

5G時代に向けたドコモR&Dの現在・未来

各分野の現状と進化

5G時代を支える 無線アクセスネットワーク

無線アクセス開発部 あべ た さだゆき 安部田 貞行
5Gイノベーション推進室 なかむら たけひろ 中村 武宏

2018年6月に、3GPPにおいて5G標準仕様の策定が完了した。5Gではさらなる高速・大容量、低遅延、多数端末接続などによって、新たな産業の創出や、社会的課題の解決が期待されており、日本を含め、世界の主要国において2019～2020年頃の商用導入が検討されている。本稿では、ドコモの考える5Gの世界観を紹介するとともに、5Gの展開シナリオ、および5Gのさらなる発展に向けた展望について解説する。

1. まえがき

スマートフォンの普及に伴い、ソーシャルネットワークサービス、ビデオストリーミングなどのモバイルサービスの利用拡大が進み、携帯電話のデータトラフィックの増加が続いている。このような状況ではあるものの、ラッシュアワーの駅周辺など、一定のエリア内にユーザが過密になっている状況でさえも、携帯電話システムの十分な設備容量を確保することは事業者の責務であり、ユーザがストレスを感じることなく通信を行うためには、無線ネットワークのさらなる高速・大容量化が必要となる。一

方、あらゆるモノがインターネットにつながるIoT（Internet of Things）を実現し、他の業界の企業や団体との連携による新たな産業の創出や、社会的課題の解決への貢献をしていくことへの期待も高まっている。IoTでは、移動中のデバイスや、電源確保が難しいなど通信環境が整備されていない場所にあるデバイスとの通信が多く想定されることから、無線ネットワークの役割が重要になる。さらに多数のデバイスが同時接続するといった特徴もあるため、実現に向けては無線ネットワークの高速・大容量化の観点だけではなく、端末の低消費電力化、エリアのカバレッジ拡大、高信頼化、低遅延化、低価格化

などの観点からも対応が必要となる。

これらの要求に応えるために、ドコモでは2010年頃より第5世代移動通信システム（5G）の研究開発に着手し、移動通信の国際標準化団体である3GPP（3rd Generation Partnership Project）において、標準仕様の策定に積極的に貢献してきた。2018年6月には、3GPPで5G標準仕様が完成し、これにより日本を含め、世界の主要国において2019～2020年頃に5Gの商用導入が予定されている。

本稿では、ドコモの考える5Gの世界観を紹介し、それを実現するための5Gの主な技術および展開シナリオについて解説する。最後に、5Gのさらなる発展に向けた展望について述べる。

2. 5Gがめざす世界

2G（PDC（Personal Digital Cellular）^{*1}、PDC-P（Packet）^{*2}）から3G（W-CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）、HSPA（High Speed Packet Access）^{*3}）、3Gから4G（LTE（Long Term Evolution）、LTE-Advanced）への最も大きな進化は、データ通信における高速・大容量化である。3Gから4Gは、通信速度としては10倍から50倍もの高速化、容量としては3倍から5倍の拡大を実現している。ドコモが4Gを導入したのは2010年であるが、ほぼ同じ時期にスマートフォンが普及し始めた。その後スマートフォンの進化とともに、4Gネットワークへの移行と通信速度の向上が進んでいる。現在もその進化の途中であるが、2018年9月現在、ドコモでは最大受信速度988Mbpsを実現するに至っている。いわば、4Gはスマートフォンとともに成長し、快適で便利な生活を提供するのに必須のツールとなっている。

それでは、5Gではどのようなネットワークが期待されるだろうか。ドコモは5Gがめざす世界観として、「あらゆるモノが繋がり、安心してストレスな

くサービスが利用できる、高度で柔軟なネットワークを構築する。このネットワークは、産業の枠を超えた新たなエコシステム^{*4}の創出を可能とする」を掲げている。

ITU-R（International Telecommunication Union - Radiocommunication sector）や3GPPでも議論されているように、5Gの方向性として3つの大きな軸がある。「高速・大容量」「低遅延」、そして「多数端末接続」である。高速・大容量はこれまでの世代でも実現してきた方向性であるが、4K/8Kといったより高精細な画像の配信や、VR（Virtual Reality）などに代表される臨場感の高いメディアサービスを提供するにはさらなる高度化が必要不可欠である。一方、低遅延は自動運転制御支援や工場の自動化などへの応用において期待が寄せられている。多数端末接続は、スマートシティ、スマートアグリカルチャーなどの、いわゆるIoTデバイスを用いたサービスを提供するのに重要な技術である。前述の3つの軸と想定されるサービスとの関係性を図1に示す。それぞれのサービスは技術の複合で示されており、3つの軸を伸ばすことで、さらに“あらゆるもの”への繋がりを提供し、またサービスに必要な機能を柔軟に展開できるネットワークを構築することで、新たなサービスの創出が可能となる。

3. 5Gを実現する無線アクセス

3.1 3GPP標準化の推進

ドコモでは2010年頃より5Gの実用化を見据えた技術検討を開始しており、新たな時代を切り開くため技術コンセプトの提案や伝送実験、5G関連研究プロジェクトの推進などさまざまな活動を進めてきた。2015年9月に行われた「3GPP RAN Workshop on 5G」会合においては、高速・大容量化を最初のターゲットとして段階的な5G標準仕様策定を進めることを提案し、LTE/LTE-Advancedと5Gの新たな

*1 PDC：日本国内で普及した第2世代移動通信方式の1つで、ドコモなどが採用した。

*2 PDC-P：PDC方式にパケット交換技術を適用することにより、高速で伝達誤りの少ない柔軟なデータ転送を可能とする移動パケット通信システム。

*3 HSPA：W-CDMAのパケットデータ通信を高速化した規格であ

り、下り（基地局から移動端末）方向を高速化したHSDPA（High Speed Downlink Packet Access）と上り（移動端末から基地局）方向を高速化したHSUPA（High Speed Uplink Packet Access）の総称である。



図1 5Gのめざす世界観

な無線アクセス方式技術であるNR（New Radio）との連携技術や、フロントホールインタフェース^{*5}のオープン化を含めた無線アクセスネットワークの標準化に関する提案を行った[1]。3GPPで具体的な検討作業が開始されてからは、多数の技術提案を行うだけではなく、5G NRの標準仕様策定の取りまとめ役（ラポータ^{*6}）として進捗管理や関係者との調整を図るとともに、仕様検討グループの議長や副議長役を務め、2018年6月の3GPPの5G標準仕様完成に貢献した。

3.2 主な5Gの無線技術

5Gの軸である高速・大容量、低遅延、多数端末接続を実現するために、3GPPで規定された技術について、その概要を解説する。

(1) 高速・大容量化を実現する技術

高速・大容量化の技術として期待されているのが、高周波数帯を利用した超広帯域伝送とMassive

MIMO（Massive Multiple Input Multiple Output）に代表されるアンテナ技術である。

4Gまでは6GHz以下の周波数に対する標準仕様が策定されているが、5Gでは超広帯域化を実現するために、6GHz以下の周波数だけではなく、高周波数帯として100GHz帯までの利用を想定した検討が進められている。現時点では、各国で5Gでの利用が具体的に検討されている周波数として、6GHz以下と25～40GHzの周波数レンジの中のいくつかの周波数帯を対象とした仕様化が進められている[2]。特に25～40GHzの周波数では、既存の6GHz以下の周波数帯とは電波伝搬特性が異なるため、高周波数帯の利用に適した新たな諸元（サブキャリア^{*7}間隔など）が規定され、400MHzの基本帯域幅が規定されている。これはLTEの基本帯域幅である20MHzの20倍に相当する。カバレッジは異なるが約20倍の容量増大、高速化が期待できる。

Massive MIMO [3] の概要を図2に示す。Massive

^{*4} エコシステム：複数の企業が事業活動などの分野で連携して、お互いの技術や資産を活かし、消費者や社会までも巻き込んで、研究開発から販売、宣伝、消費にいたる一連の流れを形作る共存共栄の仕組み。

^{*5} フロントホールインタフェース：無線基地局において、デジタル信号処理を担うベースバンド処理部と無線送受信を担う無線

部との間を光ファイバーで接続するリンクのインタフェース。
^{*6} ラポータ：Work Itemのような検討対象項目に対して、進捗の管理、議論のとりまとめ、議論結果をキャプチャしたテクニカルレポートのエディタなどを務める役職。

MIMOは多数のアンテナ素子を用いることで、送受信ビームの形状を制御し環境に応じた最適なエリア構成を実現する技術である。エリアカバレッジが

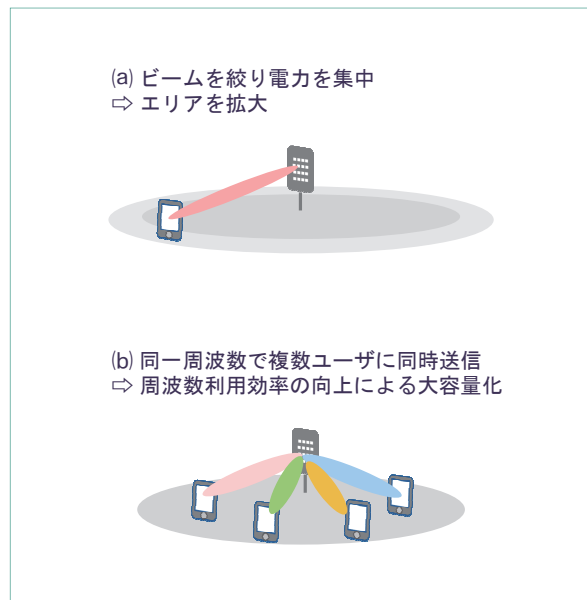


図2 Massive MIMO

重視される環境では、各アンテナの素子を同相^{*8}に合成することでエネルギーを一方方向に集中する（図2 (a)）。一方、ユーザ数が多い環境では、複数のビームを同時に生成し、等価的に小セルを複数つくり出して同時接続数を増加させることで大容量化を実現する（図2 (b)）。

(2)低遅延化を実現する技術

標準化で規定された、無線区間における遅延の短縮方法を図3に示す。5G NRでは無線の最小送信単位（TTI：Transmission Time Interval^{*9}）を短くすることで、さらなる遅延の短縮を実現している。従来の4Gでは1msであった送信単位を5G NRでは0.25msの送信単位でデータを送信することで、送信時間、復調、復号に要する時間を短縮している。また、さらなる低遅延技術として、受信したデータと同じサブフレーム内で受信完了のACK/NACK（ACKnowledgment/Negative ACK）^{*10}を送るself-containedの仕組みも検討されている。

さらに、低遅延サービスを実現するためには、

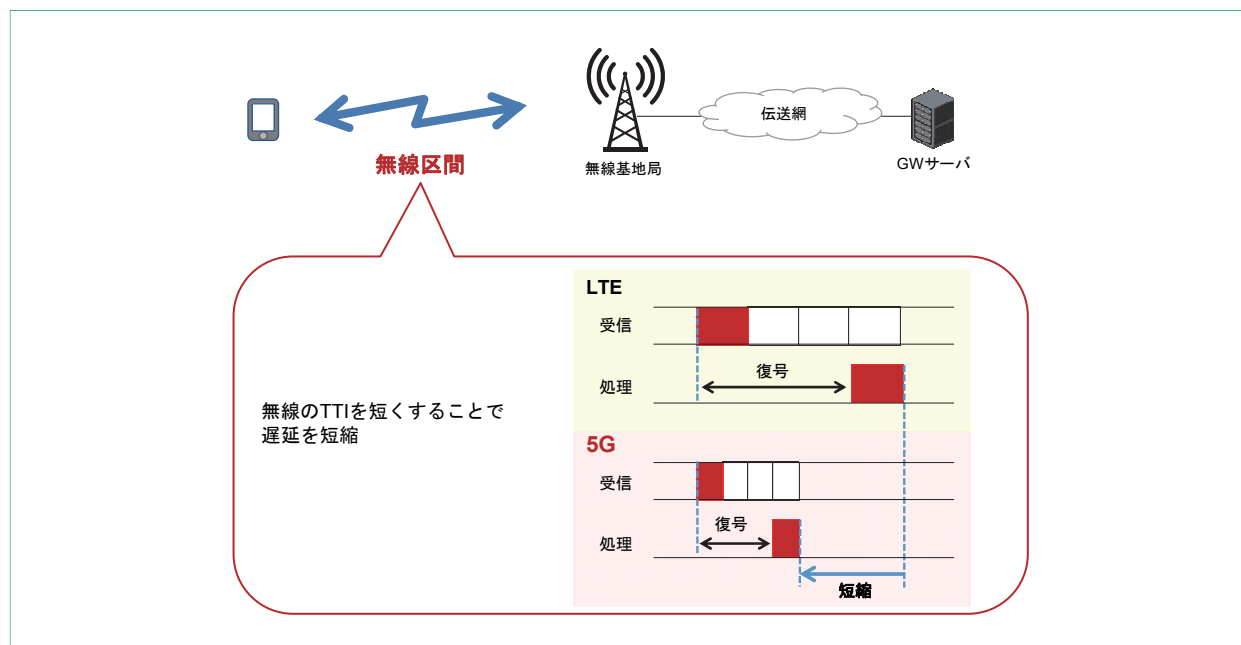


図3 無線区間における低遅延化

^{*7} サブキャリア：OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）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のことをいい、副搬送波とも呼ばれる。

^{*8} 同相：同位相のこと。周期的な運動をする異なる信号が、一周期の内の同じタイミングになる状態。

^{*9} TTI：信号を送信するための時間間隔。

^{*10} ACK/NACK：データ信号が正しく受信されたか否かを受信側から送信側へ通知する制御信号。

end-to-endでの遅延を短縮する必要があるため、無線区間のみでなく、有線区間での遅延の低減が必要である。例えば、大阪で通信しているユーザが東京のサーバにアクセスすると支配的な時間は有線区間になる。したがって、有線区間での遅延を短縮するために、よりエッジ（基地局）に近いところにサーバを設置するなどの方法が検討されている。

(3)多数端末接続を実現する技術

多数端末接続で想定されるユースケースとして、電源が必ずしも確保できない場所に環境センサや計量器などの無線機器を設置する状況が考えられる。このようなユースケースにおいては電池により電源を確保することになるが、特に多数の端末を分散して配置する場合には、電池交換が困難であるため、端末の電池寿命が重要な課題である。このようなユースケースでは少量のデータを低頻度で送ることが多いことから、非通信時（待受け時）の消費電力が端末の電池寿命に大きく影響する。このため図4に示すように、間欠受信の周期を延ばしたり、送信帯域幅を狭くしたりすることで、信号処理の簡易化

を実現することが標準仕様で規定されている。

4. 5Gの商用化に向けた取組み

4.1 5Gの展開シナリオ

これまで述べてきたように5Gでは、さまざまな用途に応じて必要なエリアに順次展開していくことを想定している。展開シナリオ例を図5に示す。ビジネス街、ショッピングモール、駅、スタジアムなどの超過密／超高トラフィックエリアでは、快適な通信を楽しんでいただくために、5Gの超広帯域の特性を活かし大容量化を推進して行く。また、工場におけるスマートマニュファクチャリング、医療分野での遠隔診断・治療など低遅延が要求される環境や、農業エリアでのスマートアグリカルチャー、都市部あるいは郊外における住宅街などのスマートシティ／スマートホームを実現する多数端末接続が求められる環境などに5Gを導入していくことで、新たな産業の創出や、社会的課題の解決、地方創生に貢献していく。

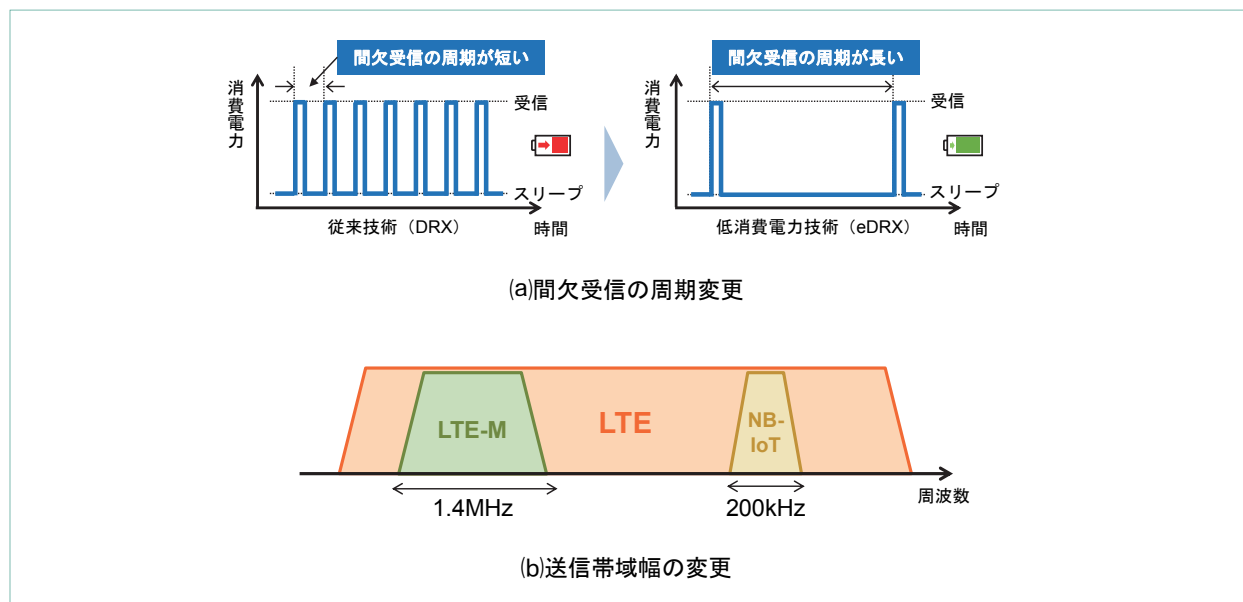


図4 低消費電力化技術

4.2 5Gのスムーズな導入に向けて

(1)高度化C-RAN^{*11}によるLTE-Advancedの導入

ドコモはLTE-Advancedの導入時に、図6に示す

高度化C-RAN [4] [5] のコンセプトを導入した。本コンセプトは、キャリアアグリゲーション (CA : Carrier Aggregation)^{*12}を適用したヘテロロジーニア

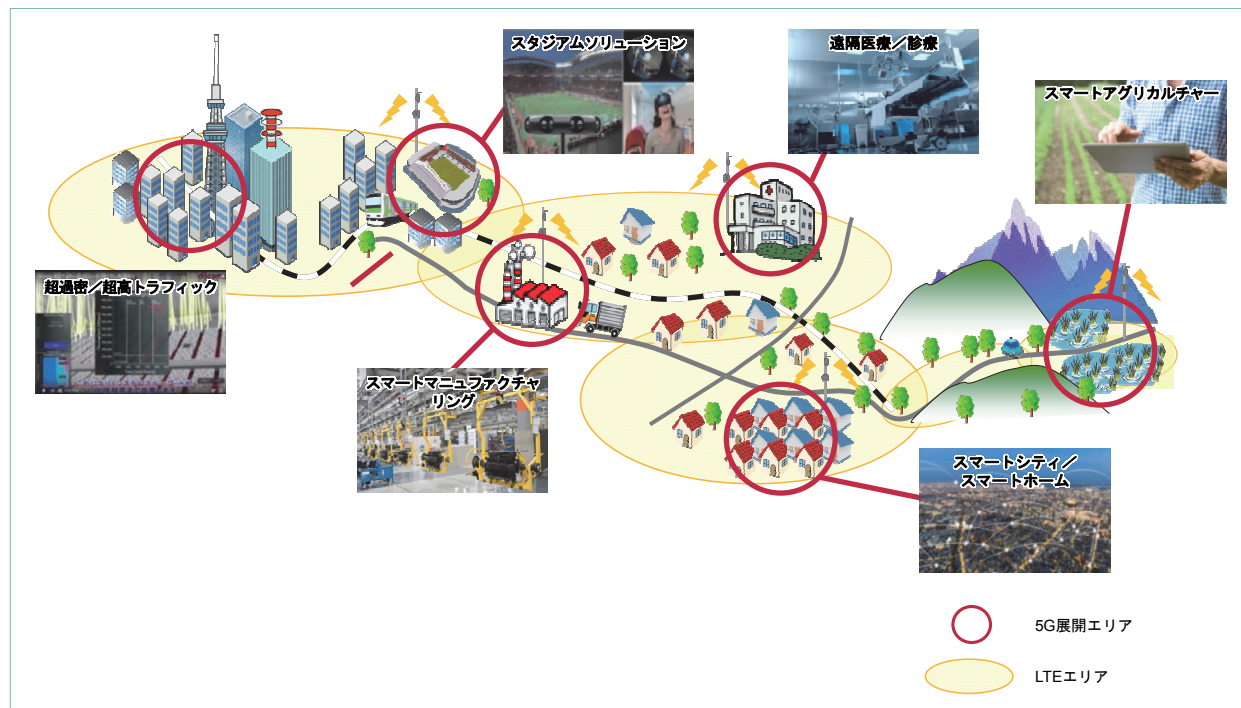


図5 5Gの展開シナリオ例

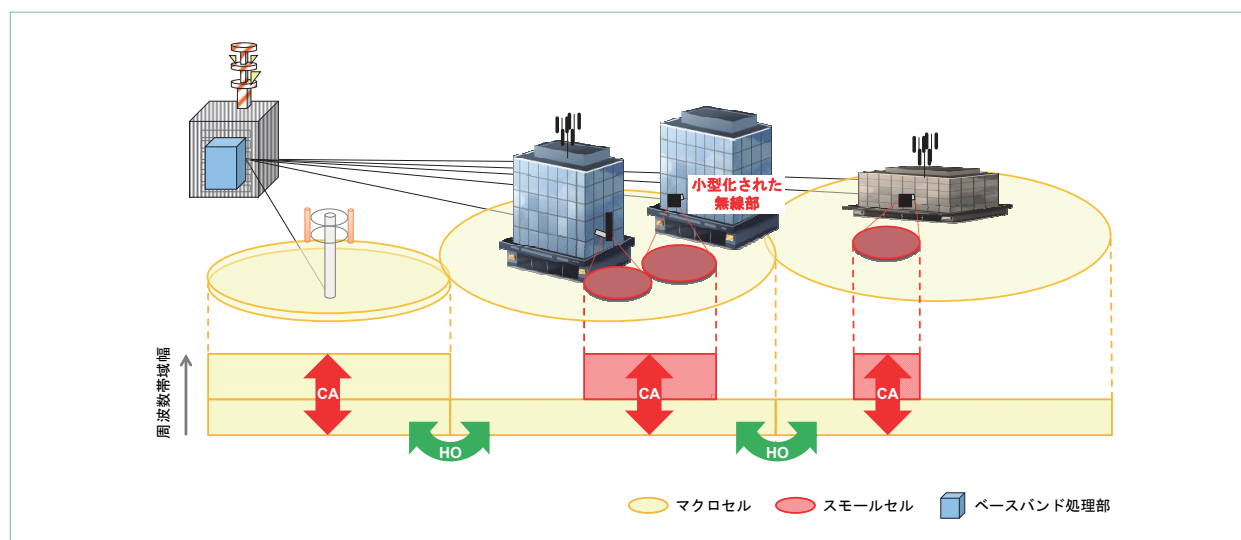


図6 高度化C-RANのコンセプト

^{*11} 高度化C-RAN：ドコモが提唱する新しいネットワークアーキテクチャで、LTE-Advancedの主要な技術であるキャリアアグリゲーション（^{*12}参照）技術を活用し、広域エリアをカバーするマクロセル（^{*16}参照）と局所的なエリアをカバーするスモールセル（^{*15}参照）を同一の基地局制御部により高度に連携させる無線アクセスネットワーク。

^{*12} キャリアアグリゲーション（CA）：複数のキャリアを用いて同時に送受信することにより、既存のLTEとの互換性を保ちながら広帯域化を行い、高速伝送を実現する技術。

スネットワーク^{*13}を柔軟に展開するために、ベースバンド^{*14}処理部を集約化し、キャリアアグリゲーションをする複数の周波数の組合せを柔軟に設定可能としている。これにより、トラフィックが高いところにスモールセル^{*15}（マクロセル^{*16}のエリア上に容量目的で展開するため、以下ではアドオンセルと呼ぶ）を設置することで、必要な容量増加が柔軟にできる。さらに、アドオンセルをどのような場所に設置しても、マクロセルにより基地局と端末間の接続を維持できるため、隣接するアドオンセルへの頻繁なハンドオーバー（HO：HandOver）^{*17}を抑えることができ、移動中の品質を劣化させることなく、高速・大容量化を実現することが可能になる。

(2)高度化C-RANの5Gへの拡張

これまで述べてきた通り、5Gではさまざまな新サービスの提供が期待されており、必要な場所に必要ネットワークを柔軟に展開し、かつ接続性を担保する必要がある。ドコモでは高度化C-RANのコンセプトを5Gに拡張し、LTEと5GのDC（Dual Connectivity）^{*18}を用いたネットワークの展開を考

えている。図7はドコモらが主張し、3GPPで合意されたNSA（Non-StandAlone）^{*19}のネットワーク構成図である。LTEをアンカーとしているため、接続性に関してはこれまでと同等の品質を確保しながら、5G NRのエリアにおいては5Gの特徴を活かしたサービスの提供が可能となっている。

5. 5Gのさらなる発展に向けた展望

5Gではさまざまなユースケースが想定されているため、柔軟なネットワークの構築が必要である。都市部、ルーラル、インドア、スタジアム、工場といったエリアにおいて、最適な装置を選択し、設置できることが望ましい。そのためには、無線部と制御部の間のフロントホールインタフェースのオープン化を実現し、異なるベンダ装置の接続を可能とする必要があり、ドコモではオープン化に向けた活動に積極的に取り組んでいる [6]。さらに、異なるサービスを柔軟にサポートするには、制御部を仮想化し、拡張性に富んだ装置を実用化することが期待

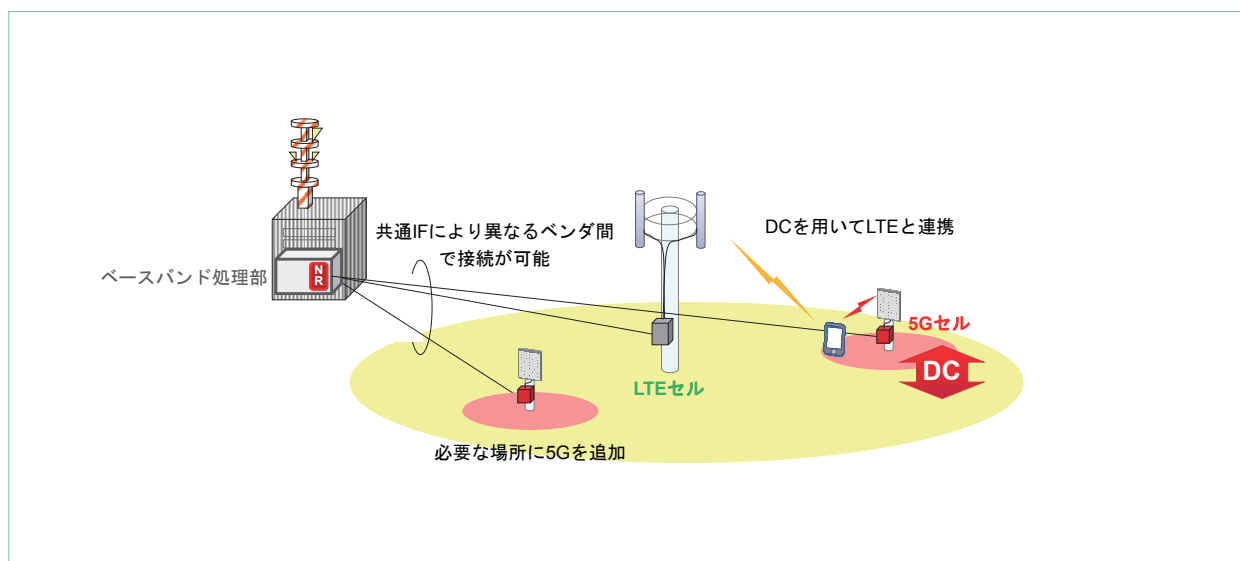


図7 DCを用いた5G NSAの展開

^{*13} ヘテロジーニアスネットワーク：送信電力が異なる基地局がオーバーレイするネットワーク構成。広域エリアをカバーするマクロセル（^{*16}参照）基地局に、より送信電力の小さいスモールセル（^{*15}参照）基地局をオーバーレイして用いる。

^{*14} 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。

^{*15} スモールセル：セルとは移動通信システムにおいて、1つの基地局アンテナがカバーするエリアであり、スモールセルは送信電力が大きいマクロセル（^{*16}参照）と比較して送信電力が小さいセルの総称。

^{*16} マクロセル：カバーされるエリアが比較的広いセル（一般的に半径数百メートル以上）のこと。

される。

一方、5Gの普及に伴い、新たなデバイスの登場や、新たなサービスの創出が期待されるため、それに伴い、無線アクセスネットワークに対しても新たな要求が発生し、それを解決する技術が求められてくると考えられる。2020年以降の世界を予想するのは容易ではないが、無線アクセスネットワークとしては時代の先を見据えたものである必要がある。例として、あらゆるものをつなぐ際に、デバイスからみれば常時接続に見えるが、ネットワークとして通信のタイミングのみ接続できるようにすればより効率的であり、そのような接続には超低遅延接続、超低遅延伝送が必要とされることが挙げられる。また、マシンタイプの通信が普及すれば、例えば人間が認知する画像などとは別次元のメタデータの高速伝送が要求されてくると考えられる。これらは5Gの要求条件の延長上といえるかもしれないが、想像以上の世界を作り上げるには新たなブレイクスルーが必要であろう。また、端末の電池持ち時間の拡大は携帯電話の初期からの課題ではあるが、エネルギーハーベスティング^{*20}のように空中の電波を拾うことで充電が可能になればそれが一気に解決できるかもしれない。5Gの円滑な導入だけではなく、5Gのさらなる発展に向けて将来技術の検討を続け、モバイル通信の発展に貢献し続けたい。

6. あとがき

2020年の本格商用化が予定されている5Gについて、その狙い、主要技術、展開シナリオについて概要を解説した。5Gによりあらゆる“つながり”を提供し、新たな産業の創出や、社会的課題の解決、地方創生に貢献して行く。

文 献

- [1] 永田 聡, 岸山 祥久, 中村 武宏: “5G標準化に向けた3GPPの取り組み,” 電子情報通信学会無線通信システム研究会, Vol.115, No.233, Oct. 2015.
- [2] 3GPP TS38.104 V.15.0.0: “NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 15),” Dec. 2017.
- [3] 武田, ほか: “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,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.23-32, Oct. 2017.
- [4] 安部田 貞行, 新 博行: “超高速ブロードバンドサービスを実現する無線アクセスネットワーク,” 信学会総合大会論文集, Mar. 2012.
- [5] 清嶋, ほか: “高度化C-RANアーキテクチャを活用したLTE-Advanced商用開発 —アドオンセルによる容量拡大と高度なセル間連携による安定した通信の実現—,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.11-18, Jul. 2015.
- [6] NTTドコモ報道発表資料: “5G時代におけるマルチベンダー-RANの実現に向けてxRAN Forumにてフロントホール仕様を公開,” Apr. 2018.
https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_180413_00.pdf

^{*17} ハンドオーバー (HO): 通信中の移動端末が移動に伴い基地局をまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

^{*18} DC: 1つの端末が複数の基地局に異なる周波数帯を用いて接続する技術。

^{*19} NSA: LTE (eLTE (enhanced LTE)) との併用を前提とした5Gの無線アクセスネットワークで、既存の4Gのインフラを活

用できることから早く商用化できるメリットがある。

^{*20} エネルギーハーベスティング: 周りの環境から微小なエネルギーを収穫 (ハーベスト) して、電力に変換する技術のこと。