



アクセス系ネットワークの 光インタフェース標準化動向

かに じゅんいち
可児 淳一

NTTアクセスサービスシステム研究所

光ブロードバンドサービスの本格的な普及やイーサネットの広域化に伴い、これらを支える新しい光インタフェース規定の標準化も活発に行われています。光インタフェース規定とは、光通信システムの物理層の規定で、光信号の送信条件や受信条件、送信・受信間に適用できる光ファイバ網の条件などを定めたものです。ここでは、アクセス系のネットワークに適用する光インタフェースに焦点を絞り、その標準化動向を、ITU-Tの勧告を中心に紹介します。

アクセス系のネットワーク

お客さま宅から通信事業者ビルまでの数kmから数10 km程度の通信ネットワークは、加入者アクセスネットワーク（またはアクセスネットワーク）と呼ばれます。ツイストペアケーブル（電話線）の代わりに光ファイバケーブルを適用した光加入者アクセスネットワークが本格的に普及し始め、Bフレットをはじめとするブロードバンドアクセスサービスの発展を支えています。

また、数kmから数10 kmの範囲における企業のビル間接続やデータセンタ間接続、大学のキャンパス内・キャンパス間接続を提供するネットワークは、メトロアクセスネットワークと呼ばれます。複数の地点にあるイーサネットスイッチ等の機器を光ファイバケーブルで接続し、大容量の光ネットワークを構築することが一般的になっています。

ここではこのようなアクセス系のネッ

トワーク（加入者アクセスネットワークとメトロアクセスネットワーク）において、装置間の接続性を得るための土台ともいえる光インタフェース規定に焦点を絞り、標準化動向を紹介します。

ITU-T SG15における検討体制

テレコム系の国際標準化組織であるITU-T（International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector）では、SG（Study Group）15において「光およびその他のトランスポートネットワーク基盤」の標準化に取り組んでおり、光インタフェースの検討もここで行われています⁽¹⁾。SG15はさらに14の課題（Q: Question）に分かれて技術検討を進めていますが、このうち、Q.2が「アクセス網における光システム」という課題名で、光インタフェース規定を含む光加入者アクセスシステム全体の検討を行っています。また、Q.6が「陸上伝達網における光システムの特徴」という課題名で、加入者アクセスネットワークを除いた陸上系通信ネットワーク全般における光インタフェースの検討を行っています。メトロアクセスネットワークに適用する光インタフェース規定はQ.6で検討されています。

ところで、よく知られているイーサネットはIEEE（The Institute of Electrical and Electronics Engineers）の802.3委員会によって規定された規格です。もともとはLANの規格でしたが、最近では、メトロアクセ

スネットワークに適用できる光インタフェースの規定（1000BASE-LX、10G-BASE-LR/ERなど）や、加入者アクセスネットワークに適用する“Ethernet in the First Mile”という規定（1000BASE-PX⁽²⁾など）も盛り込まれています。以降では、これらにも触れながら、ITU-Tの光インタフェース規定を中心に解説を進めます。なお、ITU-TはOAM（Operation, Administration and Maintenance）機能の高度化等によるイーサネットのキャリアグレード化にも取り組んでいます。これらに関する規格は光インタフェースより上位層に位置付けられるため、ここでは触れません。

PONの光インタフェース

代表的な光加入者アクセスネットワークに、PON（Passive Optical Network）⁽²⁾があります。PONは、図1に示したように、通信事業者ビルとお客さま宅との間に光スプリッタ（電力を使わずに光を分岐する回路）を配置して、事業者ビルにあるOLT（Optical Line Terminal）とお客さま宅にあるONU（Optical Network Unit）の間で、ポイント・ツー・マルチポイント（一对多）の光通信を行うシステムです。PONの光インタフェースは、図1の中に“IFPON”で示した規定点において定められます。

PONでは、システムの最大帯域を複数のONUで共有します。PONには、この最大帯域が155～622 Mbit/sのB-PON（Broadband

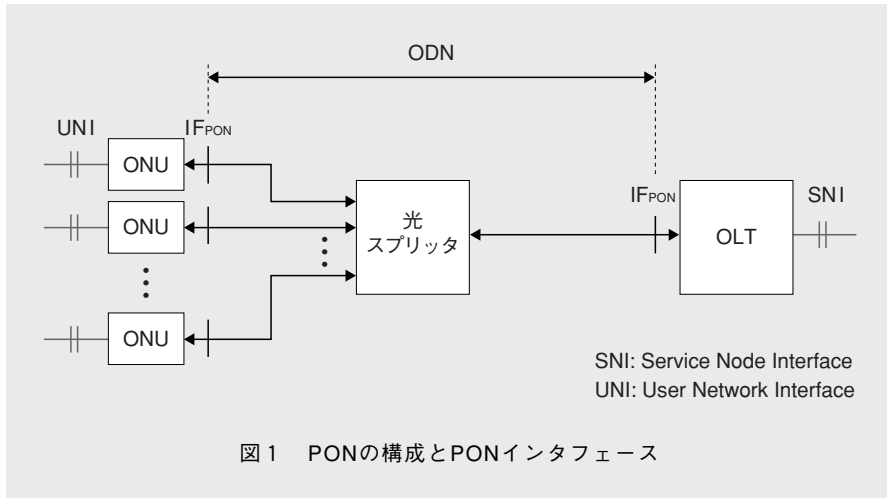


図1 PONの構成とPONインターフェース

Passive Optical Network, ITU-T G.983シリーズ), 1.25~2.5 Gbit/sのG-PON (Gigabit capable Passive Optical Network, ITU-T G.984シリーズ), 1.25 Gbit/sのGE-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network, IEEE802.3 1000BASE-PXシリーズ) がありますが⁽²⁾, 図1の構成と規定点は, これらに共通的に用いられます。

PONの光インターフェースでは, 送信波長や送信パワー範囲などの送信条件, 受信パワー範囲や達成すべき符号誤り率などの受信条件が規定されます。B-PONの光インターフェース規定はG.983.3に, G-PONの光インターフェースはG.984.2に示されています。

2つの規定点 (“IFPON”) で挟まれた区間 (ODN: Optical Distribution Network) は, 光ファイバケーブルと光スプリッタで構成される通信事業者のインフラ部分に相当しますので, この部分の特性は共通的に考えられています。G.983.3およびG.984.2では, この区間を損失 (光の減衰率) の大きさに応じてクラス分けし, それぞれのODNクラスに対して光インターフェースを規定しています。最大損失が20 dB, 25 dB, 30 dBのODNがそれぞれクラスA, B, Cと定義されていますが, 近年, 最大損失28 dBの

クラスB+が追加されました。

ODN区間の損失は, 主に, 光ファイバケーブルの距離と光スプリッタによる分岐数に依存して決まります。B-PONの最大距離と最大分岐数は20 km・16または32分岐, G-PONの最大距離と最大分岐数は20 km (オプションで10 km)・16, 32または64分岐です。分岐数とODNクラスの関係は, 柔軟性を確保するために明確には規定されていませんが, 実際には, クラスA~Bが16分岐, クラスB+~Cが32分岐以上相当です。

一方, GE-PON (IEEE802.3 1000BASE-PXシリーズ) にはPX10 (損失<20 dB, 距離<10 km) とPX20 (損失<24 dB, 距離<20 km) の2種類のクラスがあります。最大分岐数はPX10, PX20ともに16です。

PONシステムにおいてOLT-ONU間で接続性を得るためには, このほかに, 信号フレームの構成をはじめとしてさまざまな規定が必要となりますが, 光インターフェース規定は, PONシステムの主要スペック (最大帯域, 伝送距離など) にかかわるもっとも基本的な規定といえます。

メトロアクセスWDMの光インターフェース

メトロアクセスネットワークに話を

移します。メトロアクセスネットワークは, 対となるイーサネットスイッチを光ファイバでポイント・ツー・ポイント接続して構成することもできますが, 最近, 複数の波長を用いて, 1本の光ファイバにいくつものポイント・ツー・ポイントのデータリンクを束ねる方法が普及し始めています。

波長というのは, 通信に用いる光の「色」に相当するもので (実際には赤外線を使うので見えませんが), プリズムのような原理のデバイスで異なる波長の光信号を束ねたり分けたりすることができるのです。このように波長の異なる複数の光信号を1本の光ファイバに束ねることを波長多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) といいます。

数kmから数10 kmの距離でイーサネットスイッチをポイント・ツー・ポイント接続する場合, IEEE802.3で定められた1000BASE-LXや, 10G-BASE-LR, 10G-BASE-ER (それぞれ, 1G・10 km, 10 G・10 km, 10 G・40 km用) といった光インターフェースを利用することができますが, これらの光信号を直接WDMで束ねることはできません。このためITU-Tでは, 数10 km程度のWDMネットワークに適用できる光インターフェースを策定しました。

WDMを用いたメトロアクセスネットワークは例えば図2のように構成されます。この例では, 波長1と2がA・C地点間の通信に使われています。また, 波長3と4がA・B地点間の通信で使われ, さらに, B・C地点間でも再利用されています。WDMネットワークでは, 波長ごとに機器の交換や増設を行うことが多いため, 波長ごとに用意する光送受信機 (光トランシーバ) がマルチベンダ化できると非常に有効です。このためITU-Tでは, 図2にS_s, R_sの符号で示した単一波長の



(つまり、波長を束ねる前、および、波長を分けた後の) 規定点において、光インタフェースを定義しました。物理学や光学では波長を λ (ラムダ) という符号で表すことから、この単一波長の規定点における光インタフェースを「 λ インタフェース」と呼ぶことがあります。

WDMシステムは、波長の間隔によって、CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing: 粗密度WDM) とDWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing: 高密度WDM) の2種類に分類されます。CWDMは主にメトロアクセスネットワークで、DWDMはコアネットワークで利用されてきましたが、最近では、トラフィック増大への対応や拡張性の確保といった要求、および、DWDMデバイスの低コスト化を受けて、メトロアクセスネットワークにもDWDMを適用するケースが増えています。「 λ インタフェース」の光パラメータは、CWDMの場合はITU-T G.695に、DWDMについてはG.698.1に定められています。

G.695とG.698.1では、信号のビットレートクラスに応じて光インタフェー

スを分類しています。例えば、2.5 Gクラスは、622 Mbit/sから2.67 Gbit/sの信号であればどんなデータでも適用できる、という考えで規定されているので、それぞれの波長でさまざまな種類のデータ (イーサネット、SDH等) を運ぶことが可能です。また、距離については、40 km程度に適用できる短距離クラスと80 km程度に適用できる長距離クラスに分類されています。

なお、G.695とG.698.1では光増幅器の利用は想定されていません。

波長配置

加入者アクセスネットワークに適用するPON、および、メトロアクセスに適用するWDMネットワークの光インタフェースについて述べてきました。ここで、これらの中の「波長」の使い方についてまとめてみたいと思います。

PONの波長は、ITU-T G.983.3において、図3(a)に示したように規定されています。図に示したように、上り信号と下り信号が異なる波長に設定されます。これは、1本の光ファイバで信号劣化なく双方向通信を行うため

す。上り信号と下り信号の中心波長は、それぞれ1310 nm, 1490 nmと規定されています。

信号波長範囲は、Fabry-Perot (FP) レーザという低廉なレーザの利用や、製造ばらつき、温度変動などを考慮して数10 nmから100 nmと広く設定されています。上下の波長間隔も、上下信号の多重分離を低廉なデバイスで行えるように、100 nm以上となっています。

PONにはB-PON、G-PON、GE-PONがあると前に述べましたが、これらの波長配置はすべてITU-T G.983.3の規定に準拠しており、光デバイスの共通化による低コスト化に大きく貢献しています。

なお、図3(a)の「拡張帯域2」(1550~1560 nm) は映像分配サービス⁽³⁾用に規定された帯域です。また「拡張帯域1」は、後で述べるDWDMを用いた拡張を想定して規定されました。図中に点線で示した「将来帯域」は、将来の利用を想定した帯域で、その境界は現行のG.983.3には明示されていません。

一方、DWDM、CWDMの波長グリッドが、それぞれ、G.694.1、

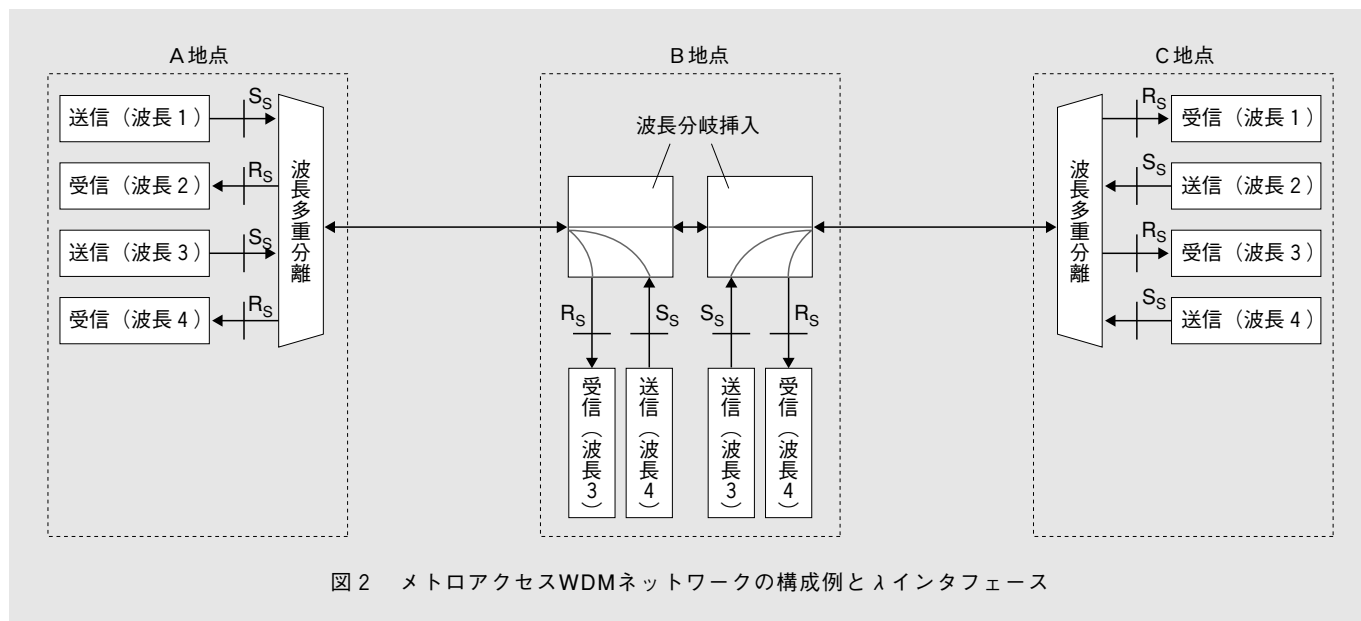


図2 メトロアクセスWDMネットワークの構成例と λ インタフェース

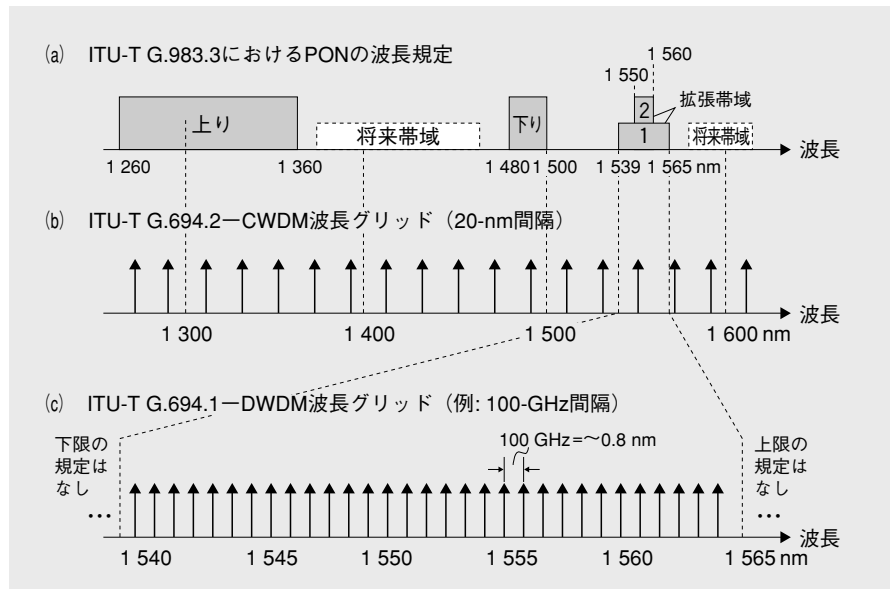


図3 アクセス系のネットワークで用いられる各種の波長規定

G.694.2で規定されています。グリッドというのは格子という意味で、つまり、波長を選ぶ際の基準として決められた一定間隔の数字の組です。

図3(b)は、ITU-T G.694.2で規定されたCWDM波長グリッドで、これは、1271 nmから始まる20 nm間隔の18波長と規定されています。このCWDM波長グリッドは、前述のFPレーザに比べて波長の広がり小さく高速・長距離に対応できるDFBレーザ (Distributed Feed-Back laser) を、温度調整回路を付けずに利用することを想定しています。このため、波長間隔は、DFBレーザの波長が温度によって変化する分を考慮した広い間隔になっています。CWDMは、波長数の多さよりも低コストを優先するアプリケーションに適用されています。

一方DWDM (高密度WDM) は、DFBレーザに温度調整回路を付け、装置温度によって波長が変化しないようにすることで実現されます。波長は光などの周波数を別の単位で表したもので、1 nmの波長間隔は約125 GHzの周波数間隔に相当するのですが、G.694.1のDWDMグリッドは、波長

ではなく周波数を用いて定義されており、193.1 THz (約1552.52 nm) を中心に、12.5 GHz, 25 GHz, 50 GHz, 100 GHz間隔、および、その定数倍の間隔で並ぶ各周波数 (波長) と定められています。図3(c)は、100 GHz間隔の例を示しています。なお、波長 (周波数) の起点と終点はG.694.1では規定されておらず、適用するシステムに応じて決めることになります。

今後の展開

加入者アクセスネットワークに関する最近の動向として、次世代光アクセスに関する検討が一部で開始されています。IEEEではGE-PONの速度を10倍化する10GE-PONの議論が開始されており、一方、これまでにB-PON, G-PONの標準化をITU-Tに共同提案してきたFSAN (Full Service Access Network Forum) では、高速化に加えてWDMの活用や長距離化の技術検討、および、現状からの発展シナリオの検討も進められています⁽⁴⁾。また学会でも、高速化やCWDM/DWDM

の活用による高度な光加入者アクセスネットワークの提案や検証が数多く報告されています。

このような中で現在ITU-Tでは、既存の光アクセスネットワークから次世代光アクセスへのスムーズなマイグレーションを優先して検討を進めています。このための検討として、図3(a)を用いて前述した「拡張帯域」および「将来帯域」に関し、より具体的な内容を規定する検討が進められています (仮の勧告番号をG.984.enhとして検討中)。

また、λインタフェースの今後の展開としては、アクセス系ネットワークから話が離れますが、光増幅器の利用を前提とした100 km～数100 km程度のDWDMネットワークに対して同様の考え方で光インタフェースを規定する検討が進められています (仮の勧告番号をG.dapp2として検討中)。光増幅器の雑音をどのように考慮するかなどの課題について検討が進んでいます。

ここで触れたITU-T勧告の策定にあたっては、NTTおよびその他の国内企業から出席している専門委員も大きな貢献をしています。アクセス系ネットワークのさらなる発展に伴い、今後も、活発な標準化活動が続くものと期待されます。

参考文献

- (1) 前田・中西・村上・太田: “ITU-T SG15 2005～2008年会期体制の報告,” NTT技術ジャーナル, Vol.17, No.4, pp.50-52, 2005.
- (2) 技術基礎講座: “GE-PON技術 第1回PONとは,” NTT技術ジャーナル, Vol.17, No.8, pp.71-74, 2005.
- (3) 数藤: “映像配信網サービスVCAST,” NTT技術ジャーナル, Vol.16, No.5, pp.52-55, 2004.
- (4) <http://www.fsanweb.org/nga.asp>