

4-7-6 可搬型通信実験端末

4-7-6 Portable S-band terminal for ETS-Ⅷ communication experiments

浜 真一 繁田 勉* 三好 尚** 小園晋一

(*独立行政法人 宇宙航空研究開発機構、**NHK アイテック)

HAMA Shin'ichi, SHIGETA Tsutomu, MIYOSHI Takashi, and KOZONO Shin-ichi

要旨

ETS-Ⅷの基本実験のうち、大型展開反射鏡アンテナパターン測定実験及び一般公募で採用された利用実験に用いるため、宇宙航空研究開発機構(旧宇宙開発事業団)はS帯の可搬型地上局通信端末の試作機を開発した。この端末はスルーリピータとして動作し、TCP/IP通信の衛星回線での速度低下を補償する機能も備える。この試作機の成果を踏まえて、2003年度には実機を製作する予定である。

National Space Development Agency in Japan (Japan Aerospace Exploration Agency since Oct. 2003) has developed test models of S-band portable terminal to conduct experiments; such as large deployable reflector (LDR) antenna pattern measurement experiment and utilization experiments. These test models work as through repeaters and have a TCP/IP accelerator to compensate the decrease of the TCP/IP throughput caused in a satellite link. Practical models will be manufactured in FY 2003 based on the test model.

[キーワード]

衛星通信, 端末, S帯, スルーリピータ, TCP/IPスループット改善

Satellite communication, Terminal, S-band, Through repeater, TCP/IP accelerator

1 まえがき

ETS-Ⅷプロジェクトでは、衛星開発機関が行う基本実験と、テーマを一般から公募する利用実験^[1]を行う。

ETS-Ⅷ衛星が有する大型展開反射鏡は一面の外形が約17×19mと大きいので、打ち上げ前に電波暗室内では性能の実測を行うことができない。衛星を打ち上げて実際に軌道上から電波を送信して地上の複数地点で送信性能を測定し、また、地上から軌道上の衛星に電波を送信して受信測定せざるを得ない。このため、CWの送受信機能を有し、持ち運び可能な地上局数台が必要となる。

また、利用実験を提案するユーザは、自分で地上側通信端末を整備する資金や技術力を持たない場合が多いので、最も汎用的と考えられる機能を持つ端末を開発機関が用意し、ユーザに貸し出すのが望ましい。ユーザは全国各地でこの端末を使

うため、可搬性も求められる。

以上の要求から、宇宙航空研究開発機構ではS帯の可搬型地上局通信端末を開発することにし、2001年初頭から試作機2台の開発を開始、2003年2月に完成した。この試作機の成果を踏まえて、2003年度には実機を8台製作する予定である。

2 通信端末の構成と機能

2.1 全体の構成

通信端末の外観を図1に、全体の構成を図2に示す。

利用実験のユーザのため以下の(1)～(3)に、また、アンテナパターン測定実験のため(4)に留意して、端末の仕様を策定した。

- (1) 基地局を使わずに端末同士が衛星を介して1ホップで通信できる。
- (2) 衛星をスルーリピータとして使用する。ただ

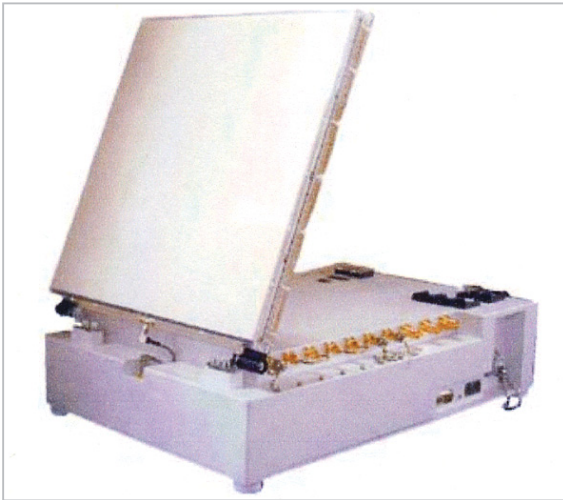


図1 通信端末の外観

し伝送レートは数種類可能とする。

- (3) 可搬性を考慮し、なるべく小型軽量とする。
- (4) CWの送受信機能を有する。

小型軽量化のため、送信出力を2W、内部アンテナの利得をB4サイズで達成可能な16dBiとした。内部アンテナは、図3に示すような64mmφのパッチアンテナを16素子並べ、上蓋中に実装した。この内部アンテナを用いて384kbpsまでの送受信が可能となる。それよりも高い伝送レート

(最大1.5Mbps)を希望するユーザに対しては、より利得の高い外部アンテナを接続可能とした。標準的な外部アンテナとして、21dBiの折り畳みアンテナ[2]と26dBiの1.2mφのパラボラアンテナを用意した。

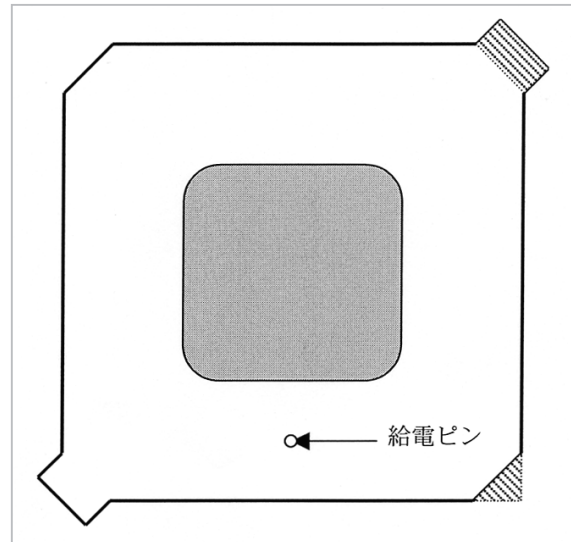


図3 内部アンテナ素子

利用実験に提案される実験のほとんどは、衛星搭載交換機の機能を積極的に利用するものではな

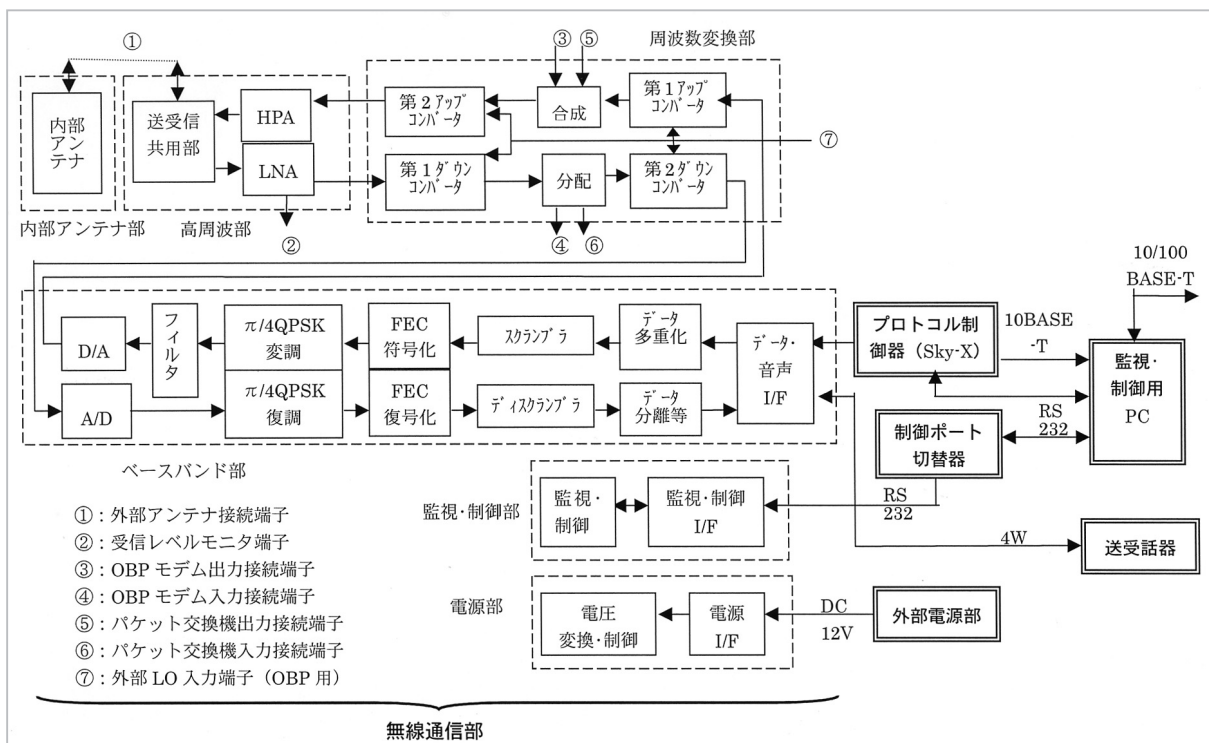


図2 通信端末の構成

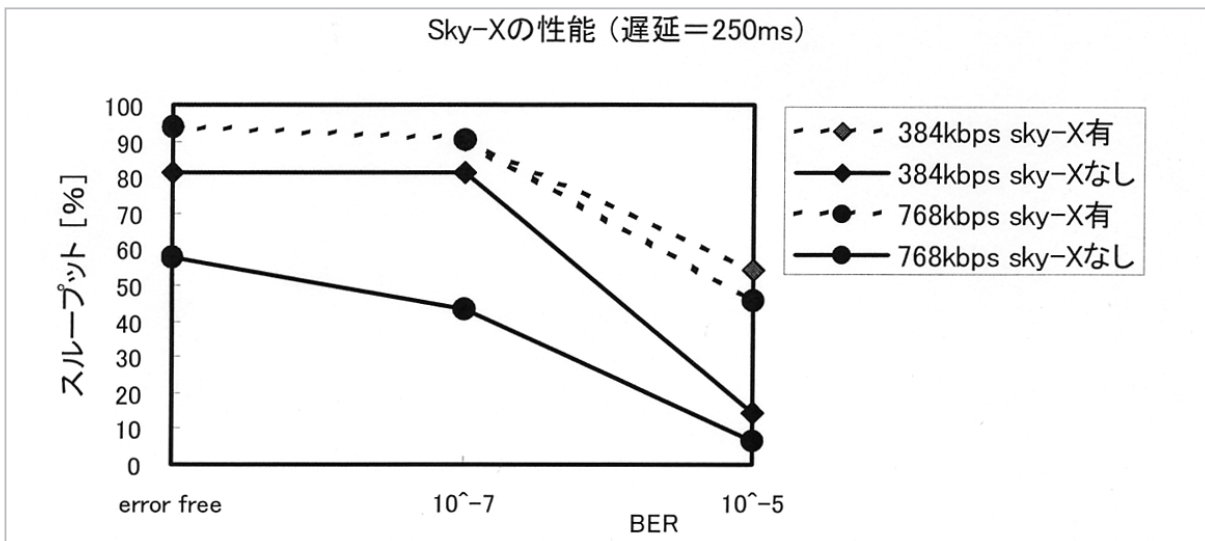


図4 衛星通信におけるTCP/IPスループットの低下

いので、通信端末としてはスルーリピータ機能をサポートし、ユーザのパソコンからデータ入出力はイーサネット経由とした。また、変調方式にはデジタル変調方式として一般的な $\pi/4$ シフトQPSKを採用、接続方式はFDMA、誤り訂正は畳み込み符号化方式(符号化率1/2)とした。

衛星通信のように遅延が大きく誤り率が高い回線では、TCP/IP通信のスループットが、特に伝送レートの高い場合に著しく低下する[3]。図4の例は1ホップ通信を想定した遅延250msの回線でのシミュレーション結果であるが、実線で示すように伝送レートが高いほど、またエラーレートが

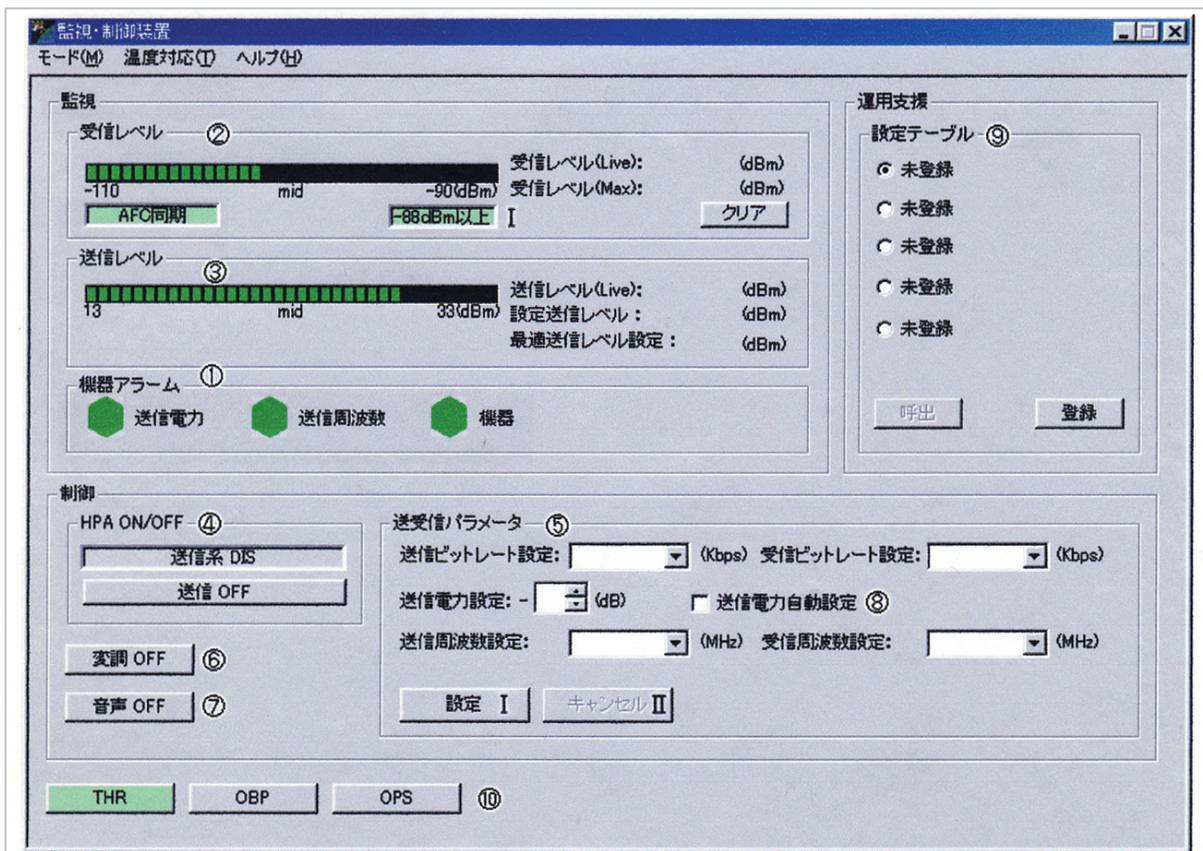


図5 監視・制御画面

高いほど、スループットが著しく低下してしまう。衛星回線部分でのプロトコル変換等の手段によってこの速度低下を緩和することが可能で、本端末でも利用するMentat社のSky-X Gateway XR-10というプロトコル制御器を利用した場合の性能を、図中に破線で示した。この装置ではXTP[4]の改良版を利用している。

なお、実機では小型軽量化するため、この機能をソフトウェアで実現する予定である。

通信端末の送受信レベル等の監視及び送受信パラメータの制御は、RS232経由で外付けのPCを用いて行う。監視・制御画面を図5に示す。

なお、端末が完成する時点(2003年2月)では、対象となるETS-Ⅷはまだ打ち上げられていないので、試験ではIFにてノイズ及び遅延を付加する機能を有する衛星模擬部(Satellite Link Emulator)、アップ/ダウンコンバータと2台の端末とを組み合わせて行うことを想定した。

表1に、この端末の主要な諸元と特徴を示す。

表1 端末の諸元

サイズ(W×D×H)	330×510×146 [mm]
重量	15.7kg (外付けPC含まず) (AC/DC電源部・プロトコル制御器は外付け、約10kg)
周波数、偏波	送信2.6555~2.658GHz (LHCP) 受信2.5005~2.503GHz (LHCP)
情報レート	64k、128k、256k、384k、768k、1.5Mbps (768kbpsと1.5Mbpsでは外部アンテナを使用)
内部アンテナ	16dBiパッチアンテナ
外部アンテナ	26dBiパラボラ1.2mφアンテナ、21dBi折り畳みアンテナ等
G/T	-10.5dB/K (E1 = 40°) (内部アンテナ使用時)
通信方式	SCPC/FDMA、π/4シフトQPSK 誤り訂正を採用 (畳み込み符号化、ビタビ復号)
誤り率	1×10 ⁻⁵ 以下(誤り訂正後)
ユーザとのインターフェイス	イーサネット IFではOBP、パケット交換機とも接続可
TCP/IPスループット補償	ハードウェア(Sky-X)による通信プロトコル変換
モニタ・制御機能	外付けパソコンに機能を搭載
アンテナパターン測定機能	CW(周波数・出力は可変)送信機能レベルモニタのためLNAからの出力あり
衛星模擬部	ノイズおよび遅延をIFで付加する機能あり

2.2 動作試験

まず端末2台の単体試験を行った。主要な結果を表2に示す。

次に衛星模擬部を介して2台を組み合わせる各種試験を行った後、ETS-Ⅷ衛星の搭載通信機器フライト品との適合性を確認するため噛み合わせ試験を行った。噛み合わせ試験の構成を図6に示す。噛み合わせ試験では、以下の試験を行った。

表2 単体試験の主要結果

項目	仕様値	試験結果	
		端末A	端末B
送信アンテナ利得	16dBi	16.85dBi	16.96dBi
受信アンテナ利得	16dBi	16.83dBi	17.05dBi
送信アンテナ軸比	3dB	1.09dB以下	1.27dB以下
受信アンテナ軸比	3dB	0.38dB以下	0.09dB以下
変調精度	12.5%rms	7.91%rms以下	7.72%rms以下
スプリアス	-50dBc	-61.98dBc以下	-61.61dBc以下
AFC追従範囲	±8kHz	+17kHz -12kHz	+16kHz -12kHz

2.2.1 RF受信試験

送受信帯域内での高・中・低3点での周波数において、[通信端末A→衛星実機→通信端末B]というルートで、適切なレベルで受信できることの確認を行った。

2.2.2 AFC試験

通信端末Aでの送信周波数を1kHzステップで変化させ、通信端末Bでの受信側AFC引き込み範囲を測定した。仕様値の±8kHzに対し、上限が+16kHz、下限が-12~13kHzと十分な性能を有し、また、単体試験の結果と整合することが確認できた。

2.2.3 IPデータ通信試験

プロトコル制御器を有効とした状態でftpによるデータ伝送を行い、C/Nを変化させてそのスループットを測定した。スループット特性は、平均スループットとプロトコル制御器送信側の最高設定速度の比で示すことができる。結果を表3に示すが、事前の単体試験の結果を再現することができた。また、これにより、実際の通信におけるC/N値の限界を予測することができる。

2.2.4 誤り率試験

LANアナライザのトラフィックジェネレータ機能で発生したPINGパケットを送信、経路途中のアッテネータを調節して信号の大きさを変える

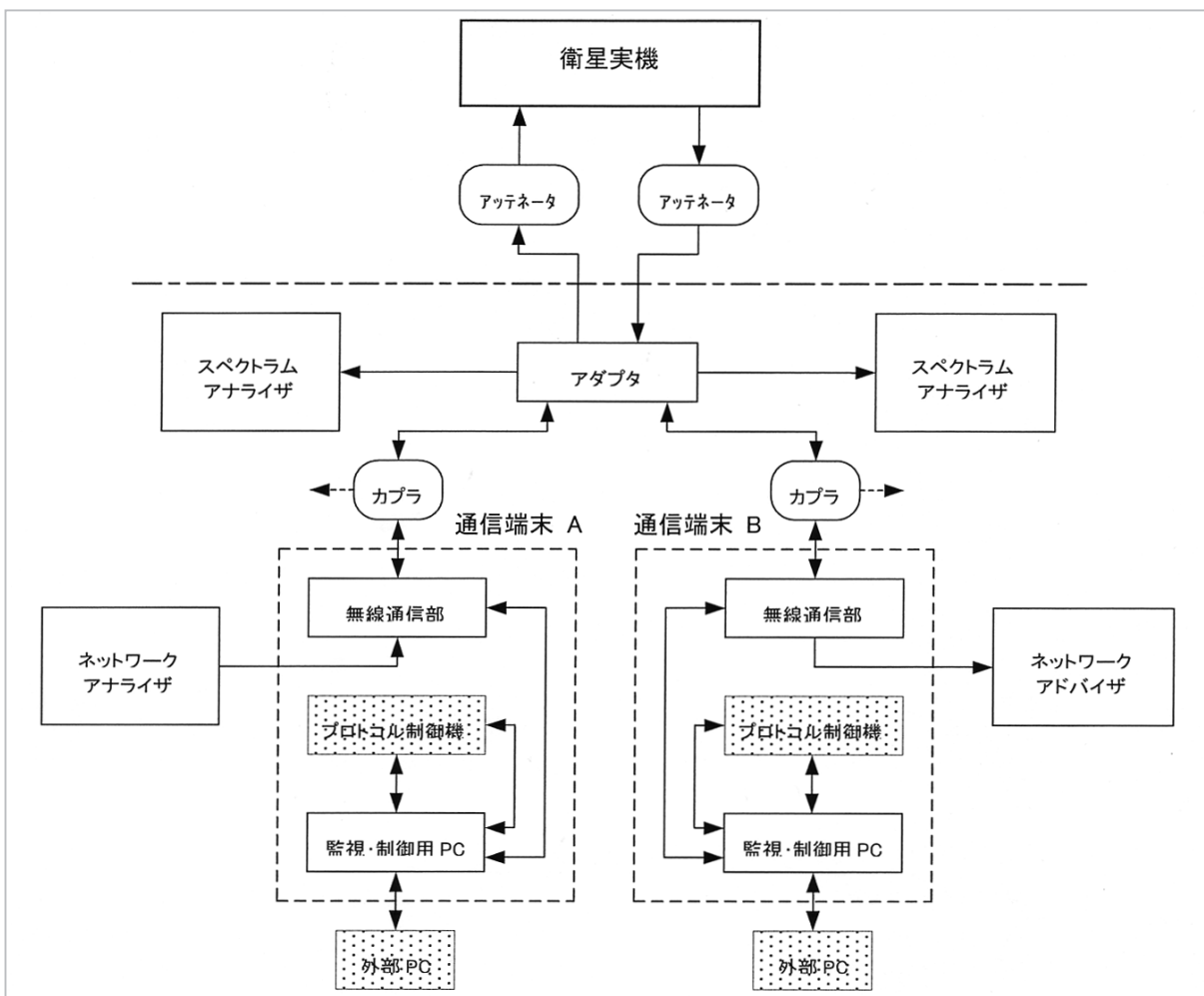


図6 衛星との噛み合わせ試験の構成

ことにより C/N 値を変化させていき、受信側の端末につないだネットワークアドバイザーにてエラーを測定した。この時直接測定できるのはフレームチェックで検出できるフレームの誤り個数であるが、1フレーム中に含まれる誤り検出対象ビット

数は 960bit であり、ランダムエラーにおける 10^4 レベルまでの誤り率測定では、1フレーム中のビットエラー数はほぼ1個と見なせるので、ビットエラーレート (BER) = フレームエラーレート / 960

表3 プロトコル制御器を用いた際のスループット特性

情報レート kbps	送信側最高設定値 kbps	C/N dB	平均スループット kbps	スループット特性 %	データ 相違
128	115	17.9	74.67	64.9	なし
		14.8	80.16	69.7	なし
		11.8	64.69	56.3	なし
384	340	12.3	218.00	64.1	なし
		10.1	151.36	44.5	なし
		8.8	file転送できず	—	—
768	650	13.0	367.65	56.6	なし
		11.2	216.88	33.4	なし
		9.9	file転送できず	—	—

として測定を行った。噛み合わせ試験での結果のうち、情報レート384kbpsでの測定結果を図7に示す(エラーが検出されなかった場合、図中では便宜上BERを 10^{-9} としてプロットした)。事前の単体試験の結果をほぼ再現することができた。

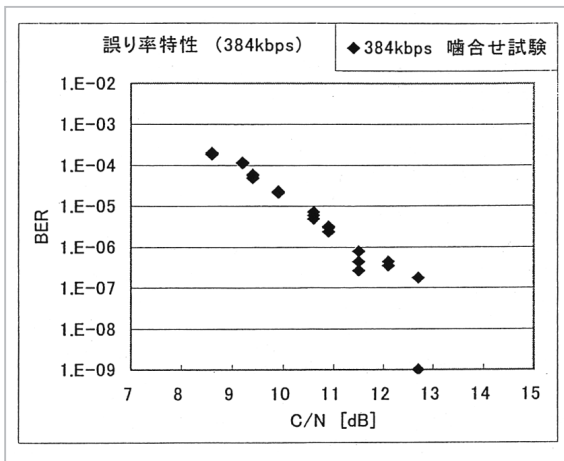


図7 誤り率特性

3 むすび

ETS-Ⅷ通信実験用の地上端末試作機の設計方針と、噛み合わせ試験を中心に述べた。この成果は2003年度に製作される実機に反映される。本端末では機能の実現・性能の確認に重点を置いたが、実機ではプロトコル変換器をソフトウェア化する等、より小型・軽量化し使いやすい端末を目指すことになる。

本端末試作機の製作は、スタンレー電気株式会社及び株式会社トキメックが行った。関係した技術者の方々に感謝する。また、通信総合研究所及び宇宙開発事業団の方々から技術的な貢献を頂いた。噛み合わせ試験では三菱電機株式会社の方々にお世話になった。併せて感謝する。

参考文献

- 1 <http://oss1.tksc.nasda.go.jp/smhc/i-Space/ETS-Ⅷ/index.htm>
- 2 井出, “平面片を用いた折り畳みパラボラアンテナ”, 本特集.
- 3 IETF RFC3135
- 4 W. ストライヤーほか, マルチメディア時代のプロトコルXTP, トップラン, 1995.



はま しんいち
浜 真一
電磁波計測部門準天頂衛星グループリーダー
衛星通信、VLBI

しげ た つとむ
繁田 勉
独立行政法人宇宙航空研究開発機構
衛星通信

み よし たかし
三好 尚
NHKアイテック
衛星通信



こ その しんいち
小園 晋一
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
衛星通信