

# 高速光通信トレンドの現況

By Stephen Montgomery, ElectroniCast

通信サービス需要は、地域的にも世界的にも将来にわたり成長が予想されている。このため、通信サービス市場およびネットワーク、装置、コンポーネント、デバイス、ソフトウェアをサポートする市場が強力に成長すると見られている。また、機能的にも技術的にも通信サービスの代替は多く、コストが低いソリューションが市場を支配すると考えられる。よって、投資家は、最もコストが低いソリューションが何であるかに目を向け、そのソリューションの中で最強のベンダをサポートすることが重要である。

20世紀前半は、銅線が通信のキングであった。その後、陸上通信はマイクロエーブ接続が長距離銅線通信と激しく競合するようになっていった。大陸間の銅線通信にも陸上のマイクロエーブとの競合が増え、70年代半ばから宇宙に打ち上げられた通信衛星を介して海底の銅線通信に取って代わった。まず、0.2~2Mbps(LED送信器)で伝送した。80年代始めには46Mbpsになり、1980年代にはSONET/SDH標準が決まった。SONET/SDHは、経済的な観点からデータレートは、155Mbps、620Mbps、2.5Gbps、10Gbpsとなった。今、次のステップとして40Gbps、160Gbpsなどが期待されているが、もちろん、100Gbpsについて多くの議論がなされている。

## 100Gbps伝送

2007年、ベライゾンが米国フロリダ州、タンパとマイアミ間で312マイルの光ネットワーク、現用ラインを使用して100Gbps伝送のフィールド試験を行った。テストは、10Gbps光ネットワークを100Gbpsにアップグレードできることを示すものだった。同社によると、10Gbpsのライブトラフィックを運んでいるベライゾンの光システムでFiOS TVのライブビデオ伝送に成功した。100Gbpsを伝送する方法としては2つある。1つは、独立した10の10Gbps波長を使用して、トータルで100Gbpsとすることだ。ベライゾンは、もう一つの方法、一波長で100Gbpsシングルチャネルを実証した。ベライゾンによると、このトライアルは、現在の使用できるようになっている40Gbpsから100Gbpsへの移行が、10Gbpsから40Gbpsへの移行よりも極めて早いことを示す狙いがある。

OIFは、昨年、SERDESフレーマインタフェース、SFI-Xプロジェクトを発表した。ラインレート40Gbpsから100Gbpsおよびそれ以上の光モジュールからフレー

マデバイスへのスケラビリティを定義することにある。SFI-Xプロジェクトは、OIFのCEI (Common Electrical Interface) を介して、高速データ伝送仕様に重要な貢献をなすものと考えられる。

2007年、IEEEは、100Gbpsと40GbpsEthernet通信標準を決めるIEEE802.3baを正式に設立した。100GbEと40GbEの仕様は2010年末までには決まりそうだ。相互接続テストがそれに続くものと考えられる。100GbEリンクはマルチ・トランスポートレーンを必要とすることになるが、チャネル・アーキテクチャはまだ定まっていない。標準では、4×25Gbpsか10×10Gbpsのいずれかになりそうだが、というのは100Gbpsシングルレーンは、今日の技術では実現の可能性がないからだ。光と電気の物理層の仕様が決められると考えられる。アジレント・テクノロジーによると、Ethernetは40Gbps OC-768SONETにマッピングされる。

## 160Gbpsを実現するチップセット

IBMの技術者は、2007年に160Gbps速

度に達する光トランシーバチップセットのプロトタイプを発表した。IBMによると、映画、テレビショー、音楽や写真などのダウンロード時に伝送されるデータ量のために、接続帯域とスピードの増加要求が高まる。コンポーネントをワンパッケージに縮小して集積し、標準のローコストの量産チップ製造技術で生産することにより、IBMは幅広く使われる光接続を実現できることになる。

チップセットでこの新しい集積レベルを達成するためにIBMの研究者は、現在のCMOS技術にドライバー付の光トランシーバとレシーバICを実現した。これは、現在、ほとんどのチップに使用されている標準的な量産・ローコスト技術と同じものである。研究者達は、わずか3.25×5.25mmサイズのパッケージで、このICとその他の必要となる光コンポーネントをInPやGaAsなどの材料で実現し、集積した。

## 14Tbps光伝送

NTTは、数年前に160kmのファイバで14Tbpsの超大容量光伝送の実証に成功し

たと発表した。14Tbps (111Gbps×140ch) は、世界最大の伝送容量だった。

現在のコア光ネットワークは、約1Tbpsの光伝送容量を持っている。10Gbps/ch波長多重(WDM)をベースに、約4THz帯域の光増幅器を使用している。NTTの実験ではCSRZ-DQPSK変調フォーマットが用いられた。100GHzチャネルスペーシングで70波が、CSRZ-DQPSK変調フォーマットで変調された後、多重されて7THz帯域で増幅された。また、各111Gbps信号はチャネル数が倍の140になるように偏光分割多重(PDM)されている。これによってトータルで14Tbpsの伝送容量を実現した。160kmの伝送は、これらの信号を新開発の増幅器で増幅することによって達成された。

NTTは、長距離伝送でFECバイトとOTNバイトを加えた100Gbps信号の伝送が可能であることを初めて示した。これにより、10Tbps以上の大容量光ネットワークの建設が可能になる。

## 最大の課題は分散

10Gbpsから40Gbpsにアップグレードしようとする、恐らく波長分散と偏波モード分散の管理が最大の課題になる。10Gbpsから40Gbpsに、データレートが4倍になると、PMDが4倍、波長分散が16倍増加する。分散によってパルスが広がり、大きな分散ではパルストレインの中で、パルスのエッジが隣接パルスにまで広がって、ビットエラーとなる。

2つの直交する要素を利用するパルスフォーマットでは、信号エネルギーはファイバ内の光波長で進行していく。しかし、PMDは偏波によってエネルギーの進む速度が異なる効果を指しており、これが偏波モード分散だ。

## 40Gbpsで重要となる補償技術

10Gbpsの信号伝送、初期のネットワーク導入で必要とされていた数百kmの長距離では、PMDは主要な問題となるほど大きな値ではなかった。しかし、波長分散(CD)は10Gbpsでも主要な問題であり、ロングホールでは波長分散の補償(キャンセル)が必要となる。初期の10Gbpsロングホールリンクには、高い負のスロープ補償ファイバのコイル/モジュールをプラグインする「力づく」の波長分散補償が導入されている。これによって波長分散は、ほぼゼロにすることができる。しかし、こうしたモジュールは補償スパンの20%の長さのファイバでロスが高くなるため、好ましくないと考えられている。つまり、ロスを補償するためには、インラインアンプが必要となると高くつくからだ。また、サイズも大きい。10Gbpsロングホール用の第2世代のCD補償は、特に海底ケーブルでは、負の分散を持つファイバをトランクラインのファイバとインライン融着接続して、ロスの増加を通常のSMFとDCFとのロスの違い程度に抑えている。しかし、様々な理由でこの技術のみを長距離、長距離40Gbpsラインに使用するのは実用的ではないようだ。

## 40Gbps用のファイバ

DWDM技術が現れ、10Gbps導入が期待されるようになるとファイバベンダは、ファイバの設計を改良して10GbpsでのPMDとCDを大幅に下げた。1995-2001年に敷設されたこのようなファイバは40GbpsPMDやCD補償に適している。海底ケーブルや長距離幹線系ではこの種のファイバが導入ファイバの70~80%を占める。規制下にあるメトロおよび長距

離幹線系では、一般に現用ファイバの半分以上は1995年以前に敷設されたものであり、40Gbps伝送には対応していないようだ。CDやPMDに関して、SMFの品質向上は進行中であり、様々な分散補償製品が開発されつつある。

長距離ネットワーク、地域系、世界規模のネットワークは発展してメッシュ構成になろうとしている。これは、代替パスで柔軟でダイナミックなルーティングをサポートするものだ。そのようなトポロジーでは、使用されるすべてのリンクでコンパチビリティ(互換性)が必要となる。ファイバネットワークの現状のトレンドは、使用スペクトラム範囲を広げ、チャンネルを詰め込む傾向にあるため、40Gbpsへのアップグレードには課題が多い。波長間隔を詰めるとパルス間隔が狭くなり、パルスの広がり制御が厳しくなる。使用するスペクトラムセグメントを広げると、固定のネガティブDCFによる波長分散の補償が難しくなる。というのは、他の点では同じでも分散はスペクトラムレンジに応じて増えるからだ。

NECは、40Gbps光伝送システムを容易にする信号整形用の大規模集積回路(LSI)の開発に成功した。NECは同LSIの信号歪補償能力の評価を終えている。

それによると、40Gbpsのデータレートでエラーフリー最大伝送距離が、既存のファイバインフラをそのままにして、少なくとも倍になり、40Gbps伝送システムが経済的に実現可能に近づいた。新しいLSIにより、既存の10Gbpsベースのネットワークで40Gbps伝送システムの商用化が可能となる。また、新しいLSIはWDMシステムのハードウェアのサイズ縮小にも貢献する。