

巻頭論文

# 快適・安心な社会を実現する 通信技術の展望



下笠 清\*



清水克宏\*\*

Perspective of Advanced Communication Technologies for Comfortable and Reassuring Society

Kiyoshi Shimokasa, Katsuhiko Shimizu

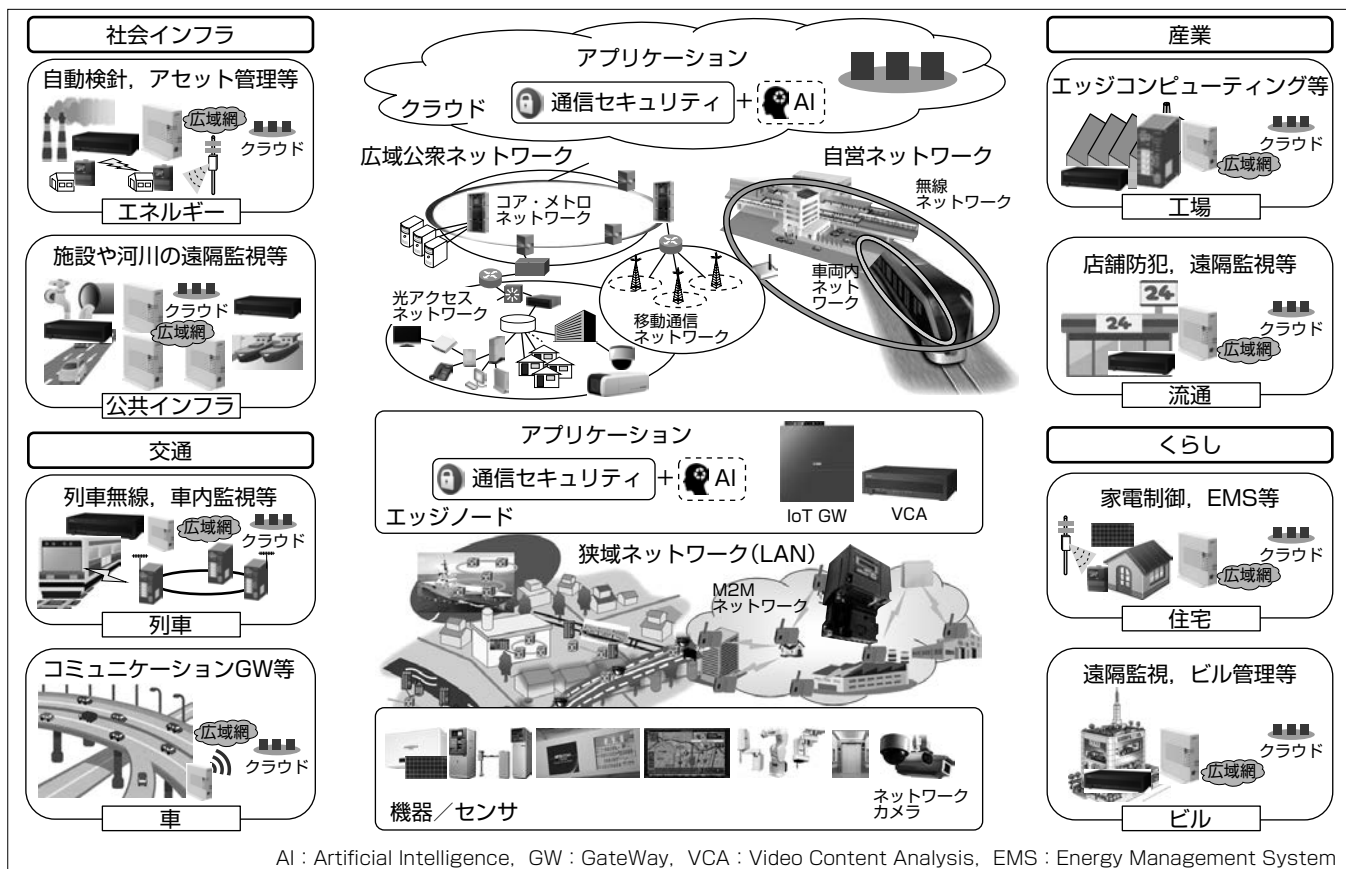
要旨

情報通信技術の進展によって、通信ネットワーク環境は重要なライフラインとなった。さらに、IoT(Internet of Things)の概念の基、多くの機器、センサをネットワークに接続し、その情報をビッグデータとして人工知能で処理・判断することで、社会システムを効率化する試みが始まっている。IoTは、人口減少、社会保障費増、自然災害の増加などの課題に対しても有効であり、快適・安心な社会を実現する切り札として期待されている。

一方で、IoTは高速、広域、低遅延、高セキュリティなネットワークやセンサが安価に提供されることを前提にしており、多くの分野の技術革新を要求している。三菱電機では、古くからブロードバンドを支える光通信システム、移動通信システム、M2M(Machine to Machine)システ

ム、列車無線システム、映像監視システムに取り組んでおり、各分野の技術トレンドをリードする研究開発を進めてきた。光通信技術では数年で倍になる通信トラフィックを支えるためのデバイス開発、方式開発が進行しており、今後の大容量化を実現する技術も生まれている。無線通信技術でも、第5世代移動通信システム(5G)に代表される大きな革新を迎えようとしている。映像技術では、深層学習(ディープラーニング)等を活用した画像解析による高度な判断を実現しつつある。

当社は、IoT技術と、社会インフラ、交通、産業、くらし(住宅、ビル)の各分野の技術・知識・経験を掛け合わせることで、快適・安心な社会の実現に貢献していく。



AI : Artificial Intelligence, GW : GateWay, VCA : Video Content Analysis, EMS : Energy Management System

## 快適・安心な社会を実現するIoTとそれを支える通信・映像技術

IoTシステムでは、機器・センサ群を狭域ネットワークによって接続し、エッジノードに情報を集約する。エッジノードではデータを一次処理・判断し、広域公衆ネットワークや自営ネットワークを介してクラウドに必要なデータを送信する。クラウド上のサーバで、それぞれのシステムに応じたアプリケーションがデータの集約・処理・判断を行う。ここで、広域・狭域ネットワークは光通信・無線通信技術による高速・低遅延・多接続性・高セキュリティが不可欠であり、また狭域・自営ネットワークでは列車無線やM2Mネットワークなどの独自のプロトコルが求められている。多くの技術とノウハウによって、IoTが実現され、快適・安心な社会の実現に貢献できる。

## 1. ま え が き

500億個を超える機器・センサがネットワークに接続されるIoTは、快適・安心な社会を実現するとともに、第四次産業革命とも呼ぶべき大きな変革を引き起こす可能性を秘めている。一方、IoTは、いつでも、どこでも安価に多数の端末、高速移動する端末、高速通信を要求するユーザーをサポートする強力な通信インフラを前提としている。

本稿では、光通信技術、無線通信技術、映像技術などを俯瞰(ふかん)し、IoT時代の伝送技術を中心として、快適・安心な社会に向けた当社の取組みについて述べる。

## 2. 快適な社会を実現する通信技術

### 2.1 IoTと通信技術

当社は「IoT技術」と多様な分野で培った「技術・知識・経験」を掛け合わせることで、社会に貢献することを目指し、次のようなIoTの活用を進めている。

社会インフラ分野では、安定稼働は元より、遠隔監視によるコスト抑制に加えて、インフラの効率向上によって信頼・利便性の向上を目指す。交通分野では、列車の正確な位置情報を無線で伝送することで、高密度輸送を実現し、システムの更なる効率化に貢献する。

産業分野では、生産関連データをリアルタイムに現場で分析するエッジコンピューティングを強化し、ものづくり革新を進める。くらしの分野でも、住宅では、省エネルギーを実現するZEH(Net Zero Energy House)の取組みを進めている。ビルでは、エレベーターの長年にわたる遠隔監視・点検を通じて蓄積しているビッグデータを分析し、故障予知、予知保全を目指すことで更なる安全を追求している。

様々な分野でIoT活用を進めるため、当社ではクラウドサービス「DIAPLANET(ダイヤプラネット)」の提供やIoT向けゲートウェイ装置の開発などを行っている。2.2節で大容量な光通信技術、2.3節で多くの端末を収容する無線通信技術などIoTを支える通信技術の進展を述べる。

### 2.2 光通信技術の進展

#### 2.2.1 光アクセス技術

各家庭と通信キャリアをつなぐ光アクセス網(FTTH: Fiber To The Home)では、図1のとおり着実に高速化が進み、2004年からは1.25GbpsのGE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)システムが本格導入されている。FTTHは日本のブロードバンド化の基盤を支えており、当社は累計1千万台以上の宅内向けFTTH機器を出荷してきた。

現在は10Gbpsによる大容量化が始まっている。10G-EPON(Ethernet PON)システムでは、光トランシーバ技術や冗長化技術によって、高速化だけでなく、局内装置当たりの加入者数の増加、加入者当たりの機器消費電力の低

減、機器故障からの復帰時間の短縮を実現している。当社では、10Gbpsクラスのシステムで適用しているトランシーバを単体としてリリースし、海外市場でも活用されている。当社製の発光素子、受光素子、独自開発のアナログチップセット、新規放熱技術によって、従来比で体積1/2、電力2/3への低減を実現した。

今後、5G用の基地局の収容で、光アクセス技術は重要な役割を果たすと考えられる。これまで以上に、低遅延化、高信頼化、高速化等が求められる。当社でも高速化に向けてWDM(Wavelength Division Multiplexing)-PON方式の研究開発を進めている<sup>(1)</sup>。また、40Gbpsクラスを実現するNG(Next Generation)-PON2(10G×4λ)に加え、100Gbpsクラスを目指すNG-EPON(25G×4λ)も標準化されつつあり、今後10~15年のIoT普及を見据えた技術開発はますます活発となっている。

#### 2.2.2 コア・メトロ伝送技術

1980年代に光伝送技術が本格導入された基幹系のコア・メトロネットワークは、時分割多重技術、波長多重技術、誤り訂正技術、コヒーレント技術等によって大容量化と小型省電力化を同時に遂げてきた。当社も1997年に2.5Gbps DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)伝送システム向け波長多重伝送装置、1999年に10Gbpsの光海底ケーブルシステム向け陸上端局装置、2002年にはリングネットワークに対応した10Gbps×40ch波長多重伝送装置を製品化している(図2)。それ以降、40Gbps光伝送シ

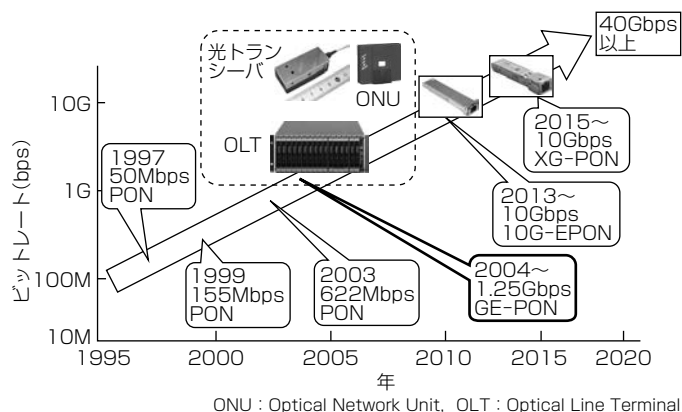


図1. 光アクセス網の進展

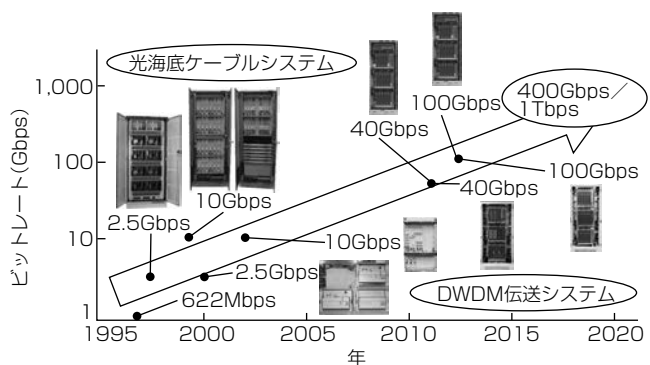


図2. 光コア・メトロネットワーク装置の進展

テム、今日の100Gbps光伝送システム装置群を開発するに至っている<sup>(2)</sup>。

近年の研究報告では1本の光ファイバで100Tbps以上の大容量化が実現されており<sup>(3)</sup>、国際標準化団体では1つのトランスポンダーで400Gbps、1Tbpsを実現するための規格が議論されている。当社でも高速・長距離化と小型省電力の両立のニーズに応えるために、デジタル信号処理技術を始めとしたトランシーバの開発を進めている。

## 2.3 無線通信技術の進展

### 2.3.1 移动通信技術

移动通信システムは、1980年頃にアナログ音声通信サービス(第1世代)が開始され、それ以降、およそ10年ごとに図3に示すとおり高速大容量化が進んでいる。当社は世代ごとに電気通信事業者向けにPDC(Personal Digital Cellular)、W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)、LTE(Long Term Evolution)の基地局装置を製品化してきた<sup>(4)</sup>。

スマートフォン、タブレット端末の普及に伴い、国内の移动通信のデータトラフィックは年率約1.4倍で増加しており、従来のモバイルサービスの高速度大容量化(ピークデータレート：20Gbps以上)を満足する5Gの検討が、2020年の実現を目指して国内外で進められている。また、5Gの実用化に向け、より広い帯域幅を確保するため、従来の移动通信で使われてきた周波数帯より高い周波数(3.6~86GHz)が候補として検討されている<sup>(5)</sup>。

当社では、20Gbps以上の大容量化を達成する5G基地局実現に向けて、超多素子APAA(Active Phased Array Antenna)を用いた空間多重技術を提案している。図4に示すように超多素子APAAでは、平面アレーアンテナの背面に増幅器、移相器などのRF(Radio Frequency)チップを実装し、従来のセクタビームと比べ目標端末に向け電力を集中させた高精度ビームを送信することで、高い周波数で問題になる伝搬損を補償できる。このため、より低い送信電力でより遠方の端末との通信が可能となり、基地局の低消費電力化が図れる。また、複数ビームの形成によって、同一の周波数を用いて同時に多数の端末と通信する空間多重技術によって大容量通信が可能となる<sup>(6)</sup>。

この超多素子APAAの実用化に向けて、これまで44GHz帯の伝搬実験結果を基に伝送シミュレーションを行い、100m以内に配置した16端末と同時に通信し、20Gbps伝送が実現可能であることを確認した<sup>(7)</sup>。また、3.5GHz帯向けに水平・垂直方向に同時に4つのビームを空間多重可能な超多素子APAAを試作した。

現在、総務省研究開発プロジェクト“第5世代移动通信システム実現に向けた研究開発”に参画し、28GHz帯向けに超多素子APAA基地局及び端末の試作を進めている。また、商用化に向けて、小型・省電力・低コスト化が求められる

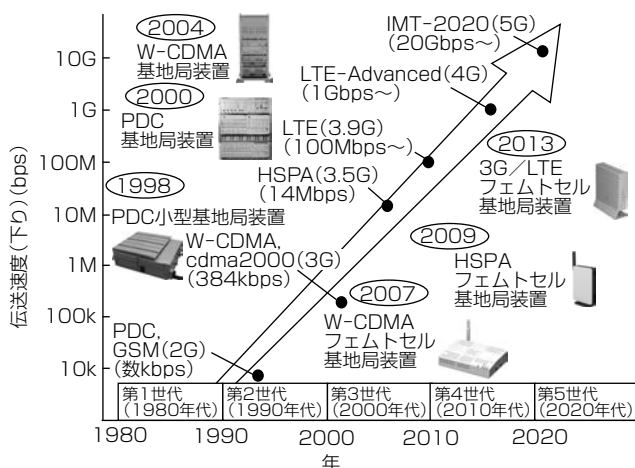


図3. 移动通信システムの進展

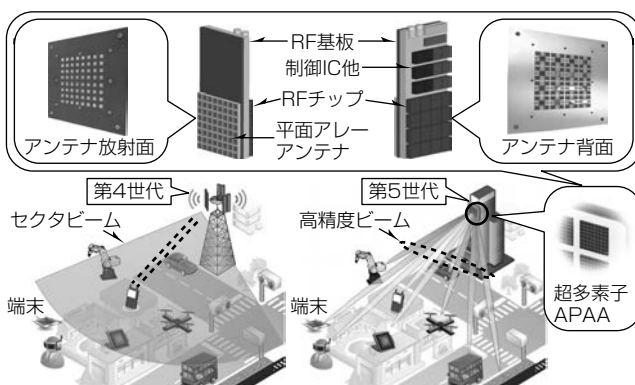


図4. 超多素子APAA

ため、増幅器の効率化、移相器の高精度化、高周波回路の集積化(MMIC: Monolithic Microwave Integrated Circuit)などの要素技術を開発してきた。これらの要素技術を基に、超多素子APAA基地局を構成するキーパーツである、高効率増幅器、低雑音増幅器、RFスイッチを集積化したGaAs(ガリウムヒ素)チップ、複数の移相器、可変利得増幅器を集積化したSi(シリコン)チップの自社開発を進めている。今後、本格的なIoTの普及に向けて自動車、産業機器、スマートメータ向けなど、新たなモバイルサービスの利活用に貢献していく。

### 2.3.2 M2M無線通信技術

IoT社会を支える重要な技術の1つとして、機械同士が通信するM2M通信が挙げられる。M2M通信では、ネットワーク構築の簡易化、周波数利用効率の向上、システム構築コスト抑制などの観点から、端末間通信、低消費電力、長距離通信、狭帯域伝送、多端末接続、簡素なハードウェア構成が求められる。

当社では、M2M無線通信技術を活用したスマートメータ用通信機器を開発した。このシステムによって、電力量の見える化や顧客の電力使用傾向に合わせた料金プランの提供が可能となっている。

スマートメータ通信システムでは、図5のとおり多数の

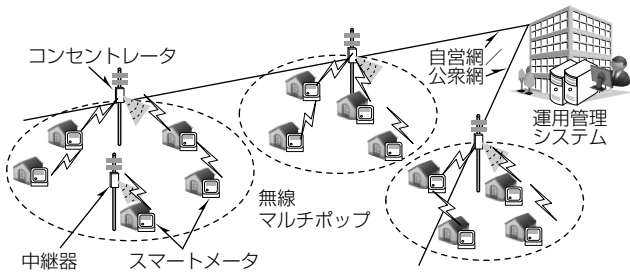


図5. スマートメータ通信システム

装置が互いに無線で通信し、運用管理システムまでデータを伝送する無線マルチホップ方式を採用している。この方式では、直接電波の届かない拠点間での通信が可能となり、広範囲なネットワークを構築できる。通信経路を網目状とし、電波障害時には迂回(うかい)路を自動探索することで、安定した通信が可能となった。また、送信電力の低い特定小電力無線によって低消費電力・低コストを実現している。

スマートメータではマルチパスフェージングによる無線通信品質低下が課題となる。対策としては、複数のアンテナを備えて通信するダイバシティ方式が有効である。当社装置では、スマートメータの限られたスペースで良好な特性を持つダイバシティアンテナを導入し、スマートメータの接続率を向上させている。

今後もスマートメータで培った無線マルチホップ通信技術を多様なシステムに適用し、環境配慮型社会の実現に貢献していく。

### 2.3.3 列車無線技術

列車無線は、走行する列車と地上設備(指令所、運行管理システム等)を無線通信でつなぐことによって、安全・安心な鉄道運行を支えるシステムである。

当社は1960年に東京～新大阪間でのアナログ空間波方式の実用化を皮切りに、1964年に東海道新幹線、1982年に東北・上越新幹線へアナログLCX(漏洩(ろうえい)同軸ケーブル)方式を導入し、2002年には東北・上越新幹線に当時初の全線デジタルLCX方式の列車無線システムを実現した(図6)。さらに、2007年以降にはJR各社在来線、公営・民営鉄道向けにデジタル空間波方式による列車無線システムを提供しており、列車無線の発展に長く貢献してきている<sup>(4)</sup>。

新幹線列車無線のデジタル化では、高速走行する列車と地上設備との間で、全線にわたり安定した回線品質を提供することが課題であった。当社は独自の送信ダイバシティ技術の採用によって、アナログLCXの既存設備を活用しつつ、デジタルLCX方式への移行を実現した。JR各社首都圏在来線のデジタル化では、首都圏の過密な周波数利用状況の中、独自の送信時間ダイバシティ技術や適応等化ダイバシティ受信技術を駆使し、“同一ゾーン1無線チャネル”の周波数有効利用を実現している。

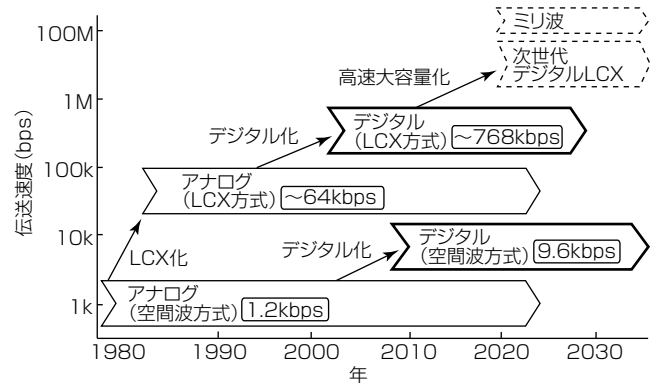


図6. 列車無線の動向

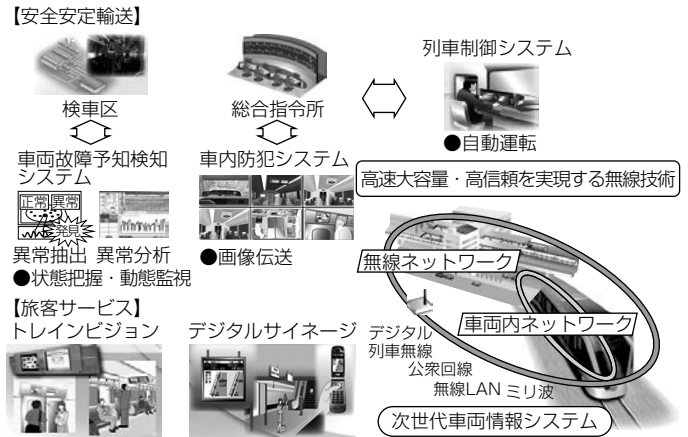


図7. 次世代車両情報システム

ICT(Information and Communication Technology)の進展に伴い、様々なシステムの連携が進み、提供されるサービスの範囲が広がってきている。列車と地上をつなぐ無線通信でも、単純な高速化だけでなく、“無線を使った列車制御システム”の需要が高まり、システムの高信頼化が求められている。当社は、高速大容量と高信頼を両立させるために、ミリ波伝送技術、適応等化技術等を活用し、列車制御システム(自動運転)、車内防犯システム(画像伝送)、車両故障予知検知システム(状態把握によるメンテナンス効率化)等の実現を進めている。これらの鉄道運行にかかわる業務支援や、デジタルサイネージ、列車ビジョン等の乗客に情報を届ける旅客サービス支援を通じて、“快適・安心な社会の実現”に貢献していく(図7)。

### 3. 安心な社会を実現する映像技術

安全・安心に対する意識の高まりに応じて、行政レベルでの安全で安心な街づくりや、各種施設での防犯・安全対策が進められている。このため、映像監視システムは、コンビニエンスストアを始めとする流通店舗や、オフィスビル、マンションに広く設置されるようになった。監視用途では、暗がりや逆光等の悪条件下でも、映像の尾引き(動く部分のぼけ)や黒つぶれ、白飛びを抑制する映像処理技術が求められる。当社では、このような要求に対して、三菱ネットワーク・カメラシステム“MELOOK3シリーズ”を提供している。

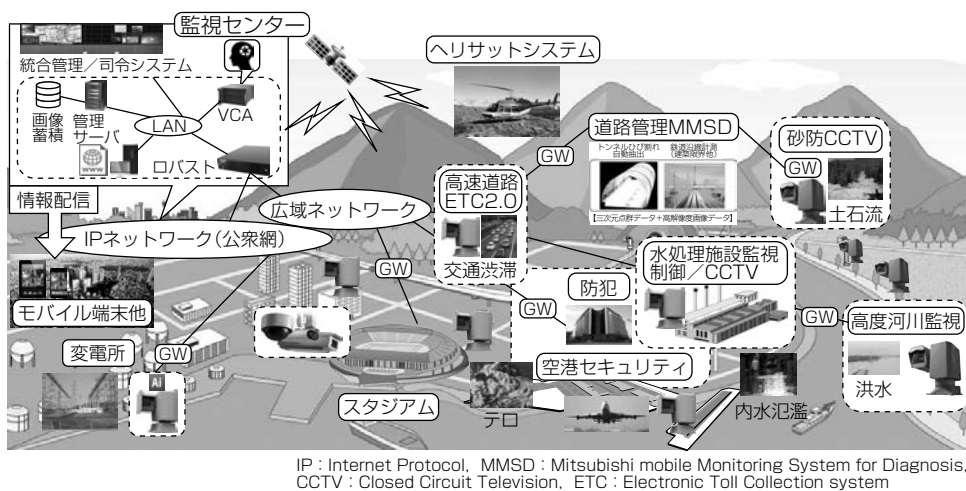


図8. 監視カメラの使用例

また、図8に示すように、多発する自然災害や、事故への防災・減災の観点から、空港や発電所・変電所等の重要施設や、河川・道路の監視が強化されている。河川・道路監視用途に既に2万台を超えるカメラが配備されている。これらのカメラをより有効に活用するために、ローカルな監視場所だけでなく、光伝送をバックボーンとした広域ネットワークを整備し、統合管理している監視センターに映像を集約し、地域住民の安全確保のための情報として配信する取組みが進んでいる<sup>(8)</sup>。近年では、老朽化対策と地上デジタル普及による高精細デジタル化への対応に合わせて、SD(Standard Definition)(720×480)からHD(High Definition)(1920×1080)への置き換えが進んでおり、当社でも屋外複合一体型カメラ“HM-3000”やネットワークカメラ“デジタルRoboty(ロボティ)HM-7000”(図9)を投入した。より高精細な映像で監視することで、情報収集、判断、迅速な初動対応が可能になっている。

ネットワークを使用した監視システムでは、既に顔認識や侵入検知等の多くの画像解析技術(VCA)が実用化されている。VCAの技術進化によって、監視員の補助から自動監視へと役割が拡大しており、不審者、危険行動(テロ)の早期発見、不審物、放置物の検知が実現されつつある。また、スタジアム等で人の流れを予測し、他のシステムと連携することで混雑を回避する試みも始まっている。

このように今後の映像監視システムでは、適切なハードウェアと画像解析技術を複合的に組み合わせていくことが望まれる。特に、ディープラーニングなどの画像認識技術、通信技術と融合した処理技術の進展は大きな期待を持たせるものである。しかし、その一方で画像解析も人工知能も決して完全ではありえない。エッジとしての映像機器や分析装置、連携する通信ネットワークに分析誤りや改竄(かいざん)が混入すれば、社会に大きな障害をもたらす。分析ミス、情報セキュリティホールに対して十分な耐久性を持ったシステム設計は、IoTシステムに共通する課題である。



図9. デジタルRoboty HM-7000

#### 4. む す び

当社では光通信技術、無線通信技術、映像技術を開発しており、これまでも通信インフラ、社会システム等に活用されてきた。IoT時代の到来によって、これらの技術の適用範囲は大きく広がりつつある。個々の技術を磨くとともに、クラウド、AI技術と連携することで機能を高め、更なる快適・安心な社会の実現に貢献していく。

#### 参 考 文 献

- (1) Yoshima, S., et al.: Experimental Investigation of an Optically-superimposed AMCC in 100Gb/s Coherent WDM-PON for 5G Mobile Fronthaul, ECOC 2016, Th.1.D.1 (2016)
- (2) 三菱電機の100Gソリューション  
[http://www.mitsubishielectric.co.jp/service/carrier\\_network/index.html](http://www.mitsubishielectric.co.jp/service/carrier_network/index.html)
- (3) Sano, A., et al.: 102.3-Tb/s(224×548-Gb/s) C-and extended L-band all-Raman transmission over 240 km using PDM-64QAM single carrier FDM with digital pilot tone, OFC/NFOEC2012, PDP5C.3 (2012)
- (4) 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)
- (5) 総務省: 電波政策2020懇談会報告書 (2016)
- (6) 5G基地局向け超多素子アンテナシステム技術  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/randd/spotlight/a31/index.html>
- (7) 友江直仁, ほか: 第5世代移動通信システム向け無線アクセス基地局技術, 三菱電機技報, 90, No.6, 342~346 (2016)
- (8) 山中秀昭, ほか: 通信技術を活用した映像監視システム, 三菱電機技報, 89, No.6, 318~322 (2015)