

5G SA方式を実現する 5Gコアネットワーク技術概要

ネットワーク開発部

たなか	ゆうた	あらかわ	まさや
田中	優多	荒川	雅矢
おくだ	けんぞう	しみず	かずと
奥田	兼三	清水	和人
くにとも	こういちろう		
國友	宏一郎		

ドコモは第5世代移動通信システム（5G）単独で動作する5G SAを実現するため、5G専用のコアネットワーク装置（5GC）を開発・導入し、2021年12月に法人向けとして商用サービスを開始した。5GCではSBAやコンテナ基盤のような先進的な技術を導入し、ネットワークスライシングなどの5G時代のネットワークに求められる新たな価値創造を実現していくことが可能となる。本稿では、これらの技術について解説する。

1. まえがき

5G SA（Standalone）方式*1を実現するために開発・導入した5GC（5G Core network）*2では、例えば以下2つのような先進的な技術を活用している。

- ・ REST API（REpresentational State Transfer API）*3ベースで制御装置間の連携をするSBA（Service Based Architecture）*4
- ・ 更新や立上げが容易なコンテナ基盤

これら技術は、後述する各ネットワーク機能（NF（Network Function）*5）を疎結合にし、通信の利用用途に合わせて柔軟に各NFを組み合わせることを可能とする。これにより、ネットワークスライシング*6をはじめとした5G時代のネットワークに求められる新たな価値提供が可能となる。

本稿では、前世代4G/LTEのコアネットワーク*7装置であるEPC（Evolved Packet Core）*8と対比し

©2023 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 5G SA方式：第5世代移動通信システムの無線技術NRを利用する際に、NRにて制御信号およびユーザデータの送受信を行う方式。本稿では3GPPの5G Deployment Optionのうち、ドコモが採用しているOption 2を指す。

*2 5GC：5G専用のコアネットワーク。5G NSA方式（*9参照）でも実現されていた高速・大容量に加え、5Gの特長である高信頼・低遅延、多数端末同時接続に対応する際に必要となる。

*3 REST API：ここではURI（*22参照）を指定してHTTP/2（*17参照）でアクセスすることでJSON（*18参照）を返却するAPIを意味する。

つつ、上記2つの先進技術と新たな価値であるネットワークスライシングを中心に解説する。

2. 5G NSAと5G SAでの コアネットワーク装置構成の比較

ドコモは、5Gの初期導入時の方式として、既存のEPCに5G基地局を接続して5Gサービスを実現する5G NSA (Non-Standalone) 方式^{*9}を採用した。この方式は、5G用の基地局装置gNB (gNodeB)^{*10}、4G用の基地局装置eNB (eNodeB)^{*11}および、第4世代のコアネットワーク装置であるEPCから構成される(図1左側)、5G用の装置だけではなく4G用の装置を用いるため、5G NSA方式と呼ばれる[1]。この方式では、ユーザデータの送受信を行うU-Plane (User Plane)^{*12}処理に5G基地局装置および4G基地局装置を利用し、信号の制御を行うC-Plane (Control Plane)^{*13}処理に4G基地局装置を利用する。5G NSA方式を採用した理由は、EPCを利用することでC-Plane処理は従来と同等の品質レベルを実現可能で

あること、加えて既存ネットワークインフラを活用でき早期導入が可能になるためである。

一方5G SA方式は、5G用基地局装置であるgNB、および5G用コアネットワーク装置である5GCによって構成される(図1右側)。5G SAでは、4G用の装置を使わないシンプルな構成となり、U-Plane処理、C-Plane処理共に5G装置を利用して行う。このネットワーク構成では、ネットワークスライシングなどの第5世代向けのより高度な制御が可能となる。

5G SA方式で新規に導入された5GCは、複数のNFで構成されている。その構成を図2に示す。4Gのコアネットワーク装置であるEPCと比較し特徴的なのは、NRF (Network Repository Function)^{*14}とNSSF (Network Slice Selection Function)^{*15}である。NRFはNFを管理するリポジトリとして導入された。これは後述のSBAの実現に大きく寄与している。NSSFは5GCにて、後述のネットワークスライシングを実現するための専用NFとして導入された。そのほかのNFについては、EPCに類似の機能があるものがほとんどである。

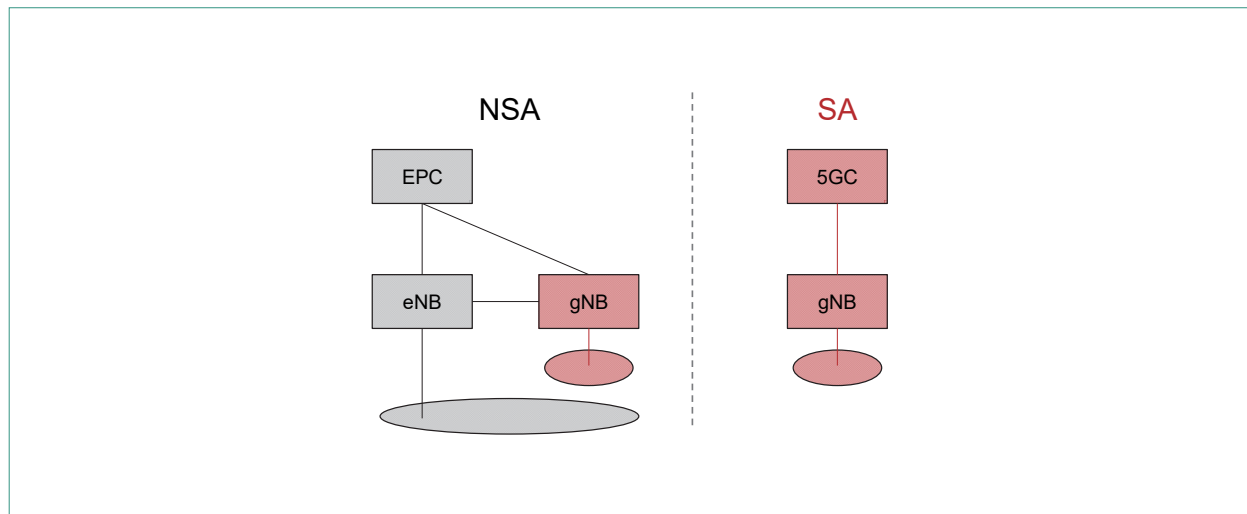


図1 5G NSA方式/5G SA方式の構成

- *4 SBA：5GCで採用されているソフトウェアアーキテクチャの1つで、コアネットワークの各NFを、SBIと呼ばれるバス型の統一的なインタフェースを介して接続し、相互作用させるアーキテクチャ。SBIにはNFがNFを発見するための機能などが定義されている。
- *5 NF：5GCを構成するネットワーク機能。
- *6 ネットワークスライシング：ネットワークインフラ上に、特定のネットワーク機能とネットワーク特性を提供する論理ネットワーク（スライス）を構成するネットワークアーキテクチャ。異なる要件をもつユースケースやビジネスモデルに特化したス

ライスを作成して提供・運用することで柔軟なサービス提供を可能にする。

- *7 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。
- *8 EPC：LTE/4Gのコアネットワークを指す。MME (Mobility Management Entity)、SGW (Serving GateWay)、P-GW (Packet data network GateWay)、PCRF (Policy and Charging Rules Function) などにより構成される。

3. データ通信関連技術

3.1 SBAの実装

5GCシステムのアーキテクチャとしてSBAが採用されている。5GCでは個々の機能をNFとして定義しており、それぞれのNFは他のNFに対してサービスを提供している [2]。この際に用いるインターフェ

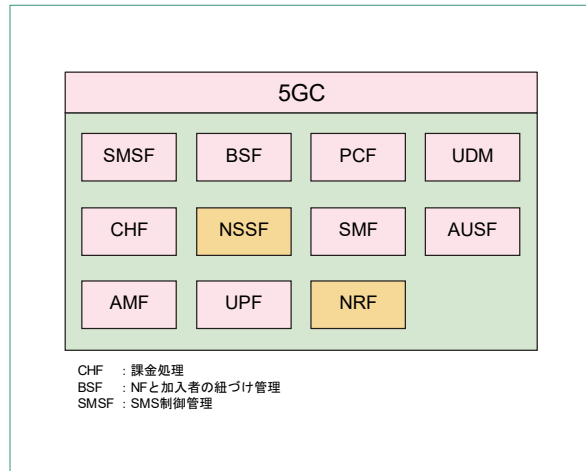


図2 5GCのNF構成と各NFの役割

スがSBI (Service Based Interface) である。5GCの中で、SBIが適用されているNFについて図3に示す。Rel-15時点でSBAを利用するのは、5GCの制御信号を送受信するC-PlaneのNFであり、ユーザデータを送受信するU-PlaneのNFでは、SBAは用いられていない。

(1)プロトコルスタック*16

SBAでは、アプリケーション層のプロトコルとしてHTTP/2 (HyperText Transfer Protocol version 2)*17を利用し、表記方法としてJSON (JavaScript Object Notation)*18形式を用いる。また、トランスポート層は、基本的にはTLS (Transport Layer Security)*19への対応が必須となっている。

(2)SBI

SBIはNFのサービスを提供するインターフェースとして、NFごとに表現されている (図3)。例えば、AMF (Access and Mobility Management Function)*20の場合はNamf、SMF (Session Management Function)*21の場合はNsmfと表現される。Rel-15では下記のSBIが定義されている。

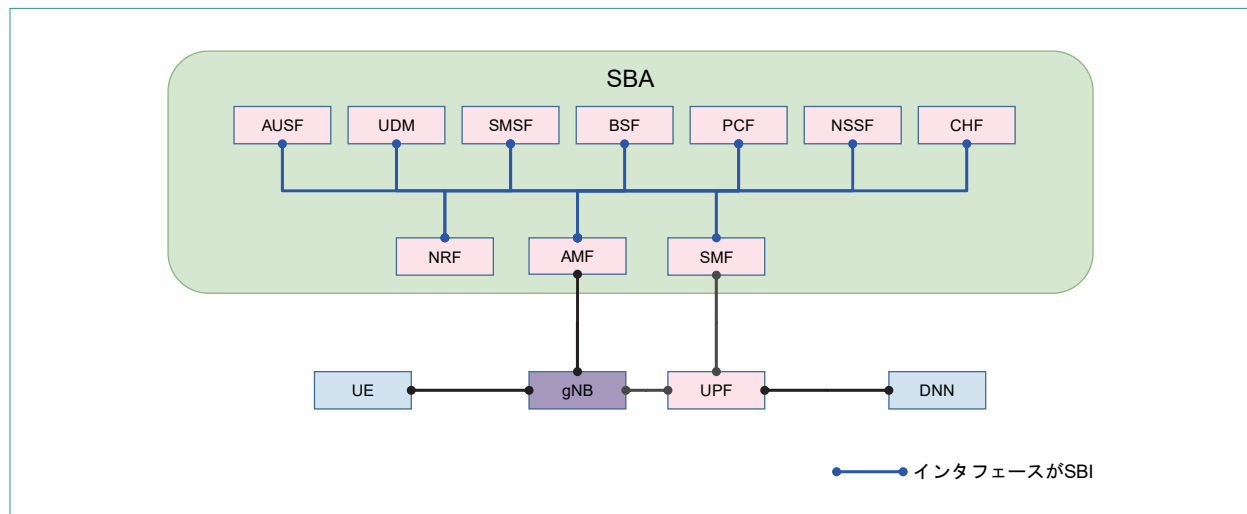


図3 SBIが適用されるNF

- *9 5G NSA方式：5Gの無線技術NRを利用する際に、LTE側で制御信号をやり取りし、ユーザデータのやり取りにのみNRとLTEを協調動作させて使う方式。本稿では3GPPの5G Deployment Optionのうち、ドコモが採用しているOption 3xを指す。
- *10 gNB：5Gの無線技術NRにおける無線基地局。
- *11 eNB：4Gの無線技術LTEにおける無線基地局。
- *12 U-Plane：ユーザデータの送受信を指す。
- *13 C-Plane：通信の制御などを行う信号の送受信を指す。
- *14 NRF：NF ConsumerによるNF ProducerやNF Serviceの発見、登録されたNF Producerの状態変更がある際の通知を実現

- するための登録・情報提供装置。
- *15 NSSF：加入者が利用するネットワークスライスを選択するNF。
- *16 プロトコルスタック：プロトコル階層。
- *17 HTTP/2：IETF RFC (Internet Engineering Task Force Request For Comment) 9113で規定される通信プロトコル。
- *18 JSON：IETF RFC 7159で規定されるデータ記述言語。
- *19 TLS：IETF RFC 8446などで規定される通信の暗号化プロトコル。
- *20 AMF：基地局 (gNB) を収容し、モビリティ制御などを提供する論理ノード。

Namf, Nsmf, Nudm, Nnrf, Nnssf, Nausf, Nnef, Nsmsf, Nudr, Npcf, N5g-eir, Nlmf, Nnwdaf.

(3) REST API

SBIでは、それぞれのサービスにアクセスする際に、REST APIを利用する。例えば、Rel-15のNF Discovery Serviceでは下記形式のURI (Uniform Resource Identifier)^{*22}が定義されている。

```
{apiRoot}/nnrf-disc/nf-instances?nfInstanceId={fnInstanceId}
```

3.2 コンテナ基盤の実装

(1) コンテナの概要

ドコモが導入した5GCの動作基盤では、コンテナを採用している。コンテナは仮想化^{*23}技術の1つであり、ホストOS^{*24}を共有しながら仮想的にリソースが分離された空間を作り出すことができる。

一般的な仮想マシン (VM: Virtual Machine)^{*25}型の仮想化方式ではゲストOSが必要であるが、コンテナ型仮想化では不要である。こうした構成上の違いにより、コンテナ型仮想化では、VMと比較し、「軽量」「迅速な起動/停止」といったメリットが挙げられる。

(2) ドコモにおける5GCの仮想化方式

一方、ドコモでは、VM型仮想化に相当する形で、コアネットワークの仮想化 (NFV (Network Functions Virtualisation)^{*26}) を推進してきた [3]。このような状況の中、コンテナを導入するにあたり、①VM型仮想方式 (以下、VM方式)、②VM上にコンテナをデプロイ^{*27}する方式 (以下、コンテナ on VM方式)、③物理サーバ上に直接コンテナをデプロイする方式 (以下、ベアメタルコンテナ方式) の比較検討を実施した。これら方式のアーキテクチャを図4に示す。

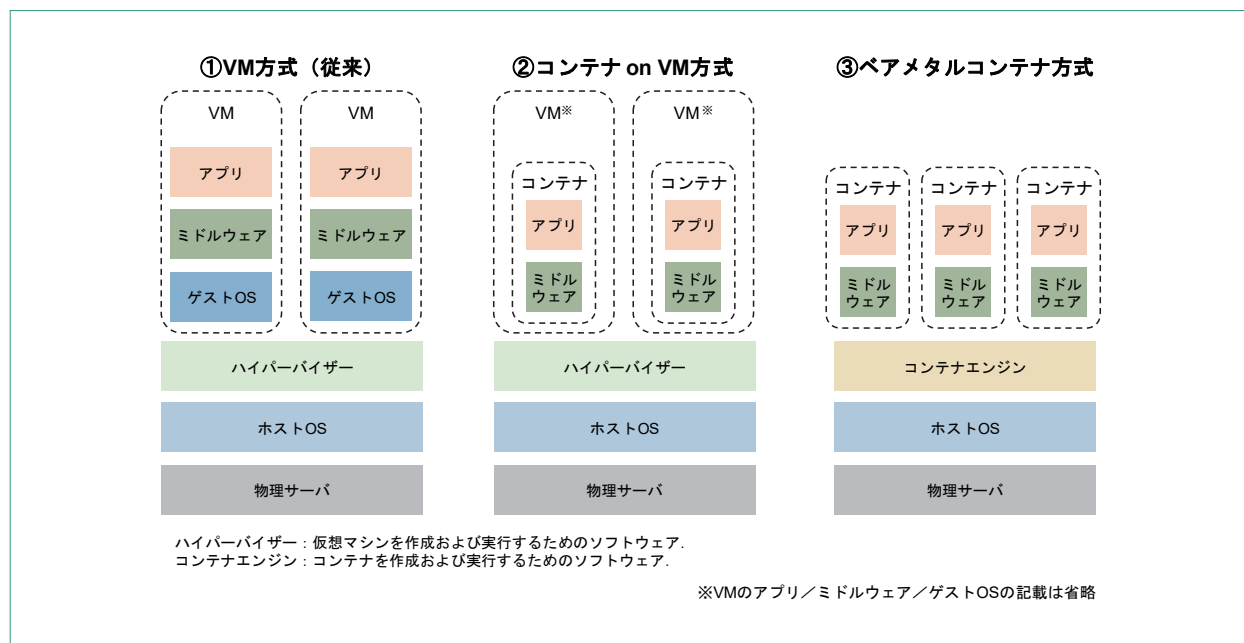


図4 コンテナ実装方式ごとのアーキテクチャ

*21 SMF: PDU Session (*40参照) を管理し、QoSやポリシーの実施などのためにUPF (*45参照) を制御する5Gコアネットワーク内の機能。EPCにおけるSGW-C/PGW-Cに相当する。

*22 URI: Webで利用できるリソースを示す識別子。RFC3986 (Request For Comments 3986) にて規定。

*23 仮想化: CPUやメモリなどのハードウェアリソースをソフトウェアによって論理的に分割、または、それらの動作を再現することで、仮想的な計算機環境やハードウェアリソースを作り出す技術。仮想化により物理リソースを論理的に分けて利用することができる。

*24 ホストOS: ゲストOS (VM (*25参照) にインストールされたOS) と対比で使われる用語で、物理サーバにインストールされたOSを示す。

*25 仮想マシン (VM): コンピュータの動作を再現するソフトウェアによって仮想的なコンピュータを構築する技術。

*26 NFV: ネットワーク仮想化。通信キャリアのネットワーク機能をソフトウェアで実装し仮想化技術により汎用ハードウェア上で実現するネットワークアーキテクチャ。

*27 デプロイ: アプリケーションやコンテナ、VMなどをそれらの実行環境に配置して展開すること。

なお、②のコンテナ on VM方式では、図4に示すとおりVMとコンテナの多段構成となる。このため、オーバーヘッド*28観点においても評価を行った。これら方式のドコモ観点での比較評価表を表1に示す。また、①は従来方式でコンテナがかかわらないため、②と③の比較とする。

コンテナ on VM方式は、ベアメタルコンテナ方式と比較するとわずかなオーバーヘッドがあるものの、機能面で差が無く、既存資産を有効に活用できる。このためドコモでは、基本的にコンテナ on VM方式の採用とした。ただし、U-Plane処理部など、VMが適する機能部もあるため、それらはVM方式

を採用した。

(3)マイクロサービスとコンテナを掛け合わせた設計

前述のとおり、5GCでは標準上SBAが採用されている。SBAはマイクロサービス*29を意識したアーキテクチャであり、マイクロサービスでは、サービスの単位を小規模化した上で各サービスのインタフェースを疎結合化することで、機能追加や改修を迅速・柔軟に行うことが可能となる [4]。

また、今回採用したコンテナでは実行環境が分離されており、コンテナごとに改修が可能のため、各サービスの独立性が必要となるマイクロサービスとの相性が良い。このイメージを図5に示す。

表1 コンテナ実装方式の比較

	②コンテナ on VM方式	③ベアメタルコンテナ方式
オーバーヘッド	○ ③と相対的にはあるが、大きくない	◎ コンテナ本来の軽量性を活かした、迅速起動/移動が可能
機能面	◎ コンテナの機能を③と差分無く利用可能	◎ コンテナの機能をフルに利用可能
既存資産の活用性	◎ 既存仮想化基盤を活用可能	△ 新規の専用ハード構築が必要

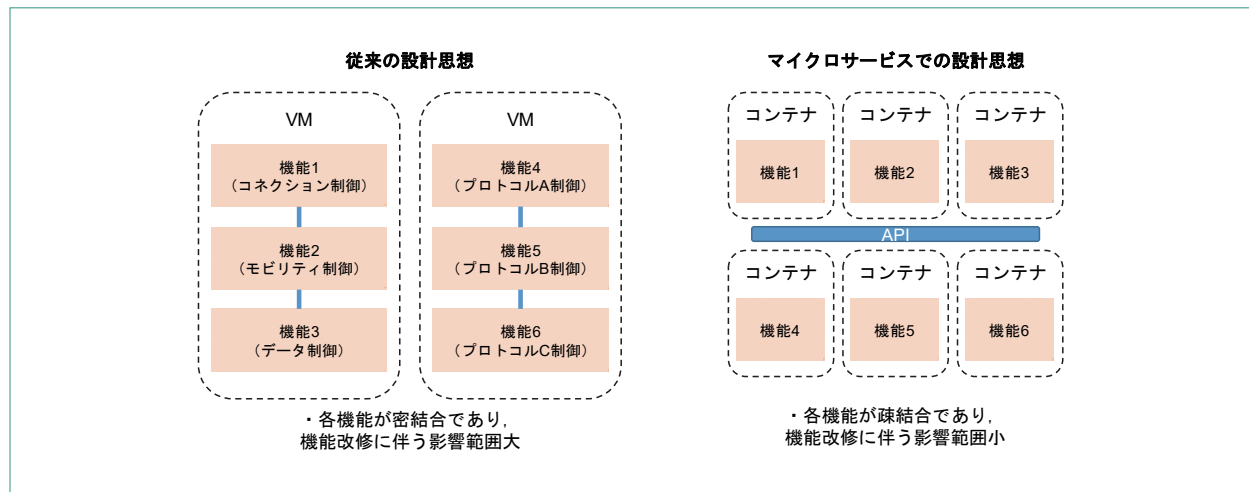


図5 マイクロサービスの設計思想

*28 オーバーヘッド：ある処理に対して、目的外に発生する付加的な処理や負荷。

*29 マイクロサービス：ソフトウェア開発の技法の1つ。1つのアプリケーションを、機能に沿った複数の小さいサービスの疎結合な集合体として構成し、軽量なプロトコルを用いて相互の通信を行うことで全体を構成するソフトウェアアーキテクチャ。

マイクロサービスとコンテナを掛け合わせた設計においては、従来と比較してアプリ機能が最小化されており、機能単位ごとの改修やデプロイを並列に行うことができる。これにより、後述するネットワークスライシングにおける、柔軟で多様に変化するネットワーク需要に対して、特定機能の拡充や追加といった対応を、コンテナの可搬性／迅速起動性／スケラビリティを活かして効率的に行えることが期待される。

3.3 ネットワークスライシングと5GCの基本呼処理

(1) ネットワークスライシングの概要

ネットワークスライシングとは、物理的なネットワーク上に特定のネットワーク機能とネットワーク特性を提供する論理ネットワーク（スライス）を構成することをいう。ネットワークスライシングの一般的な用途は、スライスごとに異なるリソース割当てを行うことにより、同時に実現が困難なネットワーク特性—低遅延高信頼通信、広帯域通信、多端末通信などを1つのコアネットワークで実現することである [5] [6]。

(a) S-NSSAI

コアネットワークにおけるスライスの識別子は、S-NSSAI (Single-Network Slice Selection Assistance Information)^{*30} (以下、スライスID) と呼ばれ、機能やサービスについてスライスの振舞いを示す SST (Slice/Service Type) 8ビットと、同一のSSTにおいて複数のスライスを区別するためのSD (Slice Differentiator) 24ビットの合計32ビットで構成される (図6)。SSTは0~127が標準化された範囲で、そのうち1~5は用途が標準規定されている。また、128~255はオペレータ固有となっている [5] [7]。

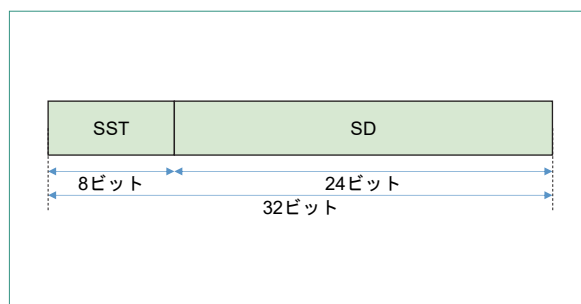


図6 S-NSSAIのフォーマット

(b) スライス数

1つのAMF、gNBがサポートできるスライス数は最大で66559と定められているため [8]、各エリアで使えるスライス数は66559が上限となる。信号サイズへの影響を踏まえるとさらに小さな値となる。すべてのエリアで使用可能なスライスを定める場合においても同様となるため、いわゆるIPネットワークにおけるオーバーレイネットワーク^{*31}などを用いた仮想ネットワーク^{*32}のように、U-Planeを分離する技術とは異なるものとするのが妥当である。

(2) ユーザのPDUセッション確立までの流れ

(a) Registration^{*33} プロシージャ^{*34}

端末 (UE: User Equipment) の電源ON時に実施されるRegistrationプロシージャを、図7に示す [9]。

- ・ステップ①~③: UEは、Registration RequestをgNBに送信する。gNBは、UEから要求されたスライスID (以下、要求スライスID) などに基づいてAMFを選択し、AMFにRegistration Requestを送信する。
- ・ステップ④~⑤: AMFは、SUPI (Subscription Permanent Identifier)^{*35}/SUCI (Subscription Concealed Identifier)^{*36}に基づいてAUSF (Authentication Server Function)^{*37}

^{*30} S-NSSAI: ネットワークスライシングにおいて、呼処理信号上でスライスを示すための識別子。NFインスタンスの選択に使用される。

^{*31} オーバーレイネットワーク: 物理的に構成されたネットワークの上で、物理構成にとらわれずに論理的に独立したネットワークを構成する技術。

^{*32} 仮想ネットワーク: MPLSやVLANなどの管理ドメインを分離する技術やオーバーレイネットワークなどを用いて、ネットワーク上に論理的に独立して構成された仮想的なネットワーク。

^{*33} Registration: 5Gにおいて、移動端末が現在の位置情報をUDMに登録すること。

^{*34} プロシージャ: 基地局間や基地局 - コアネットワーク間、基地局 - 端末間などにおける信号処理手順。

^{*35} SUPI: 5GSで用いる加入者を識別する情報。

^{*36} SUCI: 5GSで用いる加入者を識別する情報 (SUPI) を暗号化したもの。

^{*37} AUSF: 5GCにおける認証を担う、5Gコアネットワークのネットワーク機能。

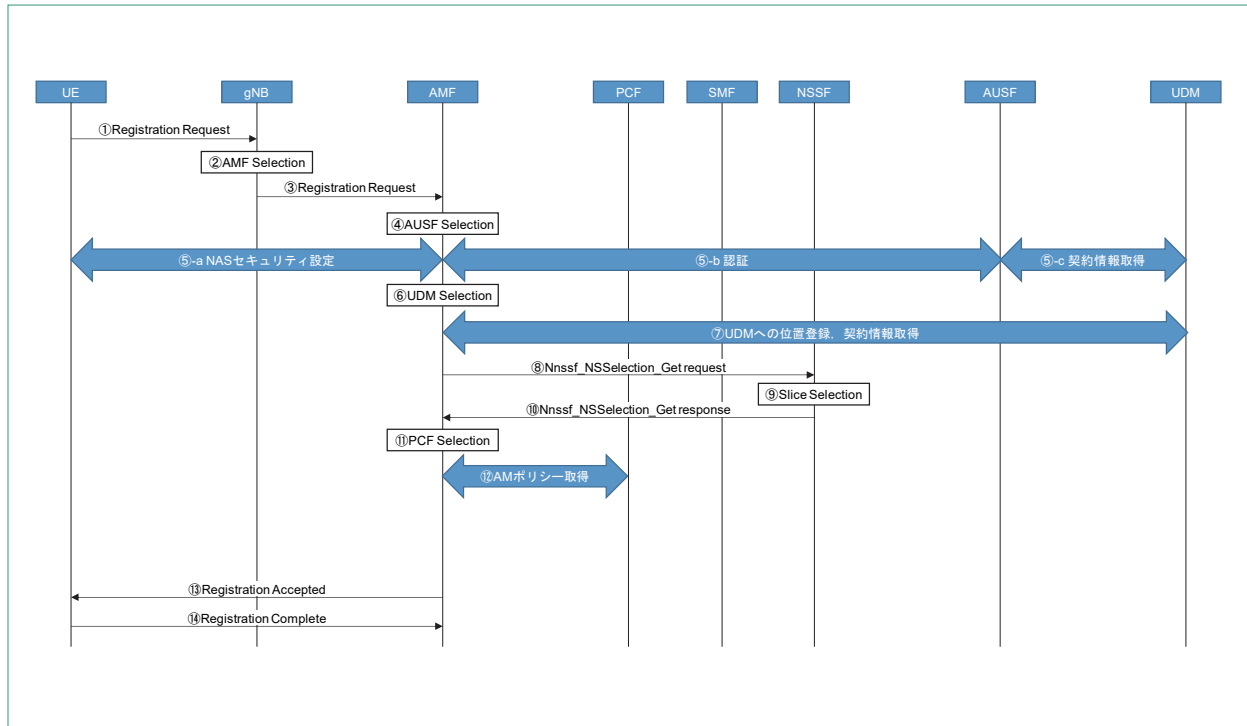


図7 Registrationプロセス

を選択し、契約情報に基づく認証、無線アクセスのセキュリティ設定を行う。

- ・ステップ⑥～⑦：AMFは、SUPI/SUCIに基づいてUDM (Unified Data Management)^{*38}を選択し、位置登録および契約情報の取得を行う。
- ・ステップ⑧～⑩：AMFは、ステップ①、③において要求スライスIDと契約情報を突合し、UEが利用可能なスライスID（以下、許可スライスID）を決定する。要求スライスIDが通知されていない場合は、契約情報に含まれるデフォルトのスライスIDが選択される。要求スライスIDの一部または全部がAMFによってサポートされていない場合など、AMFが許可スライスIDを決定できない

場合には、AMFからNSSFにNnssf_NSSelection_Get requestが送信され、NSSFによるスライスの選択より許可スライスが決定される。

- ・ステップ⑪～⑫：AMFは、SUPIおよびスライスIDに基づいてPCF (Policy Control Function)^{*39}を選択し、AMポリシーを取得する。
- ・ステップ⑬～⑭：最後に、UEへ許可スライスIDを含むRegistration Acceptedを送信し、UEからRegistration Completeが返され、手続きが完了となる。

(b) UE-requested PDU (Protocol Data Unit) Session^{*40} Establishmentプロセス

Registrationが完了すると、UEはコアネットワークに対してPDUセッションの確立を要求し、図8に示すUE-requested PDU Session Es-

*38 UDM：5GCにおける加入者データ、移動機の在圏情報、セッション情報などの格納や情報提供を行う情報管理装置。

*39 PCF：QoS制御（*54参照）、ポリシー制御（*51参照）、課金制御などを担う、5Gコアネットワークのネットワーク機能。

*40 PDU Session：UEとデータネットワーク間のデータのやり取りを行うための仮想的な通信路。

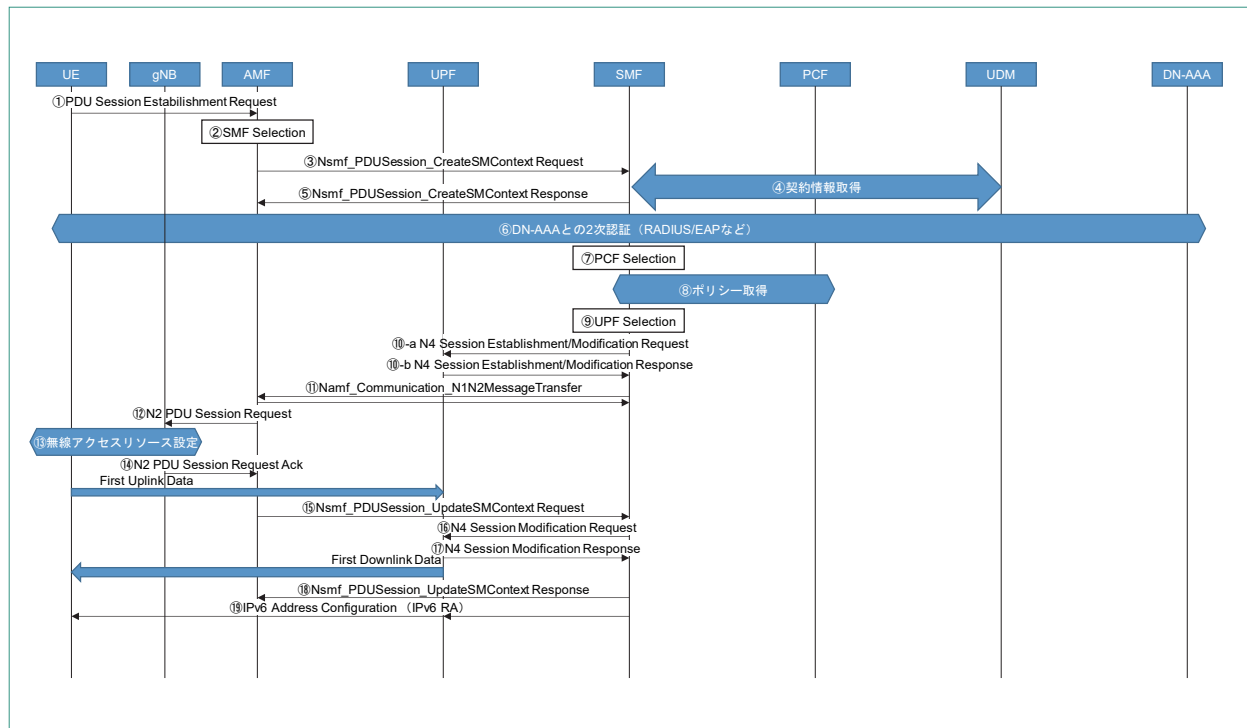


図8 UE-requested PDU Session Establishmentプロセス

establishmentのプロシージャが実施される [9].

- ・ステップ①～②：UEがAMFにPDU Session Establishment Requestを送信する。AMFは、要求スライスID、DNN (Data Network Name)^{*41}などを用いてSMFを選択する。
- ・ステップ③～⑥：AMFはSMFにPDUセッションの確立を要求し、SMFはUDMから契約情報を取得する。SMFは、スライスID、DNN、ローカルの構成情報を基に2次認証要否を判断し、必要があればDN-AAA (Data Network Authentication, Authorization and Accounting)^{*42}にRADIUS (Remote Authentication Dial In User Service)^{*43}プロトコルやEAP (Extensible Authentication Protocol)^{*44}などを用いて2次認証を実施する。

- ・ステップ⑦～⑧：SMFはスライスID、SUPIに基づいてPCFを選択し、PDUセッションに適用するポリシーを取得する。
- ・ステップ⑨～⑩：SMFはスライスID、DNN、UEの位置情報などに基づいてUPF (User Plane Function)^{*45}を選択し、UPFとN4^{*46}セッションを確立する。
- ・ステップ⑪～⑬：SMFからAMFを介してgNBにUPFの情報が通知され、無線アクセス区間の設定が行われ、UEからのアップリンクの通信経路が確立される。次にgNBの情報がAMFを介してSMFに通知され、SMFがN4セッションを更新してUE宛パケットの転送先を通知されたgNBに設定することで、UEへのダウンリンクの通信経路が確立され

*41 DNN：端末の通信先。UEがコアネットワークを介して接続するデータネットワークの識別名。

*42 DN-AAA：UEに対するDN特有のAAA (利用者認証・認可・アカウント管理) を行うサーバ。

*43 RADIUS：IETFで標準化されたネットワークのAAAを一元的に扱うためのプロトコル。コアネットワークでは、DNによるUEの認証・認可やUEへ払い出すIPアドレスの決定、DNへの通信量通知などに利用される。

*44 EAP：IETFで標準化された認証方式などをクライアント・サーバ間で折衝するためのプロトコル。代表的な認証方式は公

開鍵認証を行うEAP-TLS、TLS暗号化により安全にパスワード認証を行うEAP-TTLSなどがある。5Gでは、RADIUSプロトコルにおける認証方式の折衝手段として利用される。

*45 UPF：5Gコアネットワークのネットワーク機能の1つ。ユーザパケットのルーティングおよび転送、パケット検査、QoS処理を担う機能。

*46 N4：SMFとUPFの間の参照点。

る。ここまでのステップによりUE～gNB～UPF～DN (Data Network)^{*47}間のアップリンクおよびダウンリンクのパケットの通信路が構成され、PDUセッションの確立が完了する。

- ・ステップ⑱：IPv6^{*48}を含むPDUセッションの場合は、SMFからUPFを介してUEに対してIPv6 RA (Router Advertisement)^{*49}が行われ、UEにIPv6アドレスやデフォルトゲートウェイの設定が行われる。

(3)コアネットワークにおけるネットワークスライシングの特徴とIPネットワークとの違い

(a)コアネットワークにおけるネットワークスライシングの特徴

前述した動作から分かるように、スライスIDはSMF、UPF、PCFなどの各NFの選択に使用されるパラメータであり、コアネットワークを構成する各NFインスタンス^{*50}にはどのスライスIDをサポートするのかを指定する。コアネットワークでは、そのスライスを構成するNFインスタンスをスライスの特徴や用途に応じて変えることで、スライスへの柔軟なリソース割当てが実現される。例えば、表2のように特定のスライスIDから選択し得るSMFおよびUPFのインスタンスをスライスの特徴に適した組合せにすることで、高速通信用のスライス

や低遅延通信用のスライスなどを構成する。

コアネットワークでは、移動管理、セッション管理、ポリシー制御^{*51}などのC-Plane処理の負荷の割合が高くなるため、U-Planeの収容分離だけでなくC-Planeの収容分離も重要となる。このため、NF選択によりスライスを構成する考え方は合理的であるといえる。

また、スライスIDはC-Plane、U-Planeともにパケットヘッダには含まれないため、コアネットワークとそれを下支えするトランスポートネットワーク^{*52}とのリソース制御の連携において、直接的にスライスIDを流通させることはできない。コアネットワークとトランスポートネットワークの連携においては、スライスIDに紐づくコアネットワーク内のQoS (Quality of Service) ポリシーを、トランスポートレイヤのQoSパラメータ (DSCP (Differentiated Services Code Point)^{*53}など) にマッピングし、これらのパラメータに基づいてトランスポートレイヤにおけるQoS制御^{*54}を行う形などが考えられる。

(b)スライシング観点でのIPネットワークとの違い

IPネットワークの文脈では、ネットワークスライシングはSRv6 (Segment Routing IPv6)^{*55}やVxLANなどのいわゆるオーバーレイネットワーク技術やMPLS (Multi-Protocol Label

表2 S-NSSAIによるスライス用途に応じたNF選択の例

スライドID	用途例	エリア (gNB/AMF)	選択対象のSMF	選択対象のUPF
1-000001	高速通信	主要ターミナル	大容量装置	大容量装置
2-1000a1	遠隔手術	医療機関など	高信頼装置	低遅延高信頼装置
3-c00010	河川無人監視	河川沿いなど	多端末対応装置	低容量装置
4-a00011	自動運転	主要道路	高信頼装置	低遅延装置

*47 DN：UEがコアネットワークを介して接続される外部のネットワーク。インターネットへの接続性を提供するISP (Internet Service Provider) や、サードパーティのネットワーク、閉域サービスの場合は加入者のネットワークなどがある。

*48 IPv6：インターネットで使われる通信規約の1つ。現在広く使われているIPv4よりも、はるかに多くのIPアドレス (固有番号) を使用可能である。

*49 RA：IPv6の各種情報をリンク内の端末へ通知するためにルータから送信する信号。

*50 インスタンス：クラウドコンピューティングにおけるオンデマ

ンドで提供される仮想サーバ。ある処理が発生したときのみ仮想サーバが起動し終了するなど、仮想サーバの起動から終了までのライフサイクルは散発的である。

*51 ポリシー制御：ネットワークあるいは加入者情報などに基づいて、QoS、パケット転送可否、課金などの通信制御を行う技術。

*52 トランスポートネットワーク：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。かつ、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。

Switching)^{*56}やVLANなどの管理ドメインを分離する技術などを用いて論理分割された仮想ネットワークを意味することが多い。仮想ネットワークのための識別子がU-Planeのパケットヘッダに含まれ、ルータなどの転送装置がそれら識別子によりパケット転送テーブルを選び分けることで、ネットワークを論理的に分割する。あくまでU-Planeの分離が主役となる点から、コアネットワークとは思想が大きく異なることが分かる。

このように、コアネットワークではC-Plane、U-PlaneのいずれのパケットのヘッダにもスライスIDが書き込まれず、スライスIDを用いて、通信の特徴などに応じて適切なNFを選択することでネットワークスライシングを実現する。一方、IPネットワークではU-Planeパケットのヘッダに識別子を付与し、パケットを分類することでネットワークスライシングを実現しており、根本的なアーキテクチャが異なる。

(4) ネットワークスライシングを用いたMEC (Multi-access Edge Computing)^{*57}の実現

MECでは、UEに近傍の適切なコンピューティングリソース（以下、MECリソース）と、それに対するクローズドな接続経路を提供する。しかし、一般的なパブリッククラウド^{*58}のようにオンデマンドにリソースを払い出す提供形態は、ユーザごとに個別のDNNを払い出して、それらをコアネットワークやUEに設定するという従来の方法では実現が困難である。また、IoTのようなユースケースでは接続先MECリソースを位置や状況などに応じて遠隔地から変更したいケースなども考えられる。このため、UEに設定するDNNを変えずに、UEの位置情報や契約情報から、コアネットワーク側で接続先のMECリソースやMECリソースを収容するSMF、

UPFを選択できる必要がある。

このようなケースにおけるスライスIDを活用したMECリソースへの接続の流れを図9に示す。

- ・ステップ①～④：UEには要求スライスIDを設定せず、サービスを示すDNN—ここでは低遅延 MEC 用 DNN—を設定する。UEがRegistrationを行い、この際AMFは要求スライスが通知されないためUDMから契約情報を取得してNSSFと折衝し、許可スライスIDが決定される。AMFは許可スライスIDをUEの接続先のスライスIDとしてUEに設定する。
- ・ステップ⑤⑥：Registration完了後、UEからPDU Session Establishment Requestが開始される。AMFはUEから通知されたスライスIDとDNNに基づいて低遅延対応SMFを選択し、PDUセッション確立を要求する。
- ・ステップ⑦～⑨：SMFはDNN、スライスID、UEの位置情報から適切な低遅延対応UPFを選択し、UPFにPFCP (Packet Forwarding Control Protocol)^{*59}セッションの確立を要求する[10]。UPFはDNNとスライスIDを基にプロファイルを選択し、プロファイルに基づいてMECリソースAに対する通信路を設定する。

(5) ネットワークスライシングを用いたNFの選択

UEがコアネットワークにおいて異なるトラフィック特性を示す場合は、その特性に合わせて異なるNFに収容することが好ましい。しかし、それらが同じDNに接続されるケースでは、DNNを用いてNFを選び分けることができない。具体的には、図9下部のケースのように、IoT端末と一般的なスマートフォンが同じDNやIMS (Internet protocol Multimedia Subsystem)^{*60}を共有する場合などが挙げられる。このような場合においては、それぞれの端末のコアネットワークにおけるトラフィック特性の

*53 DSCP：IPパケットのQoS優先度制御を行う際に、パケットの優先度を表す値。IPヘッダのType of Serviceの先頭6ビットで表現され、64段階の優先度を指定することができる。

*54 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。

*55 SRv6：データの送信元が途中経路を決定するソースルーティング手法の1つ。Segment Routing HeaderにIPv6で表現されるセグメント情報（受信したパケットに対する操作）を書き込むことで通信経路上の経由装置でのパケット処理をプログラムすることができ、経路制御やオーバーレイネットワークなどを実現する。セグメントは次に送信する宛先、適用するルーティング

テーブル、パケットに適用する変換処理などさまざまな指示を関連付けることができる。

*56 MPLS：ラベルに基づいたスイッチングにより高速なデータ転送を行う技術。ラベルに基づいて異なるルーティングテーブルを適用することでネットワークを論理的に分離することができる。

*57 MEC：通信局舎などのユーザに近い位置にコンピューティングリソースを配備し、利用できるようにするコンピューティングアーキテクチャ。インターネット上に配備する場合に比べて通信遅延を低減でき、サービスの応答速度を向上できる場合がある。

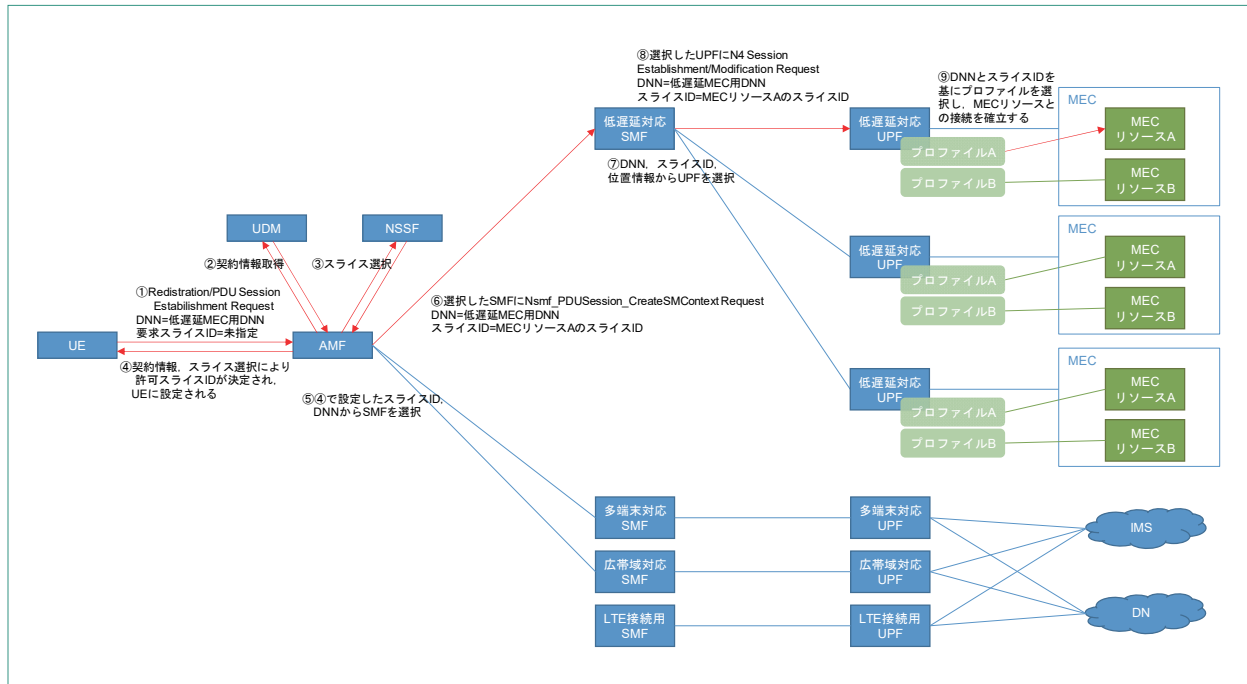


図9 スライスIDを用いた接続先選択

違いから、SMFやUPFを選び分ける必要性が生まれ、スライスIDを活用することで問題を解決できる。まず、IoT端末契約用とスマートフォン契約用のスライスIDを用意する。AMFによるSMF選択の際にスライスIDを用いて前者には多端末用のSMF、UPF、後者には広帯域用のSMF、UPFを選択させることで、トラフィック特性に適したNFを選択させることが可能となる。また、EPS (Evolved Packet System)^{*61}とのインターワーク^{*62}においても、LTEからの接続の際に選ばれるスライスIDを用意しておくことで、同様に適した性能のSMFやUPFを割り当てることなども可能である。

4. あとがき

本稿では、5G SA方式実現のために導入した5GC

で活用されているSBAやコンテナ基盤などの先進的な技術を述べ、これらの技術により実現可能となるネットワークスライシングについて、導入形態の例を含め解説した。

今後の展望としては、5G SA時代のネットワークに求められる新たな付加価値である、End-to-Endのネットワークスライシング（以下、E2ES）の実現が一例として挙げられる。

E2ESは、コアネットワークとそれを取り巻くアクセスネットワーク、トランスポートネットワーク、データネットワーク、アプリケーションすべてのレイヤにまたがるEnd-to-Endのネットワークスライシングである。E2ESでは、UE上のアプリケーションから、サーバサイドのアプリケーションの間で適切なポリシー制御が適用され、これまで以上に要件の厳しいネットワークサービスの提供が可能になる。

*58 パブリッククラウド：インターネットを介して誰でも利用できるクラウドコンピューティングサービス。

*59 PCF：N4、Sx参照点で用いられるUPF/SGW-U/PGW-UなどのU-Plane機能の制御を行うためのC-Planeプロトコル。パケットの転送、廃棄、書換え、滞留、優先処理、カウントなどのパケット処理のルールをU-Plane機能に通知する。

*60 IMS：音声通話を制御するコアネットワークの装置群を指す。P-CSCF (Proxy-Call/Session Control Function)、S-CSCF (Serving-Call/Session Control Function)、AS (Application Server) などにより構成される。音声通話をIPで実現するた

め、IP以下の伝送路に極力依存しないよう設計されている。

*61 EPS：LTEおよび他のアクセス技術向けに3GPPで規定された、IPベースのパケットネットワークの総称。

*62 インターワーク：通信システム間の相互動作。

E2ESの実現には、コアネットワークだけでなく、UE、無線アクセスネットワーク、トランスポートネットワーク、サーバサイドのアプリケーションのすべてのレイヤでネットワークスライシングへの対応が必要になる。その上で、各レイヤにまたがるQoSポリシーの連携した制御や各レイヤで異なる実装となるスライス同士の連携と接続、スライスのプロビジョニング*63など数多くの課題がある。今後は、これらの課題を解決するとともに、ドコモのネットワークスライシングの発展を進めていく。

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] 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.
- [3] 鎌田, ほか: “ドコモネットワークにおける仮想化基盤システムの実用化,” 本誌, Vol.24, No.1, pp.20-27, Apr. 2016.
- [4] 音, ほか: “5G時代の社会インフラに向けたコアネットワーク,” 本誌, 25周年記念号, pp.22-30, 2018.
- [5] 3GPP TS23.501 V15.13.0: “System architecture for the 5G System (5GS); Stage 2,” Mar. 2022.
- [6] 青柳, ほか: “産業創出・ソリューション協創に向けた5G高度化技術,” 本誌, Vol.28, No.3, pp.65-81, Oct. 2020.
- [7] 3GPP TS23.003 V15.11.0: “Numbering, addressing and identification,” Dec. 2021.
- [8] 3GPP TS38.413 V16.10.0: “NG-RAN; NG Application Protocol (NGAP),” Jun. 2022.
- [9] 3GPP TS23.502 V15.16.0: “Procedures for the 5G System (5GS); Stage 2,” Jun. 2022.
- [10] 宮崎, ほか: “トラフィック特性に応じた柔軟なU-Plane処理を実現するCUPSの開発,” 本誌, Vol.29, No.3, pp.35-46, Oct. 2021.

*63 プロビジョニング: サービスを提供するために必要となるネットワークなどのリソースの設計とそれを稼働させるためのハードウェアおよびソフトウェアの各種設定・構築業務を指す。