

# 高速 IP バックボーン技術

坂本 仁明

重松 光浩

(日本電信電話(株))

1999年12月14日

Internet Week 99 パシフィコ横浜

(社)日本ネットワークインフォメーションセンター編

この著作物は、Internet Week 99における坂本 仁明氏と重松 光浩氏の講演をもとに当センターが編集を行った文書です。この文書の著作権は、日本電信電話株式会社および当センターに帰属しており、当センターの同意なく、この著作物を私的利用の範囲を超えて複製・使用することを禁止します。

©1999 NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION,  
Japan Network Information Center

# 目次

---

---

1	概要 .....	1
2	背景 .....	1
3	広帯域を使いこなすアプリケーション .....	3
4	光通信技術～広域ネットワークの物理レイヤ .....	5
5	IP 専用ネットワーク .....	10
6	広帯域バックボーンを実現する技術 .....	12
7	高信頼性の維持～プロテクション .....	15
8	高機能性の追求～閉域網サービス (VPN) .....	18

## 1 概要

---

---

インターネットの急激な普及によるトラフィックの伸びが、電気通信事業者のネットワークアーキテクチャや運用に影響を及ぼしています。この講演では、その背景となる次のような技術について解説していきます。

- 広帯域を生かした利用事例～ビデオストリーミング
- 光ファイバと WDM 技術
- 広帯域ネットワークにおける信頼性の維持
- 高機能なサービスオプション

なお、具体的な製品の設定や使い方のノウハウについては触れません。

## 2 背景

---

---

最初に、高速 IP バックボーンを支える技術を理解するために必要となる技術背景について解説しておきます。

### 2.1 IP ネットワークの特徴

IP ネットワークの特徴は、大きく次の 4 点にまとめることができます。

- 伝送メディアを選ばない。
- 管理ドメインが複数に渡る。
- アダプティブである。
- スケーラブルである。

これらの特徴のうち、この講演では IP ネットワークの中心となる部分として、ISP やキャリアが利用する広帯域の広域網、すなわち「バックボーン」の光伝送技術について解説していきます。

このような高速バックボーンの例として、今年のインターロップで NTT がギガビットクラスのネットワークを構築したことが挙げられます。そのときには、622Mbps の SONET による回線を会場と NSPIX2 の間に用意し、さらにそのバックアップとして ATM135Mbps を用意しました。この約 1.6Gbps の容量は、全 ISP の東京 - 大阪間のバックボーン容量の合計にほぼ等しいものです。インターネットでは、このような大容量を使用することが現実のものとなっているのです。

## 2.2 高速 IP バックボーンを取り巻く技術要素

高速 IP バックボーンは、次のような特徴を持っています。さらに、その特徴を実現するための技術用語を示しておきます。

- 高速である

通信に光を使用している以上、光の速度を超えることはできません。ネットワークにおいて、「高速である」ということは「広帯域である」ことに他なりません。つまり、「高速ネットワーク」ではなくて、「広帯域ネットワーク」と呼ぶ方が正しいと言えるでしょう。

高速なバックボーン技術によって、LAN と WAN がシームレスに結合されるようになります。それによって、デジタルビデオストリーミング等の広帯域アプリケーションが WAN 網で実現できるようになってきています。

- 広域である

インターネットの普及は、かつては LAN や構内網であったバックボーンを、長距離（広域）なものに引き延ばしています。数 10 ～ 数 100km 以上の長距離を伝送するための光通信ネットワーク技術として、DWDM と呼ばれる技術が注目されています。

- IP 専用である

これまでの電気通信ネットワークは 64kbps を単位とする電話を中心に作られてきていましたが、IP を中心とするデータ用のネットワークに変化しつつあります。IP 用の装置は日進月歩の技術開発に基づいていますから、短期間でリプレースを繰り返して、常に最新機器を導入していくための運用方法も重要となっています。

### 3 広帯域を使いこなすアプリケーション

現在では、パーソナルコンピュータにネットワーク機能が付属しているのが当たり前になっています。10/100BASE-Tのインタフェースが標準装備され、ギガビットクラスのインタフェースも数万円で市販されています。すなわち、安価にネットワーク環境を利用することができるようになってきていると言えるでしょう。

また、インターネット需要は極めて急激に伸びてきており、ネットワークを提供する事業者としては、その需要に応えることが必要となります(図1を参照)。

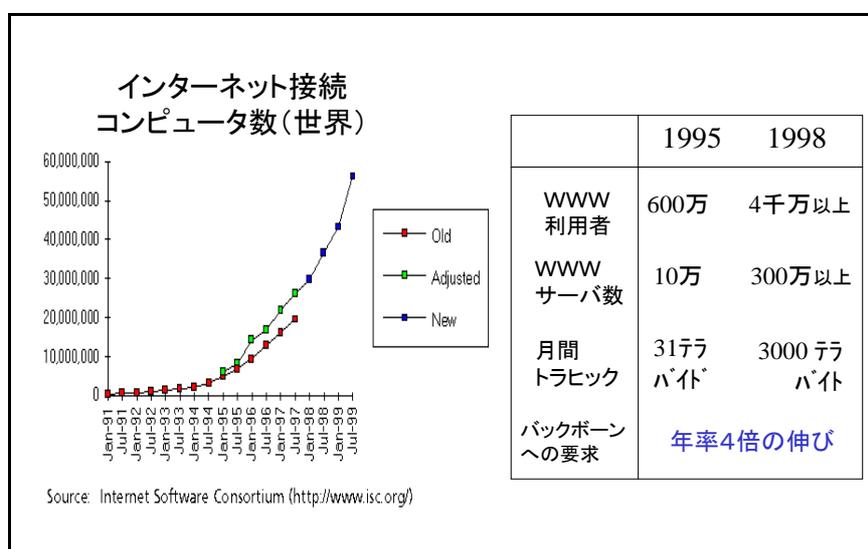


図1：インターネット需要の急速な伸び

インターネットの普及を促しているニーズとして、「電子メール」と「WWW」があげられます。電子メールはMIMEによって添付ファイルの送受信が容易になり、その利用が進んでいることから、メッセージのサイズも大きく増加しています。

また、WWWに代表される情報共有手段の普及により、カタログの電子化や電子商取引の普及が進んでいます。このようなビジネス環境・生活環境の変化は、インターネットのアーキテクチャにも大きな影響を及ぼしています。

### 3.1 これからのネットワークアプリケーション

既存のアプリケーションだけではなく、バックボーンが高速化することによって、映像や音声のストリーミングを利用するアプリケーションが普及してくると思われれます。これは、次の 2 つの流れに分かれるものと思われれます。

- インターネットを使用するコンシューマ向けのもの

RealAudio や Windows Media Player といった、モデムから LAN を使用するマルチメディアストリーミングです。利用できる帯域によって、フレームレートを調整しながら、20kbps ~ 700kbps の伝送レートを使用します。

- 放送・スタジオ品質のもの

TV 映像をそのまま (あるいはそれ以上の品質で) 送るものです。企業向けの品質制御された VPN や、管理ドメインを区切った中で使用することを前提としたストリーミングビデオで、30f/s と書いたフレームレートにより、通常の TV 放送と同品質の MPEG1 ならば 1.5Mbps 程度、DVD と同品質の MPEG2 ならば 6Mbps 程度、スタジオ品質の DVC-Pro ならば 50Mbps 程度という帯域が必要となります。

TV 映像の伝送には、これまでも、衛星中継や ATM といった技術が使われており、インターネットではより大まかな品質の技術が使われていますが、次のような背景から、スタジオ品質のストリーミングが注目されるようになっていきます。

- Webcaset 等、インターネット上のマルチメディアアプリケーションの普及。
- デジタル TV 等、最初からデジタル信号を扱う機材が安価に普及 (DV、IEEE1394 等)。
- インターネットの広帯域化。

## 4 光通信技術～広域ネットワークの物理レイヤ

---

広域・広帯域のネットワークの物理層としては光ファイバが使用されています。ここで、光ファイバの特性を解説します。

### 4.1 光ファイバの構造と種類

光ファイバはクラッドとコアから成り、コアの部分に光を通して、光の有無で信号の伝送を行っています。光ファイバにはマルチモードとシングルモードの 2 種類があり、これらは、取り扱いの簡単さ、融着時の精度や、モード分散の有無が異なっています。マルチモードの光ファイバが、主に構内 LAN 等で利用されるのに対して、シングルモードの光ファイバは基幹網や広域网で使用されるものです。広帯域ネットワークでは、主にシングルモードのものが使われています。

マルチモード光ファイバとシングルモード光ファイバの大きな違いであるモード分散の有無とは、光ファイバの中を伝達する経路によって、信号伝達に要する時間がばらつく（なまる）かどうかということです。また、類似した特徴である波長分散とは、ファイバ内を通る光信号の周波数（波長）によって、信号伝達に要する時間がばらつくかどうかということです。

モード分散や波長分散があると、信号がなまって劣化していくため、長距離伝送には向きません。長距離伝送用には、モード分散が少ないだけでなく、信号として使用する光の波長で波長分散が 0 になるように設計された「分散シフトファイバ」と呼ばれるシングルモードのファイバも使われています。

また、伝送距離が長くなると減衰が問題となるので、信号として減衰が少ない、波長 1550nm の光が主に使われています。

### 4.2 多重化の方法

現在の技術では、1 つの波長による伝送速度（帯域）は、最大で 10Gbps 程度となっていますが、実際には 2.4Gbps 程度で使われています。NTT 等の電気通信事業者では、中継系でシングルモードファイバを 300 芯ほど、アクセス系では 1000 芯程度束ねたものを使用しています。このように複数のファイバを束ねて、より大容量の伝送路を実現することは、空間を分割多重化する SDM（Space Division Multiplexing：空間多重）と呼ばれています。

大容量の回線を多くのユーザで共用するために、電話網では時間を区切ってユーザに割り当てる、TDM（Time Division Multiplexing：時分割多重）と呼ばれる方法が採られています。また、物理層に電磁波等を使用する場合に、ユーザ毎に周波数を割り当てる「周波数多重」も多重化の 1 つの方法です。

光ファイバの場合には、WDM ( Wave length Division Multiplexing : 波長分割 ) と呼ばれる方法を使用することが可能です。これは、電波における周波数多重と同様に、波長の異なる複数の光信号を 1 つのファイバに入力して相手に伝送するという技術です。

### 4.3 光通信で使用する波長

光ファイバを通す光の主な波長には、次の 3 つがあります。

- 850nm

マルチモードファイバで使用される波長です。主に近距離用に使用します。

- 1310nm

シングルモードファイバで使用される波長です。主に遠距離用に使用します。

- 1550nm

分散シフトファイバで使用される波長です。この波長帯では、光信号をそのまま ( 光のまま ) 増幅する「エルビウム添加光ファイバ増幅器」が利用できるため、非常に長い距離に使うことができます。

## 4.4 WDM

前述のように、光ファイバの伝送容量を増すために、WDM ( Wave length Devision Multiplexing : 波長分割 ) が使われています。特に、1550nm 帯の光信号を 50 ~ 200GHz 毎に並べて、40 ~ 100 の光信号を多重化したものを DWDM ( Dence WDM ) と呼んでいます。

DWDM 装置の構成例を図 2 に示します。

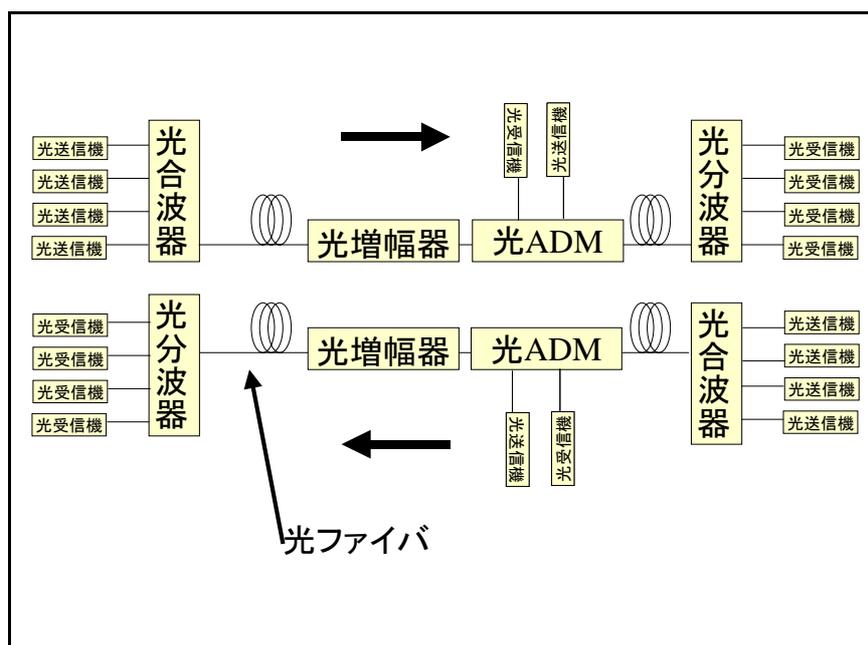


図 2 : DWDM 装置の構成例

これまでは、長距離バックボーンで主に使われていましたが、最近では、次のような局面でも WDM 装置を使用する例が増えてきています。

- リング構成やメッシュ構成  
光用のクロスコネクタが開発されつつあります。
- 近距離でも利用 (大都市での利用)  
近距離では光アンプが必要ではないので、1550nm 帯にこだわる必要がなく、比較的自由に波長を使って多重度を高めることができます。
- 低価格化  
利用局面が増えたため、量産効果により価格が低下しつつあります。

- 大容量化  
波長あたりの容量が 2.5G から 10G へと増加しているだけでなく、多重度も増加しています。
- プロトコルを選ばない  
ネットワークを監視するため、主として SONET/SDH が使われますが、本質的には物理インタフェースは選びません。
- 光ネットワークとしての機能  
クロスコネクタの登場により、故障時のプロテクションや、障害回復のレストレーション機能が実現されつつあります。

## 4.5 WDM とネットワーク

本来、WDM は物理インタフェースを選ばないものですが、信頼性やトラブル監視のために速度やプロトコルを規定しています。現在よく利用されているのは、SONET あるいは SDH のインタフェースであり、OC-12c (600M)、OC-48c (2.4G)、OC-192c (10G) 等の速度が使われています。それぞれの末尾の 'c' は 'concatenate' の意で、回線容量全体を 1 つの単位として利用することを表しています。このような仕様を規定することで、WDM 装置からネットワーク監視装置への通知等を行えるようになっていきます。

データ伝送のしくみとは別にネットワーク監視のしくみを工夫することによって、LAN のインタフェースをそのまま WDM 装置に接続して利用することも可能です。たとえば、ギガビット Ethernet や、10 ギガビット Ethernet のインタフェースをそのまま WDM 装置に接続して、広域で利用することも可能になるでしょう。

また、インターネットで WDM を有効活用する方法として、新しいプロトコル (MAPOS や SDL) の検討も行われています。将来的には、電気信号ではなく、光のままパケット交換を行うことも研究課題となっています。

## 4.6 光ファイバ伝送における問題

DWDM 伝送にゼロ分散光ファイバを用いた場合、波長分散が 0 である帯域において、三波の光(  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ )が互いに影響しあって、 $\lambda_1 + \lambda_2 - \lambda_3$  の周波数に 4 波目の光が発生する、「四光波混合」と呼ばれる現象が発生し、雑音となってしまうことがあります( 図 3 を参照 )。

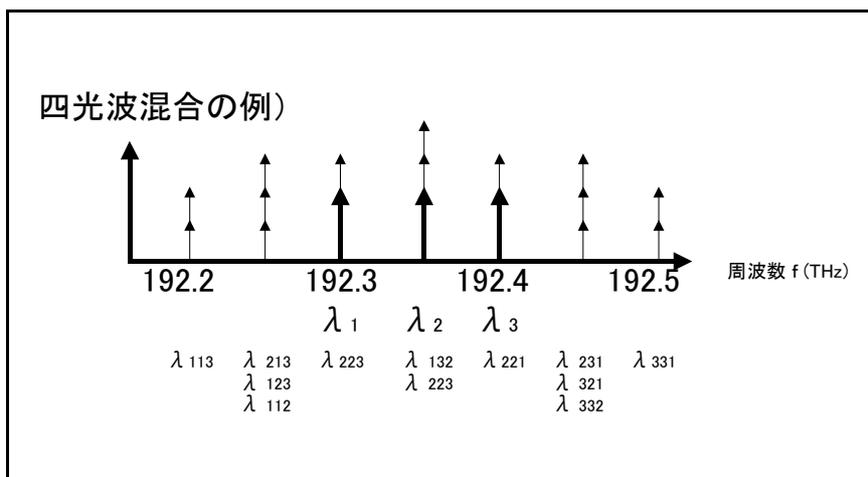


図 3 : 四光波混合

この現象を回避するために、光波長を不等間隔に配置する方法や、波長分散が 0 になる帯域を使用しない方法が考えられます。また、最近では波長分散が 0 になる帯域を 1550nm からずらした光ファイバ(NZ-DSF や LEAF) を用いたり、広帯域の光アンプを用いて 1580nm での伝送を行うという方法も登場してきています。このような技術により、1 本の光ファイバの伝送容量をより多くすることが可能になってきているのです。

## 5 IP 専用ネットワーク

現在のインターネットは、電話を中心とするネットワークによって実現されています。ユーザはアナログや ISDN、あるいは 1.5Mbps ~ 155Mbps の回線を使用しており、それらが電話局でまとめられて 600M ~ 2.4Gbps の長距離伝送線で伝えられます。そして、宛先近くの電話局で再度ばらばらにされて、それぞれの ISP に至る形になっています。

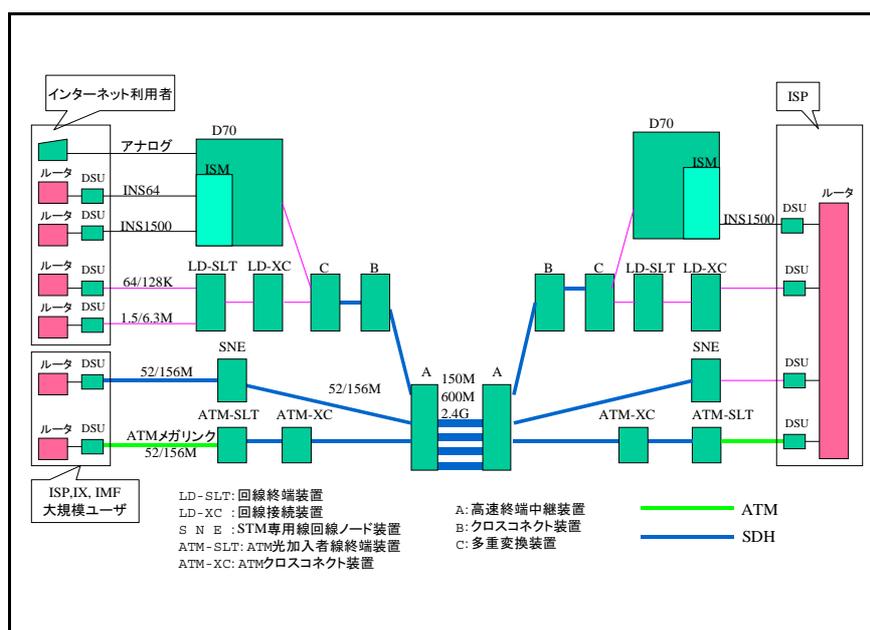


図 4：国内の網アーキテクチャの例

IP 専用の高速ネットワークを実現しようと考えた場合には、電話網で使われている TDM を省略して、ルータやスイッチを直接 WDM 装置に接続することによって、低コスト化を図ることが提案されており、このことは OIF( Optical Internet Forum )によって、その有効性が検討されています。

IP バックボーンの回線速度は、年に 2 ~ 3 倍の成長を続けており、大陸間の伝送容量もそれを追いかける形で増えてきています。そのために、2000 年前後には大陸間や日本周辺にいくつもの海底ケーブルの敷設が予定されており、バックボーンの帯域幅は十分なものが使えるようになると見込まれます。

このように、通信業者が提供する帯域幅が広がるにつれて、WAN に使われる技術が TDM から ATM へ、さらに SONET/SDH から DWDM へと変化していると言えます。つまり、WAN ネットワークは、図 5 に示すように、レイヤが次々に圧縮されるといったことが起きています。

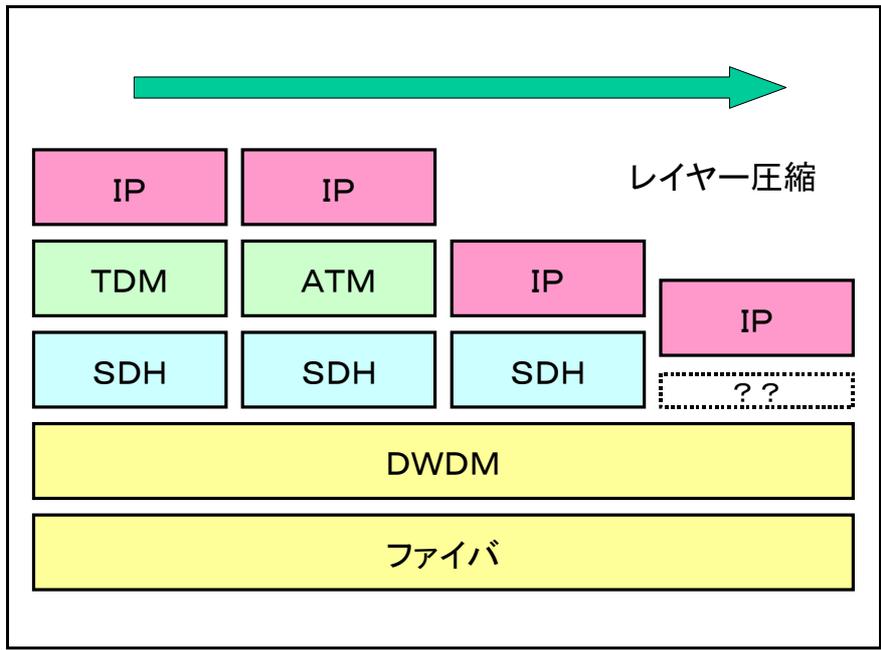


図 5 : WAN ネットワークの階層

レイヤ圧縮をどんどん押し進めていき、WDM に直接 IP パケットを流し込むようになると、既存のネットワーク（音声ベース）アーキテクチャにとらわれない、高性能で経済的なインターネットが実現できる可能性も指摘されています。

レイヤ圧縮に伴って、各レイヤが持っている多重化やプロテクション機能の重複がなくなっていきます。光ファイバで接続された WDM 装置で直接 IP パケットを取り扱うためには、OAM&P (Operation And Management & Protection) による新しい（光ファイバ用の）管理・プロテクション機能が実現されなければなりません。

また、高帯域化と同時にネットワークの高機能化も必要であり、QoS や閉域網機能にも新しい技術が必要とされてくることでしょう。それらの上に、ストリームやマルチキャストといった新しいアプリケーションが実現されることとなります。

## 6 広帯域バックボーンを実現する技術

---

今後のインターネットがどうなっていくかは分からないものの、IP 高速バックボーン技術がどうなっていくかに観点を絞ることで、ある程度の予想が可能となります。

ここでは、広帯域 IP ネットワークを実現する技術を紹介します。

### 6.1 SDH/SONET

SDH ( Synchronous Digital Hierarchy ) や SONET は、デジタル信号を同期多重化していくステップの系列を標準化したものです。SDH は ITU-T による世界標準であり、SONET は ANSI による米国標準です。これらは、規定速度の単位や、リングを構成したときのプロテクション方法等が異なりますが、普通は同じようなものと考えても構いません。

SDH の規定速度である STM-1 ( 155Mbps ) では、一次群 ( 1.5M ) の VC ( Virtual Container ) -1 を 4 つ集めて二次群の VC-2 ( 6M ) とし、それをさらに 7 つ集めて VC-3 ( 42M ) とします。それぞれのコンテナには、POH ( Path OverHead ) というヘッダが付き、STM-1 の先頭には SOH ( Section OverHead ) が付いています。多重化された SDH コンテナの、どこにどのコンテナがあるかが規定されているので、多重化や分解を効率的に行うことができるのです。

SDH では、リングのプロテクションに 2 つの方法があります。1 つは UPSR/SNC 方式と呼ばれるもので、トラフィックに偏りのない都市間等で使用されます。二重リングの一方を常時使用しており、切れた場合には逆回りのリングを使用します。

もう 1 つは、BLSR/MS SPRing と呼ばれるもので、データの方向によって 2 つのリングを使い分けておきながら、切れた場合には 1 つのリングで全ての ( 双方向の ) データを取り扱うものです。1 つのリングが切れた場合には、他方にトラフィックが集中するため、比較的データ量の少ない末端部分で用いられます。

まとめると、SDH/SONET とは、効率的な多重化・分解と、切れない伝送路の技術であると言えるでしょう。

### 6.2 POS ( Packet Over Sonet/sdh )

RFC1619、1661、1662 で規定されている、SONET/SDH の上で IP パケットを伝送する規格のことで、今後しばらくの間は、高速 IP 伝送方式の主流となると思われます。従来は、SONET/SDH の上に ATM を乗せ、その上に IP パケットを乗せていましたが、IP 高速伝送のニーズの高まりに応じて、より効率的な規格として POS が注目されています。

前述のように、SONET/SDH を WDM 装置に直結することで、レイヤオーバーヘッドが少なくなって、より効率的な伝送を実現できます。特に、ルータに直接 SONET/SDH インタフェースを持たせることにより、キャリア向けの SONET/SDH よりも安価に高速ネットワークが実現できます。反面、上限速度でルータと SONET/SDH 機器を接続すると、その多重化機能が生かせなくなってしまうというデメリットもあります。

### 6.3 ギガルータ

まず、ギガルータとは 1GB を超えるインタフェースを持つルータという意味であり、講演者の造語であることを了解願います。ギガルータに求められる要件は、次の 3 つにまとめられるでしょう。

- 急増する IP トラフィックを捌くに足るルーティング容量を持つこと
- それぞれのインタフェースが高速であること
- 信頼性が高いこと

ここで言う「信頼性が高いこと」とは、ルーティングが切れたときにきちんと切り替えが働くこと、ハード的に壊れないこと、原理的に壊れにくい技術をベースにしていること等です。

ギガルータは ISP のバックボーンや IX (Internet eXchange) から、POP (Point of Presence)、エンドユーザへと導入が進むものと思われます。現在のギガルータは、求められる機能が一通り実装された段階にありますので、今後は、相互接続性や、ソフトウェアのバージョンによる動作の差異等が改善されて欲しいところです。

ギガルータは、単体型と超並列型に大きく分類することができます。単体型とは、基本的に従来型のルータのアーキテクチャを踏襲しながら、ルーティングの計算部分とパケットをフォワーディングする部分を ASIC 化して高速化を図るもので、CISCO 社の GSR 等が相当します。

それに対して、超並列型とはフォワーディング部分を並列化して全体の処理能力を高めているものです。超並列型の中には、1つのインタフェースに複数のフォワーディングモジュールを用いることで、一層の高速化を図っているものもあります。

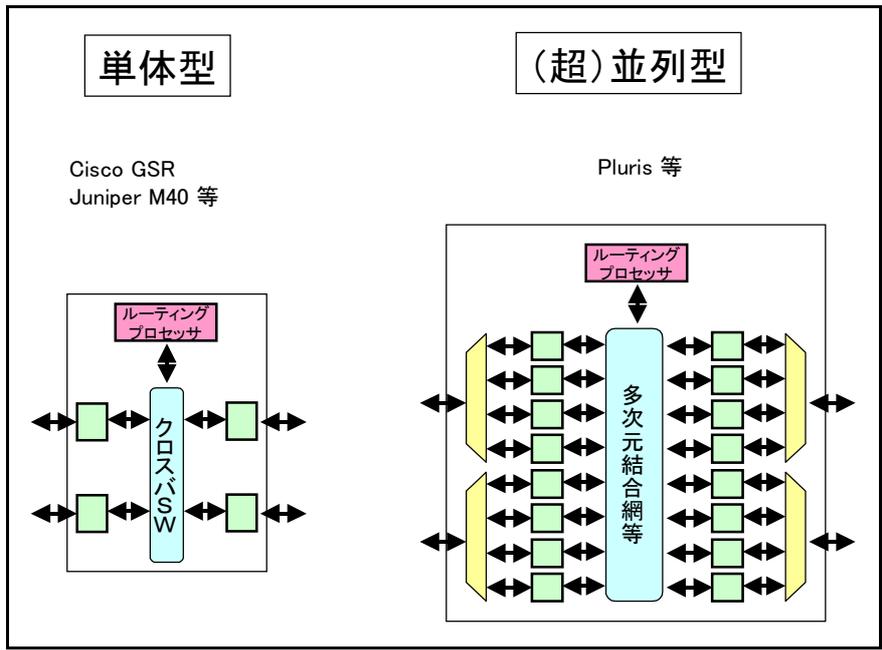


図 6 : ギガルータ (単体型と超並列型)

さて、ギガルータを使用する次世代のネットワークノードがどのようなものになるかを考えてみましょう。図7のように、波長単位でスイッチするオプチカルクロスコネクと、それを束ねて WDM で光ファイバに出力する装置を使って、大量のトラフィックを捌くようなものになると思われます。

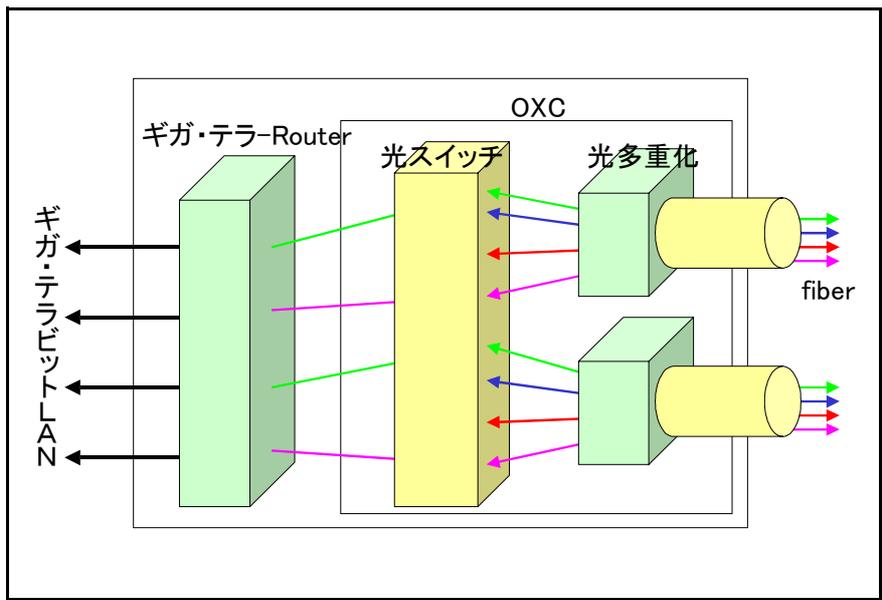


図 7 : 新世代ネットワークノード

## 7 高信頼性の維持～プロテクション

---

---

ここでは、実用的な広帯域 IP ネットワークにおいて、信頼性を高める技術動向について解説します。

### 7.1 自動診断と自動切り替え

高信頼性を実現するには、IP 層で言うと経路情報が到着しない、あるいは、経路情報がタイムアウトして古くなってしまった場合に、古い経路情報を無効にして新しい経路に切り替えることが必要です。当然ながら、スイッチやルータを相互に複数のリンクで接続しておくことが前提となります。ただし、現時点では、IP 層まで含めて 1 秒以内に経路を切り替えるといった高速なプロテクション技術は確立されていません。高いレイヤである IP 層では、ルーティングプロトコルが新しい経路に切り替わるには、数秒から数分のオーダーの時間が必要になります。したがって、できるだけ低いレイヤでのプロテクションをうまく使用することが必要でしょう。

なお、各レイヤが独立したプロテクション機能を持っている場合には、レイヤ毎のプロテクションが時間差を持って動作してしまい、結果的に長期間、通信が切れたままになってしまう場面も考えられます。

### 7.2 プロテクションの今後

現在、ルータと SONET/SDH を接続する場合には、アクセス網とインタフェースが二重化されていないために必ずしも End-to-End でのプロテクションが実現されていません。将来的には、ルータの APS（自動診断・切り替え）機能によって、障害時には自動的に SONET/SDH による中継経路を切り替えるプロテクション機能が実現されるでしょう。さらに将来的には、オプティカルクロスコネクトを用い、WDM 装置間での波長多重を使ったプロテクション機能が実現されるものと期待されています。

### 7.3 パススルー

広帯域のトラフィックを捌く場合には、中継点におけるパススルートラフィックの増大が問題となります。

現在は、IP 層（3 層）でのルーティング処理によって中継が行われているため、次のような長所と短所があります。

- 長所
  - 通信メディアに独立である。
  - スケーラビリティがある。
  - 動的な構成変更が可能で、対故障性が高い。

- 短所
  - ルート検索に時間がかかり、遅い。
  - リンクダウンに対する反応が鈍い

そこで、2層においてフレームに(独自の方法で)ラベル付けを行い、そのラベルを見て出力インタフェースを選択する MPLS という方法(後述)が採られることがあります。この方法の長所と短所は次のとおりです。

- 長所
  - 高速で低遅延なフレームフォワーディング。
  - QoS や閉域性の実現が可能。
- 短所
  - メディアへの依存性が高い。
  - 動的ルーティングへの対応が難しい。
  - インターオペラビリティがない。

さらなる高速化を図るためには、TDM のタイムスロットや WDM の波長を利用して論理的なパスを設定し、必要なパスだけをルータに選択的に Drop する方法が考えられます。この方法では、ノード間をフルメッシュ接続した場合に帯域の無駄が増大したり、障害時の高速な迂回措置が困難になったりする欠点があります。そこで、実際には、2層のフレームにラベル情報を付加する方法を併用して、フレームを選択的に中継ルータに Drop する方法も考えられています。

実際の例として、CISCO 社による DPT (Dynamic Packet Transport) の動作を見てみましょう。図 8 に示すように、光ファイバから入力されたフレームは、Packet Selector によって、自分宛のフレームのみが取り込まれて、残りはそのまま Packet Merger に回されます。Packet Merger は、回されてきた中継フレームに、ルータ/スイッチから出力されるフレームをマージして、次のノードに送り出します。これによって、実際にルータ/スイッチにドロップされるフレームが大きく減るため、比較的低速なルータ/スイッチでも、高速なインタフェースを持った中継ノードとして使用することができます。

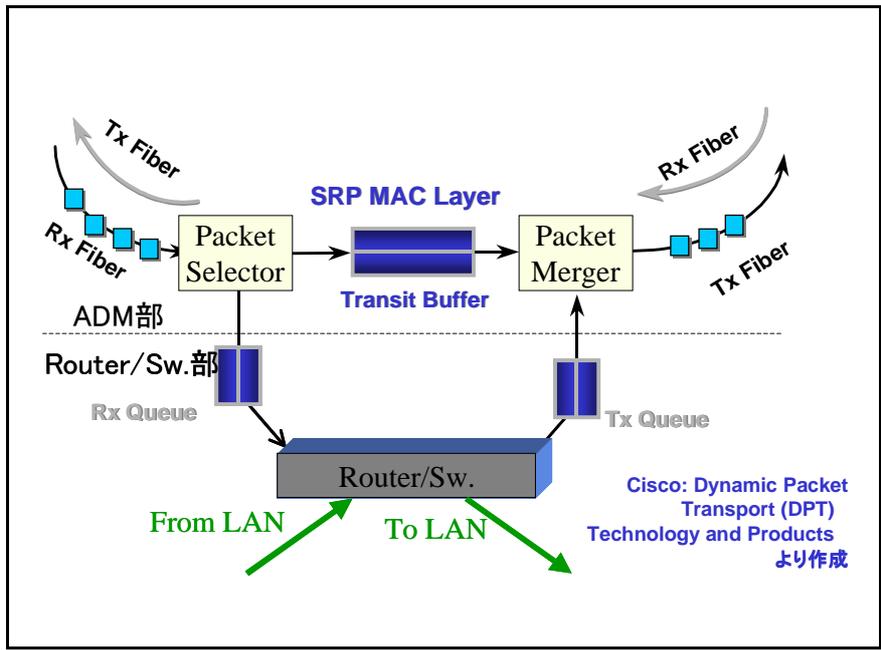


図 8 : DPT の動作概念

7.4 まとめ

広帯域バックボーンにおいてプロテクションやパススルーを実現するためには、レイヤを圧縮して新しいプロトコルを作成することが有効です。レイヤ間のオーバーヘッドをなくしつつ、高信頼性を実現する新しいプロトコルとして、IP を SONET/SDH で直接扱うための MAPOS (NTT) や、光ファイバで直接扱うための DPT (CISCO)、SDL (Lucent) といった新しいプロトコルが開発されています。

## 8 高機能性の追求～閉域網サービス（VPN）

広域な共有ネットワークを、仮想的に私設網の使用感で提供する技術・サービスを VPN（Virtual Private Network）と呼びます。VPN も最初は電話網のサービスとして登場しましたが、フレームリレーや ATM の対地を決めて提供するサービスや、IP トンネルを提供するサービス等も登場しています。ここでは、IP の VPN について取り上げます。

### 8.1 IP VPN

IP における VPN は、それぞれの立場によって、表 1 に示すような要求条件が考えられ、それぞれにメリットを実現します。

表 1：IP VPN に対する要求条件とメリット

立場	要求条件	メリット
エンドユーザ	接続性（LAN&Internet） パフォーマンス 容易な管理（実時間レポート） セキュリティ	通信コストの削減
ISP	スケールメリット スケーラビリティ 拡張性と強靭性	付加価値サービスによる差別化
通信事業者	容易な管理（顧客情報 & 課金）	通信インフラを IP 網に統合

IP の VPN サービスには、次の 2 つの形態が考えられます。

- 顧客宅ベース（CPE：Customer Premises Equipment）  
顧客宅内に VPN 機能を持つハードウェアを設置するものです。
- ネットワークベース  
ネットワーク機能として ISP が提供するものです。

ネットワークベースの VPN は今後大きな需要が見込まれるため、これからの課題であり、大きな期待が寄せられています。その実現にあたっては、MPLS（MultiProtocol Label Switching）と呼ばれる方法が注目されています。

## 8.2 MPLS

MPLS ( MultiProtocol Label Switching ) は、2 層と 3 層の中間に位置するもので、各ベンダが ATM 上に IP を流すために開発した技術 ( CISCO 社のタグスイッチ、ノキア社の IP Switch、東芝社の CSR 等 ) を、標準化しようとしているものです。2 層には ATM だけではなく、POS や Ethernet を使用することも可能なように拡張されており、ATM よりも運用管理コストが小さくなっています。また、ラベルを使って同一 IP アドレスの宛先に対して、異なる経路を取れるため、VPN や品質グレード毎の帯域制御 ( TE : Traffic Engineering ) 等を実現するために利用することができます。

MPLS では IP ヘッダの前に MPLS ラベルが付けられて、これに基づくラベルスイッチパスに従った転送処理が行われて、VPN を実現することができます。このラベルをスタックすることにより、VPN だけではなく品質設定等を併用することも可能になるものと思われませんが、現時点では標準化されていません。RFC2574 ( Informational ) では、エッジルータ間で IBGP を用いて VPN 判別用のラベルを交換する方法が提案されています。

## 8.3 まとめ

まだ標準はありませんが、MPLS を使って VPN や QoS を実現することができます。広帯域ネットワークにおいても、VPN や QoS サービスを実現することが現実のものとなっているのです。