

4-5 WINDS 基準局の開発

4-5 Development of Network Management Center for WINDS

小川康雄 横山幹雄 黒田知紀 藤原勇一 島田政明

OGAWA Yasuo, YOKOYAMA Mikio, KURODA Tomonori, FUJIWARA Yuuichi, and SHIMADA Masaaki

要旨

宇宙航空研究開発機構(JAXA)では、WINDS 通信実験システムの通信制御、交換接続制御などの機能を持ち、実験通信回線にかかわる制御インタフェースを有する地球局としてWINDS 基準局の開発を行っている。WINDS 基準局は JAXA 筑波宇宙センターに設置され、WINDS 通信ミッションの制御・管理を行うコントロールセンターとして、通信実験の中心的な役割を担う。本稿では WINDS 基準局の機能・性能について報告する。

JAXA is developing an earth station which has communication controller and circuit-switched capabilities for WINDS communication experiment system. This station is installed in the JAXA Tsukuba Space Center, and operates as a control center for the experiment system. This paper describes the characteristics and the functions of this station.

[キーワード]

WINDS, 地球局, Ka 帯, 衛星通信

WINDS, Earth station, Ka-band, Satellite communications

1 はじめに

WINDS 基準局は宇宙航空研究開発機構(JAXA)筑波宇宙センターに設置され、超高速インターネット衛星(WINDS)の通信ミッションの制御・管理を行うコントロールセンターとして、通信実験の中心的な役割を担う。

衛星搭載交換機を介した再生中継衛星通信実験、ベントパイプ方式の非再生衛星通信実験の基地局として、WINDS 衛星と地上系システムとの間の時間・タイミング同期やユーザ局間通信を含めたシステム運用の管理・制御を行う。

本稿では、WINDS 基準局の機能(WINDS 実験システムでの位置付け)及び基準局を構成する各部の機能性能について報告する。

2 基準局の機能及び構成

2.1 基準局機能

WINDS 基準局は、JAXA 筑波宇宙センター内

に設置され、WINDS 通信網実験システムの通信制御、交換制御などの制御機能を実現する。パイロット信号、通信網の遠隔制御・監視用信号の送受信機能(網情報回線)を持ち、実験通信回線にかかわる制御インタフェースを有する。また、衛星において再生中継機能を有するベースバンド交換部(ABS)に対する遠隔制御・監視を行う。WINDS 衛星と地上ユーザ局システム間の同期や、ユーザ局間通信を含めたシステム運用を管理することにより、通信ミッションの制御・管理を行うコントロールセンターとして、通信実験の中心的な役割を担う。WINDS 基準局の主な機能を以下に示す。

(1) 網情報回線送受信機能

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、モニタ情報を WINDS 衛星との間で送受信を行う。これらの情報には、APAA、ABS の制御、モニタ情報も含まれる。

(2) パイロット信号送信機能

基準局はドップラー補償された 28.8 GHz のパイロット信号(無変調連続波)を WINDS 衛星に送信する。衛星内では、基準ローカル信号源として使用される。また、パイロット信号の送信周波数制御により、実験通信回線のフレームタイミング管理を行う。

(3) 海外 MBA 指向校正機能

海外送受信マルチビームアンテナ(MBA)カバーエリアに設置された地球局から送信される無変調連続波を WINDS 衛星経由で受信し、受信レベルを計測することにより海外指向校正を行う。

(4) 再生交換中継回線制御機能

実験計画された運用プランに基づき、再生交換中継回線の TDMA フレーム中の通信ビーム、通信エリア、周波数、制御スロット、情報スロットの割当てを行う。WINDS 運用情報から、通信エリアごとにユーザへの制御情報(TDMA の補正情報、衛星局ステータス等)を生成し、WINDS 衛星に送出する。WINDS 衛星はこの情報を基に再生交換中継回線 TDMA フレーム中の制御専用スロットである報知スロットを使ってユーザに報知情報として通知する。

また、ユーザ局からの無線回線の割当要求(アソシエーション)に応じ通信エリア、周波数、TDMA タイムスロット等を割り当てる。この情報を基に WINDS 衛星に向け制御情報を生成、送信する。また ABS に対してアソシエーション要求に基づく経路追加/削除要求などの ATM ルーティングテーブル更新処理を行う。

(5) 非再生交換中継回線制御機能

実験計画された運用プランに基づき、通信エリア、周波数、制御スロット、情報スロットをプリアサインにより設定する。

網情報回線のフレーム同期タイミングに基づき、通信エリアごとに非再生交換回線用のリファレンスバースト信号を生成し、WINDS 衛星経由でユーザ局に向け送信する。

ユーザ局ではこの信号を受信することにより WINDS 通信網とのフレーム同期を行う。

(6) ABS オンボードソフトウェアロード機能

WINDS 衛星に搭載される ABS のオンボードソフトウェアを再生交換中継回線を使用して、基準局から WINDS 衛星にソフトウェアデータをアップロードすることにより新たなソフトウェア

に書き換える。

(7) 実験通信回線運用計画管理機能

実験通信回線運用計画の立案、運用制約情報の入力、通信プロファイル登録機能、通信コンフィギュレーションの設定機能、運用計画編集・表示を行う。

(8) 基準局制御監視機能

基準局の各装置の状態監視、制御管理を行う。また、基準局状態データの蓄積を行う。

(9) ビーコン局リモート制御監視

国内送受信マルチビームアンテナ(MBA)の指向制御を目的として沖縄宇宙通信所に設置されるビーコン局を監視・制御する。

(10) WINDS 監視機能

WINDS 衛星の各実験搭載機器の状態表示、ミッション機器状態データの蓄積を行う。

(11) 外部機関 I/F 機能

外部機関(NICT 鹿島局)に網情報テレメトリ等の情報を配信する。

基準局の主要性能として、交換中継回線性能を表 1、網情報回線性能を表 2、パイロット回線性能を表 3、通信網管理制御性能を表 4 に示す。

表 1 交換中継回線性能

送信性能	
使用回線	固定ビーム再生交換中継回線(FRL) 固定ビーム非再生交換中継回線(FNL)
送信周波数	再生交換中継回線： 27.5925/27.7775/27.9625GHz 非再生交換中継回線(リファレンスバースト)： 28.33GHz
偏波	水平偏波(回転可)
EIRP	再生交換中継回線：63.7dBW 以上 非再生交換中継回線：70.5dBW 以上
変調方式	QPSK
情報伝送速度	再生交換中継回線： 51Mbps(公称) 非再生交換中継回線(リファレンスバースト)： 155Mbps(公称)
誤り訂正方式	RS(255,223)
受信性能	
使用回線	固定ビーム再生交換中継回線(FRL)
受信周波数	再生交換中継回線： 17.7925/17.9775/18.1625GHz
偏波	水平偏波
G/T	35.0dB/K 以上
変調方式	QPSK(MF-TDMA)
情報伝送速度	再生交換中継回線： 155Mbps(公称)
誤り訂正方式	RS(255,223)

表2 網情報回線性能

送信性能	
使用回線	網情報回線(NIL)
送信周波数	28.9000GHz
偏波	水平偏波
EIRP	44.5dBW 以上
変調方式	PCM(NRZ-L)-PSK-PM
情報伝送速度	4kbps
データフォーマット	CCSDS パケット形式
受信性能	
使用回線	網情報回線(NIL)
受信周波数	18.9000GHz
偏波	右旋円偏波を垂直偏波で受信
G/T	36.0dB/K 以上
変調方式	PCM(NRZ-L)-PSK-PM
情報伝送速度	10kbps
データフォーマット	固定フレーム形式

表3 パイロット回線性能

送信性能	
使用回線	パイロット回線(PIL)
送信周波数	28.8000GHz
偏波	水平偏波
EIRP	62.2dBW 以上

表4 通信網管理制御性能

実験通信網管理・制御性能	
最大登録ユーザ局数	再生交換中継回線 : 10,000局以上 非再生交換中継回線 : 50局以上
最大同時接続ユーザ局数 (再生交換中継回線)	765局
データ最大蓄積容量	8日分(局状態データ、網モニタ、NME 制御信号、降雨補償統計データについては 31日分)

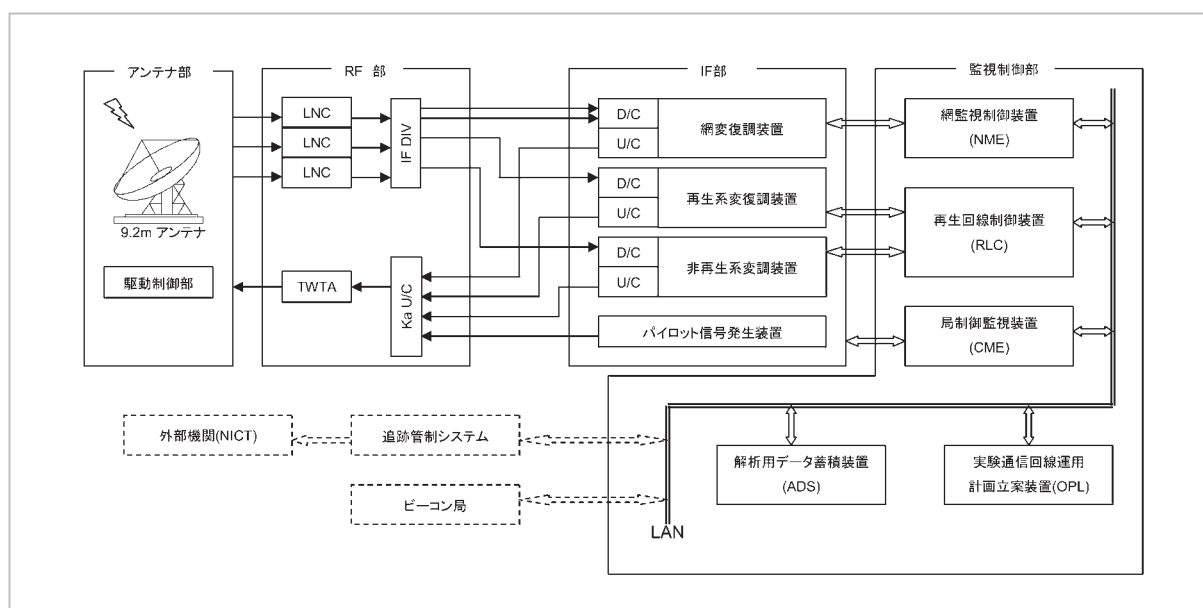


図1 基準局構成

2.2 各部構成

基準局の各部構成を以下に示す。WINDS 基準局は主にアンテナ部、RF部、IF部、監視制御部から構成される。WINDS 基準局の構成を図1に示す。

2.2.1 アンテナ部

アンテナ部は、9.2 m カセグレインアンテナ、駆動制御部等から構成される。アンテナ部の外観を図2に示す。本アンテナ部は、通信放送技術衛星 かけはし (COMETS) の通信実験で使用したアンテナに対し、周波数範囲、偏波方向等の改修を実施したものである。主要性能を表5に示す。

2.2.2 RF部

RF部は主に進行波管増幅器(TWTA)、低雑音周波数変換装置(LNC)、IF信号配電盤(IF DIV)から構成される。送信電力制御機能を有し、衛星からダウンリンクされる網情報信号のレベルを元に基準局のアップリンク信号(網監視制御、パイロット、再生、非再生)のEIRPを制御することが可能である。これにより、網監視制御回線、パイロット回線(99.9%)、再生・非再生通信回線(99.5%)の降雨稼働率を確保している。

2.2.3 IF部

IF部は各回線の変復調を行い、網変復調装置、再生変復調装置、非再生変調装置から構成される。



図2 WINDS 基準局アンテナ部外観

表5 アンテナ部主要性能

項目	性能
開口径	9.2m
アンテナ形式	カセグレインアンテナ
周波数帯域	送信 27.5GHz~28.9GHz 受信 17.7GHz~18.9GHz
アンテナ利得	送信 64.9dBi 以上 受信 61.5dBi 以上
偏波	直線偏波(回転可)
追尾精度	ポインティング損失 0.5dB 相当角度以下

網変復調装置は RF 装置及び網監視制御装置とのインタフェースを行い、WINDS 衛星と網情報信号の受信、網制御信号の送信を行う。再生変復調装置は RF 装置及び再生回線制御装置のインタフェースを行う。WINDS 衛星の ABS と再生回線の TDMA シグナリングバースト信号(報知情報、シグナリングデータ)の送信、レファレンスバースト信号(報知情報、アソシエーションデータ)の受信、ABS ソフトウェアの送受信、回線状態情報の受信を行う。非再生変調装置は RF 装置及び再生回線制御装置とのインタフェースを行い、WINDS 衛星へ非再生回線のレファレンスバースト信号の送信を行う。将来、非再生デマンドアサイン方式の追加実装を実施する場合は、非再生回線制御装置(NLC)を新設し、復調機能を追加した非再生変調装置の制御を行う。

WINDS では海外 MBA 指向偏差を縮小させるために、指向誤差補正テーブル用のデータ取得を、該当ビーム使用開始時を含めて定期的に実施する。この海外 MBA 指向誤差校正運用に対応し、海外設置の地球局から送信された信号を WINDS 経由で受信し、受信レベルの計測・蓄積を行う機能を有する。

2.2.4 監視制御部

監視制御部は、事前に入力した実験計画を基に回線設定を行い、地上ユーザ局からのアソシエーション要求に対して TDMA スロット配分、管理を行う。また WINDS 衛星のミッション機器への制御コマンドの送信や機器の状態データの受信処理を行う。

監視制御部は網監視制御装置(NME)、再生回線制御装置(RLC)、局制御監視装置(CME)、実験通信回線立案装置(OPL)、解析用データ蓄積装置(ADS)、パイロット周波数制御装置から構成される。このうち、パイロット周波数制御装置を除く各装置は、独立した5台のワークステーション上で動作するアプリケーションプログラムとして実装される。

(1) 網監視制御装置(NME)

網監視制御装置は WINDS 衛星及びユーザ局から構成される WINDS 通信ネットワーク全体のうち、網情報回線を使用した WINDS 衛星ミッション機器の制御監視を行う。NME の主な機能を以下に示す。

- 網モニタ信号処理
網モニタ信号でダウンリンクされるミッション機器の状態、追跡管制システムから取得する導波管スイッチ設定情報、冗長切替情報、ミッション系設備動作状況など実験運用に必要なハウスキーピングリアルタイムテレメトリの処理を行う。
- 網制御機能
実験運用に用いられるミッション機器の機器制御を行う。
- 実験モード/実験計画の管理
OPL にて立案された実験モード情報及び実験計画情報に基づき、指定時刻からのコンフィギュレーション設定の指示を行う。
- 実験運用中の異常検出
衛星の姿勢異常、バッテリー電圧の低下等により、衛星が軽負荷(LLM)モードに移行した際には、追跡管制システムから配信される HK リアルタイムテレメトリにより、NME が LLM 移行の検出を行い、CME、RLC を制御することにより、基準局アップリンクの停止処理を行い、ミッションスタンバイモードとして待機する。

NME の画面例を図 3 に示す。網モニタ信号により配信される情報を表示し、各通信ミッション機器の状態を画面上で一覧として確認することができる。

(2) 再生回線制御装置 (RLC)

再生回線制御装置 (RLC) は、WINDS 及びユーザ局から構成される WINDS 通信ネットワーク全体のうち、ATM 交換を利用した再生通信回線に関する実験制御及びユーザ局の管理を行う。再生回線制御装置の主な機能を以下に示す。

- アソシエーション処理
発呼側ユーザ局からのアソシエーション要求により、ユーザ局実験参加登録、リソース確保の要求応答、着呼側に対するアソシエーション通知を実施する。また、アソシエーション解放に関する手順も行う。
- ユーザ局管理
ユーザ局の実験参加判定、VPI/VCI の割当てを行う。
- 再生回線リソース管理
アソシエーション要求時の条件により、周波数/スロット/エリア/送信電力の各リソース割当て及び管理を行う。
- ユーザ局監視
コネクション確立後のユーザに対するコネク

ション監視を行う。

- 降雨補償処理
ユーザ局から WINDS 経由で定期的に出される受信マージン情報 (リファレンスバーストの受信 C/N₀ と自局の受信限界 C/N₀ の差) から、エリア単位で最もマージンの少ないユーザのデータを基に、増減すべき MPA の出力電力を求める。
- 報知情報管理
ユーザ局へ送出する報知情報の生成、WINDS への送信を行う。
- ABS ソフトウェアロード
ABS ソフトウェアの衛星へのロード手順を実施する。
- 計画管理
NME からの指示により、実験モード開始/終了及び実験計画の開始/終了を行う。また、PVC 変換テーブルの初期設定も実施する。

RLC の画面例を図 4 に示す。

(3) 局制御監視装置 (CME)

局制御監視装置 (CME) は、基準局内機器・沖縄ビーコン局 (局内機器) の状態データ及び衛星とのリンク状態を常時監視し、実験モードに即して局内機器を制御する。

また、NME、RLC、OPL、ADS を含む運用系



図3 網監視制御装置 (NME) 画面例

装置の動作状況を監視する。主な機能を以下に示す。CME の画面例を図5に示す。

(4) 実験通信回線運用計画立案装置 (OPL)

実験通信回線の運用計画立案の支援を目的とした計画立案試行ツールとして、実験計画情報の作成、表示及び配信を行う。

実験通信回線運用計画立案装置の主な機能を以下に示す。

- 運用制限/制約情報の管理
基準局設備や、MBA/APAA の校正運用に伴う運用制限期間を計画立案不可期間として入力する。実験モード設定時の日陰期間に対する注意喚起を行う。
- 実験モード設定
非再生、再生、非再生/再生混在の各実験モードを相互に、また運用制限期間とは重ならないように設定。導波管 SW 切替不可を前提とした衛星内ルート及び対象ビームを固定したリソース情報の割り付け。スロットに対するビーム/エリアの割付枠の定義を可能とする。
- 実験計画立案
あらかじめ、実験単位での通信コンフィギュレーションをテンプレートとして定義し、定義済みのテンプレートにユーザ局グループを

リンクさせ、実行期間などを指定してミッション運用要求入力を行う。コンフィギュレーション定義に基づいて実験単位でのリソースチェック/割り付けと条件不成立時のエラー情報を提供する。

- 実験ユーザ局の管理
ユーザ局一覧情報の保持と各実験への参加ユーザ局グループの定義。
- 計画立案結果の出力、配布
追管に対する出力情報として、実験モードごとの期間、実験対象ビームなどの情報をミッション実験運用計画書に記述、作成。実験モード、実験単位のリソース情報を実運用情報として NME へ配布。
- 各種計画情報の表示
入力された運用制限、実験モード、実験計画の一覧及びタイムチャート表示。運用イベント及び各種エラーに対する運用ログ表示。

OPL の画面例を図6に示す。

基準局では、OPL に入力した各予定計画を登録してリソース割り付けを行い、計画立案の試行を行う。これをベースとして実験実行に関する調整を行い、その調整結果をもって各実験計画の実行を確定する。

(5) 解析用データ蓄積装置 (ADS)



図4 再生回線制御装置 (RLC) 画面例

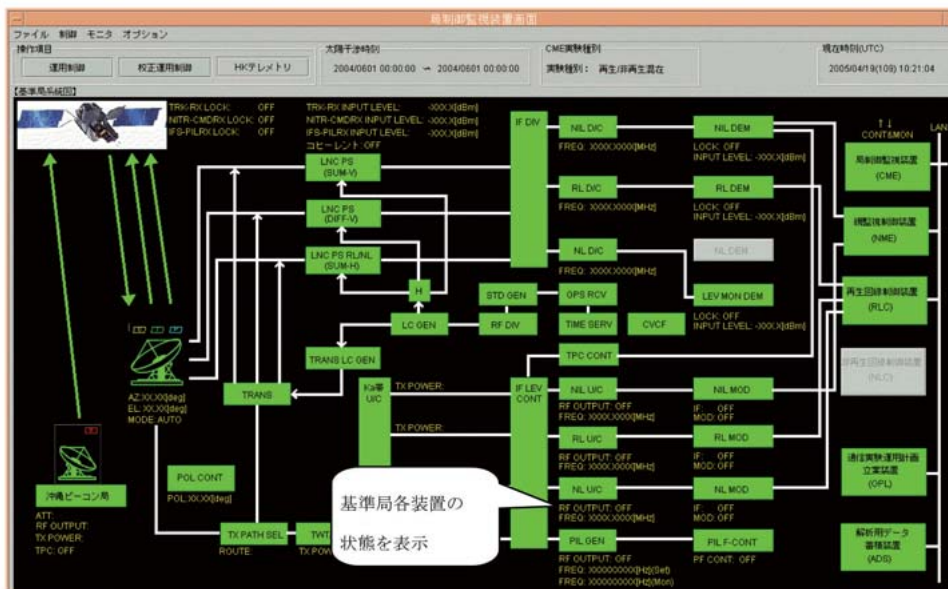


図5 局制御監視装置(CME) 画面例



図6 実験通信回線運用計画立案装置(OPL) 画面例

解析用データ蓄積装置(ADS)は、基準局の運用系装置(NME、RLC、CME)にて運用に使用されたデータを準リアルタイムに逐次受信して履歴データとして蓄積保存するとともに、運用者からのデータ検索要求に従って必要なデータを抽出する機能を備える。

また、外部機関(NICT 鹿島局)に網情報テレメ

トリ等の情報を配信する際のデータサーバとして機能する。

3 WINDS基準局通信プロトコル

WINDS 基準局において管理を行う通信プロトコルの概要を以下に示す。

3.1 TDMA管理

WINDS 基準局を含めた WINDS 通信システムは、バースト長 2 msec のスロットを最小単位とする TDMA フレームで通信を行う。時系基準は、衛星基準の TDMA 方式であり、WINDS 衛星端において、送受信のタイミングを合わせることに、同期を行う。基本フレームの先頭には、衛星から送出されるレファレンスバースト(以下「RB」という。)が配置されており、ユーザ局は、まず、ビームエリア内の RB を検出し、報知情報で指定される RB 基本フレーム番号と RB スロット番号によりスーパーフレームの先頭位置を算出する。ユーザ局の送信タイミングは、基準局からアソシエーション情報(再生系)または、通信経路情報(非再生系)として、割当て基本フレーム番号と割当てスロット番号が通知されるので、スーパーフレームの先頭位置から送信スロットの位置を算出する。さらに、ユーザ局は往復遅延時間を考慮するとともに、報知情報で送られる衛星位置情報を考慮して送信タイミングを推定する。

3.2 スロット管理・スロット割当方式

再生中継、非再生中継いずれの通信モードも、TDMA によるバースト通信モードを基本としている。再生中継モードではユーザ局に TDMA スロットを割り当てる制御プロセスには、アソシエーション制御、スロット制御テーブル設定及び ATM コネクション制御が含まれる。計画に基づく基本的な伝送パラメータの設定や再生中継交換機のソフトウェアロードなどは運用開始前に一括して行われる。

運用計画立案の段階で、エリアごとにトラフィックスロットを割り付ける。運用段階ではユーザ局からのアソシエーション要求により割り当てるが、あらかじめ設定したパラメータ以外の変更を要する場合には、スロット制御テーブルの書き換えにより対応する。スロット列単位でエリアに割り付けることを基本原則としている(図7参照)。音声通話などのリアルタイム性が要求される通信にはスロット列単位での割当てを行う。

3.3 コネクション管理

マルチビームにおけるメッシュ方式のネットワークでは一般にはユーザ間のトラフィックや

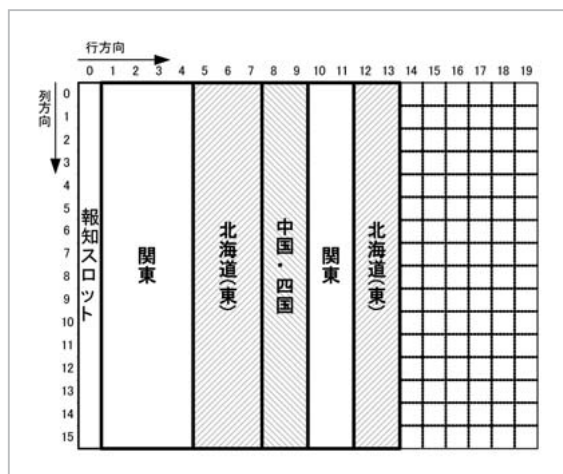


図7 スロット配置例

ユーザ局の状態を基準局が直接監視することはできない。WINDS では前出(2.2.4 (2))の C/N₀ マージン情報の定期的な送信を降雨補償制御の有無にかかわらず、すべての再生中継系ユーザ局に義務付けている。通信中にもかかわらず、この C/N₀ マージン情報が基準局でも受信できなくなった場合は、当該ユーザ局の異常と判断し、当該ユーザ局のコネクション解放を開始する。

3.4 回線制御

ユーザ局(発呼局)からのアソシエーション要求メッセージを受け取ると、基準局はエリアに割り当てられたリソースに空きがあれば衛星局との ATM コネクションテーブルの設定を行うとともに、割当てスロットの伝送パラメータの変更が必要な場合は、スロット制御テーブルの設定を行う。これらの設定の後、発呼局に対して、アソシエーション要求応答の中で送信スロット位置などを指定する。着呼局に対しては受信スロットの指定は行わない。ユーザ局はエリア内のダウンリンクバーストを受信しており、アソシエーション通知を受け取った着呼局は指定されたコネクション情報により、ダウンリンクバーストの中から自局あての ATM セルを取り出す。通信の終了時は発呼局から開放の手順を開始する。

3.5 降雨減衰補償

降雨によるトラフィック回線の減衰補償制御はユーザ局のアップリンクとダウンリンクについて行われる。アップリンクの降雨減衰補償は、ユー

ザ局が自立的に行う。まず、RB の受信状態からダウンリンクの降雨減衰量 (RB の衛星 EIRP から計算される晴天時受信 C/N_0 と実際の受信 C/N_0 の差) を推測し、周波数の補正によりアップリンクでの減衰量を予測して自局の送信電力を制御する。一方、ダウンリンクについては基準局が各ユーザ局から通知される上記受信レベル情報を基に、同一エリア内で最も C/N_0 マージンの小さい局を基準に、ダウンリンクエリアごとの衛星送信電力を制御する。電力制御は衛星局のスロット制御テーブルの書き換えによって行う。

4 おわりに

WINDS 基準局の機能と構成について紹介した。WINDS の打上げは 2007 年度冬期に予定されており、本地球局は通信実験において中心的な役割を果たすことになる。今後は実験に用いる実験用地球局とのインタフェース確認作業等、実験が円滑に行えるよう十分な準備を行う予定である。

参考文献

- 1 奥居民生, 山下修史, 上原政樹, 小川康雄, 横山幹雄, 富井直弥, 島田政明, 黒田知紀, 三浦稔, 瀧呑明, “WINDS 地上実験システムの開発”, 第 50 回宇宙科学技術連合講演会, 3D9, 2006 年 11 月.
- 2 横山幹雄, 島田政明, 黒田知紀, 鈴木龍太郎, 橋本幸雄, 吉村直子, 高橋卓, 中里祥三, 奥居民生, 大島浩, “WINDS の通信ネットワーク”, 第 50 回宇宙科学技術連合講演会, 3D11, 2006 年 11 月.



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



よこやま みきお
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



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

ふじ なら ゆういち
藤原勇一

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



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