

3-7 音声通信用搭載交換機

3-7 The On-Board Processor for a Voice Communication Switching

橋本幸雄
HASHIMOTO Yukio

要旨

携帯端末を対象とした移動体衛星通信システムのための音声通信用搭載交換機(OBP)を開発した。OBPはMC-TDMA方式を採用し、大容量音声通信の交換を可能としている。小型化のためフィルタリング、スイッチ、合成及び再生中継をデジタル信号処理によって行い、主要機能を大規模集積回路によって実現している。また、自律的通信制御機能を持ち、呼制御管理、加入者管理、ハードウェア管理制御及び統計・記録情報管理を行う。OBP単体試験、S帯中継器系との組合せ試験を実施した後、ETS-Ⅷに搭載して性能確認試験を行っている。

We developed the on-board processor (OBP) used for voice communication switching of mobile satellite communication systems. It uses multi-carrier time division multiple access to support high-capacity voice communication systems. Most functions (filtering, switching, carrier composition, and regeneration) are performed by digital signal processing; ASIC technology is used to reduce device size and power consumption. The switching function is controlled autonomously by software (call management, user management, and OBP management, as well as by using statistical and logistical data). We tested the interface functions of the OBP after it was installed on engineering test satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ) and determined that the OBP proto-flight performance test results met the system requirements.

[キーワード]

衛星通信, 再生中継器, オンボード処理, デジタル信号処理, 携帯端末
Satellite communication, Regenerative transponder, On-board processing, Digital signal processing, Hand-held Terminal

1 はじめに

移動体衛星通信では、衛星の能力から車載局や可搬局が用いられ、地上無線系の携帯電話のような手軽に持ち歩ける端末は実現されていなかった。近年、低軌道周回衛星を用いたイリジウムシステムや静止衛星を用いたスラーヤシステムなどが実用化され、携帯端末が使用されるようになってきた。我が国でも静止衛星を用いた携帯端末のための移動体衛星通信システムの開発が国の主導で進められた[1]。同システムの中核として音声通信用搭載交換機が開発され、技術試験衛星Ⅷ型(ETS-Ⅷ)に搭載されることとなった[2]。本交換機は、自律的交換機能、再生

中継機能の特徴としており、デジタル信号処理を主とした回路構成が採用されたため、オンボードプロセッサ(On-Board Processor)と称している。

本交換機の諸元、構成、通信制御プロトコル及び性能確認試験結果の概要について述べる。

2 移動体衛星音声通信システム概要

携帯端末を対象としたシステムでは衛星側の能力を高める必要があり、ETS-Ⅷでは直径13m級のS帯大型展開アンテナを搭載する。また、OBPでは再生中継や自律交換機能を取り入れることにより携帯端末及び基地地球局の能力を軽

減している。

図1にETS-Ⅷを用いた移動体音声通信システムの概念図を示す。20GHz/30GHz帯のフィーダリンクは基地地球局向けの回線であり、基地地球局では携帯端末からの通信を公衆通信網に接続する機能のほか、エリアごとの通信回線容量管理などの自律交換機能を補う運用を行う。2.5/2.6GHz帯のサービスリンクは携帯端末向けの回線であり、ETS-Ⅷでは三つのビームを使用できる。

携帯端末と公衆通信網と接続する回線は、基地地球局から携帯端末向けのフォワードリンクと携帯端末から基地地球局向けのリターンリンクがある。携帯端末間の通信は再生中継を行うクロスリンクが使用される。

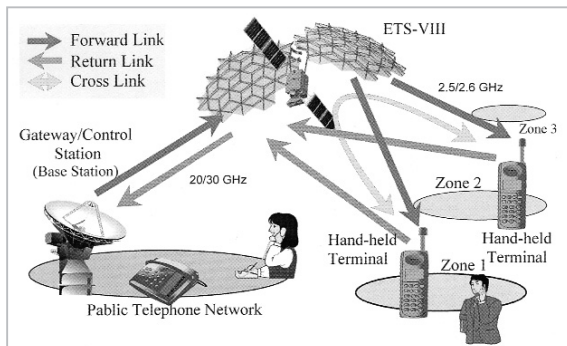


図1 移動体音声通信システム概念図

3 構成及び主要諸元

OBPはフォワードリンク信号を処理するフォワードリンクプロセッサ、リターンリンク信号を処理するリターンリンクプロセッサ、クロスリンクのための再生中継や通信制御の信号を変復調するクロスリンクプロセッサと通信制御やOBP自体の管理を行う2台のコントロールプロセッサから構成される[3]。構成を図2に示す。フィーダリンクRF系及びサービスリンクRF系とは140MHz帯IFで接続される。サービスリンクRF系との接続は3系統あり、それぞれ三つのビームに対応する。フィーダリンクRF系との接続は2系統あり、サービスリンク3ビーム分の通信容量を使用可能としているほか、どちらか一方の系のみでも運用可能となっている。

主要諸元を表1に示す。変調速度70kbpsの $\pi/4$ シフトQPSK変調を用い、レート1/2の畳み込

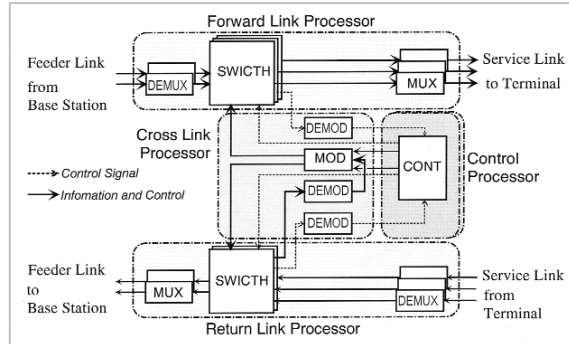


図2 OBPの構成図

み符号化/ビタビ復号方式の誤り訂正を行っている。周波数間隔50kHzのMC-TDMAにより1キャリア当たり5.6kbpsの音声データを5チャンネル伝送できるほか、1キャリアを占有して32kbpsのデータ伝送を可能としている。

表1 OBPの主要諸元

		要求条件
電 気 的 性 能	ETS-Ⅷ フィーダリンク	20/30GHz帯
	サービスリンク	2.5/2.6GHz帯
	OBP IF周波数	140MHz帯
	帯域	フィーダリンク：4MHz サービスリンク：2.5MHz(各ビーム共)
	チャンネル数	720ch
	多重接続方式	MC-TDMA(5多重)
	キャリア間隔	50kHz
	情報速度	音声：5.6kbps、データ：32kbps
	伝送速度	70kbps
	変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK
中継方式	非再生中継及び再生中継	
誤り訂正方式	畳込み符号化 ビタビ復号方式(3ビット軟判定) ・符号化率：1/2、拘束長：7	
処理遅延	0.1秒以下	
ビーム数	フィーダリンク：2ビーム サービスリンク：3ビーム	
フィルタ特性 (分波及び合波)	3dB帯域幅 $f_0 \pm 20.5$ kHz 帯域外減衰特性 $f_0 \pm 29.5$ kHzで35dB以上	
回線接続方式	デマンドアサイン	
機 械 的 性 能	OBP 消費電力(最大)	401.15W
	重量	90kg
	振動	19.7Grms
	衝撃	1000Gsrs
	温度	-20~+50℃
	放射線	1×10^6 rad

設計段階で各ポートの帯域幅は5MHzとしており、交換可能チャンネル数は音声換算で1000チャンネル以上を予定していた。ETS-ⅧではS帯の帯域幅が2.5MHzであるため、サービスリンク伝送容量は720チャンネル(音声換算)となった。また、隣接衛星に対するSバンド帯の不要放射を抑えるため、フォワードリンクプロセッサ及びリターンリンクプロセッサのサービスリンク側出力回路に4MHzの帯域制限をかけたが、フィーダリンク側についても同一設計回路を使用したため、880チャンネル(音声換算)となった。再生中

継を行うクロスリンクプロセッサは、32波分の変復調器が可能となっており、160チャンネル(音声換算)となるが、制御信号の送受に8波分使用するため、通信には120チャンネル(音声換算)が使用可能である。

OBPでは通信帯域をそのまま準直交検波によりベースバンドに変換し、信号をデジタル化して大規模ゲートアレイ(Gate Array)やFPGA(Field Programmable Gate Array)を多用したデジタル信号処理回路により、通信信号の切り出し、スイッチ、変復調、合成などの処理を行っている。表2にゲートアレイで製作したASIC(Application Specific Integrated Circuit)の個数を示す。

チャンネルプリアサインによる通信機能を持つソフトウェアがコントロールプロセッサに搭載されている。自律交換機能を持つ通常運用ソフトウェアはOBP起動後に通信回線によってロードする方式としており、ソフトウェアの修正に対応している。

表2 ASICの使用個数

Forward/Return link processor	
Poly phase filter	40
FFT/IFFT	45
Switch	5
Cross link processor	
Demodulator	4
Viterbi decoder	16

OBP全体重量は約90kgであり、消費電力は運用モード及び使用ビーム数で異なるが最大約400Wとなっている。

4 フォワードリンクプロセッサ、リターンリンクプロセッサ

図3にフォワードリンクプロセッサの構成を示す。フォワードリンクプロセッサ及びリターンリンクプロセッサは共に、準直交検波及び分波を行う分波部、スイッチ、合波及び直交変調を行う合波部、インタフェース部及び電源部から構成される。入力及び出力ポート数に応じて、分波部と合波部の数が異なる。

準直交検波回路は、140MHz帯IF信号を140MHzの局部信号で直交する二つのベースバンド信号に変換する。2MHz帯域幅の直交信号をアナログ-デジタル変換器(ADC)でデジタル化する。ADCは8bitであり、48dBのダイナミックレンジを有する。

分波回路は4MHz帯域幅のMC-TDMA信号を50kHzのキャリア間隔で切り分けるため、ポリフェーズFFT回路を使用した。スイッチ回路は、分波部からの信号を受け、コントロールプロセッサからの制御により、合波部又はクロスリンクプロセッサに出力する。クロスリンクプロセッサからの信号についてもスイッチで同様に処理される。起動時にスイッチはチャンネルプリアサインの状態に設定される。合波回路は分波回

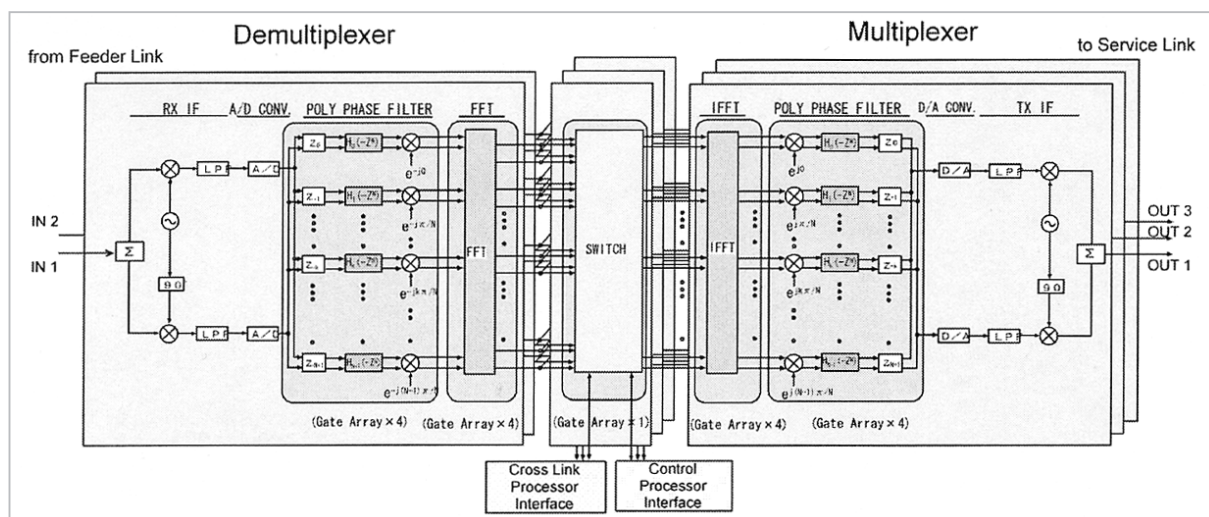


図3 フォワードリンクプロセッサの構成図

路と逆の演算操作であるIFFT及びポリフェーズフィルタにより、2MHz帯域幅のベースバンド直交信号に変換する。直交信号は2MHz以上の不要波を抑圧するベースバンドフィルタを通る。直交変調回路は、2MHz帯域幅の直交信号をデジタル-アナログ変換器(DAC)によりアナログに戻した後、140MHz局部信号により直交変調を行う。

インタフェース部は制御信号及び再生中継信号をクロスリンクプロセッサに送受するとともにコントロールプロセッサからの制御信号を受ける。電源部は、直流100Vのバス電源から直流24Vに1次変換を行う。回路ごとに必要な電圧は各基板に設けられた2次電源で生成される。

分波部及び合波部は2又は3あるため冗長回路は持たない。インタフェース回路は2系統あり、起動しているコントロールプロセッサに接続された回路が動作する。140MHz局部信号は、準直交検波回路用及び直交変調回路用として用意され、それぞれ主系及び冗長系を持ちコマンドにより切り替えることができる。電源部は主系及び冗長系を持ちOBP起動時のコマンドにより選択される。

5 クロスリンクプロセッサ

クロスリンクプロセッサはフォワードリンク

プロセッサ及びリターンリンクプロセッサのインタフェース部を通じ、通信又は制御信号を送受する。図4にクロスリンクプロセッサの構成を示す。復調部、変調部、インタフェース部及び電源部から成る。復調部及び変調部は32波分あり、そのうち8波分が制御信号の送受信に用いられる。

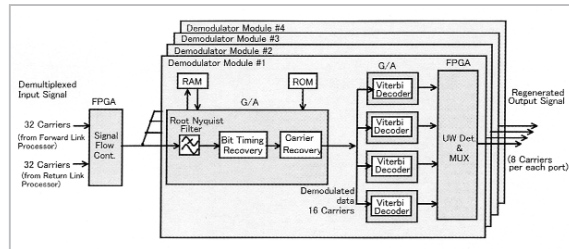
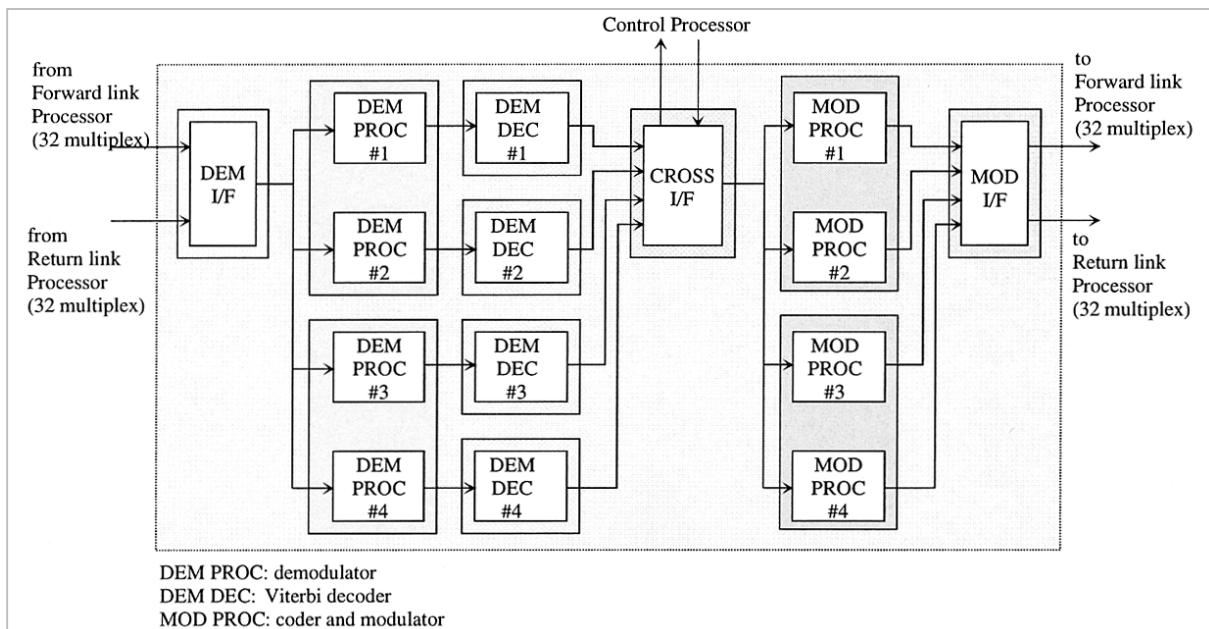


図5 復調回路の機能構成図

復調部及び変調部は4ユニットあり、それぞれのユニットで8波分の信号を多重化して時分割処理を行うことにより、回路規模を縮小している。復調部は $\pi/4$ シフトQPSK復調及びビタビ復号回路から構成される。図5に復調回路の構成を示す。

復調部及び変調部は冗長系を持たないが、制御信号用及び通信信号用としてのMODEMの割当てパターンを二つ持ち、コマンドにより切り替えることができる。インタフェース回路は2式あり、起動しているコントロールプロセッサに



DEM PROC: demodulator
DEM DEC: Viterbi decoder
MOD PROC: coder and modulator

図4 クロスリンクプロセッサの構成図

接続された回路が使用される。電源部は、直流100Vのバス電源から直流24Vに1次変換を行う。回路ごとに必要な電圧は各基板に設けられた2次電源で生成される。主系及び冗長系を持ちOBP起動時のコマンドにより選択される。

6 コントロールプロセッサ

コントロールプロセッサはソフトウェアにより、OBPの自律交換機能を行うばかりでなく、OBP自体の監視制御を行うため主系及び冗長系である同一の機能性能を持つコントロールプロセッサA及びコントロールプロセッサBの2式を搭載している。

図6にコントロールプロセッサの構成を示す。IBMのPOWER CPUと等価なRAD-6000を20MHzのクロックで使用している。メモリとして128MBを持つが、ソフトウェアが占めるのはそのうち1MB程度である。搭載ソフトウェアがROMに格納されており、起動時に各プロセッサの動作確認を行うとともに、チャンネルプリアサインによる通信機能を動作させる。

OBPのクロック信号はすべてコントロールプ

ロセッサが供給しており、コントロールプロセッサ以外のプロセッサのインタフェース部は、起動したコントロールプロセッサ側のインタフェース部がクロックの供給を受けて動作する。電源部は、直流100Vのバス電源から直流24Vに1次変換を行う。回路ごとに必要な電圧は各基板に設けられた2次電源で生成される。

OBPの電源ON/OFF以外のバスコマンドはコントロールプロセッサが受け、必要に応じて各プロセッサを制御する。

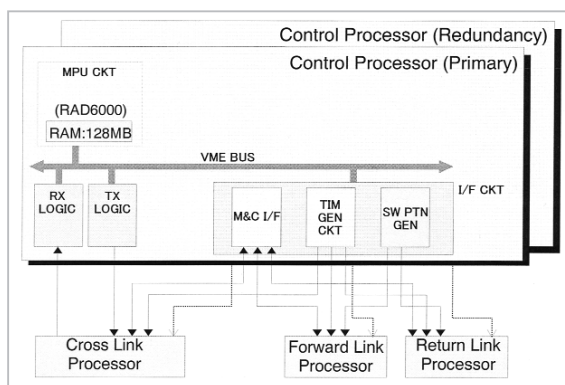


図6 コントロールプロセッサの構成図

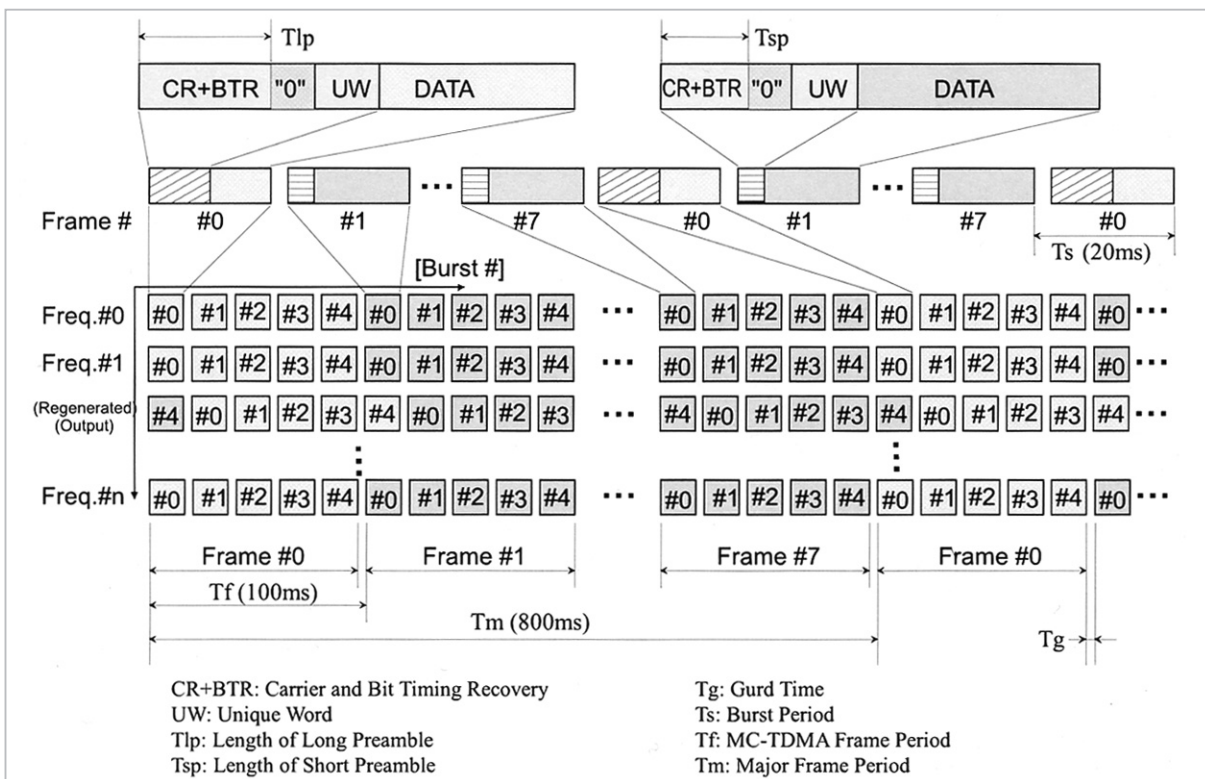


図7 MC-TDMAのフレーム構成図

7 通信方式

$\pi/4$ シフトQPSK変調を用いたMC-TDMA方式を用いている。図7にフレーム構成を示す。マルチフレーム構成を取っており、通信制御はメジャーフレームごとに制御される。また、音声通信ではメジャーフレームの先頭のみロングプリアンプルを用い、他のフレームはショートプリアンプルを用いることで通信効率を上げている。また、基準信号及び通信制御チャンネルを割り当てることにより、チャンネル効率を上げている。メジャーフレームの上にスーパーフレームを定義しているが、ビームごとの回線容量割当変更などの運用時に必要とされるものであり、機能は割り当てていない。

クロスリンクの通信は再生中継を行うが、再生中継処理で1スロット分の遅延を生じる。したがって、音声通信の再生中継出力は、メジャーフレームの先頭はショートプリアンプルとなり2フレーム目がロングプリアンプルとなる。また、データは、音声5スロット分を占有するが、1スロット分遅れるため2フレーム目から送信されることになる。

8 ソフトウェア

OSとしてVxWORKSを使用しており、OSを含めた搭載ソフトウェアの容量は261kBである。

OBPのモード遷移図を図8に示す。通信用のモードとしてウェイトモードと通常運用モードの二つのモードを持っている。オフモードから電源を入れた後、搭載ソフトウェアにより自己検査を行い、スタンバイモードから自動的にウェイトモードとなる。制御信号によりウェイトモードからダウンロードモードに切り替えた後、通信回線を用いて通常運用ソフトウェアをOBPにロードする。ロード完了後、制御信号によりOBP制御を通常運用ソフトウェアに切り替え通常運用モードに入る。リコンフィギュレーションモードは、通常運用時にOBPのパラメータの設定や状態切替えを行うモードであり、このモードの時には通信はできない。

ウェイトモードの主な機能は、OBPの状態監視とチャンネルプリアサインによる通信機能であ

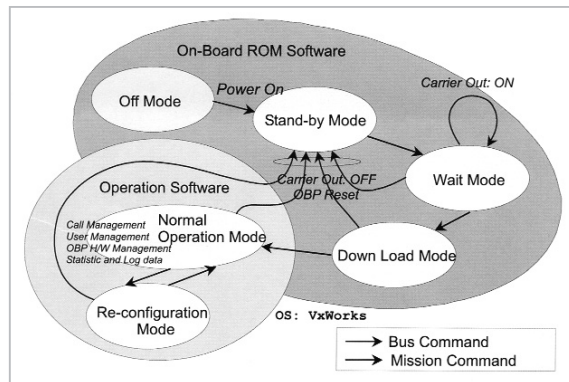


図8 OBP動作モードの遷移図

る。基準信号の送信及びTDMAのタイミングを調整するためのタイミング制御バーストに応答して、遅延クロック数を通知する機能は動作する。携帯端末からの送信信号は、周波数だけでなく送信タイミングについてもタイミング制御バーストの応答から微調整する必要がある。

なお、粗調整値を報知する機能はあるが、OBP起動後にビームごとの値を設定する必要がある。

通常運用モードでは、通常運用ソフトウェアで動作する。通常運用ソフトウェアの機能を図9に示す。呼制御管理では、呼制御、移動管理、無線管理を行う。加入者管理では、電話番号などの管理を行う。ハードウェア管理制御は、OBP自体の監視制御を行う。統計・記録情報管理は、OBPの状態及び通信統計を記録し、地球局に通報する。

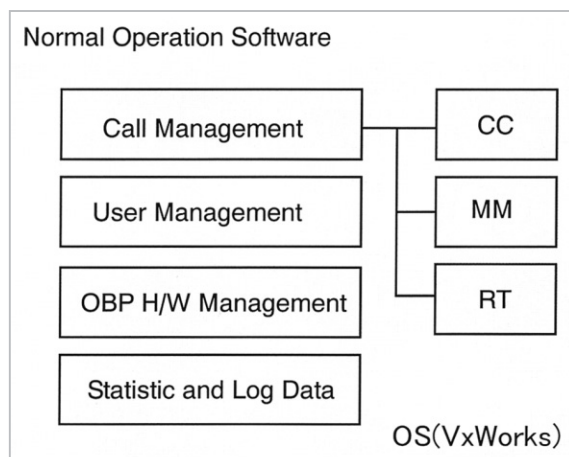


図9 通常運用ソフトウェアの機能

OBPと携帯端末間の制御情報の通信は、物理的な無線部分の物理レイヤと抽象化した制御部

分の論理レイヤとの二つのレイヤで構成しており、物理レイヤの変更に対応できる設計となっている。図10に論理レイヤにおける接続シーケンスの例を示す。移動端末は使用する前にOBPに登録する必要がある。通話のための接続要求を行い、通信チャネルの割当て等の制御が行われる。

なお、各接続制御シーケンスの前にバーストタイミング補正が行われるほか、論理レイヤの通信のための制御回線割当て要求などの物理レイヤ制御が行われる。抽象化したために回線構成から離れて柔軟な制御ができるが、制御のための通信量が増え、衛星通信用としては若干冗長となっている。

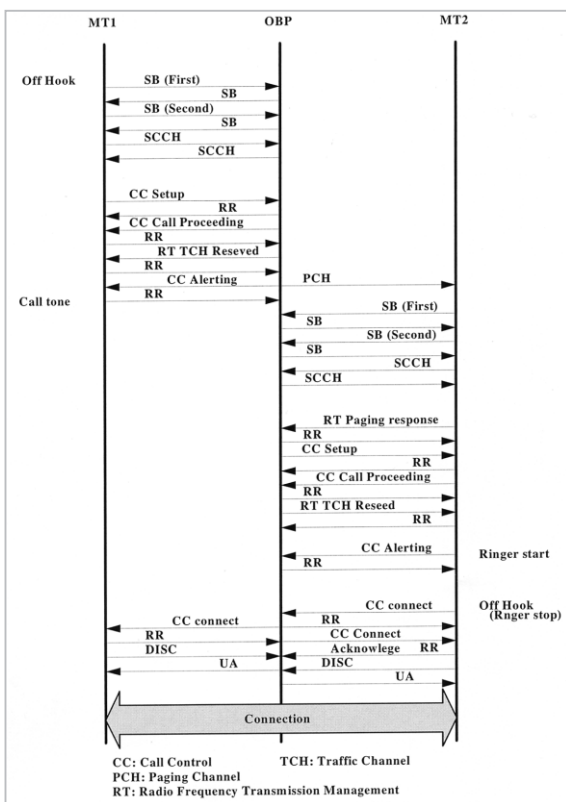


図10 通信制御シーケンス

OBPでは、通信制御の多くの部分をOBP自身が担っており、制御局はビームごとの回線容量の割当てなど通信管理を行うのみで運用できる設計になっている。

9 性能確認試験

搭載機器は単体での電気試験、環境試験、機

械試験及びS帯中継器系との組合せ試験を行った後[4][5]、宇宙開発事業団(現 宇宙航空研究開発機構)においてETS-VIIIに搭載され、ETS-VIIIの通信系全系を通した性能確認試験を実施した[6]。図11に衛星構体に取り付けられたOBPの写真を示す。

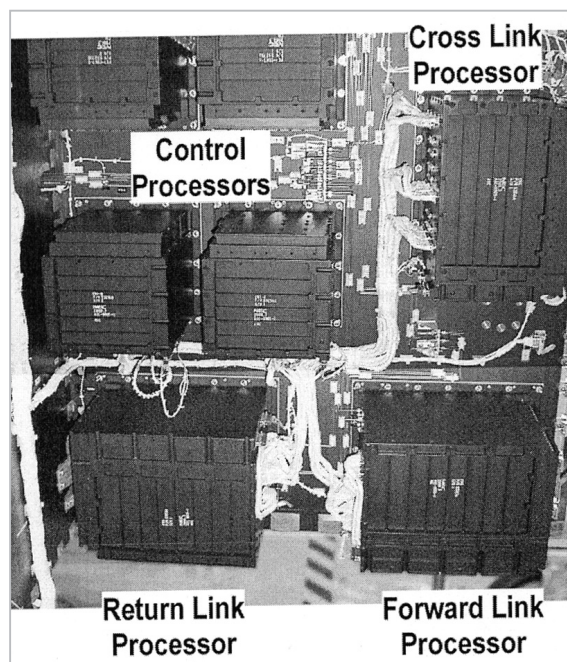


図11 OBPの写真

基地地球局・移動体端末間の通信は、フィルタ処理によるキャリア分波、交換、合波を行う。OBP単体の非再生中継チャネルでのフィルタ特性を図12に示す。フィルタの帯域は、フィルタリング特性を優先させたため、変調スペクトラムより狭く、変復調器でのロールオフ整形効果を劣化させる。

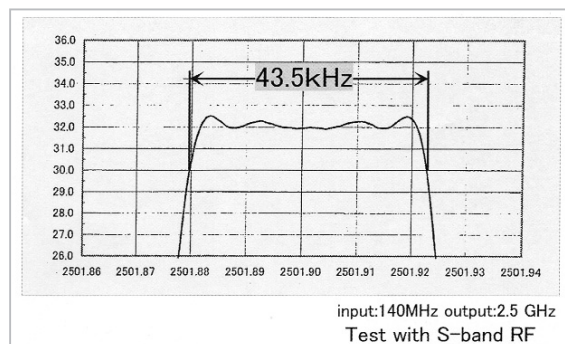


図12 非再生中継チャネルのフィルタ特性

移動体端末間の通信は再生中継を行う。また、交換制御信号の授受のため変復調器を搭載して

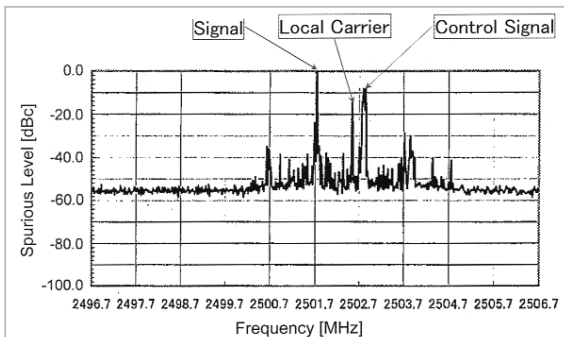


図 13 再生中継信号のSバンドのスペクトラム

いる。再生中継信号のSバンドSSPA出力のスペクトラムを図13に示す。

帯域内のスペクトラムで、量子化雑音や演算誤差によるライン状のスペリアスが発生しているが、非再生中継時の受信雑音レベルより低く抑えられている。また、直交変調器の不整合による局部信号の漏洩及び通信信号のイメージが発生している。直交変調器の不整合は直交変調器も含めたデジタル処理回路を採用することにより解決可能であるが、今後の課題となっている。

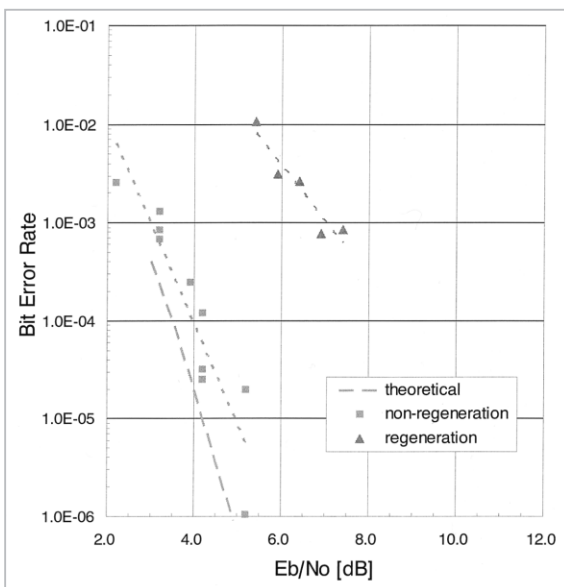


図 14 誤り率特性

通信系全系性能試験における誤り率特性を図14に示す。非再生時には劣化は見られない。再生中継では、非再生に比較し、約4dBの劣化を生じている。OBPでは多くの処理をデジタル化しているが、4MHz帯域のアナログ信号をベースバンド変換及び直交変調しているため劣化が大きい。演算ビット長など、デジタル処理の最適化に余地があるものと思われる。

通信系全系性能確認試験により、試験モード時の携帯端末間通信、通常運用ソフトウェアのロード及び通常運用モード時の自律交換制御が、正常に動作することが確認された。

10 まとめ

自律交換機能を持った移動体音声通信用搭載交換機であるOBPを開発し、ETS-Ⅷに搭載し、通信系全系試験を行った。誤り率特性の劣化が見られるほかは、所期の性能を確認した。

宇宙用半導体は、耐放射線などの性能が求められるため、地上用に比べて2から3世代程度遅れた性能にならざるを得ない。OBPはASICやFPGAを多用して必要な機能をハードウェア化した。半導体技術は急速に進歩しており、将来は、変復調器や分波・合波回路に再プログラム化が可能なFPGAの使用が可能となると考えられる。OBPで見られた誤り特性の劣化などの現象について、打ち上げ後においても修正が可能となると思われる。

なお、本装置は株式会社 次世代放送・通信システム研究所(ASC)が開発し、研究業務終了後、CRLに移管されたものである。本来は基地地球局を整備することにより公衆回線接続も可能なシステムであるが、実験用として携帯端末機能モデルを3台製作し、RF部を持たない1台をソフトウェアのロード及びOBPの状態モニタを行う制御局として使用するほか、基地地球局側の端末として使用することとしている。

参考文献

- 1 M. Homma, et al, "Engineering Test Satellite-8 for Mobile Communications and Navigation Experiment", IAF2000, IAF-00-M.3.01, Oct. 2000.
- 2 大串義雄, "オンボード処理の現状と動向", KEC, 衛星通信研究 No.85, ISSN 0912-5094, 2000年5月.
- 3 O. Takeda, et al, "Research and Development of on-board Processor for Advanced mobile Satellite Communications", Acta Astronautica, pp. 365-373, Sep. 1999.
- 4 中嶋ほか, "技術試験衛星Ⅷ型搭載移動体衛星通信用オンボードプロセッサの性能", 信学技報, SAT2000-78, 2000年12月.
- 5 Y. Hashimoto, et al. "Study of an On-board Processor for Mobile Satellite Communication Experiments on ETS-Ⅷ", 22nd ISTS, ISTS 2000-i-04, Morioka, Japan.
- 6 橋本ほか, "ETS-Ⅷ搭載用オンボードプロセッサの試験結果", 信学会総合大会, B-3-14, 2003年3月.



はしもと ゆきお
橋本幸雄

無線通信部門高速衛星ネットワークグループ主任研究員
衛星開発

