

2 超高速インターネット衛星(WINDS)計画の概要

2 Overview of the Wideband Internet Engineering Test and Demonstration Satellite Project

門脇直人 鈴木龍太郎

KADOWAKI Naoto and SUZUKI Ryutaro

要旨

超高速インターネット衛星(WINDS)は、ブロードバンド化の爆発的な普及に対応する衛星通信システム技術の研究開発を目指す実験衛星である。その源は1992年度に通信総合研究所(CRL、現NICT)で開始したギガビット衛星研究開発構想であり、Kaバンドのアクティブフェーズドアレイアンテナ技術、衛星搭載変復調器・高速交換機等の要素技術が開発された。2001年度からWINDSとして本格的な衛星開発が開始され、2007年度内の打上げが計画されている。本稿では、WINDS開発の経緯、重要な技術開発要素、実験計画等、プロジェクトの概要について述べる。

Wideband Internetworking engineering test and Demonstration Satellite (WINDS) is an experimental satellite aiming at research and development of broadband satellite communications system which takes part in construction of worldwide broadband networks. Its origin is the Gigabit Satellite R&D started in Communications Research Laboratory (CRL, one of former bodies of NICT) in 1992, and fundamental technologies such as Ka-band active phased array antenna, satellite onboard modem and high speed baseband switch were developed in the project. Full scale experimental satellite project as WINDS started in 2001 and the satellite will be launched in early 2008. This paper describes the overview of WINDS project such as circumstances, key technologies and experimental plan.

[キーワード]

衛星通信, ブロードバンド, フェーズドアレイアンテナ, 搭載交換, 超高速変復調
Satellite communications, Broadband, Phased array antenna, Onboard switch,
Ultra high data rate modulation/demodulation

1 まえがき

1990年代のインターネットの爆発的な普及とブロードバンド化は、日常のあらゆる情報流通の様相を大きく変えることとなった。それまでBBSなどの一部のアプリケーションを除いてデータ通信はほとんど利用されていなかった一般家庭においても、ISDNの常時接続やADSL/FTTHの普及等により、インターネットの常時接続、ブロードバンド化が大きく進展している。その結果として、日常の情報流通量は爆発的に増加している。その一方で、通信インフラの敷設に不利な地理的

要因や市場性を見込めない山間地域や島しょ地域では、ブロードバンドインターネットの普及は遅れがちであり、いわゆるデジタルデバイドを生み出している。また大きな災害が起これば、地上系通信インフラが使用不可能となることも多い。このような場面では、衛星通信の果たす役割は大きい。大容量の情報流通を支えるためには、衛星通信システムのブロードバンド化が必須である。また、衛星の有する広域性、同報性、回線設定の柔軟性などの特長を活用して、より利便性の高いサービスの展開も期待できる。

超高速インターネット衛星(WINDS: Wideband

InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite)は、インターネットへの親和性の高い超高速衛星通信システムの技術開発及び実証を行うために開発される実験衛星であり、情報通信研究機構(NICT)と宇宙航空研究開発機構(JAXA)が共同で開発している。

図1に、WINDSの利用イメージを示す。超高速衛星通信システムの実現により、災害時の通信の確保、山間・島しょ地域へのブロードバンド通信環境の提供、一時的なネットワークの拡張、同報性を利用したサービス等において衛星通信システムが有効に活用されることが期待される。

2 開発の経緯

通信ネットワークのブロードバンド化に呼応して、1990年代から衛星通信システムの高速化に関する技術開発が行われた。米国では1993年に先端通信技術衛星(ACTS: Advanced Communications Technology Satellite)を打ち上げ、ベントパイプ中継で696 Mbps、再生中継で110 Mbpsの衛星通信システムを開発し、大陸横断のスーパーコンピュータネットワーク実験等に

より技術実証した。我が国では、1994年に打ち上げられた技術試験衛星VI型(きく6号、ETS-VI: Engineering Test Satellite VI)に、帯域幅200 MHzのKaバンド中継器が開発、搭載され、この技術は1995年に打ち上げられたNTTの実用通信衛星N-STARに採用された。ETS-VIでは、155 Mbpsのハイビジョン伝送実験が計画されたが、静止軌道投入に失敗したため実施に至らず、その後N-STARの中継器を用いて実験を実施した。1997年にはインテルサットとACTSを用いて、日米間を45 Mbpsで接続し、高精細映像による遠隔ポストプロダクション実験も実施された。我が国においてACTSと同等以上の衛星通信システムの高速化を実現するためには、新たな技術開発が必要であり、NICTでは1992年度から「ギガビット衛星」の概念を立ち上げて実現性の検討に着手した。

ギガビット衛星

ギガビット衛星は、超高速伝送と広域性を両立させる衛星システムの実現を目指す衛星開発構想である[1]。利用周波数帯は1 GHz以上の広い帯域幅を利用可能なKaバンド(アップリンク28 GHz帯、ダウンリンク18 GHz帯)を用いる。超高速伝送のためには高利得のスポットビームアンテナが

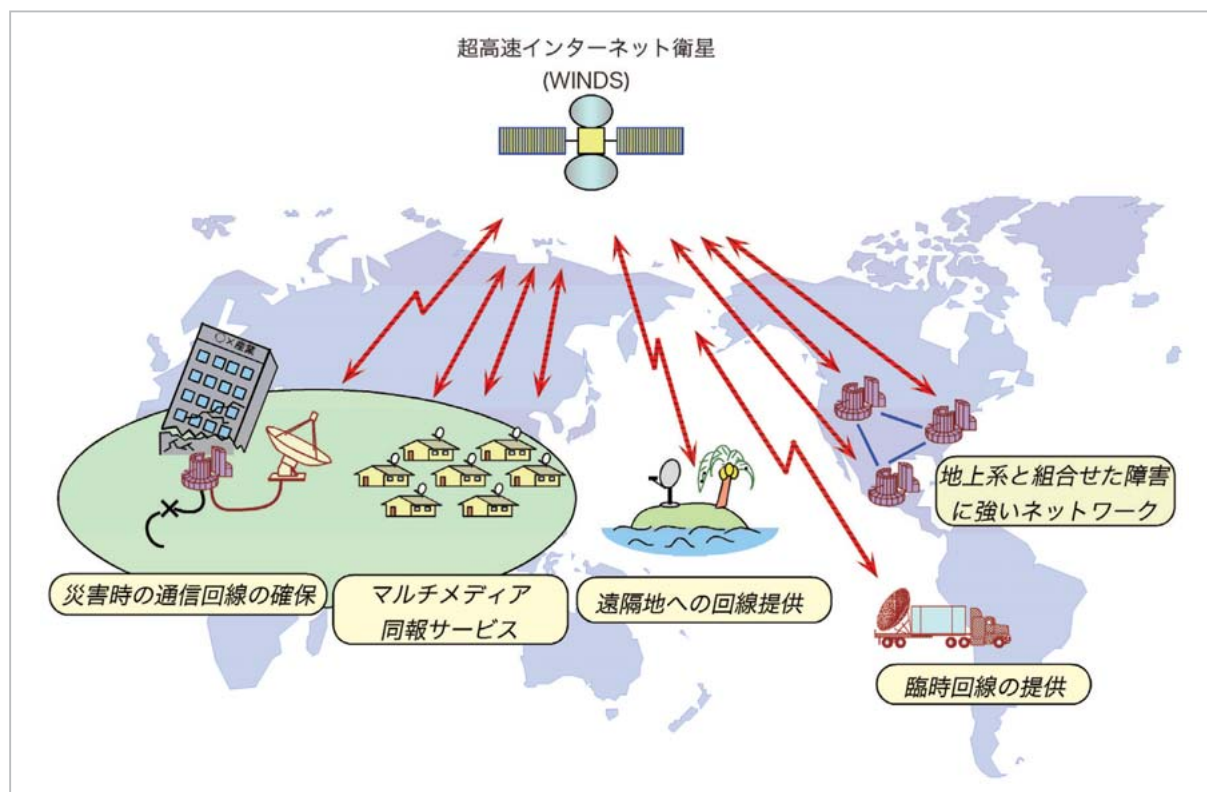


図1 WINDSの利用イメージ

必要であるが、同時に広域性を確保するためには、非常に多数のマルチスポットビームもしくは走査可能な複数スポットビームの実現が必要であり、概念検討の結果、アクティブフェーズドアレイ型のスポットビームアンテナ(SSBA: Scanning Spot Beam Antenna)の実現性の見込みを得た。直径5メートルの地球局アンテナでギガビット級の通信を行うには、1000素子程度のアクティブフェーズドアレイアンテナを構成することが必要であり、構造や廃熱等の課題はあるものの、固体増幅素子の技術開発の将来予測を仮定すると実現可能であるとの結論を得た。SSBAは、四つのビームの指向方向を自在に走査できるアンテナとして設計した。そのため、スポット間を相互接続する機能が必要である。衛星搭載のビーム間接続機能として、IF帯の信号経路を切り替えるベントパイプ型のビーム間接続方式と、より高度で柔軟な交換機能を有するATM方式に準じた再生中継交換によるビーム間接続方式を検討した。ベントパイプ型ではあらかじめ地上局からビーム間接続の要求に沿ったスイッチのスケジューリングが必要であるが、中継器の全帯域を使用する超高速通信が可能である。一方、再生中継方式では、衛星搭載可能なデバイスによる変復調器の動作速度等の制約が生じるため、中継器帯域幅をすべて使用するような超高速通信は困難であるが、アップリンクパケットを復調しダウンリンクのビームを選択できることから、高度で柔軟なビーム間接続が可能となり、ルータの機能を持たせることも可能となる。

このような検討結果に基づき、2002年度ごろの実験衛星打上げを想定し、1996年度から2000年度の間、要素技術及びサブシステムの試作を実施した。ギガビット衛星のイメージを図2に示す。具体的には、大規模なSSBAの構成ユニットとな

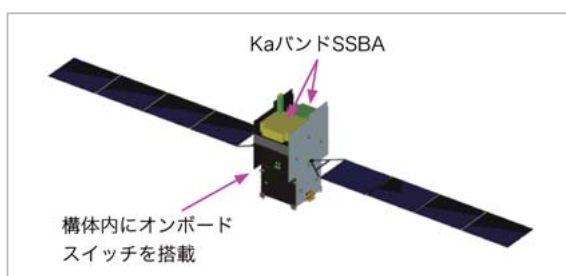


図2 ギガビット衛星のイメージ

る64素子SSBAサブユニットと衛星搭載変復調器及びATM交換機の性能確認モデルを開発した。図3は開発した送信SSBAサブユニット性能評価モデル外観である。これらの研究開発成果が、WINDSの開発に継承されることとなった。

超高速インターネット衛星(WINDS)

2000年度に宇宙開発委員会において「超高速インターネット社会実現のための宇宙インフラの開発研究」が認められ、宇宙航空研究開発機構(JAXA)との共同プロジェクトとしてWINDSの開発が本格化した。

WINDSは前述のギガビット衛星をベースとしながら、開発の効率化、アプリケーション実験に関する要求への対応などを考慮し、システム設計が行われた。具体的な内容は3以降に譲るが、その概要は以下のとおりである。

- (1) 実験実施要求の大きい地域に対して、国内9、国外10地域に固定スポットビームを提供するとともに、より小型の地球局での利用を可能とするため、直径2.4mの固定マルチビームアンテナ(MBA)を搭載
- (2) MBAに接続する送信機として、柔軟な電力配分が可能で降雨減衰補償に有利なマルチポートアンプ(MPA)を搭載
- (3) 開発要素の大きいSSBAに関しては、規模を縮小して128素子のアクティブフェーズドアレイアンテナ(APAA)を開発して搭載
- (4) 再生中継型ビーム間接続機能実現のため、



図3 64素子送信SSBAサブユニット

155 Mbps×3 ライン相当の ATM セルスイッチ機能に基づくスイッチングルータ (ABS) を搭載

- (5) ベントパイプ型ビーム間接続機能実現のため、マイクロ波スイッチを搭載

これらのうち、ABS については NICT が搭載モデル (PFM: Proto-Flight Model) まで開発を担当し、APAA については、ギガビット衛星での開発成果を継承して JAXA がエンジニアリングモデル (EM) と PFM を開発することとなった。その他の搭載機器、衛星バスについても JAXA が開発を担当することとなった。なお、衛星バスについては開発の効率化とリスク低減のため COMETS バスをベースとした設計である。

実験用地球局としては、利用促進に効果的な比較的小型でブロードバンド通信を可能とするタイプとして 45 cm ϕ 級で 155 Mbps 受信、1.5/6 Mbps 送信可能な超小型地球局 (USAT) と、1.5 m ϕ 級で 155 Mbps 受信、51/155 Mbps 送信可能な高速小型地球局 (HDR-VSAT)、衛星による超高速ネットワークを実現することを目的としたタイプとして 2.4 m ϕ 級で 622 Mbps 送受信可能な超高速小型地球局 (SDR-VSAT) と、5 m ϕ 級で 622 M/1.2 Gbps 送受信可能な大型地球局 (LET) の 4 種類の地球局を開発することとした。このうち、USAT と VSAT は JAXA が、SDR-VSAT と LET は NICT が開発を担当している。

3 研究開発要素技術

3.1 WINDS 搭載機器の研究開発要素技術

- (a) 衛星搭載スイッチングルータ

衛星搭載スイッチングルータは、衛星上でのルーティング機能を実現し、同時にダウンリンクでの多重化が可能であることから、送信電力の高効率活用を可能とする重要な技術である。そのため、1990 年代後半に開発が計画された衛星の多くが同種の技術を採用している。例えば、欧州の Hotbird 6/7 号では Skyplex と言われる DVB-S 多重化装置を搭載している。また、米国の Spaceway では独自プロトコルによるパケットスイッチ (アップリンク 16 Mbps、ダウンリンク 106 Mbps) を搭載している。

WINDS では、ATM セルスイッチ機能をベース

として、155 Mbps×3 ラインの交換機能を実現しており、世界的にも最高速の搭載交換機である。地球局の規模、性能に幅広く対応するため、1.5 Mbps から 155 Mbps までの複数の伝送速度に対応可能な搭載復調器を開発した。ソフトウェアは打上げ後も更新、追加が可能であり、バグの修正が可能であるほか、ラベルスイッチ機能の追加等が可能な構成となっている点も大きな特長である。

ABS の開発にあたっては、衛星搭載可能なデバイスで高速な変復調処理、交換処理を実現することが課題である。特に搭載復調器は前述のとおり複数の伝送速度に対応が必要であるが、可能な限り軽量化することが必要であり、回路構成や信号処理方式に大きな開発要素がある。

- (b) アクティブフェーズドアレイアンテナ

(APAA) [3]

APAA は広域をカバーし、かつ高利得のスポットビームを実現するために極めて重要な技術である。これまでに ETS-VI で S バンドの 19 素子 APAA が開発され、海外では仏 CNES の Stentor が Ku バンドの APAA を、米国 Spaceway が Ka バンドの受信のみの APAA を開発しているが、Ka バンドで帯域幅 1.1 GHz の送信・受信 APAA の開発及び宇宙実証は初めてである。

ギガビット衛星では 1000 素子以上の大規模な APAA を想定し、64 素子のサブユニットを試作したが、WINDS の開発にあたっては軌道上での技術実証を主目的として、送信・受信ともに 128 素子の APAA を開発することとなった。素子数の多い APAA の技術課題は、廃熱構造、支持構造であるが、それらに大きく影響するのが送信用固体電力増幅 (SSPA) 素子の電力付加効率の向上である。要求される総合送信電力と素子数及び適切なレベルダイヤグラムに基づく高効率 SSPA の開発が必須である。なお、複数チャネルを共通増幅する APAA では、チャネルごとの柔軟な電力配分が可能であることから、素子レベルでの電力付加効率だけでなくシステムレベルでの電力付加効率の検討が重要である。ギガビット衛星での試作 SSBA サブユニットでは、送信用増幅デバイスの電力付加効率 55% 以上、SSPA としての電力付加効率は 18% 以上を達成している。

- (c) マルチポートアンプ (MPA) [3]

Ka バンドで課題となる降雨減衰補償を、柔軟

かつ効率的に実現可能な送信用増幅器として、複数の進行波管(TWT)と複数の入力・出力で構成するマルチポートアンプがある。WINDSでは、固定マルチビームアンテナ(MBA)と組み合わせてMPAを用いることで、降雨減衰の大きいスポットにより多くの電力を配分し一定の通信品質を提供可能である。これまで、ETS-VIにおいてSバンドのMPAが開発されているが、Kaバンドでは開発実績がない。MPAは入力・出力ポートと複数のTWTの間に分配・合成回路が必要となるが、Kaバンドの場合はこの回路は導波管で構成することとなり、非常に高い移相制御精度を実現することが大きな課題である。

3.2 地球局の研究開発要素技術

(a) 超高速変復調器

WINDSはベントパイプ中継では1.1GHzの帯域幅全体を用いて超高速伝送が可能である。この特長を最大限活用するため、実験用地球局として622Mbps及び1.2Gbpsの超高速変復調器の開発が必要である。誤り訂正符号を付加すると更に10~20%の伝送速度の増加が必要となる。従来の衛星通信では、前述のACTSの696Mbpsが最高の伝送速度であり、1.2Gbpsは世界でも最高の伝送速度となる。占有周波数帯域を1.1GHz以内に抑え、かつ低C/N₀での伝送品質を確保するための誤り訂正符号化復号処理などの信号処理技術が開発要素である[4]。

(b) ネットワーク同期

WINDSは衛星搭載交換機能を有することで柔軟なビーム間接続が可能である。一方で、地球局は自局が含まれるスポットビームが使用可能なタイミングに同期してパケットを送信しなければならない。そのため、WINDSは時分割多元接続(TDMA)を基本としたアクセス方式を採用し、TDMAフレームの先頭に同期用のリファレンスバーストを送信する。地球局はこのリファレンスバーストを受信し、TDMA同期をとるとともに、スロット割当情報等のネットワーク情報を取得し、アクセス制御を行う必要がある。LETからUSATまですべての地球局にこのネットワーク同期機能は必要であり、可能な限り簡素で低コストな回路構成・ソフトウェア構成で実現することが課題である。

4 開発スケジュールと実験実施計画

4.1 開発スケジュール

WINDSの開発は、2001年4月からJAXAと共同で予備設計を開始、2002年1月から基本設計を開始し、2003年3月に基本設計審査(PDR)を終了した。2003年3月から詳細設計を実施し、衛星システム詳細設計確認会(CDR)を2006年3月に終了した。2006年3月からは維持設計段階に移行している。

4.2 実験計画

WINDS打上げ後の実証実験は、基本実験と利用実験に区分されている。基本実験は、衛星開発機関であるNICTとJAXAが実施する実験として位置づけており、WINDS通信網システムに関し、開発機器の機能性能の確認及びWINDS通信網システムの有効性を実証することを目的とする。

WINDS打上げ後直ちに実施する初期機能性能評価(初期チェックアウト)終了後から打上げ約7か月後までは、利用実験ユーザへの安定した実験環境の提供の確認とWINDS通信網システムの有効性を実証するため基本実験のみを実施する。打上げ7か月から2年後までは、基本実験を利用実験より先行して実験枠を配分するが、並行してできるだけ多くの利用実験を実施する計画である。打上げ2年後からミッション終了までは、利用実験を優先する。

基本実験では、NICTが衛星搭載機器性能確認実験、地球局性能確認実験、基本伝送実験、高速衛星ネットワーク実験、ネットワーク・アプリケーション実験を実施し、JAXAは搭載機器性能評価実験、災害時運用実験、マルチキャスト通信実験、観測データ配信実験等を行う予定である。

NICTとJAXAは、共同でAPAA性能評価や再生交換中継器性能評価等の搭載機器性能評価実験、降雨減衰補償実験、高速衛星ネットワーク実験等を実施する計画である。

利用実験は、アプリケーション実証を目的とする実験であり、NICT、JAXA以外の各機関が主体となって実施する各種実験である。実験公募は、総務省により平成19年2月1日から3月30日の間行われた。その結果53件の応募があり、5月

30日に開催された衛星アプリケーション実験推進会議(会長:高畑文雄早稲田大学教授)における審議結果を踏まえ、すべての提案が採択された。実験は日本26件、タイ11件、インドネシア・マレーシア各3件など、15か国以上の参加が予定されている。実験内容については、伝搬特性実験、降雨減衰補償方式実験、通信制御実験等、通信技術に関する実験のほか、遠隔教育、遠隔医療、災害時通信等のアプリケーション実証実験など、多様な実験が行われる予定である。利用実験の円滑な推進を目的として、WINDS利用実験協議会が2007年7月26日に発足した。

5 むすび

WINDSは1992年度に開始したギガビット衛星開発構想に端を発し、要素技術の研究開発、試作・試験を実施しながら2001年度から本格的な実験衛星、WINDSとしてJAXAとの共同で開発が進められた。

衛星通信技術の研究開発は、先端的な要素技術

の開発とシステム設計への反映、さらに衛星搭載部品等の条件や重量、質量などの制限などの課題を解決する必要があるため、一般に長期間にわたることが多い。その間に技術の先端性、重要性が薄れる危険性もある。WINDSの場合もギガビット衛星構想から数えると15年を経過する。にもかかわらず、WINDSが目指すブロードバンド衛星通信のレベルはいまだに世界最先端であると同時に、近年、類似技術の研究開発が緒外国でも行われている。したがって、WINDSが予定の静止軌道上に打ち上げられ、計画されている実証実験を成し遂げることにより、この分野の技術開発をリードし、世界に大きく貢献することができる。その期待に応えられるよう、今後一層の努力を惜しまずプロジェクトの遂行に励んでまいりたい。

WINDSの開発は平成19年度内の打上げを目指して現在最終段階の作業が継続しているが、本計画がここまで来られたのは、計画当初からかわってこられた多くの関係者の努力と熱意の賜物であることを記して本稿を終わる。

参考文献

- 1 Naoto Kadowaki, Naoko Yoshimura, Yasuo Ogawa, Noriaki Komiya, and Tsunehiko Araki, "Ka-Band Gigabit Communications Satellite: Development Status and Connection Control Scheme", Proc. of 5th Ka-Band Utilization Conference, Taormina, Italy, 1999.
- 2 Sumire Takatsu, Shiro Kitao, Yoshihiko Konishi, Masanobu Yajima, Tomonori Kuroda, and Masaaki Shimada, "Proto-flight model Development of the Ka-band Multi-beam Active Phased Array Antenna for WINDS", Proc. of 13th Ka and Broadband Communications Conference, Turin, Italy, 2007.
- 3 黒田知紀, 島田政明, 小川康雄, 北原真樹, 中澤 実, 細田育生, 元橋保夫, "WINDS搭載Ka帯マルチポートアンテナ(MPA)", 第50回宇宙科学技術連合講演会, 北九州市, 2006.
- 4 Richard Gedney, Mike Dollard, Yasuo Ogawa, Yukio Hashimoto, Naoko Yoshimura, and Ryutarō Suzuki, "High Speed Turbo Decoder for WINDS Burst Modem", Proc. of 10th Ka-Band Utilization Conference, Vicenza, Italy, 2004.



かどわき なおと
門脇 直人

総合企画部統括/企画戦略室長
衛星通信工学



すずき りゅうたろう
鈴木 龍太郎

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/ATR適用コミュニケーション研究所
衛星通信