

5G および5G-Advanced 標準化動向

5Gによる商用サービスが世界各国で広まっており、日本国内においても2020年3月の商用サービス開始以降、エリアの拡大、ミリ波帯の活用、スタンドアローン（SA）方式の提供開始など5Gネットワークの展開が進められています。3GPPでは5Gのさらなる進化に向け、Release 17仕様を2022年6月に完成させ、現在、Release 18以降の仕様を5G-Advancedとして検討開始しています。本稿では3GPPにおける5Gおよび5G-Advancedの標準化動向を概説します。

はらだ ひろき ながた さとし
原田 浩樹 永田 聡
みのくち あつし たけだ しんじ
巳之口 淳 竹田 真二

ウメシュ アニール

NTTドコモ

はじめに

移動通信の技術は約10年ごとに新世代の方式へと進化・発展しており、近年では2018年に仕様化が完了した3GPP (3rd Generation Partnership Project) Release 15 (Rel-15) が第5世代移動通信システム (5G) として世界各国で商用化されています。日本でもNTTドコモは2020年3月に5G商用サービスを開始し、5Gの高速・大容量、低遅延・高信頼、多数端末同時接続といった技術的特長によって、4Gまでのモバイルブロードバンドサービスをさらに高度化させることに加え、これからの産業や社会を支える基盤技術として新たな価値を提供することをめざしています。

一方で、5Gの商用化が始まろうとしていたころから、次の世代である第6世代移動通信システム (6G) についての検討プロジェクトが世界各国で

立ち上がり、6G関連のホワイトペーパーも国内外の研究機関や主要ベンダが続々と発表するようになってきています。NTTドコモも2020年1月に「ドコモ6Gホワイトペーパー」の初版を公開し、現在4.0版まで更新を行っています⁽¹⁾。6Gは2030年ごろの商用化をめざして検討が行われています。6Gおよび6Gにつながる5Gの進化により、モバイルマルチメディアに続く新たなマーケットへの価値提供の波がもたらされることが期待されています。3GPPでは、Rel-15の仕様策定後、その発展としてRel-16およびRel-17仕様にて5Gの機能拡張や性能改善を行ってきており、またRel-18以降を「5G-Advanced」と定義し、2022年からRel-18仕様策定作業を開始しました。

本稿では、5Gおよび5G-Advancedの標準化動向として、Rel-17までの5G標準化の主な内容、5G-Advancedの位置付けや3GPP Rel-18検討項目および仕様化項目について概説します。

5G および5G-Advanced 標準化動向

■ Rel-17までの5G 標準化概要

5Gの最初の仕様であるRel-15では、モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB: enhanced Mobile Broad Band)^{*1}に重点を置き、新たな無線アクセス技術 (NR: New Radio)^{*2}の標準仕様およびLTEの高度化技術の標準仕様が2018年6月に策定されました。Rel-16の仕様策定では、モバイルブロードバンドのさらなる高度化技術に加えて、高信頼・低遅延通信 (URLLC: Ultra-Reliable and Low Latency Communication)^{*3}向けの高度化技術や、産業分野でのIoT

- *1 モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB): 高速大容量を必要とする移動体通信の総称。
- *2 5G NR: 5G向けに策定された無線方式規格。4Gと比較して高い周波数帯 (例えば、3.6 GHz帯、4.5 GHz帯や28 GHz帯) などを活用した通信の高速化や、高度化されたIoTの実現を目的とした低遅延・高信頼な通信が可能。
- *3 高信頼・低遅延通信 (URLLC): 低遅延かつ、高信頼性を必要とする通信の総称。

* 本特集は「NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル」(Vol.30, No.3, 2022年10月) に掲載された内容を編集したものです。

(Internet of Things) を促進する IIoT (Industrial IoT) *4 といった新規事業を創出するための拡張技術が、2020年6月に規定されました。

Rel-17では、Rel-15およびRel-16において導入された機能に対する拡張が行われたほか、新規シナリオ・ユースケースに対応するため、52.6 GHzまでから71 GHzまでへの5G利用可能周波数帯の拡張、さらなるエリア拡大に向け衛星を活用した非地上ネットワーク (NTN: Non-Terrestrial Network) *5 のサポート、ウェアラブル端末や工場用センサデバイス、監視カメラ向けの低コストNR端末カテゴリ (RedCap: Reduced Capability) の追加、大規模障害が発生したネットワークの端末を救済するための災害時ローミングのサポート、ドローンの識別や認証認可を支える仕組みの検討などが行われ、2022年6月に仕様策定が完了しました。Rel-17における5Gの高度化の概要については、本特集記事にて紹介します^{(2)~(4)}。

■5G-Advancedの位置付け

3GPP は、2021年4月のPCG (Project Co-ordination Group) *6 #46会合において、Rel-18以降を5G-Advancedと定義することを決定しました。これまでもRel-8以降をLTE、Rel-10以降をLTE-Advanced、Rel-13以降をLTE-Advanced Pro、Rel-15以降を5Gと定義しており、新たな機能やサービスが提供されるリリース群を過去のリリース群と区別するためにこれらの名称が用いられてきました。5G-Advancedは2020年代後半を商用ターゲットとしており、2030年ごろをターゲットとした6Gへのス

テップになります。2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムラインを図1に示します。5G-Advancedの最初のリリースであるRel-18は、2021年12月に検討・仕様化項目が合意され、仕様化が始まりました。仕様化完了予定は2023年12月です。図の6G関連のスケジュールは2030年ごろの商用化というターゲットから逆算した予想であり、今後の3GPP Releaseのスケジュールや6Gとの対応関係も現時点では未定ですが、5G-Advancedの標準化は6G仕様ができる直前のRel-18~20となると考えられます。

5G-Advancedについて今後どのような検討・仕様化を行っていくかは3GPPでの議論次第ですが、5G仕様ができる直前のRel-12~14を振り返ると、そこで検討・仕様化された項目には主に以下の3点の役割がありました。

(1) 商用サービス中の現行世代の移動通信システムの改善

現行世代の移動通信システムが商用開始されて数年が経ったタイミングで、運用上見えてきた課題への対処や性能改善を標準化上検討・仕様化し、早期に商用の現行世代システムをアッ

グレードすることは、運用上の課題解決に加え、前世代システムから現行世代システムへの移行のさらなる促進にもつながります。具体的には、4GにおいてはRel-12で仕様化された下りリンク256QAM (Quadrature Amplitude Modulation) *7 のサポートやTDD (Time Division Duplex) *8 キャリアとFDD (Frequency Division Duplex) *9 キャリアのCA (Carrier Aggregation) *10 のサポートなどが挙げられ、これらの機能が商用導入されたことにより、4Gのピークスループットが向上し、3Gから4Gへの世代移行にもつながりました。

(2) IoTなどの新サービス領域への対応

Rel-12~14において検討・仕様化された技術の中でも特に注目を集めたものとして、IoTやLPWA (Low Power Wide Area) *11 向け仕様であるLTE-MTC (Machine Type Communication) *12 やNB (Narrow Band) -IoT *13 があります。これらの技術はIoT時代の到来に対してタイムリーに仕様策定・商用化されたことでIoT市場の拡大を促進し、今日においてもさらなる市場の成長が期待されて

*4 IIoT: 工場などにおける産業用機器への通信の総称。

*5 非地上ネットワーク (NTN): 衛星やHAPSなどの非陸上系媒体を利用して、通信エリアが地上に限定されず、空・海・宇宙などのあらゆる場所に通信エリアが拡張されたネットワーク。

*6 PCG: 3GPPの最高意思決定機関。3GPP活動全体の計画や進捗管理などを行います。

*7 256QAM: 変調方式の種類。256QAMは振幅と位相が異なる256通りの信号点に情報ビットを変調。1回の変調で8ビットの情報を伝送することができます。

*8 TDD: 上りリンクと下りリンクで同じ周波数を用い、時間スロットで分割して信号伝送を行う方式。

*9 FDD: 上りリンクと下りリンクで、異なる周波数を用いて信号伝送を行う方式。

*10 CA: 複数のコンポーネントキャリアを用いて同時に送受信することで広帯域化を実現する技術。

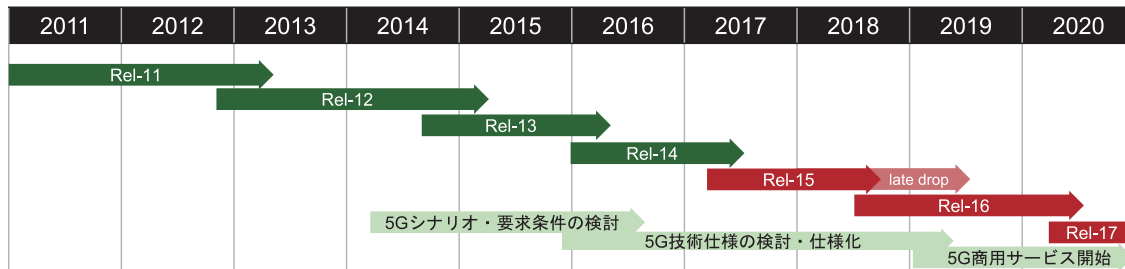
*11 LPWA: 低消費電力でキロメートルレベルの広い領域を通信範囲にできる無線通信技術。

*12 LTE-MTC: 通常のLTEの帯域の一部を用いてIoT向けにデータ通信を行う、LTE通信仕様の1つ。

*13 NB-IoT: LTE-MTCよりもさらに狭い周波数帯を用いてIoT (センサなど) 向けにより低速なデータ通信を行います、LTE通信仕様の1つ。

4G→

5G



5G→

6G

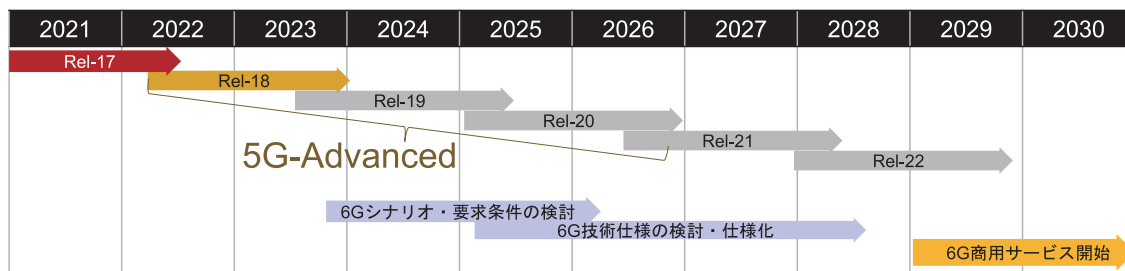


図1 2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムライン

います。また、同リリースで検討・仕様化された端末間通信技術に基づく公共安全無線PS (Public Safety)-LTE^{*14}や車通信LTE-V2X (Vehicle to X)^{*15}なども新たなサービス領域として導入され、今後も市場の広がりが期待されます。

(3) 次世代移動通信システムを見据えた新規技術の検討・仕様化

Rel-12~14では、商用の4Gネットワーク向けには広く導入はされなかったものの、その次世代の移動通信システムである5Gにおける基本的な機能へとつながった新機能が複数検討・仕様化されました。具体的には、2つの基地局に同時に接続するDual connectivity、3次元空間におけるビームフォーミング^{*16}を考慮したFull-Dimension MIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*17}、低遅延化のためサブフレーム^{*18}より短い単位でデータ送信を行うShort TTI

(Transmission Time Interval)、基地局からの動的な送信指示を使わずに上りリンク送信を行うAutonomous uplink、などが挙げられます。

■ Rel-18検討項目および仕様化項目

3GPPは、2021年6月にTSG RAN (Technical Specification Group Radio Access Network)^{*19}でのRel-18 workshopを、2021年9月にTSG SA (Service and System Aspects)^{*20}でのRel-18 workshop

を開催しました。また、各社からの提案に基づきRel-18検討・仕様化項目に関する議論をworkshop後にも継続的に行い、2021年12月および2022年3月にRel-18検討・仕様化項目を決定しました。Rel-18の標準化スケジュールは文献(5)に、Rel-18の全検討項目および仕様化項目は文献(6)にまとめられています。Rel-18の検討項目および仕様化項目は、モバイルブロードバンドの進化とさまざまな業界への

*14 PS-LTE：警察や消防など公共安全のためにLTEを使って展開されるネットワークやサービスの総称。
 *15 LTE-V2X：車車間の直接通信 (V2V：Vehicle to Vehicle)、車と路側機 (道路脇に設置されている無線通信設備) 間の直接通信 (V2I：Vehicle to Infrastructure)、車両と歩行者間の直接通信 (V2P：Vehicle to Pedestrian)、LTE網を経由して通信する広域通信 (基地局経由通信、V2N：Vehicle to Network) などの総称。
 *16 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。

*17 Full-Dimension MIMO：複数の送受信アンテナを用いて信号伝送を行うMIMO伝送法において水平方向と垂直方向の両方で複数のアンテナ素子を用い、3次元的に空間を活用する方法。
 *18 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14 OFDMシンボル) から構成。
 *19 TSG RAN：3GPPにおいて、技術仕様の策定を担うグループの1つ。無線インタフェース仕様や無線アクセスネットワークインタフェース仕様などを策定。
 *20 TSG SA：3GPPにおいて、技術仕様の策定を担うグループの1つ。サービス要求条件、アーキテクチャ、セキュリティに関する仕様などを策定。

5G展開、短期的なニーズと中長期的なニーズ、デバイスの進化とネットワークの進化のそれぞれの観点でバランスのとれた内容となっています。数多くの検討項目および仕様化項目の中から、前述した5G-Advancedの位置付けや5G-Advancedへの期待を踏まえ、いくつかの項目を紹介します。

(1) 上りリンク通信の性能改善

5Gの商用導入後、ピーク通信速度や実効速度が4Gと比較して向上していますが、主に下りリンク通信での速度向上となっていることが多く、上りリンク通信の実効速度は4Gとあまり変わらず数十Mbit/s程度であることが多々あります。一般に下りリンクのトラフィックは上りリンクのトラフィックよりも多く、また下りリンク、すなわち基地局の送信電力は、上りリンク、すなわち携帯端末の送信電力よりも大きくなります。このため、下りリンクと上りリンクの通信速度や通信品質に差があるのは、無線リソースの効率的な割当ての観点や送信電力の差の観点では必然ともいえます。

一方で5Gのユースケースにおいては、リアルタイムのストリーミング配信やセンサ端末からの情報収集、ホームルータのように固定回線の代替として5G利用をする場合の上りリンク通信など、複数のユースケースで上りリンクの性能向上が求められています。

このような背景からRel-18では多くの会社から上りリンク通信の性能改善を検討・仕様化することが提案され、いくつかの項目が合意されました。具体的には、ホームルータや車載端末、工業用デバイスなどを想定した複数アンテナパネルでの同時送信や、4より

多いレイヤ数のMIMO送信のサポート、複数の上りリンク用キャリアの動的な切替えによる効率的な活用、端末送信電力を向上させるための拡張などが、仕様化に向けて検討されています^{(7)~(9)}。

(2) NRによるIoTサポート

通信事業者にとって、過去の世代から新しい世代の移动通信システムへスムーズに移行を進めることは非常に重要であり、複数の世代の移动通信システムを維持・運用し続けることは効率的ではありません。このため、5Gが商用導入された後の2020年代に3Gサービスを終了することが多くの事業者から発表されています。また5Gは、4Gからのスムーズな移行のためLTEとNRを併用するNSA (Non-StandAlone)^{*21}方式で導入されるケースが多く、NRのみを用いるSA方式への置換えが進んでおり、6Gが導入される2030年ごろには4Gサービスの終了が検討されると考えられます。

一方、IoTデバイスは低コスト、低消費電力で長期間運用されることが求められるため、新しい世代の移动通信システムへの置換えが進みにくく、過去の世代の移动通信システムが長く使用され続ける課題があります。例えば、2010年代後半に導入されたIoTデバイスは使用可能年数が10年程度であり、2020年代後半に置換えが必要となる可能性があります。このときLTEのIoTデバイスを継続するかどうかで状況が異なり、新たにNRのIoTデバイスおよびネットワークを導入せず、LTEのデバイスを継続した場合には2030年代後半まで4Gのサービスを終了できなくなる可能性があります。

このような背景のもと、5GではRel-17において、従来のIoT向けLTE仕様とNR仕様の間あたりをターゲットとして、性能やサポートする機能を抑えることでコストを安くする簡易NR端末 (RedCap) 仕様を規定し、Rel-18では従来のIoT向けLTE仕様の一部を置換え可能となるようなさらなる簡易NR端末 (eRedCap: enhanced RedCap) 仕様の検討・仕様化が提案され、合意されました⁽¹⁰⁾。NRおよびLTEの端末仕様ターゲットを図2に示します。

(3) 5GS (5G System)^{*22}によるIndustrial IoTサポート

産業内閉域網での各種制御にかかわる通信をサポートするIndustrial IoTは、5Gの新サービスと考えられています。3GPPでは、Rel-16からサービス提供のために必要となる時刻同期や確定性通信の実現に向けた仕様化を進め、Rel-17で完成しました。

Rel-18では、5GSが提供するIndustrial IoTの性能を一層高めるため、特に、5GS内通信のエンドツーエンドでの低遅延性向上の検討が合意されました⁽¹¹⁾。具体的には、コアネットワークの制御プレーンと、N3^{*23}に置くTSN (Time Sensitive

*21 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への接続形態。

*22 5GS: コアネットワーク、無線アクセスネットワーク、および通信端末で構成される5Gのネットワークシステム。

*23 N3: 無線アクセスネットワークとコアネットワークの間でユーザデータを転送する経路。

*24 TSNトランスポート網: 無線アクセスネットワークとコアネットワークを接続するネットワークのうちTSN機能を具備したものの、あるいは、それぞれのネットワーク内の装置間を接続するネットワークのうちTSN機能を具備したものの。

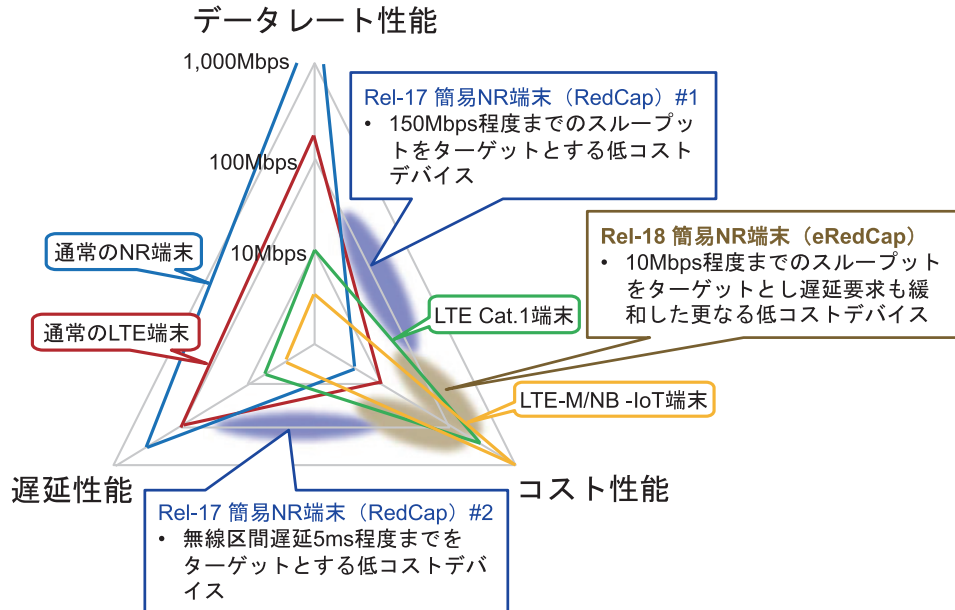


図2 NRおよびLTEの端末仕様ターゲット

Networking) トランスポート網*24との間のインターワーク、下りリンクパケットRAN伝送スケジュールのRANからアプリケーション機能への通知を検討します。Industrial IoTでは、個々の端末でなく、端末群を制御することとなりますが、Rel-18でこの部分を検討することも合意されました⁽¹²⁾。

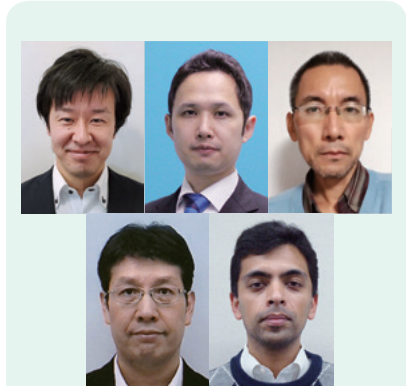
おわりに

本稿では、5Gおよび5G-Advancedの標準化動向として、Rel-17までの5G標準化の主な内容、5G-Advancedの位置付けや3GPP Rel-18検討項目および仕様化項目について概説しました。NTTドコモは、3GPPにおける5Gおよび5G-Advanced標準化推進に寄与しており、今後も移動通信のさらなる発展に貢献していきます。

■参考文献

(1) https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/

DOCOMO_6G_White_PaperJP_20211108.pdf
 (2) 原田・熊谷・小原・谷口・下平：“3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.11, pp.39-43, 2022.
 (3) 巳之口・鈴木・Thakolsri・Guerzoni・Sama・Civelek：“3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要——システムアーキテクチャ,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.11, pp.31-34, 2022.
 (4) 石川・彦坂・西田・Al-Bakri：“3GPP Release 17における5GCの高度化技術概要——コアネットワークと端末,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.11, pp.35-38, 2022.
 (5) https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_timeline_march22_v3.pdf
 (6) https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_18_features_tsg95_v03.pdf
 (7) 3GPP RP-213598：“New WID：MIMO Evolution for Downlink and Uplink,” Dec. 2021.
 (8) 3GPP RP-221435：“Revised WID on Multi-carrier en-hancements,” June 2022.
 (9) 3GPP RP-221858：“Revised WID：Further NR coverage enhancements,” June 2022.
 (10) 3GPP RP-221161：“Revised SID for Study on further NR RedCap (reduced capability) UE complexity reduction,” June 2022.
 (11) 3GPP SP-211634：“Study on 5G Timing Resiliency and TSC & URLLC enhancements,” Dec. 2021.
 (12) 3GPP SP-211603：“Study on generic group management, exposure and communication enhancements,” Dec. 2021.



(上段左から) 原田 浩樹 / 永田 聡 / 巳之口 淳
 (下段左から) 竹田 真二 / ウメシュ アニール

ドコモは、お客さまにより良いサービスを提供するため、またモバイル通信の未来を切り拓くため、研究開発や標準化活動に取り組んでいきます。

◆問い合わせ先

NTTドコモ
 R&D戦略部
 E-mail dtj@nttdocomo.com