

2020年のサービス実現に向けた5G技術特集

ドコモの5Gに向けた取組み
—2020年での5Gサービス実現に向けて—

ドコモは2020年に向けて、さらに高速・大容量なMBBや、あらゆるモノが無線でネットワークに接続するIoTといった、さまざまな新しいサービスを実現可能とする次世代移動通信システム「5G」の研究開発に取り組んでいる。本稿では、こういった取組みの概要として、5Gで想定されるサービスや要求条件、ドコモとしての5Gの定義や技術コンセプト、および、2020年のサービス実現に向けた標準化戦略や活動について解説する。

先進技術研究所 5G推進室

きしやま よしひさ
岸山 祥久

ベンジャブール アナス

ながた さとし おくむら ゆきひこ
永田 聡 奥村 幸彦なかむら たけひろ
中村 武宏

1. まえがき

今日、スマートフォンやタブレット端末の普及によって、いつでもどこでも気軽にインターネットを通じてサービスやアプリ、動画や音楽などが楽しめるようになったが、より高度なサービスへの需要はますます高まっている。また2010年以降、移動通信のトラフィック量は急激に増加してきており、通信事業者には、増加したトラフィックを収容しつつ、より一層高いユーザ品質でこれらのサービスをあらゆる環境で提供するモバイルブロードバンド（MBB：

Mobile Broad Band）の実現が期待されている。さらに、あらゆるモノが無線でネットワークに接続する世界であるIoT（Internet of Things）^{*1}が近年非常に注目されており、通信事業者にとって、IoTによって開拓される新領域のサービスを支えるインフラ（基盤）の提供は、今後ますます重要になってくるものと考えられる。

このような期待を背景に、第4世代（4G）であるLTEおよびLTE-Advancedの次世代となる第5世代の移動通信システム、すなわち「5G」の議論が近年非常に活発化しており、

世界各地で5Gの推進団体や研究プロジェクトが誕生し、そのコンセプトや要求条件が盛んに議論されている。また、移動通信システムの標準化団体である3GPP（3rd Generation Partnership Project）では、2015年9月に「3GPP RAN Workshop on 5G」会合を開催し、これを皮切りに本格的な5Gの標準化議論が開始された。

ドコモでは、2010年頃から5Gの検討を開始し、技術コンセプトの提案や、伝送実験、標準化議論を主導するなど、さまざまな活動を進めている。本稿では、こういった取組み

の概要として、5Gで想定されるサービスや要求条件、ドコモとしての5Gの定義や技術コンセプト、および、2020年のサービス実現に向けた標準化戦略や活動について解説する。

2. 5Gのサービスと要求条件

2.1 5G時代のサービス

サービスそのものは移動通信の世代とは直接的には関係なく、2Gや3Gでもスマートフォンが利用できるように、5Gで提供できるものの多くは4Gでも提供可能だと考えられる。しかしながら、同じサービスであっても通信技術の向上によって、

より快適に、よりさまざまな環境で楽しめるようになり、やがて5Gの通信品質を前提とした新しいサービスも誕生し、いつしか5Gは普通のこと（「いつか、あたりまえになることを。」）になっていくと思われる。

5G時代に想定されるさまざまなサービスは、図1に示すようにMBBの拡張とIoTの、2つのトレンドに大別することができる。

①MBBの拡張、すなわち、高速・大容量・低遅延な通信方式によって、無線で提供されるサービスやアプリケーションはより豊かかつ高度になっていくものと考えられる。例えば、高精細

動画ストリーミング（4K^{*2}/8K^{*3}動画）、メディアリッチなソーシャルネットワークサービス、クラウド^{*4}の膨大なデータと緊密に連携した拡張現実感（AR：Augmented Reality）^{*5}のようなサービス、触覚や体の動きなどの音や映像以外のメディア通信（触覚通信）などが可能性として挙げられる。また、無線が人々にとってのライフラインとなり、自動運転のような安全で確実性を求められるサービスを提供するものになっていくことも考えられる。

②IoT、すなわち、あらゆるモノ



*2 4K：画像の画素数が3,840×2,160pixまたは4,096×2,340pixの表示形式。

*3 8K：画像の画素数が4Kのさらに4倍（横2倍×縦2倍）である表示形式。

*4 クラウド：ネットワーク経由でサービスを利用する形態、仕組み。利用状況に応じたサーバリソースの分配が可能のため、スケーラビリティが高い。

*5 拡張現実感（AR）：現実世界を写した映像に、電子的な情報を実際にそこにあるかのように重ねて、ユーザに提示する技術。

が無線でつながる世界では、車、住宅、家電、眼鏡、腕時計、アクセサリ、ロボット、センサなどが機器間通信（M2M：Machine to Machine）^{*6}によってネットワークに接続し、クラウドが膨大な情報を自動的かつ知的に管理・制御することで、無線ネットワークがユーザや企業にさまざまなサービスを提供するようになっていくことが予想される。

2.2 5Gの要求条件

5Gでは、将来期待されるさまざまなサービスの可能性に対応するため、これまでの移動通信システムに対する普遍的な要求条件に加え、IoTなど近年のトレンドに対応する新しい要

求条件も考慮する必要がある、図2に示すような幅広いものが想定されている。

①大容量化

近年、移動通信のトラフィック量は爆発的に増加しており、2020年代には、2010年比で1,000倍以上に達するとも予測されている。従って、そのような爆発的な増加に対処するためには、システム容量（単位面積当りでの通信速度の総量）の飛躍的な大容量化を実現することが必須であり、これは5Gにおける最も基本的な要求条件であると考えられる。

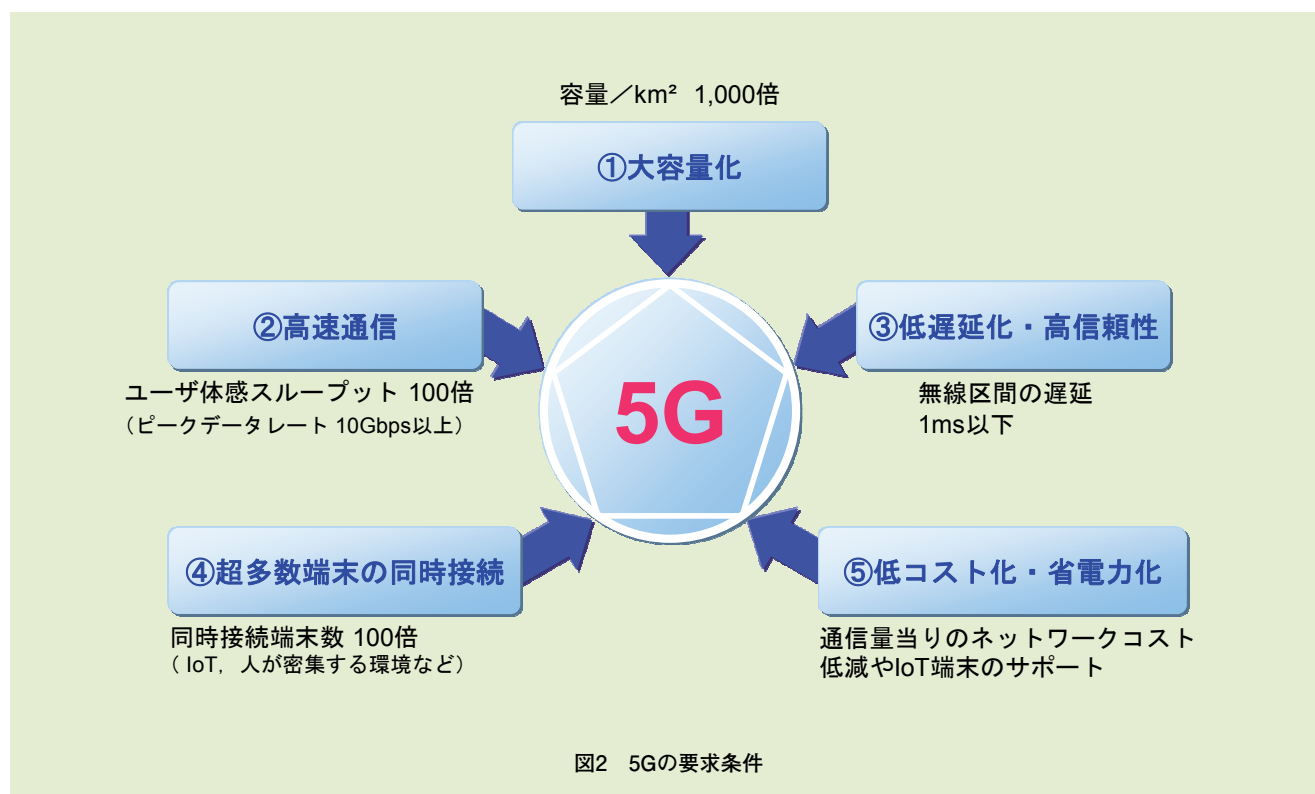
②高速通信

将来のリッチコンテンツやク

ラウドサービスなどの普及を考慮すると、データ通信速度の観点からも5Gは飛躍的な高速化を実現する必要がある。特に、時間帯や場所によらず、サービス提供に必要な通信品質を常に満たすことが重要である。具体的には、LTEと比較して100倍程度のユーザ体感速度（数100Mbps～1Gbps程度）を移動環境も含めたあらゆる環境で提供し、良好な無線環境でのピーク伝送速度では10Gbps以上の実現が目標である。

③低遅延化・高信頼性

触覚通信やARなど、従来と異なるレベルの低遅延が要求される新サービスの登場が、5G



^{*6} 機器間通信（M2M）：機械間で自動的に行われる情報通信のこと。

時代には期待されている。このため具体的には、無線区間での通信遅延をLTEの1/5となる1ms以下にまで低減することが5Gの要求条件である。また、自動運転などのように安全、確実であることが必要なサービスでは、低遅延に加えて高信頼性も要求される。

④超多数端末の同時接続

IoTによって無線ネットワークに常時接続する端末数が急激に増加することが予想されている。また、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、災害時のように多数の同時アクセスが想定される状況など、さまざまなシナリオで超多数端末の同時接続をサポートすることが必要とされる。

⑤低コスト化・省電力化

より良いサービスをユーザに提供するため、5Gでは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コストでサービスを提供する必要がある。このため、ユーザの通信量当りのネットワークコストを大幅に低減することが必要である。また、自然環境に優しいネットワークを提供するために、これらの高い性能を可能な限り省電力で提供していくことが要求される。さらに、ペットに装着する小型のセンサのようなIoT端末の普及を考慮すると、端末の観点か

らも低コスト化およびバッテリーの長寿命化は重要であり、無線ネットワークがこれらをサポートすることが要求される。

以上のような5Gの要求条件は、ドコモが参加している欧州プロジェクトのMETIS (Mobile and wireless communications Enablers for Twenty-twenty (2020) Information Society)*⁷や、世界の主要通信事業者のアライアンスであるNGMN (Next Generation Mobile Networks)*⁸においても同様に検討されている[1] [2]。

3. ドコモとしての5Gの定義とコンセプト

(1)2つのアプローチ

2020年に向けた無線アクセス技術の発展において、取り得るアプローチとして2つの方向性がある。すなわち、1つはLTEおよびLTE-Advancedをさらに進化させていくアプローチ、もう1つは全く新しい無線アクセス技術 (RAT: Radio Access Technology)*⁹を導入するアプローチである。前者は既存LTEシステムとの後方互換性 (バックワードコンパチビリティ) を保持しながら継続的に進化するものであるのに対し、後者はLTEとの後方互換性を維持するよりも、性能改善を優先させるアプローチである。

(2)ドコモのコンセプト (eLTE + New RAT)

図3に示すように、ドコモの5Gの

定義に対する考えは、継続的なLTE/LTE-Advancedの進化 (eLTE: enhanced LTE) と新たに導入されるRAT (New RAT) との組合せである。eLTEによって基本的なカバレージエリア*¹⁰やブロードキャストなどのサービスを提供しつつ、幅広い周波数帯を用いた広帯域化に適したNew RATによって飛躍的な高速・大容量化などの性能改善を実現するコンセプトである。5Gでは、既存の周波数帯でもシステム容量を改善することができる非直交アクセス (NOMA: Non-Orthogonal Multiple Access) [3]や、低遅延化を実現するための高速再送制御など、周波数帯によらず適用可能な無線アクセス技術も考えられている。これらの技術を既存周波数帯に適用する場合、LTEとの後方互換性を保持することが望ましく、eLTE的なアプローチが有望である。

また、センチメートル波 (3~30GHz) やミリ波 (30GHz以上) など、これまで移動通信で使われてこなかった高周波数帯においては、十分なカバレージを確保しつつ性能改善を図るため、無線パラメータの最適化や多数のアンテナ素子を用いるMassive MIMO技術[4]などを適用するNew RATの導入が必要である。

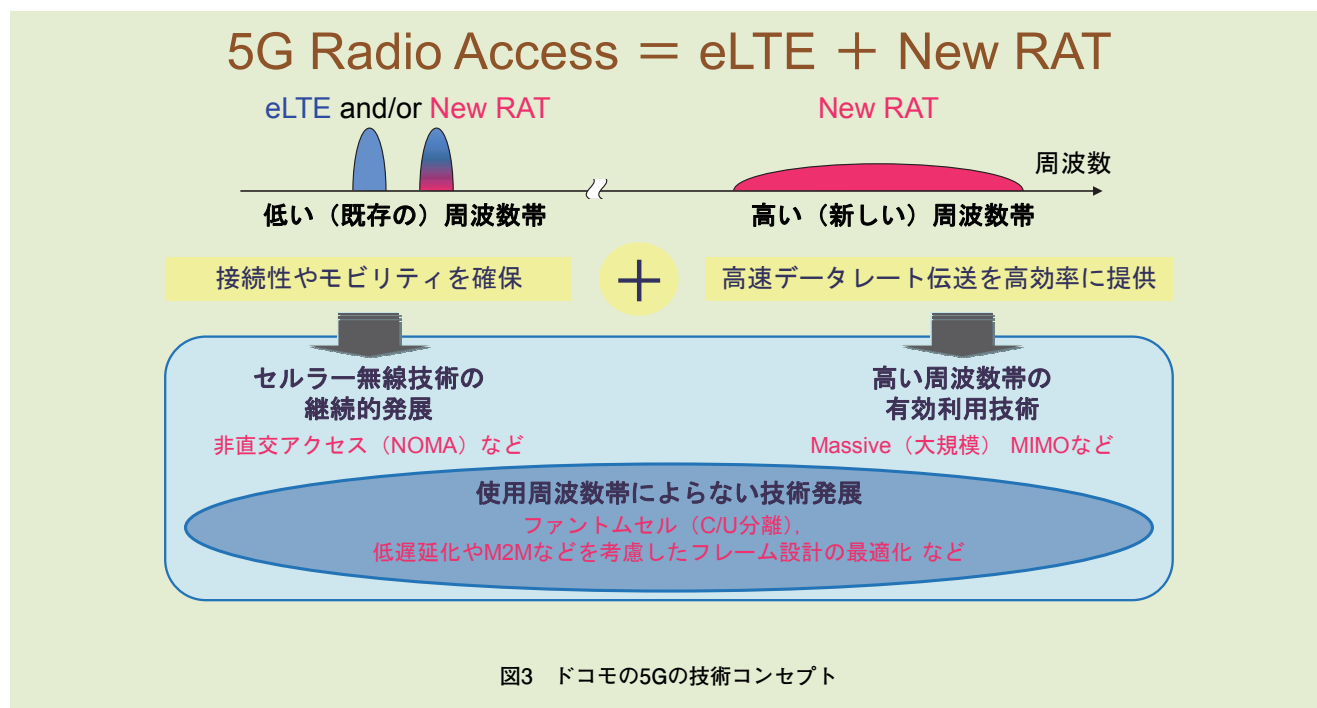
一方、New RATを特に早い段階で既存周波数帯に適用するには対応のゲインが必要であり、かつLTEと同一周波数で共存可能な設計とすることも考慮することが望ましい。

*7 METIS: 5Gに関するEUの研究プロジェクトで、期間は2012年11月~2015年4月。通信ベンダ、通信事業者、大学などが参加。

*8 NGMN: モバイルブロードバンドのさらなる発展を目指して要求条件や運用シナリオなどを検討し、産業界に貢献することを目的とした世界主要オペレータが主導する団体。

*9 無線アクセス技術 (RAT): LTE, 3G, GSMなどの無線アクセス技術のこと。

*10 カバレージエリア: 1基地局当りの移動局端末との通信を行うことができるエリア (セル半径)。カバレージが大きいほど設置する基地局数を低減できる。



(3)展開シナリオ

このようなeLTEとNew RATの組合せからなる5Gの展開シナリオの例を図4に示す。2020年をめざす最初の5G導入時においては、大容量化が必要な都市部エリアなどを中心に5Gすなわち、eLTEおよびNew RATを展開する。ここで、eLTEとNew RATは、キャリアアグリゲーション（CA）^{*11}やDC（Dual Connectivity）^{*12}技術[5]によって協調し、カバレッジを確保しつつ大容量化を実現する。将来的には5Gの展開エリアは都市部から郊外エリアまで幅広く展開され、ミリ波などの非常に高い周波数帯も必要に応じて追加されていくようになることが想定される。このような2020年以降における5Gの進化を、以下では5G+と呼ぶ。

4. 5Gの標準化戦略

4.1 段階的な標準化アプローチ

図5に示すように、ドコモでは2020年での5Gの初期導入をめざしているが、それ以降においても5G+として継続的に進化していくものと考えられる。2020年の5Gでは、既存周波数帯、それまでに利用可能となる新周波数帯、およびアンライセンズバンドが適用周波数帯の候補として考えられる。一方、その先の5G+においては、ITU-R（International Telecommunication Union-Radiocommunication sector）^{*13}におけるWRC（World Radiocommunication Conference）^{*14}-19の議論結果などに応じて新周波数帯が追加され、それに対応して無線やネットワーク

に適用する技術も拡張されていくことが想定される。

(1)段階的な標準化

New RATの導入を2020年に実現するためには、3GPPにおける最初の規格の標準化を2018年末頃までに完了する必要があると考えられる。一方、ITU-Rの5G（IMT-2020）の要求条件を満たす無線インタフェース規格の標準化は、ITU-Rのスケジュールに沿って3GPPでは2019年末頃までに完了しておけばよい。従って、段階的な標準化（前者が5G、後者が5G+に相当）が有効である。このような段階的なNew RATの標準化において、限られた時間で2020年の導入に向けた最初の規格を完成させるためには、最初から多くの機能を盛り込むことよりも、将来的な拡張性（フォワードコンパチビリティ）

^{*11} キャリアアグリゲーション（CA）：複数のコンポーネントキャリアを用いて同時に受信することで、LTEとの後方互換性を保ちながら広帯域化を実現する技術。

^{*12} DC：マスターとスレーブ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コンポーネントキャリアを用いて受信することで、広帯域化を実現する技術。

^{*13} ITU-R：ITUの無線通信部門で、無線通信に関する国際的な管理調整業務のほかに、映像の主観品質評価にかかわる方法論の勧告化を行っている。

^{*14} WRC：各周波数帯の利用方法、衛星軌道の利用方法、無線局の運用に関する各種規定、技術基準などをはじめとする国際的な電波秩序を規律する無線通信規則の改正を

行うための会議で、各国主管庁およびITUに登録している事業者などの関係団体が出席し、通常3～4年ごとに開催される。

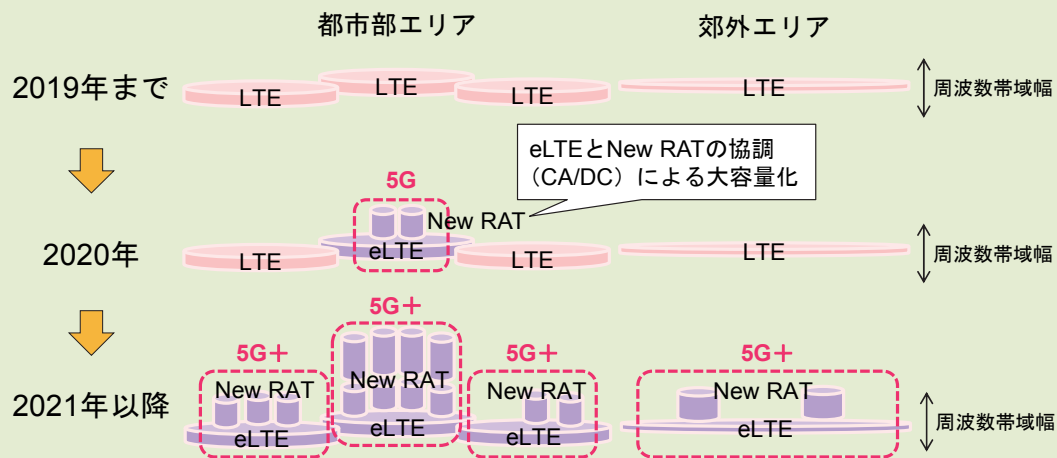


図4 5Gの展開イメージ

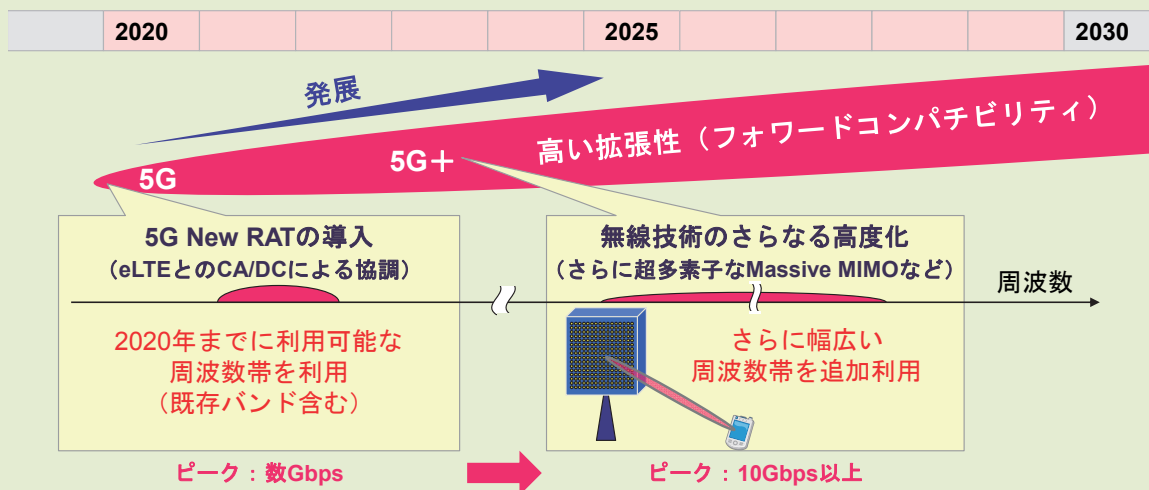


図5 5Gの初期導入と継続的な進化

ティ)を重視した基礎設計をしっかりと行うことを優先する必要がある。図6に示すように、5GはeLTEとNew RATの組合せによって構成されるとともに、5G+は5Gとの互換性を保持しながら連続的に進化する。これは

4GにおけるLTEとLTE-Advancedの互換性の関係と同様である。

(2)5G, 5G+におけるeLTEとNew RATの役割

前述したように、5GではMBBの拡張とIoTの双方がサービスのトレ

ンドとして考えられている。また、5Gは大容量化が必要な都市部などから順次エリアを拡大していく展開となることが想定される。従って、2020年の初期導入の段階では、図7に示すように、New RATは都市部な

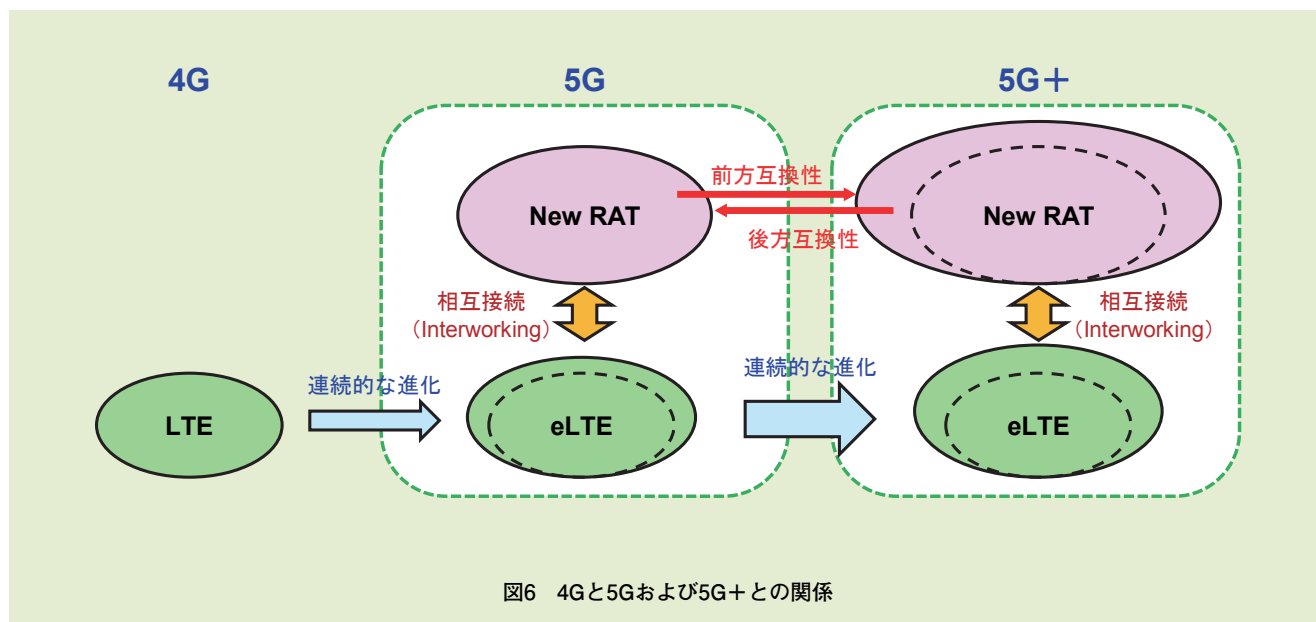


図6 4Gと5Gおよび5G+との関係

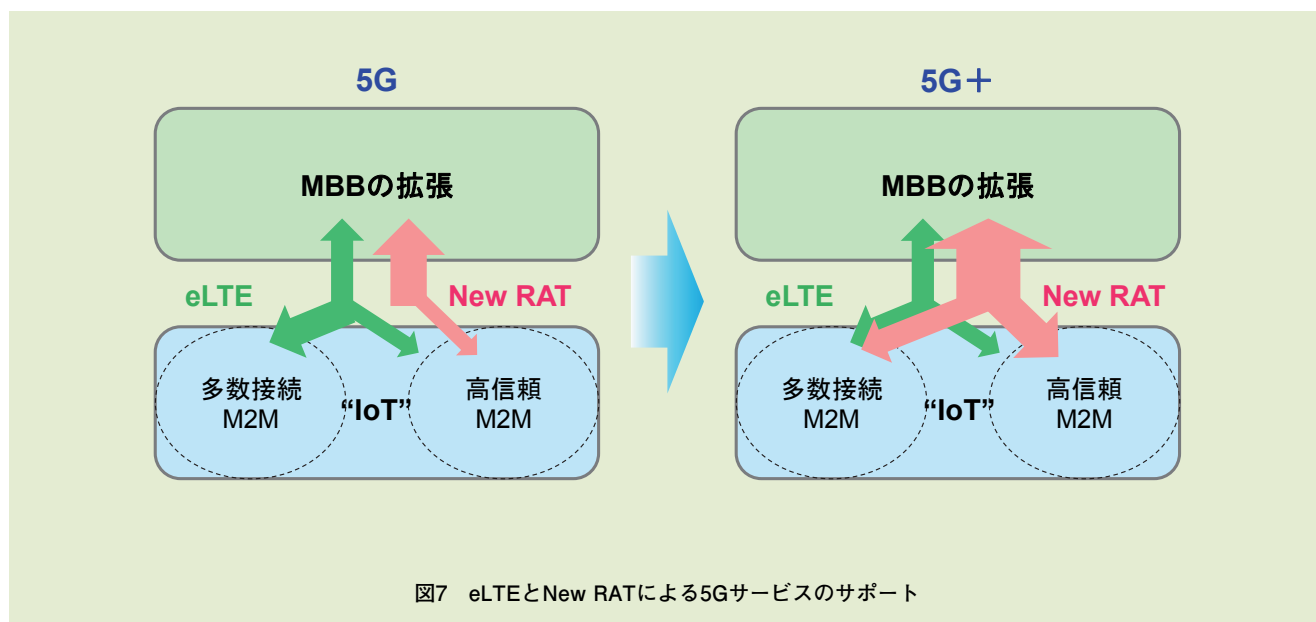


図7 eLTEとNew RATによる5Gサービスのサポート

どで要求される高速・大容量といったMBBの拡張を優先的にサポートし、それを補う形で、面的なカバレッジを有するeLTEがさまざまなIoTに関する機能、たとえば低コストなM2M端末をサポートするための機能や、高信頼性が要求されるM2M通信な

どの機能をサポートする。一方、将来的な5G+においては、New RATにも多くの機能が盛り込まれ、5G時代の未知のサービスを含むさまざまなサービスやシナリオを順次サポートしていくことが予想される。すなわち、2020年における5Gの

サービスはeLTEとNew RATの技術の組合せによって実現されるとドコモは考えている。図8に、2020年の初期導入をターゲットとした無線アクセス技術の候補を示す。これら技術の詳細は本特集記事にて解説する。

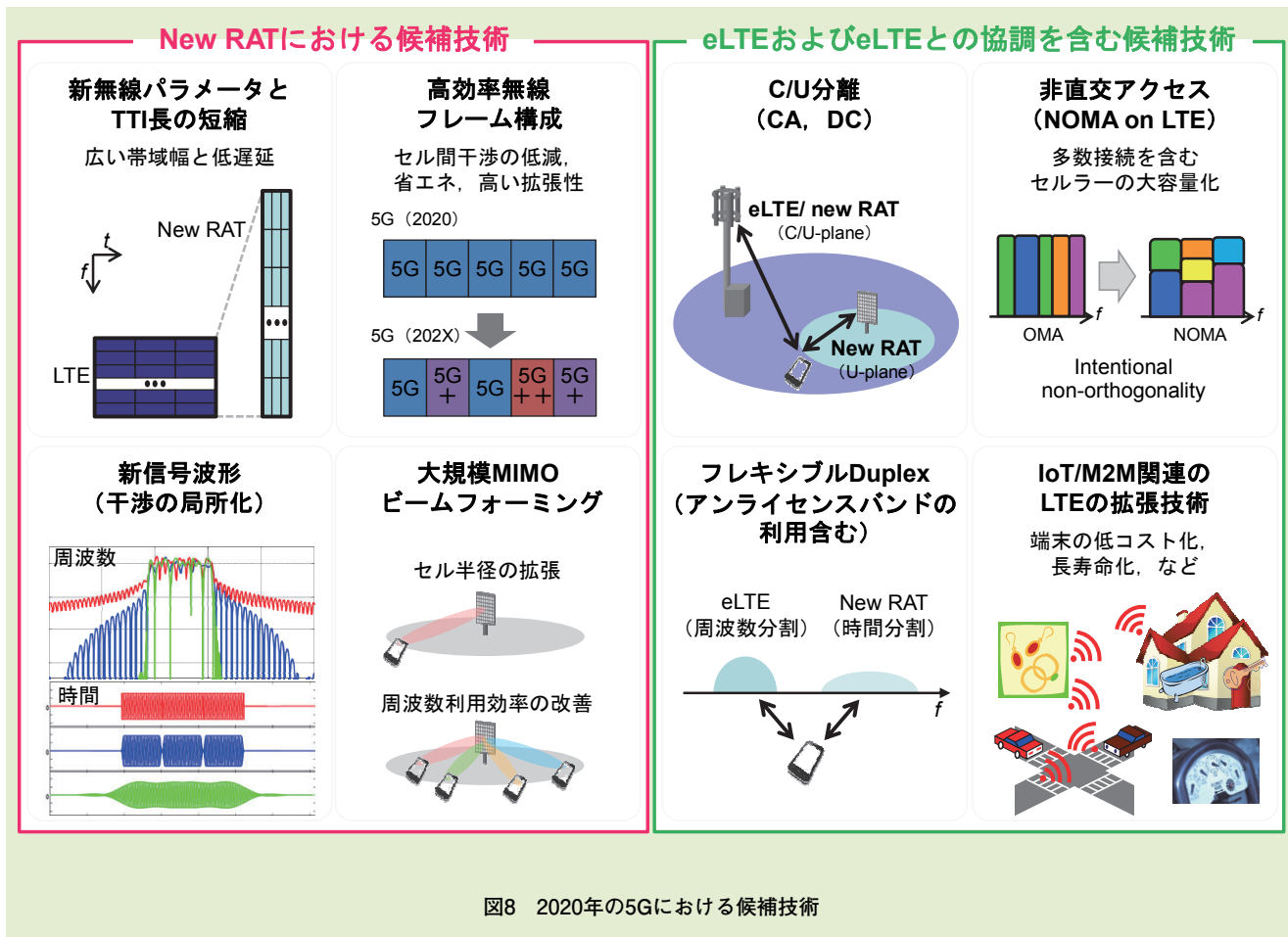


図8 2020年の5Gにおける候補技術

4.2 3GPP Workshop on 5G 概要

2015年9月に「3GPP Workshop on 5G」会合が開催され、3GPPにおける5G標準化が開始された。写真1にその様子を示す。会合には、外部団体（第5世代モバイル推進フォーラム（5GMF：5G Mobile Communications Promotion Forum）など）からの寄書10件、各企業からの寄書54件、複数企業による連名寄書3件の発表が行われ、活発な議論、質疑応答が交わされた。参加者は450名を超え、5Gに対して各社から高い

関心が寄せられた。

2020年の5Gサービス実現に標準規格を間に合わせるため、ドコモでは複数社の連名寄書およびドコモ単独の寄書により段階的な5Gの標準化アプローチを3GPPに提案した[6] [7]。議論の結果、段階的な5G標準化のアプローチについてはほぼコンセンサスが得られたが、各段階で重視する技術の中身については、各社さまざまな意見があり今後も議論を継続予定である。3GPPのRAN（Radio Access Network）議長によって標準化スケジュールに関する方針（予

定）として以下がまとめられた[8]。

- ・2015年9月から、チャネルモデルの基本検討（SI：Study Item）を開始（2015年12月までに高周波数帯の状況を議論し、2016年第1四半期からRAN WG1での検討を開始）
- ・2015年12月から、5Gの要求条件およびシナリオに関するSIを開始
- ・2016年3月から、5Gの技術に関するSIを開始（SI開始までに、段階的な標準化における機能や議論対象の優先度付けについて

合意形成を図る)

- ・ 2018年9月までにNew RATのPhase I仕様 (Release15) を完成
- ・ 2019年12月までにNew RATのPhase II仕様 (Release16) を完成

以上より想定される5Gおよび5G+のスケジュールを図9に示す。New RATのPhase I仕様を含む5Gが2020年に導入され、Phase II仕様はITU-Rの要求条件を満たすとともに、5G+として数年後に展開されていくイメージである。



写真1 3GPPワークショップの様子

5. 5G関連活動の概要

5.1 国内外の5G動向

数年前より5Gに対する検討機運が世界的に高まり、複数の国際的な団体や、各国各地域での5G研究団体にて5Gに関する基本的な検討が進められている。

・ ITU-R

ITU-RではWP 5D (Working Party 5D) にて、5Gに相当する将来のIMTシステムをIMT-2020と称し、実現すべき主要な能力の抽出や、その定量的な値についての取りまとめ作業が進められている。今後、要求条件などの詳細検討を2016年2月の会合より開始し、2020年中の仕様完成を予定している。

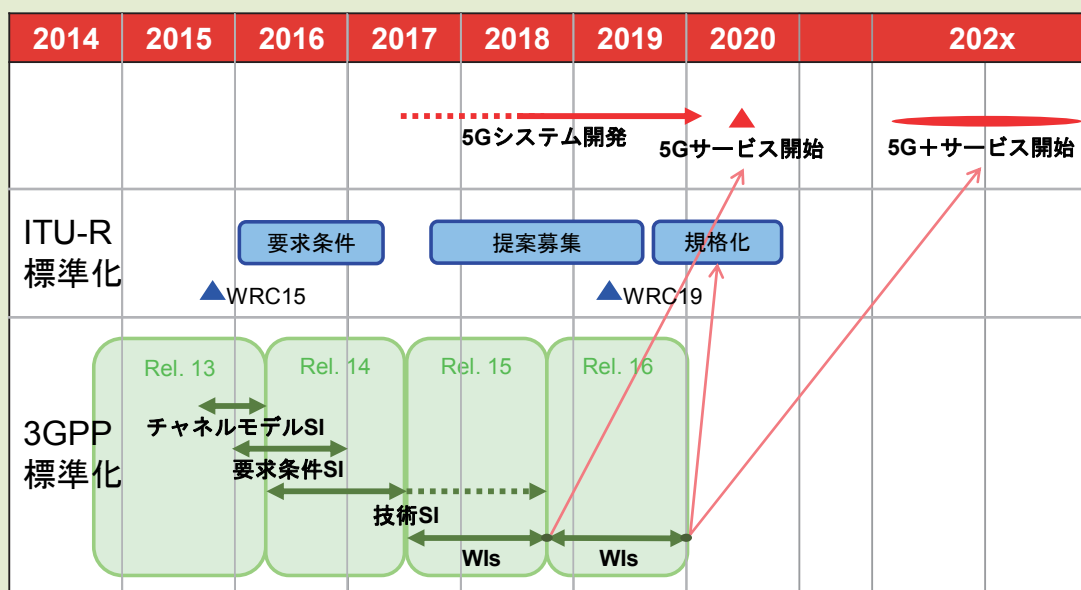


図9 標準化スケジュールの想定 (見込み)

・ NGMN

世界の通信事業者のアライアンスであるNGMNにおいても、2015年3月に、5Gに向けたユースケース、要求条件および技術候補に関するWhite Paperを発表している[2].

・ 欧州におけるプロジェクト活動

欧州はFP7 (7th Framework Programme) と呼ばれるフレームワークとして、2012年11月に始まった産学連携プロジェクトMETISをはじめ、5GNow (5th Generation Non-Orthogonal Waveforms for Asynchronous Signalling), MiWaveS (Beyond 2020 Heterogeneous Wireless Networks with Millimeter-Wave Small Cell Access and Backhauling), iJOIN (Interworking and JOINT Design of an Open Access and Backhaul Network Architecture for Small Cells based on Cloud Networks) など、さまざまなプロジェクトにて5Gの研究を推進している。特に、METISは、2015年4月のプロジェクト完了までに30を超える成果物(Deliverables)を公開し、研究コミュニティにおける5Gのコンセプト形成に貢献している。また、欧州委員会^{*15}は2014年からの7年間で公的資金800億ユーロを投じて研究開発・イノベーションを促進する枠組みとしてHorizon2020を発表し、その中で5G関連のプロジェクト

調整を行う機関として、2013年12月に5G-PPP (Public Private Partnership) が設立された。

・ アジアにおけるプロジェクト活動

アジアでも5G関連のプロジェクトによって5Gの検討が推進されている。中国は「IMT-2020 (5G) 推進組 (IMT-2020 (5G) Promotion Group)」と「FuTURE Mobile Communication Forum」の2つの組織、および中国の国家プロジェクトである863計画・5Gプロジェクトを立ち上げている。韓国においても産学官で5G Forumを発足し、2015年3月に白書を発表するに至っている。

・ 日本における活動

日本においても、世界的な5G検討機運の高まりに応じて、日本としての2020年代の移動通信展望や技術展望をとりまとめ、ITU-R WP5Dへの寄与や各地域の5G検討団体との連携など、国内外での5Gの推進に向けた活動が開始されている。特に、東京での夏季オリンピック／パラリンピック開催にあわせた、5G移動通信システムの2020年導入に向け、産学官での協力による活動が進められている。2013年9月に、電波産業会 (ARIB: Association of Radio Industries and Business)^{*16}の高度無線通信研究委員会配下に20B AH (2020 and Beyond Ad Hoc) が設立され、検討結果をWhite

Paperとしてとりまとめ公開されている[9]。さらに、2014年9月に総務省の主導により、5GMFが発足し、無線アクセス技術をはじめ、ネットワーク技術、さらにアプリケーション分野までを対象に検討を進めている[10]。5GMFでは、2017年より5Gの総合実証実験を実施する予定である。

5.2 ドコモにおける活動

ドコモでは、LTEの商用サービスが開始された2010年頃から5Gに関する検討を開始し、前述のさまざまな5G関連プロジェクトにおいて積極的に参画してきた。また、ドコモの5Gの技術コンセプトを可視化しつつ、5Gシステムにおける候補技術による大容量化を評価する目的で、2012年よりリアルタイムシミュレータの開発を進めてきた。図10に示すように、5Gにおける無線アクセス技術、広帯域化、スモールセル^{*17}の組合せによって、実際の東京の都市環境を模擬したモデルにおいて、LTEのマクロセル^{*18}環境と比較して1,000倍以上の大容量化を実現できることを示し、CEATEC Japan^{*19} 2013において、総務大臣賞を受賞した。

5Gの伝送実験としては、2012年12月に東京工業大学との共同研究で、世界初の屋外移動環境での10Gbps伝送に成功している[11]。さらに、2013年より世界の主要ベンダとの個別協力による5G実験を開始し、2015

^{*15} 欧州委員会：欧州連合の政策執行機関。委員会は法案の提出、決定事項の実施、基本条約の支持など、日常の連合の運営を担っている。

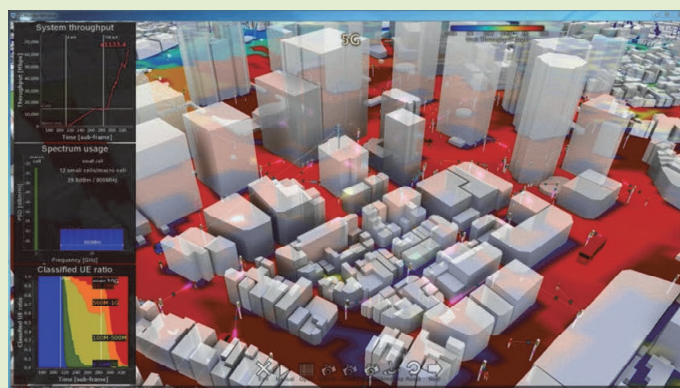
^{*16} 電波産業会 (ARIB)：日本における通信・放送分野における電波利用システムに関する標準規格の策定などを行う総務省所管の社団法人。

^{*17} 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。

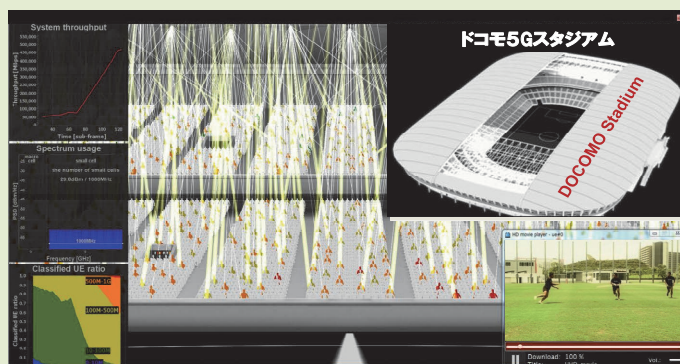
^{*18} マクロセル：主に屋外をカバーする半径数

百メートルから数十キロメートルの通信可能エリア。通常、鉄塔上やビルの屋上などにアンテナが設置される。

^{*19} CEATEC Japan：アジア最大規模の映像・情報・通信の国際展示会。



都市部（新宿）モデル



スタジアムモデル

図10 5Gシミュレータによるデモイメージ

年11月現在では計13社との実験協力を合意するに至っている[12]。また、NOMA技術の屋内外伝送実験[4]や高周波数帯の電波伝搬測定[13]など、ドコモ独自の実験にも取り組んでいる。さらに、5G時代のコアネットワークについても検討を進めている[14]。これら取組みの詳細についても、本特集記事にて紹介する。

6. あとがき

本稿では、さらに高速・大容量なMBBや、あらゆるモノが無線でネットワークに接続するIoTといった、

さまざまなサービスを実現可能とする次世代移动通信システム5Gの研究開発の取組みの概要について、世界動向を交えつつ解説した。ドコモでは2020年での5Gサービスの実現、およびそれ以降の継続的な5Gの発展（5G+）に向けて、伝送実験や来年以降本格化していく5Gの標準化を推進していく。

文 献

- [1] METIS: “Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system,” Apr. 2013.

https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D1.1_v1.pdf
[2] NGMN: “NGMN 5G White Paper,” Feb. 2015.

https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf
[3] アナス, ほか: “5G無線アクセス技術,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.18-29, Jan. 2016.

- [4] 須山, ほか: “5Gマルチアンテナ技術,” 本誌, Vol.23, No.4, pp.30-39, Jan. 2016.

- [5] 内野, ほか: “さらなる高速大容量化を実現するキャリアアグリゲーション高度化およびDual Connectivity技術,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.35-45, Jul. 2015.

- [6] 3GPP RWS-150036: "Industry vision and schedule for the new radio part of the next generation radio technology," RAN Workshop on 5G, Sep. 2015.
- [7] 3GPP RWS-150051: "5G vision for 2020 and beyond," RAN Workshop on 5G, Sep. 2015.
- [8] 3GPP RWS-150073: "RAN workshop on 5G: chairman summary," RAN Workshop on 5G, Sep. 2015.
- [9] ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group: "Mobile Communications Systems for 2020 and beyond," Oct. 2014.
<http://www.arib.or.jp/english/20bah-wp-100.pdf>
- [10] 第5世代モバイル推進フォーラム (5GMF) ホームページ.
<http://5gmf.jp/>
- [11] 須山, ほか: "超高速移動通信の実現に向けた10Gbps屋外無線伝送実験," 本誌, Vol.21, No.4, pp.22-27, Jan. 2014.
- [12] 原田, ほか: "世界主要ベンダとの5G伝送実験," 本誌, Vol.23, No.4, pp.59-68, Jan. 2016.
- [13] 今井, ほか: "5Gのための電波伝搬," 本誌, Vol.23, No.4, pp.40-48, Jan. 2016.
- [14] 下城, ほか: "5G時代に向けた将来コアネットワーク," 本誌, Vol.23, No.4, pp.49-58, Jan. 2016.