

第2章(続き)

各種 光通信システム(4)

2011年11月14日(月)

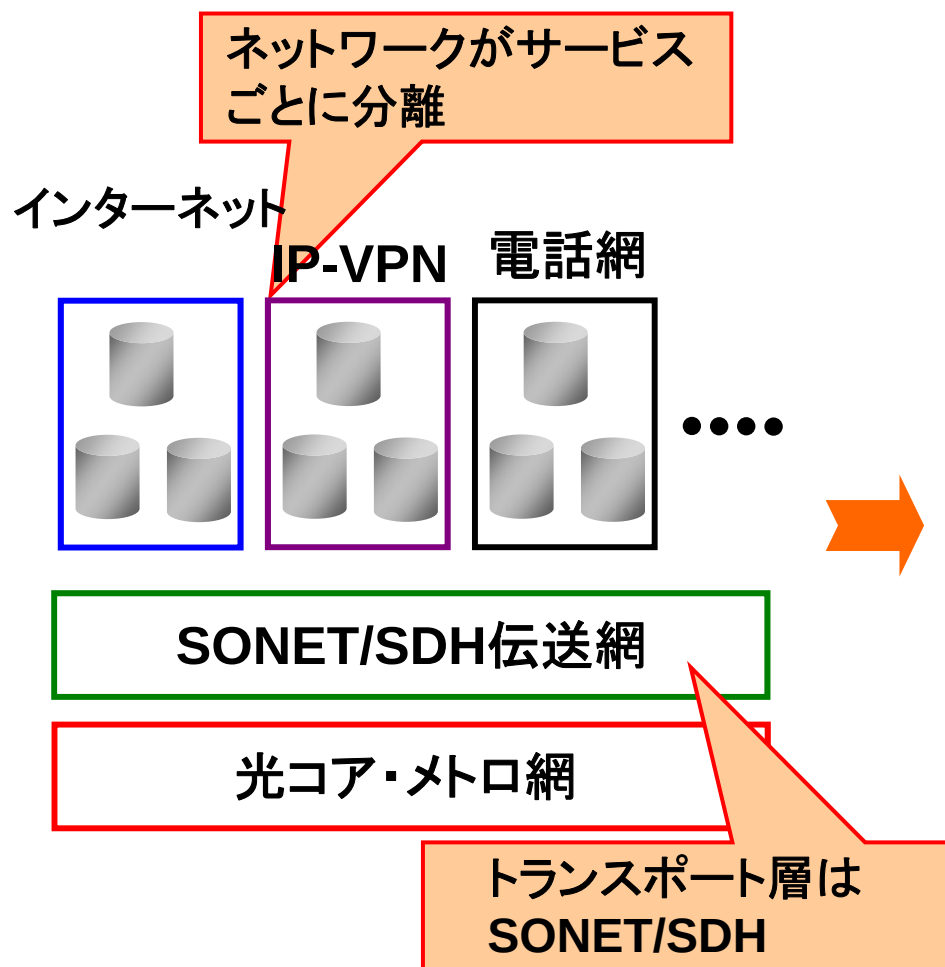
NGN **(Next generation Network)**

NGN : Next Generation Network

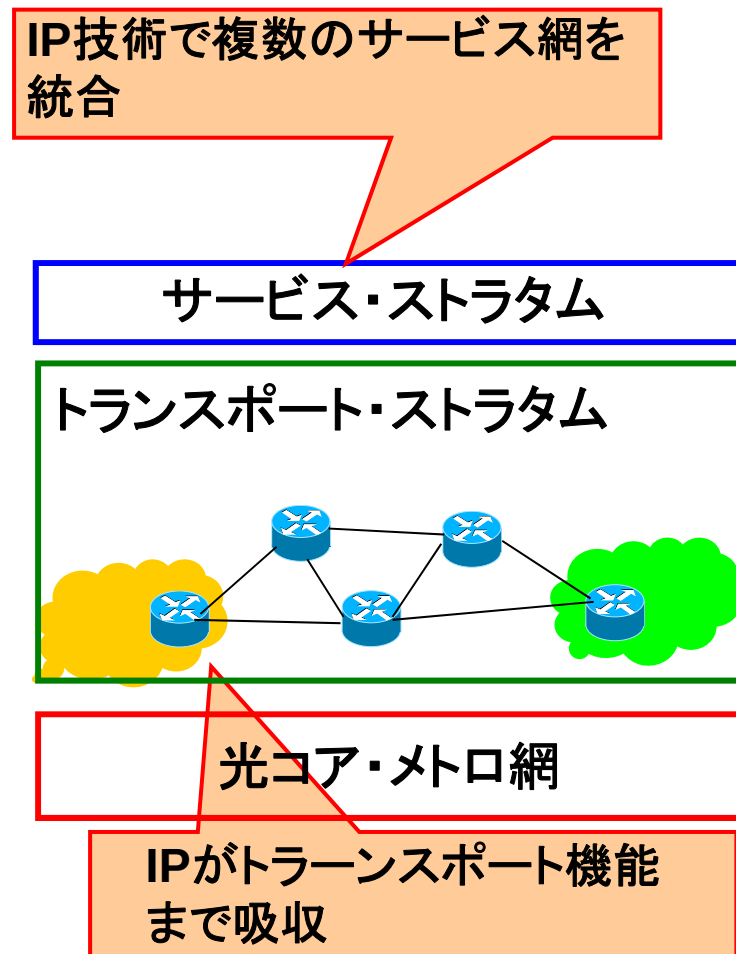
- All-IP
- アクセス手段を問わない
(光、電話線、同軸、無線LAN、携帯、PHS、電力線)
- 高信頼性
- 帯域制御

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

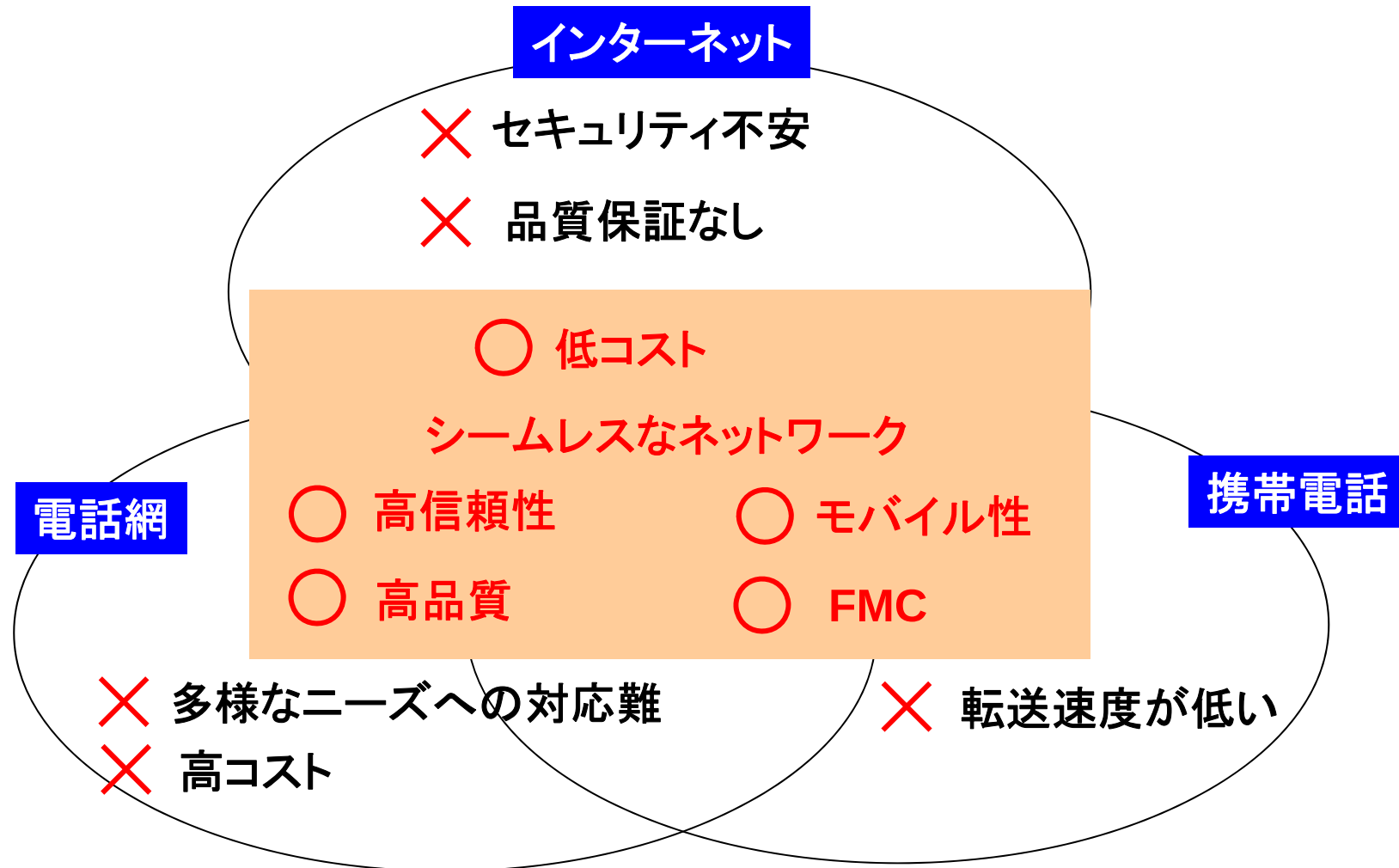
固定通信市場の縮小

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



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

ROADM

災害発生

東日本のデータ・センター

本社のデータ・センター

企業ネット

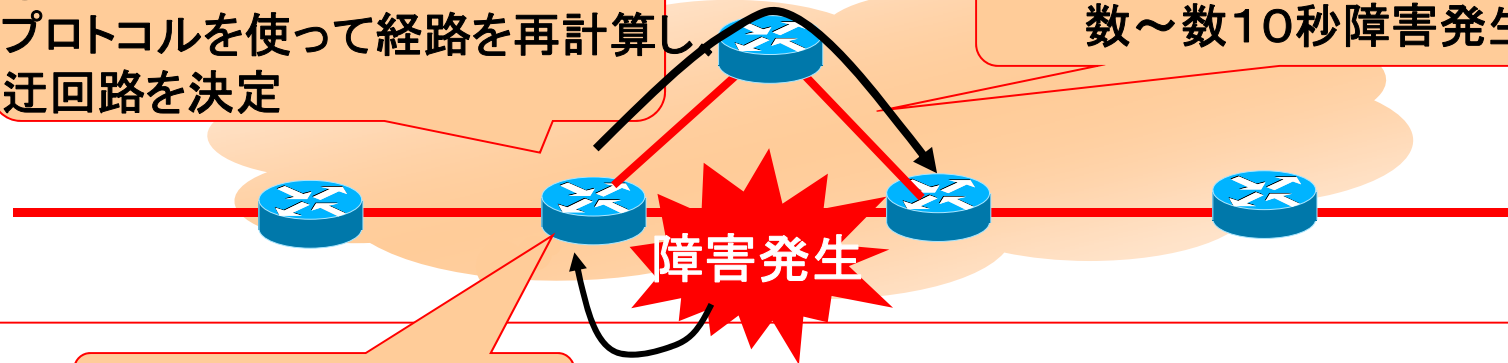
DB同期更新

ファスト・リルートとの動作

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

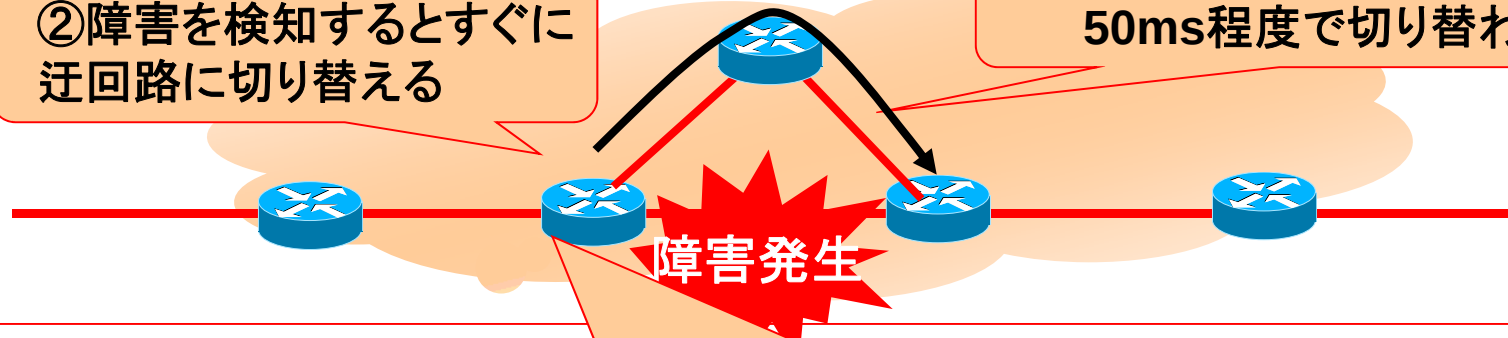


①ルータが障害検知

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

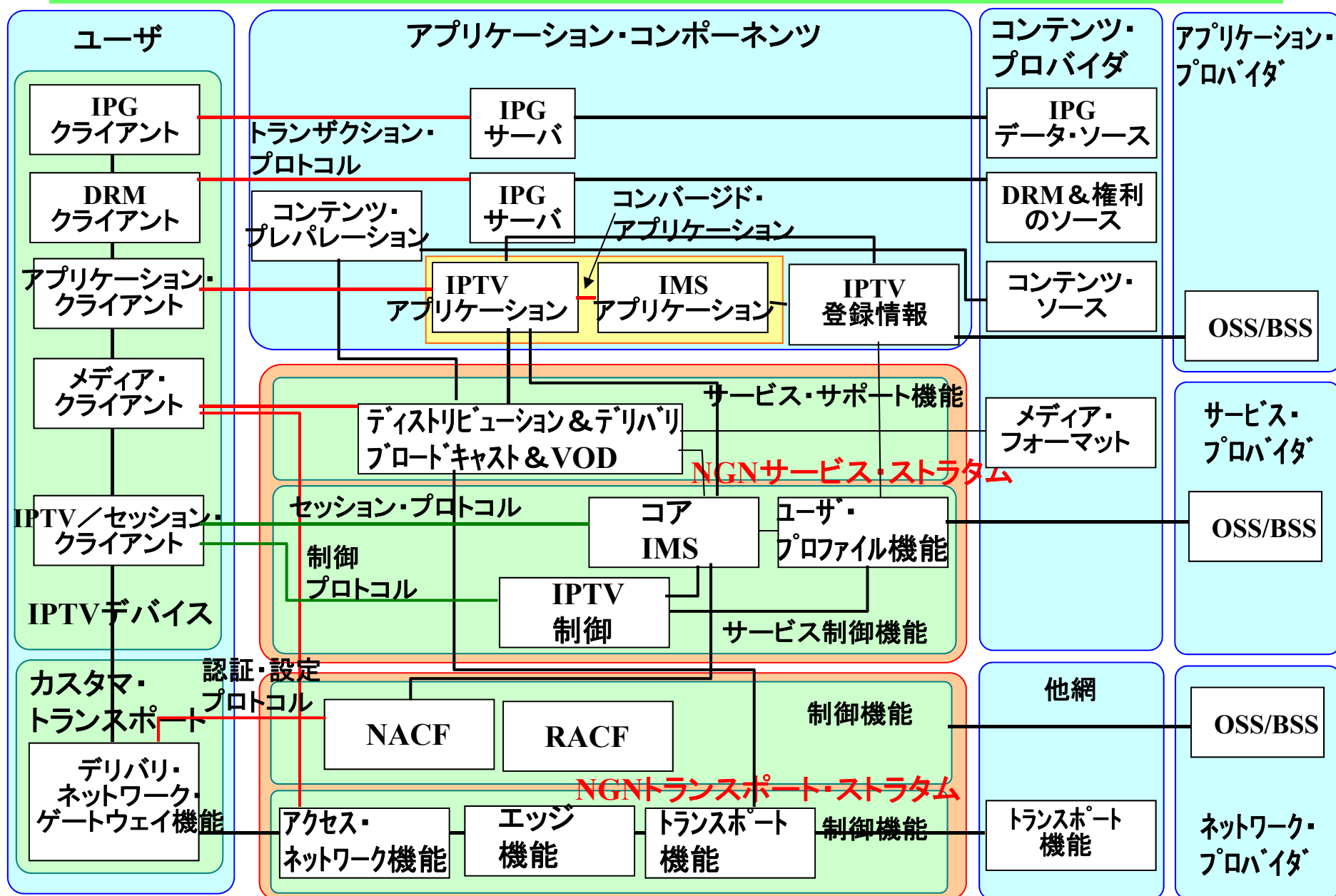
③再計算なしで迂回するので50ms程度で切り替わる



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

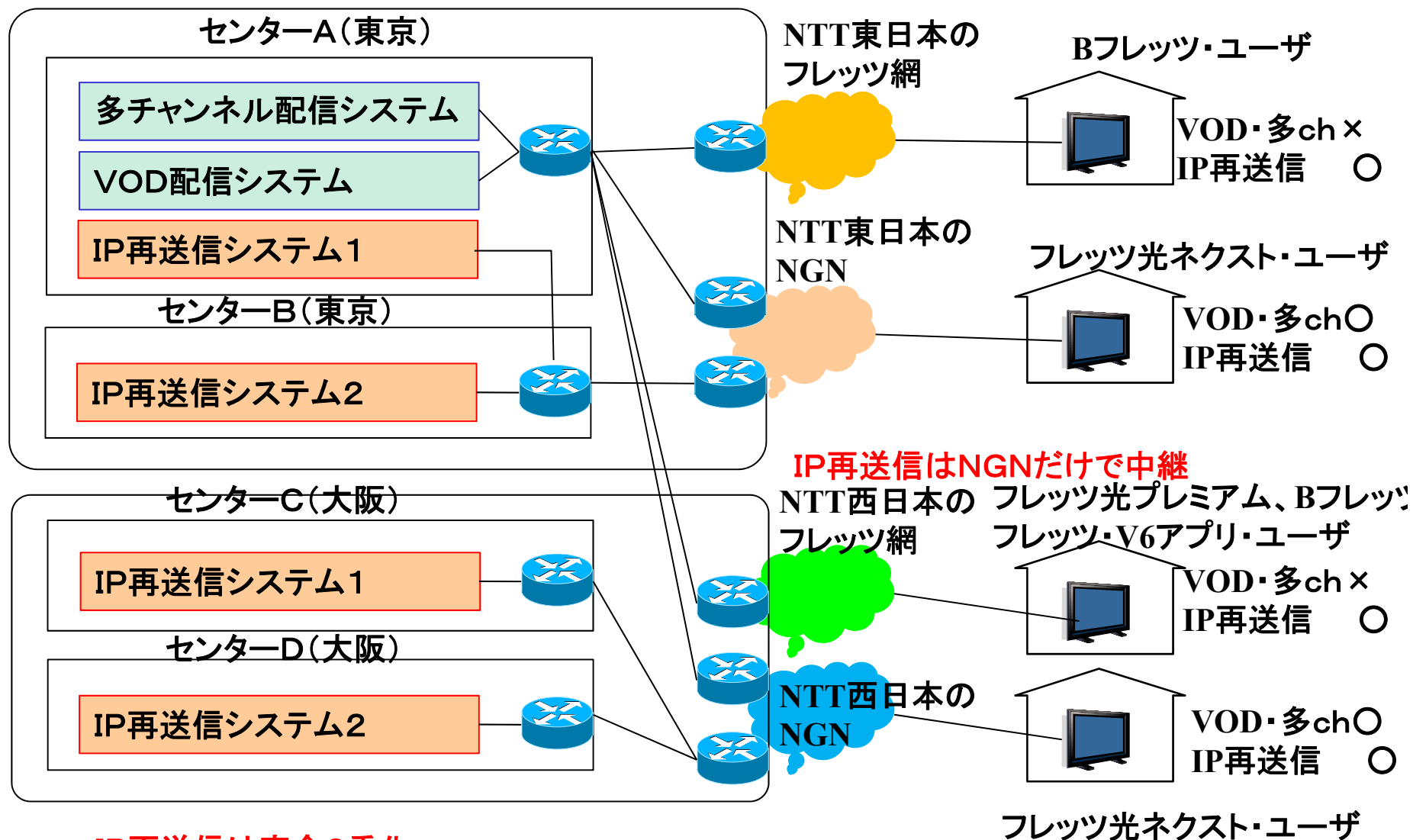
2011年度
光通信システム

NGNをベースにしたIPTVシステム構成



映像配信のインフラとネットワークの関係

日経コミュニケーション 2008年8月15日号『地上デジタル放送のIP再送信』p.40 図2

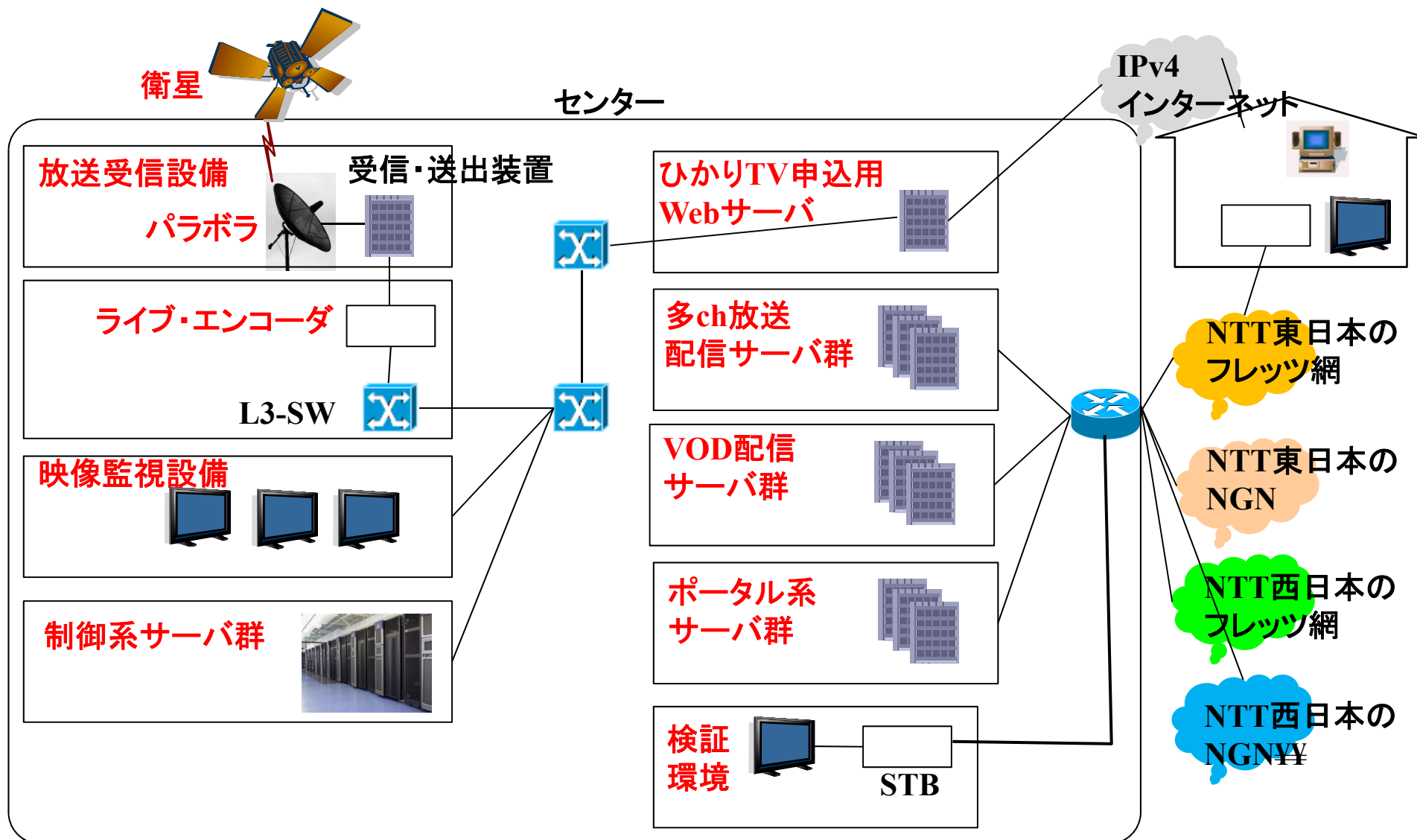


IP再送信は完全2重化

IP再送信は各放送エリアごとに設置

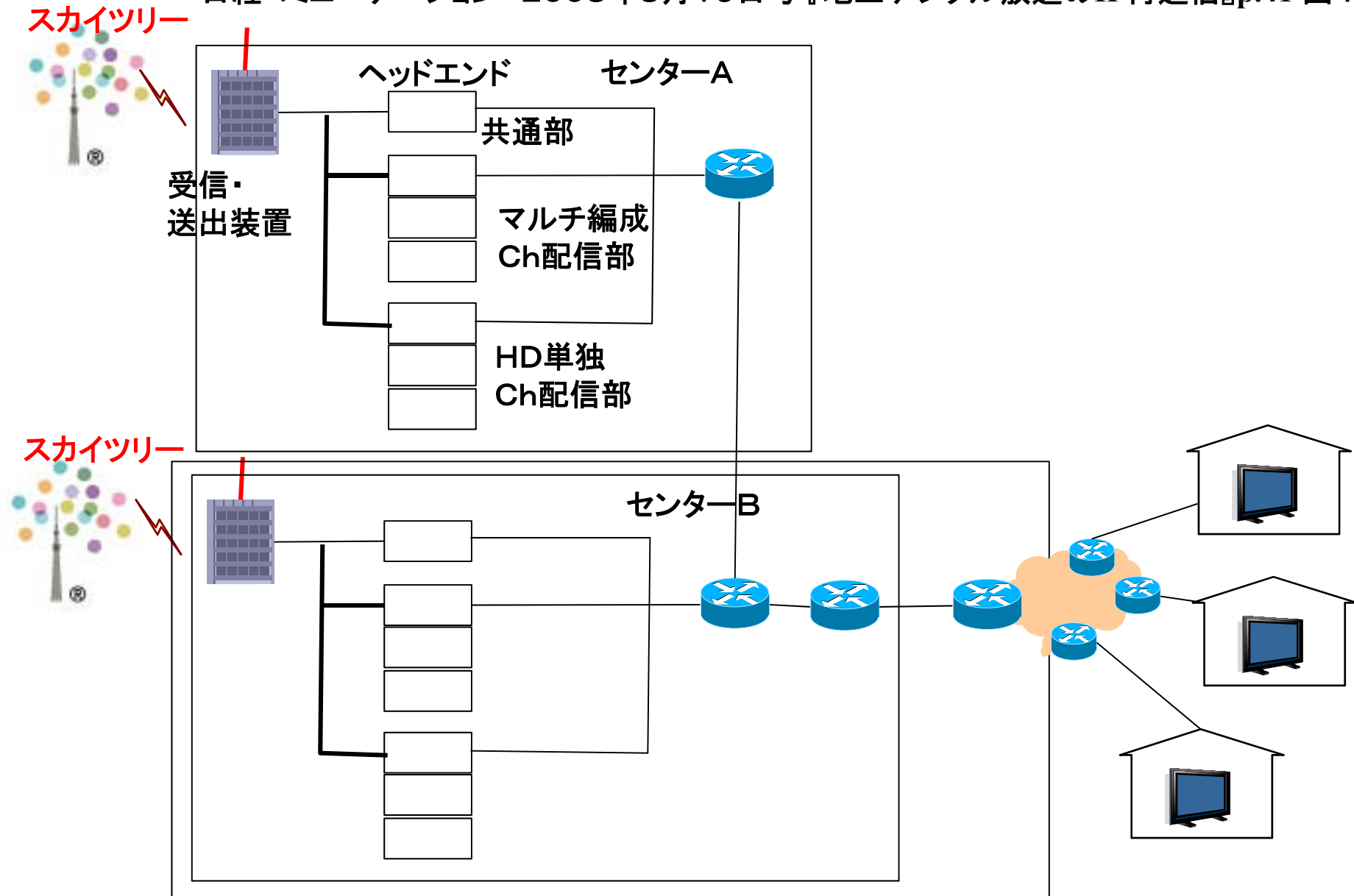
VOD・多チャネル放送の配信用設備

日経コミュニケーション 2008年8月15日号『地上デジタル放送のIP再送信』p.41 図3

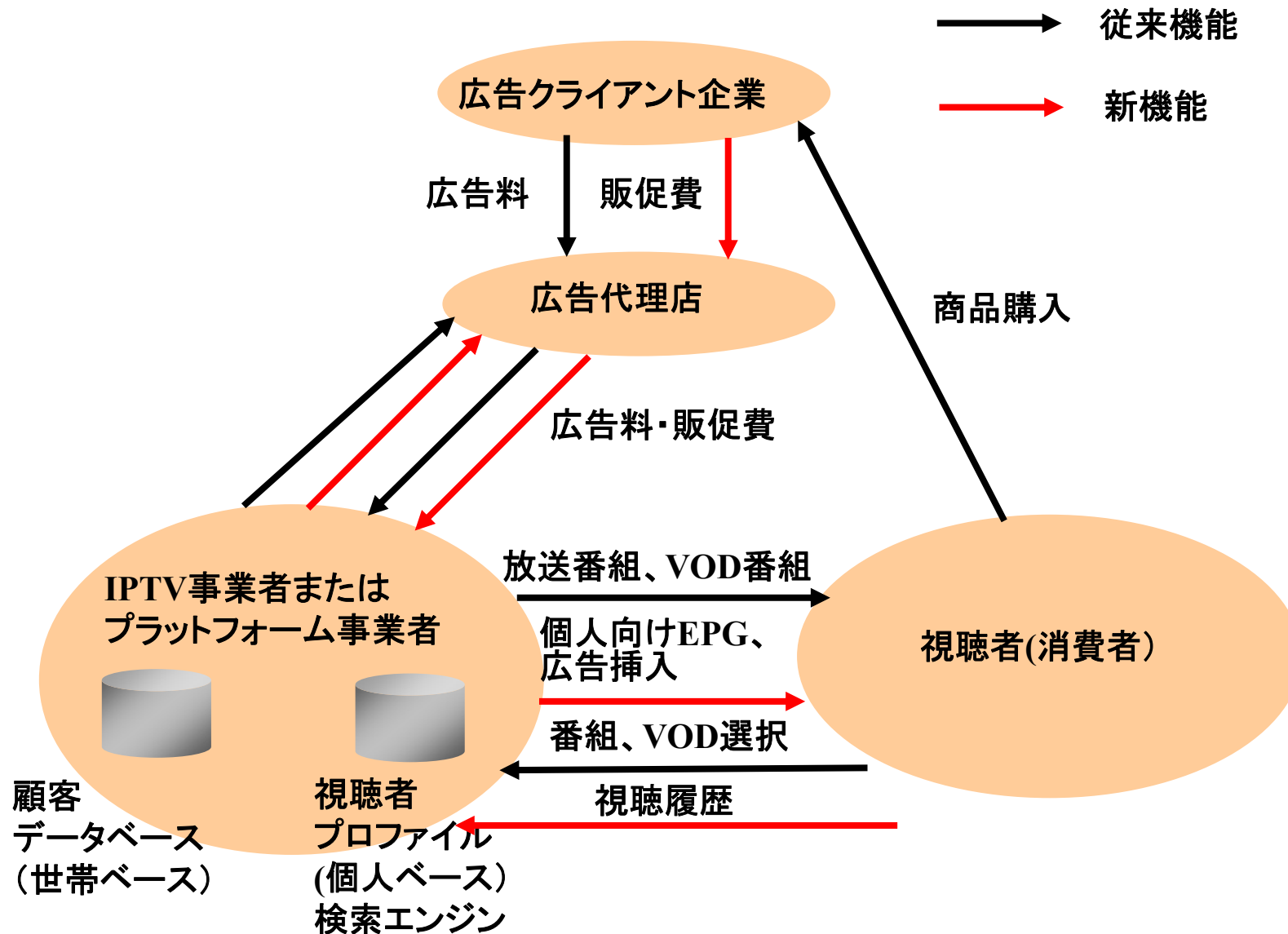


IP再送信の設備

日経コミュニケーション 2008年8月15日号『地上デジタル放送のIP再送信』p.41 図4

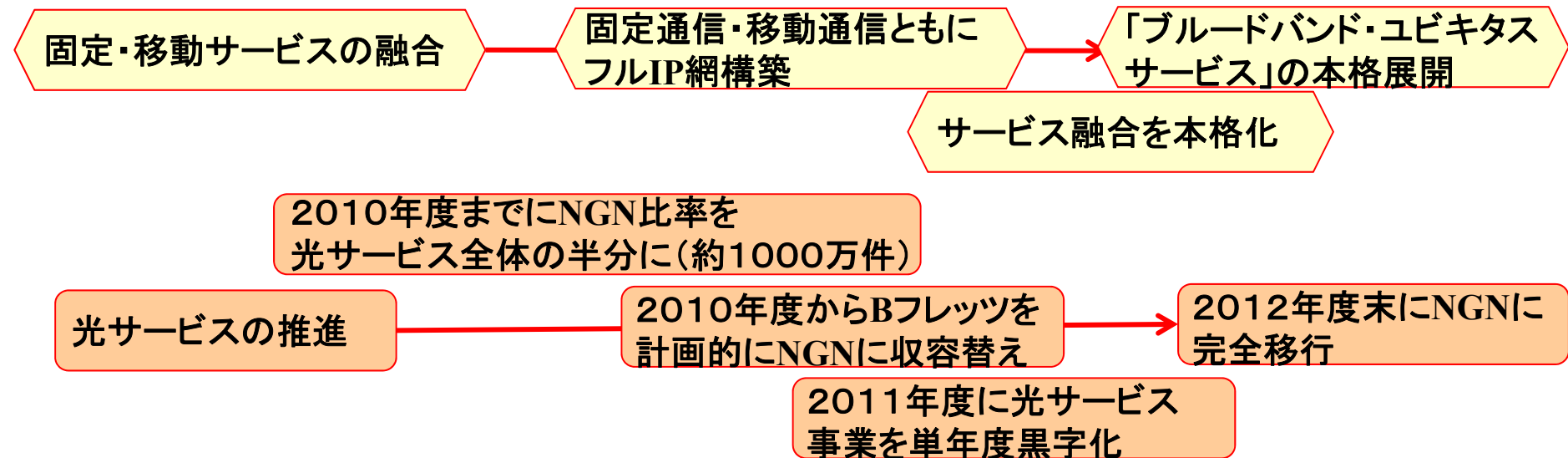


IPTVの新しいビジネスモデル



NTT中期経営戦略(2008年5月)

日経コミュニケーション 2008年6月1日号 Reportより



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 (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		

2011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

2011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	100Mbps 4ビット・パラレル 0 1 1 0 4B5B符号化	1000Mbps 8ビット・パラレル 0 0 0 0 0 1 0 1 8B10B符号化	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	10ビット・シリアル 1 0 1 0 0 1 1 0 1 1	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: × 100% / 2年の増加
(× 40~50%/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

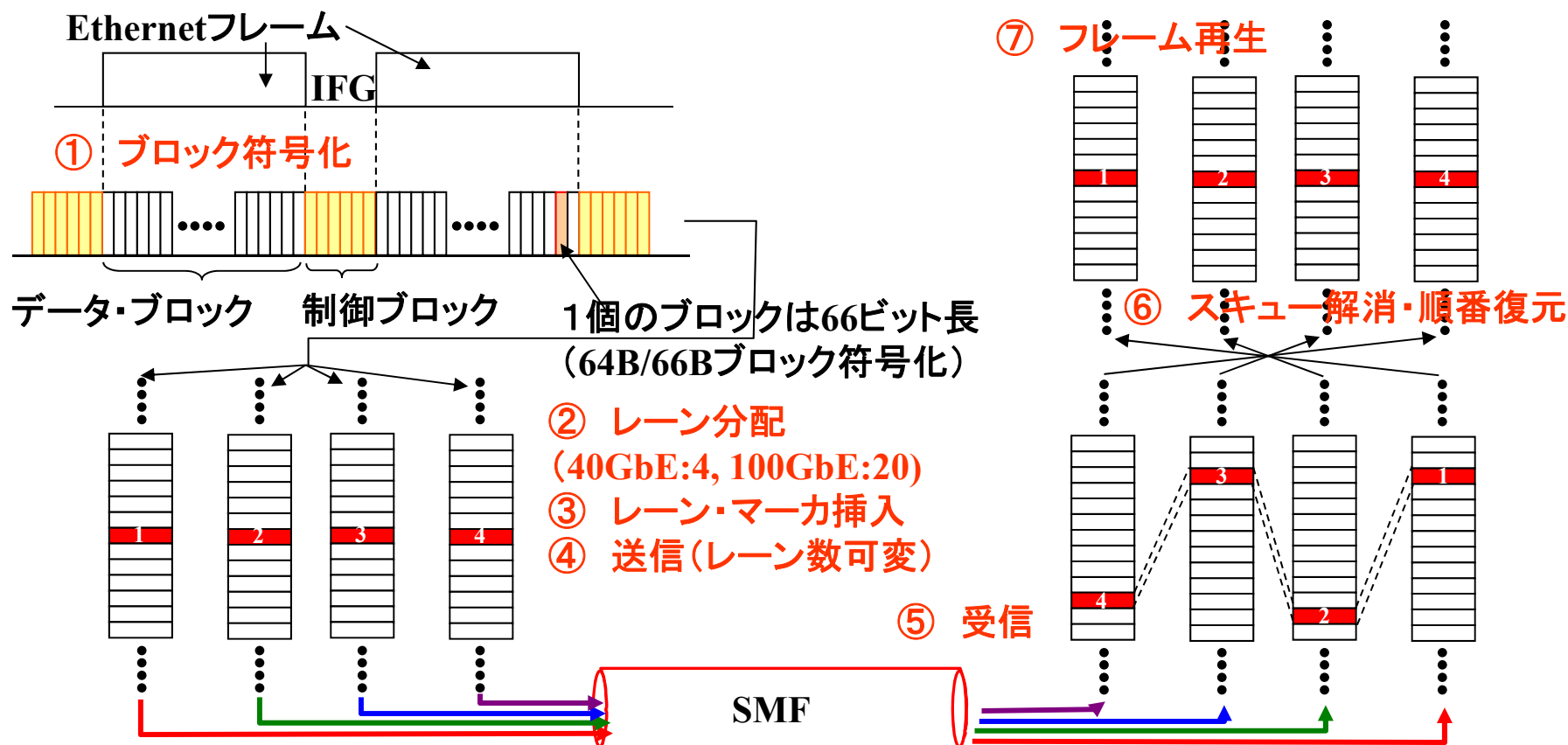
● IEEE802.3baにて2010年6月標準化

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

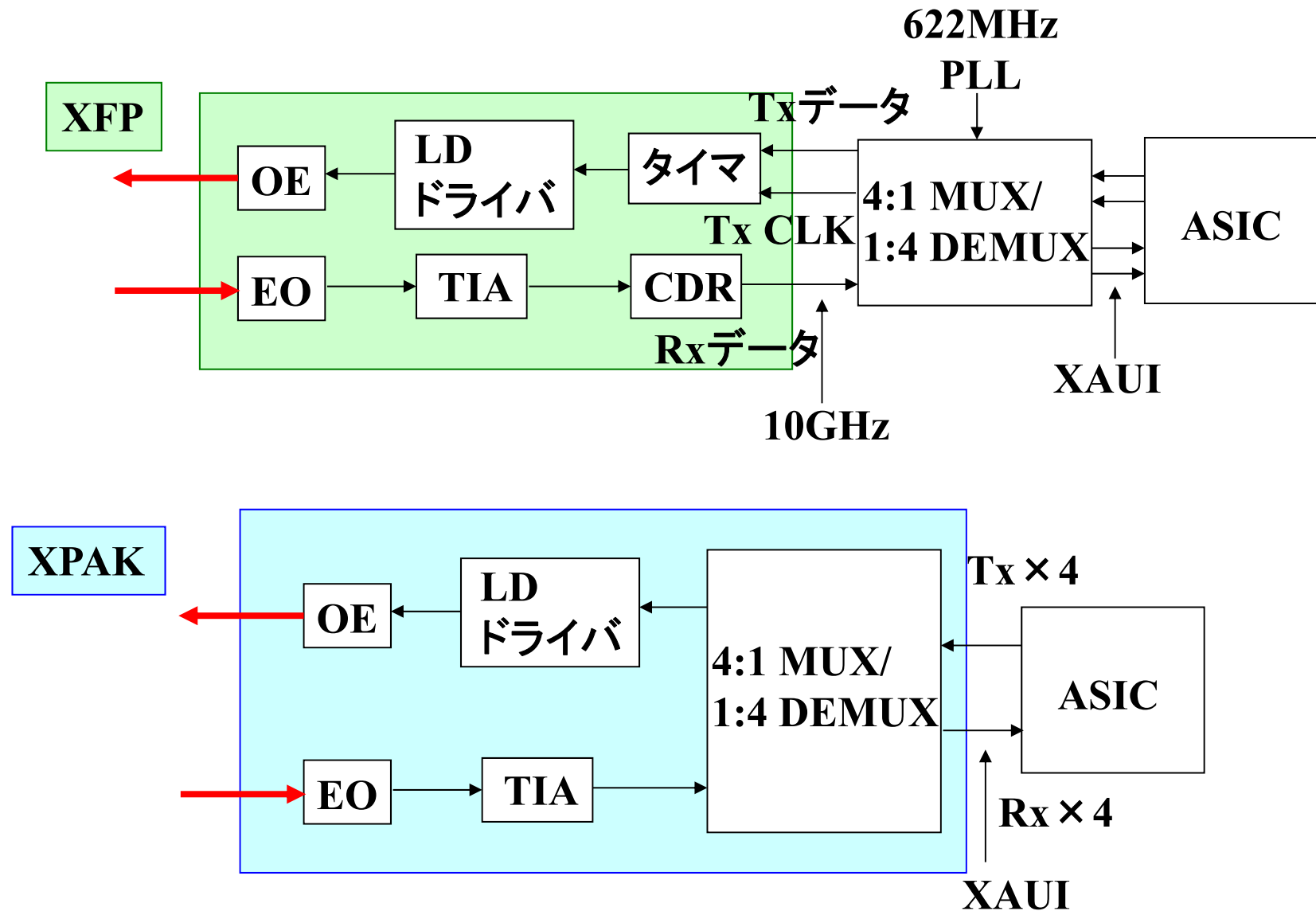


各種10GbE用トランシーバ・モジュールの比較

MSA: Multi-Source Agreement

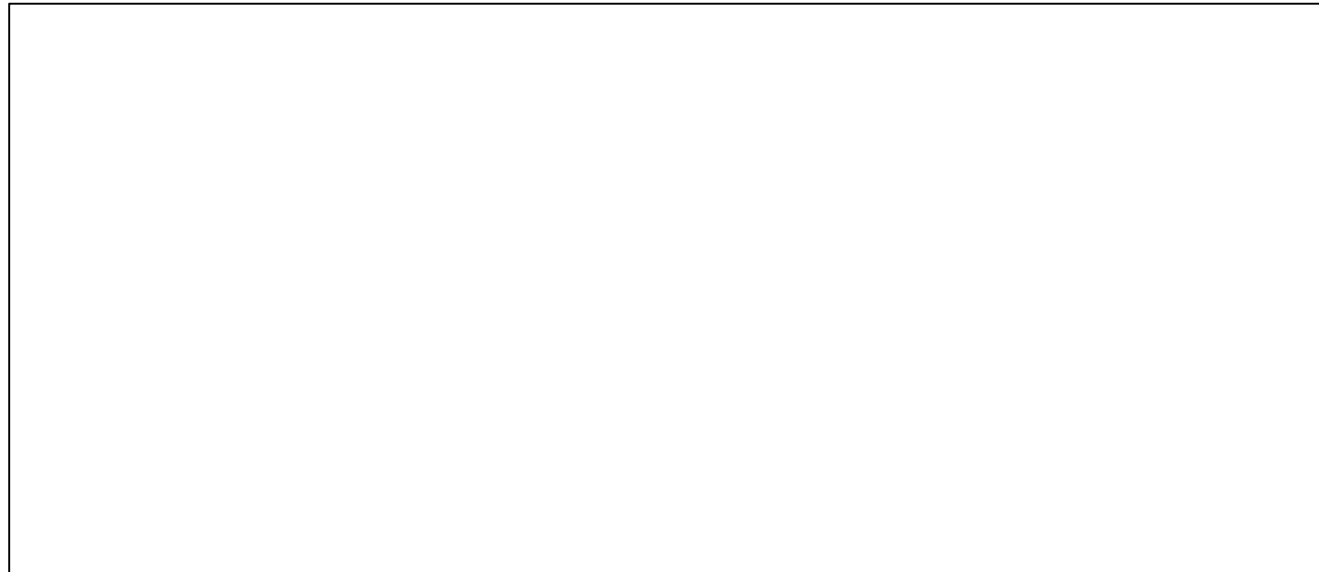
名称	参画する主な メーカー	サイズ	電気IF	用途
XENPAK	Agere, Agilent	$17.4 \times 36 \times 115.2\text{mm}^3$	XAUI	10GbEなど
XPAK	Infineon, Intel, Picolight	$13.4 \times 39.5 \times 83.8\text{mm}^3$	XAUI, SIF-4	10GbE, OC-192
XFP	Finisar, JDS, Innovation Core SEI, E2O Comm.	$10.2 \times 17.8 \times 58.4\text{mm}^3$	XFI	10GbE,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



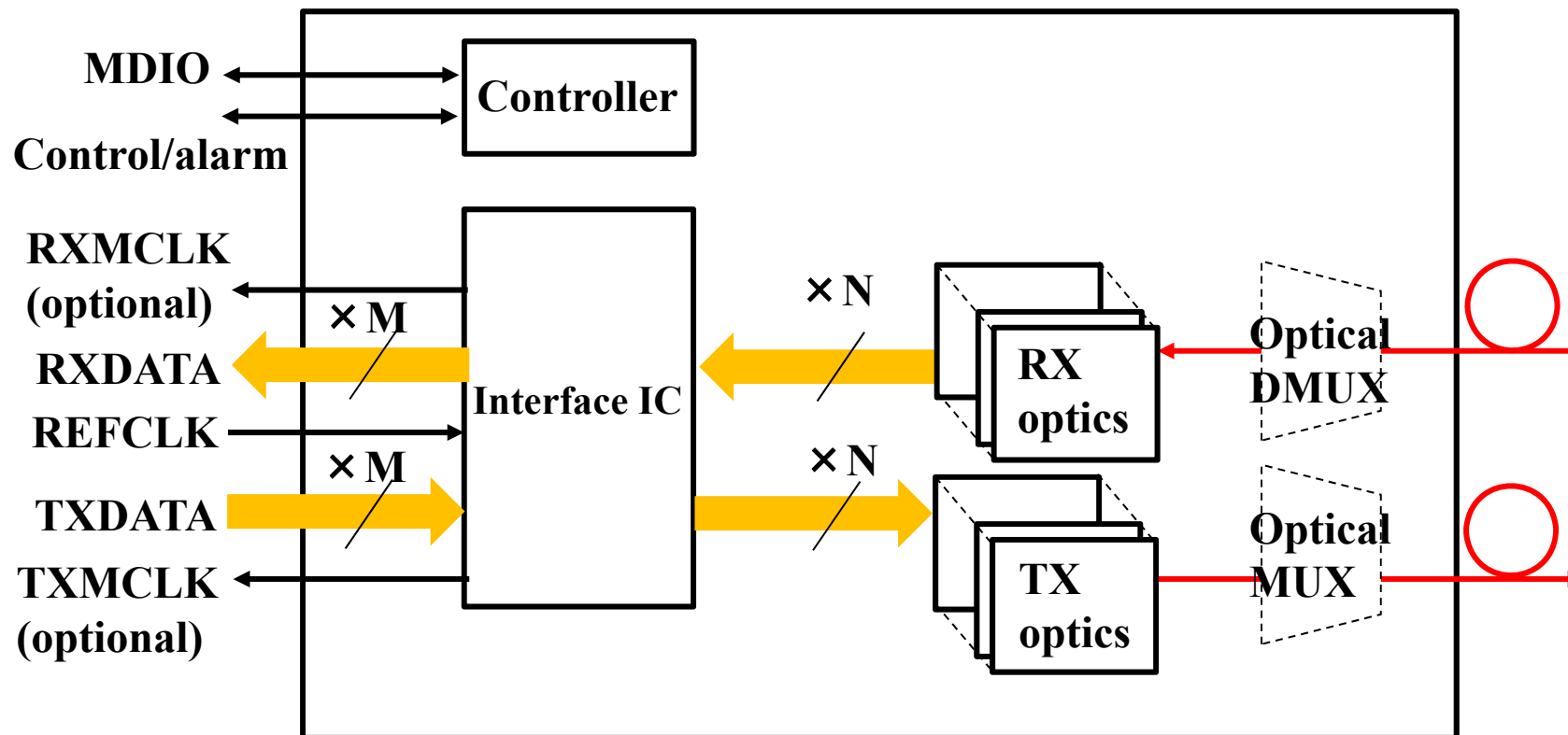
100GBASE-LR4対応CFP

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

2011年度
光通信システム

サーバ／ネットワーク装置のインタフェース速度の向上

柳町, 光協会2007年度NGN懇談会第5回講演会資料より



- 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。

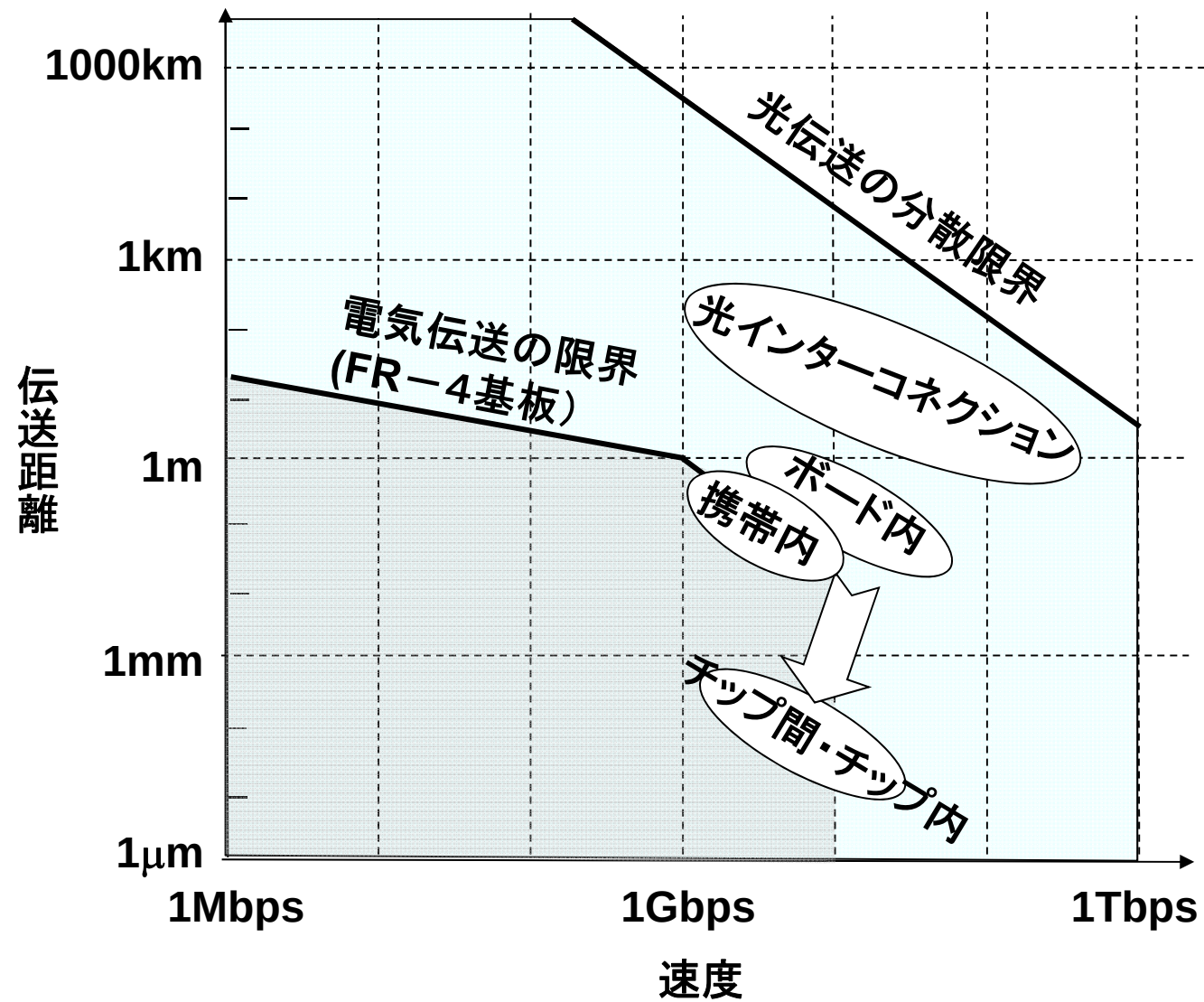
(例) スーパーコンピュータの1 IF >20Gbps ➡ 数cm

- 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



伝送速度 対 伝送距離



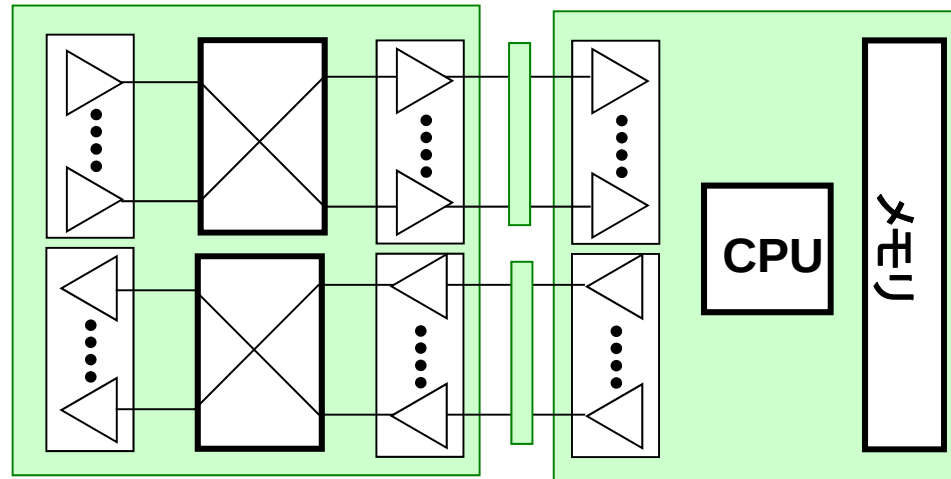
光I/Oと電気I/Oの消費電力比較

柳町, 光協会2007年度NGN懇談会第5回講演会資料より

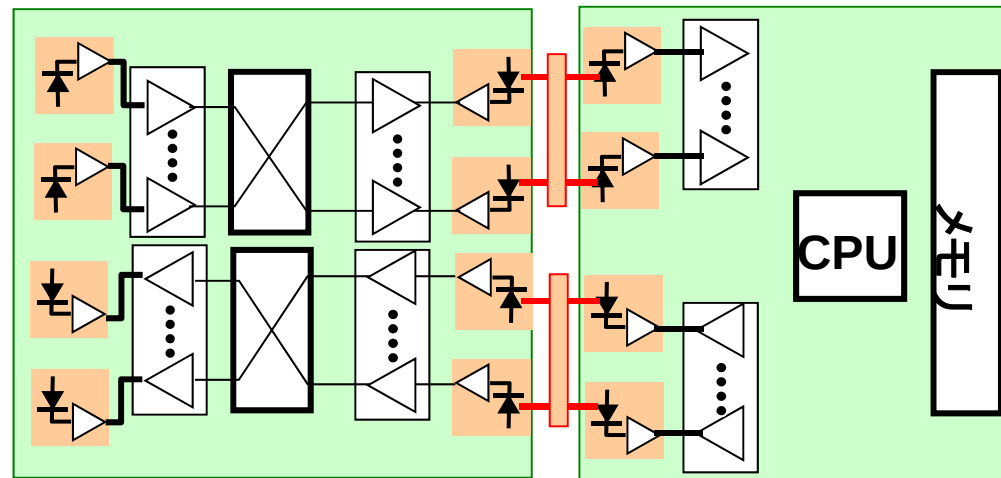


I/O部での消費電力低減

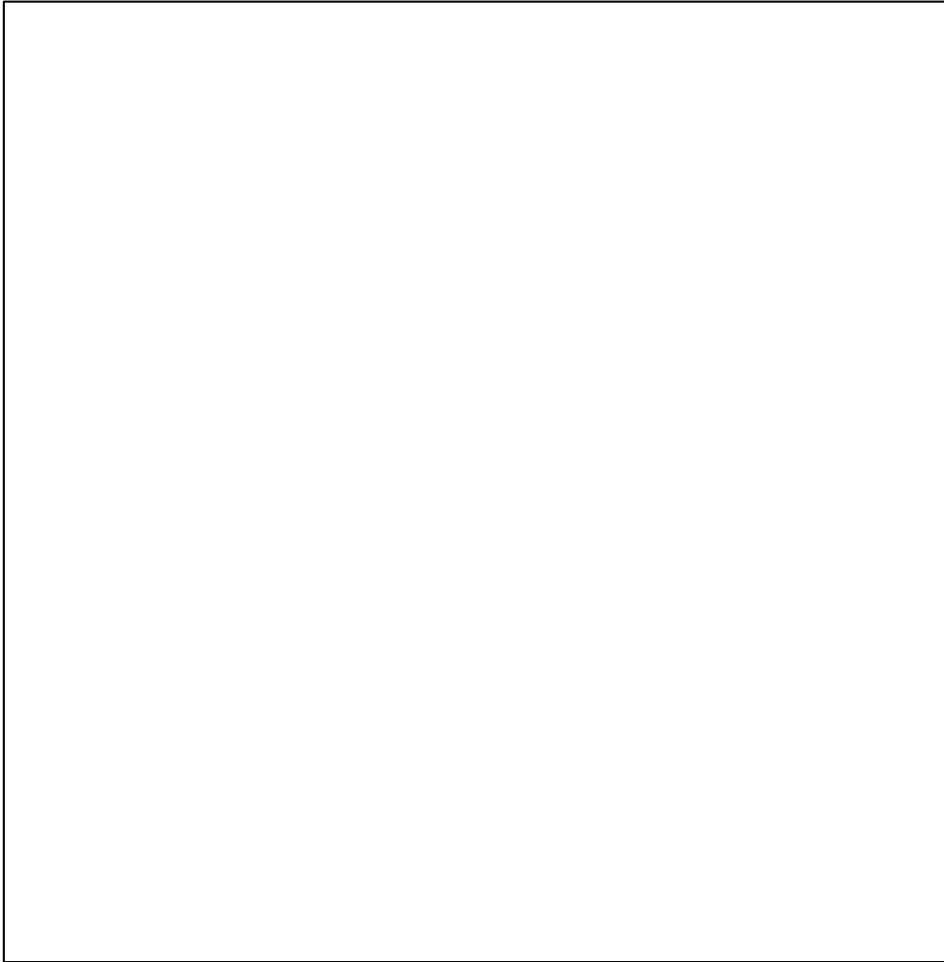
電気インターコネクト



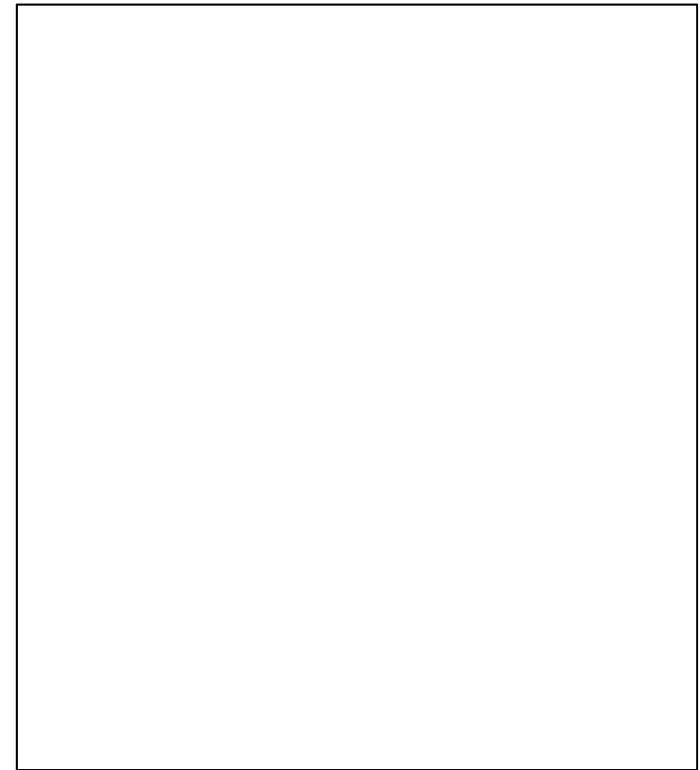
光インターコネクト



NEC

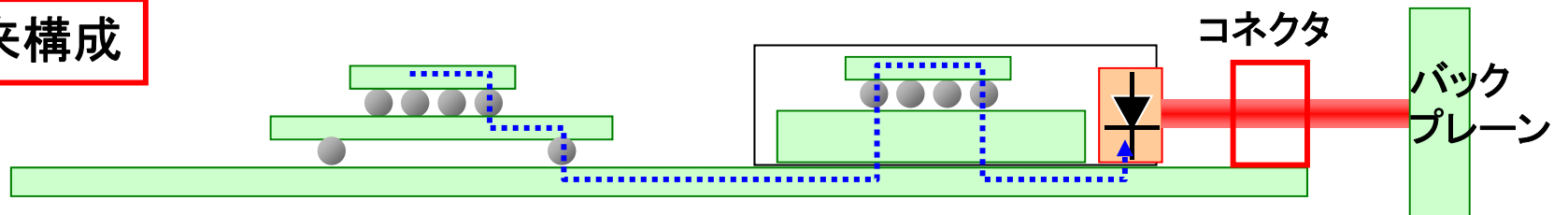


40Gbps (10Gbps × 4ch) が
14mm × 14mm で実現
(XFPの6分の1のフットプリント)

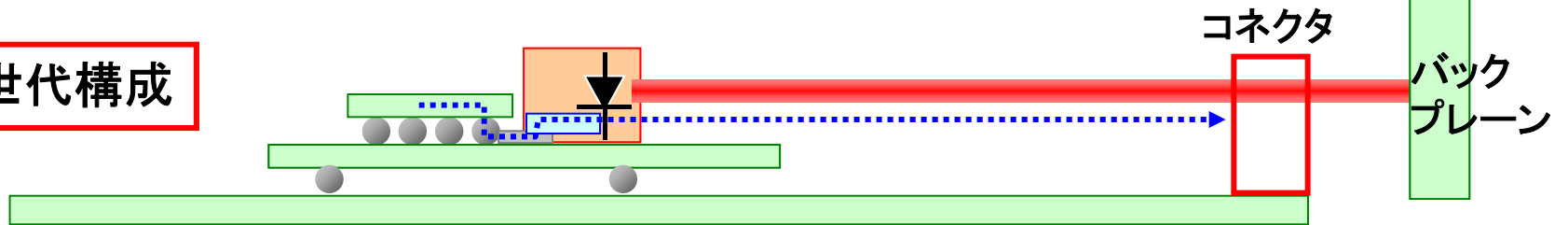


ボード内光インターコネクトのイメージ

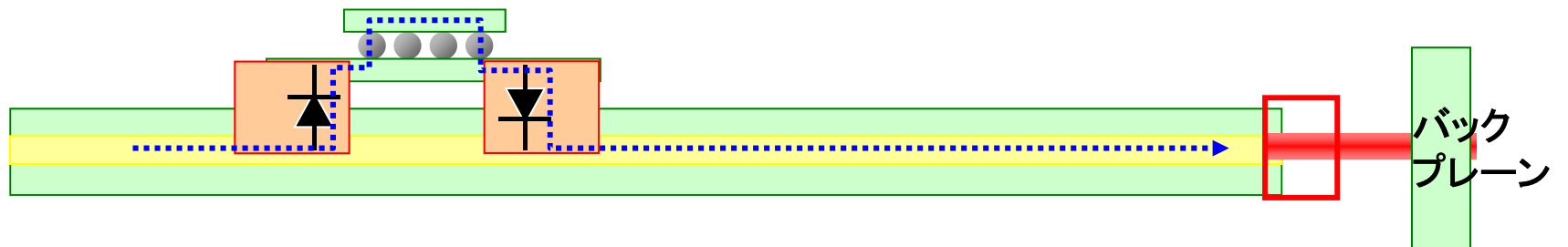
従来構成



次世代構成



次々世代構成



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)

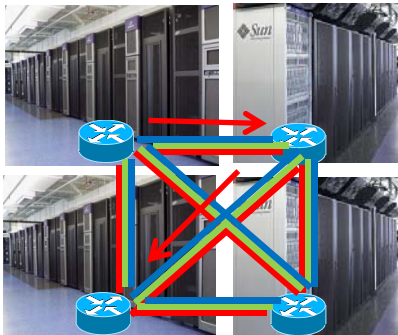
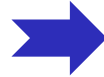
➡ Growth of bandwidth within PCs required

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 multiplexing 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



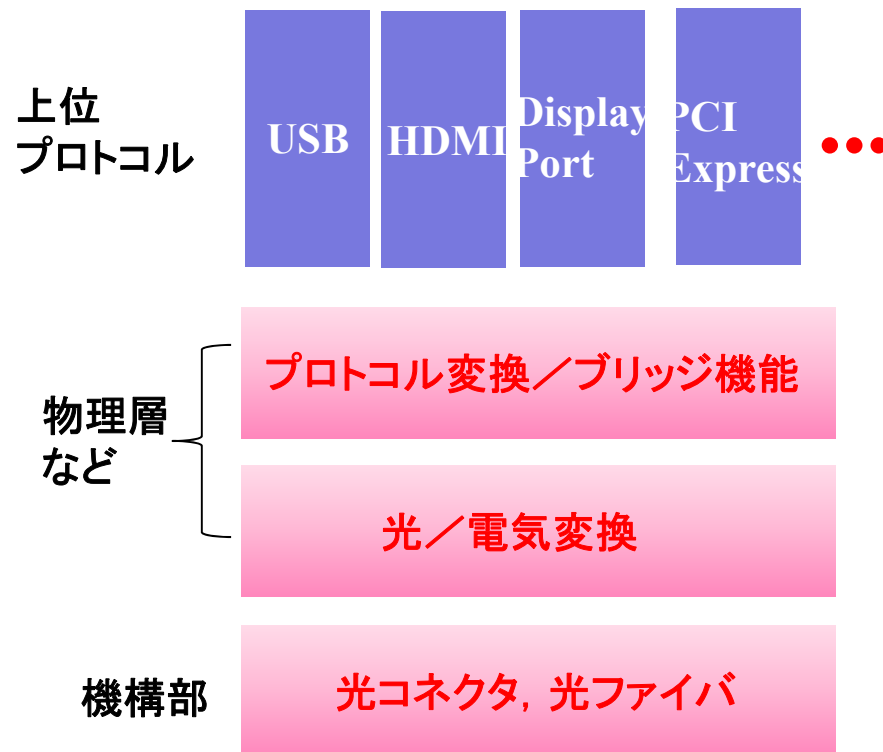
- TSUBAME2.0はすでにボード間は光インターコネクション
(Luxtera社のOETランシーバ使用)



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

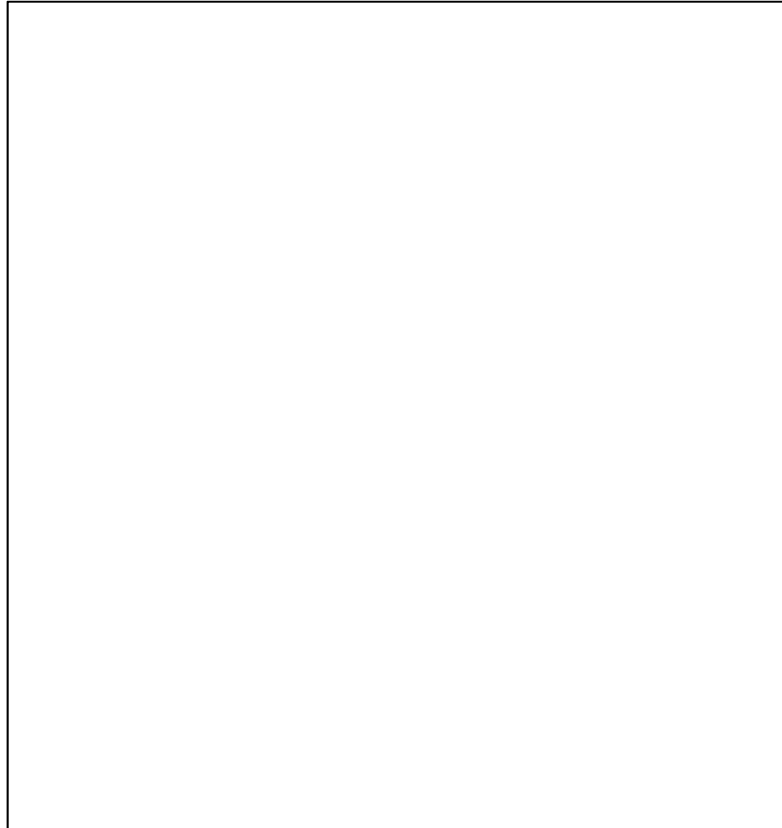


将来の要求

- 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

新しい集約型インターフェース規格: Thunderbolt

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?)

2011年度
光通信システム

電気回路に近づく光回路／素子寸法・消費電力

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

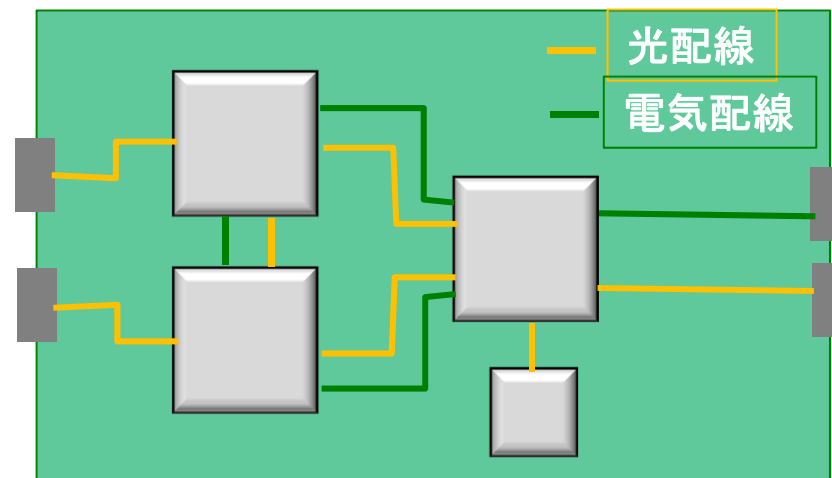


FPGA内への光伝送製品化へ

日経エレクトロニクス 2011年4月18日号 NE Reportsより

- Altera社が2012年以降にFPGAへの光インターフェース導入・製品化へ
- 想定用途：高精細ビデオ転送・クラウド・3Dゲーム・高性能ビデオ監視など
- 背景：電気配線の損失による伝送限界(>28Gbps/ch)

➡ 低損失・配線数削減・消費電力低減(～70-80%削減)



高速伝送部に光配線導入
低速部分は電気配線

第3章

光変復調技術(1)

3-1. バイナリ変調方式

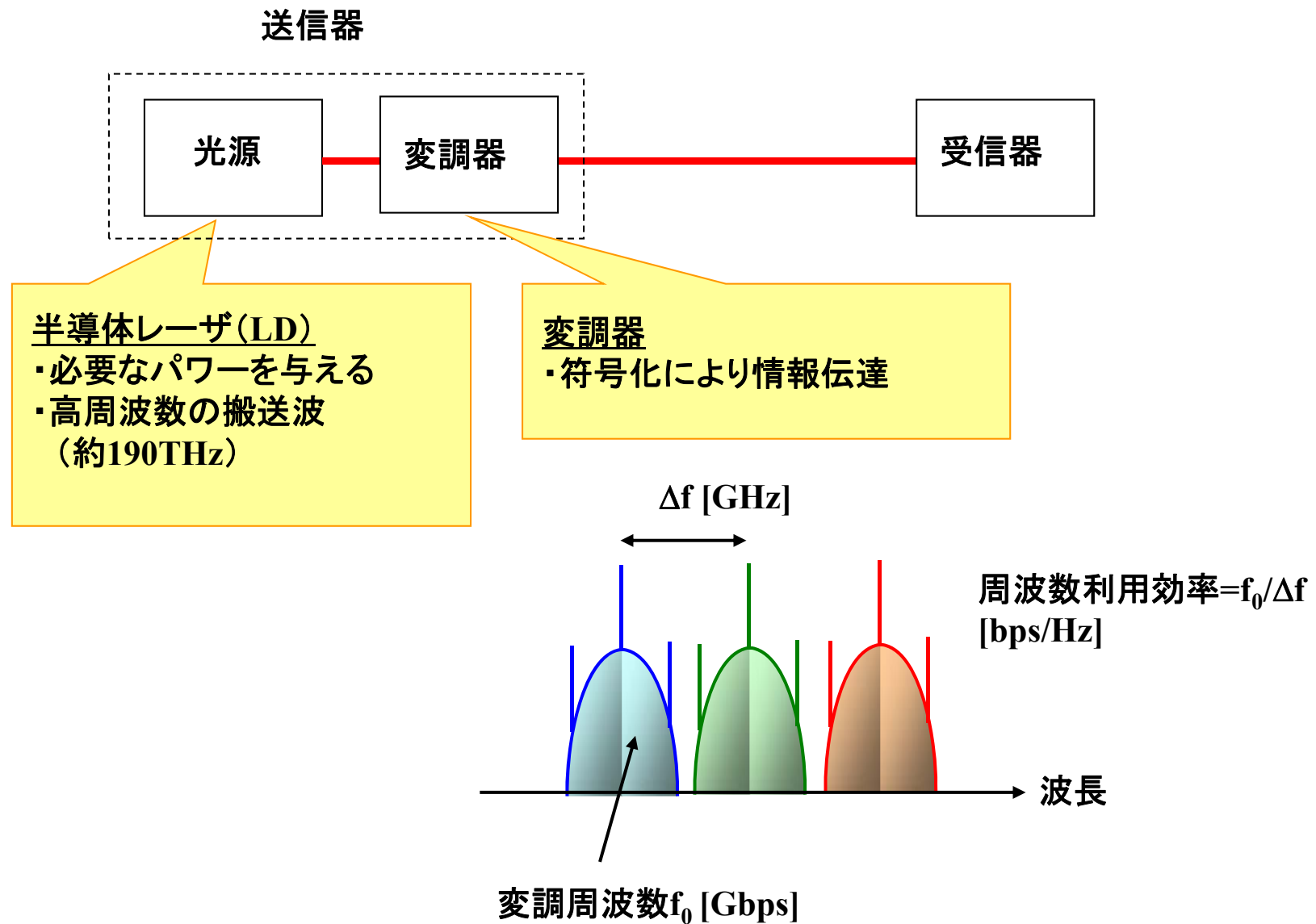
3-2. 多値変調方式

3-3. デジタルコヒーレント方式

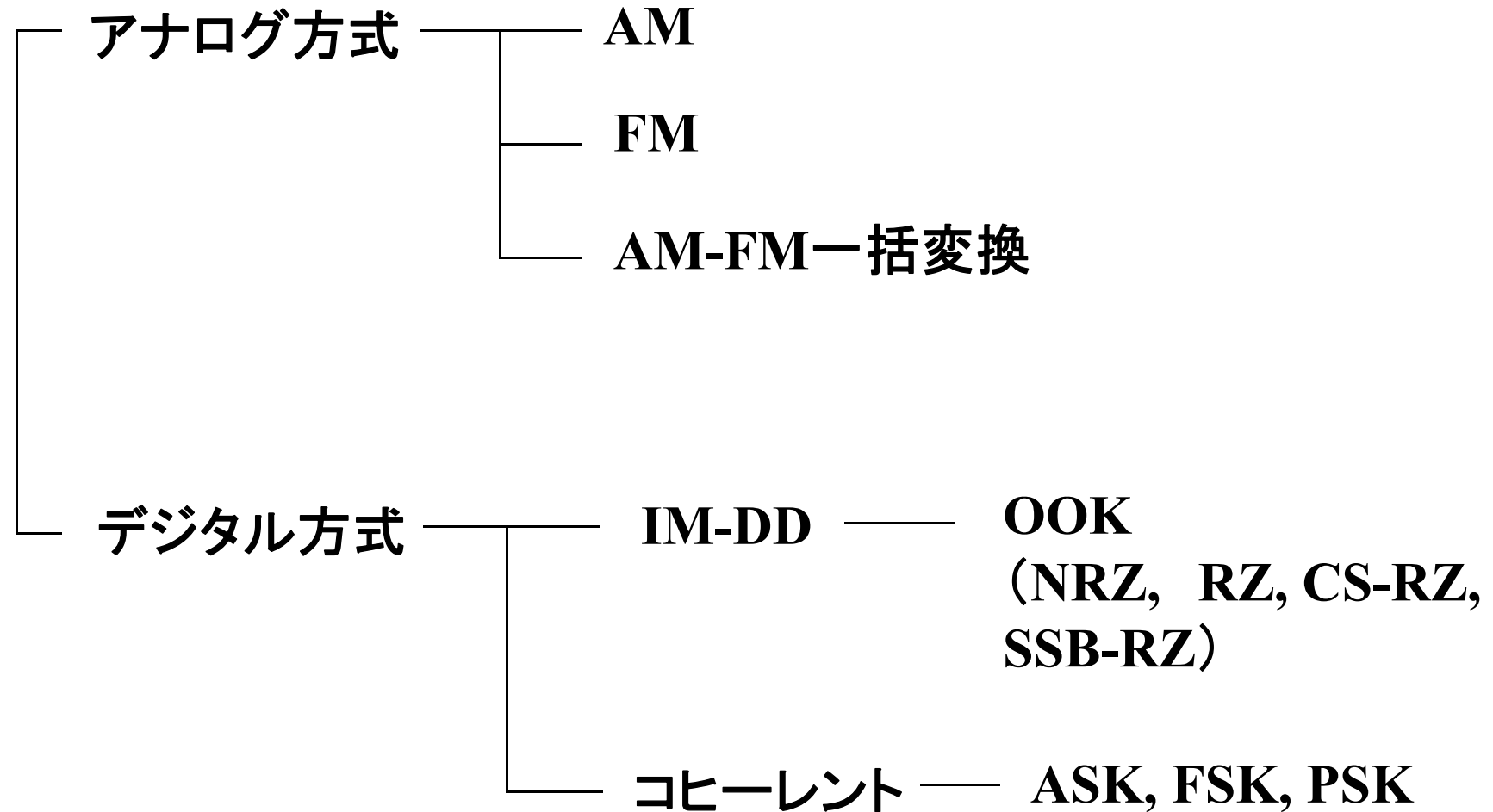
3-4. OFDM

3-5. MIMO

信号伝送における送信の役割

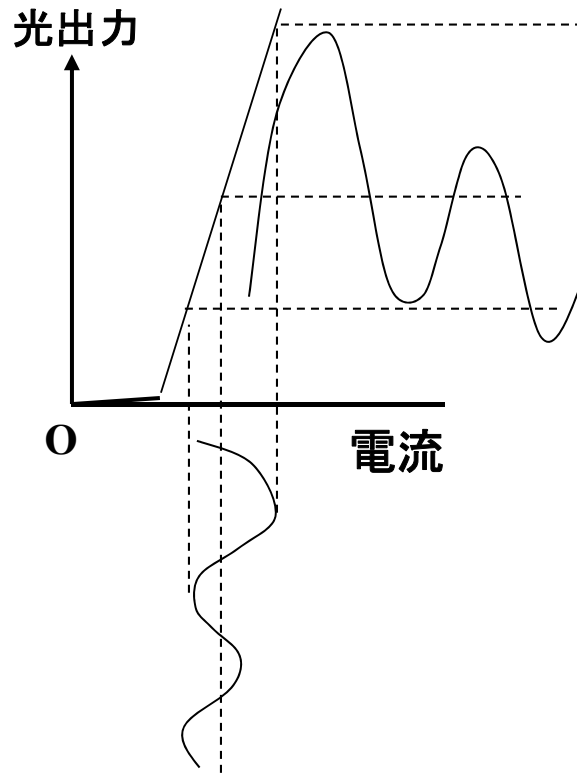


アナログ方式とデジタル方式

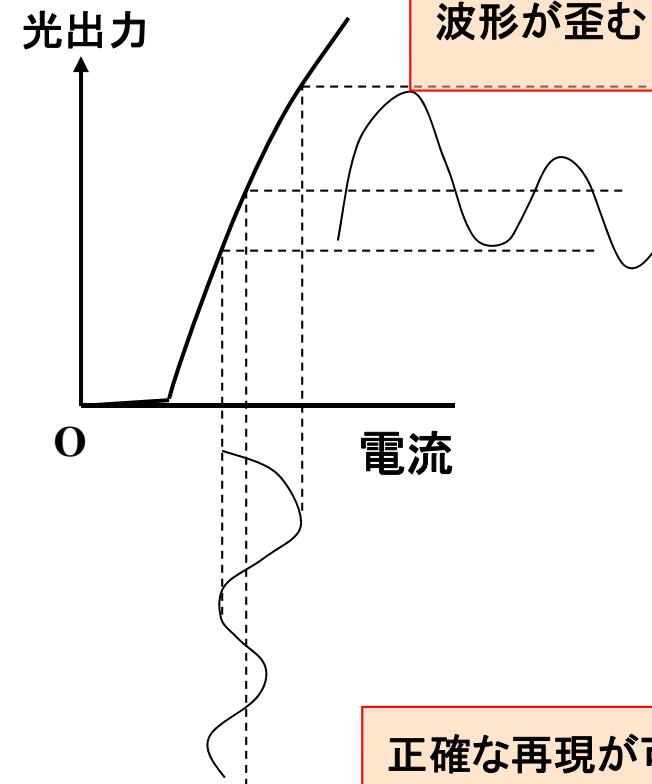
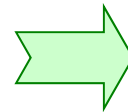


デジタル方式の利点

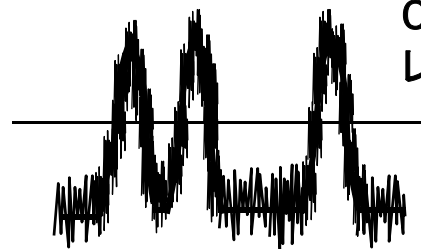
アナログ方式



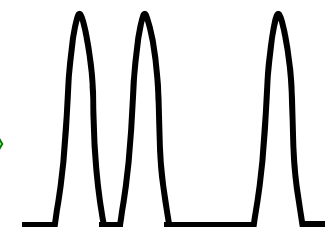
線形性の
劣化



デジタル方式

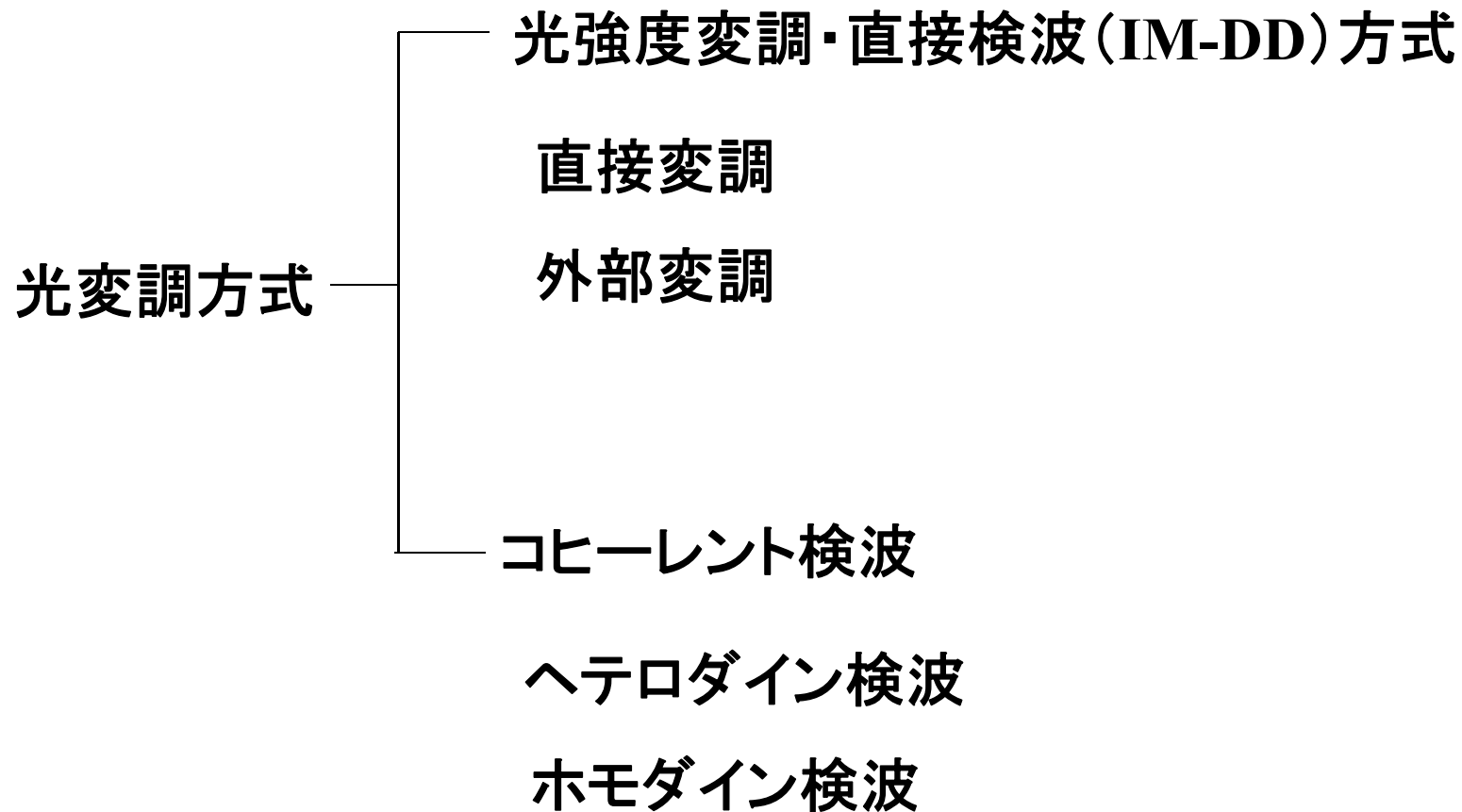


0・1識別
レベル



正確な再現が可能

光信号の変調方式の種類

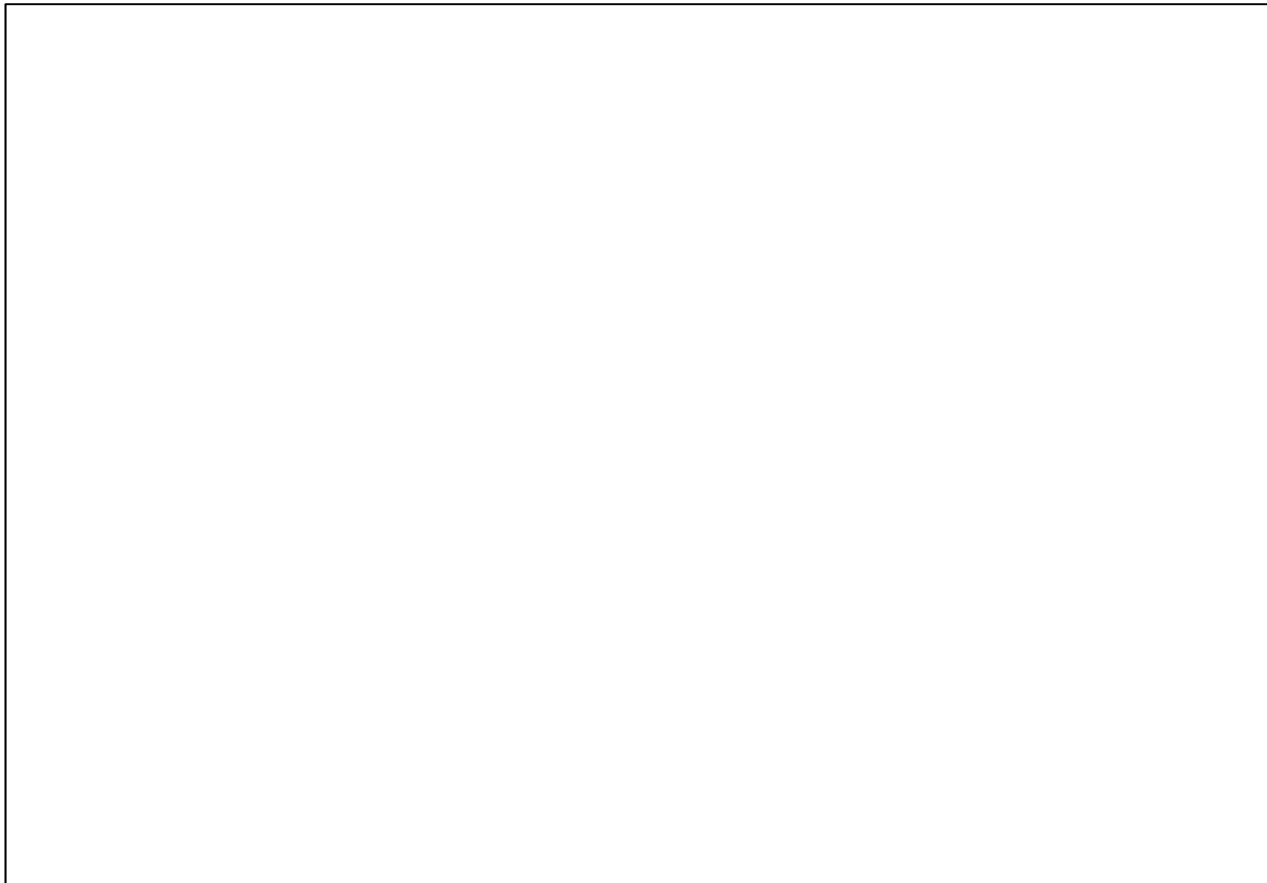


シャノン限界

M. Nakazawa, “High spectral density optical communication technology”, Chapter 3, pp.54.

$$\frac{C}{W} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

(C:伝送速度, W:周波数帯域幅,
S:信号の平均電力, N:雑音の平均電力)

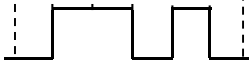
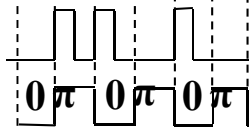
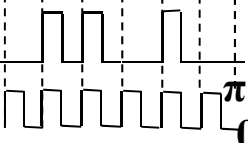
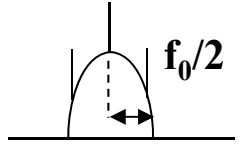
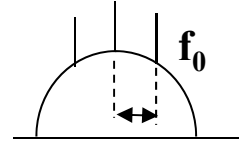
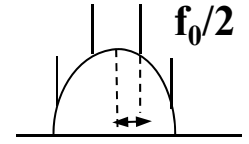
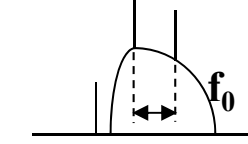
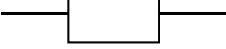
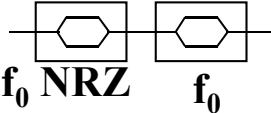
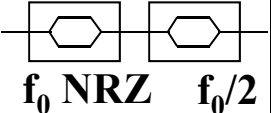
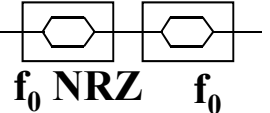


M. Nakazawa, “High spectral density optical communication technology”, Chapter 3, pp.55.



変調符号と変調信号 (バイナリ符号)

いろいろな光強度変調方式

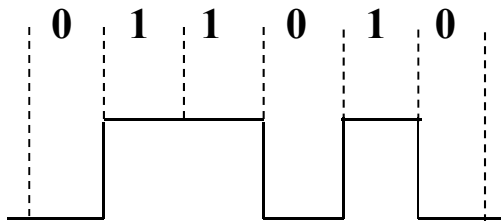
伝送方式	NRZ	RZ	CS-RZ	SSB-RZ
データ パターン	0 1 1 0 1 0  位相は一定	0 1 1 0 1 0  位相は一定	0 1 1 0 1 0  0 π 0 π 0 π	0 1 1 0 1 0  π 0
スペクトル	 $f_0/2$	 f_0	 $f_0/2$	 f_0
光SN比耐力				
SPM-GVD 耐力				
光スペクトル 重なり				
変調の構成	IM/PM 	IM IM  f_0 NRZ f_0	IM PM  f_0 NRZ $f_0/2$	IM PM  f_0 NRZ f_0

CS-RZ : Carrier-Suppressed RZ, SSB-RZ : Single Side-Band RZ, IM : Intensity Modulator, PM : Phase Modulator

NRZとRZ方式

NRZ

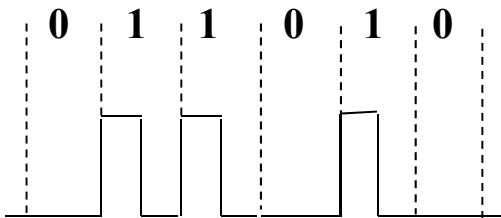
(Non Return-to-Zero)



- 1シンボル(インターバル)の符号を変化させない。
- GbE, 10GbE, SONET/SDHなど
実用光通信システムで使用

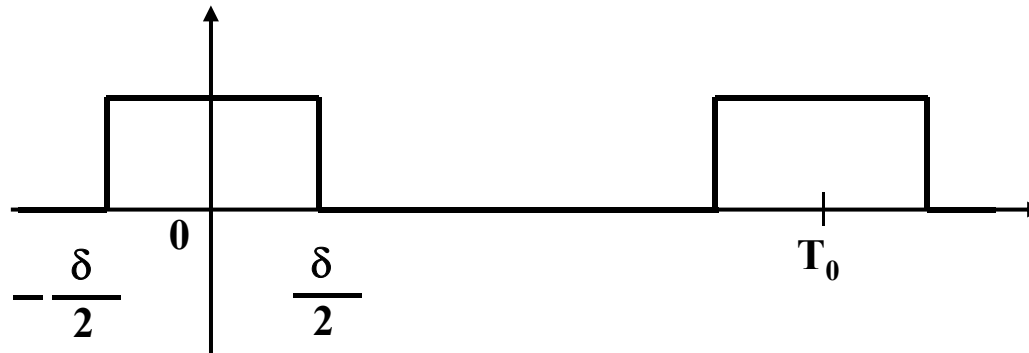
RZ

(Return-to-Zero)



- 1シンボル(インターバル)の符号を必ず0に戻す。
- 40Gbps以上の高速DWDM,
短パルス光源(パルス幅<10ps)の
研究用など。

繰り返し周期を持つパルス波形の帯域



$$f(t) = \begin{cases} A(-\frac{\delta}{2} \leq t \leq \frac{\delta}{2}) \\ 0(\frac{\delta}{2} < t < T_0 - \frac{\delta}{2}) \end{cases}$$

このパルス列をフーリエ級数展開すると、

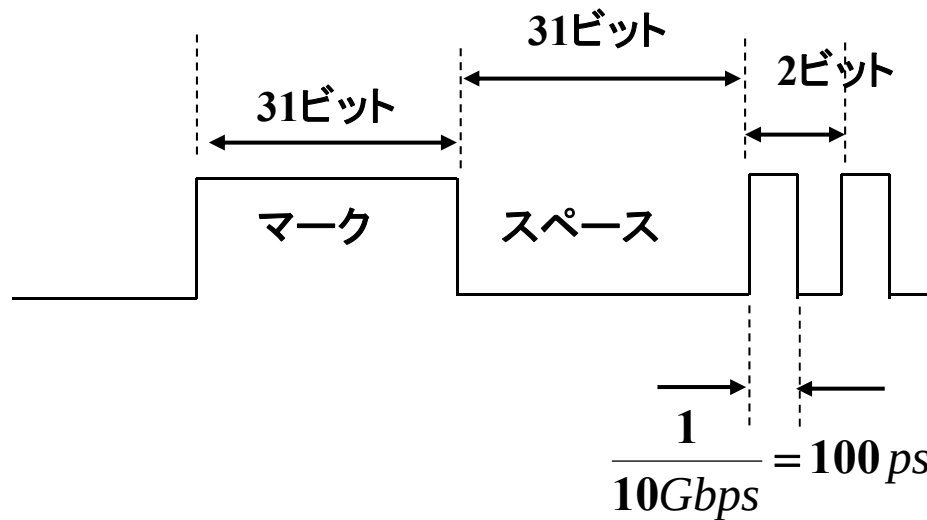
$$f(t) = \frac{A\delta}{T_0} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A}{n\pi} \sin\left(\frac{n\pi\delta}{T_0}\right) \cos\left(2\pi \frac{n}{T_0} t\right)$$



基本周波数 $1/T_0$

NRZ変調の信号帯域

10Gbps, $2^{31}-1$ PRBS (Pseudo Random Bit Sequence), マーク率1/2



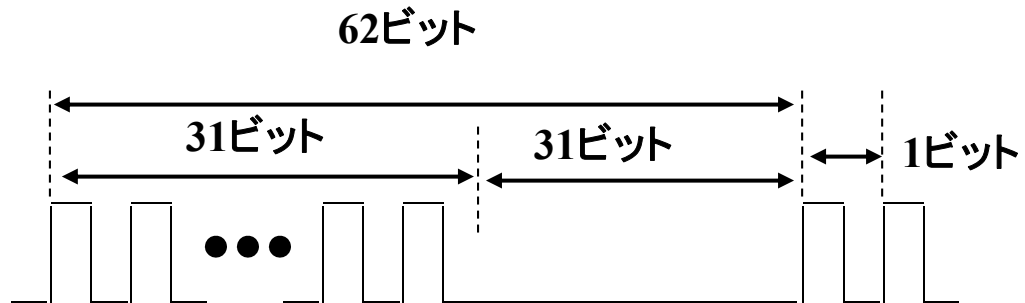
最低周波数

$$10G \div 62\text{ビット} = 162\text{MHz}$$

最高周波数

$$10Gbps \div 2 = 5\text{GHz}$$

RZ変調の信号帯域



最高周波数

$$10\text{Gbps} \div 1 = 10\text{GHz}$$