

MITSUBISHI
Changes for the Better

家庭から宇宙まで、エコチェンジ



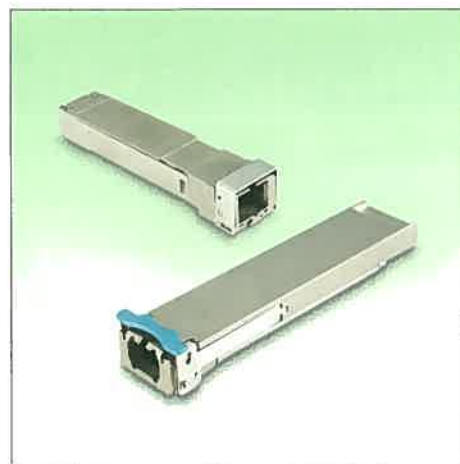
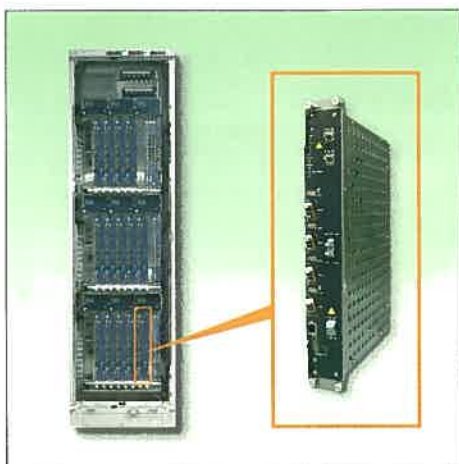
三菱電機技報

6

2012

Vol.86 No.6

進化するネットワーク技術



目次

特集「進化するネットワーク技術」

- 進化するネットワーク技術特集に寄せて 1
西村隆司
- 光通信技術とサービスの展望 2
宮崎守泰
- 40G/100Gbps大容量光通信装置 7
能松 忍・渋谷麻美子・小口和海・石田和行
- 海外向け10G-EPONシステム 11
村上 謙・能勢英樹・福田 健・向井宏明
- 10G-EPON向け光トランシーバ 15
後藤秀樹・井川英哲・大村多聞・吉間 聡
- “メルックμⅡ”システム 19
上田智弘・寺内弘典・岸田敦敬
- 私鉄 地下鉄向け150MHz帯空間波
デジタル列車無線システム 23
杉浦哲広・清本和彦・手嶋牧子

一般論文

- “1 図面VE”によるVE活動の活性化 27
三好達夫
- 産業用ロボットによるバラ積み部品供給技術 33
野田哲男・永谷達也・堂前幸康・田中健一
- 双方向型Web画面自動生成技術 37
大島正晴・河村美嗣
- ビルセキュリティにおけるWeb活用 41
中林 智・奈良井一雅・奥村誠司・山本英司・山岸義徳
- 有機EL方式大型映像表示装置 45
切通 聡・原 善一郎・森部幹人・落合俊文・奥村貴典
- 自動車パワートレイン制御パラメータの
モデルベース適合技術 49
北尾武史
- 業務無線機用高出力MOSFETデバイス 53
森 和人・丸山洋二・藤田光一

Evolving Network Technologies

- Contribution to Special Issue on Evolving Network Technologies
Takashi Nishimura
- View of Optical Communication Technology and Service
Moriyasu Miyazaki
- 40G/100Gbps Large Capacity Optical Communication Equipment
Shinobu Nomatsu, Mamiko Shibuya, Kazuomi Koguchi, Kazuyuki Ishida
- 10G-EPON Systems for Global Market
Ken Murakami, Hideki Nose, Takeshi Fukuda, Hiroaki Mukai
- Optical Transceiver for 10G-EPON
Hideki Goto, Eitetsu Igawa, Tamon Omura, Satoshi Yoshima
- "MELOOK μⅡ" System
Tomohiro Ueda, Hironori Terauchi, Yukinori Kishida
- 150MHz Band Digital Train Radio System for Private Railway/Subway
Tetsuhiro Sugiura, Kazuhiko Kiyomoto, Makiko Teshima

Promotion of VE Activity by "1 zumen VE"

- Tatsuo Miyoshi
- Industrial Robotics Technology Enabling to Feed Bulk Parts
Akio Noda, Tatsuya Nagatani, Yukiyasu Domae, Ken-ichi Tanaka
- Bidirectional Web Screen Automatic Generation Technology
Masaharu Oshima, Yoshitsugu Kawamura
- Adoption of Web Technology for Building Security System
Satoshi Nakabayashi, Kazumasa Narai, Seiji Okumura, Eiji Yamamoto, Yoshinori Yamagishi
- Large Size Display with Organic Electro-Luminescence
Satoru Kiridoshi, Zenichiro Hara, Mikihiro Moribe, Toshifumi Ochiai, Takanori Okumura
- Model-Based Calibration Technology for Automotive Powertrain Control Parameters
Takeshi Kitao
- High Frequency High Power MOSFET for Professional Radio
Kazuhito Mori, Yoji Maruyama, Koichi Fujita

特許と新案

- 「光通信システム」「ホワイトバランス自動調整装置」 57
- 「無線通信装置、通信方法及び通信システム」 58

スポットライト

- アナログシステムを“かんたん”リプレース！
デジタルCCTVシステム“MELOOK μ+”

表紙：進化するネットワーク技術

三菱電機は情報ネットワーク構築の鍵となるデバイス技術、伝送方式技術など要素技術の先駆的開発を進め、高信頼性かつ経済的なネットワークシステムを提供し続けている。

スマートフォンに代表される大容量通信端末の普及に伴い、ネットワーク全体のトラフィックが急増しており、様々なエリアにおける波長多重伝送装置の大容量化・高信頼性化の要求が高まり続けている。写真①は、これらの市場要求に対応した海底ケーブルネットワーク向けWDM 光通信装置のトランスポンダ及び高密度実装光通信架である。同一筐体サイズで2倍～3倍の伝送容量収容を実現した。

光アクセスシステムでは動画共有、高画質映像配信サービスの普及によるインターネットトラフィックの増加を受け、GE-PONよりも一桁高速な10Gbpsの伝送容量を提供する10G-EPONの開発が進められている。写真②は、市場のニーズに合わせ、小型化を実現したONU用光トランシーバ及び10G-ONUと既存の1G-ONUの混在に対応可能な小型のデュアルレートOLT用光トランシーバである。



巻/頭/言

進化するネットワーク技術特集に寄せて

Contribution to Special Issue on Evolving Network Technologies

西村隆司

Takashi Nishimura



1990年代後半からのインターネットの急速な普及、そして2000年以降のブロードバンド化を経て、情報ネットワークは世界的規模の社会インフラとなって拡大・進化を続けており、社会・経済活動の発展、豊かな生活の実現において不可欠な存在となっている。インターネット上のコンテンツは飛躍的に増加し、映像、音楽、電子書籍などの多様なサービスが提供されるとともにコンテンツのリッチ化が進んでいる。SNS(Social Networking Service)などのソーシャルメディアはサイバースペース上での新たなコミュニケーションプラットフォームを形成している。またクラウドサービスは、アプリケーションサービスからプラットフォームサービスまで幅広く展開されており、スマートコミュニティなどの社会システムや、医療、教育分野へも広がりを見せている。

近年、スマートフォンやタブレット端末が急増しており、2011年にはスマートフォンの年間世界出荷台数がパソコンを上回った。これまでの固定回線を中心としたブロードバンドに加え、LTE(Long Term Evolution)などの高速モバイルアクセスの普及が加速している。ネットワークサービスの拡大に伴ってトラフィック量が年々増大しており、総務省の発表によると、2011年における我が国のブロードバンドサービス契約者の総ダウンロードトラフィックは前年比1.2倍強、移動通信のデータトラフィックは前年比約2.2倍に増加している。今後もこれらのトラフィック増加傾向が継続すると想定され、通信事業者は高速大容量のネットワークを経済的に構築することが急務となっている。

FTTH(Fiber To The Home)によってアクセスネットワークの高速化が進展し、2011年12月末時点で我が国のFTTH契約数は2,189万に達している。現行FTTHシステムは伝送容量1GbpsのGE-PON(Gigabit Ethernet Passive Optical Network)が主流であり、今後のトラフィック増にこたえる次世代光アクセスシステムとして、GE-PONよりも一桁高速な10Gbpsの伝送容量を提供する10G-EPONの開発が進められている。1 Gbpsと10Gbpsの2つの伝送信号を送受信するデュアルレート・バースト光トランシーバ技術によって、同一光伝送路上でGE-PONと10G-

EPONの混在収容を実現している。光アクセスシステムの展開は2000年以降、世界に先駆けて我が国で進み、その後、世界的な潮流となっているが、最近では、特に中国においてアクセスネットワークの光化が急速に進展している。中国では集合住宅まで光ファイバを敷設するFTTB(Fiber To The Building)の比率が高く、10G-EPONの10Gbpsの大容量を活かして多数のブロードバンドユーザーを経済的に収容するシステムの導入が始まりつつある。今後、既設のGE-PONと共存しつつ10G-EPONへのマイグレーションが進むと予想される。

アクセスネットワークを集約して中継するコア・メトロネットワークは、超高速・長距離伝送が要求される。現在では、1波長あたり40Gbpsの光信号を波長多重して1本の光ファイバでテラビット級の伝送容量を提供するDWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing)システム、光信号をAdd/Dropして光リングネットワークを構成するROADM(Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer)システムが導入されている。また大陸間のグローバルネットワークを構成する海底ケーブルシステムにおいても1波長あたりの伝送速度が10Gbpsから40Gbpsへ移行しつつある。更なる高速化に向けて、高感度受信が可能なコヒーレント光通信方式とデジタル信号処理を組み合わせたデジタルコヒーレント伝送技術を適用した伝送システムの開発が進められている。これによって、1波長あたり100Gbpsの光信号を100波長程度、高密度多重化し、1本の光ファイバで10Tbps級の通信容量を提供可能な超大容量光伝送システムの実現が期待されている。

三菱電機は、これまで情報ネットワーク構築の鍵となるデバイス技術、伝送方式技術など要素技術の先駆的開発を進め、高信頼性かつ経済的なネットワークシステムを提供してきた。この特集では、当社が開発を進めている光アクセス技術、メトロネットワーク技術を始めとする最新ネットワーク技術について述べる。今後もキーテクノロジーの創造、ネットワークシステムの性能向上・機能拡張を推進し、発展するネットワーク社会への貢献を続けていく。



宮崎守泰*

光通信技術とサービスの展望

View of Optical Communication Technology and Service

Moriyasu Miyazaki

要 旨

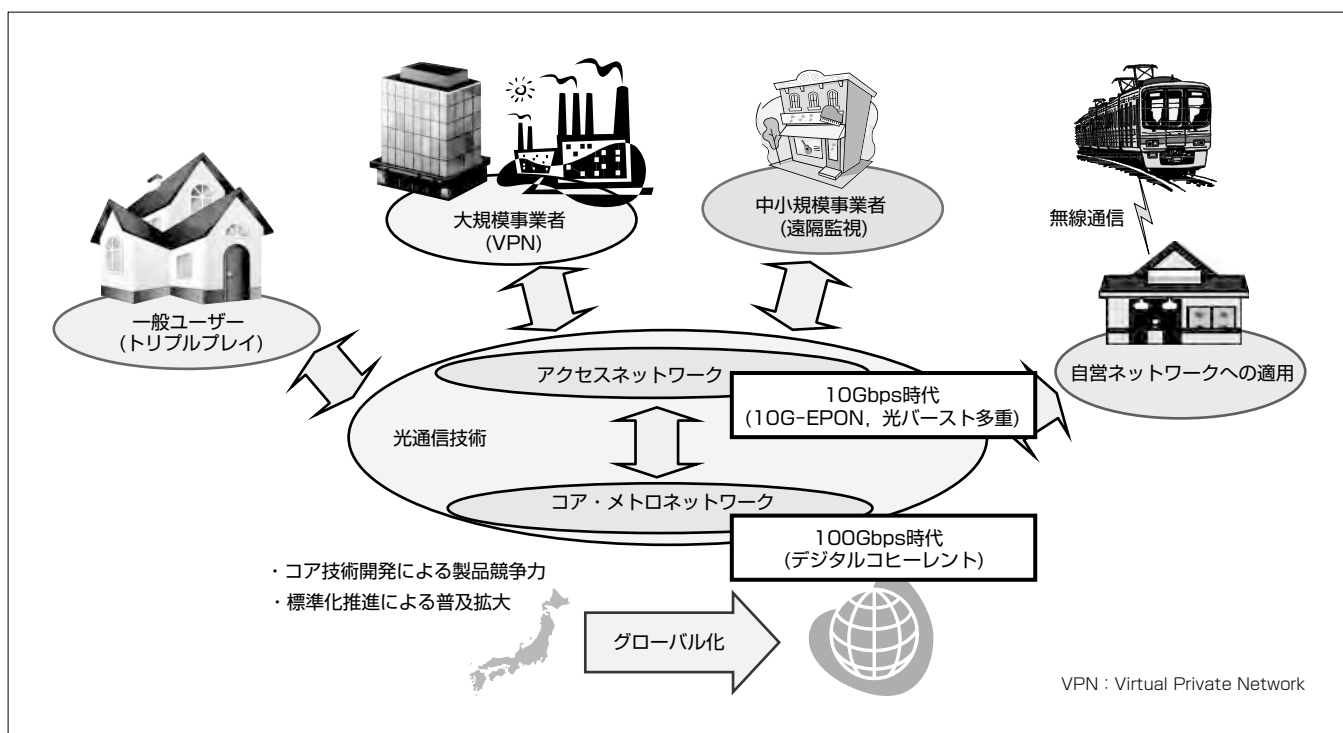
クラウドコンピューティングやスマートフォンの普及によって通信トラフィック量は急増している。このため、大容量通信を実現する光通信技術への期待が高まっている。WDM(Wavelength Division Multiplexing)技術を基に構成されるコア・メトロネットワークは波長あたり100Gbpsの伝送容量時代を迎えようとしている。また、エンドユーザーにブロードバンドサービスを提供するFTTH(Fiber To The Home)などのアクセスネットワークは、PON(Passive Optical Network)技術によって構成され、こちらも10Gbpsの時代に移ろうとしている。

本稿では、コア・メトロネットワークの容量拡大に貢献するデジタルコヒーレント技術、アクセスネットワーク向けの10G-EPON(Gigabit-Ethernet Passive Optical Network)を実現するため要素技術の現状と今後の課題を示す。PONでは、ユーザーから局舎に向かう“上り”トラフィックをスプリッタ上で多重化するために、物理レイヤでの光バースト多重技術、データリンクレイヤでの動的帯域割当て技術が鍵となる。また、PONの今後の課題とし

て、適用領域拡大に向けた多分岐技術、冗長化制御技術、低消費電力化技術等が必要となる。

また、今後のグローバル化を考えた場合、標準化が重要となる。PONについては、マルチサービスを狙ったITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization sector)とイーササービス集約を狙ったIEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)で並行して標準化が進められてきた。日本はIEEE標準のEPONを支持してきたが、海外への導入を考えた場合、ITU-Tでの標準化が必要となる。現在、10G-EPONをITU-Tで標準化する動きがあるが、これを中心としたIEEE, ITU-Tでの標準化動向及び三菱電機の取組みを述べる。

最後に、光通信技術と映像監視システム等、他システムとの連携によるサービス拡大に向けた取組みとして、中小事業者向けの遠隔監視サービス、鉄道分野向けの無線通信との連携について当社の開発事例を述べる。



光通信技術開発とシステム間連携によるサービス拡大

グローバル化を視野に入れ、コア・メトロネットワークとアクセスネットワークにおける光通信技術のコア技術開発と標準化を推進している。さらに光通信技術と他システム間の連携によるサービス拡大にも取り組んでいる。

1. ま え が き

大規模データセンターからスマートフォンにいたるまで通信の大容量化が進んでいる。調査報告によると、図1に示すように世界で生成される情報量は2010年以降年率1.4倍で増加し、2020年には35ZB(ゼタバイト=10²¹バイト)になると言われている。これらを支えるために光通信技術の重要性が増している。光通信技術は、WDMによって構築されているコア・メトロネットワークでは一波長当たり100Gbps、PONを中心に構築されているアクセスネットワークでは10Gbps時代に入ろうとしている。

このような背景を捉え、この特集号では、“進化するネットワーク技術”と題し、光伝送技術関連の論文3件とアプリケーション関連の論文2件を掲載する。

本稿では、この特集号の巻頭論文として、光伝送技術の最新の技術動向と今後の展望について述べる。また、今後、光伝送技術を適用したシステムの普及拡大に向け、システム間連携の必要性とその事例について述べる。

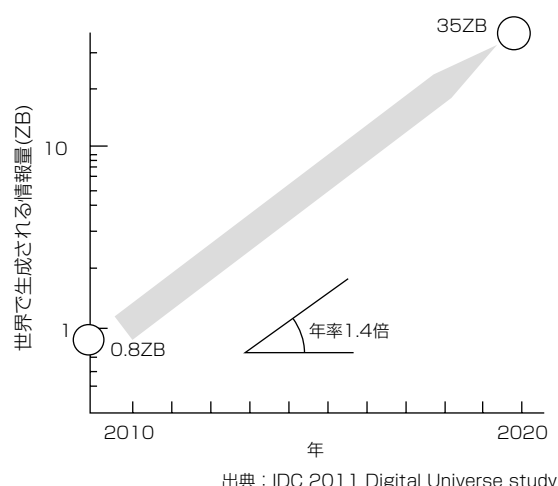


図1. 発生する情報量のトレンド

2. コア・メトロネットワークの大容量化に向けて

コア・メトロネットワークにおける伝送容量とそれを支える伝送技術を図2に示す。市場ニーズは大容量化と長距離化であり、既に一波長当たり40Gbpsは実用化段階にあると言える⁽¹⁾。また、次の段階である一波長当たり100Gbpsを目指し、研究開発が進められている。このために鍵となる技術としてデジタルコヒーレント技術⁽²⁾がある。デジタルコヒーレント技術は、光の位相・偏波に情報をのせ、波長分散の補償や多重化した偏波の分離をデジタル信号処理で行うものである。

当社ではデジタルコヒーレント技術に対して、軟判定低密度パリティチェック符号を用いた3重連接誤り訂正方式を始めとして様々な観点から研究開発を行っている⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

3. 光アクセスシステムの現状と今後について

次に、光アクセスシステムについて述べる。光アクセスシステムでは、低コスト化が大きな課題となっている。また、通信インフラにおける消費電力の大半をアクセスネットワークで消費していることによって、近年では低消費電力化が強く要求されている。このために、光アクセスシステムは、主としてPONによって構築されている。PONは、ブロードバンドサービスの普及の牽引(けんいん)をしてきたと言える。

また、PONの場合は、多数のベンダーの機器が導入されるために、異社間接続が重要視され、そのために、標準化機関での議論が活発に行われてきた。PONの構成と基本動作を図3に示す。加えて、技術概要並びにこれらの標準化動向については、参考文献(6)、(7)、(8)を参照されたい。この節では、光アクセスネットワークの動向と今後の展開についてPONに焦点をあてて述べる。

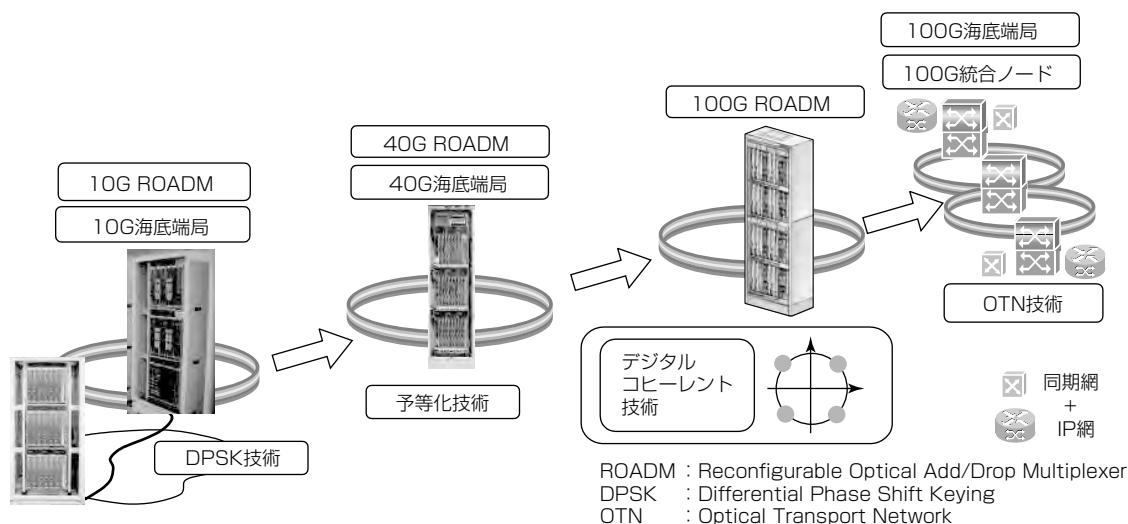


図2. コア・メトロネットワークにおける大容量化と技術進歩

3.1 標準化動向

PONの標準化は2000年以降、ITU-T SG15とIEEE802.3で並行して進められてきた。ITU-T SG15は、SDH (Synchronous Digital Hierarchy)をベースにしたマルチサービスを指向し、IEEE802.3はイーサネット^(注1)への集約を指向してきた。近年のIP化によって伝送手段としてイーサネットが広く用いられる傾向にあり両者の仕様統一が検討され始めている。具体的には、IEEE802.3で標準化された10G-EPONをITU-T準拠のPONの一つの方式(ITU-T GEPON)として位置付けるものである。特に、IEEE802.3準拠のEPONが広く導入されている日本にとっては、この仕様統一は、海外展開に向けての推進力となると期待されている。当社は、2000年から、両方の標準化活動に積極的に参加しており、この仕様統一についても推進している。また、同時に標準化をいち早く取り入れた装置開発を進めている。例えば、この特集号掲載論文⁽⁹⁾に示すように海外のニーズを取り込んだ装置開発を実施してきた。

図4に、両標準化団体で議論されている方式を整理する。図中で、“上り”とは、ユーザーから局舎方向のトラフィックの流れを示し、“下り”とは、局舎からユーザー方向のトラフィックの流れを示す。

PONの方式としては、ITU-T G.984準拠のG-PON(上り1.2Gbps, 下り2.4Gbps)とIEEE802.3準拠のEPON(GE-PON: 上り下り1Gbps)が、既に成熟期を迎え、次期システムとして、ITU-T G.984の後継としてXG-PON1(上り2.4Gbps, 下り10Gbps), IEEE802.3の後継として10G-EPON(上り下り10Gbps又は上り1Gbps, 下り10Gbps)が研究開発の段階と言える。なお、先に述べたG-EPONは、XG-PON1と同じ位置付けとする方向で議論されているが、

まだ完全な合意には達していない。

これらのPONでは上り方向のトラフィックは光バースト多重技術によってTDMで多重化されている。現状、この方式が主流であるが、今後の大容量化に向けては光バースト多重技術によって10Gbps以上を狙うのは著しいコスト増になると考えられており、WDM方式を併用することが検討されている。具体的には、複数の10GbpsクラスのPONに対して別波長を割当てWDMで多重化することによる容量拡大である。これについては、ITU-Tで議論が開始されているが、適用用途、運用方法等課題が多く、当面は、現在議論されているTDM方式によるPONで展開され则认为られる。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

3.2 主要技術と今後の展望

図5にPONの主要技術開発ロードマップを示す。PON固有の主要な技術は上り方向の多重化技術であり、具体的には物理レイヤでの光バースト多重技術とデータリンクレイヤで行う動的帯域割当技術である。当社では、既存のGE-PONと10G-EPONの混在収容が可能なバースト多重技術の開発を進めてきた。この特集号の論文⁽¹⁰⁾及び参考文献(11)にその技術的取組みを示す。動的帯域割当技術については、参考文献(12)を参照されたい。

特に、光バースト多重のシステム性能向上にはオーバーヘッドの縮小が必要である。10G-EPONの場合、標準では、オーバーヘッドの最大値のみが決められており、この縮小化が当社システムの特長となっている。図6に現状の当社での実現値を示す。標準に対して15%のオーバーヘッドとなっており、上り2.4GbpsであるXG-PON1のオーバーヘッド(771.7ns)より小さい値となっている。

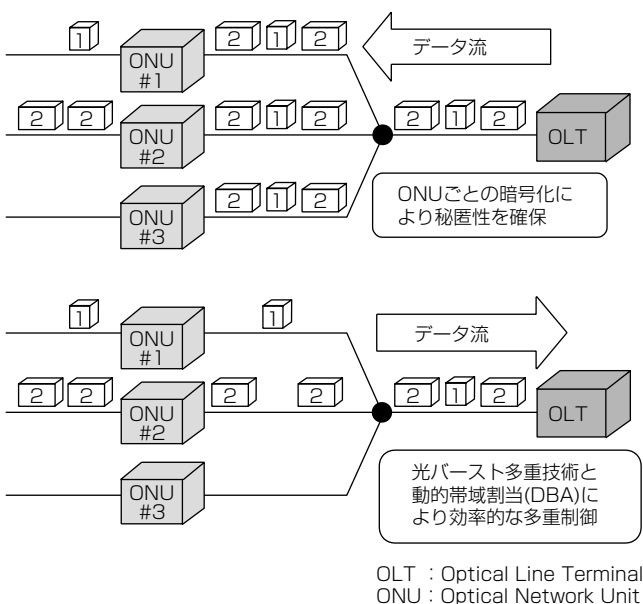


図3. PONの構成と基本動作

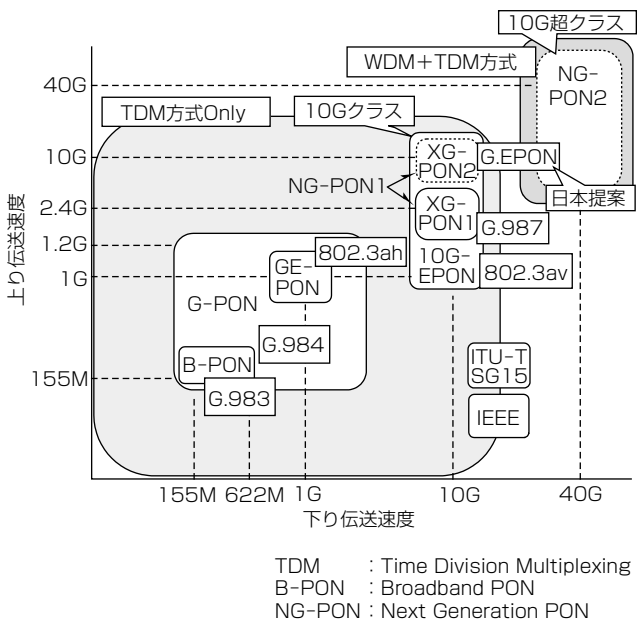


図4. PONの標準化動向

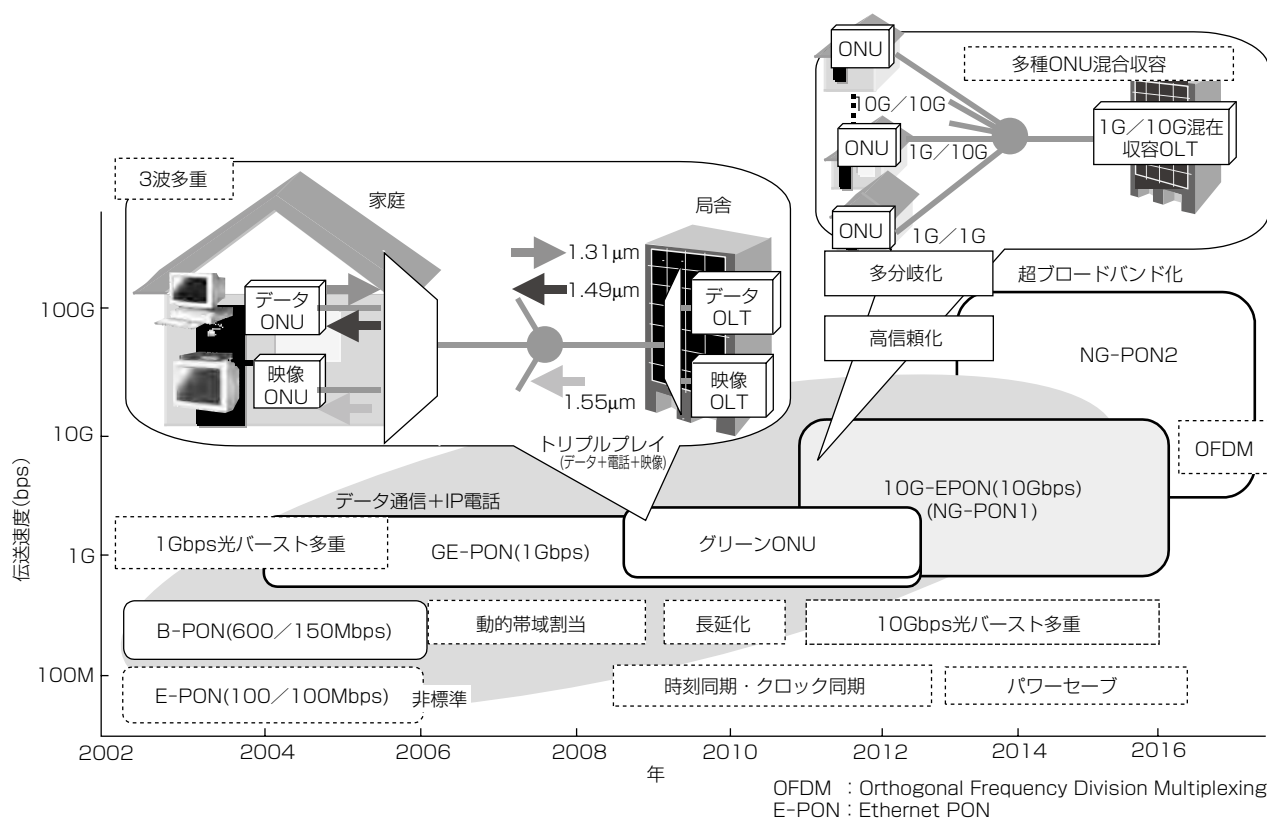


図5. PONの主要技術開発ロードマップ

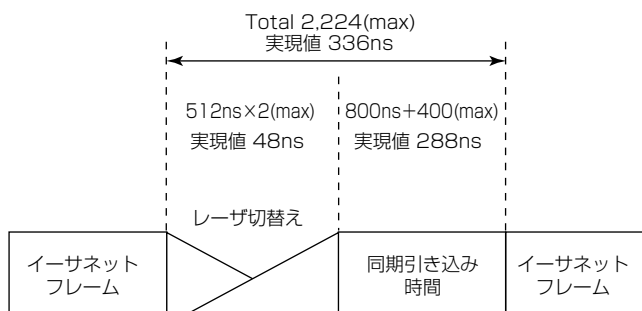


図6. 10G-EPONにおけるバーストオーバーヘッドの性能

一方、10G-EPONを次期光アクセスシステムと位置付けた場合、今後の技術課題としては次の4項目が考えられる。

(1) 10Gbps光バースト多重技術

先に述べたように10G-EPONのバーストオーバーヘッドの更なる削減を進め、次に示すような多分岐運用などの場合でも高効率な転送を実現する必要がある。

(2) パワーセーブ技術

通信インフラにおける消費電力の中で光アクセスシステムがその70%を占めると言われているが、その中でもONUが60%を占める⁽¹³⁾。したがって、今後、ONUの低消費電力化が大きな課題となる。現在、ITU-T SG15及びIEEE P1904.1(IEEE802.3で標準化された10G-EPONの運用・相互接続性について標準化している機関)で、低消費電力化のためのパワーセーブプロトコルが規定されている

が、通信機器の消費電力のガイドライン(例えば、European Commissionのガイドライン)として10G-EPONでは、2012年でパワーセーブ時5.6W、2014年で5.3Wと年を追うごとに厳しい値となっている。これに対応するために、装置を構成する部品の低消費電力化に加え、制御プロトコル・メカニズムによる低消費電力化を進める必要がある。

(3) 多分岐化

10G-EPONの場合、通信の大容量化への対応だけでなく、GE-PONで提供しているサービスをより安価に提供することも必要とされる。このために従来32分岐程度で運用してきたシステムを256~512分岐で運用すると言った多分岐化が必要となる。多分岐化を進めるためには、光送受信器でのロスバジェットの拡大、動的帯域割当による各分岐に対する高速制御の性能向上等の課題がある。今後、これらを低コストで実現する方式開発、デバイス開発が必要となる。

(4) 高信頼化

PONの場合、図3に示すように、OLT(Optical Line Terminal)に近い光ファイバの障害によって、配下のONUの通信がすべて停止するという問題がある。これに対する解決策はPONの冗長化として以前から議論されており、標準化でもITU-T G.983.5で規定されている。近年、PONの多分岐化並びにPONを一般ユーザー向けのみならず事業者向けにも適用する動きがあり、今後、運用面を含め低コストで実現できる冗長化制御が必要となる。

4. 光通信システムの適用領域拡大に向けて

光通信システムは、一般ユーザー向けのトリプルプレイサービス（インターネットアクセス、IP電話、映像配信）と事業者向け的高速専用線、VPNサービスとして適用される。この節では、新たな適用領域として次の2分野を取り上げる。一つは、一般ユーザーと事業者の中間的な位置付けとなるコンビニエンスストアなどの中小規模事業者（Small and Medium Business：SMB）向けである。もう一つは、自営ネットワークとしての適用である。これらの2分野について当社の取組みを次に述べる。

中小規模事業者向けに適用する例としては、近年増加している画像での遠隔監視用途向けがある。当社では、“メルックμⅡ”システム⁽¹⁴⁾で、カメラと映像レコーダ間のIPパケットを、低遅延かつパケットロスが非常に少ない光通信システムを活用して長距離通信することによって遠隔監視を実現することを提案している。

次に、自営ネットワークに適用する例を示す。ここでは、鉄道通信を取り上げる。鉄道通信は、車両内の監視、制御、情報配信等をイーサネットなどで提供する車上通信と、駅舎、鉄道関連施設を高速な光通信ネットワークで接続する地上通信と、両者を接続する広帯域無線による地上-列車間通信があり、光通信システムと無線通信システムを組み合わせることによって実現される。これらのネットワークシステムで性能、信頼性を向上させるためには地上-列車間通信が鍵を握る。当社では、この分野に積極的に取組み、無線技術⁽¹⁵⁾を確立している。

5. む す び

今後の通信システムについて光通信に焦点をあてて述べた。コア・メトロネットワークは100Gbps、アクセスネットワークは10Gbps時代を迎えようとしており、これらに対する当社の取組みを述べ、また、光通信システムの適用先の事例として、中小規模事業者向け遠隔監視システムと鉄道通信への適用について述べた。

参 考 文 献

- (1) 能末 忍，ほか：40G/100G大容量光通信装置，三菱電機技報，**86**，No.6，319～322（2012）
- (2) 菊池和朗：コヒーレント光ファイバ通信の新たな展開，フォトリックネットワークシンポジウム2012—100G光通信技術と国際競争力—，1～24（2012）
- (3) 杉原隆嗣：100Gb/sデジタルコヒーレントを実現する信号処理と回路技術の展望，電子情報通信学会 第4回超高速光エレクトロニクス研究会，招待講演1（2010）
- (4) Onohara, K., et al.：Implementation of soft-decision forward error correction for 100G digital coherent system, OECC2011, 423～424（2011）
- (5) Mizuochi, T.：The role of FEC in coherent transmission in undersea systems, ECOC2011 Symposia, Undersea Systems：Technologies and Applications（2011）
- (6) Effenberger, F., et al.：An introduction to PON technologies, IEEE Communication Magazine, **45**，No.3, S17～S25（2007）
- (7) Effenberger, F., et al.：Next-Generation PON-Part II：Candidate systems for next-generation PON, IEEE Communication magazine, **47**，No.11, 50～57（2009）
- (8) 横谷哲也，ほか：光アクセスシステムの標準化動向と今後の展望，電子情報通信学会 総合大会 TK-2-3（2012）
- (9) 村上 謙，ほか：海外向け10G-EPONシステム，三菱電機技報，**86**，No.6，323～326（2012）
- (10) 後藤秀樹，ほか：10G-EPON向け光トランシーバ，三菱電機技報，**86**，No.6，327～330（2012）
- (11) Nakura, K., et al.：1.25/10.3Gbps Dual Rate Algorithm for 10G-EPON Burst-Mode CDR, OFC 2010, Paper No. OXWC（2010）
- (12) Mukai, H., et al.：Dynamic Bandwidth Assignment for Higher TCP Throughput on PON, IEICE Transactions, **J91-B**，No.12, 1658～1668（2008）
- (13) 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）
- (14) 上田智弘，ほか：“メルックμⅡ”システム，三菱電機技報，**86**，No.6，331～334（2012）
- (15) 杉浦哲広，ほか：私鉄/地下鉄向け150MHz帯空間波デジタル列車無線システム，三菱電機技報，**86**，No.6，335～338（2012）

能松 忍* 石田和行**
渋谷麻美子*
小口和海**

40G／100Gbps大容量光通信装置

40G／100Gbps Large Capacity Optical Communication Equipment

Shinobu Nomatsu, Mamiko Shibuya, Kazuumi Koguchi, Kazuyuki Ishida

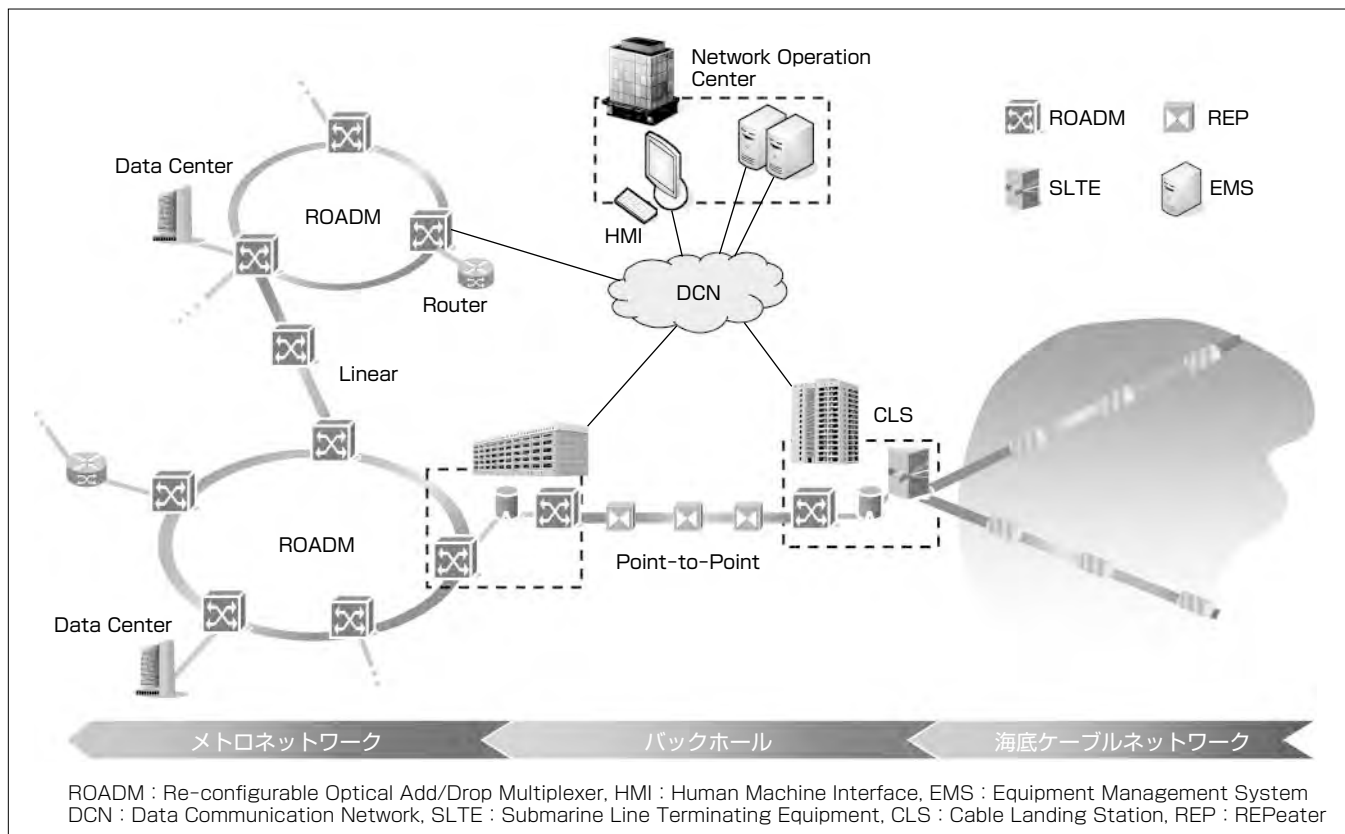
要 旨

スマートフォンに代表される大容量通信端末の普及に伴い、ネットワーク全体のトラフィックが急増している。これは世界規模での潮流であり、基幹系のメトロネットワーク、グローバルな国際通信を担う海底ケーブルネットワーク等様々なエリアにおける波長多重伝送装置(Wavelength Division Multiplexing：WDM)の大容量化・高信頼性化の要求が高まり続けている。

海底ケーブルネットワークでは、1波長あたりの伝送速度が、従来の10Gbpsから、40Gbpsへ移行し始めている。メトロネットワークでは100Gbpsの導入が検討されている。40Gbpsや100Gbps化では、10Gbpsに比べて、高度な長距離多重伝送技術、高密度実装技術、低消費電力化技術、放熱設計技術等が要求される。これらの技術的課題を解決することが、大容量光通信装置の実現のポイントとなる。

本稿では、まず、大容量化を実現するために三菱電機が

取り組んでいる高密度実装プラットフォーム技術、大容量伝送設計・検証技術、大容量ネットワーク高信頼監視技術について述べる。次に、大容量伝送設計・検証技術の適用例としての海底ケーブル向けWDM光通信装置の概要と特長を述べる。40Gトランスポンダは高効率なマルチサービス収容を実現し、プロトコルやデバイスに依存せず最適化可能な光プロテクション技術でシステムの高信頼化を実現している。最後に、40G／100Gbpsインタフェース信号を収容するメトロネットワーク向けWDM光通信装置の概要と特長を述べる。100Gbps伝送では、デジタルコヒーレント方式に適用する軟判定符号と硬判定符号を組み合わせた3重連接符号の誤り訂正機能を実現することで、伝送性能を大幅に改善した。また、低消費電力化技術によって経済性と省電力性を実現している。



WDMシステム

WDMシステムは、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。1本のファイバを複数の波長で共有するため、大容量通信を低コストで実現することができる。また、通信需要に応じて波長数を増減することもできる。

1. ま え が き

メトロネットワークや国際通信を担う海底ケーブルネットワークでは急激な通信需要の増加に対応するため、通信容量の大容量化と装置の高信頼性への要求が高まっている。これらの要求にこたえるためには、1波長あたり40Gbps又は100Gbpsの大容量伝送機能を装置に高密度実装する大容量伝送設計・検証技術、大容量ネットワーク高信頼監視技術、サービス断時間を最小化する光プロテクション技術が不可欠である。

本稿では、大容量・高信頼化技術を適用した海底ケーブル向けWDM光通信装置及びメトロネットワーク向けWDM光通信装置について述べる。

2. 大容量・高信頼化技術

2.1 高密度実装技術

光通信装置に適用されるデバイスは集積化が進み、発熱源はますます局所化している。これを解決するため、構造熱設計の最適化を行った。新変調方式を実現するデジタルアナログ混在大規模LSI(Large Scale Integration)からの発熱を図1に示すヒートパイプによって放出する。発熱源のレイアウト最適化とあわせ、放熱効果については従来比25%増を達成した。なお、40Gbps、100Gbpsのトランスポンダは、海底ケーブル向け、メトロネットワーク向けWDM光通信装置とで共通化を図っており、これらの技術を適用している。従来の10Gbps用の高密度実装光通信架に40Gbpsマックスポンダや40Gbpsトランスポンダカードを実装可能とし、同一筐体(きょうたい)サイズで2倍の伝送容量収容を実現、100Gbpsトランスポンダでは、3倍の

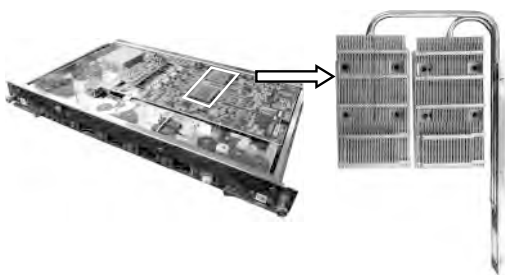


図1. トランスポンダ搭載ヒートパイプ



項目	諸元
電源電圧	DC48V
動作温度範囲	5~40℃
波長収容数	最大15波@40Gマックスポンダ/架 最大9波@40Gトランスポンダ/架
筐体サイズ	2,200(H)×600(W)×400(D) (mm)

図2. 高密度実装光通信架と主要諸元

伝送容量収容を実現した。図2に海底ケーブルネットワーク向けWDM光通信装置の高密度実装光通信架及び主要諸元を示す。

2.2 大容量伝送設計・検証技術

従来の10Gbps光通信システムと同等の伝送距離で、高ビットレート化と波長多重数の増加による大容量化を実現するために、40Gbpsや100Gbpsの伝送特性を検証する長距離伝送評価設備を開発した。図3に評価設備を用いて40Gbpsの波長信号を9,000km伝送したときのスペクトル波形を示す。この評価設備を用いて実サービス環境における光ファイバ種別、信号波長帯域、伝送距離等様々な条件を模擬することで、設計段階における高精度の伝送性能評価を可能とした。

2.3 大容量ネットワーク高信頼監視技術

伝送装置の故障や、伝送路の品質をモニタする監視制御装置(Equipment Management System : EMS)は、ネットワークの大容量化に伴い、更に高い信頼性が要求されている。

EMSの故障による伝送装置の監視停止を防止するため、EMSに使用するサーバをホットスタンバイ方式によって冗長化し、監視断時間が発生しないようにした。

また、地震や火災等、不可抗力によるEMSの破損にも対応できるシステムを構築するため、冗長化したサーバ間の遠隔配置を可能とした。一般にホットスタンバイ方式では、冗長化したサーバ間の同期を頻繁に行うため、サーバ間の伝送帯域を十分に確保する必要がある。サーバ内では、大きく分けて伝送装置の状態を管理する情報と、サーバ自身の状態や利用者を管理する情報を保持している。このうち伝送装置の状態を管理する情報は、各構成部品の設定・

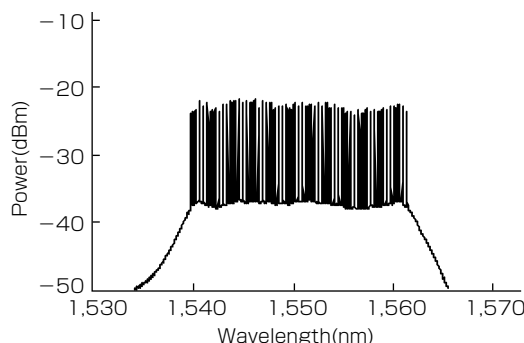


図3. 長距離伝送評価設備(上段)と9,000km伝送後の波長多重スペクトル(下段)

故障の情報や、過去に遡った故障や伝送品質測定の情報を持しているため、容量が大きい。遠隔配置を実現するため、冗長化した現用・予備の各サーバはそれぞれ独立して伝送装置と通信し情報の更新を行うことで、伝送装置の管理情報をサーバ間で直接通信しないようにした。サーバ間の直接通信では、サーバ自身の情報のみを取り扱うことによって、サーバ間で伝送する同期データ伝送量を低減した。これによって、サーバ間の伝送帯域が十分に確保できない環境下での、ホットスタンバイ方式のサーバ冗長化を実現した。

初期据付け時に近接配置して冗長化したサーバを、一方のサーバを運用継続したまま、もう一方のサーバを例えば500km以上離れた遠隔地に移設することも可能である。冗長化したEMSサーバの遠隔配置は、海底ケーブルやメトロネットワークで運用中である。

3. 海底ケーブル向けWDM光通信装置

海底ケーブルシステムでは、国際間の大容量で様々な速度のデータ通信トラフィックを扱うため、高い信頼性と柔軟性を持つシステム設計が求められる。この要求にこたえるべく、10Gbpsと40Gbpsの異種クライアントを同時収容するマルチサービス対応40Gマックスポンダを開発した。さらにシステム全体の稼働率を向上させるため、各インタフェースの種別に依存せずに切換え可能な光プロテクション装置を開発した。



図4. マルチサービス対応マックスポンダの外観

表1. マルチサービス対応マックスポンダの主要諸元

項目	諸元
ライン側インタフェース	
伝送速度	OTU3v(50Gbps)
FEC	Ultra FEC(高効率誤り訂正符号)
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, 10GbE, OTU2
その他	
電源電圧	DC-48V
動作温度範囲	5~40℃
波長収容数	最大9波@40G TPND/架(3ユニット/架)

OTU : Optical channel Transport Unit
 FEC : Forward Error Correction
 STM : Synchronous Transfer Mode
 GbE : Gigabit Ethernet
 TPND : TransPoNder

3.1 マルチサービス対応40Gマックスポンダ

異種クライアント信号の混在収容が可能な40Gマックスポンダを開発した。図4に外観を、表1に主要諸元を示す。

40Gマックスポンダでは、異なる信号速度のサービスであるSTM-64, 10GbE, OTU2を最大4チャンネルまで混在収容可能である。クロックとデータパスを柔軟に変更可能なハードウェア設計を実現しており、OTU2e/OTU1eなどのインタフェースについてもソフトウェアアップグレードによって対応可能としている。

3.2 高信頼光プロテクション装置

海底ケーブルのトラフィックのデータ種別に依存せずに予備系に移行して保護する光プロテクション技術もインタフェースの多様化に対応しなければならない。今回、40Gマックスポンダの異種混在インタフェースに対応した光プロテクション装置を開発した。図5に外観を、表2に主要諸元を示す。

海底ケーブルで伝送されるN本の波長に対し1本の予備波長を設けるN:1光プロテクション方式を採用した。切換え方式は、ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization sector) G.845標準を拡張したOTN(Optical Transport Network) オーバヘッドによるAutomatic Protection Switching (APS) プロトコルをベースとし、光スイッチにてN:1切換えを実施する。4多重された10Gbpsクライアント信号

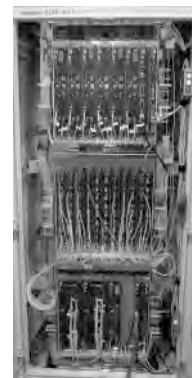


図5. 光プロテクション装置の外観

表2. 光プロテクション装置の主要諸元

項目	諸元
最大プロテクション波長数	最大64波長
切換え時間	100ms以下(Fast Mode) 11~20s(Slow Mode)
切換えモード	Fast Mode Slow Mode Disabled Mode
切換えコマンド	Lockout of Protection(LP) Forced Switch(FS) Manual Switch(MS)
自動切り戻し	あり
優先処理	2段階の優先設定が可能 高優先のトランスポンダを優先的に切り換える



図 6. メトロネットワーク向け40Gトランスポンダの外観

の100m秒以内の同時切換えを実現している。

100m秒以内の同時切換えを実現するため、トランスポンダとスイッチの各ブロックの応答速度にあわせて信号転送方式と検出時間を設定し最適化した。また、40Gトランスポンダへの拡張のため、OTU3オーバヘッド領域を利用してAPSプロトコルを拡張することによって、OTU3インタフェースを提供可能である。

4. メトロネットワーク向けWDM光通信装置

メトロネットワークの大容量化に対応するため40Gbps×40波を伝送可能なWDM光通信装置を開発した。高密度実装、低消費電力化、放熱設計技術を適用している。また、今後の更なる大容量化に向けて、波長あたり100Gbps伝送を実現する100Gトランスポンダを収容可能としている。

4.1 省電力40Gトランスポンダ

図 6 にメトロネットワーク向けに開発した40Gトランスポンダの外観を示す。高密度実装と徹底した回路集積によって、伝送容量あたりの装置収容効率、従来の2倍を達成した。

4.2 100Gトランスポンダ

トラフィック需要の増大と100Gbpsルータの登場で要求が高まっている100Gbpsでの長距離伝送を実現するために、デジタルコヒーレント技術と、新規に開発した誤り訂正技術を採用した。デジタルコヒーレントは、光の多値位相と直交する2つの偏波によって情報を伝送し、受信側でデジタル信号処理によって復調する方式である。周波数利用効率と送受信特性に優れているため、大容量化の実現技術として注目されている。また、高速A/Dコンバータとデジタル信号処理を用いるため、軟判定誤り訂正技術との親和性が高い。今回、デジタルコヒーレント方式に適用する軟

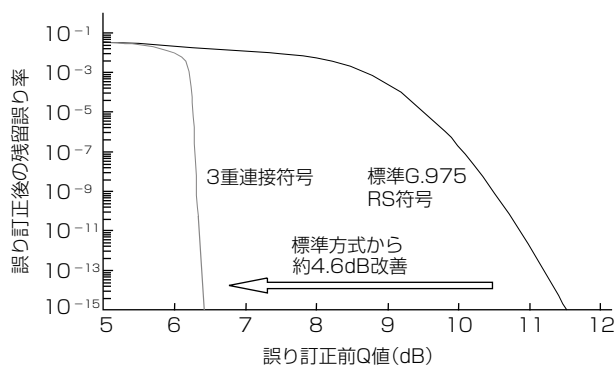


図 7. 3重連接符号の性能

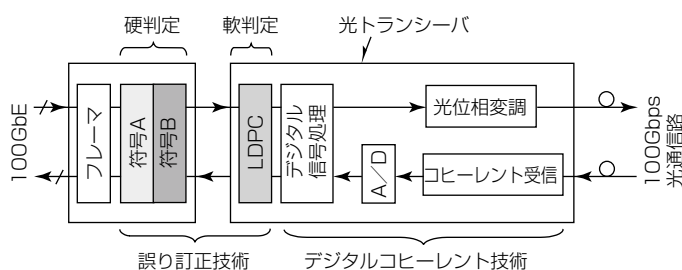


図 8. 100Gトランスポンダの機能ブロック

判定LDPC(Low Density Parity Check)符号を開発した。これに2つの硬判定符号を組み合わせた3重連接符号の誤り訂正性能を図 7 に示す⁽¹⁾。ネット符号化利得は10.8dB(@1E-15)であり、ITU-T標準G.975のRS(Reed-Solomon)符号より4.6dB性能向上している。これらの技術を適用した100Gトランスポンダの機能ブロックを図 8 に示す。

5. む す び

大容量・高信頼化技術を適用した、海底ケーブル向けWDM光通信装置、メトロネットワーク向けWDM光通信装置について述べた。これらが、光通信ネットワークの大容量化と高信頼化に寄与することを期待する。

この研究開発の一部は、平成21年度から平成23年度に実施した総務省の委託研究“超高速光伝送システム技術の研究開発(デジタルコヒーレント光送受信技術)”及び“超高速光エッジノード技術の研究開発”の成果である。

参 考 文 献

- (1) Miyata, Y., et al.: A triple-concatenated FEC using soft-decision decoding for 100 Gb/s optical transmission, OFC/NFOEC2010, OThL3 (2010)

海外向け10G-EPONシステム

村上 謙* 向井宏明**
能勢英樹*
福田 健*

10G-EPON Systems for Global Market

Ken Murakami, Hideki Nose, Takeshi Fukuda, Hiroaki Mukai

要 旨

グローバル市場におけるFTTx(Fiber To The x)加入者数の推移は、中国及び日本を中心としたアジア・太平洋地域で特に成長が著しい。また、その他多くの国でもブロードバンド網整備の国家政策が施行されており、世界のブロードバンド市場は、継続的な成長を続ける見通しである。

三菱電機は、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海外向けGE-PON(Gigabit Ethernet-Passive Optical Network)システムを開発した⁽¹⁾。

これに続き、動画共有や高画質映像配信サービスの普及に伴う更なる広帯域化、加入者数増加に伴う長距離・多分岐化・高効率収容の要求にこたえるべく、海外向けGE-PONシステムの次機種として、海外向け10G-EPON(10Gigabit-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)、ユーザー宅内又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)から構成される。海外向けGE-PONシステムに対し、PONポートあたりの加入者収容数を2倍の128加入者、アクセス帯域を10倍の10Gbpsに広帯域化するとともに、既存の1Gbps帯域を持つEPONシステムのONU及びPONラインカードとの混在収容を可能とする。

本稿では、今回開発した海外向け10G-EPONシステムの概要と、このシステムの特長である3つの主要技術について述べる。

(1) PONラインカードアーキテクチャ

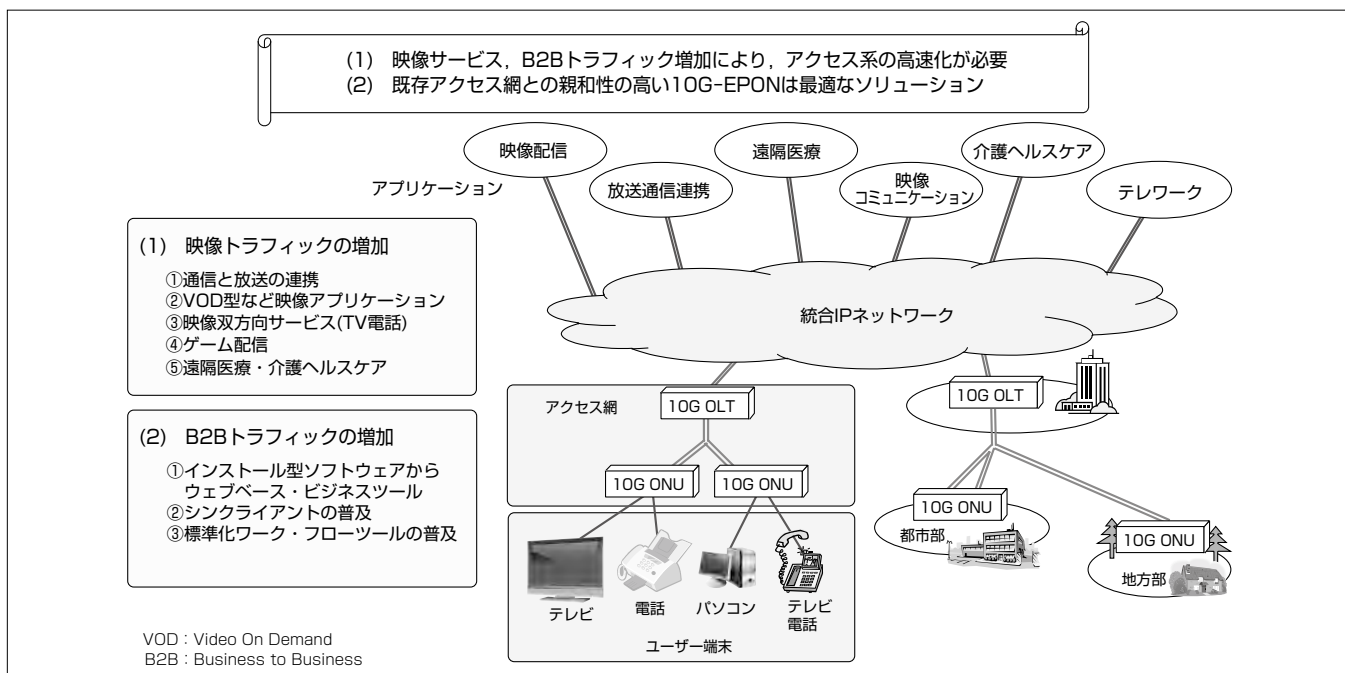
PON終端部と集線部を分離し、集線部チップの機能をフル活用。将来の機能拡充に柔軟に対応可能

(2) 高速バックプレーン伝送

スロットあたり100Gbps、OLTで最大1.6Tbpsの高速伝送を実現。レイヤ2スイッチのマイグレーションによる集線率向上と、アップグレードビリティを確保

(3) パワーセーブ技術

ONUの通信状態に応じたダイナミックな消費電力制御



高速・高効率収容を実現する10G-EPONシステム

当社は、動画共有や高画質映像配信サービスの普及に伴うブロードバンドアクセス回線の更なる高速化、加入者数増加に伴う高効率収容の要求に応えるべく、海外向けGE-PONシステムの次機種として、10G-EPONシステムを開発した。このシステムでは、アクセス帯域を10倍、加入者収容効率を2倍に向上させ、さらに1.6Tbpsの伝送能力を持つバックプレーンを実装しており、今後の多ポート化に柔軟に対応可能である。

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、動画共有や高画質映像配信サービスの普及に伴う広帯域化、加入者数増加に伴う長距離・多分岐化・高効率収容に対する要求がある。

本稿では、当社が開発した10G-EPONシステムの装置概要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章ではこのシステムの主要諸元、4章では、このシステムの特長である、PONラインカードアーキテクチャ、高速バックプレーン伝送技術、及びパワーセーブ技術について述べる。

2. 標準化動向

GE-PON標準IEEE802.3⁽²⁾における物理層とMAC(Media Access Control)層の規定に加え、IEEE P.1904.1(Service Interoperability EPON: SIEPON)⁽³⁾で、サービスレベルでの相互接続実現を目的として、2012年6月の標準制定を目標に、保守運用機能、冗長切換え機能等の上位レイヤに関する標準化が進められている(図1)。当社も標準化に参画し、省電力機能、冗長切換えに関する当社提案が採用された。さらに相互接続のための試験仕様も標準化のスコープとなっており、相互接続の気運が高まると予想される。

本稿で述べる10G-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している。

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光加入者線端局装置(OLT)、ユーザー宅内又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)、及びそれらを監視・制御するオペレーションシステム(EMS)から構成されている。OLT筐体(きょうたい)は、海外向けGE-PONシステムと共通で、19インチラックの搭載が可能、OLTに収容可能なPONラインカードの最大数は16枚、さ

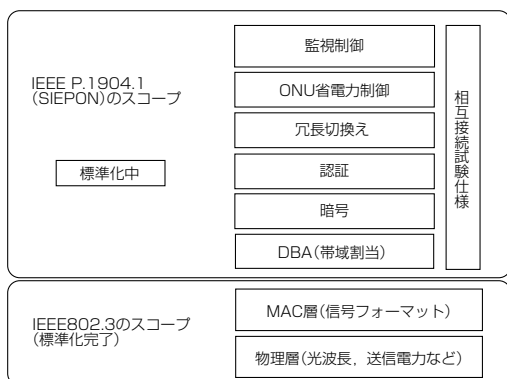


図1. IEEEにおけるEPON標準化動向

らに1G EPONラインカードと10G EPONラインカードの混在収容を実現している。また、PONラインカード、監視制御カード及びレイヤ2スイッチカードは、冗長化を実現可能としている。

3.2 主要諸元

10G-EPONシステムの主要諸元を表1に示す。

4. 主要技術

4.1 PONラインカードアーキテクチャ

表1に示すように、OLTは、レイヤ2スイッチカードを内蔵し、集線機能を具備している。また図2に示すように、10G EPONラインカードは、カードあたり4PONポート収容を実現している。PONラインカードは、光信号-電気信号変換及びクロック同期を行うO/E(Optical/Electrical converter)部、IEEE802.3準拠のMPCP(Multi-Point Control Protocol)/OAM(Operation, Administration and Maintenance)を終端するPON終端部、4PONポートからのトラフィックを集約しOLT内蔵レイヤ2スイッチカー

表1. 10G-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 10U高さ
スロット構成	PONラインカード: 16スロット 監視制御 : 2スロット レイヤ2スイッチ: 2スロット 機能拡張スロット: 2スロット
PONラインカードあたりのポート収容数	4PONポート/カード (最大64PONポート/ユニット)
PONポート速度 (収容可能ONU)	下記3種を同一PONポートで実現 (1) 上り10G/下り10G(対称) (2) 上り1G/下り10G(非対称) (3) 上り1G/下り1G 同一PONポートでONU混在収容可能
PONポートあたりの分岐数	最大128分岐
PON光モジュール	PR30/PRX30準拠XFPモジュール
レイヤ2スイッチ容量	480Gbps
機能諸元	
冗長制御機能	(1) PONラインカード (PONプロテクション機能) (2) 監視制御カード (3) レイヤ2スイッチカード (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(Identifier)/混合) (3) プロトコルフィルタリング (4) 統計収集及び統計しきい値警報
その他	
電源電圧	DC-48V
動作温度範囲	0~40℃

XFP : 10 gigabit small Form Factor Pluggable
IGMP/MLD : Internet Group Management Protocol/Multicast Listener Discovery

ドへ転送する集線部を持っている。PON終端部と集線部は、個別のチップで構成しており、PON終端部～集線部間では、LLID(Logical Link Identifier)と内部VLAN ID(Virtual Local Area Network Identifier)を紐(ひも)付けることで、集線部でもLLIDを認識可能としている。

集線部にはスイッチチップを適用し、多様化するサービス収容要求に柔軟に対応可能なトラフィックマネジメント機能やレイヤ3機能を具備している。PON終端部と集線部を個別のチップで構成することで、LLIDを意識した形でスイッチチップのトラフィックマネジメント機能をフルに活用可能とした。このアーキテクチャによって、ユーザー単位・サービス単位のQoS(Quality of Service)制御が可能となり、更なるサービス収容要求や、レイヤ3機能を含む将来の機能拡充に、柔軟に対応可能である。

4.2 高速バックプレーン伝送技術

OLTの10G EPONラインカードには4 PONポートが実装されており、カードあたりのトラフィックは最大40Gbpsとなる。レイヤ2スイッチカード(L2SW)のスイッチ容量は480Gbpsであり、PONラインカードに対しては20Gbpsのインタフェースを具備している。このためPONラインカードからレイヤ2スイッチカードへの転送時に20Gbpsに集線している(集線率50%)。ユーザー収容効率アップのためには、PONラインカード当たりのPONポート数拡張が必要となるが、これに伴う集線率の低下を回避しなければならない。このためには、PONラインカード側の集線率アップや、レイヤ2スイッチカードのスイッチ容量アップだけでなく、カード間すなわちバックプレーンが十分な伝送能力を具備しておく必要がある。高速・大容量伝送のバックプレーン実現にあたっては、信号配線が課題の一つとなる。

当社は、10GBASE-KRインタフェースに基づく10Gbpsバックプレーンシリアル転送によって、PONラインカード(スロット)あたり100Gbps、OLT全体で最大1.6Tbpsの伝送能力を持つバックプレーンを実現した。図3にバックプレーン配線イメージを示す。

一方、スイッチチップの動向に目を向けると、複数の

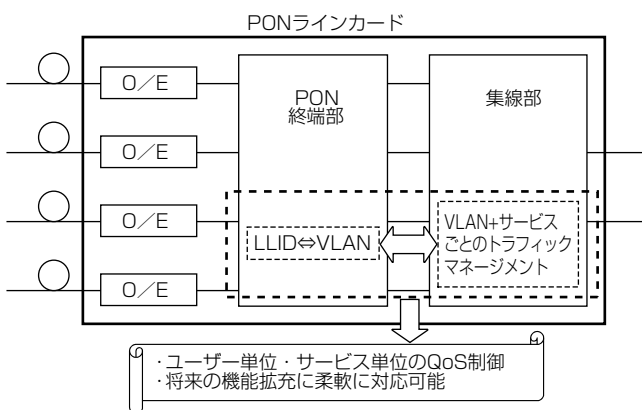


図2. PONラインカードブロック図

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4)。

数百Gbpsのスイッチ容量を具備するチップは既に市販されており、これをPONラインカードの集線部に適用することで、例えば図5に示すように、16PONポートを具備するPONラインカードの場合でも、ラインカード(スロット)当たり100Gbpsの伝送容量をフルに活用し、集線率62.5%(160Gbps→100Gbps)を達成できる。

さらに16枚のPONラインカードを集線するレイヤ2スイッチカード側には1.6Tbps分の配線を実装しており、数Tbpsのスイッチ容量を具備するチップをレイヤ2スイッチカードに適用可能にすることで、更なる大容量化への要求に対応可能なアップグレードビリティを確保している。

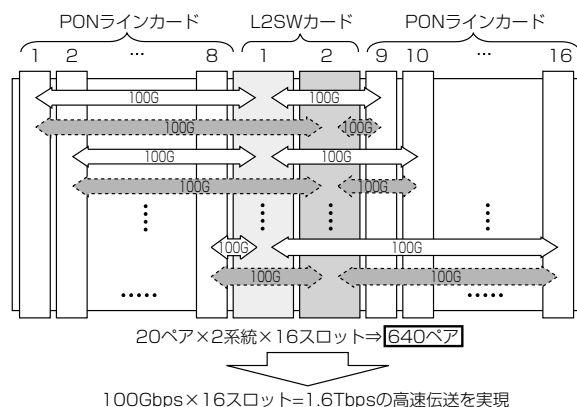


図3. バックプレーン配線イメージ

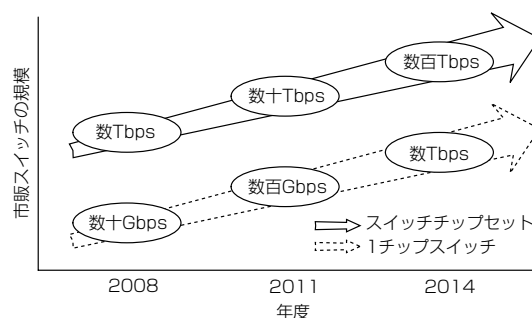


図4. スwitchチップ交換容量のトレンド

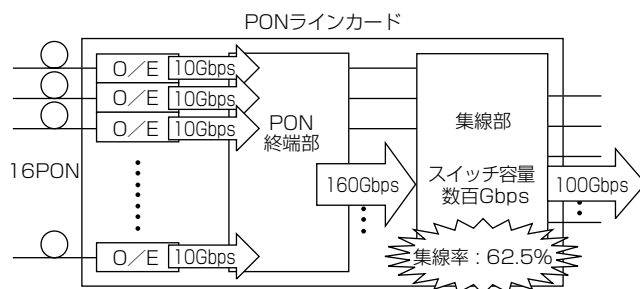


図5. 多ポート化時の集線率維持向上

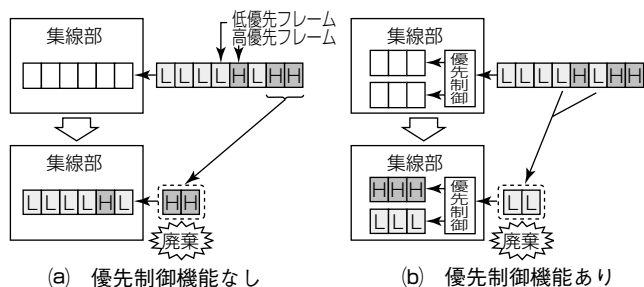


図6. PONラインカード集線部優先制御の効果

4.3 パワーセーブ技術

昨今のエコブームを受け、通信の世界でも、多くの通信事業者が独自の環境基準(省電力基準)を設けて、省電力化に取り組んでいる。ブロードバンドアクセスインフラでは、特にONUの消費電力削減に対し厳しい基準を設けている。

当社は、国内向けGE-PONシステムで、IEEE P.1904.1 (国内仕様: Package B) に準拠したONUパワーセーブ機能を実現した。IEEE P.1904.1では、北米仕様(Package A) 及び中国仕様(Package C)も規定しており、今回開発した海外向け10G-EPONシステムに対し、Package CのONUパワーセーブ機能実装を計画している。

Package CのONUパワーセーブは、OLT主導で制御する。OLTは、各ONUからの上りフレーム及び各ONU宛下りフレームの発生状況を監視しており、あるONUのフレーム送受信が一定時間実施されなかった場合、当該ONUに対しパワーセーブ状態移行指示を送信する。各ONUのフレーム発生状況監視は、ONUによって近い箇所で実施すべきであるため、PON集線部で実施する。ONUはOLTからのパワーセーブ状態移行指示を受信すると、パワーセーブ状態に移行する。なおONUは、1回のパワーセーブ期間で、Sleep状態とWake状態を繰り返す。Sleep時間及びWake時間はEMSから設定可能で、ネットワーク管理者が、パワーセーブ状態からの復帰時間すなわちフレーム遅延時間と、省電力効率のトレードオフから、時間を指定できる。

OLTは、パワーセーブ中のONU宛下りフレームを受信すると、ONUのパワーセーブ状態を解除するために、Wake時間を狙って該当ONUにパワーセーブ状態解除指示を送信する。ONUが本指示を受信すると、パワーセーブ状態を解除し、OLTへパワーセーブ解除完了を通知する。OLTがパワーセーブ状態解除指示を送信してからパワーセーブ解除完了通知を受信する間、OLTは当該ONU宛下りフレームを蓄積する。その間、大量の下りフレームを受信すると、図6(a)に示すとおり、OLTでバッファオーバーフローが発生し、音声や映像等の高優先フレームが廃棄される可能性がある。これを極力回避するため、OLTは優先制御機能を具備し、高優先フレームの廃棄確率を抑制している。具体的には、図6(b)に示すとおり、優先度ごと

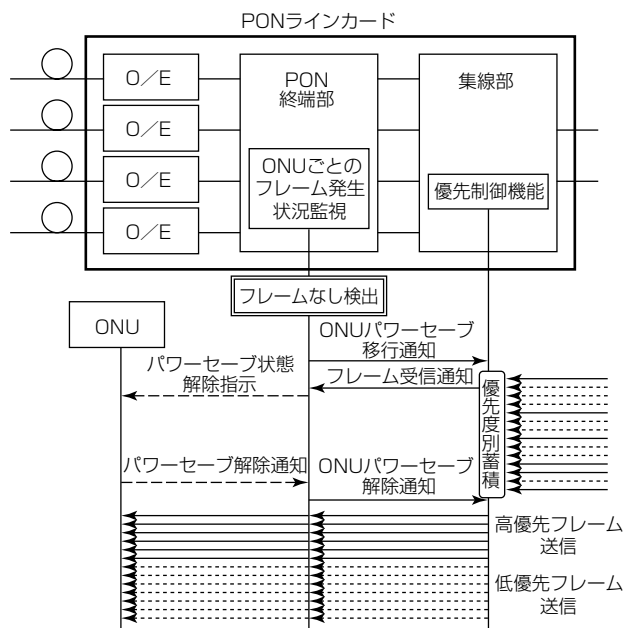


図7. PON終端部と集線部の連携によるパワーセーブ

のバッファを具備し、受信した下りフレームの優先度情報に応じて、蓄積先バッファを決定し、パワーセーブ解除完了通知受信後は、高優先バッファからフレーム送信を行う。優先度情報として、VLANタグ内CoS(Class of Service)を用いる。この優先制御機能は、集線部で実現する。PON終端部チップもバッファは具備しているが、フレーム廃棄発生確率抑制のため、より多くのバッファを具備している集線部チップで実現している。

図7に示すように、OLTは各ONUのフレーム発生状況を監視するPON終端部と、優先制御機能を行う集線部との密接な連携動作によって、サービス品質の確保と同時に省電力化を実現している。

5. む す び

今回開発した10G-EPONシステムでは、多分岐、広帯域化を実現した。またこのシステムは、更なる大容量化や低消費電力化を見据えた実装及び装置アーキテクチャを採用している。当社は、10G-EPONシステムに対し、今後も大容量化、低消費電力化等の性能改善を進める予定である。

参 考 文 献

- (1) 福田 健, ほか: 海外向け次世代EPONシステム, 三菱電機技報, **85**, No.6, 333~336 (2011)
- (2) IEEE Std 802.3 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection(CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications (2008)
- (3) IEEE P1904.1 Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks(SIEPON) (2012)

10G-EPON向け光トランシーバ

後藤秀樹* 吉間 聡**
 井川英哲*
 大村多聞*

Optical Transceiver for 10G-EPON

Hideki Goto, Eitetsu Igawa, Tamon Omura, Satoshi Yoshima

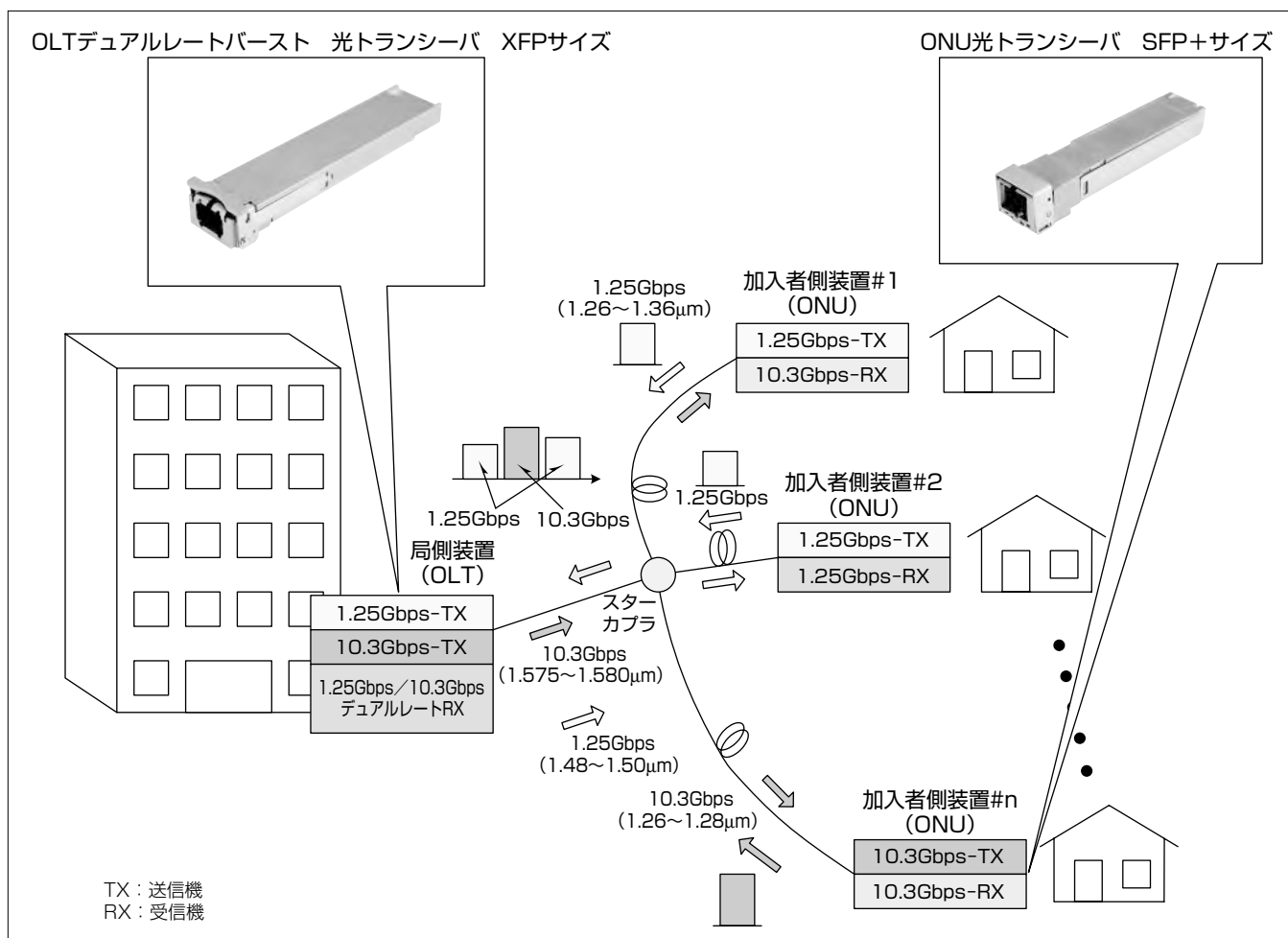
要 旨

動画共有、高画質映像配信サービスの普及によるインターネットトラフィックの増加を受け、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国際標準規格IEEE 802.3av-2009の標準化と並行して、三菱電機では、IEEE802.3av PR30規格準拠の局側装置(Optical Line Terminal：OLT)用デュアルレート対応光トランシーバと、加入者側装置(Optical Network Unit：ONU)用光トランシーバを開発してきた。

今回、小型化と汎用性に対する市場のニーズに合わせ、OLT用光トランシーバをXFP(10 gigabit small Form Factor Pluggable)サイズ、ONU用光トランシーバをSFP+(Small Form-factor Pluggable plus)サイズを実現し、IEEE802.3 avPR30規格準拠の性能を満足した。

本稿では、10G-EPONシステムの構成と、開発した10G-EPON向け光トランシーバの製品概要、コア技術であるデュアルレートバースト通信技術について述べる。



10G-EPONシステム

10G-EPONシステムは、局側装置(OLT)と複数の加入者側装置(ONU)間をスターカプラを用いて光ファイバで接続する。OLTからONUへの下り方向の通信は、波長1.48~1.50μmの1.25Gbps信号と1.575~1.580μmの10.3Gbps信号の波長多重によって行う。ONUからOLTへの上り方向の通信は、各ONUから送出される波長1.26~1.36μmの1.25Gbps信号、又は、波長1.26~1.28μmの10.3Gbps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行う。

1. ま え が き

多チャンネル高精細動画配信サービスやクラウド通信サービスなど情報化社会の進展に伴うトラフィック増大によって、ブロードバンドサービスの中でもFTTH(Fiber To The Home)の普及が進んでいる。特に日本では、FTTH加入者数が2011年9月には2,142万を突破し、ブロードバンド加入者数全体の59.1%のシェアを占める。今後、更なるトラフィック増加に対応するため、現在FTTHの主流であるGE-PONの伝送速度を10倍とした10G-EPON導入への期待が高まっている。

本稿では、10G-EPONシステムへ適用するOLT用デュアルレート光トランシーバとONU用光トランシーバの製品概要と、コア技術であるデュアルレートバースト通信技術⁽¹⁾について述べる。

2. 10G-EPONシステム

図1に、10G-EPONシステムの構成を示す。国際標準規格であるIEEE802.3avに準拠した10G-EPONシステムは、現在運用されている既存のGE-PONシステムと同一ファ

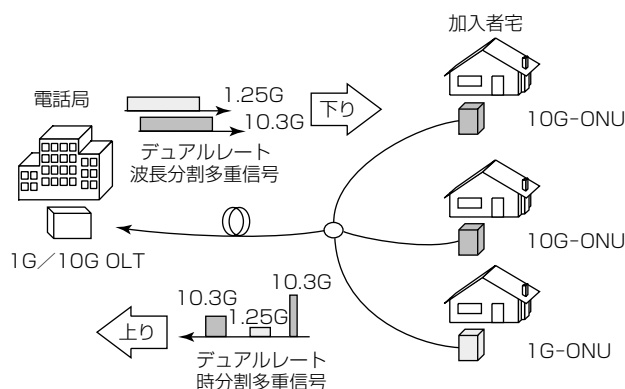


図1. デュアルレート10G-EPONシステム

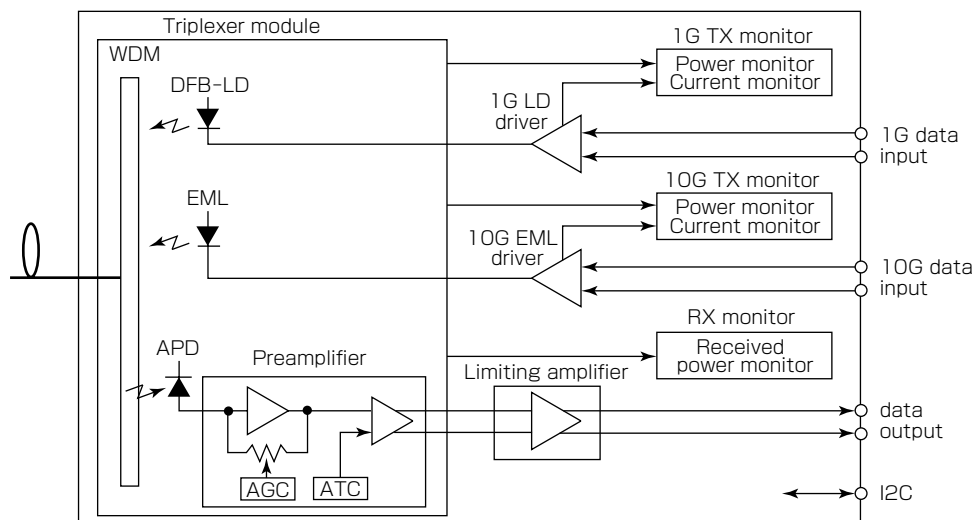


図2. デュアルレートOLT光トランシーバの構成

イバ網(Optical Distribution Network:ODN)上での共存を前提としているため、ONUとしては10G-ONUと1G-ONUが混在するシステムになる。1.25Gbps下り信号に光波長1.49μm帯を用いるのに対し、10.3Gbps下り信号は1.577μm帯が割り当てられているため、波長的に分離可能であり、各ビットレートの下り信号は波長分割多重方式(Wavelength Division Multiplexing:WDM)によって多重化される。10.3Gbpsと1.25Gbpsの各下り信号は、それぞれ同報通信方式を用い、各ONUは自身の伝送速度の光波長帯のみをフィルタリングし、割り当てられたタイムスロットのデータのみを抜き出す。

一方、上り信号は10.3Gbps上り信号の光波長帯が1.26~1.28μm、1.25Gbps上り信号の光波長帯が1.26~1.36μmと1.26~1.28μmの範囲で重なってしまうため、光信号が衝突しないよう10.3Gbpsと1.25Gbpsの上りパケット信号の送信タイミングを制御する時分割多重方式(Time Division Multiplexing:TDM)を採用している。

これらから、上り／下り信号のビットレートがともに10.3Gbpsである対称型10G-EPONシステムでは、ONU側に10Gbpsのデータを間欠的かつ高速に送信する10Gバースト送信技術が必要不可欠であり、OLT側には、異なる距離にあるONUから送信される異なる受光パワーの10.3Gbps及び1.25Gbpsのパケット信号を間欠的に受信するデュアルレートバースト受信技術⁽¹⁾⁽²⁾が必要となる。

3. 10G-EPON向け光トランシーバの開発

3.1 OLT用光トランシーバ

図2に、開発したデュアルレートOLT光トランシーバの構成を示す。光トランシーバは、DFB-LD(Distributed FeedBack-Laser Diode)、EML(Electro-absorption Modulator integrated Laser)、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、1 Gbps送信部、10Gbps送信部、デュアルレートバースト受信部で構成する。1 Gbps送信部及び10Gbps送信部では、それぞれDFB-LD及びEMLを駆動するドライバICを備えており、全温度・電源電圧条件下で所望の送信光パワー及び消光比が得られるようにAPC(Automatic Power Control)制御を行っている。一方、トリプレクサ光モジュールに適用したプリアンプICは、10.3Gbps及び1.25Gbpsの各伝送速度のバースト受信光信号に対して広ダイナミックレンジと高速なバースト応答特性を同時に実現するために、利得及びしきい値をバースト受信光信号に応じて設定可能なAGC(Automatic Gain Control)機能とATC(Automatic Threshold Control)機能を備えている。このプリアンプICからの信号は、リミッティングアンプICで増幅され、デュアルレートOLT光トランシーバ出力信号へと変換される。

デュアルレートOLT光トランシーバの内部状態をモニタする機能を搭載した。1 Gbps送信部の送信光パワーモニタ及びLD(Laser Diode)駆動電流モニタ機能、10Gbps送信部の送信光パワーモニタ及びLD駆動電流モニタ機能、及びデュアルレートバースト受信部の受信光パワーモニタ機能をそれぞれ備え、I2C(Inter-Integrated Circuit)を通じて光トランシーバのステータスをOLTへ通知できる機能を備えた。

図3に、開発したデュアルレートOLT光トランシーバの外観を示す。内部構成と配置の最適化によってXFPサイズを実現した。

図4に、10Gbps及び1 Gbps各パケットに対するバースト受信出力波形を示す。今回、プリアンプ区間のみ高速で動作し、ペイロード区間は低速で動作するAGC機能⁽³⁾を備えたことによって、1 Gbpsパケット直後に10Gbpsパケットを受信した場合、及び10Gbpsパケット直後に1 Gbpsパケットを受信した場合のいずれでも240ns以内に受信波形が再生できており、高速バースト応答特性が実現できていることが分かる。

表1に、開発したOLT光トランシーバの主要特性を示す。全温度・電源電圧条件下で、IEEE802.3av PR30/PRX30規格を満足する良好な特性が得られた。



図3. デュアルレートOLT光トランシーバの外観

3.2 ONU用光トランシーバ

図5に、開発した10G-EPON ONU用光トランシーバの外観を示す。トランシーバの外形は、送受信器全体の消費電力を低減し、アルミダイキャストケースによる放熱の効率化によって、SFP+準拠サイズを実現した。

図6に開発したトランシーバの構成を示す。光トランシーバはDFB-LD、APD、TIA(TransImpedance Amplifier)、WDM Filterを一体化したBiDi(Bi-Directional)光モ

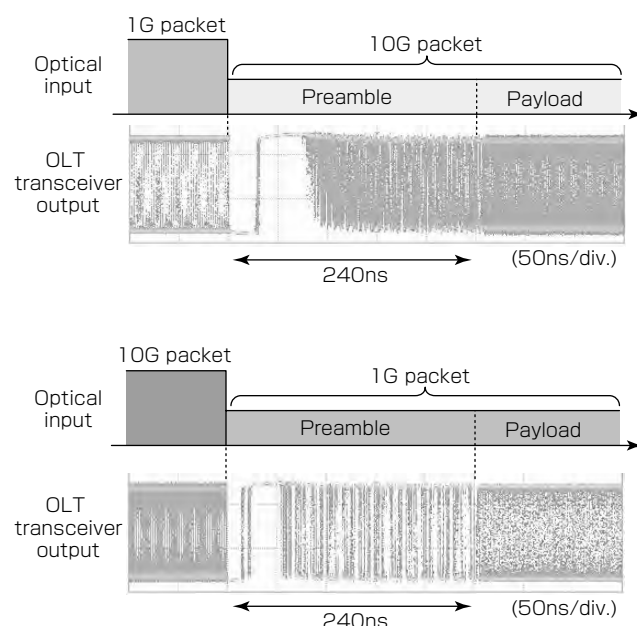


図4. デュアルレートバースト受信出力波形

表1. デュアルレートOLT光トランシーバの主要特性

10.3Gbps	特性
送信波長(μm)	1.575~1.580
送信パワー(dBm)	+2.0~+5.0
消光比(dB)	> 9.0
最小受信感度(dBm)	< -28
1.25Gbps	特性
送信波長(μm)	1.480~1.500
送信パワー(dBm)	+2.0~+7.0
消光比(dB)	> 6.0
最小受信感度(dBm)	< -29.7



図5. ONU光トランシーバの外観

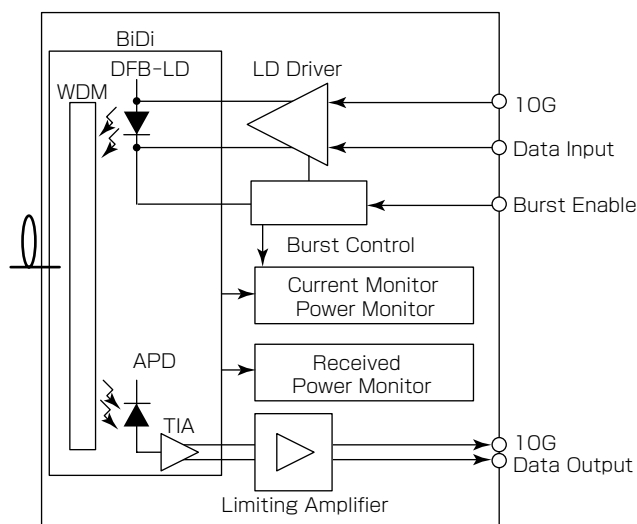


図 6. ONU光トランシーバの構成

ジュール，送信回路部，受信回路部で構成する。送信回路部は，DFB-LDを駆動するためLDドライバICを備えている。また送信要求に応じて間欠的にデータ送信を行うため，バースト送信回路を備えている。また，光出力モニタ回路等の電流検出回路を備えることで，光送受信器の光出力パワー，受信パワー，警報発出状況などの動作状態を，ONUに通知できる監視機能を実装した。また，汎用性向上のため，SFP+のインタフェースやピン数に準拠し，制御信号本数の最適化によってバースト制御回路の制御信号数を削減しつつ，バースト送信性能を確保した。

表 2 に，開発したONU光トランシーバの主要特性を示す。IEEE802.3av PR30で定められた主要特性に完全準拠する良好な特性が得られた。

表 2. ONU光トランシーバの主要特性

項目	特性
送信波長(μm)	1.266~1.273
送信パワー(dBm)	+4.0~+9.0
消光比(dB)	> 6.0
Ton/Toff(ns)	< 512
最小受信感度(dBm)	< -28.5

4. む す び

10G-EPONシステム向けに，XFPサイズのOLT用光トランシーバとSFP+サイズのONU用光トランシーバを開発した。小型化と汎用性に対する市場のニーズに応えるとともに，コア技術であるデュアルレートバースト受信技術の実装に成功した。

参 考 文 献

- (1) Nakagawa, J., et al.: First demonstration of 10G-EPON and GE-PON co-existing system employing dual-rate burst-mode 3R transceiver, OFC/NFOEC 2010, PDPD10 (2010)
- (2) Noda, M., et al.: Dual-rate optical transceiver incorporating fully optimized burst-mode AGC/ATC functions for 10G-EPON systems, ECOC 2010, Mo.2.B.2 (2010)
- (3) Noda, M., et al.: Super-splits 10G-EPON system: 256 ONU passive splits with 240ns dual-rate burst-mode 3R synctime and bi-directionally extended 35.9dB loss budgets, OFC/NFOEC 2012, PDP5B.9 (2012)

“メルック μ II”システム

上田智弘*
寺内弘典*
岸田教敬*

"MELOOK μ II" System

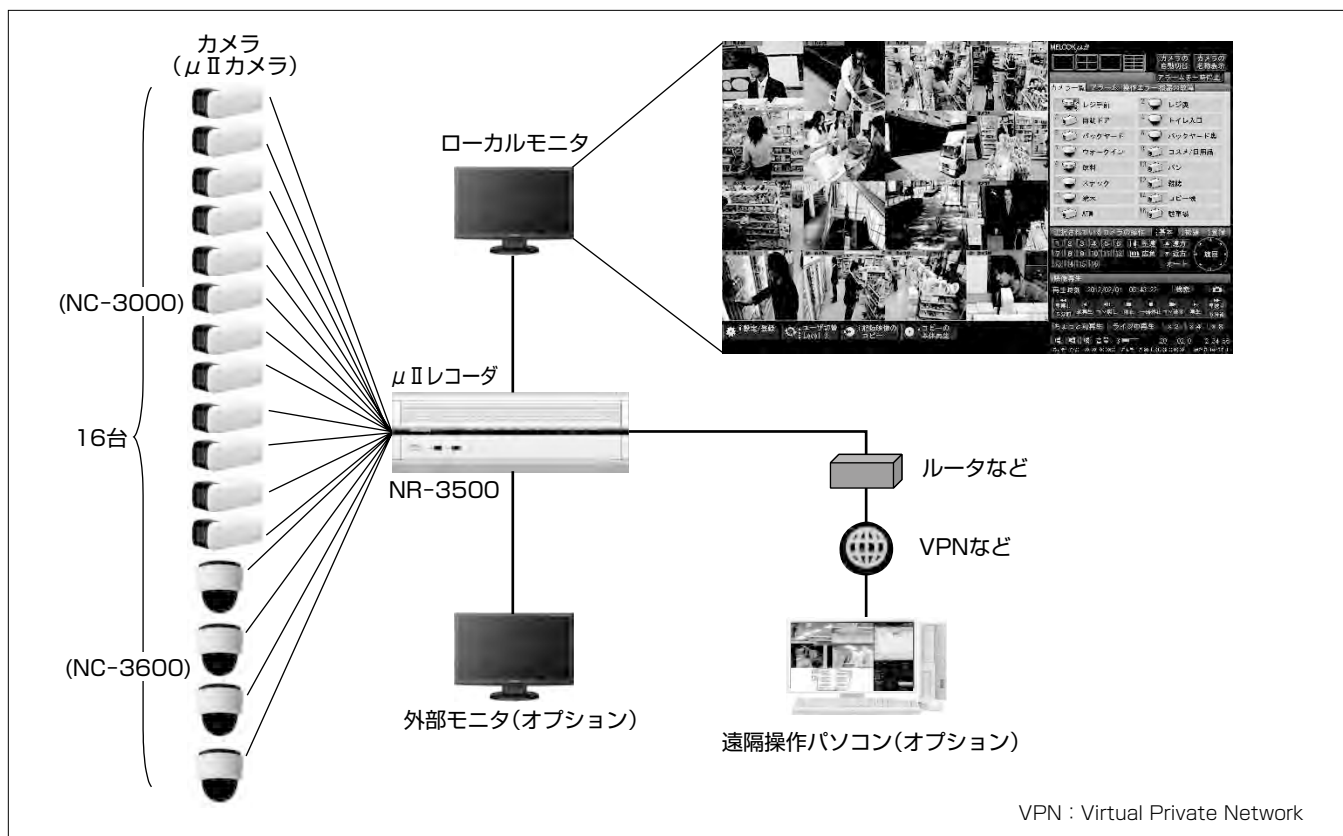
Tomohiro Ueda, Hironori Terauchi, Yukinori Kishida

要 旨

近年の社会情勢の変化によって、映像監視システムに対して高画質化などの機能・性能向上に対する要求が高まっている。三菱電機では映像処理技術を用いて夜間の高感度撮影や逆光補正等の機能を搭載したカメラと、高画質で滑らかな映像を長時間再生することができるレコーダを開発し、付加価値の高い映像監視システムを展開してきた。コンビニエンスストアなどで使用する中小規模監視システムとしては“メルック μ シリーズ(最大8台のカメラを接続可能)”を、大規模監視システムは“メルック DG II シリーズ(最大64台のカメラを接続可能)”をそれぞれシリーズ展開している。今回述べる“メルック μ II”システムは、メルック μ シリーズの最新機種であり、最大16台のカメラ(型名：NC-3000/NC-3600)を1台の μ II レコーダ(型名：NR-3500)に接続し、SXVGA(Super eXtended Video

Graphics Array：1280×960)サイズの高精細映像の表示及び記録／再生が可能である。

現行機種のメルック μ システムでは、高機能・高性能に加え、カメラとレコーダを設置する際に、各装置への煩わしい設定を不要にする簡単設定の機能を装備している。メルック μ II システムは簡単設定・高画質はそのままにカメラ接続台数を倍増(8台→16台)し、記録性能を向上させた。また、設置作業時に一般的な運用方法や監視状況を選択するだけでカメラやレコーダのパラメータが容易に適切な値に設定されるようにした。加えて、LANケーブルへの電源重畳機能(Power over Ethernet：PoE)を搭載することによって、レコーダとカメラをLANケーブルで接続するだけで利用することができ、設置工事時間の短縮が可能である。



“メルック μ II”システムの構成例

カメラ： μ IIシステム用の監視カメラ、レコーダ：監視映像の記録／再生を行う装置、ローカルモニタ：レコーダの制御を行う装置、外部モニタ(オプション)：監視画面を表示する装置、遠隔操作パソコン(オプション)：レコーダを遠隔から操作する装置

1. ま え が き

近年の社会情勢の変化によって、セキュリティに対する意識が高まるとともに、監視カメラに対して機能・性能の向上要求が継続して強い一方で、簡単に高機能・高性能なシステムを使いたいという要求が強くなってきている。当社ではこれに対応した映像監視システムとしてメルックシリーズを展開している。メルックシリーズでは最新の映像処理技術を用いて夜間での高精細な映像撮影が可能なカメラと、カメラからの出力を高精細かつ長時間の記録／再生が可能なレコーダを開発し、付加価値の高い映像監視システムを展開してきた。中小規模監視システムとしてはメルックμシリーズ、大規模監視システムはメルックDGⅡシステムを展開中である。今回開発したメルックμⅡシステムは、SXVGAでの撮影が可能なμⅡカメラと、このカメラを最大16台接続可能なμⅡレコーダで構成している。また、μシリーズから引き継いだ簡単設定を強化し、メルックμⅡシリーズの高機能・高性能を簡単操作で利用できるようにした。

2. メルックμⅡシステム

2.1 システム構成

メルックμⅡシステムは、メルックμシステムと同様にPoEを利用するため、カメラの電源ケーブルが不要であり、最大16台のカメラを1台のレコーダにLANケーブルで接続するだけで使用することができる。これによって、低コストと簡単操作を実現しつつ高機能、高性能な映像監視システムを提供している。

表1に製品仕様を示す。

2.2 メルックμⅡシステムの特長

2.2.1 μⅡカメラの特長

- (1) 動画圧縮方式H.264(M-JPEG(Motion-Joint Photographic Experts Group))と比べ、少ないデータ量で動画を伝送できる動画圧縮方式)の採用によって、“滑らかなメガピクセル映像の配信が可能である。
- (2) “デジタル増感(暗い画像を明るく見やすくするデジタル処理)”“デジタルノイズリダクション(増感時に発生するノイズをデジタル信号処理で除去する機能)”によって、暗い場所でも残像やブレを抑えた鮮明な映像で被写体を監視することができる。

表1. 製品仕様

製品名	型名	主な仕様
固定カメラ	NC-3000	約131万画素 デジタル増感
ドームカメラ	NC-3600	デジタルノイズリダクション スーパーファインビューⅡ
レコーダ	NR-3500	2TBハードディスク搭載

TB: Tera Byte

- (3) “スーパーファインビューⅡ(従来のスーパーファインビューに対して、より自然でくっきりした映像に補正)”によって、逆光の出入口などでも背景と人物を同時に自然な映像で監視することができる。

図1、図2に今回開発したカメラの外観を示す。

2.2.2 μⅡレコーダの特長

主な特長を以下に示す。

- (1) 消費電力を従来比50%^(注1)に抑え、大幅な省エネルギーを実現した。
- (2) 本体サイズを従来比80%^(注1)のコンパクト化を実現し、縦置きにも対応して、省スペース化を実現した。
- (3) 電源重畳機能(PoE)の搭載と簡単設定機能によって、設置時にパソコンやネットワーク機器を不要とした。

図3に今回開発したレコーダの外観を示す。

(注1) メルックμレコーダ“NR-2000”との比較

2.2.3 より使いやすくなった操作画面

SXVGAの表示に適したフルHD(High Definition)モニターに対応し、直感的な操作で簡単に記録映像の検索・再生が可能である。また、外部モニター機能によって、ローカルモニターから離れた場所でも監視可能とした。さらに、アラーム検出機能を用いることで、アラーム発生時の記録映像を



図1. μⅡ固定カメラ“NC-3000”の外観



図2. μⅡドームカメラ“NC-3600”の外観



図3. μⅡレコーダ“NR-3500”の外観

モニタ画面上で履歴から簡単に検索可能である。図4に μ IIレコーダのローカルモニタでの画面表示例を示す。

2.2.4 高いセキュリティ機能

当社独自の暗号化技術“MISTY(共通鍵暗号アルゴリズム)シリーズ”の“BROUILLARD”で記録映像を暗号化し、さらに、パスワードロックすることによって、第三者に記録映像を閲覧されるリスクをなくし、情報漏洩(ろうえい)を防止する。

3. ネットワーク仮想化技術を用いた簡単設定

3.1 簡単設定の必要性

従来のIP(Internet Protocol)方式のネットワークカメラを用いた高機能・高性能な映像監視システムでは、レコーダにカメラを接続する前にIPアドレスをカメラに設定する必要があった。この時、IPアドレスの他にサブネットマス



図4. ローカルモニタでの画面表示例

クなどの情報も必要であり、IPネットワークに関する専門知識を必要とした。このため、高性能・高性能な映像監視システムは初期設定が難しいというイメージがあった。解決策として、メルック μ IIシステムでは、IPを用いない独自方式を採用しLANケーブルでカメラとレコーダを接続するだけでカメラの映像表示／録画が開始できる簡単設定の機能を追加した。メルック μ IIシステムでは、IP方式を採用し、工場出荷時に同一IPアドレス(初期値)が設定された複数台のカメラを接続するために、レコーダ内部でネットワークの仮想化技術(Virtual LAN: VLAN)を用いて簡単設定の機能を実現した。

3.2 簡単設定の実現方式

図5に μ IIレコーダで実施している簡単設定時の構成を示す。レコーダ内部には最大16台のカメラをPoE接続するためスイッチ機能を持っている。カメラ管理機能部は、カメラが接続される16個のポートに対して内部インタフェース間で物理的に1つのポートで接続しているが、IPアドレスが重複する可能性のあるカメラを接続可能とするためにカメラ1台ごとに仮想的な通信トンネルを構成することによって1:1で接続される。カメラ管理機能部は各ポートに接続されたカメラを識別するために仮想ID(IDentification)を用いてアクセスする。

具体的な初期接続動作を次に示す。

- (1) カメラ管理機能部は、仮想IDを用いてカメラの接続状態を常時監視する。
- (2) カメラが未接続の場合、レコーダは“カメラ未接続”を検出する。
- (3) カメラが接続されると、カメラ管理機能部はカメラの接続を検出し、あらかじめ設定されている設定パラメー

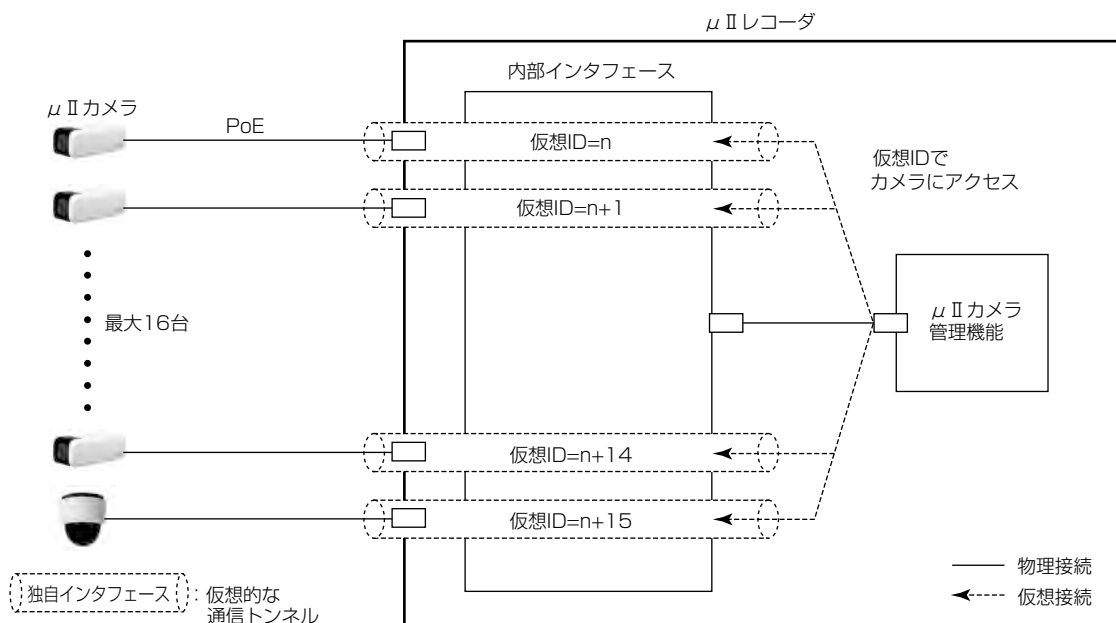


図5. VLANを応用した簡単設定実現方式



図 6. 簡単設定の画面構成(システム運用方法の選択画面)

タを自動的にそのカメラに設定する。それぞれのカメラは設定されたパラメータに基づいて動作を開始する。

3.3 簡単設定の方法

レコーダの電源を投入すると、レコーダは接続されているカメラを自動的に検出する。最初のレコーダ起動時、又はユーザーによる簡単設定メニュー選択後、ユーザー操作によって図 6 に示すカメラの運用方法を選択する。

運用方法には“画質優先”“記録時間優先”等の設定項目があり、レコーダには、選択した運用方法に応じた設定内容がパラメータの初期値として設定される。カメラ個々の設定についても同様に設置環境を選択する。利用シーン(設置場所)として“通常屋内(初期値)”“逆光”“屋外”等の選択肢があり、カメラの設置場所に応じて適切なカメラの設定内容がパラメータの初期値として設定される。

なお、メルック μ II システムでは、メルック μ システム同様、設置作業者がレコーダの運用方法やカメラ設置環境に応じてカメラごとに、更に適切なパラメータに設定変更することも可能である。簡単設定をメルック μ II システムの設置時に使用することによって初期のシステム設計が容易となり、設置工事費を安価にできる。また、カメラ増設時に利用することによって、簡単にカメラを増設することができる。

4. む す び

メルック μ II シリーズでは、DG II シリーズ及び μ シリーズからの高機能・高性能化の流れを継承しつつ、顧客から要望の大きかった“簡単に使うことができる監視カメラのシステム”をネットワーク技術である VLAN を用いて実現した。さらに、操作に必要な画面も顧客が利用シーンをイメージできるよう画面を配慮した。これらによって、IP ネットワークに関する知識がなくても μ II カメラと μ II レコーダを LAN ケーブルで接続して、簡単なボタン操作のみで使い始めることが可能となった。今後も、小型、低消費電力化はもちろんのこと顧客から要望の多い機能(既設のアナログカメラの取り込み、同軸配線の利用等)を更に取り込みつつ、高機能・高性能化を進め、機能・性能と使い勝手のバランスの取れた映像監視システムの開発を進める予定である。

参 考 文 献

- (1) 上田智弘, ほか: 三菱電機デジタル CCTV システム“MELOOK μ ”, 三菱電機技報, **82**, No.9, 557~560 (2008)
- (2) 前田卓志, ほか: 三菱電機トータルセキュリティソリューション“DIGUARD”システムの展開, 三菱電機技報, **82**, No.9, 548~552 (2008)
- (3) 竹田昌弘, ほか: 三菱電機トータルセキュリティソリューション“DIGUARD”, 三菱電機技報, **82**, No.4, 245~248 (2008)
- (4) 三浦健次郎, ほか: セキュリティ構築プラットフォーム“DIGUARD NET”, 三菱電機技報, **82**, No.4, 249~254 (2008)

私鉄／地下鉄向け150MHz帯空間波デジタル列車無線システム

杉浦哲広*
清本和彦*
手嶋牧子*

150MHz Band Digital Train Radio System for Private Railway/Subway

Tetsuhiro Sugiura, Kazuhiko Kiyomoto, Makiko Teshima

要 旨

私鉄／地下鉄の列車無線は、現状ほとんどがアナログ方式又は誘導無線方式で運用されているが、今後は無線回線品質の向上や信頼性の強化、データ通信やアプリケーション連携等の付加価値を求めて、デジタル化が加速する見込みである。又、国土交通省の省令一部改正に伴い、車両デッドマン通報(列車乗務員の非常事態の通報)、客室非常通報、車内放送の連携や音声とデータの同時伝送も実現する必要性が出てきた。

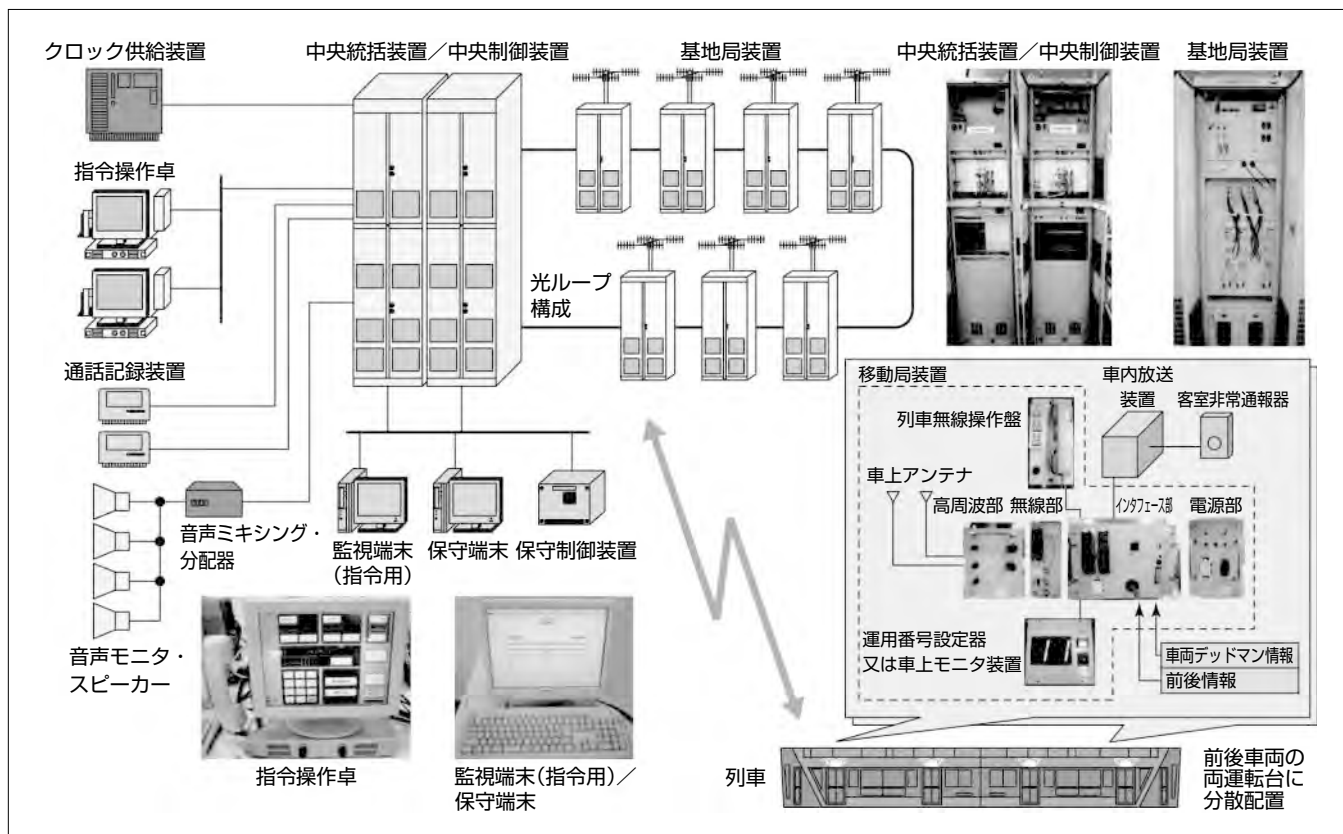
このような状況下で、三菱電機は、最新の空間波無線技術を活用した私鉄／地下鉄に割り当てられている150MHz帯のデジタル列車無線システムを開発した。高品質な無線回線を提供することで、列車の安全・安定輸送に貢献している。

本稿では、2012年に千葉都市モノレール㈱の新型車両投入に合わせて納入した最新のデジタル列車無線システムに

ついて述べる。

このシステムの主な特長は次のとおりである。

- ①送信時間ダイバーシチ・適応等化受信技術を適用し、同一波電波干渉による通信品質劣化を防ぎ、高品質な無線回線を不感地帯なく提供
- ②車両デッドマン通報、客室非常通報、車内放送と接続し、非常時の迅速な対応を支援。又、移動局の分散配置2重化制御によってシステム信頼性を向上
- ③基地局、移動局に複数CH(チャンネル)対応の無線機を搭載し、音声とデータの同時伝送を実現
- ④誤り訂正を備えた列車無線専用的高音質な音声コーデックを適用し、クリアな音質を実現
- ⑤移動局を機能ブロックごとにユニット化することで、車両内スペースを有効利用し、柔軟に設置可能



私鉄／地下鉄向け150MHz帯空間波デジタル列車無線システム

千葉都市モノレール㈱向けデジタル列車無線システムの構成を示す。送信時間ダイバーシチ・適応等化受信技術を活用し、空間波デジタル方式で同一周波数の複数基地局同時送信における、同一波干渉による通信品質劣化を防ぎ、高品質な無線回線を不感地帯なく提供し、車両デッドマン通報、客室非常通報、車内放送を連携することで、非常時の迅速な対応を支援する。

1. ま え が き

高速走行する列車と地上間の無線通信には、安全・安心の厳しい要求に対応するため、高品質、高安定性、高速伝送等が求められる。当社は、列車無線システムのデジタル無線方式への切換えに多く携わり、関連する技術・ノウハウを蓄積してきた。

私鉄／地下鉄の列車無線は、現状、ほとんどがアナログ方式又は誘導無線方式で運用されているが、今後は無線回線品質の向上や信頼性の強化、データ通信やアプリケーション連携等の付加価値を求めて、デジタル化が加速する見込みである。

このような状況下で、当社は、最新の空間波無線技術を適用した私鉄／地下鉄に割り当てられている150MHz帯のデジタル列車無線システムを開発した。

本稿では、2012年に千葉都市モノレール㈱の新型車両投入に合わせて納入した最新のデジタル列車無線システムの概要と特長について述べる。

2. システム概要

2.1 システム構成

このシステムは、中央統括装置、中央制御装置、基地局装置、移動局装置等で構成し、地上と列車間の通信はデジタル無線回線を使用する。各装置の機能を表1に示す。

2.2 無線諸元

地上と列車間の無線通信システムは、FDMA(Fre-

表1. 各装置の機能

装置名	設置場所	機能
中央統括／制御装置	中央機器室	①音声通信，データ通信の回線制御 ②基地局装置とインタフェース ③指令操作卓，外部装置とインタフェース
基地局装置	沿線	①移動局装置との無線通信 ②中央制御装置とインタフェース
指令操作卓	指令所	①指令員が操作する，音声通信，データ通信のユーザーインタフェース
保守制御装置	中央機器室	①監視制御及び保守運用に関わる情報を一元管理
移動局装置	車両	①基地局装置との無線通信 ②指令との音声通信制御 ③車両の他装置とのインタフェース

表2. 無線諸元

項目	仕様
伝搬路	空間波
アクセス方式	FDMA／SCPC方式
周波数帯	150MHz帯
周波数間隔	6.25kHz
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK
伝送速度	9.6kbps
送信出力	基地局装置：4W，移動局装置：1W
ダイバーシチ構成	基地局装置：送信時間ダイバーシチ 受信ダイバーシチ 移動局装置：受信ダイバーシチ

QPSK：Quadrature Phase Shift Keying

cy Division Multiple Access)／SCPC(Single Channel Per Carrier)方式のデジタル無線回線で構築している。無線諸元を表2に示す。

2.3 機能概要

このシステムでは、次の機能を備えている。

(1) 音声通話・放送機能

- ①一斉指令通話：指令員と在線全列車乗務員間の音声通話
- ②個別指令通話：指令員と指定列車乗務員間の音声通話
- ③客室非常通報：指令員と列車乗客間の音声通話
- ④一斉車内放送：指令員から在線全列車乗客への音声放送
- ⑤個別車内放送：指令員から指定列車乗客への音声放送

(2) データ伝送機能

- ①車両デッドマン通報：列車運転中に列車乗務員の意識喪失などの事態が発生した場合に、移動局装置で車両からのデッドマン情報を検出し、指令員に対して列車乗務員の異常事態を通報
- ②運用番号及びキロ程(移動距離)伝送：車両の運用番号及びキロ程を指令員に通知

(3) 音声モニタ機能

- ①音声モニタ：指令員と列車乗務員，列車乗客間の音声を、中央機器室及び駅にモニタ出力

(4) 通話記録機能

- ①通話記録：指令員と列車乗務員，列車乗客間の音声を常時録音

(5) 遠隔監視制御機能

- ①監視制御：保守端末及び監視端末(指令用)によって、遠隔で各機器及びネットワーク回線の動作状態を監視制御

3. システムの特長

3.1 同一波干渉対策技術による高品質な無線回線の提供

従来の空間波方式のアナログ列車無線システムでは、複数基地局から同一周波数を同時に送信すると、同一波干渉、ビート干渉等による通信品質劣化の懸念があった。そのため、このシステムでは、基地局送信時間ダイバーシチ及び移動局適応等化受信技術を適用することで、同一波電波干渉による通信品質劣化を防ぎ、高品質な無線回線の提供を可能とした(図1)。

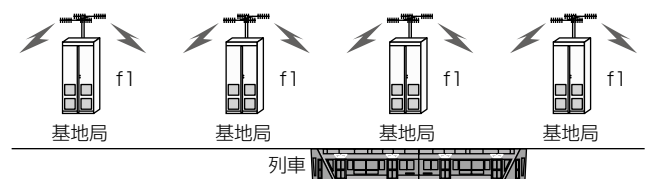


図1. 同一周波数による複数基地局同時送信のイメージ

3.2 不感地帯・弱電界対策

将来的には、延伸やビル建設等によって周囲電波環境の変化が生じ、無線回線品質が劣化する場合が考えられる。その場合には、3.1節で述べた干渉対策技術を適用することによって、このシステムでは、基地局の増設又はサテライトアンテナの設置をするだけで、容易に回線品質の劣化を解消できる(図2)。

3.3 車両デッドマン通報、客室非常通報、車内放送との接続

私鉄特有のワンマン運転に対応するため、このシステムでは、車両デッドマン装置、客室非常通報器、車内放送装置を移動局装置と接続することによって、例えば、列車運転中に乗務員の意識喪失などの非常事態が発生した場合、①移動局装置で車両デッドマン情報を検出後、②車両デッドマン通報で指令員に通知し、③指令員が車内放送で列車乗客に状況連絡し、④客室非常通報で指令員と列車乗客間の相互通話を可能とした。このように、非常事態が発生した場合、確実に、指令員と列車乗務員、列車乗客間で連絡が取れるシステムを構築した(図3)。

3.4 移動局装置の分散配置2重化制御による信頼性向上

3.3節で述べたこのシステムの重要機能である、車両デッドマン通報、客室非常通報、車内放送の信頼性を向上させるために、移動局装置を前後車両の両運転台に各々1セットずつ分散配置し2重化制御する構成をとることによって、信頼性を向上させた。

(1) 前後情報による接続運用系の選択

前車両、後車両を表す前後情報の“前”が入力された系の移動局装置で、車両デッドマン通報と客室非常通報、車内放送の接続運用を行うための制御として、両運転台の2台の移動局装置からの送信電波干渉が発生せず、移動局装置からの送信電波が指令員に確実に届くことを実現

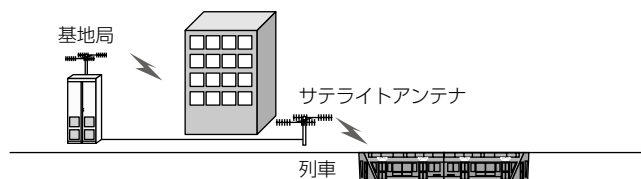


図2. サテライトアンテナによる不感地帯・弱電界対策のイメージ

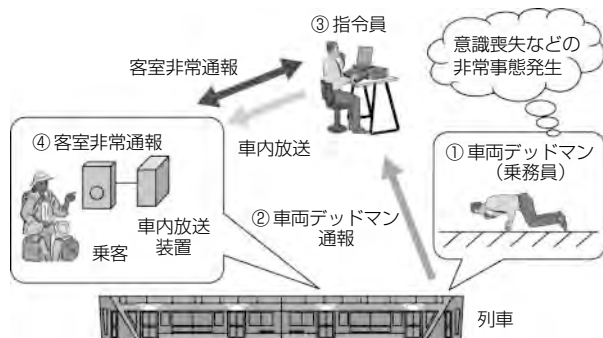


図3. 車両デッドマン通報、客室非常通報、車内放送との接続イメージ

した。また、立ち上がり時など、前後情報が不定の場合、あらかじめ設定した系で車両デッドマン通報と客室非常通報、車内放送との接続運用を行う制御とし、確実な系選択を実現した(図4)。

(2) 移動局装置異常発生時の接続運用系の切り換え制御

車両内に引き通し線を敷設することで、両運転台の移動局装置間で相互に移動局装置のALM(アラーム)情報を送受し、異常発生時は、正常系で車両デッドマン通報と客室非常通報、車内放送との接続運用を行うよう切り換え制御を実現した(図5)。

(3) 送信タイミング制御

移動局装置で、非運用系に切り替わらない装置故障が発生した場合、両運転台移動局装置の接続運用系が双方運用系の状態となる。この場合、移動局装置の送信タイミングをランダム制御することによって、両運転台移動局装置からの送信電波干渉を回避し、移動局装置からの送信電波が指令員に確実に届くことを実現した(図6)。

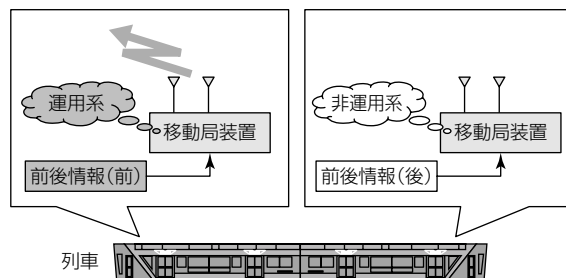


図4. 前後情報による接続運用系の選択

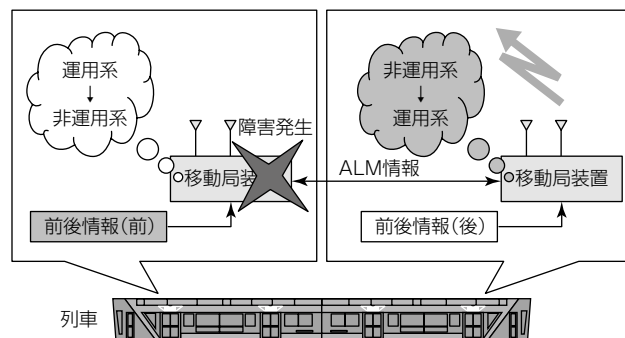


図5. 移動局装置ALM情報による接続運用系の切り換え

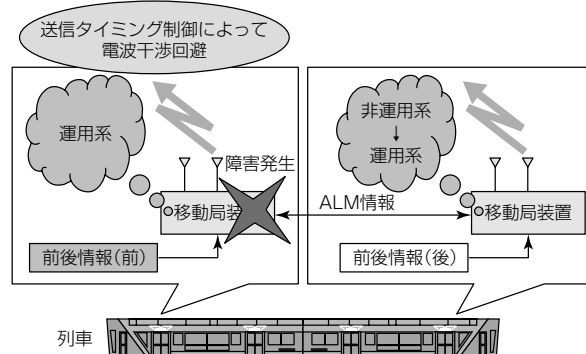


図6. 移動局装置の送信タイミング制御

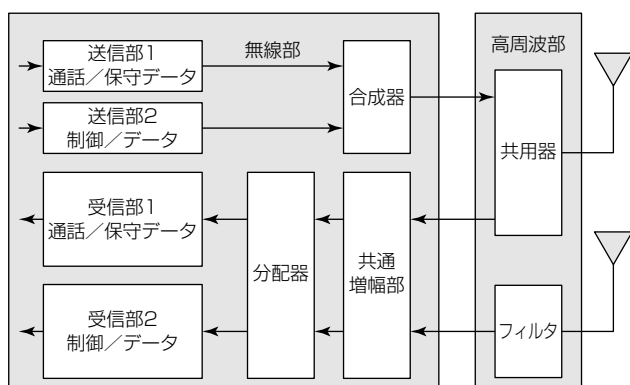


図 7. 移動局装置の構成図

3.5 音声とデータの同時伝送実現

列車安定輸送のため、音声通信中であっても車両デッドマン通報などの重要データを即時に伝送するニーズがあり、このシステムでは、移動局装置及び基地局装置の無線機について、通話／保守データCH及び制御／データCHの2CH構成とすることで2CH同時使用可能とし、音声通信及びデータ通信の同時通信を実現させた(図7)。

(1) 通話／保守データCH

音声通話・放送時に使用する通話CH、メンテナンスデータ用に使用する保守データCHから構成される。

(2) 制御／データCH

通信制御時に使用する制御CH、車両デッドマン通報などに使用するデータCHで構成している。

3.6 高音質音声コーデックで全線クリアな音質を実現

一般の携帯電話で使用されている音声コーデック(Pitch Synchronous Innovation-Code Excited Linear Prediction: PSI-CELP)に比べ、音質重視の符号構成とした当社独自開発の“列車無線専用音声コーデック(RaiL system-CELP: RL-CELP)”を適用することによって、雑音のない高音質な通話を実現し、地上の指令員と列車乗務員、列車乗客間の正確な通話をサポートしている。

3.7 中央制御装置と基地局装置間のアプローチ回線

中央装置と基地局装置間のアプローチ回線をデジタル信号によって光ネットワーク化することで、従来のアナログ伝送の課題であった音質劣化を解消し、中央制御装置からゾーン内全基地局装置を光ファイバケーブルで直列に接続した2重化ループ構成とすることによって、ケーブルなどの障害発生時でも迂回(うかい)構成で継続運用が可能となり信頼性を向上させた(図8)。

3.8 移動局装置設置スペースの自由度向上

移動局装置は、無線信号の変復調を行う無線部、送受信の空中線を共有及び不要波を除去するフィルタを持つ高周波部、各種車両装置とのインタフェースを担うインタフェース部、車両からの入力電源を移動局装置内各部へ電源を供給する電源部で構成する。機能ブロックごとにユニット

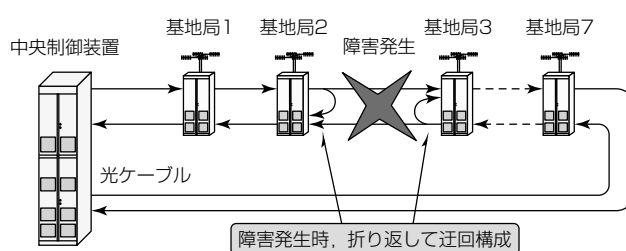


図 8. アプローチ回線の光ネットワーク化



図 9. 監視端末(指令用)/保守端末の画面イメージ

構成とすることによって、ユニットごとに車両内設置場所を任意に選定でき、車両内スペースを有効利用し、柔軟に設置可能とした。

3.9 遠隔監視制御

保守端末及び監視端末(指令用)によって、各装置及びネットワーク回線の動作状態の遠隔監視、各装置冗長構成部位の系切換えなどの遠隔装置制御、各装置の遠隔ログ収集機能を備える(図9)。この機能によって、指令員、保守員は、指令所及び中央機器室で各装置及びネットワーク回線を集中監視できる。

4. む す び

千葉都市モノレール(株)に納入した私鉄/地下鉄向け150MHz帯空間波デジタル列車無線システムの概要と特長について述べた。

今後はこれまで培ったデジタル列車無線の技術を活用して、周波数資源の有効利用を図り、高品質な無線回線を提供することで、列車の安全・安定輸送に寄与するとともに、新たなサービス、アプリケーションとの連携によって付加価値を創造し、鉄道分野の発展や社会インフラの構築に貢献していく所存である。

最後に、このシステムの開発にあたり多大なるご指導をいただいた千葉都市モノレール(株)をはじめとする関係各位に深謝申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 三瀬敏生, ほか: デジタル列車無線システム—東日本旅客鉄道(株)首都圏在来線への導入—, 三菱電機技報, 82, No.2, 167~170 (2008)

“1 図面VE”によるVE活動の活性化

三好達夫*

Promotion of VE Activity by "1 zumen VE"

Tatsuo Miyoshi

要 旨

三菱電機の下価企画活動をサポートするために重要となるVE(Value Engineering)活動は、その実践に多くの時間を費やすため、社内での適用は停滞気味であった。そこでVE活動を活性化するため、短時間で実施できる“1 図面VE”と称する推進ツールを提案し、VE技法の適用拡大を図っている。

1 図面VEでは、まずVEを適用する対象を、部品やモジュールのレベルに絞り、手軽に着手できるようにしている。そして、VE実施手順の10ステップをA3用紙1枚のシートに集約し、機能定義→機能評価→代替案策定の流れに沿って、対象品の価値向上を進めていく。具体的には、VEの5原則(使用者優先・機能本位・創造による変更・チームデザイン・価値向上)に則り、次の10ステップを短時間で実施していく。

- ①VE対象の情報収集、②機能の定義、③機能の整理、④機能別コスト分析、⑤機能の評価、⑥対象分野の選定、⑦アイデア発想、⑧概略評価、⑨具体化、⑩詳細評価。

実際には、液晶プロジェクトで、要旨の図に示す1 図面VEワークシートをスクリーンに投影し、リーダーを中心に、現品・関連図面・コストデータを確認しながら、チームメンバー内で情報交換を進め、機能系統図の作成や機能別コストの評価、ブレインストーミングによるアイデア発想と略図化、そしてアイデアの技術性・経済性評価と具体化を進める。

このシートの適用によって、社内でのVE技法の適用率は飛躍的に向上している。なお、この技法は構造系部品を中心に適用を進めてきたが、現在では電子回路分野へも拡大中である。

“1 図面VE”ワークシート

VEの10のジョブステップ(手順)ごとに分かれていたワークシートを、A3用紙1枚に集約し、部品単位のVEを手軽に実施できるように工夫をしている。このシートを液晶プロジェクトで投影し、機能定義→機能評価→代替案作成の流れに沿って、チームデザインを実施する。そしてこのシートに、機能系統図や機能別コスト分析表、創出されたアイデアの概念図とその技術性・経済性評価結果が記載される。このシートの適用によって、社内でのVE適用率は、飛躍的に向上している。

* 本社

1. ま え が き

VE適用が活発化しない理由として、社内のVE基礎講座受講によってVE手法を習得しても、さらには社外のVE資格を取得しても、実際の製品へのVE適用は手間がかかり難しいという話をよく聞く。一般的に製品が大規模になればなるほど、製品全体にVEを適用することは時間的にも困難となり、VE活動が浸透しにくい要因の一つとなる。そこで、VE活動の活性化を目的に、VEを短時間で実践するためのツールとして1図面VEを開発した(図1)。

2. 1図面VEの特徴

製品全体のVEの場合、機能系統図の作成が大きな障害となっている。特に規模の大きな複雑な製品の場合、難しい。そのような場合、部品やモジュールのレベルから取り組んでみようということになる。しかし部品の機能定義から始めたいが、機能定義がうまくできない。例えば、筐体(きょうたい)部品の機能を定義するとする。筐体だから“内部を保護する”が機能として思い浮かぶが、それだけでは不十分であり、二次的な機能の機能定義、制約条件の明確化も必要である。そのための技法として、図面をベースに機能定義を行いVEの基本ステップに従って行っていくのが1図面VEである。

図面は情報源である。外形寸法、形状、加工寸法、材質、表面処理等の情報が記載されている。それらの情報に基づき、“何のために”“その目的は”という問いかけによって、それぞれの情報について機能“働き”を明確にできる(図2)。

例えば、外形の横寸法が500mmの部品があるとすると“何故500mm必要か”“400mmではだめか”と問いかけてみると“400mmでは足りない、隙間ができ、内部が保護できない”ということになる。したがって、その目的は“内部を保護する”ということになる。一方、その部品の板厚は2mmとする。板厚は“何故2mm必要か”“0.5mmではだめか”と問いかけてみると“0.5mmでは弱すぎる、持たない、変形する”ということから、その目的は“強度を確保する”ということになる。また、5mmの角穴は、“何故必要か”ということから目的は“部品を取り付ける”ということになる。さらに、φ5の丸穴は“何故必要か”ということから“本体を固定する”という機能が、塗装は“何故必要か”ということから“見栄えを良くする”という機能が抽出できる。このように、1つの部品をとってみても、ただ“内部を保護する”という機能だけではなく、“強度を確保する”“部品を取り付ける”“本体を固定する”“見栄えを良くする”といった機能が隠されていることが分かる。

加えて、それらの機能はすべて必要か、それらの機能にはいくらのコストが費やされているかを分析してみると、それぞれの機能のために費やされているコストが明確になり、“この機能のためにこのコストはかけすぎだ。他に方法はないか”というように問題点が明確となりアイデア発想の動機付けとなる。これによってアイデアが生まれ、さらにそれらを組み合わせて代替案へとブラッシュアップさせていくことができる。このように図面をベースに、VE手順に従って機能分析を行い代替案を作成し、対象部品の価値向上を図っていく技法が1図面VEである。

そして、一連の手順を確実に簡単に実施するために、2時間VE技法のワークシートを参考に機能定義→機能評価→代替案作成のステップを1枚のワークシートに集約した(図3)。

VEを実施するメンバーは設計者だけでなく、VE推進者、調達、生産技術、製造等のチームデザインで行うことが望ましい。

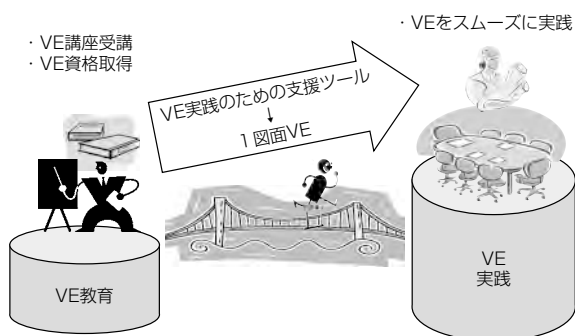


図1. VE実践のためのツール：1図面VE

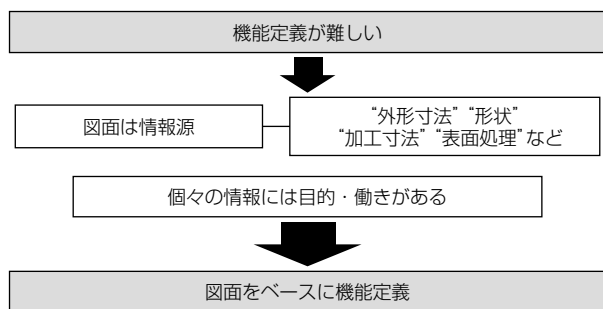


図2. 図面情報から機能定義

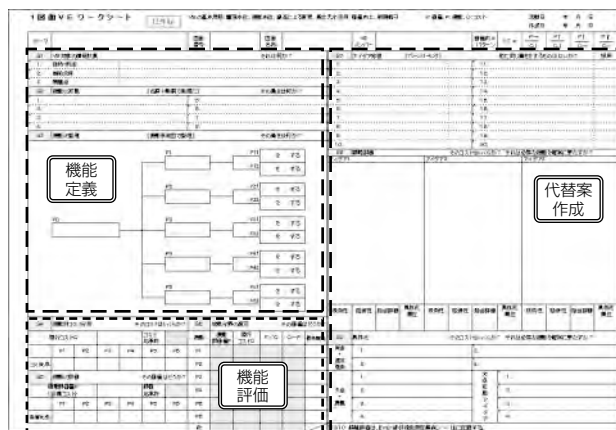


図3. 1図面VEのワークシート

3. 1 図面VEの手順

実施手順は、2nd-Look VEと同様で、基本ステップ〔詳細ステップ〕は、機能定義〔VE対象の情報収集、機能の定義、機能の整理〕、機能評価〔機能別コスト分析、機能の評価、対象分野の選定〕、代替案作成〔アイデア発想、概略評価、具体化、詳細評価〕の、3つの基本ステップ〔10の詳細ステップ〕から成る。

3.1 機能定義

機能定義はVE対象の情報収集、機能の定義、機能の整理の順に進める。成果を出すためにはこのステップを確実に実施し、メンバー全員が情報を共有し部品の機能を明確に理解することが重要である。

【STEP 1】VE対象の情報収集

VE対象部品について、設計者から情報を収集したり、図面から情報を読み取ることによって、部品の使用目的・用途、制約条件、問題点をメンバー全員が理解することを目的とする(図4)。

【STEP 2】機能の定義

対象部品について、図面を見ながら外形寸法、形状、加工寸法、材質、表面処理、加工方法、公差等に目し、「何のためか」「その働きは何か」の質問で問ひかけ、機能を抽出していく。また、設計者に質問することで機能を明確にしていく。機能は名詞+動詞(〇〇を△△する)の表現で簡潔に表現する。図面情報に基づきすべての機能を定義するのがポイントである。さらには、個々の機能をグループ分けし、より抽象的に表現していくことも必要である(図5)。

【STEP 3】機能の整理

機能の定義で抽出した機能から、VE対象にとって最も目的となる機能である基本機能(F0)を選択し、機能系統図に記入する。

次に、F0を目的として、目的→手段の関係となるように、機能分野(F1, F2・・・)を選択し、機能系統図に

S1	VE対象の情報収集	それは何か?
1.	目的・用途	
2.	制約条件	
3.	問題点	

“それは何か”の質問で、VE対象の情報を記入 → メンバー全員が理解する

図4. VE対象の情報収集

S2	機能の定義	【名詞+動詞で簡潔に】	その働きは何か?
1.		5.	
2.		6.	
3.		7.	
4.		8.	

図面の個々の情報(寸法、形状等)から“その働きは何か”の質問で、もれなく機能を定義 → 更に機能を抽象化

図5. 機能の定義

記入する。さらに、F1を目的として、目的→手段となるように3次レベル(F11, F12・・・)に展開し、機能系統図に入力し完成させる(図6)。

3.2 機能評価

機能評価は機能別コスト分析、機能の評価、対象分野の選定の順に進める。ここでは、機能分野ごとに費やされているコストを明確に把握し、本来かけるべきコスト(機能評価値)から価値の低い機能分野を見定め、メンバー全員に価値改善の動機付けをすることが重要である。

【STEP 4】機能別コスト分析

“そのコストはいくらか”の質問によって、対象部品について現行コストを記入する。さらに、機能分野ごとに費やされているコストを配賦しコスト比率を記入する(図7)。

表1に、ある板金部品のコスト配賦の例を示す。まず、対象部品のコストの内訳を把握する。材料費、加工費、表面処理費等である。次にこれら各コストの内訳について、

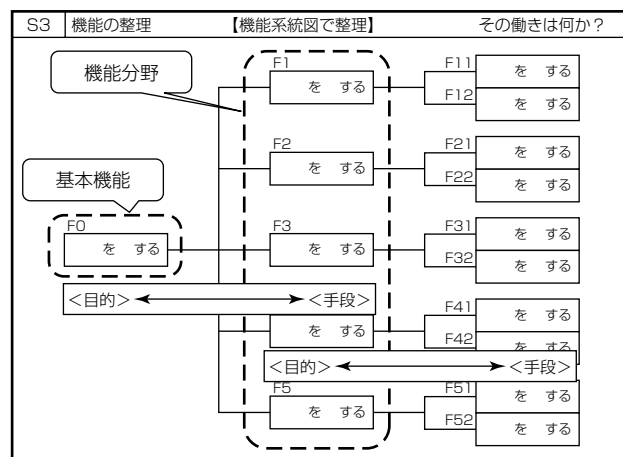


図6. 機能の整理(機能系統図)

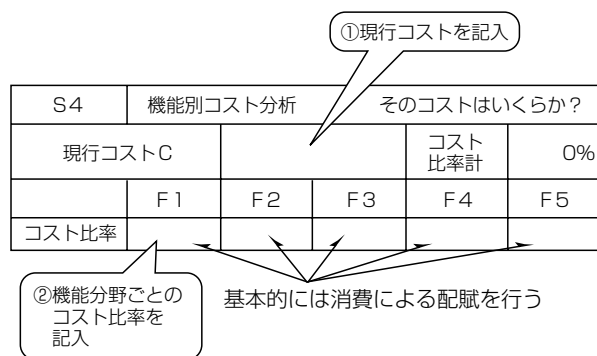


図7. 機能別コスト分析

表1. コスト配賦の方法

	内部を保護する	強度を確保する	部品を取り付ける	本体を固定する	見栄えをよくする	
	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5	計
材料費	¥300	¥500		¥100		¥900
加工費	¥50	¥50	¥200	¥100		¥400
表面処理費					¥100	¥100
計	¥350	¥550	¥200	¥200	¥100	¥1,400
コスト比率	25%	39%	14%	14%	7%	100%

◇一般論文◇

配賦を行う。ここでコスト比率は消費による配賦で行う。

例えば、材料費は、材料のどの部分がどの機能を果たしているのかを考える。F1(内部を保護する)には材料の全面積が必要であるが、板厚は三分の一でもよい。残りの部分はF2(強度を確保する)とF4(本体を固定する)のために必要である。その内、F4には固定に必要な部分のみが寄与している。このように各機能にとって必要な部分のみのコストを配賦する。

加工費は、F1・F2には外形抜き加工費のみが寄与している。F3(部品を取り付ける)には部品取付けのための加工費、F4は本体取付けのための加工費が寄与している。このように各機能にとって必要な加工費のみを配賦する。表面処理費は、塗装費とするとF5(見栄えを良くする)に配賦する。基本的には先に述べたように消費による配賦を行うが、分けられないものについては貢献度評価による配賦、均等割による配賦を併用する。

【STEP 5】機能の評価

“その価値はどうか”の質問に答えるため、機能分野ごとの価値を評価するため基準、すなわち各機能を達成するために費やすべきコスト目標(機能評価値)を設定する。まず、VE対象部品のコスト目標を記入する(図8)。

ここで、評価比率は機能の重要度比較による評価(使用者の立場に立って本来かけるべきコスト)を基本とするが、アイデア想定による評価・実績価値標準による評価を併用することによって目標達成の可能性を高めることができる。

【STEP 6】対象分野の選定

“その価値はどうか”の質問に対して、価値の程度(F/C)とコスト低減余地(C-F)を算出する。これに基づきコスト低減余地の大きな機能分野から順に優先順位を決定する(表2)。

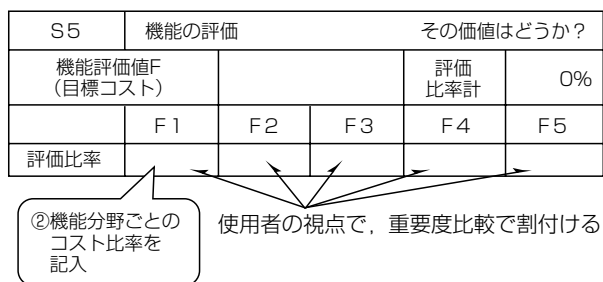


図8. 機能の評価

表2. 対象分野の選定

S 6	対象分野の選定					その価値はどうか?
機能	機能評価値F	現行コストC	F/C	C-F	優先順位	
F 1	¥280	¥350	0.8	¥70	4	
F 2	¥250	¥550	0.5	¥300	1	
F 3	¥160	¥200	0.8	¥40	5	
F 4	¥130	¥200	0.7	¥70	3	
F 5	¥10	¥100	0.1	¥90	2	
計	¥830	¥1,400				

ここで、表2には【STEP 4】の板金部品例に基づき数値を入れている。この部品の本来の機能はF1(内部を保護する)であるが、F2(強度を確保する)やF5(見栄えを良くする)には機能評価値よりはるかに多い費用が費やされていることが明確になる。その結果、メンバー全員でこれら機能分野を改善しなければならないという価値改善の方向性を共有することができる。

3.3 代替案作成

代替案作成はアイデア発想、概略評価、具体化、詳細評価の順に進める。ここでは、優先順位に従って機能ごとにアイデア発想を行い、育て上げることによって、価値向上が図れる代替案を作成する。

【STEP 7】アイデア発想

機能ごとに、ブレインストーミングによって“他に同じ働きをするものはないか”と問いかけアイデアを出していく。“自由奔放に”数多くのアイデアを出し、“改善と結合”という特長を活かしアイデアを膨らませていく。アイデア抽出後、採用するアイデアには○印をつける。可能性のあるアイデアはできるだけ残し育てることに留意する(図9)。

【STEP 8】概略評価

採用したアイデアを組み合わせ、アイデアを略図化する。この場合も“改善と結合”によってアイデアを膨らませることが重要である。さらに、技術的可能性と経済的可能性を評価した上で総合的な評価を行い、具体化の着手順位をつける(図10)。

【STEP 9】具体化

具体化の順位に従い、【STEP 8】で略図化したアイデ

S7	アイデア発想	【ブレインストーミング】	他に同じ働きをするものはないか?	採用
1			11.	
2			12.	
3			13.	
4			14.	
5			15.	
6			16.	
7			17.	
8			18.	
9			19.	
10			20.	

図9. アイデア発想

S8	概略評価				そのコストはいくら? それは必要な機能を確実に果たすか?
	アイデア1	アイデア2	アイデア3		
	①アイデアを記入				
	②概略評価を行う				
	(1)技術性				可能性あり:○
	(2)経済性				可能性不明:△
	(3)総合評価				可能性なし:×
	採用:○				不採用:×
	③具体化の着手順位をつける				
	技術性	経済性	総合評価	具体化 順位	技術性
	経済性	総合評価	具体化 順位	技術性	経済性
	技術性	経済性	総合評価	具体化 順位	技術性
	経済性	総合評価	具体化 順位	技術性	経済性

図10. 概略評価

アの組合せについて利点・欠点を分析する。さらに、欠点克服のためのアイデアを抽出し、アイデアの洗練化を行う。欠点克服のためには各専門家の情報が必要であり、チームデザインを発揮し取り組むことが重要である(図11)。

【STEP10】詳細評価

代替案の技術性評価と経済性評価を実施する。まず代替案に基づき試作図面を作成する。その図面によってコスト見積りを行うとともに、経常外コスト、年間適用台数を考慮した上で年間正味節約額を算出し経済性を評価する。また、試作品による試験評価とともに、理論計算やシミュレーションツール等を使った評価も併用し、迅速かつ確実な技術性評価を実施する。それによって価値改善が図れる代替案へと作り上げていく。さらには、代替案を実施するため開発に取り組む、実用化を図る。

4. 適用事例紹介

ある装置のリード線(配線)の固定部品に1図面VEを適用した事例について述べる。装置の構成は図12のようになり、装置主要部分からのメインリードを束ね外部との接続を行うために固定部品が使われている。固定部品は、絶縁を保ちながらメインリードを束ねフレームに保持するためのものである。

この固定部品の機能の定義と機能系統図を図13に示す。次に、固定部品の機能別コスト分析を図14に示す。F1機能に全体コストの1割、F2に3割、F3に2割、F4に2割、F5に2割のコストが費やされていることが確認できる。

さらに、機能評価の結果を機能ごとに述べると、図15のようになる。F5は、機能評価が低く、コスト低減余地

が大きく、価値の程度が低いことが分かる。したがって、F5の機能からアイデア発想を行う。

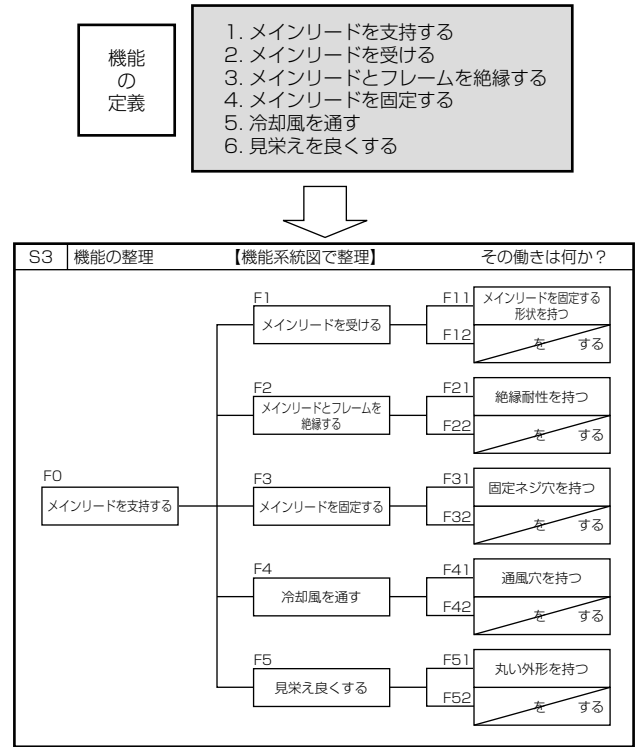


図13. 固定部品の機能系統図

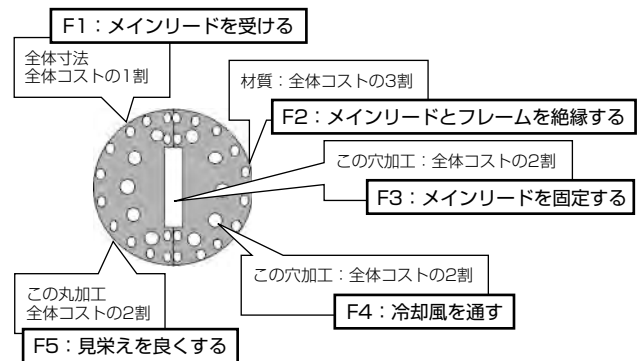


図14. 固定部品の機能別コスト分析

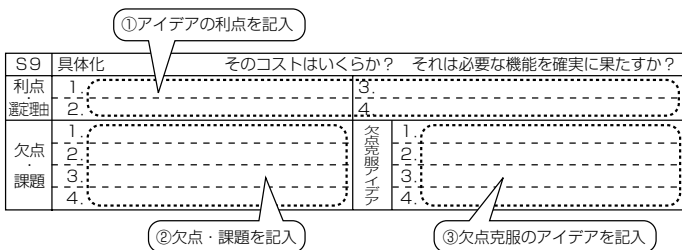


図11. 具体化

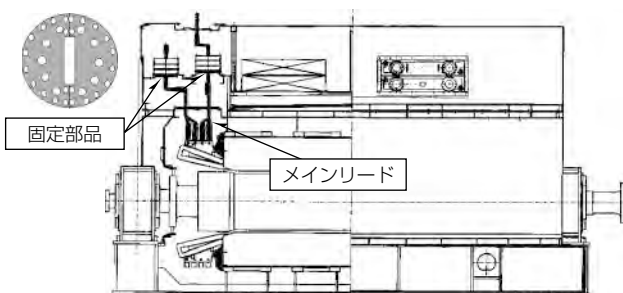


図12. 装置の構成とリード固定部品

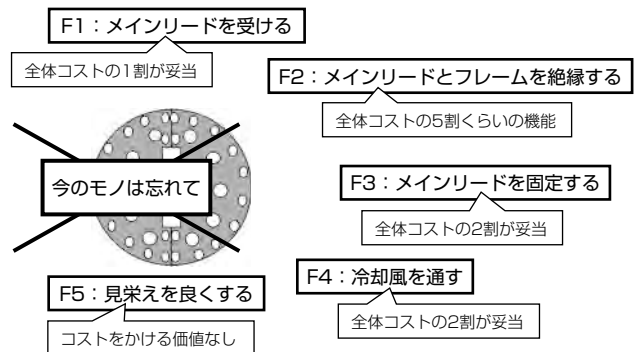


図15. 固定部品の機能評価

図16. 固定部品の概略評価

図17. 固定部品の1図面VEワークシート

このように、一枚のワークシートに従って、図面に基づいて機能定義を行い、VE実施手順通りに機能評価、代替案作成を進めていくことによって、身近に簡単にVEを実践することが可能となる。

機構部品だけでなく、電子回路などにも1図面VEの適用を拡大する。さらに、適用対象を部品レベルから製品レベルに拡大する。

5. む す び

(1) 三好達夫：1 図面VE[®]の紹介，バリュー・エンジニアリング，No.267，21～26（2011）

産業用ロボットによる バラ積み部品供給技術

野田哲男* 田中健一*
永谷達也*
堂前幸康**

Industrial Robotics Technology Enabling to Feed Bulk Parts

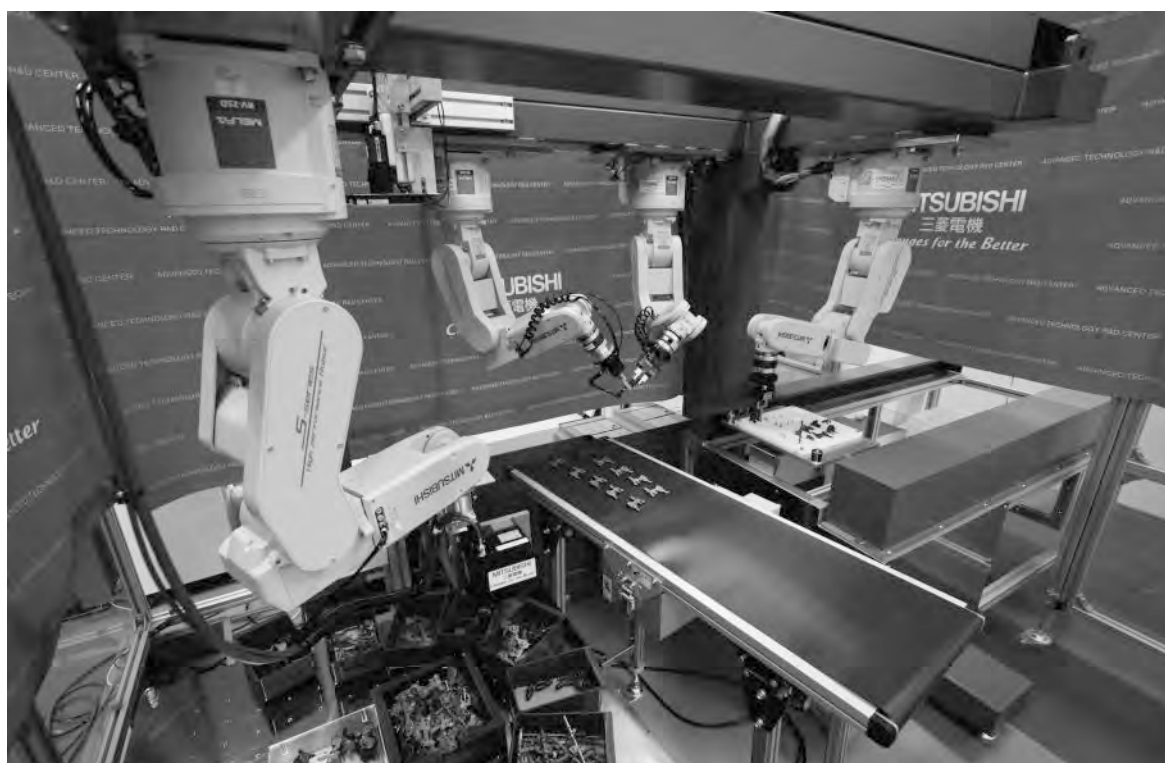
Akio Noda, Tatsuya Nagatani, Yukiyasu Domae, Ken-ichi Tanaka

要 旨

自動組立てシステムで、部品箱の中に部品を無作為に多数投入したバラ積み状態で供給することが、部品保管・運搬の効率上、切望されている。これまでは、部品の種類数と同じ数だけ、パーツフィーダと呼ばれる専用供給装置を用いて部品を整列する必要がある、複雑な形状の部品の供給については、その整列を人手に頼らざるを得なかった。これはロボット学の古典的難題の一つとして知られているランダム・ビン・ピッキング問題そのものである。

今回、汎用機種4台のロボットによる流れ作業で、バラ積み部品箱から部品を取り出して、部品パレット上に整列

させて、後段の自動組立て工程へ供給する技術を開発し、電気・電子製品の組立てにおいて用いられる小さなサイズの部品供給の問題を解決した。同技術を用いた実証システムを構築し、最速3秒台周期で、1台目のロボットが取り出した小さくて細かい小型電気電子製品の部品を、残り3台のロボットで持ち替えながら三次元空間内の任意姿勢へ整列できることを確認した。現在、更なる適用範囲の拡大と自社内工場における実用化、及び要素技術の製品化を進めている。



4台のロボットで複雑形状部品を整列

バラ積み部品供給技術を適用した部品整列システムの例である。4台のロボットで、左下の部品箱に無作為に投入された部品を取り出し、ベルトコンベアや部品パレット上に整列させて、下流の自動組立て工程へ供給する。

◇一般論文◇

1. ま え が き

自動組立てシステムで、部品の自動供給が問題となる。現状、振動を利用して部品の位置姿勢を整列させるパーツフィーダと呼ばれる部品供給装置が用いられている。この装置は、対象部品ごとに設計と調達が必要なため、ラインの立ち上げ・変更に時間を要する上、部品ごとに1台必要なので、部品点数が多くなるとコストがかかるという欠点がある。また、複雑な形状の部品についてはパーツフィーダでは取り扱いえないので、人手に頼るしかなく、自動化を阻害している。

この問題に対して、ロボットによる自動化も試みられてきたが、1980年代からランダム・ビン・ピッキングというロボット学の難題の一つとして知られており、これまで学術的な取組み、ロボットメーカー、ビジョンメーカー各社の取組みを経て、最近ようやく、対象部品の形状を限定した実用化がなされつつある。

三菱電機が研究開発を進める中で、この問題のロボット化の困難さは、任意の対象物についてのバラ積み状態からの対象物把持と、その後の姿勢変更操作に集約されることが分かった。簡単に言うと、対象物が“見えているのに握れない”“握ってはみたものの裏表が反転できない”ので、作業の成功率が低くなるということである。また、バラ積み状態部品の位置姿勢認識演算には多大な計算量が必要で、高速化の妨げとなっていた。これらの課題を図1にまとめる。

そこで、当社は、対象物の状態認識と、認識された状態に対してロボットで実行可能な操作とを、うまく連鎖させることで、上述の困難さを克服し、対象部品の範囲・作業の成功率・実行速度を飛躍的に高める技術を開発した。これまでの取組みで行われていたように、部品箱の中で乱雑に積み重なった部品の位置姿勢を正確に認識してロボットで把持するという大きな難しい問題の一つ解くのではなく、複数台のロボット間で、センサ計測による状態の推定と部品の操作を連鎖させるという小さな簡単な問題を、複数解くことによって、ロボット化の困難さを克服できる⁽¹⁾。

本稿では、この技術の概要と効果について述べる。

2. 自動化システムへの部品供給技術

この技術では、解くべき課題を、段階的に解決できる4つの小課題に分割し、それぞれを解決するサブ機能の連鎖で全体を解決する構成をとっている(図2)。

サブ機能1：取り出し

部品箱の中にあるバラ積み部品の位置姿勢を三次元ビジョンセンサ(自社開発)で計測する。これまでのランダム・ビン・ピッキング手法では、ここで部品の位置姿勢を完全に認識していた。しかし、認識できたところで部品を把持できるとは限らない。これに対し、この技術では、部品箱の中から、どのような姿勢でもよいので、部品をつまみ上げることにした、この方針のもと、三次元ビジョンセンサの計測データから、ロボットのハンドでつまめる部位を認識⁽²⁾、部品をつまみ上げる(図3)。

次に、つまみ上げた部品を、平面状の仮置き台上に転がす。すると、何通りかある安定姿勢の一つで、部品が静定する。

サブ機能2：認識

平面上に転がった部品のシルエットを、二次元ビジョンセンサで計測する。これによって、高さが分かっている平面の上で、どのような姿勢で転がっているかが認識できる(図4)。姿勢が認識できると、どのように姿勢を変更して、最後にどこをつまんでいけば部品パレットに挿入すること

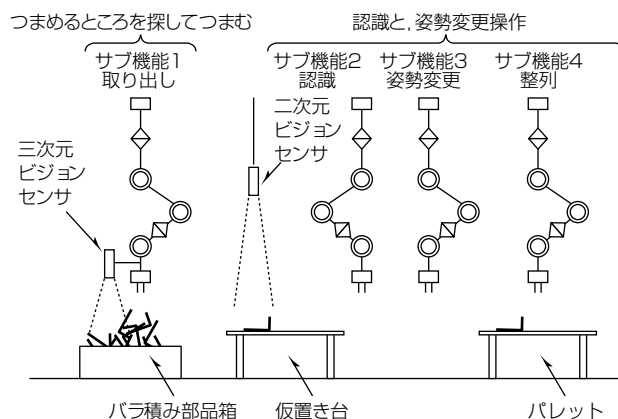


図2. 自動化システムへの部品供給技術のサブ機能の構成



図3. つまめるところを探しての取り出し

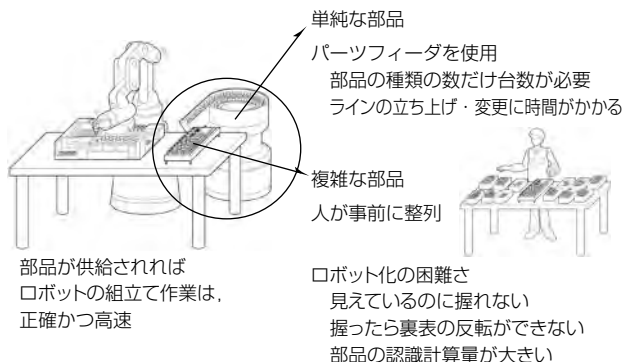


図1. 自動化システムへの部品供給の課題

ができるかのシーケンスが分かる。このシーケンスに従って、まず平面上から部品をつまみ上げる。

サブ機能 3：姿勢変更

部品の姿勢を変更する。例えば、裏表の反転を行う。複数の産業用ロボット間で部品を持ち替えることで、必要な姿勢変更を行い、最終把持姿勢にいたる。

従来は、パーツフィーダのカスタマイズ発注、又は、専用の部品姿勢反転治具などを、部品ごとに専用のハードウェアとして用意していた。

サブ機能 4：整列

パレットの所定の位置に、部品を挿入する。

先に述べたサブ機能 1 と 2 によって、“見えているのに握れない”という問題を解決する。また、サブ機能 3 と 4 によって、“握ってはみたものの裏表が反転できない”問題を解決する。

また、サブ機能 3 と 4 は、次段の組立て工程で部品の姿勢の区別を要する場合に必要となる機能である。つまり、部品の裏表の区別さえ付けば良い部品の場合には、サブ機能 3 は使わない。裏表の区別が必要ない部品であれば、やはりサブ機能 3 は使わず、サブ機能 4 をサブ機能 2 で代替することができる。

さらに、サブ機能は、図 2 のように、それぞれにロボットを 1 台用意しなくても、ロボットを 2 台にして、4 つのサブ機能を同じロボットが分担しても良い。ただし、この場合、作業の並列度が下がるので、タクトタイムが伸びる。

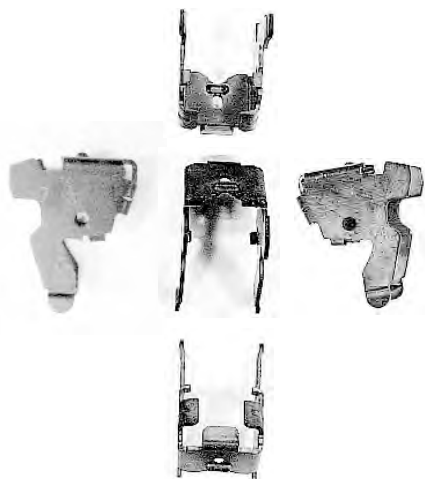


図 4．5 通りの安定姿勢とそのシルエット

3. 部品供給技術を用いたロボットシステムの考察

部品供給技術を用いて実証システムを構築し、最速 3 秒台周期で、1 台目のロボットが取り出した小型電気電子製品の部品を、残り 3 台のロボットで持ち替えながら三次元空間内の任意姿勢へ整列できることを確認した(要旨の図)。

この実証システムによって得られた実験結果と、類似技術との比較を表 1 に示し、特長を次にまとめる。

- (1) 積み重なった状態で個々の部品を認識する場合に比べ、扱うことができる部品が増え、整列時間も半減
- (2) 部品ごとの三次元形状モデルの登録が不要
- (3) 同じシステムで複数種類の部品を同時に扱うことが可能なため、部品数によらずシステムコストが一定
- (4) 新たな部品登録に要する時間は約半日で、パーツフィーダの納期 2 か月(新規発注の場合)に比べて、大幅に削減可能
- (5) 人でしか整列できなかった複雑な形状の部品も扱うことが可能
- (6) 従来ロボットでは、対象部品が、板金物、軸物、内括(つか)みで把持できるものに限定されていたが、より複雑な形状の部品を、取扱い可能

また、今回のような複数のロボットとセンサを用いる複雑なシステムは、据付け時や移設時の調整が複雑になり、調整作業時間が延びがちである。そこで、ロボットに取り付けられた力覚センサとビジョンセンサを用いてロボットの周辺環境を計測・認識することにより、この作業を迅速化する教示迅速化技術も、新たに開発した⁽³⁾。2011 年に開催された国際ロボット展に、この技術を適用したデモシステム 2 種を出展した際、その移設作業において、標準調整時間 8 時間程度を見込んでいたところ、1 時間で調整が完了し、作業時間が短縮する効果を確認した。

さて、先に述べたごとく、整列の対象となる部品は、部品の形状と用途に応じて、平面上での安定姿勢を複数持つ。ただし、裏と表の 2 通りで静定する部品でも、裏表の区別がなければ 1 通りと数え、裏表の区別のある部品は、そのまま 2 通りと数える。当社は、“区別する安定姿勢の数”を、その部品の複雑さと定義した上で、部品の複雑さ・ロボットの台数・タクトタイムの間に関係性があることを見出し、システム設計手法を構築した⁽⁴⁾。具体的には、次のよ

表 1．類似技術との比較

		部品形状への対応		動作周期	システムコスト	扱う部品を変えた場合の汎用性
		単純部品	複雑部品			
今回提案するロボットシステム		1 システムで様々な形状の部品に対応可能		3～7 秒	部品点数によらず一定	1 部品あたりプログラム変更半日
従来	ロボットシステム	対応可能	対応不可	7～15秒	部品点数によらず一定	1 部品あたり 1 か月程度のシステム開発
	パーツフィーダ群	部品ごとに装置を用意	対応困難	1～2.5秒	部品点数に比例	1 部品あたり 2 か月程度のハードウェア開発
	人手	様々な形状の部品に対応可能		3 秒程度	部品点数によらず一定	作業マニュアルのみ



図5. 2011国際ロボット展への出展

うに設計を進める。裏表を問わない単純形状の部品はロボット2台で最短タクトタイムで整列可能である。安定姿勢が3以上ある複雑な形状の部品は、ロボット4台で流れ作業をすることで最速タクトタイムが得られる。流れ作業ではなく、ロボット2台で受渡しすることも可能であるが、タクトタイムが伸びる。言い換えると、タクトタイムを諦めると、ロボット台数を減らせる。

さらに、この技術を用いたロボットシステムでは、同じシステムで複数種類の部品を扱うことが可能で、部品ごとに必要なパーツフィーダを使う場合に比べ導入コストを削減できる。当社の試算では、製品の部品数が9個以上の場合、新ロボットシステムは導入コストの面でパーツフィーダを利用するより有利になる。

現在、自社内工場で、実製品組立てへの適用を進めるとともに、要素技術の製品化を進めている。図5に示すように、この技術を搭載した実証システムを、2011年の国際ロボット展に出展、市場から多大な反響を得つつある。

4. む す び

バラ積み部品供給への要望は、組立て工程に遍在する。一般的な組立て工場では、数十点、数百点から数万点に及ぶ部品を取り扱っており、これらの部品を整列させる合理的なソリューションの不在が、ロボット適用範囲の拡大を阻害してきた。この技術によって、部品整列作業へもロボットの応用範囲が拡大する。

世界的に類例のないロボット技術を日本から発信し、我が国の生産財輸出産業の発展に貢献するとともに、高効率生産システムを構築して、生産人口減少時代のモノづくり日本の堅持に貢献できる。

この技術の開発の一部は、“NEDO^(注1)次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト”の委託を受けて実施したものである。

(注1) NEDO: New Energy and industrial technology Development Organization

参 考 文 献

- (1) 野田哲男, ほか: ロボットによるバラ積み部品供給, 第29回 日本ロボット学会学術講演会, 3B2-2 (2011)
- (2) 堂前幸康, ほか: 物体形状に依存せず高速なバラ積み物体の取り出し方法, 第29回 日本ロボット学会学術講演会, 3B2-1 (2011)
- (3) 永谷達也, ほか: 座標系校正による産業用ロボットの位置復旧支援技術, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1E2-6, 0348~0351 (2011)
- (4) 野田哲男, ほか: バラ積み部品供給可能なセル生産ロボットのシステム設計論, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1E1-5, 0330~0332 (2011)

双方向型Web画面自動生成技術

大島正晴*
河村美嗣**

Bidirectional Web Screen Automatic Generation Technology

Masaharu Oshima, Yoshitsugu Kawamura

要 旨

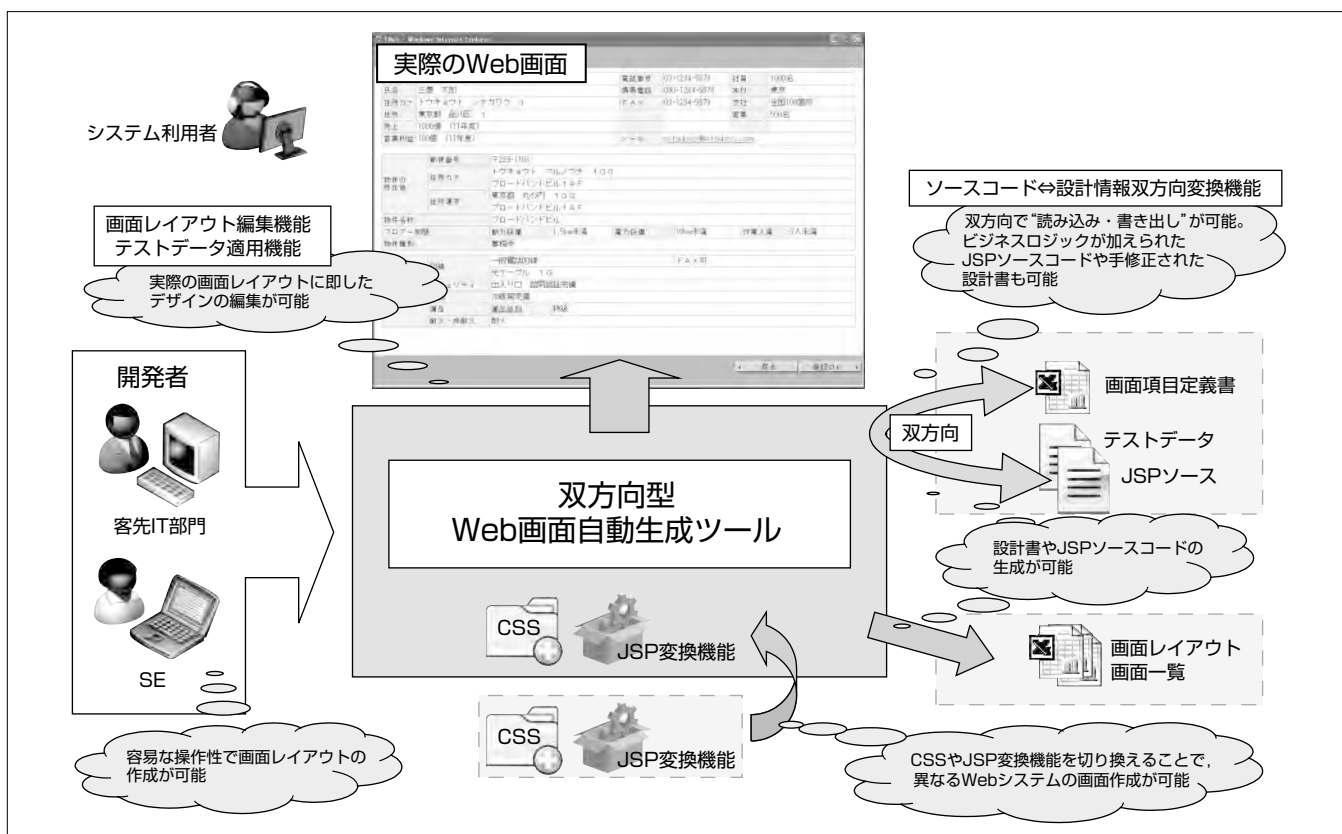
近年、情報システムの形態はWebブラウザをクライアントとしてサーバなどを利用するWebコンピューティングが主流となっている。また、システム開発では、社会の急速な変化に対応することが求められており、短期間／低コスト／高品質にシステムを構築するために、より一層の開発生産性と品質の向上が求められている。

このような背景から、Web画面の開発工数を大幅に削減可能な双方向型Web画面自動生成ツールを開発した。このツールは、ユーザーの要求を取り込んだWeb画面のレイアウトが容易に作成可能で、作成した画面レイアウトから設計書や画面レイアウト部分のモジュールであるJSP^(注1)(Java Server Pages)で記述されたソースコード(以下

“JSPソースコード”という。)を自動で生成し、システム開発における生産性と品質の向上を実現している。

このツールは、画面レイアウト、設計書、JSPソースコードを双方向で生成可能とした点が大きな特長である。これまでのWeb画面自動生成ツールでも、独自のフォーマットで記述された情報からJSPソースコードを自動生成することは実現されていたが、設計書からJSPソースコードの一部を片方向に生成するだけで、双方向に自動生成することができなかった。このツールはその課題を解決し、双方向で生成することを実現した。

(注1) JSPは、Oracle Corp. の登録商標である。



双方向型Web画面自動生成技術

この開発ツールは、画面レイアウトから設計書やJSPソースコードを生成し開発工数の削減を可能にする。顧客側のメリットとして、画面レイアウト作成に関する専門的な知識が不要で容易に作成できるため、顧客の意図する画面イメージが直(じか)に開発者に伝わり、認識の齟齬(そご)が軽減されることが挙げられる。開発側のメリットとして、生成された設計書やJSPソースコードに手修正が加えられても再度ツールに読み込むことが可能なため、手修正箇所に影響なく設計書やJSPソースコードの再生成が行え、開発時の生産性が向上する。また、画面レイアウトを作成する機能はそのまま、Web画面のレイアウトを定義するCSS(Cascading Style Sheets)やJSP変換機能を切り換えることで、異なるWebシステムの画面設計・開発が行える。

1. ま え が き

近年、情報システムの形態はWebブラウザをクライアントとしてサーバなどを利用するWebコンピューティングが主流となっている。また、社会の急速な変化に即座に対応したシステムの開発が求められ、短期間／低コスト／高品質にシステムを構築する必要性が高まり、顧客からはより一層の開発生産性と品質の向上が求められている。

今回、三菱電機㈱及び三菱電機インフォメーションシステムズ㈱(MDIS)は、Web画面開発の効率化を目的に、双方向型Web画面自動生成ツールを開発した。このツールは、ユーザーの要求を取り込んだWeb画面のレイアウトを容易に作成でき、また、作成した画面レイアウトから設計書やJSPソースコードを自動生成することで、システム開発における生産性と品質の向上を実現した。

2. システム開発における課題と対策

2.1 要件定義から製造工程での生産性

一般的なWebシステム開発で画面要件の詳細を決定する際に、Excel^(注2)やHTML(Hyper Text Markup Language)を利用して画面レイアウトのサンプルを作成し、顧客の要望を抽出しながら要件を詰めていく。しかし、要件定義段階で作成した画面レイアウトの情報が次の開発工程でそのまま利用できる場合は少なく、要件定義で作成した画面レイアウトを基に別途設計書やJSPソースコードを再作成しているのが現状である。

このツールでは、上流工程で作成した画面レイアウトから設計書やJSPソースコードを自動生成し、要件定義から製造まで一貫して利用することを可能とした。これによって、作業や成果物の重複が排除され生産性の向上が実現できる。

(注2) Excelは、Microsoft Corp. の登録商標である。

2.2 仕様変更への対応

現在のシステム開発では、社会の急速な変化に対応するため開発の途中で発生する仕様変更にも柔軟に対応する必要がある。Web画面の開発でも、画面中の文言変更の修正だけでなく画面レイアウトの修正や項目の追加、削除等について対応が必要となる場合があり、また、顧客と開発者の認識齟齬による手戻りが発生することで生産性の悪化につながる場合もある。

これら多発する仕様変更に対応するため、このツールは専門的な知識が不要で、容易に画面レイアウトを作成できるようにした。これによって、顧客も画面レイアウトの修正が行えるため、意図する画面イメージが直に開発者に伝わることで認識の齟齬が軽減され、高品質かつ柔軟に仕様変更に対応できる。

2.3 自動生成の課題

これまでのWeb画面自動生成ツールでは、独自のフォ

ーマットで記述された情報からソースコードを自動生成していた。しかし、設計情報からJSPソースコードの一部を片方向に生成することは可能であったが、双方向に自動生成することができなかった。そのため、開発者がビジネスロジックの追加などを行う場合、ソースコードの手修正を行うと、それが設計書に反映されないため、初回のみ自動生成を利用し、その後は自動生成しない開発形態とせざるを得ず、生産性の改善効果が限定されていた。

このツールでは、ソースコードに手修正が行われた場合でも、画面レイアウト、設計書、JSPソースコードを双方向に生成することを可能とし、これまでの自動生成における課題を解決した。

3. ツールの機能

設計情報とソースコードを双方向に自動生成可能なこと、また、画面デザイナも容易に作成可能なユーザーインタフェースを提供することを目的に、機能設計を行った。

3.1 ソースコード／設計情報双方向変換機能

ソースコードであるJSPファイルと、設計情報であるExcelファイルを双方向に変換する機能である。このツールはJSPファイルの読み込み機能、書き出し機能と、Excelファイルの読み込み機能、書き出し機能をすべて備えている。ソースコードから設計情報に変換したい場合は、JSPファイルを読み込み、その後Excelファイルを書き出す。逆に変換したい場合は、まずExcelファイルを読み込み、その後JSPファイルを書き出す。

3.2 画面レイアウト編集機能

Web画面をグラフィカルな編集画面で作成・編集できる機能である。このツールには、Web画面の作成に必要な部品を配置するためのボタンを用意しており、マウス操作で部品を選択し画面レイアウト編集エリアへ配置することで、Web画面を容易に作成することができる。作成した画面レイアウトは、Webサーバを必要とせずにプレビューで確認することができる。また、プレビュー時に画面遷移を確認することもでき、実際のアプリケーションの動きに即した画面設計が行える。さらに、業務要件に合わせて画面項目の表示・非表示制御を行う場合、このツール上で様々なパターンのデータを適用した場合の画面項目の表示・非表示結果を確認することができる。

3.3 テストデータ適用機能

画面レイアウトを編集する際に、動的に画面に表示されるデータ(テストデータ：顧客氏名や住所等)を表示した状態で編集可能とする機能である。画面に表示するデータは別ファイルで管理し、必要に応じて切り換えることができ、様々なデータが適用された画面を確認しながら画面レイアウトを編集することができる。

3.4 その他の特長

3.4.1 軽快な動作

ツールの利用者を開発者だけに限定せず、基本設計担当者や顧客も利用できる必要があり、高いユーザビリティで低スペックのハードウェアでも動作可能とした。また、利用開始時には1つのファイルを展開するだけで利用できるため、様々な前提条件やWebサーバ等を必要としない。

3.4.2 汎用性の強化

画面レイアウトを作成する機能はそのまま、CSSやJSP変換機能を切り換えることで、異なるWebシステムの画面設計・開発が行える。

4. ツール実装上の工夫

このツールは内部でJSPソースコード、設計書内の情報、テストデータの3種類のデータを保持しており、機能によってそれぞれを組み合わせたり分離したりする必要がある。そのため、次のような実装上の工夫を行った。

4.1 ソースコード／設計書の双方向変換

JSPソースコード／設計書の双方向変換を行うには、ツール内部でJSPソースコード／設計書の対応関係を保持し、それぞれの情報を突き合わせる必要がある。このツールが利用するJSPソースコード／設計書には要素ごとにIDを持たせ、同一のIDを持つ場合に同一の要素であると判断する。

このツールが入出力するJSPソースコードと、設計書の変換例を図1に示す。ソースコード中の要素では、JSPカスタムタグのid属性の値を、設計書内の要素では、ID列の値をそれぞれの要素のIDとして扱う。そのため、例えばソースコード中のjsp:ListBoxタグのsize属性を1から2に変更した場合は、設計書内のID列にID003を持つ行のサイズ列の値を1から2に変更すればよい。また、逆に設計書内のサイズ列の値を1から2に変更した場合は、ソースコード中のid属性の値にID003を持つタグのsize属性を1から2に変更すればよい。また、設計書内に存在しているが、ソースコードに出力されない記述については、ツール内部で保持しておくことで変換する際に失われないようにしておく。

4.2 テストデータの適用

一般的なWebアプリケーションではデータ(例えば顧客氏名や住所等)を動的に表示するので、Web画面の要件を詰めていく際には、データが表示された状態の画面レイアウトサンプルを利用する。しかし、データが埋め込まれた状態で画面レイアウトを作成するため、データとJSPソースコードを別途分離する必要がある。このツールでは、次の方法によってJSPソースコードとデータの分離を可能にした。

データを表示した状態で画面レイアウトを編集可能にす

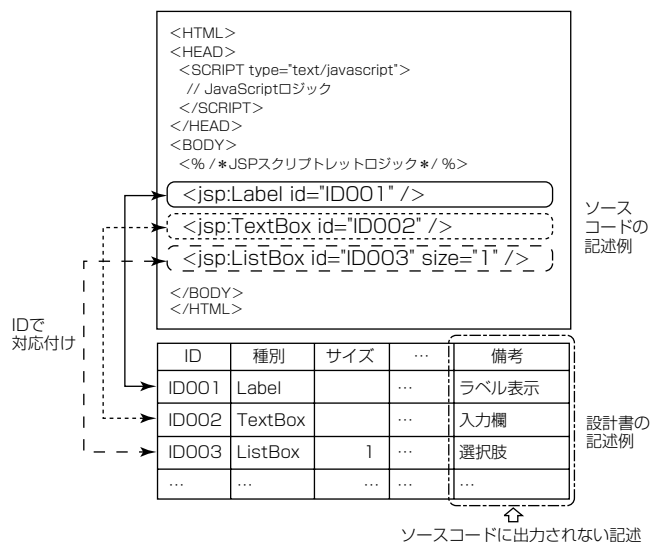


図1. JSPソースコード／設計書の双方向変換

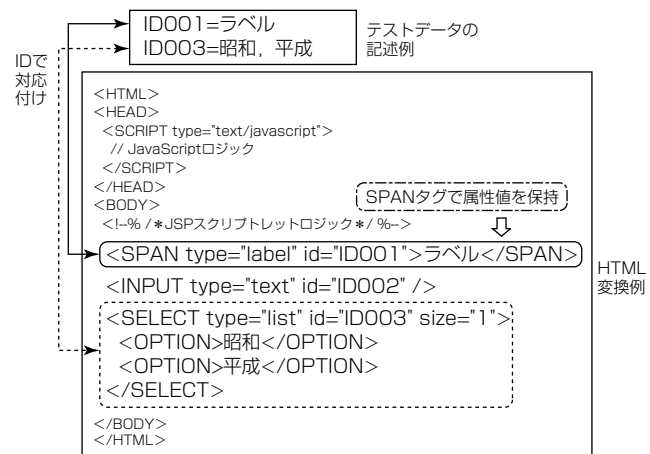


図2. 動的変更箇所へのデータ適用

るには、JSPソースコード内の動的に変更される箇所にテストデータを代入する機能が必要である。これを実現するため、このツールでは変更箇所とテストデータをIDで対応付け、また、JSPソースコード内に記述された特定のタグを動的にデータが変更される箇所と認識し、同じIDを持つテストデータの右辺値を埋め込む仕組みを搭載した。このツールが入出力するテストデータの記述例と、JSPソースコードにテストデータを適用した状態を図2に示す。テストデータは、左辺にID、右辺に当該IDに対応する値を記述したテキストファイルである。このような仕組みとすることで、動的なデータとJSPソースコードを分離した状態で画面レイアウトの作成が可能となった。

5. 評価

双方向型Web画面自動生成ツールの生産性を評価するため、7画面からなるアプリケーションを開発するプロジェクトを例として、このツールを適用した場合の仕様変更開発時の生産性向上の効果を調査した。結果を表1に示す。

◇一般論文◇

表1. プロジェクト適用時の削減効果(単位:人日)

項目	要件定義	外部設計	製造	単体試験	結合試験	合計
ツール未使用時	4.0	3.2	7.6	8.4	0.8	24.0
ツール使用時	↑	↑	0.6	↑	↑	17.0
削減工数	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	7.0
	0%	0%	92%	0%	0%	29%

適用先のプロジェクトは、顧客情報を登録するシステムの改良開発である。これまでのシステムは、画面上に登録する内容を表示していたが、これを登録内容と登録前の2パターンの情報を表示するように画面レイアウトを大幅に改良する対応を行った。この改良に関する工数削減効果の測定として、内部設計／開発の工程にこのツールを適用した場合の開発工数と適用しなかった場合の想定工数を比較し、ツールの開發生産性向上効果について評価を行った。

この結果、製造の工程で、92%の工数削減が可能という評価が得られた。これは、今回対象とした改修内容がJavaやJavaScript^(注3)のロジックに依存しなかったため、このツールによってソースコードのほとんどの部分を自動生成することができたためである。また、開発全体では29%の工数削減が可能という結果が得られた。これは、大幅に工数削減が可能であった内部設計／開発の工程が、もともと開発全体の32%を占めていたため、効果が大きくなったと言える。一方、今回は要件定義や外部設計の工程にこのツールを適用しなかったため評価できなかったが、上流工程でこのツールを適用した場合は、要件定義や外部設計でも工数を削減できることが期待できる。

(注3) Java及びJavascriptは、Oracle Corp. の登録商標である。

6. む す び

双方向型Web画面自動生成ツールは、三菱電機とMDISが共同で仕様検討から導入試験までを行い、わずか1年で実運用を開始することができた。このツールを適用したプロジェクトでは、開發生産性の向上効果が実績として確認されている。

このツールは特定プロジェクト専用のツールであるが、今後はツールの汎用化開発を進め、Java、JSPを利用したWebシステム全般で利用可能なツールとし、より大きな開發生産性向上効果が生まれるよう努めていきたい。

参 考 文 献

- (1) 河村美嗣，ほか：双方向型Web画面自動生成ツールの開発，情報処理学会，第73回全国大会（2011）
- (2) 杉浦啓介，ほか：方向型Web画面自動生成ツールの開発とその効果～設計書とソースコードの双方向変換～，情報処理学会，第74回全国大会（2012）
- (3) 河村美嗣，ほか：双方向型Web画面自動生成ツールの開発とその効果～汎用化による適用範囲の拡大～，情報処理学会，第74回全国大会（2012）
- (4) 大島正晴：双方向型Web画面自動生成技術，三菱電機技報，86，No.1，68（2012）

ビルセキュリティにおけるWeb活用

中林 智* 山本英司**
奈良井一雅* 山岸義徳**
奥村誠司**

Adoption of Web Technology for Building Security System

Satoshi Nakabayashi, Kazumasa Narai, Seiji Okumura, Eiji Yamamoto, Yoshinori Yamagishi

要 旨

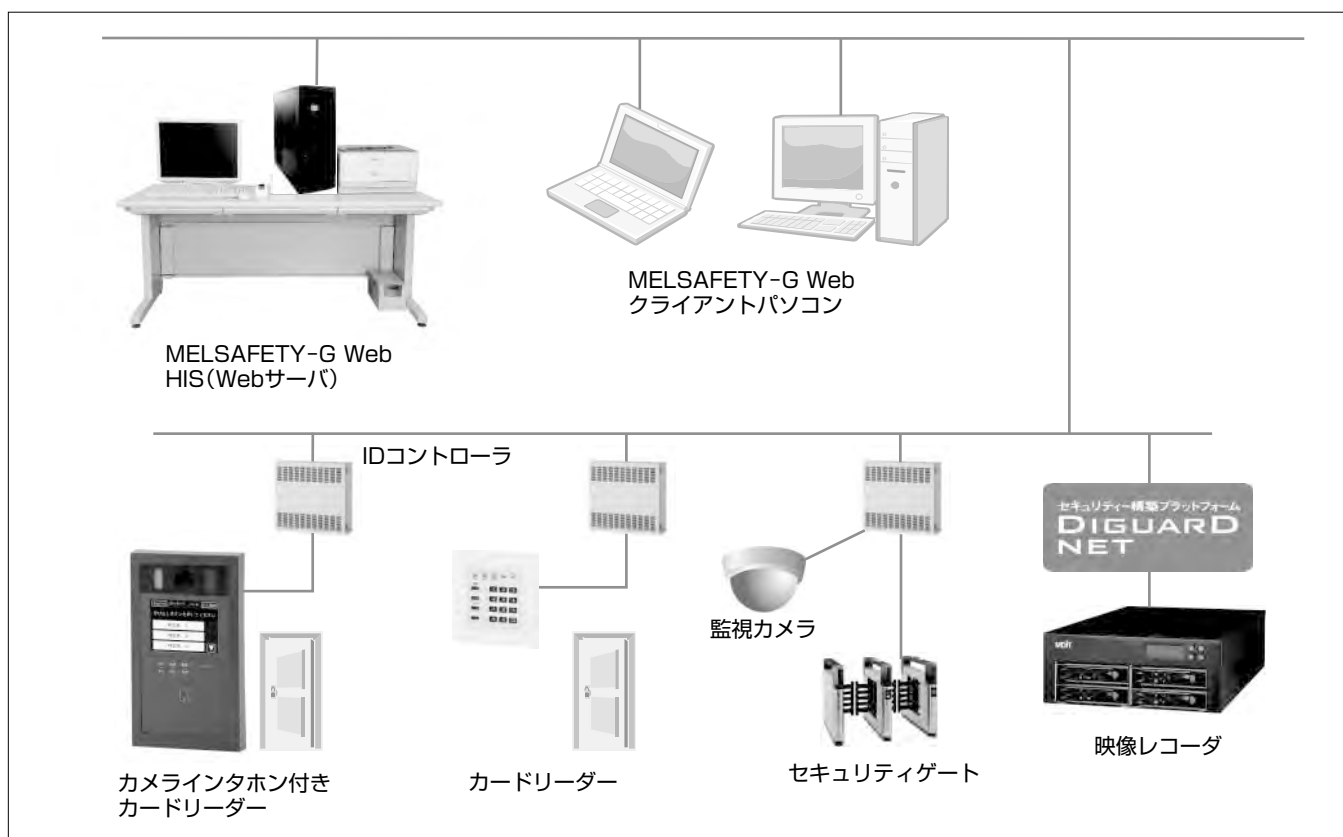
三菱電機では、三菱統合ビルセキュリティシステム“MELSAFETY-G”を基にして、Web技術を用いたクライアント／サーバ方式によってセンター装置を構成可能な“MELSAFETY-G Web”を開発し、2011年6月から販売開始した。その後、2012年2月に映像監視連携や1億件もの履歴件数を蓄積・参照可能な履歴(大容量)機能を開発したので、本稿で述べる。

センター装置にWeb技術を適用することで、すべてのセンター装置を専用のパソコンとする必要がなくなり、クライアントパソコンの選択肢が広がり、クライアントパソコンの増設が容易にできるようになった。

ただし、センター装置が専用のパソコンではなくなった分、システムへのアクセスが容易になるため、システムとしてのセキュリティを確保するために、様々なアクセス制限の機能を用意した。

また、専用のパソコンで実現していた“DIGUARD NET(ディガードネット)”による映像監視システムとの連携機能についても、Webブラウザでのカメラ映像の表示を実現した。

新たな機能としては、従来最大100万件までしか蓄積・参照できなかった履歴件数を1億件という大容量の履歴を蓄積・参照できる機能を実現した。



“MELSAFETY-G Web”のシステム構成

メーカーが用意した専用パソコンである必要はなく、Internet Explorer^(注1)を搭載したパソコンであれば、扉の状態や警報監視、履歴の参照などが可能である。また、映像監視システムとの連携によってInternet Explorer上で映像監視機器のカメラ映像を表示することも可能である。

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

◇一般論文◇

1. ま え が き

近年、企業における情報システムのネットワーク化が進み、セキュリティシステムについても、既に企業が整備しているネットワークを利用することや、企業が持つ人事関係の情報システムとの連携が求められている。

当社では、三菱統合ビルセキュリティシステム“MELSAFETY-G”⁽¹⁾を基にして、センター装置をWeb化した“MELSAFETY-G Web”を2011年6月から販売開始した。その後、Webによる映像監視連携や、1億件もの履歴を蓄積可能な履歴(大容量)機能を開発し、2012年2月に販売を開始した。

本稿では、MELSAFETY-G Webの特長について述べる。

2. センター装置のWeb化

2.1 クライアントパソコンの選択肢拡大

Web技術を用いたことによって、メーカーが用意した専用パソコンではなく、Internet Explorerを搭載したパソコンであれば、クライアントパソコンとして適用できるようになった。クライアントパソコンの推奨スペックを表1に示す。

2.2 クライアントパソコンの拡張が容易

クライアントパソコンには、専用ソフトウェアが必要ではなくなったことと、すべてのクライアントパソコンを把握(システムとして設定・登録)する必要がなくなったことによって、クライアントパソコンを容易に拡張することができるようになった(図1)。

表1. MELSAFETY-G Webクライアントパソコンの推奨スペック

項目	仕様
OS	Windows XP ^(注2) Professional SP3
	Windows Vista ^(注2) Business SP1
	Windows7 ^(注2) Professional
	いずれのOSも日本語(32ビット)版
CPU	Pentium4 2GHz以上
メモリー	1GB以上
表示解像度	SXGA(1280×1024) フルHD(1920×1080)
表示色	65,536色以上
LAN	1ポート以上
推奨ブラウザ	Internet Explorer 7, 8

(注2) Windows XP, Windows Vista, Windows7は、Microsoft Corp.の登録商標である。

SP: Service Pack

SXGA: Super eXtended Graphics Array

HD: High Definition

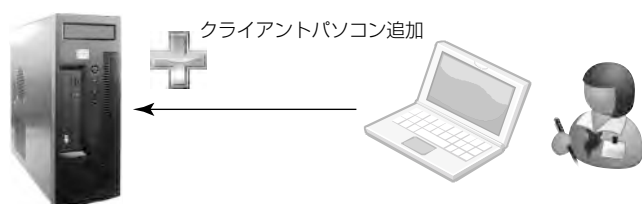


図1. クライアントパソコンの拡張

2.3 HIS(Webサーバ)へのアクセス制限

MELSAFETY-G Webでは個人情報も扱っているため、様々なアクセス制限の機能も用意しており、システムとしてのセキュリティを維持することができるようにしている(図2)。

(1) 様々なログイン方法によるアクセス制限

IDとパスワードに加えて、カード認証又は生体認証によって、操作者を制限することができる。

(2) クライアント情報によるアクセス制限

HIS(Webサーバ)にアクセス可能なクライアントパソコンの情報を、あらかじめ設定・登録しておくことで、登録していないクライアントパソコンからのアクセスを制限することができる。

(3) 同一ユーザーの複数クライアントからのアクセス制限

同一ユーザーによる複数クライアントパソコンからのアクセスを制限しており、IDとパスワードが漏えいしたとしても、不正なアクセスを制限することができる。

2.4 HIS(Webサーバ)のウイルス対策

HIS(Webサーバ)には、標準でウイルス対策ソフトウェア(ホワイトリスト式)を適用しており、ウイルスによる個人情報漏えいを防ぐことができる。

ホワイトリスト式のウイルス対策ソフトウェアでは、許可したプログラムのみ実行が可能であり、許可のないプログラムは実行することができない(図3)。

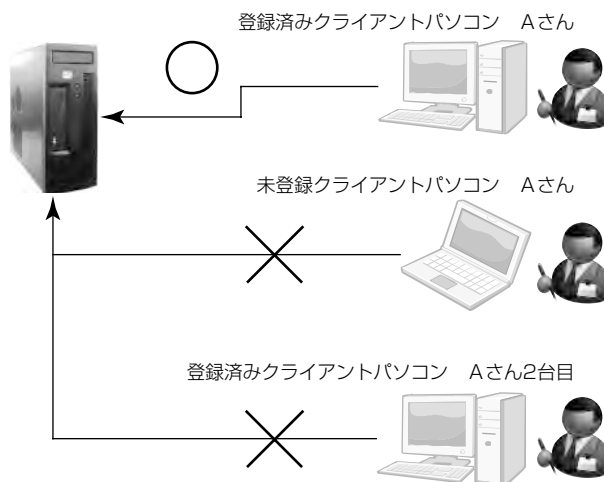


図2. MELSAFETY-G Webにおけるアクセス制限

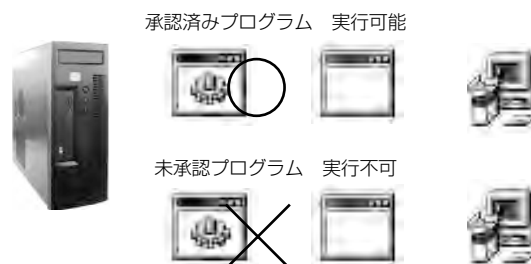


図3. MELSAFETY-G Webにおけるウイルス対策

3. 映像監視連携のWeb化～カメラ連携機能～

MELSAFETY-G Webでは、警報発生時や各種履歴（警報、通行等）の閲覧時に監視カメラの映像をWebブラウザで表示するカメラ連携機能がある。この機能によって、ユーザーは視覚的に通行状況を把握・分析することが可能となった。

この章では、MELSAFETY-G Webにおけるカメラ連携機能について述べる。

3.1 DIGUARD NETによる映像監視連携

DIGUARD NET(ディガードネット)とは、当社の様々なセキュリティ機器同士を円滑に接続及び制御するためのセキュリティ構築プラットフォームである⁽²⁾⁽³⁾。MELSAFETY-G Webのカメラ連携機能は、このDIGUARD NETによって映像監視機器(映像レコーダや監視カメラ)を制御し、カメラ映像表示を実現している。

図4に、DIGUARD NETで映像監視機器と連携するMELSAFETY-G Webのシステム構成を示す。

3.2 Webブラウザによる映像表示

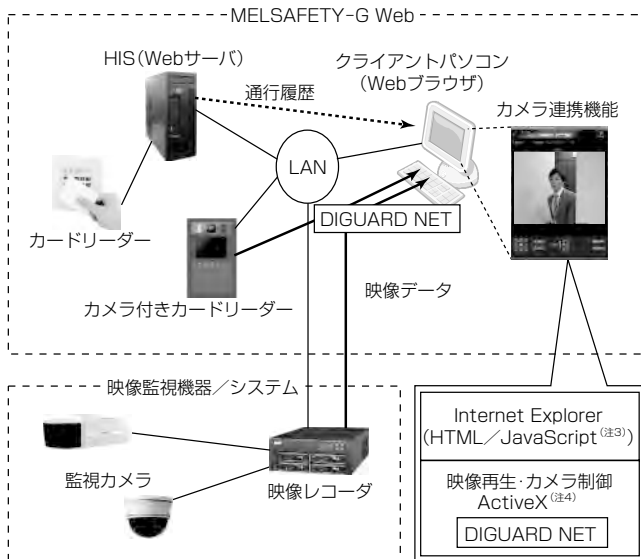
MELSAFETY-G Webでは、入退室管理情報の表示や操作等をすべてInternet Explorer上で実現する。カメラ映像画面もユーザーインターフェースの統一を図るために次の開発を行った。

(1) カメラ映像画面のWeb化

MELSAFETY-G Webの画面デザインを踏襲し、統一感のあるデザインとした。

(2) 映像制御モジュールのActiveX化

DIGUARD NETによる映像再生・制御プログラム群をパッケージ化しクライアントパソコンに組み込むことによって、直接映像監視機器へのアクセスを可能とした。



(注3) JavaScriptは、Oracle Corp.の登録商標である。
(注4) ActiveXは、Microsoft Corp.の登録商標である。

HTML: HyperText Markup Language

図4. MELSAFETY-G Webシステム構成(映像監視連携)

(3) 設定パラメータの自動アップデート化

HIS(Webサーバ)でDIGUARD NETに必要な設定パラメータ群を一括管理し、更新時にクライアントパソコンに自動配信することで柔軟なバージョンアップを可能とした。

図5に、MELSAFETY-G Webのカメラ映像画面を示す。

3.3 カメラ連携機能

機能として、次の3つの表示モードを備える。

(1) ライブ映像モード

警報発生時自動表示やグラフィック画面上でのカメラ関連シンボルの選択によるライブ映像の表示

(2) イベント映像モード

各種履歴(警報、通行等)のイベントに合致した記録映像の再生。4画面(4台のカメラ)同時表示や画面数切り換えも可能

(3) 記録映像モード

選択したカメラの指定した時刻の記録映像を再生

3.4 映像再生仕様

Web化の開発に伴い映像符号化方式はMotionJPEG (Joint Photographic Experts Group)に加え、新たにH.264にも対応させた。映像再生仕様を表2に示す。

このように、MELSAFETY-G Webのカメラ連携機能は、DIGUARD NETによる入退室管理情報と関連したカメラ映像の即時提供と豊富な映像再生/カメラ制御機能、



図5. カメラ連携機能の表示画面

表2. 映像再生仕様

カメラ映像サイズ	最大SXVGA (1280×960ピクセル) ※表示サイズはVGA相当
フレームレート	ライブ映像モード時: 最大15コマ/秒 イベント/記録映像モード時: 1画面につき最大5コマ/秒
映像再生制御	再生、停止、一時停止、逆再生、早送り、早戻し、コマ送り、コマ戻し、頭出し、リプレイ ※一部MotionJPEGのみ
カメラ制御	パン/チルト/ズーム/ホームポジションの 旋回・速度
映像符号化方式	MotionJPEG, H.264

SXVGA: Super eXtended Video Graphics Array

◇一般論文◇

及びWeb化によるユーザーインターフェースの一層の向上によって、状況分析の効率化とビルセキュリティ強化を実現している。

4. 大容量ログデータベースの組み込み

監査や内部統制のために、入退室の履歴（以下“通行履歴”という。）を始めとする各種履歴を年単位で残したいという要求がある。MELSAFETY-G Webは、標準で100万件の通行履歴を蓄積可能である。しかし、大規模なシステムでは1日に数万件の通行が発生するため、“年単位の履歴蓄積”と“使いやすい検索インターフェース”を両立させるソリューションを提供できていなかった。

今回、このような要求にも応えるために、ログに特化した大容量ログデータベース（以下“LDB”という。）を組み込んだMELSAFETY-G Webを開発した。

4.1 大容量ログデータベース(LDB)の基本機能

LDBは追記型情報であるログに特化することによって、大容量蓄積と高速検索を両立させた当社独自技術によるログデータベースである⁽⁴⁾。

通行履歴など、MELSAFETY-G Webで発生する履歴は標準製品組み込みのデータベース（以下“標準DB”という。）に随時蓄積される。標準DBに蓄積された履歴はMELSAFETY-G Webの履歴バックアップ管理機能によって定期的にLDBに蓄積する仕組みとしている。標準DB及びLDBに蓄積可能な最大履歴数を表3に整理する。

MELSAFETY-Gでは1日あたりの通行履歴数は最大20万件を想定している。LDBには1億件の通行履歴を蓄積可能であるため、この場合でも500日間の通行履歴を保存可能である。

4.2 LDBの検索

LDBの検索は標準DBとほぼ同様なWebインターフェースで検索可能である(図6)。検索性能は検索結果数にも依存するが、結果が数百件程度のインシデント検索であれば数秒で結果を表示する。仮に、1日の想定最大通行数である20万件すべてにヒットするような条件の通行履歴検索でも10秒程度で応答するように性能を担保している。

また、MELSAFETY-GをWeb化したため、複数のクライアントからLDBの履歴検索が実行されることも考えられる。

大容量ログの検索はCPU(Central Processing Unit)やメモリなどのリソースを消費する。システム全体の性能を担保するため、同時実行を1インスタンスに制限するよう実装上の工夫をしている。

5. む す び

三菱統合ビルセキュリティシステムのWeb化とその関連機能／技術について述べた。Web化によって操作端末

表3. MELSAFETY-G Webで蓄積可能な最大履歴件数

履歴名称	標準DB	LDB
通行履歴	100万件	1億件
警報履歴	20万件	1,000万件
状態履歴	20万件	1,000万件
総合履歴	100万件	1,000万件
操作履歴	20万件	1,000万件
HIS操作履歴	20万件	1,000万件

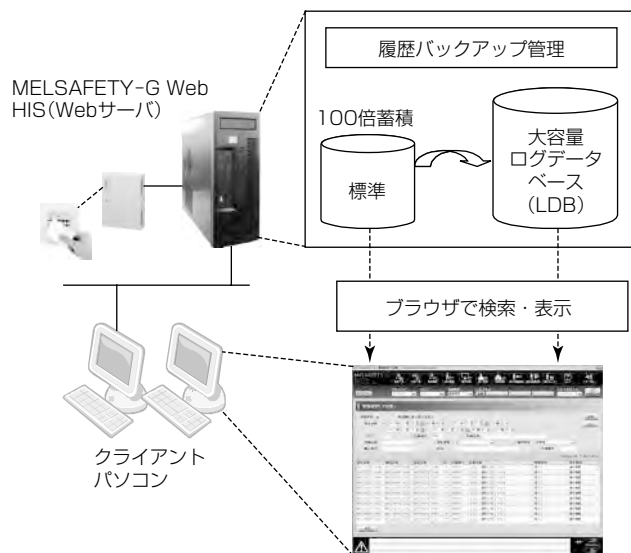


図6. MELSAFETY-G Webの大容量ログデータベース

の複数台化、クライアントソフトウェアのインストール不要化、ユーザーインターフェース向上など、機能や利便性が大幅に向上した。またDIGUARD NETもWebに対応し、入退室管理と映像監視をシームレスに連携させた統合セキュリティシステムの構築を可能にした。さらに、通行履歴等の履歴蓄積件数の大容量化にも対応し、監査や内部統制などの要求にも応えられるようにした。

今後も、使用用途の多様化や客先ニーズの多様化に対応し、システム機能の拡充を図っていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 藤原秀人, ほか: 三菱統合ビルセキュリティシステム“MELSAFETY-G”のシステム展開, 三菱電機技報, **85**, No. 2, 139~142 (2011)
- (2) 竹田昌弘, ほか: 三菱電機トータルセキュリティソリューション“DIGUARD”, 三菱電機技報, **82**, No. 4, 245~248 (2008)
- (3) 三浦健次郎, ほか: セキュリティ構築プラットフォーム“DIGUARD NET”, 三菱電機技報, **82**, No. 4, 249~254 (2008)
- (4) 中村隆顕, ほか: 大規模ログデータベースの実現, 第68回情報処理学会全国大会講演論文集, 1D-2, 29~30 (2006)

有機EL方式大型映像表示装置

切通 聡* 落合俊文*
 原 善一郎** 奥村貴典***
 森部幹人*

Large Size Display with Organic Electro-Luminescence

Satoru Kiridoshi, Zenichiro Hara, Mikihiro Moribe, Toshifumi Ochiai, Takanori Okumura

要 旨

三菱電機の大型映像表示装置“オーロラビジョン”は、1980年の初号機納入以来、国内外のスタジアムや公営競技場等を中心に納入実績を重ねてきた。現在、ほとんどの大型表示装置の表示デバイスにはLED (Light Emitting Diode) が使用されているが、LEDの世界的な普及に伴い、コスト競争が激しくなっている。一方、このような大型表示装置は、スタジアムや公営競技場だけではなく、商業施設のオープンスペースや駅のホーム等、比較的視距離に近い場所でも使用されてきており、画像の高精細化、すなわち表示デバイスの高解像度化が求められてきている。表示デバイスにLEDを使用する場合、高解像度化すると、必要なLED数が多くなり、コストが高くなるといった問題がある。

今回、高解像度の大型表示装置を低コストで実現するため、表示デバイスに有機EL (Electro-Luminescence) を用いた有機EL方式大型映像表示装置“オーロラビジョンOLED (Organic Light Emitting Diode)”を開発した。有機ELは面発光で自発光のため、大型表示装置に適用した場合、広い視野角、高コントラストの表示が可能となる。また、一枚の有機ELパネル^(注1)に画素を高密度配置することで、画素あたりのコストが削減され、これを多数配列して一枚の大型表示装置を構成することで、曲面を含む、任意サイズの大型表示装置を実現可能となり、今後の応用範囲の拡大が期待される。

(注1) 有機ELパネルは、東北バイオニア^(株)との共同開発である。



有機EL方式大型映像表示装置 “オーロラビジョンOLED”

2,880枚の有機ELパネルを目地レスで配列して構成しており、サイズは1,920x3,456 (mm) である。

1. ま え が き

当社は、小型の表示ユニットを多数配列して構成する大型表示装置を1980年に実用化し、スタジアムや公営競技場を中心に広く納入してきた。表示デバイスとしては、1995年ころからLEDを配列する方式が登場し、現在では、大型表示装置のほとんどがLED方式である。また、LEDの世界的普及に伴い、世界各国でLED方式の大型表示装置メーカーが生まれてきており、コスト競争が激しくなっている。一方、このような大型表示装置は、スタジアムや公営競技場だけではなく、商業施設のオープンスペースや駅のホーム等、比較的視距離が近い場所でも使用され始めており、画像の高精細化、すなわち表示デバイスの高解像度化が求められてきている。しかし、LED方式は、高解像度化すると、LEDの配列が高密度化して単位面積あたりのコストが高くなるといった問題があり、高解像度の大型表示装置では、有機ELなどの高画素密度の表示パネルを配列する方式が検討されている⁽¹⁾⁽²⁾。一つ一つのLEDを並べていくLED方式に比べ、有機ELパネルは単位面積あたりの製造コストが変わらないため、高解像度領域においてコストパフォーマンスが高い。ただし、有機ELパネルを多数配列した際、多数のパネルを一つの表示デバイスのように見せるためには、パネル間のギャップに起因する目地を目立たなくする目地レス配列が課題となる。

本稿では、大型表示装置に有機ELを用いる場合の課題を明らかにし、その解決方法と適用した実際の製品の概要について述べる。

2. 構成と開発の狙い

2.1 オーロラビジョンの構成

図1に、代表的なオーロラビジョンの構成を示す。スクリーンコントローラ、制御ユニット、表示ユニットから階層的に構成され、多数の表示ユニットからなる大画面表示部をスクリーンと呼ぶ。パソコンやビデオシステム等の映像装置から、SDI(Serial Digital Interface)、DVI(Digital Visual Interface)等の映像信号がスクリーンコントローラに入力され、コントローラ、制御ユニットで処理されたあ

と、その映像信号によって表示ユニット内の駆動回路で表示素子が駆動される。スクリーンの画質は、解像度や輝度、色純度、画面の均一性等とともに、映像信号の処理方法や、スクリーンの構造や表示素子の配置にも依存するが、特に表示素子の性能が大きく影響する。今回、高解像度、高画質のスクリーンを低コストで実現するため、表示素子に有機ELパネルを採用した。

2.2 開発の狙い

主な狙いを次に示す。

(1) 目地レス

通常、多数の有機ELパネルを組み合わせると一つのスクリーンを構成する場合、有機ELパネル間のギャップに起因する目地が発生する。素子構成を検討し、目地が発生しない配列を実現することで、様々な形状、サイズのスクリーンを実現する。

(2) 高解像度

LED方式は、様々な画素ピッチを設計できるが、高解像度用途では、画素ピッチが6mmから4mmへと高画素密度化している。さらに、画素ピッチが3mmになると、必要なLEDの数は4mmピッチ時の約1.8倍になり、コストが大幅に高くなる。今回の開発では、画素ピッチを3mmとし、同等の解像度のLED方式と比べ、大幅なコスト削減を目指す。

(3) 広視野角

有機ELは、薄型の平面表示素子であり広視野角を特長とする。有機ELを用いてスクリーンを構成することで、スクリーンとしても広い視野角を有し、 ± 80 度の角度でも、高い視認性を実現する。

(4) 高コントラスト

有機ELは自発光であることから、非点灯状態で黒表示を行うことができる。さらに、パネル表面に円偏光板を貼ることで外光の反射をなくして黒輝度を抑え、高コントラストを実現する。

(5) 均一な表示

有機ELは、素子部に容量成分を持ち、容量成分のばらつきに起因する表示むらが発生するが、独自の補正を行うことで、均一な表示を実現する。

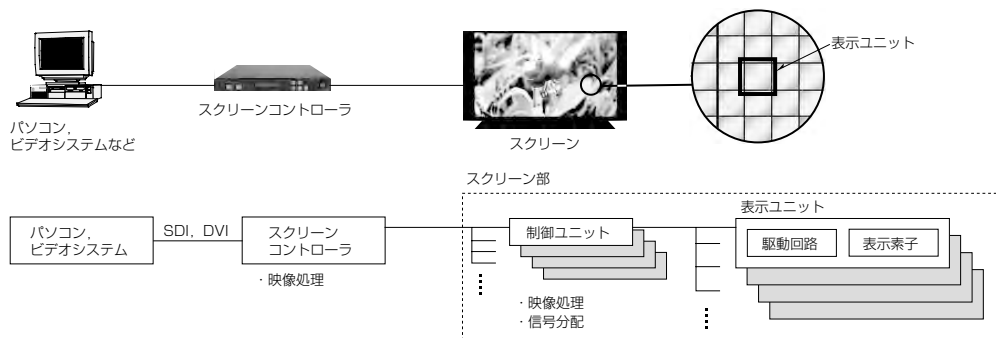


図1. オーロラビジョンの構成

3. 目地レス配列

図2は、有機ELパネルを配列した例であるが、パネル間の目地が目立っている。パネルを配列して一つのスクリーンを構成する場合、この目地をなくす設計が必要となる。

3.1 中央端子取り出し

図3は、画素ピッチ3mmの有機ELパネルを配列した際の、隣接パネルの目地の詳細内訳を表している。パネル内の画素ピッチに比べ、パネル間の画素ピッチの方が広くなり、この画素ピッチの差が目地になる。パネル間の画素ピッチの内訳は、封止部、端子取り出し部、パネル間のクリアランスであり、目地レス配列を実現するためには、パネル間の画素ピッチとパネル内の画素ピッチを等しくする必要がある。これを実現するためには、画素そのものを小さくせざるを得ない(図4)。ただし、画素を小さくすると、パネル面積に対する発光面積、すなわち開口率が低くなり、発光時の輝度の低下、又は輝度の低下を補うための電流密度の増加につながる。

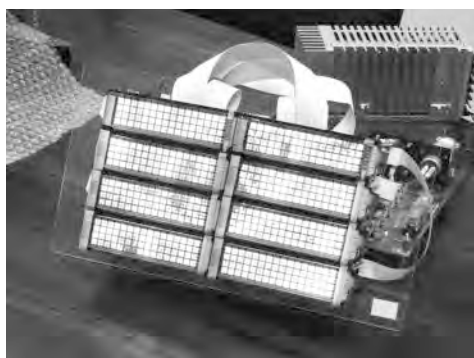


図2. 有機ELパネルの配列

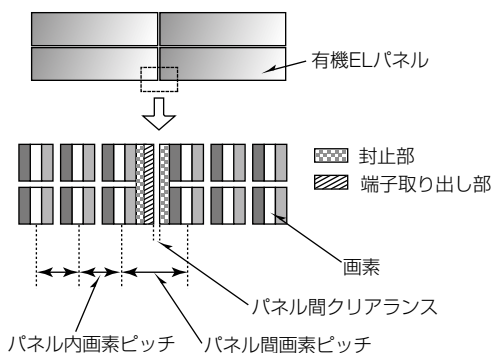


図3. 目地の詳細内訳

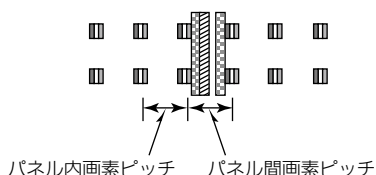


図4. 画素間ピッチを合わせた時の画素構成

今回、目地幅を小さくする方法として、端子取り出し部をパネルの中央に配置することを考案した(図5)。この方法によって、目地部から、端子取り出し部をなくすことができ、開口率を上げることができる(図6)。さらに、開口率を上げるために、図7のように画素面積を拡大し、画素ピッチを不等ピッチ化すること⁽³⁾、中央端子取り出しと合わせて開口率を大幅に改善できる。また、端子取り出し部をパネルの中央に配置することは、駆動電流がパネルの中央から、両端に向かって分流するため、パネルの配線上を流れる電流が低くなり、駆動電圧を低くすることが可能になる。

3.2 狭額縁

図7の画素構成の場合、封止部とパネル間のギャップが目地の要因になる。封止部は、有機EL素子への水分の浸入を防ぐために必要で、試験を繰り返し、必要最低限の幅を割り出した。パネル間のギャップは、パネルの配列方法の最適化や外形寸法精度向上によって最小化した。

3.3 画素配列

不等ピッチに起因する画素間の目地は、適切な視距離では目立たなくなるが、画素構造の妥当性を主観評価実験によって検証した。実験は、画素が縦ストライプの場合と横ストライプ場合の2つの画素構造で、同じ動画と静止画を表示し、画素間のギャップが見える距離と見えるが気にならない距離を被験者17名から聴取した。結果を図8に示す。画素が縦ストライプの方が、画素間のギャップの目立ちは軽減され、気にならない距離は6m程度であった。この結果を最終的な設計に反映した。

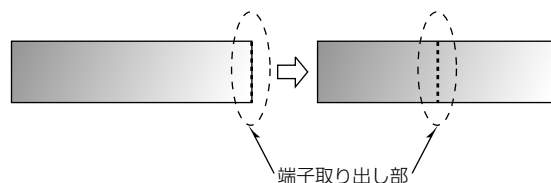


図5. 中央端子取り出しの概念

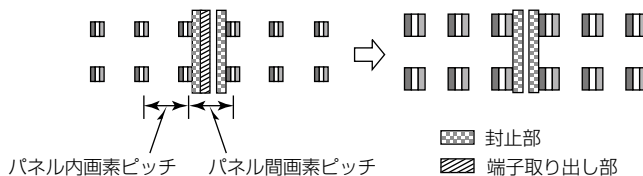


図6. 中央端子取り出し適用時の画素構成

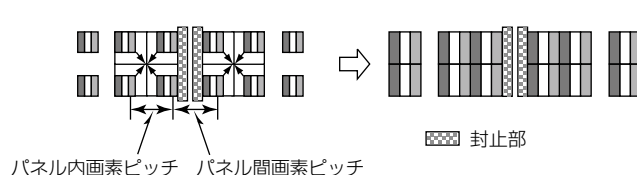


図7. 画素ピッチの不等ピッチ化

◇一般論文◇

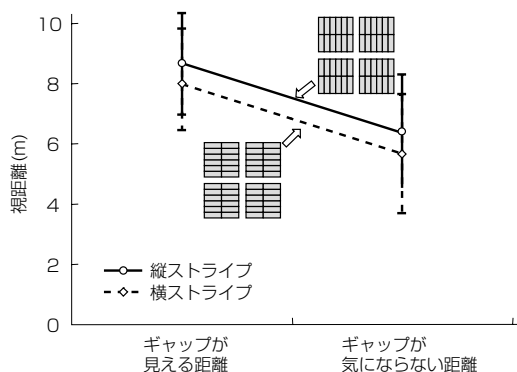


図 8. 主観評価実験

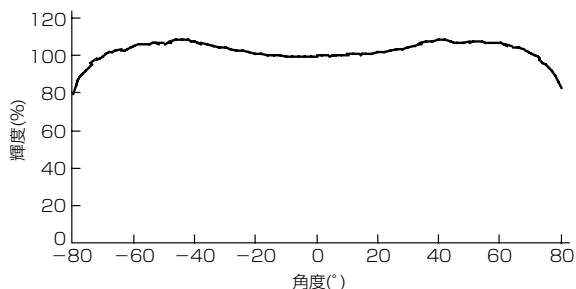


図 9. 視野角特性

4. 補正技術

有機ELは液晶と比較すると応答速度が速いが、LEDには劣り、LEDとは異なる駆動方式をとっている。また、画素単位で配列されるLEDとは異なり、一定の画素数を持ったパネル単位で配列されることから、パネル単位の、周期の大きなばらつきが発生しやすい。

これを解決するため、独自の補正方法を確立した。補正を行うことで、輝度むら、色むらのない均一な表示となる。

5. 装置の特長と仕様

開発したオーロラビジョンOLEDの仕様を次に示す。

(1) 高画質・高解像度

不等ピッチ、中央端子取り出しの考えを適用し、3mmピッチで目地レスなスクリーンを実現した。

(2) 広視野角

図9に有機ELの視野角特性を示す。この特性からオーロラビジョンOLEDは、上下左右とも±80度の角度から見ても良好な表示が得られる。

(3) 高コントラスト

パネル表面に円偏光板を取り付けることで、外光を遮断し、明るい環境でも高いコントラストを維持できる。

(4) スケーラブル

スクリーン部は、有機ELパネル、駆動部からなる表示ユニットを多数配列して構成される。表示ユニットを自由に配列することで、図10のような円筒型や、図11のよう



図10. 円筒型ディスプレイ



このGeo-Cosmosの制作は、日本科学未来館の企画コンセプトに基づき、(株)電通の下、(株)ゴース(画像処理・送出システムなど)、(株)GKテック(球体設計・製作)、当社有機ELディスプレイシステム)を合わせた4社の総合力を結集して完成したものである。

図11. 球状型ディスプレイ

な球状型のスクリーンも実現できる。また、視野角が広いことから、角度の異なる擬似曲面の表示ユニット間の色差が見えず、滑らかな曲面に見える。また、球状型スクリーンの円周部など、極端に角度がついた表示面でも、良好な視認性を維持できる。

6. む す び

オーロラビジョンに有機ELを適用することで、高解像度、高画質のスクリーンを低コストで実現した。この技術によって、有機ELの持つ高画質の表示能力を生かしながら、様々な形状及びサイズの幅広い用途での応用が考えられる。有機ELの材料は、年々改善される傾向にあり、オーロラビジョンOLEDは、今後更なる応用範囲の拡大と性能改善が期待される。

参 考 文 献

- (1) Aston, M.: Design of large-area OLED displays utilizing seamless tiled components, Journal of the SID, 15, No. 8, 535~540 (2007)
- (2) 原 善一郎, ほか: 有機ELを配列した大型表示装置—オーロラビジョンOLED—の開発, 情報処理学会インタラクシオン, 855~860 (2012)
- (3) Hara, Z., et al.: The High Performance Scalable Display with Passive OLEDs, SID 10 DIGEST, 357~360 (2010)

自動車パワートレイン制御パラメータの モデルベース適合技術

北尾武史*

Model-Based Calibration Technology for Automotive Powertrain Control Parameters

Takeshi Kitao

要 旨

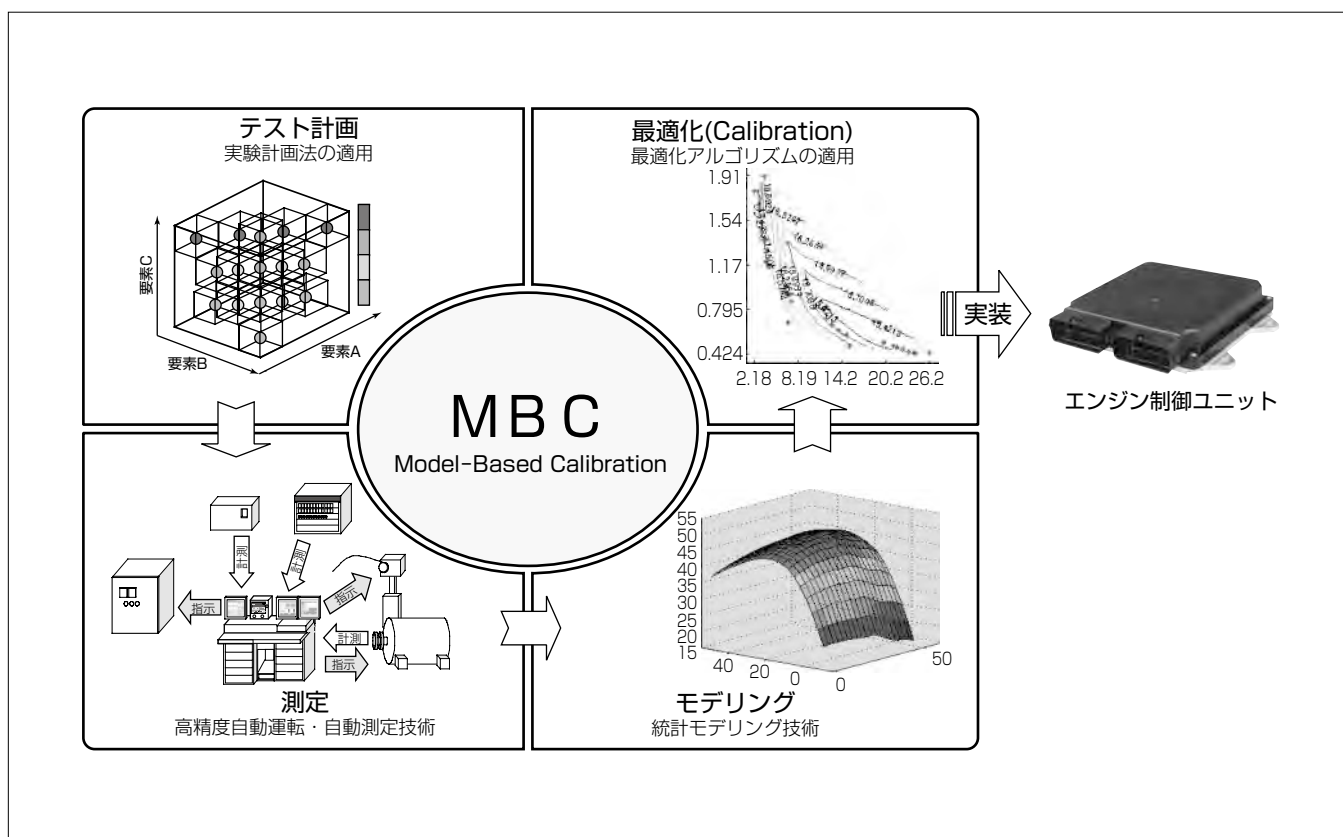
大気汚染や原油の枯渇等の環境課題に対応するため、自動車のパワートレインは高性能・高機能化が図られている。それに伴い、EMS(エンジン制御システム)に搭載される制御仕様も肥大化し続けている。同時にその制御パラメータの適合工数も増大しており、実機を用いてパラメータを変更しながら最適な値を探す方法では、工数と品質のバランスが取れた開発が不可能となりつつある。

このような状況の中で自動車業界では、エンジンをプラントモデルに置き換えて、その上で適合を行うモデルベース適合(Model-Based Calibration:MBC)技術の検討がなされてきた。検討初期のプラントモデルは、基本法則を組み合わせて表現する物理モデルと呼ばれるものを利用して、この制御系を最適化する適合作業に活用可能な精

度を確保したプラントモデルを物理モデルで作成するのは容易ではなく、実用化に至っていなかった。

しかし近年、プラントモデルを実験データに基づいた統計モデルで表現する方法が注目され始め、自動車業界ではスタンダードな方法になりつつある。この方法は、実験データに基づき、対象の特性をモデル化する統計モデル化技術、それを最小限のデータ量で高精度に表現するための周辺技術である実験計画法、高精度データ測定環境及びパラメータの調整を支援する最適化技術で構成される。

本稿では、この統計モデルを用いたMBC技術導入の背景及び概要、そして三菱電機で構築したMBC技術を用いた適合プロセスの改善実証効果について述べる。



モデルベース適合(MBC)技術

従来、実エンジンを用いて行っていたエンジン制御ユニットの制御パラメータ適合を、統計モデルで表現される仮想エンジン上での適合に置き換えることで、品質を悪化させることなく工数の短縮を図り、将来の開発工数増加への対応を実現するためのバーチャル開発手法で、統計モデリング技術を中心に、実験計画法を活用したテスト計画、高精度自動運転・自動計測環境を活用した高精度測定データ収集、最適化アルゴリズムを活用した最適値探索サポートによって実現する。

◇一般論文◇

1. ま え が き

自動車の普及とともに環境課題(大気汚染や原油の枯渇等)への対応や高度な安全性能の確保等が求められ続けており、その要求は年々高まっている。この要求に対応するために自動車の制御は、様々な要素が電子制御化されており、さらに、電子制御デバイスもマイコンの処理速度やROM(Read Only Memory)／RAM(Random Access Memory)の容量を筆頭に、年々進化を続けている。この結果、制御容量は増大し続けており、開発工数が指数関数的に増大している。

開発工数が増大する要因としては、制御要素の増加又は高度化による制御仕様の複雑化、機能検証工数の増大及び制御仕様に存在する制御パラメータの調整工数の増大によるところが大きい。

パラメータ調整工数低減のため、その調整対象を現物からモデルにシフトさせる取組みを行ってきた。しかし、パラメータ調整(適合)は、開発プロセスにおける終盤の工程であり、現物の特性に合わせて最適化することが目的であるため、モデルに対する要求精度が高くなり、実用化が困難であった。

本稿ではこのような背景の中で近年注目されている制御パラメータ適合プロセスの効率化技術であるモデルベース適合(MBC)技術の概要と当社で構築したMBC技術を用いた適合プロセスの改善実証効果について述べる。

2. モデルベース適合

2.1 MBC手法にいたる背景

自動車用パワートレイン制御は、エンジンのコントローラであるエンジン制御システム(Engine Management System:EMS)を中心に周辺システムと協調させることが多いので、ここではEMSを対象とした事例で述べていく。

2.1.1 EMSにおける定常基本制御

EMSは、エンジンの出力を制御することが主な機能である。自動車用エンジンは内燃機関であり、燃料と空気の混合ガスを燃焼させた熱エネルギーを動力として取り出す。燃料噴射量から始まった電子制御化は、点火時期や吸入空気量(電子制御スロットル)、排気ガス再循環(Exhaust Gas Recirculation:EGR)、吸排気弁の可変化(開閉弁角、リフト量)等、年々複雑化している。これらの要素によるエンジンの燃焼性は単一デバイスで一意に決まるものではなく、すべての要素が相互に影響しあう複雑な関係にある。

2.1.2 従来の適合手法の限界

図1に示すとおり、デバイス(入力要素)が増えるとその組合せ(工数)は指数関数的に増加する。このような状況で行う最適な組合せを探す作業(=パラメータ適合)は、真の

最適値を求めるために、すべての組合せ結果に基づいて判断する必要がある、各組合せで実際にエンジンを順次運転しながらデータを収集しなければならない。しかしこれでは製品の開発期間が長くなるので、適度な組合せを選定して評価せざるを得ない。その場合、最適化結果が真の最適値であることの保障ができず、適合品質の低下につながってしまう。このように、制御パラメータの適合エンジニアは相反する品質と開発期間のバランスに常に悩まされてきた。

2.2 課題解決に対するアプローチ

2.2.1 プラントモデル上での適合への転換

この相反する課題を解決するためには従来の手法を大きく転換する必要がある、自動車業界では様々な取組みがなされてきた。その中でも大きな効果が期待されるのがシミュレーション技術を活用する方法である。これは制御対象をプラントモデル化し、そのプラントモデル上で制御パラメータの適合を行うというものである。

しかし、我々が制御対象とするパワートレイン、その中でも特にエンジンの応答特性は非線形であることが多く、この非線形な特性を各種基本法則に基づくモデル(ホワイトボックスモデル、又は物理モデルと呼ばれる)を用いたプラントモデル化は、影響因子の多さから計算量が膨大となることや、物理モデルを構成する理論式には観測困難な因子を含むこと等から容易ではなかった。

一般的に物理モデルは、特定の状態を仮定することによって複雑化する問題を回避しており、細部で現物との相違(=誤差)が生じる。制御パラメータの適合を対象としたプラントモデルとしては、この誤差が許容できなかった。

2.2.2 統計モデルの活用

このような状況のもと近年では、プラントモデルに統計モデルを適用する事例が注目を集めてきている。統計モデルは実験モデルとも呼ばれ、観測結果に基づき入出力の関係を近似式で表す手法である。この観測結果には分離困難な因子も含んでおり、それを基に数式化された統計モデルは物理モデルに比べて現物との誤差を少なくできる特長がある。

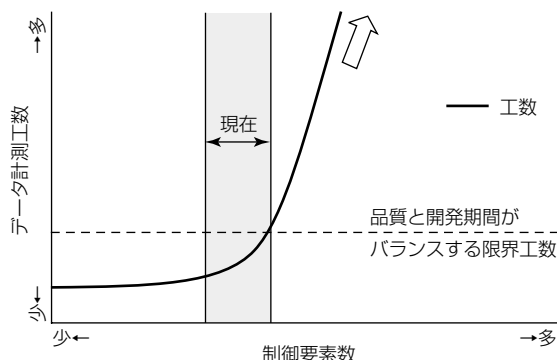


図1. 制御要素数とデータ計測工数の関係

2.3 MBCを構成する要素技術

MBC手法を簡潔に表現すると、プラントモデルを用いた制御パラメータの適合手法のことであり、図2に示すように、統計モデルによるプラントモデル化技術と、そのプラントモデルを少ない工数で高精度に表現するための周辺技術(実験計画法、自動運転・自動計測)、そしてパラメータ最適化支援技術(最適化アルゴリズムの適用)によって構成されている。これらの技術について、次に述べる。

2.3.1 統計モデリング技術

統計モデルは、実験データに基づいて入出力の関係を近似式で表したものであり、適切な近似式の選択が重要となる。対象とするプラント(ここではエンジン)は非線形かつ多入力であることが多く、高次多項式で表現できる事例は少ない。そこでMBC手法では、放射基底関数(Radial Basis Function : RBF)や確率過程モデル(Stochastic Process Model : SPM)等を用いる例が多い。

図3に実験データに基づいて統計モデル化した例を示す。この図で、ドットで示すものが実験データ、面で示すものが統計モデル(関数近似した結果)である。

このモデルの品質が最終的な制御パラメータの適合品質を決定付けるため、モデル生成段階での妥当性検証が非常に重要となる。妥当性は精度とモデルの複雑さで検証する。良いモデルは必要最小限の変数で特性を表現できていることが望ましく、この検証手法を構築することがMBC運用上のポイントであり、ノウハウが必要な部分である。

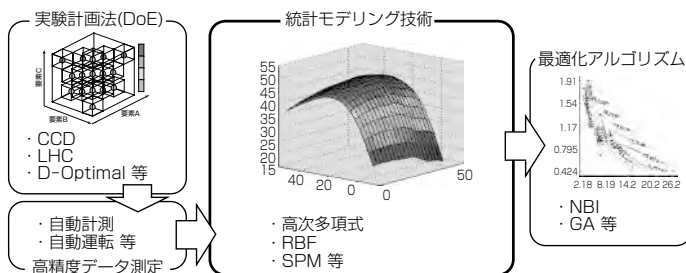


図2. MBC構成要素と処理フロー

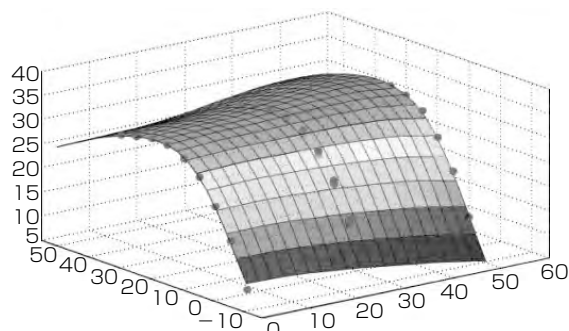


図3. 実験データに基づく統計モデルの例

2.3.2 実験計画法

統計モデルの生成に使用するデータの計測条件を設定するのに、実験計画法(Design of Experiments : DoE)を適用する。

従来の計測は、エンジンの運転状態をすべて網羅しつつすべての組合せを計測する、いわゆる古典的手法の一つであるFull Factorial(Full Gridとも呼ばれる)手法で行っており、制御要素数(=入力因子数)が増加すると計測点数が累乗で増えていく問題があった。MBC手法ではこの問題を克服するために、中心複合計画(Central Composite Design : CCD)やラテン超方格(Latin Hyper Cube : LHC)、D最適化(D-Optimal)等の適用が提唱されており、モデル化手法やモデル対象の特性に合わせて最適な手法を選択する。この実験計画法の適用によって計測段階での工数は、上記従来手法に対して50~80%の削減が可能である。

2.3.3 高精度データ測定

一般論として計測データには誤差が存在するが、この誤差は十分なサンプルが存在する場合には影響が小さくなることが知られている。MBC手法では最低限の計測数とするため、一つの誤差による全体への影響度合いが高まる。そのため可能な限り誤差のない計測環境でデータを収集することが望ましく、それを実現するために次の要素を取り入れている。

- (1) 高精度な計測機器を使用した統計計測制御環境を実現する自動計測設備の適用
- (2) テスト条件の再現性や繰り返し性を実現する自動運転設備の適用

これらの設備を活用した高精度自動運転・自動計測環境を当社姫路製作所に整備した。

2.3.4 最適化アルゴリズム

コンピュータシミュレーションによって従来手法と比較して短時間で特性データの取得が行えるため、従来のエンジンで実際に運転を行いつつ最適な組合せを見つける作業をコンピュータ上での作業に置き換えるだけでも作業時間の短縮につながる。しかもこのような膨大なデータの処理はコンピュータが得意とする作業であり、作業を自動化することによって更に効率化を図ることができる。

この実現に、NBI(Normal Boundary Intersection)法や遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm : GA)等の工学的最適化手法を適用する。これらの最適化手法の中から、目的変数の数や制約条件の状態、又はモデルの傾向に応じて最適な手法を選択する。

実際には、燃料消費率が低く排気ガスも少ない等、目的変数の数は2つ以上あることが多く、さらに、その目的変数の結果はトレードオフの関係にあることが多い。そこで、パレート解と言われる目的変数ごとの最適解と、双方の結果がバランスする組合せを数点(候補)生成し、適合エンジ

◇一般論文◇

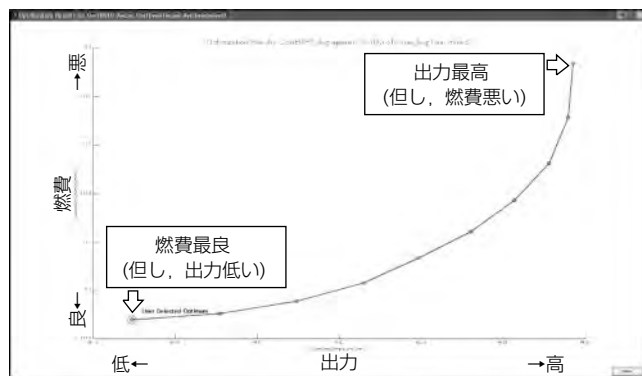


図4. パレート解の例

ニアによって生成された候補からエンジンの性格(味付け)に応じた選択を行うことで効率的に適合ができるように工夫している。図4にパレート解の例を示す。

3. MBC手法による効果

3.1 統計モデル精度の検証結果

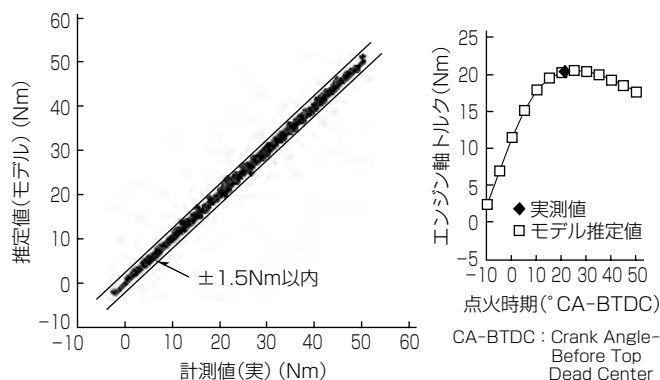
当社が構築したMBC手法でエンジン特性をモデリングした際の結果について述べる。図5(a)は、エンジン軸トルクの計測値(横軸)とモデルの推定値(縦軸)をプロットしたものであり、推定精度の評価ができる。これを見ると、推定誤差は $\pm 1.5\text{Nm}$ 以下と高い精度でモデリングできていることが確認できる。

また、図5(b)は、実験計画法で生成した計測点ではない運転状態での点火時期(横軸)に対するエンジン軸トルク特性(縦軸)を、実測値とモデル推定値でプロットしたものである。この比較から統計モデル生成時に基準とした点以外の領域、すなわちモデルの予測精度を検証することができる。この例ではモデル予測値と実測結果が一致しており、モデルの精度は十分であることが確認できる。

これらの結果から、このモデルは十分有効なモデルであると判断できる。

3.2 MBC技術適用による工数削減効果

この手法による制御パラメータ適合工数の削減効果を図6に示す。入力因子(状態要素と制御要素)を6要素(エンジン回転数、吸入空気量、空燃比、吸気弁開弁角、排気弁開弁角、点火時期)のエンジン基本制御マップを対象とした場合の適合工数(時間)の比較である。従来手法はFull Factorialで行った場合の工数であり、これに比べて今回構築したMBC手法では、データ計測工程で大幅な工数削減効果が得られていることが分かる。



(a) 計測値とモデル推定値 (b) 代表点の特性

図5. モデル精度の検証例

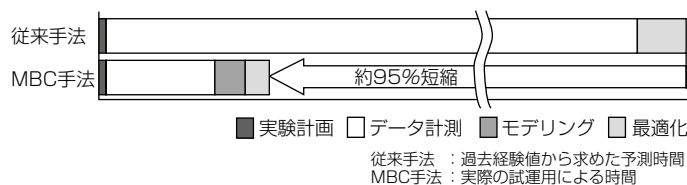


図6. MBCによるパラメータ適合時間削減効果

このように、当社は、高品質な適合結果を短期間で提供できる制御パラメータの適合手法であるMBC技術を構築した。

4. む す び

年々複雑化し、将来的に現実的な工数での開発が困難と予想される自動車パワートレインの制御パラメータ適合を、統計モデルをベースとしたバーチャル開発にシフトして大幅に工数を削減する手法であるMBC技術に対する要素技術の開発めど付けが完了した。

しかしながら現時点のMBC技術は、自動車パワートレイン制御パラメータ適合項目の内の定常基本パラメータの適合を対象としたものであり、適合項目全体のごく一部にとどまっている。また今回開発した定常対応MBC技術自体も当面の工数増加に対応できる見込みが立ったに過ぎず、さらに将来の制御要素増大に向けた改良が必要である。

今後は、現在構築した技術を更に磨き上げつつ新しい技術の適用を模索していくとともに、この技術の適用範囲を広げ、製品の品質を損なうことなく更なる開発効率の改善を図り続けることで、自動車を取り巻く環境要求に応える製品をタイムリーに市場に提供していく。

業務無線機用高出力MOSFETデバイス

森 和人*
丸山洋二**
藤田光***

High Frequency High Power MOSFET for Professional Radio

Kazuhito Mori, Yoji Maruyama, Koichi Fujita

要 旨

業務無線機は、VHF (Very High Frequency) 帯とUHF (Ultra High Frequency) 帯を中心に公共用途、空港施設やイベント会場などの民生用途といったあらゆる場所で利用されており、周波数帯・送信出力電力の仕様は多種多様である。近年TETRA (Terrestrial Trunked Radio) を始めとする通信方式のデジタル化や無線機の小型化、低消費電力化が進み送信段電力増幅用デバイスでも低歪(ひず)み化、高効率化が求められている。

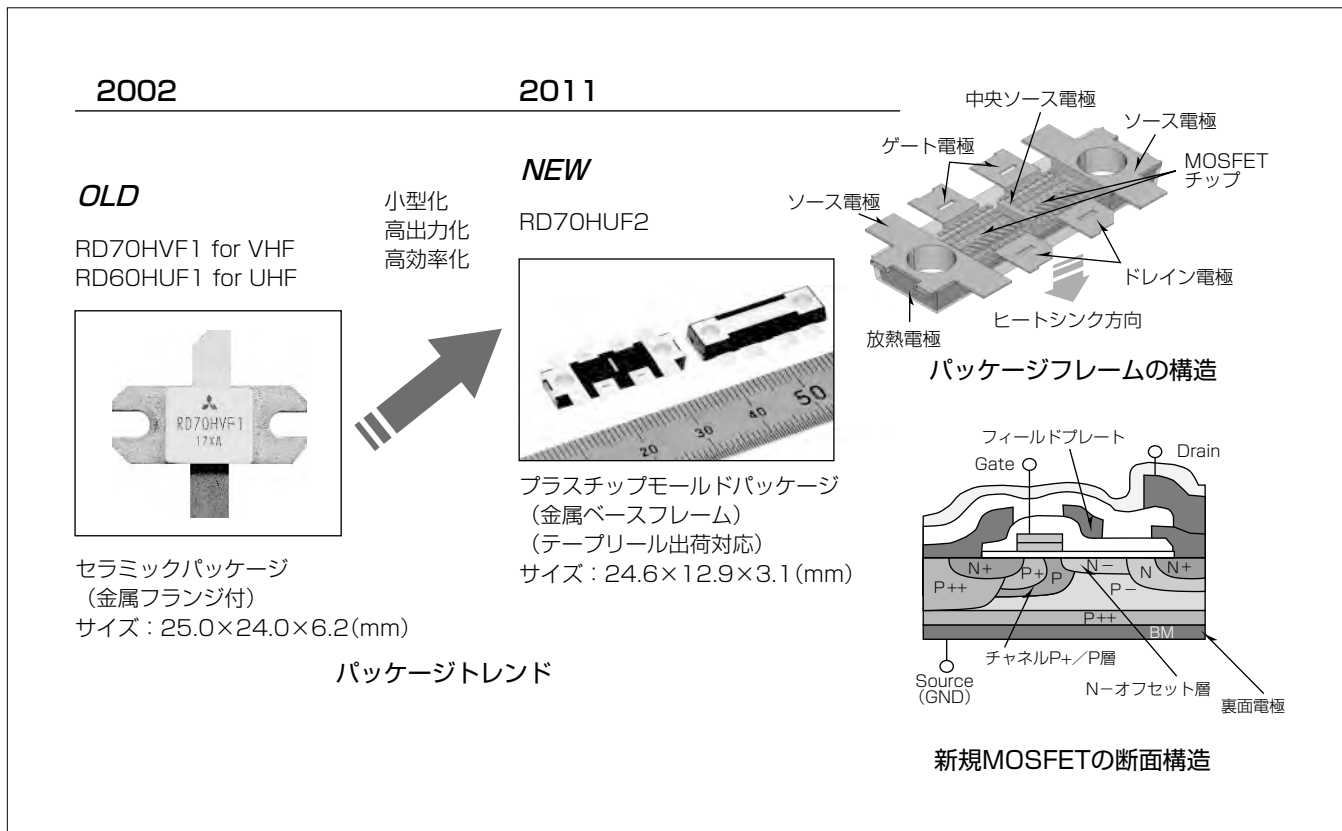
さらに業務無線機に使用される電子部品は表面実装への対応が進んでおり、電力増幅デバイスでも従来のマニュアル実装から表面実装による自動化への対応が要求されている。

三菱電機では、これらの要求に対応するため、車載用業務無線機に搭載する表面実装可能な12.5V動作の高出力MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect

Transistor) “RD70HUF2”を開発した。

当社従来品のパッケージでは、金属フランジとセラミックキャップで形成したパッケージを使用していたが、この製品では、大量生産にも対応できるようにプラスチックモールドパッケージを採用した。モールド構造を採用する上で、高出力MOSFETに必要な放熱性に優れたパッケージフレームを開発し、MOSFETチップについても、新規構造を開発し高周波特性を改善した。

この製品はVHF帯、UHF帯の両周波数で使用可能で、特にUHF帯の周波数530MHz、入力電力5.5Wで、出力電力75W (typ)、ドレイン効率65% (typ)の業界トップレベルの高周波性能を達成した。これら良好な特性によって業務無線機の特性改善に大きく貢献できる。



高出力MOSFETディスクリートのパッケージトレンド(左)と、“RD70HUF2”の内部構造(右上)及びMOSFETの断面構造(右下)

既存品の“RD70HVF1”と“RD60HUF1”は金属フランジとセラミックキャップで形成したパッケージを使用していたが、今回開発の“RD70HUF2”では高出力用モールドパッケージとして新規設計し、小型化を実現した。新規に開発したMOSFETチップを適用することで高周波特性の改善を達成した。顧客に対し小型評価ボードを設計し、無線機プリント基板の増幅回路設計をサポートしている。

1. ま え が き

近年、業務無線でTETRAを始めとする通信方式のデジタル化や無線機の小型化、低消費電力化が進み、送信段電力増幅用デバイスでも低歪み化、高電力効率化が求められている。

また、業務無線機に使用される電子部品は生産自動化のため、表面実装への対応が進んでおり、送信電力増幅デバイスについても、マニュアル実装から表面実装による自動化への対応が強まっている。

さらに、これまで当社はVHF帯とUHF帯で個別の高出力MOSFETデバイスを供給して来たが、部品共通化のため両周波数帯で使用できるデバイスが要求されている。

当社では、これらの要求に対応するため、車載用業務無線機に搭載する表面実装可能な12.5V動作の高出力MOSFETのディスクリートデバイス“RD70HUF2”の開発を行い、今年から量産を開始した。

開発課題は、大きな発熱を伴う高出力デバイスが基板に表面実装されていても無線機筐体(きょうたい)のヒートシンクから十分に放熱できるパッケージ構造の開発、デジタル業務無線機への対応やVHF帯とUHF帯の両周波数帯に使用可能なトランジスタ構造の開発であった。

本稿では、これらの課題を解決したデバイスパッケージの構造とトランジスタの構造及び、その高周波基本特性について述べる。

2. デバイスパッケージの構造

従来の高出力MOSFETでは金属フランジとセラミックキャップで形成したパッケージが使用されていたが、RD70HUF2では、無線機の生産自動化に対応するため表面実装が可能なプラスチックモールドパッケージを採用した。図1に外形写真を、図2にパッケージの内部構造を示す。

デバイスが基板に表面実装されていても無線機筐体のヒートシンクから放熱できるパッケージフレームを新規に開発した。

このパッケージのベースフレームは薄板のソース電極とMOSFETチップをダイボンドする厚板の放熱電極が一体

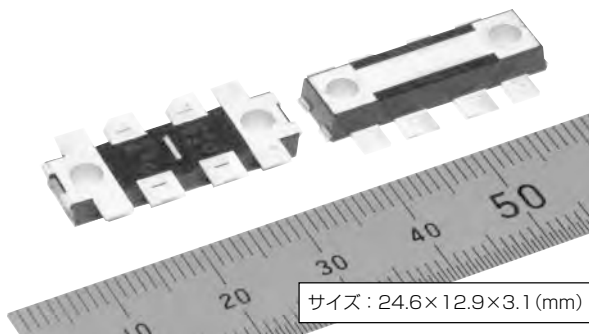


図1. RD70HUF2の外形

形成されている。そのためこのベースフレームは部分的に厚みが異なっているため一般的に用いられるプレス製法でこれを得ることが難しく、今回は金属粉末の焼結法を用いることで一体成形を実現した。

図3にこのデバイスの放熱の手法を示す。デバイス上面に設けたソース電極とゲート・ドレイン電極を、無線機のプリント基板への表面実装用電極として使用する。これらの電極は表面実装によって電気的に無線機のプリント基板内の回路に接続される。他方、デバイス底面に設けた放熱電極を無線機筐体のヒートシンクに密着させることで、MOSFETチップで発生する熱をヒートシンクに放出する。

3. トランジスタの構造

当社では、高出力、高効率、高破壊耐量、そして低歪み化に向けてシリコン基板を用いたMOSFETの構造開発を続けており⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、このデバイスにはこれらで培った技術を集積した新規MOSFETチップを搭載した。図4に新規MOSFETの断面構造を示す。

今回のMOSFETは、ウエハ薄板化とウエハ裏面電極の改良によって熱抵抗と接地抵抗を低減し、高出力化、高効率化を実現した。またチャネルP+／P層とドレインN-オフセット層の不純物濃度と、フィールドプレートの採用によって歪みの原因となるドレインコンダクタンスと出力容量、帰還容量を低減し、低歪み化を実現した。

さらにデバイスを広帯域で使用するためUHF帯での高利得とVHF帯での高負荷変動耐量を同時に確保する必要

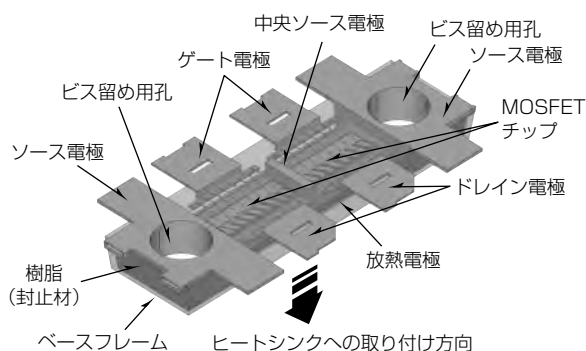


図2. パッケージフレームの構造

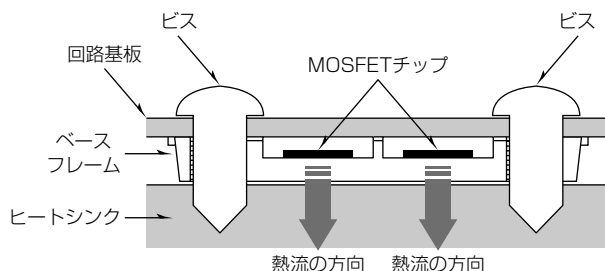


図3. デバイスの放熱方法

がある。このチップではゲート長短縮で利得を改善し、同時にドレインN層とシリコン基板のP層をダイオードに用い反射電力をチップ裏面に逃がすことで高負荷変動耐量を実現した。

図5にMOSFETチップの外形を示す。放熱性向上のためMOSFETの動作領域を32セルに分割した。RD70HUF2には2チップを並列使用する。これらのMOSFET構造改善効果によって、従来品を上回る高周波特性を実現した。

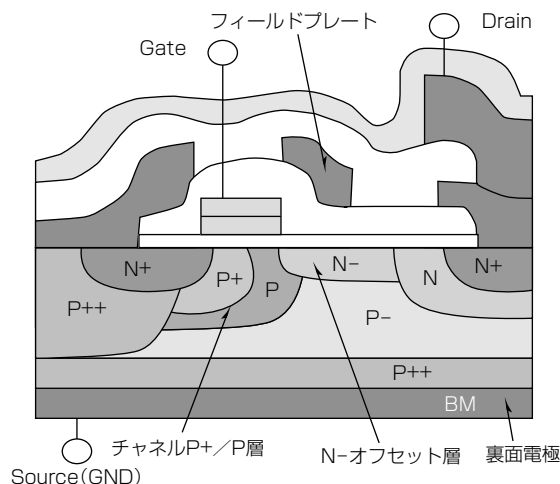


図4. MOSFETの断面構造

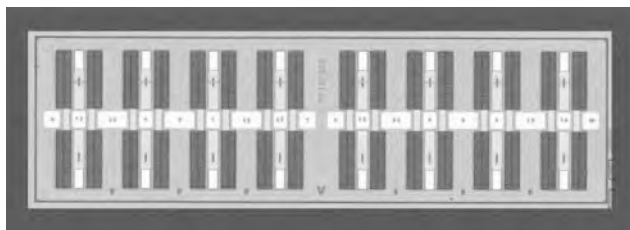


図5. MOSFETチップの外形

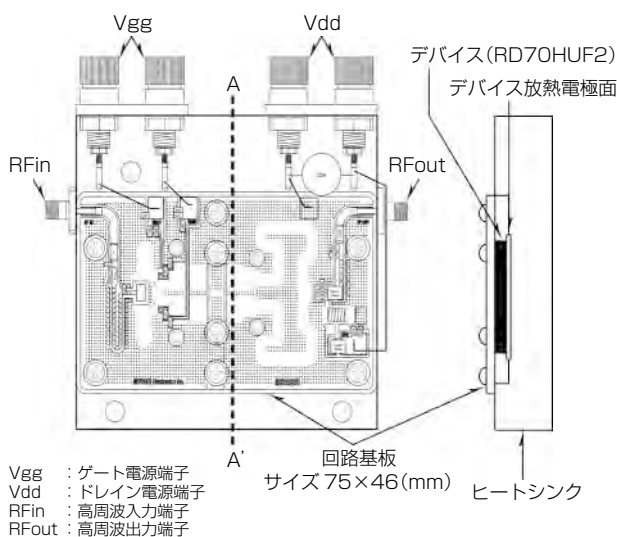


図6. デバイス拡販用評価ボード

4. デバイス評価ボード

無線機送信段の電力増幅器でMOSFETデバイスの性能を最大限に引き出すためには、回路設計及び実装方法が重要なポイントとなる。

RD70HUF2を用いた回路設計、その実装をサポートするために各種無線機の用途に対応した評価ボードを開発した。図6にそのデバイス評価ボードの一例を示す。

この評価ボードは、増幅回路を構成する、このデバイス1個を含む部品群が表面実装されたプリント基板をヒートシンクに取り付けた電力増幅器である。電源端子、各コネクタには容易に評価可能な汎用性のある部品を用いている。

さらに、この評価ボードのプリント基板のサイズは、当社従来品の評価用プリント基板に比べて約80%小型化しており、これを無線機の増幅回路へ適用することで、顧客の設計時間の短縮に貢献できる。

5. 高周波基本特性

表1と表2にこのデバイスの高周波基本特性を当社従来製品と比較して示す。このデバイスは先に述べた評価ボードに実装したときの高周波特性である。VHF帯では従来製品に比べて約10W飽和電力が向上し、UHF帯では、電力利得が約4dB向上している。さらに、従来製品に比べてドレイン効率が改善されており、同電力設定で5%以上改善している。

図7にはVHF帯とUHF帯での周波数依存性を示す。VHF帯では、136~174MHzの帯域整合状態で入力電力4.0W時、当帯域内で80W以上の出力電力が得られている。UHF帯では、450~520MHzの帯域整合状態で入力電力5.5W時、当帯域内で75W以上の出力電力が得られ、ドレイン効率も63%以上を達成している。特に、530MHzでの出力電力75W (typ)、ドレイン効率65% (typ)の高周波特性は業界トップレベルの性能である。

図8にはUHF帯業務無線機のデジタル変調信号を用いた電力利得と隣接チャネル漏洩(ろうえい)電力比(Adja-

表1. VHF帯における当社従来製品との比較

項目	条件	従来製品	開発品(今回)
VHF評価周波数	175MHz	RD70HVF1	RD70HUF2
飽和電力	4 W入力時	83W	93W
ドレイン効率	4 W入力時	58%	67%

表2. UHF帯における当社従来製品との比較

項目	条件	従来製品	開発品(今回)
UHF評価周波数	520MHz	RD60HUF1	RD70HUF2
電力利得	70W出力時	8 dB	12dB
ドレイン効率	70W出力時	58%	63%

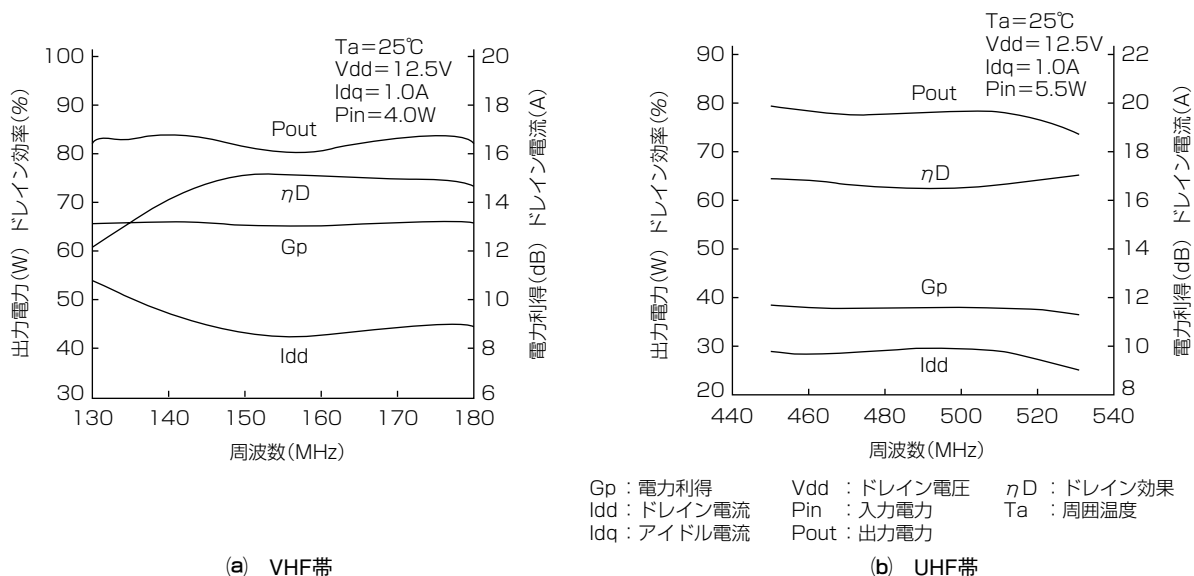


図7. 業務無線機VHF帯/UHF帯に整合した高周波特性

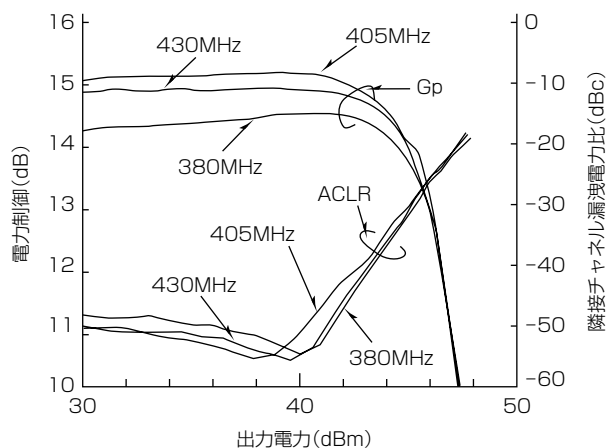


図8. 電力利得・ACLR特性測定結果

cent Channel Leakage Ratio: ACLR)の出力電力依存性を示す。線形動作から3dB利得圧縮時の出力電力40dBmで電力利得は15dB, ACLRは-50dBcと良好な特性が得られている。これらの良好な特性によって業務用デジタル無線機の特性改善に大きく貢献できる。

6. む す び

無線機のプリント基板への表面実装が可能で無線機筐体のヒートシンクで放熱できる高出力MOSFETデバイス“RD70HUF2”を開発した。VHF帯・UHF帯両帯域での使用が可能であり、周波数530MHzでは入力電力5.5Wで、出力電力75W (typ), ドレイン効率65% (typ)と業界トップレベルの特性を得ている。さらに、デジタル方式に対応した低歪み化を実現しており、車載用業務無線機の低コスト化、高性能化に貢献できるものと考えている。

参 考 文 献

- (1) 追田信也, ほか: RF-MOSFETデバイスシミュレーション技術, 三菱電機技報, **70**, No.2, 141~184 (1996)
- (2) 藤田光一, ほか: 高周波高出力RFMOSFET, 三菱電機技報, **74**, No.6, 397~400 (2000)
- (3) 藤田光一, ほか: 基地局用 LDMOSFET のドレイン効率改善, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2003年 エレクトロニクス(2), 69 (2003)