

# 第1章

# 令和時代における基盤としての5G

平成の30年の間、インターネットや携帯電話を中心とするICTの著しい進化に伴い、新たなサービスやビジネスが登場・普及するとともに、世の中の仕組みや人々のマインド・行動様式は大きく変化した。特に携帯電話に代表される移動通信システムの進化・発展は著しく、今では、人々の生活や企業の経済活動に必要なインフラにまで成長した。そして、本年3月から我が国でも商用開始された第5世代移動通信システム（5G）は、我が国における産業・社会を支える基盤として期待されている。

第1章においては、5Gの概要や我が国における導入の経緯、5Gをめぐる各国の動向等を整理するとともに、5Gの開始がもたらすICT産業の構造の変化について展望する。

## 第1節 新たな価値を創出する移動通信システム

我が国において、1979年に最初の移動通信システムが商用開始されて以降、40年あまりの間に移動通信システムは大きな進化・発展を遂げた。その過程において、約10年のスパンで規格は変更されていき、その都度、通信品質や通信速度の向上が図られるとともに、移動通信端末に様々な機能が付加されることによって、移動通信システムの可能性は大きく広がっていった。

第4世代移動通信システム（4G）の商用開始から約10年、2020年3月には5Gの商用サービスが開始された。5Gはその特性ゆえに、ありとあらゆるものがインターネットを通してつながるIoT（Internet of Things）時代における基盤として、人々の生活ではもちろんのこと、企業活動においても幅広く活用されることが期待されている。第1節では、これまでの移動通信システムの進化をたどるとともに、5Gの基本コンセプトやそれを実現するために導入された技術について概観する。

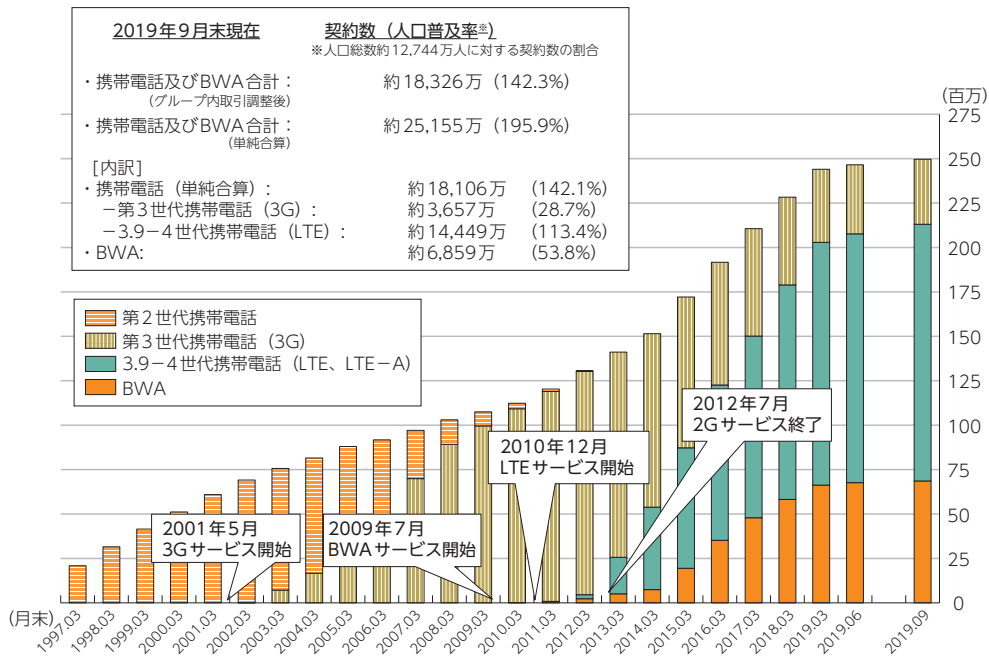
### 1 各種データから見る移動通信の普及状況

本項では、我が国における移動通信システムの普及状況について、加入契約数の変遷、移動通信トラフィックの伸び具合、家計における支出状況及びモバイル機器によるインターネット利用状況といった指標を通して、我が国において移動通信システムが人々の生活に不可欠な基盤として定着するまでの過程を概観する。

#### ア 移動通信システムの契約数

固定電話（加入電話）の契約数が1996年を境に減少傾向に転じたのに対し、携帯電話の契約数は、制度改革（端末売切制度の導入、料金認可制の廃止）が行われた後に急速に伸長し、2000年には、固定電話（加入電話）の契約数を超えるに至った。その後も契約数は増加し、2019年9月末時点では契約数が約1億8千万以上に達し、人口普及率は142%となっている（[図表 1-1-1-1](#)）。

図表 1-1-1-1 通信サービス加入契約数の推移

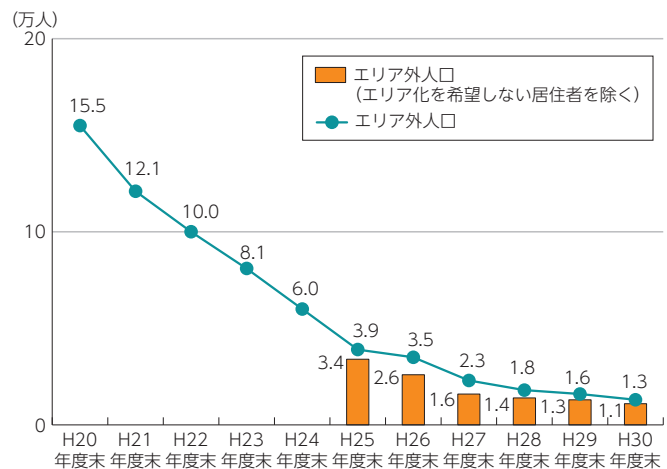


(出典) 総務省報道発表資料 (2019)「電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表 (令和元年度第2四半期 (9月末))」及び住民基本台帳を基に作成

### イ 携帯電話利用環境の整備 (不感地域の解消)

携帯電話事業者は、基地局の未整備等により携帯電話を利用することのできない、いわゆる不感地域を解消に努めてきた。総務省も不感地域の解消を補助金等の政策ツールによりこれまで後押ししてきた。その結果、2019年3月末時点で、我が国における携帯電話のサービスエリアは、居住人口 (人口カバー率) で99.99%に達した。サービスエリア外の居住人口 (エリア外人口<sup>\*1</sup>) は、全国で1.3万人となっており、10年前と比較して10分の1以下にまで減少する結果となっている (図表 1-1-1-2)。

図表 1-1-1-2 携帯電話のサービスエリア外人口の推移



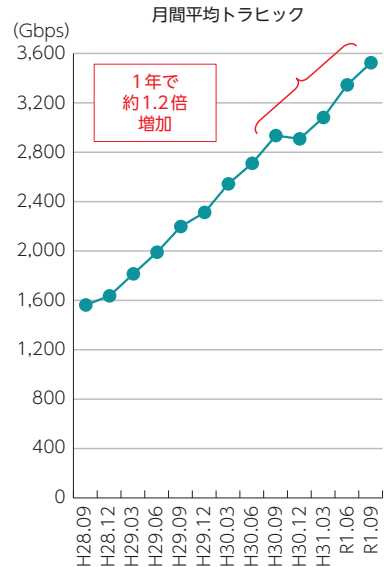
(出典) 総務省作成資料

\*1 エリア外人口とは、平成27年度国勢調査人口を基礎とし、平成30年度末時点で地方公共団体に対して実施したサービスエリア外地域の現状調査の結果を指す。

ウ 移动通信トラフィックの状況

我が国全体の移动通信トラフィックは、2019年9月時点で月平均3529.8Gbpsとなっており、3年前（2016年9月）のトラフィックと比較して約2.3倍に増加している。特に最近1年では約1.2倍に増加している（図表1-1-1-3）。4Gが導入されて以降、携帯電話事業者も大容量コンテンツ利用に対応した料金プランを提供するようになり、利用者が大容量コンテンツをより一層利用しやすい環境が整ったことが要因として考えられる。

図表 1-1-1-3 移动通信トラフィックの推移

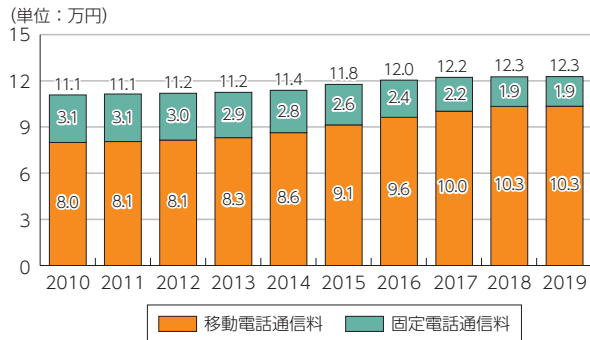


(出典) 総務省 (2019) 「我が国の移動トラフィックの現状 (令和元年9月分)」

エ 家計における移动通信への支出

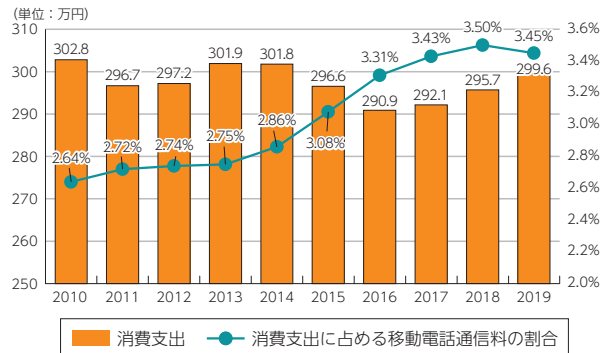
電話通信料\*2の支出額は2019年で12万2,741円となっており、2010年と比較して10.8%増加している。中でも移动通信通信料は2019年で10万3,466円と、2010年と比べて29.5%の増加となっている（図表1-1-1-4）。家計の消費支出全体に占める移动通信通信料の割合は、2019年は3.45%であり、2010年の2.64%に比べて大きくなっている（図表1-1-1-5）。

図表 1-1-1-4 電話通信料の推移



(出典) 総務省「家計調査 (総世帯)」各年版を基に作成

図表 1-1-1-5 消費支出に占める移动通信通信料の割合



(出典) 総務省「家計調査 (総世帯)」各年版を基に作成

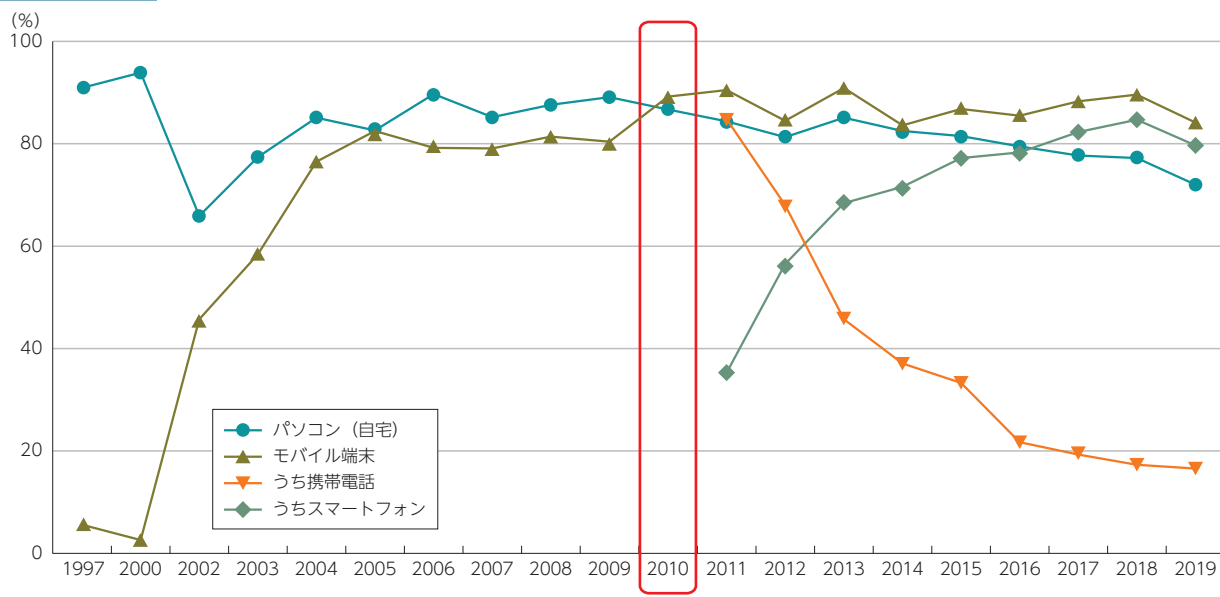
オ モバイルによるインターネット利用の拡大

(ア) インターネット利用時におけるモバイル機器利用率

1997年に携帯電話向けインターネット接続サービスが提供されて以降、インターネットへの接続にモバイル端末を利用する者の割合は急速に伸長し、2010年には、国内で初めてモバイル端末からのインターネット利用者がパソコンからの接続者数を超えた。以降、年々その差は拡大傾向にあり、我が国におけるインターネット利用の中心はパソコンからモバイル端末へ移行しているといえる。また、2011年以降のデータについて、モバイル端末を携帯電話 (フィーチャーフォン) とスマートフォンに分計した結果、スマートフォンによるインターネット利用率の上昇と対照的に携帯電話によるインターネット利用率は下降している（図表1-1-1-6）。

\*2 「電話通信料」とは、「固定電話通信料」と「移动通信通信料」を合計したものの。

図表 1-1-1-6 インターネットを利用する際の利用機器の割合\*3



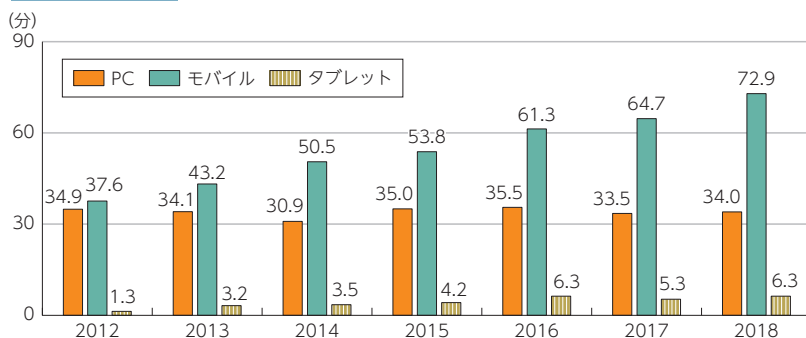
\* モバイル端末とは、携帯電話、PHS及びスマートフォンを指す。

(出典) 総務省「通信利用動向調査の結果」各年版を基に作成

(イ) モバイル機器によるインターネット利用時間

インターネット平均利用時間を見ると、その変化はより顕著である。パソコンからのインターネット利用時間は横ばい\*4であるが、モバイルからのインターネット利用時間（フィーチャーフォン又はスマートフォンのいずれかでインターネットを利用した時間）は年々増加している。(図表 1-1-1-7)

図表 1-1-1-7 主な機器によるインターネット平均利用時間 (平日・全年代)



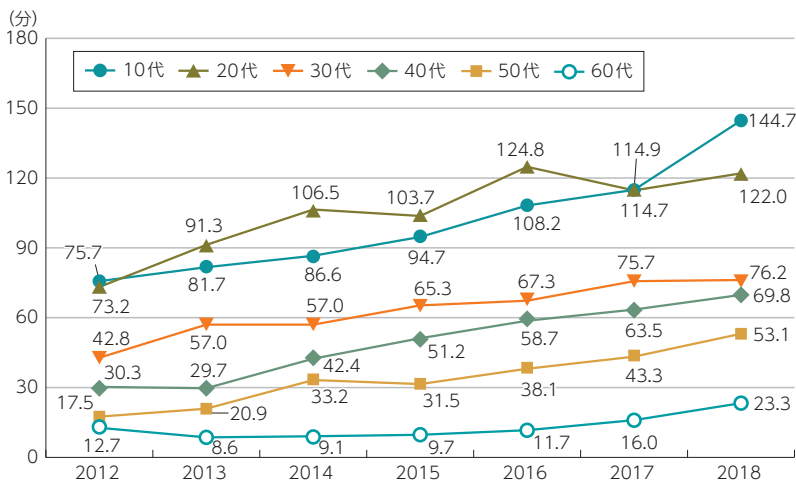
(出典) 総務省情報通信政策研究所 (2019) 「平成30年情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査報告書」

\*3 利用率の算出に際しては、無回答も母数に加えている。なお、2019年調査は集計方法が異なり、かつ、無回答の割合が高いため、過年度との比較の際は注意を要する。無回答を除いた場合の各端末の利用率は、パソコン80.5%、モバイル端末94.0%、携帯電話18.8%、スマートフォン89.0%となる。

\*4 自宅での利用に限ると、パソコンでのインターネット利用時間は減少傾向にある。

また、モバイルからのインターネット平均利用時間を世代別に見ると、若年層と高年層とでは、利用時間には大きな開きが見られるものの、いずれの年齢層においても、利用時間はおおむね増加傾向にあることがみてとれる（図表1-1-1-8）。

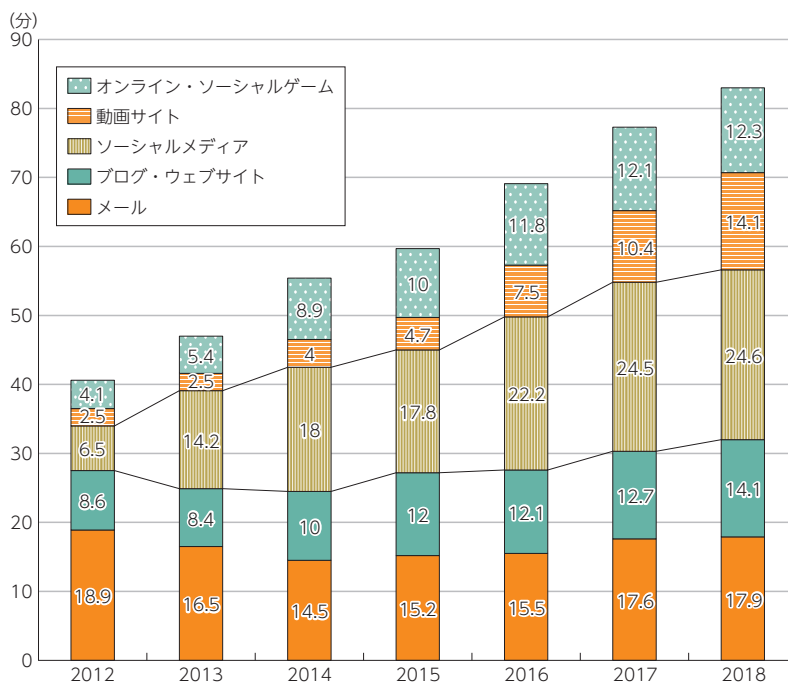
図表 1-1-1-8 モバイル機器によるインターネット平均利用時間（平日・年代別）



（出典）総務省情報通信政策研究所（2019）「平成30年情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査報告書」

スマートフォンの利用者が増加していくにつれ、モバイル機器によるインターネット利用において、ソーシャルメディア、オンライン・ソーシャルゲーム、動画サイトの利用時間は大幅に増加している。特にモバイル機器によるソーシャルメディア及び動画サイトの利用時間は2012年から2018年までの6年間で約4倍にまで伸びている（図表1-1-1-9）。

図表 1-1-1-9 モバイル機器によるインターネット利用項目別平均利用時間（単位：分）



（出典）総務省情報通信政策研究所「情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査報告書」各年版を基に作成

## 2 移动通信システムの進化

携帯電話を中心とした移动通信システムは、世代交代と呼ばれるシステムの変革を経るごとに、機能や品質の向上を遂げ、それらを生かした新たなサービスの登場も相まって、特に平成の30年間を通して、我が国において急速に普及し、現在では人々の生活や経済活動における最も身近なツールとして活用されている。ここでは、この移动通信システムの進化を振り返る。

## 1 約10年周期で進む世代交代

我が国における移動通信システムは、1979年に第1世代となるサービスが開始されて以降、本年に開始された第5世代に至るまで、約10年周期で世代交代が行われていった。世代交代に伴い移動通信システムの性能が改善した結果、以下のような点において、利用者の利便性は飛躍的に向上した。

- ①通信品質の向上：アナログ方式からデジタル方式への進化によって、ノイズが減少するなど通話時における音質が向上された。また、ハンドオーバー機能の向上などにより、高速移動時や遮へい物が存在する場合でも通信が途切れにくくなるなど、通信品質の向上が図られた。
- ②通信の高速大容量化：第1世代では最大通信速度が約10kbpsであったのに対し、2010年に開始された第4世代では最大通信速度が1Gbpsになるなど、この30年間で約10万倍にまで向上している（図表1-1-2-1）。
- ③サービスの多機能化：移動通信端末の機能は当初は音声通話のみであったが、データ通信サービスの開始以降、様々な機能が付加され、移動通信端末を用いたサービスも多岐にわたるようになった。現在ではスマートフォン1台で日常生活に必要な機能の多くをこなすことができるようになった。
- ④通信料金の低廉化：様々な技術革新及び制度改革によって携帯電話の普及が進むに従い、携帯電話事業者間での利用者獲得競争が激しくなり、通信料金の低廉化が進んだ。その後、データ通信・音声通話の双方で定額制が実現した。
- ⑤利用範囲の拡大：国内において移動通信システムのエリア化が進み全国で利用可能となったほか、通信規格の国際標準化によって、日本で購入した端末をそのまま海外でも利用できるなど、移動通信サービスの利用範囲が大きく広がっていった。

図表 1-1-2-1 移動通信ネットワークの高速化・大容量化の進展



(出典) 総務省作成資料

## 2 移動通信システムの進化とその影響

続いて、移動通信システムの進化における各段階において、どのような技術革新が行われていったか、また、どのようなサービスや利用方法が登場し、そのことがどのような価値創出につながり、我が国の社会・経済に影響をもたらしていったか、詳細に見ていくこととしたい。

ア 第1世代移動通信システム（1G：1979年～）

1979年に日本電信電話公社（当時）は民間用としては世界で初めてセルラー方式による自動車電話サービスを開始した。これが第一世代移動通信システム（1G）の始まりである。当初は車内での通話を可能とするサービスであったが、1985年には車外でも通話可能な肩掛け型の端末（ショルダーホン）が登場し、1987年にはNTT（日本電信電話株式会社）が、さらに小型・軽量化した端末を用いた「携帯電話」サービスを開始した。その後、電子部品の小型化やLSI化が進み、1991年には超小型携帯電話「mova（ムーバ）」が登場した（図表1-1-2-2）。

図表 1-1-2-2 第一世代移動通信システムの端末

【ショルダーホン】



【超小型携帯電話端末（mova）】



（出典）NTT技術史料館

1Gのサービスは主に音声通話であり、音声をアナログ変調方式で電波に載せて送信していた。また、アクセス方式にはFDMA（周波数分割多元接続）を採用し、ユーザ毎に異なる周波数を割り当てていたほか、上り（端末→基地局）と下り（基地局→端末）でも異なる周波数を使う（FDD：周波数分割複信）ことで通信の区別を行っていた。

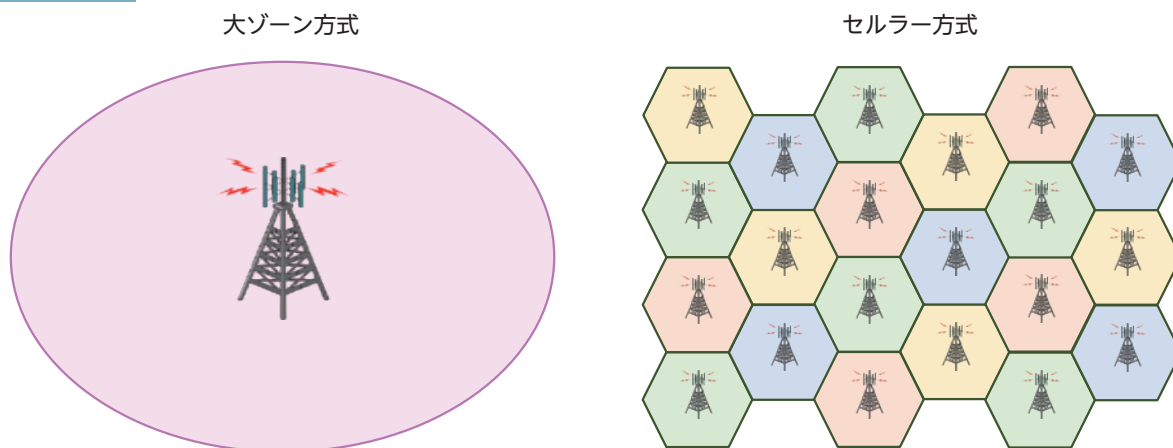
さらにエリアをカバーする方法として「セルラー方式」を採用し、1つの基地局あたりのカバーエリア（これをセル<sup>\*5</sup>と呼ぶ。）を比較的小さく設定し、基地局を多数設置することでエリア全体を覆った（図表1-1-2-3）。隣接するカバーエリアでは異なる周波数を用いることで干渉を防ぐ必要があるが、離れた所であれば同じ周波数を再利用することができる。周波数利用の繰り返しによってシステム全体としての収容効率が向上したほか、基地局一端末間の送信電力の省力化にもつながり、端末の小型軽量化を後押しする要因ともなった。これらの技術は以降の携帯電話においても採用されることとなった。

1Gはその使用料金の高さなどの理由<sup>\*6</sup>により、その普及は限定的であったが、以降の携帯電話の根幹を成す多くの技術が開発され、移動通信システムの基礎が確立された時期であったと言える。

\*5 携帯電話を英語でセルラーフォン（cellular phone）と呼ぶのはここに由来する。

\*6 1985年に登場したショルダーホンは重量が3キロ、保証金20万円、月額基本使用料2万円強、通信料は1分100円と高額で、1987年にNTTから出された携帯電話も小型化・軽量化したものでもまだ750グラムと重量があった。（詳細は令和元年版情報通信白書参照のこと。）

図表 1-1-2-3 携帯電話のエリアカバーの方法



(出典) 総務省作成資料

イ 第2世代移動通信システム (2G : 1993年~)

1993年からはそれまでのアナログ方式に代わってデジタル方式によるサービスが開始された。これが第2世代移動通信システム (2G) である。

2Gでは、NTTが開発したPDC方式が採用され、1993年のNTTドコモに続き、1994年にはセルラーグループ、IDO (日本移動通信株式会社) 及びデジタルホングループがそれぞれPDC方式によるサービスを開始した。国内では統一規格を採用することで他の携帯電話事業者とのローミングがしやすくなったが、海外との間では、欧州 (GSM) とも北米 (IS-54) と異なる我が国独自の仕様となった。その結果、世界中に普及しデファクトスタンダードとなったGSMに対し、海外への展開という意味では課題を残すこととなった。その後、1998年からは、セルラーグループ及びIDOが、次世代 (3G) の技術を先取りしたcdmaOne<sup>\*7</sup>を採用したことにより、国内でも異なる技術方式が併存することとなった。

サービス面では、2Gでのパケット交換技術を用いた通信の実現に伴い、音声通話の伝送の他にデータ通信サービスも本格的に開始されることとなり、各社から携帯電話向けインターネット接続サービス<sup>\*8</sup>が提供された。

技術面ではデジタル技術を採用することで、データの符号化及び圧縮が可能となり、必要な帯域を大幅に減らすことが可能となった。また、アクセス方式にTDMA (時分割多元接続) を採用し、同じ周波数でも時間毎に区切ったスロットをユーザに割り当てることで周波数利用効率の向上を図った。

当初、2Gは、同時期に存在したポケットベルやPHSといった他の移動通信システムと比較して、利用料金の割高さや通信速度・品質で劣る等の欠点を有していたが、様々な制度改革<sup>\*9</sup>や技術革新を経てこれらの点が改善された。それに伴って携帯電話加入者数が大きく伸び (図表 1-1-2-4・図表 1-1-2-5)、通信基盤としての携帯電話サービスが世の中に広く普及・定着していくこととなった。

携帯電話端末の機能面においては、音声通話だけでなく、1990年代に広く普及していたインターネットへの接続が携帯電話でも可能となったことが、その後のインターネットメールのほか、銀行振り込み、ライブチケットの購入など多種多様なオンラインサービスの携帯電話での利用につながっている。また、事業者間競争の激化に伴い、他社との差別化を図るため、各社が次々に新機能を端末へ搭載する多機能化へとつながった。

\*7 このため、cdmaOneは「2.5世代」とも言われた。  
 \*8 NTTドコモは携帯電話向けインターネット接続サービスとして1997年に「DoPa」、1999年に「iモード」を、セルラーグループ及びIDOは1999年に「EZweb」「EZaccess」を、J-フォン (デジタルホン・デジタルツアー各社が社名変更) も1999年に「J-SKY」をそれぞれ開始した。  
 \*9 1985年の通信自由化や、郵政省 (現総務省) が1994年に端末売切制度を導入し、1996年には携帯電話の料金認可制を廃止したことで、事業者間の競争が加速し、携帯電話料金の低廉化が進むとともに、利用者にとって魅力的な端末を各メーカーが競って供給するようになった

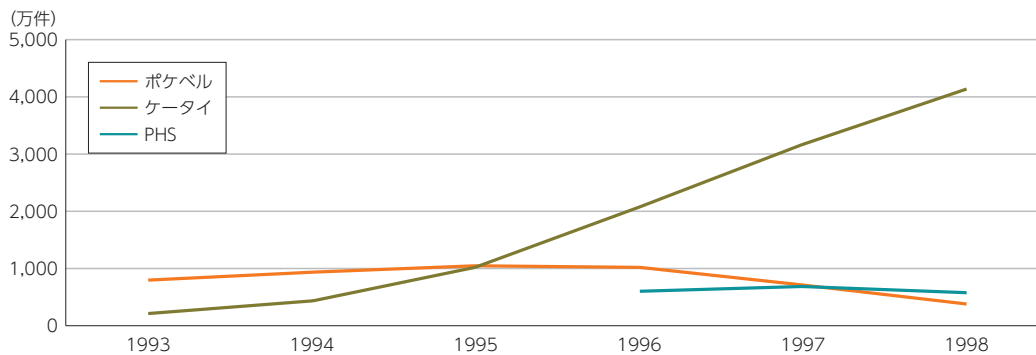


図表 1-1-2-4 普及開始時期における携帯電話・PHSの進化

|       |       | 携帯電話  | PHS  |
|-------|-------|---|--|
| 料金    | 端末価格  | 5万円～10万円 (1995年)<br>↓<br>0円 (1996年)                 | 4万円～5万円 (1995年)<br>↓<br>約1万円 (1996年)       |
|       | 新規加入料 | 6,000円～9,000円 (1995年)<br>↓<br>無料～約2,800円 (1996年)    | 約3,000円 (1995年)<br>↓<br>無料～約2,800円 (1996年) |
|       | 月額基本料 | 7,300円～7,800円 (1995年)<br>↓<br>4,500円～5,800円 (1997年) | 2,700円～ (1995年)                            |
| 通信範囲  |       | 半径 数km～数十km   | 半径 200m～500m                               |
| データ通信 |       | 9,600bps (1995年)<br>↓<br>28.8Kbps (1997年)           | 14.4Kbps (1996年)<br>↓<br>32Kbps (1997年)    |

(出典) 総務省 (2019) 「デジタル化による生活・働き方への影響に関する調査研究」

図表 1-1-2-5 ポケベル、PHS、携帯電話の加入者数推移



(出典) 総務省「携帯・PHSの加入契約数の推移 (単純合算) (平成30年9月末時点)」及び「無線呼出し (ポケットベル) の加入契約数の推移」を基に作成

### ウ 第3世代移動通信システム (3G : 2001年～)

前述のように2Gでは国・地域毎に異なる移動通信システムを導入していたため、日本国内で購入した端末が米国や欧州では利用できないといった状況にあった。そのため、第3世代移動通信システム (3G) の仕様の策定に際しては、「全世界で同じ端末を使えること」を目標に標準化作業が進められ、1999年に国際電気通信連合 (ITU) において、「IMT-2000」として複数の技術方式が標準化された。我が国では、W-CDMA方式とcdma2000方式が併存する形となり、W-CDMA方式では、2001年にNTTドコモが「FOMA」を、2002年にはJ-フォンが3Gサービスを開始し、cdma2000方式では2002年にKDDIが3Gサービスを開始した。

3Gの特徴は、アクセス方式にCDMA (符号分割多元接続) を採用している点にある。拡散符号と呼ばれるコードでユーザを識別することにより、同じ周波数を同じ時間に多数のユーザで共用することが可能となった。また、同じ周波数を使っている基地局やユーザを拡散符号で区別できるため、セル間の干渉を考慮する必要がなくなり、隣り合う基地局に同一の周波数を配置することも可能となった。さらに、周波数拡散技術の一種であるCDMAを採用することで広帯域での通信が可能となり、2Gに比べて高速大容量の通信が可能となった。

3Gの登場と前後して、携帯電話端末の多機能化は一層進展していった。例えば、2000年にJ-フォンが世界に先駆けて携帯電話端末にカメラを搭載し、撮影した画像を電子メールに添付して送信する機能を提供した (図表 1-1-2-6)。当時の画素数は11万程度であったが、2003年には100万画素のデジタルカメラを搭載したメガピク

図表 1-1-2-6 カメラ付き携帯電話



(出典) シャープ (株) 提供資料

セル携帯電話端末が発売されて以降、カメラ付き携帯電話端末の性能は上がり、コンパクトデジタルカメラと比較しても遜色ないほどまでになった。

また、2001年には、携帯電話で実行ができるJavaを使用したアプリケーションサービス「iアプリサービス」が始まり、携帯電話端末でゲームなどの多様なコンテンツを楽しめるようになった。2006年には、音楽再生チップ（Mobile Music Enhancer）を内蔵した携帯電話端末が発売された。音楽データ保存用に1GBの専用メモリが搭載されており、携帯電話端末による30時間の連続音楽再生が可能になった<sup>\*10</sup>。

また、料金面においては、それまでの従量課金制では、データ通信量の増加に伴い高額な利用料金となるケースが発生していたのに対し、2004年には、NTTドコモが、iモードサービスが使い放題になるパケット定額制の「パケ・ホーダイ」を開始するなど定額制が導入されたことで、ユーザは基本的にデータ通信量を気にせずにサービスを楽しむことができるようになった。

このように携帯電話端末で多様なコンテンツを利用するニーズが増えるにつれ、当初の3Gの通信速度では物足りなさを感じるようになった。そこで、3Gを発展させてデータ通信の高速化に特化した技術<sup>\*11</sup>が開発・導入されるようになり、これらの技術を導入した移動通信システムは「第3.5世代<sup>\*12</sup>」と呼ばれた。

3Gの時代は、高速データ通信による本格的なマルチメディアが実現した時期に該当する。移動通信システムの国際標準化が図られたことにより、我が国のメーカーが製造した携帯電話端末を世界市場に展開していくことも期待されたが、我が国独自の機能進化を遂げた端末<sup>\*13</sup>であったが故に、かえって世界の端末市場では通用しにくくなったともいわれている。

## エ 第4世代移動通信システム（4G：2010年～）

2007年にAppleが発表したスマートフォン「iPhone」は、当時としては革新的な端末<sup>\*14</sup>であり、そのデザイン性の高さの説明書を読まずとも操作できる使いやすさもあって人気を博し、世界的にフィーチャーフォンからスマートフォンへの移行が始まった。翌2008年に発表された「iPhone 3G」は日本でもソフトバンクモバイル（現ソフトバンク）により販売が開始され、2009年にはGoogleが開発したAndroidを搭載したスマートフォンも発売された（図表1-1-2-7）。

このような状況において、商用開始されたのが第4世代移動通信システム（4G）である。まず、2009年3月に3GPP<sup>\*15</sup>で策定されたLTE<sup>\*16</sup>について、2010年にNTTドコモが、2012年にはソフトバンクとKDDI／沖縄セルラー電話がそれぞれ商用サービスを開始した。3Gでは国内事業者でも導入する規格が異なっていたが、LTEにおいて世界標準の統一規格が実現することとなった。

図表 1-1-2-7 iPhone3G



（出典）Apple, Inc (<https://support.apple.com/ja-jp/HT201296>)

<sup>\*10</sup> KDDI ニュースリリース2006年「au携帯電話の新ラインナップとして「ウォークマン® ケータイ W42S」を販売開始（参考）」([https://www.kddi.com/corporate/news\\_release/2006/0619/sanko.html](https://www.kddi.com/corporate/news_release/2006/0619/sanko.html))

<sup>\*11</sup> W-CDMAでは「HSDPA」、cdma2000では「EV-DO」と呼ばれる技術である。2003年にKDDI、2006年にNTTドコモ及びソフトバンクモバイル、2007年にイー・モバイルがそれぞれ商用開始した。

<sup>\*12</sup> 3Gでは1枚のDVDをダウンロードするのに27～30時間要したものが、第3.5世代では45分から1時間程度と速度が向上したことで、画像を含むホームページや動画の閲覧が円滑に行うことができるようになり、携帯電話でのインターネット利用シーンはより豊かになっていった。

<sup>\*13</sup> 我が国独自の機能進化を遂げた携帯電話端末はガラパゴスケータイ、略してガラケーと呼ばれるようになった。現在ではフィーチャーフォンを指す単語として使用されている。

<sup>\*14</sup> スマートフォンは、OS上で独自のアプリケーションの実行が可能であり、無数に用意されたアプリからユーザが使いたい機能をハードウェアにとらわれずサービス単位で選択することが可能となったほか、それまで限定的にしか利用できなかったインターネットの閲覧がPCのようにフルブラウザで容易に利用できるようになった。

<sup>\*15</sup> Third Generation Partnership Projectの略。各国・地域の標準化団体により1998年に設立された。当初、3Gの仕様の検討・作成を目的としていたが、その後の世代についても仕様の検討作業を行っている。

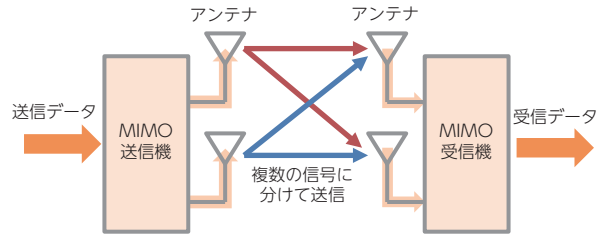
<sup>\*16</sup> Long Term Evolutionの略。当初、3Gと4Gの間の過渡的な技術と位置づけられ、かつ、ITUの規定する4Gの要件を満たす技術ではなかったことから、LTEを「第3.9世代」と呼ぶこともある。なお、現在は、ITUも4GにLTEを含めて良いとしている。

LTEでは、アクセス方式として下りにOFDMA（直交周波数分割多元接続）<sup>\*17</sup>、上りにSC-FDMA（シングルキャリア周波数分割多元接続）<sup>\*18</sup>が採用された。スマートフォンの時代を迎えて高速大容量通信に対するニーズが一層高まる中、周波数の利用効率を高めることで3Gよりも大幅に広帯域化を可能とし、さらなる高速化を実現したものである。また、LTEでは複数のアンテナでデータを並列に送ることで伝送容量を拡大するMIMO<sup>\*19</sup>が採用された（図表1-1-2-8）。

また、ネットワーク構成に関しては、3Gまでは、回線交換方式による音声通信とパケット交換方式によるデータ通信の2つのネットワークが並存していたが、LTE以降では音声通信もパケット交換方式となり、モバイルネットワーク全体がIP化された。これに伴い、データ通信だけでなく音声通話においても定額制が実現することとなった。

その後、LTEのさらなる高速化のために策定された規格がLTE-Advancedである。3GPPにおいて標準化作業が行われ、2012年にITUで正式に承認された。我が国では2014年以降、各社がサービスを開始している。LTE-Advancedの特徴としては、複数の帯域を束ねることで帯域幅を広げてさらなる高速化を実現する「キャリアアグリゲーション」が採用されたほか、前述のMIMOについてもさらなる強化が図られた。この結果、通信速度はメガレベルからギガレベルへと進化していった。大容量の動画コンテンツであってもストレスを感じることなく視聴することが可能となり、クラウド、ビッグデータ、IoT、AI、VR/ARといった新たなトレンドとも結びつくことにより新たなサービスが登場した。

図表 1-1-2-8 MIMOの仕組み



※MIMOとは、送信側・受信側双方に複数アンテナを用いて、高速伝送又は高信頼通信を実現する技術であり、これを使用した場合、複数のデータを同じ時間に同じ周波数を用いて伝送できるため、高い伝送速度を実現できる。（例：送受信機で各4本のアンテナを用いるMIMOシステムは、各1本のアンテナしか用いないシステムに比べ、最大で4倍の伝送速度を達成できる。）

（出典）総務省作成資料

### 3 移動通信システムの進化が生み出した新たな価値

ここまで移動通信システムの進化を振り返ってきたが、移動通信システム（主に携帯電話）の位置付けはどのように変遷してきたであろうか。

1Gでは機能は音声通話に限定されており、主にビジネスマンが外出時でも通話できることが大きな価値であった。2Gにおいて、デジタル通信方式の導入によって通話品質が向上したほか、電子メールやウェブブラウザ経由でのインターネット閲覧といったデータ通信も可能となった。1Gの時代には利用が限定的であった移動通信システムは、2Gの時代において急速に普及し、固定通信と並ぶインフラとして定着していったが、その位置付けは、あくまで通信基盤としてのインフラにとどまっていたと言える。

3Gの開始以降、携帯電話の急速な普及及び携帯電話を用いた様々なサービスの登場を通じて、携帯電話を中心としたエコシステムが形成されていき、「ワイヤレスの産業化」が進むことになった。自宅や職場にとどまらず、様々な場所で情報を送受信できることで人々の活動の効率化を促し、生産性向上に寄与することが期待された。なお、我が国においては、端末にSIMロックが設定されていることが一般的であったこともあり、携帯電話事業者との契約と携帯電話端末の購入は一体的に行われていたほか、携帯電話上におけるインターネット接続サービスの料金徴収代行を携帯電話事業者が担っていたこともあって、エコシステムの主導権は携帯電話事業者が握り、端末メーカーやコンテンツ提供事業者と結びつく形で形成されていた。

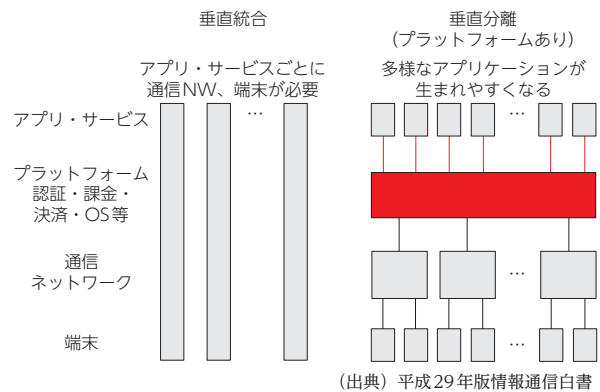
\*17 周波数帯域を周波数軸（サブキャリア）と時間軸を用いて分割し、各ユーザの無線環境に応じて伝送率の高いチャンネルを割り当てることにより、効率的な処理を実現する。

\*18 周波数帯域を2つの軸で分割し、各ユーザに伝送率の高いチャンネルを割り当てる点ではOFDMAと共通だが、上り通信（端末→基地局）において、端末の電力消費量を抑えられるよう設計された技術。

\*19 Multiple Input Multiple Outputの略。LTEでは理想的な環境において3Gの4倍の高速化が実現可能となった。

その後、2008年のiPhone3Gの登場によってこのエコシステムの構造は大きく変容する。翌年のGoogleによるAndroidのリリースとともに、第三者がスマートフォン向けサービスをアプリとして開発し、配信できる仕組みが構築されていくことにより、スマートフォン向けOSを提供するAppleやGoogleがプラットフォームとしての地位を確立することとなった。また、プラットフォームが存在することにより、アプリケーション提供者はプラットフォームとの接続性を確保するだけで良いため、モバイルビジネス参入へのハードルが下がり、多様なアプリケーションが開発・提供されていった(図表1-1-2-9)。

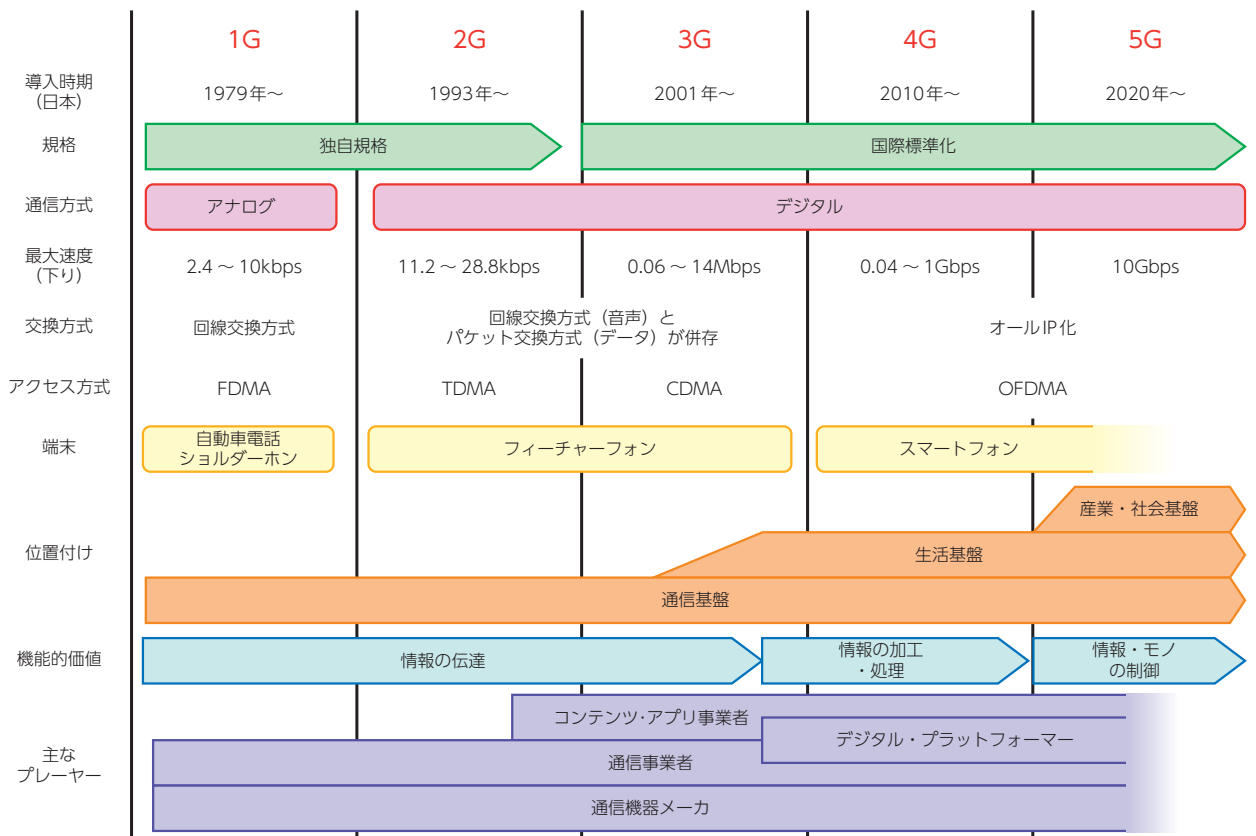
図表 1-1-2-9 垂直統合と分離 (PFあり) の比較



加えて、スマートフォン自体のインタフェースとしての革新性もあって急速に利用者の支持を集めていったこともあり、エコシステムの主導権は、携帯電話事業者からデジタル・プラットフォームへへとシフトしていった。そして、3Gから4Gへと進化していく過程で、移動通信システムは、デジタル・プラットフォームを中心に、携帯電話事業者、端末メーカー及びプラットフォーム上でコンテンツ・アプリケーションを提供する事業者を巻き込んだ情報通信産業として更なる進化を遂げていった。音楽や動画、ゲームといった娯楽以外にも、ユーザの生活に根ざした様々なアプリ・サービスが開発・提供されるようになったことで、移動通信システムは、単なる通信基盤からユーザの生活を支える基盤へと変容していくこととなった。

また、1Gから3Gまで変化する過程において、携帯電話の主な用途は音声通話からデータ通信へと徐々にシフトしていったが、フィーチャーフォンを利用していた頃における移動通信システムの機能的価値は、主として「情報の伝達」であった。ところが、スマートフォンの登場によって端末の性能がPC並みへと向上すると、移動通信システムの機能的価値は、情報の伝達だけでなく、「情報をいかに加工・処理して新たな価値を付加するか」へと変容していった。同時に、情報通信産業以外の業種においても、自身の産業における生産性の向上に向けて、スマートフォンをはじめとするワイヤレスの活用や、クラウド、ビッグデータ、IoT、AI、VR/AR等と組み合わせた社会実装について本格的な検討が始まった。「ワイヤレスの産業化」の次のステップである「産業のワイヤレス化」に向けた萌芽が見えてきた時期でもある。(図表1-1-2-10)

図表 1-1-2-10 移動通信システムの進化



※この表では、3Gには3.5Gを含み、4Gには3.9Gを含むものとする。

(出典) 総務省作成資料

### 3 5Gの登場

これまでの移動通信システムの進化は、通信品質の向上と移動通信端末の機能追加によって生活基盤として定着しただけでなく、移動通信システムを取り巻くエコシステムを大きく変容させてきた。我が国の社会・経済においては、スマートフォン等の移動通信システムを利用したサービスを前提として様々な財・サービスが提供されている。

では本年から商用開始された5Gは、従前の4Gとは何が違うのか。以降でその技術的な特長を説明するとともに、そもそもどのようなコンセプトに基づいて5Gの構想が立てられたのかについて説明する。そして、5Gの基本コンセプトを実現させるために、どのような技術が5Gに取り入れられているのかを見ていくこととする。

#### 1 5Gの利用シナリオと主な要求条件

2015年9月、ITUにおいて、5Gの主要な能力やコンセプトをまとめた「IMTビジョン勧告 (M.2083)」<sup>\*20</sup>が策定された。その中で、5Gの利用シナリオとして、①モバイルブロードバンドの高度化 (eMBB: enhanced Mobile BroadBand)、②超 高 信 頼・低 遅 延 通 信 (URLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communications)、③大量のマシントイプ通信 (mMTC: massive Machine Type Communications) の3つのシナリオが提示された (図表 1-1-3-1)。ただし、5Gでは、単一のネットワークでこれらの全てのシナリオに対応する必要はなく、それぞれの利用シーンに応じて必要な性能を提供すれば良いとされている。それぞれの利用シナリオにおける主な要求条件について以下で説明する。

\*20 Recommendation ITU-R M.2083 IMT Vision - Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond

ア 超高速通信 (eMBB)

4Gにおいては、通信速度が下りで最大1Gbps程度、上りで最大数百Mbps程度であったのに対し、5Gの要求条件では、下りで最大20Gbps程度、上りで最大10Gbps程度となっており、4Gの10倍以上の速度となることが見込まれている\*21。4G以上の高速大容量通信によって、4K/8Kなどの高精細映像をはじめ大容量コンテンツであっても高速に伝送されることが期待される。

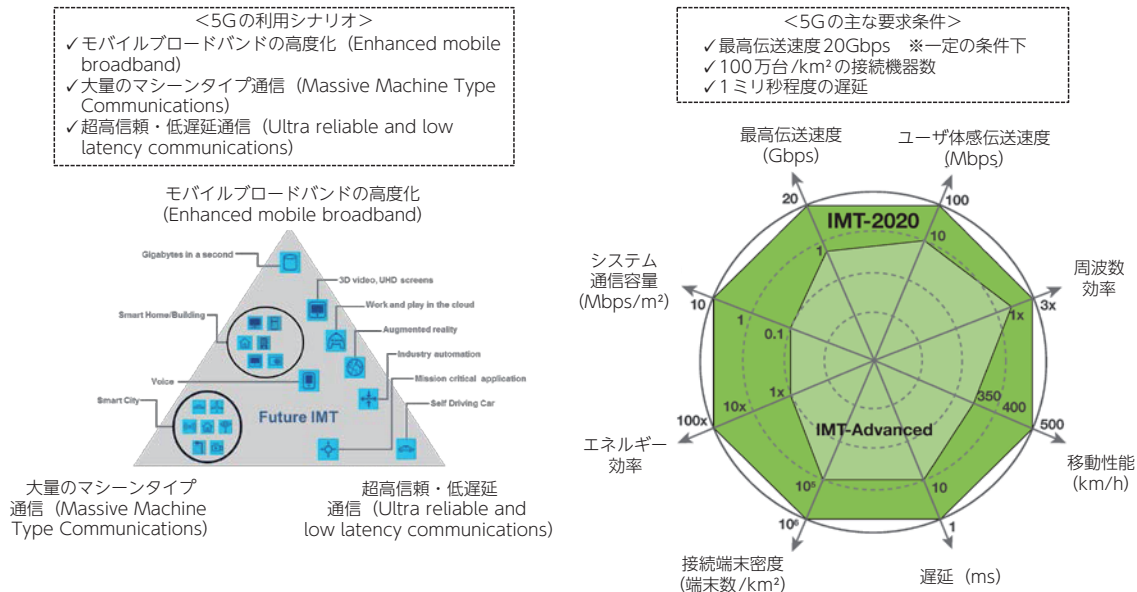
イ 超低遅延通信 (URLLC)

5Gにおける遅延は1ミリ秒程度とされており、4Gの10分の1程度に短縮されることが見込まれている。これによって、4Gでは安全性の観点から実現が難しいとされていた自動運転や遠隔でのロボット操作（リアルタイムでの操作やミッションがクリティカルなものなど）も5Gでは実現させることが可能となり、様々な産業・分野において移動通信システムの用途が広がっていくことが期待される。

ウ 多数同時接続 (mMTC)

4Gにおいては、1kmあたり10万台程度の端末が同時に接続できるとされていたのに対し、5Gでは1kmあたり100万台程度の端末が同時に接続できるようになることが見込まれている。IoT時代において膨大な数のセンサーや端末が存在する場合（例：スマート工場、スマートメーター、インフラ維持管理）であっても、通信に支障が生じないことが期待される。

図表 1-1-3-1 IMTビジョン勧告における5Gの利用シナリオ及び要求条件



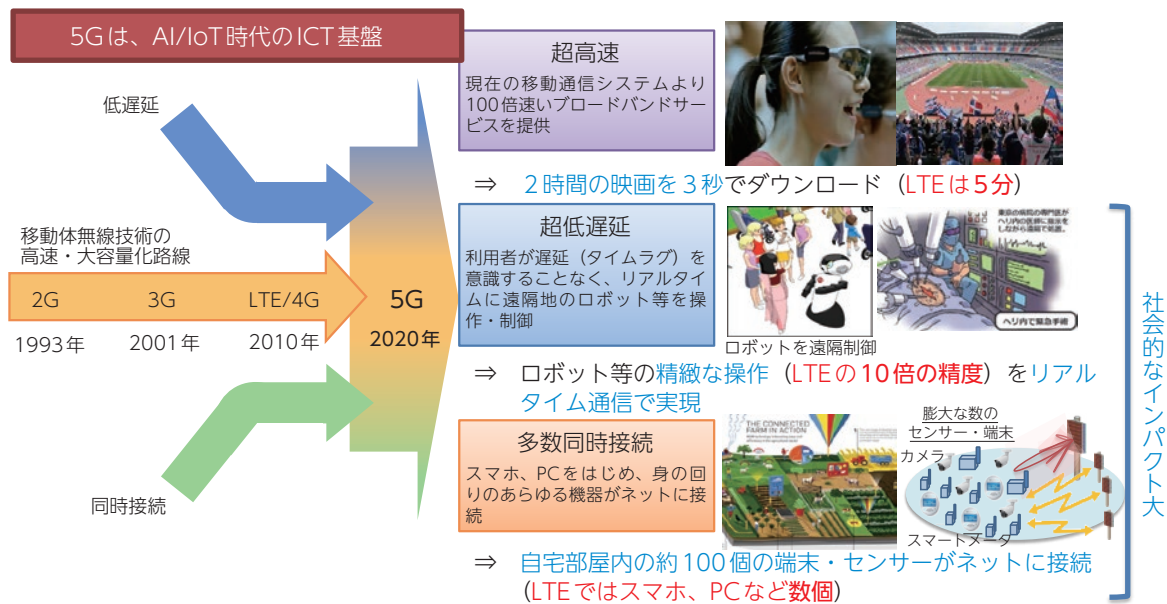
\* IMT-Advancedが4G、IMT-2020が5Gにそれぞれ対応

(出典) IMTビジョン勧告 (M.2083)

5Gは、4Gまでの移動体無線技術の進化の延長線上にある超高速通信だけでなく、超低遅延通信及び多数同時接続といった4Gまでには無かった新たな機能を持つ次世代の移動通信システムであり、これまでの人と人がコミュニケーションを行うことを想定したツールとしてだけでなく、身の回りのあらゆるモノがネットワークにつながるIoT時代のICT基盤として期待されている (図表 1-1-3-2)。

\*21 ただし、これらの速度はあくまで規格の性能要件であり、実際の通信速度（実効速度）は、端末の仕様や通信事業者のネットワーク設計等に依存する点に留意する必要がある。

図表 1-1-3-2 IoT時代のICT基盤である5G



(出典) 総務省作成資料

5Gは、IoT時代に多種多様なネットワークを包含する総合的なICT基盤として、様々な産業・分野において実装されることによって、業務の効率化や新たなサービスの創出など、従来の移動通信システム以上に大きな社会的インパクトを及ぼすものと期待されている。

## 2 5Gの基本コンセプト

4Gまでの移動通信システムは、最大限のスループット（データ処理能力）を確保し、高速・大容量通信の提供を目指したシステムであった。しかしながら、通信速度、遅延時間、カバレッジなどに限界があったことから、全てのユースケースへの対応は困難なベストエフォート型のシステムとならざるを得なかった。

それに対し5Gは、あらゆる利用シナリオでユーザが満足できるエンド・ツー・エンドの品質を提供するものとされており、有線と一体として活用することで、「超高速」、「多数同時接続」、「超低遅延」という3つの異なる要求条件に対応することが可能な優れた柔軟性を持つネットワークでもある。しかし、「超高速」、「多数同時接続」、「超低遅延」といった5Gの要求条件を1つのネットワークで全て満たすことは、未だ技術的、コスト的にハードルが高く、また、現実の利用シーンを想定した場合、これらの要求条件を同時に満たさなければならないような状況は多くないと考えられる。このため、5Gでは、全ての要求条件に対応するネットワークを整備するのではなく、ユースケース、利用シナリオ等に応じて、「超高速」、「多数同時接続」、「超低遅延」のうち必要な機能、品質を提供するネットワークとなる。

上記のようなネットワークを実現するため、5G (NR)、LTE、Wi-Fiなど様々な無線技術から構成されるヘテロジニアス・ネットワークを基本としたネットワーク構築が想定されている。

## 3 5Gの実現のために導入されている技術

これまで見てきたように、5Gは単に4Gを発展させただけでなく、新たな機能を備えた移動通信システムとして構想されてきたものである。そのため、5Gの実現には、4Gまでに導入済みの技術を一層進化させるだけでなく、これまでは導入されてこなかった新しい技術を取り入れてネットワークを構築する必要性が生じる。ここでは、5Gの実現のために導入されている技術について紹介する。

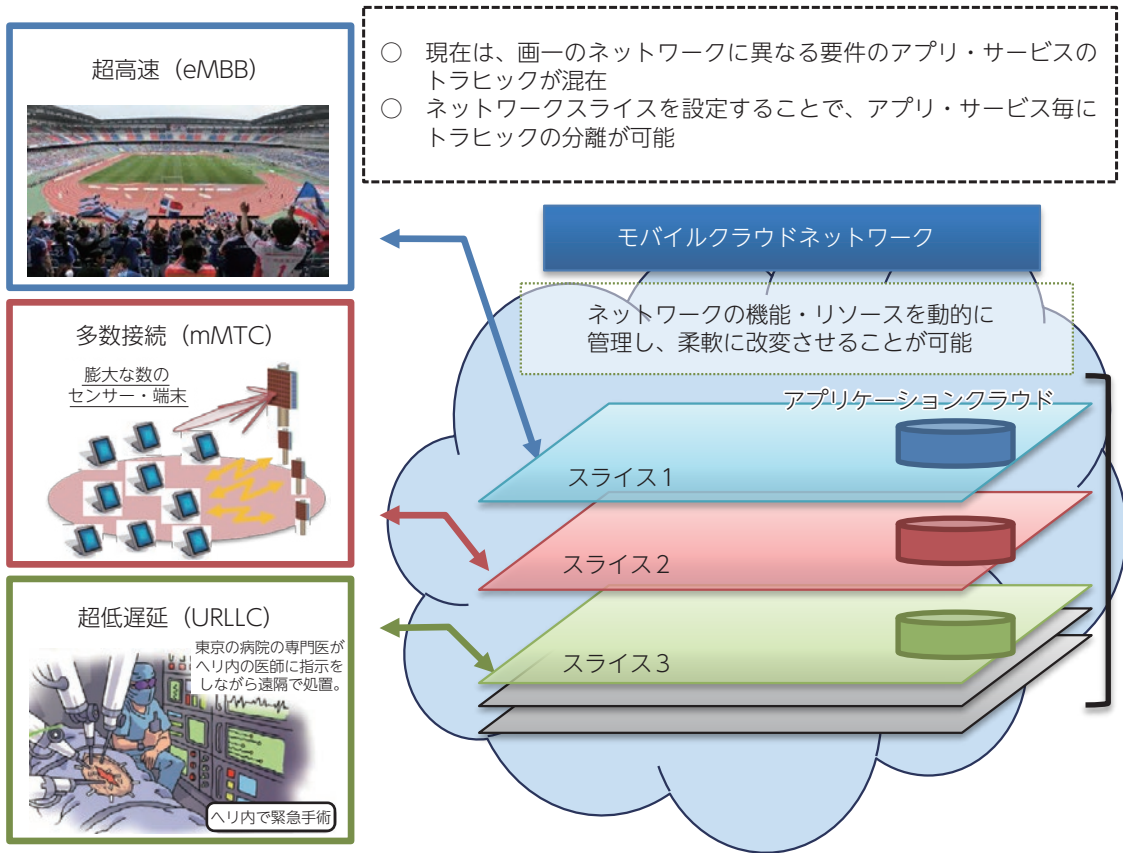
### ア 異なる要件を持つサービスに柔軟に対応するための技術：ネットワーク・スライシング

5Gの基本コンセプトの項で触れたように、4Gまでの移動通信システムでは、1つのネットワークの中に異なる

要件のアプリやサービスの通信が混在するベストエフォート型の構造となっていた。その上、高速大容量通信の提供を前提とするネットワークであるため、全てのユースケースにおいて要求条件を満たすことは困難であった。

他方、5Gでは、「超高速」、「多数同時接続」、「超低遅延」という3つの異なる利用シナリオが登場し、いずれの条件にも対応可能な優れた柔軟性を持つネットワークが必要となってくる。そこで、ネットワーク層を仮想的に薄切りにして別の層とするネットワーク・スライシング技術をコアネットワーク<sup>\*22</sup>や無線アクセスネットワーク<sup>\*23</sup>に導入することとしている。これによって、要求条件の異なるアプリ・サービス毎にトラフィックを分離することが可能となり、あるスライスでは超高速通信を実現し、別のスライスでは超低遅延通信を実現するといったことが可能となる。また、ネットワークの機能やリソースを動的に管理し、状況次第で柔軟に改変させることでネットワーク利用の最適化を図ることが可能となる（図表1-1-3-3）。

図表 1-1-3-3 ネットワーク・スライシング



(出典) 総務省作成資料

### イ 超高速通信を実現する技術：5Gの新たな無線技術（5G NR）

5Gの利用シナリオの一つである超高速通信を実現するためには、数百MHz以上の広い周波数帯域を確保する必要がある。しかし、これまで移動通信システムで使用してきた低い周波数帯域では超高速通信の実現に必要な帯域幅を確保することは難しいことから、5Gでは従前は使用しなかったより高い周波数帯域の使用を前提に、利用可能な帯域の検討とともに、当該帯域において超高速通信を実現するための技術の開発が行われた。その結果、高速大容量通信に必要な数百MHz以上の広周波数帯域<sup>\*24</sup>やミリ波などの高い周波数帯への対応を可能とするため、3GPPにおいて、New Radio (NR) と呼ばれる無線アクセス技術が標準化された（図表1-1-3-4左）。

しかしながら、使用する周波数帯が高くなるほど、発射した電波の直進性が増し、障害物がある場合には後方に

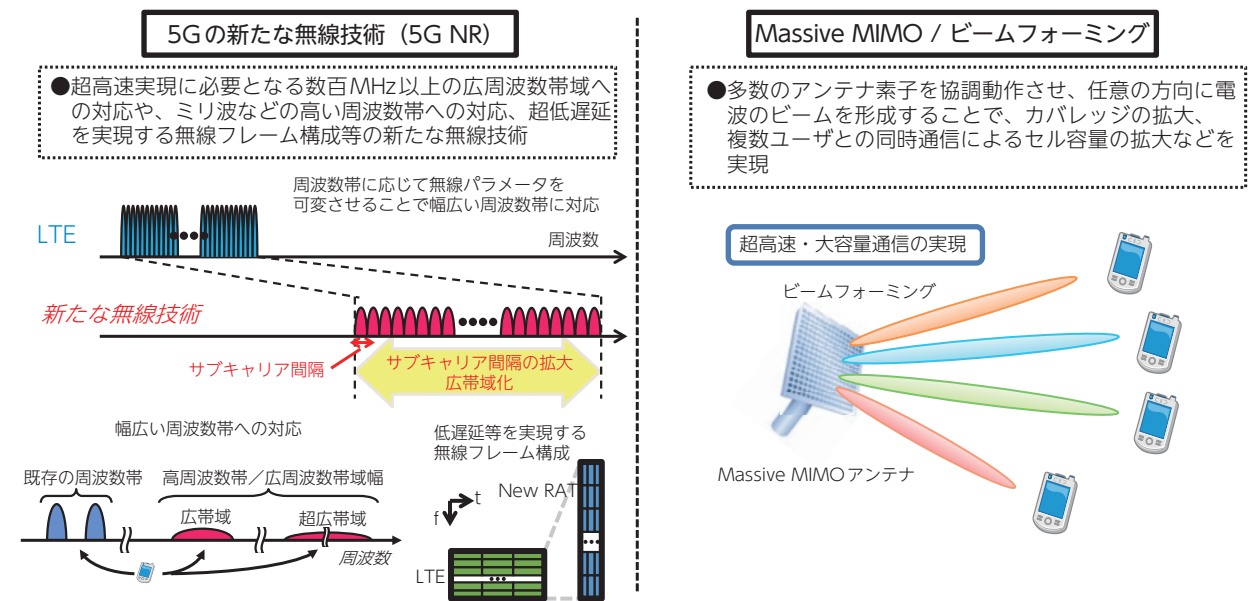
\*22 コアネットワークとは、通信事業者の保有するネットワークの中核部分であり、交換機同士を結び、インターネットや他の通信事業者の通信網と接続する部分を指す。  
 \*23 無線アクセスネットワークとは、通信事業者の保有するネットワークの末端部分であり、携帯電話の場合は、基地局と端末を結ぶ部分を指す。  
 \*24 通信事業者は、限られた電波資源を有効に利用するため、周波数帯域を周波数軸（サブキャリア）と時間軸を用いてチャンネルに分割して通信を行う。周波数が広帯域化すれば、分割する際のサブキャリアの間隔が広がり、チャンネルが大きくなるため、さらなる高速大容量通信が可能となる。



回り込めなくなるほか、カバレッジ（電波が届く範囲）が狭くなるといった欠点を有する。その一方、電波を発射するアンテナの素子は、周波数帯が高くなるほど小型化できる利点も存在する。

既にLTEの段階において、複数のアンテナを用いてデータを並列に送信するMIMOが導入されていたが、その拡張版として、より小型化したアンテナ素子を数十～数百の単位でアンテナに並べ、個々の素子から出力される電波を細かく制御することにより、通信相手のいる場所で電波が最大となるよう指向性をもたせたビーム（ビームフォーミング）を端末に向けて発射するMassive MIMOが、5Gでは本格的に導入される（図表1-1-3-4右）。これにより、個々のアンテナ素子と端末の間で、仮想的な専用通信路を個別に確保でき、一つのアンテナから同じ周波数を複数の端末向けに指向性をもたせて発射し、同時に通信できるようになることで電波の利用効率の向上にも繋がる。

図表1-1-3-4 超高速通信を実現する技術



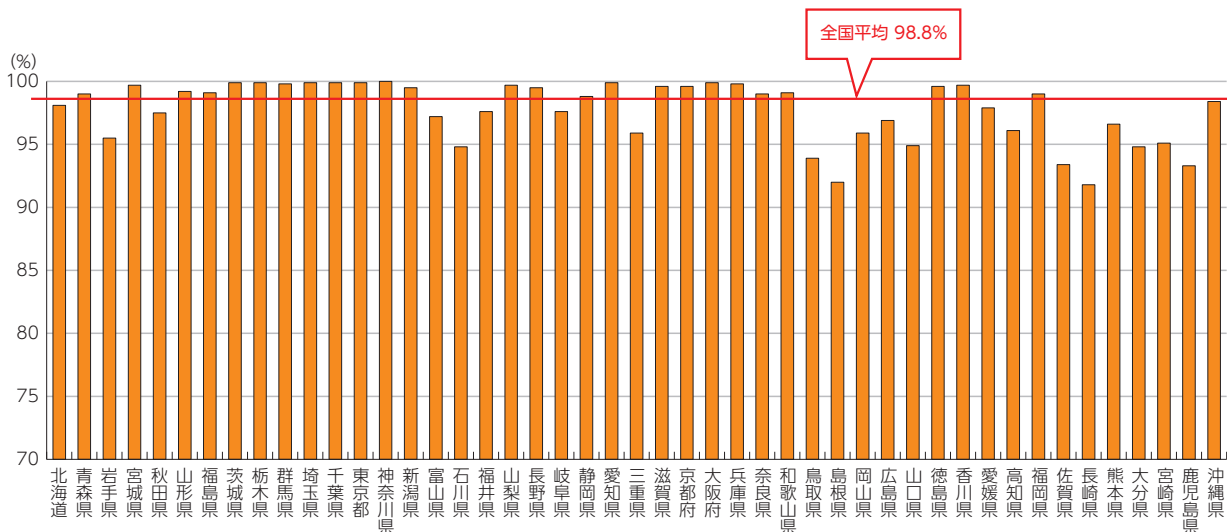
(出典) 総務省作成資料

また、移动通信システムのネットワークのうち、基地局と端末を結ぶアクセスネットワークは無線で構成されているが、基地局から先のコアネットワークは、その大半が有線によって構成されている。5Gによって4G以上の超高速通信を実現するためには、より高速の有線回線、つまり光ファイバの整備や増強が不可欠となる。

2019年3月末時点のFTTH整備率は、全国で98.8%（推計値）となっているが、都道府県別に見ると、海岸線が複雑、離島を多く抱える、人口密度が低いといった特徴を有する地域では整備率が低い傾向にある（図表1-1-3-5）。今後、5Gネットワークの全国展開にあたっては、5G基地局の整備と光ファイバの整備を一体的に行っていくことが、5Gの持つメリットを最大限に活かすためにも重要である。

こういった背景を踏まえ、総務省は2019年度から、電気通信事業者等が5G等の高速・大容量無線局の前提となる光ファイバを整備する場合に、その事業費の一部を補助する「高度無線環境整備推進事業」を実施し、2020年度第2次補正予算では同事業に501.6億円を計上した。これにより、「地域の光ファイバ整備」を加速し、2021年度末までに市町村が希望する全ての地域で光ファイバを整備する予定である。

図表 1-1-3-5 2019年（平成31年）3月末の光ファイバの整備状況（推計）



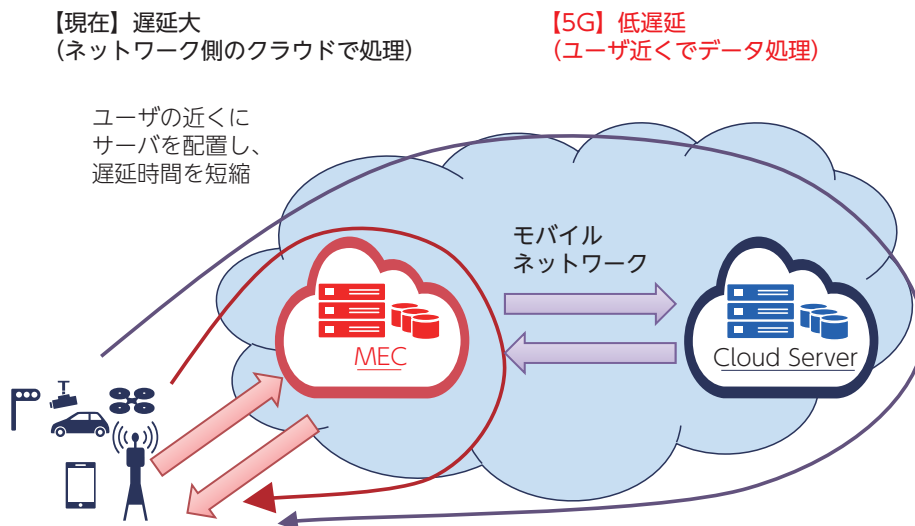
(出典) 総務省「ブロードバンド基盤の整備状況（平成31年3月末現在）」を基に作成

ウ 超低遅延通信をサポートする技術：モバイル・エッジ・コンピューティングなど

前項で述べた新しい無線技術（5G NR）では、Short TTI<sup>\*25</sup>とよばれるデータの送信間隔を短縮する技術とともに、Fast HARQ-ACK<sup>\*26</sup>とよばれるデータが正常に受信できたかどうかを端末から基地局に高速でフィードバックする技術が採用されるため、超低遅延通信についても実現される。

また、従来の移動通信システムでは、利用者の端末から基地局及びコアネットワークを經由してインターネット上のサーバに接続しており、利用者から発信した後、サーバから応答が返るまでの間に遅延が生じていた。5Gの有望なユースケースである自動運転などでは少しの遅延が生命の危険につながることもある。そこで、5G NRの超低遅延通信をサポートする技術として、データ処理をクラウドなどのインターネット上のサーバで行うのではなく、基地局の近くに設置するサーバ（エッジサーバ）で処理することで、利用者への迅速な応答が可能となる技術（モバイル・エッジ・コンピューティング）についても幅広い導入が見込まれている（図表 1-1-3-6）。

図表 1-1-3-6 超低遅延通信をサポートする技術：モバイル・エッジ・コンピューティング



(出典) 総務省作成資料

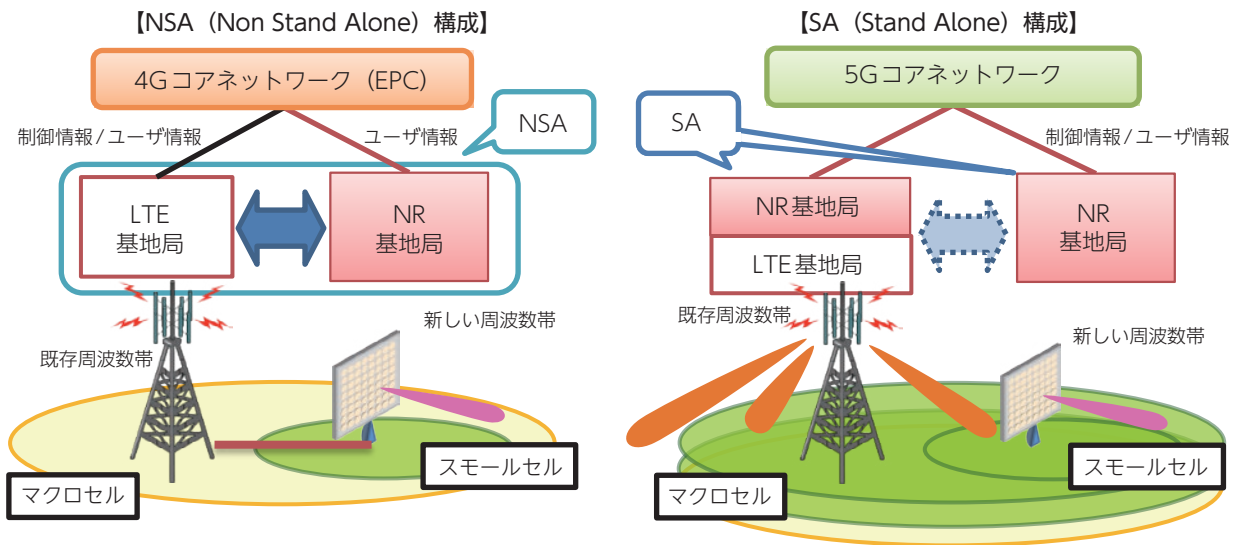
\*25 Short Transmission Time Intervalの略。送信単位あたりの時間を短縮することが可能となる。  
 \*26 Fast Hybrid Automatic Retransmission request - ACKnowledgementの略。高速で再送制御を行う技術。

エ 4Gから5Gへの移行を円滑に行う技術：NSA構成など

5G用に割り当てられた高周波数帯を使用する場合、カバレッジが狭いという欠点を有している。そのため、4Gでカバーしてきたエリアを全て5Gに置き換えようとした場合、より膨大な量の基地局を設置する必要が生じるため、5Gのエリア拡大には時間を要することが見込まれている。

そこで、5Gの導入当初における無線アクセスネットワークは、多数の人が集まる場所から順次、新たな無線技術を導入した基地局（NR基地局）を設置するとともに、既存のLTE基地局の高度化を行い、両者が連携して一体的に動作するネットワーク構成となる。この構成をNSA（Non Stand Alone）構成と呼ぶ。事業者にとっては設備投資の効率化を図ることができるメリットがあるほか、利用者にとっては、既存のLTE基地局との連携により、4G—5G間のシームレスな接続が確保される。

図表 1-1-3-7 NSA構成とSA構成



(出典) 総務省作成資料

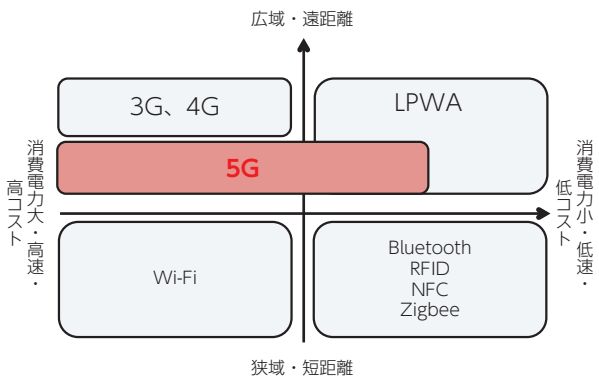
4 IoTを支える通信技術としての5G

5Gは先に述べたように、IoT時代における多種多様なネットワークを包含する総合的なICT基盤として、様々な産業・分野における実装が期待されている。他方、IoTデバイスや関連のアプリケーションの数は爆発的に増加（第1章第4節参照）しているが、それらの用途は多岐にわたっており、通信特性も様々である。特に無線を用いるIoTデバイスは、消費電力や電波の特性等の制約条件が多いことから、単一の通信技術や規格でこれらのニーズ全てに応えることは困難である。こうした多様なニーズに対応すべく、近年、様々な通信技術や規格が考案・開発されており、5Gもその1つである。

図表 1-1-3-8 に、既存の技術・規格を含めて、それぞれの特徴に着目して整理を行った。カバレッジや消費電力の大小、通信速度やコストの高低に応じて、様々な通信技術・規格が存在している。5Gは超高速大容量、超低遅延、多数同時接続といった特長を有している一方、カバレッジに関しては4Gに劣り、また、消費電力やコストに関しては、LPWA（SIGFOX、LoRa、NB-IoTなど）やPAN（Bluetooth、NFC、Zigbeeなど）に劣っており、5Gが他の通信技術全てを代替するような万能な存在ではないことが分かる。

今後、各産業・分野のデジタル化を進めるに当たっては、その目的や用途に応じて、他の技術と上手く組み合わせることが重要となる。

図表 1-1-3-8 各通信方式の位置付け



(出典) 平成29年版情報通信白書（一部改変）