, J76-B-II, 5, pp. 452-459, May 1993.