巻頭論文

光通信技術とサービスの展望

宮崎守泰*

View of Optical Communication Technology and Service

Moriyasu Miyazaki

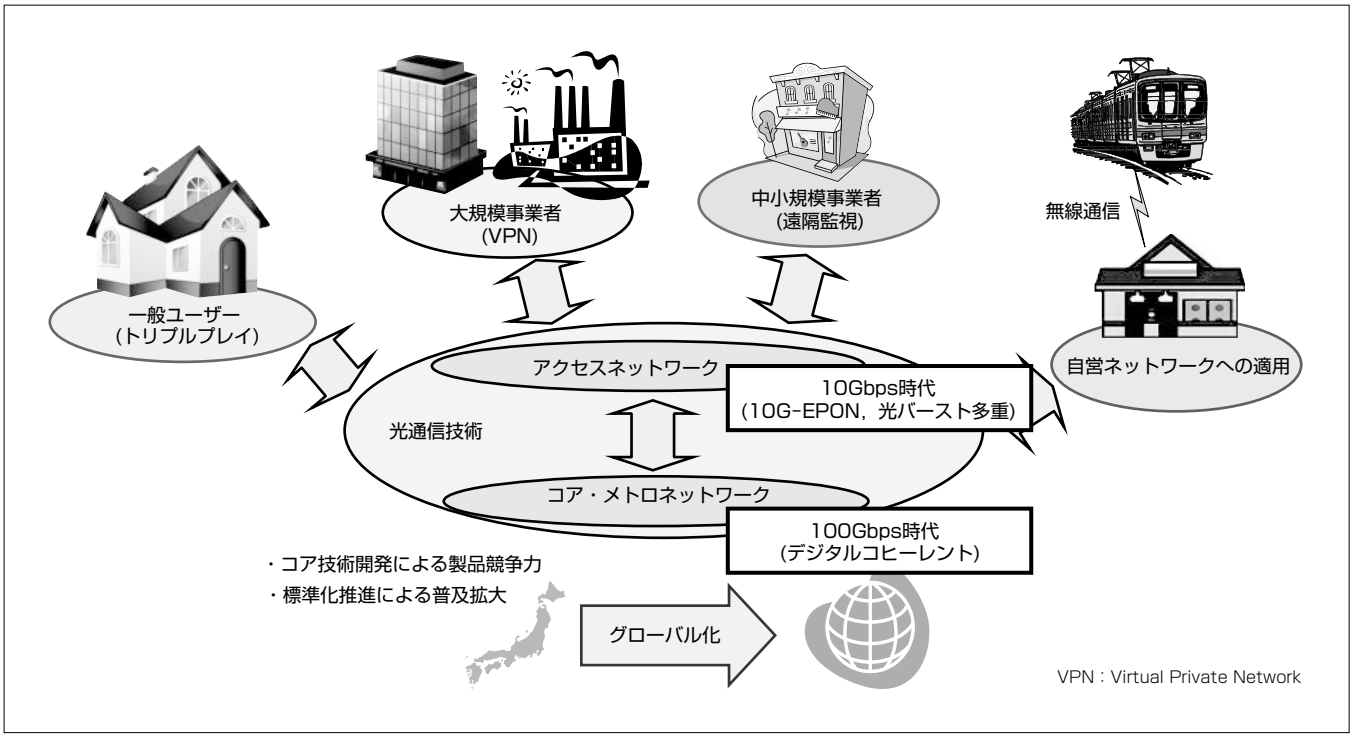
要　旨

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。

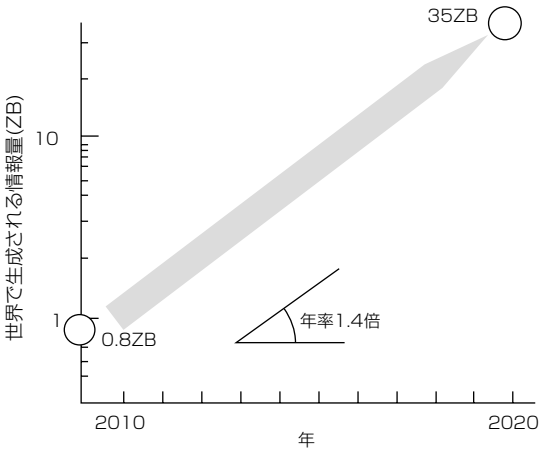
*情報技術総合研究所　光電波・通信技術部門統轄(工博)

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＝10^{21}バイト）になると言われている。これらを支えるために光通信技術の重要性が増している。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。



出典：IDC 2011 Digital Universe study

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。

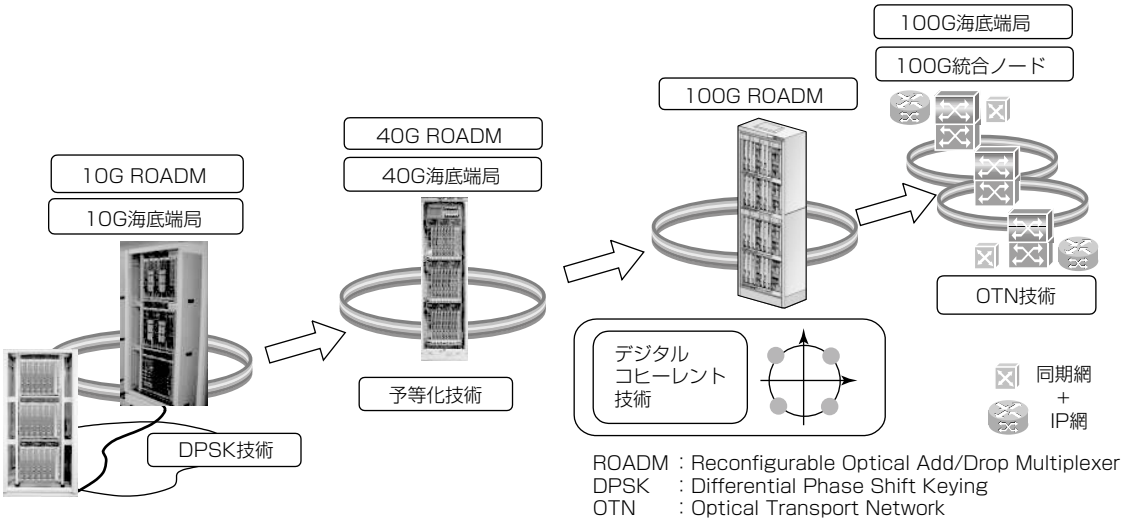


図2．コア・メトロネットワークにおける大容量化と技術進歩

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 G.EPON)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で展開されると考えられる。

(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⑾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⑿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。

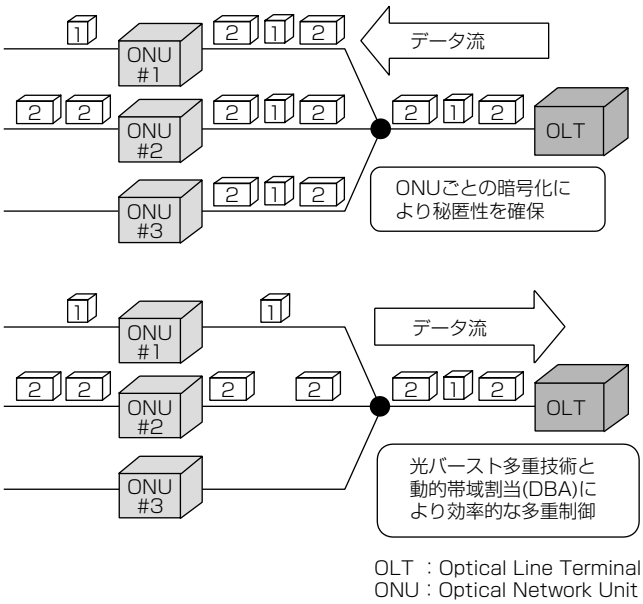


図3．PONの構成と基本動作

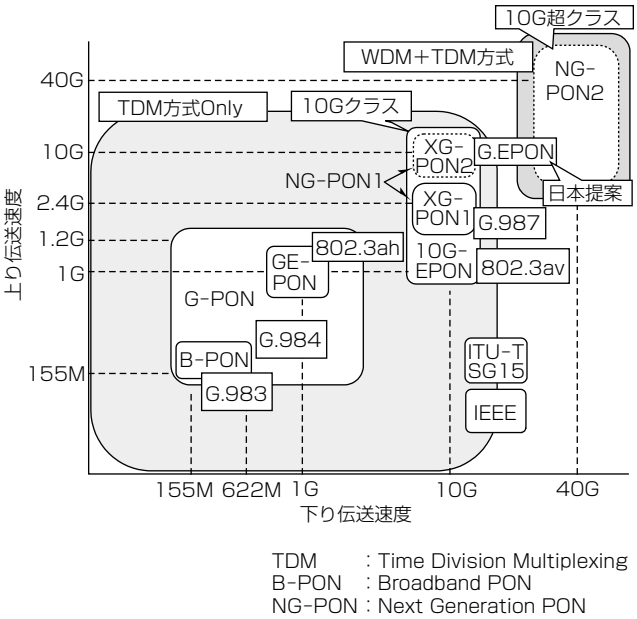


図4．PONの標準化動向

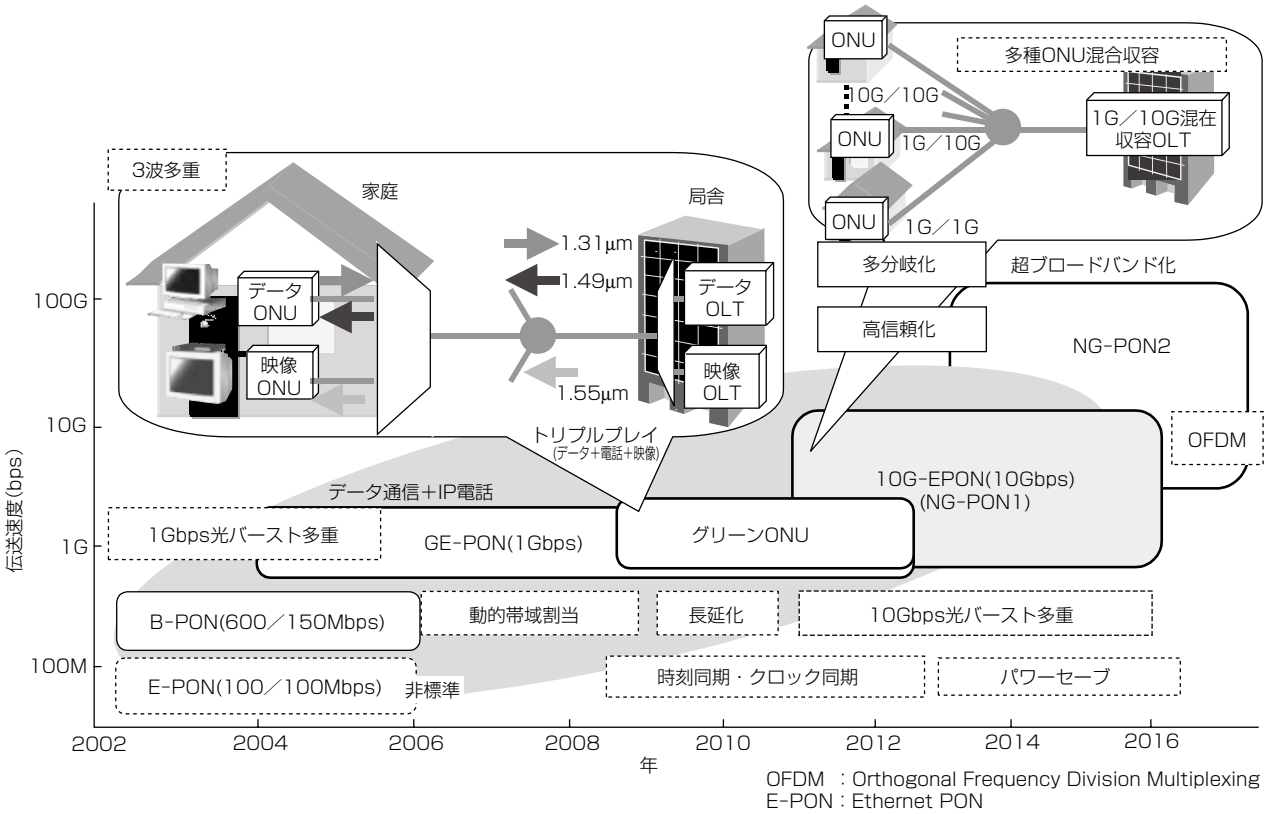


図5．PONの主要技術開発ロードマップ

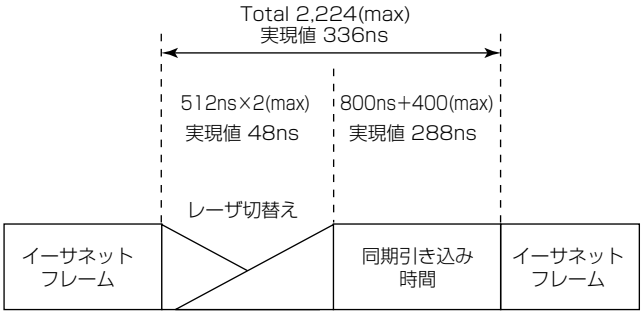


図6．10G-EPONにおけるバーストオーバーヘッドの性能

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）と事業者向けの高速専用線，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，フォトニ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）