

5G とは? 私たちに何をもたらすか?

日本電信電話株式会社 NTT 未来ねっと研究所

藤田 隆史、清水 敬司、吉野 修一

概要

2020年、日本では、さらなる大容量通信を可能にする第5世代(5G)移動通信の商用サービスが開始される。また、膨大な数のセンサ端末のネットワークへの接続や高信頼低遅延な機器制御といった、5G上でのInternet of Things(IoT)に向けた取り組みも活発に行われている。本稿では、移動通信の歴史や、5Gで想定される利用シーン、性能目標、技術、サービス開発・検証状況等について概説する。

Abstract:

In Japan, commercial mobile communication services of 5G will be launched by 2020, which are expected to support a wide range of new usages, including IoT (Internet of Things) applications, and ultra-reliable low-latency ones. This article revisits the history of mobile communications, and highlights the usage scenarios and the new capabilities of 5G, with the key enabling technologies. It also introduces a couple of field trials to prove the concept for new applications.

1. はじめに

世界中のどこにいてもつながり、音声通話や SNS 等のコミュニケーションを可能にする移動通信は、わたしたちの生活に欠かせないものになっています。今や一昔前のパソコンの性能を凌駕する処理性能・ストレージに高精細な画面を備えたスマートフォンが広く普及し、その世帯普及率は7割、20代30代の個人保有率では9割を超えています[1]。どこにでも持ち運べて利用できるその利便性から、コミュニケーションツールとしての利用はもちろん、インターネット検索、オンラインゲーム、ナビゲーション、個人のデータ管理等、様々な目的で活用されています。

スマートフォンは音楽や映像の再生機器としての機能も備えています。市場アンケートでは、映像視聴の7割がスマートフォンといった報告もあり[2]、ストリーミングによる音楽や映像の視聴サービスを「いつでも」「どこでも」楽しむために、移動通信とスマートフォンは欠かせない手段となりつつあるといえるでしょう。

日本における移動通信は、1979年に自動車電話として始まりました。以来、アナログからデジタル、さらにブロードバンド化といった進化を経て、現在はLTE-Advancedと呼ばれる第4世代のサービスが提供されています。第4世代では最大通信速度は1Gbpsに達しています。「5G」は、さらに進化する第5世代のサービスであり、2020年の国内サービス開始に向け、現在、技術・サービス検証が進められています。

ところで、すでに 1Gbps もの通信速度を利用できる今、なぜ次の世代の移動通信が求められているのでしょうか。昨今は、VR/AR の技術が急速に発展しており、新たな映像や音楽の楽しみ方が生まれつつあります。また、今後はコネクテッドカーに代表されるようなモノをネットワークにつなぐ「IoT」の利用が進んでいきます。移動通信の用途が多様化し、利用する端末・デバイスが爆発的に増大すると予想されています。このような通信需要を受け止める新たな通信インフラ、これが「5G」なのです。次章以降、移動通信の歴史とともに、「5G」がもたらす世界やその技術について紹介していきます。

2. 移動通信の歴史と無線 LAN

本章では、移動通信の歴史を簡単に紹介していきます[3]。1979 年、国内で始まった移動通信サービスは、自動車電話でした。最初の商用機は重さ 8kg、大きさ 6 リットルもあったそうですが、これが肩掛け式のショルダーホンに、そして靴に入る大きさへと、急速に小型化が進みます。これが移動通信の黎明期ともいえる 80 年代の第 1 世代です。そして、第 1 世代のアナログ方式に変わって、爆発的な普及拡大を支えたのが、90 年代の第 2 世代です。PDC(Personal Digital Cellular)と呼ばれるデジタル方式の導入により、設備の経済化や品質改善が進み、増大する加入者数へのサービスを可能にしました。データ通信の利用も進み、90 年代終盤に現れた i モードなどは、モバイルデータサービスの原点といえるかもしれません。2000 年代になると、世の中ではグローバル化が進み、同じ端末を海外でも利用できる国際標準の必要性がさげられるようになりました。第 2 世代である PDC は国内独自規格でしたが、第 3 世代では各国が協調し、W-CDMA や CDMA2000 といった国際標準が生まれ、海外でのローミング利用が可能になりました。データ通信の容量も増加し、音声通話のみならずインターネット接続やマルチメディアを支える通信インフラへと変貌していきます。そしてこの流れをさらに発展させた、2010 年代の第 4 世代(LTE/LTE-advanced)の時代を迎えます。スマートフォンの登場とともに、さらなる通信速度の向上(ブロードバンド化)が、いつでもどこでも音楽や映像を楽しむといった生活スタイルを支えるに至ったのです。これら移動通信の発展の歴史を、時間軸と通信速度の関係で振り返ったのが図 1 です。移動体通信はほぼ 10 年ごとに世代交代を繰り返し、都度新たな技術を開発・導入しながら進化してきました。

ここで、もう一つの身近な無線アクセス手段である無線 LAN について簡単に紹介しておきましょう。同じく図 1 に無線 LAN の通信速度の変遷を示します[4]。通信条件(利用周波数帯や通信距離などの利用形態)が異なるため、無線 LAN は移動通信に比べて、伝送速度の点では 1~2 桁先行する形で発展を続けてきました。広帯域の無線周波数を効率よく利用する直交周波数分割多重(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)技術を、地上波デジタル放送や第 4 世代の移動通信に先駆けていち早く取り入れたのも無線 LAN です。無線 LAN は、1990 年代に有線 LAN(Ethernet)の無線化を掲げて技術開発と標準化が始まり、インターネット技術の普及浸透とともに進化してきました。移動通信とは異なり、電波を出すのに免許が不要な無線システム(アンライセンス無線といいます)であるため、1 万円程度の安価な無線アクセスポイントをユーザ自身で購入・設置できるのが特徴です。そのため、オフィスや自宅でパソコン等をネットワーク(インターネット)につなぐ手段として、広く認知と普及が進みました。無線 LAN 搭載端末の国内出

荷台数は今や 5000 万台を大きく超え、駅や空港など公共の場でインターネット接続を提供する公衆無線 LAN 利用も大きく伸びています。

このように、当初は異なる目的と特徴をもって発展してきた移動通信と無線 LAN ですが、先に述べたスマートフォンにその両方が標準搭載されるようになり、両者の使い分けを意識する場面は少なくなりつつあります。2020 年代は、移動通信のさらなる高速大容量化だけでなく、これまでとは異なる新たな機能性や既存の様々な無線インターフェースの便益を、利用者が容易に享受できる時代になっていくことが期待されます。このような時代を見据えた 5G の世界観を、次章から見ていくことにしましょう。

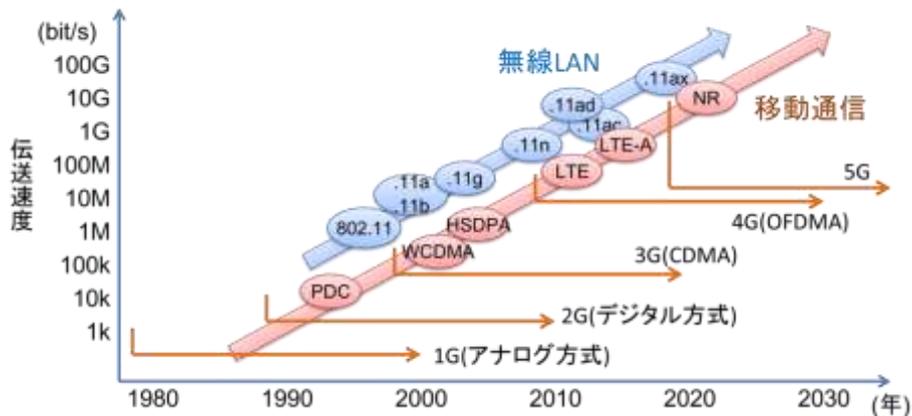


図1 移動通信と無線LANにおける世代交代の変遷([4]を元に作成)

3. 5G ができること

これまでのヒトとヒト、ヒトとモノの通信に加えて、モノとモノの通信、いわゆる IoT(Internet of Things)の利用が進んでいきます[5]。本章では、このような社会の実現に向けて 5G が想定する利用シーンや性能目標、それを支えるコンセプトなどを紹介していきます。

3.1. 5G の利用シーンと性能目標

5G では、人工知能(AI: Artificial Intelligence)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・医療サービスといった分野への適用が想定され[6]、3つの技術的方向性を掲げています[7]。より大容量のデータ通信を可能にする eMBB (enhanced Mobile BroadBand)、非常に多数のモノの接続を可能にする mMTC (massive Machine Type Communications)、短い遅延時間での確実なデータ交換を可能にする URLLC (Ultra Reliable and Low Latency Communications)です。これら3つの方向性と適用分野は、図2のようにマッピングすることができます。

ここで、想定される利用シーンや目標スペック例を、少し具体的に見ていきましょう[6]。例えばエンターテイメント分野で期待されている AR(Ambient Realty)や VR(Virtual Realty)では、多視点カメラ映像を同時伝送するため、500M~1Gbps オーダの伝送速度が必要です。新幹線のような高速鉄道では、時速数百 km のモビリティに対応する必要があります。すし詰め通勤電

車の中で、乗客にストリーミングで動画を配信するには、1 ユーザあたり数 Mbps の帯域を、同時に数千人に提供しつつ、接続する基地局を電車の移動に合わせて切り替えるといった対応が必要です。スマートシティを支える多数のセンサ収容には、人口密度の何倍もの端末の収容と、端末を長寿命にする低消費電力化が必要になります。遠隔ロボット制御や遠隔手術には、遅延時間を数十～数 ms に抑える必要が出てきます。

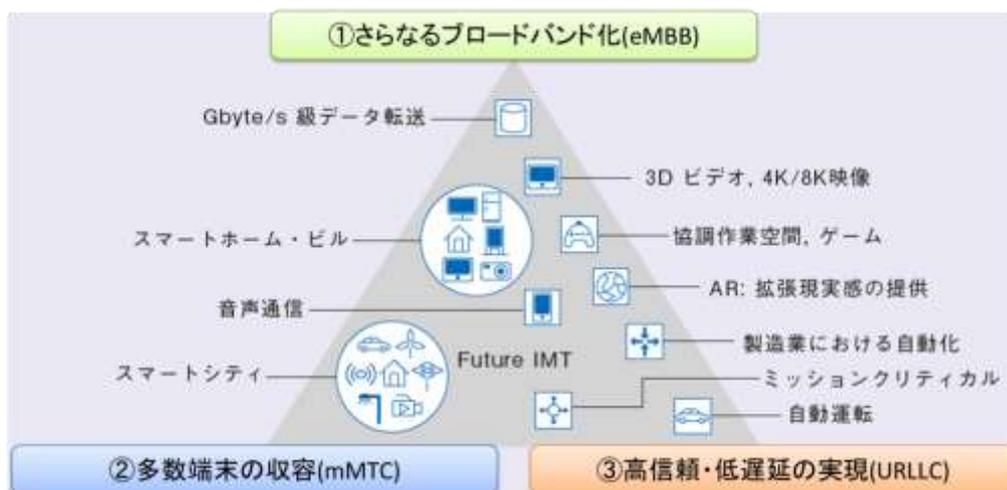


図 2 ITU-R ビジョン報告が描く 3 つの技術的方向性 ([7]を元に作成)

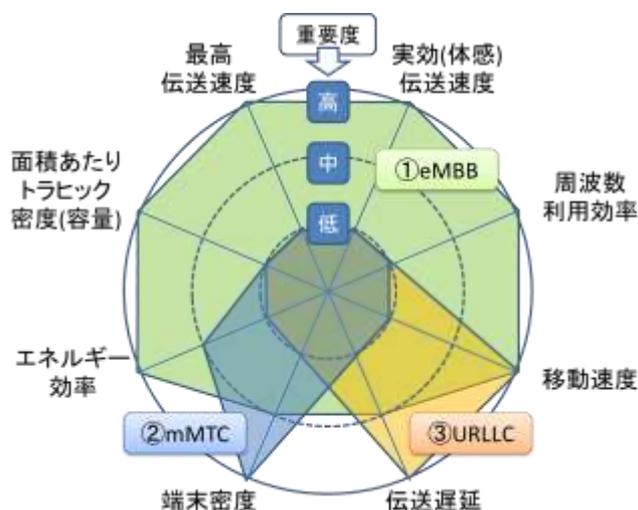


図 3 利用シーンによって異なる主要機能の重要性 ([7]を元に作成)

このように、5G では多種多様な利用シーンを想定し、10Gbps を超える最大(ピーク)通信速度、時速 500km に対応できるモビリティ、1ms の無線区間の伝送遅延、1 基地局あたり 1 万端末の収容、単位面積当たり 4G の 1000 倍以上の通信容量密度、数分の 1 以下の低消費電力化を目標に掲げました[6]。4G では、主に通信速度や通信容量の進化に主眼があり、ベストエフォート品質が提供されてきましたが、5G では、格段に多様化したエンド-エンド間の品質要求に応えることを要求条件としていることが特徴です。それぞれの項目でも、4G 移動通信や無線 LAN と同等

以上の性能が求められることが分かります。一方で、利用シーンによって、必要とされる性能(の最大値)組み合わせは多種多様です。なぜなら、図3に示すように、用途や目的によって求められる機能の重要性が大きく異なるためです。そこで、5Gでは、常に最大値を同時に満たす「無線インターフェース」のみに注目して移動通信システムを設計するのではなく、「ネットワーク」や「ソフトウェア」と融合・連携させることで、システム自身が提供する性能を、要求に合わせて動的に変えられるシステムを目指しました。これは無線の歴史において、大きなパラダイムシフトです。そのために、利用シーンごとに多様に変化する要件に対応する手段として、自らを変化させる「柔軟性」をシステムに備えることが必要になってきます。

表1 周波数帯の特徴 ([6]を元に作成)

周波数レンジ	～6GHz	6～30GHz	30～60GHz	60～100GHz
実装上望ましい連続帯域幅の範囲(注1)	～数100MHz	300MHz ～1.5GHz程度	1.5GHz ～3GHz程度	3GHz ～5GHz程度
カバレッジ例(注2)	～数km	数100m ～1km程度	↔	数10m ～100m程度
展開シナリオ	既存の移動通信で利用されている周波数(無線LAN等でも利用)	移動通信の多様なシナリオで利用可能(屋外、屋内、屋外から屋内への浸透、ホットスポットなど)	↔	より広帯域、高密度利用のシナリオ(屋内、ホットスポットなど)

(注1) 比帯域等の観点で実装上望ましい範囲であり、実際の周波数割当上利用可能な帯域とは異なる。

(注2) 電波伝搬条件、展開シナリオ、運用する無線技術などによって異なる。

3.2. 5Gの柔軟性を支えるコンセプト

前節で説明した「柔軟性」を実現するために、5Gでは様々な工夫をしています。その一つが、利用する周波数帯や無線技術(RAT: Radio Access Technology)をうまく組み合わせたり使い分けたりする「拡張ヘテロジニアス・ネットワーク」というコンセプトです[5]。

5Gでは、表1に示すように、6GHz以下の低い周波数帯から60GHzを超える高い周波数までを幅広く活用します。6GHz以下の低い周波数は、途中で障害物等があっても比較的電波が遠くまで届き使い勝手がよいことから、これまでの移動通信や無線LAN等で既に広く利用されてきました。周波数帯の特性としては、屋内外・ホットスポットなど多様な利用シーンでの利用に優れていますが、既に様々な無線システムによって利用されているため、まとまった周波数帯域、つまり通信容量の確保が難しいという側面があります。

一方で、周波数が高くなるほど電波は届きにくくカバレッジが小さくなる傾向がありますが、まとまった周波数帯域を確保しやすく、より広帯域で高密度な利用シーン(例えばスタジアムなど)での利用が期待できます。5Gでは、これら高い周波数に適した新たな無線インターフェース(NR: New Radio)を導入しながらも、すべてをNRで置き換えるのではなく、既存の異なる無線インターフェース(4Gや無線LAN等)を適宜組み合わせることを想定しています。このように、5Gでは、異なる無線技術を統合的・選択的に運用するヘテロジニアスなネットワーク構成の適用により、柔軟性の担保を図っているのです。

5G のもう一つのキーコンセプトが「ネットワークのソフトウェア化」です。従来のネットワーク装置では、専用ハードウェア上に予め決められた通信方式やプロトコルを実装していました。しかし近年、ソフトウェアプログラミングによって汎用ハードウェア(サーバ等)上にネットワーク機能要素を設計、実装、管理、保守できるようになってきたことで、ネットワーク設備の経済化のみならず、柔軟かつ迅速なユーザ要求への対応が可能になってきています。先述の eMBB や mMTC、URLLC といった異なるユーザ要求に対し、仮想的な計算機資源をソフトウェア的にそれぞれ同時に割り当てることで(これを専門用語でスライシングと呼びます)、多種多様な要求に同時かつ動的に対応することができるのです。

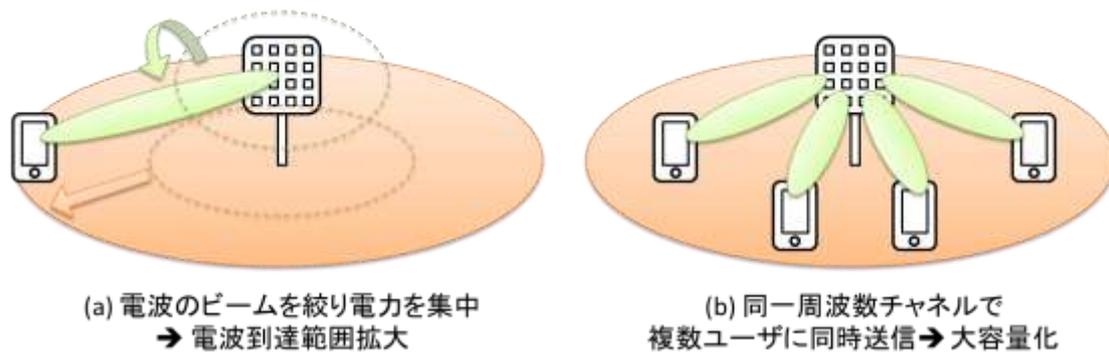


図 4 Massive MIMO を用いたカバレッジ向上と大容量化

4. 5G の技術開発とシナリオ展開

前章では、超高速、超大容量、超低遅延、超多数端末接続、および低消費電力化といった 5G の要求条件・性能目標と、それらを支えるシステム柔軟性を実現するための基本コンセプトを紹介してきました。本章では、具体的にそれを支える無線技術や、商用化に向けたサービス実証の取り組み状況について概説します。

4.1. 5G の技術開発の取り組み

5G 実用化を見据えた技術検討が 2010 年頃から始められ、2015 年の IMT ビジョン勧告[7]以降 3GPP における仕様標準化が具体的に進みました。2018 年には、2020 年の商用導入に向けた最初の 5G 標準仕様が完成しています。この間、5G としての具体的な無線の技術開発・フィールド検証が進められてきました。5G を実現する技術について簡単に紹介していきます。

(1) 高速・大容量化(eMBB)を実現する技術

eMBB を支える技術として期待されているのが、高周波数帯を利用した新たな無線インターフェース(NR)を用いた超広帯域伝送と Massive MIMO (Massive Multiple-Input Multiple-Output) に代表されるアンテナ技術です。NR の基本帯域幅は、LTE の 20 倍にあたる 400MHz であり、電波の伝搬特性の違いからカバレッジは異なるものの、NR では LTE の約 20 倍の容量増大・高速化が期待できます[8]。また、Massive MIMO の概要を図 4 に示します。Massive MIMO では、

多数のアンテナ素子を用いて送受信ビームの形状を制御することで、環境や要求に応じて電波の到達領域を最適に制御することが可能です。カバレッジを重視するときには各アンテナ素子からの電波を同相合成してエネルギーを一方向に集中し、多ユーザ環境ではさらに複数ビームを同時生成して同時接続数を増加させ大容量化を実現します。フィールド検証の結果、例えば 28GHz 帯では基地局からの距離 1.2km の地点で最大 4.52Gbps、39GHz 帯では基地局からの距離 1.5km の地点で最大 3.35Gbps といった超高速伝送の達成を確認しています[9]。

(2)高信頼低遅延化(URLLC)を実現する技術

NR では、無線の最小送信単位時間(TTI: Transmission Time Interval)を短くすることでさらなる遅延短縮を実現しています。4G で 1ms だった TTI は、NR では 0.25ms に短縮され、さらに従来は異なるサブフレーム内で送信していた受信完了(ACK/NACK: ACKNOWLEDGEMENT / Negative ACK)信号を同一サブフレーム内で送信する仕組みなどが検討されています。フィールド検証の結果、無線区間処理遅延 1ms 以下という 5G 要求に対し、例えば基地局からの距離 1km の地点で 100byte のパケット送信を 99.999%以上の確率で成功させる低遅延伝送の達成を確認しています[10]。さらに、エンド-エンド間の遅延短縮には無線区間だけでなく有線区間の遅延低減が有効です。地方にいるユーザが東京にあるサーバにアクセスする場合、有線区間の伝送遅延が無視できなくなるため、よりエッジ(基地局)に近いところにサービス提供サーバを設置するエッジコンピューティング技術などが検討されています。

(3)多数端末接続(mMTC)を実現する技術

環境センシング等を行う IoT の利用シーンでは、必ずしも電源確保が容易でない場所への多数の無線センサ端末設置が必要になり、電池交換の観点から無線端末の電池寿命は重要な課題です。このような利用シーンでは、少量のデータを低頻度で送ることが多く、非通信時(待受け時)の消費電力が電池寿命に大きく影響します。そのため、間欠受信の周期を伸ばしたり送信帯域幅を狭くしたりする技術などが検討されています。

4.2. 5G のサービス開発・実証の取り組み

5G の商用サービス導入に向けて、エンターテインメント、社会、産業、医療など様々な領域で、5G を活用したサービス開発・実証の取り組みが進められています。

例えば、5G の高速大容量通信を活かして、遠隔地の水族館や美術館、などを実際に動き回って鑑賞できる遠隔観光サービスの実証実験が行われています[11]。水族館の大水槽の前に 360 度カメラを備えた遠隔ロボットを設置し、送られてくる 4K 映像の視点を手元のコントローラを使って遠隔操作しながらリアルタイムで楽しむといったことができます。今後、高齢者や病気で外出が難しい人の行動範囲を拡張し楽しさを提供するというサービスの実現が期待されています。

大容量の映像伝送だけではありません。耳で感じる音は遅延にとってもシビアです。IP 電話や遠隔会議システムなら、多少の音に遅延があっても会話に支障ありませんが、互いの音を聞きながら演奏する音楽合奏となるとそうではありません。そこで、5G の低遅延性を活かした遠隔地間での音楽合奏のデモンストレーションが行われています[12]。なかなか集まらないバンドメンバ

一同士と一緒に練習したり、遠隔地のミュージシャン同士がライブセッションを披露したりと、場所にとらわれずに双方向の音楽の楽しみ方を広げる技術としても期待されています。

また、5G を介して接続された人型ロボットを遠隔地で操縦する実証実験も行われています[13]。操縦者の動作に合わせて、リアルタイムで同じ操作や遠隔操作できるだけでなく、センサから受ける応力を操縦者にフィードバックし、操縦者があたかもロボットに乗り移ったような感覚でリアルに操縦できます。ボールを持ったり人と握手したりといった力の伝達が必要な動作を有線接続時と遜色ないレベルで行えることが確認され、将来は、家庭や医療機関だけでなく、災害地、建設作業、宇宙などで活躍するロボットへの応用などが期待されています。

さらに、5G の遠隔医療への応用として、病院から遠く離れた遠隔地点にいる医師が、5G を介した高精細映像を確認しながら遠隔で手術を支援指示するデモンストレーションが行われています[14]。手術映像や情報の伝送に要した遅延は 10ms 程度であり、施術者とともに患部映像や情報をリアルタイムに遠隔地のベテラン医師が確認・指示して適切な手術サポートを行うことで、医者不足に悩む地方にも専門的医療を受ける機会を提供するといったことが期待されています。

5. おわりに

本稿では、移動通信の歴史に始まり、5G の利用シーンや性能目標・基本コンセプト、また、5G を支える技術開発やサービス検証の状況を紹介しました。国内では、2020 年に eMBB 向けを意識した 5G の最初の商用サービスが開始され、その後も、IoT 向け(特に mMTC・URLLC 向け)の技術開発・仕様拡張が重ねられていく予定です。高速大容量になりさらに高音質なオーディオを楽しめるでしょう。サービス実証の取り組みでご紹介したようなオーディオ関連のトピックも含め、5G の導入が世の中を実際にどのように変えていくのか、皆さんとともに見守っていきたいと思います。

参考文献

- [1] 「平成 30 年版情報通信白書」総務省 (2018)
- [2] 「2018 年 11 月 動画配信サービスの利用と通信キャリア選択における調査」MMD 研究所調査報告 2018 https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1762.html
- [3] 「ドコモの研究開発から振り返る移動通信の歴史、さらに未来へ」NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル 25 周年記念号 (2018)
- [4] 「多様なサービスの創出を支えるワイヤレスアクセス技術」NTT 技術ジャーナル Vol.29 No.2 (2017)
- [5] 「拡大する無線利用に向けた多様な周波数帯を活用した無線アクセス高度化への取り組み」NTT 技術ジャーナル Vol.29 No.1 (2017)
- [6] 「5G Mobile Communications Systems for 2020 and beyond」5GMF White Paper (2017)
- [7] 「Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond」ITU-R 勧告 M.2083 (2015)

- [8] 「5G 時代を支える無線アクセスネットワーク」 NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル 25周年記念号 (2018)
- [9] 「ミリ波を用いた超高速・長距離伝送の 5G 屋外実験」 NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル Vol.26 No.1 (2018)
- [10] 「5G 高信頼・低遅延通信(URLLC)の屋外実験」 NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル Vol.26 No.1 (2018)
- [11] 「IoA 時空を超えて能力を提供する」 TOPPAN Social Innovation News Vol.4 凸版印刷 https://www.toppan.co.jp/biz/social/assets/pdf/social-innovation-news_vol04.pdf
- [12] 「5G を活用した遠隔音楽ライブセッションの実現をサポート「MWC19 Barcelona」における NTT グループ 5G 関連展示に NETDUETTO™ で技術協力」 ヤマハ株式会社報道発表 https://www.yamaha.com/ja/news_release/2019/19021501/ (2019.2.15)
- [13] 「ドコモとトヨタ、5G を活用したヒューマノイドロボット「T-HR3」の遠隔制御に成功」 トヨタ自動車株式会社報道発表 <https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/25488174.html> (2018.11.29)
- [14] 「Barcelona hosts the first 5G tele-mentored surgery」 MWCcapital Press Release <https://mobileworldcapital.com/press/barcelona-hosts-the-first-5g-tele-mentored-surgery/> (2019.2.27)

■筆者プロフィール

藤田 隆史 (ふじた たかふみ)

2001 年、日本電信電話株式会社入社。次世代高速無線 LAN、広域省電力無線、M2M/IoT ネットワークアーキテクチャ等の研究開発に従事。電子情報通信学会員。

清水 敬司 (しみず たかし)

1996 年、日本電信電話株式会社入社。以降、ATM(非同期転送モード)伝送システム、超高速イーサネット、ネットワーク仮想化等の研究開発に従事。現在、同社主幹研究員。IEEE、ACM、電子情報通信学会員。

吉野 修一 (よしの しゅういち)

1992 年、日本電信電話株式会社入社。衛星インターネット、無線ネットワークキング、M2M/IoT 向け無線アクセスの研究開発に従事。NTT 未来ねっと研究所所長。電子情報通信学会員。日本オーディオ協会理事。