

3GPPにおける5G標準化動向

ネットワーク開発部

み の く ち あつし
巳之口 淳い そ べ しんいち
磯部 慎一

無線アクセス開発部

た か は し ひであき
高橋 秀明

先進技術研究所 5G推進室

な が た さとし
永田 聡

ドコモでは、2020年の第5世代移動通信システム（5G）の提供開始をめざして、各種の技術検討や共同実験を進めている。5Gの国際標準仕様を策定する3GPPでは、2015年より5Gのサービス要求条件、無線およびコアネットワークに関する要素技術の検討が進められている。本稿では、5G全体の標準化スケジュール、5Gに求められる要求条件やユースケース、さらにそれを実現する無線およびコアネットワークの特徴と導入・展開シナリオについて解説する。

1. まえがき

国際的な移動通信システムの標準化団体である3GPP（3rd Generation Partnership Project）では、第5世代移動通信システム（5G）の検討が進められている。

5Gでは、LTE、LTE-Advancedでも考慮されていた「高速・大容量」の観点に加えて、「低遅延・高信頼」「多様な端末の接続」「多様な産業のサポート」などの観点も考慮して、新たな要求条件や要求値が検討されている。5Gによる具体的なユース

ケースとしては、仮想現実（VR：Virtual Reality）^{*1}や大量のIoT（Internet of Things）デバイスによる産業の高度化や自動化、自動運転などの自動車用無線通信（V2X：Vehicle to everything）^{*2}への適用が期待されている。

本稿では、3GPPを中心とした5Gの標準化スケジュールを紹介し、3GPPにおける5Gの要求条件やユースケース、さらにそれを実現する無線およびコアネットワーク^{*3}の特徴と導入・展開シナリオを解説する。

©2017 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

† 現在、株式会社みらい翻訳

^{*1} 仮想現実（VR）：コンピュータグラフィックスを用いてPCなどで仮想空間を作り出す技術。

^{*2} V2X：車車間通信および路車間通信の総称。

^{*3} コアネットワーク：交換機、加入者情報管理装置などで構成されるネットワーク。移動端末は無線アクセスネットワークを経由してコアネットワークとの通信を行う。

2. 5Gの標準化スケジュール

2.1 ITU-R

国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R：International Telecommunication Union Radio communication Sector）^{*4}では、2016年より5Gの技術性能要求の作成を開始し、作成された性能要求を満たす無線インタフェース提案を2017年から2019年にかけて受け付けている。その後、提案された無線インタフェースに基づき、2019年から2020年にかけて無線インタフェースにかかわるITU-R勧告案の作成が行われる予定である。なお、ITU-Rにおける5Gの標準化動向については、本特集記事で解説をしているのでご参照頂きたい [1]。

2.2 3GPP

3GPPではITU-Rのスケジュールに沿う形で、2019年末までに複数のReleaseにおいて段階的な5Gの標準化仕様策定を行うことを予定している。具体的には2016年から2017年初めにかけて検討が行われたRelease 14において、従来の方式であるLTE、LTE-Advancedとの後方互換性の無い、新しい5G向けの無線通信方式（NR：New Radio）の基礎検討（SI：Study Item^{*5}）を行い、候補となる要素技術の検討、妥当性の評価を行った。その後、2018年中頃まで計画されているRelease 15において詳細仕様検討（WI：Work Item^{*6}）を行い、Phase 1と呼ばれる5Gの初版の標準仕様を策定する。なお、Release 15では、ノンスタンドアローン^{*7}と呼ばれるLTEとNRの組合せで運用するケースの基本仕様策定を2017年12月までに終わらせるとともに、NRのみで運用可能なスタンドアローン^{*8}仕様策定を2018年6月までに終わらせる予定である。Release 15の標準仕様により、世界各国で5Gの導入が進められると想定されている。

その後、2019年末まで計画されているRelease 16において引続き詳細仕様検討を行いPhase 2と呼ば

れる5Gの第2版の標準仕様を作成する予定である。

ITU-Rに対しては、これら複数段階にまたがる仕様検討状況に基づき計画的に無線インタフェース提案を進めることが検討されている。

3. 5Gの主な要求条件

3GPPでは、従来の移動通信技術に求められていた「高速・大容量化」の実現に加えて、新たな市場領域の創出を考慮し、5Gの要求条件の検討を行った。5G向けに検討された主なユースケース、要求条件を以下に解説する。

3.1 5Gのユースケース

3GPPでは、5Gの主な特徴を、①モバイルブロードバンドのさらなる高度化（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、②多数同時接続を実現するマシンタイプ通信（mMTC：massive Machine Type Communications）、③高信頼・超低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）とまとめた。これら3つは、ITU-Rにおいて、IMT-2020システムの代表的な利用シナリオとされている [1]。

5Gの利用シナリオに即して、サービスレベルでのユースケースも定められている。例えば、遠隔医療や自動走行に代表される、遅延時間の短縮が要求条件となるユースケースが、5Gに向けて新しく特定された。これを含めた合計74件のユースケース、およびそれぞれに対応する要求条件が3GPP TR（Technical Report）22.891に集約されている [2]。それぞれのユースケースは、表1に示す5つの分野に分類されている。

3.2 5Gの要求条件

(1)無線アクセス技術の利用シナリオごとの要求条件

3GPPでは、利用シナリオごとに5G無線アクセス

^{*4} 国際電気通信連合無線通信部門（ITU-R）：電気通信分野における国際連合の専門機関である国際電気通信連合（ITU）の無線通信部門で、無線通信に関する国際的規則である無線通信規則の改正に必要な検討、無線通信の技術・運用などの問題の研究、勧告の作成および周波数の割当て・登録などを行う機関。

^{*5} SI：「実現性の検討および仕様化すべき機能の大まかな特定」

作業のこと。

^{*6} WI：「仕様化すべき機能の決定および機能の詳細仕様化」作業のこと。

^{*7} ノンスタンドアローン：端末が複数の無線技術を介して移動通信網に接続する形態。

表1 各カテゴリの要求条件と主なユースケース

カテゴリ	関連仕様書	要求条件	主なユースケース
eMBB	TR22.863 TS22.261	高データレート, 高トラフィック密度, 多様なカバレージ, 高モビリティ	インドア, ホットスポット, 広域
CriC	TR22.862 TS22.261	高信頼性低遅延, 高信頼性高可用性低遅延, 超低遅延, 高精度位置測位	仮想現実, 触覚通信, 遠隔制御, 遠隔医療, 遠隔救急, ドローン制御
MloT	TR22.861 TS22.261	IoTに関し, 運用面の改善, 接続形態の多様化, リソース利用効率改善	IoT端末初期化改善, 大容量対応, ウェアラブル, 医療テレメトリ, 広域監視
NEO	TR22.864 TS22.261	システムの柔軟性, スケーラビリティ, モビリティ, コンテンツ配送, セキュリティに関する改善, および, 多様なバックホールおよびアクセスの考慮, マイグレーションや相互接続の考慮	※サービスに依存しないシステム共通の要求条件
eV2X	TR22.886 TS22.186	高データレート, 高信頼性, 高可用性低遅延, 広域通信レンジ	自動走行, 隊列走行, 遠隔運転

CriC : Critical Communications

eV2X : enhanced V2X

MloT : Massive IoT

NEO : Network Operation

TS : Technical Specification

技術（5G無線）の主な要求条件を、表2に示すように定めている [3]。eMBB向けには、下りピーク通信速度20Gbps, 上り10Gbpsを目標値と定めている。また、LTE-Advancedと比較して、3倍の周波数利用効率^{*9}, より高速な移動速度下での通信, 低遅延な無線伝送を達成する事を目標としている。mMTC向けには、上り160bpsの通信速度を提供できる基地局からの距離をセル半径とし、それを、基地局からの離隔距離に応じた伝搬損失^{*10}（最大カップリングロス^{*11}164dB）で定義している。また、10年の電池寿命をさらに超える目標を設定し、より多くのデバイスの収容が可能な無線を目標としている。URLLC向けには、0.5msの超低遅延（無線の片道伝送遅延）を目標としている。

(2)5Gシステム全体の性能面に関する要求条件

5G無線、コアネットワークを含めたシステム全体の性能面に関する要求条件も、ユースケースに応じて、データレート、遅延、信頼性、トラフィック密度、接続密度などが規定されている [4]。例えば、下りの実効データレートは1Gbpsであるものの、end-to-endの遅延は、V2Xなどの交通関連システムで

10ms, 遠隔制御で5ms, 触覚通信で0.5msなどと非常に高い要求条件となっている。

また、5Gシステム全体の要求条件として、以下の3つの代表的な要求条件が規定された。

(a)ネットワークスライシング^{*12}のサポート

ネットワークは、1つもしくは複数のネットワークスライスから構成され、各々のネットワークスライスが独立した完全なネットワーク機能を有する。各々のネットワークスライスは、異なる機能・性能要求条件を満たし、ユーザごとやサービスごとに収容可能とする。また、1台の端末が複数のネットワークスライスに同時に接続することも可能となる。

(b)多様なアクセスの収容

5Gコアネットワークでは、E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access)^{*13}および5G無線に加え、衛星や固定ブロードバンドアクセスを収容可能とする。

(c)さまざまな条件時における効率的な提供

5Gを提供するために必要となる装置の電力効率化や、ネットワークリソースの効率的な利

*8 スタンドアローン：端末が1つの無線技術で移動通信網に接続する形態。

*9 周波数利用効率：単位時間、単位周波数当りで伝送できる情報ビット数。

*10 伝搬損失：送信局から放射された電波の電力が受信点に到達するまでに減衰する量。

*11 カップリングロス：とある通信速度を提供できる基地局からの距離をセル半径とし、セル半径を、基地局からの離隔距離に応じた伝搬損失で定義されたもの。

*12 ネットワークスライシング：5G時代の次世代ネットワークの実現形態の1つ。ユースケースやビジネスモデルなどのサービス単位でコアネットワーク分割して最適化するアーキテクチャ。

表2 5G無線の主な要求条件

Use-case	Key performance indicator	New Radio		LTE-Advanced		LTE (Release 8)	
		DL	UL	DL	UL	DL	UL
eMBB	Peak data rate	20Gbps	10Gbps	1Gbps	500Mbps	100Mbps	50Mbps
	Peak spectral efficiency	30bps/Hz	15bps/Hz	30bps/Hz	15bps/Hz	3~4 ×HSDPA (Release 6)	2~3 ×HSUPA (Release 6)
	C-plane latency	10ms		Less than 50ms		Less than 100ms	
	U-plane latency	4ms		Reduced U-plane latency Compared to Release 8		Less than 5ms	
	Cell/TRxP spectral efficiency (bps/Hz/TRxP)	3 times higher than LTE-Advanced		—		—	
	Area traffic capacity (bps/m ²)	3 times higher than LTE-Advanced		—		—	
	User experienced data rate (bps)	3 times higher than LTE-Advanced		—		—	
	5% user spectrum efficiency (bps/Hz/user)	3 times higher than LTE-Advanced		Cell edge user throughput (bps/Hz/cell/user)		User throughput	
				0.12 (2×2 ANT)	0.04 (1×2 ANT)	2~3 ×HSDPA	2~3 ×HSUPA
	Target mobility speed (URLLC, mMTCも関連)	500km/h		350km/h		350km/h	
mMTC	Coverage	Max coupling loss 164dB		Max coupling loss 164dB (NB1)		—	
	UE battery life	Beyond 10 years		Up to 10 years		—	
	Connection density	1,000,000devices/km ²		60,680devices/km ²		—	
URLLC	U-plane latency	0.5ms		—		—	
	Reliability	10 ⁻⁵ for 32bytes with U-plane latency of 1ms		—		—	

用に関しても考慮されている。5Gでは、特に低遅延サービスの提供が注目されており、ゲートウェイ^{*14}装置を移動端末に近いネットワークのエッジに配置するネットワーク構成も検討されている。また、電力供給の制限された地域で、必要最低限のサービスレベルのみが要求される市場に対し、低オペレーションコストでの

提供も考慮されている。

3.3 5Gのサービス要求条件検討の最新動向

産業界の要求にさらに答えていくため、3GPP SA (Service and System Aspects) 1では、Release 16で鉄道や電力関連のユースケースおよび要求条件の追加修正を検討している。一方、自動車業界との連

*13 E-UTRA：3GPP移動通信網における高機能無線アクセス方式におけるエアインタフェース。

*14 ゲートウェイ：プロトコル変換やデータの中継機能などを有するノード機能。

携は5GAA (5G Automotive Association)*¹⁵との情報交換により議論が進んでいる。また、固定網との連携については、3GPP SA2においてBroadband Forum*¹⁶などとも連携して、Release 16の仕様化を想定した議論が進んでいる。

4. NR/5Gコアネットワークの特徴

前述の5Gの要求条件を満たす、無線・コアネットワークのそれぞれの特徴について以下に解説する。

4.1 NRの特徴

NRの特徴の1つとして、ノンスタンドアローン運用に対応していることが挙げられる。ノンスタンドアローン運用とは、NR単独ではエリアを提供せず、LTE/LTE-Advancedのエリアと組み合わせてサービスを提供する運用形態である。

既存のLTE/LTE-Advancedネットワークでは、2GHz、800MHz帯といった周波数を用いて、すでに幅広い面的なエリアでサービスが提供されている。一方5Gでは、初期導入の段階では、ミリ波帯などの新たな高周波数からの展開が想定されており、需要のあるエリアからの局所的な展開を行うシナリオが考えられる。このようなNR向けの新規周波数を用いたネットワークを、既存の周波数帯を用いたLTE/LTE-Advancedのネットワークと併用して運用することができれば、NR単独で局所的にサービス提供するよりも、より利用者に対して快適な通信を提供することが可能である。また、オペレータのサービスエリア展開の観点からも、LTE/LTE-Advancedと組み合わせて5Gを提供するノンスタンドアローン運用は、既存のサービスエリアにNRを局所的にアドオンし、需要に応じて順次展開できるため、5G初期導入時の最も有望な提供形態である。このような背景からノンスタンドアローン運用は、ドコモを含めた世界各国で5Gの早期導入を検討し

ているオペレータから注目を集め、スタンドアローン運用に先駆けて、2017年12月までに仕様を策定する合意に至った。ノンスタンドアローン運用の技術的詳細は、本誌特集記事 [5] で解説する。

4.2 NRを収容する5Gコアネットワークの特徴

NRを収容するコアネットワークとして、EPC (Evolved Packet Core)*¹⁷を拡張する方式と新規に仕様化される5Gコアネットワークを導入する方式が検討されている。5Gコアネットワークは、前述の5Gのサービス要求条件の実現をめざして検討が開始され、2018年6月に3GPP Release 15仕様として策定を完了する予定である。5Gコアネットワークは、主に以下の4つの特徴がある。

- ・ 端末／無線アクセスネットワーク*¹⁸／コアネットワーク内の機能分担再整理
- ・ サービスベースアーキテクチャの導入
- ・ ネットワーク仮想化対応
- ・ ネットワークスライス導入と複数ゲートウェイ同時接続

これらの要素技術は、本特集記事で解説をしているのでご参照頂きたい [6]。

5. NR/5Gコアネットワークの導入・展開シナリオ

既存の第4世代移動通信システムに対して、NR/5Gコアネットワークを導入し、その後の展開に至るまでのシナリオが3GPPで検討された。3GやLTEの導入時は、無線・コアネットワークを共に新規導入する単一のシナリオ (図1のシナリオ①からシナリオ③に直接向かうシナリオ) で進められた。一方、NR/5Gコアネットワークの導入においては、前述のノンスタンドアローン運用によるNR提供、およ

*¹⁵ 5GAA：5Gを利用したコネクテッドカーサービスの検討推進を目的として、自動車関連企業と移动通信関連企業で設立した団体。

*¹⁶ Broadband Forum：ブロードバンド市場の普及促進を図る国際団体。

*¹⁷ EPC：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのコアネットワーク。

*¹⁸ 無線アクセスネットワーク：コアネットワークと端末の間に位置する、無線レイヤの制御を行う基地局などで構成されるネットワーク。

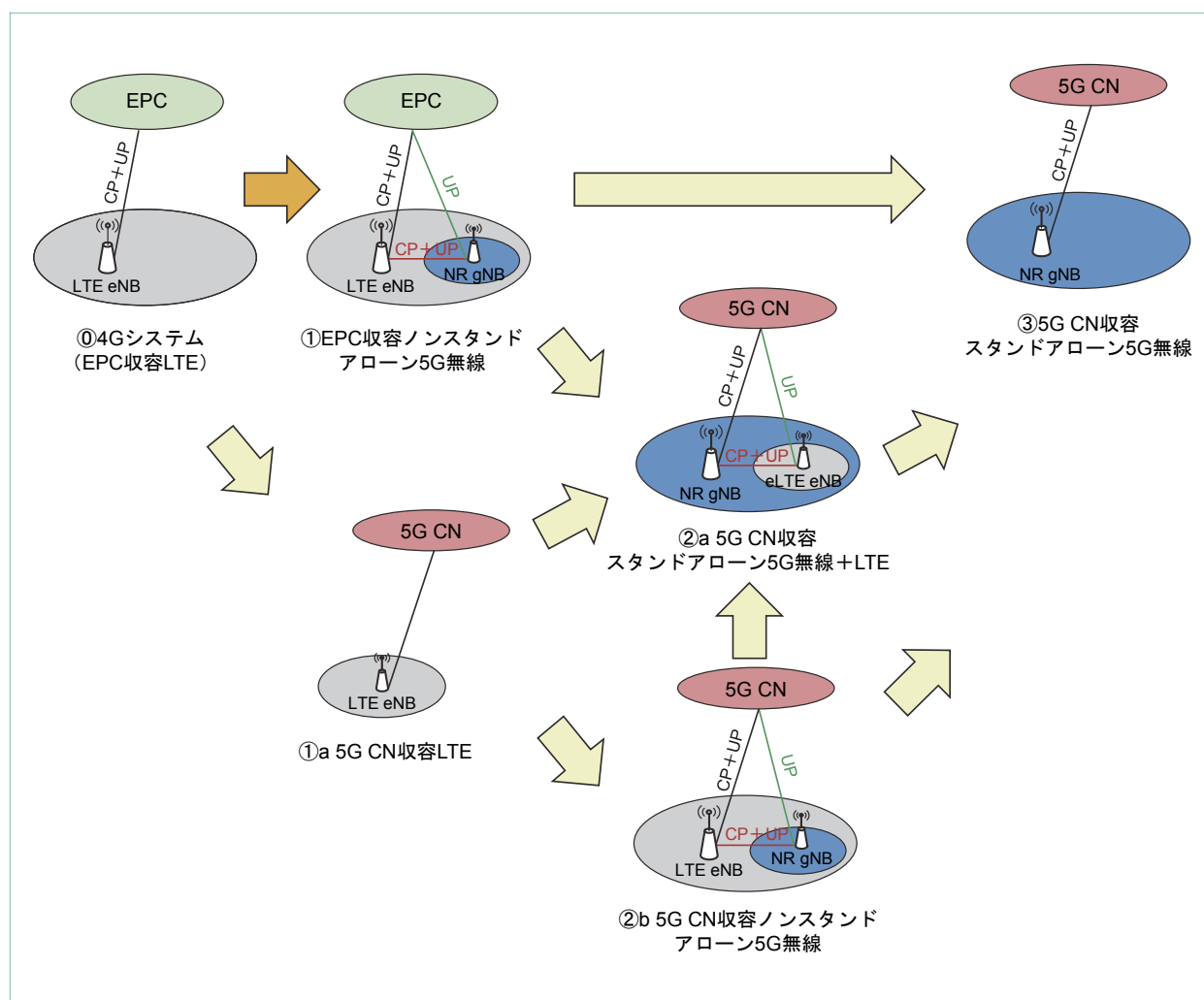


図1 5G無線／コアネットワーク導入・展開シナリオ

び5GコアネットワークによるLTEの收容という特徴を活かし、図1に示すような複数の導入・展開シナリオを提供することができる。

図1に示すシナリオの中で、ノンスタンドアローンNRをEPCで收容するシナリオ1が、5G初期導入時には最も有望である。従って、NRの早期導入をめざす各国の通信事業者からの強い要望により、シナリオ1に必要な標準仕様を早期策定する合意に至っている。EPC收容のノンスタンドアローンNRは、5Gの早期導入をめざして、ドコモが当初より

提案してきたNRの提供方法でもある。ノンスタンドアローンNRをEPCで收容する形態には、以下のような利点がある。

- ・LTE/LTE-Advancedで展開済の安定したエリア品質を担保
- ・eMBBの実現に適し安定運用しているEPCを活用
- ・5G導入時の新規設計事項や試験項数を抑制

これにより、NRの導入ハードルを下げることも

に、5Gコアネットワークを新たに導入するよりも早期安定導入が可能であると期待されている。EPC収容のノンスタンドアローンNRでは、既存のEPCがほぼそのまま使える予定であり変更規模は限定的と見込まれている。なお、3GPPにおける最新の検討では、EPC収容でも低遅延を可能とする機能に対応することとなった。

EPC収容ノンスタンドアローンによるNR提供（シナリオ①）後、5Gコアネットワークを導入し、LTEとNRのエリア展開に応じて図1に示す各種シナリオ（シナリオ①a, ②a, ②b, ③）も提供することで、通信事業者は、各々の事業計画に沿った最適なシナリオを用いてNR/5Gコアネットワークを導入・展開することができる。

6. あとがき

本稿では、5G全体の標準化スケジュール、5Gに求められる要求条件やユースケース、さらにそれを実現する無線およびコアネットワークの特徴を概説した。NR、5Gコアネットワークの主要要素技術については、本特集記事で解説をしているので、ご参照頂きたい [5]～[7]。

現在3GPPでは、Phase 1に指定された機能をRelease 15として、その提供に向けて検討が進められている。また一部は、Phase 2としてRelease 16以降も機能拡張が検討される予定である。

ドコモは、3GPPにおける5G標準化推進に寄与しており、今後も5G標準化のさらなる発展に貢献していく。

文 献

- [1] アナス, ほか: “ITU-RにおけるIMT-2020無線インタフェースの標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.50-58, Oct. 2017.
- [2] 3GPP TR22.891 V14.2.0: “Feasibility Study on New Services and Markets Technology,” Sep. 2016.
- [3] 3GPP TR 38.913 V14.2.0: “Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies,” Mar. 2017.
- [4] 3GPP TS22.261 V15.0.0: “Service requirements for the 5G system,” Mar. 2017.
- [5] ウメシユ, ほか: “5G無線アクセスネットワーク標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.33-43, Oct. 2017.
- [6] 巳之口, ほか: “5Gコアネットワーク標準化動向,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.44-49, Oct. 2017.
- [7] 武田, ほか: “5Gにおける物理レイヤ要素技術と周波数に関する検討状況,” 本誌, Vol.25, No.3, pp.23-32, Oct. 2017.