

2009年度『光通信システム』開講

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。

第1回

序論・電話システムとインターネットー1

2009年10月15日(木)

- ・『光波工学』 國分 泰雄 著 共立出版
- ・『光通信工学』(1)(2) 羽鳥 光俊・青山 友紀 監修 コロナ社
- ・『超高速ネットワーク技術』 河内 正夫 監修 電気通信協会
- ・『やさしいデジタル伝送』 山下 孚 編著 電気通信協会
- ・『やさしいデジタル交換』 愛澤 慎一・清水 博 編著
電気通信協会
- ・『やさしい光アクセスシステム』 由木 泰紀・三浦 秀利 編著
電気通信協会
- ・『光導波路の基礎』 岡本 勝就 著 コロナ社
- ・『半導体フォトリソ工学』 池上 徹彦 監修 コロナ社
- ・『光増幅器とその応用』 石尾 秀樹 監修 オーム社
- ・“Fiber Optic Communication Systems”, Givnd P. Agrawal,
Wiley-Interscience

- 第0章 序章
- 第1章 電話ネットワークとインターネット
- 第2章 光ファイバのモード特性
- 第3章 光ファイバ伝送特性
- 第4章 各種 光通信システム
- 第5章 光送信器と光受信器の技術
- 第6章 ビット誤り率
- 第7章 光増幅技術
- 第8章 波長多重伝送技術
- 第9章 最新技術動向
- 第10章 光スイッチング技術
- 第11章 波長変換・光信号再生技術

第0章(序章)

光通信はなぜ高速か？

光通信はなぜ高速か？

光の光ファイバ中の伝送速度

$$v_p = \frac{c}{n_{eff}} \quad \begin{array}{l} v_g : \text{位相速度} \\ n_{eff} : \text{等価屈折率} \end{array}$$

SiO₂の場合、 $n_{eff} = 1.48$ として

$$v_g = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m/s}}{1.48} = 2.03 \times 10^8 \text{ m/s}$$

電磁波の同軸ケーブル中の伝搬速度

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_s \mu_s}} \quad \begin{array}{l} v_p : \text{位相速度} \\ c : \text{真空中の光速} \\ \epsilon_s : \text{比誘電率} \\ \mu_s : \text{比透磁率} \end{array}$$

ポリエチレン絶縁の同軸ケーブルの場合、
 $\epsilon_s = 2.3, \mu_s = 1$ として

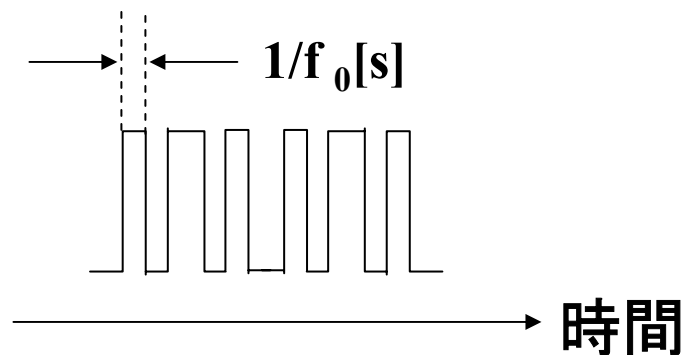
$$v_g = \frac{2.998 \times 10^8 \text{ m/s}}{\sqrt{2.3 \times 1}} = 1.98 \times 10^8 \text{ m/s}$$

光の伝送速度 $\doteq$ 電磁波の伝搬速度



光が電気信号よりも速いわけではない

伝送の高速化



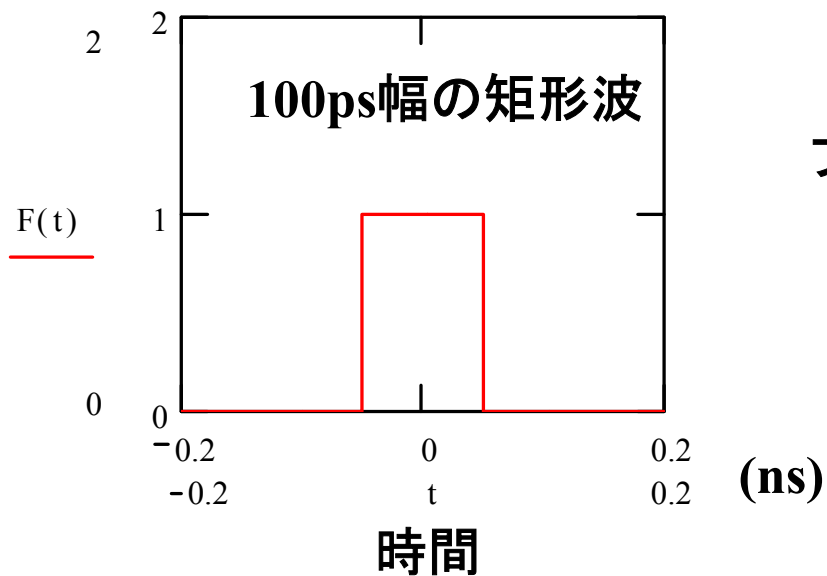
周波数 $f[\text{GHz}]$ のNRZ信号を考える。

⇒ 簡単化のため1タイムスロットの信号について考える。

$$f(t) = \begin{cases} A_0 & (-\frac{1}{2f_0} \leq t \leq \frac{1}{2f_0}) \\ 0 & (\text{上記以外}) \end{cases}$$

$$f_0 = 10$$

フーリエ変換により周波数成分を解析



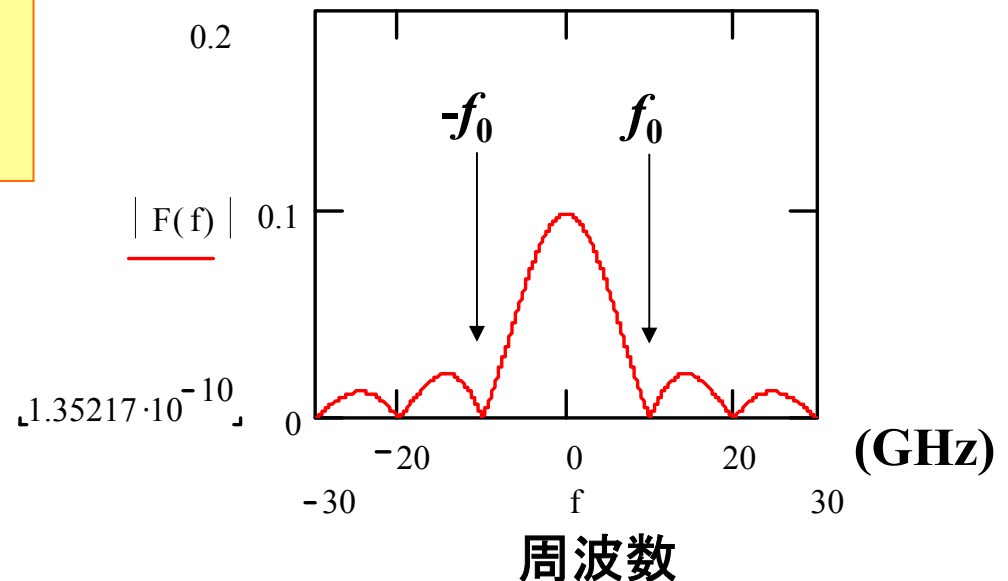
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt = \int_{-1/2 f_0}^{1/2 f_0} A_0 e^{-j2\pi f t} dt$$

$$= A_0 \left(\frac{1}{-j2\pi f} \right) [e^{-j2\pi f t}]_{-1/2 f_0}^{1/2 f_0} = jA_0 \frac{1}{2\pi f} (e^{-j\pi \frac{f}{f_0}} - e^{j\pi \frac{f}{f_0}})$$

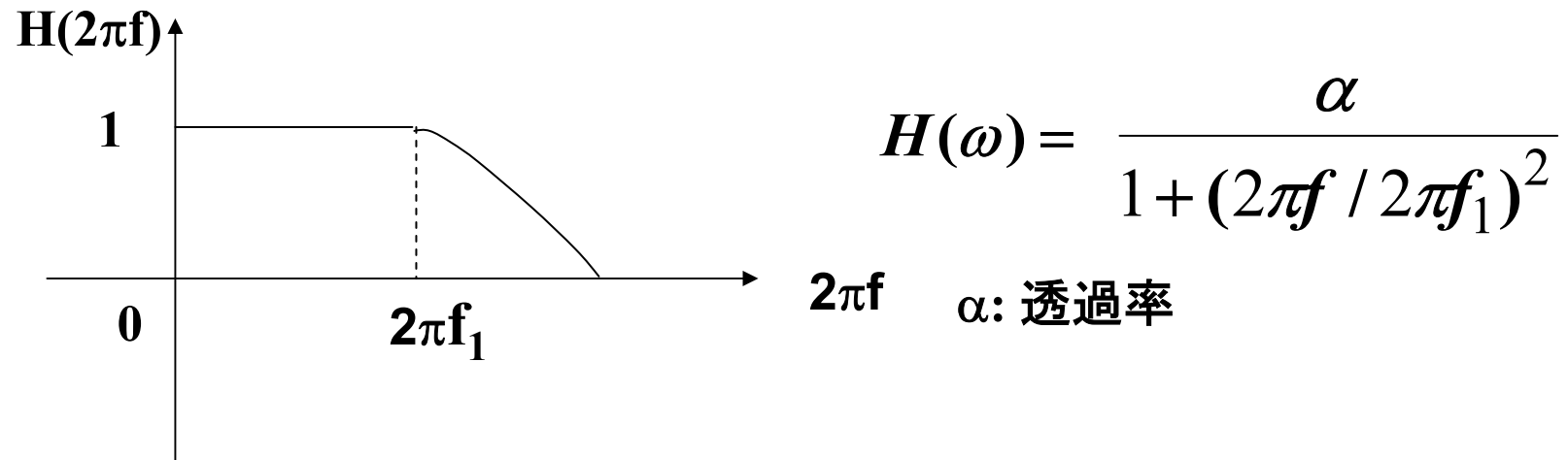
$$= \frac{A_0}{f_0} \frac{\sin(\pi \frac{f}{f_0})}{\pi \frac{f}{f_0}}$$

矩形波のフーリエ・スペクトル

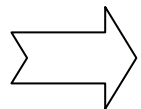


伝送路の周波数特性を重畳

(1) 周波数特性(f 特)の悪い伝送路: メタル線に相当



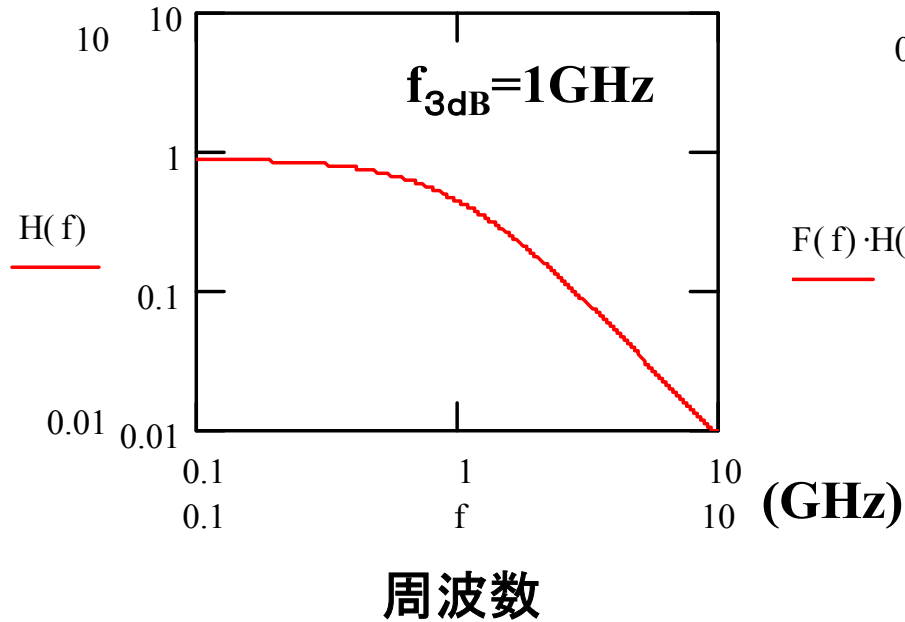
伝送後の波形を計算する。



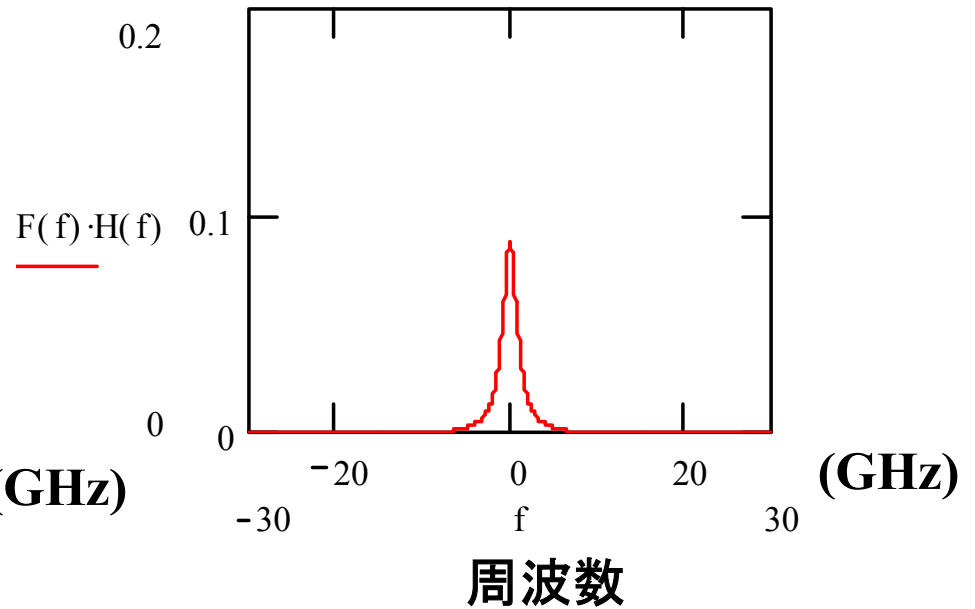
逆フーリエ変換

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) H(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

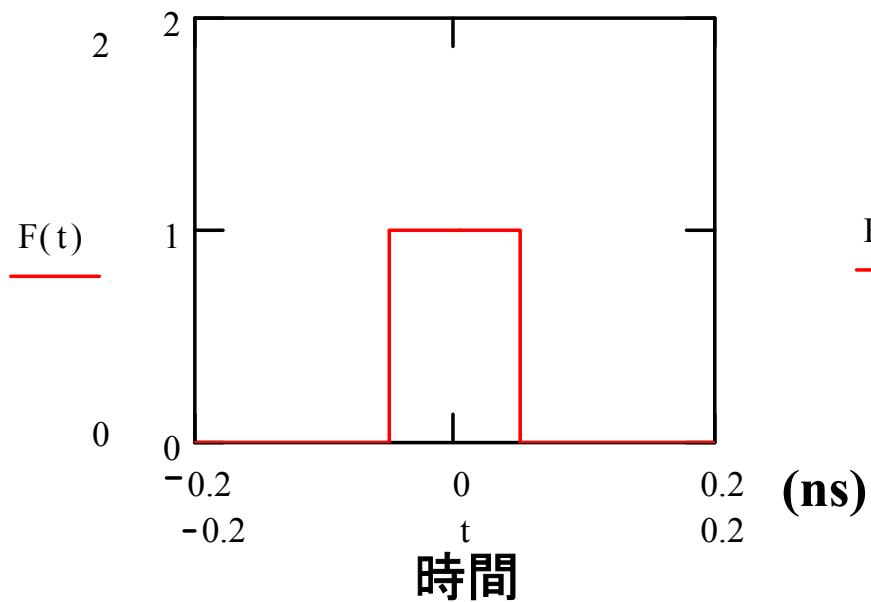
伝送路の損失特性
($f_{\text{特}}$)



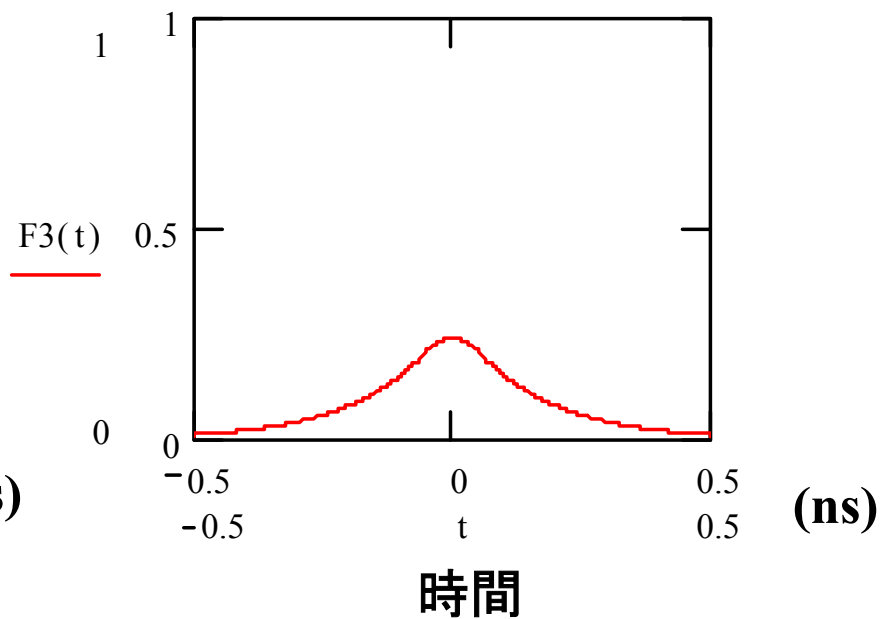
伝送後の $f_{\text{特}}$



元の矩形波



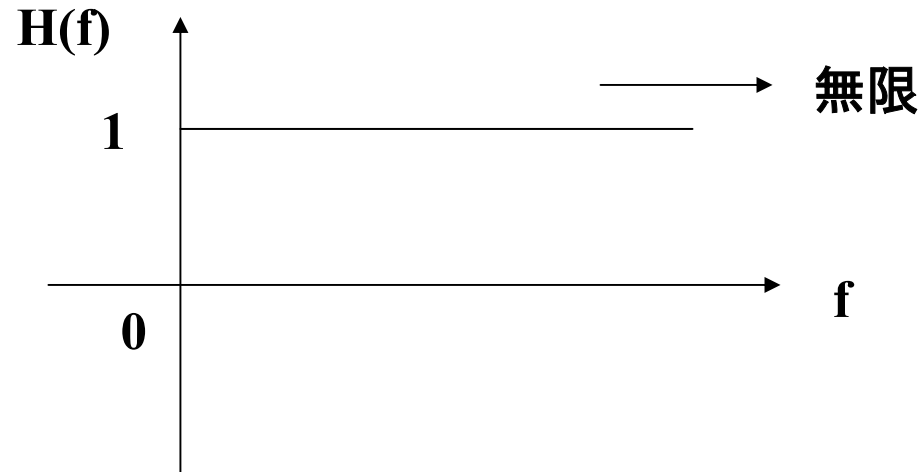
伝送後の波形

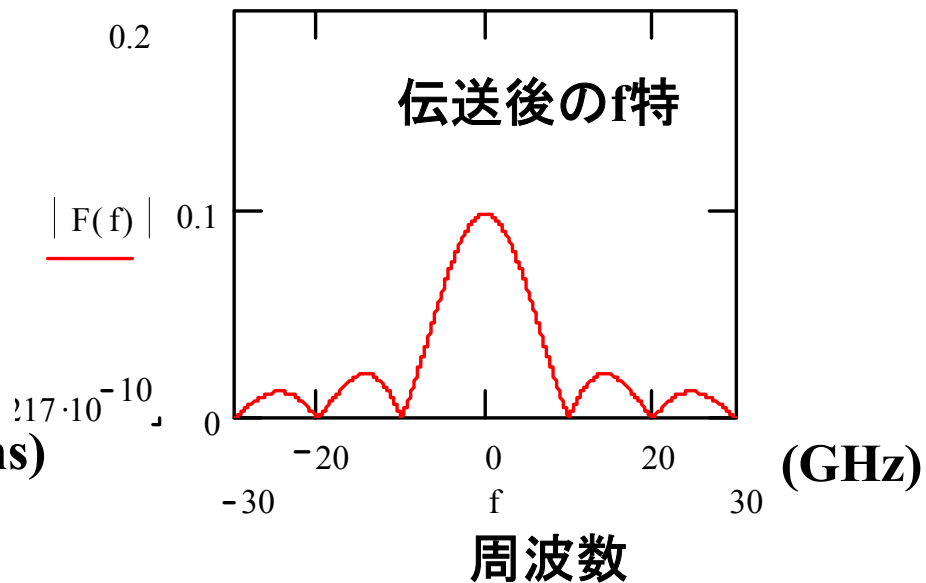
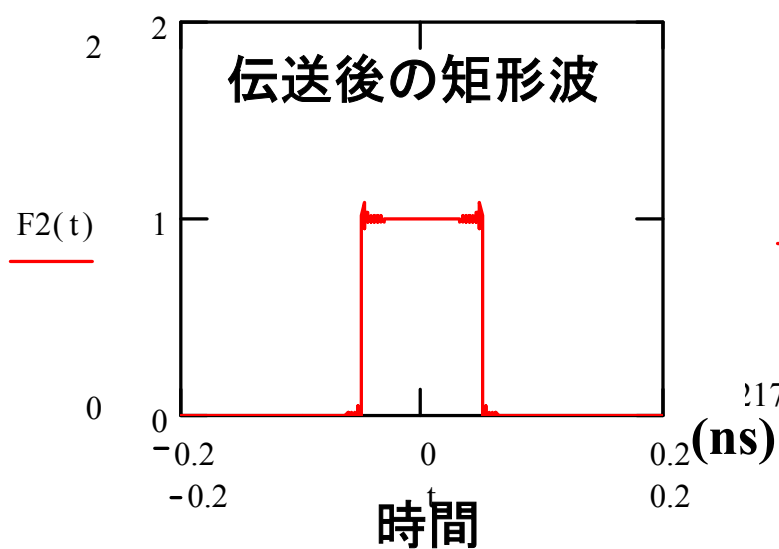
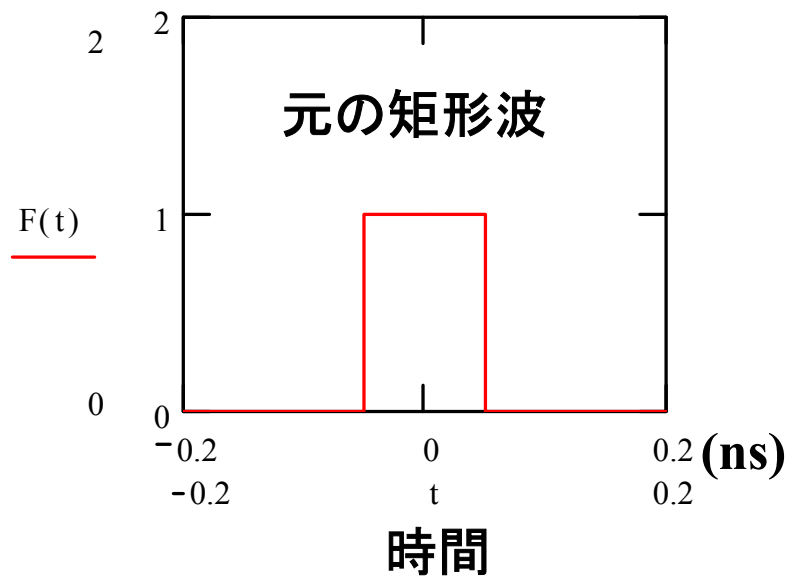


強度の低下とパルス幅の増大

伝送路の周波数特性を重畳

(2) 周波数特性(f 特)の良い(理想的な)伝送路: 光ファイバに相当





「光通信の高速性」: メタル線の場合の $L=0$ とすると、

$$H(f) = \left[\frac{1}{1 + (f/f_1)^2} \right]^L \quad \Rightarrow \quad H(f) = 1$$

光ファイバの場合と同じとなる！

すなわち、光ファイバの高速性とは高速な信号を長距離まで伝送できるという意味である。

光による通信のメリットは長距離伝送の場合に発揮される。

- 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)

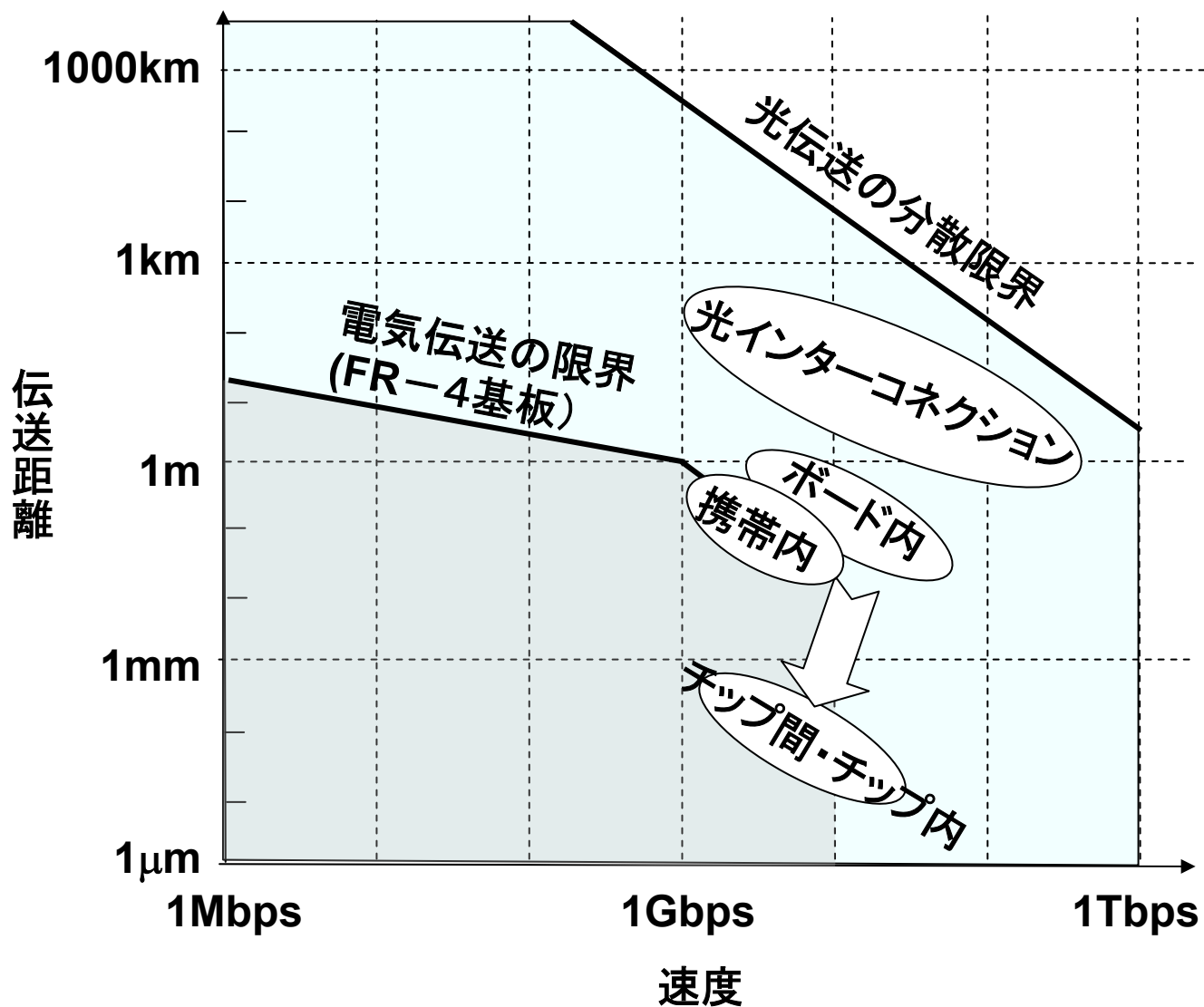
① 電気の多値伝送による 信号帯域の狭帯域化

日経エレクトロニクス
2005年6月6日号
p.109 図6

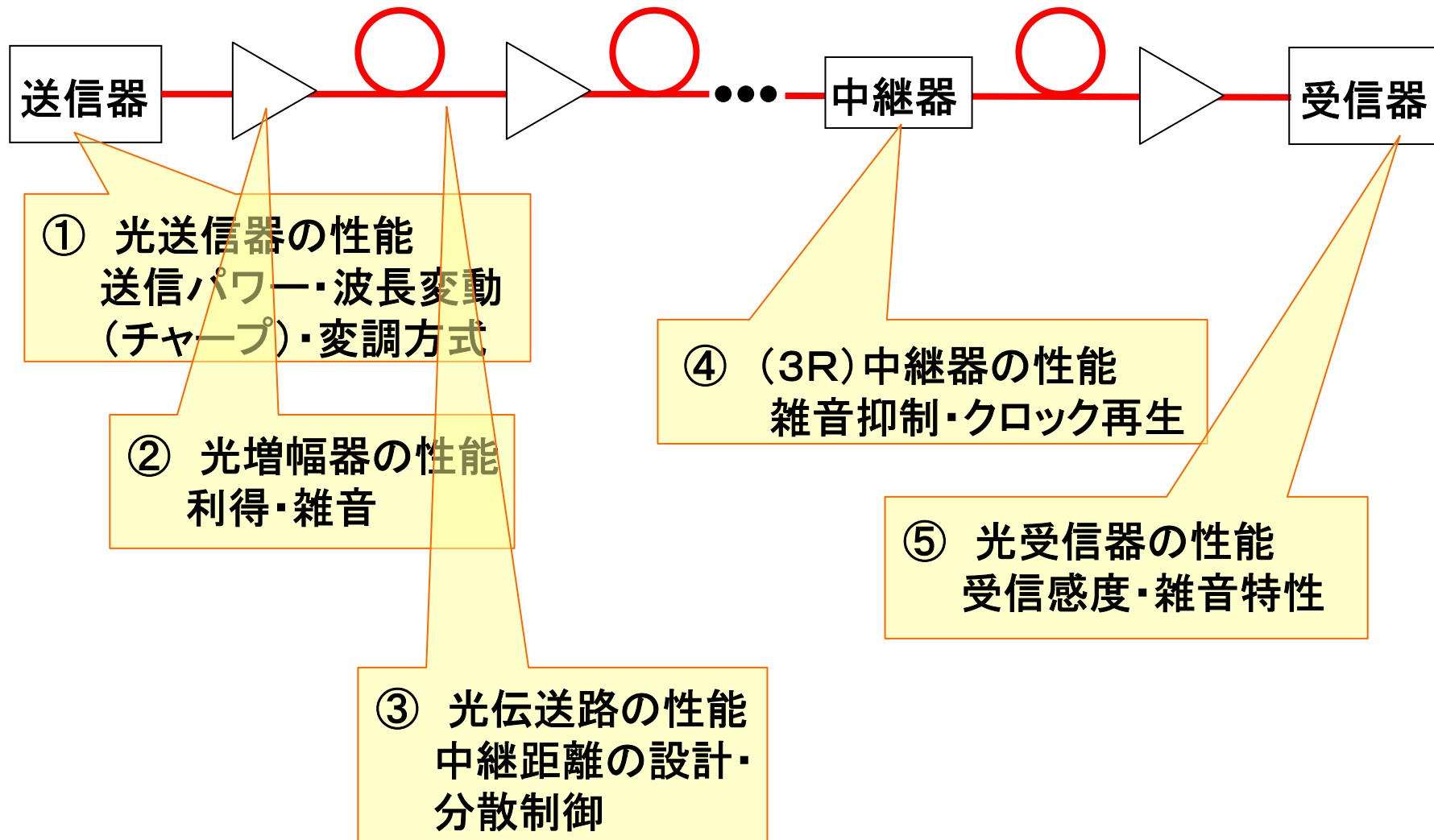
② 光伝送への移行

- >10GHzでも損失小
- 電磁雑音の影響小

伝送速度 対 伝送距離

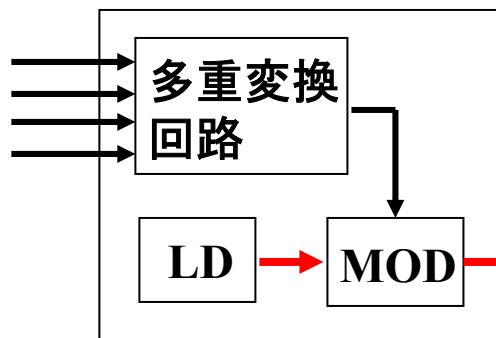


光通信システム的设计ポイント

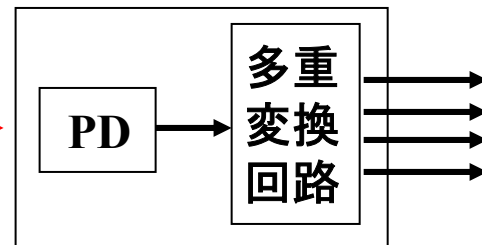


光通信システムの基本構成とレベルダイアグラム

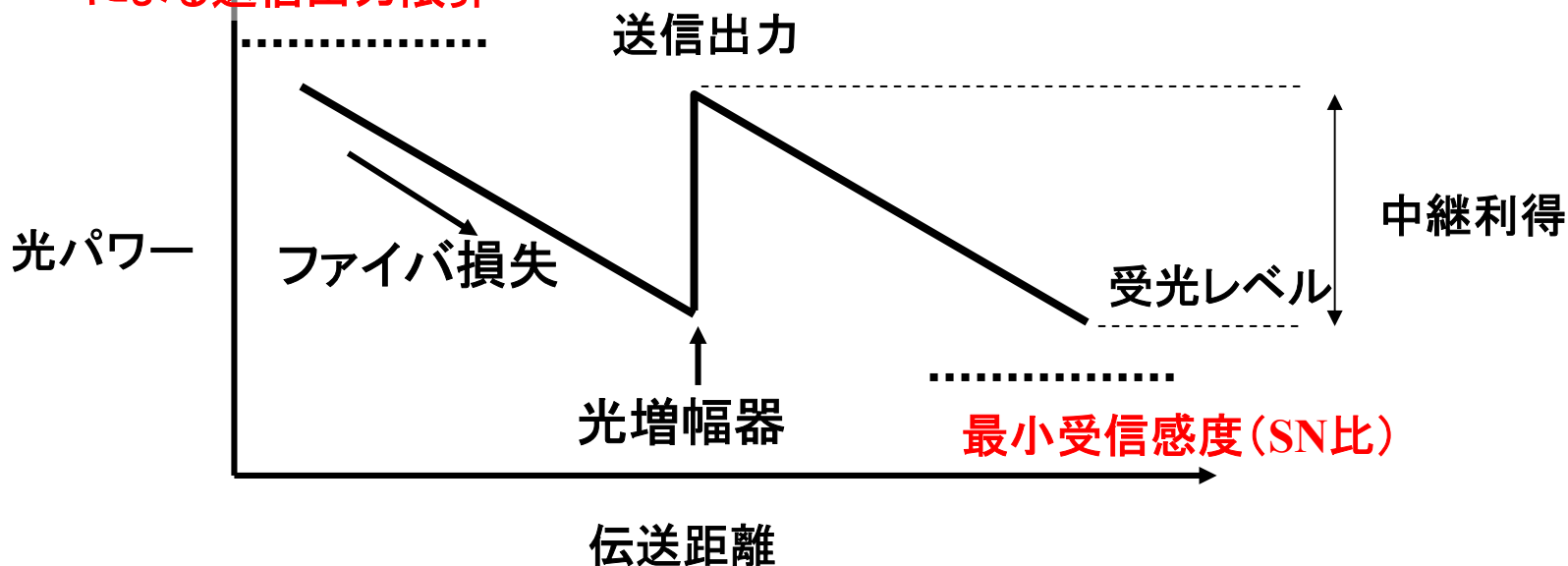
送信器(Tx)



受信器(Rx)

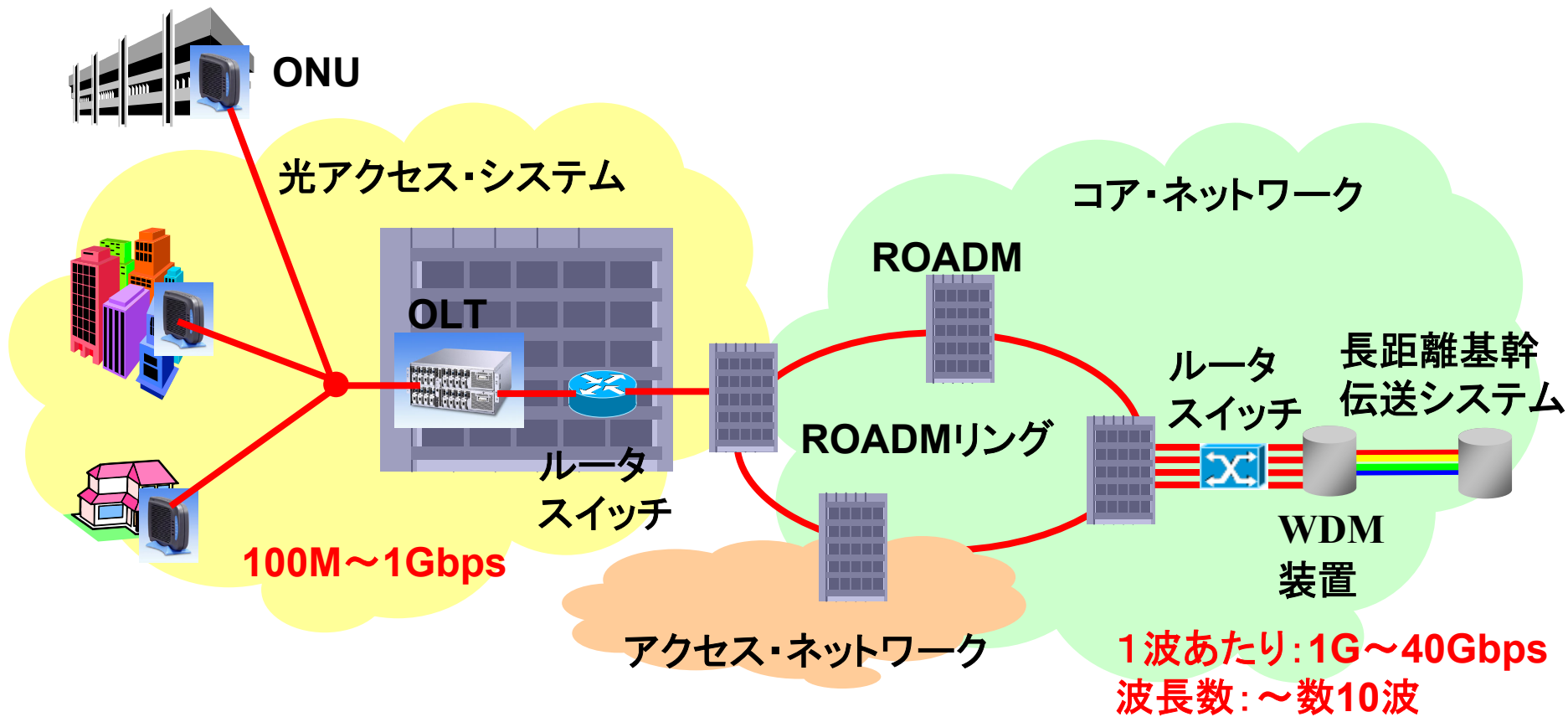


光ファイバの非線形性
(自己位相変調)
による送信出力限界



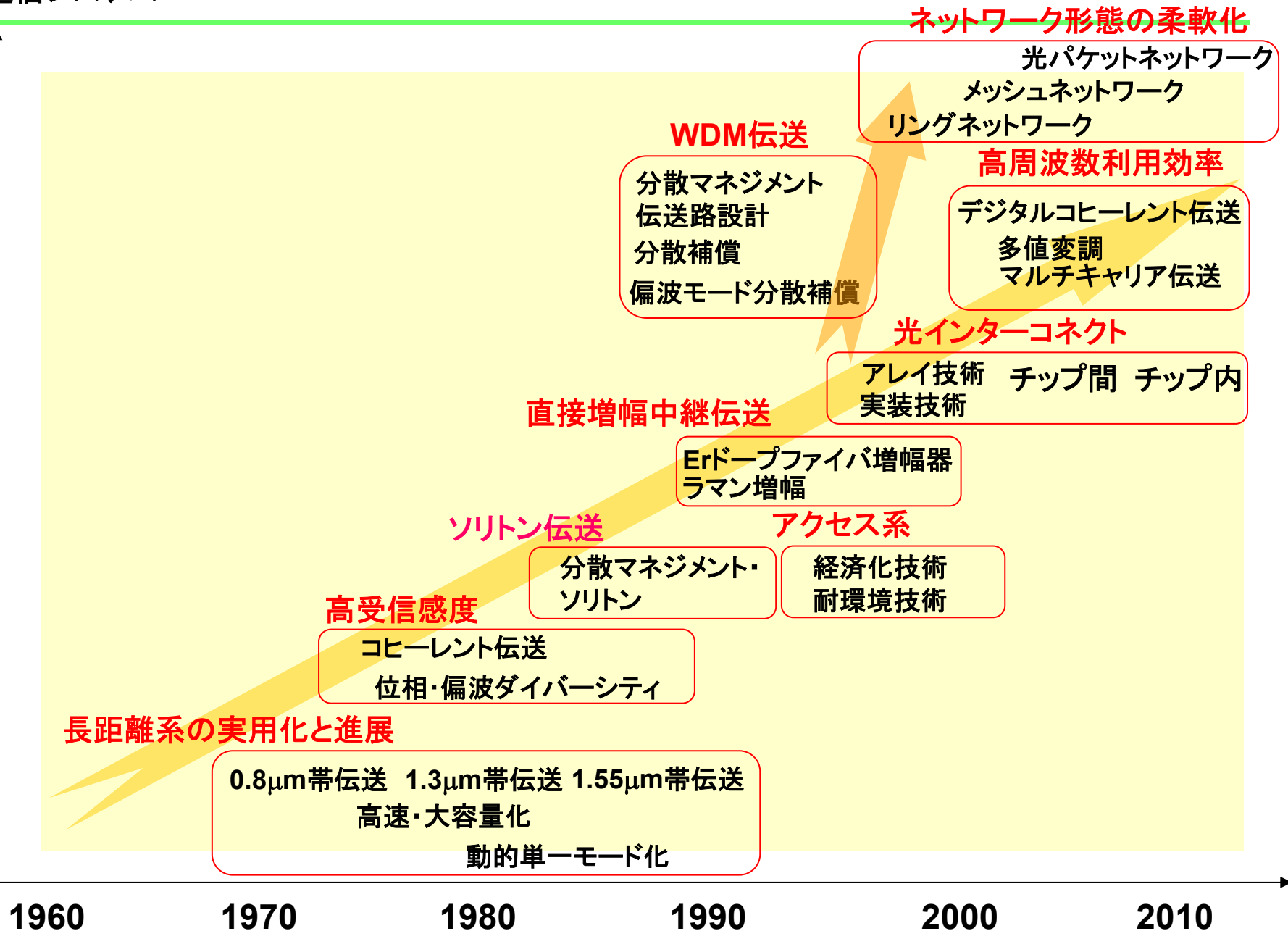
現在の光通信を概観する

光通信ネットワークの構成



光通信システム技術のレビュー

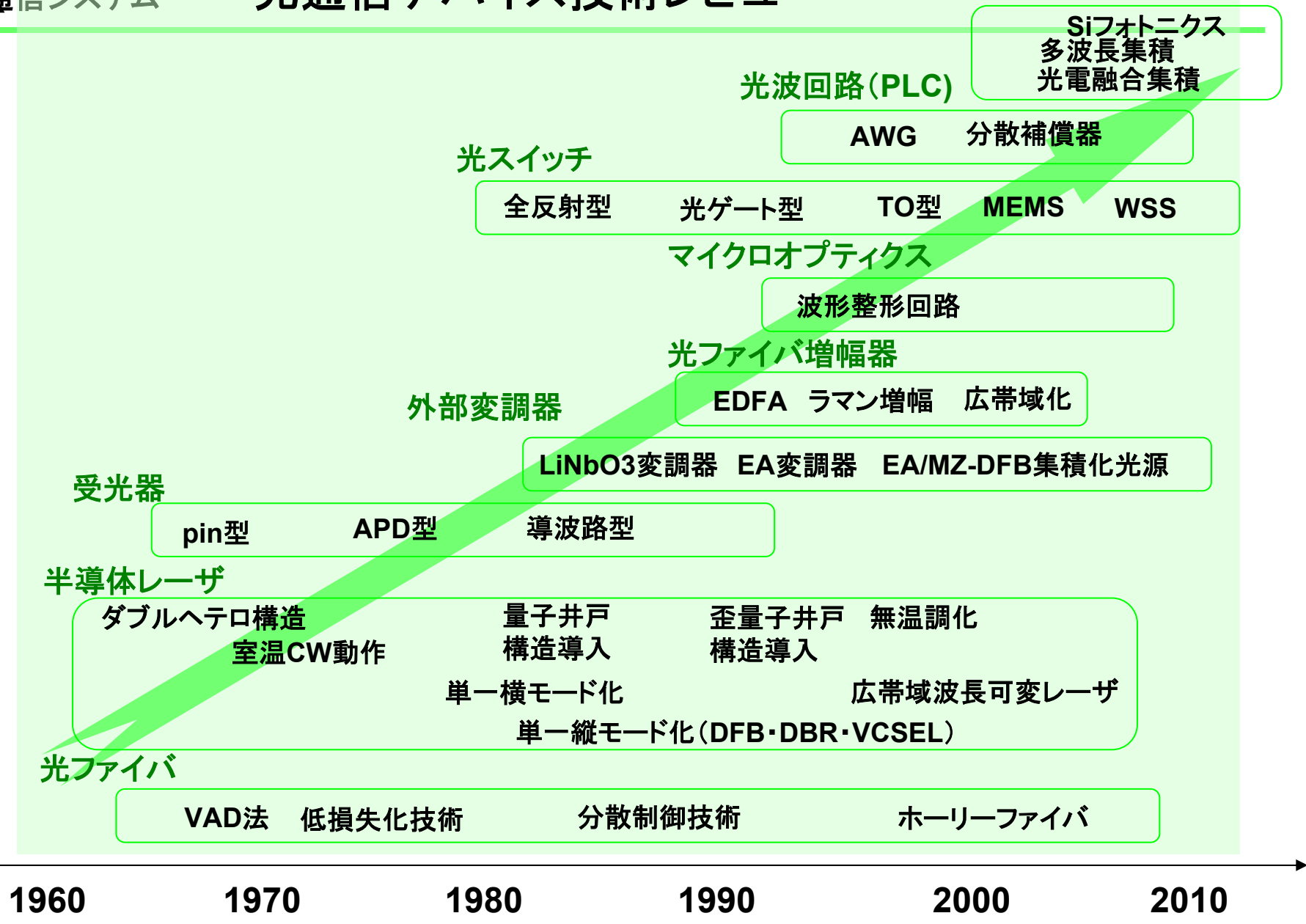
適用光ネットワークの規模・機能性



光通信デバイス技術レビュー

大規模光集積回路

適用光ネットワークの規模・機性能性



1960 1970 1980 1990 2000 2010

通信系全体

- All IP化の流れの加速

➡ NGNの商用化(2008.3.31)

- 固定系と移動系のシームレスな接続

➡ Fixed Mobile Convergence (FMC)

- サービスのアウトソース化、オープン化

SNS, SaaS

クラウドコンピューティング

固定電話系

- NTTグループ
KDDI
ソフトバンク

移動系

- 携帯
NTTドコモ
au(KDDI)
ソフトバンクモバイル
イー・モバイル

PHS

ウィルコム

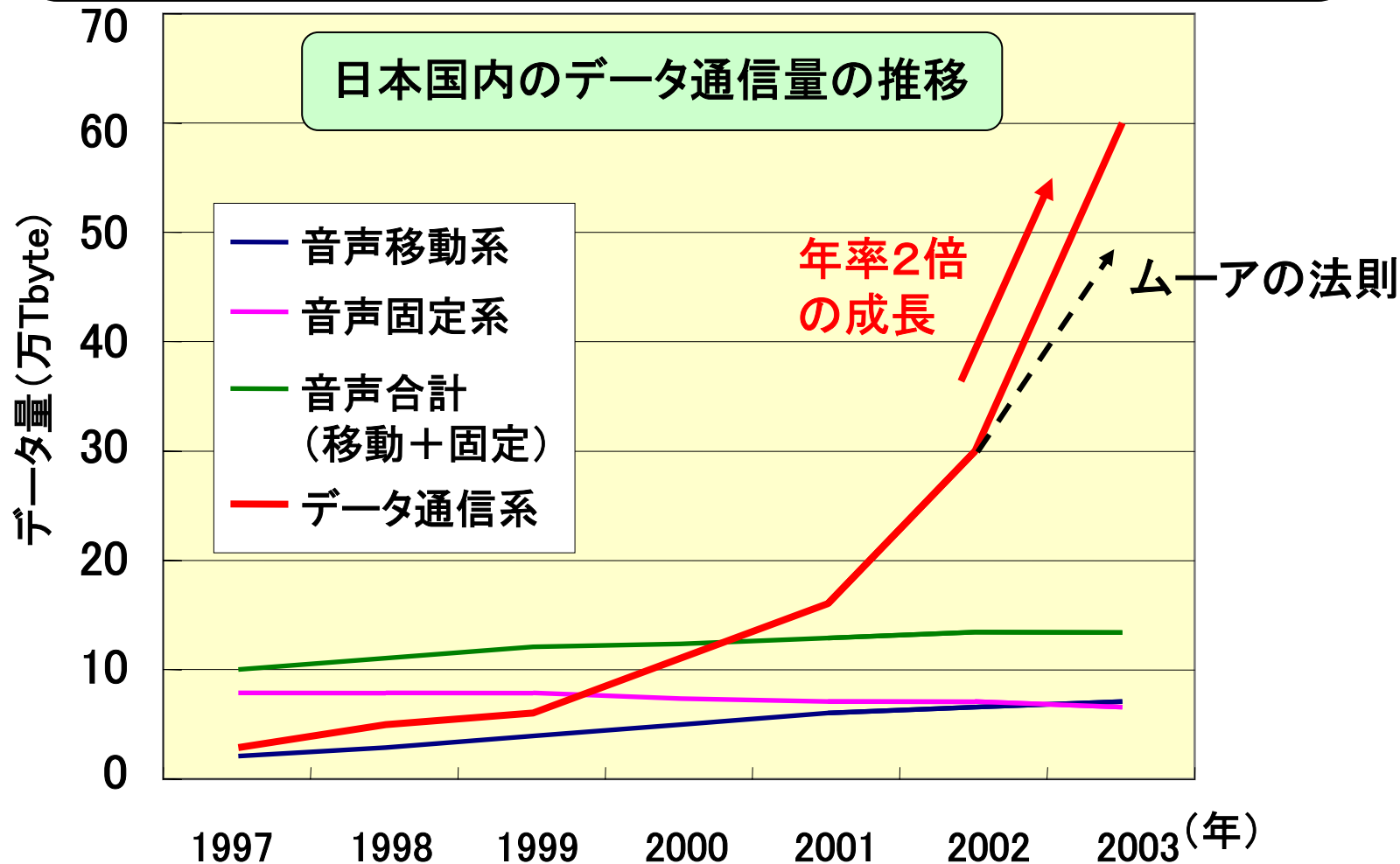
オープン化の波

iPhone(Apple)
Android(Google)

通信トラフィックの成長

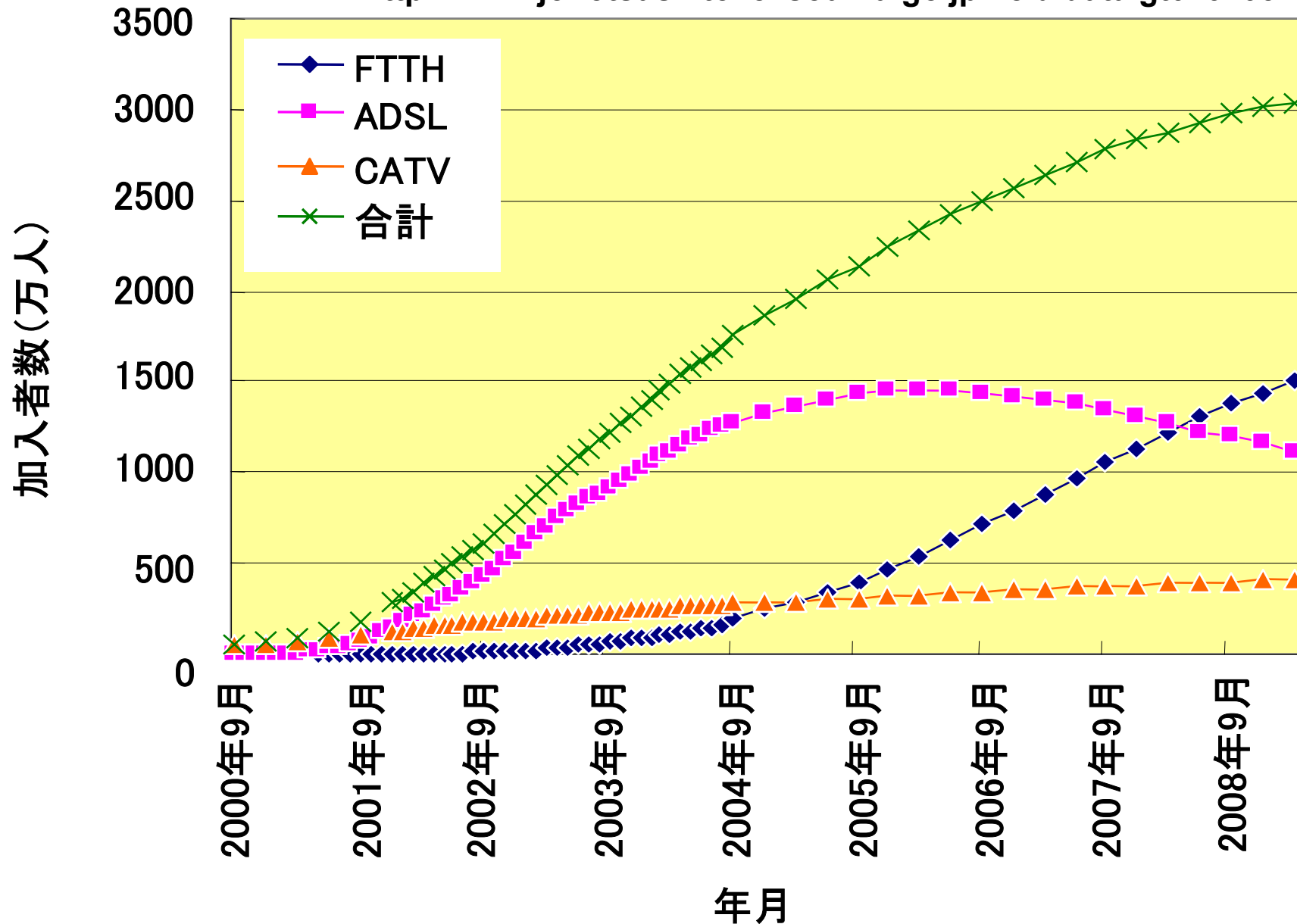
通信トラフィックは電子回路技術の進歩を超える速度で成長

➡ 電子回路の処理律速を克服する、データ系通信を主体とした高速・大容量NWの構築が必須



インターネット接続サービスのユーザ数(2009年3月現在)

<http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/field/data/gt010103.xls>

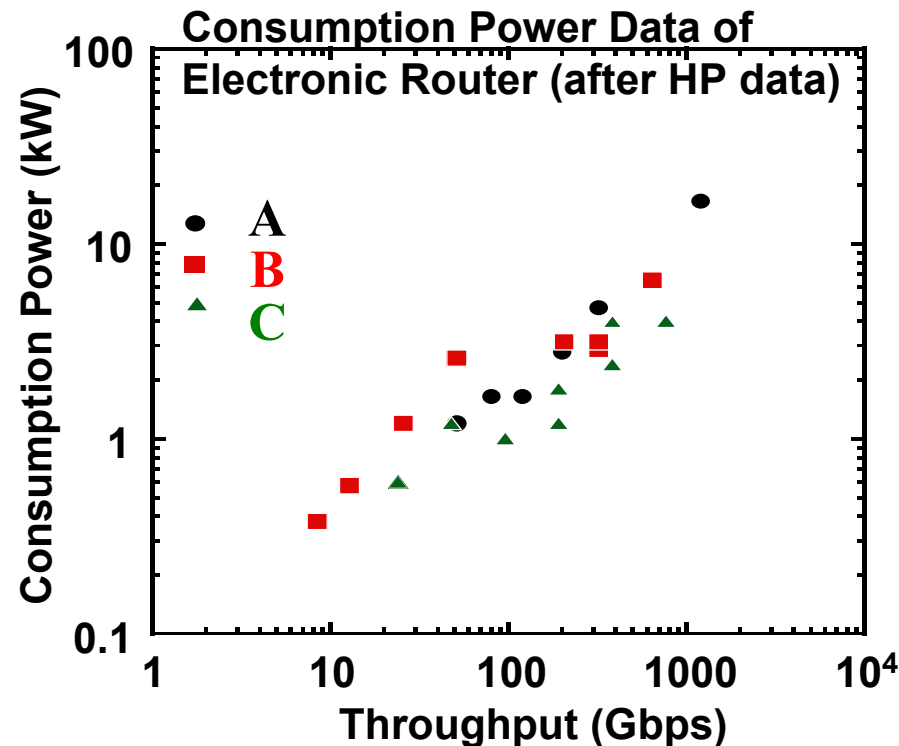
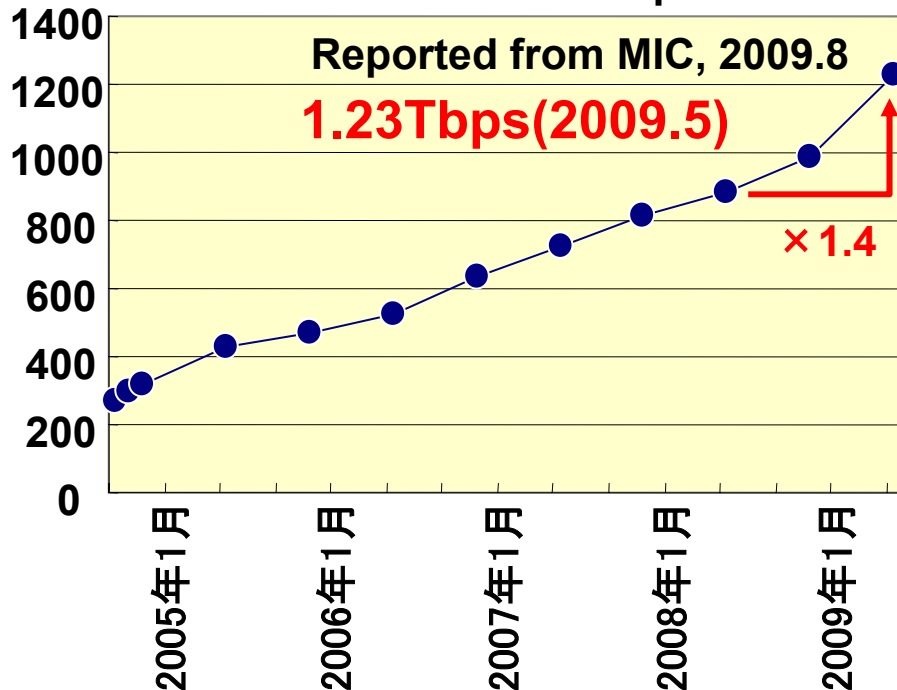


Continuous growth of Internet traffic $\sim \times 1.2 \sim 1.3$ yr



High speed, low latency & low power operation strongly required to routers
But large power consumption at high speed are issues in electron. router
→ High-speed, low latency, low power consumption by opt. sig. processing

Internet Traffic in Japan

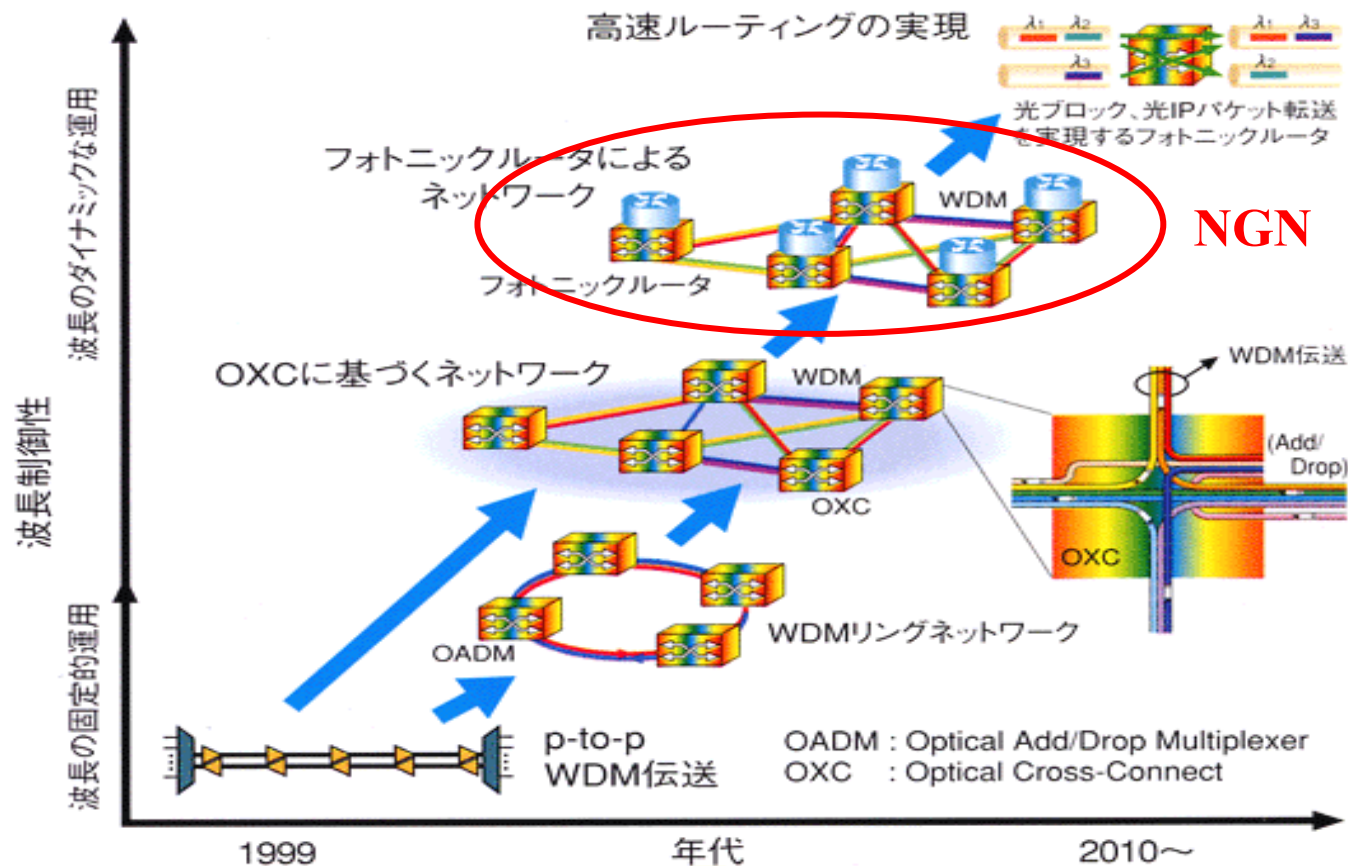


光通信はフォトニックネットワークへ！

フォトニックネットワーク：
Transmission, Multiplexing, Demultiplexing, Switching, Routing
などの転送機能を光領域で行うネットワーク

● フォトニックネットワークの進化

フォトニックインターネット推進協議会資料より



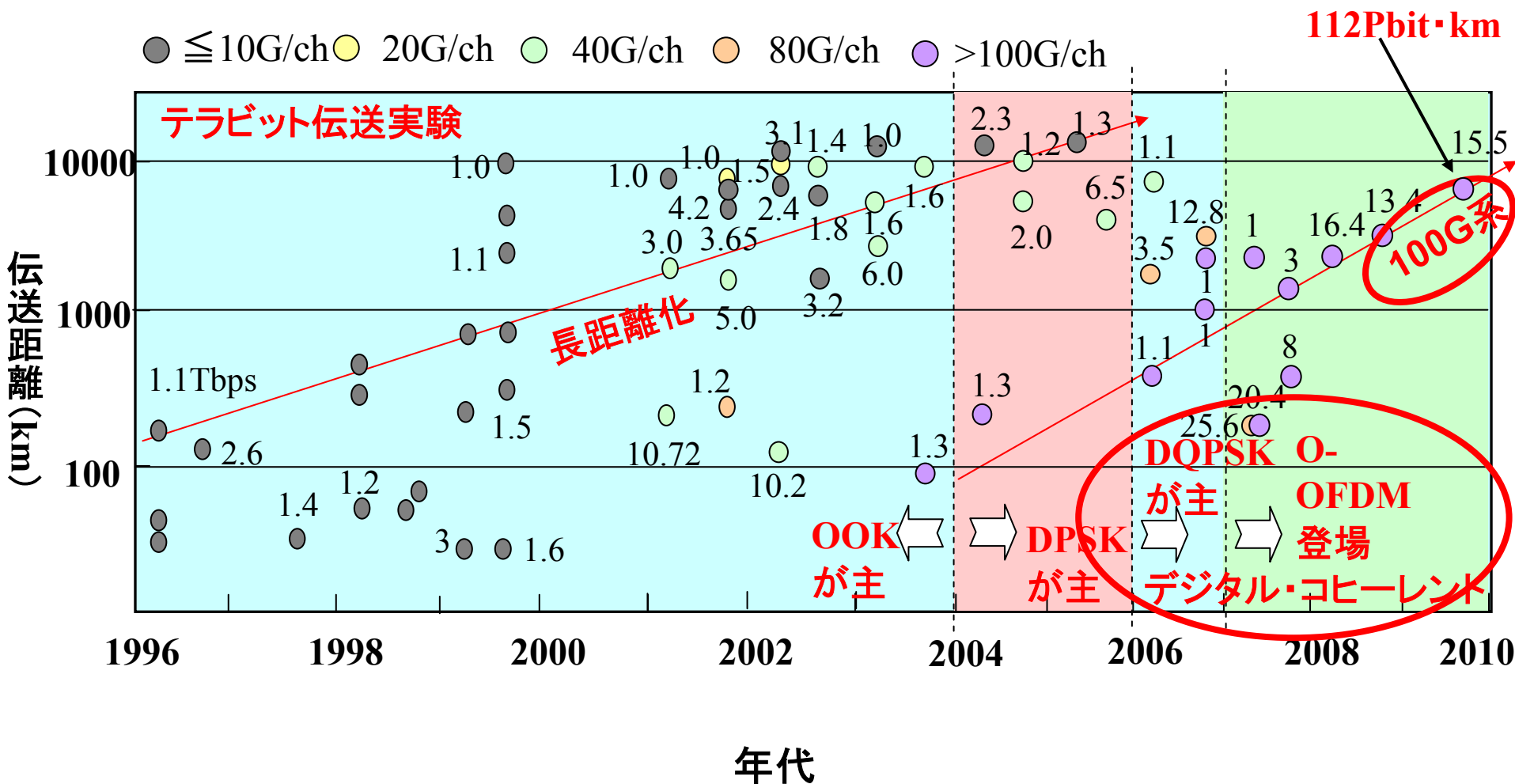
光通信はパラダイムシフトへ

速度:100G超へ

距離:3,500km超@100Gへ

検波方式:デジタル技術によるコヒーレントの復興

変調方式:多値 and/or 多キャリア方式へ



第1章

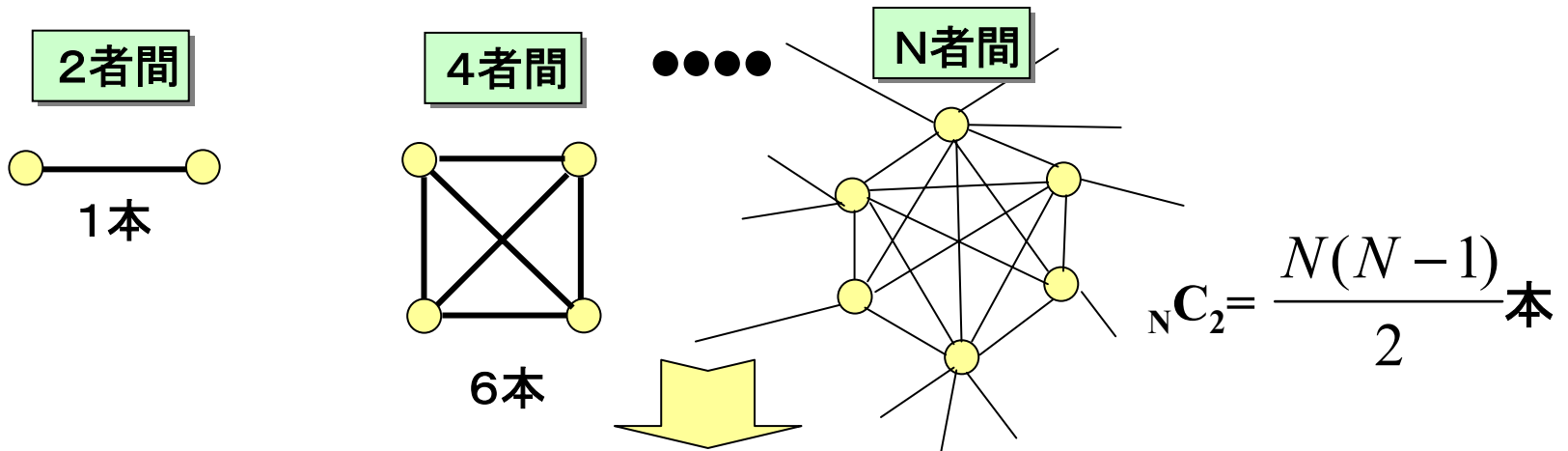
電話ネットワークとインターネット

1. デジタル交換の原理
2. デジタル交換の基本技術
3. 構成例
4. IP電話への流れ
5. インターネットのパケットの復習
6. IP電話の仕組み

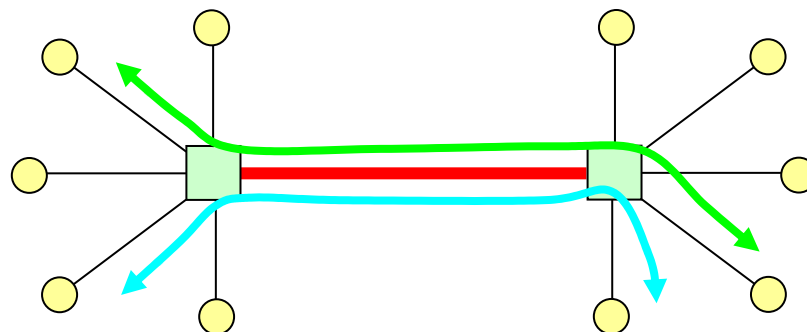
1対1通信から1対多、多対多通信への拡張

スイッチングによる配線・装置の経済的
配置が可能

ユーザ同志をスター配線した場合の通信路の必要数

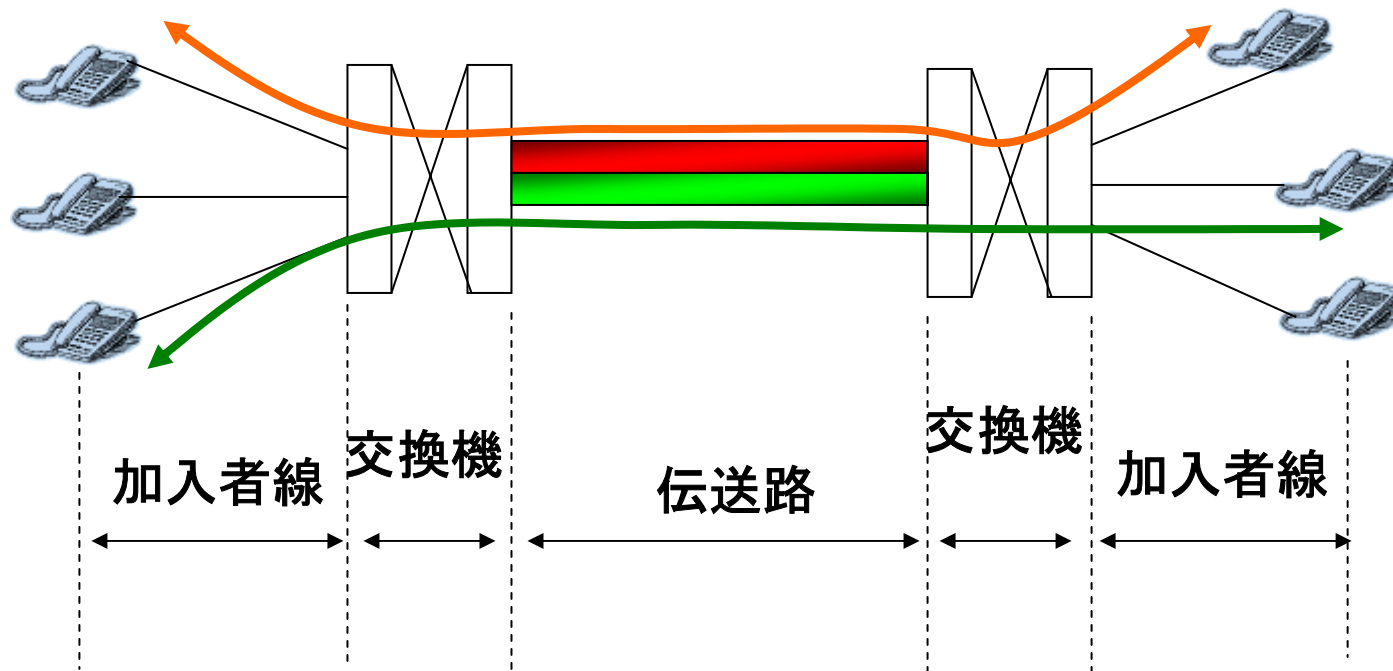


スイッチング・階層構成の導入



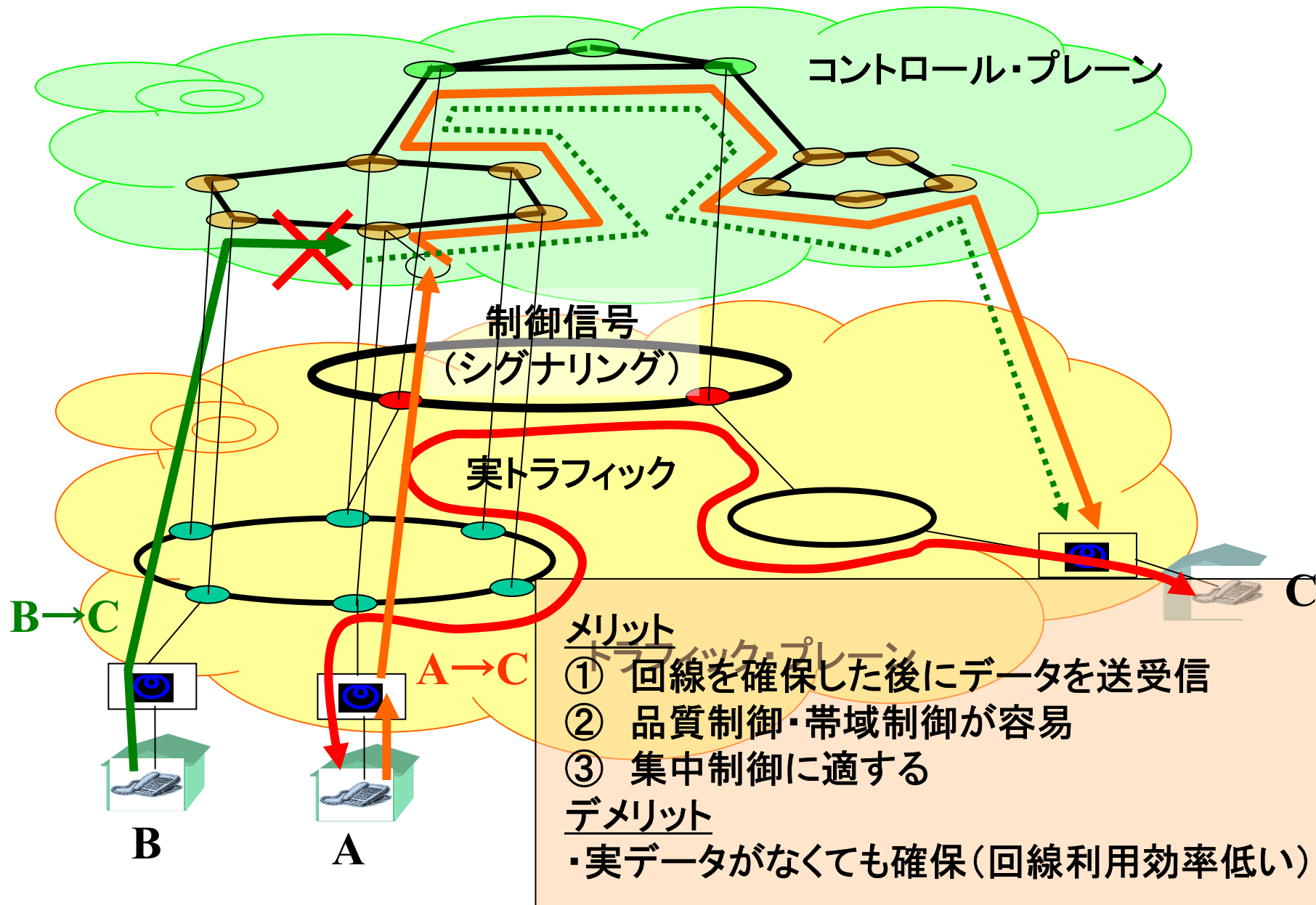
- 通信路の必要数低減
- 装置規模の縮小

電話交換網の基本構成

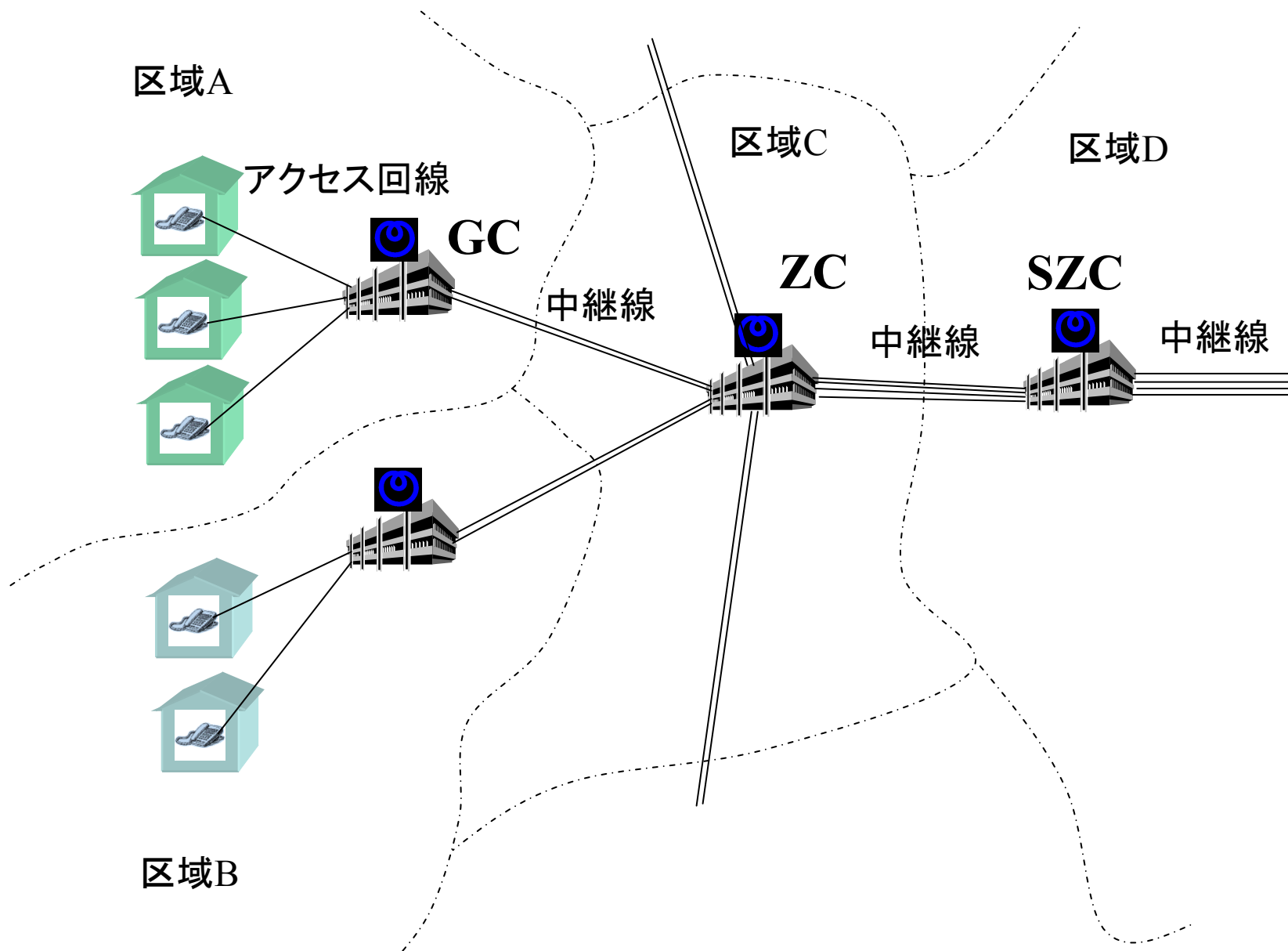


PSTN(加入電話網): Public Switched Telephone Network

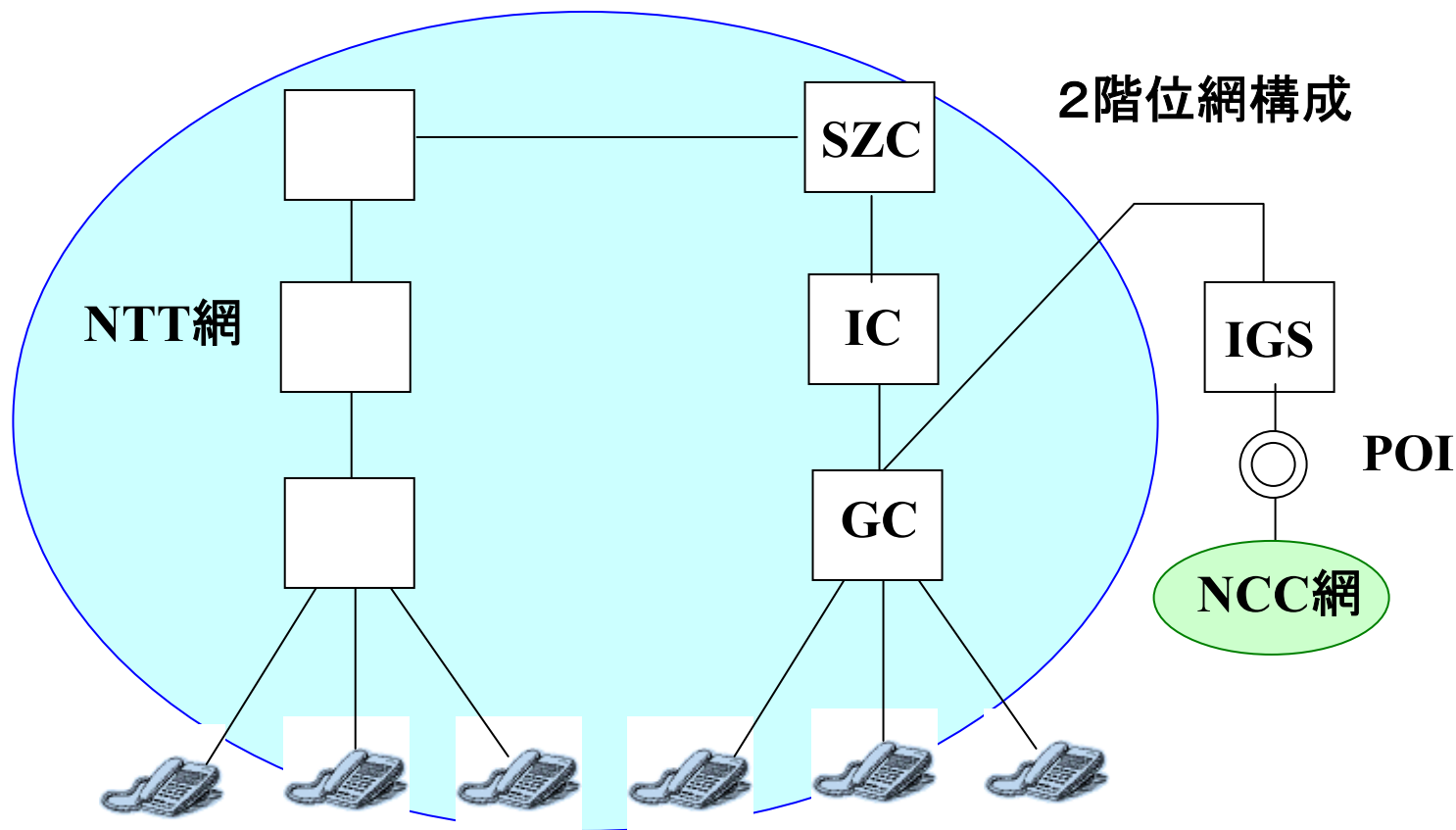
電話の通信の方式



NTT網の中継線による交換局間接続



電話網(デジタル交換網)の階層構成



GC : Group Unit Center (旧称ZC, Zone Unit Center), 群局

IC : Intrazone Tandem Center, 区域内中継局

SZC : Special Zone Center, 特定中継局

IGS : Interconnecting Gateway Switch, 相互接続用関門交換機

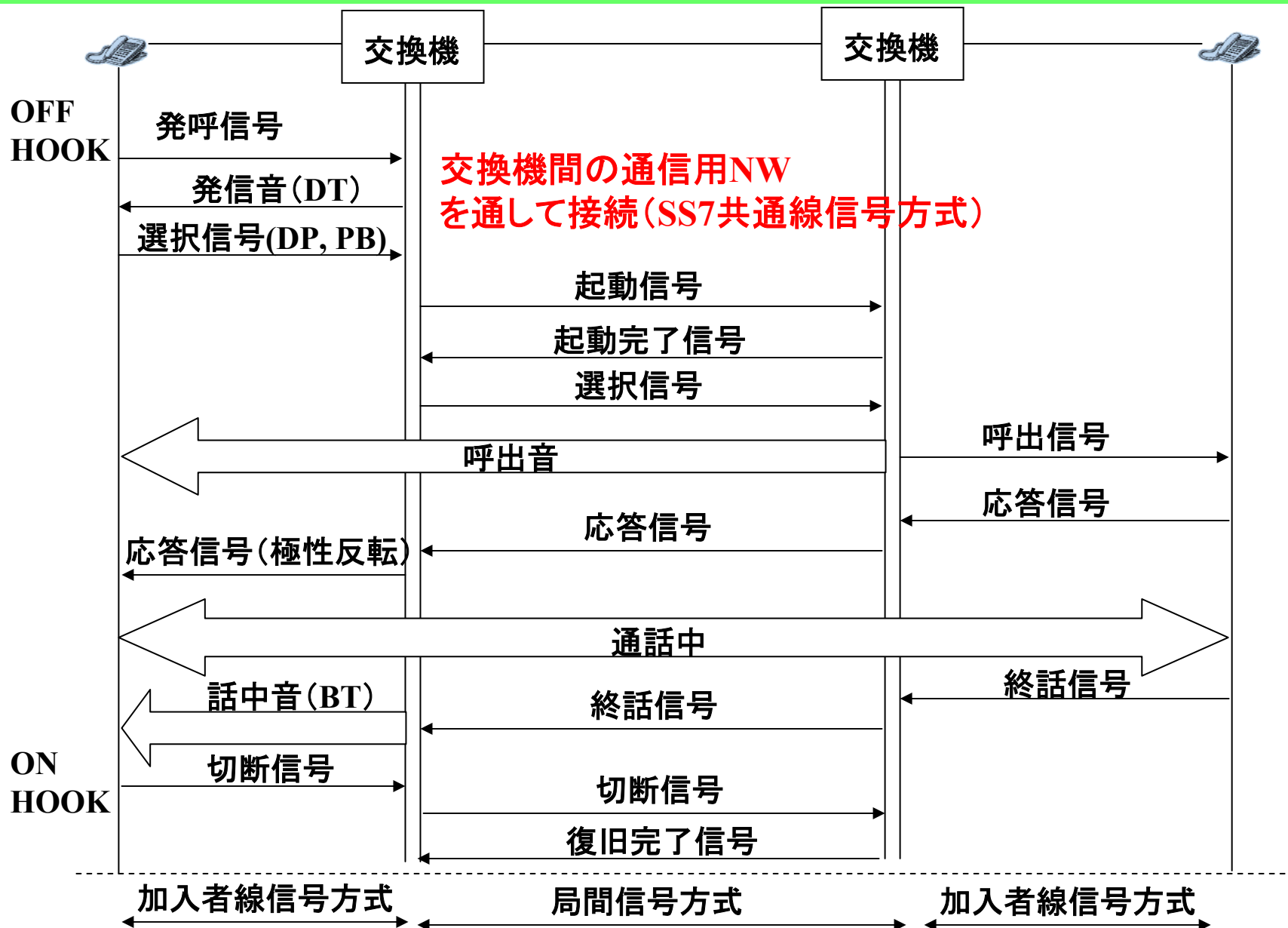
POI : Point of Interconnection, 相互接続点

NCC : New Common Carrier, 新規事業者

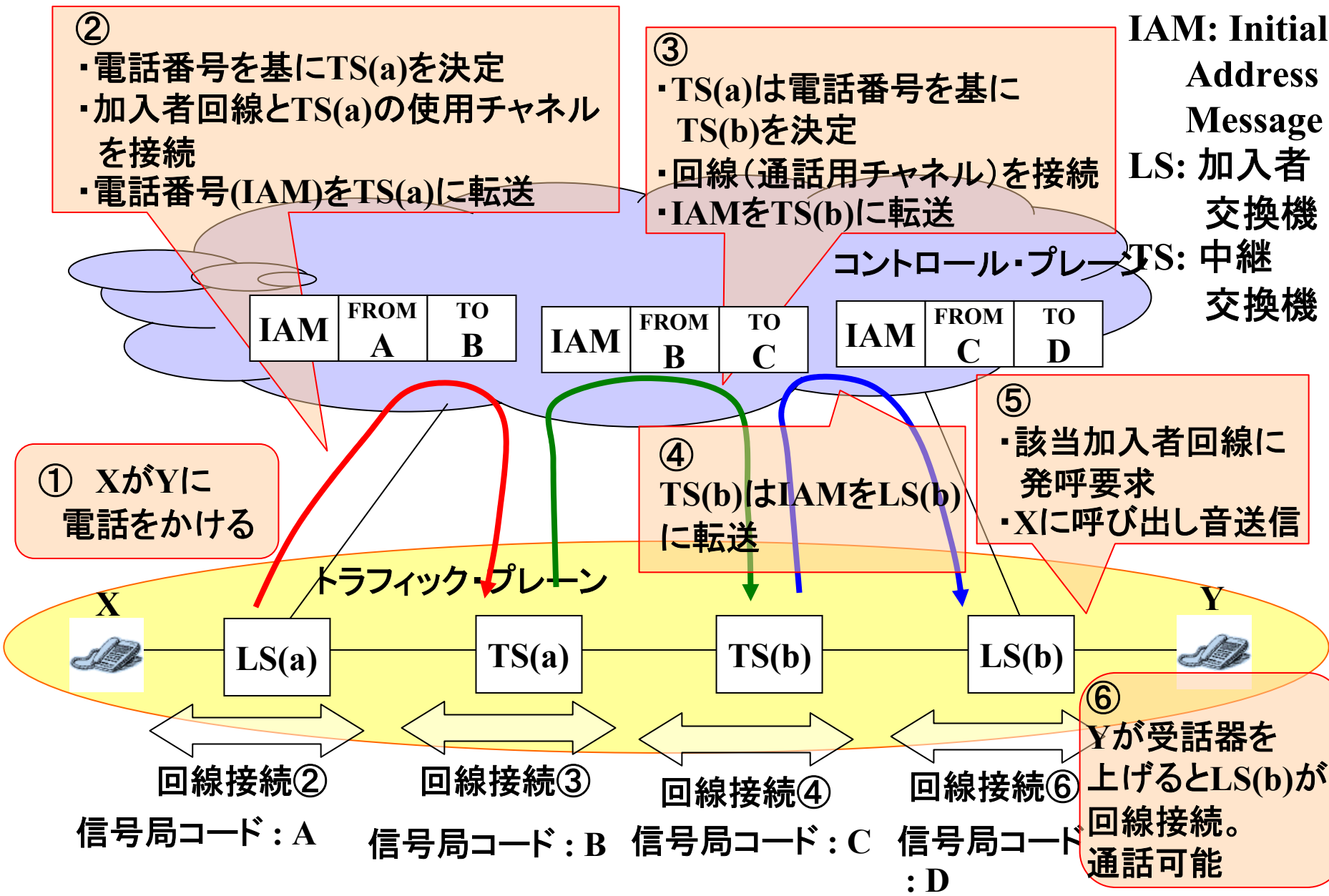
デジタル交換網の局階位

局階位	機能
SZC(特定中継局)	トラフィック量の少ない中継区域間の トラフィックを交換する交換局
IC(区域内中継局)	中継区域のトラフィックを中継する 交換局
GC(群)局	ユーザを直接收容し、中継局へトラフィックを 中継する交換局

電話網の信号の流れ

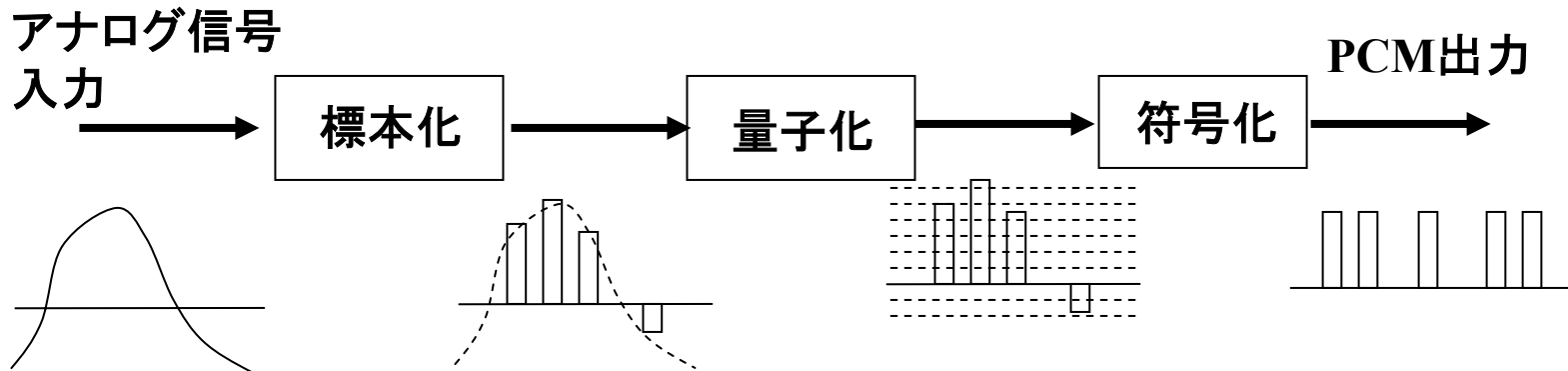


No.7(SS7)共通線信号方式



音声信号のデジタル化

PCM変調(Pulse Coded Modulation)



① 標本化(Sampling)

- ・シャノンの標本化定理により、
原信号の最高周波数の2倍以上の
速度で標本化を行えば、再生可能。
- ・音声信号帯域(可聴周波数範囲)は
0.3~3.4kHzであるため、8kHzで
サンプリング

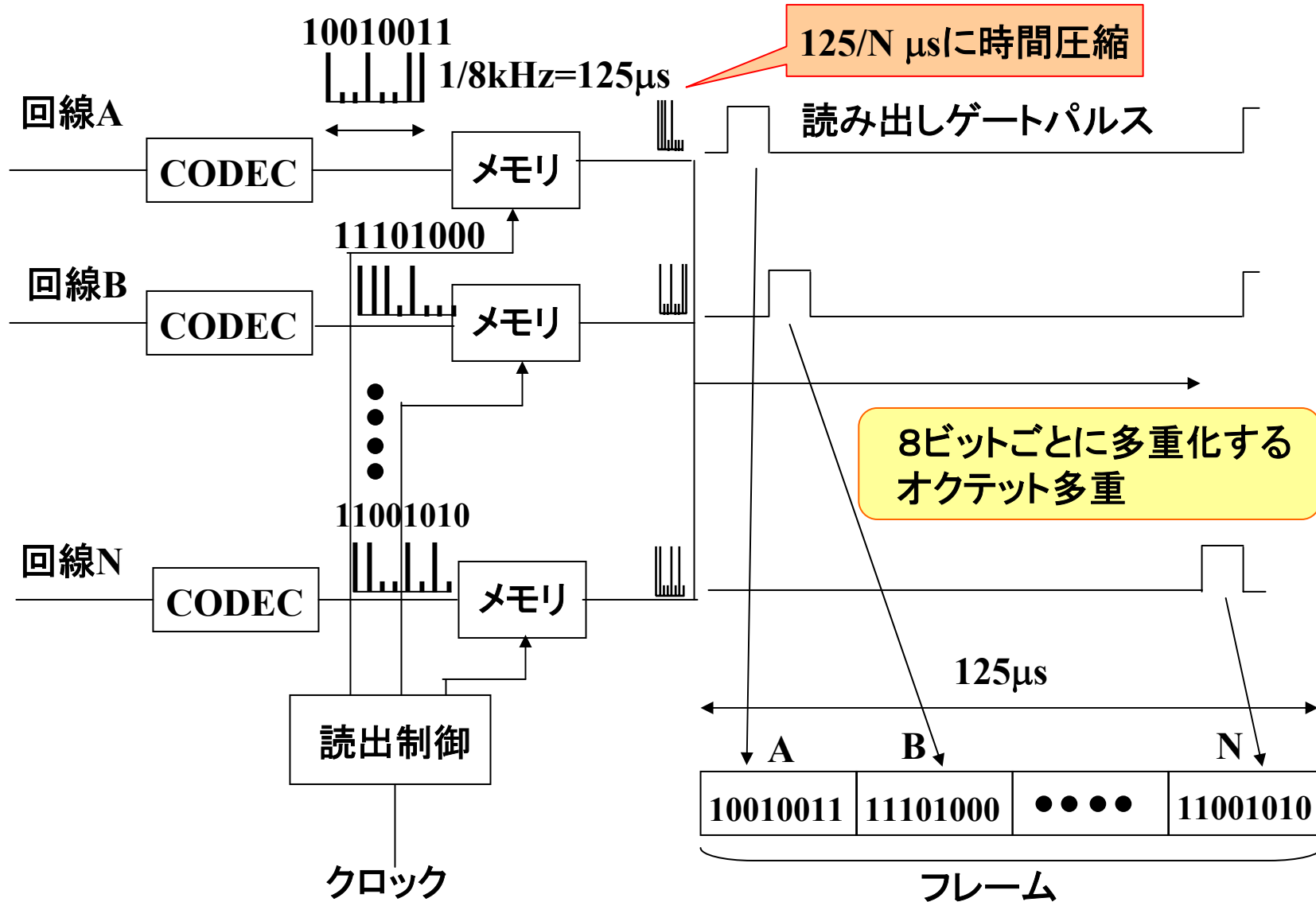
② 量子化(Quantization)

- ・8ビット量子化により、
 $2^8=256$ 階層の振幅値を使用
- ・ダイナミックレンジは
 $20\log 2^8 = 48\text{dB}$

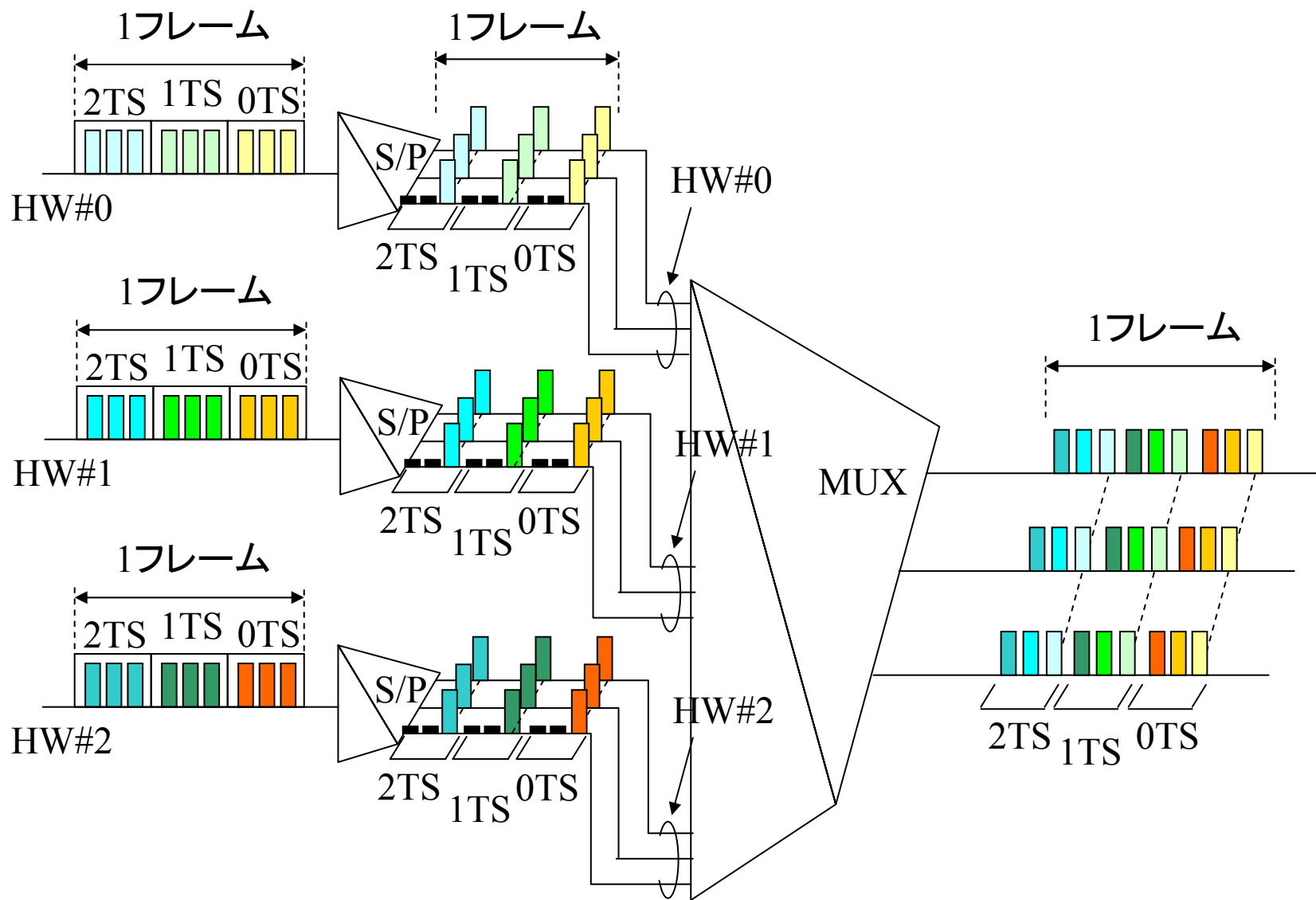
③ 符号化(PCM)

- ・音声1チャネルの伝送速度は、
 $8\text{kHz} \times 8\text{ビット} = 64\text{kHz}$ (-> Bチャネル帯域)

信号の多重化



並列ビットによる多重化

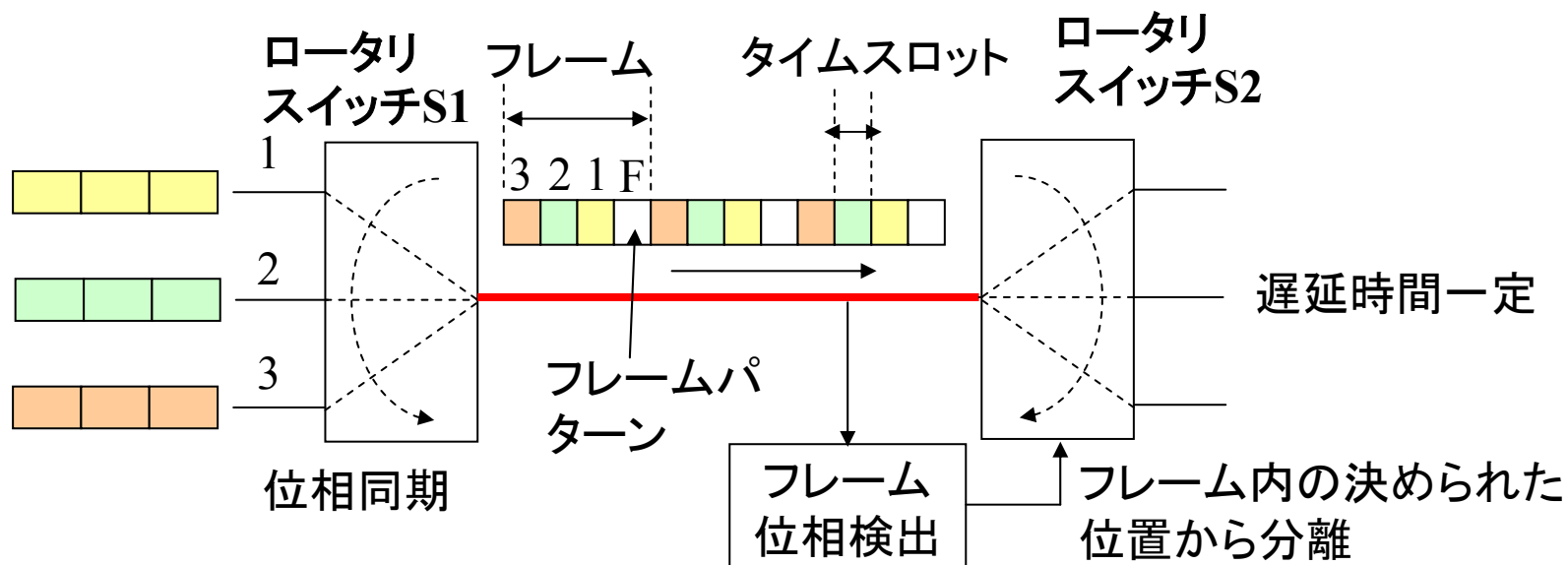


同期化とフレーム同期

- ① 送信側の各入力ポートのメモリに入力されるパルス速度はすべて等しく、ロータリスイッチS1の回転速度と一定の関係を保つ（同期化）。

入力パルス速度 × ポート数 = ロータリスイッチS1の回転速度

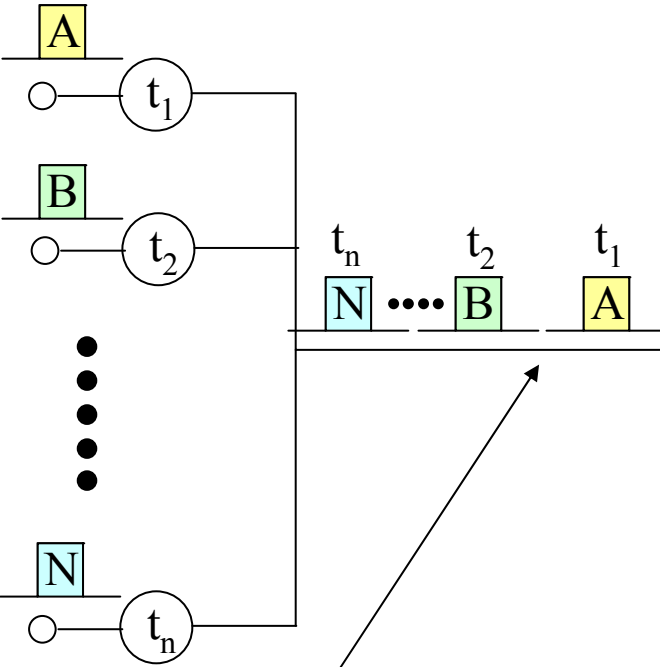
- ② 受信側のロータリスイッチS2がS1と同一速度・位相で回転するよう、回転速度・位相情報を送信側から受信側に転送（フレーム同期）。



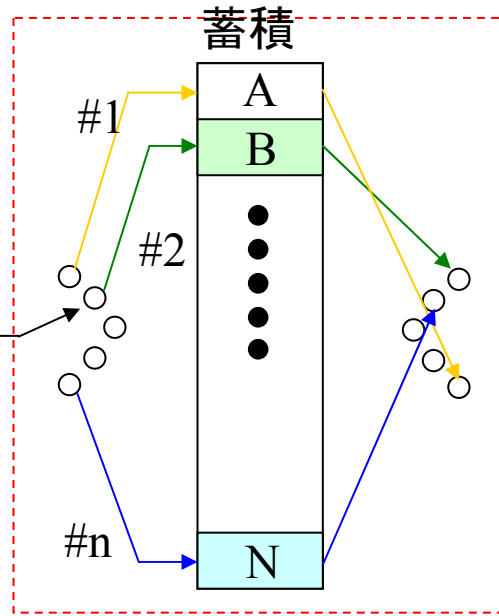
デジタル交換の時分割多重 (位相変換制御)

時分割交換方式

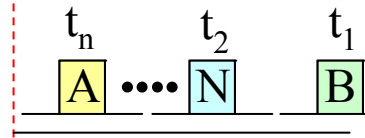
多重化



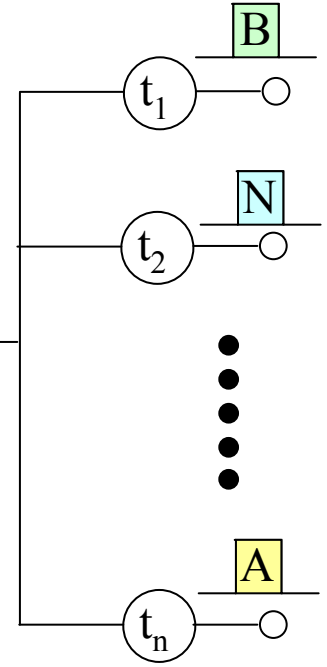
順序入換
(位相変換)



時間スイッチ
(Tスイッチ)

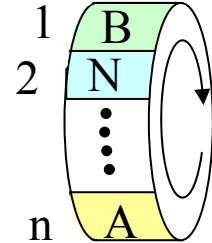


分離



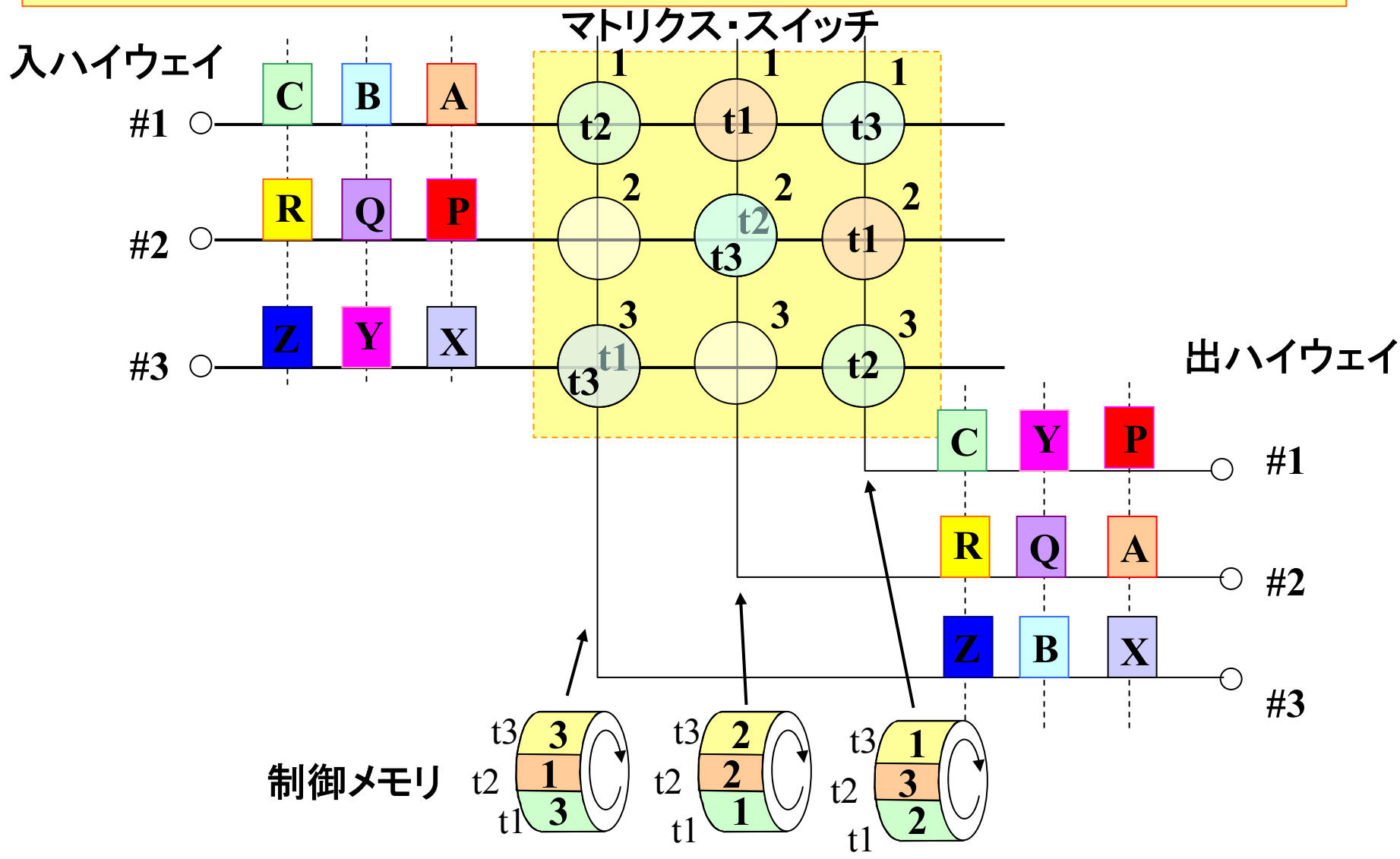
ハイウェイ:
信号が多重化される物理線

制御メモリ



空間スイッチング

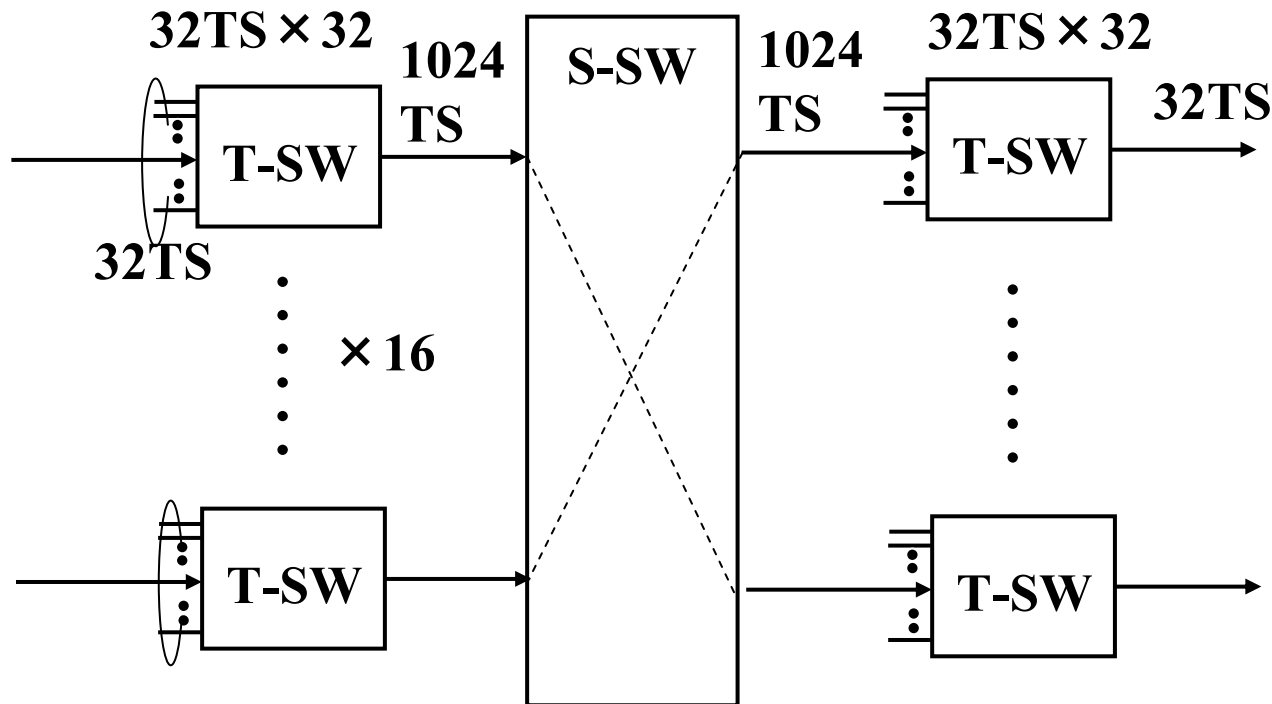
スイッチ拡張時のメモリサイズ・速度の限界により空間スイッチ(Sスイッチ)を組み合わせて拡張



T-Sピラミッド

T-Sピラミッド:
スイッチ規模を拡張する時のTスイッチ・Sスイッチの組み合わせ

選択経路数の増加度・通話路網の使用能率向上の観点より
T-S-T系列が用いられる。



TS : Time Slot (多重・分離の単位となっている1組のビット列の時間領域)

同期化の方法(網同期)

各局にクロック信号を分配して従属動作させる方法(従属同期方式)

