

「5Gセミナー」

◆講演◆ 「Society5.0を実現するワイヤレス通信」

講師：東北大学 電気通信研究所 教授 末松 憲治 氏

当財団は2019年9月4日（水）七十七銀行本店5階会議室において、特定テーマセミナーを開催いたしました。本特集では、講師にお招きした東北大学 電気通信研究所 教授 末松 憲治 氏による講演内容をご紹介します。

1. 5Gが生み出すもの

5Gとは一体何でしょうか。やはり携帯電話のイメージが強いと思います。今注目されている5Gというのは、第5世代の通信システムのことであり、第5世代の携帯電話というのが元々の位置付けです。もちろん第5世代の前には、第4世代、第3、第2、第1とあります。第1世代は、1990年位に登場したアナログの携帯電話です。第2世代と言われるのがデジタル携帯電話、第3世代が「W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)」、第4世代が「LTE-Advanced」、そして、2020年のオリンピックイヤーとして導入される予定の第5世代へと移っていきます。およそ10年に一回のペースで世代交代がなされてきました。

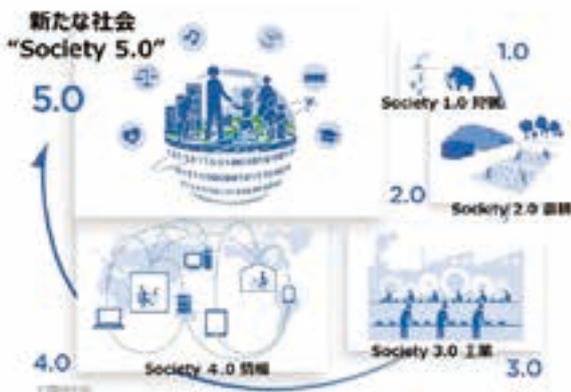


末松 憲治 氏

では世代が変わるにつれて何が変わったのかというと、まず携帯電話で言えば、「ガラケー」から「スマホ」に変わりつつあるということです。もう一つは、最大通信速度が大きく変わってきていることです。1メガ (Mbps) から1ギガ (Gbps) になることで通信速度が速くなり、通信もメールが主体であったものが、動画配信が当たり前になりました。これが第5世代になると、もっとリアルタイムな情報が流せるくらいの変化が起こればと考えられています。それを踏まえたくて、今回お話をしたいのは、単に携帯電話の進化としての5Gではなく、5Gが生み出しているものは、携帯電話以外のアクティビティーションを多く含んでいるということです。これから生まれる新しいサービス、新しい使い方とは何だろうか、ということについてお話しさせていただきます。

2. 新たな社会「Society5.0」

5Gをお話する上で、まず重要な位置付けにある「Society5.0」と、そこにおける無線通信の役割について説明したいと思います。Society5.0のポイントとなるものは、本格的なIoT (Internet of Things) であると言

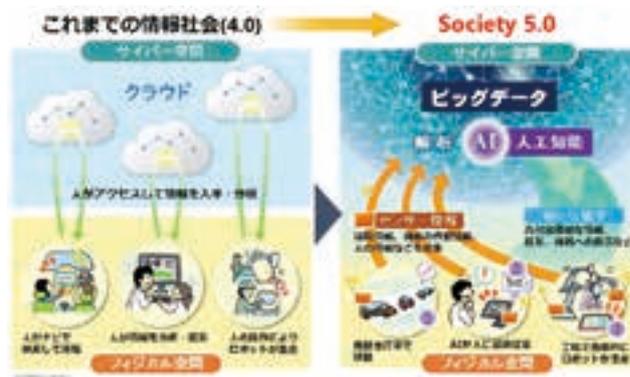


出典：内閣府HP
https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html

えます。全てのものがインターネットにつながる状況において、M2M (Machine to Machine) であるということが重要となります。人と人ではなく、人を介在しないでマシンとマシンが繋がるということです。例えば自動車における自動運転や、フレキシブルファクトリーやスマートファクトリーと呼ばれる工場内の自動化というものに繋がっていきます。第5世代に期待されていることは、単に携帯電話のハイスピード版としての役割だけではなく、様々な分野での役割が期待されており、それによって社会が変わるのではないかと言われています。

Society5.0の定義は、内閣府が示すように、Society1.0から連続的に進化していった姿として、これ

からの新しい社会の姿として位置付けられています。Society1.0が狩猟で始まり、農耕、工業、情報と進化していきます。そしてこれからの社会が5.0となっているのですが、一体何が新しいのだろうか、どういう社会になるのかについては、あまり具体的に示されていません。全体像から見ていきますと、IoTで全てのモノがつながり新たな価値が生まれる社会、イノベーションにより様々なニーズに対応できる社会、AIにより必要な情報が必要な時に提供される社会、ロボットや自動走行車などの技術で人の可能性が広がる社会、というように捉えることができます。何となくバラバラな印象を受けるのは、Society5.0が明確なものとして位置付けられていないからではないかと思われま



出典：内閣府HP
https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html

もう少し違った視点で見てみましょう。今までの情報社会4.0から新しい5.0へ移ることで何が変わるのかというと、今までは人が介在して情報を取り扱っていたことが、5.0になると人ではなくモノがデータを取りに行きフィードバックさせる、つまり人を介在しないでモノが通信することが主体になるのです。それは5Gが単なる携帯電話の延長ではなくなっていることを示しています。今までの携帯電話は人が直接触れて情報の通信を行っています、Society5.0における無線通信の世界ではM2Mの通信であり、人を介在しないで通信を行うことが主体になると考えられています。

3. 本格的なIoT社会

IoTの中で注目すべき具体的な事例として、自動車の自動走行と工場内の無線通信システムが挙げられます。これらはモノが通信をしてモノにフィードバックをかけるという「本格的なIoT」であり、第4次産業革命と呼ばれる新しい変革として期待されています。

自動運転について見てみましょう。縦軸が自動運転レベルでレベル1からレベル5まであり、数値が大きくなれば自動運転の性能が向上します。横軸は運転環境に関する制限であり、地域や速度、交通状況などの項目があります。例えばAの「ゴルフカート」や「工場無人搬送車」の場合、敷地内や工場の中といった多くの制限が付くため、自動運転のプログラムは組みやすく、現在でも比較的高い性能の自動運転が可能となっています。次に皆さんに馴染みのあるBの自家用車については、走る範囲や距離、速度、交通状況など制限無く様々なケースが想定され、あらゆる運転環境に対応するプログラムを組む必要があるため、現在の技術では「完全自動運転（自動運転レベル5）」といった高い性能の自動運転は実現困難と言えます。自家用車での自動運転を実現するには、相当の技術的発展のみならず、経済的発展や国際連携が必要とされています。こういった状況から、自動運転レベルに関しては制限の多い物流や産業用機械について注目が集まっていると言えます。

では現在の具体的な状況はどうでしょうか。自家用車の話をすると、カーナビやETCに次いで、事故発生



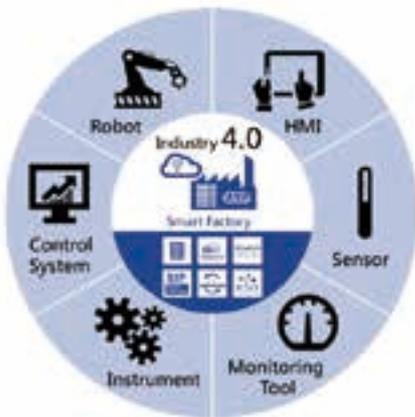
出典：内閣府SIP（第2期）研究開発の概要
<https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/kenkyugaiyo2.pdf>

時の位置特定や地図のアップデートをオンライン上で行える「コネクテッドカー」の技術が開発されています。今までオフラインだったものが、携帯電話やDSRC（Dedicated Short Range Communications）といった無線技術を使ったオンライン化で自動運転に繋がっていくことから、現在は自動運転への過渡期と言えるのではないのでしょうか。物流や産業用機械の話をすると、自社敷地や工場内といった制限がある中で、ブルドーザーを遠隔操作して実際に工事現場に行かなくてもオフィスの中で運転できる、こういうところでリアルタイムの情報を送るのに5Gが使えるのではないかと、と言われている状況です。

4. 第4次産業革命

本格的なIoTにより、あらゆるものがインターネットに接続された世界を「Industry4.0（第4次産業革命）」と呼んでいます。これについて説明します。まず第1次産業革命は、イギリスにおける蒸気機関です。これまでの水力や人力に置き代わって計算できるシステムを得たもので、石炭を中心としたエネルギー源が開発されました。第2次産業革命は、アメリカにおけるベルトコンベアによる大量生産であり、モーターといった電気を中心としたエネルギー源が大量生産を実現しました。第3次産業革命は、日本ではないかと唱える人がいます。それはコンピューターによるラインの自動化であり、人の力で行っていたものをコンピューターにより機械化して自動化したものです。

では第4次産業革命は一体何なのでしょう。どこで行われるかわかりませんが、「IoTによるカスタマイゼーション化」と言われています。第3次産業革命は、同一品種を1つの製造ラインでリピートし、自動的に大量生産をするものでしたが、第4次産業革命は、1つのラインで自動的に様々なものを作ることができるものです。これは単に色を塗り替えるとかではなく、まったく違うモノを作ることができる製造ラインを指します。少量多品種という呼び方をする人もいます。例えば、工場の中に旋盤、プレス機、電気基盤など様々なものが並んでいて、そこで自分が作ってもらいたい設計図を持ってそれぞれの機械のところへ行き、作ってもらって組み立てることができる。違う人が違う設計図をもっていくと全く違うものができる。この作業を人が行うのではなく機械が行い、ネットワークにあるデータを扱うことも機械が全部やってくれる、という考え方です。



出典：<http://bit.ly/2iwA1Sh>

IoTは、モノのインターネットと言われており、これはロボットであったりモニタリングツールであったり、センサであったり、それら全てがインターネットに繋がって一緒に稼働することで、少量多品種の製造が可能になるものです。そこではあらゆるものがインターネットに接続されているので、柔軟性が生まれてきます。IoTはまだ始まったばかりで、本格化はこれからです。

今のIoTというのは大量生産ベースのものであり、多種多様なものを同じラインで作っているわけではありません。ケーブルに接続され固定化された工作機械が生産を行っているため、機械をネットワークにつなぐ場合も無線である必要はありません。それに対して

本格的なIoTが進むとどうなるかと言うと、工作機械自体が可動し、あっちこっちで寄り道しながらモノを作ることができるようになります。そうすると、固定化された製造ラインや機械が意味をなさなくなり、可動する機械が主体となるシステムが出来上がります。ケーブルで接続できない世界、これからは無線IoTが主役となるのです。工場の中に無線IoTが入ってくることで、少量多品種の生産が可能となり、また柔軟性につながり、将来の新しい産業社会を作っていくことになるのです。

5. 無線通信システム

RFID（Radio Frequency Identification）やWi-Fi（無線LAN）など、工場内に無線IoTが普及し始めています。無線IoTの普及活動を行っている団体であるFFPA（Flexible Factory Partner Alliance）によれば、無線IoTは製造工程の改善やデータ収集等のコストを省力化できるとしており、後付けセンサや移動体（人、AGV（Automated Guided Vehicle））に適用され、工程やレイアウトの柔軟な変更に対応できるとしています。どんなところで使われているのかというと、人が立ちにくい機械組立工場や高温作業現場でも使われています。

このように無線IoTはどんどん工場内に導入されていますが、Bluetooth、Wi-Fiなどの無線規格については「アンライセンスバンド」という周波数帯が使われています。これはライセンスしてある周波数帯ではない周波数帯であり、ある一定の条件下で無線局免許を必要としない周波数帯のことです。普通の周波数帯は「ライセンスバンド」と呼ばれており、無線局免許が必要になります。例えば、携帯電話の周波数帯は総務省から各キャリア（携帯電話事業者）が割り当てをもらって、電波使用料を払う代わりにその周波数帯は使って良いと

いう許可を得て使っています。ほとんどの周波数帯がライセンスバンドです。それに対してアンライセンスバンドは、免許が不要となりますが、その例がBluetooth、Wi-Fiなどです。

例えば家の中に無線LANのルーターを置いて無線LAN環境を作った際、もしこれがライセンスバンドだったとすると、無線局免許の申請をして許可を得て設置しなければなりません。アンライセンスバンドはその必要がありません。これは何故かという、その周波数帯が2.45GHzというISMバンド（Industry Science Medical：産業科学医療用バンド）の周波数帯だからです。身近な例で言うと、電子レンジ（Microwave Oven）がそうです。電子レンジは中で電波を放射して食品に加熱していますが、その周波数帯は無線LANの周波数とほとんど同じです。したがって、電子レンジを付けると無線LANがつながりにくい現象が起きたりします。何が言いたいのかという、「好きに使ってもいいが繋がらなくても文句を言わないで下さい」というのがISMバンド（アンライセンスバンド）であり、「あなただけに使わせるが使用料は払って下さい」というのがライセンスバンドであるということです。また、携帯電話の電波の繋がり方はキャリアが完全にコントロールできますが、アンライセンスバンドは誰がどう使ってもいいので通信が不安定になりやすいのです。一方で、工場内で無線IoTを使おうとした際に、キャリアに対してわざわざ基地局の設置や使用料や通信料を払ったりする人はいないので、普通はアンライセンスバンドを使うことになるのです。

無線システム的具体例を挙げていきます。RFIDで言うと、無線版バーコードを貼りそれを読み取るシステムやIDタグなどです。回転寿司などで会計する際に、皿の数や種類を見なくても機械が瞬時に合計金額を読み取る仕組みです。類似例ではSuicaやスマホなどの電子マネー、スキー場のリフト券などです。Bluetoothはコードレスのイヤホンです。Wi-SUN（Wireless Smart Utility Network）は、ローパワー無線のようにガスメーターや電気メーターについているものですが、直接検針しないでも、近くを通るだけでデータが取得できてしまう無線システムです。

無線IoTの普及は進んでおり、特に限られたスペースで使用されることが多い工場内では、工具類や工作機械、物流の物品など多くのモノに使われています。そして現在問題となっているのは、工場のような狭空間においてユーザーサイドが把握できない状態で無線システムが入っていると、微妙な輻輳（特定の通信回線にアクセスが集中し、通信が不安定になること）が起きてしまう可能性があることです。既存の無線システムは、干渉による衝突が起き通信が失敗します。通信が失敗すると再送がなされるのですが、本当は止まらなければならない機械がずらずと動いてしまうことがあります。通信において問題が発生した場合はライン全体が止まってしまうので、大量生産しているところはかなりの損失となるのです。現状の技術では解決できないことから、これに5Gを使えないか、ということになっています。

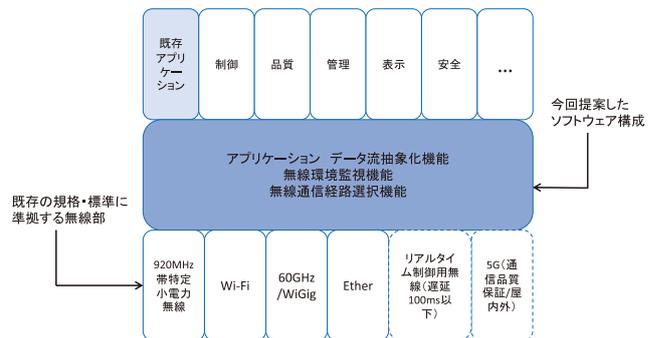


図6 無線安定化技術で用いられる情報のやり取りを実現するソフトウェア構成

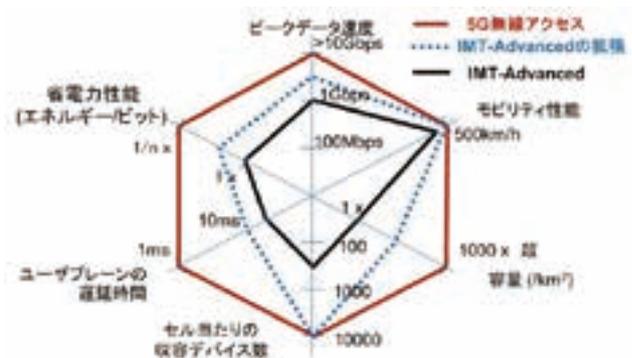
出典：http://www.sanritz.co.jp/wp-content/uploads/2017/01/Flexible_Factory_-_Project_20170117news.pdf

6. 5G（第5世代）のサービス

5Gのサービスは、既存の無線サービスを拡張・多様化したものです。例えば高精細動画を送信したり、それに則ってVR（Virtual Reality）が増えたり、遠隔での医療や教育が充実したり、ヒューマンインタフェースが向上したりします。5Gというと喋る家電やVR、AIのイメージがあるかもしれませんが、経済効果で考えると、家電関連の「スマートホーム」と言われる市場は2兆円の試算に留まります。医療も5兆円程度しか見込まれていません。それに対してIoTは、新たな用途として交通、産業用機械、ウェアラブル、住宅、センサ等に用いられるものであり、その経済効果は、製造業で13兆円、交通では21兆円が見込まれています。

5Gの家電を買いましたとなった時、あなたなら5Gの付加価値に対していくら支払うでしょうか。おそらく、冷蔵庫やエアコンが一番高い家電だとしても、せいぜい数千円から数万円の単位なのではないでしょうか。ところが工場ではいくら支払うことになるかという、導入するものが製造設備になりますので、百万円単位の支払が容易に想像されます。製造業の市場は、スマートホーム市場に比べるとお金の量が違います。本格的なIoT化が行われる製造業・オフィス・交通の市場が、5Gによって大きくなるのではないかとされています。

具体的に5Gの性能はどのようなものか見てみます。点線で示されている「IMT-Advanced」が今の4Gだとすると、5Gは一番外側の線で示されています。モビリティ性能は500km/h、ピークデータ速度（最高速度）は10Gbps、遅延時間や省電力性能も向上していきます。こういった性能の中で、本格的なIoT化にあたって重要になっていくのが、セルあたりの収容デバイス数です。これは、1つの無線機で通信が成立するデバイス（装置）の数を意味します。例えば工場内において、1人の作業員が行っていた作業を工作機械が替わるとします。工作機械にはセンサを始めとした様々なデバイスが取り付けられるわけですが、M2Mを進めるためにはこれまで以上の超多数デバイスの接続が必須となり、この収容数を増やさないと本格的なIoT化は困難であると言えます。



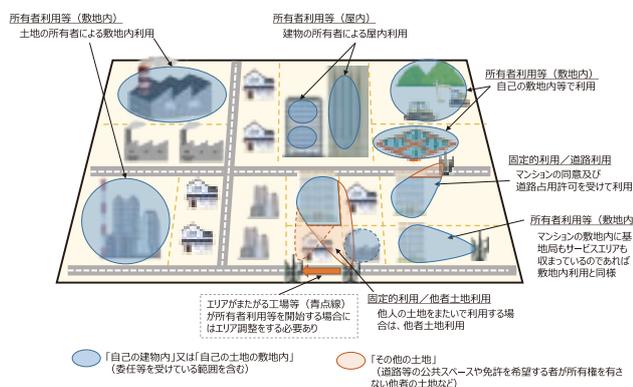
"Mobile Communications Systems for 2020 and beyond", ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group White Paper, Oct. 2014. 出典: <http://www.arib.or.jp/english/20bah-wp-100.pdf>

では、現在の5Gにおける方向性はどのようなのでしょうか。これについては、「New Radio」+「New RAT」、つまり「新しい周波数帯」と「新しい無線アクセス技術」を足したもので示されています。4Gの無線通信は、3Gの無線通信と同じ周波数帯を使い、その効率を上げることによって高速化を図りました。5Gを目指すには効率を上げるだけでは不十分であり、新たな高い周波数帯を開拓しなければなりません。一方で、高い周波数帯の電波は高速データレート伝送を高効率に提供することができますが、回折（幾何学的には到達できない領域に回り込んで伝わっていく現象）しにくいという欠点があり、ユーザーとの間に障害物があると接続しにくい側面があります。逆に低い周波数帯の電波は、ユーザーが建物の中にも通信が可能ですが、性能は今一つです。つまり、5GによりIoTを実現させるには、新しい高い周波数帯を使える「無線アクセス技術」を高度化していかなければならない、ということになるのです。

オリンピックイヤーである2020年までに導入される5Gの性能は、既存の4Gの周波数帯と新しい周波数帯の協調利用するものと考えられており、ピークデータ速度は数Gbpsと言われています。これが無線技術の更なる高度化により本格的なIoT化につながっていくのは、2020年代半ばに向けた「5G+（5Gの拡張版）」で実現すると考えられています。

7. ローカル5G

5Gは携帯電話の延長線上にあるものだけではなく、M2Mや無線IoTに役立つシステムになりそうだとすることを理解していただけたかと思いますが、5Gはライセンスバンドであるため、結局、工場内に基地局を作ってもらい通信料を払わなければならない、という話になります。無線システムとしては良いけれど、使い勝手が悪いということになります。それを解決する方法として、「ローカル5G制度」というものが提案されています。「5G自営システム」とも呼ばれています。現在通信ニーズの多様化が進み、5Gにおいてはより一層の多様化が進むことが想定されるため、地域ニーズや個別ニーズに応じて様々な主体が5Gを活用した「ローカル5G」を導入できる制度を整備し、5Gの地域での利用促進を図るものです。コンセプトとしては、地域においてローカルニーズに基づく比較的小規模な通信環境を構築することです。例えば、一個のアクセスポイントと一個の端末という工場の中だけで利用する使い方をしても良く、また無線局免許を自ら取得することもでき、他社のシステムを利用することもできます。ローカル5Gのイメージは、「スマートファクトリー」であり、つまり工場内において基地局を設置して工場内だけの無線環境を作ることで、5Gのハードウェアはそのまま自分で運用して使えるようになる、というものです。

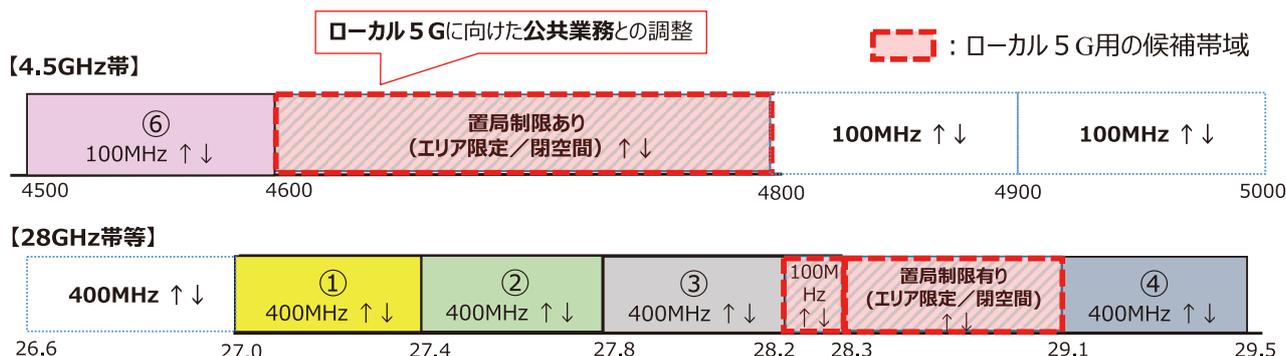


出展: 総務省移動通信課ローカル5G検討作業班 第4回資料
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/5th_generation/local_5g/O2kiban14_04000638.html

重機の遠隔操作においても、重機をおいてある場所でしか電波が届かないようにしていれば、そこに対して許可を得て免許を取得して自営網として通信することができるようになります。5Gを利用するため、既存の無線のIoTシステムとの緩衝もなく、リアルタイム性があり、かつ多くのデータを送れるようになります。どうぞ自由に利用してください、というのが趣旨です。

ではローカル5Gはどういうところで利用されるのでしょうか。自分の敷地内だけですが、重機や車の中、畑や田んぼの中、工場の中、マンションやオフィスビルの中など、様々な場所で使えるようになります。

次に周波数としてはどう取り扱うのでしょうか。今注目されているのは28GHz帯ですが、既に①・②・③・④はキャリアに割り当てられています。今空いているのは、点線で囲まれている部分、衛星通信事業者と被るため調整が必要ですが、ローカル5Gが実用化できないかを検討しているところです。



出展：総務省移動通信課ローカル5G検討作業班 第6回資料 http://www.soumu.go.jp/main_content/000607542.pdf

8. 最後に

まとめになりますが、今後の無線通信は携帯電話の延長ではなく、本格的なIoT化に向けた大きな市場として注目されています。そこではM2Mが主体の通信となり、自動運転や工場内のシステムに応用されます。性能においても、低遅延や多接続数が重要となっており、それを5Gで実現できるのではないかと期待されています。この特性を得るために、2020年代半ばに新しい周波数を使った「New Radio」の実用化を目指しています。またその高い周波数帯を扱うための新たな送受信機や、新たな通信技術が必要とされていますが、中国や韓国が世界を牽引する分野となっている状況です。一方日本国内ではキャリアに頼らない「自前の通信システム」として、ローカル5Gの実用化が見込まれており、そこにも新たなビジネスが期待されています。



セミナーの様子

末松 憲治 (すえまつ のりはる) 氏

東京都出身。企業の研究所にて、携帯電話、無線LAN、ETC車載器などの地上系無線通信機器と、衛星通信の衛星搭載機器、地球局装置、およびこれら通信システムの研究開発に約20年間従事。2010年より、東北大学電気通信研究所教授として、無線IoTシステムおよびハードウェア技術の研究に従事。現在、同研究所21世紀情報通信研究開発センター長。