

## 第2章(続き)

### 各種 光通信システム(3)

2011年11月7日(月)

# メトロ系ネットワーク

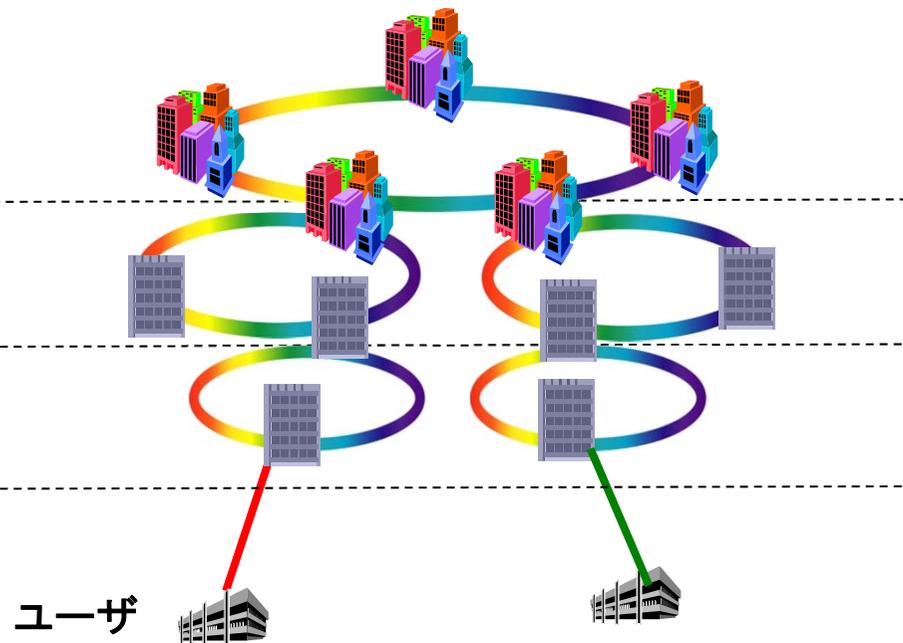
## メトロ・ネットワークの領域

- ・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: ~40 $\lambda$

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

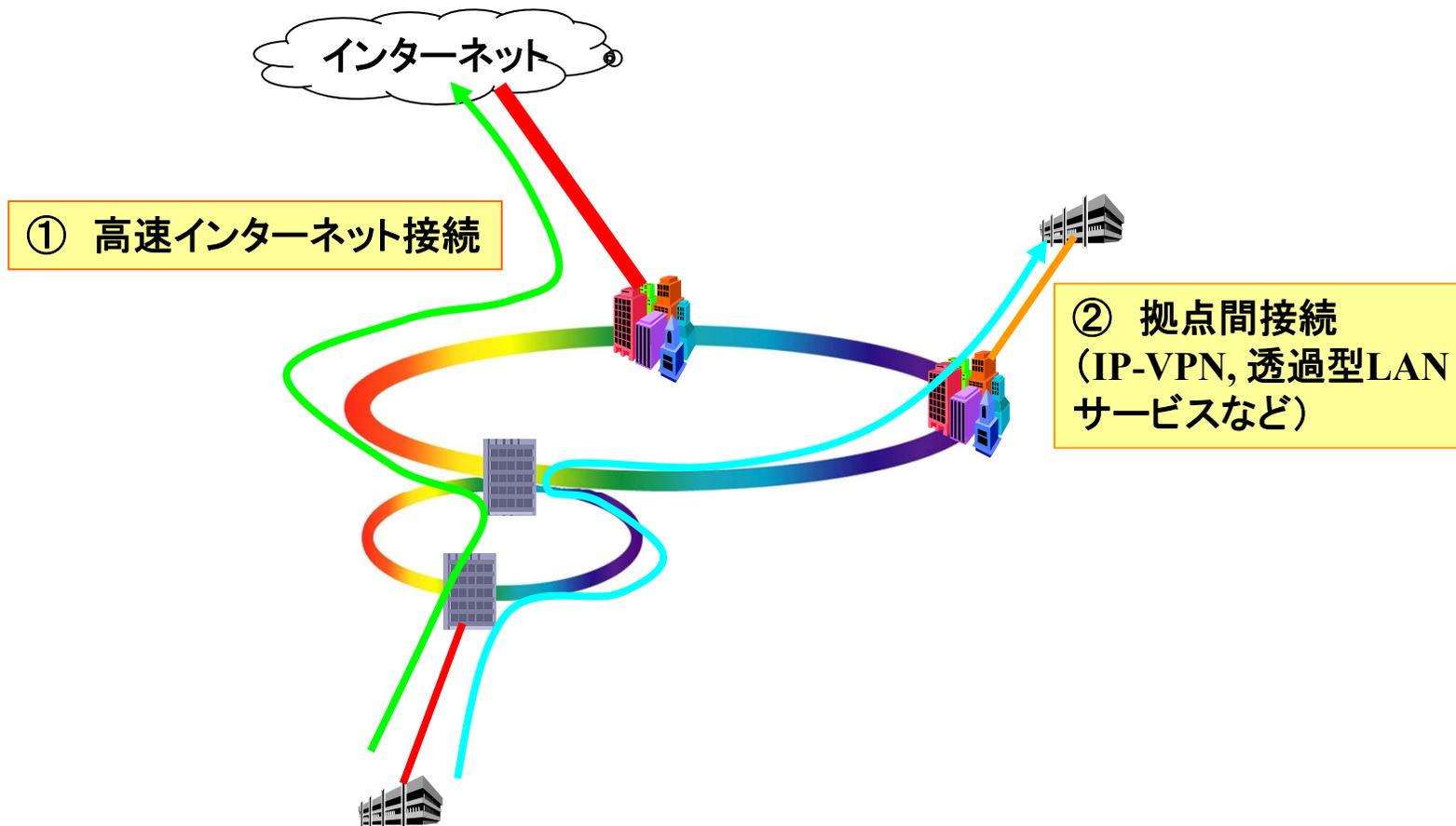
メトロ・アクセス (~ 40km)  
波長数: 4-8 $\lambda$



## メトロ・ネットワークの特徴と用途

### 特徴

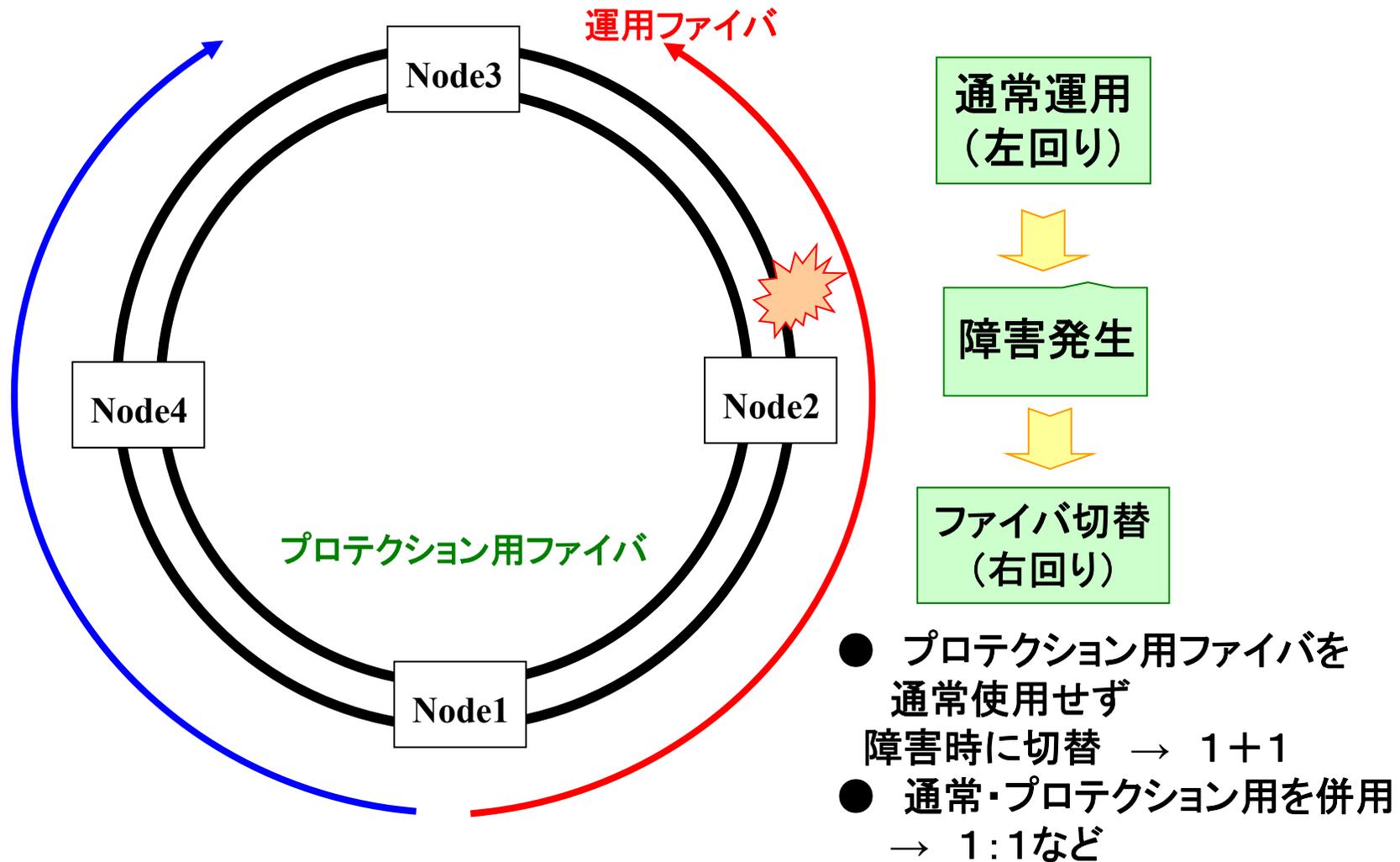
- ・ダーク・ファイバを用いて都市部に構築
- ・L3SWやWDM装置を使い安価なサービスを提供
- ・イーサネット・インタフェースで1~10Gbpsまでの高速サービスを提供



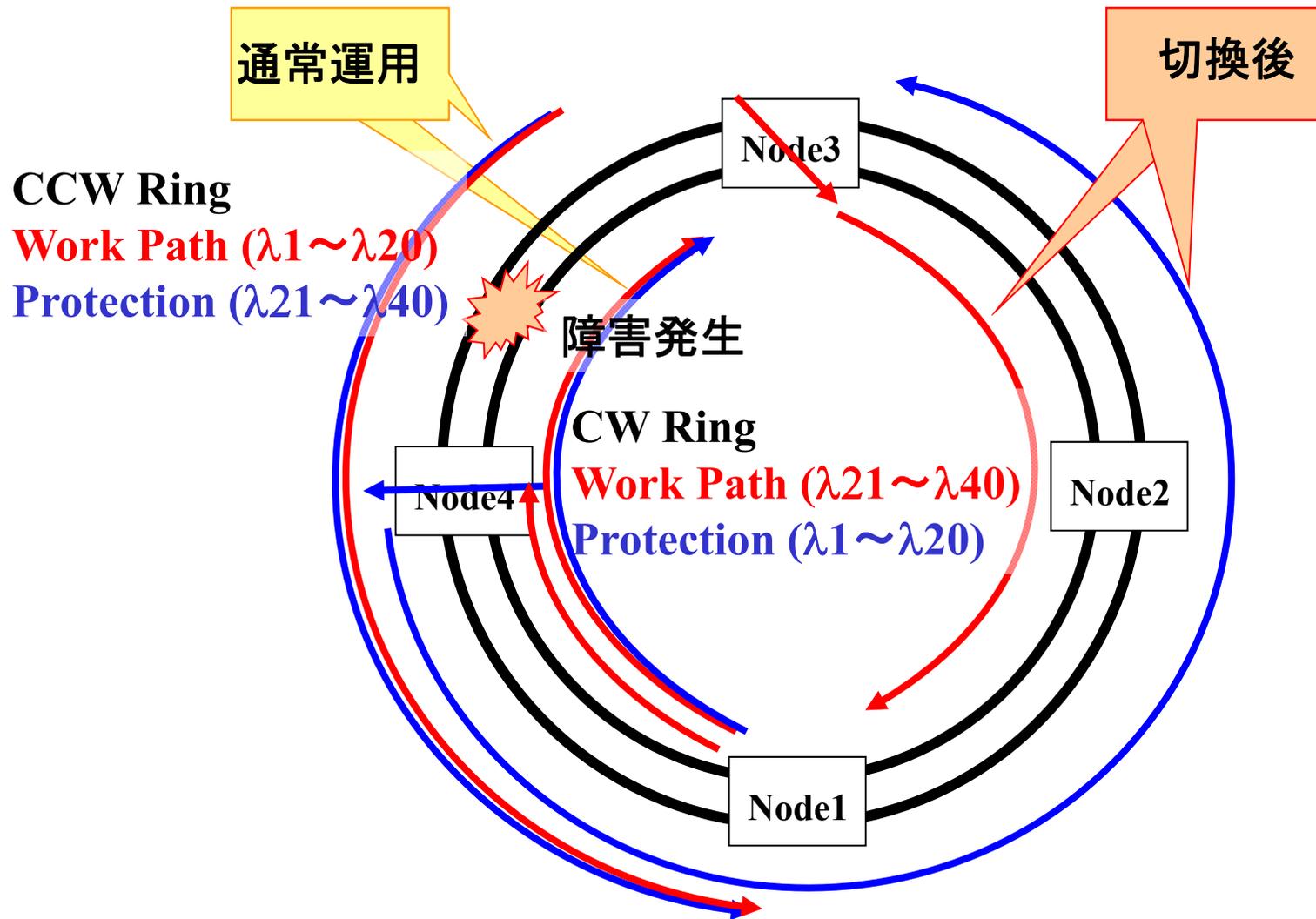
- ① トランスペアレントなネットワークの実現
  - ・多様なサービスの収容 (VPN, SAN, CDN, 波長貸し, FTTH,.....)
  - ・多様なインタフェースの収容 (Ethernet, SONET, ....)
- ② 低コストかつ高信頼度の光ネットワークの実現
- ③ 要求に応じた迅速な波長パス設定のクリック&プロビジョニングでの実現

## 高信頼度ネットワークへの対応(プロテクション)

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



# Bidirectional Line Switched Ring (BLSR)



2011年度

光通信システム

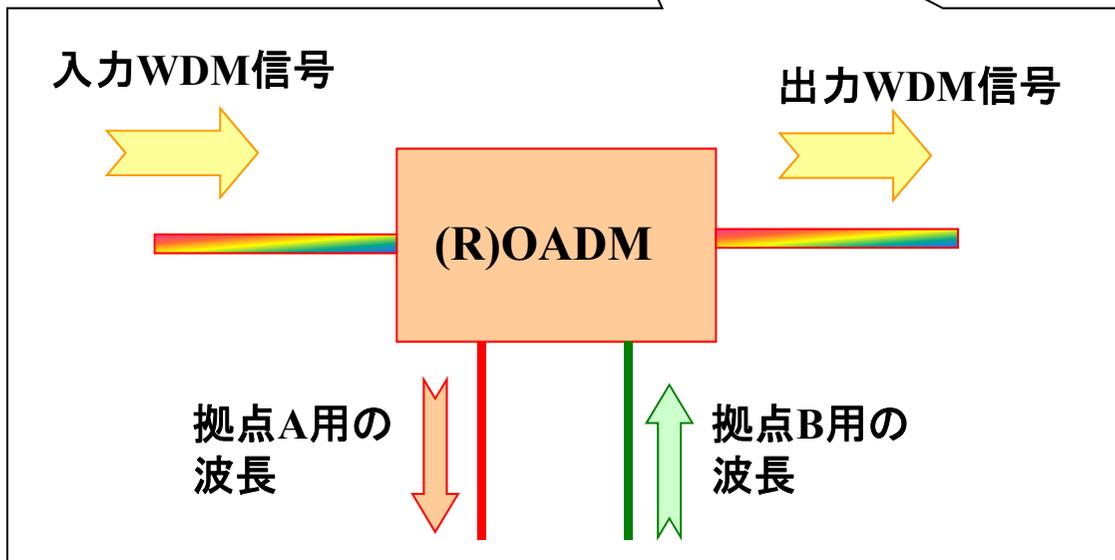
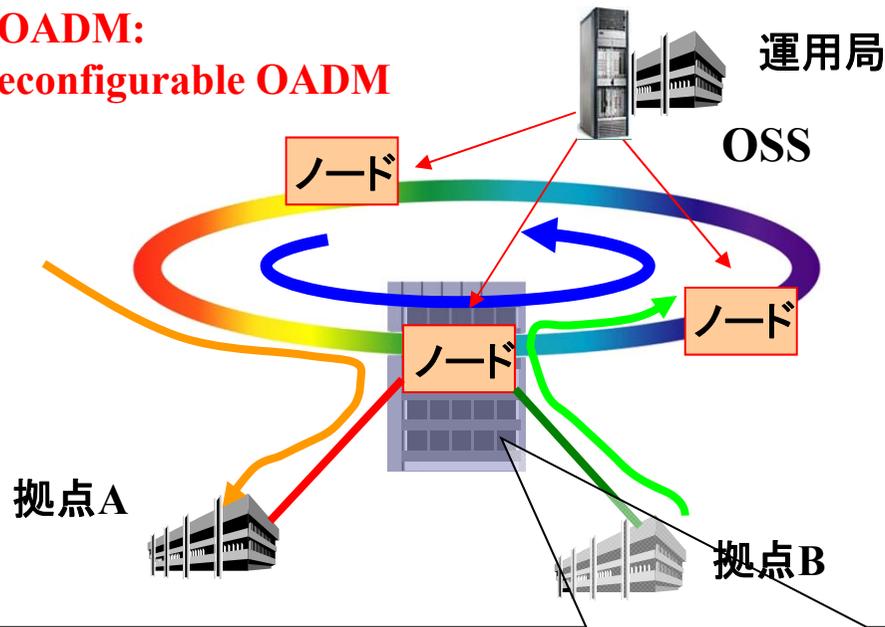
## メトロ・ネットワークに求められる機能と光デバイス

---

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

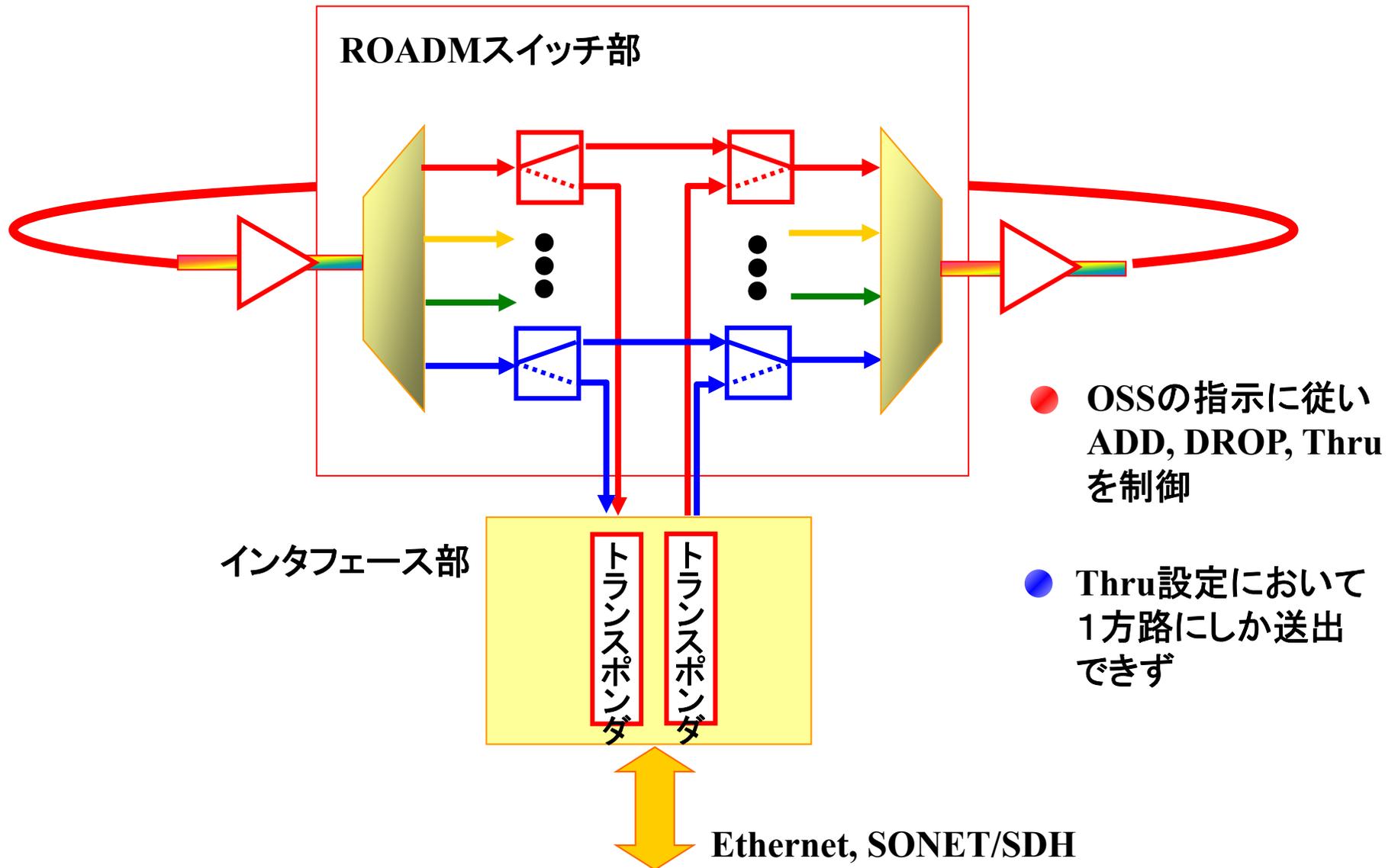
2011年度  
光通信システム 重要度の増す Optical Add Drop Multiplexer (OADM)

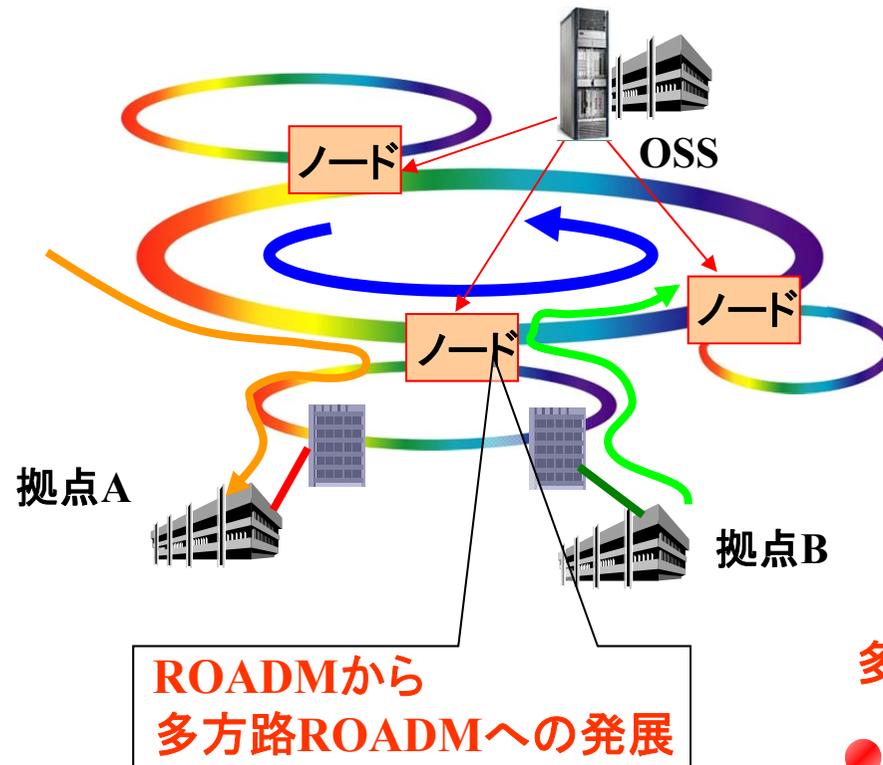
**ROADM:**  
**Reconfigurable OADM**



- **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





## 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

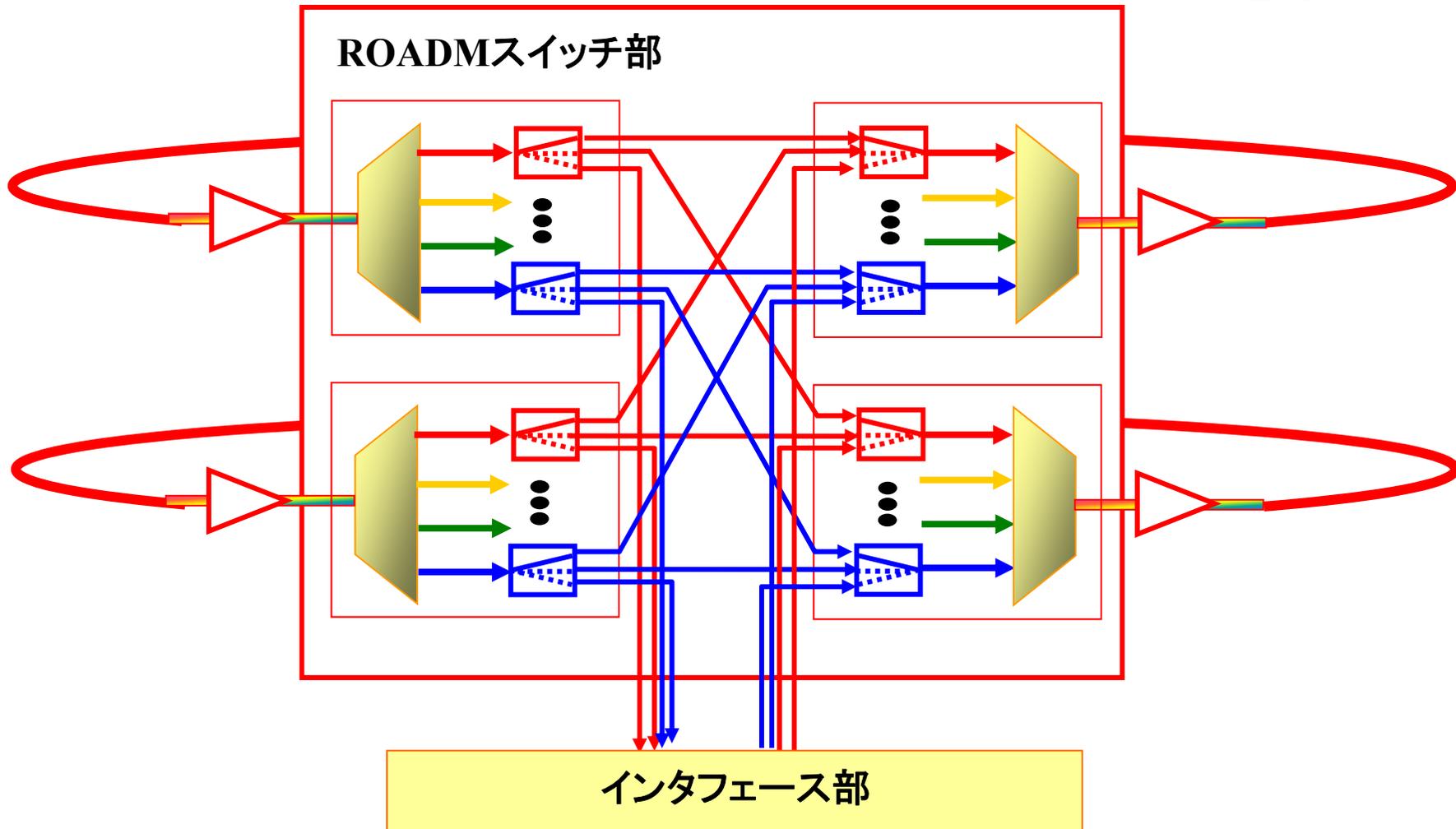
## 多方路ROADMノードのメリット

- 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)

● OSSの指示に従い  
方路を制御



# 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、ケイ・オプティコム、etc.

**NTT東西シェア=74.1% @ 2008年度**

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

- 1990年代半ばまでのトライアル → 実用化に至らず

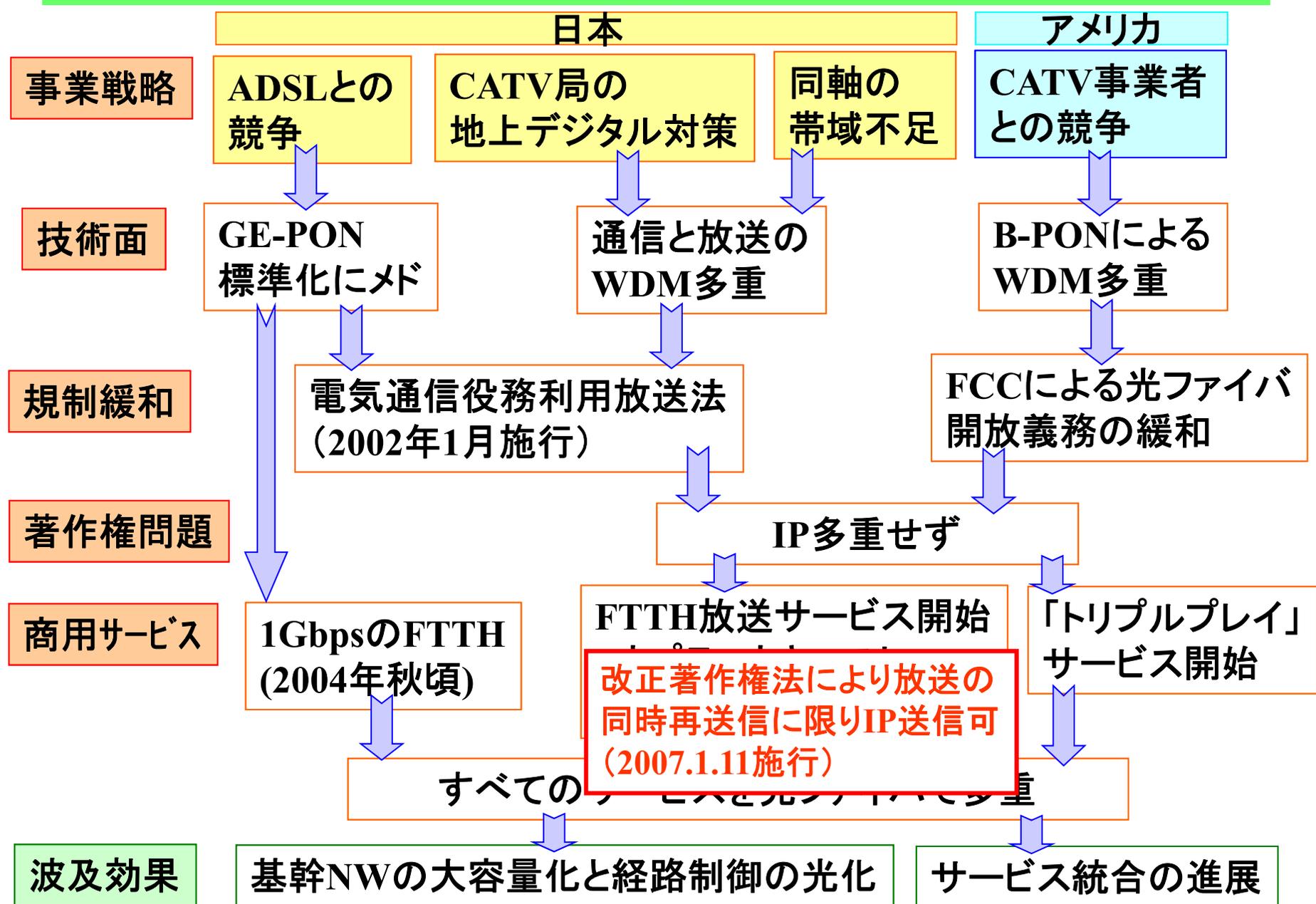
(理由)

- ① 映像・電話・データ通信それぞれに異なるプロトコル使用  
→ 装置構成複雑
- ② 構成要素・デバイスが高価



- 2000年以降の利用形態の大きな変化:
  - ① ADSLによるブロードバンド・ネットワークの急激な成長のインパクト:  
高速・低額・定額
  - ② 音声・映像・データすべてがIP処理化
  - ③ Ethernet製品の高速化・低価格化→ IPパケットとEthernetフレームのみの透過的伝送の要求に変化

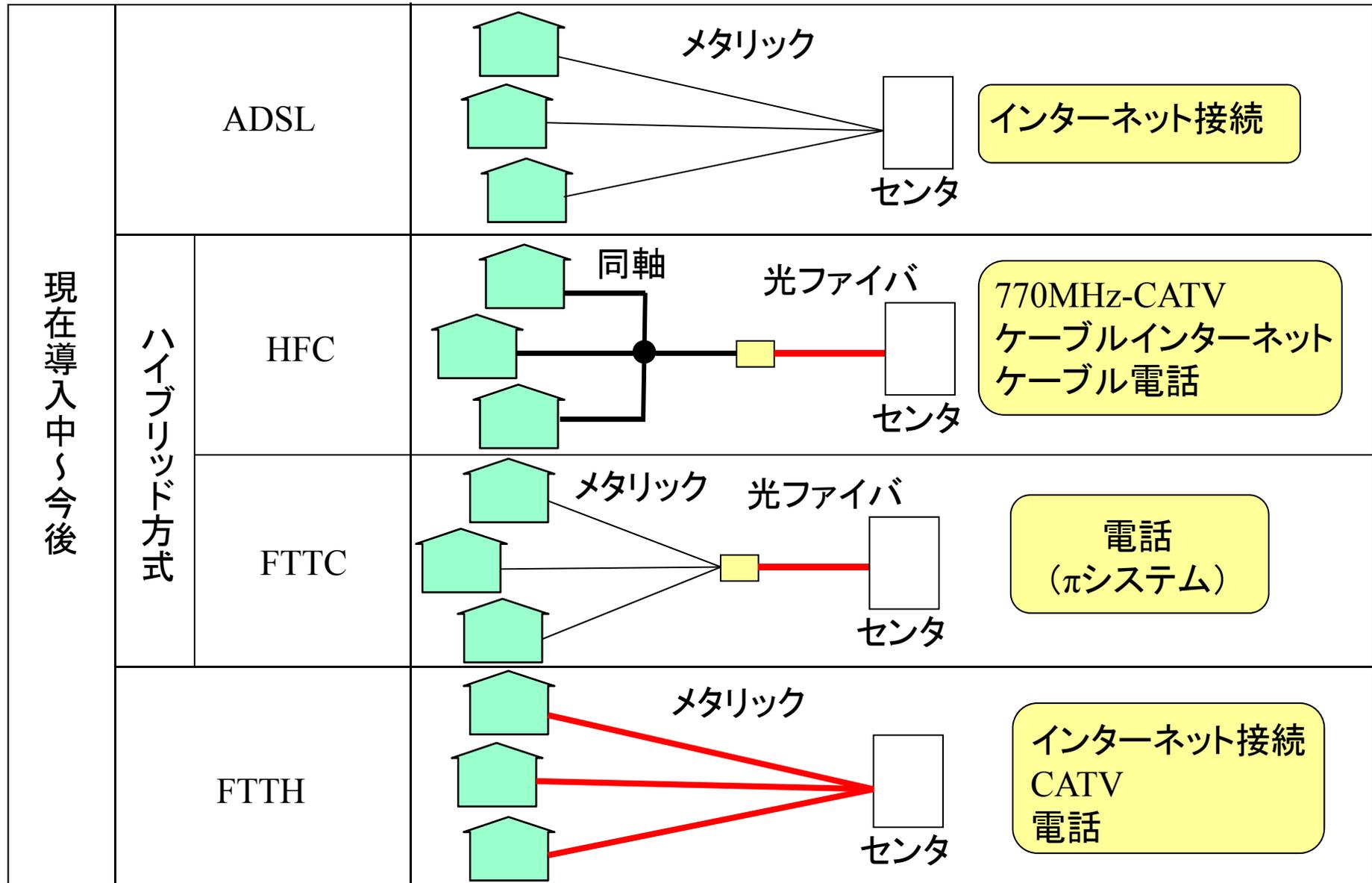
# 日米で見たか？FTTHのビジネス展開 (2004～2005年時点)



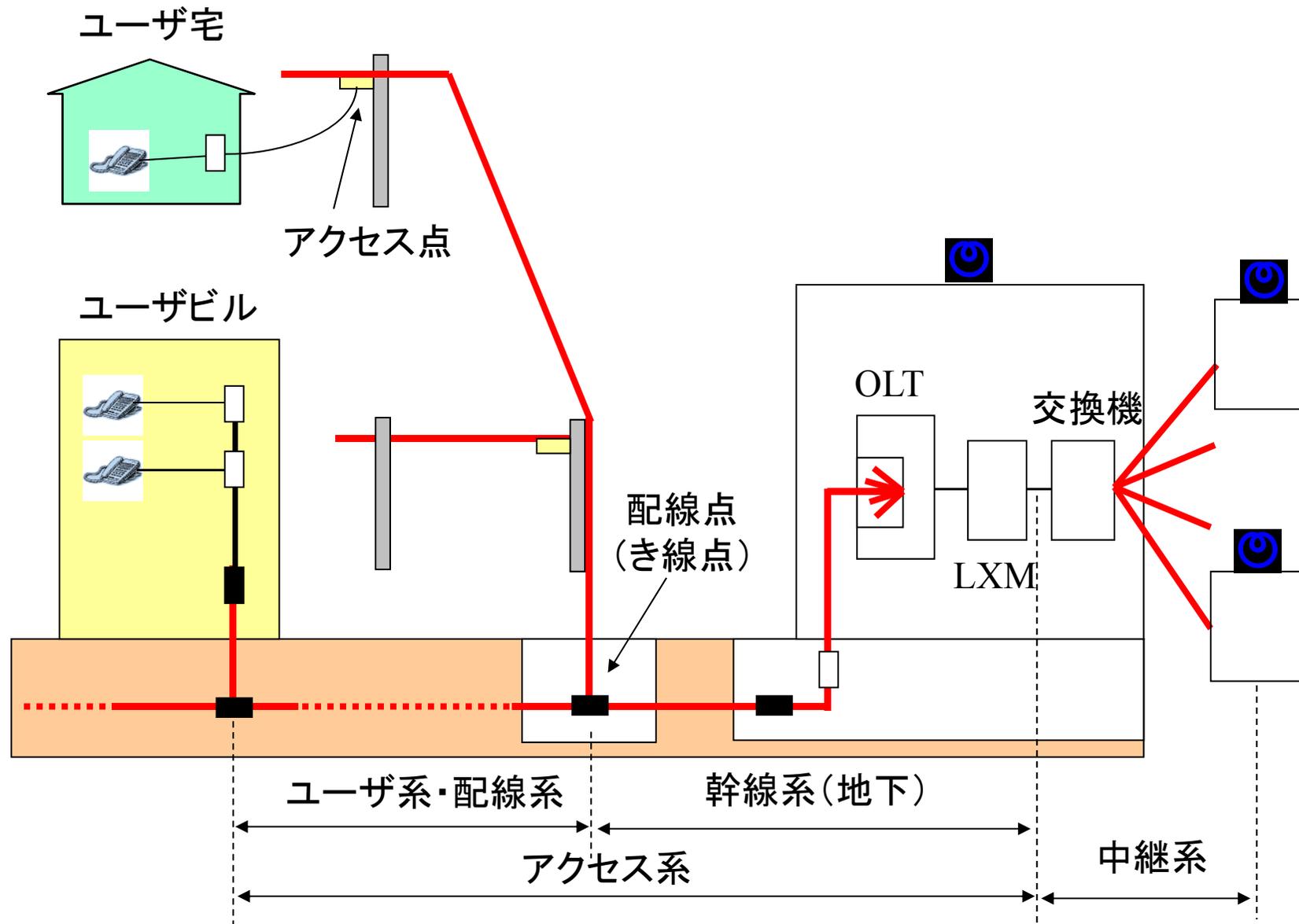
# 光双方向伝送方式

方式	方式イメージ	利点	欠点
TCM		<ul style="list-style-type: none"> <li>・光ファイバ心数が少ない</li> <li>・サービスを波長に割り当てたWDM伝送が可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・伝送速度が情報伝達速度の2倍必要</li> <li>・伝送距離が制限される</li> </ul>
WDM		<ul style="list-style-type: none"> <li>・光ファイバ心数が少ない</li> <li>・伝送距離の制限が少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サービスごとの波長割り当てを行うと、波長数が必要</li> </ul>
SDM		<ul style="list-style-type: none"> <li>・サービスを波長に割り当てたWDM伝送が可能</li> <li>・伝送距離の制限が少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光ファイバ心数が2倍必要</li> </ul>

# アクセスネットワークのトポロジー



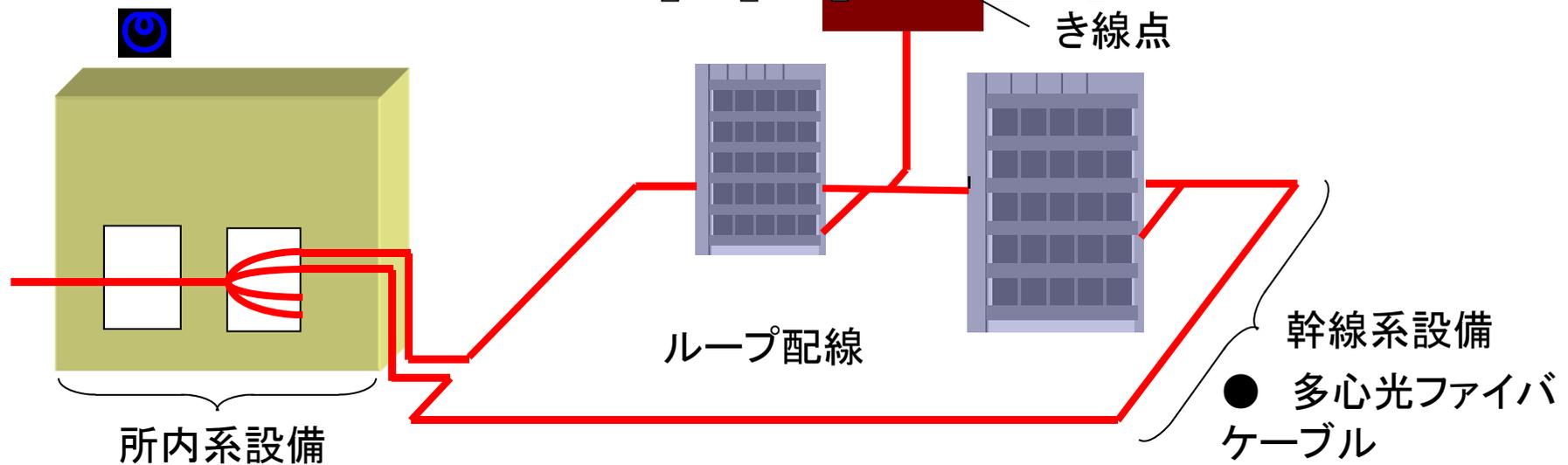
# アクセスネットワークの基本構成



LXM: Subscriber Line Cross Connecting Module

# 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

---

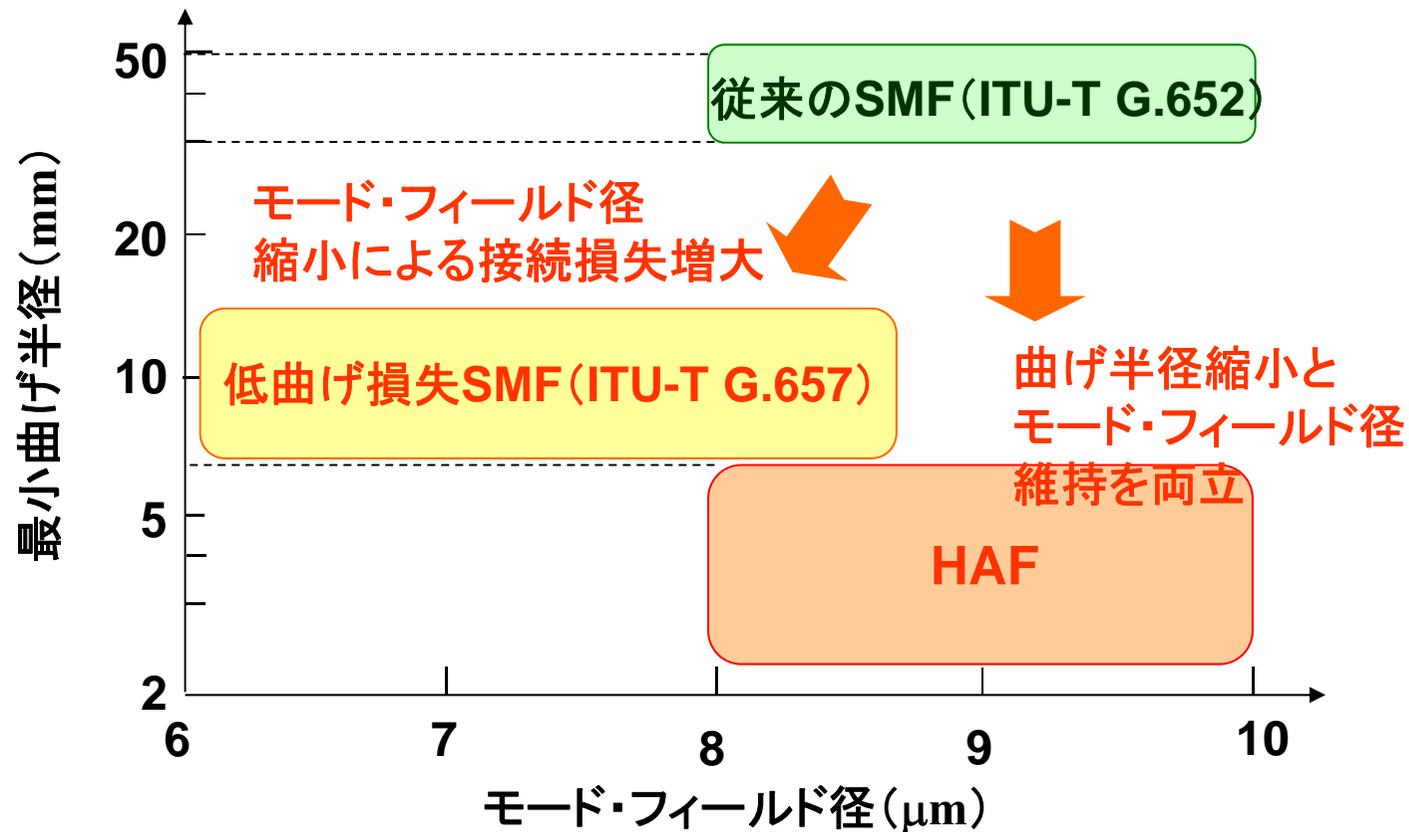
日経コミュニケーション2002年11月18日号より抜粋



# 光ファイバの技術的進展

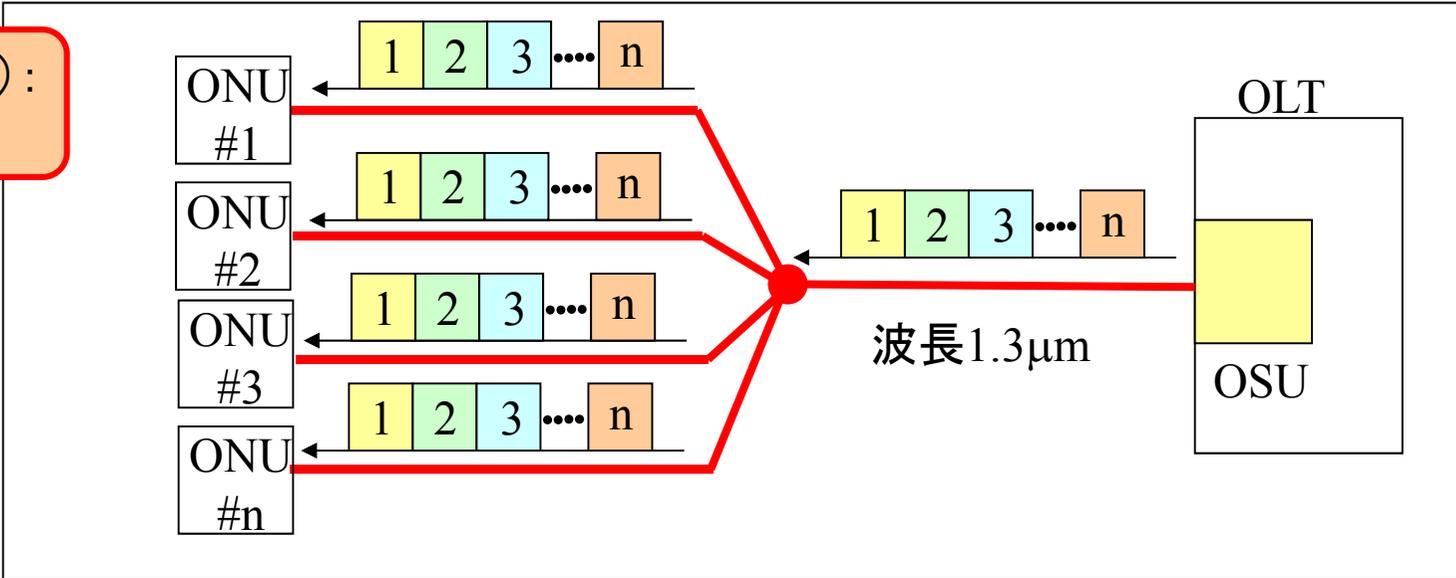
## ● 空孔ファイバ(Hole Assisted Fiber, HAF)による曲げ半径縮小の効果

- 宅内施行性の向上
- 多芯ケーブルの細径化 → 重量の軽量化  
(1000芯ケーブル: (従来)23mmD → 16mmD)

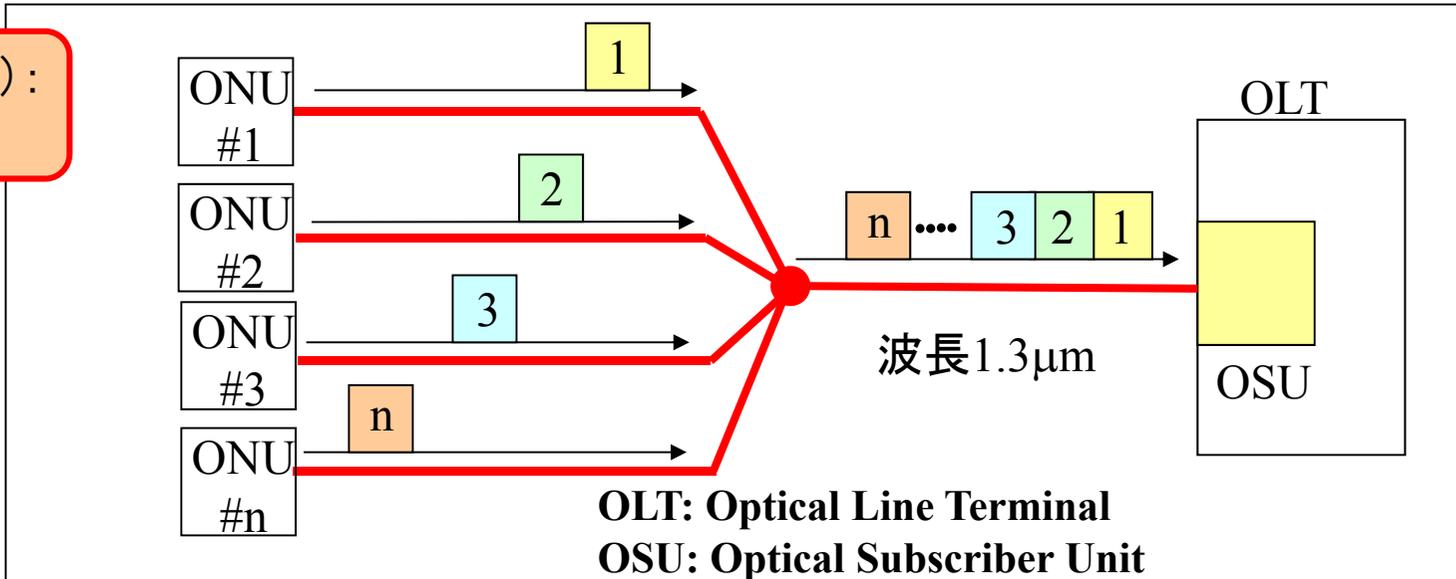


2011年度 光通信システム  
PON (Passive Optical Network) システムのOLT~ONU間  
信号伝送イメージ (TDM/TDMA)

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

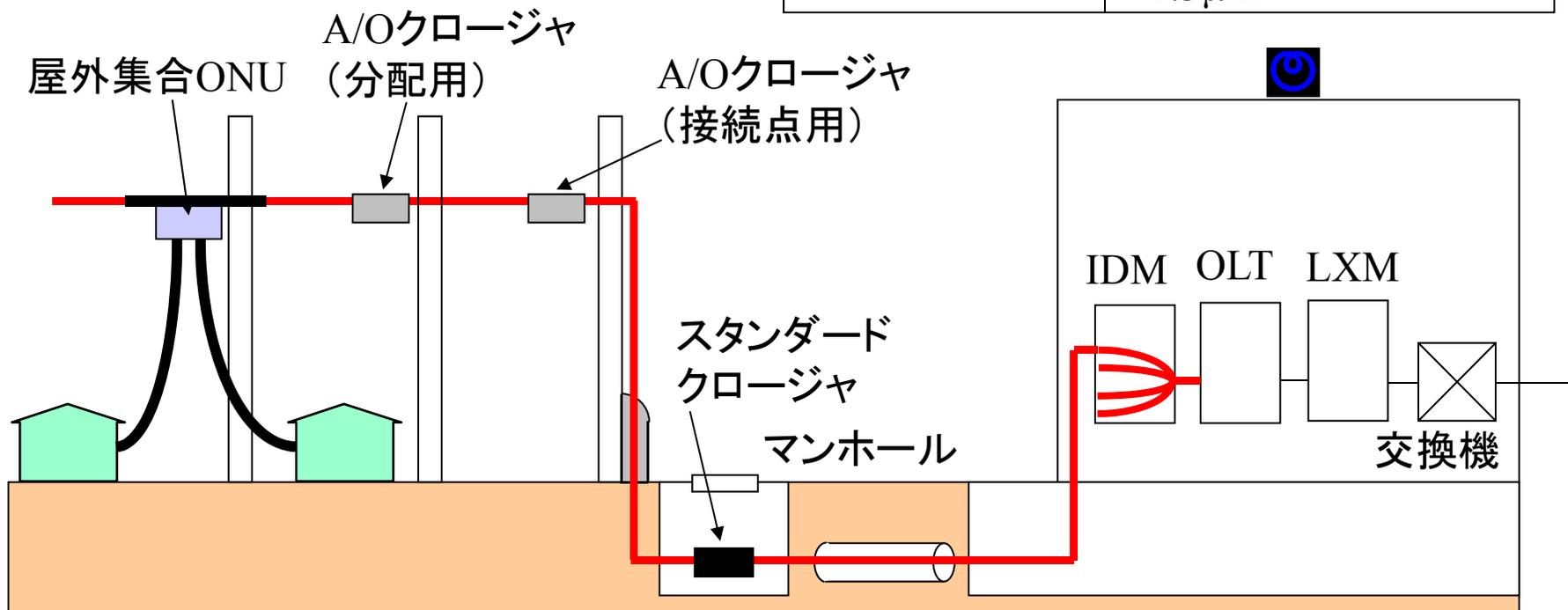
# 電話サービスの光アクセスシステム (πシステム)

## 提供サービス

- ・アナログ回線
- ・ISDN
- ・DA1500

## 標準仕様

伝送距離	標準10km(最大20km)
伝送速度	49.152Mbps
PDS区間分岐数	16
使用波長	1.3μm



LXM: 加入者系半固定パス接続装置

OLT: 光加入者線端局装置

IDM: 統合配線モジュール (Integrated Distribution Module)

ONU: 光加入者線終端装置

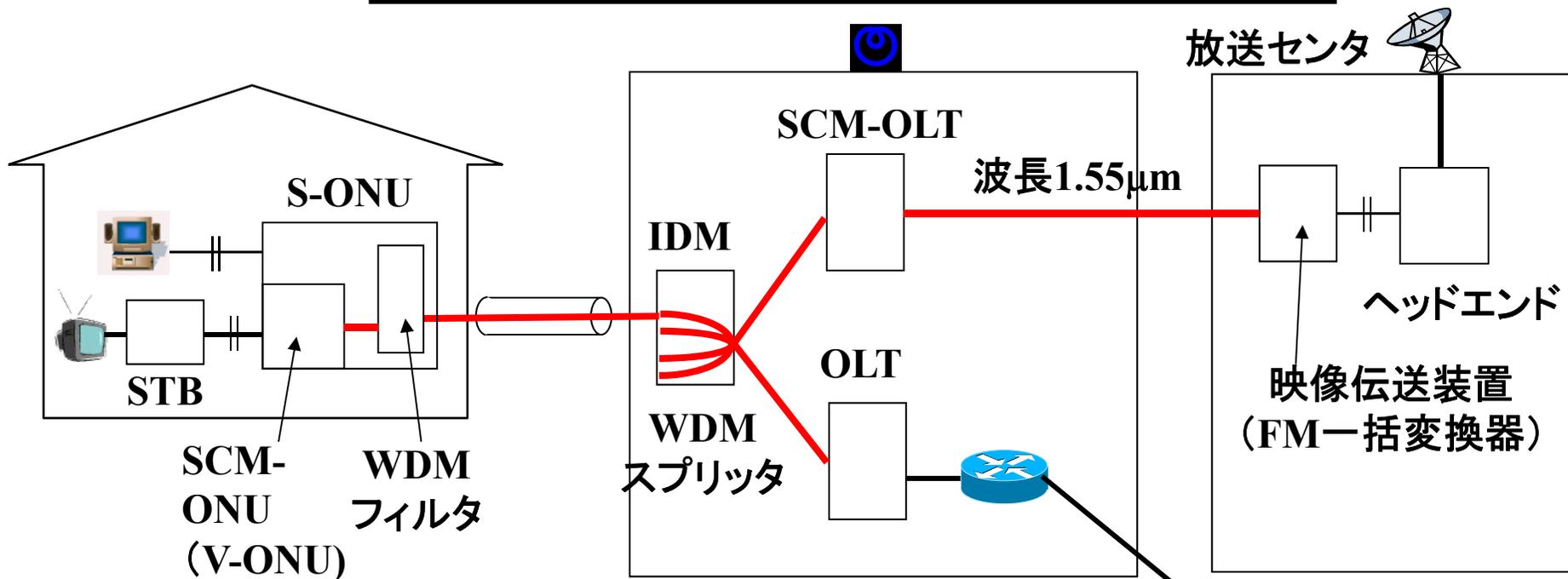
# 3波多重の通信・放送サービス

## オプティキャストのFTTH放送サービス

標準仕様

NTT映像通信網  
サービスを利用

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 $\mu$ m(下り)1.3 $\mu$ m(上り) ／映像系1.55 $\mu$ m



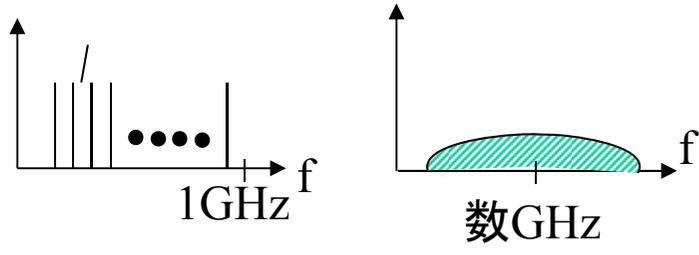
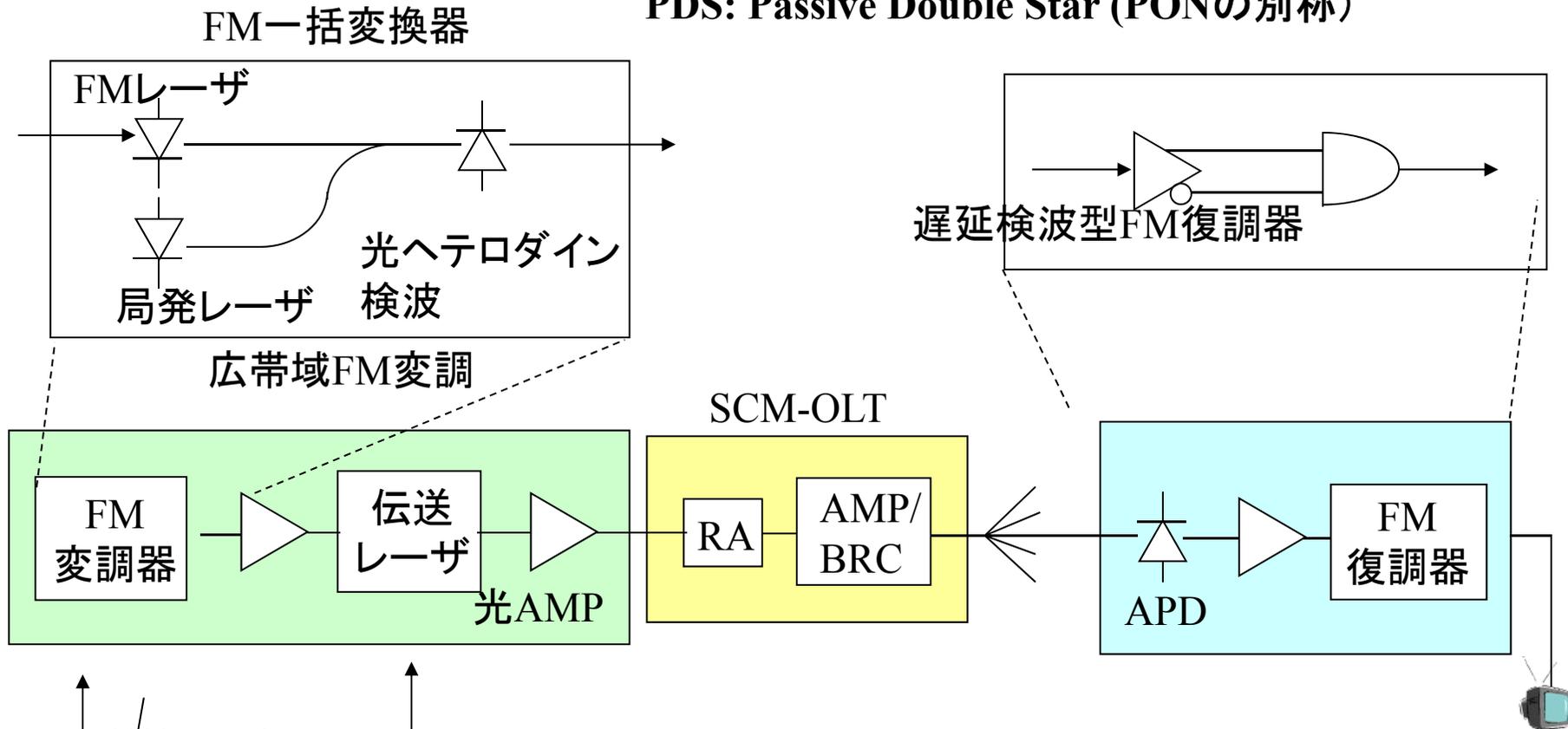
SCM: サブキャリア多重  
STB: セットトップボックス

映像はIPパケット化  
せず、アナログ信号

インターネット

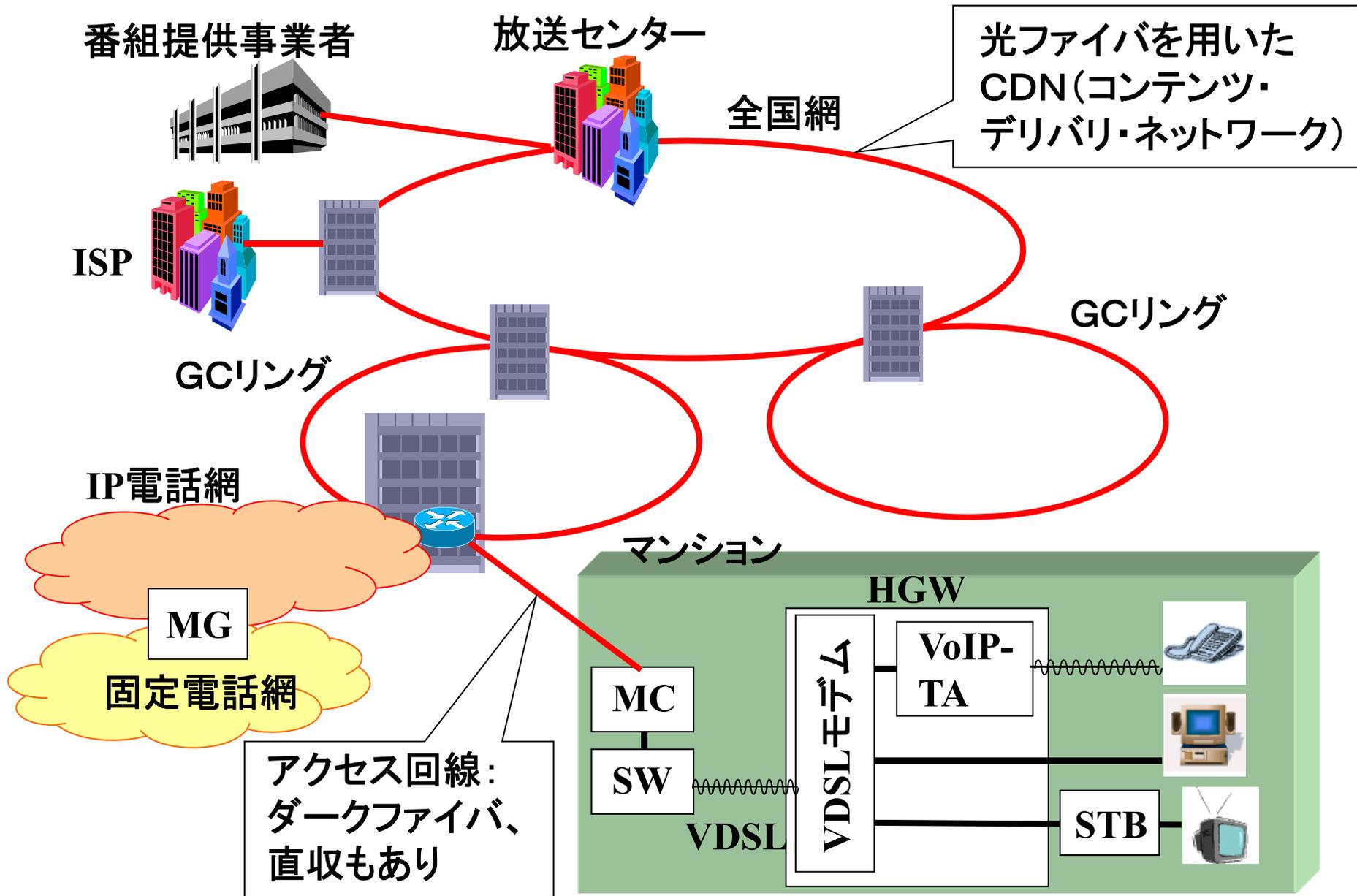
# SCM-PDS装置の構成

PDS: Passive Double Star (PONの別称)



90~380MHz: アナログ変調  
590~770MHz: QAM変調

# KDDIのトリプルプレイ(IP電話・インターネット・ IP放送)



# FTTH用Ethernet方式 GE-PON(IEEE802.3ah)の仕様

---

2004年6月国際標準化(1000Base-PX10/20)

波長	下り1.49 $\mu$ m/上り1.31 $\mu$ m
伝送帯域	最大1Gbps
伝送距離	10km/20km以上
分岐数	16以上
保守管理	OAM:遠隔故障通知機能 リモートループバック機能 リンクモニタ機能

## G-PON, GE-PONの比較

	G-PON		GE-PON
標準化	ITU G.984		IEEE 802.3ah
MAC層	サービス	フルサービス (電話, イーサネット, TV)	イーサネット
	フレーム	GEMフレーム	イーサネット・フレーム
	距離	10km/20km (理論的には最長60km)	10km/20km
	最大分岐数	64(理論的には128)	16以上
物理層	伝送速度	上り:155M/622M/ 1.25G/2.4Gbps 下り:1.25G/2.4Gbps	上り:1.25Gbps 下り:1.25Gbps
	伝送容量	同上(NRZ)	1Gbps(8B10B)
	光線路損失	15/20/25dB	15/20dB
	波長	上り:1260 - 1360nm 下り:1480 - 1500nm	上り:1260 - 1360nm 下り:1480 - 1500nm
	上り信号用 PONヘッダ	1.25Gbpsの場合:12バイト ガードタイム:32ビット プリアンプル:44ビット デリミタ:20ビット	レーザ・オン/オフ:最大512ns レシーバ・セット:最大400ns クロック・リカバリ:最大400ns デリミタ:4バイト

## WDM-PON, G-PON, HG-PONの比較

	WDM-PON (RSOA/FP)	G-PON (低分割比)	HG-PON (WDM下りの共有)
技術	高密度WDM +RSOA	G-PON	G-PON+WDM(8波長)
分割数	256	4	32
到達距離	60km	20km	20km
ONU当たりの 下り容量(GPON比)	2.5Gbps (×32)	0.6Gbps (×8)	0.6Gbps (×8)
ONU当たりの 上り容量(GPON比)	1.2Gbps (×32)	0.03Gbps (×8)	0.03Gbps (×8)
32分割のG-PONと 比較したときのONU 当たりの機器コスト	12.6倍	6倍	1.8倍
	高密度WDMが 必要	OLTポートが 8個必要	G-PONのONUを 使うことでコストを 抑えられる
商用製品の 入手可能時期	2010年頃。 上り用の送信器は 未熟な状態で、 技術的な問題あり	現在。 標準化が済んで いる	G-PONのONUは既に 入手可能。OLTや RNは2007年頃。

# 各種PONの相違

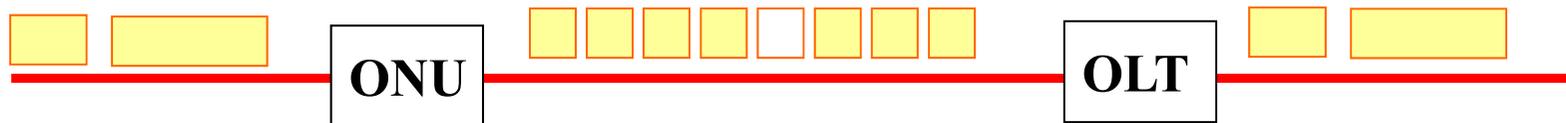
## GE-PON

Ethernetフレーム(可変長フレームのまま伝送)



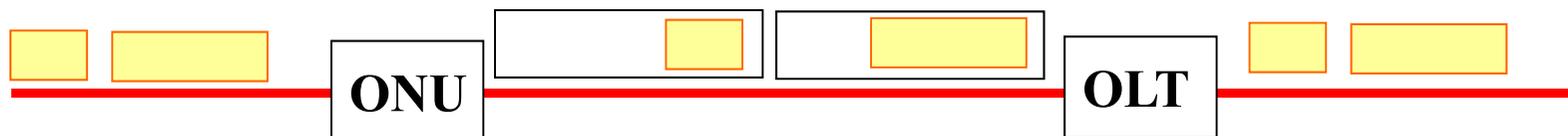
## B-PON

ATMセル(53バイトセルに分割)



## STM-PON

固定長フレームにマッピング



## GE-PON用伝送装置

---

<http://www.oki.com/jp/Home/JIS/New/OKI-News/2003/05/z03016.html>

**端局装置**  
**OLT (Optical Line Terminal)**



**終端装置**  
**ONU (Optical Network Unit)**



**最大32分岐**  
**WAN-IF: 1000Base-SX/LX/T**  
**PON-IF: 本製品は明言して**  
**いないが他社製品として**  
**1000Base-PX10/20が多い**

**UNI-IF: 10/100Base-TX**

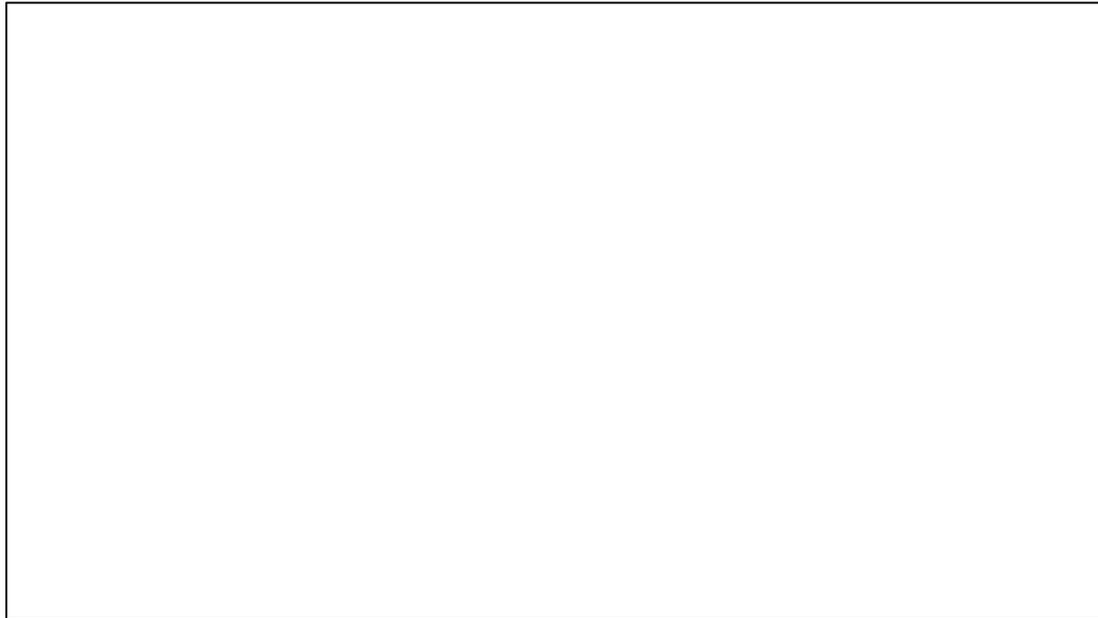
## GE-PON用トランシーバ

---

インフィニオン製

[http://www.infineon.jp/news/press/img/p0501901\\_dl.jpg](http://www.infineon.jp/news/press/img/p0501901_dl.jpg)

2×5 SFF MSA準拠



● 大容量化

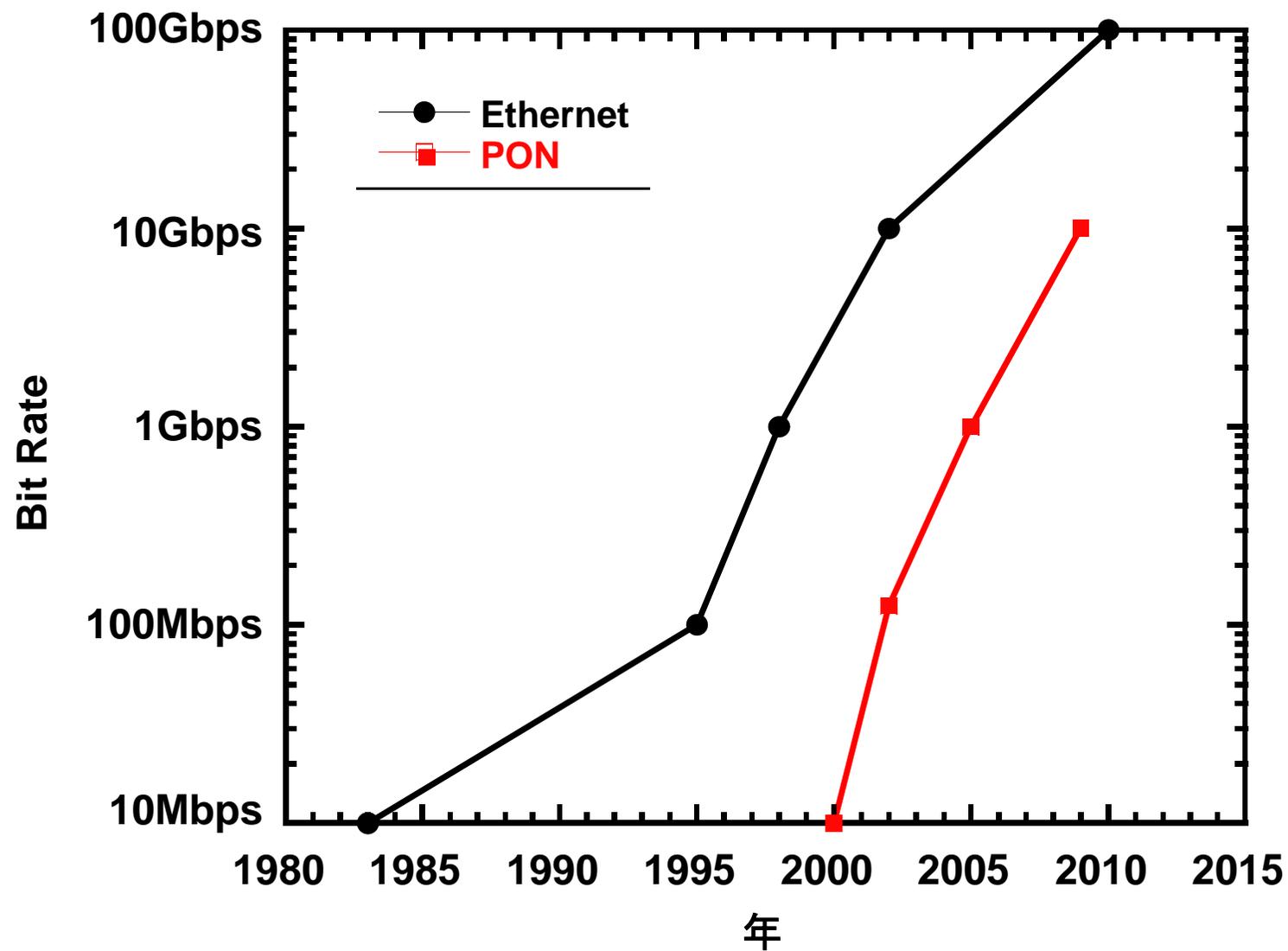
- ・ユーザ数の増加への対応  
2010年末までに2000万加入目標
- ・映像系アプリケーションの増加・高精細化への対応
- ・IP系トラフィック増大への対応  
年率40%の増加(2年で2倍, 6年で約10倍)
- ・イーサネット高速化への対応  
100/40GbEへ

● 高信頼化

- ・ビジネスユースへの対応  
遠隔監視等高信頼を要求する通信の増加

● 長距離化・多分岐化

- 低コスト化への対応



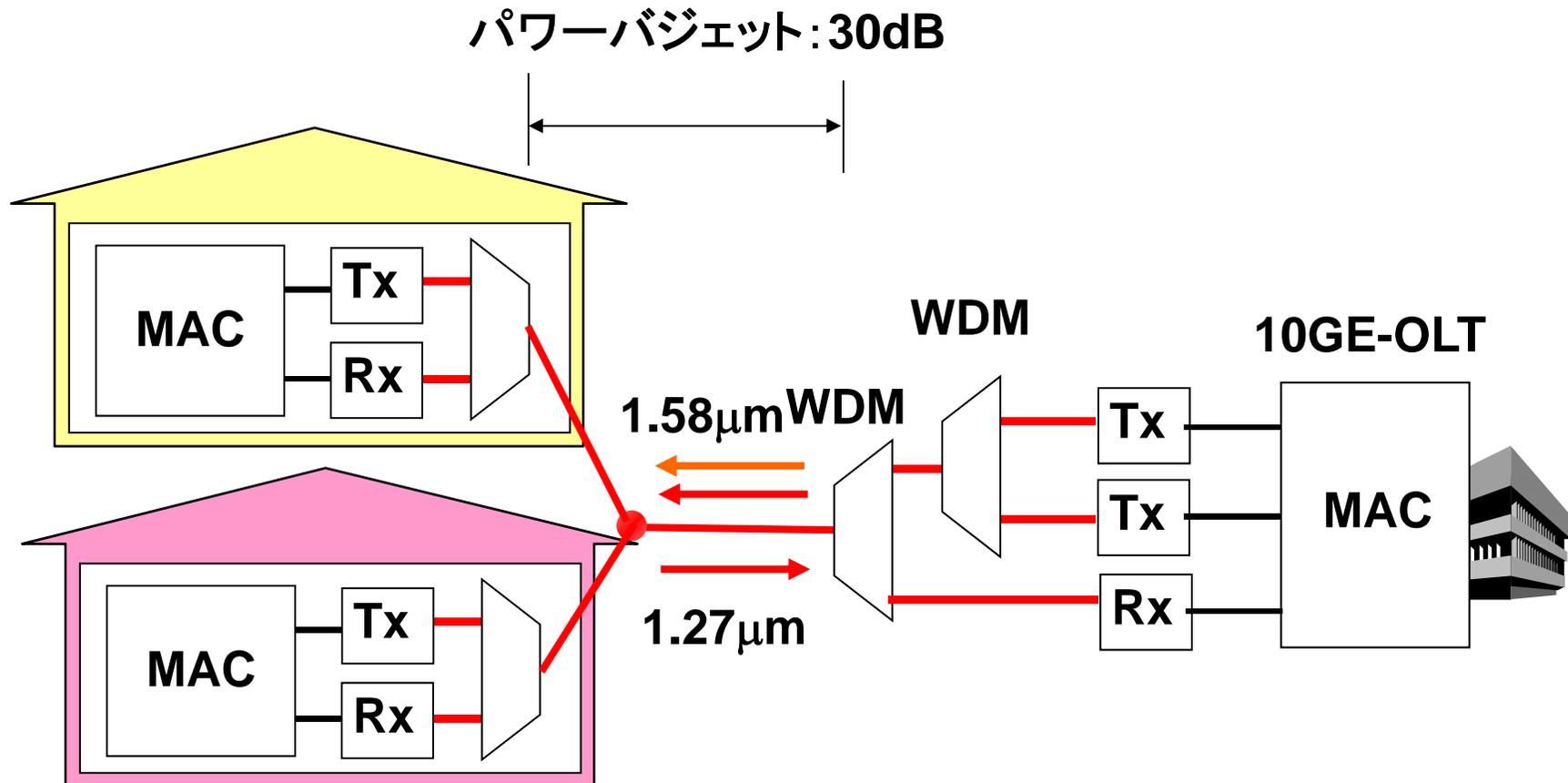
2011年度

# 光通信システム 次世代PON標準化 (IEEE802.3av) のシステムターゲット

## ● IEEE802.3av

2007年11月にDraft1.0リリース

2009年9月標準化完了



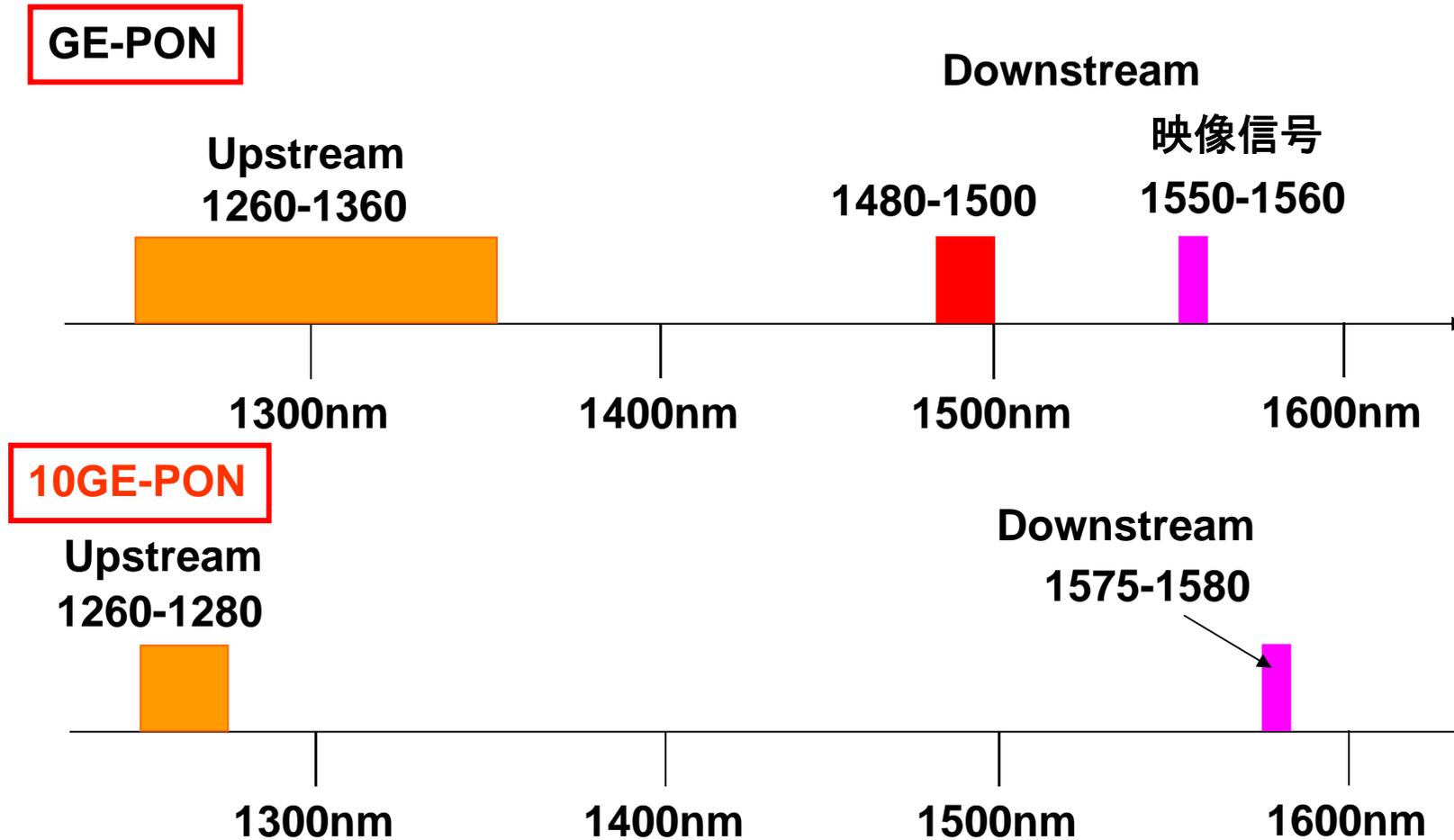
## 10GE-PON仕様(Draft2.2)

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

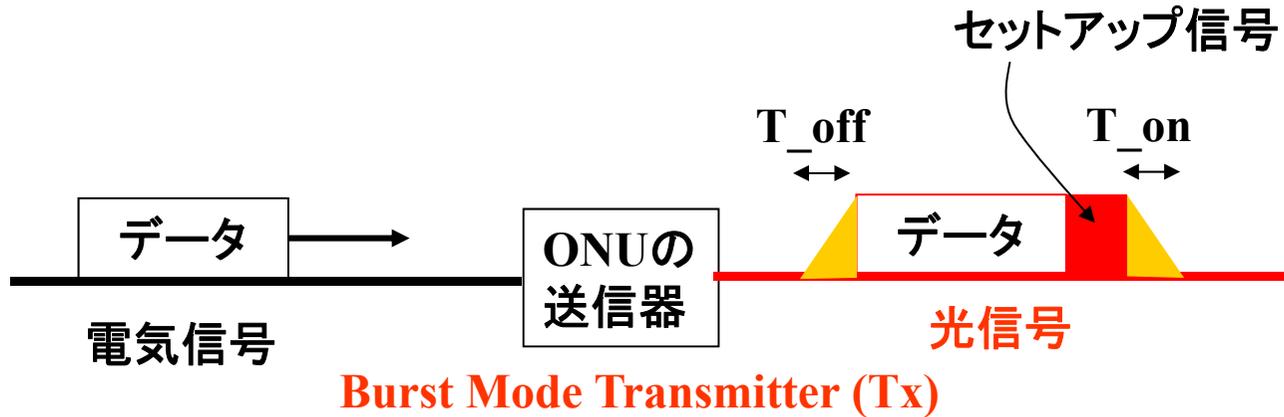
● 10Gバースト光送受信技術

- ・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

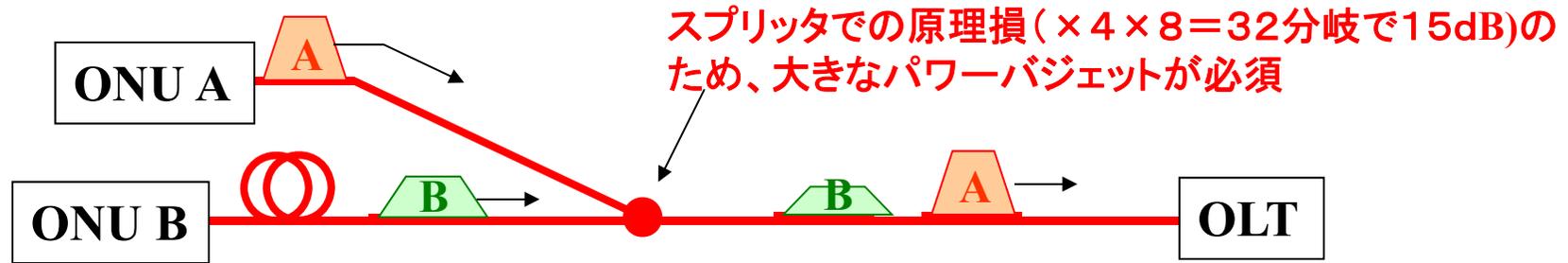
- ・フレームフォーマット
- ・Dynamic Bandwidth Allocation
- ・二重切替制御
- ・FEC

# PONの物理レイヤ技術(1) ONUのバースト・モード送信器

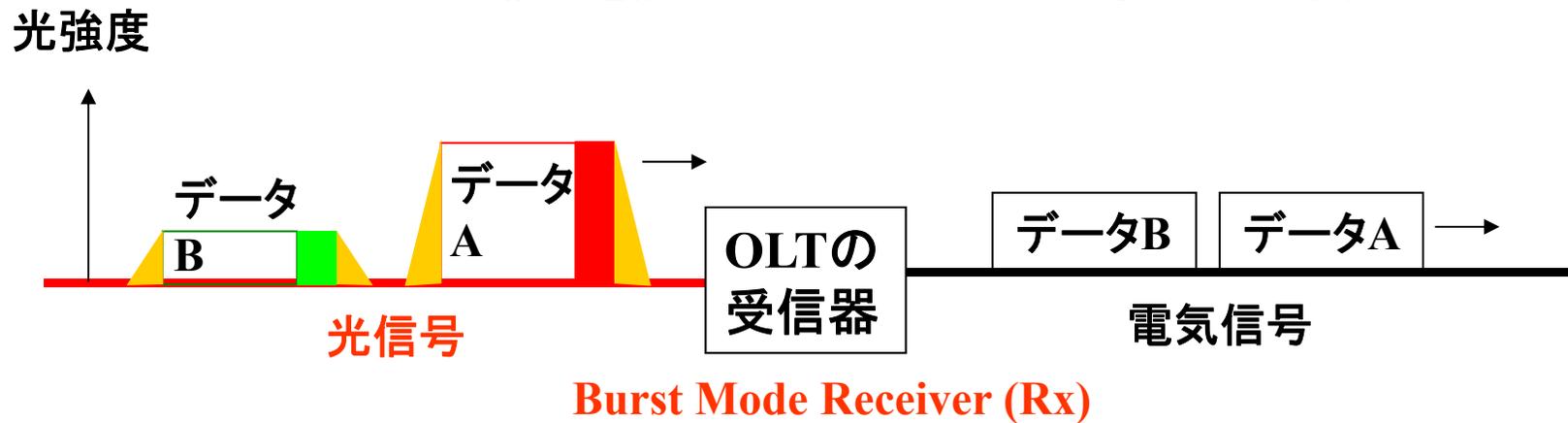


- $T_{on}$ ,  $T_{off}$  (遷移時間):  
異なるONUからの上り信号間の影響抑制のため、確実な消光を目的
- セットアップ信号:  
OLT受信器が受信準備できるための規則的なパターン送信

## PONの物理レイヤ技術(2) OLTのバースト・モード受信器



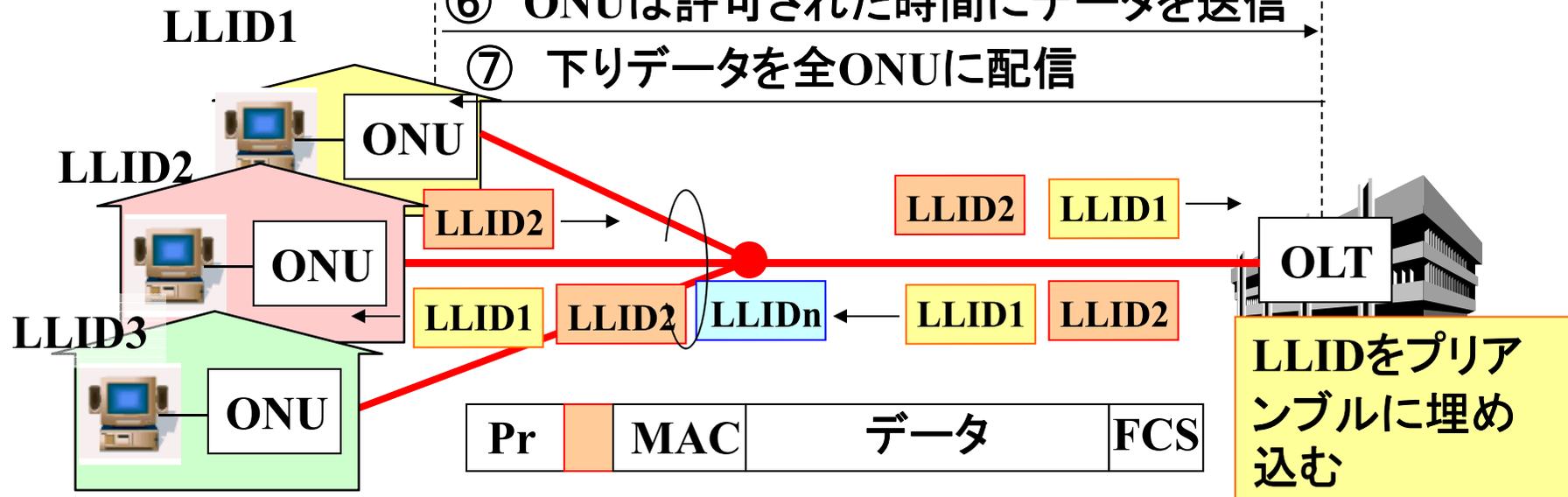
- 異なる距離・送信パワー差などによりONU間の信号強度に差が発生
- 同レベルの電気信号に等化(自動利得等化、Auto-Gain Control, AGC)
- セットアップ信号を読み取りながら、クロック抽出・同期確立



# 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 ブロードキャストで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



## 2009.9にIEEE802.3av (10G-EPON)の標準化完了

➡ ECOC2009 (34<sup>th</sup> European Conference on Optical Comunication) ではその先の技術を目指そうとの動きが目だった

- 発表内容の分類

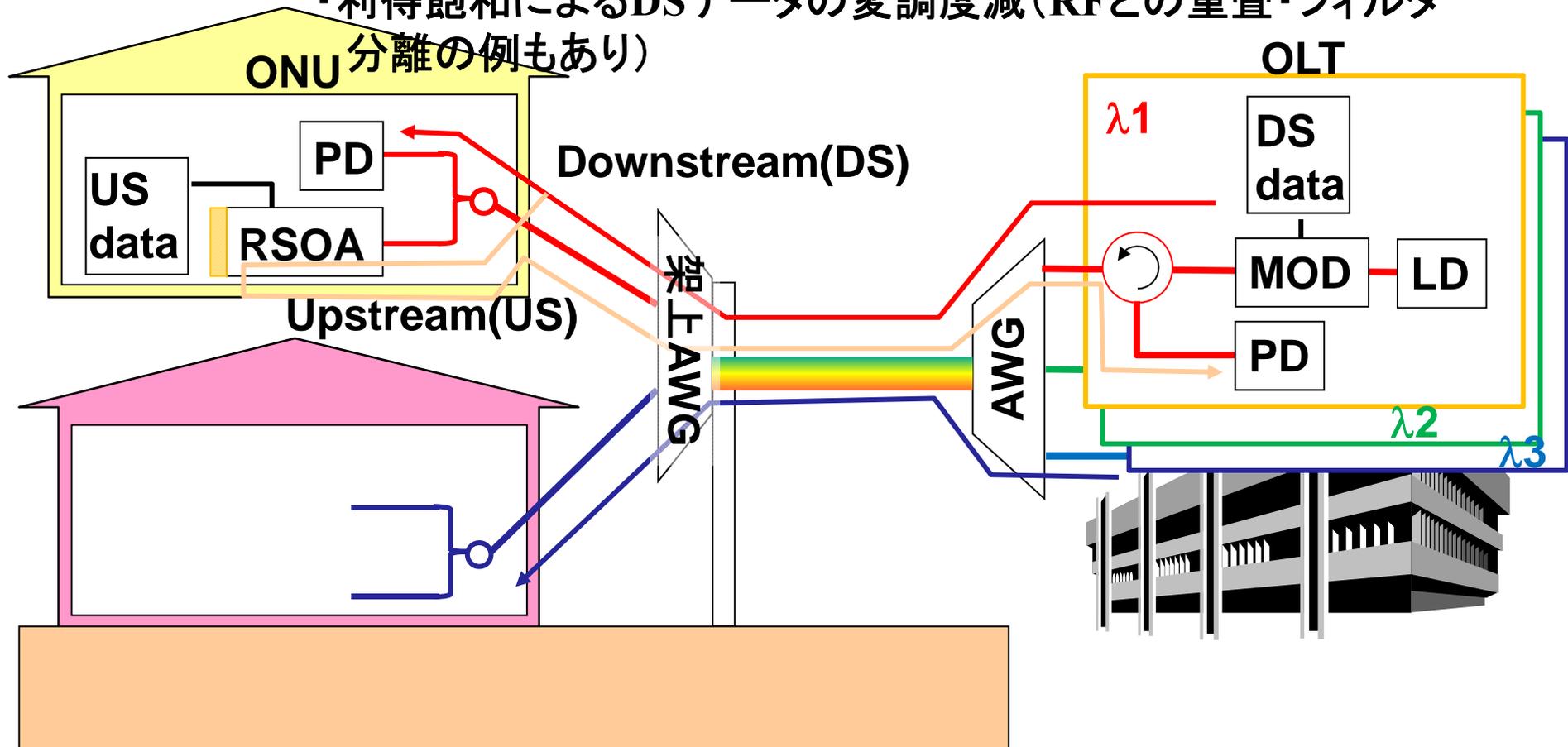
光アクセス		ROF	UWB	
TDM/WDM	8	WiMAX	60GHz	3
WDM	8	SCM	OFM	1
OFDM	3	OFDM	WDM	1
OCDMA	2	UMTS-FDD		
DMT	1			
Ether	1			
GPON	1			

- 次世代光アクセスの狙い

多分岐 (> 64) ・ 長距離 (Long Reach, ~100km)

## 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)



# OFDM-PON

