

第7回

各種 光通信システム(2)・ 光送受信器(1)

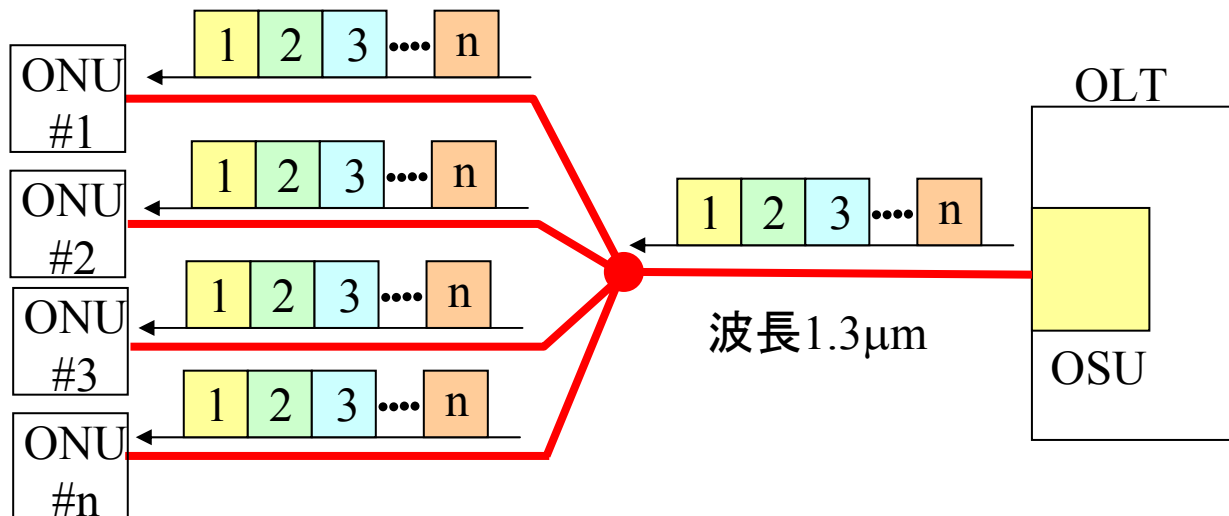
2009年11月30日(月)

光アクセスシステム (FTTH) (続き)

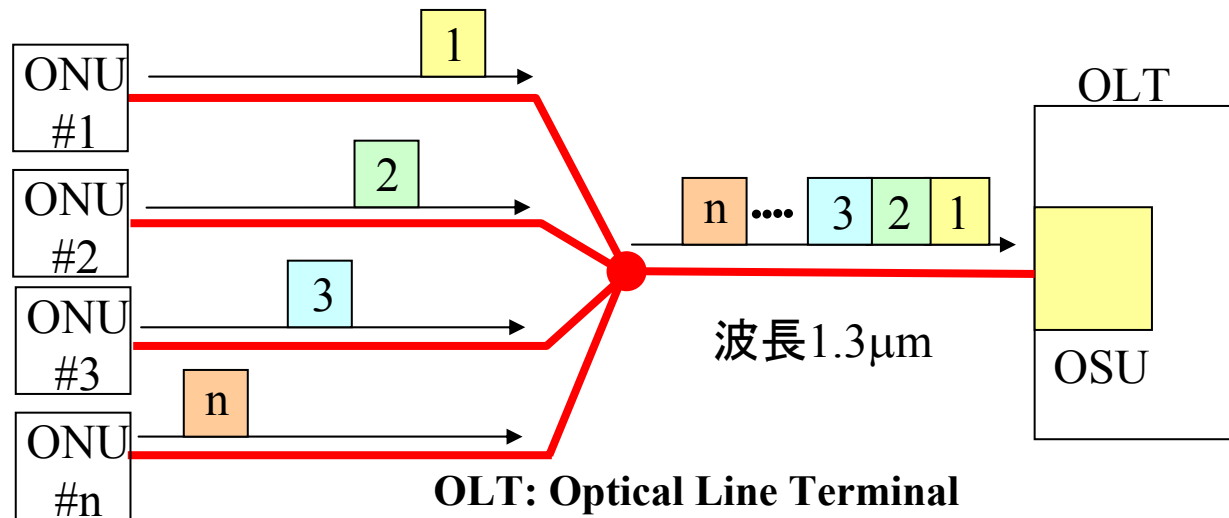
2009年度 光通信システム

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

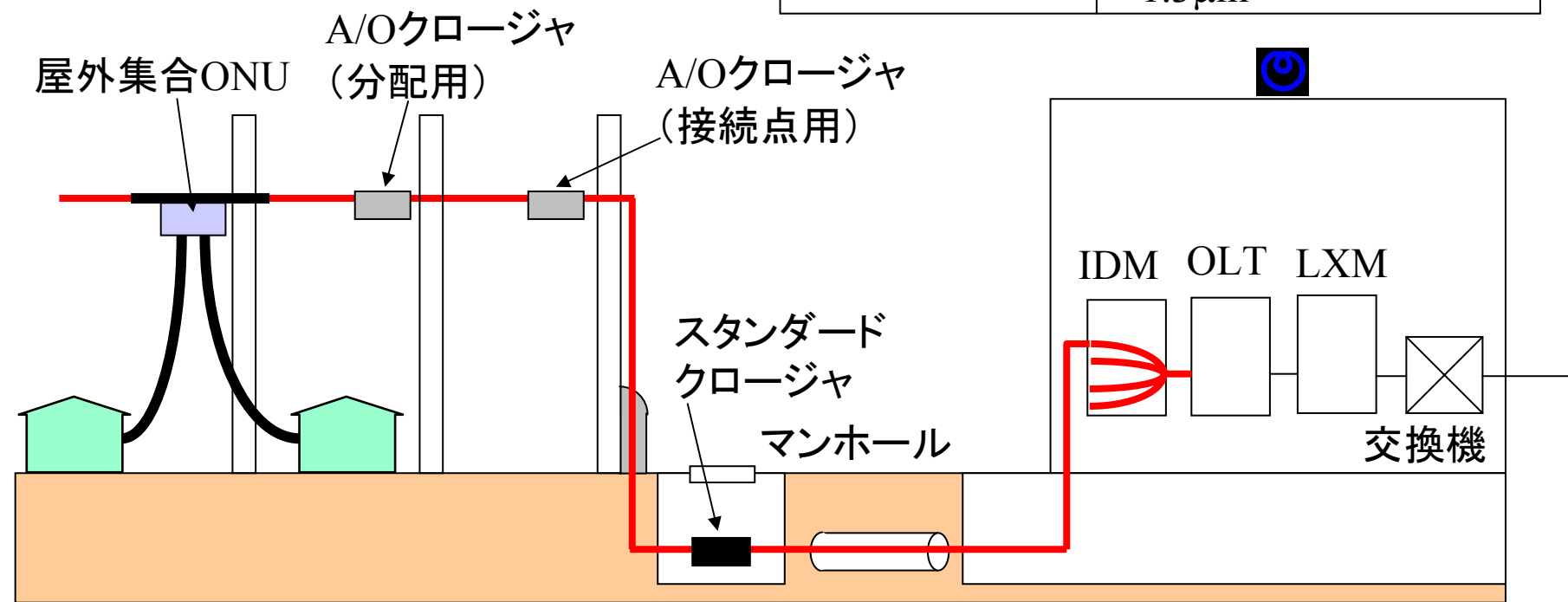
電話サービスの光アクセスシステム (π システム)

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	1.3 μ m



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

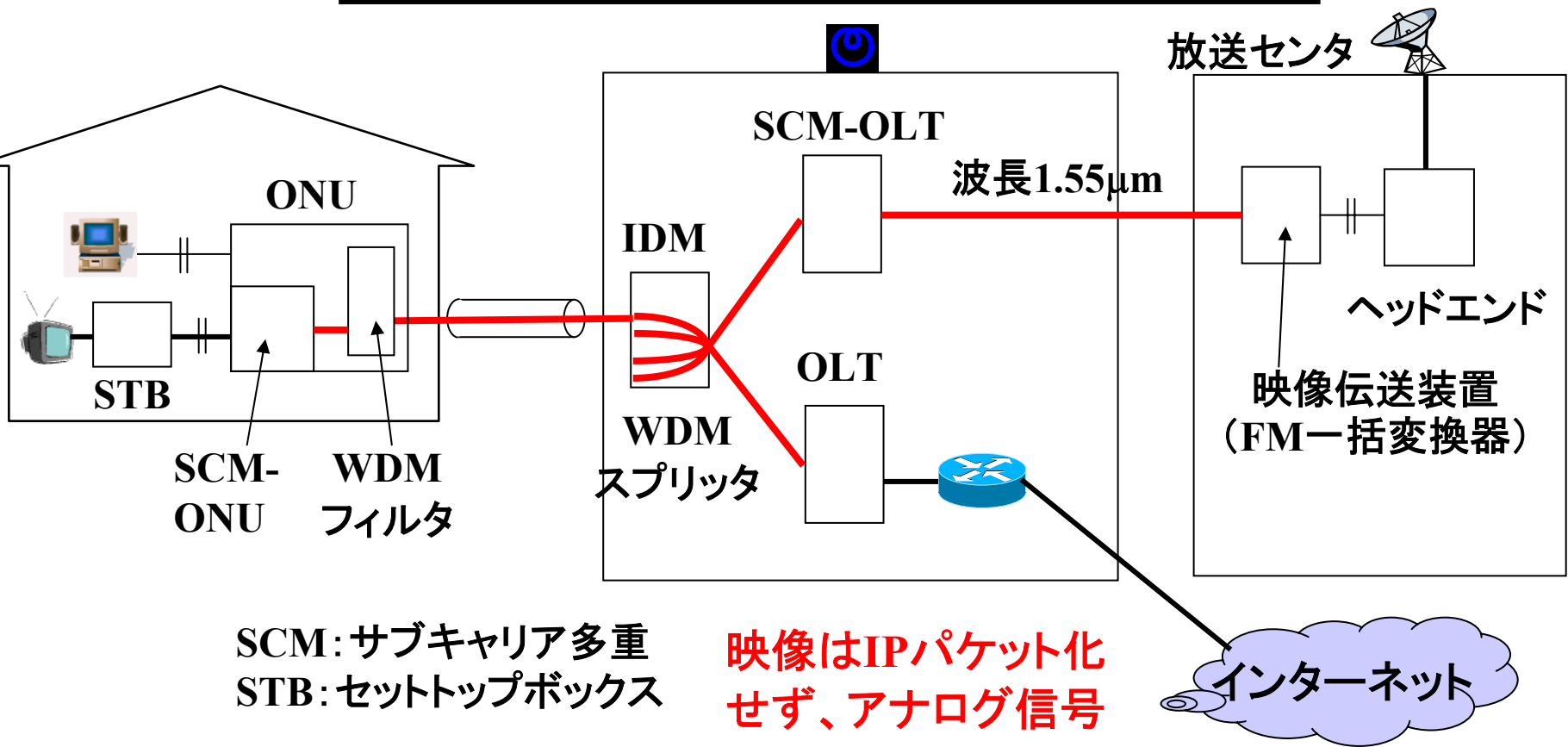
3波多重の通信・放送サービス

オプティキャストのFTTH放送サービス

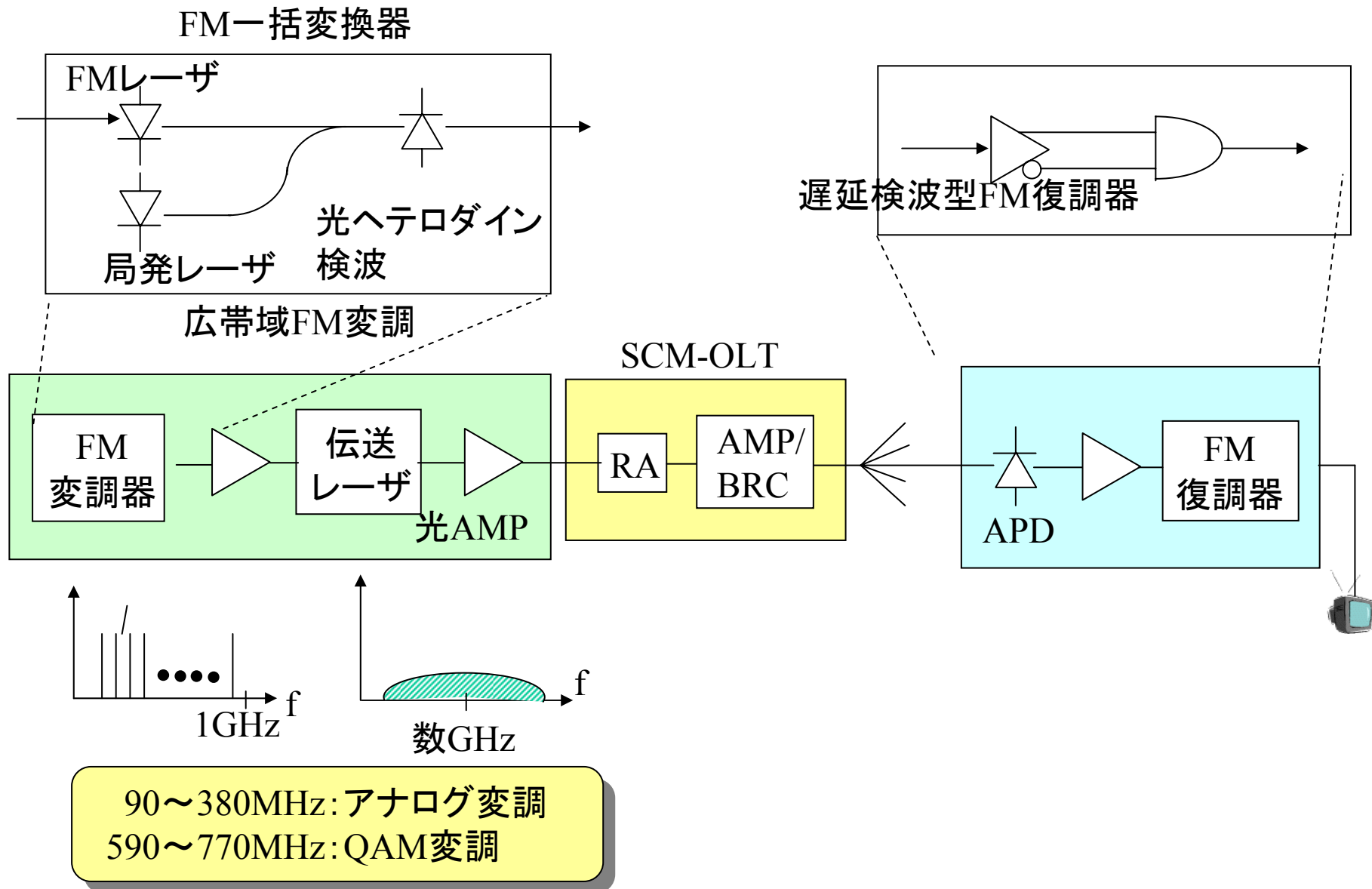
標準仕様

NTT映像通信網
サービスを利用

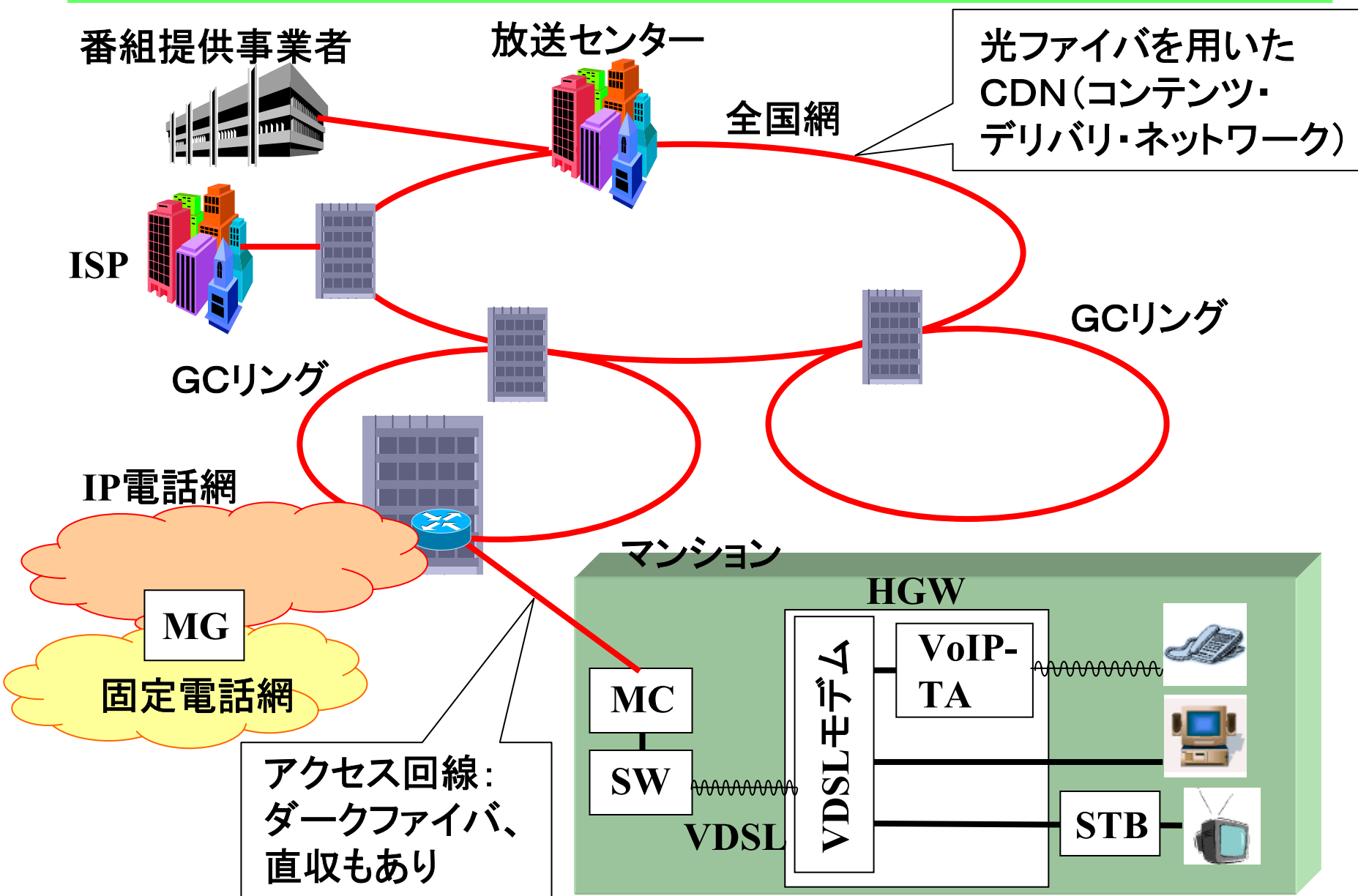
伝送距離	標準7km(最大20km)
PDS区間分岐数	32
使用波長	通信系1.49μm(下り)1.3μm(上り) ／映像系1.55μm



SCM-PDS装置の構成



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 μ m/上り1.31 μ 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

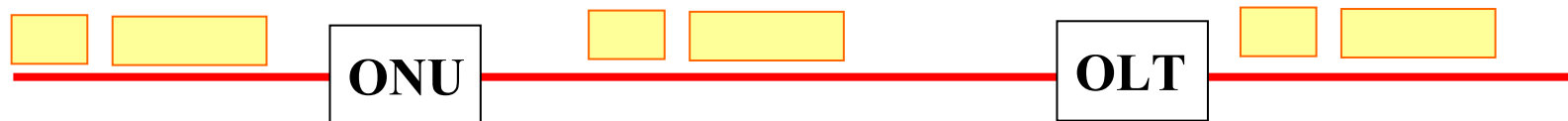
WDM-PON, G-PON, HG-PONの比較

	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

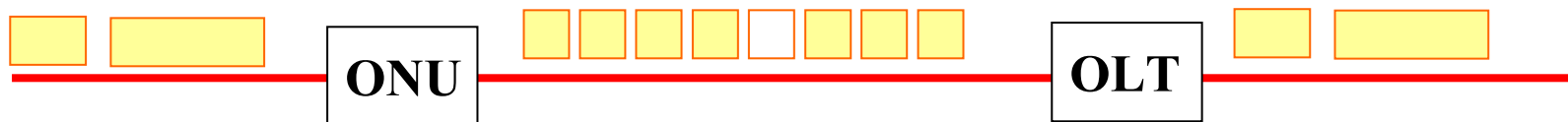
GE-PON

Ethernetフレーム(可変長フレームのまま伝送)



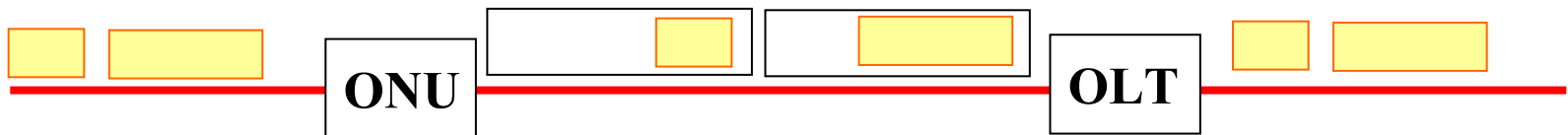
B-PON

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)



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**

終端装置

ONU (Optical Network Unit)



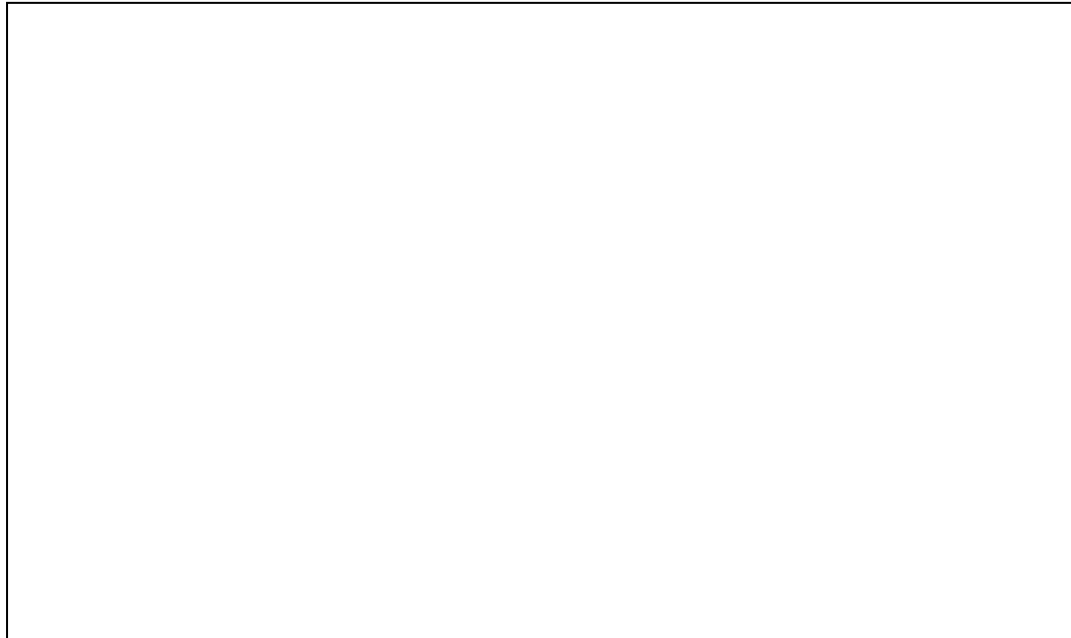
UNI-IF: 10/100Base-TX

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

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

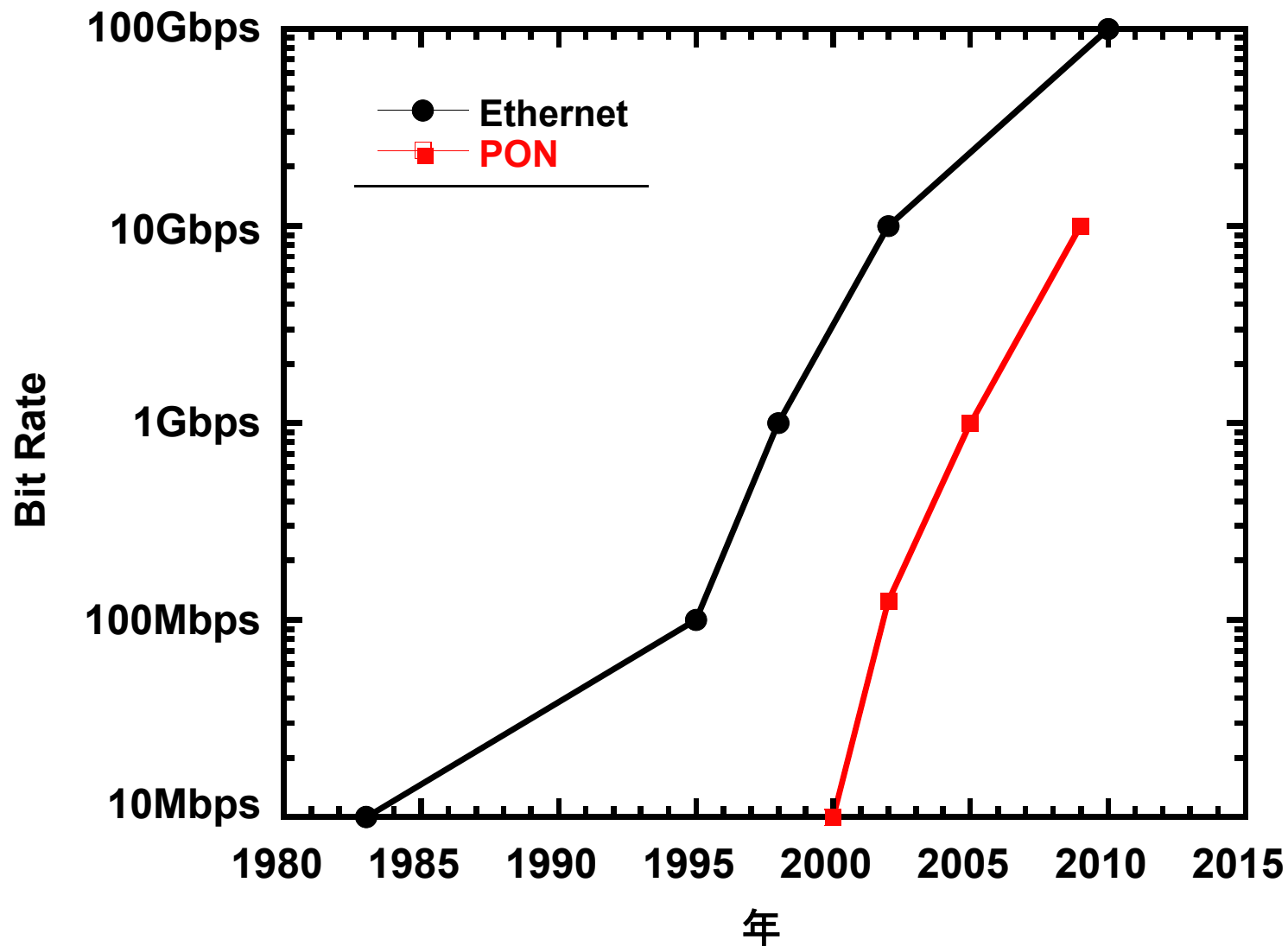
● 高信頼化

- ・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

PONシステム高速化のロードマップ

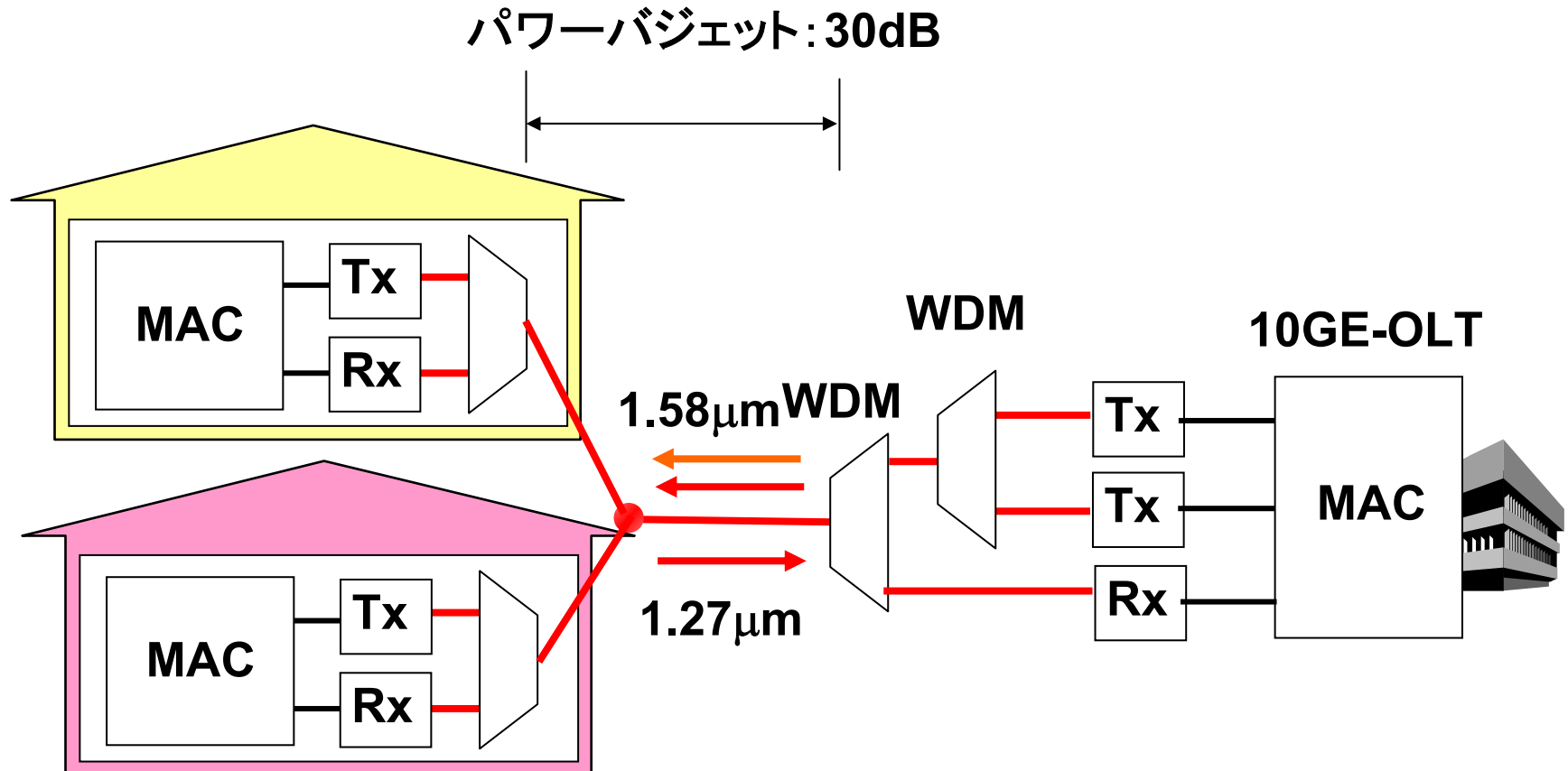


2009年度
光通信システム 次世代PON標準化 (IEEE802.3av) のシステムターゲット

● IEEE802.3av

2007年11月にDraft1.0リリース

2009年9月標準化完了



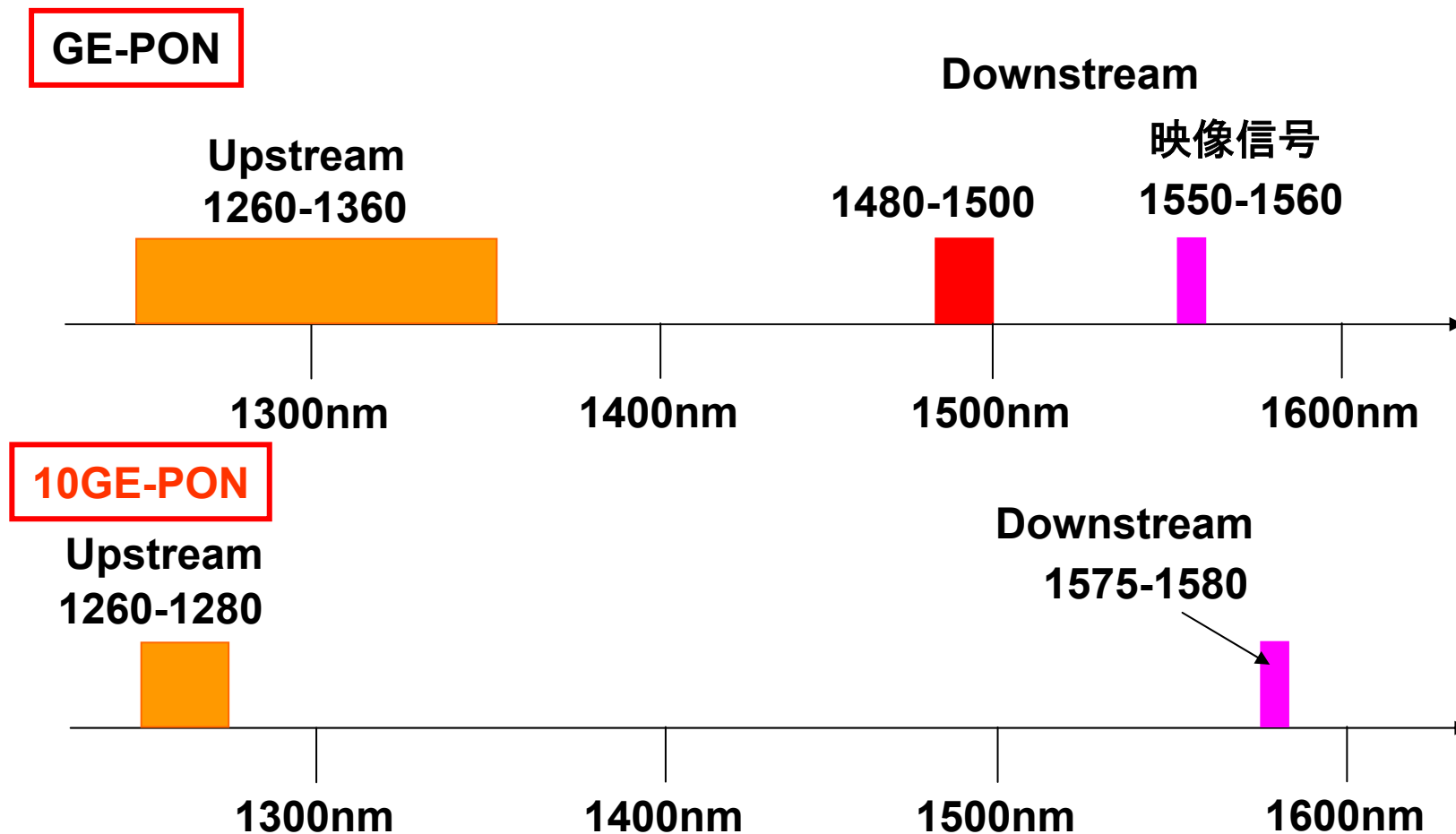
10GE-PON仕様(Draft2.2)

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

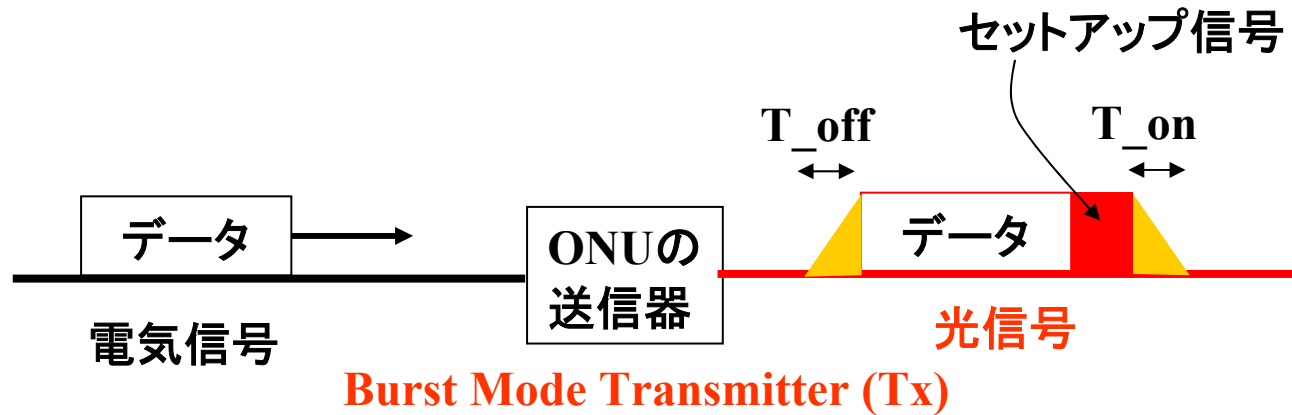
- ・バーストLDドライバ
- ・バースト受信プリアンプ／リミッタ
- ・位相同期回路(CDR)

● 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)

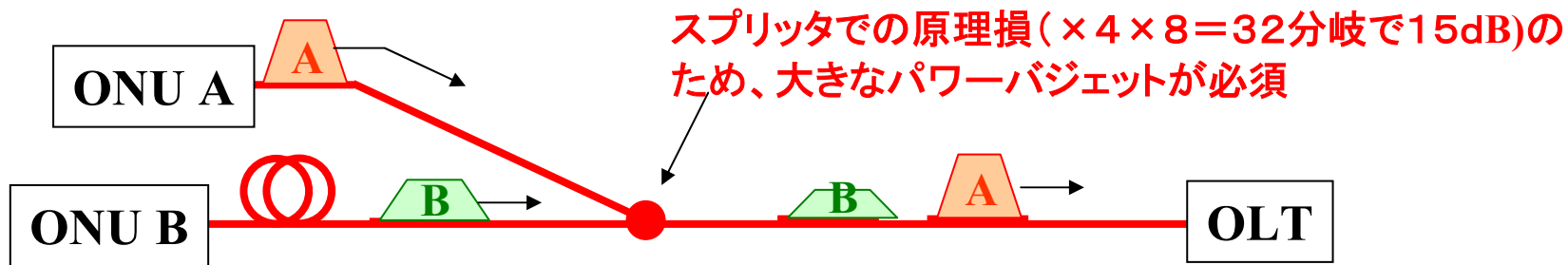
ONUのバースト・モード送信器



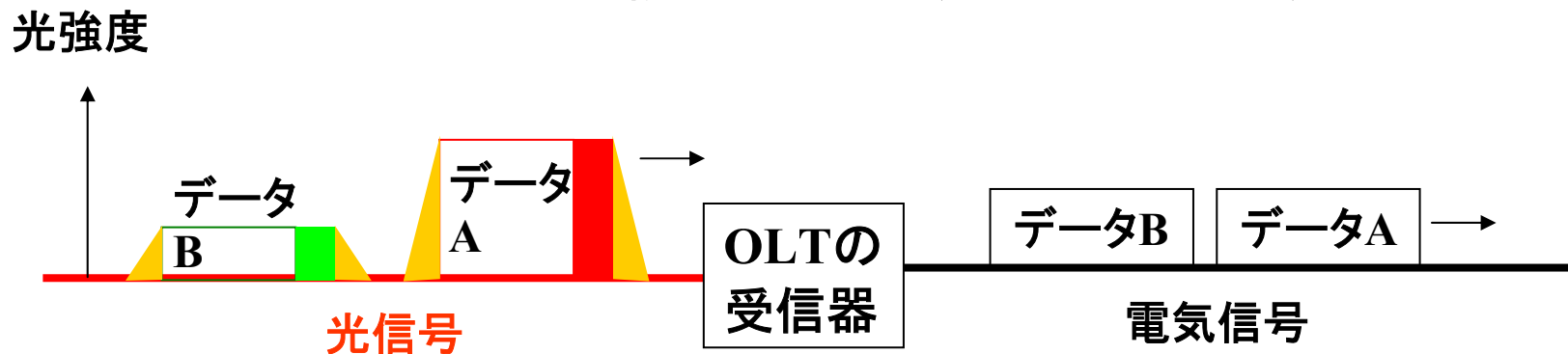
- T_{on} , T_{off} (遷移時間):
異なるONUからの上り信号間の影響抑制のため、確実な消光を目的
- セッアップ信号:
OLT受信器が受信準備できるための規則的なパターン送信

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

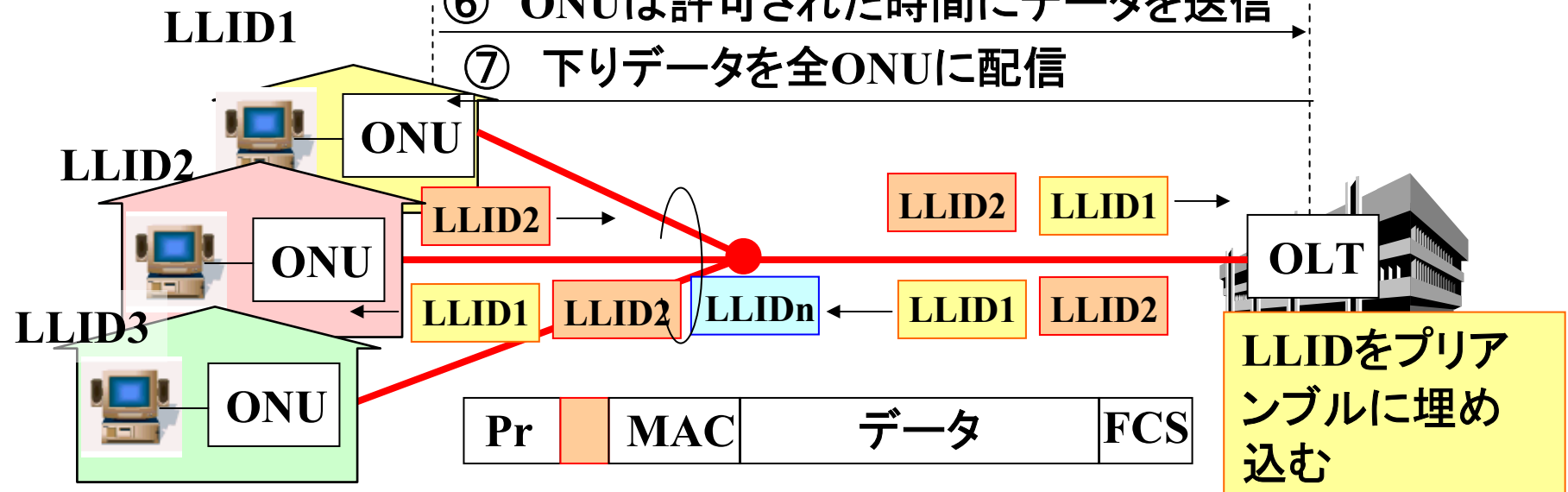


Burst Mode Receiver (Rx)

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



K. Akimoto, J. Kani, M. Teshima, and K. Iwatsuki, ECOC2003, TH2.4.6.



2009.9にIEEE802.3av (10G-EPON)の標準化完了

➡ ECOC2009 (34th European Conference on Optical Communication)
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

TDM/WDM	8
WDM	8
OFDM	3
OCDMA	2
DMT	1
Ether	1
GPON	1

ROF

WiMAX
SCM
OFDM
UMTS-FDD

UWB

60GHz	3
OFM	1
WDM	1

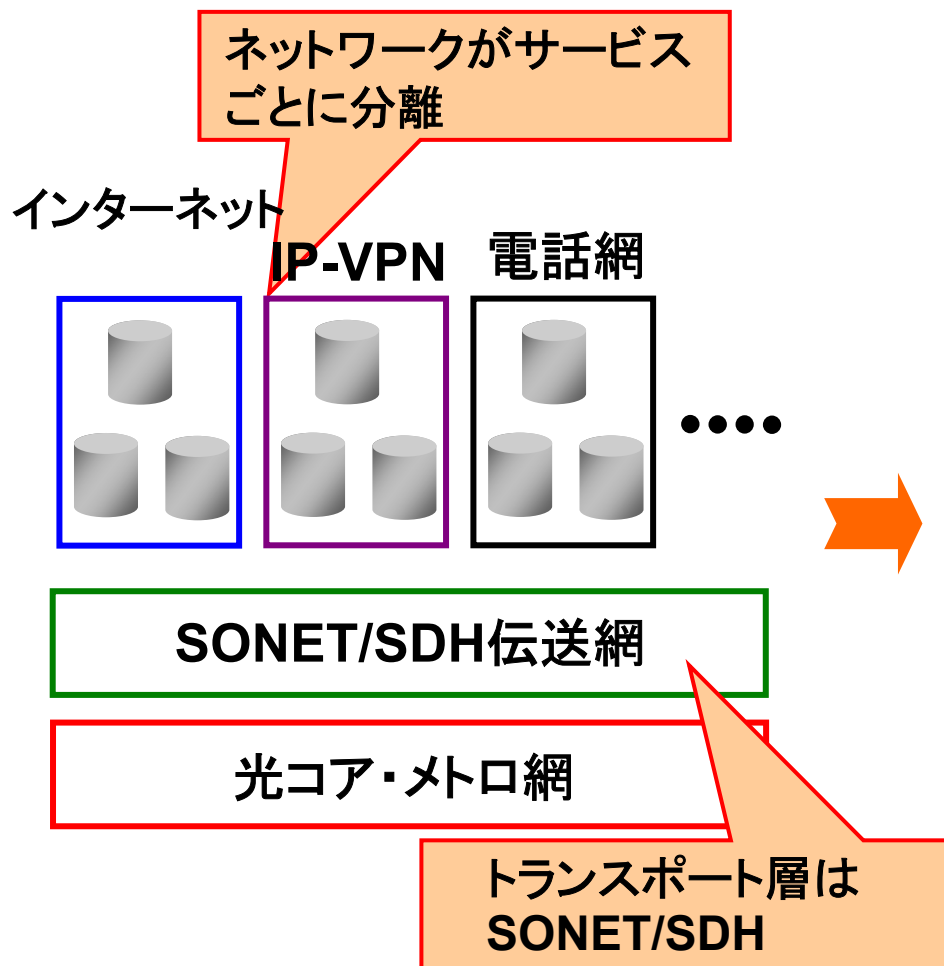
NGN **(Next generation Network)**

NGN : Next Generation Network

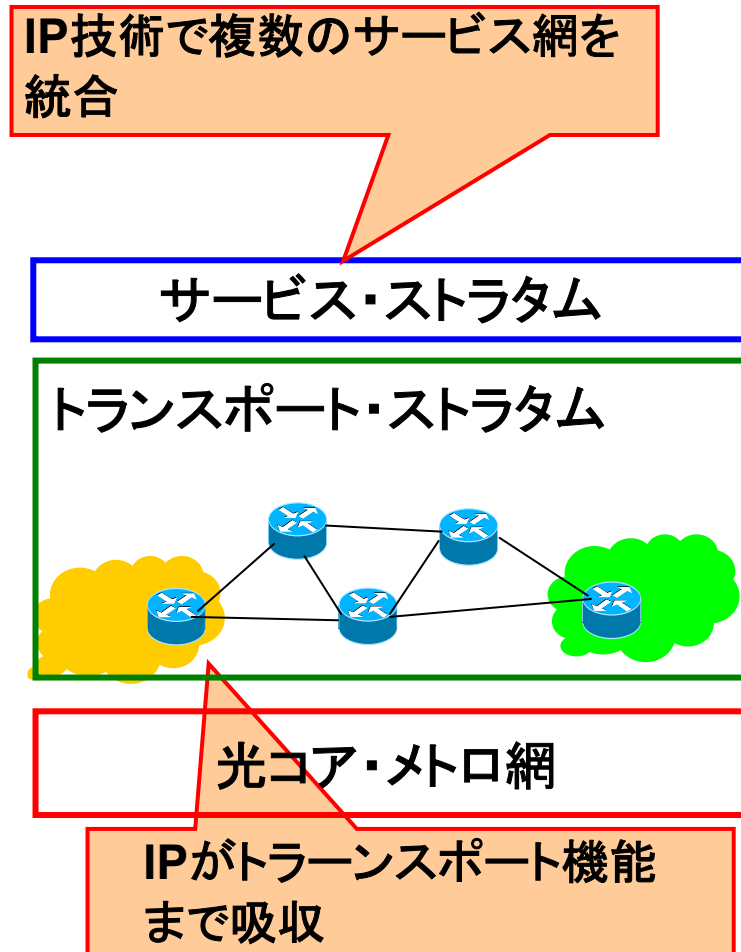
- All-IP
- アクセス手段を問わない(光、電話線、同軸、無線LAN、携帯、PHS、電力線)
- 高信頼性
- 帯域制御

従来のサービス形態とNGNとの違い

従来のネットワーク



NGN



NGNが登場する背景

NGN

- 高い信頼性
- 高品質
- 緊急通信確保
- オペレーション・コストの低減
- 新サービス
- 新たに収益源の創出



インターネットが抱える課題

セキュリティ

- 社会インフラとしての脆弱性
- スпам、サイバーテロへの脆弱性

通信品質の問題

- 緊急通信なし
- QoSなし



通信事業者を取り巻く環境変化

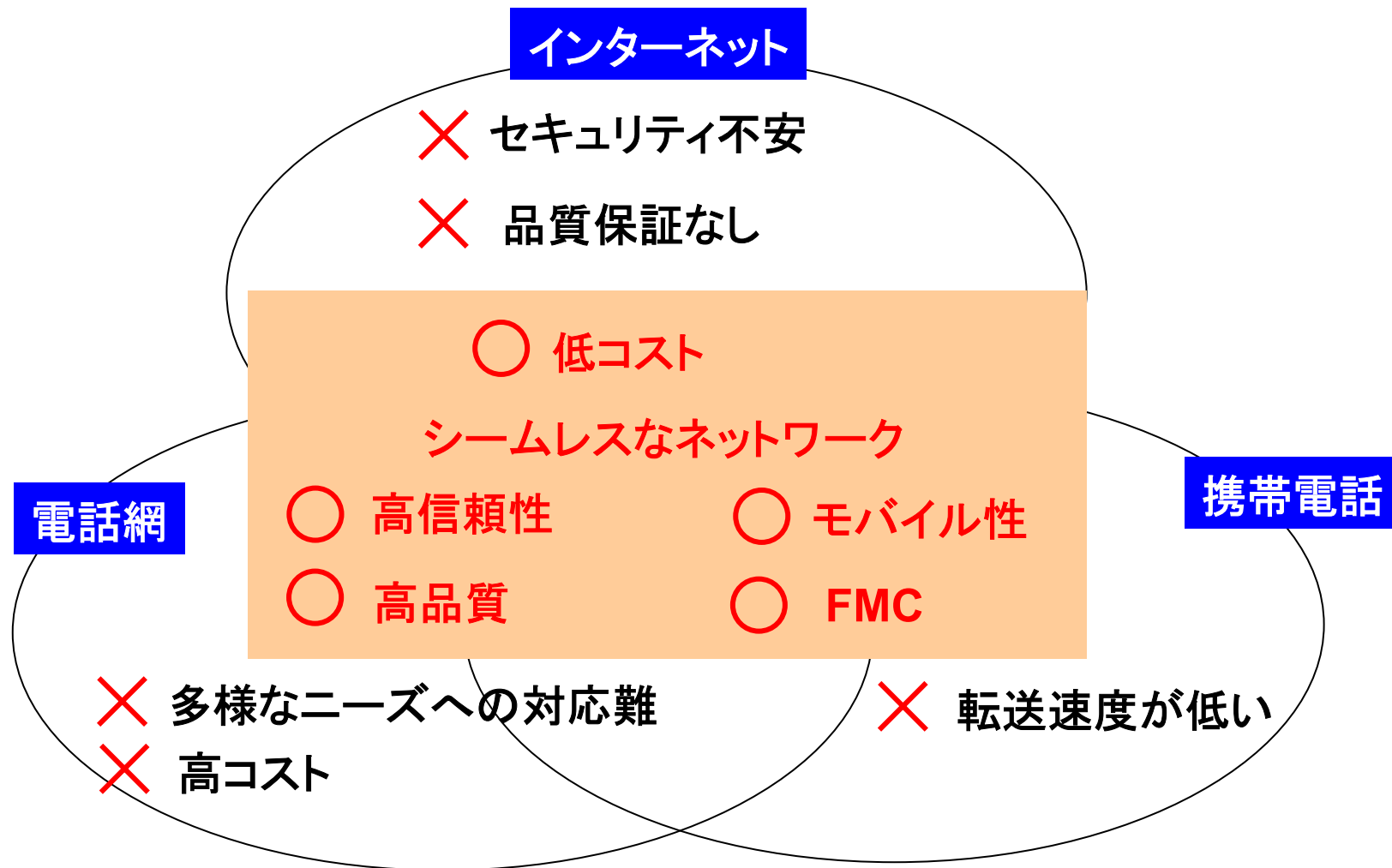
固定通信市場の縮小

トラフィック属性の変化

移動体通信市場の飽和

NGNの狙い

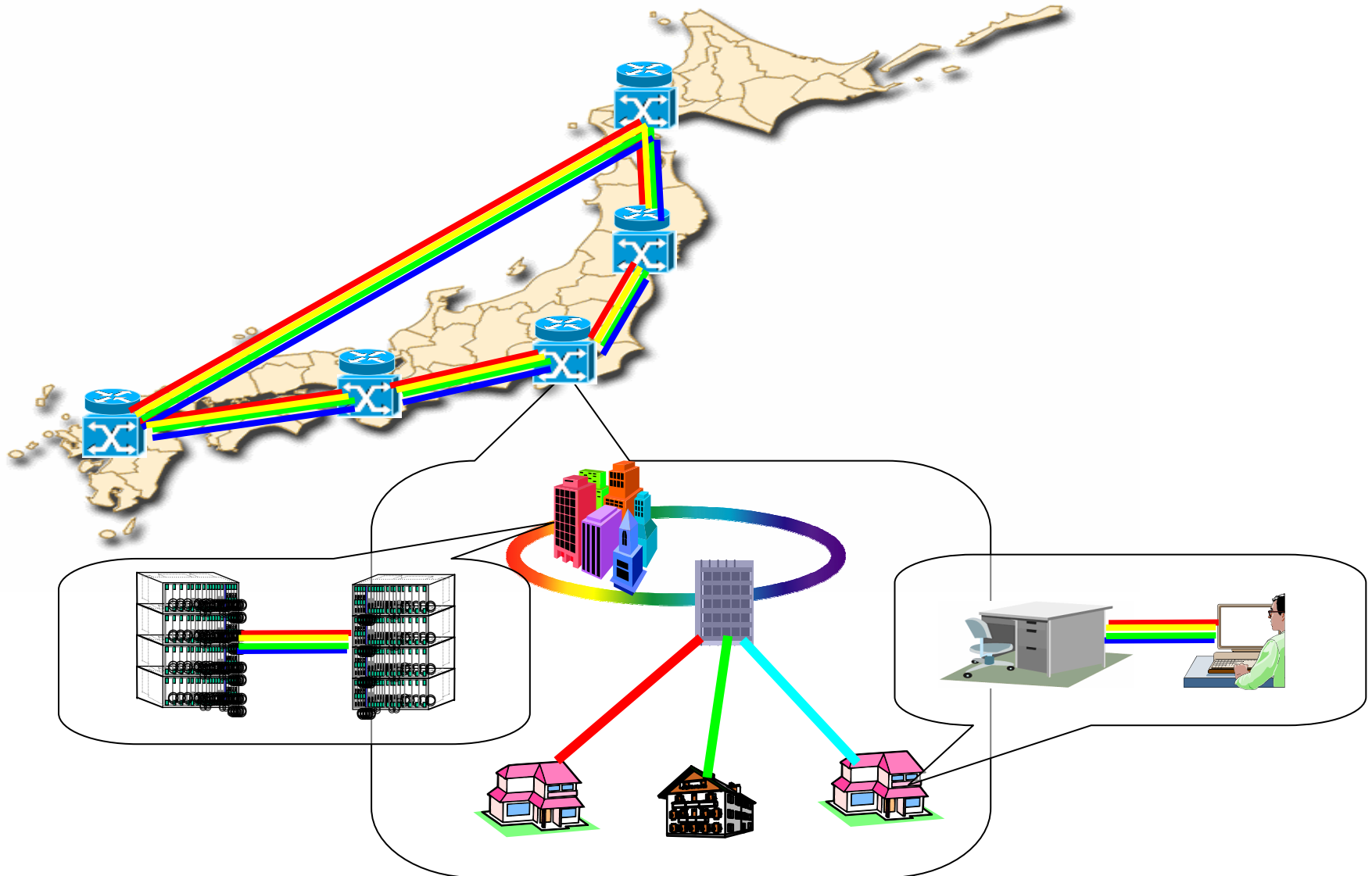
各ネットワークの持つデメリットをなくし、メリットを寄せ集める



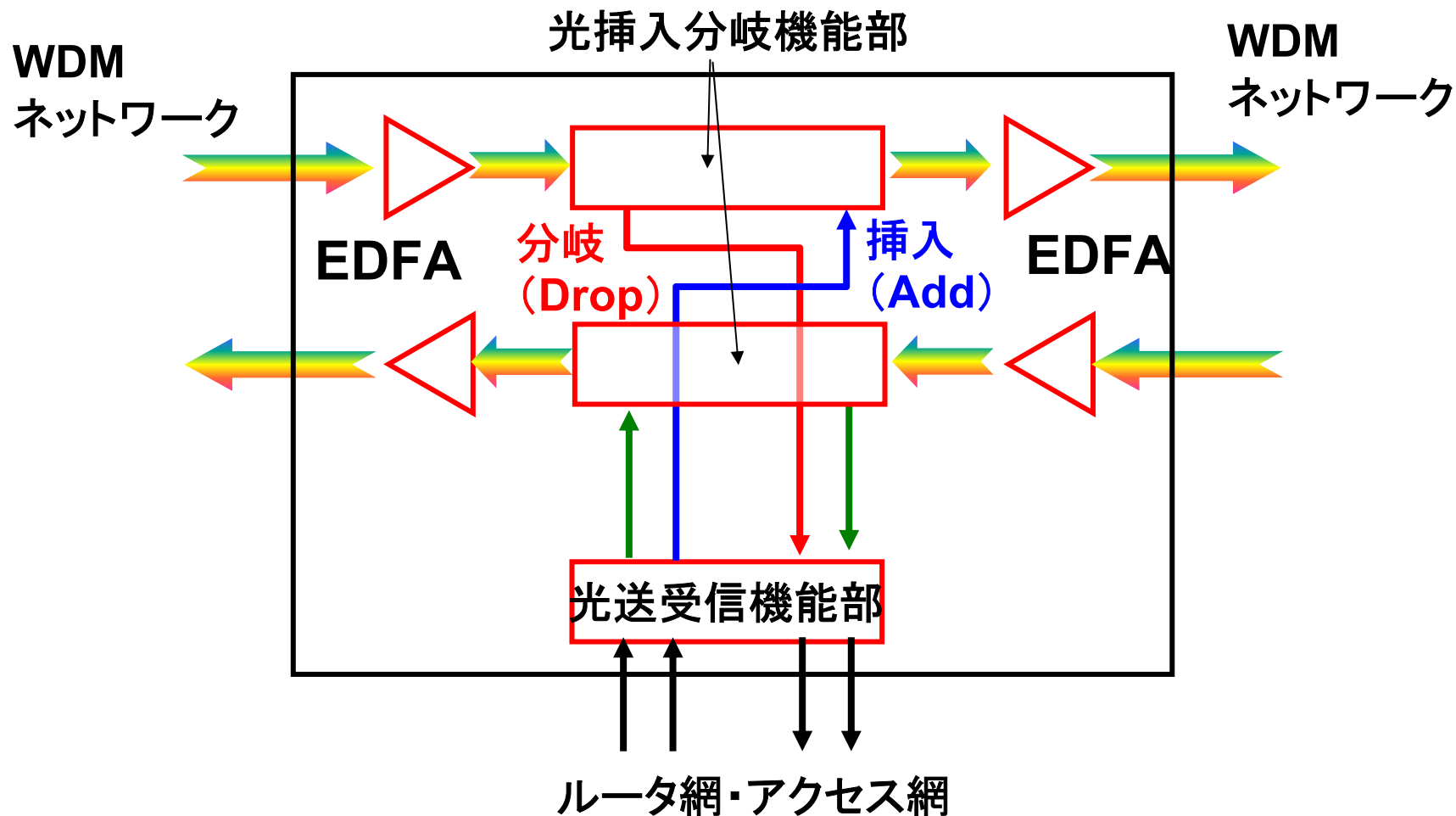
NGNがインターネットに付加する機能

IPネットワーク	アプリケーション／サービスの自律性確保による拡張性確保
アクセス回線 認証	強固な認証プラットフォームと認証を用いた多彩な高信頼 サービスの実現
シグナリングによる 通信セッションの 管理	サービス・モビリティやプレゼンス・サーバとの連携による マルチメディア統合サービスなど、多彩なサービスの実現
QoS制御	インタラクティブ、オンデマンド型VPN、マルチキャストなどの 多彩な通信機能と緊急通信の確保
オープン・ インタフェース	サードパーティに網機能を開放し、サービス開発を委ねる ことによる新たな事業モデルの構築
モビリティと ユビキタス	移動支援を行う固定・移動統合網

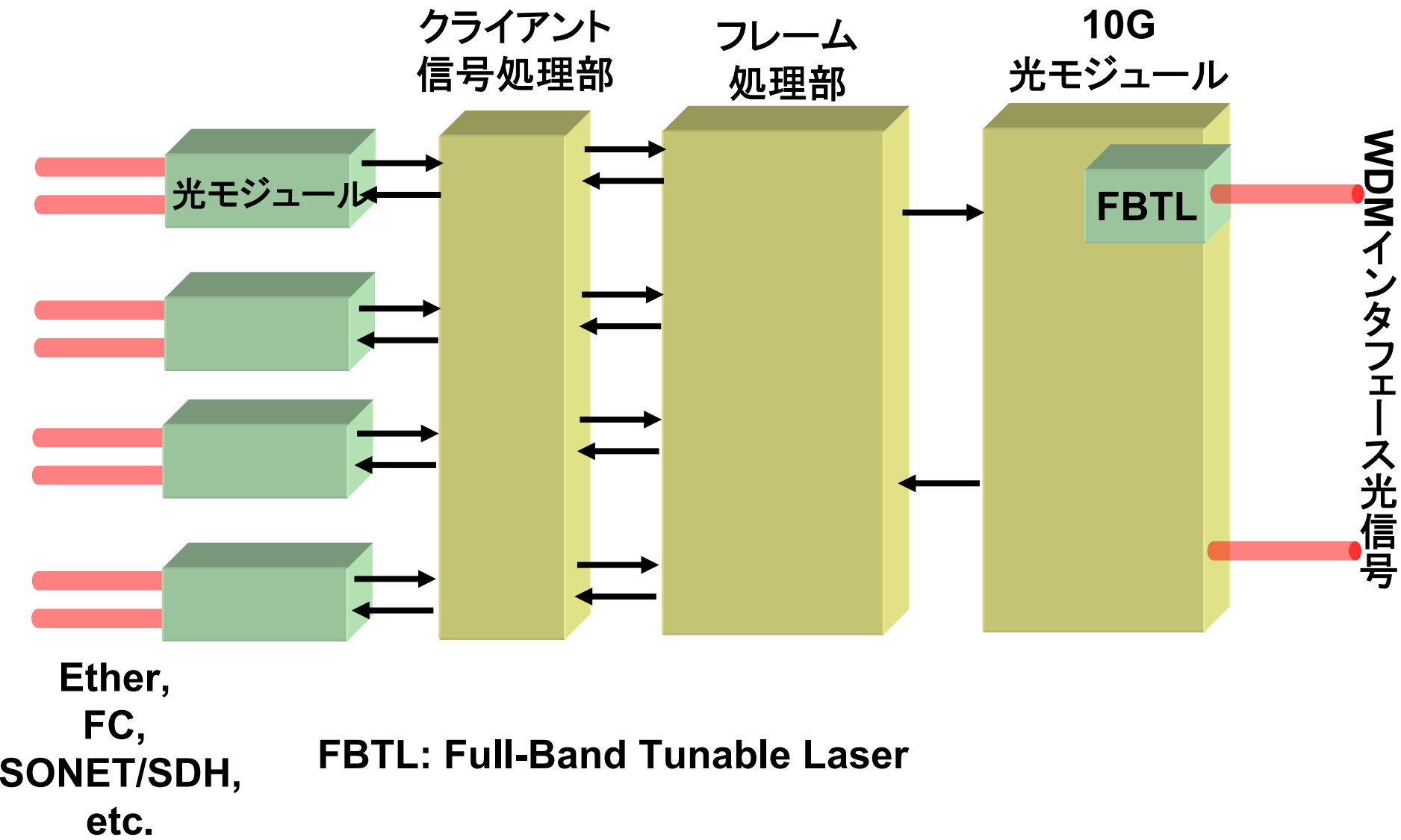
ルータ網とアクセス網をつなぐ光コア・メトロ網



ROADM機能が付いたDWDMの構成

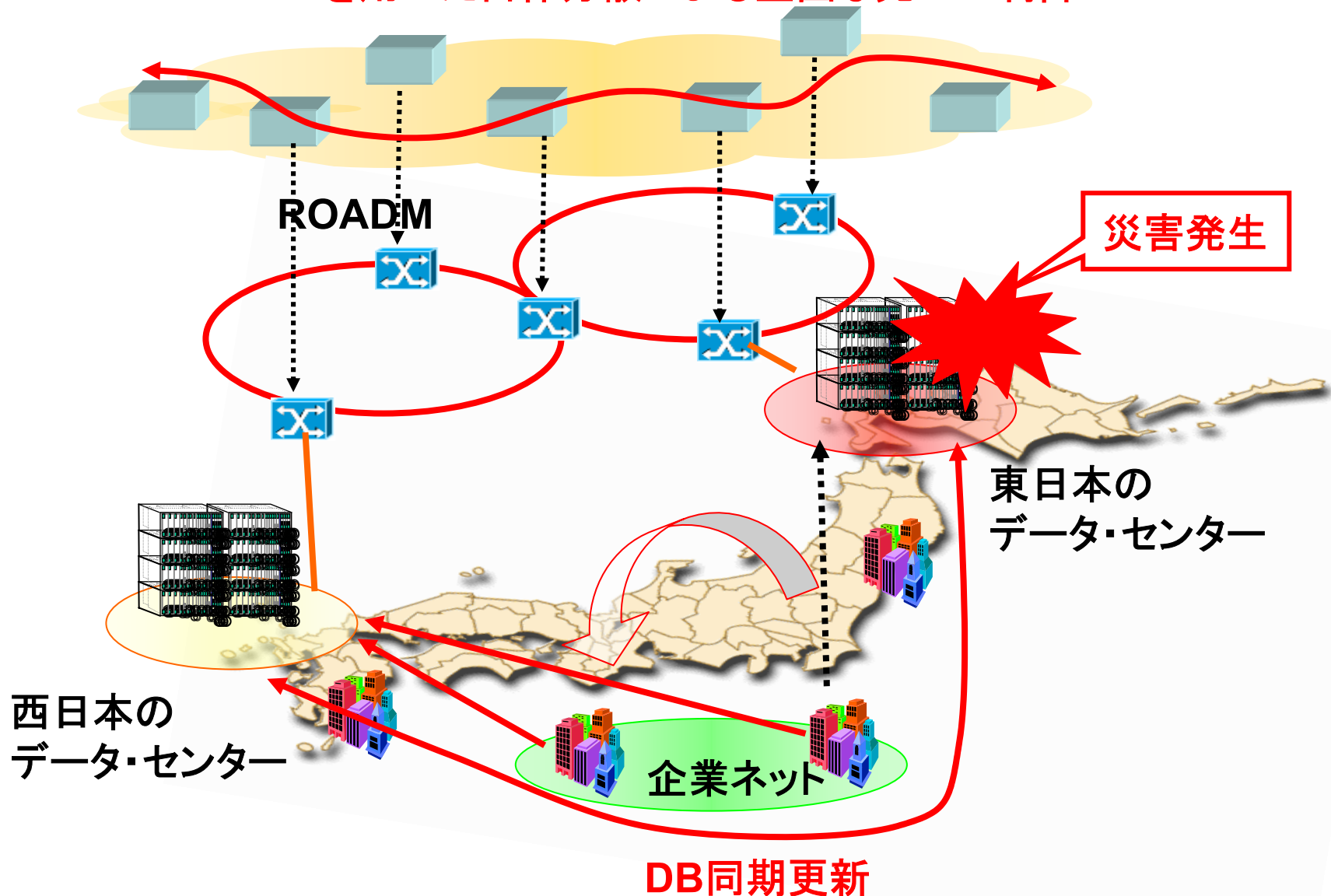


ADM on the Cardの構成例



GMPLSによるオンデマンドの通信

GMPLSを用いた自律分散による堅固な光パス制御



ファスト・リルート動作

MPLS網における迂回路への切替

②ルータがルーティング・プロトコルを使って経路を再計算し、迂回路を決定

③迂回路に切り替わるまでに数～数10秒障害発生

①ルータが障害検知

障害発生

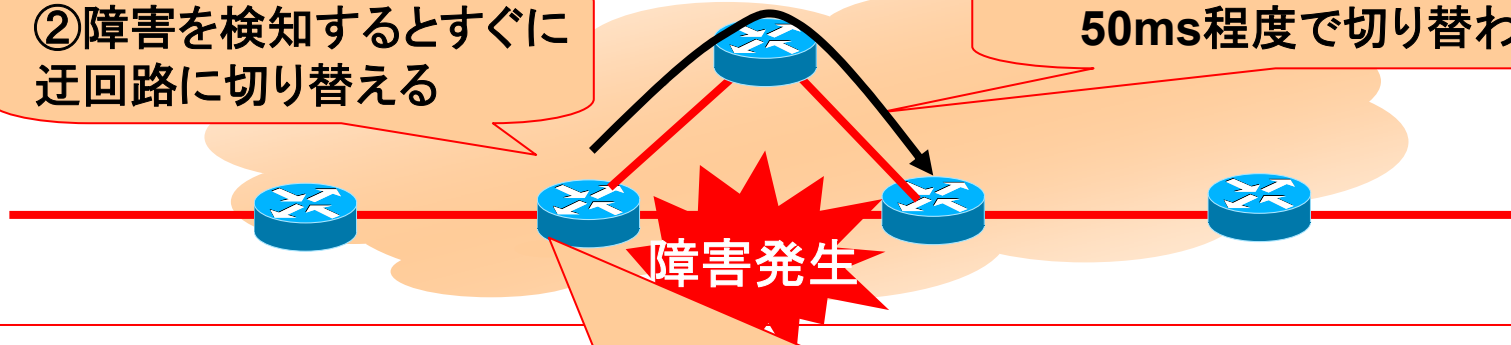
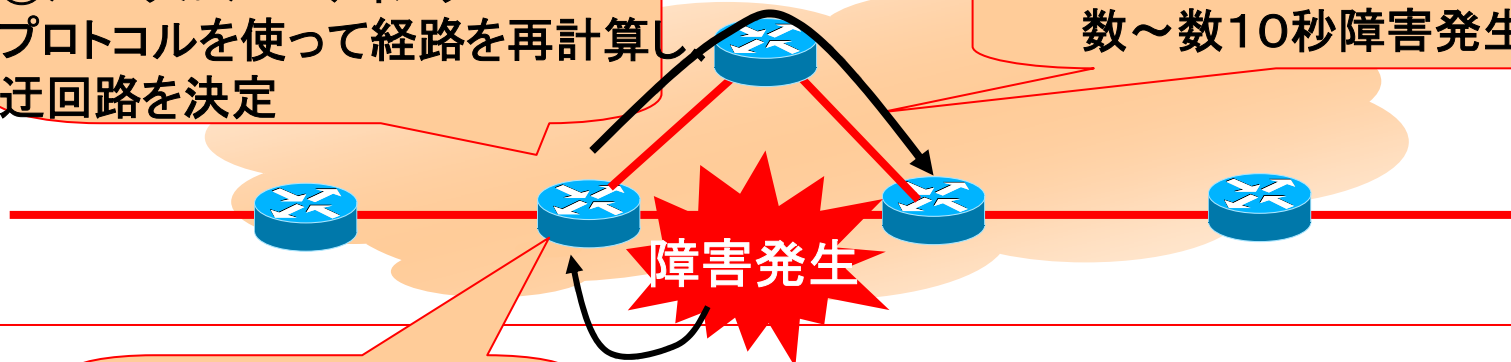
ファースト・リルートによる迂回路への切替

②障害を検知するとすぐに迂回路に切り替える

③再計算なしで迂回するので50ms程度で切り替わる

①ルータが障害検知。このルータはあらかじめ迂回路があることを知っている

障害発生



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 (WWDWM)			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	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	パラレル信号(バイト単位) MACフレーム 4ビット・パラレル 100Mbps 0 1 1 0 4B5B符号化	パラレル信号(バイト単位) MACフレーム 8ビット・パラレル 1000Mbps 0 0 0 0 0 1 0 1 8B10B符号化	パラレル信号(バイト単位) MACフレーム 64ビット・パラレル(R) 8ビット・パラレル(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(2007年の段階)

● IEEE802.3baにて2010年5月標準化予定
IEEE Applications & Practice, vol.45, Suppl.4, p.21, Table 1 (2007).

伝送媒体	送信器	多重方式	Grid	# Lanes	Lane Rate (Gbps)	波長 (nm)
10km SMF	Cooled EML	DWDM	200GHz	10	10	1550
	uncooled DML	CWDM	20nm			
	Cooled EML	DWDM	200GHz	5	20	1310
	Cooled EML	CWDM	20nm			
	uncooled DML/EML	CWDM	20nm			
	Cooled DML	DWDM	200GHz			1550
	Cooled EML	DWDM	200GHz			
	uncooled DML/EML	CWDM	25nm	4	25	1310
	DQPSK	Single		2	50	
100m MMF OM3	VCSEL	MPO (12×2)	12×SDM	12	10	850
	VCSEL	MPO (12×2)	10×SDM	10		840 /860
	VCSEL	MPO (12×1)	2×WDM, 5×SDM	10		
	VCSEL	MPO (12×1)	2×WDM, 6×SDM	12		
	VCSEL	MPO (12×1)	3×WDM, 4×SDM	12		835/850/865
Copper				4, 10	10	
Backplane				4	10	

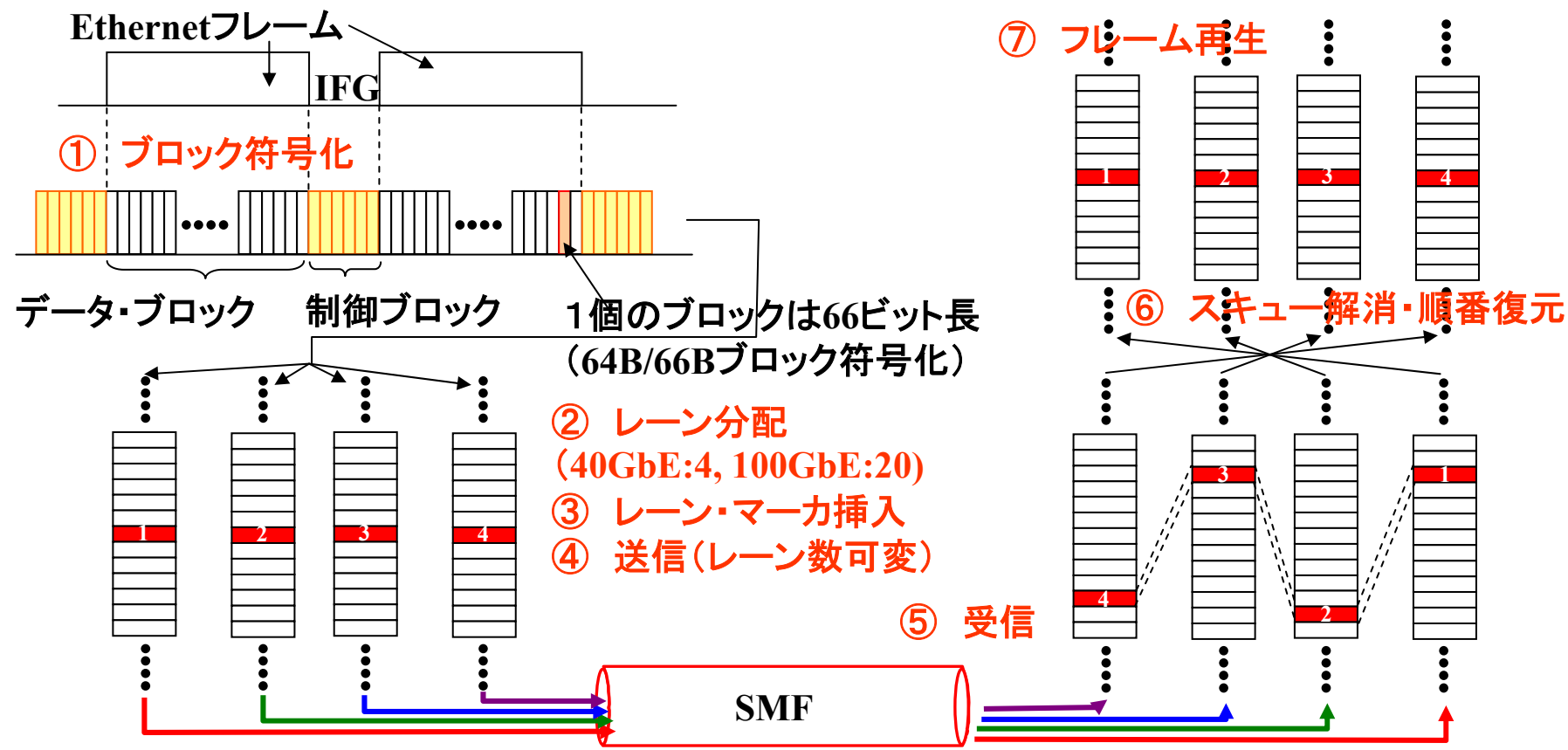
100G/40GbE標準化動向（2009年の段階）

● IEEE802.3baにて2010年6月標準化予定

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	_____

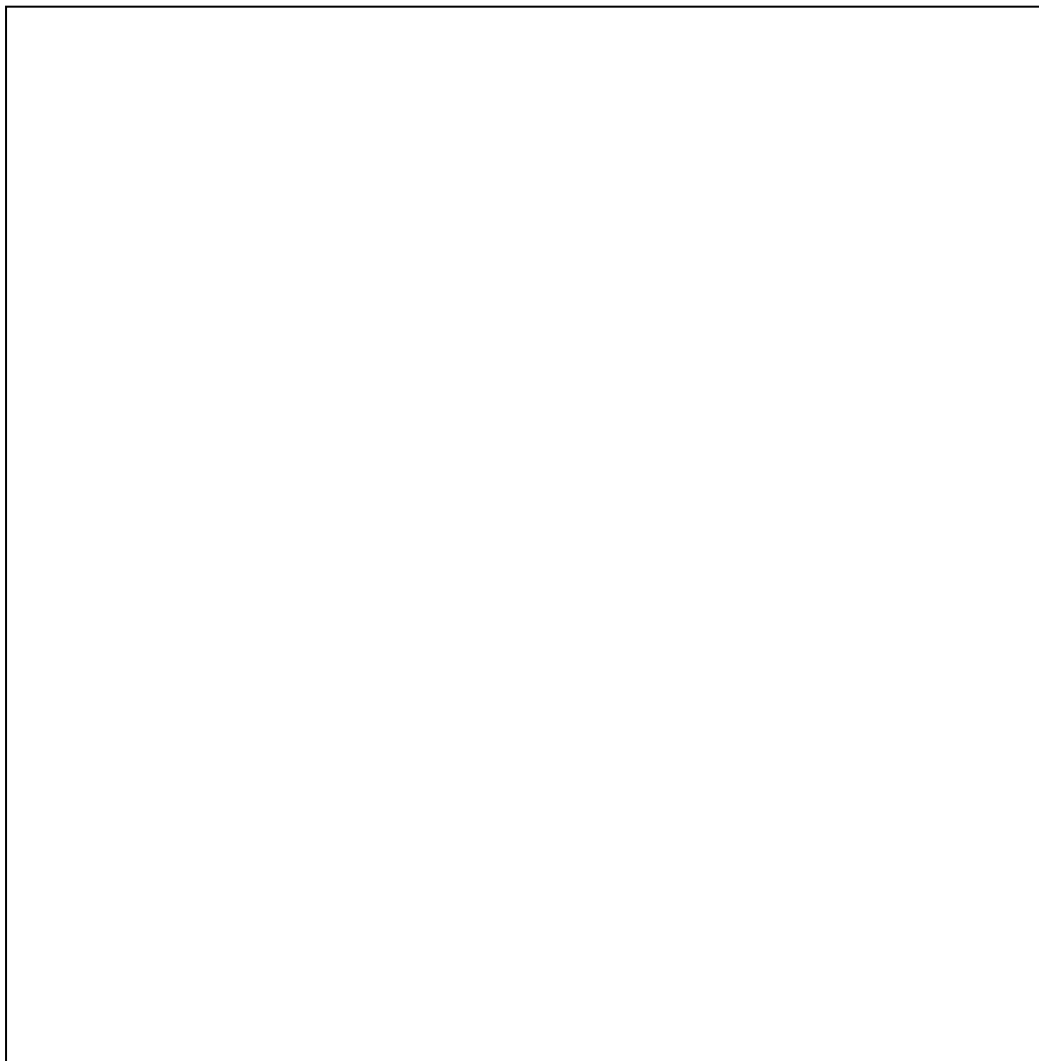
データ伝送の仕組み(MLD: Multi Lane Distribution)

- 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活用・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



10GbE用XENPAK

Agilent Technologiesホームページより



小型10GbE用トランシーバ(XFP)

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



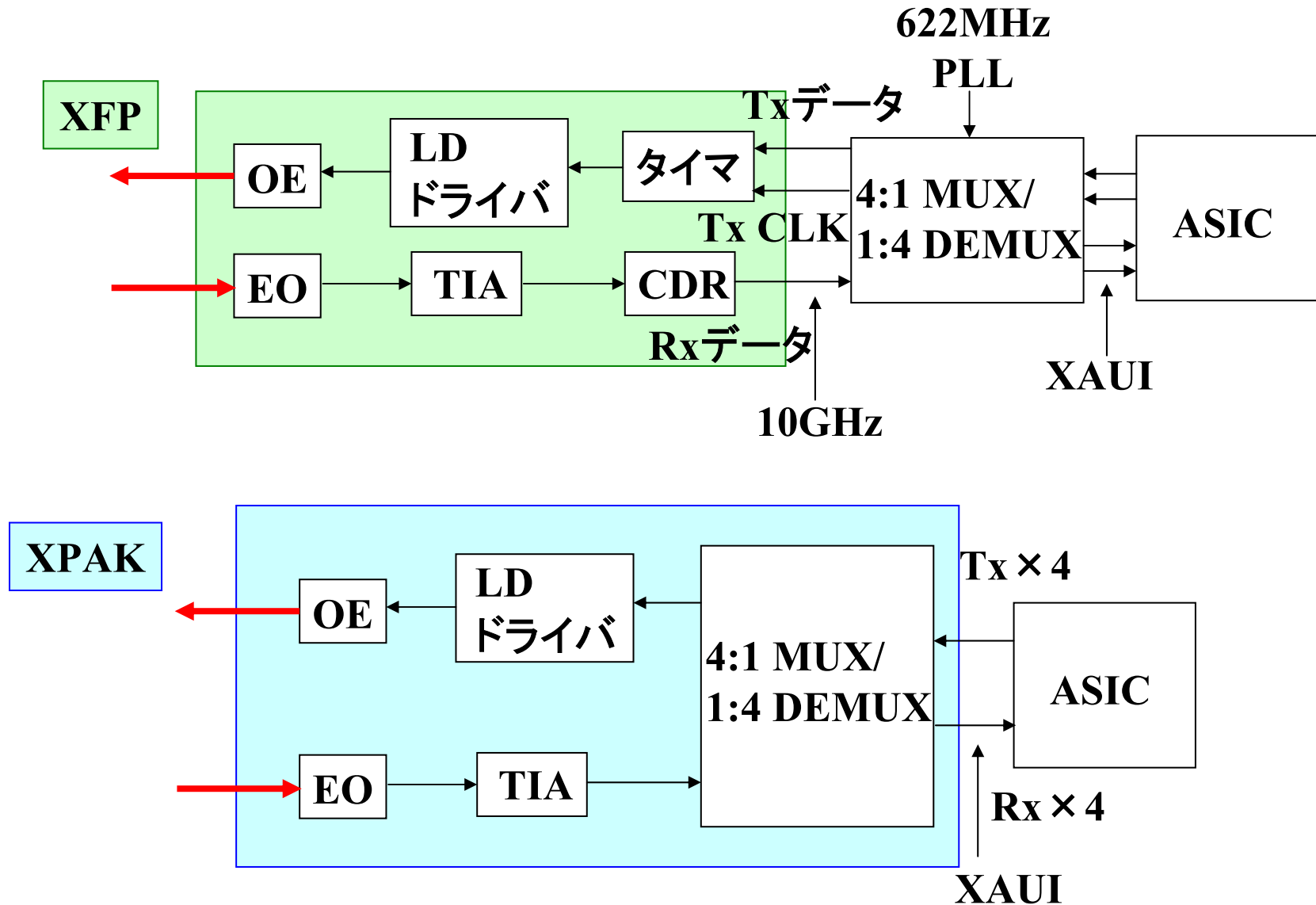
2009年度

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

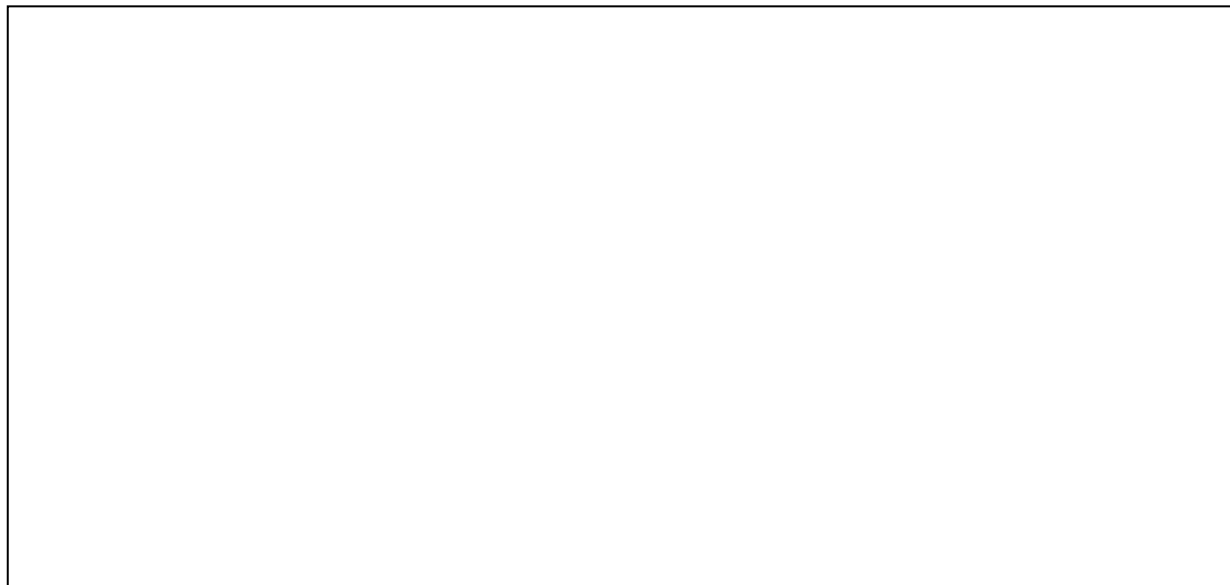
名称	参画する主な メーカー	サイズ	電気IF	用途
XENPAK	Agere, Agilent	$17.4 \times 36 \times 115.2\text{mm}^3$	XAUI	10GbEなど
XPAK	Infineon, Intel, Picolight	$13.4 \times 39.5 \times 83.8\text{mm}^3$	XAUI, SIF-4	10GbE, OC-192
XFP	Finisar, JDS, Innovation Core SEI, E2O Comm.	$10.2 \times 17.8 \times 58.4\text{mm}^3$	XFI	10GbE,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

MSA (XFP, XPAK)の内部構成



100GbE用標準モジュール:CFP

OpnextのECOC2009でのCFPモジュールのデモ(Opnext社ホームページより)



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

光インターコネクション

サーバ用：24ヶ月で2倍の伸び
ネットワーク用：18ヶ月で2倍の伸び

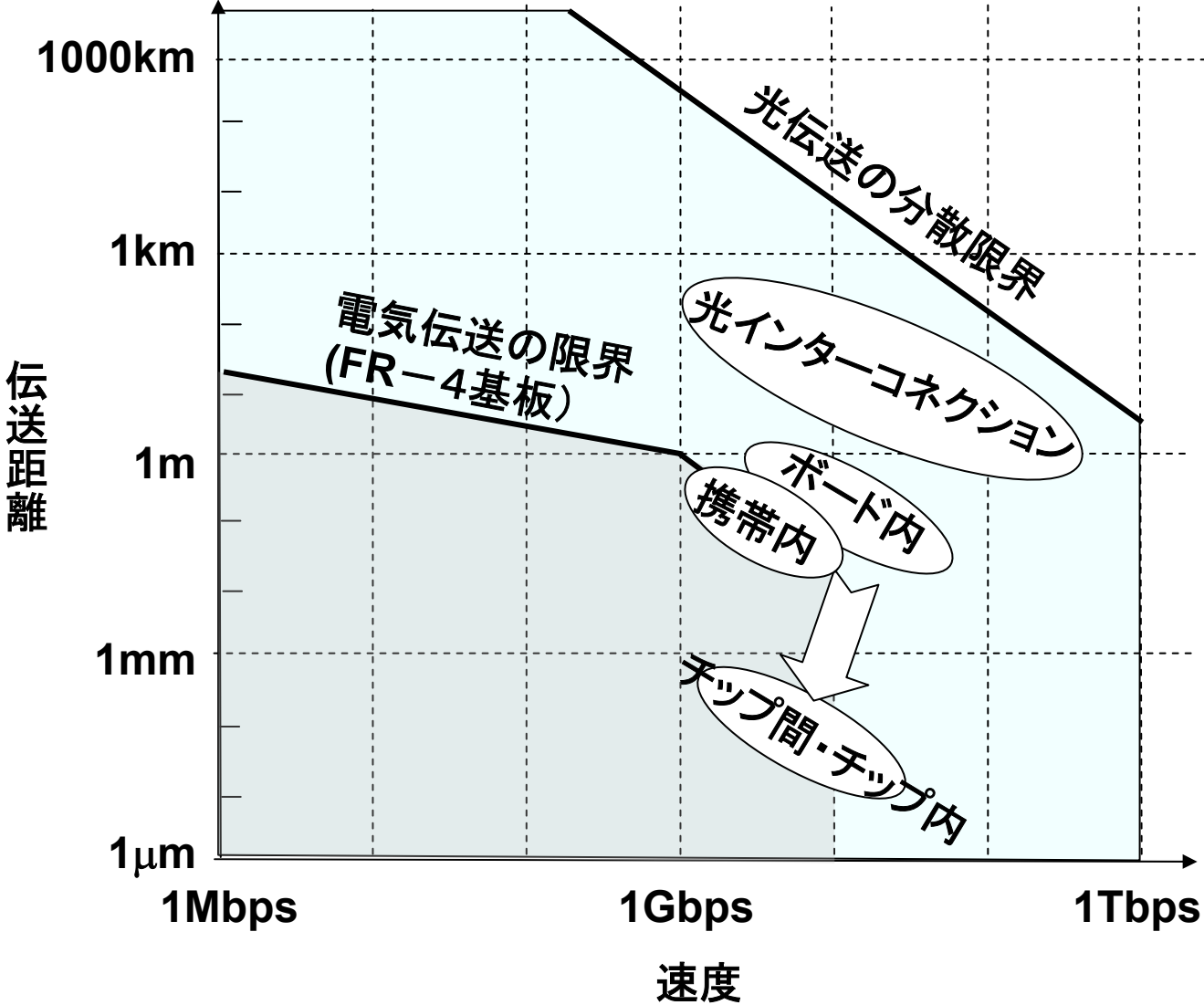
- プリント基板内の電気信号の高速化(> GHz)により、伝送できる距離が極端に短くなってきた。
(例) スーパーコンピュータの1 IF >20Gbps ➡ 数cm
- 電磁雑音の影響増大 ➡ 基板設計の負担増大

>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

日経エレクトロニクス
2005年6月6日号
p.91 図2(a)

日経エレクトロニクス
2005年6月6日号
p.106 図2(a)

伝送速度 対 伝送距離



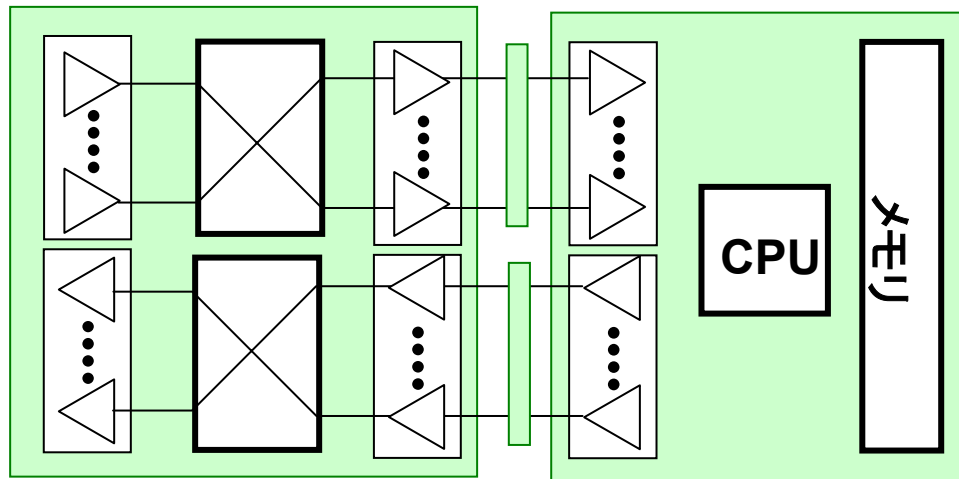
光I/Oと電気I/Oの消費電力比較

柳町, 光協会2007年度NGN懇談会第5回講演会資料より

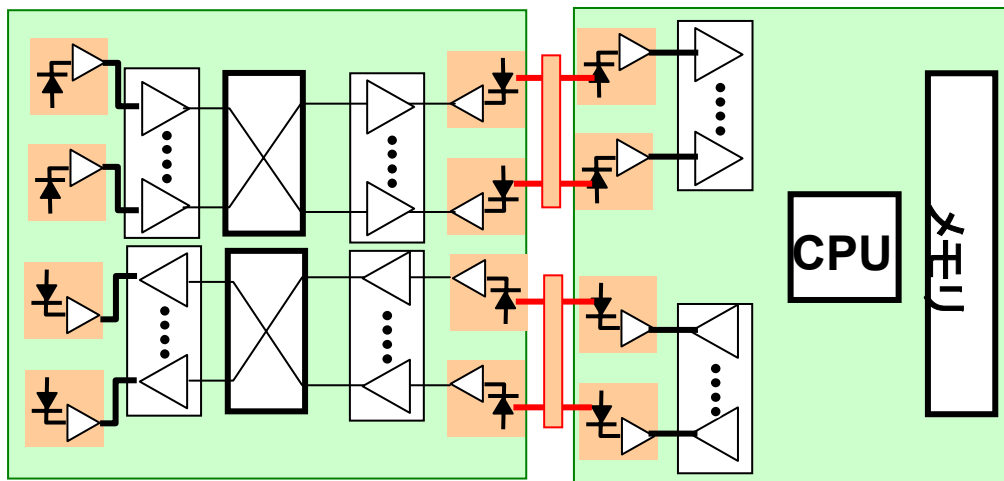
電気I/Oに対して光I/Oは5分の1の消費電力(@10G伝送)

I/O部での消費電力低減

電気インターコネクト



光インターコネクト



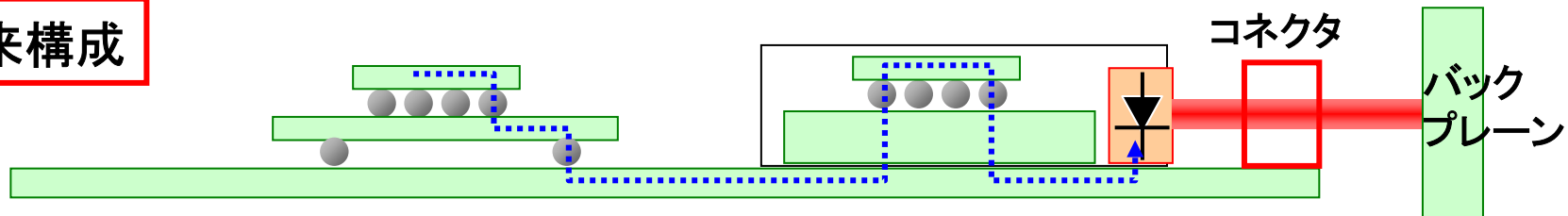
NEC

**40Gbps (10Gbps × 4ch) が
14mm × 14mm で実現
(XFPの6分の1のフットプリント)**

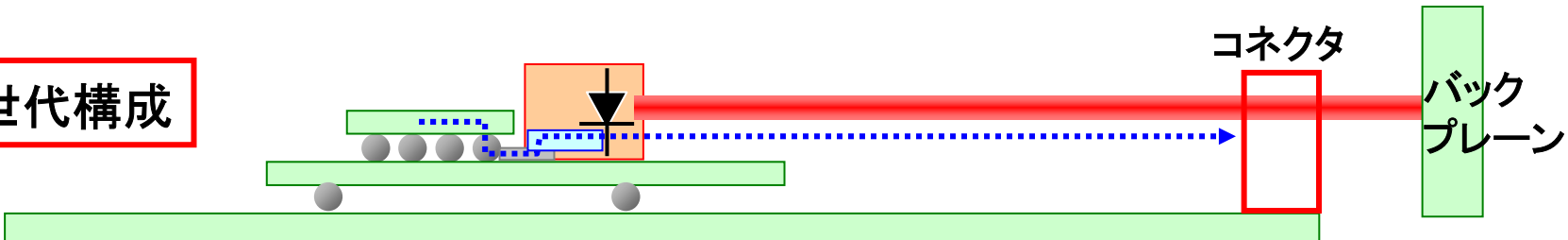


ボード内光インターコネクトのイメージ

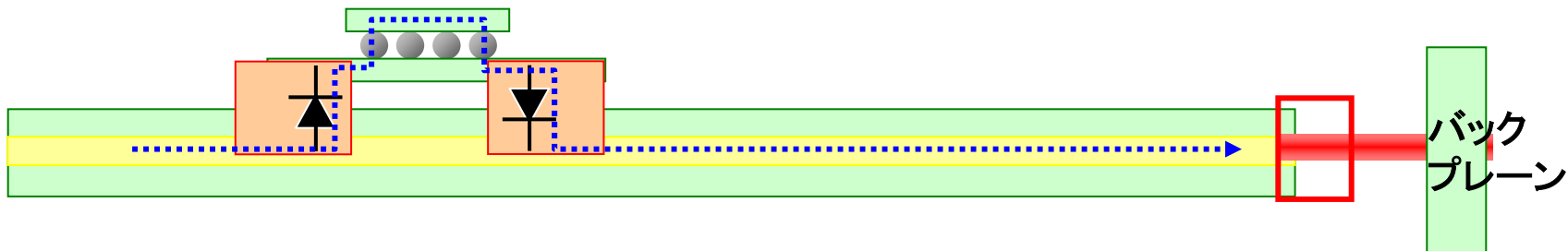
従来構成



次世代構成



次々世代構成



第5章

光送信器と光受信器の技術

1. 光送信器

1－1 送信器の基本構成

1－2. 送信器の動作原理

● 半導体レーザ

● 変調器(電界吸収型・電界効果型)

1－3. 各種変調方式

1－4. 送信器の実例

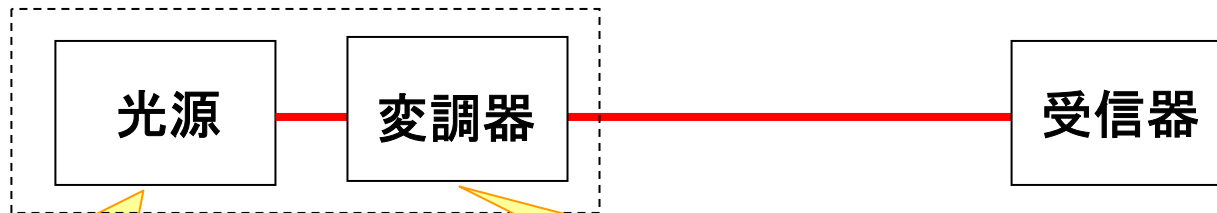
2. 光受信器

2－1 受信器の基本構成

2－2 受信器の実例

信号伝送における送信の役割

送信器

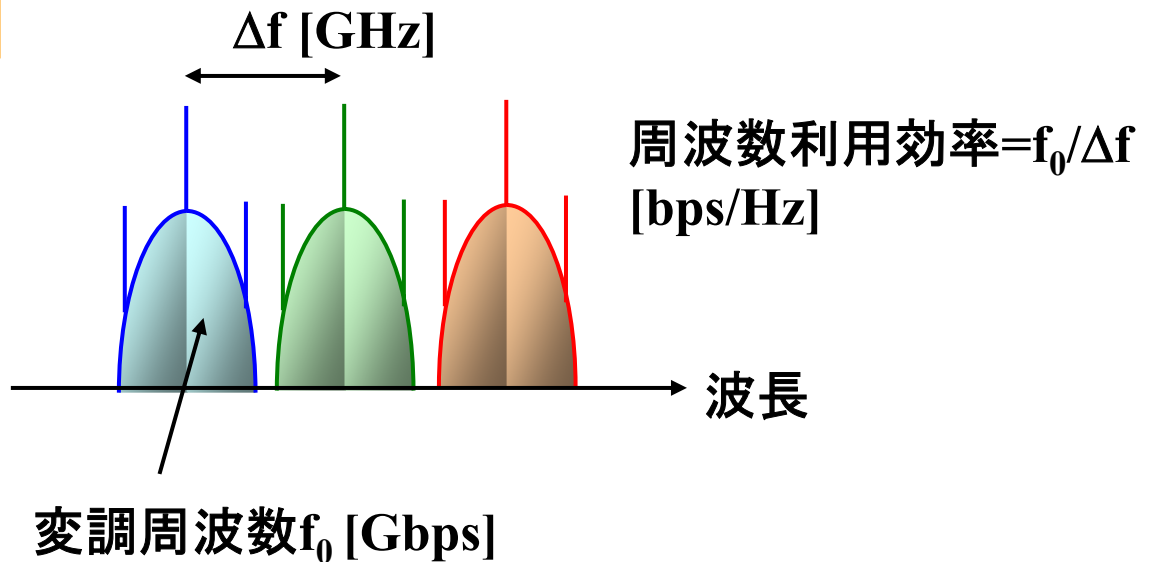


半導体レーザ(LD)

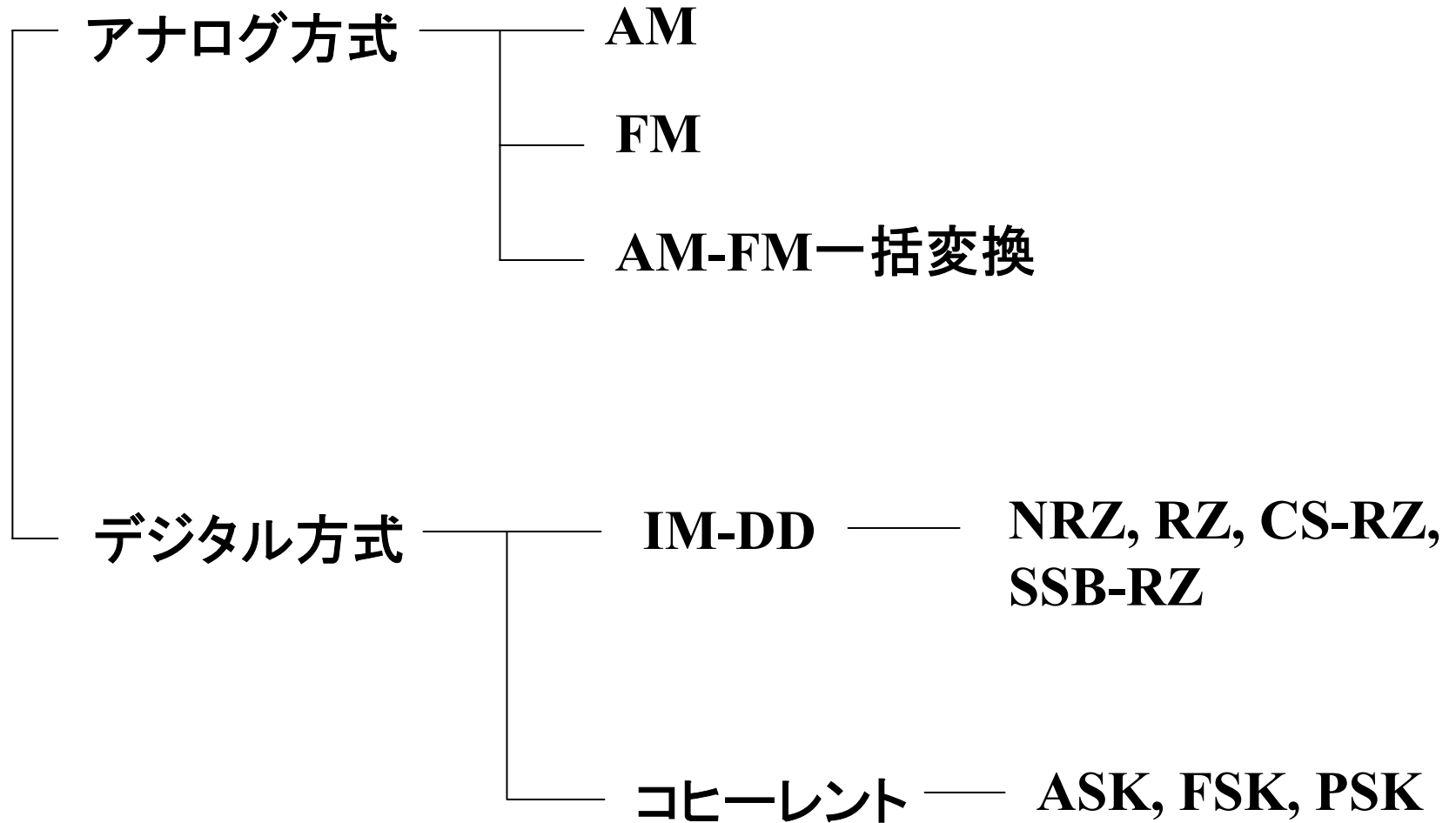
- ・必要なパワーを与える
- ・高周波数の搬送波 (約190THz)

変調器

- ・符号化により情報伝達

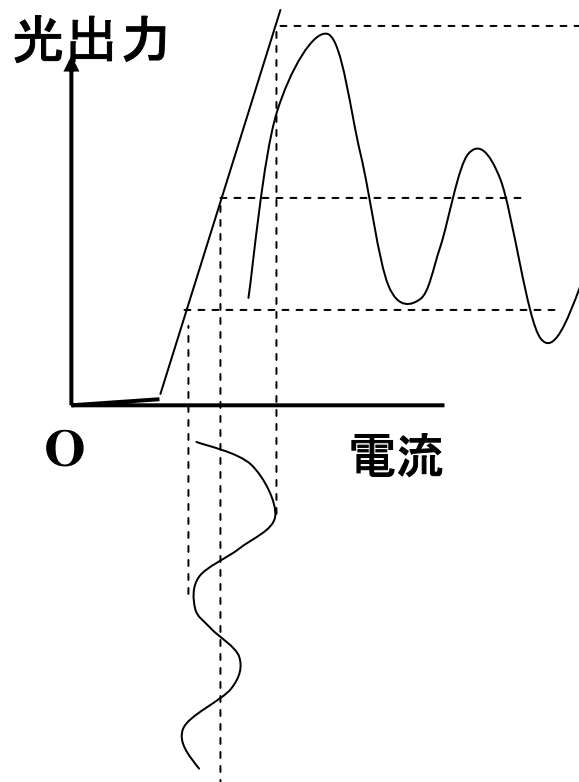


アナログ方式とデジタル方式

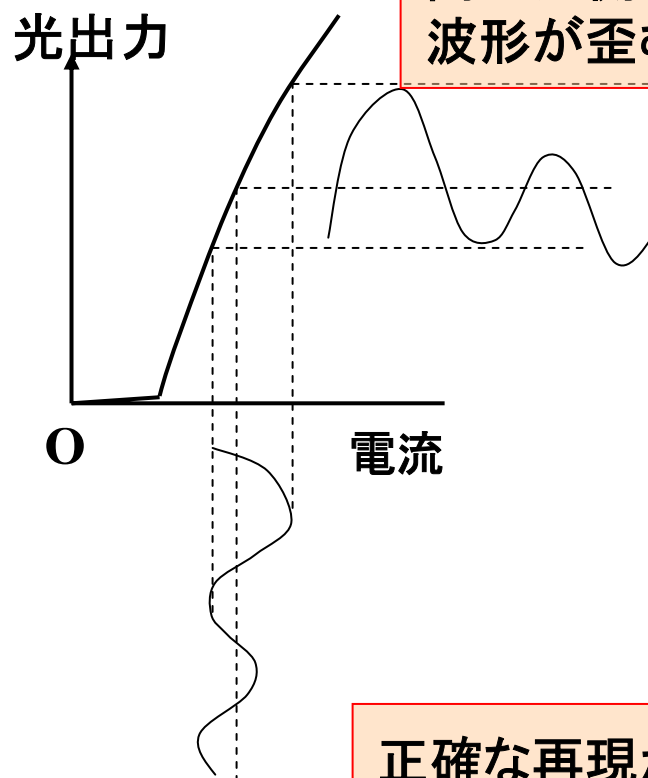
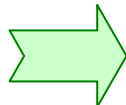


デジタル方式の利点

アナログ方式

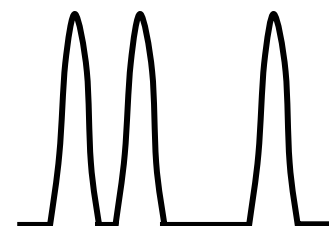
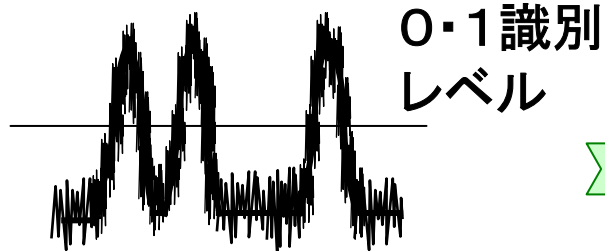


線形性の
劣化

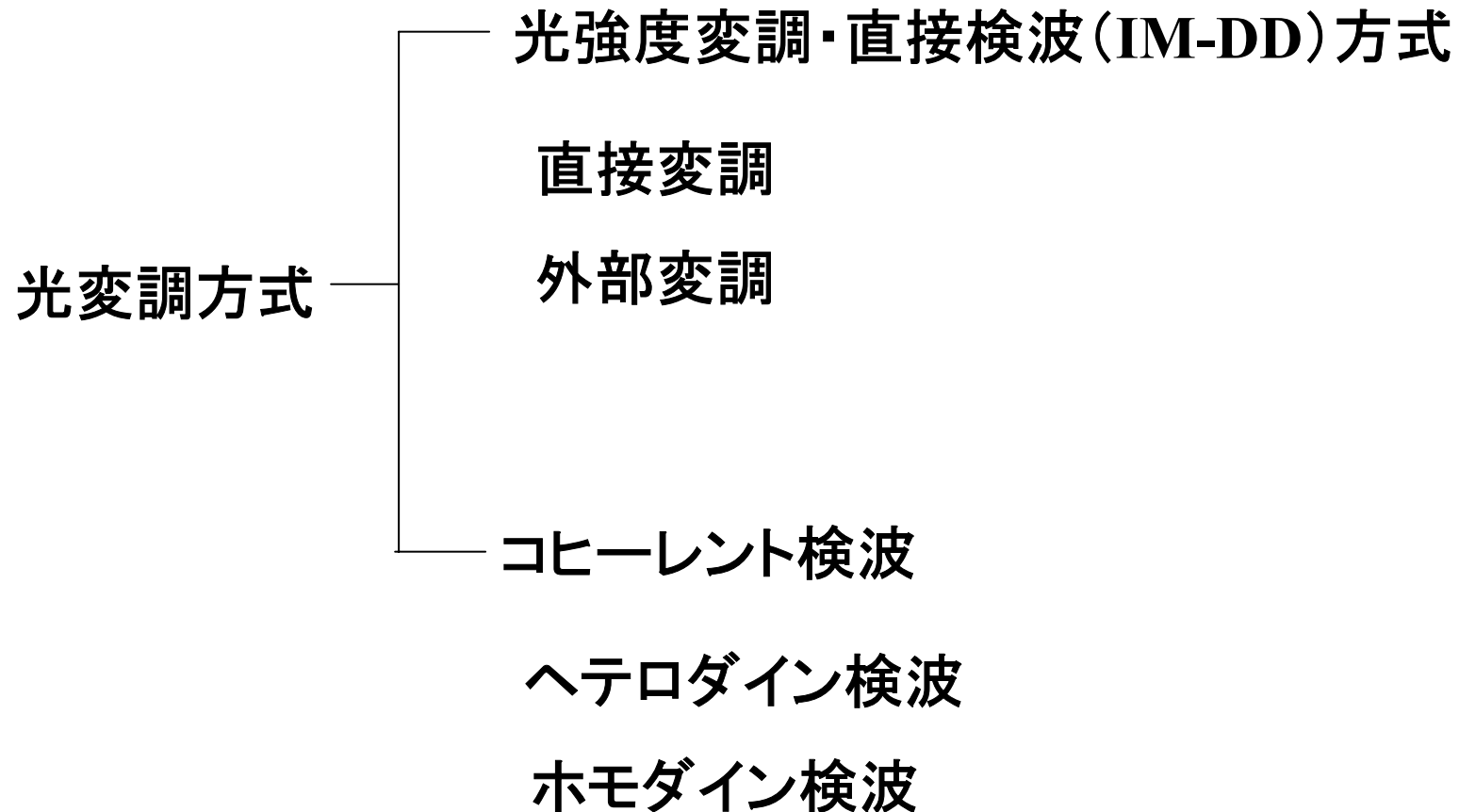


高出力側の
波形が歪む

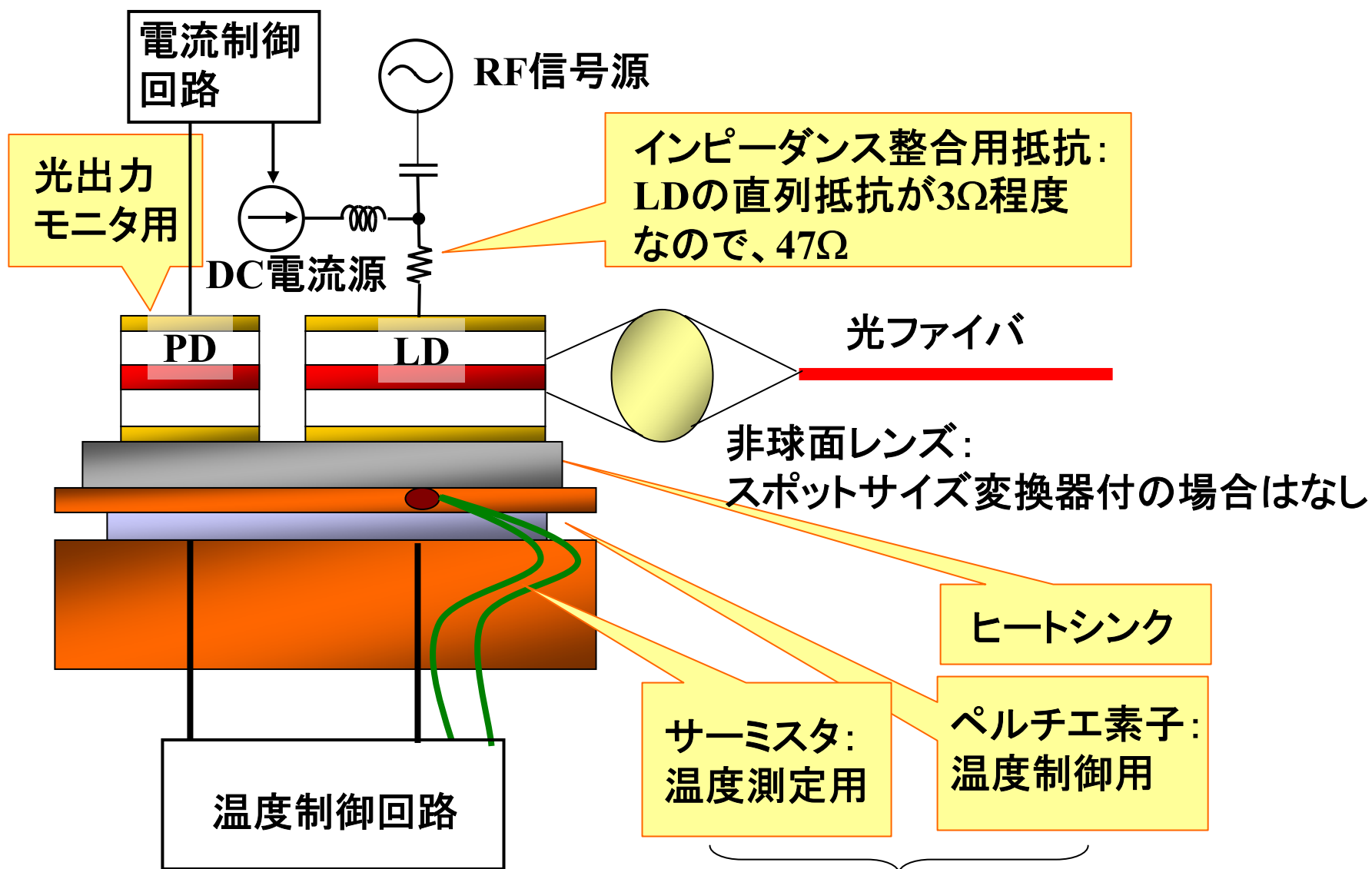
デジタル方式



正確な再現が可能

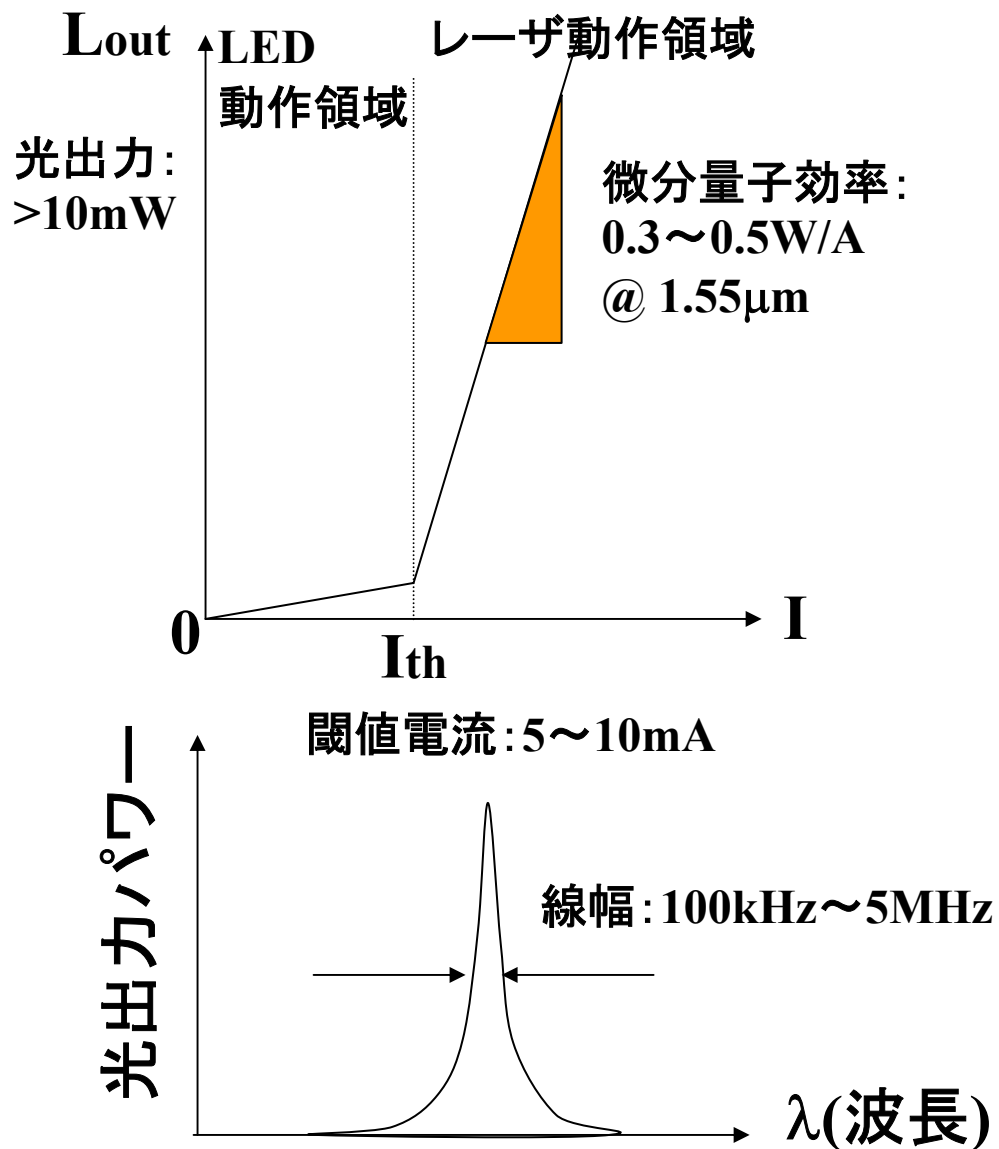
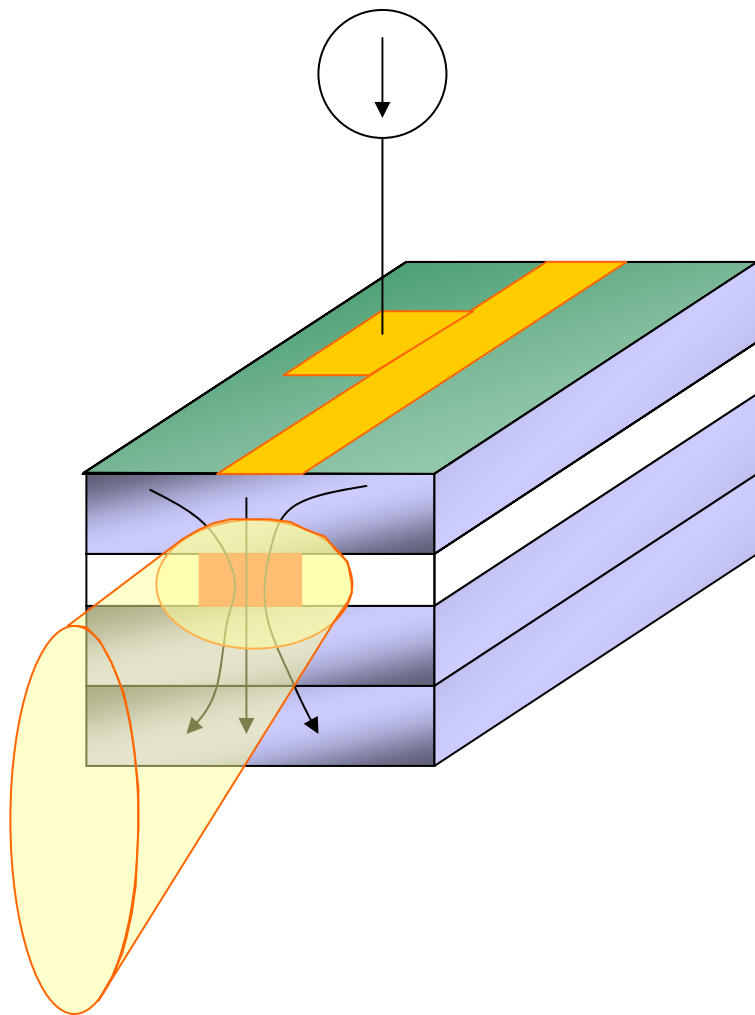


光強度変調方式(1) 直接変調方式の構成

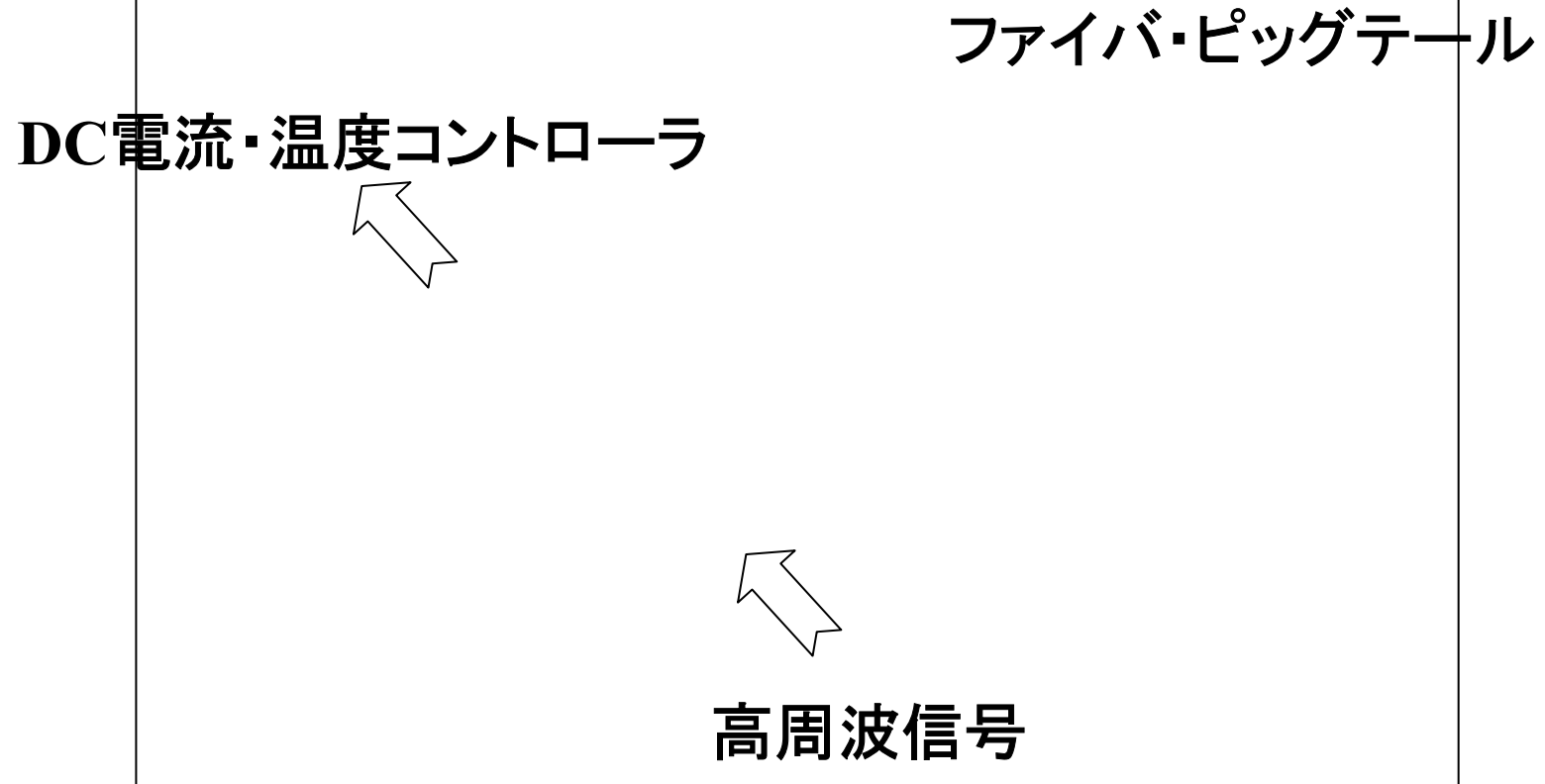


光アクセス(FTTH)用光源にはなし

半導体レーザの基本特性



半導体レーザの製品写真



半導体レーザの動作原理

