

## 3-3 搭載再生交換機

### 3-3 On-board Baseband Switch

吉村直子 橋本幸雄 高橋 卓

YOSHIMURA Naoko, HASHIMOTO Yukio, and TAKAHASHI Takashi

#### 要旨

WINDS 衛星は JAXA と NICT の共同開発であり、NICT は搭載再生交換機(ABS)の開発を分担した。ABS は複数ビーム間での高速・高効率の再生交換の実現に有効である。復調部においては 1.5 Mbps から 155 Mbps までの複数の伝送レートを取り扱うことができる。ベースバンド交換部では ATM をベースとした交換処理を行い、統計多重効果により無線回線の有効利用を目指す。

NICT and JAXA had developed Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite (WINDS). NICT is in charge of developing the ATM-based baseband switching subsystem (ABS) for the WINDS satellite. The ABS enables high-speed, highly efficient regenerative switched connections between several beams. In the ABS, the demodulator part can process multiple data rate from 1.5 Mbps to 155 Mbps. The baseband switching part can be ATM based switching data. We aim for efficient use of wireless link resource by statistical multiplexing effect.

#### [キーワード]

WINDS, 搭載交換機, ABS, 再生交換中継  
WINDS, On-board switch, ABS, Regenerative mode

## 1 はじめに

超高速インターネット衛星 WINDS (Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite) の開発において、NICT は搭載再生交換サブシステム (ABS) を担当した。ABS はデジタル処理型復調器、搭載ベースバンド交換機、アナログ処理型変調器から構成される。デジタル処理型復調器は 1.5 Mbps から 155 Mbps までの複数の伝送レートを処理することができる。搭載ベースバンド交換機は地上で利用されている ATM 交換機と互換性のある設計となっている。

ここでは、搭載再生交換サブシステムの構成、性能について述べる。

## 2 WINDS 衛星システムの概要

WINDS 衛星システムのミッション系機能概念図を図 1 に示す。WINDS のミッションペイロー

ドは搭載再生交換システム (ABS)、IF スイッチシステム (IFS)、二つのアンテナシステム (電子走査型アンテナシステム: APAA 及び固定マルチビームアンテナシステム: FMBA)、そしてマルチポート増幅器 (MPA) で構成される。NICT は

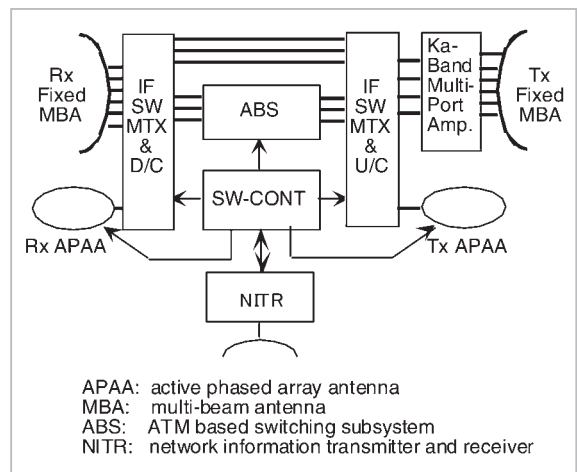


図1 WINDS ミッション系機能概念図

搭載ミッションのうち ABS の開発を担当している。

WINDS は主動作モードとして再生交換中継モード、非再生交換中継モード、再生・非再生混在モードの三つのモードを有しており、NICT が開発を担当している ABS は再生交換中継に利用される。再生交換中継モードでは最大 155 Mbps、非再生交換中継モードでは最大 1.2 Gbps の超高速双方向通信の達成を目的としている。衛星アクセス方式としては MF-TDMA 方式を採用している。WINDS の TDMA フレーム構造を図 2 に示す。スーパーフレーム構造となっており、1 スーパーフレームは 16 の基本フレームから成り立っている。基本フレームは更に 20 のスロットで構成され、このスロットがユーザー衛星間の物理回線の最小単位となる。1 スロットは 2 msec である。この TDMA フレーム構造は三つのモードで共通である。再生交換中継モードでは、各基本フレームの第 1 スロットをアップリンクではユーザー局が WINDS ネットワークに参加するためのアソシエーションを行うためのシグナリングスロットとして使い、ダウンリンクでは TDMA 同期情報、アソシエーション応答情報、衛星状態通知などのためのリファレンスバーストを送信する報知ス

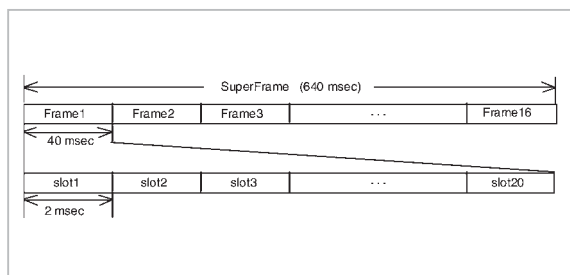


図2 TDMA フレームフォーマット

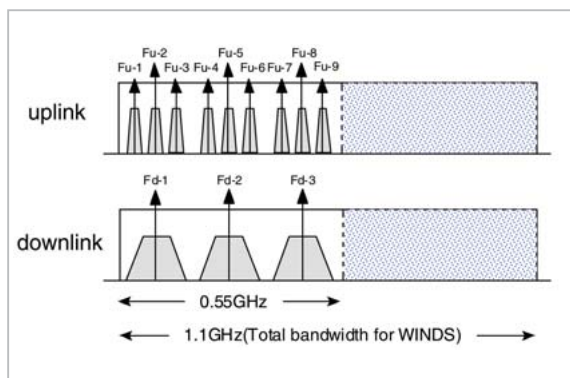


図3 再生交換中継モードの周波数配置

ロットとして用いる。残りのスロットはトラフィックスロットとして用いる。

また、ABS を用いる再生交換中継モードで使用する RF 帯の周波数配置を図 3 に示す。

### 3 ABS の構成

ABS は DDEM (デジタル信号処理型復調器)、MOD (アナログ処理型変調器)、ATMS (ATM ベースバンド交換機) の 3 種類のコンポーネントで構成される。それぞれのコンポーネントは冗長系を含めて、DDEM 3 台、MOD 3 台、ATMS 2 台が搭載される。図 4 に搭載される ABS の構成ブロック図を示す。

DDEM 及び MOD はそれぞれ 3 台中 2 台は固定の周波数チャンネルのみでの運用となっており、残りの 1 台 (DDEM 3 及び MOD 3) は全チャンネルで運用可能である。図 5 に再生交換中継モードにおける TDMA バーストフォーマットの概要を示す。ATM セル 4 セルで 1 データブロックを形成

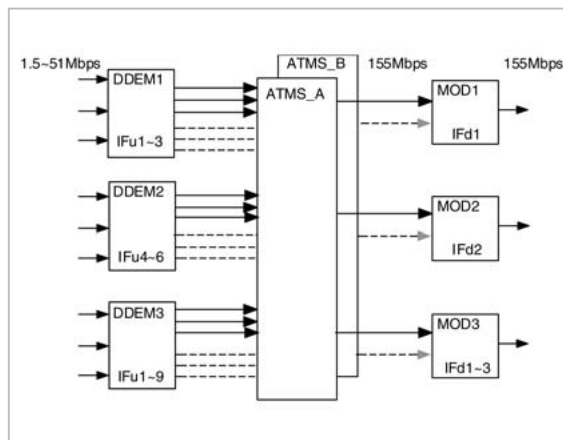


図4 ABS 構成ブロック図

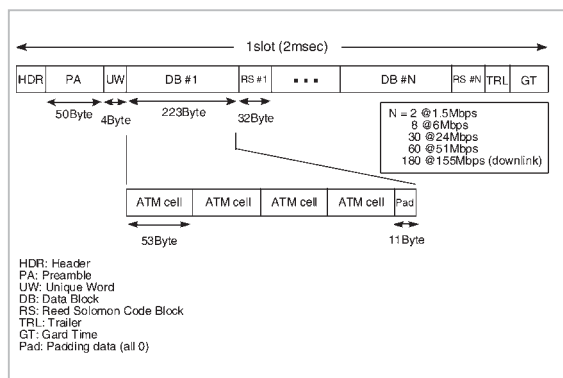


図5 再生中継交換用バーストフォーマット概要

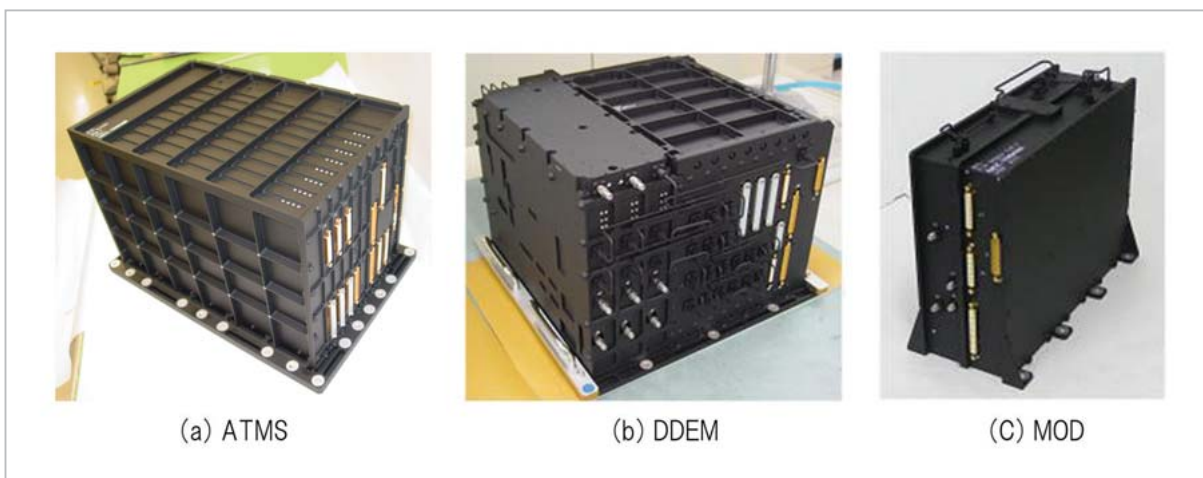


図6 ABS コンポーネント外観写真

し、データブロック単位で誤り訂正を実施している。伝送レートによってデータブロック数は異なる。

## 4 DDEM

DDEM は 1 台当たり 3 系統の復調ユニットを有し、復調ユニットはそれぞれ 1 スロットごとに 4 種類のデータレート (1.5/6/24/51 Mbps) を切り替えて復調可能である (マルチレート復調処理)。3 系統のユニットを 51 Mbps で並列運用することで 155 Mbps のデータ伝送を実現している。また、1.5 Mbps 伝送時には、1 復調ユニット当たり 14 チャンネルのマルチキャリア復調処理が可能である。DDEM で扱う周波数チャンネルの概念を図 7 に示す。

DDEM の各復調ユニットへの入力信号は帯域

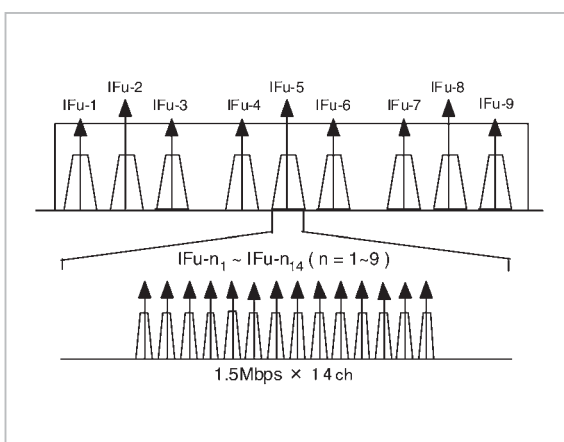


図7 DDEM 周波数チャンネル

制限された後、外部ローカル信号にて直交検波される。その後、各伝送速度に対応した処理系を通過して A/D 変換され復調処理ゲートアレー (DEM G/A) で復調処理される。1.5 Mbps 伝送時には分波処理ゲートアレー (FDMUX G/A) にてデジタルフィルタリング信号処理を行って時分割データへ変換した後、DEM G/A にて復調処理する。

DEM G/A では波形整形、バースト信号のキャリア検出、クロック再生、ユニークワード検出、デランダムイズ等の処理を行う。復調データはリードソロモン復号処理後に ATMS へ送られる。

復調ユニットの機能ブロックを図 8 に、DDEM の主要性能を表 1 に示す。

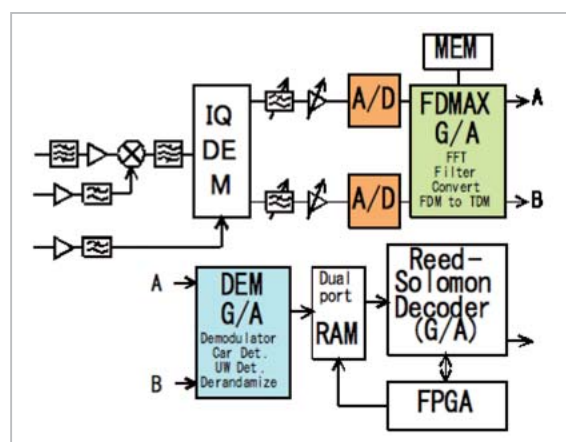


図8 DDEM 復調ユニット機能ブロック図

表1 DDEM 主要性能

Demodulator (DDEM)	Technology	Digital processing Frequency demultiplexing
	Data rate	1.5 / 6 / 24 / 51 Mbps (per 1 unit) 155 Mbps (3 unit parallel processing)
	Modulation	QPSK
	Error Correction Code	Reed-Solomon (255,223)
	Number of DDEMs	3 (1 D-DEM has 3 units.)
	Data rate switching interval	2 msec (one slot)

表2 ATMS 主要性能

ATM switch (ATMS)	Data rate	155 Mbps (per port)
	Port	3
	Throughput	More than 465 Mbps (actual throughput is 2.4 Gbps)
	Number of ATMSs	2 (including redundancy)
	Service Class	CBR, UBR
	Congestion Control	Back pressuer
	Software Function	Reference burst generation Program-loading Self check

## 5 ATMS

ATMS は設定された PVC テーブルと ATM セルヘッダに含まれる VPI/VCI に基づいて ATM セル交換を行う。PVC テーブルは地上制御局からのコマンドにより設定され、運用中に書き換えることも可能である。ATMS ではユニキャストだけでなくエリア間マルチキャスト機能にも対応しており、取り扱うサービスクラスは CBR 及び UBR である。輻輳制御機能としてバックプレッシャー方式を実装している。また ATMS では、ユーザ局の TDMA 同期に用いられるリファレンスバーストを生成する機能も有している。リファレンスバーストは、ABS 内部ステータスや地上制御局からの情報を編集して生成され、同期情報以外に衛星のステータスやアソシエーション処理に関する情報が含まれる。このリファレンスバーストは各フレームの先頭スロットでそれぞれ割り当てられたエリアに配信される。

図9に ATMS の機能ブロック部を示す。ATMS は送信及び受信回線インタフェース部 (TXLINF、RXLINF)、スイッチコア部 (SWCORE)、バッファ部 (TRXBUF)、制御部 (CONT) から構成される。

RXLINF は DDEM (1 台につき 3 系統) から入力された 1.5~51 Mbps のデータを多重して、155 Mbps の 1 ラインとして ATM コアユニットに伝送する。TXLINF では、各エリアの送信タイ

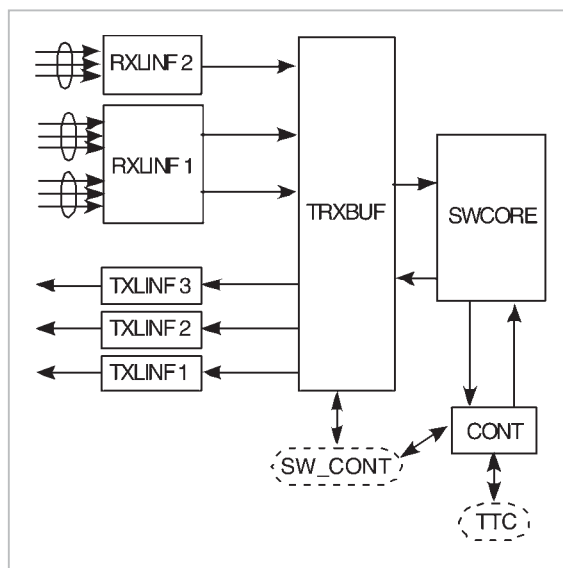


図9 ATMS 機能ブロック図

ミングやサービスクラスに対応して MOD へのセル出力タイミングまで ATM セルをバッファリングしている。

ATM コアユニットの入出力ラインが増加した場合には、回線インタフェースボードを追加することで対応可能な構成となっている。搭載品には入出力ラインが三つしか実装されていないため、WINDS 搭載品としてのスループットは 465 Mbps となるが、コアスイッチ自体は最大 2.4 Gbps の能力を有している。

CONT には、PVC テーブル書換え、プログラムダウンロード、TTC 局からのコマンド処理、テレメトリ生成、ATMS 状態監視などの機能が実装されている。プログラムダウンロード機能により、ATMS 制御プログラムの軌道上での書換えが可能となり、制御内容の変更や機能追加が容易となる。

ATMS の主要性能を表2に示す。

## 6 MOD

MOD は 155 Mbps のバースト変調波出力を行う。その際、リファレンスバーストとユーザ局間のデータバーストにはそれぞれ異なったユニークワードを付加して送信する。これによってユーザ局はデータバーストとリファレンスバーストを区別することができる。MOD には通常使用するバースト波変調モードのほかに、地上受信レベル



測定や BER 測定などのための CW 出力、PN 出力モードが準備されており、それぞれ地上制御局からのコマンドによって切替可能である。また、RF 信号出力の ON/OFF 制御もコマンドによって可能である。

MOD は入力段の FPGA にて送信データ列のリードソロモン符号化、ランダムイズ、プリアンブル及びユニークワードの付加等のデジタル信号処理を行い、送信バーストフォーマットを形成する。その後直交シンボルデータに変換、帯域制限後に QPSK 変調され、外部ローカル信号にて 4 GHz 帯にアップコンバートし IFS へ出力する。

表 3 に MOD の主要性能を示す。

表3 MOD 主要性能

Modulator (MOD)	Data rate	155 Mbps
	Modulation	QPSK
	Error Correction Code	Reed-Solomon (255,223)
	Number of MODs	3

## 7 ABS の機能

ABS にはオフモード (OFF)、TTC スタンバイモード (TTC STBY)、診断モード (DIAG)、地上制御局運用モード (NMC OPR) の四つの主要運用モードがある。図 10 に状態遷移図を示す。

オフモードとは、すべての ABS 機器に電源が投入される前の状態である。ATMS が電源 ON すると TTC スタンバイモードへ移行する。

TTC スタンバイモードでは、OFF モードからの移行時に、搭載された ROM から ABS 制御ソフトウェアをメモリにブートし起動時自己診断を行う。このモードでは TTC 局との通信のみが可能で、ネットワーク制御を行う地上制御局 (NMC) からの制御は受け付けず、リファレンスバーストの送信も行わない。TTC 局からのリセットコマンド又は ATMS 異常時に ATMS 自身がかける自動リセット要求によってもこのモードに移行する。

診断モードは、ATMS の診断及び MOD にて CW/PN 出力を行う場合のモードである。このモードにおいても ABS は TTC 局との通信のみが可能で、NMC からの制御は不可である。TTC スタンバイモードと同様、リファレンスバースト

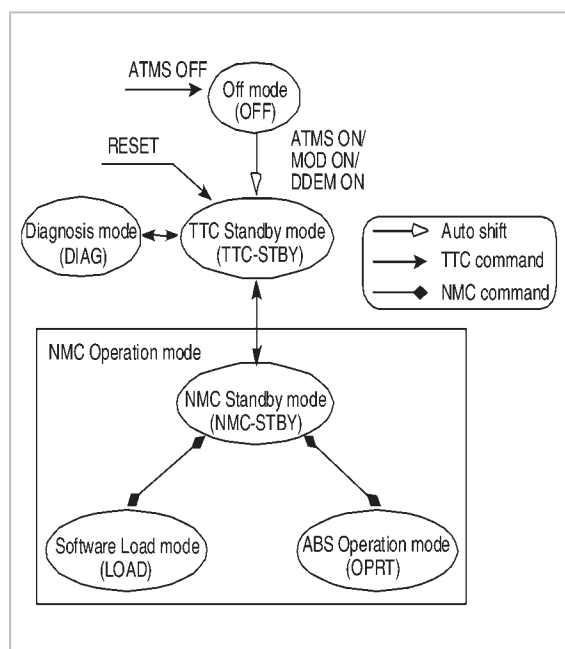


図 10 ABS 状態遷移図

の送信は行わない。

NMC 運用モードはネットワーク制御を行う地上制御局 (NMC) 管理下におけるモードの総称で、その中に更に以下の三つのモードがある。NMC 内の三つのモード間の切替えは NMC からの制御信号で実行される。本モードでは ABS はリファレンスバーストを送信する。

- NMC スタンバイモード (NMC STBY) : NMC 管理下におけるスタンバイ状態である。このモード内で再生中継交換での通信サービスを行うための各種パラメータの設定 (PVC テーブル設定、エリア間マルチキャスト設定など) が可能である。ユーザ局からの送信は許可されていないモードである。
- ソフトウェアロードモード (LOAD) : ABS 制御ソフトウェアを地上から更新するためのモードである。このモードではデータ交換機能は動作せず、プログラムロードに必要な機能のみが動作する。
- ABS 運用モード (OPRT) : ABS の運用モードである。

## 8 ABS における ATM セル交換

WINDS システムでは打ち上げ当初は PVC 通信のみをサポートし、VPI/VCI は WINDS 特有

の使い方をする。ABS(衛星局)とユーザ局(ES)、地上制御局(NMC)との通信におけるVPI/VCIの使用方法を図11に示す。

図中の記号の定義は以下のとおりである。

- LN#: 2ビット  
155 Mbps帯域のABSの入出力ポート番号を指定する。
- K: 1ビット  
セルのサービスクラス(CBR/UBR)を指定する。
- AREA#: 5ビット  
エリア番号を指定する。1~16で各エリアを示し、0及び17~29は無効である。30は全エリア同報、31はBIXに基づくマルチキャストを実行する。
- ES#: 8ビット  
ユーザ局番号を示す。ABSのポートごとに1~255の255局を示す。全体としては765局が指定可能である。
- UC#: 4ビット  
ユーザチャネル(PVC接続)8~15の8種類を示す。1ユーザ局が同時に複数の接続を使用する場合の接続識別に用いる。

- BIX#: 5ビット  
全エリア同報及び31種類のマルチキャストのパターン番号を指定する。マルチキャストパターンは実験ごとにあらかじめ地上制御局で設定し、そのパターンに合わせて運用する。
  - Freq#: 6ビット  
ユーザ局がシグナリングスロットで使用している周波数番号を示す。ES#はアソシエーション要求が受け付けられた後に割り当てられるため、アソシエーション前にはES#の割当がない。そのため、発信ユーザ局の識別のために用いる。
- WINDSではアップリンクスロットは各ユーザ局に割り当てられるが、ダウンリンクスロットではエリア内のATMセルは多重されるため、発側ユーザ局(source)を特定できるようVPI/VCIを指定する。同様にエリア内のあて先ユーザ局(destination)を特定できるようVPI/VCIを指定する。

アップリンクではVPIは12ビット中下位8ビットが、VCIは16ビット中下位6ビットが有効である。ダウンリンクにおいてはVPI、VCIとも全ビット有効である。

NMC-ABS間の通信はトラフィックスロットを

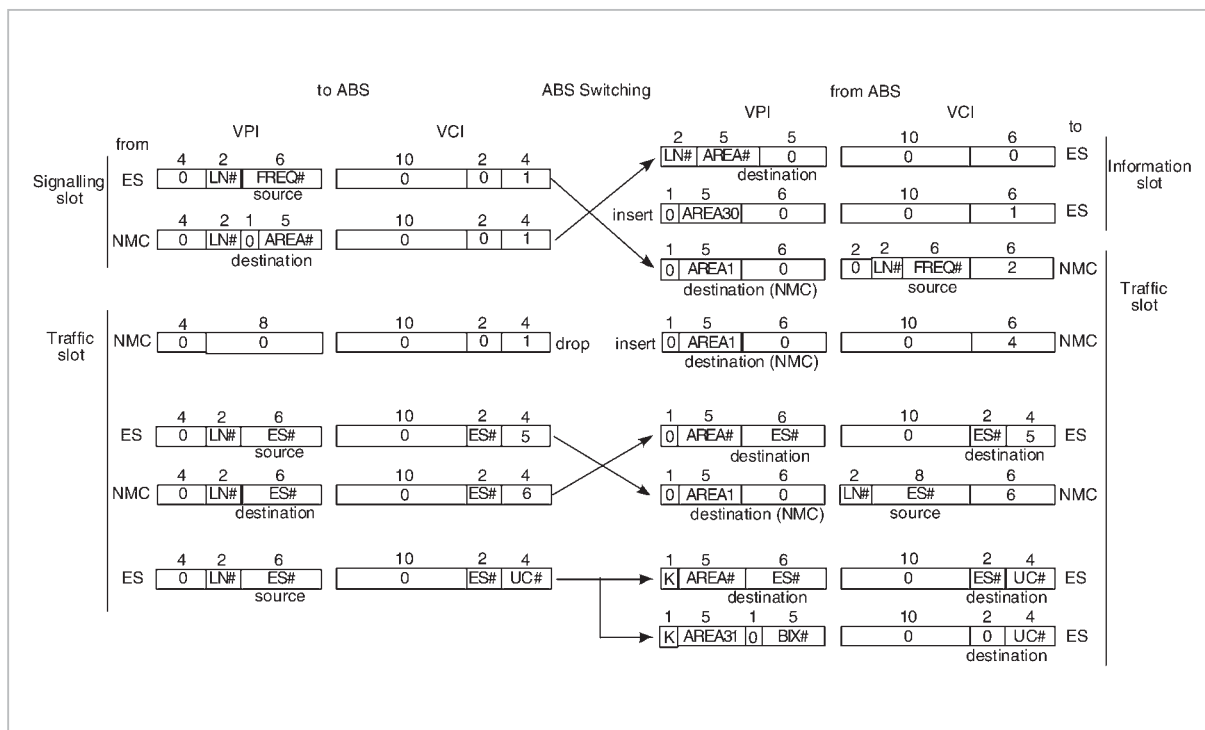


図11 ABSにおけるVPI/VCI使用方法

使用して行われ、ユーザ局からのアソシエーション関係の要求、それに対する ABS からの応答はそれぞれ、シグナリングスロット及び報知スロットで行われる。ABS ではヘッダ変換テーブルに基づいてセルを交換し、エリアごとにバッファリングしていく。NMC から ABS あてに送信されたセルは内部でドロップする。

## 9 まとめ

ABS は WINDS 再生中継交換機能の中心となるシステムである。PFM でのサブシステム試験にて所望の機能・性能が満たされていることを確認した。打上後は軌道上性能の確認の後、各種実験に利用される。

### 参考文献

- 1 N. Kadowaki, "Broadband Satellite Networking with on-Board Switching Technology", Colloquium at 21<sup>st</sup> ICSSC AIAA, Yokohama, Japan, Apr. 2003.
- 2 N. Yoshimura et al., "R & D Status of the On-Board ATM Switching Subsystem for WINDS", 23<sup>rd</sup> ISTS May 2002, 2002-j-02.
- 3 Y. Yamasa et al., "High Speed On-board ATM based Switch Subsystem for Broadband Satellite Communication System", 11<sup>th</sup> Ka and Broadband Communications Conference, Rome, Italy, Sep. 2005.
- 4 T. Kumagai et al. "Development of On-board ATM Switch (ATMS) for WINDS", 12<sup>th</sup> Ka and Broadband Communications Conference, Naples, Italy, Sep. 2006.



よしむら なおこ  
**吉村直子**

新世代ワイヤレス研究センター宇宙通信ネットワークグループ主任研究員  
衛星通信



はしもと ゆきお  
**橋本幸雄**

新世代ワイヤレス研究センター宇宙通信ネットワークグループ主任研究員  
衛星通信



たかし たかはし  
**高橋 卓**

新世代ワイヤレス研究センター宇宙通信ネットワークグループ研究マネージャー  
衛星通信