

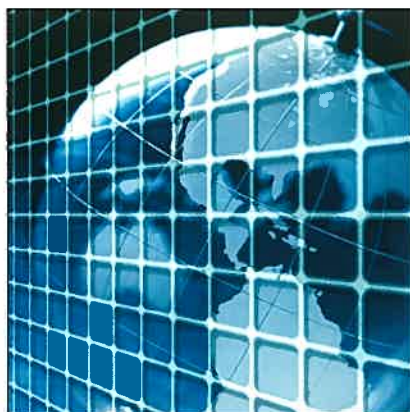
# MITSUBISHI

## 三菱電機技報

Vol.84 No.8

2010 8

特集Ⅰ「進化する通信技術とその展開」  
特集Ⅱ「安全, 安心, 快適, かつ効率的な社会を支える技術」



## 目 次

### 特集Ⅰ「進化する通信技術とその展開」

進化する通信技術とその展開特集に寄せて	1
玉井正司	
進化する通信技術の現状と展望	2
下笠 浩・本島邦明	
長距離大容量光伝送システム	6
杉原浩平・澤田和重・島倉泰久・近森 峻・井上隼平	
GE-PON ONUの低消費電力化	10
高群智樹・藤枝 亮	
成田エクスプレスE259系 トレインビジョン用WiMAX車上装置	13
河岸平七郎・松原茂正・新谷嘉浩	
衛星移動通信システム対応無線装置開発	17
安田周平・島脇 豊・佐野裕康・木下裕介	
高性能フェムトセル無線基地局装置	21
中澤正幸・中村浄重・平木啓愛・岩山哲治・永易孝幸	
ホームICTへの取組み	25
牧野豊司・小島洋之・横里純一・三浦 紳・赤津慎二	

### 特集Ⅱ「安全、安心、快適、かつ効率的な社会を支える技術」

安全、安心、快適、かつ効率的な社会を支える技術	29
島海善裕	
衛星を利用した測位・通信システムを 取り巻く事業の環境と取組み	30
小山 浩・坂戸美朝・木元勝一	
モバイルマッピングシステムと各種応用例	34
木元勝一・西川啓一・瀧口純一・吉田光伸	
船上での高速ブロードバンド通信を可能にする 船上地球局“Ku-Mate SX-5300”	38
佐藤裕之・白井 忠・加川義久	
災害・危機管理・報道に威力を発揮する ヘリコプター及び小型車載用衛星通信システム	42
尾崎 裕・佐々木 源	
UHF帯RFID大容量メモリタグの活用	47
伊藤岳広	
物流ゲートにおけるRFIDの誤読防止システム	51
桶川弘勝・亀丸敏久・筑紫典嗣	
電波位相差変位計測システムを用いた斜面変位計測	55
吉崎 互・大山 巧	

Contribution to Special Issue on Evolving Telecommunication Technologies and Their Deployment

Contribution to Special Issue on Evolving Telecommunication Technologies and Their Deployment  
Shoji Tamai

Evolution of Communication Technology : Today and Tomorrow

Kiyoshi Shimokasa, Kuniaki Motoshima

Long-haul and Large Capacity Optical Transmission Systems

Kohei Sugihara, Kazushige Sawada, Yasuhisa Shimakura, Shun Chikamori, Junpei Inoue

The Development of Low-power-consumption GE-PON ONU

Tomoki Takamura, Tasuku Fujieda

WiMAX Mobile Station for N'EX (E259) Visual Information Systems

Heishiro Kawagishi, Shigemasa Matsubara, Yoshihiro Shintani

Development of Wireless Equipment for Mobile Satellite Communication System

Shuhei Yasuda, Yutaka Shimawaki, Hiroyasu Sano, Yusuke Kinoshita

High-performance Base Transceiver Station for Femto-cell Wireless Communications Systems

Masayuki Nakazawa, Kiyoshige Nakamura, Hirochika Hiraki, Tetsuharu Iwayama, Takayuki Nagayasu

ICT in the Home

Toyoshi Makino, Hiroyuki Ojima, Junichi Yokosato, Shin Miura, Shinji Akatsu

Technology for a Safer, Secure, Comfortable, and Efficient Society

Technology for a Safer, Secure, Comfortable, and Efficient Society  
Yoshihiro Toriumi

The Business Environment and Approach for Satellite-based Positioning and Communication System

Hiroshi Koyama, Yoshitomo Sakato, Shota Kimoto

Mobile Mapping System and its Application

Shoichi Kimoto, Keiichi Nishikawa, Junichi Takiguchi, Mitsunobu Yoshida

Satellite Communication System on Board Vessel "Ku-Mate SX-5300"

Hiroyuki Sato, Tadashi Shirai, Yoshihisa Kagawa

Helicopter Satellite Communication System and Compact SNG for Vehicle

Yutaka Ozaki, Gen Sasaki

UHF RFID Extended Memory Tag Application

Takehiro Ito

False Recognition Prevention System of RFID at Physical Distribution Gate

Hirokatsu Okegawa, Toshihisa Kamemaru, Noritsugu Chikushi

Field-test of Radio Phase Difference Displacement Measurement System

Wataru Yoshizaki, Takumi Oyama

### 特許と新案

「遠隔通信システムの構成方法、ならびに、データ通信

手段を含む基地局および移動局」

「マイクロ波用伝送装置」

「計測装置」

### 表紙：コミュニケーション豊かな社会に向けて

通信技術は、安全、安心、快適、かつ効率的な社会を支えるため、宇宙・地球規模で日々進化を続け、現在では衛星を利用した通信や測位、光通信や無線通信を利用した高速インターネットや映像の配信が身近なものとなっている。

表紙では、三菱電機製品が、家庭内やビジネスシーンで、通信ネットワークの高度化のみならず、より豊かなコミュニケーション社会の実現に貢献するイメージを表現するとともに、これを支えるインフラシステムの一例を示した。①ビジネスシーンでの快適な通信イメージ、②家庭内の豊かさへの貢献イメージ、③宇宙・地球規模への通信ネットワークの拡大イメージ、④船舶内に豊かなオフィス環境を提供するKu帯衛星通信アンテナ、⑤走行路周辺の高精度三次元マップを作成するモバイルマッピングシステム



# 進化する通信技術とその展開特集に寄せて

Contribution to Special Issue on Evolving Telecommunication Technologies and Their Deployment

玉井正司  
Shoji Tamai



1990年代にインターネットサービスが商用化された当初、接続サービスの大半は低速なダイヤルアップサービスであり、その通信容量の伸びは緩やかであったが、2001年に定額かつ低価格のブロードバンドサービスの登場で急激な増加が始まった。

また、この定額ブロードバンドサービスの登場と時期を同じくしてインターネット接続サービスが開始された携帯電話でも、近年スマートフォン市場の急成長で高速化が進むにつれて、トラフィックの増加は勢いを増している。

このように今やインターネットは、企業活動はもとより私たちの社会活動に不可欠なツールとして、今後もネットワークの高速化・大容量化を伴う通信技術の進化を牽引(けんいん)していくことになると思われる。

この高速化・大容量化について、個々のネットワークに展開される技術の流れを俯瞰(ふかん)してみると、まず、海底ケーブルシステムに代表される基幹系ネットワークでは、1990年代後半に実用化された波長多重伝送方式において、波長間隔を高密度化し多重度を高めて通信容量を増やすための新規技術の導入が進んでいる。

次にアクセスネットワークでは、国内ブロードバンドサービスの過半数を占めるFTTH(Fiber to The Home)において、電話局から加入者宅までの光ファイバを有効活用できるPON(Passive Optical Network)技術を用いたネットワークが展開されており、高速化による通信容量増大への対応も検討されている。

また、モバイルアクセスネットワークにおいてもモバイルWiMAX<sup>(注1)</sup>(Worldwide Interoperability for Microwave Access)やXGP(eXtended Global Platform)規格の展開、大手携帯電話会社がサービス開始を予定しているLTE(Long Term Evolution)規格の適用でブロードバンド化が急激に進むことが予測される。

さらに、これら無線系の技術の適用によって、電車・自動車などへの高速なインターネットサービスのリアルタイ

ムな提供など、場所と時間に束縛されないサービスの拡張に向けて移動体通信ネットワークも進化していくことが予想される。

一方、コンテンツの面からみると、従来の電話などの音声やメール等のテキスト、写真などの静止画など情報量が小さいコンテンツに加えて、家庭への動画コンテンツのインターネット配信、携帯電話へのワンセグ放送の配信など、情報量が大きなコンテンツの伝送が始まっており、今後ますます動画コンテンツの伝送比率が増すことによって、通信技術の高速化、大容量化への要求が継続することになるだろう。

このような通信技術の高速化、大容量化に伴って、通信機器の消費電力は増加傾向にあり、今や全世界的な課題となった温暖化防止など、地球環境を考慮した技術の展開が求められている。

通信事業者も“ICT(Information and Communication Technology)分野におけるエコロジーガイドライン協議会”を設立し、省エネルギー化を図った装置を調達するためのガイドラインを策定するなど、通信機器の低消費電力化は重要度を増しており、性能や利便性の追求のみならず、消費電力の削減は有害物質の削減とともに製品化に不可欠な条件になってきていることも忘れてはならない。

三菱電機は、皆様のご指導の下、無線通信技術と光通信技術をコアコンピタンスとして、バックボーンネットワークからアクセスネットワークにわたる通信インフラの構築に貢献してきた。

今回の特集では、これら無線通信技術と光通信技術や低消費電力化技術に対する当社の最新の取組みの一端を紹介する。

今後も皆様のご指導、ご鞭撻(べんたつ)を賜りながら、進化する通信技術を具現化し、より良い社会の構築に役立つよう、Changes for the Betterのコーポレートステートメントの下、日々進化を続けていく所存である。

(注1) WiMAX, WiMAX Forumは、WiMAX Forumの登録商標である。



# 進化する通信技術の現状と展望

Evolution of Communication Technology : Today and Tomorrow

Kiyoshi Shimokasa, Kuniaki Motoshima



下笠 清\*



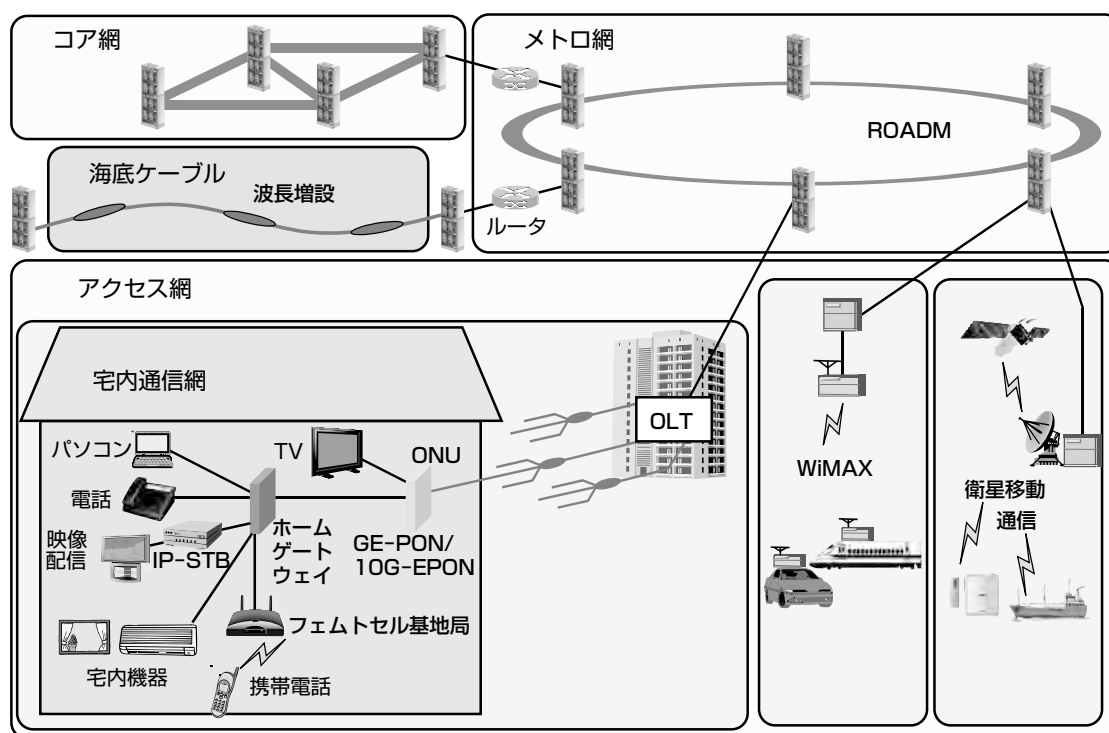
本島邦明\*\*

## 要 旨

インターネットの普及と端末の高性能化・低価格によって通信ネットワークは生活基盤に強く根付いたと言える。この結果、利用者の増加、アプリケーションの高度化によって大幅なトラフィック増加となった。このような背景の下、通信ネットワークの広帯域化が進む。光アクセス網は、近い将来 1 Gbps伝送から10Gbps伝送に移行する可能性が高い。それに伴い、ホームゲートウェイ (HGW)、フェムト基地局、IP-STB(Internet Protocol-Set Top Box)等の宅内通信機器の高性能化も進むと考えられる。また、アクセス網を束ねるメトロ網、コア網及び国際間を接続する海底ケーブルについても大容量化が進むと言える。通信ネットワークにおけるもう一つの動向は、接続性向上・通信不能領域の解消である。この場合、高速の移動体や災害地等への通信サービスの提供が考えられるが、いずれも無線通信技術の高度化が不可欠と考えられる。

三菱電機では、光通信・無線通信の両分野でこれらの要求に合致する通信装置の開発を進めてきた。本稿では、これらの開発成果を述べるとともに、近年、世界規模で議論されている環境負荷低減の観点に立ち、装置の消費電力低減に対する取組みについて焦点を当てる。具体的には、広帯域化の観点では、先に述べたトラフィックの増大が進むコア網、メトロ網に適用する光伝送システム、アクセス網の中核をなしFTTH(Fiber To The Home)を支えるPON (Passive Optical Network)システム、今後需要が高まると考えられる宅内通信機器について述べる。また、接続性向上・通信不能領域の解消の観点では、船舶、自動車への通信を提供する衛星移動通信関連装置、鉄道車両向け通信を提供する車上WiMAX<sup>(注1)</sup> (Worldwide Interoperability for Microwave Access)装置について述べる。

(注1) WiMAX, WiMAX Forumは、WiMAX Forumの登録商標である。



ROADM : Re-configurable Optical Add-Drop Multiplexer, GE : Gigabit Ethernet, 10G-EPON : 10Gigabit-Ethernet<sup>(注2)</sup> PON, OLT : Optical Line Terminal, ONU : Optical Network Unit

(注2) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

## 三菱電機の描く通信ネットワーク構成と主要構成装置

通信ネットワークは、有線通信ネットワークと無線通信ネットワークに大別できる。前者の特長は光伝送技術による大容量化と宅内通信機器の普及による高機能化と言える。後者の特長は、無線通信技術を用いて従来通信が困難とされてきた領域へのサービスの提供と言える。上図は、これらの傾向を踏まえたネットワーク構成と主要構成装置について示す。

## 1. ま え が き

インターネットの普及によって、ブロードバンドサービス加入者数は2009年6月時点で約3,200万加入になった。特に、FTTHは過半数を超え1,600万加入に達した。この傾向は、今後も継続すると考えられ、通信装置には、トラフィック増による大容量化、安心・安全な通信を保証する品質制御・高信頼化制御など新たな要求条件が課されることになる。加えて、世界規模で議論され今や国家的な課題となった装置の低消費電力化が要求される。

本稿では、当社における、これらの新たな要求条件を満たす通信装置の開発成果について述べる。特に、低消費電力化に向けた取組みの紹介に力点を置く。通信機器はCO<sub>2</sub>排出量の上では日本全体での排出量の0.6%と割合は少ないが近年著しい増加傾向にあり、装置ベンダーにとっては機器の低消費電力化は重要課題の一つと言える。

## 2. トラフィックの増大とFTTHの普及について

図1は、インターネットトラフィックの推移について示している。2004年には200Gbps程度のトラフィックが5年間で7倍に増大している。また、映像コンテンツの配信などによってDownloadトラフィックの増加が著しい。図2は、ブロードバンドサービスの加入者の推移を示している。2008年初頭にDSL(Digital Subscriber Line)とFTTHの加入者数が逆転し、以後、FTTHがブロードバンドサービスの主たる方式となった。トラフィック量とFTTH加入者数

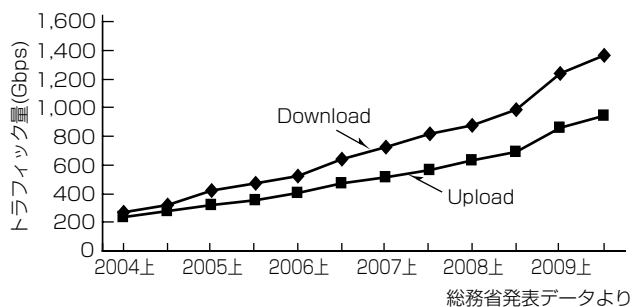


図1. トラフィック量の推移

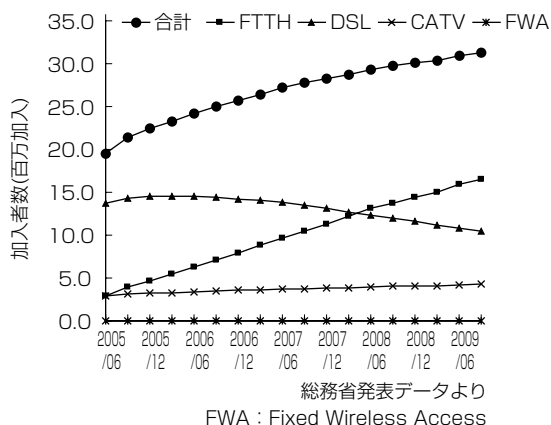


図2. ブロードバンドサービス加入者数推移

が急伸した時期は重なっており、トラフィック量の増加とFTTHの普及が強く関連していると言える。

## 3. 光伝送システム

先に述べたトラフィックの著しい増加に対応するための波長多重伝送技術について述べる。波長多重伝送技術は、大容量光通信を低消費電力で実現する技術として1995年頃から急速に進展した。図3は光海底ケーブルで1 Gbpsの信号を1 km伝送するのに必要な消費電力を示したグラフである。1980年代後半の再生中継器が1990年代に光増幅中継に変革し1けたワットの低消費電力化が実現した。1995年に波長多重伝送方式が消費電力を一気に0.01W台に押し下げた。2000年に強力な誤り訂正が導入され、さらに光の位相を使う新しい変復調が導入されたことで、2010年には1988年比で2200分の1の0.002W/Gbps/kmまで低消費電力化が進展した。

図4は、先に述べた技術を結集した当社の波長多重伝送装置の一例である。10Gbpsの信号を19インチ架あたり最大60チャンネル収容可能であり、30nm以上の帯域にわたり平坦な増幅特性を示す光増幅中継器をはじめ、1%に近い頻度でビット誤りが発生してもそれを訂正できる接続符号誤り訂正、強度変調だけでなく差動位相変復調や40Gbpsの4値差動位相変調の光トランシーバなどを実装することができる。これだけの技術を高密度実装するためには、装置の消費電力そのものを低減する必要がある。図4の右に下部から上部への空冷時の装置内熱分布を示す。周囲温度が50℃であっても最上部

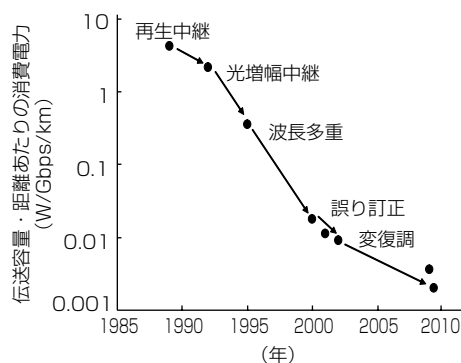


図3. 光海底ケーブルの消費電力低減

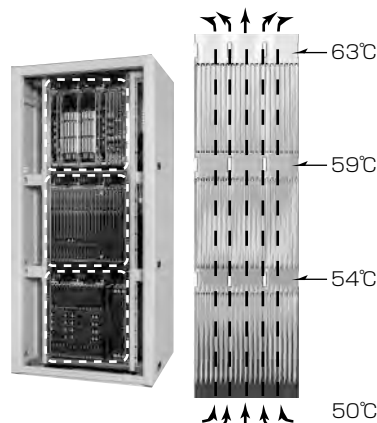


図4. 波長多重伝送装置と熱分布

の温度は63℃までしか上昇しない。主な発熱体である高速光デバイスの低消費電力化と、システム機能の大部分の大規模LSIへの高集積化によって、これを実現した<sup>(1)</sup>。

#### 4. PONシステム

PONシステムは、光スプリッタを用いてOLTのインタフェースに複数のONUが収容されるため、経済的なシステム構築が可能であり、FTTHの普及を牽引してきた。すでに、IEEE802.3やITU-T(International Telecommunication Union Telecommunication standardization sector)において1GbpsクラスのPONの標準化が完了し、大量導入されている。今後のアプリケーションの高度化や、多分岐による低コスト化実現に向けて10Gbpsクラスの伝送容量を持ったPONシステム(次世代PON)が期待されており、FSAN(Full Service Access Networks)／ITU-Tでは、標準化が進められている。特に、IEEEでは、2006年9月に発足した802.3avで、10G-EPONの物理レイヤに焦点を当てた標準化活動が進められてきたが、2009年9月に最終ドラフトの標準化が承認され、規格化が完了した。また、この物理レイヤ仕様では、光関連の主要規格である波長及びロスバジェットでITU-TとIEEEとの共通化が図られた。

次世代PONのアーキテクチャとしては、既設PONシステムのインフラと共用しながら徐々に次世代PONシステムに移行することが望ましく、1G ONUと10G ONUの混在収容がITU-TとIEEEの双方で要求条件として規定されている。例えば、IEEEの10G-EPONでは、下り方向は別波長を割り当て、上り方向では異なる伝送レートでの時分割多重を採用した。すでにこれらの規格に準拠した1G／10G混在に対応した試作レベルの実機動作が報告されている<sup>(2)</sup>。

一方、低消費電力の観点では、先に述べたようにPONシステムでは、OLTのインタフェースあたり多数(最大32又は64程度)のONUが接続されるために、システム全体の消費電力の90%がONUであるという試算もある。したがって、ONUの低消費電力化が急務と言える。図5に、ONU低消費電力化の変遷を示す。ASICプロセスの最適化、集積化による部品点数の削減、低消費電力部品の適用、電源変換効率の改善などによって、第一世代から第4世代ま

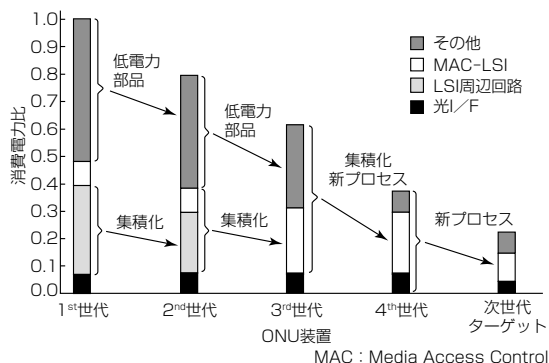


図5. ONUの低消費電力化の推移

でにONU装置レベルで50%以上の低消費電力化を達成した<sup>(3)</sup>。

#### 5. 宅内通信機器

PONシステムによって局舎から宅内までの高速通信が実現できた。次の課題としてユーザーに対しての高度なサービス提供がある。具体的には、①高度な映像配信サービス、②安心・安全を提供するライフコミュニティサービス、③携帯電話との連携を含めたクワッドプレイサービスの提供がある。このための通信機器として、それぞれ、IP-STB、ホームゲートウェイ(HGW)、フェムトセル基地局がある。ここでは、これらの宅内通信機器への取組みについて低消費電力化を中心に述べる。

##### 5.1 IP-STB

IPTV(Internet Protocol TeleVision)の普及によってIP-STBの普及の加速が予想される。低消費電力化は普及の鍵(かぎ)を握る大きな課題と言える。IP-STBでは休止状態とするスタンバイモードを設け、その間の消費電力低減とスタンバイモードからの高速起動が鍵となる。当社では、機能統合した高集積SoC(System on Chip)を用いることによってスタンバイモード時に92%の消費電力削減を達成した。また、5秒以内の高速起動を可能とした高速起動スタンバイモード(20%の消費電力削減)を規定し、ユーザーの利用シーンに合わせて選択する。

##### 5.2 ホームゲートウェイ

ホームゲートウェイは今後宅内サービスの基点として、その重要性がますます高まると考えられる。図6にホームゲートウェイの開発ロードマップを示す。ブロードバンドルータ(STEP1)が起源であるが、NGN(Next Generation Network)の導入によって通信事業者が運用主体となり機能・信頼性を強化(STEP2)した。また、OSGi(Open Service Gateway initiative)フレームワークを導入しユーザーの要求に応じた様々なサービスを提供するホームICT(Information and Communication Technology)への対応(STEP3)と進化した。今後は、フェムトセル基地局、センサネットワークと連携し更に高度化することが考えられ

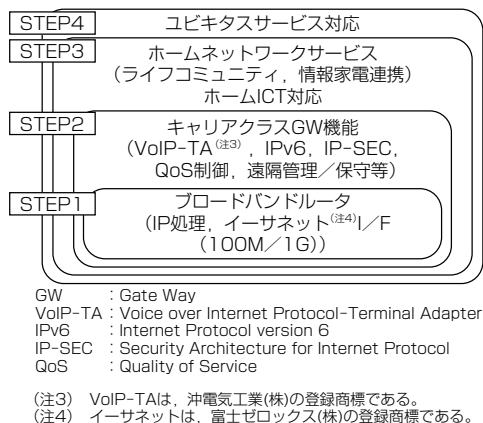


図6. ホームゲートウェイ開発ロードマップ

る。ホームゲートウェイはONUと同様に常時通電機器であり低消費電力化への対応は不可欠と考えられる。そのための施策として次の3つが考えられる。

- (1) EEE(Energy Efficient Ethernet)の対応
- (2) リーク電流軽減のためマルチコアCPUの適用
- (3) 負荷状態に応じた動作クロックレートの最適化

なお、ホームゲートウェイでは、HEMS(Home Energy Management System)、宅内消費エネルギーの可視化、環境情報収集・転送、テレワーク・遠隔監視サービスへの対応等Green by ICTでの貢献も期待できる。

### 5.3 フェムトセル基地局

FTTHを利用したサービスとして今後携帯電話との連携が考えられる。そのために、家庭用フェムトセル基地局が必要となる。フェムトセル基地局は、従来は電波環境の悪い屋内向けの適用(不感地対策)であったが、宅内での携帯電話による高精細な映像視聴の要求や料金施策への期待が高まり今後FTTHと密に連携したサービスの高度化・高性能化・経済化が実現する可能性が高い。当社では、2007年度に開発したフェムトセル無線基地局装置をベースにした高性能フェムトセル無線基地局装置を(株)NTTドコモと共同開発した。この装置では、HPSA(High Speed Packet Access)による下り14Mbps、上り5.7Mbpsの処理を実現するLSIを開発したほか、CPU及び周辺回路の最適化を行い低消費電力化に取り組んだ。

## 6. 衛星移動通信装置

電話・インターネットサービスの接続性を向上させるために衛星移動通信システムがある。当社では、(株)NTTドコモが2010年4月にサービスを開始した衛星電話サービス“ワイドスターⅡ<sup>(注5)</sup>(4)”のシステムを構成する、衛星移動局装置、衛星基地局装置を開発した。これらの装置は次の特長を持つ。

- (1) 伝送速度の向上

伝送速度を低C/N下で高速の伝送路変動に追従可能で良好な受信特性を持つPSP-AVDD(PerSurvivor Processing-Adaptive Viterbi Decoding and Demodulation)方式、SSP-MOLFE(Scattered Successive Pilot-Multiple Open-Loop Frequency Estimation)を適用することによって4.8kbps→144kbps(上り)、64kbps→384kbps(下り)と大幅に向上させた。

- (2) IMS基盤への接続時間短縮

All IPを目指したIMS(IP Multimedia Subsystem)基盤に接続する商用衛星無線システム向けプロトコルを開発し、SIP(Session Initiation Protocol)を用いた呼接続を実現した。

- (3) 衛星移動局装置・衛星基地局装置の小型化

衛星基地局装置は、デジタル・マルチレートフィルタの

(注5) 「WideStar\ワイドスター」は、(株)NTTドコモの登録商標である。

採用によって、高密度1架構成で実現した。また、衛星移動局装置は、送信系スライディングIF(Intermediate Frequency)方式、受信系低IF方式を採用し、高密度LSI化によって可搬端末はハンドキャリアを容易にするため小型、軽量化を徹底した。

- (4) 衛星移動局装置(可搬端末)の低消費電力化

小型リチウムイオン電池、高効率ヘテロ接合GaAs FET(H-FET)を実装したドハティ増幅器方式送信機の採用によって連続待ち受け時間を約1.3倍(26時間)に向上した。特にドハティ2段アンプで高効率化(44%)を実現した。

## 7. 車上WiMAX装置

生活様式の変化によってネットワークを介した情報配信が一般的になっている。特に、移動中の車内での情報配信サービスは利用価値が高いと考えられている。このような背景の下、鉄道車両用のWiMAX装置を開発した。この装置は、IEEE802.16eに準拠し、走行速度120km/時までの通信を実現した。また、鉄道車両への搭載を配慮した耐環境仕様とし、振動、ノイズ、温度に対して仕様強化した。この装置を介して広告コンテンツ、ニュース、到着地情報などの様々な情報配信サービスを一括した提供を可能とした。実際の鉄道車両での検証など詳細はこの特集号の個別論文で述べるが、今後、海外を含めた鉄道車両内の情報配信サービスは大きな市場を形成する可能性があり、そのための通信インフラ機器の充実化が急がれる。

## 8. む す び

当社の通信機器開発への取り組みについて述べた。その中で、装置の差別化につながる低消費電力化に対する取り組みに焦点をあてた。今後、ICTが生活基盤に浸透するにつれて通信機器の重要性が増すが、その際に機能、性能、コスト、信頼性に加えた5番目の柱として環境負荷軽減が問われる。当社は、今後も、環境に配慮した製品の研究・開発・製造を行う所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 本島邦明：高信頼なGreen ICTを支える通信技術，ITUジャーナル，**40**，No.4，9～11 (2010)
- (2) Hotta, Y., et al. : The demonstration of symmetric 10G-EPON system for coexistence with 1G-EPON, OFC2009 No.OWH4 (2009)
- (3) 中川潤一，ほか：GE-PON低消費電力化技術，OPTRONICS，**29**，No.337，154～158 (2010)
- (4) 山本貝市，ほか：ワイドスターⅡ衛星移動通信システム・サービスの概要，NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル，**18**，No.2，37～42 (2010)

# 長距離大容量光伝送システム

杉原浩平\* 近森 峻†  
澤田和重\*\* 井上隼平†  
島倉泰久\*\*\*

Long-haul and Large Capacity Optical Transmission Systems

Kohei Sugihara, Kazushige Sawada, Yasuhisa Shimakura, Shun Chikamori, Junpei Inoue

## 要 旨

海底ケーブルシステムは国際通信を支える主要な通信ネットワークであり、近年のIP(Internet Protocol)通信のブロードバンド化に伴い、通信需要が急伸している。現在の海底ケーブルシステムでは、1990年代後半に実用化された波長多重伝送方式(Wavelength Division Multiplexing: WDM)が広く用いられてきたが、急速な通信需要の増加に対応するために、波長間隔を高密度化し多重度を高めて通信容量を増加させる新規技術の導入が求められている。

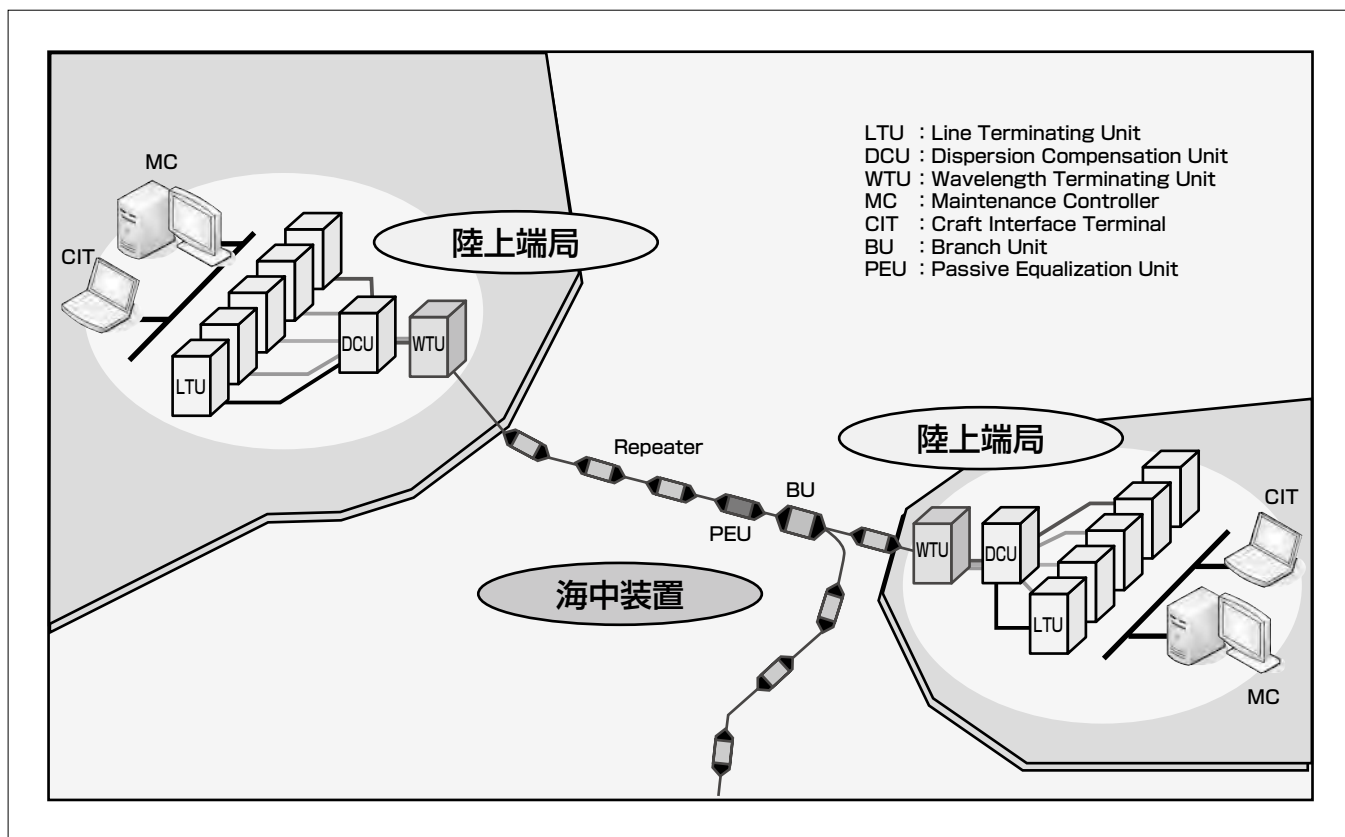
本稿では、三菱電機が海底ケーブルシステム向けに開発した長距離大容量光伝送システムの概要と、新たに導入した3つの主要技術の特長を述べる。

(1) 差動位相変調(Differential Phase Shift Keying:

DPSK) トランスポンダの導入によって、3,000km超の長距離システムで、良好な伝送品質を維持したまま、波長多重度を最大132波長まで増加可能

(2) インタリーバの導入によって、波長間隔を従来の37.5GHzから25GHzまで狭める高密度化を実現。また、モニタ機能の充実した光アンプ、偏波スクランブラ、合分波ブロックなど、各種機能カードをそろえることによって、合分波構成を柔軟に変更でき、ネットワークに最適なレベルダイア設計と分散マネジメントが可能

(3) 操作性を向上させた統合監視システムの導入によって、大容量化のため大規模化し、複雑化した光伝送システムの容易かつ効率良い統合監視が可能



## 大陸間を結ぶ長距離大容量光伝送システム

1本の光ファイバに複数の異なる波長の光信号を多重して伝送する方式で、1本のファイバを複数の波長で分割して利用するため、大容量通信を低コストで実現することができる。また、通信需要に応じて波長数を増減することもできる。



# 1. ま え が き

近年のアクセス系通信ネットワークのブロードバンド化に伴い、国際通信を担う基幹ネットワークである海底ケーブルシステムでも、通信容量の急速かつ大幅な増加が要求されている。波長多重伝送方式を採用している既存システムを低コストで大容量化するためには、波長間隔の高密度化による最大波長多重数の増加が最も有効な手段である。

本稿では、当社が開発した海底ケーブルシステム向け陸上端局装置と、新たに導入した主要技術であるDPSKトランスポンダ、合分波方式、統合監視システムについて、それぞれの概要と特長について述べる。

# 2. 海底ケーブルシステム向け陸上端局装置

海底ケーブルシステムでは波長多重伝送方式を採用した陸上端局装置が導入されている。当社は1990年代中盤から海底ケーブルシステム向けに、振幅変調方式による2.5Gbpsの波長多重伝送システムを製品化し、市場に供給してきた。1990年代後半からは10Gbpsのシステムが主流となり、その後は、高密度実装による省スペース化、低消費電力化、FEC (Forward Error Correction) 能力の向上による高性能化や、パソコンベースの制御端末による性能パラメータのモニタに代表される高機能化を進めてきた。近年の更なる大容量化、高機能化の要求を受け、当社は、陸上端局装置“MF-1320GWS”を開発した。MF-1320GWSは、最大132波を波長多重し、3,000km以上の伝送を実現する長距離大容量光伝送システムであり、運用システムに適用されている。主要諸元を表1に示す。

表1. MF-1320GWSの主要諸元

項目	諸元
LINE側インタフェース	
最大波長数	132波 (Typ)
波長間隔	25GHz
波長安定度	+/- 3 GHz
波長範囲	1,538~1,567nm (Typ)
伝送速度	11.0Gbps, 11.4Gbps
主信号変調方式	NRZ-OOK / RZ-OOK / DPSK
Client側インタフェース	
対応インタフェース	STM-64 10GbE LAN PHY & WAN PHY STM-16×4Ch OTU2 / OTU2e
その他	
電源電圧	DC - 48V
動作温度範囲	5~40℃
波長収容数	最大18波/架
筐体(きょうたい)サイズ	1,800(h) × 795(w) × 600(d) (mm)

NRZ-OOK : Non-Return-to-Zero-On-Off-Keying  
 RZ-OOK : Return-to-Zero-OOK  
 STM : Synchronous Transport Module  
 GbE : Gigabit Ethernet<sup>(注1)</sup>  
 PHY : PHYSical layer  
 (注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

高密度実装によって1架あたり18波長を収容可能であり、陸揚げ局の省スペース化に貢献できる。クライアントインタフェースは、STM-64に限らず、10GbE LAN PHY / WAN PHYやSTM-16×4ch多重、OTU2 / OTU2eと様々なインタフェース種別に対応しており、多様な市場ニーズへの適用が可能である。

MF-1320GWSの構成と、LTU、DCUとWTUの装置外観をそれぞれ図1と図2に示す。LTUは各種トランスポンダカードを収容し、クライアント信号を波長多重伝送できる光信号に変換する。LTUが送受信する各波長の光信

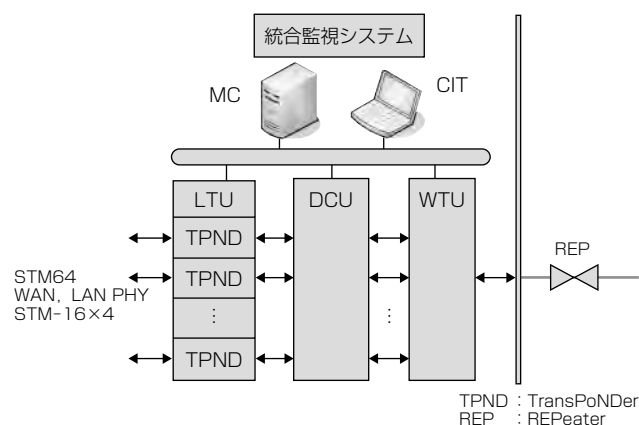


図1. MF-1320GWSの構成

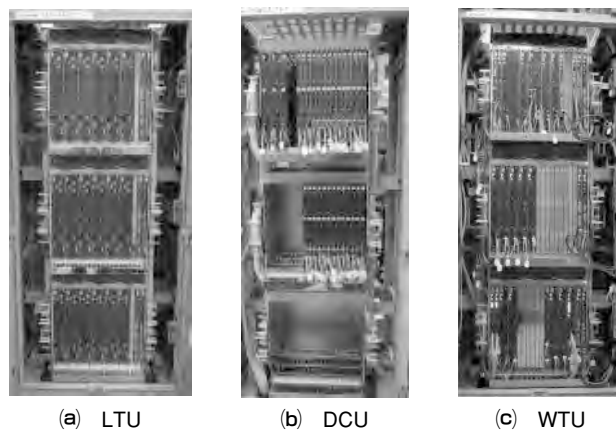


図2. LTU, DCU, WTUの装置外観



図3. 統合監視システム

号は、分散補償ファイバを収容するDCUを経て、WTUで合分波され、海底ケーブルで伝送される。各装置はシェルフ単位の増減設が可能であるため、必要な通信容量に合わせて、柔軟に装置構成を変更できる。統合監視システムの外観を図3に示す。統合監視システムは、LTUやWTUの性能情報や警報を統合的に監視するものである。

### 3. 主要技術

#### 3.1 DPSKトランスポンダ

波長多重数を増加させるためには、各波長の光信号強度を低減する必要があるため、光雑音耐力の確保が重要な課題となる。波長多重数を増加させつつ良好な伝送品質を確保するために、当社は、光雑音耐力が従来の振幅変調方式に比べ、約3dB高い利点を持つ10G DPSK変調方式を採用し、10G DPSKトランスポンダを開発した。図4に外観を示す。

DPSKトランスポンダは、次の特長を持つ。

- (1) 送信部は、Cバンドの全波長領域に対応した波長可変レーザを用いており、ITU(International Telecommunications Union)-TG.691勧告に準拠して25GHzの間隔で送信波長を選択可能である。これによって、トランスポンダの保守運用コストを低減することができる。
- (2) 受信部では、DPSK信号を振幅変調光に復調する1ビット干渉計の波長特性を常に最適条件に自動制御するアルゴリズムを開発し、良好な伝送品質を実現した。
- (3) クライアント側は、ユーザーの多種多様なニーズに対応するため、STM-64、10GbE LAN PHY/WAN PHY、STM-16×4chやOTU2/OTU2eのインタフェースが収容可能なマルチレート対応とし、クライアントインタフェースに応じて、11.0Gbpsと11.4Gbpsの2種類の速度でDPSK信号を送受信できる。
- (4) 誤り訂正能力の高いFEC方式を採用することによって、伝送距離を延伸化している。

#### 3.2 合分波方式

光海底ケーブルシステムを大容量化するには、波長間隔の高密度化によって、最大波長多重数を増加させることが有効である。従来、当社では、37.5GHzの波長間隔までを製品化していたが、今回、更なる大容量化に対応するために、25GHz波長間隔での超高密度波長多重を実現し、3,000kmを超える長距離伝送で最大132波長の大容量化を実現した。132波長多重の光スペクトルを図5に示す。

25GHz間隔で波長多重された全波長で良好な伝送品質を

実現するために、伝送路特性及び伝送距離に応じて合分波構成を最適化しており、WTUは以下の特長を持つ。

- (1) 海底区間からの受信レベルが変動した場合でも、各トランスポンダの受信レベルを一定に制御することによって、伝送品質の変動を抑圧できる。
- (2) DCUを通過した光信号の損失を補填(ほてん)する光増幅器で、レーザを冗長化し、1台のレーザが故障してもシステムとしては正常動作させることによって、高い信頼性を実現した。
- (3) 波長を増減設する際には、既設波長の受信レベルが変動しうるため、光増幅器の利得調整機能を高速化して、影響を抑圧している。
- (4) 光増幅器は全波長範囲をカバーする広帯域設計とし、柔軟に変更可能なシステム構成と、保守用品数の削減を実現している。
- (5) 合分波カップラやレベル調整の各種機能カードを備えることによって、MF-1320GWSが導入されていない海底ケーブルシステムの波長増設でも、既設波長への影響を最小限に抑えている。

#### 3.3 統合監視システム

海底ケーブルシステムの各陸揚げ局に、陸上端局装置を監視するEMS(Equipment Management System)を配備し、WTU、LTUを統合監視している。統合監視システムは、次の特長を持つ。

- (1) 各EMSはDCN(Data Communication Network)を用いて全局と接続されており、NOC(Network Operation Center)による中央集中監視や各局分散型の管理など、柔軟な監視システムを提供する。
- (2) クライアント・サーバ方式のEMSの採用によって、監視システムの負荷を分散している。また、クライアントは直感的な監視・制御が可能なGUI(Graphical User Interface)を提供している(図6)。
- (3) 発生中警報や警報履歴を一覧で表示するとともに、警報重要度による色分け表示、ソート/フィルタ機能を具備し、故障原因の特定・解析を容易にしている。
- (4) 障害の発生箇所とその波及箇所を特定を容易にするため、ITU-TG.709に準拠した障害管理機能を備えている。

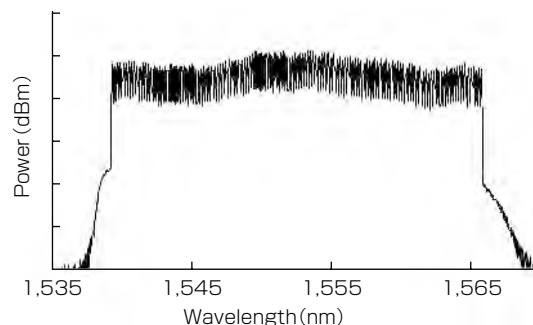


図5. 132波長多重の光スペクトル

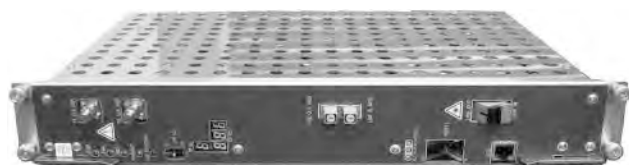


図4. 10G DPSKトランスポンダの外観



図 6. EMSクライアント画面表示例

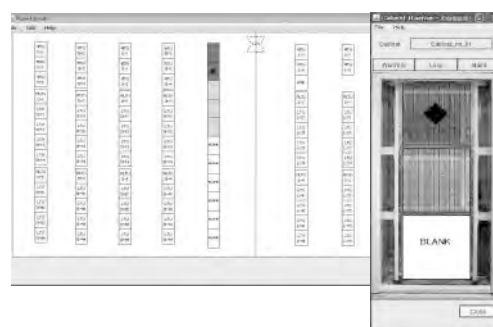


図 8. フロアマップ例



図 7. 性能情報画面表示例

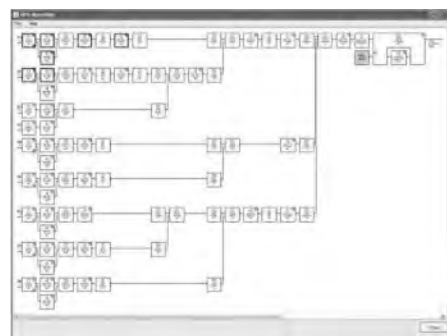


図 9. 機能ブロック図例

- (5) 回線の性能情報を定期収集し、サーバデータベースに蓄積している。クライアントで日、月、年単位での最大、最小、平均、標準偏差の値やグラフ表示が可能であり、運用保守を容易にしている(図 7)。
- (6) 装置を設置したフロアマップから故障箇所を特定できる機能や(図 8)、装置の機能ブロック図から故障箇所を特定できる機能(図 9)を備えており、大容量化のため機器間接続が複雑化した装置のメンテナンスを容易にしている。

#### 4. む す び

海底ケーブルシステムの更なる大容量化の市場要求に対応するために、当社が開発したMF-1320GWSの概要とその主要技術の特長を述べた。このシステムの導入によって、新規の海底ケーブルシステムはもとより、フレキシブルな装置構成によって既存システムへの波長増設も低コストで対応でき、海底ケーブルシステムの大容量化が可能となった。

# GE-PON ONUの低消費電力化

高群智樹\*  
藤枝 亮\*

The Development of Low-power-consumption GE-PON ONU

Tomoki Takamura, Tasuku Fujieda

## 要 旨

光アクセス回線を用いたブロードバンドサービスが着実に普及している。特にGE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)システムによるFTTH(Fiber To The Home)サービスの加入者は急激に増大し、ブロードバンドサービス加入者の過半数を占めるまで拡大した。一方、地球温暖化問題は年々深刻さを増しており、国家レベルでのCO<sub>2</sub>削減の取組みが行われている。通信事業者団体も“ICT(Information and Communication Technology)分野におけるエコロジーガイドライン協議会”を設立し、省エネルギー化が図られた装置などを調達するためのガイドラインを策定している。

三菱電機は、GE-PONシステムにおける宅内装置(Optical Network Unit: ONU)を2004年の通信事業者への納入開始以来、継続的に省エネルギー化に向けた製品の開発を行い、装置の低消費電力化に加えて装置の小型化による輸送時の排出CO<sub>2</sub>削減にも取り組んできたが、今回、更なる低消費電力化、基板小型化を実現する新型装置を製品化した。

## (1) GE-PON ONUの低消費電力化と小型化

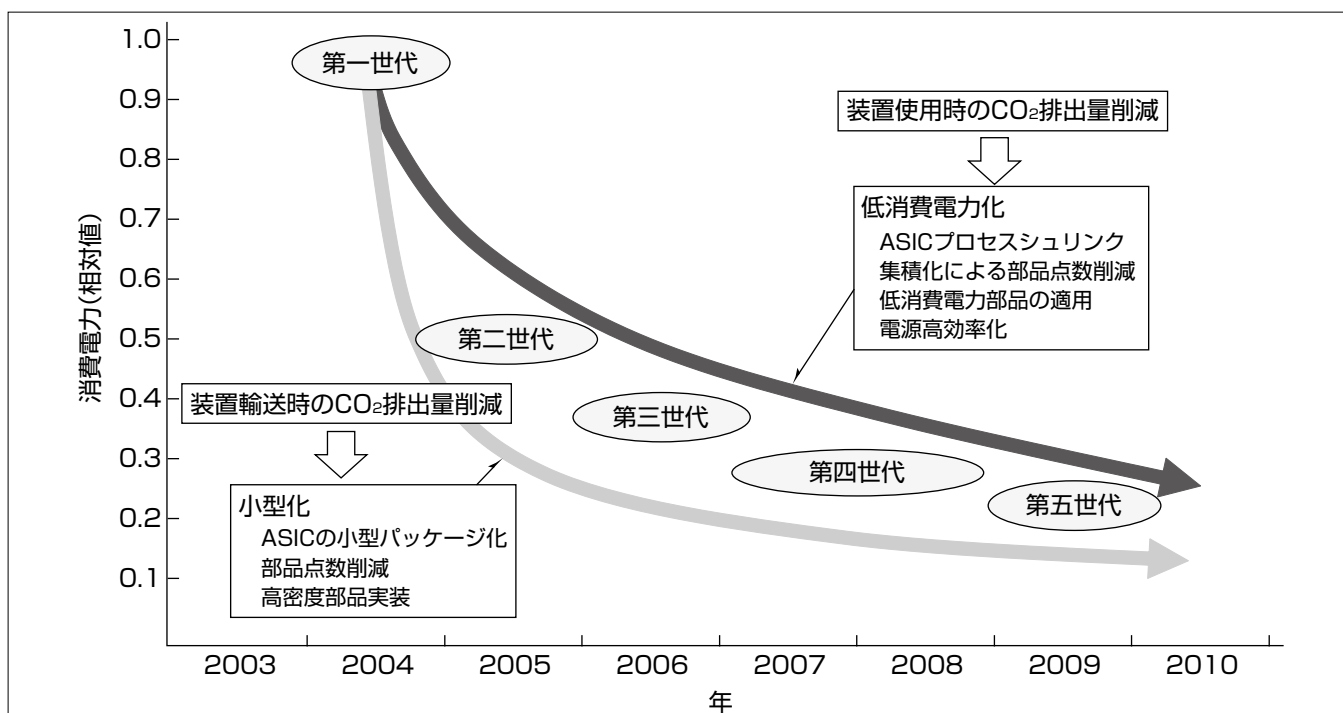
①ASIC(Application Specific Integrated Circuit)プロセスシュリンク、集積化による部品点数削減、低消費電力部品の適用、電源高効率化などによって消費電力を従来比20%(2004年第一世代機比70%)削減した。

②ASICの小型パッケージ化、部品点数削減、高密度部品実装によって、基板面積を従来の44%(2004年第一世代機比35%)に縮小し、基板素材銅箔(はく)の使用量を67%、基板の層間絶縁樹脂量を75%削減した。

## (2) GE-PON映像受信機能一体型ONUの低消費電力化と小型化

①低消費電力部品の適用、電源高効率化、高周波増幅部の低消費電力化によって、消費電力を2008年第一世代機比9%削減した。

②アナログ-デジタル信号間アイソレーションを確保した高密度部品実装方式によって、基板面積を2008年第一世代機比83%に縮小し、基板素材銅箔使用量を15%、基板層間絶縁樹脂量を16%削減した。



## GE-PON ONUの環境性能

当社は第一世代GE-PON ONUを開発以来、継続して環境性能向上を進めてきた。今回開発した第五世代GE-PON ONUは、第一世代機と比較して、消費電力で約70%の削減を達成した。また、低消費電力化のみならず、ASICの小型パッケージ化、搭載部品点数の削減、高密度部品実装によって、製品の小型化による環境性能向上を図っている。

## 1. ま え が き

国内でのブロードバンドサービスの契約数は順調な伸びを見せており、2009年9月末時点で3.132万契約を超えている<sup>(1)</sup>。なかでも、GE-PONシステムを用いたFTTH (Fiber To The Home) サービスが、ブロードバンドサービスの普及を支えている。ブロードバンドサービスの普及による人・物の移動の削減などによって高いCO<sub>2</sub>排出削減効果を生み出すと期待されている半面、サービスの普及とともに通信に使用される装置数が増加し、それらの消費電力は増加の一途をたどっている。

本稿では、現在広く導入が進められているGE-PONシステムにおける宅内装置であるONUの低消費電力化と小型化への取組みについて述べる。

## 2. GE-PONシステムでの低消費電力化

### 2.1 通信機器の省エネルギー化ガイドライン

地球温暖化問題は年々深刻さを増しており、CO<sub>2</sub>排出削減への取組みが全世界で盛んに議論されている。我が国でも、2009年秋に首相が国連で宣言した“CO<sub>2</sub>レベルの1990年比25%削減”という温暖化対策を実現するため様々な対策を検討している。総務省が2009年6月にまとめた“情報通信分野におけるエコロジー対応に関する研究会”報告書では、通信事業者が省電力化を図った機器などを調達すること、CO<sub>2</sub>排出削減の取組みの可視化などがCO<sub>2</sub>排出量の削減に有効であることが示された。これを受け、総務省をオブザーバーとして、電気通信事業者協会を中心に“ICT分野におけるエコロジーガイドライン協議会”が2009年に秋に設立され、電気通信分野における装置やサービスの調達に際しても、省エネルギー化が図られたものを調達する旨の“調達基準”を策定して取り組むことを決定するなど、装置の省エネルギー化は、これまで以上に製品価値の重要な部分を占めるようになってきている。

### 2.2 GE-PONシステム

国内におけるブロードバンドサービスの過半数を占めるFTTHサービスには、電話局から加入者宅までの光ファイバを有効活用でき、電話局内の装置1台あたりの加入者数を増やすことによって設備の有効活用を図ることができるPONの技術を用いたネットワークが適用されている。PONの中でも、2004年以降はPON区間の上り下りの伝送速度を1Gbpsとすることによって、PONの構成上の特徴である32ユーザーでの帯域分割後にも、ユーザーあたりの帯域が確保しやすいGE-PONシステムが使用されてきた。図1にGE-PONシステムのネットワーク構成例を示す。電話局内装置(OLT)の1枚の加入者収容基板あたり、宅内装置(ONU)32台が接続される構成では、OLTに対してONUの消費電力はおよそ8～9倍となり、システムトー

タルの消費電力を削減するためには、ONUの低消費電力化が重要となる。

当社は、2004年のGE-PONサービス開始当初から、ONUを提供しており、継続的に低消費電力化技術を適用した装置を開発・製品化してきたが、先に述べたエコロジーガイドラインの策定に伴い、これまで実施してきた低消費電力化への取組みを更に強化していく必要がある。エコロジーガイドラインでは、GE-PON ONUについて“2012年末の平均消費電力基準値を4.45W(UNI(User Network Interface)=1 Gbps時)及び3.68W(UNI=100Mbps時)”と定めている。

## 3. GE-PON ONUの低消費電力化

### 3.1 ONUの低消費電力化状況

2004年のGE-PONシステムのサービス開始時点におけるONUの部品点数、消費電力に対し、ASICプロセスシュリンク、集積化による部品点数削減、低消費電力部品の適用、電源高効率化によって、第四世代までに消費電力、部品点数ともに50%以上の削減を達成してきた。消費電力の推移を図2に示す。

### 3.2 低消費電力化・小型化ONUの実現

今回、消費電力化開発を行った第五世代ONUの消費電力は、エコロジーガイドライン指標より、第四世代に対して6%以上の消費電力削減が必要条件となる。低消費電力

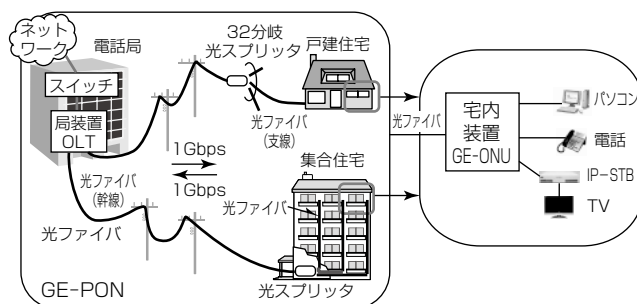


図1. GE-PONシステムのネットワーク構成例

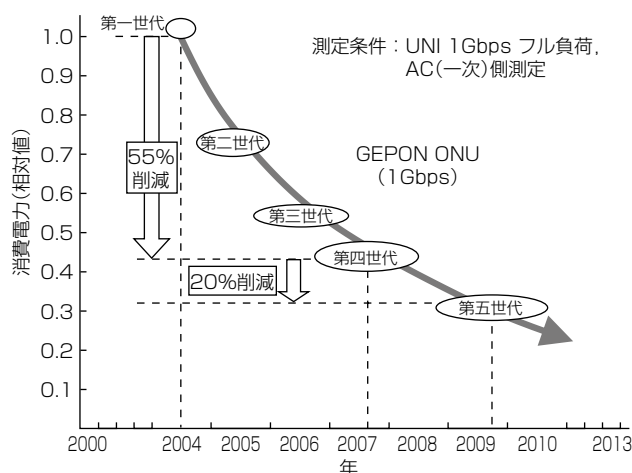


図2. GE-PON ONU消費電力推移



化については、低消費電力素子への置き換えとともに、基板上に搭載する各部品に必要な電力を供給する電源部及びAC(Alternating Current)アダプタの効率改善を実施した。電源部で使用する電圧変換ICをより高効率な同期整流タイプコンバータへ変更するとともに、最適な基板パターン、電圧変換周辺素子の配置を実施し、効率及び電源出力の安定性を最大限まで高めることで、第四世代ONUに比べ約6%の消費電力削減を実現した。また、ACアダプタについても内部回路をこれまで採用していた自励型フライバック方式(Ringing Choke Converter方式)から、他励方式(Pulse Width Modulation方式)に変更することによって、約7%の効率改善による消費電力削減を達成し、第四世代ONU比20%削減を達成した。

基板小型化に関しては、ASICの小型パッケージ化、部品点数削減、高密度部品実装によって対第四世代面積比44%に縮小を実現した。これによって、素材銅箔の使用量を67%、基板の層間絶縁樹脂量を75%削減した。これらによって資源の節約のみでなく、基板の梱包(こんぼう)材、輸送時のCO<sub>2</sub>削減も達成した。

### 3.3 映像受信機能一体型ONUの低消費電力化

GE-PON技術を用いたFTTHサービスは、高速インターネット接続に加え、基本料金及び従量制料金が安価なIP(Internet Protocol)電話によって急速に拡大してきた。今後一層の発展の鍵(かぎ)を握るのが、映像配信を含めたトリプルプレーサービスの普及である。FTTH上で映像配信サービスを提供する技術には、デジタル化した映像をIPパッケージ化して伝送するIP方式と、映像をRF(Radio Frequency)信号のままインターネットや音声のデータとは別波長で配信するRF方式がある。当社ではRF方式のうちFM(Frequency Modulation)一括変換方式に対応したGE-PON映像受信機能一体型ONU(以下“GV-ONU”という。)を開発し、2008年から提供している<sup>(2)</sup>。

GV-ONUとしては今回省電力化開発を行った機種で第二世代となる。第二世代GV-ONUでは、先に述べた第五世代ONUの省電力化技術を適用するとともに、映像信号受信機能部の省電力化開発を行った。映像信号受信機能部では、高周波増幅部が消費電力の大半を占めており、高周波増幅部の低消費電力化が不可欠である。高周波増幅部には、映像信号品質を確保するため常時一定のバイアス電流を流すA級増幅回路を適用している。第二世代GV-ONUでは新たにバイアス電流調整回路を実装することによって、映像信号品質を維持したまま、映像信号受信機能部の消費

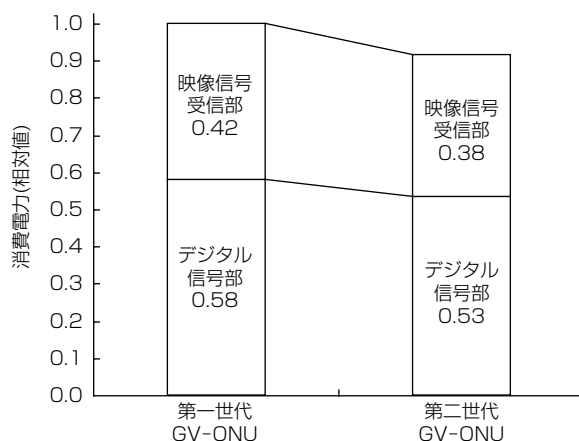


図3. GV-ONUの消費電力推移

電力の9%削減を達成した。第一世代GV-ONUと第二世代GV-ONUの消費電力比較を図3に示す。

また、第二世代GV-ONUでは低消費電力化とともに基板小型化を図った。GE-PON ONUでの小型化技術に加え、GV-ONUでは、メモリ等のデジタル信号部品のASICへの集約を進め、デジタル信号とアナログ信号間のアイソレーションを確保したまま高密度実装を実現し、基板面積を83%に縮小した。これによって、1台あたりの基板素材銅箔量を15%、基板層間絶縁樹脂量を16%削減した。

## 4. む す び

GE-PONシステムのONUにおける低消費電力化に焦点をあて、これまでの低消費電力化への取り組み、及び新規開発を行った第五世代ONU、第二世代映像受信機能一体型ONUについて述べた。

今後はデバイスレベルの低消費電力化に加え、国際標準化が進められているプロトコルによるスリープ制御等も適用することによって、更なる低消費電力化を進める。

この装置の開発及び本稿執筆にあたりご指導いただいた、日本電信電話株式会社アクセスサービスシステム研究所、東日本電信電話株式会社、西日本電信電話株式会社の皆様に深く御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) 総務省：情報通信統計データベース，ブロードバンドサービス等契約者の推移（2009-9）
- (2) 木田等理，ほか：広帯域映像サービスを提供するGE-PON映像受信機能一体型ONU(GV-ONU)，三菱電機技報，83，No.6，362～366（2009）

# 成田エクスプレスE259系 トレインビジョン用WiMAX車上装置

河岸平士郎\*  
松原茂正\*  
新谷嘉浩\*

WiMAX Mobile Station for N'EX(E259) Visual Information Systems

Heishiro Kawagishi, Shigemasa Matsubara, Yoshihiro Shintani

## 要 旨

三菱電機はこれまで列車向けのトレインビジョンを提供しており、無線LAN(Local Area Network)やミリ波を用いて、停車中のスポット通信によって、これらのコンテンツ転送を行っていた。しかし、停車中のスポット通信では、リアルタイムなコンテンツ提供が困難という課題があった。

2009年7月から、UQコミュニケーションズ(株)によって、課題であったリアルタイムなコンテンツ提供が可能な高速移動体ブロードバンド通信を提供する、モバイルWiMAX<sup>(注1)</sup>(Worldwide Interoperability for Microwave Access)によるサービスが開始された。東日本旅客鉄道(株)はMVNO(Mobile Virtual Network Operator: 仮想移動体サービス事業者)としてこのサービスを展開している。

モバイルWiMAXによる通信サービスを利用することによって、2010年3月より、E259系新型成田エクスプレスで、リアルタイムなコンテンツ提供を用いたトレインビジョンサービスが開始された。

このサービス提供にあたり、当社は、地上-車上システム間通信を行う列車向けのWiMAX端末(以下“WiMAX車

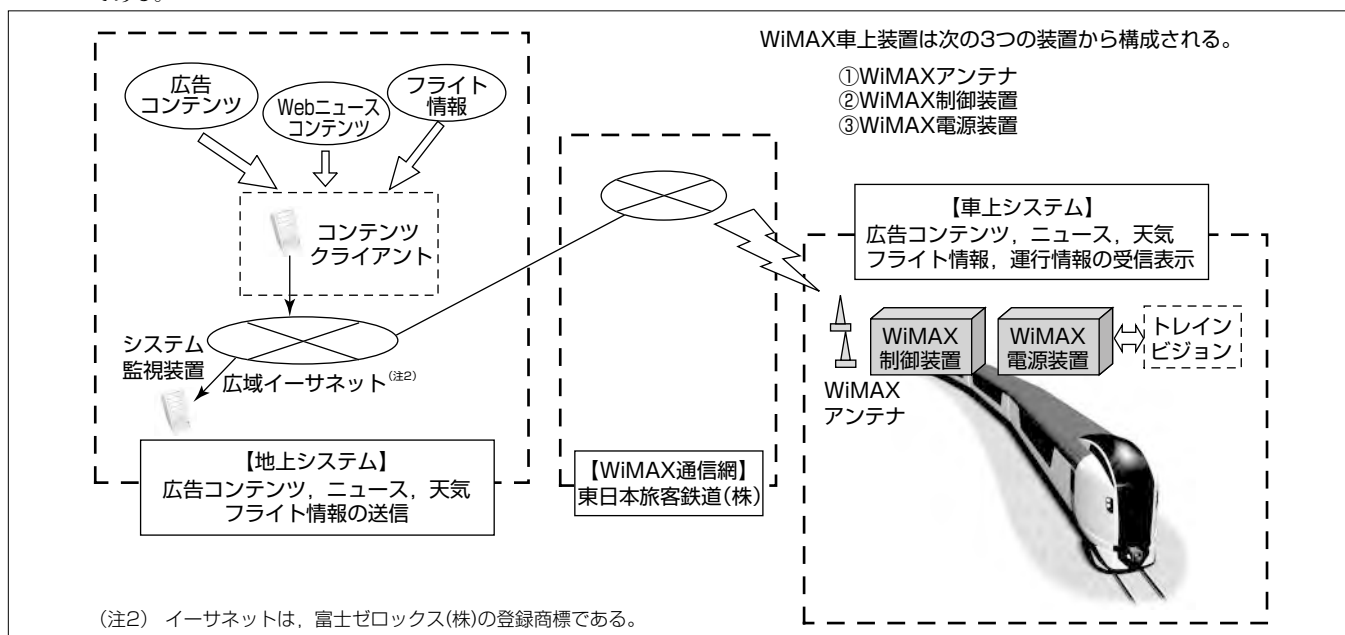
(注1) WiMAX, WiMAX Forumは、WiMAX Forumの登録商標である。

上装置”という。)を開発し、サービス提供に貢献している。

この装置の主な仕様と特長は次のとおりである。

- (1) IEEE802.16eに準拠した無線方式でUQコミュニケーションズ(株)のインフラ設備を使い、MVNOとして東日本旅客鉄道(株)が提供するモバイルWiMAXによる通信サービスを利用
- (2) 列車搭載に配慮した耐環境設計によって、安定したWiMAX接続環境を提供
- (3) トレインビジョンとのインタフェース親和性を考慮し、初期設定の簡素化を実現
- (4) 列車から走行情報を取得し、装置異常時に場所の特定を可能とし、ログ機能の強化を実現
- (5) アンテナは従来の列車無線の技術を用い、信頼性、列車取付け性を考慮した設計を実現

鉄道事業者にとっては、MVNOとしてUQコミュニケーションズ(株)が提供するインフラ設備の利用によって、地上側の無線基地局などの構築整備が不要であり、導入コストを抑制できる。さらに、定額サービスの利用によって、通信コストが低減できるメリットがある。



## E259系新型成田エクスプレスのトレインビジョン用WiMAX車上装置

今回開発したWiMAX車上装置を使用したトレインビジョンシステム(液晶ディスプレイによる情報表示システム)の構成を示す。WiMAX車上装置は運転室内に設置され、WiMAX通信によって地上システムから、ニュース、天気、フライト情報、広告コンテンツを転送し、列車内に設置されたトレインビジョンに情報を伝達する通信ユニットである。

## 1. ま え が き

2009年7月より、UQコミュニケーションズ(株)でモバイルWiMAXによる通信サービスが開始された。東日本旅客鉄道(株)はMVNOとしてこのサービスを展開している。このサービスによって、在来線特急列車の高速移動環境でも、安定したブロードバンド通信が可能となり、これまで当社が提供している列車向けトレインビジョンのコンテンツデータを、よりリアルタイムに転送することを目的として、E259系新型成田エクスプレス向けにWiMAX車上装置を開発した。

WiMAX車上装置は、モバイルWiMAXによる通信サービスを用いて、地上システムと車上システムを接続する装置であり、WiMAXアンテナ、WiMAX制御装置、WiMAX電源装置から構成される。鉄道向けにはハードウェアの高信頼性、安定した通信を実現するための、信頼性の高いハンドオーバー技術などが求められる。

本稿では、この装置について述べる。

## 2. システム概要

### 2.1 システム構成

このWiMAX車上装置を使用したトレインビジョンシステムの構成を図1に示し、概要を次に述べる。

- (1) WiMAX車上装置は、屋根上に設置されるWiMAXアンテナ、運転席内に設置されるWiMAX制御装置、WiMAX電源装置の3つの装置から構成される。
- (2) WiMAX車上装置は東日本旅客鉄道(株)が提供するモバイルWiMAXによる通信サービスで車上システムと地上システム間を接続する。
- (3) 地上システムにはコンテンツ(ニュース、天気予報、広告コンテンツ、フライト情報)が蓄積されており、列

車上のトレインビジョンと通信し、コンテンツを受信し、客室内に設置された液晶ディスプレイ表示装置(図2)に表示する。

### 2.2 システムの特徴

モバイルWiMAXは、無線LANの高速大容量通信技術と携帯電話のモビリティ技術を組み合わせたものであり、無線伝送方式として、OFDMA(Orthogonal Frequency-Division Multiple Access)方式を用いている。他通信システムとの関係を図3に示す。

当社はこれまで列車向けトレインビジョンのコンテンツ転送手段として、無線LANやミリ波を用いた駅でのスポット通信を行っていた。

モバイルWiMAXによる通信を利用することによって、



図2. トレインビジョン

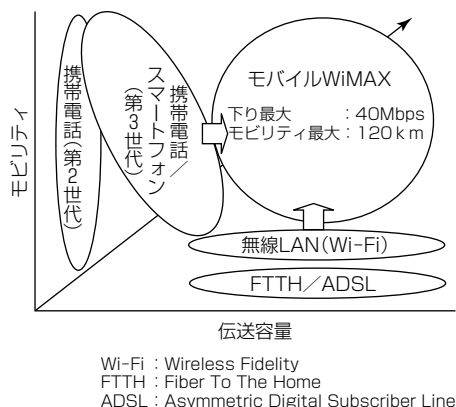


図3. モバイルWiMAXと他システムとの関係

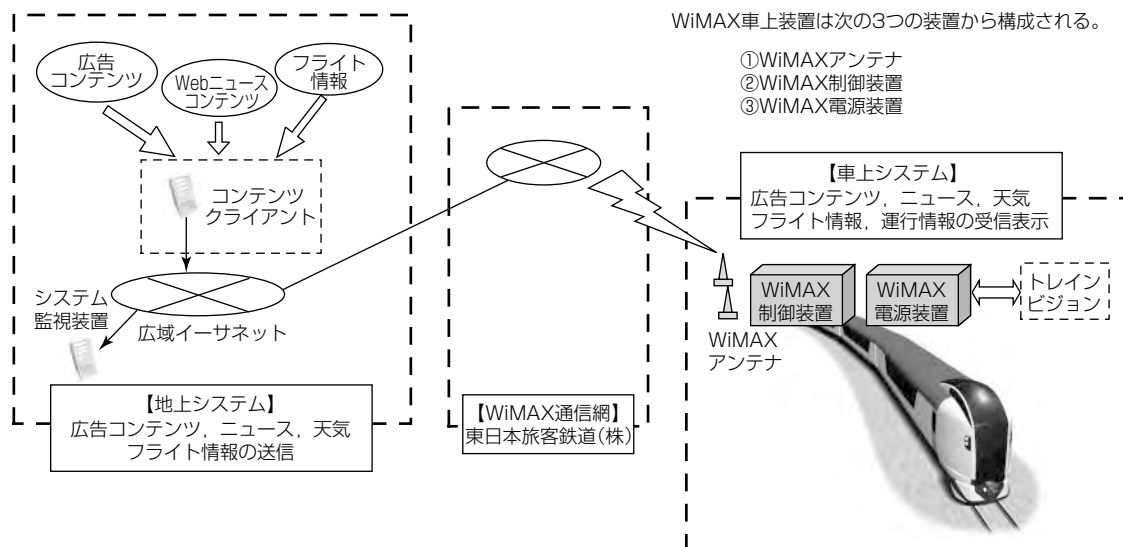


図1. システム構成

ブロードバンド通信を維持した上でモビリティが高まり、走行中のコンテンツ転送など、リアルタイムな情報提供が可能となる。また、公共インフラを利用することから、地上側基地局設備を鉄道事業者が自前で準備する必要がなく、低コストで導入が可能であり、定額料金契約を利用することで、通信コストも低減できるメリットがある。

### 3. WiMAX車上装置

#### 3.1 装置の構成

WiMAX車上装置のブロック図を図4に示す。

##### 3.1.1 WiMAXアンテナ

列車の屋根上に設置される無指向性アンテナであり、2本のアンテナでMIMO (Multiple Input Multiple Output) 通信に対応する。外観を図5に示す。

##### 3.1.2 WiMAX制御装置

装置の外観を図6に示す。

##### (1) WiMAX無線処理部

ベースバンドIC、無線ICなどをモジュール化し、WiMAX無線送受信端末として構成され、基地局と通信を行う。

##### (2) 制御部

CPU (Central Processing Unit) やメモリ等で構成され、有線-無線をルーティングするための主信号制御や監視制御機能を提供する。

##### (3) 有線処理部

トレインビジョンとのインタフェース機能として、IEEE802.3uに準拠した100BASE-TXでデータ送受信を行う。

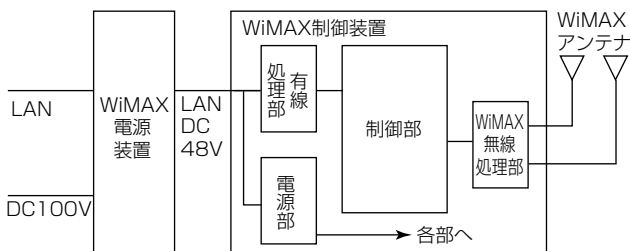


図4. WiMAX車上装置のブロック図



図5. WiMAXアンテナの外観

#### (4) 電源部

PoE (Power over Ethernet) 給電によるDC48Vを、装置内の各部に必要な電源電圧に変換し、電源を供給する。

##### 3.1.3 WiMAX電源装置

車両から供給されるDC100VをDC48Vに変換し、PoE給電でLANケーブルでWiMAX制御装置に電源を供給する。外観を図7に示す。

#### 3.2 装置の主要諸元

装置の主要諸元を表1に示す。

#### 3.3 装置の特徴

##### (1) 耐環境設計

列車搭載に配慮した耐環境設計(温度、振動など)を実施した。

- ①筐体(きょうたい)内機構構造を工夫し、放熱性の向上を図った。特にWiMAX通信モジュールについては、列車環境で問題ないように、発熱(電源及びパワーアンプ)部分を筐体へ放熱し、信頼性向上を図った。

- ②ねじ止め型のコネクタを使用し、振動対策を実施した。

- ③長寿命部品の採用、基板への耐湿処理を実施し、信頼性向上を図った。

##### (2) 有線インタフェース

有線インタフェースはIEEE802.3uに準拠した100BASE-

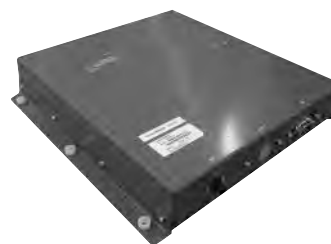


図6. WiMAX制御装置の外観

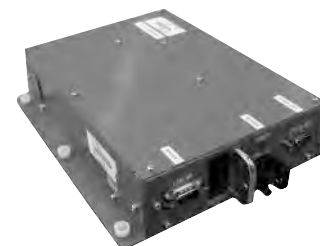


図7. WiMAX電源装置の外観

表1. 装置の主要諸元

項目	内容
規格	IEEE802.16e
周波数帯	2.595~2.625GHz
通信方式	OFDMA TDD
伝送速度	下り最大40Mbps 上り最大10Mbps
有線インタフェース	100BASE-TX 通信/保守用
保守インタフェース	RS-232C 保守専用
無線インタフェース	送信出力 +23dBm
アンテナ	無指向性 利得2dBi

TDD : Time Division Duplex

TXとなっており、無線インタフェースとはNAT(Network Address Translation)によるアドレス変換を実施している。したがって、100BASE-TX対応の機器であれば、トレインビジョンに限らず、容易にWiMAX網へ接続可能である。トレインビジョンとの間では、通信開始時に独自プロトコルによる初期設定通信を行っており、車両編成ごとに初期設定の自動設定を行っている。装置取付け時、故障による装置交換時に初期設定の手間を省き、作業容易性を実現している。

### (3) 運用／保守

保守ポートに接続したパソコンに、装置状態、WiMAX通信状態の詳細なログをリアルタイムに出力することが可能であり、試験時に不具合解析が容易である。また、列車から走行情報を取得し、装置に異常があった場合、時刻及び場所の情報もログに記録し、後のログ解析によって異常発生場所の特定が可能である。

### (4) 列車無線アンテナ技術の利用

信頼性の確保、取付け性の容易化のために、アンテナレドーム及びベース筐体は、従来の当社列車無線のアンテナ技術を継承した。アンテナエレメントはWiMAX用に新規設計し、利得2 dBiの無指向性アンテナを開発した。

## 4. む す び

今回の列車(高速移動体)へのモバイルWiMAXによる通信の適用は、WiMAXのほぼ限界能力付近での活用であり、運用リスクがあったが、走行試験の結果、成田エクスプレスの全走行ルートで90%以上のエリアで地上-車上間通信が可能となり、下り平均1.6Mbps以上、上り平均0.7Mbps以上のスループット性能を得られることが確認できた。

今後はトレインビジョン用途に限らず、列車運行业務・顧客サービスの更なる向上を目指し、列車向けブロードバンド通信のアプリケーション展開を増やし、交通分野のIT化に貢献していく所存である。

最後に、この装置の開発にあたり多大なるご指導をいただいた東日本旅客鉄道(株)及びUQコミュニケーションズ(株)を始めとする関係各位に深く感謝の意を示す。

## 参 考 文 献

- (1) 庄納 崇 編著：WiMAX教科書,インプレス標準教科書シリーズ, 391 (2008)
- (2) ARIB STD-T94 OFDMA Broadband Mobile Wireless Access System (WiMAX applied in Japan) (2007)

~~~~~



# 衛星移動通信システム対応無線装置開発

安田周平\* 木下裕介†  
島脇 豊\*\*  
佐野裕康\*\*\*

*Development of Wireless Equipment for Mobile Satellite Communication System*

*Shuhei Yasuda, Yutaka Shimawaki, Hiroyasu Sano, Yusuke Kinoshita*

## 要 旨

三菱電機は、(株)エヌ・ティ・ティ・ドコモ(以下(株)NTTドコモ)が2010年4月にサービスを開始した、衛星電話サービス「ワイドスターⅡ(引用文献:山本貝市,ほか:ワイドスターⅡ衛星移動通信システム・サービスの概要,NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル,18, No.2, 37~42 (2010))」<sup>(注1)</sup>のシステムを構成する衛星移動局装置と衛星基地局装置を開発した。

装置の特長としては、低C/N下で高速の伝送路変動に追従可能で良好な受信特性を持つPSP-AVDD(Per-Survivor Processing Adaptive Viterbi Decoding and Demodulation)方式とSSP-MOLFE(Scattered Successive

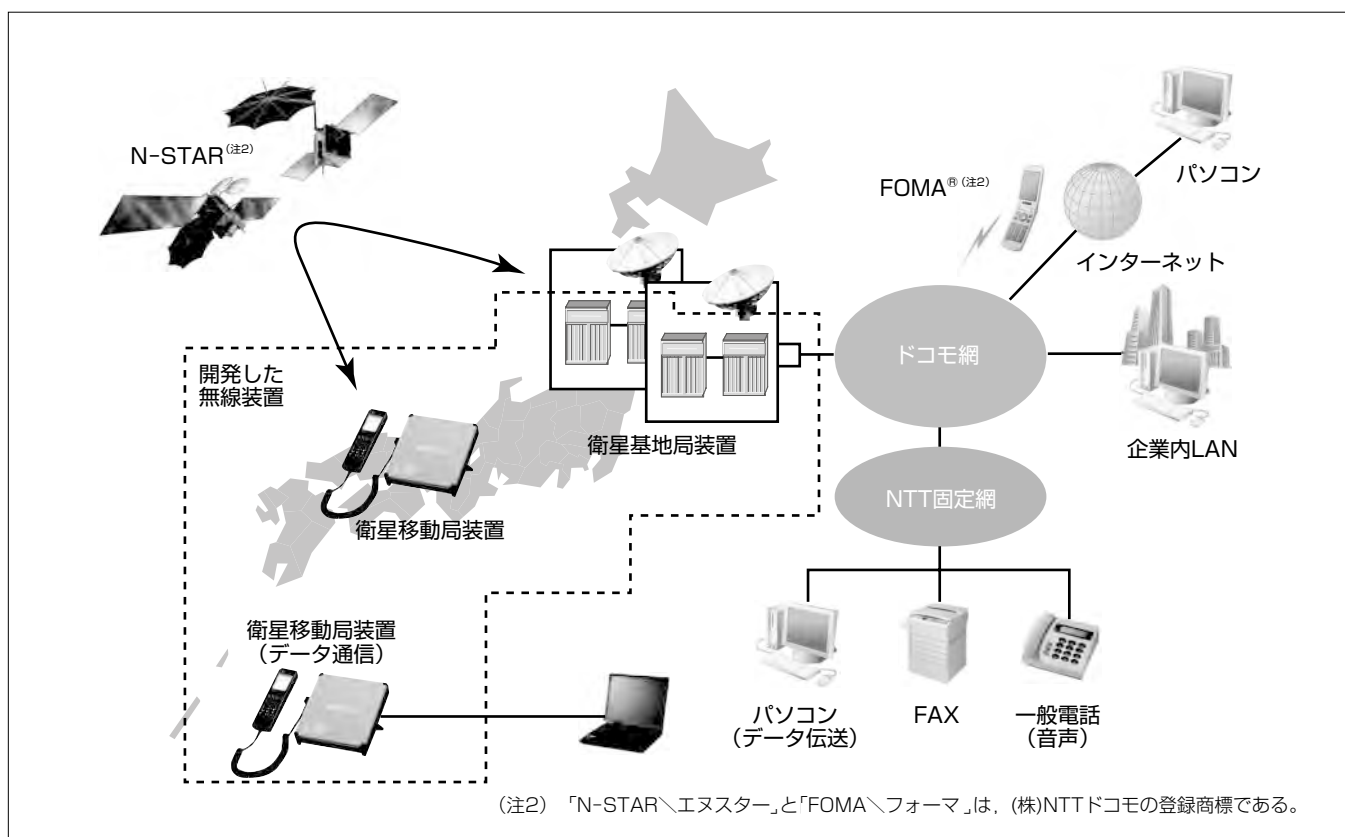
(注1) 「WideStar\ワイドスター」は、(株)NTTドコモの登録商標である。

Pilot-Multiple Open-Loop Frequency Estimation)方式を採用し実現した。

また、IP-NW(IP Network)のIMS(IP Multimedia Subsystem)基盤に接続し、呼接続時間短縮を実現する独自プロトコルを実装し、SIP(Session Initiation Protocol: RFC3261)を用いた呼接続を実現した。

さらに、衛星基地局装置は、デジタル・マルチレートフィルタの採用によって、音声やパケットの様々な帯域を集約でき衛星アクセス装置の小型化を実現した。

衛星移動局装置は、送信系スライディングIF方式、受信系低IF方式を採用し、高密度LSI化によって可搬端末の小型、軽量化を実現した。



## 衛星移動通信システム対応無線装置

衛星移動通信システム(ワイドスターⅡ)全体のイメージを示す。当社は無線装置(衛星基地局装置, 衛星移動局装置)の開発を行った。

# 1. ま え が き

衛星通信システム(ワイドスターⅡ)は、(株)NTTドコモが運用している衛星移動通信システム(ワイドスター)のシステムを更新し、IPベースのネットワークに切り替えるとともにデータ通信速度の高速化(384kbps)に対応するものである。当社の受注範囲は端末から無線ネットワーク制御機能をもつ基地局までの無線装置である。本稿ではこの無線装置の概要を述べるとともに、技術的な課題とその解決策についても述べる。

## 2. 無線システムの構成

ワイドスターⅡの無線システムは、衛星アクセス装置と衛星基地局送受信装置からなる衛星基地局装置及び衛星移動局装置で構成される。各装置の機能概要を表1に示す。

## 3. 装置概要

### 3.1 衛星基地局装置

#### 3.1.1 衛星アクセス装置

衛星アクセス装置は、通信衛星を介して衛星移動局装置との間で無線通信を行うとともにドコモ網への接続を行う。

衛星アクセス装置の主要諸元を表2に示す。また特長を次に述べる。

- (1) 装置小型化(デジタル・マルチレートフィルタの開発)  
 合波／分波数：最大1,000ch(音声通話時)、帯域信号：

表1. 各装置の機能概要

| 装置名     | 装置概要                                                        |
|---------|-------------------------------------------------------------|
| 衛星基地局装置 | 衛星アクセス装置<br>通信衛星を介して衛星移動局装置との間で無線通信を行うとともにドコモ網への接続を行う       |
|         | 衛星基地局送受信装置<br>衛星基地局アンテナおよび衛星アクセス装置と接続し、周波数変換や電力増幅などのRF処理を行う |
| 衛星移動局装置 | 通信衛星を介して衛星基地局装置との間で無線通信を行う端末である                             |

表2. 衛星アクセス装置の主要諸元

| 項目   | 諸元                                                                                                                          |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 無線諸元 | 多元接続・多重化方式(アクセス方式)<br>・音声／速度保証型パケット：上下FDMA<br>・ベストエフォート型パケット：下りTDM／上りFDMA                                                   |
|      | 変復調方式<br>$\pi/4$ シフトQPSK                                                                                                    |
|      | 誤り訂正<br>畳込み符号／Turbo符号                                                                                                       |
|      | キャリア周波数間隔<br>・音声、制御用物理チャネル：上下15kHz<br>・速度保証型パケット用物理チャネル：上下75kHz<br>・ベストエフォート型パケット用物理チャネル：下り300kHz<br>上り37.5kHz／75kHz／150kHz |
| 構造条件 | 大きさ<br>約700mm(W)×約800mm(D)×約1,800mm(H)                                                                                      |
|      | 電源電圧<br>DC-48V                                                                                                              |
|      | 消費電力<br>5kW以下                                                                                                               |
|      | 冷却方法<br>強制冷却                                                                                                                |
|      | 周囲温度<br>5～45℃                                                                                                               |

FDMA：Frequency Division Multiple Access  
 TDM：Time Division Multiplex  
 QPSK：Quadrature Phase Shift Keying

5種類(300／150／75／37.5／15kHz)のデジタル・マルチレートフィルタを開発した。このマルチレートフィルタの採用によってIF無線送受信機能の広帯域化(30MHz)と、音声呼／速度保証型パケット／ベストエフォートパケットと様々な帯域の信号を集約することができ、装置の小型化を達成した。

#### (2) 感度改善

復調器とFEC(Forward Error Correction)を組み合わせた独自アルゴリズムの実装を行った。これによって音声チャネル、パケットチャネルともに、ワイドスターより規格感度が1dB以上上回る受信性能を実現した。

#### (3) 呼接続時間短縮技術の取込み

衛星移動局装置やドコモ網との呼接続のための時間短縮を行う技術を取り込み、SIPを用いた呼接続を実現した。

### 3.1.2 衛星基地局送受信装置

衛星基地局送受信装置は通信衛星を介してフィーダリンクを運用するために必要な装置によって構成する。主要な装置はすべて冗長構成とし、保守監視・制御部を中継して遠隔監視・制御を行うことが可能である。

### 3.2 衛星移動局装置

衛星移動局装置は、ハンドキャリアを想定した可搬端末と船舶又は自動車で移動しながら利用することを想定した船舶・車載端末の2種類がある。可搬端末は、主に移動機本体とハンドセットから構成され、船舶・車載端末は移動機本体、ハンドセット、追尾アンテナから構成される(図1)。可搬端末、船舶・車載端末とも音声、データ通信のほか、FAXアダプタを接続することによってFAX通信も可能である。可搬端末の主要諸元を表3に示す。



図1. 可搬端末と船舶・車載端末

表3. 可搬端末の主要諸元

| 項目               | 諸元                                        |
|------------------|-------------------------------------------|
| 大きさ／重量(本体+電池バック) | 約196mm(W)×約180mm(D)×約39mm(H)<br>／約1.3kg   |
| 電池バック種類・公称容量     | リチウムイオン／5,000mAh                          |
| 連続通話時間(音声通話)     | 約2.2時間                                    |
| 連続待受時間           | 約26時間                                     |
| 受信RF回路           | 受信：低IF方式<br>送信：スライディングIF方式                |
| 送信機              | 当社製高効率HFET、ドハティ方式、B級動作・高調波処理技術、ドレイン電圧制御方式 |

衛星移動局装置は、次の特長を持つ。

### (1) 小型化

従来のワイドスター端末からさらなる小型軽量化を図るため、①送信系スライディングIF方式、受信系低IF方式採用によるRF回路の小型化、②高密度LSI化によるデジタル回路の小型化の対策を行った。この結果、寸法約196mm(W)×約180mm(D)×約39mm(H)、重量約1.3kg(本体+電池パック)を実現した。

### (2) 低消費電力

小型リチウムイオン電池と高効率ヘテロ接合GaAs FET(H-FET)を実装したドハティ増幅器方式送信機の採用によって連続待ち受け時間を約1.3倍に向上させた。特にドハティ2段アンプで目標効率37%を上回る44%を実現した。

### (3) 電磁干渉対策

WiMAX<sup>(注3)</sup>による帯域外の干渉抑制とVCCI規格をクリアするため、可搬端末及び船舶・車載端末のEMC設計を実施し、干渉抑圧フィルタを実装している。船舶・車載端末はJIS-F-0812規格に対応している。

(注3) WiMAX, WiMAX Forumは、WiMAX Forumの登録商標である。

## 4. 主要要素技術

衛星基地局装置と衛星移動局装置共通の要素技術について述べる。

### 4.1 復調技術

ワイドスターより規格感度が1 dB以上上回る受信性能を実現するためPSP-AVDDとSSP-MOLFEを採用した。

#### (1) PSP-AVDD

PSP-AVDDは、PSPという伝送路推定技術を、畳込み符号の復号・キャリア推定に適用したものである。ビタビ復号とキャリア推定を同時に行うことによって、低C/Nにて、安定した復調・復号を実現できる。図2に示すように、PSP-AVDDはビタビアルゴリズム(符号化変調も含む)のステートごとにキャリア推定器を持ち、ステートごとの送信系列候補(生き残りパス)にしたがって、伝送路

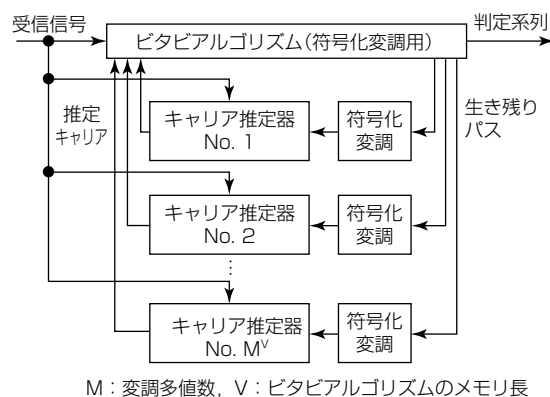


図2. PSPの原理

(キャリア)を推定していく。それゆえ、高速の伝送路変動に追従可能である。

また、PSP-AVDDは、雑音などでサイクルスリップが発生した場合でも、自動的にサイクルスリップから復旧可能である。

#### (2) SSP-MOLFE

多重開ループ周波数推定方式(MOLFE)は、位相変動観測シンボル数の異なった周波数誤差検出器を複数準備し、広い周波数カバレッジと高い周波数精度を同時実現するものである。図3に示すように、まず、小さいシンボル数(例えばN=1)で周波数誤差を推定し、周波数誤差の推定値で補正をかける。これによって、補正後の信号に残留する周波数誤差は当初より抑圧された値となる。次第に大きいNで周波数誤差を推定・補正することによって、周波数カバレッジを大きく取りつつ、周波数推定精度が高められ、理論的限界値に漸近する非常に良好な推定精度が得られる。さらに、フレーム中のパイロットシンボルを使用して、MOLFEによって周波数推定を行うことで、低C/N時の推定精度の改善が図れる。

### 4.2 呼接続時間短縮技術

ワイドスターIIはIP-NWのIMS基盤に接続するため、音声通信の呼制御プロトコルにSIPを使用する。このため、従来のワイドスターと比較して、静止衛星を経由する衛星移動局装置と衛星基地局装置間の呼制御メッセージ数ならびにメッセージ信号量が多くなり、音声呼の接続遅延が長くなる課題が発生した。ワイドスターIIでは、呼接続時間短縮のため、呼接続のためのメッセージ数及びメッセージサイズを削減する次の2つの技術を採用して実装した。

#### (1) 複数プロトコルの相乗り転送による呼接続メッセージ数の削減

無線側の設定とドコモ網との接続を同時に行う。これによって、独立に送受信していた無線側とドコモ網のメッセージを相乗り機構によって同時に転送し、メッセージ数を削減した。図4に発呼シーケンスの一部を示すとおり、相乗り機構によって、発呼シーケンスにおけるメッセージ数を約20%削減した。

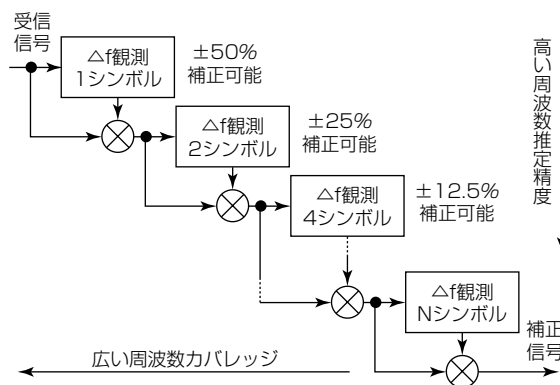


図3. MOLFEの原理

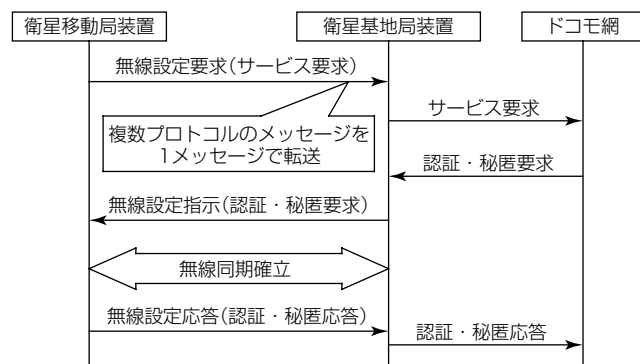


図 4. 相乗り転送による呼接続メッセージ数の削減

表 4. SIPメッセージの圧縮効果

| SIPメッセージ             | 非圧縮         | 開発技術による圧縮   | SigComp圧縮 <sup>(注4)</sup> |             |
|----------------------|-------------|-------------|---------------------------|-------------|
|                      | Size (byte) | Size (byte) | 圧縮率 (%)                   | Size (byte) |
| INVITE               | 698         | 102         | 85.4                      | 422         |
| PRACK                | 395         | 106         | 73.2                      | 254         |
| ACK                  | 354         | 97          | 72.6                      | 235         |
| 100 Trying           | 266         | 52          | 80.5                      | 203         |
| 180 Ringing          | 401         | 108         | 73.1                      | 256         |
| 183 Session Progress | 587         | 137         | 76.7                      | 372         |
| 200 OK               | 679         | 127         | 81.3                      | 426         |

(注 4) SigComp圧縮は圧縮アルゴリズムとしてDeflate(RFC1951)を適用した例を示す

## (2) SIPメッセージの圧縮技術による信号量削減

SIPは、テキストベースのプロトコルのためメッセージサイズが大きいという欠点を持つ。従来のSIPメッセージ圧縮技術としてはSigComp(Signaling Compression: RFC3320)が挙げられるが、ワイドスターⅡではSigCompよりも圧縮率を上げるために、SIPメッセージの内容分析に基づいた圧縮を行っている。表 4 に発呼シーケンスで使用するSIPメッセージの圧縮効果の一例を示すが、最大で約85%のメッセージサイズ圧縮率を実現している。

## 5. む す び

今回開発したワイドスターⅡの無線装置(衛星基地局装置, 衛星移動局装置)の概要を説明し, 技術的課題とその解決方法について述べた。

この開発にあたり, 多大なるご指導をいただいた(株)NTTドコモをはじめとする関係各位に深く感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) 山本員市, ほか: ワイドスターⅡ衛星移動通信システム・サービスの概要, NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, **18**, No.2, 37~42 (2010))
- (2) 久保博嗣, ほか: ステートごと推定法を用いた適応形ビタビ復号器の特性, 電子情報通信学会論文誌(A), **J77-A**, No.12, 1650~1660 (1994)
- (3) Kubo, H., et al.: A multiple open-loop frequency estimation based on differential detection for MPSK, IEICE Transactions on Communications, **E82-B**, No.1, 136~144 (1999)

# 高性能フェムトセル無線基地局装置

中澤正幸\* 岩山哲治\*\*  
中村浄重\* 永易孝幸\*\*\*  
平木啓愛\*

*High-performance Base Transceiver Station for Femto-cell Wireless Communications Systems*

*Masayuki Nakazawa, Kiyoshige Nakamura, Hirochika Hiraki, Tetsuharu Iwayama, Takayuki Nagayasu*

## 要 旨

近年の携帯電話コンテンツの多様化に伴い、楽曲配信や動画配信、フルブラウザによるインターネットホームページアクセスなど大容量データ通信が増えつつあり、安定した高速通信環境が求められている。そこで、極小セル化による電波の利用効率の向上や有線ブロードバンドの活用によって緻密(ちみつ)な携帯電話サービスが実現できるフェムトセル無線基地局が全世界で注目され、2010年3月時点で(株)NTTドコモを含む、世界7か国9通信オペレータによって商用サービスが開始されている。

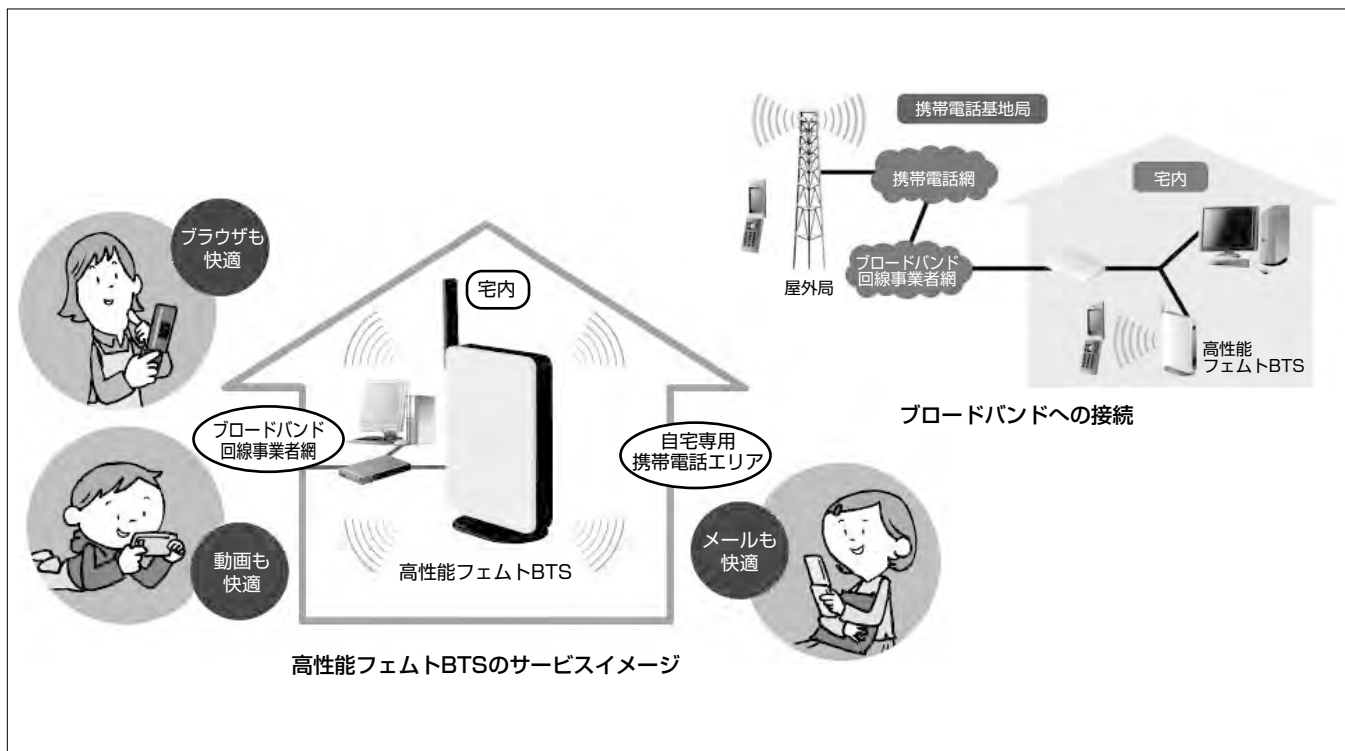
三菱電機は、2007年度に開発したフェムトセル無線基地局装置(従来機)の通信速度“下り(基地局→携帯)3.6Mbps、上り(携帯→基地局)384kbps”を“下り14Mbps、上り5.7Mbps”に高速化し、ホームエリアへの設置を容易にするPlug&Play機能や、周辺基地局の電波状況をサーチする機能に対応した高性能フェムトセル無線基地局装置(以下“高性能フェムトBTS”という。)を(株)NTTドコモと共同開

発した。

この装置によって、屋内での通信環境が安定し、動画などの大容量コンテンツのダウンロードが高速パケット通信で可能となる。また、登録者専用の通信エリアを構築できるため、在宅確認などの新たなホームエリア向けサービスの提供も可能となる。

この装置は、専用LSI(Large Scale Integration)の開発によって、高速・高機能でありながら、従来機と同等の12W以下という低消費電力を実現し、放熱構造の最適化によって自然空冷のまま、装置体積で15%減の小型化を実現している。また、家庭のブロードバンド回線に接続するだけで、各種パラメータを自動的に取得するPlug&Play機能に対応しており、ホームユースでも煩雑な設定作業なしに容易に設置可能である。

今後は、家電製品との連携などを実現するホームエリア向けの新しいサービスへの発展に貢献していく。



## 高性能フェムトBTSのサービスイメージとブロードバンドへの接続

今回開発した高性能フェムトBTSによって、これまでどおり不感エリアの解消を進めるとともに、家庭内の通信環境を安定的に形成することによって、ますます大容量化する動画や音楽コンテンツの快適な視聴が可能となる。ブロードバンドに接続するだけで、各種パラメータを自動的に取得するPlug&Play機能によって、煩雑な設定作業なしに運用でき、簡易に設置が可能となった。低消費電力化や放熱構造の最適化によって、容量1リットル以下、重さ600グラム以下を実現した。



## 1. ま え が き

近年の携帯電話コンテンツの多様化に伴い、従来のメール送受信のような小容量データ通信に加え、楽曲配信や動画配信、フルブラウザによるインターネットホームページアクセスなど大容量データ通信が増えつつあり、安定した高速通信環境が求められている。そこで、フェムトセル無線基地局による通信環境の改善が注目されている。

このフェムトセル無線基地局の円滑な導入や活用に向け、2008年10月には電波法改正によって免許申請手続きが簡易化され、また同年12月には事業者間の運用ガイドラインが公表されるなど、国内の運用環境が整備された。

当社は、2007年度に開発したフェムトBTS<sup>(1)(2)</sup>の通信速度“下り(基地局→携帯)3.6Mbps、上り(携帯→基地局)384kbps”を“下り14Mbps、上り5.7Mbps”に高速化し、ホームエリアへの設置を容易にするPlug&Play機能に対応した高性能フェムトBTSを(株)NTTドコモと共同開発した<sup>(3)(4)(5)</sup>。この装置は、不感エリアを解消するための従来機能を維持しつつ、ホームエリア向けサービスに必要な新機能にも対応しており、2009年11月から、(株)NTTドコモの“マイエリア<sup>(注1)</sup>”サービス専用フェムトセル小型基地局として販売されている<sup>(6)</sup>。

本稿では、高性能フェムトBTSのシステム構成と各部の特長を述べる。なお、本稿で使用する略語一覧を表1に示す。

(注1) マイエリアは、(株)NTTドコモの登録商標である。

## 2. システム概要

高性能フェムトBTSは、従来機と比較して、通信速度の高速化及びPlug&Play機能を実現している。通信速度については、HSPA技術を採用し、送信速度で約4倍、受信速度で約15倍の高速化を図っている一方、LSI化などの技術を採用することによって、従来機と同等の消費電力、装置体積で15%減の小型化を実現した。

表1. 本稿で使用する略語一覧

| 略語    | 意味                                                              |
|-------|-----------------------------------------------------------------|
| BTS   | Base Transceiver Station(携帯電話無線基地局装置)                           |
| HSPA  | High Speed Packet Access                                        |
| HSDPA | High Speed Downlink Packet Access                               |
| HSUPA | High Speed Uplink Packet Access                                 |
| ICMP  | Internet Control Message Protocol                               |
| IP    | Internet Protocol                                               |
| IPsec | Security Architecture for Internet Protocol                     |
| LSI   | Large Scale Integration                                         |
| MAC   | Medium Access Control                                           |
| PPPoE | Point-to-Point Protocol over Ethernet                           |
| RNC   | Radio Network Controller                                        |
| USIM  | Universal Subscriber Identity Module<br>(携帯事業者との契約情報を記録したICカード) |

## 2.1 主要諸元

高性能フェムトBTSの主な仕様を表2に示す。フェムトセルサービスに必要な機能を厳選することによって、各構成部を1枚の基板上に実装し、従来機に対して、装置体積で15%減の小型化を実現した。また、専用LSIなどの開発による低消費電力化を進めることで、高機能化を達成しつつ、ホームユースに要求される冷却ファン/フィンレスの基地局を実現した。

## 2.2 特 長

(1) HSPAの最高伝送速度に対応

3.5世代規格に準拠したHSPAのデータ伝送の最高伝送速度“下り14Mbps、上り5.7Mbps”に対応しており、音楽や動画データを快適に視聴可能。

(2) Plug&Play機能によって設置が容易

Plug&Play機能に対応しており、家庭のブロードバンド回線に接続するだけで、各種パラメータを自動的に取得するため、ホームユースでも煩雑な設定作業なしに容易に設置可能。

(3) 小型・低消費電力

図1に高性能フェムトBTSの外観を示す。専用LSIの開発やMACスケジューラ等のアルゴリズムの工夫によるCPU(Central Processing Unit)処理負荷軽減によって、高速・高機能でありながら、従来機と同等の低消費電力を実現した。また、放熱構造の最適化によって自然空冷のまま、装置体積で15%減の小型化を実現した。

表2. 主要諸元(ハードウェア)

| 項目          | 高性能フェムトBTS                                        | 従来機                                        |
|-------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 通信方式        | W-CDMA                                            | W-CDMA                                     |
| 周波数帯域       | 2GHz帯                                             | 2GHz帯                                      |
| 送信出力        | 20mW                                              | 20mW                                       |
| 装置構成        | 筐体一体型(自然空冷)                                       | 筐体一体型(自然空冷)                                |
| 大きさ         | H180×W135×D35mm(851cc)<br>*アンテナ、ネジなどの突起を除く        | H184×W135×D40mm(994cc)<br>*アンテナ、ネジなどの突起を除く |
| 質量          | 約600g                                             | 約600g                                      |
| キャリア/セクタ数   | 1キャリア/1セクタ                                        | 1キャリア/1セクタ                                 |
| ユーザー数       | 4                                                 | 4                                          |
| 伝送路インタフェース  | IP(10BASE-T/100BASE-TX)                           | IP(10BASE-T/100BASE-TX)                    |
| 通信速度        | 基地局→携帯 最大14Mbps(HSDPA)<br>携帯→基地局 最大5.7Mbps(HSUPA) | 最大3.6Mbps(HSDPA)                           |
| 消費電力        | 12W以下                                             | 12W以下                                      |
| Plug&Play機能 | あり                                                | なし                                         |

W-CDMA: Wideband Code Division Multiple Access



図1. 高性能フェムトBTSの外観

### 3. 高性能フェムトBTSを支える主要技術

ここでは高速処理・低消費電力化を実現するために、高性能フェムトBTSで採用した技術について述べる。

#### 3.1 小型・低消費電力

HSPAの下り14Mbps／上り5.7Mbpsの高速伝送，同時4ユーザー送受信に対応した変／復調処理，誤り訂正処理，無線部制御処理を，独自の回路圧縮技術によって1チップLSI化した。LSI内部にCPUを搭載し，複雑な処理や制御を分散して処理させることで，HSPAに対する柔軟な制御と，回路簡易化による回路圧縮を実現した。また，内部CPUのプログラムは遠隔で更新可能であり，今後の機能拡張への柔軟な対応も可能とした。図2に開発したLSIの外観を示す。

この専用LSIの開発や無線部の小型化によって，従来と同等の低消費電力を維持している。さらに放熱構造の最適化による冷却ファン／フィンレス設計を推進し，装置体積で従来機に対して15%減の小型化を実現した。



図2. 高速通信処理LSI

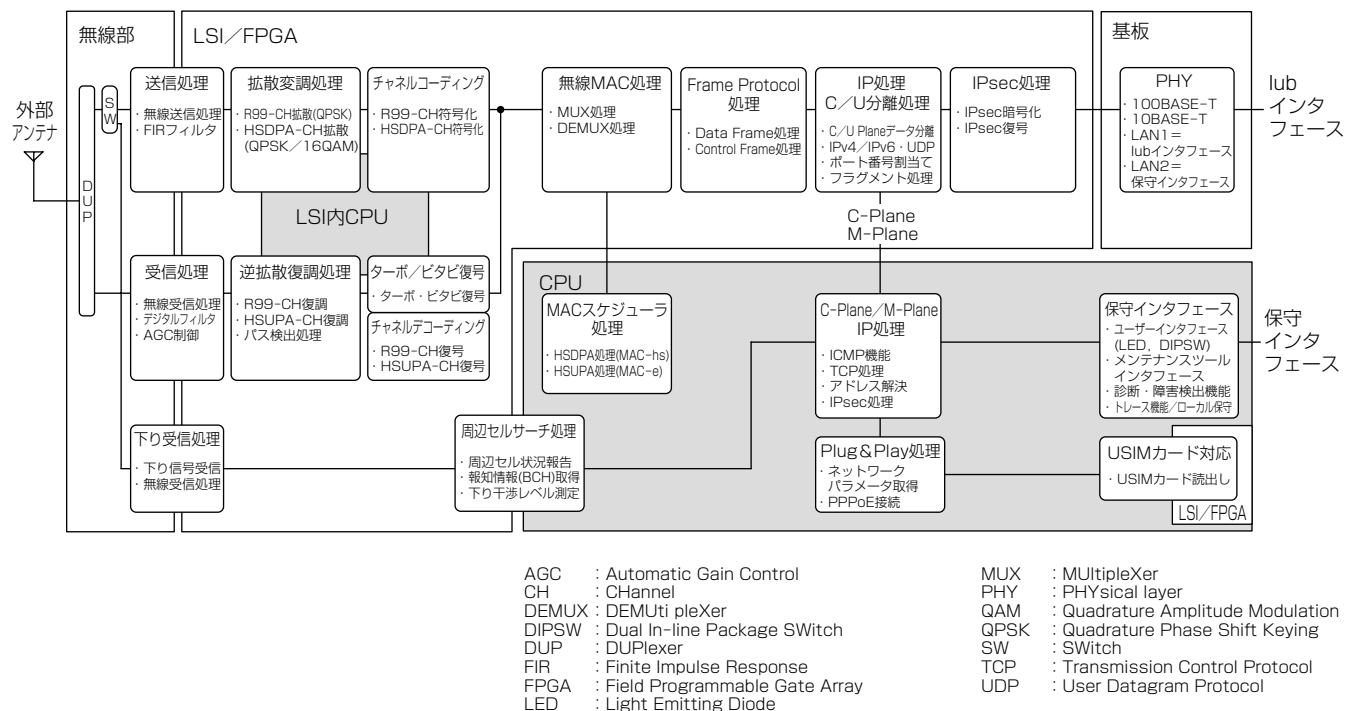


図3. 高性能フェムトBTSのブロック図

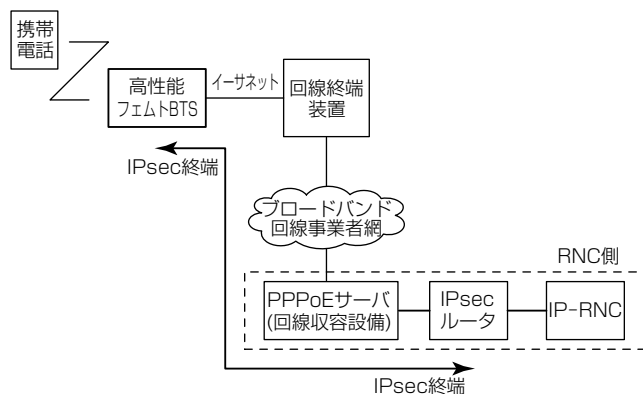


図4. 一般ブロードバンド回線によるネットワーク接続形態

ット上での秘匿性を確保している。装置認証にはUSIMに記憶された契約情報が使用される。

(注2) イーサネットは、富士ゼロックス株の登録商標である。

### 3.4 周辺セルサーチ機能

フェムトBTSの設置によって、既存の基地局との間で電波干渉が発生し、既存基地局のエリアを狭めてしまう懸念がある。そこで、既存基地局への影響を最小限に抑えるために、周辺の基地局の電波状況を基にフェムトBTSで使用する周波数や拡散コード、送信電力を決定する必要がある。そのため高性能フェムトBTSは、周辺の基地局の電波状況を観測する機能を備えている。

周辺セルサーチは、携帯電話との通信を実施していない時間に行うことを想定しているため、通信用の回路とセルサーチ用の回路を共用することで、回路規模やCPU処理負荷を増加させることなく実現している。

### 3.5 保守機能

高性能フェムトBTSは、運用開始後にシステムの機能追加や修正に対応するため、ネットワーク経由で制御プログラムを更新できる機能を備えている。また、ネットワーク経由で高性能フェムトBTSの内部状態信号をモニタすることも可能な構成となっており、障害などの発生時にも遠隔で対応が可能な仕組みとなっている。

## 4. む す び

ホームエリアで携帯電話によるHSPA仕様の高速通信を実現する高性能フェムトセル無線基地局装置について、(株)NTTドコモと共同開発した製品の特長について述べた。

今後は、更なる小型・低消費電力化や、LTE (Long Term Evolution) 規格対応フェムトBTS<sup>(7)</sup>の開発にも取り組んでいく。また、ホームネットワークの発展に伴い、宅内機器に内蔵される様々な通信端末機器間の連携や、端末機器と宅外ネットワークとの連携<sup>(8)</sup>が更に加速すると考えられており、これらと高性能フェムトBTSの連携も検討していく。

## 参 考 文 献

- (1) フェムトセル用W-CDMA超小型基地局装置、三菱電機技報、**82**, No.1, 25 (2008)
- (2) 渡辺貴之, ほか: フェムトセル用超小型基地局装置の開発, NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, **16**, No.2, 61~65 (2008)
- (3) 高性能フェムトセル無線基地局装置、三菱電機技報、**84**, No.1, 17 (2010)
- (4) 寺山武志, ほか: 家庭内における新たなサービスを提供するフェムトセル技術, NTT DOCOMOテクニカル・ジャーナル, **17**, No.4, 19~25 (2010)
- (5) 青山幸二: NTTドコモのフェムトセルサービスの取り組み, 電気通信, 13~20 (2010)
- (6) 三菱電機フェムトセルホームページ  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/femtocell/>
- (7) 塚本 薫, ほか: LTEフェムトセル基地局用マルチユーザMIMO性能検証装置の試作, 電子情報通信学会総合大会, B-5-2 (2010)
- (8) 3rd Generation Partnership Project: Technical Specification Group Services and System Aspects; Local IP Access and Selected IP Traffic Offload (Release 10); 23.829 (2010)

# ホームICTへの取組み

牧野豊司\* 三浦 紳\*\*  
小島洋之\* 赤津慎二\*\*  
横里純一\*

ICT in the Home

Toyoshi Makino, Hiroyuki Ojima, Junichi Yokosato, Shin Miura, Shinji Akatsu

## 要 旨

次世代ネットワーク (Next Generation Network : NGN) の本格的サービスが開始され、広帯域、高信頼なネットワーク基盤が整ってきた。一方、家庭では、パソコン、AV (Audio Visual) 機器、ホームセキュリティ機器等のネットワークにつながる機器が続々と増えている。ホームICT (Information and Communication Technology) サービスでは、これらの宅内機器とネットワークを結ぶことで新たなサービスをユーザーに提供する。

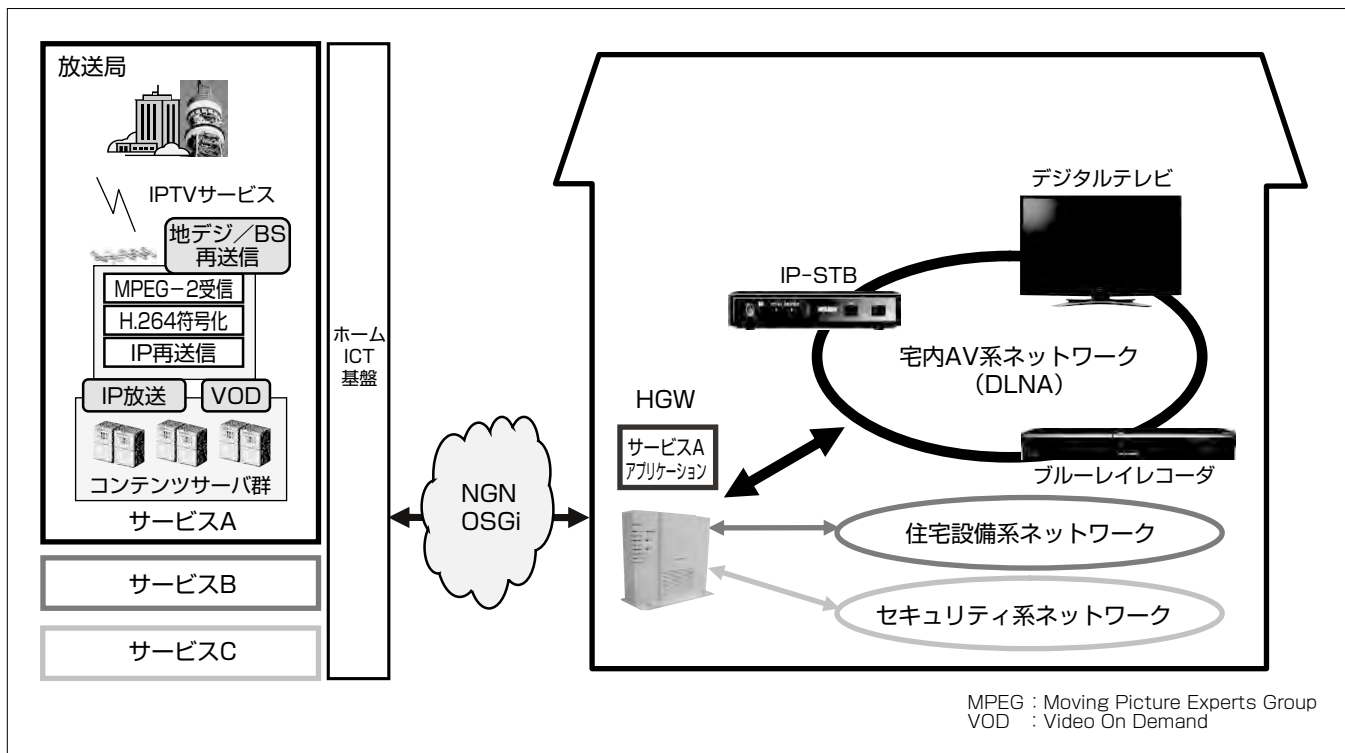
三菱電機は、ホームICTの代表的なサービスである映像配信サービスを享受するIPTV (Internet Protocol TeleVision) 技術の標準化活動、技術開発に取り組み、2010年よりIPTVセットトップボックス (IP-STB) 商用機の提供を開始している。IP-STBはH.264方式のHDTV (High Definition TeleVision) 映像サービスをNGN経由で受信しながら再生を可能とする。

宅内のネットワーク機器は、インタフェース、プロトコル、サービスともに様々な種類があり、進化も激しい。こ

れらに対して個別にネットワークサービスで対応するのは困難である。そこでHGW (Home Gate Way : ホームゲートウェイ) を各家庭のネットワークの入り口に配置し、ネットワークサービスを終端し、宅内機器へサービスを提供する。ネットワーク側はOSGi (Open Service Gateway initiative) で統一されJava<sup>(注1)</sup> ベースのアプリケーションをHGWに配信して各種サービスを提供する。当社は、GE-PON (Gigabit Ethernet-Passive Optical Network) を始めとする光アクセス網機器開発で培った技術をベースにOSGi規格に対応したHGWの技術開発に取り組んでいる。また、IP-STB、デジタルテレビ等のAV機器向けの宅内ネットワーク標準仕様として普及しつつあるDLNA (Digital Living Network Alliance) 仕様についても標準化活動、研究開発を行っている。

このように、当社はホームICT実現に向けて通信事業分野を中心に技術開発を推進している。

(注1) Javaは、Sun Microsystems, Inc.の登録商標である。



## 映像配信を中心としたホームICTサービス

ホームICTでは、宅内機器とネットワークを結ぶことで新たなサービスをユーザーに提供する。ホームICTの代表的なサービスである映像配信サービスは、IP-STB、デジタルテレビ等のAV機器向けの宅内ネットワーク標準仕様として普及しつつあるDLNAを搭載している。宅内機器が連携することで映像コンテンツを自在に制御・視聴・蓄積することが可能となり、ユーザーの利便性は向上する。

## 1. ま え が き

次世代ネットワーク(NGN)の本格的なサービスが開始され、広帯域、高信頼なネットワーク基盤が整ってきた。一方、家庭では、パソコン、AV機器、ホームセキュリティ機器等のネットワークにつながる機器が続々と増えている。ホームICTサービスでは、これらの宅内機器とネットワークを結ぶことで新たなサービスをユーザーに提供する。

当社は、ホームICTの実現に向けて必要となるホームゲートウェイ、IPTV技術、宅内ネットワーク技術(DLNA)などについて技術開発を行っている。

本稿では、ホームICTの代表的なサービスである映像配信サービスを享受するIPTV技術を中心に当社の取組みについて述べる。

## 2. IPTV業界の動向

### 2.1 IPTVサービスの動向

国内のIPTVサービスは、NGN等の高信頼なネットワークを使い、管理されたコンテンツ配信網(Content Delivery Network: CDN)を構成して提供されるIPTVサービスと、管理されないインターネットを足回りとするIPTVサービスに大別される。前者は、主にアクセス網として光回線を前提に提供され、高品質なハイビジョン映像の配信サービスを実現してすでに100万加入を突破している。また、その高信頼性から、2008年5月より地上デジタル放送のIP再送信サービスも提供され、さらに近々BS放送のIP再送信も開始される予定である。一方、インターネットベースのIPTVサービスも家電業界系の“アクトビラ<sup>(注2)</sup>”サービス、ユーザー投稿型のビデオサイトを始めとして広がりを見せる。今後は、IPTVの双方向性を活かした新たなサービスが出現すると考えられる。

(注2) アクトビラは、(株)アクトビラの登録商標である。

### 2.2 標準化動向

IPTVの国際標準は、ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector)のFG-IPTV(Focus Group on IPTV)で2006年7月から検討が開始され、2008年1月からIPTV-GSI(IPTV Global Standard Initiative)に引き継がれ現在に至っている。IPTV-GSIでは、IPTV仕様の勧告化が進められ、日本からもIPTVフォーラム仕様に基づく仕様や、拡張仕様が多数提案されて国際標準に盛り込まれている。

国内では、通信事業者、放送事業者、家電メーカーが参加する一般社団法人IPTVフォーラムを中心に技術仕様が策定され、オープンなIPTVサービスの実現を目指している。策定した仕様はIPTVフォーラムのホームページを通じて一般に公開されている。

## 3. IP-STB

### 3.1 IP-STB開発への取組み

当社は、通信放送融合技術としてIPTV技術の重要性に着目し、従来保有する光通信技術、映像符号化技術、AV家電技術をベースとして、2006年からIPTV技術の開発を進めてきた。その成果として、IPTVサービスを受信・再生するIP-STBを開発し、2007年には、業界に先駆けて地上デジタル放送の再送信ガイドラインの要求に適合することに成功し、通信キャリアのNGNトライアルにも参加した。2008年には、IPTV事業者内での評価機として納入も果たした。その後、SoC(System on Chip)を最新版に載せ換え、より小型化・低消費電力化を達成し、商用機として2010年5月から出荷を開始している。

### 3.2 IP-STBの概要

図1は2010年5月から出荷を開始した当社IP-STBの外観である。このIP-STBはIPTVフォーラム仕様に準拠し、NGNで構成されるコンテンツ配信網を経由して配信されるハイビジョン品質の映像コンテンツを受信・再生可能である。

対応するサービスは、IP多チャンネル放送、地上デジタル放送/BS放送のIP再送信(BS再送信は2010年5月現在サービス未実施)、ビデオオンデマンド(VOD)サービスである。また、USB(Universal Serial Bus)経由で外付けハードディスク装置を接続することで放送のデジタル録画に対応しハイビジョン品質のまま録画・再生可能である。

このIP-STBでは、ユーザーが見たいビデオを選択等するためのサービスメニュー画面を、あらかじめ組み込みソフトウェアとして組み込むのではなく、オンラインでサーバから供給することを可能にしたため、サービス事業者で簡単にサービスメニューの追加・変更が可能である。近年話題の3D放送サービスに対してもサイド・バイ・サイド方式等のハーフHD品質の方式にはすでにこのIP-STBで対応しており3D対応テレビにHDMI(High-Definition Multimedia Interface)接続することで3D放送も享受することが可能である。



図1. IP-STBの外観



表 1. IP-STBの機能概要

| 項目      | 内容                                                               |
|---------|------------------------------------------------------------------|
| IPバージョン | IPv4とIPv6のハイブリッド構成                                               |
| 伝送プロトコル | IP/UDP/RTP                                                       |
| 多重化方式   | MPEG-2 TTS(タイムスタンプ付きTS)                                          |
| FEC     | Pro-MPEG CoP3 1D/2D                                              |
| IP放送選局  | MLDv2(IPv6), IPマルチキャスト                                           |
| VOD制御   | RTSP, IPユニキャスト                                                   |
| 映像符号化   | MPEG-2 MP@ML, MP@HL<br>MPEG-4 AVC(H.264)MP/HP Level: 3/3.1/3.2/4 |
| 音声符号化   | MPEG-1 Layer2, MPEG-2 AAC-LC                                     |
| 字幕ES    | IP放送, VOD, 地デジ/BS再送信に対応                                          |
| BMLブラウザ | データ放送用                                                           |
| 予約機能    | 視聴予約, 録画予約に対応                                                    |
| 録画機能    | USB外付けHDDへのデジタル録画(TS記録)                                          |
| 特殊再生    | 早送り, 早戻し, 一時停止, チャプタジャンプ                                         |
| 構成情報    | IP放送, VOD, 地デジ/BS再送信に対応                                          |
| 番組表     | IP放送, 地デジ/BS再送信の番組表/裏番組表<br>IP放送では成人向けサービスの表示制御                  |
| 3D対応    | サイド・バイ・サイド方式(ハーフHD品質)<br>(テレビ側は手動で3Dモードに設定する必要がある)               |
| UDP     | : User Datagram Protocol                                         |
| RTP     | : Real-time Transport Protocol                                   |
| TTS     | : Timestamped Transport Stream                                   |
| FEC     | : Forward Error Correction                                       |
| CoP     | : Code of Practice                                               |
| MLD     | : Multicast Listener Discovery                                   |
| RTSP    | : Real Time Streaming Protocol                                   |
| AVC     | : Advanced Video Coding                                          |
| AAC-LC  | : Advanced Audio Coding-Low Complexity                           |
| ES      | : Elementary Stream                                              |
| BML     | : Broadcast Markup Language                                      |

表 2. IP-STBの主要諸元

| 項目         | 内容                                           |
|------------|----------------------------------------------|
| LAN端子      | 10/100Base-TX(RJ-45)×1                       |
| 映像出力端子     | HDMI 1.3a×1<br>コンポーネント(D3)出力×1<br>コンボジット出力×1 |
| 音声出力端子     | ライン(L/R)出力×1<br>光デジタル(5.1ch)出力×1             |
| 録画用HDD接続端子 | USB2.0×2                                     |
| 電源         | AC100V/50-60Hz ACアダプタ                        |
| 消費電力       | 通常時: 8.7W(VOD視聴), スタンバイ時: 6.7W,<br>待機時: 0.7W |
| 外形寸法       | (W)200mm, (D)150mm, (H)30mm                  |
| 質量         | 350g(本体のみ)                                   |

表 1 にこのIP-STBの機能概要を、表 2 に主要諸元を示す。

## 4. 将来への取組み

### 4.1 IPTV端末の将来機能

当社では、IPTV端末に将来必要とされる技術についても着実に技術開発を進めている。近い将来サービス開始が想定されるコンテンツのダウンロードサービスへの対応、IPTVサービスのコンテンツを宅内の各AV機器で共有可能とするDLNAベースのホームネットワーク技術については、従来試作・検証まで行っている。また、市場要求の高まっている3D放送サービスへの対応は、現行IP-STBでは

サイド・バイ・サイド方式のハーフHD品質の3Dコンテンツへ対応済みであり、次期IPTV端末ではフルHD品質の3Dコンテンツにも対応できるよう準備を進めている。

今後は、ホームICTの要(かなめ)であるホームゲートウェイによって、安全・高品質に双方向通信ができる基盤整備が期待されており、IPTVの双方向性を活用した新サービスを提供する技術が必要となる。また、環境に配慮した製品を目指し、IP-STBの低消費電力化についても取り組む。

次に、ホームネットワーク連携、双方向サービスへの対応、低消費電力化について述べる。

### 4.2 ホームネットワーク連携

国内の主要AVメーカーのデジタルテレビ、ブルーレイレコーダ等に続々とDLNAベースのホームネットワーク連携機能が搭載されている。パソコンやネットワークHDD(Network Attached Storage: NAS)もDLNAに対応したものが多く、宅内のネットワーク機器間でコンテンツの共有をする機運が高まっている。当社でもDLNAが設立された2003年から、DLNAの標準化・研究開発に取り組んできた。開発したDLNAミドルウェアは、DLNAが主催する相互接続イベント(プラグフェスト)で検証し相互接続性を高めており、すでにIP-STB上でのDLNAサーバ機能の試作、検証も行っている。

IP-STBがDLNAに対応することによって、IP-STBで録画したHDD内のコンテンツを、別室に設置されたデジタルテレビやパソコンで視聴することが可能になる。また、IP-STBからブルーレイレコーダにコンテンツをムーブすることによって、ブルーレイディスクへ書き出すことも可能となる(図2)。

### 4.3 双方向サービス対応

IPTVでは、双方向性を生かしたテレビコマース、遠隔教育、セキュリティサービス、遠隔健康管理等の新サービスへの対応が期待される。当社では、これらの新サービスへ柔軟に対応するプラットフォームとして、IPTV端末上に後から簡単に各種アプリケーションをインストールして実行する環境を実現する1つの手段としてウィジェット(Widget)の活用を検討している。

ウィジェットは、Web情報と連携する小型アプリケーションであり、Javaスクリプトで記述される。当社では、業界標準であるW3C(World Wide Web Consortium)仕様に準拠したウィジェットを実行可能な組み込み機器向けのコンパクトなウィジェット実行環境を研究開発している。

### 4.4 低消費電力化

近年、省エネルギーに対する関心が高まっている。当社では、これまで搭載するSoCによる機能統合によって低消費電力化(当社従来機種比30%削減)を実現してきた。また、スタンバイモードの最適化を行い、省電力スタンバイ

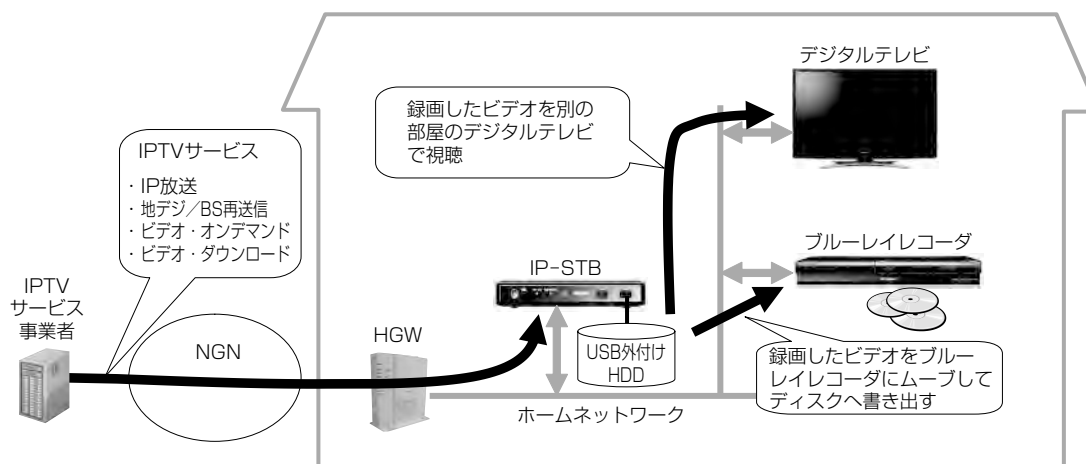


図 2. DLNAによるホームネットワーク機器連携

モード(90%省電力)に加え、予約起動、高速起動(5秒以内)が可能な高速起動スタンバイモード(20%省電力)を実現し、使用シーンに合わせ積極的に省電力を促せる機能を追加した。今後も、最新SoC採用による低消費電力化とともに、さらなるスタンバイモード最適化での省電力を目指す。また、ホームICTではHGWを中心に宅内機器が連携し家庭トータルでの省電力に対する関心にマッチした機能として、例えば、現在の電力使用状況をHGWで集約してテレビモニタへ表示する機能をもたせることも考えられる。

## 5. む す び

ホームICTの代表的なサービスの一つであるIPTVサービスに関して、サービス、標準化の動向と当社IP-STBについて述べた。また、将来のIPTV端末に必要なとされる機能について当社の取組みを示した。

当社は、今後もホームICTの実現に向けて、これらの技術開発を継続し、ユーザーに便利で使いやすい通信サービ

スを提供していく。また同時に装置の低消費電力化、機器間連携による家庭のトータル省エネルギーを目指し、環境への配慮も行う。

## 参 考 文 献

- (1) 赤津慎二, ほか: IPTV技術, 三菱電機技報, **82**, No.12, 755~758 (2008)
- (2) 中瀬卓也, ほか: 通信放送連携サービス用端末, 三菱電機技報, **82**, No.2, 163~166 (2008)
- (3) <http://www.itu.int/ITU-T/jca/iptv/>
- (4) <http://www.iptvforum.jp/>
- (5) 小野定康, ほか: ユビキタス技術と動画像の高能率符号化-MPEG4とH.264-, オーム社 (2005)
- (6) <http://www.dlna.org>
- (7) 赤津慎二, ほか: ホームネットワーク技術, 三菱電機技報, **79**, No.7, 481~484 (2005)

# 安全、安心、快適、かつ効率的な社会を支える技術

Technology for a Safer, Secure, Comfortable, and Efficient Society

鳥海善裕

Yoshihiro Toriumi



星は、古来、旅人の道しるべであった。星によって自分の場所を知り、行く先を思い、故郷にも思いをはせたものと思う。現代において、道しるべの星というべきは全地球測位システム(GPS)であろう。これについては、ご存知のとおり種々のナビゲーションにおいて利用されており、特にカーナビゲーションは我々の身近で活躍している。

GPSについては、従来あるシステムの補強、補完として、各国、地域において種々の新規システムが計画されている。欧州のガリレオ、ロシアのグロノス、中国の北斗などであるが、我が国においても準天頂衛星(まさしく“みちびき”と名付けられている)の初号機が打ち上げられる。この衛星はそのユニークな軌道と衛星の組み合わせによって、日本、アジアにおいて常に天頂近辺にその姿を見ることができ、必要な衛星が見通せない場所においても有効となる。

この衛星によって、衛星からの測位はますます確実かつ有効になってくると考えられているが、この技術を基に、この衛星からの信号と、その補正を行う基準点、さらには精密なレーザを用いて点群を取得することで、どこに何があるかを計測し、単なる道しるべではなく、精密な三次元の地図を作成することが可能になっている。これらは地図として高度であるということだけではなく、道路、トンネルなど種々の社会的インフラのメンテナンス、精密な高さ情報による各種交通機関のエコ運転への寄与、さらには津波、水害等々の被害をなくしていくためのインフラの設計など、安全、安心の意味からも社会に貢献するものであると思う。

この特集号では、これらを実行するシステム(モバイルマッピングシステム:MMS)の紹介をしている。安全、安

心の面からは、取得したデータを基に、継続的に状況を把握していくための変移計測のシステムについても合わせて紹介している。

一方で、現代の星は、道しるべであるだけでなく、それを通じて人と人をつなぐこともできるようになってきている。いわゆる通信衛星については、その充実によって、点と点をつなぐだけではなく、広い範囲で移動しながらの通信が可能となっている。特にインフラの設置が困難な海上においても、大容量かつ安価な通信が可能になることで、人と人をつないでいくことができていく。今回の特集号では、衛星の利用の拡大と、そのための地上での機器について移動体通信という点を中心に紹介している。これについても、単に通信ということだけではなく、地上のインフラによらないため、万が一の災害時においても通信の確保、状況の把握等によって被害を極限することで、安全、安心に寄与できるものである。

特別な場合を先に紹介したが、道路、鉄道といったインフラの上では、人も、物も動き続け、日常の生活を支えている。これらをサービスの面からも、環境の面からも効率的に実施していくために、先に述べた通信の技術、システムの技術を有効に用いることが可能である。この特集号では、その一つとしてRFID(Radio Frequency Identification)という技術の紹介も合わせてしている。

ここまで述べてきた技術を基に、安全、安心、快適、かつ効率的な社会の一旦を担うために努力をしていく所存である。引き続き、三菱電機に対するご愛顧、ご理解、ご支援をお願い申し上げます。

# 巻頭論文

## 衛星を利用した測位・通信システムを 取り巻く事業の環境と取組み



小山 浩\*



坂戸美朝\*\*



木元勝一\*\*\*

*The Business Environment and Approach for Satellite-based Positioning and Communication System*

*Hiroshi Koyama, Yoshitomo Sakato, Shoichi Kimoto*

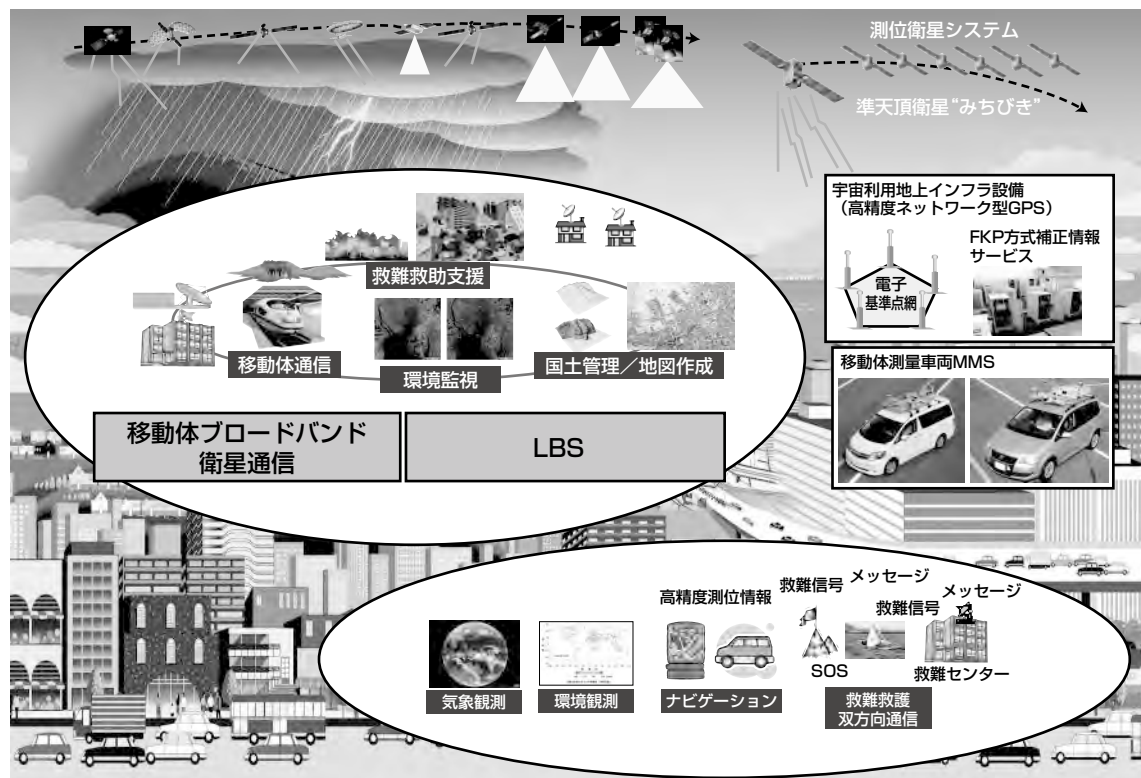
### 要 旨

三菱電機では、これまで防衛・宇宙分野で培った技術を核とした事業を展開してきており、その代表的な事業として衛星測位システムを利用したサービス(Location Based Service：LBS)並びに移動体ブロードバンド衛星通信がある。

本稿では、まずはじめにこれら二つの事業のベースとなる衛星測位システム、とりわけ2010年に我が国で初号機打ち上げが予定されている準天頂衛星“みちびき”について述べるとともに、測位衛星システムの高度利用について述べる。次に、LBSのキーテクノロジーとなるFKP(Flächen Korrektur Parameter)方式という高精度ネットワーク型GPS(Global Positioning System)を利用した移動体測量車両MMS(Mobile Mapping System)、及び衛星の電波が直接届かない場所や屋内でも位置を知りたいという要求に対

応するシームレス測位への発展について述べる。最後に、移動体ブロードバンド衛星通信の進展とその現状、移動体ブロードバンド衛星通信への当社の取組みについて述べる。

当社が取り組んでいるこれらの事業は、社会貢献度の高い公共インフラを司(つかさど)る技術／サービスであり、時々刻々と変化する現代社会の変革に先行し、これらの技術開発を継続することによって社会に対して更に良いもの／サービスを提供していく。宇宙から地上に至る公共インフラがますます人々の生活を豊かにしていく一助として、日本国内のみに限らず、全世界に飛躍的にその利用が広がりつつある種々の衛星システムの更なる活用に対応し、これらのキーテクノロジーを武器に、より一層グローバルに事業を展開し、ユビキタス社会の扉をもっともっと大きく開くとともに新たな価値の創出を継続していく。



### 衛星を利用した測位・通信を取り巻く事業環境とユビキタス社会への架け橋

衛星測位システムを利用したサービス(LBS)並びに移動体ブロードバンド衛星通信についてのイメージを示す。



# 1. ま え が き

当社は、従来、防衛・宇宙分野で、主として国の安全、通信にかかわるシステム、機器の提供を行ってきたが、これらの防衛・宇宙分野で培った高度なセンサ技術や測位・衛星通信技術、統合システムやアプリケーション技術など、最先端の情報通信関連技術を応用することによって、“安心・安全な社会”及び“ユビキタス社会”の実現における新たなニーズにこたえるために、IT宇宙ソリューション事業を展開している。

本稿では、この事業実現のための衛星測位システムと位置情報を中心とした統合的なサービスであるLBS、並びに航空機、船舶、車両等を対象とした移動体ブロードバンド衛星通信の現状とその将来像について述べる。

## 2. 衛星測位システムとその将来像

### 2.1 衛星測位システム

現在、世界各国が自国の測位衛星システム構築にしのぎを削っている。GPSで先行する米国やGLONASS(Global Navigation Satellite System)を持つロシアは、次世代の性能向上に向けたシステム更新を計画し、欧州はGalileo、中国はCompassのシステム整備を急いでいる。これら衛星測位システムからの信号を利用することによって、地球上のあらゆる地点で、現在位置をリアルタイムで計測することができる。GPSを使用した場合、平均的に15m程度の精度での位置決定が可能と言われている。また、航空管制業務への利用等、GPSのみでは位置決定精度が不足する場合、我が国のMTSAT(運輸多目的衛星)、欧州のEGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service)、米国のWAAS(Wide Area Augmentation System)など、衛星による測位補強システムが併用されている。

### 2.2 我が国の衛星測位システム

GPS、GLONASS、Galileo及びCompassは、地球周回軌道に各30機程度の衛星を配備する大規模な全地球的測位システムである。これに対し、我が国では日本国内及び日本近傍における測位精度の安定化、高精度化に目的を特化したリージョナルな測位衛星システム、準天頂衛星システム“みちびき”の開発が進められている。当社はJAXA((独)宇宙航空研究開発機構)からの委託によって衛星システムの開発を担当した。初号機打ち上げは2010年に予定されている。

準天頂衛星は図1に示すとおり、日本上空での滞在時間を長時間確保するとともに、静止衛星と比べ高仰角で衛星が視野に入るよう、比較的大きな軌道傾斜角と超楕円(だえん)の軌道を飛行する。準天頂衛星の日本上空での滞在時間は約8時間であり、準天頂衛星を3機配備することによって、常時日本上空、天頂近傍から測位信号を送出することが可能となる。これによって、静止衛星で問題となる

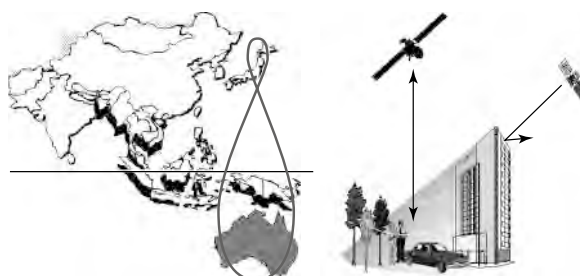


図1. 準天頂衛星システムの軌道と特徴



図2. 準天頂衛星システムの外観(JAXA提供)

ビル等による衛星遮蔽(しゃへい)の問題を大きく改善している。

準天頂衛星には当社標準静止衛星システム“DS2000”が活用されている。準天頂衛星システムの外観を図2に示す。

### 2.3 準天頂衛星システムによる高精度測位

準天頂衛星システムはGPSと同一の測位信号を送出する。これによってGPSが常時複数機頭上にあることと等価となり、測位精度の安定化が可能となる(GPS補完)。また、準天頂衛星地上システムによって生成された測位補強情報を衛星から送信することによって、高精度で信頼性の高い測位を実現することができる(GPS補強)。準天頂衛星からはL1-SAIF(Submeter-class Augmentation with Integrity Function)信号及びLEX(L-band EXperimental signal)信号と呼ばれる2種類の測位補強信号が送信される。これらの測位補強信号を活用することによってL1-SAIF信号では1m程度、LEX信号では2~3cm程度の測位精度を得ることができる。この精度は、従来のMTSAT、EGNOS等による測位補強精度を大幅に上回るものであり、高精度な測位情報活用による新たな利用サービスの創出が期待されている。

### 2.4 衛星測位システムの高度利用

Galileo、Compass等の海外測位システムでは、測位情報の新たな利用が進展している。図3に測位衛星システムの今後の高度利用例を示す。図に示すとおり、測位情報を活用した車・鉄道の運行管理、地図の自動作成、農業・施工自動化への適用、航空機管制支援情報の提供に加え、捜索救難サービスとして事故・災害時における緊急信号の受信(緊急信号とともに個人ID、高精度位置情報などを測位衛星システム経由で地上のセンターに伝達)、緊急信号発信者に対するショートメッセージの返信(地上のセンターからのメッセージを測位衛星経由で配信)などのサービス提供が進展しつつある。

我が国の準天頂衛星システムでも、今後の、これらの高

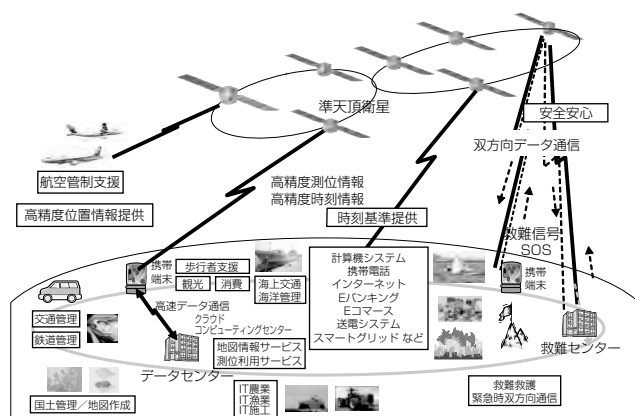


図3. 測位衛星システムの高度利用

度利用サービスの提供可能性が検討されている。また、4機以上の準天頂衛星の整備による、海外の測位システムに依存しない自立型地域測位システムの構築も検討されている。準天頂衛星の利用可能範囲は国内に限定されない。国境を越え、アジア・オセアニアに対してサービスを提供することが可能である。日本固有のサービスの追加、利用サービスの機能増強などによって、より社会貢献度の高い公共インフラとして広範な活用が期待される。

### 3. LBS

#### 3.1 測位システムの発展

当社は1998年からGPSによる高精度測位の開発に着手し、以来ネットワーク技術の普及という環境変化にも助けられながら、測位の更なる高度化を進めてきた。開発における重点は、①地球上の位置は数cmの精度、②だれでも手軽にできる、③短時間でできる（リアルタイム）、④三次元で測位できる、⑤移動体での測位も可能という点である。それらに対する現時点での回答が、FKP方式という高精度ネットワーク型GPSであり、MMSという移動測量車両である。

衛星測位では対流圏の影響や電離層の影響などによって測位に誤差が生じてしまう。これを補正するために、当社では国土地理院が全国に配置したGPS電子基準点をネットワーク化し、常時GPSを補正するためのデータを生成してきた（現在は株式会社ジェノバに移管）。この補正方式を利用することによって、広範囲で高精度な衛星測位を可能とした。

一方、MMSはFKPによる高精度測位に加え、慣性航法を融合させることによって、車両の位置・姿勢を正確に計算し、車両に搭載したレーザスキャナやカメラなどのセンサ情報と位置情報を組み合わせることを可能にした走行型三次元空間計測装置である。

MMSの登場によって、これまでにない密度での三次元空間情報が取得できるようになった。図4の計測では、1秒当たり最大27,000点の三次元座標付点群が取得できている。

特筆すべきは、図4に示したこれだけ高密度な三次元点



図4. MMSによる海ほたるの計測

群が、走行半日、後処理一日という短時間で計算できるといいう高効率計測を可能にしている点である。

地理空間情報活用推進基本法は、地理空間の点群を計測することが目的ではない。これらの空間情報を活用し、維持・管理・又は計画に利用することによって、安心・安全・便利な生活空間を創出することである。

三次元点群をCAD(Computer Aided Design)やGIS(Geographic Information System)、3Dモデルに利用するソフトウェアを徐々に整備しているものの、維持・管理や計画立案など本当の意味で三次元点群の有効活用はまだこれからという段階である。また、MMSに地中レーダやハイビジョンカメラなど、その他センサを組み合わせた車両の開発も進めている。目に見える三次元空間のみではなく、別の探査センサ情報を組み合わせて三次元化し、空間情報と合わせて可視化することで、更に有用性が高まることが期待される。

将来的には取得したデータにマンホールや電柱といった属性を付与し、更にそれらをオブジェクトとして三次元モデル化することによって、データ量を大幅に軽減できると同時にパソコンで容易にデータを扱えるばかりでなく、カーナビゲーションへの利用促進につながると考えている。

今後アメリカのGPS、ロシアのGLONASS、欧州連合のGalileoに加え、準天頂衛星(Quasi-Zenith Satellite System: QZSS)、中国の北斗(Beidou/Compass)などが活用できるようになる。上空に常に10個以上の測位衛星が見えることになり、都会のビルの谷間や狭隘(きょうあい)な山間部でも、時間帯の制限なくどこでもリアルタイムに高精度測位が可能となってくるだろう。そのときに要求される精度はカーナビゲーションや携帯電話ではm~cm精度であろうし、地形計測ではmm精度であろう。このような測位衛星を有効に利用する技術と測位結果を生かすための技術を準備して時代の到来を待ちたい。

#### 3.2 シームレス測位への発展

今や衛星が見える場所では、リアルタイムに位置を知ることができる。しかしながら、衛星の電波が直接届かない場所や屋内でも位置を知りたいという要求があり、対応する技術の一つとして、急な崖(がけ)や地下などの構造物を数mm精度かつリアルタイムに計測可能な電波位相差変位計測システムを開発している。

計測対象エリアに設置した発信機からの電波を複数地点で受信し、その位相のずれから発信機の位置変動を検出す





図5. 航空機搭載アンテナ

るものである。天候や時間に左右されず、モニタリングが可能ということで、現在フィールドで実証実験を行っている。

また、シームレス測位に適用できる技術として、屋内でも位置検出可能なRFID(Radio Frequency IDentification)を開発している。一つの技術ですべてをカバーすることはできないが、センサ技術の組合わせで、より効率的により利用価値の高い三次元情報を計測できるよう今後も開発を続けていく。

#### 4. 移動体ブロードバンド衛星通信とその将来像

##### 4.1 移動体ブロードバンド衛星通信の進展とその現状

海域、空域を含めたグローバルな移動体衛星通信は、Lバンド又はSバンド周波数によるインマルサット、イリジウム等で提供されていたが、伝送帯域の制約もあり、1Mbpsを超えるブロードバンド通信は実現されていない。

一方、2003年の世界無線通信会議“WRC-03”で航空機、船舶への移動体衛星通信にKuバンド利用が認められ、2004年にはコネクションバイポーイングなる民間航空機向けブロードバンドサービスがポーイング社によって開始された。また2005年には、広大な太平洋をカバーするKuバンド衛星(GE-Satellite社のGE-23)も打ち上げられ、太平洋でも1Mbpsを超える移動体ブロードバンド衛星通信サービスが実現された。

この新サービスは、図5に示す当社が開発・実用化した航空機搭載のKuバンド小口径のアンテナと、海域をもカバーする大型の通信衛星とともに実現したもので、ポーイング社では同じ衛星通信インフラを利用した船舶向けブロードバンドサービスもアナウンスしたが、残念ながら、2006年に経済性の面からそのサービスを停止した。

しかし、コネクションバイポーイングを契機に、グローバルなKuバンドの衛星通信インフラが整備され、そのインフラとその後も整備される新たなインフラも利用した、種々の航空機や船舶向けのグローバルサービスが複数の事業者によって展開されている。その一例として、民間商船向けブロードバンドサービスである古野電気(株)のSafeComNet<sup>(注1)</sup>及びスカパーJSAT(株)のOceanBB<sup>(注2)</sup>のサービスカバレッジを図6及び図7に示す。

また、2009年10月には、独ルフトハンザ航空から、機内インターネットサービスを2010年中ごろから再開するとア

(注1) SafeComNetは、古野電気(株)が商標登録出願中である。

(注2) OceanBBは、スカパーJSAT(株)の登録商標である。

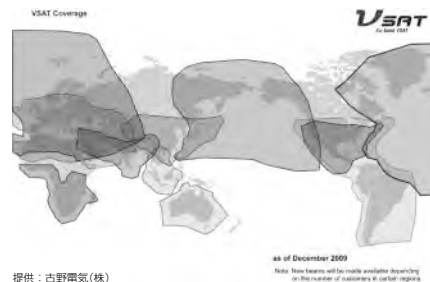


図6. 古野電気 SafeComNetのサービスカバレッジ

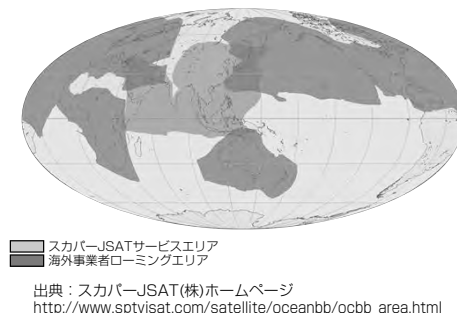


図7. スカパーJSAT OceanBBのサービスカバレッジ



図8. 船舶搭載用アンテナ

ナウンスされ、現在準備中である。

##### 4.2 移動体ブロードバンド衛星通信への取り組み

当社では、コネクションバイポーイング向けアンテナの開発を契機に、船舶、ヘリコプター、小型車両用途の種々の自動追尾Kuバンドアンテナの開発・実用化に取り組んでおり、様々な移動体ブロードバンド衛星通信ニーズに対応している。図8に船舶用自動追尾アンテナを示す。

また、グローバルなKuバンド衛星通信サービスでは、そのサービス地域に対応し、衛星とそのビームを切り替えながら運用することになり、この衛星・ビーム切替えには測位衛星による自己位置情報を活用し、确实・効率的な自動衛星追尾を実現している。

#### 5. む す び

当社で展開しているIT宇宙ソリューション事業実現のための衛星測位システムと、位置情報を中心とした統合的なサービスであるLBS並びに航空機、船舶、車両等を対象とした移動体ブロードバンド衛星通信の現状とその将来像について述べた。

これらの事業を更に高度に発展させ、“安心・安全な社会”及び“ユビキタス社会”の実現にこたえていきたい。

# モービルマッピングシステムと各種応用例

木元勝一\* 吉田光伸†  
西川啓一\*\*  
瀧口純一\*\*\*

## Mobile Mapping System and its Application

Shoichi Kimoto, Keiichi Nishikawa, Junichi Takiguchi, Mitsunobu Yoshida

### 要 旨

コンピュータの高性能化や大容量メモリの登場と低価格化によって、地図やGIS(Geographic Information System)の世界も3D化が急激に進んでいる。それに負けず劣らず、実空間でも立体交差や地下空間などより立体的になり、それらの建設計画・維持管理計画など、様々な分野でも3D空間での表現が必要な時代が到来している。

そのような環境の中、3D空間の現況データを取得する道具として三菱電機はモービルマッピングシステム(MMS)“MMS-X”を開発した。

MMSとは計測用車両と、車両位置を高精度に計測できるGPS(Global Positioning System)技術、レーザを照射して道路周辺の地物位置を計測するレーザスキャナ技術などを用いて、車両が走行するだけで3D空間の現況データを取

得することができる“高精度GPS移動体計測装置”である<sup>(1)(2)(3)</sup>。

MMSの最大の特徴は、データ取得のために道路の供用停止、いわゆる通行止めや交通規制をすることが不要で、短時間に計測を行え、その結果が容易な工程で短時間に得られることにある。そのため、新鮮な3D空間をデータとして扱うことが可能となる。

その特徴を生かし、道路台帳作成や維持管理・防災のための三次元計測が行われ始めており、また、そのデータを用いてこれまでにない新しい解析手法も検討が進められている。

これをより進めることによって、安心・安全・便利かつ環境を保全する社会創出に向かうナビゲーションとなることを期待している。

MMS-X(640)の仕様

|      | 品名             | 仕様                               |
|------|----------------|----------------------------------|
| 計測装置 | デジタルビデオカメラ 6台  | 5M画素                             |
|      | レーザスキャナ 4台     | 最大視野角180度<br>スキャン速度<br>13,500pps |
|      | GPSアンテナ/受信機 3台 | 2周波: 1基<br>1周波: 2基               |
|      | IMU及びオドメータ 1台  | 3軸FOG/<br>3軸加速度計<br>オドメータ: 右後輪   |
| 車両   | VW トゥーラン       | 撮影車速<br>(0~80km/h)               |



### モービルマッピングシステム“MMS-X(640)”

車上部天板にはGPSアンテナ3台、IMU(慣性航法装置)、レーザスキャナ4台、カメラ6台が搭載されている。また右後輪にはタイヤの回転を計測するオドメータが、車内にはこれらのセンサを統合管理するシステム一式が搭載されている。通常、2名での運用が可能であり、交通を乱すことなく周辺の三次元地形を計測することが可能である。

## 1. ま え が き

カーナビや社会インフラの維持管理を行うため、高精度で新鮮な、すわなちリアルタイムな三次元空間の計測が要求されている。一方、そのデータ取得にかかわる費用は抑えられ、また、管理者は計測のための交通規制を極力避けたいと願っている。MMSは、高効率なデータ計測とその後のデータ処理の容易さでその課題を解決する。

本稿では、公共測量や社会インフラの維持管理分野でのMMSの利用例について述べる。

## 2. MMS

MMSは各種センサを搭載した計測車両と、計測されたデータを解析し三次元化する後処理部に大きく分けることができる。

### 2.1 MMSによる計測

当社のモバイルマッピングシステムMMS-X(640)はGPSアンテナ3台、精密IMU1台、レーザスキャナ4台、カメラ6台を搭載している。MMSはこれらのセンサからのデータを精密な同期をとってロギングする車両である。

車内には各センサの状態を示すモニタがあり、特徴的なのは、GPSの受信状態によって計測精度を予測する誤差モニタが表示されていることである。この予測誤差モニタによって計測の失敗を防止している。

### 2.2 MMS後処理

MMS車両と対をなす後処理システムは、車両搭載の計測部によって記録されたGPSアンテナ3台のデータ、精密IMUデータとオドメータデータを複合計算することによって、車両の測位処理・姿勢計算を行う。計算された車両位置と姿勢をベースに、レーザデータと画像データに対しての三次元化処理、座標変換処理を実施し、三次元空間データを出力する(図1)。この後処理の特徴として、計測当日のうちに三次元点群ができることが挙げられる。

GPSによる測位は、電離層や対流圏による影響、衛星の軌道誤差、時計誤差等によって誤差が発生する。このため、国土地理院が全国に設置した1,200余点の電子基準点をネ

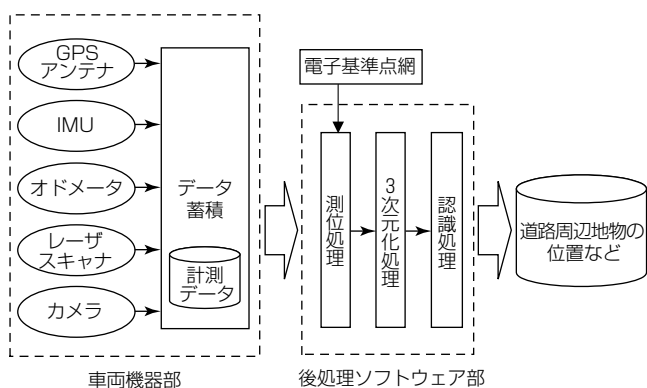


図1. MMSデータの後処理フロー

ットワーク化し、1秒ごとのデータを記録している。MMSが走行した時間、エリアのこの記録をダウンロードして、FKP(Flaechen Korrektur Parameter：面補正パラメータ)方式による補正を行って、数cm精度で測位計算を行う。

FKP方式を利用したため、高速走行時でも高精度測位が可能であり、かつ広域で均一に高精度なデータが得られる。トンネル内やビル影によってGPSが受信できない場合でも、IMUデータとオドメータデータを用いて複合計算しているため精度が保たれる。

GPSが受信できない状態が長く続いた場合、計測精度(公共座標とのずれ)が劣化するが、該当部分のいくつかの参照点の座標を追加して計算することで、全体に計測精度を向上させる補正処理ソフトウェアも用意している。

MMS後処理は、インターネットが使える環境で走行計測後に行われる。これは、走行しながらでは通信が途切れたり、又は通信圏外である場合を想定してのことである。GPS測位計算も、IMU、オドメータとの融合処理の中で行っているため、時間軸に沿った計算と時間軸をさかのぼる計算の両方を行うことによって、信頼性を向上させている。

### 2.3 NETIS登録

新技術情報提供システム(New Technology Information System：NETIS)とは、公共工事等で活用が期待できる民間が開発した新しい技術の情報を、国土交通省がデータベース化したものである。MMSは調査試験・測量・地上測量のカテゴリーで登録申請し、2009年にNETIS登録された(KK-090011)。合わせて“建設技術展2009近畿”に出品し、“審査員特別賞”を受賞した。

## 3. 公共測量への利用

測量法第5条に“測量に要する費用の全部又は一部を国又は公共団体が負担し、又は補助して実施する測量”を公共測量と定め、この成果は今後の工事、取引などに使われる可能性があるため、一定の精度を保つことが必要であることから、測量の方法についてマニュアルで規程している。

一方で技術の急速な進歩によって、より効率的・低コストで高精度な測量技術が出現している。これらの新技術を用いて公共測量を可能とするために、自治体などの計画機関から国土地理院に独自測量マニュアルを提出し、技術的な助言・承認を得ることによって新技術を利用した測量が実施できる。これを“機器等及び作業方法に関する特例”として国土交通省公共測量作業規程の準則第17条で定めている。

MMSを利用した公共測量の届出は1/500レベルの台帳付図作成が主であるが、複数の自治体から届出がなされ、そのうちのいくつかについては、その成果についても国土地理院の承認を受けた。図2はMMSで取得した点群であり、図3はそれを基に作成した台帳である。

MMSを導入することによって、台帳付図の効率的な作成ができることはもちろん、交差点の見通し改善や道路面のワダチの把握、看板や樹木のはみ出しのチェックなど、取得した三次元データからまた別の維持管理業務も可能となる。

#### 4. 道路維持管理

道路では上下水道管や通信ケーブル、ガス管などが埋設されている箇所も多い。道路拡幅や改良によって、埋設物の位置や深さがあいまいになりつつある。このため、工事中に埋設物破損事故が発生する可能性がある。さらには、雨水や漏水による空洞が発生し、これによる陥没も時折報告される。この対策のため、地中レーダなどを利用して埋設物や空洞を探索することが行われている。

図4は、地中レーダとMMSの組み合わせを実験的行った場合の探索結果である。図中拡大した部分の中央付近に地中レーダの強い反応が見られる。この部分に空洞又は異物が存在すると考えられる。地中レーダの反応位置が正確な座標と関連付けられるため、複数回の探索結果が正確に三次元空間上で重なり、データの判読が容易になる。また、地上の地形の特徴点からの位置も正確にわかるため、より詳細な調査の位置特定も簡便に行うことができる。また、道路表面の凹凸が計測できるため、その空洞が道路に影響を与えているかが推測でき、補修要否の判断材料として利



(協力：豊中市・(株)パスコ)

図2. MMS計測結果



図3. 台帳成果

用できると考えている。

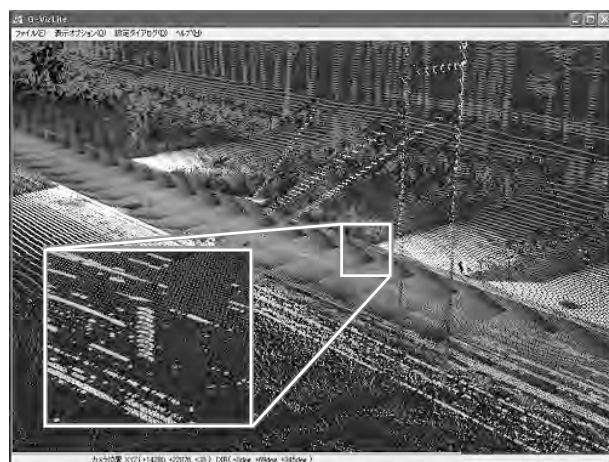
図5は埋設管位置を道路と合わせて三次元表示したもので、地中の位置を正確に把握することが可能になり、工事中の破損事故を減少させることができると考えている。

#### 5. トンネル計測

我が国には8,700本の道路トンネルがあるといわれ、ここ数年のうちは建設後50年を迎えるトンネルが25%を超えているといわれている<sup>(4)</sup>。一方でコスト面や交通規制の制約から、トンネル点検の頻度が上がっていないことも事実である<sup>(5)</sup>。

MMSをトンネル初期点検に利用する試みを行っている。トンネル初期点検の一部にMMSが利用できれば、特に課題となっている交通規制を行わなくてよいという利点がある。また、トンネルの内空形状を全線にわたり三次元で計測する時間も、トンネル長が400m程度であれば、従来の固定式の三次元レーザスキャナでは2日程度必要なところを1分程度で計測できるなど、効率の向上が期待できる。

図6は取得した点群から出来形を推定し、その推定出来形と計測値との凹凸を色で表現したものである。これによって局所的な変形状況の検査ができるものと期待している。



(協力：アイレック技建(株)・NTTインフラネット(株))

図4. 地上3D空間と地中レーダの重畳



図5. 地上3D空間と地下ケーブル

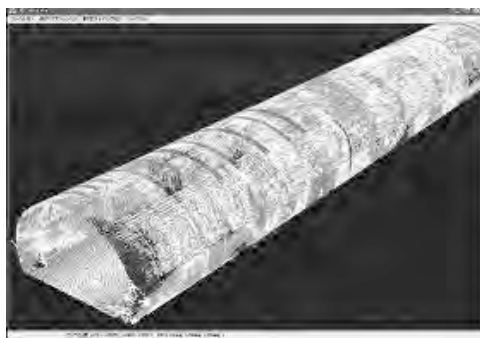


図 6. 推定出来型との凹凸<sup>(6)</sup>

## 6. その他計測

その他、地下ボーリングデータを三次元空間で重畳させることによって、データベースを構築するとともに、実際の町の地下構造がどうなっているかを住民にわかりやすく説明するための表現として利用されている(図 7)<sup>(7)</sup>。

また、MMSでは道路とその周辺しか 3D空間が取得できないが、航空写真や航空レーザデータと組み合わせることによって、広域でかつ詳細な 3D地形モデルを構築できる。これを洪水シミュレーションなどの防災用途に利用しようと研究がなされている(図 8)。

## 7. む す び

MMSを用いて高精度かつ効率的に三次元空間の計測が可能になってきた。しかし、空間計測のデータを取得することが目的ではない。これらの三次元空間データを活用し、維持管理や計画立案、防災用途に利用されてはじめて生活に役に立てると考えている。今後、これらデータの利活用の開発を合わせて進めていく所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 吉田光伸, ほか: モービルマッピングシステム, 三菱電機技報, **81**, No.8, 513~516 (2007)
- (2) 吉田光伸, ほか: モービルマッピングシステムを用い



図 7. ボーリングデータとの重畳



図 8. 航空レーザ・航空写真・MMSデータの重畳

た道路三次元情報の活用, 三菱電機技報, **83**, No.5, 322~325 (2009)

- (3) 瀧口純一, ほか: モービルマッピングシステムにおけるGPS/IMU/オドメトリ複合航法のデータ処理と精度管理, 日本信頼性学会誌“信頼性”, **32**, No.2 (2010)
- (4) 小澤 隆: 道路維持管理の現状と課題, 国立国会図書館刊行レファレンス, No.675, 53~70 (2007)
- (5) 安田 亨: 地盤構造物におけるアセットマネジメントの展開, 地盤工学会誌 土と基礎 (2010)
- (6) 道路トンネル健全性評価プロジェクト, 京都大学, 道路トンネル健全性評価技術の研究, 第6回新都市社会技術セミナー (2009)
- (7) 三村 衛, ほか: 鳥羽市大明地区の地盤情報データベースの構築と基盤構造モデル, 第44回地盤工学研究発表会 (2009)

# 船上での高速ブロードバンド通信を可能にする 船上地球局“Ku-Mate SX-5300”

佐藤裕之\*  
白井 忠\*  
加川義久\*

*Satellite Communication System on Board Vessel "Ku-Mate SX-5300"*

*Hiroyuki Sato, Tadashi Shirai, Yoshihisa Kagawa*

## 要 旨

近年、航空機や船舶などの移動体を対象としたブロードバンド通信サービスの要求が高まっている。特に海上分野における高速かつ大容量のデータ通信に対する世界的な需要の高まりを踏まえ、2003年の世界無線通信会議“WRC-03”で、船上地球局(Earth Stations on board Vessels: ESV)が審議され、Kuバンドの人工衛星を利用したESVシステムが導入されている。

Kuバンドを利用するESVには、隣接した人工衛星局や地上の固定局への干渉抑圧要求(周波数共用条件)を満足しつつ高利得、高出力を実現することが要求される。また、Kuバンドでは多くの衛星が直線偏波で運用されているため、移動体であるESVの位置や姿勢変動時には、衛星追尾だけでなく、偏波面を高精度に追尾する必要もあるなど、他の周波数に比べ制約が多い。

これまで三菱電機は、各種移動体衛星通信向けの機器を開発・提供してきたが、その実績とノウハウを集結して新機種“Ku-Mate SX-5300”を製品化した。

Ku-Mate SX-5300では、当社の培ってきた移動体衛星通信技術によって1 mアンテナのESVとして、各国の技術基準への適合と公的認証の取得を達成するとともに、より高速な伝送を実現することを可能とした。また、ESV艙装(ぎそう)時・運用／保守時の現場作業の簡略化を図り、既存機種と比較し、利便性を向上させている。今後、この製品によって、現在の船舶ブロードバンド通信市場がより活性化することを期待するものである。

本稿では、船上通信の現状と要求される技術課題及びKu-Mate SX-5300について述べる。



ADU



レドーム



ACU

## “Ku-Mate SX-5300”システム

今回製品化したKu-Mate SX-5300衛星通信装置を示す。主鏡直径1 mの船外装置ADU (Above Deck Unit) とレドーム及び船内装置ACU (Antenna Control Unit) から構成される。



## 1. ま え が き

近年、光ファイバやADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)、無線LAN (Local Area Network) 等の活用による利便性に富んだインターネット利用環境の整備が急激に進められている。海上分野でも、運航中の船舶内における旅客や乗務員を対象に、海上・陸上間の高速かつ大容量のデータ通信に対するニーズが世界的に高まってきている。

船舶ブロードバンド通信は、このようなニーズに対応し、ストレスを感じさせない通信業務環境を実現することで、旅客サービスとともに、乗務員の家族との連絡、福利厚生への向上にも大きく寄与するものと期待されている。

本稿では、2章で船上通信の現状と要求される技術課題について述べ、3章で今回製品化したKu-Mate SX-5300について述べる。

## 2. Kuバンドを利用したESVの技術的課題

### 2.1 ESVを用いた船上通信

ESVは海上で高速・大容量の通信を行うことができる“船上地球局 (Earth Stations on board Vessels)”の略語であり、船上地球局はCバンド (6/4GHz) 又はKuバンド (14/12GHz) の固定衛星業務の人工衛星局と通信することを可能にする。

図1にESVを用いた船上通信システムの構成例を示す。

現在、実用化されているESVでは、船陸間通信で乗務員の福利厚生、運航管理や旅客へのインターネットサービスとしてフォワードリンク (基地局→人工衛星局→ESV)、リターンリンク (ESV→人工衛星局→基地局) とともに500Kbps～数Mbpsのサービスを行っている。

### 2.2 製品化への技術課題

Kuバンドを利用するESVに要求される課題を次に示す。

- (1) 他システムへの干渉抑圧によって周波数共用条件を満たしつつ、高利得、高出力を実現できること

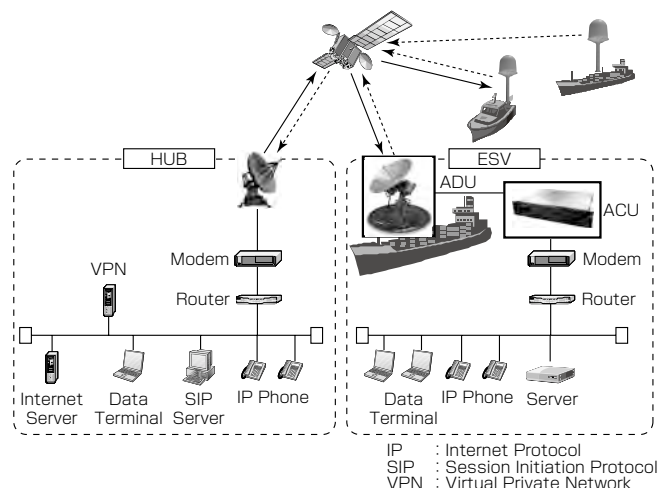


図1. ESVを用いた船上通信システムの構成例

- (2) 移動体の位置の変動、姿勢の変動に伴い、衛星を高精度に追尾すること
- (3) 高速なブロードバンド通信環境を簡易に構築・保守できること

特にKuバンドは他の周波数帯に比べ他システムへの干渉を厳しく抑える必要があり、周波数共用条件を満たしつつ高速化を図るには、システム全体としての工夫が必要である。

今回製品化したKu-Mate SX-5300は、これらを踏まえ次の点を実現している。

- (1) アンテナの低サイドロープ化
- (2) 高精度の衛星追尾
- (3) 艙装・保守時等における現地作業の容易性向上

## 3. Ku-Mate SX-5300

Ku-Mate SX-5300 (以下“Ku-Mate”という。) は、次の特長を持った、1 mアンテナ / 8 W送信機のESV機材である。

- (1) Eutelsat STANDARD Mを認証取得した優れた低サイドロープ放射特性
- (2) 過酷な船舶動揺条件下での高精度衛星追尾
- (3) 4軸制御マウントによる動揺条件下での広カバレッジ追尾
- (4) ADU-ACU間2本ケーブル (同軸、電源) による艙装の容易化
- (5) 運用 / 保守・交換性の向上

次に、システム構成と主要な機能・性能について述べる。

### 3.1 システム構成

Ku-Mate のシステム構成を図2に、主要性能を表1に示す。このシステムは、船外装置であるADU及び船内装置であるACUから構成される。ADUは方位角軸 (Azimuth axis: AZ)、仰角軸 (Elevation axis: EL)、仰角補助軸 (Cross Elevation axis: xEL)、偏波軸 (Polarization axis: POL) の4軸制御によって衛星の捕捉 (ほそく)・追尾を実現する。

### 3.2 機能と主要性能

ESVは、送信周波数を共用する固定業務及び隣接衛星への影響を考慮し運用する必要があるため、無線設備規則 (第四十九条の二十四の二) で規定されているように、特に送信特性に要求される放射パターンの制限が厳しい。

Ku-Mateの製品化に当たっては、これらを十分考慮した設計を行った。ここでは、隣接衛星及び既存固定業務地球局への干渉に影響を与える軸外輻射 (ふくしゃ) 特性と追尾特性について述べる。

- (1) 優れた放射特性 (低サイドロープ化)

他システムへの干渉を低減しつつ高速化を図るためには、送信電力を単に大きくするだけでは不十分であり、アンテ

ナから放射される主ビーム以外の方向(軸外方向)への送信電力を可能な限り低減すること、すなわち送信放射パターンの低サイドローブ化が必要である。Ku-Mateでは、超小型衛星通信地球局(Very Small Aperture Terminal: VSAT)やESVの無線設備規則で規定される軸外輻射電力密度よりもさらに2 dB厳しいEutelsat STANDARD Mの要求事項をターゲットに低サイドローブ化を行った。

これを実現するために、アンテナ方式は、鏡面修整リングフォーカスグレゴリアン方式を採用した。その結果、1 mクラスのESVとしては極めて高い電力密度(最大EIRP (Equivalent Isotropical Radiated Power)密度39.7dBW/40kHz)の送信が可能な設備としてEutelsat STANDARD Mの認証を取得した。図3、図4に送信放射パターンを示す。

## (2) 高精度な衛星追尾特性

電波法施行規則(第三十二条の八の二)では“人工衛星局の方向に対して〇・二度の範囲内に維持すること”と追尾精度が規定されている。ESVとしての衛星追尾では追尾誤差による回線劣化を防止するだけでなく、隣接衛星局に配慮する必要があるため、0.2°という厳しい追尾精度が要求される。

Ku-Mateでは、移動体衛星通信用アンテナ向けに当社の実績豊富なコニカルスキャン方式を採用している。この方式は、アンテナを衛星方向を中心に微小角ずらして円を描くようにスキャンし、受信電力が最大になる方向を検出することによって追尾を実現するものである。

洋上における過酷な船舶動揺下でも通信回線を保持・確立するためのKu-Mateでは、実運用で想定される以上の船舶動揺下での動作確認を実施している。

図5に当社設備である動揺試験台で実施した、衛星追尾

確認試験の試験風景を示す。動揺状態での追尾精度実測結果は0.2°以内であることを確認している。

## 3.3 艤装、運用/保守・交換性の向上

### (1) 艤装の簡素化

送受信と制御信号の3種類の情報を1本の同軸ケーブルに重畳させることによって、2本(電源・同軸)の配線でACU-ADU間を接続する。これによって、ケーブル配線時間の短縮が可能となり、設置工事の工期短縮に貢献できる。

### (2) 運用/保守・交換性の向上

専用ソフトウェア“Ku-Mate Navigator”でKu-Mateの動作状態をパソコン画面に表示させ、容易に状況の確認が可能である。図6、図7に画面例を示す。

表1. 主要性能

| 項目           |         | 主要性能                               |
|--------------|---------|------------------------------------|
| アンテナ         | 鏡面サイズ   | 1 m                                |
|              | レドームサイズ | 1.60m (D) × 1.75m (H)              |
|              | 質量      | 175kg                              |
|              | マウント    | 3 軸 サーボ制御                          |
| RF/IF<br>周波数 | 送信      | 14.00~14.50GHz/950~1,450MHz        |
|              | 受信      | 10.95~12.75GHz/950~1,700MHz        |
| 偏波           | 送信      | 直線                                 |
|              | 受信      | 直線                                 |
| 交差偏波<br>識別度  | 送信      | >30dB                              |
|              | 受信      | >30dB                              |
| システムEIRP     |         | 49.0dBW typ. @14.25GHz with 8W BUC |
| システムG/T      |         | 18.4dB/K typ. @12.50GHz            |
| 追尾           | 方式      | コニカルスキャン+レートセンサ                    |
|              | 精度      | ±0.2°                              |
| 駆動範囲         | Az      | 540°                               |
|              | El      | -25~+115°                          |
| 風荷重          | 平均      | 40m/秒                              |
|              | 最大      | 60m/秒                              |
| 船舶動揺         | Roll    | ±30°/7秒                            |
|              | Pitch   | ±10°/5秒                            |
|              | Yaw     | ±4°/20秒                            |
|              | 旋回速度    | ±6°/秒                              |
| 船舶インタフェース    |         | 航行情報 ジャイロコンパス(NMEA0183)            |
| 環境条件(注1)     | 温度      | -25~+55℃                           |
|              | 湿度      | +40℃ 93% 1サイクル                     |
| 電源           |         | 100/240VAC 50/60Hz ±5%             |

(注1) IEC60945準拠

BUC : Block Up Converter  
GPS : Global Positioning System  
LNA : Low Noise Amplifier  
NMEA : National Marine Electronics Association  
UPS : Uninterruptible Power System

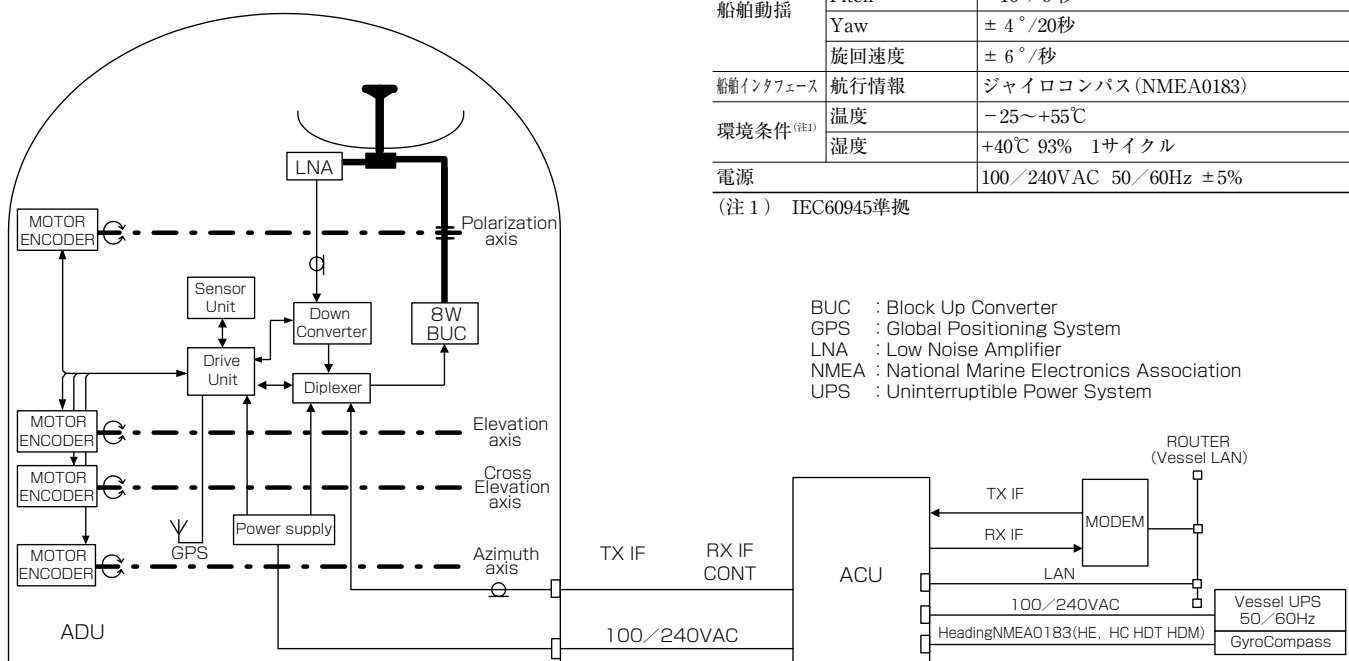


図2. システム構成

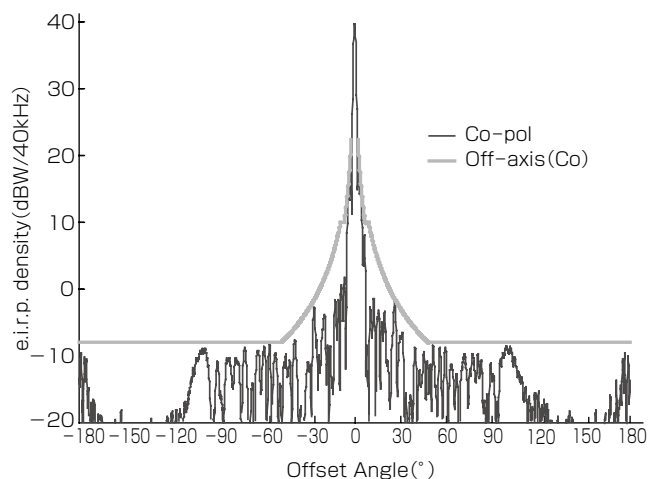


図 3. 放射パターン(送信 E面 14.25GHz)

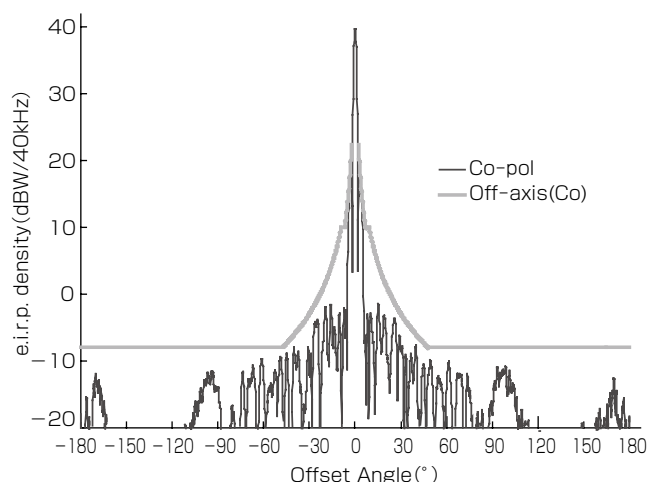


図 4. 放射パターン(送信 H面 14.25GHz)

図 6 は、船舶の進行方向とアンテナの指向方向を視覚的に確認できる画面であり、ノースアップ、ヘディングアップ双方の表示が可能となっている。また、図 7 に示す画面は、アンテナ主要構成要素別にアラームの有無とステータスを表示している。

このソフトウェアには、別画面で保守の機能も備えており、設定ファイルのアップ・ダウンロード、モータユニットの機械調整、制御ユニットのパラメータ設定を容易に行うことが可能であり、現場作業時間の大幅な短縮と確実な設定作業が期待できる。

### 3.4 各種認証

先に述べたEutelsat Type Approvalの取得のほか、CEマーキング(R&TTE(Radio and Telecommunications Terminal Equipment), EN (European Norm), IEC(International Electrotechnical Commission)安全規格)に適合している。主な適合規格を次に示す。

- (1) R&TTE Directive 1999/5/EC
- (2) EN60950-1 : 2006 - 安全性
- (3) EN60945 : 2002



図 5. 試験風景

Roll :  $\pm 30^\circ$  / 7秒  
Pitch :  $\pm 10^\circ$  / 5秒  
Yaw :  $\pm 4^\circ$  / 20秒  
の動揺例

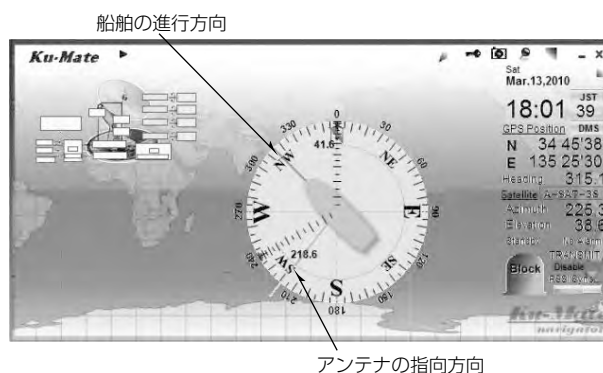
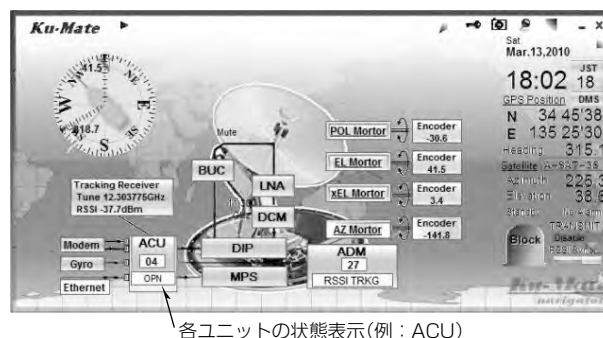


図 6. Ku-Mate Navigatorの画面例 1



各ユニットの状態表示(例: ACU)

図 7. Ku-Mate Navigatorの画面例 2

## 4. む す び

船陸間通信の高速ブロードバンド化を可能にする船上地球局 Ku-Mate SX-5300について述べた。この製品は、他システムへの干渉抑制特性に優れているため、既存製品より高速伝送を実現することが可能である。今後この製品によって、現在の船舶ブロードバンド通信市場がより活性化することを期待するものである。

## 参考文献

- (1) 土谷牧夫：ブロードバンド移動体衛星通信用アンテナ技術，三菱電機技報，83，No.3，187～190 (2009)

# 災害・危機管理・報道に威力を発揮する ヘリコプター及び小型車載用衛星通信システム

尾崎 裕\*  
佐々木 源\*

Helicopter Satellite Communication System and Compact SNG for Vehicle

Yutaka Ozaki, Gen Sasaki

## 要 旨

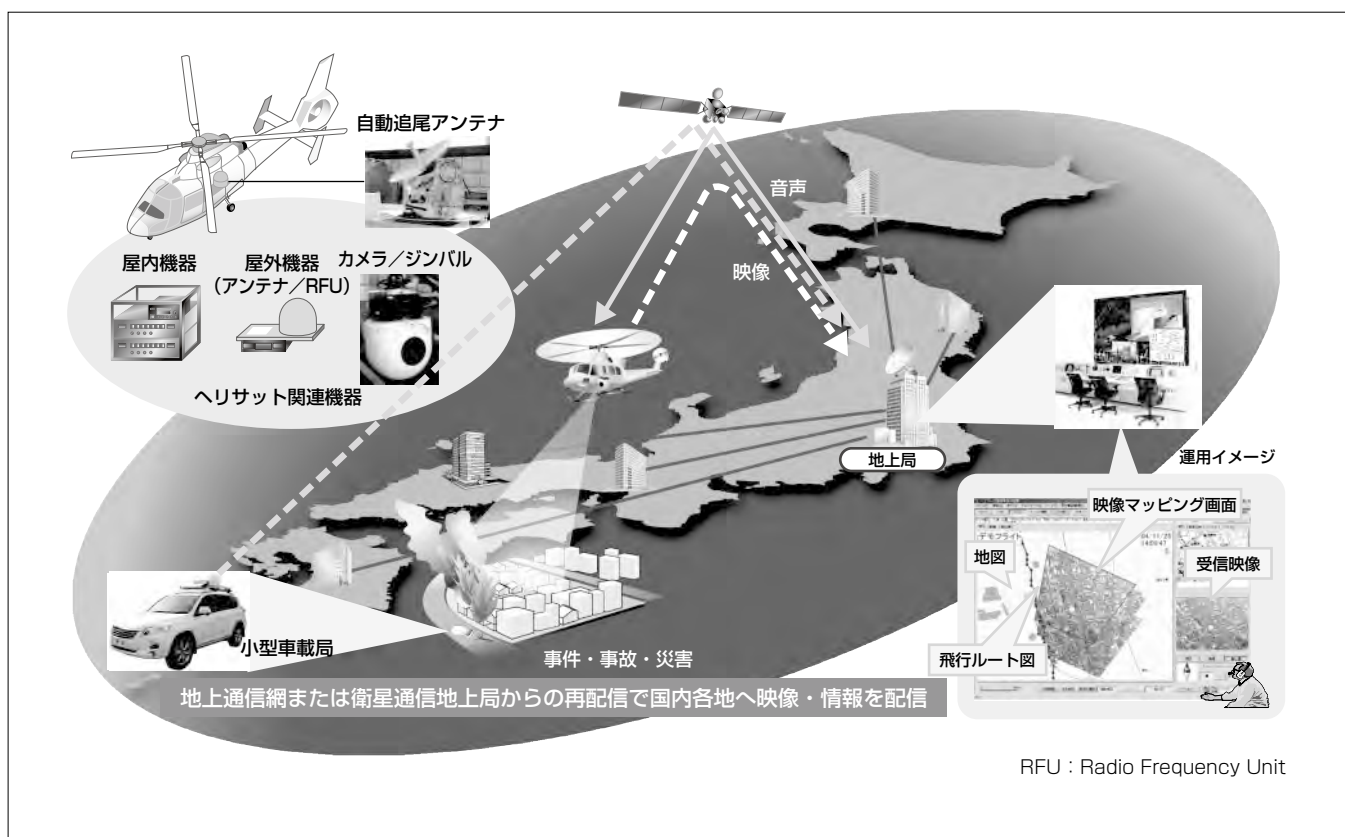
近年、安心・安全な社会に対する社会的要請が高まっており、相次ぐ地震、台風、津波などに対する災害対策への的確な対応が求められている。

災害・危機管理の分野では、迅速かつ的確に情報を収集・整理し、情報通信基盤を通じて住民や関係機関に伝達することによって、被害や事故の件数の軽減や質的な改善を実現することが見込まれ、情報通信技術が国民の被害を適切に回避するための大きな役割を果たすことが期待されている。

また、各種報道分野でも事件・事故等の発生時に迅速かつ正確な初期報道を行うことによって、広く世間へ周知することが望まれる。

現在このような災害・危機管理・報道では現場への駆けつけ手段として有効なヘリコプターや車を用いた情報収集が行われているが、昨今の阪神大震災や中越地震等では一部孤立地域の発生や道路の損壊等で情報収集に時間を要する場合もあった。これらの状況でも的確な対応を可能とするために情報収集システムの更なる改善が期待されるところである。

本稿では、これらの改善を実現する次世代システムとして期待されるヘリコプターから直接人工衛星を介して情報を伝送するシステムについて述べるとともに、このシステム用に実用化した小型軽量移動体用アンテナ技術を応用した小型車載局について述べる。



## ヘリコプター及び小型車載用衛星通信システムの利用イメージ

衛星通信の広域性と移動体の機動性を生かし、どこからでもリアルタイムに情報を伝送できることによって、広域災害、事件、事故の発生時において、初動時に被災地の情報を迅速かつ的確に収集することが可能である。



# 1. ま え が き

災害・危機管理・報道の分野では、迅速かつ的確に情報を収集・整理し、情報通信基盤を通じて住民や関係機関に伝達することによって、被害や事故の件数の軽減や質的な改善を果たすことが期待されている。

現在このような災害・危機管理・報道では現場への駆けつけ手段として有効なヘリコプターや車を用いた情報収集が行われているが、孤立地域の発生や道路の損壊等状況によっては情報収集に時間を要する場合もあり、情報収集システムの更なる改善が期待されるところである。

本稿では、これらの改善を実現する次世代システムとして期待されるヘリコプターから直接人工衛星を介して情報を伝送するシステム及び小型車載局について述べる。

## 2. 防災・報道における現状の運用状況と課題

災害、事件、事故等が発生した場合に、いち早く現場に駆けつけることができる手段はヘリコプターであり、初動時の迅速な情報収集にもっとも有効な手段として活用されている。

現在ヘリコプターからの伝送手段としては、無線で地上中継局を介して伝送するヘリコプターテレビ伝送システムが活用されているが、伝送エリアは地上中継局から一定距離の見通しエリア内に限定され、広い範囲をカバーするためには複数の地上中継局が必要となり整備費負担も大きくなる。このため地上中継局が整備できない空白地帯では車載中継局や可搬局が使われているが、現場到着及び設置のための時間を要するためヘリコプターとのタイムラグが生じるとともに、災害によっては道路の通行が妨げられ孤立地域となり車載中継局が使えないなどによって、いち早く現場にヘリコプターが駆けつけても情報の伝送ができず時間を要するといった場合もあった。

実際、ニーズを抱えながら現行システムの整備を実現できない理由として、ヘリコプター搭載機材の費用に加え、地上中継局の整備費用の負担がある。

これらの課題を解消する手段として、(独)情報通信研究機構(NICT)を中心としてヘリコプター衛星通信システムの実用化検討がなされてきた。

## 3. ヘリコプター衛星通信システム

### 3.1 システム概要

ヘリコプター衛星通信システム(ヘリサット)は図1の構成図のように、ヘリコプターで撮影した被災地等の動画を静止衛星経由で地上局へ伝送する機能とヘリコプターと地上局間の双方向音声通信を実現する機能を持つ。ヘリ局装置は衛星通信用小型アンテナ、送受信機(Radio Frequency Unit: RFU)、変復調器、映像装置等から構成さ

れ、地上局は通常の衛星通信用アンテナ・送受信設備にこのシステム用の復調器、映像装置を追加した構成である。次にこのシステムの導入効果を示す。

- (1) 地上中継局を必要とせず地上局1局で広域をカバーできる(広域性)。
- (2) 回線接続のための準備作業を必要とせずヘリコプターの到着と同時に伝送が可能である(機動性)。
- (3) 山岳や高層建築物の影響を受けず近接撮影、谷あい等でも安定な伝送ができる(耐環境性)。
- (4) 複数受信局で同報受信することによって各拠点で同時にリアルタイムに情報を共有できる(同報性)。
- (5) 災害等によって道路などが破壊されてもどこからでも伝送が可能である(抗堪性)。
- (6) 双方向音声通信によって常時連絡回線が確保でき、地上局からヘリコプターへ撮影個所の指示などが可能である(利便性)。
- (7) 地上中継局が不要なので管轄区域が広範囲なほどコストパフォーマンスに優れる(低コスト)。

### 3.2 主要技術

#### (1) 送受信方式

ヘリサットではブレードに電波が当たって他のシステムに干渉することを避けるためブレード回転の間隙(かんげき)をねらって送信する間欠送信方式を採用している。この間欠送信のタイミングは、ヘリコプターの姿勢、衛星の位置及びブレードの回転タイミングによって決定され、フライト姿勢によって時々刻々と変化するため正確かつ動的なタイミング制御が求められる。また、ブレードによるブロッキングの時間率も送信ビームの方向によって変化する。

この方式では送信データを適当な長さのバーストに分割し、このバースト単位で送信ON/OFF制御を行っている。また、ブレードの回転タイミングはヘリコプターの標準的なセンサ(例えば磁気的に回転を検出するマグネチックピックアップセンサ等)から1回転に1回出力される信号を用い、ヘリコプターの姿勢と衛星の位置から決定されるビーム方向とブレードが重なるタイミングを演算し、送信のON/OFF制御を行う。この動作について、図2に概要を示す。

また、ヘリコプターにおける受信では受信波がブレードに当たって遮断されるため、同じデータを複数回少しずつ

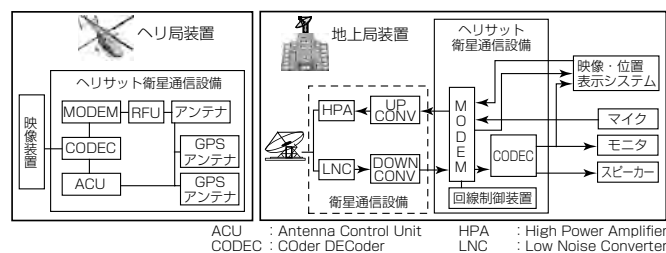


図1. システム構成

時間をずらして伝送する時間ダイバーシティ方式を採用している。実用機では同じデータを4回送信しており、受信側でこれらのデータを合成し復調することによって、ブレードによってどのようなタイミングでデータが欠落しても元のデータを再現できる。この動作の概要を図3に示す。

## (2) 追尾方式

Kuバンドを用いた衛星通信装置では、衛星追尾においては追尾誤差によって回線劣化を防止するだけでなく隣接衛星への干渉に配慮する必要がある、厳しい追尾精度が要求される。

近年移動体(航空機、船舶)向けに衛星通信を利用したブロードバンドサービスが開始されているが、ヘリサットではこれらのアンテナで標準的に用いられている追尾方式と同じコニカルスキャン方式を採用している。本方式は、ビームを衛星方向を中心に微小角ずらして円を描くようにスキャンして受信電力が最大になる方向を検出することによって高精度追尾を実現している。

なお、システム起動時の衛星初期捕捉(ほそく)は、GPS(Global Positioning System)アンテナで検出したヘリコプターの位置・方位情報とアンテナに内蔵された角速度センサによる姿勢情報によって衛星の指向方向を求め、この方向を中心に衛星をサーチする。この動作の概要を図4に示す。

## 3.3 実用化のステップ

平成13年度から平成16年度にかけて実施された「災害・防災情報のための衛星デジタル伝送技術に関する調査検討」で、ヘリコプターからの衛星通信の基本技術に関するデータ取得と技術的条件に関する検討がなされた。また、最終年度の平成16年11月には実際にフライトしているヘリコプターから衛星経由で(独)情報通信研究機構 鹿島宇宙技術センターへ空撮映像の準動画(384kbps)による伝送に

成功した。

これを受け、平成18年度には「ヘリコプターによる被災地情報収集の在り方検討会」で伝送速度の高速化による伝送映像品質の向上と防災用に実際に運用されている設備を利用した設備の検証について実証がなされ、公開実験によって成果が示された<sup>(1)</sup>。

公開実験では、防災用途で実際に用いているスーパーバード<sup>(注1)</sup>B2衛星と消防庁の地上局設備を用いフライトしているヘリコプターから標準的な映像(1.5Mbps)を安定に伝送できることが実証された。また、双方向音声通信によって、地上側よりヘリ位置、映像を確認しながらリアルタイムにヘリ搭乗者に撮影位置を指示し適格に対応するなど、ヘリサットの特徴を最大限に発揮した運用について高い有用性が示された。実証実験風景を図5に示す。

これに続き、ヘリサット実用機として報道等を含めた幅広い用途を目指した映像品質の更なる向上としてHD(High Definition)映像伝送の実現について検討が進められた。また、実用化ではヘリコプターの航続距離確保、搭載能力確保のために省スペース化、軽量化は重要なファクタであり、実用機として徹底した小型軽量化の検討がなされた。次にHD映像伝送実現のアプローチを示す。

## (1) ヘリコプター搭載小型軽量アンテナの開発

Kuバンドを用いた衛星通信装置については送信波の隣接衛星への干渉、地上システム(固定マイクロ、電波天文など)への干渉を防止することが要求されるため、許容される軸外電力の規定を満たしつつ伝送速度の向上とアンテナの小型化を図る必要がある。このために小型軽量で軸外輻射(ふくしゃ)特性の良いアンテナを開発し、ヘリコプターに搭載したときの航行性能への影響を極力抑えるとともに大幅な送信電力の向上を実現した。

(注1) スーパーバードは、スカパーJSAT(株)の登録商標である。

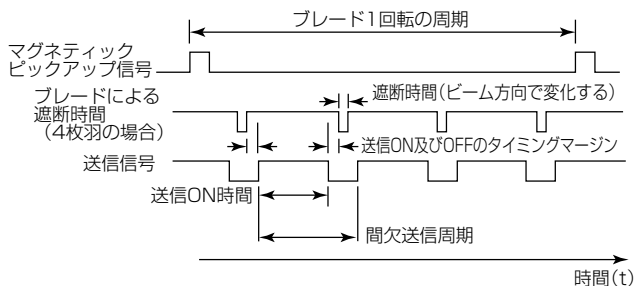


図2. 間欠送信方式の動作

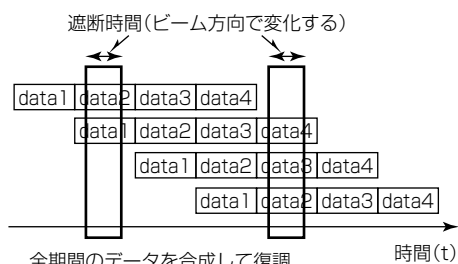


図3. 時間ダイバーシティ方式の動作

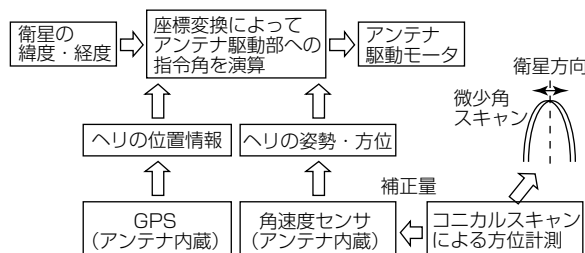


図4. 追尾制御方式の動作



図5. ヘリサット公開実証実験の様子



## (2) 強力な誤り訂正技術の採用

理論限界(シャノン限界)に近い誤り訂正能力を持つLDPC符号(Low Density Parity Check Code:低密度パリティ検査符号)を採用した。このLDPC符号によって一般的に衛星通信に使われるリードソロモンと畳み込み符号の組み合わせより約2.5dBのC/N(Carrier/Noise)改善を実現した。

## (3) 高能率符号化方式の採用

昨今放送業界等で実際に使われ始めているH.264(MPEG(Moving Picture Experts Group)-4AVC(Advanced Video Coding))を採用することによって、従来方式であるMPEG-2の約2倍の圧縮率を実現、これによって6Mbpsから10MbpsでHD映像の伝送を実現した。

更に平成20年度から平成21年度にかけて「ヘリコプターからのHDTV伝送(高画質伝送)のための衛星通信技術に関する調査検討<sup>(3)</sup>」「動体衛星通信(ヘリサットシステム)における高速大容量伝送技術の検討<sup>(4)</sup>」が実施され、ヘリコプターからの大容量伝送に関する技術的データ取得と技術的条件に関する検討がなされた。

## (4) 追尾精度の技術的データ取得

ヘリコプターの動揺を模擬した動揺試験台にアンテナを設置し、実際の運用で想定される3軸(ロール、ピッチ、ヨー)動揺と旋回撮影を想定した動揺における衛星追尾精度に関するデータ取得が行われ(図6(a))、動揺状態でヘリコプター運用が可能であることが確認された。この試験風景を図6(b)に示す。

## (5) HD映像伝送試験

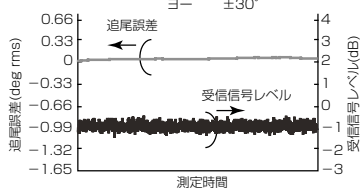
実際に防災ヘリとして使用されているヘリコプターと同機種のヘリコプターにヘリサット機材を仮実装し駐機状態でブレードを回転させた状態で、HD映像を衛星経由地上局へ伝送する試験を実施した。伝送は、6Mbps及び10Mbpsで実施され、HD映像が安定かつ良好に伝送できることが確認された。この試験風景を図7に示す。

## 3.4 ヘリサット実用機

ヘリサット実用機の外観写真を図8に、主要諸元を表1に示す。また、実用機の特長を次に示す。

- (1) ヘリコプターからリアルタイムにHD映像伝送が可能
- (2) 自立的に衛星追尾によってヘリコプターからの航法情報が必要

◆ヘリコプターを模擬した動揺条件(3軸同時動揺)  
 ロール ±30°  
 ピッチ ±20°  
 ヨー ±30°



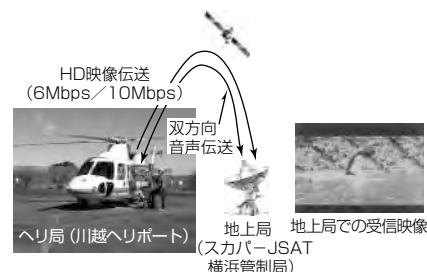
(a) 衛星追尾測定データ



(b) 動揺試験風景

図6. 追尾試験の様子<sup>(4)</sup>

- (3) 強力な誤り訂正によって低C/Nでの安定伝送を実現
- (4) ヘリ局用ヘリサット機材の小型軽量化を実現
- (5) 360度連続回転構造アンテナによって旋回撮影時も連続で伝送が可能
- (6) 地上局からの簡易操作によって双方向回線を自動接続
- (7) 地上局で撮影位置/ヘリコプター運行状況のリアルタイム管理が可能



※総務省試験事務「移動体衛星通信(ヘリサットシステム)における高速大容量伝送技術に関する調査検討」における平成21年度評価結果より引用

図7. HD映像伝送試験の様子<sup>(4)</sup>

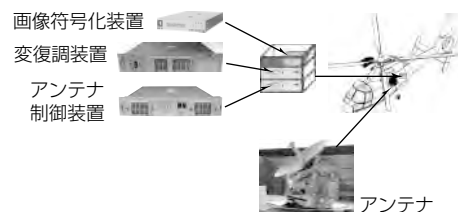


図8. ヘリサット実用機の外観

表1. ヘリサットの主要諸元

| 項目           | 仕様・性能                                                  |                  |
|--------------|--------------------------------------------------------|------------------|
| 1 システム       |                                                        |                  |
| 1.1 利用周波数帯   | 送信: 14.00~14.40 GHz, 受信: 12.25~12.65 GHz               |                  |
| 1.2 機能       | 映像送信, 双方向音声, データ通信                                     |                  |
| 1.3 通信方式     | ヘリ送信: ヘリコプターのブレード回転に同期した間欠送信方式<br>地上局送信: 時間ダイバーシティ受信方式 |                  |
| 1.4 回線制御方式   | PAMA方式                                                 |                  |
| 2 アンテナ/送受信装置 |                                                        |                  |
| 2.1 アンテナ     | 0.4mφパラボラアンテナ                                          |                  |
| 2.2 衛星追尾方式   | 受信信号強度によるスキャン方式                                        |                  |
| 2.3 偏波       | 送受直交直線偏波                                               |                  |
| 2.4 EIRP     | 45dBW 標準                                               |                  |
| 3 変復調装置      |                                                        |                  |
| 3.1 変復調方式    | ヘリ送信: $\pi/2$ シフトBPSK/同期検波またはQPSK<br>地上局送信: BPSK/同期検波  |                  |
| 3.2 誤り訂正方式   | ヘリ送信: LDPC符号,<br>基地局送信: 畳み込み符号/軟判定ビタビ復号                |                  |
| 3.3 情報速度     | ヘリ送信: 384kbps~10Mbps<br>地上局送信: 16~64kbps               |                  |
| 4 ヘリコプター搭載条件 |                                                        |                  |
| 4.1 飛行最大速度   | 160kt                                                  |                  |
| 4.2 最大高度     | 11,000ft                                               |                  |
| 4.3 ピッチ角     | ±30°                                                   |                  |
| 4.4 バンク角     | ±20°                                                   |                  |
| 5 その他        | 機外装置                                                   | 機内装置             |
| 5.1 電源条件     | DC 28V                                                 | DC 28V           |
| 5.2 環境条件     | -25~50℃                                                | 0~40℃            |
| 5.3 寸法       | アンテナ: 600Φ×550 (mm)<br>送受信装置: 460×450×130 (mm)         | 490×300×530 (mm) |
| 5.4 質量       | 約30kg                                                  | 約20kg            |



図 9. 小型車載局

## 4. 小型車載局

### 4.1 概 要

先に述べたヘリサット実用機の小型軽量移動体用アンテナ技術を応用し、小型の車両にアンテナを取り付けて、従来の衛星通信車載局に比べて格段に機動性を向上させた小型車載局を開発した。図 9 に小型車載局の写真を示す。

衛星通信車載局は、放送局のSNG (Satellite News Gathering) システム<sup>(注2)</sup>で報道番組の制作に広く活用されており、また官公庁、インフラ企業等の防災システムの通信用途にも利用されている。

搭載設備としては通信用の機材、信号編集用の機材、電源設備等を装備しており、事件、事故現場や災害現場へ移動し、現場で収集した映像・音声を対向する受信基地局へ向けて伝送する役割を果たす。

従来の衛星通信車載局は、直径1.4mクラス以上のアンテナと、映像素材のHDTV化に伴い350Wクラス以上の送信機を備え、車両はトラックをベースとした大型車両のものが多く、報道、防災用途の観点からはより機動性の高い小型の車載局が求められていた。

(注2) 放送局で利用されている衛星通信を用いた番組素材集配用の映像伝送システム

### 4.2 今回開発した車載局

小型軽量移動体用アンテナ技術の応用によって乗用車ベースの小型車両で車載局を実現、更に衛星追尾機能によって機動性を向上させた。特長を次に示す。

#### (1) 小型軽量移動体用アンテナによる機動性の向上

直径40cmの小型アンテナによって小型4輪駆動車の衛星通信車載局を実現し、従来と比べて大幅に機動性を向上させた。また衛星自動追尾機能によって車両をアウトリガーで固定する必要がなく、現場到着後すみやかに映像伝送が可能となり、走行しながらの通信も可能である。

#### (2) H.264+DVB-S2高能率伝送

MPEG-4 AVC/H.264符号化とLDPC符号を用いたDVB (Digital Video Broadcasting)-S2符号化／変調方式によって、6～11Mbpsでの高品位なHDTV伝送を実現した。

#### (3) 機装(ぎそう)の簡素化

従来の車載局ではアンテナの取り付け、車内装置とアンテナ間の接続等に車両改造の手間がかかっていたが、この小型車載局はアンテナの小型化によって市販ルーフキャリアへの取り付けが可能となり、またサンルーフを利用して車内-車

表 2. 小型車載局主要諸元

| 項目      | 仕様・性能                                                        |
|---------|--------------------------------------------------------------|
| 送受信周波数  | 送信：14.0～14.5GHz, 受信：12.25～12.75GHz                           |
| 最大EIRP  | 47.7dBW                                                      |
| 伝送信号    | HDTV or SDTV映像信号：1チャンネル<br>オーディオ信号：最大8チャンネル                  |
| アンテナ    | φ40cmパラボラ 利得：送信 32.5dBi 受信 31.3dBi<br>駆動範囲 仰角：15～75° 方位角：全方位 |
| 追尾キャリア  | QPSK 35kbaud                                                 |
| 偏波      | 送受直交直線偏波                                                     |
| 送信機出力電力 | 49dBm (1dBG.C.P.)                                            |
| IF周波数   | 送信IF：950～1,450MHz, 受信IF：950～1,450MHz                         |
| 変調方式    | DVB-S2, DVB-S/DSNG準拠                                         |
| 映像符号化方式 | MPEG-4 AVC/H.264準拠                                           |
| 音声符号化方式 | MPEG-2 AAC LC, LPCM (SMPTE302M)                              |
| 映像入力    | HD-SDI, SD-SDI                                               |
| 音声入力    | SDI多重, AES/EBU 最大8ch                                         |
| 周囲温度    | 屋外装置：-10～45℃, 屋内装置：0～40℃                                     |

外ケーブルを通すことによって、機装の簡素化が図れた。

#### (4) 可搬局としての運用

アンテナ及び送受信機の取り付けインタフェースを簡素化し、取り外しを容易な構造にすることによって、可搬局としての使用も可能とした。

小型車載局の主要諸元を表 2 に示す。

## 5. む す び

災害・危機管理・報道分野で次世代システムとして期待される衛星通信システムについて述べた。

ヘリコプターから直接衛星通信を行うシステムについて技術的データ取得を完了し、今後無線設備の技術的条件に関する検討が行われる予定であり、まもなくヘリサット実運用の環境整備がすべて整う見込みである。また、小型車載局もまもなく実用に供される見込みである。

これらのシステムの活用によって実運用における様々な改善が期待でき、近い将来、災害・危機管理・報道の各分野でヘリサット及び小型車載局が実運用に供されその威力を発揮することを願うものである。

## 参 考 文 献

- (1) ヘリコプターによる被災地情報収集の在り方検討会報告書 (2006)
- (2) 消防防災ヘリコプターに搭載する直接衛星通信システムの実用化に向けた共通仕様策定等に関する検討会報告書 (2008)
- (3) ヘリコプターからのHDTV伝送(高画質伝送)のための衛星通信技術に関する調査検討報告書 (2009)
- (4) 移動体衛星通信(ヘリサットシステム)における高速大容量伝送技術の検討報告書 (2010)
- (5) 佐藤正樹, ほか: 即応性に重点を置いた災害対策用ヘリコプター衛星通信システム, 電気情報通信学会誌, **89**, No.9 (2006)

# UHF帯RFID大容量メモリタグの活用

伊藤 岳広\*

## UHF RFID Extended Memory Tag Application

Takehiro Ito

### 要 旨

三菱電機では、UHF (Ultra High Frequency) 帯RFID (Radio Frequency IDentification) を事業化し、物流管理や工程管理のソリューションを提供している。従来、電池を搭載しないパッシブ型のRFIDタグは、数百ビット程度のIDデータのみ記録可能であったが、近年IDデータ以外のデータも記録できるユーザーメモリを持つものが市場に出始めている。これに伴い、今後生産履歴や作業指示情報等のID以外のデータもRFIDタグに記録させるソリューションが広まる可能性がある。

このような背景の下、当社では従来のパッシブ型RFIDタグに比べて大容量のユーザーメモリを搭載した大容量メモリタグ“RF-TGM005”と、大容量メモリタグに対応したリーダライタ“RF-RW004／RF-RW104”を製品化し販売している。次に大容量メモリタグの特長を示す。

#### (1) 60Kビットの大容量ユーザーメモリ

従来の主要なRFIDタグが持つユーザーメモリが0～1.5Kビットであるのに対し、60Kビットのユーザーメモリを保有

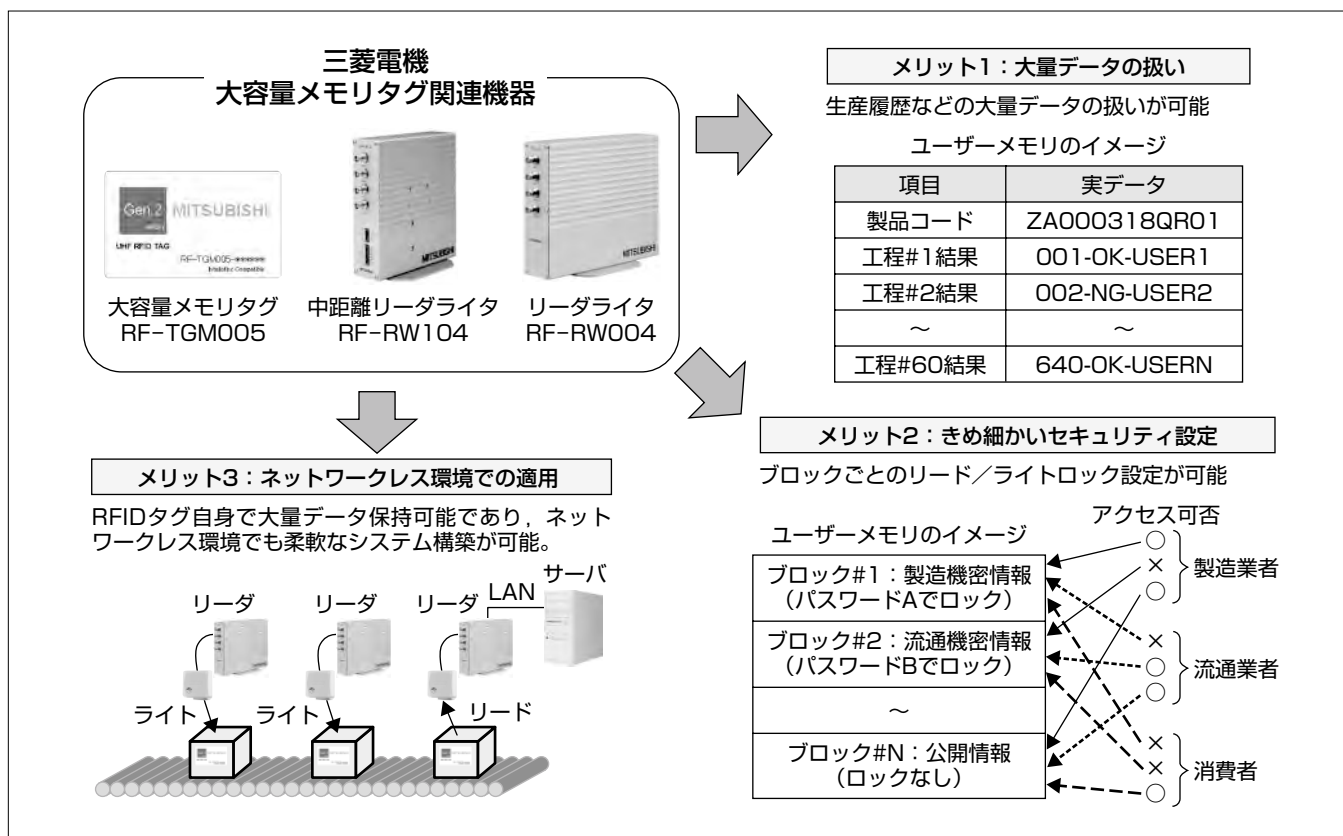
#### (2) ブロックごとのリード／ライトロック設定

全ユーザーメモリを1Kビット単位のブロックに分割し、ブロック単位でリード／ライトロックを設定可能。さらにブロックごとに独自のパスワードを設定でき、パスワード認証によるロック設定が可能

#### (3) 実用的な通信距離

通信距離(リード時)が1～2mであり、従来の電磁誘導方式のRFIDタグに比べて、自由度の高いシステム設計が可能

これらの特長によって、RFIDタグの新たなソリューションを提供でき、ユーザーに様々な導入メリットをもたらすことができる。



### 大容量メモリタグの特長と導入メリット

大容量メモリタグは従来に比べて大量のデータを扱うことが可能であり、かつきめ細かいセキュリティを持つことから、物流や生産現場等の様々なシーンで導入メリットが見込める。

\* 本社

## 1. ま え が き

近年UHF帯RFIDシステムで、RFIDタグ上にIDデータのみならず、各種ユーザーデータを記録するニーズが高まっている。これに対し表1に示すように、従来の電池を搭載しないパッシブ型のRFIDタグに使用される主要なICチップは、ユーザーメモリを搭載しない、又は搭載するが容量が少ないものがほとんどである。

当社は、従来のパッシブ型RFIDタグに比べて大容量の60Kビットのユーザーメモリを搭載し、かつ金属物への取付けが可能な大容量金属対応タグRF-TGM005(以下“大容量メモリタグ”という。)を開発し販売している。大容量メモリタグを用いることで、例えば生産現場等で金属製のワークにタグを張り付け、生産履歴管理や作業支援などをRFIDタグ上のユーザーメモリを用いて実現することが可能になる。

またRFIDタグ上に記録する情報量の増加に伴い、情報漏えいや改竄(かいざん)等に対するセキュリティ向上が求められる。大容量メモリタグは、ユーザーメモリを1Kビットのブロックごとにリード／ライトのロックを設定可能であり、かつ独自のパスワード設定が可能であるため、高いセキュリティ性を備えている。

要旨で述べた大容量メモリタグの特長を生かすことで、特に物流管理や生産現場での工程管理分野で、新たなソリューションを提供することが可能となる。

## 2. 大容量メモリタグの機能概要と特長

### 2.1 60Kビットのユーザー領域

大容量メモリタグは、UHF帯RFIDシステムの国際標準規格であるEPCglobal C1G2(ISO/IEC18000-6C)に準拠している。C1G2で、RFIDタグ上のメモリ構成は図1に示すように規定されている。このうちBank11の“USER”が、ユーザーが自由にデータを記録できるユーザーメモリとなるが、C1G2規格上はオプション扱いであり、搭載はICチップメーカーの判断に任されている。

大容量メモリタグは、このユーザーメモリを60Kビット搭載している。60Kビット全領域を使用すると、半角文字(JIS 1バイトコード)で7,680文字をRFIDタグ上に記録可能である。従来のパッシブ型RFIDタグのほとんどが、数百ビット程度のタグIDしか記録できなかったが、大容量メモリタグを用いることで、生産履歴や作業指示情報等を

RFIDタグ側に記録することが可能となる。従来、生産管理システムにおけるこれらの情報は、タグIDと紐(ひも)付けてバックエンドのシステム側で管理していた。そのためシステム導入現場にはネットワーク環境の構築が不可欠であり、システム導入現場における制約や、システム導入時／レイアウト変更時におけるコストアップが発生する。またネットワークに障害が発生した場合、生産ラインが停止する可能性があり、生産台数低下に伴うロスコストが発生するなどの課題があった。

このような課題に対して、大容量メモリタグを適用して生産履歴や作業指示情報などをRFIDタグ側に記録することで、生産現場におけるネットワーク構築が不要となり、これらの課題が解決でき、ユーザーメリットにつながる。

### 2.2 ブロックごとのリード／ライトロック設定

大容量メモリタグのユーザーメモリを利用して、様々なユーザーデータをRFIDタグ側に記録することが可能になる。しかしこれに伴い、RFIDタグ上に記録する情報量が増加し、情報漏えいや改竄など、セキュリティ上のリスクが増大する。このようなリスクを回避するため、大容量メモリタグは独自のセキュリティ機能を持つ。

C1G2規格を拡張した大容量メモリタグ専用のセキュリティプロトコルを用いることで、ユーザーメモリを1Kビット単位の“ブロック”に分割し、ブロックごとにデータのリードロックとライトロックを設定することが可能である。さらにブロックごとに32ビットの異なるパスワードを設定でき、パスワードを知らない人間がロックされているブロックのリード／ライトや、リード／ライトロックを解除することを防止できる。

これらのセキュリティ機能を用いることで、RFIDタグ上のデータの漏えいや改竄などを防ぐことが可能である。また物流管理などで、RFIDタグが異なる企業間で使用される場合では、同一企業内でのみ共有する情報や企業間で共有する情報を1枚のRFIDタグ上で扱うことも可能であ

表1. 主要ICチップのユーザーメモリサイズ

| メーカー   | 型名            | ユーザーメモリ容量 |
|--------|---------------|-----------|
| Impinj | Monza3        | なし        |
| ALIEN  | Higgs3        | 512ビット    |
| NXP    | G2XM          | 512ビット    |
| 日立     | μ-Chip Hibiki | 1.5Kビット   |

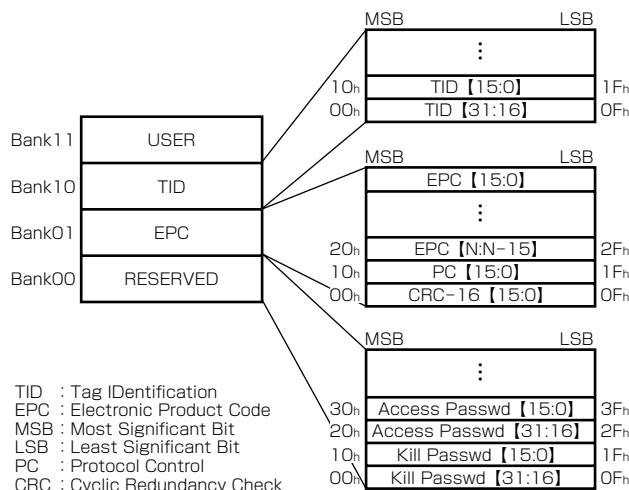


図1. RFIDタグのメモリ構成

る。従来のユーザーメモリ搭載型RFIDタグのほとんどが、大容量メモリタグのようなきめ細かいセキュリティ設定ができない。図2に従来のRFIDタグと大容量メモリタグにおけるメモリ構成の違いを示す。

なお、大容量メモリタグ独自のセキュリティ機能を有効にするセキュリティプロトコルは、当社のリーダライタ装置、RF-RW004(高出力型)及びRF-RW104(中距離型)に搭載されている。

### 2.3 実用的な通信距離

UHF帯RFIDは、従来のLF(Low Frequency)帯やHF(High Frequency)帯等の電磁誘導方式のRFIDに比べて、RFIDタグとの通信距離が長いことが特長である。この特長を生かし、物品管理や物流管理で有効な一括読み取り等、従来のRFIDでは実現できなかったソリューションを提供することができる。

ただし大容量メモリタグはICチップ上のメモリ容量が大きいため、ユーザーメモリ非搭載、又は容量が小さいタイプのRFIDタグに比べて消費電力が大きく、通信距離が比較的短い。しかし2m程度の読み取り通信が可能であり、従来の電磁誘導方式のRFIDに比べて十分実用的な通信距離を実現可能である。例えば生産ラインで、仕掛かり品にRFIDタグを張り付けしライン脇(わき)のアンテナでタグIDデータを読み取るような工程管理システムで、電磁誘導方式のRFIDは通信距離が数センチ程度の製品が多いことから、仕掛かり品の位置が少しずれることで読み落としが発生する可能性がある。これに対しUHF帯RFIDを適用すれば、仕掛かり品の位置が多少ずれても読み落とすことはない。そのため電磁誘導方式のRFIDに比べて、自由度の高いシステム設計が可能となる。また電磁誘導方式のRFIDタグのメモリ容量は8Kバイト程度が最大であるため、UHF帯の大容量メモリタグで置き換えが可能である。

表2に、送信出力が1Wで一括読み取り等に適した高出

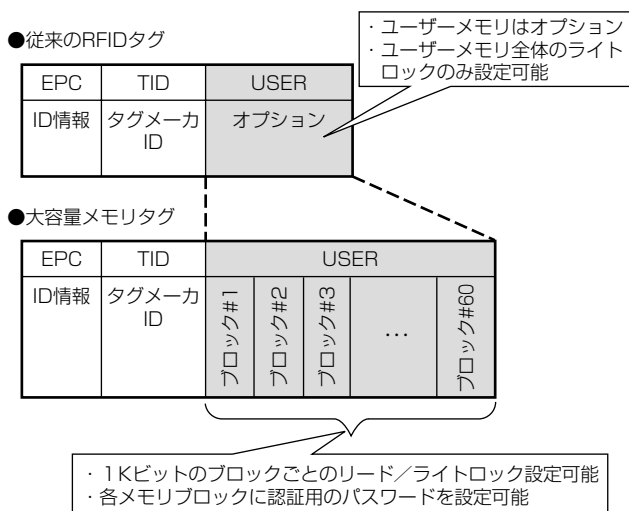


図2. メモリ構成の比較

力型リーダライタ装置(RF-RW004)と、送信出力200mWで中距離通信に適した中距離型リーダライタ装置(RF-RW104)を使用した場合のリード時の通信距離を示す。また従来のRFIDタグと比較できるように、ユーザーメモリを搭載しない当社製の汎用(はんよう)タグ“RF-TGP003”の通信距離を合わせて示す。

### 3. 適用イメージ

大容量メモリタグの利用方法としては、①複数の企業や業界における異なるシステム間の情報共有の媒体、②情報収集の媒体などが挙げられる。いずれの場合もネットワークを介したバックエンドシステムでの情報共有／収集よりも、管理対象に直接張り付けて情報を流通させる方が便利な場合に効果を発揮する。

ここでは、これまでの商談や実証実験を通じて、大容量メモリタグが効果を発揮する適用イメージについて示す。具体的には、工場などの生産現場における工程管理と、航空機等の定期的な点検・整備が必要なものの整備履歴管理について次に示す。

#### 3.1 生産工程管理

大容量メモリタグを自動車製造ラインに適用し、生産工程管理に適用した場合を示す。

大容量メモリタグに、“車両情報(製造番号／型式等)”“各工程の作業指示情報”等の情報をあらかじめ書き込み、生産車両に張り付ける。またリーダライタ装置、アンテナを工程ごとに設置し、生産の進捗(しんちょく)状況管理、工程ごとの作業支援、作業結果の履歴管理を実現する。これによってネットワークを介したバックエンドシステムでの情報管理が不要となり、ネットワークレス、又は屋外等のネットワーク構築が困難な環境下で、工程管理が実現できる。また同一の工場内で部門や工程ごとに異なる工程管理システムが存在する場合、大容量メモリタグがシステム間のデータキャリアとしての役割を担うことで、システムを統一しなくても、工程管理が実現できる。

図3に大容量メモリタグを適用した工程管理のイメージを示す。またこのイメージを基に、生産工程管理の流れを次に示す。

- ①進入検知センサで車両の進入を検知
- ②センサをトリガーにRFIDタグ上の車両情報を読み取り、読み取った車両情報を基に生産の進捗状況を管理

表2. 通信距離(リード時)

| RFIDタグ種類            | 通信距離 <sup>(注1)</sup> |          |
|---------------------|----------------------|----------|
|                     | RF-RW004             | RF-RW104 |
| 金属対応タグ(RF-TGM003)   | 7 m                  | 2.2m     |
| 大容量メモリタグ(RF-TGM005) | 2.5m                 | 0.8m     |
| 汎用タグ(RF-TGP003)     | 5 m                  | 1.6m     |

(注1) 直線偏波アンテナにおける金属対応タグの通信距離を100%とした場合の理論値



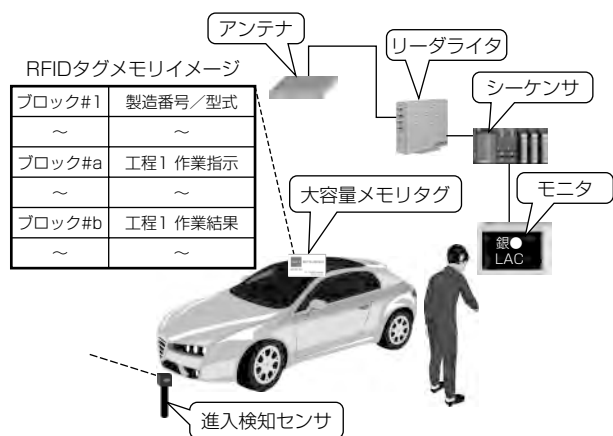


図3. 工程管理適用イメージ

- ③RFIDタグ上の作業指示情報を読み取り
- ④読み取った作業指示情報をモニター等に表示し、作業者を支援
- ⑤作業結果情報をRFIDタグ上の作業結果保存領域に書き込み
- ⑥書き込んだ作業結果情報を基に作業履歴を管理

### 3.2 整備作業管理

大容量メモリタグを航空機の整備作業管理へ適用する場合の利用方法は大きく整備作業支援と、整備履歴管理がある。それぞれの適用イメージについて、次に示す。

#### (1) 整備作業支援

大容量メモリタグに、航空機部品の故障探求及び部品交換作業方法に関する情報をあらかじめ書き込む。実際の整備作業時に、RFIDタグ上の情報と電子マニュアルの情報を連動させることで、従来の紙のマニュアル本の目次を見て該当ページを検索する方法に比べ、作業時間を短縮でき、作業の効率化を実現できる。

#### (2) 整備履歴管理

整備作業終了後、作業内容を大容量メモリタグに書き込むことで、作業履歴を記録する。従来の記録用紙に手入力する方法に比べ、作業時間を短縮でき、また誤った入力を防ぐことができる。

これらの適用イメージを図4に示す。このようなRFIDタグを利用した整備作業管理については、平成19年度に実

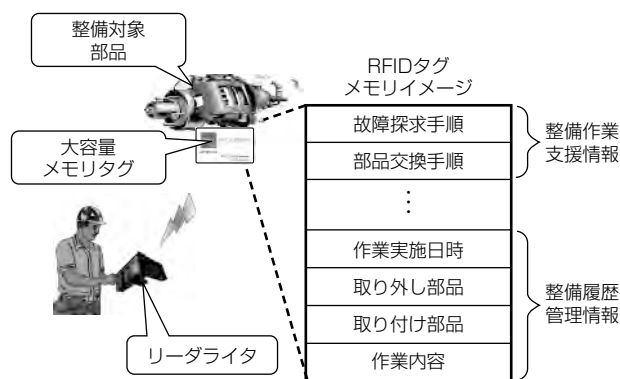


図4. 整備作業管理適用イメージ

施した経済産業省の“航空機産業における部品ライフサイクルに関する電子タグ活用実証実験”でその効果を実証済みである。航空機業界としてRFIDタグ導入に向けた検討が進められている。

## 4. む す び

UHF帯RFIDシステムで従来のRFIDタグに比べて大容量のユーザーメモリを搭載し、かつ独自のセキュリティ機能を持つ大容量メモリタグと、セキュリティ機能に対応したリーダライタ装置について述べた。合わせて、大容量メモリタグの導入方法として、自動車の生産工程管理と航空機の整備作業管理への適用イメージを提案した。

機器としてのラインアップはそろったことから、今後は特に物流管理や工程管理を中心とした分野への実導入を目指し、提案活動を強化していく。またタグの小型化やワールドワイド対応など、機器の可能性も引き続き追求し、大容量メモリタグの適用分野拡大を目指していく。

## 参 考 文 献

- (1) EPCglobal Inc.: EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860MHz-960MHz Version1.1.0
- (2) 太田一史: ICタグメモリ大容量化と航空機部品管理への適用, (社)日本機械学会 講習会, ICタグ活用入門—生産効率向上から廃棄物処理まで— (2009)



# 物流ゲートにおけるRFIDの誤読防止システム

桶川弘勝\*  
亀丸敏久\*\*  
筑紫典嗣\*

False Recognition Prevention System of RFID at Physical Distribution Gate

Hirokatsu Okegawa, Toshihisa Kamemaru, Noritsugu Chikushi

## 要 旨

三菱電機では、UHF (Ultra High Frequency) 帯RFID (Radio Frequency Identification) を、物流管理、入退場管理、物品管理、工程管理の4分野に対して事業展開している。

このうち物流管理では、UHF帯RFIDの通信距離が長く、複数のタグを一度に識別可能という特長を活用し、RFID機器を組み込んだ物流ゲートシステムを構築し、ゲート内を通過するタグを張り付けた物品を読み取るシステムのニーズが高まってきている。

しかしながら従来のゲートシステムでは、通信距離が長いこと、本来読むべきでないゲート外のタグを誤読する場合がある。またRFIDリーダライタの送信出力を低下させることで通信距離を落とし、ゲート外のタグを読まないようにすることは可能であるが、ゲート内のタグも読みこぼ

してしまうリスクが高くなるという課題があった。

このような課題を克服するために、次に示す2つの対策を実施することで、物流ゲートにおける誤読を防止するシステムを開発した。

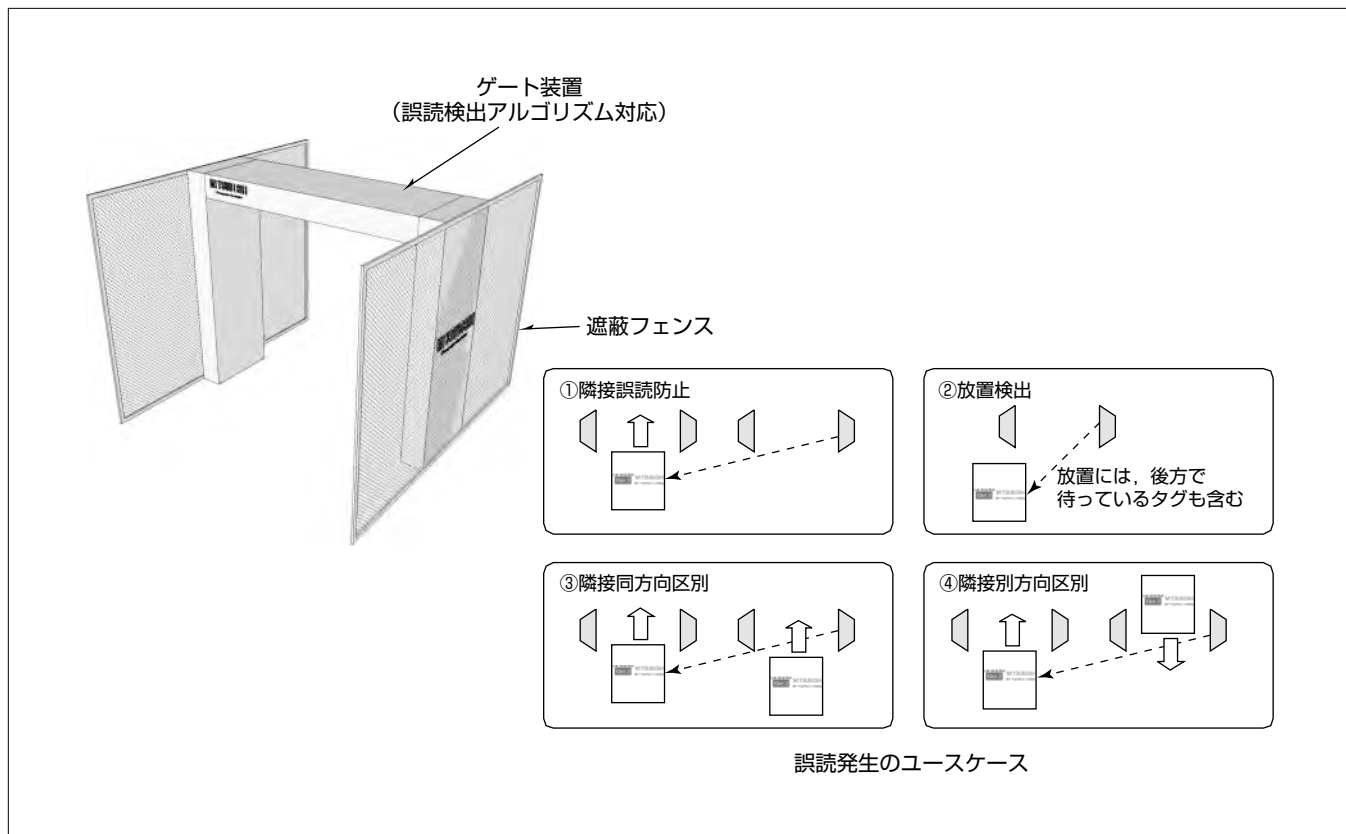
### (1) 物理的に電波を遮蔽(しゃへい)

物流ゲートの両端に電波を遮蔽する金属製のフェンスを設け、物理的に電波を遮蔽し、ゲート外のタグの誤読を防止する。フェンスは可搬性、コスト、視認性を考慮し、金網状のフェンスとした。

### (2) 誤読検出アルゴリズムの適用

遮蔽フェンスのみでは、人や物品で電波が反射し、ゲート外のタグを誤読する可能性があるため、タグの読み取り回数及びタグの応答電力などの情報を用いて、誤読の検出を行うアルゴリズムも合わせて適用する。

特集  
II



## 誤読防止物流ゲートシステム

UHF帯RFIDを用いた物流ゲートシステムで、ゲート近傍を通過又は近傍に放置された本来読むべきでないタグを、人や台車などの反射の影響によって、誤って読んでしまうことがある。このような課題に対策するために、電波遮蔽フェンス及び誤読検出アルゴリズムをRFID物流ゲートに適用し、誤読を防止する。

# 1. ま え が き

RFIDによる自動認識技術は、ユビキタス社会構築に向けた基幹技術として注目されている。特にUHF帯RFIDは、他の周波数帯のRFIDよりも通信距離が長く、多数のRFタグ(電子タグ、非接触ICタグなどとも呼ばれる。以下“タグ”という。)の同時読み込みが可能であり、様々な場面での活用が始まっている。

当社は、UHF帯RFIDの通信距離が長いという特長を活用し、さらにタグとして、電池を内蔵しないパッシブタグを採用し、物流管理、入退場管理、物品管理、工程管理の4分野に対して事業展開している。

物流管理では、UHF帯RFIDの通信距離が長く、複数のタグを一度に識別可能という特長を活用し、RFID機器を組み込んだ物流ゲートを構築し、ゲート内を通過するタグを張り付けた物品を読み取るシステムのニーズが高まってきた。

しかしながら従来のゲートでは、通信距離が長いため、本来読むべきでないゲート外の近傍に放置されているタグ又は隣接したゲートを通過したタグを誤読するという課題があった。

このような誤読を防止するための対策を実施した物流ゲートシステムを開発した。

## 2. UHF帯RFID物流ゲートシステムの課題

UHF帯RFIDを用いたこれまでの物流ゲートシステムでの課題を次に示す。

- (1) UHF帯RFIDの特長である長距離通信をできるがゆえに、読みたくないゲート外のタグを読んでしまう。
  - (2) 送信出力を低下させることで通信距離を落とし、ゲート外のタグを読まないようにすることができるが、ゲート内のタグも読みこぼしてしまうリスクが高くなる。
  - (3) その結果、ゲートを通過しないタグはゲート周辺に近付かないようにする、ゲートは隣接して設置しないなどの運用に多大な制約条件が必要となってしまう。
- 次に対策すべき主な誤読発生ユースケースを図1に示す。誤読発生のケースとしては、①のようにゲートを通過す

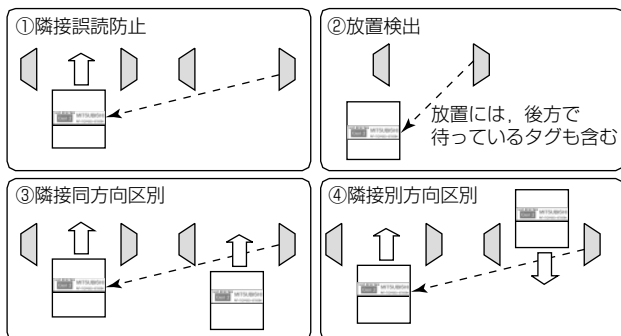


図1. 誤読発生のユースケース

る際に、隣接したゲートから送信された電波で誤読する場合や、②のようにゲートの周辺に放置されたタグや、後方で待っているタグを誤読する場合がある。①のケースは通過センサなどによって対策できると考えるが、③、④のように同じタイミングで両方のゲートをタグが通過する場合は、①と同じように誤読してしまう。

## 3. UHF帯RFID誤読防止物流ゲートシステム

### 3.1 システム構成

図2にUHF帯RFID誤読防止物流ゲートシステムのシステム構成例、図3に誤読防止物流ゲートのイメージを示す。

図2の各構成品の説明を次に示す。

#### (1) 誤読防止ソフトウェア

隣接ゲート及び周辺放置物との相関関係からゲート通過タグを適切に抽出して、上位システムや表示制御ソフトウェアへID情報を通知する。

#### (2) 表示制御ソフトウェア

誤読防止ソフトウェアからのID情報からゲートごとの通過タグ数を生成し、ゲート装置へ通知する。

#### (3) ゲートコントローラ

表示制御ソフトウェアからの通知を受け、ゲートの表示装置へのタグ数表示や、通過検知センサのトリガー制御等を行う。

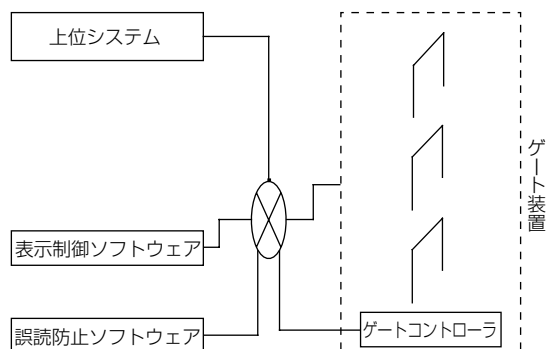


図2. 誤読防止物流ゲートシステム構成例

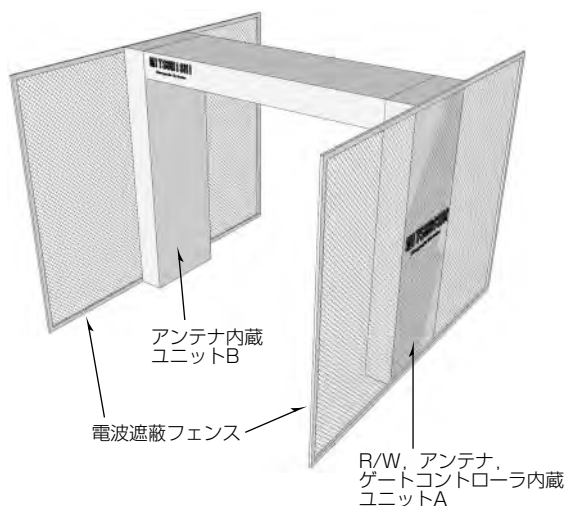


図3. 誤読防止物流ゲートのイメージ

#### (4) ゲート装置

ゲート内部にRFIDリーダライタ(以下“R/W”という。), アンテナ及びゲートコントローラを備え, ゲート両端に電波遮蔽用フェンスから成る。荷物通過時にタグを読み取る。

オプションとして,

- ①読み取ったタグの枚数のリアルタイム表示機能(LCD (Liquid Crystal Display)やLED(Light Emitting Diode)など)
- ②表示に連動した入力装置(ボタンやGOT(Graphic Operation Terminal))
- ③R/Wの送信タイミングを最適化するため, 物品の入退場を検知するセンサ装置(赤外線センサなど)
- ④パトライト, ブザー等による注意喚起装置を想定している。

図3の物流ゲートを用いた運用イメージを図4に示す。タグを張り付けた物品をフォークリフトで運搬し, ゲート内を通過したタグのみを読み取る。

#### 3.2 電波遮蔽フェンスによる物理的遮蔽

誤読を防ぐために, ゲートに金属製フェンスを設置し, 電波を遮蔽することでゲート外のタグを読み取らないようにする。図5に示す物流ゲート上面図でアンテナ正面から4m離れた位置を読みたくないタグが通過することを想定し, フェンスの長さLを決定する。

表1に, アンテナ指向性による損失(ant loss), 及び伝

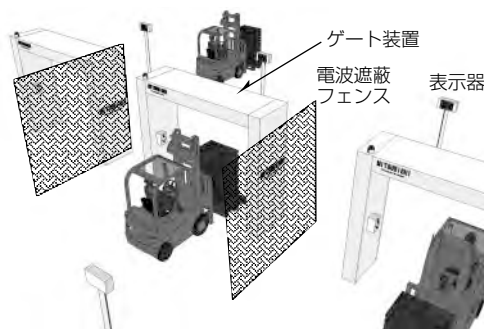


図4. 荷物搬入出における物品管理イメージ

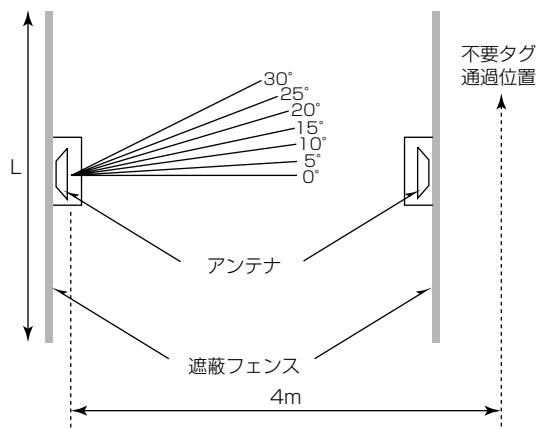


図5. 物流ゲートの上面図

搬lossの計算値からタグが起電しないフェンス長さを検討した結果を示す。

表1の結果から, フェンス長さL=2m以上とすることで, 誤読防止が可能となる。

またフェンス形状について, 可搬性, コスト, 視認性を考慮し, 金網状のフェンスとした。金網の穴の大きさについては, 候補となる金網の図6に示す各パラメータを測定し, 計算上で電波の透過率が0.1%以下となる金網を選定した(LW=28mm, SW=16mmの金網を選定)。

#### 3.3 誤読検出アルゴリズムによる処理

3.2節では物理的に電波を遮蔽する方法について述べた。しかしながら遮蔽フェンスのみでは, 人や物品で電波が反射し, ゲート外のタグを誤読する可能性がある。ここでは, 更なる誤読防止のために開発した誤読検出アルゴリズムについて述べる。

図7に誤読検出アルゴリズムのフローチャートを示す。フローチャートの主な機能を次に示す。

##### (1) 前処理

- ①ID体系を登録し, 読み取り対象とはまったく無関係なタグIDを除去する。
- ②隣接ゲートでの読み取り結果と照合して, 隣接ゲートで検品したタグIDを除去する。

表1. 遮蔽フェンスの長さ検討

| 角度 | ant loss (dB) | 距離 (m) | 伝搬loss (dB) | タグ起電可否 | フェンス長さL (m) |
|----|---------------|--------|-------------|--------|-------------|
| 0  | 0             | 4.00   | 43.99       | ○      |             |
| 5  | -0.04         | 4.02   | 44.06       | ○      | 0.47        |
| 10 | -0.23         | 4.06   | 44.35       | ○      | 0.95        |
| 15 | -0.57         | 4.14   | 44.86       | ○      | 1.45        |
| 20 | -1.02         | 4.26   | 45.55       | △      | 1.97        |
| 25 | -1.94         | 4.41   | 46.78       | ×      | 2.52        |
| 30 | -2.68         | 4.62   | 47.92       | ×      | 3.12        |

\*遮蔽フェンスをゲート間の中心に設置する。

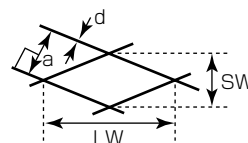


図6. 金網の透過率計算パラメータ

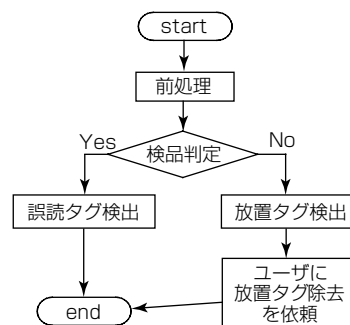


図7. 誤読検出アルゴリズムのフローチャート

(2) 検品判定

- ①検品中であるかどうかを判定する。
- ②センサがある場合は、センサで検知中のデータのみを有効とする。
- ③センサがない場合、R/Wからの応答タグ数及びタグからの応答電力を監視して、それが特定枚数以上又は特定電力以上のときに検品中と判断する。

(3) 誤読タグ検出

- ①検品中のタイミングで、応答電力が規定値以下のタグは、台車や人などに反射して読めた誤読タグと判断し、上位システムに通知する。

(4) 放置タグ検出

- ①検品中以外のタイミングで読み続けているタグは、ゲート近傍に放置されているタグとして、上位システムに通知する。
- ②放置タグを検出した場合、ユーザーに除去を依頼する。

3.4 試作評価結果

図8に示す試作ゲートを用いて、評価を実施した結果を表2に示す。

遮蔽フェンスと誤読防止アルゴリズムを適用することで、誤読タグを100%排除できるという結果が得られた。

5. む す び

今後、RFID物流ゲートを用いた管理システムのニーズはますます高まっていくものと考えられる。長距離読み取りが可能というUHF帯RFIDの特長を切り口として、今後、物流ゲートシステムの機能性能向上及び普及を推進していく予定である。



図8. 試作ゲートの外観

表2. 誤読タグ排除

| 遮蔽フェンス | 誤読防止アルゴリズム | 誤読タグ排除 |
|--------|------------|--------|
| なし     | 未適用        | 0%     |
| あり     | 未適用        | 91%    |
| あり     | 適用         | 100%   |

参 考 文 献

- (1) 三菱電機UHF帯RFIDホームページ  
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/device/rfid/index.html>
- (2) 中谷崇史, ほか: UHF帯RFIDデバイス, 三菱電機技報, **81**, No.8, 553~556 (2007)
- (3) 岩橋 努, ほか: UHF帯RFID応用システム, 三菱電機技報, **81**, No.8, 557~560 (2007)

# 電波位相差変位計測システムを用いた 斜面変位計測

吉崎 互\*  
大山 巧\*

Field-test of Radio Phase Difference Displacement Measurement System

Wataru Yoshizaki, Takumi Oyama

## 要 旨

屋外斜面の地すべりなどにおける斜面や岩盤等の変位に対して、複数計測点を非接触で三次元計測することを目的とした電波位相差変位計測システムの開発を進め、測位計算法の開発やフィールドでの計測・評価を通じて計測システムとしての検証を行ってきた。

このような計測要求については、土木現場における工事期間中の安全管理、社会インフラにかかわる斜面や道路などにおける維持管理で、地すべりなどに至る現場の変状を素早くとらえ、的確な対策を検討するために有用な情報を与える計測技術は欠かせないという観点から、従来の局所的な観測・計測機器に加えて広範囲にわたる面的な観測を連続的に評価する計測手法が望まれている背景がある。

また、一般的に岩盤等の挙動をモニタリングする計測手法には次の特性を持つことが要求される<sup>(1)</sup>。

- (1) 崩壊等の前兆現象が突発的に生じるため、リアルタイムで挙動をとらえることができること
- (2) 広範囲の面的な挙動をとらえることが可能なこと
- (3) 正確な挙動を把握するための三次元計測が可能なこと
- (4) 遠隔でモニタできるシステムを構築できること

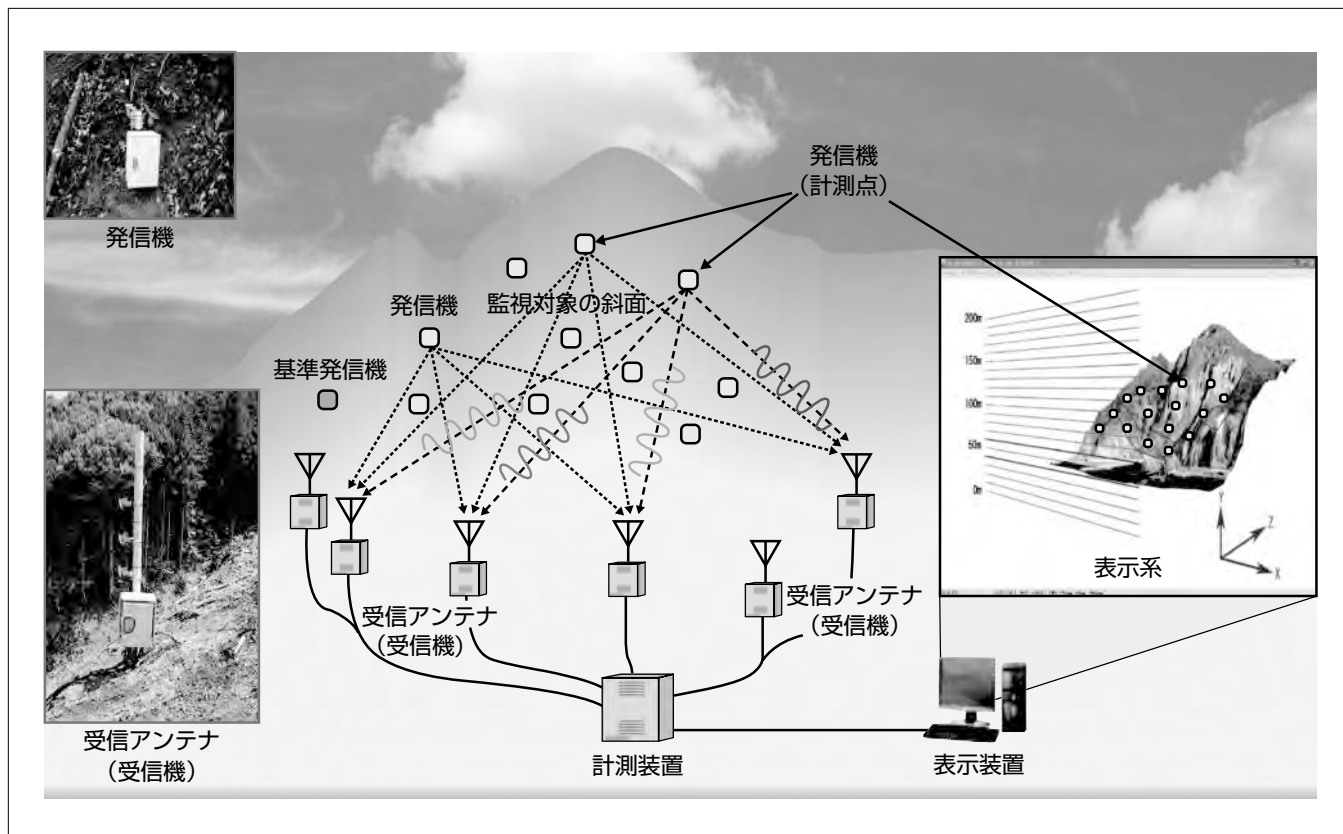
電波位相差変位計測システムは、

- (1) 計測点発信機はワイヤレスであり非接触で計測が可能
- (2) 発信機は増設が容易に可能で、複数点の同時計測が可能
- (3) 三次元の変位計測がリアルタイムで可能

という特長を持ち、300m離れた観測点から計測点の数mm～数cmの変位を三次元計測する性能を持っている。

これらの性能は、将来の予測解析につながる計測装置として構築が可能であると考えている。

特集  
Ⅱ



## 電波位相差変位計測システム

電波位相差変位計測システムは、計測点に設置した小型発信機の送信電波を受信アンテナ(受信機)で受信し、受信機間の位相差を基に三次元の変位量を計測するシステムである。複数計測点をリアルタイムで非接触計測できる特長を持ち、斜面等の変位量計測システムとして開発を行っている。

\*通信機製作所



## 1. ま え が き

電波位相差変位計測システムは、複数の変位計測点に小型電波発信機を取り付け、受信アンテナ間の信号位相差から各計測点の変位を算出する計測システムであり、電波の特徴を生かして、複数計測点を非接触でリアルタイム計測を可能にしたシステムである。

これまで行ったフィールド検証で、100～300m以上離れた観測点から、計測点の数mm～数cmの変位量を計測する実験などを経て計測原理の検証を行うとともに、屋外環境下での連続計測の評価を通じて、計測装置としての適用性を検証してきた。

本稿では、システムの概要と計測原理及びフィールド検証の状況や、この計測システムを用いた斜面の変位計測などの計測システムとしての応用について述べる。

## 2. 電波位相差変位計測システム

### 2.1 システムの概要

電波位相差変位計とは、計測点に設置した電波発信機の電波を周囲に配置した複数の受信アンテナ(受信機)で受信した電波の位相差から計測点位置を推定する電波を利用した測位方式である。位相差による測位の原理はGPS(Global Positioning System)を利用した相対測位法と共通である。

この方式は計測場所に応じてローカルな計測構成が可能であり、GPS衛星が見えないようなロケーションでも使用できるという利点がある。また、発信機から受信アンテナ間の計測距離は標準で300m離れた計測が可能である(オプション構成で500mの計測が可能)。

図1に電波位相差変位計測システムの基本構成を示す。

計測点の電波発信機には免許不要の特定省電力方式を用いており、小型化と電池での駆動が可能でワイヤレスな計測点として設置できる。

発信機は1システム構成当たり100台の管理が可能で、複数計測点の設定及び増設が容易にできる。また、発信機の計測周期は計測装置を通じて、数分から数時間を任意に設

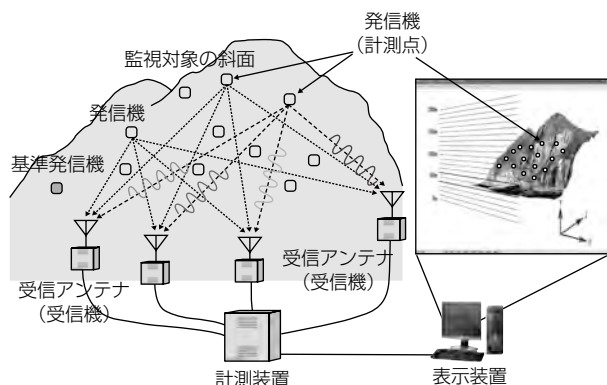


図1. 電波位相差変位計測システム基本構成

定することが可能である。

基準発信機は計測点発信機と同様の構成で受信系統の位相特性経時変化の校正処理などに用い、受信アンテナと基準発信機は固定点に設置される。

受信機は理論上4台以上の構成で発信機位置の計算が可能で、標準は8台構成となっており、1台が計測できない場合でも残りの受信機で計測可能なロバスト性も考慮した構成となっている。

計測装置、表示装置はデジタル処理部と発信機位置の計算処理部の構成となっており、受信電波を基に位相差の検出と発信機位置の測位計算を行い三次元計測データとして出力する。

この計測データはCSV(Comma Separated Values)データとなっており保存が容易で、かつインターネット等の回線を利用して、パソコン等を用いて離れた場所から監視(配信)が可能である。

### 2.2 計測原理

計測点に設置した電波発信機は、あらかじめ設定された計測周期ごとに電波を送信する。送信された電波は、発信機を囲む位置に設置した少なくとも4台の受信アンテナ(受信機)で受信し、ダウンコンバータされた後A/D(Analogue/Digital)変換器でデジタル信号に変換され、帯域通過フィルタ処理などで発信機ごとの信号(位相情報)を抽出し、相関器等で受信アンテナ間の観測位相差を求め、そこから得られる等位相差面の交点から三次元の座標、すなわち発信機の位置を求める<sup>(2)(3)</sup>。

このとき、受信アンテナ、計測発信機の初期位置は既知の情報として扱い、初期位置における観測位相差からの変動量を計測することで発信機初期位置からの変位量を算出している。

図2に電波位相差変位計測の基本原理を示す。

### 2.3 計測精度

電波位相差変位計測における計測精度(計測生データのばらつき幅)の目安は、機器精度、設置精度、空界雑音誤差からなる観測位相誤差( $\varepsilon_\phi$ )と計測点発信機に対する受

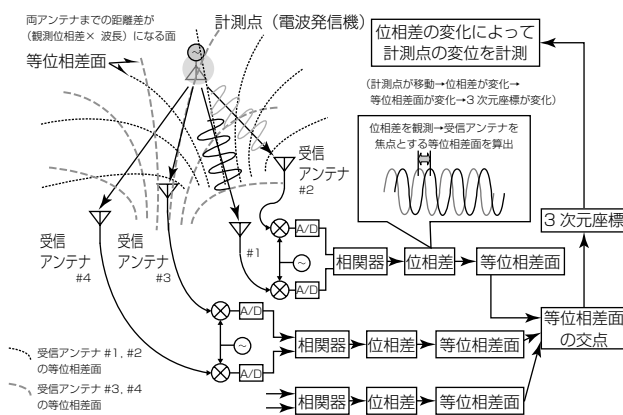


図2. 電波位相差変位計測の基本原理



信アンテナの幾何学的配置に依存する誤差感度：DOP (Dilution of Precision) が関係し、式(1)で見積もられる。

$$\text{全方向誤差 } \varepsilon_{\text{total}} = \lambda / 2 \pi \times \text{DOP} \times \varepsilon_{\phi} \cdots \cdots (1)$$

$\varepsilon_{\phi}$  は観測位相誤差(rad)のrms値であり、 $\lambda$  は使用する電波の波長を表す。機器精度で、屋外長期間連続計測ではケーブルなど受信系統の位相特性経時変化の影響が現れるが、これらの特性も同時に推定し補償することで、観測位相誤差は設置精度と空界雑音誤差が支配的とみなしておおむね見積もることができる。

なお、ここでの計測精度の指標は生データのばらつき幅でありこのデータを基に平滑化処理等によって得られる計測値はより高い精度が得られることを共同実験、フィールド検証で確認している<sup>(1)</sup>。

### 3. フィールド検証

#### 3.1 屋外での計測精度の実験・検証

屋外での精度検証を目的とした計測実験を行い計測原理、精度の検証を行った。図3に実験での配置を示す。

ほぼ中央に発信機(送信周波数は2.4GHz帯)を設置し、それをL字に囲むように受信機8台(各受信機に受信アンテナ4台)を配置した構成としている。DOP値を表1に示す。

実験は1分周期で計測を行い、計測点発信機を斜面の変

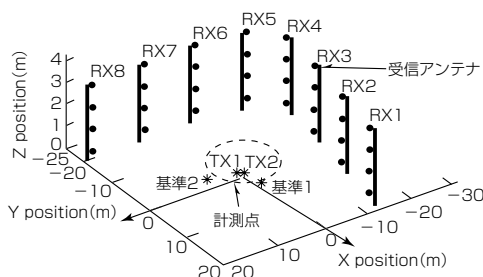


図3. 計測点と受信アンテナの配置

位に見立てて24分ごとに1mmずつY軸方向に強制変位を行い、変位量と計測生データの検証を行っている。

このときの計測生データと、生データを移動平均した結果を図4に示す。

DOP値0.4の配置条件下で、計測生データでmm変位に対する追従性を確認でき十分な基本性能を持っていることを確認した。また、簡易な移動平均結果でも平滑効果と応答性の良い結果が得られた。

このときの計測データのばらつき幅は、 $\lambda$ :12cm,  $\varepsilon_{\phi}$ :0.34rad, DOP値0.4の条件で式(1)から、約3mm(rms)と見積もられるが、図4でのばらつき幅は1~2mm程度で、観測位相誤差、計測生データとも想定内の結果であり、システム方式の妥当性を検証した。

#### 3.2 屋外でのフィールド検証

##### (1) 市街地環境での変位量に対する追従性の評価

車両等の障害物が往来する市街地環境下で、3mmステップの変位量に対する追従性評価並びに外来電波(高周波ノイズ)の影響検証を実施した。

X方向に約50m, Y方向に約100mの敷地で、図5に示す

表1. 実験検証での受信アンテナのDOP値

|    | XDOP | YDOP | ZDOP | Total DOP |
|----|------|------|------|-----------|
| TX | 0.4  | 0.4  | 3.5  | 3.5       |

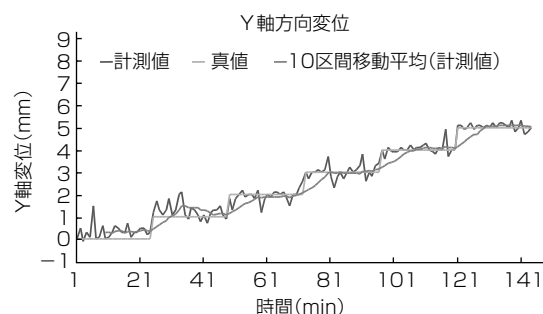


図4. Y軸方向強制変位と計測生データ

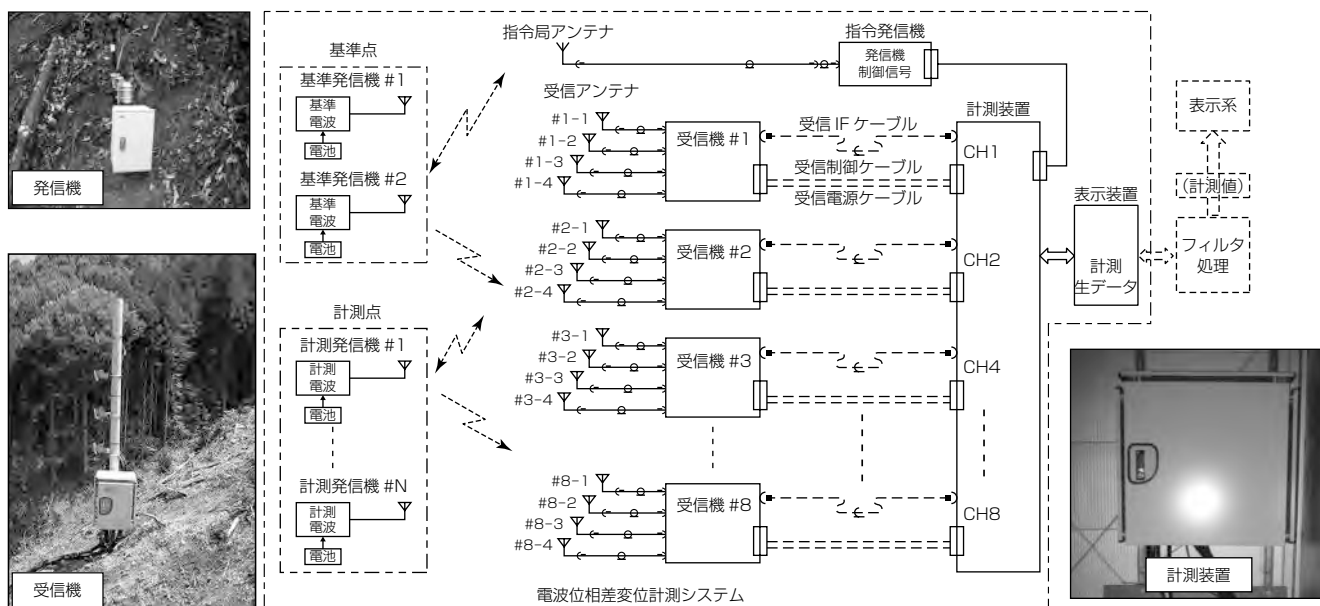


図5. フィールド検証用機器の構成

表 2. フィールド検証での受信アンテナのDOP値

|    | XDOP | YDOP | ZDOP | Total DOP |
|----|------|------|------|-----------|
| TX | 0.5  | 0.3  | 4.0  | 4.0       |

機器構成で、発信機をコの字に囲む形で受信機を配置している。DOP値を表 2 に示す。

2 分周期で計測を行い、計測点発信機を 3 mm ステップで Y 軸方向に強制変位を行い計測データの検証を行った。

このときの計測生データを図 6 に、生データを基に等速直線運動をモデルとした平滑化処理の結果を図 7 に示す。

計測生データでは、周囲の障害物往来などの影響でばらつき幅の変動が一部に見られるが、3 mm 変位量を識別可能な結果が得られた。また、図 8 に示す平滑化処理結果からは、ばらつきのランダム成分に対する処理効果が現れているとともに、応答遅延も少ないという結果が得られている。DOP が十分に小さい場合、簡易な平滑化処理で応答性の良い計測結果が得られることが分かる。

Z (沈下) 方向の変位計測についても、今回の Y 方向 DOP に近付ける配置をとれば同程度の計測結果が得られることを、観測した位相差データなどから検証した。

通常の外来電波や周囲の高周波雑音等の影響は、受信機 S/N (Signal to Noise) が確保できる配置・計測距離であれば計測に大きな影響は出ないことも確認している。

## (2) 工事現場における連続計測評価

計測コンサルタントと共同で、作業現場における連続計測での動作検証とフィルタ処理との接続検証を実施した。

計測は、掘削現場の上方周囲に発信機を設置し、それを取り囲む左右に受信アンテナ (受信機) を配置し、10 分周期で計測を行っている。DOP 値は X と Y 方向が 3、Z 方向が 4 程度となっている (図 5 の構成を参照)。

この計測では、計測生データを基に計測コンサルタントでフィルタ処理を行い、処理結果を計測値として評価を行っている。

フィルタ処理は、日射による取付柱の変動要因等も加味した平滑化処理を行っている。その結果を図 8 に示す。

計測結果は作業に伴う斜面の変位を計測しているが、光波測量の結果と比較し、いずれの計測でも観測された変位は微少であり、作業で現場斜面が不安定化することはなかったことが示されると同時に、電波位相差変位計測が十分な適用性を備えていることが確認できる結果が得られた。

## 4. む す び

これまでのフィールド検証を通じ、斜面における変位量の連続計測に対して、変位計測システムとして十分な適用性を持っていることを確認できた。

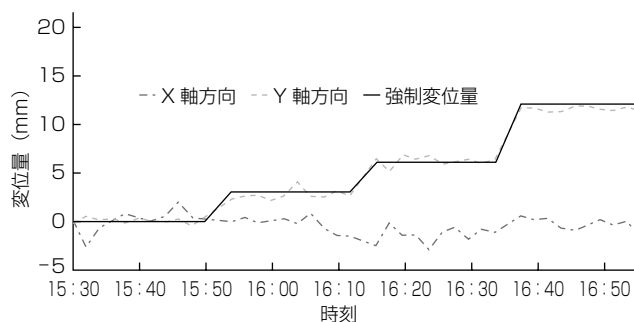


図 6. Y 軸方向強制変位 (計測生データ)

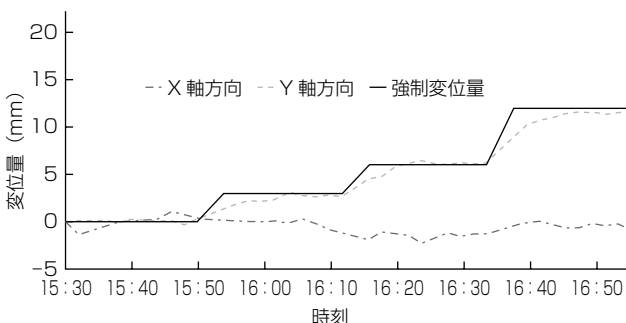


図 7. Y 軸方向強制変位 (平滑化処理)

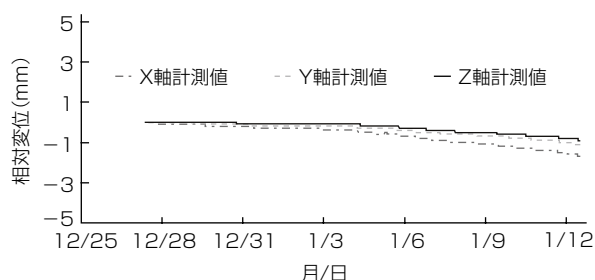


図 8. 連続計測データ (フィルタ処理)

今後は、“道路法面、ダム周囲の斜面の状態監視計測” “トンネル坑口や鉄道構内などにおける工事中の地盤表面の計測” などの適用分野を広げるための共同実験とフィールド検証を展開するとともに、計測市場へ出して客先評価を受けるステップに移る計画である。

## 参 考 文 献

- (1) 西川啓一, ほか: 電波位相差を用いた変位計測システムの長期野外実験, 地盤工学会 地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2006, 15~20 (2006)
- (2) 岡村 敦, ほか: 多点震動変位の位相差による計測法, 電子情報通信学会技術研究報告, SANE2000-145 (2001)
- (3) Okamura, A., et al.: A Multi-point Radio Displacement Measurement Method for Testing Quake-proof Structure, Proc. of ASME PVPC, PVP-Vol. 445-1, 83~90 (2002)