

3GPP Release 17における 5G無線の高度化技術概要

6G-IOWN推進部

はらだ ひろき
原田 浩樹くまがい しんや
熊谷 慎也

移動機開発部

おはら ともや
小原 知也

無線アクセス開発部

たにぐち まさと
谷口 真人しもだいら ひでかず
下平 英和

3GPPにおいて、5G向けに新たな無線アクセス技術であるNRの標準仕様がRel-15として策定された後、その拡張技術としてRel-16仕様が2020年6月に策定された。さらなるRel-15/Rel-16仕様の拡張として、3GPP Rel-17の仕様検討が2019年12月より開始され、2022年6月に仕様策定が完了した。本稿では、Rel-17仕様における5G無線の高度化技術について概説する。

1. まえがき

5G向けの新たな無線アクセス技術であるNR (New Radio)*¹について、3GPPにおけるRelease 15 (以下、Rel-15) およびRel-16の仕様策定では、モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand)*²向けの無線技術やそのさらな

る高度化、高信頼・低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communication)*³向けの高度化や、産業分野でのIoTを促進するIIoT (Industrial IoT)*⁴といった新規事業を創出するための拡張技術が規定された。

Rel-17は、これまでのリリースで規定されたMIMO (Multiple Input Multiple Output)*⁵機能やURLLC

©2022 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*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、6GHz帯以下や28GHz帯) を活用した通信の高速化や、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する。

*2 モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB): 高速大容量を必要とする通信の総称。

*3 高信頼・低遅延通信 (URLLC): 低遅延かつ、高信頼性を必要とする通信の総称。

*4 IIoT: 工場などにおける機器のネットワーク接続など、産業分野向けのIoT。

向け機能などのさらなる拡張が行われたことに加え、さらなる伝送速度の高速化のための52.6~71GHzまでの周波数帯のサポート、さらなるエリア拡大に向けた衛星を活用した非地上ネットワーク（NTN：Non-Terrestrial Network）*6のサポート、5Gユースケース拡張のための簡易NR端末カテゴリ（RedCap（Reduced Capability）*7）の追加などにより、5Gが新たな価値を提供することへ貢献している。Rel-17で仕様化した主な機能を図1に示す。本稿では、これらのRel-17で仕様化された主な拡張技術と、その検討で考慮された背景を概説する。

2. Rel-17仕様における5G無線の高度化技術

2.1 モバイルブロードバンド向け高度化技術

(1)DC（Dual Connectivity）*8およびCA（Carrier Aggregation）*9向け機能拡張

(a)DCにおける端末消費電力削減

Rel-16以前の3GPP（3rd Generation Partnership Project）*10仕様では、SCell（Secondary Cell）*11 deactivationと呼ばれる消費電力低減機能が利用可能である。この機能は、CA中において、利用するデータ量が一時的に少ない場合などに、

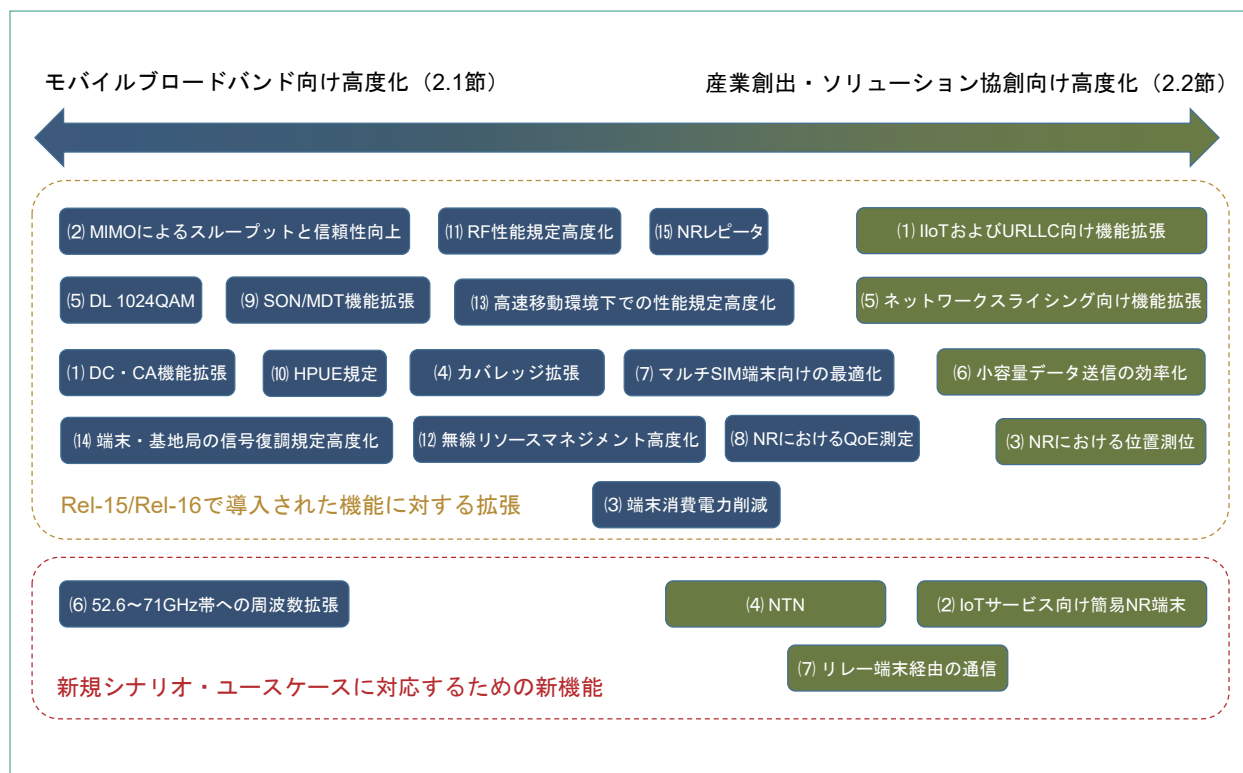


図1 Rel-17で仕様化した主な機能

*5 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。
 *6 非地上ネットワーク（NTN）：衛星やHAPSなどの非陸上系媒体を利用して、通信エリアが地上に限定されず、空・海・宇宙などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワーク。
 *7 RedCap：Rel-17 NRにおいて導入された簡易端末カテゴリの名称で、通常のNR端末よりサポートする送受信アンテナ数や帯域幅を減らすことでデバイスの複雑さを低減する。

*8 DC：1つの端末が複数の基地局に異なる周波数帯を用いて接続する技術。
 *9 CA：1つの基地局でサポートされる複数のキャリアを用いて同時に送受信を行うことにより、高速伝送を実現する技術。
 *10 3GPP：移動通信システムの規格策定を行う標準化団体。
 *11 SCell deactivation：CA中に利用する複数のキャリアのうち、接続を担保するキャリア（PCell、PScell）ではないキャリアを非アクティブ化することで、UEとNWの消費電力を低減する技術。

CAのSCellで行う処理を一時的に限定（非アクティブ化）することで、消費電力を低減するものである。DCにおいても、SCellにはSCell deactivationが適用可能であるが、Rel-16の仕様においては、PSCell（Primary SCell）*12は非アクティブ化できず、PSCellにNRの高い周波数を用いる場合などにおいて消費電力の低減ができない課題があった。

Rel-17では、PSCellも含めDCの副ノードのセル全体（SCG（Secondary Cell Group）*13）を非アクティブ化するSCG deactivation*14機能が追加され、DCにおいても高い消費電力削減効果を得られるようになった。

(b)DC・CAの処理遅延の低減

Rel-16では、DC時のPSCell同士の切替遅延の削減や切替え時の通信の信頼性向上のため、あらかじめ切替え先のPSCell候補と切替えを実施するための電波品質の条件をUE（User Equipment）*15に通知しておくCPC（Conditional PSCell Change）*16と呼ばれる技術が盛り込まれた。

Rel-16では、変更元・変更先のPSCellが同一の基地局に属している場合のみCPCに対応していたが、Rel-17では異なる基地局のセル間でCPCを行うことが可能になった。また、DCの開始をCPCと同様にあらかじめ決められた候補セル・条件で行うCPA（Conditional PSCell Addition）の機能がRel-17で盛り込まれ、DC開始の遅延低減が可能になった。

CAの観点では、非アクティブ化したSCellを再度アクティブ化する際に、UEがネットワークから送信されるTRS（Tracking Reference Signal）*17を用いることで時間・周波数同期*18

などの処理を高速化させ、SCellのアクティブ化の遅延を低減する機能改善も行われた。

(2)分散MIMOによるスループット*19と信頼性向上

Rel-16 NRにおいて、同一セルの基地局の複数アンテナパネルあるいは送受信点を用いて、下りユーザデータを分散MIMO*20送信し、高次ランクの利用や、信頼性の向上を可能にする機能が規定された。

Rel-17 NRにおいて、基地局の2つの異なるセルの送受信点を用いて、下りユーザデータを分散MIMO送信することが可能になった（図2）。これにより、分散MIMOの適用可能なシナリオを拡大でき、実行スループットや信頼性の向上を実現できる。

また、上りユーザデータや上り物理レイヤ制御情報を、UEが複数の送受信点に向けて繰り返し送信する機能も仕様化された。これにより、UEと片方の送受信点との間のチャネルの品質が劣化した場合も、もう片方の送受信点との間のチャネルを用いて信号送信できるので、上りリンク*21の信頼性を向上できる。

(3)端末消費電力削減

端末消費電力の削減は、ユーザエクスペリエンス*22を向上させる重要な要素の1つである。Rel-16では主にconnected-mode時の端末の消費電力削減が可能な機能が規定された。Rel-17ではさらに、NR SA（Stand Alone）*23運用におけるidle/inactive-mode時の端末の消費電力削減、FR2（Frequency Range 2）*24運用におけるconnected-mode時の端末の消費電力削減、Rel-16 UE assistant情報*25の有効活用といった観点で、Rel-16における課題を解決するための技術拡張を行った。

idle/inactive-mode時の端末消費電力削減機能としては、paging*26の早期通知、idle/inactive-mode

*12 PSCell：DCまたはMR-DCにおいてセカンダリ基地局でサポートされるコンポーネントキャリアの中で、接続を担保するコンポーネントキャリア。

*13 SCG：DC中の基地局の内、端末と接続の確立を実施しない基地局（SN：Secondary Node）配下のセルグループ。

*14 SCG deactivation：SCGを非アクティブ化することで、UEとNWの消費電力を低減する技術。

*15 UE：3GPPに準拠した機能をもつ移動機。

*16 CPC：PSCell Change実施方法の1つ。PSCell Change実施時に指示するのではなく、あらかじめ切替え先と切替え条件をネットワーク側からUEに事前通知を行う。

*17 TRS：下りリンクにおける時間および周波数の変動をトラッキングする際に用いられる参照信号。

*18 周波数同期：時刻を刻む速度が装置間で一致している状態。

*19 スループット：単位時間当りに、誤りなく伝送される実効的なデータ転送速度。

*20 分散MIMO：複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つのUEに送信してMIMO伝送を行う技術。

*21 上りリンク：端末からネットワーク方向への情報の流れ。

*22 ユーザエクスペリエンス：製品やサービスなどを使用・消費・所有した際に、ユーザが体験できる内容。

*23 SA：スタンドアロン方式。端末が単独の無線技術を用いて移動通信網に接続する形態。

*24 FR2：3GPPにおいて規定されている周波数バンドについての分類。FR2：24,250～52,600MHz。

*25 UE assistant情報：基地局の適切なスケジューリングなどに活用するために伝送される端末の状態や端末からの要求に関する情報。

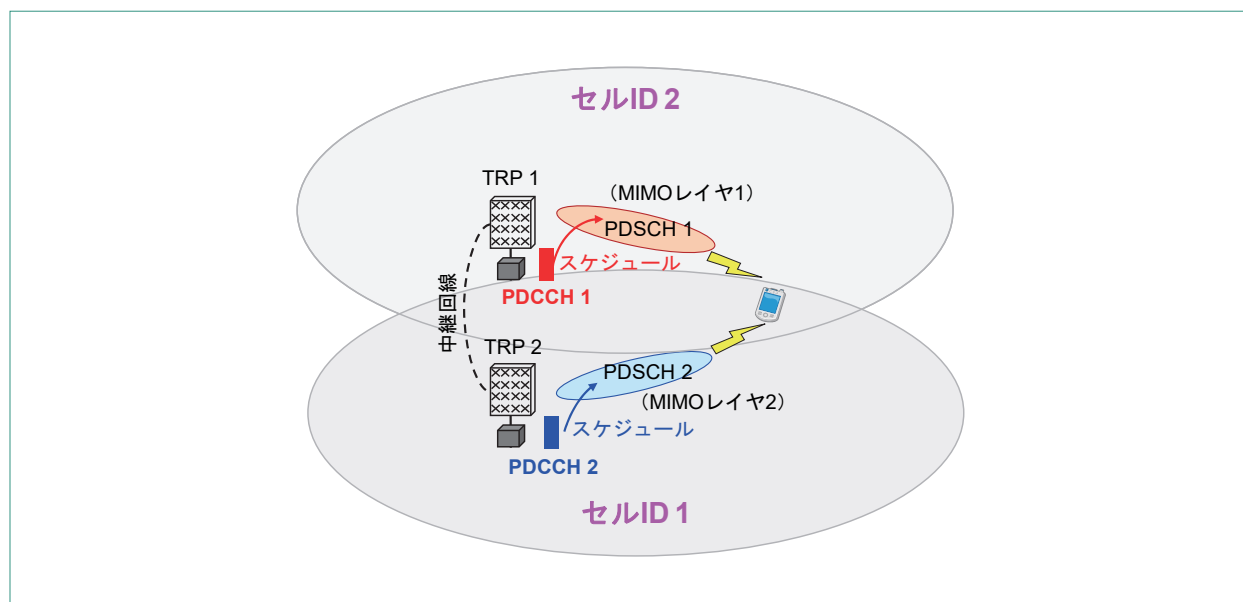


図2 Rel-17における2つのセルを用いた分散MIMO送信

時の端末向けTRS通知の機能が導入され、connected-mode時の端末消費電力削減機能としては、制御信号モニタリングのスキップ、制御信号モニタリング設定の切替え、物理リンク監視/ビーム障害検出測定を緩和する機能が導入された。

(4)カバレッジ*27拡張

ネットワークサービス*28を提供する上で、カバレッジ特性はネットワーク品質や、CAPEX (CAPital EXpenditure)*29、OPEX (OPerating EXpense)*30などに影響を及ぼすため、重要な要素の1つとして挙げられる。Rel-15において時間領域*31の繰返し送信や周波数領域*32のアグリゲーションなど、カバレッジ特性の向上に寄与する技術が規定された。一方、NRはLTEと比べて高い周波数帯が使用されており、高い周波数ほど伝搬損失*33が増大するためカバレッジ特性の検証が重要となる。そこで、Rel-

17ではカバレッジ特性の検証が実施された。その結果、PUSCH (Physical Uplink Shared CHannel)*34、PUCCH (Physical Uplink Control CHannel)*35、およびMsg3 PUSCH*36が、カバレッジ特性の改善が必要なチャンネルとして特定され、これらのチャンネルのカバレッジ改善技術が導入された。

PUSCHを改善するために、繰返し送信回数を増加させ、また、Available UL (UpLink) スロット*37に基づく繰返し送信を導入することにより、実効的な繰返し送信回数を増加させた。加えて、複数スロットにまたがるTB (Transport Block)*38送信が導入された。例えば、サービスエリア端のUEは低いMCS (Modulation and Coding Scheme)*39でPUSCHを送信する事が考えられるが、小さなサイズのTBのデータを細切れに送信する必要が生じるため符号化利得の観点で効率が悪い。従って、複数

*26 Paging：着信時に待受け圏中の端末を呼び出す手順および信号。自身宛のpagingメッセージの有無が事前には分からないため、pagingの早期通知を行って不要な同期処理などを削減することで端末消費電力の削減が可能。

*27 カバレッジ：携帯電話などの無線通信において、電波の送受信が可能なエリア。

*28 ネットワークサービス：通信ネットワークを用いて、ユーザに情報通信やサービスを提供すること。

*29 CAPEX：設備投資のために支出する金額。

*30 OPEX：設備を維持し運用するために発生する費用。

*31 時間領域：信号などの解析において、その信号が各時間においてどのくらいの成分をもっているかを示すのに用いられる。時間領域の信号をフーリエ変換することで周波数領域の信号に変換することができる。

*32 周波数領域：信号などの解析において、その信号が各周波数においてどのくらいの成分をもっているかを示すのに用いられる。周波数領域の信号を逆フーリエ変換することで時間領域の信号に変換することができる。

*33 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。

*34 PUSCH：上りリンクでデータを送受信するために用いる共有チャンネル。

*35 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ンネル。

*36 Msg3 PUSCH：ランダムアクセス手順において、UEのPRACH送信に対してスケジューリングされる上りデータチャンネル。

*37 Available ULスロット：PUSCHやPUCCHが送信可能なULスロット。

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た。PUCCHの改善技術として、繰返し送信回数の動的な通知が導入され、UEのチャ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た。Msg3 PUSCHの改善技術として、最大8回の繰返し送信が導入され、基地局の受信SNR (Signal to Noise Ratio)^{*40}の向上を可能とした。

PUSCHとPUCCHの共通の改善技術として復調用参照信号 (DM-RS: DeModulation Reference Signal)^{*41}のバンドリング^{*42}が導入された。Rel-15/Rel-16では、PUSCH/PUCCHリソース内に配置されるDM-RSを用いてチャネル推定が行われる。一方、図3に示す通りUEが定められた区間内で一定の電力かつ連続性をもつ位相でDM-RSを送信することで、基地局は複数スロットに配置されるDM-RSを用いてチャネル推定することにより、チャネル推定^{*43}の精度向上を可能とした。

(5)DL (DownLink) 用 1024QAM (Quadrature Amplitude Modulation)^{*44}

データ変調はDL/UL共に256QAM^{*45}がRel-16 NR

までに使用可能となっていた。これに対してRel-17 NRでは、さらなる高速化・周波数利用効率^{*46}向上を目的として、かつLTEですでに仕様化済みの機能でありNRにおいてもサポートされるべきとして、DL向けに1024QAMが導入された。1024QAMはSINR (Signal to Interference plus Noise power Ratio)^{*47}が十分に大きく、端末移動が全くないまたははばない環境でのみ適用可能となるため、主にFWA (Fixed Wireless Access)^{*48}などの静的なリンクを想定した機能である。1024QAM対応のために、CQI (Channel Quality Indicator)^{*49}tableおよびMCS tableの追加や、新規MCS tableに対応するPT-RS (Phase-Tracking Reference Signal)^{*50}の周波数・時間リソース内の密度決定方法の仕様化が行われた。

(6)52.6~71GHz帯への周波数拡張

Rel-16以前の3GPP仕様では、0.41~7.125GHz帯 (FR1^{*51}) および24.25~52.6GHz帯 (FR2) が使用周波数として規定されている。Rel-17では、WRC (World Radiocommunication Conference)^{*52-19}において66~71GHz帯がIMT向け周波数として合意

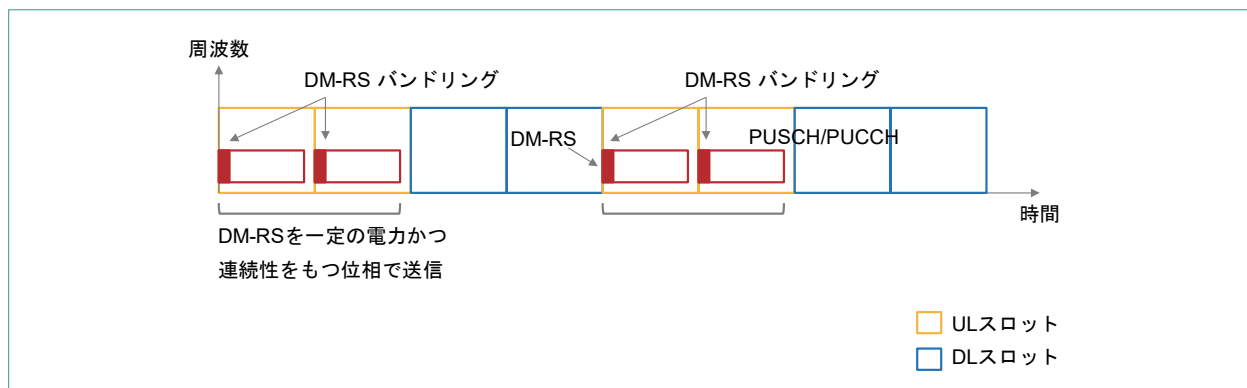


図3 DM-RSバンドリングの概要

*38 TB: データ伝送などの処理を行う際の基本単位。
 *39 MCS: 適応変調を行う際にあらかじめ決めておく変調方式と符号化率の組合せ。
 *40 受信SNR: 所望波信号の受信信号電力と雑音電力の比。
 *41 復調用参照信号 (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ネル推定用の参照信号。
 *42 バンドリング: 複数の機能や要素を組み合わせて動作させること。
 *43 チャネル推定: 信号が無線チャネルを経由した際に受けた減衰量および位相回転量などを推定すること。得られた推定値 (チャネル情報) は、受信側でMIMO信号分離や復調などに用いられるほか、送信信号の最適化のためにも用いられる。
 *44 1024QAM: 変調方式の種類。1024QAMは振幅と位相が異なる1,024通りの信号点に情報ビットを変調する。1回の変調で10

ビットの情報を伝送することができる。
 *45 256QAM: 変調方式の種類。256QAMは振幅と位相が異なる256通りの信号点に情報ビットを変調する。1回の変調で8ビットの情報を伝送することができる。
 *46 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。
 *47 SINR: 所望波信号の受信信号電力と、それ以外の干渉波信号と雑音電力の和の比。
 *48 FWA: 屋外の固定された基地局と端末の間で行われる無線通信。
 *49 CQI: 端末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。
 *50 PT-RS: 高い周波数帯で課題となる位相雑音の推定を目的とする参照信号。

されたこと、および57~66GHz帯のアンライセンス帯域を用いるIEEE 802.11ad/ay^{*53}の標準化が完了したことを受けて、新たに52.6~71GHz帯を使用周波数として規定し、当該周波数帯域にてNRを動作させるために必要な機能をサポートした。これにより、通信容量のさらなる拡大が可能となった。

新たにサポートされた機能として、高いSCS (SubCarrier Spacing)^{*54}や広いチャネル帯域幅の新規サポート、アンライセンス帯を使用する際に必要なチャネルアクセス手法のサポート、端末の制御チャネル・データチャネル送受信時の信号処理にかかる負荷の増大を回避する手法のサポートなどが挙げられる。

(7)マルチSIM (Subscriber Identity Module) 端末^{*55} 向けの最適化

すべてのSIMで同時に通信を行うことができないマルチSIM端末においては、あるSIMで通信をしながら、時折別のSIMで別のネットワークの着信を待ち受けるなど、限られた送受信回路で複数のネットワークとの通信を行う必要がある。これまでは端末の実装によりこの課題を解決していたが、端末の振舞いをネットワークの動作と協調させることでパフォーマンスを改善することを目的に、Rel-17ではマルチSIM端末向けの機能が標準化された。

Rel-17で規定された機能として、それぞれのSIMと通信を行うネットワーク間のpagingの衝突回避、別ネットワークへの通信切替え（通信中であるネットワークとの通信の終了や、間欠的な通信休止）を補助する機能、UEがあるSIMで通信中に別のSIMへの音声着信に応答できるようpagingが音声着信か否かを通知する機能が挙げられる。

(8)NRにおけるQoE (Quality of Experience)^{*56}測定

Rel-15 LTEにおいて、ビデオストリーミングなどのサービスのアプリケーションレイヤにおける品質 (QoE) をUEが測定し、ネットワークに報告する機能が規定されている。Rel-17では、NRにもストリーミング・音声通話・VR (Virtual Reality)^{*57}のアプリケーションレイヤにおけるQoEを測定する機能が盛り込まれた。Rel-17特有の機能として、ネットワークスライシング^{*58}におけるスライスごとのQoE測定機能や、QoE測定結果をRAN (Radio Access Network)^{*59}が参照可能な形で報告することで、RANの最適化を補助する機能なども追加された。

(9)SON (Self-Organizing Network)^{*60}/MDT (Minimization of Drive Test)^{*61}機能拡張

Rel-16でNRにおいても基本的なSON/MDTの機能が盛り込まれたが、Rel-17では、LTEに盛り込み済みでNRでは未提供の機能への追従や、NR特有の機能を考慮したSON/MDTの機能拡張が行われた。具体的には、セルカバレッジの最適化、PCI (Physical Cell ID)^{*62}の衝突回避、成功したハンドオーバー (HO: HandOver)^{*63}における切替先基地局の潜在的な問題に関する情報の収集、EN-DCにおけるNRセルの自動休止・起動、LTE・NRセル間の負荷分散、Rel-16で規定されたCHO (Conditional HO)^{*64}やDAPS (Dual Active Protocol Stack)^{*65} HOの失敗時の情報収集などのための機能拡張が行われた。

(10)HPUE (High Power UE)^{*66}規定

一般的なHandheld UE^{*67}の送信電力は、PC3 (Power Class 3)^{*68}として最大23dBmで規定されているが、それよりも3dB大きな電力で送信可能なPC2の規定もHPUE規定としてこれまでに導入され

*51 FR1 : 3GPPにおいて規定されている周波数バンドについての分類。FR1 : 450~6,000MHz。

*52 WRC : 各周波数帯の利用方法、衛星軌道の利用方法、無線局の運用に関する各種規定、技術基準などをはじめとする国際的な電波秩序を規律する無線通信規則の改正を行うための会議で、各国主管庁およびITUに登録している事業者などの関係団体が出席し、通常3~4年ごとに開催される。

*53 IEEE 802.11ad/ay : 60GHz帯を利用する無線LANの規格。

*54 SCS : 端末との通信を終端し、M2Mアプリケーションを実装する装置。

*55 マルチSIM端末 : UEのうち、1台で複数のSIMを利用することができる端末。

*56 QoE : ユーザの体感から導き出されるサービス品質。

*57 VR : まるであたかも仮想世界にいるかのように錯覚を与える技術。

*58 ネットワークスライシング : 5G時代の次世代ネットワークの実現形態の1つ。ユースケースやビジネスモデルなどのサービス単位で論理的に分割したネットワーク。

*59 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。

*60 SON : eNB設置時の自動設定やパラメータの自動最適化などを含む、無線ネットワーク自己最適化機能の通称。

*61 MDT : 3GPPにて標準化されている、通信中の無線切断やHOの失敗など、端末からネットワークに対して事象の発生した位置情報やその原因などを通知し、QoEを収集する技術。

*62 PCI : 物理的なセル識別子。NRでは1,008通りのPCIが繰返し利用される。

*63 ハンドオーバー (HO) : 端末とネットワーク間の通信を継続したまま、通信セル/基地局の切替えを行う通信技術。

てきた。PC2は、Rel-16まではEN-DC (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network New Radio Dual Connectivity)^{*69}のみが対象となっていたが、Rel-17において対象シナリオがNR-CA^{*70}およびSUL (Supplementary UpLink)^{*71}にも拡張され、対象についてもTDD (Time Division Duplex)^{*72}のみではなくFDD (Frequency Division Duplex)^{*73}バンドも含める拡張がなされた。また、PC2よりもさらに3dB大きな電力で送信可能なPC1.5の規定もn77^{*74}、n78およびn79を対象として導入がなされた。既存の電波防護指針を前提とした規定であるため、適切なDuty cycle^{*75}を設けるなどの制限はあるものの、対象となるUEは、高い電力での送信が比較

的容易なFWAのみではなくHandheld UEも含まれている。これら機能により、広いユースケースにおいてULカバレッジ拡大効果が期待される。

(1)RF (Radio Frequency)^{*76}性能規定高度化

FR1について、UEのRFのアーキテクチャの高度化に合わせて、限られたRF chain^{*77}をより品質の良いCarrier/MIMOレイヤ数で利用するためのTx antenna switching^{*78}の、Rel-16からのさらなる高度化がなされた。また、intra-band UL CA時のHPUE規定、およびUL MIMO適用ケースへの拡張がFR1を対象になされた。拡張された機能を図4に示す。具体的には、Rel-16のTx antenna switchingでは片方のCarrierで1Tx (片方のポートのみ使用

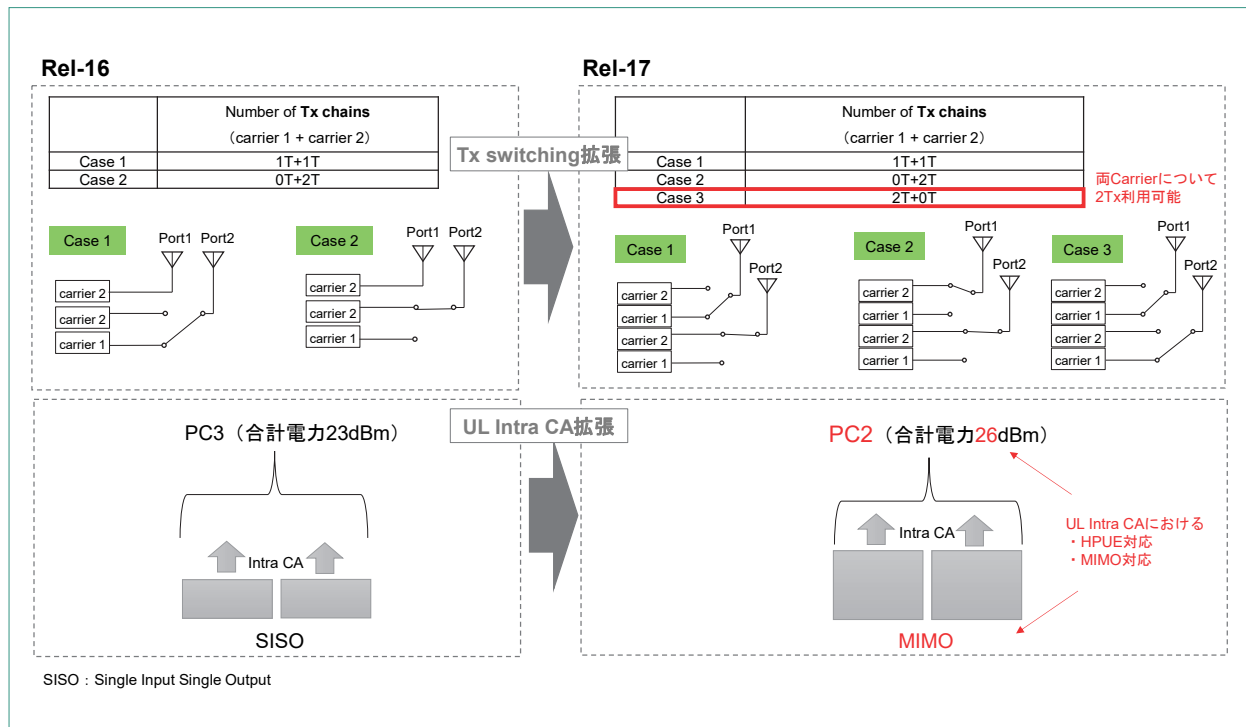


図4 FR1 UE RF性能規定高度化

*64 CHO: HO実施方法の1つ。HO実施時に指示するのではなく、あらかじめ切替先と切替条件をネットワーク側からUEに事前通知を行う。
 *65 DAPS: HOにおいてUEが通信できない時間を短縮するために、HO前/後両方の通信経路を過渡的に同時利用する機能。
 *66 HPUE: 通常のUEよりも大きな電力で送信可能なものの総称。
 *67 Handheld UE: いわゆるスマートフォンのような、ユーザが手に保持して用いるデバイスを指す。
 *68 PC3: Power Class 3の略称。3GPP標準仕様において最大空中線電力などでいくつかのPower Classが規定されている。
 *69 EN-DC: NRノンスタンドアロン運用のためのアーキテクチャ。LTE無線でRRC connectionを行い、追加の無線リソースとして加えてNRを用いる。

*70 NR-CA: 複数のNRキャリアを用いて同時に送受信することにより後方互換性を保ちながら帯域拡大により高速伝送を実現する技術。
 *71 SUL: 通常用いられるアップリンクダウンリンクのペアとは別に上りカバレッジ確保のために補完的に用いられる別周波数帯のアップリンクのこと。通常用いられるアップリンクとの同時利用はできない。
 *72 TDD: ULとDL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。
 *73 FDD: ULとDL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。
 *74 n77: NR向けに定義されたTDDの周波数帯域 (3,300 ~ 4,200MHz)。

可能), もう片方のCarrierで2Tx (両方のポートが使用可能) のケースだったものを, Rel-17では両Carrierに対して2Tx利用できるケースへの拡張, また, 送信電力増大のためのHPUEおよび送信MIMOレイヤ数向上のためのUL CA/UL MIMO併用時のRF規定^{*79}の拡張を行うことで, RF性能としてULスループットの向上が期待される。

FR2についてはRel-16で議論しきれなかったRF性能向上に関する検討項目, 具体的にはFR2 inter-band DL CAにおいて28GHz帯+28GHz帯, あるいは, 40GHz帯+40GHz帯など近接する異なる周波数バンドを束ねるCAの性能規定, FR2 inter-band UL CAにおいて端末がそれぞれのバンドに対して別ビームを形成できる場合の性能規定, および通信

の安定性確保のためのCalibrationに用いるGap規定が策定され, FR2のさらなる高速化に向けた性能規定が示された。inter-band CAの拡張について図5に示す。

(12)無線リソースマネジメント (RRM: Radio Resource Management)^{*80}高度化

RRMのさらなる高度化として, 最適なUL送信アンテナ選択のためのSRS (Sounding Reference Signal)^{*81} antenna port switchingのRRM規定, NR SAからEN-DCにHOする際に, 最適なEN-DCセルの組合せをHO直後から利用できるようにするためのHO with PSCellのRRM規定, およびPUCCH SCell利用時におけるセル有効化時間などのRRM規定を策定することで, 端末が最低限満たすべき性能が担

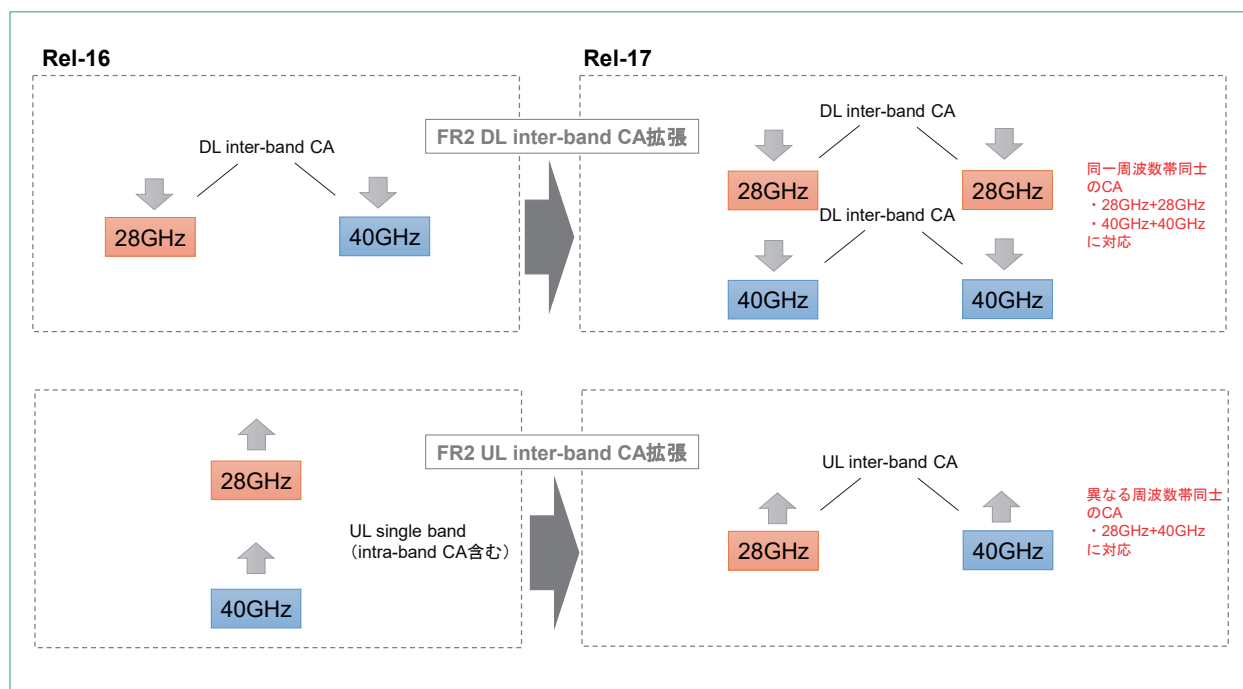


図5 FR2 UE RF性能規定高度化

*75 Duty cycle: ある一定期間内に占めるアップリンク送信期間のこと。

*76 RF: 無線アナログ回路部。

*77 RF chain: アンテナやアップコンバータ/ダウンコンバータ, 発振器, アンプなどのアナログ信号処理部全般を指す。

*78 Tx antenna switching: UEが信号送信に用いるアンテナを動的にスイッチングする技術であり, より品質の良い信号送信が可能なアンテナを選択することで品質の改善やスループットの向上が期待できる。

*79 RF規定: 不要発射や受信感度など, 無線部分に関する特性規定。

*80 RRM: 有限である無線リソースの適切な管理や, 端末・基地局間のスムーズな接続を実現するために実施する制御の総称。

*81 SRS: 基地局側で上りリンクのチャネル品質や受信タイミングなどを測定するための参照信号。

保され、これらの機能の商用導入によるユーザエクスペリエンス体感向上が期待される。

また、MG (Measurement Gap)^{*82}のさらなる柔軟な設定や無通信区間の削減を図るために、BWP (Bandwidth Part)^{*83}ごとに異なるMGを設定可能とするPre-configured MG pattern、用途の異なる複数のギャップを同時に効率良く用いるためのMultiple concurrent and independent MG patterns、必要最低限のギャップ区間だけを用いて無通信区間を極小化するNetwork Controlled Small Gapの3機能が新たに規定された。これらの発展的な機能を用いることで無通信区間が削減されスループット向上が期待される。

(13)高速移動環境下での性能規定高度化

Rel-16では最大移動速度500km/h、最大周波数3.6GHzの環境までを想定したHST (High Speed Train)^{*84}シナリオについて最低限満たすべき性能規定が議論されたが、Rel-17ではさらなる通信速度高速化のためにCAの規定が新たに策定された。また、Rel-16 HSTはFR1に対象が絞られていたが、Rel-17ではFR2にも対象が拡張された。FR2に対する規定は、基本的にはRel-16 FR1と同様だが、最大移動速度が350km/hとなっている。また、適用可能な最大周波数は30GHzとなっている。この規定により高速移動環境において、FR2がシングルキャリアに限り利用可能となり、高速通信を享受可能なエリアの拡大が期待される。

(14)端末／基地局の信号復調規定高度化

Rel-15、Rel-16において策定しきれなかったUE demodulation^{*85}規定、具体的には下りのセル間干渉／UE間干渉を削減可能なadvanced receiverに関する規定、およびFR1 UL 256QAMの性能規定が策

定された。これら規定により下り／上り共にさらなるスループットの向上が期待される。

(15)NRレピータ^{*86}

LTE以前に運用されていたRFレピータについて、Rel-17においてNRの性能規定も議論され策定された。特に高速通信が期待される3GHz以上の高い周波数帯では、電波の減衰が大きくカバレッジ確保が課題となるため、RFレピータの利用により高速通信が可能な5Gエリアを拡大し、不感地帯を削減することが期待される。

2.2 産業創出・ソリューション協創向け高度化技術

(1)IIoTおよびURLLC向け機能拡張

Rel-16では、工場の機器制御などのために基地局とUEとの間で時刻を同期する機能が盛り込まれたが、Rel-16時点では、基地局のカバーするエリアが広いなどの理由で基地局・端末間の電波の伝搬遅延が大きい場合に誤差が生じる問題があった。Rel-17では、伝搬遅延誤差を補償する機能が盛り込まれ、より広いエリアにおいても時刻同期が適用可能となった。

また、Rel-16では、NRをアンライセンスバンド^{*87}でeMBB向けに運用可能になったが、Rel-17ではアンライセンスバンドで、かつ他システムからの干渉の頻度が低い環境でURLLC通信を実施するための機能拡張がなされた。

その他、遅延低減や信頼性向上のため、優先度の異なるパケットのスケジューリングや再送制御、UEからの電波状況報告の機能が拡張されている。

(2)IIoTサービス向け簡易NR端末

LTE-IoTにより提供されるローエンドIoTと、

*82 MG：通信中の周波数以外の周波数を測定するために設けられる区間のことを指す。

*83 BWP：キャリアの最大帯域幅よりも狭い帯域幅のみを利用する必要がある場合に用いられる部分的な帯域のこと。通信に用いべきBWP情報（帯域幅、周波数位置、サブキャリア間隔）をUEごとに設定可能。

*84 HST：高速移動環境下向けには特別に規定が用意されており、その規定を適用するシナリオを総称してHSTシナリオと呼ぶ。

*85 UE demodulation：端末の受信信号処理の総称。

*86 レピータ：基地局からの下り受信信号を電力増幅して移動局への送信を行う物理層の中継機器。

*87 アンライセンスバンド：行政による免許割当てが不要で、特定の通信事業者に限定されずに使用可能な周波数帯。

NRにより提供されるURLLCやIIoTといったハイエンドIoTとの間のミドルレンジIoTサービスをターゲットとしたRedCapの仕様が、Rel-17において策定された。RedCapでは監視カメラ・ウェアラブル端末・産業向け無線センサなどを対象のユースケースとしており、これらの要求条件を満たしながら端末のコストを削減するため、端末がサポートする最大帯域幅、受信ブランチ数・最大DL MIMOレイヤ^{*88}数、最大変調多値数^{*89}および複信方式^{*90}が、Rel-15・Rel-16 NR端末と比較し簡易化されている。簡易化にあたっては、非RedCap端末と同一セル内で運用されることを想定し、非RedCap端末とは異なるBWPにおける動作や、RedCap端末であることを初期アクセス中に基地局へ通知する機能などが策定された。

(3)NRにおける位置測位

RAT (Radio Access Technology)^{*91}信号でUE位置を推定する機能はLTEからサポートされているが、NRではRel-16で初めてサポートされた。Rel-16 NRでは、E-CID (Enhanced Cell-ID)^{*92}、DL-TDOA (Time Difference of Arrival)^{*93}、UL-TDOA^{*94}、Multi-RTT (Multiple-Round Trip Time)^{*95}、UL-AoA (Angle of Arrival)^{*96}、DL-AoD (Angle of Departure)^{*97}の測位方式がサポートされたことにより、NRにおいてもRATベース測位が可能となった。

Rel-17 NRでは一般ユースケースに加え、工場など産業利用を想定した機能拡張が議論され、サブメートルレベルの測位精度や物理レイヤでの測位処理遅延10ms未満をターゲットとした拡張機能が仕様化された。

(4)NTN

Rel-16までのLTE/NR仕様は地上ネットワークを

対象としていたが、Rel-17ではさらなる5Gのエリア拡大などを目的として、衛星や飛行体を介して通信を行うNTN向けの無線技術の仕様化が行われた。NTNにおける課題として伝搬遅延が非常に大きいこと、および端末が接続するセルと隣接セルの電波品質差が小さいことが挙げられる。前者に対しては同期確立および維持にかかわる技術や、スケジューリングおよびHARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest)^{*98}を実行可能かつ高効率にする技術が検討され、導入された。後者の課題に対しては電波品質以外の要素に基づいてHOを実施する技術が仕様化された。

(5)ネットワークスライシング向け機能拡張

(a)スライスを考慮した待受けセル選択

周波数・セルによって、サービスを提供するネットワークスライスが異なる運用を行う場合には、電波品質の良いセルにUEが接続しても、そのセルでユーザの利用したいスライスが提供されていないケースが生じると考えられる。Rel-16までは接続後にネットワークの指示によりセルを移動する動作で対応していたが、Rel-17ではUEが利用したいスライスを提供するセルを優先した待受けを行うことで、ネットワークからの移動指示を待たずに所望のスライスを利用することが可能となった。

(b)スライスを考慮したRACH (Random Access Channel)^{*99}の優先制御

Rel-16までの標準仕様においても、通信中のリソース割当てにネットワークスライスを考慮することは基地局動作により可能であったが、通信開始時に利用するRACHについてはスライスが考慮されないため、例えばRACHが混雑し

*88 MIMOレイヤ：MIMOにおいて、異なるアンテナを用いて同じ無線リソース上で異なる信号を空間多重する際の多重数。

*89 変調多値数：データ変調における信号位相点の数。例えば、QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) の場合は4、16QAM の場合は16である。

*90 複信方式：相対する方向で送信が同時に行われる通信方式をいう。一般に、周波数分割複信 (FDD)、時分割複信 (TDD) がある。

*91 RAT：NR、LTE、W-CDMA、GSMなどの無線アクセス技術のこと。

*92 E-CID：基地局から報知されたセルIDとその基地局から送信された参照信号の受信強度や受信品質、さらに基地局端末間の信号往復時間 (RTT) などを用いて端末の位置を推定する測位技術。

*93 DL-TDOA：複数の基地局それぞれから同時に送信された下りリンクの参照信号を端末が受信し、その到来時間差と各基地局

の座標に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

*94 UL-TDOA：端末から送信された上りリンクの参照信号を周辺の複数基地局が受信し、その到来時間差と各基地局の座標に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

*95 Multi-RTT：端末と複数の基地局それぞれとの間の信号往復時間 (RTT) および各基地局の座標に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

*96 UL-AoA：端末から送信された上りリンクの参照信号を基地局が受信し、水平方向および垂直方向の到来方向に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

*97 DL-AoD：基地局から送信された下りリンクの参照信号を端末が受信し、受信したビームのインデックスと受信強度および基地局側でのビームの水平方向および垂直方向の発射方向に基づいて端末の位置を推定する測位技術。

ている場合に、優先的にサービスを提供したいスライスの通信のRACHがネックとなり開始できない可能性があった。Rel-17ではスライスに応じたRACHの分離や、優先制御の機能が仕様化された。本機能追加により、通信開始時にもスライスによるリソース制御を適用することが可能となった。

(6)小容量データ送信の効率化

スマートフォンからのインスタントメッセージや、IoT・ウェアラブル端末からのセンシングデータに代表される、小容量・低頻度通信における端末消費電力低減・信号オーバーヘッド削減のために、RRC_INACTIVE^{*100}状態においても簡易な手順によりデータ送信を行う機能が追加された。

(7)リレー^{*101}端末経由の通信 (Sidelink relay^{*102})

端末 (リモート端末) が別端末 (リレー端末) を介してネットワークと通信を行うUE-to-network relayが仕様化された。本技術により、通信を行うセルと別のセル配下やネットワークの圏外にリモート端末が位置する場合においても通信が可能になり、サービスの提供エリアを拡張する効果が見込まれる。

3. あとがき

本稿では、3GPP Rel-17仕様で策定された5G無線の高度化技術を概説した。本稿で紹介したモバイルブロードバンド向け高度化技術、および産業創出・ソリューション協創向け高度化技術については、本特集別記事でより詳細に解説しているのので、参照されたい [1] [2]。3GPPでは、2021年12月から、5G Advancedの最初の仕様としてRel-18仕様の作成を開始している [3]。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く。

文献

- [1] 松村, ほか: “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,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.78-100, Oct. 2022.
- [2] 熊谷, ほか: “3GPP Release 17における産業創出・ソリューション協創向け高度化技術,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.54-77, Oct. 2022.
- [3] 原田, ほか: “5Gおよび5G Advanced標準化動向,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.8-14, Oct. 2022.

*98 HARQ: 自動再送要求 (ARQ) と誤り訂正符号を組み合わせることにより、再送時に誤り訂正能力を向上させ、再送回数を低減させる技術。

*99 RACH: 上り方向の共通チャネルで、制御情報およびユーザデータの送信に使用するチャネル。各ユーザが独立に信号をランダムに送信することにより、1つのチャネルを複数ユーザで共通に使用する。

*100 RRC_INACTIVE: 端末のRRC状態の1つであり、端末は基地局内のセルレベルの識別をもたず、基地局およびコアネットワークにおいて端末のコンテキストが保持されている。

*101 リレー: 通信を中継して伝送する技術。

*102 Sidelink relay: サイドリンク通信においてリレーを行うことでカバレッジ拡張を行う技術。