

# 三菱電機技報

6

2018

Vol.92 No.6

スマート社会を支える通信・映像技術



## 目次

### 特集「スマート社会を支える通信・映像技術」

#### スマート社会を支える通信・映像技術特集に寄せて

巻頭言 1

浅井光太郎

#### スマート社会を支える映像解析技術と通信技術の動向

巻頭論文 2

野並隆之・上田智弘

#### 第5世代移動通信システムの標準化

長谷川史樹・福井範行・長谷川文大・平 明德

#### 5G無線基地局向け28GHz帯超多素子アンテナシステム

鈴木邦之・濱田倫一・渡辺 光・中澤英之・内田 繁

#### IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ

#### “温度拡張型IoT GW”

中江 伸・磯田洋平

#### IoTゲートウェイのセキュリティ技術

佐藤浩司・平井博昭・山口晃由

#### 在来線デジタル列車無線システム

#### — 西日本旅客鉄道株京阪神エリアへの導入 —

持田伸一

#### 監視システムでの映像解析

斉藤弘紀・若林 慧・草野勝大・清水尚吾

#### MELOOK 3 大規模監視システム

菊地 舞・山田敏志・佐々木啓友・池田一平

### 一般論文

#### “MELSEC iQ-Rシリーズ”の

#### IEC61508 SIL2対応二重化シーケンサ

百目木栄悦

#### Communication and Audio-visual Technologies for Smart Societies

#### Foreword to Special Issue on Communication and Audio-visual Technologies for Smart Societies

Kohtaro Asai

#### Trends of Video Content Analysis and Communication Technologies for Supporting Smart Society

Takayuki Nonami, Tomohiro Ueda

#### Standardization Trends and Activities on 5th Generation Mobile Communication System

Fumiki Hasegawa, Noriyuki Fukui, Fumihiro Hasegawa, Akinori Taira

#### Massive Active Array Antenna System at 28GHz Band for 5th Generation Radio Base Station

Kuniyuki Suzuki, Tomokazu Hamada, Hikaru Watanabe, Hideyuki Nakamizo, Shigeru Uchida

#### Mitsubishi Communication Gateway for IoT System Operating at High Temperature

Shin Nakae, Youhei Isoda

#### Security Technologies of IoT Gateway

Koji Sato, Hiroaki Hirai, Teruyoshi Yamaguchi

#### Digital Train Radio System for West Japan Railway Company

Shinichi Mochida

#### Video Content Analysis on Surveillance Systems

Hironori Saito, Kei Wakabayashi, Katsuhiko Kusano, Shogo Shimizu

#### MELOOK3 Large Scale Video Surveillance System

Mai Kikuchi, Satoshi Yamada, Keisuke Sasaki, Ippei Ikeda

#### “MELSEC iQ-R Series” IEC61508 SIL2-compliant Redundant Programmable Logic Controller

Eietsu Domeki

### 関連拠点紹介

### 特許と新案

#### 「ゲートウェイ装置およびその初期化方法」

#### 「データ通信方法、通信システム及び移動端末」

#### 「無線通信装置、通信方法及び通信システム」

### 表紙：通信と映像技術の応用製品 映像監視システムの紹介

映像監視システムは、防犯を目的としたセキュリティ用途(事後確認含む)に加え、画像解析技術を利用したマーケティング、設備の維持管理の省力化への対応など、活用範囲はますます広がっている。三菱電機はフルHDカメラ(①、②)によって屋内、屋外を問わず、高精細なライブ監視や事後確認のためのレコーダ(③)による記録、ネットワークを経由したスマートフォンやタブレット端末からの遠隔監視など、映像監視技術の革新を進めている。今後は顔認証や人物の行動検知などの画像解析技術を活用し、社会の安心、安全はもとより、顧客の利用価値を創出する製品・技術の高度化を目指す。



# 巻/頭/言

## スマート社会を支える通信・映像技術特集に寄せて

Foreword to Special Issue on Communication and Audio – visual  
Technologies for Smart Societies

浅井光太郎

Kohtaro Asai



現在、第5世代移動通信システム(5G)が2020年のサービス開始を目指して標準化や開発及び実証の途上にあります。5Gでは下り方向20Gbps超の高速伝送、多端末接続、低遅延が実現され、新産業の出現が期待されています。光通信のアクセス系では10Gbps級システムの導入が開始され、バックボーンネットワークの拡張に向けてはTbps級の議論が進んでいます。4K・8Kを高解像度の頂点とする動画は圧縮によって多チャンネル化や長時間蓄積が行われ、画像認識による付加価値を生み出します。通信ネットワークへの期待は大容量化に止まらず、IoT(Internet of Things)によるデータの広範な収集、エッジ又はクラウドでのビッグデータ解析、AI(Artificial Intelligence)など情報技術への期待とも重なります。情報通信技術(Information and Communication Technology: ICT)は産業と社会の大変革の原動力になりつつあります。

第5期科学技術基本計画(2016~2020年)は、ICTの進化等によって社会・経済の構造が日々大きく変化する“大変革時代”が到来し、国内外の課題が増大、複雑化する中で科学技術イノベーション推進の必要性が増しているという認識のもと、世界に先駆けた超スマート社会の実現を目標に掲げ、これをSociety 5.0と名付けました。Society 5.0はネットワークの活用分野を拡大し、サイバー空間とフィジカル空間の融合による各種サービスのシステム化、高度化、システム間の連携協調を行います。ICTはその中核技術として、責任と期待を担っています。

Society 5.0では、IoTで全ての人やモノがつながり、情報共有化とともにセンサの情報が集積され、ビッグデータのAIによる解析結果がロボットなどを通して現実にフィードバックされると想定しています。これによって多くの社会課題を克服した超スマート社会の実現を目指します。三菱電機は光通信、無線通信、画像通信の各通信技術を活用した機器及びシステムによって社会インフラや交通、産業など広範な社会システムの実現に貢献してきました。Society 5.0のビジョンもその延長線上にあります。

Society 5.0での高度なシステムの開発を行うには通信技術者が適用分野の専門家と連携してシステム開発を行う必要があります。IoTシステムはその典型であり、例えば

特定小電力無線を用いたスマートメータの通信システムは通信端末でもあるメータの設置環境とメータ情報管理システムに関する深い知見なしには実現できません。

高度化への対応だけでなく高付加価値システムの実現には、強みのあるキーコンポーネントとコモディティ化したコンポーネントを組み合わせることで所要の性能を実現するシステム設計構築・ソフトウェア開発能力が求められます。前者の例には動的な分散処理や応答時間の条件への対応、後者の例にはAIによる画像認識の活用などが挙げられます。システム技術の重要性は機器やデバイスの重要性以上に高まり、技術者の弛(たゆ)まぬ進歩が不可欠となります。

通信ネットワークは社会システムの神経網にたとえられます。神経網を模した数学的モデルによって高度化したAIになぞらえ、システムの進化について考えてみましょう。AIの有力なアーキテクチャとして、神経網をモジュールとする階層構造が提案されています。一方、近年の脳科学では現実のニューロンの大半が近距離接続を持ち、ごく一部が全脳にわたる長距離接続を持ちます。このことから長いニューロンがモジュール群全体を観測して“意識”を司(つかさど)るとの仮説が導かれます。現在のAIはこのような構造に至っておらず進化の余地が大きいものです。つまり長短の接続によるネットワーク設計構築の進化でシステムが進化する可能性を示唆しているとも言えます。こうした長期課題にも取り組んでいく必要があります。

今回の特集号では、巻頭論文で通信技術と映像解析(Video Content Analysis: VCA)技術の動向と取組みを概説します。次に5Gの国際標準化の動向と当社の活動を紹介します。超多素子アンテナとビーム制御技術について報告します。また、IoTシステムで重要性が増すゲートウェイのロバスト性拡張とセキュリティ機能について報告し、システム開発の例として、デジタル列車無線システムの開発、さらに各種の映像解析エンジン搭載を想定したVCAプラットフォーム、映像監視の大規模化開発について報告します。

当社は通信・映像技術とその利活用技術によって、継続して社会システムの実現に貢献していきます。今後の新たな成果と進化にご期待ください。

# 巻頭論文

## スマート社会を支える映像解析技術と通信技術の動向



野並隆之\*



上田智弘\*\*

*Trends of Video Content Analysis and Communication Technologies for Supporting Smart Society*

*Takayuki Nonami, Tomohiro Ueda*

### 要 旨

通信技術は、IoT(Internet of Things) システムのカバー範囲の拡大に伴い、多種多様なセンサデータを高速・正確・安全に提供するためのコア技術となっている。三菱電機は、社会インフラ、産業、交通、生活等の幅広い事業展開を実施しており、通信技術はこれらの事業の発展に必須な技術として位置付けられる。

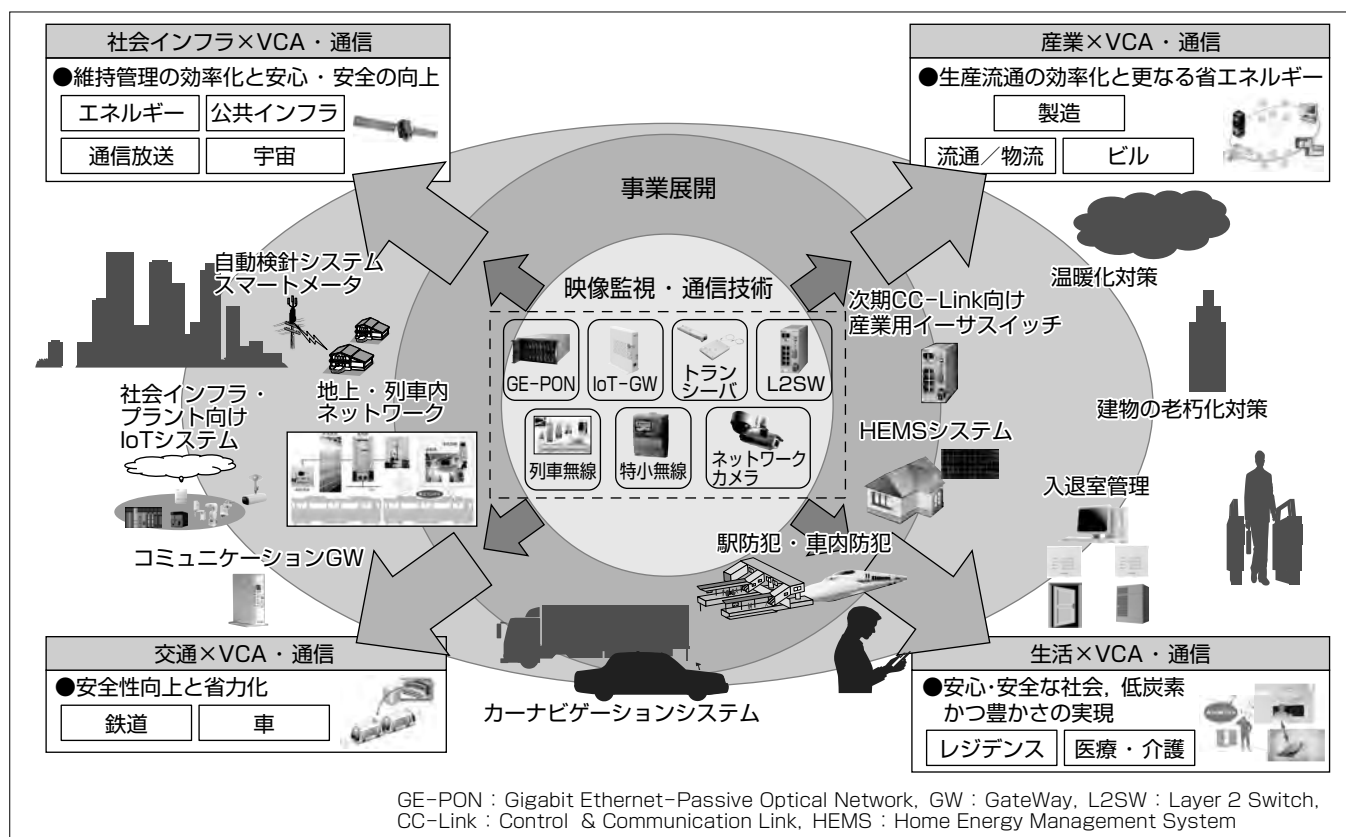
通信の大容量化によって実現したデジタル映像監視システムは、単なる映像モニタリングや蓄積・再生の機能提供から、急速に発展したAI(Artificial Intelligence)技術を活用し、安心・安全・快適な社会を支える社会インフラに変化しつつある。東京2020 オリンピック・パラリンピックに向けた安心・安全の確保(インバウンド増対応)や労働人口減少対策での業務効率化を目標として、AIを活用し

た映像監視システムの需要も増加している。

本稿では、社会インフラ監視、製造ライン監視、駅防犯、車内防犯で用いられている当社映像監視システムでの活用が期待される映像解析(Video Content Analysis : VCA)技術にAIを応用し、セキュリティ用途だけでなく、マーケティング、工場の生産性向上への展開を示す。

また、IoTシステムなどを支える当社通信技術として、IoTゲートウェイ技術、M2M(Machine to Machine)無線通信、光通信、移动通信、列車無線の動向について述べる。

当社は、今後もVCA・通信技術と、社会インフラ・交通・産業・生活(暮らし)の各事業分野の技術・知識・経験を掛け合わせることで、安心・安全・快適な社会の実現に貢献していく。



### VCA・通信技術による当社事業展開

社会インフラ・産業・交通・生活(暮らし)の各事業分野の技術とVCA・通信技術との掛け合わせによる当社事業展開を示す。中心に当社のVCA・通信技術の製品を示し、それらの製品・技術との掛け合わせによる各事業分野での市場、及びその主たる目的を示す。

# 1. ま え が き

映像監視システムは、アナログカメラからネットワークカメラが主力となり、通信技術、映像解析(VCA)技術の進展と相まって、その適用範囲は防災・防犯のための監視から設備の維持管理、作業の効率化のための監視へと拡大してきている。

本稿では、社会インフラ監視、製造ライン監視、駅防犯、車内防犯で用いられている映像監視システムとAIを活用した当社VCA技術、及びIoTシステムと当社通信技術(IoTゲートウェイ、M2M無線通信、光通信、移动通信、列車無線)の動向について述べる。

## 2. スマート社会を支える映像監視システムとVCA技術

### 2.1 映像監視システムの動向

日本の総人口は2008年を境に、生産年齢人口(15～64歳)は1995年をピークに減少に転じており<sup>(1)</sup>(図1)、社会活動の基本となる労働力減少は喫緊に解決すべき社会課題である。また、国策としての観光ビジョンの推進や東京2020オリンピック・パラリンピックの開催は、海外からの観光客増加によって大都市圏での慢性的な混雑が発生すると予想され、混雑解消対策としての警備員増強は労働力不足に拍車をかける。これらの課題の解決手段として映像監視システムへの期待は大きく、JEITAの調査統計<sup>(2)</sup>によれば2016年の監視カメラ国内出荷金額は289億円(前年比109%)で7年間連続のプラス成長を継続している(図2)。

市場での増加が著しいのはIP(Internet Protocol)ネットワークに対応するデジタル映像監視システムであり、カメラの台数ベースで従来のアナログシステムを凌駕(りょうが)しつつある。映像監視システムのアナログからデジタルへの変化は、高画質化、長時間記録、大規模化、自動化という大きな四つの効果をもたらした。

#### (1) 高画質化

NTSC(National Television System Committee)／PAL(Phase Alternating Line)等のアナログ信号から2K／4K

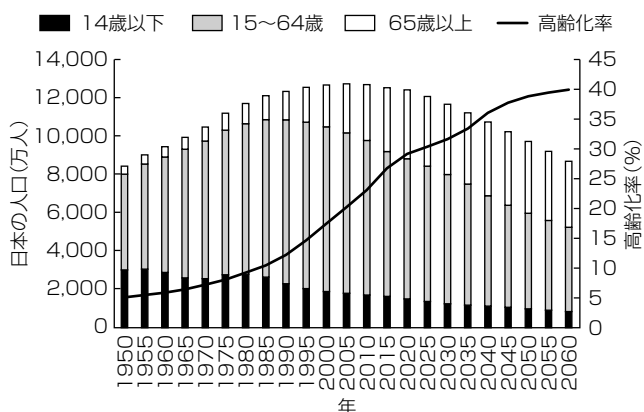


図1. 日本の人口推移

映像といった高精細かつ広画角なデジタル映像取得・表示を可能にした。

#### (2) 長時間記録

MPEG-2(Moving Picture Experts Group Phase 2)／H.264／HEVC(High Efficiency Video Coding)等の最先端の映像圧縮技術と大容量のHDD(Hard Disk Drive)の利用によって、オンサイト監視レコーダでも1か月単位での高精細映像の記録が可能になった。

#### (3) 大規模化

IPネットワークの活用によって、カメラ数百台の大規模システムもネットワークハブの活用で、簡便なシステム構築が可能になった。さらに無線ネットワークの併用によって回線敷設が困難な個所からの映像取得も容易となった。

#### (4) 自動化

デジタル化された映像に対する画像処理によって、監視映像をモニタリングする監視者の単純作業の自動化が可能になってきている。

2.2節では、自動化を支えるVCA技術について述べる。

### 2.2 VCA技術の動向

映像監視システムでは、監視対象エリアの確実な映像取得と記録とともに、記録した映像の効率的な閲覧も重要な機能の一つである。記録映像の閲覧作業の目的は、平時とは異なる事件・事故・災害などの映像シーン検索や、映像に映っていることが想定される特定の対象者等の発見であり、長時間記録された監視映像から効率的に必要な映像シーンに辿(たど)り着くことが大きな課題となる。

映像の効率的な検索を目指し、古くから映像に含まれるイベントや人物の自動的な検出を目的とした様々なVCA技術が研究開発されてきた。映像の変化を捉える動き検知や、指定した画像エリアへの侵入検出等は、比較的簡易な処理で実現可能であることから、カメラ単体機能として実装されている製品も多い。事件・事故の記録映像では特定の対象者を見つける要求が高く、顔認識<sup>(3)</sup>や歩容認証<sup>(4)</sup>等の高度なVCA技術の適用が進められている。

従来のVCA技術では、検出に必要な映像特徴を検出対象ごとに設定する必要があるため、検出対象の拡大が困難で

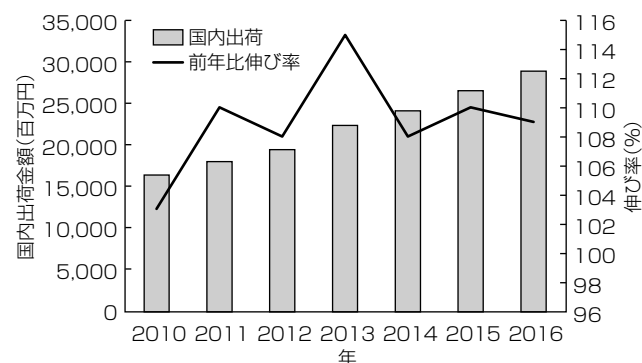


図2. 監視カメラの国内出荷金額と前年比伸び率

あった。ここ数年の機械学習技術の進歩と計算機性能の急激な進歩は、深層学習(Deep Learning)を実用化に導いた。この技術は、膨大なデータに基づき、多段ニューラルネットを用いて、検出に必要な特徴情報を自動的に生成するもので、映像中の検出対象の大幅な拡大と実用的な検出精度の両立を可能にしている。

一般的に深層学習の処理には、極めて膨大な計算機リソースを必要とするが、当社は独自のコンパクトAI“Maisart(マイサート)”を開発し、監視機器でのAI映像分析処理を可能にしている。これによって、車いすを押している人や迷子、白杖(はくじょう)を持つ人の検出や、置き忘れた荷物の検知、ふらついている人の検知など、これまで人間が実施してきた判断の強力な支援技術として活用可能である。

これらのVCA技術は、セキュリティ用途だけでなく、店舗に設置した映像から顧客の動線解析や人数カウント等の解析を行うことで、顧客の潜在需要や行動を分析し、マーケティング適用への期待も高い。さらに、工場の生産ラインにカメラを設置することで、作業員のムダ工程の発見を通して工場生産性向上につなげる試みも進められている。

### 3. スマート社会を支えるIoTシステムと通信技術

#### 3.1 IoTシステムの動向

##### 3.1.1 IoTゲートウェイ技術

スマート社会では、2020年には約300億個に達するとも予想される<sup>(1)</sup> IoTシステムに接続される機器やセンサなどのIoT機器の情報は、公衆ネットワークを介してクラウド環境に送信されビッグデータとして解析される。

情報処理の形態として、全てをクラウド上で処理する方法からIoT機器上で処理する方法まで、様々な形態が考えられる。これらの形態の中で、クラウドとIoT機器の間にデータ処理を担う機能であるIoTゲートウェイ(IoT GW)機能を配備する形態は、クラウドとIoT機器双方の処理リソースの低減やセキュリティ確保の観点で有用である。

IoTゲートウェイ機能を実現する技術として、IoT機器と公衆ネットワークの通信プロトコルを相互変換する通信プロトコル変換技術、IoT機器の必要な情報だけをクラウドネットワークに送信するデータ収集・一次解析技術などがある(図3)。また、近年急増しているサイバー攻撃からIoT機器やネットワーク機器を守るためセキュリティ技術が重要性を増している。

当社は、家電製品の制御や使用電力の見える化を実現する宅内用HEMS対応通信ゲートウェイ<sup>(5)</sup>や、柔軟な機能追加を可能にするOSGi(Open Services Gateway initiative)プラットフォームを実装した三菱通信ゲートウェイ“smartstar”<sup>(6)</sup>、FSA(Functional Security Assessment)レベル1に規定されるユーザー認証要件を満たすIoTシス

テム対応三菱通信ゲートウェイ<sup>(7)</sup>などの製品化を通じてこれらの技術を開発してきた。また、配下のIoT機器に対するセキュリティを強化するため、ホワイトリスト型攻撃検知機能と機械学習を用いた学習型攻撃検知機能の開発<sup>(8)</sup>などIoTゲートウェイ技術の開発を推進し、スマート社会の展開に貢献する。

##### 3.1.2 M2M無線通信技術

IoTシステムを支える重要な技術の一つとして、機械同士が人間の介在なしに通信するM2M無線通信技術が挙げられる。M2M無線通信技術として、高速、多数接続、低遅延を特長とした5Gや、低速ではあるが省電力、広域性を特長としたLPWA(Low Power Wide Area)等、様々な方式が提案されている。図4に、各通信方式の位置付けを

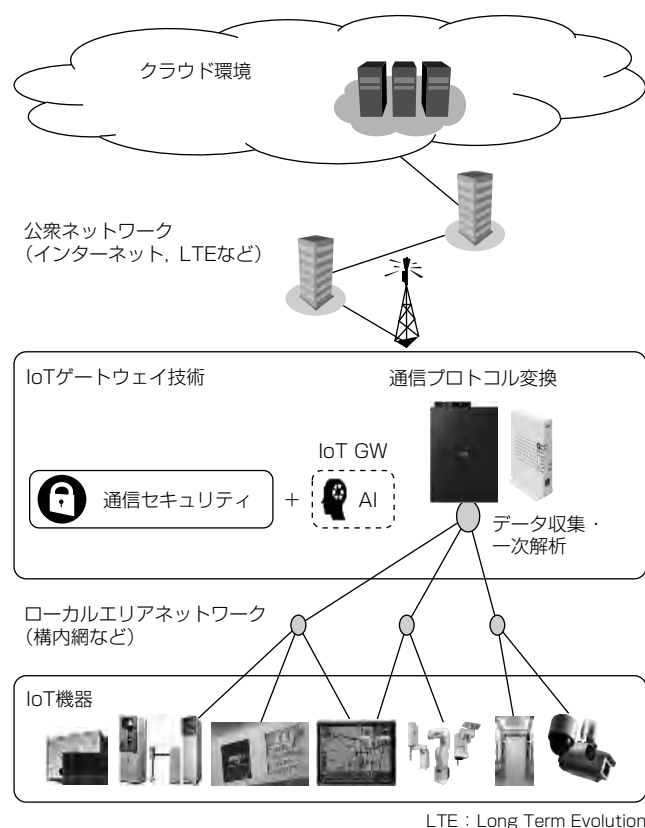
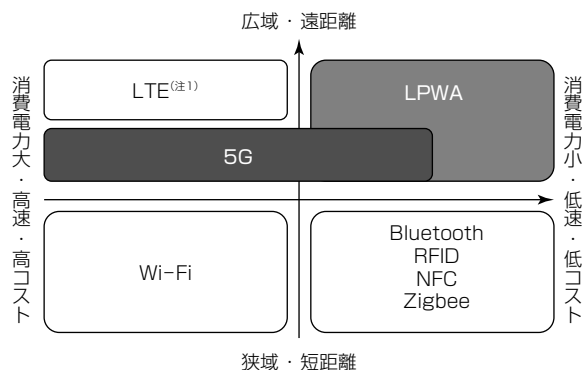


図3. IoTゲートウェイ技術



RFID : Radio Frequency Identifier, NFC : Near Field Communication  
(注1) 既存のM2M接続は2G、3G、4Gが主流

図4. 各通信方式の位置付け<sup>(9)</sup>

示す。当社は、顧客ごとに電波特性、消費電力、コスト等を考慮し、最適方式を選定した上で、システム及び機器を提供している。

システム及び機器の開発では、機器納入後も顧客要望に寄り添った運用支援を行うことも重要である。例えば、遠隔自動検針や、電力量見える化を実現するスマートメータ通信システム用機器の開発では、高いエリアカバー率、早期エリア展開という要件と、経済性を両立させたシステム構築を行う必要があった。LPWA技術の一つである特定小電力無線を用い、リレー方式でデータを中継することを特徴とした無線マルチホップ方式でも、データ中継の拠点となるスマートメータの設置数が少ない状況下での早期エリア展開が求められた。当社は、顧客とともに、通信網の信頼性、通信成功率をモニタし、将来設置予定のスマートメータを前倒しして設置するなどの対策を提案することによって、早期エリア展開を実現している<sup>(10)(11)</sup>。

また、スマート社会の進展に伴う、M2M通信の適用拡大を見据え、専門家による無線機器の配置設計が不要になり、顧客のIoTシステム導入にかかる時間・コストの低減に貢献するツールの充実化にも注力し、無線通信の電波強度を高速・高精度に把握し、無線機器の最適配置を支援する“電波見える化技術”の開発も進めている。

今後もM2M無線通信技術を多様なセンサネットワーク、例えばコネクテッドカーやスマートファクトリに適したシステムに適用してスマート社会の実現に貢献していく。

## 3.2 通信技術の動向

### 3.2.1 光通信技術

音声からデータに、静止画から動画に、通信コンテンツの変遷に伴って通信トラフィックが増加している。また、スマートフォンやタブレット端末、機器、センサなどのIoT機器の増加に伴い情報発信源も爆発的に増えており、このような背景に呼応して、光通信システムの大容量化が進んでいる。

各家庭と通信キャリアをつなぐ光アクセス網では、光PON技術等の実用化によって、2004年から1.25GbpsのGE-PONシステムが本格導入されており、現在は10Gbpsの10G-EPONシステムの導入が始まっている(図5)。当社は、GE-PONシステムで、累計1千万台以

上の宅内向けFTTH(Fiber To the Home)機器を出荷してきた。

一方、基幹系ネットワークを成すコア・メトロ網では、波長多重技術やコヒーレント伝送技術等による大容量化が進んでおり、国際標準化団体では、一つのトランスポンダで400Gbps、1Tbpsを実現するための規格が議論されている(図6)。当社は、2002年に10Gbps×40ch波長多重伝送装置を製品化し、100Gbps光伝送装置群を開発するに至っている<sup>(12)(13)</sup>。

今後、5Gモバイル通信、IoTシステム、高精細映像サービス(4K/8K)、自動運転等の普及によって通信トラフィックは増大の一途をたどり、光アクセス網、コア・メトロ網ともに、これまで以上に低遅延化、高信頼化、大容量化が求められる。当社でも、光アクセス網では、WDM(Wavelength Division Multiplexing)-PONの研究開発を、またコア・メトロ網では、デジタル信号処理技術の開発を進めることで、これらの動きに対応している。

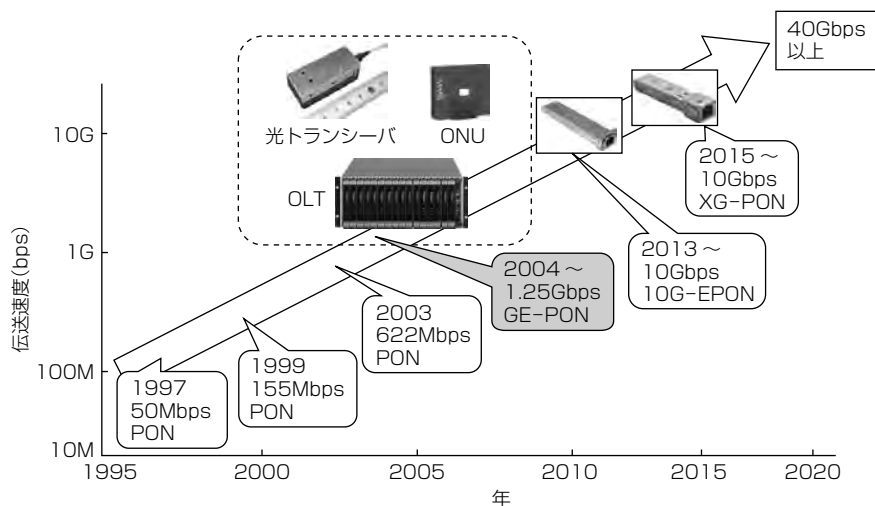


図5. 光アクセス網の進展

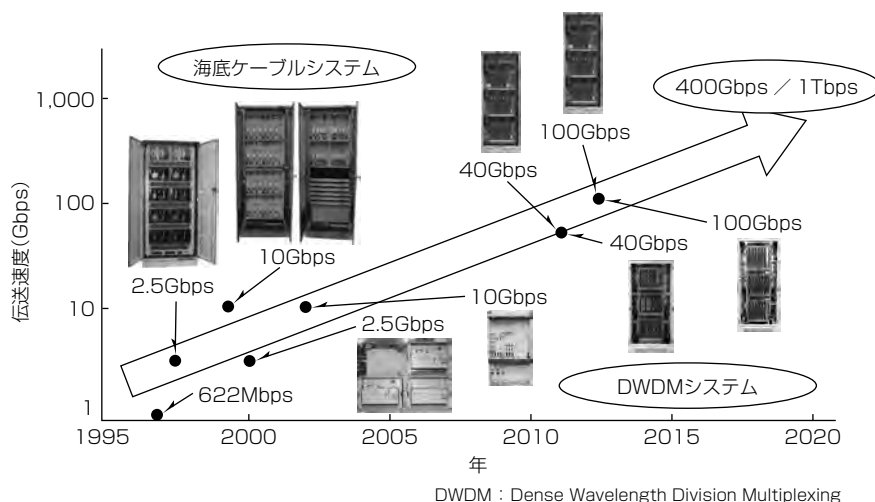


図6. コア・メトロ網の進展



### 3. 2. 2 移動通信技術

移動通信システムは、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、以降、およそ10年ごとに図7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>(14)</sup>。

スマートフォン、タブレット端末の普及に伴い、国内の移動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、2020年の実現を目指して、従来のモバイルサービスの高速大容量化(ピークデータレート：20Gbps以上)を満足する第5世代移動通信システム(5G)の開発が国内外で進められている。5G導入によって、高密度、広域に配置された高精細映像とAIを活用することで、従来捉えられなかった事象を捉えることが期待されている<sup>(15)</sup>。

当社では、高速大容量化を達成する5G基地局実現に向けて、総務省研究開発プロジェクト“第5世代移動通信システム実現に向けた研究開発”に参画し、28GHz帯向け基地局の試作を進めている。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。また、当社は5Gの国際標準化活動にも継続的に参加して、技術提案を行っている。

### 3. 2. 3 列車無線技術

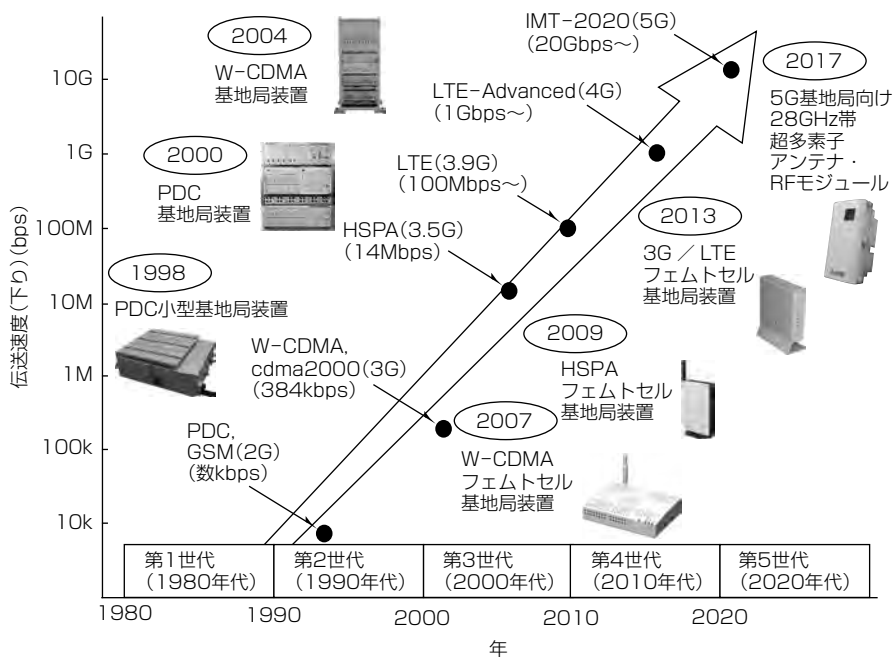
列車無線は1960年代から、走行する列車乗務員と地上指令員との間で音声通話することを目的に導入が進んだものである。当社は新幹線をはじめ、在来線、公営・民営鉄道向けに広く列車無線システムを提供してきている。

2002年から導入が進められている新幹線列車無線のデジタル化では、当社独自の送信ダイバーシチ技術の採用によって、全線にわたって安定した回線品質を実現した。デジタル化によって、データ伝送の高速化が図られ(図8)、新幹線指令伝達システムや、メンテナンス業務の高度化、乗客への情報提供サービスの充実や車内インターネットなど、列車運行

や車内サービスの向上に寄与している。

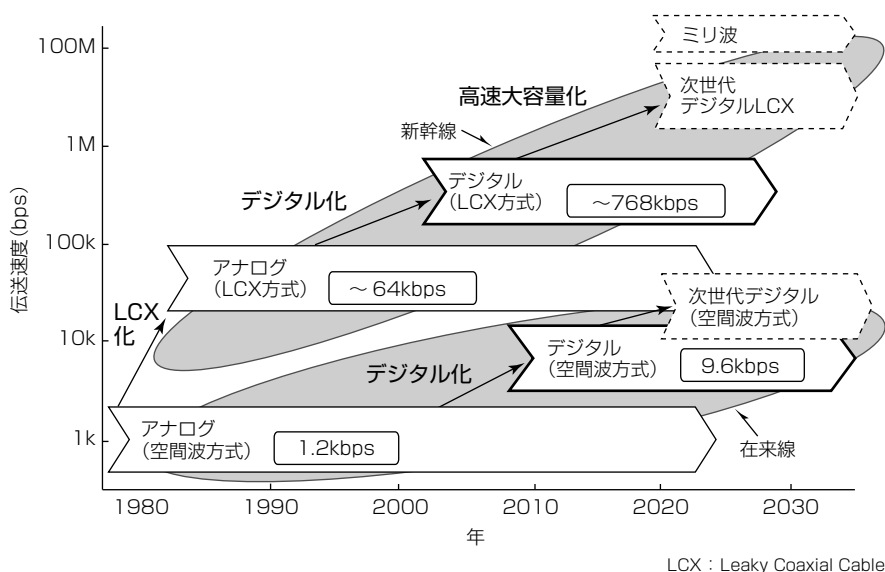
在来線でも、2007年に東日本旅客鉄道(株)の首都圏在来線向けに当社のデジタル列車無線システムが導入された。これによってデータ伝送が可能になり、列車運行情報の伝送による乗務員支援や、客室への運行情報の伝送でスマートな列車運行の実現に貢献している。また首都圏だけでなく西日本旅客鉄道(株)京阪神エリア在来線や一部の地方線区、及び一部の私鉄でもデジタル列車無線の運用が開始されており、今後データ伝送を活用した乗務員支援、旅客向けサービスへの活用が期待されている。

近年、列車無線は音声伝送からデータ伝送主体に移行し、活用の場を広げている。“無線による列車制御システム”が



IMT : International Mobile Telecommunication, HSPA : High Speed Packet Access, RF : Radio Frequency

図7. 移動通信システムの進展



LCX : Leaky Coaxial Cable

図8. 列車無線の動向



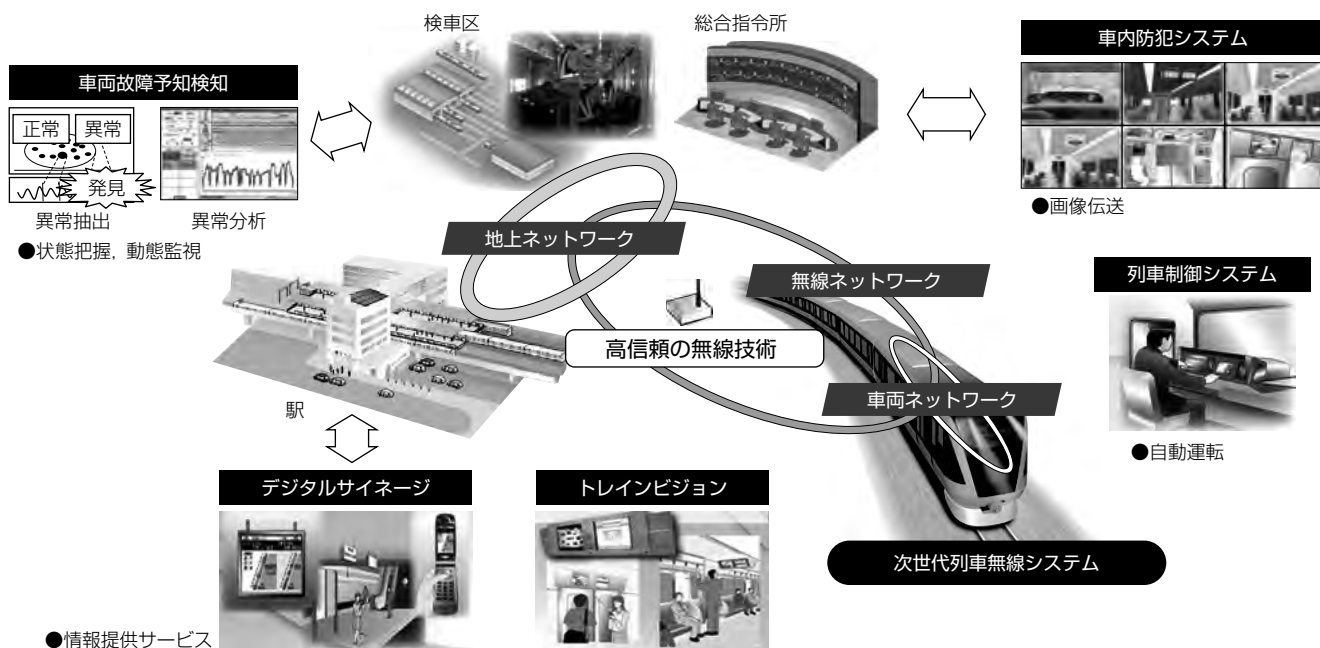


図9. 次世代列車無線システム

その一つである。当社独自の適応等化技術を使用した高信頼無線の実現で、信号機の代わりに地上と列車間の無線通信を使用した列車制御を実現し、首都圏の在来線で既に運用が開始されている。

今後更なる信頼性の向上、伝送容量の増加によって、制御の高度化、完全自動運転（無人化）の実現が期待される。また、通信の高速大容量化の実現では、車内防犯システム（画像伝送）、状態基準保全（Condition Based Maintenance：CBM）などへの活用も進めている（図9）。

#### 4. む す び

当社の映像監視システムとVCA技術、及びIoTシステムと通信技術（IoTゲートウェイ、M2M無線通信、光通信、移動通信、列車無線）の動向について述べた。

当社は、VCA・通信技術と、社会インフラ、交通、産業、生活（暮らし）の各事業分野の技術・知識・経験を掛け合わせることで、安心・安全・快適な社会の実現に貢献していく。

#### 参 考 文 献

- (1) 総務省：H28年、H29年版情報通信白書
- (2) 一般社団法人電子情報技術産業協会：JEITA調査統計ガイドブック（2017～2018）
- (3) 今岡 仁：世界一の顔認証アルゴリズム開発の舞台裏、第5回バイオメトリクスと認識・認証シンポジウム（2015）
- (4) 八木康史：歩容鑑定～深層学習でどんな向きの人物も認証可能に～、大阪大学プレスリリース（2017）
- (5) 西尾俊介、ほか：HEMS対応三菱通信ゲートウェイ、三菱電機技報、88、No.6、337～342（2014）
- (6) 岡 稔久、ほか：三菱通信ゲートウェイ“smartstar”、三菱電機技報、89、No.6、338～342（2015）
- (7) 大野聖信、ほか：IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ、三菱電機技報、91、No.6、325～328（2017）
- (8) 佐藤浩司、ほか：IoTゲートウェイセキュリティ技術、三菱電機技報、92、No.6、356～360（2018）
- (9) 総務省：第4次産業革命における産業構造分析とIoT・AI等の進展に係る現状及び課題に関する調査研究（2017）
- (10) 淀 靖典、ほか：スマートメータ用無線マルチホップ通信網の形成状況について、平成29年電気学会電子・情報システム部門大会
- (11) 江崎靖典、ほか：無線マルチホップ方式の適用先拡大に向けた取り組みについて、平成29年電気学会電子・情報システム部門大会
- (12) 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）
- (13) 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)
- (14) 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）
- (15) 総務省：新世代モバイル通信システム委員会報告（2017）

# 第5世代移動通信システムの標準化

長谷川史樹\* 平 明德\*\*\*  
 福井範行\*\*  
 長谷川文大\*\*\*

Standardization Trends and Activities on 5th Generation Mobile Communication System

Fumiki Hasegawa, Noriyuki Fukui, Fumihiro Hasegawa, Akinori Taira

## 要 旨

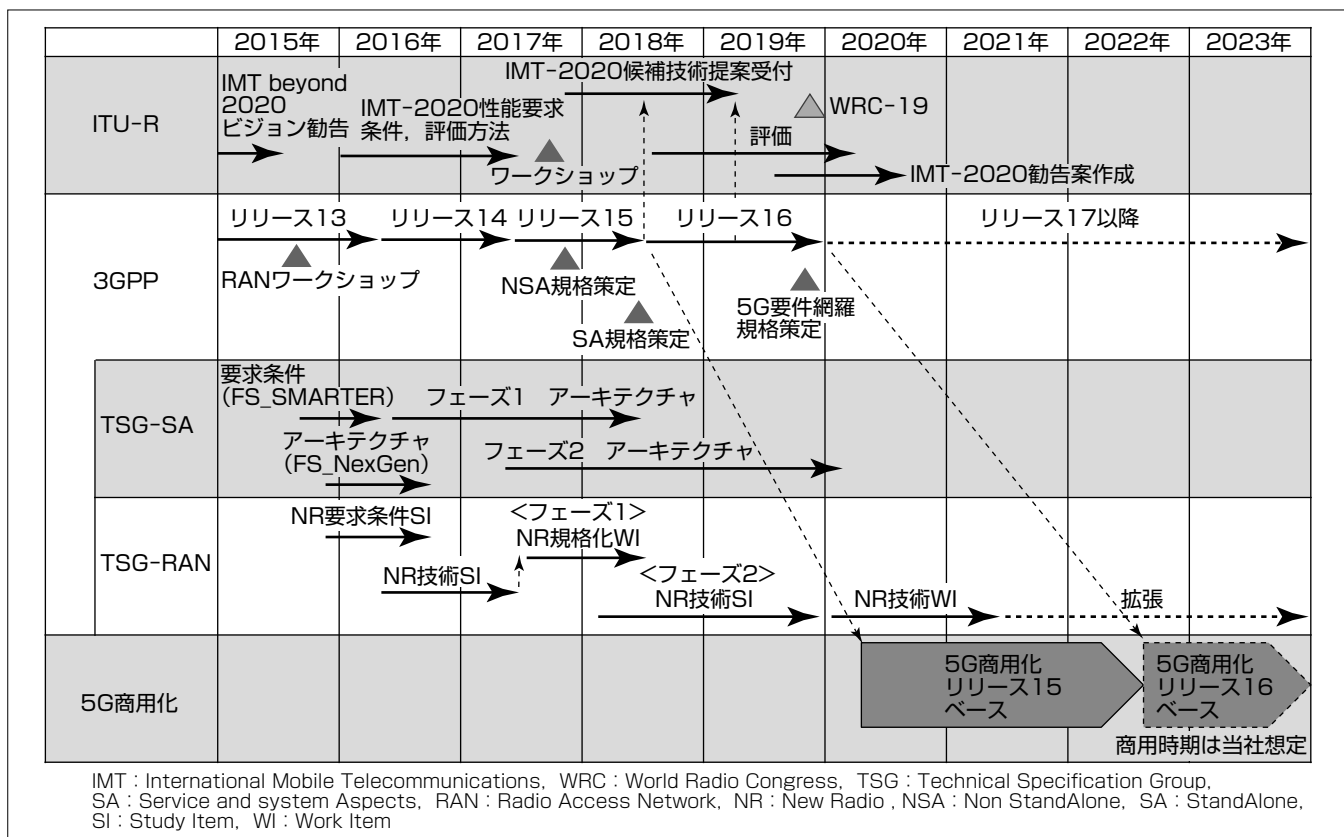
移動通信トラフィックの世界的な増大とIoT(Internet of Things)時代の多種多様なニーズに応えるため、高速大容量・多数同時接続・超高信頼低遅延を実現する第5世代移動通信システム(5G)の国際標準化が進められている。

ITU-R(International Telecommunication Union Radiocommunication sector: 国際電気通信連合無線通信部門)は、5Gに相当するIMT-2020(International Mobile Telecommunications-2020)の無線インタフェース技術勧告案を2020年秋に完成させる予定である。

3GPP(3rd Generation Partnership Project)は、2020年の5Gサービス開始に向けて二つのフェーズ(フェーズ1: リリース15, フェーズ2: リリース16)でNR(New Radio)

規格策定を進めている。リリース15で策定する5G機能は、高速大容量を実現するeMBB(enhanced Mobile Broad-Band)と一部の低遅延機能となる。リリース16では、多数同時接続を実現するmMTC(massive Machine Type Communication), 超高信頼・低遅延(URLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communication)機能が策定され、5G要件全てを網羅した規格策定完了を予定している。

三菱電機は、5Gで想定される多数アンテナ素子を用いた移動通信システム向けに、初期同期及び参照信号に関連する技術提案を行い、3GPP規格策定と2020年サービス開始に貢献している。



## 2020年商用開始、及び2020年以降の商用に向けた5G標準化スケジュール

3GPPは、2020年の商用化に向けて、リリース15(2017年3月~2018年6月)で規格策定中である。2017年12月には、円滑な5G導入を可能とするNR基地局とLTE(Long Term Evolution)基地局が連携したシステム構成であるNSA規格策定が完了した。2018年6月には、NR基地局単独で端末との接続を行うSA規格策定が完了する予定である。その後、2018年6月から、リリース16の規格策定が開始される予定である。

## 1. ま え が き

第5世代移動通信システム(5G)の2020年商用化を目指して、携帯電話方式の国際標準規格作成を行っている3GPP(3rd Generation Partnership Project)を中心として、5G規格策定が進められている。

5Gでは、スマートフォンなどに代表される高速データ通信(eMBB: enhanced Mobile BroadBand)の更なる大容量化に加えて、センサ等の多数同時接続(mMTC: massive Machine Type Communication)、超高信頼・低遅延通信(URLLC: Ultra Reliable and Low Latency Communication)の三つの要求をカバーすることが求められており、2020年の商用化を目指して、標準化が進められている。

本稿では、3GPPでの5G標準化動向と当社の取組みについて述べる。

## 2. 5G標準化動向

3GPPでは、2015年9月にワークショップ(3GPP RAN-workshop on 5G)が開催され、5Gの新無線インタフェース(New Radio Access Technologies)の規格化議論が開始され、技術検討が2017年3月まで実施された。その後、二つのフェーズ(フェーズ1: リリース15、フェーズ2: リリース16)で規格化を進めている。5G規格の主な策定方針は次のとおりである。

### (1) スケジュール

2020年のサービス開始に向けた5G基本仕様規格を2018年6月までに策定(リリース15: 2017年3月～2018年6月)し、その後、5G要件の全てを網羅した規格を2019年12月までに策定(リリース16: 2018年6月～2019年12月)する。

### (2) 名称・分類

リリース15以降のLTE(LTE-Advanced pro)発展系とNR(New Radio)を全て含み“5G”と呼ぶ(図1)。

さらに、2017年3月のRAN Plenary会合で、規格策定スケジュールがアップデートされ<sup>(1)</sup>、リリース15の中でLTEとの併用を前提としたNSA(Non StandAlone)とSA(StandAlone)を分けて規格策定し、NSAについては、SAの6か月前に規定することが合意された。図2にNSAとSAの構成例を示す。NSAについては、5G初期導入で、既存のインフラを利用するための手段として考えられた構成となり、NR基地局とLTE基地局が連携して動作する。一方、SAについては、5GC(NexGen Core)とNR基地局が接続されて動作するケースが例として挙げられる。NSAについては、2017年12月にステージ3

と呼ばれる詳細プロトコルとパラメータを定めた仕様を規定し、その後、2018年6月までにSAを含めた仕様を規定する予定となっている。

LTE規格と2017年12月に合意したNSAのNR規格との比較を表1に示す。5Gの特徴となる大容量化を実現するために、利用するコンポーネントキャリアの帯域幅は、最大20MHz(LTE)から最大400MHz(NR)に拡張され、サブキャリア間隔は、15kHz(LTE)から15/30/60/120kHz(NR)に拡張された。また、低遅延通信を実現するための技術の一つとして、送信単位長が0.5ms(LTE)から0.125ms(NR)となり、扱う単位が小さくなった。

5Gの大きな特徴の一つに、利用可能な周波数帯域の大幅な拡大が挙げられる。従来のLTEでは6GHz以下の周波数帯がサポートされていたが、5Gでは新たに24.52～52.60GHzの高周波数帯がサポートされた。高周波数帯の

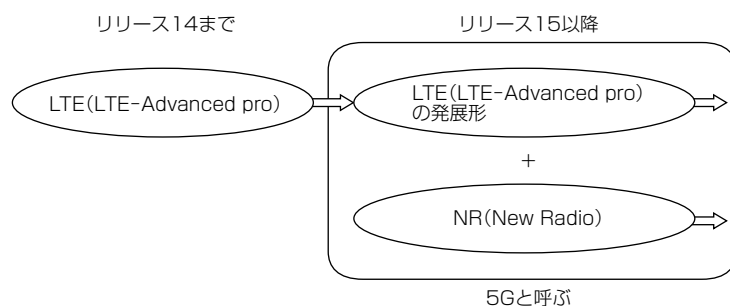


図1. 5Gの名称

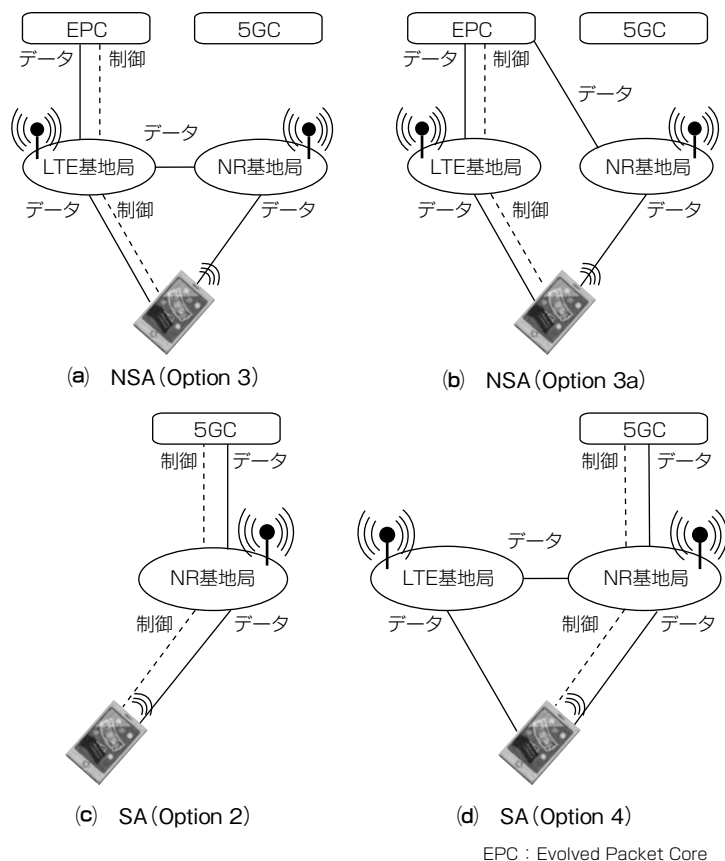


図2. NSAとSAの構成例

表 1. LTE規格とNR規格の比較

	LTE(LTE-Advanced pro)	Rel-15 NR(2017年12月)
コンポーネントキャリアの帯域幅	~20MHz	~400MHz(6GHz以下では~100MHz)
キャリアアグリゲーション	~640MHz幅(32CC×20MHz)	~6.4GHz幅(16CC×400MHz)
多元接続方式	下り: OFDM 上り: DFT-s-OFDM	下り: OFDM 上り: OFDM, DFT-s-OFDM
サブキャリア間隔	15kHz	15/30/60/120kHz(データ用)
送信単位長(最小値)	0.5ms(Short TTI)	0.125ms(サブキャリア間隔120kHz時のスロット長)
最大多値変調	下り: 256 QAM 上り: 256 QAM(リリース14から)	下り: 256QAM 上り: 256QAM
MIMO最大多重数(システム)	下り: 8 上り: 4	下り: 12 上り: 12(直交ポート数)

CC: Component Carrier, TTI: Transmission Time Interval, QAM: Quadrature Amplitude Modulation

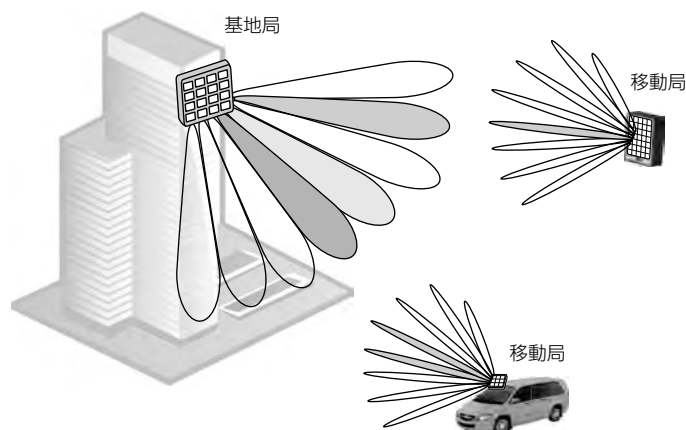


図 3. 5Gシステム構成の一例

活用で広い信号周波数帯域が確保できる一方、伝搬損失が増大し、通信可能距離が短くなる。通信可能距離を伸ばすため、受信強度が特定の方向に集中するように、5Gでは、図3に示すような超多素子アンテナと狭ビームを基地局・移動局双方で積極的に利用する。従来のLTEと異なり、送受信で適切にビーム方向を合わせる必要があり、超多素子アンテナによるビームフォーミングに必要な機能が規格化されている。

### 3. 標準規格と当社の取組み

この章では、3GPP規格作成段階で当社が関与した技術項目を取り上げ、規格内容と当社の取組みを述べる。

#### 3.1 セルサーチとランダムアクセス

この節では、端末が接続先基地局を選定するセルサーチの実施と、ランダムアクセスを確立させるまでを述べる。

端末によるセルサーチのため、基地局は同期信号を周期的に送信する。同期信号は、SSB(Synchronization Signal Block)と呼ばれる4 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)シンボルの信号ブロックに含まれる<sup>(2)</sup>。SSBには、SSBインデックス、システム情報伝送チャネルの配置などを報知する報知信号(PBCH: Physical Broadcast Channel)も含まれている。図4は、狭ビームを使ったマルチビーム運用時の基地局がSSBを送信する様子を示している。異なるタイミングで順次ビーム方向

を切り替え、5msの時間内にサービスエリア全体へSSBを送信する。端末はSSB検出を行い、基地局及びSSBを選定し、タイミング同期及び周波数同期を確立する。さらに、受信したシステム情報から、選択したSSBのインデックスに紐(ひも)づけられたランダムアクセスチャネル(PRACH: Physical Random Access Channel)のリソースを特定する。

接続要求を行う端末は、選定した基地局に対してランダムアクセス手順を行う。はじめに、先に述べた動作で特定したPRACHリソースから決まるプリアンブルIDとPRACHタイミングでプリアンブル信号(Message 1)送信を行う。次に、プリアンブル信号受信応答(Message 2)であるRAR(Random Access Response)を一定ウィンドウ内で待つ。アイドル状態から接続要求を行う端末ではRARを受信すると、続く手順であるMessage 3, Message 4を基地局と送受信し、ランダムアクセスを確立させる。ところで、ビームフォーミングを行う端末で、送信ビームと受信ビームの間で可逆性が成立していない場合、プリアンブル信号送信ごとの送信ビーム方向決定は端末に委ねられている。このような端末がRARを受信せずにプリアンブル信号を再送する場合、再送時のビーム方向を前回送信時と同一としたときは送信電力値の増大(パワーランピング)を実施し、ビーム方向を切り替えたときは前回と同じ送信電力値とする<sup>(2)</sup>。また、ビーム方向の切替え有無に関わりなく、プリアンブル信号再送ごとに送信回数をカウントアップし、規定される最大送信回数以内に送信回数を制限する<sup>(3)</sup>。以上が、3GPPで規定された規格内容である。

3GPPでは、送受ビーム可逆性が成立していない端末の送信ビーム方向決定を端末に委ねることを決定後、ビーム方向切替え時のパワーランピング手法を検討した。検討では複数の提案が挙がり、迅速なランダムアクセス確立と不適切なビーム方向への干渉抑圧を論点として議論が行われた。この課題に対して当社は、提案を行うとともに各提案の長所・短所をまとめ、規格決定に貢献した<sup>(4)</sup>。規格化されたパワーランピング手法は先に述べたとおりであり、例えば図5(a)に示すようなビーム方向の切替え手順であればパワーランピングが適切に動作する一方、図5(b)に示すよ

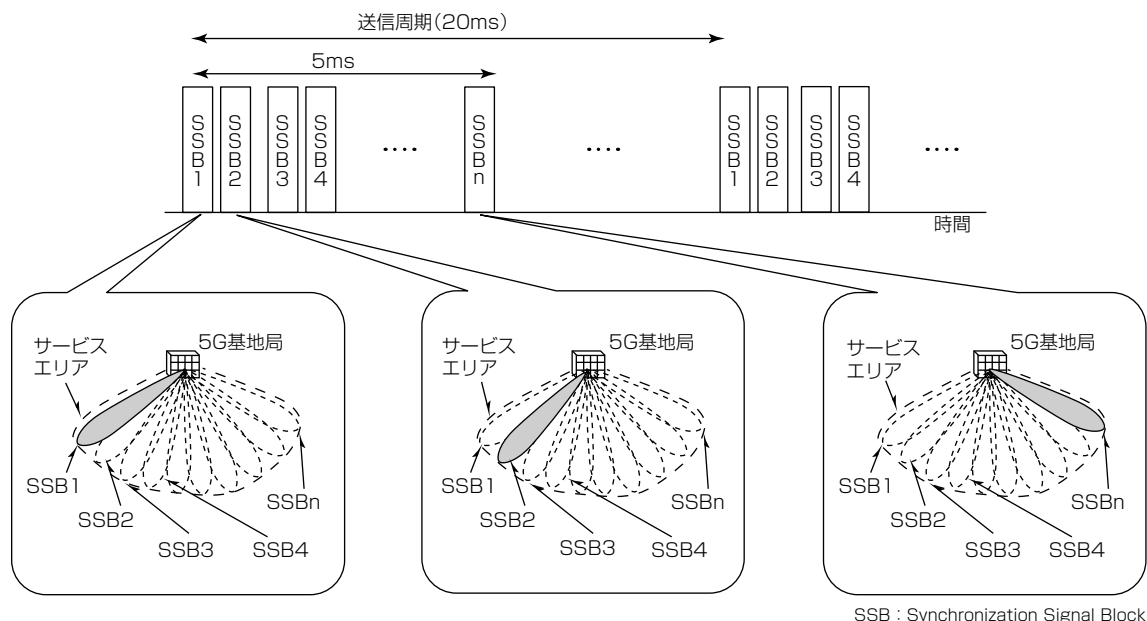


図4. 基地局によるSSB送信

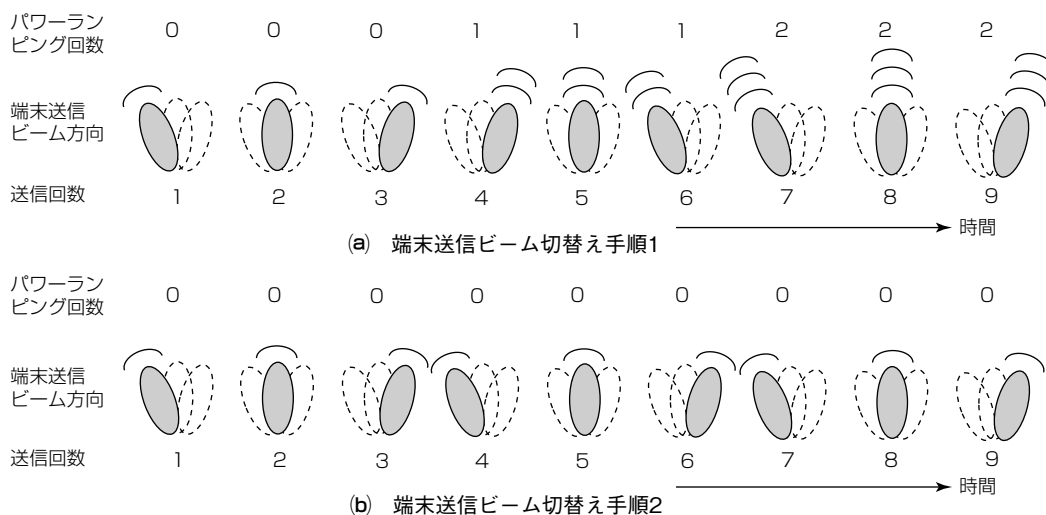


図5. プリアンブル送信時のビーム方向切替えとパワーランピング

うな切替え手順であるとパワーランピングが動作しない。そのため、十分な送信電力に至る前にプリアンブル信号最大送信回数に達する可能性がある。この課題に対して、当社は、プリアンブル信号の送信回数規定でも複数の選択肢を挙げ、議論促進を図った<sup>(5)</sup>。

### 3.2 下りリンク向け復調用参照信号

#### 3.2.1 復調用参照信号の種類

この節から、当社の3GPPでの参照信号に関する提案について述べる。MIMO(Multiple Input Multiple Output)伝送に関わりの深い参照信号の一部として、復調用参照信号(DeModulation Reference Signal : DMRS)が挙げられる。DMRSを用いることによって端末は伝送路及び、送信側で施されたデジタルプリコーディング行列を推定することが可能になる。DMRSは送信されるデータレイヤに割り当てられ、DMRSの直交数が多重可能なレイヤ数に影響する。

異なる伝送路環境及び多重数を想定し、OFDM向けに2種類が用意されているDMRS配置パターンそれぞれで、最大ポート数までサポートする場合の2シンボルのDMRS多重方法を図6に示す。コンフィギュレーション1(図6(a))はIFDM(Interleaved Frequency Division Multiplexing)をベースとした手法であり、周波数軸上の位置、時間・周波数方向のOCC(Orthogonal Cover Code)によって最大8ポートが構成できる。櫛状になったDMRSの配置が特長である。コンフィギュレーション2(図6(b))は4ポート単位(同一色)でOCCを適用し、周波数方向で3グループ配置することによって最大12ポートが構成できる。各ポート間は直交関係にあるため、ビーム間で干渉が生じる場合でも高SINR(Signal to Interference and Noise Ratio)で伝送路推定が可能である。

5Gで各端末に割り当てられるポート番号及びDMRSが挿入されていないグループの数がレートマッチング用に

通知される。また、DMRSはスロット前方に配置される前方DMRS(Front-Loaded DMRS: FL-DMRS)と後方に付加的に配置される追加DMRS(ADditional DMRS: AD-DMRS)に分けられる。図7に配置例を示す。下りリンクの場合、FL及びAD-DMRSの配置位置は前方の制御信号及び後方の上りリンク向けシンボル数によって様々な設定が用意されている。またAD-DMRSの数も端末の移動速度によって、3シンボルまで用意されている。

### 3.2.2 DMRSに関する当社提案

LTEの下りリンクでの直交多重数である8から、当社はMIMOユーザー多重(Multi User MIMO: MU-MIMO)向けにDMRSの直交多重数を12まで増やすことを他社と協力して推進し、合意を得た<sup>(6)</sup>。

さらに周波数領域で、DMRSの密度を変えて周波数利用効率を向上させる方式も当社は3GPPで提案している。伝送路特性が周波数領域で変動しない場合、周波数領域でのDMRSの密度を減らし、データの密度を増やすことで

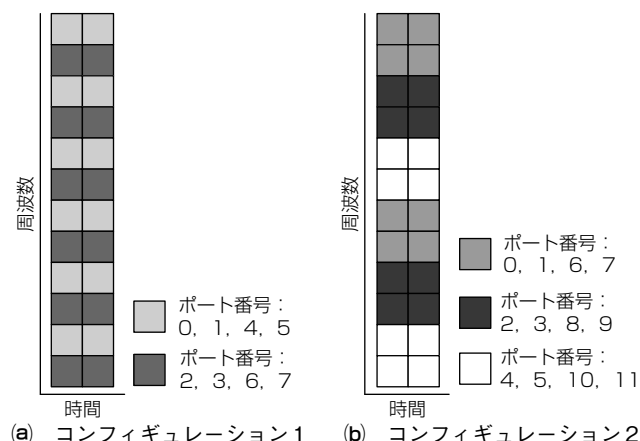


図6. 2種類のDMRS配置パターン

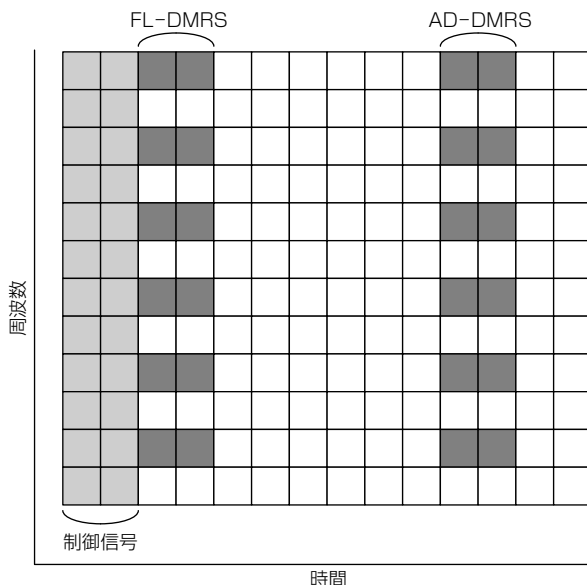


図7. コンフィギュレーション1を用いたFL-DMRSとAD-DMRSの配置例

伝送効率を高めることが可能である。当社は3GPPで、図8に示すようなRB(Resource Block)ごとにDMRSの密度を変更する方式を提案している<sup>(7)</sup>。

### 3.3 上りリンク向けサウンディング信号

#### 3.3.1 サウンディング信号の配置位置及び多重方法

NRで、サウンディング信号(Sounding Reference Signal: SRS)は上りリンクのCSI(Channel State Information)測定や、TDD(Time Division Duplexing)システムでの伝送路の可逆性を活用した下りリンクのプリコーディング決定に用いられる。NR向けのSRSはLTEに比べ高頻度、広帯域な送信が特徴である。SRSポートはスロット後方の6 OFDMシンボル範囲内で連続した1, 2又は4 OFDMシンボルに設定される。SRSの周波数位置は制御部によって指定され、周波数ホッピングによって広帯域の伝送路推定を行うことが可能である。SRSはLTEと同じくZadoff-Chu系列をベースとしたもので、2又は4サブキャリアおきの櫛状に配置される。Comb-2の場合はCS(Cyclic Shift)によって8多重、Comb-4では12多重がサポートされ、NRのアンテナ数の増加に対応した多数のSRS構成が可能な設計となっている。

#### 3.3.2 SRSに関する当社提案

当社は、SRSのスケジューリングに柔軟性を持たせること、及び使用可能なSRS数を増やすことを推進する提案を行った。LTEでは、各スロットの最後尾のシンボルだけにSRSが配置されたが、NRではSRSシンボル数の増加に伴って、同じく周期送信されるshort-PUCCH(Physical Uplink Control CHannel)との頻繁な衝突が懸念されることと、スケジューリング機能に柔軟性を持たせるため、競合時の優先順位が規定された<sup>(8)</sup>。また、LTEでSRSはセルのIDによって生成されたが、NRではサポートされる端末数が増加することが予想され、SRS系列が不足することが懸念されたため、端末ごとにSRS系列が生成されることが合意された<sup>(9)</sup>。

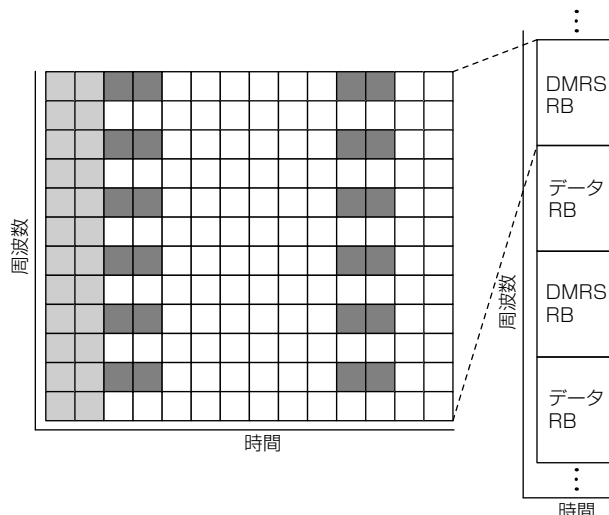


図8. DMRS及びデータを含むRBが配置された例

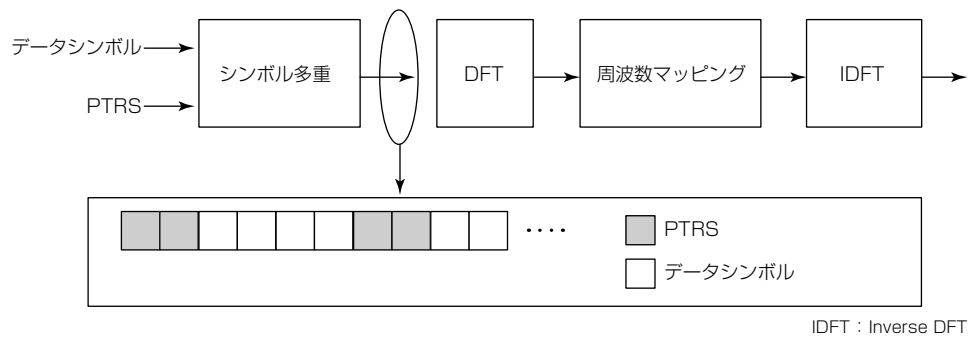


図9. DFT-s-OFDM向けPTRS挿入

### 3.4 上りリンク向け位相補正用参照信号の当社提案

NRで、高周波数帯で発生する位相雑音対策として、位相補正用参照信号(Phase Tracking Reference Signal : PTRS)が下り及び上りリンクで用いられることが合意されている。当社から、省電力及び高い位相補正性能を持つPTRS設計を提案している。当社は上りリンク向けに用いられるDFT-s-OFDM(Discrete Fourier Transform spread OFDM)向けのPTRS設計に関して、提案を行っている。DFT-s-OFDMの特長はOFDMよりも低いピーク対平均電力比(Peak to Average Power Ratio : PAPR)であるが、PTRSを挿入する方法によってPAPRが増加するおそれがある。そのため、図9に示すように当社はPTRSをDFT処理前に挿入することで、PAPR増加の防止を提案して合意を得た<sup>(10)</sup>。また、図9に示すように、位相雑音推定精度の向上のため、複数のPTRSが固められて配置されることが合意されている。

## 4. む す び

3GPPでの5G標準化に関して、規格策定状況を述べ、さらに、当社がリリース15規格策定に対して技術提案したセルサーチとランダムアクセス技術、また、5Gで特に注目されているMIMO技術に関して述べた。当社は、今後も3GPPへの継続的な参加と技術提案を行い、2020年の5G実現及び2020年以降の5G要件を網羅した国際標準化に貢献していく。

## 参 考 文 献

- (1) 3GPP : Way Forward on the overall 5G-NR eMBB workplan, RP-170741 (2017)
- (2) 3GPP : Physical channels and modulation, TS38.211 V15.0.0 (2017)
- (3) 3GPP : Medium Access Control (MAC) protocol specification, TS38.321 V15.0.0 (2017)
- (4) Mitsubishi Electric : WF on Power Ramping Counter of RACH Msg1 Retransmission, R1-1706613 (2017)
- (5) Mitsubishi Electric : WF on Maximum Number of PRACH Transmission, R1-1715230 (2017)
- (6) Mitsubishi Electric, et al. : WF on the maximum number of orthogonal DL DMRS ports, R1-1704057 (2017)
- (7) Mitsubishi Electric, et al. : WF on configurable density for DL DMRS, R1-1714815 (2017)
- (8) Mitsubishi Electric, et al. : WF on prioritization between SRS and short PUCCH transmission in case of collision, R1-1718985 (2017)
- (9) Mitsubishi Electric, et al. : WF on SRS sequence generation, R1-1709699 (2017)
- (10) Mitsubishi Electric, et al. : WF on PT-RS insertion for DFTsOFDM, R1-1714920 (2017)



# 5G無線基地局向け28GHz帯 超多素子アンテナシステム

鈴木邦之\* 中溝英之\*\*  
濱田倫一\* 内田 繁\*\*  
渡辺 光\*\*

Massive Active Array Antenna System at 28GHz Band for 5th Generation Radio Base Station

Kuniyuki Suzuki, Tomokazu Hamada, Hikaru Watanabe, Hideyuki Nakamizo, Shigeru Uchida

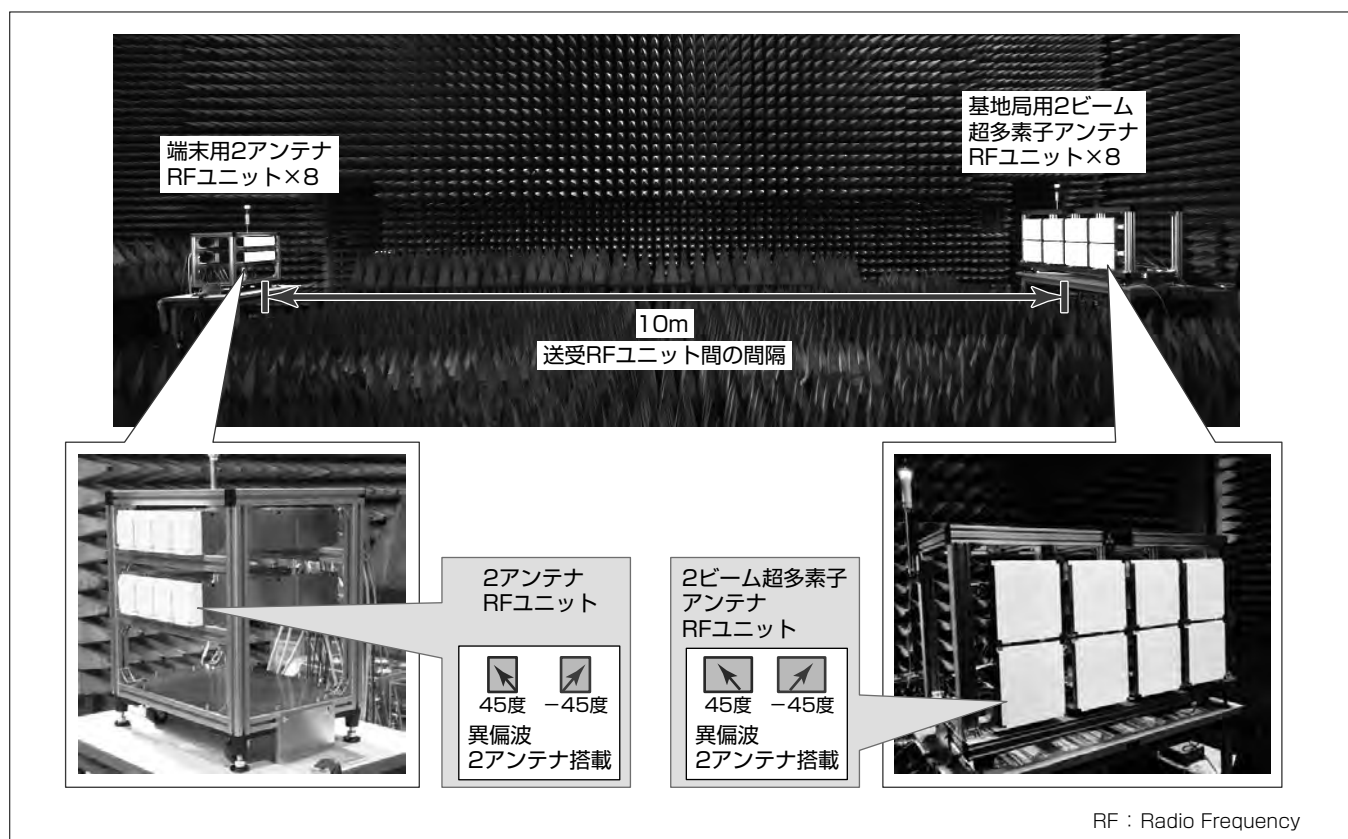
## 要 旨

急増する移動通信のトラフィック対策、多種多様なサービス、アプリケーションの実現に向け、2020年以降本格導入される第5世代移動通信システム(5G)の研究開発が急務となっている。

業界各社で、多素子アンテナとMIMO(Multiple Input Multiple Output)を組み合わせて空間多重数を上げることで飛躍的に周波数利用効率を向上させ、超高速伝送を実

現することが期待されるMassive MIMOの実用化を目指した研究開発を行っている。

このような背景の中、三菱電機では、5G無線基地局向けに28GHz帯ハイブリッドビームフォーミング型超多素子アンテナシステムを開発し、電波暗室での16ビーム空間多重伝送実験によって500MHz帯域を用いて通信速度25.5Gbps超を実現した。



## 28GHz帯超多素子アンテナシステムによる16ビーム空間多重伝送実験環境

2020年以降本格導入される5Gに向けて、Massive MIMO基地局に適用する28GHz帯ハイブリッドビームフォーミング型超多素子アンテナシステムを開発した。電波暗室での伝送実験によって500MHz帯域を用いて通信速度25.5Gbps超を実現した。

## 1. ま え が き

第5世代移动通信システム(5G)では、第4世代移动通信システム(4G)の規格上の最大伝送速度3Gbpsを大きく超える、20Gbpsの超高速伝送が要求されている<sup>(1)</sup>。

この実現には、多素子アンテナとMIMOを組み合わせて空間多重数を上げることで飛躍的に周波数利用効率を向上できるMassive MIMOが有効となる<sup>(2)</sup>。

Massive MIMOを実現する回路方式として、当社では、アナログビームフォーミングとデジタル信号処理とを融合することで空間多重数増と演算量削減を実現できるハイブリッドビームフォーミング方式を提案し、開発を進めている<sup>(3)(4)</sup>。

本稿では、このハイブリッドビームフォーミング方式を実装した5G無線基地局向け28GHz帯超多素子アンテナシステムを用いて、電波暗室で16ビーム空間多重伝送実験を行ったので、そのシステム概要、装置構成及び実験結果について述べる。

## 2. システム概要

伝送実験のシステム構成を図1に、主要諸元を表1に示す。送受信周波数は28GHz帯、変調信号帯域幅を500MHz、基地局装置16アンテナ×端末装置16アンテナのSU(Single User)-MIMO構成で実験を行った。この実験での無線フォーマットは図2のようになっており、3GPP(Third Generation Partnership Project)のLTE(Long Term

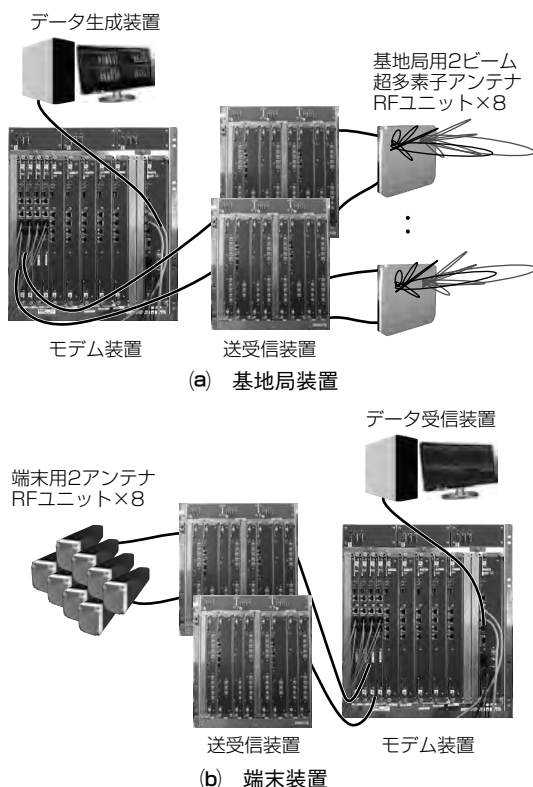


図1. 伝送実験のシステム構成

Evolution)/LTE-Aで1msの無線フレームを0.25msとすることで低遅延伝送を実現している。TDD多重方式は、下りリンクの時間占有率0.8(下り：上りの時間比率を4：1)としている。

## 3. 装置構成

### 3.1 2ビーム超多素子アンテナRFユニット

基地局装置用の2ビーム超多素子アンテナRFユニットの構成を図3に、主要諸元を表2に示す。2ビーム超多素子アンテナRFユニットは、2台のアンテナRFモジュールで構成し、主に、多素子アンテナ部、RF回路部、周波数変換部で構成している。

表1. 伝送実験の主要諸元

項目	諸元
送受信周波数	28GHz帯
変調信号帯域幅	500MHz
多重方式	TDD 下りリンク時間占有率0.8
伝送方式	OFDM
サブキャリア間隔	75kHz
空間多重ストリーム数	16ストリーム

TDD : Time Division Duplex  
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

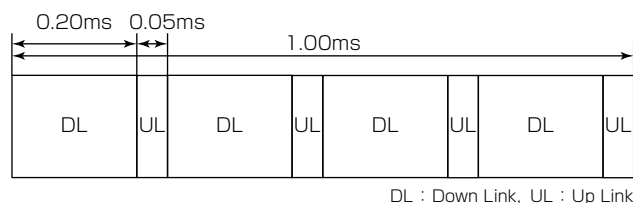


図2. 伝送実験の無線フレーム構成

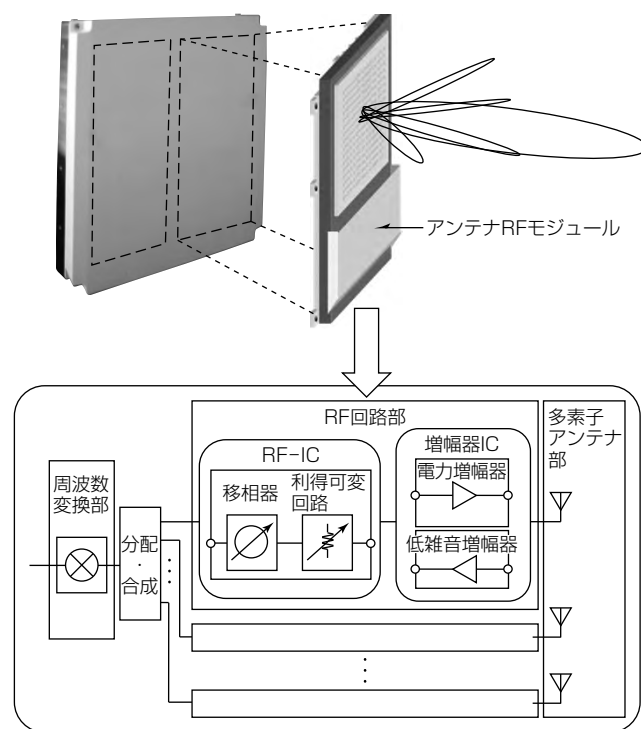


図3. 2ビーム超多素子アンテナRFユニットの構成

表2. 2ビーム超多素子アンテナRFユニットの主要諸元

項目	諸元
送受信周波数	28GHz帯
変調信号帯域幅	800MHz
アンテナ方式	プリントパッチアレー
アンテナ素子数	256素子
アレー配列	垂直：16 水平：16
アンテナ利得	28dBi
搭載アンテナRFモジュール数	2台
偏波方向	45度1台，-45度1台
ビーム走査角度	垂直：±12度 水平：±45度
アンテナRFモジュールサイズ	120×240×28(mm) (放熱フィン除く)
増幅器IC	GaAs(当社製)
RF-IC	CMOS(当社製)

多素子アンテナ部は256の素子アンテナから構成されたアレーアンテナであり、各素子アンテナからの放射電力を末端方向に向けて空間合成することによって、指向性の鋭い高利得なビームを形成する。

RF回路部では、アンテナの多素子化に伴い、低消費電力化、小型化が課題となる。特に増幅器ICはGaAs(ガリウムヒ素)プロセスを用いることで高効率化を図り、RF-ICは高集積化による小型化に適したCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)プロセスを用いた<sup>(5)</sup>。また、RF-ICの移相器は、アクティブ方式を採用して制御精度を向上させることで高精度なビーム形成を実現した<sup>(6)</sup>。

### 3.2 送受信装置・モデム装置

送受信装置・モデム装置の構成を図4に、主要諸元を表3に示す。IF基板でデータ生成装置から受け取ったデータをL2スケジューラ処理し、BB基板で誤り訂正符号化・256QAM(Quadrature Amplitude Modulation)等の多値変調・プリコーディングを行った後、PHY基板でIFFTをする。TRX基板ではDA変換、直交変調、中間周波数へのアップコンバートを行いアンテナRFユニットに出力する<sup>(7)</sup>。

装置間、基板間、FPGA(Field Programmable Gate Array)間、FPGA-CPU・DSP(Digital Signal Processor)間を高速シリアルインタフェースで接続し、接続端子数の不足による機能分割をなくして小型化を図った。

IF基板は、高速CPUを採用し、16アナログビームの方位制御、ハイブリッドビームに対応したユーザーの割当てや、割り当てたユーザーへのデータ量制御を行うスケジューラ部で構成している。

BB基板は、大容量FPGA・高速DSPを採用し、基板1枚で従来の大型基地局2台分以上となる最大伝送速度6.7Gbpsの、誤り訂正符号化・復号化部、256QAM等の変

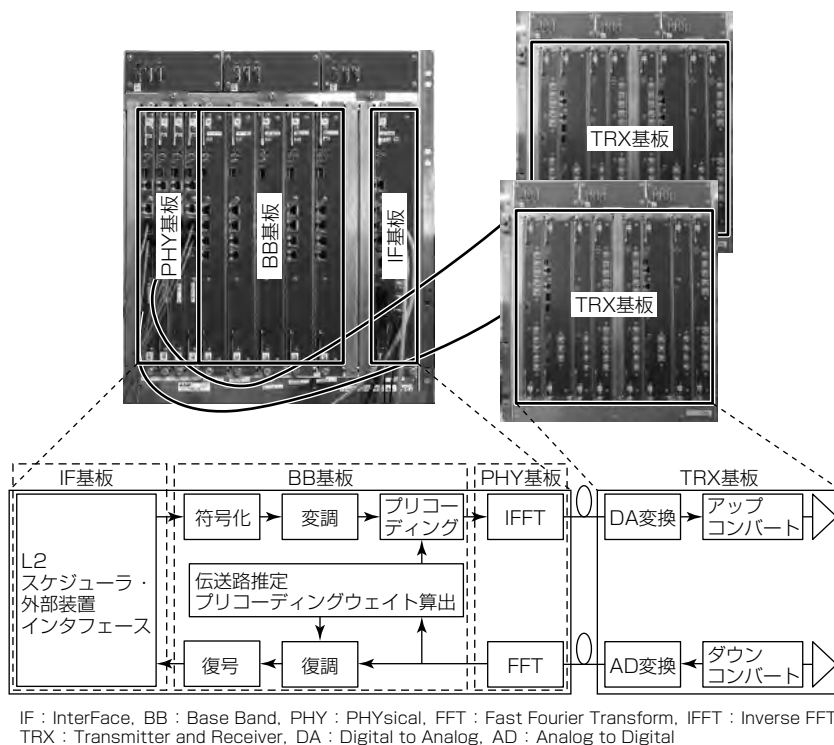


図4. 送受信装置・モデム装置の構成

表3. 送受信装置・モデム装置の主要諸元

項目	諸元
送受信周波数(中間周波数)	6 GHz
変調信号帯域幅	500MHz (100MHz(コンポーネントキャリア帯域幅)×5(コンポーネントキャリア数))
伝送方式	OFDM
サブキャリア間隔	75kHz
変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
誤り訂正方式	LDPC符号
符号化率	3/4, 5/6, 11/12

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying  
LDPC : Low Density Parity Check

復調部、デジタルビーム形成を行うプリコーディング部で構成している。

PHY基板は、OFDM変復調、コンポーネントキャリアのデジタル合波／分波を行うIFFT／FFT部で構成している。

TRX基板は、AD・DA部、中間周波数6GHzに周波数変換を行うアップコンバート・ダウンコンバート部で構成している。

### 3.3 2アンテナRFユニット

伝搬実験で基地局装置と対向する端末装置の、高周波回路部となる2アンテナRFユニットを開発した。2アンテナRFユニットは、偏波の異なる二つのアンテナと、各アンテナに接続して信号電力の増幅とレベル調整を行うRF回路部、及び28GHz帯と6GHz帯の間での周波数変換を行う周波数変換回路で構成される。2アンテナRFユニットの1アンテナ分の装置構成を図5に、主要諸元を表4に示す。

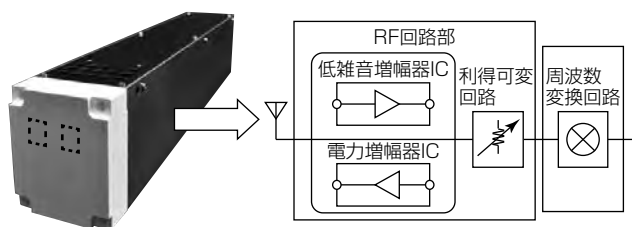


図5. 2アンテナRFユニットの1アンテナ分の装置構成

表4. 2アンテナRFユニットの主要諸元

項目	諸元
アンテナ方式	平面パッチアンテナ
アンテナ利得	6 dBi
送信電力	13dBm以上
受信雑音指数	10dB以下
可変利得幅	20dB以上
搭載アンテナ数	2台
偏波方向	45度1台、-45度1台

#### 4. 実験結果

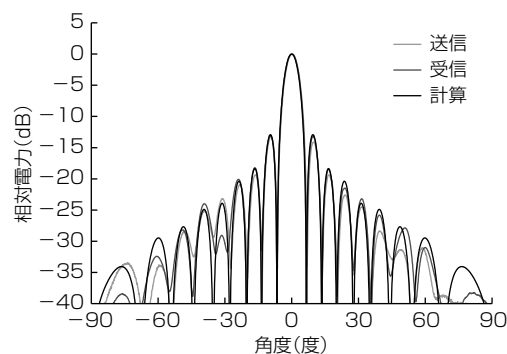
3章に述べた装置による実験結果を示す。

まず、2ビーム超多素子アンテナRFユニットの放射特性を電波暗室内で評価した結果を示す。なお、アンテナRFモジュール2台で1ユニットを構成しているが、この2台は偏波の違いだけで同一性能のものであるため、-45度偏波の結果を示す。

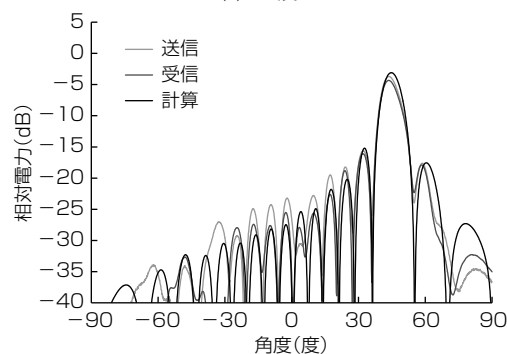
図6に水平面で送信、受信それぞれの主ビーム方向を0度、45度とした場合での放射パターンを示す。グラフの縦軸は0度ビームの値で規格化している。このモジュールの校正には素子電界ベクトル回転法<sup>(8)</sup>を用いた。図から、放射パターン形状は計算値及び送信、受信の実測値でおおむね一致しており、設計結果の妥当性が確認できる。送受間のピークサイドロープレベルの差異は1 dBrms以内の精度で一致していることを確認した。

図7に送信、受信それぞれで、主ビームの方向を水平面に-45度~45度まで5度刻みで走査した場合のビーム走査指令角との差を示す。送信、受信それぞれのビーム指向誤差はビーム走査指令角に対して1度より十分小さく、送受間のビーム指向誤差は0.2度rms以下を達成した。以上から±45度の広角方向まで高精度なビーム形成ができる2ビーム超多素子アンテナRFユニット装置を実現した。

次に、電波暗室内でアンテナRFユニットに加えて送受信装置とモデム装置も動作させたときの変復調部の実験結果を示す。図8は、基地局で送信した信号を端末と同じ位置に置いたホーンアンテナで受信したときのスペクトラムアナライザ画面例である。500MHz帯域内で送信電力が±1 dB以内と平坦(へいたん)で、隣接チャネル漏洩(ろうえい)電力が-30dBc以下を達成できていることを確認できた。



(a) 0度ビーム



(b) 45度ビーム

図6. 2ビーム超多素子アンテナRFユニットの放射パターンの計算及び測定結果

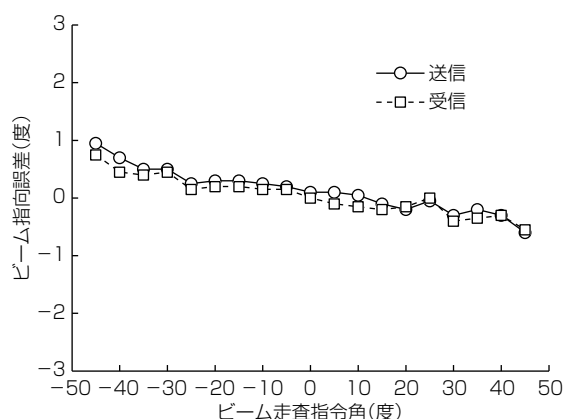


図7. 2ビーム超多素子アンテナRFユニット装置のビーム走査指令角に対する送信、受信のビーム指向誤差

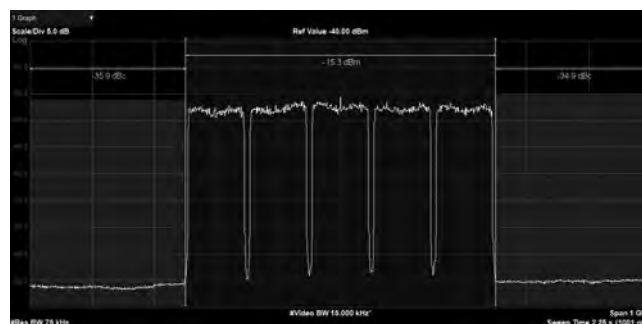


図8. 基地局送信の信号波形

図9は、基地局から1アンテナで送信し、端末の1アンテナで受信した変調信号を、解析ツールで変調精度解析した結果の例である。図9(a)は64QAM信号、図9(b)は

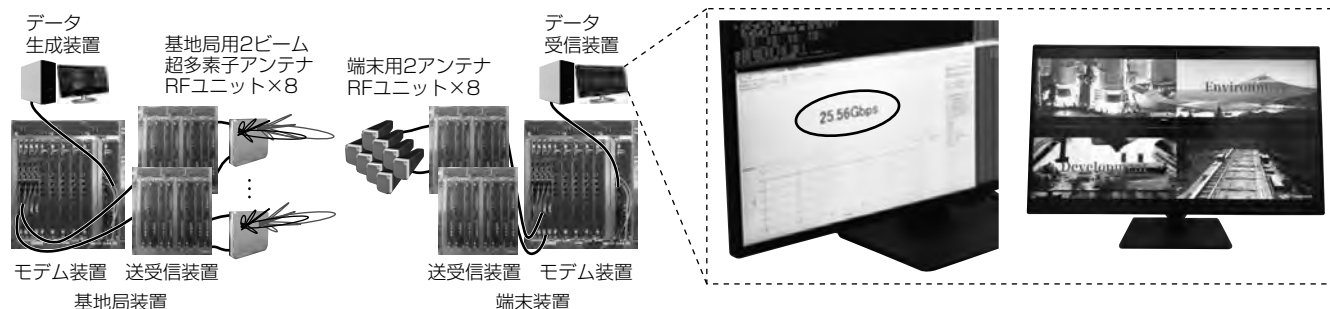


図10. スループット25.5Gbps達成時の実験システムの構成と画面表示例

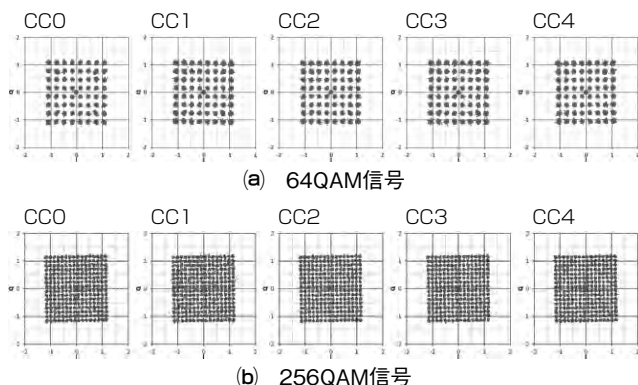


図9. 端末受信信号の歪み解析

256QAM信号での五つのコンポーネントキャリアのコンスタレーションを示す。解析結果は5%以下となり送受信機通しで歪(ひず)みが十分小さいことを確認できた。

最後に、システム全体で電波暗室で、データ生成装置で生成したUDP(User Datagram Protocol)パケットデータ、及び、動画ファイルの伝送の評価を行った実験結果を示す。UDPパケットデータについては、基地局から16ビームで放射し、端末16アンテナで受信後、データ受信装置で計測して25.5Gbpsの安定した伝送が確認できた<sup>(9)</sup>。図10が実験システムの構成と画面表示例である。

これによって、28GHz帯での移动通信システムで世界最高の周波数利用効率である1Hz当たり63.7bpsを実現でき、500MHz帯域を用いて1台の端末に向けて世界で初めて<sup>(注1)</sup>下りリンク通信速度25.5Gbpsを検証できた。

(注1) 2018年3月現在、当社調べ

## 5. む す び

超高速伝送の実現に向けて開発したハイブリッドビームフォーミング型超多素子アンテナシステムの電波暗室での16ビーム空間多重伝送実験によって、500MHz帯域を用いて通信速度25.5Gbps超を実現した。今後は、フィールド試験で周波数利用効率の高いMassive MIMO技術を確認し、大容量高速通信で、多種多様なサービスとアプリケーションによるコネクテッド社会の実現に貢献する。

今回の成果には、総務省からの委託を受けて実施した“第5世代移动通信システム実現に向けた研究開発”の成果の一部が含まれている。

## 参 考 文 献

- (1) Recommendation ITU-R M.2083(IMT Vision) "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond" (2015)
- (2) 奥村幸彦, ほか: 将来無線アクセス・モバイル光ネットワークの構想, 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2013-231/232 (2013)
- (3) 岡崎彰浩, ほか: 次世代無線アクセスに向けた高周波数帯活用の一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2014-81 (2014)
- (4) 友江直仁, ほか: 5G無線基地局向け28GHz帯アンテナ・RFモジュール, 三菱電機技報, 91, No.6, 321~324 (2017)
- (5) 中溝英之, ほか: 5Gにおける高SHF帯・広帯域Massive MIMO向け超多素子アンテナシステムの要素技術, 2016年電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会, BCS-1-8 (2016)
- (6) 山本 航, ほか: 5Gにおける高SHF帯・広帯域Massive MIMO向け28GHz帯高精度6ビットベクトル合成型移相器, 電子情報通信学会技術研究報告, MW2017-117 (2017)
- (7) 内田 繁, ほか: 5G向け28GHz帯広帯域Massive MIMOシステム実現に向けた取り組み, 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2017-196 (2017)
- (8) 真野清司, ほか: フェイズドアレーアンテナの素子振幅位相測定法-素子電界ベクトル回転法-, 電子情報通信学会和文論文誌B, J65-B, No.5, 555~560 (1982)
- (9) 西本 浩, ほか: [技術展示]5Gにおける高SHF帯・広帯域Massive MIMOマルチビーム空間多重の屋内実験検証, 電子情報通信学会技術研究報告, RCS2017-354 (2018)

# IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ “温度拡張型IoT GW”

中江 伸\*  
磯田洋平\*

Mitsubishi Communication Gateway for IoT System Operating at High Temperature

Shin Nakae, Youhei Isoda

## 要 旨

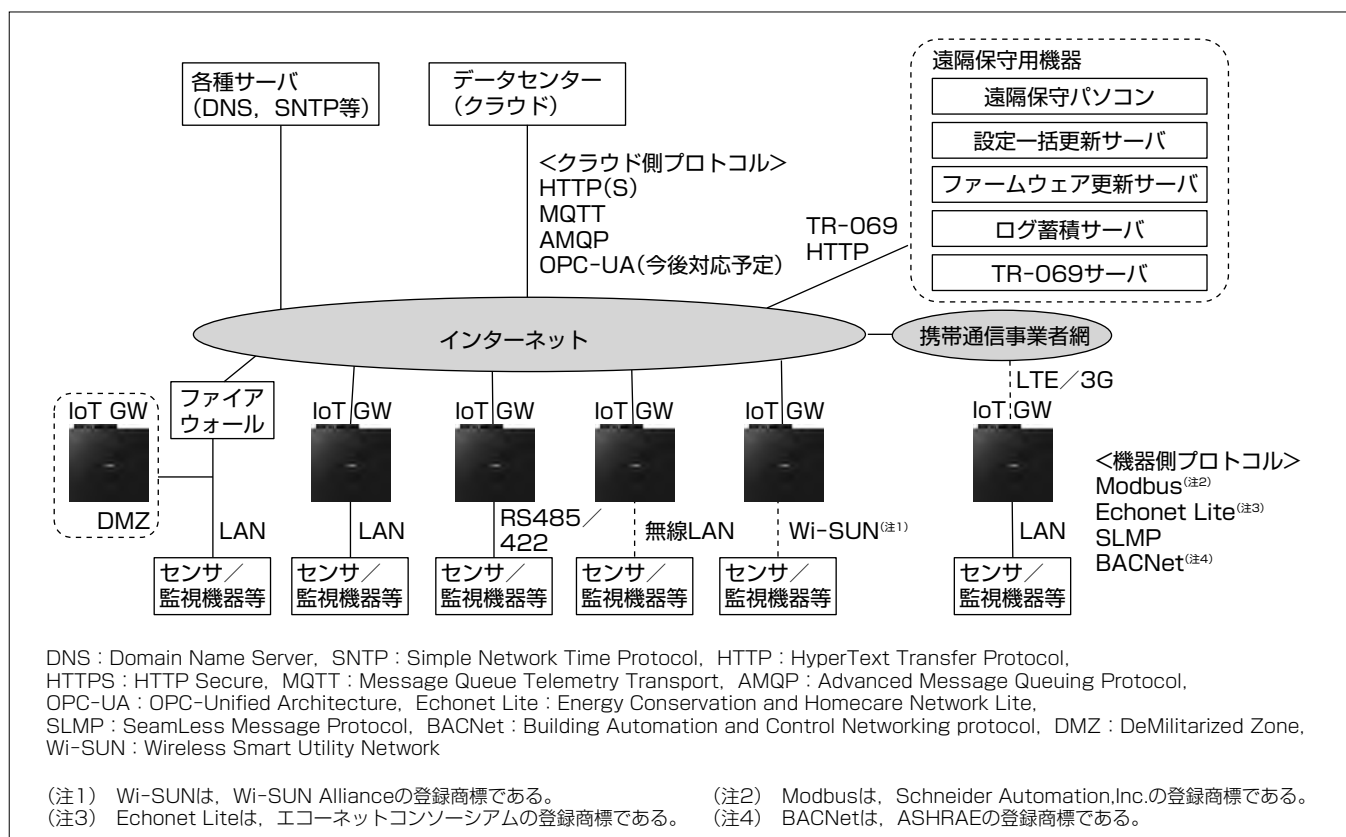
近年、センサや監視機器等からのデータ収集、クラウドでの蓄積データに基づく分析、制御を行うIoT(Internet of Things)システムの適用事例が増えている。センサや監視機器等を収容するネットワークとクラウドをつなぐ通信ゲートウェイ装置は、データの一次処理やプロトコル変換等の機能を担い、機器を制御する様々なサービスのための装置として重要な役割を果たしている<sup>(1)</sup>。

三菱電機は、家庭向けのホームゲートウェイを始め、HEMS(Home Energy Management System)対応三菱通信ゲートウェイ<sup>(2)</sup>、三菱通信ゲートウェイ“smartstar”<sup>(3)</sup>等の通信ゲートウェイ装置を製品化してきた。これらの技術を用いて、IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ(以下“IoT GW”という。)を製品化することにし、3機種のラ

インアップを計画した。

今回、2017年に製品化した標準型IoT GW(以下“標準型”という。)をベースに、無線WAN(Wide Area Network)通信機能、SDカードスロットを搭載しつつ、動作温度上限を55℃に拡張し、平置き設置を可能にした温度拡張型IoT GW(以下“温度拡張型”という。)を製品ラインアップに加えた。

温度拡張型は、温度上限拡張と平置き設置への対応によって標準型と比較して25℃の温度上昇となる。これに耐え得る放熱構造の設計と、限られた実装スペースへの無線WAN通信用モジュールの内蔵、SDカードに対するフェールセーフ機能の追加を行った。



## IoT GWを用いたシステム

IoT GWは配下に接続されたセンサや監視機器等からデータを受信し、クラウドにデータを送信する。また、Modbus、Echonet Lite等のプロトコルを用いたIoT GW上で動作する監視制御アプリケーションを構築可能である。IoT GWでは、データの一次処理を行うため、現地で高速に監視・制御できる。また、全てのデータをクラウド側に送信する必要はないため、クラウドサーバの負荷、ネットワークデータ量を削減できる。

## 1. ま え が き

近年、センサや監視機器等からのデータ収集、クラウドでの蓄積データに基づく分析・制御を行うIoTシステムの適用事例が増えている。センサや監視機器等が収容されるネットワークとクラウドをつなぐ通信ゲートウェイ装置は、データの一次処理やプロトコル変換等の機能を担い、機器を制御する様々なサービスのための装置として重要な役割を果たしている。

当社は、2017年にIoTシステム向けの通信ゲートウェイ装置として、動作温度0～40℃に対応する標準型と、豊富なインタフェースを持ち、動作温度-20～55℃、防塵(ぼうじん)防水IP53を実現した耐環境型IoT GW(以下“耐環境型”という。)を製品化した<sup>(4)</sup>。これら2機種は、各種IoTシステムでの運用検証が始まっている。

今回、標準型をベースに、無線WAN通信機能、SDカードスロットを搭載しつつ、動作温度上限を55℃に拡張し、平置き設置を可能にした、温度拡張型を製品ラインアップに加えた。

本稿では、温度拡張型開発での課題と対策について述べる。

## 2. 現行機種と温度拡張型

### 2.1 標準型と耐環境型

2017年に製品化したIoT GWの仕様を表1に示す。

表1. 標準型と耐環境型の仕様

	標準型	耐環境型
外観		
CPU	ARM Cortex-A9 <sup>(注5)</sup> ×2, 900MHz	
メインメモリ	512MB	
フラッシュメモリ	256MB	
WAN	100BASE-TX/1000BASE-T, RJ45, 1ポート	
LAN	10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T, RJ45, 4ポート	
無線WAN(内蔵)	なし	LTE Cat1, SMA, 2ポート, アンテナ外付け
無線LAN	IEEE802.11b/g/n 2.4G, 3×3, アンテナ内蔵	IEEE802.11b/g/n 2.4G, 1×1, アンテナ内蔵
USB	USB2.0, Type-A, 2ポート	
シリアル通信	なし	RS485/422, 端子台, 1ポート
構造	筐体寸法	40(W)×173(D)×168(H)(mm)
	設置形態	スタンド, 壁掛け
環境	動作温度	0～40℃
	防塵防水	なし(IP20)
電源	ACアダプタ	AC100V, 50/60Hz
	DC端子台	なし
	PoE	なし

LTE: Long Term Evolution, SMA: Sub Miniature Type A  
 PoE: Power over Ethernet

(注5) Cortexは、ARM Ltd.の登録商標である。

#### (1) 標準型

動作温度範囲は0～40℃で、主に空調環境のオフィス等での使用を想定している。WAN用に1ポートとLAN用に4ポートの1000Base-T, USB2.0のType-A端子2ポートを具備している。

#### (2) 耐環境型

環境条件の厳しい工場等での使用を想定し、動作温度範囲は-20～55℃、防護等級IP53に対応する。標準型のインタフェースに加え、DC入力、PoE受電、RS485/422、無線WAN通信機能を具備している。

### 2.2 温度拡張型での追加仕様

温度拡張型は、コスト上昇を抑制しつつ、高温での動作を保証する仕様とした。

#### (1) 動作温度55℃

耐環境型でも対応済みの動作温度範囲であるが、低コストに55℃対応を実現するため、標準型をベースに放熱性能を向上させる。

#### (2) 平置き設置対応

標準型はスタンド設置及び壁掛け設置、耐環境型は壁掛け設置に対応している。温度拡張型は、スタンド設置、壁掛け設置に加え、ラックへの設置を想定した平置き設置にも対応することにした。平置き設置は装置内に熱がこもり、最も厳しい条件となるため、放熱性能の向上が必要になる。

#### (3) 無線WAN通信機能内蔵

有線で回線を引き込むことが困難な場所への設置を想定し、無線WAN通信機能を内蔵した。標準型にはない通信モジュールを新たに内蔵するため、放熱対策と実装面積が課題になる。

#### (4) SDカード対応機能搭載

IoT GWが配下機器から収集したデータや、IoT GW上で動作するアプリケーションのログデータ等を保存するためSDカードスロットを搭載した。遠隔地に設置されるため、SDカードからの応答が停止してしまった場合に備えてフェールセーフ機能が必要である。

3章では、これら仕様を実現する方法を述べる。

## 3. 温度拡張型IoT GW

### 3.1 概要と主要諸元

2章で述べた仕様に対応するため、標準型をベースに、無線WAN通信機能を内蔵し、SDカードスロットを搭載した。その上で、温度条件が最も厳しくなる平置き設置状態での動作温度55℃への対応を実現した。温度拡張型の本体外観を図1に、主要諸元を表2に示す。

### 3.2 動作温度55℃と平置き設置への対応

#### 3.2.1 放熱上の課題

ファン等のアクティブな放熱方法を持たない機器





図 1. 温度拡張型の本体

表 2. 温度拡張型の主要諸元

	項目	仕様
システム	CPU	ARM Cortex-A9×2, 900MHz
	メインメモリ	512MB
	フラッシュメモリ	256MB
WAN	ポート種別	100BASE-TX/1000BASE-T
	コネクタ/ポート数	RJ45/1ポート(速度設定:自動) MDI/MDI-X自動検出
LAN	ポート種別	10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T
	コネクタ/ポート数	RJ45/4ポート(速度設定:自動) MDI/MDI-X自動検出
無線WAN(内蔵)	対応規格	3G
	コネクタ/ポート数	SMA/1ポート(アンテナ外付け), miniSIM/1ポート
無線LAN	対応規格	IEEE802.11b/g/n 2.4GHz
	アンテナ数	1×1 SISO(アンテナ内蔵)
USB	ポート種別	USB2.0
	コネクタ/ポート数	Type A/2ポート
ストレージ	ポート種別	SDカード(SDHC)
	コネクタ/ポート数	SD/1ポート
ブロードバンドルータ機能	対応回線種別	有線WAN: IPoE, PPPoE, 無線WAN: PPP
	ルーティング変換, プロキシ	IPv4/IPv6ルーティング
		DNSプロキシ
		動的・静的NAPT, 静的NAT
		パケットフィルタリング
	VPN	IPv4 IPsec, L2TPv2 over IPsec
	無線LAN AP	WPS2.0対応
アプリケーションサーバ	アドレス配布	DHCPサーバ
	Java <sup>(注6)</sup> 仮想マシン	Java8
クラウドサービス	OSGi <sup>(注7)</sup> フレームワーク	OSGi R4.2準拠
	対応クラウドサービス	Microsoft Azure <sup>(注8)</sup> , ほか順次追加予定
対応IoTプロトコル	WAN(クラウド)側	HTTP(S), MQTT, AMQP, (今後対応予定) OPC-UA
	LAN(収容機器)側	Modbus/LAN, Modbus/シリアル, Echonet Lite, SLMP, BACNet
セキュリティ	セキュアブート	OS改ざん防止
	EDSA認証	FSAレベル1相当
保守機能	ログ管理	通信ログ, 装置ログ, 装置起動情報
	遠隔保守	Web-GUIによる遠隔操作, TR-069サーバ対応
構造	筐体寸法	40(W)×173(D)×168(H)(mm)(突起含まず)
	設置形態	スタンド, 壁掛け, 平置き
	質量	1kg以下(ACアダプタ含まず)
環境	動作温度	0~55℃
	電波障害規格	VCCIクラスB
電源	電源	ACアダプタ, AC100~240V, 50/60Hz
	消費電力	18W以下

RJ45: Registered Jack 45, MDI: Medium Dependent Interface, MDI-X: MDI Crossover, SIM: Subscriber Identity Module, SISO: Single Input Single Output, SDHC: SD High Capacity, IPoE: Internet Protocol over Ethernet, PPPoE: Point to Point Protocol over Ethernet, PPP: Point to Point Protocol, NAPT: Network Address Port Translation, NAT: Network Address Translation, VPN: Virtual Private Network, L2TP: Layer2 Tunneling Protocol, AP: Access Point, WPS: WiFi Protected Setup, DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol, OS: Operating System, EDSA: Embedded Device Security Assurance, FSA: Functional Security Assessment, GUI: Graphical User Interface, VCCI: Voluntary Control Council for Interference by information technology equipment

(注6) Javaは, Oracle Corp.の登録商標である。

(注7) OSGiは, OSGi Allianceの登録商標である。

(注8) Microsoft Azureは, Microsoft Corp.の登録商標である。

では, 温度差によって発生する空気の流れによって基板上の部品が冷却される。平置き設置では, 機器自体や機器内部の基板が自然対流を妨げるため, 放熱の効率が大幅に低下する。スタンド設置や壁掛け設置に対し, 平置き設置では機器内部の温度が10℃以上上昇することを予想し, 動作温度上限の15℃上昇と合わせて, 25℃の温度上昇に耐え得る放熱構造の設計が課題であった。

### 3.2.2 放熱構造の設計

温度拡張型の放熱構造を図2に示す。大きなスペースが確保可能な基板上側には, 高効率に放熱が可能な放熱フィンを用いた。スペースの限られている基板下側には, 放熱フィンと比較して放熱効率は落ちるが, 薄型化, 軽量化が可能で, 低コストな熱拡散板を採用した。これらの構造によって, 放熱性を確保しつつ質量増加抑制とコスト低減を図った。また, 筐体(きょうたい)の開口穴の面積を増やし, 基板下側からの吸気と基板上側への排気を効率化した。

基板上の部品は, それぞれ発熱量と上限温度が異なるため, 各部品の最適な放熱経路を選定した。上限温度の低いメモリIC(SDRAM(Synchronous Dynamic Random Access Memory), フラッシュメモリ)は, 発熱量の大きいSoC(System on a Chip), 3G通信モジュール, L2SW(Layer2 SWitch) ICからの影響を避けるため, 吸気口に近い熱拡散板へ放熱する経路を採用した。SoC, 3G通信モジュール, L2SW ICから発生する熱は, 放熱フィンを介して放熱する経路とし, 基板全体の温度を低減した。

これらの構造を基本構造とし, 熱流体シミュレーションで最適な形状パラメータを検討した。熱拡散板のサイズ, 厚み, 開口穴サイズと, 放熱フィンのサイズ, 羽の枚数, 厚みをパラメータとして変化させ, 部品の上限温度を満足する形状を採用した。熱流体シミュレーションでの機

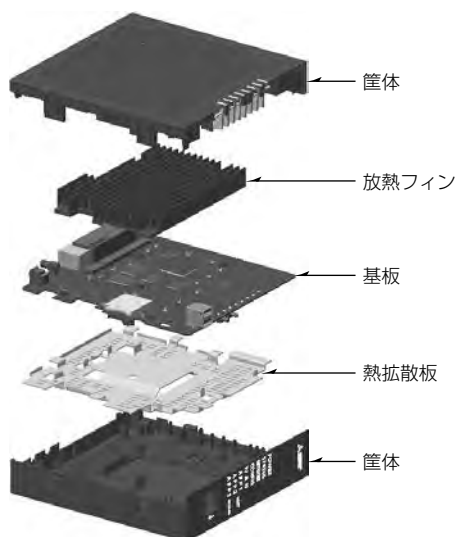


図2. 放熱構造

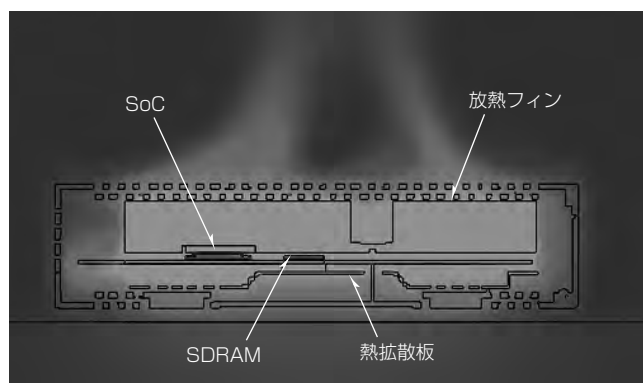


図3. 熱流体シミュレーションによる温度分布解析例

器内部の温度分布解析例を図3に示す。

### 3.2.3 試作機での温度確認

各部品の熱流体シミュレーションによる表面温度解析結果と、試作機での部品表面温度測定結果を表3に示す。解析結果と測定結果の差異は2.7℃以内であり、設計時に目標値としている最大5℃の差異範囲内であることを確認した。また、測定結果は上限温度を下回っており、十分な放熱性を確保していることを確認した。

### 3.2.4 放熱部品追加による無線LANへの影響確認

放熱フィンや熱拡散板は金属部品であるため、基板上の部品から発生するノイズを伝搬する。伝搬したノイズが無線通信アンテナに放射されると、無線通信へ影響を及ぼすことがある。温度拡張型では、アンテナを内蔵している無線LAN通信への影響が懸念される。

そのため放熱構造検討と並行して、基板上の部品をノイズ源とした、放熱フィン及び熱拡散板によるノイズ伝搬を電磁界解析で確認した。解析例を図4に示す。放熱フィンと基板間に挟まれている空間ではノイズレベルは大きいですが、放熱フィンの外側に配置したアンテナへのノイズ放射レベルは-100dBm以下であった。無線LANに要求される最小受信感度-82dBmに対し、10dB以上小さく影響がない

表3. 部品表面温度の解析結果と試作機測定結果(55℃環境)

部品名	上限温度	解析結果	測定結果
SoC	123.1℃	98.1℃	95.4℃
L2SW IC	112.3℃	96.9℃	97.3℃
SDRAM	95.0℃	90.9℃	91.4℃
フラッシュメモリ	90.0℃	86.8℃	86.3℃

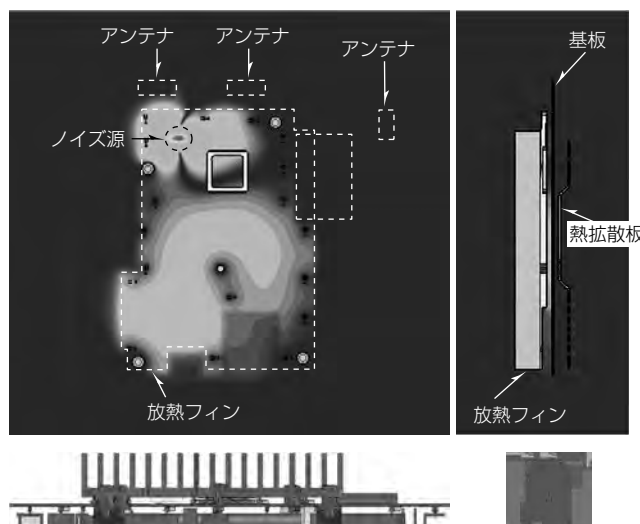


図4. 電磁界解析例

下りトラフィック(UDPパケットサイズ1,500バイト)  
上りトラフィック(UDPパケットサイズ1,500バイト)

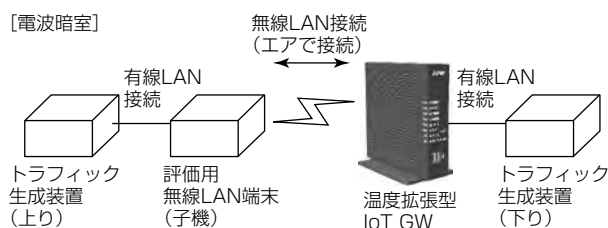


図5. 無線LANのスループット測定系

表4. 無線LANスループット測定結果

放熱フィン熱拡散板	トラフィック方向	スループット
あり	上り	130Mbps
	下り	130Mbps
なし	上り	130Mbps
	下り	130Mbps

と判断した。

また、実機でも無線LANのスループットを測定した。無線LANのスループット測定系を図5に示す。電波暗室で、温度拡張型と無線LAN端末(子機)をエアで接続し、1,500バイトのUDP(User Datagram Protocol)パケットをデータ送信側の温度拡張型(下り時)、又は子機(上り時)に入力し、スループットを測定した。子機には、温度拡張型と同等性能のものを使用した。スループット測定結果を表4に示す。IEEE802.11nの最大理論伝送速度150Mbpsに対して、放熱フィン及び熱拡散板の有無にかかわらず130Mbpsのスループットを計測し、金属部品による影響がないことを確認した。

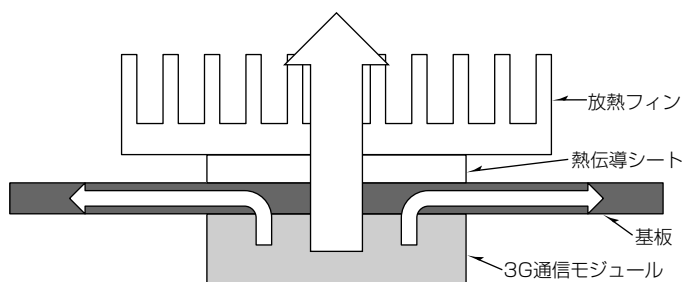


図6. 3G通信モジュールの放熱構造と熱の流れ

### 3.3 無線WAN通信機能内蔵

無線WAN通信機能を実現するため、3G通信モジュールを内蔵した。一般的に無線WAN通信用モジュールを内蔵する際には、miniPCIeやM.2等の規格に対応したカード型モジュール(以下“カード型”という。)を使用して、モジュール有無やモジュール変更を容易にすることが多い。しかし温度拡張型では、放熱構造の簡素化、実装面積削減と低コスト化を図るため、基板に直接はんだ付けするオンボード型モジュール(以下“オンボード型”という。)を採用した。

#### (1) 放熱構造の簡素化

カード型では構造が複雑になり、動作温度55℃に耐え得る十分な放熱ができない可能性がある。オンボード型を採用し、基板への熱拡散と熱伝導シートを介した放熱フィンへの放熱によって、放熱性能を確保した(図6)。

#### (2) 実装面積削減と低コスト化

カード型は、モジュール本体に加えてモジュール挿入用コネクタも必要であり、基板面積の限られる温度拡張型では実装が困難である。オンボード型を用いることで、実装面積を約21cm<sup>2</sup>から約6.25cm<sup>2</sup>に削減した。

またカード型は、モジュールと基板間の高周波信号伝送のため同軸ケーブルを接続する。オンボード型は、直接基板パターンを接続するため、組立て性向上及びコスト低減に寄与している(図7)。

### 3.4 SDカード対応機能搭載

SDカードには、IoT GWが配下機器から収集したデータやアプリケーションのログを、一時的に保存することを想定している。

パソコン等であれば、SDカードからの応答が停止してしまった場合、SDカードの挿抜によって対処可能であるが、遠隔地に設置されるIoT GWでは挿抜による対処は困難である。

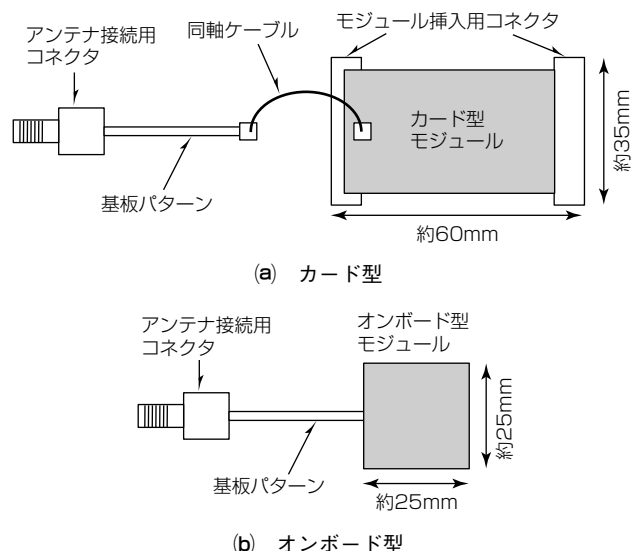


図7. モジュールによる構成と実装面積の違い

遠隔地でも対処可能とする仕組みとして、SDカードをハードウェアリセットするAPI(Application Programming Interface)を作成した。このAPIをアプリケーションから使用することで、自律的に挿抜相当の対処が可能である。

## 4. む す び

温度拡張型IoT GW開発での、放熱設計、無線WAN通信機能内蔵、SDカード対応機能搭載について述べた。温度拡張型IoT GWの製品化によって、IoT GWを適用可能なIoTシステムを拡充できる。

今後もIoT GWの機能充実化を図り、多くのシステム事業分野でIoTによる新たな付加価値を創出し、スマート社会の実現に貢献していく。

## 参 考 文 献

- (1) 別所雄三, ほか: クラウドサービスを支える通信ゲートウェイ技術, 三菱電機技報, 87, No.5, 271~276 (2013)
- (2) 西尾俊介, ほか: HEMS対応三菱通信ゲートウェイ, 三菱電機技報, 88, No.6, 337~342 (2014)
- (3) 岡 稔久, ほか: 三菱通信ゲートウェイ“smartstar”, 三菱電機技報, 89, No.6, 338~342 (2015)
- (4) 大野聖信, ほか: IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ, 三菱電機技報, 91, No.6, 325~328 (2017)

# IoTゲートウェイのセキュリティ技術

佐藤浩司\*

平井博昭\*\*

山口晃由\*\*\*

## Security Technologies of IoT Gateway

Koji Sato, Hiroaki Hirai, Teruyoshi Yamaguchi

### 要 旨

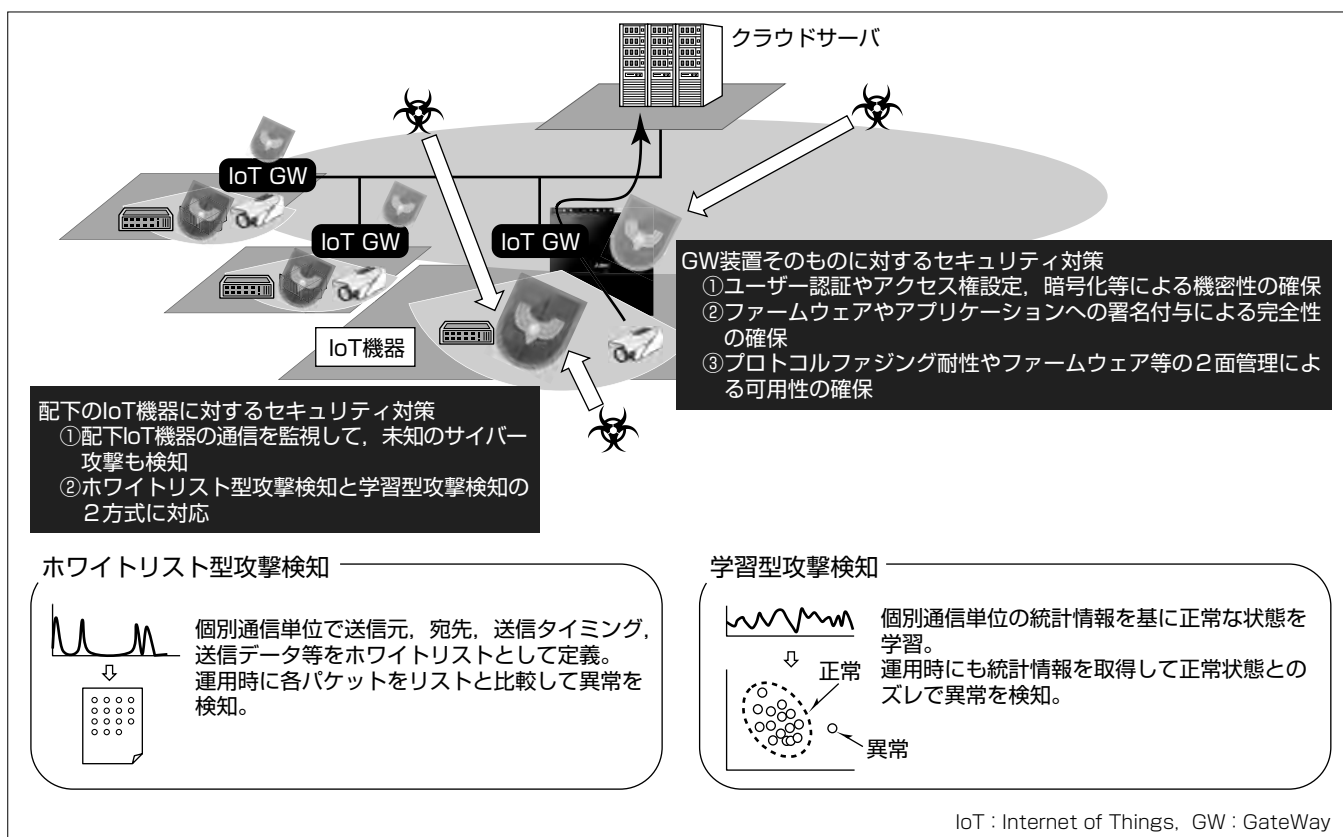
近年、デバイス機器から自動的に各種データを収集し、サービス価値／生産性／保守性などの向上を図るIoT(Internet of Things)システムが多数構築されている。

IoTシステムに接続されるIoT機器の数が急激に増加するにつれ、これらのIoT機器を標的としたサイバー攻撃の事例も増加している。処理性能等の制約によって十分なセキュリティ対策機能を持たないIoT機器や、初期パスワードのままであるなど適切な運用がなされていないIoT機器が多数ネットワークに接続されていることが攻撃事例増加の原因と考えられる。

このような状況のもと、脆弱(ぜいじゃく)なIoT機器をサイバー攻撃から守る仕組みの実現が、喫緊の課題となっている。

この課題の解決に向けて、三菱電機はセキュアなIoTシステム向けのゲートウェイ装置(IoT GW)を開発した。具体的には、GW装置そのものに対する脅威への対策として、機密性／完全性／可用性を確保する仕組みを搭載するとともに、配下のIoT機器を守るための仕組みとしてホワイトリスト型攻撃検知機能と学習型攻撃検知機能を開発した。未知の攻撃も検知できる可能性のある二つの攻撃検知機能によって、サイバー攻撃への対策を強化したIoTシステムの実現に貢献する。

今後、攻撃検知機能の改良を継続し、他のセキュリティ装置／サービスなどとの併用・連携を進めることで、IoTシステムがもたらす恩恵を安心して享受できる社会の実現を目指す。



### IoT GWのセキュリティ技術

IoT GWには、GW装置そのものに対するセキュリティ対策として機密性／完全性／可用性を確保する各種機能が実装されている。また、配下に接続されるセキュリティ的に弱いIoT機器をサイバー攻撃から守るために、攻撃検知機能を搭載している。IoT機器へ特別な機能を追加することなく、未知の攻撃も検知可能なホワイトリスト型と学習型の二つの攻撃検知方式に対応したことで、既存の多種多様なIoT機器のセキュリティ監視が実現できる。

# 1. ま え が き

近年、デバイス機器から自動的に各種データを収集し、サービス価値／生産性／保守性などの向上を図るIoTシステムが多数構築されている。IoTシステムに接続される機器(IoT機器)の数は、2017年に約200億個に達し、2020年には約300億個になると予想されている<sup>(1)</sup>。

IoT機器数が急激に増加するにつれ、IoTシステムへのサイバー攻撃事例数も増えている。2016年にはIoT機器に感染したマルウェア“Mirai”による大規模な分散型サービス妨害(Distributed Denial of Service : DDoS)攻撃が観測された。マルウェアに感染しボット化した14万5千台以上のIoT機器からのDDoS攻撃トラフィックは、ピーク時に1 Tbpsを超える規模であったとされている<sup>(2)</sup>。

2016年に観測されたサイバー攻撃のパケット数は2015年比で約2.4倍であったが、このうちIoT機器を狙った攻撃は2015年比で約5.8倍に増加しており、攻撃全体の64%を占めていた<sup>(3)</sup>。また、ファイアウォールでブロックした通信のうち、“Mirai”が利用するtelnetポートへのアクセスは2015年から2016年で約6.4倍に増加したとの統計情報もあり、“Mirai”とその亜種が多数のIoT機器へ急激に感染を図った様子が見て取れる<sup>(4)</sup>。

IoT機器が攻撃者から狙われる理由としては、機器数が多いことに加え、パソコンなどのIT機器と比較してセキュリティ的に弱い場合が多いことが挙げられる。IoT機器がセキュリティ的に弱い理由としては、CPU処理性能等の制約によってセキュリティ対策機能が搭載できないこと、又は、運用開始後にファームウェアの最新化などの管理作業が省略されてしまうこと等が挙げられる。さらには、導入に際して守るべきセキュリティガイドラインが整備・徹底されていないためアカウント情報を初期値のまま運用開始する場合や、管理が十分に行き届かずマルウェアに感染しても長期間感知されずに運用継続される場合も多く、IoT機器は攻撃者から見て狙いやすい標的となっている。

このような状況のもと、IoT機器と外部ネットワークを接続するIoTゲートウェイ(IoT GW)には、配下の脆弱なIoT機器をサイバー攻撃から守るための仕組みが求められている。当社が開発したIoT GWでは、産業用制御機器のセキュリティ保証に関する認証制度であるEDSA(Embedded Device Security Assurance)認証<sup>(5)</sup>のレベル1相当に対応するとともに、機密性／完全性／可用性を確保する仕組みを搭載することでIoT GW装置そのもののセキュリティを確保した。また、配下のIoT機器のセキュリティを確保するための仕組みとして、攻撃検知機能を実装した<sup>(6)</sup>。

本稿では、以下、IoTシステムでのセキュリティ脅威を2章で、IoT GW装置そのものに対するセキュリティ対策を3章で、最後に、配下のIoT機器を守るための技術として、

IoT GW上に実装した攻撃検知機能について4章で述べる。

# 2. IoTシステムでのセキュリティ脅威

IoT機器の不適切な管理や、脆弱性への対策遅れを背景に、2016年頃からIoT機器に対するサイバー攻撃が多数観測されている。IPA(情報処理推進機構)から毎年発表されている情報セキュリティ10大脅威でも、2015年度にはランク外であったIoTを対象とする脅威が、2016年度に10位以内にランクインし、2017年度には順位を更に上げている<sup>(7)</sup>。

このような状況の中、2016年には国内外で多数のIoTセキュリティに関するガイドライン文書などが作成された。表1に2016年に公開された主な文書とその公開月を示す。

IoT機器に対するサイバー攻撃は、“Mirai”とその亜種のようにIoT機器をDDoS攻撃のためにボット化することにとどまらない。

表2に示すように、発電所や石油パイプラインなどの物理的なシステムに対して実際に行われたサイバー攻撃によって、設備の破壊やサービス停止といった深刻な被害もたらされている。また、これ以外にも、医療機器、自動車、家電など様々な分野の機器に対する、サービスの妨害・停止・不正利用、データの漏えい・改竄(かいざん)・破壊、乗っ取り、不正操作などの攻撃が可能との報告もある<sup>(9)</sup>。また、最近ではIoT機器の計算リソースを不正に利用し、仮想通貨の発掘(マイニング)を行う攻撃も確認されている<sup>(10)</sup>。

表1. 2016年に公開されたIoTセキュリティ関連文書

機関名／団体名： 公開資料名	公開月
【国内】	
IPA(情報処理推進機構)： つながる世界の開発指針	3月
IPA(情報処理推進機構)： IoT開発におけるセキュリティ設計の手引き	5月
JNSA(日本ネットワークセキュリティ協会)： コンシューマ向けIoTセキュリティガイド	6月
IoT推進コンソーシアム： IoTセキュリティガイドライン ver1.0	7月
NISC(内閣サイバーセキュリティセンター)： 安全なIoTシステムのためのセキュリティに関する一般的枠組み	8月
【海外】	
GSMA(GSM Association)： GSMA IoT Security Guidelines	2月
NIST(米国立標準技術研究所)： NIST Special Publication 800-183 Networks of 'Things'	7月
IIC(Industrial Internet Consortium)： Industrial Internet of Things, Volume G4 : Security Framework	9月
IoT Security Foundation： IoT Security Compliance Framework	12月

出典：IPA「情報セキュリティ白書2017」<sup>(8)</sup>の表から抜粋

表2. IoT機器への攻撃事例

発生	対象機器	事象
2008年8月	石油パイプライン	不正制御によって破壊
2010年9月	核燃料施設	不正制御によって稼働停止
2014年6月	電子交通標識	不正制御によってサービス停止
2015年7月	IP電話交換機	不正利用
2016年11月	ビル空調設備	不正制御によって空調停止
2016年12月	変電所	不正制御によって停電

表3. IoTでの10大脅威<sup>(11)</sup>

No.	脅威
1	安全でないWebインタフェース
2	不十分な認証と許可
3	安全でないネットワークサービス
4	通信暗号化の欠如
5	プライバシーの侵害
6	安全でないクラウドインタフェース
7	安全でないモバイルインタフェース
8	不十分なセキュリティ設定項目
9	安全でないソフトウェアとファームウェア
10	弱い物理的セキュリティ

OWASP(Open Web Application Security Project)によれば、IoTでの10大脅威は、表3のとおりである<sup>(11)</sup>。

IoT GWは、GW装置そのもののこのような脅威への対策を行う必要があるのと同時に、これらの脅威に十分対処できないIoT機器が配下に接続されることも想定する必要がある。

### 3. IoT GWのセキュリティ対策

IoT GWでは、GW装置そのものに対する脅威への対策として、産業用制御機器のセキュリティ保証に関する認証制度であるEDSA認証のレベル1相当のソフトウェア開発セキュリティ評価(Software Development Security Assessment: SDSA)、機能セキュリティ評価(Functional Security Assessment: FSA)、通信ロバストネス試験(Communication Robustness Testing: CRT)に対応した。SDSAによってソフトウェア開発の各フェーズでのセキュリティ評価を、FSAによって機能や初期設定等を対象としたセキュリティ評価を、また、CRTによって通信堅牢(けんろう)性を確認している。

また、IoT GWでのC(Confidentiality: 機密性)、I(Integrity: 完全性)、A(Availability: 可用性)、それぞれの観点の個別対策は次のとおりである。

#### 3.1 機密性

IoT GWは、FSAレベル1に規定されるユーザー認証要件を満たす。設定用GUI(Graphical User Interface)へのアクセスなど、公開される全てのサービスへのアクセスでユーザー認証を必須としている。また、IoT GWから装置外部へ取り出せる重要データ(設定情報など)は、必ず暗号化する。

IoT GWには、Java<sup>(注1)</sup>バンドル形式のIoTアプリケーションを搭載することができる。IoT GWは、IoTアプリケーションや、配下のIoT機器からの通信を暗号化するVPN(Virtual Private Network)機能を提供する。この他、IoTアプリケーションからデータ暗号化や、TLS(Transport Layer Security)による暗号化通信の利用も可能である。

(注1) Javaは、Oracle Corp.の登録商標である。

### 3.2 完全性

#### 3.2.1 ファームウェアの完全性

EDSAレベル1相当のセキュリティを確保したIoT GW用ファームウェアに対し、RSA(Rivest-Shamir-Adleman cryptosystem)公開鍵暗号を用いた署名アルゴリズムによって当社が署名を生成して付加している。IoT GWにはプロセッサ内のOTP(One Time Programmable)メモリを信頼の起点とするセキュアブート機能を搭載しており、ファームウェアに付与された署名が正しく検証できた場合にだけ当該ファームウェアが起動される。これによって、起動するファームウェアの完全性を担保している。

#### 3.2.2 アプリケーションの完全性

IoTアプリケーションはファームウェアとは一体化せず、各IoTアプリケーションの単位で個別にIoT GW装置へ搭載できる。このため、Javaバンドルについても、RSA公開鍵暗号を用いた署名アルゴリズムによる署名を付与し、署名が正しく検証できた場合に限り、インストール/起動を許可することでアプリケーションの完全性を担保している。

### 3.3 可用性

IoT GWは、FSAレベル1で要求されるプロトコルファジング攻撃への耐性を備える。また、ファームウェアや設定情報のデータ破壊に備えたフラッシュメモリ上での2面管理や、IoTアプリケーションのリソース利用制限によるGW基本機能の優先動作などによって、可用性の向上を図っている。

## 4. IoT機器攻撃検知機能

IoTシステムでは、急激に増加しつつある多種多様なIoT機器に対して、機器個別の対策を漏れなく実施することは困難である。このため、IoT機器が様々なサイバー攻撃を受けることを前提として、それらの攻撃を早期に検知し、迅速に対処できるようにすることが有効と考えられる。このため当社はIoT GWに配下IoT機器のための攻撃検知機能を搭載した。次に、当社が考える攻撃検知機能要件と攻撃検知方式を述べる。

#### 4.1 攻撃検知機能要件

攻撃検知機能に対する要件としては、監視対象となるIoT機器に関する要件と、検知対象となる攻撃に関する要件の2種類がある。

IoT機器に関する要件は、新規に市場投入されるIoT機器を含めて、多種多様なIoT機器を監視対象にできることである。また検知対象となる攻撃に関する要件は、将来的に新たに現れる可能性がある攻撃も検知できることである。

IoT機器に関する要件で、既存機器に加えて新規に市場投入されるIoT機器も含める理由としては、これらの新しい機器が備えるサイバー攻撃対策が、継続して巧妙化する攻撃手法に対して将来にわたって100%の効果を保証でき

るとは限らないことが挙げられる。また、将来にわたって効果が見込まれる対策を搭載している場合でも、多層防御の観点から監視対象にできることが望ましい。

## 4.2 攻撃検知方式

攻撃検知の方式としては、大きくブラックリスト方式とホワイトリスト方式が存在する。攻撃そのものや攻撃から直接的に生じる振る舞いを定義しておき、これと比較することで攻撃を検知するのがブラックリスト方式である。一方ホワイトリスト方式では正常な振る舞いを定義しておき、これを比較し、不一致が発生したことをもって異常(=攻撃)の発生として検知する。

ブラックリスト方式は、攻撃そのものや攻撃から直接的に生じる振る舞いを定義しておくことができない未知の攻撃の検知には不向きである。一方ホワイトリスト方式では正常状態を定義するだけで、攻撃について事前に定義する必要がないため未知の攻撃を検知できる可能性がある。

これらの特性から、IoT GWに搭載すべき攻撃検知機能として、ホワイトリスト方式を採用した。

また、先に述べた監視対象とするIoT機器に関する要件を考慮すると、既存機器も監視対象にする必要があるが、監視のためにIoT機器へ特別な機能を追加することはできないため、IoT機器の通信トラフィックを監視し、そこから攻撃を検知する方針とした。

次に、IoT GW上に実装した二つの攻撃検知機能について概要を述べる。

### 4.2.1 ホワイトリスト型攻撃検知機能

通信トラフィックを対象とするホワイトリスト型攻撃検知機能の基本的な機能ブロック図を図1に示す。

IoT GWの通信処理部で、監視対象とする通信フローをパケットキャプチャによって捕捉する。取得されたキャプチャデータは、ホワイトリスト定義との照合を行う照合エンジンに入力される。照合エンジンは、あらかじめ設定されたホワイトリスト定義と入力データを照合し、ホワイトリスト定義に合致しない入力データを検知する。検知情報は検知通知インタフェース部を介して通知先へと通知される。また、ホワイトリスト定義はリスト更新インタフェース部を介して更新可能とする。

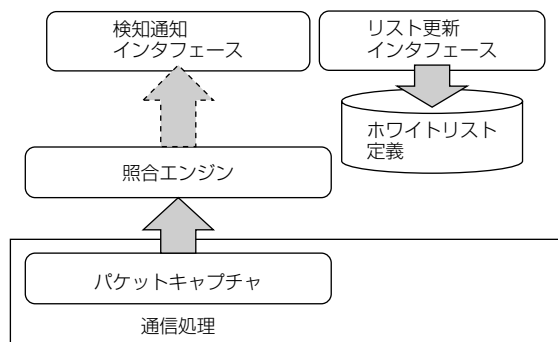


図1. IoT GWでのホワイトリスト型攻撃検知

攻撃検知に用いるホワイトリスト定義には、単純なパケットフィルタリングで用いられる送信元・宛先の各IP (Internet Protocol) アドレス・ポート番号とプロトコル種別から構成される5タプルで規定されるリストに加えて、通信周期やプロトコル依存のコマンド種別、コマンド順序なども定義可能にした<sup>(12)</sup>。

また、適用するIoTシステムによっては、単一のホワイトリスト定義の適用が難しい場合もあるため、システムの動作状態に応じて複数のホワイトリスト定義を切り替えることで、リアルタイム性を確保しつつ攻撃検知を可能にした<sup>(13)</sup>。

### 4.2.2 学習型攻撃検知機能

先に述べたホワイトリスト型攻撃検知は、ホワイトリスト定義の内容を見ても分かるように、対象とするIoT機器の通信がタイミングや順序も含めて厳密に規定できる場合に最も効果的な方法である。一方で、オペレータなど人間の操作が介在し、その操作のタイミングや内容に応じて通信のタイミングや内容が変化するシステムでは、ホワイトリストを厳密に定義すること自体が適さない場合がある。このようなシステムでは、システムの正常状態での通信トラフィックを機械学習によって学習させることで、ホワイトリスト定義に相当する“正常状態を表すモデル”を構築し、これに基づき異常な振る舞いを検知することが効果的である<sup>(14)</sup>。このような仕組みで攻撃を検知する機能をここでは学習型攻撃検知機能と呼ぶ。図2にホワイトリスト型攻撃検知と学習型攻撃検知の使い分けを示す。

学習型攻撃検知機能もまた、正しい状態を定義する方式であるためホワイトリスト方式の一種であり、未知の攻撃も検知可能である。学習型攻撃検知で構築される正常状態を表すモデルは、通常ホワイトリストと比較すると、定義が曖昧(あいまい)である短所を持つが、一方で、既知の攻撃については、正常状態からの差異の程度に応じて、原因推定が可能となる点が長所として挙げられる。

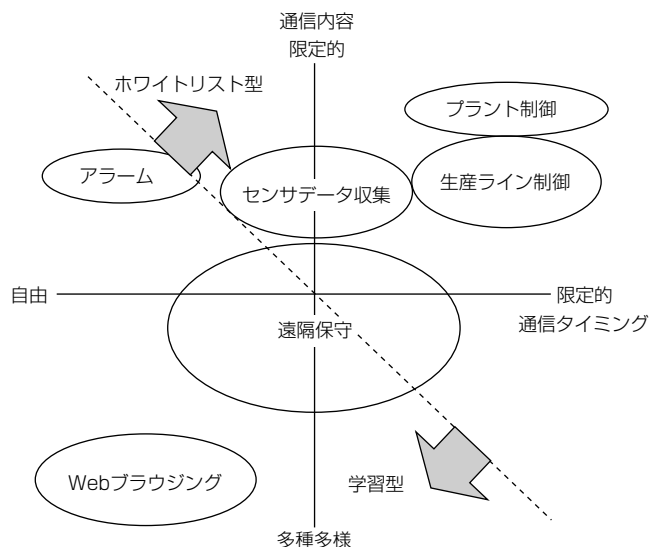


図2. ホワイトリスト型と学習型の使い分け



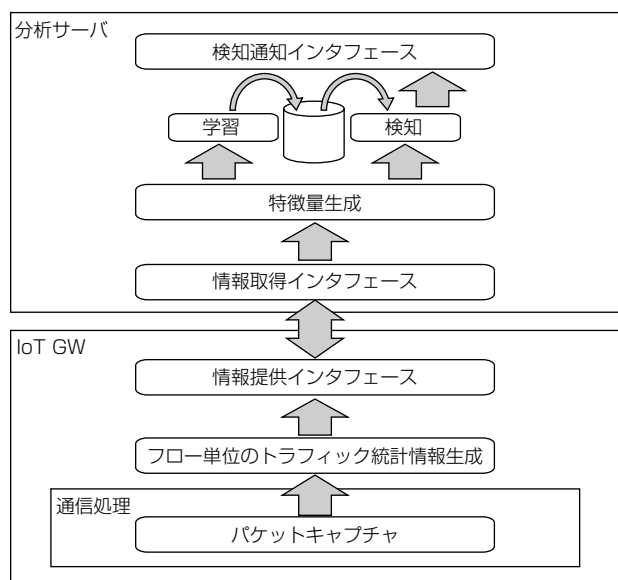


図3. 学習型攻撃検知機能の機能配備例

図3は学習型攻撃検知機能の機能配備の一例を示す。IoT GWは、IoT機器の送受信トラフィックに関するフロー単位の統計情報を周期的に取得し、これを分析サーバが取得、特徴量化した上で学習・検知に用いる。

このようにIoT GWは攻撃検知機能で、自らが専用のネットワークセンサとして振る舞う。

#### 4. 2. 3 両方式の併用に向けて

IOT GW上にホワイトリスト型攻撃検知機能と学習型攻撃検知機能をそれぞれ個別に実装して機能確認を行ったが、今後に向けては、適用先ごとの単純な使い分けにとどまらず、両方式を併用して効果的に連携させることも含めて攻撃検知機能としての機能を最大限に活用できるよう検討を進めていく。

### 5. む す び

急激に普及が進むIoTシステムでは、サイバー攻撃対策が不十分な機器も多数使われている。実際にこれらのIoT機器を狙うサイバー攻撃が急増している現状を示した。このような状況に対する解決策の一つとして期待されているのが、GW装置などによる配下IoT機器のセキュリティ確保である。本稿では、この実現に向けた当社の取組みとしてIoT GWのセキュリティ技術について述べた。

今後も、他のセキュリティ装置やセキュリティサービスなどとの併用・連携を進め、IoTシステムがもたらす恩恵を安心して享受できる社会の実現を目指す。

この研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)“重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保”(管理法人：NEDO(国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構))によって実施された。

### 参 考 文 献

- (1) 総務省：平成29年版情報通信白書(2017)
- (2) OVH：The DDoS that didn't break the camel's VAC (2016)  
<https://www.ovh.com/world/news/articles/a2367-the-ddos-that-didnt-break-the-camels-vac>
- (3) 内閣 サイバーセキュリティセンター サイバーセキュリティ戦略本部：次期サイバーセキュリティ戦略の検討について、第16回会合 資料1 (2018)  
<https://www.nisc.go.jp/conference/cs/dail16/pdf/16shiryou01.pdf>
- (4) 内藤陽介：サイバーセキュリティ傾向分析レポート2017、第257回NRIメディアフォーラム資料(2017)  
<https://www.nri.com/jp/event/mediaforum/2017/pdf/forum257.pdf>
- (5) ISASecure：EDSA-311 ISA Security Compliance Institute-Embedded Device Security Assurance-Functional Security Assessment(FSA) v1.4 (2010)
- (6) 大野聖信、ほか：IoTシステム対応三菱通信ゲートウェイ、三菱電機技報、91, No.6, 325~328 (2017)
- (7) 独立行政法人 情報処理推進機構(IPA)：情報セキュリティ10大脅威2018 (2018)  
<https://www.ipa.go.jp/security/vuln/10threats2018.html>
- (8) 独立行政法人 情報処理推進機構(IPA)：情報セキュリティ白書(2017)
- (9) 独立行政法人 情報処理推進機構(IPA)：顕在化したIoTのセキュリティ脅威とその対策(2017)  
<https://www.ipa.go.jp/files/000059579.pdf>
- (10)トレンドマイクロ：つながる時代の脅威に対して企業がいま取り組むべきIoTセキュリティとは？【前編】(2018)  
<https://www.trendmicro.com/jp/iot-security/special/20148>
- (11) Open Web Application Security Project(OWASP)：Internet of Things Top Ten (2014)  
[https://www.owasp.org/images/7/71/Internet\\_of\\_Things\\_Top\\_Ten\\_2014-OWASP.pdf](https://www.owasp.org/images/7/71/Internet_of_Things_Top_Ten_2014-OWASP.pdf)
- (12) 中井綱人、ほか：プラント制御システム向けホワイトリスト型攻撃検知機能の設計、SCIS2016 2B2-4 (2016)
- (13) 山口晃由、ほか：産業制御システムにおける侵入検知手法の調査と検討、SCIS2015 2A4-3 (2015)
- (14) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)：IoT機器向けゲートウェイによる動作監視・解析技術(2016)  
<http://www.nedo.go.jp/content/100863673.pdf>

在来線デジタル列車無線システム  
— 西日本旅客鉄道(株)京阪神エリアへの導入 —

持田伸一\*

*Digital Train Radio System for West Japan Railway Company*

Shinichi Mochida

## 要 旨

三菱電機は、西日本旅客鉄道㈱のアナログ列車無線システム老朽化に伴う京阪神エリアの設備更新を受注し、機器の開発を行った。設備更新に当たり、顧客要求として①列車無線の品質向上、②アナログ／デジタル両方式に対応した設備更新、③容易にアナログ／デジタル切替えを実現するという課題があった。

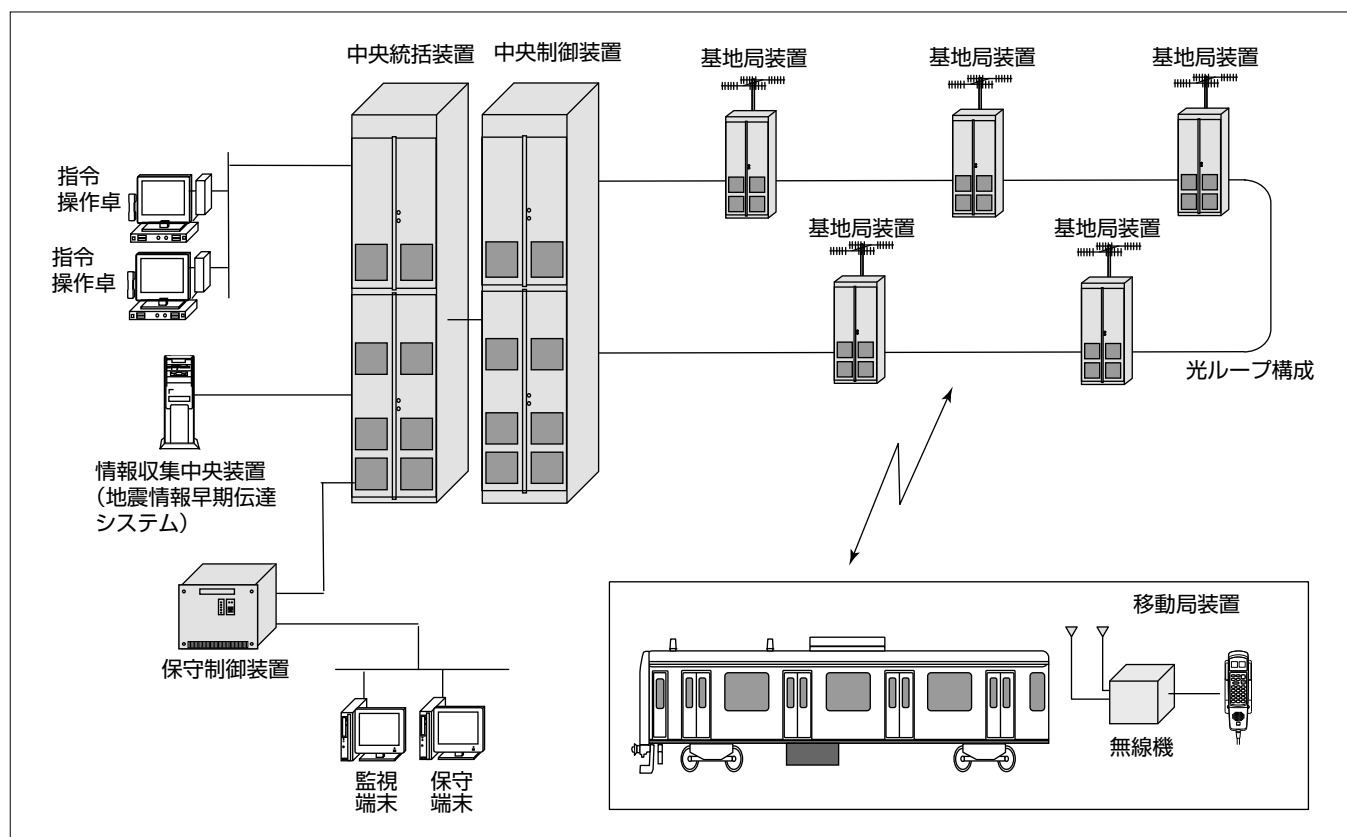
これらの課題には、デジタル方式による無線品質向上、アナログ／デジタル両方式に対応する機器の開発、アナログ／デジタル切替えを容易に行うことができるSDR(Software Defined Radio)方式の無線機を開発することで解決した。

初めにおおさか東線に機器を納入した。また別線区で

2008～2009年に走行試験を実施してアナログ／デジタル両方式の動作確認を完遂した。その後、京阪神エリアに機器を順次納入し、アナログ方式の運用が開始された。並行して、移動局についてもアナログ／デジタル両方式対応、かつ限られたスペースに設置できるよう小型化した無線機を納入し、京阪神エリアの全編成に設置された。

2017年1月から12月にかけて京阪神エリアの無線システムが段階的にアナログ方式からデジタル方式に切り替えられた。

デジタル無線方式の導入によってアナログ無線方式での課題を解決し、顧客の安全・安定輸送に貢献している。



## 西日本旅客鉄道(株)向け在来線デジタル列車無線システム

西日本旅客鉄道(株)向け在来線デジタル列車無線システムの構成を示す。中央機器室に中央統括装置、中央制御装置、保守制御装置、保守端末、監視端末、指令所に指令操作卓、線路沿線に基地局装置、列車に移動局装置を設置し、無線伝送によって地上側の指令員と列車の乗務員間の通話や列車データ伝送を行う。

## 1. ま え が き

西日本旅客鉄道(株)の在来線列車無線は2017年1月に宝塚線で、初めてアナログ方式からデジタル方式へ切り替えられ、その後、京阪神エリア合計14線区が順次デジタル方式に切り替えられた。アナログ方式の設備更新時の顧客要求として①列車無線の品質向上、②アナログ／デジタル両方式に対応した設備更新、③容易にアナログ／デジタル切替えを実現するという課題があった。これらの課題を解決するアナログ／デジタル両方式に対応した装置を開発・納入し、2017年に京阪神エリアのデジタル方式の切替えが完遂され、列車の安全・安定輸送に貢献している。

本稿では今回納入したデジタル列車無線システムの概要と特長、及びワンマン運転実現のために指令-客室間の通話手段として新設された北陸トンネル連絡設備(デジタル方式)について述べる。

## 2. デジタル列車無線システムの構成<sup>(1)</sup>

### 2.1 サービス概要

デジタル列車無線システム(以下“列車無線システム”という。)は、列車の運転士・車掌と地上側の指令員間で連絡をするために用いられる。このシステムは音声通信、データ伝送など次の機能を備えている。

#### (1) 音声

- ①一斉通話：指令員と在線している全列車乗務員との通話
- ②個別列番通話：指令員と指定列車乗務員との通話
- ③中央通話：列車から指令側を呼び出して通話
- ④緊急割り込み：列車から車上操作器を操作することで、通話中の指令員に緊急割り込み通知で通話

#### (2) データ伝送

- ①列車番号登録：移動局を識別するための番号を登録
- ②ソフトウェアダウンロード：基地局装置のソフトウェアを遠隔の中央機器室から更新するための機能
- ③ログ収集：装置の動作状況を記録したログを収集
- ④緊急停止した列車の情報通知：列車の緊急停止があったときに列車の情報を指令操作卓へ通知する機能

#### (3) その他

- ①通話記録：指令員と列車乗務員との通話を記録
- ②遠隔監視制御：監視端末及び保守端末で、各機器やネットワーク回線の動作状態を遠隔で監視制御
- ③地震一斉：指定される線区内の列車乗務員へ地震発生を自動通知する音声通信

### 2.2 列車無線システムの全体構成

このシステムは、主に中央統括装置、中央制御装置、保守制御装置、保守端末、基地局装置、移動局装置で構成される。各装置の主要機能を表1に、列車無線システムの装置構成を図1に示す。基地局装置は線路沿線に敷設され、

表1. 装置の主要機能

装置名	機能
中央統括装置	・移動局の在線エリア管理 ・中央制御装置を統括管理 ・指令操作卓や他装置とのインタフェース
中央制御装置	・中央統括装置と基地局装置とインタフェース ・音声通話、データ通信を制御
保守制御装置	・監視制御及び保守運用に関わる情報を一元管理
保守端末	・監視制御及び保守運用に関わる情報を表示、制御
監視端末	・各装置のアラームなどを表示
指令操作卓	・指令員が移動局と音声通信を行うための卓
基地局装置	・移動局装置と無線通信
移動局装置	・基地局装置と無線通信 ・通話・データ通信用操作・モニタ表示

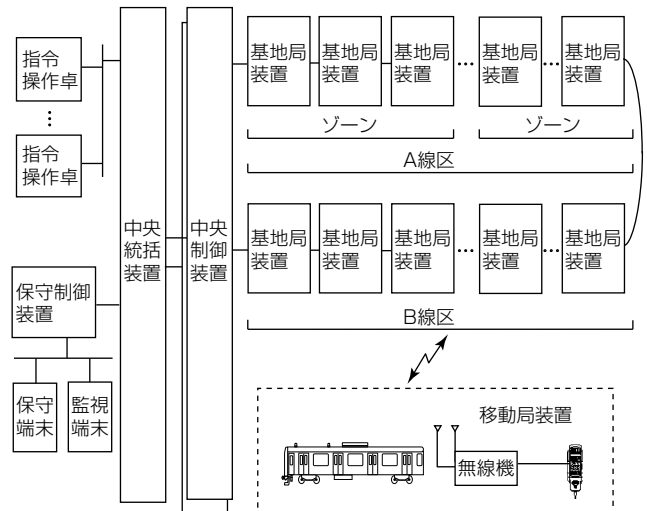


図1. 列車無線システムの装置構成

表2. 列車無線システムの諸元

項目	仕様
伝送路	空間波
アクセス方式	SCPC方式
周波数帯	400MHz帯
周波数間隔	6.25kHz
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK
伝送速度	9.6kbps
送信出力	基地局：4W、移動局：0.3W
ダイバーシチ構成	基地局：送信時間ダイバーシチ+受信ダイバーシチ 移動局：受信ダイバーシチ

QPSK：Quadrature Phase Shift Keying

空間波方式による無線通信が行われる。

中央統括装置には中央制御装置を複数台接続できる。中央制御装置の配下に複数の基地局装置を配置し、ゾーンを構成する。さらに、ゾーンをまとめて線区として分類される。

### 2.3 列車無線システムの諸元

列車無線システムの諸元を表2に示す。列車無線システムはSCPC(Single Channel Per Carrier)方式のデジタル無線回線で構築している。

## 3. システムの特長

この章では1章で述べた設備更新時の三つの課題を解決するためのシステムの特長を示す。

### 3.1 送信時間ダイバーシチ・適応等化による品質向上<sup>(2)(3)</sup>

同一周波数の無線信号を複数の基地局で同時送信する場合、基地局ごとの送信機の無線周波数がわずかに異なることで周波数差によるビート干渉が発生する。受信時の位相タイミングによっては信号が打ち消し合い、受信不能になる場合がある。

この課題を解決するために、基地局ごとの送信タイミングの同期をとり、隣接する基地局間で固定の時間差をつけたデータを伝送する送信時間ダイバーシチを行い(図2)、受信信号の打ち消し合いを回避した。さらに受信信号の波形歪(ひず)みを適応的に推定して、波形歪みの影響を除去する適応等化を移動局無線機の復調部に採用した(図3)。移動局ではアンテナを2本用いて受信ダイバーシチを行っている。これらによって、送信側と受信側の両方でビート干渉による通信品質劣化を抑制している。

また、当社が開発した列車無線専用音声コーデックRL-CELP(Rail system-Code Excited Linear Prediction)を適用することで雑音を抑え、アナログ方式よりも高品質な音声通話を提供している。

### 3.2 地上設備更新へのフレキシブルな対応

アナログ方式からデジタル方式への切替えは、基地局装置のプログラムの書換えで行う(保守端末からの遠隔操作で実現)。

デジタル方式に切り替えるためには、線区単位で地上装置を更新する必要がある。新しい設備の使用開始までに長期間を要する。そのため、設備更新時は一旦アナログ方式

で運用を開始し、その後デジタル方式に段階的に切り替えられる方式、かつ部分的な設備更新ができるシステムとした。アナログ方式からデジタル方式への切替えはゾーンを選択して行い、切替え計画に合わせてフレキシブルに対応可能である。

### 3.3 容易なアナログ／デジタル切替えの実現

アナログ／デジタル切替えには基地局装置、及び移動局装置とも両方式に対応した無線機を搭載し、切替えも容易に行う必要があった。次に各装置の実現方法について述べる。

#### 3.3.1 基地局装置FPGA-SDR無線機

基地局装置の更新では、顧客の工事計画上、一旦アナログ方式で運用を開始し、その後デジタル方式に段階的に切り替えられる構成を実現する必要があった。そのためハードウェアはアナログ／デジタル両方式に対応し、FPGA(Field Programable Gate Array)のプログラム書換えによってアナログ方式からデジタル方式へ移行が可能でFPGA-SDR無線機を開発した(図4)。FPGA-SDR無線機は高周波処理をアナログ／デジタル共通のハードウェア(RF(Radio Frequency)部)で行い、変復調処理は、FPGAのプログラムでアナログ変復調機能とデジタル変復調機能を実現し、これらを書き換えることで、アナログ／デジタル両方式に対応した無線機を実現している。プログラムの更新は、中央機器室に設置した保守端末からの遠隔指示で実施する。これによって、切替え当日の簡易な改修によってアナログ方式からデジタル方式への切替えを迅速に行うことが可能になった。

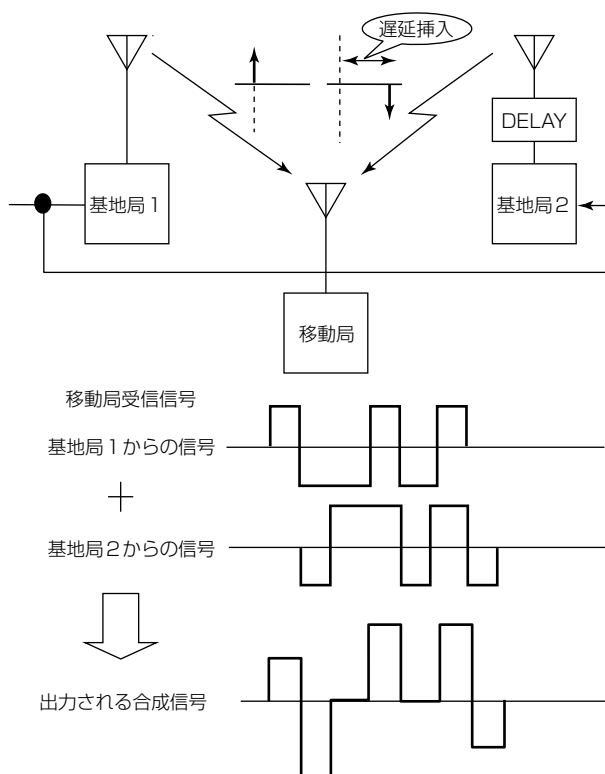


図2. 送信時間ダイバーシチ

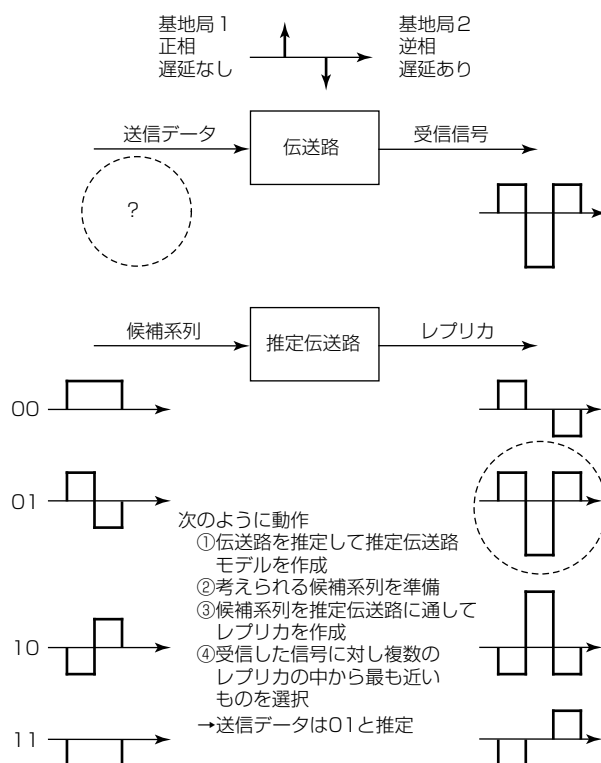


図3. 適応等化による推定

### 3.3.2 移動局

列車は京阪神エリアのデジタル区間だけでなく、その他のアナログ区間も走行するので、アナログ／デジタル両方式の移動局が必須である。しかし、車両の運転室内にはアナログ移動局とデジタル移動局を併設するスペースはないため、既存のアナログ移動局の設置スペースにそのまま置き換えが可能なアナログ／デジタル両方式に対応した移動局の実現が必要となった。図5に移動局無線機の無線機能を全て実装した場合の構成を示す。この移動局は、デジタル列車無線送信2系統、デジタル列車無線受信部3系統、アナログ列車無線送受信部1系統、アナログ乗務員無線1系統に対応する必要があるが、アナログ移動局と同等サイズにするため、アナログ／デジタルを共通化したハードウェア設計を行い、回路規模の削減を実現することで小型化を達成した(図6)。

図7(a)に移動局無線機、図7(b)に列車乗務員が通話のと

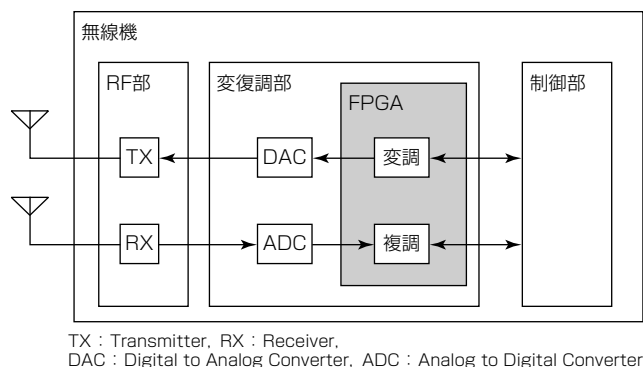


図4. FPGA-SDR無線機の構成

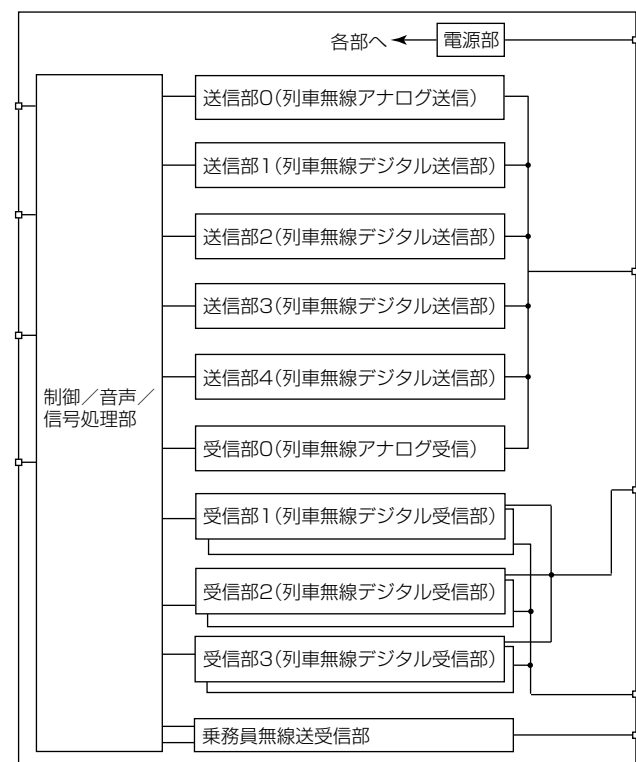


図5. 移動局無線機の構成(小型化実現前)

きに使用する送受信器を示す。移動局無線機のアナログ／デジタルのモード切替えは送受信器にある切替えスイッチで変更する。

### 3.4 その他の特長

#### (1) アプローチ回線の光ネットワーク化

従来のアナログ方式では中央装置、基地局装置間のアプローチ回線にメタリックケーブルを使用しているが、アンブによる信号歪み、ノイズ重畳による音質劣化の課題があった。デジタル方式では中央制御装置と基地局装置を光ネットワーク化することでこれら課題を解消した。さらにこの光ネットワークを2重ループ構成にすることで、光ファイバケーブル切断などの回線障害発生時でも迂回(うかい)が可能な構成とし、信頼性を向上させた(図8)。

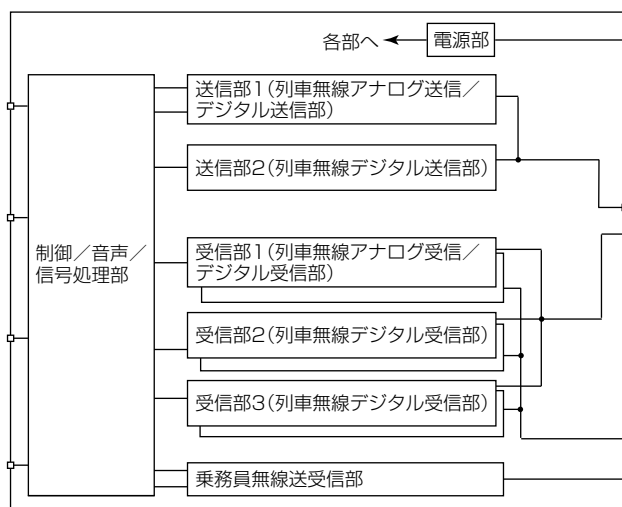


図6. 移動局無線機の構成(小型化実現後)



(a) 移動局無線機



(b) 送受信器

図7. 移動局装置

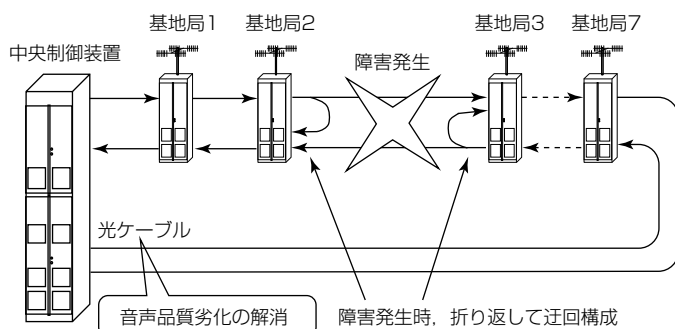


図8. アプローチ回線の光ネットワーク化

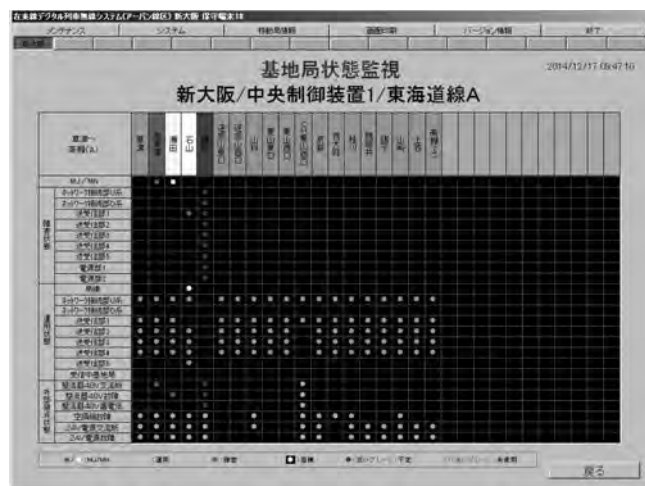


図9. 保守・監視端末の画面イメージ

## (2) 遠隔監視制御によるメンテナンス性の向上

中央機器室に設置する保守端末及び監視端末では、各装置やネットワーク回線の動作状態の遠隔監視、各装置の冗長構成部位の切替えなどの遠隔制御、各装置の遠隔ログ収集、ソフトウェア等のダウンロード機能を備える。これらの機能によって保守員が線路沿線に設置した設備まで行かずに、中央機器室で遠隔での各機器の状態監視と制御が可能となり、メンテナンス性が向上した(図9)。

## (3) 地震一斉放送

地震一斉放送は、地震発生時に走行中の列車を安全に停止させるために地震の発生を自動音声で対象エリア内の全列車に通知する機能である。地震計で規定の震度を越えた地震を検知すると、地震発報制御装置から中央統括装置へ地震一斉放送の起動制御を行い、対象エリア内の全列車に列車の停止を促す音声を自動放送する。この放送は最高優先順位のサービスであるため、指令と列車乗務員が通話中の場合でも、通話を切断して放送を行う。

## (4) 緊急停止した列車の情報通知機能

列車乗務員が線路沿線の支障などを検知して緊急停止を行った際に、停止した列車の情報を指令操作卓に表示する機能である。この機能では指令操作卓で次の情報を表示で

き、列車の運転再開までの時間短縮に貢献している。

- ①緊急停止を行った列車の列車番号
- ②緊急停止を行ったゾーン
- ③緊急停止した列車の履歴

## 4. デジタル化した北陸トンネル連絡設備

西日本旅客鉄道(株)では北陸本線(敦賀-南今庄)の北陸トンネル区間も通話回線の1回線増加(1ゾーン内2通話)を実現するため、京阪神エリア以外にもデジタル列車無線システムによる運用を開始した。在来線で最長となる北陸トンネル(約14km)で、ワンマン車両の運転士はトンネル内では停止して顧客と直接通話できないため、顧客と指令員と直接通話できるシステムが北陸トンネル連絡設備として、デジタル列車無線システムをベースに導入された。

移動局はデジタル専用の無線機である。非常通報装置に設置されたSOSボタンを顧客が押下することで指令員との通話が可能となる。

## 5. む す び

西日本旅客鉄道(株)京阪神エリア及び北陸トンネル連絡設備に納入したデジタル列車無線システムの概要と特長について述べた。当社システムの導入によって顧客要求である①列車無線の品質向上、②アナログ/デジタル両方式に対応した設備更新、③容易にアナログ/デジタル切替えを実現するという課題を解決できた。

デジタル列車無線システムの現在の運用は主に通話用として使用されているが、今後、データ伝送によるアプリケーション実用化を検討することで乗務員支援機能、旅客サービス向上、防犯対策、省メンテナンス化の活用につなげ、利便性の向上を図る。今後も当社のデジタル列車無線システムを活用したサービスの実現で、列車の安全・安定輸送を提供できるように貢献していく。

## 参 考 文 献

- (1) 三瀬敏生, ほか: デジタル列車無線システム—東日本旅客鉄道(株)首都圏在来線への導入—, 三菱電機技報, **82**, No.2, 167~170 (2008)
- (2) 久保博嗣, ほか: 送信ダイバーシチと適応等化器によるビート干渉抑圧方式に関する一検討, 電子情報通信学会論文誌B, **J86-B**, 3, 468~476 (2003)
- (3) Kubo, H., et al.: An adaptive maximum-likelihood sequence estimator for fast time-varying intersymbol interference channels, IEEE Trans. on Commun., **COM-42**, No.2/3/4, 1872~1880 (1994)

# 監視システムでの映像解析

齊藤弘紀\* 清水尚吾\*\*  
若林 慧\*  
草野勝大\*\*

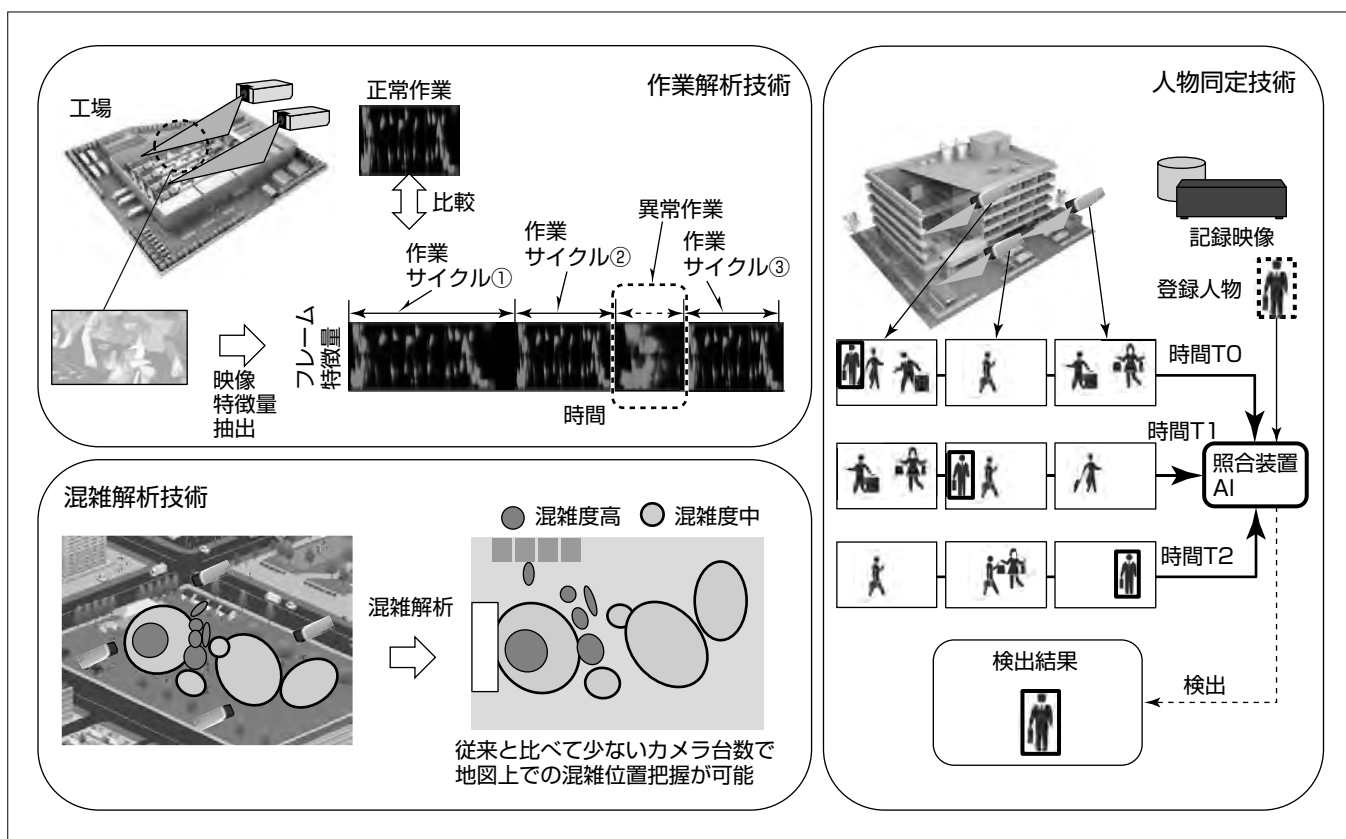
## Video Content Analysis on Surveillance Systems

Hironori Saito, Kei Wakabayashi, Katsuhiro Kusano, Shogo Shimizu

### 要 旨

近年の映像セキュリティ分野は、映像の監視・記録による防犯用途に加え、映像解析(Video Content Analysis : VCA)を活用した安全性向上や業務支援などの付加価値提供によって、適用領域を拡大しつつある。三菱電機は、安心・安全・快適な社会の実現に向け、作業解析技術、混雑解析技術、人物同定技術の各分野で、製品化に向けた技術開発に注力している。作業解析技術は、例えば生産ラインに適用し、目視による作業の異常や無駄の検出を自動化することで、作業負担の軽減と生産性向上を図る。解析に使う映像特徴量の抽出で、計算量を当社従来比65%削減し、リアルタイム解析を実現した。混雑解析技術は、人数カウントや動線解析等へ応用可能で、セキュリティやマー

ケティングの分野でのニーズが高まっている。従来は、混雑による人物間遮蔽回避のため、複数視点での解析が必要であったが、当社は一視点映像での混雑度解析技術を開発し、少ない監視カメラ台数で実空間にマップ可能な混雑解析を可能にした。人物同定技術は、複数カメラ間で同一人物かどうかを照合する技術であり、行方不明者の捜索や不審者の追跡を実現する。当社は、カメラ間での人物の見え方の違いに対応するためAI(Artificial Intelligence)を適用し、解析対象の画像に対して時間的近傍の画像も学習させ、照合精度を当社従来比15%向上させた。今後は、これら技術開発成果の製品化に取り組み、安心・安全・快適な社会の実現に貢献していく。



### 作業解析技術・混雑解析技術・人物同定技術のイメージ

図は技術要素ごとのイメージを示している。作業解析技術の図は製造現場の作業員を動きの情報から算出される映像特徴量で解析している様子を示す。混雑解析技術の図は、実空間の混雑度合いを地図上に可視化した様子を示す。人物同定技術の図は複数カメラの映像データをAI技術で照合するシステム構成の一例を示す。



## 1. ま え が き

近年、監視カメラが広く普及したことによって、監視者の負担が増大しており、監視業務の自動化が求められている。加えて、カメラのデジタル化や高画素化の進展に伴い、VCAを組み合わせた高度な付加価値サービスの実現による、適用領域の拡大が見込まれている。市場ニーズとして、セキュリティ分野だけでなく、FA、交通、流通などの分野で、安全性向上と生産性向上に寄与するサービスの提供が期待されている。

このような動向の中、当社は監視システムの付加価値向上を目指し、VCAを用いた作業解析技術、混雑解析技術、人物同定技術の3分野を柱に技術開発を進めている。また、VCA実用化のアプローチとして、エッジコンピューティングの活用による迅速かつ高性能な分散処理の実現に注力し、一般的な映像解析システムとの差異化と、有用性の向上を目指している。

本稿では、当社が重視する解析処理の軽減・高速化技術を軸に、先に挙げた3分野での各解析技術の実現手段と成果・効果を述べる。

## 2. VCA分野での動向

### 2.1 VCAの動向

VCAの日本国内での市場規模は、東京2020オリンピック・パラリンピック開催に向けた需要もあって2020年頃まで拡大傾向と予測されている。VCAは顔認証、人数カウント、作業分析、混雑解析、人流検知、物体検知等、多様な分野で人を支援するサービスへと活用されつつある。VCAの解析精度も飛躍的に向上し、人を支援するサービスへのVCAの活用は今後高い成長が見込まれる。

また、近年VCAの分野では装置単体で解析するだけでなく、他システムとデータ連携をすることが増えてきた。解析処理をシステムのどの装置で実施するかによって構成が決定される。大きくは①エッジノード(カメラ、解析サーバ)又は、②クラウド上での解析の二つに分類される傾向にある。

### 2.2 当社の映像セキュリティ分野での取り組み

当社は、エッジコンピューティングの活用による分散処理に注力している。エッジノードで迅速かつ高性能に分散処理を行い、エッジノードでリアルタイム分析が可能なシステムの構築を目指している。近年ニーズが増加傾向にある他システムとのデータ連携では、エッジノードで一次解析を実施し、クラウドに送るデータ量削減を目指す。クラウドに送るデータ量削減に伴い、クラウド上での解析処理の計算量削減も可能になる。

当社は安心・安全・快適性の提供に向け、①製造現場での作業者の安全確保と生産効率の改善のための作業解析技術、②催事や商業施設での来場者の安全確保と動向分析するための混雑解析技術、③市街地や商業施設での迷子や不審者を捜査するための人物同定技術の開発に取り組んでいる。

3章では、当社が取り組む安心・安全・快適な社会の実現に向けた三つの解析技術について述べる。

## 3. 安心・安全・快適な社会を実現する映像解析技術

### 3.1 作業解析技術<sup>(1)</sup>

工場の製造現場で、計画通りの生産性を達成するためには、作業工程ごとに定めた標準時間と実際の作業時間の差異を把握する必要がある。通常、標準時間は“部品を手取る”“ねじを1本締める”といった要素作業ごとに設定されており、現場の作業分析でも要素作業の単位で時間計測が行われる。従来は目視で計測を行い、また同時に異常作業や正常作業を分析していたが、分析者にかかる負担が大きいことから、分析作業の自動化が課題であった。

この課題に対し、既設の監視カメラの映像を活用したVCAによる作業解析技術を開発した。開発技術は、実際に作業している映像(入力映像)と、事前に記録した作業映像(基準映像)とを比較分析することで作業時間計測及び異常作業抽出を行う。比較処理には、両映像から抽出した映像特徴量“映紋”を用いる。映紋は、映像を構成する各フレームについて、動きベクトルの方向別発生数を抽出し、時系列に並べた映像特徴量であり(図1)、作業動作に対して固有なパターンを示す性質を持つ。

一般に製造現場の作業は、同じ動作の繰り返しで構成されるため、入力映像の映紋には、基準映像の映紋と同じパターンが繰り返し現れる。この繰り返しされるパターンを検出することで作業が行われたことを検知し、パターンの長さから作業時間を計測する。また、工場稼働時で基準映像の映紋と類似しない区間を検出することで、異常作業の発生を検知する。

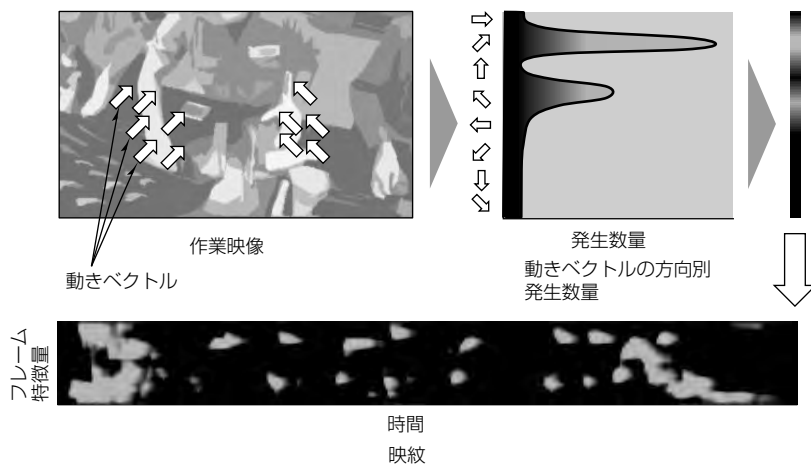


図1. 映紋抽出処理

映紋を抽出する上で重要となる動きベクトル情報を得るためには、通常、圧縮符号化された映像データをデコードで復号した後、時間的に連続する2フレームで動きベクトルを抽出する必要がある。しかし、復号処理と動きベクトル抽出の処理負荷が大きく、作業映像をリアルタイムで解析できないことが課題であった。そこで、圧縮符号化された映像データから直接動きベクトル情報を抽出する仕組みを構築した(図2)。圧縮符号化された映像データはもとより動きベクトル情報を持っており、復号処理の一部を実施することで抽出できるので復号処理の一部と動きベクトル抽出処理を削減でき、映像データから映紋を生成する処理について計算量を約65%削減した。これによって、作業映像のリアルタイム解析が可能になり、24時間稼働する生産ラインに対しても常時、作業を解析することが可能になった。開発技術の解析精度については、当社工場での検証の結果、95%以上の抽出精度で作業サイクルを抽出し、平均誤差0.5秒未満で要素作業の作業時間を計測できることを確認した。異常検知機能については、異常作業を模した作業映像から、異常区間を検知できることを確認した。

今後は、更なる計算量低減によって、同時に解析できる作業映像の数を増やし、工場内の生産性を工程単位でリアルタイムに把握可能なシステムの開発につなげ、製造現場の改善活動を支援する。

### 3.2 混雑解析技術<sup>(2)</sup>

セキュリティやマーケティングの分野で、監視カメラの映像を用いた混雑解析のニーズが高まっている。監視カメラの映像を用いるアプローチは、既設の監視カメラを利用できる点で有効である。しかし単眼の監視カメラで撮影した一視点映像を用いる場合、人物間の遮蔽があると混雑解析精度が低くなってしまう。

人物間の遮蔽が発生する高密度環境での一般的な混雑度

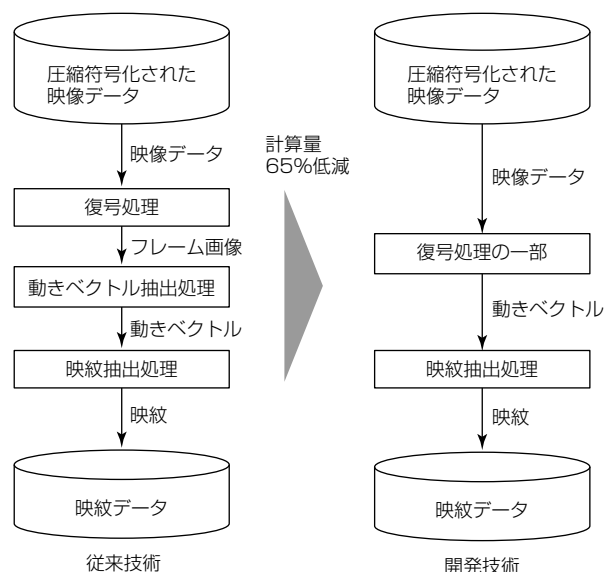


図2. 従来技術と開発技術の比較

解析技術として、前景の面積から密度を推定することで、人数をカウントすることなく混雑度を解析する手法がある。例えば、前景として複数の領域が抽出された際に、前景面積が小さい領域は人物間の遮蔽なし、大きい領域は人物間の遮蔽があると仮定して人数を推定している。しかし、この手法で可能なのは、映像上の混雑度の推定であり、実空間でどこが混雑しているか分からないという課題がある。

この課題を解決するために、人物間の遮蔽が発生している一視点映像から、実空間上の混雑度を解析する技術を開発した。この技術は、事前に撮影した映像を用いて、実空間と映像上での座標対応を取得し、映像上での人物の映り方から実空間上の位置及び人数の分布への変換式を導出する。その後、監視カメラ映像に対して、映像上の人物領域を抽出し、導出した変換式を適用することで混雑度解析が可能になる。

この技術は、変換式導出処理と混雑度解析処理に分かれている。変換式導出処理の流れは次のとおりである(図3)。

- (1) 実空間と映像上での座標の対応を取る
- (2) 映像を実空間と対応した直方体領域で分割
- (3) 直方体領域中の前景面積から映像上の人数分布を推定
- (4) 映像上の人数分布と実空間上の人数分布から変換式を導出

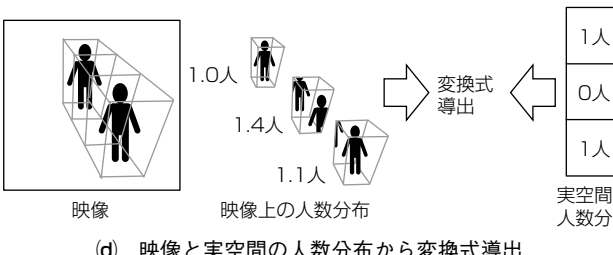
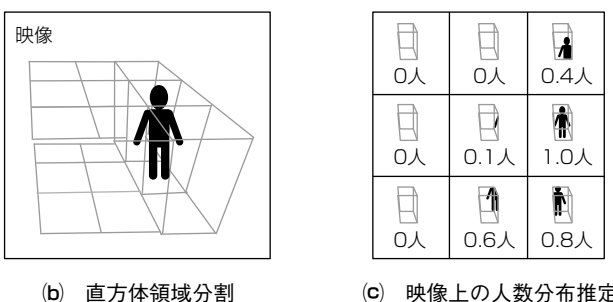
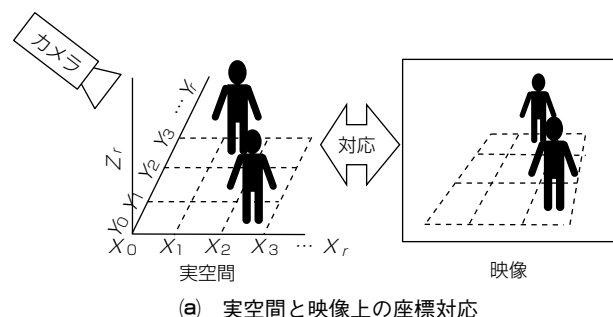


図3. 変換式導出処理

混雑度解析処理の流れは次のとおりである(図4)。(1)から(3)は、変換式導出処理と同様のため図は省略する。

- (1) 実空間と映像上での座標の対応を取る
- (2) 映像を実空間と対応した直方体領域で分割
- (3) 直方体領域中の前景面積から映像上の人数分布を推定
- (4) 映像上の人数分布を実空間上へ変換することによって、実空間上の混雑度を推定

この手法によって、解析対象2.5m四方のエリアを撮影した映像で、混雑度解析を実施した結果を図5に示す。横軸が映像中の解析範囲内の人数、縦軸が提案手法による混雑度推定結果の二乗平均平方根誤差(Root Mean Square Error: RMSE)である。解析範囲内の人数が少ない低密度環境、人数が多い高密度環境でもRMSEは最大でも0.4人と小さく、高精度に混雑度を解析できている。RMSE0.4人は、従来技術では2台のカメラを使用して実現しており、1台のカメラで実現できる提案手法が有用であると言える。

### 3.3 人物同定技術

イベント会場やショッピングモールでは、エリア全体に100台規模の監視カメラが設置されており、単一カメラ内で検知した人物を、エリア内に設置される複数カメラをまたがって追跡したい、又は過去に蓄積された映像から同一人物を検索したいという要望がある。

複数カメラの映像から同一人物を検出するためには、人物検出技術及び人物同定技術が必要となる。人物検出技術は、カメラ画像から人物領域を特定する技術である。人物検出技術によって、エッジノードで不要な情報量を削減することを可能にしている。人物同定技術は、複数カメラ間で同一人物かどうかを照合する技術である。

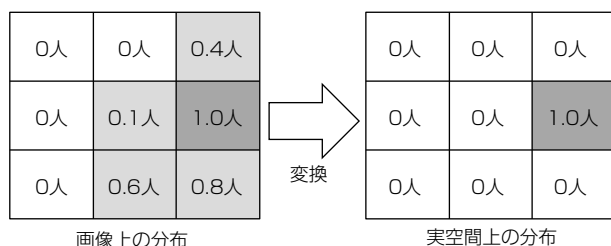


図4. 混雑度解析処理

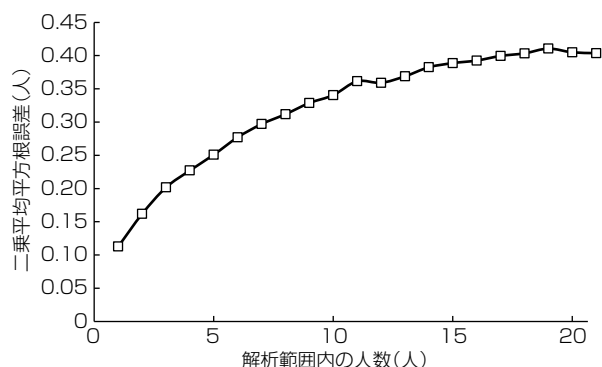


図5. 解析結果

複数カメラ間での人物同定を実現するために、AIを活用した人物同定技術を開発した。複数のカメラで撮影した人物ペアをあらかじめ学習することで、カメラ間での人物の見え方の違いも同時に学習できる。その後、学習した判定モデルを用いて、あるカメラで撮影された人物が、他のカメラで撮影された人物と同一人物か否かを判定できる。

この技術は、映像が時系列順に連続しているという特性を生かし、同定精度を向上させている。具体的には、ある特定フレームで、同定したい人物が映っている場合、従来は特定フレームでだけ特徴量を抽出していたが、この技術では特定フレームだけでなく、過去及び未来のフレーム群からも特徴量を抽出している(図6)。

この技術は、学習処理と人物同定処理に分かれている。学習処理の流れは次のとおりである(図7)。

- (1) 映像上の人物を検出する
- (2) 検出した人物に個人IDを付与
- (3) 検出した人物の特徴量を学習する
- (4) 人物同定を行う全てのカメラについて(1)から(3)を実施する

人物同定処理の流れは次のとおりである(図8)。

- (1) カメラAの映像から同定したい人物を指定する
- (2) 他のカメラBの映像で人物を検出する

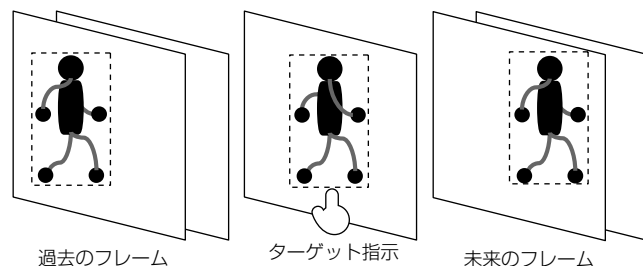


図6. 特定フレームの過去及び未来のフレームを利用

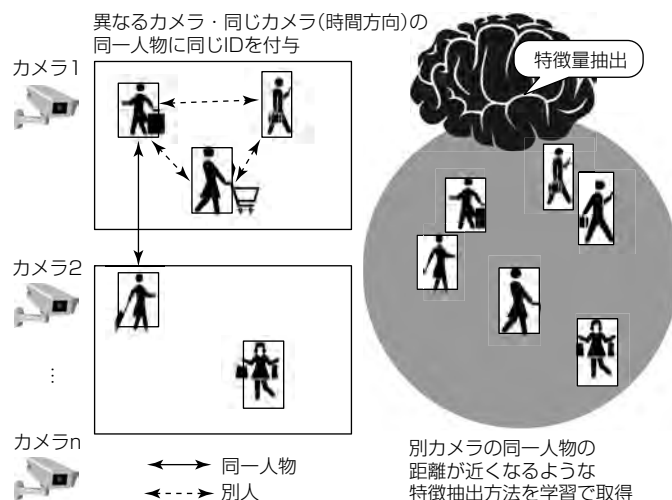


図7. 学習処理

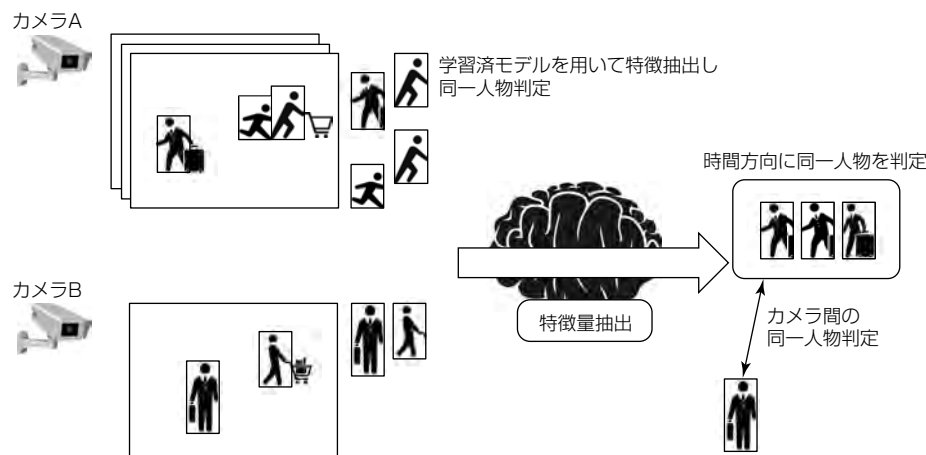


図8. 人物同定処理

- (3) 学習した判定モデルによってカメラAで指定した人物の特徴量とカメラBで検出した人物の特徴量を比較し、同一人物か否かを判定する

当社オフィスビルで、エントランスと事務所入り口をカメラで撮影し、エントランスで指定した人物を事務所入り口で同定できるか否かを検証した。その結果、時系列方向の特徴を使わない手法と比べて照合精度が約15%改善した。

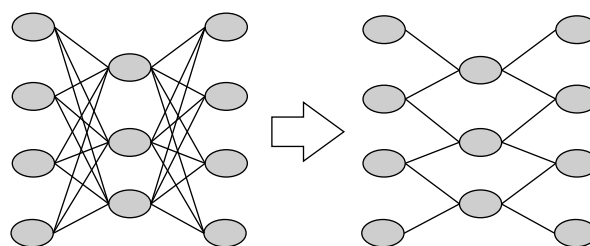


図9. コンパクトAIのイメージ

#### 4. む す び

VCAは、現在目視で行っている、あらゆる事柄を自動化できる可能性があり、様々な分野で広く社会貢献が期待できる技術である。ただし、映像データの解析には膨大な計算が必要となるため、現状ではGPU(Graphics Processing Unit)搭載サーバやクラウド連携による実現が主流である。クラウドベースのVCAは、増加の一途と見込まれる映像データがネットワーク上に流出することが、普及での大きな課題である。また、クラウド処理はデータ転送遅延等によって、リアルタイム性が損なわれるため、VCAを活用するアプリケーションの広がりには制限が生じる。

そこで、当社では、VCAの普及にはエッジコンピューティングが不可欠と考え、エッジデバイスでの実用性確保のため、計算量削減と処理高速化に注力している。

作業解析技術では、先に述べたとおり、計算量を65%削減した。混雑解析技術では、カメラを増やさず1台の映像から解析可能にしたため、データ量が大幅に削減され、解析装置での処理高速化を実現した。人物同定技術では、人物検出技術を用いてエッジデバイス上で解析するデータ量を必要最小限に抑制することで高速化を実現している。

また、本稿では詳述していないが、当社はAIの推論処理の計算量を軽減して高速化する技術“コンパクトAI(図9)”を保有している。コンパクトAIは、推論に用いるニューラルネットワーク構造と計算方法を効率化することで、計算量を削減する技術であり、映像解析など大規模データの高速解析に効果を発揮する。さらには、ソフトウェア実装技術面でも処理高速化に取り組んでおり、VCA処理の演算特性に着目した実装最適化によって、GPUを使用せずに実用速度の確保を目指している。

今後、これら技術開発の更なる進展を図るとともに、取り組みの集大成としてVCA技術を搭載した製品を市場に投入し、安心・安全・快適な社会の実現に貢献していく。

#### 参 考 文 献

- (1) ネットワークカメラの付加価値向上技術“映紋”，三菱電機技報，92，No.1，25 (2018)
- (2) 新井士人，ほか：一視点画像を用いた空間的な人数分布の推定，2017年映像情報メディア学会冬季大会，21A-5 (2017)

# MELOOK3 大規模監視システム

菊地 舞\* 池田一平\*\*  
山田敏志\*  
佐々木啓友\*

MELOOK3 Large Scale Video Surveillance System

Mai Kikuchi, Satoshi Yamada, Keisuke Sasaki, Ippei Ikeda

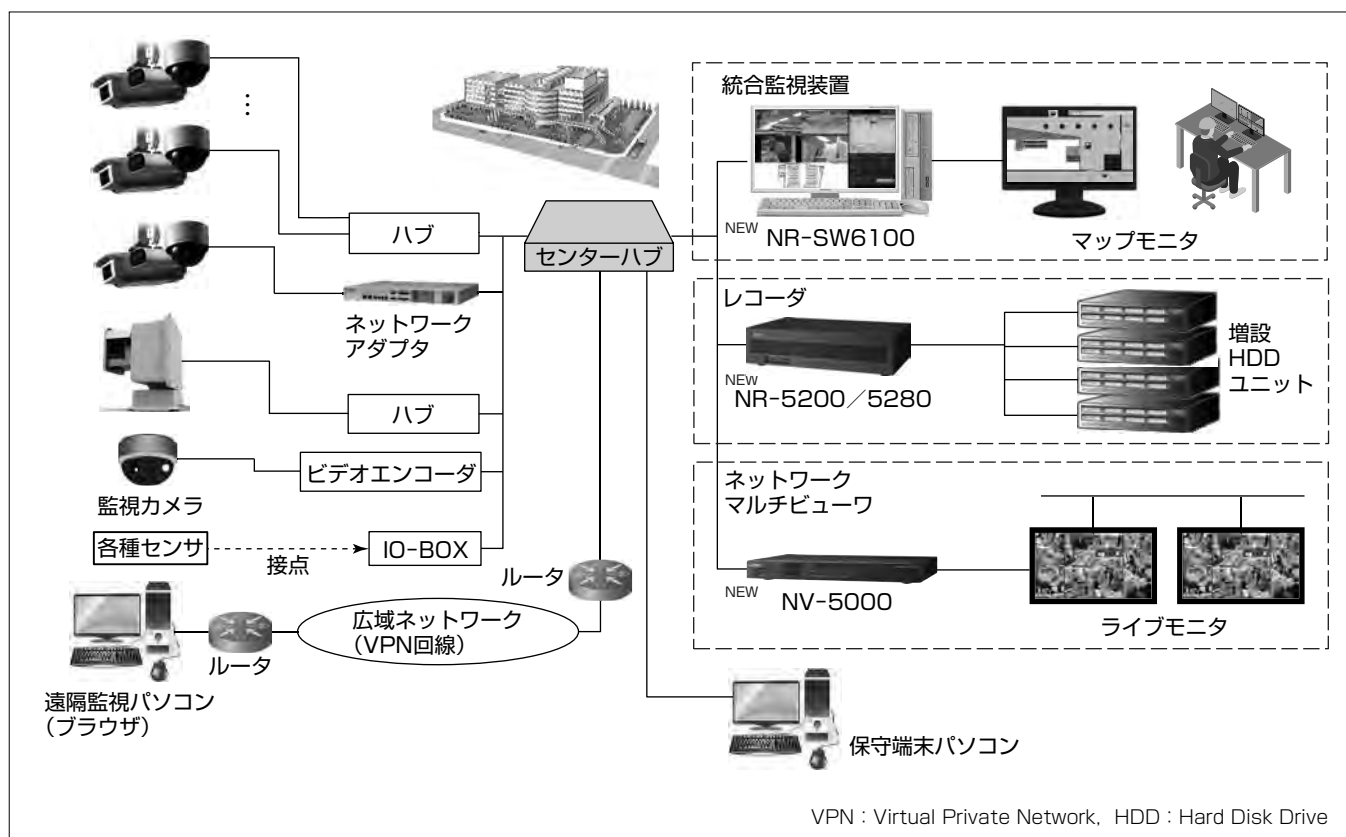
## 要 旨

近年の社会情勢の変化によって、安心・安全に対する意識は高まっている。監視カメラシステムに対して機能・性能向上の要求と同時に、低コストで設置、使用したいという市場ニーズが強くなっている。

三菱電機ではコンビニエンスストアに代表される中小規模監視システム向けに“MELOOKシリーズ”を展開している。最新ラインアップである“MELOOK 3<sup>(1)(2)</sup>”では、電子増感機能(夜間でも明るい映像が得られる)や逆光補正機能の強化、“くっきり”見える高解像度化や、“滑らか”な映像が得られる高フレームレート化等、従来装置より機能・

性能を大幅に向上させている<sup>(3)</sup>。一方、ビルやショッピングモール等の大規模監視システム向けには“MELOOK DG II システム”を提供してきた。

今回開発した“MELOOK 3大規模監視システム”は、現在MELOOK 3が提供する中小規模監視システムの機能・性能を引き継ぎながら、大規模施設の監視に適したシステムとなっている。また、システム更新の容易性も配慮した設計とした。これによって、新規・更新の両面から市場へ展開することが可能になる。



## MELOOK3大規模監視システムの構成例

MELOOK3大規模監視システム実現のため、統合監視装置“NR-SW6100”、映像・音声記録装置(レコーダ)“NR-5200/5280”、ライブ映像表示装置(ネットワークマルチビュー)“NV-5000”を新たに開発した。

\*三菱電機(株) コミュニケーション・ネットワーク製作所

\*\*三菱電機マイコン機器ソフトウェア(株)

## 1. ま え が き

近年の社会情勢の変化によって、安心・安全に対する意識は高まる一方であり、監視カメラに対しても、高性能・高性能なシステムを低コストで導入したいという要望が強くなっている。このような市場ニーズに応えるために、三菱電機では監視カメラシステムであるMELOOKシリーズを展開してきた。2015年及び2016年に市場投入したMELOOK 3、MELOOK 3同軸タイプは、三菱電機の従来装置より大幅に機能・性能が向上し、高画質で滑らかな映像の記録・表示や、使いやすいユーザーインターフェースによって、コンビニエンスストア、流通店舗及び金融機関等の、主に中小規模施設の監視用途で使用されている。

一方、大規模監視システム向けには2011年からMELOOK DG II システムを提供してきた。そこで今般、MELOOK 3で機能・性能を大幅に向上させた大規模監視システムを提供するため、新たに三つの装置を開発した。

本稿では、MELOOK 3大規模監視システムの開発で取り組んだ課題と対策及び構成装置について述べる。

## 2. 大規模監視システム

コンビニエンスストア等の中小規模施設では、各施設内の限られたスペースで使用されるケースが多く、通常は、施設管理者の1名が監視を行う(図1)。そのため、MELOOK 3のように監視映像の記録・表示・制御機能を一つに集約している装置は省スペースであり、かつ利便性に優れている。

一方、大規模施設では監視エリアが広いので、監視カメラの設置台数も多く、監視室と監視カメラ設置場所までの距離も長い。そのため、中小規模施設の監視とは前提となる使用条件や環境が異なり、中小規模監視システムをそのまま大規模施設の監視へ適用するには、制約事項が多かった。

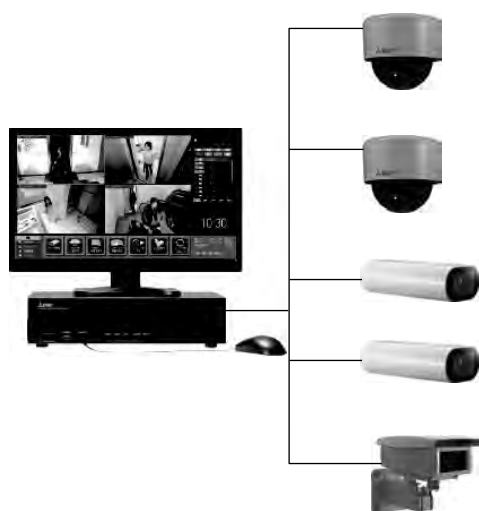


図1. 中小規模監視システムの構成例

## 2.1 大規模監視システムの要件

大規模監視システムの主要要件を次に示す。

### (1) 複数場所での映像監視

大規模施設では、集中監視を行う中央監視室と、用途に応じて専用の監視室(例えば、駐車場だけを監視する駐車場監視室など)が設けられることが多い(図2)。これらの監視室は、それぞれ独立して監視業務を行うことは少なく、連携して監視業務を行うため、同一監視カメラの映像を複数の場所で見ることが必要になる。

### (2) 多数の監視カメラの効率的な表示及び制御

監視室では、効率的な監視を行うために一つのモニタに多数の監視カメラの映像を表示させる必要がある。

また、多数の装置を個別に制御すると操作が煩雑になる。そのため、監視員は複数の装置を一元管理できる必要がある。

### (3) システム更新の容易性

監視システムも年数が経過するとともに老朽化し、更新時期を迎える。中小規模監視システムの場合、構成装置が少ないため、システム全体を一括で更新しても監視業務への影響は少なく、更新費用も大きくない。一方、大規模監視システムの場合、システム全体を一括で更新するためには数か月の監視業務停止期間が発生し、かつ、更新費用も膨大になってしまう。そのため、システム更新の容易性が非常に重要となる。

## 2.2 課題と対策

### (1) 複数場所での映像監視

中小規模監視システムのように監視カメラをレコーダに直接接続する方式の場合、レコーダが設置された場所だけで映像監視ができ、別の場所で同一監視カメラの映像を見ることができない。また、ネットワークケーブルを監視カメラの台数分だけ1対1で引き回す必要があり、監視カメラ接続台数が多くなるにつれ施工性が悪くなってしまふ。

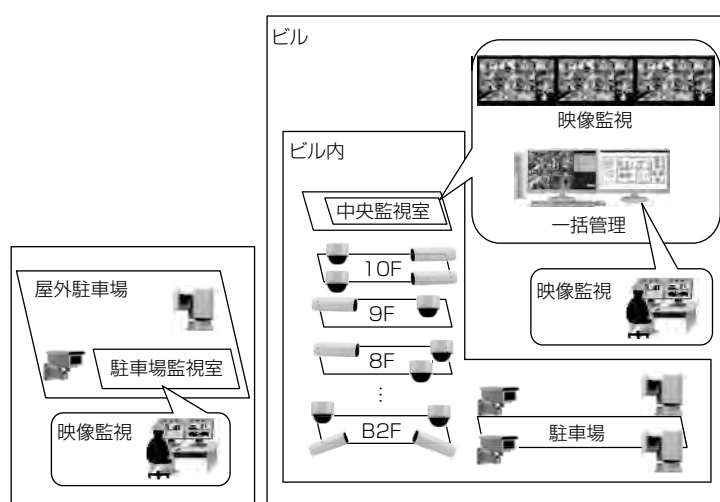


図2. 大規模監視システムの構成例

これらの課題を受け、監視エリアごとにハブを設置し、1本のネットワークケーブルで基幹ネットワークへ接続する方式をMELOOK 3シリーズで実現することにした。ネットワークケーブル1本で全ての映像をネットワークから受信できるため、ネットワーク上のどこでも所望の映像を監視可能になり、さらに、監視エリア又はフロアごとにまとめることができ、施工性も改善される。

### (2) 多数の監視カメラの効率的な表示及び制御

少ない装置で多数の監視カメラを切り替えながら表示することができれば効率的な映像監視が実現できる。中小規模監視システムでは、一つの装置に全機能が集約されているため、例えば映像表示数を増やそうと装置を追加すると記録容量も無駄に増えてしまう。そこで、記録と表示の機能を分離し、それぞれ専用の装置とすることで表示数や記録容量の制約を受けずに少ない装置数で多数の監視カメラによる映像監視を実現した。また、監視カメラの台数が多いことに加え、レコーダ及び表示装置と、多数の装置でシステムが構成されるため、全ての装置を束ね、システム全体を一括制御できる統合監視装置を開発した。

### (3) システム更新の容易性

三菱電機の従来システムを段階的に更新するためには次の課題がある。

- ①符号化方式他の異なる多様なカメラの混在表示
- ②制御インターフェースの異なる多様なレコーダの同時制御

これらの課題を解決するために管理者が新旧装置の違いを意識せずに操作できるよう操作画面を共通化し、装置差分は装置ごとに内部処理を分離する構造化設計を行った。これによって今後の新機種へも容易に対応できるようにしている。また、ソフトウェアを変更することなく、設定ファイルを変更することでシステム構成、ニーズに応じて動作仕様がカスタマイズできるよう対応した。新規システムはもとより、既設システムの更新要望にも容易に対応できるようにした。

これらの課題と対策を踏まえて開発した①統合監視装置(NR-SW6100)、②レコーダ(NR-5200/5280)、③ネットワークマルチビューワ(NV-5000)について3章以降で特長を述べる。

## 3. 統合監視装置

### 3.1 用途

中央監視室内に設置され、システム全体の制御(監視カメラ制御、レコーダ制御、ネットワークマルチビューワ制御等)をつかさどる装置である。

### 3.2 特長

従来システムのユーザーインターフェースと、システム案件ごとに客先ニーズに応えられる汎用性を継承している。監視カメラ制御用ジョイスティックへの対応や、ログインアカウントによる操作権限付与等を新たに追加することで、監視業務の更なる効率化を実現した。また、従来機種の制

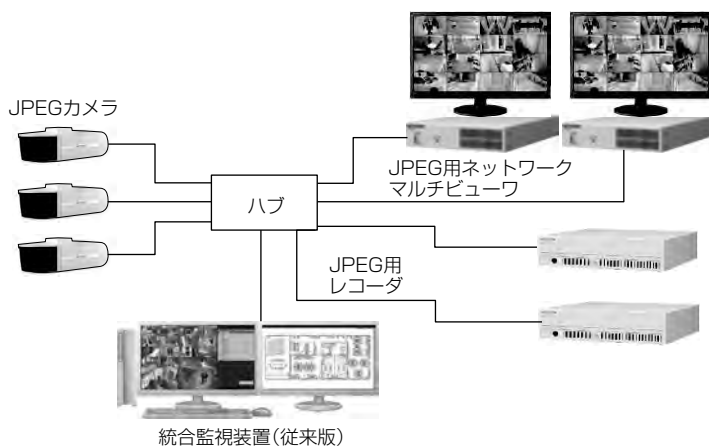


図3. 従来システム

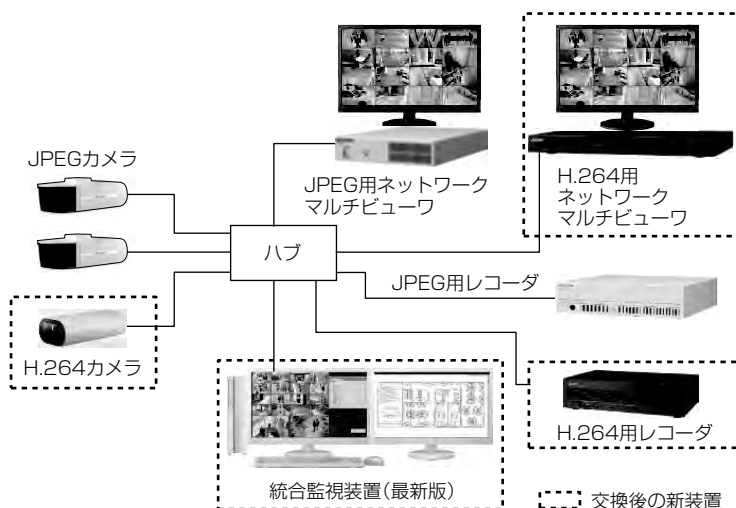


図4. 従来システムと新システムの混在

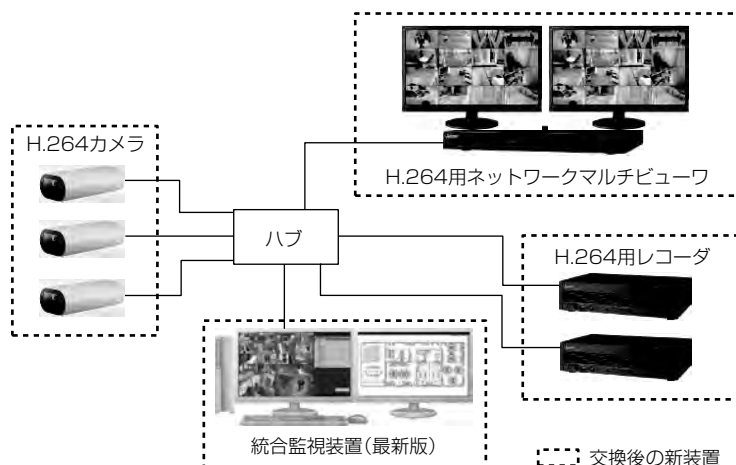


図5. 新システム



図6. 統合監視装置

表1. 統合監視装置の主要諸元

型名	NR-SW6100
登録監視カメラ台数	最大512台
映像符号化方式	H.264/JPEG
最大同時表示数	監視カメラ18台
表示パターン	単画/4画/9画/16画 +2画(ライブ)
監視カメラ制御	PTZ制御他
再生制御	レコーダNR-52XX, NR-6XXX, NS-3XXXからの記録映像を再生可能
ネットワークマルチビュー制御	巡回表示制御, 監視カメラ割付, 分割切替え等
コピー	レコーダに記録された映像を指定期間 コピーする
セキュリティ	起動時にパスワード入力

PTZ: Pan-Tilt-Zoom



図7. レコーダ

表2. レコーダの主要諸元

型名	NR-5200: HDDレスタイプ NR-5280: 8TB内蔵HDD搭載タイプ
接続監視カメラ台数	最大64台
映像符号化方式	H.264
アラーム入力数	最大16点
アラーム記録	接点入力, 監視カメラの動き検知をトリガーとして 記録を開始
プリアラーム記録	アラーム発生前最大30秒の映像から記録を開始
スケジュール記録	任意の曜日, 時間又は特定日を指定 (独立16プログラム指定可)
最大記録容量	別売の専用増設HDDユニットを最大4台接続可能 (最大96TB)
入力電圧	AC100~240V±10%
消費電力	60W以下
LAN端子	1
外形寸法	420(W)×270(D)×100(H)(mm)

御に完全互換で対応しているため、既設システムへの増設、更新を容易にした。例えば、図3では、カメラの配信映像はJPEG(Joint Photographic Experts Group)を使用しており、JPEG用のレコーダ及びネットワークマルチビューワで構成され、運用されている。システム更新時は、図4に示すように一部の監視エリアだけH.264に対応した新しい装置に入れ替え、従来システムと新システムが混在することになる。ただし、この装置を使用することで監視員はシステムの混在を意識することなく、従来と同様の操作でストレスなく、監視業務を行うことができる。このように部分的にシステム更新を行っていき、最終的に図5に示すようにシステム全体を新システムへ移行できる。これによって監視業務の停止期間、エリアを最小限に抑えながら、かつ、更新費用も抑えつつ、段階的に既設システムから最新システムへ更新できる。

### 3.3 仕様

統合監視装置の外観を図6に、主要諸元を表1に示す。

## 4. レコーダ

### 4.1 用途

各監視カメラから配信される映像及び音声をハードディスクに記録し、中央監視室に設置された統合監視装置(3章)からの再生要求に対して記録映像を配信する装置である。

### 4.2 特長

#### (1) 最大64台のカメラの映像・音声記録

MELOOK 3プラットフォームを活用し、接続可能な監

視カメラ台数、最大64台を実現した。監視カメラ設置台数の多いシステムにも対応可能であるとともに、レコーダの設置台数を抑えることができ、システム価格の低減を実現した。

#### (2) プリアラーム記録

外部センサからの接点入力や、各監視カメラからの動き検知アラームを受信した場合、アラーム発生前からの映像をハードディスクに記録することができ、犯罪、事故の瞬間を逃さない。また、記録した映像は、簡単に統合監視装置へダウンロードでき、USBメモリやDVDディスク等にコピーして、外部機関に提出可能である。

#### (3) 記録の効率化

スケジュール記録、アラーム記録機能の搭載によって、必要な時に必要な映像だけを記録することができ、ハードディスクを効率的に使用することが可能である。例えば、人の往来が多い日中は常時記録しておき、人の往来の少ない夜間はアラーム記録を使用することでアラーム発生前後の記録だけを行うことができる。

#### (4) 保守効率化

大規模監視システムでは、レコーダの設置台数も多くなるため、1台の保守端末パソコンから同一ネットワーク内に設置された全てのレコーダの保守ができるよう対応した。また、汎用ブラウザを使用して保守が行えるため、専用のアプリケーションをインストールする必要がない。

### 4.3 仕様

レコーダの外観を図7に、主要諸元を表2に示す。





図8. ネットワークマルチビューワ

表3. ネットワークマルチビューワの主要諸元

型名	NV-5000
登録監視カメラ台数	最大512台
映像符号化方式	H.264
最大同時表示数	監視カメラ32台
最大表示レート	30fps/監視カメラ×32台 (MELOOK 3 監視カメラ接続時)
表示パターン	単画／4画／9画／16画(1モニタ当たり)
巡回パターン	各分割で最大10パターン
入力電圧	DC12V±5%(ACアダプタ)
消費電力	25W以下
LAN端子	1
映像出力端子	HDMI×2CH(同時使用可能)
外形寸法	420.0(W)×270.0(D)×44.4(H)(mm)

HDMI : High Definition Multimedia Interface

## 5. ネットワークマルチビューワ

### 5.1 用 途

中央監視室内の大型モニタに全監視エリアの映像をリアルタイムに表示することで集中監視機能を提供する装置である。また、施設内の各店舗、ビルの守衛所等の個別施設に設置することも可能である。

### 5.2 特 長

#### (1) 滑らかな多画面表示

MELOOK 3 プラットフォームを活用することで、同時に最大32台の監視映像を滑らかに表示可能である(モニタ1台に最大16台の映像を表示し、モニタは2台まで接続可能)。

#### (2) 巡回表示機能

多くの監視映像を少ない装置で監視できるように巡回表示機能を装備した。あらかじめ登録した巡回パターンで監視映像を自動で切り替えることが可能である。また、早朝・昼間・夜間等、状況に応じて巡回パターンを切り替えられるスケジュール機能を搭載した。

#### (3) 外部からの映像切替え

中央監視室に設置される統合監視装置から、所望の監視カメラを選択することで監視映像を切り替えることができる。

#### (4) 保守効率化

1台の保守端末パソコンから同一ネットワーク内に設置された全ての装置の保守ができるよう対応した。また、汎用ブラウザを使用して保守が行えるため、専用のアプリケーションをインストールする必要がない。

### 5.3 仕 様

ネットワークマルチビューワの外観を図8に、主要諸元を表3に示す。

## 6. む す び

MELOOK 3 大規模監視システムとして、中小規模監視システムが持つ機能・性能と、高画質で滑らかな映像の記録・表示、使いやすいユーザーインタフェースを引き継ぎ、かつビル・ショッピングモール等の大規模施設の映像監視システム要件に応える製品を開発した。

今後も社会のセキュリティ意識は高まっていく。安心・安全を提供する監視システムを強化していくためにも、入退室管理等の他のセキュリティシステムとの連携を進めていく。将来的には、映像解析技術の要素も取り入れることによって、防犯目的だけにとどまらず、マーケティング活用等の観点も持ったシステムへの拡張を目指すことで、製品・システムの付加価値を高めていく。

## 参 考 文 献

- (1) 辻 亮宏：“MELOOK 3”レコーダ，三菱電機技報，**89**，No.6，348～352（2015）
- (2) 笠原裕志，ほか：“MELOOK 3”同軸タイプレコーダ“NR-8200”，三菱電機技報，**91**，No.6，329～332（2017）
- (3) 小島洋之，ほか：映像セキュリティシステムの動向，画像ラボ，G1702-04（2017）

# “MELSEC iQ-Rシリーズ”の IEC61508 SIL2対応二重化シーケンサ

百目木栄悦\*

"MELSEC iQ-R Series" IEC61508 SIL2-compliant Redundant Programmable Logic Controller

Eietsu Domeki

## 要 旨

近年、社会インフラの水処理や地下鉄の空調システムなどの公共案件の市場規模が新興国を中心に拡大している。これら公共案件は可用性向上のために二重化したシステムが必須である。さらに最近の発注仕様では、構築するシステムに使用するコンポーネントの信頼性の指標として、国際安全規格IEC61508 SIL2適合が要求されてきている。

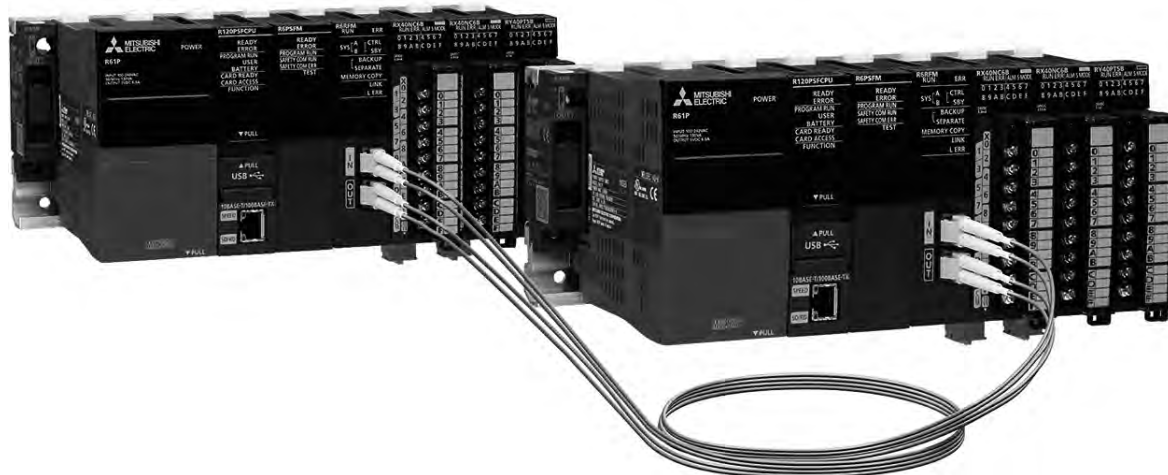
この要求に対応するため、今回三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”にIEC61508 SIL2に適合した二重化シーケンサを新たに追加した。この製品の特長は次のとおりである。

(1) 二重化システム構成をとることで、片系に異常が発生しても、もう一方の系で安全制御を継続可能にした。こ

れによって高い稼働率と安全性の両立を実現した。

(2) “MELSEC iQ-Rシリーズ”安全シーケンサのコンセプトを踏襲し、一つのシステムでプロセス制御と安全制御を実現した。これによって二重化安全制御システムを容易に構築することができる。

(3) 安全入出力として、診断機能付きI/O(Input/Output)ユニットを使用する構成とした。IEC61508 SIL2適合のシステムを構築する際は、診断機能付きI/Oユニットを2台組み合わせて使用する。SIL2適合が要求されないシステムでは診断機能付きI/Oユニット1台での使用も可能であり、これによって補用品の機種共通化を可能にした。



## “MELSEC iQ-Rシリーズ”のIEC61508 SIL2対応二重化シーケンサ

三菱シーケンサMELSEC iQ-Rシリーズに、二重化システム構成を構築するユニットとして“SIL2プロセスCPU(Central Processing Unit)セット”を新たにラインアップに加えた。SIL2プロセスCPUセット、及び入出力を行う“診断機能付きI/Oユニット”は、第三者認証機関であるTÜV Rheinlandから機能安全規格IEC(International Electrotechnical Commission) 61508 SIL(Safety Integrity Level)2の認証を受けている。

## 1. ま え が き

近年，社会インフラの水処理や地下鉄の空調システムなどの公共案件の市場規模が新興国を中心に拡大している。これら公共案件のシステムは停止した場合の影響が大きく，止められないため，可用性向上のために二重化したシステムが必須となっている。さらに最近の公共案件の発注仕様では，システムに使用するコンポーネントにも高信頼な製品が求められ，その信頼性の指標として国際安全規格IEC61508 SIL2適合が要求されている。

このような状況に対して，三菱電機はMELSEC iQ-Rシリーズ<sup>(1)</sup>にIEC61508 SIL2対応二重化シーケンサ(以下“SIL2対応二重化シーケンサ”という。)を新たに追加した。この製品によって，IEC61508 SIL2に適合したシーケンサを使用したプロセス制御と安全制御によってユニットを集約してTCO(Total Cost of Ownership)削減を図るとともに，これらを二重化したシステム構成とすることで可用性を向上させている。

本稿では，SIL2対応二重化シーケンサの製品特長，及び開発時の課題とその解決のために適用した技術について述べる。

## 2. 製品の特長

SIL2対応二重化シーケンサの主な特長は，次のとおりである。

- (1) 二重化システムによって，片系に障害が発生した場合でも系を切り替えて制御を継続することが可能である。
- (2) 一システム内で，プロセス制御と安全制御を実行することが可能である。
- (3) 標準的なユニットを組み合わせると，IEC61508 SIL2に適合したシステムの構成が可能である。

## 2. 1 SIL2対応二重化シーケンサのシステム構成

SIL2対応二重化シーケンサのシステム構成例を図1に示す。CPU及びネットワークは二重化しており，制御系と待機系として動作する。I/Oはリモート局に装着する。

SIL2対応二重化シーケンサは，二重化したCPUの一方が制御系，もう一方が待機系として動作する。制御系が動作している間，待機系は制御を行わず，制御系の演算結果を毎スキャン制御系から受信して，待機系の内部メモリに反映している。

制御系側で障害を検出した場合，CPU及びネットワークは系切替えを行い，新たに制御系となった系のCPU及びネットワークが内部メモリのデータを用いて処理を再開することで制御を継続する。系切替えを行う要因としては，制御系の電源OFFや停止エラー発生時，ネットワークケーブル断線による通信不可などの障害がある。

## 2. 2 一般制御と安全制御の統合

SIL2対応二重化シーケンサでのプロセス制御と安全制御については，MELSEC iQ-Rシリーズの安全CPUの特長を引き継いでいる<sup>(2)</sup>。安全CPUでは，一般プログラムと安全プログラムを統合して1台のシーケンサで実行可能である。SIL2対応二重化シーケンサも同様に，プロセス制御命令を実行可能な一般プログラムと，安全入出力を制御する安全プログラムを1台のシーケンサで実行可能である。

プログラミングについてもエンジニアリングソフトウェア“GX Works3”を使用して，プロセス制御拡張機能を含む一般プログラムと安全プログラムの編集，及び各種設定操作を一元的に行える。

二重化システムのトラッキングは一般制御と安全制御両方の全エリアを対象としており，安全制御で使用する安全ラベル／デバイスのデータも毎スキャン待機系の内部メモ

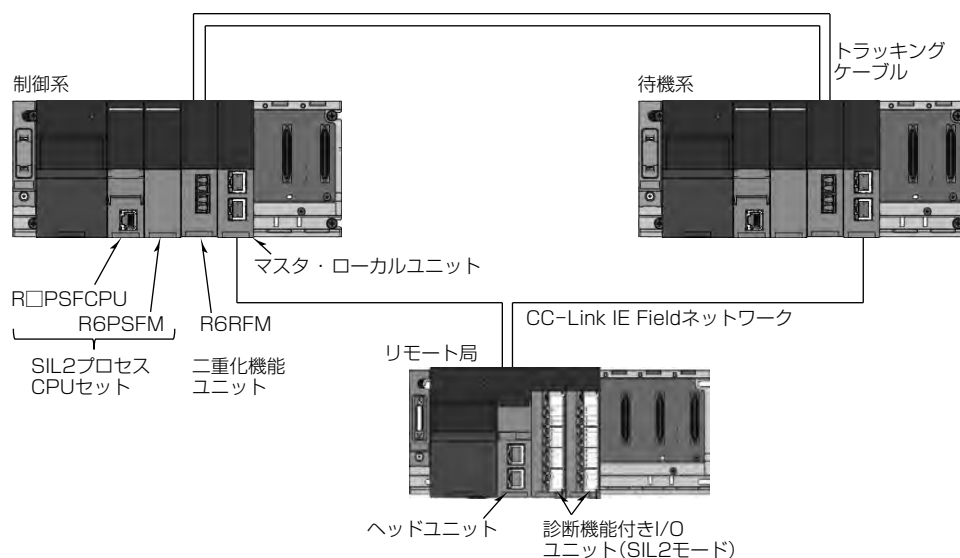


図1. SIL2対応二重化シーケンサのシステム構成例

◇一般論文◇

りに反映されている。そのため、系切替えを行った後、新制御系で安全プログラムを実行できる。

さらに、一般制御用ネットワークと安全制御用ネットワークも安全CPUと同様混在することが可能である。このネットワークについてもSIL2二重化対応にし、一般入出力と安全入出力が混在したシステムで、系切替え後に新制御系で一般制御と安全制御を継続して実行することを可能にした。

安全制御では、CPUとI/Oユニットとの間で確立した安全通信を通じて入出力を行う。ここで安全通信とは、CPUとI/Oユニット間の通信が、ノイズなどの要因による破損や遅れなどのデータの欠損が発生せず正常に継続していることを保証するため、コネクションを確立して常に通信状態を診断する機能を備えたネットワーク通信プロトコルによる通信である。

二重化システムで系切替えが発生したとき、一度この安全通信は切断するが、入出力を一定時間ホールドし、このホールド時間中にすみやかに新制御系から再接続して安全制御を再開する。

### 2.3 複数台のユニットを組み合わせた安全入出力

安全入出力処理は、入力断線検出機能や、出力短絡検出機能などの診断機能を強化した診断機能付きI/Oユニットに搭載している。診断機能付きI/Oユニットは2台組み合わせて安全入出力機能を提供する。2台構成で互いに入出力信号や制御処理結果を照合することで故障検出を強化し、IEC61508 SIL2に適合している。

診断機能付きI/Oユニットは1台でも診断機能を利用可能であり、安全制御に用いない一般入出力としても使用できるため、補用品を一般のユニットと共用できる。

SIL2対応二重化シーケンサで使用するユニットの一覧を表1に示す。

これらの機能によって、図1で示すようなシステム構成を構築することが可能である。

表1. SIL2対応二重化シーケンサで使用するユニット

ユニット	形名	説明
SIL2プロセスCPUセット	R08PSFCPU-SET	SIL2プロセスCPUユニット(R□PSFCPU)とSIL2機能ユニット(R6PSFM)のセット品
	R16PSFCPU-SET	
	R32PSFCPU-SET	
	R120PSFCPU-SET	
診断機能付き入力ユニット	RX40NC6B	2台で安全入力に使用
診断機能付き出力ユニット	RY40PT5B	2台で安全出力に使用
二重化機能ユニット	R6RFM	制御系と待機系を接続する
CC-Link IE Field マスタ・ローカルユニット	RJ71GF11-T2	ネットワークユニット(SIL2二重化対応)
CC-Link IE Field ヘッドユニット	RJ72GF15-T2	

(電源、ベース、一般入出力等はMELSEC iQ-Rシリーズユニットを使用)

## 3. 実現のための技術

### 3.1 安全ラベル／デバイスのトラッキング通信

二重化システムのプロセス制御では、制御系が、シーケンサのプログラム実行周期であるスキャン処理が完了するごとに、内部データからトラッキングデータを生成して待機系に送信する。待機系は受信したトラッキングデータを自身の内部メモリに反映する。この処理をトラッキング通信処理という。

制御系と待機系は、毎スキャンのEND処理でトラッキング通信を行う。これによって、常に制御系と待機系の内部データを一致させ、系切替え発生時に待機系が新制御系として処理を継続できるようにしている。

安全制御についても同様に、制御系で実行した安全制御で更新された安全ラベル／デバイスのデータを毎スキャン待機系に送信し、待機系の内部メモリに反映しておくことで、系切替え後の処理継続に対応する。ただし、安全制御にかかわる安全ラベル／デバイスは、通信路及び各ユニット内に異常がなく、待機系に正しく反映されたことを保証する必要がある。

この課題に対して、安全ラベル／デバイスのトラッキングデータの生成時にCRC(Cyclic Redundancy Check)値を付与し、待機系に反映した後に再度算出したCRC値と照合することで、正しく反映されたことを確認し、その結果を制御系に応答する処理フローを搭載した。

安全ラベル／デバイスを含むトラッキング通信処理フローの全体を図2に示す。

安全トラッキングのデータが破損した場合や、安全ラベル／デバイスが待機系に正しく反映できなかった場合は、系切替え不可とする。系切替え可かどうかは毎スキャン確認しており、また安全ラベル／デバイスは毎スキャン、変更の有無によらずデータ全体を送信し続ける。そのため、次のトラッキングデータ送信で待機系にデータが正しく反映できたことが確認できれば、系切替え可となる。

これらの処理によって、一般制御と安全制御で使用する内部メモリを制御系と待機系で毎スキャン一致させることで、系切替えによって制御を継続可能にしている。

### 3.2 安全通信の系切替え対応

まずSIL2対応二重化シーケンサの安全通信について述べ、その後に系切替え時の安全通信の動作について述べる。

#### 3.2.1 SIL2対応二重化シーケンサの安全通信

SIL2対応二重化シーケンサでは、制御系のCPUと、安全入出力を行うI/Oだけが安全通信の接続を確立しており、待機系は安全通信接続を行っていない。安全通信の接続を図3に示す。

ネットワーク(CC-Link IE Field)は一般通信と安全通

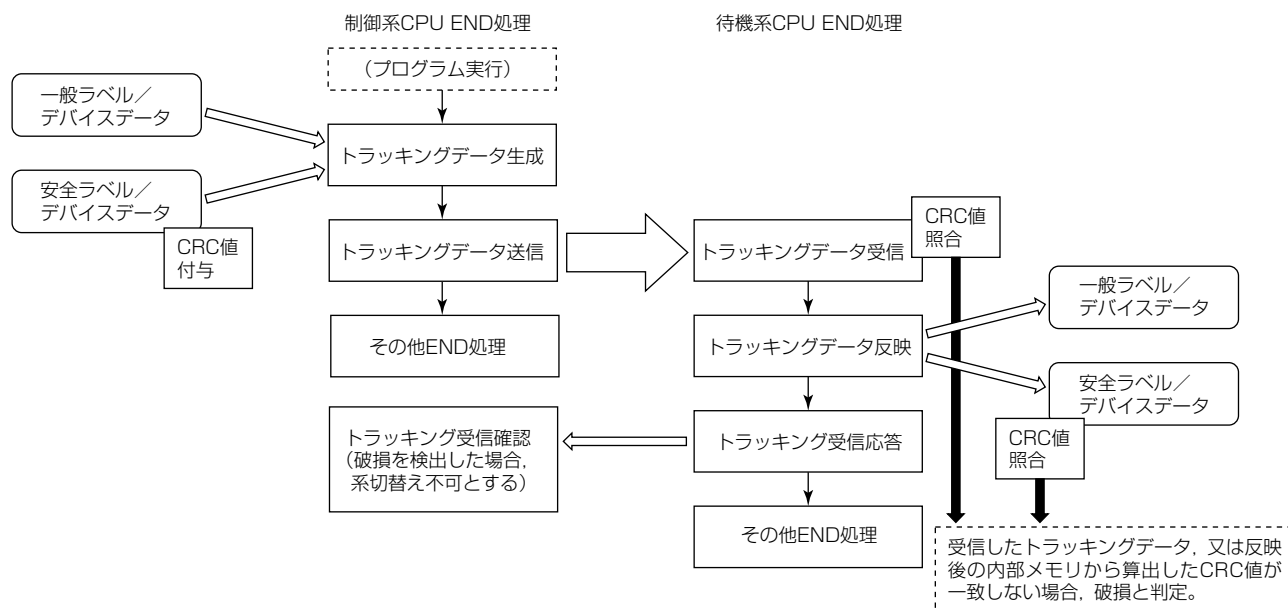


図2. トラッキング通信処理フロー

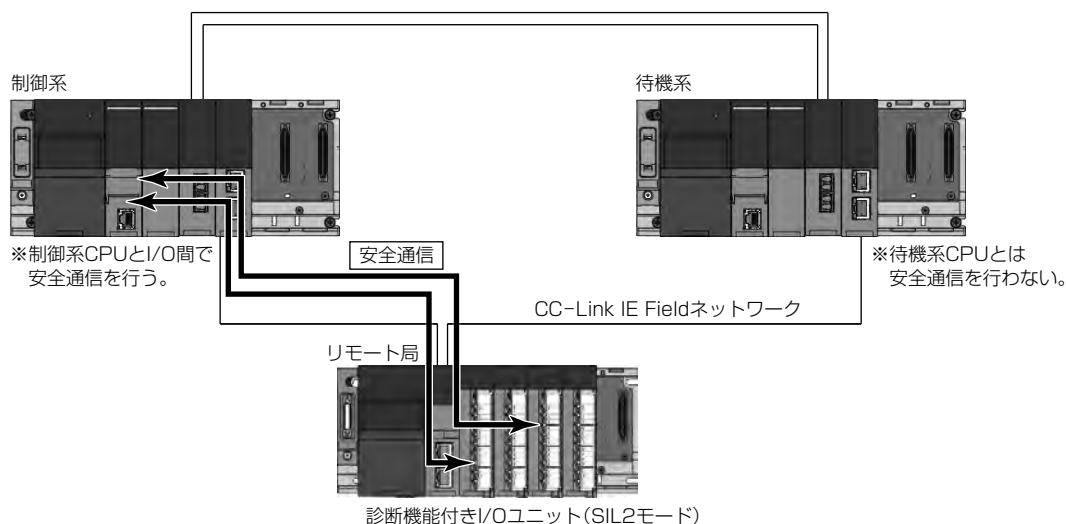


図3. 安全通信の接続

信が混在可能であり、安全通信の packets は常にネットワーク上に流れており、診断を実施している。安全通信の packets が、ノイズやネットワークの再構築等の要因によって設定した時間以上中断されると、CPUとI/Oとで通信タイムアウトを検出する。また、安全通信の packets が意図しない順番で到着した場合や、破損を検出した場合にはエラーを検出する。通信タイムアウトやエラーを検出した場合は安全通信を切断し、安全入出力は安全状態であるOFFとする。

### 3. 2. 2 系切替え時の安全通信の動作

3. 1節で述べたように、制御系で演算した結果の安全ラベル／デバイスのデータは、毎スキャン待機系へ送信されている。系切替えが発生した場合、安全ラベル／デバイスを引き継ぐだけでなく、安全通信を新制御系から接続し直して、制御を継続する必要がある。

系切替え時の安全通信の処理の動きを図4に示す。

図4にあるように、系切替え時は旧制御系との安全通信を一度切断する。このとき、本来の安全通信の動作では安全通信が切断された場合は安全状態となるため、安全入出力はOFFとなる。しかし、系切替え時に入出力がOFFになることは認められない。

この問題に対して今回の開発では、系切替え時の安全通信切断から、あらかじめパラメータで設定した時間が経過するまで安全入出力をホールド状態にし、その時間内に安全通信を再接続する動作にした。

新制御系が安全通信を再接続した後は、安全制御を継続できる。再接続しないまま設定した時間が経過すると、安全入出力はOFFになる。

この動作によって、二重化システムでの安全通信の系切替え対応を実現した。

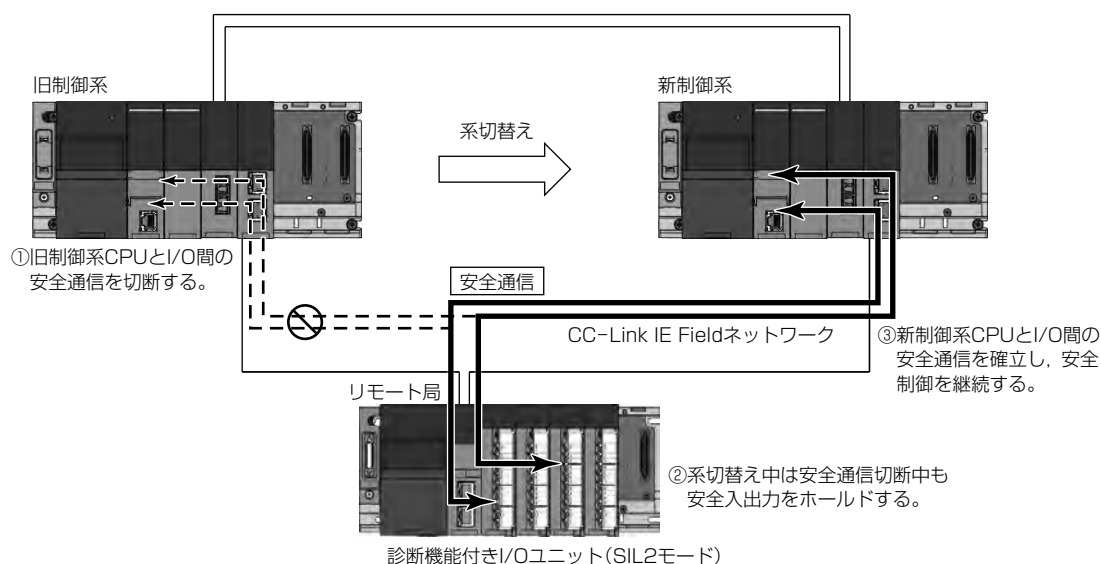


図4. 系切替え時の安全通信の再接続

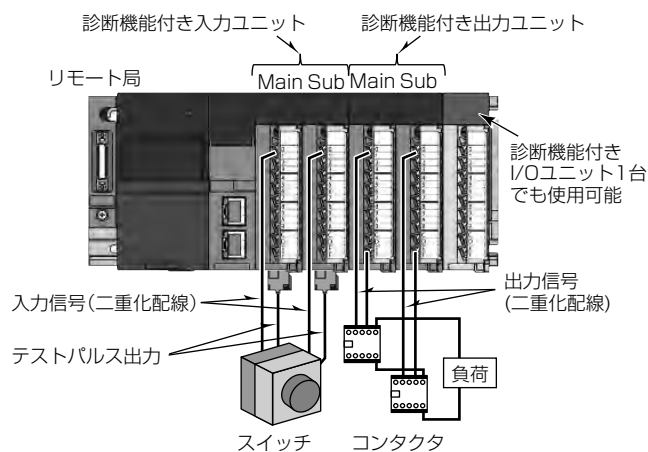


図5. 診断機能付きI/Oユニットの配線例

### 3.3 複数ユニット組合せによる安全入出力

SIL2対応二重化シーケンサでは、1台で一般入出力に使用できる診断機能付きI/Oユニットを、2台組み合わせで安全入出力を構成する形とした。

安全入出力を行うためには、診断機能付きI/Oユニット2台を隣接したスロットに並べて装着し、それぞれSIL2モードのMain, Subに設定する。配線は入力信号、出力信号とも二重化配線を行い、入出力時に診断機能付きI/Oユニット同士で信号を照合する。また、制御処理もMain, Sub両方で実行し、その結果を互いに照合する。照合不

致の場合は安全入出力をOFFにする。

この仕様によって、診断機能付き入力ユニット、及び診断機能付き出力ユニットを、IEC61508 SIL2適合のシステム構築時は2台、一般入出力では1台構成で使用することで、補用品の機種を削減できる。SIL2対応時の、診断機能付きI/Oユニットの配線例を図5に示す。

## 4. む す び

社会インフラ分野(公共案件)をターゲットとして、信頼性の指標として要求が増えている国際安全規格IEC61508 SIL2適合の“MELSEC iQ-Rシリーズ”二重化シーケンサの特長と開発時に適用した技術について述べた。

今後は、IEC61508 SIL2に適合したアナログ入力、アナログ出力、及び温度入力ユニットについて製品ラインアップを拡大し、ASEANを中心とした社会インフラ分野での要求対応力の強化を進める。

## 参 考 文 献

- (1) 志水義信, ほか: 三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”, 三菱電機技報, 89, No.4, 211~214 (2015)
- (2) 内越正弘: “MELSEC iQ-Rシリーズ”安全シーケンサ, 三菱電機技報, 90, No.4, 215~218 (2016)