

PREMIUM 4G特集 —LTE-Advancedの導入—

LTE-Advancedカテゴリ6キャリアアグリゲーションに対応したルータ型移動端末の開発

近年、コンテンツの大容量化に伴い、スループットのさらなる向上が求められている。そこで、LTE-Advancedの主要技術である、複数の周波数で同時に通信するCA技術が検討されてきた。

ドコモは、2015年3月のLTE-Advanced導入に向け、LTEカテゴリ6 CAに対応し、移動端末の能力として最大下りスループット300Mbpsを実現する2種類のルータ型移動端末を開発した。

移動機開発部	鈴木 秀俊	ひでとし†	おおさわ りょうすけ
	にしの	ゆうき	
	西野 雄記		
プロダクト部	みやた	あつと	
	宮田 篤人		

1. まえがき

近年、動画などの大容量コンテンツが広く普及し、そのため従来のLTE方式との互換性を確保しつつ、さらなる高速・大容量化を実現するLTE-Advancedへの期待が高まっている。

ドコモでは、従来のLTEカテゴリ4と比較して最大2倍の高速化を実現するLTEカテゴリ6を採用し、最大下りスループットとして225Mbpsを実現するLTE-Advanced／「PREMIUM 4G™」*1を2015年3月に開始した。またサービス開始に合わせて新たな移動端末の開発を進めてきた。

本稿では、LTEカテゴリ6の特徴とLTEカテゴリ6キャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）に対応したルータ型移動端末（以下、LTE-Advanced対応移動端末）の概要や特長とともに、3つの2DL CA（2 Downlink CA）*2の組合せを実現するRF（Radio Frequency）*3構成について解説し、屋内外試験により得られたスループット特性について解説する。

なお、最大下りスループット値は、適用可能な周波数帯域幅により変動する。本稿で紹介するルータ型移動端末は、LTEカテゴリ6の最大性能（40MHz幅）を用いて300Mbpsを

実現することができる。しかし、ドコモの運用上、サービス開始当初においては30MHz幅までしか割り当てられないことからスループットは225Mbpsとなる。

2. 移動端末のカテゴリ定義

LTE対応移動端末では送受信能力に応じたカテゴリが3GPP（3rd Generation Partnership Project）で定義されている[1]。表1にLTEで用いられているカテゴリ4移動端末とLTE-Advancedに対応したカテゴリ6移動端末の比較を示す。

従来のカテゴリ4移動端末は最大

©2015 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、ネットワーク部

*1 PREMIUM 4G™：NTTドコモの商標。
*2 2DL CA：下り（基地局から移動端末の向き）に2つの周波数を束ねることで高速通信を可能にするLTE-Advancedの技術の1つ。
*3 RF：無線回路部。

LTE-Advancedカテゴリ6キャリアアグリゲーションに対応したルータ型移動端末の開発

20MHzまでの送受信帯域幅をサポートしている。これに対し、カテゴリ6移動端末では、2つの周波数帯域を同時使用することにより20MHzを超える受信帯域幅を可能にし、最大40MHz幅までサポートする。同時使用が可能な帯域幅を広げることにより、カテゴリ4移動端末の2倍の300Mbpsのスループットを実現している。送信時は、既存のLTE移動端末と同様に1つの周波数帯域を使用して最大50Mbpsのスループットとなる。

上記は一般的なカテゴリ6の説明であるが、ドコモでは、2GHz+800MHz*4、2GHz+1.5GHz、および1.7GHz+800MHzの3種類の周波数組合せのCAを運用している。2GHz+800MHz、2GHz+1.5GHzの組合せは全国、1.7GHz+800MHzの組合せは東名阪エリアで運用している。2015年3月のサービス開始時に

おける最大運用帯域幅は30MHzであるため、受信時最大スループットは225Mbpsである。上記周波数組合せは3GPP標準仕様において最大35MHz幅まで定義されており[2]、将来的には262.5Mbpsを実現可能である。

3. LTE-Advanced対応移動端末の概要

LTE-Advanced対応移動端末の外観を図1に、基本仕様を表2に示す。本移動端末はLTE-Advancedによる高速パケット通信が可能、かつ、安定通信を可能とするためクワッドバンドLTE*5に対応したモバイルWi-Fiルータである。LTE-Advancedによる高速通信をフルに活かせるよう、移動端末とWi-Fiクライアント間の無線LAN通信はWi-Fi電波干渉の影響を比較的受けづらい、Wi-Fi IEEE 802.11ac*6を採用して規格上876Mbps

の高速通信を可能としており、WAN側のみならずLAN側でも高速通信を意識した作りになっている。

今回開発したLTE-Advanced移動端末2機種（HW-02G、L-01G）は、ユーザの主な利用場所を意識して各種機能を検討してきた。

(1)HW-02G

HW-02Gは屋内での利用が比較的多いユーザに主眼を置き、書斎の卓上やリビングの電話台などにおいても邪魔にならない程度のサイズに抑えつつ、家のあらゆる場所でもWi-Fiが利用可能であることをコンセプトとした。そのため、一戸建やマンションなどの広い空間で移動端末からの距離があり、加えてドア、壁、家具などの遮蔽物がありWi-Fiの電波が届きにくい場所でも利用できるようWi-Fi機能の強化が行われている。具体的にはHW-02Gに同梱されているクレードル内に2.4GHz帯の

表1 カテゴリ4とカテゴリ6の移動端末の比較 (Mbps)

		合計帯域幅 (MHz)				
		20	25	30	35	40
スループット (理論値)	端末カテゴリ4	150	—	—	—	—
	端末カテゴリ6	150	187.5	225	262.5	300



図1 LTE Advanced対応Wi-Fiルータ

*4 2GHz + 800MHz：2GHz帯の周波数と800MHz帯の周波数を用いたキャリアアグリゲーションの表記として各周波数を“+”でつなげて表現することとする。2GHz+1.5GHzは2GHz帯の周波数と1.5GHz帯の周波数を用いたキャリアアグリゲーション、

1.7GHz+800MHzは1.7GHz帯の周波数と800MHz帯の周波数を用いたキャリアアグリゲーションを示す。

*5 クワッドバンドLTE：「2GHz/800MHz/1.5GHz/1.7GHz」の4つの周波数帯で運用するLTEサービス。

*6 Wi-Fi IEEE802.11ac：無線LANの標準規格で、5GHz帯の電波を用い、最大160MHzの帯域幅、変調信号の多値化 (256QAM) およびMIMO方式の拡張 (8×8 MIMO) により433Mbps~6.93Gbpsの高速なデータ通信を行うことができる仕様。

表2 HW-02G/L-01G基本仕様

		HW-02G	L-01G
周波数	LTE-Advanced	2GHz+1.5GHz/1.7GHz+800MHz/ 2GHz+800MHz*1	2GHz+1.5GHz/1.7GHz+800MHz/ 2GHz+800MHz*1
	LTE	800MHz/1.5GHz/1.7GHz*2/2GHz*2	800MHz/1.5GHz/1.7GHz*2/2GHz*2/ 2.6GHz*2, 3
	W-CDMA	800MHz/850MHz*2/2GHz*2	800MHz/850MHz*2/2GHz*2
	GPRS*2	—	850MHz/900MHz/1,800MHz/1,900MHz
最大通信速度 (UEカテゴリ)	LTE-Advanced	DL : 262.5Mbps (カテゴリ6) UL : 50Mbps (カテゴリ6)	DL : 262.5Mbps (カテゴリ6) UL : 50Mbps (カテゴリ6)
	LTE	DL : 150Mbps (カテゴリ4) UL : 50Mbps (カテゴリ4)	DL : 150Mbps (カテゴリ4) UL : 50Mbps (カテゴリ4)
	HSDPA/ HSUPA	DL : 14.4Mbps (カテゴリ10) UL : 5.7Mbps (カテゴリ6)	DL : 14.4Mbps (カテゴリ10) UL : 5.7Mbps (カテゴリ6)
サイズ	高さ 約90mm×幅 約35mm×厚さ 約12.9mm	高さ 約115mm×幅 約34mm×厚さ 約5.0mm (最厚部: 約10.0mm)	
質量	約110g	約187g	
Wi-Fi (LAN側)*4	802.11a/b/g/n (2.4GHz/5GHz) /ac	802.11a/b/g/n (2.4GHz/5GHz) /ac	
電池容量	2,400mAh	4,880mAh	
Ethernet接続 (同梱クレードル利用時)	802.3ab (1000Base-T)	—	

*1 ソフトウェアアップデートにて機能追加

*2 ローミング対応

*3 TD-LTE対応

*4 クレードル挿入時は2.4GHzWi-Fiのみ提供 (802.11b, 802.11g, 802.11n)

Wi-Fi電波の出力電力が高いチップを搭載しており、HW-02G本体をクレードルに装着すると、屋内利用であると判断しHW-02G内蔵のWi-Fiチップを停止し、クレードル側のWi-Fiチップに切替えを行う。これにより屋内でWi-Fi接続を行う場合は、移動端末単体と比較して、より強い電波で送信できるようになり、広いエリアで使用することができる。(2)L-01G

一方、L-01Gは外出先での利用が比較的多いユーザに主眼を置き、外

出先で充電ができないような場合でも長時間利用できることをコンセプトとした。外出先でも長時間利用が可能となるよう4,880mAhの大容量電池を搭載しており、加えて補助電池としての機能も搭載している。そのため、本移動端末は外出中のデータ通信に利用するだけでなく、万が一スマートフォンやタブレットの電池が残量不足となった場合のモバイルバッテリーとしても利用できる。さらに本移動端末は3G, GPRS (General Packet Radio Service)*7, FDD

(Frequency Division Duplex)-LTE**8の海外ローミングに加えTD-LTE (Time Division-LTE)*9 (2.6GHz)にも対応しており、海外での高速データ通信のニーズにも対応可能な製品である。

4. 2DL CAの3コンビネーションを実現したRF構成概要

4.1 2パターンの周波数分離方法

ドコモでは、1つの移動端末で3種

*7 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。

*8 FDD-LTE : 周波数分割複信 (FDD) 技術
を適用したLTE方式。

*9 TD-LTE : 時分割複信 (TDD : Time Division
Multiple Duplex) 技術を適用したLTE方式。

LTE-Advancedカテゴリ6キャリアアグリゲーションに対応したルータ型移動端末の開発

類の2DL CAを実装している。CAを実現する代表的なRF構成を図2に示す。CAを実現するためには、2つの周波数帯を分離して同時通信を可能にする必要があり、その実現方法は2つに分類される。1つはアンテナ直下に2つの周波数範囲を低損失で分離するフィルタ（DIP：Diplexer）*10を使用する方法（図2(a), (b)）。もう1つは、同時通信するそれぞれの周波数でアンテナを分離する方法（図2(c)）である。DIPを使用する方法では、いかにデバイスの通過損失を抑えて信号の電力低下を抑えるか、アンテナを分離する方法では、アンテナの実装面積が大きくなるため、いかに大きさを抑えるかが技術的課題である。

4.2 RF構成

グローバルに用いられる2DL CAのRF構成（図2(a)）と今回開発したLTE-Advanced対応移動端末のRF構成（図2(b), (c)）では異なったものとなっている。グローバル構成で

は、アンテナ直下にDIPを配置してLow band（1GHz以下）とHigh band（1.7GHz以上）を分離する方法が一般的であり、Low bandとHigh band間のCAが実現される。しかし、ドコモが採用する3種類のCA組合せを実現するためには、日本国内でのみ使用される1.5GHz帯の存在が課題となる。その理由は、上述のグローバル構成で用いるDIPを適用した場合、1.5GHz帯がDIPフィルタの特性により阻止帯域に当たるため、その損失が非常に大きくなってしまふ。そのため、図2(b)のようにアンテナ直下に配置されるDIPの高い周波数側の通過帯域を1.5GHz帯まで拡張させた仕様を3GPPで標準化した[2]。本DIPを用い、さらにその直下に1.5GHz帯と2GHz帯を分離するDIPを連結した構成、あるいは、図2(c)のように1.5GHz帯のみ別アンテナで送受信を行う構成を適用することにより、Low bandとHigh bandを分離するグローバル構成で実現可能な2GHz+800MHzと1.7GHz+800MHz

に加え、2GHz+1.5GHzのMiddle bandとHigh bandの組合せによる2DL CAを実現している。

4.3 課題と対策

図2(b)のように、DIPを多段に配置する構成では、挿入損失の増加により使用時間の減少、発熱量の増加および受信感度の低下が発生するため、DIPの低損失化を図った。一方で、図2(c)のようにアンテナにより同時通信可能な周波数を分離した場合には、DIPの多段構成による損失は発生しない。しかしながら図2(c)の端末では、DLに2x2 MIMO（Multiple Input Multiple Output）*11に対応しつつ異なるアンテナを用いて周波数帯を分離するため、合計4つのアンテナを1つの筐体内に実装する必要がある。大きさの制約やアンテナ間のカップリングによるアンテナ性能の低下が発生する可能性がある。その対処のため、開発したLTE-Advanced対応移動端末では、アンテナ構造や送信用アンテナ間の配置や

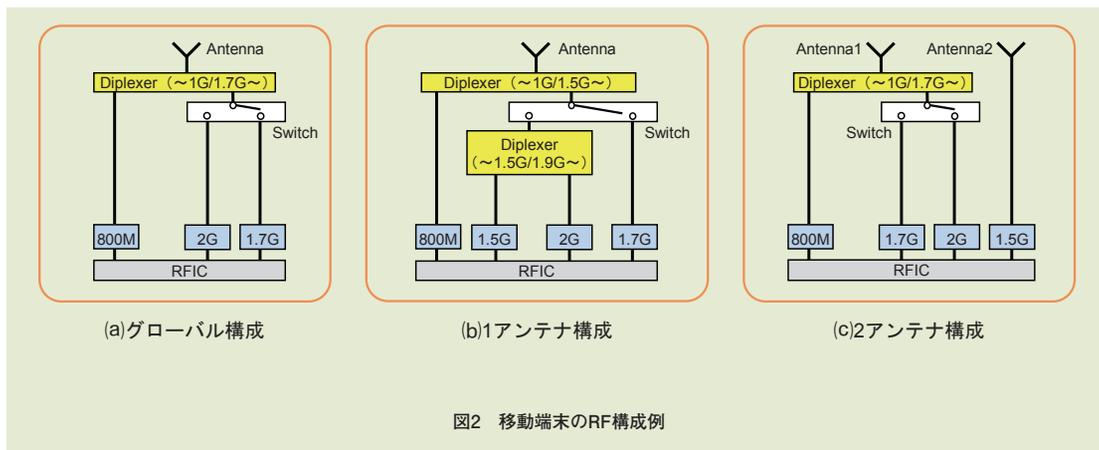


図2 移動端末のRF構成例

*10 DIP：2つの周波数帯を低損失で分離するフィルタであり、Low Pass Filter（低周波数側を通過帯域とし高周波数側を減衰帯域としたフィルタ）とHigh Pass Filter（高周波数側を通過帯域とし低周波数側を減衰帯域としたフィルタ）から構成される。

*11 MIMO：送受信に複数のアンテナを備え、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。

受信アンテナの配置に工夫をした。

5. LTE-Advanced対応移動端末の受信時速度の検証結果

屋内および屋外試験環境において、実際の基地局装置を使用してLTE-Advanced対応移動端末の最大スループットの検証を行った。屋内試験環境では、基地局と移動端末間は有線ケーブルで接続しており、干渉や無線品質の変動がない理想的な環境としている。ファイルサーバから移動端末に向けてデータを転送し、MAC (Medium Access Control) レイヤ^{*12} [3] [4]のスループットを測定した。結果を表3に示す。35MHz幅の例において、スループットは241Mbpsとなった。これは運用上必要な無線制御信号を差し引いた理論値と一致している。

次に屋外試験環境において、同様の検証を行った。基地局近傍かつ、周辺の基地局や他ユーザによる干渉が小さい場所において、静止状態での測定を行った。結果は35MHz幅の例において238Mbpsであり、屋内試験環境と同程度のスループットを確認できた。

実際に商用環境で使用される際に

表3 受信速度の理論値と検証結果 (Mbps)

		合計帯域幅 (MHz)				
		20	25	30	35	40
理論値		150	187.5	225	262.5	300
実測値	屋内試験環境	135	166	205	241	—
	屋外試験環境	—	—	199	238	—

は、接続ユーザ数や干渉量、基地局からの距離、無線品質の変動に応じて基地局が適応的に通信速度の制御を行う。そのため、使用環境により得られる通信速度は異なるが、本検証の結果、移動端末、基地局ともに十分な性能を有していることが確認できた。

6. あとがき

本稿では、2015年3月に提供を開始したLTE-Advanced / 「PREMIUM 4G」に向け、LTE-Advanced対応移動端末として開発したHW-02GとL-01Gの概要およびその特長について解説した。また、ドコモで採用する2DL CAの3コンピネーションを実現するRF構成、移動端末のカテゴリ定義および屋内外試験環境におけるスループット特性を明らかにし、理論どおりのスループット特性が得られることを示した。

今後も複数ユーザ環境や、干渉影

響の大きい環境における屋外環境評価を実施し、性能向上を図るとともに、さらなるスループット向上をめざして3つの周波数帯域を同時使用する3DL CA (カテゴリ9^{*}) 移動端末の開発などを進め、運用帯域幅として40MHzを適用することで300Mbpsのスループットを実現していく。

文献

- [1] 3GPP TS36.306 V10.11.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities," Dec. 2013.
- [2] 3GPP TS36.101 V10.17.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception," Dec. 2014.
- [3] 3GPP TS36.321 V10.10.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification," Dec. 2013.
- [4] 3GPP TS36.213 V10.12.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures," Mar. 2014.

*12 MACレイヤ：LTEおよびLTE-Advanced方式における無線インタフェースプロトコル。レイヤ2のサブレイヤであり、無線リソース割当て、データマッピング、再送制御などを行う。

* 標準化規定上は、60MHz帯域幅、450Mbpsが上限。