

第2回

各種光通信システム(2)

2013年10月15日(火)

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.



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:

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

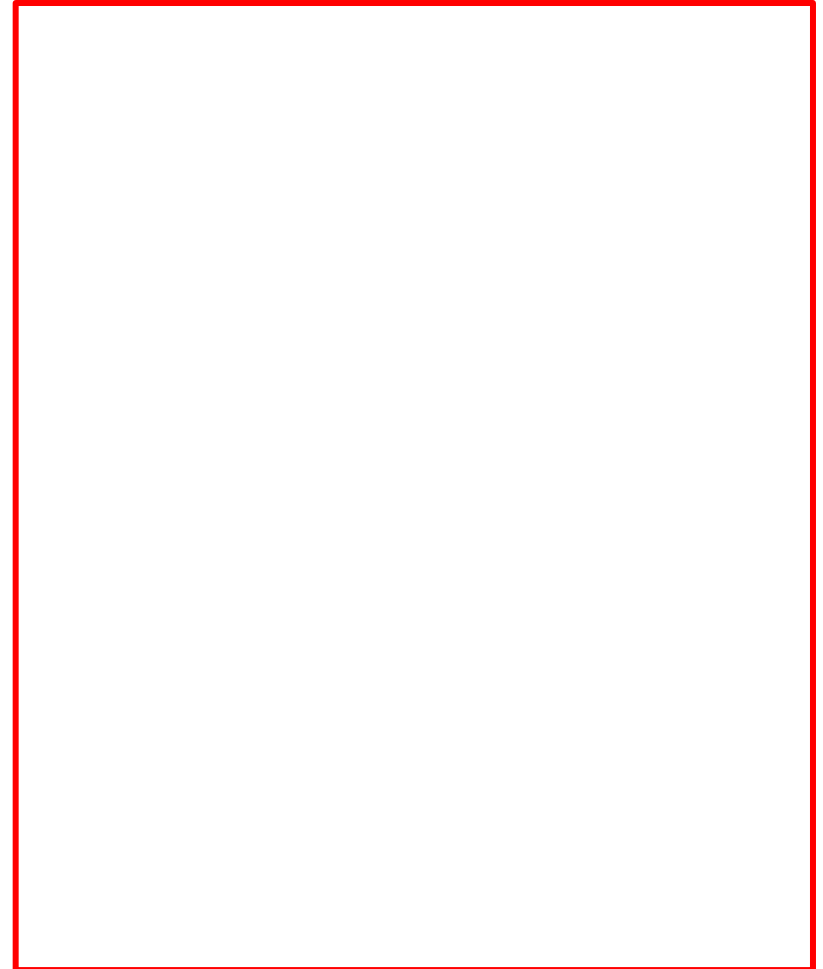
スペクトル利用効率: $40\text{Gbps} \div 50\text{GHz/ch} \times 2(\text{DQPSK}) \times 2(\text{偏波多重})$
 $= 3.2\text{bps/Hz}$



光スペクトル



アイパターン



とうとう到達した100Tbps伝送実験(1) (シングルコア・ファイバ)

D. Qian, M.-F. Huang, E. Ip, Y.-K. Huang, Y. Shao, J. Hu, and T. Wang, OFC/NFOEC2011, PDPB5 (2011).

伝送容量: $1\text{Mbps (1 subcarrier)} \times 7\text{値多重 (128QAM)} \times 2\text{(偏波多重)} \times 5500\text{(チャネル数)}$
 $\times 4\text{(コピー)} \times \frac{64}{67} \times 370\lambda\text{(C+Lバンド)} \times 0.93\text{(FEC)} = 294\text{Gbps} \times 370\lambda$
 $= 101.7\text{Tbps}$

スペクトル利用効率: $294\text{Gbps} \div 25\text{GHz/ch} \times 0.93 = 10.9\text{bps/Hz}$

しかし、、、
100Tbps(>数
W/ch)でSMF
が燃えるらしい
(ファイバ・
フューズ)

とうとう到達した100Tbps伝送実験(2) (シングルコア・ファイバ)

D. Qian, M.-F. Huang, E. Ip, Y.-K. Huang, Y. Shao, J. Hu, and T. Wang, OFC/NFOEC2011, PDPB5 (2011).



とうとう到達した100Tbps伝送実験(3) (マルチコア・ファイバ)

J. Sakaguchi, Y. Awaji, N. Wada, A. Kanno, T. Kawanishi, T. Hayashi, T. Taru, T. Kobayashi, and M. Watanabe, OFC/NFOEC2011, PDPB6 (2011).

伝送容量: $43\text{Gbps} \times 2\text{値多重 (QPSK)} \times 2\text{(偏波多重)} \times 97\lambda\text{(C+Lバンド)} \times 7\text{コア} \times 0.93\text{(FEC)}$
 $= 172\text{Gbps} \times 97\lambda \times 7\text{コア} \times 0.93 = 108.6\text{Tbps}$

スペクトル利用効率: $172\text{Gbps} \div 100\text{GHz/ch} \times 7\text{コア} \times 0.93 = 11.2\text{bps/Hz}$



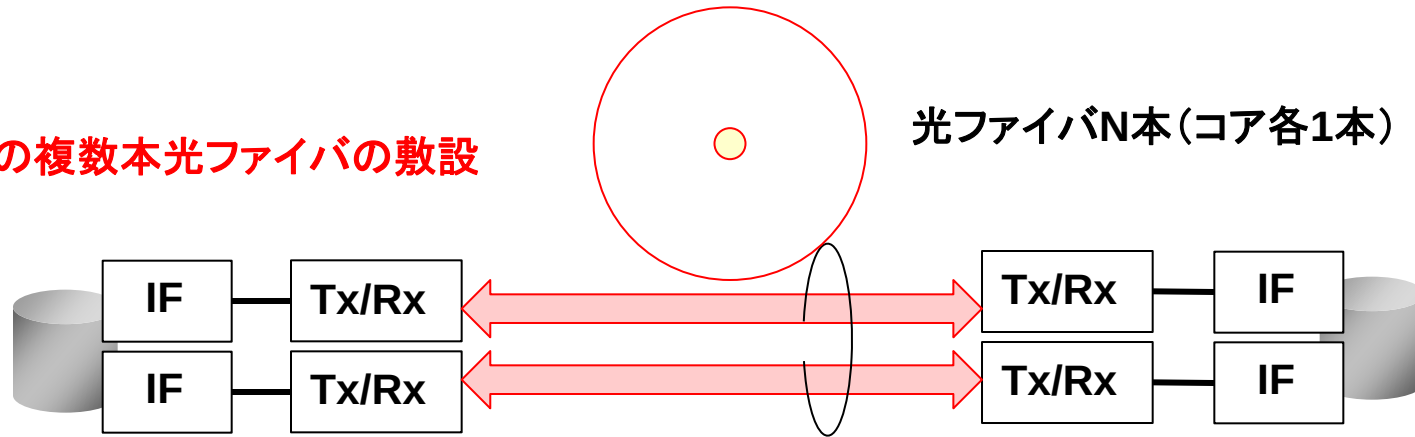
とうとう到達した100Tbps伝送実験(4) (マルチコア・ファイバ)

J. Sakaguchi, Y. Awaji, N. Wada, A. Kanno, T. Kawanishi, T. Hayashi, T. Taru, T. Kobayashi, and M. Watanabe, OFC/NFOEC2011, PDPB6 (2011).

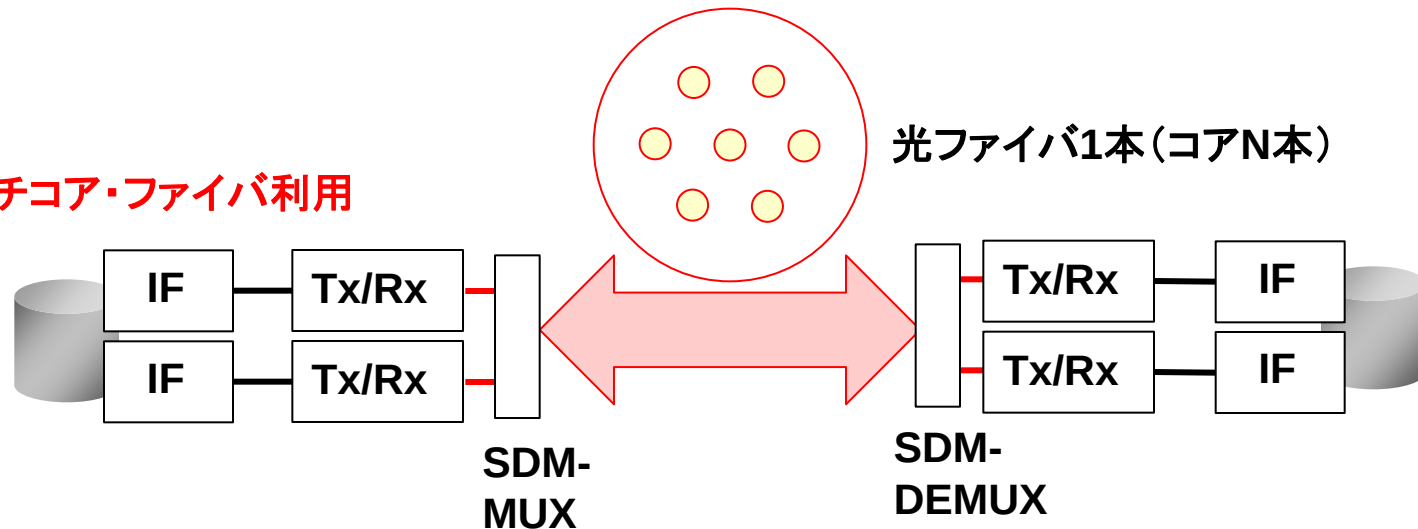


伝送路の新時代:マルチ・コアファイバ

既存の複数本光ファイバの敷設



マルチコア・ファイバ利用



ファイバ本数の削減

- SMF ⇄ MCF間接続方法: 自由空間系・ファイバ融着型が主(今後の課題)

とうとう到達した1Pbps超 伝送実験(1) (マルチコア・ファイバ)

H. Takara, A. Sano, T. Kobayashi, H. Kubota, H. Kawakami, A. Matsuura, Y. Miyamoto, Y. Abe, H. Ono, K. Shikama, Y. Goto, K. Tsujikawa, Y. Sasaki, I. Ishida, K. Takenaga, S. Matsuo, K. Saitoh, M. Koshihara, and T. Morioka, ECOC2012, Th.3.C.1 (2012).

伝送容量: $5.71\text{Gbaud} \times 8\text{サブキャリア} \times 5\text{値多重}(32\text{QAM}) \times 2(\text{偏波多重})$
 $\times 222\lambda(\text{C+Lバンド}) \times 12\text{コア} \times 0.833(\text{FEC})$
 $= 1.01\text{Pbps}$

スペクトル利用効率: $5.71\text{Gbaud} \times 5\text{値多重}(32\text{QAM}) \times 2(\text{偏波多重}) \times 12\text{コア}$
 $\div 6.25\text{GHz/sub-ch} \times 0.833 = \mathbf{91.3\text{bps/Hz}}$

とうとう到達した1Pbps超 伝送実験(2) (マルチコア・ファイバ)

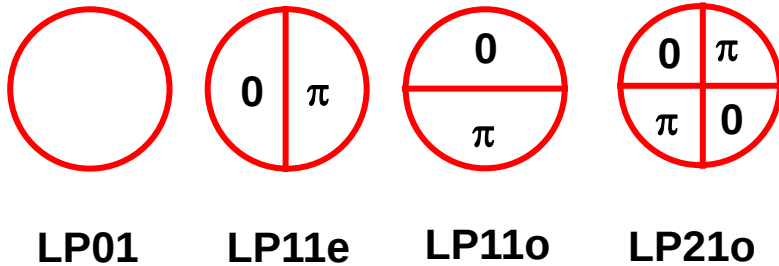
H. Takara, A. Sano, T. Kobayashi, H. Kubota, H. Kawakami, A. Matsuura, Y. Miyamoto, Y. Abe, H. Ono, K. Shikama, Y. Goto, K. Tsujikawa, Y. Sasaki, I. Ishida, K. Takenaga, S. Matsuo, K. Saitoh, M. Koshihara, and T. Morioka, ECOC2012, Th.3.C.1 (2012).



高次モードの生成・多重・分離方式

生成

① 位相板

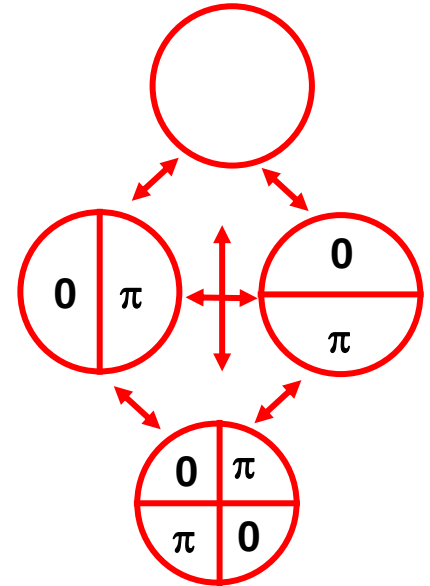


② 長周期ファイバ・グレーティング

③ 方向性結合器

多重・分離

- 自由空間系
- 方向性結合器
- 平面導波路



※この段階の分離信号には、伝送途中での
モード変換成分が線形に混合

→ 分離・再生が必要

→ **Multiple-Input/Multiple-Output (MIMO)**
行列の特異値分解演算を利用

空間多重伝送は欧米を中心に展開 (マルチモード・ファイバ)

R. Ryf, S. Randel, N.K. Fontaine, M. Montoliu, E. Burrows, S. Corteselli, S. Chandrasekhar, A.H. Gnauck, C. Xie, R.-J. Essiambre, P.J. Winzer, R. Delbue, P. Pupilais, A. Sureka, Y. Sun, L. Grüner-Nielsen, R.V. Jensen, And R. Lingle, Jr., OFC2013, PDP5A.1 (2013).

伝送容量: $20\text{Gbaud} \times 4\text{値多重}(16\text{QAM}) \times 32\lambda \times 12\text{モード}(\text{モード} + \text{偏波}) \times 0.8(\text{FEC})$
 $= 24.6\text{Tbps}$

スペクトル利用効率: $20\text{Gbaud} \times 4\text{値多重}(16\text{QAM}) \times 12\text{モード} \div 25\text{GHz} \times 0.8$
(FEC) = **30.7bps/Hz**

シングルモードーマルチモードの Fan-in/Fan-out (FIFO)+EDFA

M. Salsi, R. Ryf, G. Le Cocq, L. Bigot, D. Peyrot, G. Charlet, S. Bigo, N.K. Fontaine, M.A. Mestre, S. Randel, X. Palou, C. Bolle, B. Guan, and Y. Quiquempois, ECOC2012, Th.3.A.6 (2012).

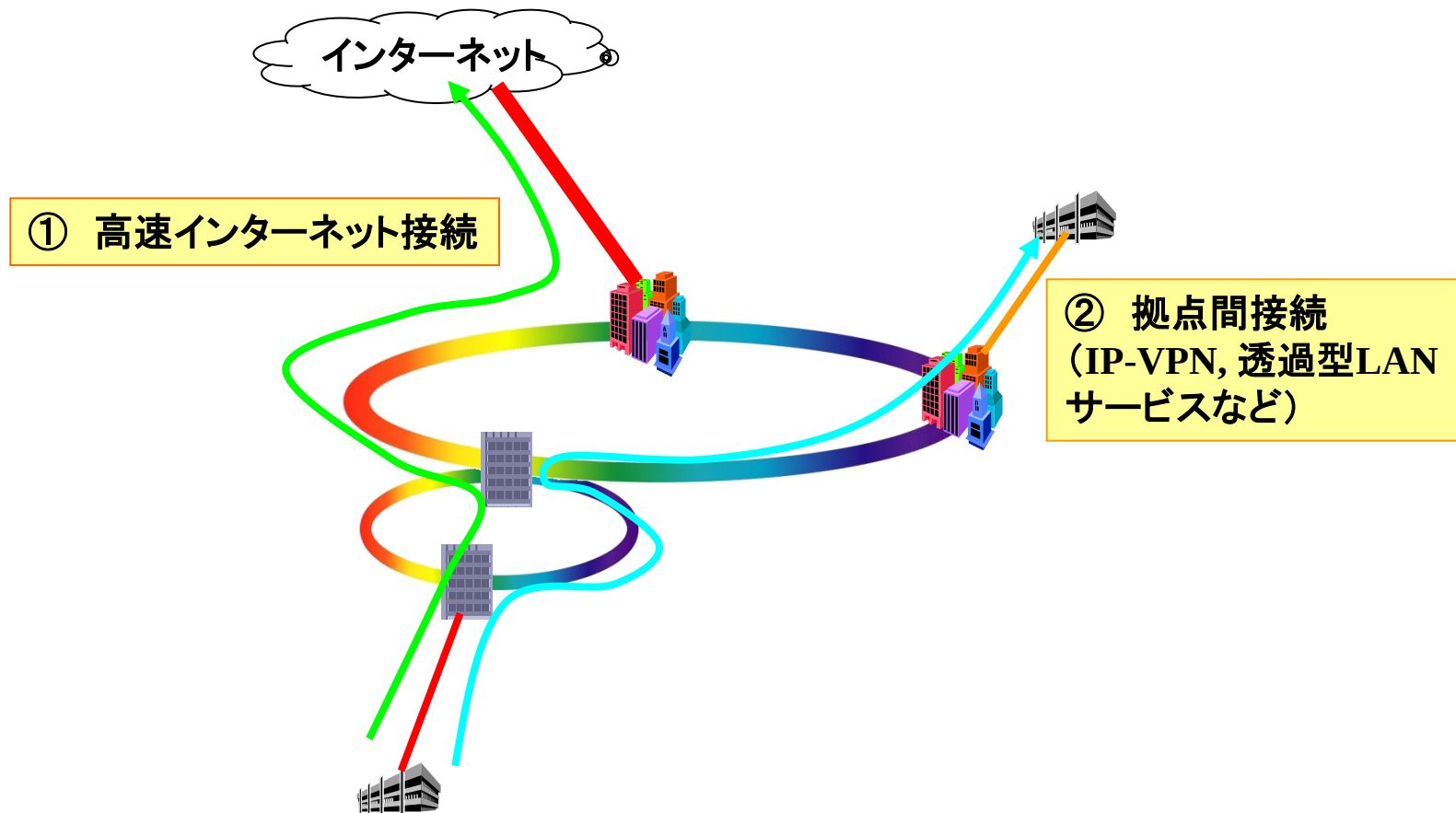


メトロ系ネットワーク

メロ・ネットワークの特徴と用途

特徴

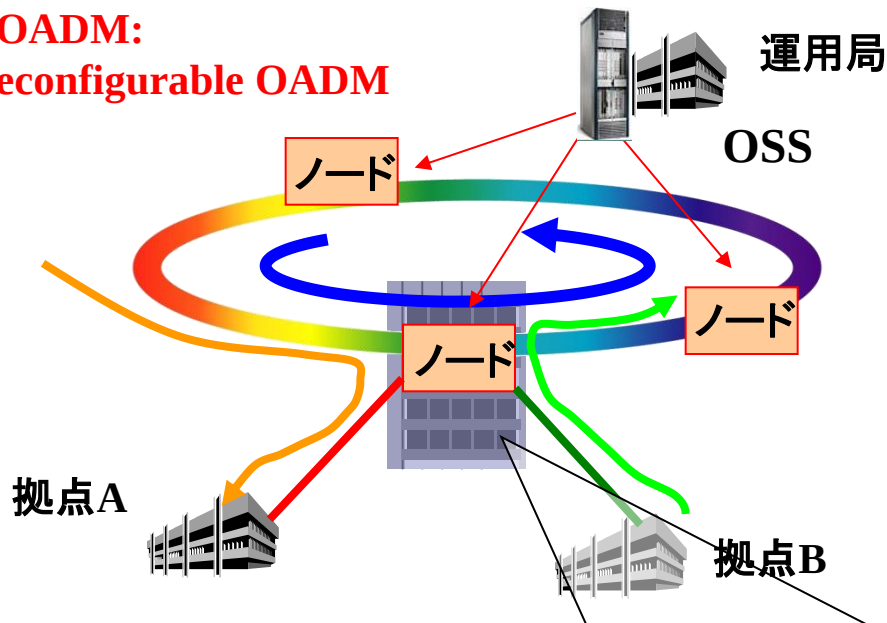
- ・ダーク・ファイバを用いて都市部に構築
- ・L3SWやWDM装置を使い安価なサービスを提供
- ・イーサネット・インタフェースで1~10Gbpsまでの高速サービスを提供



- 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

重要度の増す Optical Add Drop Multiplexer (OADM)

ROADM: Reconfigurable OADM



入力WDM信号

出力WDM信号

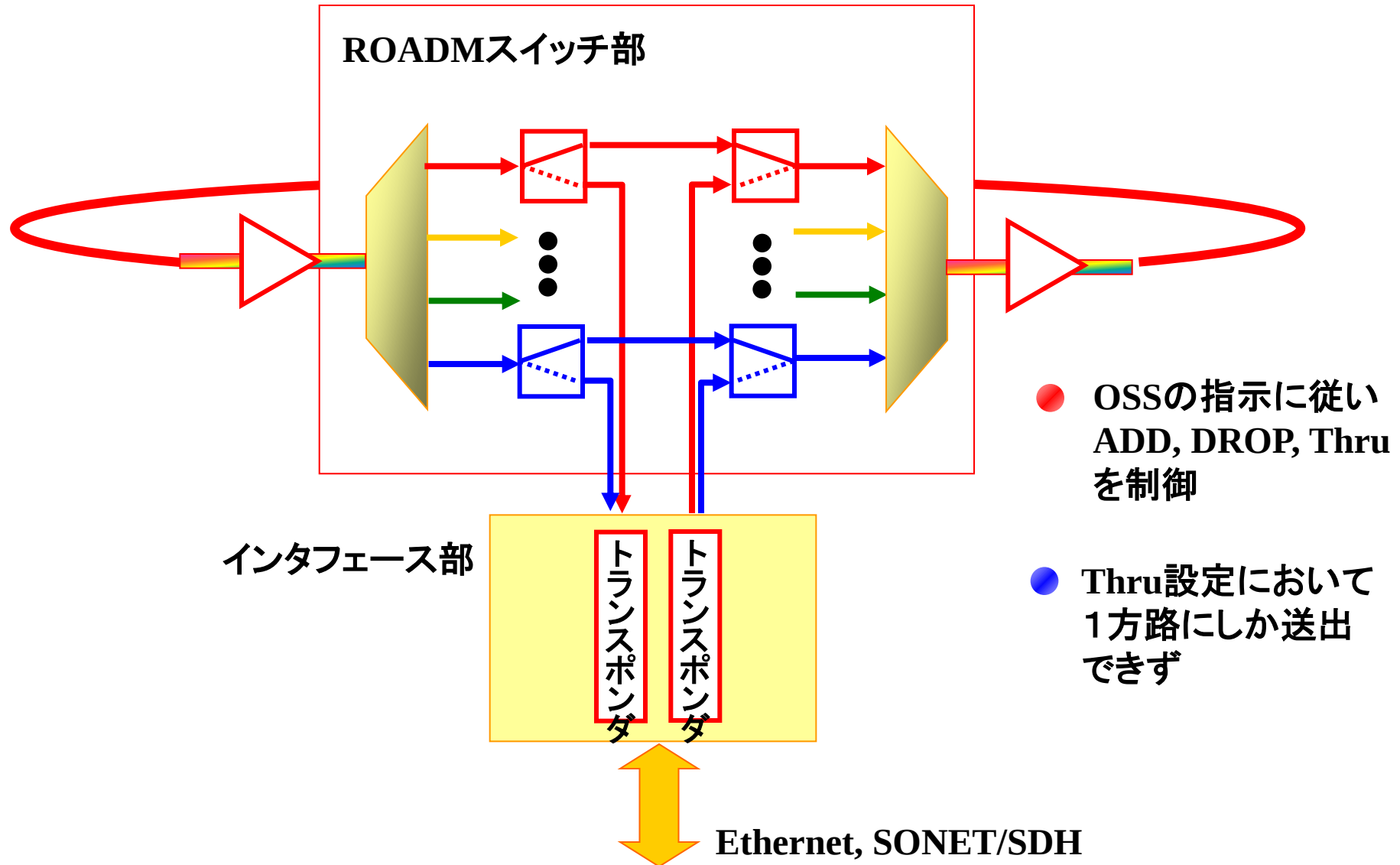
(R)OADM

拠点A用の
波長

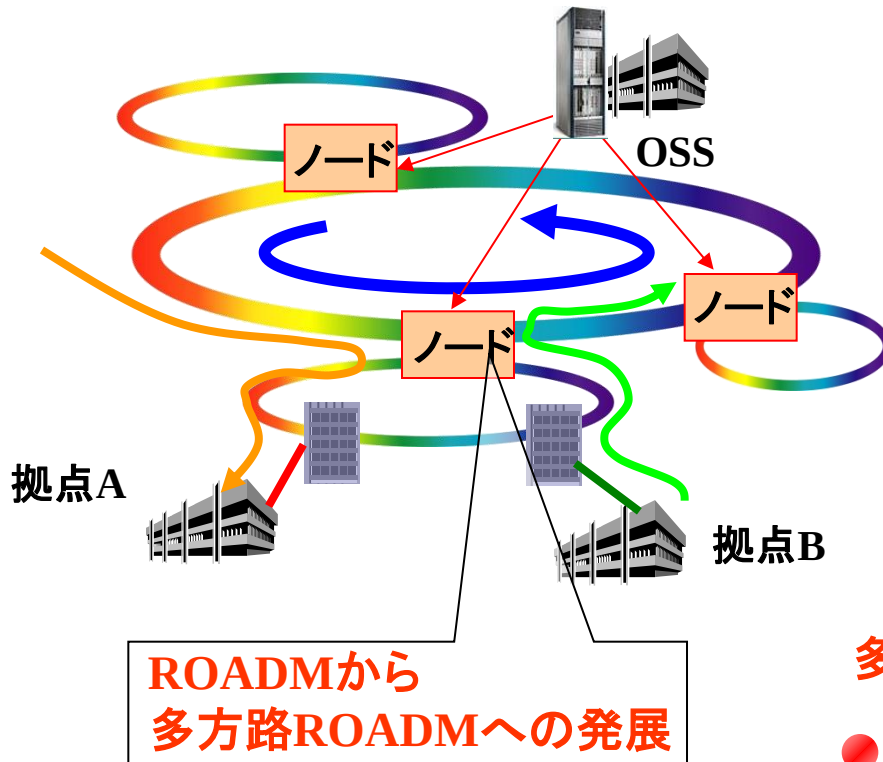
拠点B用の
波長

- ADD(挿入):
データのリングへの挿入
 - DROP(分岐):
目的データの取得
 - Thru(通過):
ノードを通過
-
- 従来のOADMでは光パス
(1波長による光信号経路)
開通に現場作業が必要
→ 急な需要に対応困難
 - ROADMにより遠隔作業可
(GMPLSは国際標準の
管理プロトコル)
 - OSS (Operation Support
System):
各ノードのADD, DROP, Thru
を管理・制御するシステム

ROADMシステム



マルチ・リングシステム



ROADMノードの課題

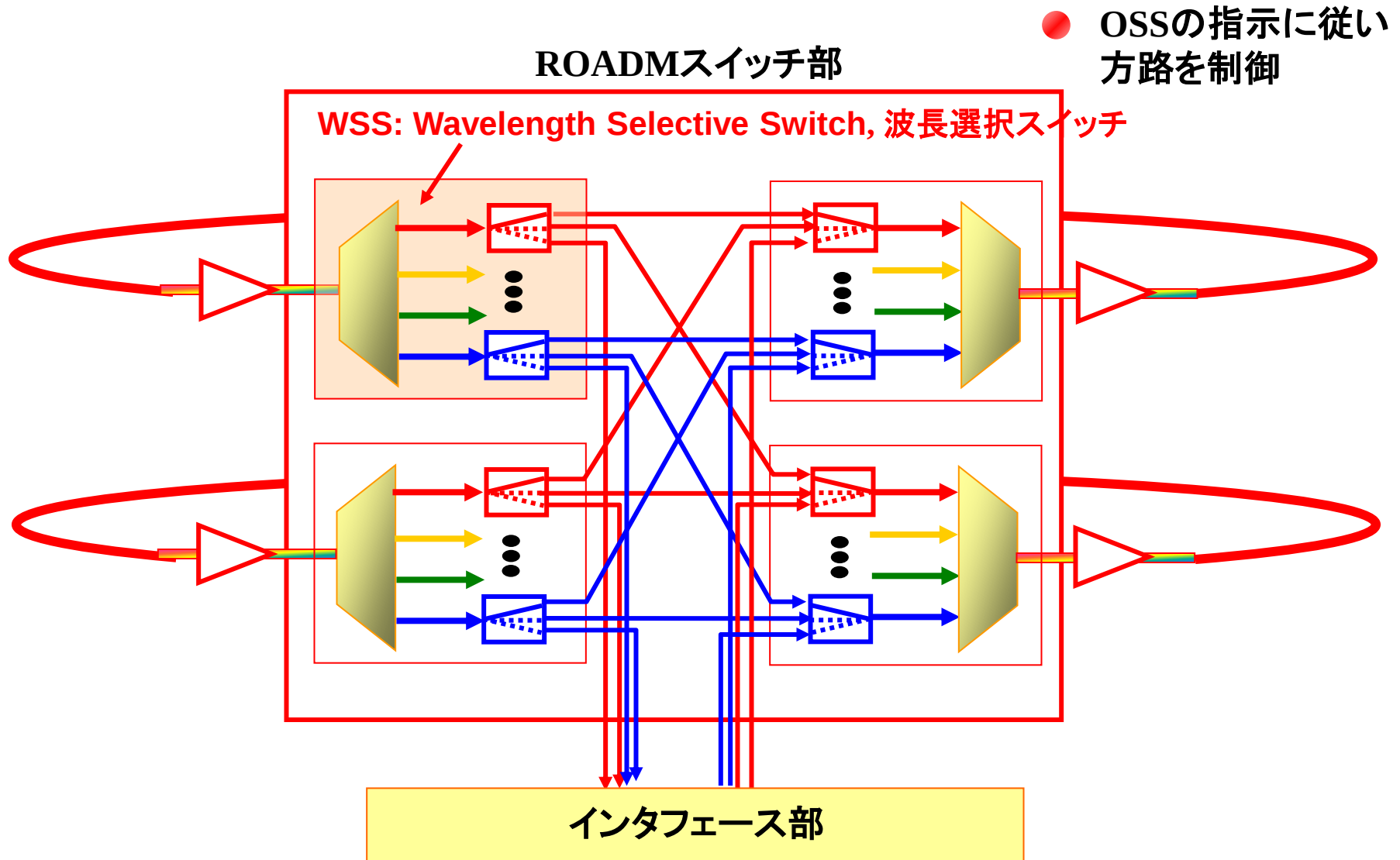
- 複数リングの接続の際にはリング・システムごとに光パスを設定
- 中継インタフェースを接続して転送が必要

多方路ROADMノードのメリット

- 複数のリングを束ねることにより、光パスの設定が1回で済み、開通・廃止作業の大幅な削減
- リング間の中継インタフェース不要

多方路ROADM

(**Colorless, Directionless, Contentionless: CDC**へ)



Software Defined Network (SDN) & Elastic Network

- Software Defined Network (SDN)

- ・ネットワーク資源(送受信方式やトポロジーなど)を仮想化(Virtualization)し、要求される帯域や機能に応じてソフトウェアで再構築可能とするネットワーク。

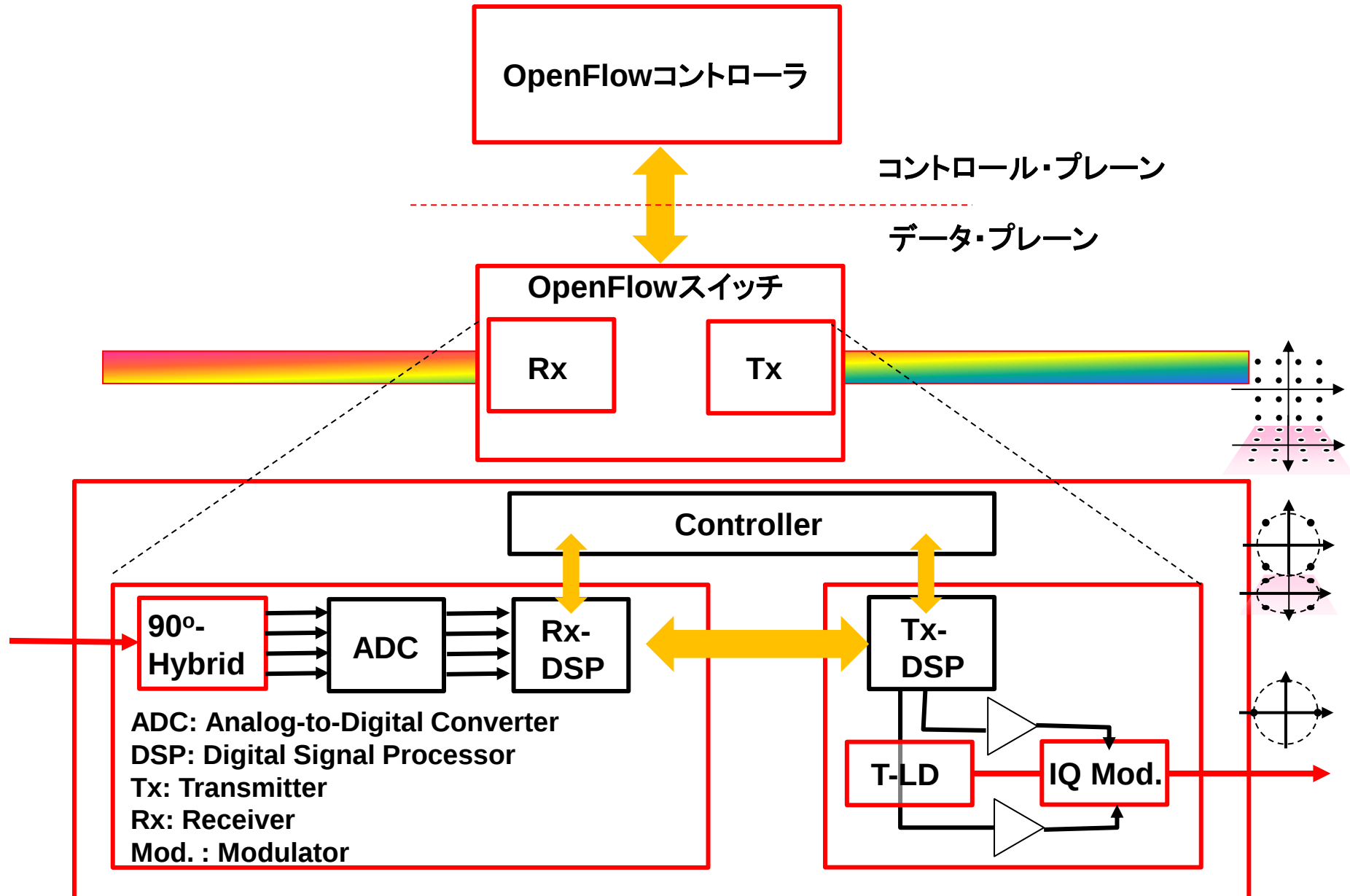
- ・OpenFlow技術:

- データ・プレーンとコントロール・プレーンを分離し、ネットワーク管理者が制御部(OpenFlowコントローラ)を設計・実装。

- Elastic Network

- ・ユーザから要求される帯域に応じて／ネットワークの信号対雑音比の状況に応じて 送受信の変調方式を適応的に再構築するネットワーク方式。

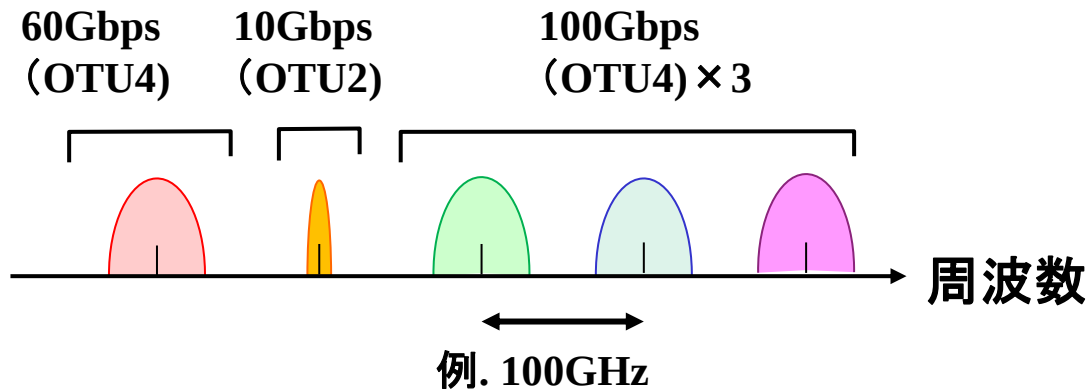
Software Defined Tranceiver



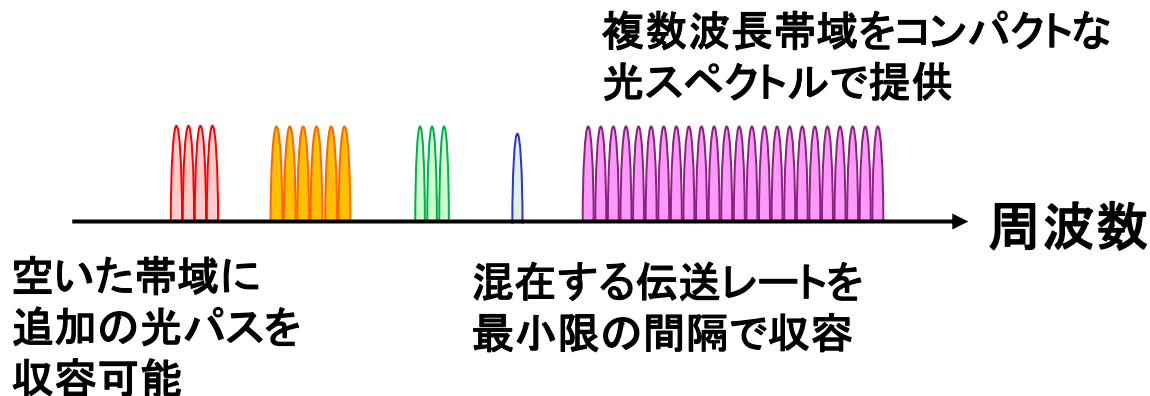
エラスティック光パス・ネットワークのコンセプト

エラスティックあるいはグリッドレス

既存(周波数グリッドに基づく光パス配置)



エラスティック光パス配置



Elastic Networkを実現するための スーパーチャネル技術

S. Chandrasekhar, OFC2011, OMU5.



スーパーチャネルの実現方式例

S. Chandrasekhar, OFC2011, OMU5.

CO-OFDM: Coherent Orthogonal Frequency Division Multiplexing



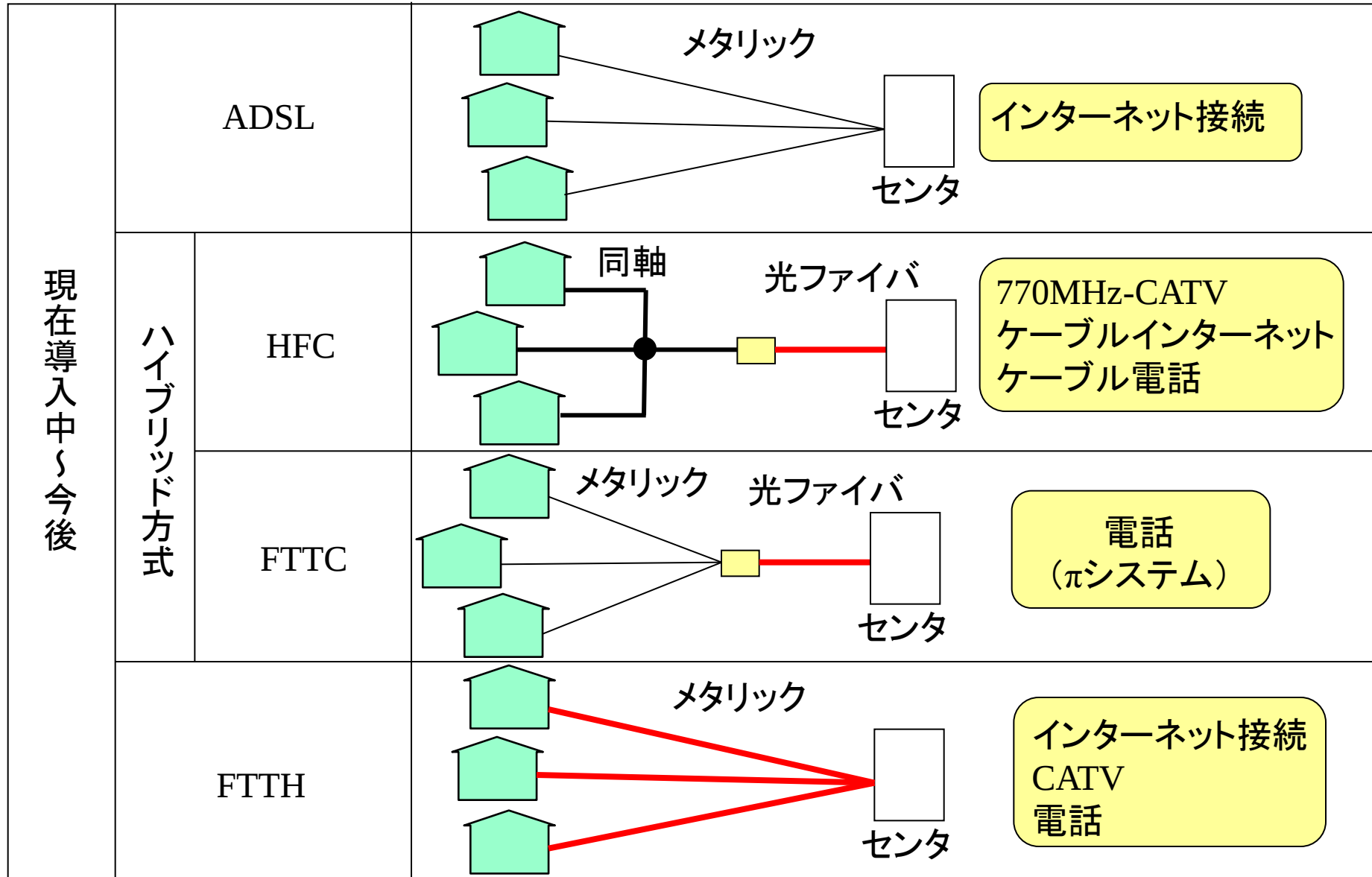
スーパーチャネルの報告例

S. Chandrasekhar, ECOC2010, Tu.3.C.5.



光アクセスシステム (FTTH)

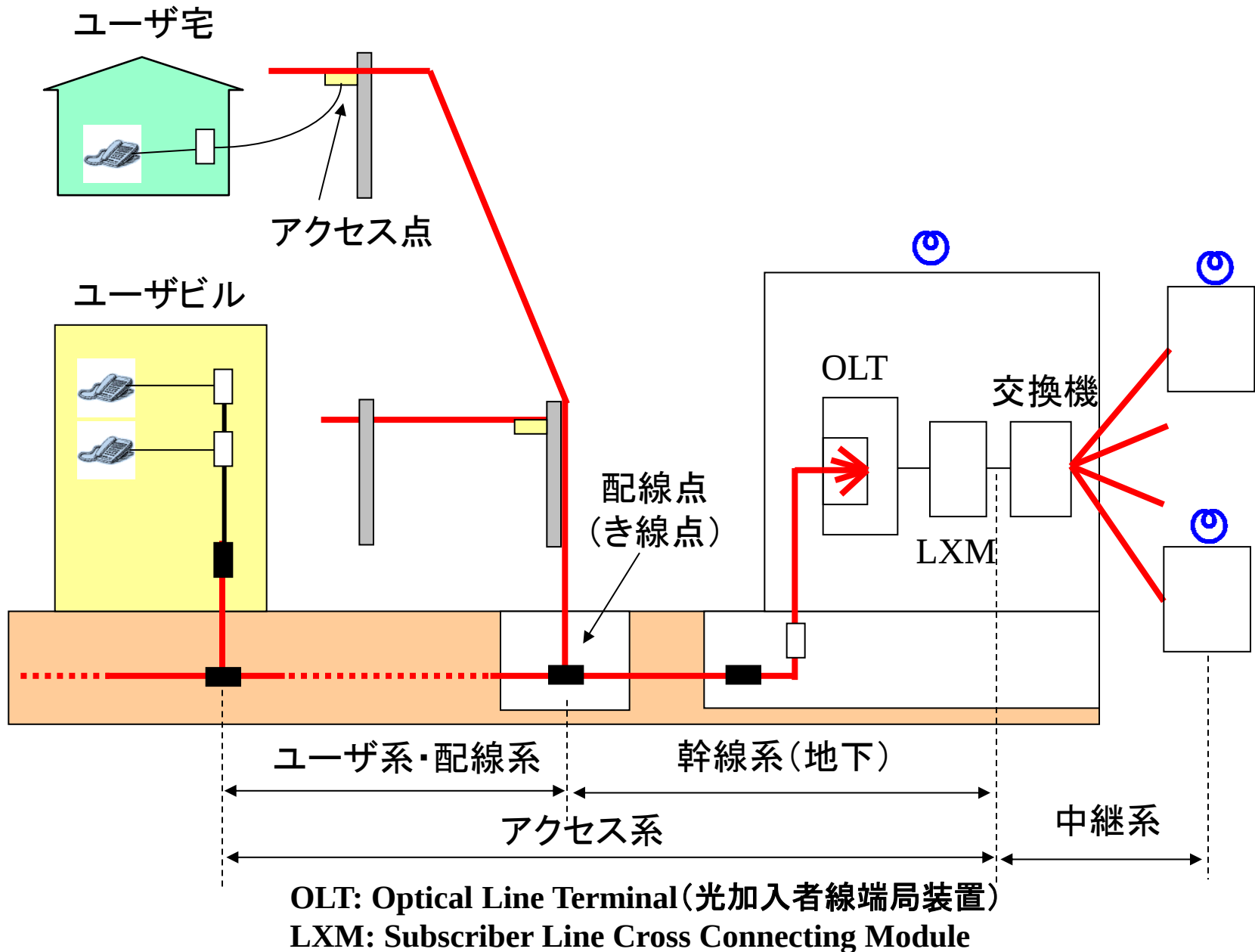
アクセスネットワークのトポロジー (物理的配線構成)



光双方向伝送方式 (上り・下りの伝送方式)

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 上り(upstream): センター ← ユーザ 下り(downstream): ユーザ ← センター	・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



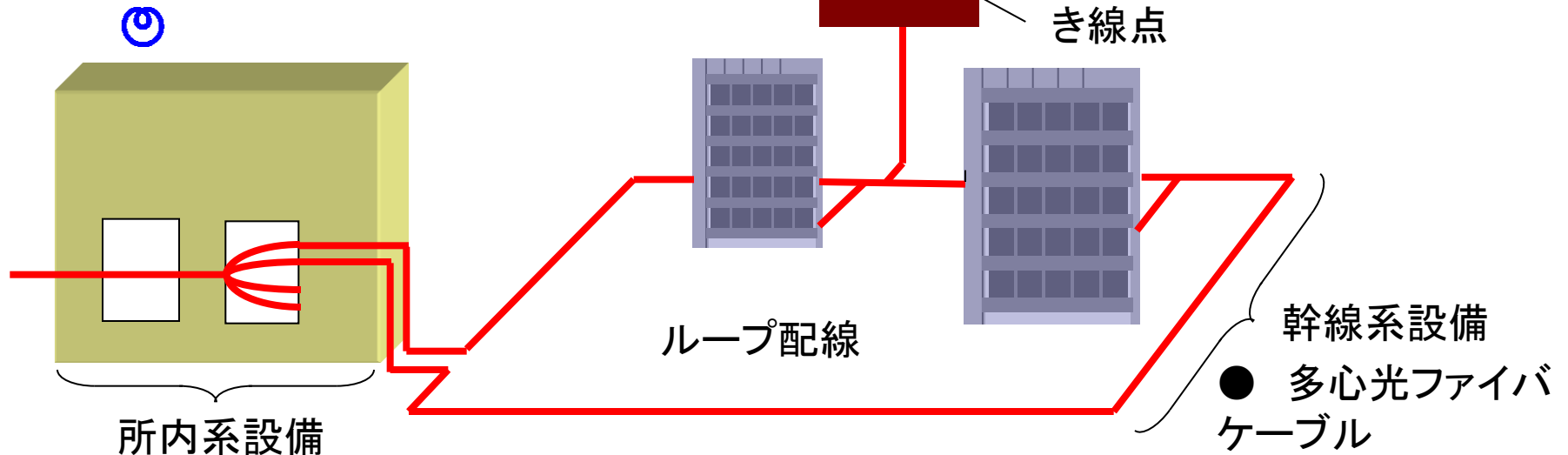
光アクセスネットワークの配線形態

- 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

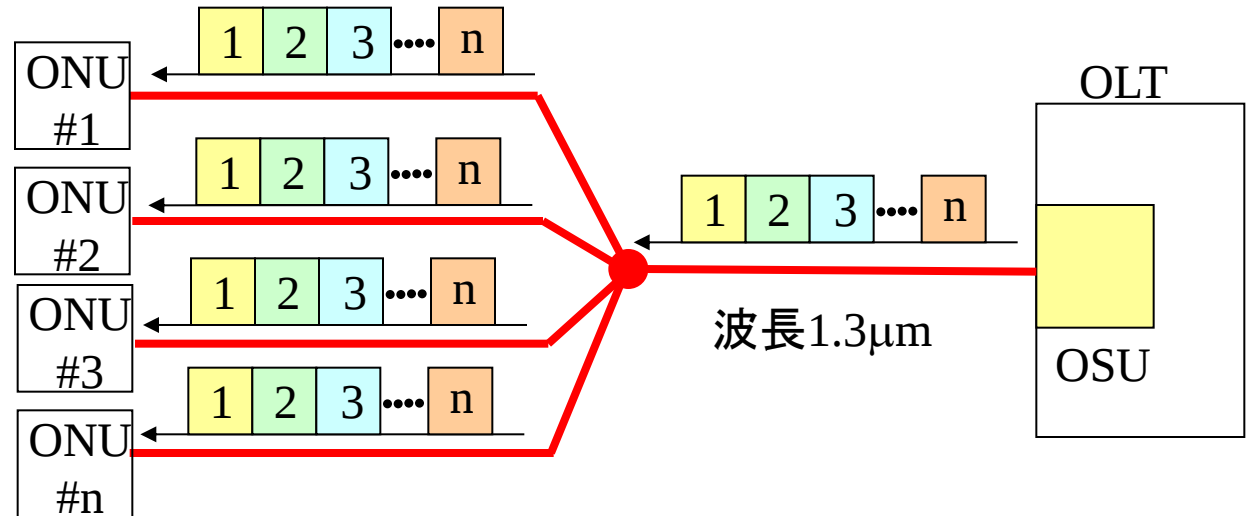
日経コミュニケーション2002年11月18日号より抜粋



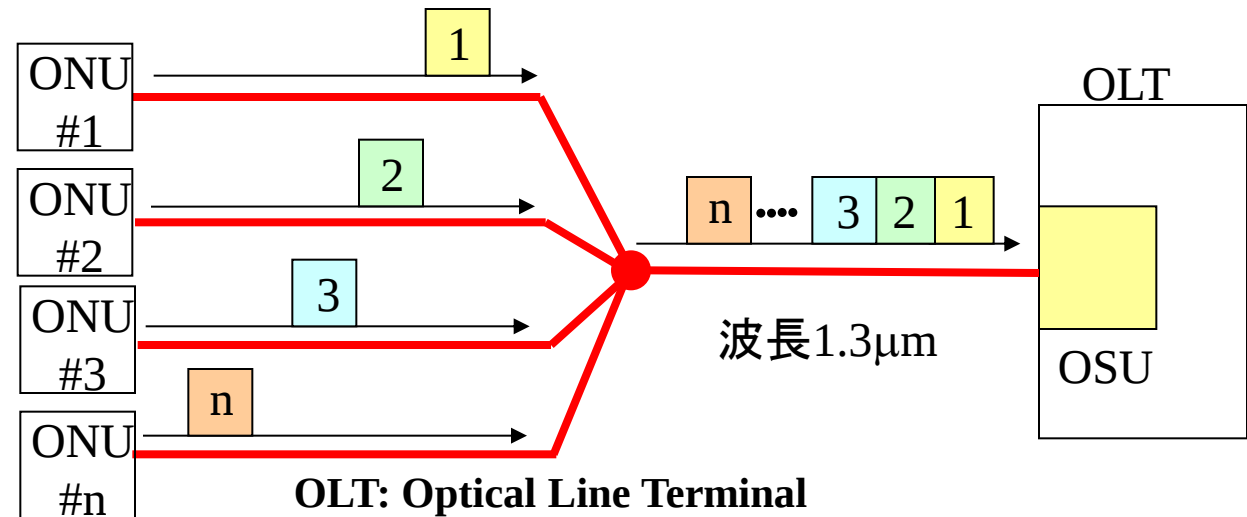
2013年度 PON(Passive Optical Network)システムのOLT～ONU間
光通信システム

信号伝送イメージ(TDM/TDMA)

下り(OLT→ONU) :
TDM伝送



上り(ONU→OLT) :
TDMA伝送



OLT: Optical Line Terminal

OSU: Optical Subscriber Unit

ONU: Optical Network Unit(光加入者線終端装置)

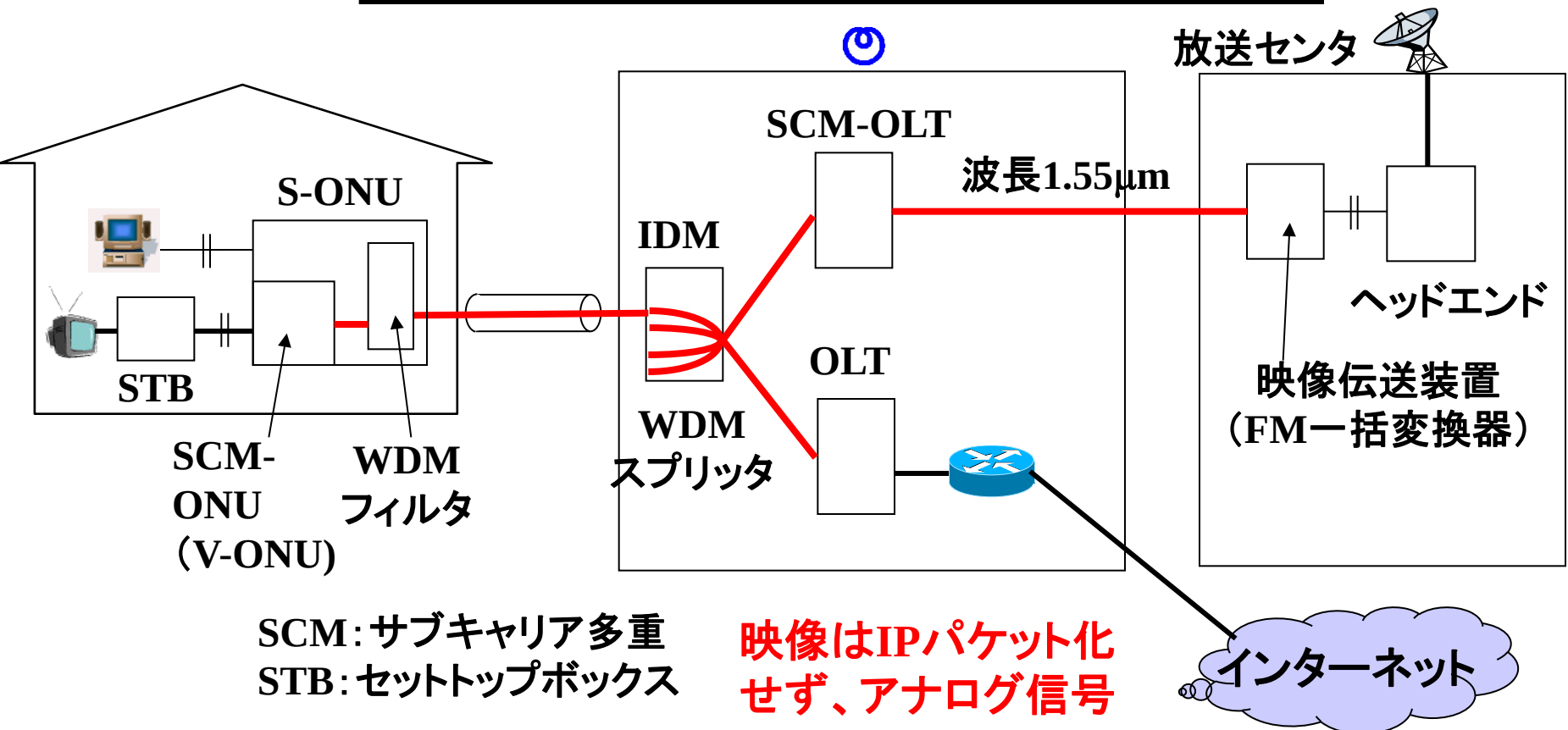
3波多重の通信・放送サービス

オプティキャストのFTTH放送サービス

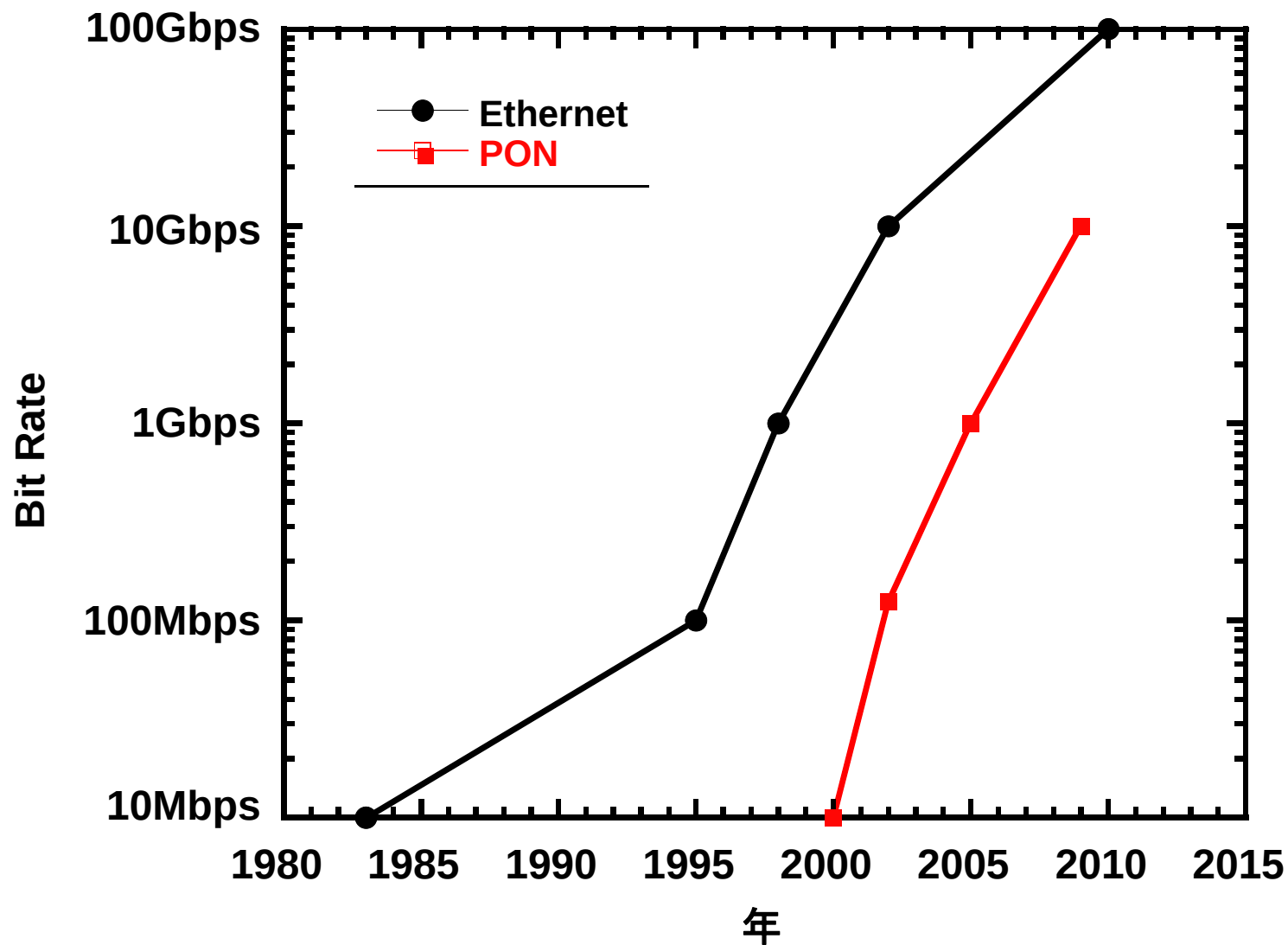
標準仕様

伝送距離	標準7km(最大20km)
PDS区間分岐数	32
使用波長	通信系1.49 μ m(下り)1.3 μ m(上り) ／映像系1.55 μ m

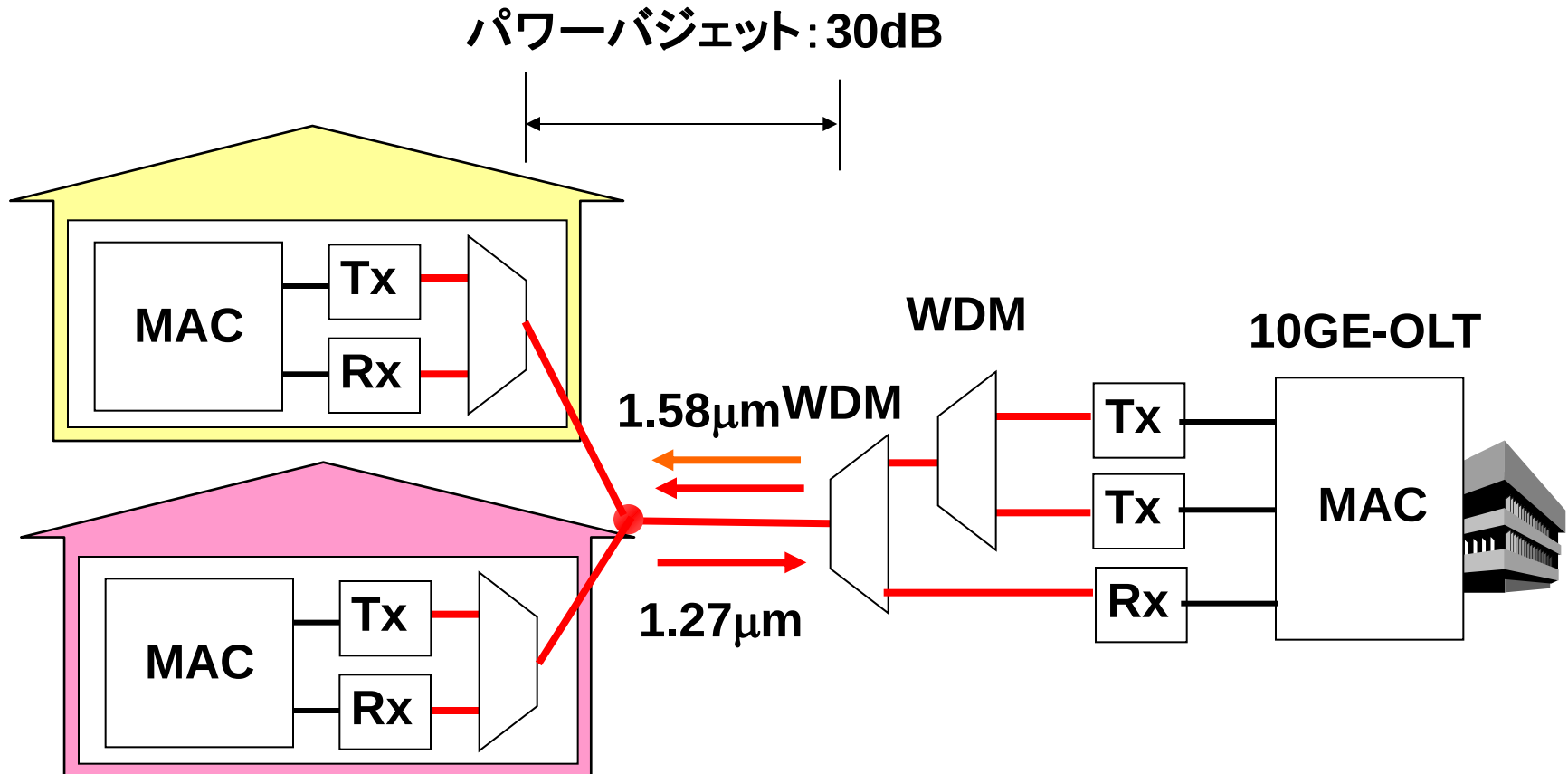
NTT映像通信網
サービスを利用



PONシステム高速化のロードマップ



2007年11月にDraft1.0リリース
2009年9月標準化完了



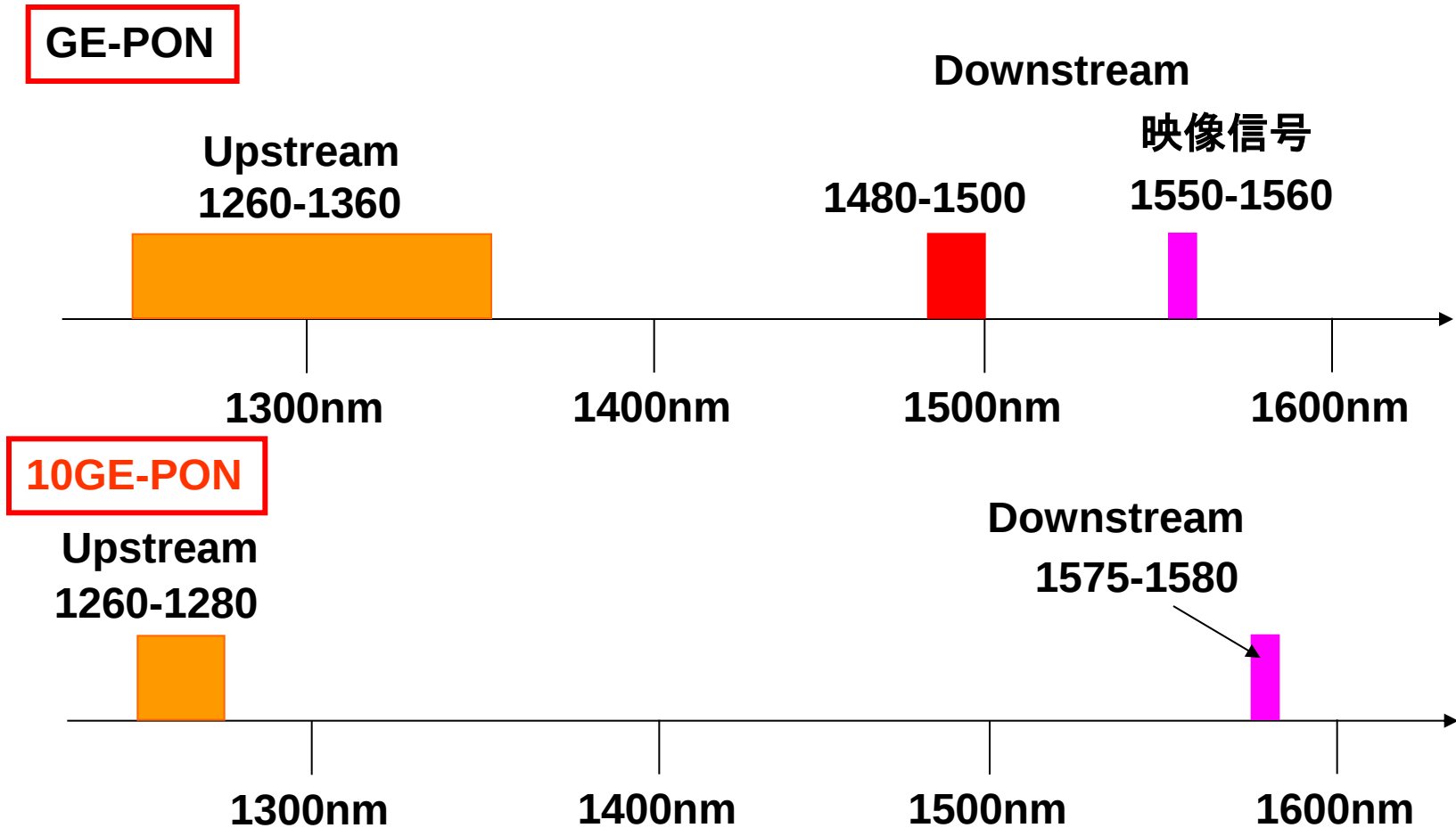
10GE-PON仕様(Draft2.2)

下り／上りとも10.3125Gbps(下り10.3125Gbps,上り1.25Gbpsの非対称PRX仕様もあり)

項目	Downstream (下り)			Upstream (上り)		
	PR10-D	PR20-D	PR30-D	PR10-U	PR20-U	PR30-U
送信器	EML			DML		
波長(nm)	1575-1580			1260-1280		
Tx出力(dBm)	+2～ +5	+5～ +9	+2～ +5	-1～ +4	-1～ +4	+4～ +9
消光比(dB)	9(Tx出力Upで6dBに緩和可)			6		
受信器	PIN w/FEC	PIN w/FEC	APD w/FEC	APD w/FEC		
受信感度(dBm)	-20.5	-20.5	-28.5	-24	-28	-28
最大損失(dB)	20	24	29	20	24	29
ペナルティ(dB)	1.5			3.0		

10GE-PON波長配置

- GE-PONからのマイグレーションを考慮して決定



● 10G光デバイス技術

- ・高出力DFBレーザ／EA変調器／半導体光増幅器(SOA)
- ・高感度APD
- ・波長配置

● 10Gバースト光送受信技術

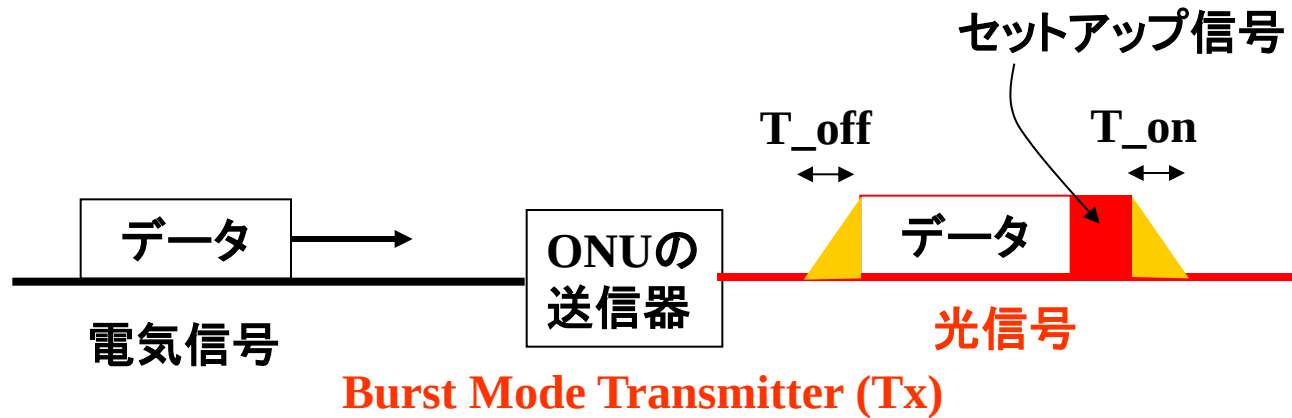
- ・バーストLDドライバ
- ・バースト受信プリアンプ／リミッタ
- ・位相同期回路(CDR)

● Transport Controlレイヤ制御技術

- ・フレームフォーマット
- ・Dynamic Bandwidth Allocation
- ・二重切替制御
- ・FEC

PONの物理レイヤ技術(1)

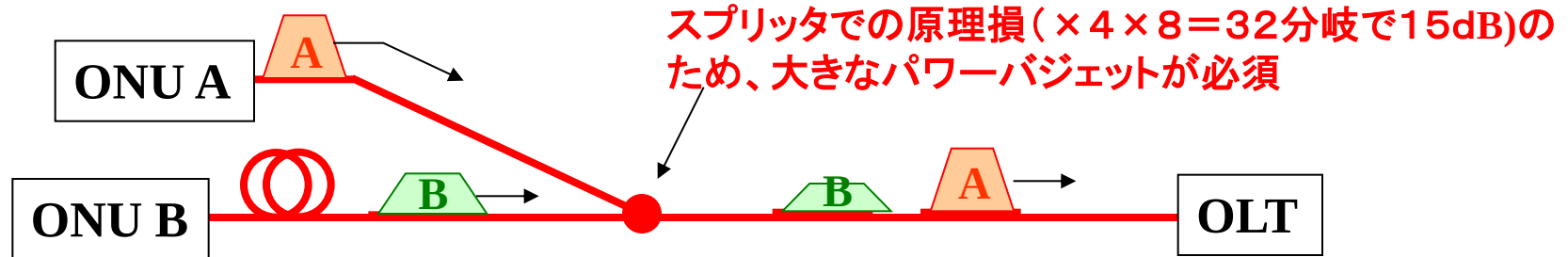
ONUのバースト・モード送信器



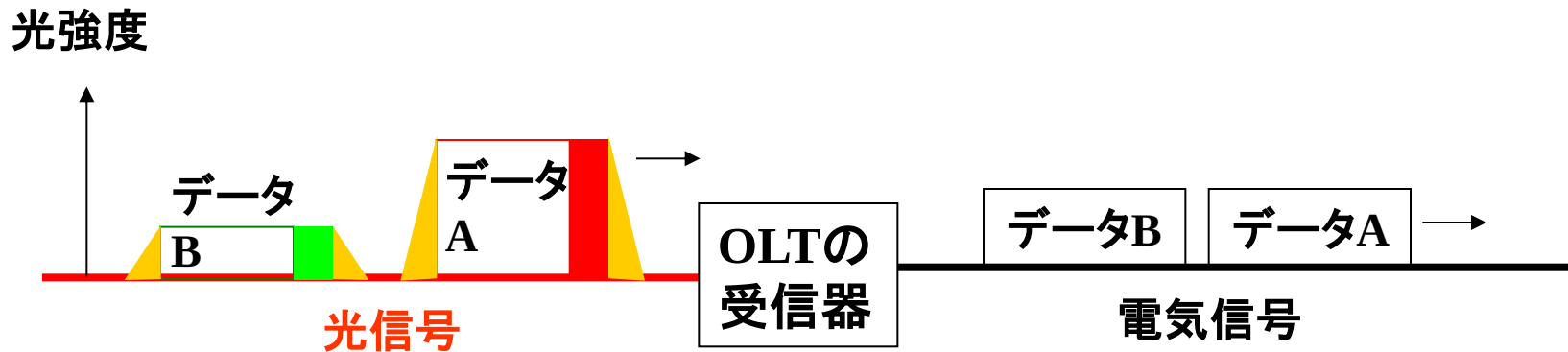
- T_{on} , T_{off} (遷移時間):
異なるONUからの上り信号間の影響抑制のため、確実な消光を目的
- セットアップ信号:
OLT受信器が受信準備できるための規則的なパターン送信

PONの物理レイヤ技術(2)

OLTのバースト・モード受信器



- 異なる距離・送信パワー差などによりONU間の信号強度に差が発生
- 同レベルの電気信号に等化(自動利得等化、Auto-Gain Control, AGC)
- セットアップ信号を読み取りながら、クロック抽出・同期確立

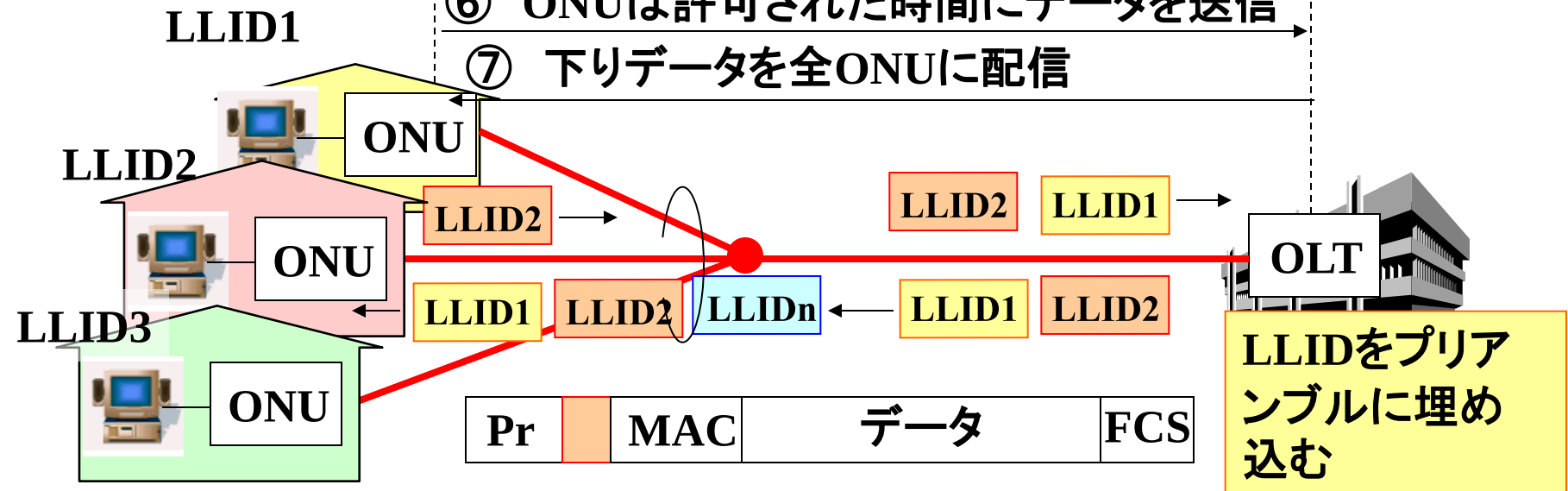


Burst Mode Receiver (Rx)

EPON (Ethernet PON) の伝送制御技術

シェアードアクセス技術に似ているが、可変長のMACフレームを扱う点が異なる。

- ① ブroadcastでOLTが定期的に新しいONUを確認
- ② 新しいONUが応答
- ③ OLTが応答にかかった時間でONUの距離を測定。
LLID (Logical Link ID) を割り当てる。
- ④ ONUは送信したデータ量をOLTに通知
- ⑤ OLTは他のONUの要求を見てONUに送出開始時間と
時間幅を通知。OLTは伝送遅延を計算してONUに通知。
- ⑥ ONUは許可された時間にデータを送信
- ⑦ 下りデータを全ONUに配信



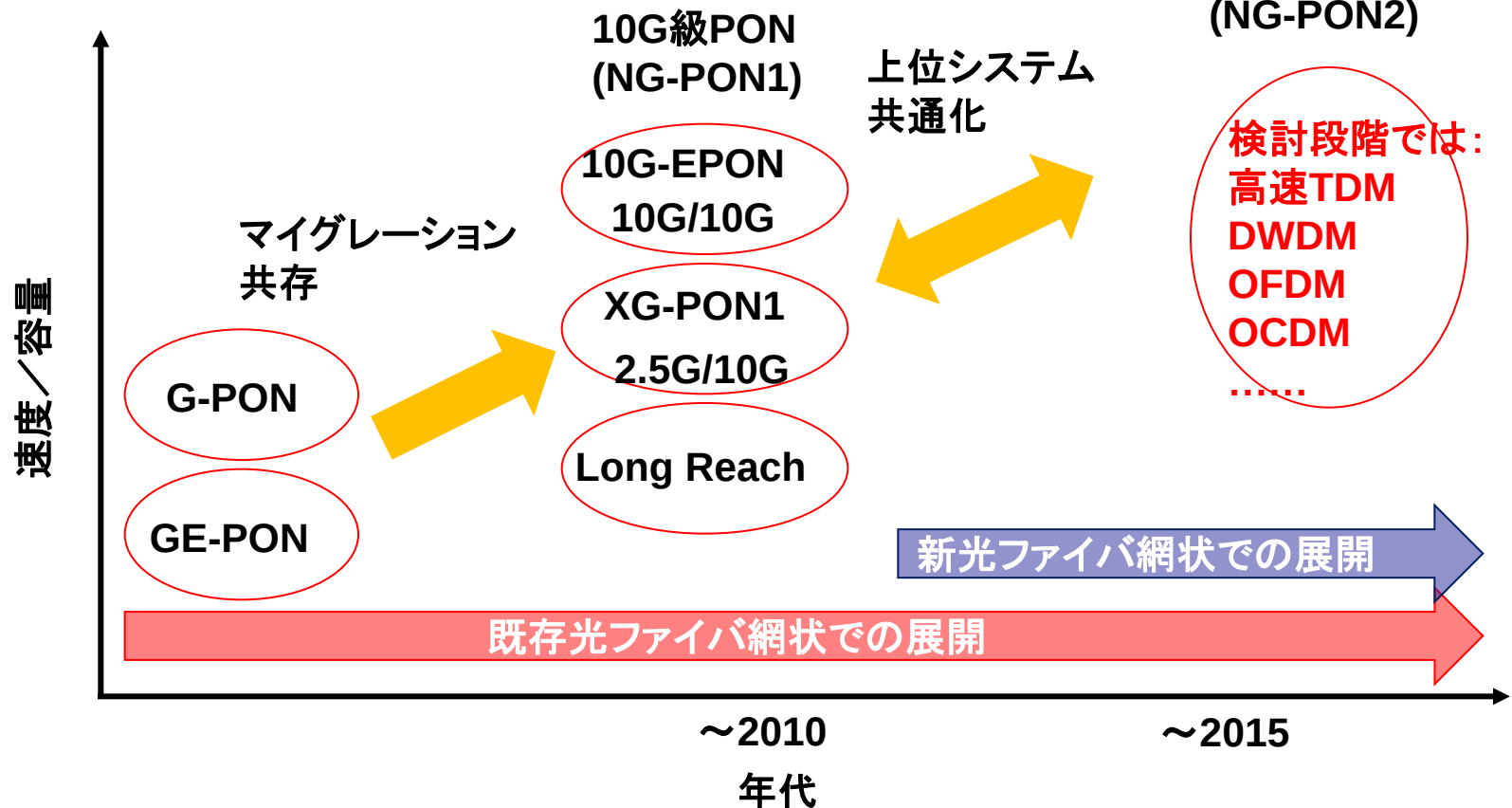
10G-EPON標準化後の光アクセス技術とは？

2009.9にIEEE802.3av (10G-EPON)の標準化完了

➡ 今後の方向性：

- ① 高速化 ② 多分岐化（64） ③ 長距離化（60～100km）

NG-PON2の移行シナリオ



NG-PON2システム要件(国際標準)

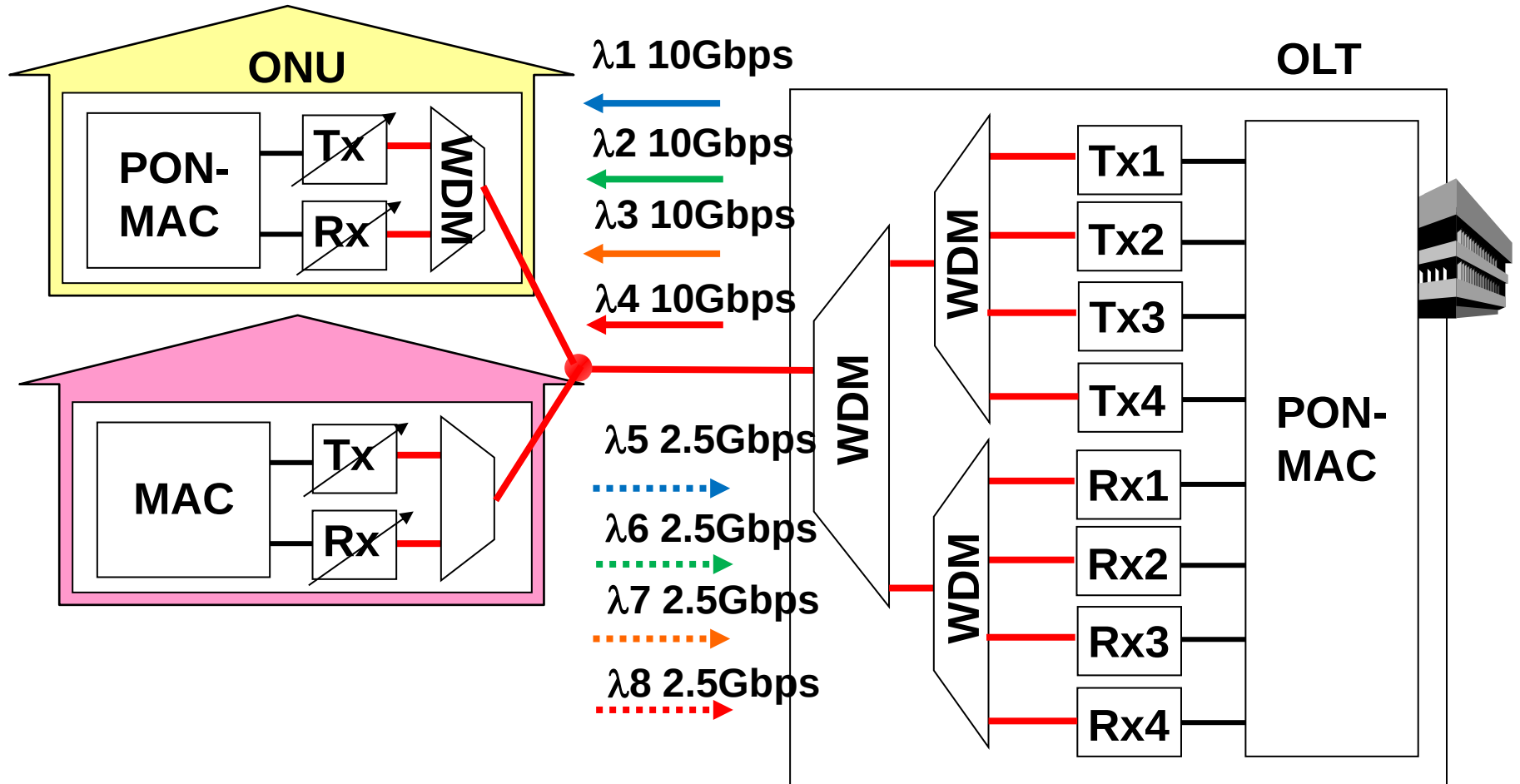
システム要件2012年9月にITU-T G.989.1として合意

TWDM-PON (Time and Wavelength Division Multiplexing-PON)

項目	要求条件
下り伝送容量	40Gbps以上（10Gbps×4波）
上り伝送容量	10Gbps以上（2.5Gbps×4波）
伝送距離・分岐数	20kmで64分岐以上 （最大60km, 256分岐）
運用条件	① 既存PONシステムとの 同一ファイバ網での共存 ② カラーレスONU
オプション	① 上り40Gbps ② 8波多重 ③ P2P-WDM用の波長帯を 設ける

TWDM-PONの構成

波長配置等は現在策定中



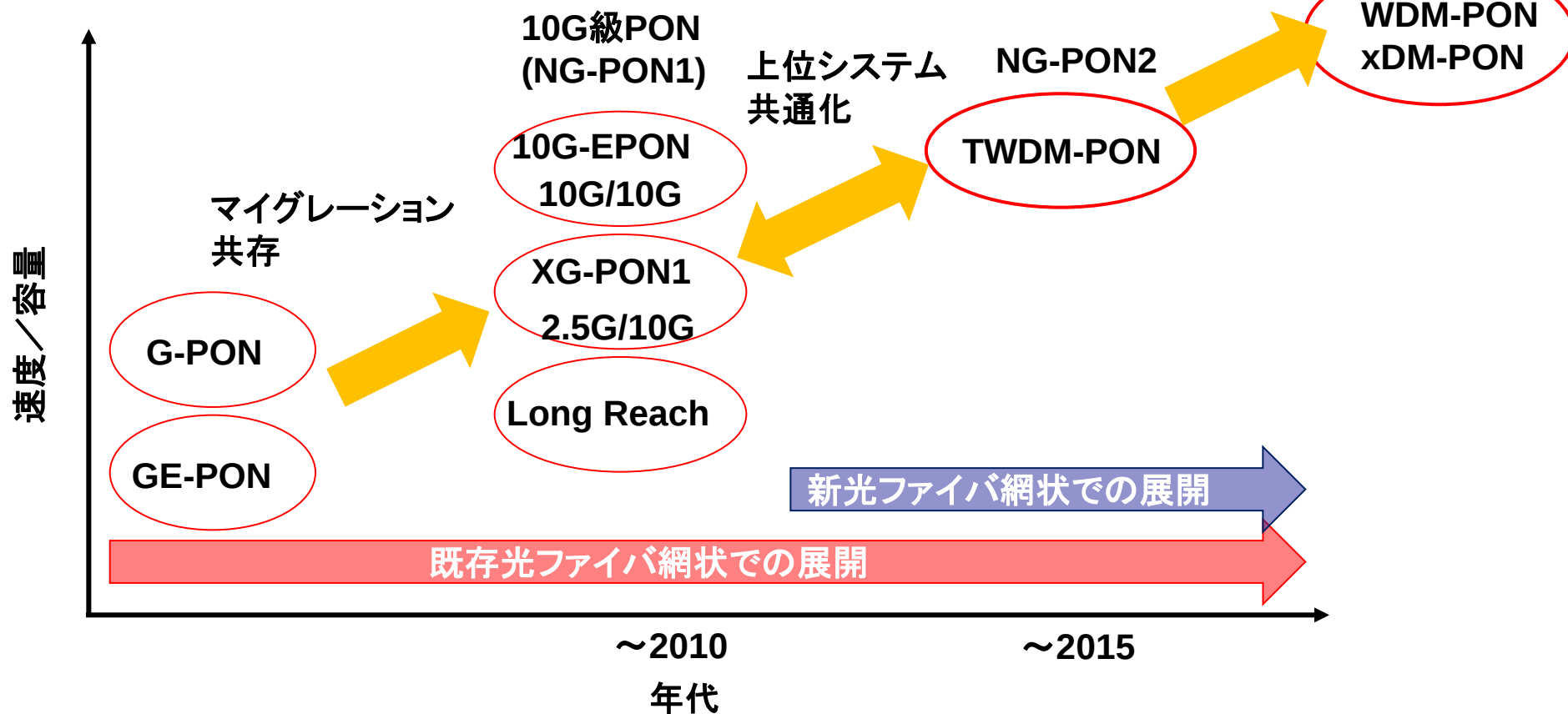
NG-PON2以降の光アクセス技術とは？



今後の方向性：

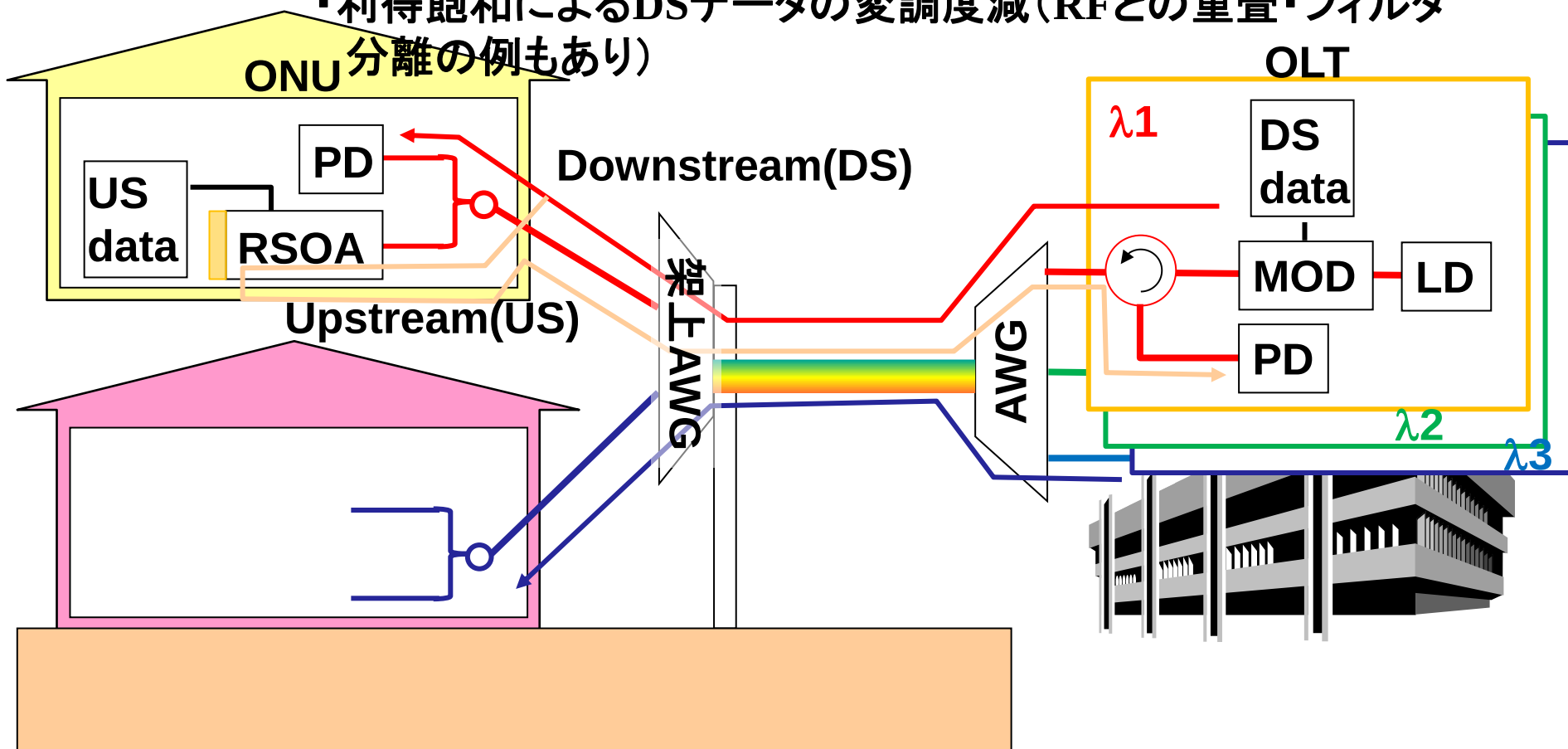
- ① 高速化 ② 波長数増 その他？

NG-PON2以降の移行シナリオ



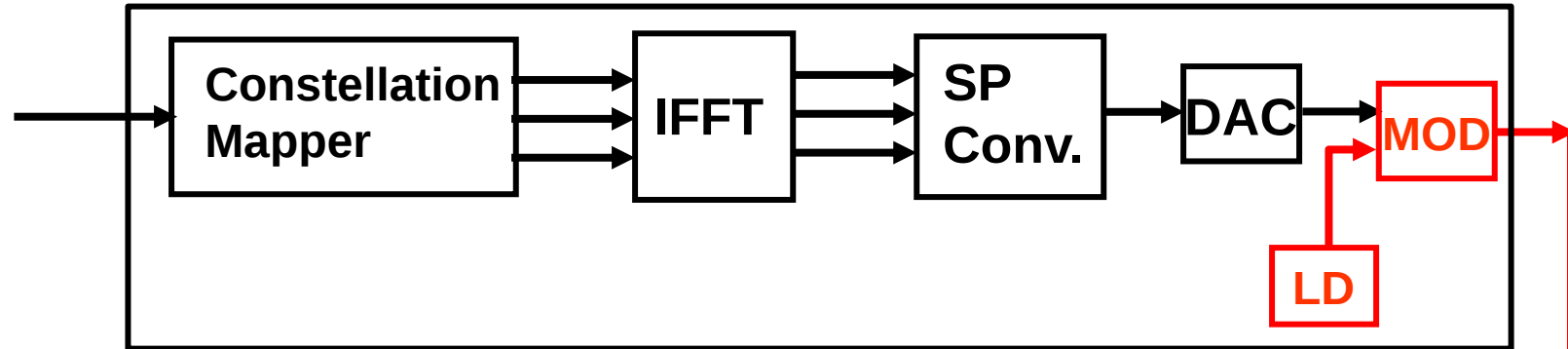
WDM-PONのネットワーク構成例

- WDMの使い方: ユーザごと(以下の図のイメージ)・サービスごとの例もあり
- OLT側: 波長多重装置のコスト分配可
- ONU側: ・低コストのためにONU側は光源なし・OLTからのDS光の再利用
 - ・**RSOA(Reflective SOA)**の広帯域性(任意波長対応)
 - ・利得飽和によるDSデータの変調度減(RFとの重畳・フィルタ分離の例もあり)

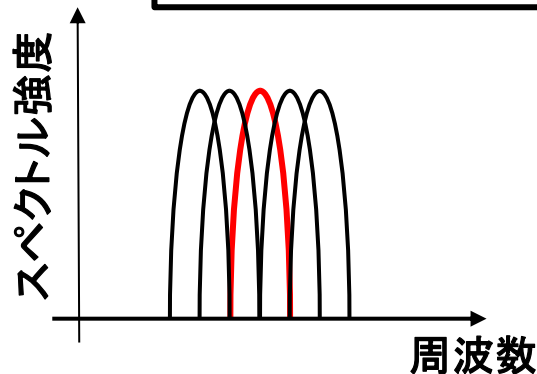
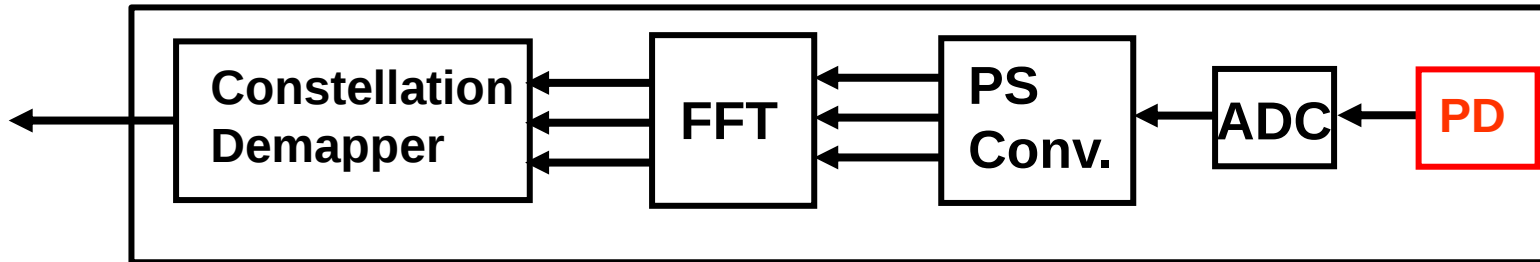


OFDM-PON

OFDM Tx



OFDM Rx



● 高周波数利用効率 ➡ 狭帯域による分散の影響低減,
高速信号の長距離化

● DS: ユーザごとにキャリア割り当ての例あり

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		

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

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) MACフレーム 4ビット・平行 100Mbps 0 1 1 0 4B5B符号化	平行信号(バイト単位) MACフレーム 8ビット・平行 1000Mbps 0 0 0 0 0 1 0 1 8B10B符号化	平行信号(バイト単位) MACフレーム 64ビット・平行(R) 8ビット・平行(X) 64B66B符号化(R, W) 8B10B符号化(X)
PCS	125Mbps 0 1 1 1 0	1 0 1 0 0 1 1 0 1 1 10ビット・シリアル	66ビット・シリアル(R, W) 10ビット・シリアル(X)
PMA	NRZI符号化	NRZ符号	WIS: OC-192フレーム化(W) NRZ符号
PMD	125Mbps NRZI符号(光)	光信号 1250Mbps	光信号 10.3125Gbps(R) 9.95328Gbps(W) 3.125Gbps × 4波(X)

近年のインターネットの傾向

- 近年のインターネットはP2Pがトラフィック増の要因
- 大容量データの量が増加
- サーバ性能: $\times 100\%$ / 2年の増加
($\times 40 \sim 50\%$ / 年, インターネットトラフィック増加率と同程度)



10Gbpsを超える高速LANインタフェースへの要求増大

100G/40GbE標準化動向

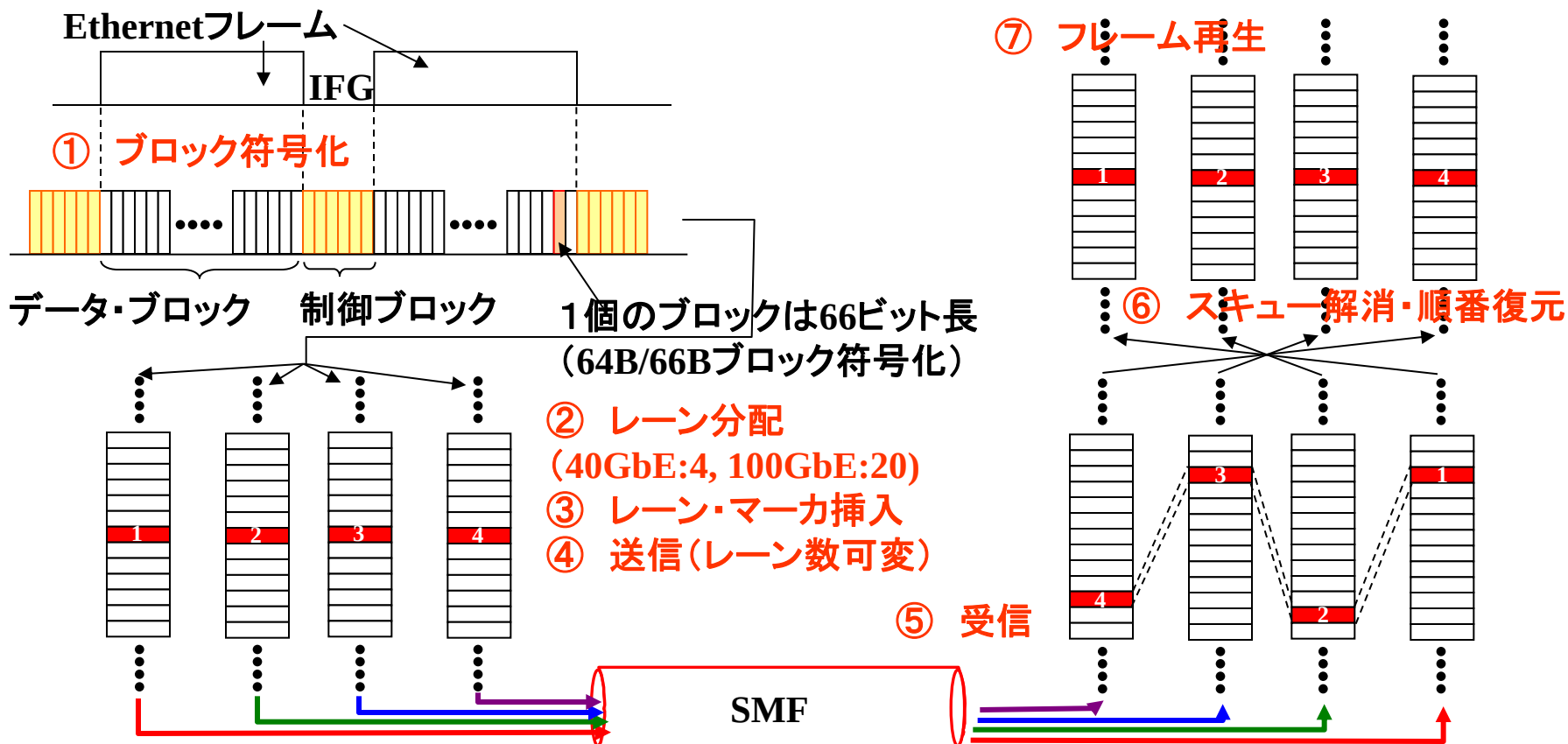
● IEEE802.3baにて2010年6月標準化

距離	媒体	40GbE	100GbE
40km	SMF	_____	100GBASE-ER4 4波×25.78125G 1296~1309nm (5nm間隔)
10km	SMF	40GBASE-LR4 4波×10.3125G 1271~1331nm (20nm間隔)	100GBASE-LR4 4波×25.78125G 1296~1309nm (5nm間隔)
100m	MMF(OM3)	40GBASE-SR4 4心×10.3125G 840~860nm	100GBASE-SR10 10心×10.3125G 840~860nm
10m	Copper	40GBASE-CR4 4心×10.3125G	100GBASE-CR10 10心×10.3125G
1m	Backplane	40GBASE-KR4 4×10.3125G	_____

● 2011.4 IEEE 802.3 Industry Connections Ethernet Bandwidth Assessment Ad Hoc 結成
→ 今後は400G or 1Tbit Ethernetに向けて議論が進む

データ伝送の仕組み(MLD: Multi Lane Distribution)

- 40GbE/100GbEではコア・ネットワーク向けの光送受信技術使用せず
(理由) 位相変調等の部品コストが、低コスト必須のEthernetに合わず
(参考) 10GbEまでは、既存のコア・ネットワーク用光送受信器技術を流用・低コストを実現
- 100GbE 中長距離規格(100GBASE-LR4/ER4)では、4波に対応して4レーンに信号分割し、順番の認識とスキュー補正のためのMLD技術を新規導入

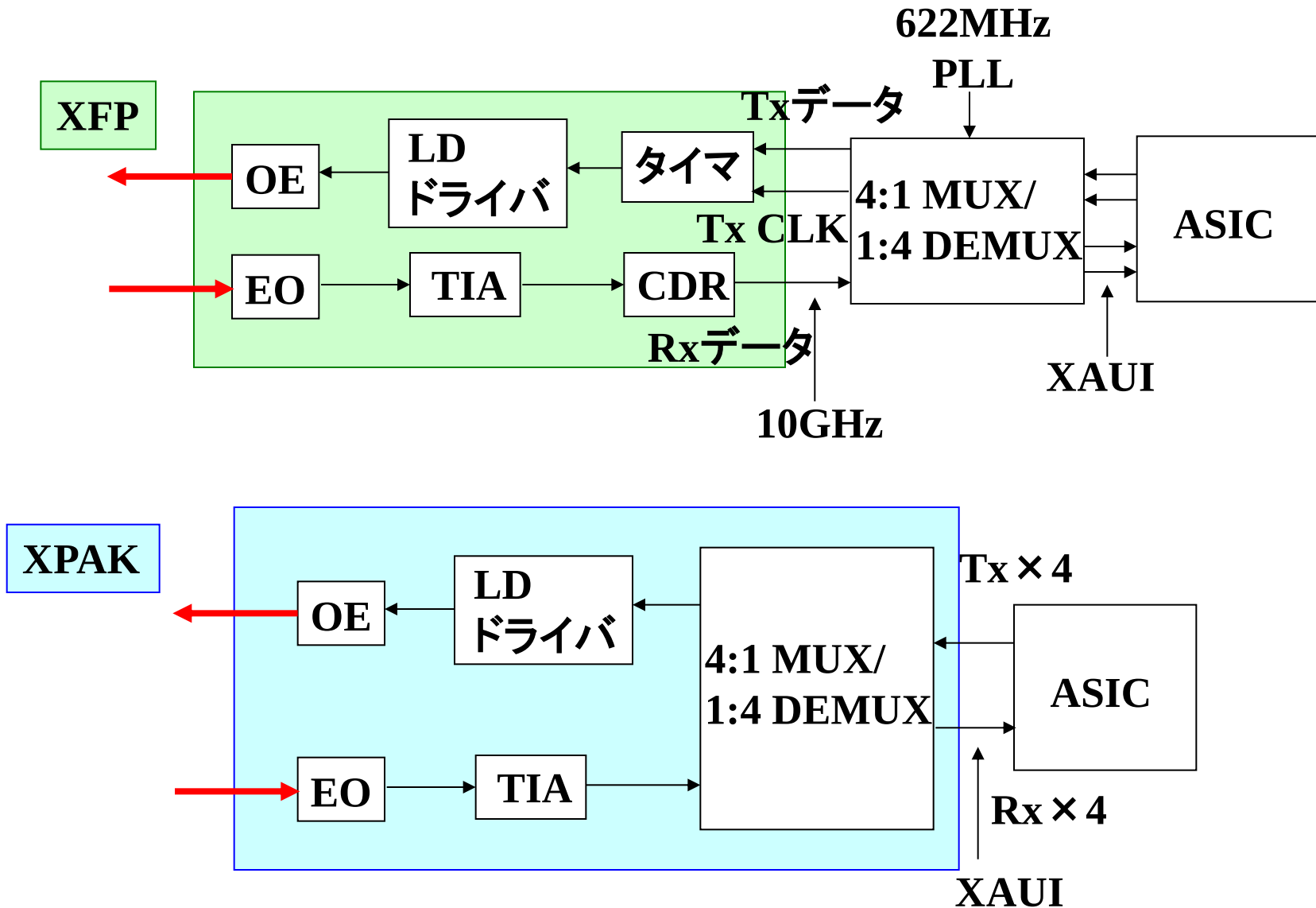


各種10GbE用トランシーバ・モジュールの比較

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

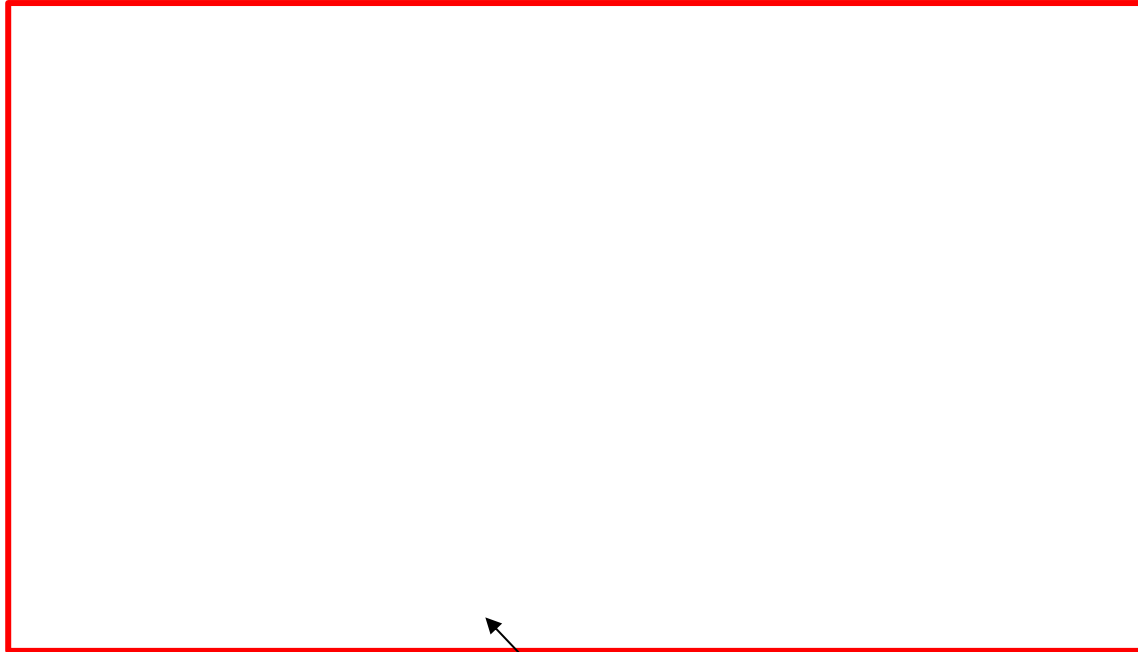
MSA (XFP, XPAK)の内部構成



100GbE用標準モジュール: CFP

C:ローマ字の100, FP: Form-factor Pluggable

OpnextのECOC2009でのCFPモジュールのデモ



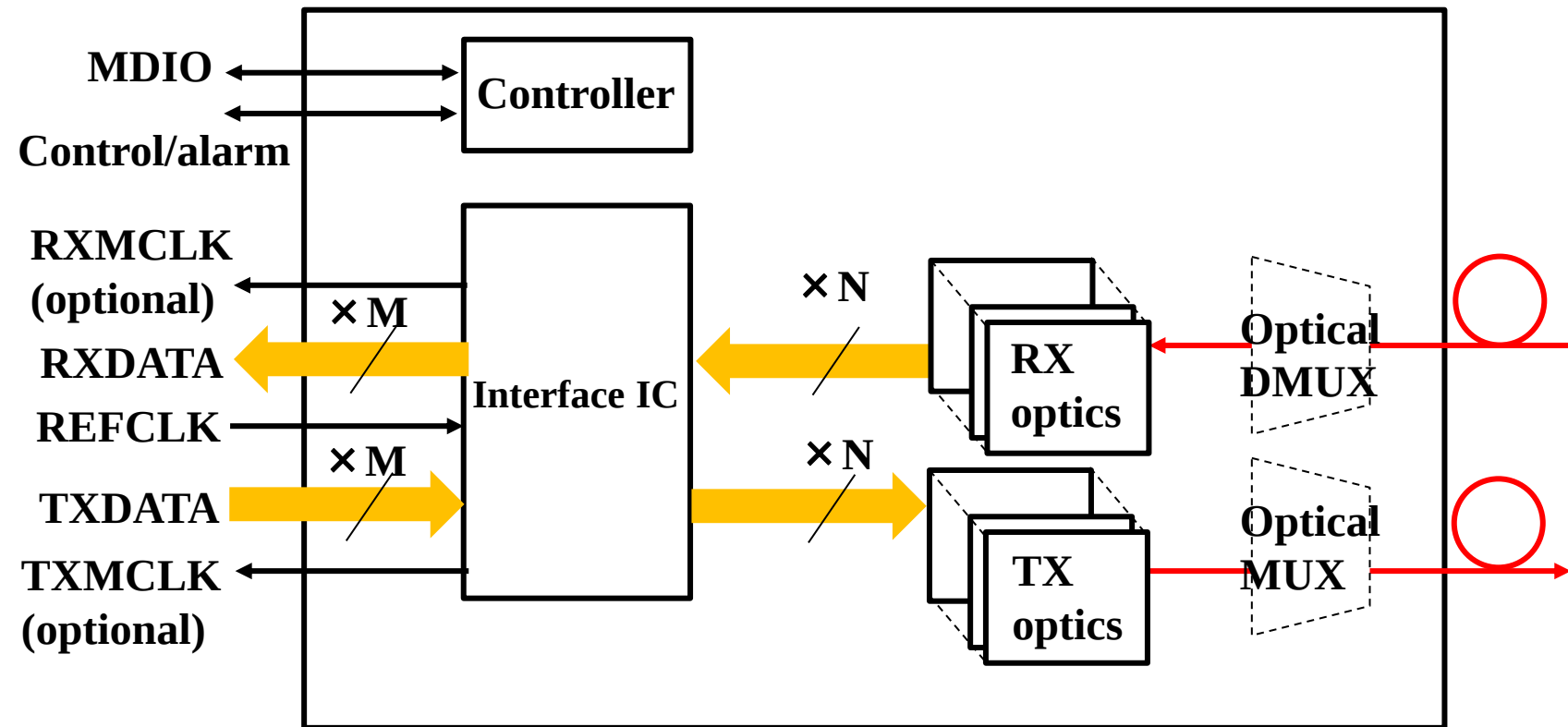
100GBASE-LR4対応CFP

仕様: サイズ: $144 \times 78 \times 13.6 \text{mm}^3$
伝送距離: 10km
消光比: 4dB
消費電力: 20W(target)
供給電圧: 3.3V
動作温度: 0~70°C

CFP MSAブロックダイアグラム

J. Anderson, and M. Traverso, IEEE Commun. Mag., vol.48, No.3, pp.535-540 (2010).

CFP MSA : 100G Form-Factor Multi-Source Agreement



光インターコネクション

- プリント基板内の電気信号の高速化(> GHz)により、伝送できる距離が極端に短くなってきた。
(例) スーパーコンピュータの1 IF >20Gbps ➡ 数cm
- 電磁雑音の影響増大 ➡ 基板設計の負担増大

>GHzの領域で誘電損失が支配的に >2GHzでの損失影響回避の困難

Necessity of Optics into Data Center

Average growth rate of data traffic (U.S.) : $\times 45\%/yr$

Cf. Node growth : $\times 30\%/yr$ (After R. Ho et al., OFC2011, OTuH1)

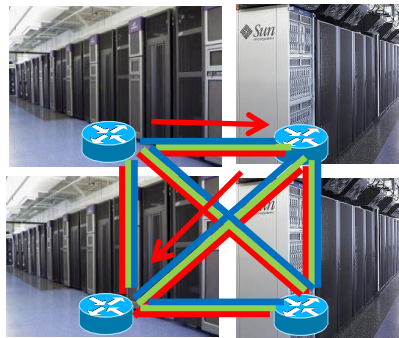
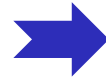
➡ Growth of bandwidth within PCs required

Issues in Electronics

- Loss of wires
- Signal crosstalk
- Power increase
(repeater, pre-emphasis)

Merits in Optics

- Low loss
- No crosstalk
- Low consumption power



IP packets

To further develop Data Center performance,

- ① Optical Interconnection promising due to merits mentioned above.
- ② Optical packet switch (OPS) expected due to
 - Low latency
 - Fine granularity
 - Statistical multiplication possible
(High network efficiency)

スーパーコンピュータで顕在化する配線数増大・消費電力増大

- 演算速度の向上とともに増え続ける電力・配線数



- TSUBAME2.0はすでにボード間は光インターコネクション
(Luxtera社のOEトランシーバ使用)



2013.9.10
TSUBAME2.5運用
のアナウンス
→ 2.0の2.4倍の
性能(17PFlops)

光配線の先兵登場(Light Peak)

日経エレクトロニクス 2010年11月15日号『パソコンやテレビをつなぐ光インタフェースが姿現す』より

各種伝送規格の物理層の役目を果たす



物理層
など

プロトコル変換／ブリッジ機能

光／電気変換

機構部

光コネクタ, 光ファイバ

将来の要求

- ディスプレイIF: 60Gb/s @ 2015年以降
- 外付けHDD／SSDの書き込み・読み出し
速度: 10Gb/s @ 2012～2015年

Light Peak の仕様

日経エレクトロニクス 2010年11月15日号『パソコンやテレビをつなぐ光インタフェースが姿現す』より

仕様

- 速度: 10G～20Gb/s
- 距離: 100m
- 波長: 850nm～1300nm (VCSEL)
- 消費電力: 135mW程度 (送受信器)
- 媒体: ガラス製ファイバ、POFなど

日経エレクトロニクス 2011年7月11日号『Thunderboltは轟くか』より

- Intel社が開発、Apple社がPCに採用したインタフェース
- インタフェース比較

規格名	Thunderbolt	USB3.0	PCI Express 3.0
速度	上下各10Gb/s (光伝送による100Gb/s までの拡張を想定)	5Gb/s	8Gb/s/lane
トポロジ	デイジー・チェーン 最大7台まで	ツリー 最大127台まで	共有バス
備考	遅延時間8ns ケーブル長Max.3m (光ケーブルは30～40m)		

- 小型・薄型端末(スマートフォン、タブレット端末)台頭によるコネクタ数削減の要求
- 光化による100Gb/sインタフェースへの期待(高コストのイメージ覆るか?)

日経エレクトロニクス 2011年7月11日号『光配線があらゆる機器へ 光と電気をチップで融合』
p.71 図7



進展する光IFの低消費電力化

日経エレクトロニクス 2013年4月15日号『光伝送はチップ間へ』より



進展する光トランシーバの伝送容量密度

日経エレクトロニクス 2013年4月15日号『光伝送はチップ間へ』より



Geレーザ実現で変わる?! 光集積素子の光源

日経エレクトロニクス 2013年4月15日号『光伝送はチップ間へ』より



Si発光効率の向上

日経エレクトロニクス 2013年4月15日号『光伝送はチップ間へ』より

