

5G時代に向けたドコモR&Dの現在・未来

各分野の現状と進化

5G時代の社会インフラに向けた コアネットワーク

ネットワーク開発部
先進技術研究所
おと音 ひろゆき
たきた 滝田 わたる 亘

5G時代にはサービスの高度化・多様化が進み、さまざまな産業、業界が連携することによる価値の創造、発展が見込まれるため、ネットワークは社会インフラとしての役割が求められるようになる。本稿ではそれらの実現に向けて、5Gのユースケースを基に、コアネットワークとして必要とされる主要技術を解説し、また複雑化していくネットワークを効率的に運用していくためのオペレーション高度化の取組みについて紹介する。

1. まえがき

第5世代移動通信システム（5G）では、携帯電話／スマートフォンを中心とした4G時代までとは異なる多様なニーズに応えるため、高速・大容量化だけでなくさまざまな面での進化をめざしている。例えば、低遅延化や信頼性の向上、そして、大量のデバイスとの接続を実現することも要件に含まれている。

これらの要求を満たす社会インフラネットワークを実現するためには、無線通信の進化だけでなく、コアネットワーク^{*1}も進化する必要がある。5Gではさまざまな技術が仕様化された。本稿では、5G

時代に向けた社会インフラとしてのネットワークの発展と、主要技術に関して解説する。

2. 5G時代に向けたネットワークの発展

5G時代には、車・住宅・ウェアラブルデバイスなどあらゆるモノが無線でネットワークに接続し、自動的かつ知的に情報収集や管理制御を行えるIoT（Internet of Things）が普及するようになると予想されている。一方、IoTの発展に伴い、大量のIoTデバイスで構成されるスマートメータ^{*2}や環境センサなどを用いた多様なサービスが登場し、これら

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

^{*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。

^{*2} スマートメータ：電力の使用状況をリアルタイムに計測し、見える化するための装置。

サービスを支えるため、通信には高速・大容量、低価格、低遅延などの要件が求められる。このように、あらゆるモノがつながり、安心してストレスなくサービスが利用可能な、高度で柔軟なネットワークを提供することがドコモの考える5G世界観であり、さまざまな産業と連携した社会インフラネットワークへの発展をめざしている。以下、5Gにおける具体的なユースケースを紹介した上で、必要技術に関する解説を行う。

3. 5Gのユースケース

3GPPでは、5Gの主な利用シナリオとして、(1)高速・大容量（eMBB：enhanced Mobile BroadBand）、(2)高信頼・低遅延通信（URLLC：Ultra-Reliable and Low Latency Communications）、(3)多数同時接続を実現するマシンタイプ通信^{*3}（mMTC：massive Machine Type Communications）が議論され、規格としてまとめられている。

(1)高速・大容量：eMBBユースケース

スマートフォンやタブレットでのオンデマンド動画の視聴（VOD：Video On Demand）は4Gでの主要なユースケースであり、通信トラフィックの多くの割合を占めている。

今後も4K/8K放送のような高精細な動画コンテンツやリッチコンテンツの増加に伴って、モバイルネットワークでもより大容量の通信が求められると考えられる。

(2)高信頼・低遅延：URLLCユースケース

今後普及が期待されている高度運転支援や自動運転は、外部のネットワークを利用せず、自動車自身のセンサと処理系で自律的に行われるのが基本である。しかし、車載センサの範囲外の情報（近傍死角情報、センサレンジ外情報、広域情報）取得や車間通信など、モバイルネットワークを利用するユースケースがあり、その際の通信は高い信頼性があり、

かつ低遅延で行わなければならない。また、スマートファクトリーにおける産業用ロボットの遠隔制御などにモバイルネットワークを適用する場合にも、制御性や安全性の確保のために通信の高信頼性・低遅延が必要となる。

(3)多数同時接続：mMTCユースケース

農業用センサやスマートメータ、プラント設備などでは、単体で通信するデータ量は少ないものの、数多くのセンサデバイスなどの端末が同時接続するユースケースが想定されている。このような場合には、多数端末を管理する仕組みや、少量のデータを効率的に転送するための専用のアーキテクチャ（例：制御信号上にユーザデータを重畳して送信する方式）が考えられている。また、多数設置するため、端末コストの低価格化や省電力化も求められる。

4. 5G時代における新たな価値の創造に向けた技術

4.1 5G時代に向けた現在のネットワーク高度化の取り組み

(1)ネットワーク仮想化（NFV：Network Functions Virtualisation）^{*4}

スマートフォンの近年の急速な普及に伴い、データ通信トラフィックが増大しているが、そのような状況においても、いつでも繋がるネットワークを適正なコストで構築する必要がある。ドコモでは、IT業界では一般的となっている仮想化技術を通じて通信キャリアのネットワークに適用することでNFVを実現し、仮想化対象装置の適用領域を拡大している。

NFVにおける仮想化技術とは、物理的な構成にとらわれず、ハードウェアリソース（CPU／メモリ／HDD）を論理的に統合・分割してリソースプール^{*5}と見なすことにより、さまざまな通信ソフトウェアを共用の汎用ハードウェア上で動作可能とする技術である。

^{*3} マシンタイプ通信：人間による通信操作を介しない機械通信の3GPPにおける総称。

^{*4} ネットワーク仮想化（NFV）：仮想化技術を用いて通信機能処理を実現するソフトウェア処理を汎用製品上で実現する技術。

^{*5} リソースプール：大量のハードウェアを束ねて、それぞれのハードウェアが保持するリソース（CPU／メモリ／HDDなど）の集合体としたものであり、これを基にさまざまな仮想マシンが作成可能となる。

本技術により、専用ハードウェアではなく汎用ハードウェアを使用することによる価格低減と、ハードウェアリソースの有効活用による設備削減が可能となる。さらに、通信量の激増によってネットワークが圧迫される災害時などでは、ネットワーク設備の容量をスケーリング^{*6}により自動的に拡張し、接続性を継続させることや、新しいサービスを早期に実現したい場合などでは、インスタンスエーション^{*7}により汎用ハードウェア上に通信ソフトウェアを速やかに展開することでそれが可能となる。

(2)DECOR (DEdicated CORE Network)^{*8}

近年ではIoTデバイスも低廉化されて急速な普及が進んでおり、LTEに接続する端末の種類や数は増加の一途を辿っている。それらのトラフィック特性や優先度に応じて収容するネットワークを分離することができれば、ネットワークの局所化や収容設計の効率化など、これまでよりさらにフレキシブルかつ適切にネットワークを制御することが可能となる。そこで、現在ドコモではDECORと言われる端末のトラフィック特性に応じて収容コアネットワークを分離する技術の導入を進めている。

3GPPでは以前よりネットワークを分離する方式自体は存在していたが、端末への機能実装を伴い、普及済みの既存端末には適用できなかった。一方、DECORでは端末識別子^{*9}を基にネットワーク側で振分けを行うことで、端末にはインパクトがないまま、接続するネットワークを分離することが可能となる。これにより、収容する端末のトラフィック特性や優先度に応じてネットワークを設計することが可能となるため、信頼性確保とコスト削減が見込まれる。

4.2 5Gネットワークの技術要素

前述のユースケース (eMBB, URLLC, mMTC) を実現するための5Gコアネットワーク技術について解説する。

(1)高速・大容量：eMBB実現のための技術

(a)初期の5G提供方式

高速・大容量を実現するためのコアネットワークの方法としては、従来のEPC (Evolved Packet Core)^{*10}を拡張する方式と新規に仕様化される5Gアーキテクチャを導入する方式が存在し、ドコモでは5G初期においては前者での提供を行う (図1)。その理由としては、EPCを活用することでLTE/LTE-Advancedで展開済みの安定したエリア品質を担保可能としつつ高速・大容量を実現でき、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となるからである。

(b)5G本格化に向けたコンテンツ配信技術

5G本格化に向けては、さらにリッチなコンテンツ配信に対応するために無線部分を大容量化するだけではなく、コアネットワーク側でリッチコンテンツを効率良く配信するための技術が必要になる。このユースケース実現のために、無線アクセスに比較的近い位置にゲートウェイ^{*11}機能を配置して、端末から近い位置でのサービス処理を行うモバイルエッジコンピューティング (MEC: Mobile Edge Computing) サーバにCDN (Content Delivery Network)^{*12}を適用することで、有線区間のトラフィック削減とともに遅延削減による実効的な通信速度の向上を図る。

4Gまでは、このようにトラフィック特性に応じてMECとインターネットアクセスを同時に行いつつ端末のモビリティも両立する方式について、標準的な方法が確立していなかった。しかし、5GではMECとモビリティの利用を両立するために、特定トラフィックのみ識別し端末近傍でオフロード (Local Breakout^{*13}) するためのUL CL (UpLink Classifier) や後述するSSC (Session and Service Continuity) な

^{*6} スケーリング：ハードウェアや仮想マシンの負荷状況に応じて通信ソフトウェアとしての処理能力が不足、あるいは余剰になった際に、通信ソフトウェアを構成するVM (Virtual Machine) を増減することにより処理能力を最適化すること。

^{*7} インスタンスエーション：クラウド環境上で通信アプリケーションを立ち上げる手続き。

^{*8} DECOR：移動端末種別をあらわす端末識別子に応じてコアネットワークを分離し、同じ端末識別子が割り当てられた移動端末を集めて在圏させる専用のコアネットワーク。

^{*9} 端末識別子：加入者情報に含まれる、端末の種別や用途を示す識別子。

どの新規方式が追加されている。

UL CLは端末から送信される、特定のIPアドレス向けの packets を識別し、通常とは異なるルーティングを行う技術である。一般的には、図2のようにMECサーバに接続するために用い

られる。

(2)高信頼・低遅延：URLLC実現のための技術

高信頼・低遅延通信を必要とするサービス実現のために、端末とサーバ間の距離に依存する遅延を短縮する目的で、MECとは別に遅延の原因となるハンド

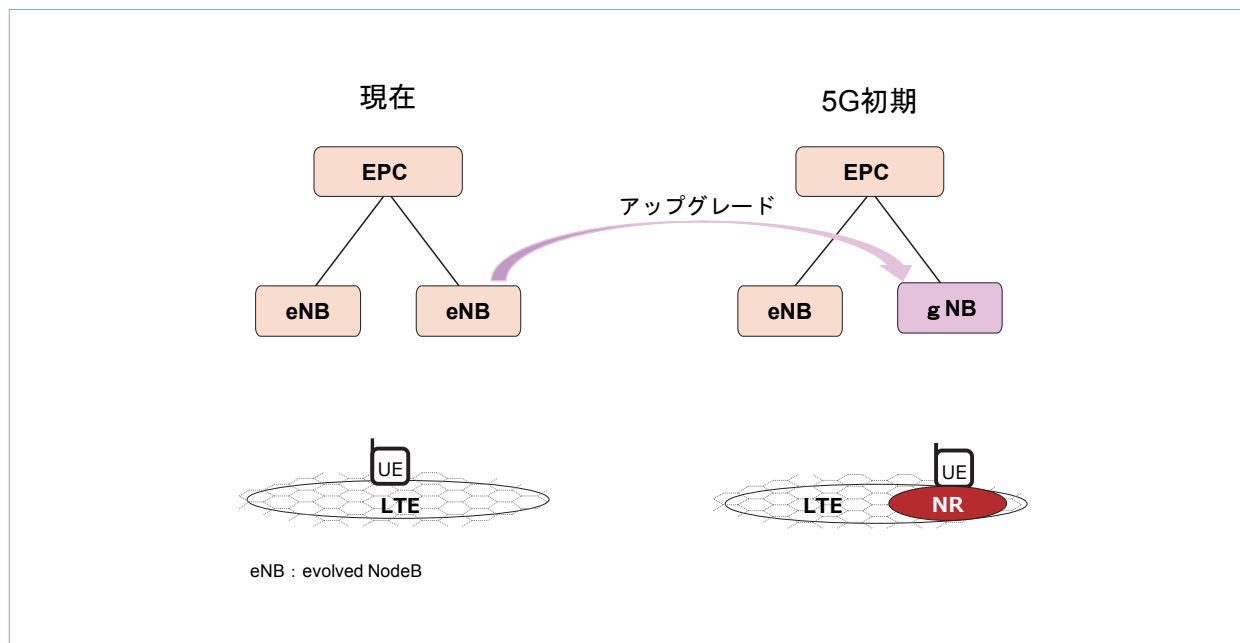


図1 5G初期のアクセス収容

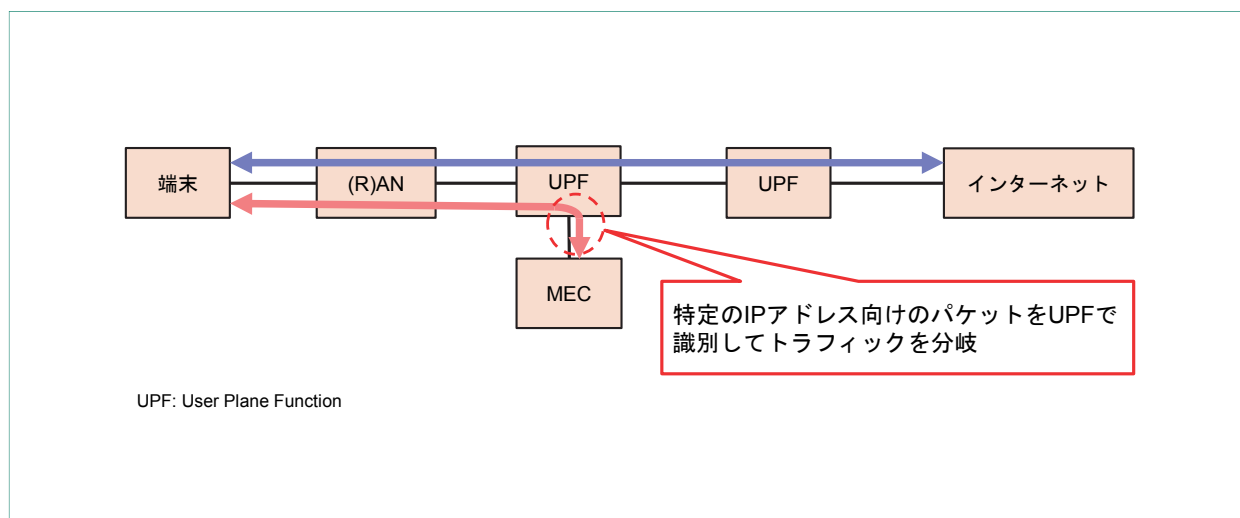


図2 UL CL

- *10 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。MME、S-GW、P-GW、PCRFから構成され、認証、移動制御、ベアラ管理、QoS制御といった機能を提供する。
- *11 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し、デバイス間の通信を可能にする中継デバイス。
- *12 CDN：ファイルサイズの大きい画像・動画を高速かつ安定して

- 配信するために最適化されたネットワークソリューション。
- *13 Local Breakout：特定通信のみ各拠点から直接インターネットに流すことにより、センタ拠点と各拠点間を結ぶ回線の圧迫を防ぐ手順。

オーバー*¹⁴時の瞬断を防ぐ機能の改善，および最短経路での端末間通信を可能とするルーティング制御機能の拡張を行っている。

これらの機能はSSCと呼ばれる。SSCはMEC接続のようにエリアごとに接続するネットワーク／サーバが異なる場合に，端末が移動に伴って接続するネットワーク／サーバを変更することが可能となる新しい技術である。SSCには次の3つのmodeがある(図3(a)～(c))。

- (a)SSC mode 1は，4Gまでと同様に，エリアによらず1カ所のネットワークにつながる方式であり，通常のインターネット接続に用いられる。
- (b)SSC mode 2は，あるエリアAに紐づくMECサーバに接続している端末が新しいエリアBに移動した場合に，エリアBに紐づくMECサーバに再接続する方式である。

(c)SSC mode 3は，あるエリアAに紐づくMECサーバに接続している端末が新しいエリアBに移動した場合に，エリアBのMECサーバに接続しつつ旧エリアAとの接続状態も保持する方式である。なお，SSC mode 3では，ハンドオーバーに伴う再接続による瞬断を防ぐために，端末が旧エリアAのネットワークに接続したまま，新エリアBのネットワークに接続を行い，新エリアBとの接続が完了した後に旧エリアAのネットワークとの通信を切断するMake Before Breakという新しい方式もオプションとして追加される。

(3)多数同時接続：mMTC実現のための技術

多数の端末を効率的に管理するために，固定的に設置されたセンサデバイスなどの端末は，位置登録しない制御とすることが考えられている。また，

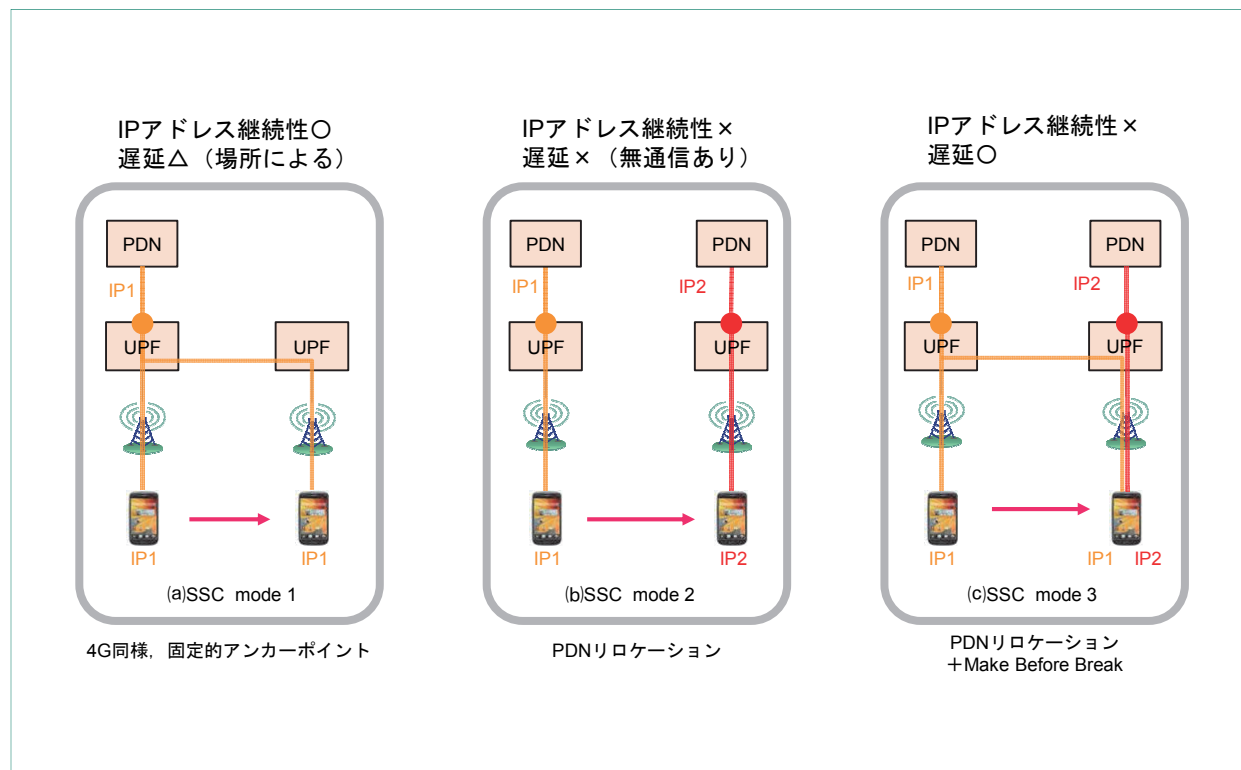


図3 SSC

*¹⁴ ハンドオーバー：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。

センサデバイスを安価にするためにコアネットワーク側にセキュリティ機能などをオフロードすることや、非常に多くのセッション^{*15}が1カ所に集中することを防ぐために、センサから得られる情報をMECで処理する方式が考えられている。

さらに、少量のデータを制御信号に重畳して送受信することでネットワークの利用効率を向上する技術も検討されている。

4.3 多様なネットワークの効率的収容

5Gのユースケースは多岐にわたるとともに、遅延・帯域・端末数などにおいて、これまでよりはるかに厳しい性能が要求される一方で、各能力の最大値すべてを同時に満たさなくても、個々のユースケースを実現することも可能である。

また、無線アクセスネットワーク（RAN：Radio

Access Network）^{*16}もそのユースケースに応じて異なるものを利用することも考えられており、5G時代の将来ネットワークは、4G無線アクセス、5G無線アクセス、Wi-Fi[®]^{*17}など複数の無線技術を収容し、サービスの特性に応じてそれらを使い分けることが想定されている。さらに、仮想化技術を活用することにより、サーバやトランスポート機器などの物理機器を共通利用しつつ、高効率・低遅延といったサービス要求条件に特化した論理的なネットワークをネットワークスライス^{*18}として構築することでそれぞれのサービスを実現する（図4）。ネットワーク構築の柔軟性とサービス提供にかかる時間を短縮するために、ネットワークスライス上に配置するネットワークファンクションに対して、サービススペースドアーキテクチャ（SBA：Service Based Architecture）と言われる技術の導入を行う。

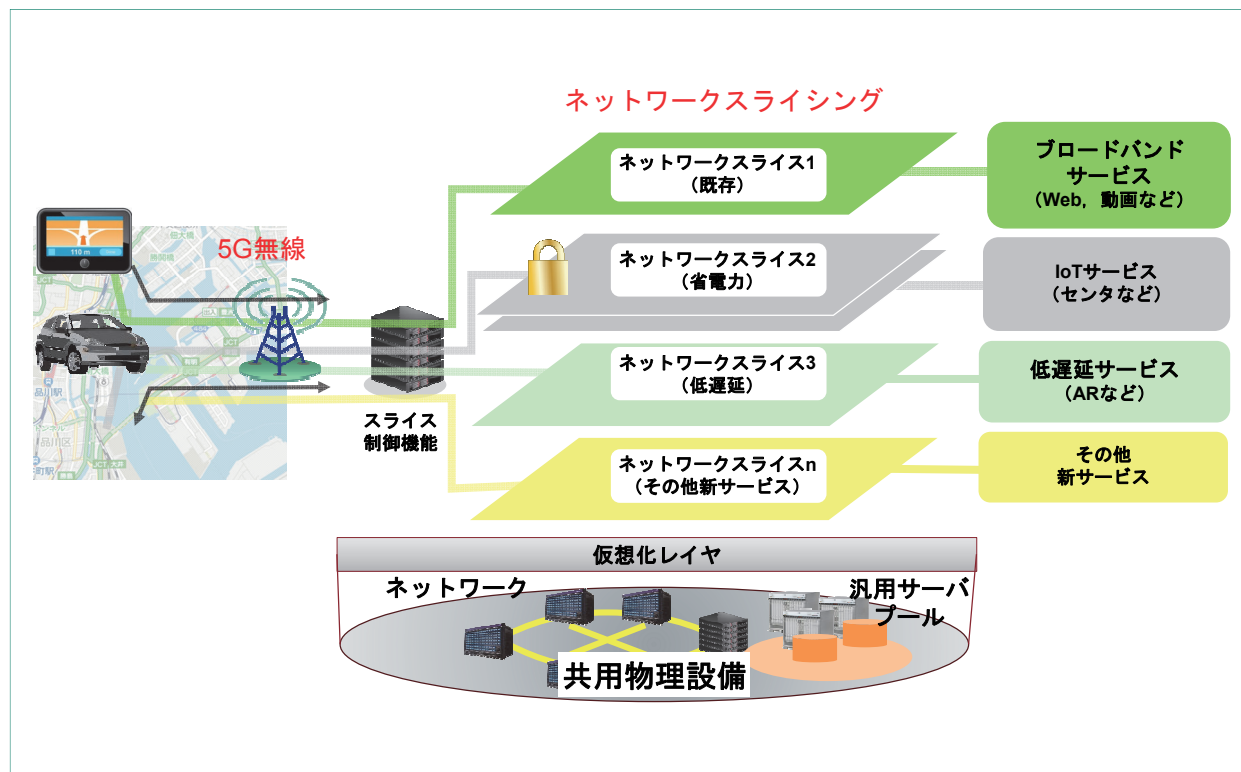


図4 ネットワークスライシング

^{*15} セッション：クライアントとサーバ、もしくはサーバ間どうしでやり取りされる一連の通信のこと。

^{*16} 無線アクセスネットワーク（RAN）：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。

^{*17} Wi-Fi[®]：Wi-Fi Allianceの登録商標。

4.4 SBA

5G時代では多種多様なサービスを迅速に提供する基盤として役割を求められる。多様な要求条件を迅速に実現するためには、コアネットワークは単純にデータ転送を行うだけではなく、アプリケーションの特性に応じた機能追加が必要となり、かつ端末アプリケーションやサーバアプリケーションの開発サイクルに合わせた機能追加の迅速性が要求される。

しかし、現状のコアネットワークはモノリシックアーキテクチャ^{*19}であり、装置間の密結合により、コアネットワークに対して小規模の機能追加を行っても、システム全体の整合をとるために、長期の開発サイクルが必要である。

これに対してスマートフォン用のアプリケーションのように、端末アプリケーション自身とそれと連携するサーバアプリケーションは、迅速かつ相互に機

能追加を行いながら多種多様なサービスを展開している。そこで、コアネットワークにおいてもこのような機能追加の迅速性を実現するためにSBAの標準化がなされた。

SBAはマイクロサービスアーキテクチャを3GPP標準に適用したものである。マイクロサービスアーキテクチャは、サービスを実現するアプリケーションをマイクロサービスというファンクションに分解し、各マイクロ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・変更による影響を局所化しサービス実装や試験時間を短縮・迅速化するものである（図5）。

SBAは、コアネットワークのクラウドネイティブ^{*20}化を実現する主要な技術であり、ネットワークスライスとクラウドネイティブ化されたコアネットワークの組合せにより、運用コスト低減と要求条

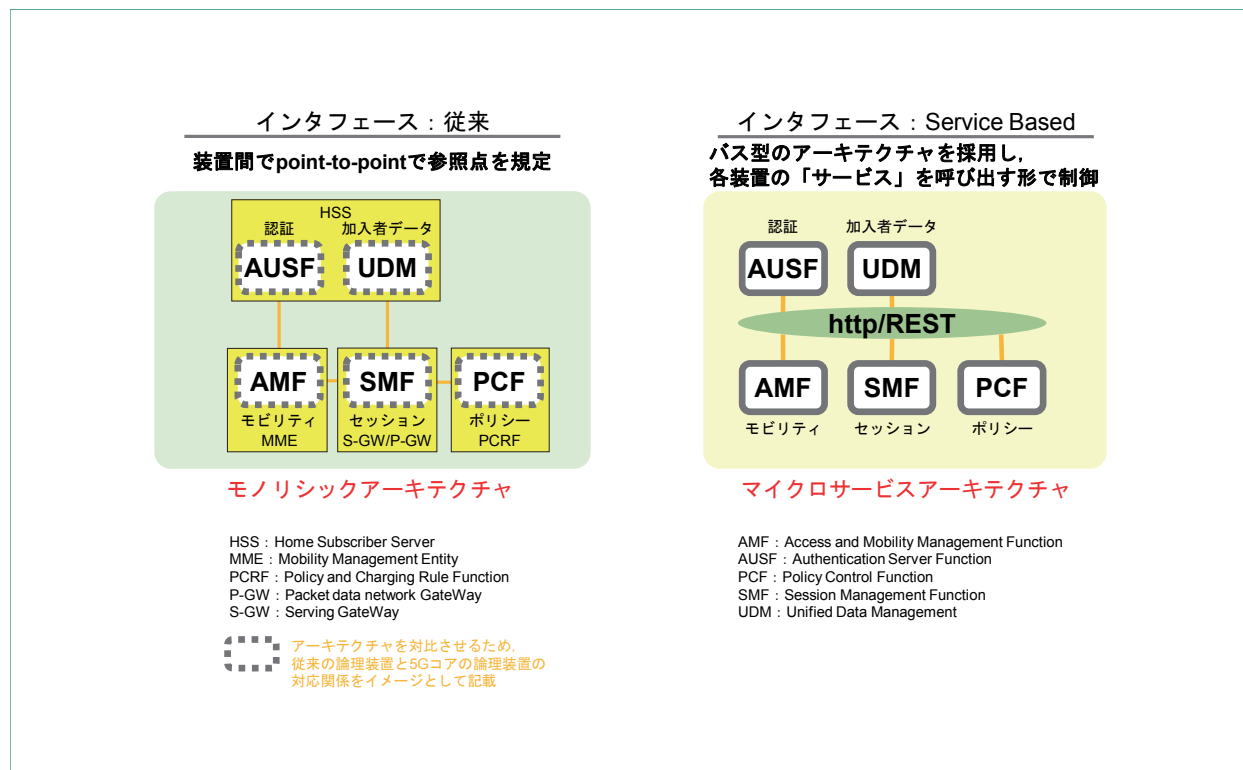


図5 SBAアーキテクチャ

*18 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。

*19 モノリシックアーキテクチャ：各機能部が密接に連携し、システム全体が1つのモジュールとして動作するアーキテクチャ。

*20 クラウドネイティブ：オンプレミスではなく、クラウド上での構築運用を前提として設計されたシステムやサービスを指す。

件充足の両立をめざしている。

4.5 ネットワークオペレーションの発展

モバイルネットワークは、将来の5Gの実現により、従来よりもサービス多様化・ネットワークの複雑化が進行すると想定される。仮想化の技術により物理的なハードウェア構成は、従来と同等もしくはシンプル化されていくが、ネットワークスライスなど、サービスを提供する論理構成は、仮想化された複数の論理リソースを用いた複雑な構成となり、これらを人手で保守運用するには課題が増すものと考えられる。このような背景からドコモは、自動化やAIの活用により従来のオペレーションシステムの経済化・効率化を推進し、オペレーションに対する業務の高度化に取り組んでいる。

自動化に対する取組みとしては、複雑化・煩雑化する業務を“人”による手作業から“システム”による自動化を行うために、F-OSS (Fulfillment Operation Support System)^{*21}のシステム導入を行った。ネットワーク仮想化により、ハードウェアとソフトウェアを分離した構築が可能となるが、これをOSSにより自動化することで、OPEX (OPERating EXPense)^{*22}の削減、およびより一層の信頼性・可用性の向上が実現される。

また、AIは近年めざましい進歩を遂げてきており、さまざまな分野で業務効率化の実現に向けた活用が期待されている。モバイルネットワークの保守運用業務（以下、オペレーション業務）においても、AI技術を活用した業務効率化の機運が高まりを見せてきている。

オペレーション業務の高度化に向けては自動化が重要なキーワードとなり、この自動化には従来、人が行っていた業務を既存システムやツールに置き換える自動化と、現在の状況から装置故障やサービス品質の劣化を予測し、未然に装置故障によるサービス品質の劣化防止を行うなどの従来は人ができな

かった業務の自動化があり、後者についてはAI技術の活用による効率化が期待されている。

オペレーション業務は大きく、監視、分析、措置の業務に分類できる。AIを活用したオペレーションの高度化内容を以下に記載する。

①監視業務

ネットワークから収集可能な警報情報、装置状態、トラフィックなどの大量データを用い、従来人手ではできていなかった、装置故障の予兆や予測されるサービス影響を機械学習^{*23}やディープラーニング^{*24}などのAI技術を用いることで自動的に検知する。検知された予兆は、既存システムの活用によって、サービスごと、エリアごとに品質状況として可視化される。

②分析業務

サービス品質劣化が予測された際、仮想化、ネットワークスライスにより複雑化した論理網構成から被疑箇所を自動的に推定する。従来、人が行ってきた故障切分けはシナリオ化され、自動的に行うとともに、ネットワークリソースの動的変更など、障害発生内容に応じた措置手順をオペレータに提案する。

③措置業務

分析業務において自動的に作成された措置手順に従い、遠隔で対処が可能な事象では、オペレータ判断によりサービス継続のための自動復旧処理が実施される。また、ハード故障による装置交換のような現地対応が必要な事象に対しては、措置に必要な作業内容や部材、作業員のスケジュール管理から効率的な移動ルートなどの提示を行い、現地対応者の作業支援を行う。

以上を実現することで、装置からの警報発生後に対処を実施していた従来の保守から、将来を予測した保守への変革が可能となる。これによりお客様へのサービス影響を未然に防止し、サービスを継続さ

^{*21} F-OSS：ネットワーク構築に関するデータの一元管理、設計工事のオートメーション化により仮想化の構築業務を効率化するシステム。

^{*22} OPEX：設備を維持し運用するために発生する費用。

^{*23} 機械学習：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枠組み。

^{*24} ディープラーニング：多層構造のニューラルネットワークを用いた機械学習のこと。

せることが期待できる。

5. あとがき

本稿では5Gのユースケースを基に、コアネット

ワークで必要とされる主要技術、およびネットワークオペレーションの発展について解説を行った。ドコモはこれら5Gの技術を通じてあらゆる“つながり”を提供し、社会インフラとしてのネットワークの発展に寄与していく。