



家庭から宇宙まで、エコチェンジ



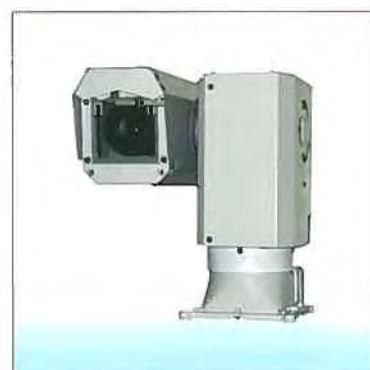
三菱電機技報

6

2015

Vol.89 No.6

通信技術と広がる応用



目 次

特集「通信技術と広がる応用」

通信技術と広がる応用特集に寄せて	1
大島一能	
通信技術を活用した映像監視システム	2
山中秀昭・浅井光太郎	
三菱電機の光通信技術への取り組み	7
宇藤健一・杉原隆嗣・堀内栄一・向井宏明・野田雅樹	
第5世代移動通信システム適用を想定した ミリ波帯伝搬検証	12
森重秀樹・平木啓愛・井浦裕貴・石岡和明・紀平一成	
北陸新幹線デジタル列車無線システム	17
千田晴康	
三菱通信ゲートウェイ“smartstar”	22
岡 稔久・佐藤浩司・小西将和・小林正典	
“MELOOK 3”カメラ	27
蓬田 仁・山下孝一・小川吉大	
“MELOOK 3”レコーダ	32
辻 亮宏	
HD対応広域CCTV監視システム	37
田村 聡・和田哲朗・桑原茂樹・笠井康行・鈴木大祐	
一般論文	
金属配線を用いた高感度タッチパネル	42
野尻 勲・大野 岳・中村達也・上里将史	
耐衝撃性に優れたタッチパネル搭載液晶表示装置	46
寺元 弘・森 明博・森井康裕・吉本崇広	
インテリジェントGUIシステム	51
宮原景泰・木村正幸・中川智水・南 昭宏・堀 淳志	

New Communication Technology and Applications

Foreward to Special Issue on New Communication Technology and Applications
Kazuyoshi Oshima

Video Surveillance Systems with Network Solutions

Hideaki Yamanaka, Kotaro Asai

Mitsubishi Electric's R&D Activities on Optical Communication Technologies

Kenichi Uto, Takashi Sugihara, Eiichi Horiuchi, Hiroaki Mukai, Masaki Noda

Field Experiment of Millimeter Wave Transmission toward 5th Generation Mobile Communication System

Hideki Morishige, Hirochika Hiraki, Hiroki Iura, Kazuaki Ishioka, Kazunari Kihira

Digital Train Radio System for Hokuriku Shinkansen

Haruyasu Senda

Mitsubishi Communication Gateway “smartstar”

Toshihisa Oka, Koji Sato, Masakazu Konishi, Masanori Kobayashi

Network Camera “MELOOK3”

Hitoshi Yomogida, Koichi Yamashita, Yoshihiro Ogawa

Network Video Recorder “MELOOK3”

Akihiro Tsuji

High Definition CCTV Surveillance Systems for Rivers and Roads

Satoshi Tamura, Tetsuro Wada, Shigeki Kuwahara, Yasuyuki Kasai, Daisuke Suzuki

High Sensitivity Touch Panel Using Metal Mesh

Isao Nojiri, Takeshi Ono, Tatsuya Nakamura, Masafumi Agari

Impact Shock Resistible LCD Equipped with Touch Panel

Hiroshi Teramoto, Akihiro Mori, Yasuhiro Morii, Takahiro Yoshimoto

Intelligent GUI System

Kageyasu Miyahara, Masayuki Kimura, Tomomi Nakagawa, Akihiro Minami, Atsushi Hori

特許と新案

「画像処理装置、画像処理方法及びプログラム」	
「撮像装置」	55
「映像記録再生装置」	56

表紙：通信の応用例 映像監視システムの新製品の紹介

2015年7月から発売のMELOOK 3システム(①, ②)は、フルHD対応カメラをラインアップに加え、超解像技術の採用で、電子ズームの拡大時も高精細な画質を実現した。また、16分割時でも毎秒30フレームの滑らかな動画で表示・記録を可能とした。最大32台のカメラ+レコーダで幅広い監視エリアに対応している。また目的や用途に合わせ、パソコンやスマートフォン端末での遠隔監視も可能である。

③は、2014年度から発売している3板式HD複合一体型カメラ。近年増加する自然災害を未然に防ぐため、また災害発生時の迅速な情報収集のために、屋外で高精細なフルHDの動画撮影に対応している。星明りの明るさでも見たい地点を監視することが可能。伝送システム、表示システムと組み合わせることで、正確な情報把握を支援する。

これらの製品を活用し、より安全・安心を提供できるシステムを構築していく。



巻/頭/言

通信技術と広がる応用特集に寄せて

Foreword to Special Issue on New Communication Technology and Applications

大島一能
Kazuyoshi Oshima



今回の特集がテーマとする通信技術の拡大は、流れる情報の質と量とに促されるネットワークの進化によって、今日ますます進化のスピードを速めつつある。振り返れば2002年、“新ネットワーク思考”(アルバート＝ラズロ・バラバシ著、青木 薫訳、NHK出版)が出版され、インターネットにおけるウェブサイトとリンクの構造やその発展の法則が話題となった。ノードとリンクから構成されるネットワークは、時間とともに“成長”し、新しいノードは“優先的選択”によってリンクを張るという特性が指摘され、多数のリンクを擁するハブの存在やノード分布のべき乗則が導かれた。インターネットの更なる成長を視野に、ネットワークの汎用伝送方式であるイーサネット^(注1)を適用したPON(Passive Optical Network)型光アクセスシステムを、三菱電機がいち早く開発・製品化したのもこの時期であった。その後もインターネットは目覚ましい発展を続け、Web2.0やSNS(Social Network Service)の登場をはじめ、Yahoo!やGoogleに代表される巨大なハブの急成長、サーバの仮想化技術が支えるクラウドシステムの隆盛へと拡大して行った。PONによるアクセスサービスもまた1 Gbpsから10 Gbpsへと高速化が期待されている。

インターネット利用人口は2014年11月に世界で30億人を超え、ウェブサイトは10億件を突破した。インターネットアクセスの主要なツールに成長したスマートフォンは年間10億台以上が出荷されている。スマートフォンには1台当たり10個以上のセンサが内蔵されており、既に年間100億個以上ものセンサが実装されていることになる。今後はウェアラブル端末や多種多様なセンサ群をはじめ、画像・映像デバイスが至るところでネットワークに接続されるIoT(Internet of Things)が普及し、社会や産業の在り方に革新的な変化がもたらされようとしている。米国での“Industrial Internet”やドイツでの“第4次産業革命プロジェクト”の推進、日本におけるスマートシティや医療機器サービスへの適用など多数の先進事例があり、少子高齢化社会の新産業創生としても期待が大きい。

一方、10億を超えたウェブサイトの基盤技術がネットワーク活用のあらゆる分野に浸透し、ウェブベースの画像・映像通信やインターネットビデオが極めて高い伸び率を示

している。放送やマルチキャスト配信がインターネットと融合し、HD(High Definition)から4Kなど高精細映像の進化とともに、数年後には映像通信のトラフィック量が全体の3/4以上を占めるとの予測もある。刻々と変化する莫大(ばくだい)な量のIoT情報や映像情報を解読、分析して活用するためには、ビッグデータ解析や機械学習などによるインテリジェントエージェント機能が必須となることが予見される。速いレスポンス要求やシステム連携に必要な一次処理を行う分散処理機能も重要となり、通信ゲートウェイやエッジサーバの役割も増大するであろう。

本学情報科学部でも、情報ネットワーク学科を中心に地域連携の一環として、学生参画によってインターネットで奈良県川上村の桜の開花を中継するシステムを構築し、本学と同村のウェブサイトで開催を行った。インターネット接続が難しい場所のカメラから、長距離Wi-Fiブリッジによる無線通信を活用してライブキャストを実現した。現地来訪者のプライバシーに配慮した構成で、ウェブアクセス側からの視点切替えやズーム機能などもサーバ経由で提供している。今後は、画像認識やインテリジェントエージェント研究との連携も検討し、幅広い情報通信技術の実践的活用と教育・研究面での充実に取り組む予定である。

IoTや映像通信でもデバイス・部品技術の重要性が高まる一方で、低価格化・コモディティ化するデバイス・部品を活用して高い付加価値を生み出す源泉は、やはり適用分野・課題に関する深い知見とノウハウの集積、人間が中心となる視点でのソフトウェア開発、システム技術での優位化にあると考えられる。また、産官学連携やオープンイノベーションの一層の活用促進も不可欠であると思料する。

今回の特集では、情報通信ネットワーク技術の進化を活用、又は支える技術成果が報告される。例えば、高速大容量の映像を伝送・蓄積し、更に分析・認識技術による価値向上を図る監視システムや計算能力を高めた通信ゲートウェイ、移動体通信を大幅に高速化するミリ波帯通信技術などが含まれる。これらの成果が、今後のIoTや映像通信の拡大などを通じた新世代のネットワーク社会と産業の発展に大いに寄与することを期待したい。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

巻頭論文

通信技術を活用した 映像監視システム



山中秀昭*



浅井光太郎**

Video Surveillance Systems with Network Solutions

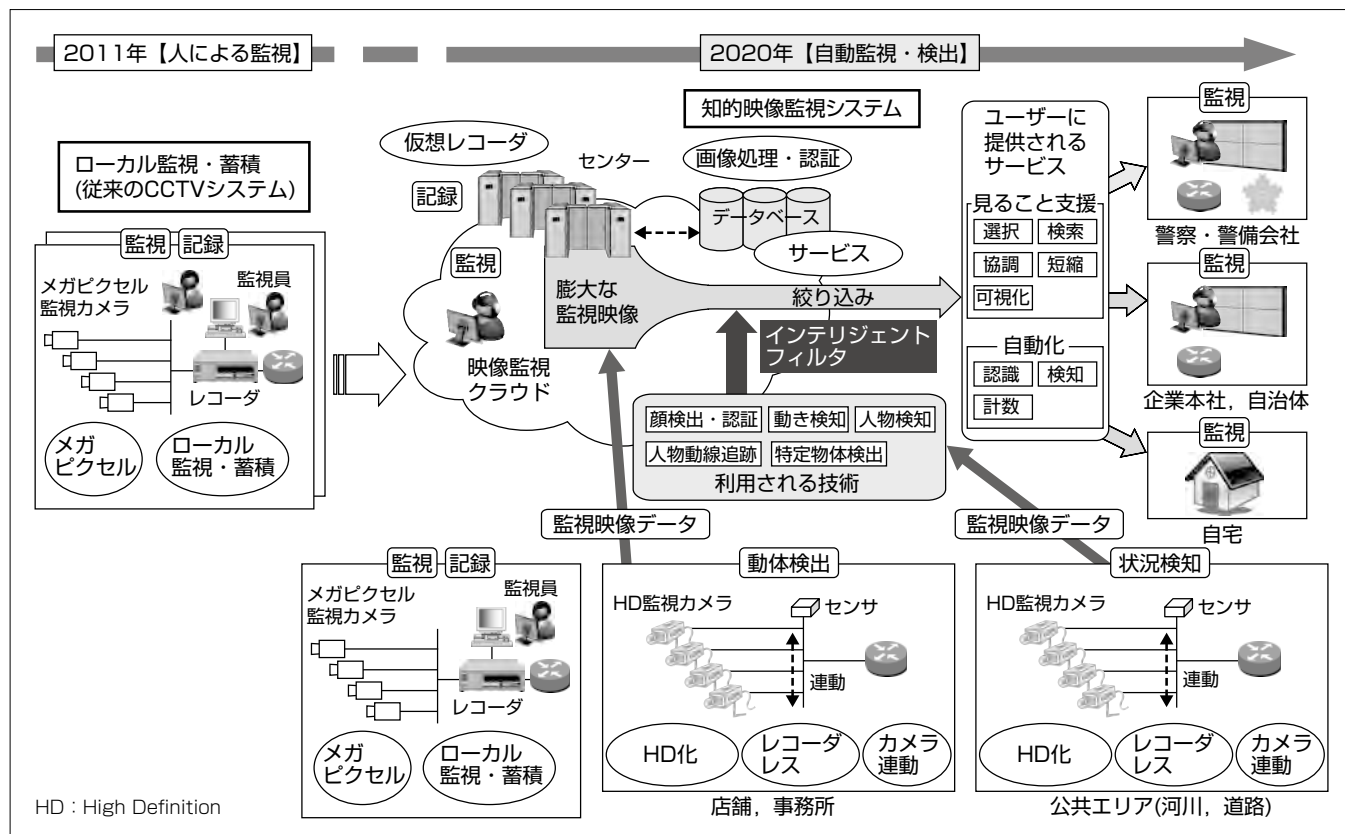
Hideaki Yamanaka, Kotaro Asai

要 旨

スマートフォンの普及で、無線アクセス分野では、LTE (Long Term Evolution) の展開によって下り方向最大100Mbpsクラスのワイヤレスブロードバンドの発展が見られた。今後LTE-Advancedでは最大1 Gbpsのスループットが実現する見込みである。国内ではFTTH (Fiber To The Home) の普及で、1 Gbpsクラスのアクセスサービスが広く浸透しており、10Gbpsのアクセスシステムも実用段階に入っている。これらの伝送技術の発達やアクセスサービスの普及によって、以前は送信が困難であった映像データも遠く離れた場所に、いつでも安価に届けられるようになり、映像監視(CCTV(Closed Circuit Television))システムにも大きな変化(アナログからデジタル)を促した。コンビニなどの店舗では、犯罪抑止だけでなく顧客の来店状況や商品陳列棚の状況、バックヤードや倉庫などの状況

をモニタリング、録画することによって、顧客とのトラブル発生時の早期解決を始め、従業員教育によるサービス改善などに加え、マーケティング面でも活用されるようになってきた。大規模ビルでは、パソコンや専用装置でカメラ映像の画像処理を行い入館・退館の人数をカウントするシステムや、フロアの混雑監視システム、不審物検知システム等、目視による監視用途以外にも使用され始めている。

今後、ネットワークの進化とCCTVシステムのデジタル化によって、VSaaS(Video Surveillance as a Service)が普及し、蓄積・配信の機能がネットワークサービスとして提供されるようになる。更には、映像分析技術の進歩によって、画像から得られるコンサルティング情報の提供も重要なメニューとなる。



今後の映像監視システム

今後の映像監視(CCTV)システムは、ネットワーク化によって多地点分散型システムとなり、ストレージやシステム制御のクラウド化が進む。演算能力の高いサーバから得られる映像分析データがそれぞれのユーザーに適した形式で提供されることで、ソリューション提供サービスが普及する。

1. ま え が き

安全・安心に対する意識が高まる社会環境の中、行政レベルでの安全で安心な街づくりや公共・民間施設での防犯・安全対策などが進められて、映像監視システムの利用が広がりを見せている。

三菱電機は、1954年に国産第1号の監視カメラ(炉内監視に利用)を製品化して以来、先進技術を取り込み、製品化やシステム化を推進し、約60年にわたって映像監視システムの製造と販売実績を重ね、多くの顧客に利用されてきた。製品シリーズもアナログカメラである“MELOOK”，“MELOOK Gシリーズ”を市場投入後、より暗いところを監視したいという市場要求に対応するため、高性能シリーズとして、“MELVISIONシリーズ”を投入した(図1)⁽¹⁾。

監視カメラの動向では、撮像デバイスが、白黒撮像管の時代からカラーCCD(Charge Coupled Device)、CMOSセンサへと移り変わり、多画素化が進んだ。それに合わせて、解像度は高精細になり、NTSCの解像度からSXVGA(Super eXtended Video Graphics Array)、HD(High Definition)へと変化している。信号もアナログからデジタルになり、デジタル映像信号を伝送するために高能率符号化技術を利用するようになった。

デジタル化の利点は、高解像度化が可能になったことだけでなく、映像符号化での圧縮の性能向上とハードディスク低価格化に伴い、長時間で高画質での映像記録が可能になったことである。世界市場の需要規模では、アナログ監視カメラが横ばいであるのに対して、デジタル監視カメラは年率約25%で伸長している(図2)。

当社は、高能率符号化技術の発達で市場がデジタルに移行していくことに対して、ネットワークカメラのシリーズ

である“Digital MELOOKシリーズ”を開発し、更に高画素化の市場要求を取り込んだ“MELOOK μ シリーズ⁽²⁾”とその後継の“MELOOK μ II シリーズ(小規模監視)⁽³⁾”，“MELOOK DGシリーズ(大規模監視)⁽⁴⁾”を販売した。また、既存のアナログCCTVシステムが使用していた同軸ケーブルをそのまま利用して高画質なデジタルCCTVシステムの構築を可能とする“MELOOK μ +シリーズ⁽⁵⁾”を開発した。これによって、新たにデジタルCCTVシステム用のLANケーブルを敷設する必要がなく、既設の同軸ケーブルの利用によって低コストで高機能・高画質のデジタルCCTVシステムを構築することが可能となった。

今回、MELOOKシリーズの最新機種であり、最大32台のカメラを1台のレコーダに接続し、FULL-HD(1920×1080)サイズの高精細映像(H.264, 30fps)の表示及び記録・再生を可能とする“MELOOK 3 シリーズ”を市場に投入する⁽⁶⁾。

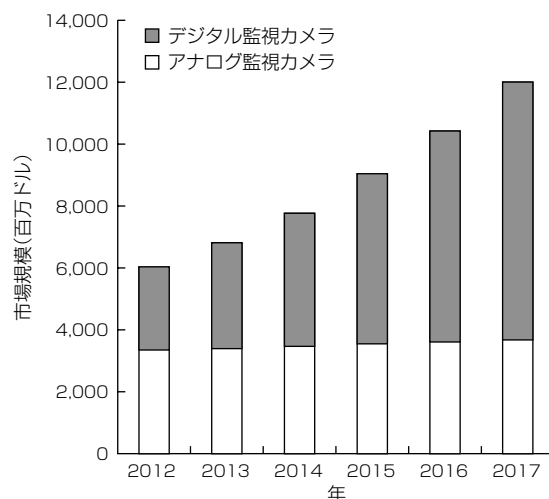
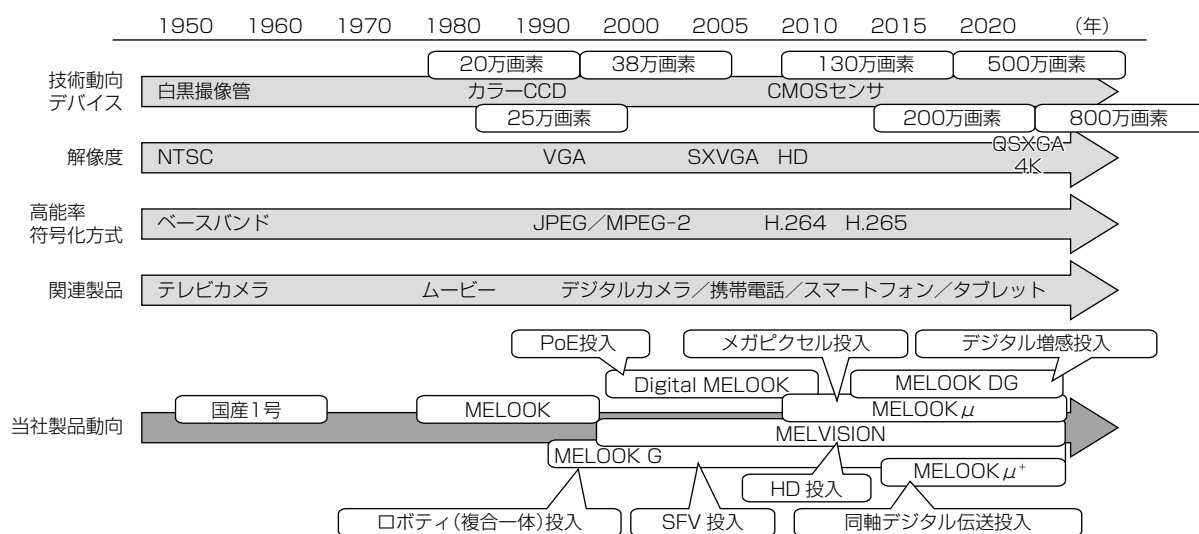


図2. 世界市場のアナログとデジタル監視カメラの推移



CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor, JPEG : Joint Photographic Experts Group, MPEG-2 : Moving Picture Experts Group phase 2, NTSC : National Television System Committee, PoE : Power over Ethernet, QXGA : Quad Super eXtended Graphics Array, SFV : Super Fine View

図1. CCTVの技術と製品動向

2. ネットワークの進展

インターネットユーザーの伸びは世界的で、特に近年では中所得国での伸びが大きく、全ユーザーの約半数が中所得国の居住者で占められるに至っている(図3)⁽⁷⁾。

モバイルインターネットの基盤となるスマートフォンについても普及が進んでおり、2013年における世界出荷台数は前年比38.4%増の10億420万台で、年間出荷台数が初めて10億台を超えるとともに、同年の携帯電話全体に占めるスマートフォンの割合が通年で初めて5割を超えた。

スマートフォンの普及によって、SNS(Social Networking Service)や動画視聴、Eコマースなどのサービス利用が進んでいる。それを支える無線アクセス分野では、3.9GすなわちLTEの展開によって下り方向最大100Mbpsクラスのワイヤレスブロードバンドの発展が見られた。今後、LTE-Advancedでは最大1 Gbpsのスループットが実現される見込みである。

一方、国内ではFTTHの普及で、既に1 Gbpsクラスのアクセスサービスが広く浸透している。更には10Gbpsのアクセスシステムも実用段階に入っている。

このように、伝送技術の発達やアクセスサービスの普及によって、以前は送信することが困難であった映像データも遠く離れた場所に、いつでも安価に届けることができるようになった⁽⁸⁾。映像監視システムは、古くは監視カメラ+モニタという閉じたシステムで構成されたことから、放送用テレビ網のオープンサーキット(広範囲)に対してCCTV(Closed Circuit Television)システムと呼ばれたが、もはや“Closed”ではなくなった。現在では、監視カメラの映像や音声を超く離れた場所まで伝送する伝送システム、伝送された映像や音声を記録するレコーダ、遠隔から監視カメラを操作する制御卓を含む大規模なシステムにまで拡張されている。

3. 映像監視システム形態と映像技術の進化

3.1 システム形態の進化

ここ数年での映像監視(CCTV)システムにおける最大の変化は、アナログからデジタルへの移行である。CCTVシステムのデジタル化によって、(1)高解像度化、(2)長時間記録、(3)大規模化の3つの恩恵をもたらした。

(1) 高解像度化

NTSC/PAL(Phase Alternating Line)等のアナログ映像伝送方式の制限から解放され、CCD/CMOS等の撮像素子は高解像度化が進んでいる。アナログ相当の0.3Mピクセルに始まり、メガピクセル(1M、1.3Mピクセル)の時代を経て、現在、CCTVカメラの解像度はフルハイビジョン(2Mピクセル)がメインストリームに据えられるようになった。解像度の拡大は継続しており5~8Mピクセルのセンサを搭載するカメラも市場投入されつつある。

高解像度化は画像解析(Video Content Analysis: VCA)の性能向上にも寄与する。顔認証やオブジェクト認識、行動解析等にはより精細な映像が必要であったが、CCTVカメラの高解像度化はこれを後押しする。

一方で、高解像度のセンサや、解像度に見合う光学系(レンズ)はまだ高価であり、高解像度のデジタル映像信号を処理するプロセッサに要求される性能とも相まって、高解像度カメラは高価格となる。民生用途では次世代デジタル放送として4K/8K規格が推進されており、対応する解像度は8M/32M相当である。民生用テレビとして4K/8Kが普及することは、表示や撮像デバイスが安価に入手可能になることを意味し、CCTV市場での活用も進み、安価で高解像度なCCTVシステム普及にもつながる。

(2) 長時間記録

デジタル化された映像信号は、1990年代から急速な進歩

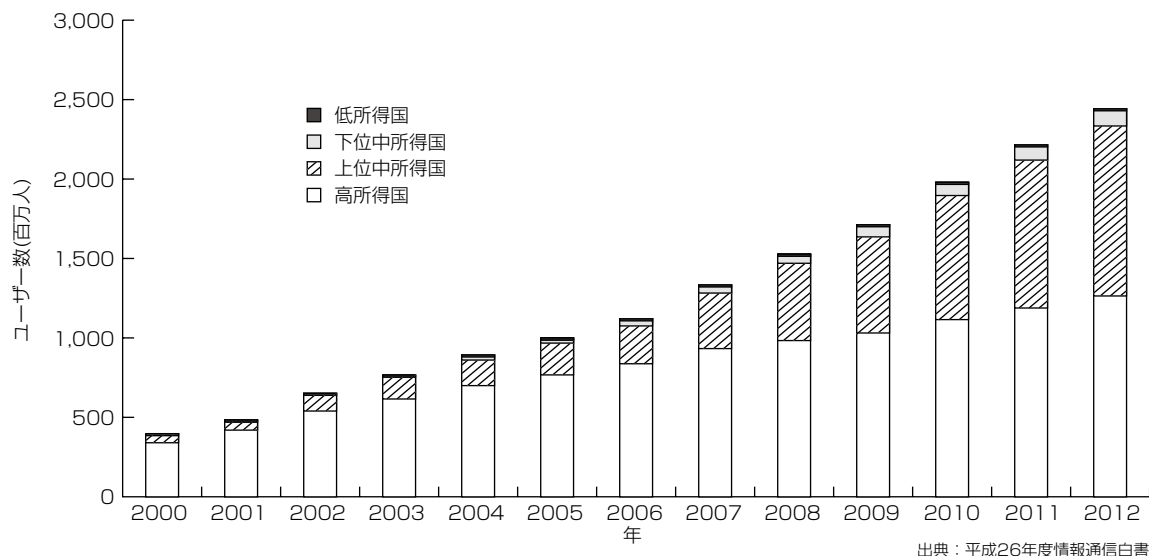


図3. 世界のインターネットユーザー数の推移

を果たしたデジタル映像圧縮技術を利用することで大幅なデータ圧縮が可能となった。記録媒体が一定容量であれば、データ圧縮は映像の長時間記録に直結する。

デジタルカメラ等で多用されているJPEGに始まり、時間軸相関を活用する方式としてはMPEG-2(1994)、MPEG-4(1999)、H.264(2003)と約10年でほぼ2倍の圧縮率を達成してきた。更に2013年に策定を終えたH.265ではH.264の2倍の圧縮性能を達成している。

現在、デジタルCCTVシステムでは、H.264の利用が主流であるが、最新の圧縮方式であるH.265適用によって更なる長時間記録への期待がある。H.265は次世代デジタル放送(4K/8K)での適用が想定されており、ここでも民生機器の普及からCCTV市場への活用が期待できる。

データ記録媒体はアナログ時代に利用された磁気テープから、データアクセス性が高く、ビット単価が急激に低下したHDD(Hard Disk Drive)にほぼ完全に移行している。大容量化したHDDとデータ圧縮技術によって年単位での映像記録も現実のものとなってきている。

(3) 大規模化

CCTVシステムのデジタル化は、伝送方式をアナログ伝送からIP(Internet Protocol)ネットワークに移行した。IPネットワークが利用可能になることで、柔軟なシステム構成と大規模化が可能になった。

アナログシステムでは、カメラ数に比例した配線が必要であり、多カメラシステムや遠方監視が困難であった。IPネットワークへの移行によって、既に普及しているネットワーク機器を活用することで、多カメラシステムや長距離映像伝送も容易に実現可能となった。

IPネットワーク移行は、CCTVシステム規模拡大のみならず、新たな映像関連サービスの創出も果たしている。代表的な例として、映像クラウド(VSaaS)がある。

VSaaSは、従来の映像監視システムの一部をネットワークサービスに預けるものである。具体的には映像レコーダが担っていた蓄積・配信の機能をネットワークサービスとして実施する。サービス利用者側の利点は、カメラをネットワークに接続するだけで映像監視が実現できることである(図4)。

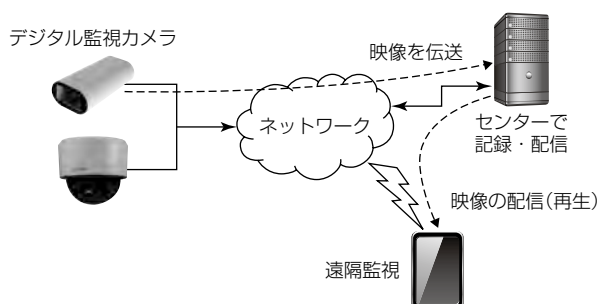


図4. VSaaSの構成

4. 映像情報活用による進化

映像情報活用の進化として、顔認証や河川の状態検知など映像分析・認識技術の適用拡大が知られている(図5)。

スーパーやコンビニなどの店舗では、万引きなどの犯罪抑止を目的に映像記録が行われてきた。最近では犯罪抑止だけでなく顧客の来店状況や商品陳列棚の状況、バックヤードや倉庫などの状況をモニタリングして録画することによって、顧客とのトラブル発生時の早期解決を始め、従業員教育によるサービス改善などに加え、マーケティング面でも活用されるようになってきた。また、近年のネットワーク型監視システムでは、複数店舗を経営するオーナーが自宅から各店舗の状況を把握できるようになり、経営の一助となっている。

マンションではエントランスやエレベーターカゴ内、建物周辺や駐車場・駐輪場にカメラが設置され、犯罪抑止に使用されることが一般的である。ストーカー、空き巣、駐車場・駐輪場での車・自転車へのいたずらや盗難防止、迷惑行為防止などの犯罪抑止である。最近では、エレベーターカゴ内での事件事故発生時の状況確認、ゴミ出しなどの住民のマナーの向上、他所からのゴミの持込み抑止、法令や条例違反となる不法投棄の抑止などに役立っている。

オフィス・商用などの大規模ビルでは、フロア数が多く監視エリアが広いことやエントランス、ホール、地下街、ビル外周等の監視対象が多いことから設置運用するカメラの台数が多い。これらのカメラ映像は、ビル設備を管理する防災センターでの24時間一括監視が求められる一方、ビルの駐車場管理室での映像監視等、複数拠点での監視業務に使用されている。最近では、火災報知設備との連動機能、入退室システムとの連動機能⁽⁹⁾等、監視カメラシステムとビル設備との連動による監視業務の効率化と高機能が求められる、防災センターでの一括監視業務に役立っている。加えてパソコンや専用装置で監視カメラの映像画像処理を行って入館・退館の人数をカウントするシステムや、フロアの混雑具合を監視するシステム、不審物の滞留を自動で



図5. 河川の水位を画像から検知する事例



図 6. 店舗向けの顧客の動線分析ツール

検出する不審物検知システム等があり、目視による監視用途以外にも使用され始めている。

マーケティングへの適用では、店舗を訪れる人々の属性、動線、商品を見たり手に取ったりする行為の分析から、商品の仕入れや配置、欠品補充、案内表示の改善につなげて売上げを向上させることへの期待がある(図 6)。

一方、工場などの生産管理への適用では、ラインを流れる機器や作業者の動きから、製造効率の要因分析、又は不具合発生原因の追跡を行って効率を向上させることへの期待がある。

これらの活用例では、販売管理や生産管理のシステムにおける IT 化が進行し、監視カメラが他のセンサとともに組み込まれることが想定される。監視カメラには拡張性や柔軟なインタフェースが求められ、防犯・防災以外の用途へカメラを進化させるための検討が必要となっている。

ここまで述べてきたように映像分析・認識技術は、監視システムの新たな機能になりつつあるが、更に大規模なシステム連携や分析を行うためには、情報をサーバに集めて分析する手法が有効な手段となる。演算能力の高いサーバに映像分析や認識技術を導入することによって、監視システムは、より強固なものとなる。例えば、映像内の変化点(速度・形・色・大きさ)を抽出して、対象物や重要性を判断し発報処理を行うことや、近隣で発生した事件の犯人の顔写真を即座に各拠点に転送することが可能となる。

また、防犯目的のみならず、映像から顧客の嗜好(しこう)や行動を観察してビジネスやマーケティングに活用するビデオ監視サービスも欧米を中心に取組みが加速されている。1 拠点だけでは分かりにくい傾向をセンターで集中して分析することで精度が向上するだけでなく、コストも抑えられる。

サービスプロバイダが映像の記録・閲覧サービスをエンドユーザーに提供する VSaaS では、今後、映像分析結果や得られるコンサルティング情報の提供も重要なメニューとなる。これは、ソリューション化が要求される監視システムビジネスの 1 つの方向と考える。

5. む す び

当社における映像監視システム開発と製品の動向を説明し、今後の展望を述べた。今後の映像監視システムは、ネットワーク化によって多地点分散型システムとなり、ストレージやシステム制御のクラウド化が進む。演算能力の高いサーバから得られる映像分析データがそれぞれのユーザーに適した形式で提供されることで、ソリューション提供サービスが普及する。今後とも、安心・安全かつ高効率な社会に貢献する映像監視機器及びシステムの開発を行う所存である。

参 考 文 献

- (1) 山中秀昭：CCTV 監視システム技術の変遷と今後の展望，三菱電機技報，**88**，No.9，572～575（2014）
- (2) 上田智弘，ほか：三菱デジタル CCTV システム“MELOOK μ ”，三菱電機技報，**82**，No.9，557～560（2008）
- (3) 上田智弘，ほか：メルック μ II システム，三菱電機技報，**86**，No.6，331～334（2012）
- (4) 岡部正治，ほか：デジタル CCTV システム，三菱電機技報，**85**，No.6，357～360（2011）
- (5) 寺内弘典，ほか：メルック μ + システム，三菱電機技報，**87**，No.5，285～288（2013）
- (6) 三菱電機ニュースリリース 2015 年 2 月 25 日：三菱デジタル CCTV システム「MELOOK 3」発売のお知らせ（2015）
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2015/0225.html>
- (7) 総務省：平成 26 年度版情報通信白書（2014）
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/pdf/index.html>
- (8) 川村秀男，ほか：メルック μ II スマートフォン連携，三菱電機技報，**88**，No.6，375～378（2014）
- (9) 野口光一，ほか：“MELOOK μ ”レコーダと“MEL SAFETY-P”の連携，三菱電機技報，**83**，No.9，531～534（2009）

三菱電機の光通信技術への取組み

宇藤健一* 向井宏明**
杉原隆嗣** 野田雅樹*
堀内栄一*

Mitsubishi Electric's R&D Activities on Optical Communication Technologies

Kenichi Uto, Takashi Sugihara, Eiichi Horiuchi, Hiroaki Mukai, Masaki Noda

要 旨

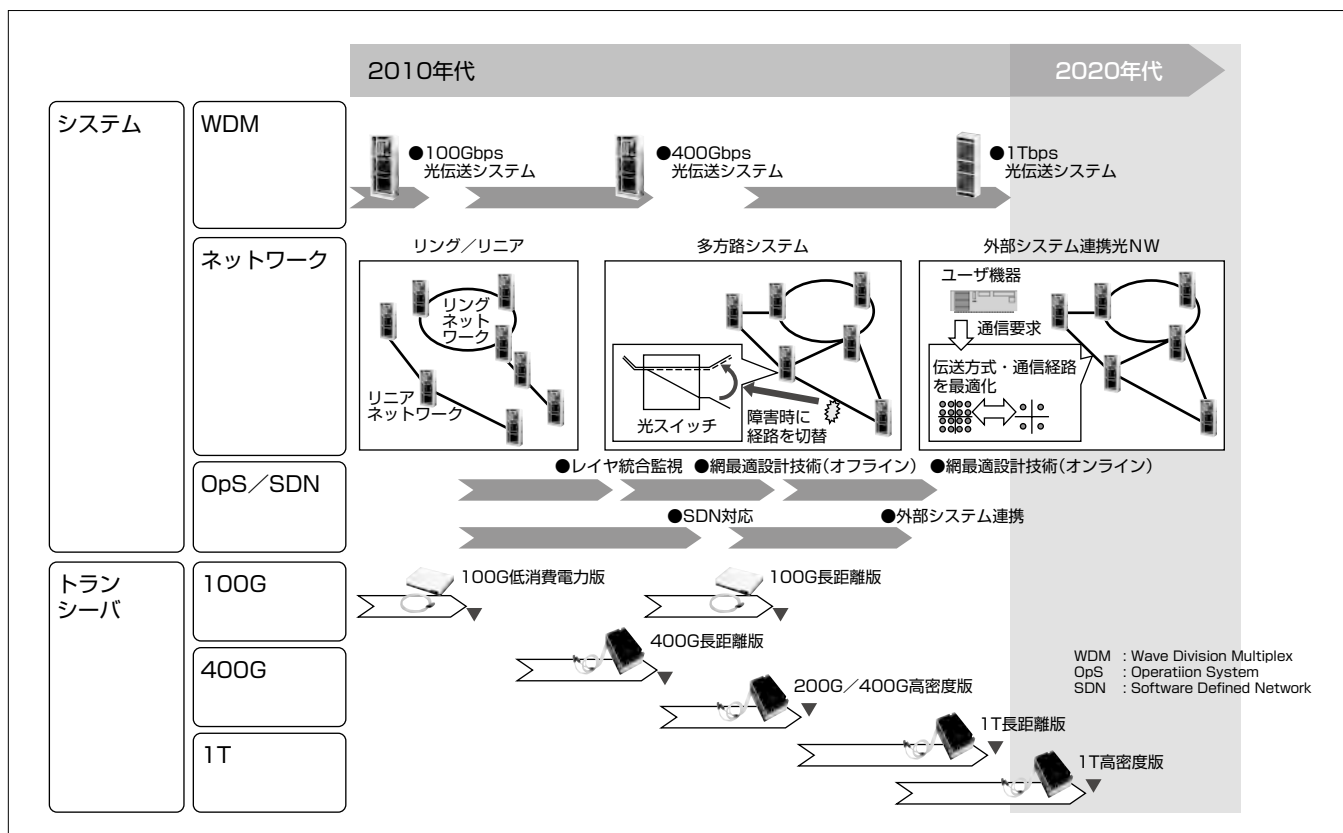
大規模データセンターからスマートフォンにいたるまで通信の大容量化が進んでいる。調査報告によると、世界で生成される情報量は2010年以降年率1.4倍で増加し、2020年には35ZB(ZB：ゼタバイト： 10^{21} バイト)になると言われている。これらを支えるために光通信技術の重要性が増している。WDM技術を基に構成されるコアネットワークは波長あたり100Gbpsの伝送容量となっており、400Gbps時代を迎えようとしている。また、エンドユーザーにブロードバンドサービスを提供するFTTH(Fiber To The Home)等のアクセスネットワークは、PON(Passive Optical Network)技術によって構成され、これも10Gbpsの時代に移ろうとしている。

本稿では、コアネットワークの容量拡大に貢献するデジタルコヒーレント技術と誤り訂正技術、アクセスネットワ

ーク向けの10G-EPON(10 Gigabit-Ethernet PON)を実現するための光送受信器技術とPON制御技術といった要素技術を中心に、三菱電機の光通信技術に関する研究開発への取組みについて述べる。

また、今後のグローバル化を考えた場合、標準化が重要となる。PONについては、マルチサービスを狙ったITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector)とイーササービス集約を狙ったIEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)で並行して標準化が進められてきた。日本はIEEE標準のEPONを支持してきたが、海外への導入を考えた場合、ITU-Tでの標準化が必要となる。IEEE, ITU-Tでの標準化動向、及び当社の標準化に対する取組みを述べる。

さらに、今後の光通信技術開発への取組みを述べる。



コアネットワークの技術進歩

コアネットワークに求められる伝送容量は、現行の100Gbpsから、今後、400Gbps、さらには1Tbpsへと増大すると予想される。大容量化に対応するために必要となる、システム技術(WDM, ネットワーク, OpS/SDN)とトランシーバ技術の両方に対して、継続的に開発に取り組む。

1. ま え が き

大規模データセンターからスマートフォンにいたるまで通信の大容量化が進んでいる。調査報告によると、世界で生成される情報量は2010年以降年率1.4倍で増加し、2020年には35ZB(ZB：ゼタバイト： 10^{21} バイト)になると言われている。これらを支えるために光通信技術の重要性が増している。WDM技術を基に構成されるコアネットワークは波長あたり100Gbpsの伝送容量となっており、400Gbps時代を迎えようとしている。また、エンドユーザーにブロードバンドサービスを提供するFTTH等のアクセスネットワークは、PON技術によって構成され、こちらも10Gbpsの時代に移ろうとしている。

本稿では、コアネットワークの容量拡大に貢献するデジタルコヒーレント技術、アクセスネットワーク向けの10G-EPONを実現するための要素技術を中心に、当社の光通信技術への取組みについて述べる。

また、今後のグローバル化を考えた場合、標準化が重要となる。PONについては、マルチサービスを狙ったITU-Tとイーササービス集約を狙ったIEEEで並行して標準化が進められてきた。日本はIEEE標準のEPONを支持してきたが、海外への導入を考えた場合、ITU-Tでの標準化が必要となる。IEEE、ITU-Tでの標準化動向、及び当社の取組みを述べる。

2. コアネットワーク技術

コアネットワークに要求される大容量化実現のため、キーとなる技術が光送受信技術と誤り訂正技術である⁽¹⁾。

2.1 光送受信技術

100Gbpsのシステムでは、従来の10Gbpsや40Gbps伝送に比べ、高速化に伴い広帯域な受信帯域を要するため光信号対雑音比(Optical Signal to Noise Ratio：OSNR)に対する耐性の強化が必要となる。既存の10Gbpsシステム用に整備された、光ファイバや光増幅器といった伝送路条件を変えことなく100Gbpsへの増設が求められる機会が多いこともあり、光送受信器にはOSNR耐性の強化や、伝送路中で生じる波長分散や非線形光学効果による信号波形歪(ひず)みを低減する技術が必要となる。特に、100Gbpsの光送受信技術として、デジタルコヒーレント技術と光変復調技術が重要となる。

デジタルコヒーレント技術は、高感度受信が可能なコヒーレント検波方式を、超高速LSI(Large Scale Integration)で実装可能となったデジタル信号処理によって実現している。これによって、搬送波の周波数や位相の安定した推定が可能になり、従来の光強度変調を用いた直接検波方式に比べて3dB低いOSNRでも同一の信号品質を得られている。高速化によって顕著となる波長分散、偏波モード分散

による線形な波形歪みに関しても補償可能になり、伝送距離が飛躍的に向上している。さらに、多値位相変調や偏波多重分離が実現可能となり、100Gbpsで最も普及している偏波多重4値位相変調(Dual-Polarization Quadrature Phase Shift Keying：DP-QPSK)方式では、波長多重システムの周波数利用効率が従来の2倍以上に向上している。

一方、100Gbps DP-QPSK方式では、伝送距離の延伸化に伴い非線形光学効果に起因する波形歪みが増大し、既存の伝送路を用いた場合に、システムマージンまで考慮すると伝送距離が3,000km程に制限されることがあった。従来の10Gbpsや40Gbpsと同等な長距離伝送を実現するには、100Gbps信号の更なる延伸化技術が必要である。当社では、延伸化のため、偏波多重2値位相変調(Dual-Polarization Binary Phase Shift Keying：DP-BPSK)方式を2つの搬送波を用いて伝送するDual-Carrier DP-BPSK方式を採用した。この方式では、信号点間距離を拡大することでOSNR耐性を改善し、非線形光学効果による波形歪みを抑制することができる⁽²⁾。周波数利用効率が半減する点は、2つの搬送波を用いることで補い、トータルとして、100Gbpsの伝送速度を維持した(図1)。当社では、この方式を新たに採用した100Gbpsデジタルコヒーレントトランスポンダの開発を行い、最長伝送区間5,000kmの海底ケーブルプロジェクトを受注し、現在運用が開始されている。

2.2 誤り訂正技術

図2に1チャンネル当たりの伝送容量と周波数利用効率との関係を示す。伝送容量が100Gbpsを超える光伝送システムでは、高速化に伴い、より高い周波数利用効率を求められる。400Gbpsで有力視される16QAM(Quadrature Amplitude Modulation)方式では、従来のQPSK方式に比べて信号点間距離が狭まることで、さらに伝送路雑音の影響が大きくなる。当社では、OSNR耐性の強化を目的として、強力な誤り訂正符号を得るため、多重空間結合方法を用いた軟判定低密度パリティ検査符号(Low-Density Parity-Check：LDPC)を開発した⁽³⁾。硬判定符号を組み合わせた接続符号とし、符号化利得12dBとなる高い訂正能力を実現した。

また、伝送路に合わせた最適な信号速度と訂正能力を選択するため、フレーム構造を可変として、誤り訂正符号の

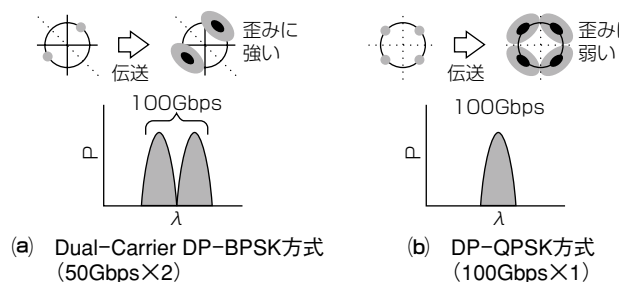


図1. 100Gbps光変調方式

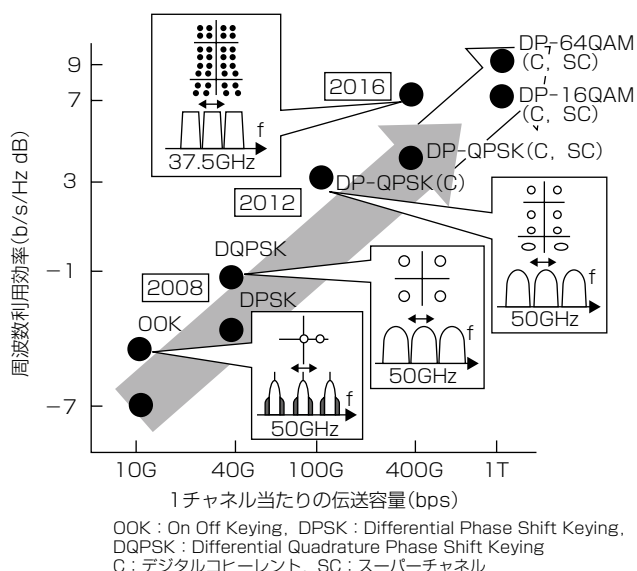


図2. 伝送容量と周波数利用効率との関係

冗長度，及び信号速度を可変とし，伝送路に合わせて切り換える方式も開発した。

2.3 大容量システム監視制御技術

WDMネットワークにおけるメッシュ接続や，WDM・OTN(Optical Transport Network)・パケットレベルの伝送機能を統合するマルチレイヤ化が導入されており，システムが複雑化する一方で，急激なトラフィックの変動や災害に対処するための迅速なプロビジョニングや障害迂回(うかい)が求められている。これらに対応するため，トランスポートネットワークを仮想化し，最適かつ柔軟な運用を可能とするSDN(Software Defined Networking)技術と，迅速な障害箇所特定や障害迂回を可能とするマルチレイヤ監視制御技術の技術開発を進めている⁽⁴⁾。

3. アクセスネットワーク技術

3.1 光送受信器技術

アクセスネットワークの大容量化の要求に合わせ，既存のGE-PON(Gigabit Ethernet-PON)の10倍である10Gbps級の伝送容量を持つ10G-EPONシステムに適用可能な局舎装置(Optical Line Terminal : OLT)用，及び宅内装置(Optical Network Unit : ONU)用光トランシーバを，それぞれXFP(10 Gigabit Small Form Factor Pluggable Module)サイズ，SFP+(Small Form-factor Pluggable+)サイズで実現し⁽⁵⁾，自社製半導体チップを用いることでIEEE802.3-2012 PR30規格を満足する性能を実現した。

また，近年のモバイルトラフィック増加を受けて，モバイル基地局収容が可能なアクセスネットワークとして，40Gbps級の伝送容量を実現する次世代アクセスシステム(NG-PON2)について，2015年頃の完了を目指してITU-T(G.989シリーズ)で標準化作業が行われている。これまでのPONシステムで用いられている時分割方式に，波長多

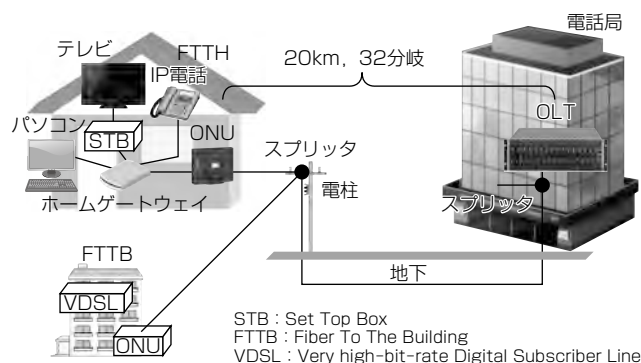


図3. PONシステム

重技術を適用したTWDM-PON(Time and Wavelength Division Multiplexed-PON)が議論されており，様々なサービスを統合的に運用できる将来の光アクセス方式として期待されている。主なシステム要求条件として，従来の光アクセスシステムより多分岐，長距離である64分岐以上，40km以上の伝送や，既存PONシステムとの共存が要求されており，実現に向けては，ONU用光トランシーバのカラーレス化や，OLT用光トランシーバの高出力化・高感度化が技術課題である。当社ではこれらの課題解決に向けたフィージビリティスタディを進めており，ONU向け光トランシーバについては，単一の送信光源を用いて波長制御する安価な構成によって，100GHz間隔で4波長分をカバー可能な良好な送信特性を確認している⁽⁶⁾⁽⁷⁾。一方，OLT向け光トランシーバについては，独自のピーク検出型高速利得制御方式の受信ICによって，G.989.2の受信特性規格を満足する高感度・広ダイナミックレンジ特性を確認している⁽⁸⁾。

3.2 PON制御技術

PON方式は，多数の加入者が1本の光ファイバを共有することによって経済的に光通信を行う通信方式である(図3)。複数の宅内装置(ONU)の送信光信号が衝突しないように，局側装置であるOLTが各ONUの光信号送信時間をナノ秒単位でスケジューリングしている。

光ファイバを複数加入者で共有することは経済性を高めるメリットがある反面，光ファイバの障害又は局側装置の故障の影響が多数の加入者に及んでしまうという課題があった。現在普及している1GbpsクラスのPONシステムであるGE-PONシステムの後継機で，10倍の伝送容量を持つ10G-EPONシステムでは，加入者当たりの通信容量拡大のみならず，収容加入者を増やすことでコストを低減するという需要もあり，耐障害性を高めることが重要になる。また，通信容量拡大には電子回路の高速動作が必要であり，消費電力増加も課題である。これらの課題を解決する技術として，当社では冗長切換え技術と宅内装置の省電力制御技術を開発した。

冗長切換え技術は，OLTが装置の故障又は，光ファイ

バ断などの障害を検出した後、通信経路を自動的に迂回経路に切り換える技術である。障害発生時に備えて待機状態にさせておく予備のハードウェアが必要であるため、装置のコスト増大が問題となるが、これを、複数の運用系の光回線インタフェース部に対して1つの予備系インタフェース部を設ける構成⁽⁹⁾とすることで、耐障害性とコスト低減を両立させる(図4)。

また、FTTH加入者は日常生活で常時データ送信を行っているわけではなく、実際にはデータアップロードなどの瞬間のみデータ送信を行っている。省電力制御技術は、ONUのデータ量を監視してデータを送信していない時間帯は電子回路への電力供給を停止することで消費電力を低減する(図5)。電子回路を停止すると、データ送信を開始する際に再度通信可能な状態になるまでの時間が通信サービス品質を劣化させてしまう問題がある。これを、回線インタフェース部は動作を停止させるが、省電力制御を行う制御部については動作状態とし、回路の動作停止、再開をミリ秒単位で行うことによって、加入者に提供するサービスに影響せずにONUの消費電力を3割程度低減する⁽¹⁰⁾。

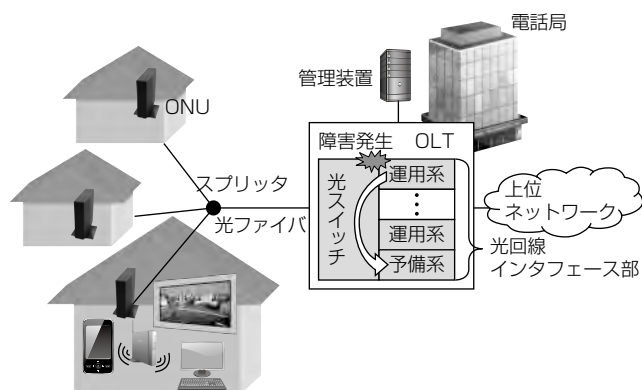


図4. 冗長切換え技術

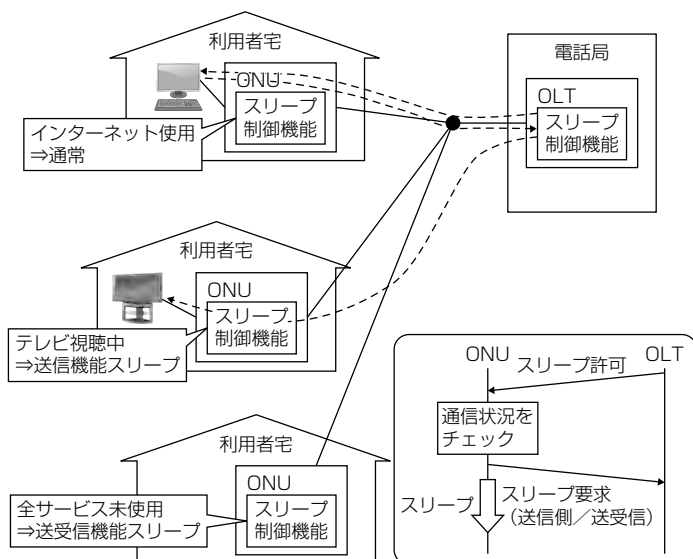


図5. 宅内装置の省電力制御技術

4. アクセスネットワークの標準化動向

PONの標準化はITU-TとIEEEの二つの標準化団体で行われてきた(図6)⁽¹¹⁾。ITU-T規格ではPON区間を転送する専用フレームにユーザーデータをカプセル化して転送し、IEEE規格ではイーサネットフレームを透過転送するという違いがある。国内では、当初ITU-T規格で下り600Mbps、上り150MbpsのB-PON(Broadband-PON)が導入され、ギガビット時代に入ると、2004年にIEEEで標準化が完了した下り1Gbps、上り1GbpsのGE-PONが普及した。一方、海外では国際規格であるITU-T規格に準拠していることを導入の条件とする国が多く、下り2.5Gbps、上り1.25GbpsのG-PON(Gigabit-PON)が普及している。

10GbpsクラスのPONシステムについては、IEEEでは下り10Gbps、上り10Gbps及び1Gbpsの10G-EPON、ITU-Tでは下り10Gbps、上り2.5GbpsのXG-PON(10-Gigabit-capable PON)が標準化され、今後、導入が進むと予想される。10GbpsクラスのPONでは、ITU-T規格とIEEE規格の融合も行われ、IEEE規格のデータ伝送方式に、ITU-T規格の監視制御方式を適用するPONシステム(G.epon)がITU-Tで標準化された。日本ではIEEE規格のPONが広く導入されているが、ITU-Tとの規格の融合によって、日本の技術の海外展開も期待される。当社は、2000年から両方の標準化に積極的に参加し、PONの規格融合についても推進してきた。

ITU-Tでは次世代の光アクセスシステムとして、伝送容量10GbpsクラスのシステムをNG-PON1、さらに大容量のシステムをNG-PON2と定義しているが、NG-PON2は40Gbpsの伝送容量のシステムとして2012年から標準化開始された。NG-PON2は、10GbpsクラスのPONを4システム分別波長を割り当て、波長多重技術を用いて同一光ファイバで通信を行うTWDM-PONを基本とし、波長チャネルを1台のONUに専有させるPtP-WDM(Point to Point Wavelength Division Multiplexing)オプションが定義されている。次世代のビジネス専用線、無線基地局など、データトラフィックの大きいアプリケーションへの適用が想定されているが、波長多重技術導入に伴う光部品の低コ

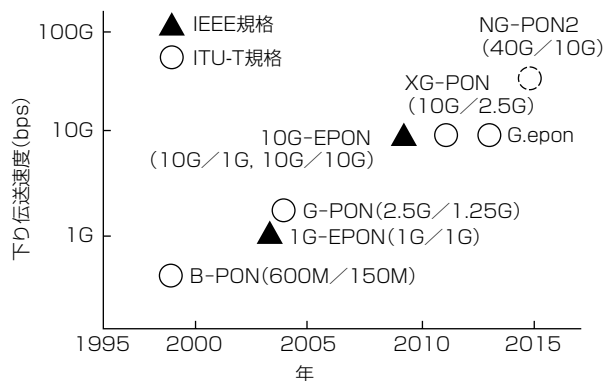


図6. 光アクセスの標準化動向

スト化が普及に向けた課題となる。

5. 今後の展開

5.1 コアネットワーク

今後2016年から2020年にかけて400Gbps又は1Tbpsといった更に大容量の伝送システムが要求されると予想される。当社はこれまで培ってきた光送受信技術、誤り訂正技術の深化に加え、光信号の波長を自由に設定可能なフレキシブルグリッド技術によって大容量化を実現する。

また、大容量化に伴う通信切断時のインパクト増大への取組みとして、任意の経路で光信号の転送を行う多方路システムによって、災害に強いネットワークを提供する。このシステムでは異なる波長の光信号ごとに任意の経路を設定でき、柔軟な運用が可能である。同時に、これらの技術を利用したネットワーク運用の簡易化・効率化を実現するため、監視制御面ではSDN技術等を利用した、ネットワーク全体を仮想化して管理するための技術を開発する。

5.2 アクセスネットワーク

アクセスネットワークの方向性として、無線と有線のシームレス化と通信と放送の融合の2点が想定される。

スマートフォン、タブレット端末の普及につれて、モバイルトラフィックが急増している。今後、動画のやりとりなどの使用形態に応えるため、モバイル端末自体のデータ伝送速度の高速化、さらには、カバーエリアが数百m程度のスモールセル基地局の導入が進み、スモールセル基地局と電話局間に必要となる多数の光回線を低コストで提供する技術が求められる(図7)⁽¹¹⁾。また、4K/8Kハイビジョン放送に必要な大容量の通信回線には光通信が適しており、高速でかつ安定した光回線を一般ユーザーに低コストで提供することが求められる。当社はこれらの需要に対応するため、10G-EPONシステムと併せ、NG-PON2などの次世代光アクセスシステムの研究開発を進めていく。また、データセンター接続等の大容量化に対応するため、メディアコンバータの高速化や、スマートグリッドに代表される

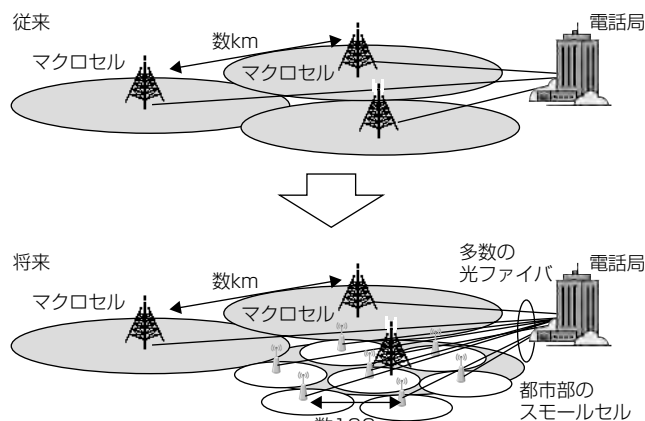


図7. 次世代の無線基地局

M2M(Machine to Machine)分野へのPONシステムの適用、高信頼で柔軟なネットワークを構成するための仮想化技術等にも取り組み、豊かな情報社会の構築に貢献していく。

6. む す び

当社の光通信技術の研究開発への取り組みについて、コアネットワークとアクセスネットワークの要素技術、及びアクセスネットワークのPONに関する標準化について述べた。

また、今後の技術開発の展開について述べた。

この開発成果の一部は、独立行政法人情報通信研究機構(NICT)の委託研究“光トランスパレント伝送技術の研究開発(λリーチ)”から得られたものである。

参 考 文 献

- (1) 佐藤升一, ほか: 100Gbps長距離伝送技術, 三菱電機技報, **87**, No.5, 281~284 (2013)
- (2) Binkai, M., et al.: Experimental Study of the Non-linearity Tolerance of a 100Gbps Dual-Carrier DP-BPSK Signal on a 3,080 km In-line Dispersion Compensated Fiber Link, COIN2014 (2014)
- (3) Sugihara, K., et al.: MSSC-LDPC: Multiple-Structured Spatially-Coupled type LDPC, OFC/NFOEC 2013, OM2B.4 (2013)
- (4) Gao, S., et al.: A Study of SDN-based Control Architecture for Optical Transport Networks employing an SDN Adaptor with GMPLS Signaling, SDN/MPLS2014 (2014)
- (5) 後藤秀樹, ほか: 10G-EPON向け光トランシーバ, 三菱電機技報, **86**, No.6, 327~330 (2012)
- (6) Ihara, S., et al.: Experimental Demonstration of C-band Burst-mode Transmission for High Power Budget (64-split with 40km distance) TWDM-PON Systems, ECOC 2013, Mo. 4.F.2 (2013)
- (7) Ashida, T., et al.: Experimental Study of C-band EML based ONU Burst-mode Transmitter for 40Gbit/s TWDM-PON, OFC 2015, Tu3E.6 (2015)
- (8) Mita, D., et al.: A Wide Dynamic Range, Rapid-response Burst-mode Receiver for TWDM-PON, OECC/ACOFT 2014, TH11A-4 (2014)
- (9) Sakamoto, K., et al.: Protection Schemes Beyond Currently Defined in FTTx, OFC/NFOEC2014, NM2I.6 (2013)
- (10) Mukai, H., et al.: ONU power saving scheme for EPON system, IEICE TRANSACTIONS on Communications, **E95-B**, No.5, 1625~1632 (2012)
- (11) 向井宏明: 次世代光アクセスの標準化動向, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, TK-1-2 (2014)

第5世代移動通信システム適用を 想定したミリ波帯伝搬検証

森重秀樹* 石岡和明**
平木啓愛* 紀平一成***
井浦裕貴**

Field Experiment of Millimeter Wave Transmission toward 5th Generation Mobile Communication System

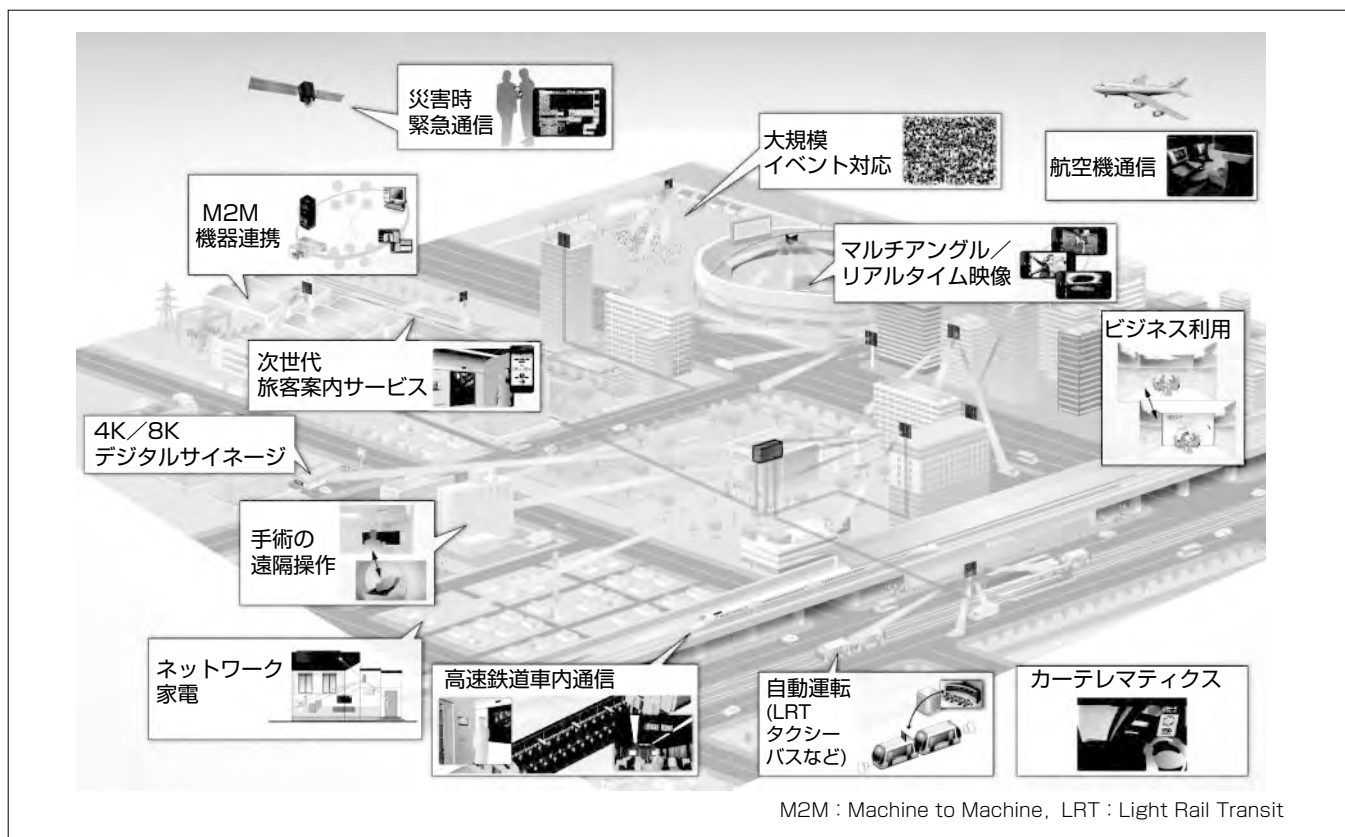
Hideki Morishige, Hirochika Hiraki, Hiroki Iura, Kazuaki Ishioka, Kazunari Kihira

要 旨

近年、2020年以降の第5世代移動通信システム(以下“5Gシステム”という。)として高周波数帯(SHF(Super High Frequency)~EHF(Extremely High Frequency)帯)の適用を前提としたシステム検討が進められている。日本でも、第5世代モバイル推進フォーラム(5GMF)で5Gシステムの検討が開始されている。5G移動通信システムでは、要旨の図に示すとおり、大規模イベント対応、マルチアングル／リアルタイム映像、自動運転、4K／8Kデジタルサイネージなどの新しいサービスを提供するために、大容量伝送、低レイテンシなどの実現が求められる。大容量伝送を実現するためには、信号の広帯域化に加え、飛躍

的な周波数利用効率を向上させる技術としてMassive MIMO(Multi Input Multi Output)技術の適用が検討されている。

本稿では、5Gシステムで今後適用が見込まれる高周波数帯(SHF~EHF帯)通信について、当社通信機製作所製ミリ波帯アクティブフェーズドアレーアンテナ(APAA)を用いた屋外環境での伝搬実験の内容を述べる。また、実験で取得したデータに基づく電波伝搬特性及び、複数ビームによるMIMO伝送方式を適用した場合のチャネル容量推定等について実施した検証結果について述べる。



5Gシステムのサービスイメージ

5Gシステムでは、大容量伝送、低レイテンシなどの実現によって、大規模イベント対応、マルチアングル／リアルタイム映像、4K／8Kデジタルサイネージなどの新たなサービスを提供することが可能になると考えられている。

1. ま え が き

近年、2020年以降の移动通信システムとして、5Gシステムが検討されている⁽¹⁾⁽²⁾。日本でも、第5世代モバイル推進フォーラムで5Gシステムの検討が開始されている⁽³⁾⁽⁴⁾。

5Gシステムでは、要旨の図に示すとおり、大規模イベント対応、マルチアングル／リアルタイム映像、自動運転、4K／8Kデジタルサイネージなどの新しいサービスを提供するために、大容量伝送、低レイテンシなどの実現が求められる。これを実現する5Gシステムのネットワークは、図1に示すとおり、既存のLTE(Long Term Evolution)、LTE-Advancedによるマクロセル、スモールセルに対して、5Gの高速・大容量の高密度スモールセルをアドオンする構成となり⁽⁵⁾、無線アクセスからコアネットワークの各レイヤで大容量化、高密度化が求められる。例えば、5G高密度スモールセルで、10Gbpsを超えるシステムスループットが求められている。

5Gシステムに要求されるシステムスループットを達成するためには高周波数帯(SHF～EHF帯)を利用した信号の広帯域化に加え、アンテナシステムとしてMassive MIMO技術の適用が検討されている。Massive MIMOは、一般に100素子以上を持ったアンテナを用いて10程度以上のマルチビームを形成し、同時に複数のストリーム伝送を実現する。Massive MIMOの代表的な回路構成として、全てのアンテナ素子にDAC(Digital to Analog Converter)やその他のアナログ部品、デジタル回路が接続されるDigital Massive MIMO構成が検討されている。この構成はアンテナ素子数分の自由度が得られるため、非常に高い伝送性能を持つが、製造コストや計算量に課題がある。一方、

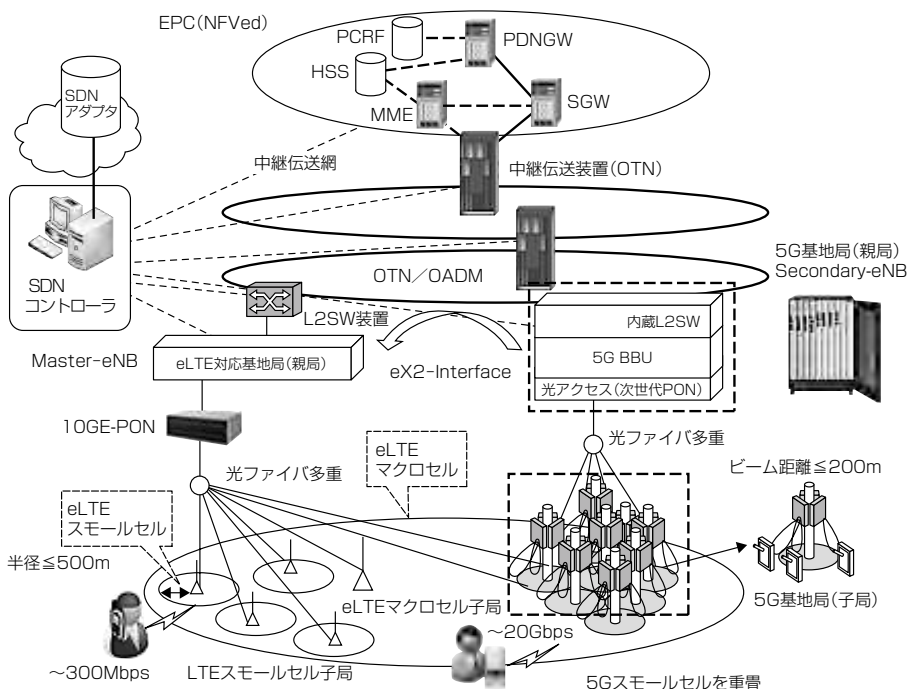


図1. 5Gシステムのネットワーク

フェーズドアレイアンテナによるストリームごとに形成するアナログビームフォーミングとデジタルMIMO処理を組み合わせたハイブリッド型アンテナ構成が提案されている⁽⁶⁾。この構成は、DACやデジタル回路の数を大幅に削減可能であるが、アナログビームから発生するビーム間干渉の低減が課題となる。また、高周波数帯伝搬特性については様々な検討や測定が実施されているが、クラスタモデルを用いたマルチビーム伝送評価は少ない。

本稿では、高周波数帯(SHF～EHF帯)でのアナログビームフォーミングとデジタルMIMO処理を組み合わせたハイブリッド型アンテナ構成の実現性を検証する目的で行った、44GHz帯APAA(Active Phased Array Antenna)装置による屋外実験の実施内容を述べる⁽⁷⁾。また、実験で取得したデータに基づいた伝搬特性、及びスループット評価等について検証結果を述べる。

2. 屋 外 実 験

2.1 試験構成と測定環境

今回の屋外実験では44GHz帯APAA装置を用いた伝搬実験によってマルチビーム時のビーム間干渉を考慮したMassive MIMO基地局の通信路容量を評価するとともに、伝送実験を行うことで実環境でのスループット特性を確認した。測定は主に屋外LOS(Line Of Sight)環境で実施した。送信局設置環境と試験機器構成を図2に示す。また、送信局の主要諸元を表1に示す。

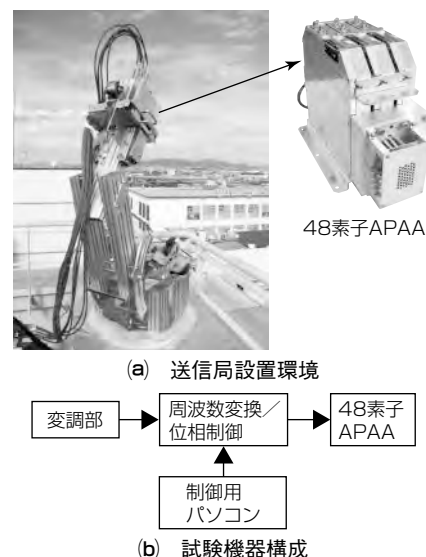


図2. 送信局設置環境と試験機器構成

表1. 送信局の主要諸元

項目	仕様
送信アンテナ	APAA
アンテナ素子数	48素子(8×6)
送信周波数	44GHz帯
空中線利得	17.2dBi
送信アンテナ偏波	左旋円偏波
励振分布	等振幅共相

送信局は地上約26mの位置に設置し、地上又は建物の屋上に設置した受信局に向けてビームを照射する。

図3は伝搬特性確認時の受信局機器構成である。ホーンアンテナをローテータに設置し、方位角、及び仰角方向にアンテナを回転させながら受信電力を測定することで、受信局周辺から到来する電波の強度と到来角AoA (Angle of Arrival)を測定した。また、伝送特性を確認する場合は図4に示す受信局機器構成で測定を行った。伝送試験では4素子無指向性アンテナを用い、100MHz帯域幅の多値変調信号を4つの受信回路で同時受信した後、高速デジタイザから受信IQ(In-phase Quadrature)信号を取得する構成とした。

図5は送信局から見た受信局配置とビーム放射方向である。図中の丸印がAPAAから放射されるビームの放射方向を

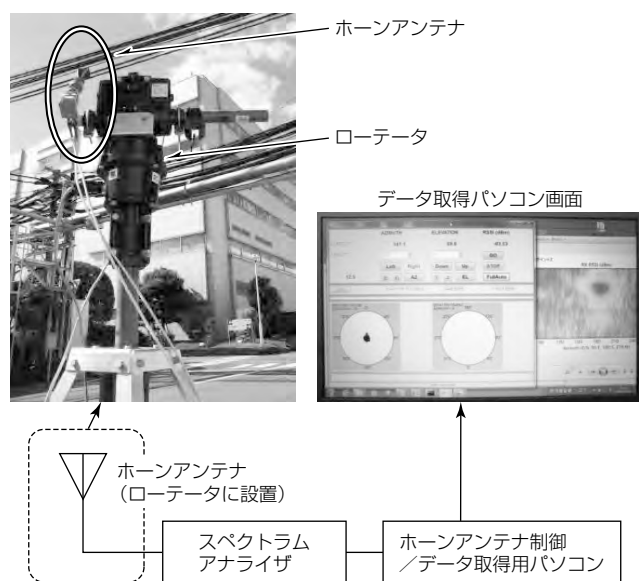


図3. 電波伝搬特性確認時の受信局試験構成

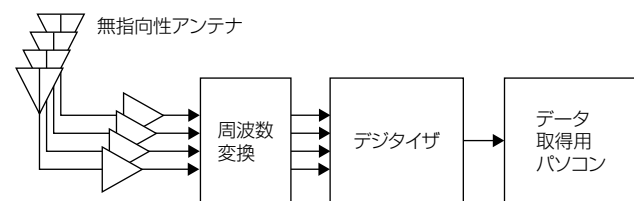


図4. 伝送特性確認時の受信局構成



図5. 送信局から見た受信局配置

示している。従来の移動帯通信基地局で用いられるアンテナの放射パターンとは異なり、電波の照射領域を限定することができる。受信局は各ビームの照射領域の中心付近に設置して測定を行った。受信局エリア#1は地上であり、受信局エリア#2～4は建物の屋上であって地上約11mの高さである。

2.2 伝搬測定結果

先に述べた図3に示した受信局試験構成で取得した測定結果の代表例について述べる。受信局をエリア#4に設置した際の到来電力分布を図6に示す。図は受信局周辺の写真の上にRSSI(Received Signal Strength Indicator)がしきい値以上のレベルとなる到来電力を重ねてプロットしている。図中の丸印は到来波のAoAを示している。横軸は方位角、縦軸は仰角である。方位角は北を0度としており仰角は90度の時にホーンアンテナが水平な状態となっている。

表2に図6で示した到来電力分布のうちエリア#4方向にビームを向けた時の直接波、及び反射波の受信電力とAoAを示す。

図6から分かるように、APAAを用いた44GHz帯の伝

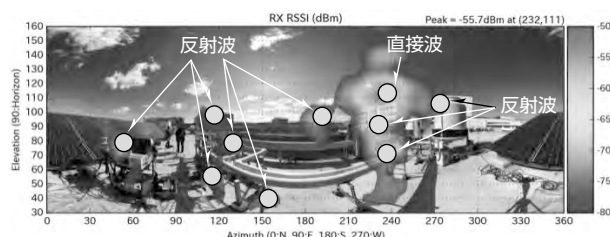
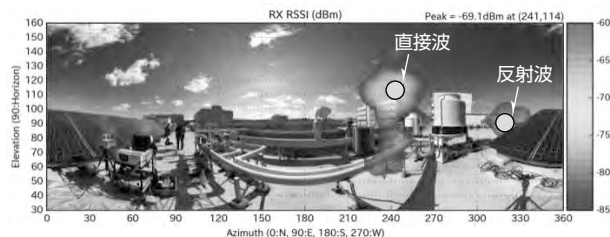
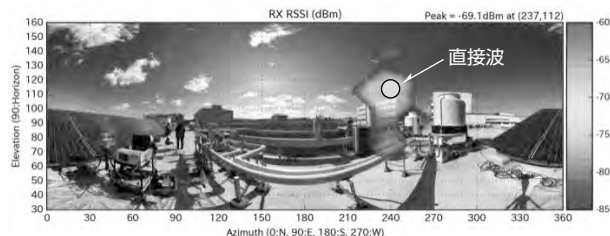
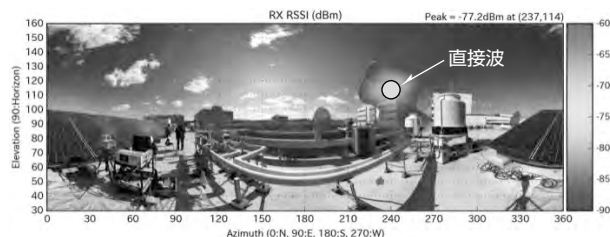


図6. 受信局をエリア#4に設置した時の到来電力分布

搬環境として直接波以外にも受信局周辺の建造物やパイプ、地面からの反射があるが、受信局周辺1～3m以内の構造物がクラスタとして支配的であり、遠方にある構造物からは反射波が到来していないことが確認できる。また、ほかのエリアにAPAAのビームの向きを変えた時にも直接波を受信している。これはビーム形成したAPAAのサイドローブであり、ビーム方向を変更した場合でも見通し環境であるために一定レベルの干渉波として受信してしまうことが分かる。

2.3 スループット評価

伝搬測定結果から求めたクラスタごとのAoA, AoD (Angle of Departure), 受信電力, 遅延時間を適用したクラスタモデルを用いてミリ波帯屋外市街地環境のMassive

表2. エリア#4伝搬測定結果(エリア#4方向にビーム放射時)

AoA		受信電力 (dBm)	直接波／反射波の区別
方位角 (°)	仰角 (°)		
232	111	-55.7	直接波
232	71	-69.4	反射波
52	76	-70.1	反射波
225	91	-70.4	反射波
188	95	-72.6	反射波
124	79	-75.9	反射波
149	39	-76.3	反射波
114	97	-77.1	反射波
268	103	-77.5	反射波
113	55	-78.2	反射波

表3. シミュレーションの諸元

項目	仕様
変調方式	最大64QAM
基地局アンテナ構成 (1アンテナ当たり)	二次元平面アレー 48素子 (8×6)
基地局アンテナ数 N_T	16 (10λ 間隔)
基地局アンテナ配置 (サブアレー配置)	二次元平面アレー
ユーザー数 N_U	16 / 4 / 1
端末アンテナ数 N_R	1/4 (1λ 間隔), 16 (2.5λ 間隔)
端末アンテナ	無指向性アンテナ
プレコーディング	ブロック対角化／固有モード伝送
符号化率	3/4
オーバーヘッドロス	20%
ダウンリンク占有率	80%

MIMOスループット評価を計算機上で行った。シミュレーション諸元を表3に示す。

シミュレーションでは基地局のアンテナ数 N_T は16とし、 $N_T=N_R \times N_U$ となるようにユーザー数と端末数を選択した。ユーザー数 $N_U=16$ の場合は各エリアに4ユーザーずつ配置、 $N_U=4$ の場合は各エリアに1ユーザーずつ配置した。また、 $N_U=1$ の場合では1端末当たり16ストリームを収容するため、アンテナ設置面積が比較的広く確保可能な高機能端末を想定し、アンテナ間距離を2.5λに設定した。周波数利用効率の評価では、システム上必要なパイロット信号等のオーバーヘッドロスを20%, TDD (Time Division Duplex) システムを想定し、DL (Down Link) /UL (Up Link) 比を8:2とした。表3の諸元を基に測定環境の周波数利用効率を求めた。シミュレーション結果を図7に示す。横軸は端末アンテナ1本の平均CNR (Carrier to Noise Ratio) で縦軸は周波数利用効率である。

図7に示すとおり、低CNRのときにはユーザー数を4とした場合が最も高い周波数利用効率が得られている。また、CNRが30dB以上となる場合には16ユーザーの周波数利用効率が最も高くなり、64QAM (Quadrature Amplitude Modulation) の最大周波数利用効率を達成することを確認した。

2.4 実データ伝送特性

伝送測定では、送信局から100MHz帯域幅の多値変調波 (QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM,

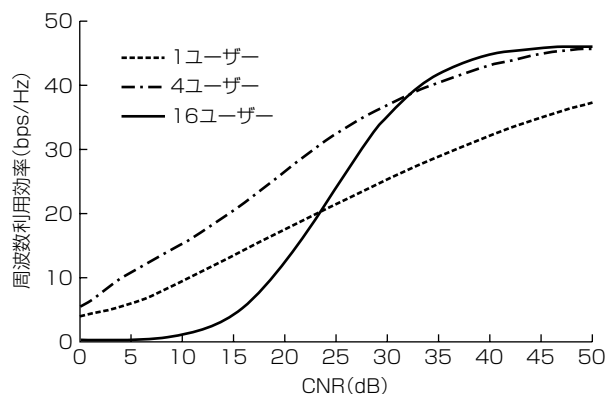


図7. スループットの評価結果(64QAM)

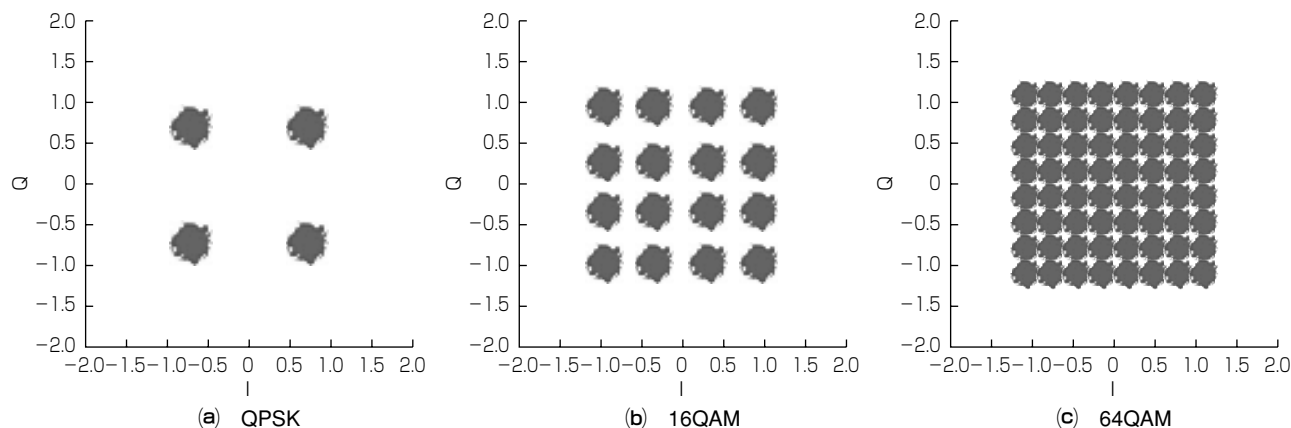


図8. SIMO復調特性(エリア#1)

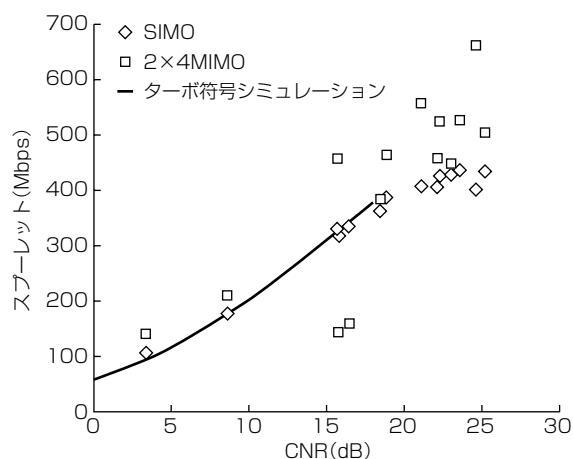


図9. CNR対スプーレート特性

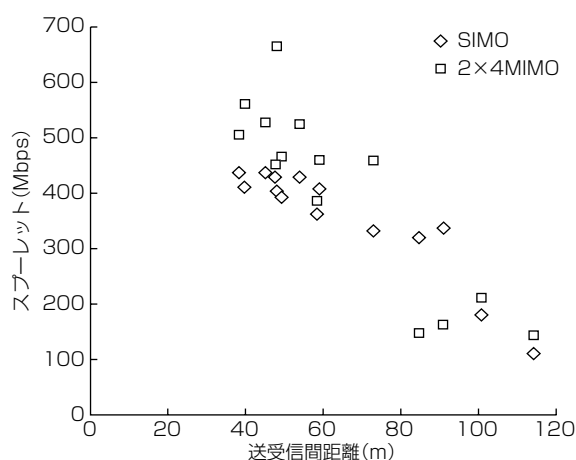


図10. 送受信間距離対スプーレート特性

64QAM)を送信し、図4に示した複数のアンテナで構成される受信局で取得した受信信号を基にオフライン復調することでスプーレート評価を実施した。MIMO伝送特性の評価については、送信局APAAの位置を変更して取得した複数の受信信号をオフラインで加算することで、複数APAAによる同時送信を模擬した。エリア#1で取得したデータに対するオフライン復調結果を図8に示す。

図8に示すSIMO(Single Input Multi Output)復調特性ではLOS環境で64QAMの適用が可能であることを確認した。各受信局の取得データから求めたスプーレート評価結果を図9、図10に示す。

図9に示すスプーレート特性の横軸に記すCNRは受信局の4受信アンテナ合成後のCNRである。SIMOにおけるスプーレートはターボ符号単独でのシミュレーション結果とほぼ一致することを確認した。MIMOの場合は伝搬路の依存が大きいとばらつきがあるが、全般的にSIMOよりスプーレートが改善する傾向にある。図10に示す送受信間距離とスプーレートの関係では送受信間距離70m以下の環境においてSIMOで400Mbps程度、2×4 MIMOで400～700Mbps程度のスプーレート特性が得られることが分かる。

3. 検証結果

44GHz帯APAAを適用した屋外実験によって各受信局設置エリアでの伝搬特性を確認し、クラスモデルを構築することでミリ波帯屋外市街地環境のMassive MIMOスプーレート評価を計算機上で実施した。その結果、CNRが30dB以上となる条件下で16ユーザーの周波数利用効率が最も高くなり、64QAMの最大周波数利用効率を達成することを確認した。また、実データ伝送実験で取得したデータは、スプーレートやCNRの観点から整合性が取れており、LOS環境での評価、検討の基礎データとして信頼性のあるデータであることを確認した。引き続き、MIMO伝送におけるプリコーディング技術検証等を行い、高周波数帯(SHF～EHF帯)での大容量通信システムの開発に向けた検証を進めていく。

4. むすび

移動体通信で今後、適用が見込まれる高周波数帯(SHF～EHF帯)でのアナログビームフォーミングとデジタルMIMO処理を組み合わせたハイブリッド型アンテナ構成の実現性を検証する目的でミリ波帯を使用した屋外実験を実施し、取得データに基づくMassive MIMO基地局の通信路容量を評価した結果、5Gシステムで求められる大容量伝送の可能性を確認した。

なお、この内容は、(株)NTTドコモとの5G実験協力で実施したものである。

参考文献

- (1) ITU-R WP5D Workshop : Research Views on IMT Beyond 2020 (2014)
- (2) Boccardi, F., et al. : Five Disruptive Technology Directions for 5G, IEEE Commun. Mag., **52**, No. 2, 74～80 (2014)
- (3) ARIB 2020 and Beyond Ad Hoc Group : Mobile Communications Systems for 2020 and beyond (2014)
- (4) 佐藤孝平：第5世代移動通信システムに関する我が国の最新の検討状況について、総務省電波政策ビジョン懇談会(第12回)資料(2014)
- (5) 2020年以降の5G無線アクセスにおける要求条件と技術コンセプト、ドコモ5G ホワイトペーパー(2014)
- (6) 井浦裕貴、ほか：アナログビームフォーミングMIMO方式におけるアンテナ構成の検討、電子情報通信学会技術研究報, **114**, No.372, 43～48 (2014)
- (7) 岡崎彰浩：5G超大容量Massive MIMO伝送におけるマルチビーム多重化技術と44GHz帯を用いた屋外基礎実験に基づいた評価、電子情報通信学会技術研究報, **115**, No. 2, 119～124 (2015)

北陸新幹線デジタル列車無線システム

千田晴康*

Digital Train Radio System for Hokuriku Shinkansen

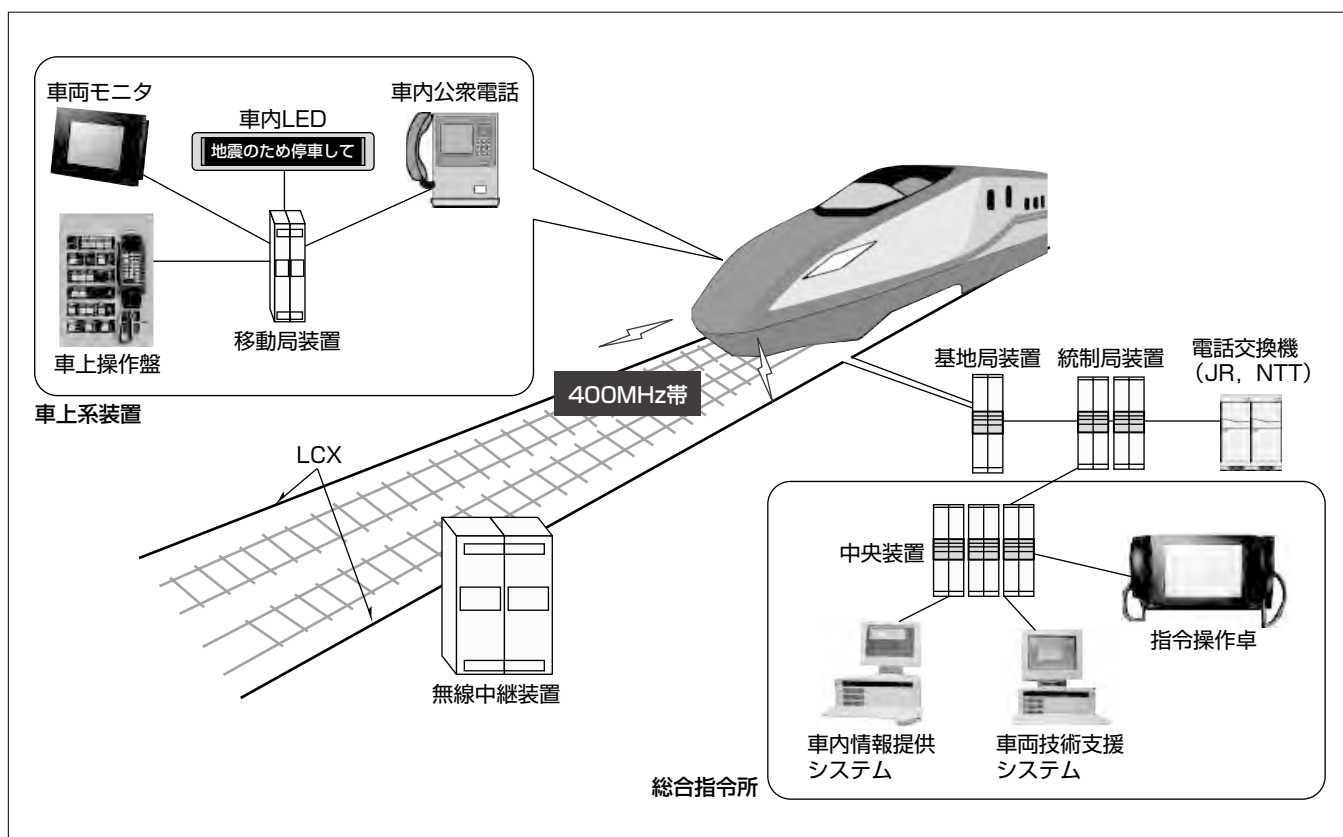
Haruyasu Senda

要 旨

2015年3月に北陸新幹線の長野～金沢延伸区間が開業した。三菱電機はデジタル列車無線システムを納入し、列車の安全・安定輸送と旅客サービスの向上に貢献している。今回の延伸区間は長野駅～上越妙高駅間が東日本旅客鉄道(株)の管轄(東日本区間)、上越妙高駅～金沢駅間が、西日本旅客鉄道(株)の管轄(西日本区間)となっており、同一の新幹線の路線が2社の管轄によって運行される初めての区間である。この会社間を通過する列車では通話の継続性が求められる。このため東日本区間と西日本区間の2つの列車無線システムを相互に接続し、会社間の境界でも通話が途切れることなく継続する仕組みを“モデリング(抽象化)”の概

念を活用して構築し、処理の複雑化を回避しつつ、独立したシステムでありながら互いの管轄区間を走行する列車とのスムーズな通信を実現した。さらに、線路沿線に設置する無線中継装置には、雪対策のため設置箇所に高さ方向の制限があり、無線中継装置の小型化(低背化)が必要となった。そこで、無線中継装置内の増幅部ユニットを共通増幅方式にすることで小型化を図り、従来1,700mmの無線中継装置高さを1,440mmまでに低背化した。

本稿では、北陸新幹線デジタル列車無線システムと新たに導入した技術について述べる。



北陸新幹線デジタル列車無線システムの構成

デジタル列車無線システムは中央装置、統制局装置、基地局装置、無線中継装置、LCX、移動局装置で構成している。移動局装置を搭載した列車とはLCXを介してデジタル無線伝送を行う。デジタル無線技術によって、高品質な音声回線を提供するとともに、データ回線を活用してあらゆるデータ伝送を行い、列車の安全・安定輸送と旅客サービスの向上に貢献している。

1. ま え が き

時速約260kmの高速で移動する新幹線でも、地上と車両間の無線通信には、安全・安定輸送を実現するために高品質、高安定性、高速伝送等が求められる。これまで、当社は、国内すべての新幹線にデジタル方式の列車無線システムを納入し、多くの技術やノウハウを蓄積してきた。

北陸新幹線の列車無線システムは2012年に旧長野新幹線区間（高崎駅～長野駅間）のアナログ方式からデジタル方式への切換え⁽¹⁾に引き続き、新たに長野～金沢延伸間（228.1km）をデジタル方式でシステムを拡張した東京駅～金沢駅の全区間を高品質、高安定性、高速伝送の通信方式にしたシステムである。また、北陸新幹線はJR東日本とJR西日本が初めて相互乗り入れすること、及び日本有数の豪雪地帯を走る新幹線であることが特徴でもある。

本稿では、2015年3月に開業した北陸新幹線の長野～金沢延伸区間の列車無線システムとその特長について述べる。

2. システム概要

北陸新幹線の列車無線システムは、既存新幹線システム⁽²⁾を拡張した東日本区間と、新設した西日本区間の2つの列車無線システムを相互に接続したシステム構成に特徴がある。

2.1 システム構成

新幹線列車無線システムは、中央装置、統制局装置、基地局装置、無線中継装置、LCX(Leaky Coaxial cable：漏洩(ろうえい)同軸ケーブル)、及び移動局装置で構成している(表1)。地上システムの構成は中央装置配下に統制局装置、統制局装置配下に基地局装置、基地局装置配下に無線中継装置を接続したツリー型構成となっており、沿線に敷設したLCXを介して車両の移動局装置と接続する。

2.2 無線仕様

このシステムの無線区間通信には、時分割多重アクセス方式(TDM-TDMA)を採用し、400MHz帯で送受信各2波を使用した伝送速度384kbpsと307.2kbpsの無線回線を構成している。表2に、無線仕様を示す。

2.3 チャンネル数

このシステムの機能は、通話を行う音声系システムと、主に文字ニュースなどの車内情報提供サービスや車両技術支援サービスなどのデータ系システムに分類できる。

音声系では、当社が鉄道無線用に特化して開発した高効率音声符号化技術“RL-CELP”を導入し、音声1チャンネル当たりの帯域を圧縮することで音声チャンネル数を確保しつつデータ系の帯域を捻出し、伝送速度の高速化も図った。

2.4 機能

このシステムは、次の主要機能を備えている。

2.4.1 音声通話・放送機能

(1) 運転指令電話

表1. 装置の機能

装置	機能
中央装置	①指令電話、運転指令通告等、中央装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ②指令卓など総合指令所内の機器との接続
統制局装置	①指令電話、運転指令通告等、中央装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ②業務公衆電話など、統制局装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ③JR電話及びNTT電話交換機との接続
基地局装置	①電波の送受信 ②無線信号と有線信号間の変換
無線中継装置	①LCX内の電波伝送損失を補償するための電波の直接増幅
LCX	①基地局装置送信電波の伝播(でんぱ)及び輻射(ふくしゃ) ②移動局装置送信電波の受信及び伝播 ③無線中継装置用電源の給電
移動局装置	①指令電話、運転指令通告等、中央装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ②業務公衆電話など、統制局装置～移動局装置間の音声回線及びデータ回線の追跡制御 ③操作盤など車上機器との接続

表2. 無線仕様

項目	仕様
伝播方式	LCX方式
アクセス方式	基地局装置送信：時分割多重方式 移動局装置送信：時分割多重アクセス方式
変調方式	基地局装置送信： $\pi/4$ シフトQPSK 移動局装置送信： $\pi/4$ シフトQPSK
周波数	基地局装置送信：400MHz帯2波 移動局装置送信：400MHz帯2波
送信出力	基地局装置送信：2 W 移動局装置送信：4 W

QPSK：Quadrature Phase Shift Keying

輸送指令員が指定した列車の運転士を呼び出し又は運転士から指令員を呼び出すことによって、個別又は一斉通話を行う機能である。

(2) 旅客指令電話

旅客指令員が指定した列車の車掌を呼び出し又は車掌から指令員を呼び出すことによって、個別又は一斉通話を行う機能である。

(3) 業務公衆系電話

運転士や車掌がJR電話網の加入者又は顧客が車内の公衆電話機から公衆網の加入者と、通話を行う機能である。

また、緊急時は、チャンネルの用途を業務電話専用に切り換える方式を採用することで、柔軟なサービスの提供が可能である。

3. 課題を解決した技術

3.1 会社境界における通話継続

今回延伸した区間は、東日本区間と西日本区間をまたいでいるため、会社間を通過する列車では通信の継続性が求められる。これは、例えばJR東日本の列車が西日本区間を走行している場合でも、JR東日本の指令員はその列車と通話する必要があるためである。この機能実現のため、2つの会社の別々の新幹線列車無線システムで各会社の中

央装置同士を専用回線で接続した。さらに、通話を継続させるために前方同報方式を採用した(図1)。この方式は、通話中の列車が進行方向の1つ前の基地局に移動した場合に、確実に通話用の無線チャネルを使用可能なように、あらかじめ前方基地局で無線チャネルを予約し、ほかの列車の通話に影響されないように通話経路を確保する。この方式によって、列車が高速移動しながら基地局エリアから次の基地局エリアに移動しても、途切れることなく音声通話の継続ができるハンドオーバー機能を実現した。

通話継続パターンは、通話サービスの種類(7種類)と通話継続パラメータ(4種類)及び無線チャネルの予約範囲の組合せで決まるため、単純計算すると648パターンとなる。そのため、パターン数が膨大となり処理が複雑になるという課題があった。今回、この課題解決のために、モデリング(抽象化)の概念を活用した設計で処理の複雑化を回避した。回避方法の一例として、音声通話のパターンについて、次に述べる。

通話継続パターンは、次のようなパラメータによって決定される。

- (1) 指令員の所属会社
- (2) 列車の走行位置
- (3) 列車進行方向
- (4) 通話サービスの種類等

音声通話を指令員からの視点で考えた場合、指令員の所属会社の違い、通話先の列車の走行位置等が異なる場合は、すべて違うパターンと考える必要がある。

しかしながら、通話継続が必要となる場所を具体的な場所(区間)で見るとはならず、自システムと他システムのように抽象化することで、通話継続パターンの統合を行った(図2)。

この抽象化について、列車の走行位置という通話継続パラメータを一例にして述べる。列車が存在する具体的な位置をもとに通話継続のパターンを考えると10種類ある(図3①～⑩)。しかし、それぞれの列車の走行位置で通話継続する場合を考え、同様の処理パターンを集約すると、列車が存在する位置(列車の走行位置)は次の3パターンにまとまる。

- (1) 同一システム内ハンドオーバー：①⑤⑥⑩
- (2) 異なるシステム間での無線チャネル予約：②④⑦⑨
- (3) 異なるシステム間ハンドオーバー(前方同報)：③⑧

同様に通話サービスの種類等、ほかの通話継続パラメータも抽象化を行うことで、通話継続パターンを48パターンにまで集約でき、処理の簡素化が図れた。

3.2 無線中継装置に導入した技術

3.2.1 無線中継器の小型化(低背化)

無線中継装置は線路沿線に約1.5kmおきに設置される屋外装置である。この延伸区間は日本有数の豪雪地帯にあり、

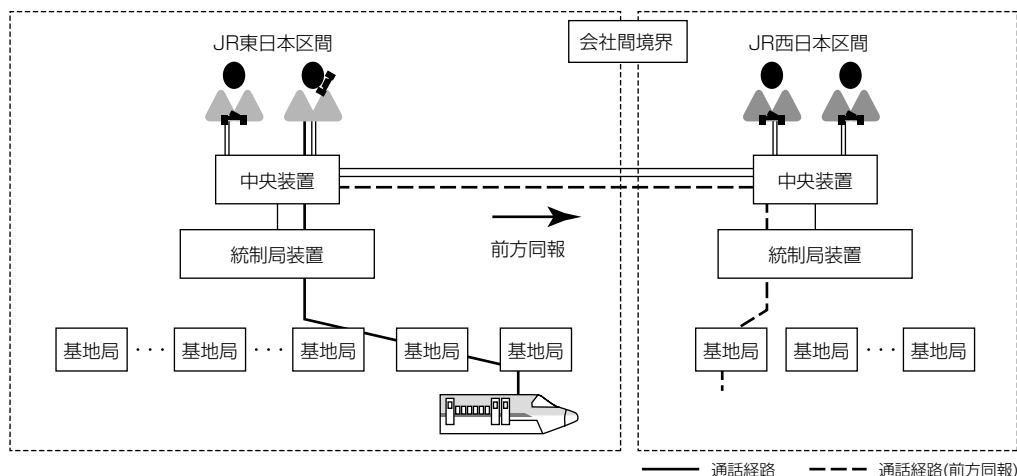


図1. 通話継続方式

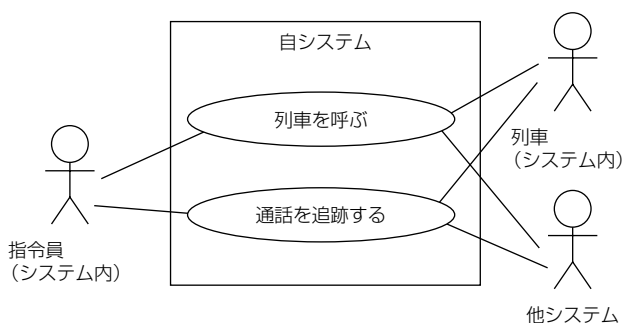


図2. 抽象化例

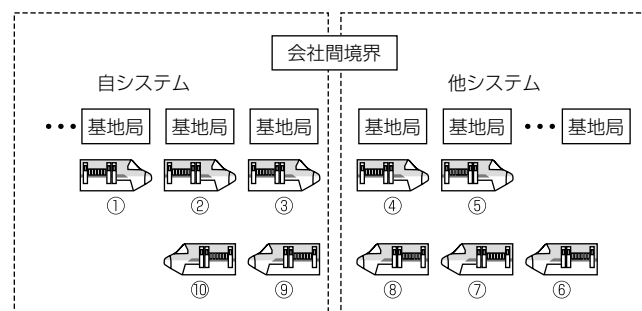


図3. 列車位置パターン

高架上には様々な雪対策が要求されており、さらに、日本海沿岸を走行する区間は塩害対策も必要となる。無線中継装置設置場所によっては、防音壁上部に雪覆いを設け、床面には融雪パネルヒーターが設置されている箇所があり、床面はヒーターの高さに合わせて高くなっている。このような高さ方向に制限がある場所に設置できるよう、無線中継装置の小型化(低背化)が必要となった。

このため、無線中継装置内の内部ユニットの小型化を図ることで、従来1,700mmの無線中継装置高さを1,440mmまでに低背化した。

無線中継装置に内蔵している各ユニット(増幅部、高周波部、電源部)の小型化では、ユニットの中で一番容積を占める増幅部ユニットを小さくすることが課題であった。そこで、従来5台あった増幅部(図4)を、基地から列車(A-B)方向と列車から基地(B-A)方向の2種類を同時に増幅する共通増幅方式の採用によって2台減らした3台化を実現した(図5)。

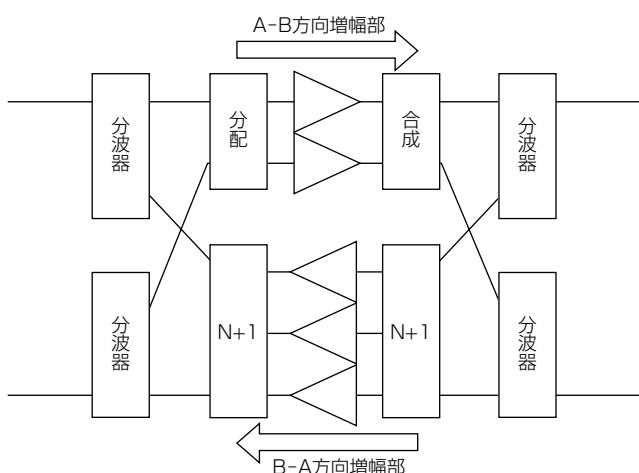


図4. 従来の無線中継装置の構成

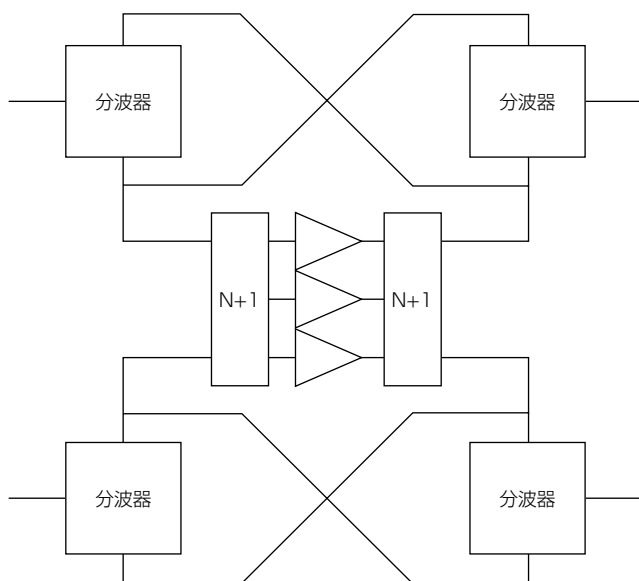


図5. 増幅部3台で構成した無線中継装置

共通増幅方式による双方向増幅機能の実現に当たっては、次の課題の解決が必要であった。

- (1) 多段中継による相互変調歪(ひず)み劣化を考慮して、増幅部単体の信号歪みを抑制(-66dBc以下)
- (2) A-B方向とB-A方向の両方の周波数帯を共通増幅するための広帯域性能(従来2MHz→40MHz)

共通増幅方式では、無線中継装置はA-B方向とB-A方向の2種類を同時に増幅している。これら双方向の増幅機能を実現するため、これまでは双方向の信号を分波器で分けて、A-B方向を2台の増幅部、B-A方向を3台の増幅部でそれぞれ増幅していた(図4)。これに対し共通増幅方式は、1つの増幅部ユニットで双方向性を実現するため、A-B方向とB-A方向の信号周波数が異なることを利用し、増幅部ユニットの入力と出力に分波器を配置して、B-A方向の信号を増幅部入力に導くことで、A-B方向とB-A

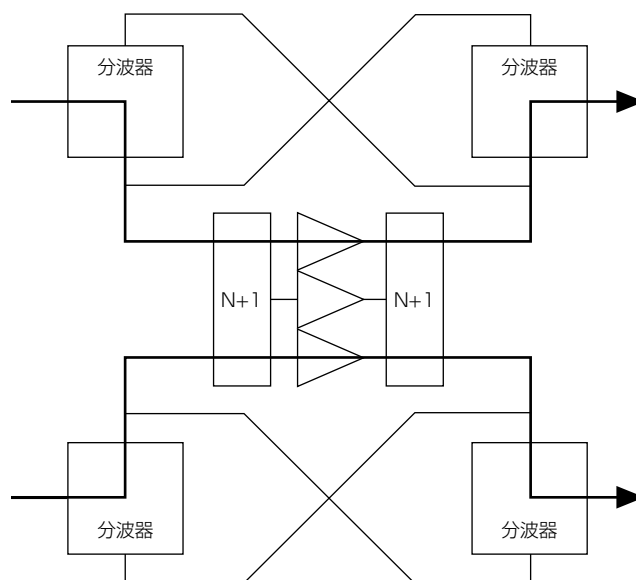


図6. A-B方向の信号経路

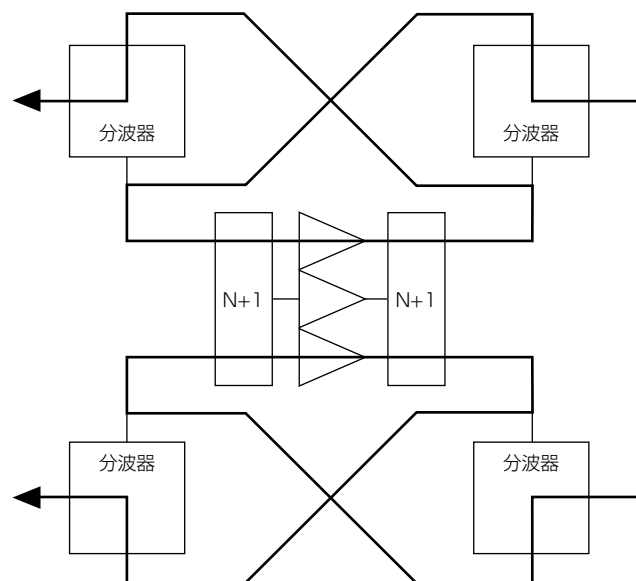


図7. B-A方向の信号経路

表 3. 歪み補償方式の比較

方式	歪み補償量	複雑さ
アナログプリディストーション	10dB程度	○
デジタルプリディストーション	20～30dB	×
フィードフォワード	30dB以上	△

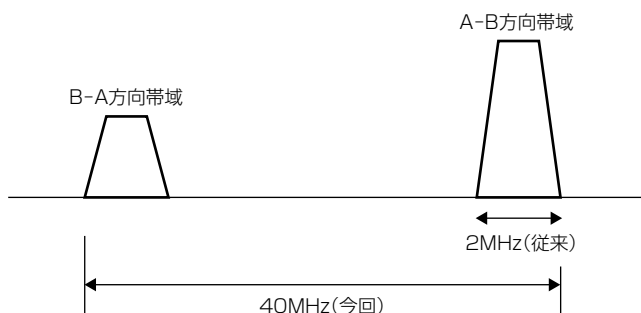


図 8. 歪み補償帯域の広帯域化

方向の 2 種類の信号を同時に増幅し、双方向増幅機能を実現した(図 6, 図 7)。

3.2.2 歪み補償

さらに、今回採用した共通増幅方式では、低信号歪み性能を得るため、歪み補償増幅器を用いた。

無線中継装置に適用可能な歪み補償方式としては、アナログプリディストーション方式、デジタルプリディストーション方式、フィードフォワード方式がある(表 3)。アナログプリディストーション方式はアナログ的に逆歪みを生じさせて歪みを軽減する方式であり、構成が簡単であるが歪み補償量が小さい(～10dB程度)。デジタルプリディストーションは大きな歪み補償量(～30dB程度)が得られるが、構成が複雑であることに加え、歪み補償回路そのものの消費電力が大きいため、無線中継装置程度の出力(約 1 W)では得られるメリットが少ない。フィードフォワード方式は構成が複雑ではあるが、非常に大きな歪み補償量(30dB以上)が得られることから、無線中継装置の歪み補償方式として適当と判断し、採用した。

3.2.3 広帯域化

従来の無線中継装置では、歪み補償する周波数帯は A-B 方向の信号のみであったため帯域は 2 MHzであった。今回、共通増幅方式の採用によって、A-B 方向の信号と、B-A 方向の信号の両方を同時に歪み補償する必要があることから、歪み補償の広帯域化(2 MHz→40MHz)を行い(図 8)、必要な帯域で歪み補償が効果的に働くよう構成部品や振幅・位相調整の最適化を行った。



図 9. 無線中継装置

3.3 投雪対策

北陸新幹線延伸区間は日本有数の豪雪地帯であり、雪害対策として散水消雪設備や貯雪設備が備えられている。さらに、貯雪量を超えるような大雪の場合には除雪車によって除雪される。この際、高架下に投雪が不可能な一部区間では線路脇に投雪されることがあるため、無線中継装置には投雪による圧力に耐えうる強靱(きょうじん)性が必要とされる。設計段階で投雪時の無線中継装置筐体(きょうたい)の変形量を見積り、装置に加わる雪の圧力及び時間を算出した。これらのデータを基にした強度解析に基づく遮蔽版の構造設計(板金厚、骨組み構造等)で、投雪にも耐えうる強度を確保した(図 9)。

4. む す び

北陸新幹線金沢延伸にかかわる列車無線システムの特徴及びそれらを支える技術について述べた。今後とも、当社は列車無線システムなどで、安心・安全・快適な社会の実現に貢献していく。

参考文献

- (1) 後藤泰史, ほか: 北陸新幹線列車無線システムのデジタル化, 三菱電機技報, **87**, No. 5, 293～296 (2013)
- (2) 藤岡 滋, ほか: 東北・上越新幹線デジタル列車無線システム, 三菱電機技報, **78**, No. 2, 148～151 (2004)

三菱通信ゲートウェイ“smartstar”

岡 稔久* 小林正典*
佐藤浩司*
小西将和*

Mitsubishi Communication Gateway "smartstar"

Toshihisa Oka, Koji Sato, Masakazu Konishi, Masanori Kobayashi

要 旨

近年、HEMS(Home Energy Management System)等のエネルギー管理サービスや、各種センサデバイスからのデータ収集・蓄積と、蓄積データに基づく分析・制御を行うIoT(Internet of Things)サービスなどが注目されている。こうした中、宅内デバイスやセンサ機器が収容されるネットワークとクラウドをつなぐ通信ゲートウェイ装置は、機器を制御する様々なサービスのための中継機器として重要な役割を担っている。

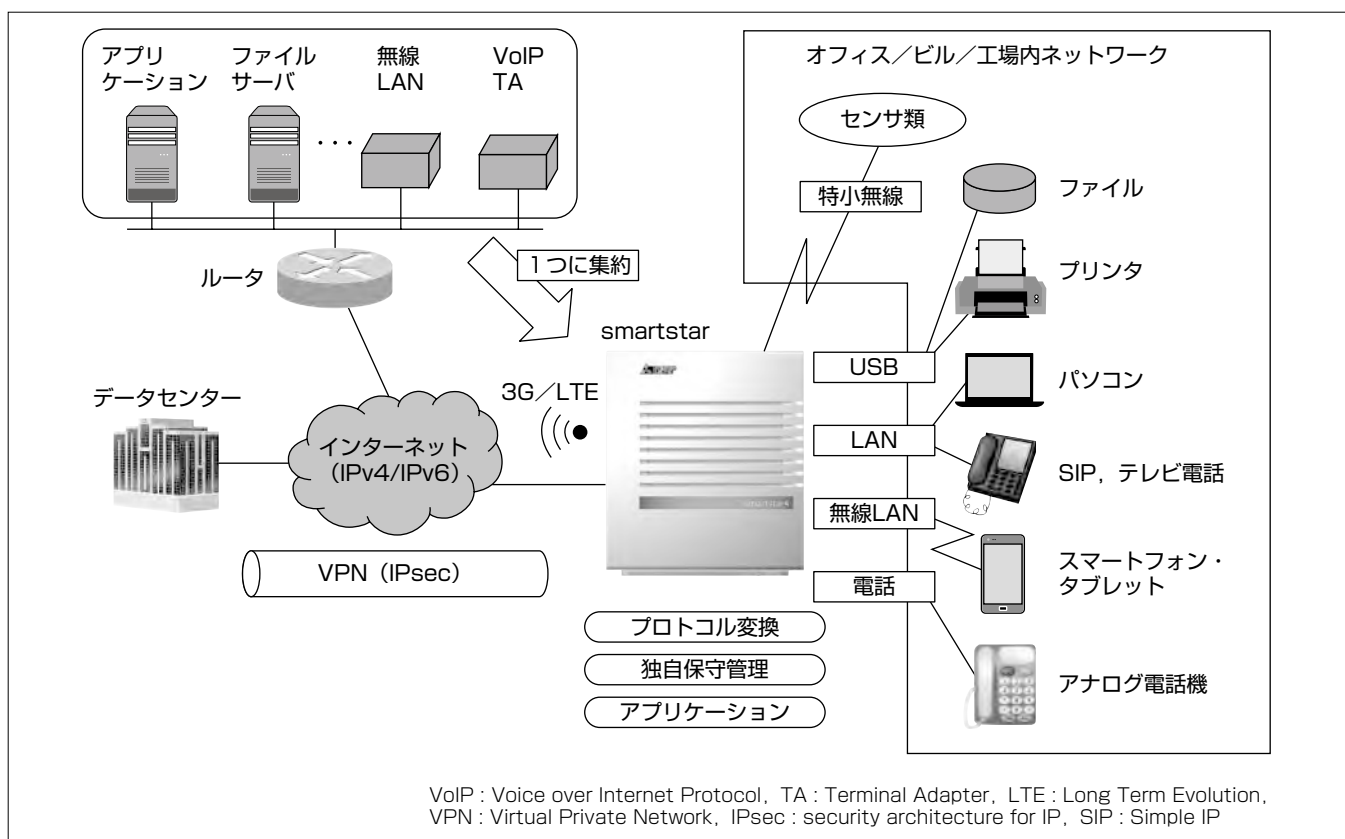
三菱電機が2014年4月に発売した通信ゲートウェイ“smartstar”は、様々なネットワークインタフェースを収容する双方向1 Gbpsのルータ機能、柔軟な機能追加を可能とするOSGi^(注1)プラットフォームを実装し、家庭だけで

なく、工場・ビルにおける省エネルギーなど様々なクラウドサービスへの対応と、容易なシステム構築を可能とした。

一方で、クラウドサービスの進化に伴い、多様な端末機器や通信方式への対応や、データ加工や暗号化等、高い計算処理能力へのニーズが高まってきている。これらの要求に対応するため、当社は2014年度に通信ゲートウェイsmartstarの機能・性能をさらに進化させる開発を行った。

本稿では、各種サービスの実現に向けた課題を挙げるとともに、それらを解決するsmartstarの強化ポイント、それらを支える技術について述べる。

(注1) OSGiは、OSGi Allianceの登録商標である。



通信ゲートウェイ“smartstar”

通信ゲートウェイsmartstarは、有線/無線LANやUSB等による多様なデバイスの接続、アプリケーションソフトウェアの追加を可能とし、従来は複数の汎用通信装置・パソコンで構成されていたシステムをsmartstar1台で実現する。追加するアプリケーションソフトウェアの例としては、既存システムと新規システム間のプロトコル変換機能、保守・管理機能、各種センサの情報収集・見える化機能、遠隔監視機能などがある。

1. ま え が き

パソコン，スマートフォン，タブレット端末といった我々人間が直接操作して“ネットワークサービスを使うための端末機器”に加え，スマート家電，スマートメータ，センサ，監視カメラなど，ネットワークに接続されることで新たな付加価値を生み出すネットワークデバイスが次々に現れている。さらに，これらネットワークデバイスと連携して実現されるサービスも多様化の一途をたどっている。

このようなネットワークデバイスやサービスの多様化に伴って通信ゲートウェイに対して求められる柔軟性や処理性能は高まりつつあるが、それに対応するため、通信ゲートウェイ smartstar の機能・性能を強化した。

本稿では、通信ゲートウェイsmartstarによって実現できるサービスの適用事例と課題、強化したsmartstarの機能・性能及びそれらの構成技術について述べる。

2. 適用事例

2.1 家庭向け電力管理への適用⁽¹⁾

HEMSと通信ゲートウェイを宅内に設置し、各種家電機器や住設機器の情報を収集することで、家庭内の消費電力を可視化するとともに、太陽光発電システムや電気自動車による発電・蓄電との連携制御が実現できる。

さらに家庭内の複数機器の情報を組み合わせることで、居住者の生活に基づいた家電機器の節電やピークシフト制御が実現できる。

また、電力会社やハウスペンダーなどが用意するクラウドと連携することによって、遠隔監視、地域情報配信サービスといった幅広いサービスが実現できる(図1)。

クラウドは、このようなサービスを容易に構築できる手段である一方、家庭内の情報をクラウドに送信することに対して、プライバシーやセキュリティの観点で利用がためらわれることもある。

これを解決するために、宅内のHEMSシステムとクラウドで処理を分担し、クラウドに送信するデータをHEMSで選別し、プライバシーにかかわるデータの処理・蓄積は宅内のHEMSのみで実現することが有効である。ネットワーク接続が可能な宅内機器の種類や数が増えるにつれ、このようなデータ処理・データ蓄積の役割を

担うHEMSシステムに求められる処理能力や、蓄積能力は高まってきている。

当社のHEMSシステムの例では、smartstarの発売を開始した2014年4月時点で接続可能な機器の種別は7種類(ルームエアコン、エコキュート、IHクッキングヒーター、冷蔵庫、エアフロー環気システム、ヒートポンプ式冷温水システム、液晶テレビ)であったのに対し、本稿執筆時点では14種類(前記7種類に加え、EV用パワーコンディショナ、ダクト用換気扇、カウンターアローファン、ロスナイセントラル換気システム、バス乾燥・暖房・換気システム、レンジフードファン、ハウジングエアコン)へと倍増している。

HEMSでは一定周期で各機器の情報を取得・蓄積する必要があるため、処理性能や蓄積可能なデータ容量に対する要求が高くなってきている。具体的には、通信ゲートウェイのCPU及び内部メモリの処理高速化と、ストレージ容量の拡大が求められてきている。

2.2 工場・ビル向け電力管理への適用

工場への適用では、FEMS(Factory Energy Management System)と通信ゲートウェイ装置とを連携したエネルギー管理サービスが考えられる。各機器からの電力検針データを収集することによって、企業の管理部門で管理する生産スケジュールに合わせ、エネルギー需要に応じた機

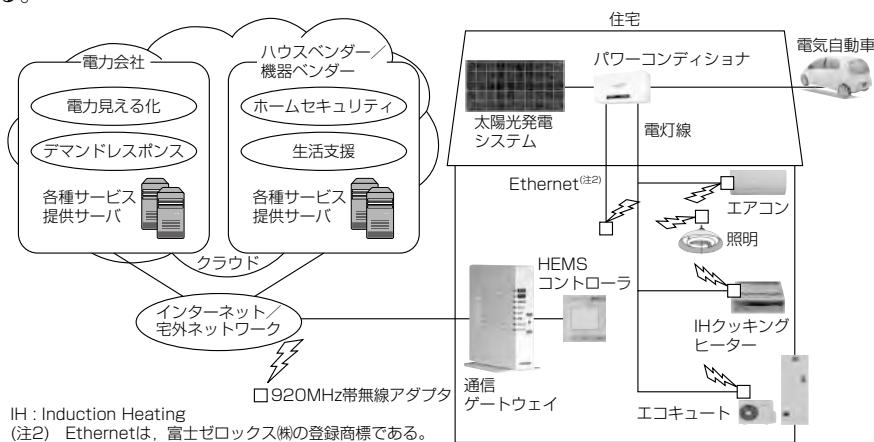


図 1. HEMS適用時の実現サービス

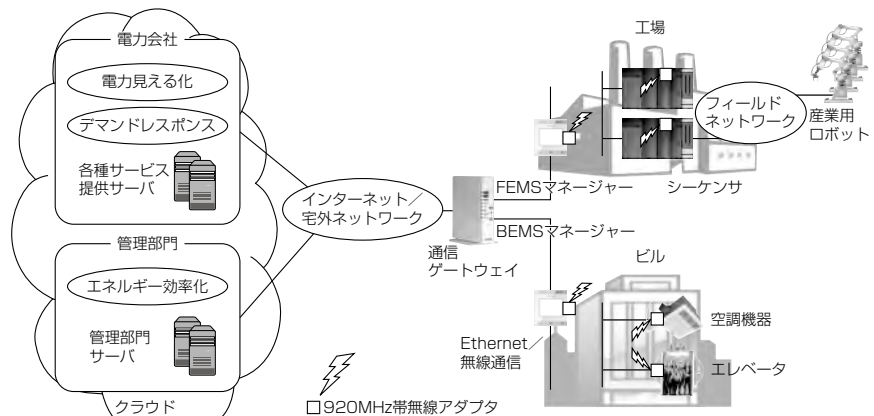


図 2. FEMS/BEMS適用時の実現サービス

器制御サービスが実現できる(図2)。FEMSマネージャーと呼ばれる装置が各機器からのデータを収集し、通信ゲートウェイがクラウドとの通信を中継する。

ビル管理でも、通信ゲートウェイ装置とBEMS(Building Energy Management System)によって、同様のサービスが考えられる(図2)。例えば、ビル内の空調、エレベーターなどの系統別制御、フロアごとの電力見える化、デマンドレスポンスによる電力消費抑制サービスである。ここでも、通信ゲートウェイ装置は管理情報を集中するBEMSマネージャーとクラウドとの中継を担うこととなる。

FEMS/BEMSともに、メンテナンスの容易性を高めるため、WAN(Wide Area Network)側通信に3G/LTEを採用するケースがある。また、制御情報の収集と処理を通信ゲートウェイに集約することでシステムを効率化することも考えられ、通信ゲートウェイには、多様な通信インタフェースの実装と処理性能の向上が求められてきている。

3. 市場での課題と要求

これまでに述べた各適用事例でも、ネットワークデバイスの多様化とサービスの多様化は、サービスの実現方式に対しても新たな要求条件を生み出している。全てをクラウド上の処理で実現する形態から、各ネットワークデバイス側でほとんどの処理を実現する形態まで、用途に応じて適切な実現形態が選択できる必要がある。なかでも図3に示すような、クラウドとネットワークデバイスの間に、データ処理を行うことができる装置を配置する分散処理形態は、クラウドサービスとネットワークデバイスの双方に必要な処理リソースを低減できるとともに、プライバシー・セキュリティに関する課題を解決できる点で有効な手段である。

この分散処理形態では、通信ゲートウェイは通信のルーティングやセキュリティだけではなく、アプリケーションに応じたデータの分析/管理/収集、機器制御等の機能が求められる。したがって、CPU処理性能やストレージ性能の向上は必須となる。また、無線を中心に多様なインタフェースに対応することも必要となる。一方で、従来通信ゲートウェイに求められている、小型化、省電力化とも両

立させなければならない。

4章では、この課題への対応として実施した、通信ゲートウェイ装置smartstarの機能・性能強化について述べる。

4. 通信ゲートウェイの機能・性能強化

4.1 smartstarの主要諸元

通信ゲートウェイsmartstarの主要諸元を表1に示す。3章で挙げた市場課題に應えるため、CPU及び内部メモリの性能の向上(約3.9倍)、無線LANオンボード化と5GHz帯対応、ストレージ容量拡大(2倍)を実現している。

次に、強化ポイントである処理性能向上、無線LAN通信機能強化、ストレージ容量拡大、小型化について述べる。

4.2 処理性能向上⁽²⁾

処理性能向上に向け、通信ゲートウェイsmartstarに、より高性能なCPUを搭載した。表2に新旧機種に搭載したCPUの比較と、実際に新旧の機種上でJavaベンチマークソフトを動作させた結果を示す。

CPUコアはクロックが高速化されるとともに、クロックあたりの処理能力も2倍となっている。このため、コア数が1個から2個となったことも踏まえると、処理性能は約5.5倍($= (2,250 \times 2) / 812.5$)となる計算だが、実際には約3.9倍にとどまっている。DDR(Double Data Rate)メモリのアクセス速度向上はDDR2(375MHz)からDDR3(533MHz)へ約1.4倍であることや、SMP(Symmetric Multi Processing)処理のオーバーヘッドによって、単純に5.5倍とはならないと考えられる。

なお、処理性能3.9倍が単純にSMP処理のオーバーヘッドであったとみなすと、アムダールの法則から、使用したJavaベンチマークプログラムの並列度が6割程度であったこととなる。

このように、HEMSで要求された2倍の処理性能向上に対して、純粋にアプリケーションの処理性能として3.9倍の処理性能向上を実現した。

なお、smartstarには、CPUコアに加えてパケット転送エンジンも搭載しているため、CPU負荷を上げることなく、クラウドとの間で暗号化を用いたVPN通信を1Gbpsで高速に転送できる。

4.3 2.4GHz/5GHz帯無線LAN通信機能強化

今回の開発では従来のsmartstarの無線LAN機能を強化し、2.4GHzに加えて5GHz帯にも対応した。無線LANの仕様を表3に述べる。レガシー仕様と呼ばれる普及済のIEEE 802.11b/g/aにも対応し、市場機器との互換性を確保した。また、スマートフォンの内線端末化など、音声通信における品質確保に有利な5GHzのIEEE 802.11a/n/acに対応し、用途に応じて適切な周波数帯を選択可能とした。

暗号化方式はWi-Fi Allianceのセキュリティロードマップに準拠した機能をサポートし、アンテナは2.4GHz/5GHz

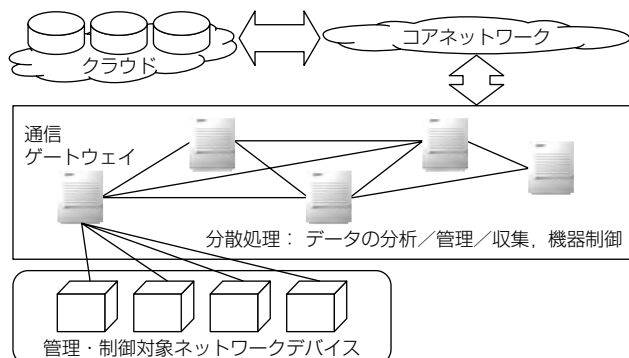


図3. 通信ゲートウェイによる分散処理形態

表 2. アプリケーション処理能力比較

項目		仕様	
WAN	ポート種別	10BASE-T／100BASE-TX／1000BASE-T	
	コネクタ／ポート数	RJ45／1ポート(速度設定：Auto) MDI／MDI-X自動検出	
LAN	ポート種別	10BASE-T／100BASE-TX／1000BASE-T	
	コネクタ／ポート数	RJ45／4ポート(速度設定：Auto) MDI／MDI-X自動検出／固定設定	
無線LAN	コネクタ形状	オンボード実装	
	種別	b／g／n 2.4GHz 3×3MIMO ≧300Mbps a／n／ac 5GHz 3×3MIMO ≧800Mbps	
アナログ電話		RJ11／2ポート	
システム	CPU	ARM CortexA9 ^(注3) 900MHzデュアルコア	
	内部メモリ	512MB	
	フラッシュメモリ	256MB	
USB	ポート数	2ポート(USB2.0)	
	コネクタ形状	A型レセプタクル	
PBX機能 (予定)	基本通話	NTT東西ひかり電話サポート	
		32ch同時接続	
		着信鳴り分け 発信者番号通知	
	ビデオ通話	5メディア/端末	
	付加サービス	保留、キャッチホン、内線転送 コールピックアップ、コールパーク	
ブロード バンド ルーター 機能	インターネット 接続	PPPoE 常時接続、自動接続 Un-numbered PPPoE	
		ルーティング、 変換、Proxy	IPv4／IPv6ルーティング DNS Proxy VPNパススルー機能 動的・静的NAPT、静的NAT パケットフィルタリング
			VPN
	無線LAN AP アドレス配布		
	サーバ機能	Webサーバ	サーバレット対応
		保守機能	ログ管理
遠隔保守	VPN・HTTPSによるリモート操作		
Java ^(注4) 機能	Java仮想マシン	J2SE(Java8, CompactProfile1)	
	OSGiフレームワーク	OSGi R4.2準拠	
デバイス ドライバ	USBデバイス	マストストレージ USBシリアル変換 3G／LTE Dongle(予定)	
ハード ウェア諸元	動作環境条件	0～40℃、20～80%(但し、結露しないこと)	
	電源	AC100V(50／60Hz)	
	消費電力	15W以下	
	電圧障害規格	VCCIクラスB規格	
	外形寸法	40(W)×168(H)×172.9(D)(mm) (ACアダプタ、スタンドを除く)	
	質量(付属品含まず)	0.5kg以下(ACアダプタ含まず)	

RJ45 : Registered Jack 45, MDI : Medium Dependent Interface, MDI-X : MDI Crossover, MIMO : Multi Input Multi Output, PBX : Private Branch Exchange, PPPoE : Point to Point Protocol over Ethernet, DNS : Domain Name Server, NAPT : Network Address Port Translation, NAT : Network Address Translation, L2TP : Layer 2 Tunneling Protocol, AP : Access Point, WPS : Wi-Fi Protected Setup, DHCP : Dynamic Host Configuration Protocol, HTTPS : HyperText Transfer Protocol Secure, J2SE : Java 2 platform Standard Edition, VCCI : Voluntary Control Council for Interference by information technology equipment

(注3) Cortexは、ARM Ltd. の登録商標である。

(注4) Javaは、Oracle Corp. の登録商標である。

項目	従来CPU	新CPU	比較
CPUコア	ARM11	ARM CortexA9	
	650MHz	900MHz	1.4倍
	シングル	デュアル (SMP)	2.0倍
コア当たりのDMIPS値	812.5 DMIPS (1.25DMIPS/MHz)	2,250 DMIPS (2.5DMIPS/MHz)	2.8倍
Javaベンチマーク	6,541	25,256	3.9倍

DMIPS : Dhrystone Million Instruction Per Second

表 3. 無線LANの仕様

項目	仕様
準拠規格	IEEE 802.11ac/a/b/g/n
周波数帯域	b/g/n 2.4GHz 3×3MIMO a/n/ac 5GHz 3×3MIMO 2.4GHz帯と5GHz帯切替機能具備
最大伝送速度 (理論値)	(1) 1,300Mbps(11ac:3×3MIMO) (2) 450Mbps(11n:3×3MIMO) (3) 54Mbps(11a, 11g) (4) 11Mbps(11b) ただし、同時通信時は1,300Mbps(11ac:3×3MIMO)と300Mbps(11n:2×2MIMO)の組合せとなる。
セキュリティ	(1) 暗号化 ① WPA2-PSK(AES) ② WPA2/WPA ^(IEEE) -PSK(TKIP/AES) ③ WEP(64/128bit) (2) SSIDステルス(ANY接続拒否) (3) MACアドレス制限機能
アンテナ	(1) 2.4GHz/5GHz共用小型マルチアンテナ:3本 (2) 2.4GHzアンテナ:2本

WPA : WiFi Protected Access, PSK : Pre-Shared Key,
AES : Advanced Encryption Standard, TKIP : Temporal Key Integrity
Protocol, WEP : Wired Equipment Privacy,
SSID : Service Set Identifier, MAC : Media Access Control

(注5) WPA, WPA2は、Wi-Fi Allianceの登録商標である。

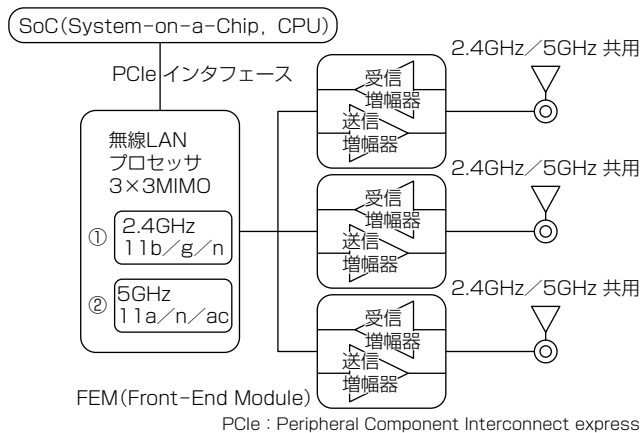


図4. 無線LAN部のブロック図

共用小型マルチアンテナを3本実装する。5GHz帯はW52(5.2GHz:36~48ch), W53(5.3GHz:52~64ch), W56(5.6GHz:100~140ch)の3帯域をカバーするため、500MHzの広帯域アンテナ設計が必要になる。

図4は無線LAN部のブロック図を示し、図中に示すとおり、①②の無線LAN回路を持つ。図の①②は3×3MIMOをサポートしたデュアルバンド対応の無線LANチップをオンボード化した回路であり、排他的にどちらか一方を選

表 4. メモリ容量比較

	従来機	今回開発機
内部メモリ容量(MB)	256	512
内 Java用	50	256
フラッシュメモリ容量(MB)	128	256
内 Java用	37	165 + α

表 5. ファイルシステム比較

	JFFS2	UbiFS
マウント時間	パーティション全体をスキャンしてインデックスを作成するため、容量に比例して低速	インデックス情報を保持するため、パーティション全体スキャンは不要であり、高速
内部メモリ消費	インデックス情報を内部メモリに配置するため、フラッシュメモリ容量に比例してメモリを消費	インデックス情報をフラッシュメモリに配置するため、メモリ消費は少ない
書き込み速度	ライトスルー方式で、書き込みは低速	ライトバック方式で、高速に書き込みが可能

択して使用する。このように、2.4GHzと5GHzを切換え式としたのは、通信ゲートウェイに求められる小型化要求を満たすためである。

4.4 ストレージ容量拡大

通信ゲートウェイの役割が増えるに従い、多数のセンサ・家電・機器から収集する情報の蓄積と管理を行うためのストレージ性能が求められてきている。新しいsmartstarでは、表4に示すとおり内部メモリとフラッシュメモリの容量を倍増させることで、より多くの情報処理を可能としている。

また、通信ゲートウェイにおけるフラッシュメモリの書き込み回数と容量が増加することを考慮し、ファイルシステムをJFFS2(Journaing Flash File System 2)からUbiFS(Unsorted block image File System)に変更することで装置安定性を向上させた。表5に両者の比較を示す。UbiFSは、動作性能・メモリ消費ともにJFFS2より優れており、容量が大きく、書き込み頻度と書き込みファイル数が多いフラッシュファイルシステムの場合にも適している。

4.5 小型化

通信ゲートウェイの開発で、設置容易性を向上するための小型化を行った。小型化の課題は、オンボード化した無線LANアンテナの小型化と性能の両立である。

アンテナに要求される性能は①放射効率、②MIMO性能確保のためのアンテナ相関、③金属部品との干渉度合の3つで規定されるが、これらの性能要件を限られたアンテナ実装面積で実現する必要がある。今回、2.4GHz／5GHzを統合した共用小型マルチアンテナを基板上の配線で構成するオンボードアンテナとして実装した。このアンテナは2.4GHz帯に対応する素子と5GHz帯に対応する素子の2

つの分岐導体を持ち、2.4GHzと5GHzの相互共振を利用することによって、2.4GHz単体アンテナと同等のサイズで2.4GHz／5GHz両対応と小型化の両立を図った。

1つ目の性能要件である放射効率性能確保のため、5GHz分岐導体を基板端に、2.4GHz導体を5GHz導体と地導体の間に配置し、かつ先端を屈曲させる構造とした。その結果、2.4GHz／5GHzの各アンテナで良好な放射効率性能を確認した。また、2つ目の性能要件であるアンテナ相関性能確保のために、シミュレーションによるアンテナ間隔、配置(向き)、周辺グラウンド形状の最適化を行いアンテナ間の結合を低減、各アンテナ間の相関係数0.2以下の良好な性能を実現した。3つ目の無線LANモジュール(金属)の干渉対策に関しては、モジュール挿入部に拡張グラウンドを設けることによって、放射パターンへの影響を低減させ、金属部品の干渉が少ないアンテナ性能を確保した。

その結果、1,300mm²の限られた実装エリアで性能と小型化を両立させ、140×165(mm)の基板面積にホームゲートウェイの全ての機能を実装できた。

5. む す び

クラウドサービス、IoTサービスの発展によって、様々な機器を連携させ、新たな付加価値をユーザーに提供することができるようになりつつある。しかし、より柔軟で、より高度なクラウドサービス、IoTサービスが期待される中、三菱通信ゲートウェイsmartstarにも、更なる機能拡張が求められていることから、各種プロトコルの追加や新たなサービスを提供するアプリケーションの追加を容易に実現するための機能・性能強化を実施し、プラットフォーム改善を実現した。

今後、様々な機器がインターネットにつながる場合の大きな課題であるセキュリティ確保や、クラウドセンターとの通信コスト最適化に向け、なりすましや盗聴を防ぐ認証技術、及び安定性と通信コスト低減を実現する無線ホッピング技術をsmartstarに搭載することなども考えられる。

三菱通信ゲートウェイsmartstarは、更なる機能充実を通じて、新しいクラウドサービス、IoTサービスの実現の一助となるべく、進化を継続させる。

参 考 文 献

- (1) 西尾俊介, ほか: HEMS対応三菱通信ゲートウェイ, 三菱電機技報, **88**, No. 6, 337~342 (2014)
- (2) 中原敏光, ほか: 次世代ホームゲートウェイ向け2.4GHz／5GHzデュアルバンド無線LAN技術, 三菱電機技報, **88**, No. 6, 354~359 (2014)

“MELOOK 3” カメラ

蓬田 仁*
山下孝一**
小川吉大***

Network Camera “MELOOK3”

Hitoshi Yomogida, Koichi Yamashita, Yoshihiro Ogawa

要 旨

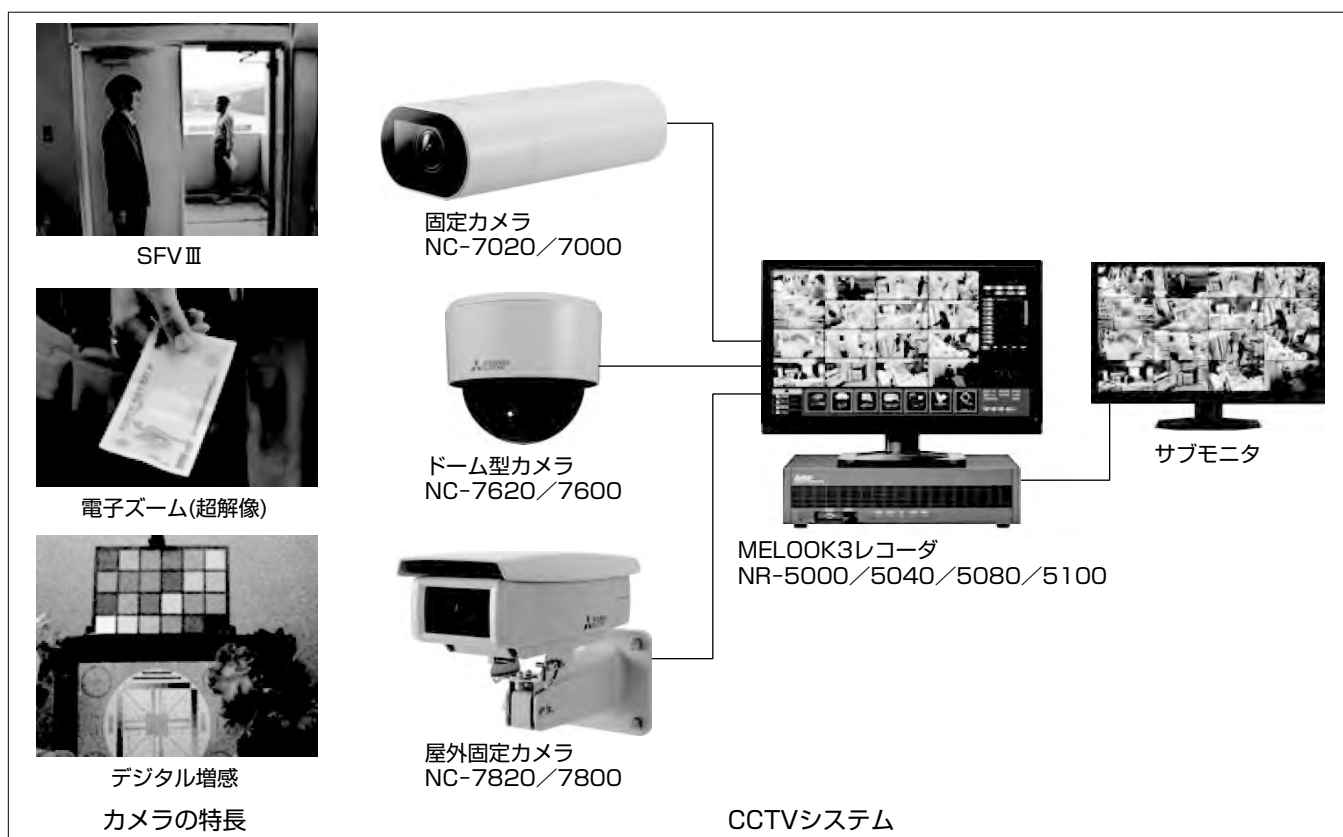
近年、安心・安全に対する社会的関心の高まりによって、CCTV (Closed Circuit Television) システムに対する高画質化、高機能化のニーズは、強くなってきている。

今回、これら監視カメラに求められるニーズに対応するため、“MELOOK μ II”カメラの後継として、“MELOOK 3”カメラを開発した。

MELOOK 3 カメラは、市場の高画質化の要求にこたえるため、最大解像度をMELOOK μ II カメラのSXVGA (Super eXtended Video Graphics Array) (1280×960) から、フルHD (High Definition) (1920×1080) とし、さらにMELOOK μ II カメラに搭載していたデジタル増感、スーパーファインビュー (SFV) の性能向上を図った。また、新たに電子ズームへ超解像技術を適用するとともに、複数

の解像度の映像を同時出力可能とするマルチストリーム機能も搭載した。特に電子ズームへ適用した超解像技術は、三菱電機独自のアルゴリズムを用いることで、電子ズーム時の画質を大幅に改善している。MELOOK 3 カメラでは、これらの機能を実現するため、新規開発LSI (イメージングプロセッサ) を採用している。このLSIは、監視カメラに必要とされる映像処理、符号化伝送処理を一体化したものであり、超解像技術も搭載した。

このMELOOK 3 カメラと同時開発したMELOOK 3 レコーダも性能・機能向上を図っており、MELOOK 3 シリーズとして、MELOOK μ II シリーズからの特長である“くっきり”、“なめらか”をさらに進化させている。



MELOOK3カメラを含むCCTVシステムの構成とカメラの特長

MELOOK3カメラを含むCCTVシステムの構成を示す。今回開発したカメラ(固定カメラ、ドーム型カメラ、屋外固定カメラ)は、MELOOK3レコーダNR-5000シリーズと組み合わせる。また、カメラはスーパーファインビューⅢ(SFVⅢ)、電子ズーム(超解像)、デジタル増感などの機能を搭載した(図は効果のイメージ)。

1. ま え が き

近年、安心・安全に対する社会的関心の高まりによって、CCTVシステムに対するニーズは、高画質化、高機能化してきている。また、デジタル化が全世界で進んでおり、日本市場でも2014年度にデジタルカメラの需要がアナログカメラを上回り、2016年度にはカメラの75%がデジタル化されると予測されている。

このような市場動向を背景とし、今回、MELOOK μ IIカメラの後継機種としてMELOOK 3カメラをレコーダとともに開発した。MELOOK 3カメラは、“MELOOK μ ”，“MELOOK μ II”，同軸ケーブル対応の“MELOOK μ +”シリーズから続く“高画質・高機能”の設計思想を受け継ぐカメラである⁽¹⁾⁽²⁾。これらMELOOKシリーズは、コンビニエンスストアなど流通店舗や金融機関等で多数利用されている。

MELOOK 3カメラは、市場の高画質化の要求にこたえるため、最大解像度をMELOOK μ IIカメラのSXVGA (1280×960) から、フルHD (1920×1080, 2.0メガピクセルタイプの場合) とし、デジタル増感、スーパーファインビューⅢ (SFVⅢ)，当社独自のアルゴリズムによる超解像技術などを搭載した。

本稿では、MELOOK 3カメラの製品概要とともに、主要技術について述べる。

2. 製 品 概 要

2.1 主 要 諸 元

今回開発したMELOOK 3カメラは、固定、ドーム型、屋外固定の3形状があり、基本的な機能は同一である。画素数は、2.0メガピクセルタイプ“NC-7x20”と1.3メガピクセルタイプ“NC-7x00”の2つを開発している。表1に代表機種としてNC-7020 (2.0メガピクセル固定カメラ) の主要諸元を示す。また、カメラの外観を図1，図2，図3に示す。

表1. NC-7020の主要諸元

項目	仕様
形状	屋内固定型
撮像素子	1/2.8型CMOSセンサ／209万画素
最低被写体照度	0.03lx 0.002lx (電子増感16倍)
有効画素数	1,920 (H) × 1,080 (V) 有効208万画素
焦点距離／最大口径	f=3.0mm～9.0mm／F=1.4
ダイナミックレンジ	SFVⅢ機能
ズーム倍率	電子ズーム16倍 (超解像搭載)
デジタル増感	最大16倍
MD機能	あり
いたずら検知	あり
画像圧縮方式	H.264／モーションJPEG
消費電力	PoEクラス2
外形寸法	80 (W) × 159 (D) × 48 (H) mm
質量	320g以下

CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor,
 MD : Motion Detect, JPEG : Joint Photographic Experts Group,
 PoE : Power over Ethernet

2.2 システム構成

今回開発したカメラを含むCCTVシステム構成を図4に示す。MELOOK 3カメラは、同時に開発したMELOOK 3レコーダ“NR-5000シリーズ”とシステム構築が可能である。カメラは撮像した画像を符号化 (H.264/JPEG) した後、ネットワーク (LAN) を介してMELOOK 3レコーダへと送信する。MELOOK 3レコーダは、最大32台のカメラが接続可能 (17台以上は別途PoE HUBが必要) であり、内蔵HDD (Hard Disk Drive) 又は内蔵HDD＋外付けHDDへの記録



図1. 固定カメラNC-7020/7000



図2. ドーム型カメラNC-7620/7600



図3. 屋外固定カメラNC-7820/7800

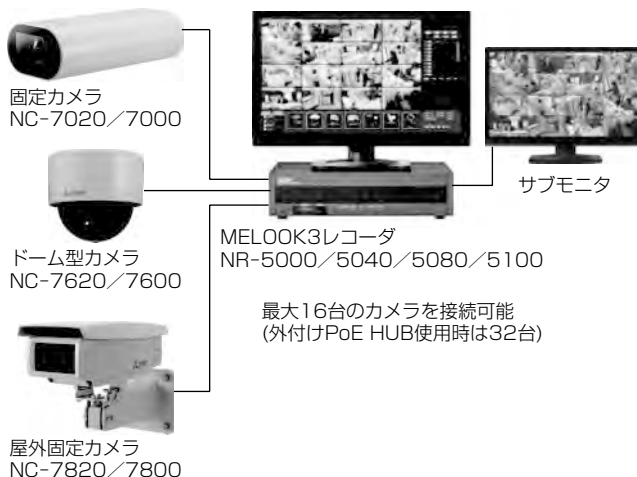


図4. CCTVシステムの構成

が可能である。また、システムとしての性能向上を図り、単画面表示／4分割表示時に加え、9／16分割表示時でも各30fpsでライブ映像を表示することが可能となり、MELOOK μ IIシリーズからさらに滑らかを進化させた。

2.3 MELOOK 3 カメラの特長

MELOOK 3 カメラの特長を従来機種(MELOOK μ IIカメラ)との比較で述べる。

- (1) カメラの最大解像度を、従来機種のSXVGA (1280×960) から、フルHD (1920×1080, 2.0メガピクセルタイプ) に向上させ“くっきり”をさらに進化させた。
- (2) 高感度CMOSセンサの採用とデジタル増感(暗い画像を明るく見やすくするデジタル処理)の最大倍率を従来機種の8倍から16倍にすることで、最低被写体照度0.03lx(電子増感なし)を実現した。この感度向上によって、従来機種(0.25lx)と比較して、より暗い場所での監視が可能となった。また、デジタル増感(スローシャッター(一般的には1/30秒より長時間のシャッター)を用いて感度を上げる電子増感と異なり、シャッタースピードは1/30秒のままで増感を行うため、動きのある被写体に対しても残像やぶれを抑えた映像で監視をすることが可能である。
- (3) スーパーファインビュー(SFV)とは、カメラが、明るい被写体用と暗い被写体用それぞれに異なるシャッタースピードで撮像した画像を合成し、明るい部分と暗い部分をそれぞれ適正な明るさにする機能である。スーパーファインビューⅢ(SFVⅢ)は、MELOOK μ IIカメラのスーパーファインビューⅡ(SFVⅡ)に対して、シャッタースピードの可変範囲を拡大することで、ダイナミックレンジの拡大を図った。また、処理フレーム数の向上も同時に行い、動く被写体に対する追従性を向上



(a) SFVⅢ OFF



(b) SFVⅢ ON

図5. SFVⅢの効果イメージ



(a) 超解像OFF



(b) 超解像ON

図6. 超解像の効果イメージ

させた。これによって、従来機種よりも逆光の出入口などの環境下で、背景と人物をより自然な映像で監視することが可能となった。図5にSFVⅢの効果イメージを示す。

- (4) 電子ズームは、従来機種の最大8倍から最大16倍とし、さらに超解像技術を採用した。これによって、電子ズーム拡大時の画質劣化を従来機種と比較して大幅に改善した。図6に超解像の効果イメージを示す。
- (5) 従来機種は、異なる解像度の複数ストリームの出力が不可能であったが、MELOOK 3 カメラでは、目的に応じた複数解像度の映像を最大5本まで同時出力可能とした(マルチストリーム機能)。これによって、例えばローカル監視では、フルHDを用いた高画質なライブ監視や記録を実施しながら、低解像度画像(320×180等)を遠隔監視用に配信するなど、従来機種より柔軟なシステム構築が可能となった。

3. 主要技術

3.1 新イメージングプロセッサLSI

MELOOK 3 カメラでは、監視カメラに必要とされるカメラ映像処理、符号化伝送処理を一体化したイメージングプロセッサ(新規開発LSI)を搭載した。

超解像技術を始めとする各種機能の搭載に加え、様々なカメラ性能に応じた動作周波数の設定や接続DRAM(Dynamic Random Access Memory)数の変更を可能としている。表2に新規開発LSIの主要諸元を示す。

表2. 新規開発LSIの主要諸元

項目	仕様
CPU	・ ARM Cortex ^(注1) - A5 MP 400MHz
接続センサ仕様	・ subLVDS 12lane+3clk 800Mbps/lane
ネットワーク仕様	・ TCP/IP, RTP/UDP/IPオフロードアシスト ・ プロトコルスタック, オフロードエンジン
インタフェース仕様	・ HDMI up to FHD@30fps ・ DRAM 16bit×3ch-DDR3@1600Mbps, DDR3L@1066~1333Mbps ・ RGMII 1 Gbps ・ USB2.0 Host or USB2.0 Device ・ SDメモリーカード(SDHC/SDXC対応)
画像処理性能	・ センサ補正処理 594Mp/s ・ Bayer→YCC生成 400Mp/s ・ H.264動画Codec FHD@60fps ・ Multi Encoding 最大5ストリーム
画像処理IP	・ 超解像電子ズーム機能 ・ デジタル増感機能 ・ デジタルノイズリダクション機能 ・ ダイナミックレンジ拡大機能
パッケージ	FCBGA-853(23×23(mm))

LVDS: Low Voltage Differential Signaling,
 TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol,
 RTP: Real-time Transport Protocol, UDP: User Datagram Protocol,
 HDMI: High Definition Multimedia Interface,
 FHD: Full High Definition, DDR3L: Double Data Rate 3 Low voltage,
 RGMII: Reduced Gigabit Media Independent Interface,
 SDHC: SD High Capacity, SDXC: SD eXtended Capacity,
 YCC: Y(輝度信号), C(色差信号),
 FCBGA: Flip Chip Ball Grid Array

(注1) Cortexは、ARM Ltd. の登録商標である。

3.2 超解像技術

今回、新たに搭載した新技術の中から超解像技術について述べる。画像を構成する画素の数が少ない画像(低解像度画像)から、高周波成分を推定し、画素を補完することで高解像度画像を生成する技術を超解像技術という。

画像を単純に拡大すると元画の画素構造がそのまま大きくなってモザイク状に見える。また、サンプリング定理に基づく補間フィルタで画素を補って拡大すると、モザイク状の画素構造は見えなくなるものの、境界が鈍ってぼやけた画像になる。どちらの拡大手法でも、画像を構成する画素の数は増えるが高解像度画像にはならない。サンプリング定理によると、撮影被写体に含まれる画素間隔よりも細かい模様は再現できないとされており、高解像度画像の生成には、低解像度画像の画素サンプリング時に欠落してしまっている情報の復元を必要とする。

一次元の信号波形を例に、超解像の原理を述べる。図7は、撮影被写体の例えば水平方向の輝度変化を表す信号波形である。

図7のような撮影被写体の輝度変化波形を間隔 T でサンプリングすると、図8のように★部分の凹み情報(高周波成分に相当する情報)が失われて標本化される。

例えば、画素を2倍に増やすに当たり、間隔 $T/2$ でサンプリングして線形フィルタによる画素補間で復元画素(○)

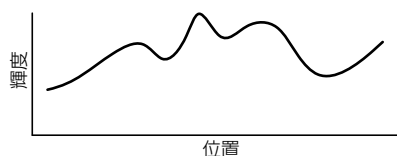


図7. 被写体の輝度変化波形

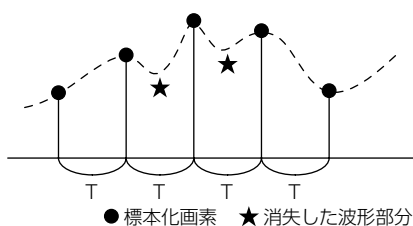


図8. 間隔 T での標本化

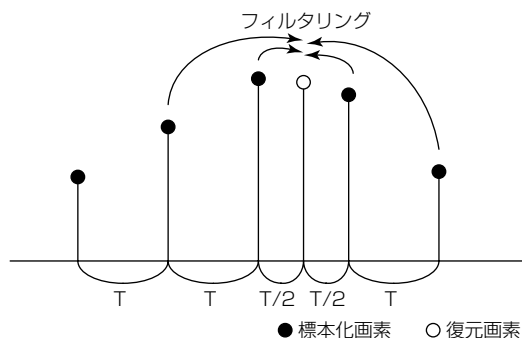


図9. 線形フィルタでの画素補間

を生成する様子を図9に示す。また、図10には、線形フィルタによる画素補間では、間隔 $T/2$ の画素を、隣接する2点間の線形補間値で補うため、間隔 T でのサンプリング時に欠落した★部分の凹み情報がくぼまず滑らかにつながれてしまう様子を示す。この場合、凹み部分の被写体がぼやけた画像になってしまう。

図11は、超解像による復元画素の生成を示している。間隔 T で標本化された入力画素(●)の隙間に入る間隔 $T/2$ の画素(○)に着目し、周辺画素の情報からその隙間画素を導き出す。周辺画素とは、図の一次元方向に隣り合う画素だけでなく二次元方向の画素を含む周辺の情報も対象としている。

超解像で復元画素を生成した場合、間隔 T でのサンプリング時に欠落した★部分の凹み情報がくぼみとして復元される様子を図12に示す。

当社は、独自アルゴリズムを用い、低解像度画像の画素サンプリング時に欠落してしまっている情報を復元する超解像技術を開発した。この技術によって、電子ズーム時の画質を大幅に改善した。

図13に超解像拡大の処理画像例を示す。被写体に自動車の後部が写った風景から、ナンバープレート部分を従来

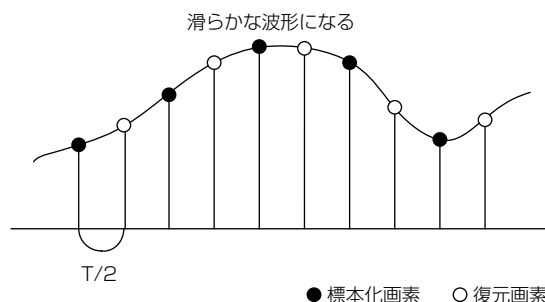


図10. 線形フィルタでの補間結果

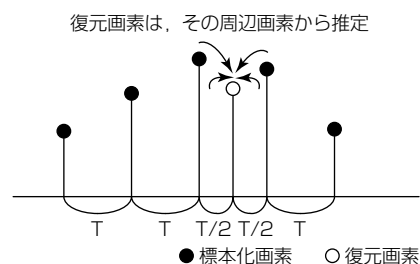


図11. 超解像による画素生成

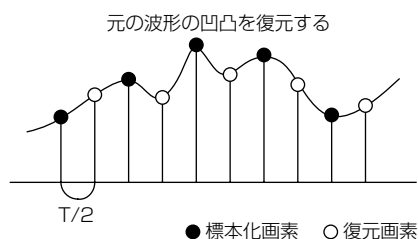


図12. 超解像による波形の復元

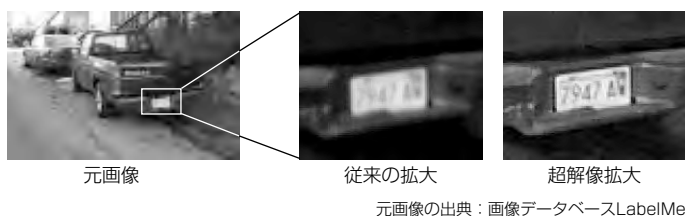


図13. 超解像拡大の例

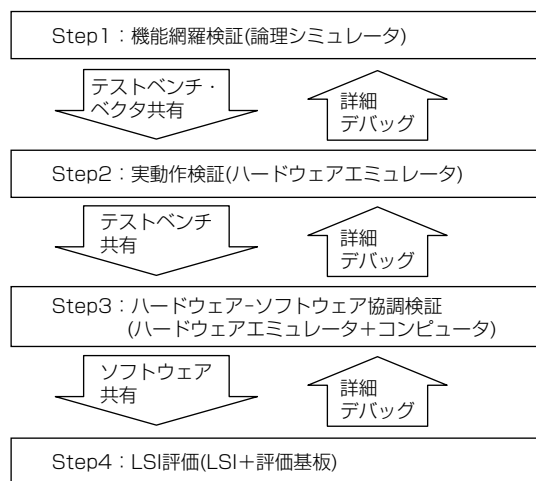


図14. 段階的な検証のフロー

方式によって拡大した場合は、画像の高周波成分が失われたばやけた画像となる。超解像によって拡大した場合は、高周波成分の復元によって細部まで視認可能な画像となる。

3.3 その他(新LSIの検証技術)

今回開発したLSIでは、検証品質を確保するために、ブロックレベルの網羅的な検証からソフトウェアとハードウェアが協調して動作するシステムレベル検証まで、ボトムアップアプローチで品質を作り込む方法を適用した。

論理シミュレータを用いた機能網羅性の高い検証と、ハードウェアエミュレータの高速性を生かした実動作検証を組み合わせた段階的な検証を行い、さらに検証環境間でテストベクタ、テストベンチ、及びソフトウェアを共有することで、次ステップの検証環境の信頼性向上と構築期間の短期化と、不具合発生時のデバッグビリティ向上を可能とした。図14に段階的な検証のフローを示す。

ハードウェア-ソフトウェア協調検証環境では、CPUをホストコンピュータ上のプロセッサで置換し、ハードウェアエミュレータと連携させる方法によって、当社技術である超解像技術のIP検証で、CPU実装を不要とし、かつ実

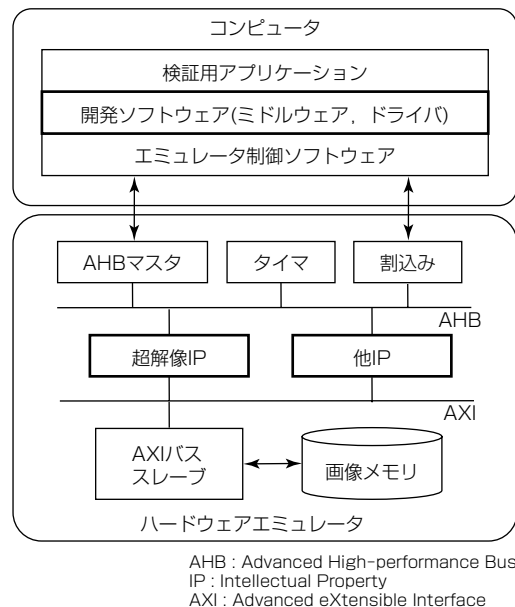


図15. ハードウェア-ソフトウェア協調検証環境の構成

行速度の速いハードウェアとソフトウェアの連携動作検証環境構築を可能とした。図15にハードウェア-ソフトウェア協調検証環境の構成を示す。

4. む す び

MELOOK 3 カメラは、フルHD (1920×1080)、デジタル増感、スーパーファインビューⅢ (SFVⅢ) などの性能向上を実現した。

また、当社独自のアルゴリズムによる超解像技術を採用し、電子ズーム拡大時の画質劣化を従来機種より大幅に改善した。

新規開発したイメージングプロセッサのLSIは、外部インタフェースを活用することで、機能拡張を図ることが可能である。この新LSIを活用し、さらに性能、機能向上を図ったカメラ開発を今後も進めていく予定である。

参 考 文 献

- (1) 上田智弘，ほか：三菱デジタルCCTVシステム“MELOOK μ ”，三菱電機技報，**82**，No. 9，557～560（2008）
- (2) 上田智弘，ほか：“メルック μ II”システム，三菱電機技報，**86**，No. 6，331～334（2012）

Akihiro Tsuji

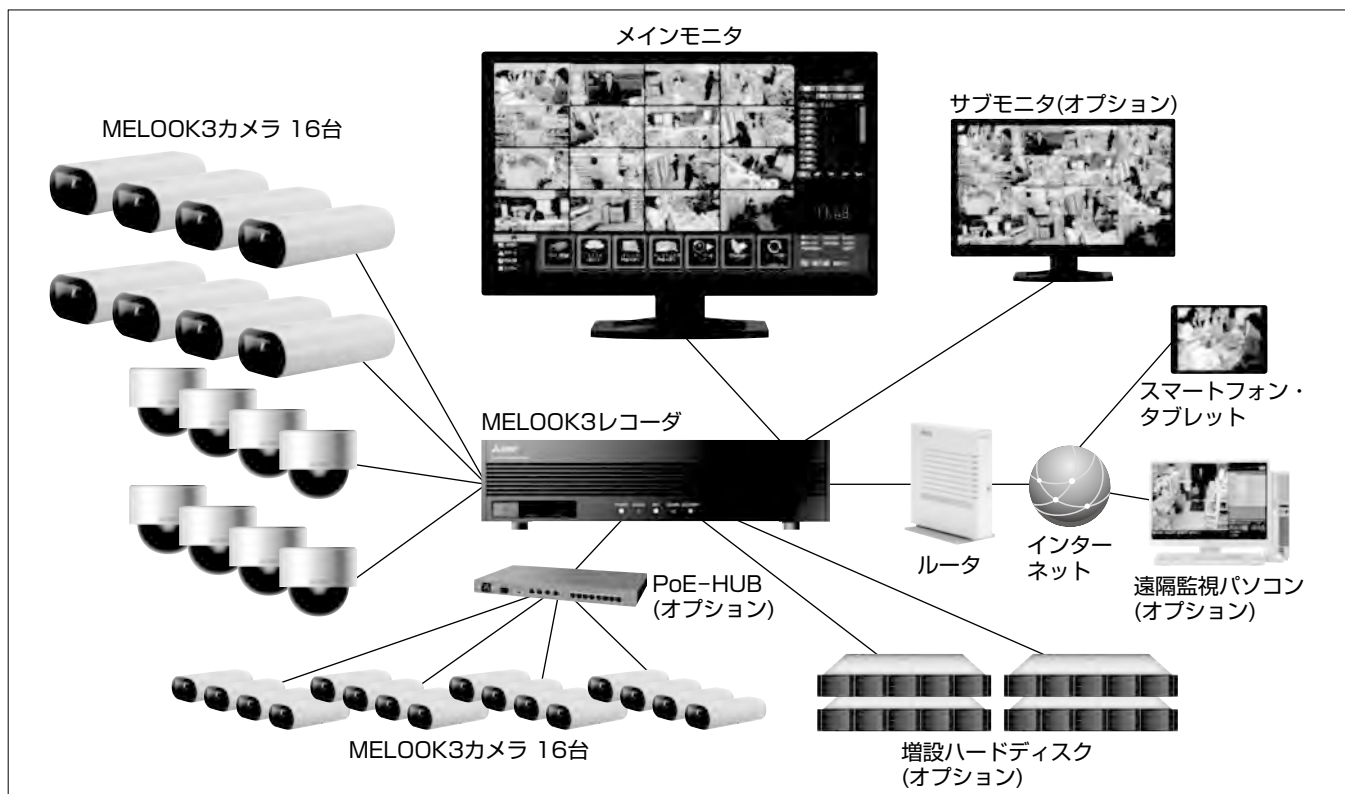
要 旨

近年の社会情勢の変化から、安心・安全への社会的な関心が高まっており、CCTV(Closed Circuit TeleVision)システムに対する高画質・高機能化のニーズは年々強くなってきている。

三菱電機では、中小規模監視システム向けに、逆光補正機能や夜間でも明るい映像が得られる電子増感機能を持ったカメラと、高画質で滑らかな映像を簡単に記録・再生することができるレコーダを製品化し、コンビニエンスストアなど流通店舗や金融機関等で多数利用されている。初代の“MELOOK μ シリーズ”は、JPEG (Joint Photographic Experts Group) 圧縮符号化方式 (15fps: 1 秒間に15コマ) を用い最大8台のカメラを接続可能で、その後継として製品化した“くっきり”, “かんたん”, “なめらか”で好評のMELOOK μ II シリーズは、動画圧縮方式としてH.264 (15fps) を採用して高密度記録を実現し、最大16台のカメラを接続可能としている。

今回述べる「MELOOK 3」レコーダは、MELOOKシリーズの最新機種であり、最大32台のカメラを1台のMELOOK 3レコーダ(型名:NR-5000/NR-5040/NR-5080/NR-5100)に接続し、FULL-HD(High Definition)(1920×1080)サイズの高精細映像(H.264, 30fps)の表示及び記録／再生が可能である。

新しいGUI(Graphical User Interface)を採用し、LANケーブルへの電源重畳機能(Power over Ethernet：PoE)による設置工事の短縮やカメラとレコーダを設置する際に行う各装置への煩わしい設定を不要とする簡単設定といった“かんたん”のコンセプトを前機種から継承している。また、メインモニタ・サブモニタを問わず16分割表示時でも各カメラの映像を30fpsで表示する性能や、新たに再生映像に対する超解像表示機能を搭載し、“くっきり”、“なめらか”をより進化させている。



“MELOOK3”レコーダを中心としたCCTVシステムの装置構成例

MELOOKシリーズの最新機種MELOOK3レコーダは、PoE給電可能なスイッチングHub等を介して最大32台の監視映像撮影用のMELOOK3カメラと接続可能であり、増設ハードディスクによって記録容量を拡張できる。メインカメラやサブモニターでレコーダの制御や監視画面表示を行う。また、インターネットを介して遠隔パソコンやスマートフォン、タブレットなどによる遠隔監視が可能である。

1. ま え が き

近年の社会情勢の変化によって、安心・安全に対する意識が高まっており、監視カメラに対する更なる機能・性能の向上と、誰でも簡単に高機能・高性能なシステムを低コストで使いたいという要求が強くなってきている。これに対して、当社ではCCTVシステムとしてMELOOKシリーズを展開している。逆光補正機能や夜間でも明るい映像が得られる電子増感機能を持ったカメラと、高画質で滑らかな映像を簡単に記録・再生することができるレコーダを開発し、コンビニエンスストアなどの流通店舗や金融機関等で多数利用されている。中小規模監視システムとしては“MELOOK μ シリーズ⁽¹⁾”，“MELOOK μ II シリーズ⁽²⁾⁽³⁾”に加えて、同軸ケーブル対応の“MELOOK μ + シリーズ⁽⁴⁾⁽⁵⁾”，大規模監視システムの“MELOOK DG II シリーズ”を展開中である。今回開発したMELOOK 3 レコーダはMELOOK μ II シリーズの後継機種で、Full-HD(1920×1080)での撮影が可能なMELOOK 3 カメラと、SXVGA(Super eXtended Video Graphics Array, 1280×960)での撮影が可能なMELOOK μ II カメラとを混在して接続可能としている。また、前シリーズから引き継いだ簡単設定を強化し、MELOOK 3 シリーズの高機能・高性能を簡単操作で利用できるようにした。

2. MELOOK 3 レコーダ

2.1 システム構成

MELOOK 3 レコーダは、MELOOK μ II シリーズと同様にPoE(Power over Ethernet)を利用するため、カメラの電源ケーブルが不要であり、最大32台のカメラを1台のレコーダに接続して使用することができる(PoEは16台まで)。これによって、低コストと簡単設置を実現しつつ高機能、高性能なCCTVシステムを提供している。

表1に製品概要を示す。

2.2 特 長

MELOOK 3 の主な特長を次に挙げる。

- (1) 映像表示性能の向上(Full-HD, 30fps, 16分割表示)
- (2) より使いやすくなった操作画面(新GUI採用, サムネイル検索)
- (3) より簡易な遠隔監視への対応(汎用ブラウザで監視)
- (4) 海外対応(多言語表示)
- (5) 省電力・省スペース(消費電力従来比25%^(注1)低減, 本体サイズを従来比30%^(注1)低減)
- (6) 前シリーズとの上位互換性(MELOOK 3 カメラ及びMELOOK μ II カメラ混在接続可能, PoE給電, 簡単設定, 暗号)

(注1) MELOOK μ II レコーダ(NR-3600A)比

今回開発したMELOOK 3 レコーダの主要諸元を表2に、外観を図1に示す。

2.2.1 映像表示性能の向上

MELOOK 3 レコーダでは、“くっきり”，“なめらか”を進化させるために、Full-HDサイズの高精細画像を30fpsで表示可能な描画エンジンを搭載し、メインモニタを16分割表示した際でも、各カメラで30fpsを表示可能とした(図2)。

Full-HDサイズ, 30fpsの高精細画像は、前シリーズでのSXVGAサイズ, 15fpsと比較すると、カメラから送信されるトラフィック量は約2倍(3 Mbpsから6 Mbps)に増

表1. 製品概要

形名	主な仕様
NR-5000	2 TBハードディスク搭載(2 TB-HDD×1)
NR-5040	4 TBハードディスク搭載(4 TB-HDD×1)
NR-5080	8 TBハードディスク搭載(4 TB-HDD×2, ミラー設定可)
NR-5100	ハードディスクレス(外付けHDD専用モデル)

表2. 主要諸元

項目	仕様
カメラ収容台数	32台(PoEは16台まで)
映像出力	HDMI(1080p)×2
圧縮符号化方式	H.264
記録・表示レート	FULL-HD(1920×1080)/30fpsほか
記録モード	通常記録, 間欠記録, アラーム記録, プリアラーム記録, プログラム記録, リピート記録, スナップショット
再生モード	通常再生, シームレス再生, ちょっと前再生, ライブ中再生
特殊再生	早送り, 早戻し, コマ送り, コマ戻し, 一時停止, 超解像
検索機能	タイムデート検索, アラーム検索, サムネイル検索
画面表示	単画面表示及び4/9/16分割表示
遠隔監視	汎用ブラウザ, 専用アプリケーション
表示言語	日本語, 英語, ほか
ネットワーク	10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T×1
接点端子	I/O端子: 16点(入力9, 出力5, +12V, GND)
電源電圧	100~240V
消費電力	150W以下
外形寸法	420(W)×270(D)×100(H)(mm)
質量	8 kg以下

HDMI: High Definition Multimedia Interface, GND: Ground



図1. MELOOK3レコーダNR-5XX0

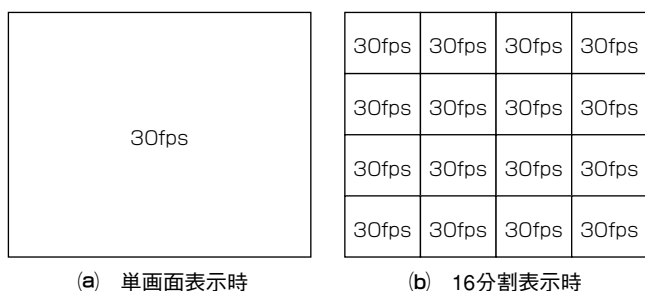
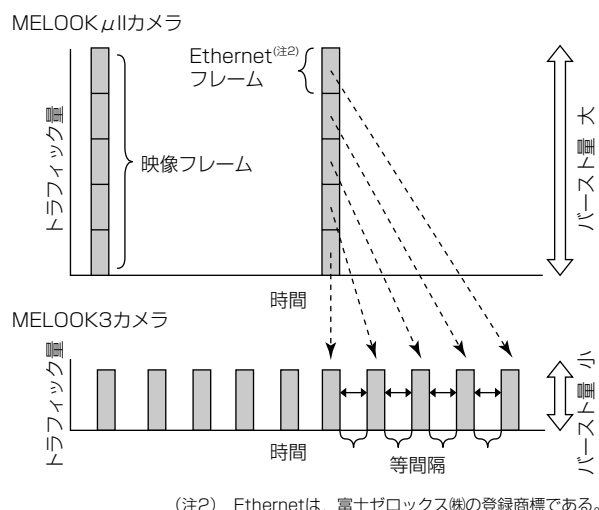


図2. 表示性能



(注2) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

図3. トラフィックシェーピングのイメージ図

加し、H.264の圧縮方式(最大サイズのIDR(Instantaneous Decoder Refresh)フレームが周期的に発生する)からトラフィックのバースト性も増加している。また、カメラ収容台数も最大16台から32台と増加したことで、ネットワークに対する負荷も大きく増加した。したがって、表示の際の映像乱れを防ぐためには、トラフィックのバースト性の影響を抑え、ネットワークでのフレームロスを発生させない仕組みが必要となる。また、メインモニターで16分割表示した際に、各チャネルで30fpsで表示するためには、単画面表示で30fpsを表示する場合と比較して、約16倍の処理性能が必要となるが、過大な処理性能は部品コスト及び消費電力の増加につながる。そこで、MELOOK 3レコーダでは、MELOOK 3カメラと連携し、システムとして次に述べる方式を採用することで、これら課題を解決している。

(1) ネットワーク負荷の軽減とバースト耐力の向上

MELOOK 3カメラでは、図3に示すように、ネットワークへ映像フレームを送出する際に、Ethernetフレーム単位にトラフィックシェーピングを実施することで、出力を平滑化している。これによって、解像度の高精細化に伴う映像データ量増加、複数カメラの出力映像を束ねるレコーダでの一時的なトラフィック集中による輻輳(ふくそう)を、システム的に軽減している。

さらに、MELOOK μ IIカメラや将来の他社カメラの接

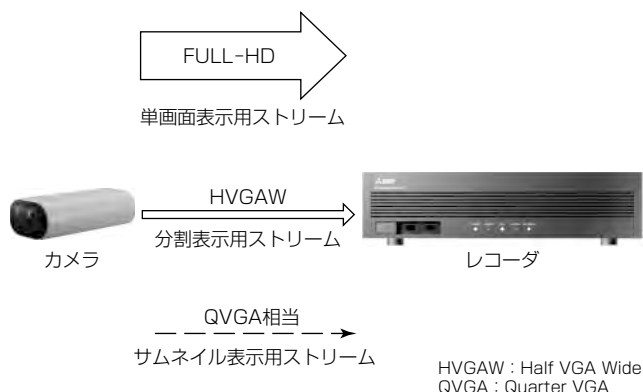


図4. マルチストリーム(複数解像度)による映像伝送

続対策として、レコーダの受信処理部にバッファメモリを搭載し、バースト耐力を向上させた。これによって、一次的なトラフィックの集中で輻輳が発生しても、バッファメモリで吸収することでEthernetフレームを廃棄せず、映像乱れを起こさないようにした。

(2) マルチストリームによる表示性能の改善

MELOOK 3システムでは、図4に示すように、カメラから同時に複数種類の解像度(例：FULL-HD(1920×1080)、HVGAW(640×360)、QVGA相当(320×240))を持った映像ストリームを出力してレコーダで受信・記録している。レコーダでは、単画面表示時はFULL-HD×1ストリームをデコードして高精細画像を30fpsで出力し、16分割表示時には、HVGAW×16ストリームをデコードして各30fpsで出力する。このように、画面分割数に適した解像度を選択してデコードすることで、処理性能の増加を抑え、滑らかな表示を実現した。

(3) 超解像機能の搭載

記録再生の拡大表示時に、当社独自のアルゴリズムによって、欠落している情報を復元する画像補正をかけることで、動画でも静止画でも、ぼやけを低減し、より“くっきり”見やすくする超解像機能を新たに搭載した(図5)。

2.2.2 より使いやすくなった操作画面

(1) 新GUIの採用

MELOOK 3レコーダでは新しいGUIを搭載し、直感的な操作で簡単に記録映像の検索・再生を可能とした。従来のGUIは、よく使う機能とあまり使わない機能が混在していたため、表示要素が多く、ユーザーに複雑な操作画面という印象を与えていた。この課題を解決するため、図6に示すように、画面下部に新たにホームパネルを設け、目的に合わせて必要な機能だけを表示している。

ホームパネルには、色と大きさで強調された、機能ごとの操作パネルを呼び出す目的別アイコンを配置し、ユーザーが操作したいパネルへ“かんたん”にアクセスできるようにした。また、操作が分からなくなっても、どこからでもホームパネルに戻ることができるホームタブを用意し、初



(a) 超解像前



(b) 超解像後

図 5. 記録再生時の超解像



図 6. メインモニタでのホームパネル表示例

心者にも使いやすくした。

(2) サムネイル検索機能の搭載

前シリーズから採用したスライダーを併用したタイムデイト検索やアラーム検索機能に加えて、図 7 に示すサムネイル検索を追加し、見たい場面を直接的に選択再生できるようにした。

レコーダでの負荷を軽減するため、図 4 で示したように、MELOOK 3 カメラから、サムネイル表示用の低解像度の映像ストリームを、記録映像ストリームとは別々に送信し、レコーダで全カメラ分を記録する。サムネイル検索では、表示したいカメラを選択後、基準時間と表示間隔(1秒, 30秒, 60秒, 15分)を入力し、先に記録していたサムネ



図 7. サムネイル検索の表示例

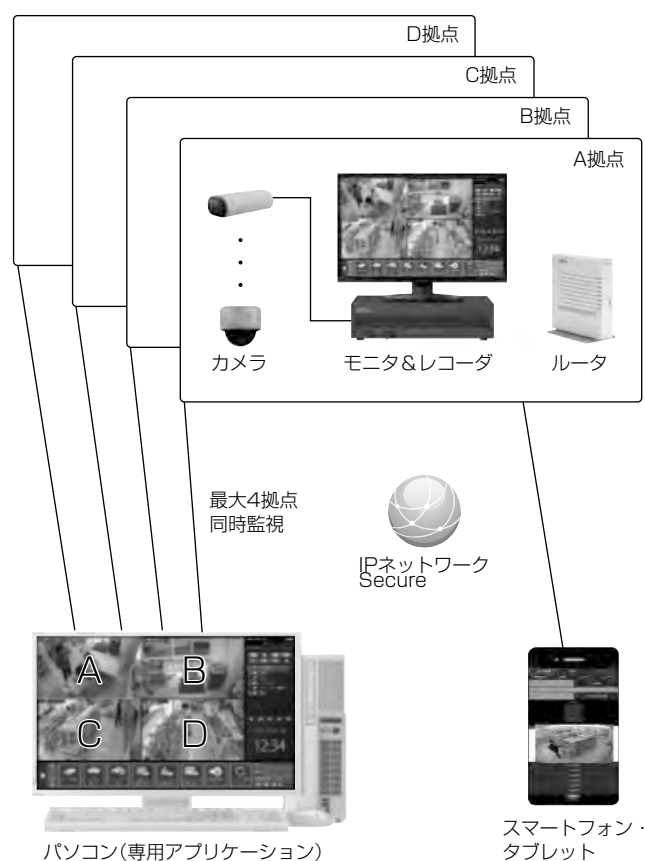


図 8. 遠隔監視の実施例

ル表示用のストリームから、基準時間前後の全40枚の画像を表示間隔に従って出力する。ユーザーは表示されたサムネイルの中から見たい映像を選択して再生することが可能となる。

2.2.3 遠隔監視

従来のパソコンを使用した遠隔監視に加え、スマートフォンやタブレット等のモバイル端末からの遠隔監視を可能とした⁽⁶⁾。専用アプリケーションを必要とせず、汎用ブラウザから、ライブ映像だけでなく、遠隔地にあるレコーダの記録映像を検索、確認可能とした。汎用ブラウザによる遠隔監視端末では単画面／4画面の切換え表示が可能で、専用アプリケーションの場合には、最大4拠点の遠隔地の映像を同時にチェックできる(図 8)。

2.2.4 海外対応

海外市場への展開を図るため、ワールドワイド入力対応（100～240V）の電源を標準装備した。GUIの表示言語は、日本語と英語のほかに多言語に対応できるよう設計し、初期起動時に使用言語を選択することで、当該言語の表示を可能とした。

2.2.5 省電力・省スペース

高機能／高性能な組み込み専用部品を採用して、使用基板数、内蔵ケーブル数、板金部品数を半減させたプラットフォームを新規開発することで、消費電力を25%低減し、本体サイズを前シリーズから30%コンパクト化し、縦置きにも対応して省電力・省スペース化を実現した。

2.2.6 上位互換性

PoE給電、簡単設定については前シリーズを継承しつつ、MELOOK 3 カメラ、MELOOK μ II カメラの混在接続を可能とし、ONVIF (Open Network Video Interface Forum) 対応のカメラも接続可能とした。記録時間については、多様な要求に応えるため、内蔵ハードディスクの容量が異なる4モデルを用意し、増設ハードディスクを最大4台まで接続可能とすることで、長時間記録にも対応できるようにした。また、外部保存する際のセキュリティについては、日本電信電話㈱と当社が共同開発した“Camellia”^(注3)と当社独自の暗号化技術MISTYシリーズの“BROUILLARD”とで記録映像を暗号化し、さらにパスワードロックすることによって、第三者に記録映像を閲覧されるリスクを軽減し、情報漏洩(ろうえい)を防止する。

(注3) Camelliaは、日本電信電話㈱と三菱電機㈱の登録商標である。

3. むすび

MELOOK 3 レコーダは、MELOOK μ II シリーズからの流れを踏襲し、“くっきり”、“なめらか”を進化させながら、GUIを刷新して目的に合わせて必要な機能だけを表示する操作画面を搭載した。これによって、これまで好評だった“かんたん”に使うことができるCCTVシステムのコンセプトを継承しながら、高機能・高性能化を実現した。

今後も、小型、低消費電力化はもちろんのこと、顧客からの多様なニーズを取り込みながら、バランスの取れたCCTVシステムの開発を進める予定である。

参考文献

- (1) 上田智弘，ほか：三菱デジタルCCTVシステム“MELOOK μ ”，三菱電機技報，**82**，No. 9，557～560（2008）
- (2) 上田智弘，ほか：“メルック μ II”システム，三菱電機技報，**86**，No. 6，331～334（2012）
- (3) メルック μ II システム
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/cctv/melookmu/mu2/>
- (4) 寺内弘典，ほか：“MELOOK μ +”システム，三菱電機技報，**87**，No. 5，380～383（2013）
- (5) メルック μ + システム
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/cctv/melookmu/muplus/>
- (6) 野田忠義，ほか：監視映像の遠隔配信技術，三菱電機技報，**83**，No. 6，380～383（2009）

HD対応広域CCTV監視システム

田村 聡* 笠井康行*
和田哲朗* 鈴木大祐**
桑原茂樹*

High Definition CCTV Surveillance Systems for Rivers and Roads

Satoshi Tamura, Tetsuro Wada, Shigeki Kuwahara, Yasuyuki Kasai, Daisuke Suzuki

要 旨

官公庁分野では近年増加する自然災害に対し、災害を未然に防ぐため(河川監視における堰(せき)の開閉等)の情報収集と、災害発生時の初動迅速化が喫緊の課題である。

特に、状況を正確に把握するために監視映像の画質が従来の標準画質(Standard Definition: SD)から高精細画質(High Definition: HD)への要求が高まっている。

監視映像のHD化に伴い、伝送する映像のデータ量が大幅に増えるため、データを伝送する符号化方式を従来のMPEG-2(Moving Picture Expert Group phase 2)から高効率なH.264とすることで既存伝送路を使用可能とすることも合わせて要求されている。

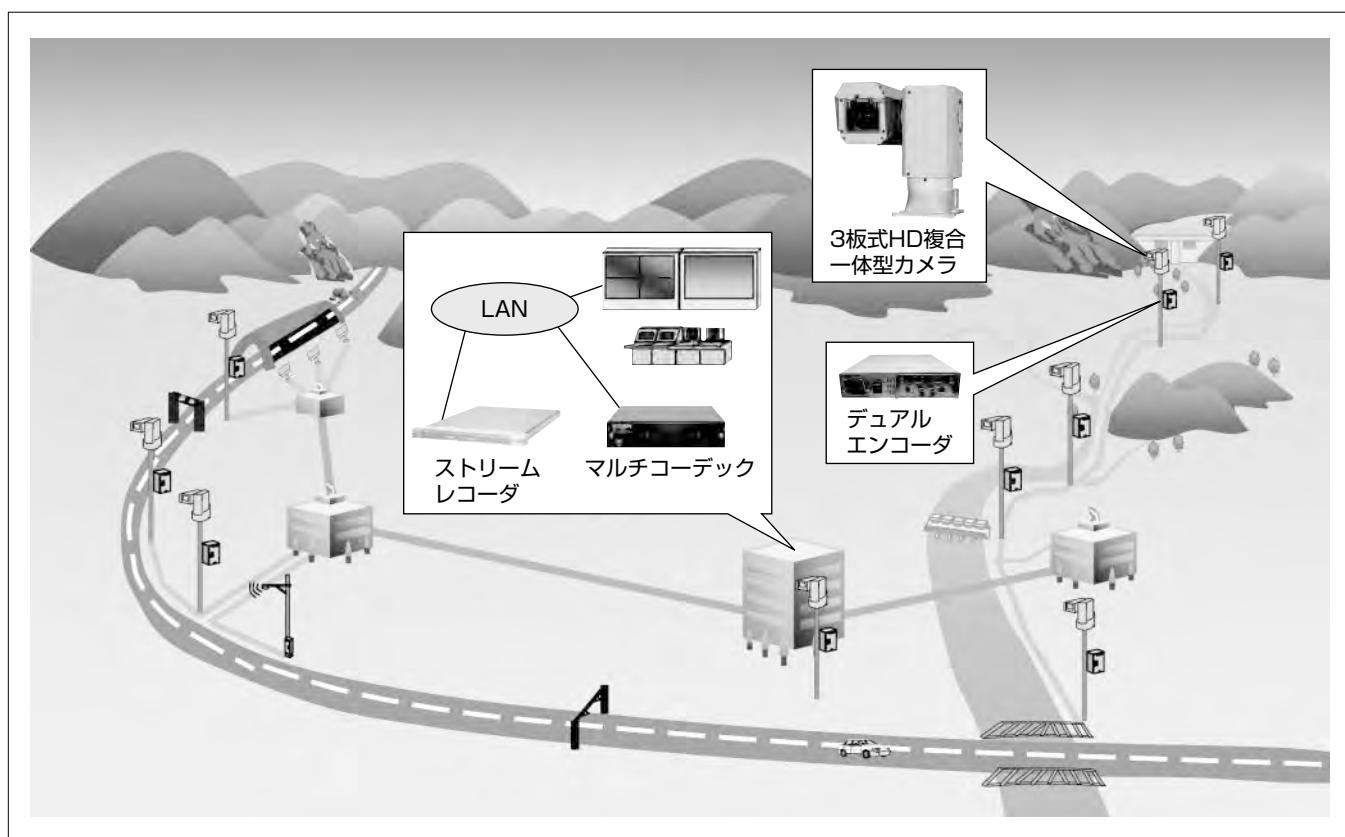
三菱電機では、HDに対応した製品を市場へ投入するこ

とによって、このような課題の解決を図った。

本稿では、開発した次のHD対応製品と適用技術について述べる。

- (1) 3板式HD複合一体型カメラ“HM-3000”
- (2) 伝送装置
 - ①マルチコーデック“HX-1000”
 - ②デュアルエンコーダ“HX-2000E”
- (3) 映像記録装置(ストリームレコーダ)“BC-5970P”

今後も河川、ダム、道路、港湾、プラント監視等、用途に応じた製品のHD化を行い、安全安心を提供できる監視システムの構築を推進していく。



HD対応広域CCTV(Closed Circuit Television)監視システム

3板式HD複合一体型カメラHM-3000の映像を伝送装置であるデュアルエンコーダHX-2000Eで符号化する。伝送路を介して映像ストリームをストリームレコーダBC-5970Pで記録し、マルチコーデックHX-1000で復号して出画するシステムのイメージである。

1. ま え が き

近年増加する自然災害に対し、災害情報を正確に把握するために監視映像のHD化が要求されている。

従来の広域監視システムでは、カメラはSD画質で撮影し、伝送装置ではMPEG-2符号化方式で伝送することが主流であった。SD画質の解像度は 640×480 画素であるが、カメラのHD化によって解像度は 1920×1080 画素と約6倍になるため、被写体を細部まで確認可能となる。またアスペクト比が16:9と横長となるため、視認領域が拡大する(図1)。

ただし、画素数が増加すると感度は低下するため、カメラの高感度化が必要である。また、伝送側もデータ量が比例して増加することから、既存のシステムのネットワーク帯域に適用可能なH.264符号化方式が必要とされている。

本稿では、このような課題を解決するために今回開発したHDかつ高感度を実現した3板式HD複合一体型カメラ、H.264符号化方式を採用した伝送装置、及びストリームレコーダについて述べる。

2. 3板式HD複合一体型カメラHM-3000

河川、ダム、道路、プラント施設等を監視する広域監視カメラは、星あかりの低照度環境でも視認できる性能が求められる。監視カメラには多くの性能指標が規定されているが、屋外で使用される広域監視カメラでは、感度を示す最低被写体照度が重要な性能指標である。

また、近年増加する自然災害への初動迅速化が喫緊の課題であることから、被災状況を正確に把握するために監視映像の高精細化(HD化)への要求が高まっている。

これら2つの要求を満たすため、撮像素子にHD対応3 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)方式を新たに採用し、最低被写体照度0.009lx、フルHD解

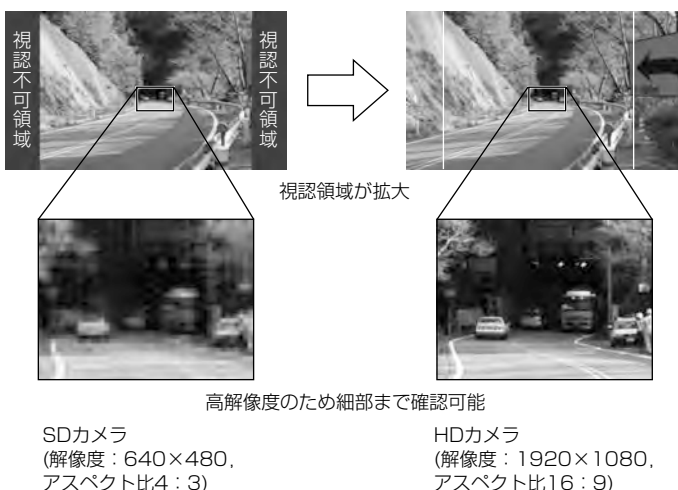


図1. HD化のメリット

像度を実現した新製品である3板式HD複合一体型カメラHM-3000を開発した(図2)⁽¹⁾。

この装置は、カメラと回転台を持つ複合一体型であり、最大 $180^\circ/\text{s}$ (パン方向)の旋回機能、 0.05° の停止精度、160倍(光学20倍×電子8倍)のズーム機能を備えている。そのため、星あかりの照度環境下でも見たい地点を明るく高精細に監視できる。

2.1 主な特長

HM-3000の主な特長を次に挙げる。

- (1) 高解像度
フルHD解像度(1920×1080)
- (2) 高感度
最低被写体照度0.009lx
- (3) 高倍率
160倍(光学20倍×電子ズーム8倍)
- (4) 高速旋回(プリセット時)
最大旋回速度 $180^\circ/\text{s}$ (水平)、 $90^\circ/\text{s}$ (垂直)、停止精度 0.05°
- (5) 旋回角度
水平 360° エンドレス回転、垂直 $\pm 90^\circ$
- (6) 耐環境性能
IP65(JIS C 0920 防噴流形・耐塵(たいじん)形)

2.2 高感度

HDは高解像度であるが、SDと比較して撮像素子1画素あたりの大きさが約 $1/6$ となることから、原理的に感度の低下が発生する。高解像と高感度は相反する項目であるため、HDカメラでSDカメラ相当の感度を実現するためには高感度化の技術が必要となる。

HM-3000では、以下の高感度手法を採用した。

- (1) 光量のロスが少ない光学系の採用

① レンズ

解放F値1.4の明るいレンズを採用し、最大望遠(光学20倍)時でもF2.0と、夜間の望遠監視にも対応した。

② 3 CMOS

3 CMOS方式を採用し、光の3原色であるRGB(Red,



図2. 3板式HD複合一体型カメラHM-3000

Green, Blue)それぞれに専用CMOSを割り当てること
 によって、高効率な光学系を実現した。

(2) 露光時間を長くする撮像制御

長時間露光制御として電子増感機能を搭載することで、
 低ノイズ、高感度を実現した。フレームレートが低下する
 欠点はあるが、動きの少ない河川監視等に有効である。

(3) 画像信号処理による高感度化

画素混合信号処理によって感度を向上させる。フレーム
 レートが低下しないため動きのある被写体に強いが、解像
 度が低下する欠点がある。

HM-3000ではこの欠点を解消するため、アルゴリズム
 を見直して新しい信号処理方式を開発した。一般的に、画
 素混合信号処理では、注目画素の信号と注目画素の近傍画
 素の信号を混合することで高感度化を実現するが、単純に
 混合すると画像の解像度が低下することからHD解像度が
 損なわれる。開発した画素混合信号処理では、注目画素の
 近くにある色や明るさの類似した画素のパターンを抽出・
 混合し、解像度低下の少ない高感度化を実現した(図3)。

2.3 高倍率

HD解像度はSDの約6倍であるため、2倍の電子ズーム
 を行ってもSD以上の解像度を維持できることから、HDカ
 メラでは電子ズームが有効である。HM-3000は最大8倍
 の電子ズーム機能を持っており、20倍の光学ズームと合わ
 せて最大160倍までズームが可能である。

また、電子ズームによる解像度の低下を抑えるため、画
 素間の補間方式を変更した。当社従来機種はバイリニア方
 式による補間を行っていたが、画素間を線形で補間する方
 式であることから解像度の低下が目立っていた。そこで
 HM-3000では画素補間としてバイキュービック方式を採
 用した。画素間を曲線的に補間する方式であることから、
 解像度の低下が少なくなる。

電子ズームにバイキュービック方式を組み合わせること
 によって、解像度劣化を抑え、最大160倍の広範囲監視を
 実現した。

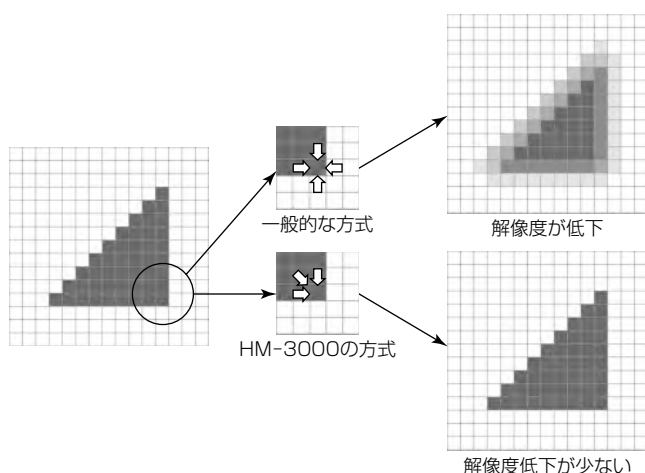


図3. 画素混合処理のイメージ

3. マルチコーデック(HX-1000)

マルチコーデックHX-1000⁽²⁾はMPEG-2とH.264及び
 M-JPEG(Motion-Joint Photographic Experts Group)の
 符号化方式に対応し、従来のSDカメラシステムと今後主
 流となるHDカメラシステムのどちらにも利用可能な高画
 質・高機能なコーデックである(図4)。

この装置は、映像インタフェース入出力としてNTSC
 (National Television System Committee), HD-SDI
 (High Definition-Serial Digital Interface), HDMI^(注1)
 (High Definition Multimedia Interface)を持ち、3種類
 の符号化(H.264, MPEG-2, M-JPEG)を同時に行うこと
 ができる。これによって既設のSDカメラと新設のハイビ
 ジョンカメラを混在させることができるため、シームレス
 にカメラ更新も増設も可能な拡張性の高い監視システムを
 低コストで構築することができる。

また64画面分(1画面に最大4,096文字表示可能)の文字
 表示機能、2種類の音声符号化方式、Webサーバ機能を実
 装し、さらにJISラック1Uサイズに2台搭載するための
 小型化と、エンコーダとデコーダ装置のハードウェア共
 通化によるコストダウンを実現した。

(注1) HDMIは、HDMI Licencing LLCの登録商標である。

3.1 主な特長

HX-1000の主な特長を次に挙げる。

(1) 多種多様な符号化・復号機能

- ①H.264エンコード機能(SD画像/HD画像)
- ②MPEG-2エンコード機能(SD画像/HD圧縮SD画像)
- ③M-JPEGエンコード機能(SD画像/HD画像)
- ④3種符号化を同時に行うトリプルエンコード機能
- ⑤ステレオ音声MPEG-1 Audio/MPEG-2 AAC(Advanced Audio Coding)圧縮機能
- ⑥全符号化方式のデコード機能(映像音声同時各1種)

(2) テロップ文字発生機能

- ①1文字列128文字、1画面32文字列、64画面登録可
- ②JIS第1・第2水準漢字、カナ、外字(最大48文字)対応
- ③文字サイズ10種(文字列ごと指定可)
- ④文字飾り4種(文字列ごと指定可)
- ⑤テロップ向き、速度任意(文字列ごと指定可)



図4. マルチコーデックHX-1000

⑥文字色・文字飾り色 8 色任意組合せ(文字列ごと指定可)

(3) グラフィック機能

①任意形状の線, 台形, 矩形(くけい)表示可能(最大16)

②矩形単位の色指定可

③16×16画素の任意BMP(BitMaP)128枚を使用して任意速度で順次再生アニメーションを表示可能

3.2 低コストなフルハイビジョン化

HX-1000は、装置本体ハードウェアの共有化によるコストダウンを実現するため、フルハイビジョン化の設計に先立ち、HD画像データを入出力できるインタフェースを持ち、伝送フレームレート30fpsでH.264符号化・復号化が可能な演算能力を持つTI社のマルチメディアCPU“TMS320DM6467T”を選定している。外部インタフェースには画像入出力専用のVPIF(Video Port InterFace)と呼ばれるインタフェースを持ち、SD画像フォーマット規格のBT.656とHD画像フォーマット規格のSMPTE274の両方に対応しており、SD/HD各映像フォーマットの映像入出力ができる仕様となっている。演算能力に関しては、コプロセッサにH.264符号化・復号化に有効なAPI(Application Programming Interface)関数がバンドル提供されているため、最も演算能力(CPU処理能力)を必要とするHD画像の符号化・復号化は、コプロセッサとDSP(Digital Signal Processor)で行い、ARM^(注2)プロセッサは音声コーデックとネットワーク制御を実行させる構成とし、処理能力としてはHD画像に対応し得る十分な性能を確保した。

また、トリプルエンコード実施の際は、M-JPEG符号化処理はDSPの余力を活用してDSP上のプログラムで実施する。

(注2) ARMは、ARM Ltd.の登録商標である。

3.3 H.264のハイビジョン対応

HX-1000では“SD画像をMPEG-2によって6Mbpsで符号化”した画質と“HD画像をH.264によって8Mbpsで符号化(符号量の増加は、1.3倍まで許容)”した画質を可能な限り同一品質に近づけるために独自のイントラフラッシュ現象の改善を加えている。

画面内の情報で復号可能なIピクチャーと画面間の予測情報に基づくPピクチャー構造に対し、Iピクチャーの圧縮率の指定が可能な仕様とし、イントラフラッシュが目立つ細やかな動きの多い画像の際にはIピクチャーの符号化データ量倍率を上げてIピクチャーを高品質にする。システムによって異なる画像品質要求に対し、HX-1000は様々な微調整手段を提供している。

4. デュアルエンコーダ

HD/SD対応H.264デュアルエンコーダHX-2000Eは今後主流となるH.264符号化方式を採用し、HD映像とSD映像を同時に配信することで、HDによる高精細な監視とSDに



図5. デュアルエンコーダHX-2000E

よる長時間記録を可能とするエンコーダである(図5)。

この装置は、アナログカメラの伝送で使用されていた“BCシリーズ”と同一サイズとすることで、既設筐体(きょうたい)への増設及び置き換えが可能な構造とし、監視システムの更新費用を抑制することを可能とした。

4.1 主な特長

HX-2000Eの主な特長を次に挙げる。

(1) 映像入力インタフェース

①HD-SDI, SD-SDI, NTSC

(2) 符号化方式

①H.264 High Profile(HD画像)

②H.264 Main Profile(SD画像)

③MPEG-1 Audio/MPEG-2 AAC選択式(ステレオ音声)

(3) テロップ文字発生機能

①1文字列最大26文字

②JIS第1・第2水準漢字, カナ, 外字対応

③文字サイズ4種(文字列ごと指定可)

④文字飾り4種(文字列ごと指定可)

4.2 デュアル符号化・配信

HX-2000EではH.264HD/H.264SDの同時配信を実現するため、1チップでH.264HD/H.264SDの符号化が可能な符号化LSIを選定した。映像入力インタフェースはデジタル映像のフォーマット規格SMPTE274(HD)及びITU-R BT.656(SD)に対応し、HD映像入力時はHD映像とLSI内部でダウンコンバートしたSD映像をH.264で符号化し、ISO13818-1に準拠したTS(Transport Stream)をそれぞれ出力する。また、SD映像入力時は同一映像を2本のTSとして出力可能である。

符号化LSIの後段にはFPGA(Field Programmable Gate Array), CPUを実装し、符号化LSIから出力されたTSをRTP(Real-time Transport Protocol)化しIP(Internet Protocol)網に配信している。

今回、デュアル配信に当たってCPUの高速化を図り、部品を再選定した。CPU再選定の際には既設MPEG-2エンコーダのBCシリーズとユーザーインタフェースを統一、また開発費を抑制するため同一シリーズのCPUを採用し、内部動作クロックを200MHzから400MHz、周辺バスクロックを66MHzから100MHzへ高速化し、デュアル配信を実現させた。

4.3 他社互換性

符号化LSI採用に当たっての課題として、他社互換性があった。LSI自体は市場での実績はあったが主に蓄積系で使用されていたため、監視システムへ適用するためLSI及び後段に実装したFPGA、CPUで符号化ストリームのカスタマイズを行った。主な項目を次に述べる。

(1) 低遅延化

画質と遅延量はトレードオフの関係にあるが、符号化バッファモデルを見直し、符号化画質を極力維持しつつ監視システムで要求される1秒以内の低遅延化を実現した。

(2) SDダウンコンバート

マルチコーデックHX-1000と互換性を持たせるためサイドカットを適用した。

(3) PSI情報の変更

符号化LSIからは蓄積系で主に使用されるPSI(Program Specific Information)情報が付加されており、監視システムで使用されるデコーダの中にはその情報が影響して正しく復号できない可能性があった。このパケットはLSIでは削除できなかったため、後段のFPGA、CPUで符号化ストリームを解析し、不要なパケットを削除した。

4.4 既設コーデックとの親和性

基板サイズは既設MPEG-2エンコーダのBCシリーズで使用しているBASE筐体や屋外複合一体型カメラと組み合わせ可能のようにBCシリーズと同サイズとすることで既存機種との互換性確保を図った。また、アナログ映像(NTSC)入力端子も持ち、既存のアナログカメラをより圧縮効率の高いH.264で伝送することを可能とした。

ユーザーインタフェースもBCシリーズをベースとすることで、既設システムとの親和性を図った。

また、従来機種は文字をスーパーインポーズする機能を持っているが、フォントデータがSD用しかないため、単純に適用すると文字が小さくなるという課題があった。これについては、FPGAで文字データをバイキュービック方式で拡大するとともに、文字のエッジ部にスムージング処理をかけることでHD使用時にもBCシリーズの文字表示と違和感のない性能を実現した。

5. ストリームレコーダBC-5970P

ストリームレコーダBC-5970Pは、“BC-5550E”“FX-7100”“FX-7400”“HX-1000”“HX-2000E”などのエンコーダ装置から出力されたMPEG-2、MPEG-4、H.264、H.264TS、H.264TTS(Timestamped TS)のIPデータストリームをイーサネット回線から受信して装置内に蓄積し、端末からの要求に従ってイーサネット回線へ再配信することが可能な動画サーバである。従来の“BC-5960P”の後継に位置付け、H.264拡張対応機能(特殊再生対応、TS/TTS対応、HD対

応)を追加している。

5.1 主な特長

BC-5970Pの主な特長を次に挙げる。

- (1) 最大4TBのHDDにMPEG-2/MPEG-4/H.264/H.264TS/H.264TTSの映像ストリームの記録が可能
- (2) 記録された映像ストリームを、要求されたアドレスへ配信が可能
- (3) 用途別に異なる映像記録方法を持ち、一次蓄積機能によって映像をエンドレスに常時記録し、警報などのイベントをトリガーに記録領域が上書きされないように保護
- (4) ディスク容量(記録時間)や記録/配信数、耐ディスク故障性などの運用に合わせて、RAID(Redundant Arrays of Inexpensive Disks)の構成をRAID1(工場出荷時設定)、RAID5から選択が可能
- (5) イベントの種類、カメラID、記録時刻などをキーとした記録映像の検索が可能
- (6) 早送り再生、早戻し再生、一時停止などの特殊再生ストリームの配信が可能
- (7) 入力されたMPEG-2映像ストリームを間引いて蓄積することによる長時間記録モードを保有
- (8) ネットワーク経由で動作状態監視及び設定変更が可能
- (9) 動作ログ出力とネットワーク経由でのログ確認が可能

5.2 H.264TS/TTSの特殊再生と記録時間

特殊再生とは、再配信先のデコーダ装置で高速再生、コマ飛ばし再生、一時停止再生の状態映像表示するための機能である。符号化ストリームのままの状態再生制御が可能であるため、大容量の蓄積映像の中から所望の映像をネットワーク経由で効率よく検索することが可能となる。

HD画質(6Mbps)のH.264符号化方式のストリームは、最大で792時間(RAID5の場合の目安)の記録が可能である。

6. む す び

今回開発したHD対応広域CCTV監視システム製品の投入によって、市場で要求されている高精細HD画質による監視システムの構築を実現した。さらに、低価格なデュアルエンコーダを投入することでシステムのHD化を促進している。

今後は製品ラインアップの強化と周辺機器の充実化を図り、HD化の導入を促進する。

参 考 文 献

- (1) 笠井康行：3板式HD複合一体型カメラ“HM-3000”，三菱電機技報，89，No. 1，61(2015)
- (2) 新房健一：HD対応マルチコーデック“HX-1000”，三菱電機技報，88，No. 6，365～369(2014)

金属配線を用いた高感度タッチパネル

野尻 勲* 上里将史**
大野 岳*
中村達也*

High Sensitivity Touch Panel Using Metal Mesh

Isao Nojiri, Takeshi Ono, Tatsuya Nakamura, Masafumi Agari

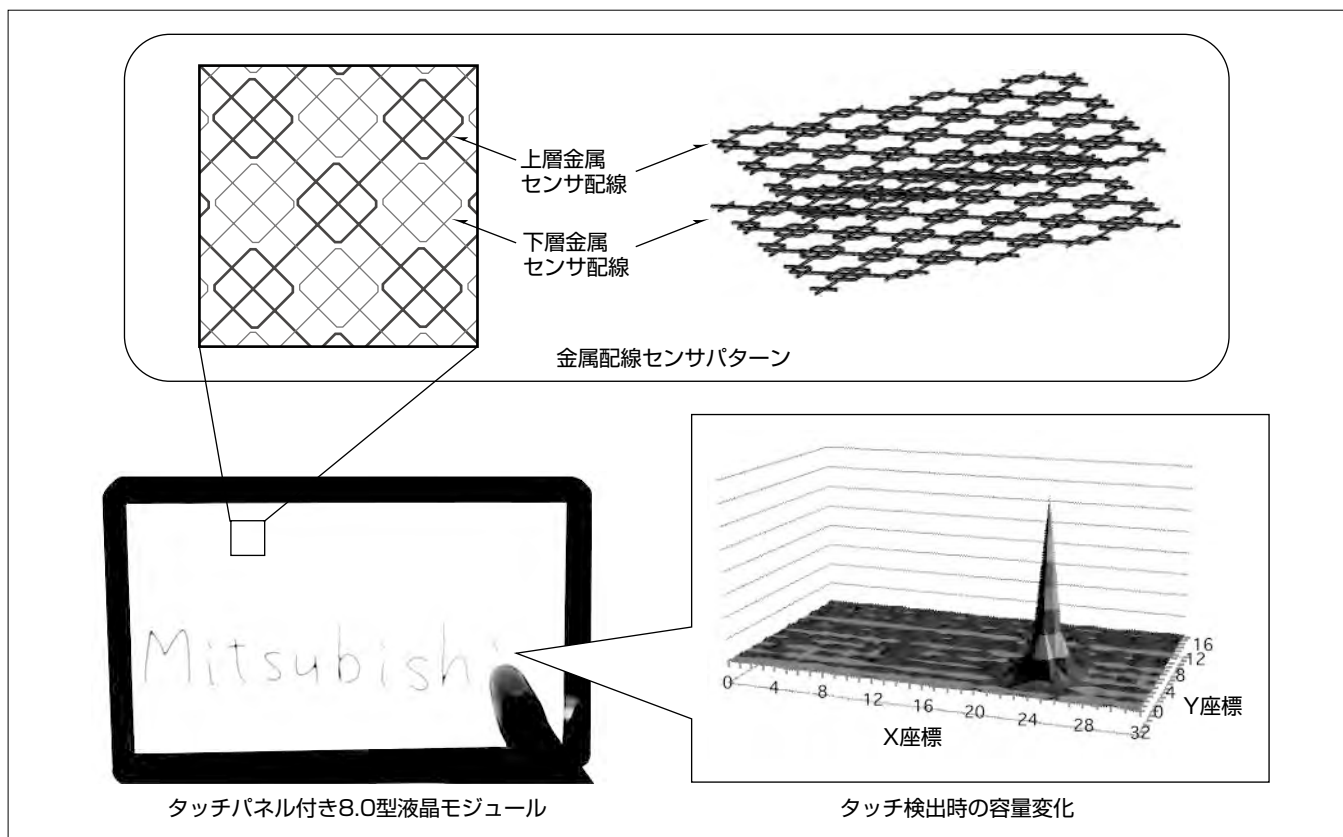
要 旨

タッチパネルは、投影型静電容量(PCAP)方式タッチパネルがスマートフォンへ搭載されて以降、そのジェスチャーによる直感的な操作性によって急速に普及している。この方式のタッチパネルは、操作性以外に意匠性、堅牢(けんろう)性、耐久性にも優れるため、コンシューマー向けだけでなく、従来は抵抗膜方式が使われていたPOS(Point Of Sale)端末、FA(Factory Automation)機器等の産業機器、及び車載機器でも採用が進んでいる。

これらの機器では、高速動作の要求に加えて厚い保護ガラスが、また、車載機器では低電圧駆動が要求される。PCAP方式タッチパネルは、このような条件下ではタッチ検出感度低下を引き起こすため、より高感度なタッチパネルが必要となる。

PCAP方式タッチパネルのセンサ電極として、一般的には透明導電膜であるITO(Indium Tin Oxide:酸化インジウムスズ)が用いられているが、ITOは抵抗率が高いため、低抵抗化を行うには厚膜化が必要になり、透過率の低下、センサ電極のパターン見えや色付き等の課題が生じる。

三菱電機では低抵抗の金属配線を用いたPCAP方式タッチパネルの開発を行っているが、今回、電磁界シミュレータを用いて、センサ電極の構造の影響を解析し、センサ構造を工夫することでタッチ検出感度を向上させた。この技術を用い、3Vで駆動可能な保護ガラス厚1.3mm、オプティカルボンディング構造(タッチパネルと液晶を樹脂で接着した構造)のタッチパネル付き8.0型液晶モジュールを開発した。



金属配線を用いた高感度タッチパネルを搭載した8.0型液晶モジュール

タッチパネルのセンサ配線として微細なアルミ配線を採用し、上層配線と下層配線の2層配線からなる。低抵抗の金属配線を使用することに加えてセンサ電極構造に工夫を行うことで、更に高感度なタッチ検出性能を実現した。この技術を用い、3V駆動、保護ガラス厚1.3mm、オプティカルボンディング構造(タッチパネルと液晶モジュールを樹脂で接着した構造)のタッチパネル付き8.0型液晶モジュールを開発した。

1. ま え が き

タッチパネルは、投影型静電容量(PCAP)方式タッチパネルがスマートフォンへ搭載されて以降、そのジェスチャーによる直感的な操作性によって急速に普及している。この方式のタッチパネルは、操作性以外に意匠性、堅牢性、耐久性にも優れるため、POS端末、FA機器等の産業機器、及び車載機器でも採用が進んでいる。

これらの機器では、堅牢性を向上させるため厚い保護ガラスの適用が求められ、また、車載機器では低電圧駆動が求められる。PCAP方式タッチパネルは、保護ガラス越しに指先の有無による微弱な静電容量(電荷量)の変化を検出することで指の位置を特定するため、厚い保護ガラスの適用や低電圧での駆動は、タッチ検出感度の低下を引き起こす。

当社では、タッチパネルの配線材料として微細金属配線を使用することで、センサ電極の低抵抗化を行った⁽¹⁾。また、電磁界シミュレータを用いてセンサ構造を最適化することでタッチ検出感度を向上させ、3Vで駆動可能な保護ガラス厚1.3mm、オプティカルボンディング構造⁽²⁾(タッチパネルと液晶モジュール間を樹脂で接着し、空気層をなくすことで反射光を低減する構造)のタッチパネル付き8.0型液晶モジュールを開発した。

本稿では、このタッチパネルに用いたセンサ電極技術、及び開発したタッチパネル付き8.0型液晶モジュールについて述べる。

2. PCAP方式タッチパネルの動作原理

PCAP方式タッチパネルの中で最も主流である相互容量方式タッチパネルの動作原理について、図1を用いて述べる。相互容量方式タッチパネルは、X、Yセンサ電極のうち、一方の電極から駆動用の信号を入力して他方の電極でセンシングを行う。駆動信号を入力することで、電極間に電界が発生し、容量が形成される(図1(a))。指が近づくと、電界は指とセンサ電極との間でも形成されるため、電極間

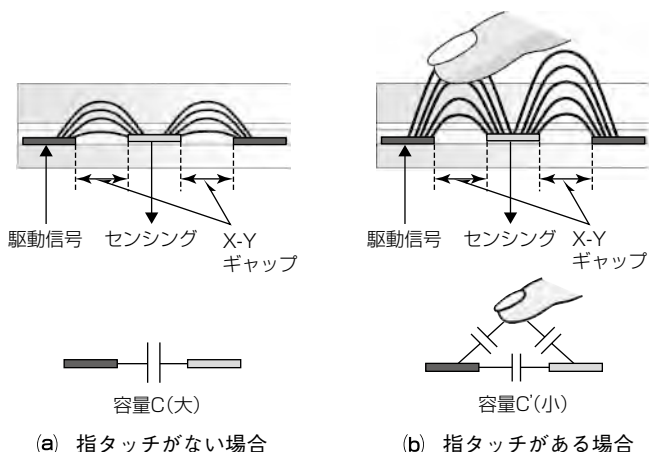


図1. PCAP方式タッチパネルの動作原理

の電界は減少し、その結果、容量値は減少する(図1(b))。相互容量方式タッチパネルは、この微弱な容量変化 $\Delta C (=C-C')$ を検知し、指の位置を検出するものである。

図1に示すように、駆動用電極とセンシング用電極の間にはスペース(X-Yギャップ)が存在する。このX-Yギャップが非常に狭いと電極間の電界が強まるため、指が近づいた時の電界減少量(すなわち、容量変化量)が少なくなり、タッチ検出感度は低下する。このためX-Yギャップを最適化することが、相互容量方式タッチセンサのパターン設計として重要である。

3. 金属配線を用いたセンサ電極の基本構造

図2に当社タッチパネルのセンサ電極の基本構造を示す。アルミ材料による微細配線を、光を透過するように一定の間隔(配線ピッチ)で網目状に接続している。この微細配線は絶縁膜を介して上層及び下層に形成され、さらに、この配線が4~8mmの幅を持ってX方向及びY方向に延伸され、X及びYセンサ電極を構成している。各X及びYセンサ電極は直交し、マトリックスを構成する。

不透明な金属配線をセンサ電極として用いた場合、配線が視認されることが懸念されるが、当社では3 μ m幅の微細配線の使用、及び配線表面の低反射化によって、金属配線が視認されないようにしている。

また、一般的に、一定間隔で繰り返し配置された金属配線を液晶ディスプレイの表示面に重ねると、配線と画素の干渉による縞(しま)模様(モアレ)が視認されることがある。当社では、先に述べた微細配線の適用に加え、配線ピッチの最適化、及び液晶ディスプレイの画素配列方向に対する金属配線パターン角度を最適化することで、モアレの発生を抑制している。

さらに、図1に示すX-Yギャップ中には、表示画面の視認性に影響を与えないように、X、Yセンサ電極と非接続で、わずかな隙間を持ったフローティング電極を配置している。

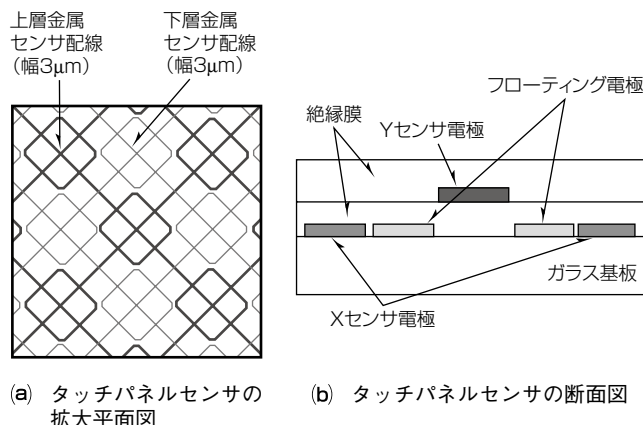


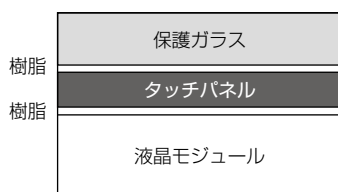
図2. センサ電極の基本構造

4. タッチ検出性能の向上

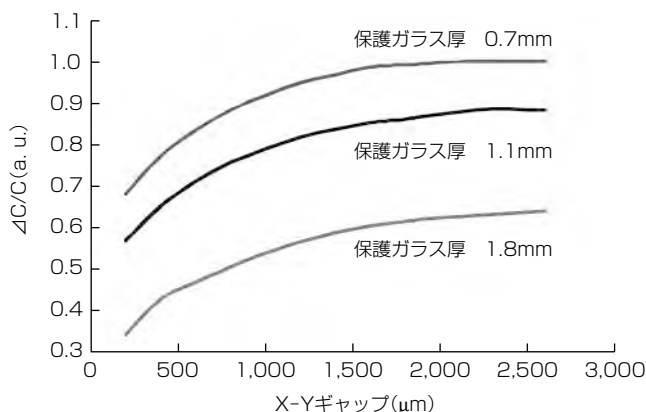
今回、電磁界シミュレータを用いてセンサ構造の解析を行った。相互容量方式タッチパネルの性能評価では、2つの指標を用いた。1つは、タッチ検出感度 $\Delta C/C$ である。 C はタッチなしの場合のX-Yセンサ電極間容量、 ΔC はタッチありの場合の容量 C の変化量を示す。相互容量方式タッチパネルの動作原理から分かる通り、 $\Delta C/C$ がタッチ検出感度を示す。もう1つはセンサ電極のRC遅延時間（センサ電極抵抗 R とX-Yセンサ電極間容量 C の積）である。RC遅延時間が小さい場合、センサを駆動するスピードを上げることができ、その結果一定時間内の駆動回数を増やすことでノイズレベルを低減し、S/N(Signal to Noise)比を向上させることが可能になる。

今回行ったシミュレーション条件(断面図)を図3(a)に、また、保護ガラス厚をパラメータとしたタッチ検出感度($\Delta C/C$)のX-Yギャップ依存性のシミュレーション結果を図3(b)に示す。

図3(b)に示すように、タッチ検出感度を大きくするためにはX-Yギャップをより広くする必要があるが、タッチ検出感度の上昇率はギャップの増加とともに減少し、飽和していく傾向にある。また、このX-Yギャップは数mm幅のセンサ電極の中で電気伝導に寄与しない部分であるため、ギャップを広くすることは、実効的なセンサ電極幅が狭くなり、その結果、電極抵抗を高めてしまう。このため、配線抵抗の上昇を抑えつつタッチ検出感度の低下を抑える別の方法を導入することが必要になる。



(a) シミュレーション条件(断面図)



(b) $\Delta C/C$ のX-Yギャップ依存性シミュレーション結果

図3. タッチ検出感度のX-Yギャップ依存性

この課題を解決するため、従来(図4(a))は各X-Yギャップ間に1つであったフローティング電極を複数の小エリアに分離した(図4(b))。次に、そのシミュレーション結果について述べる。

図5にフローティング電極を分離した場合と分離しない場合のタッチ検出感度($\Delta C/C$)を、ITO電極と比較して示す。なお、ITOは抵抗率が高いため、ITO電極は網目状配線ではなく面形状の配線パターンを用いている。図5に示す通り、フローティング電極を分離した金属配線のタッチ検出感度($\Delta C/C$)はITO電極に対し約50%アップしている。また、フローティング電極を分離しない場合に比べても約25%アップしている。

図6にフローティング電極を分離した場合と分離しない

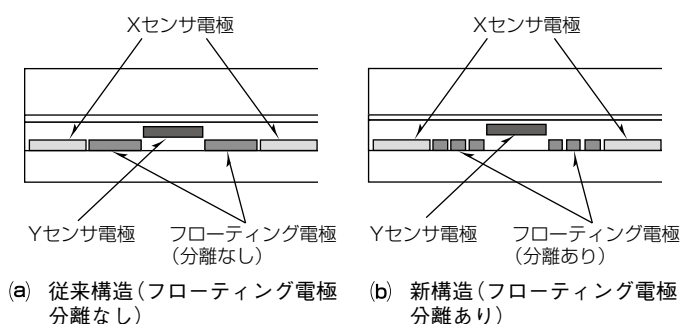


図4. センサ電極構造の比較

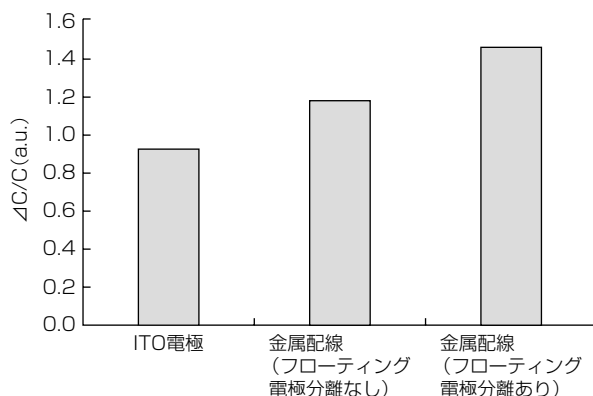


図5. タッチ検出感度($\Delta C/C$)の電極構造依存性

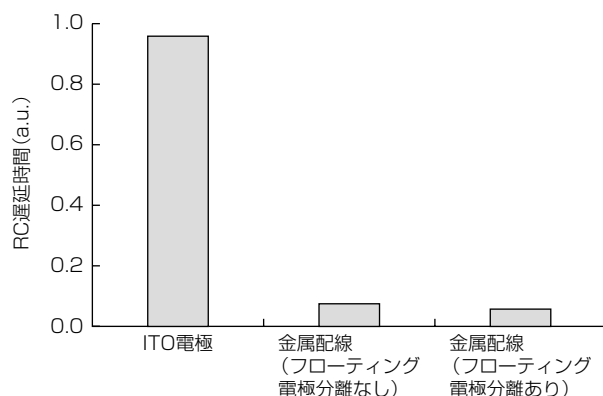


図6. RC遅延時間の電極構造依存性

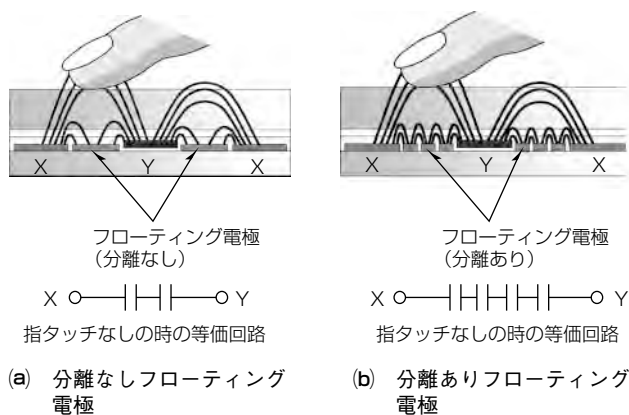


図7. フローティング電極を分離した効果

場合のRC遅延時間を、ITO電極と比較して示す。図6に示すように、金属配線を用いた場合のRC遅延時間は、ITO電極に比べ約90%小さく、またフローティング電極を分離した場合は、分離しない場合に比べ更に20%小さくなっている。

このように、フローティング電極を分離したセンサ電極構造はフローティング電極を分離しない場合に比べ、タッチ検出感度が向上し、またRC遅延時間が小さくなる。

次にフローティング電極を分離したことで得られる効果について、理由を述べる。図7は、フローティング電極を分離した場合と分離しない場合の断面図及び等価回路図を示す。

指タッチがない場合、フローティング電極はX-Y電極間で直列容量を形成する。このため、フローティング電極の分離を行った場合、直列容量数が増加し、電極間容量Cが低減する。一方、指タッチがある場合は、電界が縦方向に大きく広がるため、フローティング電極を分離した場合と分離しない場合とで電極間容量Cに与える影響はほとんど同じである。このため、両者で ΔC はほとんど変わらない。

このように、フローティング電極を分離することで、 ΔC に影響を与えることなくX-Yセンサ電極間容量Cが低減し、この結果、タッチ検出感度($\Delta C/C$)の向上及び、センサ電極のRC遅延時間を低減させることが可能となる。

なお、ITO電極の場合は電極構造が面形状であるため、電極間の電界が多く、X-Y電極間容量Cが大きくなる。この結果、タッチ検出感度($\Delta C/C$)も低下する。

5. 8.0型液晶モジュールへの適用

図8に今回開発したタッチパネル付き8.0型液晶モジュールを、表1にその仕様を示す。保護ガラス厚は1.3mm、駆動電圧は3V、座標出力レートは5ms以下の高速動作が可能である。

図9に駆動電圧3Vでのタッチ検出時の容量変化(5点タッチ時)を示す。この図に示す通り、タッチ検出位置は、はっきりと識別されている。

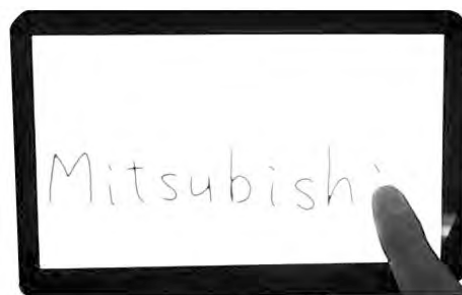


図 8. タッチパネル付き8.0型液晶モジュール

表1. タッチパネル付き8.0型液晶モジュールの仕様

保護ガラス	1.3mm厚強化ガラス
タッチパネル基板	0.5mm厚ガラス
タッチパネル・液晶間構造	オプティカルボンディング
画面サイズ	8.0型
検出方法	相互容量方式
タッチパネル透過率	90%以上
センサ幅	5.4mm
マルチタッチ数	最大10点
座標出力レート	5 ms以下
駆動電圧	3 V

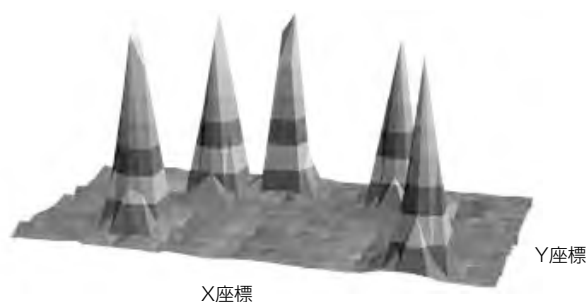


図 9. タッチ検出時の容量変化(5点タッチ時)

6. お す び

当社では、ITO材料より低抵抗のアルミ材料を用いた独自の2層構造金属配線タッチパネルを開発した。金属配線を用いた場合に課題となる表示画面の視認性については、3 μ m幅微細配線の使用、配線表面の低反射化、センサパターンの形状の工夫等によって改善した。

さらに電磁界シミュレータを用いてセンサ電極の構造の影響を解析し、センサ構造の工夫を行った。この技術を用い、3Vで動作可能な保護ガラス厚1.3mm、オプティカルボンディング構造のPCAPタッチパネル付き8.0型液晶モジュールを開発した。

参考文献

- (1) 森成一郎, ほか: 産業用投影型静電容量方式タッチパネル, 三菱電機技報, **87**, No. 5, 305~308 (2013)
- (2) 河野誠之, ほか: 屋外対応TFT-LCD技術, 三菱電機技報, **83**, No. 5, 337~340 (2009)

耐衝撃性に優れた タッチパネル搭載液晶表示装置

寺元 弘* 吉本崇広**
森 明博*
森井康裕*

Impact Shock Resistible LCD Equipped with Touch Panel

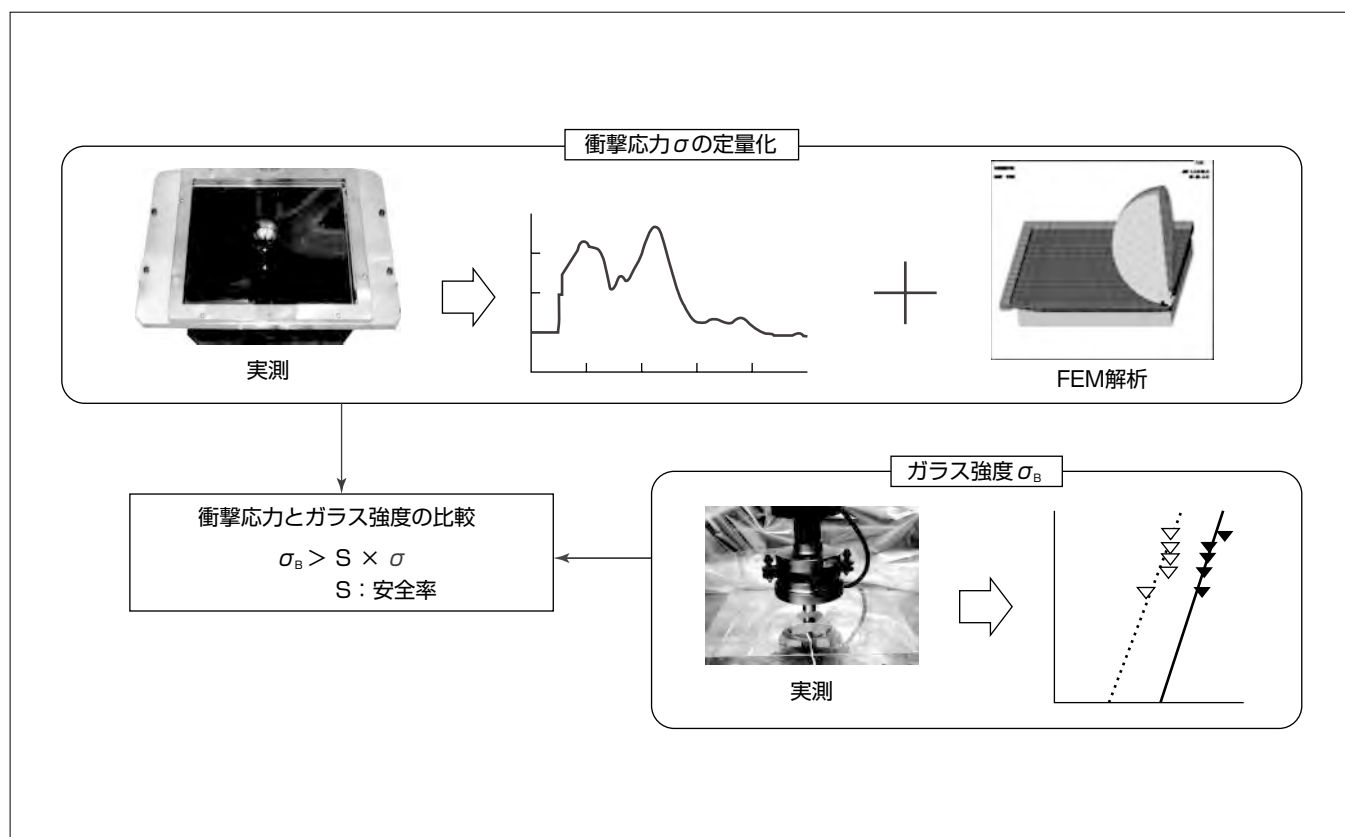
Hiroshi Teramoto, Akihiro Mori, Yasuhiro Morii, Takahiro Yoshimoto

要 旨

三菱電機で新規に開発した投影型静電容量(Projected CAPacitive: PCAP)方式のタッチパネルを搭載した液晶表示装置(Liquid Crystal Display: LCD)は従来の液晶表示装置と異なり、表示面側の最表面にカバーガラスを配置した構造である。新たな構造の採用に伴い、市場での様々な衝撃負荷に対する強度設計、及び評価手法を確立する課題が発生した。これらの課題に対して、カバーガラスに加

えられる衝撃負荷、及びガラス強度の実測と有限要素法(Finite Element Method: FEM)解析を用いて、定量的に見積りを行い、安全性の高い製品の設計手法を構築した。

本稿では、この設計手法の内容とその検証結果を述べる。また、構築した設計手法を用いて、耐衝撃性に優れた安全性の高いPCAP方式タッチパネルを搭載した液晶表示装置を開発した。



PCAP方式タッチパネルのカバーガラス強度設計手法の構成

衝撃負荷の実測を基に構築したFEM解析モデルから見積った衝撃最大発生応力と、実測のガラス強度を比較する強度設計手法の構成を示す。

1. ま え が き

当社では、2.0～19.0インチの中小型の産業用途のPOS (Point Of Sale)端末、ATM(Automatic Teller Machine)、魚群探知機、FA(Factory Automation)制御盤といったモニタ向けに様々な液晶表示装置を開発、製造している。産業用途として、広い温度範囲保証、長寿命、堅牢(けんろう)性の特性が要求されている。また、近年タッチパネルを搭載した液晶表示装置が一般的になってきている。当社でも従来抵抗膜方式のタッチパネル搭載液晶表示装置を開発・製造していたが、投影型静電容量(PCAP)方式のタッチパネルを搭載した液晶表示装置の開発に着手した。従来のタッチパネルを搭載しない液晶表示装置や抵抗膜方式のタッチパネルを搭載した液晶表示装置は、ユーザー側の表示面の最表面に偏光板やフィルムが配置されているため、パネルガラスが破損したとしても、偏光板、フィルムがガラスの飛散を防止するので、安全性は保たれていた。しかし、最表面にカバーガラスを用いたPCAP方式のタッチパネルを搭載した液晶表示装置は、ガラス破損によって従来品と比べて安全性が劣る課題がある。よって、我々はカバーガラスの強度に対する設計手法、及び評価手法を新たに開発する必要があった。今回、構築したこの設計手法を用いて、耐衝撃性に優れた安全性の高いPCAP方式タッチパネルを搭載した液晶表示装置を開発した。

2. 設計手法の開発

2.1 PCAP方式タッチパネルの構造とガラス強度に関する課題

図1に当社のPCAP方式タッチパネルを搭載した液晶表示装置の構造の一例を示す。構成部材はユーザー側からカバーガラス、粘着材、静電容量を感知するセンサアレーガラス、粘着材、LCDパネルとなっている。構造のバリエーションとして、センサアレーガラスと液晶表示装置の間の粘着材を空気層に変更しているものもある。カバーガラスはガラス自体の質感や表面保護の機能に加えて、表面に低反射(AR)、防眩(ぼうげん)(AG)、汚れ防止(AFP)、滑り性といった機能性膜を付与したり、ロゴやパターンと

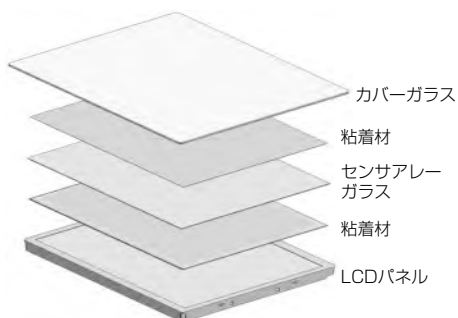


図1. PCAP方式タッチパネル搭載LCDの構造

いった印刷加飾などを行いタッチパネルの意匠板として適用されている。

ガラスは広く知られているとおり、容易に割れて、鋭利な尖端(せんたん)が露出する。市場での様々な衝撃負荷に対して、安全な製品を提供するためには、衝撃負荷に対して適正なカバーガラスの強度設計をする必要がある。屋内で携帯電話やペンがタッチパネルに落ちるような衝撃もあれば、屋外で傘で突き刺されたり、ひょうが衝突したりといった衝撃もカバーガラスに加えられる可能性がある。衝撃負荷も様々な状況が想定されるが、衝撃試験の標準としてUL60950を使用することにした。UL規格は米国の保険業者安全試験所(Underwriters Laboratories Inc.)が策定する製品安全の規格であり、材料・装置・部品・道具類などから製品にいたるまでの、機能や安全性に関して標準化されているものである。電気機器の安全要求に関して記載のあるものの1つがUL60950である。このUL60950の中に耐衝撃性に関する試験の記述がある。内容は次のとおりである。

535gの鉄球を1.3mの高さから3回自由落下させ、対象の装置が破損するか、しないかを評価するサンプル1～3台に対して、鉄球落下で3回ガラスが破損しないこと。ただし、各サンプルに対して、試験1回目は必ず破損が発生しないこと。破損しなかったサンプルは連続して試験を行い、2回目以降で破損が発生した場合はサンプルを交換する。

この試験の流れを図2に示す。

当社でもPCAP方式タッチパネルの開発当初は先に述べたUL60950に従って、評価サンプルを3台作製し、鉄球を落下させる試験を実施して、安全性を確認していた。我々は開発したサンプルに対して、この試験でガラスが破損しなければ安全性が確保できているとしていた。規格にのっとった評価ではあるが、この鉄球落下の試験では、ガラスが割れる、割れないかの判定しかできず、ガラス割れが発生しなかった場合でも、たまたま抜き取った3台のガラス、及びPCAP式タッチパネルを搭載した液晶表示装置が十分な強度であっただけで、製品量産時にPCAP方式タッチパネルを搭載した液晶表示装置の強度に実際のどの程度マージンがあって、衝撃に対して十分な安全設計ができているのか分からない状況であった。

	サンプル #1	#2	#3
鉄球落下 試験1回目	破損なし ① ↓		
試験2回目	破損なし ② ↓	破損あり ⇒ サンプル交換	破損なし ② ↓
試験3回目	破損なし ③ ↓	破損あり ⇒ サンプル交換	破損あり ⇒ サンプル交換
	合格	合格	合格

他の試験結果は、UL試験不合格を意味する。

図2. UL60950衝撃試験

◇一般論文◇

ガラス強度と衝撃応力の関係を図示すると、図3のような2つのケースが考えられる。図3(a)のケースAでは、安全性が不十分で製品としては出荷ができないものがあり、不十分な強度設計である。一方で図3(b)のケースBでは十分なガラス強度が確保されており、安全性の高い製品として出荷ができると考えられる。

当社のPCAP方式タッチパネル搭載液晶表示装置に関して、ケースBを満たす製品を設計するために、新しい手法として、衝撃応力とガラス強度を定量的に見積る強度設計手法を開発した。

2.2 衝撃応力の測定

初めにUL60950試験でのガラスに発生する応力を測定した。図4は測定方法の配置を上面方向から見た写真と断面図を示している。

PCAP方式タッチパネルはカバーガラスの周辺を治具で上下方向から外周4辺を挟み込んで固定している。カバーガラスの裏面中央にひずみゲージを貼りつけて、UL60950の条件での衝撃応力の応答波形を測定した。

図5に実測の衝撃応力の応答波形を示す。最大発生応力は約830MPa、衝撃後3.5msで検出した。

2.3 FEM解析による衝撃応力の計算

次に様々な衝撃負荷に対して、ガラスに発生する衝撃応力を定量的に求めるため、FEM(有限要素法)解析を用いることとした。条件はUL60950試験の条件を適用した。図6

にFEM解析モデルを示す。FEM解析モデルにはUL60950の鉄球落下を模擬した1/4対称モデルを用いた。前提条件として、構成部材の厚み、大きさ、物性を与えて、ガラスを挟み込んでいる外周周辺部を固定点とした。表1にFEM解析に使用した物性値を示す。鉄球落下試験での衝撃エネルギーを自由落下の運動エネルギーで入力して、時刻歴応答解析を実施した。

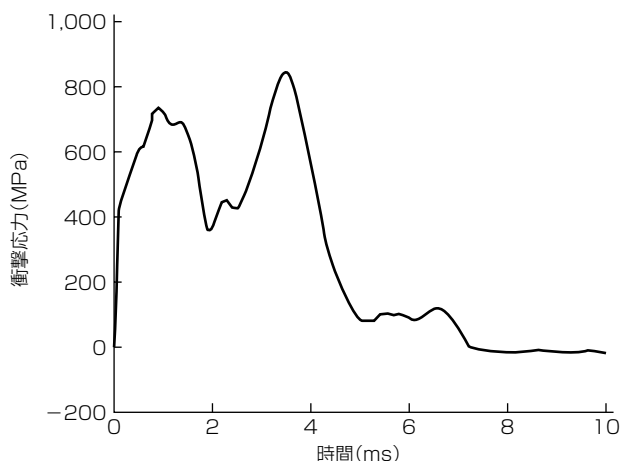


図5. 衝撃応力の応答波形

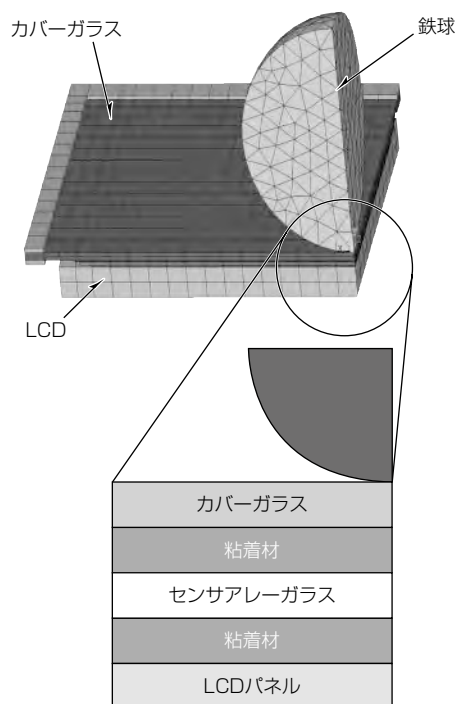


図6. FEM解析モデル

表1. FEM解析に使用した物性値

	弾性係数E (MPa)	ポアソン比 ν	密度 ρ (kg/mm ³)
鉄球	200,000	0.30	7.9E-06
カバーガラス	70,000	0.21	2.5E-06
粘着材	0.15	0.49	1.0E-06
センサアレーガラス	70,000	0.21	2.5E-06
LCDパネル	900	0.30	1.6E-06

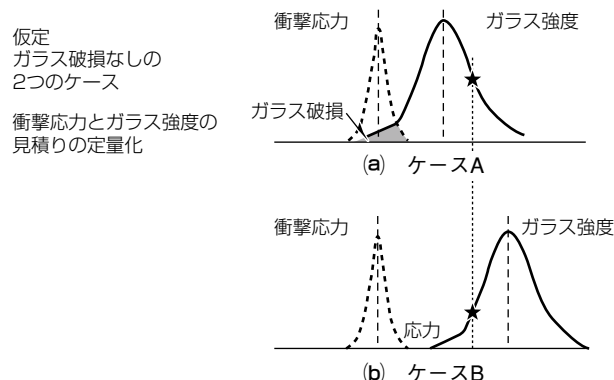


図3. ガラス強度と衝撃応力のモデル

UL60950 --- 安全性に関する標準の1つ

衝撃試験:

1. 50mm径、535gの鉄球
2. 1.3mの高さからの落下
3. 破損判定

測定方法の配置

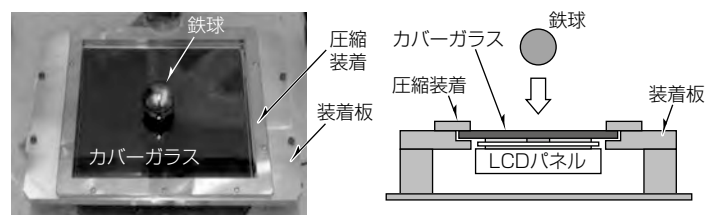


図4. 衝撃応力の測定

図7は図5の実測値とFEM解析の応答波形を重ねたプロットを示している。波形の比較で、①最大発生応力の大きさと②最大発生応力の発生時間の相違点が確認された。

最大発生応力に関して、FEM解析による応力応答が実測値よりも低くなっている。これは、このFEM解析モデルによる応力が実測よりも小さく計算されたためと推測した。微小な変形量計算はガラスと粘着材の間の境界条件に大きく依存しており、図6のFEM解析モデルでは構成モデル同士が結合しているため、実測では粘着材の弾性率が低い粘着材で連結される各部品の中立軸は分離し、曲げ変形時に独立して応力が生じるため、FEM解析と実測が一致しなかったと推察した。よって、各部品の中立軸が分離したFEM解析モデルを作成することで応答波形の強度を改善できると考えた。

また、実測された最大応力発生時間がFEM解析結果の発生時間よりも遅れている理由は、ガラスと比較してかなり小さい粘着材の粘弾性率によって応力の応答が遅くなっていると考えられた。衝撃の伝播(でんぱ)を遅らせるために粘着材に減衰パラメータDを導入することを検討した。

この2つの変更を取り入れたFEM解析モデルで解析を実施した。図8に部材間の固定条件を変更したモデルを示す。構成部材間に仮想的に距離をいれて、メッシュ要素の接点を分離し、変位の伝播の方向をZ方向に制限するカップリング拘束を付加した。

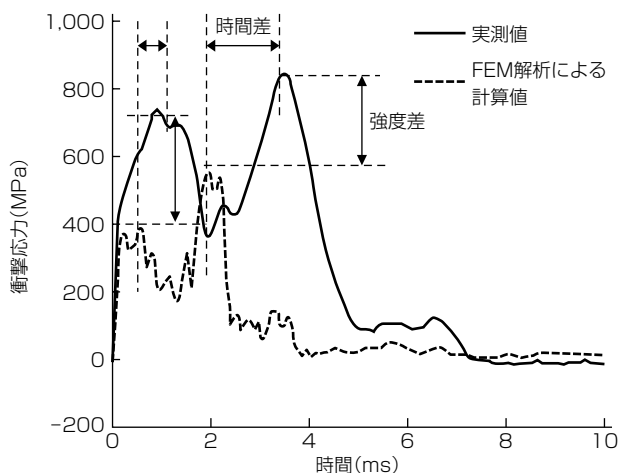


図7. 実測値とFEM解析による応力応答波形

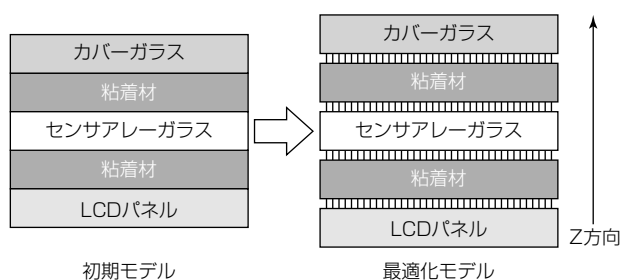


図8. FEMモデルの最適化

図9は減衰パラメータに $D = 2.00E - 03$ を用いて計算した応力応答波形と実測値との比較である。実測波形と計算波形で、最大発生応力の大きさ、最大発生応力の発生時間がかかなり一致する結果が得られた。

2.4 FEMを用いた設計手法の妥当性検証

次にFEM解析による衝撃応力見積りの妥当性の検証を試みた。検証方法はカバーガラスの強度分布の実測値と

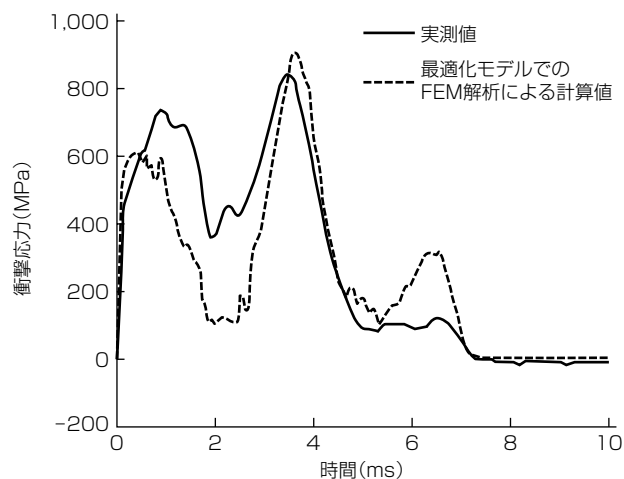
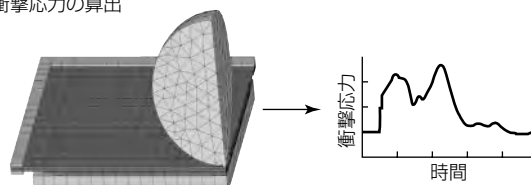
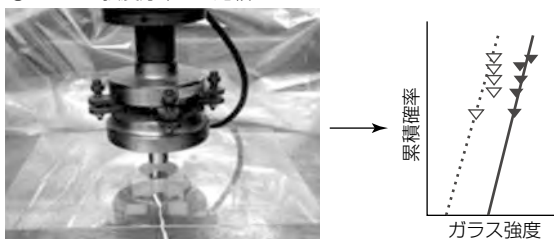


図9. 実測と最適化モデルでのFEM解析による応力応答波形

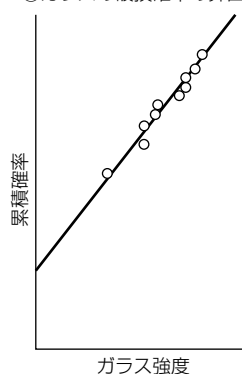
①衝撃応力の算出



②ガラスの強度分布との比較



③ガラスの破損確率の算出



④実際の鉄球落下試験での破損発生頻度測定

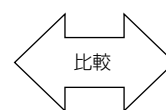


図10. 妥当性検証方法

表 2. 評価①の鉄球落下でのガラス割れ結果

535g鉄球, 1.3mの落下試験			
サンプル	試験 1 回目	試験 2 回目	試験 3 回目
# 1	OK	OK	OK
# 2	OK	OK	OK
# 3	OK	OK	OK
# 4	OK	OK	OK
# 5	OK	OK	OK
# 6	OK	OK	OK
# 7	OK	OK	OK
# 8	OK	OK	OK
# 9	OK	OK	OK
#10	OK	OK	OK

表 3. 評価②の鉄球落下でのガラス割れ結果

2.5mの落下試験	
サンプル	試験 1 回目
#11	破損あり
#12	破損あり
#13	破損あり
#14	破損あり
#15	破損あり

FEM解析で計算される衝撃応力から予想されるガラスの破損確率を計算と実測値で比較する方法を採用した。具体的な手順は、①FEM解析で落下高さを変えた時のガラスに発生する衝撃応力を算出、②別途入手したガラスの強度分布(ワイブル分布)と比較、③強度の分布から破損確率を算出、④実際の鉄球落下試験での破損の発生頻度と比較、とした(図10)。

ガラス強度分布は、引張試験機によるリングーリング曲げ試験でガラスの破損強度を実測した。PCAP方式タッチパネルに用いたカバーガラスは厚さ1.8mmで化学強化したソーダガラスである。

FEM解析による衝撃応力の見積りでは、1.3mの高さからの鉄球落下(評価①UL60950試験条件)の場合、約900MPaの応力が発生し、ガラスの強度分布から約5%の破損確率と予想される。一方で99%の破損確率は、鉄球落下2.5mの高さに相当することが計算から求められる。この計算結果に対して、鉄球を1.3mの高さから30回落下試行(評価①)した結果を表2に、鉄球を2.5mの高さから5回落下試行(評価②)した結果を表3に示す。

評価①の1.3m高さからの鉄球落下では破損率 $\leq 3\%$ 、



(a) AA104SL02-DE1



(b) AC150XA03-DE1

図11. PCAP方式タッチパネル搭載液晶表示装置

評価②の2.5m高さからの鉄球落下では破損率 $\sim 100\%$ となり、見積りとほぼ一致することが確認できた。この結果から、FEM解析による衝撃応力見積り方法は妥当性があると判断した。

3. む す び

FEM解析を使った手法ではカバーガラスに発生する衝撃応力を定量的に見積ることができ、市場での様々な要求に対して最適な設計をすることができるようになった。よって、当社では耐衝撃性に優れた安全性の高いPCAP方式タッチパネル搭載液晶表示装置を提供することができるようになった。

この手法を用いたPCAP方式タッチパネル搭載液晶表示装置として、UL60950対応の10.4インチ、12.1インチ、15.0インチの液晶表示装置を開発することができた。製品ラインアップとして、“AA104SL02-DE1”“AA104XF12-DE1”“AA121XN01-DE2”“AC150XA03-DE1”等を現在量産中である(図11)。

インテリジェントGUIシステム

宮原景泰* 南 昭宏*
木村正幸* 堀 淳志**
中川智水*

Intelligent GUI System

Kageyasu Miyahara, Masayuki Kimura, Tomomi Nakagawa, Akihiro Minami, Atsushi Hori

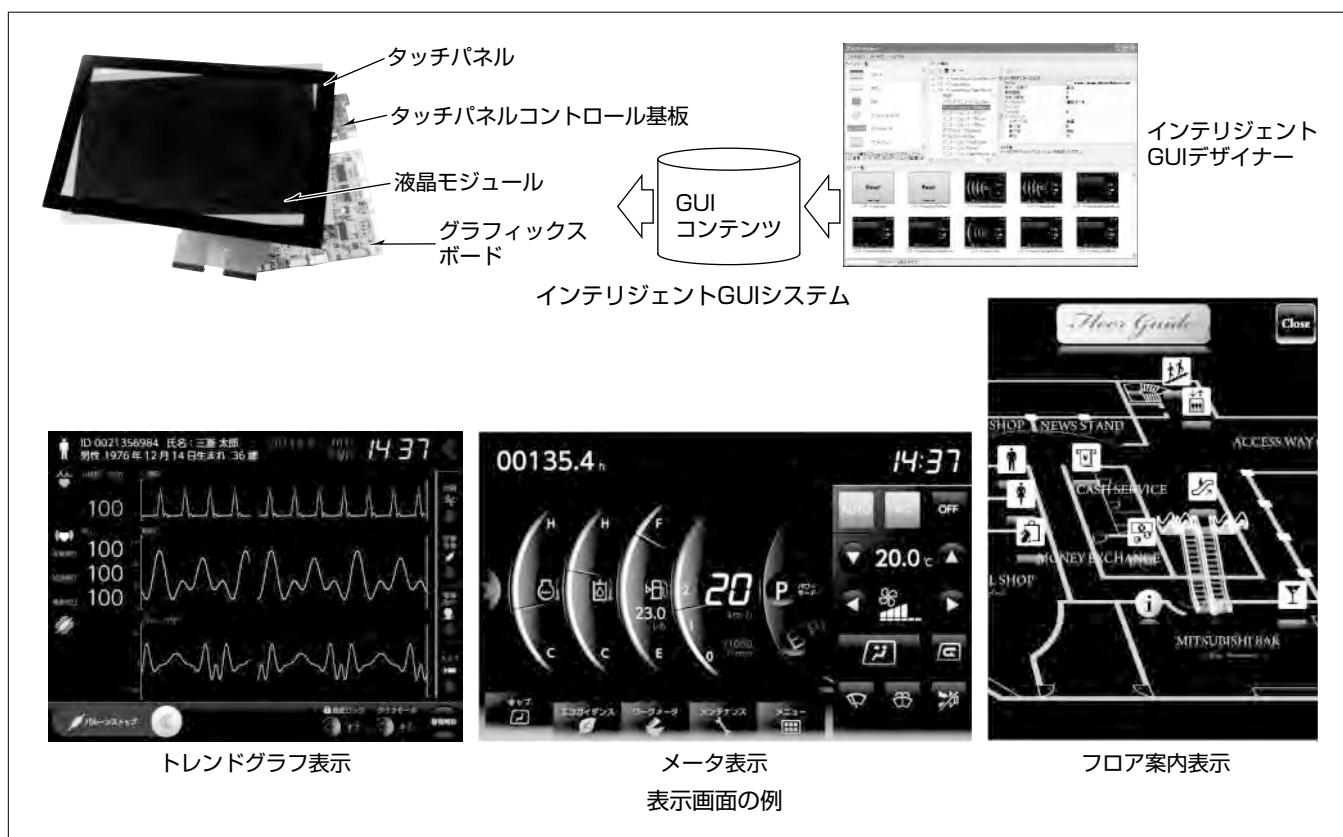
要 旨

三菱電機の産業用液晶ディスプレイ事業では、高度な表示技術をベースに、投影型静電容量(PCAP)方式タッチパネルなどの付加価値技術も取り込み、製品の差別化を進めている。さらに、システムと組み合わせたソリューションの提供を目的として、インテリジェントGUI(Graphical User Interface)システムを開発した。このシステムを用いれば、スマートフォンのような、滑らかで美しいグラフィックス表示とタッチパネル入力によるGUIが、各種産業用機器でも簡単に実現できる。

このシステムは、当社産業用タッチパネル付き液晶モジュールと、新規開発のグラフィックスボード、及び当社独自のGUI作成ソフトウェア“インテリジェントGUIデザイナー”

”で構成している。このソフトウェアで作成したGUIコンテンツをグラフィックスボードに書き込むだけで、多様なGUIを簡単に実現できる。グラフィックスボード上には、高品位なベクターグラフィックスを高速に描画でき、入力映像との合成表示も可能な描画用IC(Integrated Circuit)を搭載しており、最大毎秒60フレームでの描画が可能である。

評価の結果、描画速度確認用GUIコンテンツ(画素数800×480の画面にメータ20個、入力映像表示2個等を配置)で、毎秒60フレームの描画速度を確認した。また、針メータ4個、インジケータ2個等を含むGUIコンテンツで開発期間を比較した結果、C言語のソフトウェア開発では10日かかったのに対し、このシステムでは2日で完成した。



インテリジェントGUIシステムと表示画面例

インテリジェントGUIデザイナーで作成したGUIコンテンツをグラフィックスボードに書き込み、タッチパネル、液晶ディスプレイと組み合わせることで、多様なGUIを簡単に実現できる。例えば、計測機器等のトレンドグラフ表示画面、多数のメータやボタンを配置したメータ表示画面、アニメーションを多用したフロア案内表示画面など、幅広い用途への適用が可能である。

◇一般論文◇

1. ま え が き

近年、スマートフォンやタブレットパソコンなど、高品位なグラフィックス表示とタッチパネルによる直感的操作が可能なGUIを備えた製品が、一般に普及している。各種産業用機器でも、同様の要求が高まっているが、複雑なグラフィックス描画処理やタッチパネル処理を産業用機器上で実現するには、組み込みソフトウェアの開発が必要となり、開発期間や開発費が増大するという課題があった。そこで、滑らかで美しいグラフィックス表示とタッチパネル入力によるGUIが、簡単に実現できるインテリジェントGUIシステムを開発した。

本稿では、このシステムと性能評価結果について述べる。

2. インテリジェントGUIシステム

2.1 システム構成

インテリジェントGUIシステムは、液晶モジュール、PCAP方式タッチパネル⁽¹⁾、新規開発のグラフィックスボード、及び当社独自のGUI作成ソフトウェア“インテリジェントGUIデザイナー”から構成される(図1)。

このソフトウェアは、画面を構成する画像(アニメーション含む)と、ホスト通信データやタッチ入力データとの間の紐(ひも)付け情報、及び画面切換え等の動作定義情報をGUIコンテンツとして出力し、作成したGUIコンテンツをUSB(Universal Serial Bus)インタフェースでグラフィックスボードに書き込む機能を持つ。グラフィックスボードは、GUIコンテンツに基づいて画面表示・通信を行うため、GUI用の組み込みソフトウェアを作成する必要はなく、開発費及び開発期間が削減できる。

2.2 ベクターグラフィックス描画技術

ベクターグラフィックスは、描画図形を拡大・縮小した場合でも、図2のように、高品質に表示できる特長を持つ。これは、図形データを数式によって表現し、表示の都度図形サイズに最適な描画を行うためである。

グラフィックスボードに適用している当社独自の高速描画回路技術“Sesamicro”⁽²⁾は、このベクターグラフィックスを高速に描画可能であり、座標変換、曲線分割、ラスターライズ(表示画像生成)、カラー演算処理を効率よく実行する。一例として、ラスターライズでは、領域をタイル状に分割して処理することで演算量を削減し、さらに、タイル処理用RAM(Random Access Memory)を回路に内蔵することで高速化した。また、描画コマンドを一つ一つ受け付けて処理するのではなく、外部メモリに格納した一連のベクターデータ、アニメーションデータ等を読み込んで一括処理するようにし、アニメーション自動実行を可能とした。アニメーションデータはフレーム間の差分情報で定義し、描画図形に対する座標変換行列を指定することで、移動・

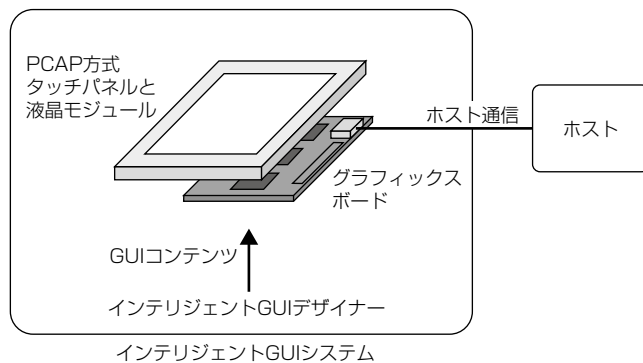


図1. インテリジェントGUIシステムの構成

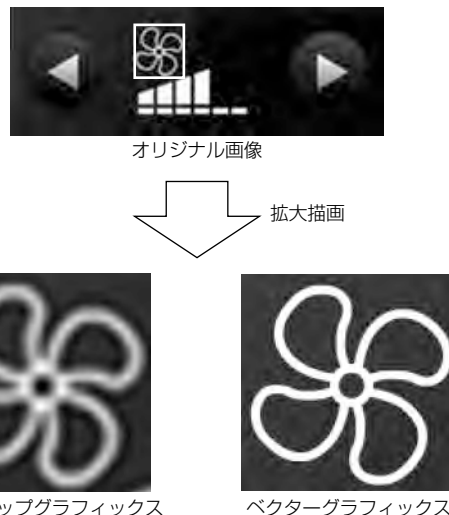


図2. ベクターグラフィックス

拡大・縮小・回転のアニメーションを高速に描画できる。

2.3 グラフィックスボード

グラフィックスボードは、LEDバックライトやタッチパネルを含む当社産業用液晶モジュールと接続して使用する。主な仕様を表1に、構成を図3に示す。

グラフィックスボードには、2.2節のSesamicroを適用した描画用ICを搭載しており、最大毎秒60フレームの高速描画が可能である。また、デジタル映像入力とアナログ映像入力の機能を持ち、入力した映像をグラフィックスと合成して表示することができる。

GUIコンテンツは、事前にUSBインタフェースでフラッシュメモリに書き込んでおく。電源投入後、マイコンがGUIコンテンツ中の画像データをSDRAMへ転送し、描画用ICを起動して表示を開始する。ホスト通信やタッチ入力データの処理はマイコンが担当し、GUIコンテンツの紐付け情報や動作定義情報に基づいて描画用ICを制御することで、ホスト通信によるアニメーション表示やタッチ操作による画面切換え等を行うことができる。

2.4 インテリジェントGUIデザイナー

インテリジェントGUIデザイナーは、例えばパソコンの音量調整に利用するスライドバーのように、単機能を持つGUI部品(以下“ウィジェット”という。)を用いて画面を構

成する。表2にインテリジェントGUIで利用できるウィジェットの例を示す。

ウィジェットに紐付ける画像ファイルにはSWF(Small Web Format)ファイルを使用する。SWFファイルは、再生用ムービーファイルの形式であり、グラフィックデザインで広く使われているIllustrator^(注1)やFlash^(注1)で作成でき

表1. グラフィックスボードの主な仕様

項目	仕様
通信インタフェース	UART/RS-232C
映像入力インタフェース	デジタル入力1(TMDS) アナログ入力1(NTSC)
GUIコンテンツ書き込み インタフェース	USB
表示色	約1,677万色(8bit/色)
画面解像度	640×480, 800×480, 800×600, 1024×768, 1280×768, 1280×800
その他の制御機能	タッチパネル制御, LEDバックライト制御
入力電圧(V)	12
許容消費電流(A)	2.2 (液晶ディスプレイ, LED, タッチパネル含む)
基板外形寸法(mm)	122.0(W)×84.8(D)×10.0(H)

UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter
TMDS: Transition Minimized Differential Signaling
NTSC: National Television System Committee
LED: Light Emitting Diode

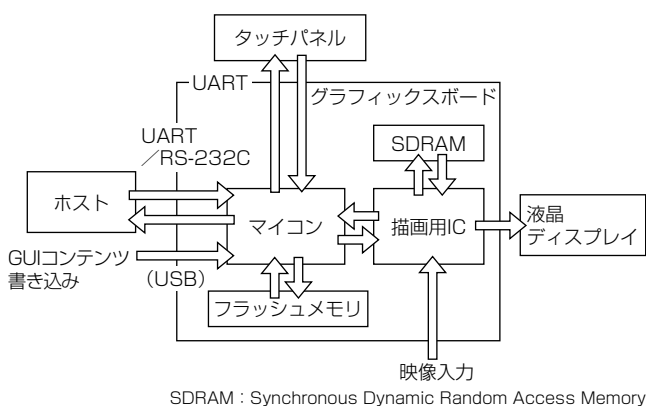


図3. グラフィックスボードの構成

表2. ウィジェット

ウィジェット名	機能
ステート	一つの画面に対応するウィジェットであり、背景となる画像を設定
アニメーションメータ	ホスト通信に対応したフレーム番号の画像を表示(アナログメータ用)
デジタルメータ	ホスト通信で指定されたデジタルの数値を表示
アニメーション	アニメーションを自動再生
アナログカメラ	アナログ入力映像を表示
デジタルカメラ	デジタル入力映像を表示
ボタン	タッチの発生, 消失に連動した動作を実行
スライダー	タッチの移動に応じて状態データを変更
スライドスイッチ	タッチの移動に応じてスイッチのオン/オフを切換え
イベントアニメーション	ホスト通信でアニメーションの開始, 停止を指定
グラフ	ホスト通信のデータで, トレンドグラフ等のグラフを表示
テキストボックス	ホスト通信で送られた文字コードから, 対応するフォントを表示

る。GUIコンテンツを作成するには、この画像ファイルを準備し、ウィジェットに画像ファイルと通信データを紐付け、動作定義を設定するだけでよい。このため、ソフトウェア開発のスキルを持たない人でも短期間にGUIコンテンツを作成することが可能である。

図4にインテリジェントGUIデザイナーの画面構成を示す。ウィジェットのリストがあるウィジェット部と、画面(ステート)ごとのウィジェットの配置を表示するウィジェット構成部と、各ウィジェットに画像ファイルや通信データ等を紐付け、動作等の設定を行うウィジェット設定部と、画面ごとにウィジェットの画像を合成して表示するステート一覧部から成る。

図5を用いてGUIコンテンツ作成の例を述べる。具体的には、タッチ動作でスライダーを移動させた際の数値を



図4. インテリジェントGUIデザイナーの画面構成

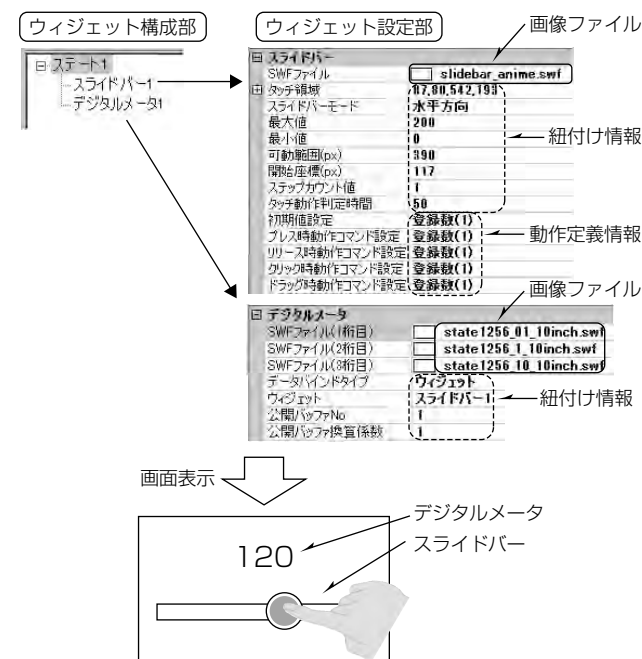


図5. ウィジェット構成と画面表示

◇一般論文◇

デジタルメータで表示するコンテンツの作成について述べる。まず、ウィジェット構成部にステートを配置し、その下に、使用するウィジェットを配置する。ここでは、スライダーとデジタルメータを配置する。次に、スライダーのウィジェット設定部で、スライダーの画像ファイル（円形の目印が左端から右端まで動く複数フレームから成るアニメーション画像ファイル）と、スライダーで表現する値の最大値と最小値（図5では200と0）、及びタッチ入力を受け付けるタッチ領域を設定する。デジタルメータに対しては、0～9の数字画像を含む10フレームの画像ファイルを3桁分それぞれに準備し、その画像ファイルを設定するとともに、デジタルメータを連動させるウィジェットとしてスライダーを紐付ける。

この手順で作成したGUIコンテンツをグラフィックスボードに書き込むと、タッチ動作に追従してスライダーの円形部分が移動する表示が行われる。これは、スライダーの、タッチ位置に応じた0～200の間の値に対応するフレーム番号の画像を表示する動作となるためである。また、スライダーの値と、デジタルメータのウィジェットを紐付けているため、スライダーの値がデジタルメータで表示される。図5では、スライダーの左端（開始位置）から全体幅の60%の部分をタッチしているため、スライダーの値は0～200の範囲の60%に相当する120となり、この値がデジタルメータに表示される。

（注1）Illustrator, FlashはAdobe Systems, Inc.の登録商標である。

3. 評価

3.1 描画速度

図6のGUIコンテンツを用いて描画速度を評価した。GUIコンテンツとしては、ホスト通信の処理負荷を与えるためホストからのデータに応じて動作するアニメーションメータを20個配置し、入力映像とグラフィックスの合成表示の処理負荷を与えるためアナログ入力映像とデジタル入力映像を配置した。また、描画速度の確認用に0から99までの数字が書かれた100フレームから成るアニメーションを配置した。このGUIコンテンツを表示させた液晶ディスプレイの画面を高速度カメラで撮影し、表示変化に要する時間を計測した。その結果、60分の1秒ごとに表示が変化しており、毎秒60フレームの描画速度が達成できていることを確認した。

3.2 GUI開発期間

インテリジェントGUIシステムの特長である、GUI開発の工数を削減する効果に関して調査を行った⁽³⁾。開発対象

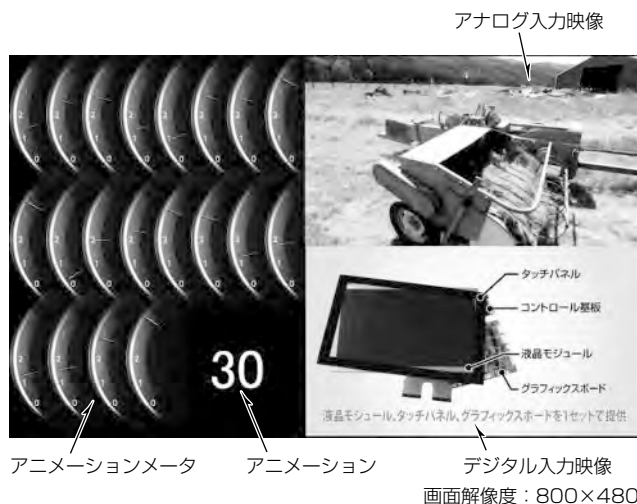


図6. 描画速度確認用画面

とするGUIは、1つの画面内に、針メータが4個、インジケータが2個、ボタン4個があり、ボタンを押すことで画面が遷移する全2画面で構成されるものとした。このGUIを、C言語によるコーディングで作成したソフトウェアは、完成に10日かかった。一方、このシステムを用いた場合、同GUIの開発が2日で完了し、C言語ソフトウェアの5分の1になることを確認した。なお、調査対象は、設計・製造・単体試験・動作確認までの期間とし、画像データ作成などのデザイン作業は含めていない。また、全229画面で構成されるGUIをこのシステムで作成したところ、3週間で開発完了となり、複雑なGUIも効率よく作成することができた。

4. むすび

インテリジェントGUIシステムについて述べた。このシステムを用いれば、高い信頼性が要求される産業用機器でも、簡単に、スマートフォンのようなGUIを実現できる。今後は、様々な顧客の要求に、より柔軟に対応できるように開発を進めていく予定である。

参考文献

- (1) 森成一郎, ほか: 産業用投影型静電容量方式タッチパネル, 三菱電機技報, **87**, No. 5, 305～308 (2013)
- (2) 加藤義幸, ほか: 組み込み機器向け文字/ベクターグラフィックス描画回路, 三菱電機技報, **85**, No.11, 644～652 (2011)
- (3) 森 健太郎, ほか: 組み込み機器向けコーディングレスGUI作成システム, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, A-15-32 (2014)