

3-2 通信システム

3-2 Communications System

島田政明 黒田知紀 谷島正信 小澤 悟 小川康雄 横山幹雄
高橋 卓

SHIMADA Masaaki, KURODA Tomonori, YAJIMA Masanobu, OZAWA Satoru,
OGAWA Yasuo, YOKOYAMA Mikio, and TAKAHASHI Takashi

要旨

超高速インターネット衛星(WINDS: Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite)は、Ka帯による高速衛星通信システムの構築を目指した衛星システムであり、地上通信網と相互に補完し得る衛星通信ネットワークの形成に必要な技術実証を目的としている。本稿では、通信システムの概要、搭載中継器の構成、動作概要、主要諸元について紹介する。

WINDS (Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite) is an experimental satellite enables communications at significantly higher data rates. The satellite employs advanced technologies such as high G/T multi-beam antennas, high power multi-port amplifier, active phased array antenna and regenerative baseband switching, to realize both very high data rate transmissions and advanced broadband satellite networking. The satellite communication system aims at maximum rate of 155 Mbps (receiving)/6 Mbps (transmitting) for home use using a 45-centimeter aperture antenna and ultra high speed of 1.2 Gbps (receiving/transmitting) for office use using a 5 meter class aperture antenna. In this paper, communications system and function and performance of transponders of the WINDS are introduced.

[キーワード]

超高速インターネット衛星, Ka帯, 固定衛星通信, マルチビームアンテナ,
アクティブフェーズドアレイアンテナ, マルチポートアンプ, 再生中継

WINDS, Ka band, Fixed satellite communications, MBA, APAA, MPA, Regenerative repeater

1 はじめに

超高速インターネット衛星 WINDS は、Ka帯による高速衛星通信システムの構築を目指した衛星システムであり、地上通信網と相互に補完し得る衛星通信ネットワークの形成に必要な技術実証を目的としている。具体的には、①通信速度の高速化として、一般家庭のベランダにも設置可能な超小型地球局による 155 Mbps、通信事業者などでの利用を想定した 1.2 Gbps の伝送技術、②通信カバレッジの広域化として、日本国内はもとより国際協力の観点からアジア・太平洋地域での高速衛星通信に必要な技術実証である。

本稿では、特徴である再生交換中継、ビーム間

接続切替機能、高出力送信機、電子的にビーム指向制御可能なアクティブフェーズドアレイアンテナ技術を組み合わせた衛星通信システムの通信形態、搭載中継器の構成、動作概要、主要諸元などについて紹介する。

2 通信ミッションの概要

図1に搭載中継器の構成を示す。図1では低雑音増幅器、周波数変換器など細部は省略してある。送受信能力の高くない小型地球局と衛星間で通信回線を成立させるには、衛星側の送受信能力を上げる必要があり、WINDSでは大口径のマルチビームアンテナ(MBA)と大電力増幅器を搭載し

ている。特に、大電力増幅器には総合出力約300Wの8入力ポート/8出力ポートを有するマルチポートアンプ(MPA)を採用している。MPAは、線形出力約50Wの進行波管増幅器(TWTA)8台を組み合わせた電力合成型増幅器の一種で、各入力ポートの信号電力を設定することで、各出力ポートでの信号出力を最大300Wまでの範囲で自由に設定できる。この特性を利用し、衛星の送信信号が減衰する降雨地域には大きな電力を、晴天の地域には少ない電力を臨機応変に割り当てることが可能で、通信衛星では貴重な送信電力の有効利用を図ることができる。TWTAの動作点は、複数キャリアの共通増幅を前提に、線形領域に設定している。

日本国内のみならず、アジア・太平洋地域においても衛星通信実験の機会が得られるように、ア

ジアの主要10都市にアンテナ利得の高い固定ビームを配置し、その他の新規の通信実験地域、あるいは鳥しょ地域など広範囲に散在するポイントには電子的に瞬時に任意の方向にビーム指向(ビームホッピング)可能なアクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)で対応している。図2にアンテナビームの配置を示す。

ATMベースバンド交換部(ABS)は、復調器、交換機、変調器から構成される再生中継機能の中核部である。

表1に通信ミッションの主要諸元を、表2にWINDSで標準としている地球局の分類と通信能力、使用する中継モードを示す。図3は通信路構成の例である。

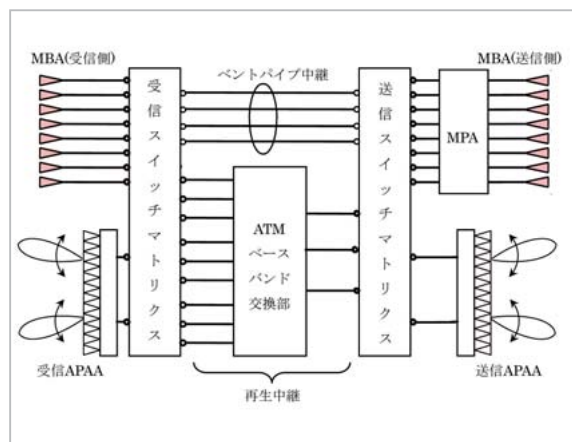


図1 搭載中継器の構成(簡略版)

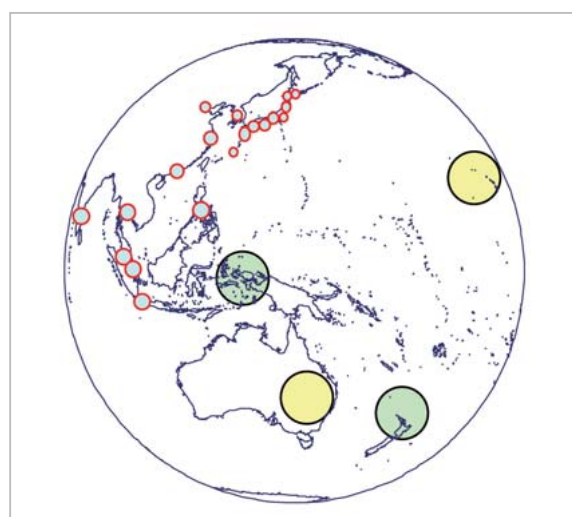


図2 ビーム配置(小円はMBAビーム、大円はAPAAビーム)

表1 通信ミッションの主要諸元

	MBA/MPA	APAA
周波数帯域	送信: 17.7~18.8 GHz 受信: 27.5~28.6 GHz	
アンテナタイプ	開口径 2.4m オフセットカセグレン	直接放射型フェーズドアレイ
ビーム数	日本、及び周辺: 12 東南アジア: 7	送受、それぞれ2
G/T	約 18 dB/K (ビーム端)	約 +7.5 dB/K ($\theta=8$ 度方向)
EIRP	約 70dBW (ビーム端) (MPA 出力最大時)	約 55 dBW ($\theta=8$ 度方向)

表2 地球局の分類と伝送速度

分類	アンテナ径	中継モード	伝送速度(Mbps)
大型局	5 m級	非再生	上り: 622, 1244 (622×2) 下り: 622, 1244 (622×2)
超高速小型局	2.4m級	非再生	上り: 622 下り: 622
高速小型局(VSAT)	1.2m級	再生	上り: 1.5, 6, 24, 51, 155 (51×3本) 下り: 155
超小型局(USAT)	45cm級	再生	上り: 1.5, 6 下り: 155

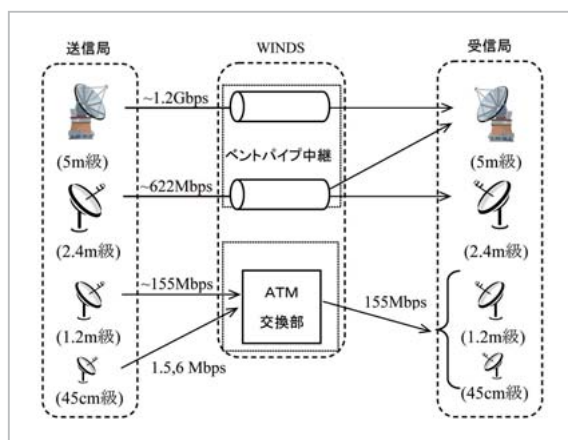


図3 通信路構成図

3 中継方式とビーム間接続切替

3.1 中継方式

中継方式として、非再生中継方式と再生中継方式が利用できる。両中継方式とも SS (Satellite Switched)-TDMA を基本としている。非再生中継では、衛星で受信された上り回線信号は、周波数変換と電力増幅が行われた後、下り回線信号として送信される。中継帯域幅は 1.1 GHz であり、最大 1.2 Gbps の通信信号を伝送できる。

再生中継では、上り回線信号はいったん衛星内でベースバンド信号に復調後、再変調され、下り回線信号として送信される。そのため、交換機能をはじめとして、衛星内でデジタル処理が可能となり、非再生中継では実現困難な種々の付加機能を持たせることができる。

WINDS の再生中継では、通信の最小単位として、ATM (Asynchronous Transfer Mode) セルと呼ばれる一種の固定長パケット構造を採用している。交換機内で、ATM セルに含まれる相手地球局のアドレス情報に相当する ATM ヘッダが抽出され、そのヘッダ情報から出力すべき下り回線ビームが特定される。したがって、1 地球局から複数局向けの異なるデータも、まとめて一塊として衛星に向けて送信すれば、衛星内で適切なビームに振り分けられる。

ABS の復調器はマルチレート型の復調器で、上り回線の伝送速度として 1.5、6、24、及び 51 Mbps の 4 種から選択できる。地球局コストに占める送信系の割合が無視できない状況において、予算に応じた伝送速度が選択できるため、ユーザにとって衛星通信サービスの選択範囲が広がることになる。さらに高速の伝送速度を必要とするユーザには、51 Mbps を 3 本分まとめて総計 155 Mbps の伝送速度を選択することも可能である。復調器の伝送速度は、上り回線信号の受信タイミングに合わせて、最小時間間隔 2 ミリ秒で選択切替される。

3.2 ビーム間接続切替

多数のビームを有するマルチビームシステムでは、任意の地点間で通信回線が設定できるように、複数の受信ビームと送信ビームを相互に接続する機能が必要となる。WINDS では、多数の 4 GHz

帯アナログスイッチから構成されるスイッチマトリクスを搭載し、受信ビーム／送信ビームの接続組合せパターンを時間的(最小時間間隔 2 ミリ秒)に切り替える方式を採用している。受信スイッチマトリクスでは上り回線ビームの選択が、送信スイッチマトリクスでは下り回線ビームの選択が行われる。スイッチマトリクスの接続状態を固定すれば、連続波による通信も可能である。切替接続パターン(APAA のビーム指向方向を含む)は、基準局(WINDS でのネットワーク制御局)からアップロードされる。WINDS では、このようなビーム間接続切替機能により、多地点を高速で接続するメッシュ型ネットワークの構築が可能となる。

再生中継では、原理的にビーム間接続機能を有しており、アンテナビーム数分の復調器、変調器を搭載すれば、ビーム間接続用のスイッチマトリクスは不要となるが、WINDS では、アンテナビーム数に比べ、復調器、変調器の搭載数を 3 式に限定しているため、スイッチマトリクスと併用することで必要なビーム間接続の組合せ数を確保している。

このように、スイッチマトリクスの機能により MBA 内、または APAA 内のビーム間接続のみならず、MBA/APAA 間の接続も可能としている。なお、MPA の出力ポート数の制約で、MBA の選択できる送信ビーム数の最大は 8 である。

4 周波数配列

図 4 に WINDS で計画している周波数配置を示す。622 Mbps の伝送信号 2 波を伝送可能な連続な周波数帯域として、地球探査衛星(受動)業務の保護も考慮し、上り 27.5~28.6 GHz、下り 17.7~18.8 GHz で計画し、再生中継用の帯域は全体 1.1 GHz の下側半分(550 MHz)に割り当てている。その 550 MHz の帯域に、下り回線では 155 Mbps 3 波分を、上り回線では 6、24、51 Mbps の任意の 9 波分を配置している。上り回線の各波は 1.5 Mbps×14 ch としても使用できる。

非再生中継では、1.1 GHz 帯域に 622 Mbps 相当の信号が 2 波配置される。また、再生中継上りの 9 波を 6 波に、下りの 3 波を 2 波に制限すれば、再生中継と非再生中継を混在させることも可能である。


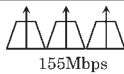
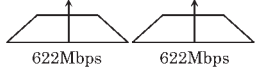
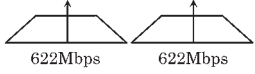

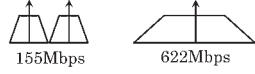
	上り回線	下り回線
再生中継	 6,24,51Mbps	 155Mbps
非再生中継	 622Mbps 622Mbps	 622Mbps 622Mbps
再生中継+ 非再生中継	 6,24,51Mbps 622Mbps	 155Mbps 622Mbps

図4 周波数配置

5 中継器の詳細

5.1 動作概要

図5に中継器の詳細構成図を示す。MBA又はAPAAで受信された28GHz帯アップリンク信号は、低雑音増幅後、ダウンコンバータDNC(ローカル周波数:24.12GHz)にて4GHz帯の中間周波信号に周波数変換され、受信スイッチマトリクスRXSWMTXに入力される。RXSWMTXは高速スイッチング可能なスイッチ群で構成され、切替制御器SW-CONTからのスイッチング制御に基づき、入力ポートと出力ポート間の接続・切替えが行われる。入出力ポート間の各接続は、1入力1出力を基本としているが、1入力N出力の信号分配接続も可能である。例えば、1入力2出力接続により、同一ビームから同時にアップリンクされた再生中継信号と非再生中継信号はABS系、非再生系に分配される。

非再生中継ルートのバンドパスフィルタBPF-Wは約1.1GHz、BPF-Uは1.1GHz帯域の上側の約600MHzを通過させるバンドパスフィルタで、BPF-Uは再生+非再生中継混在運用時に選択され、不要波としてダウンリンクされる再生系アップリンク信号成分を抑圧する。

送信スイッチマトリクスTXSWMTXもRXSWMTXと同様の機能であるが、BPF-Wからの非再生信号は特定の出力ポートのみに接続でき、他の信号入力はい任意の出力ポートに接続できる。ただし、RXSWMTXと異なり、N入力1出力の信号合成接続も可能である。この機能により、再生+非再生中継混在運用時に非再生系信号と

ABS MOD出力信号が合成され、同一ビームの信号としてダウンリンクされる。なお、受信(RX-)APAAと送信(TX-)APAAに関してはRXSWMTX、TXSWMTXを経由せずに、RX-APAAのビーム1、2をTX-APAAのビーム1、2に接続できる設計としている(APAA直結モード)。

4GHz帯の中間周波信号は、アップコンバータUPC(ローカル周波数:14.32GHz)で18GHz帯送信信号に周波数変換され、MPA、TX-APAAに入力される。MPA、TX-APAAの出力設定は、送信増幅器TXAMP又はUPCの利得制御で行われる。

5.2 周波数制御とTDMA時系制御

パイロット受信機PILRXは、基準局から送信されるドプラー補償された28.8GHzのパイロット信号(無変調連続波)を受信し、基準ローカル信号としてパイロット信号にコヒーレントな20MHz信号を生成、DNC、UPC、網情報送信機NITR-TX、シンセサイザSYNTH、SW-CONT、ABSに供給する。DNC、UPC、網情報送信機では20MHzから必要なローカル周波数が生成される。SYNTHは20MHzを受け、ABS向けローカル信号として2637.0MHz、2692.5MHz、2748.0MHz、2822.0MHz、2877.5MHz、2933.0MHz、3007.0MHz、3062.5MHz、3118.0MHzの9波及び780MHzの計10波を供給する。

TDMA制御に必要なタイミング信号(スロットタイミング、基本フレームタイミング、スーパー

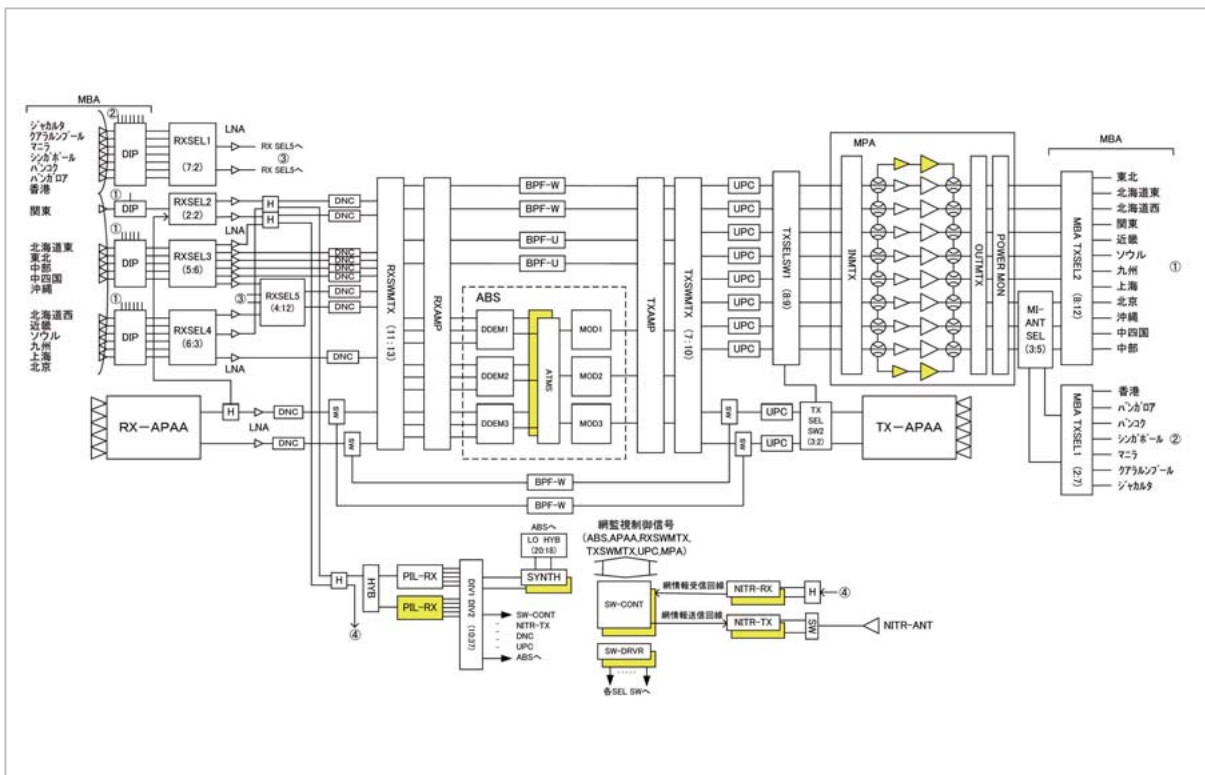


図5 中継器詳細構成図

フレームタイミング)は、前述の 20 MHz 基準信号から生成され、SW-CONT から各機器に分配されるため、WINDSの TDMA 時系基準は衛星基準の TDMA 方式となる。したがって、通信システム全体として、基準局のパイロット信号を原振とする安定した時系基準を提供でき、通信実験ユーザ局に対して復調器のキャリア捕捉レンジの低減、アップリンク送信タイミング推定の簡略化を可能としている。

5.3 スロット制御情報

SW-CONT 内に設けられたスロット制御テーブルには、1 スーパーフレーム (= 16 基本フレーム × 20 スロット) 内の各 TDMA スロットにおける、RXSWMTX 及び TXSWMTX のスイッチパターン設定、TXAMP の利得設定、UPC (10 台) の利得設定、ABS DDEM 復調レート / MOD の出力エリア、APAA ビーム指向方向 (送受各 2 ビーム)、MPA ドライバンプ (10 台) 制御情報 (アッテネータ値、位相値) が設定される。これらの制御情報は基準局から送信される 28.9 GHz の網情報回線経由で SW-CONT に入力され、SW-CONT から各機器に対してスロットタイミン

グに応じた制御が行われる。

実際のスロット制御情報の書き換えは、複数のスロットで同じ設定内容になるケースが多いことを考慮し、スロット制御情報とこれを参照するスロット番号 (任意の複数スロット) を指定する方式とした。迅速なレスポンスが必要な下り回線降雨減衰補償の制御において、大幅な制御遅延の短縮を図っている。

5.4 網情報送受信回線

ミッション機器の制御、モニタ項目のうち、ハウスキーピング以外の制御情報、モニタ情報が基準局と網情報送受信機の間で伝送される。これらの情報には、APAA、ABS の制御、モニタ情報も含まれる。

網情報回線 (上り) は、基準局の送信信号を国内 MBA で受信するため、万一、国内 MBA に異常が発生するとミッション機器の制御が不能となり、ほとんどの通信実験の遂行が困難となる恐れがある。これを避けるために、本網情報回線 (上り) とパイロット回線の代替ルートとして RX-APAA 経由の受信ルートを設けている。具体的には、RX-APAA のビーム 1 出力の一部をハイブ

リッド回路で基準局が位置する MBA 関東ビームの受信ポートに分岐出力している。なお、APAA 自身の各種制御パラメータも網情報回線経由で設定されるため、受信ビーム 1 を基準局方向に指向させる初期設定では、SW-CONT を再プログラミングし、TTC 回線経由で APAA の初期設定に必要な制御パラメータが SW-CONT に設定される。いったん、RX-APAA のビームが基準局方向に設定されると、以降は通常の運用手順で網情報回線経由でミッション機器の制御が行われる。

下り回線用のアンテナは広角特性を有する円形ホーンアンテナであり、大型地球局では、位相変調された網情報回線の残留キャリアをアンテナ自動追尾、降雨時の送信電力制御に利用することが

可能である。

6 主要性能

6.1 伝送特性

MBA、MPA、APAA の性能を除いた IF 交換部の主要性能(主に伝送特性)を表 3 に、網情報送受信機の主要性能を表 4 に示す。

6.2 中継器レベルダイヤ

図 6 に代表的な中継器設定でのレベルダイヤ(参考)を示す。図中のノイズレベルはその点で出力される 1 Hz 当たりの雑音電力密度で示してある。

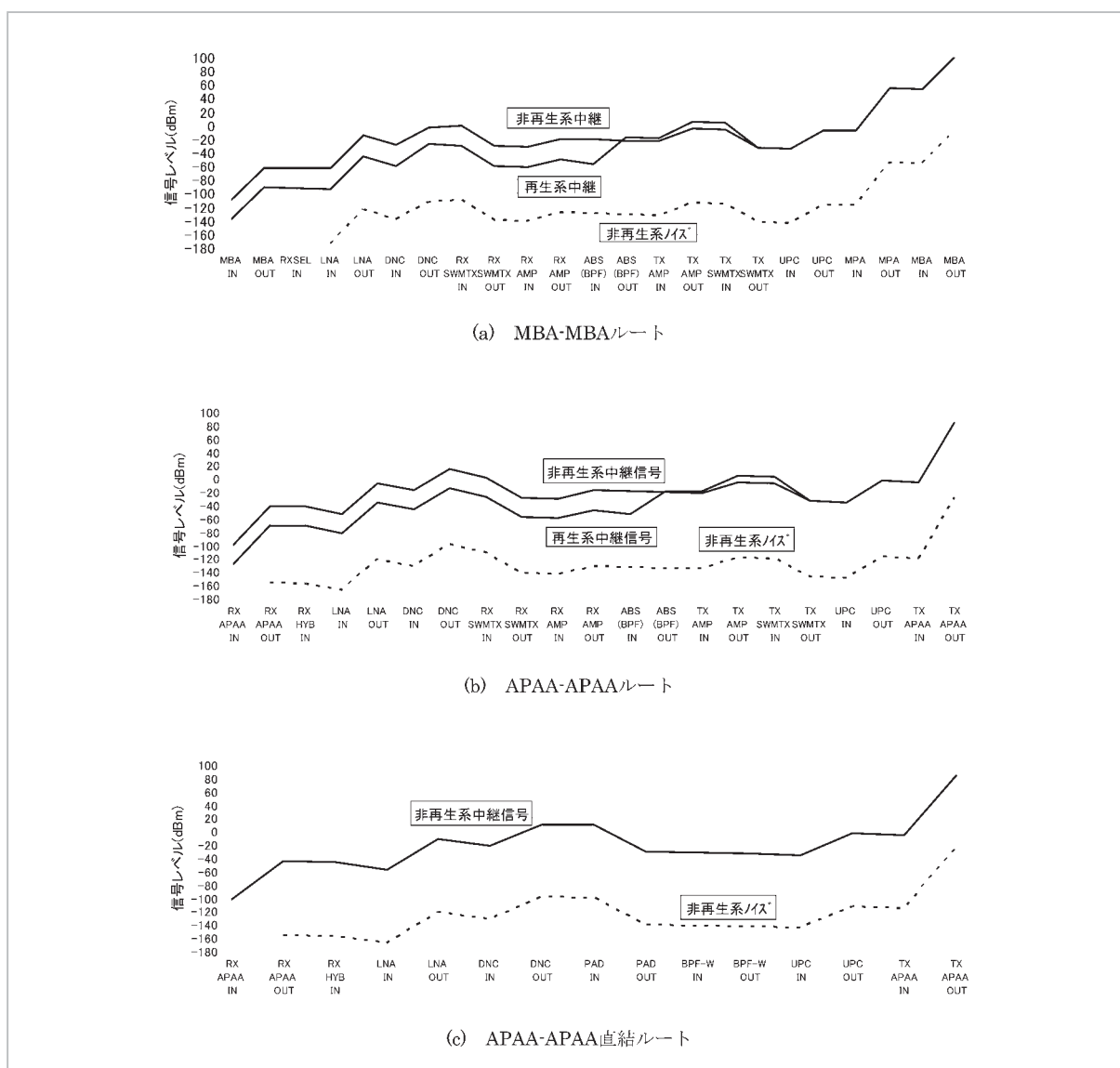


図6 中継器レベルダイヤ

表3 IF交換部の伝送特性

	再生系		非再生系
	LNA入力～ABS入力	ABS出力～UPC出力	LNA入力～UPC出力
位相非直線性	5.7deg. _{0-P} 以内 (±37MHz)	14.1deg. _{0-P} 以内 (±90MHz)	20deg. _{0-P} 以内
利得平坦度	0.5dB _{0-P} 以内 (±37MHz)	0.9dB _{0-P} 以内 (±90MHz)	1.7dB _{0-P} 以内
スプリアス PM	0.5deg.rms 以下 (±37MHz)	0.5deg.rms 以下 (±90MHz)	0.5deg.rms 以下 (±300MHz)
残留 AM	1.0%以下 (±37MHz)	1.0%以下 (±90MHz)	1%以下 (±300MHz)
スプリアス出力	-35dBc 以下 (±37MHz)	-35dBc 以下 (±90MHz)	-35dBc 以下 (±300MHz)
位相雑音	5deg.rms 以下 (1kHz～37MHz)	5deg.rms 以下 (1kHz～90MHz)	5deg.rms 以下 (1kHz～275MHz)

表4 網情報送受信部の諸元

	上り	下り
周波数	28.9GHz	18.9GHz
EIRP	—	15.7dBW 以上($\theta=8^\circ$) 17.2dBW 以上($\theta=6^\circ$)
変調方式	PCM(NRZ-L)/PSK/PM	
副搬送波周波数	16 k Hz	40 k Hz
変調度	1.1rad±10%以下	
データレート	4kbps	10kbps

フライトモデルのシステム試験を行っており、通信ミッション全体についてもシステム電気モデル(SEM)を利用した End-to-End(地球局-衛星-地球局)試験を通じ、通信プロトコルの確認も行っている。WINDSの通信ミッションはユニークな機能を有しており、多種・多様な新しい衛星通信技術の利用開拓にも十分応えられるものと期待している。

7 おわりに

WINDSの通信システムについて、その概要及び搭載中継器の動作概要について紹介した。2007年度の打上げを目指し、現在(2007年9月)

謝辞

日ごろ、開発業務に支援いただいている関係各位に感謝します。



しまだまさあき
島田政明

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム
衛星通信



やしまさのぶ
谷島正信

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム



おがわやすお
小川康雄

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム



たかし たか
髙橋 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



くろだとものり
黒田知紀

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム



おさわ けんじ
小澤 健

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム 博士(工学)
宇宙構造、構造解析



よこやま けんじ
横山幹雄

独立行政法人宇宙航空研究開発機構宇宙利用推進本部 WINDS プロジェクトチーム