

# Technology Reports

定額制時代の大容量・高効率通信を支える技術特集

## さらなるビットコストの低減に向けた Super 3G の開発

定額制に向けたさらなるビットコストの低減に対する要素技術として、W-CDMA方式の拡張技術HSDPA/HSUPAを発展させた規格であるSuper 3G (LTE) の標準化、商用化に向けた世界動向ならびに試作装置を用いた実験結果を中心にその有効性について解説する。

無線アクセス開発部 あべ た さだゆき いしい みなみ  
安部田 貞行 石井 美波  
はらだ あつし おおふじ よしあき  
原田 篤 大藤 義顕  
おおくぼ なおと  
大久保 尚人

### 1. まえがき

W-CDMA方式の国際展開も順調に進み、現在では欧州だけではなく、北米、アジアの地域を含めて約180以上の携帯電話事業者がW-CDMA方式を用いた3G (3rd Generation) サービスを開始している。現在、ドコモがHSDPA (High Speed Downlink Packet Access) \*1で提供しているパケットサービスの下り方向の最大データ通信速度は7.2Mbit/sであるが、技術仕様上HSDPAおよびHSUPA (High Speed Uplink Packet Access) \*2を用いることにより、最大データ通信速度は無線基地局から移動端末までの下り方向で約14Mbit/s、上り方向で5.7Mbit/sが実現可能である。これらの技術を用いることにより、データ通信速度だけではなく、周波数利用効率も改善

でき、ビット当りのコストの低減が可能となる。しかしながら、データトラフィック需要の増大およびコンテンツ大容量化が急速に進み、その一方で低料金、さらには定額制の要求も高まっている。これに対応するには、より一層のビットコストの削減が重要な課題である。

ドコモでは、長期的な3Gの発展のため、2004年に「Super 3G」のコンセプトを提唱した。Super 3GはW-CDMA方式の拡張技術HSDPA/HSUPAを発展させた標準規格であり、3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) ではLTE (Long Term Evolution) \*3と称されている。Super 3G (LTE) ではさまざまな新規技術を採用することにより、以下3点の実現などを主な特長としている。

・データ通信速度の高速化 (具体

的には下り最大300Mbit/s、上り75Mbit/s)

- ・遅延の短縮 (具体的には接続遅延を100ms以下、無線アクセスネットワーク (RAN: Radio Access Network) 内の片側伝送遅延を5ms以下に短縮)
- ・周波数利用効率の大幅な向上

Super 3G (LTE) の導入により、周波数利用効率の向上によるビット当りのコスト低減のみならず、低遅延・高速化を実現できるため、遅延要求の厳しいサービスや大容量ファイルの伝送などが可能となる。

本稿では、Super 3G (LTE) の標準化動向および伝送試作を用いた実験結果を中心にその開発状況を述べる。

\*1 HSDPA: 3GPPで規格化された、W-CDMA方式に基づく下りリンクの高速パケット伝送方式。移動端末の電波受信状況に応じて、変調方式と符号化率を最適化する。

\*2 HSUPA: 3GPPで規格化された、W-

CDMA方式に基づく上りリンクの高速パケット伝送方式。基地局における電波受信状況に応じて、符号化率、拡散率、送信電力を最適化する。

## 2. Super 3G (LTE) の動向

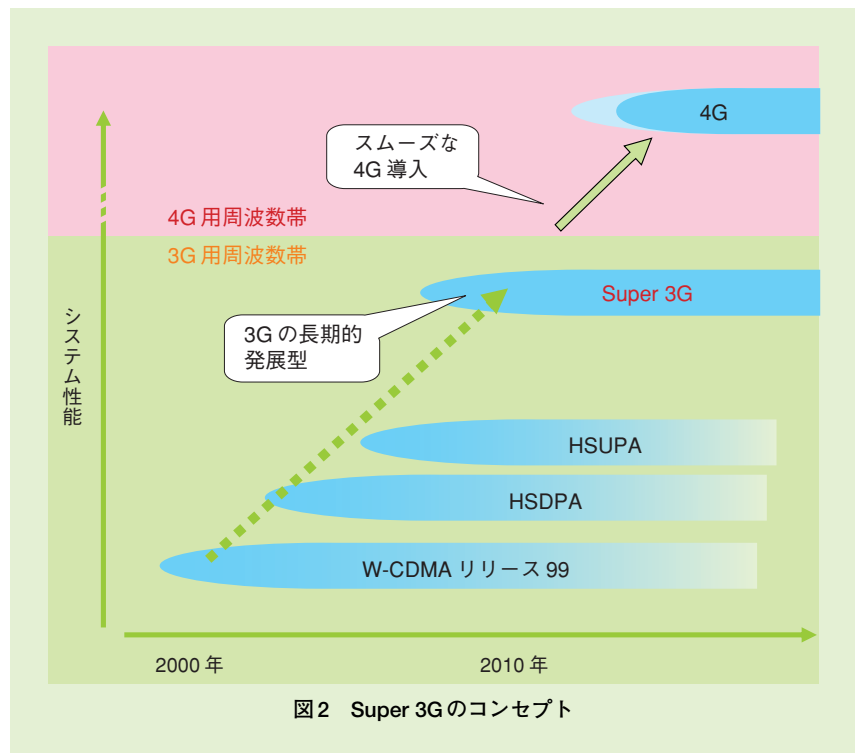
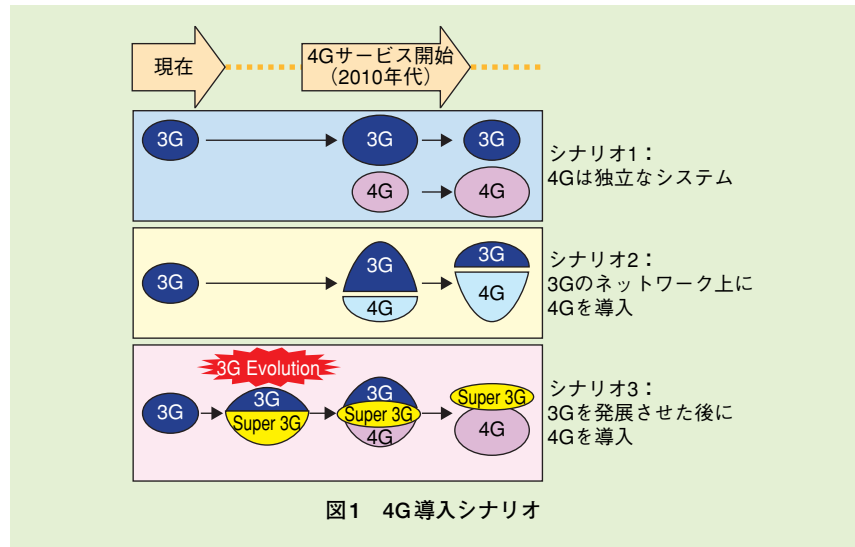
### 2.1 Super 3Gのねらいと位置づけ

HSDPAの導入により、W-CDMA技術を使用した3G移動通信システムは、数年にわたって市場の要求を満たし、他のシステムに対する競争力を確保できると考えられる。しかしながら、今後さらに伸びるマルチメディアトラフィックやユビキタストラフィックに対応するには、4Gを含めた長期的な技術進化が必要となる。4Gへの長期的な移行シナリオについて複数案を検討した結果、まず3Gを発展させ、そのうえに4Gを構築するシナリオが最適であると判断した(図1)。このため、ドコモはSuper 3Gのコンセプトを提唱した[1]。

Super 3Gの目的は4Gへのスムーズな移行に加えて、W-CDMA方式の3Gを発展させることにより長期的に競争力を維持することにある(図2)[2]。

Super 3Gへの重要な要求条件は、データ速度の飛躍的な向上や周波数利用効率の向上だけでなく、「低遅延の実現」にある。低遅延を実現することにより、呼設定に要する時間(接続遅延)を短縮し、また通信中のデータ転送にかかる時間(伝送遅延)を低減することにより、TCP/IPなどのデータ伝送を高速に行うことが可能となる。

将来の移動通信の展望について議論しているITU-Rでは、2003年に



「IMT-2000の将来の開発と Systems beyond IMT-2000のフレームワーク 勧告 M.1645」を承認した。この勧告には移動速度とデータ速度の関係が示されている(図3)。図に示す

IMT-2000が3Gであり、System beyond IMT-2000の新しい能力が4Gで、現在IMT-Advancedと呼ばれている。また、Super 3G (LTE) はIMT-2000を拡張したもので、

\*3 LTE：3GPPでLong Term Evolutionとして検討されている第3世代の拡張規格。ドコモで提唱しているSuper 3Gと同義。

IMT-2000の枠内に含まれている。

4G (IMT-Advanced) では高い通信速度を実現するために、より広帯域で新しい周波数帯の割当てを期待しているが、Super 3G (LTE) ではIMT-2000用に割り当てられた追加帯域を含む周波数帯域を使用する。

Super 3Gは3Gの周波数帯域を使用するシステムであるが、W-CDMA方式が利用する5MHz以上の周波数帯域幅でも利用できる柔軟性のある運用を考慮に入れ検討している。導入にあたっては、設備投資や運用費用が安価で適正であることが前提となる。そのためには、無線ネットワークと移動端末にかかわるシステムアーキテクチャの複雑性を排除し、シンプルかつ安価なシステム構築を目指す必要がある

## 2.2 標準化動向

3Gシステムの長期的な発展を検討する必要性が高まり、3GPPのTSG RANにて「3G RAN LTE<sup>\*4</sup>」と称するワークショップが2004年11月に開催された。ドコモはこのワークショップにSuper 3Gコンセプトを提案し、その後26社の賛同を得て、3GPP内でのLTE検討開始を提案、合意された。3GPP標準化のスケジュールを図4に示す。2005年6月には要求条件に関するテクニカルレポート (TR25.913) [3]が承認され、2006年6月までに実現性を含む基本検討を完了させ、テクニカルレポート (TR25.912) [4]が承認された。その後、詳細な技術仕様の作成を行い、2007年9月～12月にかけて主

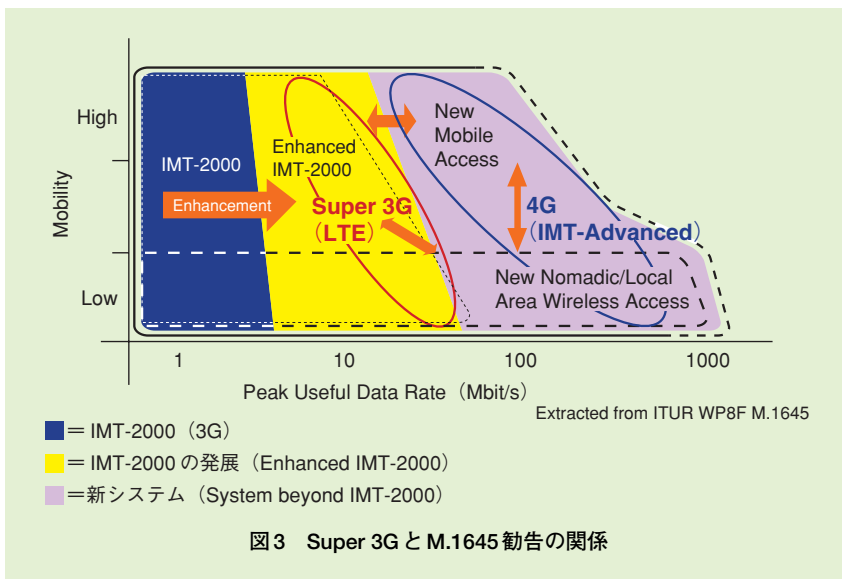


図3 Super 3G と M.1645 勧告の関係

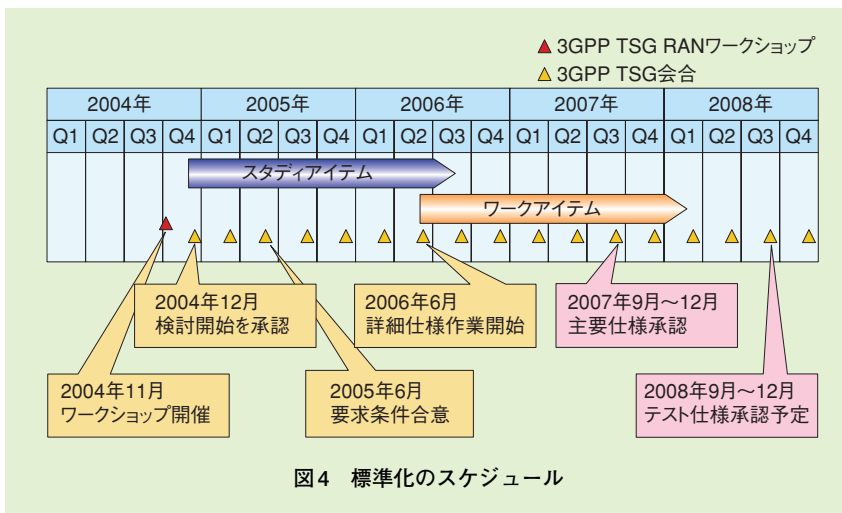


図4 標準化のスケジュール

要な技術仕様が承認されている。今後は、残存する一部の詳細仕様およびテスト仕様の完成に向け仕様化を行い、2008年末にはテスト仕様も完成する予定である。

## 2.3 世界動向および開発スケジュール

移動通信オペレータの見解提供や標準化の推進を目的とした団体

NGMN (Next Generation Mobile Network) には、2008年5月現在18オペレータと28ベンダが参加しており、2010年以降の移動通信の検討を行っている。Super 3G (LTE) はその中の検討対象技術の1つで、もっとも有力視されている技術である。また、Super 3G (LTE) の商用サービスの早期実現を目的とした団体LSTI (LTE/SAE Trail Initiative) で

\*4 3G RAN LTE：第3世代無線アクセスネットワークの高度化。

は、実証試験機を用いた Super 3G (LTE) の性能の検証、複数のベンダ間での相互接続性の早期安定化に向けた試験などを中心に活動しており、2009年～2010年頃の商用システム開発完了を目標としている。ドコモの開発スケジュールを図5に示す。2006年6月の基本検討の完了に伴い開発を開始し、2007年7月より試作装置を用いた屋内実験を開始した。さらに2008年2月より屋外実験を開始し、ハンドオーバーなどの主要機能の確認やシステムのさらなる最適化など、実用化に向けた検証を進め、2009年の商用システム開発完了を目指しており、これらのスケジュールはLSTIのターゲットとも整合している。

### 3. Super 3G (LTE) 無線方式概要

Super 3G 試作装置の基本仕様を表1に示す[5]～[7]。これらの仕様は3GPP標準化におけるLTEの仕様と一致している。無線アクセス方式として、下りリンクにはマルチパス干渉に対する耐性が高く、サブキャリア数を変更することで広範囲な周波数帯域幅に柔軟に対応ができるOFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) を、上りリンクには移動端末 (UE: User Equipment) のピーク電力対平均電力比 (PAPR: Peak-to-Average Power Ratio)<sup>\*5</sup> の低減により低消費電力化が実現でき、ユーザ間の信号の直交化により干渉低減が図れるSC-FDMA (Single Carrier - Frequency

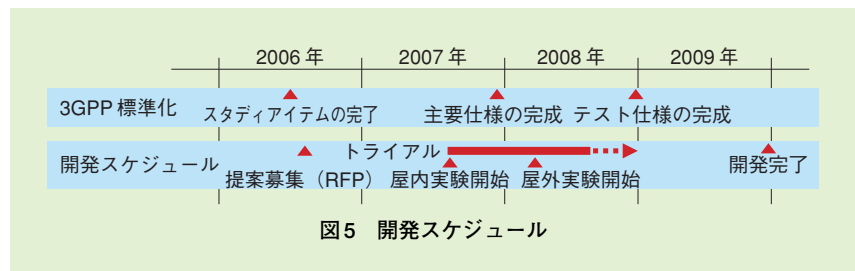


表1 Super 3G 試作装置の基本仕様

周波数		1.7GHz帯
アクセス方式	上り	SC-FDMA
	下り	OFDMA
帯域幅		5, 10, 15, 20MHz
サブフレーム長		1ms
サブキャリア間隔		15kHz
ガード区間	ショート	4.7 $\mu$ s
	ロング	16.7 $\mu$ s
変調方式		QPSK, 16QAM, 64QAM*
チャンネル符号化		ターボ符号
マルチアンテナ		1 $\times$ 2, 2 $\times$ 2 (4 $\times$ 2) MIMO, 4 $\times$ 4 MIMO

\*上りリンクではオプション

Division Multiple Access)<sup>\*6</sup>を用いている。以下に無線方式の概要について説明する。

#### 3.1 下りリンク無線アクセス OFDMA

直交周波数分割多重 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) は、高速情報レートの広帯域信号を多数の低速シンボルレートのマルチキャリア信号を用いて並列伝送することにより、マルチパス干渉 (遅延波からの干渉) に対して耐性の高い信号伝送が実現できる。さらに、OFDMは狭帯域幅のサブキャリア信号を用いるために、サブキャリア数を変更することにより広範囲な信号帯域幅のスペクトルに柔軟に

対応できる。OFDMでは、各OFDMシンボルの先頭にサイクリックプレフィックス (CP: Cyclic Prefix) と呼ばれるガード区間を設けることにより、前シンボルの遅延波が次のOFDMシンボルにおよぼすシンボル干渉およびサブキャリア間の直交性の崩れに起因するサブキャリア間干渉を除去できる (図6)。Super 3G (LTE) では、このCPを用いるOFDMベースの無線アクセス (OFDMA) をベースラインにしている。

以下ではSuper 3G (LTE) に新たに適用された主な容量改善技術について説明する。

##### (1) 周波数スケジューリング

広帯域伝送では、マルチパスにより周波数領域の受信レベルが変動す

\*5 ピーク電力対平均電力比 (PAPR): ピーク時の送信電力の大きさを示す指標であり、変調信号の最大送信電力と平均送信電力の比。PAPRを下げることで、移動端末の低消費電力化が図れる。

\*6 SC-FDMA: 同一周波数帯域内において、

複数ユーザに対し、ユーザごとに連続した周波数帯域を割り当てることで、複数のユーザアクセスを可能とする方式。

る周波数選択性フェージングの影響をいかに低減し、有効に利用するかが鍵となる。Super 3G (LTE) ではデータチャネルの伝送方法として、周波数領域の伝搬路の変動を利用した周波数領域パケットスケジューリングが適用されている。UEは定められた周波数単位ごとに下りチャネルの受信品質を示す指示子であるCQI (Channel Quality Indicator) を測定し、測定したCQI情報を上りリンクの制御チャネルにより、基地局であるeNB (evolved Node B)に報告する。eNBは、複数ユーザから通知されたCQI情報を基に、無線リソースブロック (RB: Resource Block)<sup>\*7</sup> を選択したユーザに割り当てる (図7)。各ユーザのCQIに応じて受信信号レベルの高い周波数ブロックを各々のユーザに対して最適に割り当てることにより、ユーザ間のダイバーシチ効果 (マルチユーザダイバーシチ) を得ることができ、ユーザスループットおよびセル当りのスループット向上が可能となる。

(2)MIMO 多重伝送を用いる高速信号伝送

MIMO (Multi-Input Multi-Output) 多重伝送は、複数の送受信アンテナを用いて、同一の周波数、時間において異なる信号を同時に送受信することにより高速伝送を実現し、ユーザ/セルスループットを向上することができる。移動端末では送信アンテナごとの直交参照シンボル<sup>\*8</sup>を用いて測定したチャネル変動値を基に送信信号分離を行う。OFDMAは、DS-CDMA (Direct Sequence -Code

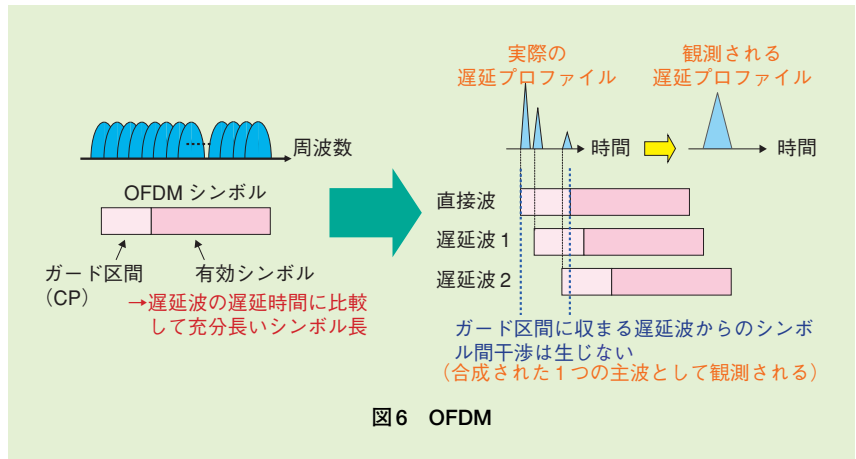


図6 OFDM

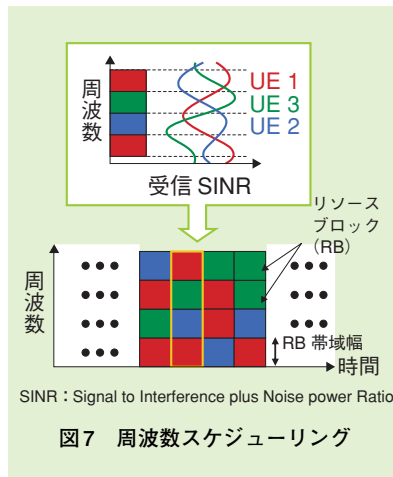


図7 周波数スケジューリング

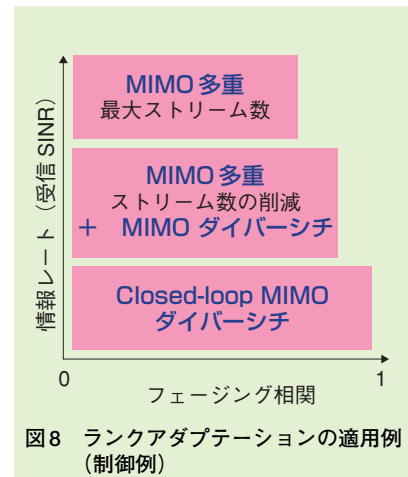


図8 ランクアダプテーションの適用例 (制御例)

Division Multiple Access)<sup>\*9</sup>などのシングルキャリアベースの無線アクセスと異なり、他の送信アンテナ信号との信号分離をマルチパス干渉の影響を受けることなく高精度に実現できるため、MIMO多重伝送との親和性に優れており高速信号伝送に適している。また、受信状況において、送信ストリーム数を制御するランクアダプテーションが適用されている (図8)。この制御は、受信レベルが低いところ、あるいはチャネルの相関が高いところでは、ランク数 (送

信ストリーム数) を小さくして品質の改善を行い、受信レベルが高くチャネルの相関が低いところでは、複数のストリームを同時に送信することにより高速伝送を実現する。

3.2 上りリンク無線アクセス SC-FDMA

上りリンクは下りリンクと異なり、移動端末の低消費電力化が非常に重要な要求条件である。特に送信部の電力増幅器は、移動端末の消費電力で大きな割合を占めるため、電

\*7 無線リソースブロック (RB): 周波数スケジューリングを行う無線リソースの最小単位。  
\*8 直交参照シンボル: セルのレベル検出や復調時のチャネル推定に用いる参照シンボルであり、本参照シンボルは複数のア

ンテナ間で直交している。  
\*9 DS-CDMA: ユーザごとに異なる符号を用いて信号系列を直接拡散することで、同一周波数帯域内において複数のユーザのアクセスを可能とする方式。W-CDMA方式に採用されている。

力効率の高い増幅器の利用に適したアクセス方式の適用が必須となる。また、同じ最大送信電力の電力増幅器を仮定した場合、PAPRが低いアクセス方式ほど同じ受信性能を実現できるカバレッジエリアを増大することができる。このためSuper 3G (LTE) ではSC-FDMAが採用されている。以下、SC-FDMA無線アクセスの特長について述べる。

(1)可変帯域SC-FDMA

上りリンクにおいては前述のように移動端末の低消費電力化の観点から、送信すべきトラフィックの情報レートに応じた最小の送信電力でデータチャンネルを送信する。送信信号帯域幅を広くすると周波数領域の伝搬路変動を平均化する周波数ダイバーシチ効果は増大する。しかしながら、必要以上に送信信号帯域幅を拡大すると無線伝搬路の推定に必要な参照信号の電力密度が低減するため、無線伝搬路の推定精度の劣化に起因して受信特性が劣化する。したがって、送信トラフィックの情報レートに応じた可変帯域幅のSC-FDMA無線アクセスが用いられる(図9)。上りリンクにおいて下りリンクと異なる点は、シングルキャリアの送信のみを許容する点であり、シングルキャリアの性質を維持するため、割り当てる周波数帯域は離散的ではなく連続する周波数帯域(連続するRB)を周波数スケジューリングによって割り当てる必要がある。また、サブフレーム内あるいはサブフレーム間で異なる周波数帯域を割り当てる周波数ホッピングを適

用することで、周波数ダイバーシチ効果を得ることができるため高品質受信を実現することが可能となる。  
(2)周波数領域のSC-FDMA信号生成法

上りリンクのSC-FDMA無線アクセスでは、下りリンクと同様に、周波数スケジューリングにより各UEにシステム帯域の一部の周波数帯域を割り当てる。SC-FDMA信号の周波数領域での生成法としてDFT

(Discrete Fourier Transform)-Spread OFDMが用いられている。DFT-Spread OFDMの送信ブロック構成を図10に示す。DFT-Spread OFDMでは、UEはまず変調後の情報シンボル系列をDFT処理し、DFT処理後の情報シンボルを自分に割り当てられている周波数帯域にのみマッピングし、それ以外の周波数帯域は0をマッピングした系列に対して、逆高速フーリエ変換 (IFFT : Inverse

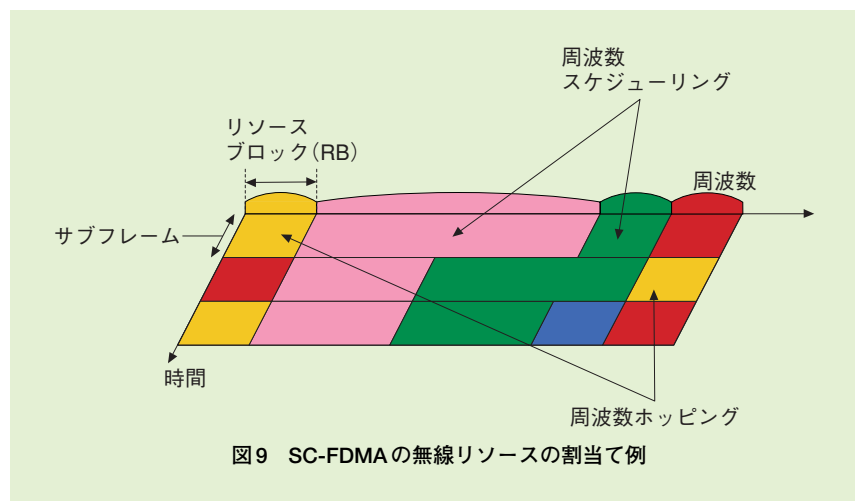


図9 SC-FDMAの無線リソースの割当て例

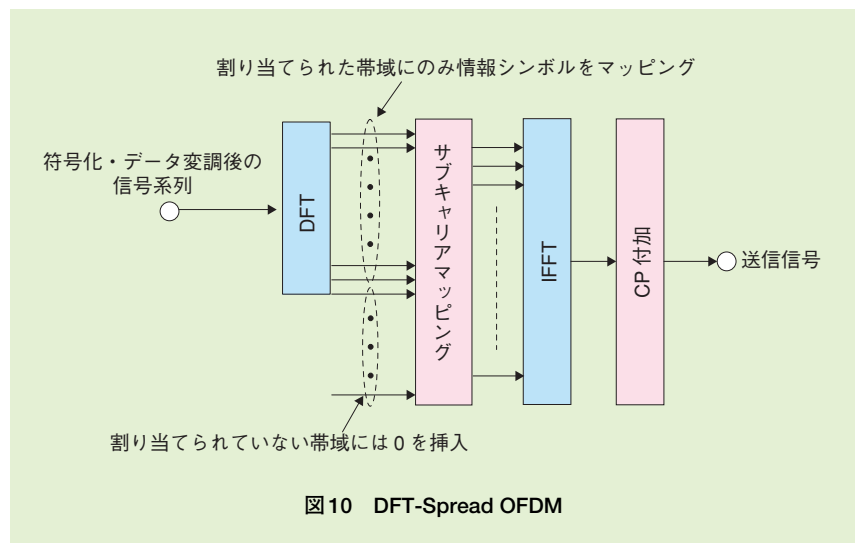


図10 DFT-Spread OFDM

Fast Fourier Transform)<sup>\*10</sup> 処理を用いることにより送信信号を生成する。DFT-Spread OFDMを用いることにより、下りリンクのOFDMAと同一のクロック周波数、サブキャリア間隔を実現できるという特長をもつ。

(3)CPを用いる周波数等化の適用

SC-FDMA無線アクセスでは、自チャネルの遅延波からの干渉（マルチパス干渉）を抑圧する等化器が必要になる。周波数領域の等化処理は、時間領域処理に比較して演算処理量を小さくできるため実用に適している。この等化処理は、ブロック単位で時間領域信号を周波数領域の信号に変換する必要があるため、ブロック間干渉の影響をなくすためにCPをFFT（Fast Fourier Transform）ブロックごとに設けている。

(4)Fractional送信電力制御

前述のように、SC-FDMAでは周波数領域において、ユーザ間の直交化が実現できるため、同一セル（セクタ）内ではCDMAのような干渉は生じない。このため、ユーザごとに送信電力制御の目標値を制御するFractional TPC（Transmission Power Control）が適用される。

Fractional TPCでは基地局に近いユーザの目標値を高く設定することにより、スループットの増大を実現し、セル端に近いユーザの目標値を低く設定することにより他セルへの干渉の低減を実現することでセル全体のスループットを向上させる（図11）。

## 4. Super 3G 試作装置 および実験結果

今回開発したSuper 3G試作装置は3GPP標準仕様に準拠したものであり、3章記載の機能が盛り込まれている。本章では、Super 3G試作装置の概要および無線伝送実験結果について解説する。

### 4.1 試作装置構成

室内試作装置構成を写真1に示す。eNB、UE、コアネットワークエ

ミュレータから構成され、無線伝搬路を模擬するためにフェージングシミュレータを適用した、コアネットワークエミュレータから転送されてきたデータは、eNBにおいて無線制御用のヘッダなどと多重された後、コードワード（Codeword<sup>\*11</sup>）ごとの系列に直並列変換される。ここで、コードワードはH-ARQ（Hybrid Automatic Repeat and reQuest）<sup>\*12</sup>の再送単位のブロックであり、最大2である。その後、コードワードごとに、直並列変換後の情報ビット系列

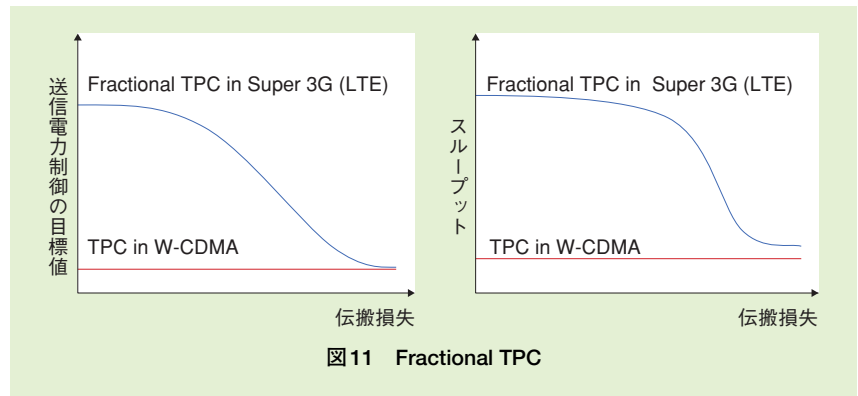


図11 Fractional TPC

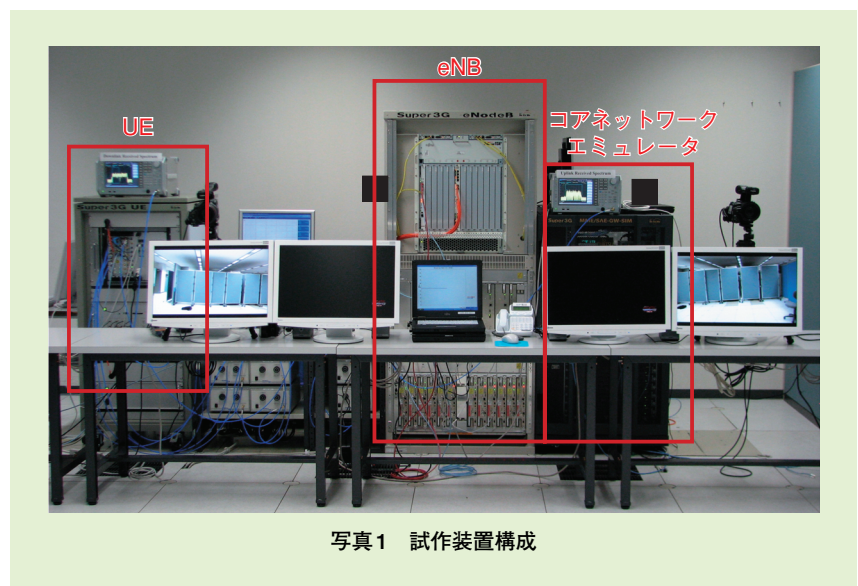


写真1 試作装置構成

\*10 逆高速フーリエ変換 (IFFT) : 時間領域の信号の中に含まれる周波数成分とその割合を抽出する処理を高速に計算する手法である高速フーリエ変換 (FFT) の逆変換。周波数領域の信号から時間領域の信号に変換する処理であり、FFTと同一

の計算手法で実現できる。  
\*11 Codeword : 誤り訂正符号化の単位であり、MIMO多重伝送適用時、1または複数 Codewordの伝送を行う。

\*12 H-ARQ : 誤り訂正符号化 (FEC: Forward Error Correction) と自動再送要求 (ARQ: Automatic Repeat reQuest) を組み合わせたパケット再送制御技術。

をチャンネル符号化し、データ変調マッピングを行い、プリコーディング行列を乗積して各アンテナの送信信号を生成する。チャンネル符号化としては、拘束長4、符号化率 $R=0.16\sim 0.89$ のターボ符号を適用し、データ変調にはQPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation) および64QAMを適用した。ここで最大送信アンテナブランチ数は4である。

UE受信では、4受信アンテナブランチで受信した受信信号をAGC (Automatic Gain Control) 増幅器による線形増幅および直交検波後、I/Qチャンネルの信号を受信デジタル信号へとA/D変換を行う。受信OFDMシンボルタイミングは、FFT前の受信信号とフレーム内に多重した直交参照信号の相互相関を基に検出、更新する。検出した受信OFDMシンボルタイミングを基に、受信デジタル信号のガード区間を除去し、FFTにより各サブキャリアの信号成分に分離する。参照信号を用いて各送受信アンテナブランチ間のチャンネル推定値を求め、チャンネル推定値を用いて信号分離部においてQRM-MLD (Maximum Likelihood Detection with QR decomposition and M-algorithm) with ASESS (Adaptive SElection of Surviving Symbol replica) 法 [8]を用いて信号検出を行い、対数尤度比 (LLR: Log Likelihood Ratio) 計算部において、軟判定ターボ復号のためのビットごとのLLRを計算する。最後に、ビットごとのLLRをターボ復号器 (Max-Log-MAP復号) に入力

し、各送信アンテナブランチに対応する復号データを並直列変換して、送信信号系列を再生する。

## 4.2 屋内実験特性

### (1) 下りリンクスループット特性

1アンテナ送信時のMCS (Modulation and channel Coding Scheme)<sup>\*13</sup>をパラメータとした時の1受信アンテナ、1情報シンボル当りの平均受信信号電力対雑音電力密度比 ( $E_s/N_0$ : Signal energy per symbol-to-noise power spectrum density ratio) に対するスループット特性の実験結果を図12に示す。ここで、帯域幅はSuper 3G (LTE) の最大帯域幅である20MHzを用い、チャンネルモデルとしてはExtended Vehicular A 3km/h<sup>\*14</sup>を用いた。また比較のため、同一のチャンネルモデルを用いた場合の計算機シミュレーション結果を併せて示す。図12より、シミュレーションに対し、実験結果における同一スループットを実現する所要平均受信 $E_s/N_0$ の劣化は1dB程度であり、シミュレーション結果とほぼ一致した妥当な実験結果が得られている。

複数アンテナ送信 (MIMO) を用いた場合のスループット特性を図13に示す。ここで、送受信アンテナ数はそれぞれ4つとし、ランク数をパラメータとした。チャンネルモデルとしては、時速3km/hで、平均受信電力がパスごとに2dBずつ減衰する6パスの指数減衰モデルを用いた。また、受信レベルに応じて最適な変調方式、符号化率を選択する適

応変調 (AMC: Adaptive Modulation and channel Coding) およびパケット誤り時に再送を行い、受信側で合成するH-ARQを適用した。H-ARQ方式としては再送時に誤り訂正能力を向上させるために異なる冗長ビットを送るIR (Incremental Redundancy) を用いた。その他の条件は図12と同じであり、アンテナ間のフェージング相関は0とした。図13より平均 $E_s/N_0=18\text{dB}$ において、ランク2で100Mbit/sを実現できていること

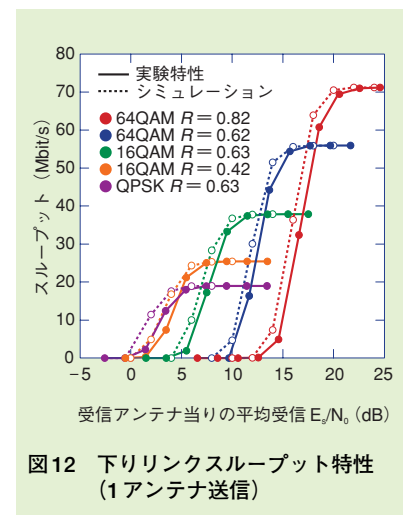


図12 下りリンクスループット特性 (1アンテナ送信)

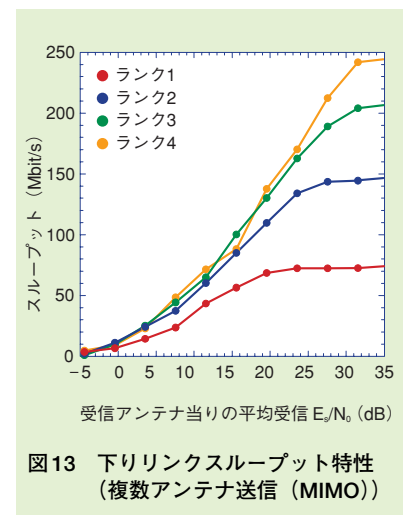


図13 下りリンクスループット特性 (複数アンテナ送信 (MIMO))

\*13 MCS: 適用変調を行う際にあらかじめ決めておく変調方式と符号化率の組合せ。

\*14 Extended Vehicular A 3km/h: 3GPPで定義している移動環境を模擬したパスモデルの1つ。



が確認できる。また、ランク4ではフェージング環境下において、最大240Mbit/sのスループットが達成できていることが確認できる。

(2)上りリンクスループット特性

MCSをパラメータとした時の平均受信 $E_s/N_0$ に対する上りリンクスループット特性の実験結果を図14に示す。ここで、帯域幅はSuper 3G (LTE) の最大帯域幅である20MHzを用い、下り同様チャンネルモデルとしてはExtended Vehicular A 3km/hを用いた。また比較のため、同一のチャンネルモデルを用いた場合の計算機シミュレーション結果を併せて示す。図14より、実験結果のシミュレーションからの同一スループットを実現する所要平均受信 $E_s/N_0$ の劣化は1dB程度であり、シミュレーション結果とほぼ一致した妥当な実験結果が得られている。

eNBからの正規化伝播損失に対するスループット特性を図15に示す。本実験ではeNBからの距離に対する正規化伝播損失を奥村一奏式を用い

て計算し、信号減衰レベルを調整することによりeNBからの距離を等価的にパラメータとしてスループット特性を評価した。図15では、eNBからの距離が35mの地点における伝播損失を0dBとなるように正規化した値を用いた。ここで、UEの最大送信電力は24dBmとし、使用するRB数(割合で帯域幅)をパラメータ $N_{RB}$ とした。また、送信電力制御には前述のFractional TPCを用いて、伝播損失に応じた送信電力を行い、さらに下りリンク同様、AMC、H-ARQを適用した。図15によりセル近傍においては $N_{RB}=96$  (17.2 MHz)の帯域を用いることにより、約50Mbit/sのスループットを実現できていることが確認できる。また、セル端のユーザは割り当てるRB数を少なくすることによりカバレッジの増大が実現できていることが確認できる。

(3)遅延特性

Super 3G (LTE) の重要な技術的要求の1つである伝送遅延の短縮を

検証した際の、遅延測定実験の構成を図16に、pingコマンドを使って測定した往復伝送遅延を写真2に示す。往復伝送遅延は約12~13msであり、eNB~サーバ間の転送遅延やコアネットワークエミュレータ、サーバでの処理遅延を考慮するとSuper 3G (LTE) の目標値である片側伝送遅延5msをほぼ満足していることが確認できる。

4.3 屋外実験特性

2008年2月より屋外実験を開始した。屋外実験は神奈川県横須賀市、山梨県甲府市(およびその近郊)の2地区で実施している。横須賀地区の実験エリアを図17に示す。本エリアにおいて、実際の無線伝搬路における無線特性の検証を行っている。

また、屋外実験の特性例を写真3に示す。写真3はeNBより4アンテ

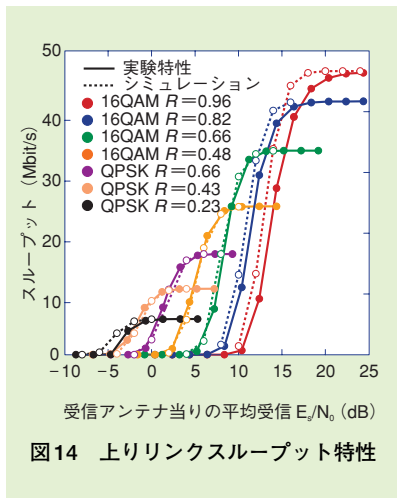


図14 上りリンクスループット特性

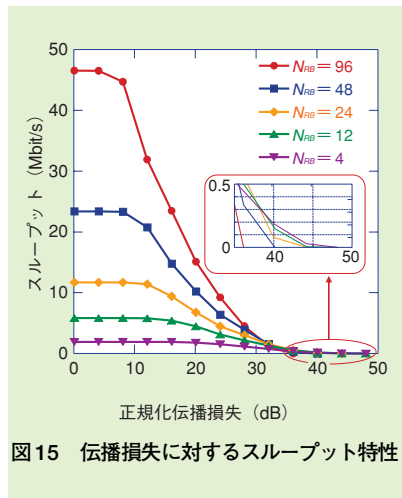


図15 伝播損失に対するスループット特性

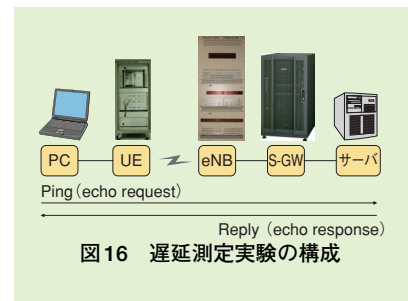


図16 遅延測定実験の構成

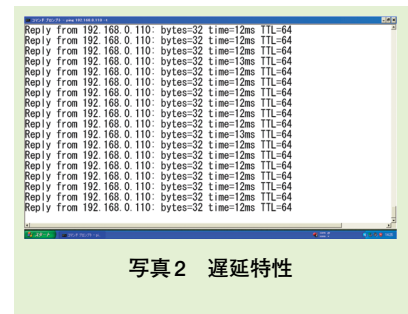


写真2 遅延特性

ナ送信を行った場合の下りリンク受信特性を示しており、屋外環境においても約250Mbit/sのスループットを実現できていることが確認できる。

## 5. あとがき

ビットコストの大幅な低減を実現するために商用化が期待される Super 3G (LTE) の概要、開発状況、試作装置を用いた伝送実験特性について説明し、その有効性を示した。今後は、複数のユーザを同時に接続して行なう周波数領域スケジューラ機能の検証、セクタ間およびセル間ハンドオーバー機能の検証などを行い、実用化に向けた検証、システムの最適化を図る予定である。

### 文献

- [1] K.Kinoshita : “Current Status of “FOMA” 3G service and DoCoMo’s B3G Activities,” ICB3G-2004, pp.13-21, May, 2004.
- [2] 中村, ほか : “ICB3Gの技術動向 その1 Super 3Gの概要および標準化活動状況,” 本誌, Vol.14, No.2, pp.50-54, Jul. 2006.
- [3] 3GPP TR25.913 : “Requirement for Evolved UTRA and UTRAN”
- [4] 3GPP TR25.912 : “FS for Evolved UTRA and UTRAN”
- [5] 3GPP TS36.211 : “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Physical Channels and Modulation”

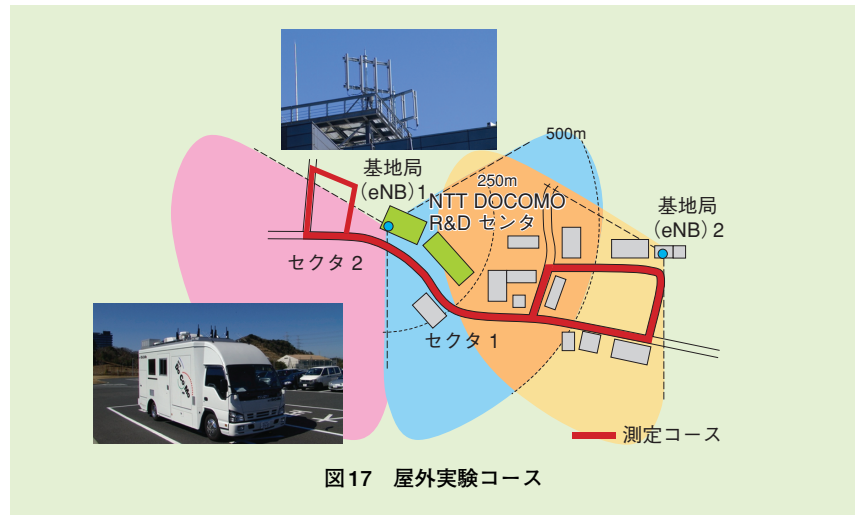


図17 屋外実験コース

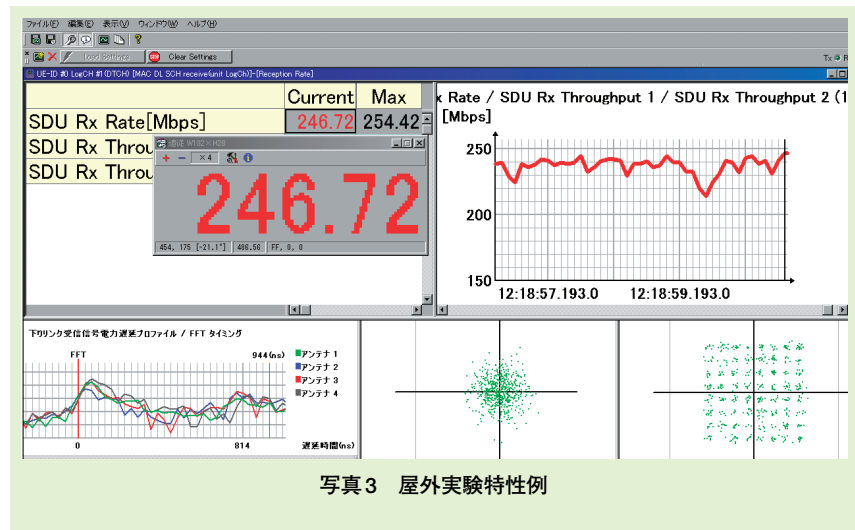


写真3 屋外実験特性例

- [6] 3GPP TS36.212 : “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Multiplexing and channel coding”
- [7] 3GPP TS 36.213 : “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Physical layer procedures”
- [8] K. Higuchi, H. Kawai, N. Maeda and M.

Sawahashi : “Adaptive selection of surviving symbol replica candidates based on maximum reliability in QRM-MLD for OFCDM MIMO multiplexing,” in Proc. IEEE Globecom2004, vol. 4, pp.2480-2486, Nov. 2004.