

フォトニックネットワークとGeneralized MPLS ～技術と最新動向～

日本電信電話(株) 未来ネット研究所

今宿 互
imajuku.wataru@lab.ntt.co.jp

2005年12月8日

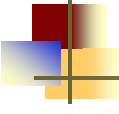


概要

- 導入部 20分
今なぜフォトニックネットワークとGMPLSか？
- 第一部 フォトニックネットワーク技術 65分
 - ✓ 光伝送技術
 - ✓ SDH/SONETとOTN
 - ✓ 光スイッチ技術


(休憩 10分)
- 第二部 Generalized MPLS技術 85分





導入部

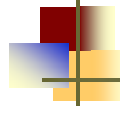
今なぜフォトニックネットワークとGMPLSなのか？

 NTT

Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.


Internet Week 2005 T23講演資料

Page 3



光ファイバ伝送技術のインパクトとこれからの期待

- 光ファイバ伝送技術の高速化（1990年代半ばまで）
 - ✓ 20年弱で300倍の伝送速度の高速化を実現
 - ✓ 電話網時代から通信網構造そのものを変化させてきた
 - 3階層電話網から2階層電話網
 - ✓ 符号誤りの少ない高品質伝送の実現
 - データ通信プロトコルの簡素化に貢献
- IP網の台頭（1990年代半ばから）
 - ✓ 日本では阪神淡路大震災でのインターネットの堅牢性が話題に
 - ✓ 光ファイバ伝送技術は、電話網の伝送技術(SDH/SONET)からOTN(Optical Transport Network)志向へ
- IP技術と光ファイバ伝送技術の融合（現在）
 - ✓ 光クロスコネクタ装置(OXC)とGeneralized MPLS
 - ✓ Point-to-Point伝送から“光”のネットワークへ

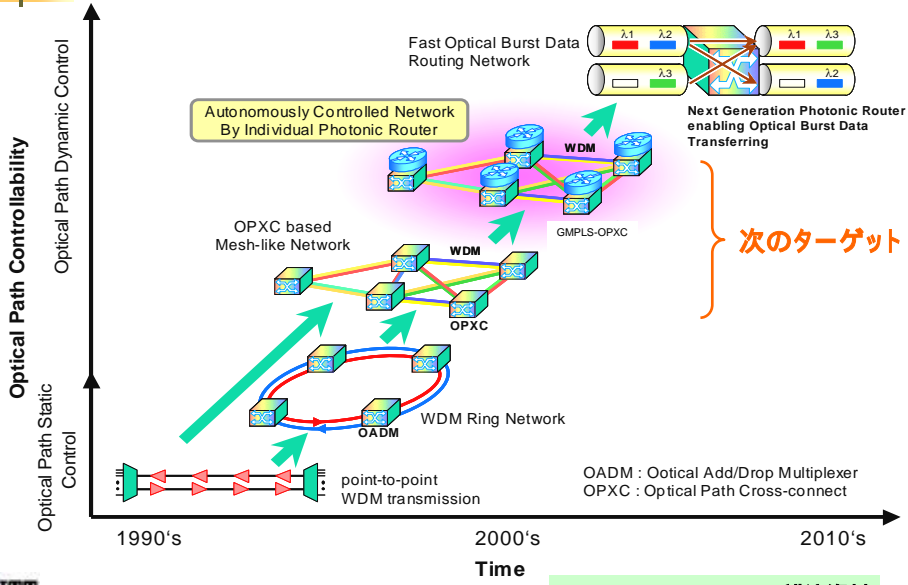
 NTT

Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 4

フォトニックネットワーク技術のロードマップ



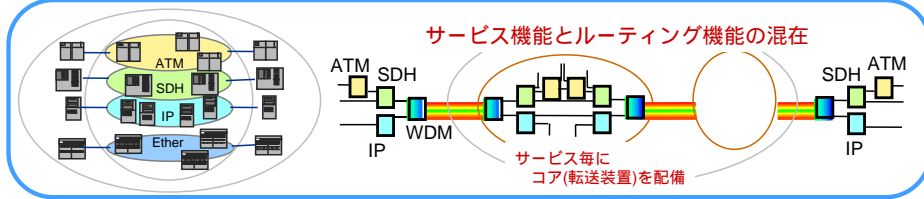
Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 5

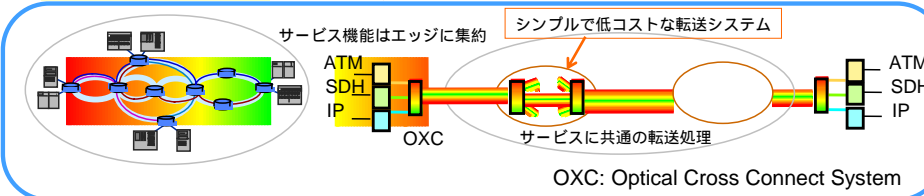
フォトニックネットワークのねらい

現状のネットワーク



サービス機能と転送機能の分離
転送機能を光共通化

フォトニックネットワーク



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

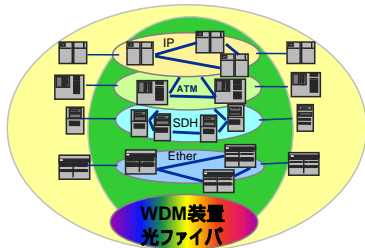
Internet Week 2005 T23講演資料

Page 6

フォトニックネットワークのアーキテクチャ

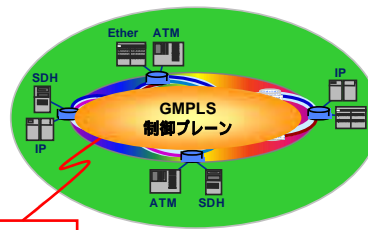
現状のネットワークアーキテクチャ

- ・サービス毎にネットワークを構築
 - サービスエッジと多数のコアノードを個別に設置
 - サービス間の共有設備は WDM伝送装置と光ファイバのみ
- ・装置対応の個別オペレーションと複雑な連携が必要 (連携は事実上、人手に依存)



次世代ネットワークアーキテクチャ

- ・“パス(LSP)”ネットワークで統合
 - サービスエッジと最小限のコアノード
 - サービス間の共有設備は **OXC(ルーティング機能+WDM機能)**
 - + **光ファイバ**
- ・パス切替制御を統合 (連携も自動化) **Generalized MPLS**



GMPLS-OXC



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 7

フォトニックネットワークの機能と技術的特徴

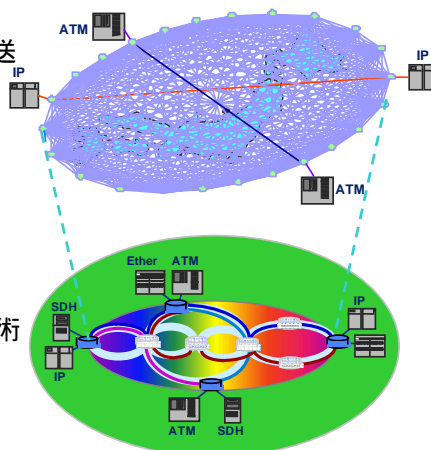
■ フォトニックネットワーク

- ✓ Transmission, Multiplexing, Demultiplexing, Switching, Adding/Dropping などのネットワーク転送機能
- ✓ 障害・品質劣化監視に基づくセルフヒーリング機能を光レイヤで実現するネットワーク

■ 技術的特徴

- ✓ 高密度波長多重 (Dense WDM) 伝送技術
- ✓ 波長ルーティング技術 (光スイッチ)

+
統合NW制御 (+ 管理も少し) 技術
Generalized MPLS



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

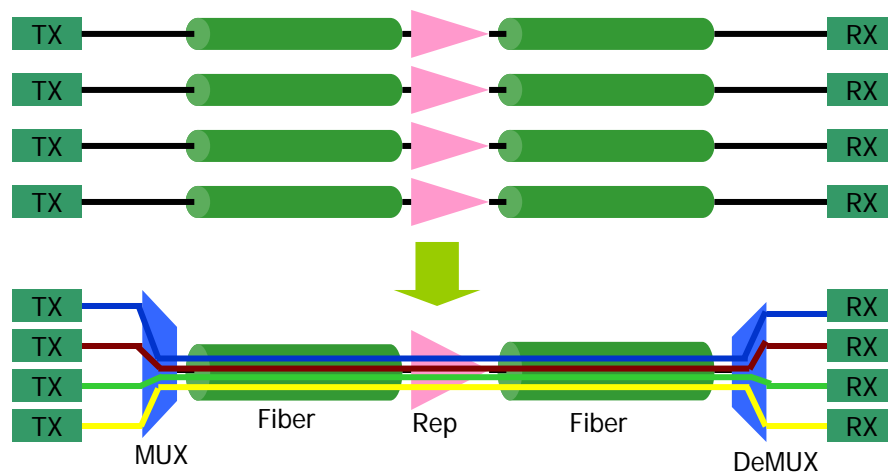
Page 8

フォトニックネットワーク導入の利点 (一部再掲)

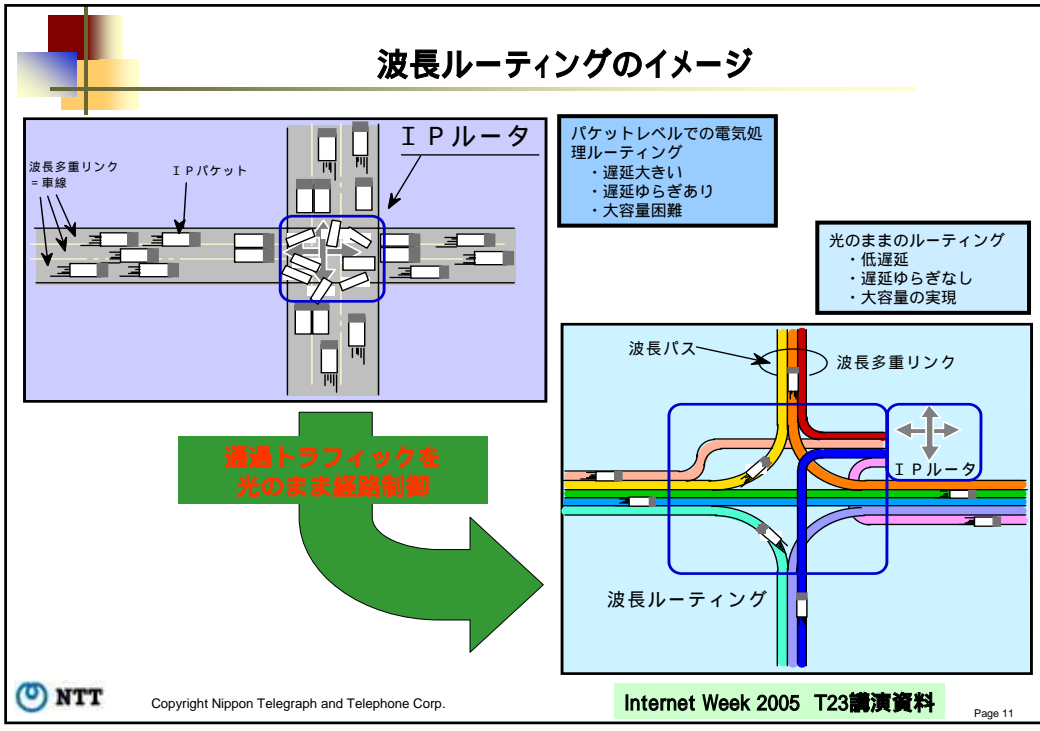
- 各種伝達方式に対するNWプラットフォーム
 - SDH系、ATM系、IP系装置からの信号を直接収容
- 信号速度は当面の技術では～10Gbit/s
 - 任意の信号速度を収容するには新しい伝送技術と監視制御技術が必要
- 光パスによるコアノード間の直接接続
 - 遅延を最小化
 - 遅延ジッタが最小限に抑制、リアルタイム系ストリームに必要な帯域を抑制
- 複雑な縦積みレイヤ構造から単純レイヤ構造へ
- ネットワーク管理/保守の経済化

高密度波長多重(Dense-WDM) 伝送のイメージ

- 波長の異なる複数のチャネルを1つのファイバに
 - ✓光の波の性質を利用



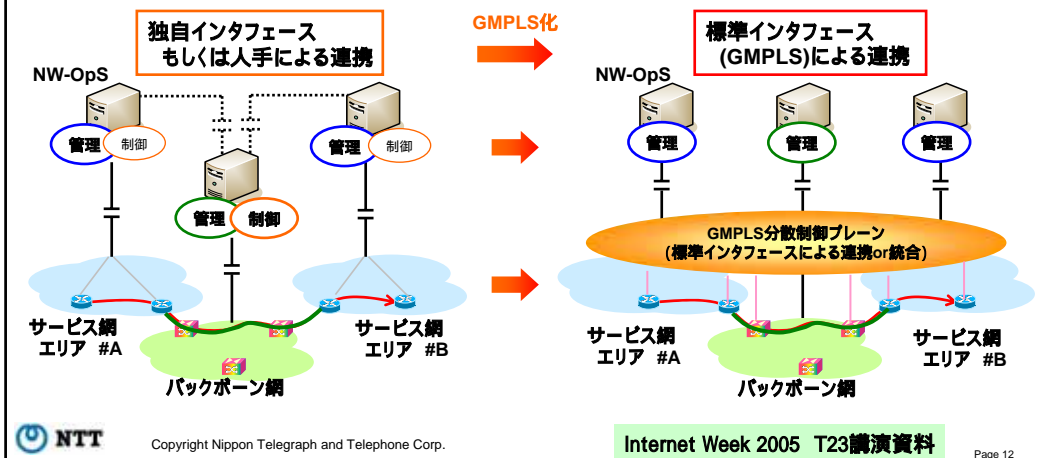
波長ルーティングのイメージ



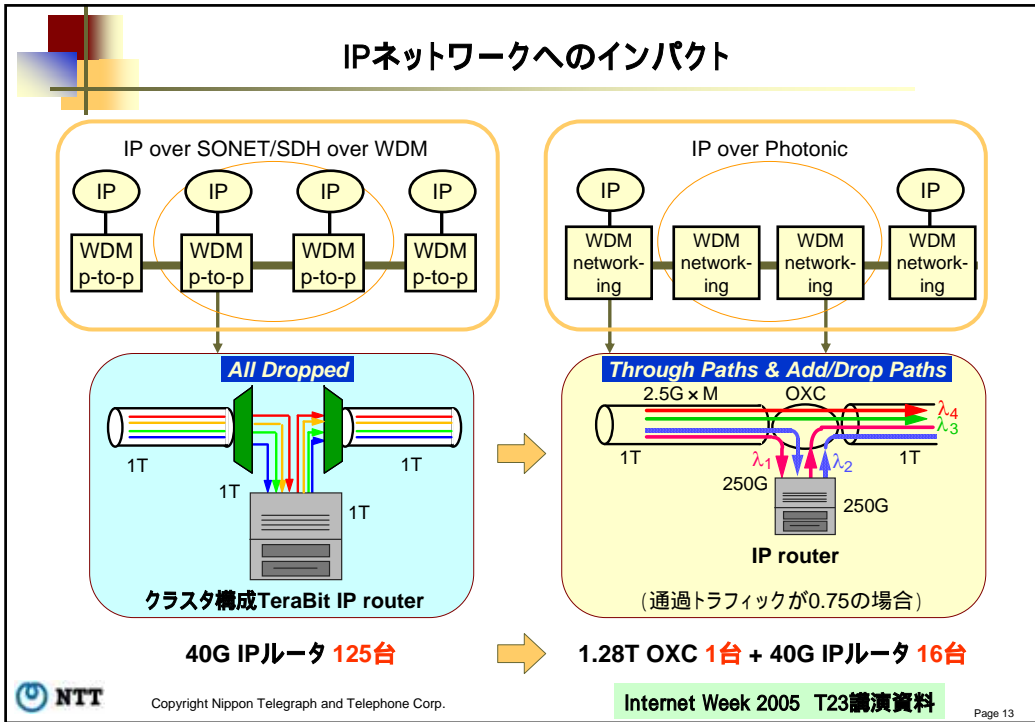
背景：なぜGMPLSとOXCか？ (1)

■ 運用の効率化

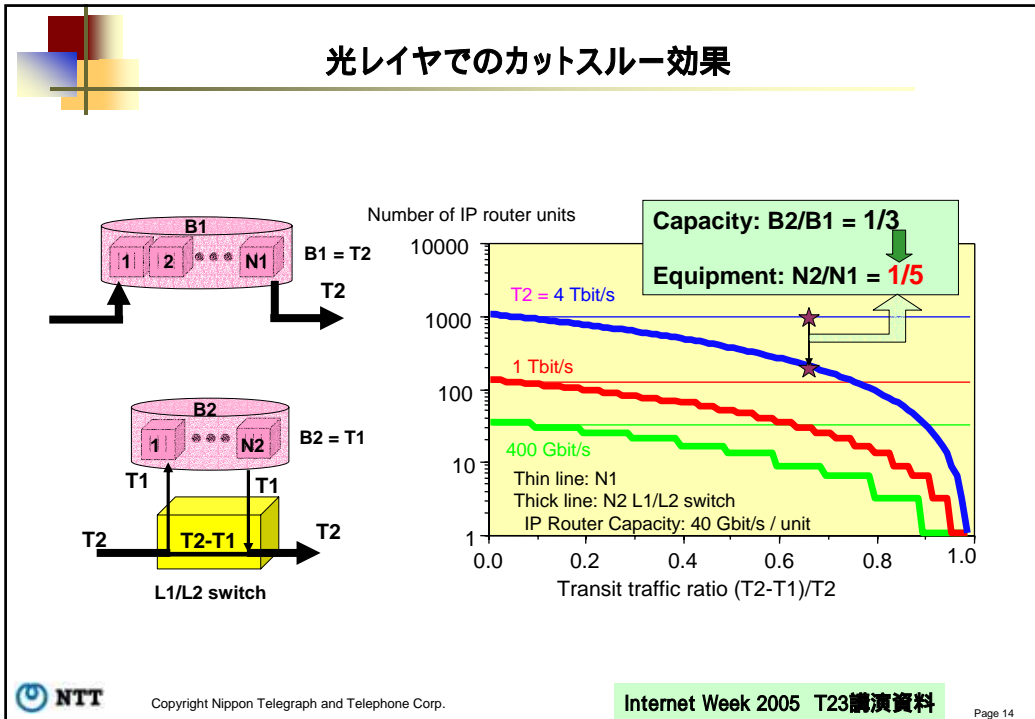
- ✓ サービス網とバックボーン網の連携強化による効率運用の実現
- ✓ サービス開通の短縮化 (サービス網からバックボーン網パスを制御)
- ✓ サービス網の故障救済・再構成 (サービスノード故障)



IPネットワークへのインパクト



光レイヤでのカットスルー効果



GMPLS-OXC技術で創出可能な新サービス

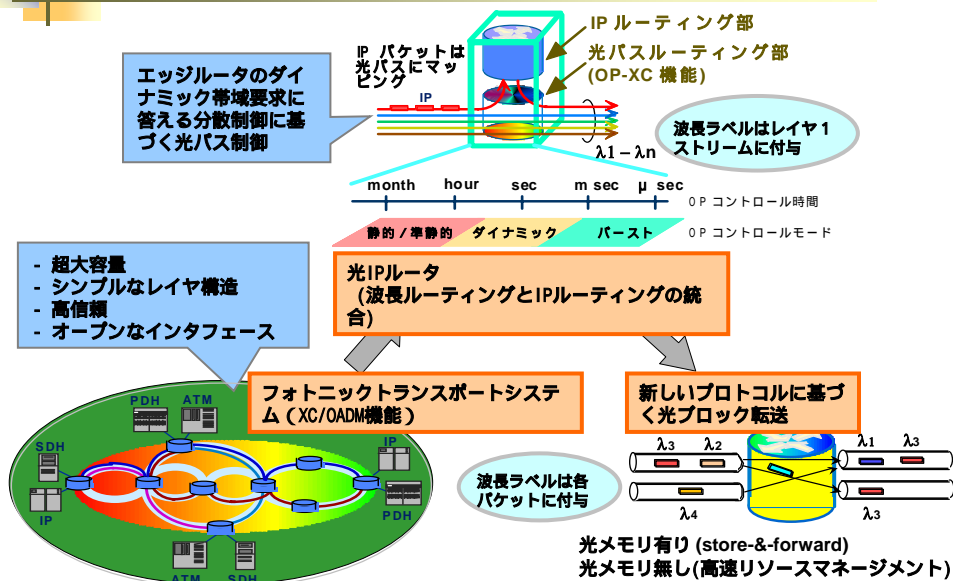
■ 新信頼性クラスサービス

- ✓ 低信頼クラス リストレーション (予備系を共有)
- ✓ 既存クラス プロテクション (信号を別経路にコピーして転送)
- ✓ 高信頼クラス プロテクションに失敗したら、新しい経路を探索して動的にパスを救済

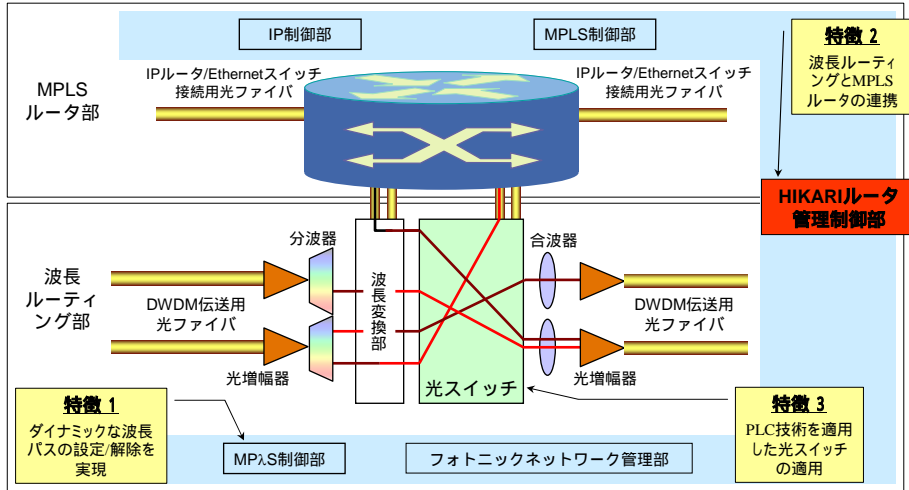
■ Layer-1 VPNサービス

- ✓ 仮想的な自分専用の広域光回線
- ✓ グリッドコンピューティングとの親和性
(サイエンスの世界からビジネスグリッドに進展?)

光IPルータへの進化



Photonic "MPLS" Routerの機能ブロック



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 17

Photonic "MPLS" Router プロトタイプ写真 ～波長ルーティング部～

Node #1 ← Node #2 →




Supercomm2001



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 18




第一部

フォトニックネットワーク技術

- 光伝送技術入門
- SDH/SONETとOTN
- 光スイッチ技術の動向

NTT Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp. Internet Week 2005 T23講演資料 Page 19



光伝送システムの基本構成

- 送信器 : 波長1550nm、1300nm、850nm
- 光ファイバ : マルチモード、シングルモード
- 光増幅器 : 実用的なのは1550nm帯域用
- 光フィルタ : マルチモード用はほとんど無い
- 光スイッチ : マルチモード用はほとんど無い
- 光受信器 : モード依存、波長依存は少ない

太平洋横断も可能だけど。。。

光増幅器の出力制限

光SNの維持

受信器の最小受光感度

NTT Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp. Internet Week 2005 T23講演資料 Page 20

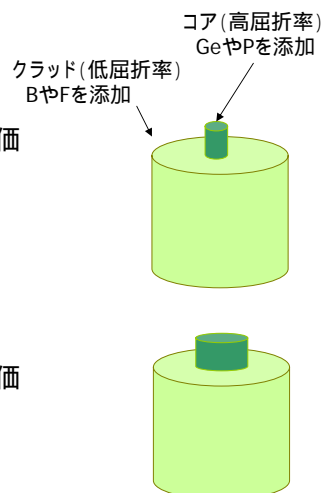
光ファイバの特徴

- とにかく低損失
 - ✓0.2 dB/km という損失特性
 - ✓冬の晴れた日に東京から富士山が見えますが、それくらいの透明度
- とにかく広帯域
 - ✓100THzくらいの帯域を通信に利用可能
- 電磁誘導、ノイズ特性が良好
- クロストーク(漏話)特性も良好
- 環境にやさしい材料
 - ✓地球にはもともと沢山あります。
 - クラーク数トップ2の元素(酸素と珪素)で作られていますから。。
- 軽量

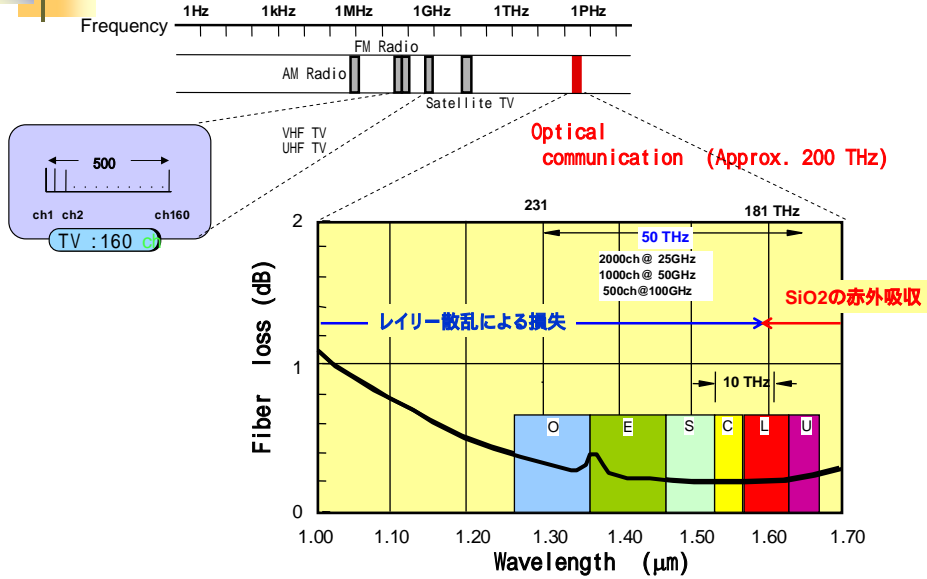
欠点も当然あります。
曲げに弱い、接続が大変、とか。
特殊なファイバで克服されつつありますが。。

光ファイバの種類と構造

- シングルモード光ファイバ
 - コア径 ~ 10ミクロン
 - 光モジュール化、コネクタ取り付けが高価
 - 高速デジタル信号が遠くまで届く
 - 屋外配線
- マルチモード光ファイバ
 - コア径 ~ 50ミクロン
 - 光モジュール化、コネクタ取り付けが安価
 - 高速デジタル信号は遠くまで届かない
 - 屋内機器間配線 (~ 500m)

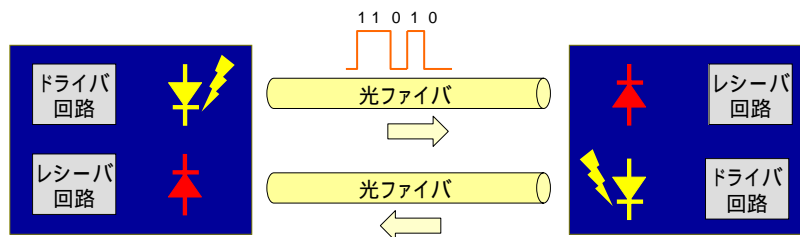


光ファイバの光伝播損失特性



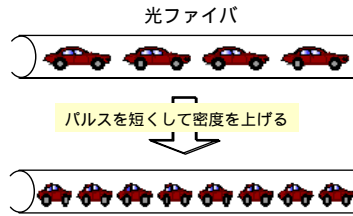
どうやって通信するの？

- “0”か“1”のデジタル伝送が主流
- 現在の主流は、光のON/OFFで“1”か“0”を判別する方式
 - ✓ これを強度変調直接検波 (IM-DD)方式といいます。

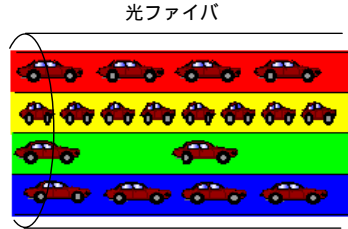


伝送容量を高める手段

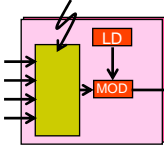
時分割多重伝送 (TDM) 方式



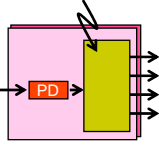
波長分割多重伝送 (WDM) 方式



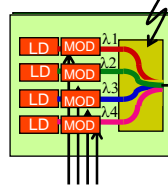
多重回路(電子デバイス)



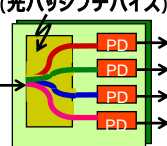
分離回路(電子デバイス)



合波器(光パッシブデバイス)

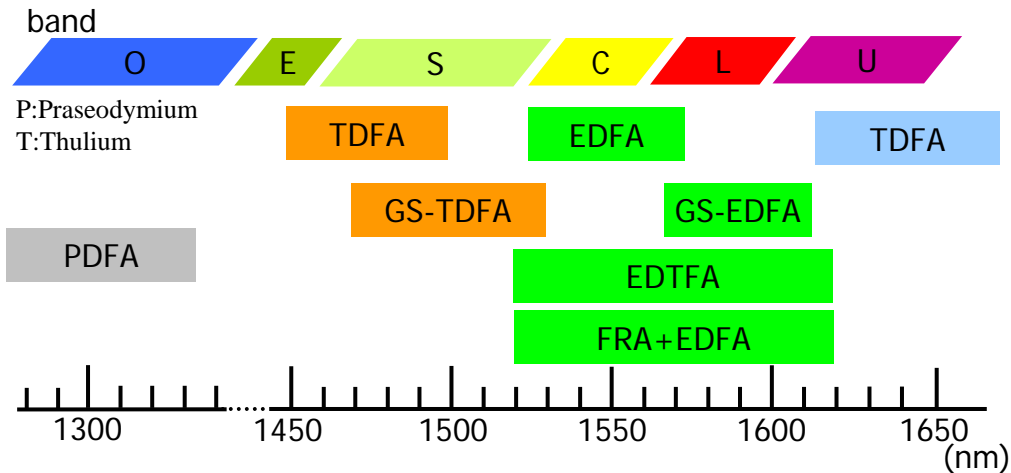


分波器(光パッシブデバイス)



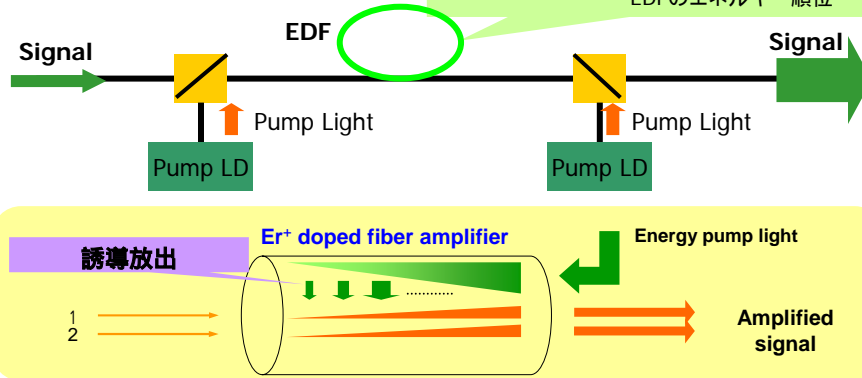
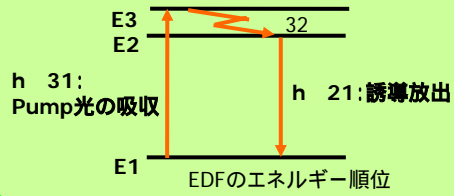
各種波長帯向けの光アンプ

- 色々な元素をファイバに添加して探索した結果？
- 複数の光増幅器を組み合わせる使用。



レーザ光増幅の原理

- Erbium Doped Fiber Amplifier
- 最も広く用いられている光増幅器
- 誘導放出を用いて光を増幅
- 増幅すると光SN比は劣化



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 27

光増幅による信号品質の劣化

- 光増幅器による雑音で信号品質が劣化
- 原理的に光SN比は最低でも3dB劣化

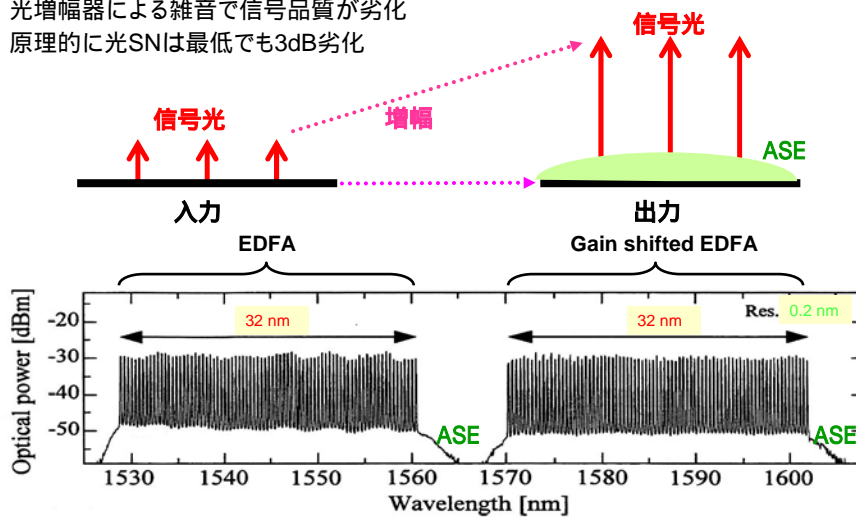


Fig.2 Optical spectrum after 40 concatenations (1,500-km transmission length)



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 28

光ファイバの“分散”による信号品質の劣化

- 光ファイバの屈折率は、波長依存性を有する。
 - ✓ 光の色で伝播速度が異なる。群速度“分散”という。
 - “分散”には、
 - 材料分散 (波長に対して負の変化率)
 - 構造分散 (波長に対して正の変化率)
 がある。(正の変化率とは長波長になるほど光伝播速度が速くなることを指す。)
 - 光ファイバの構造を調整して分散が“0”(つまりパルスが広がらない)波長をシフトさせる。
 - SMF 1300nm帯に零分散波長
 - DSF (Dispersion Shifted Fiber) 1550nm前後に零分散波長をシフト
- ✓ 分散は光パルス波形を広げる
 - 理由: 高速パルスの光スペクトルは、広がりを持つ (= 複数の色を持つ)



光ファイバの非線形屈折率による信号品質劣化 (自己位相変調効果と相互位相変調効果)

- 自己位相変調: Self Phase Modulation (SPM)
 - ✓ パルスがファイバ中を伝播する時、パルス前方がRed Shift, 後方がBlue Shiftする現象。ファイバの分散がある事で波形が歪む

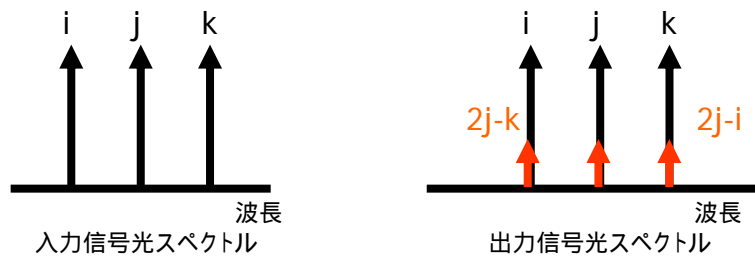


- 相互位相変調: Cross Phase Modulation (XPM)
 - ✓ 波長の異なるパルスが相互作用することで、パルス内で光の周波数が変化する現象。ファイバの分散がある事で波形が歪む

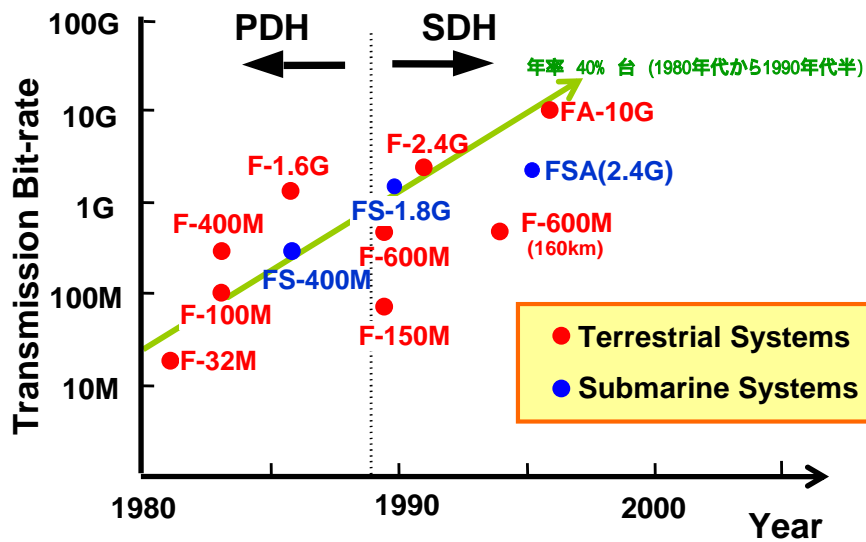


光ファイバの非線形屈折率による信号品質劣化 (四光波混合効果)

- 3つ(もしくは2つ)の波長多重信号光がMixingする現象
 - ✓ 信号光の波長間隔が等間隔になるとクロストーク(漏話)が発生する。
 - ✓ 分散が小さいファイバで特に発生しやすい。
けど、分散を小さくしないとそもそも光パルス波形がなまるし。
ちょっとしたジレンマ。



TDM伝送技術(商用化システム)のトレンド



伝送実験のトップデータの変遷

TDM/WDM伝送実験の競争

- 1Tbit/s (96年2月OFC)
 - ✓ ペル研 (20 G x 50 ch, 55 km NZDSF)
 - ✓ 富士通 (20 G x 55 ch, 150 km SMF)
 - ✓ NTT (100 G x 10 ch, 40 km DSF)

- 3 Tbit/s (99年3月OFC)
 - ✓ NTT (160 G x 19 ch, 40 km DSF)

- 6.4 Tbit/s (2000年9月ECOC)
 - ✓ NEC (40 G x 160 ch, 186 km SMF+RDF)
 - 偏波多重

- 10.9 Tbit/s (2001年3月OFC)
 - ✓ NEC (40 G x 273 ch)
 - C+L+S バンド、偏波多重
 - 0.4 bit/s/Hz

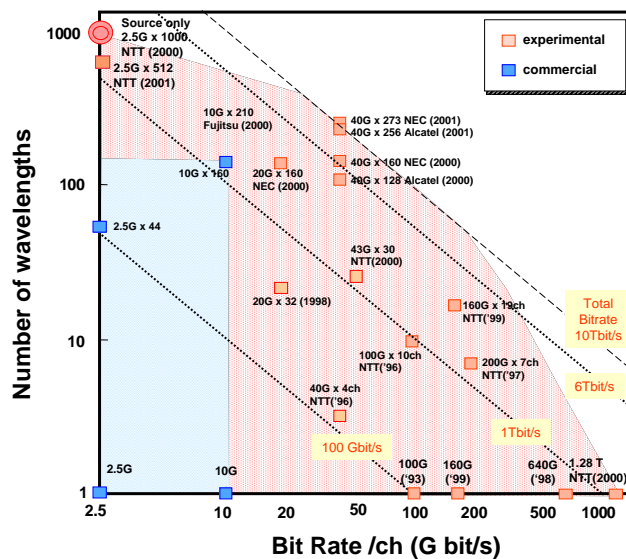
TDM伝送実験の競争

- 400 G-OTDM (96年2月OFC)
 - ✓ NTT (400 G x 1 ch, 40 km DSF)

- 1.28 T- OTDM (2000年9月ECOC)
 - ✓ NTT (1280 G x 1 ch, 70 km SMF+RDF)

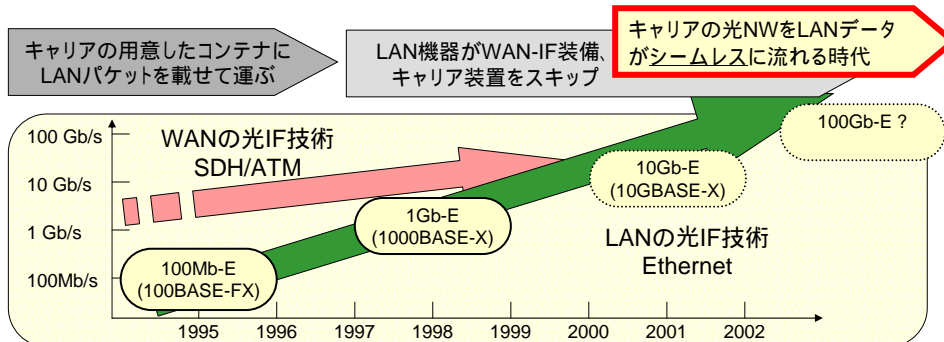
ここ数年は小休止(?)
光増幅器の帯域で制限

伝送容量の拡大競争 (10 Tbit/fiber で収束?)



光伝送技術のトレンド ～LANがWANに追いついた！～

- IP (Ethernetフレーム)トラフィックの急増
- LANのIF速度がWANのIF速度に追いつく時代の転換点



IPルータの光IFの例

■ OC-48/STM-16 (約2.5 Gbit/s)

SMIR (15km) 1300nm	
TX -5 to 0 dBm	
RX -18 to 0 dBm	許容損失13 dB
SMLR (80km) 1550nm	
TX -2 to +3 dBm	
RX -28 to -9 dBm	許容損失26 dB
SMSR (2km) 1300nm	
TX -10 to -3 dBm	
RX -18 to -3 dBm	許容損失8 dB

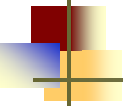
■ OC-192/STM-64 (約10.0 Gbit/s)

SMLR (80km) 1550nm	
TX +6 to +8 dBm	
RX -22 to -10 dBm	許容損失28 dB
SMSR2 (20km) 1550nm	
TX -4 to 0 dBm	
RX -14 to -3 dBm	許容損失10 dB

■ GbE (1.25 Gbit/s)

LX	
TX -9.5 dBm	
RX -20 dBm	許容損失10.5 dB


■ 10GbE (10.3125 Gbit/s)



第一部

フォトニックネットワーク技術

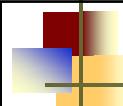
- 光伝送技術入門
- SDH/SONETとOTN
- 光スイッチ技術の動向

 NTT

Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料


Page 37



SDHとSONET

- SDH(Synchronous digital hierarchy)
 - ✓ ITU-T(旧CCITT)により1988年の国際標準化
 - ✓ 基本速度: 155.52 Mbit/s: STM-1
 - » (Synchronous Transfer Mode Level One)
 - » 伝送容量: 2,016 ch(64 kbit/s換算)
- SONET(Synchronous Optical NETwork)
 - ✓ 米国標準協会ANSI電気通信委員会T1の米国規格
 - ✓ 実効的にはSDHと同一の規格, 名称等に差異
 - ✓ 基本速度: 52 Mbps: OC - 1

参考: 石田修, 瀬戸康一郎『改訂版10ギガビットEthernet教科書』, インプレス, 2005.4
p.346, 第9章コラム SDHとSONET

 NTT

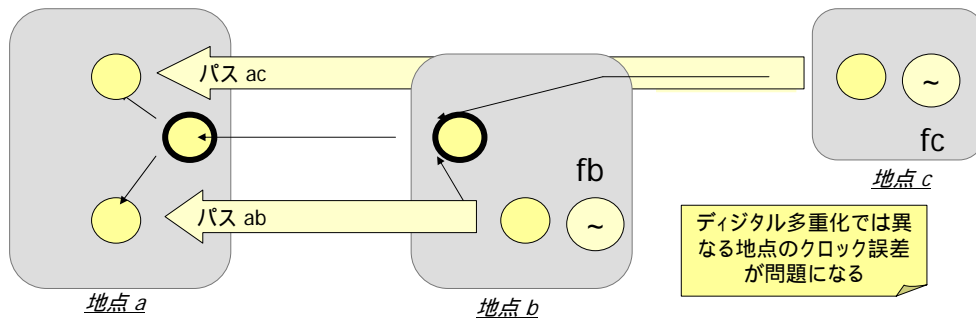
Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

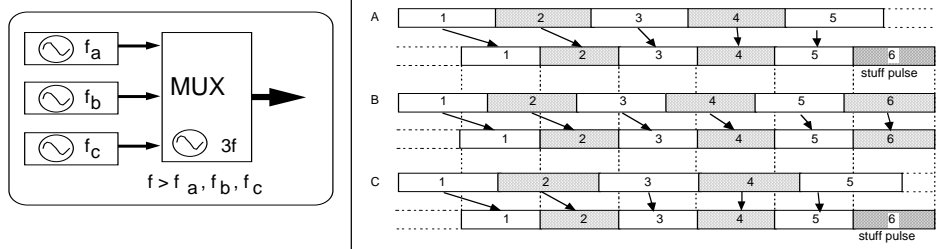
Page 38

伝達網のデジタル多重化方式(同期)

- スタッフ多重(非同期多重)
- 同期多重
 - ✓ 周波数同期多重
 - ✓ 位相同期多重
 - ✓ ポインタによるSDH多重



スタッフ多重



同期多重

- 周波数同期多重
 - ✓ 網同期(後述)により、 $f_a = f_b = f_c$ を実現する
 - ✓ 多重装置側にバッファ・メモリを搭載して、各チャネルの開始位置を揃える
- 位相同期多重
 - ✓ 周波数同期 + 開始位置揃え
 - ✓ 信号源側で開始位置まで揃えて出力
- ポインタによるSDH多重
 - ✓ 一定範囲内で周波数がずれていても多重化可能
 - ✓ 詳細は後述

SDH/SONET インタフェース速度

- SDHとSONETでは名称が異なる

SDH多重化レベル	インタフェース(シグナル/モジュール)				多重化単位(エンベロップ/コンテナ) パス・オーバーヘッド+バイト列(ペイロード)			
	SONET		SDH	ビット・レート (ビット/秒)	名称		ペイロード容量	
	光	電気			SONET	SDH	ビット/秒	電話換算
0	OC-1	STS-1	STM-0	51.84M	STS-1 SPE	VC-3	49.92M	780 ch
1	OC-3	STS-3	STM-1	155.52M	STS-3 SPE	VC-4	149.76M	2,340 ch
2	OC-12	STS-12	STM-4	622.08M	STS-12c SPE	VC-4-4c	599.04M	9,360 ch
3	OC-48	STS-48	STM-16	2.48832 G	STS-48c SPE	VC-4-16c	2.39616G	37,440 ch
4	OC-192	STS-192	STM-64	9.95328 G	STS-192c SPE	VC-4-64c	9.584 64G	149,760 ch
5	OC-768	STS-768	STM-256	39.81312 G	STS-768c SPE	VC-4-256c	38.338 56G	599,040 ch
$(\text{Log}_2 N)+1$	OC/STS $3 \times N$		STM - N	$155.52M \times N$	STS-($3 \times N$)c SPE	VC-4-Nc	$155.52M \times 26/27 \times N$	容量 /64kbps

参考: 石田修, 瀬戸康一郎 '改訂版10ギガビットEthernet教科書', インプレス, 2005.4
p.348, 第9章 表9-2

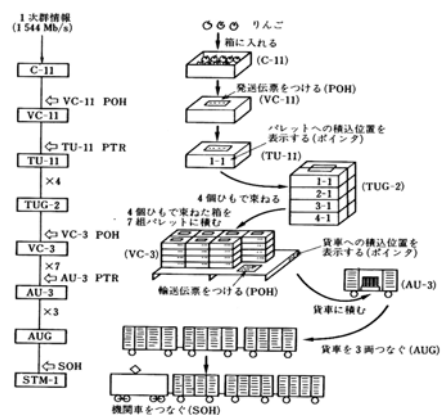
SDHの特徴(1)

- ✓ 世界統一された全同期インターフェース。従来の1.5 Mbit/s系と2 Mbit/s系を同時に扱え、通信装置のマルチベンダ化が可能。
- ✓ 多重化されている情報を低速に分離せずアクセス可能。
- ✓ 各種情報の柔軟な多重化が可能(64 kbit/s音声からB-ISDNまで)。
- ✓ 保守運用性に富んだインターフェース。

出典:『わかりやすいSDH/SONET伝送方式』, オーム社, 2001.4

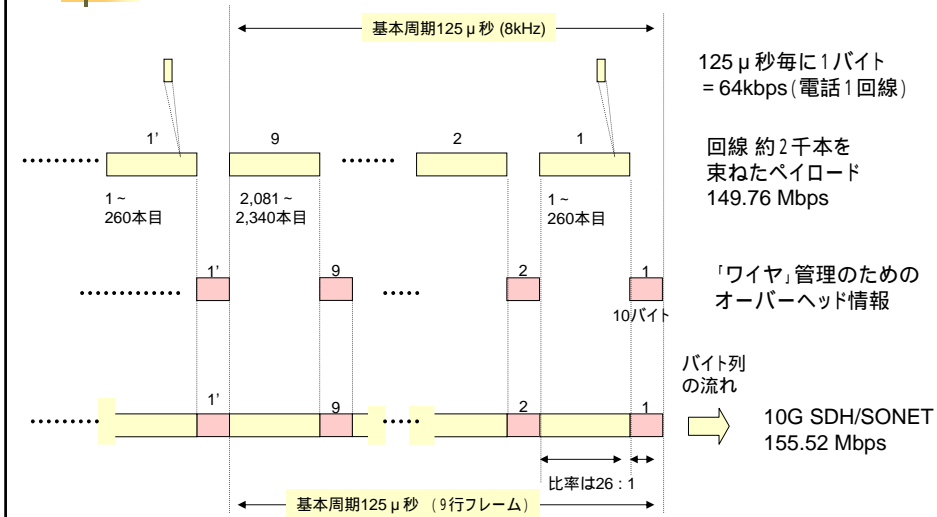
SDHの特徴(2)

技術内容	機能
ポインタ	処理遅延を少なく、ネットワークの全同期化を実現
9行フレーム	1.5 Mbit/s系と2 Mbit/s系の両ハイアラキーの両立
バーチャルコンテナ	各種情報を柔軟に多重化することを実現
オーバーヘッド	豊富な保守運用情報の転送を実現
セクション、パス	伝送網の階層化と運用保守の高度化を実現



出典:『わかりやすいSDH/SONET伝送方式』, オーム社, 2001.4

SDH基本フレーム 155.52Mbps (1)



参考: 石田修, 瀬戸康一郎「改訂版10ギガビットEthernet教科書」, インプレス, 2005.4
p.173, 第5章 図5-10

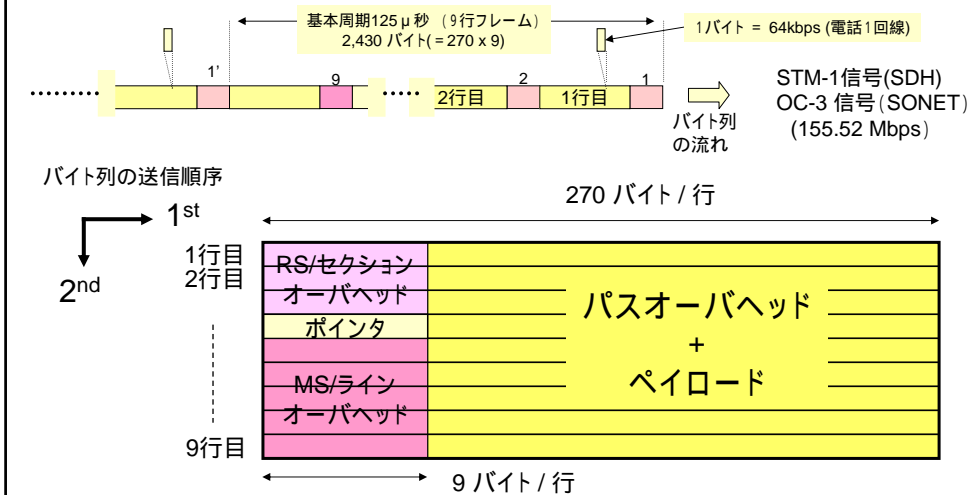


Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 45

SDH基本フレーム 155.52 Mbps (2)



参考: 石田修, 瀬戸康一郎「改訂版10ギガビットEthernet教科書」, インプレス, 2005.4
p.350, 第9章 図9-14

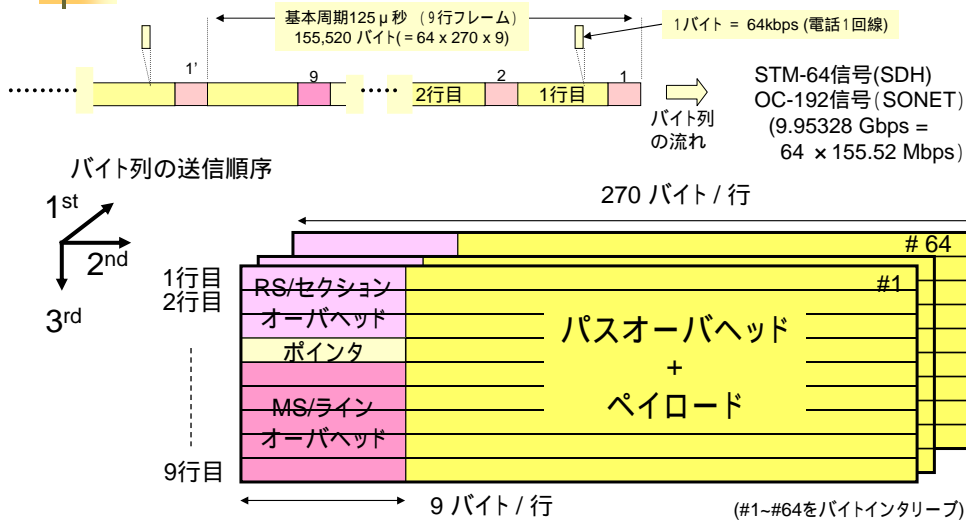


Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

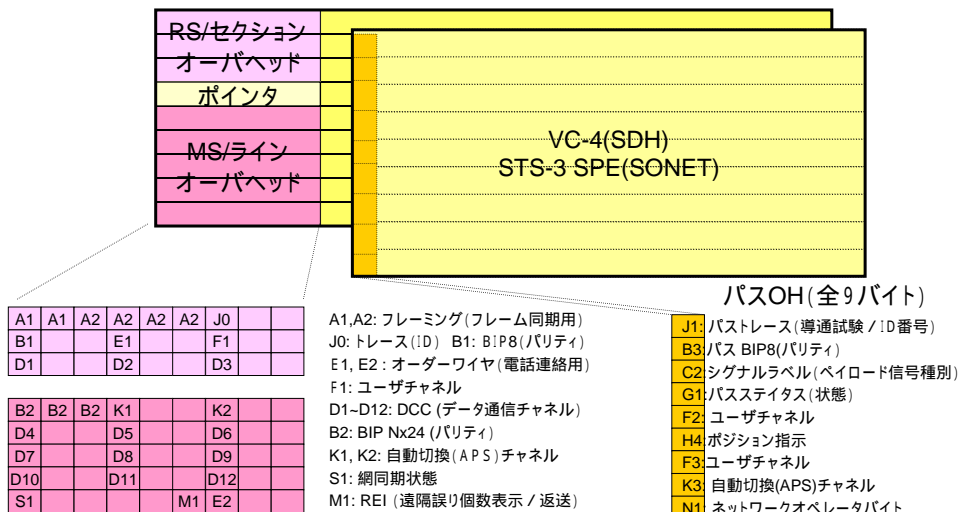
Page 46

実際のSDHフレーム(10Gbps の場合)



参考: 石田修, 瀬戸康一郎『改訂版10ギガビットEthernet教科書』, インプレス, 2005.4
p.350, 第9章 図9-14

SDHのオーバーヘッド情報



参考: 石田修, 瀬戸康一郎『改訂版10ギガビットEthernet教科書』, インプレス, 2005.4
p.353, 第9章 図9-16

OTNとそのメリット

■ OTN(Optical Transport Network)

- ✓ ITU-Tにより国際標準化 ITU-T G.709/G.874等
- ✓ 速度:2.5G/10G/40Gの3系列を仕様化
 - » SDH/SONETフレームをトンネリング可能

■ OTNのメリット

GbE/STM等のクライアント信号の管理バイト情報等を

トランスパアレントに転送可能で

且つ、GbE/STM/ATM等のクライアント信号の品質を**一元的に管理可能**な

フォトニックネットワークを構築できることである。

OTNインタフェースの速度系列

速度系列名称	フレーム速度	ペイロード名称	ペイロード容量	周期	備考
OTU-1	2 666 057.143 kbit/s	OPU1	2.48832	48.971 μ s	STM-16を収容
OTU-2	10 709 225.316 kbit/s	OPU2	238/237*9.95328	12.191 μ s	STM-64+ダミー・バイトを収容
OTU-3	43 018 413.559 kbit/s	OPU3	238/236*39.81312	3.035 μ s	STM-256+ダミー・バイトを収容

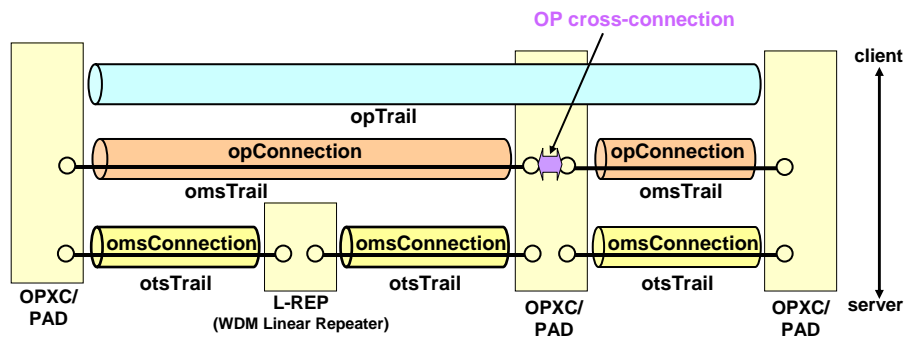
OTU: Optical Channel Transport Unit
OPU: Optical Channel Payload Unit

OTNアーキテクチャ

■ 3-layered structure (standardized in ITU-T G.872)

- ✓ OP: Optical Path (OCh: Optical Channel)
- ✓ OMS: Optical Multiplex Section
- ✓ OTS: Optical Transmission Section

■ Server-Client Model



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

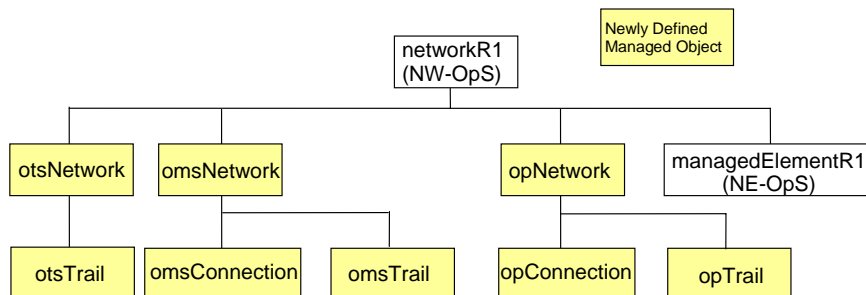
Internet Week 2005 T23講演資料

Page 51

OTNの管理オブジェクト(MO)

The MOs for the OTN and for the OXC's were developed by referencing and re-using existing standardized MOs for SDH network and for ATM network.

for SDH: described in ITU-T M.3100, ITU-T G.774 series.
for ATM: described in ITU-T I.751.

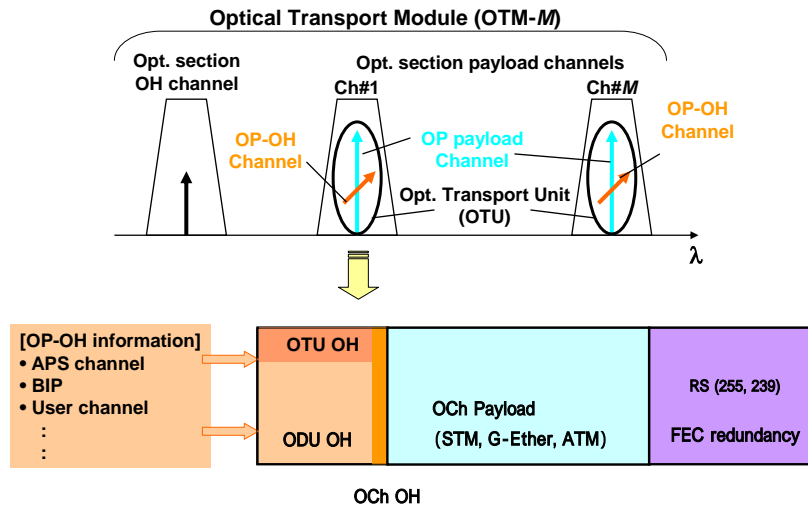


Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

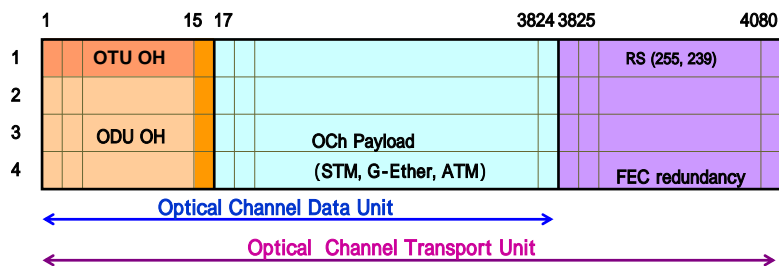
Page 52

OTNインターフェース (O-NNI)



OTUフレームフォーマット ITU-T G.709

- 125 μ sec周期フレーム構造からの決別 (電話からデータ通信志向に)
- 主信号はOCh-OH、OChペイロード、エラー訂正バイトの3部構成
- OCh-OHは光パスのEnd-to-End品質管理に利用
- エラー訂正バイトは光信号品質への要求条件を緩和



OTU1: 2 666 057.143 kbit/s,
 OTU2: 10 709 225.316 kbit/s,
 OTU3: 43 018 413.559 kbit/s.

OTNオーバヘッド情報 (OTU-OH)

- OTUフレーム全体の管理バイト
- フレームのアラインメント、光パストレーズ管理等

FAS: Frame Alignment Signal
 MFAS: MultiFrame Alignment Signal
 SM: Section Monitoring
 GCC: General Communication Channel
 RES: Reserved

64 Frame周期で構成
 ・ 光パストレーズ情報 (始点・終点ID)
 ・ 光バス警報通知 (BEI/BDI/AE/BIAE)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	FAS						MFAS	SM	GCC0				RES	

	1	14	17	3824	3825	4080
1	OTUk OH					RS (255, 239)
2						
3	OCh Payload					
4	OCh OH	(STM, G-Ether, ATM)			FEC redundancy	



OTNオーバヘッド情報 (OP-OH)

- OPUフレームの管理バイト
- タンデムコネクションモニタリングの仕様化
 - ✓ Inter-Domain光バスのEnd-to-End管理機能をサポート
 - ✓ 例えば、Provider #A始点側 区間(PMで監視)
 #B区間 (TCM1で監視) #A 終点側区間(PMで監視)

RES: Reserved
 TCM: Tandem Connection Monitoring
 TCM ACT: TCM Activation Deactivation Control Channel
 PM: Path Monitoring

FTFL: Fault Type & Fault Location Reporting Channel
 APS: Automatic Protection Switching Coordination Channel
 PCC: Protection Communication Control Channel

64 Frame周期で構成
 ・ 光パストレーズ情報
 ・ 光バス警報通知


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	RES		TCM ACT	TCM6		TCM5		TCM4		FTFL				
3	TCM3		TCM2		TCM1		PM		EXP					
4	GCC		GCC		APS/PCC		RES							

	1	14	17	3824	3825	4080
1						RS (255, 239)
2						
3	ODUk OH		OCh Payload			
4	OCh OH	(STM, G-Ether, ATM)			FEC redundancy	



ITU-TのOTN標準化状況

	勧告名	概要
G.694.1	Spectral grids for WDM applications : DWDM frequency grid	Cバンド、Lバンドにおける波長グリッド(12.5GHz～100GHz間隔)を規定
G.709	Interface for the optical transport network (OTN)	OTNフレームフォーマットを規定。運用用のSDH/SONET相当+の管理バイトを規定
G.798	Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks	OTNを構築するNEに要求されるOTN機能性を規定
G.8080	Architecture for the automatically switched optical network (ASON)	コネクションセットアップ、リリースなどの操作をするためのコントロールプレーンについて記述
G.8251	The control of jitter and wander within the optical transport network (OTN)	OTN内のジッタ・ワンダの規定
G.872	Architecture of optical transport networks	OTNアーキテクチャを規定。OCh/OMS/OTSのサブレイヤ構造を規定
G.874	Management aspects of the optical transport network element	OTNマネジメントを規定。故障管理、性能管理、構成管理などを規定

 特に重要な勧告



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 57

第一部

フォトニックネットワーク技術

- 光伝送技術入門
- SDH/SONETとOTN
- 光スイッチ技術の動向



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 58

光スイッチ技術の概要

■ 空間伝搬型

- ✓ 2Dマイクロミラー型
- ✓ 3Dマイクロミラー型 (富士通、Calientほか)

曲がりたがらない光をどうやって曲げるかが課題
 力づく
 屈折率の違いで曲げ、反射
 波の干渉性を利用
 ...

■ 導波路型

- ✓ ファイバ駆動型 (SII, 日立金属)
- ✓ Mach-Zehnder干渉計型
 - 熱光学型 (NEL)
- ✓ バブル型
 - 泡発生型 (Agilent)
 - 泡移動型 [Olive-SW]

光スイッチ比較 (制御の観点)

デジタル制御

■ 平面型スイッチ

- ✓ ファイバ型スイッチ
- ✓ 2D MEMS スイッチ
- ✓ PLC型スイッチ
 - バブル型
 - TO (Thermo-Optic)型

非機械式
 (高信頼)
 高安定動作
 (導波路内閉じこめ)

課題

低消費電力化
 高集積化

アナログ制御

■ 空間型スイッチ

- ✓ 3D MEMS スイッチ

課題

信頼性
 制御性

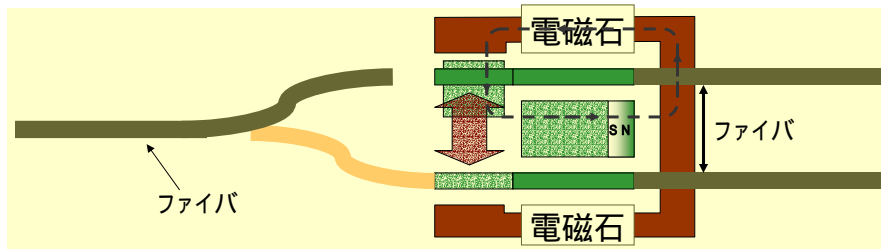
高集積性
 低損失性

MEMS: micro-electromechanical system

ファイバ駆動型スイッチ

■ 特徴

- ✓ 磁化被覆ファイバを直接駆動するため
 - 高クロストーク (< 60 dB)
 - 低挿入損失 (0.5 dB typ.)
- ✓ 自己保持機能 (電力消費なし)
- ✓ 多ポート化は困難



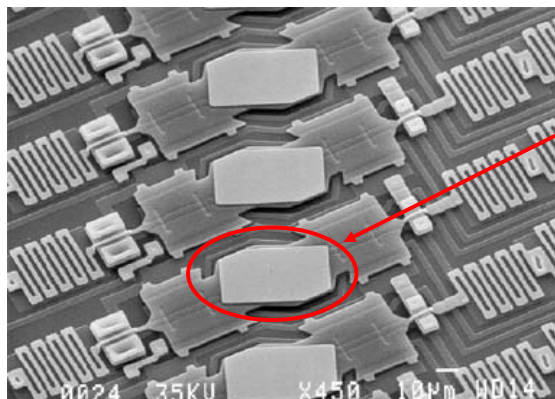
Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 61

MEMS

- Micro Electro Mechanical Systemsの略
- 電氣的な力で微小ミラーを動かすことで光の方向を変えることでスイッチする



これがミラー

www.lucent.com
より



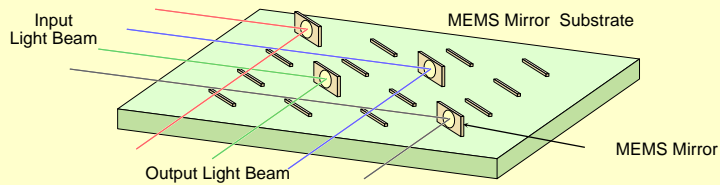
Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 62

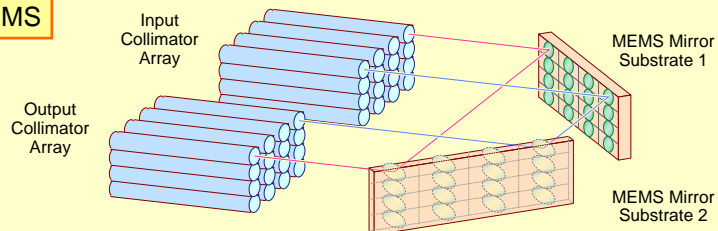
大規模MEMSマトリックススイッチ

2D-MEMS



2D-MEMSスイッチ

3D-MEMS



3D-MEMSスイッチ



2次元MEMSスイッチ

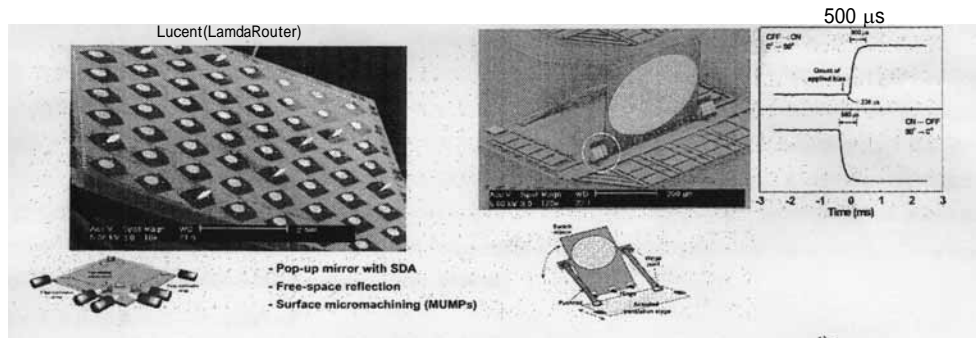
- デジタル制御
- 64×64程度まで(?)
- 高精度の光学系配置実装 / 製造必須
- 最短光路と最長光路との光路差が大きさを制限する
 - ✓ いずれにも最適化できない宿命
- 中規模低コストな光スイッチに好適か



2次元MEMSスイッチ

■ 特徴

- ✓ シリコンプロセスで大量に整列して作成
- ✓ 実装の小型化 ただし、バルク光学系は量産に不向き



L. Y. Lin et al.: "Micromechanical Optical-switching Technologies for WDM Networks," LEOS Summer Topical Meetings, p. 57 (1999)

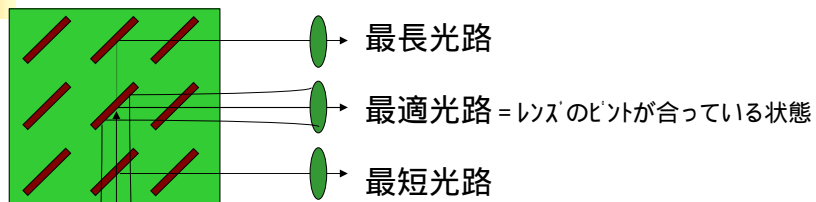


Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

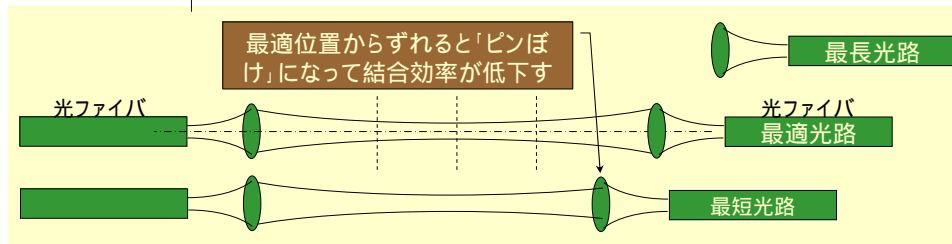
Internet Week 2005 T23講演資料

Page 65

2次元MEMSスイッチの制限要因



Y. Yamabayashi (NEL)



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 66

3次元MEMSスイッチ

Y. Yamabayashi (NEL)

- 富士通、Calient、GlimmerGlass等
- 2軸回転鏡による空間ビームハンドリング
- 鏡の角度制御に高精度アナログ制御必要
 - ✓ プロジェクタ用は、角度が決まっているのでデジタル
- 必要な鏡の数はポート総数に等しいので4096 × 4096も可能(?)

- とにかく、制御が難しい!!!

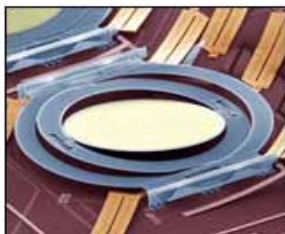


Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

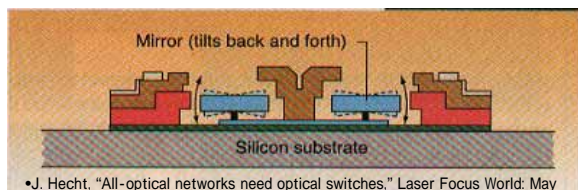
Page 67

3次元MEMSスイッチ



MEMSスイッチ

D.T. Neilson, et al., OFC2000, PD12-1, 2000



• J. Hecht, "All-optical networks need optical switches," Laser Focus World: May 2000, p. 189

150V静電2軸駆動

MEMS: Micro-Electro Mechanical System

- ポリシリコンベースは鏡面に難
- 単結晶型は加工が難しいが、鏡面も可能

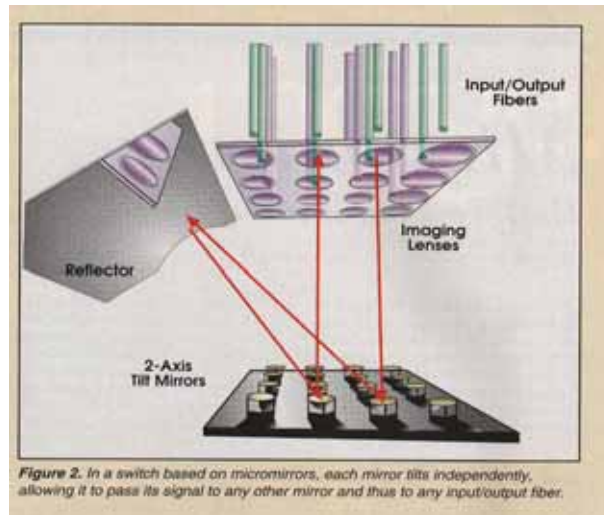


Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 68

3次元MEMSスイッチ



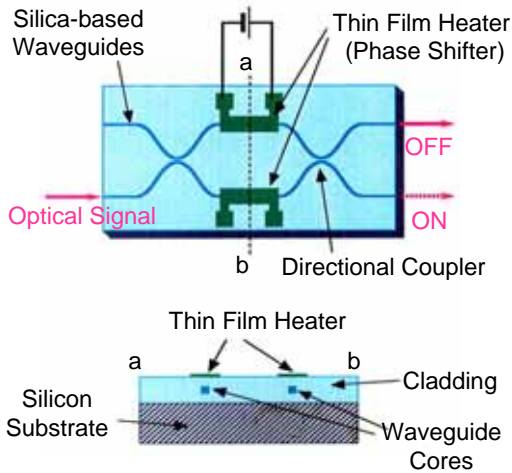
From "PhotonicsSpectra March 2000"

Mach-Zehnder干渉計型 熱光学スイッチ(TO-SW)

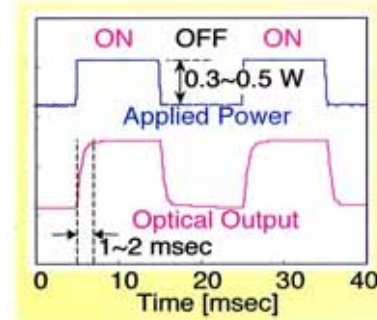
- 利点
 - ✓ スイッチ間配線導波路との集積化
 - ✓ 可動部分ないことによる高信頼化
 - ✓ 石英系であれば石英ファイバとの接続良
 - ✓ ミリ秒切替可能
- 欠点
 - ✓ 導波路の曲率制限によるレイアウト制約のため、1ウェハ上での多ポート化に制約

Mach-Zehnder干渉計型 熱光学スイッチ(TO-SW)

基本構造



制御特性



Insertion Loss < 1 dB
Extinction Ratio < 30 dB

T. Goh, et al., IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 10, p. 810, 1998



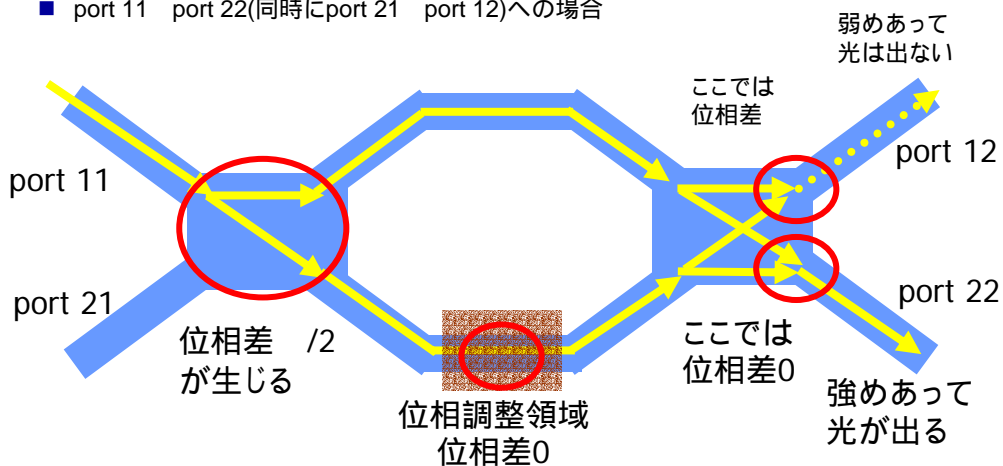
Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 71

熱光学光スイッチの原理(1)

■ port 11 port 22(同時にport 21 port 12)への場合



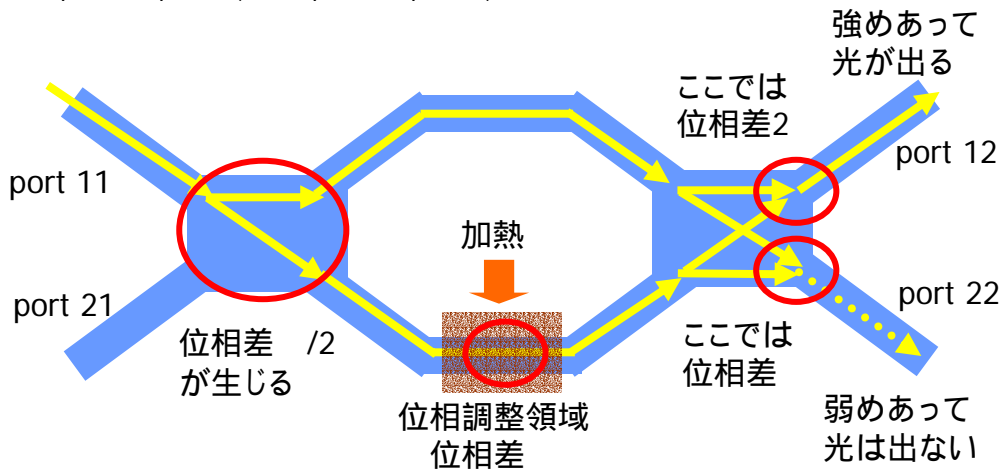
Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 72

熱光学光スイッチの原理(2)

■ port 11 port 12(同時にport 21 port 22)への場合



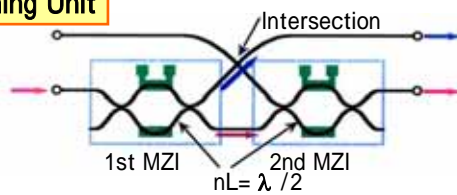
Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 73

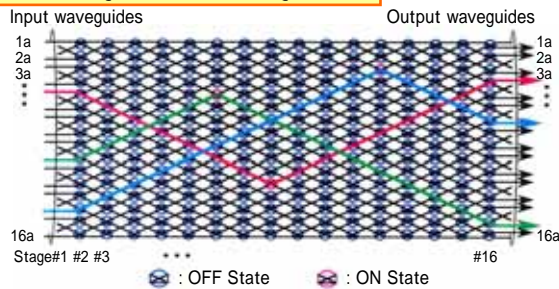
16 × 16 Matrix Switch構成

Switching Unit



Double-MZI Unit
for High Extinction
Ratio

Non-blocking Matrix Arrangement



Matrix Arrangement
for Short Total
Waveguide Length



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

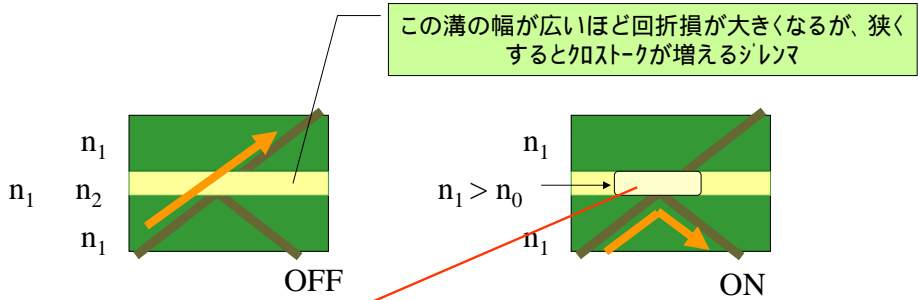
Internet Week 2005 T23講演資料

Page 74

全反射型光スイッチ

■ 全反射:

高屈折率媒質から低屈折率媒質へ臨界角以上で入射する場合に起こる反射



この溝の幅が広いほど回折損が大きくなるが、狭くするとクロストークが増えるシレンマ

・Agilentは泡の発生にインクジェットプリンタ技術を応用
・NTTは泡をヒータで移動させる



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

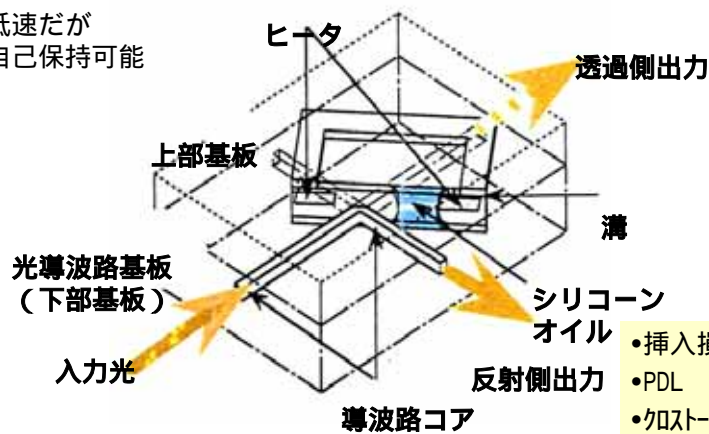
Internet Week 2005 T23講演資料

Page 75

泡移動型

■ 泡移動型

✓ 低速だが自己保持可能



- 挿入損 < 3 dB
- PDL < 0.5dB
- クロストーク < -45dB
- 反射 > 45dB
- 切替時間 < 200 ms

M. Makihara, et al., OFC2000, TuM2, 2000



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

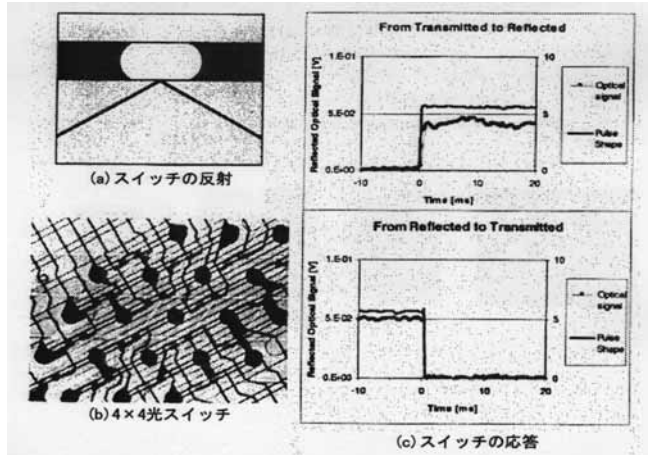
Page 76

泡発生型

■ 泡発生型 (Agilent)

- ✓ 高速(2 ms)だが自己保持不能

J. E. Fouquet et al., "Compact Scalable Fiber Optic Cross-Connect Switches," LEOS Summer Topical Meetings (1999), 59



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 77

第一部 まとめ

- 光ファイバ伝送技術
 - ✓ 1990年代後半までは年率40%台でTDMの高速化を実現
 - ✓ TDM/WDM伝送技術により10Tbit/secを実現(実験システム)
 - ✓ OADMリング、OXCへの適用に向けた伝送技術の高度化が進展
 - 狭スペクトル変復調技術
 - 送受信器の高密度実装技術 等
- SDH/SONETとOTN
 - ✓ OTNはフォトニックネットワークで充実したOA&M機能を提供
 - ✓ OTNは実用化フェーズに
- 光スイッチ技術
 - ✓ 64×64以上は3D-MEMS



Copyright Nippon Telegraph and Telephone Corp.

Internet Week 2005 T23講演資料

Page 78



謝辞

本講演資料の作成には下記メンバに協力頂きました。

- フォトニックネットワークの概要
岡本 聡 氏
(日本電信電話(株) ネットワークサービスシステム研究所)

- SDH/SONETとOTN (Optical Transport Network)技術
石田 修 氏
(日本電信電話(株) 未来ねっと研究所)

渡辺 篤 氏
(現在、NTTアドバンステクノロジー(株) アクセスネットワーク事業本部)

- 光スイッチ技術
山林 由明 氏
(日本電信電話(株) 未来ねっと研究所)