

5Gおよび5G-Advanced標準化動向

6G-IOWN推進部 はらだ ひろき 原田 浩樹 ながた さとし 永田 聡
 ネットワーク開発部 みのくち あつし 巳之口 淳
 移動機開発部 たけだ しんじ 竹田 真二
 無線アクセス開発部 ウメシュ アニール

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る。

3GPPでは5Gのさらなる進化に向け、Rel-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る。本稿では3GPPにおける5Gおよび5G-Advancedの標準化動向を概説する。

1. まえがき

移动通信の技術は約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)*¹ Release 15 (以下、Rel-15) が第5世代移动通信システム (5G) として世界各国で商用化されている。

日本でもドコモは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目指している。

©2022 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 3GPP：移动通信システムの規格策定を行う標準化団体。

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る。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る [1]。6Gは2030年ごろの商用化を目指して検討が行われており、5Gは6Gを見据えた進化が図られている。6Gおよび6Gに繋がる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る。3GPPでは、Rel-15の仕様策定後に、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する。

2. 5Gおよび5G-Advanced標準化動向

2.1 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)*2に重点を置き、新たな無線アクセス技術(5G NR (New Radio)*3)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)*4向けの高度化技術や、産業分野でのIoT (Internet of Things) を促進するIIoT

(Industrial IoT)*5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、52.6GHzまでから71GHz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)*6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*7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た。Rel-17における5Gの高度化の概要については、本特集別記事にて紹介する [2]~[4]。

2.2 5G-Advancedの位置付け

3GPPは、2021年4月のPCG (Project Co-ordination Group)*8 #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へのステップともなる。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、仕様化が始まった。仕様化完了予定は2023年12月である。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

*2 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。

*3 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、3.6GHz帯、4.5GHz帯や28GHz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・高信頼な通信を可能にする。

*4 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。

*5 IIoT: 工場などにおける産業用機器への通信の総称。

*6 非地上ネットワーク(NTN): 衛星やHAPSなどの非地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。

*7 ローミング: 利用者が契約している通信事業者のサービスエリア外でも、提携事業者のサービスエリア内であれば、契約している事業者と同様のサービスを利用できる仕組み。

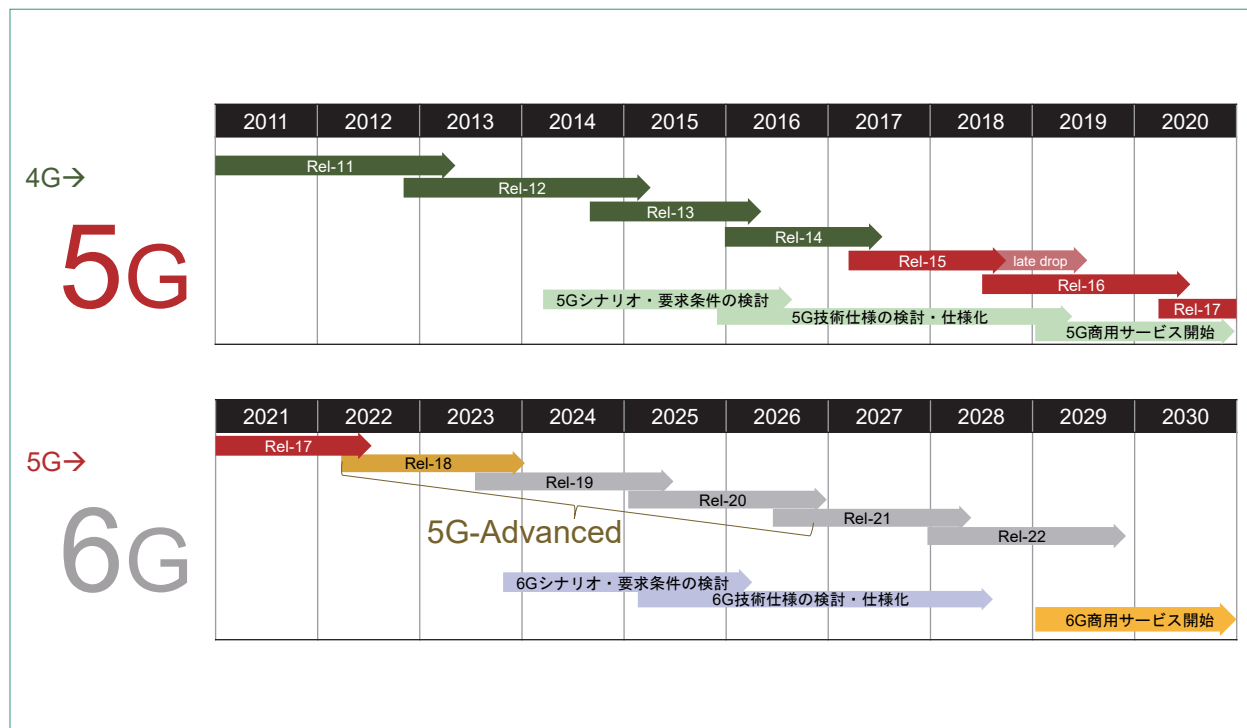


図1 2010年代および2020年代の3GPP標準化タイムライン

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あるが、5G-Advancedの標準化は6G仕様ができる直前のRel-18～20となると考えられる。

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での議論次第であるが、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点の役割があった。

(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プ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繋がる。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)^{*9}のサポートやTDD (Time Division Duplex)^{*10}キャリアとFDD (Frequency Division Duplex)^{*11}キャリアのCA (Carrier Aggregation)^{*12}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への世代移行にも繋がった。

(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)^{*13}向け仕様であるLTE-MTC (Machine Type Communication)^{*14}やNB (Narrow Band) -IoT^{*15}がある。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

*8 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う。

*9 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する。1回の変調で8ビットの情報を伝送することができる。

*10 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。

*11 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。

*12 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。

*13 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。

*14 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。

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いる。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^{*16}や車通信LTE-V2X (Vehicle to X)^{*17}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る。

(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繋がった新機能が複数検討・仕様化された。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^{*18}を考慮したFull-Dimension MIMO (Multiple Input Multiple Output)^{*19}、低遅延化のためサブフレーム^{*20}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、などが挙げられる。

2.3 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)^{*21}でのRel-18 workshopを、2021年9月にTSG SA (Service and System Aspects)^{*22}でのRel-18 workshopを開催した。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後にも継続的にを行い、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] にまとめられている。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る。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する。

(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るが、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Mbps程度であることが多い。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い。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^{*23}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る。

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る。

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る [7]~[9]。

*15 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う、LTE通信仕様の1つ。

*16 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。

*17 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。

*18 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。

(2)5G 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ない。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る。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)*24方式で導入されるケースが多かったが、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る。

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る。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るが、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5G 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る。

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、合意された [10]。NRおよびLTEの端末仕様ターゲットを図2に示す。

(3)5GS (5G System)*25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る。3GPPでは、Rel-16からサービス提

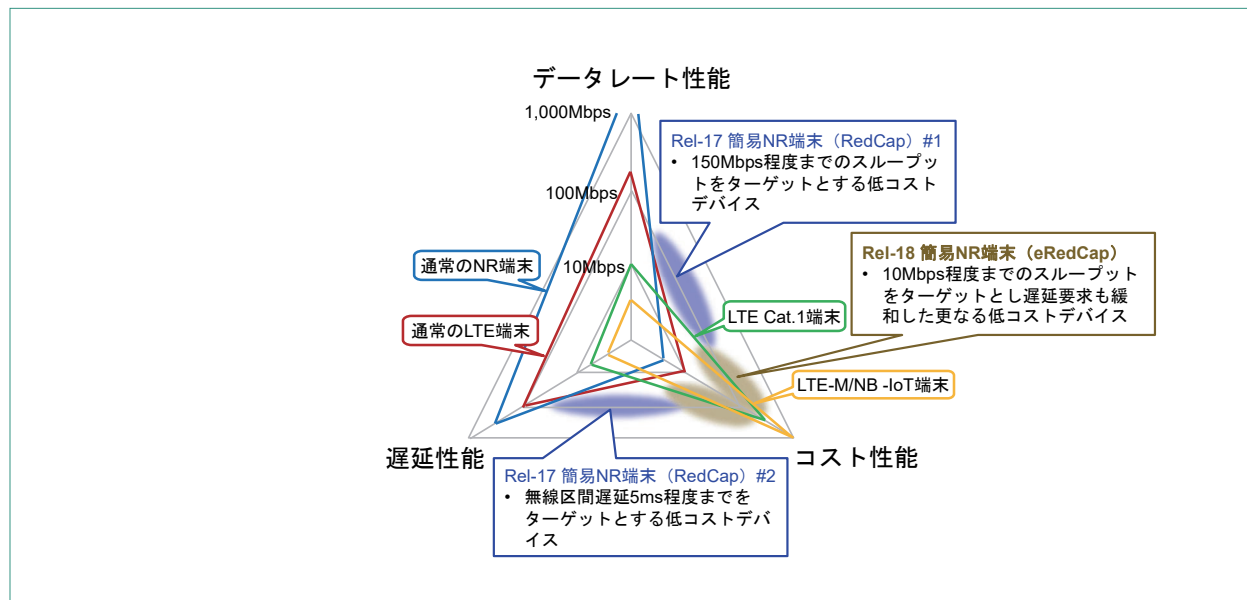


図2 NRおよびLTEの端末仕様ターゲット

*19 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次的に空間を活用する方法。
 *20 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) から構成される。
 *21 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する。

*22 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する。
 *23 無線リソース: 無線通信を行うために必要なリソース (無線送信電力、割当て周波数など) の総称。
 *24 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。

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で完成した。これらの取組みについては、本特集別記事にて詳細を紹介する [11]。

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た [12]。具体的には、コアネットワーク*26の制御プレーン*27と、N3*28に置くTSN (Time Sensitive Networking) トランスポート網*29との間のインターワーク*30、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する。Industrial IoTでは、個々の端末でなく、端末群を制御することとなるが、Rel-18でこの部分を検討することも合意された [13]。

(4)6Gを見据えた新規技術領域の検討

Rel-18では中長期的なニーズを踏まえ、Rel-18期間中に仕様化までは行わず、検討のみを行う新規技術領域の項目が含まれている。例えば人工知能 (AI)・機械学習 (ML: Machine Learning)*31技術の無線インタフェースへの適用について、チャネル状態情報のフィードバック、ビーム制御、端末位置測位などのユースケースを想定した検討を行うことが合意された [14]。また、下りリンクと上りリンクの多重 (duplex) の拡張として、TDDバンドにおいて下りリンクリソースと上りリンクリソースを周波数多重し、基地局側にて同時送受信 (full duplex) に対応することで、特に上りリンクとして使用可能な時間リソースを拡張し上りリンク性能を改善する検討が合意された [15]。

なお、AI/ML技術は、3GPPシステム全体としても、着実に検討が進んでいる。Rel-17にて、コアネットワーク制御プレーン機能が利用する各種分析情報の生成に当該技術を活用するとして、検討が開始され、Rel-16で規定したNWDAF (Network Da-

ta Analytics Function)*32をモデル訓練、推論、データ収集、データ格納の機能に分離した。この取組みは、本特集別記事にて詳細を紹介する [3]。Rel-18では、前記検討を進め、異なるベンダ間での訓練済モデルの共有、協調学習のための拡充、オペレーション側のデータ分析機能との連携などを検討することが合意された [16]。また、外部AI/MLモデルサービスプロバイダをサポートする機能の検討もRel-18で行うことが合意された [17]。

3. あとがき

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た。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く。

文献

- [1] NTTドコモ：“ドコモ6Gホワイトペーパー 第4版,” Nov. 2021.
https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/whitepaper_6g/DOCOMO_6G_White_PaperJP_20211108.pdf
- [2] 原田, ほか：“3GPP Release 17における5G無線の高度化技術概要,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.43-53, Oct. 2022.
- [3] 巳之口, ほか：“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ー,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.15-29, Oct. 2022.
- [4] 石川, ほか：“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,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.30-42, Oct.2022.
- [5] 3GPP：“Release_timeline,” Mar. 2022.
https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_timeline_march22_v3.pdf
- [6] 3GPP：“Release 18 features tsg95 v03,” Apr. 2022.
https://www.3gpp.org/images/PDF/Release_18_features_

*25 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。

*26 コアネットワーク：移動通信システムの構成要素であり、登録制御、セッション制御、サービス制御などを司り、無線アクセスネットワークと外部ネットワークの間でユーザデータを転送するネットワーク。

*27 制御プレーン：コアネットワークでは、登録制御、セッション制御、サービス制御など、一連の制御処理を行う部分。

*28 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。

*29 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。

*30 インターワーク：通信システム間の相互動作。

- 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 enhancements,” Jun. 2022.
 - [9] 3GPP RP-221858 : “Revised WID : Further NR coverage enhancements,” Jun. 2022.
 - [10] 3GPP RP-221161 : “Revised SID for Study on further NR RedCap (reduced capability) UE complexity reduction,” Jun. 2022.
 - [11] J. Mutikainen, ほか : “3GPP Release 16および17における確定性通信の実現に向けた高度化技術,” 本誌, Vol.30, No.3, pp.101-110, Oct.2022.
 - [12] 3GPP SP-211634 : “Study on 5G Timing Resiliency and TSC & URLLC enhancements,” Dec. 2021.
 - [13] 3GPP SP-211603 : “Study on generic group management, exposure and communication enhancements,” Dec. 2021.
 - [14] 3GPP RP-221348 : “Revised SID for AI/ML for NR air-interface,” Jun. 2022.
 - [15] 3GPP RP-221352 : “Revised SID : Study on evolution of NR duplex operation,” Jun. 2022.
 - [16] 3GPP SP-220678 : “Study on Enablers for Network Automation for 5G - Phase 3,” Jun. 2022.
 - [17] 3GPP SP-220071 : “Revised SID on System Support for AI/ML-based Services,” Mar. 2022.

*31 機械学習 (ML) : サンプルデータから、有用な判断基準をコンピュータに学習させる仕組み。

*32 NWDAF : 5GCで規定されたネットワーク機能の1つ。ネットワーク内のさまざまなデータを収集、分析し結果を返す。