

5Gネットワーク

無線アクセス開発部 さがえ ゆうた 寒河江 佑太†1 さわむかい しんすけ 澤向 信輔
おおわたり ゆうすけ 大渡 裕介 きよしま こうへい 清嶋 耕平
 ネットワーク開発部 かんばら けいいち 神原 恵一†2
たかはし じょう 高橋 匠

ドコモ・テクノロジー株式会社 パケットNW事業部

2020年3月にドコモは5G商用サービスを開始した。ドコモでは5G導入に際し、LTEで提供している機能／エリアを最大限活用することで、早期提供と安定した品質確保を実現している。

本稿では、5G商用サービスを提供するために実施した無線基地局装置、コアネットワーク装置の開発内容について解説する。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）は高速・大容量、低遅延、多数端末接続の特長を有しており、動画・サービスなどコンテンツのさらなるリッチ化などへの対応に加え、従来では困難であった社会的課題の解決や新たな産業創出が可能となることにも期待が高まっている。

ドコモは2019年9月に開始した5Gプレサービスに

続き、2020年3月に5G商用サービスを開始し、2020年7月6日時点において契約者数が17万件を超している。今後、5G需要の増加が見込まれていることから、端末ラインナップの充実、5G提供エリアの拡大を順次行っていく。

本稿では、5G商用サービス提供を行うための無線基地局装置、およびコアネットワーク*1装置の開発内容について解説する。なお、5Gの特長である高速・大容量、低遅延、多数端末や構成システムに

©2020 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 現在、経営企画部

†2 現在、(株)ドコモCS ソリューションインテグレーション部

*1 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。

関する技術的な概要は前号を参照されたい [1].

2. 5G向け周波数の概要

5Gにおいては、ユースケース、利用シナリオなどに応じたネットワークが求められており、技術面では、新たな無線技術（5G NR (New Radio)）の採用、既存の周波数帯に加え、より高い周波数帯を活用することなどが求められている [2]。5Gの技術的な概要は前号で記載しているため、5G向け周波数として、国内割当てで議論された周波数帯の概要を解説する。そのうえで、各周波数帯の技術的特徴について解説する。

5G向け国内周波数帯として、3.7GHz帯（3.6～4.1GHz）、4.5GHz帯（4.5～4.6GHz）、および、28GHz帯（27.0～29.5GHz、うち28.2～29.1GHzは非割当て）の3つの周波数帯が割り当てられている（表1）。特に前者2つの周波数帯がSub6帯、後者がmmW（millimeter Wave）帯*2と呼ばれている。

Sub6帯は、5G国内周波数において100MHz幅／事業者と、LTEと比較して広帯域利用が可能であり、かつ、LTE 3.5GHz帯と同様のカバレッジを実現することが可能となる。一方でmmW帯は、これまでLTEで利用してきた周波数とは大きく異なり、超広帯域の割当てにより数Gbpsの高速伝送による

サービスをスポット的に展開することが期待されている。しかし、一般に高い周波数であるほど電波が飛びづらいため、既存LTE周波数やSub6帯と組み合わせたヘテロジニアス・ネットワークを構築していく必要がある。加えて、高周波数帯においてはアンテナの小型化が容易であり、Massive MIMO（Massive Multiple Input Multiple Output）*3によるMIMO技術の高度化を活用したネットワーク展開が期待される。

さらに、国内では5G向け国内周波数帯において既存システムが運用されており、その既存事業者との共存・棲分けが重要である。特に3.7GHz帯は衛星システム事業者が利用しており、衛星システムとのシステム間の干渉調整を実施しながらの展開となるため、5G早期展開に有力な周波数帯として4.5GHz帯が注目されている（図1）。また、海外動向に注目すると3.7GHz帯や28GHz帯はすでに各国で利用開始がされており、端末の対応状況や今後のローミング対応の観点から、今後の5G特有の高速大容量などのサービス展開において有力である。これらの周波数の特徴、既存事業者との共存、そして、グローバル動向などを踏まえ、それぞれの周波数帯の強みを最大限活用した商用展開を実施していく。

これら国内周波数に対して、総務省による開設計画の認定 [3] の結果、ドコモはSub6帯については

表1 国内5G周波数の特徴

	3.7GHz帯	4.5GHz帯	28GHz帯
割当周波数	3.6～4.1GHz (500MHz幅)	4.5～4.6GHz (100MHz幅)	27.0～28.2GHz 29.1～29.5GHz (1.6GHz幅)
割当帯域幅	100MHz幅／オペレータ	100MHz幅／オペレータ	400MHz幅／オペレータ
Massive MIMO の活用	MIMO多重に活用		Beamformingによる カバレッジ拡張
他システムとの 利用状況	衛星システム	航空機電波高度計	衛星システム
海外動向	中国、韓国、欧州、米国	将来的に中国が利用予定	米国、韓国

*2 mmW帯：周波数帯域の区分の1つ。30GHzから300GHzの周波数であり、5Gで利用される周波数である28GHz帯を含めて慣習的にミリ波と呼ぶ。

*3 Massive MIMO：非常に多数のアンテナを用いるMIMO伝送技術の総称。MIMOとは同一時間、同一周波数において複数の送受信アンテナを用いて信号の伝送を行い、通信品質および周波数利用効率の向上を実現する信号技術。

3.6～3.7GHzおよび4.5～4.6GHzの合計200MHz、mmW帯は27.4～27.8GHzの400MHzが割り当てられている(図2)。これにより、下りピークレートとして、既存LTEシステムと組み合わせることでSub6帯では3.4Gbps、mmW帯では4.1Gbpsを提供可能である(表2)。

Sub6帯および28GHz帯はTDD(Time Division Duplex)*4バンドとして割り当てが行われているが、

周波数の有効利用の観点で、隣接する携帯事業者間で同じ下り/上りリソース割当て(TDD Config*5)を利用しなければならない。国内においては、3GPP(3rd Generation Partnership Project)で合意されているTDD Configを基に、データトラフィック量や今後の5Gサービス予測をかんがみたと、図3に示すTDD Configでの運用を実施することとなっている。特に3.7GHz帯は隣接するLTE 3.5GHzとの干

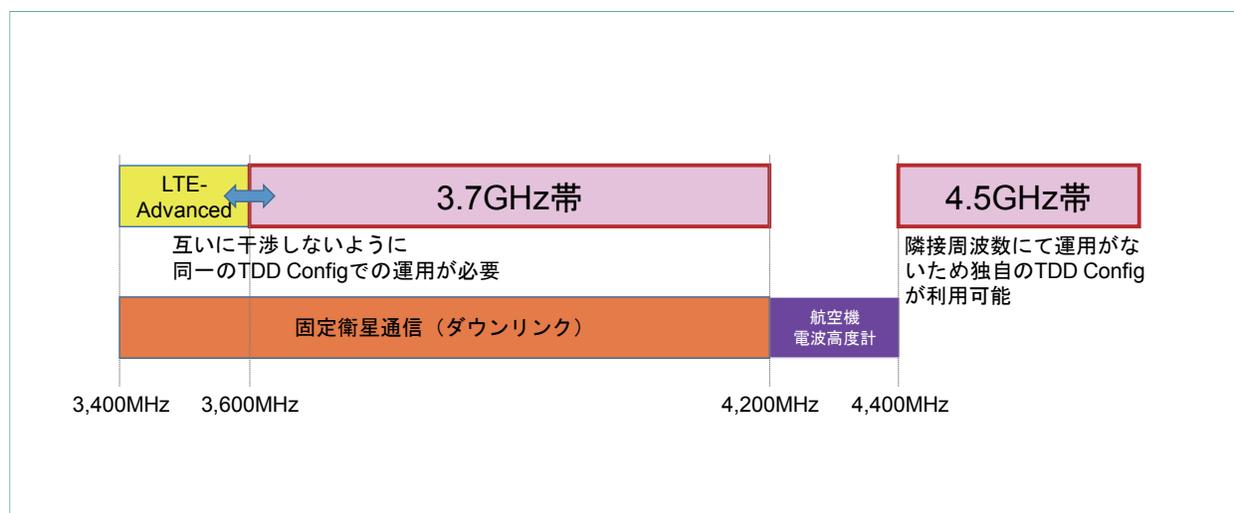


図1 3.7GHz帯の周波数割り当てとLTE 3.5GHz帯の関係

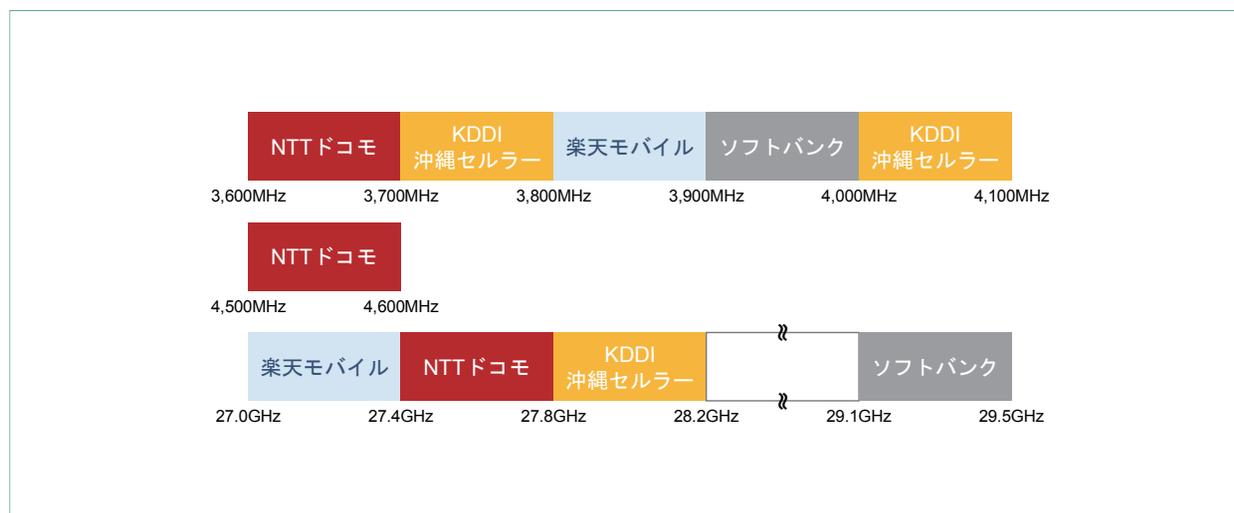


図2 5G周波数の国内割当て

*4 TDD：双方向の送受信方式の1つ。上りリンクと下りリンクに同一の周波数帯を使用し、異なる時間を割り当てることにより双方向通信が可能。

*5 TDD Config：TDDの上下スロットをどのように配分するかを決定するパラメータ。3GPP仕様にて規定されている。

表2 技術的特徴

	Sub6帯	mmW帯
Massive MIMOの活用方法	MIMO多重に活用	Beamformingによるカバレッジ拡張
カバレッジの考え方	LTE 3.5GHz帯と同様のカバレッジ	広帯域を活用した高スループットを提供 スポット的な展開
ピークレート (3GPP規格値, LTE含む)	下り3.4Gbps/上り182Mbps	下り4.1Gbps/上り480Mbps
MIMO数	下り4×4/上りSISO	下り・上り2×2MIMO
変調方式	下り256QAM/上り64QAM	下り・上り64QAM

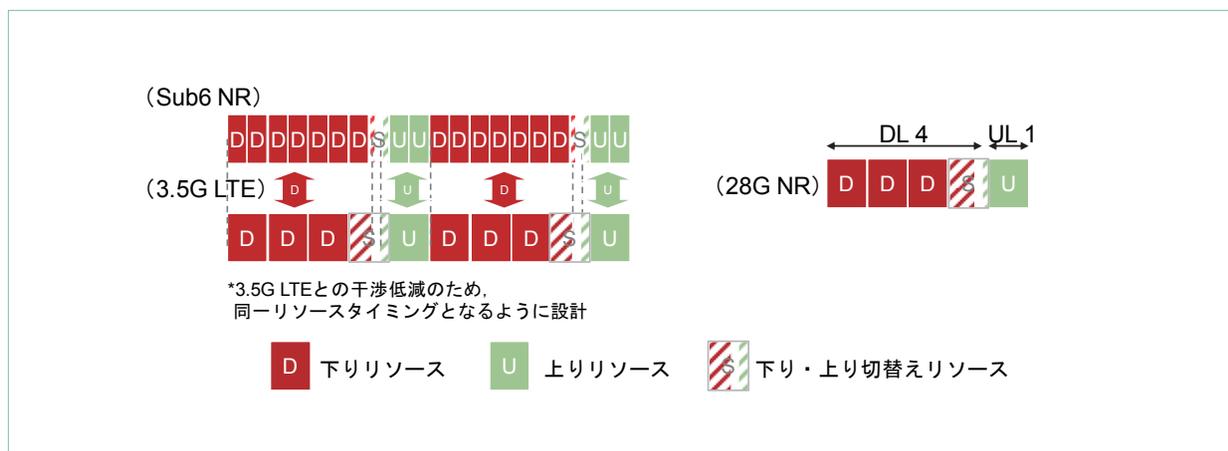


図3 国内周波数で利用されるTDD Config

渉を軽減させるために、同一タイミングにおいて、下り/上りリソースを使用するように設計されている(図3)。また、ドコモのみが獲得した4.5GHz帯においては、ユースケースに応じた独自のTDD Configを設定し、周波数を有効に活用していく。

3. 5G商用開発

3.1 5G基地局装置開発

5Gにおけるネットワーク構成を図4に示す。5Gのサービス開始に向けドコモは、5Gに対応したベースバンド(BB: Base Band)*6信号処理部を集約した親局(CU: Central Unit*7)を、既存のBB処理

装置である高密度BDE(Base station Digital processing Equipment)*8を拡張して開発し、加えて、電波の送受信機能などをもつ5G無線部(RU: Radio Unit*9)を新規に開発した。また、より多くのRUを1台のCUに収容するために、LTEにおいて導入していたフロントホール分配装置(FHM: FrontHaul Multiplexer)*10 [4]の5G対応版である5G FHMを開発した。これらの装置について概要を以下に解説する。

(1)CU

(a)開発コンセプト

5Gサービスのスムーズな展開に向け、3G/LTE/LTE-Advancedに対応したBB信号処

*6 ベースバンド(BB): デジタル信号処理を行う回路またはその機能ブロック。

*7 CU: 5Gシステムにおける無線基地局装置のデジタル信号処理部分。ベースバンド処理部や保守監視機能を備えている。

*8 BDE: LTEシステムにおける無線基地局装置のデジタル信号処理部分。ベースバンド処理部や保守監視機能を備えている。

*9 RU: フロントホールを介してベースバンド処理部と接続される無線装置。Massive MIMOにおけるビーム生成に必要な処理についても行う。

*10 フロントホール分配装置(FHM): ベースバンド処理部と無線装置の間のフロントホール回線を複数に分配する装置。

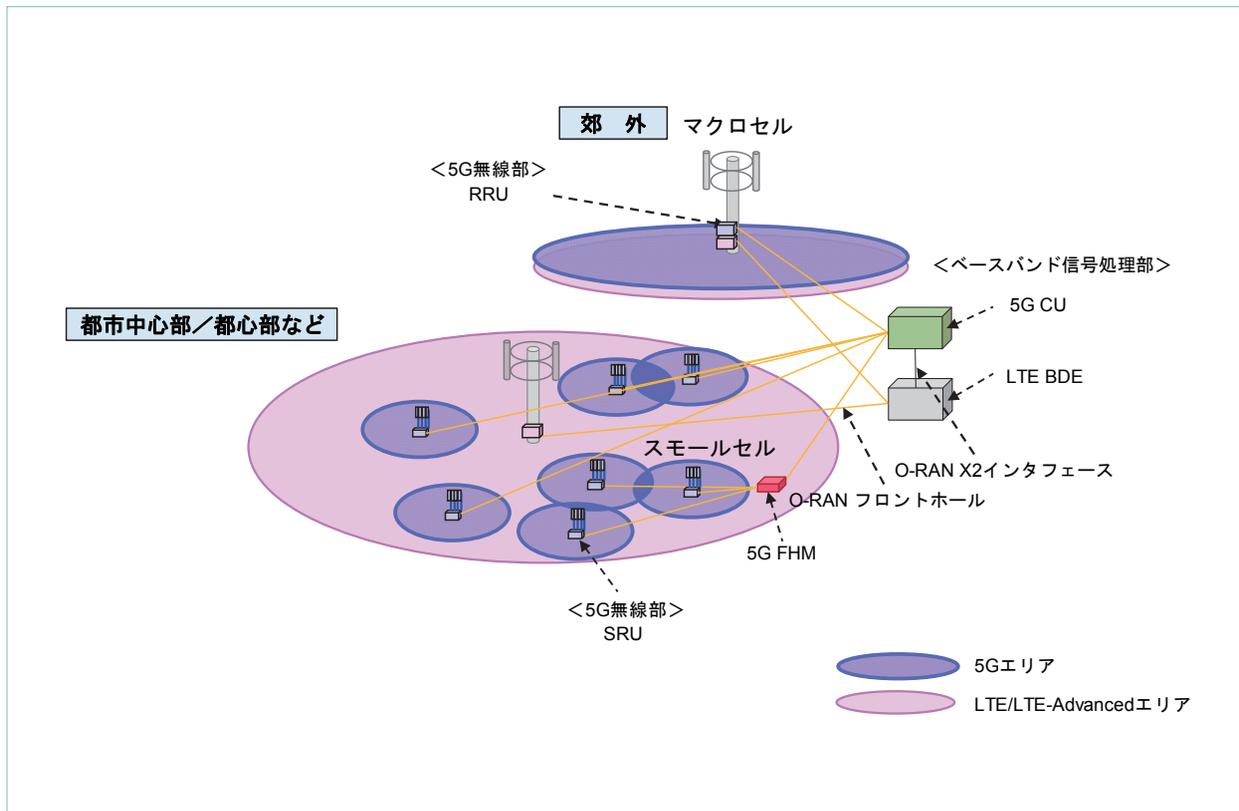


図4 5Gネットワーク構成

理を行う既存の高密度BDEを最大限活用し、高密度BDEの一部のカード交換、および5G対応ソフトウェアへのアップグレードにより、既存装置を置き換えることなく、工事期間や設備投資を抑えてエリア構築が可能なCUを開発した。

(b)CU基本仕様

今回開発したCUの装置外観例を写真1に示す。また、本装置は以下のような特徴を有する(表3)。

これまでに述べたように、本装置は既存装置である高密度BDEの一部のカード交換により5Gに対応した機能が実現可能となっている。また、今後のソフトウェアアップグレードにより、従来の3G/LTE/LTE-Advancedに対応したソフトウェアと5G対応ソフトウェアをそれ

ぞれ搭載することで、1台のCUにおいて、3Gから5Gの3世代に対応したネットワークを構築することが可能となる。

既存のLTE-Advancedではドコモが提唱する高度化C-RAN (Centralized RAN)^{*11}アーキテクチャ [5] を採用していたが、5Gにおいても本アーキテクチャに対応しており、CU・RU間はフロントホールを介して接続する。このフロントホールは、ドコモを含めたオペレータ5社により2018年2月に設立したO-RAN (Open RAN) Allianceで標準化を進められ、異なるベンダ間の相互接続を可能とするO-RANフロントホール仕様により、5Gサービス導入当初から準拠しており、同仕様に準拠したCU・RUはベンダを問わず接続可能としている。また、基地

*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技術を活用し、広域エリアをカバーするマクロセルと局所的なエリアをカバーするスモールセル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。



写真1 CU外観例

表3 CUの基本仕様

	3.7・4.5GHz帯	28GHz帯（予定）
対応方式	5G	
セル数	6セル以上	
下り最大通信速度（1セル当り）	3.4Gbps以上*	4.1Gbps以上*
収容ユーザ数（1セル当り）	1,500ユーザ	
消費電力	4kW以下	

※今後対応予定

局装置同士を接続するための仕様についてもO-RAN標準仕様に準拠しており、5G対応のCUとLTE-Advanced対応の高密度BDEについて異なるベンダ間の接続を可能としている [6]。これにより、ドコモでは既存の高密度BDEのベンダに依存せずにCUを導入可能となり、既存資産を活かしつつスピーディに必要な場所に柔軟にエリア展開することが可能である。なお、CU1台につき、6本以上のフロントホール接続が可能となっており、それぞれのフロントホールに対して接続先のRUを選択可能にしている。5GではLTE-Advancedに比較してさらなる広帯域伝送に対応するため、フロントホール伝送レートを従来の最大9.8Gbpsから最大25Gbpsに拡張しながら、CU・RU間の光張出し距離は従

来の高密度BDEと同等を実現した。

(2)RU

(a)開発コンセプト

ドコモでは、5Gサービス導入当初から柔軟なエリア構築を可能とするため、2019年9月の5Gプレサービス開始に合わせ、導入時の周波数帯である3.7GHz帯、4.5GHz帯、および28GHz帯にそれぞれ対応した、スモールセル用のRUとなる小型低出力張出しRU（SRU：low power Small Radio Unit）を開発した。また、5Gエリアの早期拡大に向け、郊外などにおける効率的なエリア化の実現を可能としたマクロセル用のRUである張出しRU（RRU：Regular power Radio Unit）についても開発した。

5G機能の1つとして、他セルへの干渉低減を

図り、ユーザ体感品質の向上が期待できるBeamforming^{*12}機能がある。本機能に対応したアンテナ・5G無線部一体型の装置（アンテナ一体型RU）を開発するとともに、既設の3G/LTE/LTE-Advanced向けの無線装置（RE：Radio Equipment）^{*13}に本装置を併設できるようにスペースなどが限られた箇所に対して柔軟に設置可能とすることを目的として、アンテナ・5G無線部分離型の装置（アンテナ分離型RU）を開発した。

(b)SRU基本仕様

SRUは、これまでに述べたように柔軟なエリア構築を可能とすることを目的とし、5Gプレサービス開始当初から、3.7GHz帯・4.5GHz帯・28GHz帯にそれぞれ対応したアンテナ一体型SRU、および3.7GHz帯・4.5GHz帯にそれぞれ対応したアンテナ分離型SRUを開発した（写真2）。これらの装置は以下のような特徴を有する（表4）。

アンテナ一体型RUについては、Beamforming機能を実現するアンテナパネルを具備している。

3.7GHz帯・4.5GHz帯では標準仕様上最大8ビーム、28GHz帯では標準仕様上最大64ビームであり、ドコモで利用するTDD Configなどに応じた送受信ビーム数にてエリアを形成可能としている。また、送受信ブランチ数は3.7GHz帯・4.5GHz帯では4、28GHz帯では2とし、1台で前者は最大4レイヤ^{*14}、後者は最大2レイヤのMIMO送受信が可能である。

アンテナ分離型SRUについては、設置性を考慮して省スペース化を目的とし、従来のRE同様に無線部のみの構成としており、SRUとアンテナを別の場所に設置することが可能である。なお、同周波数帯に対応したアンテナ一体型SRUと比較して装置容積を低減し、6.5ℓ以下を実現した。アンテナ分離型SRUでは、Beamforming機能には非対応となっているものの、同周波数帯のアンテナ一体型SRU同様に送受信ブランチ数は4としている。

(c)RRU基本仕様

RRUは、5Gエリアの早期拡大に向け、SRUと比較して高出力の装置として、5Gサービス



(a)アンテナ一体型SRU



(b)アンテナ分離型SRU

写真2 SRU外観例

*12 Beamforming：送信信号に指向性をもたせることで、特定方向の信号電力を増加／低下させる技術。複数のアンテナ素子（RF装置）の位相制御により指向性を形成するアナログビームフォーミングと、ベースバンド部において位相制御するデジタルビームフォーミングが存在する。

*13 無線装置（RE）：フロントホールを介してベースバンド処理部

と接続される無線装置。

*14 レイヤ：MIMOにおいて同時に送信するストリームの数。

展開に合わせて開発された(写真3)。本装置は以下のような特徴を有する(表5)。

5Gの広帯域幅をサポートするために、従来のマクロセル用RE(RRE:Remote Radio Equipment*15)と比較して装置サイズが大きくなる傾向となるが、最新のデバイス動向をかんがみ、早期に省スペース化・軽量化が期待できるアンテナ分離型を先行開発して導入した。最大送信出力はマクロセルのエリア半径を考慮し、36.3W/100MHz/ブランチ*16とした。また、送受信ブランチ数は4としており、アンテナ分

離型SRUと同様のMIMO送受信レイヤ数を実現している。

ドコモでは、引き続きアンテナ一体型RRUについても導入予定であり、今後は設置場所などをかんがみながらそれぞれの機種を活用して柔軟に5Gエリアを構築していく予定である。

(3)5G FHM

5G FHMは、フロントホール上の無線信号を最大12分配、合成する機能をもつ装置であり、RRU同様に5Gサービス展開に合わせて開発された(写真4)。5G FHMを用いない場合は、1台のRUごとに1セ

表4 SRUの基本仕様

周波数帯	アンテナ一体型SRU			アンテナ分離型SRU	
	3.7GHz帯	4.5GHz帯	28GHz帯	3.7GHz帯	4.5GHz帯
最大送信電力	—	—	—	2.76W/100MHz /ブランチ	4.58W/100MHz /ブランチ
最大EIRP	19.5W/100MHz /ブランチ	32.4W/100MHz /ブランチ	2.09W/100MHz /ブランチ	—	—
ブランチ数	4		2	4	
サイズ	7ℓ以下			6.5ℓ以下	
装置重量	7kg以下			8kg以下	
消費電力	400W以下				
電源	AC 100V/200V				



写真3 RRU外観例

表5 RRUの基本仕様例

	アンテナ分離型RRU
周波数帯	3.7GHz帯
最大送信電力	36.3W/100MHz/ブランチ
ブランチ数	4
サイズ	18ℓ以下
装置重量	16kg以下
消費電力	1kW以下
電源	DC -48V

*15 RRE: 光ファイバなどを使って基地局から離れた場所に設置した基地局無線装置。

*16 ブランチ: 本稿では、アンテナおよびRF送受信機の総称。

ルとして収容するが、5G FHMを用いることにより、最大12台のRUを1セルとしてCUに収容可能となり、5Gサービス開始当初、必要な無線容量が少ない場所のエリア化において、より多くのRUを1台のCUに収容することが可能である（図5）。また、従来のFHM同様、全RUが同一セルの無線信号の送受信を行うため、RU間の干渉や、RU間をまたがるハンドオーバー（HO：Hand Over）*17制御の発生を抑止することが可能である。なお、5G周波数帯である3.7GHz帯・4.5GHz帯・28GHz帯すべてに対応しており、それぞれの周波数帯の用途に応じて柔軟にエリア構築が可能となっている。

3.2 5G無線アクセスネットワーク対応

5Gサービスを実現するRANの構成と、無線アク

セスネットワーク*18技術としてLTE-NR Dual Connectivity*19、Beam Management技術、NR高速化対応に関する技術概要を解説する。

(1)RANの構成

5G商用サービス展開にあたっては、ドコモはNRの特徴の1つであるノンスタンドアロン運用にてサービスを提供している。ノンスタンドアロンとは、NR単独ではエリア提供せず、LTE/LTE-Advancedのエリアをアンカーとして利用し、サービスを提供する運用形態である。図6に示すように、NRのノンスタンドアロン運用においてeNB（evolved NodeB）*20は、NRを提供する基地局であるgNB*21とはX2*22インタフェースを用いて接続する。また、eNBとgNBはEPC（Evolved Packet Core）*23とS1インタフェースを用いて接続する。ノン



写真4 5G-FHM外観例

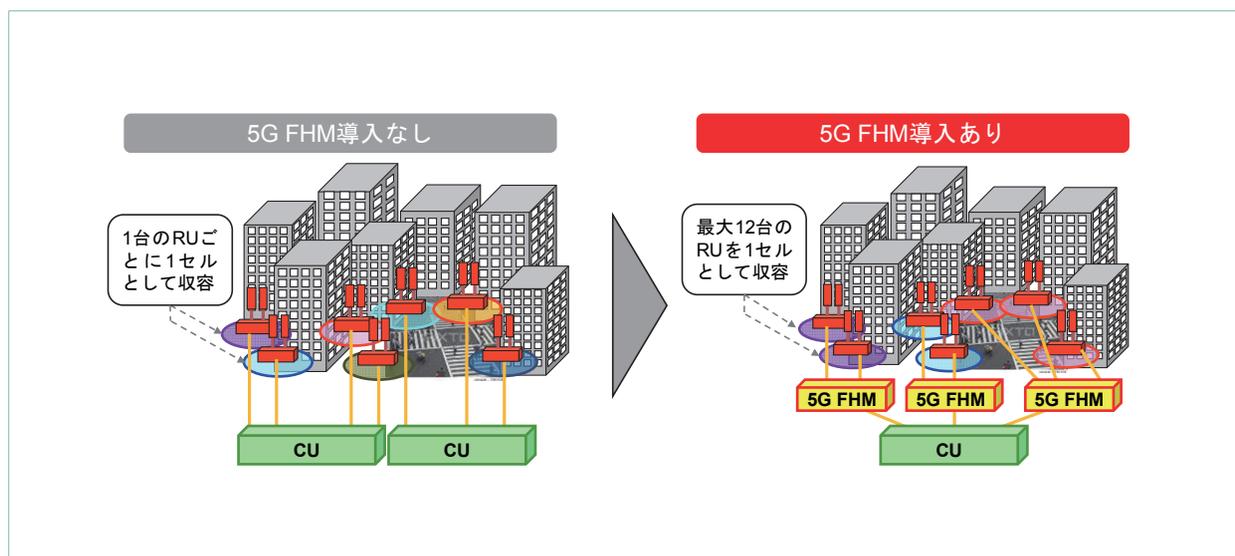


図5 5G FHM導入イメージ

*17 ハンドオーバー（HO）：通信中の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 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。
 *19 Dual Connectivity：マスターとセカンダリの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送受信することで、広帯域化を実現する技術。

*20 eNB：LTE無線を提供する無線基地局。

*21 gNB：NR無線を提供する無線基地局。

*22 X2：3GPPで定義されたeNodeB間のリファレンスポイント。

スタンドアロンではLTEをアンカー*²⁴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レベルを実現しつつ、LTE装置との併用による既存ネットワークインフラの活用により早期に商用化を実現した。またeNBとgNB間の接続に際してドコモらが主導したO-RAN X2仕様に準拠し、LTEとNRの、異なるベンダ間における相互接続を可能とした。すでに展開されているLTEエリアに対して5Gエリアを迅速かつ柔軟に展開することもできるようになった。

今後提供予定のNRのスタンドアロンは、gNBのみでサービス提供を可能とするもので、RANは新しいコアネットワーク（5GC：5G Core network）に接続する。gNB間はXnインタフェースを用いて接続し、gNB-5GC間はNGインタフェースを用いて接続する。

(2)LTE-NR Dual Connectivity

前述の通り既存のLTE/LTE-AdvancedとNRとを組み合わせてサービス提供するノンスタンドアロー

ン構成において、UEに対してLTE/NR両方で同時に通信するアーキテクチャがLTE-NR Dual Connectivityである（図7）。LTE-NR Dual Connectivityでは、LTE/NRそれぞれの無線リソース*²⁵を同時に送るSplit Bearer*²⁶が規定されており、最大5つのLTEキャリア*²⁷とNRとの同時送信を実現し、高速化や柔軟な5G商用サービス展開を可能としている

LTE-NR Dual Connectivityの、LTE基地局がMN（Master Node）*²⁸となる運用においては、NR側の帯域が大きくなるに連れてLTE基地局側でMCG（Master Cell Group）Split Bearerを行う必要があり、そのため、NR装置に比べ能力に制限のあるLTE基地局装置側の増強が必要であり、それに伴う装置開発・運用コストの増加につながる。そこでLTE基地局装置の増強を抑えつつ、その装置能力によるスループットの制約を回避するために、LTE-NR Dual Connectivityではユーザデータの分岐点をNR装置であるSN（Secondary Node）*²⁹で設定でき

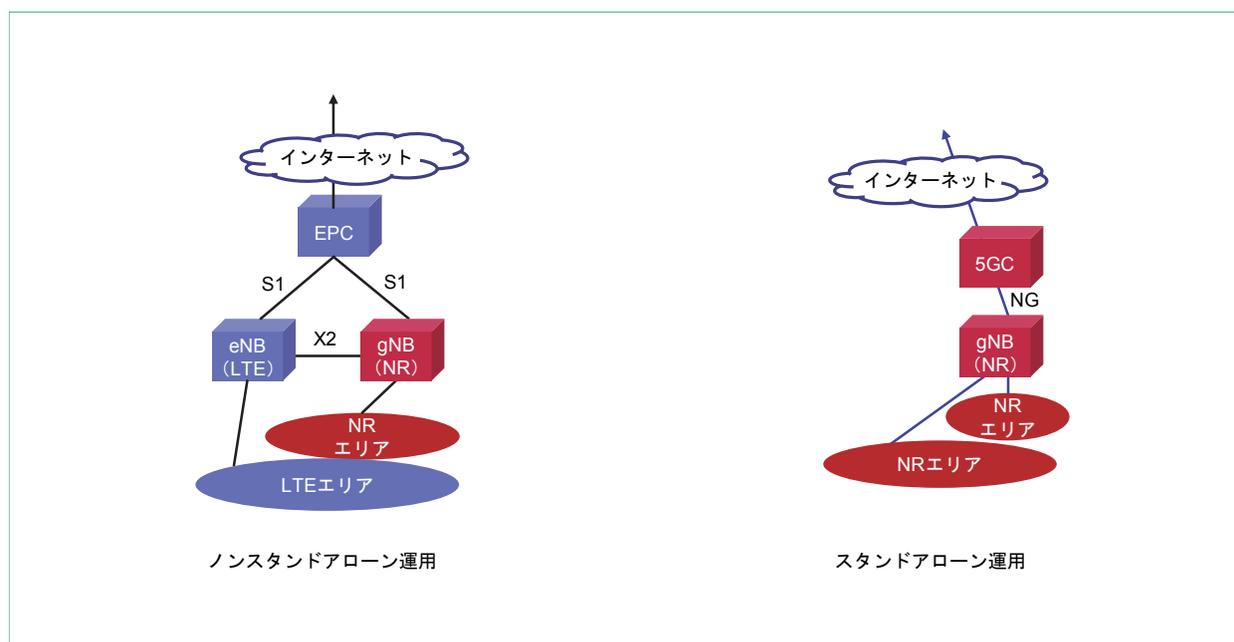


図6 5Gにおけるネットワーク構成

*²³ EPC：3GPP移動通信網における主にE-UTRAを収容するコアネットワーク。
 *²⁴ アンカー：制御信号もしくは、ユーザベアラの切替え基点となる論理的ノード地点。
 *²⁵ 無線リソース：無線チャネル（周波数）割当てに必要となるリソースの総称。

*²⁶ Split Bearer：Dual Connectivityにおいて、マスターとセカンドの両方の基地局を介して送受信されるベアラ。
 *²⁷ キャリア：情報を伝達するために変調される電波（搬送波）。
 *²⁸ MN：Dual Connectivity中の端末とRRC connectionを確立する基地局。LTE-NR Dual Connectivityにおいて、MNは、LTE基地局（eNB）、もしくはNR基地局（gNB）がなり得る。

るようにSN terminated split bearer, およびSN Terminated MCG Bearerが仕様化されている (図8)。SCG split bearerはユーザデータをSNのキャリアに伝送しつつMNのキャリアにも転送を行い, SNおよびMN同時にデータをユーザに伝送できるようにする方法である。これにより高速化通信を実現して

いる。またSN terminated MCG BearerはNRのエリア外においてもSNからデータ転送を行えるようにする方法であり, これにより安定的な通信を実現している。

(3)Beam Management技術

NRでは新たにBeam Management技術を採用し

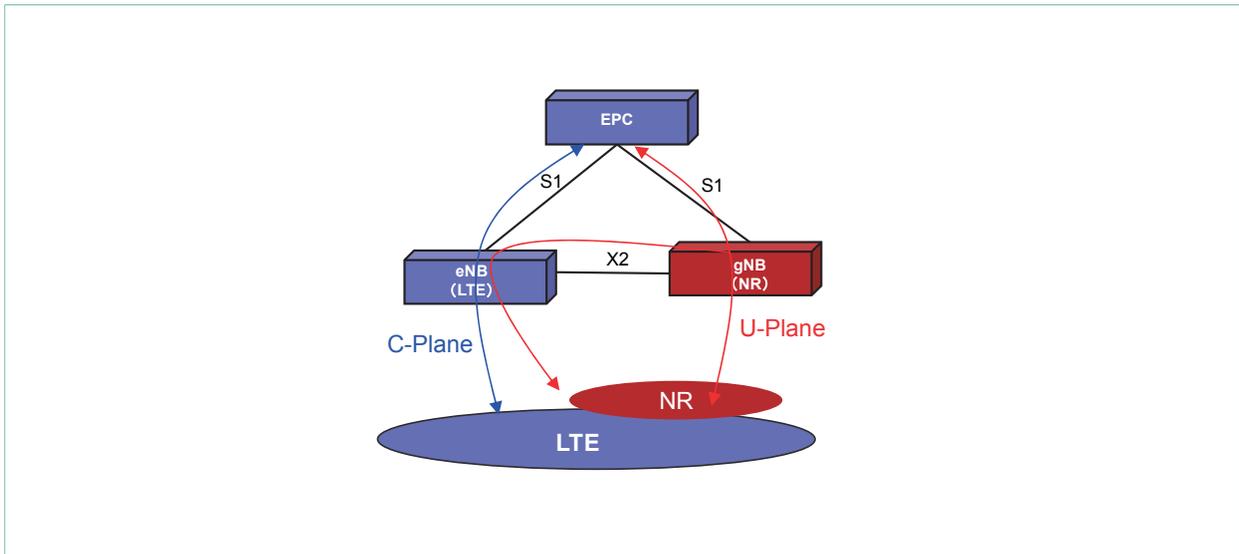


図7 LTE-NR Dual Connectivity接続イメージ

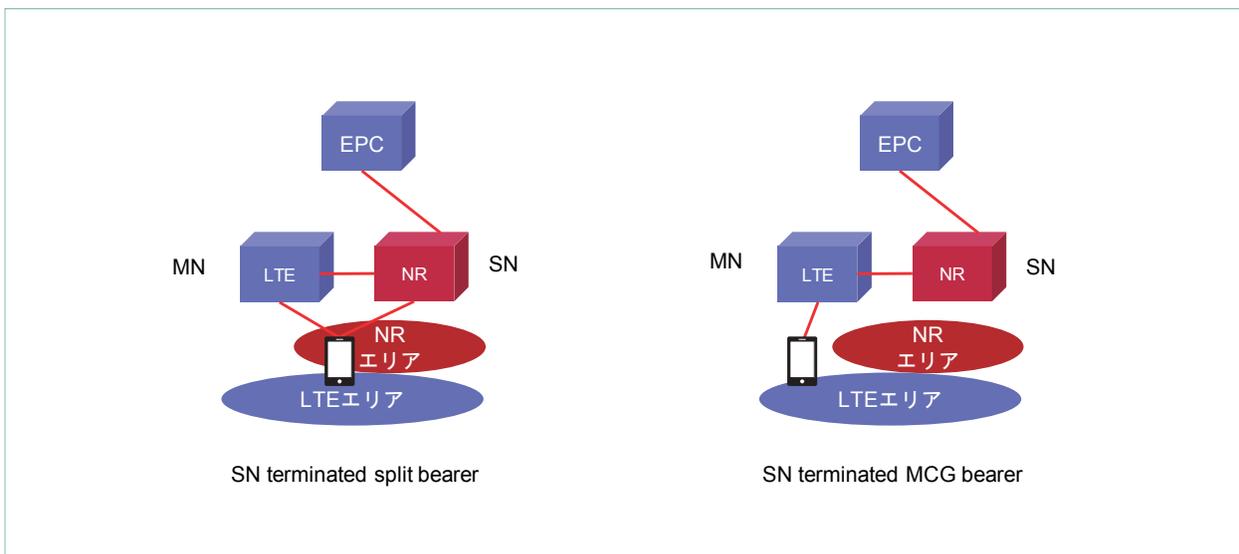


図8 SN terminated split bearerおよびSN terminated MCG bearer

*29 SN : Dual Connectivity中の端末に, MNの無線リソースに加えて, 追加で端末に無線リソースを提供する基地局。LTE-NR Dual Connectivityにおいて, SNは, MNがLTE基地局 (eNB) の場合はNR基地局 (gNB), MNがNR基地局 (gNB) の場合はLTE基地局 (eNB) になり得る。

ている。前述のようにアンテナ一体型RUについては複数ビームを形成するような構成となっている(図9)。

FR1 (Frequency Range 1)^{*30}ではBB信号に位相回転を与えることによりビーム形成するDigital beamformingを採用し、FR2 (Frequency Range 2)^{*31}ではRF (Radio Frequency) 信号^{*32}に位相を与えることによりビーム形成するAnalog beamformingを採用している。NR接続開始時の最適ビーム選択処理および、UEの移動などによる無線品質変更に伴いビームを変更するビーム切替え処理を具備し、通信するUEの位置に応じた最適な送受信ビームを使用することで、高周波数帯においてもカバレッジの確保を実現している。また、UEの位置に対してビームを向けることにより、不要な方向への電波の放射が抑制され、セル間の干渉の抑圧効果も期待できる。

(4)NR高速化対応

5GではLTE/LTE-AdvancedとNRとのDual ConnectivityにてNRも同時に利用することにより、さらなる高速通信が実現される。現在ドコモではLTE/LTE-Advancedにて、下り通信は5つのコン

ポーネントキャリア^{*33}をキャリアアグリゲーション^{*34}することにより下り最大1.7Gbpsのサービスを提供しているが、ドコモの5Gでは導入当初からLTE/LTE-Advancedの5つのコンポーネントキャリアとNRのDual connectivityを実現しており、NRとして3.7GHz帯または4.5GHz帯を利用する場合は最大3.4Gbps、NRとして28GHz帯を利用する場合は最大4.1Gbpsを実現している。

また、上り通信においては、28GHz帯において、合計200MHz (2コンポーネントキャリア) をキャリアアグリゲーションで同時利用することに加え、2×2 MIMOの導入により、合計480Mbpsを実現している。

さらに、今後、下り通信においては3.7GHz帯と4.5GHzのキャリアアグリゲーション、上り通信においては28GHz帯における400MHz (4コンポーネントキャリア) のキャリアアグリゲーションによりさらなる広帯域利用による高速化を狙う。

3.3 コアネットワーク装置開発

国際的な標準化団体である3GPPにおいては、5Gの提供に向けた複数のマイグレーションのアーキテ

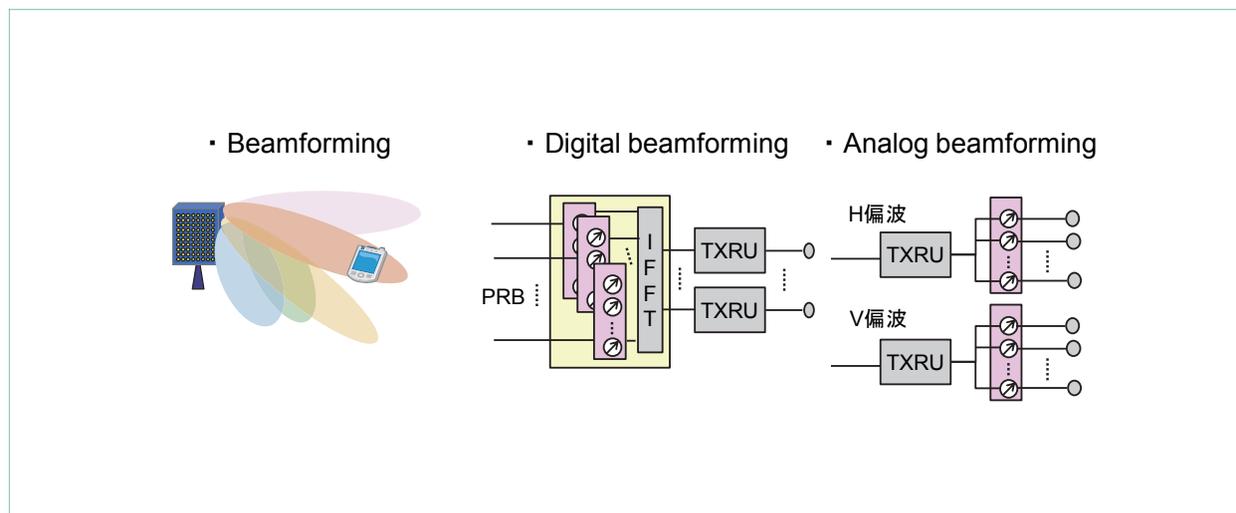


図9 Beamforming技術の種別

*30 FR1：3GPPにおいて規定されている周波数バンドについての分類。FR1：450～6,000MHz。

*31 FR2：3GPPにおいて規定されている周波数バンドについての分類。FR2：24,250～52,600MHz。

*32 RF信号：無線周波数帯の信号。

*33 コンポーネントキャリア：使用される搬送波を1つの周波数ブロックとしたもの。LTEは最大20MHz、NRはFR1は最大100MHz、FR2は最大400MHz。

*34 キャリアアグリゲーション：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。

クチャが規定されている。3GPPに規定されているアーキテクチャの一覧を図10に示す。Option 1がLTEで提供しているアーキテクチャであり、5Gを提供するにあたりOption 2~5, 7の、どのアーキテクチャを採用するかは各オペレータの判断になる。ドコモは前述した通り、5G導入当初においてはLTEで商用運用しているEPCを拡張することでNRと接続し、5Gを提供するOption 3アーキテクチャを採用している。これにより、LTE/LTE-Advancedで展開済みの安定した品質を担保可能としつつ、早期に5Gの商用提供を実現した。なお、5G導入当初は世界的に見て多くのオペレータがOption 3を採用している。

今後は新しいコアネットワークである5GCの導入も含め、将来のマイグレーションに向けた検討を続けていく。

(1)Option 3xアーキテクチャ

前述の通り、装置開発・運用コストを抑制するためのSCG split bearerによるユーザデータの転送処理を行っている。つまり制御系信号のやり取りはEPC-eNB間で行い、ユーザデータのやり取りはEPC-gNB間で行っている。これはOption 3xとして標準上規定されている。

Option 3xアーキテクチャを図11に示す。EPCはeNBとのS1インタフェースおよびUEとのNAS (Non-Access Stratum)*35インタフェースを拡張することでNRを収容可能となるため、コアネットワーク装置への影響を軽減でき、安定した品質と早期導入を両立可能なことが最大の特長である。

(2)高スループット対応

5Gでは最大で4.1Gbpsの下りスループットを提供し、今後もより高速・大容量通信を実現するために



図10 5Gへのマイグレーションアーキテクチャ

*35 NAS : UEとコアネットワークとの間の機能レイヤ。

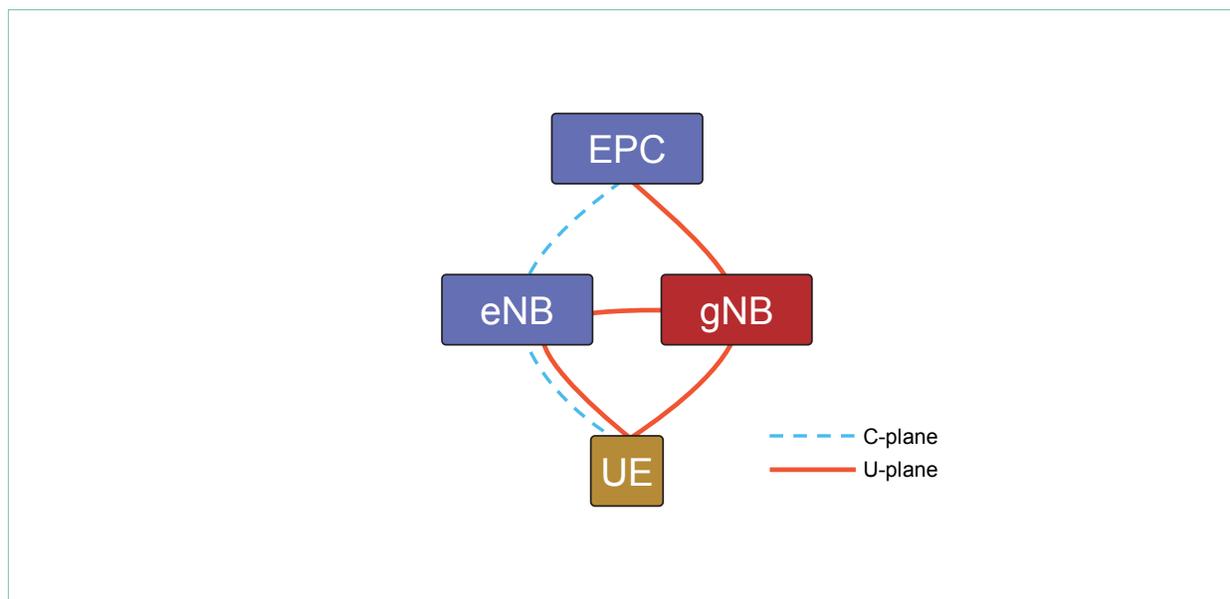


図11 Option 3x アーキテクチャ

開発を続けていく。一方、EPCはさまざまな能力の装置が混在しており、5Gの求めるスループットの提供が困難な装置も存在する。これらをかんがみ、EPCの中でデータ転送処理を担うS/P-GW (Serving Gateway/PDN Gateway)^{*36}を選択する際に、5Gのスループットを提供可能なS/P-GWを選択する開発を実施した。

具体的には、MME (Mobility Management Entity)^{*37}でS/P-GWを選択する際にTA (Tracking Area)^{*38}やAPN (Access Point Name)^{*39}をキーにDNS (Domain Name System)^{*40}を引くことで、応答に含まれるレコードからS/P-GWを選択しているが、DNSの応答に含まれるサービスパラメータ (network capability) に5G能力を示す値 (+nc-nr) を追加した。5Gユーザに対しては、この値に応じて5Gのスループットを提供可能なS/P-GWを選択することで高速通信を実現している。

(3)低遅延ネットワーク

5Gの商用開始と同時にドコモオープンイノベーションクラウドの提供も開始した。ドコモオープン

イノベーションクラウドはMEC (Multi-access Edge Computing)^{*41}の1つの形態として提供しており、コアネットワークを含めたコンピューティングリソースを端末に近いところに配備することでEnd to Endの通信遅延を短縮することが可能になる。さらに接続端末とクラウド基盤間の通信経路を最適化することでネットワーク伝送遅延を短縮する「クラウドダイレクト™」も提供する。

ドコモオープンイノベーションクラウドのサービス概要などは次号以降の特集で扱う予定である。

4. あとがき

本稿では、5G商用サービス提供を行うための無線基地局装置、およびコアネットワーク装置の開発内容について解説した。

ドコモは5Gを通じてさまざまなパートナーと協創し、豊かな社会の実現に貢献するとともに、今後とも先進的で高度な技術開発を進めていく。

^{*36} S/P-GW：S-GWは3GPPアクセスシステムを収容する在圏パケットゲートウェイ。P-GWはPDNとの接続点であり、IPアドレスの割当てや、S-GWへのパケット転送などを行うゲートウェイ。

^{*37} MME：eNBを収容し、モビリティ制御機能などを提供する論理ノード。

^{*38} TA：1つまたは複数のセルから構成され、ネットワーク上で管理される移動端末の位置を示すセル単位。

^{*39} APN：ネットワーク接続によりデータ通信を行う際、接続先として設定するアドレス名。

^{*40} DNS：IPネットワーク上のホスト名とIPアドレスの対応付けを行うシステム。

文 献

- [1] 古城, ほか: “5G商用サービス概要,” 本誌, Vol.28, No.1, pp.6-10, Apr. 2020.
- [2] 総務省: “情報通信審議会 情報通信技術分科会 新世代モバイル通信システム委員会報告 (平成30年7月31日),” Jul. 2018.
https://www.soumu.go.jp/main_content/000567504.pdf
- [3] 総務省: “第5世代移動通信システムの導入のための特定基地局の開設計画の認定,” Apr. 2019.
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000378.html
- [4] 藤井, ほか: “3.5GHz帯TD-LTE導入に向けた基地局装置の開発,” 本誌, Vol.24, No.2, pp.8-13, Jul. 2016.
- [5] 吉原, ほか: “高度化C-RANアーキテクチャを実現する無線装置およびアンテナの開発,” 本誌, Vol.23, No.2, pp.19-24, Jul. 2015.
- [6] NTTドコモ報道発表資料: “(お知らせ) 世界初, O-RAN国際標準仕様を用いた4G・5Gマルチベンダー基地局を5Gプレサービスで運用開始,” Sep. 2019.
https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2019/09/18_01.html

*41 MEC: ユーザに近い位置にサーバを設置したシステムのこと。通常サーバはインターネット上に設置されるが, MECサーバはキャリア網内に設置することで, 遅延を減らすことができる。これにより, 通信の応答速度 (レスポンス) を大幅に向上させる。