

第2回

各種 光通信システムー2

2007年4月23日(月)

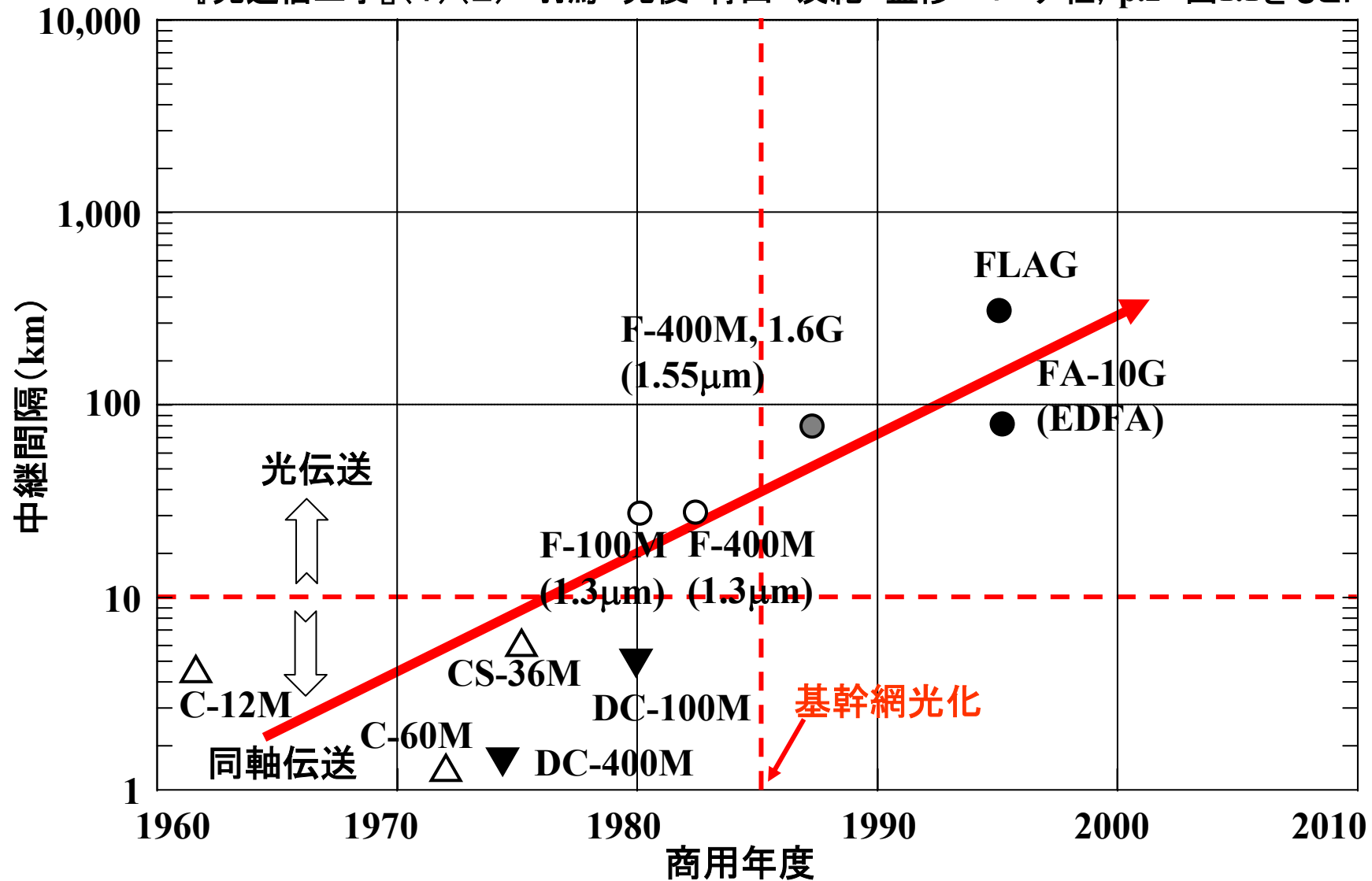
資料中、著作権にかかわる資料は意図的に
削除しておりますことをご承知置きください。

参考文献は明記しておりますのでご参照ください。

長距離基幹系

有線伝送方式の長距離化と伝送方式の変遷

『光通信工学』(1)(2) 羽鳥 光俊・青山 友紀 監修 コロナ社, p.2 図1.1をもとに作成



2007年度
光通信システム

日本周辺の国際海底ケーブル

総務省『平成13年度情報通信白書pp.18』より

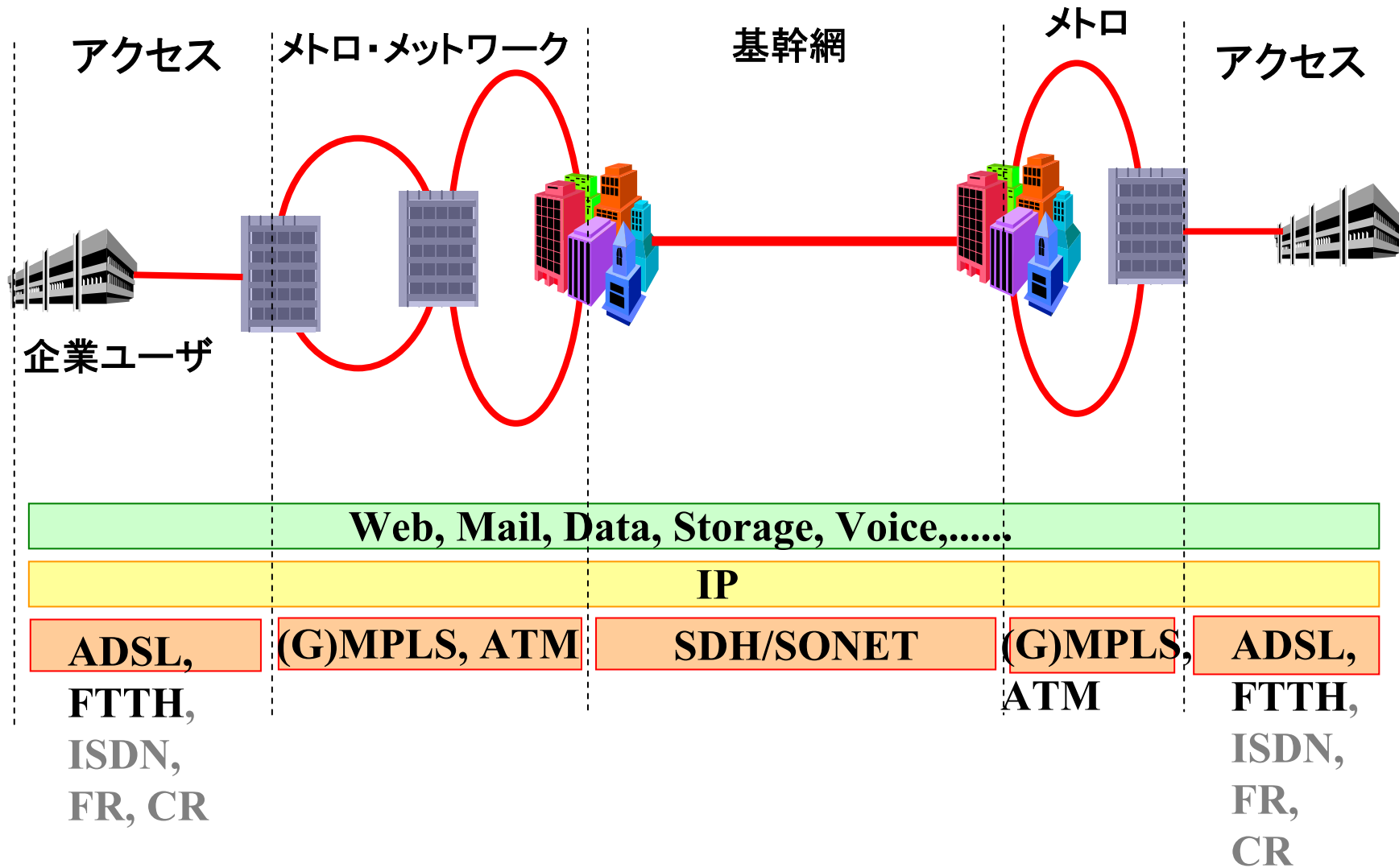


日本国内の基幹網

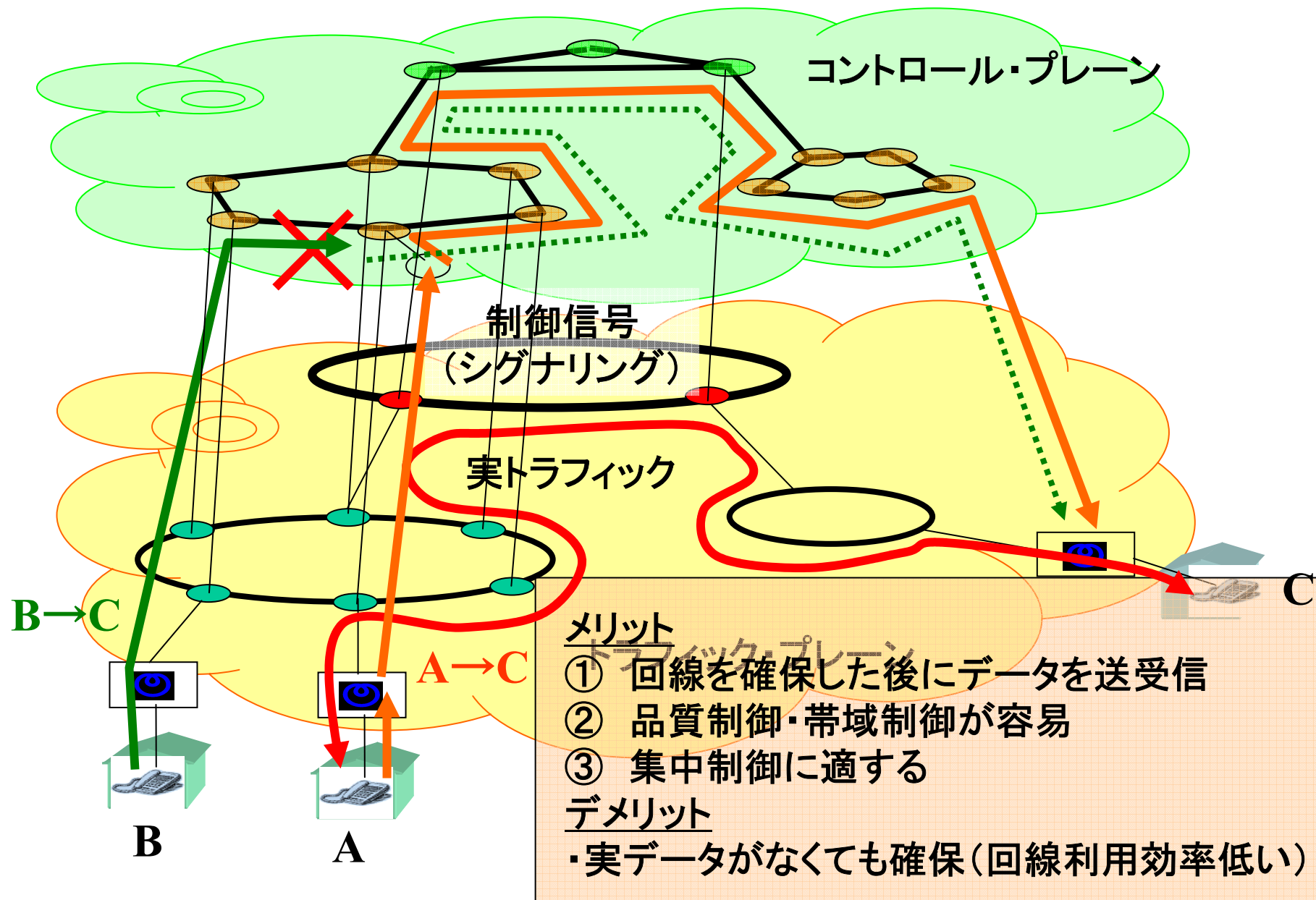
総務省『平成13年度情報通信白書pp.17』より



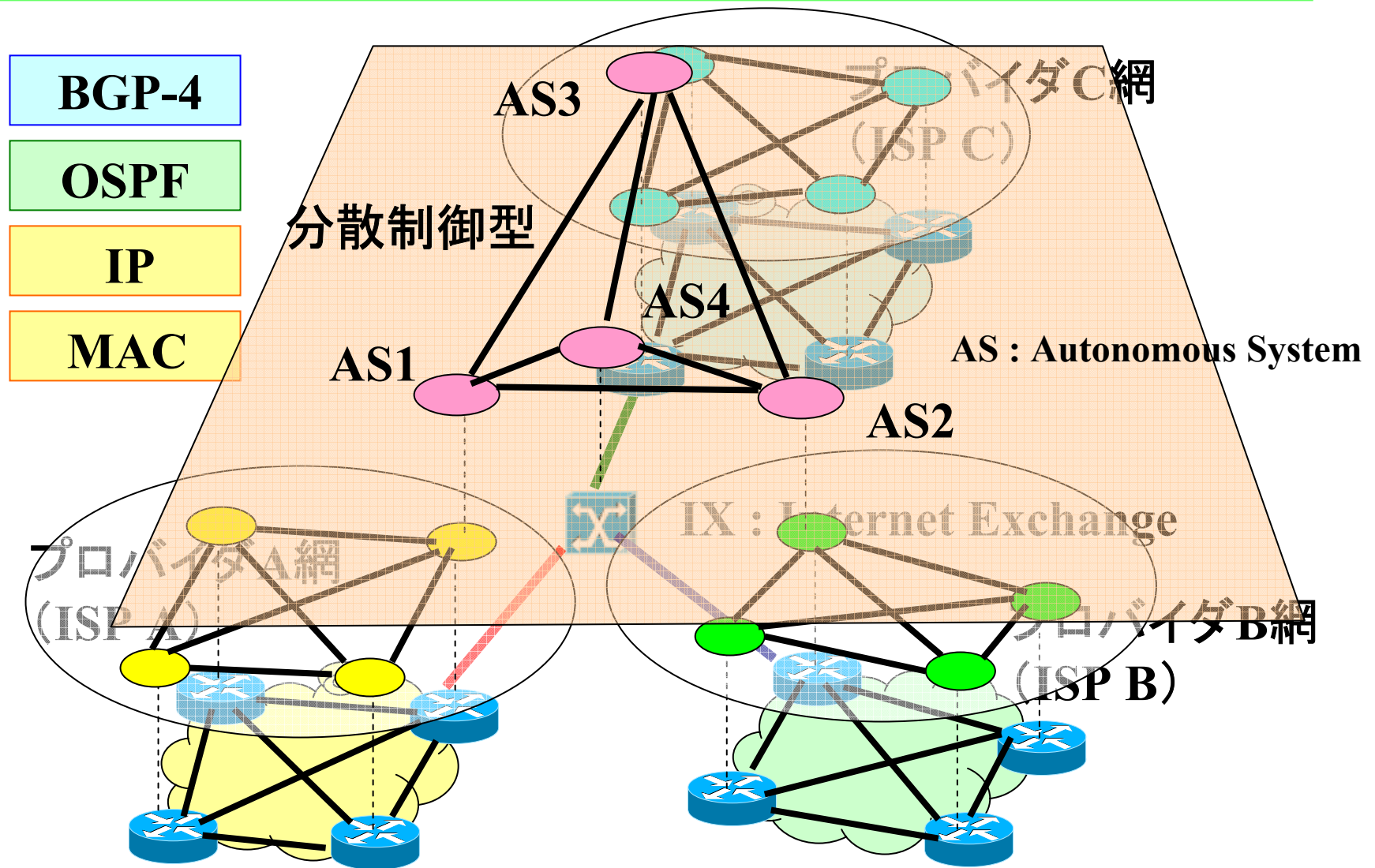
伝送方式・インタフェースの区分け



電話の通信の方式



インターネット(IP)網の構成



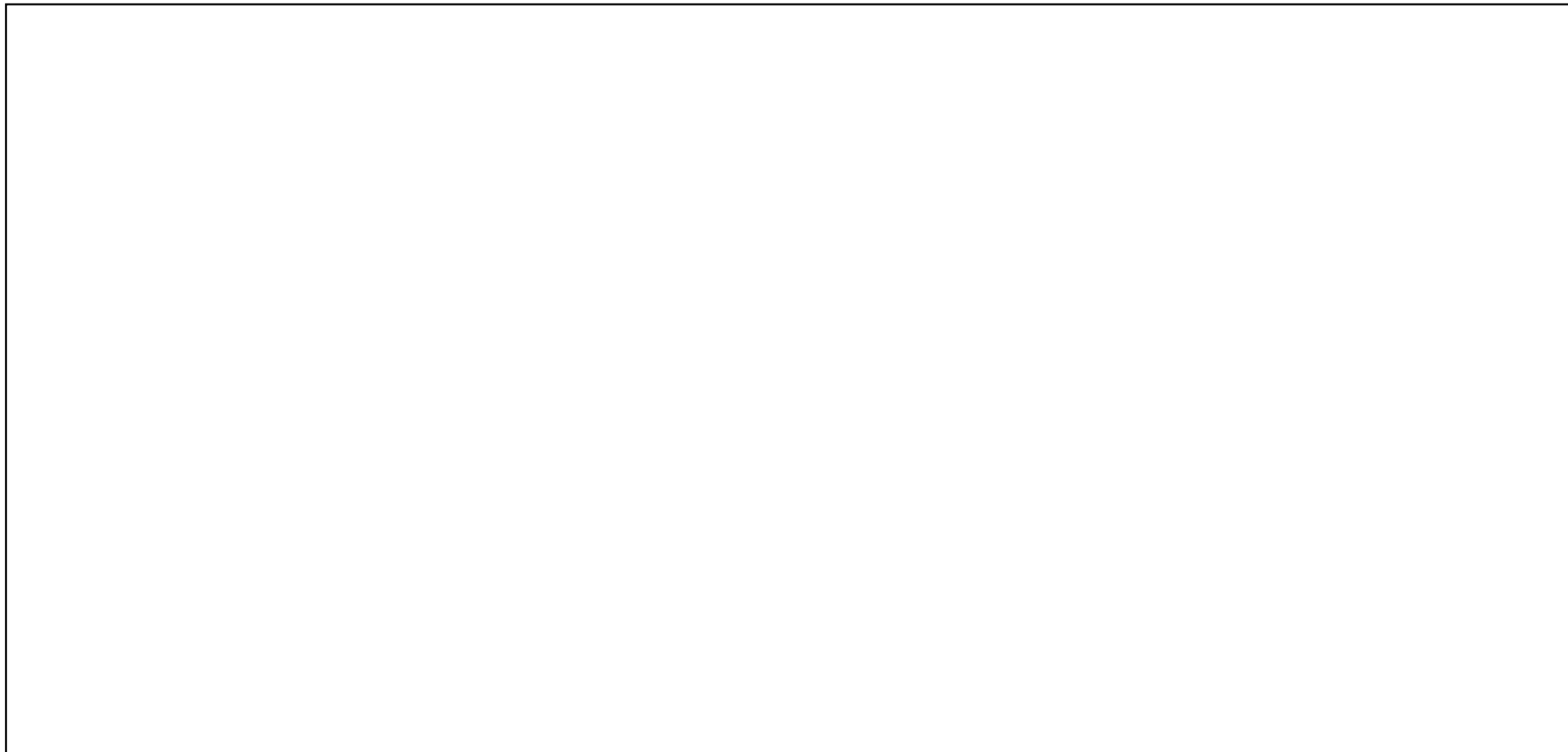
OSPF : Open Shortest Path First
BGP-4 : Border Gateway Protocol version 4

10.92Tb/s WDM伝送実験

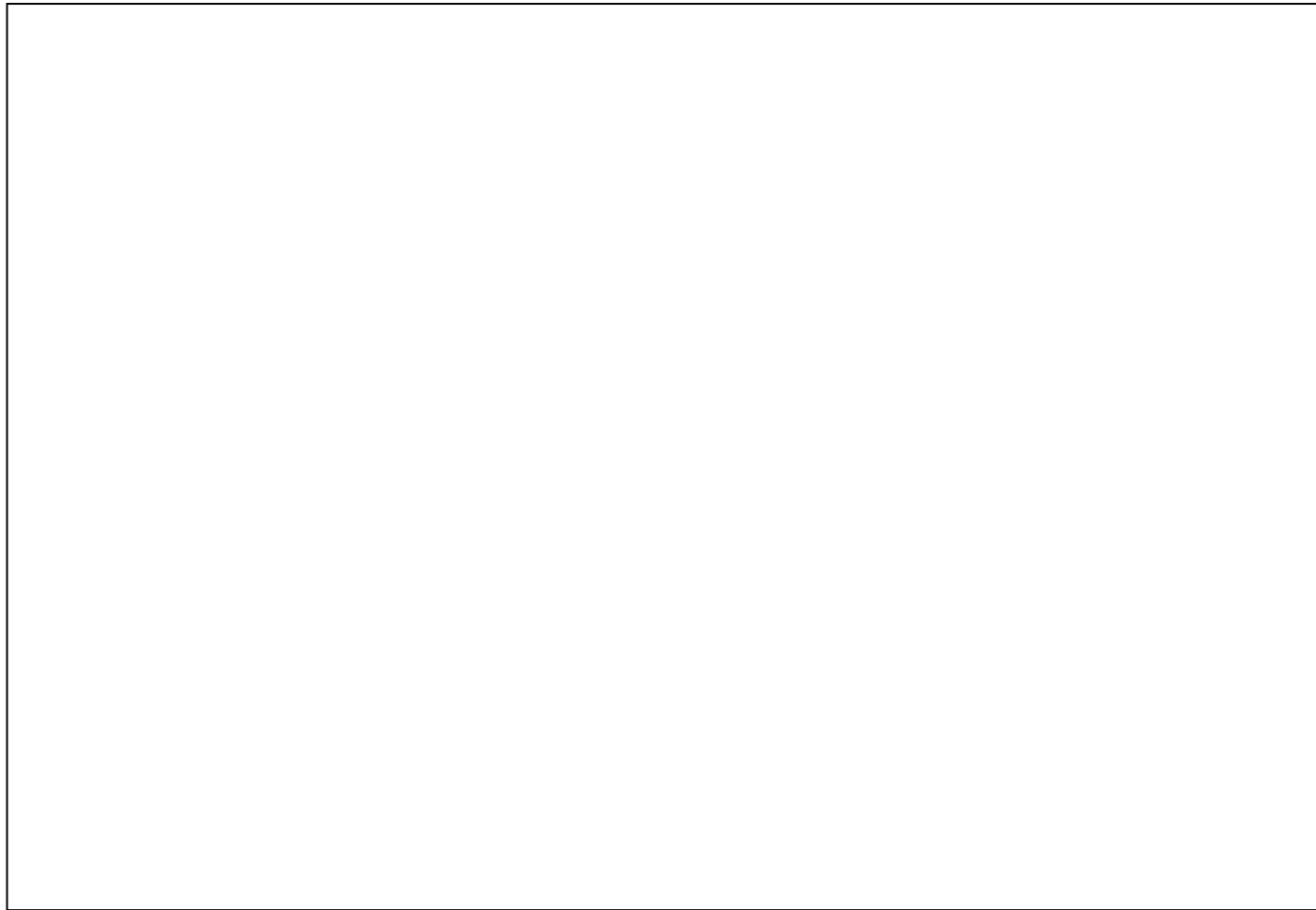
K. Fukuchi, T. Kasamatsu, M. Morie, R. Ohhira, T. Ito, K. Sekiya, D. Ogasawara and T. Ono (NEC), OFC2001, PD24-1, 2001.

伝送容量: $40\text{Gbps} \times 273\lambda = 10.92\text{Tbps}$

スペクトル利用効率: $40\text{Gbps} \div 50\text{GHz} = 0.8\text{bps/Hz}$



K. Fukuchi, T. Kasamatsu, M. Morie, R. Ohhira, T. Ito, K. Sekiya, D. Ogasawara and T. Ono (NEC), OFC2001, PD24-1, 2001.

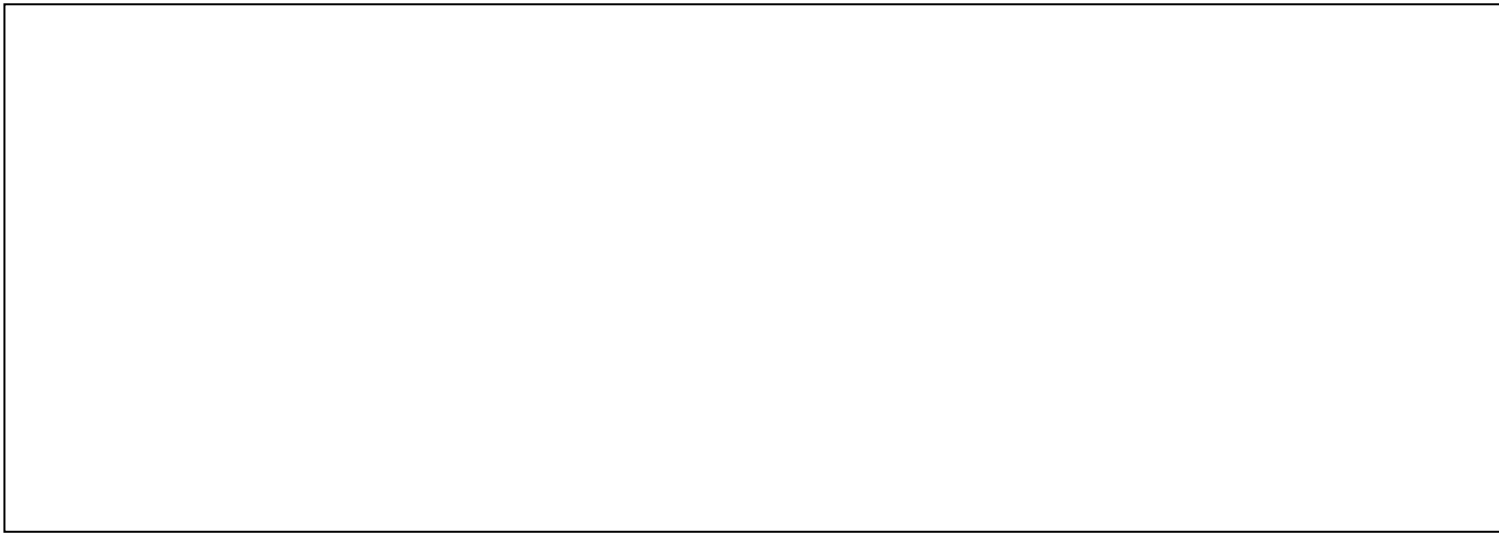


2007年度
光通信システム

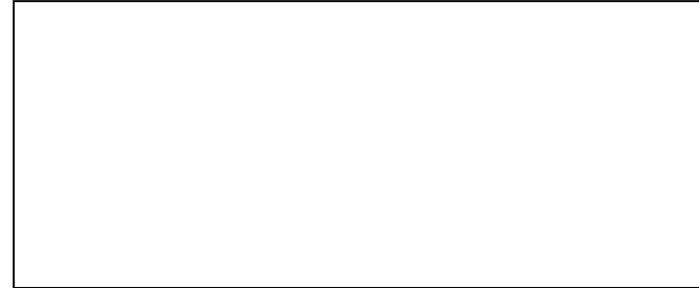
14Tbps伝送実験

A. Sano, H. Masuda, Y. Kisaka, S. Aisawa, E. Yoshida, Y. Miyamoto, M. Koga, K. Hagimoto,
T. Yamada, T. Furuta, and H. Fukuyama (NTT) ECOC2006, PD

$$70\lambda \times 55.5\text{Gbps} \times \text{DQPSK 4値多重} \times \text{偏波多重} = 14\text{Tbps}$$



$$55.5\text{Gbps} \times \text{DQPSK 4値多重} \times \text{偏波多重} / 100\text{GHz} = 2\text{bps/Hz}$$

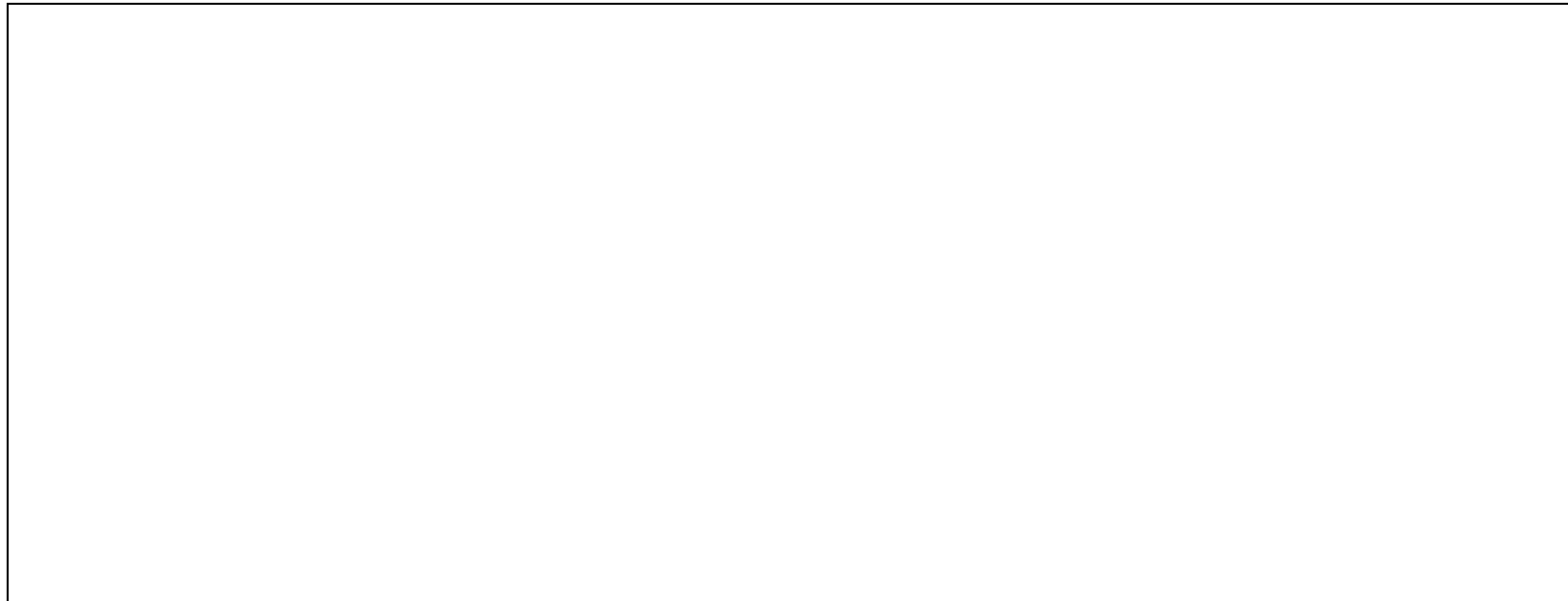


A.H. Gnauck, G. Charlet, P. Tran, P.J. Winzer, C.R. Doerr, J.C. Centanni,
E.C. Burrows, T. Kawanishi, T. Sakamoto, and K. Higuma, OFC2007, PDP19.

伝送容量:

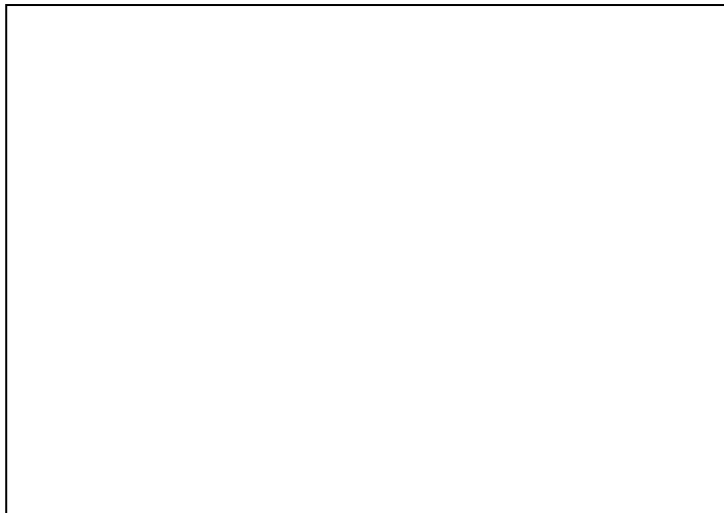
$$42.7\text{Gbps} \times \frac{40.0}{42.7} \times 4\text{値多重(DQPSK)} \times 2(\text{偏波多重}) \times 80\lambda \times 2(\text{C+Lバンド}) \\ = 25.6\text{Tbps}$$

スペクトル利用効率: $40\text{Gbps} \div 50\text{GHz/ch} \times 2(\text{DQPSK}) \times 2(\text{偏波多重})$
 $= 3.2\text{bps/Hz}$

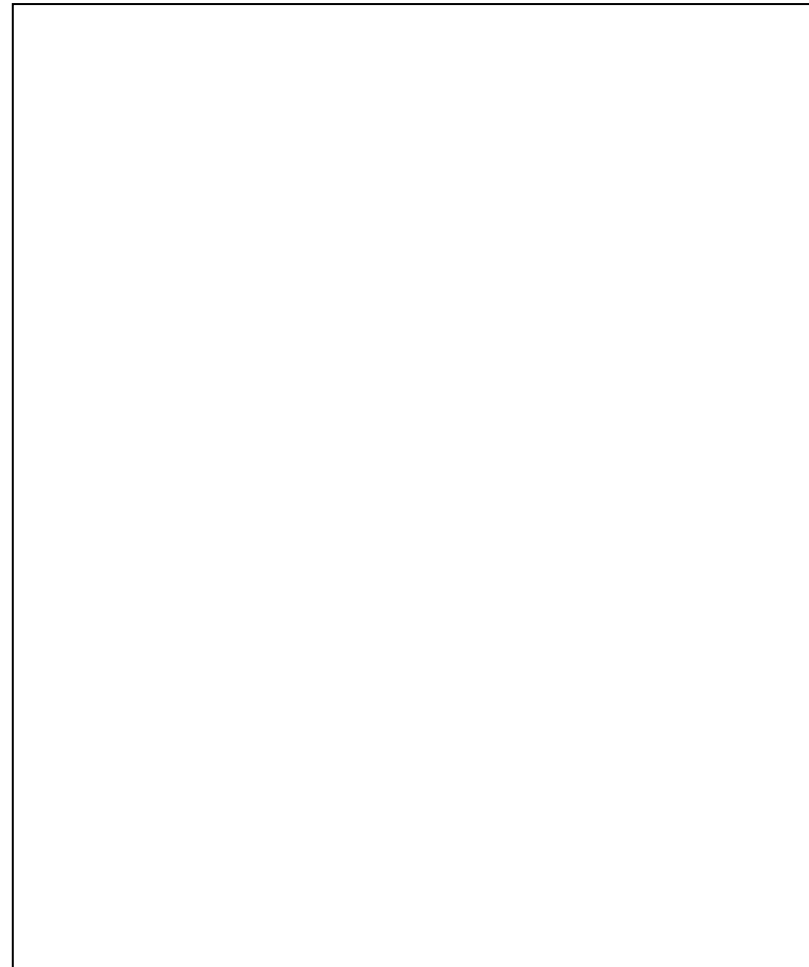


**A.H. Gnauck, G. Charlet, P. Tran, P.J. Winzer, C.R. Doerr, J.C. Centanni,
E.C. Burrows, T. Kawanishi, T. Sakamoto, and K. Higuma, OFC2007, PDP19.**

光スペクトル

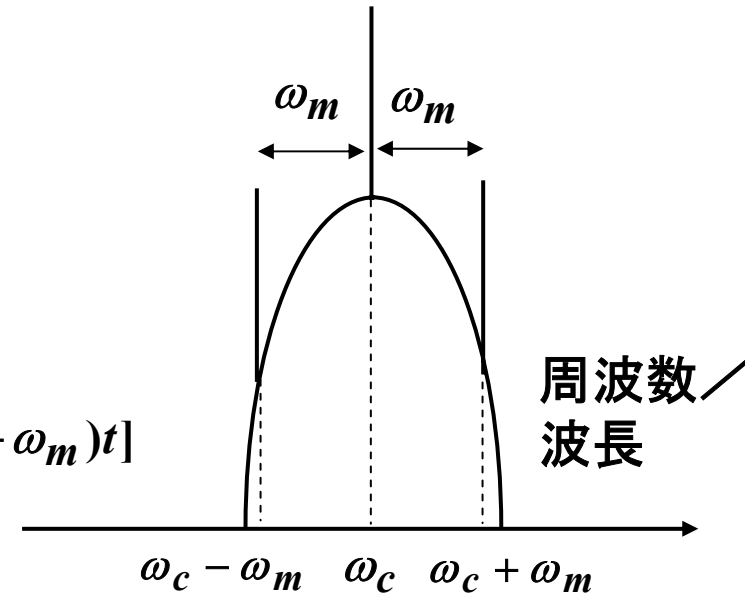


アイパターン



光強度変調のスペクトル

$$\begin{aligned} & A_c \cos \omega_c t \\ &= A_0 (1 + A_m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t \\ &= A_0 \cos \omega_c t + A_0 A_m \cos \omega_m t \cos \omega_c t \\ &= A_0 \cos \omega_c t + \frac{1}{2} A_0 A_m [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t] \end{aligned}$$

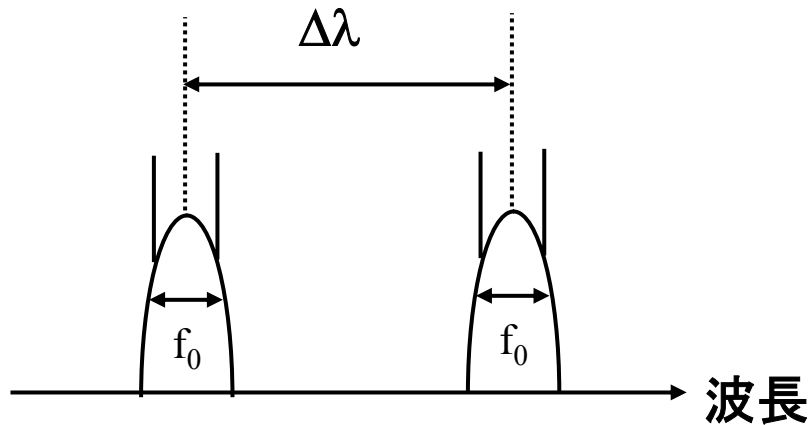


変調周波数 ω_m が高くなると、
比例して信号の持つ周波数帯域幅が広くなる。

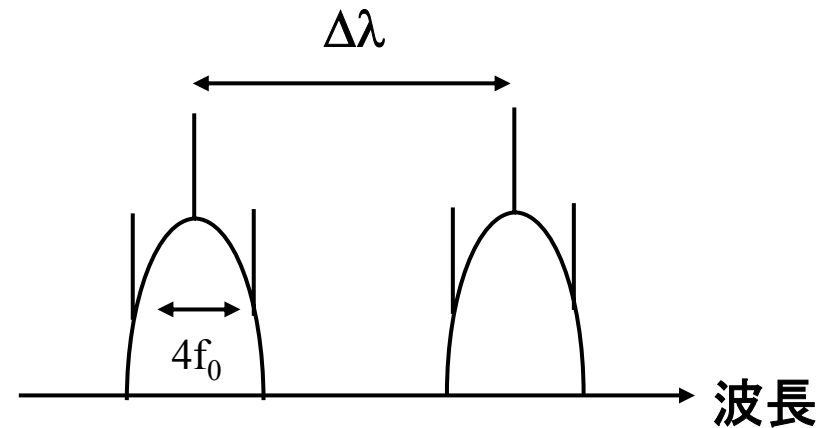
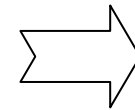
スペクトル利用効率 = $1/\lambda$ の伝送速度 ÷ 波長多重信号の周波数間隔

従来の高速大容量化の考え方

- 波長多重数が少なく、波長間隔が充分に開いていた(効率は悪かった)
- 伝送速度の高速化に比例して容量増大



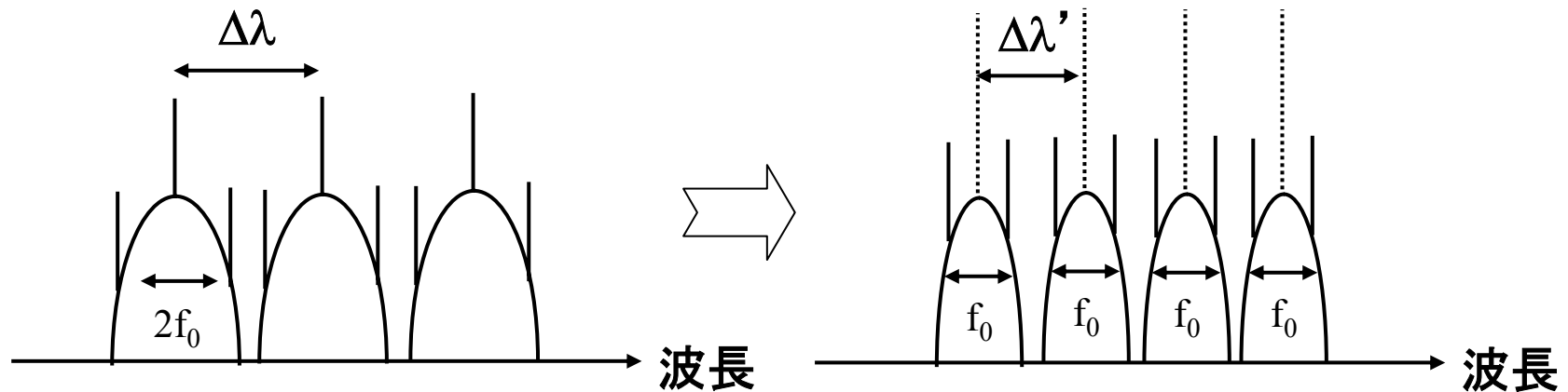
$$\begin{aligned} f_0 / \Delta f \\ = 10 \text{Gbps} / 200 \text{GHz} = 0.05 \text{bit} / \text{Hz} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} f_0 / \Delta f \\ = 40 \text{Gbps} / 200 \text{GHz} = 0.2 \text{bit} / \text{Hz} \end{aligned}$$

今後の高速大容量化の考え方

- 高速化による波長分散の影響増大(波形劣化・伝送距離の短縮)
- 低速にしながら、多値変調(位相・強度)と偏波多重により伝送容量増大(分散の影響を低減かつ大容量化)



$$\begin{aligned} f_0 / \Delta f \\ = 40\text{Gbps} / 50\text{GHz} = 0.8\text{bit} / \text{Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_0 / \Delta f \\ = (20\text{Gbps} / 50\text{GHz}) \times 2\text{多重(DQPSK)} \\ \times \text{偏波多重} = 1.6\text{bit} / \text{Hz} \end{aligned}$$

メトロ系ネットワーク

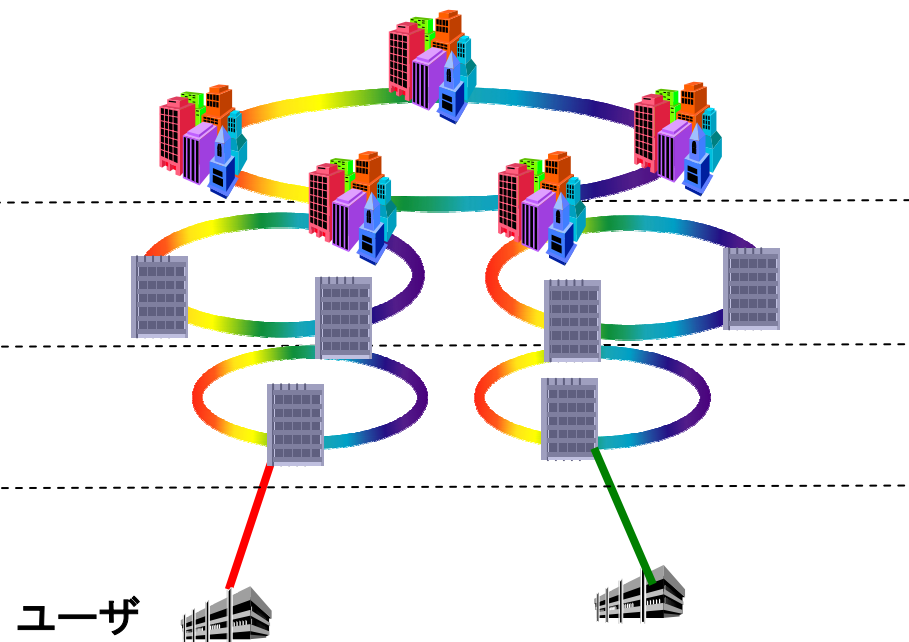
メトロ・ネットワークの領域

- ・都市内・都市間を結ぶリング状の光ネットワーク
- ・範囲によって2～3つのカテゴリに分類

メトロ・コア (~ 400km)
波長数: $\sim 40\lambda$

メトロ・コレクタ (~ 100km)
波長数: $\sim 16\lambda$

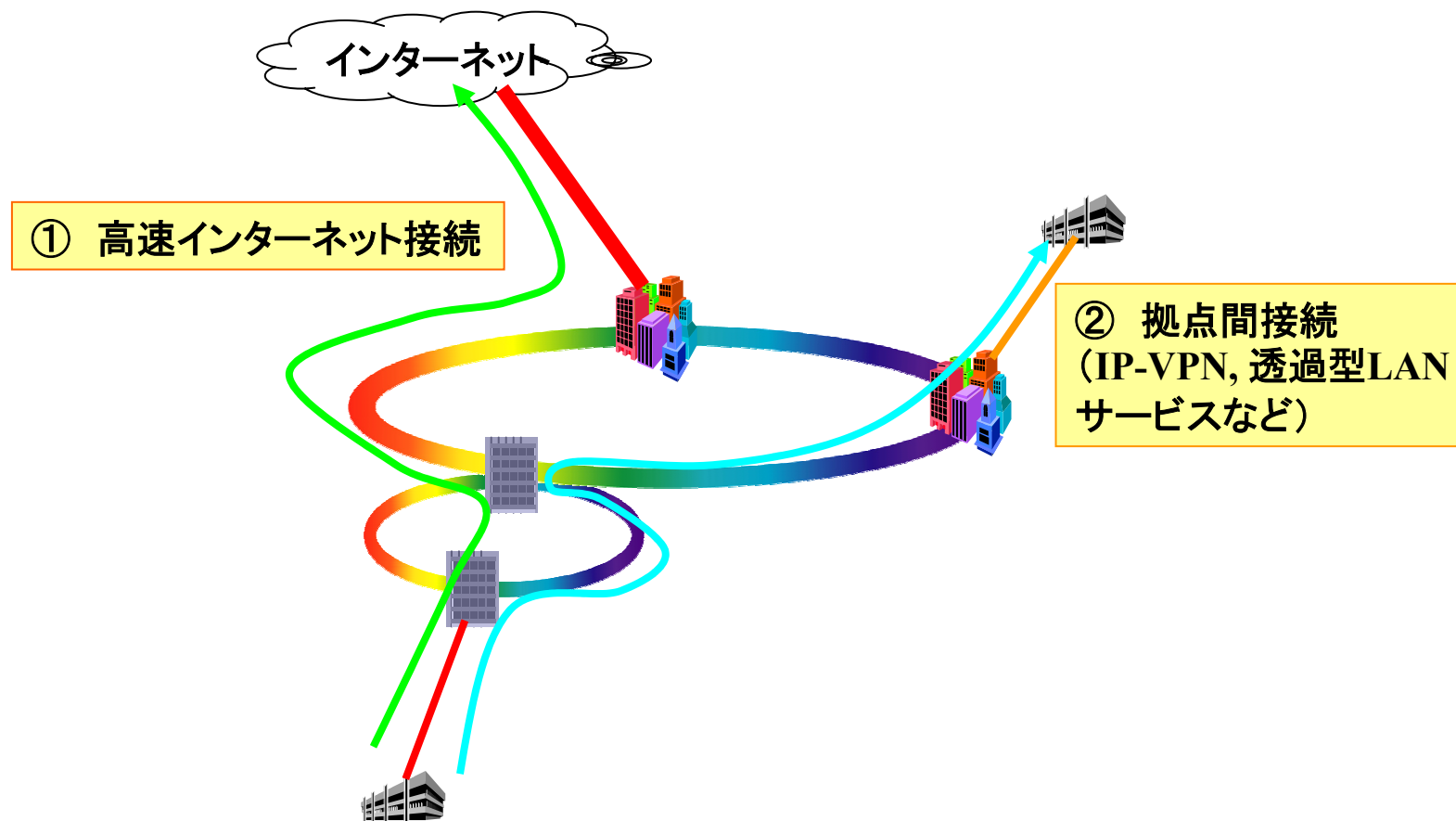
メトロ・アクセス (~ 40km)
波長数: $4-8\lambda$



メトロ・ネットワークの特徴と用途

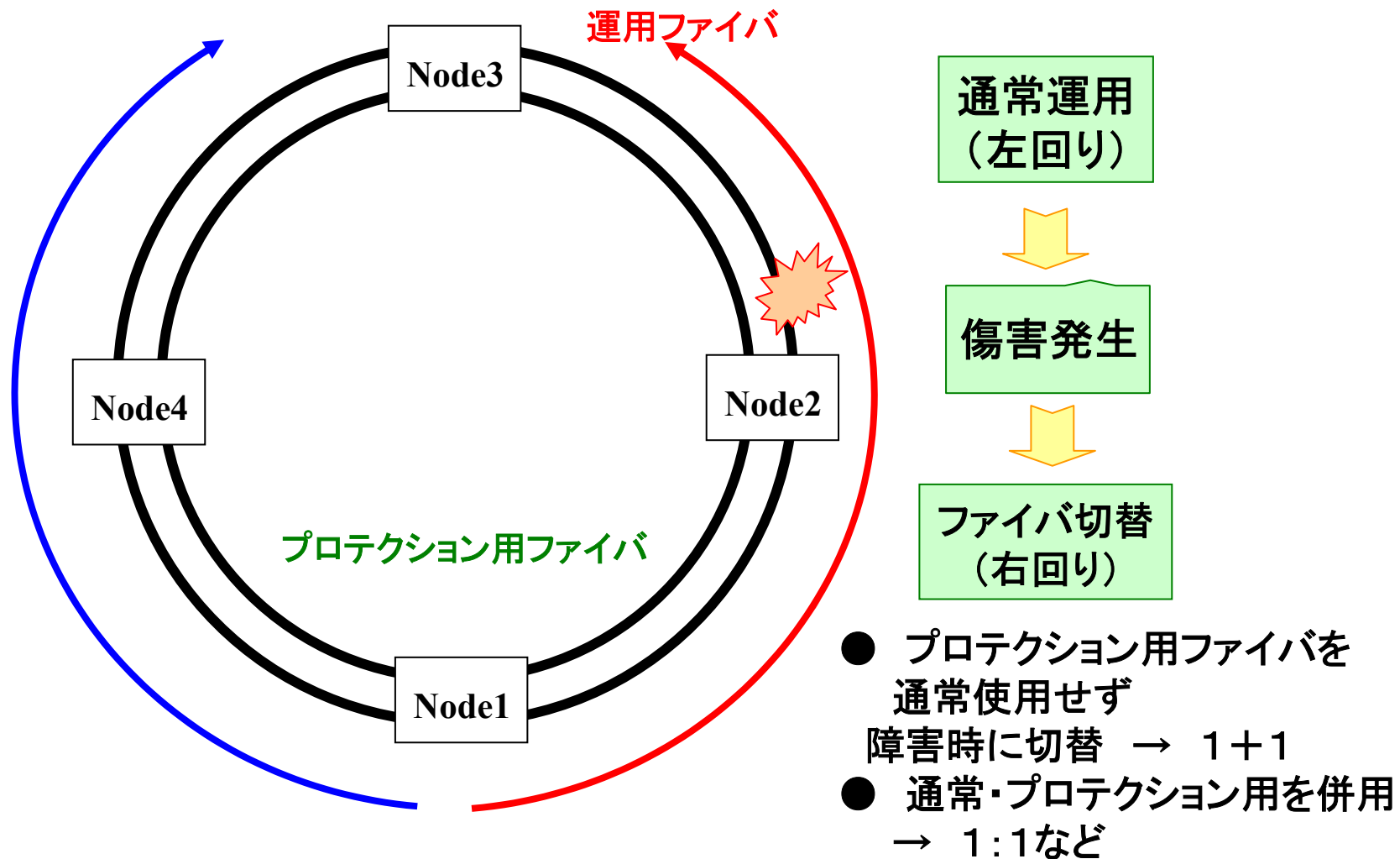
特徴

- ・ダーク・ファイバを用いて都市部に構築
- ・L3SWやWDM装置を使い安価なサービスを提供
- ・イーサネット・インタフェースで1~10Gbpsまでの高速サービスを提供

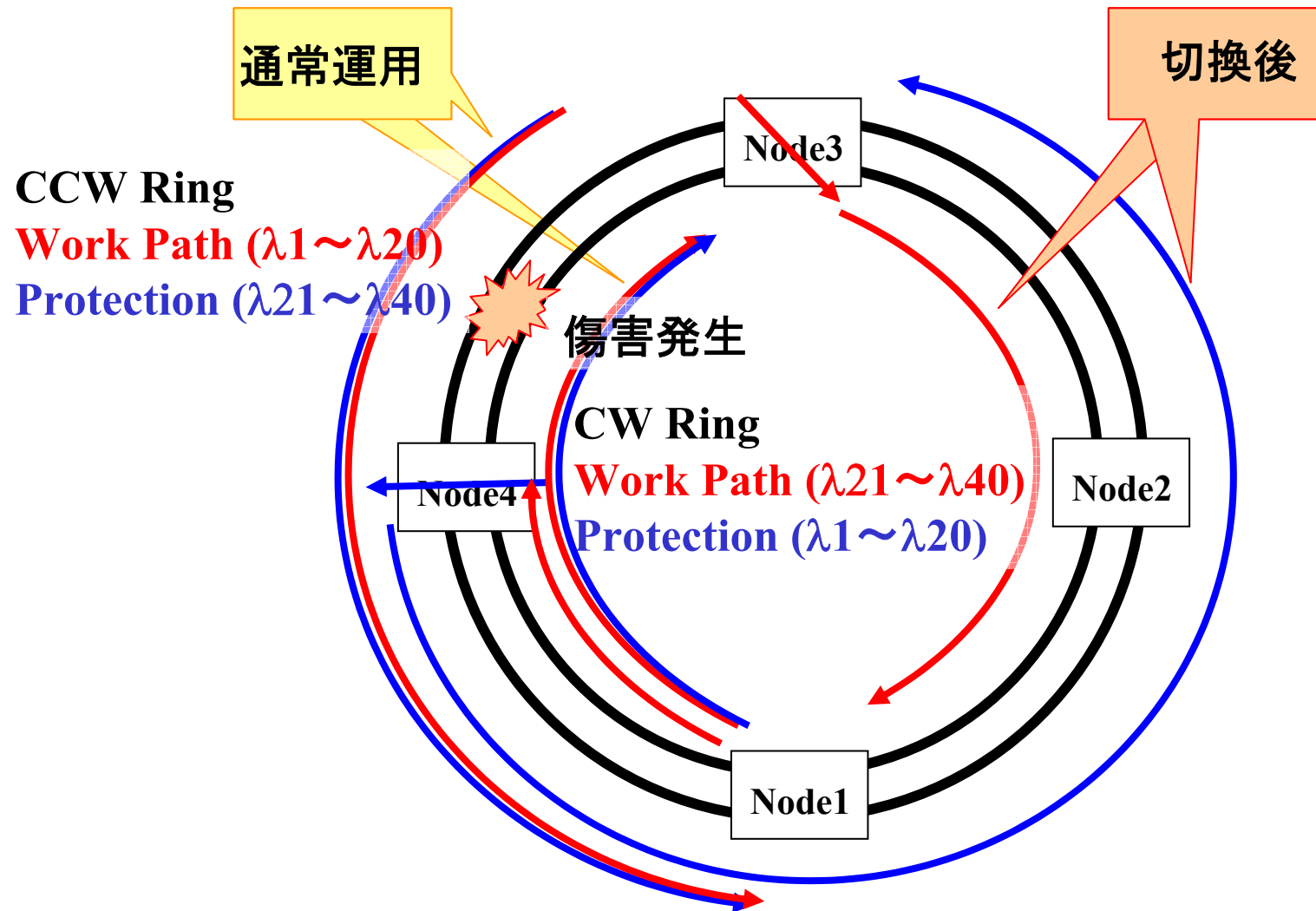


- ① トランスペアレントなネットワークの実現
 - ・多様なサービスの収容 (VPN, SAN, CDN, 波長貸し, FTTH,.....)
 - ・多様なインタフェースの収容 (Ethernet, SONET,)
- ② 低コストかつ高信頼度の光ネットワークの実現
- ③ 要求に応じた迅速な波長パス設定のクリック&プロビジョニングでの実現

- ・2リング構成
- ・運用ファイバに傷害が起きたとき、他方に自動切替(<50ms)



Bidirectional Line Switched Ring (BLSR)



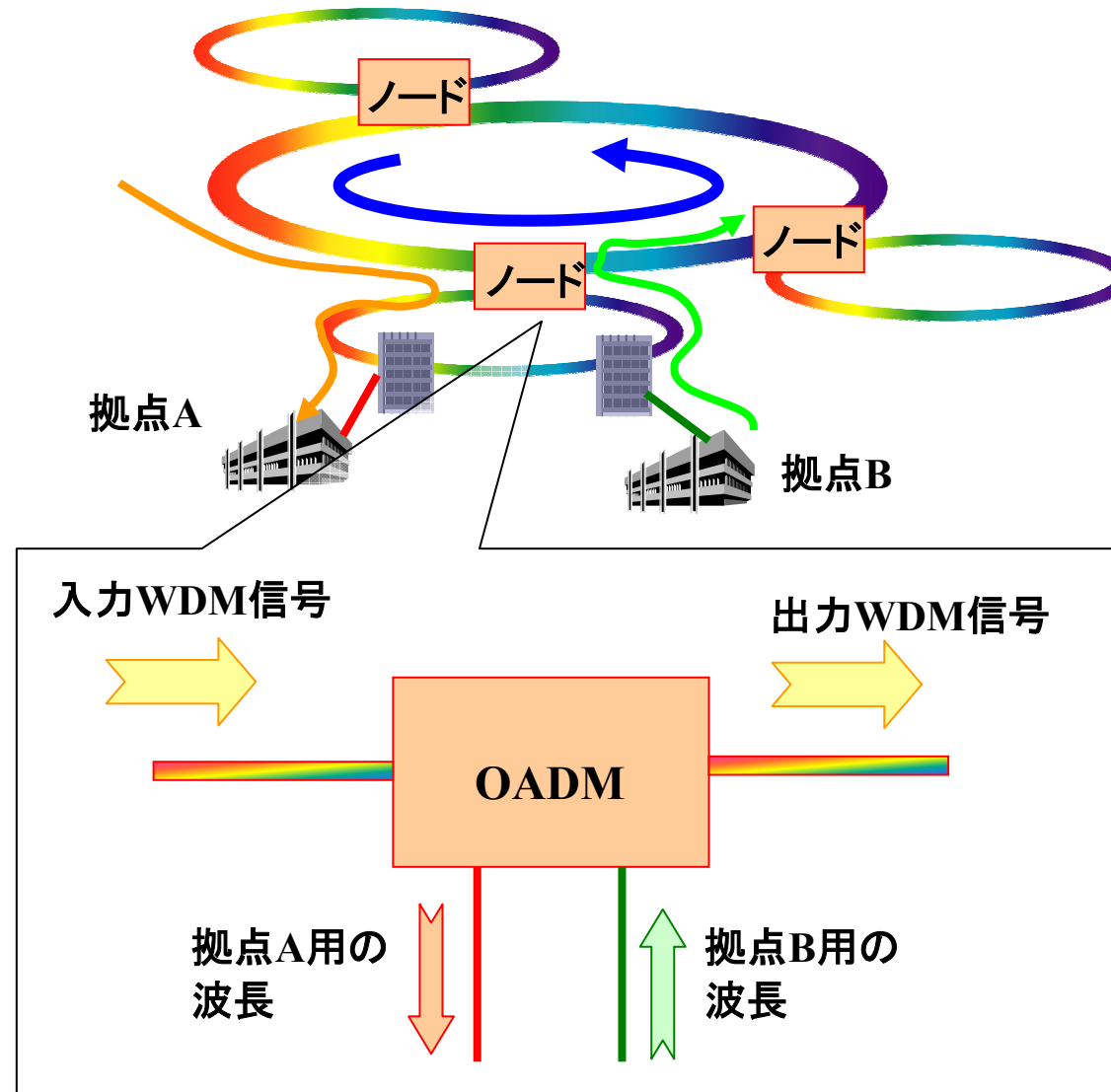
2007年度

光通信システム

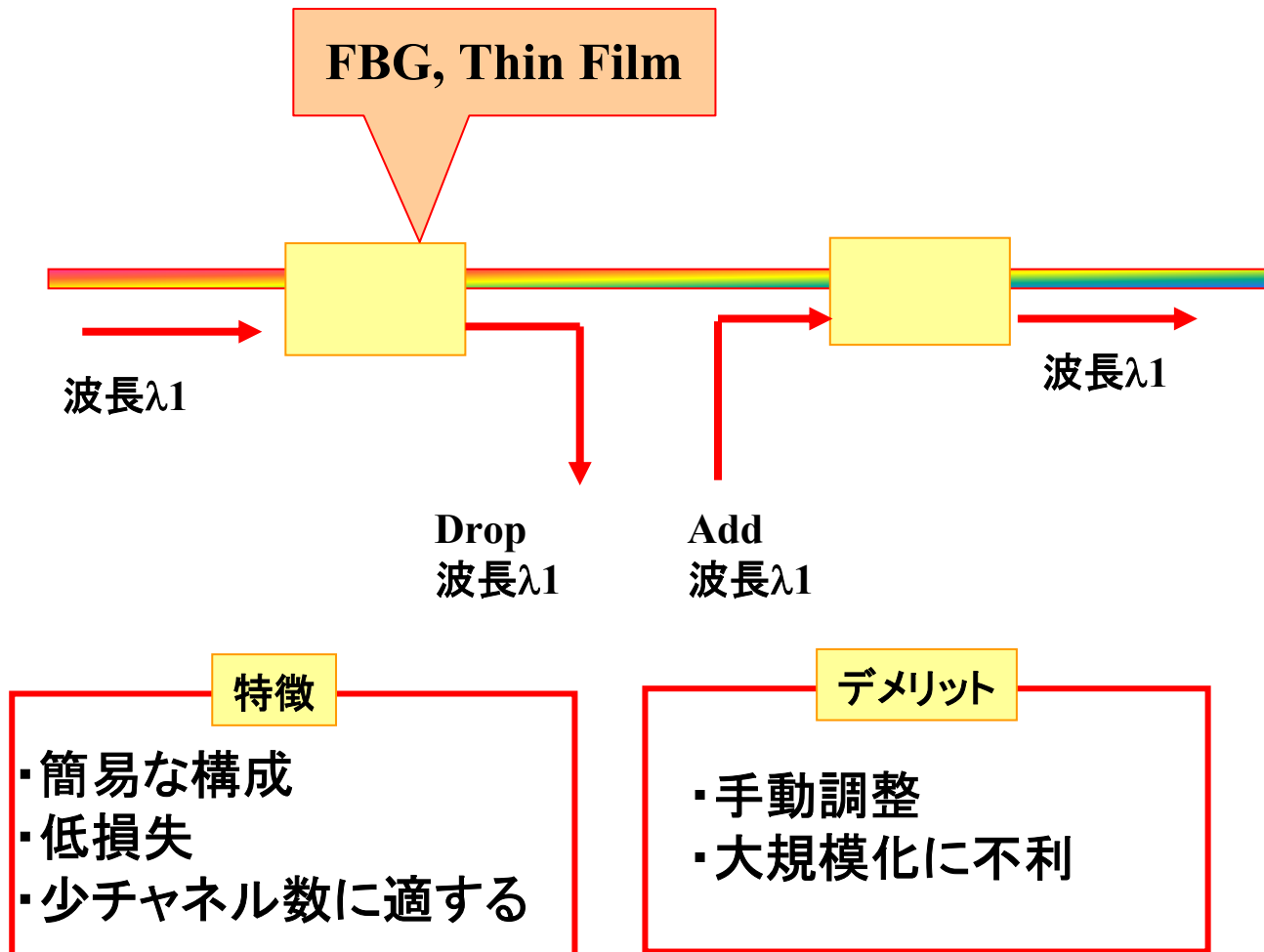
メトロ・ネットワークに求められる機能と光デバイス

項目	要求される光デバイス・サブシステム
波長合分波器	フラットトップ, 低波長分散AWG
光パワーレベル制御	光可変減衰器
波長分散補償	DCF, 分散補償デバイス
波長パス制御	波長可変LD, 波長可変フィルタ
波長パス切替	光マトリクスSW, 波長選択SW
高速プロテクション機能	光SW, 高速応答型光増幅器
監視モニタ機能	光スペクトルモニタ

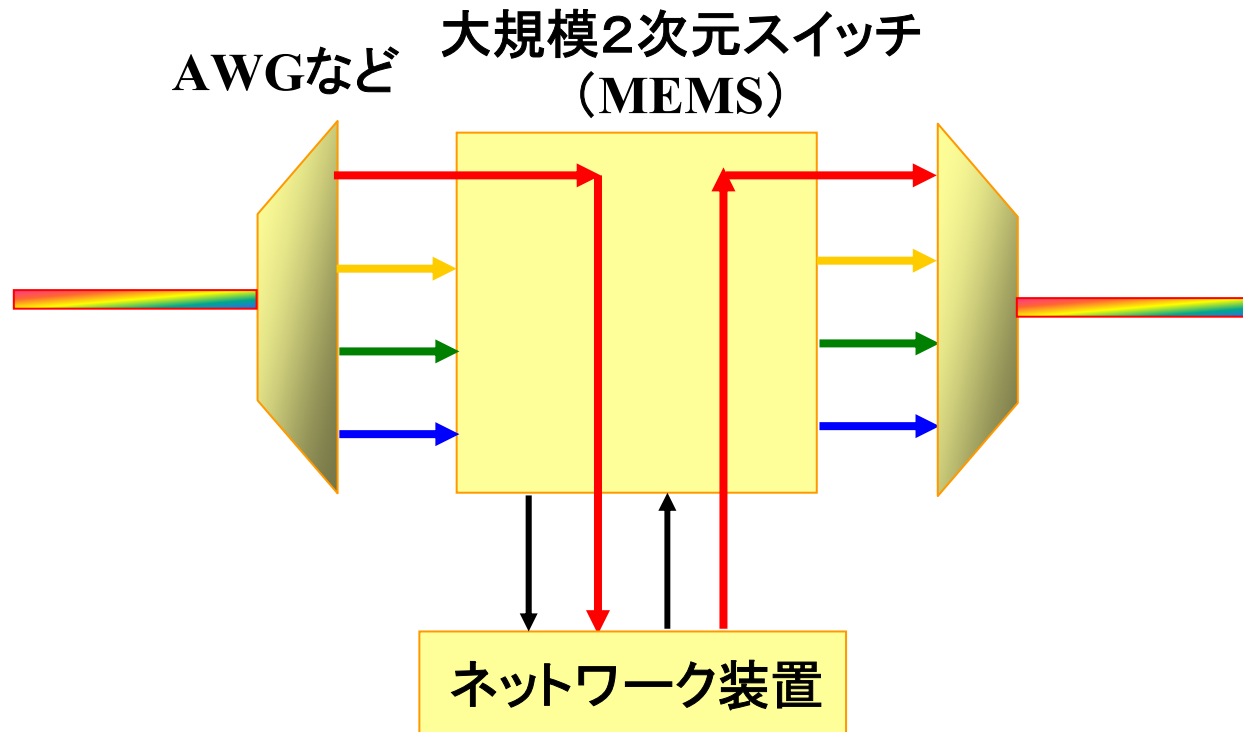
2007年度
光通信システム 重要度の増す Optical Add Drop Multiplexer (OADM)



Passive OADM (POADM)



Reconfigurable OADM (ROADM) (MUX/DEMUX type)



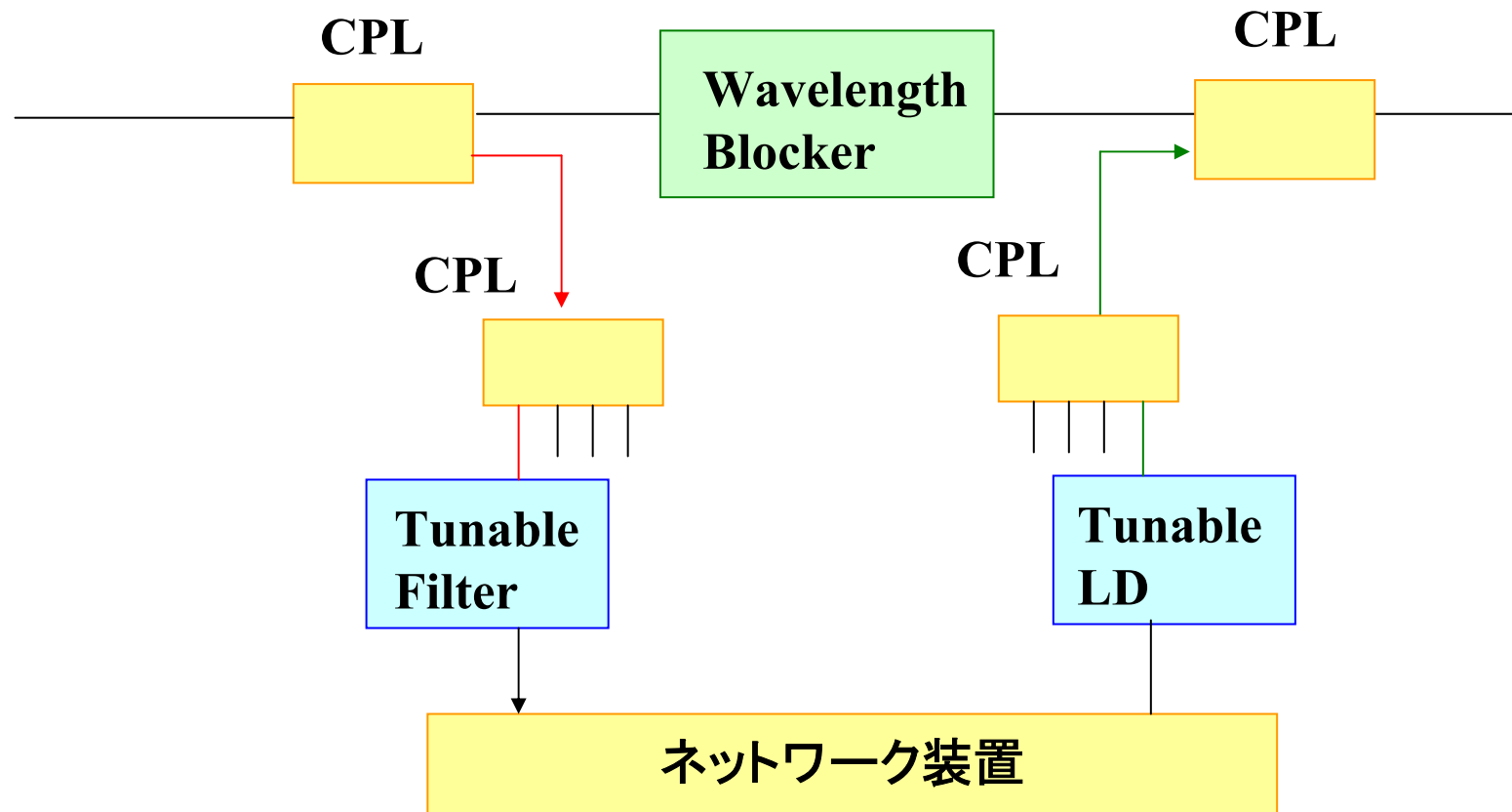
特徴

- ・任意のポート間の挿抜が可能
- ・拡張性

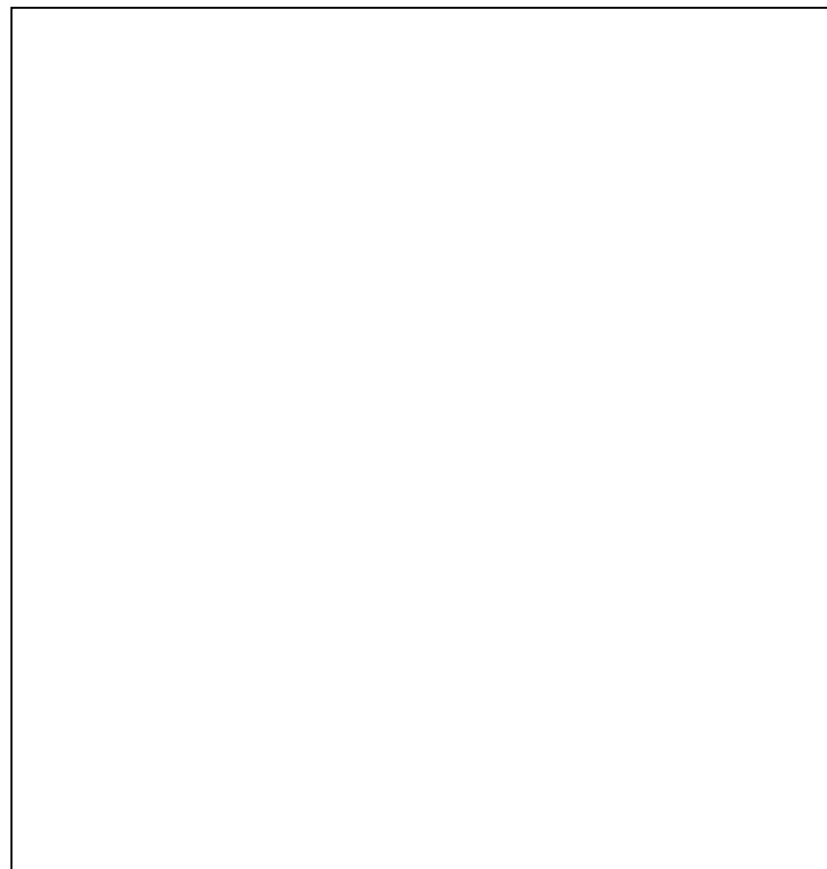
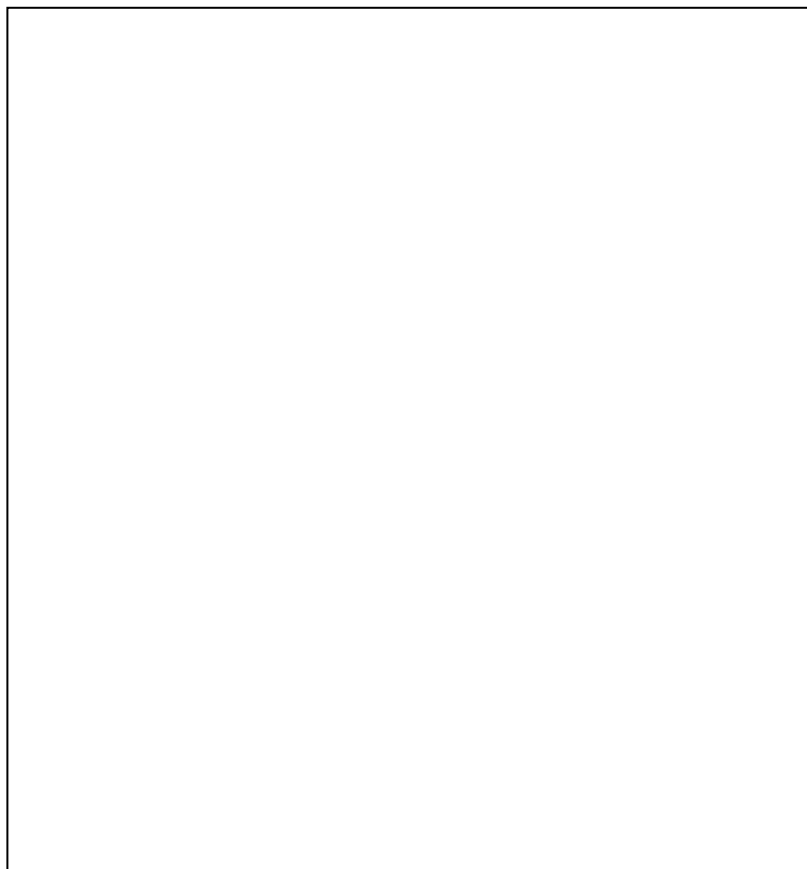
デメリット

- ・損失大
- ・波長管理が複雑

Reconfigurable OADM (ROADM) (Broadcast & Select type)



M.P. Earnshaw, A. Griffin, C. Bolle, and J.B.D. Soole, OFC2005, OTuD2.



ROADM透過スペクトル

M.P. Earnshaw, A. Griffin, C. Bolle, and J.B.D. Soole, OFC2005, OTuD2.



光LAN系

Ethernet光仕様比較

100Base-X	1000Base-X		10GBASE-R/W/X			
300m	500m	5km	82m	300m	10km	40km
	3.125Gbps × 4 (WDM)			10GBASE-LX4		
	10.3125Gbps (Serial)		10GBASE-SR		10GBASE-LR	10GBASE-ER
	9.95328Gbps (Serial)		10GBASE-SW		10GBASE-LW	10GBASE-EW
	1000Base-SX	1000Base-LX				
100Base-FX						
1310nm-WGLD	850nm-VCSEL	1310nm-WGLD	850nm-VCSEL	1310nm-WGLD	1550nm-WGLD	
SMF/MMF	MMF	SMF	MMF	SMF		

2007年度
光通信システム

Ethernetの標準規格仕様(1) (10M~10Gbps)

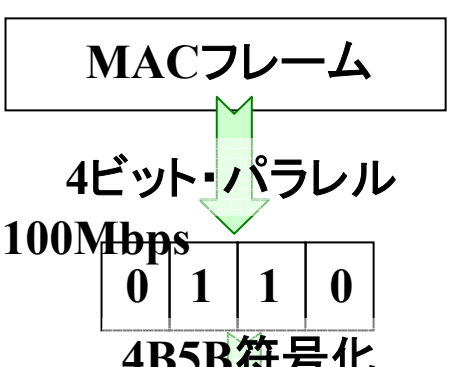
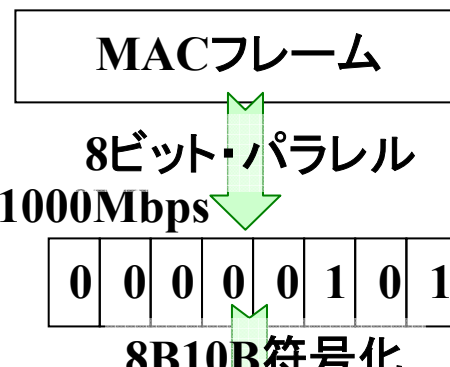
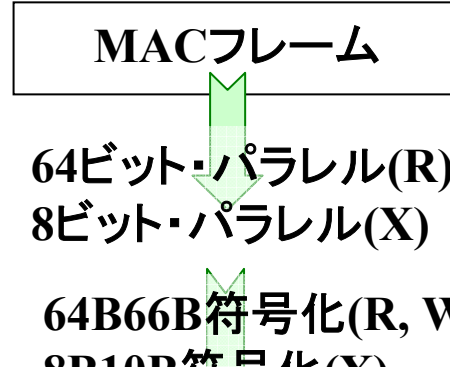
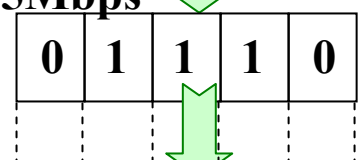
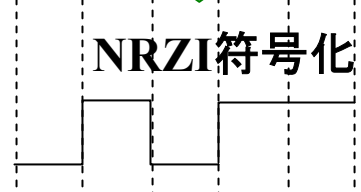
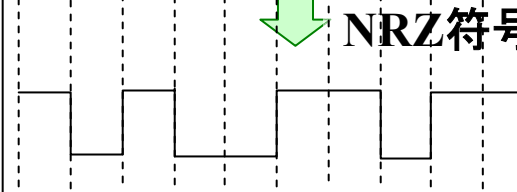
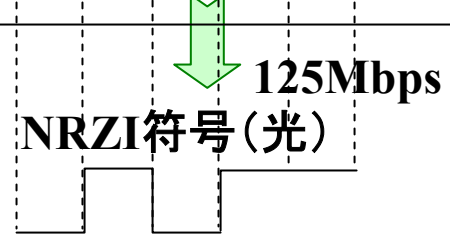
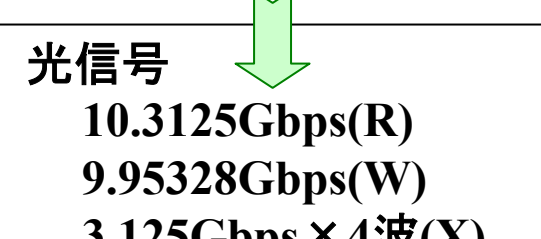
標準名	10Base-T	100Base-TX	100Base-FX	1000Base-SX	1000Base-LX	1000Base-T	10GBase-T
伝送速度	10Mbps	100Mbps	100Mbps	1.0Gbps	1.0Gbps	1.0Gbps	12.8Gbps
伝送路上の伝送速度	10Mbps	125Mbps	125Mbps	1.25Gbps	1.25Gbps	1.25Gbps	800Mbps
最大伝送距離	100m	100m	320m	550m	550m(MMF) 5km(SMF)	100m	100m
媒体制御	CSMA/CD	CSMA/CD	CSMA/CD	全二重／CSMA/CD	全二重／CSMA/CD	全二重／CSMA/CD	
符号化方式	マンチェスタ符号	NRZ/MLT-3	NRZI	NRZ	NRZ	4D-PAM5	16値PAM
PCS符号化方式	なし	4B5B	4B5B	8B10B	8B10B	8B1Q4	64B65Bを16値PAMにマッピング
伝送媒体	UTP CAT3/4/5	UTP CAT5	MMF	MMF (850nm VCSEL)	MMF SMF (1310nm FP-LD)	e-CAT5	CAT6a/7

2007年度
光通信システム

Ethernetの標準規格仕様(2) (10Gbps)

標準名	10GBase-SR	10GBase-LR	10GBase-ER	10GBase-SW	10GBase-LW	10GBase-EW	10GBase-LX4
伝送速度	10.0Gbps	10.0Gbps	10.0Gbps	9.2857 GbZps	9.2857 GbZps	9.2857 GbZps	2.5Gbps × 4
伝送路上の伝送速度	10.3125 Gbps	10.3125 Gbps	10.3125 Gbps	9.95328 Gbps	9.95328 Gbps	9.95328 Gbps	3.125Gbps × 4波
最大伝送距離	33m(MMF) 300m (新型MMF)	10km	40km	33m(MMF) 300m (新型MMF)	10km	40km	300m(MMF, 新型MMF) 10km(SMF)
媒体制御	全二重	全二重	全二重	全二重	全二重	全二重	全二重
符号化方式	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ	NRZ
PCS符号化方式	64B66B	64B66B	64B66B	64B66B+WIS	64B66B+WIS	64B66B+WIS	8B10B
伝送媒体	MMF 新型MMF	SMF	SMF	MMF 新型MMF	SMF	SMF	MMF 新型MMF SMF
波長	850nm	1310nm	1550nm	850nm	1310nm	1550nm	1275/1300/ 1325/1350nm
レーザ	VCSEL	FP-LD	DFB-LD	VCSEL	FP-LD	DFB-LD	特になし

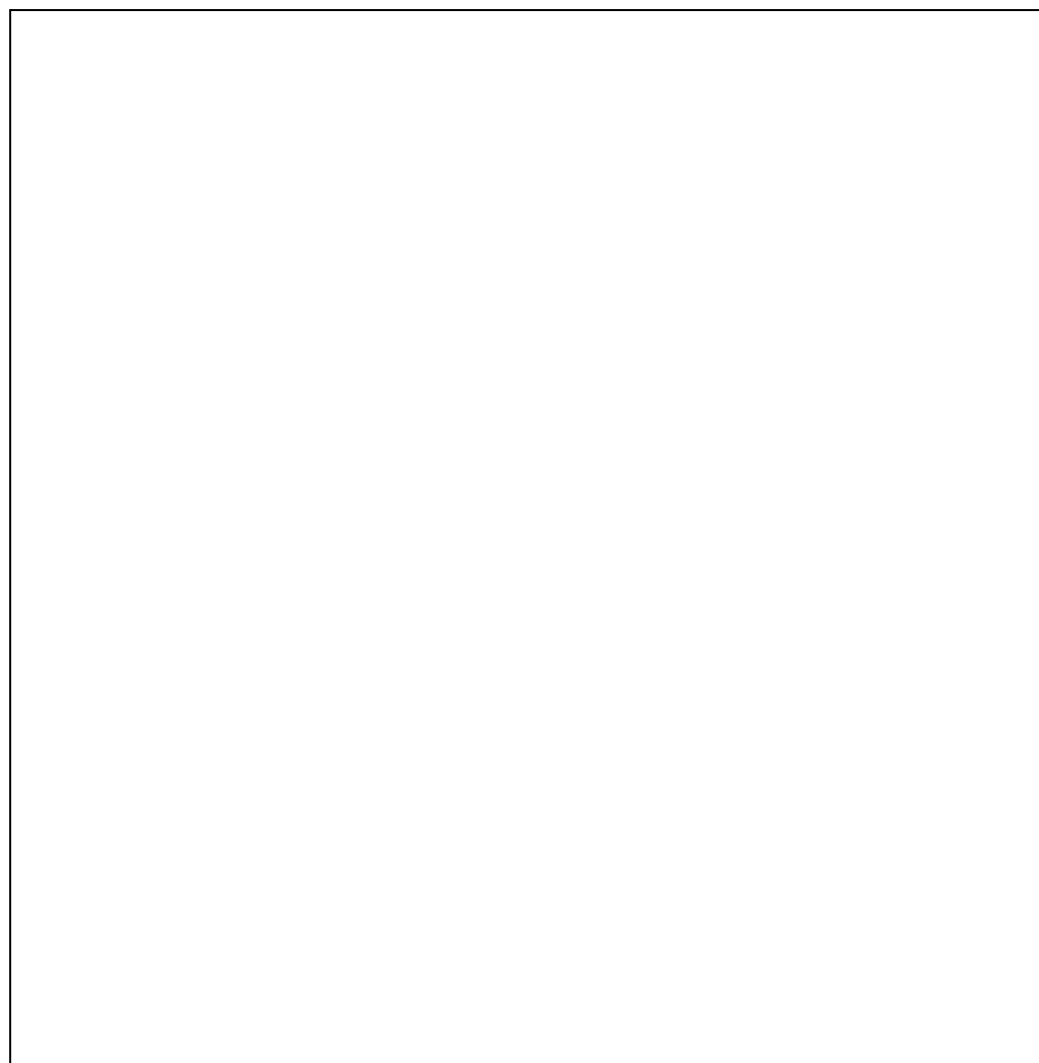
物理レイヤの伝送方式(光ファイバ使用)

サブレイヤ	100Base-FX	1000Base-SX/LX	10GBase-S/L/E(R, W)/LX4
MAC	平行信号(バイト単位) 	平行信号(バイト単位) 	平行信号(バイト単位) 
PCS			
PMA			
PMD			

2007年度
光通信システム

10GbE用XENPAK

Agilent Technologiesホームページより



2007年度
光通信システム

小型10GbE用トランシーバ(XFP)

<http://www.ntt-tec.jp/technology/N428.html>



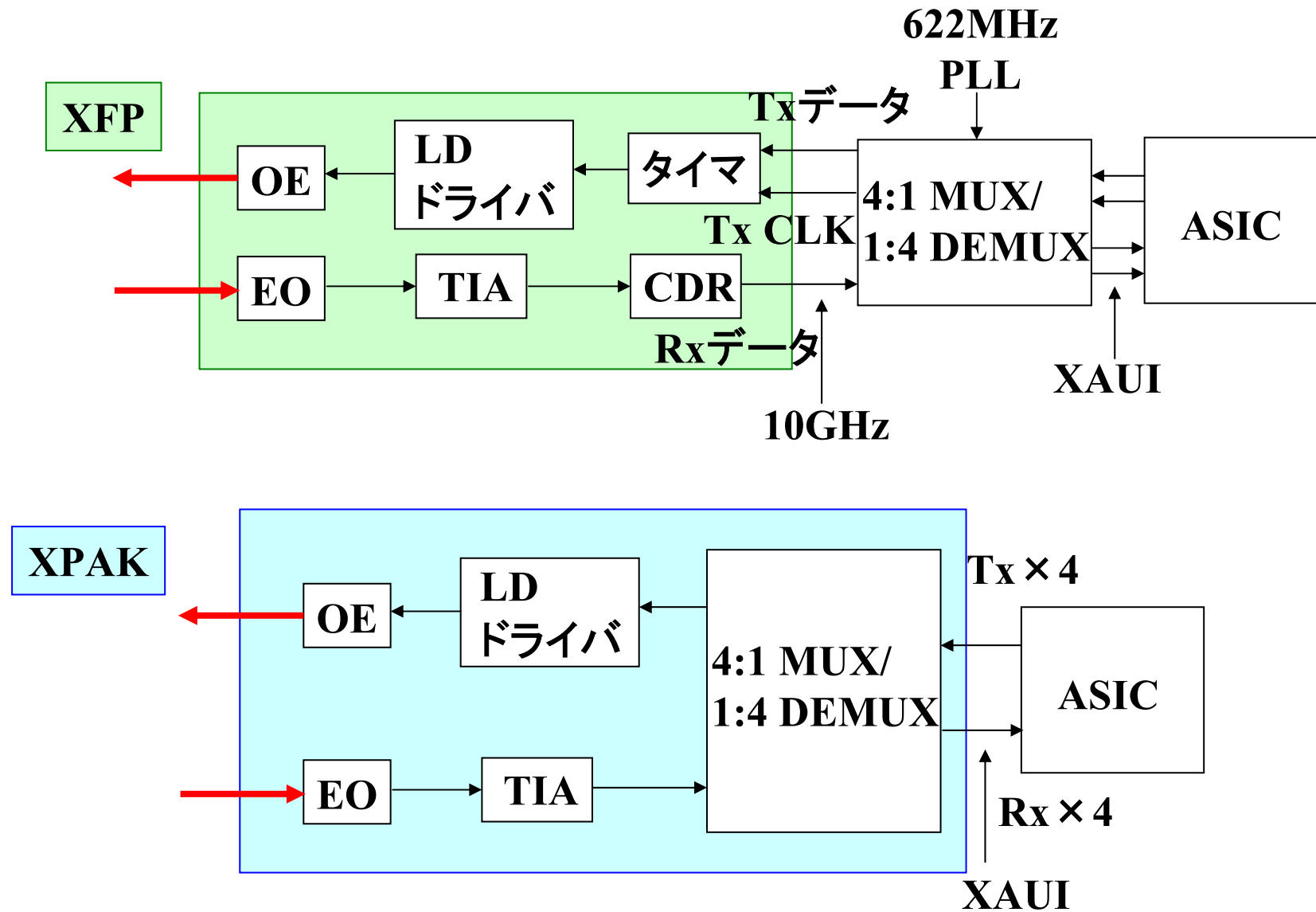
2007年度

光通信システム 各種10GbE用トランシーバ・モジュールの比較

MSA: Multi-Source Agreement

名称	参画する主な メーカー	サイズ	電気IF	用途
XENPAK	Agere, Agilent	$17.4 \times 36 \times 115.2\text{mm}^3$	XAUI	10GbEなど
XPAK	Infineon, Intel, Picolight	$13.4 \times 39.5 \times 83.8\text{mm}^3$	XAUI, SIF-4	10GbE, OC-192
XFP	Finisar, JDS, Innovation Core SEI, E2O Comm.	$10.2 \times 17.8 \times 58.4\text{mm}^3$	XFI	10GbE, OC-192

MSA (XFP, XPAK)の内部構成



光アクセスシステム (FTTH)

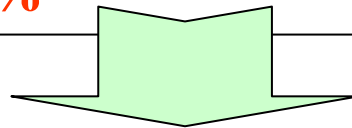
サービス内容の激変

- 電話中心のサービスからデータ通信・インターネット中心のサービスへ
- アクセス回線速度の高速化の進展: 64kbps→1.5Mbps→10Mbps→100Mbps→.....
- 高速化にふさわしいコンテンツの要求: ダウンロード時間の短縮、ストリーミング、ライブ、遠隔講義、.....

競争の激化

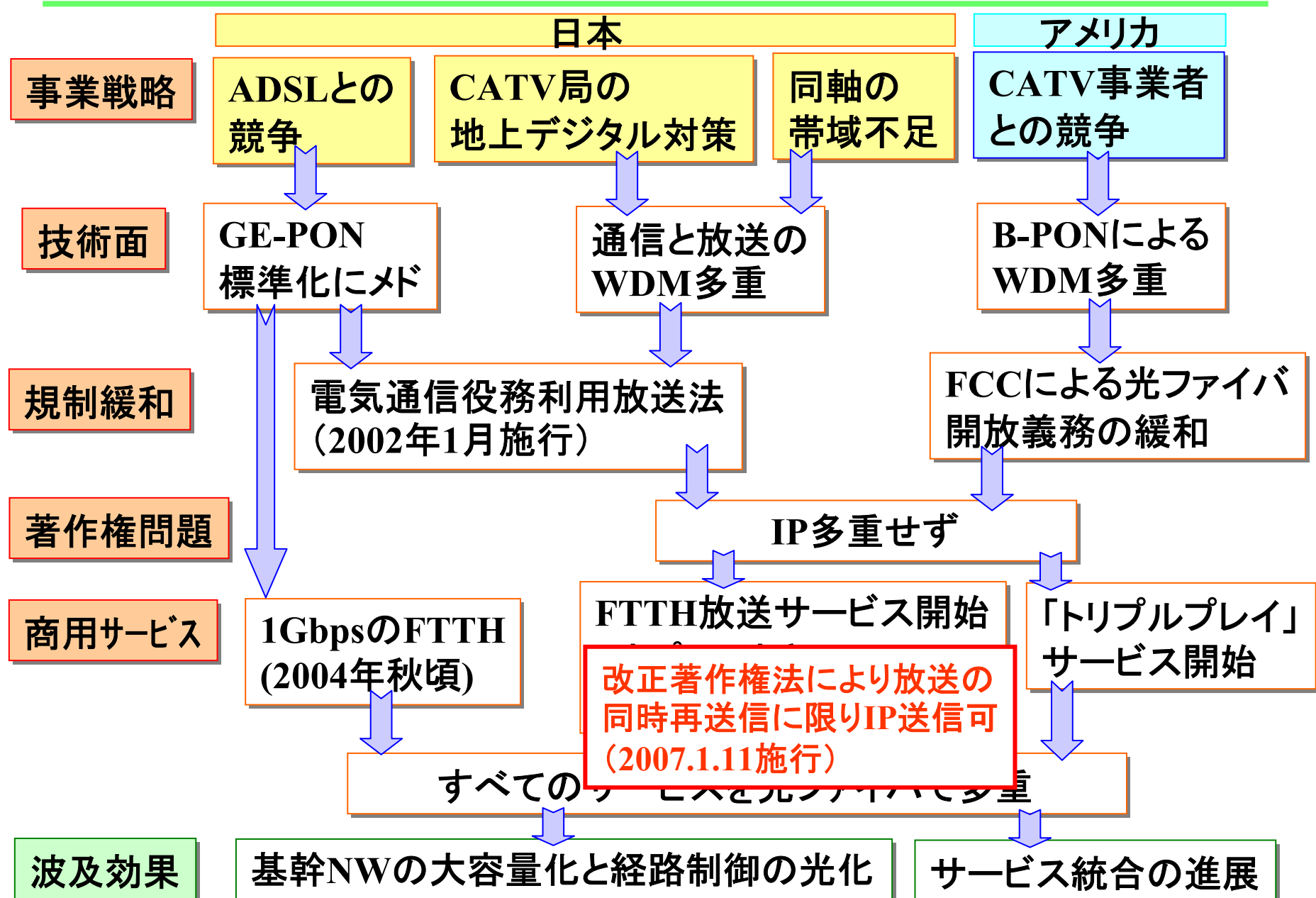
- インターネット常時接続、低コストでの定額制
- ADSLの急成長: NTT東西(フレッツ・ADSL)、東京めたりっく、イーアクセスなど
- FTTH事業者の登場: NTT東西(フレッツ網)、NTT-BB(光サービス会社)、有線ブロードネットワークス、IPレボリューション、ケイ・オプティコム、etc.

NTT東西シェア>60%



多種多様なサービスを低コストで迅速に提供可能なアクセスネットワークの重要性

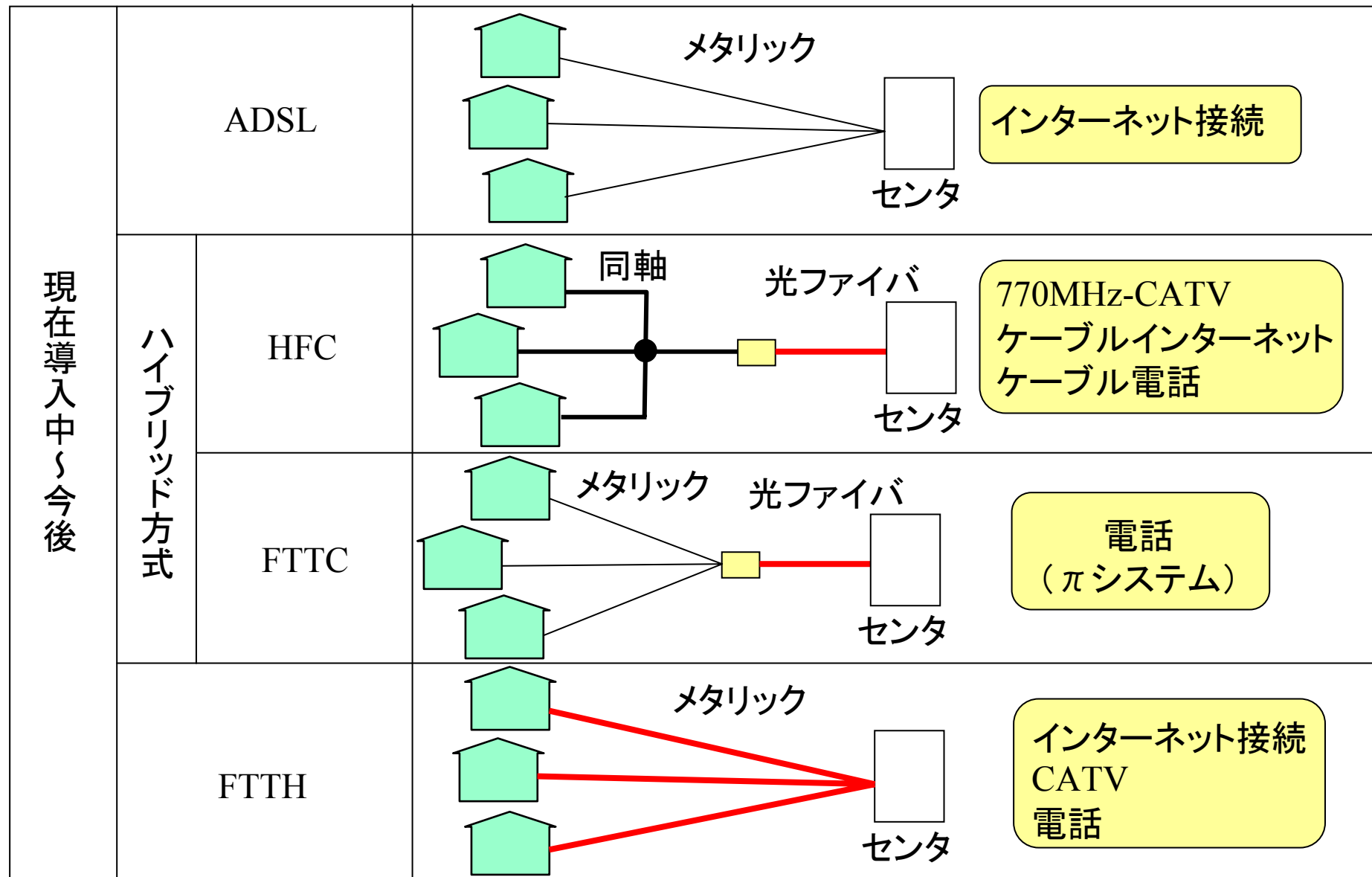
日米で見たか？FTTHのビジネス展開



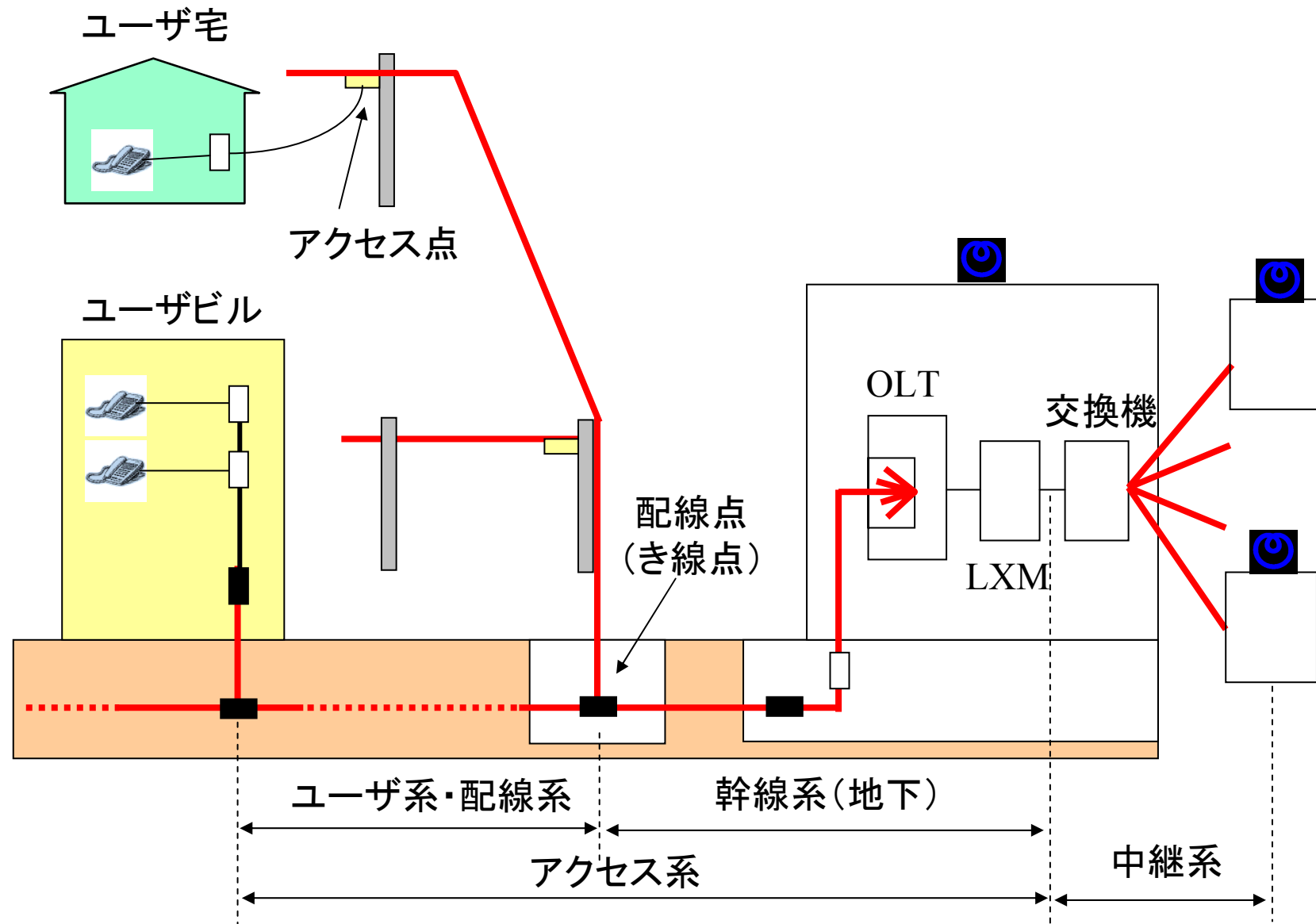
光双方向伝送方式

方式	方式イメージ	利点	欠点
TCM	バースト周期ごとに繰り返す	・光ファイバ心数が少ない ・サービスを波長に割り当てたWDM伝送が可能	・伝送速度が情報伝達速度の2倍必要 ・伝送距離が制限される
WDM	WDM素子	・光ファイバ心数が少ない ・伝送距離の制限が少ない	・サービスごとの波長割り当てを行うと、波長数が必要
SDM		・サービスを波長に割り当てたWDM伝送が可能 ・伝送距離の制限が少ない	・光ファイバ心数が2倍必要

アクセスネットワークのトポロジー

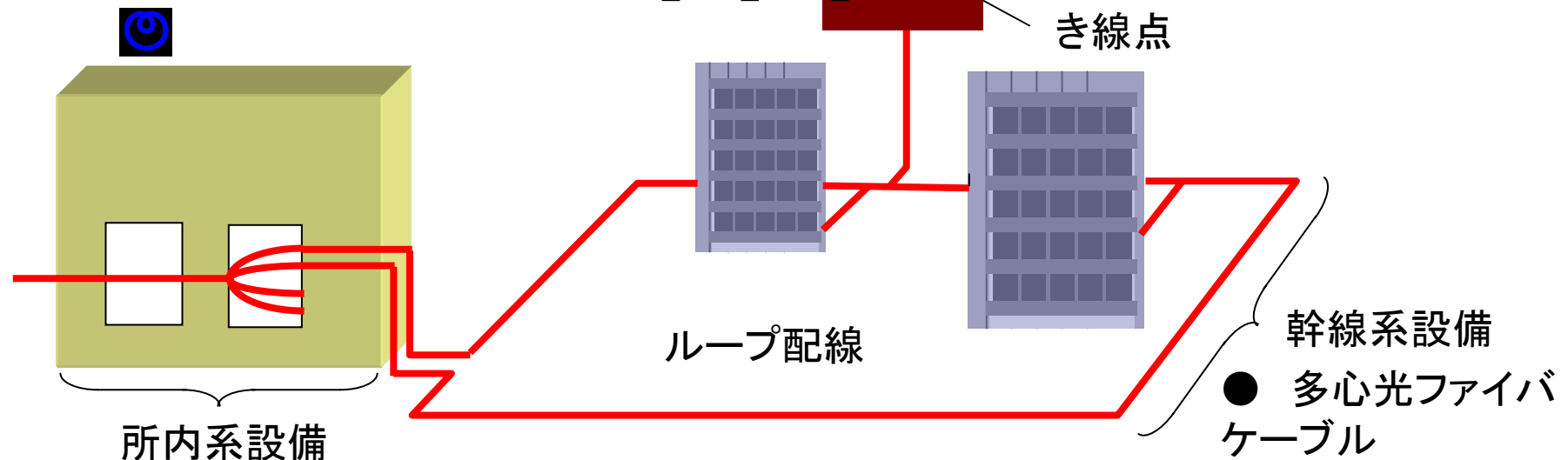


アクセスネットワークの基本構成



光アクセスネットワークの配線形態

- 自己支持型緩み付き
光ファイバケーブル
- 架空用光クロージャ
- 架空集合ドロップ
光ファイバ
- 架上
スプリッタ



光クロージャと架上スプリッタ

日経エレクトロニクス2002年11月18日号より抜粋

