

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—

ネットワーク開発部 みのくち あつし 巳之口 淳 すずき ゆうじ 鈴木 悠司

ドコモ欧州研究所 Srisakul Thakolsri Riccardo Guerzoni

Malla Reddy Sama Tugce Erkilic Civelek

3GPP Rel-15で策定された5GCのアーキテクチャでは、ネットワーク機能やインタフェースにサービスベースのアーキテクチャ（SBA）の考え方をを用いて、ネットワーク機能のモジュール化、再利用化、自己完結型を実現した。この基盤機能を充実させ、特に産業分野で必要とされる機能や要素の不足を埋めるため、同アーキテクチャはRel-16およびRel-17でさらに拡張された。本稿では、Rel-17で拡張された技術分野の概要について、エッジコンピューティング、ネットワークスライシング、ネットワーク自動化、NPNに焦点を当てて解説する。

1. まえがき

5Gシステム（5GS：5G System）^{*1}は、5Gコアネットワーク（5GC：5G Core network）^{*2}、5G無線アクセスネットワーク^{*3}および端末（UE（User Equip-

ment）^{*4}）から構成される。ここで、5GCの基本設計原則はSBA（Service-Based Architecture）^{*5}に基づいており、すべてのネットワーク機能およびインタフェースが自己完結しており、再利用が可能となっている。5GCにより、ネットワーク事業者は、ネッ

©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} 5Gシステム（5GS）：コアネットワーク（^{*7}参照）、無線アクセスネットワーク（^{*3}参照）、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。

^{*2} 5Gコアネットワーク（5GC）：5Gのアクセス技術向けに3GPP（^{*13}参照）で規定された第5世代のコアネットワーク（^{*7}参照）。

^{*3} 無線アクセスネットワーク：コアネットワークと移動端末の間に位置する、無線基地局および無線回線制御装置などで構成されるネットワーク。

^{*4} UE：ユーザ端末。3GPP仕様向け無線インタフェースを介したネットワークサービスへのユーザアクセスを可能にする。

トワークスライシング^{*6}の概念を用いてコアネットワーク^{*7}とその機能を、特定のユースケースに合わせてカスタマイズすることができる。

Release 16（以下、Rel-16）では5GCのさまざまな分野で進展があった。例えば、①サービスフレームワーク^{*8}の拡張、②NSSAA（Network Slice Specific Authentication and Authorization）^{*9}のための新しいネットワーク機能の導入、③ネットワーク自動化を可能にするため、収集した情報に基づいてネットワークデータ解析を行う新しいネットワーク機能の導入、④サードパーティまたは移動通信事業者が運営する専用ネットワークの構築、および、統合された接続性、最適化されたサービス、安全な通信手段を特定領域内で可能にするNPN（Non-Public Network）^{*10}の導入などがあった。

Rel-17では、エッジコンピューティング^{*11}、ネットワークスライシング、ネットワーク自動化、NPNにおいて、以下の拡張があった。

エッジコンピューティングのサポートに関しては、5GC Rel-17でRel-15の基本的な仕様の上に大幅な拡張が行われており、それにはEAS（Edge Application Server）^{*12}の（再）発見、EASの再配置をサポートする新しい機能、EASへの5GC機能の公開、3GPP（3rd Generation Partnership Project）^{*13}アプリケーションレイヤーアーキテクチャのサポートが含まれる。

ネットワークスライシングは基本的な5GS機能であり、Rel-17では、ネットワークスライス受付制御、ネットワークスライス内のデータレートの制御および制限のサポート、ネットワークスライスの同時登録に関する契約ベースの制限の導入、ネットワークスライス固有周波数帯に基づく転送のサポートによって、その機能が拡張された。

ネットワークデータ解析については、Rel-17で、

NWDAF（NetWork Data Analytics Function）^{*14}の内部にAI/ML（Artificial Intelligence and Machine Learning）^{*15}機能を含むことが仕様に示された。また、データ収集や解析結果配布のための機能、収集したデータや解析結果の保管のための機能が新たに規定された。さらに、UEからのデータ収集、複数NWDAFをもつ網構成、NWDAFが支援するRFSP（RAT/Frequency Selection Priority）^{*16}決定、ネットワークスライス負荷解析のサポートによって、ネットワークデータ解析機能が拡張された。

Rel-17ではさらに、SNPN（Standalone NPN）^{*17}とは別の主体による認証情報の所有、SNPNのIMS（Internet protocol Multimedia Subsystem）^{*18}音声および緊急サービスのサポート、SNPNのUEオンボーディング^{*19}の提供によってNPNが拡張された。本稿では、これらの拡張について解説する。

2. エッジコンピューティングのサポート

3GPP 5Gシステムアーキテクチャでは、Rel-15以降、エッジコンピューティングをサポートする機能が導入されている。Rel-17では、その機能が拡張されており、専用の技術仕様書（TS：Technical Specification）23.548 [1] が導入され、TS23.501 [2]、23.502 [3]、23.503 [4] も更新された。

3GPP TS23.558（Rel-17）[5] は、3GPP SA（Service & Systems Aspects）^{*20} WG6（Working Group 6）で標準化されたが、本技術仕様書ではエッジアプリケーションを実現するアプリケーションレイヤーアーキテクチャについて説明している。

2.1 Rel-15におけるサポート

TS23.548では、3GPP SA WG2で規定されたエッ

*5 SBA：5GCで採用されているネットワークアーキテクチャで、ネットワーク機能群ごとにNFを定義し、各NF間は統一的なSBI（Service Based Interface）を介して、相互にサービスを利用する。
*6 ネットワークスライシング：ネットワークのさまざまな通信リソースを用途に応じて分割し、スライスごとにさまざまな要件を満たす通信サービスを提供する機能であり、5GCに導入されている。
*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 サービスフレームワーク：SBAを構成する汎用的な枠組み。

*9 NSSAA：加入者情報に基づいたネットワークスライス固有認証認可。ネットワークスライスのNSSAAにかかわる情報は、AMFに格納され、端末移動に伴うAMF変更の際には、AMF間でそれが転送される。
*10 NPN：特定のユーザやグループのみが使用するために構築されたネットワーク。公衆移動通信網が収容する形態、あるいは、公衆移動通信網とは独立して構築される形態で提供される。

*11 エッジコンピューティング：システムのよりエッジ（末端）にデータ処理や保管の機能を分散配置することで、通信量や遅延、より上位ノードの演算負荷などを抑える手法。

ジコンピューティングを実現する5Gネットワークアーキテクチャでサポートされる以下の3点の接続モデル（図1 [1]）の概要が示されている。

- ①分散アンカーポイント：UEの近くにあるアンカーUPF（User Plane Function）*21を選択して、エッジコンピューティング用のPDU（Protocol Data Unit）セッション*22を確立する。
- ②セッションブレイクアウト：ULCL（UpLink Classifier）/BP（Branching Point）*23を利用して、エッジコンピューティング用のトラフィックを選択的にローカルのUPFに振り分ける。
- ③複数PDUセッション：エッジコンピューティングアプリケーションと他のアプリケーションで、複数のPDUセッションを使い分ける。すなわち、エッジコンピューティングアプリケーションはローカルサイトのアンカーUPFに繋がるPDUセッションを使用し、他のアプリケーションは

中央サイトのアンカーUPFに繋がるPDUセッションを使用する。

2.2 Rel-17における エッジコンピューティングのサポート

(1)EASの（再）発見のサポート

5GCでは、EASの発見および再発見を前述の3つの接続モデルでサポートしている。この機能は、EASのFQDN（Fully Qualified Domain Name）*24をネットワーク上でUEに近いEASのIPアドレスに変換できるようにすることを意図したものであり、DNS（Domain Name System）*25サーバに着信DNSクエリ*26のソースIPアドレス、および/またはEDNSクライアントサブネット（ECS：Extension Mechanisms for DNS Client Subnet）*27オプション（RFC 7871 [6] で規定）を通知することにより行う（図2）。

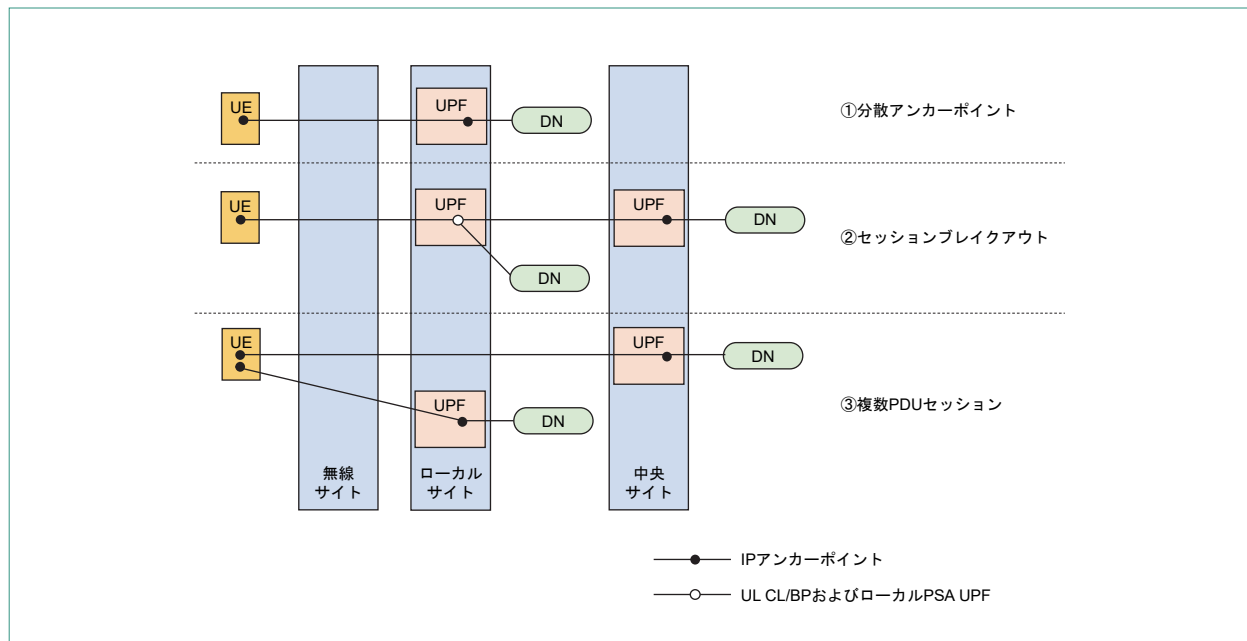


図1 接続モデル

- *12 EAS：エッジホスティング環境の常駐アプリケーションソフトウェア。
- *13 3GPP：移動通信システムの規格策定を行う標準化団体。
- *14 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、解析し結果を返す。
- *15 AI/ML：モデルを用いて推論すること、および、推論に用いるモデルを機械学習により生成すること。
- *16 RFSP：gNBが行う端末ごとの無線リソース管理を支援するために、コア網がgNBに送る情報。
- *17 SNPN：NPNの一形態であり、公衆移動通信網とは独立に構築

される。

- *18 IMS：3GPPで標準化された、固定・移動通信ネットワークなどの通信サービスを、IP技術やインターネット電話で使われるプロトコルであるSIP（Session Initiation Protocol）で統合し、マルチメディアサービスを実現させる呼制御通信方式。
- *19 オンボーディング：ネットワークを介して、端末に認証情報を設定すること。
- *20 3GPP SA：3GPPにおいて、サービス要求条件、アーキテクチャ、セキュリティ、コーデック、ネットワーク管理に関する仕様化を行っているグループ。

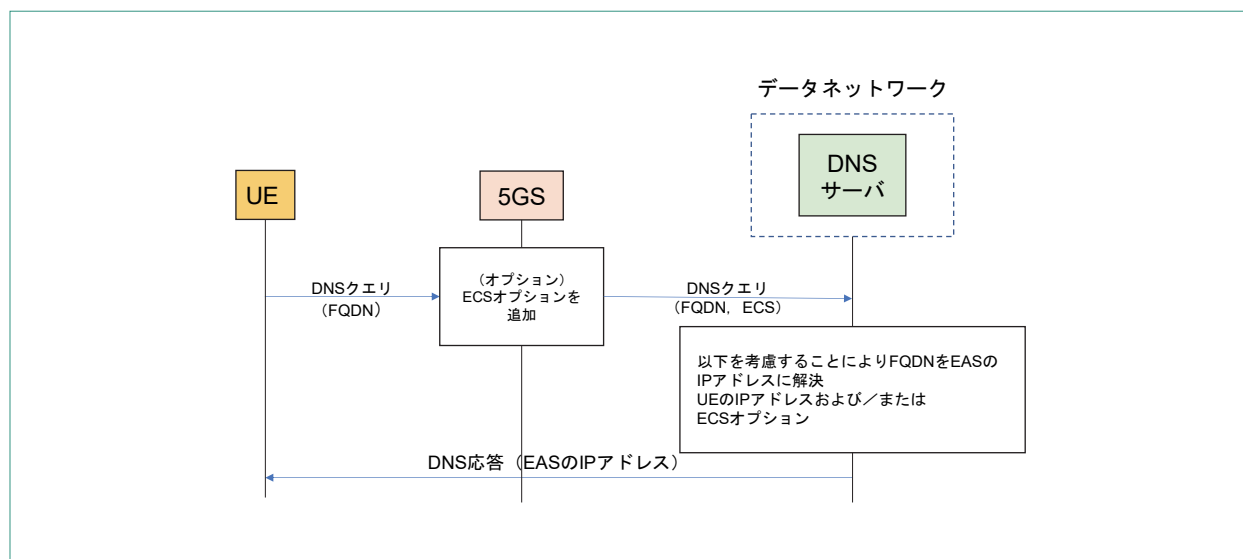


図2 5GS Rel-17でサポートされたEASの発見

この機能を基礎として、5GCでは以下の追加の機能をサポートすることが3GPP SA WG2で規定された。

①分散アンカーポイントによるEASの発見

分散アンカーポイントの接続モデルでは、5GCはPDUセッション確立時に、UEの場所に基づいて5GCが選択したDNSリゾルバ/サーバの情報をUEに設定する。それに基づき、EASの発見手順が実行される。UEがローカルPSA (PDU Session Anchor) UPF経由でDNSクエリをDNSリゾルバ/サーバに送信すると、以下のどちらかが実行される。

- ・DNSクエリは、DNSリゾルバによって解決される。DNSリゾルバは、DNS ECSオプションを追加し、DNSクエリを上位の権威DNSサーバに送信する。
- ・DNSクエリは、PSA UPFに近いDNSサーバによって解決される。ただし、権威DNSサーバがDNSクエリのソースIPアドレスを考慮す

る場合がある。

②セッションブレイクアウトによるEASの発見

セッション分岐の接続モデルでは、EASの発見は以下に基づいて行うことができる。

- ・動的セッション分岐：Rel-17で導入された新しい5GC機能であるEASDF (EAS Discovery Function)^{*28}のサポートにより、セッションブレイクアウト (ULCL/BP) を動的に確立する。EASDFは、UEから受け取ったDNSクエリをDNSサーバ (ローカルまたは中央サイト) に転送する。次に、EASDFはDNS応答を受け取り、DNS応答に含まれている情報 (例：EASのIPアドレス) をSMF (Session Management Function)^{*29}に通知する。この情報に基づいて、SMFはローカルアンカーUPFおよびULCL/BPを通信路に挿入してトラフィックのルートを変更する。

EASDFの構成はアプリケーションレイヤで制御できる。アプリケーションレイヤは

*21 UPF：5Gコアネットワークのネットワーク機能の1つ。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。

*22 PDUセッション：UEとデータネットワーク間の論理接続。

*23 ULCL/BP：ULCLおよびBP機能は、同じデータネットワークに関連した2つのN6インタフェース間で、アップリンクトラフィックを選択的に振り分けるUPFの機能である。

*24 FQDN：DNSのツリー階層内の正確な場所を指定する。すべてのドメインレベルを指定する。

*25 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。

*26 DNSクエリ：ドメイン名からIPアドレスに変換するために、DNSサーバ宛に送られるリクエスト。

*27 EDNSクライアントサブネット (ECS)：DNSクエリの送信元が属するサブネットの情報を示すために、DNSクエリとともに送られるオプション。

*28 EASDF：DNSを用いてEASを発見するための機能部。

*29 SMF：5GCにおいてセッションを管理するネットワーク機能。

EAS配備構成を5GC制御プレーン^{*30}に提供することができ、これには、アプリケーションでサポートされるFQDNのリスト、データネットワークの各ローカルアクセスおよび関連するDNSサーバ識別子に対応するIPアドレス範囲が含まれる。

- ・事前確立セッションブレイクアウト：事前に設定されたDNSリゾルバ／サーバを用いてEASを発見し、静的にセッションブレイクアウトを確立する。

③複数PDUセッションによるEASの発見

複数PDUセッションでは、URSP (UE Route Selection Policy) ルールを用いてEASの発見が行われる。URSPルールは5GC制御プレーンによってUEに設定され、UEのアプリケーショントラフィックを適切なPDUセッションにマッピングする。URSPルールは複数PDUセッションの接続モデルだけでなく、他のエッジ接続モデルのどれでも使用できる。

また、TS23.548では、5GC制御プレーンがアプリケーションレイヤから受け取るサービスパラメータを基にURSPルールを生成する方法について説明している。例えば、アプリケーションレイヤによって指定された宛先のFQDNまたはIPアドレスを使用して、UEは、その宛先向けのトラフィックを検出したときに、専用のPDUセッション（所定のデータネットワークまたはスライスが対象）を確立することもできる。

(2)エッジの移転のサポート

TS23.548では、以下に示すように、エッジの移転、つまりEASの変更および／またはPSA UPFの移転をサポートするさまざまな手順について説明している。

- ・パケットロス^{*31}低減のためのパケットバッファリング

EASが移転する際にパケットロスが発生しないよう、ULトラフィックをバッファリングする手順。

- ・AF (Application Function)^{*32}の変更を伴うエッジの移転

データネットワークのローカル部分に配備されたEAS、あるいは、中央にあるアプリケーションサーバの移転が、AFの移転も意味するシナリオを扱う手順。

- ・EAS IPの置換えを用いたエッジの移転

ローカルPSA UPFが、エッジコンピューティングを用いるアプリケーションに関連するトラフィックに対し、EASのIPアドレスやポート番号の置換えを行う手順。

- ・ソースおよびターゲットPSAの同時接続に関するAF要求

エッジ移転時に、AFがネットワークに対してソースPSAとターゲットPSA両方への同時接続を要求することを可能にする手順。

- ・ユーザプレーン^{*33}遅延要件を考慮したエッジの移転

AFがネットワークにユーザプレーン遅延要件を通知し、SMFがその要件を満たすためにエッジ移転が必要かどうか判断できるようにする手順。

- ・AFによって起動されるエッジの移転

AF内部トリガ（例：EASの負荷バランスの偏りや、メンテナンス作業の影響でEASが使えない場合）、あるいは、SMFからAFへ通知されるユーザプレーンパス変更通知により、EAS移転が生じる手順。

^{*30} 制御プレーン：端末の登録や通信データの転送経路の設定などの制御処理を行う、ネットワーク機能群。

^{*31} パケットロス：情報誤りの発生や輻輳などにより、データパケットが宛先に届かないこと。

^{*32} AF：アプリケーションを提供する、ネットワーク機能。

^{*33} ユーザプレーン：通信で送受信される信号のうち、ユーザが送受信するデータの部分。

2.3 エッジアプリケーションを実現するためのアプリケーションレイヤアーキテクチャ

3GPP TS23.558では、エッジアプリケーションをサポートするために、3GPP SA WG6 (SA6) によって標準化されたアプリケーションレイヤアーキテクチャについて説明している。前述した3GPP SA WG2によって規定された5Gコアアーキテクチャと、SA6のアプリケーションレイヤアーキテクチャとの間は明確に区別されている。

図3 [5] は、エッジアプリケーションを実現するためにSA6によって導入されたアーキテクチャの概要を示している。この図が示すように、SA6のアプリケーションレイヤの構成要素はSA6で規定されたインタフェースEDGE-2, 7, 8を介して、NEF (Network Exposure Function)^{*34}などによって公開された3GPPコアネットワーク機能サービスを利用できる。

UEでアプリケーションレイヤ構成を取得できるようにするため、5GCは、ECS (Edge Configuration Server)^{*35}の識別子をUEにプロビジョニング^{*36}できる。SA6アーキテクチャにおけるECSの役割は、UEのEEC (Edge Enabler Client)^{*37}がエッジデータネットワークのEES (Edge Enabler Server)^{*38}と接続するために必要なサポート機能を提供することである。

ECSとEESはECSP (Edge Computing Service Provider)^{*39}が所有しており、EASはASP (Application Service Provider)^{*40}が所有している。ECSPとASPは、MNO (Mobile Network Operator)^{*41}でもサードパーティのプロバイダでも構わない。

TS23.558にて、Rel-17の機能として規定されている代表的な手順を紹介する。

(1) サービスプロビジョニング

ECSは、EESのアドレス情報などの必要な情報を

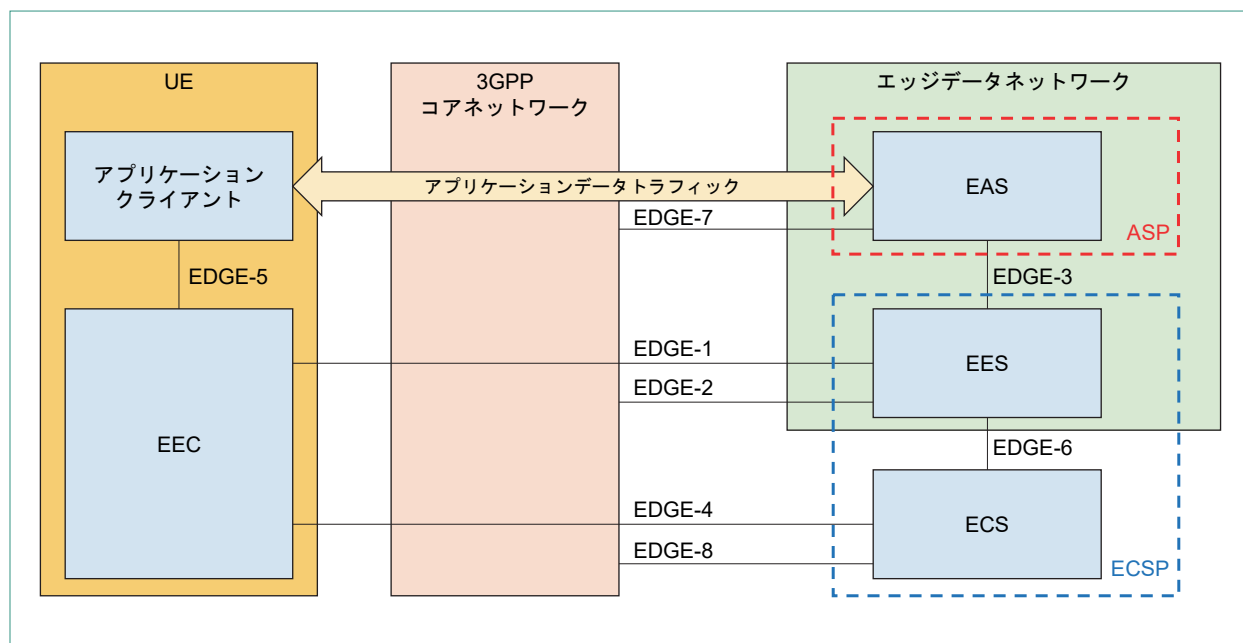


図3 アプリケーションレイヤアーキテクチャ

*34 NEF：5GC外のアプリケーションなどから、5GC内の情報取得や、5GC内の制御を実施するためのAPIを提供するNF。
 *35 ECS：エッジコンピューティングに必要な設定を管理する機能部。
 *36 プロビジョニング：アプリケーションを実行するために必要となる、端末やサーバやネットワークなどのリソースの確保、および、それらを動作させるための各種設定作業。

*37 EEC：端末側でエッジコンピューティングサービスを実現するための機能部。
 *38 EES：サーバ側でエッジコンピューティングサービスを実現するための機能部。
 *39 ECSP：ECSおよびEESを提供するエッジコンピューティングサービス事業者。
 *40 ASP：EASを提供するアプリケーション事業者。
 *41 MNO：移動通信事業者。

EECに設定できる。このプロセスは、エンドユーザがエッジコンピューティングサービスを利用できるようにするもので、サービスプロビジョニングと呼ばれる。

サービスプロビジョニングの手順では、要求／応答モデルと購読／通知モデルの両方をサポートしている。要求／応答モデルの場合、EECはサービスプロビジョニング要求をECSに送信し、ECSは要求に対してエッジデータネットワーク構成の情報で応答する。購読／通知モデルの場合、EECはまずECSにサブスクライブし、ECSは、サービスプロビジョニング情報が更新されたなどのトリガ条件が満たされるとEECに通知を送信する。サービスプロビジョニング後、EECはEESにアクセスして、登録などの操作をさらに実行できる。

(2)登録

エッジコンピューティングのエンティティ（例：EAS, EES, ECS, EEC）は、エッジコンピューティングサービスをサポートするため、相互にやり取りする必要がある。登録は、各エンティティが自身に関する情報を他のエンティティに配信するプロセスである。

Rel-17の仕様では3種類の登録をサポートしている。すなわち、EESに対するEEC登録（EDGE-1経由）、EESに対するEAS登録（EDGE-3経由）、ECSに対するEES登録（EDGE-6経由）である。EEC, EAS, EESの各エンティティは、手順に従って登録、更新、登録解除を実行できる。また、EESによるEEC登録ではEECコンテキスト^{*42}移転手順もサポートしている。この手順では、EECに関連する情報（EECコンテキスト）をもととの登録先であるEESから別のEESに移転する。この手順は通常、UEが新しい場所に移動し、現在のUEの場所により近い別のEESを使用してエッジコンピューティング

サービスを続行する場合に使用される。

(3)サービスの継続性

前述したEECコンテキスト移転に加えて、SA6はサービスの継続性をサポートする手順をいくつか規定している。サービス継続性手順は、UEの移動、EASの過負荷状態、保守によるEASのグレースフルシャットダウン^{*43}などでの使用を想定している。サービス継続性手順の間に、ソースEAS（S-EAS）に存在するアプリケーションクライアントの情報（アプリケーションコンテキスト）はターゲットEAS（T-EAS）に移転される。このようなEAS間のアプリケーションコンテキストのやり取りによるサービス継続性手順はACR（Application Context Relocation）と呼ばれる。

サービスの継続性の状況とACRに関する各エンティティの役割に応じて、サービスの継続性は5つのシナリオに分けることができる。各シナリオで、アプリケーションコンテキストは、S-EASからT-EASに移転され、ACR手順後にUEはT-EASによってサービスを提供される。

3. ネットワークスライシングの拡張

3GPPでは、Rel-15以降ネットワークスライシング機能を提供している。この機能は、EPS（Evolved Packet System）^{*44}のDecor（Dedicated Core Network）^{*45}から発展したものである。ネットワークスライシングを利用すると、論理ネットワークの区分と分離によって、顧客ごとにサービス要件が相反するような場合であっても、多様なビジネスニーズを満たすことができる。その後、GSMA（Global System for Mobile communications Association）^{*46}では、顧客によるネットワークスライシソースの使用に関する制御性が向上するよう検討が進められ、

^{*42} コンテキスト：ネットワーク機能やアプリケーションが個々の端末やクライアントを扱う際に用いる、各端末、各クライアントに特有の情報。

^{*43} グレースフルシャットダウン：計画的なシャットダウン。

^{*44} 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。

^{*45} Decor：端末に割り当てられたコアネットワークをRANが選択できるようにする、EPSの機能。

^{*46} GSMA：世界中の移動通信事業者およびモバイル産業界に関連するメンバにて構成され、移動通信業界全体の発展をめざした活動を行っている団体。

結果がNG (Networks Group). 116 [7] にまとめられた。3GPPではRel-17において、ネットワークスライシングの商業的な実行可能性をさらに向上させるため、特にNG.116で定義されているパラメータを5GSでサポートするため、多くの機能が導入された。

3.1 NSAC

NSAC (Network Slice Admission Control)^{*47}は、ネットワークスライスが収容するUEの数およびPDUセッションの数が、サービスレベル契約 (SLA: Service Level Agreement)^{*48}に基づいてGST (Generic Slice Template)^{*49}で指定された割当て量を超過しないようにする、一連の制御である。NSACF (NSAC Function) が、各ネットワークスライス上のUEの数およびPDUセッションの数を監視し制御する。割当て量は、構成に応じて、アクセスタイプ (3GPPのアクセスタイプまたは3GPP以外のアクセスタイプ) 依存または非依存にできる。またNSACFは、イベントに基づいた通知により、AFや他NFに、各ネットワークスライス上のUEの現在の数およびPDUセッションの現在の数を知らせることができる。

NSACFは、配備の際にさまざまな展開が可能である。例えば、NSACFを特定のネットワークスライス専用にすることもできるし、複数のネットワークスライスに適用することもできる。1つのPLMN (Public Land Mobile Network)^{*50}に1つのNSACFが存在するようにもできる。または、1つのPLMNに複数のNSACFを存在させてそれぞれにサービス提供領域を設けることで、広い運用エリアをもつPLMNをサポートすることもできる。

割当て使用状況の監視・制御の正確性を確保するため、AMF (Access and Mobility Management Function)^{*51}とSMFは、NSACの影響下にあるネッ

トワークスライスを認識している必要がある。また、UEからの新しい要求については、AMFとSMFはUEの要求を受け入れる前にNSACFに確認する必要がある。割当てに達したことを確認した場合AMFは、要求されたネットワークスライスを拒否する。NSACFに対する割当て量確認のためにUEの登録手順で遅延が増大することを回避するため、オペレータはオプションのEAC (Early Admission Control)^{*52}機能を使用することもできる。この機能を使用すると、AMFは登録受付応答をUEに送信してからNSACFに確認できる。

3.2 ネットワークスライス内のデータレートの制御および制限

図4は、Rel-17より前に可能であったこととRel-17で可能になったことを示している。Rel-15・16では、1UEにおける全ネットワークスライスの合計ビットレートしか制御・制限できなかったが、Rel-17では新たにUE-Slice-MBR (UE Slice Maximum Bit Rate) が導入され、1UEが特定の1ネットワークスライスにもつすべてのPDUセッションに関し、それらに含まれるGBR (Guaranteed Bit Rate)^{*53}および非GBRの全データフローの合計ビットレートを制御および制限できるようになっている。

本動作においては、AMFはUDM (Unified Data Management)^{*54}からUE-Slice-MBRを取得し、それをRANに提供し、RANがビットレートの制限を実施する。

さらに、Rel-17では、同じネットワークスライス内でのすべてのUEのデータレートの制御および制限を実行することも可能である。この機能をサポートするため、UDR (User Data Repository)^{*55}はネットワークスライスのすべてのUEに関する最大データレートの情報と、ネットワークスライスごと

*47 NSAC: オペレータが、ネットワークスライスごとに、登録端末数や、PDUセッション数を監視制御できるようにする、5GS Rel-17以降の機能。

*48 サービスレベル契約 (SLA): サービス提供者とサービス消費者との間の契約。

*49 GST: ネットワークスライス、あるいは、ネットワークスライスが提供するサービス、の種別を特徴付ける一連の属性。GSM NG.116が規定する。

*50 PLMN: 公衆移動通信網。国番号および事業者に対応するIDにより各国における事業者を識別する。

*51 AMF: 5GCにおけるUEの在圏収容装置。

*52 EAC: ネットワークスライスごと端末数制限確認を、Allowed NSSAI (ie. 在圏網で端末が利用できるネットワークスライス) 決定の前に行うか、後に行うかを指定できる機能。

*53 GBR: ビット速度が保証されていること。

*54 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。

*55 UDR: 5GCにおけるレポジトリ。

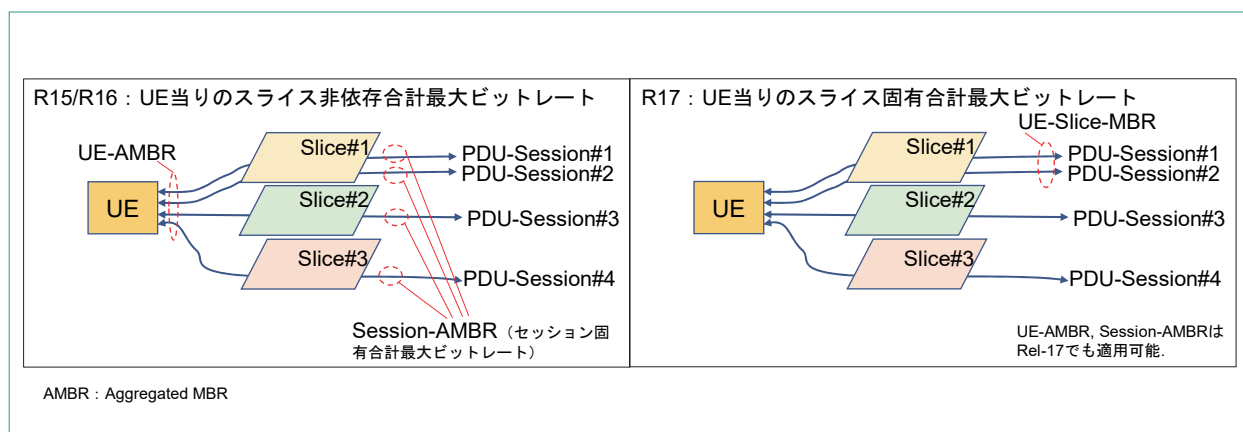


図4 UE当りのスライス固有合計最大ビットレート

の残りのデータレートの情報を格納する。そして、PCF (Policy Control Function)^{*56}は、これらの情報を参照し、現在のデータレートがネットワークスライスで許可されている最大値を超えないようにする。

3.3 ネットワークスライスの同時登録に関するアクセス制限

UEが異なるネットワークスライスにアクセスするよう契約していても、網構成、規制、またはSLAのために、5GCはそこで提供される複数のサービスの同時利用を制限しなければならない場合がある。この制限をサポートするため、UDMはNSSRG (Network Slice Simultaneous Registration Group)^{*57}情報を加入者情報の一部として自身に格納してそれをAMFに提供し、UEから要求を受け取った場合にAMFが制限を実施できるようにしている。

3.4 ネットワークスライス固有周波数帯に基づく転送

不均一な網構成のために、特定の地理的な位置で、異なるネットワークスライスが異なる周波数帯を使用するよう構成される場合がある。しかし、Rel-17

より前のUEはどのネットワークスライスがどの周波数帯で運用されているか認識しない。このため、最初に特定の周波数帯で運用されるネットワークスライスに登録したUEが、後に別の周波数帯で運用される別のネットワークスライスに登録しようとする場合、その別のネットワークスライスは現在のトラッキングエリアでは利用できず、UEのその要求は常に拒否されてしまうという事象が起こり得る。そこでRel-17では、AMFがRANにターゲットNSSAI (Network Slice Selection Assistance Information)^{*58}を送り、それが示すネットワークスライスをサポートするセルに、RANがUEを振り向けることができるようにした。

4. ネットワークデータ解析の拡張

4.1 NWDAFの拡張

5GSでは、インテリジェントなネットワーク自動化をサポートするために、AIと機械学習 (ML : Machine Learning)^{*59}の技術をサポートしている。

Rel-15では、NWDAFが独立したコアネットワーク機能として導入された。Rel-16ではNWDAFを中

*56 PCF : QoS制御, ポリシー制御, 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。

*57 NSSRG : 加入者情報の一部として含まれる, 同時に使うことのできるネットワークスライスを制約する情報。

*58 NSSAI : ネットワークスライスの選択を支援する情報。

*59 機械学習 (ML) : サンプルデータから統計処理により, 有用な判断基準をコンピュータに学習させる技術。

心とするネットワークデータ解析にかかわる5GCの全機能が専用のTS23.288 [8] で詳しく規定されている。また、API (Application Programming Interface)*⁶⁰の詳細はTS29.520 [9] で定義されている。これは、5GSでのネットワーク自動化を可能にするために、ネットワークデータ解析を提供することを目的としている。

図5に示すように、NWDAFは、NF (例：AMF, SMF, PCF), AF, OAM (Operations, Administration, Maintenance)*⁶¹などからデータを収集する。NWDAFは、入力データに基づいてネットワークデータ解析を行い、NF, AF, OAMなどにネットワークデータ解析結果を提供する。Rel-16では、推論とモデル訓練の機能が単一のNWDAFに実装されており、それ以上の詳細は規定されていない。Rel-17では、NWDAFは以下に分けられている。

- ・ MTLF (Model Training Logical Function) : MLモデルを訓練し、訓練済みMLモデルを新しく定義されたサービス (Nnwdafl_MLModel) を介してAnLF (Analytics Logical Function) に共有する。
- ・ AnLF : 推論を実行し、解析結果を利用するNF, AF, OAMの要求に基づいた統計および予測情報を解析結果として導き出す。

MTLFおよびAnLFは、スタンドアロン機能として別々に実行することも、組み合わせて1つのNWDAFに含めることもできる。

4.2 新しい機能セットの導入

図6に示すように、Rel-17では、以下のような新しい機能セットがネットワークデータ解析の枠組みに導入された。

- ・ DCCF (Data Collection Coordination Function)*⁶² : すべてのデータ要求を管理するための中心となるエンティティである。例えば、データを使う側つまりデータConsumerはデータ要求を、データを提供する側つまりデータソースに直接送信するのではなく、DCCFに送信する。DCCFは別のデータConsumerがすでに同じデータを要求していないかどうか評価し、すでに要求があり同じデータが利用できる場合、DCCFはそれを直接Consumerに提供する。データが利用できない場合、DCCFはデータソースからデータ収集を開始する。
- ・ メッセージングフレームワーク : データソースから受け取ったデータを処理し、データConsumerによって指定された、またはDCCF [8] によって決定された、すべてのデータConsumerの通知エンドポイント*⁶³に通知を送信する。

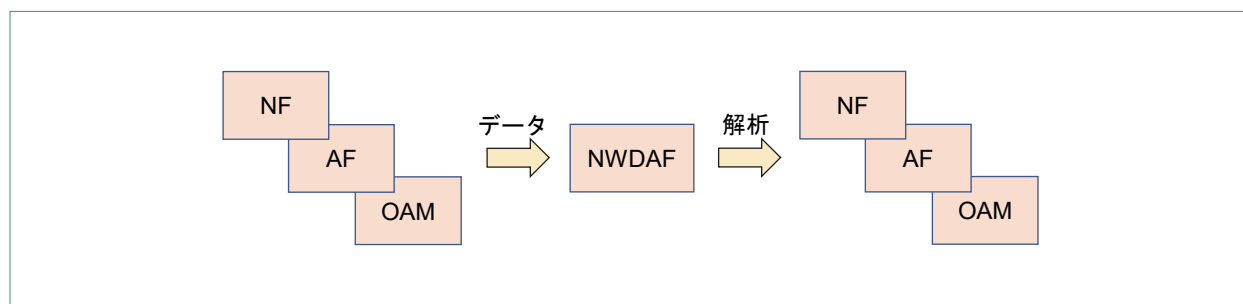


図5 NWDAF機能の概要

*60 API : 5GCの装置間で互いにやりとりするのに使用するインタフェースの仕様。

*61 OAM : ネットワークにおける保守運用管理機能。

*62 DCCF : NWDAFに代わって、データを収集する、また、データ収集を調整する、ネットワーク機能。

*63 エンドポイント : APIにアクセスするためのURI。

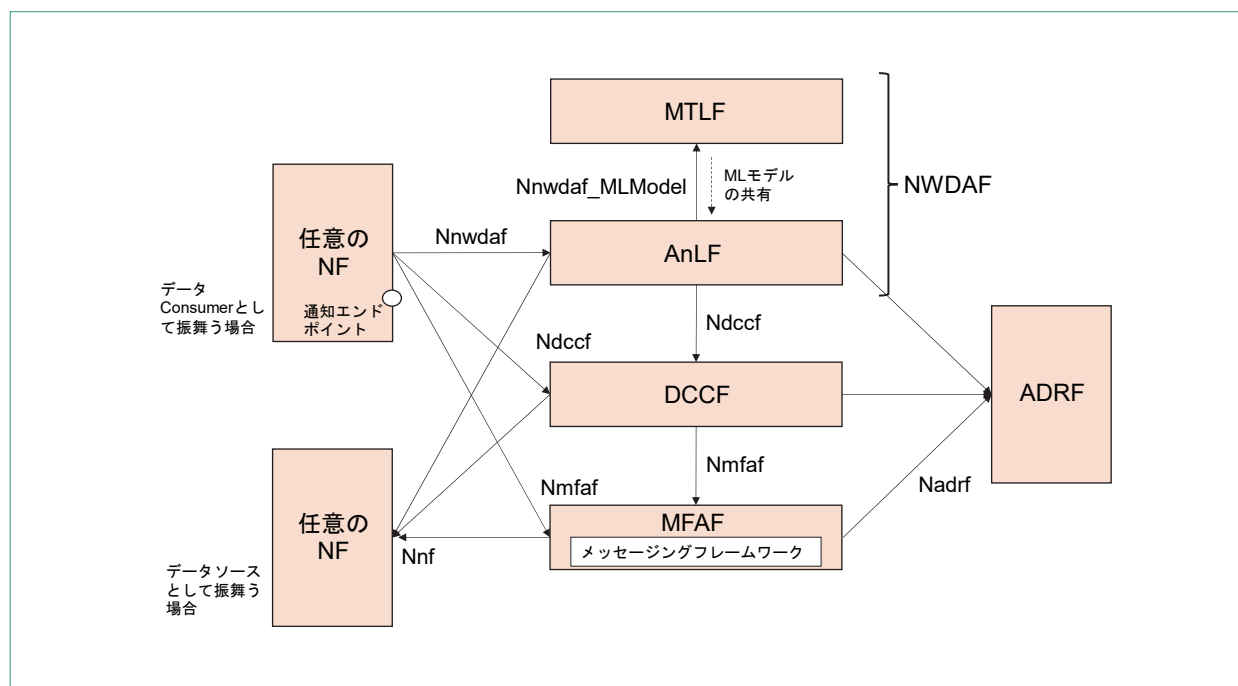


図6 Rel-17の新しく導入されたネットワーク機能とそのサービス名

なお、メッセージングフレームワークは3GPPの仕様書では標準化されていない。3GPPの仕様書では、5GSがメッセージングフレームワークとやり取りできるようにするサービスとして、MFAF (Messaging Framework Adaptor NF)^{*64}について説明しているのみである。メッセージングフレームワークの内部ロジックは3GPPの対象外である。

- ・ ADRF (Analytics Data Repository Function) : データ Consumerがデータおよび解析結果を、格納および取得できるようにするストレージ機能である。ADRFは、5GSでのデータウェアハウス^{*65}／データレイク^{*66}と考えることができる。例えば、ADRFはオープンソースのHadoop^{*67}をベースに実現することが可能である。

4.3 新しい解析項目の導入

さらに、Rel-16で定義されたネットワークデータ解析はRel-17で拡張されており、従来のほかに5つの新しい解析項目が導入されている。セッション管理輻輳制御をUE間で公平に適用するための情報として用いるため過去の適用状況の統計情報を与える「セッション管理輻輳制御体験解析」、URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications)^{*68}サービスで冗長伝送を行うかどうか決めるための情報として用いるため冗長伝送の効果の統計情報や予測を与える「冗長伝送体験解析」、UEのWLAN (Wireless Local Area Network) パフォーマンスを判別する「WLANパフォーマンス」、あるUEが行った活動量(データ量、制御メッセージ量など)の、場所やネットワークスライスごとの割合であり、注目すべき場所やネットワークスライスをランク付けしたり、特

*64 MFAF : 5GSがメッセージングフレームワークとNmfaf機能を用いて連携できるようにする。ネットワーク機能。

*65 データウェアハウス : 処理済みのデータを格納するストレージリポジトリ。

*66 データレイク : 処理前のデータを格納するストレージリポジトリ。

*67 Hadoop : 並列分散処理を実現するためのプラットフォーム。HadoopはApache Software Foundationの登録商標。

*68 URLLC : 高信頼通信および低遅延通信を同時に要求するサービス。

定の場所やネットワークスライスに関し使用頻度の高いUEを特定したりできるようにする「UE分散」、特定のエッジコンピューティングアプリケーションのユーザプレーンパフォーマンスを判別する「データネットワークパフォーマンス」である。

5. ノンパブリックネットワークの拡張

3GPPでは、Rel-16において、工程自動化または工場自動化ユースケースをサポートするために、通常はPLMNオペレータ以外の企業によって運用されるプライベートネットワークであるSNPNの概念が導入された。Rel-17では、プロの音響映像制作の以下のユースケースをサポートするために、SNPNの認証方法の2つの点が拡張されている [10]。

- ① イベントの主催者はSNPNをイベント会場に配備する。放送局の機器はUEとして、SNPNを介して接続を行う。一方イベントごとに異なる企業が、放送や音響映像制作をサポートするため、適宜自らがもつ機器を持ち込む。このユースケースのために、SNPNではなく外部の企業がUEを認証するメカニズムが仕様化された。
- ② SNPNを展開するスタジオに新しいデバイスを持ち込む。このユースケースのために、最初はデフォルトの認証情報を使うことで、SNPNによってUEが適切な認証情報を取得できるようにするメカニズムが仕様化された。

これらのユースケースをサポートするメカニズムについては、以下で解説する。

なお、Rel-17では、PLMNオペレータがSNPNを無線アクセスとして利用する場合に備えて、SNPNの緊急通話のサポートを規定している。さらに、一部の欧州諸国の大規模なプライベートネットワーク

に関する規制に準拠して、SNPNのPWS (Public Warning System)^{*69}のサポートを規定している。

5.1 外部の企業体がUEを認証できるようにするメカニズム

CH (Credential Holder)^{*70}と呼ばれる外部の企業体は、以下の(1)(2)いずれかのメカニズムを用いてUEの主認証を実行できる。

- (1) AAA (Authentication Authorization Accounting) サーバ^{*71}があるCH

図7は、このケースに関連のあるNFを示している。CHはAAAサーバを配備し、AAAサーバはEAPサーバ^{*72}として機能する。SNPNはNSSAAF (Network Slice specific and SNPN Authentication and Authorization Function)^{*73}を配備し、NSSAAFはAUSF (Authentication Server Function)^{*74}とAAAサーバの間で転送されるメッセージを処理する。

このシナリオでは、EAP-AKA (Improved Extensible Authentication Protocol-Authentication and Key Agreement)^{*75}、EAP-TLS (EAP-Transport Layer Security)^{*76}、EAP-TTLS (EAP-Tunneled Transport Layer Security)^{*77}の認証方法をサポートしている。なお、EAP-TTLSはUE認証情報を必要としない。

UE登録手順で、AUSFはUEからSUCI (Subscription Concealed Identifier)^{*78}を受け取ってUDMに提供する。UDMはSUCIをSUPI (Subscription Permanent Identifier)^{*79} (NAI (Network Access Identifier) 形式) に復号化し、加入者情報をチェックして、主認証をCH AAAサーバに依存することを決定する。UDMはこの情報をAUSFに提供し、AUSFはEAPメッセージをNSSAAFに送信する。NSSAAFはEAPメッセージをCH AAAサーバに転送し、必要に応じてプロトコルを変換する。

*69 PWS：各国で呼び名が異なるが、日本では、緊急地震速報を提供するシステム。

*70 CH：SNPNを構築する際には、端末認証を行う部分と、それ以外の部分を、別々の主体が担うことができる。CHは、そのうち、前者の部分あるいは前者を担う主体を指す。

*71 AAAサーバ：認証、認可、課金を管理するサーバを指す一般的な用語。

*72 EAPサーバ：複数の認証方法をサポートする認証の枠組みで用いる、拡張認証プロトコルを終端するサーバ。

*73 NSSAAF：ネットワークスライス固有認証認可、あるいは、

SNPN認証認可を担うネットワーク機能。本稿では後者の機能、すなわち、認証関連メッセージ転送機能を指す。

*74 AUSF：認証サーバの役割を担うネットワーク機能。

*75 EAP-AKA'：IETFで標準化された第3世代移動通信システムの認証と鍵共有方式の拡張。

*76 EAP-TLS：IETFによって規定された認証プロトコルの1つ。クライアント、サーバの双方で電子証明書を発行し、相互に認証が行われる。

*77 EAP-TTLS：EAP-TTLSは、携帯端末側へIDとパスワードを設定する方式。

CH AAAサーバはEAPサーバとして機能し、主認証手順を続行する。

(2)AAAサーバがなくAUSFおよびUDMを用いるCH
 図8は、このケースに関連のあるNFを示している。SNPNまたはPLMNがCHである。ローミング*80に類似する手順を主認証に使用する。

5.2 UEが適切な認証情報を取得できるようにするメカニズム

このシナリオでは、UEへの認証情報の提供を補助するSNPNはON-SNPN (ONboarding SNPN) と呼ばれ、認証情報を所有するSNPNはSO-SNPN (Subscription Owner SNPN) と呼ばれている。

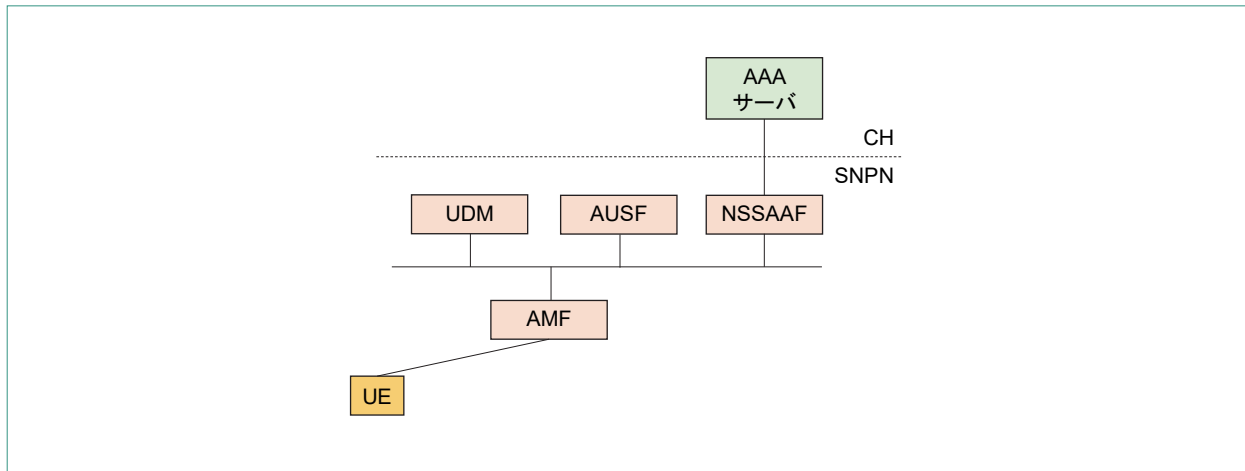


図7 AAAサーバがあるCHによる主認証

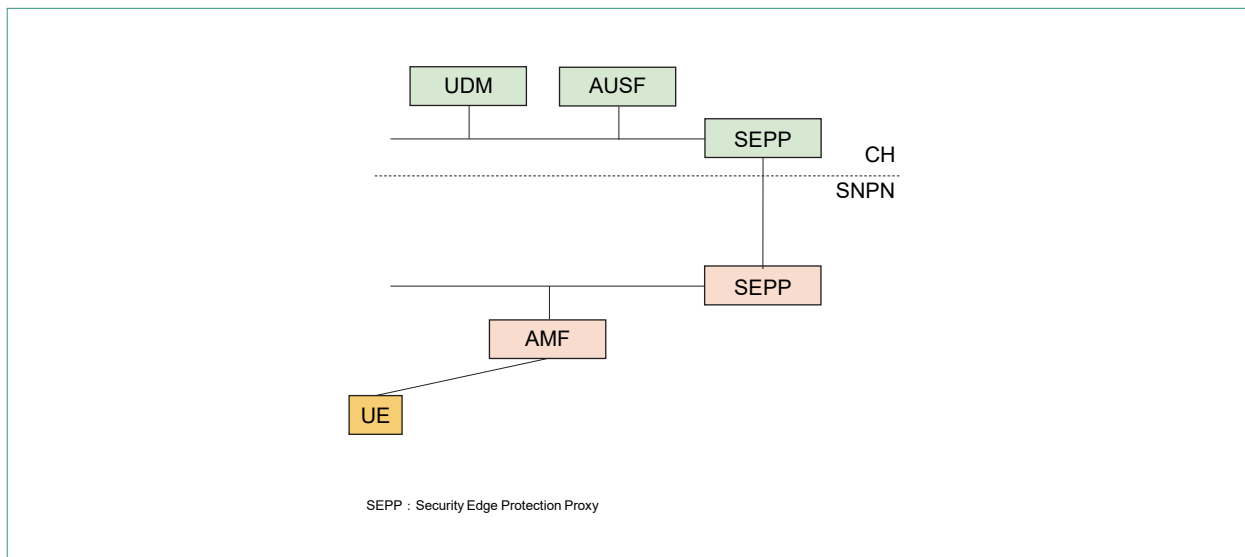


図8 AAAサーバがなくAUSFおよびUDMを用いるCHによる主認証

- *78 SUCI：5GSで用いる加入者を識別する情報（SUPI（*79参照）を暗号化したもの）。
- *79 SUPI：5GSで用いる加入者を識別する情報。
- *80 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。

ON-SNPNとSO-SNPNを、同一とすることも別々にすることもできる。SO-SNPN認証情報を提供するサーバはPVS (ProVisioning Server)^{*81}と呼ばれている。図9は、このメカニズムに関連のあるNFを示している。PVSはN6^{*82}に配備される。

UEに、デフォルトの認証情報とON-SNPN選択情報が設定される。ON-SNPNのgNB (gNodeB)^{*83}は、オンボーディングが許可されていることをブロードキャストする。これを受信したUEはON-SNPNを選択し、デフォルトの認証情報を使ってそのON-SNPNにアクセスして、オンボーディングのためのアクセスであることを示す情報をRRC (Radio Resource Control)^{*84}メッセージに含める。UEは登録時に、その種類をSNPNオンボーディングとして設定する。ON-SNPNのAMFに、OAMが事前にオンボーディング構成データを設定しておく。UEに、PVSのIPアドレスまたはFQDNが事前に設定されている場合がある。設定されていない場合は、ON-SNPNのSMFがPDUセッションの確立時にPCO (Protocol Configuration Options)^{*85}を用いてその情報をUEに提供する。UEはPVSから認証情報を取得し、これによってUEはSO-SNPNにアクセスでき

ることとなる。ON-SNPNのAMFは、時間切れになったらUEを登録解除する。

ON-SNPNは、前述したように、デフォルトの認証情報の主認証に関してCHに依存することができる。図10は、このケースに関連のあるNFを示している。CH AAAサーバはDCS (Default Credential Server)^{*86}と呼ばれている。UDMは手順には関係しない。AUSFはEAPメッセージを直接NSSAAFに送信する。

6. あとがき

本稿では、Rel-17で規定された5GCへの拡張について解説し、エッジコンピューティング、ネットワークスライシング、ネットワーク自動化、NPNに焦点を当てた。2022年の初め以来、3GPP SA WG2はRel-18の研究を開始しており、5Gのさらなる拡張を目指している。Rel-18の研究の一部は、本稿で解説した機能のさらなる拡張を目標としている。ドコモは、今後も3GPPにおける5G-Advanced標準化に寄与し、移动通信のさらなる発展に貢献していく。

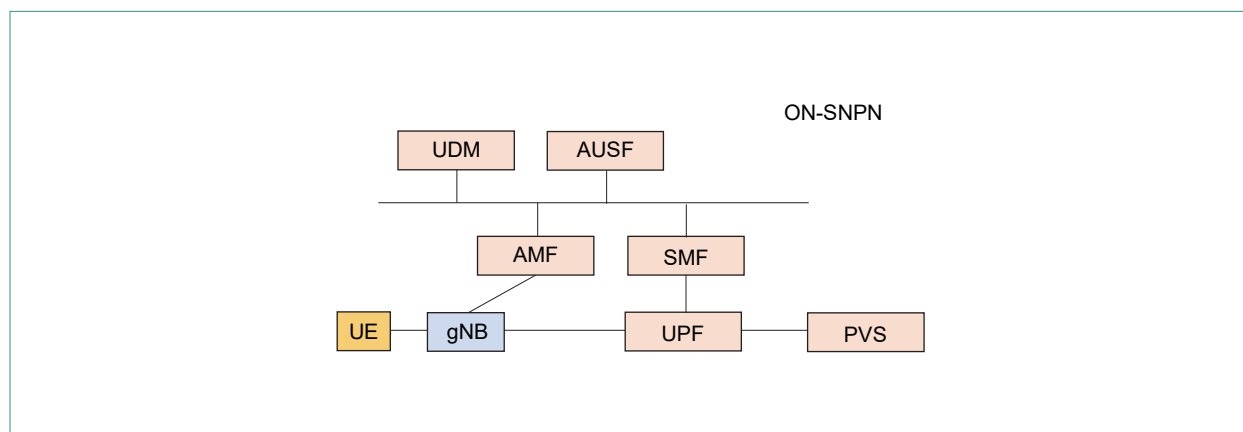


図9 ON-SNPNによって支援されるUEのオンボーディング

*81 PVS：認証用のクレデンシャル（認証処理時に用いる、端末が保持する情報）を提供するサーバ。

*82 N6：UPFとDNの間の参照点。

*83 gNB：5Gの無線方式に対応した無線基地局。

*84 RRC：無線ネットワークにおける無線リソースを制御するレイヤ3プロトコル。

*85 PCO：ベアラ確立信号で、各種プロトコルのオプションを転送する。

*86 DCS：端末が事前にデフォルトでもつ、認証用のクレデンシャルを認証するサーバ。

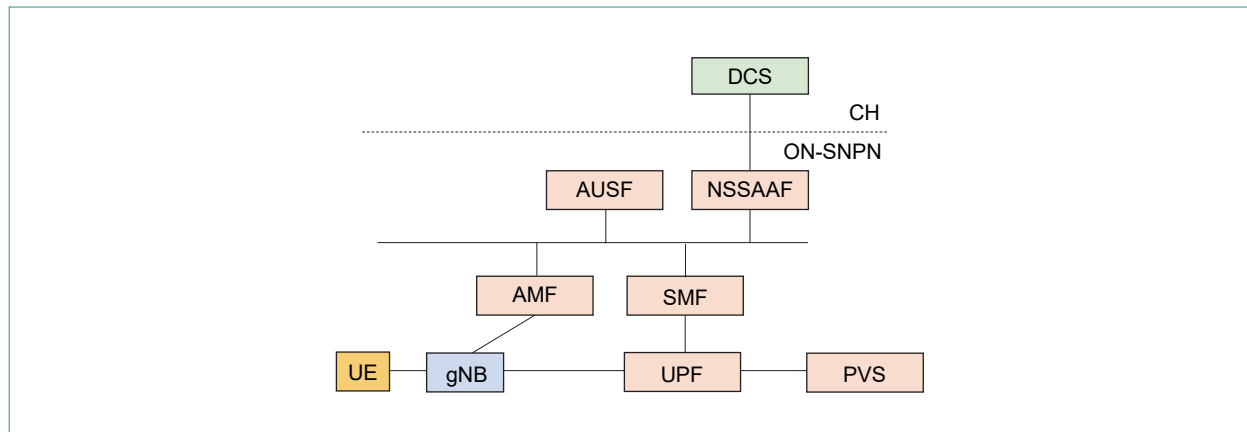


図10 ON-SNPNおよびDCSによって補助されたUEのオンボーディング

文献

- [1] 3GPP TS23.548 V17.3.0 : "5G System Enhancements for Edge Computing ; Stage 2," Jun. 2022.
- [2] 3GPP TS23.501 V17.5.0 : "System architecture for the 5G System (5GS)," Jun. 2022.
- [3] 3GPP TS23.502 V17.5.0 : "Procedures for the 5G System (5GS) ," Jun. 2022.
- [4] 3GPP TS23.503 V17.5.0 : "Policy and charging control framework for the 5G System (5GS) ; Stage 2," Jun. 2022.
- [5] 3GPP TS23.558 V17.4.0 : "Architecture for enabling Edge Applications," Jun. 2022.
- [6] IETF RFC7871 : "Client Subnet in DNS Queries," May 2016.
- [7] GSMA NG.116 V1.0 : "Generic Network Slice Template," May 2019.
- [8] 3GPP TS23.288 V17.5.0 : "Network Data Analytics Services ; Stage 2," Jun. 2022.
- [9] 3GPP TS29.520 V17.7.0 : "Network Data Analytics Services ; Stage 3," Jun. 2022.
- [10] 3GPP TR22.827 V17.1.0 : "Study on Audio-Visual Service Production ; Stage 1," Jan. 2020.