

MITSUBISHI
Changes for the Better

家庭から宇宙まで、エコチェンジ



三菱電機技報

6

2011

Vol.85 No.6

特集 「グローバル時代に向けた通信技術」



目次

特集「グローバル時代に向けた通信技術」

グローバル時代に向けた通信技術特集に寄せて	1
玉井正司	
グローバル時代における情報通信の動向と三菱電機の取組み ..	2
長瀬平明	
海外向け次世代EPONシステム	7
福田 健・木下真樹・向井宏明・川手竜介	
10G-EPONシステム技術	11
大久保啓示・上村有朋・平井達也・平野幸男	
10G-EPON光デバイス技術	15
中川潤一・小崎成治・金子進一・白井 聡	
メトロ・海底ケーブル向け40Gbs WDMシステム	19
杉原浩平・白井喜宏・末岡英樹・石田和行	
山陽・九州新幹線直通車両用列車無線移動局	23
井澤賢二・花田 豊・駒井俊彦	
小型偏波共用アンテナを用いた空間多重技術	27
元吉克幸・塚本 薫・柳 崇	
デジタルCCTVシステム	31
岡部正治・平松隆宏・山下孝一・藤田偉雄・本間 洋	

一般論文

大規模インターネットサービスプラットフォームへの サーバ仮想化技術の適用	35
吉川見平・佐藤慎太郎・山口能一・佐藤 匠・小杉英司・川野啓一	
新構造LED-B/Lを搭載したTFT-LCD	40
國生崇文・森 明博・境 誠司・糸賀賢二・岩崎直子	
湾曲ディスプレイ	44
中川直紀・藤野俊明・山縣有輔・吉本崇広・有田研二	
最新の広視野角TFT-LCD技術	48
永野慎吾・米村浩治・宮川 修・谷口敏郎	

Communication Technologies for Global Age

Foreword to Special Issue on Communication Technologies for Global Age
Shoji Tamai

ICT Trends and MELCO's Approaches in Global Age
Yoshiaki Nagase

Next Generation EPON Systems for Overseas Carriers
Takeshi Fukuda, Masaki Kinoshita, Hiroaki Mukai, Ryusuke Kawate

10G-EPON System Technologies
Keiji Okubo, Aritomo Uemura, Tatsuya Hirai, Yukio Hirano

Optical Transceiver and Device Technology for 10G-EPON Systems
Junichi Nakagawa, Seiji Kozaki, Shinichi Kaneko, Satoshi Shirai

40Gbps WDM Systems for Metro and Submarine Cable Networks
Kohei Sugihara, Yoshihiro Usui, Hideki Sueoka, Kazuyuki Ishida

Mobile Stations Corresponding to Direct Train Radio Systems for Sanyo/Kyushu Shinkansen
Kenji Izawa, Yutaka Hanada, Toshihiko Komai

Spatial Multiplexing Technology with Compact Dual-polarized Antenna
Katsuyuki Motoyoshi, Kaoru Tsukamoto, Takashi Yanagi

Digital CCTV System
Masaharu Okabe, Takahiro Hiramatsu, Koichi Yamashita, Takeo Fujita, Hiroshi Honma

Server Virtualization: Cases in Internet Service Provider

Kohei Yoshikawa, Shintaro Sato, Yoshikazu Yamaguchi, Takumi Sato, Eiji Kosugi, Keiichi Kawano

A Novel LED-Backlight System for TFT-LCD

Takafumi Kokusho, Akihiro Mori, Seiji Sakai, Kenji Itoga, Naoko Iwasaki

Curved Display

Naoki Nakagawa, Toshiaki Fujino, Yusuke Yamagata, Takahiro Yoshimoto, Kenji Arita

Latest Technology for Super-wide-viewing-angle TFT-LCD

Shingo Nagano, Koji Yonemura, Osamu Miyakawa, Toshiro Taniguchi

特許と新案

「無線装置及びSIR測定方法」	52
-----------------------	----

スポットライト

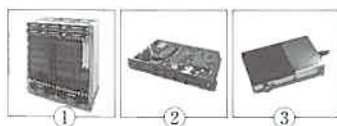
“ひかりTV”対応チューナー“M-IPS200”

表紙：グローバル時代に向けた通信技術

三菱電機では、これまで国内通信事業者向けを中心とした事業を推進するとともに国際標準化活動にも貢献してきたが、海外展開などグローバル時代に向けた取組みの強化が必要となっている。これまで培ってきた光通信、ワイヤレス通信、ホームICT (Information and Communication Technology) 分野の技術を更に発展させ、通信のグローバル化に寄与すると共に、活力とゆとりある社会の実現に貢献し続けていく。

表紙では、活力とゆとりある社会の実現に貢献する当社製品のキーシステム、キーデバイスの一例を示した。

- ① 大容量化・広帯域化を実現した次世代EPONシステム
- ② 大容量化を実現したWDM/ROADMシステムの40Gトランスポンダ
- ③ キーデバイスであるデュアルレート・バースト光トランシーバ



巻/頭/言

グローバル時代に向けた通信技術特集に寄せて

Foreword to Special Issue on Communication Technologies
for Global Age

玉井正司
Shoji Tamai



国際間のヒト・モノの移動手段は、1969年のジャンボジェット機の初飛行以来、あまり大きく変化していないが、情報の伝達手段である通信ネットワークは、同じ1969年にUCLAとスタンフォード大学間でインターネットが初めて接続され、1990年にWWW(World Wide Web)システムが構築されて以降、劇的な発展を遂げ、近年の社会・経済のグローバル化に大きく寄与した。

1837年にモールスが有線通信システムの礎となるモールス電信機を発明したわずか14年後の1851年には英ドーバーと仏カレーの間に世界で初めて海底ケーブルが敷設され、国際間通信の幕が開いた。その後、1988年敷設の大西洋横断ケーブル、1989年敷設の太平洋横断ケーブルなど、光ファイバ化された海底ケーブルが世界に張り巡らされ、国際間の通信を支えるインフラとしてなくてはならない通信ネットワークが構築された。

しかしながら、1990年代後半までは、高額の特用線を利用する大企業等を除き、一般のユーザーの国際間通信の利用は、国際電話程度に限られていた。

その後、FTTH(Fiber To The Home)等の高速・定額サービスが爆発的に普及し、一般ユーザーがインターネットを介して世界中の情報に自由にアクセスするようになったのに伴い、情報のグローバル化時代が到来した。

また、モバイルネットワークも、近年スマートフォンの比率が増えていること、ネットワークの高速化が進んでいることから、通話のための道具から、グローバル時代における情報アクセスツールへ役割が変化している。

これらの変化を支えたのが、デジタル通信技術、IP(Internet Protocol)通信技術、光通信技術、高圧縮符号化技術、情報セキュリティ技術(暗号化技術)等の通信技術の進歩である。また、これら言わばハードウェア面での技術の進歩に加え、サービス、ソフトウェア面の発展が通信のグローバル化を牽引(けんいん)した点も見逃せない。

Internet Explorer^(注1)に代表されるウェブ・ブラウザは、それまで一般ユーザーにはパソコン通信などにしか使われていなかったデータ通信ネットワークを簡単に活用し、WWW上にある情報にアクセスすることを可能にした。ま

た、Google^(注2)に代表される検索エンジンは、人々が世界中の情報から瞬時に必要な情報を探し出し、アクセスすることを可能にした。MPEG(Moving Picture Experts Group)に代表される高圧縮符号化技術は、高精細な動画データをネットワーク上でやり取りすることを可能にし、YouTube^(注3)などの動画共有サイトやIP-TVの隆盛を招いた。さらに新しい動きが、Facebook^(注4)に代表されるSNS(Social Network Service)や、Twitter^(注5)などの、個人向けの新たなコミュニケーションサービスの拡大であり、これらが物理的な距離や国境を乗り越えて瞬時に人々を結集させ、国家の体制を崩壊させるほどの社会的影響力を示したことは記憶に新しい。

一方、近年大きな流れとなっているのが、クラウドコンピューティングサービスである。各ユーザーに代わり情報システムをサービス事業者が一括して用意し、これを必要な時に必要なだけユーザーが使用するこれらのサービスは、常時高速通信が可能な光通信ネットワークの存在や、高度なセキュリティ等の技術を前提に急速に発展し、企業の情報投資の在り方を大きく変えた。これらのサービスもまた国境を越えて利用されている。

これらの動きを見ると、社会・経済のグローバル化の進展に伴って通信技術が発展したというより、通信技術の進歩こそが急速なグローバル化を推し進めたと考えるのが妥当である。グローバル時代には、世界中を瞬時に駆け巡る“情報”の重要性が非常に大きくなり、これを支える通信技術のより一層の進化が期待される。

創立90周年を迎えた三菱電機は、これまでに培った光通信、ワイヤレス通信、ホームICT分野の技術を更に発展させ、通信のグローバル化に寄与すると共に、スマートグリッド等の環境・エネルギーソリューションやホームICTサービスなどの提供に積極的に取り組み、より良い社会の実現を目指していく所存である。

(注1) Internet Explorerは、Microsoft Corp. の登録商標である。

(注2) Googleは、Google Inc. の商標である。

(注3) YouTubeは、YouTube, LLCの登録商標である。

(注4) Facebookは、Facebook, Inc. の登録商標である。

(注5) Twitterは、Twitter, Inc. の登録商標である。

巻頭論文

グローバル時代における情報通信の動向と三菱電機の取組み



長瀬 平明*

ICT Trends and MELCO's Approaches in Global Age

Yoshiaki Nagase

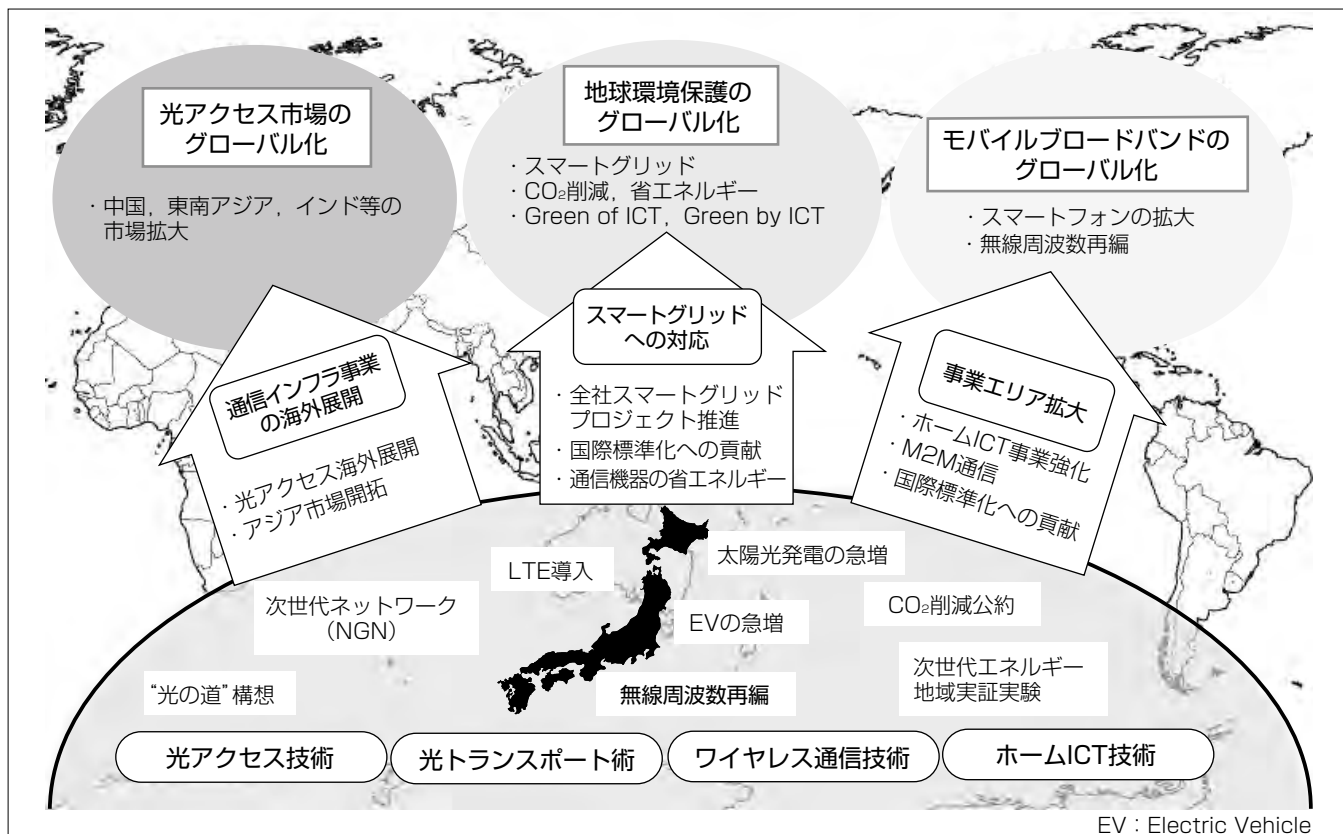
要 旨

近年の情報通信にかかわる世界の動向を概観すると、①光アクセスネットワーク敷設の流れが先進国に加えて、中国をはじめとする新興国にも拡大(光アクセス市場のグローバル化)、②世界的なモバイルブロードバンドの拡大に伴う無線周波数の新たな確保の動き(モバイルブロードバンドのグローバル化)、③世界的なCO₂削減、省エネルギーへの取組み強化(地球環境保護のグローバル化)等、グローバル時代に向けた流れが拡大している。国内では、これら①②に対応して“光の道”構想、NGN(Next Generation Network)の進展、LTE(Long Term Evolution)やWiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)導入など通信インフラが強化されている。③に対応しては、CO₂削減の国際公約を背景に太陽光発電設備の導入が急速に拡大することが予想され、スマートグリッドを支える情報通信網の整備が重要となっている。

三菱電機(MELCO)では、これまで国内通信事業者向けを中心とした光アクセスネットワーク事業、コア・メトロネットワーク事業、ワイヤレスネットワーク事業等を推進するとともに国際標準化活動にも貢献してきたが、海外展開などグローバル時代に向けた取組みの強化が必要となっている。

このような状況の中、当社では、今後、グローバル時代に向けて、①通信インフラ事業の海外展開加速、②ホームICT(Information Communication Technology)事業の強化、M2M(Machine to Machine)通信事業への新たな展開、③スマートグリッド事業への新たな対応についても取り組む所存である。

当社は、これまで培ってきた光通信技術、ワイヤレス通信技術及びホームICT技術をベースにグローバル時代への急激な変化に対応し、活力とゆとりある社会の実現に貢献し続けていきたい。



グローバル時代に対応した当社の取組み

当社は、光アクセス市場のグローバル化、モバイルブロードバンドのグローバル化、地球環境保護のグローバル化といった世界のグローバル時代へ向けた流れに対応し、通信インフラ事業海外展開の加速、情報通信にかかわる事業エリアの拡大及びスマートグリッドへの新たな対応に取り組む、活力とゆとりある社会の実現に貢献し続ける。

1. ま え が き

1.1 グローバル時代における国内外の動向

(1) 情報通信市場のグローバル化

図1に示すように2008年のリーマンショックの影響で世界経済は大きく落ち込んだものの2010年以降は、中国をはじめとする新興国経済が急激に回復して世界経済を牽引(けんいん)、先進国も緩やかな回復が見込めるようになった⁽¹⁾。情報通信市場は、国内では“光の道”構想によるFTTH(Fiber To The Home)の強化、LTEなどのモバイルブロードバンドに対応した成長は見込めるものの、今後、市場規模では新興国向け情報通信市場が急拡大する。

(2) 光アクセス市場のグローバル化

我が国が世界に先駆けて取り組んできた光アクセスネットワークは、図2に示すように今や韓国・中国等の東アジア各国、米国、ロシア、欧州等、世界各地で普及が進行、世界規模の市場が立ち上がり始めている。

(3) モバイルブロードバンドのグローバル化

モバイル端末の進化、多様化、クラウド活用の進展によって個人でもビジネスでも社会生活におけるネットワーク

利用が急速に拡大している。特にモバイルブロードバンド時代に向けて、世界各国では経済成長策としてのICT政策とも連動して無線周波数再編の動きが活発化している。こうした中で近年、新たなビジネスを模索する形でホームネットワーク、ホームICTやセンサネットワーク、M2M通信等の分野が注目されている。

(4) 地球環境保護のグローバル化

世界的なCO₂削減、省エネルギー、化石燃料依存からの脱却等の流れの中で、海外では北米を中心に老朽化した電力設備の更新を契機としてスマートグリッド構築への動きが活発になっている。スマートグリッドは、電力の流れを供給側・需要側の双方から制御し、電力の需給バランスを最適化することが1つの大きな目的であり、供給側と需要側の双方向通信を実現する情報通信網が重要な役割を担っている。

北米のNIST(National Institute of Standards and Technology)を中心にスマートグリッドを管理・制御・監視する情報通信網の業界標準化を目的としてIEC(International Electrotechnical Commission)、IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)等の世界の主な標準化機関と連携した技術標準策定に向けた活動が活発化している。国内では、CO₂削減の国際公約を背景に太陽光発電設備や電気自動車導入の急な拡大が予想され、これに対応した新たな電力設備としてスマートグリッドの構築が必要となり、経済産業省、総務省等の主導で国内外での地域実証プロジェクトが活発となっている。

1.2 グローバル時代に向けた当社の取組み

当社はこれまで国内通信事業者向けを中心に光アクセスネットワーク、光コア・メトロネットワーク、ホームICT関連宅内機器及びワイヤレス通信装置の研究開発、製品開発を推進してきた⁽²⁾。その中で国際標準化活動への貢献、通信装置の低消費電力化にも取り組んできた⁽³⁾⁽⁴⁾。さらにこれまでに述べたグローバル時代への大きな流れに対応して、次に示す新たな活動に取り組んでいる。

(1) 通信インフラ事業の海外展開

国内における光アクセス事業の実績と高速・大容量化に向けた先行的な開発実績をもとにアジア地域をターゲットとした光アクセスシステムの事業展開を進めている。

(2) 事業エリア拡大

ホームICTビジネスの拡大に向けて、国内主要通信事業者、サービス事業者向けのIP-STB(Internet Protocol-Set Top Box)、HGW(Home GateWay)の高性能化・高機能化に向けた開発を推進している。また、ワイヤレス通信関連では、LTE対応フェムトセル基地局の研究開発やM2M通信対応の無線基地局の開発に取り組んでいる。

(3) スマートグリッドへの対応

当社は、昨年5月から尼崎地区(尼崎市)・和歌山地区(和歌山市)・大船地区(鎌倉市)でスマートグリッド実証実

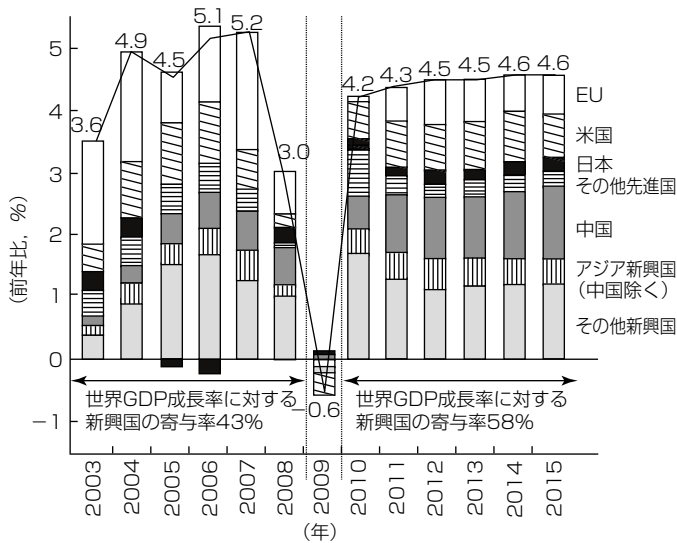


図1. 世界GDP成長率における主要各国の寄与率

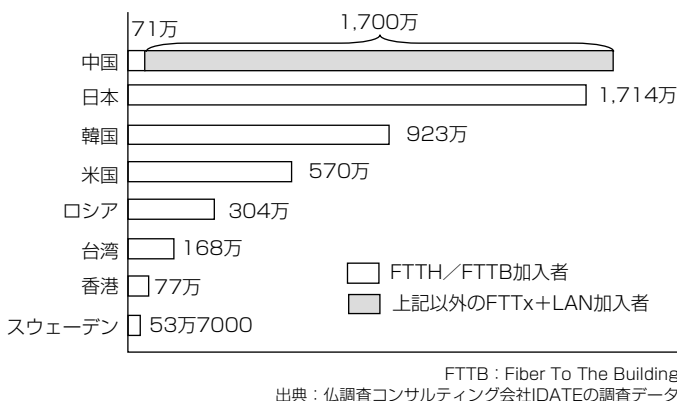


図2. 世界のFTTH/FTTB加入数上位8ヵ国(2009年12月)

験に着手し、技術検討、動作検証等を推進している。大船地区では、実証ハウス(大船スマートハウス)を構築し、HGWによる宅外システムと連携した電力の見える化、HEMS(Home Energy Management System)、ホームICTサービス等の実証実験や、電力会社向けに次世代電子メータ(スマートメータ)の自動検針に必要な機能の開発にも取り組んでいる。

本稿では光アクセスネットワーク、光コア・メトロネットワーク、ホームICT、及びワイヤレス通信の各事業分野における動向を俯瞰(ふかん)し、グローバル時代に対応した当社の取組みについて述べる。

2. 光アクセスネットワーク

2.1 市場動向

国内光アクセス設備は、2009年度末時点で全国の91.6%のエリアに設備が導入され、国内主要通信事業者によるNGN普及促進ともあいまってユーザー数を伸ばしてきたが、利用率(ユーザー加入率)は33.4%に過ぎない⁽⁵⁾。この状況を受けて2010年、総務省は、2015年までにこの利用率を100%とすることを目指す“光の道”構想を発表している。

一方、海外でも近年、光アクセス市場が急激に拡大しているが、中でも、中国では2010年3月に政府が光ファイバ・ブロードバンド網整備に関する政策を公表し、今後3年間で2兆円を投じ、5,000万加入以上の新規ユーザー獲得を目標としている⁽⁶⁾。

2.2 技術動向

光アクセスネットワークは、1 Gbpsから10Gbpsへの移行期に入りつつある。2009年9月のIEEE802.3avにおける10G-EPON(10Gbps-Ethernet Passive Optical Network)標準化完了、ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standard Sector) G.984 G-PONとの物理レイヤ規定の共通化によって10GbpsクラスのPONシステム(次世代PONシステム)の製品化開発が加速している。また、次世代PONシステムでは、高速・大容量化に伴って低消費電力化がますます重要な要求条件となっている。

2.3 当社の取組み

当社は、光アクセスネットワークの国際標準化活動では、IEEE、ITU-Tで活動開始当初から積極的に参画・貢献するとともに、国内通信事業者に標準採用されているGE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)の先行開発ベンダーとして国内市場で大きなシェアを持っている。市場のグローバル化と伝送速度の高速化への流れを踏まえ、現在は国内及びアジア市場を主なターゲットとした10G-EPONシステムの製品開発に取り組んでいる。国際市場対応では、局設備の大容量化、各国の要求仕様に合わせてONU(Optical Network Unit)のシリーズ化等、国内とは

異なる要求仕様へのカスタマイズに対応するとともに、これまでGE-PONの省エネルギー化で蓄積してきた技術をベースにさらなる消費電力の低減に取り組んでいる。

3. 光コア・メトロネットワーク

3.1 市場動向

2010年5月時点の国内ブロードバンドサービス契約者のダウンロードトラフィックの総量は推定で1.45Tbps(テラ：10¹²)に達し、1年間で17.8%増加している⁽⁷⁾。特に図3に示すように携帯電話の動画トラフィックの増加が著しく、今後はスマートフォンの拡大によって増加傾向はますます勢いを増すことが予想される。また、情報通信環境のグローバル化によって国際間のトラフィックも大幅に増加している。

3.2 技術動向

この膨大なトラフィックの流通を支えているのが海底ケーブルシステム及びコア・メトロ系通信システムである。これらのシステムは、1980年代から光増幅技術、波長多重技術、分散補償技術、誤り訂正技術といった大容量化を実現する様々な光トランスポート技術とともに発展を遂げてきた⁽⁸⁾。これらの技術は、当社も長年にわたって培ってきた技術であり、近年では大容量化を実現しつつ、より一層の装置の低コスト化、低消費電力化を満足することが従来にも増して重要になっている。

3.3 当社の取組み

当社は、1990年代後半から今日まで、主に10Gbpsの波長多重伝送システムを海底ケーブルシステムなどに数多く供給してきた。また、コア・メトロ系での大容量化、低コスト化、信頼性向上といった要求条件に対応して、光分岐挿入多重技術を適用した40Gbps伝送によるOADM(Optical Add/Drop Multiplexer)を製品化している。今後のさらなる大容量化、低コスト化、低消費電力化に向けて、現在は伝送距離を伸ばすための予等化方式の検討や100Gbps伝送に向けた先行的な研究開発に取り組んでいる。

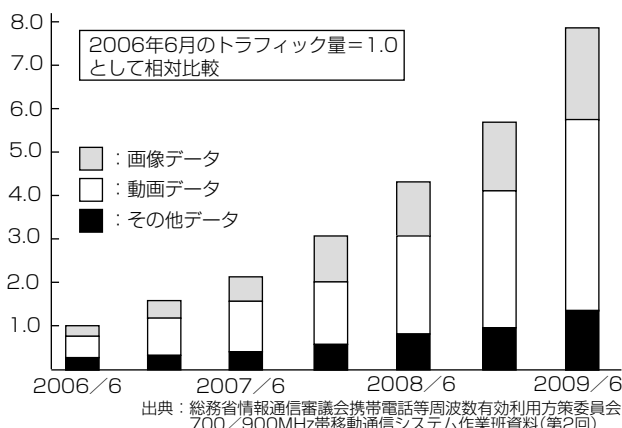


図3. ある携帯電話事業者のトラフィックの伸び

4. ホームICT

4.1 市場動向

ホームICTとは、住宅内のホームネットワークに接続された家電機器、AV(Audio Visual)機器、住設機器、情報通信機器等をHGWやスマートメータを介して宅外ネットワークに接続し、防犯・防災、ヘルスケア、エンターテインメント、省エネルギー等、様々な家庭向けサービスを提供可能とするICTで構築するサービス基盤である(図4)。

住宅・家庭は、ホームオートメーションの名のもとにICTによる成長が期待されてきた分野であるが、工場やビル・オフィスと比較してネットワーク化が遅れている領域でもある。要因としては、多くの家電機器が通信インタフェースを備えていないこと、住宅内での配線工事の困難さ、導入コストの高さなどが挙げられる。こうした中、近年、無線LAN、特定小電力無線、Bluetooth^(注1)といった無線技術の進展、少子高齢化を背景に安心・安全・便利な家電機器に対するニーズの高まりによって、家電製品のネットワーク化による付加価値向上が注目され始めている。加えて、地球環境保護の意識向上によって家電機器の省エネルギー／電力の見える化、スマートグリッドによる家庭内エネルギーの需給バランス制御といった新たなニーズが芽生えつつある。

(注1) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc. の登録商標である。

4.2 技術動向

ホームネットワークにかかわる技術標準は、近年では、短距離無線技術を活用したZigBee^(注2)、Z-Wave^(注3)や、国内で誕生しIECで国際標準化されているECOHNET(Energy Conservation and Homecare Network)などが注目されている。また、ITU-TでもホームネットワークとNGNサービスを連携させるための標準化活動が行われており、当社は、宅外ネットワークとホームネットワークの連携制御、NGNと等価なQoS(Quality of Service)保証の方式規定の検討等に貢献している。

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

(注3) Z-Waveは、Sigma Designs, Inc. の登録商標である。

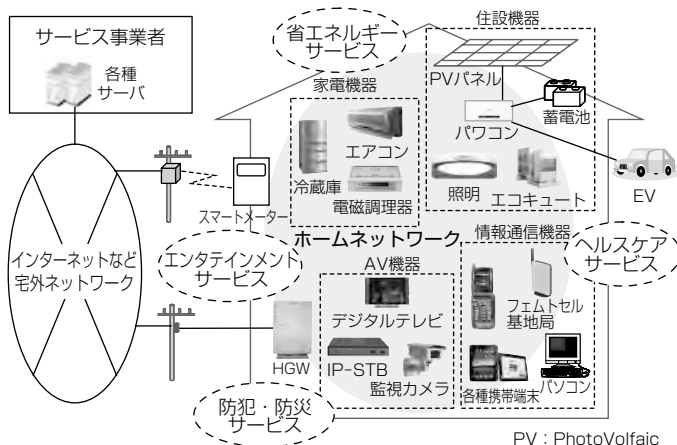


図4. ホームICT

4.3 当社の取組み

当社では、これまでホームICTを実現する上で重要なIP-STB、フェムトセル基地局及びHGWなどの技術開発を進めてきたが、近年は通信事業者やサービス事業者のサービス向上を実現するため、さらなる性能向上、機能拡張が求められている。現在、IP-STBはDLNA(Digital Living Network Alliance)機能などの追加、LTE対応フェムトセル基地局の研究開発、HGWはスマートフォンとの連携などの開発を進めている。

ホームICTは、その有効性を確認するために実地環境での実証実験を行うことが重要である。当社では、先に述べた“大船スマートハウス”でHGWを活用した安全・安心サービス、遠隔監視サービスなどの検証を行っている。

5. ワイヤレス通信技術

5.1 国内市場動向

国内では、携帯電話の普及は一巡したが、より高機能な端末やスマートフォンの普及が始まり、高速で周波数利用効率の高いLTE方式が2010年12月に商用サービス開始された。オフィスや家庭だけでなく、新幹線の列車内でも無線LANなどのブロードバンド無線サービスが利用できるようになり、そのニーズはますます高まっている。

5.2 海外政策動向

各国・地域が、ICT産業の発展を成長戦略の柱の1つに据えてブロードバンド通信基盤の整備と利活用を促進する政策を打ち出している。それらの政策はいずれも光に加えて無線ブロードバンドも重要なテーマに位置づけており、必要な周波数確保・周波数再編の動きも活発化している。

(1) 米国

2010年に連邦通信委員会(FCC)が発表したNational Broadband Planで、2020年までに新たに500MHz幅をワイヤレスブロードバンドに割り当てる方針を示した⁽⁹⁾。さらに2011年2月、オバマ大統領は今後5年で米国民の98%がブロードバンド無線サービスを受けられるようにすると宣言した。

(2) 欧州

2010年5月に欧州委員会が発表したDigital Agenda for Europeで、固定・無線を組み合わせながらブロードバンド基盤を整備する方針を示し、周波数確保の必要性にも言及している⁽¹⁰⁾。

(3) アジア

中国は“三網融合”“物聯網”政策をモバイルやM2M通信にも重点を置いて進めている。インドは2010年にNational Broadband Planを発表して、光と無線によるブロードバンド通信基盤整備を計画している。

5.3 我が国の政策動向・技術動向

総務省の“グローバル時代におけるICT政策に関するタスクフォース・ワイヤレスブロードバンド実現のための周

波数検討ワーキンググループ”で、将来に向けた電波利用の展望と周波数確保の方針等が検討され、移動通信サービスのトラフィックが2017年には2007年比で約200倍に増大するとの予測も踏まえ、2020年までに新たに1,500MHz幅の周波数確保を目標とする方針が出された⁽¹¹⁾。

新たに周波数確保が必要な用途としては、携帯電話などの高速・大容量化への対応、鉄道などのワイヤレスブロードバンド環境の充実、スマートメータやセンサネットワークの実現等が挙げられている。これらの実現には、必要となる周波数確保とともに、次世代移動通信システム(IMT(International Mobile Telecommunications)-Advanced)の導入、ホワイトスペース活用やコグニティブ無線といった周波数有効利用技術・周波数共用技術の研究開発も重要である。

5.4 国際標準化動向

ITU-R(ITU-Radiocommunication Sector)で、次世代国際標準規格IMT-Advancedシステムが検討されている。2010年10月にはLTE-Advanced方式(3GPP(3rd Generation Partnership Project)提案)とWireless MAN Advanced方式(IEEE提案)が選定され、2012年1月ごろの正式勧告化を目指して標準化作業が続けられている。

5.5 当社のこれまでの取組み

(1) フェムトセル基地局装置

トラフィックの爆発的な増大に対応するため、宅内で高速かつ安定した通信環境を提供し同時にマクロセル基地局の負荷を低減できるフェムトセル基地局が注目されている。当社は、HSPA(High Speed Packet Access)方式及び㈱NTTドコモの“マイエリア^(注4)”に対応した高性能フェムトセル無線基地局装置を開発・納入し⁽¹²⁾、2009年11月から商用サービスが開始された。

(2) 衛星電話サービス

広いエリアを効率的にカバーし、地上系無線システムと相互に補完しあう㈱NTTドコモの衛星電話サービス“ワイドスター^(注4)Ⅱ”システムについても、衛星基地局装置と衛星移動局装置を開発・納入し⁽¹³⁾、2010年4月から商用サービスが開始された。

(3) 列車内ブロードバンド化

当社は、高速鉄道デジタル列車無線システムに高周波光伝送、送信ダイバーシティ技術を適用するなど、列車無線の大容量化・高品質化に注力してきた。地上～車上間での大容量通信と無線LANアクセスポイントなど車内ネットワークとの連携によって、新幹線車内でのインターネットサービスの提供を実現している。

(4) 新たな無線通信利用分野

スマートメータやセンサネットワーク等のM2M通信は、今後拡大が期待される分野である。これらの用途では、低消費電力かつ低コストで柔軟なネットワーク設計が求められる。当社も、大規模メッシュネットワーク技術などの、

M2M通信に適した無線通信方式・通信プロトコルの研究開発と製品開発を進めている。

(注4) マイエリア及びワイドスターは、㈱NTTドコモの登録商標である。

5.6 当社の今後の取組み

無線通信分野では、新しい周波数を利用した新しいサービス・市場が生まれる枠組みが醸成されつつある。当社は、長年の無線通信システム製品の実績をもとに、積極的に技術開発・製品開発を行っていく所存である。

6. む す び

グローバル時代における情報通信の動向と当社の取組みについて、光アクセスネットワーク、光コア・メトロネットワーク、ホームICT、及びワイヤレス通信の事業分野ごとに述べた。それぞれの詳細は、後続の特集論文を参照いただきたい。

当社は、グローバル時代の急激な変化に対応し、活力とゆとりある社会の実現に向けて、今後もより一層の技術力の向上、研鑽(けんさん)に取り組む所存である。

参 考 文 献

- (1) 経済産業省：平成22年度版通商白書(2010)
- (2) 長瀬平明：暮らしを支えるネットワークの現状と展望，三菱電機技報，**83**，No.6，352～356(2009)
- (3) 加藤雅敏，ほか：次世代ネットワーク関連事業の課題と展望，三菱電機技報，**82**，No.2，118～122(2008)
- (4) 下笠 清，ほか：進化する通信技術の現状と展望，三菱電機技報，**84**，No.8，426～429(2010)
- (5) 総務省：グローバル時代におけるICT政策に関するタスクフォース 過去の競争政策のレビュー部会第18回会合 参考資料(2010)
- (6) 裘春暉：中国 固定・モバイルブロードバンドの高速化に伴って利活用が進展するか，ICT World Review，**3**，No.2(2010)
- (7) 総務省：わが国のインターネットにおけるトラヒック総量の把握(2010)
- (8) 一番ヶ瀬広，ほか：次世代トランスポート技術，三菱電機技報，**82**，No.2，127～130(2008)
- (9) 米国FCC：National Broadband Plan(2010)
- (10) 欧州委員会：Digital Agenda for Europe(2010)
- (11) 総務省：「ワイヤレスブロードバンド実現のための周波数検討ワーキンググループ」とりまとめ(2010)
- (12) 中澤正幸，ほか：高性能フェムトセル無線基地局装置，三菱電機技報，**84**，No.8，445～448(2010)
- (13) 安田周平，ほか：衛星移動通信システム対応無線装置開発，三菱電機技報，**84**，No.8，441～444(2010)

海外向け次世代EPONシステム

福田 健* 川手竜介**
木下真樹*
向井宏明**

Next Generation EPON Systems for Overseas Carriers

Takeshi Fukuda, Masaki Kinoshita, Hiroaki Mukai, Ryusuke Kawate

要 旨

国内のみならず海外でも、インターネットの普及によってアクセス回線のブロードバンド化が急激に加速している。なかでも中国はFTTx加入者数で2010年に先行していた日本を逆転した。

三菱電機は、これまで国内向け中心にFTTH(Fiber To The Home)サービスを提供するためにGE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)システムを開発、製品化してきたが、今回、海外通信事業者のニーズに対応するため大容量化・広帯域化を実現した次世代EPON(Ethernet Passive Optical Network)システムを開発した。

このシステムは、通信事業者局舎内に設置される光加入者線端局装置(Optical Line Terminal:OLT)、ユーザー宅内またはユーザービル構内に設置される光加入者線終端装置(Optical Network Unit:ONU)、及びそれらを監視・制御するオペレーションシステム(Element Management System:EMS)で構成している。

本稿では、GE-PONに関する標準化動向、及び今回開発した次世代EPONシステムの構成と従来のGE-PONシステムに対して新たに導入した次の3つの主要技術について述べる。

(1) 大容量化

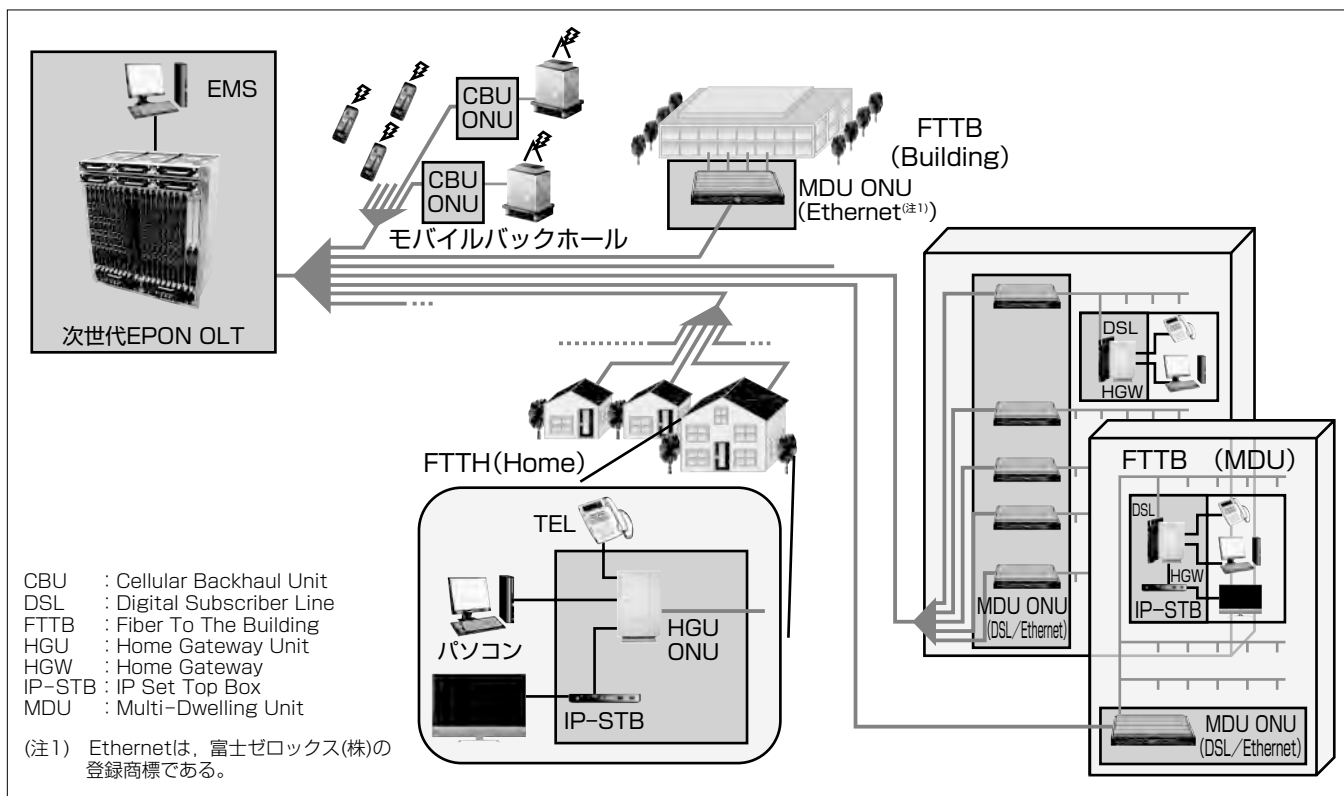
基板あたりのPONポート数を8ポートとすることで、OLTあたり最大128PONポート収容を実現した。また、多ポート化実現のため、基板間インタフェースは10Gbps高速シリアル転送を実現した。

(2) レイヤ2スイッチ

1G PONインタフェースを128ポート収容し、数百Gbpsのスイッチ容量を具備したレイヤ2スイッチ機能を実現した。

(3) 冗長化構成

監視制御部やレイヤ2スイッチ部等の共通部をはじめ、装置内各部について冗長化構成による高信頼化を実現した。



多様なサービス形態を収容する次世代EPONシステム

当社はこれまで国内事業者向けにGE-PONシステムを提供してきた。今回開発した次世代EPONシステムは、大容量化によるブロードバンドアクセス回線への対応、また、FTTH/FTTB等、多様なサービス形態に適用するONUの収容を実現することで、海外を含めたグローバル市場への展開に対応する。また、広帯域化によって、トラフィックの増加への対応のみならず、携帯端末基地局収容等への適用も可能となる。

1. ま え が き

近年のアクセス回線のブロードバンド化に対して、グローバル市場では、OLTの大容量化・広帯域化、レイヤ2スイッチ機能内蔵による高集積化、さらにホームユースだけでなくビジネスユースにも適用可能な高信頼化に対する要求がある。

本稿では、当社が開発した海外向け次世代EPONシステムの装置と特長について述べる。2章ではEPONの標準化動向を紹介し、3章ではシステム主要諸元、4章では、このシステムの特長である、大容量・高集積、内蔵レイヤ2スイッチ、冗長構成について述べる。

2. 標準化動向

GE-PONは、IEEE802.3にて標準化されており、光の波長、送信電力、受信感度などを規定する物理層と、データの送受信手順を規定するMAC(Media Access Control)層が規定されている。保守運用機能、冗長化機能等の上位機能については、IEEE802.3のスコープ外であり各ベンダーの独自仕様となっていた。しかしながら、通信事業者が異なるベンダーの装置を相互接続して運用しており、従来、規定されていなかった上位機能についても標準化の要求があった。このような状況の中、2010年1月よりIEEE P.1904.1(Service Interoperability EPON：SIEPON)⁽¹⁾で、サービスレベルでの相互接続実現を目的とした保守運用機能、冗長切替機能等の上位レイヤに関する標準化が開始され、2012年6月完了を目標として進められている(図1)。当社も、SIEPONについて省電力機能、冗長切替などのタスクフォースに参画し、標準化活動を推進している。本稿で示す次世代EPONシステムは、最新の標準化動向に基づいており、異なるベンダーとの相互接続にも対応可能となっている。

3. システム概要

3.1 システム構成

このシステムは通信事業者局舎内に設置されるOLT、

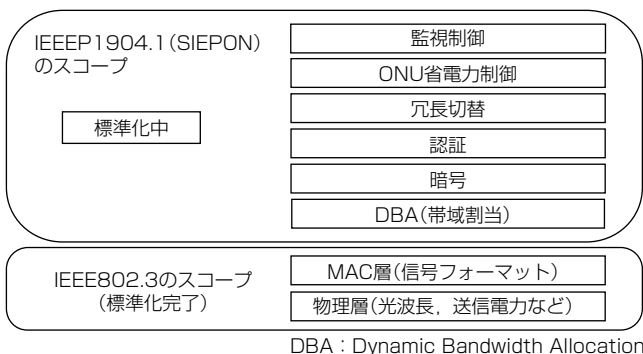


図1. IEEEにおけるEPON標準化動向

ユーザー宅内またはユーザービル構内に設置されるONU、及びそれらを監視・制御するEMSから構成される。OLTについては19インチラックに収容可能であり、OLT収容可能なインタフェース基板の最大数は16枚であり、さらに1G PON-IFと10G PON-IFの混在収容が可能である。また、監視制御基板及びレイヤ2スイッチ基板については、冗長化を可能としている。

3.2 主要諸元

主要諸元を表1に示す。

4. 主要技術

4.1 大容量化

表1に示すように、PONインタフェース基板は、基板あたり8PONポート収容を実現している。図2にOLTの外観を示す。PONポートごとにIEEE802.3準拠のMPCP(Multi-Point Control Protocol)を終端する機能部を持っている⁽²⁾。PONインタフェース基板を16スロット実装可能なため、最大128PONポート分収容可能である。このシステムでは、OLTは集線機能もサポートし、大容量レイヤ2スイッチを内蔵することで、これを実現している。このような大容量スイッチでは、基板間すなわちバックボードの信号配線の増加が課題であるが、これを10GBASE-KRインタフェースに基づく10Gbpsバックボードシリアル転

表1. 次世代EPONシステムの主要諸元

項目	諸元
装置諸元	
ユニットサイズ	19インチラック収容 12U高さ(図2)
スロット構成	インタフェース：16 監視制御：2 レイヤ2スイッチ：2 機能拡張スロット：2
インタフェーススロット 当たりのポート収容数	8PONポート/スロット (最大128PONポート/ユニット)
PONポート当たりの分岐数	最大64分岐
レイヤ2スイッチ容量	480Gbps
機能諸元	
冗長制御機能	(1) PONインタフェース基板 (PONプロテクション機能) (2) 監視制御基板 (3) レイヤ2スイッチ基板 (4) 電源供給 (5) EMS
マルチキャスト機能	SCB(Single Copy Broadcast)による IGMP/MLD転送
保守運用機能	(1) Triple Churningによる暗号化 (2) ONU認証 (MACアドレス/LogicID/混合) (3) プロトコルフィルタリング
その他	
電源電圧	DC-48V
動作温度範囲	-5℃～45℃(屋内)

IGMP : Internet Group Management Protocol
MLD : Multi Listener Discovery

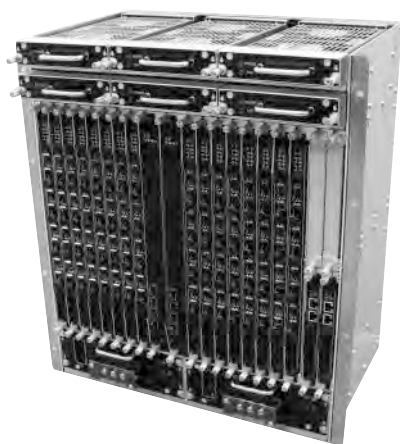


図 2. EPON OLTの装置外観

送を実現することで配線数を低減した。

4.2 レイヤ2スイッチ

複数のPONインタフェース基板を収容するレイヤ2スイッチについて、大容量化のトレンド及びこのシステムで適用したスイッチ構成について述べる。

4.2.1 スwitchの大容量化

複数の10GEポートを具備した大規模スイッチ装置は、これまでコアネットワークでの適用が主流であったが、アクセスネットワークのトラフィック増加に伴い、アクセスネットワークに適用するケースが増えてきている。

これに伴い、10GEポートを具備した大容量のスイッチチップやスイッチチップセットが市販されるようになってきている(図3)。

数年前までは、1チップで数10Gbps規模のGbEポートを多数備えたスイッチが主流であったが、現在では、1チップで数百Gbpsのスイッチ容量を持ち、10GEポートを多数備えたスイッチが市販され始めている(図4(a))。一方、クロスバースイッチとネットワークプロセッサ(パケットプロセッサ+トラフィックマネージャー)を複数チップ組み合わせることで、スイッチを構成することができ、数百Tbps以上の大規模スイッチを構成することも可能となっている(図4(b))。

システムの規模や機能・性能に合わせて適用するスイッチを選択することが重要であり、実装面積、消費電力、コストや拡張性を考慮してシステム仕様を決定する必要がある。複数チップで構成した場合、実装面積や消費電力の面での課題が多い。また、一般加入者向けのアクセス系装置は、収容ポート数に対する装置コスト(ポート単価)の低減要求が厳しい。次世代EPONシステムはシステム規模を考慮し、1チップスイッチの構成を採用した。

4.2.2 レイヤ2スイッチの構成

図5にこのシステムでのレイヤ2スイッチ接続構成を示す。PON-IFを128ポート実装するため、スイッチ基板上に上位ネットワークと接続するアップリンクポートを備え

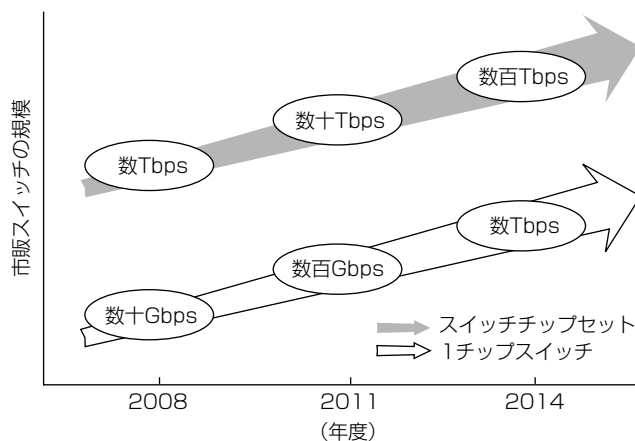


図 3. スイッチチップ交換容量のトレンド

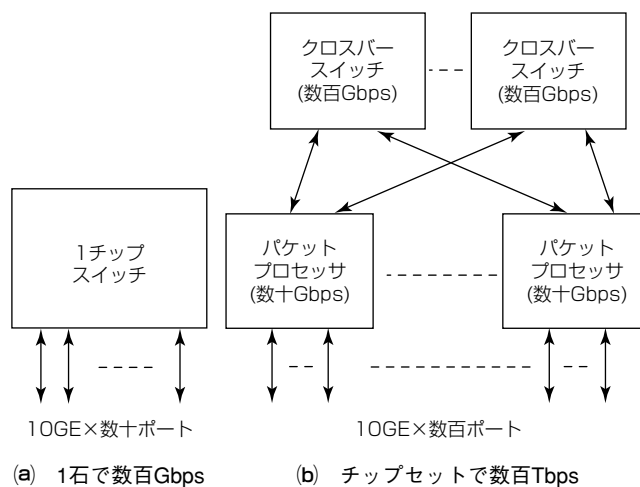


図 4. 大規模スイッチの構成例

る構成とした。また、二重化したスイッチ基板を跨(またが)ってアップリンクポート間でのリンクアグリゲーション機能を実現するため、アップリンクポートの最大帯域を確保した回線速度でスイッチ間を接続している。図5は、スイッチ基板#1が主系となり、スイッチ基板#2が従系である構成を示している。2枚のスイッチ基板はスイッチ間接続によって1個のスイッチとして動作し、各インタフェース基板はどちらか一方のスイッチ基板のみに接続される構成となる。

この構成によって、スイッチ基板の故障やアップリンクのリンク断、バージョンアップやスイッチ基板交換時でも、サービスを中断させない転送を可能とした。

4.3 冗長化構成

大容量化に伴い、システムに対する信頼性の向上が要求される。このため、次世代EPONシステムでは、図6に示すように、OLT及びEMSについて機能部ごとに冗長化構成を実現している。

(1) EMSサーバは、待機系についてもOS(Operating System)が起動した状態で待機させるウォームスタンバイの1+1冗長方式を実現している。

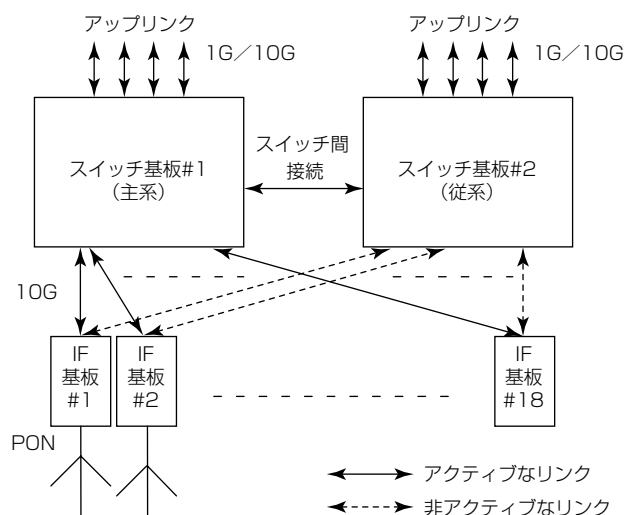


図5. レイヤ2スイッチ構成

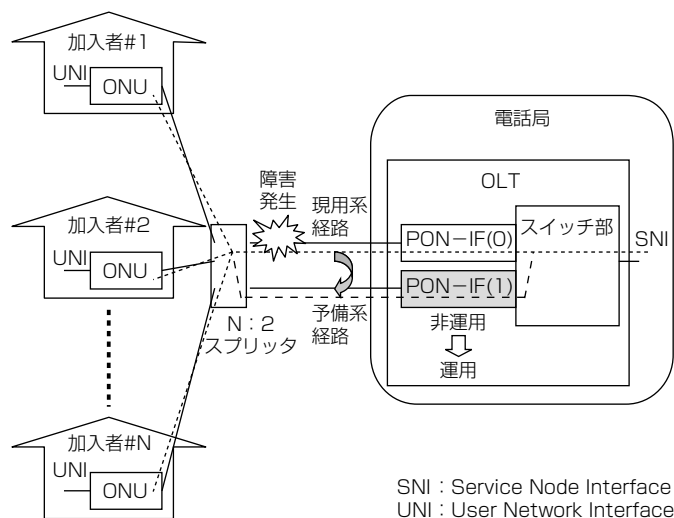


図7. PONプロテクション

(c) このシステムは、PONインタフェース基板の冗長化として、図7に示すように局側インタフェースの二重化によるPONプロテクション機能を実現している。障害が発生した際に、影響度が高い局側インタフェース部と幹線光ファイバについて二重化する。また、障害発生時のみならず、工事などが行われるときの光ファイバ経路の迂回（うかい）、PONインタフェースのバージョンアップ時などにも適用可能である。

5. む す び

海外通信事業者のニーズに対応することを目的とした大容量化・広帯域、高集積、高信頼性を実現する次世代EPONシステムについて述べた。今後は、T1/E1、STM（Synchronous Transfer Mode）-1/4等、更なるインタフェースの追加に加え、OLTとしてサポートするPONポート数を変更した中容量タイプOLTの開発によって、市場の様々な需要に対応可能とするよう取り組む所存である。また同時に装置の低消費電力化を推進し、環境への配慮にも対応する。

参 考 文 献

- (1) IEEE P1904.1 Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks (SIEPON), D1.0 (2010)
- (2) IEEE Std 802.3ah Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications (2008)

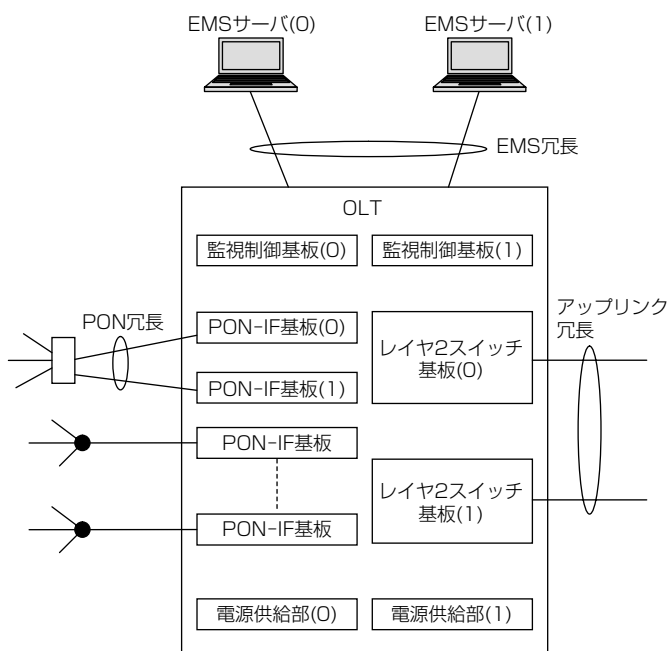


図6. 冗長構成

(2) OLTは各機能部について冗長化構成の実現によって信頼性を高めている。

- (a) 監視制御基板はウォームスタンバイの1+1冗長、また、電源供給部についても冗長構成としている。
- (b) レイヤ2スイッチ基板の冗長化は、基板の二重化を基本とし、アップリンクポートに対しては、各種レイヤ2プロトコル（リンクアグリゲーション（LA）やスパニングツリー（STP）等）によるアップリンクの冗長機能を実現する。

大久保啓示* 平野幸男**
上村有朋*
平井達也*

10G-EPONシステム技術

10G-EPON System Technologies

Keiji Okubo, Aritomo Uemura, Tatsuya Hirai, Yukio Hirano

要 旨

動画共有、高画質映像配信サービスの普及によって、アクセス回線の更なる広帯域化への要求が国内外を問わず、高まりつつある。

三菱電機では、FTTH(Fiber To The Home)を普及させてきたGE-PON(Gigabit Ethernet^(注1)-Passive Optical Network)システムの次世代機として、アクセス帯域を10倍の10Gbpsに広帯域化するとともに、GE-PONシステムを混在収容可能な10G-EPON(Gigabit-Ethernet Passive Optical Network)システムを世界に先駆けて^(注2)開発した。

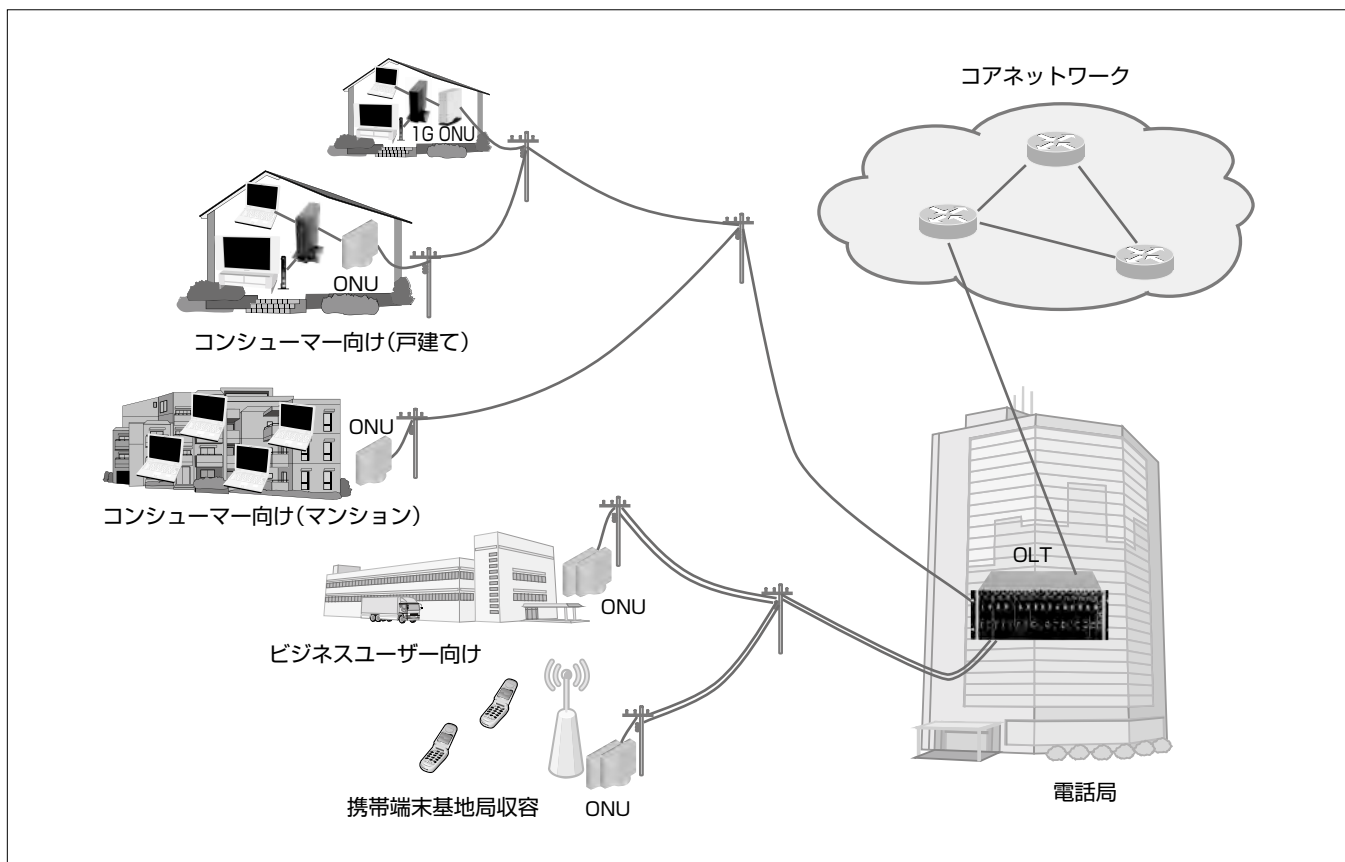
このシステムは、通信事業者局舎内に設置される光加入者線端末局装置(Optical Line Terminal: OLT)とユーザー宅内またはユーザービル構内に設置される光加入者線終端

(注1) Ethernet及びイーサネットは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

(注2) 2010年3月25日現在、当社調べ

装置(Optical Network Unit: ONU)で構成され、この特集号の論文“10G-EPON光デバイス技術”で述べられている技術の適用によって、GE-PONシステムの光加入者線終端装置(ONU)の混在収容を可能とする。光加入者線終端局装置は、既存のGE-PONシステムと同サイズで、同数のPON回線を収容でき、監視制御機能の冗長化を実現可能としている。光加入者線終端装置は、低消費電力技術の適用で、実使用を想定したモデルでは、既存のGE-PONシステムと同等以下の低消費電力化を実現している。

本稿では、システムの基本構成と、10G-EPONシステムで新たに開発したコア技術であるPON制御技術、低消費電力技術、冗長化制御技術について述べるとともに、標準化活動及びその動向についても述べる。



10G-EPONシステムの適用例

ブロードバンドアクセス回線の経済的な提供を主目的とし、データ通信に汎用的に使用されるEthernetフレームを効率的かつ経済的に伝送することを特長とする光通信システムで、10Gbpsの広帯域化と、既存GE-PONシステム(GE-PON ONU)の収容を可能としている。また、アクセス回線の広帯域化によって、コンシューマー向けのみならず、ビジネスユーザー向けや携帯端末基地局収容等への適用も考えられる。

1. ま え が き

当社では、FTTHを普及させてきたGE-PON装置の次世代機として、10Gbpsのブロードバンドアクセス回線を経済的に提供可能とする10G-EPONシステムを開発した。

本稿では、まず10G-EPONシステムの基本構成を述べ、次に新たに開発したコア技術であるPON制御技術、低消費電力技術、及び、冗長化制御技術について述べるとともに、標準化活動及びその動向についても述べる。

2. システム構成

2.1 システム構成と特長

このシステムは、通信事業者局舎内に設置される光加入者線端局装置(OLT)とユーザー宅内またはユーザービル構内に設置される光加入者線終端装置(ONU)で構成され、アクセス帯域をGE-PONシステムの10倍の10Gbpsに広帯域化するとともに、GE-PONシステムを混在収容可能としている。OLTは、既存のGE-PONシステムと同サイズで構成され、10Gbps 16ポートのPON回線収容と、監視制御機能の冗長化を実現可能とするとともに、上位ネットワークへのアップリンクに対する集線機能などを拡張可能である。ONUは、低消費電力技術を適用し、実使用を想定したモデルで、既存のGE-PONシステムと同等以下の低消費電力化を実現している。

2.2 主要諸元

主要諸元を、表1に示す。

表1. 主要諸元

項目	諸元
ユニットサイズ	19インチ幅 4U高
スロット構成	インタフェース：16 監視制御：2 機能拡張スロット：2
PON制御	IEEE 802.3av準拠 IEEE 802.3 2008準拠
低消費電力化	IEEE P1904.1準拠 IEEE 802.3az準拠
監視制御	冗長構成可能 非冗長化でも運用可能
PON-IF(OLT/ONU)	最大128分岐 IEEE 802.3av 10GBASE-PR30 IEEE 802.3av 10GBASE-PRX30 IEEE 802.3 2008 1000GBASE-PR20
SNI(OLT)	10GBASE-SR/LR 1000BASE-T
UNI(ONU)	10GBASE-SR/LR 1000BASE-T
電源電圧	OLT：DC-48V ONU：AC100V

IF：InterFace
SNI：Service Node Interface
UNI：User Network Interface

3. PON制御技術

10G-EPONの技術標準であるIEEE 802.3av⁽¹⁾は、2009年9月に標準化が完了した(図1)。当初はPHY(PHYsical layer)レイヤのみを標準化ターゲットとし、上位のMPCP(MultiPoint media access Control Protocol)レイヤは従来のGE-PONの規格(IEEE 802.3-2008)に準拠することとして標準化検討をスタートしてきたが、伝送技術やシステム要件から、MPCPレイヤにも修正が必要となった⁽²⁾。次に、GE-PONから修正された2点のPON制御技術について述べる。

3.1 ストリームFECの適用に伴う速度調整

10G-EPONでは、送信器の出力と受信器の感度の差であるパワーバジェットを確保するため、PHYレイヤにストリームFEC(Forward Error Correction：前方誤り訂正)機能を不可欠とした。訂正アルゴリズムにはリードソロモン(255, 223)符号を適用する。このストリーミングFEC方式は、図2に示すように、PHYレイヤ内で送信するイーサネットフレームとアイドル(フレームがないことを示すパターン)を合計したデータ量が216バイトとなるたびに、32バイトのパリティを付与して送信する。このため、MPCPレイヤでは、イーサネットフレームの送信速度調整を行う機能を実装することになった。

ストリームFEC適用に際しては、この方式のほかにも、PCSレイヤからMPCPレイヤにフィードバック制御を掛ける案も標準化ワーキンググループで議論されていたが、ロジック回路化した際のフィードバック方式のデメリット(フィードバック応答時間分のバッファを要するなど)や速

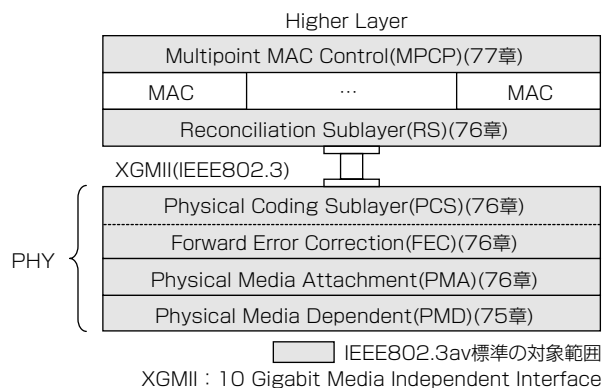


図1. 10G-EPONプロトコルスタックと標準対象範囲

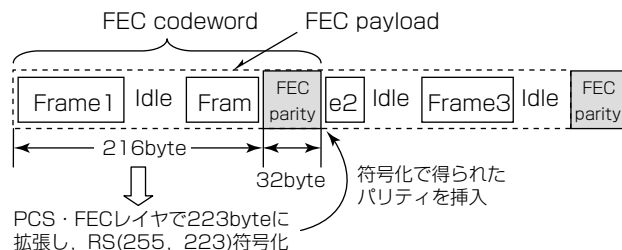


図2. 10G-EPONのFECコードワード構成

度調整方式の実装方法を報告し、MPCPレイヤでの速度調整方式の標準化に貢献した。

3.2 10G対称ONU, 上り1G/下り10G非対称ONU, 1G ONUの混在に対応した登録処理

10G-EPONのOLTでは、上り下り信号とも10Gbpsの対称ONU, 上り1Gbps/下り10Gbpsの非対称ONU, 及び現在サービス中である上り下りとも1GbpsのGE-PON ONUの3種類のONUを混在して収容するシステム要件が生じた。混在収容において、ディスカバリと呼ばれる登録処理の際、登録を希望するONUからの信号が10Gなのか1Gなのかを受信側で識別することが技術的に困難な場合がある。そのため、MACレイヤで、ディスカバリ処理用に用いるロジカルリンク識別子を、10G用と従来の1G用を識別できるように拡張し、さらに、3種類のONUを登録できるタイミング(ディスカバリウィンドウと呼ばれる)を、OLTより任意に指定できるよう、ディスカバリ処理に用いるディスカバリGATEフレームのフォーマットを拡張した(図3)。

4. 低消費電力技術

4.1 低消費電力標準化動向

近年の世界各地での気候変動を背景に、電子機器の低消費電力化に対する機運が高まっている。有線通信機器でも、必要なとき以外は消費電力を削減するよう制御することが要求されている。IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)では、イーサネット^(注1)PHYを無通信時に省電力化する方式を2010年にIEEE 802.3az⁽³⁾(Energy Efficient Ethernet)で標準化した。

また、ONUパワーセーブ制御機能も、2012年の標準化を目指し、現在IEEE P1904.1で議論中である。ONUパワーセーブ制御とは、例えば就寝中や外出中など、ユーザーが実際に通信路を使用していない時間を、ユーザートラフィックがない状況によって判断し、ONUを省電力状態にする制御である。ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector)は、IEEEに先行して、各国オペレータ、ベンダー間

でONUパワーセーブについて検討し、要求条件をまとめた⁽⁴⁾。IEEE P1904.1では、ONUの光送信器をパワーダウンさせるDozeモードと、ONUの光送信器と光受信器をパワーダウンさせるSleepモードを定義している。ユーザーが何も通信していない時にはSleepモードに移行し、下りトラフィックは存在するが上りトラフィックがほとんどないIPTV(Internet Protocol TeleVision)の視聴などのときにDozeモードに移行することを想定している(図4)。

4.2 IEEEのONUパワーセーブ制御プロトコル

PONシステムでは、複数のONUの上り信号が衝突しないよう、OLTがONUに対して制御信号(グラント)を発行することによって送信許可時間を指定する。パワーセーブ中にはこの制御信号をやり取りできないが、サービス品質の観点からは、パワーセーブ中にデータトラフィックが発生した場合でも極力迅速にデータ送信できるように、パワーセーブモード中でもPONリンクを維持する必要がある。このため、ONUはパワーセーブ状態になっても、定期的に通常状態に戻ってPONリンクを維持する。

ONUとOLTが共にデータトラフィック状態を監視し、特定の条件になったらパワーセーブ開始及び停止制御を行う。パワーセーブの起動には、図5に示すように、OLTから起動する方法と、ONUから起動する方法がある。どちらの方法でも、トラフィック状態に応じてDozeモードとSleepモードを選択する。同様にパワーセーブの停止も、OLTから起動する方法と、ONUから起動する方法がある。

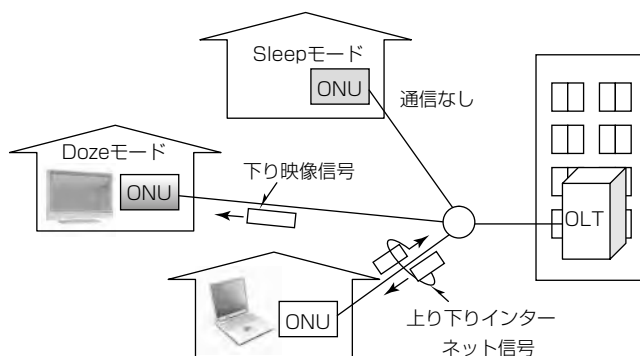


図4. ONUパワーセーブ制御機能概要

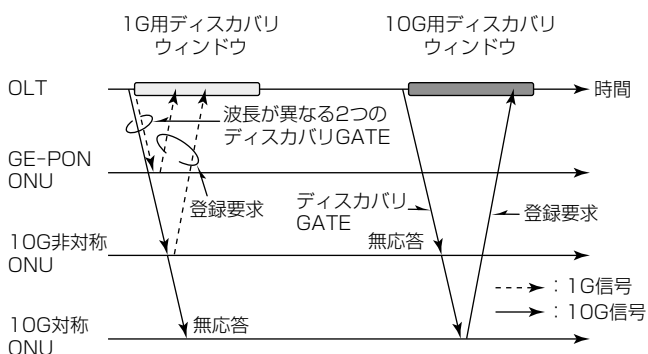


図3. ディスカバリウィンドウ例

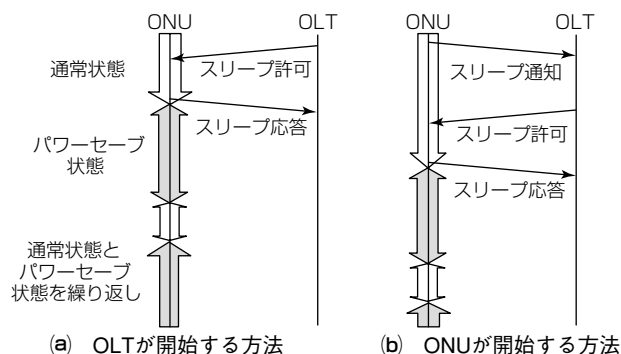


図5. ONUパワーセーブ制御開始シグナリング

表 2. 冗長化方式

冗長化方式	ホットスタンバイ	ウォームスタンバイ	コールドスタンバイ
動作	共有メモリなどを用いることで、運用系と予備系を常に同じ状態にしておき、運用系で故障などが発生した場合、予備系が直ちに処理を引き継ぐ。	予備系のOSは起動しておき、運用系で故障などが発生した場合、予備系がアプリケーションを起動して処理を引き継ぐ。	予備系は動作せず、運用系で故障などが発生した場合は、予備系が起動し処理を引き継ぐ。
データ同期	共有メモリなどにより運用系と予備系では状態(データを含む。)を絶えず一致させる必要がある。	運用系と予備系間でデータ同期を実施する。	データ同期は行わない。外部からの処理でデータを再構築する必要がある。
切替所要時間、信頼性	切換え所用時間は瞬時。信頼性は高い。	切換え所用時間はアプリケーション起動時間のみ。信頼性は高い。	切換え所用時間は予備系立ち上げ時間+データ再構築時間。信頼性は低い。

4.3 ONUパワーセーブの低消費電力効果

Dozeモードでパワーセーブ中のONUでは、光送信器を停止するだけでなく、トラフィック状況によってはユーザー装置とつながるLAN(Local Area Network)ポート(受信側)をIEEE 802.3azプロトコルによって停止できるケースがある。また、Sleepモードでパワーセーブ中のONUでも同様に、トラフィック状況によっては、光送受信器のほかにも、下りイーサネットフレームバッファメモリやLANポート(双方向)を停止できるケースがある。

IPTV視聴時間の平均を5時間、インターネット接続時間の平均を1時間、残りの18時間は待機状態と仮定したONUで、通常動作時の消費電力を1/2以下に低減できるという検討も行っている。10G-EPON ONUにこのパワーセーブ方式を適用することで、GE-PON ONUと同等程度の消費電力を実現している。

5. 冗長化制御技術

10G-EPON装置に新たに適用する監視制御基板(以下“CONT”という。)の冗長化制御技術について述べる。

CONTの冗長化には、表2に示す冗長化方式がある。ホットスタンバイ方式では、運用系と予備系の状態を絶えず一致させる点がソフトウェア処理上高負荷となり、より高性能なCPU(Central Processing Unit)を搭載する必要があるため、このシステムではウォームスタンバイ方式を採用した。この方式では、予備系CONTは常にOS(Operation System)を起動させておき、運用系CONTに故障等が発生した場合、予備系CONTがアプリケーションを起動して処理を引き継ぐことで、常時1枚のCONTが運用系として動作する。CONTは電源投入時、どちらか一方を運用系として起動させる。

運用系CONTは、起動後に装置監視及び外部通信制御などを開始し、系間通信専用のLANを用いて、予備系CONTとデータの同期を行いながら動作させる。

冗長切換えは、運用系CONTの故障、抜去、保守による切換え指示を受けた場合に行われ、故障発生や保守操作などで運用系CONTの動作が停止するような場合、すみやかに予備系のCONTを運用系に切り換え、装置の監視制御を

維持させる。また、切換えの際、主信号の導通に影響がないようにする。

外部通信制御については、IPアドレスなどの引き継ぎを行うことで、CONTが切り換わっても、継続して処理を可能とする。ただし、切換え要因の発生から切換え後、運用状態に遷移するまでは、外部通信は受け付けない。冗長構成時における切換え後の切り戻し処理については、特別なハードウェアは準備せず、ソフトウェア処理で実現している。

6. む す び

GE-PONシステムの次世代機として開発した10G-EPONシステムでは、本稿で述べた新たなコア技術によって、アクセス帯域の広帯域化及び既存GE-PONシステムの混在収容を実現し、さらに、既存システムと同等以下の低消費電力化と同等以上の高信頼性も実現している。今後は、上位ネットワークへのアップリンクに対する集線機能などの拡張機能を開発する予定である。

参 考 文 献

- (1) IEEE 802.3av-2009: Part 3, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks (2009)
- (2) 小崎成治: 1G混在に対応した10G-PON MACプロトコル, 電子情報通信学会2009年総合大会 チュートリアルセッションBT-5-5 (2009)
- (3) IEEE 802.3az: Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Media Access Control parameters, Physical Layers and management parameters for Energy-Efficient Ethernet (2010)
- (4) ITU-T G.Supp 45-Means and impact of GPON power saving. White Paper (2009)

10G-EPON光デバイス技術

中川潤一* 白井 聡**
小崎成治**
金子進一***

Optical Transceiver and Device Technology for 10G-EPON Systems

Junichi Nakagawa, Seiji Kozaki, Shinichi Kaneko, Satoshi Shirai

要 旨

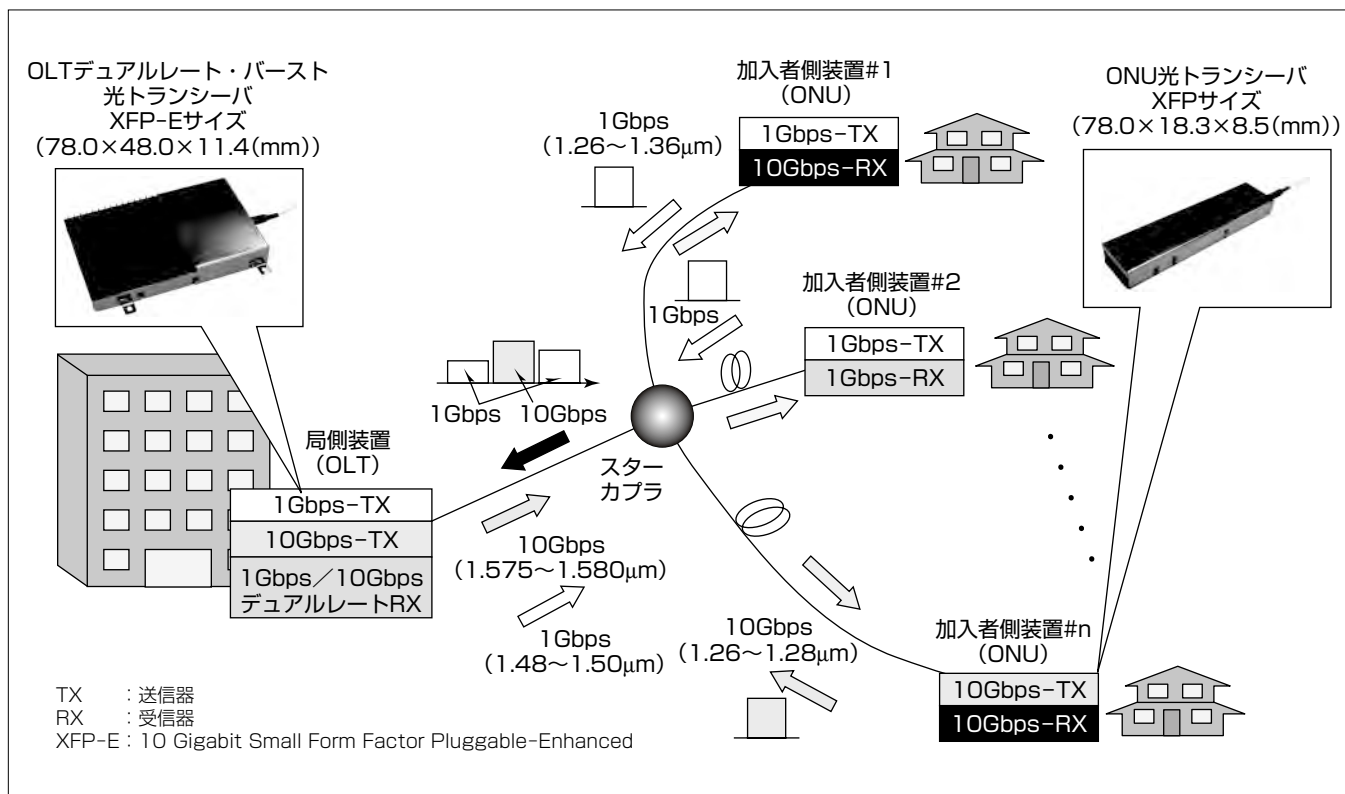
インターネットトラフィックの増加を受けて、次世代光アクセスシステムである10G-EPON(10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network)システムへの期待が高まっている。10G-EPONでは、現在広く普及しているGE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)システムからのスムーズなマイグレーションを実現するために、同一のファイバ網での10G-EPONとGE-PONとの混在収容が要求される。このような混在収容を実現するキー技術として10.3Gbpsと1.25Gbpsの各伝送速度の信号を送受信可能なデュアルレート・バースト光トランシーバと光デバイスの開発を行った。

局側装置(Optical Line Terminal: OLT)に適用する光トランシーバは、AGC/ATC(Automatic Gain Control/Automatic Threshold Control)応答時定数を伝送速度ごとに最適化する機能を持ったデュアルレート・バースト受信部、高出力EML^(注1)(Electro-absorption Modulator

integrated Laser diode)及びDFB-LD^(注2)(Distributed Feedback Laser Diode)を適用した10Gbps及び1Gbps各送信部から構成され、10Gbps及び1Gbps上り信号に対して最小受信感度-30.6dBm及び-34.6dBm以下、10Gbps及び1Gbps下り信号に対して送信パワー+2.6dBm及び+5.3dBm以上などのIEEE802.3av PR30規格値を十分に満足する良好な特性を実現した。一方、加入者側装置(Optical Network Unit: ONU)に適用する光トランシーバには、高出力DFB-LDのバースト発光時に必要不可欠な発光タイミングを制御するIC(Integrated Circuit)を適用することで、バーストON/OFF時間として10ns以下(IEEE規格値512ns)の良好な特性を実現した。今後、10G-EPONシステムの商用化が期待される。

(注1) 電界印加によって光を吸収する光変調器を集積化した半導体レーザ

(注2) デバイス内部に回折格子を有し、単一波長で発振する半導体レーザ



10G-EPONシステム

10G-EPONシステムは、局側装置のOLTと複数の加入者側装置のONU間をスターカプラを用いて光ファイバで接続する構成である。OLTからONUへの下り信号は波長1.490μmの1G信号と1.577μmの10G信号を波長多重によって通信を行う。各ONUからOLTへの上り信号は波長1.26~1.36μmを用いて各ONUの信号が衝突しないように送出タイミングを制御する時分割多重によって通信を行う。

1. ま え が き

近年のインターネットトラフィックの増大によって、高速大容量なアクセスシステムであるFTTH(Fiber To The Home)が急速に普及している。特に、日本におけるFTTH加入者数は、2010年9月には1,912万を突破し、ブロードバンド加入者数全体の56.2%のシェアを占める⁽¹⁾。

今後、さらなる高精細動画配信サービスやピアトゥピアサービスの発展が見込まれるため、現在のGE-PONシステムの伝送速度を10倍とした10G-EPONシステムへの期待が高まっており、2009年9月にIEEE802.3av⁽²⁾にて標準化が完了した。

本稿では、10G-EPONの基盤技術である10G-EPON光トランシーバ技術と光デバイス技術について述べる。

2. 10G-EPONシステム

10G-EPONは、現在広く普及しているGE-PONからのスムーズなマイグレーションを実現するために、図1に示すように、GE-PONと同一ファイバ網上での収容が求められる。1台の局側装置(OLT)と複数の加入者側装置(ONU)が光スターカプラを介して接続される構成であり、1.25Gbpsと10.3Gbpsの下り信号は1.490 μ m帯と1.577 μ m帯の波長分割多重(Wavelength Division Multiplexing: WDM)によって多重化される。一方、1Gbpsと10Gbpsの上り信号は、同一波長帯で各ONUからのデータが衝突しないように1Gbpsと10Gbpsの上りパケット信号の送出タイミングを制御する時分割多重通信方式を用いている。

三菱電機では、2005年から10G-EPONとGE-PONシステムが混在したネットワークを実現するために必要不可欠な光トランシーバ技術と光デバイス技術の開発に取り組み、IEEE802.3av規格を満足する良好な特性を持つ世界最高性能^(注3)の光トランシーバ、光デバイスの開発に成功した。本稿では、これらの光トランシーバ技術、光デバイス技術について述べる。

(注3) 2010年3月25日現在、当社調べ

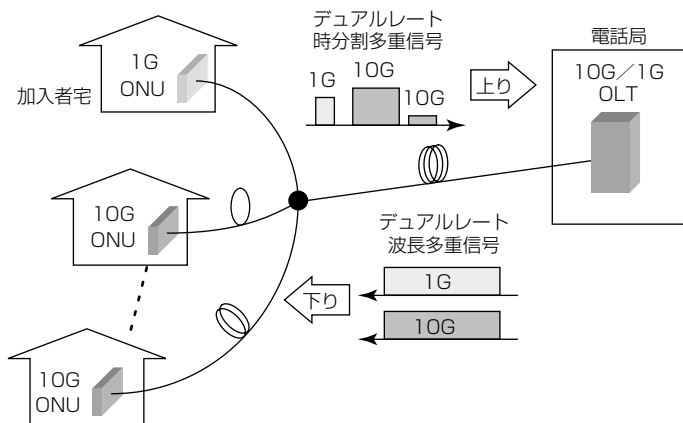


図1. デュアルレート10G-EPONシステム

3. OLTバースト光トランシーバ技術

10GのONU、1GのONUは光スターカプラから異なる距離に位置することから、OLTにおける各ONUの受光レベル、位相状態は受信パケットごとに異なる。したがって、OLTの受信回路は異なる伝送速度、受光レベル、位相状態のパケット信号を安定、かつ高速に再生するデュアルレート・バースト光送受信技術、サンプリングCDR(Clock and Data Recovery)技術の開発が不可欠である。

3.1 デュアルレート・バースト光トランシーバ

図2と図3に、今回開発を行った、デュアルレートOLT光トランシーバの構成と外観を示す。光トランシーバは、DFB-LD, EML, APD(Avalanche Photo Diode)-プリアンプICを一体化したトリプレクサ光モジュール、1Gbps送信部、10Gbps送信部、及びデュアルレート・バースト受信部から構成される。受信部に適用したプリアンプIC及びリミッティングアンプICは、10Gbpsと1Gbpsの伝送速度に最適な受信感度を実現するために、利得、応答時定数、及び雑音等化帯域を制御信号によって切り替える機能を備えている⁽³⁾⁽⁴⁾。また、光トランシーバは部品構成及び配置の最適化を行うことで78.0×48.0×11.4(mm)のXFP-Eサイズの小型化を実現した。

表1に、開発を行ったデュアルレート・バースト光トランシーバの主要諸元を示す。全温度・電源電圧条件下で、IEEE802.3av規格を満足する良好な特性が得られた。

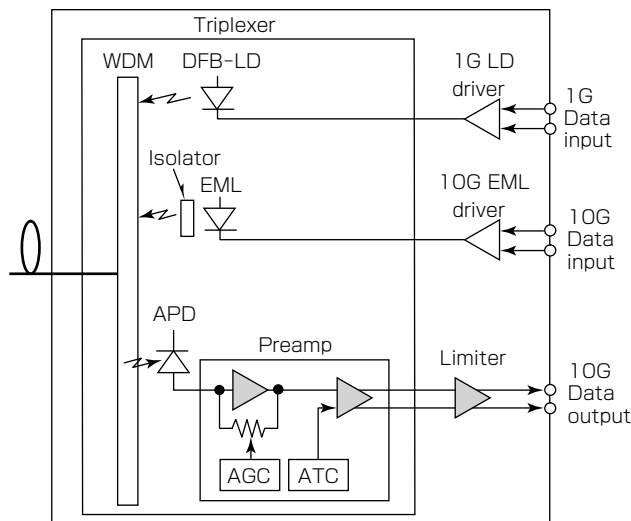


図2. デュアルレートOLT光トランシーバの構成



図3. デュアルレートOLT光トランシーバの外観

3.2 82.5GS/sサンプリングCDR

バースト信号のビット位相を識別するバーストCDRには、次の相反する特性を同時に満足する方式・アルゴリズムが求められる。

①同期引き込み：短いほど良い

②誤同期確率・同期見逃し確率：低いほど良い

②の特性はCDRの要件として扱われていない場合もあるが、当社ではキャリアネットワークへの適用を考慮し、設計段階から要求条件の主要項目としている。さらに、IEEE802.3avに規定される10G-EPONでは、送信器の出力と受信器の感度の差であるパワーバジェットを確保するため、ストリームFEC(Forward Error Correction：前方誤り訂正)機能を物理レイヤに備えることが不可欠要件となっている。このFEC機能の前段に位置するバーストCDRが受信する信号の品質はビット誤り率として0.1%であり、1G-EPONの 1×10^{-10} %と比較して非常にノイズの多い信号となっている。

IEEE802.3avでは、上記信号品質を考慮したジッタ仕様が規定されており、この規定に基づく位相ノイズを伴った信号を入力データとして、バーストCDRの位相判定ロジックを設計する必要がある。図4に上記規格に基づくCDR入力データについて示す(実際のデータ波形は図の(a)(b)両成分を合わせたものとなる)。

バーストCDRの設計にあたっては、この他にも同符号連続、位相追従速度(周期ジッタ)、最大バースト長等の条件があり、これらの条件を満足するようパラメータの設計を行った。当社では上記に示した厳しい条件下に適用できるようにするため、多相クロックを用いた高速サンプリングデータから最適位相を判定し、該当するサンプリングデータを選択して識別信号として出力する構成を採用している。図5にサンプリングCDRの全体構成を示す。

表1. 主要諸元

10.3Gbps	IEEE802.3av	評価結果
送信波長(μm)	1.575~1.580	1.5785
送信パワー(dBm)	+2.0±5.0	+2.6±3.0
消光比(dB)	>9.0	9.2
最小受信感度(dBm)	-28	<-30.6
1.25Gbps	IEEE802.3av	評価結果
送信波長(μm)	1.480~1.500	1.488~1.495
送信パワー(dBm)	+2.0±7.0	+5.3±5.4
消光比(dB)	>6.0	>14.3
最小受信感度(dBm)	-29.7	<-34.6

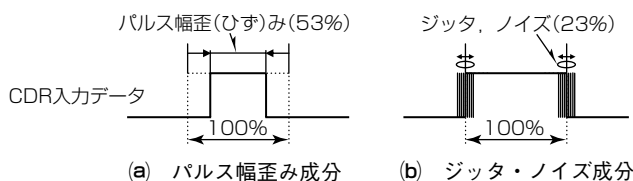


図4. バーストCDRの入力データ

高速サンプリングは、10.3GHzの1/8位相ずれクロックで入力バースト信号を82.5GS/sで高速サンプリングするサンプリングICを新規に開発することで実現した⁽⁵⁾。一方、最適位相選択を行う位相選択ロジックは図5における最適位相データ選択部に実装され、サンプリングデータから検出したエッジ情報に基づき、多数決判定論理によって高速かつ確実な位相選択回路を実現した。

4. ONU光トランシーバ技術

図6、図7に今回開発した10G-EPON ONU光トランシーバの構成と写真を示す⁽⁶⁾。XFPと同サイズの78.0×18.3×8.5(mm)の小型化を実現した。また、送受信器全体の消費電力は3.3V系、5.0V系で2.8W以下である。

ONU光トランシーバに要求される高速なバースト立ち上がり／立下り特性は、上りデータの伝送効率を向上させるための重要な特性である。今回、CDR機能も具備したLD発光タイミング制御ICを適用することで、立ち上がり時間10ns以下、立下り時間5ns以下の良好なバースト応答特性を実現した。

表2に、開発を行ったONU光トランシーバの主要諸元

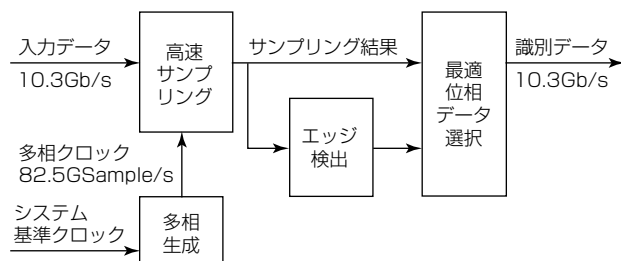


図5. 10.3G 多相サンプリングCDRの構成

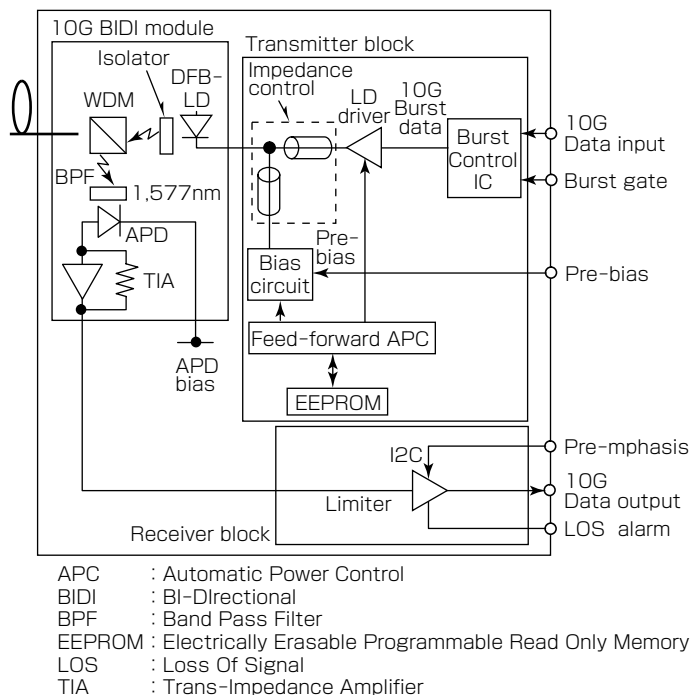


図6. 10G-EPON ONU光トランシーバの構成



図 7. 10G-EPON ONU光トランシーバの外観

表 2. 主要諸元

	IEEE802.3av	評価結果
送信波長 (μm)	1.260~1.280	1.265~1.273
送信パワー (dBm)	+4.0±9.0	+7.0
消光比 (dB)	>6.0	7.0
Ton/Toff (ns)	<512	<10
最小受信感度 (dBm)	<-28.5	-32.4

を示す。全温度・電源電圧条件下でも、すべての項目でIEEE802.3av規格を満足する良好な特性が得られた。

5. 10G-EPON光デバイス技術

5.1 OLT用光モジュール及び光デバイス

図8にOLT用光モジュールの構造を示す。OLT用光モジュールは、10Gbpsの信号光源である波長1.577μm帯のEML、1 Gbpsの信号光源である波長1.490μm帯のDFB-LD、及び10Gbpsと1 Gbpsのバースト信号を受信できるデュアルレートバーストプリアンプICとAPDからなる受信部を持っている。送信光源と光ファイバとの結合光学系に3枚レンズ系を採用することで高結合効率と調芯容易性を両立し、なおかつ小型化も実現した。

EMLは、温度制御のための小型TEC (Thermo Electric Cooler) に搭載され、新規開発の小型パッケージに実装されている。小型パッケージを使用することで低コスト化を図った。CANのガラス貫通部とEML間の多重反射を抑える構造によって電気信号の歪みを抑え、良好な10Gbpsの光波形を実現した。また、10G-EPON用EMLは45℃で動作させ、高温時に周囲温度との差を小さくすることでTEC消費電力を低減した。45℃動作でも高出力・高消光比で、変調時の波長変化が小さい特性を実現するために変調器のデバイス構造を最適化した。受信部のAPDは内部に反射層を有し、光吸収層で吸収されずに透過した光を反射層で反射し、再び光吸収層で吸収させることによって1.26~1.36μmの広い受信波長帯で高い受信感度を実現した。

5.2 ONU用光モジュール及び光デバイス

図9にONU用光モジュールの構造を示す。ONU用光モジュールは、10Gbpsの信号光源である波長1.27μm帯のDFB-LDと、10Gbpsの信号を高感度に受信できるプリアンプICとAPDからなる受信部を有している。送信光源・受信部ともに光ファイバとの結合光学系は、低コスト化のために1枚レンズ系を採用した。

ONU用DFB-LDは、温度制御なしに広い温度範囲で

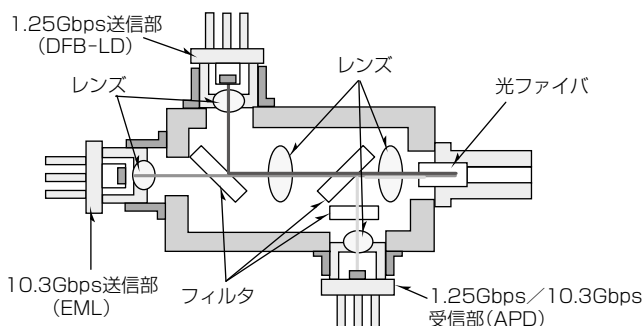


図 8. OLT用光モジュールの構造

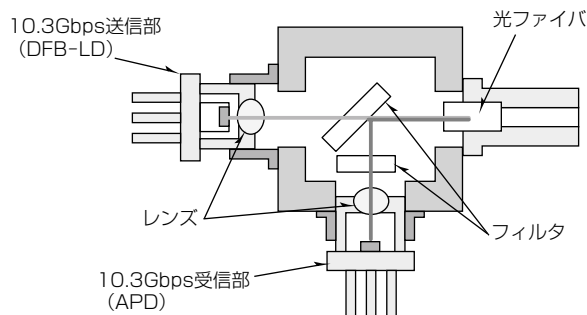


図 9. ONU用光モジュールの構造

10Gbpsの高速動作が必要となる。このためDFB-LDの材料には、良好な温度特性が得られ、なおかつ入力電気信号に対するLDの光応答特性を決めている緩和振動周波数が高い、AlGaInAs系材料を用いている。これによって0~75℃の温度範囲で良好な10Gbpsの光波形が得られている。ONU用APDは、光吸収層の厚膜化によってAPDの容量を低減し、10Gbpsの光信号を受信するために必要な帯域を確保しつつ、受光径を40μmに拡大した。これによって受信部のレンズには低コストな球レンズが使用可能となった。

6. む す び

今回、10G-EPONシステムのキー技術として、デュアルレート・バースト光トランシーバ、光デバイスの開発を行い、IEEE802.3av PR30規格を十分に満足する良好な特性を、世界で初めて実現した。今後、10G-EPONシステムへの搭載、商用化が期待される。

参 考 文 献

- (1) 総務省, <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsuushin01.html>
- (2) IEEE Std 802.3-2008.
- (3) Noda, M., et al.: ECOC2010, Mo.2.B.2.
- (4) Nakagawa, J., et al.: IEEE Photon. Technol. Lett., **22**, No.24 (2010)
- (5) Suzuki, N., et al.: Electron. Lett., **45**, 1261 (2009)
- (6) Igawa, E., et al.: OFC/NFOEC2009, NMC1.

メトロ・海底ケーブル向け 40Gbs WDMシステム

杉原浩平* 石田和行***
臼井喜宏**
末岡英樹**

40Gbps WDM Systems for Metro and Submarine Cable Networks

Kohei Sugihara, Yoshihiro Usui, Hideki Sueoka, Kazuyuki Ishida

要 旨

大容量コンテンツの急増によって、ネットワークのロードバンド化が急速に進む中、メトロエリアや国際間の通信需要も指数関数的な増加を遂げている。一方で、通信の大容量化は、局舎におけるネットワーク機器の消費電力急増と実装スペース不足をもたらし、深刻な問題となりつつある。

メトロエリア網及び国際通信網を始めとした基幹系ネットワークでは、10Gbps/波の波長多重伝送(WDM: Wavelength Division Multiplexing)が主流であるが、需要に合わせて波長を増やしていく従来の手法では、設計最大波長数を超えると多数の新たな中継伝送装置や合分波装置を導入することが必要になり、消費電力と実装スペースの大幅な増加が避けられない。そのため、伝送速度を40Gbps/波に上げて、導入済みの中継伝送装置や合分波装置をそのまま有効活用できれば、省電力化、省スペース化、大容量化及び低コスト化を両立できるが、40Gbps伝送には多くの技術課題が伴う。三菱電機は予等化技術と非線形抑圧伝送技術を用いて、これらの課題を克服し、10Gbps用に設計されたシステムに40Gbps光信号を伝送することに成功した。

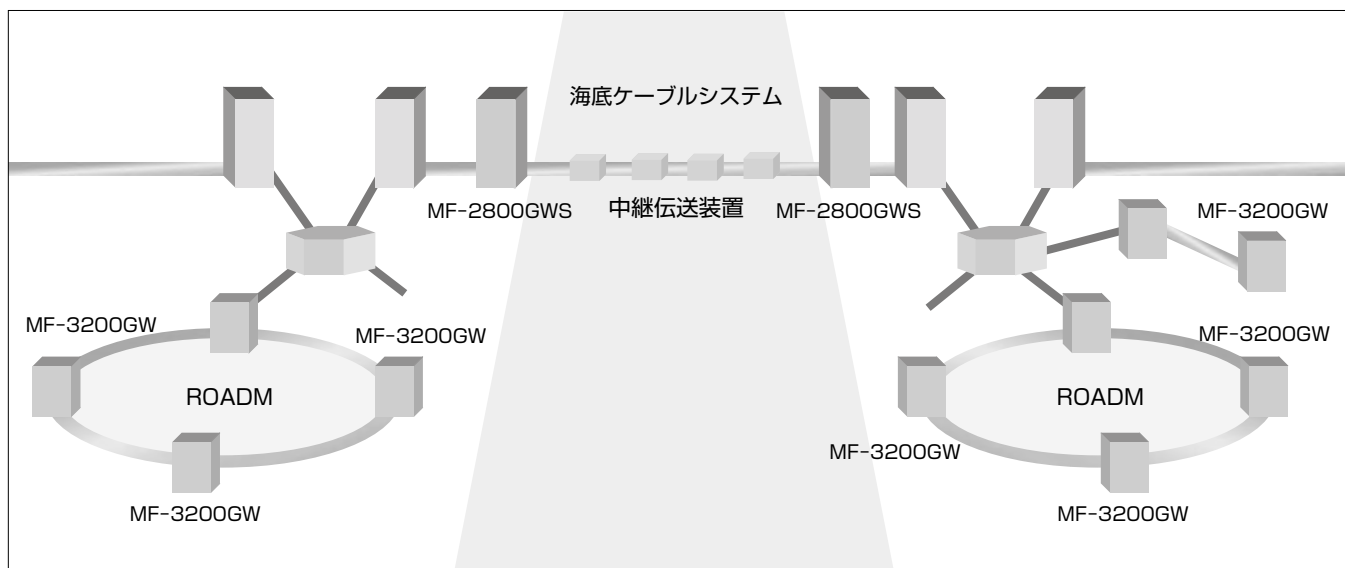
本稿では、第1に、メトロ向け40Gbps WDM/ROADM(Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexing)システム

“MF-3200GW”について述べる。予等化技術によって、10Gbps用に設計されたシステムのファイバ、中継伝送装置や合分波装置を変更することなくMF-3200GWに備え、4倍に大容量化できる。

第2に、海底ケーブル向け40Gbps超長距離伝送システム“MF-2800GWS”の概要と特長を述べる。光ファイバ中の非線形光学効果の影響によって生じる信号劣化を抑圧することによって、10Gbps用に導入された海底ケーブルに40Gbps光信号を伝送できる。また、大容量化する海底ケーブルで任意に張られる複数のパスをエンドツーエンドで監視するために、NMS(Network Management System)を導入した。

最後に、さらなるネットワーク機器の省電力化と省スペース化のために開発を進めている、次世代100Gbps伝送システム向けデジタルコヒーレント受信技術と誤り訂正技術について述べる。当社独自のLDPC(Low Density Parity Check Codes)符号とEnhanced FEC(Forward Error Correction)を接続した誤り訂正符号技術は100Gbps伝送のキー技術となりえる。

グローバルネットワークの省電力化と省スペース化に貢献するため、当社は今後も新技術を導入していく。



当社のメトロ・海底ケーブル向け40Gbps WDMシステム

1本の光ファイバに複数の異なる波長の光信号を多重して伝送するため、大容量通信を低コストで実現できる。また、通信需要に応じて波長数を増減することもできる。

1. ま え が き

近年のアクセス系通信ネットワークにおけるブロードバンドサービスの普及やモバイルコンテンツの多様化・高度化に伴い、基幹ネットワークであるメトロネットワークやグローバルな国際通信を担う海底ケーブルでも、通信需要が増え続けている。ネットワーク機器の消費電力の急増や実装スペースの不足が世界的な問題となりつつあり、持続的なネットワークの大容量化には、ビットレートあたりの省電力化と省スペース化が不可欠である。10Gbps向けに設計された既存のWDMシステムに40Gbps光信号を伝送できれば、波長資源を有効活用でき、中継伝送装置や合分波装置の追加が不要であるため、大容量化のみならず、省電力化、省スペース化及び低コスト化も期待される。

本稿では、まず、既存のインフラを活用できるメトロ向け40Gbps WDM/ROADMシステムについて概要と特長を述べる。次に、海底ケーブル向け40Gbps超長距離伝送システムの概要と特長を述べる。最後に、次世代向けに開発中の100Gbps伝送システム技術について述べる。

2. メトロ向け40Gbps WDM/ROADMシステム

メトロ向けネットワークでは、10Gbps/波のWDM/ROADMシステムが広く導入されている。中継伝送装置や合分波装置(以下“共通部装置”という。)を数10kmごとに配置し、通信需要に応じて10Gbps/波のトランスポンダを追加している。しかし、設計最大波長多重数を超えて大容量化するには、新たな光ファイバや共通部装置を追加しなければならない。

トランスポンダのラインレートを40Gbps/波に高速化することによって、共通部装置を追加せずに、ネットワークを4倍に大容量化できる。また、ビットレートが4倍になっても、微細化技術進展の恩恵によって、使用しているデバイスの消費電力は2倍程度に留(とど)まる。したがって、40Gbps化は省電力化に有効と言える。しかし、10Gbps伝送時と同じ共通部装置を用いるには、40Gbps/波のトランスポンダに、高い受信OSNR(Optical Signal to Noise Ratio)耐力が求められる。また、40Gbps伝送には、10Gbpsに比べて4倍のスペクトル線幅を持つため、光信号が合分波装置を多段伝送した際に、光信号スペクトルが削られる効果への耐力(光スペクトル狭窄(きょうさく)化耐力)が1/4になるという課題がある。

これらの課題を解決するため、新技術を採用したWDM/ROADMシステムMF-3200GWの40Gトランスポンダの外観と主要諸元を、それぞれ図1と表1に示す。MF-3200GWと10Gbpsの伝送速度を持つ従来機種“MF-800GW”では、共通部が同一である。このため、運用中の主信号に影響を与えることなく、MF-800GWを

MF-3200GWにアップデートし、10Gbps光信号と40Gbps光信号を混在伝送することもできる。次に、MF-3200GWの特長を示す。

- (1) DQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying)変復調技術、予等化技術⁽¹⁾、及び高性能誤り訂正技術によって、40Gbpsで既存の10Gbps光信号と同等の伝送性能を達成
- (2) ビットレート当たりの消費電力を伝送条件によって15～50%削減
- (3) 19インチラック1架当たり最大3シェルフを、また1シェルフ当たり最大10枚の40Gトランスポンダを実装可能。従来機種比50%の省スペース化を実現
- (4) STM(Synchronous Transport Module)-64や10GbE LAN(Local Area Network) PHY(PHYSical layer)等多様なクライアントインタフェースをサポートし、異種インタフェースの混在収容を実現。また、既存トランスポンダとの混載収容を実現

3. 海底ケーブル向け40Gbps超長距離伝送システム

グローバルな国際通信を支える海底ケーブルシステムでも、通信需要が堅調に増加している。このため、新規海底ケーブルシステムが活発に計画・敷設されている。一方、経済性と工期の観点から、既に導入された光ケーブルや海底中継器等の海中設備をそのまま活用し、陸上端局装置のみの追加・交換によって伝送容量を拡大する波長増設にも旺盛(おうせい)な需要がある。当社でも10Gbps DPSK(Differential Phase Shift Keying)変調方式などの採用に



図1. MF-3200GWの40Gトランスポンダ外観

表1. MF-3200GWの主要諸元

項目	諸元
ライン側インタフェース	
伝送速度	40Gbps(Typ)
変調方式	予等化DQPSK
FEC	Ultra FEC
クライアント側インタフェース	
対応インタフェース	STM-64/OC-192 10GbE LAN PHY & WAN PHY×4ch(異種混在収容可)
その他	
電源電圧	DC-48V
動作温度範囲	5～40℃
波長収容数	最大30波@40G TPND/架(3ユニット/架)
ユニットサイズ	528(H)×483(W)×350(D)(mm)

TPND : TransPoNder
 WAN : Wide Area Network

よって陸上端局装置の送受信性能を向上させ、波長間隔の高密度化と通信容量増加を実現している⁽²⁾。

40Gbps化は大容量化のみならず、陸上端局装置の省電力化と省スペース化の点でも有効である。しかし、10Gbps光信号と比較して6dB高い受信OSNRを必要とする上、光ファイバ中の非線形光学効果の影響にも敏感であるため、長距離伝送性能の確保が40Gbps化の課題となる。

当社は、この課題を克服するため、新たな変復調技術と高性能誤り訂正技術を採用した40Gbps陸上端局装置MF-2800GWSを開発した。MF-2800GWSには、トランスポンダ以外に、合分波装置や監視システムが備わる。主要諸元と装置の外観を、それぞれ表2と図2に示す。

陸上端局装置MF-2800GWSは、次の特長を持つ。

- (1) 40Gbps光信号の7,000km以上の伝送が可能。非線形効果を有効に抑圧し、図3に示す良好な受信波形を実現。周回伝送試験系及び商用海底ケーブルシステムを用いたフィールド試験で実証済み

表2. MF-2800GWSの主要諸元

項目	諸元
ライン側インタフェース	
伝送速度	40Gbps (Typ)
FEC	Ultra-FEC
最大波長数	64波 (Typ)
波長範囲	1,540～1,560nm (Typ)
クライアント側インタフェース	
対応 インタフェース	STM-64/OC-192×4ch 10GbE LAN PHY & WAN PHY×4ch OTU2/OTU2e×4ch
その他	
電源電圧	DC-48V
動作温度範囲	5～40℃
波長収容数	最大18波/架 (Typ)
筐体サイズ	1,800(H)×795(W)×600(D) (mm)

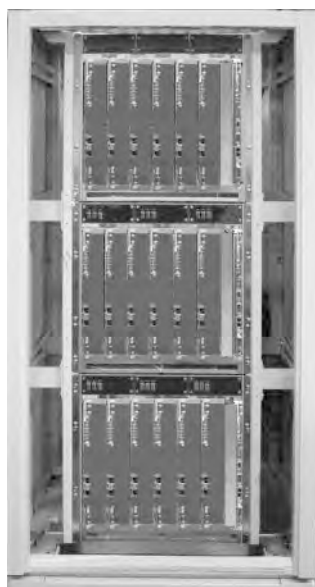


図2. 陸上端局装置MF-2800GWSの外観

- (2) 4系列の10Gbps光信号を1台の40Gbpsトランスポンダで送受信することによって、10Gbps伝送あたりの消費電力を39%削減

また、システムの大規模化に伴い、多数の波長パスをエンドツーエンドで管理する監視システムが求められている。そこで、MF-2800GWSではNMS(Network Management System)を提供して、各局内でクライアントIF同士を直接接続するDWA(Direct Wavelength Access)パスを管理する機能を追加した。特長は次のとおりである。

- (1) 各局内の各種装置を監視するEMS(Element Management System)を集約監視し、最大5,000のDWAパスに対し、エンドツーエンドで構成管理、警報管理や性能管理の機能を提供
- (2) 10Gbpsと40Gbpsの混在システムや、複数のケーブル区間を跨(またが)るDWAパス構成も、1つのNMSで統合管理が可能
- (3) 利用者の直感的な操作性と容易な保守性を実現して、多数パスを簡便に管理するために、図4に示すWebベースのNMSクライアントを提供(縦軸が各DWAパスの名称を、横軸はパスの経路を示している。)

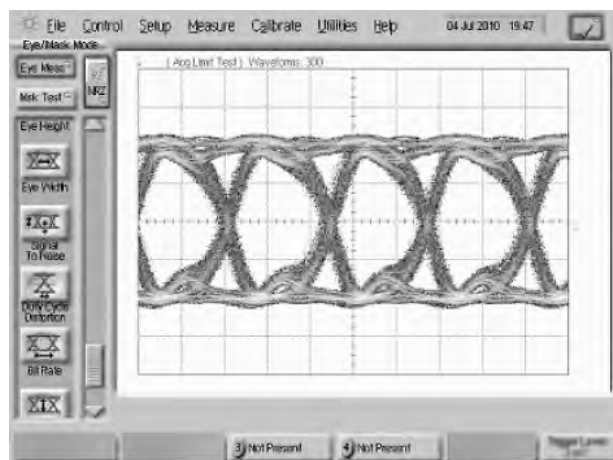


図3. 受信波形

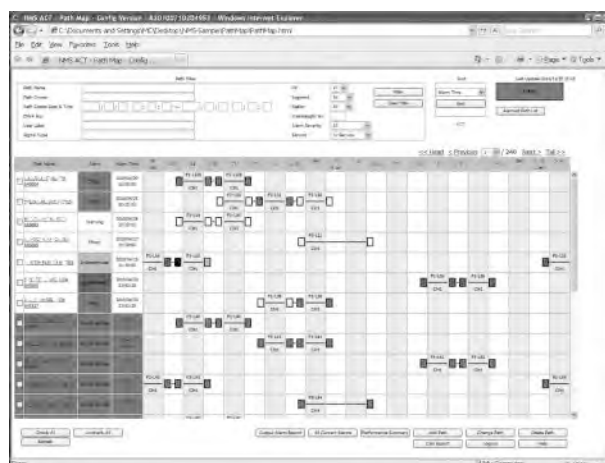


図4. NMSクライアントの表示例

4. 将来への展望

更なるネットワークの大容量化に際しても、ネットワーク機器の省電力化と省スペース化を推進するため、次世代100Gbps伝送システム向けデジタルコヒーレント受信技術と誤り訂正技術を開発している。デジタルコヒーレント受信技術はデジタル信号処理によって受信光信号を復調する方式である。100Gbps伝送システムの実現技術として注目され、既にOIF (Optical Internetworking Forum) で議論がなされている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

図5に、機能ブロックを示す。ADC (Analog to Digital Converter) でデジタル化された入力信号は、波形等化、信号再生処理を施された後、誤り訂正される。デジタルコヒーレント受信技術は並列デジタル信号を扱うため、軟判定誤り訂正技術との親和性も高く、LDPC符号等の強力な誤り訂正技術を適用できる。当社では、LDPC符号と従来のRS (Reed-Solomon) 符号を接続した誤り訂正符号技術を開発しており、9.0dB (@1E-13) のネット符号化利得を実証した⁽⁷⁾。これによって、高雑音下でも優れた訂正能力を発揮できると期待される。

5. む す び

メトロネットワークシステムと海底ケーブルシステムの更なる大容量化と省電力化の両立に向けて、当社が開発したWDM光伝送システムMF-3200GWとMF-2800GWSの概要とその主要技術の特長を述べた。このシステムでは、40Gbps化によって伝送機器を省電力化・省スペース化させながら、大容量化を実現している。また、研究開発中のデジタルコヒーレント受信技術と誤り訂正技術は、次世代装置の100Gbps化とさらなる省電力化に有効と期待されている。

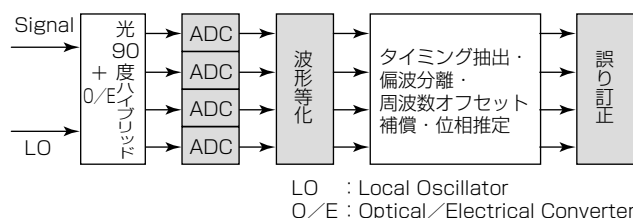


図5. デジタルコヒーレント受信機の機能ブロック

参 考 文 献

- (1) Sugihara, T., et al.: 43Gb/s DQPSK pre-equalization employing 6-bit, 43GS/s DAC integrated LSI for cascaded ROADM filtering, OFC/NFOEC2010, San Diego, PDPB6 (2010)
- (2) 杉原浩平, ほか: 長距離大容量光伝送システム, 三菱電機技報, **84**, No.8, 430~433 (2010)
- (3) OIF-FD-100G-DWDM-01.0 100G Ultra Long Haul DWDM Framework Document (2009)
- (4) OIF-PMQ-TX-01.0 Implementation Agreement for Integrated Polarization Multiplexed Quadrature Modulated Transmitters (2010)
- (5) OIF-DPC-RX-01.0 Implementation Agreement for Integrated Dual Polarization Intradyne Coherent Receivers (2010)
- (6) OIF-MSA-100GLH-EM-01.0 Multisource Agreement for 100G Long-Haul DWDM Transmission Module Electromechanical (2010)
- (7) Miyata, Y., et al.: A Triple-Concatenated FEC Using Soft-Decision Decoding for 100Gb/s Optical Transmission, OFC/NFOEC2010, OThL3, San Diego (2010)

山陽・九州新幹線直通車両用列車無線移動局

井澤賢二*
花田 豊*
駒井俊彦*

Mobile Stations Corresponding to Direct Train Radio Systems for Sanyo/Kyushu Shinkansen

Kenji Izawa, Yutaka Hanada, Toshihiko Komai

要 旨

九州新幹線^(注1)は新八代－鹿児島中央間に加え、博多まで延伸工事が完了し、2011年3月12日鹿児島ルートは全線開業した。これを機に山陽新幹線と九州新幹線の直通運転が開始され、専用の直通車両“みずほ”“さくら”が新大阪から鹿児島中央まで運行されている。

新大阪から鹿児島中央は東海道新幹線、山陽新幹線、九州新幹線の各列車無線システムで構築されており、それぞれ異なる方式の列車無線システムで運用されている。

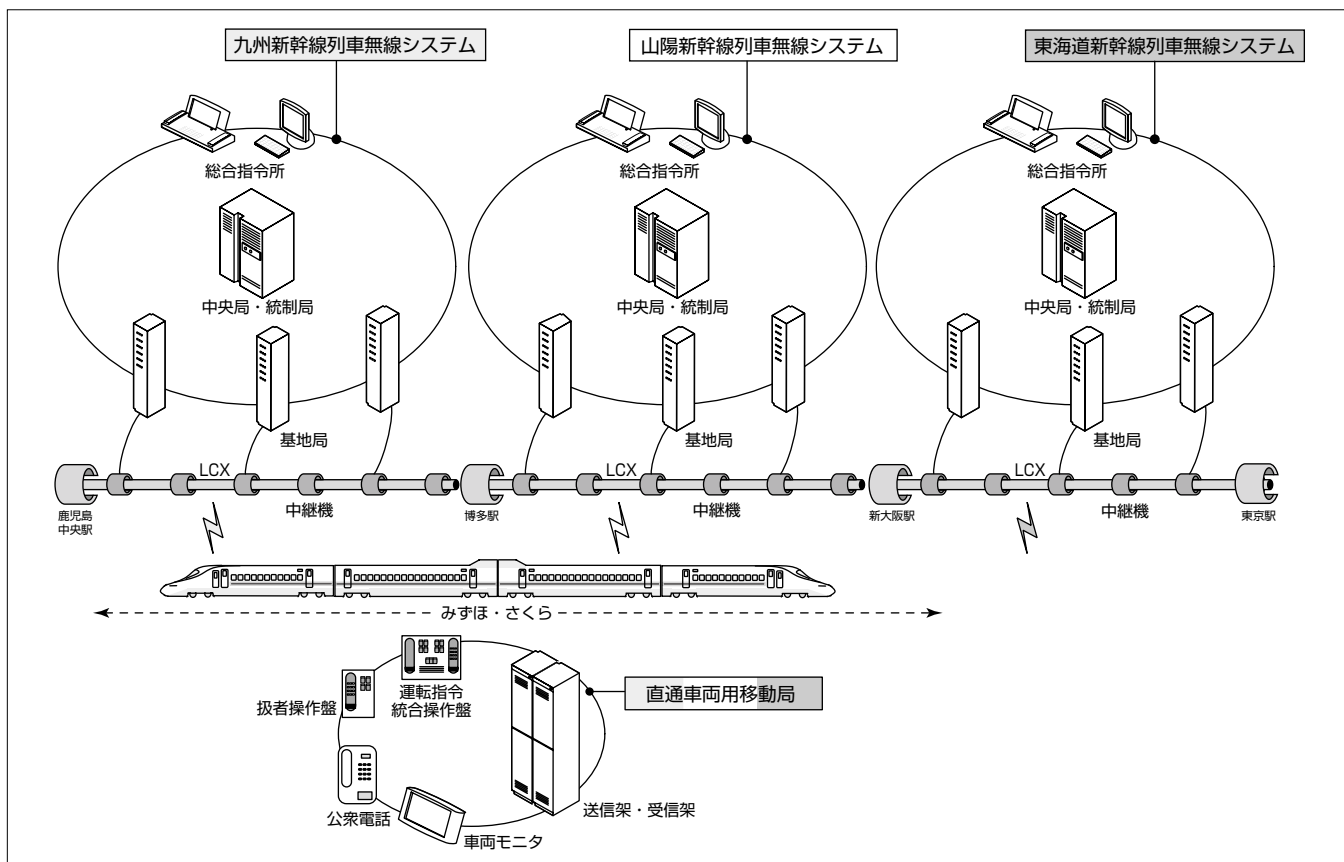
直通車両に搭載される列車無線装置(以下“移動局”)という。は、3種類の列車無線システムに必要な機能を盛り込みながらも、直通運転を行わない従来の山陽新幹線、九州

新幹線用の移動局と同等のスペースに機器を納める必要があった。

そこで、3種類の異なる列車無線システムの無線方式に対応したソフトウェア無線部を導入するとともに、アナログ処理部をデジタル化することによって、回路規模の大幅縮小を行い実現した。

また、直通車両は3種類の異なる列車無線システムに対応し、通話を継続しながらシステム境界をハンドオーバーできる必要があり、ソフトウェア無線部の無線方式切替えによってシームレスなハンドオーバーを実現した。

(注1) 新幹線は、東海旅客鉄道株、東日本旅客鉄道株、西日本旅客鉄道株の登録商標である。



新幹線列車無線システム

新幹線列車無線システムは、中央局、統制局、基地局、中継機の地上設備と各列車に搭載された移動局によって構成され、基地局と移動局間の伝送は線路沿いに張られたLCX(漏洩(ろうえい)同軸ケーブル)を介した無線通信で行われる。東海道新幹線、山陽新幹線、九州新幹線の列車無線システムは無線方式・制御方法が異なるため、直通車両用移動局は在線する地上設備の方式にしたがって新幹線業務及びサービスに必要な音声、データの通信を行う。

*コミュニケーション・ネットワーク製作所

1. ま え が き

2011年3月12日に、九州新幹線博多－新八代間が開通し、九州新幹線(鹿児島ルート)が全線開業した。これを機に山陽新幹線と九州新幹線の直通運転が開始され、専用の直通車両“みずほ”“さくら”が新大阪から鹿児島中央まで運行されている。直通車両には、この区間を走行する際に必要な東海道新幹線、山陽新幹線、九州新幹線の列車無線システムに対応した移動局が搭載されている。

本稿では新幹線列車無線システムと、山陽・九州新幹線直通車両用の移動局を導入した技術について述べる。

2. 新幹線列車無線システム

新幹線列車無線システムは、中央局、統制局、基地局、中継機から構成される地上設備と、列車に搭載された移動局によって構成される。

2.1 移 動 局

移動局は、図1のように4つのアンテナを搭載し、線路沿いに張られたLCX(漏洩同軸ケーブル)を介して地上設備と無線通信を行い、新幹線運行业務及びサービスに必要な音声、データの通信を行う。

2.2 システム境界

新幹線列車無線システムは、開業及び設備更新時に最新の技術を導入し、高品質な音声通信と大容量かつ高速なデータ通信を実現することで列車の安全運行とサービスの向上を図っている。開業及び設備更新時期の異なる東海道新幹線、山陽新幹線、九州新幹線は図2のように異なる新幹線列車無線システムによって構成されている。

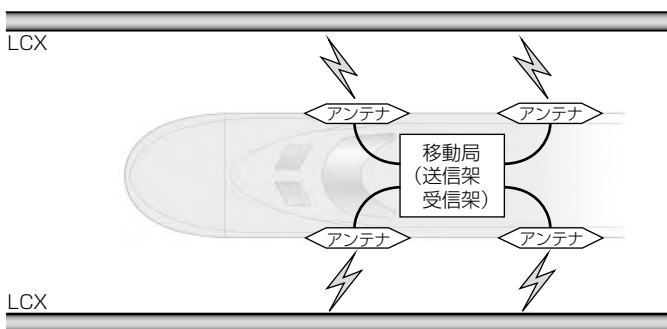


図1. 移動局の概念図

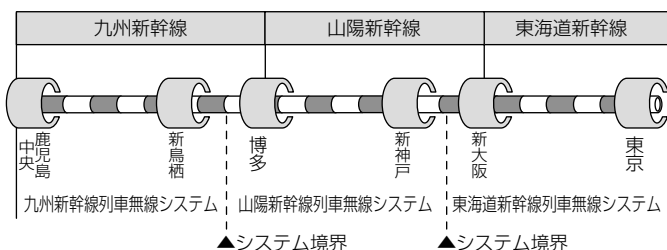


図2. システム境界図

東海道新幹線と山陽新幹線のシステム境界は新大阪と新神戸の駅間にあるため、新大阪から鹿児島中央間を運行する山陽・九州新幹線直通車両は、3種類の新幹線列車無線システムに対応し、通話を継続しながらシステム境界をハンドオーバーできる移動局が必要である。

2.3 無 線 方 式

東海道新幹線、山陽新幹線、九州新幹線の列車無線システムにおける無線方式の概要を表1に示す。変調方式は東海道新幹線と九州新幹線の列車無線システムは音声、データともにデジタル位相変調方式を、山陽新幹線列車無線システムは、音声はアナログ位相変調方式、データはGMSK(Gaussian filtered Minimum Shift Keying)方式を採用している。無線フレームフォーマット、音声符号化は各々独自方式によって実現している。直通車両用の移動局はすべての無線方式に対応している。

2.4 サービス機能

東海道新幹線、山陽新幹線、九州新幹線の列車無線システムで、直通車両用の移動局が提供する音声とデータのサービスを表2に示す。直通車両用の移動局は各システムのサービスに対応している。

3. 移動局の構成

山陽・九州新幹線直通車両用の移動局の構成を図3に示す。送信架は、音声端末、PHS(Personal Handyphone System)交換機、ラジオ再放送装置を接続する音声端末インタフェース部と送信部(ソフトウェア無線部)を実装して

表1. 無線方式

	九州新幹線 列車無線システム	山陽新幹線 列車無線システム	東海道新幹線 列車無線システム
無線周波数帯	400MHz帯		
伝播(でんぱ)方式	LCX方式		
変調方式	デジタル位相 変調方式	音声：アナログ位相変調方式 データ：GMSK方式	デジタル位相 変調方式
無線フレーム フォーマット	九州独自方式	山陽独自方式	東海道独自方式
音声符号化	九州独自方式	なし	東海道独自方式

表2. 移動局が提供するサービス

	九州新幹線 列車無線システム	山陽新幹線 列車無線システム	東海道新幹線 列車無線システム
音 声	運転指令電話	○	○
	旅客指令電話	○	○
	業務電話	○	○
	公衆電話	○	○
	車掌一斉放送	○	○
	ラジオ再放送	○	○
デ ー タ	文字ニュース	○	○
	車両モニタ	○	○
	列車無線モニタ	○	○
	運行状況指令伝達	○	○

○：機能あり

いる。受信架は、受信部(ソフトウェア無線部)、多重部・コーデック部及び全体の信号処理を行う処理部(アナログ処理部含む)を実装している。多重部・コーデック部は、送信架の送信部と音声端末インタフェース部と接続し、信号の多重化とコーデック処理をする。

4. 移動局に導入した技術

この移動局は、車両内の移動局設置スペースに制限があるため、ソフトウェア無線部(送信部、受信部)を導入し無線部実装数を削減するとともに、アナログ処理部の小型化を行っている。また、システム境界を走行するため、シームレスな方式切替え(ハンドオーバー)を実現している。

4.1 ソフトウェア無線部

4.1.1 導入

この移動局は、東海道新幹線、山陽新幹線、九州新幹線の各列車無線システムに必要な機能を盛り込みながらも、従来の移動局と同等のスペースに納まるようにするために、実装する無線部数を削減する必要があった。そこで、設定の変更によって3種類の無線方式が動作可能なソフトウェア無線部を導入した。

4.1.2 概念

ソフトウェア無線部は共通のハードウェアを用い、ソフトウェアの切替えによって、複数の無線方式に対応できる無線部である。図4にその概念図を示す。直通車両用の移動局のソフトウェア無線部は送信部と受信部が、それぞれ1種類のハードウェアで東海道デジタル方式、山陽アナログ方式、九州デジタル方式の3種類の無線方式に対応することができる。

4.1.3 構成

従来の無線部(受信部)とソフトウェア無線部(受信部)の構成例を図5に示す。従来の無線部(受信部)は、RF (Radio Frequency)回路、混合器、IF (Intermediate Frequency)回路、BB (Baseband)回路、検波器等で構成されているが、機能が固定されたハードウェアで構成されていたので1種類の受信方式にしか対応できなかったが、近年DSP(Digital Signal Processor)などの演算素子の高性能化によってソフトウェア無線部を実現することが可能となった。ソフトウェア無線部(受信部)は、RF回路、混合器、A/D (Analog to Digital)変換部、信号処理部、伝送制御部で構成

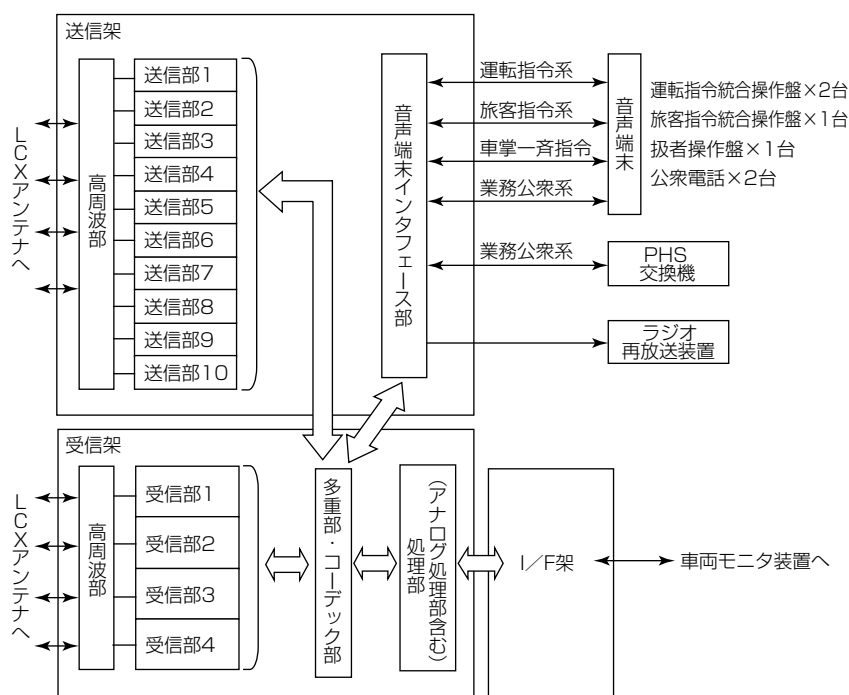


図3. 移動局の構成

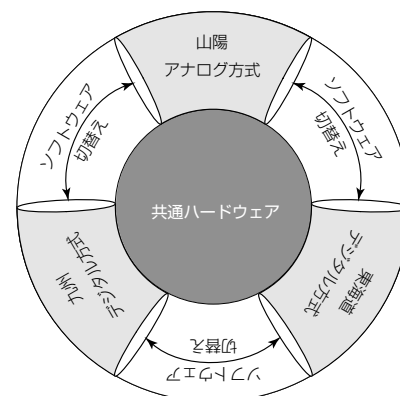
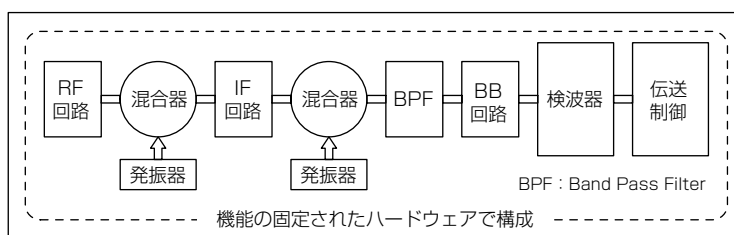
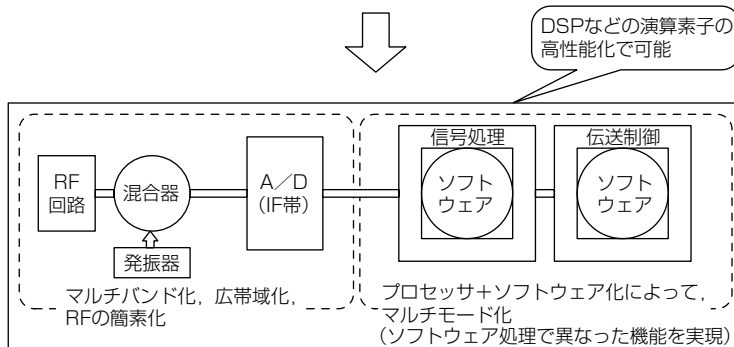


図4. ソフトウェア無線部の概念図



(a) 従来の無線部(受信部)の構成例



(b) ソフトウェア無線部(受信部)の構成例

図5. ソフトウェア無線部(受信部)の構成例

表 3. 無線部実装数

(a) 各方式の従来の無線部の必要無線部数(冗長系含む)		
	送信部	受信部
九州デジタル方式	4 台	2 台
山陽アナログ方式	10台	4 台
東海道デジタル方式	6 台	3 台
単純合計	20台	9 台

(b) 直通車両用の移動局の実装無線部数(冗長系含む)		
	送信部	受信部
3 方式対応	10台	4 台

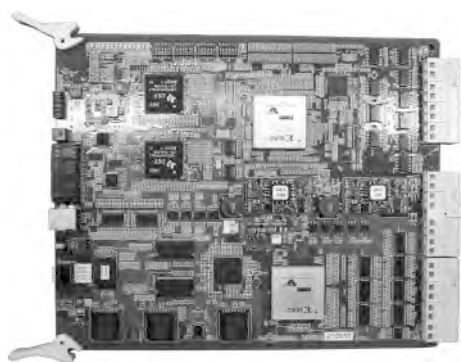


図 6. アナログ処理部

される。ソフトウェア無線部の信号処理部、伝送処理部はソフトウェアで異なった機能を実現している。このため、異なった複数のシステムの受信対応が同じ受信部で可能である。

4.1.4 無線部実装数の削減

移動局を従来の無線部(送信部、受信部)で構成した場合と、ソフトウェア無線部(送信部、受信部)で構成した場合の比較を表 3 に示す。今回ソフトウェア無線部を導入することによって、従来の無線部で構成した場合と比較して、必要な無線部実装数を半減させた。

4.2 アナログ処理部の小型化

山陽区間のアナログ方式は多重チャネルを同時監視する必要がある。従来はアナログ回路で実現していたが、ソフトウェア無線部のプラットフォームを流用して、DSP及びFPGA(Field Programmable Gate Array)で処理することでアナログ処理部を従来の当社製移動局で使用していた処理部と比べ、約 5 分の 1 の大きさに小型化を図ることができた。図 6 に今回受信架に実装しているアナログ処理部の外観を示す。

4.3 シームレスなハンドオーバーの実現

直通車両用の移動局は、異なるシステムの区間を走行する一方、運転保安設備として利用される音声サービスはすべてのシステムで共通に使用され、システム境界をハンドオーバーする際にも通話継続が必要である。

直通車両用の移動局は東海道区間及び九州区間ではデジ

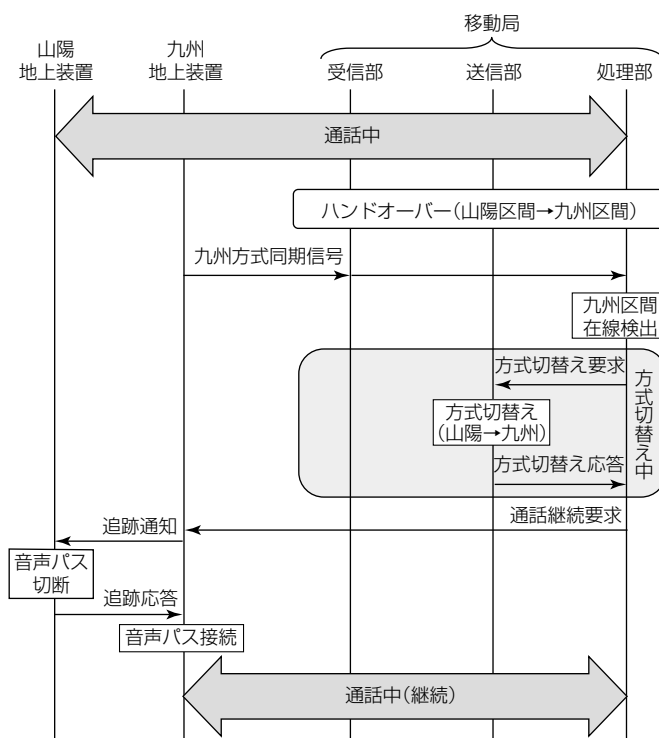


図 7. 山陽区間から九州区間へのハンドオーバーシーケンス

タル方式波に含まれる同期信号を検出し、山陽区間ではアナログ方式波に含まれるパイロット信号を検出することによって、システム境界のハンドオーバーを検出する。この際、ソフトウェア無線部の無線方式を高速で切り替えることによって、異なるシステム間の通話を継続させたまま、シームレスなハンドオーバーを実現している。山陽区間から九州区間へのハンドオーバー時のシーケンス図を、例として図 7 に示す。

5. む す び

新幹線列車無線システムと、山陽・九州新幹線直通車両用の移動局に導入した技術について述べた。ソフトウェア無線部の導入、アナログ処理部の小型化によって、従来と同じ設置スペースで直通車両用の移動局を実現でき、また異なるシステムの区間走行に対応することで、山陽・九州新幹線の直通車両の完成、運行に貢献することができた。今後も列車の安全運行とサービス向上を図るため開発を行っていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 岩永伸理, ほか: 東海道新幹線デジタル列車無線システム, 三菱電機技報, **83**, No.6, 367~370 (2009)
- (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)

元吉克幸*
塚本 薫*
柳 崇*

小型偏波共用アンテナを用いた空間多重技術

Spatial Multiplexing Technology with Compact Dual-polarized Antenna

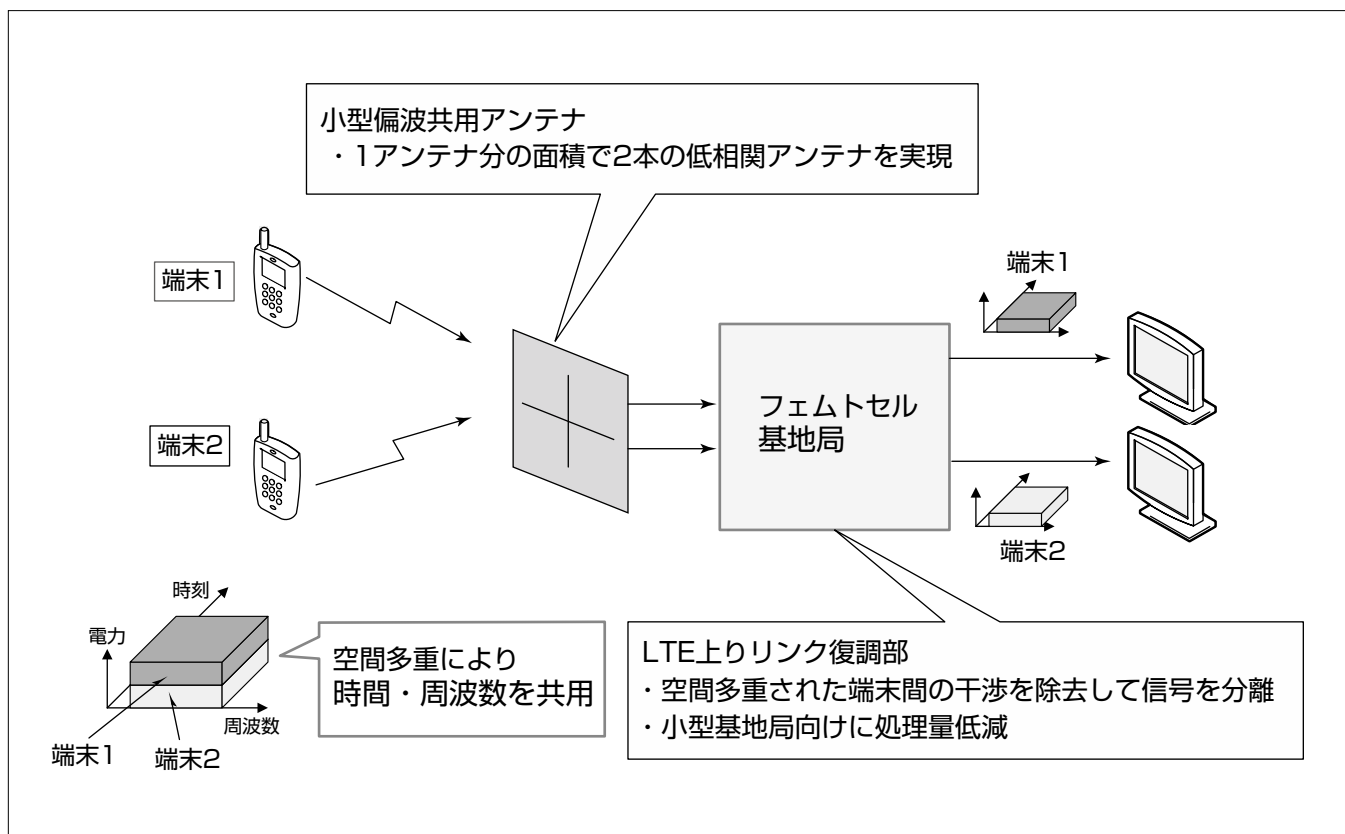
Katsuyuki Motoyoshi, Kaoru Tsukamoto, Takashi Yanagi

要 旨

携帯電話からのインターネットアクセスの普及やスマートフォンの台頭によって、逼迫(ひっぱく)する周波数資源の利用効率を向上させる手段としてMIMO (Multiple Input Multiple Output)空間多重が注目されている。MIMOでは複数のアンテナから異なる情報を同一時刻・周波数上で空間多重することによって周波数利用効率の向上が可能となる。ただし、アンテナ間の距離が近いとアンテナ間の相関が高くなり通信容量が低下するため、通常はアンテナを半波長以上離して設置し低相関を実現する。これに対し、直交偏波^(注1)を活用した小型偏波共用アンテナを用いれば、1アンテナ分の面積で2本の低相関アンテナが共存可能となり、フェムトセル用基地局などの小型装置でのMIMO空間多重実現が容易となる。

本稿では、はじめにMIMO空間多重の概要を述べ、次に無線伝送実験の結果を述べる。実験では、フェムトセル環境を想定して試作したLTE(Long Term Evolution)上りリンク復調部に、別途試作した小型偏波共用アンテナを接続して、2台の端末から同一時刻・周波数で送信した信号を受信するマルチユーザーMIMOを構築した。各端末からハイビジョン相当の動画を送信し、復調部では信号分離・復調・復号をリアルタイムに実行し、2端末分の動画を再生する。実験の結果、小型偏波共用アンテナの適用によってアンテナ実装面積を抑えつつ、MIMO空間多重によって5MHz帯域で36Mbpsのシステムスループットを安定的に達成できることを確認した。

(注1) 電波伝搬における電界の向きを偏波といい、偏波が互いに直交関係にある場合(水平偏波と垂直偏波など)を直交偏波という。



小型偏波共用アンテナを使用したMIMO空間多重システム

2台の携帯端末からの異なる送信信号を2本のアンテナで受信する2×2MIMO空間多重のイメージを示す。2台の送信端末は同一時刻に同一周波数で送信を行う。小型偏波共用アンテナは1本分のアンテナ実装面積で低相関な2本のアンテナを実現可能である。小型偏波共用アンテナを使用することでアンテナ実装面積を小さくでき、無線装置の小型化が可能となる。

1. ま え が き

iモード^(注2)などによる携帯電話からのインターネットアクセスの普及やスマートフォンの台頭によって、携帯電話のデータ通信量は年々上昇を続けており、逼迫した周波数帯域を有効利用できる無線通信方式への関心が高まっている。

この課題に対して、例えば3GPP(3rd Generation Partnership Project)⁽¹⁾で標準化が行われ、2010年12月に日本でサービスが開始されたLTE^(注3)ではMIMO空間多重技術が規格に採用された⁽²⁾。MIMO空間多重では、複数のアンテナから情報を空間多重し、複数のアンテナで受信することで、同一時刻・周波数上で情報の多重伝送を行うことができ、周波数利用効率が向上する。MIMOはLTEの他にも無線LAN(IEEE802.11n⁽³⁾)やWiMAX^(注4)(Worldwide Interoperability for Microwave Access)⁽⁴⁾等でも採用されており、無線通信高速化の有力な手段として注目を集めている。

一方で、MIMO空間多重は先に述べた複数のアンテナを使用することからアンテナの実装面積が大きくなるため、フェムトセル用の超小型基地局装置⁽⁵⁾などのように実装面積に制約がある場合に問題となる。装置を小型化するためにアンテナを高密度に実装すると、アンテナ間の結合が強まって相関が大きくなり、MIMO空間多重の周波数利用効率が低下することが知られている⁽⁶⁾。この課題に対しては、直交偏波を活用してアンテナ間の低相関化と省スペース化を両立した小型偏波共用アンテナ⁽⁷⁾の適用が有効である。

本稿では、はじめにMIMO空間多重の基本技術を述べ、次に、小型偏波共用アンテナを用いたMIMO空間多重の実現例として、フェムトセル環境を想定したLTE上りリンクの無線伝送実験⁽⁸⁾について述べる。実験結果から、小型偏波共用アンテナを適用することでアンテナの実装面積を抑えつつMIMO空間多重による高速伝送が実現可能であることを示す。

(注2) iモードは、(株)NTTドコモの登録商標である。

(注3) LTEは、ヨーロッパ電気通信標準協会(ETSI)の登録商標である。

(注4) WiMAXは、WiMAX Forumの登録商標である。

2. MIMO空間多重技術

2.1 MIMO伝搬モデル

図1にMIMO伝搬モデルを示す。MIMO空間多重では、複数の送信アンテナ(X_1, X_2, \dots, X_i)から並列に送信された信号(s_1, s_2, \dots, s_i)はMIMO伝送路を介して複数の受信アンテナ(Y_1, Y_2, \dots, Y_m)で受信される(受信信号 r_1, r_2, \dots, r_m , 雑音 n_1, n_2, \dots, n_m)。受信信号はMIMO伝送路によって送信信号が混じり合った状態となるため、受信側で信号処理によって信号を分離して元の送信信号を推定する。

MIMO空間多重のメリットは、その高い通信容量にあ

る。図2に、送受信アンテナ本数と平均信号対雑音電力比(S/N)対通信容量の関係を示す。このようにMIMOはS/Nが同じ場合でもアンテナ本数が増加するほど通信容量が増加する。この特性が、MIMOが高速伝送の実現手段として有力視される理由である。

2.2 MIMO多重信号の分離方法

MIMO多重信号を分離する方式には様々な種類があるが、本稿では処理が単純で広く用いられている空間フィルタリングについて簡単に説明する。MIMO伝送路は、行数が受信アンテナ数、列数が送信アンテナ数の行列(伝送路行列)で表現される。受信信号は、送信信号と伝送路行列の乗算結果に雑音を加算した形で表現される。空間フィルタリングは、受信信号に対して伝送路行列から作成した行列を乗算することによって、元の送信信号を推定する方式である。

単純には、伝送路行列の逆行列を受信信号に乗算することで送信信号が推定される(Zero-Forcing:ZF)。ただしZFは雑音を無視するため特性が劣化する場合があるので、雑音を考慮したMMSE(Minimum Mean Square Error)空間フィルタリングが広く用いられる。なお、後述の無線伝送実験で使用したLTE復調部にもMMSE空間フィルタリングが実装されている。

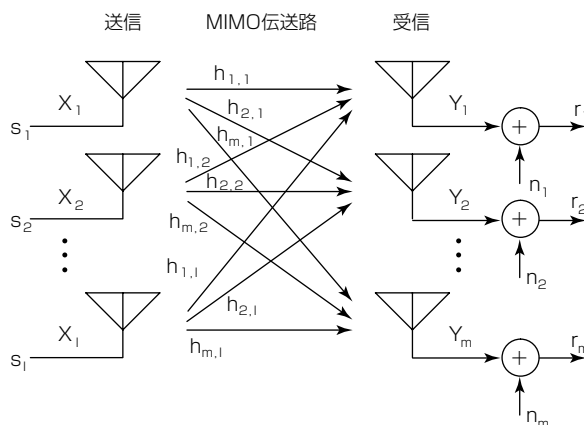


図1. MIMO伝搬モデル

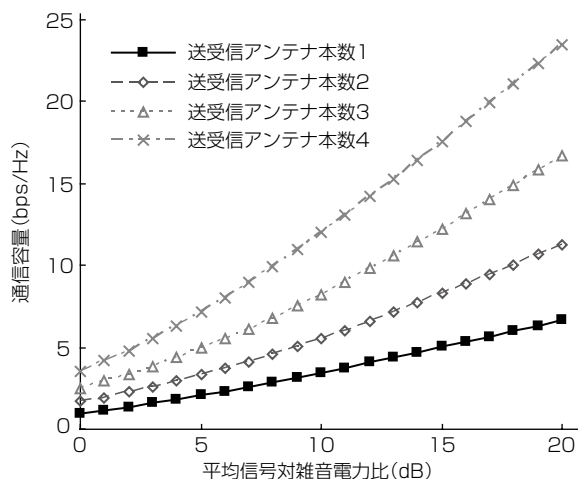


図2. 平均信号対雑音電力比と通信容量の関係

2.3 小型偏波共用アンテナ

2.2節では、MIMO空間多重が高い通信容量を達成可能なことを述べたが、実際にはアンテナ間の相関によって通信容量は低下する。図3にアンテナ間相関と通信容量の関係を示す。ここでは受信アンテナ間にのみ相関を与え、送信アンテナ間は無相関としている。同一偏波のアンテナ間相関は、アンテナ間の距離に依存する。空間相関を低く抑

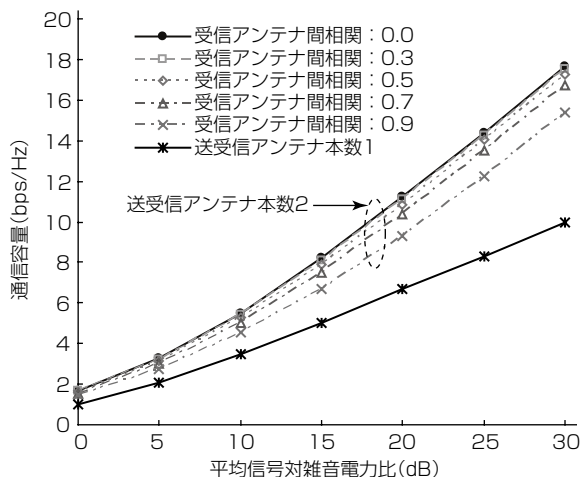


図3. アンテナ間相関と通信容量の関係

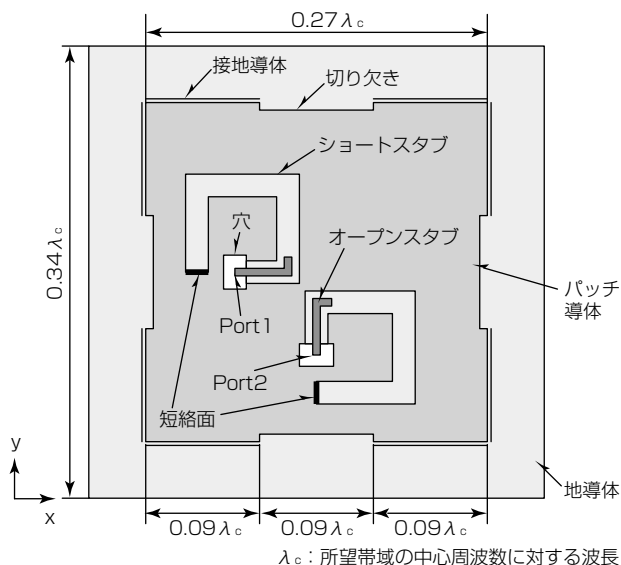


図4. 小型偏波共用アンテナ⁽⁷⁾

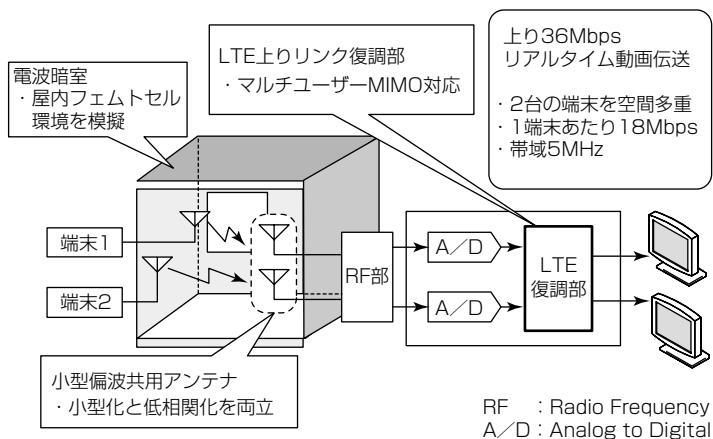


図5. 無線伝送実験系の構成

えるためには半波長(2GHzで7.5cm)以上アンテナを離すことが望ましいが、筐体(きょうたい)が小型な場合は実現が難しい。

この課題に対する解決策として、直交偏波を利用して1本分の実装面積で2本の低相関アンテナを実現する小型偏波共用アンテナが有効である。このアンテナを用いることで、低相関化によるMIMO通信容量の向上と、アンテナ実装面積低減の両立が可能となる。図4に小型偏波共用アンテナの構造を示す。

このアンテナは2つの入力ポートによって直交する2つの直線偏波を放射する偏波共用パッチアンテナである。パッチ導体の端部に接地導体を対向配置させ、さらにパッチ導体のエッジ中央部に切り欠きを設けることによって小型化を図っており、従来のパッチアンテナに比べ、面積比で約1/4に小型化されている。誘電体を使用していないため軽量化が可能であり、小型な筐体への内蔵に適している。

3. 無線伝送実験

ここでは、小型偏波共用アンテナを適用したMIMO空間多重伝送の実現例として、LTE上りリンクの無線伝送実験について述べる。

3.1 実験諸元

図5に無線伝送実験系の構成を、表1に実験諸元を示す。この実験では、2台の端末からLTE上りリンク信号でハイビジョン動画を送信し、電波暗室内に構築したMIMO伝送路を介して、2.3節で述べた小型偏波共用アンテナによって受信し、FPGA(Field Programmable Gate Array)に実装した復調部でリアルタイム復調・復号を行い、パソコン上で動画を再生する。この実験では、2台の端末で空間多重するマルチユーザーMIMO伝送を実施した。これによって、複数の端末を同一時刻・周波数上に収容可能となり、周波数利用効率が向上する。今回の実験では、端末1台あたり18Mbps、合計36Mbpsを5MHz帯域で伝送した。MIMO信号の分離には2.2節に述べたMMSE空間フィルタリングを適用した。また、屋内フェムトセル環境の特徴である低速移動環境を考慮して、MMSE空間フィルタリングの計算頻度を最適化することで、FPGA1石で実現可能な規模に回路の小型化を実現している。

表1. 実験諸元

項目	諸元
周波数帯	1.95GHz帯
帯域幅	5MHz(25リソースブロック)
変調方式	64QAM
符号化率	5/6
誤り訂正符号	Turbo Code
送信アンテナ数	2(ダイポールアンテナ×1, 端末数2)
受信アンテナ数	2(小型偏波共用アンテナ×1)
最大伝送速度	18.336Mbps(1端末あたり)

QAM: Quadrature Amplitude Modulation

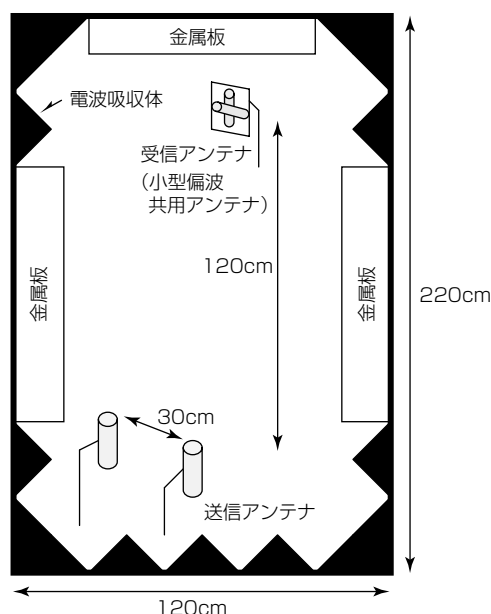


図6. 実験で使用した無線伝搬環境

3.2 実験結果

図6にこの実験で使用した無線伝搬環境を示す。実験では屋内フェムトセル環境を想定し、電波暗室内に複数の金属板を設置して多重反射環境を構築した。端末側はダイポールアンテナで送信し、これを基地局側の小型偏波共用アンテナで受信した。アンテナの偏波面は、送信側がともに垂直、受信側が偏波共用によって水平・垂直となる。また、送信側のアンテナ間隔は2波長(30cm)まで近付け、端末側の偏波面が同じでかつ端末間の距離が近く、マルチユーザーMIMOとしては劣悪な条件での評価も実施した。

実験の結果、基地局受信側に小型偏波共用アンテナを適用することによって、アンテナ1本分の実装面積で2本のアンテナを空間的に離した場合と同様のマルチユーザーMIMO多重伝送が実現可能であり、5MHz帯域のLTE上りリンク通信で、3GPP規格上の最大スループット(端末数2のマルチユーザーMIMO適用時)に相当する36Mbpsが達成可能となることを確認した。図7に36Mbps伝送時のコンステレーション(受信信号点の配置)を示す。

4. む す び

周波数資源を有効活用する手法として注目を集めているMIMO空間多重技術を小型偏波共用アンテナと組み合わせることで、装置の小型化と高い通信速度が実現可能となることを、試作したLTE上り復調部と小型偏波共用アンテナを用いた無線伝送実験で示した。

今後は、さらなるアンテナ本数の増加による伝送速度の高速化と装置の小型化を両立させる方式確立に取り組む。一例として、アンテナ選択によってRF回路の規模を増やさずに通信品質と伝送速度の向上を実現する方式に関して検討を進める予定である⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

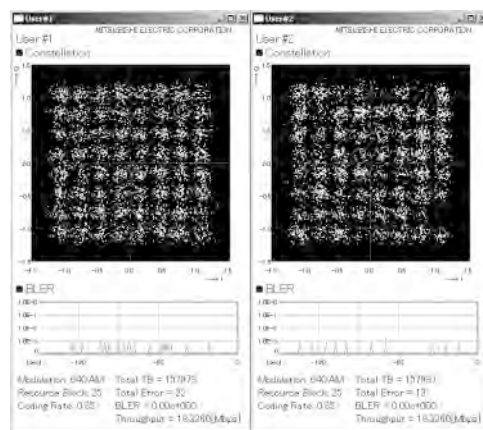


図7. 36Mbps伝送時のコンステレーション(受信信号点の配置)

参 考 文 献

- (1) 3rd Generation Partnership Project <http://www.3gpp.org>
- (2) 中村武宏, ほか: 3GPP LTE/SAE標準仕様完成における活動と貢献, NTT DOCOMOテクニカルジャーナル, 17, No. 2, 36~45 (2009)
- (3) IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput (2009)
- (4) IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1 (2006)
- (5) 中澤正幸, ほか: 高性能フェムトセル無線基地局装置, 三菱電機技報, 84, No.8, 445~448 (2010)
- (6) 唐沢好男: MIMO伝搬チャネルモデリング, 電子情報学会論文誌B, J86-B, No.9, 1706~1720 (2003)
- (7) 柳 崇, ほか: 広帯域整合用スタブと開放端容量を併用した直交偏波共用MSA, 電子情報通信学会技術研究報告, AP2009-144, 13~18 (2009)
- (8) 塚本 薫, ほか: LTEフェムトセル基地局用マルチユーザーMIMO性能検証装置の試作, 電子情報通信学会総合大会, B-5-2 (2010)
- (9) 塚本 薫, ほか: LTEフェムトセル基地局における下りリンクアンテナ選択送信ダイバーシチに関する検討, 電子情報通信学会総合大会, B-5-62 (2011)
- (10) 元吉克幸, ほか: LTEフェムトセル基地局における上りリンクアンテナ選択受信ダイバーシチに関する検討, 電子情報通信学会総合大会, B-5-63 (2011)

デジタルCCTVシステム

岡部正治* 藤田偉雄***
平松隆宏** 本間 洋†
山下孝一***

Digital CCTV System

Masaharu Okabe, Takahiro Hiramatsu, Koichi Yamashita, Takeo Fujita, Hiroshi Honma

要 旨

映像監視市場は、毎年安定成長を続けており、セキュリティニーズは高まっている。また、装置構成としては従来のアナログCCTV(Closed Circuit TeleVision)システムからネットワークを使用したデジタルCCTVシステムに移行が進んでいる。

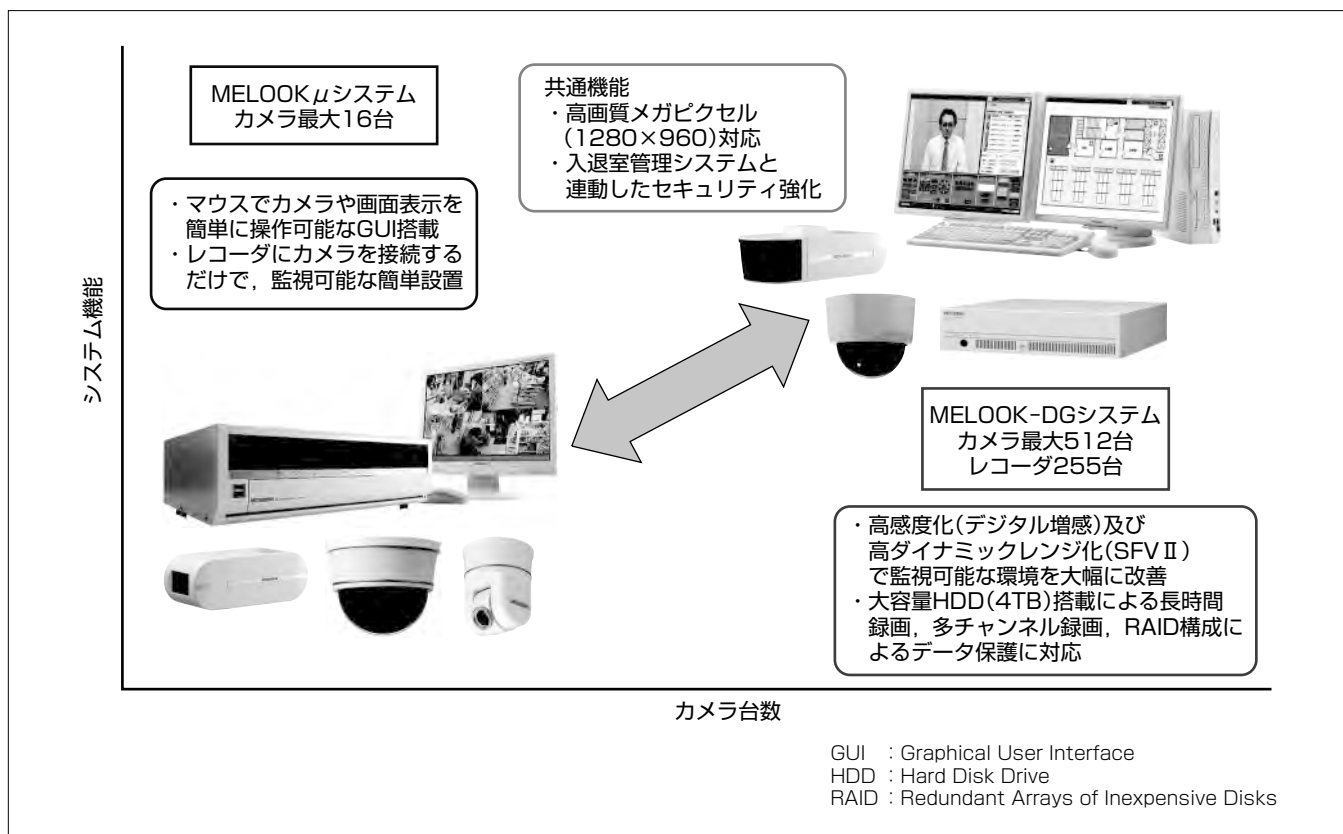
三菱電機は、デジタルCCTVシステムでメガピクセル対応の充実化を図っており、小規模店舗向けシステム“MELOOK μ ”及び多様な構成に対応可能なシステム“MELOOK-DG”の2種類の監視カメラシステムを提供している。

MELOOK μ システムは、最大16台のメガピクセル対応カメラを接続可能な小規模店舗向けのパソコンレスシステムで、メガピクセル画像監視をハイコストパフォーマンス

で構築可能である。

MELOOK-DGシステムは、従来提供していた“DIGITAL MELOOKシリーズ”の後継として“メガピクセルの高精細映像”“新デジタル技術による高画質”“高い拡張性”をキーワードに開発したシステムで、512台のカメラ/255台のレコーダを1台のパソコンで一元管理が可能で、店舗から複合ビルまで対応可能なシステムである。また、多様化していくニーズにこたえるため、MELOOK-DGシステムはライブ監視、遠隔監視などの映像監視だけでなく、入退室管理との連携など、効率的でハイレベルなセキュリティをも実現する。

本稿では、当社のデジタルCCTVシステムの構成機器とその技術について述べる。



デジタルCCTVの構成機器

デジタルCCTVのMELOOK μ 及びMELOOK-DGシステムの構成機器を示す。MELOOK μ は、カメラ及びレコーダで構成するパソコンレスシステムで、レコーダにカメラ(MELOOK μ カメラ及びMELOOK-DGカメラ)を接続するだけで監視が可能である。MELOOK-DGシステムは、カメラに加えて録画を行うレコーダ及びライブ/再生/カメラ制御などを行うビューアで構成する大規模向けシステムである。

1. ま え が き

セキュリティの多様化に伴い、監視カメラシステムもアナログ方式からデジタル方式への移行が進んでいる。当社では、アナログCCTVからデジタルCCTVへの移行にあたり、監視性能を更に向上させるためカメラの高解像度化、高感度化、高ダイナミックレンジ化を図ってきた。

本稿では、デジタルCCTVカメラに搭載した代表的な技術とシステムについて述べる。

2. デジタルCCTVシステムMELOOK μ ⁽¹⁾⁽²⁾

2.1 コンセプト

MELOOK μ シリーズは、コンビニエンスストアや金融機関店舗などの小規模な施設監視向けに、アナログCCTV並みのコストと施工性で、メガピクセル対応を実現した。

2.2 MELOOK μ カメラ

MELOOK μ カメラには、固定カメラ“NC-2000”、ドーム型カメラ“NC-2600”、旋回カメラ“NC-2750”の3機種がある。表1にMELOOK μ カメラの主な仕様、図1にMELOOK μ カメラの製品外観を示す。次に製品の特長を述べる。

2.2.1 高解像度化

MELOOK μ カメラは、SXVGA (Super eXtended Video Graphics Array) (1280×960)に対応し、アナログCCTVカメラや従来デジタルCCTVカメラのVGA (Video Graphics Array) (640×480)に比べて約4倍の画素数の高精細画像で、細部までくっきり確認できる。これによって従来困難であったお札の種別や人物の判別なども可能になった。

表1. MELOOK μ カメラの主な仕様

項目	内容	備考
画素数	SXVGA/VGA切替え	カメラ共通
フレームレート	SXVGA: 15fps VGA: 30fps	カメラ共通
伝送方式	三菱独自方式	カメラ共通
音声	G.711	NC-2000のみ
最低被写体照度	1lx(SXVGA)/2lx(VGA)	NC-2600はクリアドーム装着時
機能	モーションディテクタ	カメラ共通
	マスキング	NC-2000/NC-2600
	オートパン/オートチルト	NC-2750のみ
最大旋回速度	パン: 300°/s	NC-2750のみ
	チルト: 200°/s	

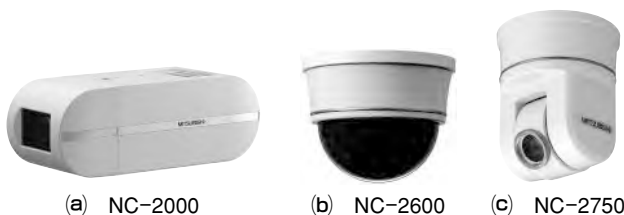


図1. MELOOK μ カメラの製品外観

2.2.2 旋回カメラの長寿命化/小型化

旋回カメラ“NC-2750”では、長寿命化のために電力及び画像、制御信号の新規伝送方法を開発した。電力は回転型非接触トランスを用いて伝送し、画像、制御信号は光伝送を採用した。この方式の採用によって磨耗による寿命の要因を排除でき、従来の旋回カメラの旋回寿命100万回に対して、2,000万回という長寿命が可能となった。また、伝送方式の変更によって小型化も可能となり、従来品と比較して体積比26%減を実現している。

2.3 MELOOK μ レコーダ

MELOOK μ レコーダは、メガピクセル映像の記録に対応した“NR-2000シリーズ”と、セキュリティ構築プラットフォーム“DIGUARD NET”による他システムとの連携に対応した“NR-3010DG”がある。表2にMELOOK μ レコーダの主な仕様を、図2に製品外観を示す。

次に、MELOOK μ レコーダの特長的な機能について述べる。

2.3.1 高解像度・多画面表示

映像監視システムの顧客からは、撮像した映像から紙幣や人物を識別したいという強いニーズが寄せられていた。このニーズにこたえるためには、SXVGAの映像を、15fps (frames per second)で記録・表示することが必要であったが、従来の方式では信号処理量が膨大となり、低コストでの実現が困難であった。

このような課題を解決するため、カメラ・レコーダ間の伝送方式や内部での信号処理方式を見直し、当社独自の新

表2. MELOOK μ レコーダの主な仕様

項目	内容	備考
最大接続カメラ台数	MELOOK μ カメラ: 8台 MELOOK-DG, DIGITAL MELOOKカメラ: 8台	トータル16台
データ圧縮方式	M-JPEG	
データ暗号化方式	BROUILLARD	
記録容量	500GB×2	
操作方法	USBマウス	
入退出管理	最大16扉	NR-3010DGのみ

USB: Universal Serial Bus



図2. MELOOK μ レコーダの製品外観(NR-3010DG)

しい映像伝送・処理方式を開発し、MELOOK μ カメラ 8 台から送信されるSXVGAサイズの映像を每秒15コマで受信・表示することを可能とした。

2.3.2 高 機 密

MELOOK μ レコーダは、外部に接続した増設HDDへの映像記録にも対応している。増設HDDが盗難されほかのMELOOK μ レコーダに接続されて、記録映像を不正に閲覧されることを防ぐため、映像の暗号化記録機能を実装した。当社独自の暗号技術である“MISTYファミリー”の“BROUILLARD(ブレイヤール)”を採用し、データ速度が32Mbpsの映像データをリアルタイムで暗号化する。また、暗号化にあたっては暗号鍵とレコーダ固有IDを紐(ひも)付けることによって、映像を記録したレコーダ以外での不正な再生を防止する。

2.3.3 簡 単 設 置

従来のデジタルCCTVシステムでは、各機器にIP (Internet Protocol) アドレスを割り当て、相互に通信できるように設定する必要があった。これによって、システム内のカメラ台数が事実上無制限となる利点があったが、一方で設置現場では設定作業が繁雑となり、施工費がアップするという欠点があった。MELOOK μ レコーダでは、カメラをケーブルで一対一接続するだけで自動的に接続を検知する機能を実装し、複雑なIPアドレスの設定を不要とした。また、映像信号と電源を同一のケーブルに重畳することによってネットワーク機器(PoE HUB)を不要とし、省スペース化及び設置工事の簡素化を実現した。

2.3.4 システム間連携

MELOOK μ レコーダの最上位機種である“NR-3010DG”は、セキュリティ構築プラットフォームDIGUARD NETによって、入退室管理システム“MELSAFETY-P”との連携に対応している。従来、入退室管理システムで記録した入退室履歴から監視映像を検索するには、入退室時刻、対象カメラをユーザーが手動で指定する必要があった。NR-3010DGでは、MELSAFETY-Pを制御するDIGUARD NETミドルウェアを実装することによって、一体化したGUI上で入退室履歴をダブルクリックするだけで関連映像の再生が可能になり、利便性が飛躍的に向上している。

3. デジタルCCTVシステムMELOOK-DG⁽³⁾⁽⁴⁾

3.1 コンセプト

多様化していくニーズにこたえるために中・大規模施設向けにDIGITAL MELOOKシリーズの後継として“メガピクセルの高精細映像”“新デジタル技術による高画質”“高い拡張性”をキーワードにMELOOK-DGを開発した。ライブ監視、遠隔監視などの映像監視だけでなく、入退室管理との連携など、効率的でハイレベルなセキュリティを実現している。

3.2 MELOOK-DGカメラ

MELOOK-DGカメラには、固定ネットワークカメラ“NC-6000”，ドーム型ネットワークカメラ“NC-6600”の2機種がある。表3にMELOOK-DGカメラの主な仕様を、図3にMELOOK-DGカメラの製品外観を示す。次に製品の特長を述べる。

3.2.1 高 感 度 化

夜間や、消灯後のフロアのような低照度環境では、真っ暗で被写体が視認できなかったり、被写体がノイズに埋もれていたり、また長時間露光モードに入ることによって動きのある被写体がぼやけたり、残像が生じたりする。このような低照度環境向けの高感度化技術として、フレーム内の輪郭の相関性を検出し、周辺画素から被写体の信号のみを増幅する新方式(デジタル増感)を開発した。これによって、0.25ルクスの低照度環境でも従来方式で発生していた動きに対する残像やブレを発生させず、動きに強いクリアな映像が得られるようになった。また、デジタルノイズリダクション機能によって、低照度でも映像のざらつきを解消しクリアで視認性の高い映像を実現した。図4にデジタル増感の効果を示す。

表3. MELOOK-DGカメラの主な仕様

項目	内容
画素数	SXVGA/VGA切替え
フレームレート	SXVGA/VGA: 30fps
音声	G.711
最低被写体照度	0.25lx: 標準時 0.016lx: 電子増感16倍 (NC-6600はクリアドーム装着時)
機能	モーションディテクタ プライバシーゾーン



図3. MELOOK-DGカメラの製品外観

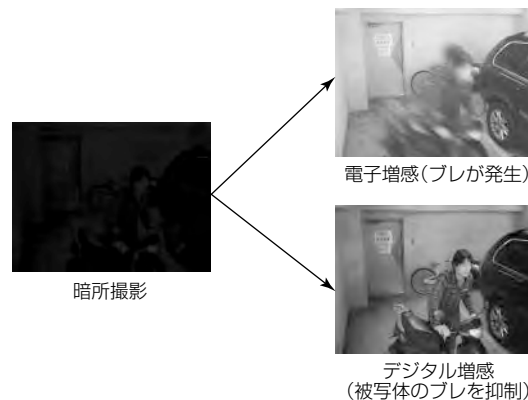


図4. デジタル増感の効果



(a) SFV II OFF

(b) SFV II ON

人物、背景共に鮮明な映像を実現

図 5. SFV II の効果



図 6. NR-6040の製品外観

3. 2. 2 高ダイナミックレンジ化

店舗など建物の出入口を監視するような場合は、日差しの強い屋外と、暗い屋内を同じ画面内に含んで撮像することから屋外の被写体が白飛びしたり、屋内の被写体が黒潰れしたりする。このような広い撮像照度範囲向けの高ダイナミックレンジ化技術として、DIGITAL MELOOKカメラには、それぞれ照度の異なる被写体や背景、周囲の画像データを分析することで、最適画質を自動設定するSFV（スーパー・ファイン・ビュー）機能を搭載していた。MELOOK-DGカメラでは、補正処理の信号階調を従来の10ビットから12ビットへ増やし従来比4倍の表現力としたSFV II機能を搭載した。これによって明暗差の大きな逆光映像をより自然でくっきりとした映像に補正する。図5にSFV IIの効果を示す。

3. 3 MELOOK-DGレコーダ

ネットワークレコーダ“NR-6040”は、SXVGA解像度のM-JPEG (Motion-Joint Photographic Experts Group) 映像の記録に対応し、4TBのHDDを搭載している。大容量HDDの搭載によって、1fps映像を16ch (SXVGA) 又は64ch (VGA) を、同時に約23日間の記録が可能である。また、最大64chの蓄積、最大16chの配信が可能である。4個のHDDを搭載したことによって、運用に応じてRAID 0 / 1 / 5の選択が可能となり、蓄積データの安全性の向上も図れる。図6にMELOOK-DGレコーダの製品外観を示す。

3. 4 MELOOK-DGビューア

ネットワークビューア“NR-SW8100DG”は、最大512台のネットワークカメラ及び最大255台のネットワークレコーダを制御し、ライブ映像又は記録映像の表示に対応したソフトウェアビューアである。また、パソコンのマルチディスプレイ機能を活用して、2台のディスプレイを接続す

表 4. MELOOK-DGビューアの主な仕様

項目	内容
接続カメラ台数	512台
接続レコーダ台数	255台
ライブ映像表示	単画、4画、9画、16画
ライブ音声再生	1台
再生映像表示	単画、4画、9画、16画
特殊再生機能	一時停止、早送り／早戻し (×2, 4, 10, 20, 40, 80, 100)
入退室管理	40扉



図 7. NR-SW8100DGのGUI

ると、監視映像の再生・制御画面の他にマップ画面を表示し、マップ上のアイコン選択による直感的な操作が可能となる。さらに、セキュリティ構築プラットフォームDI-GUARD NETによるシステム間連携にも対応しており、入退室管理システムMELSAFETY-Pの制御も可能である。表4にNR-8100DGの主な仕様を、図7にそのGUIを示す。

4. む す び

当社のCCTVシステムは、アナログCCTVからデジタルCCTVへの移行の機会をとらえて、カメラでは高解像度化、高感度化、高ダイナミックレンジ化の監視能力を向上させるため、レコーダでは高精細化・長時間記録を実現するための技術開発・製品化を行ってきた。今後、これらの技術を更に発展させるとともに、映像監視の高度化に向け、画像認識技術などを取り込んだ新しい付加価値の創造に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) 三菱デジタルCCTVシステム「MELOOK μ (メルック ミュー)」発売、三菱電機広報発表資料、通信No.0709 (2007)
- (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) 三菱デジタルCCTVシステム「MELOOK-DG」シリーズ発売のお知らせ、三菱電機広報発表資料、通信No.1001 (2010)
- (4) “MELOOK-DG”デジタルCCTVシステム、三菱電機技報，85，No.1，17 (2011)

大規模インターネットサービスプラットフォームへの サーバ仮想化技術の適用

吉川晃平* 佐藤 匠*
佐藤慎太郎* 小杉英司*
山口能一* 川野啓一*

Server Virtualization: Cases in Internet Service Provider

Kohei Yoshikawa, Shintaro Sato, Yoshikazu Yamaguchi, Takumi Sato, Eiji Kosugi, Keiichi Kawano

要 旨

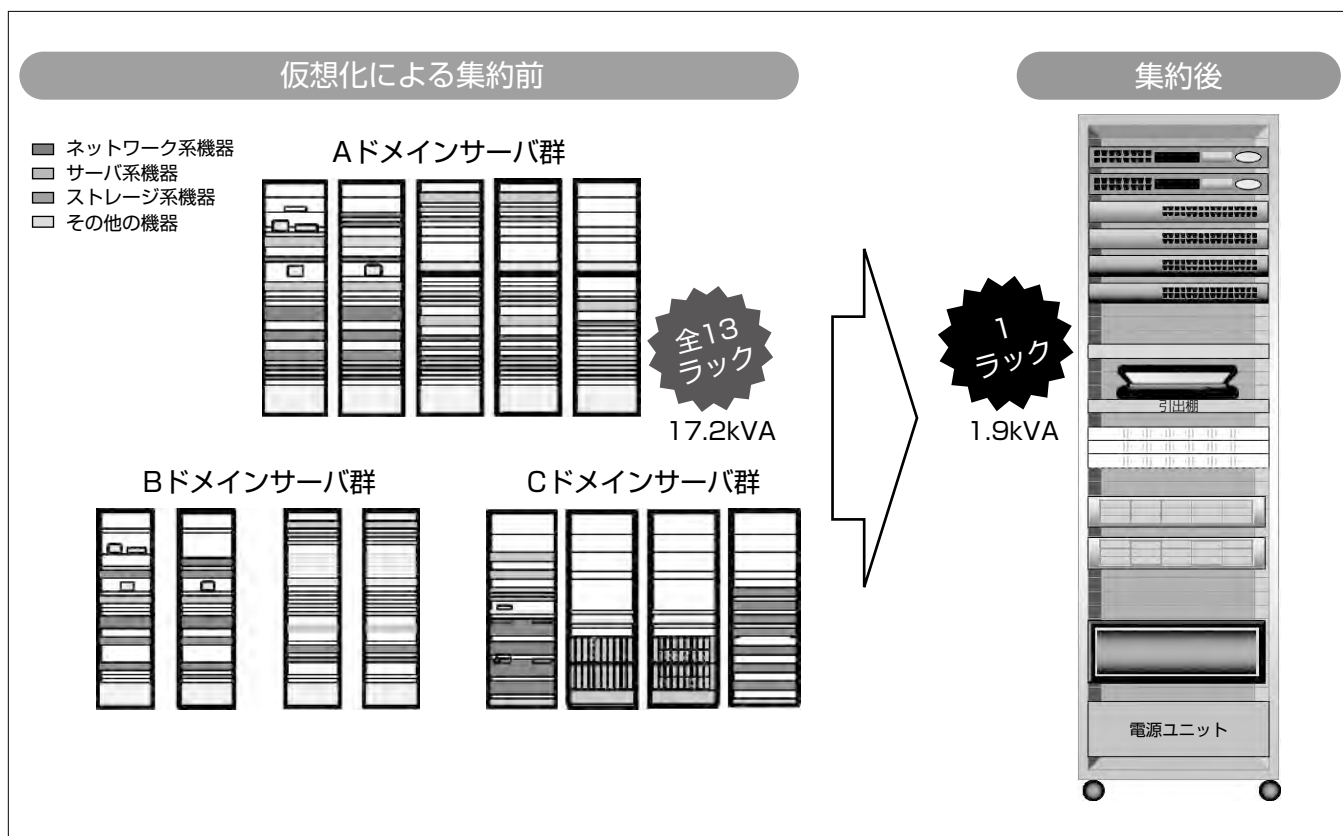
電子メールや個人ホームページのホスティングサービスを提供するインターネット事業者では、競争の激化に伴い、加入者の退出を抑えながら、更なる収益向上を図るためのコスト削減が急務となっている。このため近年では、サーバ仮想化技術を適用し、従来多数のサーバを並べていた加入者向けサービス提供システムを、数台のサーバに集約する動きも顕在化してきている。

三菱電機インフォメーションシステムズ(MDIS)では、キャリアグレードのサービス提供システムに仮想化技術を適用し、物理サーバを統合するソリューションを提供している。この事例としては、100テナント(法人加入者)分のサーバ機能を1物理サーバに集約した法人向けのマルチテナントシステムや、異なる機能の54サーバを物理サーバ2台に集約したコンシューマー向けのWWW(World Wide

Web)サービスなどがある。

これらの事例では、リソース仮想化方式を採用し、製品としてはOracle Solaris^(注1)を選定した。また、サーバマシンの台数やスペックを策定するサイジングでは、まず現システムのリソース利用状況を実測し、それを基にシステムへの要求とリソース消費量の関係をモデル化した。さらに、新システムの必要台数・スペックを算定する過程では、ハードウェア、OS(Operating System)、ミドルウェアの性能向上やアーキテクチャの違いを反映させ、仮想化によるオーバーヘッド量を見極めた上で、最大限の台数削減を図った。この結果、それぞれの事例で、サーバの台数やソフトウェアライセンス数を抑え、サービス提供にかかわるコストを大きく低減することができた。

(注1) Oracle及びSolarisは、Oracle Corp. の登録商標である。



サーバ仮想化によるコスト削減の事例

数十万加入者を収容するサービス提供設備で、サーバ54台を2台に集約した。初期構築コストだけでなく、電源容量、設置容積、さらには機器台数の削減(シンプル化)によって、運用維持コストの軽減にも貢献している。

1. ま え が き

インターネット上で提供されるサービスの加入者は、魅力的なコンテンツに対して相応の対価を支払う反面、アクセス回線やインターネット接続サービスなどの汎用的なサービスに対しては、極力、安価なサービスを求めている。このため、電子メールや個人ホームページのホスティングサービスを提供するインターネット事業者では、魅力的なサービスや価格で加入者の退出を抑えながら、収益確保に向けたコスト削減が急務となっている。

一方で、情報技術の領域では、ハードウェアの性能向上やミドルウェアの充実によって、サーバ仮想化の技術が進展・定着してきており、従来は多数のサーバ機器を並べていたセンター側のサービス提供設備を、数台のサーバ機器に集約して構築することが可能になっている。これによって、サービス提供コストの削減は図れるが、サーバ機器1台への依存度が高まるため、障害発生時の可用性確保のほか、高負荷時の影響を極力抑えるなど、サービスレベルを維持するための対策が重要となる。

本稿では、このようなサーバ集約を実現するための仮想化技術について、適用上のポイントを述べる。

2. 仮想化方式の選定

仮想化は、ハイパーバイザ型に代表される“物理仮想化”が主流であるが、これ以外の方式として、単一のOS上でメモリ、プロセス、ファイルシステム等のリソース管理情報を分割することで実現する“リソース仮想化”がある。

物理仮想化は、ゲストOSへの影響が少なくマイグレーション(新たな設備へのサービスの移行)が容易な点がメリットである。

また、リソース仮想化は、物理マシンをエミュレートする必要がないため、仮想化による性能オーバーヘッドが少なく、ゲストOSごとのライセンス費用がかからない点がメリットである。

5章で述べる事例のシステムでは、リソース仮想化を採用し、Oracle Solarisのリソース仮想化機能であるSolaris コンテナを使用したマイグレーションを実施した。この理由は次のとおりである。

- ①ホストOSのライセンスのみでゲストOSを無制限に使用でき、ライセンスにかかわるコスト低減効果が高い。
- ②仮想化オーバーヘッドが5%以下と低い。特に、ネットワーク性能に対するオーバーヘッドがない(事前の試使用結果から)。
- ③ホストOS、ゲストOS、及び仮想化機構を一つのOSで実現することができるシンプルな構成であり、障害時の切り分けや対処が容易である。

3. サイジング

仮想化によるマイグレーションを行うに当たっては、現設備の各機器(例えばWebシステムの場合、Webサーバ、データベース(DB)サーバ、スイッチ、負荷分散装置、ストレージ等)のリソース情報を基に各機能・部位の負荷を机上で試算し、新設備に必要なリソースを導出した(図1)。

(1) 現設備のリソース利用状況測定

新設備の性能要件を明確にするため、事業者の運用部門にも協力を得て、現設備のリソース利用状況を測定した。取得対象は機器のプロセッサ、メモリ、ディスク使用量、ディスクアクセス量、ネットワークスループット等のリソース情報と、HTTP(Hyper Text Transfer Protocol)リクエスト数、DBトランザクション数、NFS(Network File System)オペレーション数等の負荷に関連した要求情報である。実際の利用状況をより的確に把握するため、測定は最繁忙時間帯に実施した。

(2) 現設備のトラフィックモデル策定

取得した稼働データを基に、要求情報とリソース消費の関係を示すトラフィックモデルを策定した。モデル策定上の考慮点は次のとおりとした。

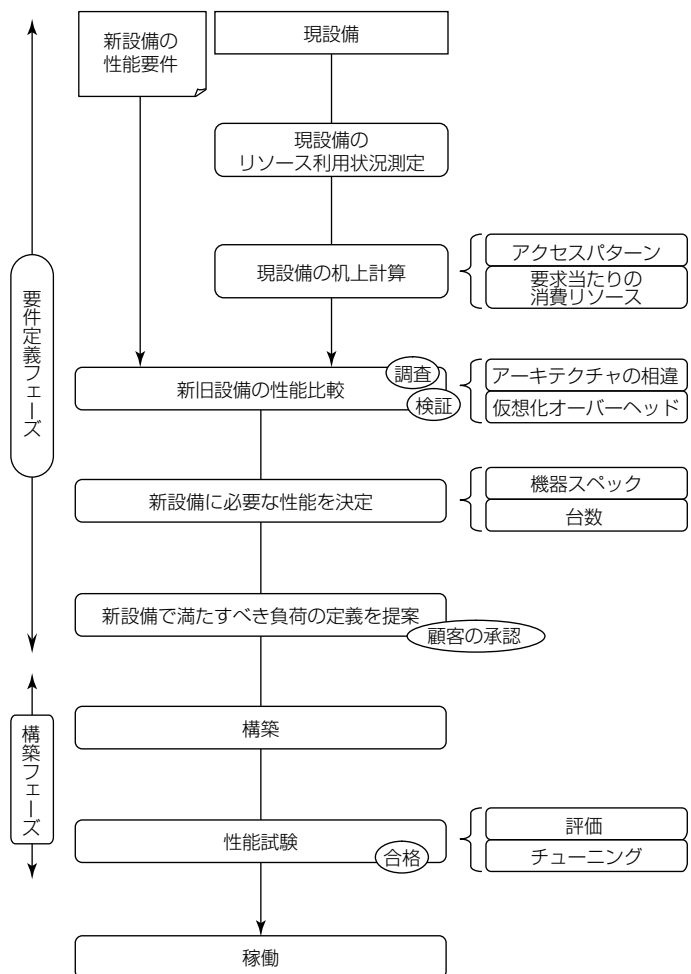


図1. 仮想化技術の導入プロセス

①外部からシステムへのアクセスを調査し、リソース消費傾向の似た要求(例えば、応答データサイズの量など)で分類した。外部からのアクセス要求ごとに、機器内に起こる処理(他機器への要求)を推定し、それによってフロントエンド機器からバックエンド機器まで連鎖するアクセス要求と消費リソースの関係をモデル化(算式化)した。

②バックエンドの機器(ファイルサーバ、ストレージ、ネットワーク装置等)については、アクセス要求ごとの消費リソースの測定が困難なため、機器間を流れるアクセス要求の平均データ量やリクエスト数、キャッシュヒット率等を推定し、実際の機器のリソース情報・負荷情報と比較し矛盾が起こらないように、繰り返し調整しマッチングさせた。

③システムには、性能向上のための様々なキャッシュ機構(仮想メモリ、ファイルシステム、プロトブロックデバイス等)が介在しており、キャッシュヒット率が変化することで負荷部位が移動してしまう。このため、各キャッシュ機構の仕組みと有効度(キャッシュヒット率)をモデル化し、係数を決定した。

(3) アーキテクチャと仮想化オーバーヘッドの考慮

仮想化によるマイグレーションでは、通常、現設備での消費リソースの積算によって新システムの必要スペック・台数を算定するが、現設備と新設備では、ハードウェア、OS、ソフトウェアのいずれでも、性能の差異やアーキテクチャの違いがある。事例のシステムでは、この違いを反映させ、かつ、仮想化によるオーバーヘッドを考慮している。具体的には、次のような工夫を行っている。

①プロセッサは、現システムの使用クロック数の積算値×余裕度が新システムの要件のベースとなるが、クロック当たりの処理性能向上も考慮した。例えば、インテルの公称ベンチマークによるとXeon^(注2) 5500世代は前世代と比較しクロック当たりの処理性能は1.7~2.8倍に増加⁽¹⁾⁽²⁾しており、これを反映させた。

②ディスク、メモリについては、現設備のリソース使用状況から見て冗長度の高いリソースを削減するとともに、キャッシュ機構の活用を図ることで、更なる縮減ができないか検討した。例えば、サーバのメモリを増強し、外部ストレージへのアクセスを減らすことで、高価なストレージのスペックを下げた。

③ハードウェアの処理能力から仮想化オーバーヘッド5%を差し引いた95%を新設備の処理能力とした。

これらの検討の過程では、機器調達コストと改修コストのトレードオフも考慮し、ランニング費用を含めたライフサイクルコストの試算も行った。

(注2) Xeonは、Intel Corp. の商標である。

4. 性能検証による妥当性評価

これらの検討によって新設備の仕様を決定し構築した。しかし検討はあくまで机上試算であり、最終的には稼働前に実施する性能検証試験で、構築した実システムに対してモデルに基づくサイジングの妥当性評価を行った。

性能検証試験では、ボトルネック部位の動作を実環境と類似な環境にするため、各機器内のキャッシュヒット率を考慮したサンプルデータ、及び負荷パターンを作成することがポイントであり、この設計に注力した。特に、連続試験の場合には、キャッシュが飽和してキャッシュヒット率が安定化する(キャッシュアウトが均衡する)状態を作る必要があり、これを実現するのに十分なサンプルデータを用意した。

検証試験の結果に基づいて、次のような評価を行い、マイグレーション後の構成でもサービスレベルの維持に問題ないことを確認した。

(1) 性能要件の評価

システムが新設備の最繁時の負荷で安定稼働することを確認し、また各機器のリソース余裕度を評価した。枯渇気味のリソースについては、プロセッサやメモリ割当て、アプリケーション等のパラメータを調整し、ボトルネック部位を分散させて余裕を確保した。

(2) 障害時の評価

最繁時の負荷をかけた状態で特定機器に擬似的に障害を発生させ、システム全体の動作を確認した。仮想化で集約したシステムでは、物理サーバの障害が多重障害として表面化する場合があり、この際のサービス停止時間、性能劣化時間の評価とともに、障害回復に必要なインシデント管理(多重障害から障害部位を特定、回復)のための運用性評価も合わせて実施した。

(3) 連続稼働の評価

高集約システムでは、メモリリークも集約(積算)されるため、長期間の安定稼働を確認する必要がある。24時間365日の自動運転を前提とするシステムでは、この確認が不可欠であり、先に述べた机上試算をベースに、平均的な負荷を長時間かけ、安定した応答・スループットを返答し続けることを確認した。

(4) 限界性能の評価

要求性能の数倍の負荷を投入し、システムの限界性能と限界時の挙動を確認した。インターネット上のサービスの場合、想定値を超えた大負荷が発生する可能性があり、そのときに仮想サーバ、アプリケーション等の設定が適切に働き、システムへの影響を最小限に抑制することが求められる。なお、確認した限界性能は、今後の増設計画(キャパシティ・プラン)の指標としても重要なデータとなる。

5. 商用構成事例

5.1 事例1：異なる機能の54サーバを2台の物理サーバに集約

対象となったWWWサービス用設備は、①コンテンツ閲覧者にHTTPやCGI(Common Gateway Interface)等のサービスを提供するフロント側機能、②コンテンツ公開者を管理するバックエンド側機能、③コンテンツを格納する大容量ストレージで構成される。また一部機能の異常なリソース消費がシステム全体に影響しないよう、機能ごとに物理サーバを割り当てていた。新設備では機能ごとにゲストOSを構築してリソース使用上限を設けることで独立性を確保し、同一物理サーバに全機能の集約を実現した(図2)。

(1) 機器構成上の考慮

コンテンツ閲覧者へサービスを提供するフロント側機能(従来はN+1冗長構成のサーバに搭載)だけでなく、システムのバックエンド側で稼働する加入者情報を管理する機能(従来は二重系構成のサーバに搭載)も合わせて集約した。フロント側機能とバックエンド側機能は、対応するネットワークインタフェースを分けることでネットワーク性能及びセキュリティを確保している。また、プロビジョニング機能が稼働する仮想サーバのみ異なる物理サーバで二重化することで、集約前と同様の可用性を確保している。

(2) 拡張性の確保

仮想サーバに搭載するゲストOSの構成は、2台の物理サーバで同一とした。これによって、これまで別々の物理

サーバに存在していた機能群を同一の物理サーバに集約し、あたかも専用のアプライアンスサーバのように動作するシンプルなシステム構成を実現した。この構成によって、複数台のサーバの構築がマスタサーバからの単純な複製(ディスクイメージの複製)で生成可能となり、工期の短縮だけでなく、試験済みマスタサーバ複製による品質向上も実現した。実際に、サービス開始後のサーバ追加工事では、収容する加入者数を2倍としたにもかかわらず、構築コストは初期構築時に比較して70%削減を実現した。

5.2 事例2：法人100社を1台の物理サーバに集約

各ユーザー企業内で個別に稼働していたDHCP(Dynamic Host Configuration Protocol: IP(Internet Protocol)アドレスなどネットワーク情報をクライアント機器に動的に割り当てるプロトコル)サーバの機能を集約し、ネットワークサービスとしてアウトソースで提供するシステムとして再構築した。センター設備への集約にあたっては、ユーザー企業の管理者が、従来どおり自社のDHCPサーバとして運用できることが不可欠要件となっていたが、仮想化技術によって、仮想サーバ単位でDHCPサーバを独立に運用することが実現できている(図3)。

(1) サイジング

限られた物理リソースを用いて100ゲストOSを集約するため、ゲストOSのリソース使用量を最小限とする必要があった。そこで、ゲストOSのDHCPサーバ機能提供のみの最小構成化、運用データ管理GUI(Graphical User Interface)でのフレームワーク利用、ファイルベースDBの採用、

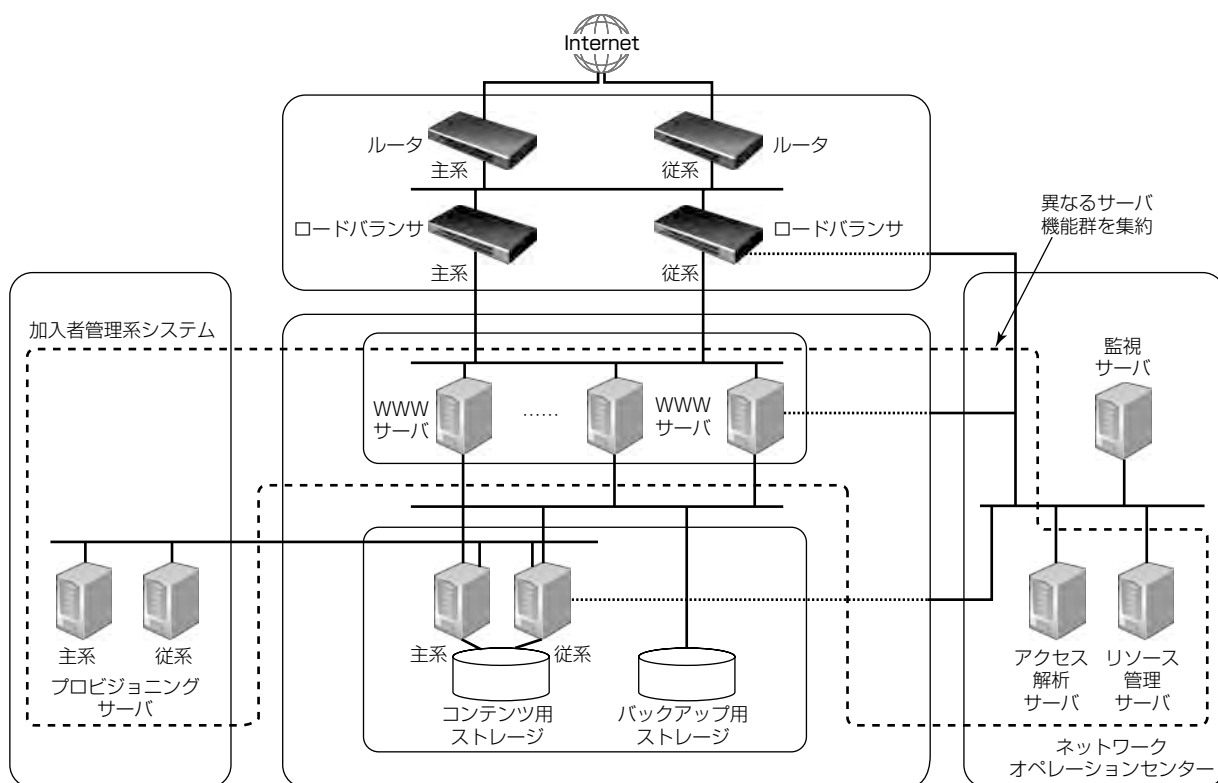


図2. 大規模WWWサーバ設備の集約

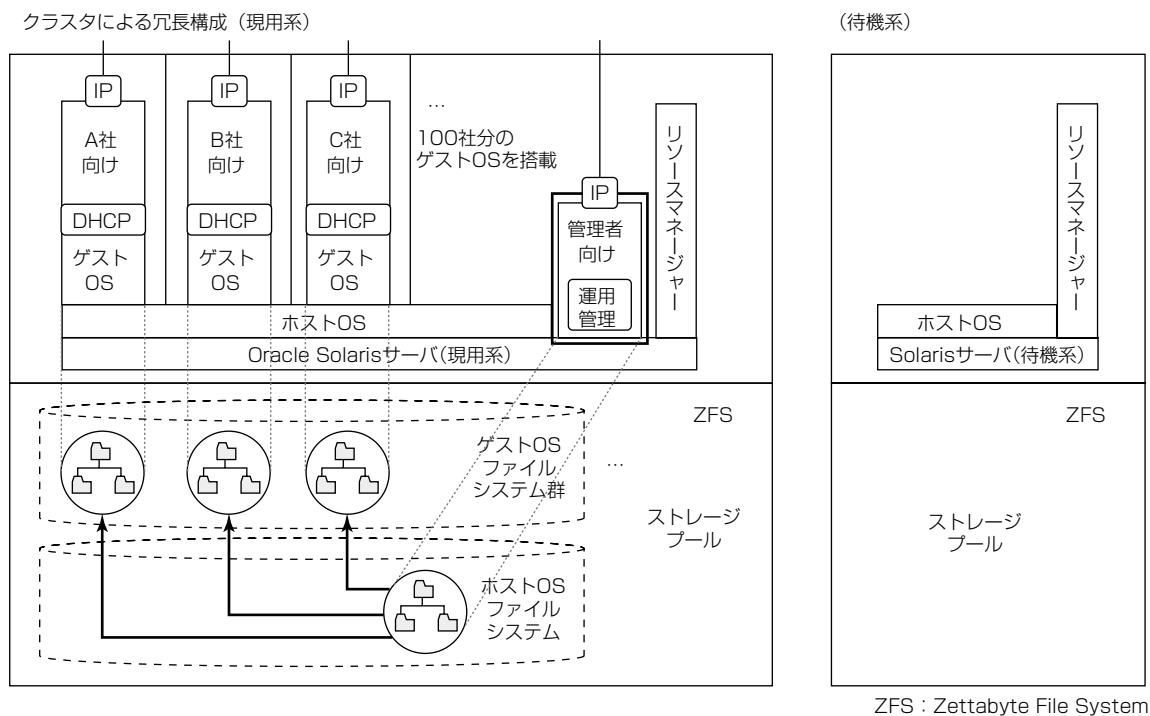


図3. 法人100社の集約

サービス正常性監視処理のホストOS集約化を行い、1ゲストOSあたりのメモリ使用量を、1物理サーバ分のリソースに集約可能な100MB以下に制限した。また、各ゲストOSにリソース使用上限を設定し、一部のゲストOSの異常なリソース消費がシステム全体に影響しないようにした。

(2) 可用性の確保

DHCPサーバに異常があると、クライアント機器はIPアドレスを取得できず、ネットワークに接続できなくなるため、ユーザーの業務への影響は極めて大きい。24時間365日の安定したサービスを提供するため、物理サーバは現用系と待機系の二重系構成とした。現用系サーバの異常発生時には、現用系サーバで稼働中のゲストOSを停止後、待機系サーバ上でゲストOSを起動してサービスを再開する。ゲストOSは、DHCPサーバ機能提供のみの最小構成としているため、起動や停止に要する時間は短縮されており、異常検知から100ゲストOSすべてが待機系サーバでサービス再開するまでの所要時間を5分以内に抑えている。

(3) ネットワークの独立性確保

各ユーザー企業の運用データの独立性、及びネットワークの独立性を確保するため、ゲストOSごとに異なるタグVLAN（Virtual LAN、標準規格はIEEE802.1Q）インタフェースを付与した。ネットワークの独立性を確保することで、例えば、同様のDHCPサーバ運用データ（192.168.100.0/

24セグメント等）で複数ゲストOSを運用する場合でも、ゲストOS間の干渉を防ぎ、セキュリティの確保を実現している。また、タグVLANの利用によって、100ゲストOS分のネットワークインタフェースを物理インタフェースカード1枚に集約している。

6. む す び

本稿で述べたようなサーバ仮想化に対しては、OSS（Open Source Software）を採用する機運も高まっている。MDISは、OSSによるサーバ仮想化にも積極的に取り組み、インターネットサービスに係るコストの更なる削減を目指す。

参 考 文 献

- (1) SAPジャパン(株)：仮想化テクノロジーを活用した基幹システムのディザスタリカバリ対策、http://download.intel.com/jp/business/japan/pdf/N035_COIL.pdf
- (2) インテル(株)：検証事例インテルXeonプロセッサ5500番台クラウド・コンピューティングの基盤検証、<http://download.intel.co.jp/jp/business/japan/pdf/322095-001JA.pdf>

新構造LED-B/Lを搭載したTFT-LCD

國生崇文* 糸賀賢二**
森 明博* 岩崎直子***
境 誠司*

A Novel LED-Backlight System for TFT-LCD

Takafumi Kokusho, Akihiro Mori, Seiji Sakai, Kenji Itoga, Naoko Iwasaki

要 旨

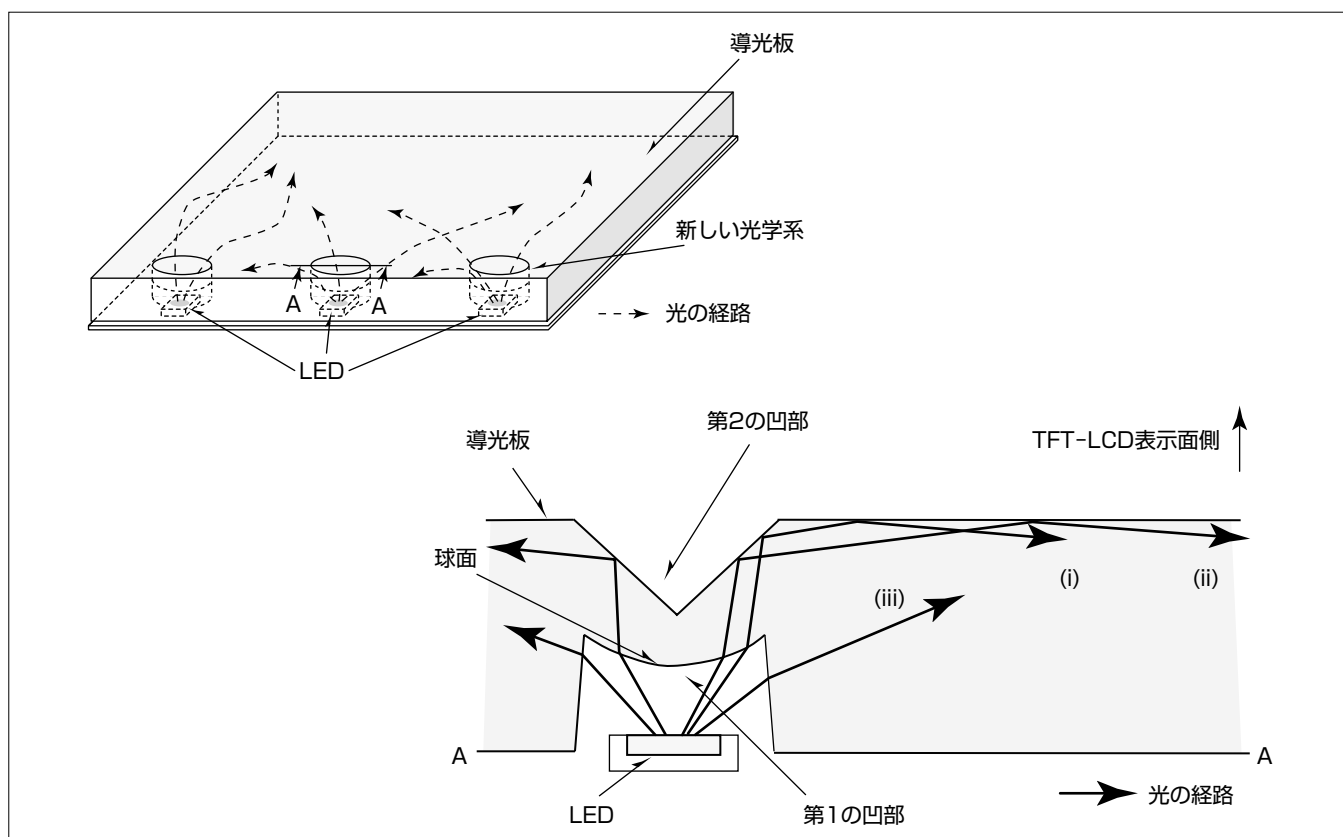
最新のLED (Light Emitting Diode) の性能を最大限に活用し、使用するLEDの数を大幅に削減できるTFT-LCD (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) 用新バックライト (Backlight: B/L) を開発した。

TFT-LCDパネルを背面より照射するB/Lの光源としては、従来、冷陰極管 (Cold Cathode Fluorescent Lamp: CCFL) が用いられてきたが、水銀フリー、低消費電力等のメリットによって近年急速にLEDへの置き換えが進んでいる。光源として使用されるLEDの発光量 (光束) は年々増加しており、発光効率は年20~30%向上している。このような、高光束のLEDをB/Lに適用すると、LEDの数を削減でき低消費電力化が可能となる。しかし、これま

でのLED用のB/LではLED数を減らすと点光源であるLED間の距離が広がるため、LED近傍の輝度均一性が得にくくなるという課題があった。

今回、LEDから導光板へ入射する光を放射状に広げる新しい構造の光学系を用いることによって、少ないLED数でLED間の距離が広がっても高い輝度均一性を実現できるB/Lを開発した。この新しいB/L方式を12.1インチSVGA (Super Video Graphics Array) TFT-LCDに適用した結果、従来方式と比較して約40%のLED数で同等の輝度及び輝度均一性を得ることができた。

この新B/L方式を適用することによって、最新の高光束LEDの性能を最大限に活用した製品設計が可能となる。



新方式B/Lの構造及び新しい光学系の断面

LEDから出射された光のうち、導光板底面側の第1の凹部の上面から入射する光はLED上の球面で屈折し、導光板上面側に設けられた円錐 (えんすい) 状の第2の凹部によって水平方向へ反射される (i), (ii)。一方、第1の凹部の側面へ達する光は、屈折して導光板内へと入射する (iii)。この作用によってLEDから出射された光を効率良く放射状に広げることが可能となり、光の広がりにより制約がある従来方式の欠点を克服することができる。

1. ま え が き

TFT-LCDパネルを背面から照射するB/Lの光源としては、従来、冷陰極管が用いられてきたが、水銀フリー、低消費電力等のメリットによって急速にLEDへと移行してきている。光源となるLEDの発光量は年々増加しており、その発光効率は年20～30%向上し続けている。これによって、最新の光量の多い高光束LEDをB/Lに適用することで、必要となるLED数を削減できる。しかし、従来方式のLED-B/Lでは、LED数を減らすと点光源であるLED間の距離が広がり、その結果、LED近傍で輝度均一性が得られないという課題がある。

本稿では、最新のLEDが持つ性能を最大限に活用し、高い輝度均一性を得ながら、使用するLED数の削減ができる新方式LED-B/Lの開発について述べる。

2. 従来のエッジライト方式の課題

従来のエッジライト方式LED-B/Lを搭載したTFT-LCDモジュールの構造を図1に示す。B/Lの構成部材としては、光源となるLED、導光板、輝度向上のためのレンズシートなどの光学シート類、及び、それらを挟持するフレーム類からなる。導光板の側面にLEDが配列され、LEDから出射された光は導光板へと入射する。この時、図2に示すように導光板へ入射した光の広がる範囲はSnellの法則(式(1))によって制限される。

$$n_a \sin \alpha = n_b \sin \beta \quad \dots\dots\dots (1)$$

例えばアクリル樹脂(屈折率：1.49)の導光板の場合、最大でも $\beta = \sin^{-1}(1/1.49) = 42.15^\circ$ である。LEDから導光板へ入射する光は最大でも法線に対して $\pm 42.15^\circ$ の範囲にしか広がらない。このため、LED間の距離が広がると図3(a)に示すようにLED近傍で光の届かない暗部が発生し、明暗のむらとして視認される。そのため、高い輝度均一性を得るためには、図3(b)に示すようにLEDの間隔を近づける必要があった。高光束LEDを使用する場合、LEDの数を減らすことは可能となるが、各LEDの間隔は広がる

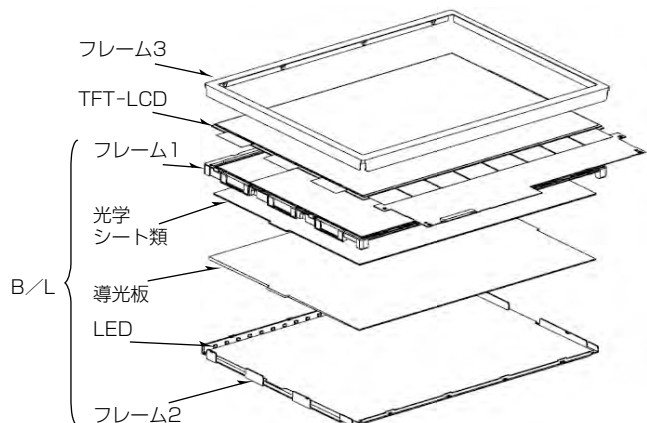


図1. TFT-LCDモジュールの分解斜視図

ことになり、輝度の均一性が得られない。結果として、最新の高光束LEDを使用しても、多数のLEDを配列する必要がある、LEDの性能を最大限に発揮させることができなかった。

3. 新方式LED-B/Lの開発

3.1 新方式LED-B/Lのコンセプト

先に述べた従来方式の課題を克服するために、図4(a)に示すように導光板へ入射した光を放射状に広げる新しい方式の開発に取り組んできた。LEDから導光板へ入射した光の範囲を広げることによって、明暗むらの発生を抑え、少ないLED数でB/Lを構成することが可能となる。

図4(b)には新方式におけるLED周辺の断面形状を示す(図4(a)の断面A-A)。導光板の底面側にLEDを配置し、導光板に設けた新光学構造によってLEDから出射された光を効率良く導光板へ放射状に広げる構造となっている。上方向へ進む光は、第1の凹部の上面に形成された球面で屈折され、さらに導光板上表面側に設けられた円錐状の第2の凹部によって水平方向へ反射される(図4(b)の(i)、(ii))。

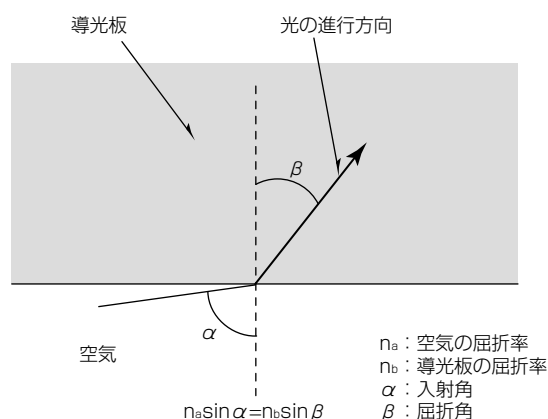


図2. Snellの法則

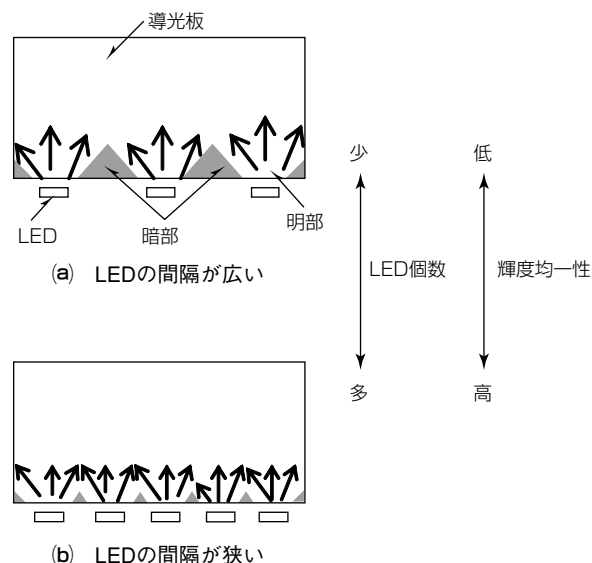


図3. エッジライト方式の入光範囲

◇一般論文◇

一方、LEDから出射された光のうち導光板底面側の第1の凹部の側面へ達する光は、全周から導光板内へと入射する(図4(b)の(iii))。この作用によって、LEDから出射された光を効率良く導光板内へ導き、放射状へ広げることが可能となり、従来方式の課題を克服することができる。

3.2 入光部光学系形状の最適化

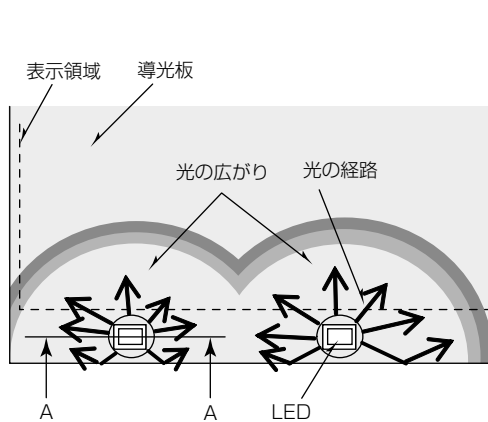
3.1節に示した新方式で、目的のLED数削減を実現するには、LEDからの光が導光板へ入射する入光効率を高く保つことは不可欠である。そこで、高い入光効率を実現するために、光学系の形状に関して光学シミュレーションで最適化を行った。図5に示す寸法をパラメータとして入光効率が最も高くなるようにシミュレーションを行った。パラメータの中で特に第2の凹部の形状及び球面の曲率が入光効率に影響を与える。一例として、第2の凹部の深さ(図5のC)及び球面の曲率(図5の1/R)を変化させたシミュレーションの結果を図6に示す。入光効率はC及び1/Rに依存して変化する。球面によって屈折される光の角度と円錐形状の斜面の角度によって、光が透過するか反射して導光板内へ伝播(でんぱ)するかが決まる。これらのパラメータを最適化することによって、従来方式と同等以上の効率で導光板へと光を入射させることが可能となる。最も入光効率が高いC=1.8, 1/R=0.35を選択した場合、入光効

率は従来方式の約90%に対して93%となり、同等以上の入光効率を得ることができた。

3.3 光学系の性能シミュレーション

新方式の光学系による輝度均一性改善の効果を確かめるために、3.2節で入光効率を最適化した形状を用いて、光学シミュレーションによって実際のB/Lの輝度均一性を計算した。導光板に10個のLEDを配置し、同じLED数で新方式と従来方式との比較を行った。シミュレーションに用いたモデルを図7に示す。表示領域から10mm離れた位置における光の分布を計算した結果を図8(a)に示す。新方式ではLED間の明暗のむらが視認されることはなく、従来方式と比較して、より均一に光が広がっていることが分かる。新方式を用いることによって、少ないLED数でも良好な輝度の均一性が得られることが確認された。図8(b)には従来方式のLED数を20個及び30個とした場合の同シミュレーションの結果を示す。従来方式でLED数30個の場合と新方式で10個の場合で、輝度均一性が同等となる。

これらのシミュレーション結果から、新方式を適用することによって、従来方式と同等以上の入光効率を実現しながら輝度均一性の課題を克服できることが分かる。これによってB/Lに搭載するLED数を削減することが可能となる。



(a) 新方式LED-B/Lの平面図と光の広がり

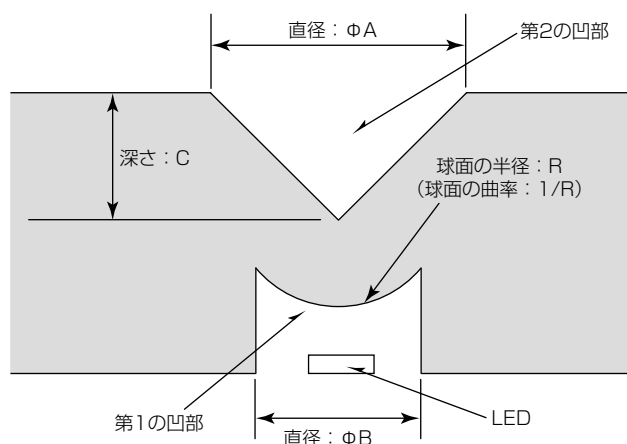
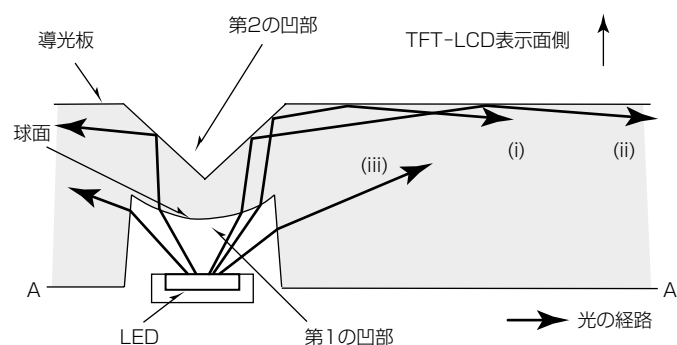


図5. 入光効率最適化のパラメータ



(b) 新方式LED-B/Lの入光部断面

図4. 新方式LED-B/Lの構造

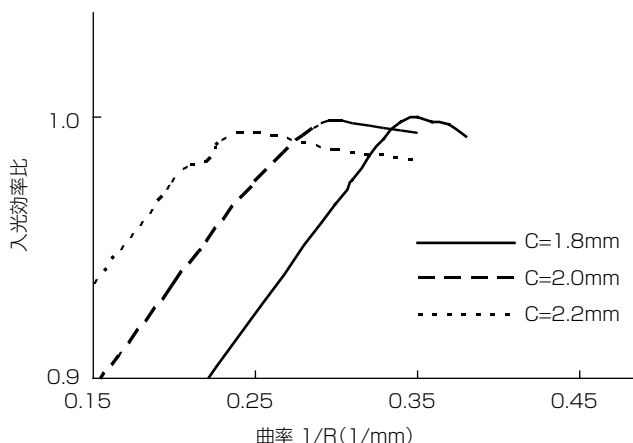


図6. 入光効率の最適化

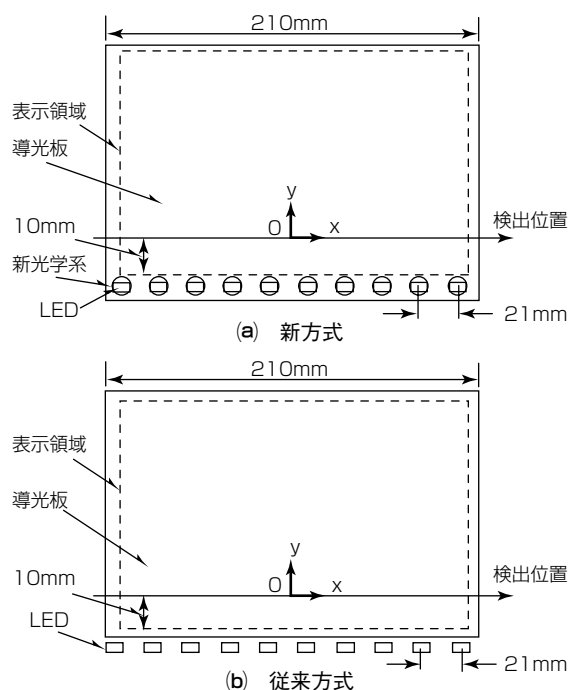


図7. 光学シミュレーションモデル

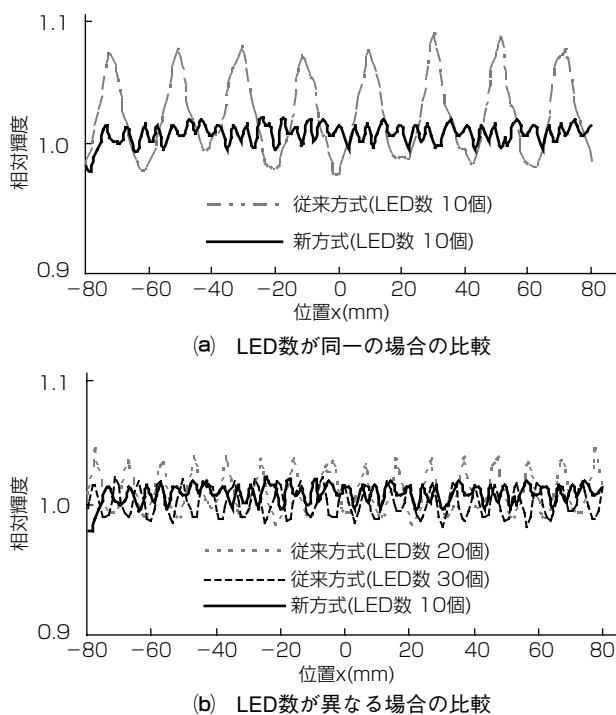


図8. 光学シミュレーションの結果

4. 新構造LED-B/L製品試作の評価結果

次に、光学シミュレーションの結果に基づき、新方式を適用した12.1インチSVGA TFT-LCDモジュールを開発した。表1に従来方式B/Lと今回開発した新方式B/Lを適用したTFT-LCDモジュールの仕様を示す。両者の光学仕様及び外形寸法は同一である。それぞれのサンプルの写真を図9に示す。図10には、実測におけるLED近傍の表示エリア端より10mmの位置の輝度の分布を示す。新方式は

表1. TFT-LCDモジュールの仕様比較

B/L方式	仕様	
	従来方式	新方式
製品サイズ (mm)	260.5(H) × 203(V) × 9.5(D)	
色純度 (%)	72-NTSC (CIE xy space)	
輝度 (cd/m ²)	500	
LED個数 (pcs)	33	12
LED電流 (mA)	50	150

NTSC : National Television System Committee
CIE : Commission Internationale de l'Eclairage

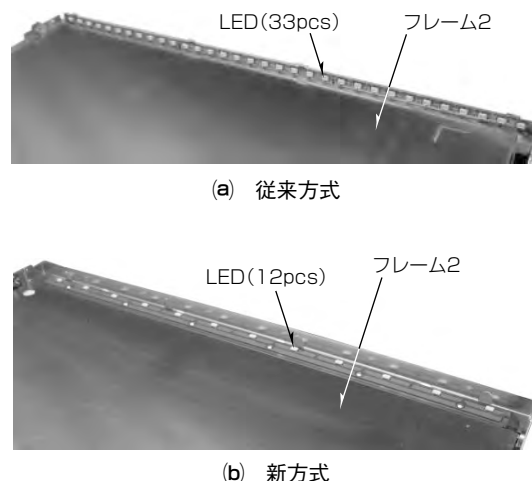


図9. 製品サンプルの比較

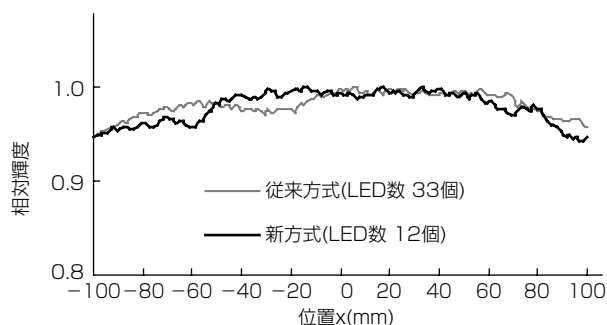


図10. 輝度均一性の比較

従来方式と比較して、少ないLED数でありながら同等以上の輝度均一性を達成している。新しく開発したB/Lを12.1インチTFT-LCDに適用すると、従来方式と比較して約40%のLED数で高い輝度均一性を実現できた。従来方式では輝度均一性を得るために33個のLEDを必要としたが、新方式はわずか12個のLEDで同等の輝度均一性及び輝度を得ることができた。

5. む す び

今回、LED数を減らしながら高い輝度均一性を実現できる新しいLED-B/Lを開発した。12.1インチSVGA TFT-LCDにこの方式を適用し、従来方式と比較して約40%のLED数で同等の輝度及び輝度均一性を実現できた。この新LED-B/Lを適用すると、近年の高光束LEDを最大限効率良く使用することができ、コスト低減、低消費電力化に貢献できる。

湾曲ディスプレイ

中川直紀* 吉本崇広*
 藤野俊明** 有田研二***
 山縣有輔*

Curved Display

Naoki Nakagawa, Toshiaki Fujino, Yusuke Yamagata, Takahiro Yoshimoto, Kenji Arita

要 旨

アミューズメント機器、自動車、列車等の車載機器、デジタルサイネージ用のディスプレイでは、設置された空間に溶け込みながら、必要な情報を自然に表示するデザイン性に優れた湾曲ディスプレイの要求が高まっている。

ディスプレイを湾曲化するには、プラスチックのような可撓(かとう)性を持つ基板を用いる方法と、ガラス基板を薄板化することで曲げを可能にする方法がある。特に、通常のプロセスでLCD(Liquid Crystal Display)パネルを形成後、ガラス基板を薄板化する方法は、従来の製造技術が流用でき、低コストで、高い信頼性を持つ湾曲ディスプレイを実現する最も有力な方法である。

薄型LCDパネルによる湾曲化する際の課題は、ガラス基板の機械強度の確保と、表示むらの抑制、湾曲したLCDパネルの保持方法である。薄型湾曲LCDパネルの機械強度を低下させる最大要因は、薄板化したマザーガラスから、個別のLCDパネルに切断する際にガラスの切断面に生じるクラックである。この開発では、切断プロセスパ

ラメータを最適化することで、クラックのない切断面を実現し、パネルの破壊歪(ひず)み量を従来の1.4倍まで改善、曲率半径200mmまでの湾曲化を可能にした。また、湾曲時に発生する表示むら対策として、液晶注入プロセスを最適化することで、液晶の偏りを抑制し、パネル両端部のセルギャップを均一化した。さらに、TFT(Thin Film Transistor)アレーの配線下部にシールド電極を形成することで、基板ずれによる光漏れを防止し、コントラスト500を達成した。

湾曲化した薄型LCDパネルを安定的に保持するために、あらかじめ湾曲化した保護板にLCDパネルを挟みこむモジュール構造を開発した。これらの技術を適用して、17.5型縦凹湾曲LCDモジュールと、9.0型縦凸湾曲LCDモジュールを試作し、産業用、車載用LCDモジュールに必要な機械強度を満足でき、製品化検討が可能なレベルにあることを実証した。



仕様	試作サンプル
サイズ／解像度	17.5型／WXGA(1280×768)
ガラス基板	0.2mm厚
タイプ／曲率半径	縦凹型／300mm
視野角	上下140° 左右160° NWモード
コントラスト	500
バックライト／輝度	CCFL／300cd/m ²

17.5型縦凹湾曲LCDモジュール

WXGA : Wide Extended Graphics Array
 NW : Normally White



仕様	試作サンプル
サイズ／解像度	9.0型／WVGA(800×480)
ガラス基板	0.2mm厚
タイプ／曲率半径	縦凸型／400mm
視野角	上下160° 左右160° NBモード
コントラスト	700
バックライト／輝度	LED／400cd/m ²

9.0型縦凸湾曲LCDモジュール

WVGA : Wide Video Graphics Array
 NB : Normally Black

湾曲LCDモジュール

薄型LCDパネルによる湾曲LCDモジュールの試作機と仕様を示す。

1. ま え が き

LCDを中心とするフラットパネルディスプレイは携帯電話などのモバイル用途から、車載、産業用、テレビ、デジタルサイネージ用に幅広く用いられている。これらディスプレイでは、高精細化や、高画質と並行して、狭額縁化や、薄型、軽量化が急速に進んでいる。また、近年のディスプレイに対するニーズはますます多様化しており、デジタルサイネージ用途として、駅構内などの柱への設置が容易なプラズマチューブディスプレイ、アミューズメント向けや、ゲーマー向けとしてプロジェクション型ディスプレイを応用した没入型ディスプレイ、プラスチック基板等の樹脂基板で形成された曲げ可能な自由形状ディスプレイなどの様々な形状のディスプレイに関する研究開発が進んでいる⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

特に、アミューズメント機器や、自動車、列車等の交通機器では、設置された空間に溶け込みながら、必要な情報を自然に提供する、デザイン性に優れた湾曲ディスプレイへの要求が高まっている。このような中で、三菱電機では湾曲ディスプレイの実現を目的として湾曲LCDの研究開発を行っている。

2. 液晶パネルの湾曲化

2.1 湾曲化方法

LCDパネルを湾曲化する方法として、主に、図1に示すような3つの方式が研究開発されている。形状の自由度が高い方法は、従来のガラス基板に代わり、プラスチックなどの樹脂基板を用いる方法である。これには、プラスチック基板上に、直接、アクティブ素子であるTFTアレーを形成する方式(図1(a))と、通常ガラス基板上にTFTアレーを形成した後、素子を剥離(はくり)し、プラスチック

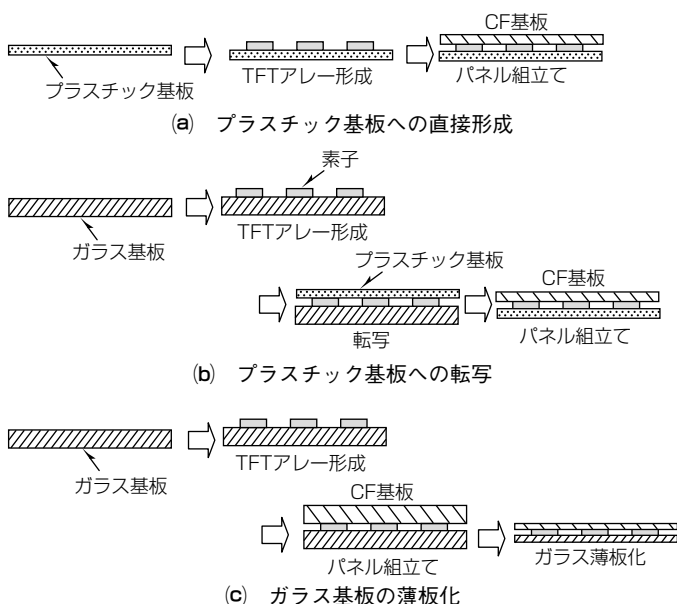


図1. LCDパネルの湾曲化方法

ク基板に転写する方式(図1(b))がある。

プラスチック基板によるLCDパネルは、曲げ性能や軽量性に優れるが、製造工程における課題が多い。直接、TFTアレーを形成する方式では、製造工程中の基板の撓(たわ)み、膨潤、デバイス完成後の耐湿性に課題がある。また、基板の耐熱性が低いため、プロセス温度に制約があり、TFTの信頼性に課題を残し、実用化されていない。TFTアレーをプラスチック基板に転写する方式では、素子の形成温度に制約がないため、信頼性の高いTFTを形成できるが、ガラス基板からの素子の剥離や転写プロセスの難易度が高く、製品化に至っていない。

第3の方式は、通常ガラス基板を用いて、従来プロセスでLCDを形成後、0.2mm厚程度までガラスを薄板化する方法(図1(c))である。通常LCDに用いる0.5mm厚から0.7mm厚のガラス基板では曲げることができない。しかしながら、厚さを0.2mmまで薄板化すると、割れることなく、比較的容易に湾曲化することが可能となる。湾曲可能な最小曲率半径 ρ とガラス基板の厚さ t の関係を式(1)に示す。

$$\rho = t / \varepsilon \cdots \cdots (1)$$

ここで、 ε はガラス基板の破壊歪みである。

2.2 ガラス薄板化

LCDパネルに可撓性を持たせて湾曲化が可能な状態にするためには、ガラス基板の厚さを薄くする必要がある。しかし、薄板ガラス基板に直接、TFTアレーや、CF(Color Filter)を形成する方法は、プロセス中のガラス基板の撓みのため、製造が難しく量産は困難である。そこで、今回の湾曲ディスプレイの開発では、パネル組立てが完了した後にガラス基板をエッチングで薄板化する方式を用いた。

2.3 ガラス強度の改善

ガラス基板の薄板化による湾曲LCDの重要課題は、薄板化ガラスの機械強度の確保である。ガラス基板本来の曲げに対する破壊歪みは大きく、30,000 μ ST程度であることが知られており、目標とする曲率半径200mmは十分に可能である。しかし、実際のLCDパネルでは、切断面のクラックを起点とする破壊が低歪み領域から発生し、湾曲化を困難にしている。破壊の原因となる切断面を詳細に観察すると、図2に示すように、従来の切断プロセスでは、切断面に多くのクラックが発生しており、破壊強度低下の原因になっていることが判(わか)る。そこで、薄板ガラスの切断プロセスを最適化することによって、切断面のクラックの発生を大幅に抑制した。その結果、パネルの破壊歪みは2,700 μ STから3,700 μ STに約1.4倍改善され、実現可能な曲率半径も約500mmから約200mmへと大幅に改善できた。このようにして、パネル切断プロセスを改善した結果、薄板化したLCDパネルを湾曲化した際に発生するガラス割れを抑制することが可能となった。

◇一般論文◇

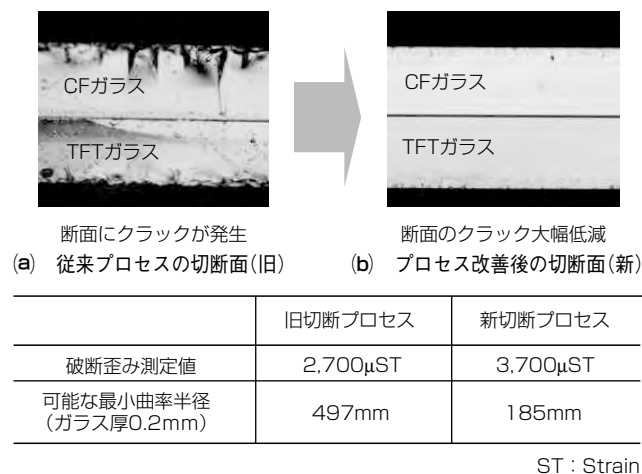


図 2. 切断プロセスの改善と曲げ可能な曲率半径

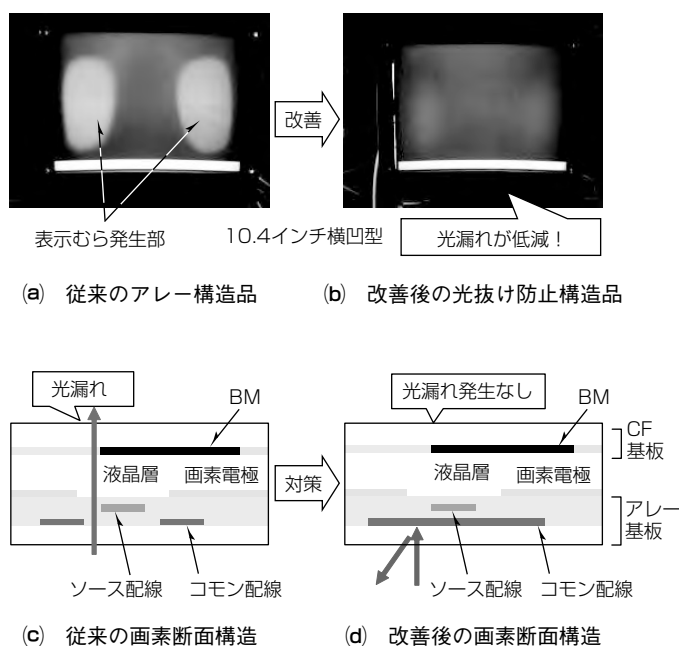


図 3. 配線シールド構造による光抜け改善

2.4 表示むらの改善

薄型LCDパネルを湾曲化すると、図3に示すように表示むらが発生した。表示むらが発生している領域の光学特性を詳細に評価した結果、TFTアレー基板とCFガラス基板との間の位置ずれが生じていることが判った。2枚のガラスを重ね合わせているLCDパネルでは、湾曲化すると、その内周と外周の差によって、位置ずれが発生する。このずれによって、液晶の配向の乱れているTFTアレーの配線近傍の領域が、BM (Black Matrix) で遮光されずに光が透過し、表示むらが発生する。このような場合、通常、BMエリアを広げることで、光抜けの発生を防止する。しかし、単にBM領域を広げるだけでは、開口率の低下を引き起こす。そのため、TFTアレーの配線領域の下層に遮光層を設ける構造を採用した。これによって、パネルの開口率を低下させることなく光抜けを改善できた。

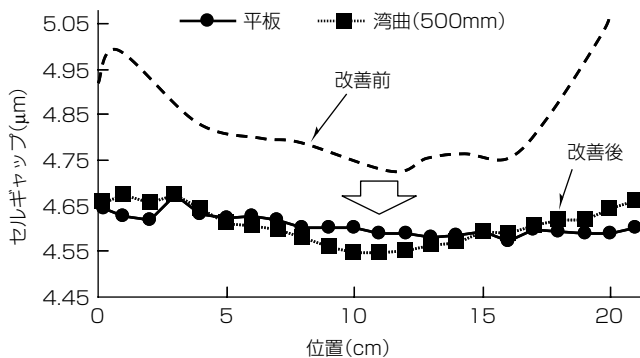


図 4. セルギャップの測定結果

もう一方の表示むらの原因は液晶層のギャップむらである。LCDは、TFTアレー基板とCF基板との間に形成されるセルギャップに液晶を挟むことで光の透過を制御している。そのため、セルギャップが変化すると光学特性が変化し、コントラストの低下によって、表示むらとなる。湾曲した状態でのセルギャップの評価結果を図4に示す。従来のパネルでは、パネル両端のギャップが増大し、コントラスト低下の原因となっていた。パネルに注入されている液晶が、湾曲化する際に加わる応力によって偏ることが原因と考えられる。液晶の偏りを防止するためには、液晶セルのギャップを保持するスペーサや、注入液晶量を適正化する対策が有効である。湾曲LCDでは、ギャップむらを抑制するため、液晶の注入後に封止を行う際、LCDパネルを加圧し、余分な液晶の量を取り除く対策を行った。これによって、湾曲時のセルギャップ変動が $\pm 0.2\mu\text{m}$ 程度から、平板のLCDと同程度の $\pm 0.06\mu\text{m}$ まで改善した。先に述べた光抜け対策を加えて、ギャップむら対策を行うことで、コントラストを100から500に改善した。

3. 湾曲ディスプレイモジュールの開発

3.1 縦凹型湾曲ディスプレイモジュール

ガラス基板を薄板化し湾曲化させる方式では、LCDパネルの保持固定がモジュール設計の課題である。外部応力や衝撃等が発生しても破壊せず、高い表示品質を保つモジュール構造を開発する必要がある。そこで、堅牢(けんろう)性、耐環境性、高信頼性が要求される車載用や産業用LCDモジュールで採用が始まっているガラスボンド構造を湾曲LCDのモジュールに応用した新モジュール構造を開発した。開発したモジュールの組み立て図を図5に示す。

まず、薄板化したLCDパネルを、あらかじめ目標の湾曲形状に成型した支持母体となる透明保護板に貼り付ける。次に、その上にもう一枚の保護板を設置して固定することで、サンドイッチ構造のパネルユニットに組み立てる。さらに、このパネルユニットをあらかじめ湾曲化したバックライトユニットに取り付けて、リヤフレームなどでカバーし、モジュールが完成する。パネルユニット化することで、

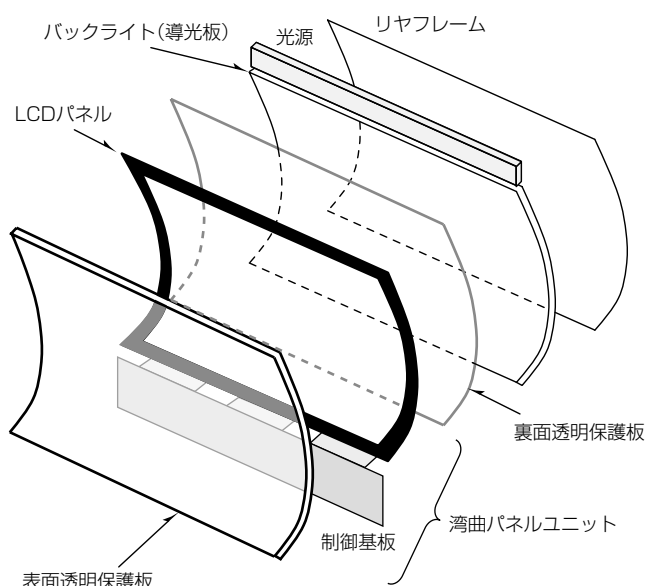


図5. 湾曲LCDのモジュール構造

その後の薄型LCDパネルの取扱いが飛躍的に改善でき、しかも、外部応力や衝撃に対しても強く、産業用や、車載用の機械強度試験に耐えることができる。

図6にこの構造を用いて試作した17.5型凹形状の湾曲LCDモジュールとその仕様を示す。モジュールを薄くするために、バックライトの導光板も湾曲化し、モジュール全体を湾曲形状にすることで、機器への搭載性を高めた。

また、アミューズメント用途の湾曲形状のディスプレイとして、9.0型凸形状の湾曲LCDモジュールを試作した。試作した湾曲モジュールの仕様を図7に示す。凸形状の場合には、凹形状より広い視野角性能が要求されるため、液晶のモードを広視野角モードに変更し、視野角特性、コントラストを改善した。また、長寿命化のために、CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)に替えて、LED(Light Emitting Diode)バックライトユニットを湾曲化し、適用した。

4. む す び

LCDパネルのガラス基板を薄板化することで可撓性を付与した凹型、凸型の湾曲ディスプレイを開発した。まず、薄板ガラスの切断プロセスを最適化することで、破断歪みを改善して、湾曲化によるガラス割れの発生を抑制した。次に、LCDパネルを湾曲化することで生じる基板間のずれによる光抜けと、ギャップむらによるコントラストの低下をパネル構造と製造プロセスを高度化することで改善した。さらに、実際の機器への組み込みを想定して、パネルをあらかじめ湾曲した保護板に貼り付ける構造のモジュールを開発し、機械強度試験や信頼性試験でガラス基板割れの発生しない実製品に適用可能なLCDモジュールを実現した。



仕様	試作サンプル
サイズ/解像度	17.5型/WXGA(1280×768)
ガラス基板	0.2mm厚
タイプ/曲率半径	縦凹型/300mm
視野角	上下140° 左右160° NWモード
コントラスト	500
バックライト/輝度	CCFL/300cd/m ²

図6. 試作した17.5型縦凹湾曲LCDモジュール



仕様	試作サンプル
サイズ/解像度	9.0型/WVGA(800×480)
ガラス基板	0.2mm厚
タイプ/曲率半径	縦凸型/400mm
視野角	上下160° 左右160° NBモード
コントラスト	700
バックライト/輝度	LED/400cd/m ²

図7. 試作した9.0型縦凸湾曲LCDモジュール

参 考 文 献

- (1) 吉野勝美, ほか: 液晶とディスプレイ応用の基礎, コロナ社 (1994)
- (2) ディスプレイデバイス事業委員会: FPDガイドブック, 電子情報技術産業協会 (2009)
- (3) 松本正一 編著: 液晶ディスプレイ技術—アクティブマトリクスLCD—, 産業図書 (1996)
- (4) 日経マイクロデバイス別冊フラットパネル・ディスプレイ2000, 日経BP社 (1999)
- (5) 川田 靖: 曲がる大型TFT-LCD, 月刊ディスプレイ, 9, No.3, 74~76 (2003)

最新の広視野角TFT-LCD技術

永野慎吾* 谷口敏郎**
米村浩治*
宮川 修**

Latest Technology for Super-wide-viewing-angle TFT-LCD

Shingo Nagano, Koji Yonemura, Osamu Miyakawa, Toshiro Taniguchi

要 旨

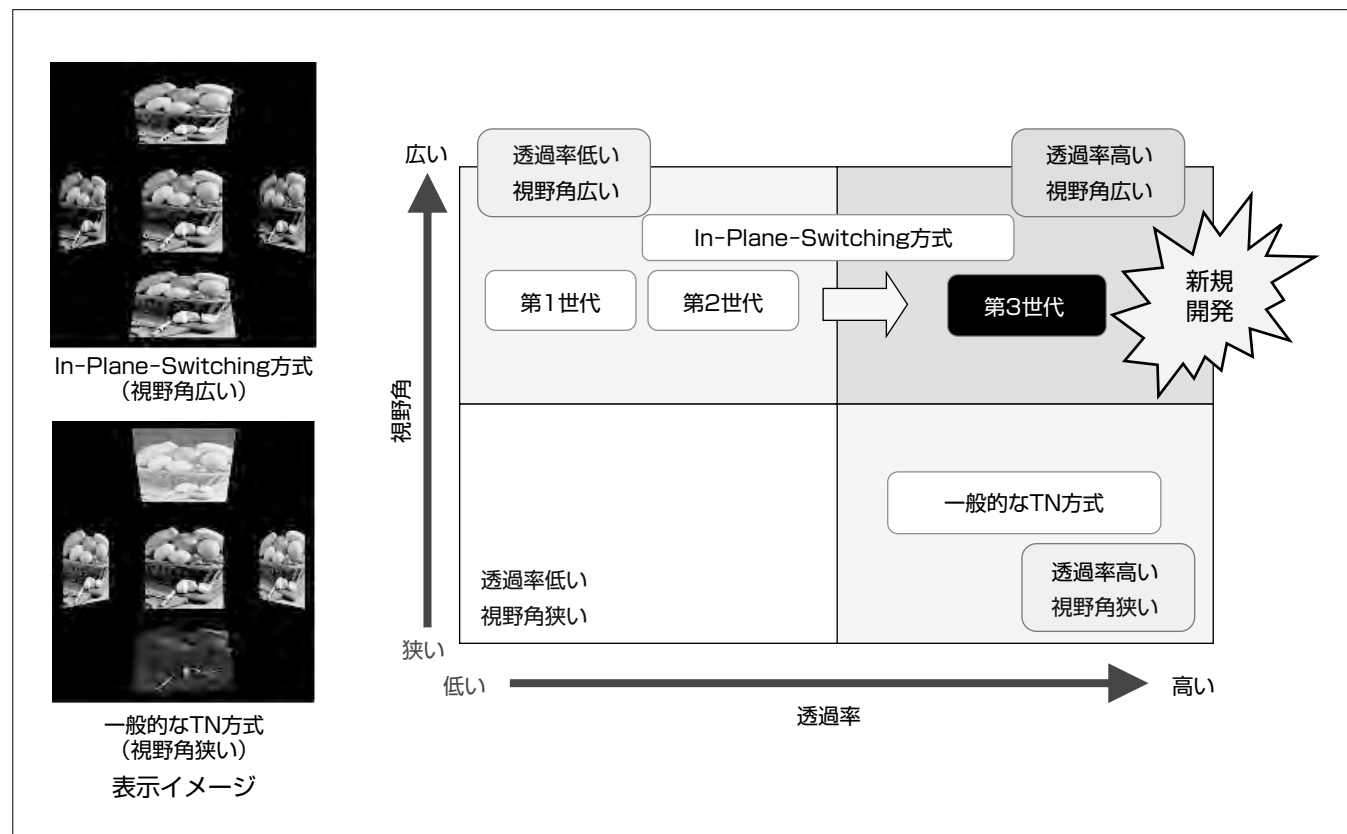
TFT-LCD (Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) の適用分野は大きく拡大し、携帯端末やTVに代表される一般消費者向け機器、KIOSK端末・ATM等に代表される産業用機器、さらには、カーナビゲーションに代表される車載機器など幅広い分野でも、人と機器のインタフェースの役割を担うようになった。これまでの液晶パネル技術開発によって、TFT-LCDの課題の一つであった視野角の狭さは改善され、広視野角パネルを用いたTFT-LCDの採用が急速に拡大している。三菱電機でも1997年に広視野角パネルの一つであるIn-Plane-Switching方式パネルを適用したTFT-LCDを開発し、継続した製品展開を実施している。

In-Plane-Switching方式パネルは広視野角パネルの中でも特に優れた視野角特性を示し、その表示品位は高く評

価されている。しかしながら、その光透過率が一般的なTN (Twisted Nematic) 方式パネルと比べ低く課題となっていた。

今回我々は、液晶パネル構造を新たに見直すことで、一般的なTN方式パネルと同等の高い透過率とIn-Plane-Switching方式パネルの広視野角の特長を併せ持つIn-Plane-Switching第3世代パネルを開発した。さらに、コントラスト、応答速度に代表される液晶パネルの光学特性向上にも継続的に取り組むことで、In-Plane-Switching方式パネルの元来の長所である表示品位の高さを更に向上させた。

本稿で述べる技術は、高品位な広視野角TFT-LCDをより多く市場に供給し、より多くの顧客のニーズにこたえていくことを可能とするものである。



新開発のIn-Plane-Switching第3世代パネルの位置づけ

当社では広視野角技術としてIn-Plane-Switching方式を採用している。今回、新たな液晶パネル構造を開発することで、透過率と視野角特性のトレードオフを解消し、In-Plane-Switching方式の視野角特性とTN方式の透過率特性の両立を実現した。

1. ま え が き

近年、TFT-LCDの適用分野は大きく拡大し、携帯端末・TVに代表される一般消費者向け機器から、KIOSK端末・ATMなどに代表される産業用機器、さらには、カーナビゲーションに代表される車載機器に至るまで、幅広い分野で人と機器のインタフェースの役割を担うようになった。これまでの液晶パネル技術開発によって、課題の一つであった視野角の狭さは改善され、広視野角パネルを用いたTFT-LCDの採用が市場で急速に拡大している。当社でも、1997年に広視野角パネル技術の一つであるIn-Plane-Switching方式を適用したTFT-LCDを開発し、それ以降、当社TFT-LCDの広視野角技術として製品展開を実施してきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

In-Plane-Switching方式は、横電界を用いて液晶を駆動する液晶パネル技術であり、ほかの方式に対して、原理的に視野角特性に優れている。反面、そのパネルの構造上、透過率が低いという課題がある。そのため、製品開発を実施する場合、光源であるバックライトの輝度を高くするなどの設計が必要となり、製品コスト、及び、消費電力を増加させる要因となっていた。これはIn-Plane-Switching方式を製品展開していく上での大きな課題である。

今回、高品位な広視野角TFT-LCDをより多く市場へ供給することを目的とし、TN方式のパネルと同等の高い透過率とIn-Plane-Switching方式の広視野角特性を両立する技術の開発に取り組んだ。加えて、より多くの顧客のニーズにこたえるため、コントラスト、応答速度に代表される基本的な光学特性の向上にも取り組んだ。

本稿では、新たに開発した新規液晶パネル構造の特徴と透過率特性、さらに、コントラスト、応答速度に代表される光学特性向上への取り組みを紹介し、それらの技術を適用した最新の広視野角TFT-LCDの特性について述べる。

2. 新規液晶パネル構造の開発

2.1 透過率向上へのアプローチ

図1にIn-Plane-Switching方式の液晶パネルの断面構造と透過率の関係を示す。断面図の上部が対向基板、下部がTFTアレー基板である。対向基板にはブラックマトリクス(BM)のみを図示している。In-Plane-Switching方式は横方向電界で液晶を駆動するため、その表示はデータ線から寄生的に生じる電界の影響を強く受けることになる。したがって、第1世代ではデータ線の近傍に比較的幅の広いコモン電極を配置し、かつ、データ線、及び、コモン電極上に幅広のBMを配置することで、表示への影響を抑える設計を行っていた。そのため、データ線近傍に大きな非透過領域が発生し、透過率が低い状態であった。そこでデータ線からの電界を効率的に遮蔽(しゃへい)する手段とし

て、データ線の上層にデータ線を覆うようにコモン電極を配置し、コモン電極を遮蔽電極として活用するCO(Common-electrode Overlay)構造を提案し⁽²⁾、大幅にBM幅を狭くすることに成功した(第2世代)。しかしながらその透過率はTN方式の約70%程度と、依然低いものであった。主な理由は、電極上の液晶が動きにくく電極部の透過率が低いことにある。電極部の透過率を向上させる技術としては、従来のIn-Plane-Switching方式の電極構造を見直したFFS(Fringe Field Switching)構造⁽⁵⁾が提案されている(図1(c))。FFS構造は、コモン電極を面状とし、その上に絶縁膜を介して櫛歯(くしば)状又はスリット形状の画素電極を配置して、液晶を駆動するものである。コモン電極と画素電極の距離が非常に近いため、液晶を駆動する電界強度が強く、電極部の液晶が全体的に駆動され電極部の透過率が向上する。しかしながら、データ線上には比較的幅の広いBMが必要であり、パネルの透過率は第2世代と同等レベルとなっていた。

今回の開発の目標はTN方式と同等の高い透過率の実現にある。そこで、図1(d)に示すように、CO構造適用によ

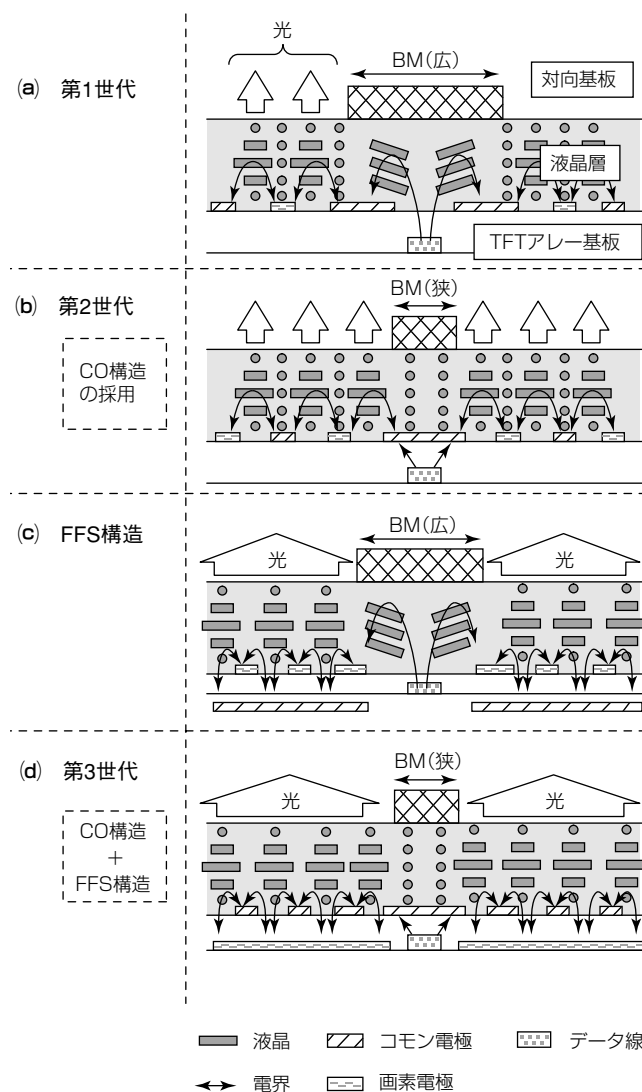


図1. In-Plane-Switching方式の液晶パネルの断面構造と透過率の関係

◇一般論文◇

るBM幅縮小(開口率向上)とFFS構造の採用による電極部透過率向上とを組み合わせることを考え、新規パネル構造開発を実施した(第3世代)。

2.2 TFTアレー構造開発による透過率向上

第3世代の液晶パネルを実現するために新たなTFTアレー構造の開発を行った。一般的なFFS構造はコモン電極をゲート電極と同層の最下層に、画素電極をTFTアレー基板の最上層に配置する構造である。したがってデータ線からの電界をコモン電極を用いて有効に遮蔽するCO構造を採用することができなかった(図1(c))。

図2に今回開発したTFTアレーの断面構造を示す。SD(Source-Drain)層と同層に画素電極を配置し、かつ、コモン電極をTFTアレー基板の最上層に配置することで、従来のFFS構造に対して新たな工程を追加することなく、CO構造とFFS構造を両立させた。

図3に新規TFTアレー構造を用いて実際に作製した第3世代パネルの画素部写真(白表示)を示す。この写真に示すパネルの画素ピッチは141 μm である。ここで、R、G、B各色を分離している黒い部分が図1で示したデータ線上のBMとなる。第3世代パネルのBM幅は同じCO構造を採用する第2世代パネルと同等かそれ以下の幅となっている。さらに、第3世代パネルではFFS構造の採用によって電極部の暗線が薄くなっていることが確認できる。

図4には第3世代パネルの透過率と画素ピッチの関係(計算)を示す。画素ピッチが220 μm まではTN方式よりも透過率が高く、それ以降もほぼTN方式並みの値を示す結果を得ることができた。

3. 光学特性向上に向けた開発

3.1 コントラスト比及び視野角特性向上

一般的に視野角特性はコントラスト比がある一定の値以上を示す範囲で定義される。In-Plane-Switching方式の長所である広視野角特性を更に伸ばすため、まず正面コントラスト比の向上に取り組んだ。コントラスト比の向上には黒表示時の光漏れを低減し、透過率を下げるのが重要である。そこで、黒表示時の光漏れの要因を検証し、その要因であった液晶、カラーフィルタ、偏光板の材料改善、及び遮光設計の最適化を実施し、黒表示時の光漏れ低減に取り組んだ。具体的な例を挙げると、液晶材料の弾性定数を大きくすることで、液晶層の散乱による光漏れを30%低減させた(図5)。その結果、第3世代パネル開発による白の透過率向上の効果と併せて、正面コントラストを従来比で20%向上させることができ、1,200:1以上を達成するまでに至った。加えて、偏光板の光学設計の見直し、液晶配

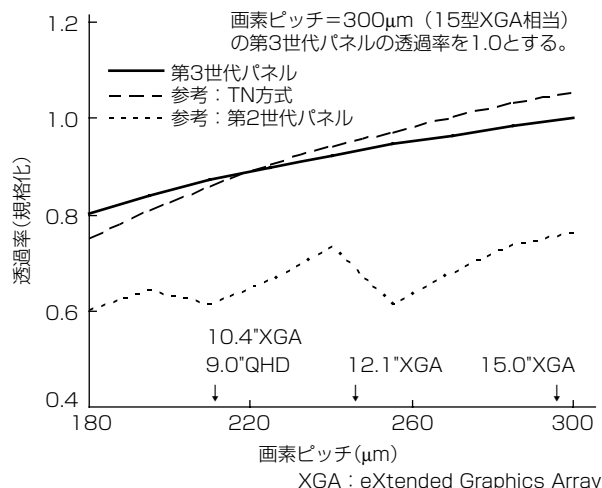


図4. 透過率と画素ピッチの関係

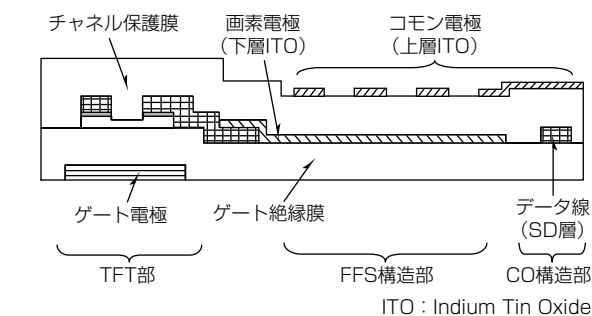


図2. 新規開発TFTアレーの断面構造

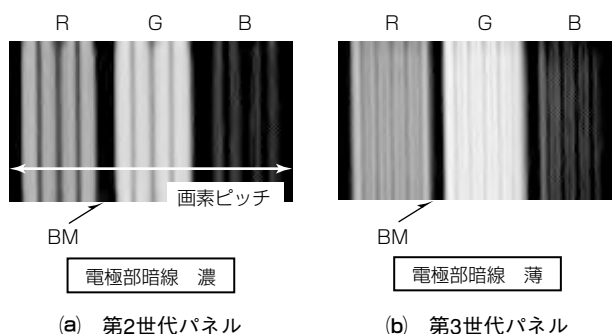


図3. 白表示状態の画素部

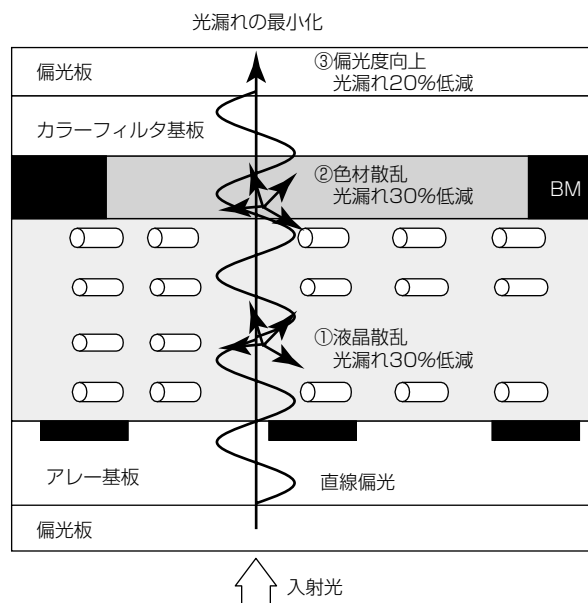


図5. 黒表示における光漏れ要因

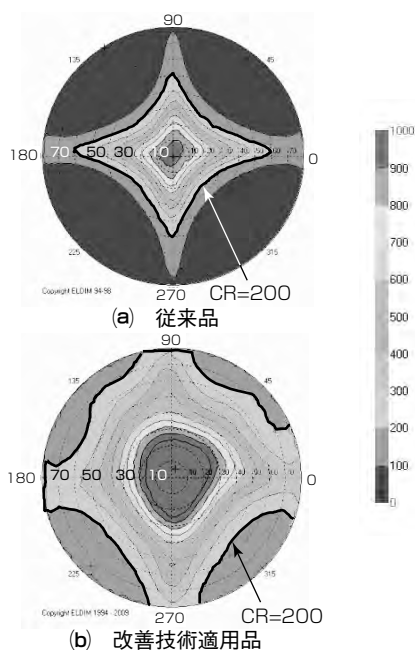


図 6. 等コントラスト線図

向の精密制御を実施することで、視野角特性の更なる拡大の可能性も確認した(図 6)。

3.2 応答特性の向上

現状のIn-Plane-Switching方式の液晶の応答時間は、液晶材料の開発、駆動電圧の最適化等によって、TVなどでの動画表示においても問題ない性能を達成できている。近年、当社は、産業用途に代表される広範囲な温度条件下で使用される製品に対する特性向上を目的として、低温環境下での応答時間の改善に取り組んできた。図 7 に最新の液晶を用いた場合の応答時間(白表示⇄黒表示)を示す。-30℃近傍の環境では従来の液晶に対して約 2 倍の高速化を実現している。

4. 製品への展開

今回開発した技術は当社の最新の製品に対して適用を開始している。一例として表 1 に 9 型ワイド液晶モジュールの製品仕様を示す。解像度はHD(High Definition)画像の表示に適したQHD(Quarter High Definition)である。画素ピッチは207μmであり、TN方式と同等の高い透過率を実現している(図 4)。この高い透過率を活用した輝度・色再現範囲に対するバランス設計を実施し、見る角度や画像を選ばない鮮やかな表示を実現、放送機器向けのモニタとしての展開を開始している。さらに、耐環境性を考慮した動作保証温度-40～+85℃の技術開発も既に完了しており、産業用途、車載用途へ展開中である。

5. む す び

新しいIn-Plane-Switching方式のTFT-LCDを開発した。電極構成の変更を含めた、新規TFTアレー構造の開発を実施することで、TN方式と同等レベルの高いパネル

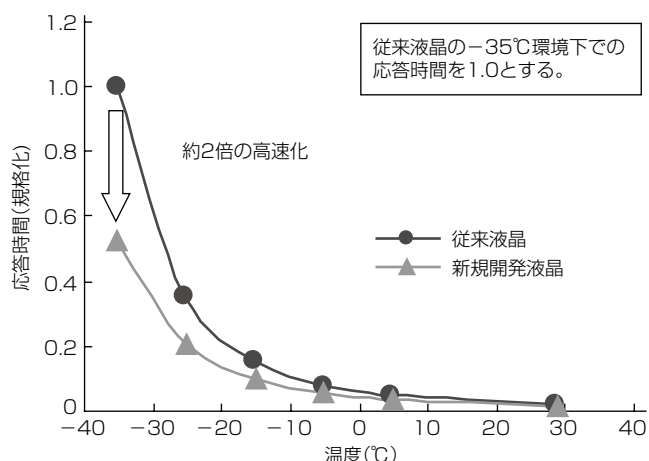


図 7. In-Plane-Switching方式パネルの応答時間(白表示⇄黒表示)と環境温度の関係

表 1. 第 3 世代パネルを用いた 9 型ワイド液晶モジュールの製品仕様

項目	仕様
Display size/Resolution	9.0inch(960×540dots)
Pixel Pitch(μm)	207(H)×207(V)
Contrast Ratio(CR)	1,000:1
Luminance(cd/m ²)	400
Viewing Angle(CR>10)(°)	-85～+85(H), -85～+85(V)
Color Gamut(NTSC)(%)	72.0
Response Time(grey to grey)(ms)	8.0

NTSC: National Television System Committee

透過率を実現した。この技術は、広視野角技術適用による製品コストの増加を抑制し、高品位な液晶モジュールをより多く市場に提供することを可能とするものである。さらにIn-Plane-Switching方式の光学特性の性能向上に対して継続的に取り組む中で、コントラスト、視野角、応答速度に代表される光学特性は業界トップレベルの値を実現するに至った。今後これらの技術を適用した製品を展開していくことで、これまで以上に広い分野の顧客の要求にこたえていくことができる。

参 考 文 献

- (1) Masutani, Y., et al.: Novel TFT-Array Structure for LCD Monitors with In-Plane-Switching Mode, SID 97 DIGEST, 15～18 (1997)
- (2) Kobayashi, K., et al.: IPS mode TFT-LCDs For Aircraft Application, SID 98 DIGEST, 70～73 (1998)
- (3) Masutani, Y., et al.: 15-in. XGA TFT-LCD with High-Aperture TFT Array Structure for Dual-Domain IPS Mode, SID 03 DIGEST, 1204～1207 (2003)
- (4) Nishimura, M., et al.: A 22.2-in. UXGA-Wide TFT-LCD with High Quality Color Performance for Professional Use Monitor Application, SID 04 DIGEST, 122～125 (2004)
- (5) Lee, S.H., et al.: 18.1" Ultra-FFS TFT-LCD with Super Image Quality and Fast Response Time, SID 01 DIGEST, 484～487 (2001)