

LTE-Advancedのさらなる発展に向けて —Release 12 標準化動向—

# LTE-Advanced Release 12 標準化技術概要

国際標準仕様策定団体である3GPPにおいて、LTEの拡張・発展を実現するLTE-Advancedの標準仕様がRelease 10として策定された。3GPPでは、その後もLTE/LTE-Advancedの機能をさらに高度化する拡張技術の検討が進められ、今般、Release 12の標準仕様に完成させた。本稿は、Release 12で策定された主な機能を解説する。

先進技術研究所 5G推進室      ながた      さとし      たけだ      かずあき  
 永田      聡      武田      和晃  
 無線アクセス開発部      たかはし      ひであき  
 高橋      秀明

## 1. まえがき

W-CDMA<sup>\*1</sup>およびHSPA<sup>\*2</sup>の標準仕様に策定した3GPP (3rd Generation Partnership Project) では、スマートフォンへのユーザニーズの高まりに対応しつつ、より競争力のある移动通信システムの実現をめざして、2008年にLTEの標準仕様にRelease 8として策定した。さらに、市場におけるさらなる性能改善の要求および多様化するサービスに対応するため、2011年にLTEを拡張・発展させたLTE-Advanced<sup>\*3</sup>をRelease 10として策定した。その後も、LTE-Advancedの機能拡張・高性能化を図るため、2012年にRelease 11を、

2015年3月にはRelease 12の標準仕様に完成させた。本稿ではLTE-Advancedの最新標準仕様であるRelease 12について、仕様検討にあたって考慮された背景や、新たに導入された主要機能について解説する。

## 2. Release 12仕様の検討背景

LTE-Advancedの初版標準仕様であるRelease 10では、モバイルトラフィックの増大に対応するため、LTEとの後方互換性（バックワードコンパチビリティ）を確保しつつ最大100MHzの広帯域化を実現するキャリアアグリゲーション（CA：Carrier Aggregation）<sup>\*4</sup>技術や、下

り最大8送信、上り最大4送信をサポートする高度化マルチアンテナ技術に関する仕様が策定された[1]。また、都市部などのトラフィック量の多いエリアに小セルを配置するヘテロジニアスネットワーク（HetNet：Heterogeneous Network）<sup>\*5</sup>向けに、セル間干渉制御技術（ICIC：Inter-Cell Interference Coordination）<sup>\*6</sup>に関する仕様が策定された。さらにRelease 11では、HetNetにおけるセル間協調（CoMP：Coordinated Multi-Point）<sup>\*7</sup>送受信に関する仕様が策定されるとともに、スマートメータ（電気・ガスメータ）などのLTE通信モジュールを搭載した端末通信向けの仕様検討が行われた[2]。

\*1 W-CDMA：広帯域符号分割多元接続方式。  
 \*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、下り（基地局から移動端末）方向を高速化したHSDPA（High Speed Downlink Packet Access）と上り（移動端末から基地局）方向を高速化したHSUPA（High Speed Uplink Packet Access）の総称である。  
 \*3 LTE-Advanced：3GPPにおけるIMT-Advancedの名称。IMT-Advancedは第3世

代移动通信システムであるIMT-2000の後継システム。  
 \*4 キャリアアグリゲーション（CA）：1ユーザの信号を複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより、既存のLTEとのバックワードコンパチビリティを保ちながら広帯域化を行い、高速伝送を実現する技術。

このように近年は、多様化する移動通信市場の動向や要望をかんがみ、標準仕様の検討が行われている。今回のRelease 12で仕様策定した主な機能は、図1に示すように、①ユーザスループット\*8・容量増大のための新技術、②サービス領域拡張のための新技術、③ネットワーク運用経験を踏まえた機能改善、と大まかに分類できる。

### 3. Release 12で策定された新たな機能

前述した標準仕様策定において3GPP参加各社からの関心が高く、活発な議論がなされたRelease 12機能(図1)の概要について、以下、

検討領域ごとに解説する。

#### 3.1 ユーザスループット・容量増大のための新技術

本検討領域では、トラフィック量の多いエリアにおいて、既設のマクロセル\*9とは異なる周波数を用いて小セルを高密度に設置するCAに基づく異周波HetNetシナリオが注目された。これは多くのオペレータが複数の周波数をLTEに利用している状況で、CAによってマクロセルと小セルとの同時通信を確立することにより、カバレッジの小さい高周波数(例えば3.5GHz帯)を効率的に利用する方法とされているのが一因である。3GPPにおいては、異周

波HetNetシナリオに対して、以下に示す6つの技術が高い関心を集め、これらについて仕様が策定された。

##### (1)TDD, FDD間のCA技術

ユーザスループットを向上させる技術として、Release 10においてCAの仕様が策定されたが、CAが可能なLTEキャリアは同一のDuplex方式、すなわち周波数分割複信(FDD: Frequency Division Duplex)\*10間、あるいは時分割複信(TDD: Time Division Duplex)\*11間に限定されていた。一方で、TDD方式のLTEで利用可能な周波数帯が増加している状況を踏まえ、すでにFDD方式のLTEを採用している日米欧のオペレータの要望に基づき、Release 12

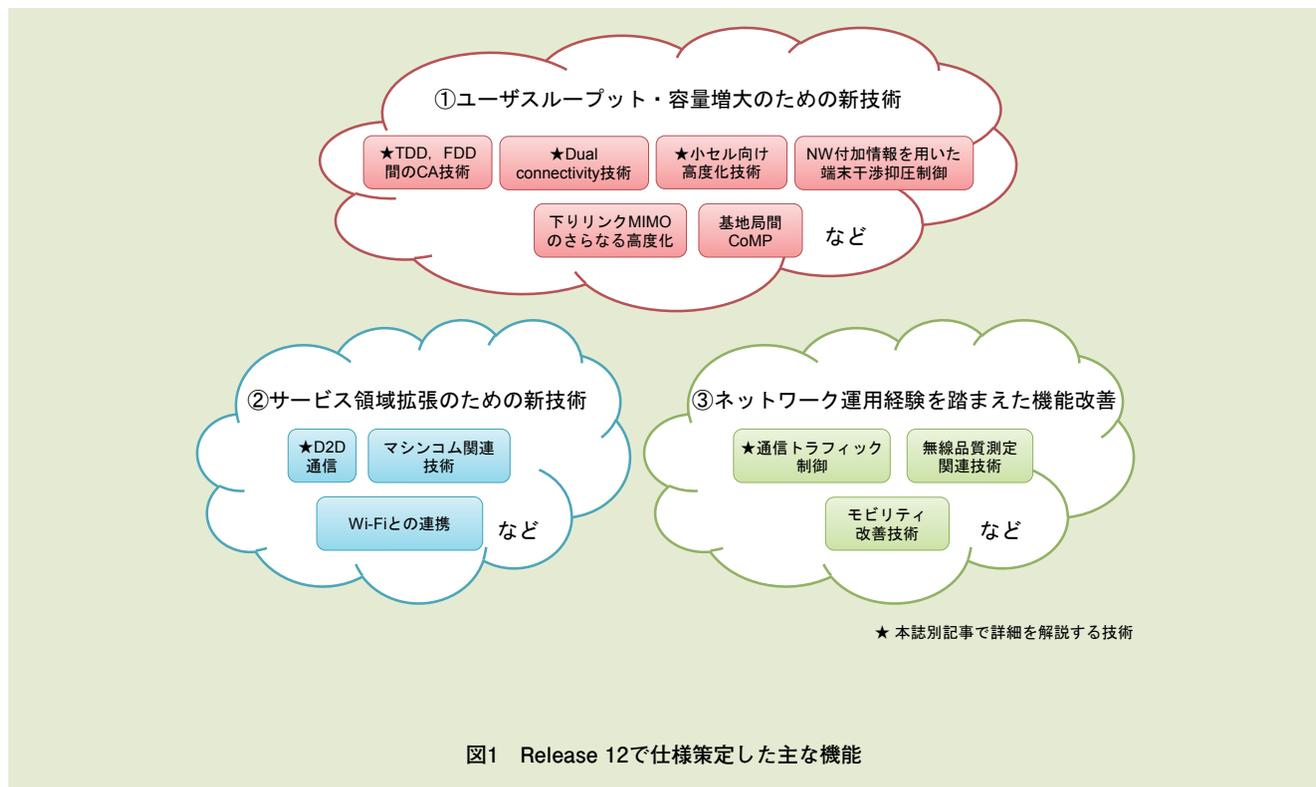


図1 Release 12で仕様策定した主な機能

\*5 ヘテロジニアスネットワーク (HetNet) : 電力の違うノードがオーバーレイするネットワーク構成。従来の基地局に対し、より送信電力の小さいピコ基地局、フェムト基地局、Wi-Fiなど複数テクノロジーが混在、連携、統合化したネットワーク。  
\*6 セル間干渉制御技術 (ICIC) : セル間で異なる時間・周波数の無線リソースを準静的に割り当て、セル間干渉の影響を低減する技術。

\*7 セル間協調 (CoMP) : あるUEに対して、複数のセクタあるいはセルと信号の送受信を行う技術。複数のセルが協調して送受信を行うことにより、他セル干渉低減および所望信号電力の増大を実現する。  
\*8 ユーザスループット : 1ユーザーが単位時間内に誤りなく伝送できるデータ量。  
\*9 マクロセル : 主に屋外を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。通常、鉄塔上やビルの上などにアンテナが設置される。

\*10 周波数分割複信 (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。  
\*11 時分割複信 (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。

においてはFDD周波数とTDD周波数間のCAが導入された。これによりオペレータは異なるDuplex間でのCAによるさまざまな周波数帯の連携が可能となり、さらなるユーザスループットの向上が実現できる。

(2)Dual Connectivity技術

これまでのCAの仕様検討では、同時送信を行う複数のLTEキャリアの運用条件として、同一基地局から送信されているか、異なる基地局間（例えば、マクロ基地局とリモート基地局（RRE：Remote Radio Equipment）<sup>\*12</sup>）の場合には光ファイバで接続されているなど、バックホール<sup>\*13</sup>の遅延が無視できる条件を想定して検討が行われていた。しかしながら、多くの国／地域においては、設置が比較的安価なことから遅延を許容したバックホールで接続した基地局が主に使用されている。このため、各国オペレータからの強い要望により、そうした基地局で提供される複数のLTEキャリアを用いて同時送受信することでユーザスループットの向上を図る技術が、Dual Connectivityという名称で仕様策定された。Dual Connectivityでは、X2<sup>\*14</sup>インタフェースで接続されている任意の2つの基地局間でLTEキャリアの同時通信を行うことが可能となる。これによりオペレータは、よりさまざまな基地局展開シナリオでユーザスループットの向上を実現することができる。

(3)小セル向け高度化技術

さまざまな小セルの設置シナリオ

を検討する中で、高密度に配置された小セル環境を想定した各種技術が、「Small Cell Enhancements (SCE)」として採用された。小セル向けの高高度化技術として、①下りリンクでの256QAMを用いる高次多値変調方式、②CA時にSCell (Secondary Cell)として設定された小セルを対象として、高密度に配置された小セル間の干渉を抑えるためのSmall cell on/offおよびSmall cell discovery技術が行われた。これらの技術を小セル環境で用いることにより、ユーザスループットの向上や容量の増大が期待できる。

(4)ネットワーク付加情報を用いた 端末干渉抑圧制御

干渉抑圧制御については、Release 11では端末側のみで得られる情報を用いた干渉抑圧制御が規定されている。Release 12では、隣接セル情報などの付加情報を基地局から提供することにより、さらなるユーザスループットの向上、容量の増大が可能となる。

(5)下りリンクMIMOのさらなる高度化 ユーザスループット向上・容量増大技術である下りリンクMIMO<sup>\*15</sup>の技術について、さらなる高度化が行われた。Release 12では、4素子の直交偏波基地局アンテナおよびマルチユーザMIMO<sup>\*16</sup>伝送を想定し、Release 8よりも高い分解能を実現するコードブック<sup>\*17</sup>が仕様化された。加えて、チャネル品質情報 (CQI：Channel Quality Indicator)<sup>\*18</sup>など端末か

ら基地局へのフィードバック情報を、システム帯域を複数に分割したサブバンド単位で通知する、新たなフィードバックモードも仕様化されている。

(6)基地局間CoMP

Release 11で仕様化されたCoMPでは、光ファイバなどの遅延が無視できる回線を介して接続されたマクロ基地局／RRE間の協調による、動的なCoMP送受信技術を想定した仕様が策定された。一方、Release 12では、遅延を許容したバックホールで接続された基地局間のCoMP送受信を想定し、バックホールシグナリングに関する仕様が策定された。これにより、セル間干渉に対して準静的な干渉制御が可能となり、特にセル端のユーザスループットを向上することができる。

3.2 サービス領域拡張のための新技術

3.1節で示した携帯電話システムの基本的な性能向上とは別に、端末間 (D2D：Device to Device) 通信技術や、スマートメータなどのマシンコム端末通信、およびWi-Fi<sup>®</sup><sup>\*19</sup>との連携に対する関心が急速に高まっている。

(1)D2D通信

D2D通信の用途として、まず、公共安全 (Public Safety) 無線システムでの利用が想定されている。大規模災害などで基地局が停止した状況や、山岳地帯などの基地局カバ

\*12 リモート基地局 (RRE)：光ファイバなどを使って基地局から離れた場所に設置した基地局アンテナ装置。

\*13 バックホール：コアネットワークから無線基地局への接続経路を指す。

\*14 X2：3GPPで定義されたeNodeB間のリファレンスポイント。

\*15 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。

\*16 マルチユーザMIMO：複数ユーザの信号をMIMO多重伝送することにより、周波数利用効率を向上させる技術。

\*17 コードブック：あらかじめ決められたプリコーディングウェイト行列の候補。

\*18 チャネル品質情報 (CQI)：移動局で測定された下りリンクの伝搬路状況を表す受信品質指標。

\*19 Wi-Fi<sup>®</sup>：Wi-Fi Allianceの登録商標。

レッジ外でも通信手段を提供することを想定し、LTEネットワークとの共存を考慮した端末間の直接通信 (Direct Communication) が仕様策定された。また、D2Dの用途としては、商用利用向けに端末近接度に基づいたサービス (Device to Device proximity services) もあり、これを受け、近接端末の発見技術 (Device discovery) が導入された。

#### (2) マシンコム関連技術

スマートメータなど、WCDMA/HSPAやGSM<sup>\*20</sup>回線を介するマシンコム通信端末を用いたサービスでは、LTEへの移行がさかんに検討されている。ただし現状では、マシンコム通信端末向けLTEモジュールの価格がWCDMA/HSPAやGSMと比較すると高いため、より安価なモジュールの標準仕様策定が望まれていた。そこでRelease 12では、

- ① データレートを最大1Mbpsに制限、
  - ② FDD Half Duplexのサポート、
  - ③ 1アンテナ受信のサポート、
- を特徴としたマシンコム通信端末向けの新たなカテゴリがサポートされた。また、マシンコム通信端末向けに消費電力をさらに低減するPSM (Power Saving Mode) や、通信トラフィック、ハンドオーバー<sup>\*21</sup>の発生頻度を考慮して通信状態持続時間を設定する機能が新たに策定された。

#### (3) Wi-Fiとの連携

Wi-FiをLTEのコアネットワークノードであるEPC (Evolved Packet Core)<sup>\*22</sup>に収容し、一部のトラ

フィックをWi-Fiにオフロードする技術はRelease 8から規定されている。しかし、これまではトラフィック種別や、事前に設定されたLTEとWi-Fiの優先度など、コアネットワーク側で得られる情報だけを用いたトラフィックオフロード制御のみ行われていた。Release 12では、LTEとWi-Fi双方の無線品質、およびWi-Fiの輻輳<sup>\*23</sup>状況を考慮して、LTEとWi-Fiの間でトラフィックオフロードを行う制御技術が策定された。

### 3.3 ネットワーク運用経験を踏まえた機能改善

LTE/LTE-Advancedネットワークにおけるオペレータの運用経験を踏まえた機能改善も実施された。本検討領域で代表的なものは、VoLTE<sup>\*24</sup>を考慮したトラフィック制御技術や、無線品質測定技術、モビリティ改善技術である。

#### (1) 通信トラフィック制御技術

ドコモは、2014年6月より、LTE上で音声サービスを提供するVoLTEを国内でいち早く開始しており、海外事業者でもVoLTEの商用導入が進められている。VoLTEの普及により、データおよび音声のトラフィックに対するより柔軟な規制制御<sup>\*25</sup>を実現することが、オペレータのLTE/LTE-Advancedネットワーク運用において重要となってきている。

このような点を考慮して、Release 12では、新たに、①音声 (VoLTE) トラフィックと、パケットトラフィッ

クを独立に制御する技術 (Smart Congestion Mitigation)、②ユーザー端末が通信状態であっても音声 (VoLTE) 発信の規制を実現する制御技術 (SSAC in connected) が規定された。

#### (2) 無線品質測定関連技術

モバイルトラフィックの増大に対応するため、オペレータがLTE向けに運用する周波数帯が増加している。これにより、端末になるべく多くのLTE周波数を測定させ、常に品質の良い周波数を利用するような運用制御の必要性が、オペレータの間で高まっている。このような背景を受け、Release 12では、端末が同時に測定可能な異周波キャリア数を増やすことが可能となる仕様を策定した。また、無線品質の測定方法として、RSRQ (Reference Signal Received Quality) の測定精度を高めるための仕組みも規定された。

#### (3) モビリティ改善技術

同一周波数を用いるHetNet環境において、ハンドオーバー成功率を向上させるために、セル個別にハンドオーバー関連のパラメータを調整できる機能が規定された。また、待受状態の端末の移動速度 (高・中・低速) とセル在圏履歴を基地局に通知し、モビリティ関連パラメータの調整に用いる仕組みも規定された。

## 4. あとがき

本稿では、LTE-AdvancedのRelease 12の検討背景、および新たに

\*20 GSM: デジタル携帯電話で使用される第2世代の移動体通信方式。

\*21 ハンドオーバー: 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。

\*22 EPC: LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのコアネットワーク。

\*23 輻輳: 通信の要求が短期間に集中して通信制御サーバの処理能力を超え、通信サービスの提供に支障が発生した状態。

\*24 VoLTE: LTE無線を利用しパケット交換技術を用い、音声サービスを提供する機能。

\*25 規制制御: 事故、災害、イベントなどの事象によるS-BE (Satellite-Base station Equipment) の処理異常や輻輳発生およびS-BEのダウン発生時における輻輳状態の

早期復旧のために、移動局の位置登録/発信動作を制限する制御。

導入された主要機能を解説した。本稿で紹介したRelease 12の主要機能のうち、3.1(1)の「TDD, FDD間のCA」[3], 3.1(2)の「Dual connectivity技術」[3], 3.1(3)の「小セル向け高度化技術」[4], 3.1(4)の「ネットワーク付加情報を用いた端末干渉抑制制御」[4], 3.2(1)の「端末間通信」[5], および3.3(1)の「通信トラフィック制御技術」[6]については、本誌の特集記事でより詳細な内容を解説しているので、ご参照いただきたい。

また、現在Release 13の策定に取り組んでおり、LTE-Advancedのさらなる機能拡張を進めていく。

#### 文献

- [1] 中村, ほか: “LTE-Advancedの概要および標準化動向,” 本誌, Vol.18, No.2, pp.6-11, Jul. 2010.
- [2] 武田, ほか: “LTE/LTE-Advanced高度化におけるスマートフォン・マシンコム通信向け無線システム最適化,” 本誌, Vol.21, No.2, pp.18-25, Jul. 2013.
- [3] 内野, ほか: “さらなる高速大容量化

を実現するキャリアアグリゲーション高度化およびDual Connectivity技術,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.35-45, Jul. 2015.

- [4] 武田, ほか: “LTE-Advanced Release 12における高次多値変調／小セル検出／干渉制御技術,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.46-53, Jul. 2015.
- [5] 安川, ほか: “LTE-Advanced Release 12におけるD2D通信の実現,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.54-62, Jul. 2015.
- [6] 青柳, ほか: “LTE/LTE-Advancedシステムにおけるアクセスクラス制御技術,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.63-73, Jul. 2015.