

3GPP Release 17における モバイルブロードバンド向け高度化技術

2020年3月、NTTドコモは3GPP Release 15 (Rel-15) 仕様を用いた5G通信サービスを開始しました。5G通信サービスは今後の普及拡大に伴い、さらなる無線通信ネットワークの高速大容量化が求められます。このため、3GPPにおいて、Rel-15/Rel-16仕様を機能拡張・高性能化するRel-17仕様が2022年6月に策定されました。本稿では、Rel-17における高速大容量化技術の無線アクセス仕様を解説します。

まつむら 松村	ゆうき 祐輝	しばいけ 芝池	なおや 尚哉
くりた 栗田	だいすけ 大輔	おはら 小原	ともや 知也
おくま 小熊	ゆうた 優太	わたなべ 渡邊	そうき 壮輝
おおかわ 大川	りき 立樹	たかみや 高宮	こうたろう 康太郎

NTTドコモ

はじめに

2020年3月、NTTドコモは3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 15 (Rel-15) 仕様で策定されたNR (New Radio)*¹を用いた5G通信サービスを開始しました。Rel-15仕様は、高速・大容量という特長を持ち、これによりさまざまな5G通信サービスが可能となりましたが、今後の5G通信サービスの普及拡大に伴い、さらなる無線通信ネットワークの高速・大容量化が求められています。これを踏まえ、3GPPにおいて、Rel-15/Rel-16仕様の機能を拡張・高性能化するRel-17仕様が、2022年6月に策定されました。

高速・大容量化

■ MIMO 高度化

- (1) 異なるセルIDのTRP (Transmission and Reception

* 本特集は「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.3, 2022年10月)に掲載された内容を編集したものです。

Point)*²間のMulti-TRP
Rel-15では、下りリンクデータ共有チャネル (PDSCH: Physical Downlink Shared CHannel)*³において、基地局側は1つの送受信点を用いる、最大8 MIMO (Multi Input Multi Output) レイヤ*⁴のシングルユーザMIMO*⁵がサポートされました。Rel-16では、基地局側が同一の物理セルID (PCI: Physical Cell Identifier)*⁶の2つのTRPを協調し、最大8 MIMOレイヤのPDSCHを分散MIMO*⁷ (Multi-TRP) 送信する機能が仕様化されました。分散MIMO送信により、相関の低い無線伝搬経路数を増加させ、より高次ランクのMIMO送信を適用可能にし、システム容量およびユーザスループットを改善できます。しかしながら、実環境のFR2 (Frequency Range 2)*⁸運用を想定すると、Rel-16のMulti-TRP技術には課題がありました。

Rel-15においては、1つのセル当たり最大64個のSSB (Synchronization Signals/physical broadcast

channel Block)*⁹が仕様化されており、基地局は、最大64個のSSBビームによってそれぞれカバーされるエリアが互いに重複しないようにSSBを

- *1 NR: 5G向けに策定された無線方式規格。4Gと比較して高い周波数帯 (例えば、3.7 GHz帯や4.5 GHz帯、28 GHz帯) などを活用した通信の高速・大容量化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信を可能にします。
- *2 TRP: 基地局において、1つの場所に設置された、1つまたは複数の送受信アンテナポートの集合。1つの場所に設置された送受信アンテナポートのみを用いる基地局構成をシングルTRPと呼び、複数の場所に設置された送受信アンテナを用いる基地局構成をマルチTRPと呼びます。
- *3 下りリンクデータ共有チャネル (PDSCH): ユーザデータや上位レイヤからの制御情報を送信するための物理チャネル。
- *4 MIMOレイヤ: MIMOにおける空間ストリーム。
- *5 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。
- *6 物理セルID (PCI): 物理的なセル識別子。NRでは、1008通りのPCIが繰り返し利用されます。
- *7 分散MIMO: 場所の離れた複数の基地局送受信アンテナポートを用いて異なるMIMOストリームを1つのUEに送信してMIMO伝送を行う技術。
- *8 FR2: 24.25~52.6 GHzの周波数帯域。
- *9 SSB: 基地局が定期的に送信する、通信に必要なセルの周波数と受信タイミングなどの検出を行うための同期信号および主要無線パラメータを通知する報知チャネル。

送信することで、セルのカバレッジを最大化できます(図①)。しかしながら、Rel-16 Multi-TRP機能を使うためには、基地局は、各TRPのSSBビームがカバーするエリアがそれぞれ重複するようにSSBを送信しなければなりません。このとき、図②に示すように、Rel-15 Single-TRPのネットワークと比べてカバレッジが縮小します。

そこで、Rel-17では、異なるPCIのTRP間でMulti-TRPを用いたPDSCHの協調送信を行う機能が仕様化されました。これにより、2つのTRPがそれぞれのSSBビームを重複するようにSSBを送信しても、Rel-15と同等のカバレッジを維持でき、FR2におけるMulti-TRP運用の課題を解決できます(図③)。

■52.6~71 GHz帯への周波数拡張

さらなる通信速度向上および通信容量拡大のため、Rel-17では52.6~71 GHz帯を新たなNR利用可能周波数帯としてFR2-2と定義し、その帯域におけるNR運用に必要な技術がRel-15およびRel-16機能をベースに仕様化されました。具体的な新機能として、この帯域を利用する際の課題となる位相雑音^{*10}や伝搬損失^{*11}を解決するため、Rel-15 FR2ですでにサポートされていた120 kHzに加えて、新たに480および960 kHzのサブキャリア間隔をサポートしたことが挙げられます。その結果、コンポーネントキャリア^{*12}当り最大2 GHzの帯域幅が設定可能となりました。また、52.6~71

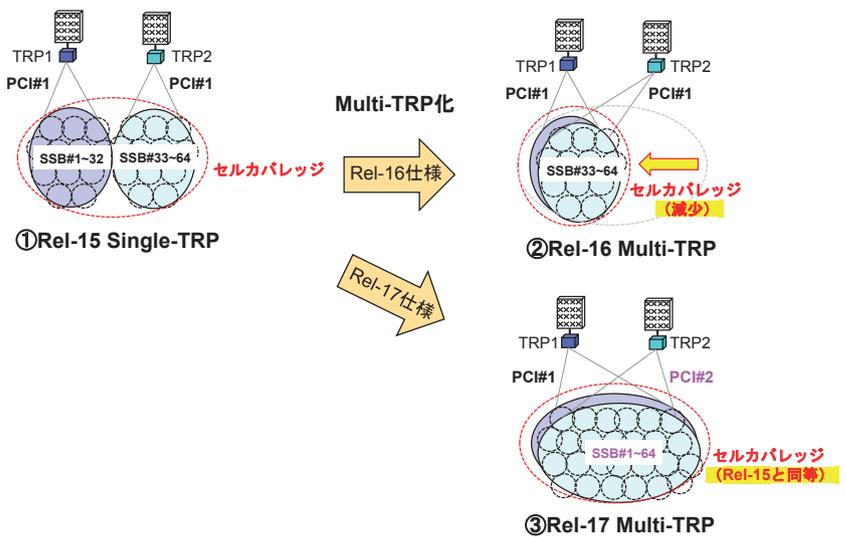


図 Single-TRP運用からMulti-TRP運用への進化

GHz帯はアンライセンスバンド^{*13}を含むことから、地域ごとの法規制に準拠するための機能として3種類のチャネルアクセス(LBT: Listen Before Talk^{*14})を規定しました。具体的には、ヨーロッパの法規制⁽¹⁾に準拠したType 1、日本などの地域での高効率な共存を目的としたType 2、LBTの不要な地域での運用を意図したType 3の3種類が規定されました。さらに、52.6~71 GHz帯で伝搬損失の影響を考慮して、これらのチャネルアクセスにおける受信ビーム^{*15}へのビームフォーミング^{*16}の適用をサポートしました。

■MR-DC 拡張技術

Rel-17では、MR-DC (Multi-Radio Dual Connectivity)/CA (Carrier Aggregation) 処理遅延の低減やUE (User Equipment) の消費電力削減を目的として、①SCG (Secondary

Cell Group)^{*17}の非アクティブ化、②PSCell (Primary Secondary Cell)^{*18}の追加と変更の信頼性・堅牢性向上、および③Temporary RS

*10 位相雑音：局部発信信号における搬送波周波数以外の周波数成分によって発生する位相変動。
 *11 伝搬損失：送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量。
 *12 コンポーネントキャリア：使用される搬送波を1つの周波数ブロックとしたもの。LTEは最大20 MHz、NRはFR1は最大100 MHz、FR2は最大400 MHz。
 *13 アンライセンスバンド：運用するにあたり免許を必要としない周波数帯域。
 *14 LBT：デバイスがデータを無線上で送信する前に、他のデバイス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 受信ビーム：ビームフォーミングを受信時にも適用することで、特定方向から到来する信号電力を増加・低下させる受信動作。
 *16 ビームフォーミング：送信信号に指向性をもたせることで、特定方向の信号電力を増加・低下させる技術。
 *17 SCG：DC中の基地局の内、MNではない基地局(SN: Secondary Node)配下のセルグループ。
 *18 PSCell：DC中のSCGに含まれるセルのうち、接続を担保するセル。

(Reference Signal)^{*19}を用いたSCellの迅速なアクティブ化の技術拡張を行いました。

(1) SCGの非アクティブ化

SCGのトラフィックが少ないときにSCGをdeactivated状態に遷移させる(非アクティブ化する)仕様が策定されました。SCG deactivated状態のときは、UEはSCGを経由してデータを送受信せず、副ノードセルの物理レイヤ^{*20}の品質測定を設定次第で省略することが可能であるため、UEとネットワークの消費電力を低く抑えることが期待されます。

(2) PSCellの追加と変更の信頼性・堅牢性向上

Rel-17ではCPC(Conditional PSCell Change)の機能向上が行われました。従来のCPCは副ノードのみ開始可能でありましたが、主ノード・副ノードのいずれからも開始することが可能となりました。さらに、PSCellの追加において、CPCのように複数の候補セルと実行条件を設定するCPA(Conditional PSCell Addition)が新たに規定されました。CPCやCPAは通信品質の変化が激しい環境において、UEが最新のmeasurement結果に基づき、迅速にPSCell addition/changeを実施することで、信頼性・堅牢性が向上します。

(3) Temporary RSを用いたSCellの迅速なアクティブ化

MAC(Medium Access Control)レイヤにて、アクティブ化

するSCellとTemporary RSの組を指定する新たなMAC CE(Control Element)を導入しました。新たなSCellアクティブ化スキームでは、基地局は当該MAC CEを送信した直後にTemporary RSを送信します。UEは、指定されたTemporary RSをCSI測定およびAGCに用いることによって、定期的に送信されるSSBの到来を待つ必要がなくなり、より迅速にSCellをアクティブ化することが期待されます。

■FR2帯どうしのキャリアアグリゲーション

5Gで新規導入されたFR2帯におけるキャリアアグリゲーションについて、Rel-16ではDL向けに、28 GHz帯と40 GHz帯の2つの周波数帯を束ねるキャリアアグリゲーションが仕様化されました。Rel-17では、28 GHz帯どうし、あるいは、40 GHz帯どうしの2つの帯域を束ねるDLのキャリアアグリゲーションが仕様化され、より多様な周波数帯の組合せに対応できるように拡張されました。

また、ULのさらなる広帯域通信実現のため、28 GHz帯と40 GHz帯の2つの周波数帯を束ねるULキャリアアグリゲーションも仕様化されました。NTTドコモは、日本国内における追加周波数の割当て対象として40 GHz帯が検討されている点をかながみて、割当済みの28 GHz帯と40 GHz帯を束ねるキャリアアグリゲーションの仕様化を3GPPにおいて推進しました。なお、現状では、消費電力と発熱

の観点を考慮し、ULキャリアアグリゲーションについては、スマートフォンなどの携帯用UEではなく、FWA(Fixed Wireless Access)^{*21}などサイズの大きなUEへの適用が想定されています。

カバレッジ拡大

■物理チャネルのカバレッジ性能改善

無線通信システムのカバレッジ性能は、基地局の置局密度やコスト、UEの接続安定性などに影響するため、重要な要素の一つとして挙げられます。Rel-17ではカバレッジ性能評価が実施され、改善が必要なチャンネルを特定するとともに、以下のカバレッジ改善技術を策定しました。

(1) PUSCH repetition type A^{*22}の改善

最大繰返し送信回数の増加、Available UL slot^{*23}に基づく繰返し送信の導入により実効的な繰返し送信回数の増加を可能としました。

(2) PUSCHの複数スロットにま

*19 Temporary RS：迅速なSCellのアクティブ化を指示するMAC CEにおいて指定される参照信号。

*20 物理レイヤ：無線信号伝送のため、無線周波数キャリアの変調や、符号化データ変調などの処理を行うレイヤ。

*21 FWA：無線通信規格の一つで、固定無線アクセスシステムを指します。携帯用UEとは異なり固定されて使用する想定のため、一般的に、携帯用UEと比較して大きなデバイス容積で実装しやすくなっています。

*22 PUSCH repetition type A：Rel-15で規定されたPUSCHのスロット単位の繰返し送信。

*23 Available UL slot：PUSCHもしくはPUCCHの送信が可能なULスロット。

たがるTB (Transport Block) 送信

複数のPUSCHスロットで1つのTB送信を実現することで符号化利得の向上を可能としました。

(3) PUSCH および PUCCH (Physical Uplink Control Channel) *²⁴における復調参照信号 (DM-RS : DeModulation RS) *²⁵のバンドリング

基地局は複数スロットに配置されるDM-RSを用いてチャンネル推定することにより、チャンネル推定の精度向上を可能としました。

(4) Msg3 (Message3) *²⁶ PUSCHの繰返し送信

最大8回の繰返し送信が導入され、基地局の受信SNRの向上を可能としました。

(5) PUCCHにおける繰返し送信回数の動的な通知

UEのチャンネル品質などに応じた動的な繰返し送信回数の指示を可能としました。

■ NR Repeater

5Gエリアのさらなるカバレッジ拡大に資する装置として、NR Repeaterの仕様が規定されました。NR Repeaterは、無線基地局装置とUEの間で送受信される電波の増幅中継を行うRF RepeaterをNR向けに拡張したものです。基地局対向リンク(上りリンク)とUE対向リンク(下りリンク)を持ち、それぞれのリンクに対して各無線特性要件が規定されました。利用可能な周波数帯は、5G無

線基地局装置用に規定されている全周波数帯のうち、アンライセンスバンドと前述したFR2-2以外のFDD・TDDバンドをすべて対象としています。なお、受信した信号の復号や復調を行わずに電波の増幅中継のみを行うことを前提に検討がなされているため、制御信号に基づいて各UEに対して好適なビームを設定する適応ビームフォーミング制御は、想定されていません。

■ FR1 High power UE

FR1におけるULのカバレッジ拡大のため、UEの送信電力を向上する技術(High power UE)が期待されています。Rel-17において、Rel-16以前で規定済のUEの最大送信電力から2倍まで引き上げる技術や、従来TDDバンドのみ導入されてきたHigh power UEの機能をFDDバンドに導入する新機能が議論され、High power UEの機能拡張が行われました。

単一キャリア送信におけるUE送信電力について、Rel-16以前においては、スマートフォンなど携帯用UE向けの最大出力は最大23 dBmのパワークラス3、あるいは最大26 dBmのパワークラス2が規定されてきました。今後のさらなるカバレッジ拡大のために、パワークラス2よりもさらに2倍の大きな電力(29 dBm)で送信可能なパワークラス1.5の規定が導入されました。

また、パワークラス2について、従来ではTDDバンドに限定されてきましたが、Rel-17では新規にFDDバンドにも導入されました。

UE消費電力削減

■ 待受け状態のUE消費電力削減

NR SA (Stand Alone) 運用における待受け状態のUEは一定周期ごとにページングメッセージの監視が必要であり、その受信に必要な時間・周波数同期およびAGCを行う必要があります。その際に無線品質などに応じて複数の参照信号が必要となり、SSBの送信周期である数10 msごとにUEがwake upしなければなりません。SSBの送信周期間では十分なスリープ時間が確保できないことで電力効率が悪く、消費電力効率の悪化が見込まれるため、上記課題の解決にあたって以下機能がRel-17で追加されました。

(1) ページングの早期通知 (Paging early indication)

待受け状態のUEは、自身宛のページングメッセージの有無が事前には分からないため、ページングの早期通知を行うことにより、事前にページングメッセージの有無をUEに通知し、不必要な時間・周波数同期およびAGCを削減することでUE消費電力の改善を可能としました。

(2) 待受け状態UE向けTRS (Tracking Reference

*24 PUCCH: 上りリンクで制御情報を送受信するために用いる物理チャンネル。

*25 復調参照信号 (DM-RS): 下り・上りリンクの送受信データを復調する際に用いられるチャンネル推定用の参照信号。

*26 Msg3: ランダムアクセス手順においてMsg2を受信した移動局が送信するネットワークへ接続を要求する情報。

Signal)^{*27}の通知

Rel-16ではTRSは接続状態のみに利用可能でしたが、Rel-17では待受け状態においても利用可能となるように、報知情報^{*28}によりTRS関連情報が通知可能となったため、時間・周波数同期およびAGCにおいてSSBに加えてTRSを活用することで、SSBのみで同期を行う場合と比較してUE消費電力の削減が可能となりました。

■接続状態のUE消費電力削減

接続状態のUE消費電力削減について、FR2運用における下り制御信号モニタリングの削減および物理リンク監視・ビーム障害検出測定の緩和の観点から、以下の機能がRel-17で追加されました。

(1) 下り制御信号モニタリングの削減

FR2運用ではスロット長が短くなるため、一般には単位時間当りの下り制御信号モニタリングの回数が増加することになります。そこで、ユーザデータの送受信がないことが見込まれる場合に、不要な下り制御信号モニタリングを削減するために以下の機能が導入されました。

① 下り制御信号モニタリングスキップ：基地局は、UEに下り制

*27 TRS：主に同期処理などに用いる参照信号。
 *28 報知情報：移動UEがセルへの接続手順を実施するために必要となる規制情報、共通チャネル情報、ランダムアクセスチャネル情報などを含み、セルごとに一斉回報されます。
 *29 サーチスペースセットグループ：UEが下り制御信号の復号を試みる領域群（サーチスペースセット）が複数含まれるグループ。

御情報を用いて、指定した期間の下り制御信号モニタリングのスキップを通知することが可能となり、UEのスリープ期間を確保することでUE消費電力の削減が可能となります。

② 下り制御信号モニタリング設定の動的切替え：基地局は、UEに下り制御情報を用いてサーチスペースセットグループ^{*29}の切替えを指示することが可能となり、サーチスペースセットに紐付く下り制御信号モニタリング設定を動的に切り替えることが可能となりました。例えば、トラフィック状況などに応じて高頻度もしくは低頻度なモニタリング周期を設定することで、不要な下り制御信号モニタリングを減らしUE消費電力削減が可能となります。

(2) 物理リンク監視・ビーム障害検出測定の緩和

FR2運用では小さいセル半径やビームフォーミングの活用により、物理リンク障害の発生やビーム切替えが頻繁に発生する可能性があります。そこで、低速で移動するUEや受信品質が良好なUE向けに、物理リンク監視・ビーム障害検出測定にかかわる規定を緩和することで、消費電力削減を可能としました。

おわりに

本稿では、Rel-17 NR仕様の高速・大容量化、カバレッジ拡大、端末消費電力削減向けの主要機能を解説しまし

た。本稿で解説した機能をはじめとしたRel-17 NRの機能を用いることで、5G NRの通信ネットワークのさらなるユーザエクスペリエンス向上が期待できます。NTTドコモは、3GPPにおける5G標準化推進に寄与しており、今後も5G標準化のさらなる発展に貢献していきます。

■参考文献

- (1) ETSI EN302 567 V2.2.1 : "Multiple-Gigabit/s radio equipment operating in the 60 GHz band ; Harmonized Standard for access to radio spectrum," July 2021.



(上段左から) 松村 祐輝 / 芝池 尚哉 / 栗田 大輔 / 小原 知也
 (下段左から) 小熊 優太 / 渡邊 壮輝 / 大川 立樹 / 高宮 康太郎

NTTドコモは、グローバルベンダとともに5Gの高度化を通じた通信ネットワークのユーザエクスペリエンス向上に貢献し、地球のあらゆるところで、いつでも、誰もがつながることのできる世界を実現します。

◆問い合わせ先

NTTドコモ
 R&D戦略部
 E-mail dtj @nttdocomo.com