開催報告 「どうなる次世代移動通信(5G)～ICTとサービス～」

第7回東工大ITクラブ・蔵前ITコミュニティ合同セミナー

2016.6.3(金)　於:東工大蔵前会館

合同セミナーは今回で 7 回目の開催となりました。過去のセミナーでは、日本の ICT 業界の課題や重点トピックスに焦点を当てて、講演やパネルディスカッションを行って参りました。

今回は、産・学・官の新進気鋭の方々を講師に招き、それぞれの立場から、2020年の実用化をターゲットに進められている第５世代移動通信システム(５G)および周辺動向に関する期待や課題を各方面からの視点でプレゼンいただき、その後、高田潤一教授のモデレーションによるパネルディスカッションを行いました。その模様をご紹介いたします。

＜講演 1＞

「どうする？次世代移動通信（5G）」

五十嵐大和 （H9 情工 H11 修計算/ 総務省情報流通行政局
放送技術課課長補佐［前移動通信課課長補佐］）

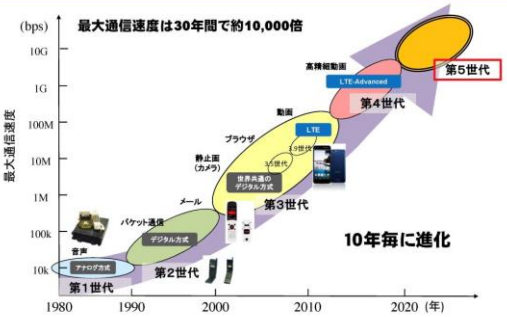
1．モバイルの進化とマーケットの拡大

今から約50年前、無線呼出し（ポケットベル）から始まった公衆向けの移動通信サービスは、双方向通信が可能なアナログ携帯電話（第1世代）、周波数利用効率を高めたデジタル携帯電話（第2世代）、世界中で使えて高速データ通信が可能な携帯電話（第3世代）というように、およそ10年ごとに飛躍的な進歩を遂げ、現在は数百 MBps の通信速度を実現するLTE／LTE-Advanced と呼ばれる3．9世代／第4世代の移動通信システムが広く利用されています。

これら携帯電話サービスの契約数は、1996年には2千万件弱であったものが2016年には人口を上回る1億8千万件にまで増えています。また、契約数のみならず、ひとりあたりの通信トラヒックもコンスタントに増えており、トータルのトラヒックも、そしてモバイルの重要性も、加速度的に高まっていると言えましょう。

周波数資源が限られる中、この急増するトラヒックを適切に処理できるよう、現在では、2020年ころの実現を目指して、その次の世代の移動通信システムである「5G（第5世代移動通信システム）」の研究開発が加速しています。

移動通信システムの進化（第１世代～第５世代）



2．5Gで何が変わるのか

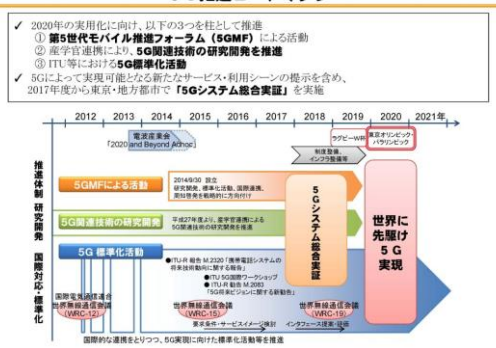
4Gを単に高速化したものが5Gでしょうか。必ずしもそうではありません。5Gの研究開発では、10Gbpsという超高速通信（LTE比100倍）だけでなく、無線区間約1ミリ秒という超低遅延（同10分の1）、1つの基地局に収容できる端末数が桁違いに多い超多数接続（同100倍）、という性能の達成を目指しています。

これらの優れた特長を活かせば、4Gまでは実現できない様々な応用が考えられます。例えば、通信速度はさほど求めないが非常に多数の端末がつながるセンサー的用途、低遅延を最優先とする機械の自動制御などです。

つまり、5Gでは、スマートフォン等のインターネット利用のみならず、自動車、機械、ホームセキュリティなど、幅広い産業分野での活用や新ビジネスの登場が期待されていて、これはまさにIoT社会の基盤となりうるということです。5Gをベースに、どのような新しいビジネスモデルを組み立てられるか我が国企業の真価が問われるところでもあります。

こうした特長を有する5Gを、2020年ごろに我が国が世界に先駆けて実現させるため、一昨年に総務省が主催した懇談会では「5G推進ロードマップ」を策定しました。ロードマップでは、推進体制、研究開発、国際対応・標準化という3つの柱が建てられています。推進体制では、同年に「第5世代モバイル推進フォーラム」が設立され、研究開発では、国のプロジェクトもいくつかスタートしています。国際対応・標準化では、世界無線通信会議への対応や国際ワークショップの開催など、我が国関係者の一丸となった取組が行われております。

５Ｇ推進ロードマップ



3．モバイルユーザは何をしているのか？

ここで現在のモバイルユーザの動向について見てみましょう。現在の移動通信システムの代表例であるスマートフォンは我々の生活に見事なまでに溶け込み、欠かすことのできないものとなりました。多機能化により、腕時計の代わり、目覚まし時計の代わりなど、常に身につけていることが当たり前といった使い方が常態化しています。また、高性能化により、デジタルカメラの代わり、ビデオカメラの代わりなど、専用の機器の立場を危うくする使い方も浸透してきています。インターネット上の記事［1］が指摘していました。「1991年の米国家電店の新聞広告に掲載されていた総額3千ドルの13種類の電子機器で達成できることを、わずか1台のスマートフォンが軽々こなしてしまうように

なっている」のです。

モバイル利用に関するアンケートデータがありますので、世代ごとの違いを見てみます。すると、若い世代ほどスマートフォンの利用率が高く、10代女性は特に依存した生活をしていることが分かります。映画鑑賞中は携帯電話の電源を切ることがマナーですが、「映画館に行くときにスマートフォンが必要」とあります。これは、鑑賞後に映画の感想をSNSにすぐに掲載したいから、とのことです。一方、60代男性は、ニュースの情報源として依然として新聞が4割弱を占めるなど、従来型のスタイルとなっています。このように、10代女性に加え、60代男性の心をつかむことができれば、一層の飛躍が期待できます。

4. 5年後、10年後のワイヤレス社会は？

将来を語るには、過去を振り返ることも重要です。幸運なことに(!?)、総務省では、いつの時代にも将来ビジョンを議論する会合が開かれています。ちょうど15年前に、4Gをイメージしながら未来のモバイルアプリケーションやワイヤレス社会を議論していた方々とお会いする機会があり、当時描いていたイラスト入りの会合資料[2]にたどり着くことができました。

「ビジネス利用」のページを見てみると、建設現場でタブレットのような端末を使って遠隔から図面を取り寄せている例、モバイルプロジェクタを使ってネットワーク越しにプレゼンテーションしている例など、まさについ最近実現したものが描かれています。「生活」のページでは、ネットワーク制御型のロボット、画面に表示されるチケット、テレビ番組のモバイル端末へのダウンロードなどなど、こちらもかなり実現しています。「モバイルコマース」では、携帯端末からショッピングができる絵が描かれています。携帯電話のカメラで撮影したものを注文、というのはあと一歩でしょうか。「就労」のページでは、鉄道乗車券の無線化、家電のリモコンになる携帯端末などが紹介されています。

このように、15年も前に思い描いていた夢物語は、驚くべきことにほとんど的中し、実現しています。

2013年のマッキンゼーの資料[3]に2025年までに世界を変える12の破壊的技術というものがあります。モバイルインターネット、知的労働自動化、IoT、クラウド技術、先端ロボティクス、自動運転、次世代ゲノム解析などが挙げられていますが、その多くがワイヤレスなどのICT技術となっています。

ダボス会議で有名な世界経済フォーラムの資料[4]には2025年までに起こると期待されることというものがあります。これによれば、91％の専門家が「10％の人がインターネットに接続した衣服や時計、装飾品を身につけるようになる」と考え、89％の専門家が「1兆個のセンサーがインターネットに接続する」と、また、87％の専門家が「ロボット薬剤師が登場する」と考えているとのことです。

本セミナーの副題は「どうなる？次世代移動通信（5G）」とありますが、そういう受け身な話ではなく、本質は「こんなサービスを実現させたい」と考えることにあります。それゆえ、わたしはこれを敢えて「どうする？」と読み替えたいと思います。夢物語であっても、こんな社会にするんだと想像し、工夫を積み重ねていけば実現可能であるからです。

「5Gがどうなるか」と待ちの姿勢ではなく、自由な発想のもと「5Gをどう生かしていくか」考えることが成功の鍵を握っていると思います。本日のセミナーのような場を通じ、若手のアイディアとベテランの知見とをフルに活用し、新たな夢物語を語っていきましょう。

[1] Everything from 1991 Radio Shack ad I now do with my phone, http://www.trendingbuffalo.com/life/uncle-steves-buffalo/everything-from-1991-radio-shack-ad-now/, Jan. 2014
[2] 「新世代移動通信システムの将来展望」, 総務省情報通信審議会, 平成13年6月
[3] “Disruptive Technologies,” McKinsey, May 2013
[4] “Deep Shift,” World Economic Forum, Sept. 2015

編集後記：本内容は発表者個人の見解であり、必ずしも組織を代表するものではありません

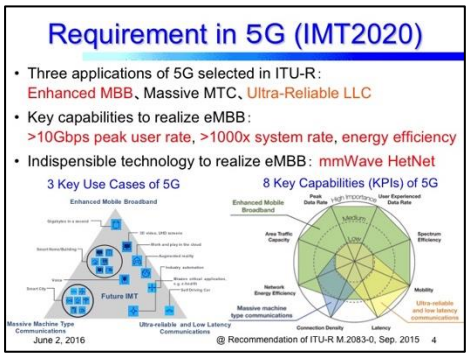
＜講演 2＞

「Millimeter-wave for 5G - From Myth to Reality -」

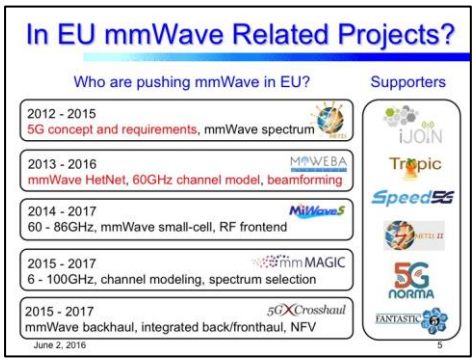
阪口 啓（H10 修物情 H18 論博電・電/ 東工大工学院准教授
/Fraunhofer HHI Germany, Senior Scientist）

1. 5G のアプリケーションと研究開発の動向

第 5 世代セルラシステム(5G)は、超高速通信/多数のセンサー活用/自動車の自動運転を3大アプリケーションとして、東京でオリンピックが開催される 2020 年を目標に標準化および実用化が進められています。これらのアプリケーションに必要なことは、10Gbps 以上の高速通信/1000 倍以上のシステム容量/1ms 以下の通信遅延、およびこれらを低消費電力で実現するといった性能です。これらを実現するために欠かせない技術が、東工大が中心となって研究開発を進めているミリ波です。



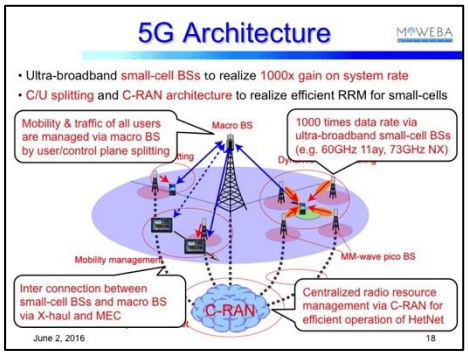
ミリ波の研究開発は世界に比べて日本が先行していました。通信情報研究所(現:情報通信研究機構)は 1996 年からミリ波を活用したブロードバンドアクセスの研究開発を開始していますし、東工大は 2007 年よりミリ波 RF デバイス、アンテナ、およびバックホールネットワークの研究開発を始めています。またパナソニックとソニーは 2009 年よりミリ波デバイスおよび通信プロトコルの研究開発に取り組み、現在ではそれぞれ WiGig(IEEE802.11ad)および Transfer Jet(IEEE802.15.3e)の実用化に取り組んでいます。



この様にミリ波は、歴史的にはデバイスやアンテナなどの要素技術から研究が進められ、それをどの様に活用・普及するかという出口戦略は、2012 年当時は未だ見つかっていない状態でした。そこで東工大はドイツの Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institute(HHI)と連携し、また日欧(米)の複数の企業および研究機関に呼びかけて、ミリ波をセルラシステムに導入する国際プロジェクト(MiWEBA プロジェクト)を 2013 年に立ち上げました。このプロジェクトの中で構築されたミリ波ヘテロジニアスセルラネットワーク(ヘットネット)という概念が、本講演のテーマである 5G の主要なアーキテクチャとして世の中で捉えられています。これによりミリ波の活用・普及の道筋が見え、ミリ波はもはや夢物語ではなく、間も無く実現される技術になりました。本講演では、このミリ波ヘットネットの概要と今後の展望を紹介します。

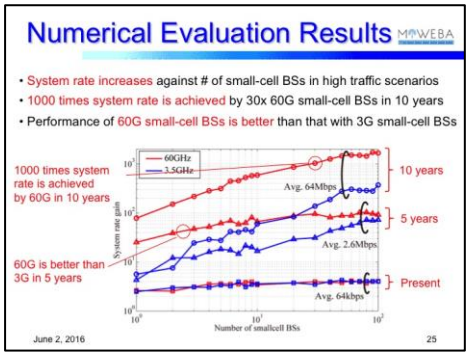
2. ミリ波ヘテロジニアスセルラネットワーク

無線通信システムにおいて、通信速度は使用する周波数の帯域幅に比例し、また帯域幅は使用する中心周波数にほぼ比例します。よって GHz(ギガヘルツ)の周波数を用いると、MHz(メガヘルツ)の周波数を用いることに比べて、1000 倍の通信速度が達成できることが期待される訳です。これがより周波数の高いミリ波を用いるモチベーションです。例えば 60GHz 帯のミリ波では 2.16GHz の広い帯域幅が規定されており、16QAM や 64QAM の変調方式で 10Gbps 以上の伝送速度が実現できることが実証されています。



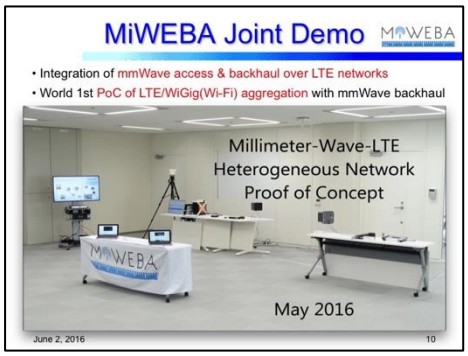
一方でエリアカバレッジは、受信電力が周波数の二乗に反比例して減衰し、また雑音電力が帯域幅に比例して増加するため、例え指向性アンテナを用いたとしても周波数に反比例して減少します。これが通信速度とカバレッジのトレードオフと呼ばれる問題で、ミリ波がセルラシステムに用いられてこなかった理由の一つです。さて、ここで発想の転換をしましょう。全てのエリアをミリ波でカバーするのではなく、LTE などの現状の技術で作ったエリア(マクロセル)の中に、スポット的にミリ波エリア(小セル)を作っていくことにします。5G の携帯端末には、この両方の電波に接続する機能を実装することで、カバレッジと通信速度を両立できる様に

なりました。これが 5G の一つのイノベーションであり、このアーキテクチャをミリ波ヘットネットと呼びます。



MiWEBA プロジェクトでは、マクロセルに LTE、ミリ波小セルに WiGig を用いることを想定し、ミリ波ヘットネットが実現するシステム容量の予測解析を行いました。そのために 60GHz 帯のミリ波電波伝搬特性を測定およびモデル化し、また 2013 年の東京都市部で利用される携帯端末のトラヒックの実測値から 2020 年に予想されるトラヒックモデルを構築しました。これらを用いてシステム容量の解析を行ったところ、現状のマクロセルに 30 台程度のミリ波小セル基地局を導入することで 1000 倍のシステム容量が達成できるという結論が得られました。またミリ波の電力効率は、LTE などで使用しているマイクロ波よりも高いため携帯端末の消費電力も削減できます。この結論は、セルラシステムにミリ波を導入することは、ネットワーク側にも端末側にも大きなメリットがあることを示しており、ミリ波を 5G に導入するモチベーションになっています。

3. ミリ波ヘットネットの実証実験



MiWEBA プロジェクトには、日欧(米)のデバイスベンダとオペレータが参画していたため、ミリ波ヘットネットの実証システムを構築することができました。実証システムは、60GHz 帯のミリ波アクセス、バックホール、および LTE 基地局から構成されています。ミリ波アクセスには、128 素子のビームフォーミングアンテナを搭載し、単体で数 10 m のカバレッジを実現するとともに、端末の移動に追従することが可能です。また LTE 基地局には、LTE/WiGig アグリゲーションという技術を搭載し、制御信号を LTE の電波で接続しつつ、データ信号のみをミリ波で送ることが可能となりました。これによりカバレッジと通信速度の両立が可能であることが実証されました。また実証システムには、60GHz 帯のミリ波を用いたバックホールリンクが導入されており、ヘットネットに新たなミリ波基地局を容易に導入することができます。

4. おわりに

本稿で紹介した MiWEBA プロジェクトは、本年 5 月に終了し、ミリ波をセルラネットワークに導入するための目に見える実証データを作ってその役割を終えました。さてこの大志は誰が引き継いだのでしょうか？実は東工大と Fraunhofer HHI は再度連携し、また MiWEBA プロジェクト以外にも新たなパートナーに呼びかけて、2016 年度より 5G-MiEdge という新しいプロジェクトを立ち上げました。このプロジェクトでは、5G に向けて成熟してきたミリ波とエッジクラウドの2つの技術を研究開発の対象とし、その2つを組み合わせた 5G エコシステムを構築することで、オペレータとベンダだけでなく、アプリケーションプロバイダやユーザにもメリットのある 5G を構築しようとしています。

5G の実用化ターゲットは勿論 2020 年の東京オリンピックですが、5G-MiEdge プロジェクトでは街レベルの実証実験を行うために、5G ベルリンというベルリン市が掲げるテストベット活用します。5G ベルリンはオープンプロジェクトとなっており、無線アクセスだけでなく、5G コアネットワーク、および SDN・NFV というネットワークの仮想化、またアプリケーションとして自動車の走行支援やモノのインターネット(IoT)を含む総合実証システムです。5G-MiEdge プロジェクトでは、5G ネットワークの末端を担うミリ波エッジクラウド(MiEdge)を研究開発し、また SDN・NFV など他のプロジェクトで研究開発される技術と組み合わせることで、ミリ波技術の素晴らしさをベルリン市で実証する予定となっています。

以上では、MiWEBA プロジェクトを中心としてミリ波技術の紹介を行いましたが、ミリ波技術は他のプロジェクトや企業でも成熟期を迎え、間も無く市場に導入されるものと思われます。本稿をここまで読んで頂いた皆さん、是非ミリ波アクセスポイントを購入して、その素晴らしさを実感して下さい。私は、ミリ波技術を 5G に導入し、またそのアプリケーションを展開するために、しばらくベルリンを中心としてミリ波技術の研究開発を続けます。

＜講演3＞

「5G の世界動向と NTT ドコモの 5G 研究開発の取り組み」

永田聡（H13 電・電 H15 修集積シ/NTTドコモ 5G 推進室 主任研究員
/3GPP TSG-RAN WG1 議長）

私は NTT ドコモにおいて無線技術の研究開発に従事するとともに、移動体通信システムの標準仕様を策定する国際標準化プロジェクトである 3GPP (Third Generation Partnership Project) において議長を務めています。具体的には、5G を含む将来無線通信技術に対し、世界中どこでも携帯電話機などがつながる仕組みの決まりごとを作るグループをリードしています。

1．5G が目指す世界

スマートフォンが広く世の中に普及した現在、いつでも、どこでも、どのような端末からでも無線でインターネットを通じたサービスやアプリケーションが気軽に楽しめ、かつ、これまで以上の体感品質が得られるように、お客様からの期待は高まっています。さらに、このようなサービスやアプリケーションの多様化に伴い、眼鏡や腕時計といったウェアラブルな端末など、新しいタイプの端末やデバイスも登場してきており、将来的に広く普及していくことが予想されます。

このような状況の下、5G では全ての「もの」が無線でつながる社会を実現、無線サービスの高度化、拡大だけではなく、ビッグデータなどを活用した新たな産業創出が期待されます。

これまで、世界各国の研究プロジェクトにおいて 5G の目標性能が議論されており、大容量化、データ伝送速度の高度化、低遅延化、超多数端末の同時接続、低コスト・省電力化など世界的にほぼ共通の要求条件が目標値として挙げられています。

2．5G 標準化状況

3GPP では、5G 国際標準仕様の策定を目指し技術検討が進められています。

2015 年 9 月には「5G ワークショップ」を開催し、5G に関心のある企業や団体、大学が、それぞれが考える技術のユースケース/サービス、技術アイデア、標準化スケジュールなどの意見を持ち寄り披露し合う会合を開いています。ここでは合計 67 件の発表が行われ、461 名の世界各国の技術者が参加しています。第 3 世代移動通信システム (3G) に向けたワークショップの参加者数は 104 名、LTE (Long Term Evolution) に向けたワークショップは 140 名、LTE-Advanced (4G) に向けたワークショップが 170 名でしたので、今回約 3、4 倍の参加者が集まった格好です。これだけの参加者数が集まったのは、3GPP への参加企業/参加者数が年々増加していることに加え、5G が多様な産業分野をターゲットとする技術であることがその要因ではないかと、個人的には分析しています。

本ワークショップでは、5G のユースケースとして高速・大容量につながるブロードバンド通信のシナリオや、あらゆるモノをネットワークにつなげる「Internet of Things (IoT)」を考慮し、各種センサーや家電機器などのさまざまな機器が大量につながるシナリオ、自動運転車、産業用ロボット、遠隔医療など高いリアルタイム性や信頼性が必要とされる「ミッションクリティカル」サービスをサポート/アシストするシナリオなどが提案されていました。また 5G が適用される周波数帯として、既存の携帯電話機に用いられているキャリア周波数帯(数 100 M～数 G Hz 帯)のみならず数 10 GHz から 100 GHz といった高い周波数帯を対象にすべきという主張も見られました。今後の 5G 技術検討にあたっては、このような高周波数帯や非常に広範囲に広がる周波数帯をどのようにシステムとしてサポートするかについて、考えていく必要があると感じています。

2015 年 12 月からは、5G の要求条件と適用シナリオの議論検討が進められています。要求条件とは、通信速度や遅延などの性能の目標値や、周波数やセキュリティを含めた 5G のオペレーションに求められる条件を意味しており、適用シナリオとは、5G を適用する場合のシナリオ、環境になります。

例えば、通信速度の要求条件としては、5G の理論上の上限値として、現在、下りリンク 20 Gbps、上りリンクでは 10 Gbps を目標値とすることが検討されています。これは現在の商用サービスで使われている技術(LTE-Advanced)の検討の際に定められた目標値の 20 倍の値であり、5G が高いターゲットを目指していることを感じ取れる値の1つであると思います。他にも、遅延や信頼性、移動性などの様々な目標値に加え、高速大容量通信や IoT 関連通信などの多様なサービスをシステムとして効率的にサポートすることも要求条件の1つとして検討されたりしています。

また 5G の適用シナリオとしては、屋内のホットスポットや都市部、郊外に加え、高速移動列車、

高速/一般道路、IoT を考慮したシナリオなど、将来を見据えた多様なシナリオを検討しています。
　このような要求条件、適用シナリオの検討状況を踏まえながら、2016 年 4 月より 5G の要素技術の議論検討が進められています。
　要素技術の検討では、無線フレーム構成やチャネル符号化、変調方式といった無線通信技術における根本のデザインから、ネットワーク構成を含めた様々な技術が議論されています。
　私のグループでは今回 5G の議論が開始されたことで、5G が検討開始される前の 2 倍程度の参加者数、ドキュメント数の増加を観測(各会合で 600 人程度の参加者数、2000 程度のドキュメント数)しており、ワークショップでの参加者数の増加現象も含め、5G に対する世界各国の技術検討の盛り上がりを感じています。

3. NTT ドコモの 5G 研究開発の取り組み

　NTT ドコモでは、将来東京で開催される夏季オリンピック/パラリンピックが開催される 2020 年頃をサービス提供開始のターゲットとし、LTE のサービス提供を日本で開始した 2010 年頃から 5G の無線アクセス技術のコンセプトを含めた検討を進めています。
　ドコモが考える技術コンセプトでは、高い周波数と従来の携帯電話機で用いられている低い周波数帯を組み合わせて用いることにより、低い周波数帯で通信の安定性を確保しつつ、高い周波数帯を用いた広帯域化によって飛躍的な高速・大容量化を実現します。これは、高い周波数帯は連続した広い周波数帯の確保には適しているものの、電波の波長が短くなり遠くまで伝搬しなくなる特性を有する特性を考慮した内容になっています。
　ドコモでは、こうした技術コンセプトを実現するための要素技術検討もあわせて進めており、低い周波数帯と高い周波数帯の間の連携技術や高い周波数帯を有効するための技術、低い周波数帯における容量改善技術などを含めた様々な技術候補を検討しています。
　前述した 3GPP 標準化の場では、5G の要素技術の取り纏め(ラポータ)役を担っており、世界各国の企業、団体、大学からの技術提案を取り纏めるとともに議論リードをしています。
　また 5G における候補技術のゲインを評価する目的で、2012 年よりリアルタイムシミュレータの開発も進めており、東京の都市部や山間部、スタジアムなどの複数の環境において、ネットワークの高密度化、高周波数帯/広周波数帯域幅の有効活用、多数のアンテナ素子活用技術といった複数の候補技術の有効性を検討しています。
　あわせて世界の主要ベンダーと 5G の実験協力に合意し、高い周波数帯の活用技術、単位面積あたりのシステム容量の増大技術、IoT や様々なアプリケーションに適した無線伝送技術など、様々な無線アクセス技術の検証を行っています。
　他にも、5G を活用したサービスアイデアを広く募り、5G サービスの協創を目指す 5G ハッカソンの実施、5G がサポートする未来の新しいコミュニケーションの可能性を紹介する 5G 動画の作成、産官学を交えた技術議論、情報交換とともにドコモの 5G 検討状況を示す様々な展示会の実施、学会での講演など様々な形で広く 5G の検討を進めています。

4. おわりに

　5G を含む無線通信技術の発展により、多様な産業分野にわたって移動体通信システムの適用領域が広がっていくことは一技術者として喜ばしいことと感じています。
　今後とも積極的に技術検討、国際標準化活動を推進し、将来できあがった「つながる仕組み」が 1 人でも多くのお客様に喜んでいただけるものになることを願いつつ尽力していきたいと考えています。道のりは長いですが、ご指導、ご支援いただけましたら幸いに存じます。

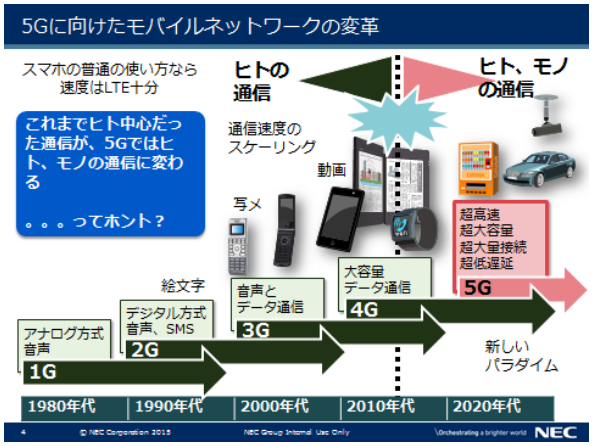
＜講演4＞

「将来のモバイルアプリケーションを支える 5G ワイヤレス技術」

中村 祐一（S61 情工 S63 修電・電/
NEC システムプラットフォーム研究所長）

1．私たちが考える 5G とは？

現在、モバイルネットワークの利用者のほとんどが「ヒト」です。「ヒト」は、安定的に提供されるモバイルネットワークを活用し、ブラウザを使って調べものをし、写真やイメージを添付したメッセージを交換し、動画閲覧を楽しんでいます。この結果、モバイルネットワークによって、「ヒト」の生活は大きく変わりました。しかし、動画閲覧など「ヒト」が利用するアプリケーションにおいては、電波状態が良好であれば既存技術の LTE で十分であると考えられています。同様に、先進国を中心にスマートフォンの所有が一般化したことにより、「ヒト」によるモバイルトラフィックの成長は鈍化、あるいはこれ以上成長しないと予想されています。実際に、国内の移動通信トラフィックの増加傾向を見ても、2012 年ごろまでは指数的にトラフィックが増加していましたが、2013 年ごろから線形的な増加に落ち着いてきました。しかし、2020 年以降には、「ヒト」の通信の代わりに、端末から収集されたデータを解析してリアルタイムに制御を行って社会の様々な課題を解決する IoT (Internet of Things) に代表されるような「モノ」の通信が一般的になり、再度トラフィック量が増大すると言われています。「モノ」は「ヒト」と違い、24 時間 365 日、人間生活を豊かにするための「膨大なデータ量」の通信を、「リアルタイム」に、かつ「継続的」に行うことが予想されています。その結果、IoT 向けのモバイル通信には超高速、超大容量、超大量接続、超低遅延など、これまでの LTE にないスペックが要求されると予想されています。これが 5G モバイル通信の正体です。



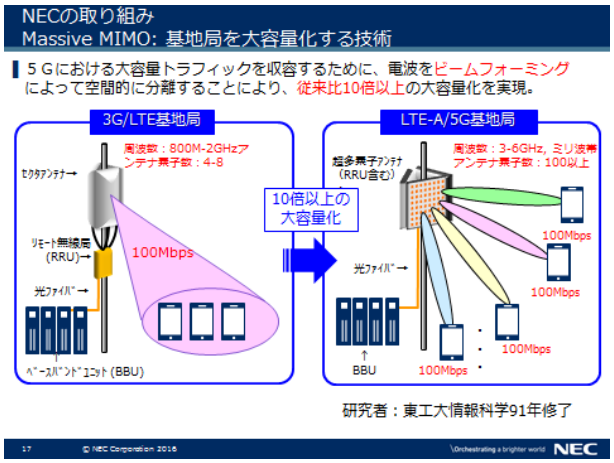
2．モノの通信とは？

すでに、日本国内では、テレマティックス、見守り、エネルギー消費、装置監視などで「モノ」の通信が始まっています。これら、「モノ」の通信によって、社会の安全や生産や移動の効率化が図られています。たとえば、NEC では、スペインのサンタンデール市において、ダストボックスに装着されたセンサによって、収集の必要のあるダストボックスのみからなる収集タイミングと収集ルートを作成し、ごみ収集のコストと CO2 排出量の削減に取り組んでいます。

これらの既存のアプリケーションは 5Gの品質を必要とするものではありませんが、今後は 5Gを必要とするIoTアプリケーションが多数提供されるでしょう。その中で、もっとも期待されているアプリケーションはリアルタイム交通制御を実現するためのダイナミックマップであると考えられています。ダイナミックマップでは、道路の今の状態（車両や障害物など）をリアルタイムに地図上に表示することによって、運転の自動化、危険の回避、渋滞の解消などを行うことができます。この時に必要とされる無線区間の片道遅延は 1-10ms と言われ、10-100ms の遅延の LTE では実現が困難です。

3．5G を実現するための課題

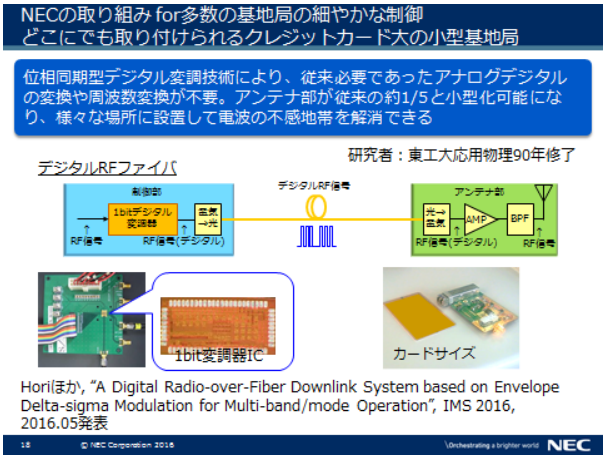
上記のような「モノ」の通信のための 5G の要求事項としては超高速・大容量、超大量接続、超低遅延などが挙げられます。しかし、それらの実現にいくらコストをかけてもよいわけではありません。適正なコストで実現してこそ、5G のメリットが世の中の隅々まで広がっていくと考えます。すなわち、容量では LTE の 1000 倍のスループット、LTE の 100 倍から 1000 倍の個数の大容量接続、1msec 以下の要求をリーズナブルなコストで実現することが最も困難な課題だと考えます。その中でも大



容量化が一番重要であり、極言すれば、これが実現できれば残りの実現は容易になると考えています。そのために、必要なキーリソースとして、1) 多数の基地局の細やかな制御、2) バックホール、フロントホールの最適化、低コスト化、3) 周波数の利用効率、4) ユーザ体感の向上、5) 周波数そのものの利用拡大などがあげられます。このうち、周波数そのものの利用に関しては、政府の政策や法律上の課題もあり、官民一体となって取り組むことが必要です。

4. 5G を実現するための NEC のアイディア

5G を実現するために一番安易な方法はモバイルネットワークの基地局を多数設置することです。しかし、もっとも電波リソースを必要とする先進国の都市部では、ビルの屋上などに設置されている基地局の場所の確保が大きな問題となっています。そのため、1 つの基地局あたりの容量を大規模化し、かつ、基地局のサイズをなるべく小型する必要があります。大規模化に関しては、ビームフォーミングと呼ばれる技術を使って、電波を空間的に分離し、従来の 10 倍以上の大容量化が可能となります。基地局の小型化に関しては、アンテナの実装にメタマテリアルという材料を使うことにより、世界最小の 1 センチ角以下のサイズのアンテナを実現しました。さらに、アンテナと RF 回路の間の通信に対して、デジタル信号を使った光ファイバー通信を利用することにより、アンテナをクレジットカード大に小型化することに成功しています。この大きさであれば、携帯電話の基地局のアンテナのみを壁に貼り、その他の部分をビルの中に収容して、基地局に必要な場所の確保を容易化することができます。また、これらの技術により、5G 時代の基地局の小型化と大容量化が容易になると考えています。これらの技術開発においては、東工大 OB の研究者がリーダーとなって貢献しています。



5. おわりに

5G の導入によって、「モノ」の大容量、大量接続、低遅延通信が容易になり、5G を利用した IoT アプリケーションによって、ますます人間生活が豊かになると考えられています。しかし、リーズナブルなコストでの 5G の実現には、技術開発だけではなく、企業間の連携、IoT アプリケーションの実装、政府の政策との整合なども必要です。もちろん、技術開発においては東工大 OB の貢献は大きいですが、政策や IoT アプリケーションの観点からも東工大 OB や東工大OBネットワークが大活躍するのではないかと考えています。日本発、東工大発で 5G を盛り上げましょう。

＜パネルディスカッション＞

パネリスト：五十嵐大和、阪口啓、永田聡、中村祐一
モデレータ：高田潤一（S62 電・電 H4 博/東工大　環境・社会理工学院教授）

1. 5Gのインパクト

高田：5Gが日本社会や産業界に与えるインパクトについてどのようにお考えでしょうか？

五十嵐：5Gの特徴は「高速」「低遅延」「大容量」であり、今後、通信にかかる時間が限りなくゼロに近くなる世界が実現できるとなると、人工知能といった膨大な処理が必要なプロセスも、すぐ手元で利用できるようになることでしょう。自動運転の話が講演でも出ていましたが、例えば F1 レーサーの人工知能を駆使して、車を事故なくテクニカルに運転するようなことも可能になるのではないでしょうか。

阪口：ベルリンはカーシェアリングがもっとも発達しており、レンタカーがあちらこちらに置いてあるような市です。空港で目の前に置いてある車をアプリ上でレンタルし、家まで行っていったら乗り捨てる、といったことができます。5Gが実用化されて、自動運転に適用されると、無人のタクシーを呼んで、行きたい場所に自動走行で送ってもらい乗り捨てる、という時代が来るのではないかと思っています。それを実現するのが IT であり、そこに向かって多くの人々が研究開発に注力していくのではないかと思っています。

永田："5Gで何ができるのか"について、アイディアソン・ハッカソンをやったときにいただいたアイディアの1つに、リアルタイムに画像・動画を検索・解析するサービスというものがありました。また、お父さんが行けなかった家族のイベントを、お父さんが後で見ると、画像・動画が家族の想い出となって楽しめるといったアイディアもありました。その他には、みなさんが取り上げていたように自動運転や IoT に代表される他分野との融合に大きな期待がされています。

中村：日本の人口はしばらく経過すると 7,000 万人くらいに減少すると言われています。そうなると労働人口が問題になってきます。一部の業務をコンピュータや AI で代用するようになると言われています。そうなってくると無くなる職業の1つが弁護士と言われています。弁護士の仕事の8割は過去の裁判の判例を見たり、契約文章を一言一句見たりして判断する内容となっており、多くのことが AI で代用できると言われています。同様に内科医もその1つで、症状と検査データから診療指針を導き出す業務です。最終的な承認行為は人間がやるとしても、内科医は現在の 1/20、弁護士は 1/50 で足りるようになるといった議論になっています。一方で、コンビニ店員や職人芸といったものは無くならないと言われています。このような職においても ICT で代行するには、低遅延でいろいろな知をもった大規模な AI サーバとの通信をしながらやっていくことで可能になると思われます。弁護士・内科医は人数が少ないですが、就労人口の多いコンビニ店員等を代行できるようになると労働人口減少にはインパクトが大きくなります。このような可能性を持つのが5Gだと思っています。

2. グローバルとの関係

高田：日本は世界の中でどのような位置づけでやっていくべきでしょうか？

五十嵐：私が総務省で5Gの推進を担当していたときには、5Gではいたずらに世界と競争するのではなく、できる所は協調していくべきという雰囲気でした。おそらく今も変わっていないと思います。

永田：5G開発においてドコモは海外ベンダーのみに注力しているのではないかと聞かれることがありましたが、そのようなことはなく、日本ベンダーも含めて検討を進めています。高い周波数や広い帯域において、例えば携帯電話や基地局の中に入るアンテナ、マッシブ MIMO や RF ベースバンドなど要素1つ1つに日本の技術力・ノウハウが蓄積されており、そういった面で日本がどう活躍できるかについて私も含めて毎日格闘しているところです。その上に乗るアプリケーションレイヤーは google を始めとした海外の OTT プレーヤーが強い中、例えば日本が強い画像認識といったもの等、日本発のサービス・

アプリケーションがどういった形で提供できるのかを検討しています。

中村：LTE から 5Gに変るタイミングでゲームチェンジが起こると考えます。また、今までのように、1つのベンダーが1つのシステム全部を開発することは難しくなってきています。ある一部分だけどこかの日本ベンダーがとっても強いという状況を作れる可能性はあると思っています。例えば、iPhone のバイブレータのモーターは日本のメーカーが大きなシェアを持っていると言われていますが、5G においても、どこかのキーパーツを日本企業が押さえるという状況を作ることができれば、1つの成果だと考えます。

3. アプリケーション

高田：IoT が5Gを牽引する1アイテムとのことですが、キラーアプリケーションを生み育てていくには今後、どのようなことが必要と考えますか？もの作りの観点・技術的観点・政策的観点でお聞かせ下さい。

中村：5Gの特徴を生かすためにSEEDSオリエンテッドで検討が進んでいる側面が結構あると思っています。当面は、低速低遅延のネットワークで安く IoT を作るといったものが LTE においては市場を引っ張っていくと考えています。1ヶ月数 Mbyte を数百円で通信のインフラを貸し出すというものが既に存在しています。そういう土台の上で関連する技術が育っていくことで、5Gの能力が必要とされるアプリケーションが生まれていくと思います。そこを早く掴む人がこの業界で成功していくのだと思います。

永田：IoT は何でもできると言われますが、いったい何ができるのかは、まだ明らかになっていない状況だと理解しています。一方で、直近のものでいうと、ガスメーター・電気メーター等のスマートメーターを自動的に検針するものや、体や衣服といった身に着けるものにセンサーを付けてビッグデータを収集するものや、公道運転支援といったドライバーの運転をサポートするものが考えられています。それを支える現行ネットワークは全国エリアカバー率 99.99％の LTE となっています。5G が本格化していく 2020 年以降に向けて、その時代に合う IoT をしっかり確立させた上で、それに必要な5G の標準仕様を考え直すこともスコープに入れています。

阪口：インダストリー4.0 をご存知の方もいらっしゃると思いますが、欧州では無線をつかった自動制御はファクトリーオートメーションとして既に浸透しています。通信の規格も決まっています。欧州のインダストリー4.0 は、1ms レベルの制御のための小さいループと、制御データを長期間クラウドに蓄積し新たな知見を得て効率的に工場などを運営する大きいループからなる、という考え方です。例えばスマートグリッドでは「A ルート」「B ルート」が別々標準化されているのですが、短い遅延のものと、大きなループのものと2種類あります。5Gでもこのようなヘテロジニアスな構成で新たなアプリケーションが生み出せる可能性があるかもしれません。

五十嵐： IoT の広がりはデバイスが出て来るタイミングと価格が重要だと思っています。来年の発売が予定されている 3G と GPS の入った 4cm 角のモジュールは 69 ドルなのですが、もしこれが 69 セントになったら話がかなり変わってきて、傘に入れたり、子供の靴に内蔵したりすることも可能となり、迷子のない世界が作れます。よって、あとは値段が十分に下がっていくかが課題になりますが、今は電卓も 100 円ショップで買えますし、時計も電池で 5 年間も持つものも 100 円以下で買えるようになっておりますので、ひょっとしたらあり得るのかなと思っています。法規制については、個人的には何か問題が起こってから考えればよいと思っています。

4. 学生へのメッセージ

高田：5Gを実りあるものにするために、多く参加いただいている学生のみなさんに何を頑張って欲しいか、メッセージをお願いします。

永田：東工大の技術力は電気・通信以外にも多く存在すると思っています。最終的にどのような職種に就くか分かりませんが、その技術力を是非生かしていただきたいと思います。私自身、自分の技術力を生かし日本だけでなく世界に対して働きかけ、2020 年導入に向けた標準化作業を突き進んでいきたいと考えています。

阪口：1点目は、企業の事業撤退や経営不振といった一過性の情報と学生就職の相関はかなり高くなっています。学生は世の中の状況に大きく左右されます。学生のみなさんにお伝えしたいことは、自分の持つ技術活用して就職すると、例え転職したとしても生きていく糧になるというこ

とです。2点目は、完全電気自動車テスラの特徴の1つは、スタートから 60km/h までの加速がフェラーリより速く、世界最速となっています。とすると、テスラが普及する世界になって、それも自動運転でとなると、電気の時代が来ると思います。きっと、面白いことが起こると思います。

五十嵐：東工大学生は技術も理解できて、研究も好きという人が多いと思いますが、それ故にメーカー研究室に就職、と決めてかかるのではなく、総務省や経済産業省などが行っている技術政策を考えることの面白さにも目を向けて欲しいと思います。私は就職の際にはベンチャーに誘われたこともあり、悩みましたが、公務員試験を受けて今に至っています。是非学生のみなさんには、視野を広く持っていただきたいと思います。

中村：まず懺悔したいのは、電気系の学部学科の偏差値が下がったのは、うちを始めとする電気メーカーの凋落が原因だと思っています。学科・専攻を卒業して社会に出るマスな就職先企業の元気がなくなっていることです。これは我々電気メーカーとして素直に反省したいと思っています。学生のみなさんに向けては、何かの領域でいいので「世界一になるぞ」「その辺りの普通の人間にはならないぞ」という気持ちを持ってもらえればそれでいいと思っています。会社で 140 人の研究員の部下を見ていますが、「おれは絶対負けないぞ」「次は絶対勝ってやる」という人が成長しています。最近の東工大生は、平凡に安楽的に暮らせる道のほうを選んでいる気がして、少し心配しています。2点目は、最近、NEC はコンシューマ向け製品をあまり扱わなくなってきて、知名度は下がってきています。会社自身は法人向けの B2B ビジネスが大変増えてきています。我々だけでなく、そのような B2B で優れている会社が一杯あります。そういった会社を広く見て、自分の将来を賭けることができるか、世界一になれるかどうか、真剣に考えていただきたいと思っています。

高田：みなさん、本日はどうもありがとうございました。パネルディスカッションはこれにて終了とさせていただきます。