

1 次世代のモバイルネットワークは どうなるのか

— 5G 無線アクセスとコアネットワーク —

奥村幸彦 浅井孝浩 岩科 滋 清水敬司

■ (株) NTTドコモ 先進技術研究所

モバイルネットワークの発展経緯

モバイルネットワークはこれまで「高速・大容量化」を繰り返す形で継続的に発展し、おおよそ10年ごとに新しい世代へと進化を遂げてきている(図-1)。第1世代のアナログ方式、第2世代のデジタル方式までは各国、地域で異なる方式が導入され、相互に互換性のない複数の方式が運用されていた。第3世代では、新しいデジタル方式により高速のデータサービスを提供することに加えて、世界で統一された標準方式の導入が実現し、ユーザは1つのモバイル端末(携帯電話機)を持ち歩いて複数の国や地域において使用できるようになった。現在は、第4世代/4Gに向けてLTE(Long Term Evolution)^{☆1}の普及が急速に進んでいる。

次世代モバイルネットワークの要求条件

2020年以降の実現が期待される次世代(第5世代/5Gに相当)のモバイルネットワークは、2020~2030年頃までを見据えた将来のモバイルサービス、システムに対する要求条件を満足する必要がある。要求条件の主な側面として、以下の3つが挙げられる。

★ サービス要求

今後、通信サービスへのユーザ要求の高度化・多様化を背景としたよりリッチなコンテンツを扱うサービス・端末の出現や、すべての「もの」が無線で接続されることによる各種情報の収集・監視と各種デバイスの制御・管理等を行う新サービスの出現が考えられ、その具体例を次に示す：

- パーソナル端末：個人の生活スタイルに密着し、生活の各場面に対応した多種・多様な機能・サービスを提供。
- 移動体搭載用通信モジュール：車、バス、電車等に搭載し、交通渋滞、車両コンディションなどの情報の収集、表示機能を提供。
- 家庭/家屋用通信モジュール：家電製品、家具、屋内設備等の遠隔制御機能、監視・セキュリティ機能等を提供。
- ウェアラブル端末：時計、装身具、衣服などに装着し、各種ヘルスケアサービス等を提供。

☆1 LTEは3GPP(3rd Generation Partnership Project, <http://www.3gpp.org/>)において国際標準仕様化されており、Release 8が最初のLTE仕様バージョンである。

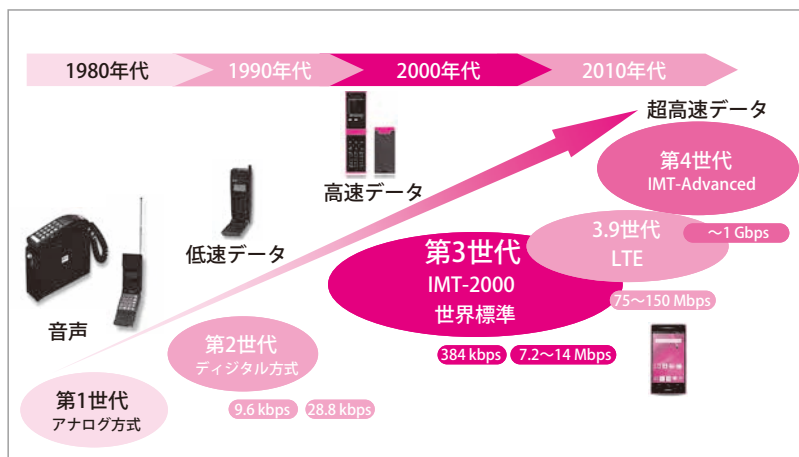


図-1 モバイルネットワーク発展経緯

- センサ搭載通信モジュール：工場、農場等におけるさまざまな管理機能、制御機能等を提供。
- 新型ディスプレイ／ヒューマンインタフェース搭載端末：高精細動画（4k/8k）視聴，ヘッドマウント型表示機能，感触通信，遠隔医療サービス等を提供。
- 通信教育システム，災害・事故時の救命・サポートシステム，各種クラウド処理サービス。

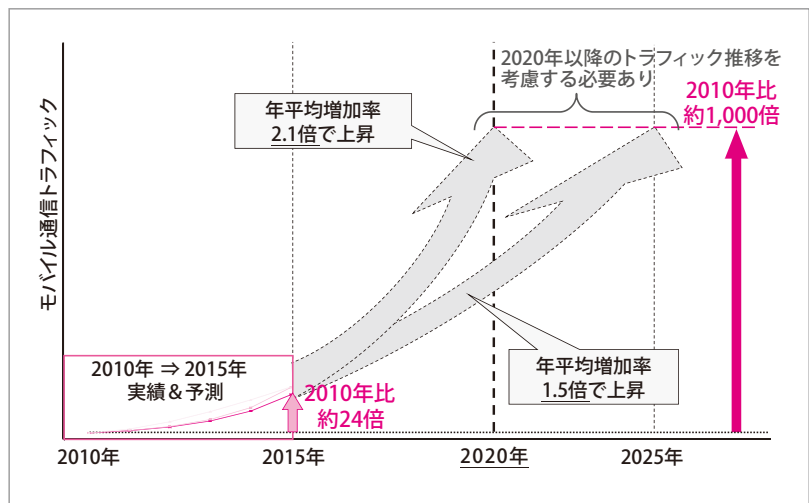


図-2 モバイル通信トラフィック予測（例）

★ システム能力要求

上述した新サービスの追加も背景とするモバイル通信トラフィックの増加は，2020年代に2010年比で約1,000倍に達するものと予測され（図-2），これを収容するシステム容量を確保していく必要がある。また，よりリッチなコンテンツを扱うサービスと端末の爆発的増加に対応するためには，LTE-Advanced（4G無線アクセス）^{☆2}のセル（基地局）あたりのスループットが標準仕様では1 Gbpsクラスであるのに対して，さらに1桁上の10 Gbpsクラスの超高速スループットをサポートすることや，100倍近い数の端末接続能力，1 ms以下の伝送遅延の実現などが求められるようになるものと考えられる。これら要求値に関して，国内においては，総務省の電波政策ビジョン懇談会等で示されるとともに，海外の主要ベンダや研究機関等においても，おおむね同様の値が議論されている。

★ コスト要求

モバイルネットワークの飛躍的な能力向上にあたっては，同時に無線アクセスおよびコアネットワークの各ノード装置と伝送路を含むネットワーク全体の設備コスト・運用コストを十分に抑えることが重要であり，そのための新しいネットワークアーキテクチャと諸技術の検討が不可欠である。

以下では，上述したサービス，システム能力，コストの各要求を満足すべく検討している次世代モバイルネットワークについて，無線アクセスネットワ

ークおよびコアネットワークに分けて紹介する。

次世代無線アクセスネットワーク

以下では，現在検討中のLTE-Advancedに後続する無線アクセス（以下，5G無線アクセス）と，5G無線アクセスを支えるモバイル光ネットワークからなる次世代の無線アクセスネットワークについて述べる。

★ 5G 無線アクセス

無線アクセスの能力向上アプローチと発展の方向

5G無線アクセスに向けたアクセス能力向上にあたっては，図-3に示す多様なターゲットと，それらを実現する3つのアプローチが考えられる。より進化した無線アクセス技術やMIMO伝送^{☆3}技術の採用による周波数利用効率向上，より高い周波数帯の採用による周波数帯域幅の拡張，およびより多くの基地局配置による高密度ネットワーク対応があり，これら複数のアプローチを併用しながら各ターゲットを達成していく。

☆2 LTEの発展形であるLTE-Advancedが，3GPP Release 10/11として標準仕様化され，現在さらに，後継のRelease 12/13の仕様化検討が進んでいる。

☆3 MIMO（Multiple-Input Multiple-Output）伝送は，送信と受信にそれぞれ複数のアンテナ（またはアンテナ素子）を用いて，無線信号を空間的に多重して伝送するもので，一般にアンテナ数に比例して伝送レートを増すことができる。最近MIMO伝送は，モバイル通信のほか，無線LAN等にも採用されている。

また、今後の無線アクセスの発展においては、図-4に示す2つの方向がある。第1はLTEとのバックワードコンパチビリティを維持しながら継続的に発展させる方向、第2はLTEとのコンパチビリティを維持せず新しい無線アクセス技術を採用して大幅に性能向上させる方向であり、後者で使用する無線周波数帯には、モバイル用として新たな開拓が望まれる6 GHz以上の周波数帯も想定する。

基本アーキテクチャ

5G無線アクセスのセル構成に関する基本的なアーキテクチャは、ファントムセルコンセプト¹⁾をベースにセルレイヤを多層化した構造を考える。ファントムセルコンセプトは、図-5に示すように、従来のマクロセルに新たにスモールセルをオーバーレイ配置し、マクロセルとスモールセルで使用する周波数を変えることを特徴としており、マクロセルにおいてはより低い周波数（同一電力においてより遠くまで電波が届く）を用いることでカバレッジやモビリティを確保し、スモールセルにおいてはより高い周波数（1つの無線信号が占有する周波数帯域幅をより広く確保しやすい）を用いることで広帯域高速無線伝送を可能とする。また、マクロセルにおいてC (Control)-planeの接続リンクを確立し、同リンクを用いて呼制御やモビリティにかかわる制御を行う一方、スモールセルにおいてはデータに特化したU (User)-planeの接続リンクを確立し、各ユーザが環境に応じたベストエフォートのデータ通信を行う。

ここで、高い周波数を用いたスモールセルの導入による容量増大効果をより多く得るには、トラフィックが混雑している場所へ適切にスモールセルを配

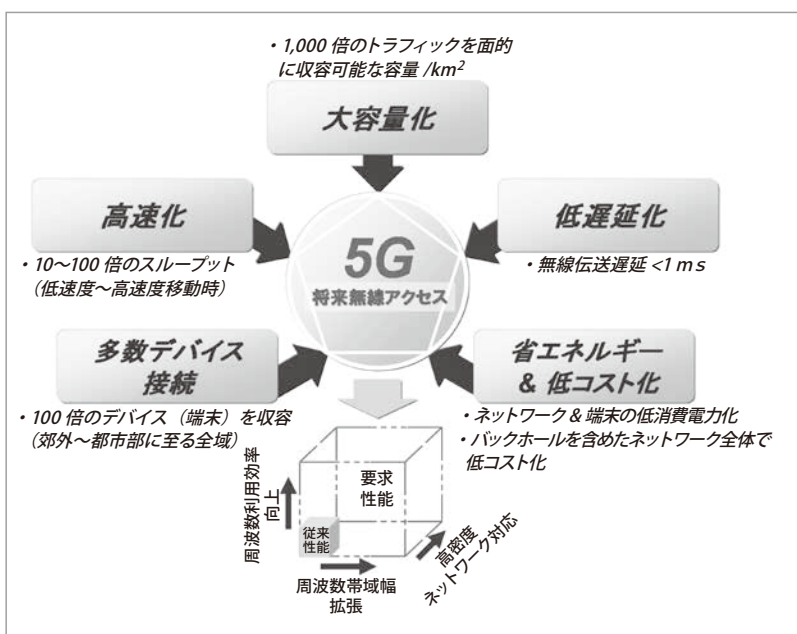


図-3 無線アクセスの能力向上アプローチ

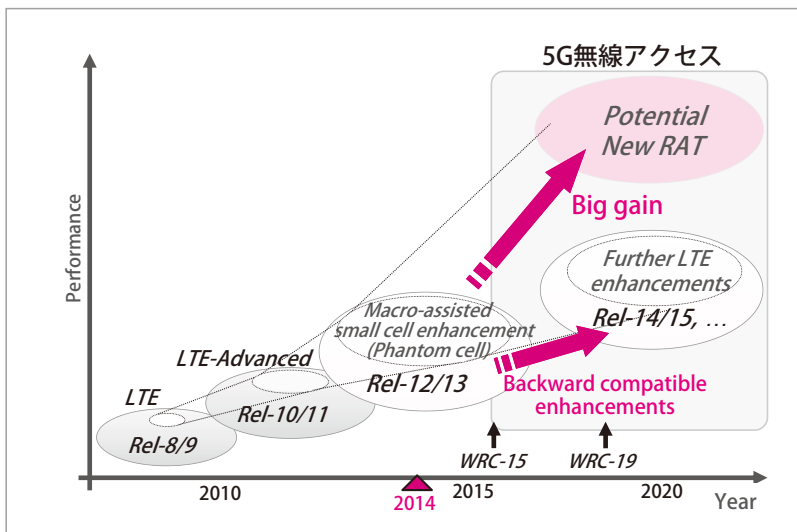


図-4 無線アクセスの発展の方向

置した上で、トラフィックのスモールセルへの積極的な誘導を行うことが必要となる。しかしながら、このようなスモールセルへの誘導は、システム全体の容量増大とユーザスループット・品質の向上に対して常に有利に働くとは限らない。たとえば、高速移動中のユーザがマクロセルから接続切換えしたスモールセルにきわめて短時間しか接続せず、再度マクロセルへ接続切換えとなった場合、かえってユーザスループットが低下し、かつ無駄なU-planeパス切換えによる制御負荷の増大を招く。ユーザのスループット要求の違いやセルの混雑度の大小に応じて

接続先セル種別を適切に選択しなかった場合も、システム全体の容量やユーザーグループの低下を招く。

このような問題を回避しつつ、既存もしくは将来追加される各種セルを柔軟かつ適切に収容するため、5G 無線アクセスにおいては、ファントムセルコンセプトを拡張して、サービスエリアを確保することを主たる目的としたカバレッジセルと、容量・スループットを増大させることを主たる目的としたキャパシティセルの2つのセル区別を導入する²⁾。図-6のように多くのセル種別が存在する5Gでは、マクロセルに加えて面的に高密度配置された一部の低SHF帯^{☆4}スモールセルもカバレッジセルに分類し、さらに、高い周波数を用いるセル（高SHF帯^{☆4}スモールセルやEHF帯^{☆5}スポット）、電車・バス等の移動体に設置

し車内の複数ユーザを同時収容するムービングセル、および、Wi-Fiスポット等のセルラ以外のスモールセルをキャパシティセルに分類する。その上で、C-planeはカバレッジセルのみで提供し、U-planeはカバレッジセルもしくはキャパシティセル内の各種セルの中から、ユーザの移動状況やサービス要求

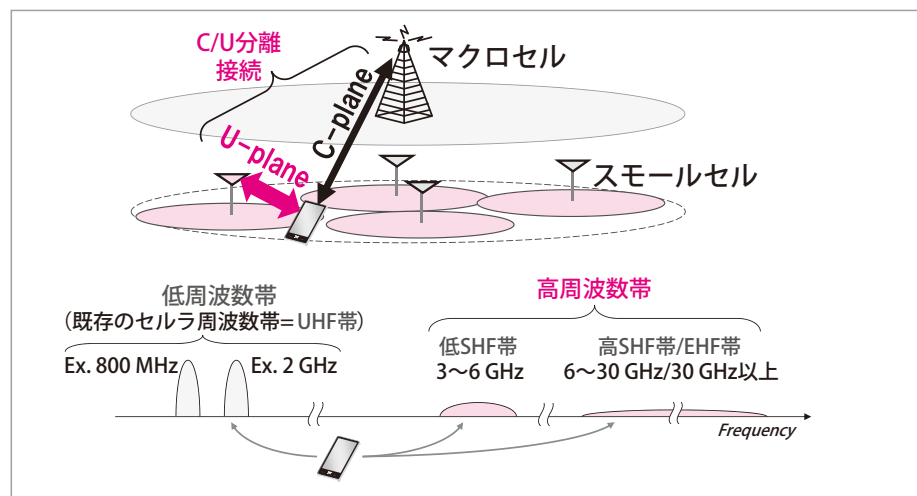


図-5 ファントムセルコンセプト

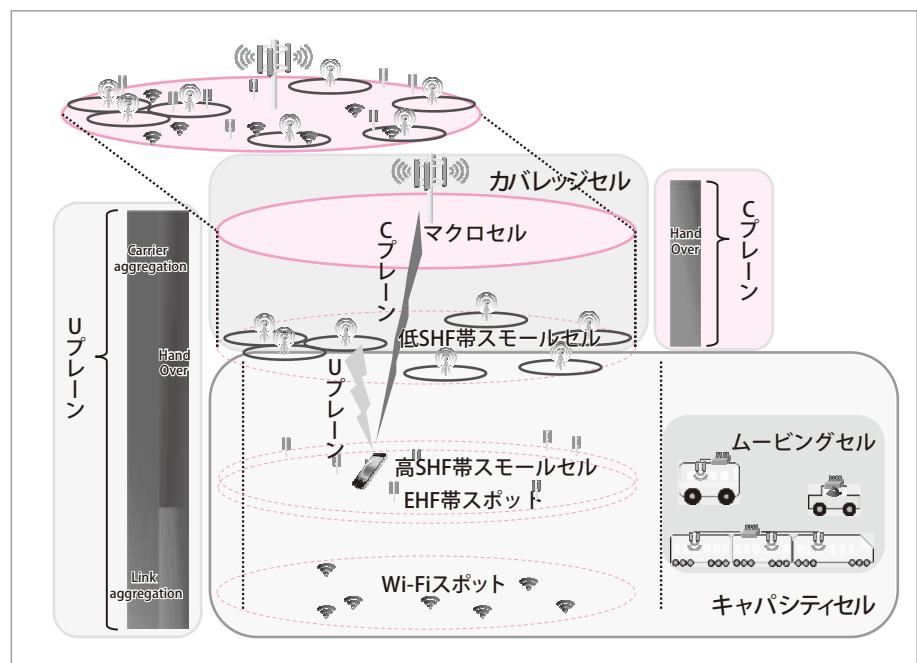


図-6 拡張ファントムセルコンセプト

に応じてあらかじめ設定されたポリシーに従って選択（リソース割り当て）されたセルで提供する。

マルチドメイン無線リソースマネジメント

ユーザが複数のセル種別配下にいるときは、ユーザ状況（移動状態/サービス状態）に応じて接続セル・リンクの切り換え（Hand over）、帯域集約（Carrier aggregation）、同時利用（Link aggregation）等の接続方法を、たとえば図-7に示すポリシーに基づいてマルチドメイン無線リソースマネージャが決定する。ここで、高速移動中のユーザに対しては、高SHF帯スモールセルが検出できたとしても、すぐに

☆4 周波数が3 GHzから30 GHzまでの電波をSHF (Super High Frequency) と呼び、波長は1~10 cmである。本稿では、SHF帯のうち3 GHz以上~6 GHz未満を低SHF帯、6 GHz以上~30 GHz未満を高SHF帯と呼ぶ。

☆5 周波数が30 GHzから300 GHzまでの電波をEHF (Extra High Frequency) と呼び、波長が1~10 mmであるため、ミリ波とも呼ばれる。

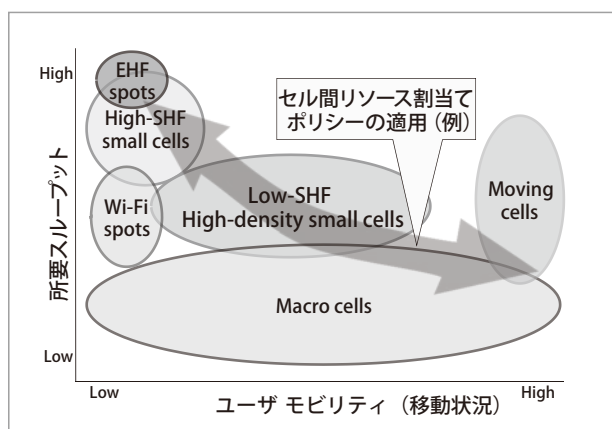


図-7 無線リソース割当てポリシー (例)

スモールセルの圏域外となることを考慮して、セル切換えを行わない。また、移動速度が遅く大容量ダウンロードを行うユーザに対しては、スループットが期待できる高 SHF 帯スモールセルへ切換えるか、低 SHF 帯リンクを束ねて帯域集約を行うことで所要スループットを確保する。Wi-Fi 等の混雑状況が推定できないセルへの接続では、セルラへの接続も維持しながら同時利用することで、ユーザビリティの劣化を回避する。さらに、ユーザのムービングセルへの在圏/離圏を制御することで、多くのユーザの同時移動に伴う制御のバースト性やトラフィック集中等のグループモビリティ特有の問題を回避することができる。以上のようなマルチドメイン無線リソースマネジメントにより統括的に無線リソースを割当て・管理することで、ユーザの QoE (Quality of Experience) を満足させつつ、設置されたセルを最大限有効に活用する。

高周波数帯スモールセルの導入

LTE-Advanced の無線伝送帯域幅は最大 100 MHz であり、このとき、仕様上 1 Gbps クラスのスループットを達成できるのに対して、5G 無線アクセスにおいて 10 Gbps クラスの超高速スループットを実現するためには、数 100 MHz を超える帯域幅が必要となる。従来のマクロセルにおける周波数は、800 MHz 帯や 2 GHz 帯等の UHF (Ultra High Frequency) 帯が主に用いられているが、数 100 MHz 超えの広帯域幅を確保するためには、従来セルラシ

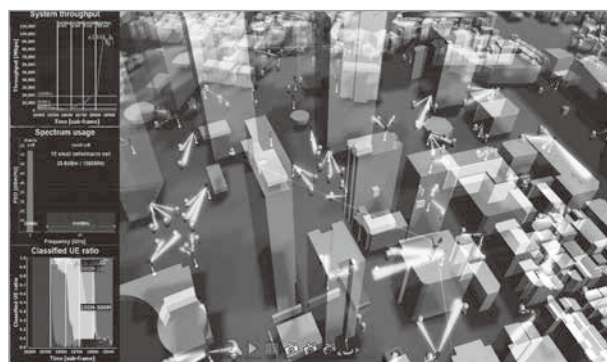


図-8 Massive MIMO 高周波数帯スモールセル導入

ステムへの適用は困難とされていた 6 GHz を超える周波数帯 (高 SHF 帯～EHF 帯) を新たに使用可能となるよう開拓していくことが求められる。ところが、周波数が高くなるにつれて電波の伝搬損失が大きくなり、十分なセルサイズを確保できなくなるため、その補償を行う Massive MIMO^{☆6} 等の技術が重要となる。

高周波数帯スモールセルの導入効果については、たとえば図-8 に示す都市部へのセル展開を仮定したシミュレーションにより、2 GHz 帯で 20 MHz 帯域幅の伝送を行うマクロセルに対して 20 GHz 帯で 1,000 MHz 帯域幅の Massive MIMO 伝送を行うスモールセルをマクロセルのセクタ当たり 12 個オーバーレイ配置することで、システムスループットを 1,400 倍程度に向上可能であることが確認できる。

★5G 無線アクセスを支えるモバイル光ネットワーク

多数のスモールセルをオーバーレイ配置することを特徴とするファントムセルコンセプトにおいては、スモールセルを集約する基地局と多数スモールセル間を接続するネットワークを低コストで実現する必要がある。特に、スモールセル高密度化による容量増大効果を十分得るためには、スモールセル間の緊密な干渉制御が必要となることから、ネットワーク

☆6 Massive MIMO は超多数素子のアンテナを用いた MIMO 伝送方式である。高周波数帯ではアンテナ素子も小型化できるため、同一面積あたりの素子数を大幅に増やせるとともに、それらを用いてより鋭いビームを生成し、伝搬損失を補償することが可能である。

に対する遅延要件も厳しくなる。そのため、5G 無線アクセスがターゲットとする無線容量拡大を実現するためには、低遅延で大容量伝送が可能な光ネットワークを低コストで実現することが不可欠である。

スモールセルと上位局間の有線ネットワーク接続形態については、既存の基地局—上位局間と同様に IP (Internet Protocol) 伝送に基づくバックホールにより接続される形態が考えられる (図-9)。これに加え、既存の光張出し局と同様にスモールセルが無線送受信機能のみを備え、集約する基地局とスモールセルが光ファイバ接続される形態が考えられる (ここで、既存の光張出し局—集約基地局間で用いられる CPRI (Common Public Radio Interface) 仕様^{☆7}に基づき光ファイバ接続される形態を、以下ではフロントホールと称する)。さらに、スモールセルと上位局を無線により接続する形態も考えられる。

スモールセルと集約基地局が、CPRI 仕様に基づくフロントホールにより接続される構成は、IP 伝送に基づくバックホール接続構成と比較して低遅延での処理が可能のため、スモールセル間の緊密な干渉制御が可能になると考えられる。一方、フロントホール接続では、無線ベースバンド信号を量子化した後のデジタル信号が伝送されるため、バックホール接続と比較して多くのデジタル伝送帯域が必要となる。

CPRI 仕様に基づいて無線ベースバンド信号を光デジタル伝送する方法では、たとえば 20 MHz 帯域、2 × 2 MIMO の LTE 信号をサポートするために、2457.6 Mbps の伝送速度で光デジタル伝送が行われる。一方、より高速な無線信号伝送をサポートすることを目的に、最大 10137.6 Mbps の伝送速度が CPRI 仕様では規定されているが、本稿が対象とする 5G 無線アクセスでは、さらなる高速無線伝送をターゲットとしているため、それらをサポート可能なモバイル光ネットワークの実現が不可欠であり、

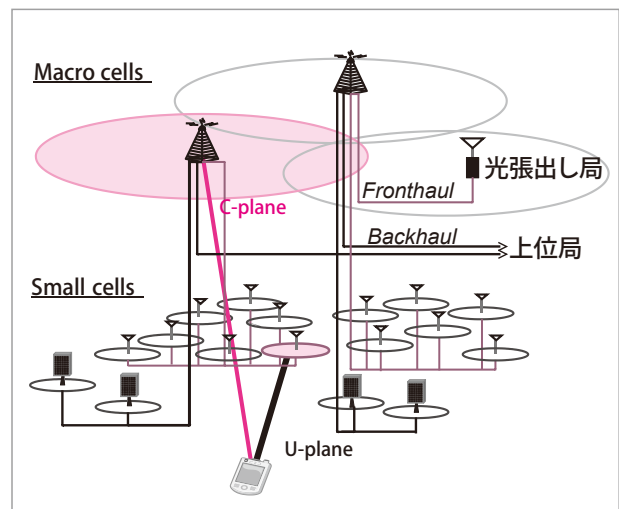


図-9 モバイル光ネットワーク

各種の検討が進められている³⁾。より高速な無線伝送をサポートするためには、波長多重技術 /WDM (Wavelength Division Multiplexing) の適用が最も有望と考えられるが、これに加え、スモールセルを集約する基地局と光張出しされた無線装置 (光張出し局) との間の機能分担を、従来とは異なる構成に変更することにより光伝送区間における所要帯域を削減する方法等が検討されている。

また、低コストでのモバイル光ネットワークの実現に向け、FTTH (Fiber to the Home) で利用されている PON (Passive Optical Network) 技術を活用する方法が検討されている。特に、広帯域な伝送容量を確保することを目的として、WDM を活用する PON 技術が検討されているが、波長チャネルの数だけレーザ光源などを用意する必要があるため、フロントホールにおいて必要となる帯域を削減し、必要最小限の波長チャネルで運用することが、コスト削減の観点からは望ましいと考えられる。

次世代コアネットワーク

上述した次世代の無線アクセスネットワークを効率的に収容する次世代のコアネットワークの要点とそれを実現する技術について述べる。

☆7 CPRI は無線基地局の Radio Equipment Control (REC) と Radio Equipment (RE) 間インタフェースのオープンな仕様化を目的として設立された産業協業団体 (<http://www.cpri.info/jp/>) であり、LTE-Advanced にも対応する ver.6.0 が最新仕様バージョンである。

★ 次世代コアネットワークの要点

設備・運用コストの低減

第1の要点は、増大していくトラフィックを設備・運用コストを十分に抑えて収容することである。課題となる側面をいくつか述べる。

現在のコアネットワークを構成するネットワーク機能は、キャリアグレードと呼ばれる高性能かつ高信頼な仕様を満たすため、テレコム向け専用ハードウェアで動作するソフトウェアにより実現されている。テレコム向け専用ハードウェアは特別な仕様のため、市場規模が小さく価格が高止まりする。また、技術進歩や市場競争により高性能かつ低コストのハードウェアが利用可能となっても、ハードウェアのみを交換することが困難であるためこのような利点を享受しにくい。IT系サービスでは、市場規模の大きい汎用ハードウェアを短いライフサイクルで更新していくことで、サービスを継続しながら設備コストを低減していく取り組みが進んでいる。長期間にわたって利用される移動通信サービスにおいても同様な利点を享受し設備コストを低減していくことが求められている。

次世代モバイルネットワークにおいては、多種多様なネットワーク機能を具備する装置が必要となる。一方、多様な機能を持つ装置は、それぞれ異なる運用方法が必要となる傾向にあり、運用コストの増大につながる。多種多様なネットワーク機能を効率的に運用するには、運用方法の定型化や集中管理、運用作業の一部自動化など運用稼働を削減する取り組みが必要となる。

高い信頼性を必要とされるコアネットワーク装置は、通常アクティブとスタンバイの2つの系を同時運用し、障害を検出すると即座にスタンバイに切り替えることでサービスへの影響を回避している。しかし、切り替わった状態のままでは、引き続き障害がサービスに影響を与えてしまう。そのため、障害を起した系を迅速に修理するべく24時間対応可能な保全体制をとっているが、これは運用コストの相応の部分をお占めしており、運用コスト低減に向けた主要課題の1つとなっている。

予測不可能な需要変動への対応

第2の要点は、予測できない急激な需要変動への対応である。

大規模な災害の発生により安否確認のための通信需要が急激に増大する、あるいは、ユーザ数が非常に多いスマートフォンアプリケーションの動作に起因して通信混雑が発生するといった事象が報告されている。移動通信サービスは、多くのユーザにとって欠くことのできない社会インフラであると認識されており、このような予測ができない事象が起こった際でも、通信サービスを提供し続けることが期待されている。しかし、予測困難な事象に備えるために、多大な設備をあらかじめ保有することは経済的合理性の面で問題となる。そのため、通信設備を有効に活用し予測困難な事象に事後的に対応できる柔軟性を持つアーキテクチャが望まれる。

★ ネットワーク仮想化技術の活用

ネットワーク仮想化とは

ネットワーク仮想化とは、ネットワークの資源と機能を組み合わせて迅速にサービスを構築する環境である。仮想化技術を用いた処理基盤は、この環境を実現する技術であり、データセンタ向けシステムの構成技術として研究開発され、昨今はIT系商用サービスの提供に広く活用されている。

仮想化技術を用いた処理基盤はハードウェアを直接駆動するオペレーティングシステムとアプリケーションソフトウェアを動作させる処理基盤としてのオペレーティングシステムとの中間に存在し、ハードウェアとアプリケーションソフトウェアの依存性を低減するための抽象化レイヤを提供する(図-10)。この仮想化技術を用いた処理基盤上に設定される仮想マシンは、ハードウェアで構成される純粋なマシンと異なり、設定の変更により各種能力の変更や生成・消去等の構成変更を行うことが可能である。本技術をモバイルコアネットワークの装置に適用するには、まず、専用のハードウェア上で動作するソフトウェアによる実現から、汎用ハードウェアで動作するソフトウェアによる実現に変えてい

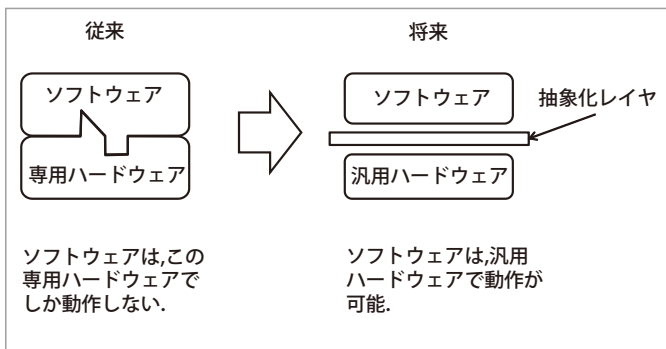


図-10 仮想化技術導入による効用

くことが必要である。これにより、ハードウェアのみの更新が可能なアーキテクチャとなり、サービスのライフタイムの間の技術進歩や市場競争による利点を享受することが可能となる。

仮想化技術による処理基盤は、コアネットワーク機能をソフトウェアにより管理制御する機能を具備している。この機能を拡張していくことにより、運用方法の定型化や集中管理、運用作業の一部自動化が可能となり運用稼働削減が期待できる。

仮想化技術による処理基盤を導入することにより、コアネットワークに柔軟性を実現する2つの特徴的な機能を活用できるようになる。ヒーリングとスケールリングである。

ヒーリングは、稼働しているコアネットワーク機能に障害が起こったときに、障害が起こった機能をシステムから切り離すと同時に、プールされているリソースから新しい仮想マシンを割り当て、障害が起こったコアネットワーク機能の代替を自動的に立ち上げる機能を言う。アクティブ系とスタンバイ系に二重化し、障害を検出すると即座にスタンバイ系に切り替える方式に、ヒーリングを組み合わせる方式が考えられる(図-11)。新しく割り当てた仮想マシンに障害が起こったコアネットワーク機能を代替させ、それを新たなスタンバイ系としてシステムに組み込むことで、保全要員の介入なく、アクティブ系とスタンバイ系が稼働する二重化の状態に復帰させることができる。この機能が具現化されれば、引き続き障害がサービスに影響を与える状態をオンラインで迅速に回避することが可能となるため、保全

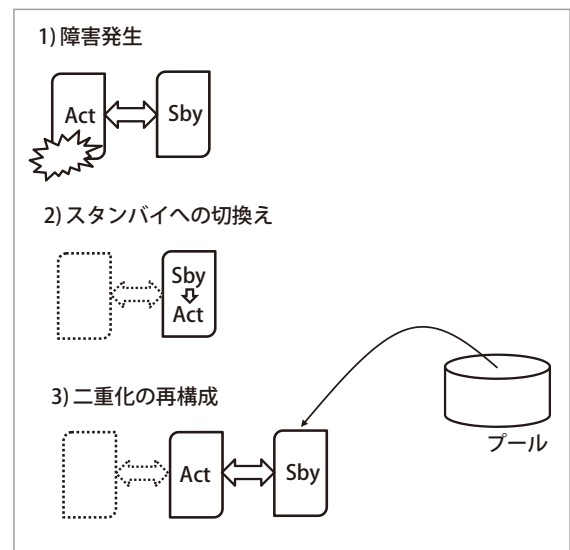


図-11 ヒーリング手順概要

要員の体制を緩和し、運用コストの低減化が実現できると期待されている。

スケールリングは、仮想化基盤においてある機能に割り当てられるリソースを増減させることである。あるサービスの需要が増加したとき、プールされているリソースから新しい仮想マシンを立ち上げ、そのサービスを実現する機能の容量を増やす。これをスケールアウトと呼ぶ。これは従来のネットワーク装置では困難なことである。また、逆にサービスの需要が減少したとき、割り当てられている一部のリソースを切り離し、容量を減少させる。これをスケールインと呼ぶ。この機能により、予想困難な需要の変動に対して柔軟に対応することが可能になる。

以上のように、ネットワーク仮想化は次世代コアネットワークの要点で述べた各種課題を解決できる主要な技術となる。

ETSI ISG NFV：産業界のイニシアティブ

このようなモバイルコアネットワークにおけるネットワーク仮想化の潜在性は、2011年ごろから多くの通信事業者の注目を集め、研究開発の中心課題となっていた。そこで、産業界の関係機関が集まり包括的に議論を行うことを目的として、欧州電気通信標準化機構 ETSI (European Telecommunications Standards Institute) のなかに、ネットワーク機能の仮想化(以降、NFV: Network Functions Virtual-

isation) を検討するグループである ISG NFV (Industry Specification Group for NFV) ^{☆8} が、2012 年 11 月に設立された。

世界の主要通信事業者 7 社の提案により発足した ISG NFV は、今では世界中から 220 以上の企業が参加するイニシアティブとなっており、通信業界の次世代に向けた大きな潮流の 1 つとなっている。ISG NFV の対象は広くネットワーク機能としているが、モバイルコアネットワークへの活用は最優先課題となっており、

世界中の移動通信事業者や移動通信機器ベンダが検討を牽引している。設立から 1 年後の 2013 年 10 月には NFV を定義する 4 つの基本文書（ユースケース、要求条件、アーキテクチャ、用語集）^{☆8} が完成した。NFV を実現する基本となるこれらの文書は、その具現化に必要な課題と、その解決に向けたアクションを通信業界や IT 業界に対して提示し、実用化開発の促進を図るものである。

図-12 は、4 つの文書の 1 つ ETSI GS NFV 002 V1.1.1 が定義する NFV のアーキテクチャである。主な構成要素は以下の 3 つである。

- 中央左側に並ぶ VNF (Virtualised Network Function) は、ネットワーク機能を提供するアプリケーションソフトウェアである。既存のネットワーク機能と同様に運用管理のためのエレメント・マネジメント (EMS) を伴う。
- 下段の NFVI (Network Functions Virtualisation Infrastructure) は、VNF を動作させるのに必要な仮想化された処理基盤 (インフラ) である。汎用サーバやネットワーク機器などのハードウェア

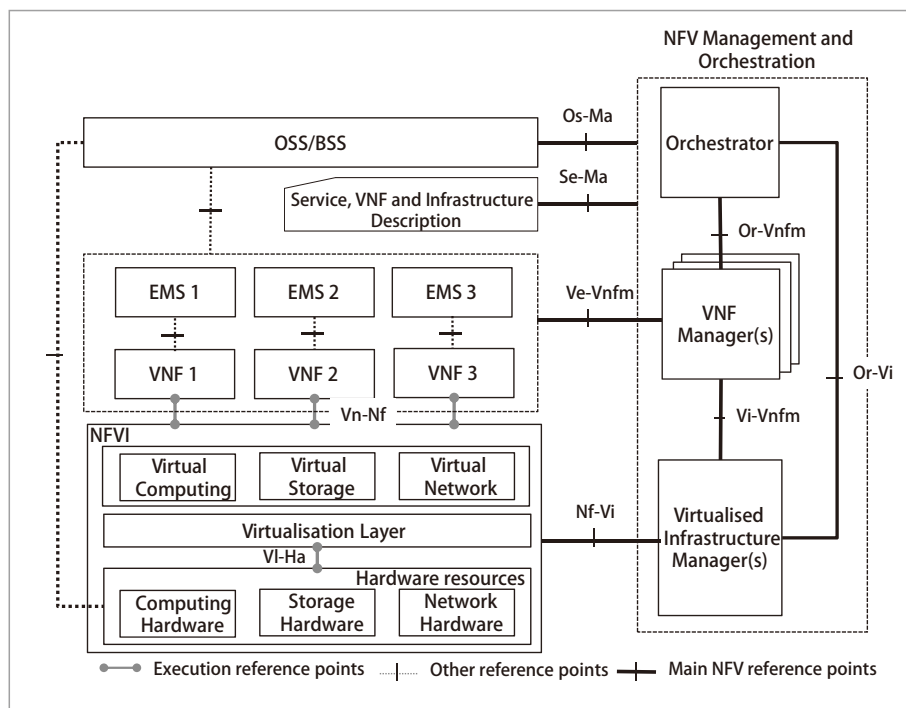


図-12 NFV アーキテクチャ

資源と、これらを仮想化する仮想化ソフトウェア (Virtualisation Layer) から構成される。

- NFV Management and Orchestration は、NFVI と VNF を管理制御する機能部である。3 つの機能ブロックが定義されている。下から、NFVI を管理する仮想インフラ管理 (Virtualised Infrastructure Manager), VNF を管理する仮想ネットワーク機能管理 (VNF Manager), VNF を組み合わせて構築されるサービスの管理を行う Orchestrator である。

Orchestrator は、現行の運用管理システムである OSS/BSS (Operations Support System / Business Support System) と連携し、仮想化されたネットワーク機能の管理制御を有機的に実施する。

このアーキテクチャは、NFV の実現に必要な機能とその関係を表現している。その設計指針には、さまざまな企業が参入し NFV 準拠の製品が相互運用されるようなマルチベンダによるエコシステムの実現がある。

★ 産業界のイニシアティブを支える研究開発

ETSI ISG NFV における検討は、先導的な研究開発の

^{☆8} ETSI ISG NFV の活動内容、メンバ、基本文書 (Group Specification) 等の詳細は <http://www.etsi.org/nfv> を参照。

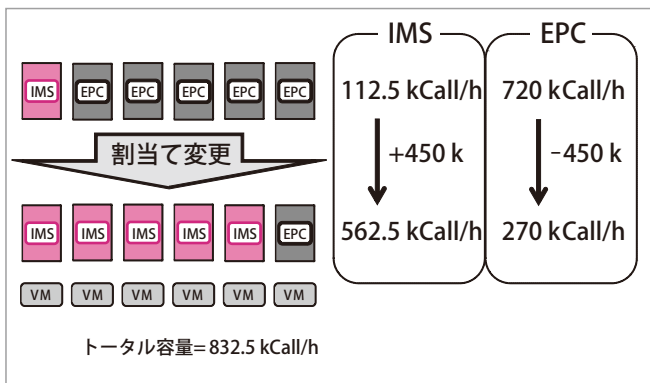


図-13 災害時のリソース融通例

成果により牽引されている。特にモバイルコアネットワークの分野では、これまで、多くの研究開発プロジェクトが推進されてきた。以下では、そのような先導的な研究開発の取り組みをいくつか紹介する。

黎明期の取り組み

ネットワーク仮想化に至る取り組みの原点は、スタンフォード大学の Clean Slate Project で研究開発された SDN (Software Defined Networking) / OpenFlow 技術である。SDN/OpenFlow 技術は、対象をパケットの転送を行うスイッチやルータとし、制御ソフトウェアと転送ハードウェアの分離を図り、サービスの要件にあったネットワーク機能を迅速に構築するコンセプトを提唱した。この技術とデータセンタシステム向けに研究が進んでいた仮想化技術を組み合わせ、モバイルコアネットワーク機能をサービスとして提供する Network As a service を実現する取り組みが提案されている⁴⁾。

スケーリングによる通信混雑回避の研究開発

ネットワーク仮想化技術をモバイル網に適用した取り組みも行われている。音声通話の通信混雑を回避することを目的として、IMS システムを仮想化し、SDN /Openflow 技術でネットワーク制御を行うものである。

この研究開発では、特に東日本大震災等を想定した災害時をユースケースにして、IMS (IP Multimedia Subsystem) および、EPC (Evolved Packet Core) の双方を仮想化し、互いのハードウェアリソースの融通（割当て変更）を可能にしている（図-13）。その仮想化された実験システムを利用し、

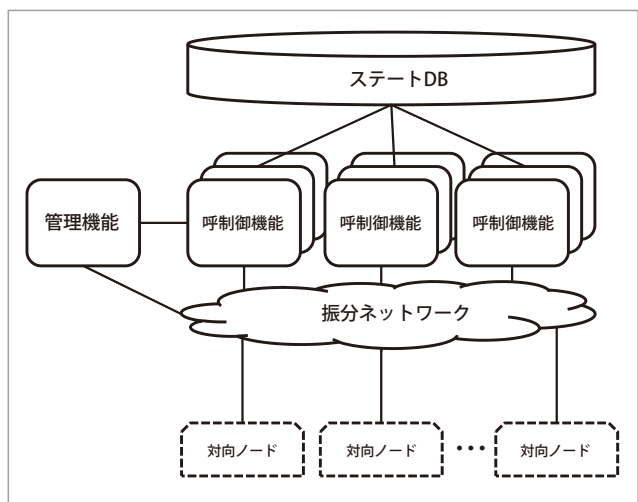


図-14 エラスティックコアアーキテクチャ

EPC が提供するパケット通信向けのリソースを減少させ、災害時に必要とされる IMS が提供する音声通信の容量を 5 倍 (112.5 kCall/h から 562.5 kCall/h) に増強する実験を行い、災害時の通信混雑を回避できることを確認している^{☆9)}。

エラスティックコア：効果的なスケーリング・ヒーリングの実現

これまでの取り組みは、既存の IMS や EPC を仮想化基盤に搭載するものであるが、既存のソフトウェアは仮想化を前提としておらずステートフルであるため、スケーリングやヒーリングによる効果を十分に享受できない。このため、仮想化技術の適用を前提として設計されるデータセンタ向けアプリケーションの考えを導入し、従来のテレコムアプリケーションのアーキテクチャに変更を提唱しているのがエラスティックコアの研究開発である。

エラスティックコア方式のアーキテクチャは、図-14 に示すように状態 DB、振分ネットワーク、呼制御機能、管理機能からなる。

- 状態 DB：呼制御機能で使用するステートを共有するためのバックエンド DB。
- 振分ネットワーク：信号内の ID を用いて呼制御信号を振り分けるネットワークまたは装置。同一

☆9 総務省による委託を受けて実施した「情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発」(平成 23 年度一般会計補正予算 (第 3 号)) の成果を含みます。

ユーザ／端末に関する継続信号は、收容するサーバへ振り分ける。

- 呼制御機能：信号処理部であり、ステートマシン制御を行う。
- 管理機能：呼制御サーバの障害・負荷を監視し、振分ルールや、サーバの増減、切換えを管理制御する。

これらのコンポーネントにより、ユーザのステート情報を外部に出し、呼制御機能部分をステートレス化することで、ユーザ呼処理を呼制御サーバ間で動的に振り替えることができる。そのため、スケールイン・アウト時の負荷のリバランスや、障害時や災害時にはサーバを切換える冗長処理が可能で、仮想マシンの増減をソフト処理で実施できる仮想化に適したアーキテクチャとなっている。

エラスティックコアのように仮想化基盤の機能を前提とし、容易にスケールアップやヒーリングの効果を享受するための取り組みはいくつかある。いずれもユーザのステート情報（セッション情報を含む）を仮想マシン間で共有または移動する機構を持つことで呼処理の継続性を保証することを目的としている。

N-ACT 構成のアプリケーションにおいて、ステート情報のバックアップを分散保持することで、スケールアップ時の呼処理継続を可能とする取り組み⁵⁾やセッション情報を効率よくバックアップし、障害・過負荷時に別サーバで復旧することで耐障害耐性を向上させる取り組み⁶⁾がある。また通信機器ベンダでも同様の取り組みがなされている。

次世代モバイルネットワークの実現に向けて

2020年以降のサービス要求、システム能力要求、コスト要求を満足する次世代モバイルネットワークの実現に向けて、無線アクセスネットワークにおいては、多種の周波数帯を用いる基地局セルをオーバ

レイ配置可能とする高密度多層セル構造や、高周波数帯を用いて広帯域無線伝送を可能とする Massive MIMO 伝送技術、より多くの基地局セルを経済的かつ柔軟に收容可能とするモバイル光ネットワーク等の検討が進められる一方、コアネットワークにおいては、ネットワーク仮想化を中心とした新しいアーキテクチャと技術の検討が進められていることを述べたが、これらは、既存のモバイルネットワークからのスムーズな移行も意識しながら段階的に実用化していくことによって、次世代のモバイルネットワークの着実かつ大きな進化を遂げられることが期待される。

参考文献

- 1) Ishii, H. et al. : A Novel Architecture for LTE-B, C-plane/ U-plane Split and Phantom Cell Concept, IEEE Globecom 2012 Workshop (Dec. 2012).
- 2) 奥村幸彦, 他: 将来無線アクセス・モバイル光ネットワーク～その1～/～その2～, 信学技報, RCS2013-231/232 (Dec. 2013).
- 3) 寺田 純, 他: 将来無線アクセス・モバイル光ネットワークにおける光アクセスシステムの検討課題, 信学技報, CS2013-49 (Nov. 2013).
- 4) 今井和雄, 他: コンピューティング連携型ネットワーク仮想化とその実現技術, 信学論 B, Vol. J95-B, No.6, pp.707-716 (June 2012).
- 5) 入江道生, 他: スケールアウトと柔軟な構成変更を実現するセッション制御サーバのクラスタモデル, 信学総大, B-6-11 (Mar. 2011).
- 6) 北辻佳憲, 他: 省電力とサービス継続を可能とする IMS の構成に関する考察, 信学総大, BS-2-2 (Mar. 2013).
(2014年7月25日受付)

奥村幸彦 (正会員) okumurray@nttdocomo.com

NTT ドコモ先進技術研究所 主幹研究員。博士 (工学)。ワイヤレス方式の研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 各シニア会員。

浅井孝浩 asaitaka@nttdocomo.com

NTT ドコモ先進技術研究所 主幹研究員。博士 (情報学)。ワイヤレス方式の研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 各会員。

岩科 滋 iwashina@nttdocomo.com

NTT ドコモ先進技術研究所 主幹研究員。通信プロトコル, 移動通信ノードの研究開発に従事。

清水敬司 takashi.shimizu.yg@nttdocomo.com

NTT ドコモ先進技術研究所 主幹研究員。博士 (工学)。IP トラフィック制御, ネットワーク仮想化の研究に従事。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。