



山田直志*

社会を支える通信技術の動向と展望

Trend and Future Scope of Communication Technologies for Society

Naoshi Yamada

1. ま え が き

スマートフォンや携帯端末のIT機器はもとより、家電、車載機器、ロボット等あらゆる種類の機器やセンサを相互間又はサーバと通信させ、得られる情報を収集、蓄積、分析して人に提供したり、機器制御に反映したりすることで、新たな価値を生み出すシステムの実用化が進められている。IoT(Internet of Things)やM2M(Machine to Machine)と呼ばれるこれらのシステムで接続される機器は、近い将来大幅に増加すると予想されている(図1)。

本稿では社会を支える通信技術を概観し、各章で無線通信技術と無線通信技術のそれぞれについて技術動向と三菱電機の取組みを述べる。

2. 社会を支える通信技術

IoTの実現には、情報を取得する機器やセンサ、それらをつなげる通信、取得したデータを処理する情報処理、ユーザーの便に供し活用するアプリケーションが必要である。

中でも、つなげるための通信が必要不可欠であり、IoTでは、センサやサーバが繋がることが大前提である。

では、どのようにつなげるかという点、有線通信と無線通信に大別することができる。図2に示すように、IoTの世界を考えた時に必要な基本分野として、有線通信ではコア・メトロネットワーク、アクセスネットワーク、フィールド(エリア)ネットワークがある。同様に無線通信では、モバイルブロードバンド、業務無線、M2M無線がある。

当社はこれまで、コア・メトロネットワークの分野では光クロスコネクシステム、アクセスネットワークの分野では光ファイバ網のPON(Passive Optical Network)装置、フィールド(エリア)ネットワークの分野ではFA(Factory Automation)システム向けレイヤ2スイッチ、モバイルブロードバンドの分野では第5世代無線アクセス基地局技術、業務無線の分野では列車無線システムやMCA(Multi-Channel Access)システム、M2M無線の分野ではスマートメータ通信などの技術開発を行ってきた。これらの技術分野の概要を本稿で述べ、個々の技術や製品の開発例を本誌7ページ以降の今特集号の各論文で述べる。

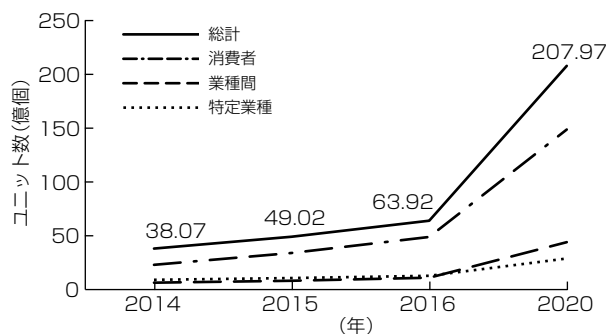


図1. IoT搭載機器ユニット数⁽¹⁾

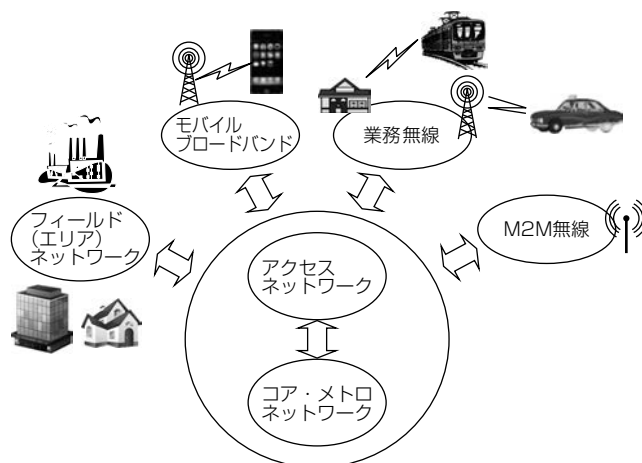


図2. IoTを支える通信の基本分野

3. 有線通信技術

従来の有線通信は、高速化、大容量化の流れを主軸として、メタル伝送から光伝送へと通信メディアを移しながら、技術が進歩し市場が展開されてきた。しかし近年では、高速・大容量化のみならず、高信頼化、高精度化、低遅延化、低消費電力化に関する要求が増大し、これらの課題に対応する技術開発が推進されている。これはキャリア通信以外の分野、つまり後に取り上げるフィールド(エリア)ネットワーク分野など、通信技術や通信システムの適用先が広範になり用途が多様化していることに起因すると考えられる。

次に、基幹系のコア・メトロネットワーク分野、加入者系のアクセスネットワーク分野、及びフィールド(エリア)ネットワーク分野に分け、それぞれの動向と技術課題を述べ、合わせて当社の主要技術について述べる。

3.1 コア・メトロネットワーク

1990年代以降、光通信システムは指数関数的に増大する大容量化の要求に応じてきた。中でもコア・メトロネットワークは、図3に示すように光増幅中継技術、波長多重技術に始まり、多値変調技術、デジタルコヒーレント受信技術、誤り訂正技術等の進展を背景に、非線形光学効果や通信に利用できる波長帯域の制限といった光ファイバの特性によって決まる伝送容量限界に迫る進展を遂げた。当社もこれらの技術開発を行ってきた⁽²⁾(図4)。2020年代以降の将来に目を向けると、IoT・人工知能・ビッグデータを活用したサービスの登場に伴い、通信トラフィックは現在の1,000倍にも達すると予想される。情報通信の基盤技術として光通信システム全体の継続的な技術革新が求められており、2020年代の実用化を目指して高速大容量化を主とした研究開発が活発になっている⁽³⁾。コア・メトロネットワークに対しても同じ方向性を持った開発が望まれる。

実用を目指した開発を進めるに際し、標準化はシステムの普及を加速する上で重要である。特に相互接続性を担保する目的で、光・電気信号収容に関するインタフェース規格化がITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)やIEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)又はOIF(The Optical Internetworking Forum)といった国際

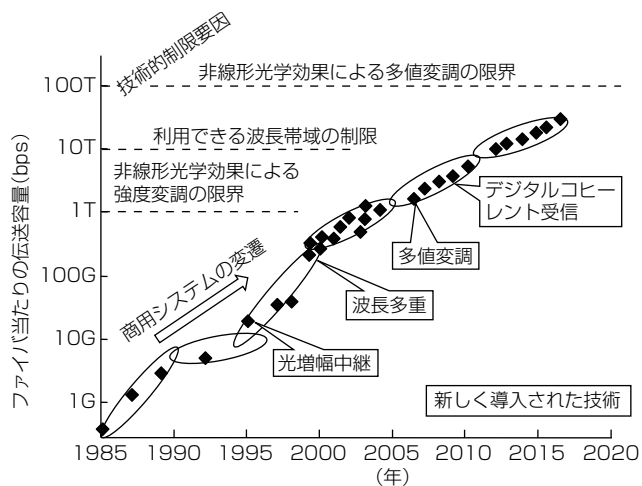


図3. コア・メトロネットワークの技術進展



(a) 波長多重光通信システム (b) デジタルコヒーレント光送受信器

図4. 当社開発品

的な団体・委員会で進められており、例えば基幹デバイスとなる小型100Gbpsモジュール標準化や、IEEE802.3bs小委員会(400Gbps Ethernet Task Force)における次世代大容量通信の標準化議論が開始されている。

技術開発の面では、大容量化、高効率化、長距離化の実現に向けて、光ファイバ帯域の効率的な割当てと光ファイバの非線形光学効果への対処の2つが大きな課題である。デジタルコヒーレント技術を前提とした上で、これらの課題の克服に向けた技術開発が進んでいる。当社では、符号化・変復調の工夫によって周波数利用効率向上を図る技術、効率的な光信号収容に向けた光スペクトル整形技術、デジタル信号処理によって非線形光学効果の影響を低減して伝送距離延伸を図る技術、同一の光ネットワークへの異なる伝送速度信号を収容する技術などの開発を進めている。これらの開発によって、これまでにない高い周波数利用効率を持つ1 Tbps級の超高速通信を達成し⁽⁴⁾、将来の高速・大容量コア・メトロネットワークの実現に備えている。

3.2 アクセスネットワーク

アクセスネットワーク市場と関連技術はインターネット接続サービスの高速化を原動力として発展してきた。特にPON方式登場を契機に、メタル電話線を使ったxDSL(Digital Subscriber Line)方式に代わり、光ファイバによるアクセスネットワークが急拡大した⁽⁵⁾。

PON方式は光ファイバの帯域を複数の加入者で共有する方法によって、経済性に優れた時分割多重のTDM/TDMA(Time Division Multiplexing/Time Division Multiple Access)方式と、大容量化に有利な波長多重のWDM(Wavelength Division Multiplexing)方式に大別されるが、近年、両者を組み合わせたTWDM(Time and Wavelength Division Multiplexing)方式によって経済的に大容量化を実現するための開発も行われている。これに加え、システム全体の相互接続を考慮した上での高信頼化、低消費電力化、管理機能などの付加や、光ファイバへの無線信号収容を例とする無線システムとの連携に対する期待が高まっている。

これらの課題に対応した取組みとして、当社では波長可変型光モジュールの開発や、PONの冗長切替え機能、パワーセーブ機能、時刻同期機能の開発、モバイルフロントホール向けPONシステムの開発などを行っている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。モバイルフロントホールは、無線基地局装置のRRH(Remote Radio Head)とBBU(BaseBand Unit)を接続するもので、基地局ネットワークとして重要な役割を担う。経済性のために、TDM-PON技術の活用と光・無線間連携制御技術を用いた低遅延転送の実現、WDM-PON技術の活用と光多値通信技術を用いた高速伝送処理回路の低コスト化が必要で、これらの技術開発に力を入れている(図5)。OLT(Optical Line Terminal)はPONのBBU側装置、ONU(Optical Network

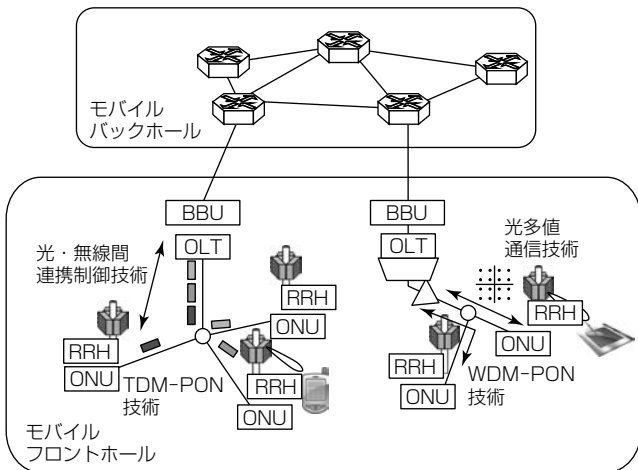


図5. モバイルフロントホールにおける光アクセス技術

Unit)は同じくRRH側装置である。必要となる伝送容量に応じてTDMとWDM方式を使い分け効率的なモバイルフロントホールシステムの提供を目指す。

3.3 フィールド(エリア)ネットワーク

工場、列車、自動車などの各種産業用フィールド(エリア)ネットワークでは今まで伝送容量の異なる個別規格が使用されてきたが、近年では汎用的なIEEE802.3(イーサネット^(注1))化が進んでいる。例えば、工場などのFA分野で、当社ではフィールドバス系の10MbpsネットワークによるCC-Linkに加え、イーサネット機器を利用する1GbpsネットワークのCC-Link IEも提供している。また車載ネットワーク分野では、現時点ではCAN(Controller Area Network)、MOST(Media Oriented System Transport)といった車載用の個別規格が主流であるが、まずはインフォテイメント系で大容量画像転送等に100M~1Gbpsのイーサネットが使われ始めている。このような動向の理由として、画像や様々なセンサによって大量に収集した情報を基に機器を分析・制御するために、今までの個別規格のネットワークでは対応しきれない大容量伝送が求められるようになってきていることが挙げられる。また汎用規格では規格済みの各種伝送速度機器のラインアップがそろっていること、各種通信機器の流通量も多く経済的であることも理由であろう。

しかし今後のフィールド(エリア)ネットワーク適用では低遅延性と高信頼性の面で課題がある。この課題を解決する一例として今特集号の42ページで述べるFAシステム向けレイヤ2スイッチ(インテリジェントHUB)では、従来はフレーム単位でストアしてフォワードしていたフレームを、カットスルー転送して低遅延性を実現している。一方、標準化の面ではIEEEで2012年頃から802.3br/802.1Qbu、802.1Qbv、802.1CBなどのTSN(Time-Sensitive Networking)規格群の議論が進められて前述した課題に対応するための規格化検討が行われている。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

4. 無線通信技術

これまでの無線通信は、主として人間が効率よく情報を交換することを目指して開発が進められてきた。このため、音声や写真、動画などをストレスなく伝送できるための通信仕様がセルラーや無線LAN(Local Area Network)を中心に規定されている。加えて、宅内や車内など限られたエリアで手軽に情報機器間を接続するBluetooth^(注2)や、大規模なセンサ網を構築するZigBee^(注3)など、幾つかの規格が普及している。2020年代に本格的な到来を迎えると思われるIoT社会では、あらゆるデバイスがネットワークに接続されることから、多様な利用シーンやアプリケーションへの対応が求められる。次に、当社事業に関わりの強い、モバイルブロードバンド分野、業務無線分野、及びM2M無線分野について述べる。

(注2) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標である。
(注3) ZigBeeは、ZigBee Allianceの登録商標である。

4.1 モバイルブロードバンド

情報機器の高性能化とスマートフォンの普及、LTE(Long Term Evolution)に代表される高速移動通信ネットワーク整備に伴って、移動通信トラフィックは毎年1.5倍近い比率で増加している⁽⁸⁾。このペースで増加が続けば2020年代には2010年の1,000倍のトラフィックを処理する必要がある、第5世代移動通信ネットワーク(5G)と無線LANによるオフロードがその役を担うものと期待される。5Gに求められる要求性能はIMT(International Mobile Telecommunication) Vision⁽⁹⁾としてまとめられている。ピークデータレート20Gbps、ユーザーの実効データレート100Mbps、トラフィック密度10Mbps/m²など、データレートで第4世代の20倍、トラフィック密度で100倍の性能向上が必要となる。無線LANでは2015年現在、マイクロ波帯(5GHz帯)を用いるIEEE802.11acの系統と、ミリ波帯(60GHz帯)を用いるIEEE802.11adの系統が規格化されている。両規格ともに6Gbps超のピークデータレートが規定されており、手軽に利用できる無線LANの特性を活用して家庭やオフィスで高速無線アクセスを提供している。

図6に3GPP(The 3rd Generation Partnership Project)及びIEEE802.11委員会における標準化状況を示す。第4世代となるLTE-Advancedが2015年にサービスが開始され、3GPPでは引き続きLTE-Advancedの機能拡張規格となるRelease(Rel-12, Rel-13)がまとめられた。5Gの規格の主要な部分は、その後のRelease(Rel-14~Rel-16)で規定される予定で、2020年のサービス開始に向けて開発が進められる。IEEEでは802.11acの後継として802.11ax、また802.11adの後継として802.11ayの議論が進められている。データレート高速化に加えて、混雑した環境でも速度低下が発生しにくい仕組みが導入される見込みであり、

2019年の規格化完了を予定している。

当社では、ピークデータレート20Gbpsを達成する5G基地局の実現に向けて、超多素子APAA(Active Phased Array Antenna)アンテナを用いた空間多重技術の検討を進めている⁽¹⁰⁾。図7に5G基地局のイメージを示す。各端末に向けて送信する電波をビームのように細く絞り、電力

2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
3GPP							
LTE(3.9G)				LTE-A(4G)			
▲Rel-12▲Rel-13▲Rel-14▲Rel-15▲Rel-16				5G			
IEEE 802.11委員会				11ax			
11n		11ac		11ay			
▲ac Final Spec.		▲ax Draft2.0		▲ax Final Spec.		11ay	
11ad				▲ay Draft1.0		▲ay Final Spec.	

図6. 3GPP, IEEEにおける標準化状況



図7. 5G基地局用超多素子APAAアンテナ

を目標端末のみに集中させる。複数のビームを形成することで、同一の周波数を用いて同時に多数の端末と通信することが可能となり、高いピークデータレートを実現する。超多素子APAAアンテナを含む基地局装置の試作を進め、フィールド試験を経て実用化を目指す予定である。

4.2 業務無線

業務無線は、特定の事業者向けの専用無線通信システムであり、指令所と列車を結ぶ列車無線や、災害・避難情報を伝える防災無線などが該当する。事業者ごとに通信に対する要求が異なるため、独自方式が用いられることも多い。

列車との無線通信では、音声通話に加え、東海道新幹線では旅客向けにインターネット接続サービス、在来線でも列車内での準リアルタイムな情報提供サービスが行われている。今後は、列車各部の劣化診断向けビッグデータ伝送、セキュリティを目的とした監視映像の伝送など新たなアプリケーションも期待される。

当社では独自の無線伝送技術や音声符号化技術を適用することで、各種の業務無線システムを多数開発・製品化してきた⁽¹¹⁾。今後も更なる大容量化、高信頼化、高速移動への対応を進めていく。大容量化に向けた当社の取組みの一例として、図8に提案する仮想リニアセルコンセプトを示す⁽¹²⁾。従来検討されてきたアンテナごとに周波数の異なる基地局を置く構成⁽¹³⁾では、干渉を避けるため短距離で周波数の分割・切替えが必要であり、大容量化が難しい問題があった(図8(a))。また基地局数が多いためコストが増大するとともに、ハンドオーバー回数が多くなる課題があった。これに対し、当社提案構成では多数の路側アンテナを1つの基地局に接続し、単一周波数ネットワーク技術によってアンテナ間の干渉を抑圧し、仮想的に大きなリニアセルを構成する(図8(b))。これによって基地局間の距離が離れるため、周波数再利用が可能となり、2周波数繰り返して全線のサービスが実現できる。基地局数削減とともに

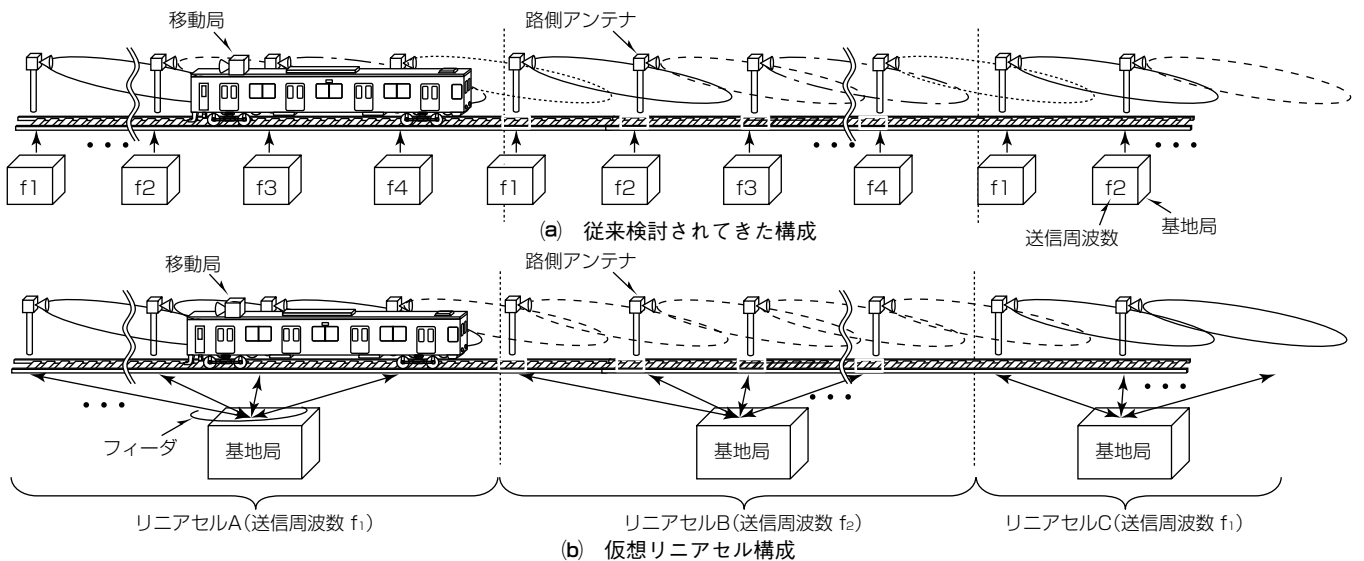


図8. 列車無線でのセル構成

に、基地局当たりの周波数帯域を広くとることができ、大容量伝送が可能となる。

4.3 M2M無線

IoT社会では、人間を介さない機械同士(M2M)のアプリケーションが急速に増加すると考えられる。IMT Vision⁽⁹⁾ではモバイルブロードバンドと並び、5G時代には高信頼・低遅延な通信カテゴリ(Ultra-reliable and low latency communications), 及び大量のデバイスが接続される通信カテゴリ(Massive machine type communications)が利用シナリオとして規定されている。日米欧の通信キャリアを中心としたNGMN(Next Generation Mobile Network)や一般社団法人電波産業会(ARIB)でも、5Gのアプリケーションが詳細に検討されており、各種センサネットワークや、ウェアラブルデバイス(健康管理)、スマートホーム、自動運転、災害監視など多くの将来展開が予想されている。

M2M向け通信システムへの要求はアプリケーションによって大きく異なるが、接続数の増加、長距離通信、低消費電力化、多種規格混在への対応などが求められている。3GPPではセルラーシステムを用いたIoTをMTC(Machine Type Communication)と称し、標準化が進められている。狭帯域伝送、端末間直接通信、簡素なハードウェア実装が可能な構成が規定され、順次公開される予定である。セルラー以外のISM(Industry-Science-Medical)帯を用いたLPWA(Low Power Wide Area)システムとしては、Wi-SUN、SIGFOX^(注4)、LoRa^(注5)、IEEE802.11ahなどが低消費電力化(電池寿命10年以上)、長距離直接伝送などを特長として開発が進められている。

これまで当社では、スマートメータ用としてM2M無線技術を活用して広いエリアで効率的な情報収集を実現するシステムを開発してきた。また国内では1960年代の高度経済成長期に一斉に整備された多くの社会インフラが耐用年数とされる50年を超え、効率的な保守・更新を行う仕組みが求められている。この要求に対し、各種センサデータや監視映像データなど異なる種類のデータを効率的かつ確実に運用管理者に通知するための通信ネットワーク基盤技術を開発中である。具体的には、Wi-SUNを用いて橋脚や列車、斜面などが存在する現実の鉄道事業者環境でのマルチホップ伝送性能を検証するとともに、ビッグデータの階層的で効率の良い収集方法の設計・開発を行っている⁽¹⁴⁾。

(注4) SIGFOXは、SIGFOX社の登録商標である。

(注5) LoRaは、Semtech Corp.の登録商標である。

5. む す び

IoTやM2M推進の機運が高まるなか、これらに必要な通信技術の動向と当社の取組みを述べた。当社はこれまでに開発してきた有線通信・無線通信の技術をもとに、今後効率的で快適な社会を支える通信技術の研究開発を進める。

参 考 文 献

- (1) Gartner Press Release Nov.10, 2015 : Gartner Says 6.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015
<http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>
- (2) 中川潤一：光通信システム技術の変遷と今後の展開、三菱電機技報, **88**, No.9, 548~551 (2014)
- (3) 情報通信審議会情報通信技術分科会技術戦略委員会、中間報告書(案) (2015)
- (4) 三菱電機ニュースリリース 2016年2月15日：伝送速度1Tbpsを実現する「マルチサブキャリア光送受信技術」を開発
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2016/0215.html>
- (5) 総務省：第2部 情報通信の現況・政策の動向、平成26年度版情報通信白書 (2014)
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc255210.html>
- (6) 向井宏明, ほか：ONU Power Saving Scheme for EPON System, 電子情報通信学会英文論文誌B, **E95-B**, No.5, 1625~1632 (2012)
- (7) 中川潤一, ほか：5Gの全て, 日経コミュニケーション2016年2月号 (2016)
- (8) 電波政策ビジョン懇談会：電波政策ビジョン懇談会最終報告書 (2014)
- (9) Recommendation ITU-R M.2083(IMT Vision), Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond (2015)
- (10) 三菱電機ニュースリリース 2016年1月21日：伝送速度20Gbps以上を実現する5G向け新「マルチビーム多重技術」を開発
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2016/0121.html>
- (11) 伊村 真：無線通信システム技術の変遷と今後の展望、三菱電機技報, **88**, No.9, 552~555 (2014)
- (12) Nishimoto, H., et al. : Millimeter-wave train radio communication system based on linear cell concept, Proc. of STECH2015 (2015)
- (13) Abe, K., et al. : Millimeter-wave radio communication system between trains and ground facilities, Proc. IEEE ICOIN-12, 363~368 (1998)
- (14) 岡村 敦, ほか：ICNプロジェクト～ソーシャルビッグデータ, ITUジャーナル, **45**, No.3, 12~15 (2015)