

## 3-8 高速データ通信用衛星搭載パケット交換機

### 3-8 Onboard Packet Switch for High-Data-Rate Satellite Communications

平良真一 橋本幸雄 浜本直和

TAIRA Shinichi, HASHIMOTO Yukio, and HAMAMOTO Naokazu

#### 要旨

高速データ伝送に対応した移動体衛星通信用の衛星搭載パケット交換機は、交換機能としてブリッジ機能を有しており、マルチビーム構成の衛星通信システムにおいて、各ビーム間でのスイッチング制御を、データリンク層でのアドレスであるMACアドレスのアドレステーブルを維持管理することにより行う。衛星上では各ビーム内に位置している地球局が把握でき、マルチビーム構成の無線通信システムにおける位置登録機能と同等の機能も有していることになる。本パケット交換機は、技術試験衛星Ⅷ型に搭載され、衛星打ち上げ後、各種実験が実施される予定である。

An onboard switch makes satellite communications systems with a multi-beam structure more efficient. The Communications Research Laboratory has been studying the mobile satellite communications network and developing an onboard packet switch. The switch has the function as bridges operating at the data link layer of the open systems interconnect networking model. When the switch is located in a satellite, the satellite can be regarded as the central hub. One beam of the mobile links corresponds to one segment of the network. The bridges' learning process is carried out between the beams, and the switching system builds and maintains tables with Media Access Control address information. The performance test results of the proto-flight model show that the performance of the onboard packet switch is sufficient to meet the system requirements. This onboard packet switch will be installed on the Engineering Test Satellite Ⅷ (ETS-Ⅷ), which is a geostationary satellite with large deployable antennas, high power amplifiers, and onboard switches for S-band personal and mobile satellite communications and sound broadcasting. After the launch of the ETS-Ⅷ by the H-IIA rocket, various experiments will be carried out.

#### [キーワード]

技術試験衛星Ⅷ型, 衛星搭載交換機, 移動体衛星通信, パケット交換

Engineering Test Satellite Ⅷ, Onboard switch, Mobile satellite communication, Packet switching

## 1 はじめに

マルチビーム型衛星通信システムでは、衛星上において交換処理を行うことにより、効率的で、かつ柔軟性に富むシステムとすることが可能となる。技術試験衛星Ⅷ型には、回線交換機能を持つオンボードプロセッサ(onboard processor)と、パケット交換機能を持つパケット交換機(onboard packet switch)の2種類の交換機を搭載する[1][2]。本文では、パケット交換機の基本機能及びプロトフライトモデル(Proto-Flight

Model: PFM)を用いて実施した性能試験結果の概要について述べる。

## 2 パケット交換機の概要

パケット交換機(PKT)は変復調部(PKT-MODEM)と交換制御部(PKT-CONT)より構成され、入出力としてフィーダリンク用2ポート、モバイルリンク用2ポートを持っており、パケット信号の交換制御を衛星上にて行う。図1にパケット交換機の写真を、図2にパケット交換機のブ

ロック図をそれぞれ示す。変復調部は、4台の変調器、4台の復調器、IFスイッチ、ローカル発振器等から構成される。変復調部における電源装置は冗長構成としており、従系は主系に対して待機冗長となっている。交換制御部も、信頼性を高めるために完全冗長系とし、交換制御部冗長系(PKT-CONT-B)は交換制御部主系(PKT-CONT-A)に対して待機冗長となっている。また、変復調部においては内部発振器及びコマンド処理系も冗長構成としている。スイッチングを行うための制御情報はパケット内に含まれているため、伝送するパケット信号はすべて再生中継を行い、得られた制御情報を基にして交換制御する。図1の写真においては、左側が変復調部、右側の二つが交換制御部で、変復調部と交換制

御部はハーネスケーブルにて接続されており、相互にデジタル信号のやり取りを行っている。

パケット交換機を介した高速データ通信に用いる地球局は、車載型の移動地球局や可搬型の小型地球局を対象にしており、送信EIRPとして18dBW程度を、受信G/Tとして-22dBK程度を想定している。

表1にパケット交換機の主要諸元を示す。回線総合の伝送速度は1024kbps、誤り訂正は、畳み込み符号化(拘束長7、符号化率1/2)/ビタビ復号(8値軟判定)を用いたFECに加えて、ARQによる再送処理を行う。伝送するパケット信号のパケット長は8msecを標準とし、最大で32msecまで拡張が可能である。図3にパケット信号のフレーム構成を示す。アクセス方式は、回線効率の向上と連続データ伝送を可能とするため、スロットドアロハ方式によるランダムアクセスとパケット予約方式を併用した。パケット予約方式におけるスロットの予約にはスロットドアロハ方式によるバースト信号を送出して予約を行う。交換制御は、イーサネットのブリッジに相当する交換機能に、予約制御のための機能を追加している。入出力の1ポートは、ネットワークにおける1セグメントに対応しており、パケット交換機では、データリンク層でのアドレスであるMACアドレスのアドレステーブルを維持管理す

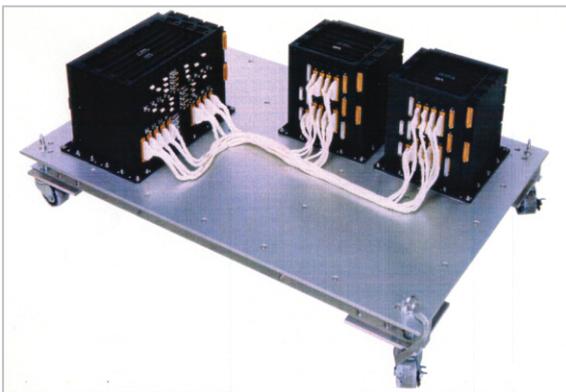


図1 パケット交換機概観写真

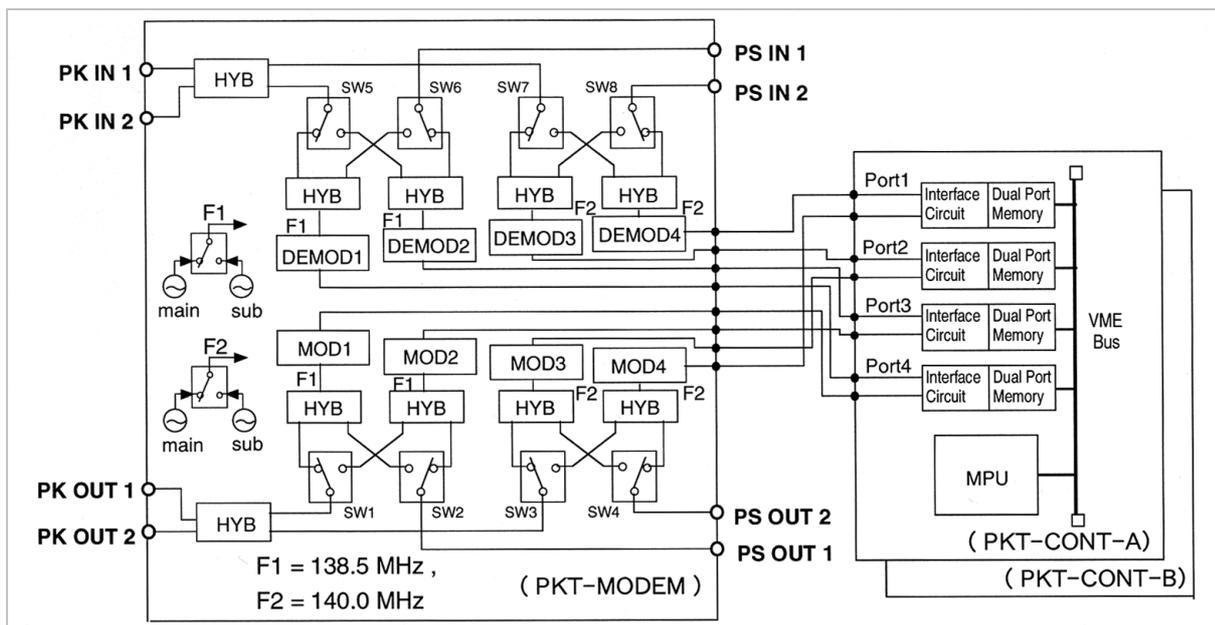


図2 パケット交換機構成図

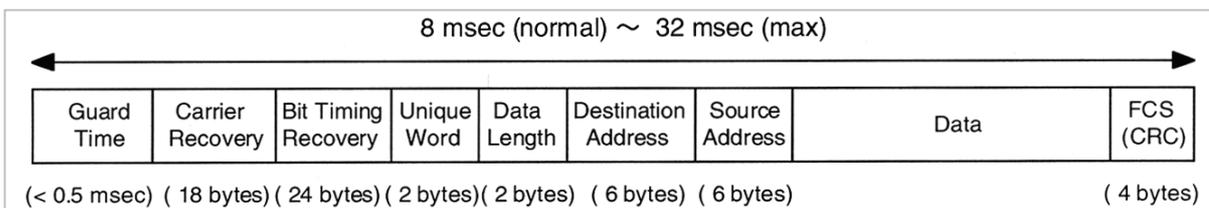


図3 パケット信号フォーマット

る。交換制御のためのソフトウェアは種々のプロトコルによる実験を可能にするため、地上局からのロードが可能になっている。このほか実験用として、FECのon/off切替え機能や擬似雑音(PN)データで構成されたバーストパケット信号を続けて送信する機能、無変調波(CW)信号送出機能等も備えている。

表1 パケット交換機主要諸元

変復調方式： $\pi/4$ シフトQPSK/同期検波  
 伝送速度：1024kbps  
 誤り訂正方式：FEC, ARQ  
 パケット長：8msec(32msecまで拡張可能)  
 アクセス方式：スロットドアロハ方式, パケット予約方式  
 スイッチング機能：ブリッジ  
 寸法：変復調部: 440×285×278 mm,  
 交換制御部: 280×285×278 mm  
 重量：変復調部: 21 kg, 交換制御部: 11 kg  
 消費電力：変復調部: 86 W, 交換制御部: 34 W

### 3 基本性能

#### 3.1 ビット誤り率特性

再生中継を行うためのパケット信号の復調においては、逆変調方式に周波数オフセットの初期推定回路を付加し、十分広いキャプチャレンジを確保しつつ、低Eb/No値においても良好な復調特性が得られる方式としている[3]。

性能試験では、デジタル変復調器の基本性能であるビット誤り率(Bit Error Rate: BER)特性を取得した。図4にEb/No対BER特性を示す。測定に当たっては、実際に運用する状態に近いように、雑音レベルを一定に保持し、信号レベルを変化させることによってEb/No値を変化させた。FEC OFFにおけるEb/No=3dBHzに対するBERの理論値からの劣化が大きくなっている

が、これは入力信号レベルが、復調器が持つダイナミックレンジの下限に近くなっているためであると考えられる。復調器における入力信号のダイナミックレンジは8から9dB程度であり、本測定では、FEC OFFの場合、Eb/Noが7dBHzの時にダイナミックレンジのほぼ中央になるようなレベル設定にしている、Eb/Noが12dBHz以上ではダイナミックレンジの上限を超え、BERが急激に劣化した。実際に運用を行う場合には、この入力信号のダイナミックレンジに注意を払い、衛星通信システムのレベル設定をする必要がある。図4は、常温常圧における試験結果を示しているが、本特性については、真空状態での常温、低温及び高温時においても試験を行って、常温常圧時とほぼ等しい結果を取得し、宇宙での熱環境下においても所望の性能を維持することを確認した。

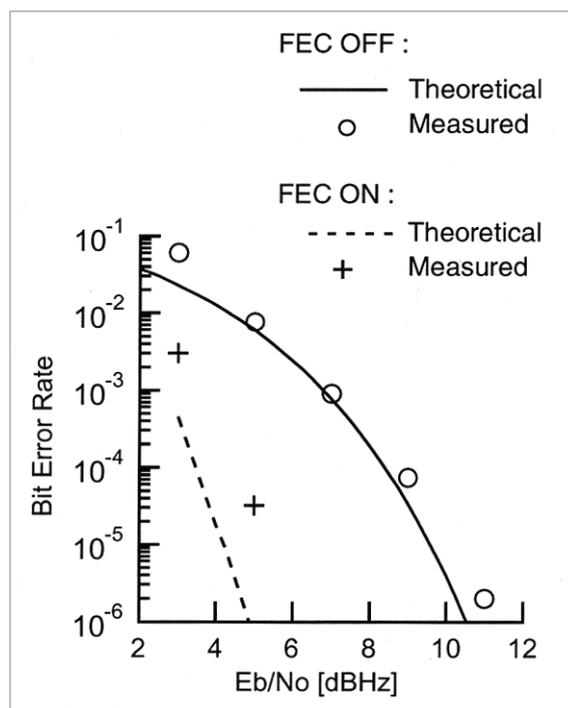


図4 Eb/No対BER特性

図5には、受信パケット信号の周波数オフセットに対するビット誤り率特性が示してある。衛星に搭載される周波数変換器におけるローカル発振器の周波数安定度は、 $1 \times 10^6$ 、また、地上側の移動局でのローカル発振器の周波数安定度は $5 \times 10^6$ である。移動局の移動速度を最大で1000 km/hourを想定すると、S band (2.6/2.5GHz)を使うモバイルリンクでの最大周波数変移は約 $\pm 20$ kHzとなる。Ka band (30/20GHz)を使用するフィーダリンクにおいては周波数が高い分その変移も大きくなるが、フィーダリンク側では地上の基地地球局に周波数制御装置を設けているので、結局、パケット交換機側の復調器においては、 $\pm 20$ kHzの周波数変移内で性能の劣化がなく復調できれば良いことになる。図5に示すように、周波数偏差が $\pm 30$ kHz以内であれば、ビット誤り率に大きな差違はなく、必要な性能を満足していることが確認された。

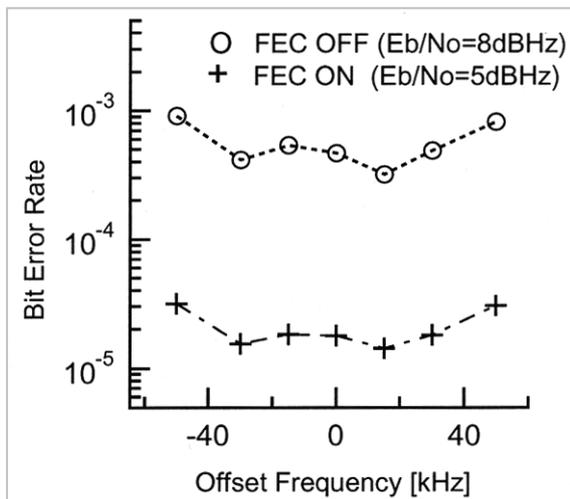


図5 周波数オフセット対BER特性

### 3.2 交換制御の基本性能

交換制御は、マルチベンダプロトコルの国際標準である開放型システム間相互接続 (Open System Interconnection : OSI) モデルにおけるデータリンク層にて動作するブリッジに相当する交換機能、地上系のネットワークにおいては一般にスイッチングHUBと言われている装置に相当する交換機能に、予約制御のための機能を追加している。入出力の1ポートは、ネットワークにおける1セグメントに対応しており、パケット交換機では、データリンク層でのアドレスで

あるMACアドレスのアドレステーブルを維持管理する。図6にパケット交換機を用いた衛星通信システムの概念図を示す。モバイルリンクにおいては、マルチビームでの1ビームがネットワークでの1セグメントに相当することになる。イーサネットにおいては、同じセグメント内での信号伝送時、ブリッジに入力された信号は破棄される。一方、本システムでは、パケット交換機へ入力されるパケット信号のあて先の地球局が同じビーム内にある場合、その受信パケット信号は破棄せずに交換機で処理を行って、同一ビームへと出力する。衛星上では各ビーム内に位置している地球局を把握しており、マルチビームを持つ無線通信システムにおける位置登録機能と同等の機能を有していることになる。

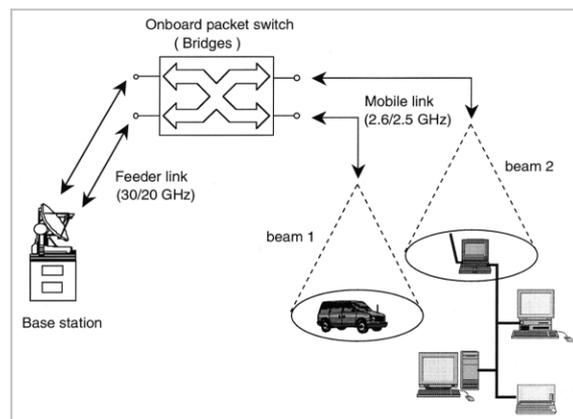


図6 通信システム概念図

アクセス方式としては、スロットドアロハによるランダムアクセスに加え、リアルタイム伝送を効率よく行うため、パケット予約方式を併用している。パケット予約方式は、回線交換に相当しており、地球局側では、まず、必要なタイムスロットを予約するためのリクエスト信号を衛星側へ送る。衛星側においては、リクエストの内容が可能な場合に、使用すべきタイムスロットの情報を地球局側へ返信し、予約スロットを使用した通信が開始されることになる。予約スロットを開放するための信号も、基本的には、地球局側から送ることになる。衛星側では、ある一定の連続した期間、地球局からの信号が受信できない場合に限り、強制的に予約スロットを開放するようにしている。パケット予約方式におけるシーケンスを図7に示す。衛星

側は、地球局からのパケット信号を受信した時、受信確認(Acknowledgement : ACK)信号を地球局側へ返す。ARQを行う場合は、地球局側においてこのACK信号を受信できない時にパケット信号を再送する。スロットの予約状況については衛星側で把握していることはもちろんであるが、パケット交換器からは128msecごとに制御情報を地上側へ通知しているため、その情報により地球局においても認識することが可能である。

交換制御の性能試験では、通信システムにおいて使用する基地地球局及び移動地球局の端局部を、140MHz帯の周波数において、パケット交換機の各入出力ポートへと直接接続した構成により、地球局側から試験用のパケット信号を送出して、ブリッジ機能をはじめとした交換機能の動作確認試験を実施した。また、BER特性と同様に、熱真空環境下での交換機能の動作確認試験も行い、動作に異常がないことを確認した。

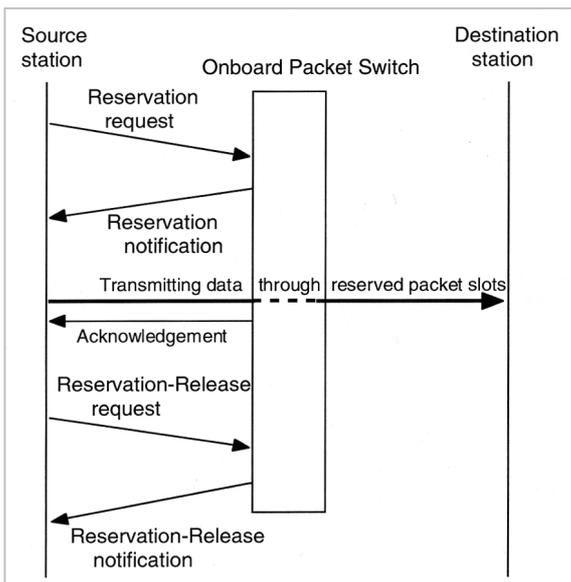


図7 パケット予約シーケンス

## 4 むすび

ETS-VIII搭載用パケット交換機の概略及びプロトタイプモデルを用いて実施した基本性能試験の概要について述べた。変復調部のBER特性試験、制御プログラムのロード試験及び交換制御の各機能の確認試験については、常温常圧での試験と、真空状態における常温、低温時及び高温時での試験を行い、問題なく動作することを確認した。

### 参考文献

- 1 O. Takeda, S. Taira, Y. Kawakami, Y. Otsu, H. Katagiri, and T. Kumagai, "Research and Development of On-Board Processor for Advanced Mobile Satellite Communications", 17th AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit, AIAA-98-1311, Feb. 1998.
- 2 S. Taira, Y. Matsumoto, S. Hama, and N. Hamamoto, "An Onboard Packet Switching System for the Mobile Satellite Communication Network", 49th International Astronautical Congress, IAF-98-M.3.03, Sep. 1998.
- 3 M. Yoneda, Y. Tsuchihashi, O. Takeda, S. Taira, and N. Hamamoto, "The Characteristics of Digital Modulation and demodulation for Engineering Test Satellite-VIII (ETS-VIII) On-Board Packet Switch", 19th AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit, Apr. 2001.



たいらしんいち  
**平良真一**

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リーダー  
移動体衛星通信、交換方式、衛星搭載機器



はしちよきお  
**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



はまもと なおかず  
**浜本直和**

無線通信部門研究主管  
衛星通信工学