

# モバイルブロードバンド向けの 5G高度化技術

ネットワークイノベーション研究所

まつむら ゆうき くまがい しんや  
松村 祐輝 熊谷 慎也くりた だいすけ  
栗田 大輔びん てんよう はらだ こうへい  
無線アクセス開発部 関 天楊 原田 皓平

2020年3月、ドコモは3GPP Rel-15仕様で規定されたNRを用いた5G通信サービスを開始した。一方、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仕様を機能拡張・高性能化するRel-16仕様が、2020年6月に策定された。本稿では、Rel-16 NR仕様の高速・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）仕様で規定されたNRを用いた5G通信サービスを開始した。一方、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仕様を機能拡張・高性能化するRel-16

仕様が、2020年6月に策定された。本特集別記事 [1] で概説した通り、3GPP Rel-16仕様には、モバイルブロードバンドの高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）向けに、品質・性能向上を図る機能、および利用シナリオを拡張し、市場拡大を図るための機能を規定したという特徴がある。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）\*1高度化技術を解説する。

©2020 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 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。

また、利用シナリオを拡張する機能としては、モバイルバックホール\*2を利用するための技術（Integrated Access Backhaul）、アンライセンスバンド\*3を利活用するための技術（NR（New Radio）Unlicensed）、および置局柔軟性を拡大する技術（MR-DC（Multi-Radio Dual Connectivity）\*4/CA（Carrier Aggregation）\*5拡張）を解説する。

## 2. MIMO・ビームフォーミング拡張

Rel-15仕様で仕様化されたMIMO技術の適用領域を拡大し、実効的なユーザスループットを向上させることを目的として、分散MIMO\*6技術が仕様化された。また、より効率的な高周波のビームフォーミング\*7（以下、ビーム）運用を目的として、Rel-15で仕様化されたビーム制御・ビーム障害回復の仕様拡張が行われた。

### 2.1 分散MIMO技術

Rel-15では、下りリンクデータ共有チャネル（PDSCH：Physical Downlink Shared Channel）\*8において、基地局側は1つの送受信点（TRP：

Transmission and Reception Point）を用いて、最大8レイヤ\*9のシングルユーザMIMO\*10がサポートされていた。Rel-16では、基地局側が2つのTRPを協調し、最大8レイヤのPDSCHを分散MIMO送信する機能が仕様化された（図1）。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送信を適用可能にすることを目的としている。

#### (1)中継回線環境シナリオ

複数TRPが協調して分散MIMO送信を行うためには、TRP間の制御情報のやり取りが必要になる。それを可能とする環境として、TRP間に光ファイバなど高品質な中継回線が敷設され、TRP間の制御情報のやり取りを低遅延に行える環境（理想中継回線環境）と、そうではない環境（遅延の大きい中継回線環境）が想定される。実際のネットワーク環境がどちらになるかは、光ファイバの敷設状況や、基地局の設置密度など、国ごと・通信事業者ごとに異なる。それぞれの環境に応じて、TRP協調分散MIMOを行うための適切な通信方式が異なるため、Rel-16の分散MIMO技術は、理想中継回線環境と遅延の大きい中継回線環境のそれぞれのシナリオを想

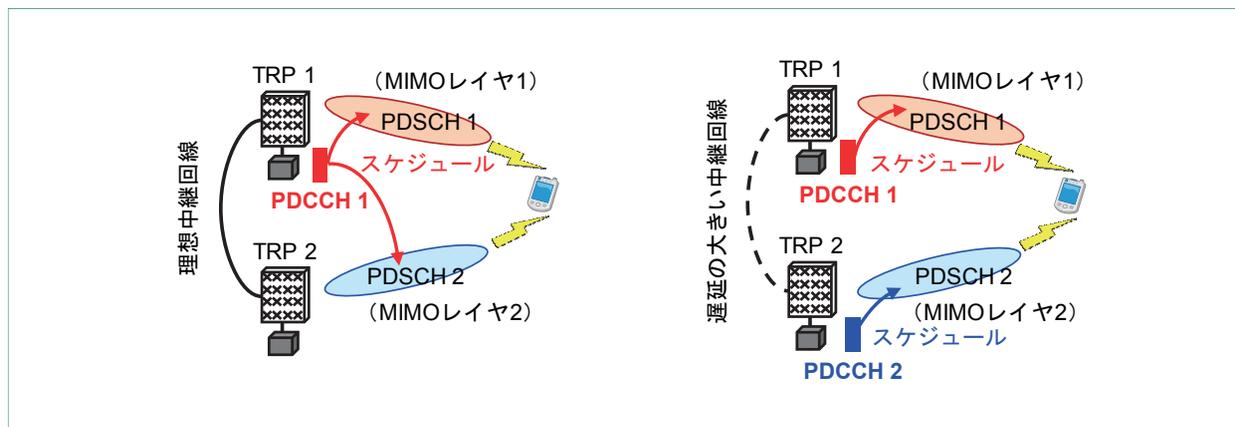


図1 2つのTRPの協調による、PDSCHの分散MIMO送信

\*2 バックホール：基地局とコアネットワークを接続する伝送路。  
 \*3 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。  
 \*4 MR-DC：LTEとNR基地局または2つの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 分散MIMO：複数の基地局から異なるMIMOストリームを1つの

ユーザ端末に送信してMIMO伝送を行う技術。  
 \*7 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。複数のアンテナ素子（RF装置）の位相制御により指向性を形成するアナログビームフォーミングと、ベースバンド部において位相制御するデジタルビームフォーミングが存在する。このうち、本稿で解説するビーム制御・ビーム障害回復は、主にアナログビームフォーミングを想定する。  
 \*8 下りリンクデータ共有チャネル（PDSCH）：ユーザデータや上位レイヤからの制御情報を送信するための物理チャネル。

定して仕様化された。

(2)PDSCHスケジュール

理想中継回線環境では、1つのTRPにより送信される1つの下りリンク制御チャンネル（PDCCH：Physical Downlink Control Channel）\*11が、各TRPが送信する2つのPDSCHを一括してスケジュールする（図1左）。本方式では、1つのPDCCHが各TRPのPDSCHを効率的にスケジュールできるが、遅延の大きい中継回線環境への適用は難しい。

そこで、遅延の大きい中継回線環境でのPDSCHのスケジュール機能では、各TRPにより送信されるPDCCHが、各TRPの送信する各PDSCHをスケジュールする（図1右）。ただし、本方式では、理想中継回線環境の方式に比べて2倍の回数のPDCCH送信が必要になる。

(3)HARQ-ACK/NACK送信

複数TRP協調MIMO送信時におけるHARQ（Hybrid Automatic Repeat reQuest）\*12の肯定応答（ACK：ACKnowledgement）\*13または否定応答（NACK：Negative ACK）\*14の送信方式を図2に示す。各TRPからユーザ端末（UE：User Equipment）が受信したPDSCHのHARQ-ACK/NACK送信方式も、

理想中継回線環境と遅延の大きい中継回線環境の各シナリオを想定して仕様化された。TRP間が理想中継回線環境の場合、UEは、各TRPから受信したPDSCHのHARQ-ACK/NACKビット\*15を連結し、1つの上りリンク制御チャンネル（PUCCH：Physical Uplink Control Channel）\*16で送信する（図2左）。HARQ-ACK/NACKを受信したTRPは、TRP間の中継回線を用いて、もう片方のTRPに、HARQ-ACK/NACKビットを転送する。理想中継回線環境では、本方式により、複数TRPのHARQ-ACK/NACKを効率的に送信できる。しかし、本方式を遅延の大きい中継回線に適用すると、TRP間の中継回線遅延分、HARQ遅延\*17が生じてしまう。

そこで、UEが各TRPから受信したPDSCHのHARQ-ACK/NACKを、それぞれのTRPに向け、それぞれのPUCCHで送信する方式も仕様化された（図2右）。本方式では、遅延の大きい中継回線環境においても前記のHARQ遅延を生じないが、各TRP向けのPUCCHを時間分割して送信するので、理想中継回線環境の方式に比べて2倍の回数のPUCCH送信が必要になる。

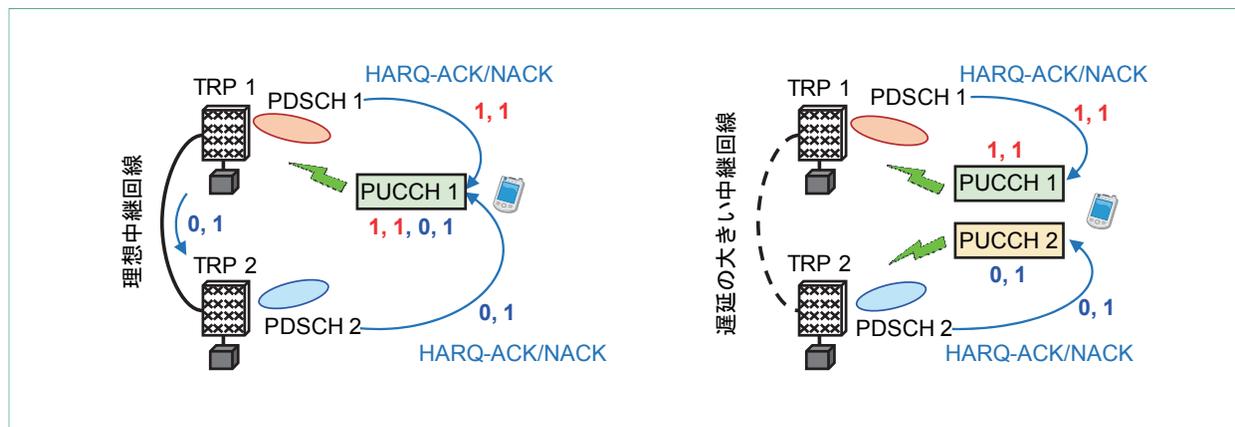


図2 2つのTRPへのHARQ ACK/NACK送信

\*9 レイヤ：MIMOにおける空間ストリーム。  
 \*10 シングルユーザMIMO：同一時間周波数において、単一ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。  
 \*11 下りリンク制御チャンネル（PDCCH）：下りリンクにおける物理レイヤの制御チャンネル。  
 \*12 HARQ：データ受信側が正常にデータを受信（復号）できたか否かをデータ送信側に通知し、データ受信に誤りが検出された場合にデータを再送させることで、データ通信の誤りを訂正する技術。  
 \*13 肯定応答（ACK）：データの受信ノードが正常に受信（復号）

できたことを送信ノードに通知する受信確認信号。  
 \*14 否定応答（NACK）：データの受信ノードが正常に受信（復号）できなかったことを送信ノードに通知する受信確認信号。  
 \*15 HARQ-ACK/NACKビット：HARQにおけるACKまたはNACKを、1または0のビットで表したもの。  
 \*16 上りリンク制御チャンネル（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。  
 \*17 HARQ遅延：送信側がデータ送信を行ってから、受信側からACKが通知されてデータ通信が完了するまでの時間。

## 2.2 ビーム制御・ビーム障害回復の拡張

Rel-15で仕様化されたビーム制御は、主に高い周波数において基地局側とUE側の送受信のアナログビームのペアを早期に確立・維持することを目的とする。ビーム制御は、UEによるビーム測定、UEからのビーム報告、基地局からのビーム指示からなる。また、Rel-15で仕様化されたビーム障害回復は、プライマリセル（PCell：Primary Cell）<sup>\*18</sup>またはPSCell（Primary SCell）<sup>\*19</sup>において、伝搬経路の遮断などの要因で通信中のビームに障害が発生した場合に、障害の発生していないビームを用いて、ビーム障害回復要求を基地局へ送信することで、障害が生じたビームを早期に回復する。Rel-16では、下記機能が拡張された。

### (1)ビームごとの受信品質に基づくビーム報告

Rel-15では、UEが測定した受信電力（RSRP：Reference Signal Received Power<sup>\*20</sup>）が高い上位 $N$ 個のビーム情報を基地局へ報告していた。ここで、 $N$ は1, 2, または4のいずれかが基地局から設定される。Rel-16では、UEが測定した信号対干渉雑音電力比（SINR：Signal to Interference plus Noise power Ratio）<sup>\*21</sup>が高い上位 $M$ 個のビーム情報を基地局へ報告する機能が追加された。ここで、 $M$ は1, 2, または4のいずれかが基地局から設定される。本機能により、セル間やTRP間の干渉を考慮したビーム制御が可能になり、通信品質の向上が期待できる。

### (2)低遅延・低オーバーヘッド<sup>\*22</sup>ビーム指示

Rel-15では、上りリンク送信におけるUEの送信ビーム指示のために、上位レイヤシグナリング<sup>\*23</sup>のRRC（Radio Resource Control）<sup>\*24</sup>メッセージを再設定する場合があった。そのような再設定を行わず、ビーム指示をレイヤ1/2<sup>\*25</sup>の制御で行うことで、より低遅延にビーム制御できる。そこで、Rel-16では、上りリンクのビーム指示をレイヤ2で行えるよ

う仕様拡張された。例えば、レイヤ2で制御可能なPUCCHのビーム数が8から64へ拡張され、非周期的サウンディング参照信号（Aperiodic-SRS：Aperiodic Sounding Reference Signal）<sup>\*26</sup>のビーム制御をレイヤ2で行えるようになった。また、上りリンクの明示的なビーム指示を省略する機能も仕様化された。本機能では、上りリンクのビームは下りリンクのビーム指示に連動するため、上りリンクのビーム指示のためのレイヤ2制御オーバーヘッドを無くすることができる。

Rel-15では、各コンポーネントキャリア（CC：Component Carrier）<sup>\*27</sup>に含まれるBWP（BandWidth Part）ごとに、上りリンク／下りリンクの各チャンネルのレイヤ2ビーム指示を行っていた。Rel-16では、各チャンネルにおいて、1つのレイヤ2ビーム指示で複数のBWP/CCを一括して制御する機能が仕様化され、レイヤ2ビーム指示の制御オーバーヘッドを削減できる。なお、BWPについては2018年の特集記事を参照されたい [2]。

### (3)セカンダリセルにおけるビーム障害回復

セカンダリセル（SCell：Secondary Cell）<sup>\*28</sup>のビーム障害回復が仕様化された（図3）。SCellにおいてUEは、自身が測定する受信品質が所定値を下回る場合に、PCellまたはPSCellに対して、SCellのビーム障害回復要求を送信する。また、UEはSCellにおけるビーム測定を行い、最も受信電力の大きいビーム情報をPCellへ報告する。本機能により、SCellのビーム障害の発生の情報と、SCellで更新すべき新ビーム情報をPCellへ報告することができ、SCellのビーム障害を早期に回復できる。

## 3. IAB

NRネットワークのさらなる展開に向けて、NRを

\*18 プライマリセル（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。

\*19 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（\*27参照）の中で、接続を担保するコンポーネントキャリア。

\*20 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。

\*21 信号対干渉雑音電力比（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。

\*22 オーバヘッド：制御情報の送受信など、ユーザデータの送受信以外に用いられる無線リソース。

\*23 上位レイヤシグナリング：本稿では、MAC（Medium Access Control）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（\*24参照）メッセージ、MAC Control elementなど）を表す。

\*24 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。

バックホールリンクの通信にも適用し、より柔軟かつ安価なネットワークの設計・展開の実現により、高速・大容量サービスをより広いエリアで迅速に提供する事を目的として、IAB（Integrated Access and Backhaul）の仕様が規定された。これにより、有線バックホールを用いることなく基地局DU（Distributed Unit）\*29相当の機能を有するIABノードの設置が可能となり、屋外スモールセル\*30や屋

内のNRネットワークの拡張・高密度化が期待される。

### 3.1 IABのアーキテクチャ

IABのアーキテクチャの基本構成図を図4に示す。IABノードは、ネットワークとの接続においてUEと同等の機能となるIAB-MT（Mobile Termination）と、基地局のDU機能に相当するIAB-DUから構成

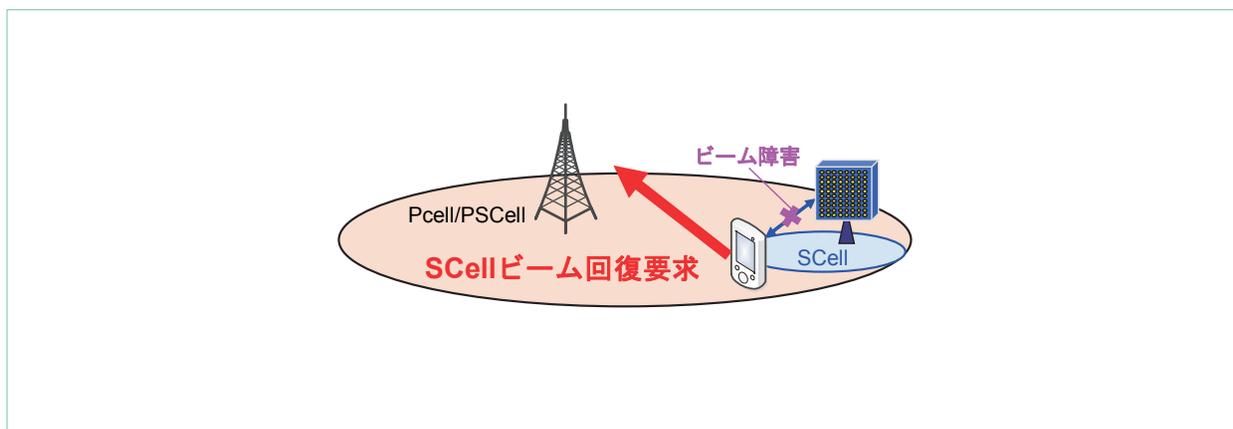


図3 SCellにおけるビーム障害回復

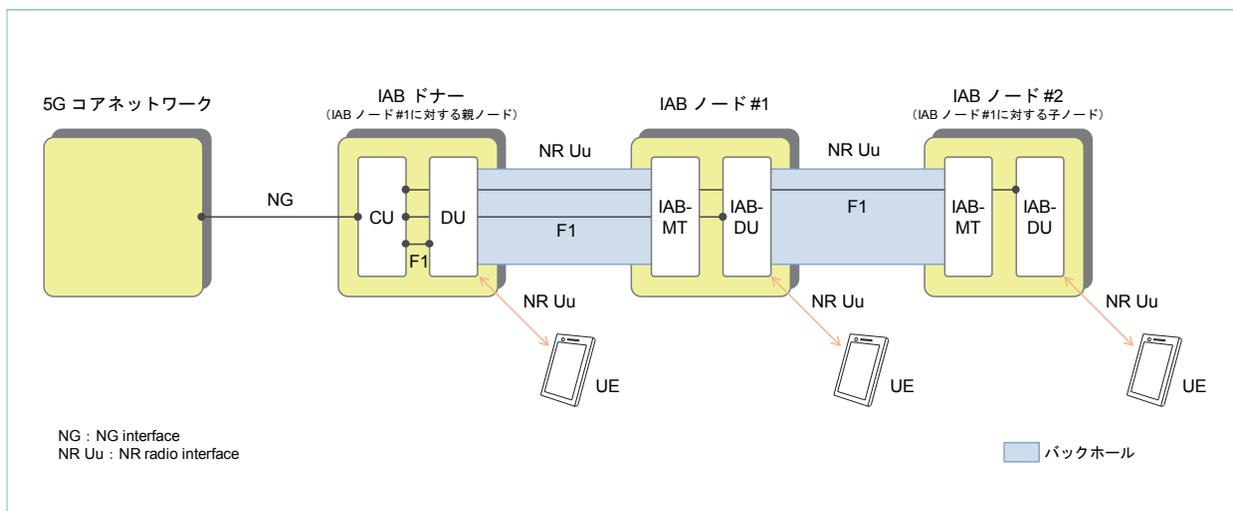


図4 IABのアーキテクチャ基本構成図

\*25 レイヤ1/2：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）。  
 \*26 非周期的サウンディング参照信号（Aperiodic-SRS）：PDCCHでトリガされた場合に端末が送信する、非周期的なチャネルサウンディング向け参照信号。  
 \*27 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。  
 \*28 セカンダリセル（SCell）：CAにおいて複数用いるキャリアの中で、PCellおよびPSCellでないコンポーネントキャリアの総称。

\*29 DU：基地局の構成要素で、無線信号の処理および電波の送信を行うノード。  
 \*30 スモールセル：送信電力が小さく、マクロセルに比較して小さいエリアをカバーするセルの総称。

される。IAB-MTはIABドナー、もしくは親ノードのDUにNRの無線アクセス回線（NR Uu）でバックホールリンクとして接続するための機能である。一方、IAB-DUはUEおよび子ノードをアクセスリンクとして接続させるための機能であり、基地局のDUと同様にF1インタフェースでCU（Central Unit）と接続する機能を併せもつ。

また、直列および並列に接続する複数のIABノードに対してデータをルーティングするために、BAP（Backhaul Adaptation Protocol）<sup>\*31</sup>が規定された [3]。

### 3.2 IABノードの動作手順

IABノードは以下に示す4つの手順を踏まえて、IAB-DUの動作を開始する [4]。

#### ①IAB-MTのネットワーク接続

IAB-MTはUEとして動作し、UEと同様の手順を踏み、ネットワークと接続する。

#### ②バックホールのRLC（Radio Link Control）<sup>\*32</sup>レイヤの確立

IABノードに対して、制御信号を送送するためにバックホールのRLCレイヤがIABノードとCU間で確立される。

#### ③ルーティングの設定

IABドナーは、IABノードとIABドナー間のIPトラフィックをルーティングするため、IABノードのBAPアドレス、BAPルーティングIDなどを設定もしくは更新する。さらに、IABドナーはIABノードに対してIPアドレスを払い出し、BAPアドレスと対応付ける。

#### ④IAB-DUのセットアップ

IABノードは、払い出されたIPアドレスを用いてIABドナーとのF1を確立後、IAB-DUの動作を開始する。

### 3.3 物理レイヤ機能

バックホールリンクとアクセスリンクの運用周波数が異なるケースなど、IAB-MTとIAB-DUそれぞれに専用のアンテナやRF回路が実装される場合、Rel-15のNR物理レイヤ<sup>\*33</sup>仕様を用いてIABノードを動作させる事ができる。一方、同一周波数でバックホールリンクとアクセスリンクを運用するケースなど、IABノードが両リンクに共通のアンテナやRF回路を実装し、IAB-MTとIAB-DUの半二重通信<sup>\*34</sup>が必要な場合においては、物理レイヤ機能の拡張が必要となり、下記機能の仕様が規定された。また、IABノード間の送信タイミング同期のためのシグナリングが規定された。

(1)STC（SSB Transmission Configuration）<sup>\*35</sup>およびSMTTC（SSB-based Measurement Timing Configuration）<sup>\*36</sup>の拡張

IAB-MTとIAB-DUの半二重通信が必要な場合Rel-16では、IAB-MTとIAB-DUの時分割動作を想定する。IAB-DUは動作開始後、SSB（Synchronization Signals/Physical Broadcast CHannel Block）<sup>\*37</sup>を用いてバックホールリンクの無線品質の測定や、品質の高いIABノードを検出するため、図5に示す通り、UEに対するSSBとは異なる送信タイミング（STC）を最大4つ設定ができる。また、併せてSSBを受信するためのSMTTCも、最大4つ追加設定ができる。

(2)RACH（Random Access CHannel）<sup>\*38</sup>の拡張

SSBの送受信と同様にIAB-MTとIAB-DUの半二重通信が必要な場合、IAB-DUのRACHの受信機会とは異なるタイミングにIAB-MTのRACHの送信機会を設定する必要がある。図6に示す通り、IAB-MTのRACH送信タイミングは、UEに設定される送信タイミングに対して、フレーム<sup>\*39</sup>・スロット<sup>\*40</sup>・サブフレーム<sup>\*41</sup>単位のオフセット<sup>\*42</sup>の設定ができる。

\*31 BAP：IABノードに対してデータをルーティングするためのプロトコル。

\*32 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。

\*33 物理レイヤ：OSI参照モデルの第一層。例えば、物理レイヤ仕様とは、ビット伝送に関わる無線インタフェース仕様のことを指し示す。

\*34 半二重通信：同じキャリア周波数、周波数帯域を用いて、交互に信号伝送を行う方式。

\*35 STC：ネットワークがIABノードに対して通知する、IAB-DU

のSSB（\*37参照）の送信周期やタイミングなどの設定。

\*36 SMTTC：ネットワークが移動局に対して通知する、移動局が測定に用いるSSB（\*37参照）の測定周期やタイミングなどの設定。

\*37 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。

\*38 RACH：ランダムアクセス手順において、移動局が最初に送信する物理チャネル。

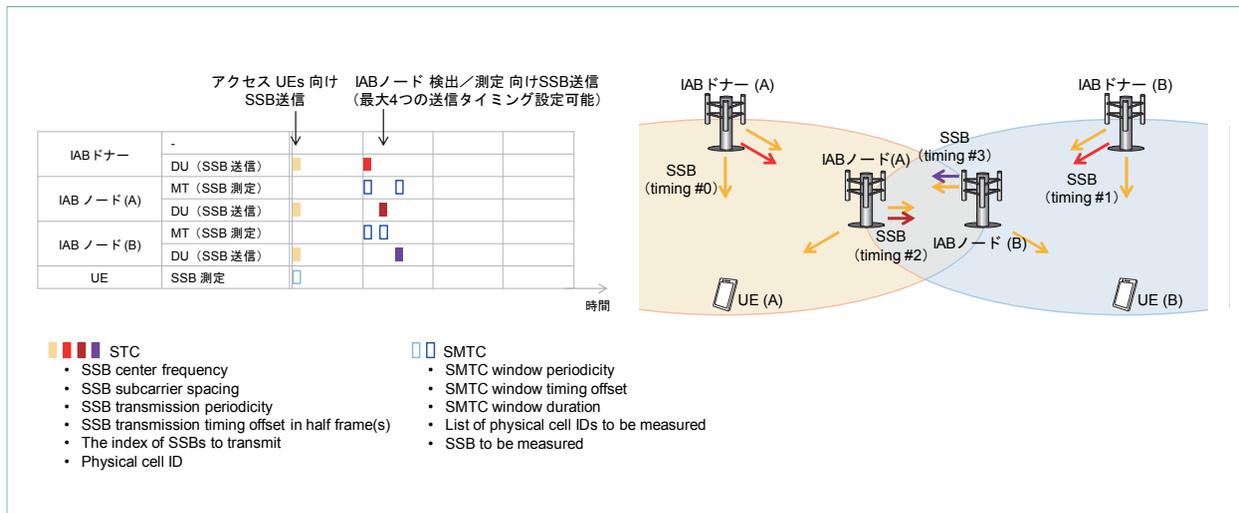


図5 IABノードのSTCおよびSMTTCの設定例

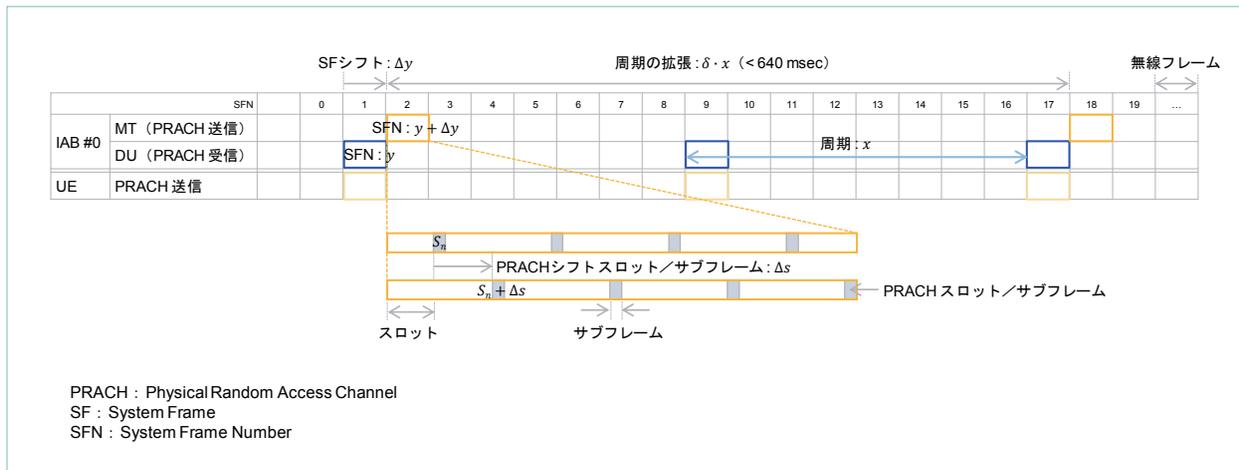


図6 IAB-MTのRACH送信タイミングの設定例

(3) IABノードの無線リソース制御

IAB-MTとIAB-DUの効率的な無線リソース制御が導入された。その概要を図7に示す。まず、CUはIAB-DUの各時間リソースに対して、Hard、Soft、NA (Not Available) を準静的に設定する。ここで、Hardと設定された場合はIAB-DUに、NAと設定された場合はIAB-MTに対してそのリソースの使用権

があるものとしてIABノードはリソースを割り当てる。また、Softと設定された場合はそのリソースの利用者を動的に切り替えることが可能であり、親ノードがIAB-DUの当該リソースに対する割当て可否をDCI (Downlink Control Information)<sup>\*43</sup> format 2\_5を用いて動的に指示する。

\*39 フレーム: 信号処理 (符号化・復号化) を行う最小単位。1個の無線フレームは、時間軸上で複数のスロット (またはサブフレーム) によって構成され、各スロットは時間軸上で複数のシンボルによって構成される。

\*40 スロット: データのスケジューリング単位。複数のOFDMシンボルから構成される。

\*41 サブフレーム: 時間領域の無線リソースの単位。複数のスロットから構成される。

\*42 オフセット: 基準の位置・時間から任意の位置・時間に設定を変更するために与えられる変化量。

\*43 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下りリンクで送信する制御情報のこと。

(4) IAB-MTの送信タイミング同期

図8に示す通り、IABノードは、IAB-DUの送信タイミングを親ノードのDUと同期させるため、IAB-MTの受信タイミングから伝搬遅延 ( $T_{\text{propagation}}$ ) を補正することで、IAB-DUの送信タイミングを決定する。ここで、伝搬遅延は

$$\left( N_{\text{TA}} + N_{\text{TA, offset}} \right) \cdot T_c / 2 + T_{\text{delta}}$$

を用いて導出する。  $N_{\text{TA}}$  と  $N_{\text{TA, offset}}$  は、UEが送信タイミングを決定するために通知される値であり、  $T_c$  はNRの基本単位時間となる。また、  $T_{\text{delta}}$  は親ノードの送受信の切替え時間の半分に相当し、MAC CE (Medium Access Control Control Element) \*44

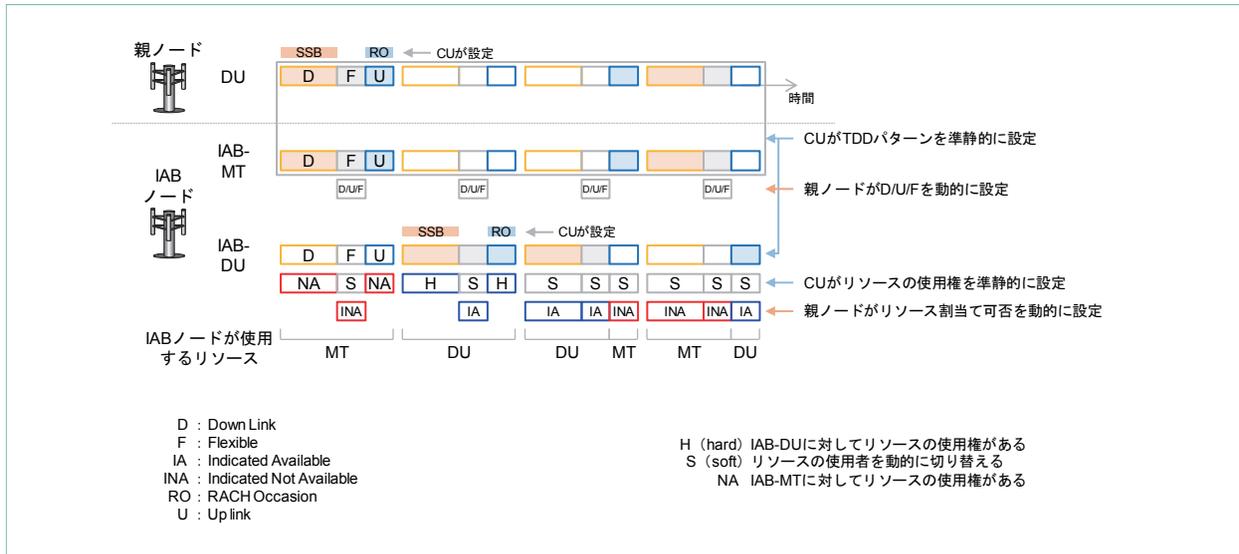


図7 IABノードのリソース制御の概要

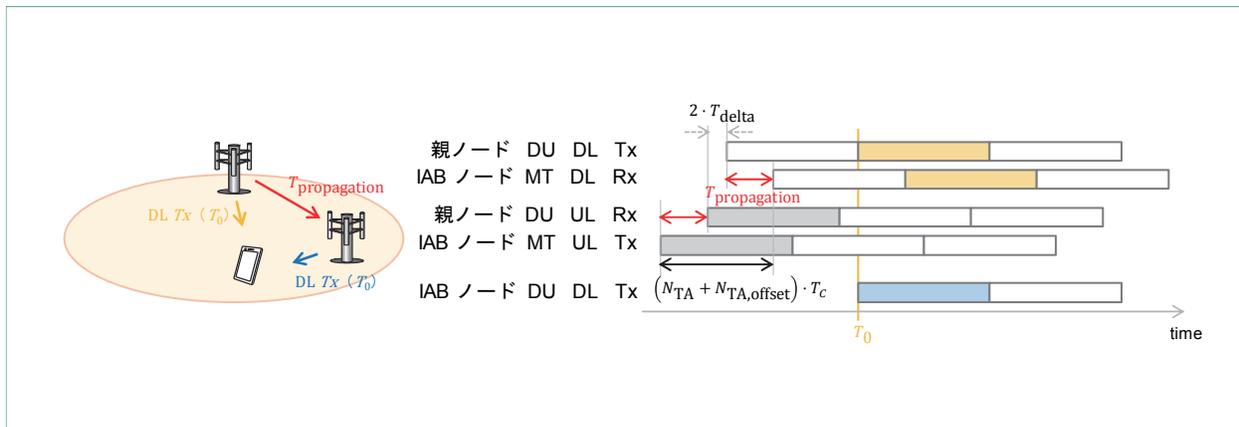


図8 IAB-MTの送信タイミング同期の概要

\*44 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。

を用いてIABノードに通知される。

## 4. NR-U

移動通信ネットワークにおいて急増するトラフィックを収容するため、アンライセンスバンドの活用が注目を集めており、3GPPにおいてライセンスバンドとアンライセンスバンドを束ねて通信を高速化するLAA (Licensed-Assisted Access)<sup>\*45</sup>がLTE Rel-13の一機能として仕様策定された。さらに3GPPにおいて5G NR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 Rel-16の一機能として仕様策定された。

### 4.1 NR-Uの運用形態

NR-Uでは、LTE-LAAと同様にライセンスバンドのNRをPCell、NR-UをSCellとしたCAによる複数CCの同時送受信に加えて、より柔軟なアンライセンスバンドの運用を実現するため、ライセンスバン

ドのLTEをPCell、NR-UをPSCellとしたLTE-NR DCによる複数基地局との同時送受信や、NR-Uのスタンドアローン<sup>\*46</sup>によるアンライセンスバンドの単独運用など合わせて5つの運用形態がサポートされた (図9)。

### 4.2 NR-Uの想定周波数帯および法規制

NR Rel-15では、52.6GHzまでの高周波数帯を想定し、450~6,000MHzをFR1 (Frequency Range 1)、24,250~52,600MHzをFR2として仕様策定が行われた。ただし、NR-Uでは想定するアンライセンスバンドが5GHz帯および6GHz帯であることから、FR1向けにおいては、当該アンライセンスバンドに対する地域ごとの法規制、および同バンドを使用するWi-Fi<sup>®</sup><sup>\*47</sup>・LTE-LAA・NR-Uとの共存を考慮した上で仕様策定が行われた。

地域ごとの法規制として、例えば日本や欧州では、5GHz帯を用いる無線システムへの要求条件として、送信を開始する前にキャリアセンス<sup>\*48</sup>を行い、チャ

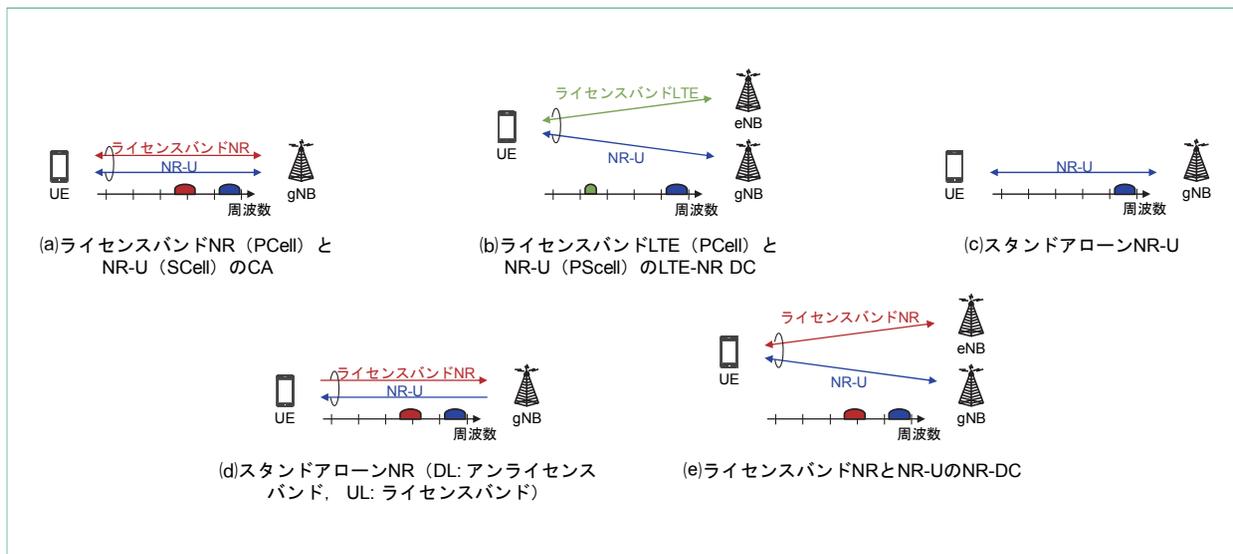


図9 NR-Uの運用形態

<sup>\*45</sup> LAA：端末が、ライセンスバンドで運用しているPCellから設定情報を受けてアンライセンスバンドで無線通信を行う、無線アクセス方式の総称。

<sup>\*46</sup> スタンドアローン：既存のLTE/LTE-AdvancedとNRをLTE-NR 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。

<sup>\*47</sup> Wi-Fi<sup>®</sup>：IEEE802.11規格を使用した無線LANの規格で、Wi-Fi Allianceによって相互接続が認められたデバイスに用いられる名称。Wi-Fi Allianceの登録商標。

<sup>\*48</sup> キャリアセンス：電波を発射する前に、その周波数キャリアが他の通信に使用されていないかを確認する技術。

ネルが近傍の他システムに使用されていないことが確認できた場合のみ、所定の時間長（MCOT：Maximum Channel Occupancy Time）以内での送信を可能とするLBT（Listen Before Talk）メカニズムを適用することが規定されている。さらに、欧州では、ガードバンド\*49を含む送信帯域（NCB：Nominal Channel Bandwidth）が常に5MHz以上、かつ信号電力の99%を有する帯域（OCB：Occupied Channel Bandwidth）がNCBの80～100%に収まるように送信することが規定されている。

### 4.3 NR-Uの物理レイヤ機能

NR-Uのチャネルアクセス方法として、LTE-LAAと同様に他システムとの共存を考慮してランダムバックオフ\*50および可変長のCWS（Contention Window Size）\*51に基づくLBT [5]を行うLBE（Load Based Equipment）動作が規定された。加えて、周波数利用効率およびLBTの簡易化を目的

に、他システムが同一周波数上で共存しないことがレギュレーションなどにより保証されている場合のみ、所定の周期（FFP：Fixed Frame Period）で固定のキャリアセンス期間に基づくLBTを行うFBE（Frame Based Equipment）動作が規定された。

また、Wi-FiやLTE-LAAが20MHz帯域を基本とするのに対し、NRの1CCは20MHz以上の帯域をサポートするため、これらとの共存を考慮した広帯域動作や、上記LBTやOCBなどの法規制を考慮した初期アクセス、上下リンク物理信号・チャネル、HARQ動作の拡張が規定された（表1）。

## 5. MR-DC/CA技術拡張

Rel-15ではMR-DC/CAの基本機能が策定されたが、MR-DC/CAの設定および無線リンク障害の復帰に時間がかかることや、上りリンクのカバレッジが狭いことなどが問題視されていた。そこで、Rel-

表1 NR-Uにおける主な機能拡張

機能分類	機能拡張の詳細	機能拡張の理由
広帯域動作	複数のLBT帯域（20MHz）でのLBT成功／失敗に基づくPDSCH/PUSCH送受信可否	Wi-FiおよびLTE-LAAとの共存
初期アクセス	複数のSSB送信候補位置	LBT成功時の早期送信
	長系列PRACHプリアンブル	OCB要求の満足
下りリンク信号・チャネル	3～13シンボルPDSCH	LBT成功時の早期送信
	COT内外でのサーチスペース切替え	COT内での電力消費削減
上りリンク信号・チャネル	Interlaced PUCCH/PUSCH	OCB要求の満足
	Configured grant PUSCHの自動再送	LBT失敗確率の低減
	複数PUSCHの同時スケジューリング	LBT失敗確率の低減 LBT成功時の早期送信
HARQ動作	COTを跨いだHARQ-ACK送信	MCOT要求の満足
	HARQ-ACKの再送	LBT失敗時の重要情報の再送

PUSCH：Physical Uplink Shared Channel

\*49 ガードバンド：システム間の電波干渉を防ぐため、システムごとに割り当てられる周波数帯域間に設けられる帯域。  
 \*50 ランダムバックオフ：キャリアセンス期間の長さをランダムに設定することで、複数の送信が同時に発生し衝突してしまうことを防ぐための技術。  
 \*51 CWS：ランダムバックオフ技術において、ランダムに設定する値の範囲のこと。

16ではより迅速なMR-DC/CAの設定・復帰、上りリンクのカバレッジ拡大のための技術拡張を行った。

(1)高効率・低遅延なMR-DC設定・復帰

高効率・低遅延なMR-DCの設定・復帰について、以下の2つの機能がRel-16で追加された。

(a)RRC\_INACTIVE<sup>\*52</sup>状態からの迅速なMR-DC復帰

Rel-15 NRにおいて、UEにRRC\_IDLE<sup>\*53</sup>状態、RRC\_CONNECTED<sup>\*54</sup>状態以外にRRC\_INACTIVE状態が導入されたが、RRC\_CONNECTED状態からRRC\_INACTIVE状態への遷移時に、MR-DC設定を破棄していた。このためRRC\_INACTIVE状態からRRC\_CONNECTED状態へ復帰時に再度MR-DC設定を行う必要があり、MR-DC復帰のために時間を要していた。

そこでRel-16 MR-DC技術拡張では、UEはRRC\_INACTIVE状態遷移時にMR-DC設定を記憶しておくことで、RRC\_CONNECTED状態へ再遷移する場合、基地局からの上記設定の受信を待たず、記憶した設定を用いてMR-DC設定を行うため、迅速にMR-DC復帰する方式が新たに導入された。具体的にはUEがRRC\_CONNECTED状態かつMR-DC接続状態からRRC\_INACTIVE状態への遷移時、基地局からRRC Resume message<sup>\*55</sup>でMCG SCell (Master Cell Group SCell)<sup>\*56</sup>/SCG (Secondary Cell Group)<sup>\*57</sup>設定をリストアするという指示を受信した場合、UEは記憶していたPDCP (Packet Data Convergence Protocol)<sup>\*58</sup>/SDAP (Service Data Adaptation Protocol)<sup>\*59</sup>の設定やMCG SCell/SCGの設定をリストアする事が可能となった。上記機能拡張により、RRC\_INACTIVE状態からRRC\_CONNECTED状態への遷移時、

UEは迅速にMR-DC接続状態に復帰する事が可能となった。

(b)迅速なMR-DC設定

Rel-15では、UEは以下の手順でのMR-DC設定を行う事が規定されていた。

- ①MN (Master Node)<sup>\*60</sup>と接続 (RRC\_CONNECTED状態への遷移)
- ②隣接セルの品質測定を行いその結果をMNに報告
- ③その後、MN経由でSN追加コマンドを受信しSN (Secondary Node)<sup>\*61</sup>と接続

上記では、UEがRRC\_CONNECTED状態に遷移した後に隣接セルの品質測定を行うため、RRC\_CONNECTED状態に遷移後からのMR-DC設定に時間を要していた。

このため、Rel-16 MR-DC技術拡張では、UEは、RRC\_IDLE/RRC\_INACTIVE状態においてもセルの品質測定を行う事で、RRC\_CONNECTED状態に遷移した際、迅速に隣接セルの品質測定値を基地局に報告する機能が仕様化された。これによりRel-15の上記セットアップ手順に比べて、MR-DC設定の遅延を大幅に短縮する事が可能となった。具体的には、基地局が報知情報<sup>\*62</sup>あるいはRRC Release message<sup>\*63</sup>を用いてあらかじめ品質測定設定をUEに通知する事で、RRC\_IDLE/RRC\_INACTIVE状態においてもセルの品質測定を行う事ができる。

(2)CA時における迅速なNR SCellのアクティベーション

Rel-15では、MR-DCとNRスタンドアローンについての基本的な仕様が規定され、Rel-16では、MR-DCやCAに対してRel-15仕様のさらなる拡張が行われた。拡張の1つとして、SCellで通信可能になるま

\*52 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。

\*53 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。

\*54 RRC\_CONNECTED：端末のRRC状態の1つであり、端末は基地局と接続状態のことを指す。

\*55 RRC Resume message：UEをRRC\_INACTIVE状態から

RRC\_CONNECTED状態に復帰させるためのRRCメッセージ。

\*56 MCG SCell：MN (\*60参照) 配下のセルグループにあるセカンダリセル。

\*57 SCG：SN (\*61参照) 配下のセルグループ。

\*58 PDCP：レイヤ2におけるサブレイヤの1つで、秘匿、正当性確認、順序整理、ヘッダ圧縮などを行うプロトコル。

\*59 SDAP：無線インタフェースのレイヤ2のサブレイヤの1つで、QoSフローと無線ベアラとのマッピングを行うプロトコル。

\*60 MN：DC中の端末とRRC connectionを確立する基地局。LTE-NR DCにおいて、MNは、LTE基地局 (eNB) である。

での遅延の短縮の必要性が議論された。

従来はSCellを追加した後、SCellを一定時間使用しない場合は、当該SCellをdeactivation状態に遷移させて、PDCCHモニタリングなどを行わないことにより端末の消費電力を抑えていた。左記動作の場合、再度SCellを用いた通信を行う場合にactivation状態に再遷移する必要があり、CSI (Channel State Information) \*64 測定、AGC (Automatic Gain Control) \*65、そしてビーム制御を行って通信の準備をするため、activation遷移までに数十ms単位の時間を要していた。一方、NR SCellはLTEと比べ帯域も広く、NR SCell使用開始直後に高いスループットで通信する事ができるため、NR SCell使用開始までのactivation遷移にかかる遅延時間によるスループット影響が、LTEに比べて相対的に大きくなってしまふ事が懸念された。

そのため、activation/deactivation状態に加えて、新たにdormancy状態を定義し、PDCCHをモニタリングしない一方で、deactivation状態とは異なりCSI測定などの通信に必要な準備を継続して行っておくことで素早くactivation状態 (non-dormancy状態) に復帰できるようにRel-16で仕様が策定された。NRのdormancy状態の特徴として、システム帯域幅に含まれるBWPごとにdormancy状態が設定される仕様となっている (dormancy BWP)。これにより既存のBWPの機能を活用したレイヤ1制御が可能となる。Dormancy BWPの遷移をレイヤ1で制御することで、レイヤ2での制御に比べて制御に要する遅延影響を低減する事ができ、遅延が短くなった分dormancy状態である時間が長くなるため、端末の消費電力を削減する事ができる。

### (3)迅速なMCGリンク回復

Rel-15 MR-DCにおいて、PCellが無線リンク障害 (RLF: Radio Link Failure) となった場合、SCGの

品質が正常な場合でも、UEはRRC再接続を行わなければならなかった。そこでRel-16 MR-DC技術拡張では、SCGの品質が正常な時にMCGでRLFを検出した場合は、SCGを用いてMCGの再設定を行う事で、再接続を回避する仕組みを規定した。具体的には図10に示すようにUEはsplit SRB (Signaling Radio Bearer) 1 \*66あるいはSRB3 \*67を利用しMCGリンク障害情報 (隣接セル品質の測定報告を含む) をSNに報告する事が可能になった。MCGリンク障害情報を報告されたSNは当該情報をMNに転送し、MNは新たなMCG設定を含む無線リソース \*68設定メッセージ (RRC Reconfiguration message) をSNに返す。SNがRRC Reconfiguration messageをUEに転送する事で、UEはRRC再接続に比べて迅速にMR-DC状態に回復する事ができる。

### (4)NR-DC電力分配

Rel-15 NR-DC \*69の上りリンク電力分配において、基本的に準静的にCG (Cell Group) \*70ごとの最大送信電力を設定する事が規定された。Rel-16 NR-DC上りリンク電力分配では、NR-DC中の上りリンクのカバレッジを増大し、より高いスループットを得る事を目的として以下の2つの電力分配が規定された。

#### (a)モード2設定

Rel-15と同様の設定 (モード1) に加えて、MCGとSCGが送信スロット上で重複する時はCGごとの最大送信電力を使い、重複しない時はNR-DC最大送信電力値 \*71のみを考慮してCGごとの最大送信電力を考慮しない設定 (モード2) が仕様化された。

#### (b)動的な電力分配機能

Rel-16 NR-DCでは動的な電力分配機能もサポートされた。具体的にはMCGとSCGが送信スロット上で重複し、かつMCGとSCG送信電

\*61 SN: DC中の端末に、MNの無線リソースに加えて、追加で端末に無線リソースを提供する基地局。LTE-NR DCにおいて、SNはNR基地局 (gNB) である。  
 \*62 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番号、周辺セル情報、および発信規制制御を行うための情報などを含み、周辺セルごとに一斉同報される。  
 \*63 RRC Release message: UEをRRC\_CONNECTED状態からRRC\_IDLE状態に遷移させるRRCメッセージ。  
 \*64 CSI: 信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。  
 \*65 AGC: 受信信号の入力レベルの大小によらずに出力レベルを一

定に保つようにする制御。  
 \*66 Split SRB1: MR-DC中の端末に対して、MNが生成したRRCメッセージを複製し、SN経由で送信するためのベアラ。  
 \*67 SRB3: MR-DC中の端末に対してSNが直接RRCメッセージを送信するためのベアラ。  
 \*68 無線リソース: 無線通信を行うために必要なリソース (無線送信電力、割当て周波数など) の総称。  
 \*69 NR-DC: MNとSNが2つのNR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。

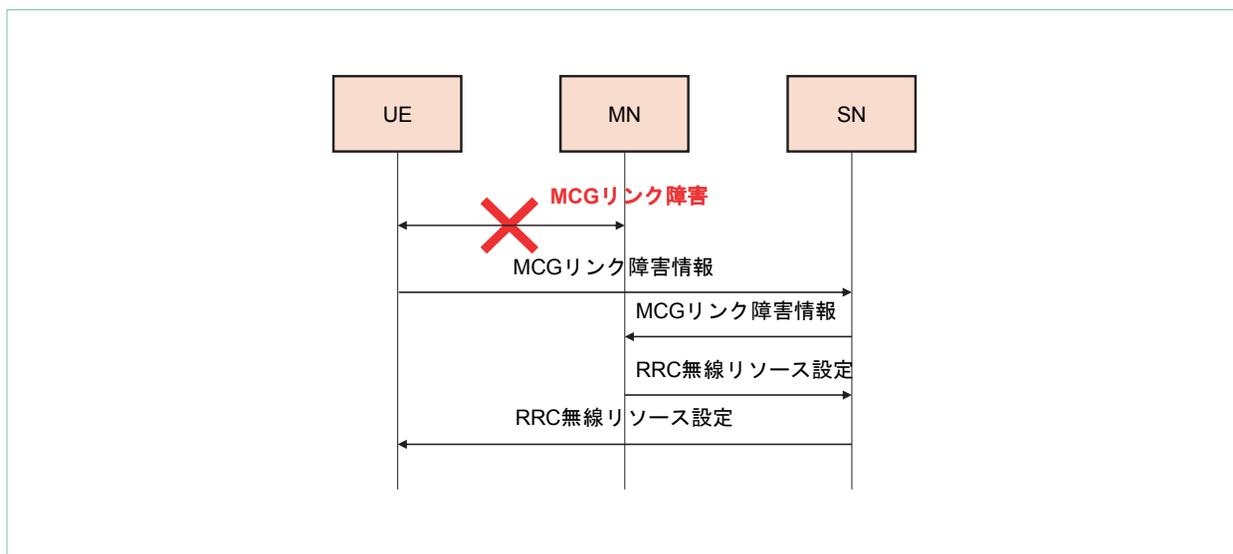


図10 迅速なMCGリンク回復

力の合計値がNR-DC最大送信電力を超える場合、UEが動的にSCG送信スロット上の電力を下げ、NR-DC最大送信電力を超えないように調整する。MCGとSCGが送信スロット上で重複しない場合はNR-DC最大送信電力値のみを考慮する。

さらに、NR-DC動的な電力分配においてUEがMCG送信を見込んで動的にSCG送信電力を調整する方式も規定された。具体的にはUEは、所定送信時間オフセット ( $T_{\text{offset}}$ ) 前に、PDCCHでスケジュールされたMCG送信と送信時間上に重複するかを予測する。重複となった場合、SCG送信電力を  $\min(\hat{P}_{\text{SCG}}, \hat{P}_{\text{Total}}^{\text{NR-DC}} - \hat{P}_{\text{MCG}}^{\text{actual}})$  (SCG最大送信電力とNR-DC最大送信電力から、MCG実際送信電力をそれぞれ差し引いた残電力における最小値) に基づき、動的に調整する。ここで、 $\hat{P}_{\text{SCG}}$ はSCG最大送信電力の線形値であり、 $\hat{P}_{\text{Total}}^{\text{NR-DC}}$ はNR-DC最大送信電力の線形値であり、 $\hat{P}_{\text{MCG}}^{\text{actual}}$ はMCG実際送信電力の線形値

である。重複しないあるいはMCG送信がない場合は、SCGの送信電力をNR-DC最大送信電力に抑える。

(5)非同期CA対応

Rel-15 CAでは、PCellあるいはPSCellが、SCellとフレーム境界がスロットレベルで同期している前提で仕様が策定された。他方で、クロックの性能などの観点から特に同一CGにおいてFR1とFR2 Cellが混在している場合、ネットワークにおいてすべてのPCell/PSCellがSCellと同期するのは非常に困難である。

そこでRel-16ではPCellあるいはPSCellが、SCellとフレーム境界がスロットレベルで非同期な場合でもCAが可能となるよう仕様が策定された。具体的には、UEはネットワークから設定されるPCell/PSCellとSCell間のスロット単位でのタイミングずれに従って、SCellのフレーム境界のずれを調整する事が可能となった。

また、Rel-15では、MR-DC中の非同期CAでFR2

\*70 CG：基地局配下のセルグループを指す。MN配下の場合はMCGで、SN配下の場合はSCGである。

\*71 NR-DC最大送信電力値：NR-DC中における最大送信時の電力値であり、算出方法は準静的な電力分配時に  $P_{\text{Total}}^{\text{NR-DC}} = \min\{P_{\text{EMAX, NR-DC}}, P_{\text{PowerClass}}\} + 0.3\text{dB}$ 。動的な電力分配時に、 $P_{\text{Total}}^{\text{NR-DC}} = \min\{P_{\text{EMAX, NR-DC}}, P_{\text{PowerClass}}\}$ 。  $P_{\text{EMAX, NR-DC}}$  は p-UE-FR1値 (UEがFR1 (周波数レンジ450~6,000MHz) 上に出力する最大電力) でネットワークにより設定できる。  
 $P_{\text{PowerClass}}$  は許容偏差を考慮しないUE最大出力電力。

バンドが使われる際に、FR2 measurement gap<sup>\*72</sup> タイミングがFR1 PCell/PSCellに合わせて計算できないため、どのServing Cell<sup>\*73</sup>に紐づいて計算されるのかが不明確となる問題が存在した。

そこでRel-16ではUEがネットワークからFR2 measurement gapを計算する際にタイミング参照となるServing Cellインデックスを設定する事が可能となり、FR2 measurement gapのタイミングとServing Cellの紐づけが可能となった。

## 6. あとがき

本稿では、Rel-16 NR仕様の高速・大容量化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-16 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高速・大容量化が期待できる。5Gの技術発展、普及拡大のため、ドコモは今後も継続して3GPPでの標準化活動を推進する。

### 文献

- [1] 永田, ほか: “3GPP Release 16における5G無線の高度化技術概要,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.41-44, Oct. 2020.
- [2] 武田, ほか: “5GにおけるNR物理レイヤ仕様,” 本誌, Vol.26, No.3, pp.47-58, Nov. 2018.
- [3] 3GPP TS38.340 V16.0.0: “NR; Backhaul Adaptation Protocol (BAP) specification,” Mar. 2020.
- [4] 3GPP TS38.401 V16.2.0: “Technical Specification Group Radio Access Network; NG-RAN; Architecture description,” Jul. 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.

\*72 measurement gap: 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。

\*73 Serving Cell: UEがCAを設定されている時の、PCellとSCellのことを指す。UEがCAを設定されていない時は、PCellのことを指す。