3GPP　Release 13　LTE/LTE-Advanced

Technology Reports

LTE-Advanced Release 13標準化

LTE-Advanced Release 13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要素技術をさらに高度化する拡張技術が継続的に策定されている．本稿では，2016年3月に完成したRelease 13仕様における主な機能を解説する．

先進技術研究所　5G推進室　中村 武宏　永田 聡
無線アクセス開発部　梅田 大將　高橋 秀明
移動機開発部　安藤 桂

1. まえがき

W-CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）[*1]，HSPA（High-Speed Packet Access）[*2]およびLTEの標準仕様を策定した3GPP（3rd Generation Mobile Partnership Project）では，スマートフォンに対するユーザニーズの拡大や，多様化するサービスに対応するため，LTEを拡張・発展させたLTE-AdvancedをRelease 10仕様として策定した．ドコモは2015年3月にLTE-Advancedの技術を用いたサービスPREMIUM 4Gを開始し，世界各国でもLTE-Advanced技術を用いたサービスが展開されつつある．3GPPでは，Release 10仕様策定後もLTE/LTE-Advancedの機能拡張・高性能化を図る仕様策定を継続し，2016年3月に，Release 13の標準仕様を完成させた．本稿では，このRelease 13仕様について，その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概説する．

2. Release 13仕様の検討背景

LTE-Advancedの初版仕様である3GPPのRrelease 10仕様では，LTEとの後方互換性を確保しつつ最大100MHzの広帯域化を実現するCA（Carrier Aggregation）[*3]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].

その後，LTE-Advancedの機能拡張として，Release 11と12の仕様策定が行われ，広帯域化技術，マルチアンテナ技術といった従来の携帯電話を考慮した仕様検討に加えて，スマートメータ（電気・ガスメータ）などの通信モジュールを搭載した通信端末向けの仕様検討も精力的に行われた[2] [3].

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

＊1 W-CDMA：3GPPで策定されている第3世代の移動通信方式.
＊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 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.

Release 13においても，こうした従来の携帯電話の領域に留まらない幅広い範囲の市場動向や要望が考慮され，2014年よりその仕様検討が進められた．Release 13の検討領域は，**図1**に示すように，①新サービス創造のための新技術，②ユーザスループット・容量増大のための新技術，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 13仕様で策定された新たな機能

3.1 新サービス創造のための新技術

昨今のIoT（Internet of Things）[*4]への市場の期待の高まりに応えて，3GPPにおいてもIoT向けデバイスへの通信を提供するための仕様を策定した．また，Release 12仕様で策定した端末間通信技術（D2D：Device to Device）[*5]の機能も拡張された．

(1)マシンコム（カテゴリM1とNB-IoT）

近年，スマートメータ（電気・ガスメータ）などのサービスを対象にしたマシンコム端末についてさまざまな団体で検討が行われている．3GPPにおいてもLTEの端末カテゴリとして，Release 12仕様において①データレートを最大1Mbpsに制限，②FDD（Frequency Division Duplex）[*6]半2重通信（Half Duplex）[*7]のサポート，③1アンテナ受信のサポートを特徴とした低価格なマシンコム端末向けのカテゴリ0が策定された．Release 13仕様ではさらなる低価格化およびカバレッジの拡張を実現すべく，新たに2つの端末カテゴリがサポートされた．

(a)カテゴリM1

1つめは，カテゴリ0の特徴に加えて①端末の送受信帯域幅を1.08MHzに制限，②約15dBのカバレッジ拡張のサポートを特徴とした端末カテゴリ（カテゴリM1）である．送受信帯域幅の制限によるコストの低減効果が大きく，カテゴリ0に比較して端末チップ価格の約50％低減を想定している．

(b)NB-IoT

2つめは，当初GSM（Global System for Mobile communications）[*8]の周波数バンド向けに

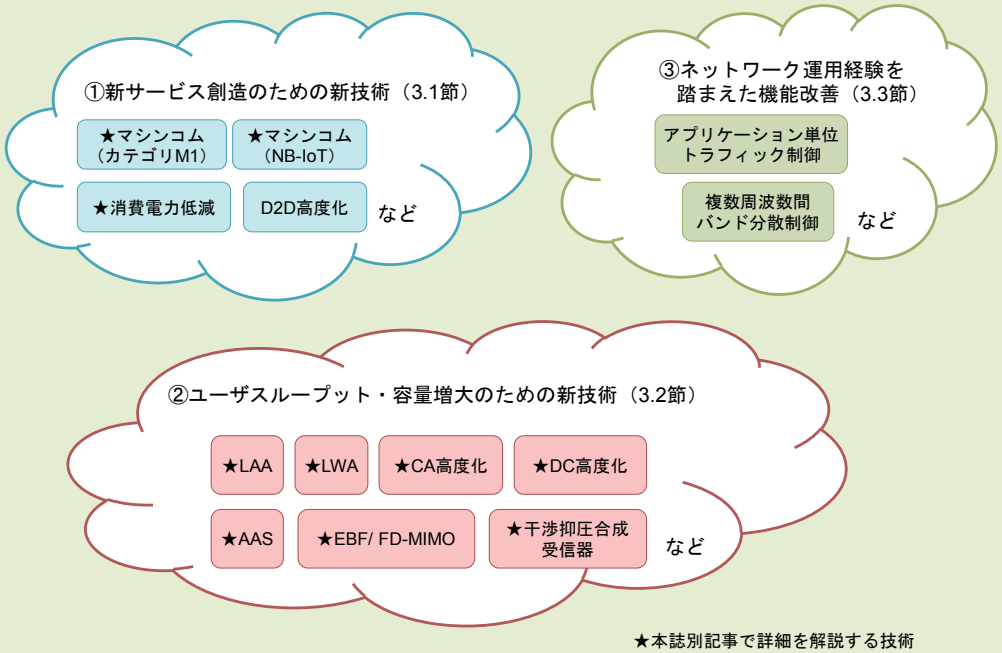

図1　Release 13で策定した主な機能

＊4　**IoT**：さまざまな「モノ」がインターネットやクラウドに接続され，制御・情報通信される形態の総称．

＊5　**端末間通信技術（D2D）**：端末間で直接通信を行う通信技術．基地局カバレッジ外において端末間で自律的に直接通信を行う場合と，基地局内カバレッジにおいて基地局からの制御情報を基に端末間で直接通信を行う場合の双方に対応している．

＊6　**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．

＊7　**半2重通信（Half Duplex）**：一方（例えば基地局）が送信（受信）している間は他方（例えば移動端末）が受信（送信）を行う，同時には一方向のみにしか伝送できない通信方式．

＊8　**GSM**：デジタル携帯電話で使用される第二世代の移動通信方式．

技術検討が行われていたが，LTEの周波数バンドでも使用できるように仕様検討が共通化されたNB（NarrowBand）-IoTカテゴリである．このNB-IoTカテゴリは，①端末の送受信帯域幅を180kHzに制限，②20dB超のカバレッジ拡張のサポートを特徴としている．カテゴリM1に比較してデータレートや周波数利用効率*9が低下するものの，さらなる狭帯域化により端末チップ価格の約25％低減を想定している．

⑵消費電力低減

マシンコム端末向けに消費電力を低減する技術としてPSM（Power Saving Mode）がRelease 12仕様で策定された．PSMは，間欠受信を行わず，無線の機能をほぼOFFにすることで消費電力を大幅に削減できる．一方で，端末向けの着信は周期的に行われる位置登録の契機（通常54分）でしか行えないという課題があった．そこで，着信間隔を短くすることも実現する技術として，待受け中の間欠受信周期を既存の最大2.56秒よりさらに大きくし，最大43分の間欠受信周期を設定できるextended DRX（Discontinuous Reception）*10が策定された．

⑶D2D高度化

Release 12で策定されたD2Dについて，サービス適用領域拡大のための高度化が行われた．

非常時の通信手段としての公共安全用途では，カバレッジ内の端末をリレー局としてカバレッジ外端末のデータを基地局までリレーするUE-to-network relayが策定された．これにより公共安全向け基地局のカバレッジを補完してネットワーク接続性を提供することで投資コストの削減が可能になった．リレー局発見などに適用可能なカバレッジ外での端末発見（D2D discovery）*11も策定されている．

また，商用用途向けにはキャリア間・事業者間のD2D discoveryが策定された．具体的には，接続セル*12の報知を用いた他キャリア用D2D設定の通知，およびD2D discoveryのための送受信の機能の切替えを可能にする制御が策定された．

3.2 ユーザスループット・容量増大のための新技術

3GPPではユーザスループット・容量増大のための新技術を策定している．Release 13仕様での新たな特徴の1つは，アンライセンスバンドを活用する技術が策定されたことである．

⑴LAA

近年，データ通信量の急増により事業者専用に割り当てられた周波数（ライセンスバンド）がひっ迫しつつある．通信事業者の中には，無線局免許が不要な周波数帯（アンライセンスバンド）を用いて，ライセンスバンドがひっ迫しているエリア周辺でデータオフロードにより品質改善に取り組んでいるところもある．そこで，アンライセンスバンドを用いた容量改善の需要に応えるため，3GPPでは，5GHz帯のアンライセンスバンドを従来のライセンスバンドと組み合わせてCAの下りリンク専用SCell（Secondary Cell）*13として利用し，それらの同時通信を行うなど，上記オフロード技術と比較してアンライセンスバンドのさらなる有効活用を促すLAA（Licensed-Assisted Access）技術が策定された．さらに，既存の無線LANや他オペレータLAAなど，他システムと同一周波数上で公平に共存するための技術検討を行ったうえで，Listen-Before-Talk*14に基づくチャネルアクセス技術や，アンライセンス周波数上で効率的なデータ送受信を行うための信号構成などが策定されている．なお，Release 14では，アンライセンスバンドをLTE CAの上下リンク両方でSCellとして利用するための策定検討が行われており，さらなる機能拡張が期待される．

⑵LWA

アンライセンスバンドを用いたユーザスループット・容量増大技術として，LTEと無線LANの無線を束ねるLTE-WLAN Aggregation（LWA）が策定された．通信事業者の中には，無線LAN経由のインターネット接続を提供しており，すでに設置された無線LANアクセスポイント*15を利活用して高速化を図る．LWAは，LTE基地局と無線LANアクセスポイントが物理的に異なる装置の場合，および同じ装置内に実装された場合の両方のシナリオに対応

＊9 **周波数利用効率**：単位時間，単位周波数帯域当りに送信できる情報ビット数．
＊10 **DRX**：端末の消費電力削減を目的とした間欠受信．
＊11 **端末発見（D2D discovery）**：近傍に位置する端末を発見する技術．
＊12 **セル**：セルラ方式の移動通信ネットワークと移動端末との間で無線信号の送受信を行う最小のエリア単位．
＊13 **SCell**：CAにおいてPCellに加えて無線リソースを提供するセル．
＊14 **Listen-Before-Talk**：端末がデータを無線上で送信する前に，他の端末がデータ送信を行っていないかを事前に確認する仕組み．
＊15 **無線LANアクセスポイント**：無線LAN端末がネットワークに参加するために接続する管理ノード．接続した配下の端末の通信を仲介する．携帯電話における基地局に相当する．

している．

⑶CA高度化

①LTEキャリア数の上限拡張

LTEキャリアを最大5つ束ねて同時通信を可能にするCA機能は，Release 10で初めて策定され，Release 12に至るまでさまざまな高度化が行われてきたが，キャリア数の上限は5のままであった．一方，各周波数帯の組合せごとに規定されるCAの，実際のLTEキャリア数がその上限に近づいていったことや，前述のLAAで，100MHz超の周波数帯域が利用可能な5GHzアンライセンスバンドの利用を想定していたことなどを背景に，CAで同時利用可能なLTEキャリア数を拡張し，より高いピークデータレートを達成できるようにすることが求められていた．これを受け，Release 13では同時利用可能なLTEキャリア数の上限を32まで拡張することとなった．

②PUCCHの新規フォーマット規定と新機能導入

従来のCAでは，上り制御信号をPCell（Primary Cell）＊16のみで基地局に送信できたが，同時利用可能なLTEキャリア数の増大に伴い，PCellが扱う上り制御信号の増大が課題として挙げられた．これを解決するため，大容量の上り制御信号を収容できる新規PUCCH（Physical Uplink Control CHannel）＊17フォーマットなどが策定された．また，PUCCHペイロード＊18を拡張するだけではPCellへ負荷が集中することを考慮し，負荷分散も踏まえたソリューションとして，PUCCHをSCell上で送信できる機能も併せて導入された．本機能は，CA時に利用するLTEキャリア数にかかわらず適用できる汎用的な機能であり，LTEキャリア数が今以上に増大した時だけでなく，マクロセル＊19のエリアにスモールセル＊20を重畳したヘテロジニアスネットワーク＊21でのCAの品質向上への貢献にも期待ができる．

⑷DC高度化

異なる2つの基地局から同じQoS（Quality of Service）が要求されるデータを同時に受信する，DC（Dual Connectivity）がRelease 12仕様で策定されたが，下りデータのみ同時受信に対応していたため，Release 13では上りデータにおいても異なる2つの基地局に同時送信する仕様が策定された．また，基地局間で時刻同期をしていない非同期DC運用において，基地局間のSFN（System Frame Number）＊22および無線サブフレーム＊23単位で局間誤差を端末から報告させる仕組みを実現した．Release 12では，ネットワーク側で局間誤差を何らかの仕組みで把握することを前提としていたが，Release 13で端末から報告させる新たな仕組みが導入されたことにより，ネットワーク側で計測することなく，局間誤差を把握することができる．

⑸AAS

基地局において，無線信号の送受信機能とアンテナを一体化させたAAS（Active Antenna System）の仕様検討は，実現性検討（Study Item：Release 11～12），仕様検討（Work Item：Release 12～13）を経て，Release 13にてRF（Radio Frequency）＊24仕様策定が完了した．AASでは，装置の小型化のほか，送受信機能―アンテナ間の同軸ケーブルが不要となることで，ケーブル損失低減による電力効率の向上が期待される．

⒜運用観点における特徴

運用観点では，複数アンテナ間での信号振幅・位相を調整することにより，メインビーム方向を水平／垂直方向に変更することができ，より柔軟なエリア構築が可能となる．さらに，メインビーム方向の異なるマルチビームを形成することで，同一装置で複数セルのエリア化が可能となる．

⒝仕様観点における特徴

仕様観点では，従来の基地局向けのRF仕様とAAS向けのRF仕様では，以下の2点が大きく異なる．

①規定点＊25の違い：従来仕様では1つであり，送受信機能とアンテナの境界点であるコネクタを規定点としていた．一方AAS仕様では，2つの規定点が設けられている．1つめは，コネクタ（AAS仕様ではTABコネク

＊16 PCell：CAにおいてUE-NW間の接続性を担保するセル．

＊17 PUCCH：上りリンクで制御信号を送受信するために用いる物理チャネル．

＊18 ペイロード：通信データのうち，ヘッダなどを除いた本来通信したいデータ本体．

＊19 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，鉄塔上やビルの屋上などにアンテナが設置される．

＊20 スモールセル：送信電力が大きいマクロセルと比較して送信電力が小さいセルの総称．

＊21 ヘテロジニアスネットワーク：電力の違うノードがオーバ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．

＊22 SFN：親局や中継局で用いる電波の周波数を同一にして構成したネットワーク．

＊23 サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位であり，複数のOFDMシンボル（一般的には14OFDMシンボル）から構成される．

タ（Transceiver Array Boundary Connector）と呼ぶ）である．2つめは，アンテナからの電波放射空間上に設けた規定点である．ただし後者の適用は一部特性に限られ，またそれを用いた仕様では，アンテナの放射特性も含めた規定（以下，OTA（Over The Air）*26規定）が制定され，アンテナも含めた基地局トータルでの特性評価が可能となっている．

②conducted規定（送受信機能部からアンテナへの入出力信号の特性規定）での規定単位の違い：従来は1コネクタ当りで無線特性規格を規定していたのに対して，AASでは1TABコネクタ当りの規定に加え，一部規格では複数TABコネクタ総和での規定も存在する．

さらにRelease 14ではすべてのAAS RF規定をOTAで規定するWork Itemの議論が開始されており，基地局トータルの特性担保や試験の簡素化などが期待される．

⑹EBF/FD-MIMO

AAS技術の進歩に従って，MIMO（Multiple Input Multiple Output）*27送信アンテナ数増大や，アンテナ・RF回路の校正精度の向上がより改善されている．Release 13仕様では，基地局において最大16のアンテナを水平および垂直方向に平面配置した状態を想定し，水平および垂直方向のプリコーディング制御を実現する技術（EBF/FD-MIMO：Elevation Beam Forming/Full Dimension-MIMO）を策定した．この技術は，形成されるビームの指向性*28が直交座標系内で3次元に制御されるため，3次元プリコーディングなどと呼ばれる．加えて，MU（Multi User）-MIMO*29伝送における同時多重レイヤ数の増大や，TDD（Time Division Duplex）*30システム運用を想定した，上り伝搬路推定用の参照信号の容量拡大技術などが策定された．

⑺上り干渉抑圧合成受信器

Release 13では上りリンクにおいても，受信機に搭載されている複数の受信アンテナを用いて，隣接セルからの干渉波到来方向に対してアンテナ利得の落込み点を向けることで，干渉電力を抑圧し受信品質を改善する技術が策定されている．

3.3 ネットワーク運用経験を踏まえた機能改善

オペレータのLTE/LTE-Advancedネットワークの運用経験を踏まえた機能改善も，従来の仕様から継続して実施された．

⑴アプリケーション単位トラフィック制御

Release 12仕様までのトラフィック制御技術では，IMS（IP Multimedia Subsystem）*31による音声・ビデオ呼，緊急呼，その他パケットサービスの単位で制御を行っていたのに対し，Release 13ではアプリケーション単位でトラフィック制御を行う技術（ACDC：Application specific Congestion control for Data Communication）が策定された．従来の技術では，同じQoSが要求されるサービスに対して，トラフィック制御を一律に行っていたが，ACDCは，同一QoSの異なるアプリケーション間で異なるトラフィック制御を行うことができる．これにより，通信事業者は，例えば同じパケット通信でも，災害伝言板などの緊急度の高いアプリケーションを，他のアプリケーションより優先することができる．

⑵複数周波数間バンド分散制御

①周波数間セル再選択

世界各国でW-CDMA/HSPAからLTEへのマイグレーションが進むにつれ，LTEを複数の周波数帯で提供する通信事業者が増えつつある．しかし，複数周波数帯で運用する際に，トラフィックが周波数間で均一に分散されず，特定の周波数に偏る場合がある．その解決策として，端末が待受け中に報知情報*32で設定された確率に従い，周波数間でセル再選択を行う技術が策定された．本技術により，通信事業者が設定した確率に従って，端末が各周波数で待受けを行うことができ，通信時のトラフィックを周波数間で分散することが期待される．

②RS-SINR

さらに，端末が測定する無線通信品質の新たな指標として，セル固有の参照信号を用いたRS-SINR（Reference Signal-Signal

＊24 RF：無線通信に使用される周波数，または無線信号の搬送波に使用される周波数．
＊25 規定点：基地局RF仕様が規定されるポイント．
＊26 OTA：アンテナからの電波放射空間上／アンテナへの電波受信空間上に規定点を設け，アンテナからの放射特性／アンテナへの受信特性も含めた規定および測定方法．
＊27 MIMO：複数の送受信アンテナを用いて信号の伝送を行い，通信品質および周波数利用効率の向上を実現する信号伝送技術．
＊28 指向性：アンテナの放射特性の1つで，アンテナからの放射強度（あるいは受信感度）の方向特性のこと．
＊29 MU-IMO：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．
＊30 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．

to Interference plus Noise power Ratio）を新たに策定し，端末から報告させる仕組みも策定した．RS-SINRは，端末の通信を周波数間でハンドオーバ＊33により分散させる場合，ハンドオーバ先で提供可能なスループットを予測する指標として用いられる．RS-SINRを用いることで，従来のRSRQ（Reference Signal Received Quality）＊34と比較し，特に通信品質が比較的良い領域で，高いスループットを実現するハンドオーバ先候補のセルを，より正確に把握することができる．

4. あとがき

本稿では，LTE-AdvancedのRelease 13仕様の検討背景，および新たに導入された主要機能を概説した．本稿で紹介したRelease 13の主要機能のうち，カテゴリM1，NB-IoT，消費電力低減，LAA，LWA，CA/DC高度化，AAS，EBF/FD-MIMO，干渉抑圧合成受信器については，本誌の別記事でより詳細に解説をしているので，ご参照いただきたい[4]～[6]．3GPPでは，Release 14仕様の策定をすでに開始し，今後IoT，アンライセンスバンド向け技術の高機能化を図る仕様を策定する予定である．

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] 中村，ほか：“LTE/LTE-Advanced高度化技術概要，”本誌，Vol.21，No.2，pp.6-9，Jul. 2013.

[3] 永田，ほか：“LTE-Advanced Release 12標準化技術概要，”本誌，Vol.23，No.2，pp.30-34，Jul. 2015.

[4] 武田，ほか：“LTE Release 13におけるIoTを実現する新技術，”本誌，Vol.24，No.2，pp.38-49，Jul. 2016.

[5] 原田，ほか：“LTE-Advanced Release 13における広帯域周波数の活用技術，”本誌，Vol.24，No.2，pp.50-58，Jul. 2016.

[6] 奥山，ほか：“LTE-Advanced Release 13におけるマルチアンテナ送受信および受信機能改善技術，”本誌，Vol.24，No.2，pp.59-68，Jul. 2016.

＊31 **IMS**：3GPPで標準化された，固定・移動通信ネットワークなどの通信サービスを，IP技術やインターネット電話で使われるプロトコルであるSIP（Session Initiation Protocol）で統合し，マルチメディアサービスを実現させる呼制御通信方式．

＊32 **報知情報**：移動端末における位置登録要否の判断に必要となる位置登録エリア番号，周辺セル情報とそのセルへ在圏するための電波品質などの情報，および発信規制制御を行うための情報などを含み，セルごとに一斉同報される．

＊33 **ハンドオーバ**：通信中の端末が移動に伴い基地局をまたがる際，通信を継続させながら基地局を切り替える技術．

＊34 **RSRQ**：セル固有の参照信号の電力と，受信帯域幅内の総電力との比を表す．