

3.5GHz帯導入

3.5GHz帯TD-LTEに対応した移動端末の開発

2014年12月に、「第4世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設計画の認定」が総務省より行われ、3.5GHz帯の周波数が新たに利用可能となった。ドコモはPREMIUM 4Gのさらなる進化として3.5GHz帯を用いたTD-LTEを導入し、キャリアアグリゲーションにより既存FDD帯と組み合わせた受信最大370Mbpsの通信サービスを2016年6月に開始した。本稿では、3.5GHz帯を利用し、TD-LTEおよび3DL CA技術を用いた下り最大通信速度370Mbpsに対応するため、新たに開発された移動端末の概要、3.5GHz帯標準化の取組み、実験室およびフィールド環境における受信速度結果について解説する。

移動機開発部	おおさわ りょうすけ 大澤 良介	おはら ともや 小原 知也
	あんどう けい 安藤 桂	
プロダクト部	まつうら ともや 松浦 友哉	

1. まえがき

近年の急激なトラフィックの増加および超高速なデータ通信の需要に対応するため、より広い帯域が新たな周波数帯に求められている。

3.5GHz帯は広帯域幅が得られる周波数帯として新たに割り当てられた周波数帯である。これは、3GPPにおいてTDD (Time Division Duplex) *1方式用にBand42[1]として規定されており、将来はグローバルでの使用が期待される周波数帯である。

標準化仕様の策定にあたってドコモは、早期に安価な移動端末が実現できるような働きかけを行い、TDD方式のLTE (以下、TD-LTE) によって今回の商用サービス開始に至った。

本稿では、既存のFDD (Frequency Division Duplex) *2方式の周波数帯に加えTDD方式の周波数帯をキャリアアグリゲーション (CA: Carrier Aggregation) *3する3DL CA (3DownLink CA) *4を行うことで高速化を実現した、移動端末について解説する。

2. 3.5GHz帯TD-LTE対応移動端末のカテゴリと概要

(1)移動端末カテゴリ[2]

今回開発した移動端末は、3.5GHz帯20MHz幅2CC (Component Carrier) *5を含む3DL CAに対応している。合計最大60MHz幅を使用し、最大受信速度370Mbpsを実現する。300Mbpsを超える受信速度を実現するためには移動端末カテゴリ9に対応する必要があるため、本端末も対

©2016 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 TDD: 上りリンクと下りリンクで、同じキャリア周波数、周波数帯域を用いて時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

*2 FDD: 上りリンクと下りリンクで、異なるキャリア周波数、周波数帯域を用いて信号伝送を行う方式。

*3 キャリアアグリゲーション (CA): 下りまたは上りに複数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。

*4 3DL CA: 下りに3つの周波数をCAすることで高速通信を可能にするLTE-Advancedの技術の1つ。

3.5GHz帯TD-LTEに対応した移動端末の開発

応している。表1に各移動端末カテゴリの比較を示す。

(2) 概要

端末の外観を写真1に基本仕様を表2に示す。本移動端末（HW-01H）

は、従来の2GHz/1.7GHz/1.5GHz/800MHz帯に加え3.5GHz帯に対応することで高速通信を実現したモバイルWi-Fi[®]*6ルータである。なお、3.5GHz帯は2GHz帯や1.7GHz帯と

CAすることで（3.5GHz+3.5GHz+2GHz/3.5GHz+3.5GHz+1.7GHz）最大370Mbpsの受信速度に対応している。

HW-01Hは、外出先で利用する

表1 移動端末カテゴリごとの最大受信速度

移動端末カテゴリ	最大受信速度 (Mbps)	最大送信速度 (Mbps)	MIMOレイヤ数
4	150	50	2
6	300	50	2 or 4
9	450	50	2 or 4



写真1 HW-01Hの外観

表2 HW-01Hの基本仕様

			HW-01H	L-01G (参考)
最大通信速度	LTE-Advanced	3CA	DL : 370Mbps UL : 50Mbps	—
		2CA	DL : 262.5Mbps UL : 50Mbps	DL : 262.5Mbps UL : 50Mbps
	LTE		DL : 150Mbps UL : 50Mbps	DL : 150Mbps UL : 50Mbps
	HSDPA		DL : 14.4Mbps	DL : 14.4Mbps
	HSUPA		UL : 5.7Mbps	UL : 5.7Mbps
サイズ			64×100×22mm	107×65×20mm
質量			約173g	約186g
Wi-Fi (LAN側)			11a/b/g/n (2.4/5GHz) /ac	11a/b/g/n (2.4/5GHz) /ac
電池容量			4,750mAh	4,880mAh

*5 CC : CAにおいて束ねられる周波数帯を表す用語。

*6 Wi-Fi[®] : Wi-Fi Allianceの登録商標。

ユーザをターゲットとしており、前述の高速通信のほかに長時間通信が可能になる4,750mAhの大容量電池を搭載している。また、USB3.0 Super Speedに対応することで、Wi-Fi通信時だけでなくUSBテザリング*7時も高速通信が可能である。そのほか、スマートフォンやタブレットから専用アプリを利用し、アプリを介してBluetooth®*8通信を行うことでHW-01Hをスリープから復帰させる機能を搭載している。これにより、例えばスリープになったHW-01Hが靴の中に入っている状況下で、復帰させるために靴から取り出す行為が不要になり利便性が向上している。

3. 3.5GHz帯端末無線部開発に向けた標準化の取組み

3.5GHz帯端末無線部の開発に向けた主な課題として、以下の2点が挙げられる。

- ・3.5GHz帯用フィルタの実現方法
- ・3.5GHz帯を含むCAの実現方法

上記に対してそれぞれ検討を行った。

3.1 3.5GHz帯用フィルタの実現

移動通信では、特定の周波数帯の電気信号を取り出すための“高周波フィルタ”と呼ばれる部品が用いられる。開発当時、3.5GHz帯に対していずれのフィルタ技術を適用すべきかが検討された。移動端末に用いられる主なフィルタ技術としては、

SAW (Surface Acoustic Wave) フィルタ*9、BAW (Bulk Acoustic Wave) フィルタ*10そしてLCフィルタの3種類が挙げられる。現行の移動端末に広く用いられるSAWフィルタは、波長に比例した幅のくし形電極*11を形成することで実現されるが、既存のFDD周波数帯と比較して周波数の高い3.5GHz帯においては、電極幅の狭小に伴う微細加工やパワーアンプから出力される送信電力への耐電力性の課題が存在する。圧電薄膜を用いるBAWフィルタは、微細パターンを必要としないデバイス構造上高周波数化に有利として知られており、良好な帯域外減衰特性を得られる。しかし、現状3.5GHz帯通信帯域の信号損失が大きいため、その低損失化を試みた場合に開発期間の長期化が懸念される。一方、LCフィルタは既存技術で低損失・低コストを維持したまま高周波数化・広帯域化が可能であるため、現時点では本周波数帯への適用に最も適している。しかし、他の2つのフィルタよりも3.5GHz帯域外の干渉信号に対する減衰特性が緩やかであるため、本フィルタを3.5GHz帯に適用した際に3GPPの、帯域外干渉に対する受信規格を一部満足しない課題が存在した。ここで、本規格は既存周波数帯向けの規格を3.5GHz帯にも適用するものであったことから、高周波数化に伴うパルス増加を考慮し、3.5GHz帯標準仕様の最適化がなされた。結果としてLCフィルタにおいても3GPP受信規格を満足することが可能となり、

開発期間短縮と低コスト・低損失な移動端末の開発が実現されている。

3.2 3.5GHz帯を含むCAの実現

3.5GHz帯と既存周波数帯のCAを実現する手段の1つとして、3つの周波数範囲を低損失で分離する3分波器 (Triplexer) を用いる方法が知られている (図1(a))。Triplexerは従来の2分波器 (Diplexer) を3分波に拡張した機能を有するフィルタデバイスであるが、このとき3.5GHz帯側の挿入損失のみならず、既存周波数帯側の損失増加も懸念される。本課題の解決に向けて、フィルタベンダ各社とともにTriplexerの低損失化を検討した。結果として、既存周波数帯への損失増加を必要最低限に抑えつつ、800MHz+3.5GHz、1.5GHz+3.5GHz、1.7GHz+3.5GHzおよび2GHz+3.5GHzでのTDD-FDD CA標準化を実現した。なお、3.5GHz帯と既存周波数帯のCAを実現するその他の手段としては、3.5GHz帯と既存周波数帯のアンテナをそれぞれ分離する方法が存在する (図1(b))。図1(a)、図1(b)は一例でありどのような無線部構成で移動端末を実現するかは各端末ベンダがそれぞれの設計思想に基づき選択することとなる。このとき、アンテナ実装観点を含まない標準仕様上、端末実装を限定しないことが求められる。そのため、3.5GHz帯のフィルタ挿入損失も考慮した図1(a)の構成を前提として、いずれの無線部構成でも達成可能な標準仕様の策定を実施した。

*7 テザリング：スマートフォンを外部モデム (親機) として、ゲーム機器やパソコンなどのいろいろなWi-Fi対応機器 (子機) を親機が接続する携帯電話回線を通じてインターネットに接続させる機能。

*8 Bluetooth®：米国Bluetooth SIG Inc. の登録商標。

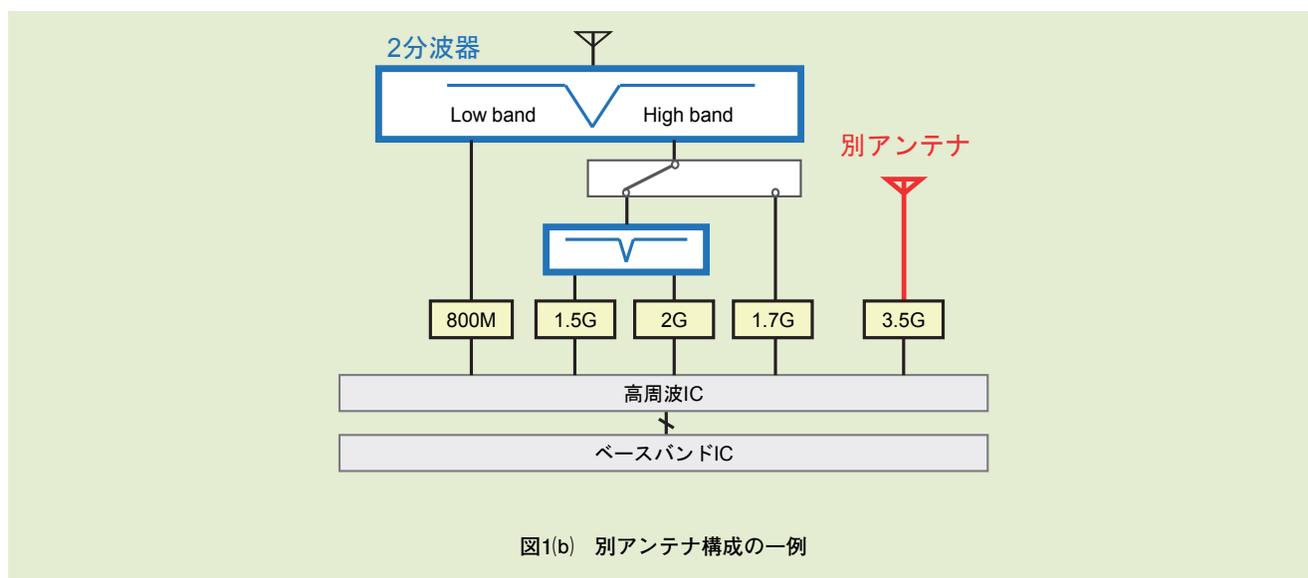
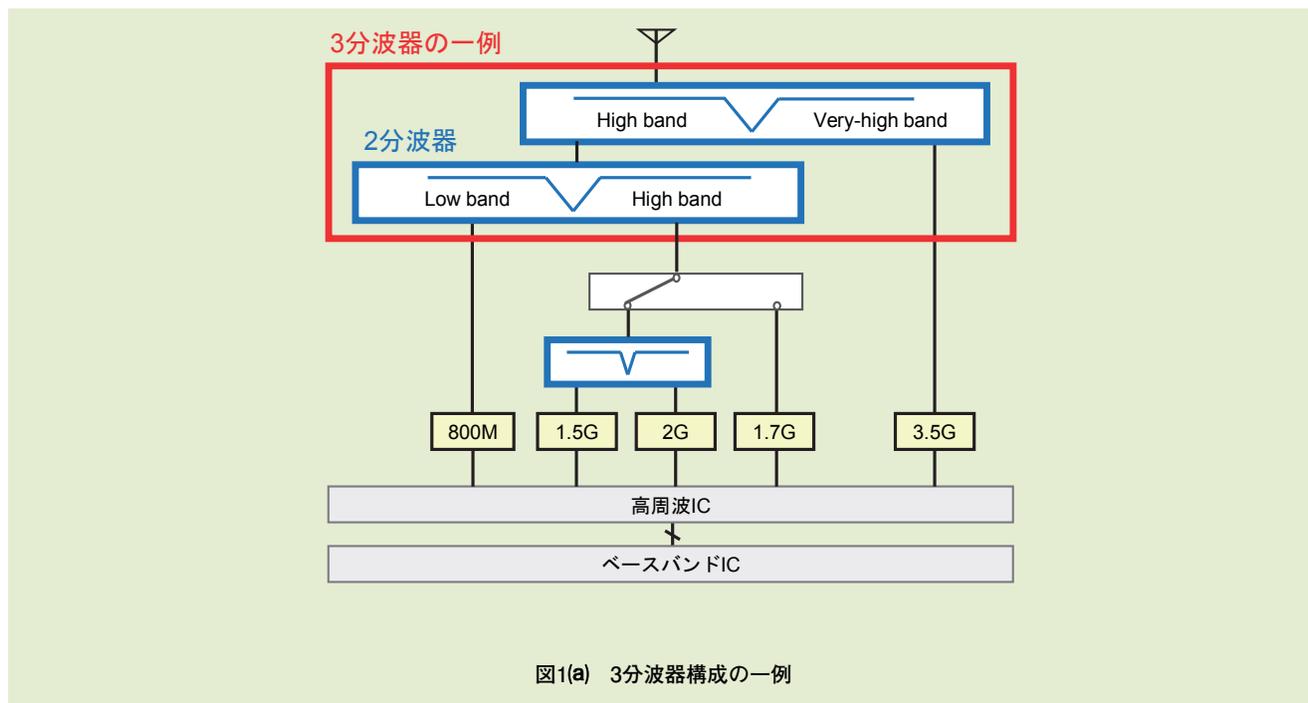
録商標。

*9 SAW フィルタ：表面弾性波 (Surface Acoustic Wave) を利用して特定の周波数帯の信号を取り出す電気素子。

*10 BAW フィルタ：バルク弾性波 (Bulk Acoustic Wave) を利用して特定の周波数

帯の信号を取り出す電気素子。

*11 くし形電極：圧電基板表面に金属薄膜で形成する交差指状電極。



4. 実験室およびフィールド環境における受信速度実験結果

3.5GHz帯TDD方式LTE対応端末の、通信速度を実験室およびフィールド実験において確認した。

まず実験室環境において、最大受信速度の実験を行った。実験には、実際の商用サービスと同じ基地局装置および移動端末を使用した。基地局と移動端末間には有線ケーブルで接続し、干渉や無線品質の変動がない理想的な環境にした。周波数帯域は

1.7GHz帯20MHz幅1CCと3.5GHz帯20MHz幅2CCの合計60MHz幅である。移動端末に向けてデータを転送し、IPレイヤ^{*12}のヘッダを含んだ受信速度を測定した。結果を表3に示す。理論値370Mbpsに対し、最大受信速度は343Mbpsを観測した。

*12 IPレイヤ：OSI参照モデルの第3層に相当し、ルーティングや中継を行う層。ヘッダとして送信元/宛先IPアドレスなどを含む。

表3 受信通信速度の理論値と測定結果 (60MHz幅)

理論値	測定結果 (屋内)	測定結果 (屋外)
370Mbps	343Mbps	340Mbps

次にフィールド実験エリアにおいて、受信速度の検証実験を行った。実験にあたり、3.5GHz帯の電波伝搬状況を調査した。この基地局のカバー範囲において受信品質が良好な場所を選び受信速度の測定を行った。フィールド実験においては、基地局と移動端末は無線で接続され、実験室環境と比べより商用サービスに近い環境となっている。周波数帯域幅は実験室環境と同じである。下り無線品質が良好な場所において、静止

状態で測定した。フィールドにおいても340Mbpsと実験室と変わらない高速な受信速度を観測した。以上から商用サービスの高速化に寄与し得ることが確認できた。

5. あとがき

本稿では、新たに割り当てられた3.5GHz帯を利用しFDDとTDD方式を組み合わせたCAを実現する移動端末の開発について解説した。また、HW-01Hの概要およびその特長につ

いて解説するとともに、標準化の取組みおよびフィールド実験環境における受信速度結果を明らかにした。今後もさらなる通信速度向上をめざし、開発を進めていく。

文献

- [1] 3GPP TS36.101 V12.10.1: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception," Jan. 2016.
- [2] 3GPP TS36.306 V12.7.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities," Jan. 2016.