

# 5GにおけるNR物理レイヤ仕様

5Gイノベーション推進室

たけだ かずき はらだ ひろき おおさわ りょうすけ  
武田 一樹 原田 浩樹 大澤 良介

移動機開発部

かきしま ゆういち  
柿島 佑一

ドコモ北京研究所

ワン リフェ ワン ジュンシン  
王 理恵 王 閔昕

5Gの商用サービスに向けた5G RANの詳細仕様の検討（Work Item）が、3GPPにおいて進められ、2017年12月にノンスタンドアロンNR仕様が、2018年6月にスタンドアロンNR仕様がLTE/LTE-Advancedの機能拡張・高性能化とともに確定し、Release 15仕様として策定された。本稿では、NRの物理レイヤ仕様について解説する。

## 1. まえがき

スマートフォンやタブレット端末の普及により、情報の収集が気軽に行え、動画や音楽などが場所や時間を問わずに楽しめるようになり、またそのコンテンツのリッチ化が著しい。さらに、あらゆるモノがネットワークに接続するIoT（Internet of Things）によって開拓される新領域のサービスは、今後ますます重要になってくるものと考えられる。

このような状況を背景に3GPP（3rd Generation

Partnership Project）では、LTEおよびLTE-Advancedと互換性の無い第5世代移動通信システム（5G）の無線通信方式であるNR（New Radio）の規格を策定した。NRでは最大52.6GHzまでの高い周波数帯などを活用した通信の高速化や、高度化されたIoTの実現などを目的とした低遅延・高信頼な通信を可能にしている。本稿ではそれらの要求条件を実現するために仕様化されたNRの物理レイヤにおける要素技術について解説する。

## 2. フレーム構成・Duplex mode

### 2.1 新規サブキャリア間隔のサポート

NRは、無線アクセス方式としてLTEと同様、直交周波数分割多重（OFDM：Orthogonal Frequency Division Multiplexing）\*1を採用している。ミリ波\*2をはじめとする、より高い周波数を利用するため、また従来よりも著しく低遅延化が要求されるサービスに対応するため、LTEと同じサブキャリア\*3間隔である15kHzを基準とし、さらにより広い30、60、120、240kHzをサポートする。なお、サブキャリア間隔240kHzは後述する同期信号ブロック（SS（Synchronization Signals）\*4/PBCH（Physical Broadcast Channel）\*5 block）でのみサポートされる（代わりに、SS/PBCH blockはサブキャリア間隔60kHzをサポートしない）。

ユーザ端末は、初期アクセスを行うときに、当該

キャリアで設定され得るサブキャリア間隔を想定してSS/PBCH blockを検出し、それに含まれるPBCHに基づいて、制御・データチャネルなどのサブキャリア間隔を識別する。

### 2.2 フレーム構成

NRでは、複数のOFDMシンボル\*6により、スロット\*7、サブフレーム\*8、フレーム\*9が構成される。スロットは、サブキャリア間隔にかかわらず14個のOFDMシンボルで構成され、サブフレームは1ms区間として、フレームはサブフレーム10個で定義される。これらの関係を図1に示す。

また、周波数方向においては、サブキャリア間隔にかかわらず、12個の連続するサブキャリアによりリソースブロックが構成される。

なお、NRでは、LTEとは異なり、複信方式（Duplex mode）\*10をフレーム構成で区別しない。すなわち、

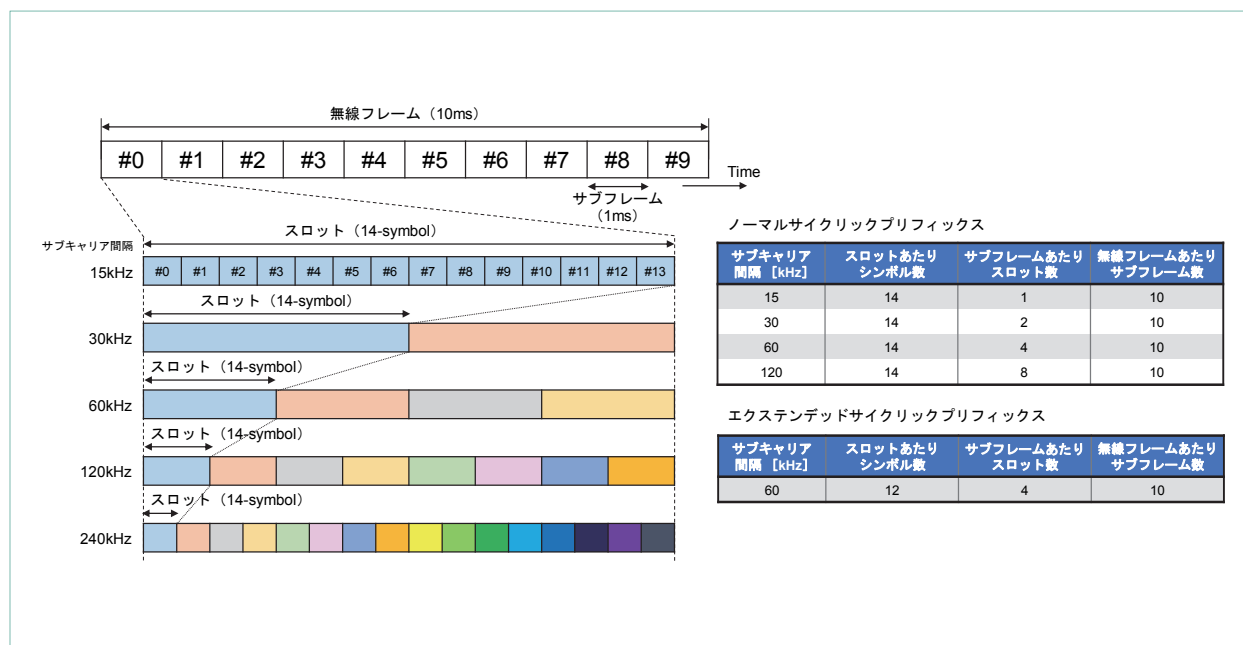


図1 スロット、サブフレーム、フレームの関係

- \*1 直交周波数分割多重（OFDM）：情報信号を直交サブキャリアで変調するマルチキャリア変調形式。デジタル変調方式の1つで、情報を複数の直交する搬送波に分割して並列伝送する方式。高い周波数利用効率での伝送が可能。
- \*2 ミリ波：電波の波長が1～10mmの周波数帯。
- \*3 サブキャリア：複数の搬送波で情報ビットを並列伝送するマルチキャリア変調方式におけるそれぞれの搬送波。
- \*4 SS：移動局が電源投入時などに、通信の開始に必要なセルの周波数と受信タイミングおよびセルIDの検出を行うための物理信号。

- \*5 PBCH：下り共通チャネルパラメータ、システムフレーム番号など、共通チャネルを受信するための主要無線パラメータを通知する物理報知チャネル。
- \*6 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。
- \*7 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。
- \*8 サブフレーム：時間領域の無線リソースの単位であり、複数のスロットから構成される。

複信方式にかかわらず共通のフレーム構成となる。

また、時分割複信（TDD：Time Division Duplex）<sup>\*11</sup>における上下リンクパターンにおいては、LTEに比べて飛躍的に柔軟な設定・制御が可能となっている。システム情報、あるいはユーザ個別の上位レイヤシグナリング<sup>\*12</sup>やL1シグナリング<sup>\*13</sup>により、さまざまな上下リンクパターンを準静的・動的に設定することができる。

加えて、上下リンク通信方向を指示する上位レイヤ・L1シグナリングを用いない運用も可能であり、動的な送受信スケジューリングや、上位レイヤシグナリングで別途設定された周期的送信・受信のみに従って、ユーザ端末が上下リンクの通信方向を認識することができる。

### 3. 初期アクセス・モビリティ

NRにおける端末の初期アクセスは、同期信号（SS）の検出、報知情報<sup>\*14</sup>の取得、ランダムアクセス<sup>\*15</sup>

による接続の確立という手順で行われる。

#### 3.1 SS/PBCH block

NRにおけるSSは、LTEと同様にプライマリ同期信号（PSS：Primary SS）<sup>\*16</sup>とセカンダリ同期信号（SSS：Secondary SS）<sup>\*17</sup>の2つの信号からなり、PBCHおよび報知チャネル復調参照信号（DMRS for PBCH：DeModulation Reference Signals for PBCH）<sup>\*18</sup>と合わせて、図2に示すようなSS/PBCH blockを構成する。

基地局はSS/PBCH blockを用いて、ユーザ端末に、NRセル<sup>\*19</sup>の発見、フレーム同期確立、下り受信品質の測定、他の報知情報受信に必要なシステムパラメータの報知、といった初期アクセスやモビリティの重要な機能を提供する。通信事業者は、基地局ごとにSS/PBCH blockの送信タイミングおよび送信周期を設定し、ユーザ端末に通知することが可能である。

また、NRでは5ms長の1/2フレーム内に複数の

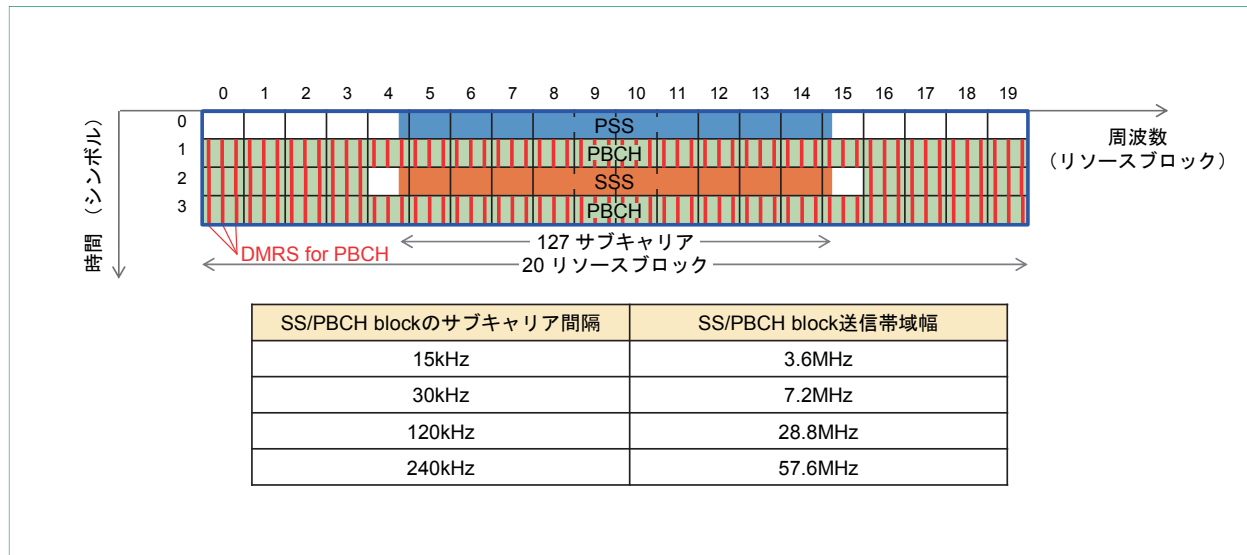


図2 SS/PBCH blockの構成

\*9 フレーム：エンコーダ・デコーダが動作する周期、およびそれに対応する長さのデータ信号。  
 \*10 複信方式（Duplex mode）：相対する方向で送信が同時に行なわれる通信方式をいう。一般に、周波数分割複信（FDD：Frequency Division Duplex）、時分割複信（TDD）（\*11参照）がある。  
 \*11 時分割複信（TDD）：双方向の送受信方式の1つ。上りリンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し、異なる時間を割り当てることにより双方向通信が可能。  
 \*12 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（Radio Resource Control）メッセージ、MAC Control elementなど）を表す。

\*13 L1シグナリング：本稿では、MACレイヤ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DCI（Downlink Control Information）、UCI（Uplink Control Information）など）を表す。

\*14 報知情報：移動端末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、セルごとに一斉同報される。

SS/PBCH block送信候補シンボル位置が規定されており、その数は周波数帯ごとに異なる。図3に示すように、通信事業者は基地局アンテナ構成などに応じてSS/PBCH blockの送信数を設定し、それぞれのSS/PBCH blockに異なる送信ビームフォーミング\*20を適用することで通信距離を伸ばしエリアを広げることができる。

### 3.2 システム情報の報知

NRにおける報知情報は、PBCHで送信される情報、初期アクセス時に必要となる情報、その他の情報の3つに大別できる。

PBCHには無線フレーム番号 (SFN: System Frame Number)\*21や、半フレーム内の複数のSS/PBCH blockのシンボル位置を識別するためのインデックスなど、SS/PBCH blockを検出した後にユーザ端末が、NRセルとのフレーム同期を確立するために必要な情報が含まれる。加えて、後述するSIB (System Information Block)\*22 1を受信するために必要となるシステムパラメータもPBCHで送信される。

ランダムアクセスを行うためには、上りリンクキャリア情報やランダムアクセス信号構成情報などが必要であり、これらを含む初期アクセス時に必要となる情報は、SIB1としてNRセル内のユーザ端末に報知される。

### 3.3 ランダムアクセス

NRにおけるランダムアクセスは、LTEと同様に4つの手順で行われる。

最初の手順としてユーザ端末はPRACH (Physical Random Access Channel)\*23を基地局に送信する。PRACHは、表1に示すとおりLTE PRACHの設計を踏襲する固定サブキャリア間隔と、NRのフレキシブルなフレーム構成に合わせられるような可変サブキャリア間隔の、計13フォーマットが規定されている。

基地局側で複数のSS/PBCH block送信に異なるビームフォーミングを適用する運用では、SS/PBCH blockは、それぞれに異なるPRACH送信用リソースが紐づけられる。そのため基地局は、受信したり

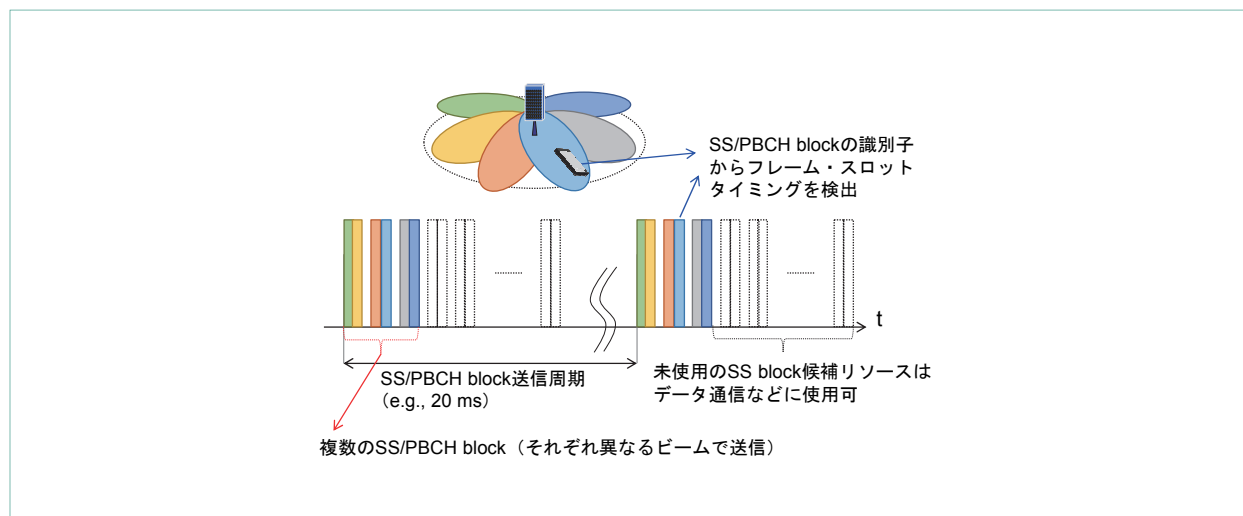


図3 SS/PBCH block送信の構成例

- \*15 ランダムアクセス：移動端末と基地局が上り信号の送信タイミング同期および接続を確立するために行う手順。
- \*16 プライマリ同期信号 (PSS)：セルサーチ手順においてユーザ端末が最初に検出を試みる既知の信号。
- \*17 セカンダリ同期信号 (SSS)：セルサーチ手順において物理セルIDを検出するために送信される既知の信号。
- \*18 報知チャネル復調用参照信号 (DMRS for PBCH)：PBCH復調のための無線チャネル状態を測定するために送信される既知の信号。
- \*19 セル：セルラ方式の移動通信ネットワークと移動端末との間で

- 無線信号の送受信を行う最小のエリア単位。
- \*20 ビームフォーミング：複数のアンテナの振幅および位相の制御によってアンテナに指向性パターンを形成し、特定方向に対するアンテナ利得を増加/減少させる技術。
- \*21 無線フレーム番号 (SFN)：10msの無線フレームごとに割り振られた番号。
- \*22 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、複数のブロックに分割されており、そのブロック単位を示す。
- \*23 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。

表1 PRACHフォーマット

フォーマット番号	系列長	OFDMシンボル繰返し数	サブキャリア間隔	時間長	帯域幅
0	839	1	1.25kHz	1サブフレーム	1.05MHz
1		2		3サブフレーム	
2		4		3.5サブフレーム	
3		4	5kHz	1サブフレーム	4.20MHz
A1	139	2	{15, 30, 60, 120} kHz	2シンボル	{2.09, 4.17, 8.34, 16.68} MHz
A2		4		4シンボル	
A3		6		6シンボル	
B1		2		2シンボル	
B2		4		4シンボル	
B3		6		6シンボル	
B4		12		12シンボル	
C0		1		2シンボル	
C2		4		6シンボル	

ソースから、PRACHを送信したユーザ端末がどのSS/PBCH blockを受信したか、すなわちどのビームフォーミング方向にいるかが分かる。従ってその後のランダムアクセス手順である、ランダムアクセス応答受信、接続要求メッセージ送信、競合解決メッセージ受信では、基地局はユーザ端末に向けた特定の送受信ビームフォーミングを適用することができる。

### 3.4 モビリティ

NRでもLTEと同様に、端末からの下りリンク参照信号の測定・報告に基づき、基地局は接続セルの選択やハンドオーバ、セカンダリセルの追加・削除などを行う。基地局が送信するSS/PBCH blockに含まれるSSSがNRにおける基本的なセル固有の参

照信号であり、ユーザ端末は基地局からの設定に従い、セルごとの受信電力（RSRP：Reference Signal Receive Power）や受信品質（RSRQ：Reference Signal Receive Quality）などを、SSSに基づいて測定・報告する。

## 4. MIMO・ビームフォーミング

### 4.1 MIMO送信法

高周波数帯では、電波減衰の影響を補うために、多くのアンテナを用いて高いビーム利得<sup>\*24</sup>を得ることが非常に重要となる。NRの高周波数帯では、基地局で最大256、ユーザ端末で最大32のアンテナ素子を用いたハイブリッドビームフォーミングを想定したMIMO（Multiple Input Multiple Output）<sup>\*25</sup>

\*24 利得：アンテナの放射特性の1つで、アンテナの特定の方向の放射強度が基準アンテナの何倍あるかを示す指標。

\*25 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。



技術が規定されている。

ハイブリッドビームフォーミングは、高周波数帯回路の実装コストを考慮して設計された技術であり、ベースバンド回路で信号制御を行うデジタルビームフォーミングおよびRF回路で信号制御を行うアナログビームフォーミングで構成される。なお、アナログビームフォーミングは、装置構成上サブバンド単位での制御が行えないため、一般的に広帯域ビーム制御として実装される。

また、周波数利用効率<sup>\*26</sup>向上のためには、ビーム形成に加えて空間多重を適用することが必須である。下りリンクではコードブック<sup>\*27</sup>規範の閉ループ型<sup>\*28</sup>プリコーディング<sup>\*29</sup>が規定され、最大8レイヤのシングルユーザMIMO<sup>\*30</sup>、および最大12レイヤのマルチユーザMIMO<sup>\*31</sup>を実現し、上りリンクではコードブック適用、およびコードブック非適用の2つの送信法がサポートされており、シングルユーザMIMOでは最大4レイヤ送信が可能である。

コードブック非適用の送信法については、ビーム双対性<sup>\*32</sup>を実現できるユーザ端末を想定して設計されており、ユーザ端末は下りリンク参照信号であるCSI-RS (Channel State Information RS)<sup>\*33</sup>の受信結果を基に上りリンクのプリコーダを決定することが可能である。

## 4.2 参照信号構成

NRではLTEの設計を一部踏襲しつつ、さまざまな周波数帯やシナリオでの運用に対応できる柔軟な参照信号構成が規定されている。下りリンク参照信号構成の例を図4に示す。

常時送信の参照信号を規定すると、後続のリリースの物理信号・チャネルデザインに制約が加わる観点で望ましくない。そこで、NRではLTEでサポートされていた常時送信のセル固有参照信号 (CRS : Cell-specific RS) は規定されず、その機能は複数の参照信号によってなされている。

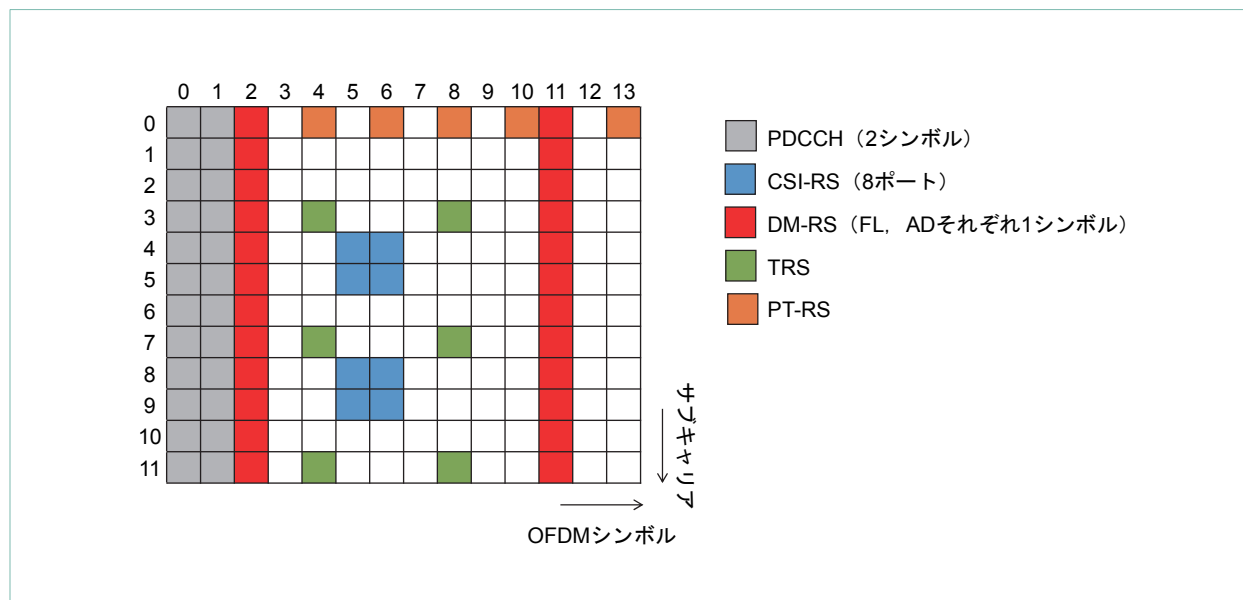


図4 下りリンク参照信号構成の例

<sup>\*26</sup> 周波数利用効率：単位時間、単位周波数帯域当りに送ることのできる情報ビット数。  
<sup>\*27</sup> コードブック：あらかじめ決められたプリコーディングウェイト行列の候補。  
<sup>\*28</sup> 閉ループ型：受信機からのフィードバック情報を用いる方法のこと。  
<sup>\*29</sup> プリコーディング：MIMOにおいて、送信する前の信号に無線伝搬路に応じた重みをあらかじめ乗算することで、受信品質を向上させる処理。  
<sup>\*30</sup> 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。

<sup>\*31</sup> マルチユーザMIMO：同一時間周波数において、複数ユーザに対してMIMO伝送を行う技術。

<sup>\*32</sup> ビーム双対性：無線機が受信ビーム決定情報を基に送信ビームを決定する技術のこと。

<sup>\*33</sup> 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。

具体的にはチャンネル状態情報推定、データ復調、時間・周波数トラッキングを目的に、CSI-RS、DM-RS (DeModulation RS)、TRS (Tracking RS) がそれぞれ規定されている。

DM-RSについて、幅広いチャンネル変動速度への適切な追従を可能としつつ、オーバーヘッド<sup>\*34</sup>を抑制するためにデータチャンネルの先頭部分に配置されるFL (Front-Load) DM-RSに加えて、0~3シンボルのAD (Additional) DM-RSを追加マッピングする構成が規定されている。

TRSは信号系列生成をCSI-RSと共通としているが、必要とされるトラッキング精度、および参照信号のオーバーヘッド削減を考慮し、4サブキャリアおよび4OFDMシンボル間隔で配置される。

また、高い周波数帯で課題となる位相雑音<sup>\*35</sup>の推定を目的に、UE個別参照信号として位相追従参照信号 (PT-RS: Phase Tracking RS) が新たに規定されている。

### 4.3 ビーム制御技術

L1/L2<sup>\*36</sup>におけるビーム制御は、ビームマネジメントおよびCSI取得に大別される。

ビームマネジメントは特に高い周波数で有効な技術であり、一般的に基地局とユーザ端末の送受信アナログビームペアをL1/L2レベルで確立・維持することを目的としている。例えば、ユーザ端末は異なる基地局送信ビームが適用された、複数のSS/PBCH blockやCSI-RSのL1-RSRP (Reference Signal Received Power)<sup>\*37</sup>を比較し、適切な送信ビームを選択し、基地局に通知する。基地局は、下りチャンネル送信時に適用した送信ビーム情報を通知することで、ユーザ端末は対応した受信ビームを適用することが可能である。加えて、ユーザ端末側でビームペアの特性劣化を検出し、他の基地局に別の送信ビームへ

の切替えを依頼する、ビーム切断復旧技術が規定されている。

一方、CSI取得は送信ランク<sup>\*38</sup>、デジタルビームやMCS (Modulation and Coding Scheme)<sup>\*39</sup>の決定などに用いられる。デジタルビーム制御に用いられるコードブックは、相対的に量子化粒度<sup>\*40</sup>の低いType Iと高いType IIが規定されたが、Type IIでは2つのビームおよびその線形結合情報<sup>\*41</sup>を基地局に通知することで、より高い空間粒度でのビーム制御を実現できる。

## 5. スケジューリング・HARQ

NRでは、LTEと同じく、下りリンク制御情報 (DCI: Downlink Control Information)<sup>\*42</sup>に基づいて、下りリンクデータチャンネルまたは上りリンクデータチャンネルをスケジューリングする。DCIは下り制御チャンネル (PDCCH: Physical Downlink Control Channel)<sup>\*43</sup>にて送受信される。LTEと同様に、DCIに含まれる周波数リソース割当てフィールドにより、リソースブロックを単位とする周波数リソース割当てを行うことができるが、NRでは、データチャンネルをスケジューリングする時間リソースも、DCIで制御することが可能となる。

基地局は、ユーザ端末に対して下りデータチャンネル (PDSCH: Physical Downlink Shared Channel) を割り当て、そのデータチャンネルに関する下りリンク制御情報をPDCCHで送信する。ユーザ端末は、PDCCHを受信・復号し、その制御情報に基づいてPDSCHの受信を行う。PDSCHを受信したユーザ端末は、その復号結果をHARQ-ACK (Hybrid Automatic Repeat reQuest-ACKnowledgement)<sup>\*44</sup>としてフィードバックする。HARQ-ACKおよび、スケジューリング要求 (SR: Scheduling Request)<sup>\*45</sup>、

<sup>\*34</sup> オーバヘッド: ユーザデータの送受信を行うために必要な制御情報や、受信品質測定に必要な参照信号など、ユーザデータの送信以外に用いられる無線リソース。

<sup>\*35</sup> 位相雑音: 局部発振信号における搬送波周波数以外の周波数成分によって発生する位相変動。

<sup>\*36</sup> L2: OSI参照モデルの第2層 (データリンク層)。

<sup>\*37</sup> RSRP: 移動端末で測定される参照信号の受信レベル。移動端末の受信感度を表す指標の1つ。

<sup>\*38</sup> 送信ランク: MIMOにおいて同時に送信するレイヤ (空間ストリーム) の数。

<sup>\*39</sup> 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。

<sup>\*40</sup> 量子化粒度: 生成可能なビームの空間的な粒度。

<sup>\*41</sup> 線形結合: ベクトルの線形和。ベクトルの定数倍と加え合わせること。

<sup>\*42</sup> 下りリンク制御情報 (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。

CSIは、上り制御チャネル（PUCCH：Physical Uplink Control CHannel）<sup>\*46</sup>で送信される。また、PUCCHを送信するタイミング及びリソースも、データチャネルと同様に、DCIで制御することが可能である。データおよびHARQ-ACKのリソース割当て例を図5に示す。

HARQの再送は、初回に送受信されたトランスポートブロックを丸ごと再送する方式に加え、トランスポートブロックが複数のコードブロックからなる場合に、トランスポートブロック全体でなく、誤りがあったコードブロックを再送するCode-block-based re-transmissionが規定されている。

なお、一般に上りリンクにおけるスケジューリングは、通常はユーザ端末があらかじめ割り当てられたSRリソースを用いてスケジューリングを要求し、

それに基づいて基地局がDCIを送信して上りリンクデータの送信リソースを割り当てるという手順になっている（図6(a)）。しかしこの方式では、スケジューリング要求を行うステップで一定の遅延が生じる。そこでNRでは、上りリンク低遅延化のため、あらかじめユーザ個別にPUSCH（Physical Uplink Shared CHannel）<sup>\*47</sup>リソースを割り当てておき、上りリンクデータが発生したら、SR送信を行わずにユーザ端末が当該リソースでPUSCHを送信できるConfigured grantが規定されている（図6(b)）。

## 6. 変調方式・チャンネル符号化

NR下りリンク通信と上りリンク通信で利用可能な変調方式・チャンネル符号化について、それぞれを

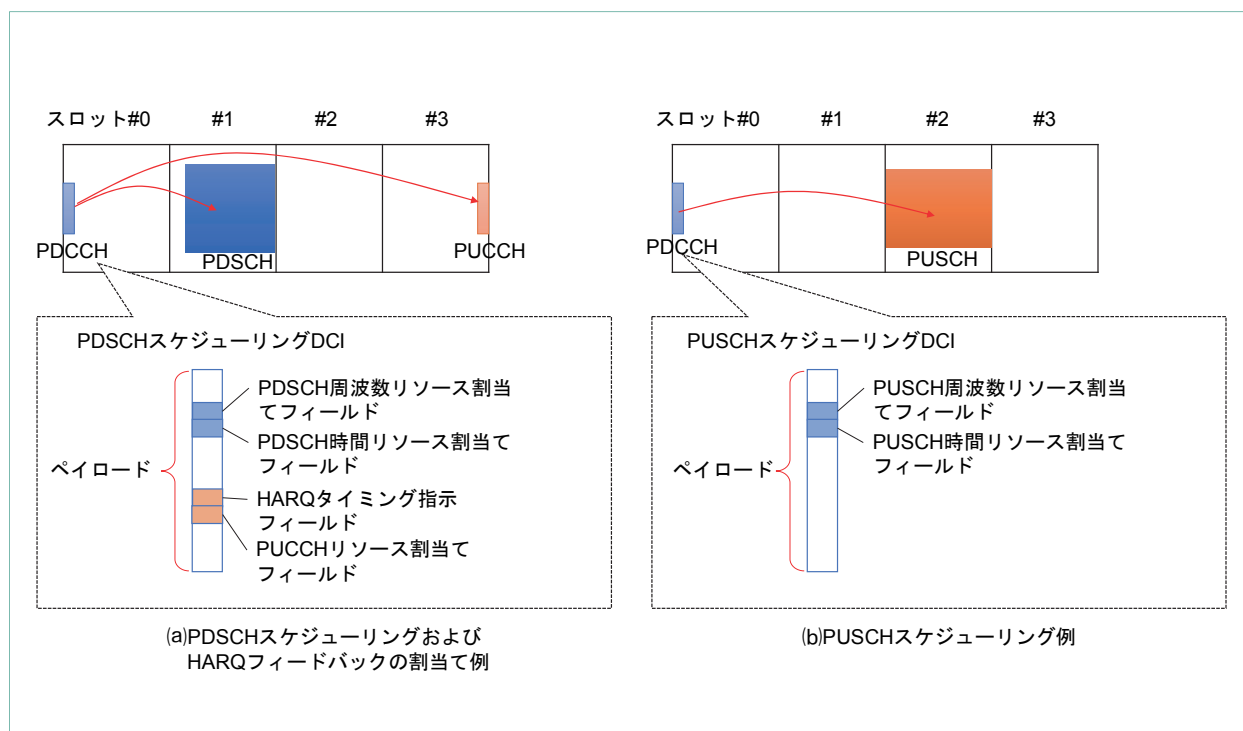


図5 データチャネルおよびHARQ-ACKのリソース割当て例

\*43 下り制御チャネル（PDCCH）：下りリンクにおける物理レイヤの制御チャネル。

\*44 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。

\*45 スケジューリング要求（SR）：ユーザが基地局に対し、上りリンクの無線リソース割当てを要求する信号。

\*46 上り制御チャネル（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ネル。

\*47 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。



表2, 3に示す。

(1)変調方式

一次変調方式<sup>\*48</sup>としては、Release 8 LTEから規定されている方式に加え、最新のLTEで使用可能

な256QAMや $\pi/2$ -BPSKが規定されている。

二次変調方式<sup>\*49</sup>としては、下りリンクチャネルにおいてLTE同様のCP-OFDM (Cyclic Prefix-Orthogonal Frequency Division Multiplexing)<sup>\*50</sup>方

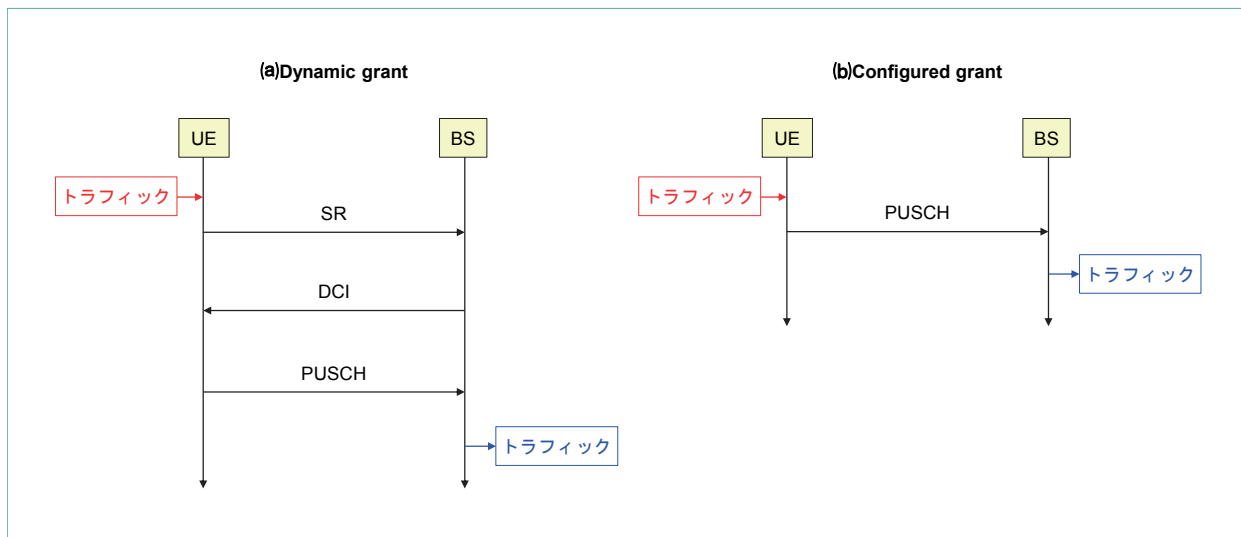


図6 Dynamic grantとConfigured grant

表2 変調方式

二次変調方式	一次変調方式	下りリンク	上りリンク
CP-OFDM	$\pi/2$ -BPSK	—	—
	BPSK	—	PUCCH format 1
	QPSK	PBCH, PDCCH, PDSCH	PUCCH format 1/2, PUSCH
	16QAM	PDSCH	PUSCH
	64QAM	PDSCH	PUSCH
	256QAM	PDSCH	PUSCH
DFTS-OFDM	$\pi/2$ -BPSK	—	PUCCH format 3/4, PUSCH
	QPSK	—	PUCCH format 3/4, PUSCH
	16QAM	—	PUSCH
	64QAM	—	PUSCH
	256QAM	—	PUSCH

\*48 一次変調方式：デジタルデータ列を無線の搬送波に載せる方法。

\*49 二次変調方式：一次変調したデータを周波数拡散などのためにさらに操作する方法。

\*50 CP-OFDM：マルチパスなどに起因する前後シンボル間の干渉を抑圧するために、シンボル間に設けられたガードタイム(CP)を付与するOFDM方式。

表3 チャネル符号化

	下りリンク	上りリンク
LDPC	DL-SCH, PCH	UL-SCH
Polar符号	BCH, DCI	UCI (ペイロードサイズ $\geq 12$ )
ブロック符号	—	UCI (ペイロードサイズ $< 12$ )

式が適用されるのに対し、上りリンクチャンネルではLTEと同じくPAPR (Peak-to-Average Power Ratio)<sup>\*51</sup>を抑え、カバレッジを広げることができるDFTS-OFDM (Discrete Fourier Transform Spreading-OFDM) 方式に加え、下りリンクで適用されるCP-OFDM方式が上りリンクでも規定されており、上下リンクで同一の方式を用いることによるシステムの簡易化が実現できる。

## (2)チャネル符号化

NRにおけるチャネル符号化方式としては、LDPC (Low Density Parity Check coding)、およびPolar符号が、LTEでも用いられていたブロック符号に加えて規定されている。

データチャンネル (DL-SCH : DownLink-Shared CHannel, UL-SCH : UpLink-Shared CHannel, PCH : Paging CHannel) に適用されるLDPCは、並列処理により復号処理の遅延を小さくできる上、シャノン限界<sup>\*52</sup>に漸近する優れた特性を示す。また、制御チャンネル (DCI, ペイロードサイズ12以上のUCI : Uplink Control Information) やBCH (Broadcast CHannel) に適用されるPolar符号はLTEで用いられている畳込み符号 (TBCC : Tail Biting Convolutional Coding)<sup>\*53</sup>と比較して復号演算量を抑えつつ、シャノン限界に漸近する優れた特性を示す。ペイロードサイズの小さいUCIに対しては、LTEと同様にブロック符号が適用される。

<sup>\*51</sup> PAPR : 送信波形のピークの大きさを表す指標であり、最大電力と平均電力の比。これが大きいと、信号歪みを避けるために送信側のパワーアンプのバックオフを大きくする必要があり、特に移動端末において問題となる。

<sup>\*52</sup> シャノン限界 : 帯域幅とSN比より理論的に導出された、転送可能な情報の最大量。シャノンの通信路容量として知られている。

<sup>\*53</sup> 畳込み符号 (TBCC) : 誤り訂正符号の1つであり、畳込み演算を用いて符号語を生成する符号化方式。

## 7. 端末送信電力制御

### 7.1 ビーム制御を考慮した送信電力制御

NRでは基地局・ユーザ端末双方において送受信ビームの形成が可能であり、そのため送受信ビーム切替え時に変動するビーム利得を考慮した送信電力制御<sup>\*54</sup>が規定されている。

ユーザ端末は送受信ビームが適用された参照信号を用い、ビーム利得を含むパスロス<sup>\*55</sup>を推定することができる。具体的には、送信ビーム適用前の送信電力と受信ビーム適用後の受信電力を比較することによりパスロスを推定する。複数の参照信号に対し異なる送受信ビームを適用し、使用する参照信号を動的に切り替えることにより、送受信ビームの切替えによるパスロス変動に対応する。

また、LTEと同様にパスロスが大きいセル端において送信電力を下げる、フラクショナル送信電力制御が規定されている。送受信ビームによってパスロスが異なる場合、パスロス推定値に乗算する係数および送信電力に加えるオフセットを最適化できるよう、関連パラメータが参照信号と紐づけて設定される。

### 7.2 LTEとNRの送信電力分配

Release 15でも、人体への防護指針の観点から、ユーザ端末の送信電力に上限が規定されている。加えて、同一周波数範囲におけるLTEとNRの同時送

<sup>\*54</sup> 送信電力制御 : 受信側での信号対雑音電力比 (SNR : Signal to Noise Ratio) または信号対干渉雑音電力比 (SINR : Signal to Interference plus Noise power Ratio) が所要値以上になるよう送信電力を変化させる制御。

<sup>\*55</sup> パスロス : 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。

信が新たに規定されており，双方の合計電力が規定値の範囲内に収まるようLTEとNRで送信電力を分配する機能が規定されている [1]．

Release 12のLTE DCでは，基地局は最低保証電力をCG (Cell Group) ごとに設定し，ユーザ端末は残余電力を動的に電力分配する．しかし，初期NR対応ユーザ端末においてLTEとNRが異なる制御チップ上に実装される場合，動的分配は困難である．そのためRelease 15では，基地局が準静的にCGごとの最大送信電力を設定する方式が規定されている．同時に，動的電力分配に関する端末能力も規定されており，その能力の有無に応じ端末動作が異なる．

ユーザ端末が動的電力分配機能を有する場合，ユーザ端末は瞬時合計電力が規定値を超えないようNRの送信電力を調整する．動的電力分配の例を図7に示す．LTEとNRの最大送信電力 ( $P_{LTE}$ ,  $P_{NR}$ )，および規定合計電力 ( $P_{total}$ ) がそれぞれ設定され，瞬時の計算上の合計送信電力が $P_{total}$ を超える場合，ユーザ端末は実際の送信電力が $P_{total}$ を超えないようにNRの送信電力を低減する．

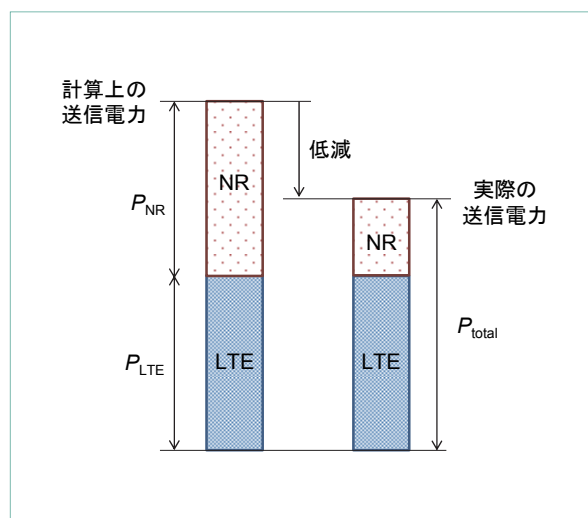


図7 LTEとNRの送信電力分配

なお，基地局はLTEとNRの最大送信電力の合計値が規定値を超える設定を行うことも可能である．

しかし，動的電力分配機能を有しないユーザ端末に規定値を超える設定を行う場合，ユーザ端末はLTEとNRにおいて規定値を超えないよう合計送信電力を動的に調整することはできない．そのため，ユーザ端末はLTEとNR間で電力の分割をする代わりに，それらを時分割で送信することにより，規定値を超えないよう動作する．

## 8. BWP・CA

NRでは，1キャリア当りの帯域幅の最大値が，6GHz以下の周波数においては100MHz，それ以上では400MHzと，LTEと比べて大幅に大きくなる．このように広い帯域幅で運用されるキャリアに対し，それよりも小さい帯域幅しかサポートしていないユーザ端末が当該キャリアを用いて通信できるようにするため，NRではBWP (BandWidth Part) がサポートされる．

基地局は，ユーザ端末が通信に用いるべきBWP情報(帯域幅，周波数位置，サブキャリア間隔)を，上位レイヤシグナリングを用いてユーザ端末に設定する．ユーザ端末ごとに異なるBWP情報を設定することも可能である(図8)．BWP情報は，上位レイヤシグナリングまたはL1シグナリングによって変更することができる．したがって，十分に広い帯域幅をサポートするユーザ端末に対しても，データトラフィックがない時には狭いBWP情報を設定することで，ユーザ端末の接続帯域幅を小さくし，消費電力を低減することが可能である．

また，NRでは，LTEと同様，CA (Carrier Aggregation)\*56が規定されている．CAを行う場合，BWPはCC (Component Carrier)\*57ごとに設定さ

\*56 CA：1ユーザの信号を複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより広帯域化を行い，高速伝送を実現する技術．

\*57 CC：CAにおいて束ねられるキャリアを表す用語．

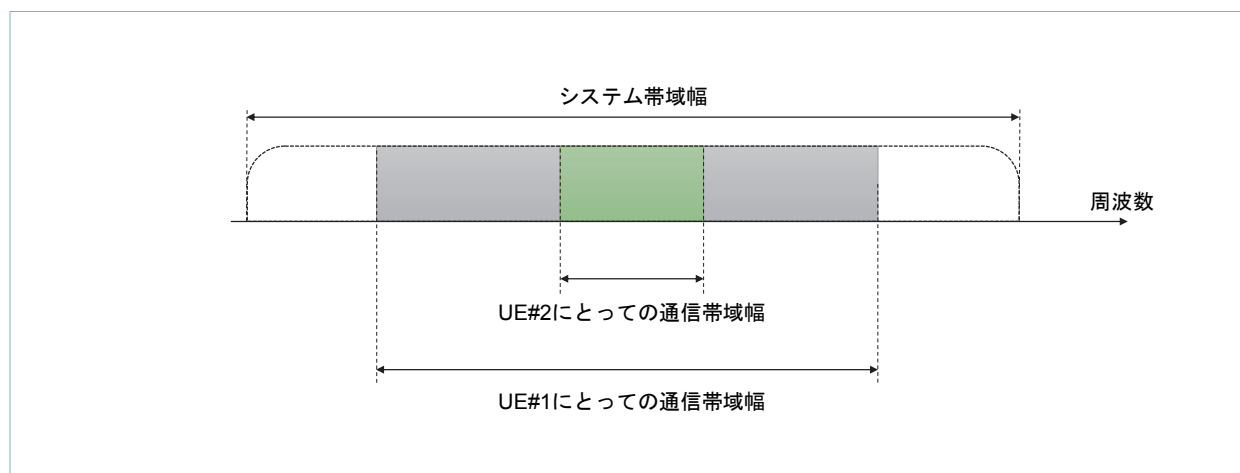


図8 UE個別の帯域幅

れる。また、サブキャリア間隔の異なるCCを束ねるCAもサポートされ、既存のセルラ周波数からミリ波に至るまで、さまざまな周波数を効率的に束ねることが可能である。

## 9. あとがき

本稿では、NR Release15仕様の検討背景、および新たに導入された物理レイヤにおける主要機能を解説した。これらの機能により、5Gで期待される

高速大容量化・低遅延化を実現する。IoT用途で求められるさらなる低遅延化・高信頼化、低消費電力化、端末間通信の高度化など、5Gの技術発展のため、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] 3GPP TS38.101-1 V15.3.0: "NR: User Equipment (UE) radio transmission and reception," Sep. 2018.