

# Technology Reports

LTE サービス「Xi」(クロッシィ) 特集—スマートイノベーションへの挑戦—

## LTE サービス「Xi」(クロッシィ) に対応したデータ通信端末の開発

映像データのストリーミングなど、コンテンツの大容量化に伴い、データ通信サービスの需要が飛躍的に増加し、スループットの向上および通信コストの低廉化が強く求められている。ドコモは、2010年12月24日のLTE サービス「Xi」(クロッシィ)<sup>\*1</sup>の開始に伴い、LTE、UMTS および GPRS 機能にも対応した2種類のデータ通信端末を開発した。

移動機開発部	あらい のぶと	あおき ひでのり
	荒井 宣人	青木 秀憲
プロダクト部	いづか ようすけ	おかの よしき
	飯塚 洋介	岡野 由樹
	みやた あつと	とさき たかし
	宮田 篤人	戸崎 貴資
	いちかわ かずおき	市川 一興

### 1. まえがき

近年、データ通信サービスの需要が飛躍的に増加し、スループット<sup>\*2</sup>の向上およびコストの低廉化が強く求められている。世界的にも、LTEの研究開発および商用サービスの提供が進められる中、ドコモは、世界の先頭集団の1つとして、2010年12月24日にLTE方式によるサービスである「Xi」(クロッシィ)を開始し、それに合わせてLTE、UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)<sup>\*3</sup>およびGPRS (General Packet Radio Service)<sup>\*4</sup>の機能と、LTEとUMTSとのハンドオーバー機能をもつデータ通信端末(以下、LTE端末)を開発した。

本稿では、LTE端末の主な概要や基本仕様とともに、LTE通信を行う

ための無線通信デバイス部に着目し、LTE端末のベースバンド<sup>\*5</sup>送信構成について解説する。さらに、LTEの高速通信を実現するうえで重要になるアンテナの評価手法や、屋外局におけるスループット特性について解説する。

### 2. LTE 端末の概要

LTE端末の写真を写真1に、基本仕様を表1に示す。本LTE端末は、LTEによる高速パケット通信が可能であることに加え、UMTSとGPRSに対応したトリプルモード端末で



\*1 「Xi」(クロッシィ)：「Xi」、「Xi/クロッシィ」は、NTTドコモの商標または登録商標。

\*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。

\*3 UMTS：ヨーロッパの第3世代移動通信

システム。ドコモ採用のW-CDMA方式のほか、TD (Time Division) -CDMA方式などがある。

\*4 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。

表1 L-02C/F-06C基本仕様

		L-02C	F-06C	L-05A (参考)
無線周波数帯	LTE	2GHz	2GHz	—
	W-CDMA	800MHz/850MHz/2GHz	800MHz/850MHz/1.7GHz/2GHz	800MHz/850MHz/2GHz
	GSM/GPRS	GPRS 900MHz/1,800MHz/1,900MHz	GPRS 900MHz/1,800MHz/1,900MHz	GSM 850MHz/900MHz/1,800MHz/1,900MHz
情報伝送速度		受信最大100Mbit/s 送信最大50Mbit/s	受信最大100Mbit/s 送信最大50Mbit/s	受信最大7.2Mbit/s 送信最大5.6Mbit/s
UEカテゴリ	LTE	カテゴリ3	カテゴリ3	—
	HSUPA	カテゴリ6	カテゴリ6	カテゴリ6
	HSDPA	カテゴリ8	カテゴリ8	カテゴリ8
対応IPプロトコル		IPv4, IPv6	IPv4, IPv6	IPv4
インタフェース		USB	ExpressCard PCMCIA Type II (PCカードアダプタ利用時)	USB
サイズ (高さ×幅×厚さ)		約90mm×約35mm×約12.9mm	約115mm×約34mm×約5.0mm (最厚部: 約10.0mm)	約80mm×約32mm×約13.0mm
質量		約44g	約35g	約37g
対応OS		Windows 7 SP1以降 Windows Vista® SP2以降 Windows XP Professional SP3以降 Windows XP Home Edition SP3以降 Mac OS® X 10.5.8/10.6.4~10.6.6	Windows 7 SP1以降 Windows Vista SP2以降 Windows XP Professional SP3以降 Windows XP Home Edition SP3以降 Mac OS X 10.5.8/10.6.4~10.6.6	Windows 7 SP1以降 Windows Vista SP1以降 Windows XP Professional SP2以降 Windows XP Home Edition SP2以降 Windows 2000 Professional SP4以降 Mac OS X 10.4.11/10.5.6~10.5.8/10.6~10.6.6
電源電圧		DC5.0V	DC3.3V	DC5.0V

Windows Vista®: 米国 Microsoft Corporation の米国, 日本および/またはその他の国における登録商標または商標。

Mac OS®: 米国 Apple Inc. の米国, 日本および/またはその他の国における登録商標または商標。

ある。今回開発したL-02C/F-06Cについては、LTEとUMTSとの間の遷移において、待受け時および通信中の自動モード切替機能をサポートするため、LTEエリアでも3Gエリアでも継続した利用が可能である。

また、PCとの接続については、「Xi」(クロッシィ) 導入時のLTE端末として、USB型インタフェースをもつL-02Cと、ExpressCard型インタフェースをもつF-06Cの2種類を提供する。F-06Cでは、PCカードアダプタを組み合わせることで、法人のニーズが高いPCMCIA (Personal Computer Memory Card

International Association)\*<sup>6</sup> 準拠のPCカードスロットを搭載したPCでも利用することが可能である。このように、LTE端末は3つのインタフェースに対応し、ユーザのPC環境や利用シーンに応じて自由に選択できる。

これらのLTE端末は、従来のデータ通信端末と同様に、PCに端末を取り付けるだけでドライバおよび接続ソフトなどのアプリケーションソフトウェアが自動的にインストールされる、ゼロインストール機能に対応している。また、ネットワークへの自動接続のON/OFF設定、接続先のAPN (Access Point

Name)\*<sup>7</sup> 設定、海外でのネットワーク設定ができる機能を搭載している。

さらに、通信を行っているエリアのネットワークを可視化し、状況を判りやすくするため、移動端末本体のLEDの色やPC上で動作する接続ソフト上のアイコンにより、どのモードで動作しているかの確認も可能である。

また、移動端末付属の接続ソフトに加えて、Windows®\*<sup>8</sup> OS標準搭載の接続ソフトであるMobile Broadband\*<sup>9</sup>や、ダイヤルアップ接続を利用したデータ通信も可能であり、ユーザ環境や利便性に応じて、さまざまな利用方法で用いるこ

\*5 ベースバンド: デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック。

\*6 PCMCIA: PCに接続するメモリアダプタの規格を策定するために設立された団体。

\*7 APN: ネットワーク接続によりデータ通信を行う際、接続先として設定するアドレス名。

\*8 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。

\*9 Mobile Broadband: Windows 7 OSに付属されているワイヤレスインターネットアクセスを提供するための接続用ソフトウェア。

とができる。

### 3. LTE 端末の送受信構成とアンテナ評価手法

#### 3.1 送受信構成

高速かつ大容量の無線通信を実現するLTEでは、下りアクセス方式にOFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) が適用されている。OFDMAは、高速な広帯域信号にガードインターバル<sup>\*10</sup>を挿入した、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、自由度の高い可変帯域での信号伝送およびマルチパス干渉<sup>\*11</sup>耐性の強い信号伝送が実現可能となる[1]。また、さらなる高速化手法として、LTEでは複数アンテナでの送受信を行うMIMO (Multi Input Multi Output)<sup>\*12</sup>が導入されている[2]。MIMOの概念を図1に示す。基地局(送信側)の異なるアンテナから送信される信号を、端末(受信側)で複数のアンテナを用いて受信し信号分離処理を行うことで、同一周波数同一帯域においても異なる送信データの受信が可能となり、理論的には送受信アンテナ数に

比例したデータスループットを実現することが可能となる。これは、図1の場合、1アンテナと比較して、2倍のスループットが得られることを表す。

LTE上りアクセス方式には、SC-FDMA (Single Carrier-FDMA)<sup>\*13</sup>が適用されている[1]。下りアクセス方式で用いられているOFDMAは、ピーク電力対平均電力比(PAPR: Peak-to-Average Power Ratio)<sup>\*14</sup>が高く、信号送信時に高性能な線形出力特性をもつ電力増幅器が必要となるため、移動端末の上りアクセスには適用しにくいという特徴をもつ。それに対し、SC-FDMAは上り信号の送信レートに応じて送信帯域を柔軟に変更することにより、シングルキャリアでの送信を行うことが可能で、PAPRを抑制し、移動端末の電力増幅器の消費電力を抑えることができるという特徴をもつ。

LTE端末のベースバンド送受信部構成を図2に示す。

OFDMAベースバンド受信部では、まずアンテナごとに受信した受信信号のガードインターバルを除去し、高速フーリエ変換(FFT: Fast Fourier Transform)を行うことで、

広帯域に配置されたマルチキャリア信号の並列分離を行う。その後、各アンテナ、キャリアごとの信号分離処理および復調処理を行い、並列に受信したデータを直列に変換することで、受信データを得る。一方、SC-FDMAベースバンド送信部では、送信データをQPSK (Quadrature Phase Shift Keying)<sup>\*15</sup>、16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation)<sup>\*16</sup>などで変調し、離散フーリエ変換(DFT: Discrete Fourier Transform)を行い、周波数軸上への変調信号の配置を行う。その後、ネットワークから通知される送信帯域に合わせて周波数シフトを行い、送信しない帯域に「ゼロ」信号を挿入し(サブキャリアマッピング<sup>\*17</sup>)、逆高速フーリエ変換(IFFT: Inverse FFT)<sup>\*18</sup>を行うことで、SC-FDMA信号を得る。

このように、LTEアクセス方式において高速無線通信を実現するためには、異なるアンテナから送信される信号の受信、高精度な信号分離処理およびFFTに代表される行列演算処理(最短で1ms周期)が必須となるため、端末側には利得が高い複数アンテナと高精度な信号分離アルゴリズム、高速通信に追従する高速な信号処理能力が求められる。

#### 3.2 MIMO アンテナ評価手法

高利得な複数アンテナを実現するために、ドコモはLTE端末におけるMIMOのアンテナ評価手法であるMIMO OTA (Over-The-Air) 測定法を提案した。

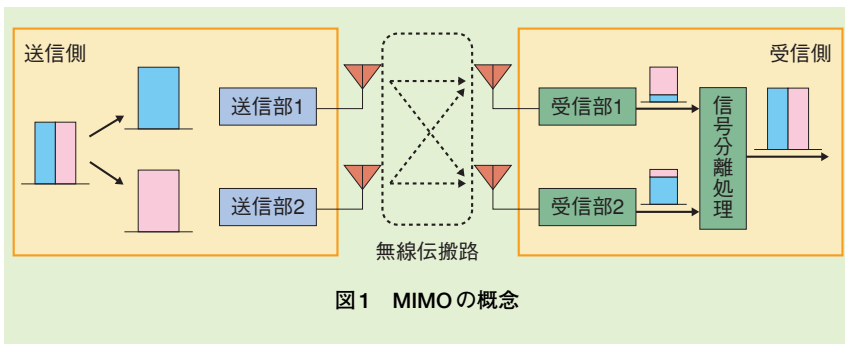


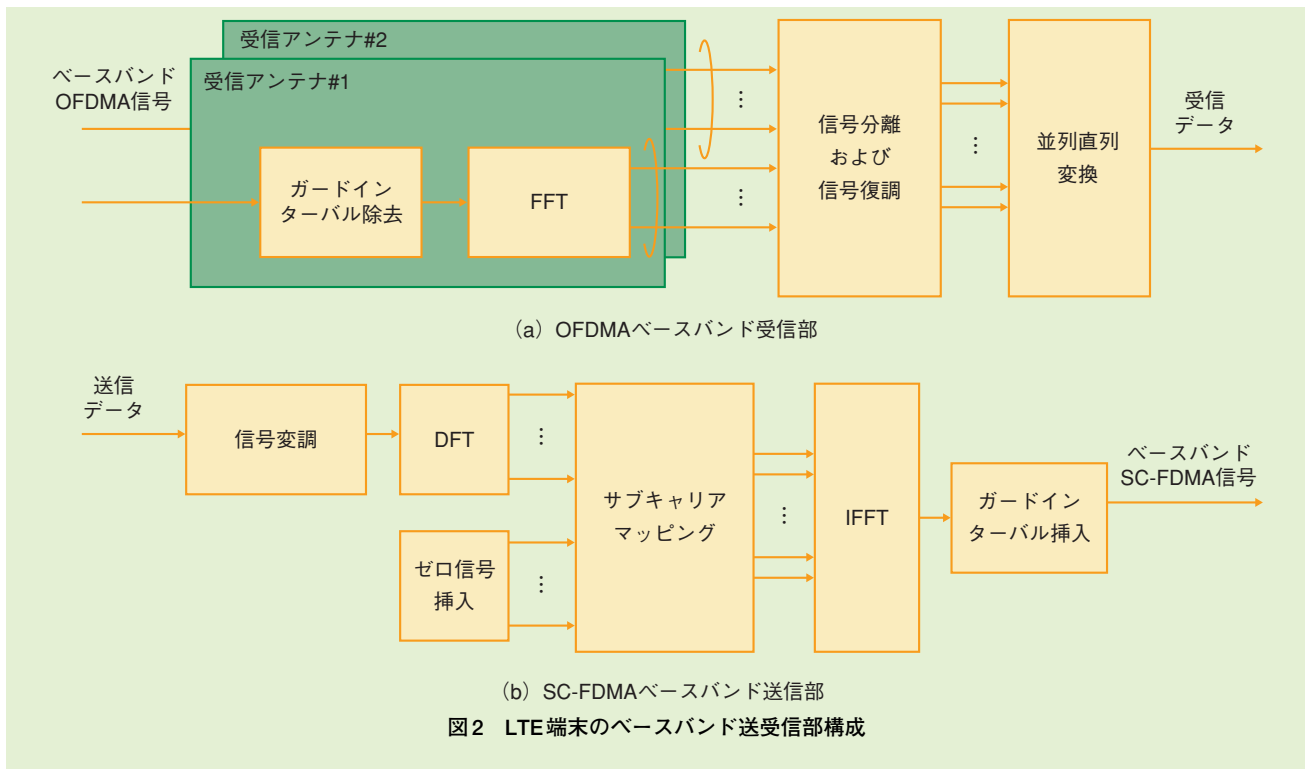
図1 MIMOの概念

\*10 ガードインターバル: シンボル間干渉を低減するため、各シンボルデータの間に設ける冗長区間。  
 \*11 マルチパス干渉: 建物などの遮へい物での反射によって到来する遅延波による干渉。  
 \*12 MIMO: 送受信に複数のアンテナを配備

し、マルチパスによって生じる空間的な伝搬の性質の違いを利用することで、アンテナ数に比例して無線リンクの容量を増大させる無線技術。

\*13 SC-FDMA: 単一キャリア周波数多重分割方式のことで、LTEに採用されている

上り信号の無線アクセス方式。  
 \*14 ピーク電力対平均電力比(PAPR): 送信機としての平均電力値に対する最大電力値の割合で、電力増幅器の性能やその消費電力を評価する際に用いられる指標の1つ。



MIMO伝送に使用する端末用複数アンテナ (MIMO アンテナ) の性能評価を行うためには、従来の放射指向性測定に基づくアンテナ性能評価だけでは十分でなく、マルチパス環境を模擬した環境においてOTAで総合無線性能評価を行うMIMO OTA測定が必要とされ、3GPPにおいても実現可能性検討が進められている[3]。MIMO性能を決定付けるアンテナパラメータとしては、アンテナ利得差やアンテナ相関などがあり、ドコモは、これらのパラメータを適切に評価可能なMIMO OTA測定法を3GPPで技術提案している。開発した2種類のMIMO OTA測定システムを写真2に示す。反響チェンバ法は、3次元一様レイリーフェージング<sup>\*19</sup>環境を高速・簡易に生



成可能であり、電波暗室<sup>\*20</sup>を用いたマルチプローブ法は、時空間領域において任意のマルチパス環境を生成可能である。これらの測定システムを用いることにより、実際の利用環境に忠実な伝搬環境を屋内試験系内に十分な再現性で生成することが可能となり、LTE端末の総合無線性

能をアンテナ性能も含めて評価することができる。さらに、評価指標としてユーザ実感に忠実なスループットを採用しているため、このMIMO OTA測定法を用いたLTE端末のアンテナ開発は、品質向上に大きく貢献する。

\*15 QPSK：デジタル変調方式の1つ。位相の異なる4つの信号を組み合わせることにより、同時に2bitの情報を送信可能。  
\*16 16QAM：デジタル変調方式の1つ。振幅と位相の異なる16通りの信号を組み合わせることにより、同時に4bitの情報を送

信可能。  
\*17 サブキャリアマッピング：送信するシンボルデータを周波数軸上へ配置する処理。  
\*18 逆高速フーリエ変換 (IFFT)：本稿では、各サブキャリア信号を周波数成分からデジタルデータへ変換する際に用いら

れる手法。  
\*19 レイリーフェージング：移动通信の見出し外環境における代表的なフェージング特性。

## 4. 移動端末のスループット特性

LTE 端末 L-02C と最大スループットが 7.2Mbit/s の HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)<sup>\*21</sup> カテゴリ 8 端末とのスループット比較を行った。東京都内の LTE エリアで試験を実施し、LTE の送信帯域は HSDPA と同じ 5MHz、最大スループットが 37.5Mbit/s での比較を行った。

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)<sup>\*22</sup> により大容量ファイルをダウンロードすることでを行い、測定値は TCP レイヤでのスループット値を 1 秒間平均したものをを用いた。

静止時のスループット特性の試験結果を表 2 に示す。基地局直下における静止時のスループット特性は、LTE 受信品質を示す RSRP (Reference Signal Received Power)<sup>\*23</sup> が -72.2dBm と非常に良好であり、最大スループット 27.4Mbit/s、平均スループット 24.8Mbit/s が確認できた。また、基地局から数百メートル離れた 2 ポイントにおいても、最大スループット 15.4Mbit/s、11.4Mbit/s、平均スループット 10.3Mbit/s、7.2Mbit/s の良好なスループット特

表 2 静止時のスループット特性試験結果

測定ポイント (基地局からの距離)	下り受信品質 RSRP (LTE)	最大スループットと平均スループット	
		LTE	HSDPA (参考)
ポイント A (直下)	-72.2dBm	最大 27.4Mbit/s 平均 24.8Mbit/s	最大 3.2Mbit/s 平均 1.9Mbit/s
ポイント B (数百メートル)	-74.9dBm	最大 15.4Mbit/s 平均 10.3Mbit/s	最大 1.2Mbit/s 平均 0.7Mbit/s
ポイント C (数百メートル)	-79.6dBm	最大 11.4Mbit/s 平均 7.2Mbit/s	最大 1.8Mbit/s 平均 0.8Mbit/s

性が確認できた。また、HSDPA 端末の結果は基地局直下で最大スループット 3.2Mbit/s、平均スループット 1.9Mbit/s であり、本測定ポイントにおいて、LTE 端末は HSDPA 端末と比較して、最大スループットで約 8.6 倍、平均スループットで約 13 倍のスループット特性であることが確認できた。

## 5. あとがき

本稿では、2010 年 12 月 24 日に開始した LTE サービス「Xi」(クロッシィ) に向け、LTE 端末として開発した L-02C と F-06C の概要およびその特長について解説するとともに、MIMO アンテナの評価手法および屋外環境におけるスループット特性を明らかにした。

屋外環境における下りスループット測定結果から、HSDPA 端末と比較して、静止環境の最大スループッ

トで 8.6 倍、平均スループットで 13 倍の良好なスループット特性が得られることを示した。

今後も、MIMO アンテナ特性評価、屋外スループット評価をはじめとする端末評価を実施し、さらなる性能向上に向けて、開発を継続していく。

### 文献

- [1] 3GPP TS36.211 V8.9.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation," Dec. 2009.
- [2] 3GPP TS36.213 V8.8.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures," Sep. 2009.
- [3] 3GPP TR37.976 V1.1.0: "Measurements of radiated performance for MIMO and multi-antenna reception for HSPA and LTE terminals," Jun. 2010.

\* 20 電波暗室：外部からの電波を遮断し、内壁 6 面に電波吸収体を備えることで反射波を抑制した実験設備。

\* 21 HSDPA：W-CDMA 方式に基づく下りリンクの高速パケット伝送方式。3GPP 規格上の下り伝送速度は、最大約 14Mbit/s

である。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。

\* 22 FTP：インターネットなどの TCP/IP ネットワーク上でファイルを転送する際に、一般的に用いられるプロトコル。

\* 23 RSRP：LTE における移動端末で測定さ

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。