

5Gにおける物理レイヤ要素技術と高周波数帯利用に関する検討状況

	先進技術研究所	5G推進室	たけだ かずあき 武田 和晃	たけだ かずき 武田 一樹
移動機開発部	はらだ ひろき 原田 浩樹		無線アクセス開発部	うめだ ひろまさ 梅田 大将
R&D戦略部	てしま くにひこ 手島 邦彦	DOCOMO Innovations, Inc.		かきしま ゆういち 柿島 佑一

第5世代移動通信システム（5G）の早期導入に向けて、3GPPでは、5Gの要求条件を満たす無線インタフェースの要素技術が精力的に検討され、2017年3月に基本検討の作業（SI）が完了した。本稿では、SIの検討内容結果や、今後の仕様策定の作業で予想される、物理レイヤの要素技術、候補周波数および無線性能要求仕様の議論について解説する。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）では、モバイルブロードバンドのさらなる高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、多数同時接続を実現するマシンタイプ通信*1（mMTC：massive Machine Type Communications）、高信頼・超低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）などさまざまな利用シナリオをサポートすることが期待されている。3GPPでは、LTE-Advanced無線

通信方式との後方互換性の無い新しい無線通信方式（NR：New Radio）がSI（Study Item）*2における検討項目として承認され、2016年3月の会合から検討が開始された。NRの仕様化作業においては、上記のさまざまな利用シナリオを考慮した上で、既存LTEで利用されてきた周波数帯に加えて100GHz帯までの高周波数帯の利用を想定し、フレキシブルな無線インタフェースの仕様化や、高周波数帯に対応した無線性能仕様の策定をめざしている。本稿では、これまでのLTEの無線インタフェースとの違いが大

©2017 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

- *1 マシンタイプ通信：マシン型通信。人間による通信操作を介しない機械通信の3GPPにおける総称。
- *2 SI：「実現性の検討および仕様化すべき機能の大まかな特定」作業のこと。

きい技術領域として、さまざまなユースケースや周波数帯に対応するスケーラブルな無線フレーム構成、さまざまな周波数帯や置局設計^{*3}に対応した初期アクセスやマルチアンテナ技術、幅広いデータサイズや遅延要求をカバーするためのチャンネル符号化技術などを中心に、SIでの検討内容や、今後の仕様策定の作業（WI（Work Item）^{*4}）で予想される物理レイヤ^{*5}の要素技術、候補周波数および無線性能要求仕様の議論について概説する。

2. 物理レイヤ要素技術

2.1 無線フレーム構成

NRでは、複数の異なるOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）^{*6}サブキャリア^{*7}間隔（少なくともOFDMサブキャリア間隔15kHz、30kHz、60kHz、120kHz）を適用可能な無線フレーム構成が採用された。一般に、OFDMサブキャリア間隔を狭めるほど、広域カバレッジ、低い搬送波周波数帯、強いマルチパス^{*8}環境などに好適であり、OFDMサブキャリア間隔を広げるほど、高速移動の追従性、高い搬送波周波数帯での品質確保、遅延低減などに効果的であることが知られている。NRでは、このように複数のOFDMサブキャリア間隔をサポートすることによって、既存のセルラ周波数帯からミリ波帯を含む高い周波数帯までをサポートでき、かつeMBBからURLLCまでの多様なサービスを1つのシステムで実現できる。

NRでは、このようにさまざまなOFDMサブキャリア間隔をサポートされることを考慮し、次の通り無線フレーム構成が規定された（図1）。

- ・無線フレーム：10ms単位で定義される。すなわち、利用するOFDMサブキャリア間隔に依

存しない。

- ・サブフレーム^{*9}：1ms単位で定義される。すなわち、利用するOFDMサブキャリア間隔に依存しない。
- ・スロット^{*10}：14OFDMシンボル^{*11}で定義される。サブキャリア間隔に応じて時間長は異なる。

OFDMでは、一般にマルチパス耐性のため各OFDMシンボルにサイクリックプリフィックス（CP：Cyclic Prefix）^{*12}を付加する。NRでは、異なるサブキャリア間隔のOFDM信号間で、CPのオーバーヘッド比率を固定とすることが合意された。すなわち、サブキャリア間隔が倍のOFDM信号を用いる場合、OFDMシンボル長並びにCP長の両方とも半分となる。

2.2 初期アクセス

NRにおける初期アクセスは、おおむねLTEと同様で、同期信号^{*13}の検出、報知情報^{*14}の取得、ランダムアクセス^{*15}による接続の確立、という手順で行われる。ただし信号・チャンネルの構成、送信方法などについては、LTEとは大きく異なる。

(1)NR同期信号

NR同期信号はLTEと同様にプライマリ同期信号（PSS：Primary Synchronization Signal）^{*16}とセカンダリ同期信号（SSS：Secondary Synchronization Signal）^{*17}の2つの信号から構成されるが、NRではセルの設置密度が非常に高いシナリオも想定し、同期信号によって表現される物理セルID（PCID：Physical Cell Identifier）^{*18}の数がLTEの2倍に拡張され、合わせて同期信号の系列長および系列の生成方法も変更された。同期信号に適用されるOFDMサブキャリア間隔は、周波数バンドごとに仕様で規

*3 置局設計：トラフィックなどの事業者ごとの要求条件を考慮して、基地局を設置・展開していくシナリオのこと。

*4 WI：「仕様化するべき機能の決定および機能の詳細仕様化」作業のこと。

*5 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。

*6 OFDM：狭帯域の直交サブキャリアを用いて伝送を行う高効率なマルチキャリア伝送方式。マルチパスに対する耐性が高いため、LTEに採用されている。

*7 サブキャリア：OFDMなどのマルチキャリア伝送において信号を伝送する個々の搬送波。

*8 マルチパス：送信機から送信された電波が、建物や地形などの障害物によって反射・回折し、複数の経路を通じて受信機に到達する現象。

*9 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OFDMシンボル（LTEでは14OFDMシンボル（*11参照））から構成される。

*10 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（*11参照）から構成される。

*11 シンボル：伝送するデータの単位であり、OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）の場合は複数のサブキャリアから構成される。各サブキャリアには複数のビット（例えばQPSK（Quadrature Phase Shift Keying）なら2bit）がマッピングされる。

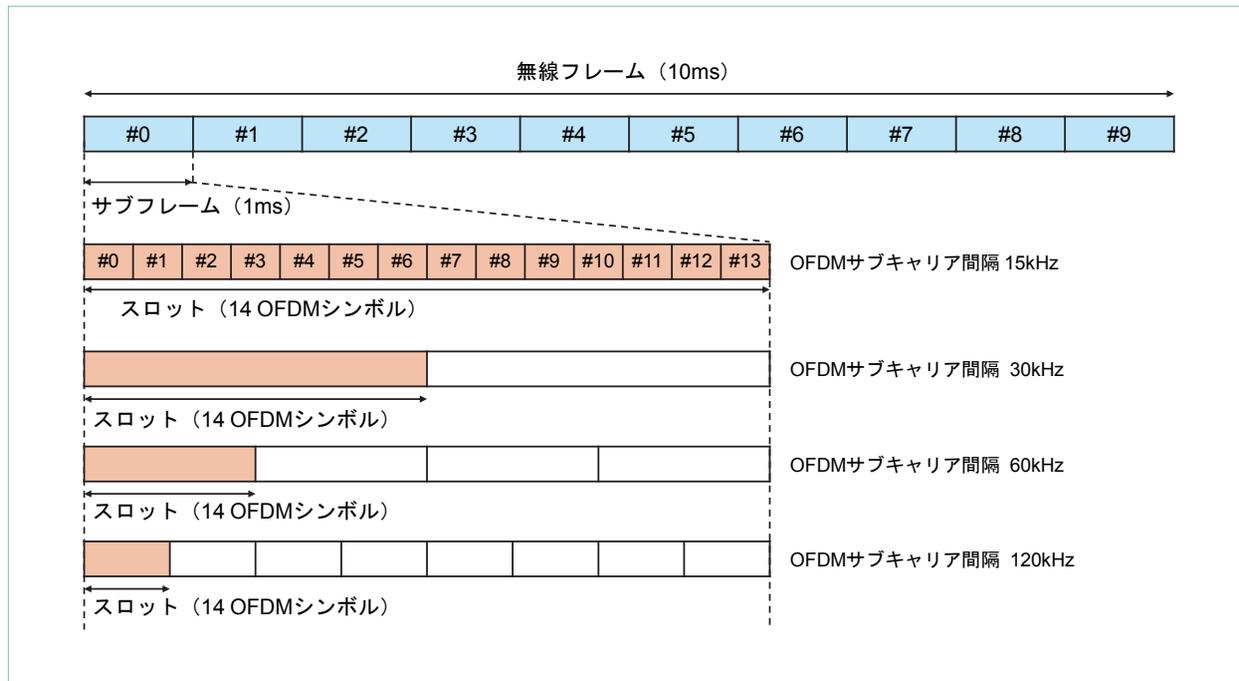


図1 規定された無線フレーム構成 (スロット当り14 OFDMシンボルの場合)

定されるため、移動端末が初期アクセス時にOFDMサブキャリア間隔をブラインド検出^{*19}しなくてもよい。NRでは通信事業者が同期信号を送信する周期およびタイミングを基地局ごとに設定し移動端末に通知することが可能である。また通知前の初期アクセス時に端末が想定する送信周期を20msとしており、Always-onの信号をなるべく減らす観点からLTEにおける同期信号送信周期(5ms)よりも長くしている。また、移動端末の初期アクセス負荷を低減するため、同期信号が送信される可能性のある周波数ラスタ^{*20}はLTEと比べて間隔を広げ、候補位置が少なくなるようにする工夫が検討されている。

(2)同期信号・報知チャネルのbeam sweeping送信

6GHz以上の高周波数帯では、基地局と端末との通信可能距離およびエリアを確保するために、例え

ば基地局側で送信ビームフォーミング^{*21}を適用することが考えられる。ビームフォーミングを適用することで、信号の受信強度が特定の方向に集中するため通信距離を伸ばすことができる一方、他の方向に対しては受信強度が下がるため信号が届く範囲は狭くなる。同期信号や報知チャネル(PBCH: Physical Broadcast Channel)^{*22}などはセル内のすべての移動端末に届くように送信する必要があるため、NRでは同期信号およびPBCHを1つの単位(SS/PBCH block)として定義し、1つのSS/PBCH blockは同一方向の送信ビームで送信し、順次ビーム方向を切り替えて送信する構成(beam sweeping)がマルチビーム運用向けにサポートされた(図2(a))。なお、低周波数帯などのために、beam sweepingを適用せず、単一のビームパターンで1つのSS/PBCH

*12 サイクリックプレフィクス(CP): OFDM信号において、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。通常この部分の信号は、シンボル後半の一部をコピーしたものとなる。ガードインターバルとも呼ばれる。

*13 同期信号: 移動端末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。

*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、セルごとに一斉回報される。

*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): 移動端末が基地局の下り信号の受信シンボルタイミングおよび周波数に同期するために用いられ、物理セルID(*18参照)に基づく3通りの信号がセル間で繰返し利用される。

*17 セカンダリ同期信号(SSS): 移動端末が基地局の物理セルIDを検出するために用いられ、物理セルID(*18参照)に基づく336通りの信号がセル間で繰返し利用される。

*18 物理セルID(PCID): 物理的なセル識別子。LTEでは504通りのIDが用いられているが、NRでは1,008通りのIDが用いられる。

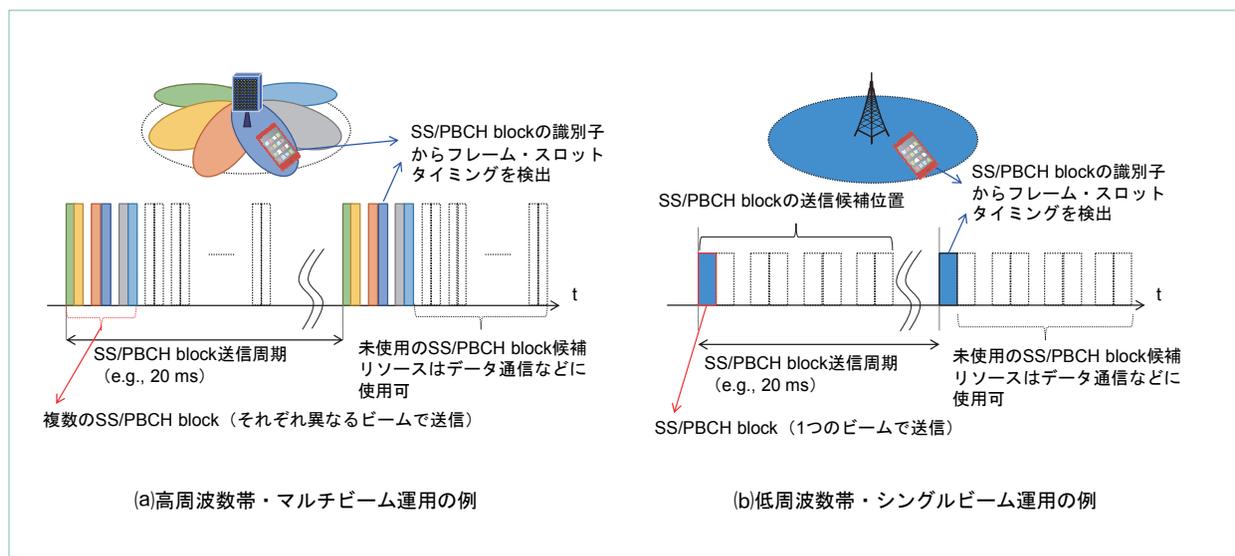


図2 シングルビームおよびマルチビーム運用時のSS blockインデックスの通知

blockのみを周期的に送信する構成（シングルビーム運用）も可能である（図2(b)）。NRでは、無線フレーム内に複数のSS/PBCH block送信候補位置が規定され、SS/PBCH blockの送信に用いるビーム数に応じて1つ以上の候補位置で実際に送信を行うことができる。ただし移動端末はどのSS/PBCH blockを検出したのかが分からないと、無線フレームタイミングやスロットタイミングを認識することができないため、SS/PBCH blockに含まれるPBCHおよび参照信号（PBCH-DMRS：PBCH Demodulation RS）を用いてSS/PBCH blockのインデックスを移動端末に通知することが検討されている。

(3)報知情報取得後のランダムアクセス

報知情報を取得した後、移動端末はランダムアクセスとしてLTEと同様の4stepの手順を行う（図3(a)）。Msg1として送信するランダムアクセスプリアンブル（PRACH：Physical Random Access Channel^{*23}）に、LTEと同等の系列長およびOFDMサブキャリ

ア間隔を用いるフォーマットに加えて、特に高周波数帯向けに広いOFDMサブキャリア間隔、短い系列長を用いるフォーマットが複数導入された。また、SS/PBCH blockにビームフォーミングを適用して通信距離を確保するような場合には、そのSS/PBCH blockを受信した移動端末からのPRACHを受信するためにも同等の受信ビームフォーミングを基地局側で適用する必要があるため、移動端末は検出したSS/PBCH blockに紐づけられているリソースでPRACHを送信する（図3(b)）。

(4)受信品質の測定

NRにおけるハンドオーバーなどのためのセルの受信品質の測定は、SS/PBCH blockに含まれる参照信号（SSSおよびPBCH-DMRS）を用いて行う。SS/PBCH blockに送信ビームフォーミングを適用するマルチビーム運用の場合には、各SS/PBCH blockの受信品質を各基地局ビームの品質として測定、報告することが可能である。さらにチャネル状

*19 ブラインド検出：複数の受信候補信号を想定し、信号の検出および特定を行う処理。

*20 ラスタ：移動端末が電源投入時などに同期信号の有無をサーチする周波数キャリア位置。

*21 ビームフォーミング：複数のアンテナそれぞれの振幅および位相の制御によってアンテナ全体に対して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。

*22 報知チャンネル（PBCH）：下り共通チャンネルパラメータ、システムフレーム番号など、共通チャン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ンネル。

*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ンネル。

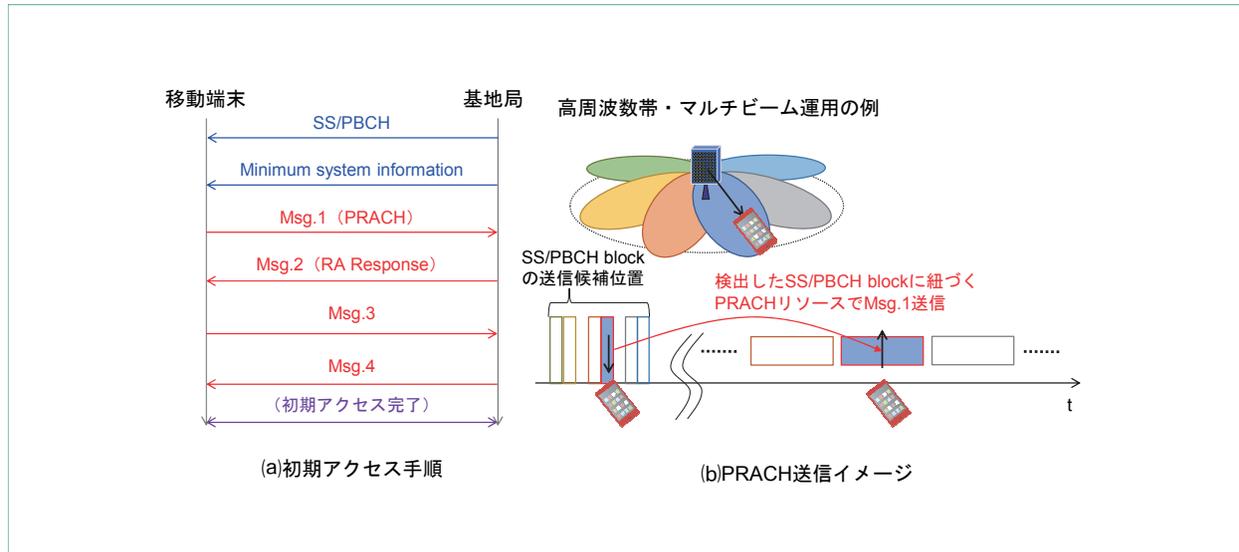


図3 初期アクセス手順とPRACH送信イメージ

態測定用参照信号（CSI-RS：Channel State Information - Reference Signal^{*24}）を用いた測定を通信中の移動端末に設定し、より柔軟にビームごとや張出し基地局ごとの受信品質を測定、報告させることもできる。

2.3 マルチアンテナ技術

NRでは、3次元ビーム制御を用いた上下リンク信号のマルチアンテナ送受信を実現する。特に高周波数帯では、電波減衰の影響を補うために、多くのアンテナで高いビーム利得を実現することが非常に重要となる。例えば30GHz帯では、基地局および移動端末でそれぞれ最大256および32のアンテナ素子を搭載し、それぞれグルーピングを行った後にアンテナポートと呼ばれる制御単位でデジタル信号処理を行う。

(1) マルチアンテナ回路・装置の実装例

ビームフォーミングを実現するマルチアンテナ回

路・装置の実装例を図4に示す。デジタルビームフォーミングは一般的に低い周波数帯で適用される構成であり、LTEのマルチアンテナ技術は本実装を前提に規定されている。本実装法ではデジタル信号の位相および振幅を変化させることで送受信ビームを形成する。一方、高い周波数帯で広帯域伝送を行うシステムでは、実装コストなどの影響によりデジタル領域でビームフォーミングを行うことの困難性が増す。そのため、アナログ信号の位相および振幅を変化させる、アナログビームフォーミングやハイブリッドビームフォーミング構成の適用が一般的となる。アナログ領域でのビームフォーミングは、アナログ回路の装置構成上サブバンド^{*25}単位でのビーム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。

(2) レイヤ1およびレイヤ2におけるビーム制御

レイヤ1^{*26}およびレイヤ2^{*27}におけるビーム制御はビームマネジメントおよび伝搬路状態情報（CSI：

*24 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。

*25 サブバンド：システム帯域幅の一部で構成される部分帯域幅のこと。

*26 レイヤ1：OSI参照モデルの第1層。物理層を指す。

*27 レイヤ2：OSI参照モデルの第2層。データリンク層を指す。

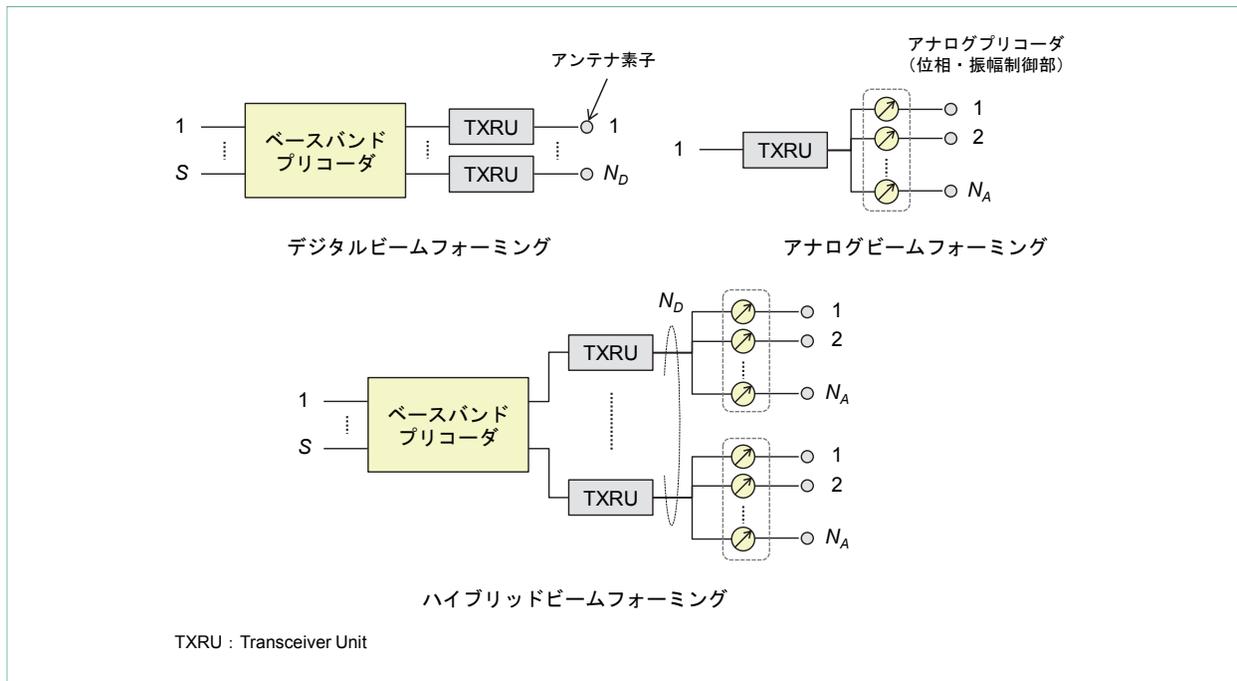


図4 ビームフォーミングを実現するマルチアンテナ回路・装置の実装例

Channel State Information)^{*28}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であり、基地局と端末の相互のビームペアをレイヤ1/レイヤ2レベルで取得・維持することを目的として、ビーム追従処理がCSI取得に比べ相対的に長周期で参照信号受信電力 (RSRP: Reference Signal Received Power)^{*29}に基づいて行われることが想定されている。加えて、端末側でビームペアのミスマッチを検出し、他のビームペアへの切替え要求を基地局に送付するビームリカバリと呼ばれる技術がサポートされた。一方、CSI取得はより鋭いビームの形成やデータ信号に適用されるビームのMCS (Modulation and Coding Scheme)^{*30}の決定などに用いられ、比較的短周期での制御が想定されている。これらの技術に下りリンク参照信号であるCSI-RSおよび上り

リンク参照信号であるサウンディング参照信号 (SRS: Sounding RS)^{*31}を用いることが合意されており、単一のフレームワークで仕様が策定される予定である。

(3)データ送信

データ送信では上記の技術で得られた伝搬路情報を用いたビーム制御および空間多重を行うことが可能である。NRではデータ送信でシングルユーザMIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*32}およびマルチユーザMIMO^{*33}をサポートし、下りリンクでは最大8ストリームのシングルユーザMIMOおよび最大12ストリームのマルチユーザMIMOを、上りリンクでは少なくとも4ストリームのシングルユーザMIMOをサポートすることが合意されている。

*28 伝搬路状態情報 (CSI): 信号が経由した無線チャネルの状態を表す情報。

*29 参照信号受信電力 (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。

*30 MCS: AMCを行う際にあらかじめ決めておくデータ変調方式とチャネル符号化率の組合せ。

*31 サウンディング参照信号 (SRS): 基地局側で上りリンクのチャネル品質や受信タイミングなどを測定するための上りリンク参照信号。

*32 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。

*33 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。

2.4 チャンネル符号化技術

LTEでは、誤り訂正符号として、畳み込み符号（TBCC：Tail Biting Convolutional Coding）^{*34}とターボ符号（Turbo coding）^{*35}が採用されている。NRでは、これらに加えて、LDPC（Low Density Parity Check coding）符号、およびPolar符号の適用が検討された。LDPC符号は並列処理により復号処理の遅延を小さくでき、Polar符号はTBCCと比較して復号演算量を抑えつつ、共にシャノン限界^{*36}に漸近する優れた特性を示す。結果、データチャンネルに対してLDPC符号が採用され、制御チャンネルに対してPolar符号が採用された。

3. 高周波数帯利用に関連する検討

NRに関するSIでは、周波数に関連した検討として、利用する周波数帯、各周波数帯における無線特性仕様、および測定方法などの初期検討が行われた。

3.1 NRで利用する周波数帯

5Gのユースケースの1つであるeMBBを実現する手段の1つとして、NRではLTEに比較して、より連続する周波数を広帯域に利用する技術の検討が行

われた。

SI開始当初は、100GHz帯までの周波数を対象にして検討が開始されたが、早期仕様策定の必要性の観点も考慮し、各地域での候補周波数の調査が行われた。その結果、図5に示すように、ミリ波帯においては、30GHz帯付近から40GHz帯付近までの周波数利用が主に想定されていることが判明した。これまでLTEで仕様化されてきた周波数は最大でも約6GHz帯であり、30～40GHz帯といったミリ波帯における無線仕様特性の検討は、3GPPでは行われていなかった。加えて、ミリ波帯の携帯電話としての利用実績もないため、製造技術の観点においても新規に検討する必要がある。このような背景から、特にミリ波帯に焦点を充てた検討が行われた。

3.2 無線特性仕様

ミリ波帯における仕様検討において特に考慮すべき事項としては、ビームフォーミングによる送受信、数100MHz幅を超える連続する周波数の利用および3.3節で解説するOTA（Over The Air）^{*37}での測定を前提とした仕様策定されるなどの観点が挙げられる。

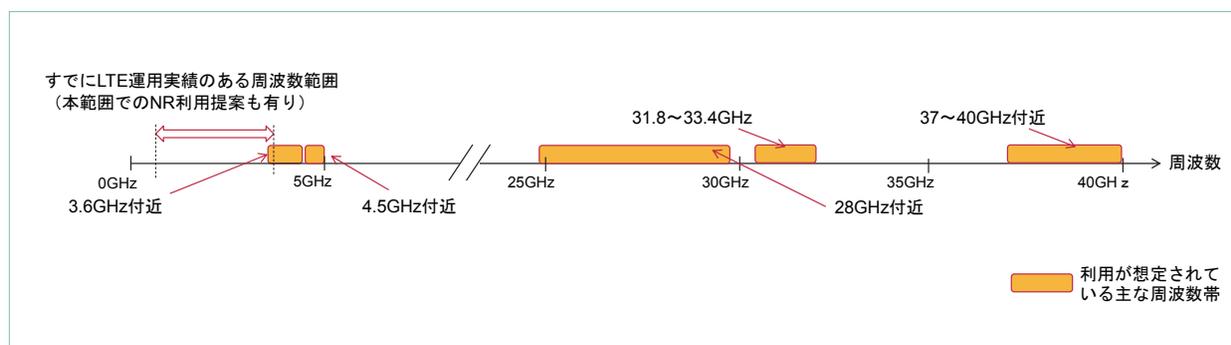


図5 各地域で想定されている候補周波数

*34 畳み込み符号（TBCC）：誤り訂正符号の1つであり、畳み込み演算を用いて符号語を生成する符号化方式。第3世代移动通信システムなどですでに実用化されている。

*35 ターボ符号（Turbo coding）：1993年にフランスのBerrouらによって提案された誤り訂正符号の1つ。現在、低密度パリティ検査符号（LDPC）とともに、シャノン限界（*35参照）にもっとも近い特性を実現できる符号として知られており、第3世代移动通信システムなどですでに実用化されている。

*36 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。

*37 OTA：電波伝搬空間上に規定点や測定点を設け、アンテナの放射／受信特性も含め無線性能を規定する方法、およびそれらを測定する方法

(1)ビームフォーミングによる送受信を前提とした共存検討の評価

3GPPでは、無線特性に関する基本パラメータの1つである隣接チャンネル漏洩電力比（ACLR：Adjacent channel leakage ratio）^{*38}や隣接チャンネル選択度（ACS：Adjacent channel selectivity）^{*39}を議論する場合、システム性能の観点での要求条件を考慮した上で、隣接周波数を利用する移動端末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。ミリ波においても同様の共存検討が実施されたが、自周波数をビームフォーミングした場合の、隣接周波数への影響の考慮がポイントとなった。具体的には、ミリ波帯を想定した基地局展開がビームフォーミングゲインに大きく依存する点や、隣接周波数における干渉影響の程度が自周波数および周辺周波数におけるビームフォーミングゲインに依存する点などを考慮する必要がある。このような点を踏まえ、ミリ波帯を想定した基地局展開の検討や、移動端末および無線基地局装置の、ビームフォーミングによる送受信を前提とした評価が、3GPPとして初めて行われた。なお、評価に際しては、ミリ波帯に対応した新しい電波伝搬特性モデルも用いられた。また、最終的なACLR/ACSの要求値の決定においては、上記のシステム性能観点での共存検討の評価結果に加えて、製造技術の面での実現妥当性の議論も考慮して検討がなされ、SIとしての初期検討結果が結論付けられた。

また、SIでは、送信電力、スペクトラムマスク^{*40}やスプリアス^{*41}発射などの無線特性の基本パラメータの検討が行われ、その結果がACLR/ACSの検討と併せ、国際電気通信連合の無線通信部門（ITU-R（International Telecommunication Union Radio

communication Sector））に対して報告された。

(2)広帯域伝送における装置実装観点の検討

数100MHz幅を超える連続する周波数幅の利用を可能とするため、システム性能の観点での要求条件の議論に加えて、基地局および移動端末のベースバンド（BB：BaseBand）^{*42}部および無線（RF：Radio Frequency）^{*43}部両面での装置実装を考慮した検討が行われた。例えばBBの実装観点では、一定のOFDMサブキャリア間隔を用いる場合、通信に用いる周波数幅（チャンネルバンド幅）が広ければ広いほど、理論上1スロットで送受信可能な情報ビット数はチャンネルバンド幅に比例して大きくなるものの、より高い処理能力を持つFFT（Fast Fourier transform）機能部^{*44}を実装する必要がある。またRFの観点では、利用する周波数帯が高いほど、位相雑音^{*45}の影響が顕著となり、多値の変調方式や多ストリーム数を用いた通信が難しくなる。この課題を解決するためには、高精度のRFデバイス（位相同期回路（PLL：Phase Locked Loop）^{*46}など）を実装する必要や、より大きなOFDMサブキャリア間隔を利用する必要がある。いずれの場合においても、コストや実現性を考慮する必要がある。

SIにおける検討結果で得られた最大チャンネルバンド幅、OFDMサブキャリア間隔およびFFT処理能力に対する結論を表1に示す。WIでは、仕様化されるバンドごとの需要などを踏まえて、最適な最大チャンネルバンド幅やOFDMサブキャリア間隔の大きさが議論される予定である。

3.3 OTAを前提とした仕様とその課題

(1)OTAを前提とした仕様の必要性

LTEの無線特性仕様は、一部の仕様を除き^{*}、図6に示すように移動端末や無線基地局装置のアンテナ

*38 隣接チャンネル漏洩電力比（ACLR）：変調波を送信するときに、本来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。

*39 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。

*40 スペクトラムマスク：信号を送信するときに本来の信号周波数帯に隣接する周波数帯域に放射される不要波のこと。ただし、スプリアス（*41参照）を除く。

*41 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。

*42 ベースバンド（BB）：デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック。

*43 RF：無線回路部。

*44 FFT機能部：送受信の過程で必要となる高速フーリエ変換（FFT）／逆高速フーリエ変換（IFFT：inverse fast Fourier transform）を行う機能部。

*45 位相雑音：雑音元が発信器を変調することによって生じるランダムな位相変調。

*46 位相同期回路（PLL）：基準周波数と出力信号の周波数を同期させる回路。

前段の物理コネクタを基準点として規定（有線接続規定）および測定が行われている。これに対し、ミリ波のような高周波数帯では、回路内の電力損失が大きくなることから、低損失化のためアンプ・フィルタ・アンテナなどのデバイスが集積化され、物理コネクタ自体が実装されなくなる。また、6GHz帯以下の周波数を用いる場合でもMassive MIMO^{*47}など多数のアンプ・アンテナの使用が想定される場合には、物理コネクタごとに測定を行うことは試験工数観点でデメリットとなる。これらの背景のもと、SIでは伝搬空間上での無線特性仕様の規定・測定を

行うOTA仕様の必要性・重要性が議論された。この結果、今後WIで議論される仕様として、6GHz帯未満の周波数向けには有線接続もしくはOTAを前提とした仕様が議論対象とされる一方で、ミリ波についてはOTAを前提とした仕様のみが議論されることとなった。

(2)OTAを前提とした仕様の課題

OTAで試験を行う場合には、一般的に試験設備規模が大きくなり、従来の周波数方向に加え、空間方向の測定を行うため時間を要するとともに、測定の不確かさも有線試験に比較して大きくなる傾向が

表1 SI時点における最大チャンネルバンド幅、サブキャリア間隔およびFFTサイズに対する結論

	LTE	NR	
		6GHz未満	6GHz以上
最大チャンネルバンド幅	20MHz*1	100~200MHz*2	100MHz~1GHz*2
サブキャリア間隔	15kHz	15kHz, 30kHz, 60kHz	60kHz, 120kHz, 240kHz, (480kHz)
FFTサイズ	2,048	4,096, (8,192)	

*1 CAを用いた場合、無線特性仕様として100MHzまで仕様化がなされている

*2 1CC (Component Carrier) で実現するか否かは未定

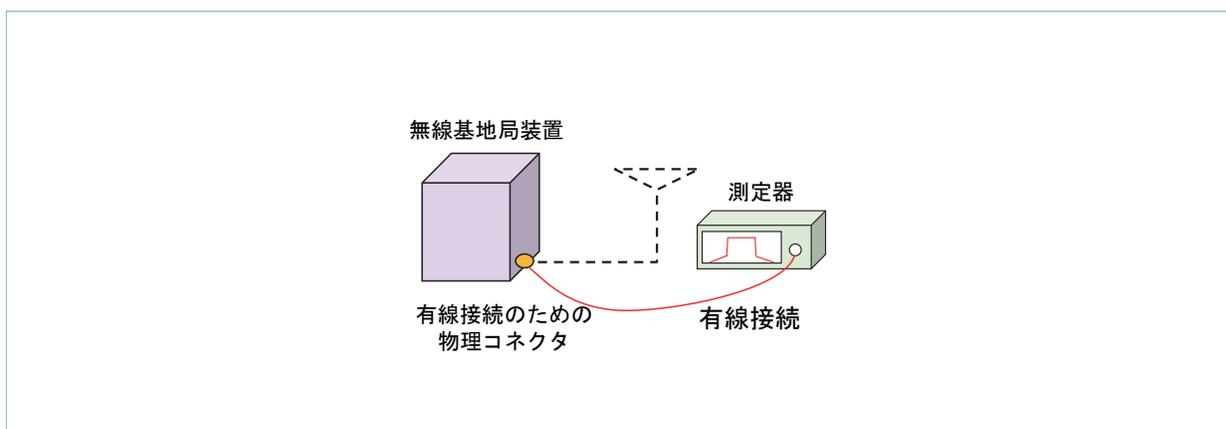


図6 物理コネクタを基準点とした有線接続規定の一例

※LTEにおいてもOTAによる仕様化として、eAAS (enhancements of Base Station RF and EMC requirements for Active Antenna System) と呼ばれるRelease15 WIなどがあるが、対象周波数帯域が6GHz程度以下であり、有線接続規定の仕様も適用可能な点で、NR SIにおける検討とは異なっている。

リアを確保しつつ、高速なデータ通信を実現する。

*47 Massive MIMO：送信と受信にそれぞれ複数素子のアンテナを用いることで無線信号を空間的に多重して伝送するMIMO伝送方式において、より多くのアンテナ素子で構成される超多素子アンテナの採用により、高周波数帯使用時の電波伝搬損失補償を可能とする鋭い電波ビームの形成や、より多くのストリームの同時伝送を実現する技術。これらにより、所望のサービスエ

ある。したがって、仕様策定においては、試験稼働・コストを踏まえて、空間的特性（移動端末・無線基地局装置から輻射される電力の指向特性は一般に一樣ではない）を考慮した仕様化をいかに適切に実施するかが極めて重要となる。例えば、スプリアス発射は、ある測定周波数において、空間上に放射されるすべてのエネルギーの和で定義を行っており、その測定に際しては、空間をいくつかの部分に分割し、それぞれに対して空間的な測定を行う。この場合、分割範囲が小さければ小さいほど（分割数が多ければ多いほど）、一般には高い測定精度を実現できるが、これは同時に測定すべき空間上の点が多くなることを意味し、現実的な時間内に測定を完了することができないリスクを生む。このため今後の

WIでの議論において、これらのトレードオフを考慮して、各種無線仕様特性を策定することが重要となる。

4. あとがき

本稿では、3GPP RANにおいて、2017年3月に完了したSIの技術検討内容を解説した。SIで検討された要素技術および候補周波数と無線性能要求仕様とその影響は、5GのWIでも引続き検討が進められており、今後商用化に向けて本格的に導入されることが期待される。ドコモは、今後も5Gの商用導入に向けて必要不可欠な要素技術の検討を推し進め、標準化活動を進めていく。