

5G とは何か

2021.06.03

片岡 康昭

1. 技術的な背景

移動通信機は、自動車電話を皮切りに第一世代（1G）、携帯電話普及期の第二世代（2G）、初期のモバイルブロードバンドの第三世代（3G）、モバイルブロードバンドの進化の時代の第四世代（4G）から人の利用するモバイルブロードバンドに続いてスマートメータやセンサなどの大量 IoT（Internet of Things）や機械の遠隔制御や遠隔手術などのミッションクリティカル IoT をターゲットにした第五世代（5G）に入った。

1G はアナログ、2G はデジタル、3G は 384 kbps～数十 Mbps、4G は数百 Mbps～Gbps、5G は >Gbps である。1G は 1980 年ごろの自動車電話を始まりとして携帯電話端末を人が持ち運ぶことが可能になった。2G は GSM が導入され音声通信だけでなくデータ通信を行うことが容易になった。デジタル化に伴い携帯端末の小型化はさらに進み、小型軽量の携帯端末を手軽に持ち歩くことが可能になった。時分割多重（TDMA）という端末ごとに異なるタイミングで電波を送受信する方式を採用し、1996 年からは符号分割多元接続（CDMA）という携帯端末ごとに異なるデジタル拡散変調符号を用いた cdmaOne 方式が提案された。その後、インターネットなどとの親和性の良いパケット交換方式が主流となった。（図 1）、（図 2）

3G デジタル方式の時代

1999 年 2 月からパケット交換方式によるデータ通信機能を利用した i モードが始まり、モバイル・インターネットの幕開けとなった。また、テキストやアニメーション、写真、そしてビデオデスククリップなどの動画の送信が可能となった。さらに、当時の固定通信網側の ISDN 化の影響も受け、よりデータ通信に重点を置いたシステムの開発が進んだ。IMT-2000 は ISDN の機能を移動通信でも実現することを目的に開発され、その主要な方式は CDMA をより高速化、ブロードバンド化した WCDMA と cdma2000 である。WCDMA は日欧米韓（その後中印も参加）の地域標準団体が共同で設立した 3GPP において日米の提案をベースに仕様が規定された。WCDMA については NTT ドコモが 2001 年 10 月から世界に先駆けて商用サービスを開始し、その後日本では J-フォン（現ソフトバンク）や新規参入者であるイー・モバイル（現ワイモバイル）も採用している。一方 cdma2000 は CDMA2000 と表現を変更して KDDI が 2002 年 4 月からサービスを開始した。

3. 5G（第 3.5 世代）

当初の 3G のデータ通信速度は WCDMA で最大 384 kbps、CDMA で最大 144 kbps であったが、高速インターネットの利用拡大に伴って携帯端末でも高速な Web アクセスや画像を始めとする高速通信のニーズが高まり、このニーズにこたえると同時にパケット転送の遅延を低減してリアルタイム性を担保する方式が開発された。また、電波の質の状況に応じて伝達速度を変えるベストエフォート型の概念が導入された。

4G（第四世代）、無線技術が一つに収束された

2000年代半ばに2010年ごろのサービス開始を目指す4Gのシステムとして有線系の高速化に対応した携帯電話の高速化、広帯域化の検討を始めようとしたが、4Gのための周波数の割り当てが遅れることが予想されたこと、世界的に3Gの導入が進まなかったことから3.5Gと4Gの中間の3.9Gとして既存の3G用の周波数も視野に入れたシステムの検討が開始された。その結果3GPPでは下り最大100Mbps、上り最大50Mbps程度以上の通信速度、周波数利用効率向上、無線上の往復パケット転送遅延時間を10ms以下、異なるサービス品質（QoS）を持つ無線チャネルの提供、放送的な利用への適合性などを設計条件としてLTE（Long Term Evolution）の仕様を策定した。LTEではOFDMA（直交周波数多重接続）という無線アクセス方式が採用された。日本ではNTTドコモが2010年12月に、KDDIとソフトバンクモバイル（現ソフトバンク）が2012年9月にそれぞれLTEサービスを開始し、本格的なモバイルブロードバンドが実現されるようになった。商用化当初は最大20MHz幅までの周波数帯域の無線キャリアを単独で利用しており最大通信速度も下り100Mbps前後であったがその後複数のキャリアを束ねるキャリアアグリゲーション（周波数結合技術）が導入され、最大通信速度は下りでは数100Mbpsさらには1Gbpsを超える速度まで実現可能となった。このような流れの中で高速伝送かつ高品質を確保するための誤り訂正符号が導入され、品質が大きく向上した。国際標準化の観点からはいわゆる4Gを「IMT-advanced」と呼んでおり、下りの最大速度が1Gbpsを超えるなどの条件を課している。

5G（第五世代）への進化

1Gから4Gは電話機能だけを持つ携帯電話端末からデータ通信やメール機能を持った多機能端末、さまざまなアプリケーションを利用するスマートフォンの進化を伴いながら人が利用する通信機能を中心に進化してきた。一方、近年M2MとかIoTとして直接人が行うのではなく、機械や車、センサーなどのモノが行う通信が注目を集めている。5Gではこのモノの通信が従来よりも大きな割合を占めると考えられている。特に、さまざまな産業界でネットワークにつながることによって恩恵を受けるモノをネットワーク化することにより効率の向上や新たな付加価値の創造、ビジネスチャンスをもたらすという期待が集まっている。このような観点から5Gのスコープ（標準化の範囲）として図3に示すように人が利用する通信であるモバイル、ブロードバンドの高速化と機械の遠隔制御や遠隔手術のような超低遅延で超高信頼性、ミッションクリティカルIoTあるいはURLLC（Ultra-Reliable and Low Latency Communications:超高信頼、超低遅延通信）が含まれる。日本の5Gの商品化は2020年にスタートした。米国では2018年後半から固定ブロードバンド回線を光回線ではなくワイヤレスで実現することとし、これに5Gを利用するサービスが始まった。

世代間の連携の実現と「5G NR」の登場

ここまで1Gから4GまでのそれぞれRANとCN（コアネットワーク）だけあればその時点で必要なすべてのサービスを提供できる。例えばLTEのRANとEPC（Evolved Packet Core:LTEに対応するCN）があればそれだけで音声やデータ通信のすべてのサービスが実現可能である。このような世代間の連携は5GではNR（New Radio）といわれるOFDMAをベースとする新たな無線アクセス技術が定義される。

仮想化

これまで例えばパケット処理装置や加入者管理装置など、従来のテレコム・ネットワークを構成する装置はリアルタイム性や処理能力上の要件が厳しいこともあり、多くの場合専用のハードウェアを使用して専用の実行環境上で実現されてきた。ところが LSI 技術などの進化によって汎用サーバの処理能力が飛躍的に向上した結果、必ずしも専用のハードウェアを使わなくても処理能力などの要件を満足できるのではないかと考えられるようになり、2012年ごろから NFV(Network Functions Virtualization)と呼ばれるネットワークを仮想化する技術、つまりハードウェアとソフトウェアを分離しネットワーク機能を実現するソフトウェアを汎用のサーバ上に実装する可能性の検討が始まった。(図4)

5G のもう一つの技術要素として SDN(Software Defined Networking)がある。SDN はユーザ・データのルーティング (通信経路の選択) や優先的に疎通させるなどの処理を一元的に、効率よく制御するために制御とデータを分離して物理的リソースの効率的な利用を図る仕組みである。このように、ネットワーク機能の仮想化、分離クラウド、ネットワークスライシングおよび SDN は 5G の CN における技術基盤となっている。

(図5)

携帯電話の位置登録の仕組み

携帯電話 (UE) は動き回るが移動通信ネットワークでは個々の UE の代替の位置を常に把握している。このためどこにいても着信できたり、メールを受け取ることができる。携帯電話の電源が入っていなかったり基地局のカバー・エリアの範囲外、つまり圏外にいる場合は UE の位置は判らない。UE の位置はページング・エリア (PA) という単位でネットワークに記録されている。各 PA には番号がついており、UE の位置情報は HLR (Home Location Register) や HSS (Home Subscriber Server) に PA 番号として保持されている。UE が移動して PA が変わると位置登録を行い HLR 中に記憶されている PA 番号が変わる。

携帯電話の電波の強さ

携帯電話の電波の強さは同じ場所でも電波同志の干渉、フェーディング現象、屋内での電波の減衰などによって変わる。LTE 以降の移動通信システムのアンテナでは MIMO (Multiple Input and Multiple Output) と呼ばれる技術が採用され、互いの干渉が起こらずに多入力、多出力接続を同一周波数上で行うことができる。

5G とは

3GPP において 5G 向けの新たな無線アクセス技術については NR(New Radio)という呼び名で LTE 高度化の標準化作業と並行して 2015年9月から議論が始まった。3GPP ではリリース 15以降の仕様に準拠する無線システム (NR および LTE)を 5G と呼ぶ。NR は要求条件 (2016年12月完)、実現性の検討 (2017年3月完)、技術仕様の策定 (2019年12月完予定) のステップで標準化が進められてきた。

NFV のメリット

図4-2

仮想化の仕組みにより設備コストの低減、ネットワーク機能とハードウェアの割り当てに関する柔軟性の改善、新しいネットワーク機能やサービスの商用登用までの期間の短縮、オペレーションの自動化の範囲拡大によるオペレーションの効率改善、電力消費量の低減、標準化されたアーキテクチャやオープンソースコミュニティでの相互接続試験などが進展することでマルチベンダー環境での仮想化技術の適用が増大することが期待できる。

ネットワークスライシング

ネットワーク機能の仮想化技術を用いると、共通のハードウェア・リソース上に複数の論理的な区分を設定し、それぞれの論理区分内で **NVF** を動作させる運用が可能となる。それらの区分は相互に区分され、独立して展開できる。一方、それぞれの論理区分で使用されるハードウェア・リソースは全体の共通プールから割り当てることで全体的にリソース利用効率を向上させる柔軟な運用も可能になる。このようにネットワーク機能を分離して管理・運用する論理的なリソース区分をネットワークスライスと呼び、ネットワークスライスを構成する概念をネットワークスライシングと呼んでいる。

IMS (IP Multimedia-Subsystem) の採用

IMS はインターネットとの親和性を考慮して、可能な限り **IETF** のプロトコルをベースに設計され、電話を含めたマルチメディア・サービスを端末までエンドーエンドで IP 化して提供する目的で採用された。移動機 (端末) に対するパケット伝送機能を提供するとき、そのネットワークに付加される形で **IMS** が接続され、マルチメディアサービスを提供する。相手の通信状態や通信アドレスを知ることができるプレゼンスサービス、インターネットで利用されるチャットルームやインスタントメッセージを実現するメッセージングサービス、移動通信ネットワークを用いる IP トランシーバサービスである **PoC (Push-To-Talk over Cellular)**、音声を含めたマルチメディアサービスを IP 上で実現する **CS-IMS** 統合サービスなどがアプリケーションへの適用例である。

スマートホンの端末構成

ソフトウェアとしては端末ソフトウェア、IMS 部通信呼制御を管理するサービス部、アプリケーション・プロセッサと通信するインターフェース部、RF (高周波) 部、電源 IC、ユーザ認定モジュールを制御するドライバー部、リアルタイム OS 部、各電力管理部がある。端末ハードウェアはアンテナ、RF 無線ベースバンドプロセッサ、メモリ/ストレージ、ディスプレイ/タッチパネル、カメラ、人が近づくとディスプレイが入るセンサ、外部 IF (SD カードなど) で構成される。

2. 5G の現状と可能性

2000年代の携帯電話標準であったフィーチャーフォン (ガラケー) が2010年前後にスマートフォンにとって代わり普及した。これらスマートフォンの OS はスマートフォンだけでなくより画面の大きなタブレットやスマートウォッチなどのウェアラブル・デバイスフォトリムデバイス、そしてテレビや車載装置などにも使われるようになった。これらのモバイル端末は年々機能を増しながら進化を続けている。同一メーカーの複数機種だけでなく複数のメーカ、あるいは複数の電話会社での開発の「流用」が進みこれを携帯電話の「プラットフォーム化」という。その代表となるプラットフォーム化が OS の共通化

である。特にスマートホン OS のうち 2007 年 11 月にソフト開発キットが発表された。Google Android はオープンソースによって作成され、モバイル端末の OS 自体をオープンソースで公開した。これによってアプリケーションのみならずモバイル端末自体もオープンとなり、だれでもモバイル端末の開発ができるようになった。世界で出荷されているスマートホンの 9 割に搭載されている。これは携帯電話の構成がスマートホンの「OS+ハードウェア」というパソコンと同じ構成となったことを意味する。他に Apple 社の iPhone の OS として iOS、マイクロソフト社の Windows 10 Mobile、Tizen、B2G、WebOS などがある。

5G に関する国際標準化の最近の動向

ITU の無線通信部門 (ITU-R:ITU Radio Communication Sector) では 2014 年 2 月の Working Party 5D (WP 5D) が第 18 回会合 (ベトナム：ホーチミンシティ) の会期中に開催された” Research Views on IMT Beyond 2020” と題したワークショップで 5G に関する標準化活動をキックオフした。WP 5D ではまず 5G 標準化への道筋をつけるために次の二つの文書を作成した。すなわち、(1) 5G の将来ビジョンに関する新勧告 (Recommendation ITU-R M 2083)、(2) 2020 年以降の IMT システムのための技術課題や展望の新しいレポート (Report ITU-R M 2320) である。4G である IMT-Advanced と同じように (1) 新しいシステムの開発には使用する周波数を想定する必要がある、(2) 周波数確保に相当長い時間がかかる、(3) 周波数調和が必要であるということから基本的なシステムの枠組みとコンセプトを明確にするための「ビジョン勧告案」作成に 2014 年 4 月に着手し、約 1 年半の作業を経て完成した。

5G に関する我が国の検討体制と取り組み状況

2020 年およびそれ以降における移動通信システムに関する ITU-R および諸外国での検討状況を踏まえて、2013 年 9 月に電波産業会 (ARIB) の高度無線通信研究会の中に「2020 and Beyond AdHoc (20BAH)」を設置し、同年 10 月より活動を開始した。この AH の任務は 5G の技術調査、概念と基本構成およびサービス・アプリケーションの検討並びに内外の関連部門・機関との協力・連携することであり、AH 活動の成果として白書を作成するとともに進捗状況を含めてその成果は ITU-R WP 5R にタイムリーに寄与した。またこの成果は 5G モバイル推進フォーラム (5GMF) に継承された。5GMF は総務省の電波政策ビジョン懇談会の中間とりまとめにおける「5G の戦略的な標準化・実用化に向けた我が国の推進体制の確立とロードマップの策定・共有」の提言を受けて 2014 年 9 月 30 日に「第 5 世代モバイル推進フォーラム (5GMF)」が設立された。5GMF では総会のもとに企画、技術、ネットワークおよびアプリケーション各委員会を設置し、研究開発および標準化、アプリケーション、無線と有線の提携の検討並びに国際連携を推進した。

3. なぜ 5G が注目を集めているのか

5G は数多くある通信規格の一つでありデジタル革命のループを回すにあたって 5G が必要なわけではない。それにもかかわらず 5G がここまで注目を集めている理由は次の三つである。第一は高速性や多数同時接続といった特質により多種多様なデバイスが 5G に接続され、5G が膨大なデータがやり取りされる基盤となりうることである。5G では街に敷設したセンサから大量のデータを集め、活用することで環境に配慮しながら人々の生活

の質を高め、継続的な経済発展を目的とするスマートシティを実現することも可能となる。「データは21世紀の石油」、「データ・ドリブンエコノミー」「データ駆動型エコノミー」などと呼ばれるようにデータを起点とした事業創出が求められている。現在多種多様の膨大なデータをやり取りできる基盤となりうる5Gへの期待は高い。二つ目の理由は市場である。基地局、基地局までの光回線、ネットワーク装置、端末、部品、コンテンツサービスなど膨大な市場が生まれることが期待されている。移動通信事業者は基地局の設置などで2024年度までに合計でおよそ1兆6000億円を投資するといわれている。日本経済全体の景気を左右するくらいの特需である。米国では5Gへの投資を通じて300万人の米国人の雇用を生み出すとの推計がある。総務省は5Gによる経済効果を約46兆8000億円と試算している。自動運転の普及など交通分野で21兆円、製造業、オフィス関連でもIoT活動で13兆4000億円の効果があるといわれている。英調査会社IHSマーケットは2035年までに世界規模での経済効果が最大で12兆3000億ドルに上ると試算している。商用化が本格化することで世界のGDPを約3兆ドル押し上げ、5G関連のバリューチェーン（価値連鎖）全体で2200万人の雇用が創出されると予測している。様々な製品にセンサを取り付けて管理するIoTが一気に進み生産や物流などが大幅に効率化されれば経済全体に与える影響は格段に大きい。経済を飛躍的に成長させる力を秘めているからこそ5Gをめぐる国際競争は激しさを増しつつある。三つ目の理由はあらゆる産業が対象になることである。5GはありとあらゆるIoTデバイスにつなげることができるため第一次産業から第三次産業まですべての産業領域に入り込む可能性を秘めている。4Gまでは人へのサービスが中心であったため、消費者向けのB2C（Business to Customer: 企業と一般消費者の取引）が主であったのに対し5GではB2B: Business to Business（企業間取引）による顧客が広がることで市場が大幅に拡大する。そのため4Gまでと比べて5Gへの注目度は格段に高い。

5Gは周波数帯に注目

諸外国は2019年に5Gサービスを始めているのに日本は2020年のサービス開始で遅れているといわれているが使用する周波数が問題である。5Gが使用する周波数帯はハイバンド（24GHz以上）、ミッドバンド（1～6GHz帯）、ローバンド（1GHz以下）の3種類がある。2019年4月に総務省が割り当てた5G周波数はハイバンドの28GHz帯、ミッドバンドの3.7GHz帯と4.5GHz帯である。そしてハイバンド、ミッドバンド、ローバンドでは同じ5Gといっても性能はかなり違う。「2時間の映画をわずか3秒でダウンロードできる」という話はミリ波帯と呼ばれるハイバンドの周波数を使用したものである。ハイバンドの基地局が密に設置されて初めて「すごい」5Gサービスが提供される。例えば韓国では予想を上回る速さで5Gの利用者が増えている。しかし韓国で使っている周波数帯はミッドバンドで、現在の携帯電話の延長といってもよい。ミリ波帯のハイバンドは歴史上初めて携帯に使う周波数帯である。高速大容量の通信が可能になるものの直進性が強く電波が回り込まない。そのためつながりやすくするためには基地局を密に設置しなければならず設備に多大なコストがかかる。これに対してミッドバンドとローバンドは現在の携帯電話でも使用されている周波数帯であり使いやすい。5Gを一気に展開しようとするならばミッドバンドやローバンドを使ったほうがやりやすい。ただ「すごい」5Gは実現できない。

5Gのアプリケーション（現在考えられている応用例）

2019年2月にスペインのバルセロナで世界最大のモバイル展示会「MWC19バルセロナ」が開催された。198か国から10万9000人を超える来場者で、バルセロナはMWC一色となった。モバイル分野の関係者が政府関係者、規制当局者を含めて一堂に会した。MWCは今までの最新の携帯電話端末のお披露目会として話題を集めていた。2019年も韓国サムソン電子、LG電子、中国ファーウェイ（華為）、OPPOなどのメーカーが5G対応のスマートホンを発表展示していた。折りたたみ型のスマートホンも2019年の話題をさらった。折りたたんでいるときの画面は通常のスマートホンのサイズだが広げるとタブレットのような画面になり動画配信などで5Gのメリットを実感できる。しかしそもそもMWCは企業同士の商談の場であって2019年のMWCでは5Gをビジネスの現場でどのように使うのかといったデモが注目を集めていた。通信機器大手エリクソンのブースではスウェーデンのトラック運送会社アイランドが5Gを使った無人トラックの遠隔操作のデモを提示した。トラックには運転席がなく、遠隔地からハンドルやブレーキを操作する。4Gの場合時速100キロメートルでブレーキを踏んでもタイムラグの影響からブレーキが動作するまで1メートル以上進んでしまうが、5Gならわずかに数センチメートルでブレーキが動作し始める。ノキアのブースでは独自自動車部品メーカーのボッシュが独産産業用ロボット大手のクーカのロボットを5G遠隔制御するデモを展示した。ファーウェイのブースでもスイス重電大手BBCのロボットを制御するデモが展示され、5Gの製造業への期待が強くにじみ出ている。ユニークな展示ではカタールの通信業者オーレドの空飛ぶタクシーで、小型ヘリコプターであるがパイロットがいない。地上から遠隔制御で乗客を目的地に運ぶ。自動車の自動運転では米グーグル参加で自動運転車を開発しているウェイモが代表例で、すでに公道での試験走行距離は10万マイルを超えている。世界最大の国際産業技術見本市であるドイツハノーバーメッセ2019で目立っているのはIndustry 4.0（ドイツが国際的プロジェクトとして進めている第4次産業革命）ではなく5Gであった。初めて5Gの産業活動に対する展示スペース「5G Arena」が新設され、多くの製造業各社が活用事例を展示した。これは5Gが未来工場の中樞神経になるとみられるからである。また5Gはデータ駆動型医療・ヘルスケアも後押しする。我が国の医療費は現在でも42兆円を超える。この分野での5Gの活用は高速・大容量を生かした手術支援、同時多接続を生かしたモバイルヘルスである。ゲームは最先端テクノロジーと切り離して考えることはできない。ソニーのPlaystation 3用のゲームとして登場したのが「アイ・オブ・ジャッジメント」というテレビゲームであった。対戦型のトレーディングゲームを融合させたもので2007年発売のゲームであるがAR（拡張現実）を使ったゲームである。5Gがゲーム分野において垣根を超えた競争を巻き起こしている。ゲームの世界は市場が大きいこと、他のアプリケーションに比べ要件が厳しいことから技術を育てるムーティブホースになっている。現時点では5Gならではというキラーサービスが登場していないため5Gが世界や産業を激変させるほどの強烈なインパクトを有する実感に乏しい。しかし少し先の将来を見据えると5Gがデジタル変革を後押しして世界を一変させる可能性は高い。

4. 6Gについて

IOWNはNTTが2019年に提唱した次世代の情報処理基盤の構想で、30年の実現を目指す。光通信の技術を個別の端末や装置に導入することで超高速処理や低消費電力を実現する。5Gの次の規格6Gでの活用が期待される。構想に賛同する協議体に米国インテル

やマイクロソフト、ソニーグループやトヨタ自動車など50社以上が参画している。

5. 参考文献

5G教科書	服部 武、藤岡 雅宜 他	インプレス
5G:次世代移動通信規格の可能性	森川 博之	岩波新書
朝日新聞		