

# 多様な要求を満たしながら伝送効率を 極限まで高める 5G 無線アクセス技術

5G Radio Access Technology for Extremely Efficient Data Transmission and Diversifying Future Requirements

ベンジャブール アナス 岸山祥久 中村武宏



近年急激に増加している無線アクセスの通信量（トラフィック）に対応するため、LTE（Long Term Evolution）を更に発展させた真の第4世代（4G）とも言えるLTE-Advancedの世界的な展開が見込まれている。このような状況の中、2020年以降における将来の移動通信に要求される飛躍的に高いシステム性能を実現するため、第5世代（5G）と呼ばれる新しい次世代移動通信システムの検討の機運が昨今、非常に高まっている。NTTドコモ（以下、ドコモ）では、東京で夏季オリンピック／パラリンピックが開催される2020年をサービス提供開始のターゲットとし、提案する「5G」の技術コンセプトの下、世界の移動通信の主要ベンダとの実験協力を進めている。本稿ではドコモがこれまでに検討を行ってきた5Gの無線アクセス技術について、要求条件、技術コンセプト、要素技術について概説する。

キーワード：5G，無線，アクセス，LTE，次世代，移動通信，モバイル，コミュニケーション

## 1. あらまし

ここ数十年間にわたって、移動通信は世界の経済と社会の発展に大きく寄与しており、今日では世界中の多くの人々にとって既に日常生活で必須なものとなっている。また、将来の情報社会においては、あらゆる人とものが無線を通じてインターネットにつながり、移動通信がライフラインとしてより必要不可欠なものになっていくことが予想される。現在、世界の多くの移動通信オペレータにより、第3世代（3G）移動通信システムのサービスが広く展開されており、更に、スマートフォンの普及に伴い、より高速な伝送速度を低遅延かつ高効率に提供することができるLTE（Long Term Evolution）のサービスが急速な普及を遂げている。また、LTEを更に発展させた真の第4世代（4G）とも言えるLTE-

Advanced（LTE-A）の世界的な展開も見込まれている。今後、移動通信におけるトラフィックが飛躍的に増大していくことが予測されている。ドコモでは、2011年から2015年の4年間でトラフィックが12倍に増大すると予測しており、これは年平均1.86倍の増加率に相当する。また、実際に2011年12月から2014年12月までの3年間で、国内の移動通信の総トラフィックが約6.4倍（年当たり1.86倍程度の増加率）に増加したことが報告されている<sup>(1)</sup>。このようなトラフィックの増加が続くと仮定した場合、2020年代の移動通信のトラフィック量は2010年比で1,000倍以上に達することになる。具体的には、年平均1.8倍の増加率の場合、2022年には2010年の1,100倍を超えるトラフィックになる。また、トラフィックは場所や時間帯に大きく依存することが知られている。例えば、都市部の駅やスタジアムなど高密度に多くのユーザーが存在するエリアでは、発生するトラフィックも極端に多く、日中と深夜ではトラフィック量が大きく異なる。更に今後のサービスの多様化を考慮すると、移動通信ネットワーク上で提供されるサービスは情報量の少ないもの（例えば、自動販売機等のMachine-to-Machine（M2M）通信やリアルタイムでの遠隔操作など）や超低遅延通信を必要とする制御用通信（触覚通信、車々間通信など）から情報量の多いリッチコンテンツ（高精細動

ベンジャブールアナス 正員：シニア会員（株）NTTドコモ5G推進室

E-mail benjebbour@nttdocomo.com

岸山祥久 正員（株）NTTドコモ5G推進室

E-mail kishiyama@nttdocomo.com

中村武宏 正員（株）NTTドコモ5G推進室

E-mail nakamura@nttdocomo.com

Anass BENJEBBOUR, Takehiro NAKAMURA, Members, and Yoshihisa KISHIYAMA, Senior Member (5G Laboratory, NTT DOCOMO, Inc., Yokosuka-shi, 239-8536 Japan).

電子情報通信学会誌 Vol.98 No.5 pp.395-402 2015年5月

©電子情報通信学会 2015

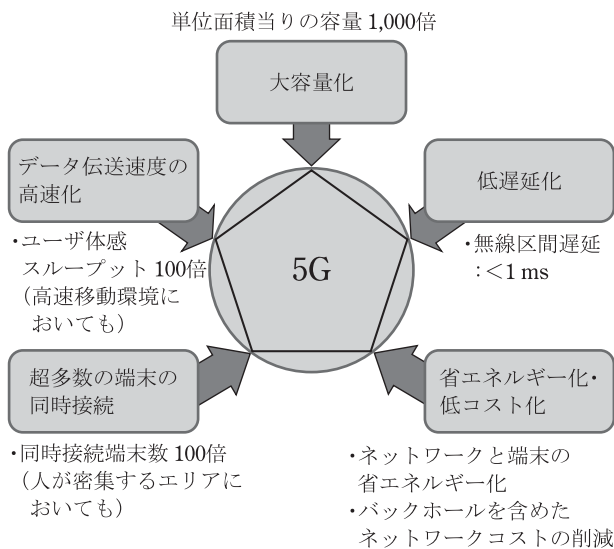


図1 5Gの要求条件

画像ストリーミングなど)まで、トラフィックパターンは非常に幅広くなっていくことが想定される。

## 2. 5Gの要求条件

将来必要となるサービスの高度化及び多様化や、予測されるトラフィックの飛躍的な増大を考慮し、2020年以降の無線アクセス、すなわち「5G」において実現すべき要求条件(目標性能)を、図1にまとめる。

### ・ 大容量化：

5Gの無線アクセスネットワークにおいては、2020年以降に向けて2010年比で1,000倍以上とも予測される爆発的なトラフィックの増加をサポートする必要がある。したがって、LTEのマクロセル環境と比較して、単位面積当りで1,000倍以上のシステム容量の大容量化を実現することが5Gにおける基本的な要求条件となる。

### ・ データ伝送速度の高速化：

将来のリッチコンテンツやクラウドサービス等の普及を考慮すると、データ伝送速度の観点からも5GはLTEと比較して飛躍的な高速化を実現する必要がある。更に、時間帯や場所によらず、ユーザに満足頂ける

QoE (Quality of user Experience) を常に提供することが非常に重要である。したがって、LTEと比較して100倍程度のユーザ体感データ伝送速度を実現すること、すなわち、1 Gbit/s以上のデータ伝送速度を高速移動環境も含めたあらゆる環境で提供することが目標性能として挙げられる。また、屋内などの良好な無線環境でのデータ伝送速度としては10 Gbit/s以上の実現がターゲットとして挙げられる。このような高いデータ伝送速度は、5Gにおいて無線バックホールのようなシナリオを柔軟にサポートする場合においても、重要になると考えられる。

### ・ 低遅延化：

触覚通信やAR (Augmented Reality)、M2M用のリアルタイム制御等、今までにない低遅延化が要求される新サービスの提供が5Gにおいて求められている。したがって、無線区間の遅延については、LTEの5ms程度と比較して5Gではほぼゼロとも言える1ms以下の実現が、要求条件として挙げられる。

### ・ 超多数の端末の同時接続

5Gでは、常時接続のクラウドサービスやIoT (Internet of Things) に代表される端末数の急激な増加、スタジアムやイベント会場のように多くのユーザが密集した環境や、災害時など多数の同時アクセスが想定される状況まで、様々なシナリオで超多数の端末の同時接続をサポートする必要がある。これらに対応するため、LTEと比較して100倍以上の同時接続数を効率的かつロバストにネットワークでサポートすることが目標として挙げられる。

### ・ 省エネルギー化・低コスト化：

ユーザにより良いサービスを提供するため、5Gでは上記のように飛躍的に高い性能目標を掲げている一方で、ユーザに対して適切な費用でサービスを提供し、また環境に優しいサービスを提供するために、これらの高い性能を可能な限り低コストかつ省電力なネットワークで提供していくことが必要とされる。また、センサのようなM2M端末の普及を考慮すると、端末の観点からも低コスト化及びバッテリーの長寿命化は非常に重要な要求条件となる。

## 用語解説

MIMO: Multiple Input Multiple Output 複数の送受信アンテナを用いて同時に複数の信号を空間多重して送ることで周波数利用率を高くできる伝送技術。

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing 複数の直交した狭帯域の搬送波を使用することで周波数利用率を高くできるマルチキャリア伝送方式。

## 3. 5G技術コンセプト

### 3.1 技術進化のアプローチ

5Gの要求条件として挙げた1,000倍の大容量化や100倍の高速化といった飛躍的な性能改善を実現するためには、複数の技術アプローチによる高度化が必要になると考えられる。具体的には、図2に示すように、周波

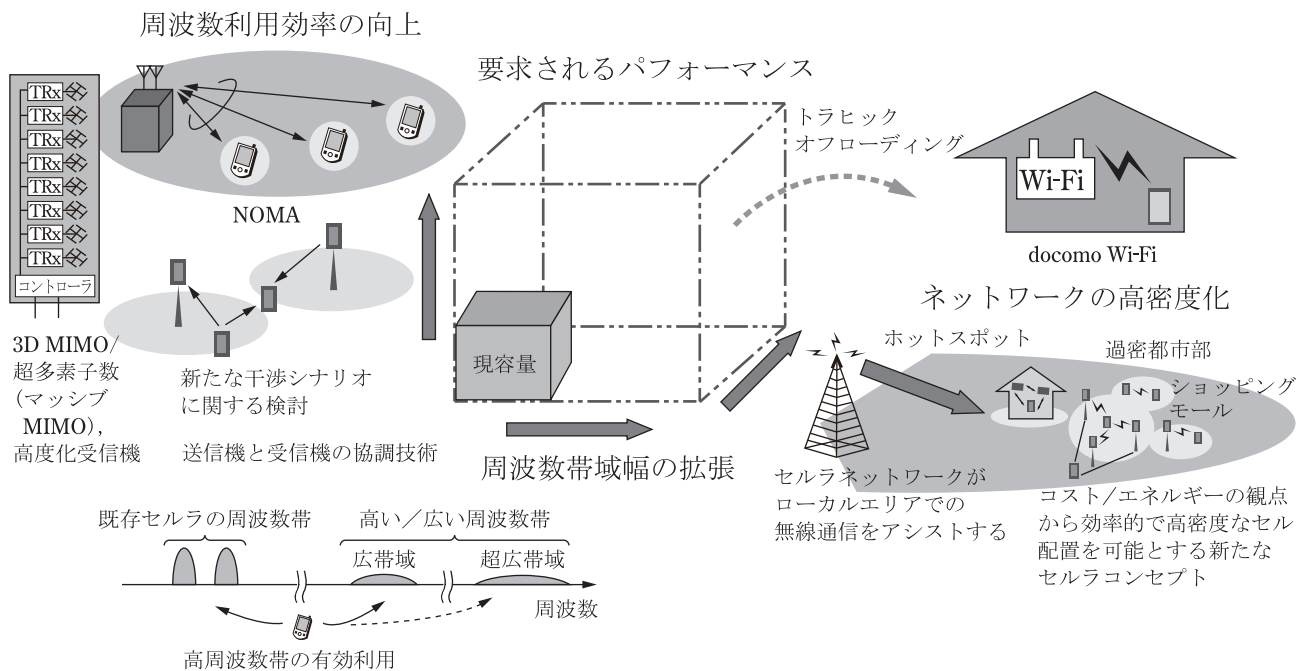


図2 技術進化のアプローチ

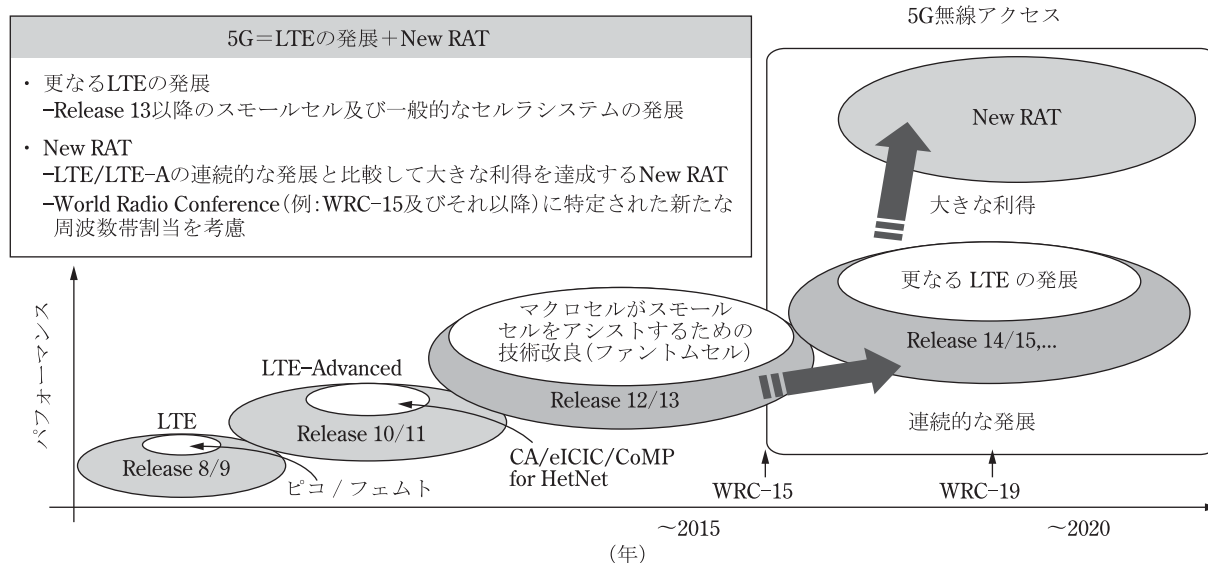


図3 LTE/LTE-Aの発展と“New RAT”

数の利用効率を改善する無線技術、幅広い周波数帯を有効活用する技術、高密度なsmall cellを効率的に運用するための技術、及び無線LAN等への高効率なオフロードなどを相互補完的に導入していく必要がある。例えば、セル当りの周波数利用効率  $((\text{bit}/(\text{s}\cdot\text{Hz}))/\text{cell})$ 、周波数帯域幅 (Hz)、単位面積当りのセル数  $(\text{cell}/\text{km}^2)$  をそれぞれ10倍に向上することができれば、単位面積当りの無線通信容量  $(\text{bit}/(\text{s}\cdot\text{km}^2))$  は1,000倍となる(図2の“キューブ”の体積に相当)。この中で、特に周波数帯域幅を大きく拡大するためには、3GやLTEで

用いられている既存の周波数帯に加えて、より高い周波数帯をセルラシステムで用いるために開拓していく必要がある。また、セル数の増大はネットワークのコストや消費電力の増大を抑えつつ実現していく必要がある。5Gでは創意工夫によって、このような問題を解決していく必要がある。

### 3.2 LTE及びLTE-Aの発展と5G

2020年以降に向けて移動通信システムが進化していく際に取り得るアプローチとして、図3に示すように、

大きく二つの方向性が考えられる。一つは LTE 及び LTE-A を更に進化させていくアプローチであり、もう一つは全く新しい RAT (Radio Access Technology) を導入するという大きな変化を伴うアプローチである。前者は基本的に、既存 LTE システムとの後方互換性を保持し続ける継続的な進化であり、今後も長期にわたって持続していくことが必要である。一方、後者において導入される“New RAT”は、LTE との後方互換性を維持するよりも、100 倍の高速化や 1,000 倍の大容量化といった飛躍的な性能改善を優先して実現することを目指した全く新しい無線インタフェースである。特に、飛躍的な性能改善の実現には、これまでよりも高い周波数帯を用いた広帯域化が必要と考えられ、New RAT の無線パラメータや信号波形に大きく影響するものと考えられる。

以上から、2020 年以降の 5G 無線アクセスは、このような LTE 及び LTE-A の継続的発展と、New RAT の導入による革新的発展のいずれか、またはそれらの組合せによって実現されるものと考えられる。

### 3.3 5G 技術コンセプト

図 4 に、ドコモの 5G 技術コンセプトの概念を示す。2.2 で述べたように飛躍的な性能改善を実現するためには、既存の周波数帯に加えて、3.5 GHz 帯及びミリ波を含む 10 GHz 以上の周波数帯といった、従来よりも高い周波数帯を用いた広帯域化が必要だと考えられる。しかしながら、周波数帯が高くなるに従って電波の波長は短くなり遠くまで伝搬しなくなる特性を有するため、高い

周波数帯は連続した広い周波数帯域幅の確保には適しているものの、通信の安定性確保の観点からは移動通信に適さないものとされてきた。上記特性を考慮し、ドコモの考える“5G 技術コンセプト”は、このような高い周波数帯を従来の低い周波数帯と組み合わせて用いることにより、低い周波数帯で通信の安定性を確保しつつ、高い周波数帯を用いた広帯域化によって飛躍的な高速・大容量化を実現していくものである。

無線インタフェースの観点からも、主に既存周波数帯あるいは 6 GHz 以下の周波数帯をターゲットとした LTE 及び LTE-A の継続的発展と、ミリ波を含むような高い周波数帯をサポートすることが可能な New RAT との組合せによって、5G 無線アクセスが構成されるものと考えている。特に既存の低い周波数帯においては、New RAT を導入する可能性も残しつつ、可能な限り LTE との後方互換性を保持し続けることが望ましい。したがって、技術的な観点からも、低い周波数帯向けの改善技術、高い周波数帯向けの最適設計や要素技術、及び周波数帯や無線インタフェースによらず適用可能な要素技術が、それぞれに適した無線インタフェース及び双方に導入されていくものとする。更に、端末は LTE/LTE-A と New RAT、すなわち低い周波数帯と高い周波数帯の双方に接続 (Carrier Aggregation (CA) 若しくは Dual connectivity) するため、それら無線インタフェース間の密な連携 (Tight interworking) のサポートも必要である。

以上に述べた、5G 無線アクセスの技術コンセプトを実現するために有力な無線アクセス技術の候補を以下に示す。

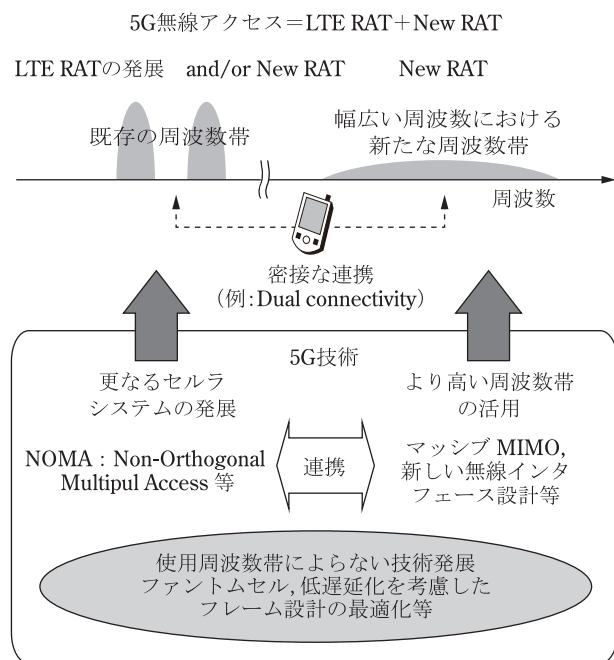


図 4 5G 無線アクセス技術コンセプト

- ・ 低い周波数帯と高い周波数帯との間の連携技術
- ・ ファントムセル (制御信号/ユーザデータ (C/U) 分離)
- ・ フレキシブルデュプレクス
- ・ 高い周波数帯を有効利用するための技術
- ・ 高い周波数帯への無線パラメータや信号波形の最適化
- ・ 大規模 (マッシブ) MIMO (用語)
- ・ 低い周波数帯における容量改善技術
- ・ 非直交多元接続 (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access)

## 4. 5G 無線アクセスの要素技術

### 4.1 ファントムセル

送信電力の小さい基地局を有する Small Cell によるネットワークの高密度化は特にトラフィックの高いホットスポットのようなエリアにおけるトラフィックの爆発的増加を効率良くサポートするソリューションとして有望で

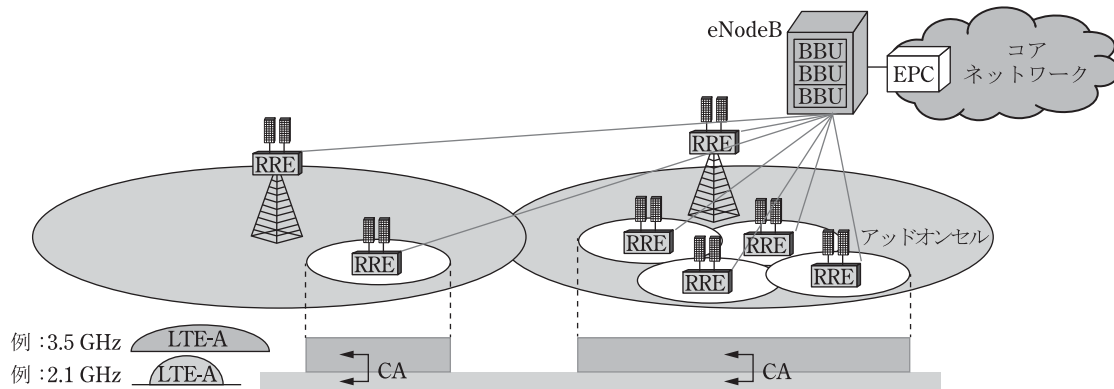


図5 高度化C-RANアーキテクチャ

ある。このためドコモでは、高度化C-RAN (Centralized Radio Access Network) アーキテクチャを開発しており、2015年頃の商用化を目指している<sup>(2)</sup>。この高度化C-RANは、図5に示すように、リモート設置型基地局 (RRE: Remote Radio Equipment) と集中制御を行う基地局 (eNodeB) によって構成され、広域エリアをカバーするマクロセルのエリア内に局所的なエリアをカバーするスモールセルを追加配置し (アドオンセル)、マクロセルとスモールセル間において異なる周波数を使用し、LTE-Aの主要技術であるキャリアアグリゲーション (CA: Carrier Aggregation) を適用する新たなネットワークアーキテクチャである。これにより、マクロセルの周波数において端末が移動する際の接続性を維持しつつ、追加されるスモールセル (アドオンセル) によって、スループットの向上と大容量化を実現する。高度化C-RANアーキテクチャでは、eNodeBのベースバンド装置 (BBU: Baseband Unit) においてCAや移動に伴うスモールセルの切換処理を行い、それらの処理に必要な制御信号をBBUで終端することにより、多数の端末をサポートする際のコアネットワーク側へのシグナリング負荷を低減する効果も期待できる。

更に、2012年にLTE Release 12以降に向けた3GPP (3rd Generation Partnership Project) ワークショップにおいて、ドコモはファントムセルのコンセプトを提案した<sup>(3)</sup>。これは、図6に示すように、異なる周波数帯を適用したマクロセルとスモールセルとの間において、制御信号 (C-plane: Control plane) とデータ信号 (U-plane: User plane) を分離するC/U分離を用いるネットワーク構成のコンセプトである。このファントムセルの目的と利点は、先に述べた高度化C-RANと同様にハンドオーバー等によるモビリティ管理制御を複雑化することなく、比較的高い周波数帯へも容易にスモールセルを展開可能であることなどが挙げられるが、更に、高度化C-RANとは異なる分散形の基地局構成も含めてC/U分離を実現する技術、すなわち異なる基地局間での

CA/Dual connectivity 技術への拡張を含むコンセプトである。また、ファントムセルには、高い周波数帯のスモールセルにおいて物理的なセルIDを仮想化するバーチャルセル技術や、端末が高周波数帯のスモールセルを高効率に発見 (ディスカバリ) する技術など、より高度な機能拡張が考慮されている<sup>(4), (5)</sup>。

これらのファントムセルに関連する要素技術は、LTEにおけるスモールセルの拡張 (SCE: Small Cell Enhancements) 技術として、既に3GPPで標準化が進められている。しかしながら、ファントムセルは低い周波数帯にLTE/LTE-Aの継続的発展による無線インタフェースを適用し、高い周波数帯に“New RAT”を適用する5G無線アクセスのコンセプトにおいても基本となる考えである。

#### 4.2 フレキシブルデュプレクス

4Gまでの移動通信方式は、基本的にアップ/ダウンリンクを周波数領域で分割するFDD (Frequency Division Duplex) 方式か、時間領域で分割するTDD

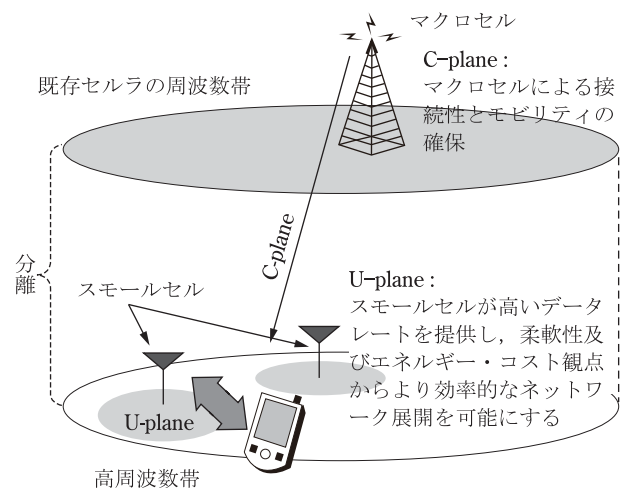


図6 ファントムセルコンセプト

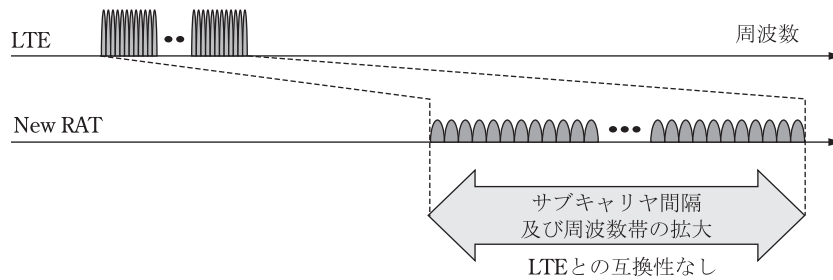


図7 New RAT を実現するスケーラブルLTE無線パラメータ

(Time Division Duplex) 方式かのどちらかが適用されるシステムであった。しかしながら、5Gで想定される幅広い周波数帯を用いる移動通信では、異なる複信(デュプレクス)方式が各周波数帯に適用される可能性があり、より柔軟に異なる方式をサポートする“フレキシブルデュプレクス”の実現が要求されるものと考えられる。特に、既存のセルラの周波数帯では、(特に日本では) FDD が主に用いられてきたのに対し、将来の高い周波数帯では TDD が適用される可能性も高い。このため、異なる周波数帯で C/U 分離を行うファントムセルのコンセプトを複信方式の差異によらず柔軟にサポートできることが望ましい。したがって、FDD, TDD, 若しくは片方向(ダウンまたはアップ)リンクのみといった通信リンクの柔軟なサポートに加え、電波免許が不要な周波数帯(アンライセンスバンド)を含む適応的な周波数選択や CA/Dual connectivity を実現していく技術、及び、それらに伴って課題となるアップ/ダウンリンク間の干渉対策技術などが、5Gにおける“フレキシブルデュプレクス”の要素技術として考えられる。

### 4.3 高周波数帯の無線インタフェース

5Gでは新たな無線インタフェース(New RAT)を導入し、LTEとの非互換性を許容して飛躍的な性能の改善を実現する必要がある。特に、10 Gbit/s以上の伝送レートを提供するため、数百 MHz から 1 GHz 程度以上の広帯域化に加えて高い周波数帯のサポートが必要となる。特に、高い周波数帯では位相雑音の影響が顕著になるため、無線パラメータの最適化などにより位相雑音に

対する耐性を高める必要がある。例えば、LTEではサブキャリア間隔が 15 kHz の OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)<sup>(用語)</sup>を信号波形として適用しているが、図7のように高周波数帯ではサブキャリア間隔を更に広げる(OFDMシンボル長を短くする)ことで、位相雑音への耐性を高めることができる。このような高周波数帯向けの無線パラメータの実現方法として、LTEの無線パラメータをスケーラブルに変えたものを用いるような設計も有力である。スケーラブルなLTEパラメータでNew RATを実現することによるメリットとして、LTEとNew RATの双方に対応する(Dual mode)端末や、双方へ同時接続(Dual connectivity)する端末の実装をより容易にすることなどが挙げられる。また、シンボル長の短縮によりパケット伝送の送信区間(TTI: Transmission Time Interval)も同時に短縮でき、無線アクセス区間の遅延を大きく低減することが可能である。

なお、将来的にNew RATを用いて多様なシナリオ(端末間通信(D2D: Device-to-Device)、無線バックホール、マルチホップ通信等)をサポートすることを考慮すると、アップ/ダウンリンク間で対称性の高い無線インタフェース設計が望ましいと考えられる。更に、信号波形の観点からはMIMO技術との親和性が高く、広帯域伝送におけるマルチパス環境で高い周波数利用効率を実現できるOFDMがLTEと同様有力である。その一方で、将来的に非常に高い/広い周波数帯で周波数利用効率よりもカバレッジ拡大が優先されるシナリオや、セル内で非同期なアクセスが多数混在するなどの新たな

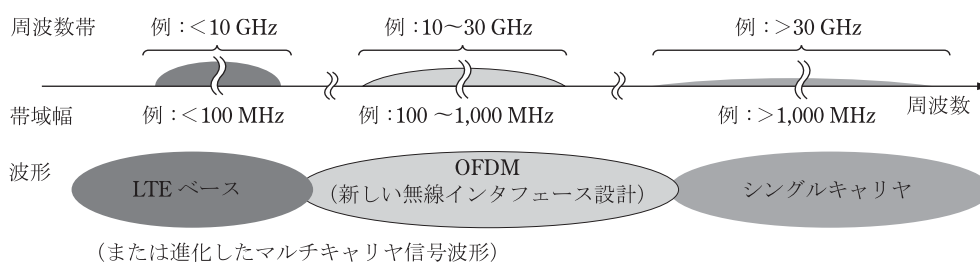


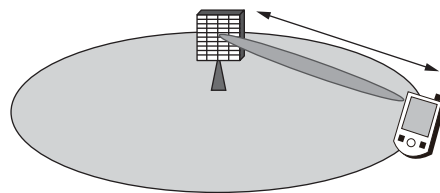
図8 New RATにおける周波数帯に応じた信号波形の適用例

シナリオへの最適化を考慮すると、シングルキャリアやFBMC (Filter Bank based Multicarrier) 等の信号波形の適用も検討する必要がある。特に、シングルキャリアは超広帯域化 (例えば数 GHz 程度の帯域幅) をサポートする場合には、OFDM よりもカバレッジの観点で優れるため有力候補になる。したがって、図8のように、5G では周波数帯や適用環境に応じて異なる無線パラメータや信号波形を適用するアプローチも有力であると考えられる。

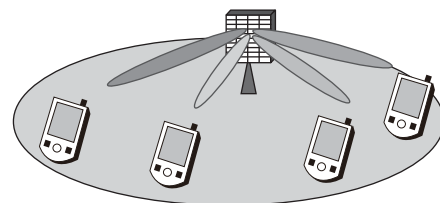
#### 4.4 大規模 (マッシブ) MIMO

多数のアンテナ素子を用いるマッシブ MIMO 技術は高周波数帯を有効利用するための 5G のキー技術として昨今非常に注目されている。図9に示すように、多数のアンテナ素子を用いるビーム形成によって、電波の飛ばない高周波数帯におけるカバレッジを確保したり、複数のユーザへ同時にビーム送信を行って周波数利用効率を向上することなどが可能である。高周波数帯では伝搬損が増大する反面、アンテナ素子の大きさが波長に比例して小さくなるため、非常に多数のアンテナ素子を用いる高度なマルチアンテナ技術が現実的な大きさのアンテナで実現できるメリットがある。例えば、20 cm 四方程度の平面アンテナにおいて、アンテナ素子を垂直・水平の二次元に半波長間隔で配置した場合、3.5 GHz 帯では 16 個、10 GHz 帯では 169 個、20 GHz 帯では 650 個以上ものアンテナ素子を配置できる計算となる。この場合、ビームの利得によって、周波数が 10 倍高くなるごとに 20 dB 増大する伝搬損を理想的には完全に補償することができる。

マッシブ MIMO 技術には、高精度なビームフォーミングや RF 回路の実現法、鋭い指向性ビームを用いて通信する際のモビリティや接続性確保といった技術課題がある。特に、マッシブ MIMO を適用した場合に、報知情報やページング、及び災害情報など、セル全体にブロードキャストする信号やユーザの方向を特定する前に基地局が送信する必要がある信号については、特定ユーザに向けてのビームフォーミングの適用が困難である。したがって、ドコモではファントムセルコンセプトをベースとして、マッシブ MIMO 技術を低い周波数帯のマクロセルとオーバレイした高い周波数帯のセルに適用する“マクロアシスト構成”を提案している。このようなマクロアシスト構成を適用することで、報知情報やページング、及び災害情報などを低い周波数帯で運用するマクロセルから広いカバレッジで送信することができる。そのほかにも、マクロアシスト構成は高周波数帯におけるセルサーチやビームフォーミングを高速に行うための補助情報をマクロセルから通知できるなどのメリットがある。



(a) ビームフォーミング利得によるセルレンジの拡大



(b) 複数ユーザの空間多重による周波数利用効率の向上

図9 マッシブ MIMO 技術の適用効果

#### 4.5 非直交多元接続 (NOMA)

非直交多元接続 (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access) は、セル内の複数のユーザの信号を同一の無線リソース上に多重し、同時に送信する多元接続法である。2G では TDMA (Time Division Multiple Access), 3G では CDMA (Code Division Multiple Access), そして 4G では OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) と各世代の移動通信システムにおいてユーザ多重に使用されてきた無線リソース領域に対して、NOMA は更に新しい領域 (電力領域) をユーザの多重に活用する。図10のように、時間、周波数、または符号領域のユーザ多重に対して非直交性を意図的に導入し、多重されたユーザの信号の分離は、ペアとなるユーザ間の電力配分と受信機におけるシリアル干渉キャンセラ (SIC: Successive Interference Cancellation) の適用によって実現される。複数のユーザの送信信号を多重する際に、ペアとなるユーザ間におけるチャンネル利得 (パス損やシャドウイングなどの伝搬損) の差が大きい

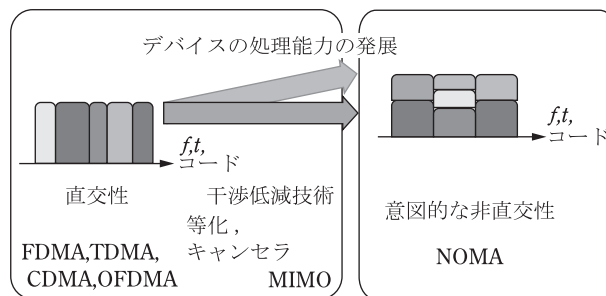


図10 セル内における意図的な非直交性を利用する NOMA

場合、OFDMAのような直交多重に比較してNOMAを適用することによる容量の改善効果が大きいことが知られている<sup>(6)</sup>。更に、NOMAはOFDMAにおける周波数スケジューリング技術とは異なり、各ユーザからフィードバックされる瞬時のチャンネル品質情報(CSI: Channel State Information)への依存性の少ない無線リソース割当技術である。したがって、高速移動するユーザが多い環境や、電車やバスなど複数の高速移動端末に対して無線でのバックホールを適用するシナリオなど、直交多重に比較してNOMAの性能改善が期待できるシナリオは数多くあるものと考えられる。更に、5Gが重視している超多数の端末が同時接続するようなシナリオでは、端末からのCSIフィードバック量も膨大になる可能性があり、フィードバックへの依存性の少ないNOMAは非常に有効であると考えられる。

NOMAの実現のためには受信機におけるデバイスの処理能力の向上が必須である。信号処理能力の向上がムーアの法則に従うとすれば、将来SICのような高度な信号処理が、一部の高性能端末だけではなく一般的な端末にも広く実装され得るものと考えられる。なお、SICを含むネットワークアシスト型の干渉キャンセラ(NAICS: Network-Assisted Interference Cancellation and Suppression)は、既に3GPPにおいて仕様化が完了しており、これはセル間干渉の抑制を主目的としている。今後、NAICSの拡張技術として、セル内において複数ユーザを多重するNOMAは3GPPにおいて検討されていく。

## 5. ま と め

本稿では、多様な要求を満たしながら伝送効率を極限まで高めることを目指して、ドコモがこれまでに検討を行ってきた5Gの無線アクセス方式に関する要求条件、技術コンセプト、要素技術について概説した。5Gの無線インタフェースの標準化は2020年のサービス開始を考慮すると、3GPPにおけるLTE Release 14頃(2016年当初)から開始されるものと予想される。5Gの要素技術の実証実験を進めるため、2013年からドコモでは世界の主要ベンダとの実験協力実施に向けた調整を進め、現在、Alcatel-Lucent, Ericsson, 富士通, Huawei, 三菱電機, 日本電気, Nokia, Samsungの8社との個別実験協力を実施するに至っている<sup>(7), (8)</sup>。実証実験の目的は、5Gで要求される性能を実現すること、及び現在利用されている周波数よりも高い6GHzを超える周波数を有効活用するための技術、単位面積当りのシス

テム容量を増大させる技術、M2Mや様々なアプリケーションに適した無線伝送方法など、幅広い周波数帯における様々な無線アクセス技術をフィールド実験にて検証することである。

## 文 献

- (1) 総務省, 我が国の移動通信トラヒックの現状, March 2014.
- (2) 「高度化C-RANアーキテクチャ」を実現する基地局装置の開発を開始, NTTドコモ報道発表資料, Feb. 2013年2月.  
[https://www.nttdocomo.co.jp/info/news\\_release/2013/02/21\\_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2013/02/21_00.html)
- (3) 3GPP RWS-120010, "Requirements, candidate solutions & technology roadmap for LTE Rel-12 onward," DOCOMO, June 2012.
- (4) Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, and H. Ishii, "Future steps of LTE-A: Evolution toward integration of local area and wide area systems," IEEE Wirel. Commun., vol. 20, no. 1, pp. 12-18, Feb. 2013.
- (5) H. Ishii, Y. Kishiyama, and H. Takahashi, "A novel architecture for LTE-B: C-plane/U-plane split and phantom cell concept," IEEE Globecom, pp. 624-630, Anaheim, USA, Dec. 2012.
- (6) A. Benjebbour, A. Li, Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Harada, and T. Nakamura, "System-level performance of downlink NOMA for future LTE enhancements," IEEE Globecom, pp. 66-70, Atlanta, USA, Dec. 2013.
- (7) "世界主要ベンダーと5G実験で協力," NTTドコモ報道発表資料, May 2014.  
[https://www.nttdocomo.co.jp/info/news\\_release/2014/05/08\\_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2014/05/08_00.html)
- (8) "5Gの屋外実験で4.5Gbpsの超高速通信に成功," NTTドコモ報道発表資料, March 2015, [https://www.nttdocomo.co.jp/info/news\\_release/2015/03/02\\_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2015/03/02_00.html)

(平成26年12月2日受付 平成27年1月28日最終受付)



ベンジャブール アナス (正員: シニア会員)

1999京大・工・電気卒。2004同大学院情報科学研究科博士課程了。同年(株)NTTドコモ入社。以来、将来無線アクセス技術の研究及び標準化に従事。現在、同社先進技術研究所・5G推進室研究主任。工博。2006年度本学会学術奨励賞受賞。



岸山 祥久 (正員)

1998北大・工卒。2000同大学院修士課程了。2010同大学院博士課程了。2000(株)NTTドコモ入社。以来、4G/5G無線アクセス技術の研究開発、及び3GPPでのLTE/LTE-Advanced標準化に従事。現在、(株)NTTドコモ先進技術研究所5G推進室主任研究員。



中村 武宏 (正員)

1990横浜国大大学院修士了。1990日本電信電話株式会社(NTT)入社。1992からNTTドコモにて移動通信方式の研究開発及び標準化に従事。1997からARIBでの移動通信システム標準化に参加。現在、高度無線通信研究委員会2020 and Beyond AdHocリーダー。5Gモバイル推進フォーラム企画委員会委員長代理。1999から3GPPでの標準化に参加。2005-2013 3GPP TSG-RAN副議長及び議長を歴任。