

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

6G-IOWN推進部

まつむら ゆうき しばいけ なおや
松村 祐輝 芝池 尚哉くりた だいすけ
栗田 大輔

移動機開発部

おはら ともや おぐま ゆうた
小原 知也 小熊 優太

無線アクセス開発部

わたなべ そうき おおかわ りき
渡邊 壮輝 大川 立樹たかみや こうたろう
高宮 康太朗

2020年3月、ドコモは3GPP Rel-15仕様を用いた5G通信サービスを開始した。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る。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する。

1. まえがき

2020年3月、ドコモは3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 15 (以下、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た。Rel-15仕様は、高速・大容量

という特長をもち、これによりさまざまな5G通信サービスが可能となったが、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る。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

©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、3.7GHz帯や4.5GHz帯、28GHz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する。

された。3GPP Rel-17仕様では、モバイルブロードバンドの高度化（eMBB：enhanced Mobile Broad-Band）向けに、品質・性能向上を図る機能、カバレッジ*2を拡大し5G NRの適用エリアを拡大する機能、およびユーザ（UE（User Equipment））の低消費電力化を実現する機能が規定された。本稿では、品質・性能向上を図る機能として、システム容量およびユーザスループットを向上させるMIMO（Multiple Input Multiple Output）*3高度化技術、52.6～71GHzの周波数帯域を利用可能にする技術、および置局柔軟性を拡大するMR-DC（Multi-Radio Dual Connectivity）*4/CA（Carrier Aggregation）*5拡張技術を解説する。また、カバレッジを拡大する機能としては、物理チャネル*6のカバレッジ性能を改善する技術、レピータ*7を活用する技術、および上りリンク*8の最大送信電力を増加させる技術について述べる。さらに、UEの消費電力を低下させる技術についても解説する。

2. 高速・大容量化

2.1 MIMO高度化

(1)異なるセルIDのTRP（Transmission and Reception Point）*9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）*10において、基地局側は1つの送受信点を用いる、最大8 MIMOレイヤ*11のシングルユーザMIMO*12がサポートされていた。Rel-16では、基地局側が同一の物理セルID（PCI：Physical Cell Identifier）*13の2つのTRPを協調し、最大8 MIMOレイヤのPDSCHを分散MIMO*14（Multi-TRP）送信する機能が仕様化された。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る。しかしながら、実環境のFR2（Frequency Range 2）*15運用を想定すると、Rel-16のMulti-TRP技術には課題があった。

Rel-15においては、1つのセル当り最大64個のSSB（Synchronization Signals/physical broadcast channel Block）*16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を送信することで、セルのカバレッジを最大化できる（図1①）。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らない。このとき、図1②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する。

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る（図1③）。

(2)TRPごとのビーム障害回復

Rel-15/Rel-16において規定されたビーム障害回復（BFR：Beam Failure Recovery）では、下りリンク制御チャネル（PDCCH：Physical Downlink Control CHannel）*17のビームの受信品質が所定値を下回った場合に、UEが基地局に対して、ビーム障害の発生と変更先の新ビーム情報を報告することで、低遅延にビーム障害を回復できる。しかしながら、Rel-15/Rel-16のビーム障害回復は、Single-TRPを想定して仕様化されたので、Multi-TRP環境において、

*2 カバレッジ：基地局当りのUEとの通信を行うことができるエリア（セル半径）。カバレッジが大きいほど設置する基地局数を低減できる。

*3 MIMO：同一時間、同一周波数において、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。

*4 MR-DC：LTEとNR基地局またはNR基地局とNR基地局に接続したDCの総称。なおDCとは、マスターとセカンダリの2つの基地局に接続し、それら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。

*5 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。

*6 物理チャネル：周波数、時間などの物理リソース上にマッピングされ、制御情報や上位レイヤのデータを伝送するチャンネルの総称。

*7 レピータ：通信における中継器であり、電気信号を受信し、より高いレベルや出力で再送信する装置のこと。

*8 上りリンク：UEから基地局方向への情報の流れ。

*9 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と呼ぶ。

片方のTRPのビーム障害が発生した場合に、適切にビーム障害回復を行うことはできなかった。そこで、Rel-17では、Multi-TRP環境において、少なくともいずれか片方のTRPのビーム障害が発生した場合に、UEが該当TRPのビーム障害回復要求を通知し、障害の発生した1つまたは2つのTRPの、変更先の新しいビーム情報を報告する機能が仕様化された

(図2)。これにより、Multi-TRP環境においても、各TRPのビーム障害を低遅延で回復できる。

(3)L1/L2 (Layer 1/Layer 2)^{*18}ビーム指示を用いたセル間モビリティ

セル端付近のUEは、一時的にサービングセル^{*19}からの受信品質より別セルからの受信品質が高い場合がある。Rel-15/Rel-16では、一定期間の受信品質

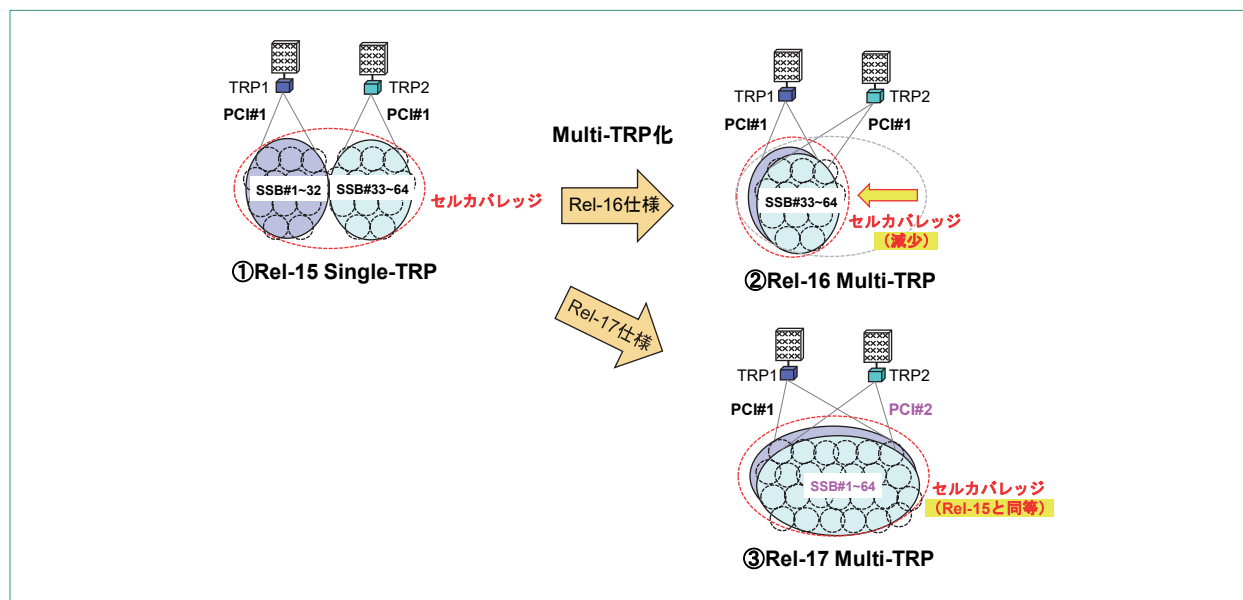


図1 Single-TRP運用からMulti-TRP運用への進化

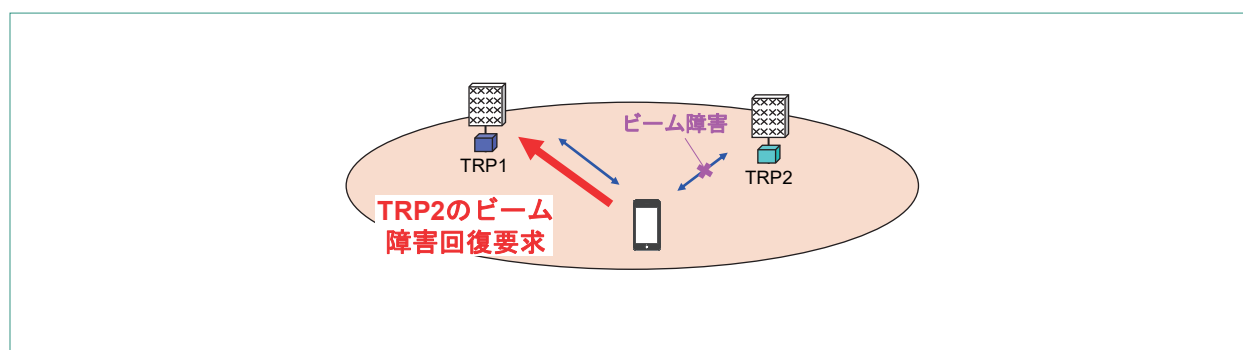


図2 TRPごとのビーム障害回復

*10 下りリンクデータ共有チャネル (PDSCH)：ユーザー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。
 *11 MIMOレイヤ：MIMOにおける空間ストリーム。
 *12 シングルユーザMIMO：同一時間周波数において、単一ユーザーに対してMIMO伝送を行う技術。
 *13 物理セルID (PCI)：物理的なセル識別子。NRでは、1,008通りのPCIが繰り返し利用される。
 *14 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。
 *15 FR2：24.25～52.6GHzの周波数帯域。
 *16 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。
 *17 下りリンク制御チャネル (PDCCH)：下りリンクにおける物理レイヤの制御チャネル。
 *18 L1/L2：開放型システム間相互接続 (OSI：Open Systems Interconnection) 参照モデルの第1層 (物理層) および第2層 (データリンク層)。
 *19 サービングセル：UEが現在無線リンクを確立しているセルのこと。

を比較して、別セルからの受信品質がサービングセルからのものより高い場合は、ハンドオーバー*20を行い、別セルに切替えを行う。しかし、ハンドオーバーを行うと、通信中断期間*21が発生するため、高頻度のハンドオーバーは望ましくない。

そこで、Rel-17では、L1/L2を用いたビーム制御機能を拡張し、サービングセルと接続した状態のまま、別セルの信号を送受信できるように仕様化した(図3)。

UEは、サービングセルと周辺セルの、両方のSSBまたはCSI-RS (Channel State Information-Reference Signal)*22を測定し、L1を用いたビーム報告により、受信電力が上位のSSBまたはCSI-RSリソース番号を基地局に報告する。拡張されたビーム指示の仕組みに従い、基地局は周辺セルのビームをUEに指示すると、UEは指示された周辺セルのビームでユーザデータの送受信を行う。この機能では、ハンドオーバーを行わないので、通信中断期間が発生しない。これにより、一時的に別セルの受信電力がサービングセルの受信電力より大きい場合に、別セルの信号の送受信が可能になり、送受信信号の受信電力およびユーザスループットを改善できる。

2.2 52.6~71GHz帯への周波数拡張

Rel-15では、NRの利用可能な周波数帯域としてFR1 (0.41~7.125GHz帯) およびFR2 (24.25~52.6GHz帯)を定義した。一方で、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52.6~71GHz帯を新たにNR利用可能周波数帯とし、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た。これは、57~66GHz帯を利用するIEEE 802.11ay*23の仕様策定が2021年7月に完了したことや、WRC (World Radiocommunication Conference)*24-19において新たに66~71GHz帯がIMT (International Mobile Telecommunications)*25向け周波数として合意されたことなどの3GPP外の情勢に対応するものでもあった。

(1)52.6~71GHz帯利用の課題

52.6~71GHz帯で期待される、より高速大容量な通信を多くの運用形態で利用可能とすべく、既存の周波数帯と52.6~71GHz帯をCA/DCによって束ねて用いる運用に加え、52.6~71GHz帯のみのスタンドアローン (SA: Stand Alone)*26運用も想定された。しかしながら、新しい周波数帯である52.6~71GHz帯を利用可能とするためには、いくつかの課

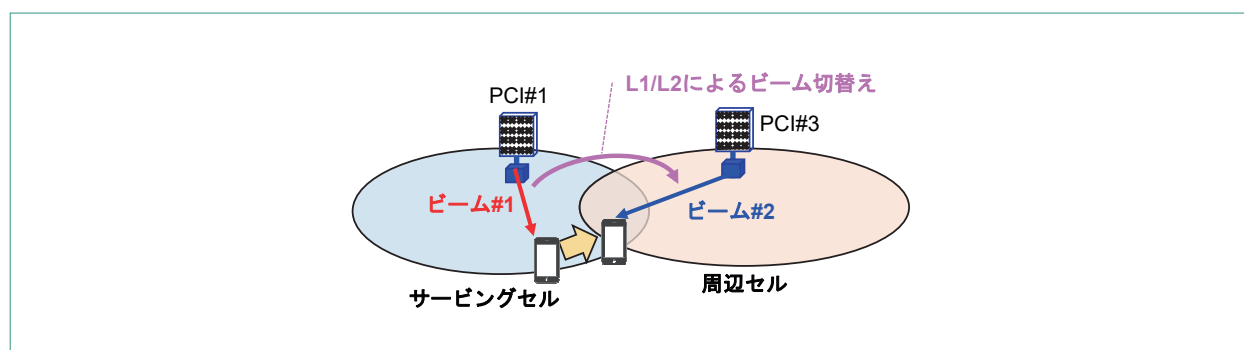


図3 L1/L2ビーム指示を用いたセル間モビリティ

*20 ハンドオーバー: UEが接続先のサービングセルを切り替えること。
 *21 通信中断期間: UEがハンドオーバー中に基地局とユーザデータの送受信ができない期間。
 *22 CSI-RS: 無線チャネルの状態を測定するために送信される参照信号。

*23 IEEE 802.11ay: IEEEが策定した無線LAN規格の1つ。5GHz帯を使用する無線LAN規格をベースに、高周波数帯利用のための拡張を追加で仕様化したもの。802.11ad (通称WiGig)の後継規格にあたる。
 *24 WRC: 世界無線通信会議。3~4年ごとに開催される。
 *25 IMT: ITUにおいて標準化されている国際移動通信システム。IMT-2000 (3G), IMT-Advanced (4G/LTE), IMT-2020 (5G) など。
 *26 スタンドアローン (SA): 既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをMR-DCを用いて連携して運用するノンスタンドアローンに対し、NR単独で運用する形態。

設定可能な帯域幅の最大値および最小値については表2のとおりサブキャリア間隔ごとに定義された。特に、サブキャリア間隔として960kHzが設定された場合はコンポーネントキャリア*35当り最大2GHzの帯域幅が設定可能となった。これは11layのチャネル当りの帯域幅とほぼ同一であり、11layと同等の通信容量が達成可能となっている。

(3) アンライセンスバンド向けチャンネルアクセス

(a) Type 1～3のチャンネルアクセス規定

ヨーロッパや日本などにおいては、5GHz帯アンライセンスバンド利用時と同様に、52.6～

71GHz帯のアンライセンスバンドでの送信に先立ってLBT (Listen Before Talk)*36が必要となる。一方でその他の地域においては、52.6～71GHz帯のアンライセンスバンドでの送信前のLBTは必須ではない。これらを考慮し、Rel-17では52.6～71GHz帯運用向けにType 1～3の3種類のチャンネルアクセスを規定した(図4)。

Type 1はヨーロッパの法規制[3]に準拠したLBTを動作させるものであり、ランダムバックオフ*37に基づいてLBT期間が可変となる。Type 2はランダムバックオフに基づかず、LBT

表2 52.6～71GHzにおける帯域幅の最大および最小値

SCS (kHz)	Min. BW (MHz)	Max. BW (MHz)
120	100	400
480	400	1,600
960	400	2,000 (5x of Rel-16 NR)

BW (Bandwidth) : 帯域幅

SCS (Subcarrier Spacing) : サブキャリア間隔

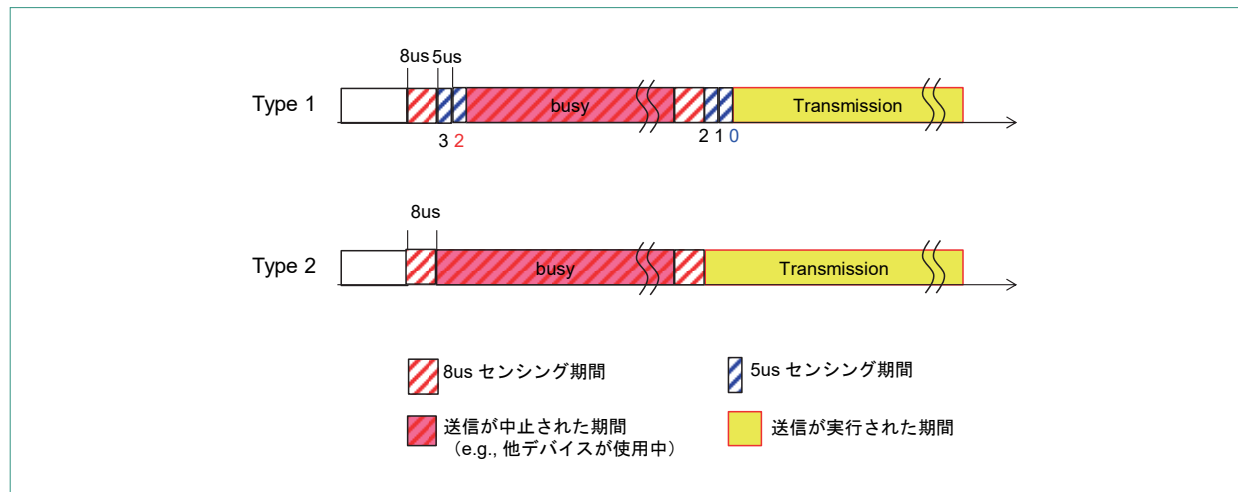


図4 52.6～71GHz帯のアンライセンスバンドにおけるチャンネルアクセスタイプ

*35 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20MHz、NRはFR1は最大100MHz、FR2は最大400MHz。

*36 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。

*37 ランダムバックオフ：LBT期間長をランダムに設定することで、複数送信が同時に発生し衝突することを防ぐための技術。

期間が固定となる。これは、日本の法規制やその他の地域における他システムとの共存を考慮しつつ、LBT動作によるリソース利用効率の低下を最小限に抑えることを意図して規定された。Type 3についてはライセンスバンドと同様、LBTの動作無しに送信を開始するもので、ヨーロッパや日本以外の地域での使用が意図されている。また、ヨーロッパにおいても一定の条件を満たすことで利用可能と規定されている。

(b)LBTにおける狭ビームの使用

また、上記のチャンネルアクセスにおけるLBTの際に用いられる受信ビーム^{*38}についても、すでにNRでサポートされているビームフォーミング^{*39}に従う形で狭ビームを使うことで、干渉検出の感度を向上させることが可能となった。52.6～71GHz帯では電波の直進性が強く伝搬損失が大きいことから、ビームフォーミングを適用した送受信を行うことが想定される。これに対して、指向性ゲインを得られない無指向性の受信ビームを使ったLBTでは、チャンネルの干渉検出・測定に不十分である可能性があり、その後のデータ送信開始の際に周辺の通信と衝突する可能性がある点が考慮された。

(4)52.6～71GHz帯における初期アクセス

SSBやPRACH (Physical Random Access Channel)^{*40}についても、他の信号やチャンネルと同様に480および960kHzのサブキャリア間隔がサポートされた。52.6～71GHz帯ではFR2と同様に、1SSBバースト^{*41}内に64のSSBをそれぞれ異なるビームで送信することが想定されるが、480/960kHzサブキャリア間隔設定時は120kHzサブキャリア間隔設定時に比べシンボルの時間長が縮退することに伴い、各OFDMシンボル^{*42}のCP長も短くなる。そのため、480/960kHzサブキャリア間隔設定時に、2つのSSBを連続で配置した場合、そのSSB間の送信ビームの切替えに必要な時間がCP長を超えてしまい、SSB送信品質が低下することが懸念された。

そこで、広いサブキャリア間隔を用いた、SSB送信向けに最適化された時間方向配置がサポートされた(図5)。具体的には、Rel-16までのNRにおいて120kHzサブキャリア間隔を用いる場合は2つのSSBが時間的に連続する配置であることに対して、480および960kHzサブキャリア間隔を用いる場合は、1つのスロット内の2つのSSBの間には3OFDMシンボルのガードピリオド^{*43}が挿入される配置が規定された。

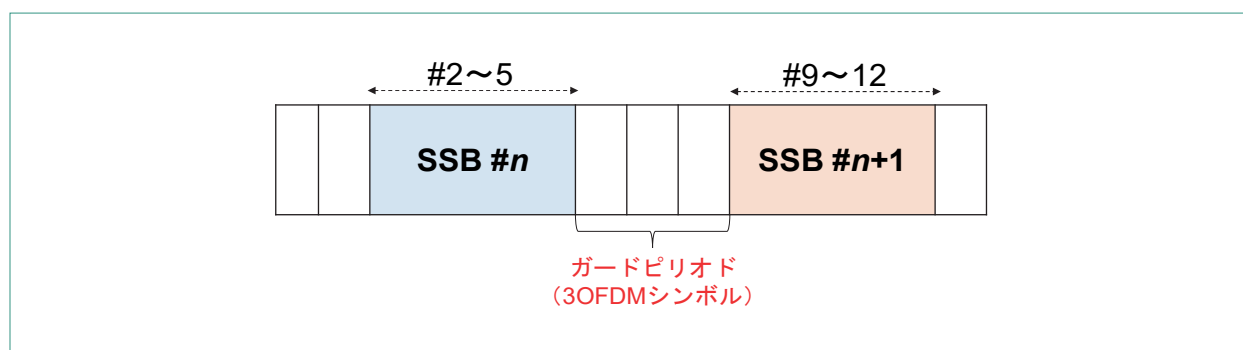


図5 480/960 kHzサブキャリア間隔設定時のSSB時間方向配置

^{*38} 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。
^{*39} 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。

^{*40} PRACH：UEが初期アクセスやハンドオーバーなどにより、セルとコネクション確立を行う場合などに送信される物理チャンネル。
^{*41} バースト：一回のLBTに基づいて行われる時間的に連続した送信のこと。
^{*42} OFDMシンボル：伝送するデータの単位であり、OFDMの場合は複数のサブキャリアから構成される。各シンボルの先頭にはCPが挿入される。
^{*43} ガードピリオド：TDD方式を用いる場合に設けられる時間。伝搬遅延により下り信号と上り信号が衝突してしまうことを防止する。

(5) 52.6～71GHz帯における制御チャンネル

PDCCHに関しては、480/960kHzサブキャリア間隔設定時のPDCCHのブラインド復号^{*44}にかかる負荷の増大をいかに避けるかが、最大の議論ポイントとなった。480/960kHzサブキャリア間隔設定時は、120kHzサブキャリア間隔設定時と比べてスロット長がそれぞれ1/4および1/8となるため、120kHzサブキャリア間隔設定時と同程度のPDCCHのブラインド復号を毎スロットで行おうとすると、UEにかかる負荷はそれぞれ4および8倍程度となることが懸念された。一方で単純にスロット当りのPDCCHブラインド復号最大数およびリソース量を削減すると、PDCCHのリソース設定における柔軟性が失われることが懸念された。

これらを考慮した結果、480および960kHzサブキャリア間隔設定時におけるPDCCHの受信は、連続する X スロットを1グループとして、そのスロットグループ中に含まれる連続 Y スロットでのみ行われ

るというUE動作がサポートされた(図6)。 X は480kHzサブキャリア間隔設定時には4となり、960kHzサブキャリア間隔設定時には4または8となる。また、 Y は480/960kHzサブキャリア間隔のいずれの場合も1もしくは $X/2$ となる。この結果、PDCCHブラインド復号処理にかかる負荷は、 X スロット当りで120kHzサブキャリア間隔設定時と同程度に保ちながら、PDCCHのリソース設定における柔軟性についても120kHzサブキャリア間隔設定時のそれと同程度を Y スロット内で達成することが可能となった。

(6) 52.6～71GHz帯におけるスケジューリング・HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest)^{*45}

スケジューリングについては、前述したとおり、特に480および960kHzサブキャリア間隔設定時において、PDCCHの時間方向のブラインド復号頻度が毎スロットよりも少なくなるため、時間方向でのスケジューリング効率を改善する必要性が指摘された。

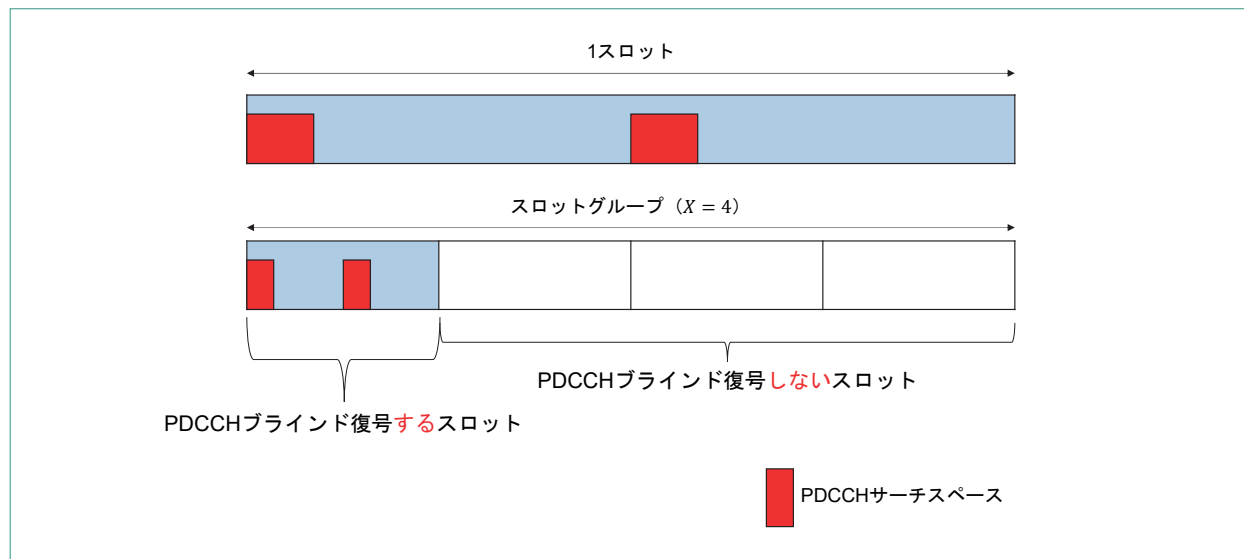


図6 52.6～71GHz帯におけるPDCCH復号例 (上) 120kHz設定時 (下) 480kHz設定時

*44 ブラインド復号：信号が送信される可能性のあるリソースすべてに対して復号処理を試みること。

*45 HARQ：誤り訂正技術である。チャンネル符号化とARQを併用する技術。

このため、Rel-16において仕様化された1つのPDCCHによる複数PUSCH（Physical Uplink Shared CHannel）*46スケジューリングの技術をPDSCHスケジューリング向けにも拡張し、時間方向において複数PDSCHもしくはPUSCH（最大8）を1つのPDCCHでスケジューリングすることが可能となった（図7）。これにより、480/960kHzサブキャリア間隔設定時のPDCCHブラインド復号の際にも、効率良く上りおよび下りデータのスケジューリングを行うことが可能となった。

(7)52.6～71GHz帯の周波数定義と基地局・UE RF（Radio Frequency）規定*47

(a)52.6～71GHz帯の周波数定義

Rel-15では以下のFR1とFR2の2つの周波数範

囲が定義された。

- ・ FR1：410～7,125MHz
- ・ FR2：24,250～52,600MHz

Rel-17では、グローバルにおける5G活用への期待と、さらなる高速データ通信の実現を考慮して、52.6～71GHzの新規周波数帯が議論された。既存のFR2ベースの基地局およびUEのRF実装を最大活用するため、3GPPではFR2の定義の上限を52.6GHzから71GHzまで拡張した。合わせて、以下の通り、従来のFR2帯域はFR2-1、新規拡張されたFR2帯域はFR2-2と定義された（図8）。

- ・ FR2-1：24,250～52,600MHz

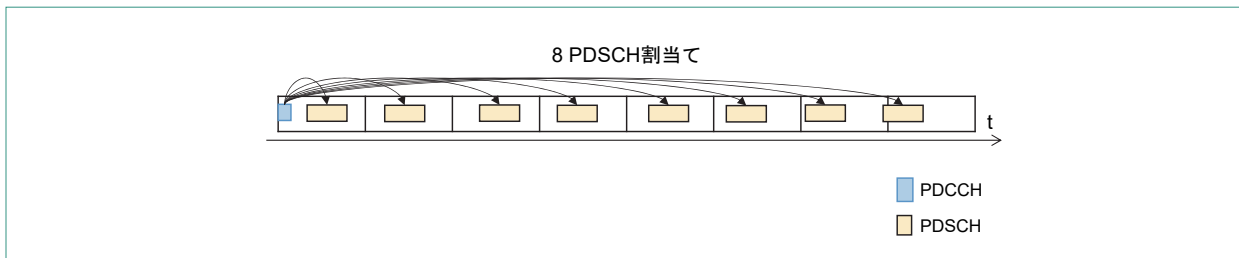


図7 1PDCCHによる複数データ送信スケジューリング例

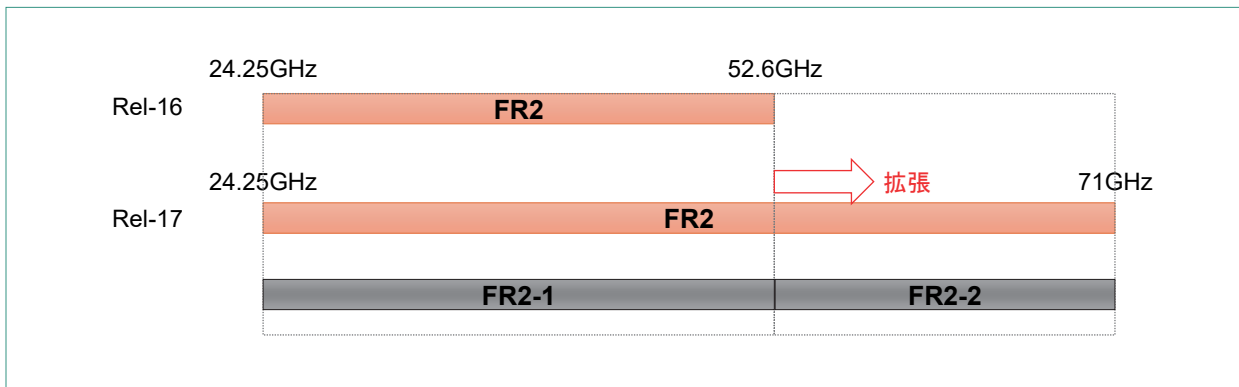


図8 FR2の周波数帯域の拡張

*46 PUSCH：上りリンクでデータパケットを送受信するために用いる物理チャネル。

*47 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。

・FR2-2：52,600～71,000MHz

(b)52.6～71GHz帯における基地局・UE RF規定

基地局側のRF規定としては、480kHzおよび960kHzのサブキャリア間隔が追加されたことや、帯域幅が最大2GHzまで拡張されたことに伴い、これらをカバーする各RF要件が規定された。従来のFR2-1に対して規定されている各RF要件と同様の項目をFR2-2向けにそれぞれ規定しており、基本的にはFR2-1策定時と同様の方針で検討がなされた。FR2-2においても例えば、隣接チャンネル漏洩電力比（ACLR：Adjacent Channel Leakage Ratio）^{*48}や隣接チャンネル選択度（ACS：Adjacent Channel Selectivity）^{*49}については、FR2-2用の検討条件を精査した後、3GPPにおいて過去に実施された70GHz帯における無線基地局装置と、その隣接周波数を利用するUEあるいは無線基地局装置との間の干渉影響（共存検討）シミュレーションの結果を用いながら、要件が規定された。

UE側のRF規定としては、基本的に従来の規定を流用している。しかしながら、従来規定の考え方をそのままFR2-2帯域に適用してしまうと、高周波数化に伴い大きくなる伝搬損失により、セルカバレッジの縮小が懸念された。このため、ドコモはFR2-2帯におけるアンテナ素子の技術検討を実施し、高周波数化に伴い素子数の小型化が期待される点を考慮して、アンテナ素子構成の見直しを実施した。ドコモは3GPP標準化会合において、UEのアンテナ素子数の想定数をFR2-1の4素子から、FR2-2では8素子に増加させる提案を行い、合意がなされたことで、技術実現性を保ちつつFR2-2帯におけるセルカバレッジ向上を実現した。

2.3 MR-DC拡張技術

Rel-16ではMR-DC/CAの技術拡張が策定され、高効率・低遅延なMR-DCの設定や復帰、迅速なNR SCell（Secondary Cell）^{*50}のアクティブ化、素早いMCG（Master Cell Group）^{*51}リンクの回復などの機能が導入された。Rel-17では、さらなるMR-DC/CA処理遅延の低減やUEの消費電力削減を目的として、(1)SCG（Secondary Cell Group）^{*52}の非アクティブ化（SCG deactivation）、(2)PSCell（Primary Secondary Cell）^{*53}の追加と変更の信頼性・堅牢性向上、および(3)Temporary RS^{*54}を用いたSCellの迅速なアクティブ化の技術拡張を行った。

(1)SCGの非アクティブ化

Rel-16以前のMR-DCにおけるUEは、主ノードのセルグループ（MCG）および副ノードのセルグループ（SCG）の両方に向けた無線リンク^{*55}を常に維持する必要がある、UEとNWの消費電力が増大する点が課題だった。

そこで、Rel-17では、UEおよびNWの消費電力を低減するために、通信量がSCGリンクを必要としない量に収まっているときは、当該SCGをdeactivated状態に遷移させる（非アクティブ化する）ことが可能になる仕様が策定された。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^{*56}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、SCG activated状態よりもUEとNWの消費電力を低く抑えることが期待される。また、SCG deactivated状態時に、UEはdeactivated SCGに対する設定とSCGに対するベアラ^{*57}を保持しており、SCGを再アクティブ化する際にそれらを再利用し、SCGの設定およびSCGベアラの確立に要する手順を省略することができる。一方でSCGの解放では、SCGの設定および

*48 隣接チャンネル漏洩電力比（ACLR）：変調波を送信するときに、本体の送信帯域信号電力と、それに隣接するチャンネルに発生した不要波電力との比。

*49 隣接チャンネル選択度（ACS）：希望波と当該希望波に隣接する妨害波の信号電力比が所定の条件においても、希望波を正しく選択（フィルタリング）して受信できる能力。

*50 SCell：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）ではないキャリア。

*51 MCG：DC中のUEとの接続を確立する基地局（MN）配下のセルグループ。

*52 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。

*53 PSCell：DC中のSCGに含まれるセルのうち、接続を担保するセル。

*54 Temporary RS：迅速なSCellのアクティブ化を指示するMAC CE（*68参照）において指定される参照信号。

*55 無線リンク：UEと無線アクセスネットワークのアクセスポイントであるセル間の論理的な繋がり。

*56 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。

*57 ベアラ：ユーザデータパケットの経路。

RLC (Radio Link Control)*⁵⁸ベアラが解放されることをかんがみると、一度非アクティブ化したSCGをアクティブ化する場合、一度解放したSCGを再度追加する場合よりも短い時間でSCGの通信を開始することが期待される。

また、SCGの再アクティブ化に際して、SCGに対する同期が維持されている場合、すなわち、SCG deactivated中にSCGのPSCellのビーム障害を規定回数以上検知していない、SCGのPTAG (Primary Timing Advance Group)*⁵⁹に紐づくTA (Timing Advance)*⁶⁰タイマが満了していない、などの条件を満たす場合、UEはRA (Random Access)*⁶¹を省略することができ、より迅速にSCGを再アクティブ化することが可能になる。

(2)PSCellの追加と変更の信頼性・堅牢性向上

Rel-16ではハンドオーバーやPSCell change*⁶²の信頼性・堅牢性を向上させることを目的としてCHO (Conditional HandOver)*⁶³、CPC (Conditional PSCell Change)が規定された。しかし、Rel-16に

おけるCPCは副ノードのみが開始可能で、MN (Master Node)*⁶⁴が関与しない同一副ノード内のPSCellのみが変更先のセルとして設定できる仕様であり、適用可能なシナリオが限定されていた。そのため、Rel-17ではCPCのシナリオ拡張、機能向上が行われた。

Rel-17のCPCでは、主ノード・副ノードのいずれからでもCPCを開始することができる。

Rel-17のCPCの一例として、主ノードが開始する、異なる副ノード間でのCPCの動作を図9に示す。

- ①CPCを開始するノードは、変更先候補となるセルのリソース確保を、候補セルが属する副ノードに要求する。
- ②要求を受けた副ノードは、リソース確保の可否を判断し、可の場合は、リソース確保可能セルの設定リストを主ノードに送信する。
- ③主ノードは、候補セルリスト、候補セルへのPSCell changeの実行条件を含んだCPC設定をUEに送信する。PSCell changeの実行条件の例

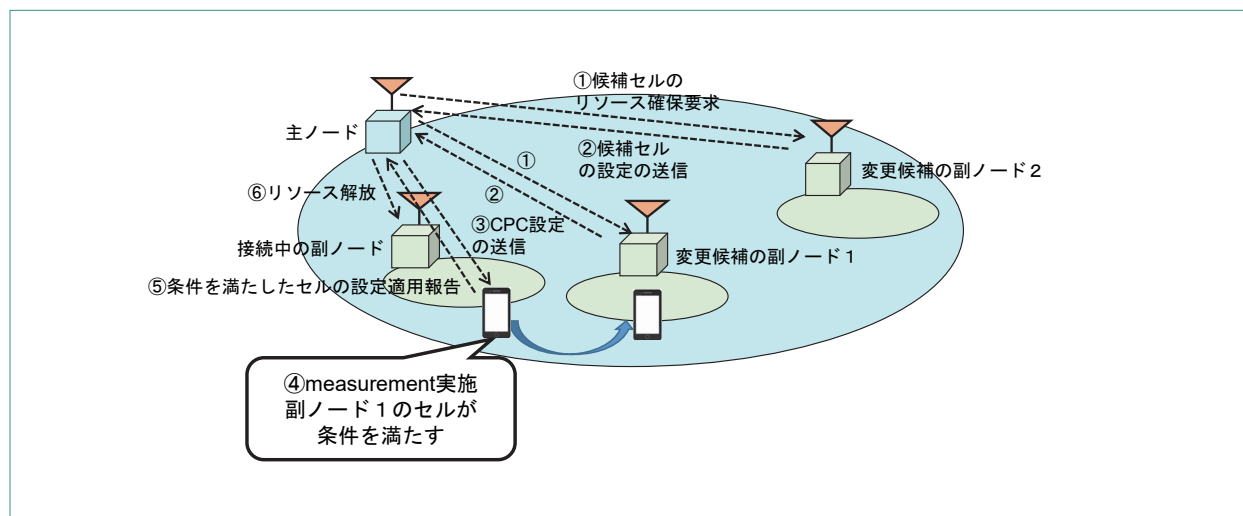


図9 異なる副ノード間でのCPCの動作例

*⁵⁸ RLC：無線インタフェースのレイヤ2のサブレイヤの1つで、再送制御などを行うプロトコル。

*⁵⁹ PTAG：TAGのうち、PCellまたはPSCellが含まれるもの。なおTAGはCA中、各キャリアに対して異なるTA (*⁶⁰参照)が必要とされる場合に、TAをグループ分けしたもの。

*⁶⁰ TA：複数UE間の信号の直交性を保つために、UE側で調整する送信タイミングの量。

*⁶¹ RA：UEが発信時やハンドオーバーなどにより、基地局と接続を確立する場合や再同期を行う場合に行う手順。

*⁶² PSCell change：UEが接続するPSCellを変更する動作。

*⁶³ CHO：UEにハンドオーバーを実施する候補セルとハンドオーバー実行条件を設定し、実行条件が満たされた際にUEが自律的に

ハンドオーバーを実施する動作。

*⁶⁴ MN：DC中のUEとRRC connectionを確立する基地局。MR DCにおいて、MNは、LTE基地局 (eNB)、もしくはNR基地局 (gNB) がなり得る。

としては、候補セルが接続しているセルより一定以上通信品質が高いなど、通信品質を用いるものがある。

- ④UEは、CPC設定を受けて、measurementを行い、いずれかの候補セルがCPCの実行条件を満たした場合、PSCellを当該候補セルに変更する。
- ⑤UEは、CPCを適用したこと、CPC実行先セルを主ノードに通知する。
- ⑥主ノードは、変更前のPSCellが属する副ノードに対してリソース解放の手続きを開始する。

Rel-17では上記の新たなCPCに加え、DC開始時、つまりPSCellの追加においても、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) が新たに規定された。CPCやCPAは、FR2が使用されるなど、通信品質の変化が激しい環境において、UEが最新のmeasurement結果に基づいて迅速にPSCell addition/changeが実施できるため、信頼性・堅牢性の向上が可能となる。

Rel-17におけるシナリオの拡大を受けて、CHO、CPC、CPAの共存についても議論が行われた。それぞれの機能をUEに同時設定することを可能としつつ、いずれかの設定が条件を満たし、UEが設定を適用した際には、その他の設定をリリースすることが規定された。

(3) Temporary RSを用いたSCellの迅速なアクティブ化

Rel-16のMR-DC/CA技術拡張では、deactivated状態のSCellをアクティブ化するときに、CSI*⁶⁵測定およびAGC (Automatic Gain Control)*⁶⁶に長い時間を要する点を懸念して、新たにdeactivatedとactivatedの中間にあたるdormancy状態を定義し、dormancy状態のSCellに対しては、CSI測定やAGC

をactivated状態と変わらず行うことができることとした。

一方Rel-17では、deactivated SCellを迅速にアクティブ化するために、Temporary RSを用いたSCellのアクティブ化が規定された。Rel-17 MR-DC拡張では、MAC (Medium Access Control)*⁶⁷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)*⁶⁸を導入した。従来のSCellアクティブ化では、UEがMAC CEを受信した後、定期的を送信されるSSBの到来を待つ必要があった。しかし新たな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を送信する。そして当該MAC CEを受け取った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、定期的を送信される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る。

2.4 FR2帯同士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、28GHz帯と40GHz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た。Rel-17では、28GHz帯同士、あるいは、40GHz帯同士の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た。

また、ULのさらなる広帯域通信実現のため、28GHz帯と40GHz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た。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40GHz帯が検討されている点をかんがみて、割当

*⁶⁵ CSI：基地局とUEを結ぶ無線チャネルの状態。

*⁶⁶ AGC：受信信号の強度の変動を抑え、一定程度に保つための制御。

*⁶⁷ MAC：無線インタフェースのレイヤ2におけるサブレイヤの1つで、無線リソース割当て、TB (*⁸⁰参照) へのデータマッピング、HARQ再送制御などを行うプロトコル。

*⁶⁸ MAC CE：MACサブレイヤで伝送される定められた構成の制御信号。

済みの28GHz帯と40GHz帯を束ねるキャリアアグリゲーションの仕様化を3GPPにおいて推進した。本技術により、将来40GHz帯が割り当てられた際には、さらなるULスループット向上が期待される（図10）。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）^{*69}などサイズの大きなUEへの適用が想定されている。

3. カバレッジ拡大

3.1 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、サービスエリアを提供するために必要な基地局の置局密度やコスト、UEのネットワークへの接続安定性やユーザ体感品質に影響するため、重要な要素の1つとして挙げられる。ここで、NRはLTEと比べて直進性が高く伝搬損失が増大しやすい高周波数帯が使用されているため、カバレッジ性能の低下が懸念される。

3GPPでは、これまでにRel-15の仕様に基づき、

FR1におけるカバレッジ性能評価が行われてきたが、Rel-16の仕様に基づいた評価およびFR2の評価は実施されていなかった。従って、Rel-17ではRel-16の仕様に基づいたFR1およびFR2のカバレッジ性能評価が実施され、改善が必要な信号・チャネルを特定するとともに、カバレッジ改善技術を策定した。

(1)カバレッジ性能の改善が必要な信号・チャネルの特定

Rel-17 Coverage enhancementのStudy Item^{*70}において、LLS（Link Level Simulation）^{*71}を用いてFR1およびFR2におけるカバレッジ性能改善が必要な信号・チャネルが検討された。検討に用いられたシナリオ、周波数、サービス、および目標の通信速度を表3にまとめる。これらの要件を満たすためのLLSの諸元が定められ、シミュレーションから得られたSINR（Signal to Interference plus Noise power Ratio）^{*72}を用いてリンクバジェット^{*73}を算出し、信号・チャネルごとに許容される伝搬損失^{*74}が導出された。その上で、特定のISD（Inter-Site Distance）^{*75}を実現するために許容される伝搬損失を上回るチャネルを表4の通りボトルネックチャネル

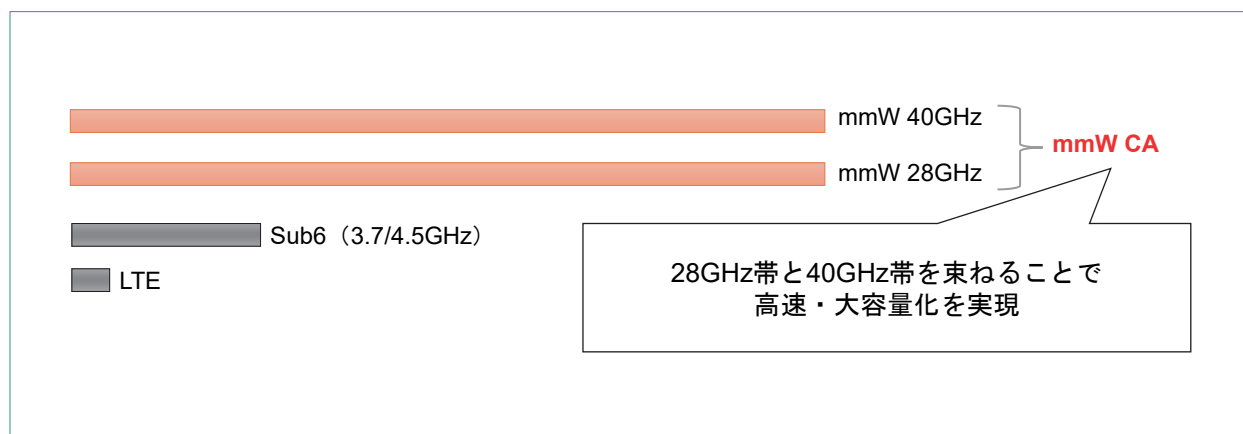


図10 28GHz帯と40GHz帯を束ねるキャリアアグリゲーション

*69 FWA：無線通信規格の1つで、固定無線アクセスシステムを指す。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い。

*70 Study item：仕様作成における課題の検討作業。

*71 LLS：基地局、UEの機能および無線伝送路の伝搬特性をモデル化し、基地局と移動局間の通信特性や性能を評価するシミュレーション。

*72 SINR：受信信号のうち、所望信号の電力と所望信号以外（他セル／他セクタからの干渉波および熱雑音）の電力の比を表す。

*73 リンクバジェット：基地局とUEの間の平均的な電力レベル配分の設計値のこと。送信電力や周波数、受信感度などの各種無線パラメータから、セル半径を算出する場合などに用いられる。

*74 伝搬損失：送信電力と受信電力との差分から推定される伝搬経路損失。

*75 ISD：基地局間距離。

表3 カバレッジ性能評価に用いられたシナリオ、周波数、サービス、パケットサイズ、および目標通信速度

	FR1	FR2
シナリオ	Urban, Rural	Indoor, Urban, Suburban
周波数	700MHz, 2.6GHz, 4GHz	28GHz
サービス	VoIP, eMBB	VoIP, eMBB
パケットサイズ (VoIP)	320bits (データ到着間隔: 20ms)	320bits (データ到着間隔: 20ms)
目標の通信速度 (eMBB)	Urban DL: 10Mbps, UL: 1Mbps Rural DL: 1Mbps, UL: 100kbps	Indoor/Urban DL: 25Mbps, UL: 5Mbps Suburban DL: 1Mbps, UL: 50kbps

表4 ボトルネックチャネル

	FR1	FR2
ボトルネックチャネル	第1優先 ・ PUSCH for eMBB and VoIP 第2優先 ・ PRACH ・ Msg3 PUSCH ・ PUCCH ・ PDCCH	・ PUSCH for eMBB and VoIP ・ PUCCH ・ PRACH ・ Msg3 PUSCH

として特定した [4]。さらにFR1においては、多くのシナリオ、周波数やサービスに対してボトルネックチャネルとして特定され、かつ改善必要量が大きなPUSCHが、第1優先として位置付けられた。

(2)カバレッジ性能改善技術

Study Itemにおいて特定されたボトルネックチャネルの中で、より多くのシナリオやサービスで特性改善の必要性が見つけられたもの、および大きな改善が必要とされた信号・チャネルを選定し、Work Item^{*76}において改善技術が策定された。

(a)PUSCH repetition type A^{*77}の改善

Rel-15において、基地局の受信SNRを向上するためにスロットごとにPUSCHを繰返し送信

するPUSCH repetition type Aが規定された。一方、繰返し送信回数は連続するスロットに対して設定されるため、TDD (Time Division Duplex)^{*78}においてはULスロットだけでなくDLスロットもPUSCH送信として回数がカウントされる。DLスロットと衝突したPUSCH送信はキャンセルされるため、実効的な繰返し送信回数が減少する課題がある。そこでRel-17では、実効的な繰返し送信回数を増加させるために以下の2つの機能が規定された。

①最大繰返し送信回数の増加

PUSCHの最大繰返し送信回数は、Rel-15では8回、Rel-16では16回であったが、Rel-17

*76 Work Item: 仕様の規定作業。

*77 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。

*78 TDD: 上りリンクと下りリンクで同じ周波数を用い、時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

では32回に拡張された。

② Available UL slot^{*79}に基づく繰返し送信

Rel-15/Rel-16では、PUSCHの繰返し送信回数はTDDにおいてはDLスロットもPUSCH送信として回数がカウントされるため、Rel-17では、繰返し送信の回数のカウントをPUSCH送信が可能なスロット（Available UL slot）単位で行う方法も適用可能となるように拡張され、繰返し送信の途中でDLスロットが存在する場合でも実際に設定された回数の繰返し送信を行うことが可能となった。

(b) PUSCHの複数スロットにまたがるTB（Transport Block）^{*80}送信（TBoMS（TB processing over Multiple Slots））

Rel-15/Rel-16では、PUSCHで送信するUL

データのTBS（TB Size）は、割り当てられたスロット内のPUSCHに利用可能なRE（Resource Element）^{*81}数などに基づいて算出される。ここで、サービスエリア端の移動局を想定すると、図11(a)の様に繰返し送信を行うほかに、低いMCS（Modulation and Coding Scheme）^{*82}および少ないPRB（Physical Resource Block）^{*83}数を用いてPSD（Power Spectrum Density）^{*84}を高めることで、誤りにくいPUSCH送信を行うことが考えられる。一方で、そのような送信方法ではスロット内で送信可能なデータサイズが小さくなってしまいうため、例えば図11(b)のように小さなTBSのデータを細切れに送信する必要が生じ、これは符号化利得の観点で効率が悪い。

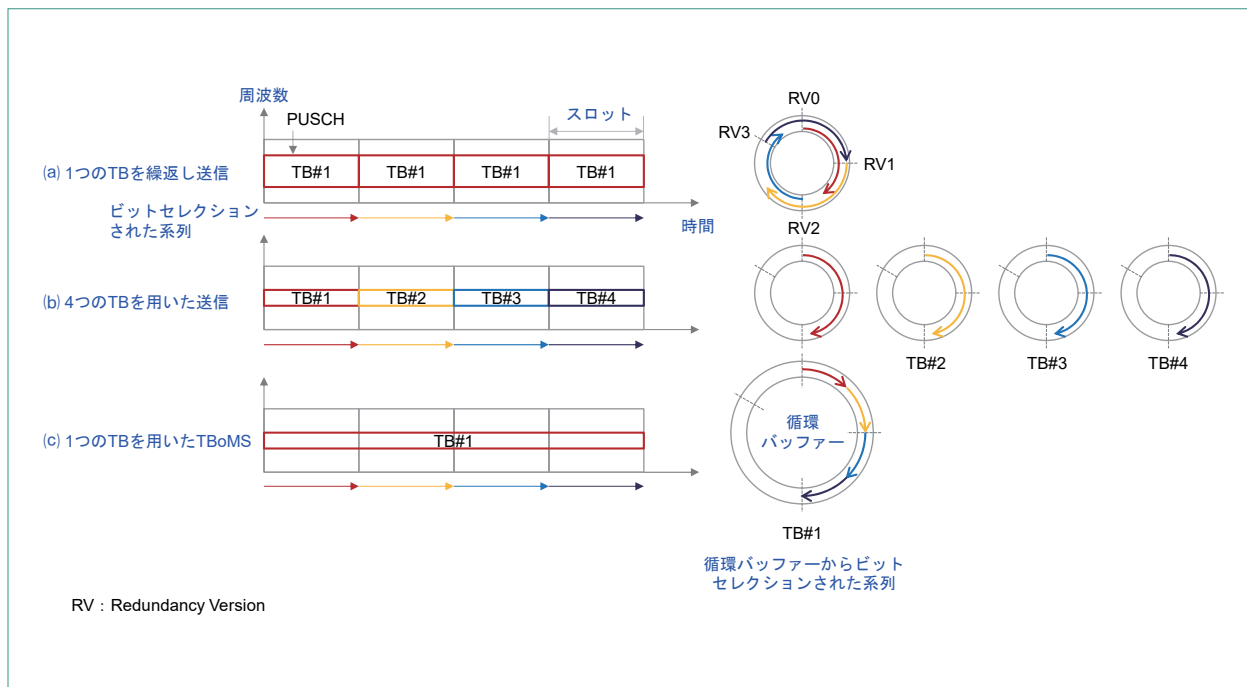


図11 PUSCHのTBの割当ておよびTBoMSの概要

*79 Available UL slot：PUSCHもしくはPUCCHの送信が可能なULスロット。
 *80 TB：データ伝送などの処理を行う際の基本単位。

*81 RE：下りリンクのリソースの構成要素であり、1サブキャリア、1OFDMシンボルで構成。
 *82 MCS：適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。
 *83 PRB：無線リソースの割当て単位であり、1サブフレーム、および12サブキャリアから構成される。
 *84 PSD：周波数に対する信号の電力密度。

このような課題を解決するため、図11(c)に示すように、複数のスロット内のPUSCHに利用可能なRE数などに基づいてTBSを計算し、循環バッファから連続的にビットセレクションされた系列を各スロットにマッピングすることで、複数のPUSCHスロットで1つのTBを送信するTBoMSが規定された。これを実現するため、1つのTBを割り当てるスロット数の通知が新たに導入され、移動局は通知されたスロット数に基づきTBSを算出するとともに、複数スロット数にまたがりTBを送信する。

(c)PUSCHおよびPUCCH (Physical Uplink Control Channel)^{*85}における復調用参照信号 (DM-RS : DeModulation RS)^{*86}のバンドリング

サービスエリア端の移動局において、チャンネル推定^{*87}誤差による通信特性劣化を防ぐため、チャンネル推定精度が重要である。Rel-15/Rel-16では、スケジューリングされたPUSCH/PUCCHに対する基地局によるチャンネル推定は、そのPUSCH/PUCCHリソース内に配置されるDM-

RSを用いて行われる。

Rel-17では、チャンネル推定精度を高めるため、スケジューリングされたPUSCH/PUCCHに対するチャンネル推定を行う際、そのPUSCH/PUCCHリソース内に配置されるDM-RSだけでなく、別のPUSCH/PUCCHリソースに配置されるDM-RSを合わせて用いるDM-RSバンドリングが規定された。これを実現するために、TDW (Time Domain Window)^{*88}が導入され、基地局の設定もしくは移動局の能力などに応じて、連続する複数スロットに対してNominal TDW^{*89}が設定される。図12に示すように、基地局が設定する名目上のTDW (Nominal TDW)の範囲内で、移動局は1つ以上の実質のTDW (Actual TDW^{*90}) が設定可能であり、Actual TDWの開始位置や長さはTDDのULおよびDLスロットや周波数ホッピングなどに応じて決定される。移動局がActual TDW内のDM-RSを一定の電力かつ連続性をもつ位相で送信する事で、基地局はActual TDW内の複数のPUSCH/PUCCH

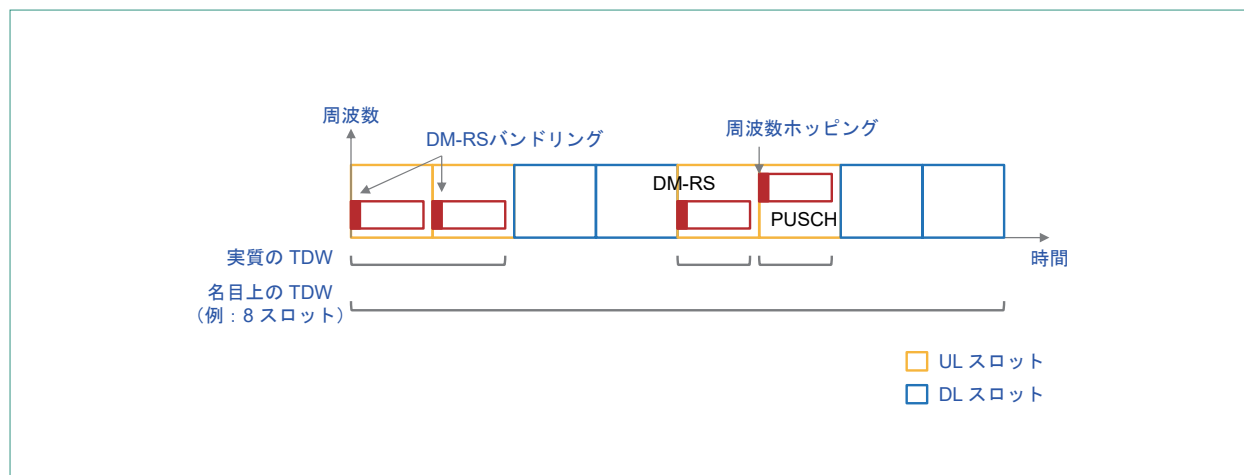


図12 DM-RSバンドリングの概要

*85 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。
 *86 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ンネル推定用の参照信号。
 *87 チャンネル推定：信号が無線チャン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。

*88 TDW：DM-RSバンドリングのため、移動局がDM-RSを一定の電力かつ連続性をもつ位相で送信する区間。
 *89 Nominal TDW：基地局が設定する名目上のTDW。
 *90 Actual TDW：ULおよびDLスロットや周波数ホッピングなどに応じて決定される実際のTDW。

リソースに配置されるDM-RSを用いたチャンネル推定を行うことが可能となる。

(d)Msg3 (Message3)^{*91} PUSCHの繰返し送信

Rel-15/Rel-16では、初期アクセスなどで使用されるMsg3 PUSCHに対して繰返し送信を適用することはできない仕様となっていたが、カバレッジ改善のためには、RRC (Radio Resource Control)^{*92}接続後のPUSCHの繰返し送信だけでなく、初期アクセスで使用されるMsg3 PUSCHの繰返し送信も行うことが有効である。

そこで、Rel-17では、基地局の受信SNRを向上させるために最大8回のMsg3 PUSCHの繰返し送信が導入された。基地局は繰返し送信の要求可否を判断するためのRSRP (Reference Signal Received Power)^{*93}のしきい値を移動局に通知し、移動局は受信するRSRPがしきい値を下回る場合、繰返し送信を要求できる。基地局は、要求の有無に応じて選択可能な異なるPRACHのPreamble index^{*94}もしくはPRACH occasion^{*95}を通知し、移動局は繰返し送信の要求の有無に応じてPreamble index/PRACH occasionを選択し、PRACHを送信する。基地局は移動局の繰返し送信要求に応じてMsg2^{*96} PDSCHで送信するRAR (Random Access Response) UL grant^{*97}内のMCSフィールドを用いて繰返し回数を指示する。この時、繰返し送信を要求した移動局は、MCSフィールドの内容を読み替えるとともに指示された回数のMsg3 PUSCH送信を行う。

(e)PUCCHにおける繰返し送信回数の動的な通知

Rel-15/Rel-16では、PUCCHの繰返し送信回数はすべてのPUCCHリソースに対して共通に

設定される。Rel-17では、移動局の通信環境に応じて適切な繰返し送信回数を設定できるように、繰返し回数の動的な通知が導入された。これを実現するため、PUCCHリソースごとに異なる繰返し回数設定が可能となり、Rel-15/Rel-16の動作に準じてDCI (Downlink Control Information)^{*98}のPRI (PUCCH Resource Indicator)^{*99}フィールドを用いてPUCCHリソースを指示する事で、チャンネル品質などに応じた動的なPUCCHの繰返し送信回数の指示が可能となった。

3.2 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ある。RF Repeaterは日本国内においても、屋内や山間部といった不感地帯に対して電波の増幅中継を行う小電力レピータ・陸上移動中継局として利用されているため、本規定によりNR向けのRF repeaterの開発や法整備が進むことで、高速通信が可能な5Gエリアのさらなる拡張・高密度化が期待される。

(1)NR Repeaterの検討条件

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ため、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) をもつ (図13)。それぞれのリンクに対して、送信電力や周波数偏差^{*100}、隣接チャンネル漏洩電力比 (ACLR)、スプリアス^{*101}発射といった無線特性の基本パラメータの検討が行われ、各無線特性要件が規定された。

*91 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。

*92 RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するレイヤ3プロトコル。

*93 RSRP：UEで測定される参照信号の受信電力。UEの受信感度を表す指標の1つ。

*94 Preamble index：UEが送信するプリアンプルの特有なパターンに付与されるインデックス。

*95 PRACH occasion：PRACHを送信可能な送信機会。

*96 Msg2：ランダムアクセス手順において基地局がPRACHを検出した際に応答として送信する移動局の一時的な識別子やMsg3送信リソースの割当てなどの情報。

*97 RAR UL grant：基地局がPRACHを検出した際に応答として送信する移動局の一時的な識別子やMsg3送信リソースの割り当てなどの情報。

*98 DCI：各ユーザがデータを復調するために必要なスケジューリング情報、データ変調、およびチャンネル符号化率の情報などを含む下りリンクで送信する制御情報のこと。

*99 PRI：基地局が設定する複数のPUCCHリソースの中から使用するPUCCHリソースを指示する情報。

*100 周波数偏差：装置が仕様値として持つ周波数と、実際に送信している周波数 (測定値) のズレを比で表したものの。

*101 スプリアス：信号を送信するときに本来の信号周波数帯以外に放射される不要波のこと。

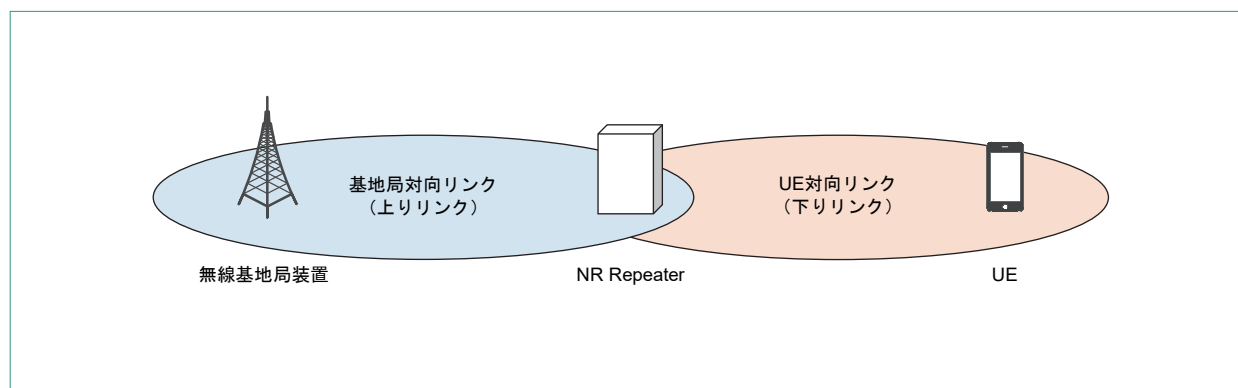


図13 NR Repeaterの各リンクのイメージ

通常、無線特性要件を議論する場合、要件を適用する装置と隣接周波数を利用するUEあるいは無線基地局装置との間の干渉影響（共存検討）をシミュレーションにより評価する。しかしNR Repeaterでは送信可能な最大電力の検討条件を、基地局対向リンクにおいてはUE相当に、UE対向リンクにおいては無線基地局装置相当に設定し、3GPPで過去に実施した5Gシステム向けのUEおよび無線基地局装置に関するシミュレーション結果を流用する形をとることで検討の簡略化を図った。

また、Rel-17におけるNR Repeaterは、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た。よって、無線基地局装置から受信する信号の中身をNR Repeaterは認識しないため、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、この時点のNR repeaterでは想定されておらず、特定方向にビーム形状を固定したビームフォーミングのみが想定されている。なお、基地局からの制御信号に基づいた適応ビームフォーミング制御が可能なNR Repeaterについては、Network-controlled RepeaterとしてRel-18において検討され

ている。

(2)対応周波数の拡張

NR Repeaterでは対応可能な周波数帯がさらに拡張された。LTEにおけるRFレピータは3,590MHzまでのFDD (Frequency Division Duplex) バンド*102にのみ対応していたが、Rel-17におけるNR Repeater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る。よって、日本国内で5G向けの周波数帯として利用されている3.7GHz帯 (n77*103/n78) や4.5GHz帯 (n79)、28GHz帯 (n257) を含むNR TDDバンドの利用が新たに可能となった。

なお、TDDバンドで運用する場合、NR Repeaterは他のネットワークシステムとの干渉を避けるため、無線基地局と同期して信号の送受信のタイミングを合わせる必要があるが、Rel-17 NR Repeaterでは、無線基地局との同期や送受信のタイミング調整に必要となる制御は各製造業者の個別実装で実現する整理とし、標準仕様上では統一的な実現方法は仕様化されていない。

*102 FDDバンド：上りリンクと下りリンクで周波数を分割して信号伝送を行う方式。

*103 n77, n78, n79：FR1帯におけるTDD方式の周波数バンドであり、n77 (3,300～4,200MHz)、n78 (3,300～3,800MHz)、n79 (4,400～5,000MHz) を指す。

(3)装置構成の再整理

新たにFR2へ対応が拡張されたことに伴い、NR Repeaterの装置構成が改めて整理された。FR1の周波数帯では、電波を放射する送受信アンテナとNR Repeaterの無線部*104が分離された構成（Repeater type 1-C）を想定して各無線特性要件が規定されており、これらの要件ではNR Repeaterの物理アンテナコネクタに測定器を有線接続して測定する。

対してFR2の周波数帯では、回路内の電力損失が大きくなることから、アンプ・フィルタ・送受信アンテナなどが集積化され一体となった構成（Repeater type 2-O）を想定して、各無線特性要件が規定されている。有線接続可能な物理アンテナコネクタが実装されないため、伝搬空間上を規定点とするOTA（Over The Air）*105で各無線特性要件を測定する。

3.3 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）が期待されている。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た（表5）。

(1)単一キャリア送信におけるHigh power UE

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23dBmのパワークラス3、あるいは最大26dBmのパワークラス2が規定されてきた。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（29dBm）で送信可能なパワークラス1.5の規定が、n77、n78、n79を対象として導入された。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UL送信比率を設けるなどの制限はあるものの、ULカバレッジ拡大効果が期待される規定となっている。

また、単一キャリア送信におけるUE送信電力について、従来ではTDDバンドに限定されてきたが、Rel-17では新規にFDDバンドにも導入がなされた。FDDは周波数を送信帯域と受信帯域に分割して同時に送受信を行う複信方式であるが、UE自身の送信帯域から受信帯域への干渉影響があるため、送信電力の向上に伴う受信感度の劣化量を考慮した規定が導入された。

(2)複数キャリア送信におけるHigh power UE

複数の送信キャリアを束ねるキャリアアグリゲー

表5 Rel-17におけるHigh power UEの機能拡張

	単一キャリア送信		複数キャリア送信	
	通信方式	最大送信電力	通信方式	最大送信電力
Rel-16	TDD	26dBm	EN-DC	26dBm
Rel-17	TDD, FDD	26dBm	EN-DC, NR-CA, NR-DC, SUL	26dBm
	TDD	29dBm	EN-DC, NR-CA, NR-DC	27.8dBm

※赤字はRel-17で追加された新機能。

*104 無線部：信号の送受信を行うためのアンプやフィルタ、デュプレクサなどをまとめた無線機能部のこと。

*105 OTA：測定アンテナと対向し、レピータのアンテナで送信される電波の特性を測定する方法。

ションにおけるUE送信電力については、Rel-16以前はEN-DC (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network New Radio Dual Connectivity)*¹⁰⁶のみがHigh power UEの対象となっていたが、Rel-17において対象シナリオがNR-CA, NR-DC*¹⁰⁷およびSUL (Supplementary UpLink)*¹⁰⁸にも拡張され、より広いユースケースにおいてHigh Power UEを利用することが可能となった。

また、Rel-16以前は、複数の送信キャリアの合計電力が26dBmまで制限されていたが、Rel-17では各バンドのパワーアンプ出力を最大限まで活用できるように、従来の合計電力の上限から各バンドの最大出力の合計値まで引き上げる新機能も導入された。例えば、23dBmの送信電力を出力できるパワーアンプと、26dBmの送信電力を出力できるパワーアンプの2つを搭載している場合、従来では合計26dBmまでの送信電力しか出力できなかったが、新機能では各パワーアンプを最大出力で動作させて23dBm + 26dBm = 27.8dBmの送信電力を出力できるようになっており、キャリアアグリゲーションにおけるカバレージ拡大が期待できる。

4. UE消費電力削減


ユーザエクスペリエンス向上に向けては、データレート・遅延向上の観点だけでなくUE消費電力の削減の観点も重要な要素として挙げられる。Rel-16では接続状態DRX (connected-mode Dis-continuous Reception)*¹⁰⁹におけるwake up signal*¹¹⁰、最大MIMOレイヤ数の適応、SCell dormancy状態*¹¹¹、cross-slotスケジューリング*¹¹²の改善、UEアシスト情報通知などのUE消費電力削減のための技術拡張を行った。Rel-17では、NR SA運用における待受

け状態 (idle/inactive-mode) のUE消費電力、FR2運用における接続状態 (connected-mode) のUE消費電力、などの特定のユースケースを考慮した場合におけるRel-16の課題を解決するために以下の技術拡張を行った。

4.1 待受け状態のUE消費電力削減

NR SA運用における待受け状態のUEは一定の周期ごとにPaging Occasion*¹¹³にてページングメッセージ*¹¹⁴の監視を行う必要があり、ページングメッセージの受信に必要な時間/周波数同期*¹¹⁵およびAGCをPaging Occasion前に行う必要がある。これらを行う際には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十msごとにUEがwake upしなければならない場合があった。SSBの送信周期の間では十分なスリープ時間が確保できず、電力効率の良いスリープ (Deep Sleep) ではなく電力効率の悪いスリープ (Light sleep) に遷移することになり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の2つの機能がRel-17で追加された。

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

待受け状態のUEは、Paging Occasionにおける自身宛のページングメッセージ有無が事前には分からないため、そのメッセージの有無にかかわらず前述のとおりページングメッセージを受信するために必要な時間/周波数同期およびAGCを行う。そのとき、実際には自身宛のページングメッセージの送付が無い場合には、不必要な動作を行うことになる。そこでRel-17では、ページングの早期通知 (Paging early indication) を行うことにより、14(a)の通り、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

*106 EN-DC: LTEの周波数帯とNRの周波数帯を束ねて通信することで広帯域化を実現する技術を指す。

*107 NR-CA, NR-DC: NR-CAは、NRの周波数帯とNRの周波数帯を束ねてキャリアアグリゲーションする通信方式を指す。複数のNR周波数帯について、同一の基地局に接続する場合はNR-CA、異なる基地局に接続する場合はNR-DCと呼ぶ。

*108 SUL: 上り通信にのみ使用される周波数帯およびそれを用いた通信方式を指す。

*109 接続状態DRX: 下り制御信号などを間欠受信とすることでUE消費電力削減を行う手法。

*110 wake up signal: UEのハードウェアなどをアクティブ化する (wake up) 必要があるかどうかを事前に通知する信号。

*111 dormancy状態: SCellのPDCCHをモニタリングしないことでUE消費電力削減が可能となり、かつCSI測定などの通信に必要な準備を行っておくことで素早くactivation状態に復帰可能な状態。

*112 cross-slotスケジューリング: 下り制御信号を受信したスロットとは異なるスロットにスケジューリングする方法。

*113 Paging Occasion: ページングを受信する無線リソース。

*114 ページングメッセージ: 待受け中のUEに対して、ネットワークと接続するように呼び出すための信号。

*115 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。

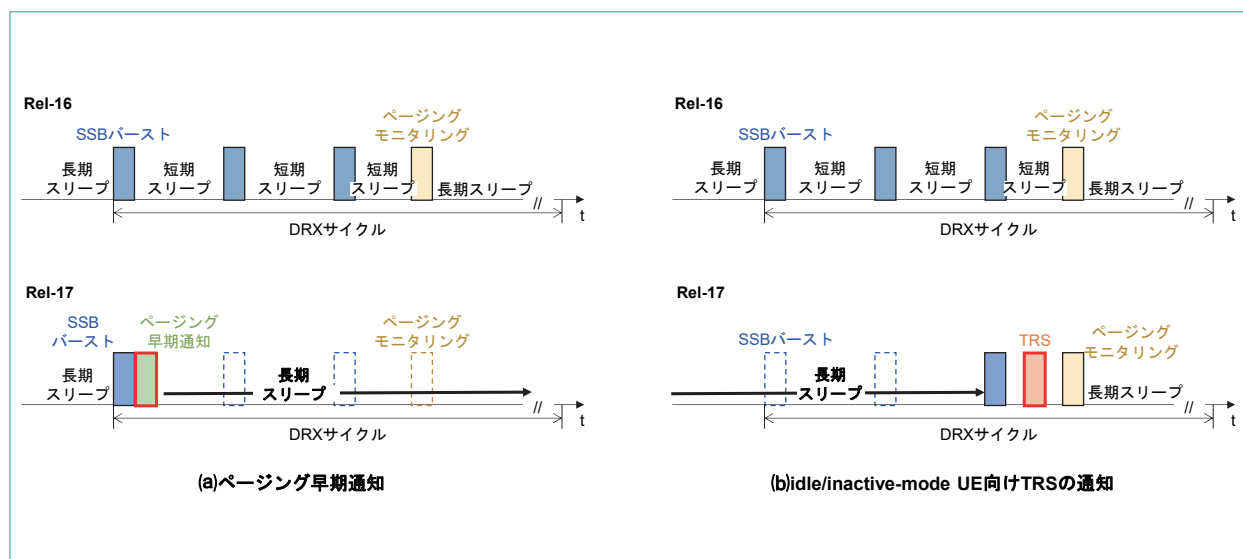


図14 待受け状態のUE消費電力削減

減することでUE消費電力の改善を行った。ページングの早期通知ではUEのサブグループごとにページングメッセージの有無を通知可能となっており、サブグループはCN (Core Network)^{*116}による割当てもしくはUE IDによる割当てが可能となっている。

(2)待受け状態UE向けTRS (Tracking Reference Signal)^{*117}の通知

Rel-16ではTRSは接続状態のみに利用可能だったが、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^{*118}によりTRS関連情報が通知可能となった。図14(b)に示すように、待受け状態のUEがページング受信前に、時間/周波数同期およびAGCのために複数の参照信号を受信する必要がある場合、Rel-16ではSSB受信ごとにwake upする必要があったが、Rel-17では時間/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wake up

回数を減らすことができ、効率よくスリープ時間を確保できるためUE消費電力を削減できる。接続状態のUE向けに通知しているTRSを待受け状態のUE向けにも通知することで、リソースオーバーヘッドを増加させずにUE消費電力を削減することができる。

4.2 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 (PDCCH) モニタリングの削減および物理リンク監視 (Radio Link Monitoring) /ビーム障害検出 (Beam Failure Detection) 測定の緩和の観点から、以下の機能がRel-17で追加された。

(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る。そこで、ユーザデータの送

*116 CN: ゲートウェイ装置, 位置管理装置, 加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動通信システムを構成するネットワークのコア部分。移動機は無線基地局などで構成される無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

*117 TRS: 主に同期処理などに用いる参照信号。

*118 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る。

受信が無いことが見込まれる場合に、不必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た。

(a)下り制御信号モニタリングスキップ

基地局は、UEに下り制御情報（DCI）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消費電力が削減できる（図15(a)）。指定可能なスキップ期間については、UEに最大100msまでの期間を最大3つまで事前設定可能となっており、下り制御情報によるスキップ通知ごとにそれら3つのうちから指定可能となっている。

(b)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^{*119}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づく下り制御信号モニタリング設定を動的に切替えることが可能となった（図15(b)）。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、不必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る。サーチス

ペースセットグループは最大3つまで設定可能となっており、それら3つのグループの間で下り制御情報によりグループ遷移を指示可能である。一定期間データスケジューリングを伴う下り制御信号を受信しなかった場合には、事前に設定されたデフォルトサーチスペースセットグループに遷移する。

(2)物理リンク監視／ビーム障害検出測定との緩和

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る。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、消費電力を削減することを可能とした。

5. あとがき

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

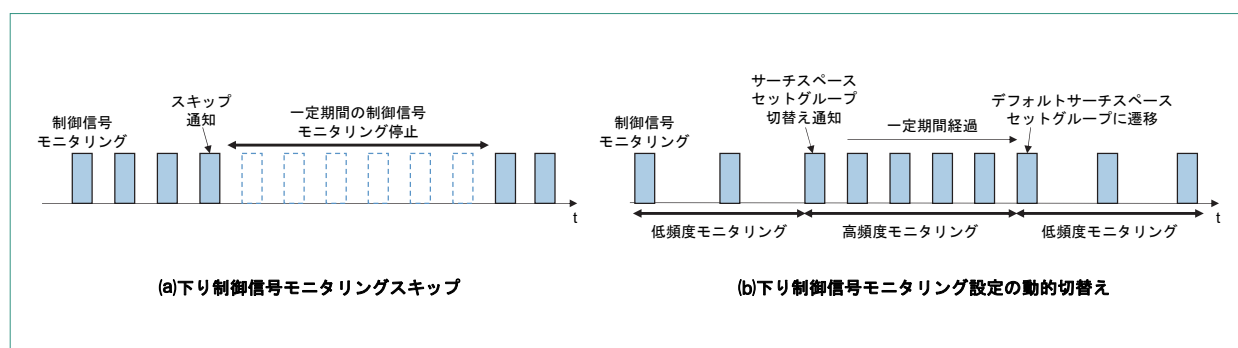


図15 接続状態のUE消費電力削減

*119 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。

待できる。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] 原田, ほか: “3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.8-14, Oct. 2022.
- [2] 3GPP TR38.807 V16.1.0: “Study on requirements for NR beyond 52.6 GHz,” Apr.2021.
- [3] ETSI EN302 567 V2.2.1: “Multiple-Gigabit/s radio equipment operating in the 60 GHz band: Harmonized Standard for access to radio spectrum,” Jul.2021.
- [4] 3GPP TS38.830 V17.0.0: “Study on NR coverage enhancements,” Dec. 2020.