

多彩な衛星コミュニケーションを実現する 高速化対応衛星移動通信サービス「ワイドスターⅡ」特集

ワイドスターⅡ 衛星移動通信方式の概要

ワイドスターⅡは、赤道上空約36,000kmに位置する静止衛星N-STAR c/dを継続利用しつつ、日本全土を含む日本近海を主にカバーする衛星移動通信サービスである。このシステム設計には、災害に強い信頼性と今後10年以上にわたる多彩な衛星コミュニケーションの提供が求められている。ワイドスターⅡ衛星移動通信方式は、従来より実績のある無線技術を踏襲しながら、回線利用効率向上を図るなどして通信を高速化した。また、衛星に必要な制御技術の採用とコンパクトな開発により、ドコモの広域移動通信システムとして、多彩な衛星サービスを実現している。

無線アクセス開発部

いのうえ まさひろ
井上 雅広かもがわ けんじ
鴨川 健司

ネットワーク開発部

さわだ まさひろ
澤田 政宏

プロダクト部

あいだ ひろみ
相田 浩伺

1. まえがき

ドコモの衛星移動通信サービスであるワイドスターは、1996年の音声サービス開始以降10年以上にわたり、第2世代移動通信方式のPDCをベースとしてサービスを提供してきた[1][2]。この間に携帯電話システムでは、サービスおよびコンテンツのリッチ化に伴うトラフィックの増加に対応して、世代交代による通信速度の高速化やコアネットワークのIP化[3]が進められている。ワイドスターⅡは、このような移動通信の高度化に対応し、衛星移動通信サービスの利用拡大を目指し開発され

た。

本稿では、ワイドスターⅡの衛星移動通信方式の概要とともに、従来のワイドスターシステムとの比較を交え、設計上の課題と特長について解説する。

2. 方式設計への要求条件と方針

ワイドスターⅡの開発には、従来のサービスを継承しつつ高速化によりデータ通信の用途拡大を図ること、IP化をはじめとする汎用技術の採用により開発および運用難易度を抑えることが求められた[4]。これらサービスおよび設備の要求

条件から、ワイドスターⅡの設計方針を次の2点とした。

- (1) 開発運用負担を軽減するためのシステム全体で必要十分な機能選択

ワイドスターの利用形態には、船舶のほか離島および災害対策用途などが考えられ、移動局がいったん設置されると、長期にわたる利用が予想され、移動局の入替えは生じにくい。したがって、移動局本体に多くの機能を集中させるよりは、周辺装置やソリューション機器の接続を前提として、多彩な通信利用が可能な方式設計を目指す。このような利用形態を考慮し、従来実績のある

信頼性を維持しながら開発運用負担を軽減するため、システム構成および制御手順の簡易化とともに必要十分な機能配分とする。

(2)衛星通信において通信速度の高速化を図るための回線利用効率向上

ワイドスターⅡが利用する通信衛星および周波数帯は、従来のワイドスターと同一であり、新旧システムが並存するマイグレーションの中で高速化を図ることとなる。無線通信速度の高速化には、周波数利用効率^{*1}の向上が求められるが、ワイドスターⅡは赤道上空約36,000kmに位置する静止衛星を介し全国をカバーする移動通信システムであり、携帯電話よりはるかに遠方からの微弱電波の利用であることおよび半径約600kmの広域ビームであることから、周波数を繰り返し再利用できず、周波数利用効率は劇的には上がらない。このため、多くのユーザーが高速通信を利用するには、無線周波数リソースの占有時間を左右する回線利用効率の向上が設計上重要となる。

3. システム方式設計

必要十分な機能選択を目指し、従来のシステムと比較して、無線ノードの集約と通信制御の統合および機能配分の再配置を行ったシステム設計となっている。

3.1 無線ノードの集約

無線アクセスノードの構成の比較を図1に示す。ワイドスターⅡで

は、無線制御部と変復調部をS-AP (Satellite-Access Point) に集約した。それにより、無線制御と変復調処理の連携が装置内部のインタフェースとなり、無線リソース割当ておよび通信状態待合せの実装や装置監視の負担が軽減された。

3.2 通信制御のIPへの統合と簡易化

音声通信方式の概要を図2に示す。無線処理部の音声通信処理は従来のワイドスターでの実績を踏襲しつつ、上位レイヤはFOMAの packets 交換プロトコル GPRS (General Packet Radio Service) ^{*2}をベースにIP化した音声通信制御となっている。すなわち、コアネットワークおよび移動局はパケットデ

ータの論理的なパス接続情報を扱うPDP (Packet Data Protocol) コンテキスト^{*3}で音声を含め通信管理を行い、そのうえで、音声呼制御はSIP (Session Initiation Protocol) ^{*4}が担う。通信管理は、音声・データにかかわらず単一のPDPコンテキストで行い、マルチドメイン^{*5}、マルチコール^{*6}は実装せず、通信制御の状態数を抑制することで簡易化を図っている。データ通信中の音声発着信には、PDPコンテキストを再設定するサービス切替え制御を導入して対応する。

3.3 必要十分な機能配分

(1)S-AP間インタフェース

衛星のエリアは広域であり、通話中にビーム間を移行する頻度は低

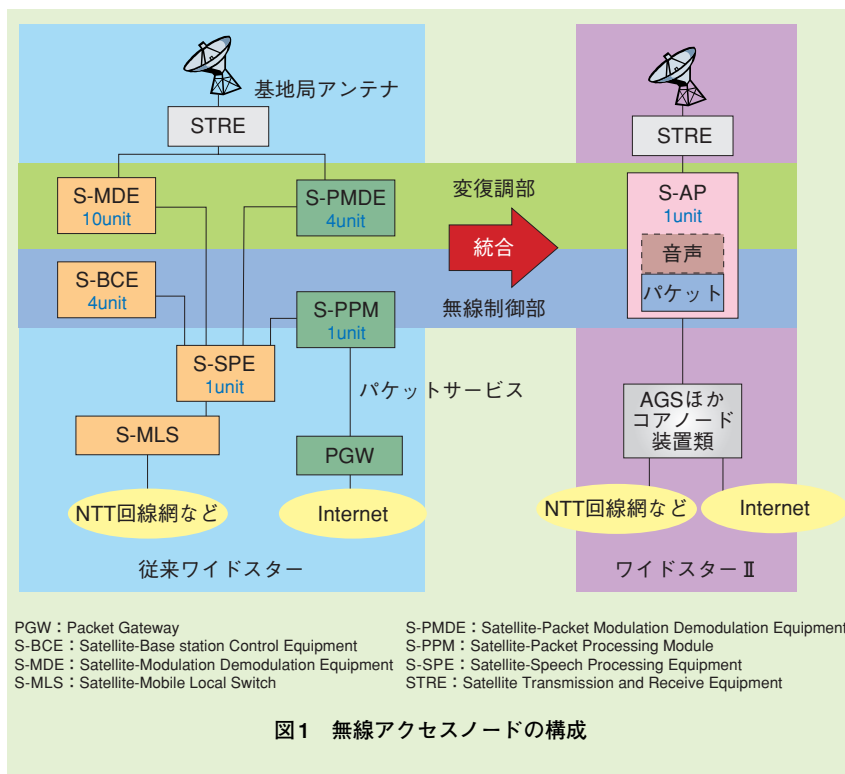


図1 無線アクセスノードの構成

*1 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数。
*2 GPRS：GSMまたはW-CDMAネットワークを使用したパケット交換サービス。
*3 PDPコンテキスト：移動局とコアノード

とで保持するパケット通信に関する通信制御情報。
*4 SIP：VoIPを用いたIP電話などで利用される、IETF (Internet Engineering Task Force) で策定された通信制御プロトコルの1つ。

*5 マルチドメイン：パケットドメインと回線交換ドメインの両方に対応し、通信処理すること。
*6 マルチコール：パケット通信中に音声着信が発生するような、複数の呼を処理すること。

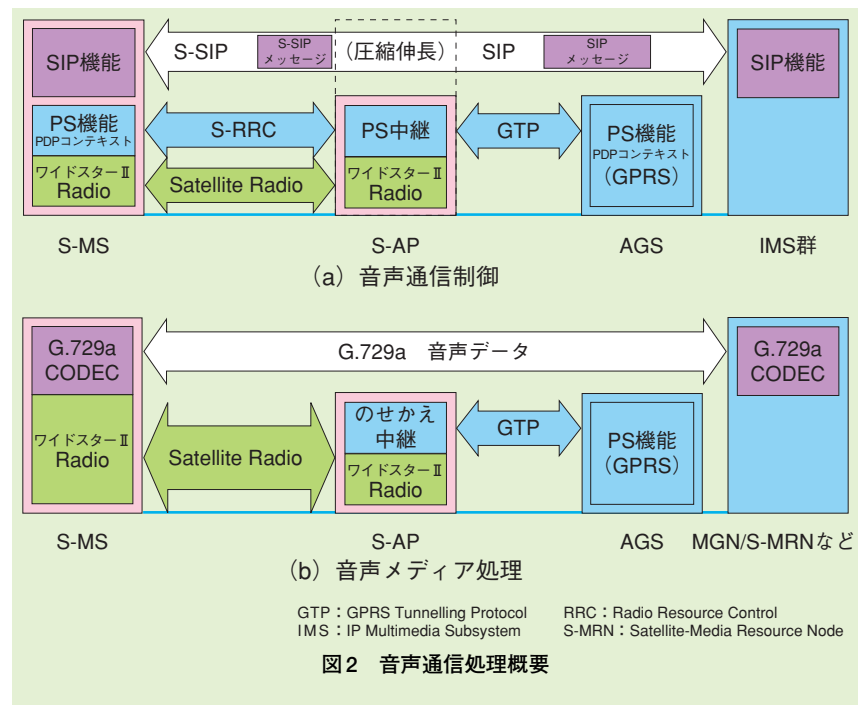
く、遅延も大きいので、高速なハンドオーバーや加入者線延長方式^{*7}には対応せず、再接続でのRelocation^{*8}で対応した。これにより、S-AP間での呼引継ぎ処理を軽減し、S-AP間インタフェースの大幅な簡易化が実現できている。

(2) CODEC処理

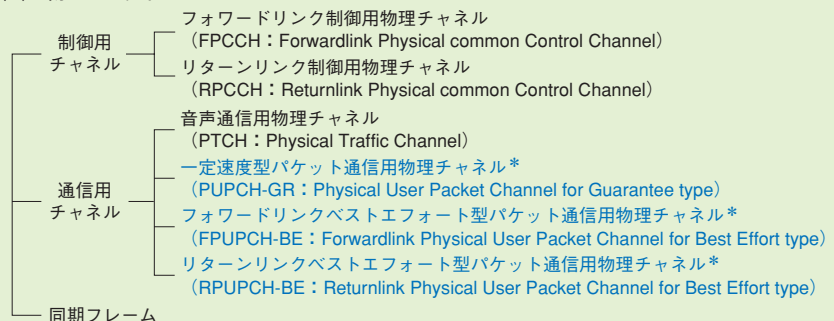
音声CODECは、従来のPSI-CELP (Pitch Synchronous Innovation Code Excited Linear Prediction)^{*9}の代わりにIP電話で汎用なG.729a^{*10}を採用した(図2(b))。衛星移動局間の音声通話は、中継ノードはCODEC処理せずにバイパスし、端末でのみCODEC処理し、他網との通話の場合は、コアノードのMGN(Media Gateway Node)でCODEC変換が行われる。従来変換を行ってきた無線アクセス装置の負担や機能実装の軽減と、移動局間通話の音質向上に寄与している。

4. 無線通信方式

無線チャネルの構成を図3に示す。データ通信用の物理チャネルが一定速度型の64kデータ通信用PUPCH-GR(Physical User Packet Channel for Guarantee type)とベストエフォート型のパケット通信用PUPCH-BE(Physical User Packet Channel for Best Effort type)の2種類となり、機能チャネルには制御チャネルとしての情報報知チャネルを追加した。無線フレームは従来同様40ms単位であり、FPUPCH(Forwardlink PUPCH)-BEのみ、さらに5ms単位のタイムスロット構成



(a) 物理チャネル



(b) 機能チャネル

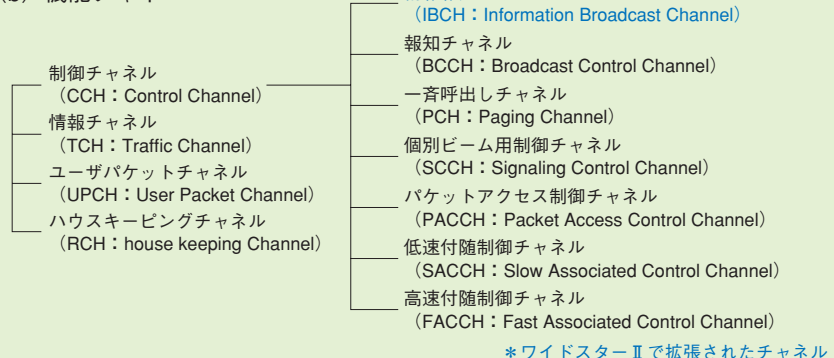


図3 無線チャネルの分類

*7 加入者線延長方式: 通話中に移動機が移動しても、発着信時に固定された加入者系移動通信制御局 (MCC: Mobile Communication Control Center) が制御を行う方式。

*8 Relocation: 移動により通信処理をノー

ド間で引き継ぐこと。

*9 PSI-CELP: PDCで用いられているハーフレート音声符号化方式。

*10 G.729a: IP電話で広く用いられている音声符号化方式。

としている（図4）。次に無線仕様を表1に示す。従来方式[5]を継承し、変復調方式は $\pi/4$ シフトQPSK（Quadrature Phase Shift Keying）、アクセス方式は上りが周波数分割多重のFDMA（Frequency Division Multiple Access）、下りがFDM（Frequency Division Multiplexing）およびTDM（Time Division Multiplexing）としている。パケット通信チャネルのキャリア配置を図5に示す。各チャネルの帯域幅に対してワイドスターⅡでは、ロールオフ率と誤り訂正にTurbo符号を適用した符号化率の変更により周波数利用率を高め、高速化に対応している。

4.1 回線利用率の向上

移動局が無線チャネルを占有するFDMA方式は、送受信データがなくても占有チャネルを他の移動局が利用できない。多くの移動局が従来よ

り高速化した通信を行うために、回線利用率の向上が必要となる。

(1) パケットデータ通信状態の考慮

送受信情報がない状態では、できるだけ通信チャネルを解放させることで、回線利用率の向上を図った。

まず、通信状態において送信デー

タが一定時間なくなると、移動局は上りチャネルを解放する。受信では、連続受信状態から待受け状態での間欠受信状態^{*11}もしくは通信状態での間欠受信動作であるスタンバイ状態への遷移を設けており、省電力に寄与している。さらには、制御チャネルで待ち受けるPreservation

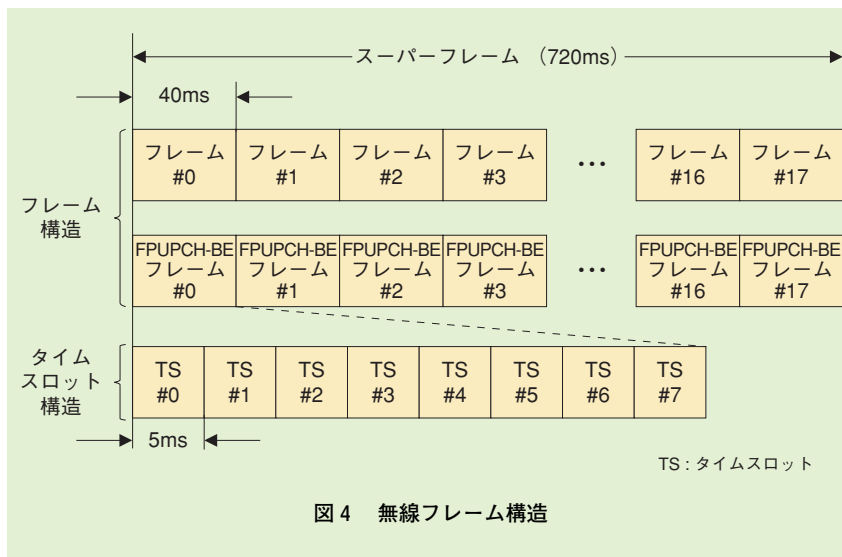


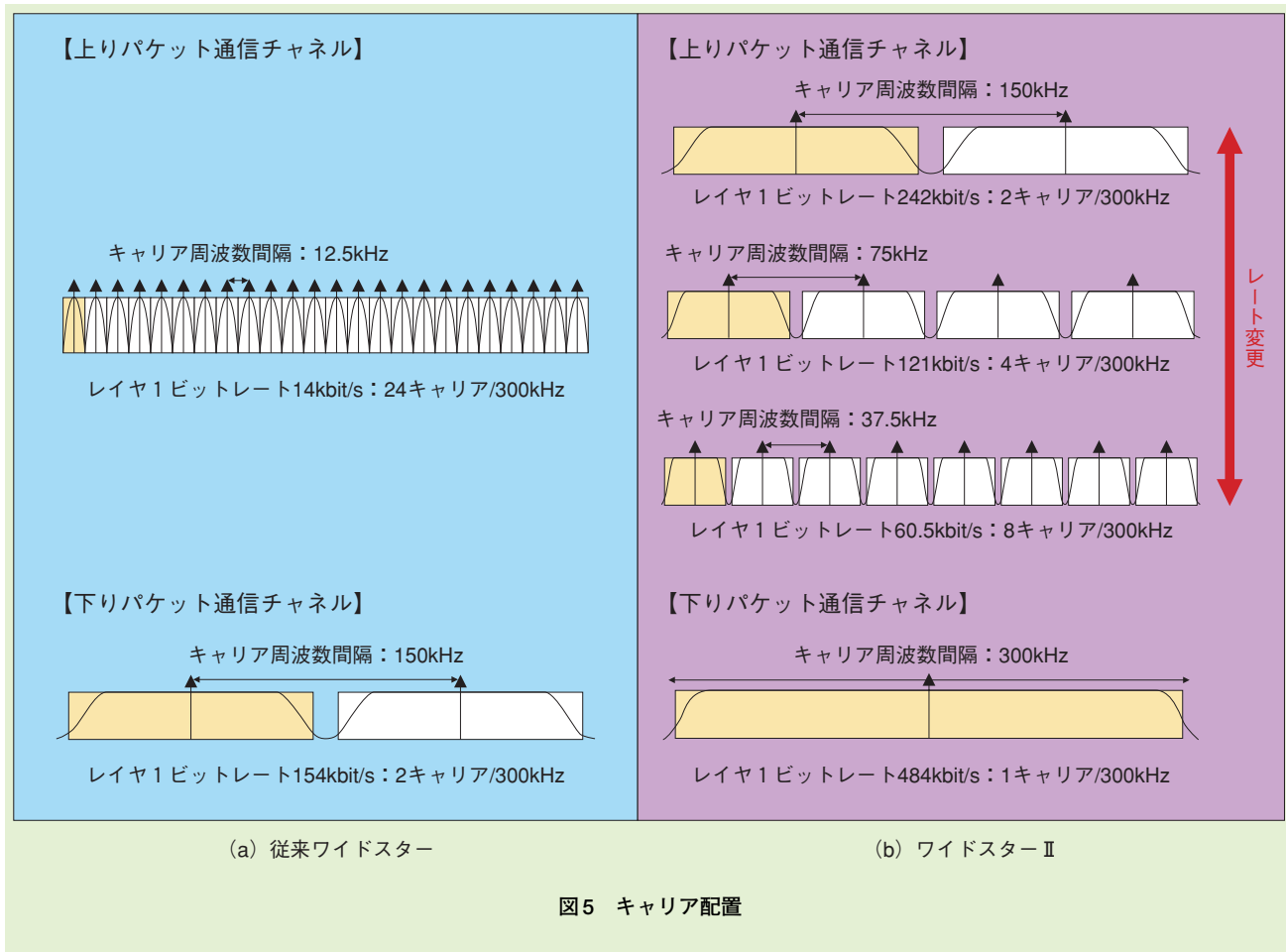
図4 無線フレーム構造

表1 無線仕様比較

項目	ワイドスターⅡ	従来ワイドスター
周波数帯	サービスリンク：2.6/2.5GHz帯（2,660～2,690MHz/2,505～2,535MHz） フィードリンク：6/4GHz帯（6,345～6,425MHz/4,120～4,200MHz）	
変復調方式	$\pi/4$ シフトQPSK	
シンボルレート	11ksps 60.5ksps（64kデータ通信） 30.25/60.5/121ksps（パケット通信上りチャネル） 242ksps（パケット通信下りチャネル）	7ksps 77ksps（パケット通信下りチャネル）
ロールオフ率	0.2	0.5
キャリア周波数間隔	15kHz 75kHz（64kデータ通信） 37.5/75/150kHz（パケット通信上りチャネル） 300kHz（パケット通信下りチャネル）	12.5kHz 150kHz（パケット通信下りチャネル）
誤り訂正	畳み込み符号化／ビタビ復号 Turbo符号化・復号 （64kデータ通信、パケット通信用チャネル）	畳み込み符号化／ビタビ復号
音声符号化方式	8kbit/s G.729a	5.6kbit/s PSI-CELP

ksps：k symbol/s

*11 間欠受信状態：省電力を目的とし、あらかじめ定められた一定の無線フレームタイミングのみ間欠的に受信する状態。



状態^{*12}を介して、最終的には無通信監視機能によって切断される。

(2) 衛星回線における音声データとSIPの扱い

音声情報を転送するRTP (Real-time Transport Protocol) パケットとSIP信号は、無線回線ではIPヘッダなどの冗長データを取り除き、それぞれ音声メディア情報とSIPメッセージのみが無線フレームに転嫁され、さらにSIPは、メッセージを圧縮することにより、転送効率を上げるよう基地局装置において処理を行う[6]。

(3) BEチャネルの割当て手法

基地局が送信するFPUPCH-BEを移動局間で共用する点は、現行ワイドスターパケットと同様であるが、CNR (Carrier to Noise Ratio)^{*13}に応じ、各移動局の要求に基づいてタイムスロットごとに384kbit/sまたは256kbit/sを指定する。移動局送信のRPUPCH-BEは可変速度としたが、高速な可変制御は衛星の伝搬遅延による待合せをはじめ、移動局および基地局間でのチャネル状態の不整合など、通信状態の複雑化や回路規模の増大を招くために採用せず、

RPUPCH-BE割当て契機での速度指定とした。速度指定は、CNR、同時通信移動局数および実効使用率に応じ、利用可能な最高速度のチャネルを割り当てる。なお、帯域占有サービスは、契約ごとに一般と区別したチャネル割当ておよびスケジューラ管理としている。

4.2 通信制御遅延の削減

静止衛星を利用する移動通信システムの課題として、往復500msにわたる伝搬遅延がある。通信チャネルを利用するまで制御信号が何往復も

*12 Preservation状態：通信チャネルを解放し、制御チャネルにて待機している状態。

*13 CNR：搬送波に対するノイズ電力比。

すると、高速なチャネルを余分に占有し続けて利用効率が低下する。したがって、通信制御遅延の削減が必要となる。

(1) Preservation 状態での音声待受け

電源が入った状態では、常にPDPコンテキストを保持し、特に待受状態では、音声用のPDPコンテキストをPreserved状態にし、そのPDPコンテキスト上でSIP Registration^{*14}を実施する[7]。音声接続時は、時間がかかるPDPコンテキスト生成からではなく、Preserved状態からActivated状態へ状態遷移するだけでSIP制御を開始可能である。これにより、従来の回線交換方式と同等の音声接続遅延品質を達成している。

(2) 無線ベアラ^{*15} 設定手順

レイヤ3の無線ベアラ設定手順において、基地局装置はコアノードへの無線アクセスベアラ設定手順と並行して、移動局に対して直ちに無線チャネルを割り当てる。

(3) メッセージ相乗り

レイヤ3では、S-APとS-MS (Satellite-Mobile Station) との間およびコアノードとS-MSとの間のメッセージを相乗りさせ、待合せ遅延を削減している。

レイヤ2では、複数コネクション

のメッセージを相乗りさせることで、無線回線リソースの有効活用を図るとともに、遅延抑制を行っている。

(4) レイヤ1制御メッセージ

通信中のRPUPCH-BEチャネルアサインおよびレート変更手順を簡易に実行するため、現行ワイドスターパケット通信方式を踏襲し、レイヤ1制御フレームでリソース割当て制御を短時間で実施し、速度指定も併せて実施することにより、制御メッセージの往復に伴う伝搬遅延の影響を最小限にとどめている。

(5) 自律分散

移動局の待受共通チャネル選択および呼出し群の選択を、優先衛星や優先AGS (Access Gateway for Satellite)^{*16}の選択手法と同じIMSI (International Mobile Subscriber Identity)^{*17}により、移動局側で実施する。これにより、移動局主導で自律分散させ、特定チャネルや呼出し群への集中によるメッセージ衝突や蓄積を回避し、遅延を抑制している。

5. あとがき

衛星移動通信サービスワイドスターⅡは、多彩な衛星コミュニケーションを実現するため、無線および通信方式として衛星移動通信システム

に必要な手順および機能を採用し、簡易化を図りつつ、回線利用効率の向上と遅延削減を重視した設計としている。今後も、高速化対応された通信方式により、ワイドスターⅡにおける新たな衛星ソリューションの導入を進める。

文 献

- [1] 上野, ほか: “衛星移動通信システム特集/1. N-STAR衛星通信システムの概要,” 本誌, Vol.4, No.2, pp.6-9, Jul. 1996.
- [2] 中川, ほか: “衛星パケット通信サービス特集/システム概要,” 本誌, Vol.8, No.2, pp.6-10, Jul. 2000.
- [3] 嶋田, ほか: “All-IPネットワークの高度化技術特集/サービスの高度化と効率化に向けたFOMA音声ネットワークIP化の開発,” 本誌, Vol.18, No.1, pp.6-14, Apr. 2010.
- [4] 山本, ほか: “ワイドスターⅡ衛星移動通信システム・サービスの概要,” 本誌, Vol.18, No.2, pp.37-42, Jul. 2010.
- [5] 西, ほか: “衛星パケット通信サービス特集/無線インタフェース,” 本誌, Vol.8, No.2, pp.11-15, Jul. 2000.
- [6] 佐々木, ほか: “ワイドスターⅡ衛星基地局装置の開発,” Vol.18, No.2, pp.56-61, Jul. 2010.
- [7] 山本, ほか: “ワイドスターⅡ衛星コアネットワークシステムの開発,” Vol.18, No.2, pp.49-55, Jul. 2010.

^{*14} Registration: IP電話網において、SIPを用いて移動端末が現在の位置情報をHSS (Home Subscriber Server) に登録すること。

^{*15} ベアラ: 本稿では、AGS (^{*16}参照) とS-APとの間などで設定される論理的なパ

ケット伝達経路。

^{*16} AGS: 今回ワイドスターⅡで開発されたアクセスゲートウェイノード。

^{*17} IMSI: UIM (User Identity Module) 内に格納される、移動通信で使用するユーザごとに固有の番号。