Technology Reports

HSDPA 特集

HSDPA移動端末の開発および無線伝送特性

2006年8月よりサービスを開始したHSDPAの対応移動端末として，高速通信の特徴を生かした音楽配信などの新機能搭載モデルに加えて，法人ユーザの利用も意識し，カード型端末モデルも開発した．HSDPA移動端末の概要と，屋外実験における無線伝送スループット特性について解説する．

松岡 久司（まつおか ひさし） 中森 武志（なかもり たけし）
飯塚 洋介（いいづか ようすけ） 小川 真資（おがわ しんすけ）

1. まえがき

FOMAサービスは，大容量動画の送受信や音楽配信サービス，PC向けホームページの閲覧や，法人利用による企業内LANへの接続など，さらなる大容量・高速通信へのニーズが高まっており，無線利用効率の向上および伝送速度の高速化が求められていた．これらの状況を背景にして，ドコモは2006年8月より低コスト化・高速化・低遅延を実現するHSDPA（High Speed Downlink Packet Access）通信方式による商用サービスを開始した．これによりデータダウンロード最大3.6Mbit/sの高速パケット通信の提供が可能となった．

HSDPAによるサービス開始に合わせ，音楽番組配信サービス「ミュージックチャネル」，フル楽曲ダウンロードサービス，5MBのi-motion大容量化に対応した電話型移動端末「FOMA N902iX HIGH-SPEED」（**写真1**），および法人向けHSDPA／3Gローミング／GSM（Global System for Mobile communications）[*1]対応カード型移動端末「FOMA M2501 HIGH-SPEED」（**写真2**）を開発した．

本稿では，各HSDPA移動端末の主な開発ポイントを概説するとともに，屋外実験局における無線伝送スループット[*2]特性について述べる．

＊1 GSM：ヨーロッパやアジアを中心に世界中で広く利用されている，第2世代移動通信方式の1つ．
＊2 スループット：単位時間当りに，誤りなく伝送される実効的なデータ量．

写真1　N902iX HIGH-SPEED

写真2　M2501 HIGH-SPEED

2. HSDPA移動端末カテゴリと最大スループット

3GPP（3rd Generation Partnership Project）において，HSDPA移動端末はそのデータ伝送能力に応じて，12種類のカテゴリに分類される．HSDPA移動端末のカテゴリを**表1**に示す[1]．最大受信コード数はデータの受信を行うHS-PDSCH（High Speed Physical Downlink Shared CHannel）[2]の多重コード数を表し，最小TTI（Transmission Time Interval）は移動端末に割り当てられる最小のデータ受信間隔を表し，間隔が1のとき，最小で2msでの動作を要する．ハイブリッド自動再送要求（H-ARQ：Hybrid Automatic Repeat reQuest）[*3]用最大バッファサイズは，再送前受信信号と再送された信号との合成，復調を行う場合の最大受信バッファのビット数を表し[3]，Category 11, 12を除く1～10までのカテゴリにおいては，16値直交振幅変調（16QAM：16 Quadrature Amplitude Modulation）[*4]の対応が必須となっている．また，Category 6, 8, 10, 12の最大スループットは，それぞれ，3.6, 7.2, 14, 1.8Mbit/sである．

表1のように，最大受信コード数が大きくなるほど，また，最小TTIが小さくなるほど最大スループットが向上する．一方それに伴い，H-ARQ用最大バッファサイズが大きくなり，信号処理機能が複雑になるため，より高度な移動端末能力が要求される．ドコモでは達成可能なスループットと信号処理機能の複雑性のバランスを考慮し，最大ス

表1　HSDPA移動端末のカテゴリ

カテゴリ	最大受信コード数	最小TTI	最大受信ビット数／TTI	H-ARQ用最大バッファサイズ	16QAMの適応	最大スループット（Mbit/s）
Category 1	5	3	7,298	19,200	適応	1.2
Category 2	5	3	7,298	28,800	適応	1.2
Category 3	5	2	7,298	28,800	適応	1.8
Category 4	5	2	7,298	38,400	適応	1.8
Category 5	5	1	7,298	57,600	適応	3.6
Category 6	5	1	7,298	67,200	適応	3.6
Category 7	10	1	14,411	115,200	適応	7.2
Category 8	10	1	14,411	134,400	適応	7.2
Category 9	15	1	20,251	172,800	適応	10.2
Category 10	15	1	27,952	172,800	適応	14.0
Category 11	5	2	3,630	14,400	非適応	0.9
Category 12	5	1	3,630	28,800	非適応	1.8

＊3　ハイブリッド自動再送要求：自動再送要求（ARQ）と誤り訂正符号を組み合わせることにより，再送時に誤り訂正能力を向上させ再送回数を低減させる技術．基地局より再送されたデータと過去に受信したデータを合成することにより，受信品質の向上と効率の良い伝送を実現するパケット再送方法．

＊4　16値直交振幅変調：デジタル変調方式の1つで，振幅と位相の異なる16通りの組合せに対して，それぞれ1つの値を割り当てることにより，同時に4bitの情報を送信可能．

ループットが3.6Mbit/sのCategory 6によるサービスを開始した．Category 6に対応するにあたり，移動端末には，「最大5コード多重信号の復調能力」，「最小TTI 2msの高速な信号処理能力」，「16QAMへの適応」などが求められた．

次章では，このCategory 6に対応したHSDPA移動端末として開発を行った，N902iX HIGH-SPEED，FOMA M2501 HIGH-SPEEDの概要を示す．

3. HSDPA移動端末の概要

3.1 N902iX HIGH-SPEED

基本仕様を**表2**に示す．この移動端末は，N902iをベースとし，部品レイアウトおよび筐体については可能な限り共通化を図り，通信用CPUの変更およびHSDPA対応アクセラレータ[*5]の追加により高速パケット通信を可能としている．また，ミュージックチャネル，フル楽曲ダウンロードにより取得したコンテンツを保存するための専用メモリ（3.75Gbit）を新規に搭載した．ハードウェア追加により消費電力は増加するが，アプリケーションCPUのスリープ機能改善によりN902iと同等以上の待受／通話時間を実現している．

アプリケーションの開発項目としては，主に以下の3項目が挙げられる．

・ミュージックチャネルアプリケーション
・ミュージックプレーヤー
・最大5MBのi-motion対応

ミュージックプレーヤーについては，ダウンロードしたフル楽曲，SD（Secure Digital）-Binding[*6][4]機能でminiSDメモリカードに保存されたフル楽曲，市販CDからリッピングソフトにより作成した楽曲（SD-Audio）をシームレスに再生可能であり，さらにプレイリスト作成やジャケット・歌詞表示などの音楽機能の強化を図っている．なお，ミュージックチャネル（25MB），フル楽曲ダウンロード（最大5MB），i-motion（最大5MB）のコンテンツはすべてダウンロード失敗／中断後の再取得を可能としており，レンジリクエスト[*7]機能[5]の拡張を行っている．

3.2 M2501 HIGH-SPEED

基本仕様を**表3**に示す．この移動端末はHSDPAによる高速パケット通信が可能であることに加え，FOMA初の国際ローミング対応カード型移動端末であり，UMTS（Universal Mobile Telecommunications System）[*8]とGSM/GPRS（General Packet Radio Service）[*9]のデュアル対応であること

表2 N902iX HIGH-SPEEDの基本仕様

	N902iX HIGH-SPEED	（参考）N902i
無線周波数帯	2GHz/800MHz	2GHz/800MHz
送受信周波数間隔	190MHz（2GHz使用時） 45MHz（800MHz使用時）	190MHz（2GHz使用時） 45MHz（800MHz使用時）
情報伝送速度	送信 最大384kbit/s 受信 最大3.6Mbit/s	送信 最大64kbit/s 受信 最大384kbit/s
HSDPA時移動端末能力	Category 6対応	―
サイズ	106×51×25mm	106×51×25mm
質量	133g	127g
連続待受時間	約520時間（静止時） 約390時間（移動時）	約520時間（静止時） 約390時間（移動時）
連続通話時間（音声／TV電話）	約150分／100分	約140分／90分
液晶	メイン液晶2.5インチ 240×345ドット 背面液晶1.0インチ 120×90ドット	メイン液晶2.5インチ 240×345ドット 背面液晶1.0インチ 120×90ドット
メインカメラ	200万画素 スーパーCCDハニカム	200万画素 スーパーCCDハニカム
i-motion対応メモリサイズ	5MB（ストリーミング，ダウンロード共）	500kB（ダウンロード）2MB（ストリーミング）
ミュージックチャネル対応サイズ	25MB	―
フル楽曲対応符号化方式	HE-AAC Enhanced aacPlus	―

Enhanced aacPlus：HE-AACよりも低ビットレートで同等の音質を実現する音声圧縮・符号化方式．
HE-AAC：MPEG-4 AACに対し約半分のビットレートで同等の音質を実現する音声圧縮・符号化方式．MPEG-4 AACの拡張仕様．

＊5 アクセラレータ：コンピュータ（CPU）や画像表示などの処理性能を向上させるための周辺機器や付加装置のこと．本稿では，通信用CPUの処理速度を向上させるために追加したLSIをいう．

＊6 SD-Binding：ダウンロードしたコンテンツなどをSDメモリに暗号化して格納する際，暗号化する鍵を取り出す条件（FOMAカード（UIM）や移動端末機種情報）を合わせて埋め込む技術．復号は暗号化の条件に適合しているときのみ行われる．

＊7 レンジリクエスト：ダウンロードが中断した場合に続きからダウンロードを再開する場合や，ファイルの一部を取得する場合に，HTTP上で部分取得する方法．

表3　M2501 HIGH-SPEEDの基本仕様

	M2501 HIGH-SPEED	（参考）F2402
無線周波数帯（W-CDMA）	2GHz/800MHz	2GHz
無線周波数帯（GSM）	900MHz，1,800MHz，1,900MHz	―
送受信周波数間隔	190MHz（2GHz帯使用時） 45MHz（800MHz帯使用時）	190MHz（2GHz帯使用時） 45MHz（800MHz帯使用時）
情報伝送速度	送信　最大384kbit/s 受信　最大3.6Mbit/s	送信　最大384kbit/s 受信　最大384kbit/s
HSDPA時移動端末能力	Category 6対応	―
インタフェース	PCMCIA Type II	PCMCIA Type II
サイズ	約54.0×約130.0×約18.0mm	約54.0×約120.8×約12.4mm
質量	約70g	約50g
対応OS	Windows® XP Professional/Home Edition Windows2000 Professional	WindowsXP Professional/Home Edition Windows2000 Professional Windows98/98SE，WindowsMe
電源電圧	DC5.0V	DC5.0V

PCMCIA（Personal Computer Memory Card International Association）：パソコンに接続するICカードの規格を策定するために設立された団体．
Windows®：米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標．

から，世界132カ国以上での使用が可能である．内蔵アンテナはHSDPA/UMTSが800/2,100MHz，GSM/GPRSが900/1,800/1,900MHzのマルチバンドに対応している．また，付属のユーティリティソフトは音声通話，電話帳機能，通信状態の表示機能を搭載し，ユーザビリティ向上のため，留守番電話などの各種ネットワークサービス設定も可能である．

4. HSDPAにおけるハンドオーバと移動端末のスループット特性

4.1 HSDPAにおけるハンドオーバ

HSDPAでは，無線環境に応じて無線基地局（BTS：Base Transceiver Station）からの送信データを適用的に変化させる適応変調符号化技術（AMCS：Adaptive Modulation and Coding Scheme），受信端末でパケットデータの再送合成を行うH-ARQ技術，無線環境に応じてユーザの割当てを制御するBTSスケジューリング技術などを適用することで，データ伝送の高効率化を図っている[6]．これらの技術を適用するにあたり，HSDPA移動端末とBTSは常に1対1の通信が必要となるため，従来のW-CDMA方式で用いられてきたソフトハンドオーバ[*10]に加えて，セルが変わるごとに接続先のBTSを選択するハードハンドオーバが必要となる．以下にHSDPAにおけるハードハンドオーバ手順を示す．

①移動端末にて周辺セルから固定電力で送信されている共通パイロットチャネル（CPICH：Common PIlot CHannel）の品質レベル測定を行う

②ハンドオーバ元セルのCPICH品質レベルに対し，一定のしきい値（ネットワークより通知されるパラメータ）を超える品質レベルのCPICHが存在した場合，無線ネットワーク制御装置（RNC：Radio Network Controller）[*11]へ当該セルの報告を行う（しきい値を超えるセルが複数存在した場合は，その中で最も品質レベルの高いセルを報告する）

③RNCは移動端末からの報告を基にハンドオーバ先セルの設定を行い，移動端末へハンドオーバの通知を行う

④ハンドオーバの通知を受けた移動端末は，ハンドオーバ元セルとの切断およびハンドオーバ先セルとの接続を行う

これらの手順に従い，HSDPA移動端末は受信レベルの良好なセルを選択・報告を行い，RNCからの指示に従いハードハンドオーバを繰り返すことでセル間の移動を行う．

4.2 HSDPA移動端末のスループット特性

BTS間を移動した場合のHSDPA移動端末スループット特性について，屋外実験局にて測定を行った．2つのBTS（A, B）をまたぐ全長約2.5kmの走行コースを平均時速30～40km/hで走行した（**図1**）．実験局におけるN902iX HIGH-

＊8　UMTS：ヨーロッパの第3世代移動通信システムのこと．ドコモ採用のW-CDMA方式とヨーロッパ独自のTD-CDMA方式がある．本カード端末はW-CDMA方式に対応．
＊9　GPRS：GSM方式のネットワークを使用したパケット交換サービス．
＊10　ソフトハンドオーバ：複数の基地局を同時接続し，複数基地局から送信される信号を受信，選択，合成することで，通信の瞬断がないセル切替えを実現する手法．
＊11　無線ネットワーク制御装置：FOMAネットワークにおいて3GPP上規定されている無線回線制御や移動制御を行う装置．

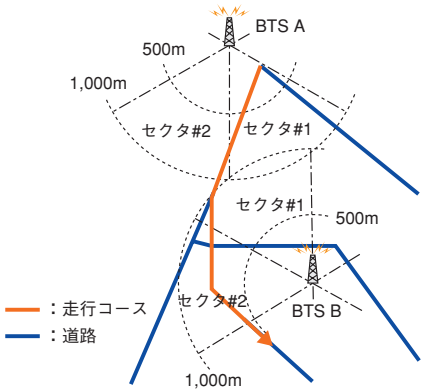

図1　BTS間をまたぐ走行コース

SPEEDおよび従来のW-CDMA端末を用いたスループットの時間変動特性を**図2**に示す．スループット測定は移動端末をPCに接続し，コンテンツサーバにアクセスした後，FTP（File Transfer Protocol）[*12]により大容量ファイルのダウンロードをすることで行い，測定値はTCP（Transmission Control Protocol）レイヤでのスループット値を4秒間平均したものを用いた．グラフの青，黄，赤，緑の線はそれぞれBTS Aのセクタ#1，セクタ#2，BTS Bのセクタ#1，セクタ#2に接続している時のスループットを示し，紫の破線は従来のW-CDMA端末でのスループットを示している．また，BTS A, BおよびおのおのセクタA#1, #2における希望波受信電力（RSCP：Received Signal Code Power）[*13]の時間変動特性を**図3**に示す．

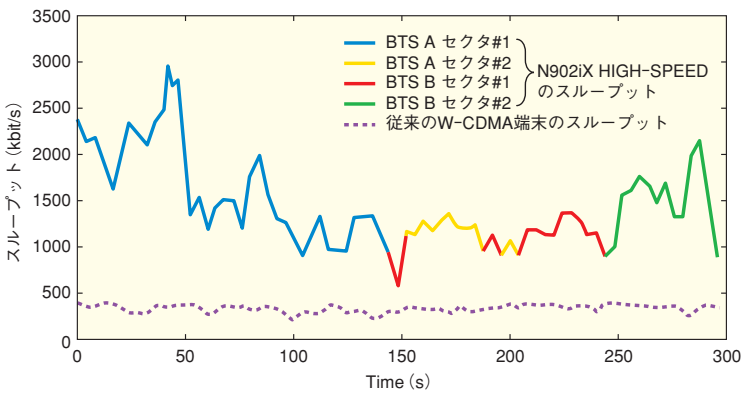

図2　スループットの時間変動特性

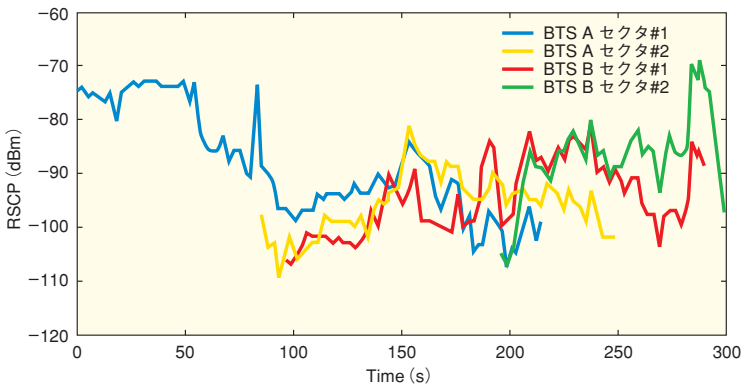

図3　RSCPの時間変動特性

＊12 FTP：インターネットやイントラネットなどのTCP/IPネットワーク上でファイル転送する際に一般的に用いられるプロトコル．
＊13 希望波受信電力：移動端末で測定される信号の受信電力．移動端末の受信感度を表す指標の1つ．

測定コースの序盤（0～50s）はBTS Aセクタ#1の見通し環境であったため，1.5M～2.9Mbit/s程度の良好な特性を示しているが，端末が移動することにより，他のセルからの信号電力，つまり干渉波が大きくなるにつれて，スループットが低下していくことが分かる（50～140s）．140s付近ではBTS Bセクタ#1の受信信号レベルが，BTS Aセクタ#1のレベルを上回り，瞬間的にスループットが低下するものの，接続先BTSが遷移し，その後スループットが上昇していくことが分かる．150s以降もBTSからの受信レベルに応じて接続先BTSを切り替えるハードハンドオーバを繰り返し，無線環境に応じてスループットを変化させながら移動していくことが分かる．一方，従来のW-CDMA端末は，受信品質が一定に保たれるような送信電力制御が行われているため，BTSからの受信レベルによらず，常に一定のスループットを保っている．また，本コースにおけるN902iX HIGH-SPEEDを用いた平均スループットは1.4Mbit/sであり，従来のW-CDMA端末と比較して，約3.8倍の良好なスループット特性が得られた．

5. あとがき

本稿では2006年8月よりサービスを開始したHSDPAの対応移動端末として開発した，N902iX HIGH-SPEED，M2501 HIGH-SPEEDの概要およびその特徴について述べるとともに，HSDPAにおけるハンドオーバの仕組みを示し，N902iX HIGH-SPEEDを用いた屋外実験結果から，ハードハンドオーバ時のスループット特性を明らかにした．また，実験局の走行コースの平均スループットから，N902iX HIGH-SPEEDは従来のW-CDMA端末と比較して，約3.8倍の良好なスループット特性が得られることを示した．今後はHSDPAのカテゴリアップによるさらなる高速化や，上りリンクの高速化を実現するHSUPA（High Speed Uplink Packet Access）についても検討していく．

文　献

[1] 3GPP TS 25.306 V5.13.0 (2005-12)
[2] 3GPP TS 25.211 V5.8.0 (2005-12)
[3] 3GPP TS 25.212 V5.10.0 (2005-06)
[4] 大井，ほか：“902i搭載アプリケーション機能，”本誌，Vol. 13，No. 4，pp. 20-26，Jan. 2006.
[5] 平松，ほか：“902i搭載アプリケーション機能－PDF閲覧機能／高性能ブラウザー，”本誌，Vol. 13，No. 2，pp. 62-67，Jul. 2005.
[6] 田中，ほか：“HSDPA伝送実験システムを用いたHSDPAスループット特性の実験結果，”本誌，Vol. 12，No. 4，pp. 20-28，Jan. 2005.