

令和 4 年度 通信方式

1～6G

令和 5 年 2 月 4 日

明石工業高等専門学校  
電気情報工学科

E1809 尾嵯めい

E1832 藤村勇仁

## 1 『G』とその発祥

4G や 5G の「G」とは、Generation(世代)の頭文字で、移動体通信システムのことである。携帯キャリアが持つ無線データ通信網の技術革新を表しており、世代が切り替わると通信インフラだけでなく端末も一新する。発祥は 1968 年に始まり 1978 年からデジタル化した「無線呼び出し」である。1990 年代の女子高校生を象徴するアイテムとしても頻繁に使用されるポケットベル(通称ポケベル)がその代表として挙げられる。

## 2 1G

1979 年に日本電信電話公社(現在の日本電信電話株式会社)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。次いでショルダーホンが 1985 年、携帯電話と称されるアナログ式のものが 1987 年に登場した。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。

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「周波数分割多元接続/FDMA」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、端末-基地局間と基地局-端末間でも異なる周波数を使うことで通信の区別を行っていた。これは「周波数分割複信/FDD」と呼ばれる。

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、セルと呼ばれる 1 つの基地局あたりのカバーエリア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。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。

当時は日本、米国、欧州の地域別に技術開発が進められていたため、アナログ無線技術の地域別仕様が策定されて商品化された。NTT の大量方式と呼ばれる HiCAP や Motorola の TACS(米国)が主流だったが、デジタル化に伴いそれぞれ 1999 年と 2000 年にサービスを終了している。

## 3 2G

1993 年からの 2G への変化は、利用者の増加とそれに伴う帯域の逼迫に起因する電波の利用効率向上の必要性が原因である。ここで通信方式が転換し、アナログからデジタルという大きな変化となった。デジタル化によってデータ通信サービスの提供が可能になり、携帯データ通信の利用が本格化したことでメールや WEB の利用が一気に広がった。

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）とも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、次世代である 3G の技術を先取りした cdmaOne 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「時分割多元接続/TDMA」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、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。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。

サービス開始当初の通信速度は 2.4kbps 程度であったが、サービス後期には約 10 倍の 28.8Kbps まで速度を向上した。携帯電話の主なサービスは 2012 年にサービスを終了した。

## 4 3G

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。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「符号分割多元接続/CDMA」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。

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むようになった。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。

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」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。

電波高率の上げ方として「符号分割多元接続/CDMA」が採用され、疑似的に帯域を占有できるため圧倒的に音質が向上した。また、基地局の切り替え方もソフトハンドオーバー方式になり、基地局を徐々に切り替えていくため移動中でも通話が切れにくくなった。さらに通信速度も 2006 年ごろで 14Mbps、3.9G では 110Mbps まで成長した。

## 5 4G

1G・2G・3G に続く国際電気通信連合 (ITU) が定める「IMT-Advanced」規格に準拠する無線通信システムのことで、LTE、WiMAX それぞれの後継規格である LTE-Advanced と WirelessMAN-Advanced (WiMAX2) が該当する。2010 年 10 月 21 日、ITU-R は LTE-Advanced と WiMAX2 の 2 規格が IMT-Advanced に適していると報告し、2012 年 1 月 18 日にジュネーブで行われた ITU の会議で IMT-Advanced として正式に承認された。LTE-Advanced は 3GPP が、WiMAX2 は IEEE がそれぞれ標準化を行っている。総務省は 3480MHz~3600MHz 帯（以下、3.5GHz 帯）の周波数帯を第 4 世代移動通信システム用として、携帯電話事業者 4 社（株式会社 NTT ドコモ、KDDI 株式会社、沖縄セルラー電話株式会社、ソフトバンクモバイル株式会社（現ソフトバンク株式会社））に対し、平成 26 年 12 月 22 日に当該周波数帯の割り当てを行った [2]。

### 長所

- 50Mbps-1Gbps 程度の超高速大容量通信を実現。
- IPv6 に対応。
- 無線 LAN や WiMAX、Bluetooth と連携し、固定通信網と移動通信網をシームレスに利用 (FMC:Fixed Mobile Convergence) できるようになる

### 短所

- 第 3 世代移動通信システムで使用している 2GHz 帯より高い周波数帯を用いるため、電波伝搬特性によりサービスエリアが狭くなってしまうたり、電波の直進性が高いことにより屋内への電波が届きにくかったりする。

## 6 5G

1G・2G・3G・4G に続く国際電気通信連合 (ITU) が定める規定「IMT-2020」を満足する無線通信システム。ITU-R は要求要素 (IMT-2020) として、高速大容量、低遅延、多数同時接続の3つを定めている。

### 高速大容量

- 高速大容量化の技術として、高周波数帯を利用した超広帯域伝送と Massive MiMO というアンテナ技術がある。
- 広帯域・高周波化
  - － 同時に多くのデータを伝送することが可能なため、高速大容量化。
  - － 電波の直進性も高くなるため、障害物にさらに弱くなる。

### 低遅延

- 最小送信単位を短くし、送信時間、復調・復号に要する時間を短縮する。
- 基地局に近いところにサーバを設置する

### 多数同時接続

- 狭帯域化 → 多数端末の同時接続 (広帯域化との両立はできない)
- 繰り返し送信 → エリア拡大
- eDRX：低消費電力技術 → ネットワーク内装置の連携を強化し、スリープ時間を伸ばす。

### 長所

- 50Mbps-1Gbps 程度の超高速大容量通信を実現。
- IPv6 に対応。
- 無線 LAN や WiMAX、Bluetooth と連携し、固定通信網と移動通信網をシームレスに利用 (FMC:FIxed Mobile Convergence) できるようになる

### 短所

- 第3世代移動通信システムで使用している 2GHz 帯より高い周波数帯を用いるため、電波伝搬特性によりサービスエリアが狭くなってしまうたり、電波の直進性が高いことにより屋内への電波が届きにくかったりする。

## 7 6G

3GPP による標準化や ITU-R による要求の規定などは行われておらず、国際的な定義や基準が存在しているわけではない。6G の目的は 5G の高速・大容量、低遅延、多数接続の各性能を高めるとともに、高速・大容量と低遅延などの「複数要求条件の同時実現」、ミリ波やサブテラヘルツ波、テラヘルツ波などの「新たな高周波数帯の開拓」、「空・海・宇宙などへの通信エリアの拡大」「超低消費電力・低コストの通信実現」などである [1]。図 1 に 6G で目指す無線ネットワーク技術への要求条件をまとめた図を示す。

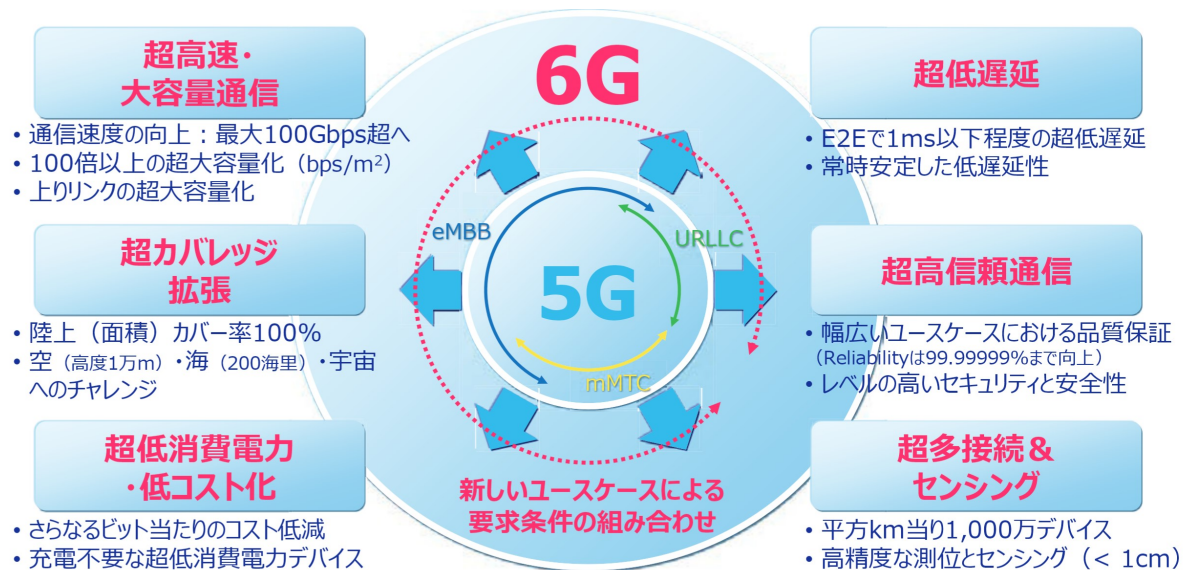


図1 6Gで目指す無線ネットワーク技術への要求条件 [1]

## 参考文献

- [1] ドコモ 6G ホワイトペーパー — 企業情報 — NTT ドコモ, February 2023. [Online; accessed 4. Feb. 2023].
- [2] 総務省 電波利用ホームページ | 免許関係 | 第4世代移動通信システム, February 2023. [Online; accessed 4. Feb. 2023].