

5GにおけるNR上位レイヤ仕様

無線アクセス開発部

うちの 内野	とおる 徹	かい 甲斐	けんじ 健次
とえだ 戸枝	てるあき 輝朗	たかはし 高橋	ひであき 秀明

3GPPにおいて5G向けの無線通信方式であるNR仕様が2018年6月に完成した。本稿ではNRの上位レイヤの中から、ノンスタンドアローン（NRと既存のLTE/LTE-Advancedとを組み合わせる運用）およびスタンドアローン（NR単独で運用）に必要な仕様を解説する。まず、標準化されたアーキテクチャと、LTEとNRの無線リンクを同時に利用するノンスタンドアローン向けに規定されたベアラタイプについて述べる。さらに、上位レイヤの主な機能の中から、2017年10月の特集号で触れていないレイヤ2/3のプロトコル機能について述べ、加えてNRを提供する基地局で用いられるネットワークインタフェースについて解説する。

1. まえがき

3GPP (3rd Generation Partnership Project) では2016年3月より第5世代移動通信システム (5G) が検討されているが、このうち実現性検討であるSI (Study Item)*1の中で議論された内容については、2017年の特集記事にて概説した [1] [2]。3GPPでは、SIで検討・合意された内容を基に2017年3月よりWI (Work Item)*2フェーズへ移行し、実際の標

準仕様の作成作業が開始された。

Release 15標準仕様は、既存のLTE/LTE-AdvancedネットワークとNR (New Radio) を連携して運用するノンスタンドアローン向け、NR単独で運用するスタンドアローン向けがあり、2018年6月までにそれぞれリリースされている。本稿では、3GPP標準化において仕様化されたNRの上位レイヤ仕様を解説する。

©2018 NTT DOCOMO, INC.
本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

- *1 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。
- *2 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。

2. 標準化されたアーキテクチャとベアラ種別

2.1 アーキテクチャ

前述の通り、3GPP Release 15ではNRの運用形態に関して、ノンスタンドアローン向けとスタンドアローン向けの仕様が規定された。ノンスタンドアローンは、既存のLTE/LTE-Advancedと組み合わせてサービスを提供する運用形態であるのに対し、スタンドアローンは、NR単独でもそれが可能である。それぞれの運用に対応した無線アクセスネットワーク（RAN：Radio Access Network）^{*3}の構成を図1に示す。コアネットワーク（CN：Core Network）^{*4}には、ノンスタンドアローンではLTEで用いられている従来のEPC（Evolved Packet Core）^{*5}を用いるのに対し、スタンドアローンでは新たに5GC（5G Core）を用いる。

3GPPでは、5Gを早期に運用したいオペレータの要望をくみ取り、段階的に標準仕様がリリースされた。具体的には、2017年12月にノンスタンドアローン向けの上位レイヤ^{*6}機能やLTE基地局（eNB：evolved NodeB）とNR基地局（gNB）間で用いるネットワークインタフェース^{*7}が仕様化された。続いて、2018年6月にはスタンドアローンに追加に必要な機能やネットワークインタフェースおよび、LTEを介して5GCに接続するためのLTE向け拡張機能が仕様化された。2018年12月には、端末が複数の基地局と同時に通信しながら5GCに接続するアーキテクチャ（LTE-NR DC（Dual Connectivity）^{*8}やNR-NR DC）が仕様化される。

2.2 ノンスタンドアローンにおけるベアラタイプ

ノンスタンドアローンにおけるベアラタイプは、

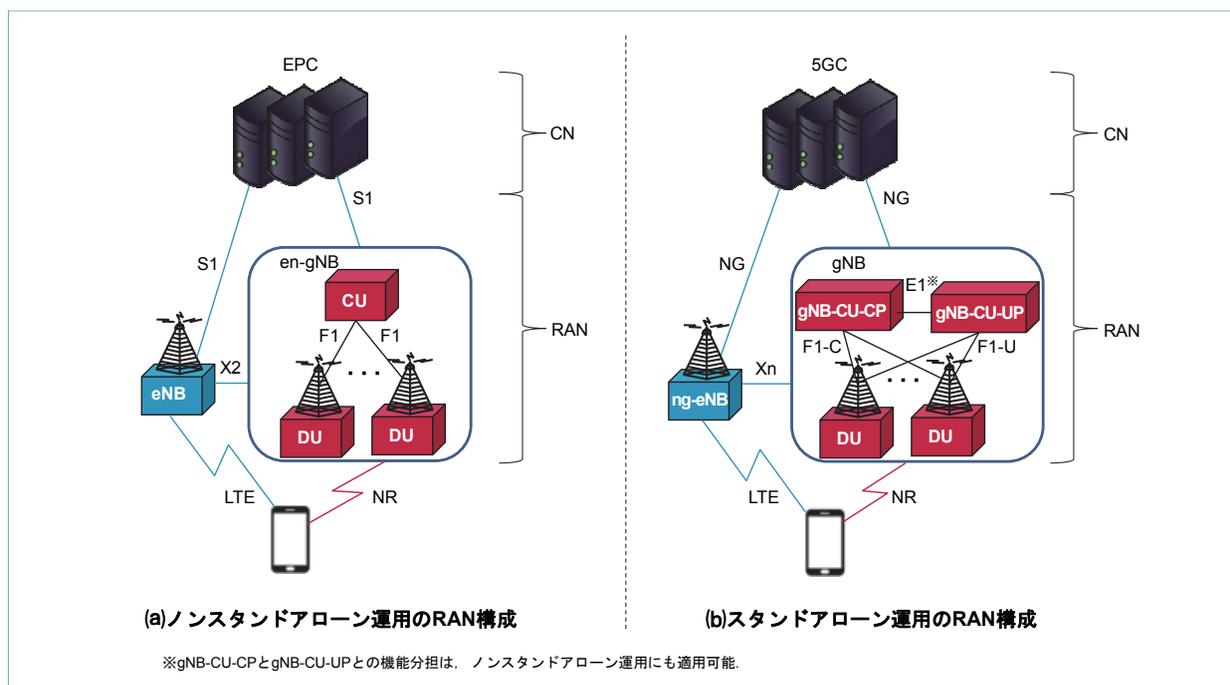


図1 NRを用いるRAN構成

- *3 無線アクセスネットワーク（RAN）：CN（*4参照）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。
- *4 コアネットワーク（CN）：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。
- *5 EPC：LTEをはじめとした無線アクセス網を収容するコアネットワーク。

- *6 上位レイヤ：物理レイヤより上位に位置するすべてのレイヤであり、具体的にMAC（*44参照）、PDCP（*22参照）、RLC（*20参照）、SIAP、X2APなどを指す。
- *7 ネットワークインタフェース：RAN内、RAN-CN間、CN内で用いられるインタフェースであり、具体的にはX2、S1、Xn、NG、F1、E1などを指す。

Release 12 LTEのDC向けに規定されたものをベースとし、より柔軟なベアラ制御を可能とするための拡張が行われた。ノンスタンドアロン向けに規定されたベアラ種別を図2に示す。

LTE-DCでは、複数の基地局（MN（Master-Node）*9および、SN（Secondary Node）*10と呼ぶ）の無線リソース*11を同時に用いるSplit bearerが規定されたが、その際のネットワーク側におけるベアラの終端ノードはMNに限定されている [2]。ノンスタンドアロンでは、LTE無線を用いて端末とNWとの接続性を担保するため、MNとしてeNBが用いられる。しかし、LTE-DCのSplit bearerと同様な規定をノンスタンドアロンで用いると、LTEおよび、NRで送受信されるU-plane*12データはすべてeNBで処理、ルーティングされることとなる。

その場合、eNB装置の処理能力がボトルネックとなって無線の伝送レートが制限されるおそれがある、という課題が標準化の議論の中で指摘され、SNでベアラを終端するSplit bearer（文献 [2] の図1におけるSCG（Secondary Cell Group）split bearer）が新たに規定された。また、この新しいベアラタイプの導入に際し、端末観点でベアラタイプのバリエーションを削減するためのベアラタイプ統一化や、より効率的な運用を可能とするためのさらなる拡張が議論された。

(1)ベアラタイプ統一化

新しいベアラタイプの導入に伴って仕様上、端末観点で4つのベアラタイプが規定されることとなったが、どのベアラタイプを用いるかは通信事業者ごとに異なり、それら複数の通信事業者の異なる要望

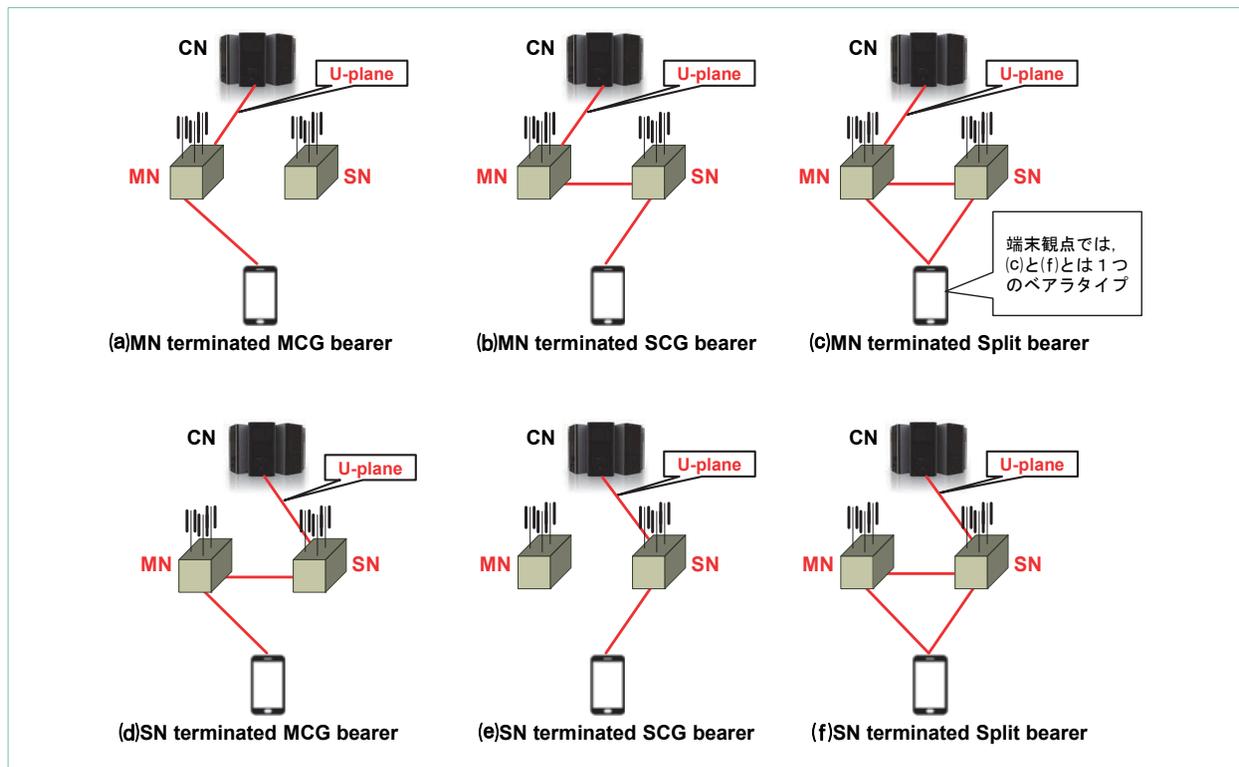


図2 ノンスタンドアロン運用におけるベアラ種別

- *8 DC：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。
- *9 MN：DC中の端末とRRC connectionを確立する基地局。LTE-NR DC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。
- *10 SN：DC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 DC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）がなり得る。

- *11 無線リソース：無線チャンネル（周波数）割当てに必要となるリソースの総称。無線送信電力、TRX（Transmitter and Receiver）リソース、BB（Base Band）チャンネル、RLC（*20参照）リソースなどがある。
- *12 U-plane：ユーザデータを転送するためのプロトコル。

に應えるために複数の異なるベアラタイプを実装すると端末のコスト上昇の要因となる。そこで、ベアラタイプのバリエーションをできるだけ少なくするため、ベアラタイプの統一化が図られた。具体的には、MNで終端されるSplit bearer (図2(c)) および、SNで終端されるSplit bearer (図2(f)) について、用いられるU-planeプロトコルスタック^{*13}や、レイヤ2で提供される機能・動作がほぼ同等であることから、端末観点ではそれらを区別せず、同じベアラタイプとみなすことができる。これにより、標準仕様上はそれらを1つのSplit bearerとして規定することで、端末観点でのベアラタイプのバリエーションを削減することが可能となった。

(2)効率的な運用を可能とするネットワーク内のベアラ構成

SNで終端されるSplit bearer (図2(f)) ではユーザがSNのエリアを出入りするたびに端末に対してEN-DC^{*14}を設定・削除すると、ネットワーク側ではベアラの終端ノードがMN, SN間で切替えられることとなり、その都度パススイッチ^{*15}のための制御信号が基地局とCN間で発生するという課題が標準化の議論の中で挙げられた。特に、NRの導入初期は、ミリ波^{*16}高周波数を用いてNRがホットスポット^{*17}的に運用されることが想定されるため、そのような切替えが頻繁に発生する可能性がある。そのようなパススイッチを回避する対処方法として、ユーザがSNのエリアを出たとしても、基地局は端末のEN-DCを解除せず、ネットワーク側でも無線ベアラの終端ノードをSNに維持することでパススイッチの発生を回避するという案も検討された(U-planeデータはLTE側で送受信される)。しかしこの場合、端末がNRのエリア外でNRセル^{*18}をサーチし続けるため、端末のバッテリー浪費となる。

そこで、端末に対するEN-DC設定有無にかかわらず、ベアラの終端ノードをネットワーク側で自由に

設定できるようなネットワーク間プロシージャ^{*19}が規定された。例えば、EN-DC設定時においてSNで終端されるSplit bearer (図2(f)) が用いられる場合、無線ベアラはSNで終端されている。端末がSNのエリアをでると、基地局は端末のSN側の(RLC (Radio Link Control))^{*20}レイヤ以下の無線リソース設定を削除し、端末はデータ送受信にLTEのみを使う状態となるが、ネットワーク観点では図2(b)のようにベアラの終端ノードとしてSNが使われ続けるため、CNとのパススイッチのための制御信号は発生しない。

このようにノンスタンドアロンにおけるU-planeデータの流し方はネットワーク観点で柔軟な構成が取れるため、それらに対応するための呼称ルールが整理された。具体的には、U-planeのベアラタイプは以下2つの要素の組合せによって表現される。

- ・ベアラの終端ノード (MNで終端, SNで終端) により、MN terminated bearerとSN terminated bearerに区別される。
- ・どのノードの無線信号を使ってデータ送受信を行うか (MNの無線のみ, SNの無線のみ, 双方の無線) により、MCG (Master Cell Group) bearer, SCG bearer, Split bearerと区別される。

したがって例えば、図2(c)はMN terminated Split bearer, (d)はSN terminated MCG bearerと表現される。

3. NRにおける上位レイヤの主な特徴

3GPPにて仕様規定されたNRのC-plane^{*21}, U-planeのプロトコルスタックおよび、機能を解説する。

3.1 C-plane

NRのC-planeプロトコルスタックを図3に示す。

*13 プロトコルスタック：プロトコル階層。

*14 EN-DC：NRノンスタンドアロン運用のためのアーキテクチャ。LTE無線でRRC connectionを行い、追加の無線リソースとして加えてNRを用いる。

*15 パススイッチ：CNと基地局間のデータ送受信に用いる経路の変更処理。

*16 ミリ波：電波の波長が1~10mmの周波数帯。

*17 ホットスポット：駅前広場など、トラフィックが集中して発生

する場所。

*18 セル：セルラ方式の移動通信ネットワークと移動端末との間で無線信号の送受信を行う最小のエリア単位。

*19 プロシージャ：基地局間や基地局-CN間、基地局-端末間における信号処理手順。

*20 RLC：無線インタフェースのレイヤ2 (*43参照) のサブレイヤの1つで、再送制御などを行うプロトコル。

C-planeのプロトコルスタックはLTEと同様であり、PDCP (Packet Data Convergence Protocol)^{*22}以下はU-planeと同じプロトコルを採用している。NR RRC (Radio Resource Control)^{*23}プロトコルは、LTE RRCプロトコルを基本としていくつかの新機能が導入された。NR RRCにおける機能分類と、各機能のノンスタンドアローン/スタンドアローン対応有無およびLTE RRC機能からの差分を表1に示す。以降では、NR RRC機能の特徴として、LTE RRC

からの差分を解説する。なお、Split SRB^{*24}/Direct SRB^{*25}およびRRC_INACTIVE^{*26}状態については、2017年の特集記事 [2] を参照のこと。

(1) 報知情報^{*27}のオンデマンド化/エリア化

基地局は、端末が配下セルに在圏するために必要な情報（該当セルの周波数情報やアクセス規制情報など）やその他の共通知報（セル再選択時に必要な情報、隣接セルの周波数情報や公衆警報など）を同報する機能を具備しており、端末は基地局から同報

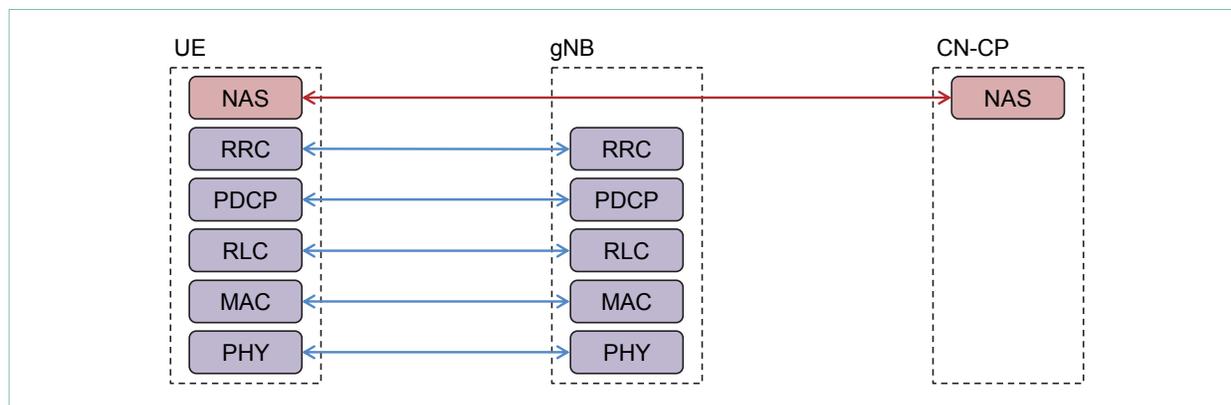


図3 NRのC-planeプロトコルスタック

表1 NR RRCプロトコル機能一覧

大分類	小分類	ノンスタンドアローン	スタンドアローン	LTE RRCからの差分
報知情報	接続に必要な情報の配信	✓	✓	—
	その他の情報配信		✓	オンデマンド化/エリア化
呼接続制御	ベアラ/セル設定	✓	✓	Split SRB/Direct SRBの導入
	CNとの接続設定		✓	RRC Inactive状態の導入
	端末の呼び出し		✓	RAN Pagingの導入
	アクセス規制		✓	アクセス規制技術の統一
モビリティ	ハンドオーバー		✓	—
	セル選択/再選択		✓	—
測定制御	DLの品質測定/報告	✓	✓	ビーム単位測定の導入
	セル識別子の測定/報告	✓	✓	—

*21 C-plane：制御プレーン。通信の確立や切断などをするための制御信号を転送するためのプロトコル。

*22 PDCP：レイヤ2（*43参照）におけるサブレイヤの1つで、秘匿、正当性確認、順序整理、ヘッダ圧縮などを行うプロトコル。

*23 RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するプロトコル。

*24 Split SRB：DC中の端末に対して、MNが生成したRRCメッセージを複製し、SN経由で送信するためのベアラ。

*25 Direct SRB：DC中の端末に対して、SNが直接RRCメッセージを送信するためのベアラ。

*26 RRC_INACTIVE：端末のRRC状態の1つであり、端末は基地局内のセルレベルの識別をもたず、基地局およびコアネットワークにおいて端末のコンテキストが保持されている。

*27 報知情報：移動端末における位置登録要否の判断に必要な位置番号、周辺セル情報、および発信規制制御を行うための情報などを含み、周辺セルごとに一斉同報される。

される報知情報を取得する機能やそれを一定期間保持する機能を具備している。

LTEでは基地局がすべての情報を一定周期で同報していたが、必ずしも端末においてすべての報知情報が必要では無い。例えば、静止端末は隣接セルの情報が不要であり、Inter-RAT (Radio Access Technology) Cell Reselection^{*28}を未サポートの端末については、該当周波数情報が不要となる。このような背景を基に、NRでは最低限必要な情報 (MSI: Minimum System Information) のみ同報を必須とし、それ以外の情報 (OSI: Other System Information) については、提供方法を基地局側で選択可能とした。具体的には、基地局はMSIにて、各OSIを現在同報しているか、オンデマンドで提供しているかを端末に通知し、オンデマンドで提供されるOSIが必要な端末は、報知情報要求を基地局に送信することで、基地局から該当OSIを個別シグナリング^{*29}で取得する。同報する場合は、一定の無線リソースを常に消費するため、使用端末数の少ない報知情報をオンデマンド方式で提供することにより、報知情報にかかる無線リソース使用率の低減が可能となる。

また、LTEでは報知情報はセル単位に同報されており、端末は在圏セルが変わるごとに報知情報を取得する必要があったが、OSIは異なるセルであっても同じ情報が設定され得るため、NRではOSIが同一のエリアをMSIにて通知可能とした。これにより、在圏セル移動時、端末が同一エリア内の他セルで取得した有効なOSIを保持している場合は、在圏セルの報知情報の取得処理をスキップすることが可能なため、端末の消費電力削減が期待される。

(2)RAN Paging^{*30}の導入

LTEでは、RRC_IDLE^{*31}状態の端末への下りリンクデータ発生時の呼出し制御は、CNが、TA (Tracking Area)^{*32}と呼ばれる複数の基地局から構

成されるエリア単位ごとに端末の位置情報を記録/管理し、特定端末への下りリンクデータ発生時は属するTA内の全基地局を介してPagingメッセージを一斉送信することで実現している (図4(a)参照)。

NRではLTEより多くの端末を収容することを想定し、RRC_INACTIVE状態を新たに規定した。RRC_INACTIVE状態の端末における呼び出し制御にLTEと同じ方式を適用する場合、CNとRAN間における制御信号量増加およびPagingにかかる端末と基地局間の無線リソース逼迫が懸念された。これを解消するために、RRC_INACTIVE状態の端末については、RANがCNに代わり端末の位置情報を記録/管理することが規定された。具体的には、RNA (RAN Notification Area) と呼ばれるTAを細分化したエリアを新たに定義し、CNからRRC_INACTIVE状態の端末への下りリンクデータを受信した基地局は、同一RNA内の全基地局を介してPagingメッセージを一斉送信することで、PagingにかかるCNとRANとの間における制御信号量削減および無線リソース使用率低減を実現している (図4(b)参照)。

(3)アクセス規制技術の統一

LTEでは、無線区間における端末からの接続要求信号を規制し、緊急呼などの重要通信の接続性を確保しつつネットワーク装置を保全するためのトラフィック制御技術を具備しており、NRでも同様に採用されている。しかし、LTEでは標準仕様の機能拡張とともに規制対象が拡張されたため、複数の規制制御 (ACB (Access Class Barring)^{*33}, SSAC (Service Specific Access Control)^{*34}, EAB (Extended Access Barring)^{*35}, ACDC (Access Control for general Data Connectivity)^{*36}など) が混在し仕様が複雑化していた [5]。

NRではこの課題を解決するために、LTEにおける複数の規制制御を統一したUAC (Unified Access Control) を新たに規定した。UACでは、端末にお

*28 Inter-RAT Cell Reselection: 異なるRATに属するセルの再選択処理。

*29 シグナリング: 端末と基地局間の通信に使用する制御信号。

*30 Paging: 着信時に待受け在圏中のUEを呼び出す手順および信号。

*31 RRC_IDLE: 端末のRRC状態の1つであり、端末は基地局内のセルレベルの識別をもたず、基地局において端末のコンテキストが保持されていない。コアネットワークにおいて端末のコンテキストが保持されている。

*32 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。

*33 ACB: 災害やイベント (e.g., 正月や花火大会) などでパースト的な接続要求信号を抑制するための方法であり、ネットワークから報知した、各端末が属するアクセスクラス (AC) ごとの規制パラメータを用いて端末自身で規制対象となっているかどうかを評価し、規制対象と評価した場合、端末自身から接続要求信号を送信しないメカニズムである。

ける各種通信要求は1つのAccess Categoryと1つ以上のAccess Identityにマッピングされ、基地局はこの組合せごとに規制が可能となる。

NRで規定されたAccess CategoryとAccess Identityを表2に示す。

・ Access Categoryはサービス種別の識別子であ

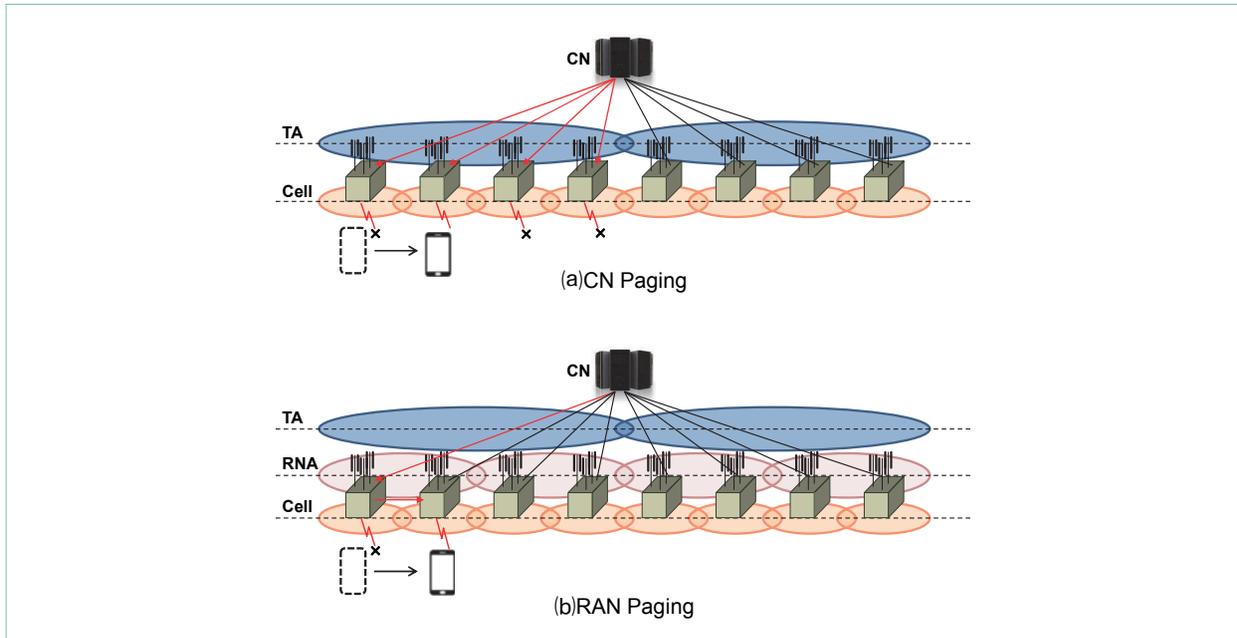


図4 CN PagingとRAN Paging

表2 Access CategoryとAccess Identity

Access Category	端末における通信要求	Access Identity	呼種別
0	着信への応答	0	下記以外
1	Delay tolerantアクセス	1	MPS呼
2	緊急発信	2	MCS呼
3	位置情報などの制御信号	3~10	未定義
4	音声通話	11	AC11
5	ビデオ通話	12	AC12
6	SMS	13	AC13
7	データ発信	14	AC14
8~31	未定義	15	AC15
32~63	オペレータ独自定義		

*34 SSAC：緊急呼以外の音声通話やビデオ通話のための接続要求信号を抑制するための方法。

*35 EAB：MTC（Machine Type Communication）端末における接続要求信号を抑制するための方法。

*36 ACDC：端末のアプリケーション単位の接続要求信号を抑制するための方法。

る。端末における各種通信要求ごとに異なる番号を付与しており、オペレータ独自定義が可能な領域も規定されている。

- ・ Access Identityは呼種別の識別子である。MPS (Multimedia Priority Service)*³⁷呼、MCS (Mission Critical Service)*³⁸呼、優先呼 (Access Class11~15) にそれぞれ異なる番号を付与し、それ以外を一律0としている。

UACの具体的な制御は、基地局がAccess Categoryごとに規制対象のAccess Identityと規制対象パラメータをMSIで端末に通知し、端末は通信要求が発生するたびにAccess CategoryとAccess Identityを基に規制可否を判断し、規制が必要な場合は設定されたパラメータ値に従った規制動作を行うことで実現する。LTEではアクセス規制制御の対象は主にRRC_IDLE状態の端末のみであったが、NRではすべてのRRC状態の端末について規制可能とすることで、よりきめ細やかなアクセス規制を実現可能としている。

(4) ビーム単位測定の導入

基地局は、端末が在圏しているセルやその隣接セルの、下りリンクの品質測定を端末に指示する機能

を具備している。基地局は端末から報告された品質情報に基づき、より品質の良いセルへのハンドオーバー*³⁹制御や、高品質/高スループットを実現するためのセル設定を実施する。

LTEでは、下りリンクの品質測定/報告はセル単位に行われていた。NRでは、高速・大容量を実現するためのMassive MIMO (Multiple Input Multiple Output)*⁴⁰によるビームフォーミング*⁴¹環境 [6] を想定し、セル単位だけではなく、ビーム単位の測定指示・報告も可能とした。これにより、ビームフォーミング環境下においても適切なセル/ビームへのハンドオーバー制御が実現可能となる。

3.2 U-plane

NRのU-planeプロトコルスタックを図5に示す。U-planeのプロトコルスタックはLTEをベースとし、5GC向けにPDCPレイヤの上に新しくレイヤ2プロトコルとしてSDAP (Service Data Adaptation Protocol)*⁴²レイヤが設けられている。他のU-planeレイヤ2*⁴³プロトコルにおける、機能分類と各機能のノンスタンドアローン/スタンドアローン対応有無、およびLTE機能からの差分を表3に示す。

以降では、U-plane機能においてLTEとの差分とな

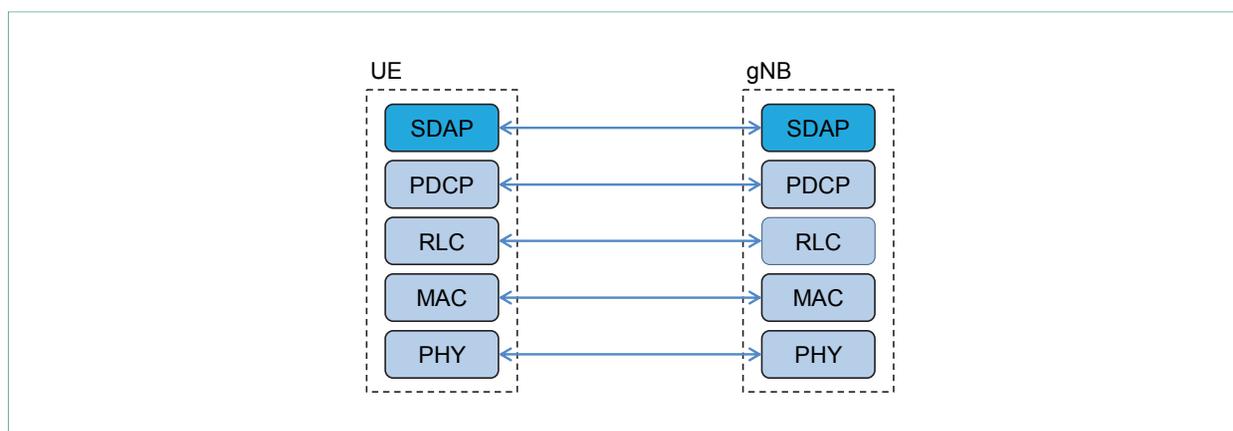


図5 NRのU-planeプロトコルスタック

*³⁷ MPS：ネットワークが輻輳状態時であっても端末に特定通信を提供可能とするサービス。

*³⁸ MCS：システム障害やサービス中断により生命や社会に対して重大な悪影響が起り得るサービス。

*³⁹ ハンドオーバー：通信中の端末が移動に伴いセルをまたがる際、通信を継続させながら基地局を切り替える技術。

*⁴⁰ Massive MIMO：送信と受信にそれぞれ複数素子のアンテナを用いることで無線信号を空間的に多重して伝送するMIMO伝送

方式において、より多くのアンテナ素子で構成される超多素子アンテナの採用により、高周波数帯使用時の電波伝搬損失補償を可能とする鋭い電波ビームの形成や、より多くのストリームの同時伝送を実現する技術。これらにより、所望のサービスエリアを確保しつつ、高速なデータ通信を実現する。

*⁴¹ ビームフォーミング：複数のアンテナの振幅および位相の制御によってアンテナに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。

る特徴の1つであるSDAPレイヤの制御について解説する。なお、MAC (Medium Access Control)*44レイヤのビーム制御については本特集別記事 [6] を、RLCレイヤの packets 順序補正非対応およびURLLC (Ultra Reliable and Low Latency Communication)*45のような高信頼通信向けのPDCPレイヤ packets 重複送信制御については2017年の特集記事 [2] をそれぞれ参照のこと。

5GCの初期検討では、特に欧米のオペレータの要望により、NG (Next Generation) -RAN*46だけでなく、WLAN (Wireless Local Area Network)

アクセスや固定アクセスといった、3GPP以外のアクセス (non-3GPP access) まで含めて統合的に収容するような“Access agnostic” (アクセス独立) の考え方が議論された。

従来のEPCにおけるQoS (Quality of Service) 制御*47では、呼単位にQoSに関連付けられるトンネリング識別子 (TEID: Tunneling Endpoint ID)*48を払い出し、TEIDに基づいてQoS制御を行っていた (図6(a))。しかし、そのような呼単位のTEIDに基づくQoS制御を行わないNon-3GPP access網との親和性を考慮し、5GCでは新しいQoSの枠組みが必

表3 NR U-planeレイヤ2プロトコル機能一覧

レイヤ	機能	ノンスタンドアローン	スタンドアローン	LTEからの差分
MAC	論理チャンネルとトランスポートチャンネル間のマッピング	✓	✓	—
	同一・異なる論理チャンネルのデータ多重・分離	✓	✓	同一論理チャンネルのデータ多重・分離を新規サポート
	スケジューリング	✓	✓	—
	HARQによる誤り訂正	✓	✓	—
	論理チャンネル間の優先度制御	✓	✓	—
	Beam management制御	✓	✓	新規サポート
RLC	パケットのセグメンテーション・再構築	✓	✓	パケット順序補正非対応
	重複検出	✓	✓	—
	プロトコルエラー検出	✓	✓	—
	ARQによるロスレス伝送	✓	✓	—
PDCP	ヘッダ圧縮	✓	✓	—
	パケット順序補正・重複検出	✓	✓	—
	セキュリティ (秘匿・改ざん検出)	✓	(✓)	SA向けにはU-plane向け改ざん検出サポート
	タイムベースのパケット破棄	✓	✓	—
	パケット重複送信	✓	✓	新規サポート
SDAP	QoSフローと無線ベアラのマッピング		✓	新規サポート

*42 SDAP: 無線インタフェースのレイヤ2 (*43参照) のサブレイヤの1つで、QoSフローと無線ベアラとのマッピングを行うプロトコル。

*43 レイヤ2: OSI参照モデルの第2層 (データリンク層)。

*44 MAC: 無線インタフェースのレイヤ2におけるサブレイヤの1つで、無線リソース割当て、TBへのデータマッピング、HARQ再送制御などを行うプロトコル。

*45 URLLC: 低遅延かつ、高信頼性を必要とする通信の総称。

*46 NG-RAN: 5Gコアネットワークに接続されるRAN。無線アクセス技術としてNR、E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) を用いる。

*47 QoS制御: パケットの優先転送など、通信の品質を制御する技術。

*48 トンネリング識別子 (TEID): GTP (GPRS Tunneling Protocol) のプロトコル上で使用される、接続パスの識別子。

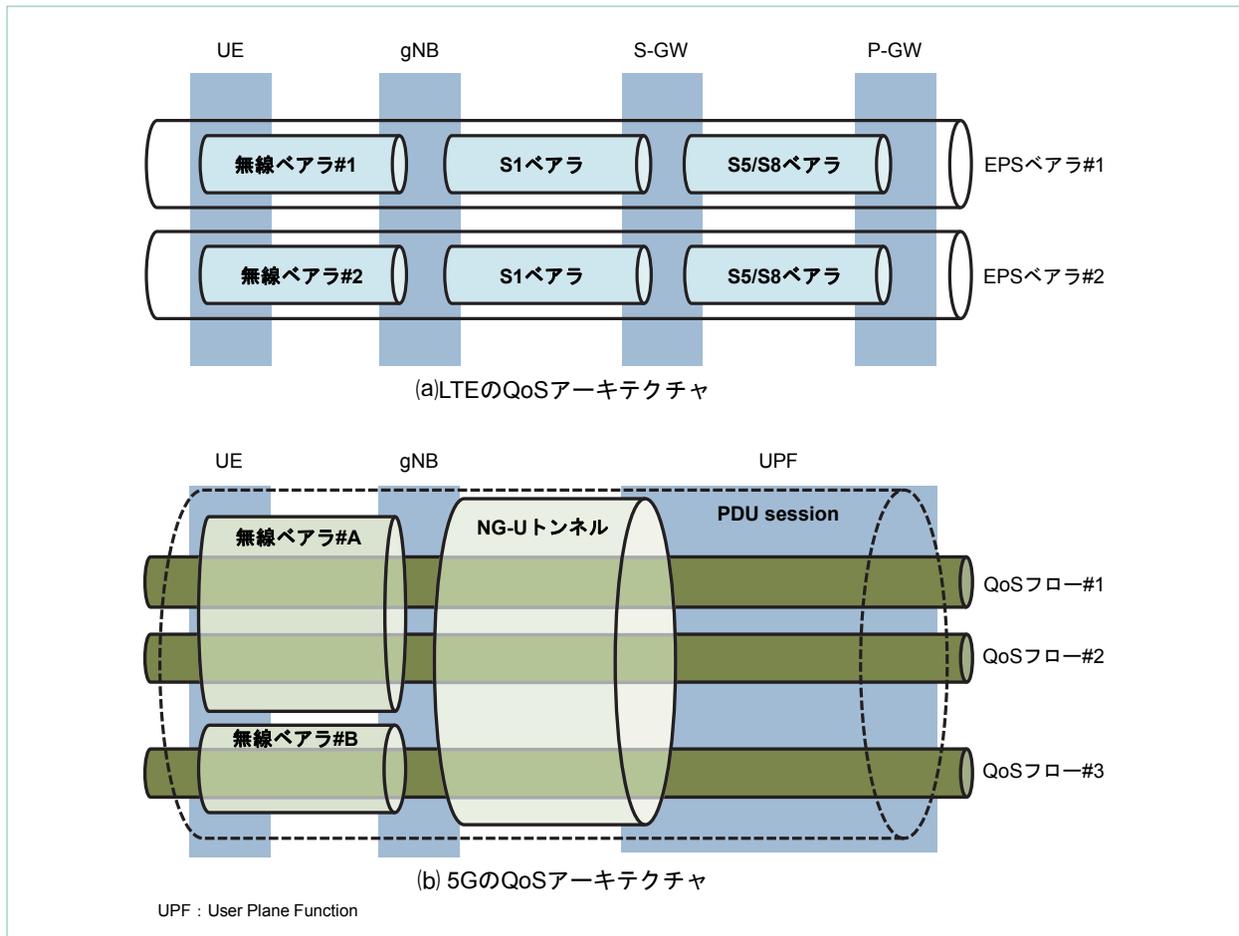


図6 LTEのQoSアーキテクチャ（上段）と5GのQoSアーキテクチャ（下段）

要となった。具体的には、個々のIPパケットにQoS特性への専用のポインタを含むことで、呼単位のTEIDを用いずとも複数のQoS特性をもつパケットを扱うことのできるQoSフロー^{*49}方式が採用された。QoSフロー方式では、CNと基地局間で設定されるPDU (Protocol Data Unit)^{*50} session tunnelを流れる複数のQoSフロー各々が、基地局と端末間で設定される個別の無線ベアラ^{*51}にマッピングされる(図6(b))。

このQoSフローと無線ベアラのマッピングは、NRで新規に導入されたSDAPレイヤで実施される。こ

のマッピングはC-planeで設定することも可能であるが、C-planeによるマッピングの設定および、変更はRRC信号を伴い、設定遅延やオーバーヘッド^{*52}が発生する。

そこで、よりダイナミックなマッピング設定・変更を実現するためにReflective QoS制御が導入されている。具体的には、QoSフローと無線ベアラのマッピング変更が必要とされる場合、CNがパケットごとに、新しいQoSフローの識別子を付与して基地局に送信する。基地局は、新しいQoSフローの識別子を検出すると、パケットに対応するSDAPヘッ

*49 QoSフロー：QoS制御を行う単位を表すフローのこと。

*50 PDU：プロトコルレイヤ・サブレイヤが処理するデータの単位。

*51 ベアラ：ユーザデータパケットの経路。

*52 オーバヘッド：ユーザデータの送受信を行うために必要な制御情報や、受信品質測定に必要な参照信号など、ユーザデータの送信以外に用いられる無線リソース。

ダにその内容を含めて端末へ送信する。端末は、受信したパケットと、対応するSDAPへ付与されている識別子を検出し、自身が管理するマッピング情報を更新し、上りパケットの送信も対応する無線ベアラで行う。このように基地局は、送信するパケットに対してマッピングの設定・変更情報を付与して端末へ通知することで、制御信号を使う場合よりもダイナミックにIPフローに適用されるQoSを変更することが可能となる。

4. ネットワークインタフェース

LTEではネットワーク内のRANノード間、RAN-CN間のインタフェースとしてX2やS1が規定されて

いた。5Gでは、ノンスタンドアローン向けのX2、S1拡張や、NRスタンドアローン向けの新しいインタフェースが議論された。ノード間で用いられるインタフェースを図1に示す。

(1)基地局間インタフェース (X2/Xn)

基地局間で用いられるインタフェースは、ノンスタンドアローン、スタンドアローンで異なっている。ノンスタンドアローンにおける、基地局間(図1(a)のeNB - en-gNB間)のインタフェースには、LTEのeNB間で用いられるX2が流用され、スタンドアローンにおける基地局間(ng-eNBとng-eNB間/gNBとgNB間/図1(b)に示したng-eNBとgNB間)のインタフェースとしてはXnが新たに規定された。X2の拡張機能およびXnの機能を表4に赤字で示す。

表4 X2/Xnインタフェースの主な機能

	機能	X2	Xn	概要
C-plane 機能	インタフェース管理	✓	✓	インタフェースセットアップ/リセット・設定変更/エラーの通知
	UEコンテキスト管理	✓	✓	UEコンテキストを管理する機能
	モビリティ管理	✓	✓	UEのノード間移動管理(ハンドオーバー)など
	同一RAT内DC	✓	*1	同一RATでDCを実現するための機能
	負荷通知	✓*2		他ノードにリソースの負荷状態を通知する機能
	電力削減	✓	✓	CellのON/OFFにより消費電力を削減する機能
	メッセージ転送機能	✓		他eNBにメッセージを転送する機能
	UEコンテキスト転送	✓		UEコンテキストを他ノードに転送する機能
	EN-DC	✓	*1	LTE-NR間のDCを実現するための機能
	別RATデータ量通知機能	✓		(EN-DCなど)別RATと組み合わせて通信する際に当該RATのデータ量を通知する機能
U-plane 機能	Inactive管理		✓	UEのInactive状態を管理する機能
	ユーザデータ転送機能	✓	*1	DC時のユーザデータの転送
	フロー制御機能	✓	*1	機能追加:ポーリング,重複データの削除,再送データの状態通知など

*1 2018年12月標準規格化予定

*2 ノンスタンドアローン運用における通知は議論中

X2の拡張としては、ノンスタンドアロンに対応するためのEN-DC機能やSplit bearer向けのフロー制御が挙げられる。フロー制御機能は、Release 12においてLTE-DCのSplit bearer向けに規定されたもので、複数の基地局の無線リソースを用いて下りデータを送信する際に、下りデータの適切な分配を行うための機能である。LTE-DCにおいては基本的なフロー制御を実現するための機能および基地局間インタフェースが規定されたが、ノンスタンドアロン向けにはフロー制御をより最適化するために基地局間でやりとりされる情報がより充実化された。XnはX2機能をベースとしているが、Xnでは前述した新しいQoSフローの枠組みの規定や、ネットワークスライス^{*53}への対応のための拡張 [3] が、主に

UEコンテキスト管理機能に対して行われている。

(2)基地局 - CN間インタフェース (S1/NG)

基地局 - CN間で用いられるインタフェースも、基地局間インタフェースと同様にノンスタンドアロン、スタンドアロンで異なっている。ノンスタンドアロンにおける、基地局 (図1(a)のeNB/en-gNB) とEPC間のインタフェースには、従来のeNBとEPC間と同様にS1が用いられる。一方、スタンドアロンにおける、基地局 (図1(b)のng-eNB/gNB) と5GC間のインタフェースとしては、NGインタフェースが新たに規定された。S1の拡張機能およびNGの機能を表5に赤字で示す。

S1の拡張としては、ノンスタンドアロンにおけるRATごとのデータ量通知機能が挙げられる。

表5 S1/NGインタフェースの主な機能

	機能	S1	NG	概要
C-plane 機能	インタフェース管理	✓	✓	インタフェースセットアップ/リセット・設定変更/エラーの通知
	ペアラ/セッション管理	✓	✓	UEに対するペアラ/セッションを管理する機能
	UEコンテキスト管理	✓	✓	UEコンテキストを管理する機能
	モビリティ管理	✓	✓	UEのノード間移動管理 (ハンドオーバー) など
	ページング	✓	✓	UEに対するページングを実現するための機能
	ローミング/アクセス制限	✓		ローミングとアクセス制限に関してRANノードに通知する機能
	NAS信号転送	✓	✓	NASの信号をコア-UE間で交わすための機能
	無線品質通知	✓		UEの測定した無線品質をコアに通知する機能
	位置情報通知	✓	✓	UEの位置情報をコアに通知する機能
	緊急情報通知	✓	✓	緊急情報 (地震/津波など) をUEに通知する機能
	別RATデータ量通知機能	✓	*1	(EN-DCなど) 別RATと組み合わせて通信する際に当該RATのデータ量を通知する機能
コア選択機能		✓	負荷状況に応じたコアをRANノードが選択する機能	
U-plane 機能	ユーザデータ転送機能	✓	✓	コア/UE間のユーザデータの転送

*1 2018年12月標準規格化予定

*53 ネットワークスライス：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。

標準化の議論において、ノンスタンドアローン運用時に通信したデータ量に応じた課金をLTE側とNR側のそれぞれで行いたいというオペレータの要望があり、NRにおけるデータ量を分計するための機能が導入された。なお、ノンスタンドアローンにおいてはS1-CインタフェースがMN-CN間でのみ確立されるため、MN terminated bearerに対してはMNで集計してS1を介して直接CNに、SN terminated bearerに対してはSNが集計したデータ量についてX2を介してMNに通知し、MNがS1を介してCNに報告される。NGはS1をベースとし、X2に対するXnと同様に、新しいQoSの枠組みやネットワークスライスへの対応が、主にベアラ/セッション管理機能とUEコンテキスト管理機能に対して行われている。

(3)基地局内の機能分離およびオープンインタフェース (F1, E1)

3GPP標準化では、基地局内に具備される機能を別々の論理ノードに分担し、それらノード間のオープンインタフェースが議論された。gNBの機能分離と、用いるインタフェースを図7に示す。

3GPPではC-RAN (Centralised-RAN)^{*54}構成におけるさらなる広帯域化やMassive MIMO導入に伴って、集約ノード (CU: Central Unit) と分散ノード (DU: Distributed Unit) 間の伝送路所要帯域が激増するという課題を解決するため、gNBにおけるCU (gNB-CU) とDU (gNB-DU) の機能分離の見直しおよび、対応するオープンインタフェースの規定が議論された [2]。具体的にはPDCPレイヤ以上をgNB-CUへ設置し、RLCレイヤ以下をgNB-DUに設置する機能分離が採用され、その間のイン

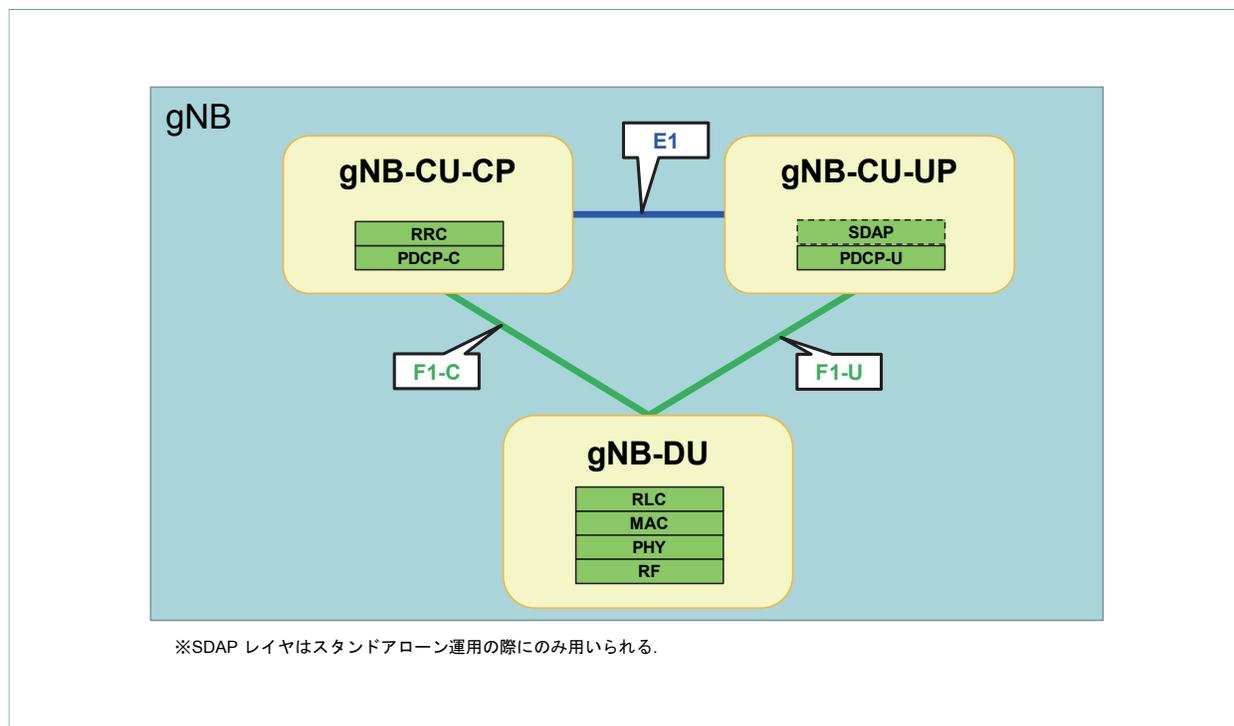


図7 gNBの機能分離と用いるインタフェース

*54 C-RAN：基地局装置を制御するベースバンド処理部を集約し、そこから光ファイバで接続された無線部を制御する構成を用いる無線アクセスネットワーク。

タフェースとしてF1が標準規定された。F1の機能を表6に示す。

また、gNB-CU、gNB-DU間の機能分離に加えて、gNB-CUのC-plane終端部とU-plane終端部の機能分離も議論された [4]。例えば、C-plane終端部をgNB-DU近傍に、U-plane終端部をCN近傍に置く場合は、C-planeに用いるRRCの信号は遅滞なく制御できるのに加えて、U-planeの機能はクラウド化できるなどの利点がある。逆に、C-plane終端部をCN近傍に、U-plane終端部をgNB-DU近傍に置く場合は、例えば、エッジコンピューティング向けにU-planeの信号遅滞を削減できるのに加えて、C-planeの機能にはクラウド化・さらなる集約化ができるなどのメリットがある。従来、このような機能分離を行う場合、同一ベンダでしか実現できなかったが、3GPP標準化では、異なるベンダ間でもそのような機能分離を可能とするため、gNB-CUのC-plane終

端部とU-plane終端部間のオープンインタフェースが規定された。gNB-CUのC-planeを終端するノードをgNB-CU-CP、U-planeを終端するノードをgNB-CU-UPと呼び、その間のインタフェースとしてE1が標準規定された。E1の機能を表7に示す。

5. あとがき

本稿では、3GPPで仕様化された5G上位レイヤの主な仕様を解説した。3GPPでは継続して、2018年12月の、端末が複数の基地局と同時に通信しながら5GCに接続するアーキテクチャ（LTE-NR DCやNR-NR DC）を実現するための標準仕様策定完了に向けた作業が進められている。また、Release 16向けにはさらなる高度化を考慮した機能拡張や、新たな機能の検討・仕様化が行われる予定である。具体的には、URLLC向けの上位レイヤの拡張や、ハン

表6 F1インタフェースの主な機能

	機能	概要
C-plane 機能	インタフェース管理	インタフェースセットアップ/リセット・設定変更/エラーの通知
	報知情報管理	UEに対して報知情報を転送するための機能
	UEコンテキスト管理機能	UEコンテキストを管理する機能
	RRCメッセージ転送機能	RRCの信号をgNB-CU-UE間で交わすための機能
	ページング	UEに対するページングを実現するための機能
	緊急情報通知	緊急情報（地震/津波など）をUEに通知する機能
U-plane 機能	ユーザデータ転送	gNB-CU/DU間のユーザデータの転送
	フロー制御	gNB-DUに対するフロー制御

表7 E1インタフェースの主な機能

機能	概要
インタフェース管理	インタフェースセットアップ/リセット・設定変更/エラーの通知
ペアラ管理	UEに対するペアラを管理する機能

ドオーバ時の瞬断時間を削減する機能，ネットワーク自動最適化のためのgNBからのデータ収集機能などが議論される．ドコモは，3GPP RAN WG (Working Group) の中で，積極的に技術提案を行い，標準仕様策定に向け貢献していく．

文 献

- [1] 巳之口，ほか：“3GPPにおける5G標準化動向，”本誌，Vol.25, No.3, pp.6-12, Oct. 2017.
- [2] ウメシュ，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.
- [3] 3GPP TR38.806 V15.0.0：“Study of separation of NR Control Plane (CP) and User Plane (UP) for split option 2,” 2018.
- [4] 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.
- [5] 青柳，ほか：“LTE/LTE-Advancedシステムにおけるアクセスクラス制御技術，”本誌，Vol.23, No.2, pp.63-73, Jul. 2015.
- [6] 武田，ほか：“5GにおけるNR物理レイヤ仕様，”本誌，Vol.26, No.3, pp.47-58, Nov. 2018.