

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

6G-IOWN推進部

くまがい しんや たかはし ゆうき
熊谷 慎也 高橋 優元よしおか しょうへい
吉岡 翔平

無線アクセス開発部

いのうえ しょうき びん てんよう
井上 翔貴 関 天楊

移動機開発部

おかむら まさや
岡村 真哉

近年，スマートファクトリーなど，移動通信業界にとどまらないさまざまな産業分野において，5G技術の活用が想定されている．3GPP Rel-17では，Rel-16と比較してさらに幅広いユースケースおよび高度なソリューションをターゲットとした仕様化が行われた．本稿では，3GPP Rel-17における産業創出・ソリューション協創に資する無線アクセス仕様を解説する．

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）技術は，さまざまな産業の発展や多岐にわたる社会課題の解決を支える重要な要素として考えられており，その中でも特定のユースケース・サービスの実現に資する無線

アクセスネットワーク技術の検討が進められてきた．3GPP（3rd Generation Partnership Project）Release 17（以下，Rel-17）では，Rel-16において想定された産業連携領域に向けた無線技術のさらなる高度化，および産業連携領域を拡大する技術の仕様化が行われた．

©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．

本稿では、産業連携を主なターゲットとした各種ソリューション（以下、産業連携ソリューション）について、3GPP Rel-17の検討背景および実現のための無線関連の要素技術を解説する。

2. 産業連携ソリューションの検討背景

3GPP Rel-17に関連する産業連携ソリューションとその背景、および技術要件について以下にまとめる。

2.1 スマートファクトリー

産業連携ソリューションの1つであるスマートファクトリーでは、高信頼・低遅延な無線ネットワークを通じて工場内のあらゆる機器が相互に接続して自動制御などが行われる。Rel-16においてこれを実現するための要素技術がすでに仕様化されたが [1]、さらなる高信頼化・低遅延化を目的としてRel-17においても引き続きスマートファクトリーが検討の対象とされた。

例えば、工場モーション制御自動化^{*1}についてはRel-16およびRel-17において「20bytesのパケットを、2ms以下の遅延かつ99.9999%以上の信頼度で送信すること」を目標値としている。また、確定性通信^{*2}のための時刻同期精度として「1μs以下」を目標値としている。加えて、スマートファクトリーの実現のためには機器の正確な位置情報をリアルタイムに取得することが求められる [2]。しかしながら、屋内においてはGNSS（Global Navigation Satellite System）^{*3}信号の受信が難しいことから、RAT（Radio Access Technology）^{*4}信号を用いた高精度測位と低遅延測位の実現が要求され、水平誤差0.2m未満・垂直誤差1m未満の測位精度と、エンドツーエンドで100ms未満の測位遅延をターゲットに仕様化され

た。またAGV（Automated Guided Vehicle）^{*5}のように安全性を求められるケースにおいては、位置測位の信頼性が確保できていることを確認するために、位置測位に対するインテグリティが仕様化された。

2.2 IoT

これまでのセルラ通信では、スマートフォンや産業用などの高性能端末、およびセンサなどのIoT端末を対象とした無線規格が仕様化されてきた。IoT端末のうちハイエンドIoT端末に対してはモバイルブロードバンドの高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）や高信頼・低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）にかかわる無線仕様が用いられ、ローエンドIoT端末については、NB（NarrowBand）-IoT^{*6}やeMTC（enhanced Machine Type Communication）^{*7}といったLTE-IoT規格が収容する。一方で、これらの無線仕様やLTE-IoT規格などは、ハイエンドIoT端末とローエンドIoT端末との間を補完するミドルレンジIoT端末、例えば産業向け無線センサ、監視カメラ、ウェアラブル端末には最適化されておらず、ミドルレンジIoT端末に適した無線規格の検討が進められた（図1）。それぞれのユースケースに対する要求条件を図2に示す。

2.3 空中・海上・山間部などの新カバレッジ

多様な産業連携ソリューションの実現のために、これまでモバイルネットワークによってカバーされていないエリア、例えば空中・海上・山間部などあらゆる場所へ5Gネットワークを拡張することが望まれている。一方で、従来の地上基地局でこれを実現することはコスト観点から非常に難しく、災害に対する堅牢性の課題も存在する。そこで5Gネットワークの領域拡大に向けて非地上ネットワーク

*1 工場モーション制御自動化：工場内で生産マシンの動作（移動や回転など）を所定の周期で厳格にコントロールする自動制御システムのことを指す。例えば、大型印刷マシンやパッケージングマシンにこのモーション自動制御システムが組み込まれている。

*2 確定性通信：許容遅延時間内にデータ到達を保証する通信のこと。

*3 GNSS：GPSや準天頂衛星などの衛星測位システムの総称。

*4 RAT：NR、LTE、3G、GSM、Wi-Fiなどの無線アクセス技術のこと。

*5 AGV：無人搬送機。移動型ロボット的一种で、自動操縦で工場や倉庫において商品や材料などを搬送することができる。

*6 NB-IoT：eMTCよりもさらに狭い周波数帯を用いてIoT（センサなど）向けに低速データ通信を行う端末用LTE通信仕様。

*7 eMTC：狭い周波数帯を用いてIoT（センサなど）向けに低速データ通信を行う端末用LTE通信仕様。

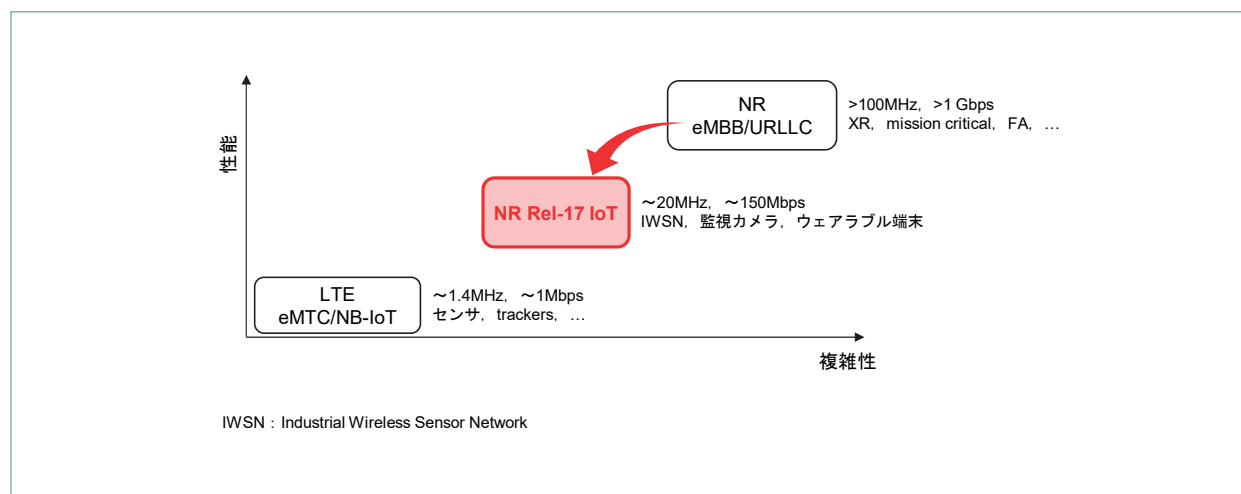


図1 Rel-17 IoTの位置づけ

	産業向け無線センサ	監視カメラ	ウェアラブル
端末コスト／複雑性	Rel-15/16 ハイエンドeMBB/URLLC 端末以下		
端末サイズ	コンパクト		
設置シナリオ	FR1 : 410~7,125MHz, FR2 : 24,250~52,600MHz, FDD/TDD全バンド対応		
信頼性	99.99%	99~99.9%	—
遅延	<100ms 5~10ms (Safety-related)	<500ms	—
データレート	<2Mbps	2~4Mbps (economic) 7.5~25Mbps (high-end)	DL : 5~50Mbps, UL : 2~5Mbps (reference) DL : Up to 150Mbps, UL : Up to 50Mbps (Peak)
電池寿命	数年以上	—	最大 1~2 週間

図2 Rel-17 IoTの対象ユースケースと要求条件

(NTN : Non-Terrestrial Network)^{*8}が注目を集めており (図3), 衛星通信業界から多数の企業が3GPPに参加して議論が進められてきた。この5G

ネットワーク拡張によりモバイルブロードバンド通信や放送系サービス, 安全・防災 (Public safety) サービスなどを, 移動時や災害時を含めて常に提供

^{*8} 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拡張されたネットワーク。

することが可能になる。NTNの具体的な対象ユースケースは、文献 [3] にまとめられており、図4に示すとおり大きく4つに分類することができる。

3. 産業連携ソリューションを実現する要素技術

前述した3つの産業連携ソリューションや、これ

らにとどまらないさまざまな産業連携ソリューションの実現に向けて、Rel-17では以下の無線技術の検討および仕様が行われた。例えば、URLLC/TSN (Time Sensitive Network)^{*9}/Positioning^{*10}/RAN (Radio Access Network)^{*11}Slicingをスマートファクトリーに、後述するRedCap (Reduced Capability) をIoTに、NTNを空中・海上・山間部などの新カバレッジに、それぞれ適用することが期待される。

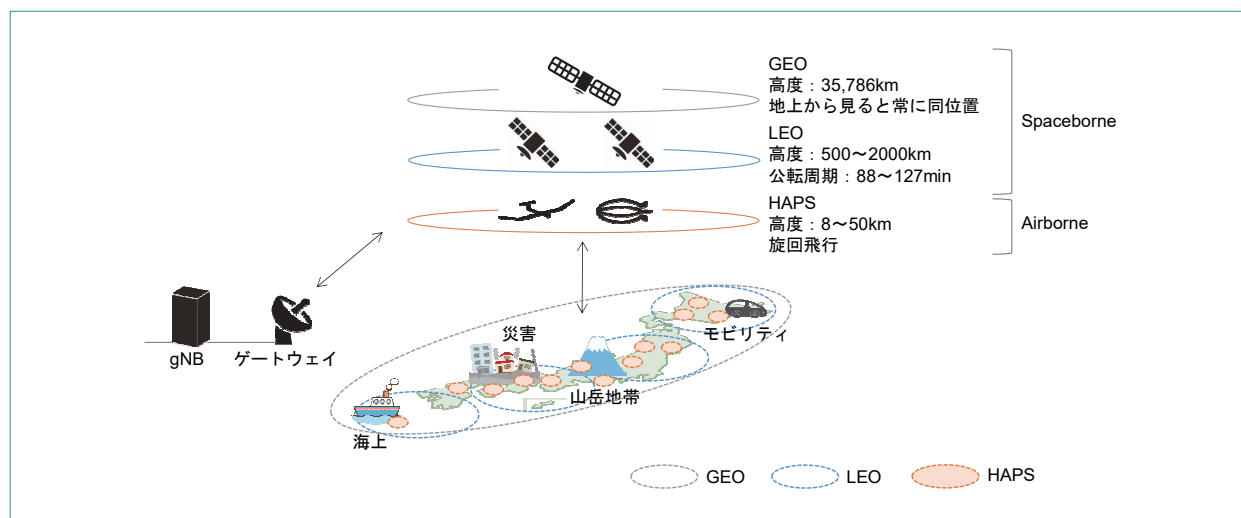


図3 NTN概要

カテゴリ	Deployment/Coverage	Availability	Multicast/Broadcast	Public safety
ユースケース	<ul style="list-style-type: none"> Hot spot on demand Multi connectivity Fixed cell connectivity Mobile cell connectivity Trunking 	<ul style="list-style-type: none"> Network resilience Mobile cell hybrid connectivity 	<ul style="list-style-type: none"> Edge network delivery Direct to node broadcast Direct to mobile broadcast 	<ul style="list-style-type: none"> Wide/Local/Regional area public safety

図4 NR NTNのユースケース

*9 TSN：時刻を厳密に取り扱うネットワークのことを指す。

*10 Positioning：位置測定のことを指す。

*11 RAN：コアネットワークと端末の間に位置する、無線基地局および無線回線制御装置などで構成されるネットワーク。

3.1 URLLC

(1)低遅延通信のための技術拡張

- (a)サブスロット構成^{*12}の上りリンク制御チャネル (PUCCH: Physical Uplink Control CHannel)^{*13}送信および繰返し送信

URLLCを目的として、サブスロット構成のPUCCH送信機能が拡張された。Rel-16では、HARQ-ACK (Hybrid Automatic Repeat re-Quest-ACKnowledgement)^{*14}の単一送信のみがサブスロット構成のPUCCHでサポートされていた。Rel-17では、図5に示すようなサブスロット単位のPUCCHの繰返し送信もサポートされた。また、HARQ-ACKに加えて、CSI (Channel State Information)^{*15}およびSR (Scheduling Request)^{*16}を含むすべてのUCI (Uplink Control Information)^{*17}がサブスロット構成のPUCCH送信でサポートされる。

- (b)PUCCHセルの切替え

Rel-16までの端末は、PUCCH送信のための無線リソース^{*18}が設定されるPCell (Primary Cell)^{*19}またはPSCell (Primary Secondary Cell)^{*20}、PUCCH-SCell^{*21}のみでPUCCH送信を実施する。しかし、TDD (Time Division

Duplex)^{*22}動作において、上記PUCCH送信が実施可能なセルのTDD構成によってUL (UpLink)の送信機会が少ない場合、PUCCHの送信遅延が発生する可能性がある。そこで、あるセルのPUCCHを、異なるTDD構成をもつ他のセルで送信する機能が規定された。

移行先PUCCHセルは、DCI (Downlink Control Information)^{*23}による動的通知や上位レイヤシグナリング^{*24}によるセルパターンによって設定される。DCIによる動的通知では、DCIで移行先PUCCHセルおよびPUCCHを送信するスロットを指示する。上位レイヤシグナリングによる通知では、スロットごとに移行先PUCCHセルを示すセルのインデックスが含まれるセルパターンを設定し、端末はセルパターンに基づいて、移行先PUCCHセルを決定する。

(2)システム利用効率向上のための技術拡張

- (a)SPS (Semi-Persistent Scheduling)^{*25}下りリンクデータチャネル (PDSCH: Physical Downlink Shared CHannel)^{*26}に対するHARQ-ACKの延期送信

SPS PDSCHに対するHARQ-ACKの送信機会を延期する機能が仕様化された。SPS PDSCH

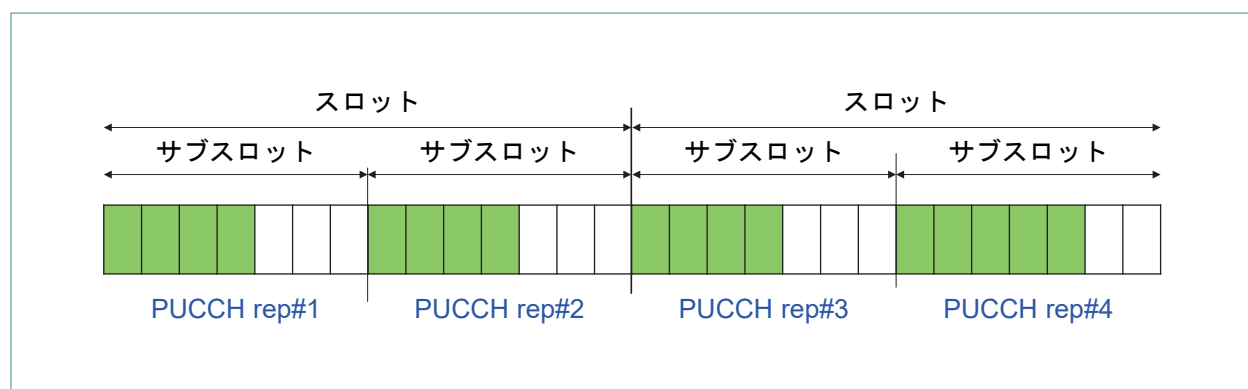


図5 サブスロット構成のPUCCH繰返し送信

*12 サブスロット構成：スロットを複数のOFDMシンボル（*36参照）単位で分割したスケジューリングの単位。
 *13 上りリンク制御チャネル (PUCCH)：ULでデータパケットを送信するために用いる物理チャネル。
 *14 HARQ-ACK：データの受信ノードが正常に受信（復号）できたか否かを送信ノードに通知する受信確認信号。
 *15 CSI：信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。
 *16 SR：ユーザが基地局に対し、ULの無線リソース割当てを要求する信号。
 *17 UCI：ULにおけるHARQ-ACKやCSI、SRのような信号の総称。

*18 無線リソース：ユーザごとに通信のため割り当てられる時間および周波数の単位。
 *19 PCell：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、接続を担保するコンポーネントキャリア（*31参照）／セル。
 *20 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（*31参照）／セルの中で、接続を担保するもの。
 *21 PUCCH-SCell：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、PCellまたはPSCellでないコンポーネントキャリア（*31参照）／セルであり、PUCCH送信のための無線リソースが設定されるもの。

は、上位レイヤによって設定される周期に基づいて基地局から送信される。また、SPS PDSCHに対する端末からのHARQ-ACKの送信タイミングは、基地局からのアクティベーションDCIによって通知されるか、上位レイヤシグナリングによって設定される。

SPS PDSCHに対するHARQ-ACKの送信タイミングが、DL (DownLink) シンボル、SSB (Synchronization Signals/Physical Broadcast CHannel Block) シンボル^{*27}、CORESET (COnTrol REsource SET) #0シンボル^{*28}のタイミングと衝突する場合、当該HARQ-ACKの送信は中止される。その結果、当該HARQ-ACKに対応するSPS PDSCHの再送信が行われるため、システム利用効率の低下に繋がる。そこで、上記衝突時に、HARQ-ACKの送信タイミングを次のULスロットまで延期して送信する機能が仕様化された (図6)。

(b)単発のHARQ-ACK再送

システム利用効率の向上を目的として、DLシンボルとの衝突や高優先のHARQ-ACKとの

衝突などによって送信が中止されたHARQ-ACKの再送手段が仕様化された。具体的には、基地局は再送対象となる1つのHARQ-ACK CB (CodeBook)^{*29}をDCIにより動的に通知し、端末は当該DCIで通知されるPUCCHスロットにおいてHARQ-ACK CBの再送を行う。

(c)Type 3 HARQ-ACK CBの機能拡張

Rel-16で仕様化されたType 3 HARQ-ACK CBについて、Rel-17ではシステム利用効率の向上を目的とし、これらに含まれるHARQ-ACKビット^{*30}数を柔軟に変更する機能が仕様化された。Type 3 HARQ-ACK CBには、全コンポーネントキャリア (CC: Component Carrier)^{*31}の全HARQプロセス番号^{*32}分のHARQ-ACKビットが含まれる。従って、UCIビット数が大きく、システム利用効率が低下する可能性がある。そこで、任意のCCまたは任意のHARQプロセス番号に対するHARQ-ACKのみをHARQ-ACK CBに含めて再送するEnhanced Type 3 HARQ-ACK CBが仕様化された。HARQ-ACK CBに含める任意のCCまたは任意のHARQプロ

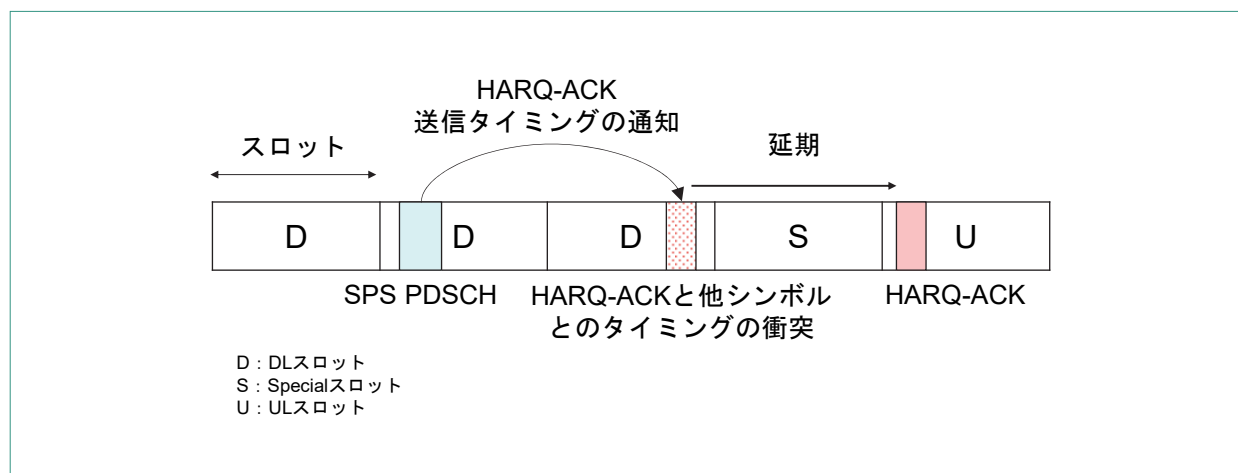


図6 SPS PDSCHに対するHARQ-ACKの延期送信

^{*22} 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。

^{*23} 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、およびチャネル符号化率の情報などを含むDLで送信する制御情報のこと。

^{*24} 上位レイヤシグナリング : 本稿では、MACレイヤまたはそれよりも上位のレイヤにおいて端末制御のために送受信されるシグナリング (例えばRRC (^{*86}参照) メッセージ、MAC CE (^{*87}参照) など) を表す。

^{*25} SPS : 半固定的なリソース割当てを行うスケジューリング手法。

^{*26} 下りリンクデータチャネル (PDSCH) : DL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。

^{*27} SSBシンボル : 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を端末が受信するシンボル。

^{*28} CORESET #0シンボル : 初期アクセスにおいて、SIB (^{*120}参照) 1の受信を行うために必要なスケジューリング情報を含む制御情報を受信するシンボル。

セス番号は、上位レイヤシグナリングで設定される。

(3)通信の信頼性を向上させる技術拡張

(a)サブスロット構成のHARQ-ACK送信に対するType 1 HARQ-ACK CB^{*33}

Rel-16では、スロット構成のPUCCHのHARQ-ACK送信に対して、準静的にHARQ-ACK CBを生成するType 1 HARQ-ACK CBの送信がサポートされていた。また、前述のサブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACK送信に対しては、動的にHARQ-ACK CBを生成するType 2 HARQ-ACK CB^{*34}のみがサポートされていた。

Rel-17では、サブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACK送信に対して、準静的にHARQ-ACK CBを生成するType 1 HARQ-ACK CBもサポートされる。Type 2 HARQ-ACK CBでは、端末がDCIを正常に受信できなかった場合、基地局と端末との間で異なるHARQ-ACK CBが想定され、通信の信頼性が低下する可能性がある。一方、Type 1 HARQ-ACK CBでは基地局から準静的に設定される情報に基づいてHARQ-ACK CBを生成するためこの問題が生じない。従って、サブスロット構成におけるHARQ-ACK送信の信頼性の向上に繋がる。

サブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACK送信に対するType 1 HARQ-ACK CBの生成手順は、スロット構成のType 1 HARQ-ACK CBの生成手順の一部を変更することで仕様化された。スロット構成のType 1 HARQ-ACK CBは、以下の手順で生成される。

Step①：HARQ-ACKを送信するULスロットに対して、当該ULスロットでHARQ-ACK送信を実行するように指示されるPDSCHを含み得るDLスロットを端末が決定する。

Step②：上記DLスロットに対して、TDRA (Time-Domain Resource Allocation) テーブル^{*35}を基に、PDSCHを受信する可能性のある機会（PDSCH受信機会候補）を決定する。
Step③：上記DLスロットのPDSCH受信機会候補のうち、TDD構成でULと設定または指示されているスロット・シンボルとOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) シンボル^{*36}単位で重複する場合、当該PDSCH受信機会候補を除外する。
Step④：残りのPDSCH受信機会候補に対して、OFDMシンボル単位で重複するPDSCH受信機会候補同士をグループ化する。
Step⑤：端末が各グループに対して、HARQ-ACKビットを生成する。

サブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACKに対するType 1 HARQ-ACK CBでは、前述のStep②の手順を変更している。具体的には、Step①で決定されたDLスロットにおいて、サブスロット構成を適用した場合のHARQ-ACK送信タイミングの基地局からの通知に基づいて、端末がPDSCH受信機会候補を決定する。

動作例を図7に示す。以下では、図7のサブスロット#6で、サブスロット構成のPUCCHのHARQ-ACKを送信することを想定する。

Step①にて、スロット#3でHARQ-ACK送信を実行するように指示されるPDSCHを含み得るスロットが、DLスロット（スロット#2）として決定される。ここではスロットに含まれるPDSCHに対して、HARQ-ACK送信タイミングが1スロット後と基地局から通知されることを想定しており、スロットのPDSCH受信機会候補に対応するHARQ-ACK送信がスロット#3

^{*29} HARQ-ACK CB：複数のHARQ-ACKビット（^{*30}参照）を1つのULチャネルで送信する際の、当該ビットの集合のことを指す。

^{*30} HARQ-ACK ビット：HARQ における ACK または NACK (Negative ACK) を、1または0のビットで表したものを。

^{*31} コンポーネントキャリア (CC)：CAにおいて束ねられる周波数帯の1つを表す用語。

^{*32} HARQ プロセス番号：PDSCH受信に対するHARQ-ACKを管理するためのプロセス番号。

^{*33} Type 1 HARQ-ACK CB：PDSCH受信機会候補に対して準静的

にHARQ-ACKビットを生成し、HARQ-ACK CBを構成する方式。

^{*34} Type 2 HARQ-ACK CB：実際に受信するPDSCHに対して動的にHARQ-ACKビットを生成し、HARQ-ACK CBを構成する方式。

^{*35} TDRAテーブル：端末に対する、データチャネルの時間リソースの割当て候補情報。

^{*36} 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 (Cyclic Prefix) が挿入される。

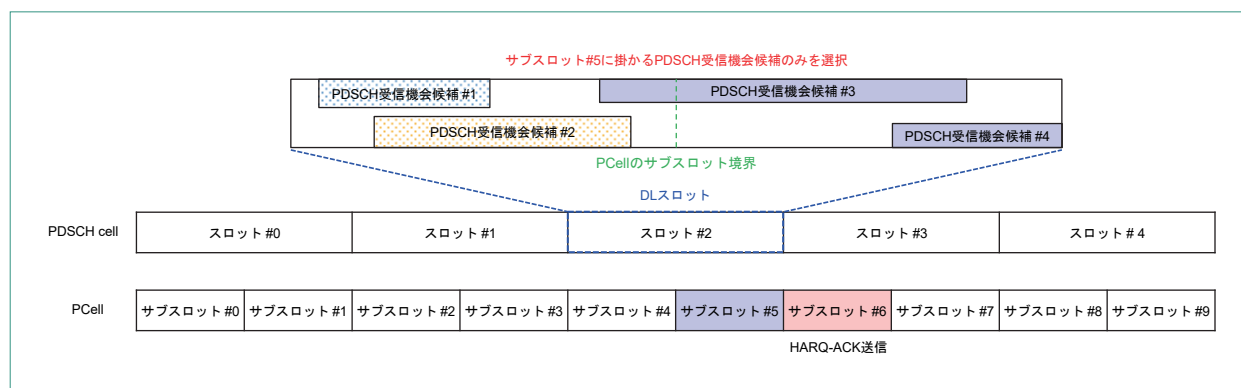


図7 サブスロット構成のType 1 HARQ-ACK CBの生成手順

で実行するように指示される可能性がある。従って、スロット#2がDLスロットとして決定される。

次に、Step②にて上記HARQ-ACK送信タイミングの単位をサブスロットとして解釈し、上記DLスロットのPDSCH受信機会候補を決定する。ここではHARQ-ACK送信タイミングを1サブスロット後と想定するため、HARQ-ACKを送信するサブスロット#6の1つ前のサブスロットであるサブスロット#5に掛かるPDSCH受信機会候補を選択する。上記DLスロットにおいて、サブスロット#5と時間的に同一となるPDSCH受信機会候補#3および#4のみを受信機会候補として決定する。一方、PDSCH受信機会候補#1およびPDSCH受信機会候補#2は、サブスロット#5と時間的に同一でないため、候補から除外される。

(b)高粒度のサブバンド^{*37}CQI (Channel Quality Indicator)^{*38}報告

高粒度のサブバンドCQIの報告が仕様化された。CQIの報告はワイドバンド^{*39}またはサブバンド単位で実施することができる。Rel-15/Rel-16において、サブバンドCQIの報告値は、

表1に示すように、4ビットの値を用いたワイドバンドのCQIインデックス値からのオフセット値^{*40}を、2ビットの値（4パターン）を用いて報告していた。オフセット値が2以上または-1以下の場合、丸め込んだ値が報告される。従って、サブバンドのCQIインデックスを正確に報告することができず、最適なMCS (Modulation and Coding Scheme)^{*41}が選択されないことで信頼性が低下する可能性があった。そこで、Rel-17ではワイドバンドと同様に4ビットの値（0~15）を用いて、サブバンドのCQIインデックスを実値で報告することを仕様化した。

(4)eMBBのURLLCのための技術拡張

工場内の制御機器のUL送信については、端末内から遅延・信頼性の要求条件が異なるデータや信号が送信される時、端末内において衝突が発生し、重要な制御データが遅延して届くなどのケースが想定される。遅延・信頼性に対する要求条件が厳しいデータの送信が中止されないよう、UE (User Equipment) 内で異なる優先度を有する、複数のULの送信が衝突する際の動作がRel-16で仕様化された。PUCCHや上りリンクデータチャネル (PUSCH: Physical Uplink Shared Channel)^{*42}、サウンディング

*37 サブバンド：全周波数帯域を複数に分割したうちの1つ。

*38 CQI：端末で測定されたDLの伝搬路状況を表す受信品質指標。

*39 ワイドバンド：全周波数帯域のことを指す。

*40 オフセット値：オフセットとは、ある位置を基準点からどれだけずれているか（差があるか）を表した値のこと。オフセット量はその度合い。

*41 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。

*42 上りリンクデータチャネル (PUSCH)：UL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。

グ参照信号（SRS：Sounding Reference Signal）^{*43}に対して2値の優先度（高優先／低優先）がサポートされており、衝突時には低優先のUL送信が中止され、高優先のUL送信のみが行われる。従って、eMBBなどの低優先のUL送信は再送する必要がある、遅延の増大や信頼性の低下を招く課題があった。Rel-17では、低優先のUL送信の遅延および信頼性向上を目的とし、一部の衝突の組合せにおいて、高優先と低優先の両方のUL送信を行う機能が仕様化された。以下の2つの方法が規定されている。

(a)低優先および高優先通信の多重送信

低優先と高優先のUL送信が、OFDMシンボル単位で同時に送信されるようにスケジューリングされた場合、低優先および高優先のUL送信を単一のULチャンネルに多重して行う。ただし、多重送信がサポートされる衝突の組合せは一部であり、それ以外の組合せでは、低優先の上り送信は中止され、高優先の上り送信のみが行わ

表1 2ビットのサブバンドCQI報告

サブバンドCQIの 差分インデックス	オフセット値
0	0
1	1
2	≥ 2
3	≤ -1

表2 PUCCH衝突時の動作

	HP HARQ-ACK	HP HARQ-ACK+SR
LP HARQ-ACK	すべてを多重 [*]	すべてを多重 [*]
LP SR	LP SRの送信を中止	LP SRの送信を中止し、他を多重 [*]
LP HARQ-ACK+SR/CSI	LP SR/CSIの送信を中止し、他を多重 [*]	LP SR/CSIの送信を中止し、他を多重 [*]

HP：High Priority
LP：Low Priority

^{*}多重はHP PUCCHへの多重を意味する。

れる。具体的には、表2および表3に示すとおり、衝突するPUCCHのUCI typeおよびPUSCHの組合せによって動作が定義される。例えば、低優先のHARQ-ACKのみを含むPUCCHと高優先のHARQ-ACKのみを含むPUCCHとが衝突する場合、端末は両方のHARQ-ACKを多重して高優先のPUCCHリソースを用いて送信する。また、低優先のSRのみを含むPUCCHと高優先のHARQ-ACKのみを含むPUCCHとが衝突する場合、端末は、低優先のPUCCHの送信を中止し、高優先のHARQ-ACKのみを含むPUCCHを送信する。なお、表2および表3に含まれない衝突の組合せの場合、端末は低優先のUL送信を中止し、高優先のUL送信のみを行う。

(b)低優先および高優先通信の同時送信

inter-band CA（Carrier Aggregation）^{*44}において、異なるセルの異なる優先度を有するPUCCHおよびPUSCHがOFDMシンボル単位で衝突する場合、両方のチャンネルを同時に送信する機能が仕様化された。この機能により、低優先の上りチャンネルの遅延の低減および信頼性の向上が図れる。

(5)アンライセンスバンド^{*45}におけるURLLC機能の技術拡張

NR（New Radio）のアンライセンスバンドでの活用が検討され、NR-U（NR Unlicensed）がNR

^{*43} サウンディング参照信号（SRS）：基地局側でUL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。

^{*44} inter-band CA：異なるバンドのキャリアを用いたCA。

^{*45} 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。

表3 PUCCHおよびPUSCH衝突時の動作

		PUCCH			
		HP HARQ-ACK	LP HARQ-ACK	HP+LP HARQ-ACK	LP HARQ-ACK+ CSI/SR
LP PUSCH	w/o CSI	すべてを多重*	すべてを多重*	すべてを多重*	LP SRの送信を 中止し、他を多重*
	w/ CSI part 1			CSI part 2の送信を 中止し、他を多重*	
	w/ CSI part 1, part2				
HP PUSCH	w/o CSI	すべてを多重*	すべてを多重*	すべてを多重*	LP CSI/SRの送信を 中止し、他を多重*
	w/ CSI part 1		LP HARQ-ACK の送信を中止し、 他を多重*	LP HARQ-ACK の送信を中止し、 他を多重*	LP HARQ-ACK+ CSI/SRの送信を中止し、 他を多重*
	w/ CSI part 1, part2				

w/ : With
w/o : Without

※多重はPUSCHへの多重を意味する。

Rel-16の一機能として仕様化された。Rel-17では、アンライセンスバンドにおけるURLLC機能の親和性を向上させることや、さらなる遅延の低減を目的として、次の機能拡張が行われた。

(a)FBE (Frame Based Equipment)*⁴⁶動作におけるUE-initiated COT (Channel Occupancy Time)*⁴⁷

Rel-16 NR-Uでは、FBE動作 [4] の場合、基地局がトリガするCOT [4] のみがサポートされており、送信は常にDLから開始される。Rel-17では、UL送信の遅延の低減を目的として、端末がトリガするCOTが策定された。端末は、ULのトラフィックがある場合、所定の周期でLBT (Listen Before Talk)*⁴⁸ [5] を行い、他端末の送信が検出されなければCOTをトリガし、当該COTにおいてULの送信を開始する。

(b)Rel-16で導入されたNR-UおよびURLLC向けのCG (Configured Grant) PUSCH*⁴⁹の設定の最適化

Rel-16において、NR-UおよびURLLC向けのCG PUSCHに対する機能拡張が別々に行われた。Rel-16 NR-UおよびURLLCのCG PUSCH動作を表4に示す。HARQプロセス番号およびRV (Redundancy Version)*⁵⁰の決定方法、CG PUSCHに対するHARQ-ACK送信などについて、Rel-16 NR-UおよびURLLCで異なる動作が規定されている。Rel-16では、これらの動作の切替え方法が未定義であったため、Rel-17 URLLCにおいて明確化された。具体的には、上位レイヤシグナリングによる設定で当該動作の切替えが実施される。

3.2 TSN

(1)高精度時刻同期

スマート工場内では、ロボットなどの生産マシン

*⁴⁶ FBE：所定の周期で固定のキャリアセンス期間に基づくLBT (*⁴⁸参照)を行う動作。

*⁴⁷ COT：基地局または端末がデータ送受信のために占有する時間区間のこと。

*⁴⁸ LBT：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。

*⁴⁹ CG PUSCH：基地局からあらかじめユーザ個別にPUSCHリソースを割り当てておき、ULデータが発生したら、SR送信を行わずに端末が当該リソースでPUSCHを送信できる仕組みのこと。

*⁵⁰ RV：符号化後のデータビット系列において、一定周期で間引いたデータビット列。

表4 Rel-16 NR-U/URLLCにおけるCG PUSCH動作

CG PUSCHの機能	Rel-16 NR-U	Rel-16 URLLC
HARQプロセス番号	端末が決定・報告	送信機会・上位レイヤ設定に基づく定義式によって決定
RV	端末が決定・報告	送信機会・上位レイヤ設定に基づいて決定
CG PUSCHに対するACK/NACKフィードバック	サポート	非サポート
再送タイマー	サポート	非サポート
再送方法	DCIによる通知 +自動再送	DCIによる通知

間の高精度時刻同期の需要が大きい。従来は生産マシンをイーサネットケーブルでGMC (Grand Master Clock)^{*51}に接続し、TSNプロトコル^{*52} (IEEE Std 1588^{*53}, IEEE Std 802.1AS^{*54}など) に基づき同期を実現していた。しかし、有線ケーブルは、取回しの煩雑さで柔軟に生産ラインを変更できないなどの欠点が存在する。このため、Rel-16では5GS (5G System)^{*55}を用いた高精度時刻同期メカニズムが導入された。

Rel-16仕様においては、UEとgNB (gNodeB)^{*56}間の高精度な時刻同期を実現するために、基地局がUEに高精度な参照時刻 (時刻粒度: 10ns) をブロードキャストあるいはユニキャストにより送信する機能が仕様化された。ところが、セル半径が大きい場合、UEとgNBとの間の無線伝搬遅延により、gNBからの送信時とUEの受信時との間で参照時刻に誤差が生じる。

そこで、Rel-17ではUEとgNB間の伝搬遅延補償を考慮した時刻同期機能が規定された。具体的には、TA (Timing Advance)^{*57}とRTT (Round Trip Time)^{*58}に基づく2種類の補償法が仕様化された。前者では、参照時刻から、TA値を差し引くことで、伝搬遅延の影響を取り除いた時刻情報が得られる。

後者は、以下に示す伝搬遅延測定の手順を実施することで、TAより高精度に伝搬遅延を補償する方式である (図8, 9)。

- ①gNBはUEに対してRx-Tx time difference^{*59}の測定を設定する。
- ②gNBはTRS (Tracking Reference Signaling)^{*60}あるいはDL-PRS (Positioning Reference Signal)^{*61}を送信する。さらにUEはSRSをgNBに送信する。
- ③上りと下りの伝搬遅延に差分があることを考慮し、UEとgNB間でそれぞれRx-Tx time differenceの測定を行う。
- ④gNBはgNB側のRx-Tx time difference測定結果をUEに送る。
- ⑤UEはUE Rx-Tx time differenceとgNB Rx-Tx time differenceに基づき伝搬遅延を算出し、補償を実行する。

なお、伝搬遅延補償はUEとgNBのいずれにおいても実施可能である。図8ではUEが補償を行っているが、図9④のように、UEはUE Rx-Tx time differenceの測定結果をgNBに送信し、gNBが伝搬遅延補償を実行する方式も仕様化されている。

^{*51} GMC: 高精度時刻同期に使われる親時計であり、精度の高い時刻情報を下位装置に配信する。

^{*52} TSNプロトコル: イーサネットにおいてリアルタイム性を実現するための第2層のプロトコルである。TSNプロトコル仕様はIEEE 802.1 Time-Sensitive Networkingタスク・グループにより策定されていて、代表的なTSN仕様はIEEE Std 1588/IEEE Std 802.1ASなどがある。

^{*53} IEEE Std 1588: 金融や通信システムなどにおいて使用する高精度時刻同期のプロトコルを定義したIEEE標準規格。

^{*54} IEEE Std 802.1AS: Local and Metropolitan Area Networkに

おける時刻同期制御に関する規格。

^{*55} 5GS: 5GCに接続する無線アクセスネットワーク、および通信端末で構成されるネットワークシステム。

^{*56} gNB: NR無線を提供する無線基地局。

^{*57} TA: 基地局のUEに対する所望上り信号の受信タイミングと、実際のの上り信号の受信タイミングとの差分を指す。

^{*58} RTT: 端末と基地局間の往復伝送に要する遅延時間。

^{*59} Rx-Tx time difference: 信号の送受信の時間差。

^{*60} TRS: DL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。

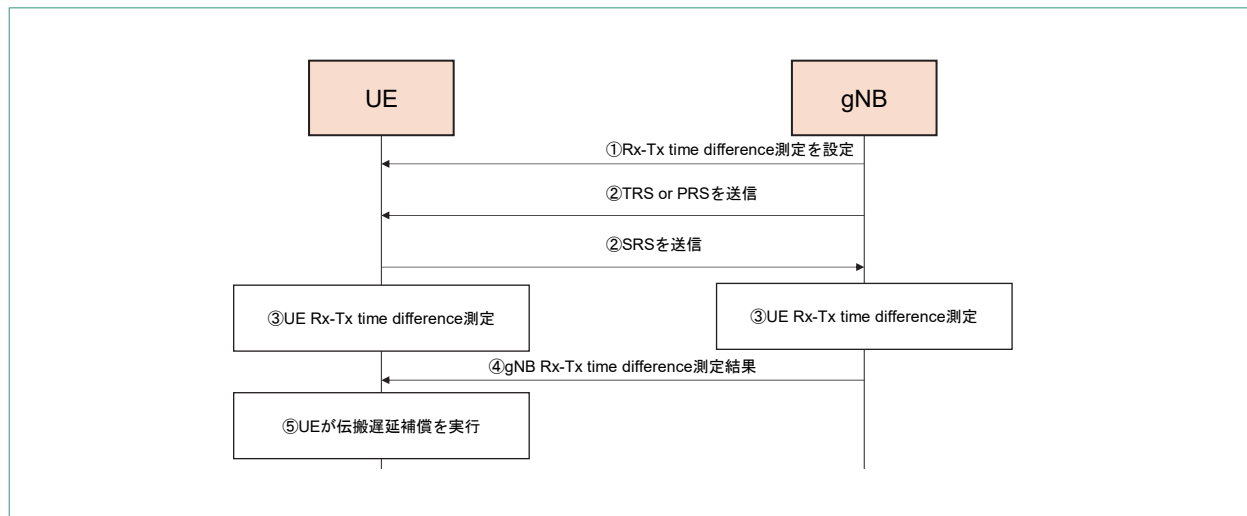


図8 UE側RTTに基づく伝搬遅延測定プロシージャ

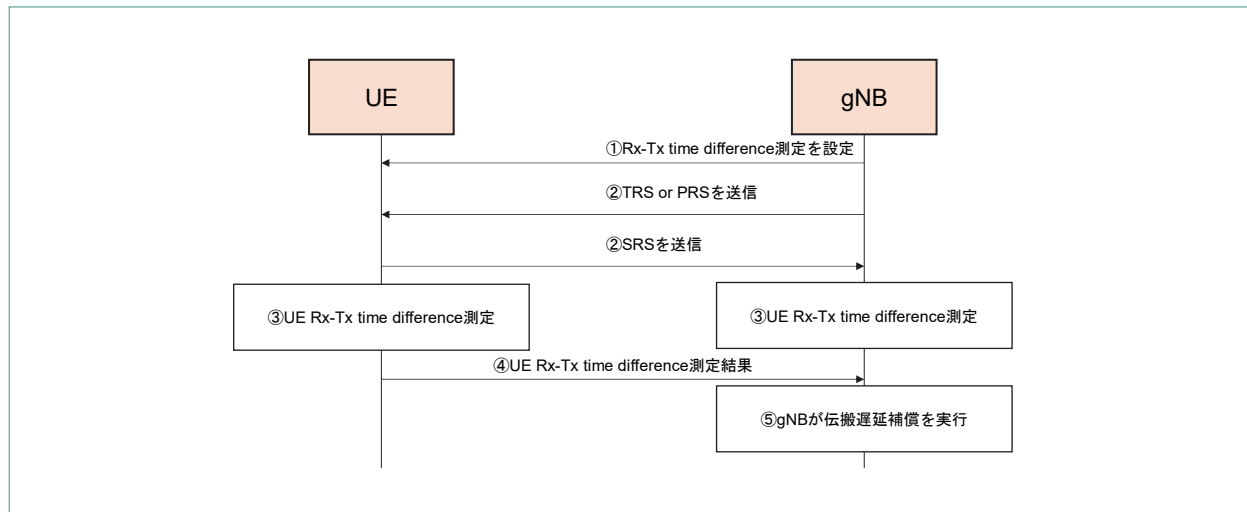


図9 gNB側RTTに基づく伝搬遅延測定プロシージャ

(2)TSNトラフィックに基づく信頼性向上技術

Rel-16において、TSC (Time Sensitive Communication) ^{*62}のトラフィックパターンなどの補助情報をAMF (Access and Mobility management Function) ^{*63}からgNBに通知することが仕様化された。この補助情報を用いて、gNBは、TSCのトラフィッ

クの特徴に応じてCG, SPSあるいはDynamic Grant^{*64}を選択することで、より効率的かつ確定的にデータのスケジューリングを図ることができる。

Rel-16に導入されたTSCの補助情報としてPeriodicity^{*65}とBurst arrival time^{*66}があるが、それに加え、Rel-17では新たにSurvival time^{*67}と呼ばれ

^{*61} PRS：測位専用の参照信号。DL信号はDL-PRS、UL信号はSRS for positioningが規定されている。

^{*62} TSC：リアルタイム性の高い通信を指す。

^{*63} AMF：基地局（gNB）を収容し、モビリティ制御などを提供する論理ノード。

^{*64} Dynamic Grant：UEがスケジューリングを要求し、基地局からDCIを送信してULデータの送信リソースを割り当てる仕組みのこと。

^{*65} Periodicity：TSCトラフィックの周期のことを指す。

^{*66} Burst arrival time：Data burst（短時間に発生するデータ）の最初のパケットがRANに到着する時間のことを指す。

^{*67} Survival time：アプリケーションがdata burstがなくてもサバイバルできるtime periodのことを指す。

る情報が追加された。この情報に基づいて、基地局スケジューラはTSCトラフィックのスケジューリングの緊急度を把握し、適切なスケジューリングや高信頼の無線リンクの設定を行うことができる。

また、上りデータ送信の信頼性を向上させる拡張が行われた。具体的には、無線品質が悪い際、gNBによるCGの再送スケジューリングを通じて、UEがSurvival time stateと呼ばれる状態に移移することが可能になった。Survival time stateにおいて、UEは内部の複数のRLC (Radio Link Control) entity^{*68}を自律的にアクティベートしてデータを複製送信することで冗長性を高め、データ送受信の失敗を防ぐことができる。このときのデータ複製に用いるRLC entityは、DRB (Data Radio Bearer)^{*69}ごとに基地局から事前に設定される。

3.3 Positioning

RAT信号を用いた測位機能であるNR PositioningはRel-16から採用されている。前述のとおり、Rel-17ではスマートファクトリー向けの厳しい要求条件に耐え得る高精度測位と低遅延測位を実現する技術の仕様化が行われた。また、そのほかの幅広いユースケースを想定し、測位精度の向上と測位遅延の軽減を目的とした機能拡張が行われた。さらに、GNSS信号を用いた場合を対象に測位の信頼性評価を実現する技術の仕様化が行われた。

(1)測位精度向上技術

NRにおけるRATベース測位では、測位専用参照信号としてPRSが採用されている。PRSを用いた測位方式はDL-TDOA (Time Difference Of Arrival)^{*70}、UL-TDOA^{*71}、Multi-RTT^{*72}のTimingベースと、DL-AoD (Angle of Departure)^{*73}、UL-AoA (Angle of Arrival)^{*74}のAngleベースに分けることができ、それぞれのベースでTRP (Transmission and Re-

ception Point)^{*75}・UEの測定情報が異なる。Rel-17では、(a)Timingベースと(b)Angleベースそれぞれの測位精度を向上させる機能が仕様化された。

(a)Timingベース

Timingベースの場合、TRPとUE間のPRS到来時間差もしくは往復到来時間から位置を推定し、この計算にはPRS送信・受信時刻が用いられる。

PRSは、デジタル信号としてベースバンド^{*76}で生成・処理された後にアナログ信号へ変換されてアンテナから送信されるが、Rel-16ではデジタル信号の状態における時刻がPRS送信・受信時刻として参照されていた。従ってアナログ信号への変換にかかる遅延が考慮されないことによるnsオーダーの時間誤差が生じ、これが測位精度の劣化を招いていた。

Rel-17ではサブメートルオーダーの測位精度をターゲットとしたため、このnsオーダーの時間誤差を補償する機能が採用された。具体的には、TEG (Timing Error Group) と呼ばれる時間誤差が同じグルーピング規定と、比較的誤差の大きいTEG同士の時間誤差を計算する仕組みが採用された。例えば、1つ以上のアンテナパネルやアンテナ素子でグルーピングしたTEG間で同一のPRSを受信し、異なる測定情報 (例えばRSRP (Reference Signal Received Power)^{*77}、UE/gNB Rx-Tx time difference, RSTD (Reference Signal Time Difference)^{*78}、RTOA (Relative Time Of Arrival)^{*79}) をLMF (Location Manager Function)^{*80}へ報告することで、時間誤差の推定および影響軽減が可能となった。実装次第ではあるが、TEG単位はアンテナパネルやアンテナ素子などが想定されている。

^{*68} RLC entity: レイヤ2のサブレイヤの1つで、再送制御などを行う機能。

^{*69} DRB: 無線区間においてU-planeデータを流すベアラ。

^{*70} DL-TDOA: 複数TRP (^{*75}参照) から送信されるDL-PRSをUEで受信し、到来時間差から位置推定する測位方式。

^{*71} UL-TDOA: UEから送信されるUL-PRSを複数TRP (^{*75}参照) で受信し、到来時間差から位置推定する測位方式。

^{*72} Multi-RTT: 複数TRP (^{*75}参照) からUEへDL-PRSを送信し、UEから複数TRPへUL-PRSを送信することによって、TRPとUE間の往復到来時間差から位置推定する測位方式。

^{*73} DL-AoD: TRP (^{*75}参照) からUEへDL-PRSを送信し、TRPのDL-PRS発射角度から位置推定する測位方式。

^{*74} UL-AoA: UEからTRP (^{*75}参照) へUL-PRSを送信し、TRPのUL-PRS到来角度から位置推定する測位方式。

^{*75} TRP: 基地局側の無線信号送受信点。

^{*76} ベースバンド: デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック。

^{*77} RSRP: 端末で測定される参照信号の受信電力。端末の受信感度を表す指標の1つ。

(b)Angleベース

Angleベースの場合、PRSの到来方向もしくは発射方向から位置を推定する。

Rel-16では、受信電力が大きいPRSリソースの到来・発射方向から測位を行う思想で仕様が規定されていた。一方で、例えばTRPとUE間に直接波が存在する見通し（LOS：Line Of Sight）^{*81}環境では、反射波であれば受信電力が大きいPRSリソースであっても測位に用いず、直接波を用いることで、より正確な到来方向・発射方向の推定が期待できる。

そこでRel-17では、測定対象のPRSに対して時間的に最初に検出された伝搬路のPRSリソースで測位演算する機能が採用された。加えて、伝搬路がLOS環境である確からしさを0、1の2値もしくは0～1の0.1ステップ（0.1, 0.2, 0.3, …）で数値化する機能も採用された。また、近年のML（Machine Learning）^{*82}技術向上による伝搬環境のモデリング高度化を目的に、gNB・UEからLMFへ報告可能な測定伝搬路数が2から8へ拡張された。ほかにも、gNB・UEにおけるPRS送信方向・受信方向を最適化するため、あらかじめgNB・UEへPRSリソースの想定到来方向・発射方向を通知する機能も採用された。

(2)測位低遅延化技術

Rel-17位置測位は、スマートファクトリーの低遅延要求条件を達成するために、(a)MG（Measurement Gap）^{*83}の事前設定ベース測位、(b)MG-less測位、(c)RRC（Radio Resource Control）_INACTIVE^{*84}状態の測位、(d)on-demand DL-PRSの4種類の機能拡張が行われた。

(a)MG事前設定ベース測位

Rel-16の測位機能においては、UEがノンサービング周波数^{*85}上でDL-PRSを測定する際に

MGの設定が必要になる。しかし、MGの設定はgNBからRRC^{*86}シグナリングで行われる必要があるため、遅延の要因となる。

そこで、Rel-17ではMGの事前設定の機能拡張が行われた。MGの事前設定は、MGをRRCシグナリングで事前に設定しておき、必要となる際にgNBからMAC CE（Medium Access Control Control Element）^{*87}によりMGのアクティブ化を指示する仕組みである。MG事前設定によって、RRCシグナリングによる設定遅延が短縮される。詳しい設定手順を以下に示す（図10）。

- ①準備段階としてLMFがサービング・隣接gNBと、測定に必要となるTRP情報を交換する。
- ②LMFがサービングgNB^{*88}に隣接gNBのDL-PRS情報を提供し、MGの事前設定を要求する。
- ③サービングgNBがLMFからの補助情報とUE能力に基づき、RRCの送信によってUEにMGの事前設定を行う。
- ④UEがMGを設定し、完了RRCメッセージをサービングgNBに返す。
- ⑤サービングgNBが設定完了メッセージをLMFに返す。
- ⑥MGが必要なときに、UEあるいはLMFからMGのアクティブ化の要求をサービングgNBに送信する。
- ⑦サービングgNBはMAC CEをUEに送信しMGのアクティブ化を指示する。

例えば、UEに対してアクティベートされているMGよりも早いタイミングでの測位要求が行われた場合、UEはUL MAC CEを用いてgNBへMG更新を要求し、gNBはDL MAC CEで異なるMGをアクティベートする。またRel-16で

^{*78} RSTD：主にUEで測定される、2TP（Transmission Point）間の相対受信時間差。

^{*79} RTOA：主にTRPで測定される、2RP（Reception Point）間の相対受信時間差。

^{*80} LMF：5GCにおいて規定された位置情報サービスに関する通信制御を担う機能。

^{*81} LOS：送受信間に遮蔽物がなく、直接波を使用した通信が主となる状態。

^{*82} ML：機械学習。人間が、知覚、経験から知識や判断基準、動作などを獲得していくように、コンピュータにデータから知識

や判断基準、動作などを獲得させる技術。

^{*83} 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。

^{*84} RRC_INACTIVE：端末のRRC（^{*86}参照）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る。

^{*85} ノンサービング周波数：端末が基地局との間で送受信に使われるサービング周波数以外の周波数のことを指す。

^{*86} RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するプロトコル。

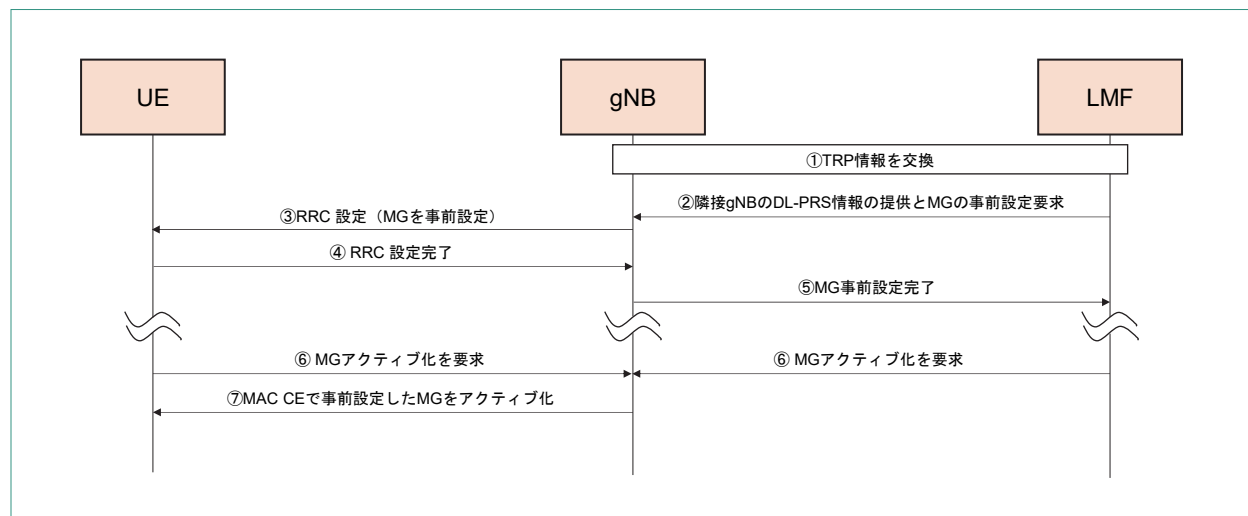


図10 MG事前設定プロシージャ

は、UEがDL-PRS測定を行う際に測定情報（例えばRSRP）の平均化などの目的でDL-PRSの Measurement sample^{*89}数が4となっていたが、低遅延化のため新たにMeasurement sample数1と2が追加され、目的に応じてsample数1, 2または4を柔軟に設定することが可能となった。

(b)MG-less測位

MG事前設定ベース測位の低遅延化に加え、より柔軟かつ低遅延に優先度の高い測位要求へ対応するため、Rel-17ではUEがMG外でDL-PRSを測定できるようにするMG-less測位機能が仕様化された。具体的には、MG外でDL-PRS受信を想定するウィンドウ（PPW：PRS Processing Window）と、PPW設定タイミングにおけるDL-PRSと他DL信号の受信優先度などが規定された。DL-PRSがPPW中に設定されていて、かつほかの高優先の信号との衝突が無ければ、UEはMGを用いずにDL-PRSを測定する。

PPWはDL BWP（BandWidth Part）^{*90}ごとに最大4つまで設定でき、LMFからgNBへの測

位要求に応じて1アクティブDL BWPごとに最大1PPW、全アクティブDL BWPで合計4PPWsまでアクティベート可能である。さらに、DL-PRSと他DL信号（PDCCH（Physical Downlink Control Channel）^{*91}・PDSCH・CSI-RS（Channel State Information-Reference Signal）^{*92}）が衝突した場合のUE動作も議論され、事前にDL-PRSと他DL信号の受信優先度をUEへ通知するPriority stateが規定された。また、UE能力に応じて柔軟にDL-PRSを測定できるよう、受信優先度の粒度としてDL CC・アクティブDL CCs単位、PPW・シンボルレベルがそれぞれ仕様化された。例えば、DL CC共通のPriority stateが適用される場合では、シンボルレベルで受信優先度決定できるUEであれば同一PPWの異なるシンボルでDL-PRSと他DL信号を受信することができるが、PPWレベルで受信優先度決定するUEは同一PPWではDL-PRSもしくは他DL信号のいずれかしか受信することができない。ただし、SSBにはこれらの受信優先度

*87 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。

*88 サービングgNB：端末と接続状態中のgNB。

*89 Measurement sample：ここでは、UEにおけるDL-PRSリソースの測定単位を指す。

*90 BWP：CCごとに設定される、端末が通信に用いるべき帯域幅・周波数位置・サブキャリア間隔の総称。

*91 PDCCH：DLにおける物理レイヤの制御チャンネル。

*92 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。

は適用されず、常に最優先で受信する規定となっている。これにより、例えばPDCCHやPDSCHなどのDL信号がスケジュールされるタイミングであっても、LMFから優先度の高い測位要求があった場合に、UEが優先してDL-PRSを受信し測位を行うことが可能となった。

(c)RRC_INACTIVE状態の測位

従来の測位は、UEがRRC_IDLE^{*93}状態からRRC_CONNECTED^{*94}状態に入ってから行われていたが、RRC_IDLE状態からRRC_CONNECTED状態に入る時間は遅延の要因となる。特に産業用IoT端末の場合、測位が終わった後に次の通信パケットが無く、もう一度RRC_IDLE状態に入ることも多い。測位を行うたびに毎回RRC_IDLE状態からRRC_CONNECTED状態に移移することは非効率で端末の電力消費も大きい。

そこで、Rel-17においてはRRC_INACTIVE状態における測位方法が新たに導入された。具体的には、UEは、RRC_INACTIVE状態において、Rel-17 SDT (Small Data Transmission)^{*95}のフレームワークを利用し、gNBとお互いにはランダムアクセス^{*96}やCGを用いて測位メッセージやSRS設定などの送受信を行うことが可能となった。

(d)on-demand DL-PRS

測位に使われるDL-PRSは、測位をしていないときにgNBから送信されることもあるため、UEに受信のための不要な電力消費が生じる。一方、電力を節約するためにDL-PRSの周期を長く設定した場合、測位に遅延が生じるなどの問題が生じる。このような課題の対策として、必要なときだけ送信されるon-demand DL-PRSが導入された。

on-demand DL-PRSの送信はUEとLMFのいずれからも要求が可能であり、UEから要求するときの具体的な設定手順以下に示す(図11)。

- ①LMFとgNB間でサポート可能なon-demand DL-PRSの設定を交換する。
- ②UEはon-demand DL-PRS送信パラメータ設定(DL-PRSの開始時間、周波数、帯域幅、周期など)についてLMFに要求する。
- ③LMFがon-demand DL-PRSの送信を決定する。
- ④UEがサービングgNBと隣接gNBのDL-PRSを測定する必要があるため、LMFがon-demand DL-PRSの送信を、サービングgNBと隣接gNBに要求する。
- ⑤サービングgNBと隣接gNBはon-demand DL-PRSをUEに送信する。
- ⑥サービングgNBと隣接gNBはon-demand DL-PRS送信完了をLMFに報告する。

なお、④ですでに進行中のDL-PRS送信がある場合、LMFがon-demand DL-PRSを送信せずに進行中のDL-PRSの送信パラメータを変更することも可能である。

(3)インテグリティ

位置測位におけるインテグリティとは、取得した位置情報に対してどの程度の信頼が置けるかを計る指標である。この指標とユースケースに応じて必要とされる信頼性とを比較し、確保できていない場合には、適時ユーザに警告を発することにより、位置情報を起因とする誤動作や事故を未然に防止することができる。インテグリティは、前述のスマートファクトリーやその他の信頼性が要求されるサービス(航空分野、自動車、鉄道、物流の管制や、課金サービスへの適用など)において、安全な運用を実現するために利用されることができる。

^{*93} RRC_IDLE：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、基地局において端末のコンテキストが保持されていない。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。

^{*94} RRC_CONNECTED：端末と基地局間にリソースが割り当てられた状態。

^{*95} SDT：Rel-17に導入されたIoT端末向けの新機能で、UEがRRC_INACTIVE状態中にランダムアクセスあるいはCGリソースを利用することで、少量のパケットデータを送信可能となる。

^{*96} ランダムアクセス：端末が基地局と上り同期を確立、上り送信

リソースを基地局から受信するために行われる最初のアクセス手順。

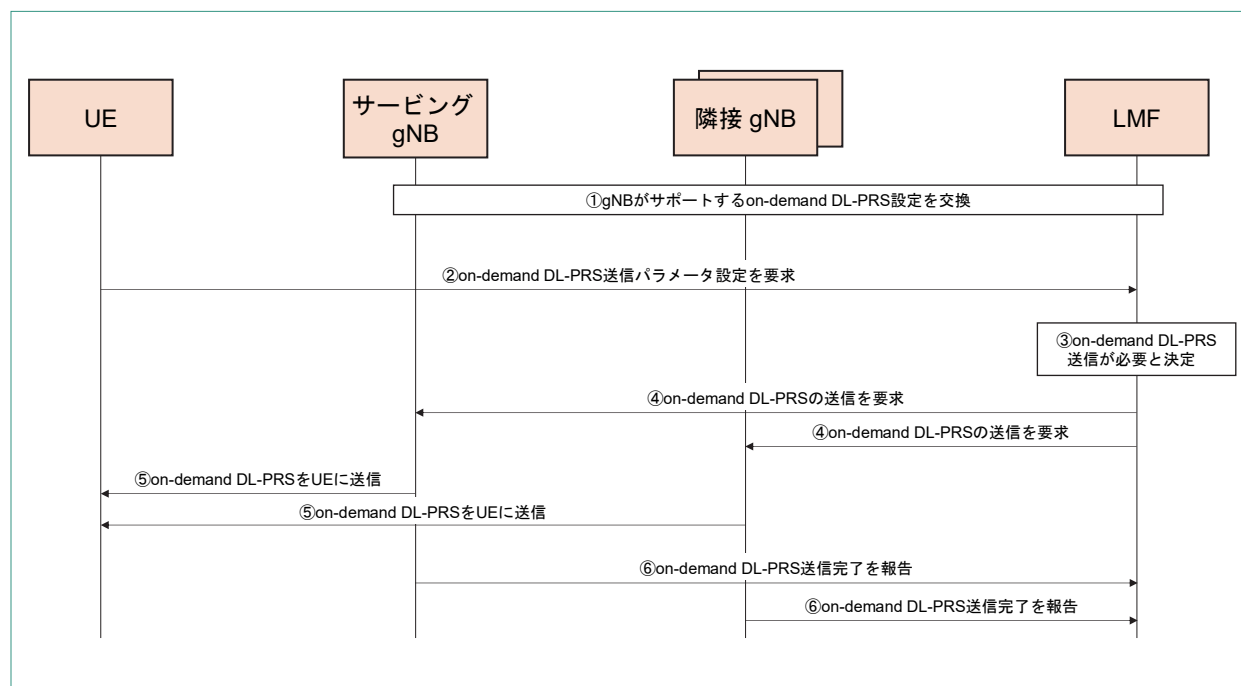


図11 on-demand DL-PRSリクエストプロシージャ

Rel-17でのインテグリティ機能は「GNSSベース測位」を対象に提供され、主に「各誤差要因の情報通知」「不適切な衛星の通知」「ユースケースに応じた安全性の確保」に分類される。

まず、衛星の状態（軌道・クロック・バイアス誤差・電離層の信号遅延など）を、測位誤差の要因としてネットワークから端末へ通知することが可能となった。また、クロック誤差が規定値より大きくなっている場合など、インテグリティ機能を提供するにあたり適切な情報を提供できない衛星については、端末に「当該衛星が利用できない」ことを通知することも可能となる。これらの情報の一部は報知情報^{*97}として端末に提供することも可能であり、端末側においてインテグリティ機能を使用する場合でも、多数の端末が適宜必要な情報を入手することができる。

ユースケースに応じた安全性の確保には、主にTTA（Time To Alert）^{*98}、AL（Alert Limit）^{*99}およびTIR（Target Integrity Risk）^{*100}の3つ指標を用いて評価を行う。GNSSの誤差要因を考慮し、ユースケースに応じた所望のTIRに対して測位誤差の上限であるPL（Protection Level）^{*101}を導出する。ALに対してPLが小さい場合には、十分な信頼性を有していることを示し、その差分だけマージンをもって安全性を確保していることになる。一方で、ALに対してPLが大きい場合には、TTA以内に警告を発することができ、ユーザ／アプリケーションはサービスが利用できない、もしくは異なる手段を使用する必要があることを認識できる。

本機能は、Rel-17においては「GNSSベース測位」を対象に提供されるが、Rel-18においては「RATベース測位」にも対象が拡張される予定である。

^{*97} 報知情報：移動端末における位置登録要否の判断に必要な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。

^{*98} TTA：PL（^{*101}参照）がAL（^{*99}参照）を超過した場合に、インテグリティ機能が警告を通知するまでに許容される最大経過時間。

^{*99} AL：アプリケーションにおいて許容可能な最大誤差。

^{*100} TIR：インテグリティ機能によりTTA以内にAL超過を報告できない確率。単位時間当りの確率として表される。

^{*101} PL：その時点においてTIRを満たすことのできる位置誤差の上限。

3.4 RAN Slicing

5Gにおけるネットワークスライシングは、ネットワークをさまざまなニーズに応じて複数の論理ネットワークに分けてサービスを提供する新機能として業界で注目されている。Rel-17では、これまで標準化されてきた5GC (5G Core network)*¹⁰²のスライシング機能に加え、RANのスライシング機能を拡充した。

(1)スライスを意識したセル再選択

従来は、RRC_IDLE状態のUEによるセル再選択は電波品質を考慮して行われていた。しかし、ある特定のスライスを利用したいケースにおいては、UEが品質の良好なセルを選択し接続要求を行った後に、当該セルにおいて所望のスライスがサポートされないことが判明する場合がある。このとき、UEはいったんRRC_CONNECTED状態になってから別のセルへ移動する必要がある。特にURLLCサービスを利用したいUEにとって、上記のようなセル選択・接続のプロセスは非効率であり遅延をもたらす。そこでRel-17ではRRC接続状態にならずにスライスを意識したセル再選択機能が導入された。

具体的には、スライスを意識したセル再選択を補助する情報を、報知情報やRRC Release*¹⁰³メッセージによりネットワークからUEに送信できるようになった。補助情報の例として、周波数ごと・スライスグループごとのセル再選択の優先度および、スライスグループに対応するセルのリストがある。ここで、スライスグループとは、類似のスライスをグループ化したものであり、これを用いた仕組みでは、セキュリティへの配慮から、セルが収容するスライスの識別子をそのまま報知せず、スライスグループに識別子を付与して報知するように工夫されている。UEのNAS (Non-Access Stratum)*¹⁰⁴レイヤから、利用したいサービスのスライスグループと

その優先度をUEのAS (Access Stratum)*¹⁰⁵レイヤに通知し、ASレイヤがスライスグループの優先度と、ネットワークから受信したスライスを意識したセル再選択を補助する情報に基づいて、セル再選択を実行する。この機能によって、UEは利用したいスライスが提供されるセルを的確に選択することが可能となる。

(2)スライスを考慮したRACH (Random Access Channel)*¹⁰⁶の優先制御

UEはRRC_IDLE状態からRRC接続状態に入るときにランダムアクセスを行う必要がある。ランダムアクセスは衝突ありと衝突なしの2種類がある。前者では、UEが報知情報中のRACH preamble*¹⁰⁷プールから1つを選択してgNBに送信する際、他のUEと同じタイミングで同一RACH preambleを選択した場合に衝突が生じ得る。一方、後者では、gNBから指定されたRACH preambleでランダムアクセスを行うため、衝突が起きることがなくスムーズにネットワークに接続できる。

衝突ありのランダムアクセスにおいて、衝突により接続が完了しなかったUEは、ランダムアクセスバックオフ*¹⁰⁸のバックオフ期間と呼ばれる時間待機をした後、送信電力を上げて (power ramping*¹⁰⁹) 再度ランダムアクセスを試みる。このバックオフ期間は遅延をもたらすため、低遅延を要求するサービスには望ましくない。

そこで、Rel-17では高優先スライスを利用するUEに対して、専用のpower ramping・バックオフのパラメータを設定することが可能になった。具体的には、バックオフ期間にスケール係数*¹¹⁰を乗ずることで、一般のUEよりバックオフ期間を短縮できるようになった。また、power rampingにおける送信電力の増加量を一般のUEよりも大きく設定することが可能となることで、優先疎通しやすく

*102 5GC：5Gのアクセス技術向けに3GPPで規定された第5世代のコアネットワーク。

*103 RRC Release：端末をRRC_CONNECTED状態からRRC_IDLE状態に遷移させるRRCメッセージ。

*104 NAS：UEとコアネットワークとの間のプロトコルスタックにおける機能レイヤ。

*105 AS：UEと基地局との間のプロトコルスタックにおける機能レイヤ。

*106 RACH：ランダムアクセス手順において端末が基地局に最初に送信する物理チャネル。

*107 RACH Preamble：ランダムアクセス手順において端末が基地局に最初に送信する物理信号。

*108 ランダムアクセスバックオフ：ランダムアクセスにおいて、RACH preambleを送信したUEが、基地局からランダムアクセスレスポンスを受け取っていない、またはランダムアクセスレスポンスIDがそのUE用ではない場合に、そのUEがある期間を待ってからランダムアクセスをやり直すことを指す。

なった。

また、RACH resource partitioningという新機能も導入された。具体的には、RACHリソースを分割し、その一部を高優先スライス利用者のために保留しておき、高優先スライス利用者はこの専用のRACHリソースを使用することで、ランダムアクセスにおける一般UEとの衝突を防ぐことができる。RACH優先制御の対象スライスグループは、gNBから報知情報でUEに通知され、UEは、NASからASに通知されるスライスグループとその優先度を考慮し、高優先スライスのRACH優先制御用のパラメータや専用RACHリソースの利用可否を判断する。

3.5 RedCap

前述のとおり、Rel-17ではNB-IoTやeMTCといったLTE-IoTが提供するローエンドIoTサービス（LPWA（Low Power Wide Area）^{*111}の1つ）と、URLLCや産業向けIoTといったハイエンドIoTサービスとの間を補完するミドルレンジIoTサービスを対象に仕様化が行われ、その対象端末はRedCap端末と呼ばれる。

(1)簡易化機能とコスト削減効果

図2に示す要求条件を満たしつつ端末のコストを

削減するため、Rel-17 RedCapでは以下の簡易化機能が仕様化された。これら簡易化機能について、非RedCap端末（ハイエンドIoT端末）からのコスト削減効果に関する3GPPでの検討結果を表5に示す [6]。

- ・ 端末がサポートする最大帯域幅：20MHz（FR（Frequency Range）1^{*112}）、100MHz（FR2^{*113}）
- ・ 受信ブランチ数/最大DL MIMO（Multi Input Multi Output）^{*114}レイヤ数：1 or 2
- ・ 変調多値数^{*115}の必須対応緩和：256QAM（256 Quadrature Amplitude Modulation）^{*116}対応を任意化（FR1 DL）
- ・ 複信方式^{*117}：半二重（HD（Half Duplex）^{*118}） - FDD（Frequency Division Duplex）^{*119}

なお、簡易化機能の仕様化にあたっては、RedCap端末と非RedCap端末が同一セル内で運用されることを想定し、両者の共存を保証することが考慮された。特にgNBからセル共通の信号として送信されるSSBやSIB（System Information Block）^{*120}、ページング信号^{*121}、ランダムアクセスにかかわるDL/UL信号を、gNBの設定に応じて非RedCap端末と共通の帯域または個別の帯域で送受信するためのBWP関連の仕様化が行われた（図12）。図12では、

表5 Rel-17 RedCap向け簡易化機能のコスト削減効果

	非RedCap端末	RedCap端末	コスト削減効果
端末がサポートする最大帯域幅	FR1：100MHz FR2：200MHz	FR1：20MHz FR2：100MHz	FR1 FDD：～32% FR1 TDD：～33% FR2：～16%
受信ブランチ数／最大DL MIMOレイヤ数	FR1 FDD：2Rx FR1 TDD：4Rx FR2：2Rx	1 or 2 Rx	FR1 FDD（2Rx → 1Rx）：～37% FR1 TDD（4Rx → 2Rx）：～40% FR1 TDD（4Rx → 1Rx）：～60% FR2（2Rx → 1Rx）：～40%
最大変調多値数	FR1 DL：256QAM	FR1 DL：64QAM （256QAM対応は任意）	～6%
複信方式	Full-duplex FDD	Half Duplex FDD	～7%

^{*109} Power ramping：ランダムアクセスにおいて、RACH preambleを送信したUEが、基地局からランダムアクセスレスポンスを受信できない、またはcontention resolutionに負けた場合に、送信電力を上げてRACH preamble再送することを指す。

^{*110} スケーリング係数：数値に小数を乗算すること。

^{*111} LPWA：低消費電力でキロメートルレベルの広い領域を通信範囲にできる無線通信技術。

^{*112} FR1：450～6,000MHzの周波数帯を指す。

^{*113} FR2：24,250～52,600MHzの周波数帯を指す。

^{*114} 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。

^{*115} 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。

^{*116} 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。

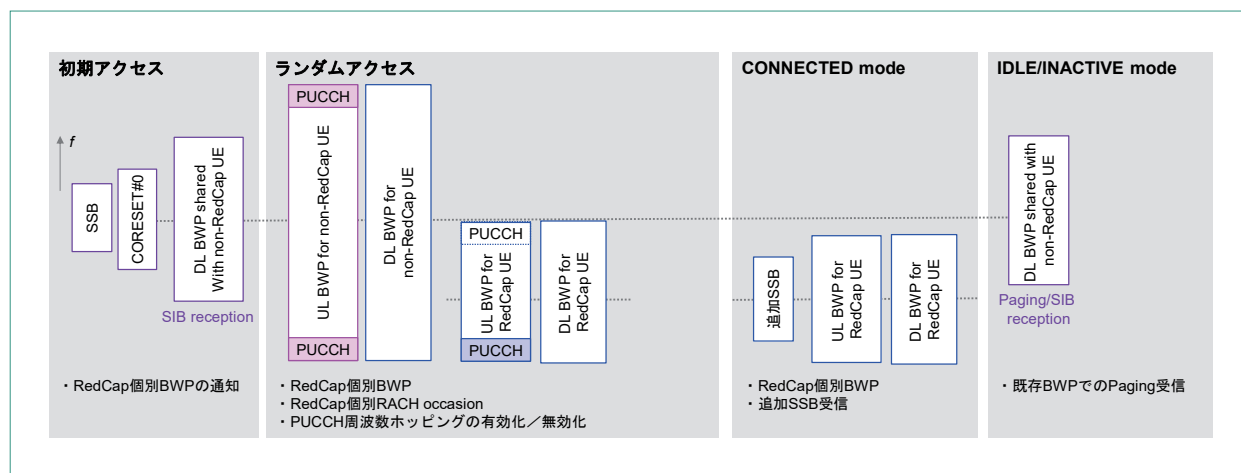


図12 RedCap端末のBWP運用例

ランダムアクセスにかかわるDL/UL信号などについてRedCap端末向けのBWPが設定されている。また、初期アクセス中にRedCap端末であることを通知する機能や、RedCap端末がセルにアクセス可能かどうかをgNBが報知する機能が仕様化された。

(2) 端末省電力機能

図2に示す電池寿命の要求条件を満たすため、Rel-17 RedCapでは以下の端末省電力機能が仕様化された。なお、これらの機能はRedCap端末向けに仕様化されたが、非RedCap端末もサポート可能である。

- ・待受け中（RRC_IDLE/INACTIVE状態）におけるeDRX（Extended Discontinuous Reception）：最大DRX^{*122}周期10,485.76秒（RRC_IDLE状態）、最大DRX周期10.24秒（RRC_INACTIVE状態）
- ・隣接セルのRRM（Radio Resource Management）^{*123}測定の緩和：RRM測定周期1時間以上（静止端末、およびセル端以外の端末）

例えば、3GPPでの検討では、DRX周期を10,485.76

秒に拡張することで最大80～90%の消費電力削減効果が得られること、RRM測定周期を1時間に拡張することで最大40%の消費電力削減効果が得られることがそれぞれ報告されている [6]。

そのほか、Rel-17でRRC_IDLE/INACTIVE状態の端末およびRRC_CONNECTED状態の端末向けに端末省電力機能 [7] が仕様化されたが、これは任意の端末を対象としており、Rel-17 RedCap端末に適用可能である。

(3) カバレッジ拡大機能

図2に示すとおり、RedCap端末は端末サイズを小さくすることが要求されたため、FR1においてアンテナ利得^{*124}が非RedCap端末と比較して最大3dB低いことを想定してカバレッジの検討が3GPPで行われた。本検討では、非RedCap端末のカバレッジのボトルネックチャンネルを基準として、RedCap端末の以下のチャンネルのカバレッジが縮退することが示された [6]。

- ・PUSCH：3dB
- ・ランダムアクセス中のMsg2 PDSCH：1～6dB
- ・ランダムアクセス中のMsg3 PUSCH：3dB

*117 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）（*119参照）、時分割複信（TDD）がある。

*118 HD：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、同時には一方のみにしか伝送できない通信方式。

*119 FDD：周波数分割複信。無線通信などで同時送受信を実現する方式の1つで、異なる周波数にて送信と受信を同時に行う方式。

*120 SIB：無線基地局から移動端末へ一斉同報される報知情報

は、無線ブロックに分割されており、そのブロック単位を示す。SIBのうちSIB1には、ランダムアクセスを行うために必要なULキャリア情報やランダムアクセス信号構成情報などが含まれる。

*121 ページング信号：着信時に待受け状態中の端末を呼び出す信号。

*122 DRX：端末の消費電力の低減を目的とした間欠受信制御。

*123 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。

- ・ランダムアクセス中のMsg4 PDSCH：2～3dB
- ・セル共通PDCCH：1dB

上記チャネルのうち、PUSCHおよびMsg3についてはRel-17 RedCap端末に特化した仕様化は行われなかったが、任意の端末を対象とするカバレッジ拡大機能がRel-17で仕様化され [7]、Rel-17 RedCap 端末に適用可能である。上記の残りのチャネルについてはgNBの実装または既存技術によってカバレッジの縮退を解決できるとして、カバレッジ拡大技術の仕様化は不要と結論付けられた。

3.6 NTN

3GPPにおけるNTN仕様では、図3に示すとおり、静止軌道（GEO：Geostationary Orbit）や低軌道（LEO：Low Earth Orbit）などの衛星、および成層圏における中継局となるHAPS（High Altitude Platform Station）^{*125}などの飛行体を想定している。GEO/LEO/HAPSはそれぞれ35, 786km, 500～2, 000km, 8～50kmの高度で運用され、片方向の伝搬遅延はそれぞれ約120ms, 3ms, 0.1msとなる。こうした伝搬遅延が大きな環境において基地局－端末間で通信を実行するために必要な機能が議論され、仕様化された。端末としてはVSAT（Very Small Aperture Terminal）端末^{*126}およびスマートフォンなどの小型端末で、かつGNSS機能を備えているものが想定されている。

(1)時間／周波数同期^{*127}

前述のとおり伝搬遅延が非常に大きく、かつ中継局が移動し得ることから時間方向の新しい同期機能が必要となる。中継局の移動の軌跡は規則的なものであるため、時間方向の同期機能として軌跡情報を利用したTA値の決定手法が採用された。具体的には、従来のTA値の決定方法に加えてフィーダリン

ク^{*128}の伝搬に対応するTA値（以下、共通TA）およびサービスリンク^{*129}の伝搬に対応するTA値（以下、端末固有TA）の計算方法が導入され、それらすべての和を最終的に使用するTA値とする。概要を図13に示す。ただし、共通TAはフィーダリンク全区間に対応するTA値ではなく、中継局とRP（Reference Point）との間に対応するTA値である。RPは地上局と中継局との間のいずれかの点にすることが可能であり、ネットワークが決定する。RPを地上局とすると、DL/ULのタイミングが地上局で揃うことでネットワーク実装の複雑化を回避でき、RPを中継局とすると、共通TAが常に0となることで端末動作が簡易になる。

共通TAについては、共通TA計算にかかわる数式（2次までのテイラー級数^{*130}）が定義されており、数式内の各項に対応する係数がパラメータとして与えられる。同パラメータはNTN用のSIBで通知され、端末はPRACH（Physical Random Access Channel）^{*131}送信前に取得するとともにRRC接続後に定期的に同SIBを受信して導出式の最新化を行う。どの程度の頻度で同SIBを受信するべきかについては、ネットワーク依存であり、上記係数の有効期間として同SIBで通知される。フィーダリンクは端末間で共通であり、かつ各UEからは見えない部分であるため、パラメータをネットワークから通知する方法が用いられる。

端末固有TAについては、端末の位置情報と中継局の軌道情報とに基づいて、各端末で個別に計算する。計算方法は仕様化されておらず、UEの実装に依存する。位置情報はGNSSによって取得され、中継局の軌道情報は共通TA計算のための係数と同様に取得・更新される。

また、時間同期に加えて周波数で同期にかかわる動作も実行される。中継局の移動に伴って周波数シ

^{*124} アンテナ利得：アンテナの最大放射方向における放射強度。一般に等方性のアンテナを基準とした比で表される。

^{*125} HAPS：地上約20kmなどの成層圏に位置し、地表から見て静止または旋回する飛行体。人工衛星のように通信局としての運用が期待される。低高度であることから、片道伝搬時間0.1ms程度の低遅延性や端末直接通信の容易さが利点として挙げられる。

^{*126} VSAT端末：小型のパラボラアンテナなどを使用して飛行体と通信を行う装置。スマートフォンと比較すると大型であり、当該装置の先に有線でハブ・固定電話・PCなどを接続

する構成が想定される。

^{*127} 周波数同期：キャリアの中心周波数の認識が基地局と端末間で一致している状態。

^{*128} フィーダリンク：NTNにおける地上局と飛行体とを結ぶ無線リンク。

^{*129} サービスリンク：NTNにおける飛行体と端末とを結ぶ無線リンク。

^{*130} テイラー級数：関数 $f(x)$ を、 $x=a$ に関する導関数の値から計算される項の和として表現したもの。

フト*132が生じるため、各端末は上記の端末固有TA計算と同様に位置情報および軌道情報を用いて、UL送信時に事前補償を行う。ただし、具体的な補償方法は仕様化されておらず実装依存となる。フィーダリンク側の周波数シフトについては地上局で補償するため端末側の動作は規定されない。

(2)スケジューリング/HARQ

前述の方法で決定されたTA値は非常に大きな値となり、従って、あるスロット n におけるDL受信タ

イミングとTA適用後のUL送信タイミングとの間の時間も非常に大きくなる。この場合、DL信号を受信するスロット n と当該DL信号に対するUL信号を送信するスロットとの間のオフセット（ K_1 : PDSCHとPUCCHとのオフセット、 K_2 : PDCCHとPUSCHとのオフセット）を大きな値にする必要があるが、**図14**に示すとおりRel-16までの仕様で適用可能なオフセットでは、スロット n より前のタイミングで送信されるスロットが指示されてしまう。この課題解

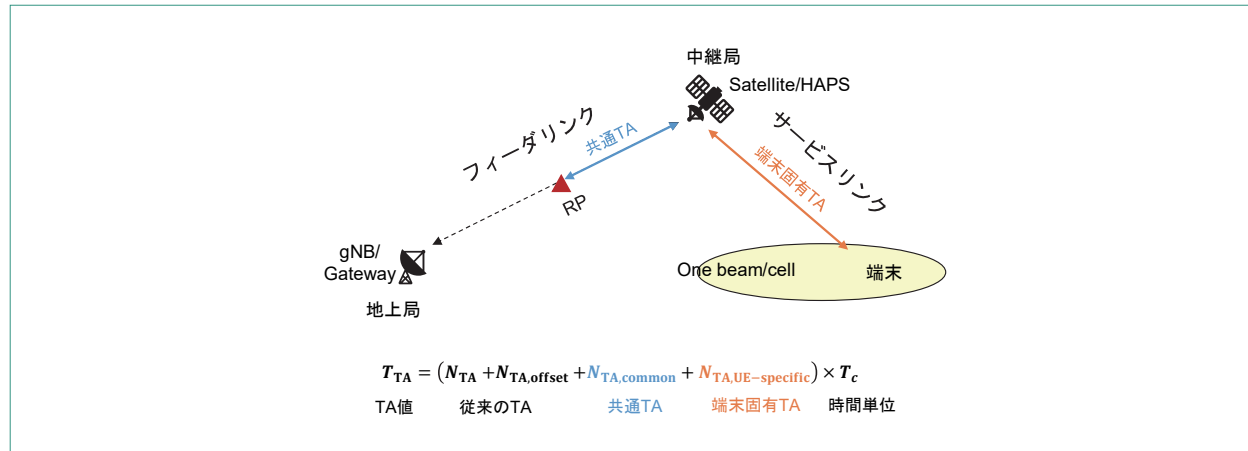


図13 NTNにおけるTA値の決定方法

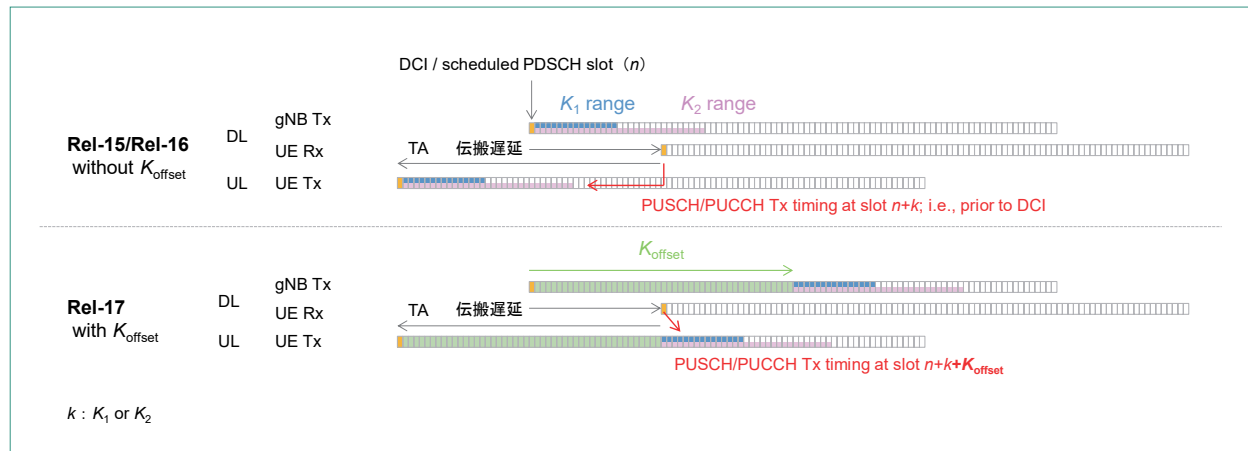


図14 NTNにおけるスケジューリング（同じサブキャリア間隔の場合）

*131 PRACH：ランダムアクセス手順において移動端末が最初に送信する物理チャネル。

*132 周波数シフト：ドップラー効果によって生じる搬送波周波数のずれ。

決のためにRel-17 NR NTNではパラメータKoffsetが導入された。K₁もしくはK₂にKoffsetが加えられた値を上記オフセットとしてUL送信のスロットが決定される。これによりスロット n より後のタイミングで送信されるスロットを指示することが可能になる。パラメータKoffsetは、端末間共通パラメータとしてNTN用のSIBで通知されるが、端末個別に設定することも可能である。

また、HARQにかかわる機能追加も行われた。NR仕様では、あるHARQプロセスについて、PDSCH受信からPUCCH送信までの間は同HARQプロセスを別のPDSCHに使用することができない。従って伝搬遅延の大きい環境では、ある端末への連続送信可能なデータ数に限界が生じてしまう。この課題について、最大HARQプロセス数を16から32へ増加させること、あるいはHARQフィードバック^{*133}機能自体を無効にすることで解決が図られた。HARQフィードバック機能の無効化についてはHARQプロセスごとに設定されるため、重要な情報の送信に対するHARQフィードバック機能を有効に保つことも可能である。

(3)Mobility

(a)UEとセル参照位置との距離、セルカバレッジ有効時間のトリガへの追加

NTNにおいては、衛星・中継局までの距離の関係からサービングセルと隣接セルの電波品質の差が通常の地上ネットワークと比較して小さくなる。この特徴を考慮し、従来の電波品質しきい値に加え、UEとセル参照位置^{*134}との距離が、セル再選択やハンドオーバー (HO)^{*135}の補助的なトリガとして追加された。

なお、HAPSなどで想定されるQuasi-earth fixed cell^{*136}の場合、NTNセルが地表に対して移動するため、UEがセルの範囲から外れるま

でのセルカバレッジの有効時間を考慮した上で、セル再選択を行う必要がある。そこで、Rel-17ではセルカバレッジの有効時間がセル再選択やHOのトリガに追加された。

(b)UEとセル参照位置との距離の所定しきい値、t-serviceの報知

従来のRRC_IDLE状態のセル再選択においては、UEはサービングセルの品質が所定のしきい値を下回るときにセル再選択を実行する。それに対して、NTNの場合はUEとセル参照位置との距離の所定しきい値が新規情報としてSIBで報知されるようになり、NTNサービングセルの品質が所定しきい値以上のときでも、UEとセル参照位置との距離が報知情報中の所定しきい値より大きくなった（UEが地理的にサービングセルを離れる）場合に、UEはセル再選択を行うことができる。

また、Quasi-earth fixed cellの場合にセルカバレッジの終了時刻を表すパラメータ (t-service) も新規情報として報知されるようになった。UEは、t-serviceの時刻が到来する前にセル再選択のための周波数測定を行い、セルカバレッジが終了する前にセル再選択を実行する。

(c)条件付きイベントD1・A4・T1の追加

HOの信頼性を向上させるために、NTNにもRel-16で仕様化された条件付きHO (CHO: Conditional Handover)^{*137}が適用可能となる。さらに、Rel-17ではNTNの特徴を踏まえてCHOのイベントが拡張された。

まず、CHO実行条件として従来の電波品質に基づく条件付きイベントA3^{*138}やA5^{*139}などに加え、UEとセル参照位置との距離を考慮した条件付きイベントD1が追加された。具体的には、UEとサービングセルの参照位置との距

^{*133} HARQフィードバック：HARQにおいて、データの受信側が正常にデータを受信（復号）できたか否かを送信側に対して通知する動作。

^{*134} セル参照位置：NTNセルの位置を特定するための情報（例：セル中心の位置）。

^{*135} 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。

^{*136} Quasi-earth fixed cell：NTNのサービスリンクにおいて、一定期間内で特定のエリアをカバーするよう形成されたセル。

^{*137} 条件付きHO (CHO)：Rel-16にHOの信頼性を向上するために導入された新機能である。UEからの品質報告を受け取ったあとに、基地局から複数のHO先の候補セルと実行条件をUEに事前設定する。その後、UEが実行条件を監視し、条件が最初に満足された候補セルに自律的にHOする仕組み。

^{*138} イベントA3：HO時に品質測定報告をトリガするイベントの1つであり、隣接セルの品質が自セルの品質よりオフセットだけ良ければ、品質測定報告がトリガされる。

離が設定されたしきい値より大きく、隣接セルの参照位置との距離が別に設定されたしきい値より小さいときに、当該イベントが満足され、CHOが実行される。

また、NTNサービングセルと隣接セルの品質差が小さいという特徴を考慮し、従来のサービングセルと隣接セル品質の両方を監視する条件付きイベントA3とA5に加え、隣接セルの品質のみを監視する条件付きイベントA4が導入された。具体的には、隣接セルの品質が設定されたしきい値より良くなったときに、当該イベントが満足され、CHOが実行される。

さらに、quasi-earth fixed cellの場合、セルカバレッジの有効時間を考慮し、UEのHO期間を制限する条件付きイベントT1も新規に作られた。所定時刻を過ぎてから、所定期間内であれば、当該イベントが満足され、CHOが実行される。この所定時刻以前、あるいは所定期間を過ぎてしまうと、当該イベントが満足されない。これにより、HOのタイミングをセルカバレッジの有効時間に応じて制御可能となる。

なお、条件付きイベントD1やT1は電波品質に基づく条件付きイベントA3、A4、A5のいずれかと同時に設定することが必須で、セルとの物理距離やカバレッジの有効時間を考慮しつつ、適切なタイミングで電波品質の良好なセルにHOを行うことが可能となる。

4. あとがき

本稿では、Rel-17で規定された産業連携ソリューション向け無線技術について解説した。Rel-18においてもRedCap/NTNの拡張技術や、仮想現実（VR：Virtual Reality）／拡張現実（AR：Augmented Reality）といったXR（eXtended Reality）向け技術の検討が進められており、さらなる産業創出・ソリューション協創を目指した仕様が見込まれる。ドコモは引き続き5Gのさらなる発展に貢献していく。

文 献

- [1] 青柳，ほか：“産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.65-81, Oct. 2020.
- [2] 3GPP TS22.261 V17.10.0：“Service requirements for the 5G system,” Mar. 2022.
- [3] 3GPP TR38.811 V15.4.0：“Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks,” Oct. 2020.
- [4] 松村，ほか：“モバイルブロードバンド向けの5G高度化技術,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.82-95, Oct. 2020.
- [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] 3GPP TR38.875 V17.0.0：“Study on support of reduced capability NR devices,” Mar. 2021.
- [7] 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.

*139 イベントA5：HO時に品質測定報告をトリガするイベントの1つであり、自セルの品質がしきい値より悪くなり、隣接セルの品質がしきい値より良くなったときに品質測定報告がトリガされる。