

Executive Summary

日本では、携帯電話による電子メールサービス、携帯電話用のウェブサイトによる多彩な情報サービス、ワンセグ、電子決済サービスなどが世界に先駆けて提供されてきた。現在では第4世代移動通信システム(4G)により、日本全国のほとんどの地域でモバイルブロードバンドの利用が可能となっている。さらに、スマートフォンの普及に伴い、高精細動画配信、電子書籍、音楽配信、ゲームなど多様でリッチなサービスが提供されており、日本は、世界最先端のサービスを楽しむことができる成熟した移動体通信市場を有している。

その一方で、動画を中心とするリッチなサービスの普及に伴いトラフィックは急激に増加しており、大容量化、高速化に関するニーズは年々高まっている。更にサービスの多様化も進んでおり、ヒトとヒト、ヒトとモノの通信に加え、ネットワーク技術やセンサー技術の進展によるモノとモノの通信、いわゆるInternet of Things(IoT)に対するニーズは、日本のみならず世界的に急速に高まっている。エンターテインメント、交通、産業応用、災害対策等様々な分野において、例えば、人工知能(Artificial Intelligence: AI)とロボットによる生活支援・産業応用サービス、自動運転による無人タクシーや高齢者送迎サービス、ウェアラブルデバイスによるバイタル・データの収集・分析等による健康・医療サービスなど、ICTを活用する多様なサービスの実現が期待されている。これらの傾向は今後も持続し、かつ加速化すると考えられるが、4G及びその拡張技術では、特に2020年代のニーズに対応するには性能的な限界が懸念される。そこで、移動通信システムの飛躍的な性能向上を実現するため、第5世代移動通信システム(5G)の研究開発が世界的に活発に進められている。

日本においても国内外動向を踏まえつつ5Gの検討を精力的に進めるために、日本政府の策定した5G導入のロードマップを踏まえ、第5世代モバイル推進フォーラム(5GMF)が2014年9月30日に設立された。本白書は、5Gにより期待される様々な産業界における積極的なICT利活用、新たなビジネスや市場の創出、そして、国民の豊かなライフスタイルの発展につながることを期待し、アプリケーション、ネットワーク、無線技術に関する産学官の見識を統合し5Gの目指す姿を明らかにするために、5GMFでの研究成果を網羅的にとりまとめたものである。

具体的には、利用者の日常生活、あるいは、産業、交通、教育、流通経済、健康・医療・福祉、安全・安心、防災・減災といった広範囲の利用シーンを想定してICT利活用の検討を行い、これを通して多角的な観点から社会基盤としての通信システムが備えるべき要件の検討を行った。さらに、高い品質や先端的なサービスを要求するユーザの動向も踏まえ、社会や市場の動向調査・分析を通じ、2020年代の利用シーンやアプリケーションを予見している。それらの典型的な利用シーンに基づき、5Gのキーコンセプト、無線・有線ネットワークに対する要件、能力、アーキテクチャ、キーテクノロジー、5Gに望ましい無

線周波数帯等を検討している。これら検討結果の内、5Gの特徴を示す主な内容を以下に述べる。

本白書は、5Gのキーコンセプトとして、いつでもどこでも、どのようなアプリケーションであっても、さらにはあらゆる利用シーンでもユーザが満足できるエンドツーエンドの品質の提供(Satisfaction of End-to-End Quality)と、その提供を常に実現可能とする、究極の「超柔軟性」(Extreme Flexibility)を有するシステムの実現を提案する。

5Gの世代においてユーザから要求されるエンドツーエンドの品質は、それまでの世代と比較して格段に多様化すると共に、時間的、空間的変動要因のダイナミックレンジもこれまで以上に大幅に拡大すると考えられる。またこのことがベストエフォート品質の実現を基としていた以前の世代とは大きく異なる5Gに対する要求条件と言える。さらに、無線アクセスとネットワークの連携を考えると、特に遅延時間制約に注目すると、遅延時間の最小値は、ネットワーク内のサーバと端末、あるいは制御器と被制御器との間の経路長で決まるため、多様かつ変動の大きなエンドツーエンドの品質提供を実現可能とする「超柔軟性」(Extreme Flexibility)の実現は、無線とネットワーク各々が単独で実現できるものではなく、連携して実現することが必須となる。

4Gまでの技術開発により、従来無線アクセスネットワークに課されていた制約（電波伝搬特性、帯域幅、電力の制限、移動速度等）は大幅に緩和され、4Gの無線アクセス部におけるサービス品質は、情報通信システムにおけるボトルネックからは概ね脱却できたといえる。またその結果として、5G以降でエンドツーエンドのユーザ要求品質を満足させるためには、無線とネットワークが対等に連携した上で、超柔軟性を実現することが必須となる。

「超柔軟性」を実現するキーテクノロジーとして、「拡張ヘテロジニアス・ネットワーク」、「ネットワークソフトウェア化(Network Softwarization)及びスライシング」を挙げる。

ヘテロジニアス・ネットワークは4Gにおいて、同一の無線アクセス技術（Radio Access Technology ; RAT）を前提としたものが標準化されている。しかしながら、5Gでは、ユーザからの要求条件の局所化、多様化が一層進むことを考慮すると、既存の2G、3G、LTE、無線LAN等の複数のRATを統合的に運用するとともに、必要に応じてより高い機能を有する新たなRATを用いたサブネットワークを構成し、ユーザからの多様なサービス需要に柔軟に対応することが必要になるであろうと考えられる。本白書では、ヘテロジニアス・ネットワークの融合対象となる無線アクセスをこのように大きく拡張し、従来の概念を大きく超えたヘテロ性を実現するネットワークを「拡張ヘテロジニアス・ネットワーク」と呼ぶこととする。また、ネットワークのソフトウェア化の実現は、ネットワーク機器／コンポーネントの設計、導入、維持管理の柔軟性と迅速性を従来に増して大幅に高めることが可能になるとともに、それら機能においてプログラマビリティを実現することで、ネットワーク機器／コンポーネントの柔軟な動的運用が可能となる。さらに拡張ヘテロジニアス・ネットワークの運用に合わせてネットワーク機能を適宜動

的に取捨選択するスライシングを適用することでネットワーク運用の効率性と高機能性をさらに高めることができる。

5Gの無線・有線ネットワークに対する要件としては、過去の移動通信システム開発と同様に大容量化、高速化が求められている。2020年代のトラフィック量は、2010年のトラフィック量から1,000倍に増加すると予想されており、5Gのシステム容量はこれをサポートすることが大容量化の要求条件となっている。また、これらの大容量コンテンツをユーザが快適に利用できるようにするために、高速化の要求条件は10Gbps以上の速度を達成することが要求条件となっている。

低遅延に関する要件としては、LTE/LTE-Advancedにおいても、数十ミリ秒程度の低伝送遅延を実現できているが、2020年代に向けては、触感通信、あるいはロボット制御やその他制御システムへの適用が進むと、ユースケースによってはさらなる低遅延が要求される。さらに、低遅延かつ高信頼性が求められるユースケースも挙げられている。これらのユースケースを踏まえ、遅延に関してはエンドツーエンドでミリ秒オーダーの低遅延が要求され、特に無線区間においては1ミリ秒以下の伝送遅延が要求される。更に高信頼性に関しては、99.999パーセントの信頼性が求められる。

過去の移動通信システムでは余り考慮されていなかった要件として、超多数端末接続が挙げられる。今今及び将来的なIoTの爆発的な普及に伴い、極めて多くの端末との接続を保証する必要がある。5Gに向けては現状の100倍以上の端末接続をサポートすることが要求されている。

これらの要件に対応したキーテクノロジーの実現により、その特徴を最大限活かすことで、2020年代に向け様々な新たな利用シーンを想定することができる。例えば、ドクターヘリで移送中手術（大容量、低遅延、耐災害）、マイクロロボットで新世代農業（大量デバイス、低消費電力）、超高速移動中に超高精細動画などを視聴（超高速移動、大容量）、選手視線での超高精細3Dライブ中継を体感（大容量、低遅延、大量デバイスの同時接続）等を本白書では挙げている。

5GMFは以上の検討結果をベースに、既に国際電気通信連合(ITU)や3GPPにおける周波数調整、標準化への貢献、5Gに関する団体との国際的な協調関係の構築、関連する産業界等に対して5Gの普及活動を行ってきた。今後も継続してこれらの活動を実施するとともに、関連する業界に対する5Gの特徴をアピールするための現実的なフィールドを用いた実証実験の実施、国内外のパートナーと協調したデモンストレーションの実施、多様なサービス・プロバイダーが5Gによるサービス提供を容易にできるプラットフォームの検討、5Gの成功に不可欠な無線周波数の内外における追加割当の獲得等、2020年の5G導入に向けた活動を加速するために必要な検討を行っていく予定である。

さらに、5GMFは、本白書の検討結果が、研究開発、標準化、無線周波数調整、普及活動等に関する国際的なパートナーシップの強化・拡大、5Gに特徴的な能力を活かすことができる利用シーンであるエンターテイメント、交通、産業応用、災害対策等の分野のサービスを提供する産業界と協力関係の構築に資することを期待している。

白書概要

1. 5Gに関する市場とユーザトレンド (第3章)

ICTに関連する年代別の利用形態、コンテンツの形態、端末の形態、ICTの活用が進んでいる産業、サービス等の情報を収集し提示するとともに、そこから読み取れるトレンドから、5G時代にはどのような通信環境やサービスが求められるかを考察している。

インターネットの利用は、幅広い年齢層に広がっており、若い世代、特に女性はモバイルでの利用頻度が高くなっている。従来、インターネットの利用は、パソコンを中心とした端末による利用が中心であったが、スマートフォン、タブレット、ウェアラブル端末等へと広がっている。さらには、様々なセンサー、ロボット（ドローン等を含む）、自動車といった新たなデバイスがインターネットにつながるようになっていく。

5Gの導入により、人工知能（Artificial Intelligence：AI）とロボットの活用による生活支援・産業応用サービス、自動運転による無人タクシーや高齢者送迎サービス、ウェアラブルデバイスによるバイタル・データの収集・分析等による健康・医療サービスのような多様なサービスの実現が期待される。

また、位置情報に渋滞や工事情報を付加してリアルタイムに情報更新をするダイナミックマップの提供、情報だけでなくリアルモノを共有するシェアリングサービスの普及、Fintechの浸透による新たな金融サービスの導入なども期待される。

2. 通信トラフィックのトレンド (第4章) とコストインプリケーション (第5章)

最新の通信トラフィックの傾向についての分析を紹介している。積年にわたり通信トラフィックは急激な伸びを示してきたが、この傾向が次の10年間も続くことがいくつもの研究・検討によって示されている。加えて、通信網につながる「あらゆるモノ」、「あらゆるサービス」が使われることによって、もたらされるまったく新しいトラフィックの様態が発生すると考えられる。

従って、5Gは、これらトラフィックの急激な増大に加え、新しいタイプの通信によって、もたらされる新しいトラフィックの振る舞いをも適切かつ効率的に取り扱えることが重要となる。

通信システムの構築・運用コストについては、前述の通信トラフィックの伸長に対比する形で、世帯別の移動通信関係の支出の動態や通信事業者の事業収入などの分析を行い、通信トラフィックの増大は、必ずしも通信ビジネス市場の単純な増大とならない状況をあらためて示すと共に、全国の昼夜人口調査をベースにした人口密度の場所的・時間的変動の動態などを踏まえて、ヒトやモノを接続していく今後の移動通信システムが、より大きなレンジで通信需要を満たすよう、柔軟、かつ、漸次拡張可能な技術形態を適用して構築されることが重要であることを示す。

3. 5Gのキーコンセプト (第6章)

5GMFは、いつでもどこでも、どのようなアプリケーションであっても、あらゆる利用シーンでユーザが満足できるエンドツーエンドの品質提供(Satisfaction of End-to-End Quality)と、エンドツーエンドの

品質提供のために、あらゆる利用シーンにおいて柔軟に対応できるネットワークの超柔軟性(Extreme Flexibility)を有することを、5Gのキーコンセプトと考える。

5GMFは、5Gのキーコンセプトを実現するキーテクノロジーとして、「拡張ヘテロジニアス・ネットワーク(Advanced Heterogeneous Network)」と「ネットワークのソフトウェア化(Network Softwarization)とスライシング」を特定した。5Gは、単独のネットワークで構成されるのではなく、ユーザ要求に応じて拡張されたヘテロジニアス・ネットワークを適用することにより、5Gの無線アクセス技術(Radio Access Technologies ; RAT)とともに既存の2G、3G、LTE、無線LAN等、あるいは新規のRATなど、複数のRATが統合的に運用され、多様なサービスに柔軟に対応することが可能となる。また、ネットワークのソフトウェア化により、容易に変更が可能なプログラマビリティを実現することで、ネットワーク機器／コンポーネントの設計、導入、維持管理の動的運用が可能となる。

さらに、ITU-Rのビジョン勧告M.2083-0をベースに、典型的なユースケース(超高信頼・超低遅延コミュニケーション、大規模コミュニケーション、拡張モバイルブロードバンド)と、そのユースケースの実現に必要な能力の拡張を例示している。

4. 5Gの利用シナリオ(第7章)

5GMFは、5Gの市場動向やユーザトレンドを踏まえ、多様な利用シーンを具体的に記述する利用シナリオを、1)エンターテイメント、2)交通、3)産業応用、4)災害対策の4つに分類して検討を行った。

エンターテイメントの利用シナリオは、エンドユーザに対して高度なユーザエクスペリエンスを提供するシナリオである。スポーツ観戦、ゲーム、旅行など、余暇をより楽しく過ごすための新しいエクスペリエンスを提供する。これには、超高精細映像、高臨場感音響の活用、多くの人が集まる場所での快適な通信環境、遠隔でのコラボレーションを可能にする様々な仕組みを組み合わせる。

交通の利用シナリオは、人やモノの移動を快適にサポートする高度な交通手段を提供するシナリオである。自動車を可能な限り人手を介さず動かす自動運転や、渋滞や危険を回避して快適なドライブをサポートする運転支援をはじめ、イベント等における人の流れを制御する行動支援、自動車からリニア新幹線まで高速に移動する乗り物におけるユーザエクスペリエンスの提供、多様なセンサーからのデータを収集しそれらの分析結果をもとにユーザに対する動作や支援を行う仕組みを具現化する。

産業の利用シナリオは、工業や農業など、情報通信技術の適用により他の産業分野の革新・高度化を図るシナリオである。情報通信技術の適用により従来と異なる手法を生み出し、他の産業分野の生産性向上や新たなビジネスモデル、新たな価値を創出する。センサーネットワークの活用、ビッグデータ分析、アクチュエータへの低遅延のフィードバック等を活用して、ドローンをはじめ、各種センサーと産業用ロボット等のビジネス応用を開拓する。

災害対策の利用シナリオは、緊急時における高度な救急対応や、災害時に必要となる機能を提供するシナリオである。交通事故の発生等の緊急時における救急対応への支援や、災害時に必要となる初動のための通信、安否確認、避難誘導、救出活動等の実現を図る。

5Gのシステム要件は常に最大値を同時に満たす必要はなく、利用シーンごとに異なる要件からシステ

ムが持つべき能力が決定される。いずれの利用シーンにおいても時間、場所、状況などの要件の動的変動に応じて、ネットワークは動的に最適化されることが重要である。最適化のアプローチとして、異なる無線能力を有する無線アクセス技術(Radio Access Technology : RAT)を有機的に連携させる拡張ヘテロジニアス・ネットワークは有効である。また、固定網を含めたエンドツーエンドでは、網の柔軟性を確保するために、ネットワークのソフトウェア化、及び、スライシングが重要な鍵となる。

5. 5G導入に向けた無線及びネットワーク技術 (第8章～第12章)

5Gの超柔軟性を実現するためには、無線の周波数として、低い周波数帯から高い周波数帯まであらゆる周波数帯をその特性に応じて使うことが必要である。

5GMFでは、特に6GHz～100GHzの周波数範囲において、5Gに望ましい周波数帯の検討を行っている。検討は、5G自身の観点(第1ステージ)、既存他システムとの共用・共存の観点(第2ステージ)、国際協調の観点(第3ステージ)の3段階で進めており、本白書では第2ステージの検討結果として、望ましい周波数帯のリストを示している。

5Gの無線アクセス技術については、有望な技術に関する最新の検討成果のいくつかを取り上げ、それぞれが高速・大容量通信、多数デバイスのシステム収容、高信頼・高性能接続などの要件を達成するためにどのように活用できるかを検討するための整理と分類を行った。これらの検討は、今後、ITU-Rや3GPPなどの関係機関で具体化する技術検討や標準規格策定の際に、期待される性能・機能を検証する定量的分析などに活用し、合理的で市場の要求に即した技術標準規格を速やかに策定していく活動を促進していくことが期待される。

5Gのネットワーク技術については、超柔軟性を実現し、多様な要件を持つサービスの提供を可能にする技術を概観した。実用化が進むネットワークの仮想化を実現するNetwork Functions Virtualisation(NFV)、Software Defined Networking(SDN)技術等を代表とするネットワークの柔軟性を高める技術革新のトレンド「ネットワークのソフトウェア化」を中心に、ネットワーク管理技術、フロントホール・バックホール、モバイルエッジコンピューティングの4つのフォーカスエリアを定め、各エリアにおける技術の概要、ユースケースから、5G及びその先のシステム実現にむけて解決していかなければならない課題を明らかにしている。