

PREMIUM 4G特集 —LTE-Advancedの導入—

さらなるLTEの進化，スマートライフをサポートする LTE-Advancedの開発

2015年3月に「PREMIUM 4G™*1」としてサービスを開始したLTE-Advancedは，LTEをベースとして，さらなる高速化と大容量化を実現する携帯電話システムである。ドコモではLTE-Advancedの技術を最大限に活かし，通信速度の向上と無線容量の拡大を実現する「高度化C-RAN」およびLTE-Advanced対応の端末を開発した。高度化C-RANを活用することで，駅周辺や大規模商業施設などの通信量が特に多い地域においても，より快適で安定した高速通信の提供が可能となり，効果的にLTE-Advancedを展開することができる。

無線アクセス開発部 あべ た さだゆき
安部田 貞行
かわはら としろう
河原 敏朗
移動機開発部 ふたかた としゆき
二方 敏之

1. まえがき

スマートフォンが普及し，ソーシャルネットワーク，ビデオストリーミングに代表されるモバイルネットワークの新たな利用などにより，モバイルデータトラフィックが急増している。総務省の報告[1]によれば，日本では直近の約1年間に約1.5倍トラフィックが増加しており，その対策は移動通信事業者にとって共通の課題となっている。

ドコモでは，ユーザ体感の向上，サービスの新たな可能性につながる通信速度の高速化や，増加し続けるトラフィックを収容するために，

2010年12月に，「高速」「大容量」「低遅延」の特長を有するLTEを導入した。LTEの導入により，従来のHSPA (High Speed Packet Access) *2に比べて，約10倍の高速化，約3倍の大容量化に加え，遅延を約1/4に低減することが可能となり，スマートフォンなどの利便性が大幅に向上した。

LTEは2015年3月現在において，約150カ国，300以上のオペレータによって運用されており，これまでに標準化されたどの携帯電話システムよりも，非常に早い速度で世界的に導入されている。このLTEの発展形がLTE-Advancedであり，今後

普及していくであろう重要な技術である。

本稿では，ドコモが2015年3月に「PREMIUM 4G」として商用サービスを開始したLTE-Advancedの技術概要と，複数のセル間でのキャリアアグリゲーション (CA: Carrier Aggregation) を可能とし，モビリティ性能を確保したままスループット向上，容量増加を実現する，新たに開発した高度化C-RAN (Centralized Radio Access Network) の概要について解説する。なお，高度化C-RANの制御，装置，LTE-Advanced対応移動端末技術については，本特集内の各記事で詳細を参

*1 PREMIUM 4G™: NTTドコモの商標。

*2 HSPA: W-CDMAのパケットデータ通信を高速化した規格であり，基地局から移動端末への下り方向を高速化したHSDPA (High Speed Downlink Packet Access) と移動端末から基地局への上り方向を高速化

したHSUPA (High Speed Uplink Packet Access) の総称である。

照されたい[2]～[4].

2. LTE-Advancedの要求条件

LTE-AdvancedはLTEの発展形として、2008年6月に仕様検討が開始され、その要求条件は3GPPのテクニカルレポート[5]にまとめられている。LTEとの共存、LTEからのマイグレーションシナリオ、さらなる性能の向上に加えて、電力や運用のコスト低減などが記載されている。以下にその主要なものの詳細を紹介する。

(1) LTEとの共存

LTEに比較して、さらに高いシステム性能を実現するだけでなく、既存のLTEからのスムーズな移行を可能にすることが求められ、LTEとのバックワードコンパチビリティを保つことが重要な要求条件とされた。ここで、定義されたバックワードコンパチビリティとは、図1に示すようにLTEの端末がLTE-Advancedの

ネットワークに接続できることは当然のこと、LTE-Advancedの端末がLTEのネットワークにも接続することを可能にしつつ、LTE-Advancedのネットワークに接続した場合には、大きな性能向上が実現されることを意味する。

(2)最大データ速度、周波数利用効率、セル端ユーザスループットの向上
LTE-Advancedでは、LTEに対する基本的なシステムの性能向上が要求されている。最大データ速度の要求条件として、下りリンクで1Gbps、上りリンクで500Mbpsと飛躍的な向上が求められた。

一方、周波数利用効率においても、LTEに比べて、約1.5倍程度の改善が要求されている。当時、LTEが承認されたばかりであることを考慮すると、かなり挑戦的な目標であった。

また重要な指標としてセル端のユーザスループットが考慮されている。これは、電波が弱くなり、他の

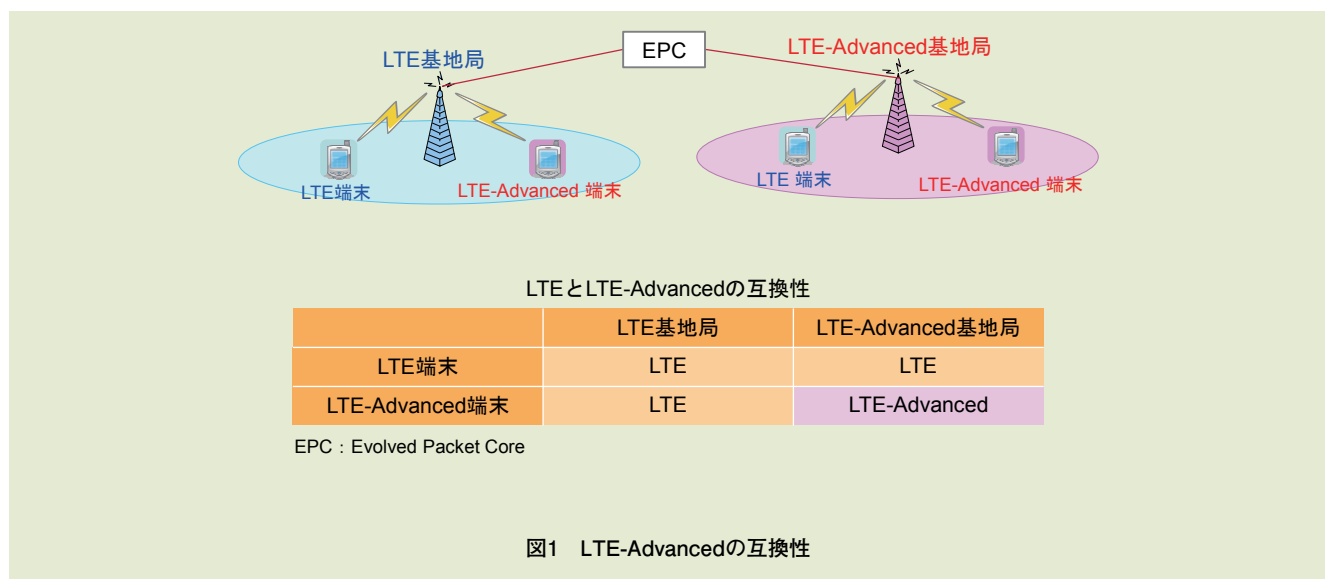
セルからの干渉によって受信品質が劣化するセル端のユーザに対して、十分に満足できるサービスを提供できるかを示す重要なファクタである。LTEでも重要な指標とされたが、LTE-Advancedでは、特にこのようなセル端環境でのスループット改善に向けた技術が検討された。

3. LTE-Advancedの主な技術

LTE-Advancedでは、前記要求条件を満たすために、LTEをベースとして、以下に示すような無線インタフェース技術のさらなる高度化が仕様化された。

3.1 CA

LTEでは、最大20MHzまでの帯域幅において、4×4 MIMO (Multiple Input Multiple Output) *3をサポートすることにより下りリンクで最大300Mbpsを実現しているが、LTE-Advancedでは、下りリンクで1Gbps、



*3 MIMO：複数のアンテナから、異なる信号を、同時に送信することで高速化伝送を実現する技術。

上りリンクで500Mbpsのピークデータレートが要求条件として設定されたため、さらなる広帯域化が必要となる。一方でLTE-Advancedは、LTEとのバックワードコンパチビリティも確保する必要がある。そこで、LTEがサポートする帯域幅のコンポーネントキャリア（CC：Component Carrier）と呼ばれる周波数ブロックを複数組み合わせることにより、広帯域化を実現するCAが仕様化された[6]。CAにより既存LTEとのバックワードコンパチビリティを保ちつつさらなる高速化の実現、ならびに周波数間での瞬時のロードバランシング*4が可能になり、周波数の有効利用を図ることが可能となる。

3.2 マルチアンテナの高度化

LTEでは、下りリンクで最大4レイヤ*5までのシングルユーザMIMO*6多重がサポートされており、上りリンクではMIMO多重はサポートされていない。これに対して、LTE-Advancedでは、ピーク周波数利用効率（Peak Spectral Efficiency）*7の要求条件を満たすため、下りリンク最大8レイヤ、上りリンク最大4レイヤのシングルユーザMIMO多重をサポートした。また、システム容量を向上させるため、マルチユーザMIMO*8が高度化された。さらに、特にセル端ユーザスループットを改善するため、複数のセル間で協調して送受信を行うセル間協調送受信（CoMP：Coordinated Multiple Point transmission and reception）も仕様

化された[6]。

3.3 HetNetにおける基地局間連携

LTE-Advancedでは、無線アクセスネットワーク（RAN：Radio Access Network）*9の低コスト化も重要な要求条件の1つであり、従来のマクロセル*10中心の構成に加え、スモールセル*11基地局などの送信電力の異なるさまざまな形態の基地局を適切に展開し、連携することでコスト低減が期待できる。ヘテロジニアスネットワーク（HetNet：Heterogeneous Network）と呼ばれる構成が注目されている。Het NetではCAと連動した異周波間連携、同一周波数での干渉を低減するeICIC（enhanced Inter-Cell Interference Coordination）などを高効率にサポートする無線インタフェースが仕様化された。

4. 高度化C-RANアーキテクチャの特長

LTE-Advancedの主な技術であるCAを用いることで、さらなる高速化が可能となるが、主要駅周辺などの通信量が非常に多い環境では、容量増大のための技術が特に重要である。このような環境では、周波数を追加してトラフィックを吸収するだけでなく、Het Netとして注目されているスモールセルなどを利用した小セル化により、エリア当りの容量増大を同時に図る必要がある。しかしながら、ユーザの移動に伴い、スモールセル間、あるいはマクロセル—スモールセル間のハンドオーバ

（HO：Hand Over）*12の増加など、接続品質の劣化を伴う可能性がある。

一方、CAの導入によりさらなる高速化や、周波数間のロードバランシングによりユーザスループットの改善が期待できるが、通信量の多い基地局では、CAを行う周波数が隙間なく利用されているため、大幅な周波数利用効率の向上は期待できない。

そこで、マクロセル内に複数のスモールセルを追加（アドオン、以下アドオンセル）し、複数のアドオンセルとマクロセルがCAで連携する高度化C-RANアーキテクチャ（図2）をドコモは2012年3月に提唱[7]し、2013年より開発着手した。

高度化C-RANは、CAおよび、HetNetの特長を活かし、以下の特長を有する。

①CAによる高速化

マクロセル間、マクロセルと複数のスモールセル間のCAを実現し、トラフィック環境に応じた柔軟な高速化を実現。

②従来のマクロセルと同じモビリティ特性

マクロセルとの接続を保ちながらスモールセルを追加削除することで、HOの発生を従来のマクロセルのみと同程度とし、スモールセル環境下でも従来の移動性能を実現。

③アドオンセルによる大容量化

ユーザが多く、トラフィック量の多いエリアに効果的にアドオンセルを配置し、トラフィックのオフロードを実現し、エリ

*4 ロードバランシング：周波数間、あるいはセル間での負荷（ロード）の偏りをユーザを遷移させることで軽減すること。

*5 レイヤ：MIMOにおいて同時に送信するストリームの数。

*6 シングルユーザMIMO：同一時間周波数に

おいて、単一ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。

*7 ピーク周波数利用効率：仕様上実現することのできる最大の周波数利用効率。最大レートの効率。

*8 マルチユーザMIMO：同一時間周波数にお

いて、複数ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。

*9 無線アクセスネットワーク（RAN）：コアネットワークと端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

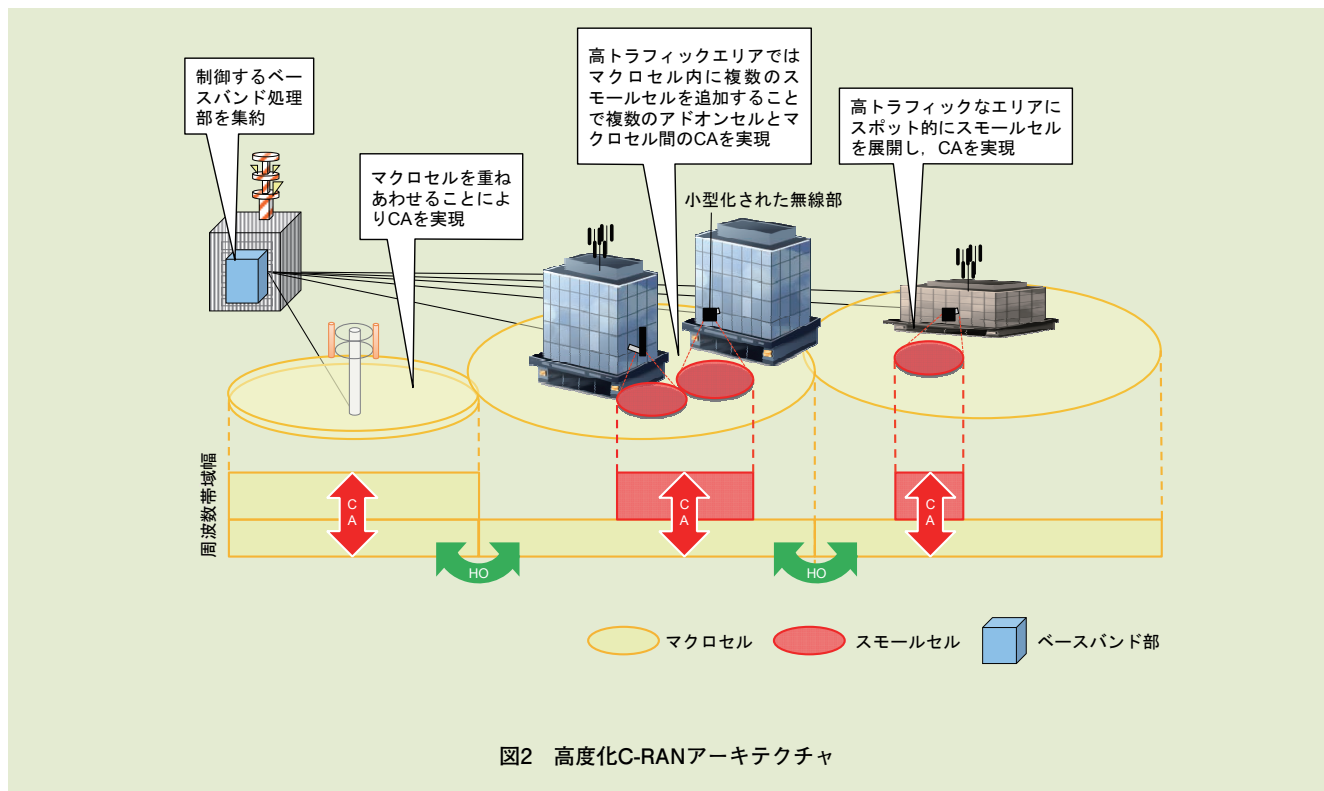


図2 高度化C-RANアーキテクチャ

ア全体の容量を増加することで、マクロセル、スモールセルともにユーザスループットを向上。

5. 展開シナリオ

ドコモでは、LTE向けに、基地局装置を制御するベースバンド^{*13}処理部を集約し、そこから光ファイバで接続された無線部を制御する構成（C-RAN構成）を2009年より運用[8]している。したがって、既存の無線部に手を入れることなく、ベースバンド処理部を高度化C-RANアーキテクチャに対応した新たな装置に置き換えるだけで、前述した特長を活かしたネットワーク構築が容易に実現できる。

また、アドオンセル向けに、従来よりも大幅に軽量化・小型化を行っ

た無線部装置の開発を行っている[3]。従来装置に比べて1/5の大きさに抑えることができおり、無線部の設置条件が緩和され、その適用領域が広がる。

ドコモではすでにLTE向けに4つの周波数を運用しており、これらの周波数を効果的に利用する必要がある。高度化C-RANアーキテクチャでは、周波数ごとに設置される無線部と、それらに共通のベースバンド処理部が独立しているため、どの周波数の組合せでも容易に実現可能である。導入当初は800MHzと1.7GHz、2GHzと1.5GHzの周波数組合せにより30MHz以上の合計帯域を実現し、225Mbps以上の最大スループットを実現した。

今後は3つの周波数の組合せ

（3CC）や、新たな割当てが行われた3.5GHzのTDD（Time Division Duplex）^{*14}との組合せ、MIMOの高度化などを追加していくことで、さらなる高速化、容量増大を実現し、ユーザ体感を向上させていく予定である（図3）。

6. まとめ

本稿では、LTEの発展形であるLTE-Advancedの技術概要、およびLTE-Advancedの特長を最大限に生かすための高度化C-RANの概要について解説した。ドコモでは、ユーザ体感をさらに改善するために、LTEの導入から約5年後の2015年3月に「PREMIUM 4G」としてLTE-Advancedのサービスを開始した。今後は、エリアの拡大、端末ライン

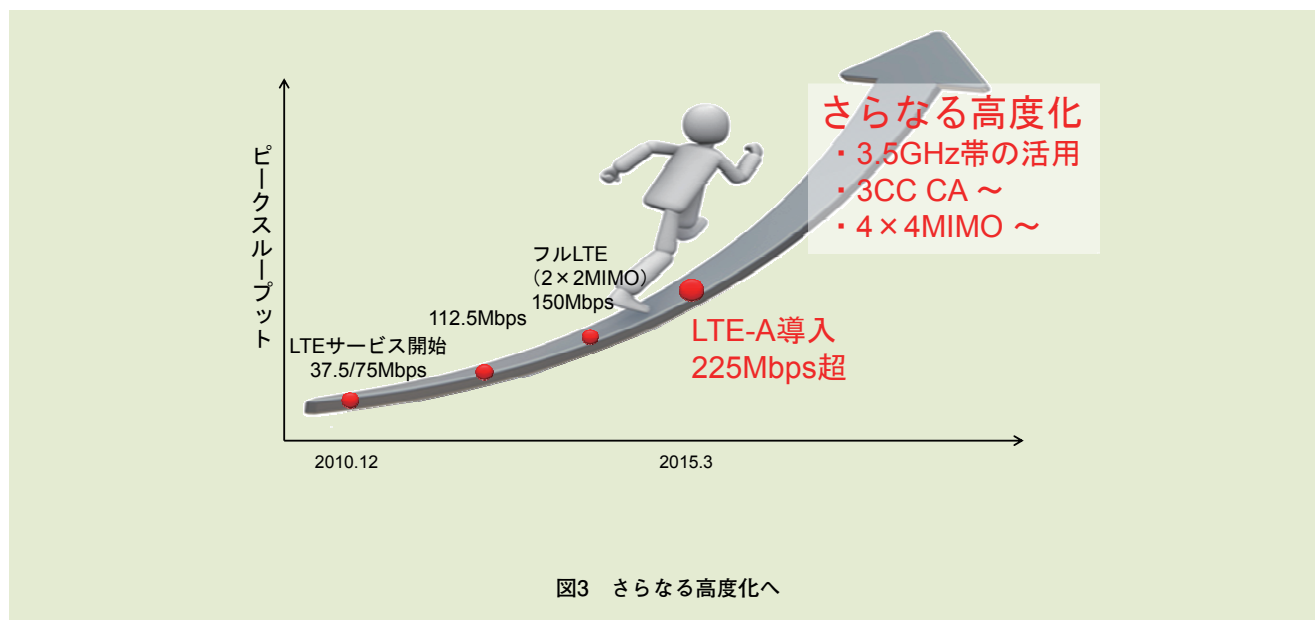
^{*10} マクロセル：1つの基地局がカバーする半径数百メートルから数十キロメートルの通信可能エリア。

^{*11} スモールセル：送信電力が小さく、マクロセルに比較して小さいエリアをカバーするセルの総称。

^{*12} ハンドオーバ（HO）：通信中端末が移動に伴い基地局を跨る際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

^{*13} 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。

^{*14} TDD：双方向の送受信方式の1つ。上りリンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し、異なる時間を割り当てることにより双方向通信が可能。



ナップの充実などを進め、スマートライフのパートナーとして新しい豊かな生活基盤を提供し、社会に役立てることをめざす。

文 献

- [1] 総務省 情報通信統計データベース：“我が国の移動通信トラフィックの現状。”
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/data/gt010602.pptx>
- [2] 清嶋, ほか：“高度化C-RANアーキテクチャを活用したLTE-Advanced商用開発—アドオンセルによる容量拡大と高度なセル間連携による安定した通信の実現—,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.11-18, Jul. 2015.
- [3] 吉原, ほか：“高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.19-24, Jul. 2015.
- [4] 鈴木, ほか：“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,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.25-29, Jul. 2015.
- [5] 3GPP TR36.913 V8.0.1: “Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced),” 2009.
- [6] 3GPP TR36.814 V9.0.0: “Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects,” 2010.
- [7] 安部田 貞行, 新 博行：“超高速ブロードバンドサービスを実現する無線アクセスネットワーク,” 信学会総合大会論文集, Mar. 2012.
- [8] 島津, ほか：“W-CDMA/LTEシステム共用の光張出し無線装置の開発,” 本誌, Vol.18, No.1, pp.33-37, Apr.2010.