

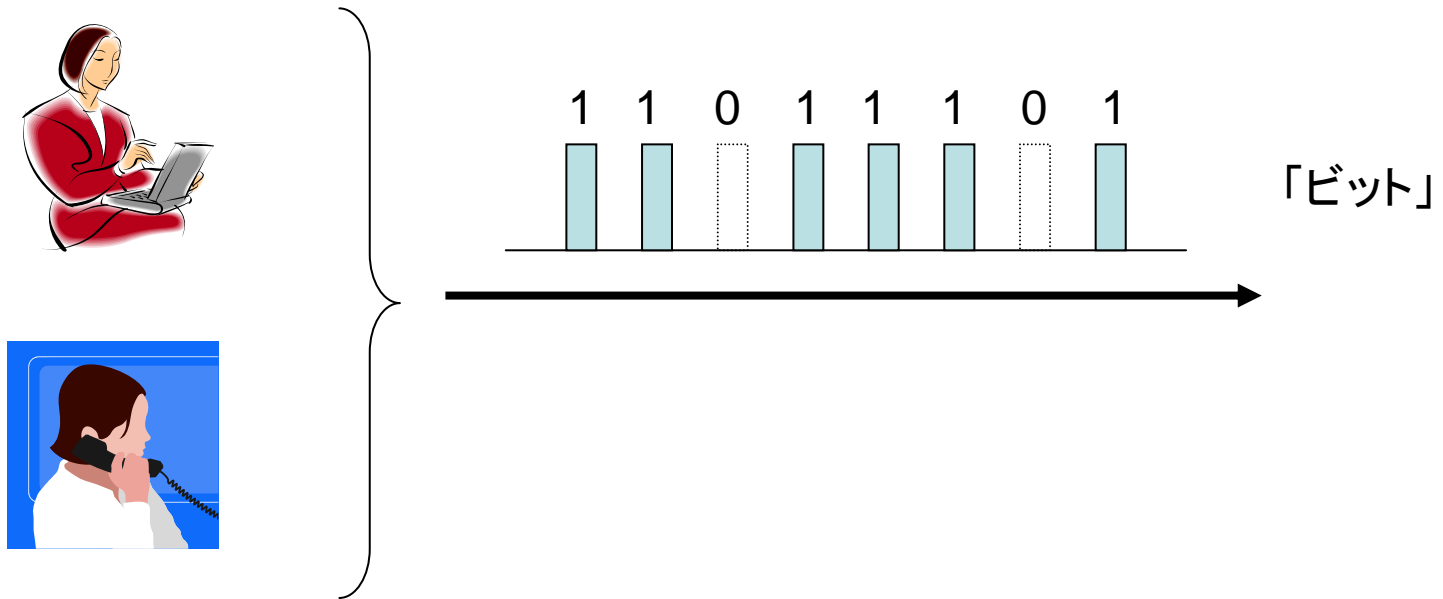
ブロードバンド社会を支える光通信技術

工学研究科電気電子情報工学専攻

井上 恭

「ブロードバンド(Broad Band)」って何？

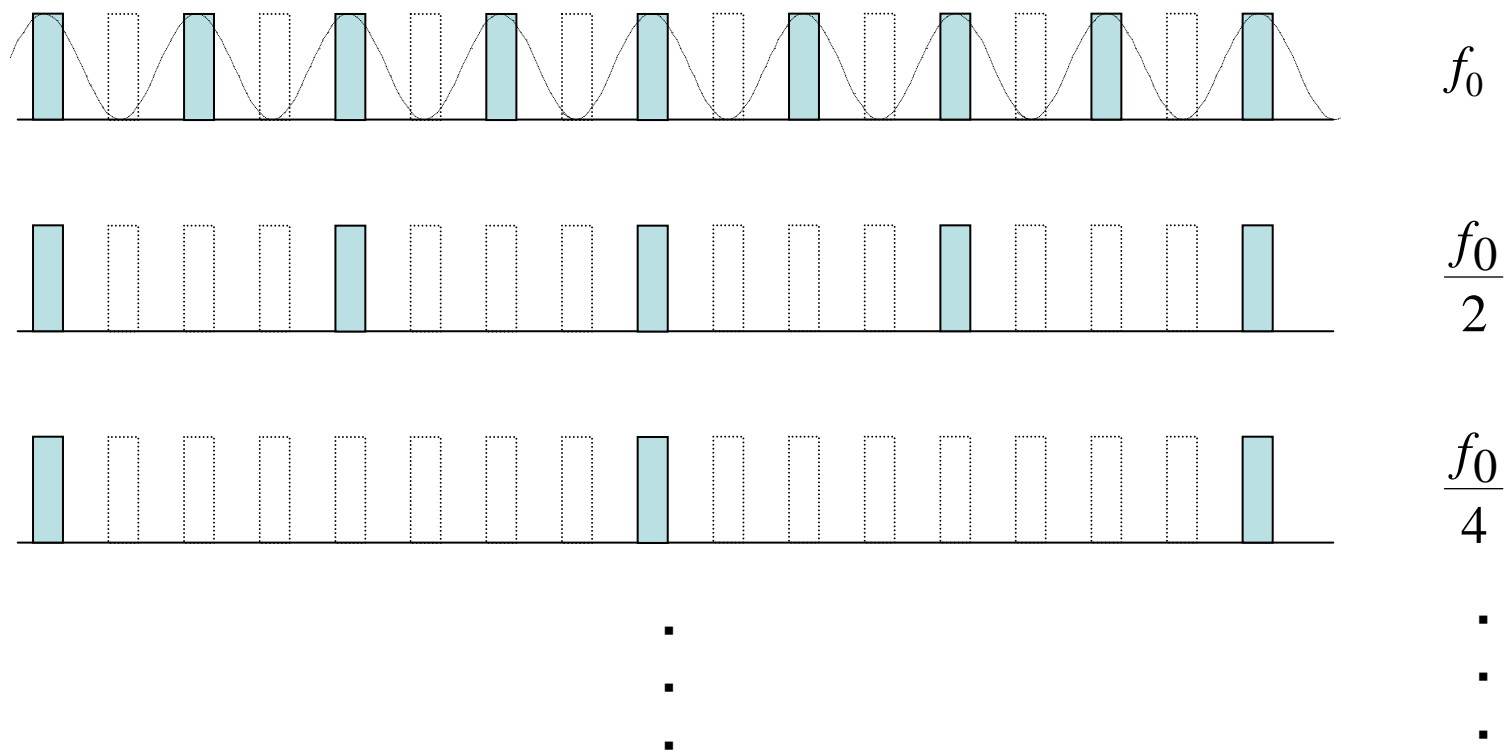
(現在の)情報通信の基本は「1」「0」のデジタル信号



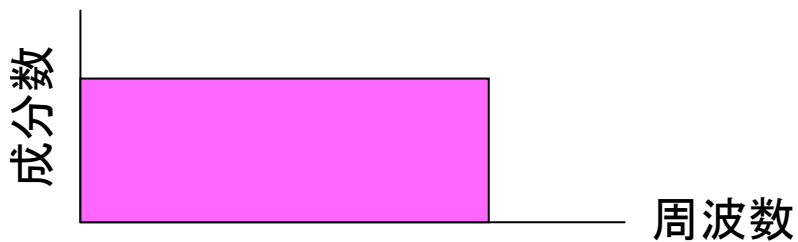
1秒当りのビット数が多いほど送る情報量は大きい

〔情報通信量の単位:bps (bit-per-second)〕

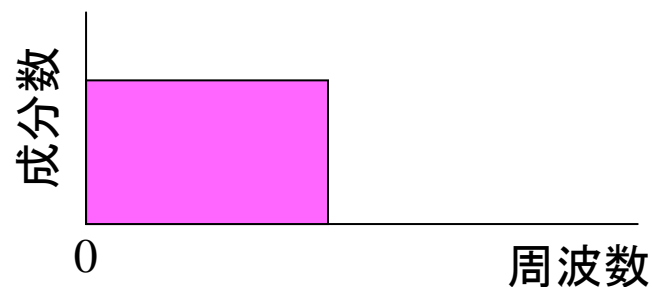
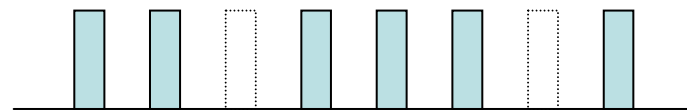
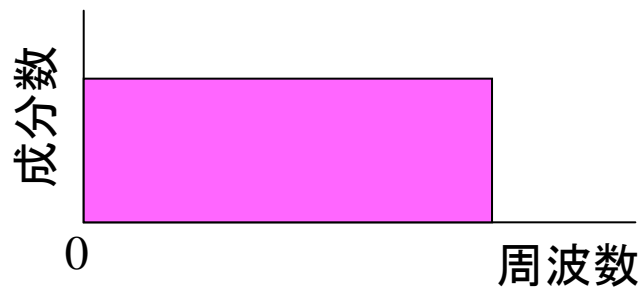
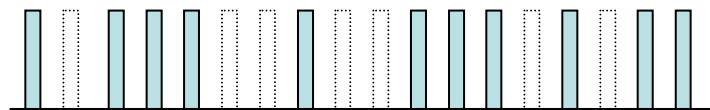
ところで、
送られるビット列のパターンは様々。



一般の信号は様々な周波数成分の重ね合わせ



だから、
使える周波数範囲が広いほどたくさんの情報が送れる。



ブロードバンド信号

周波数範囲(バンド)の広い(ブロード)信号

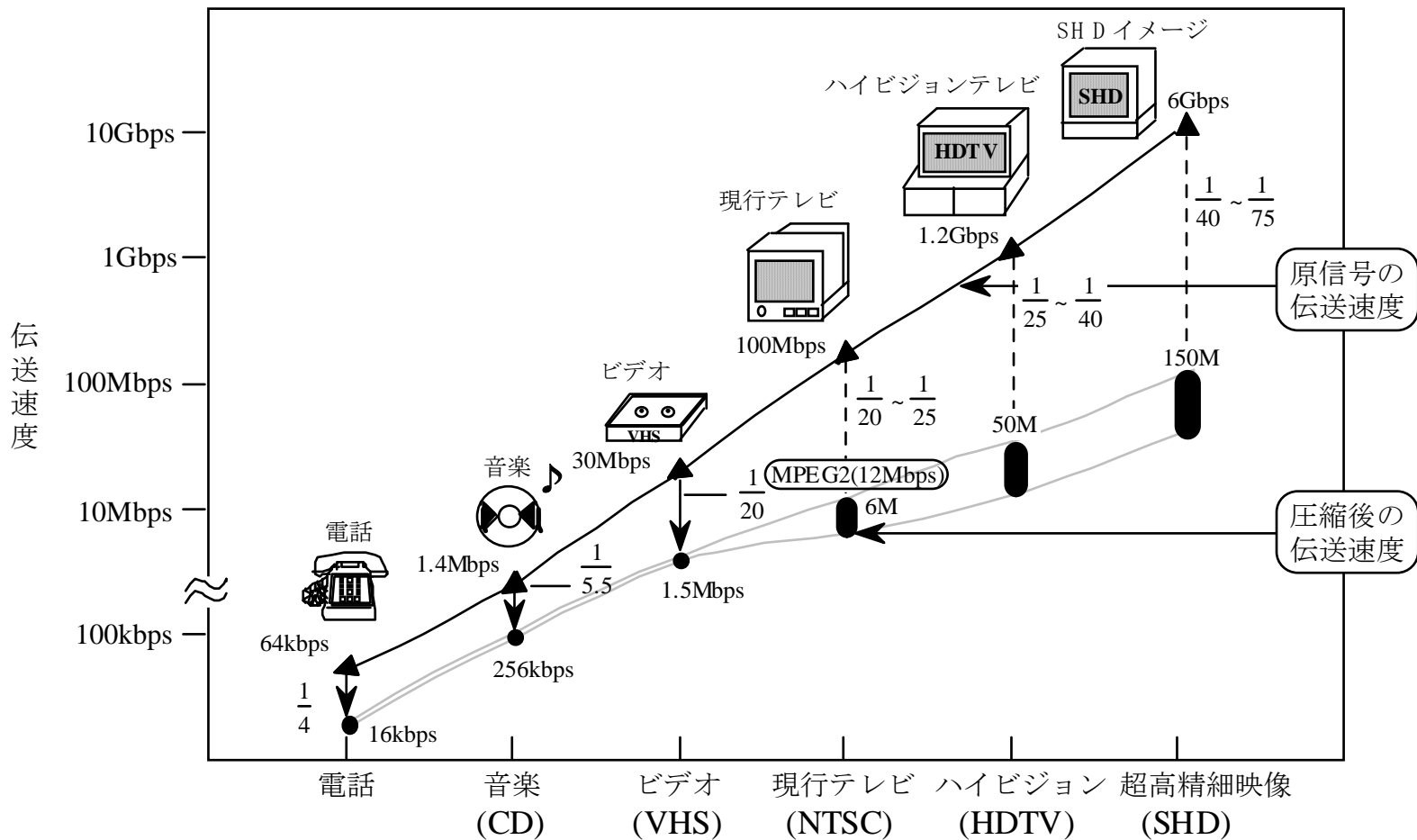
||

情報量の大きい信号

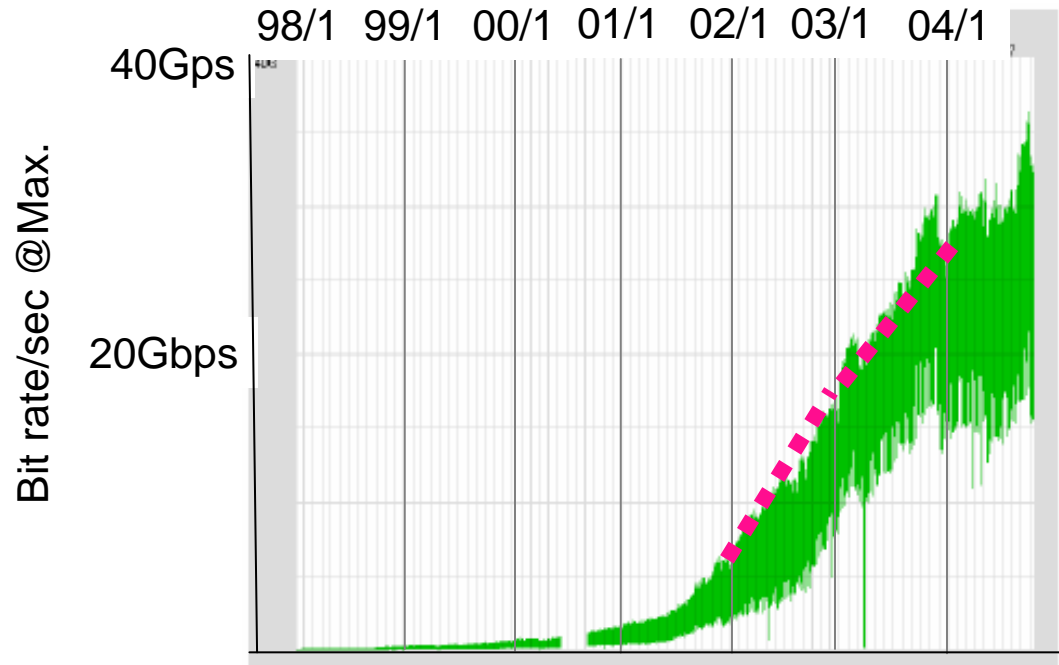
ブロードバンドサービス

情報量の大きい通信サービス

各種サービスの伝送速度



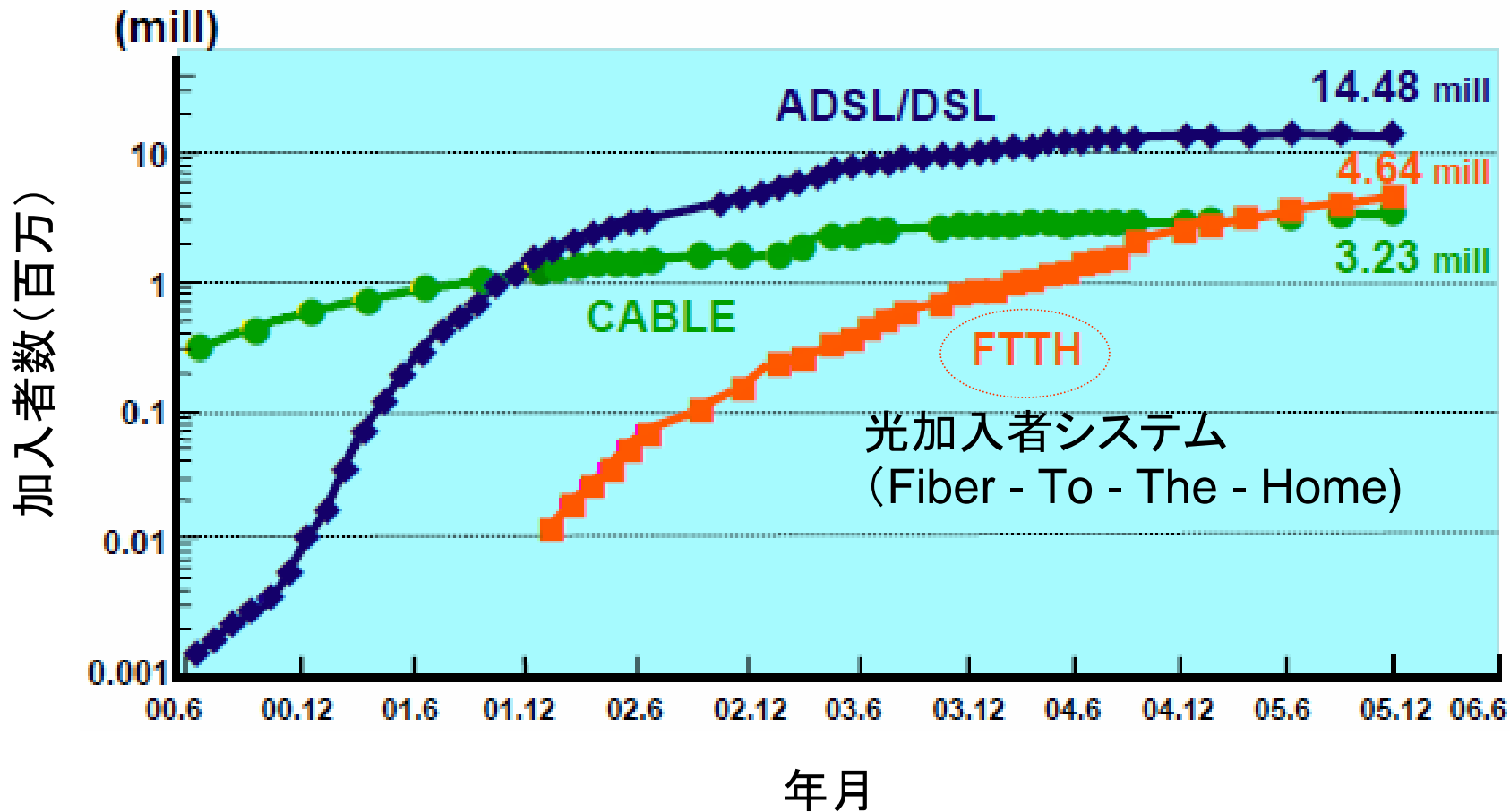
日本におけるインターネット情報伝送量の推移



インターネットの普及 ⇔ 情報伝送量の増大

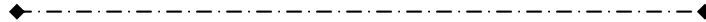
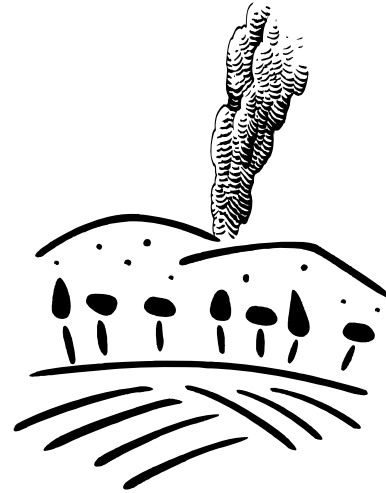
大量な情報伝送を可能にしたのが光通信技術

日本におけるブロードバンドサービスの加入者数

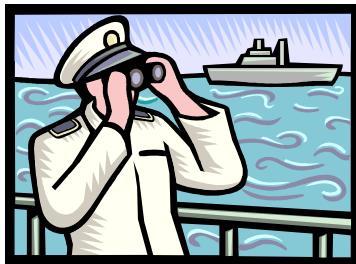


光通信の歴史(1)

のろし



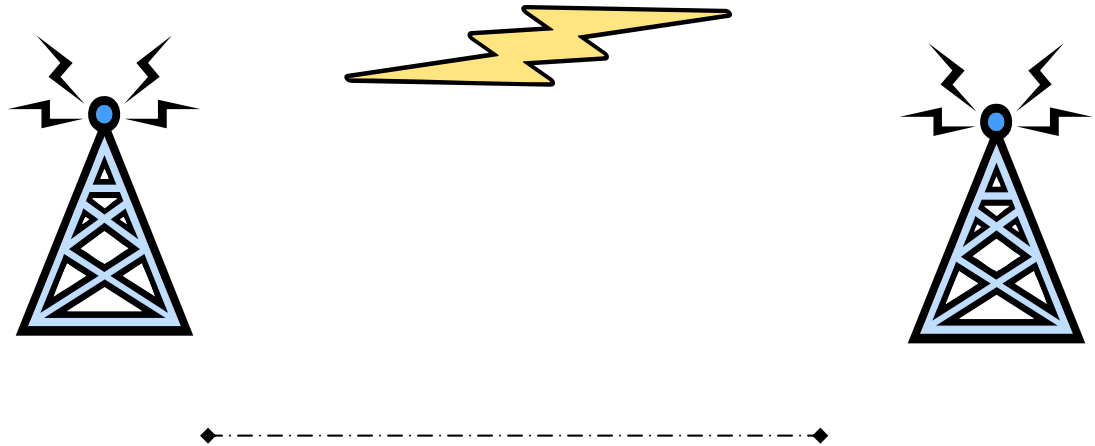
信号灯



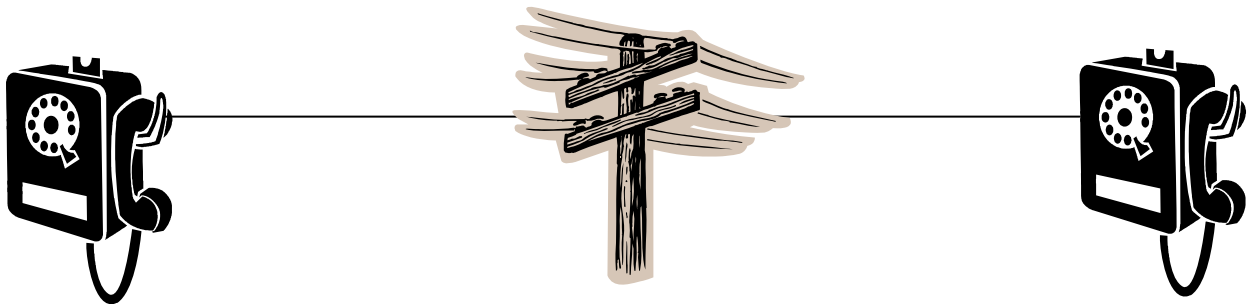
でも

本格的な通信システムは電気から

無線通信



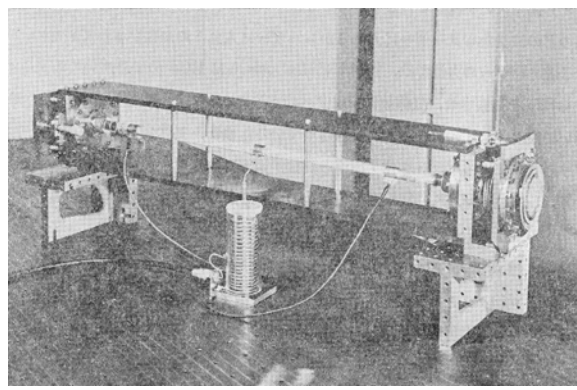
電話線(銅線)



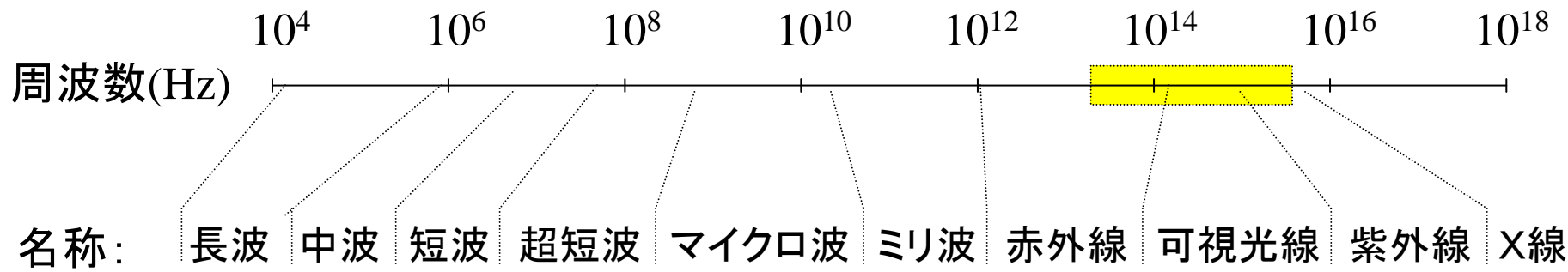
光通信の歴史(2)

レーザーの発明(1960年)

- ◆周波数の高い電磁波
- ◆単色性
- ◆指向性が良い

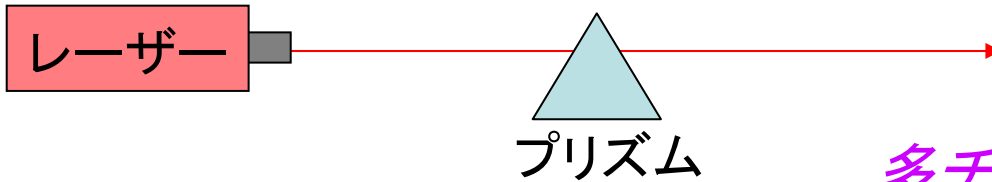
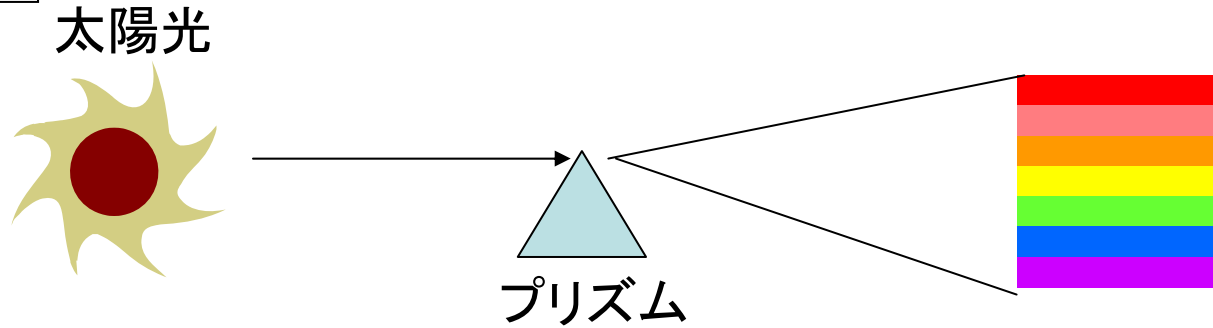


電磁波の周波数

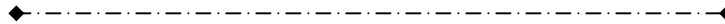


周波数が高いと情報伝送量大の可能性

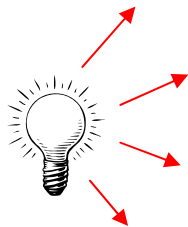
単色性



多チャンネル化の可能性



指向性



パワーの有効利用



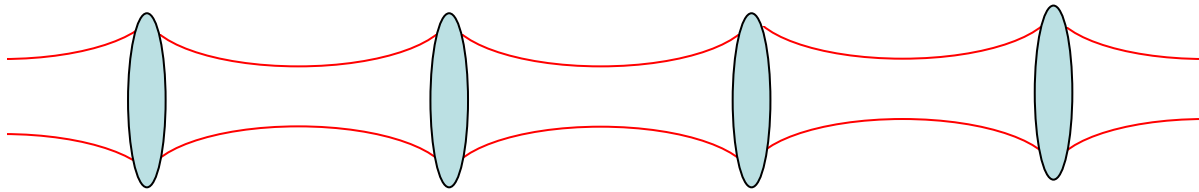
He-Neレーザーを使った空間光通信実験@霞ヶ関ビル



But、これだけではまだまだ足りない

こんな研究もあった

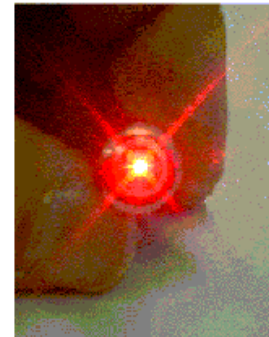
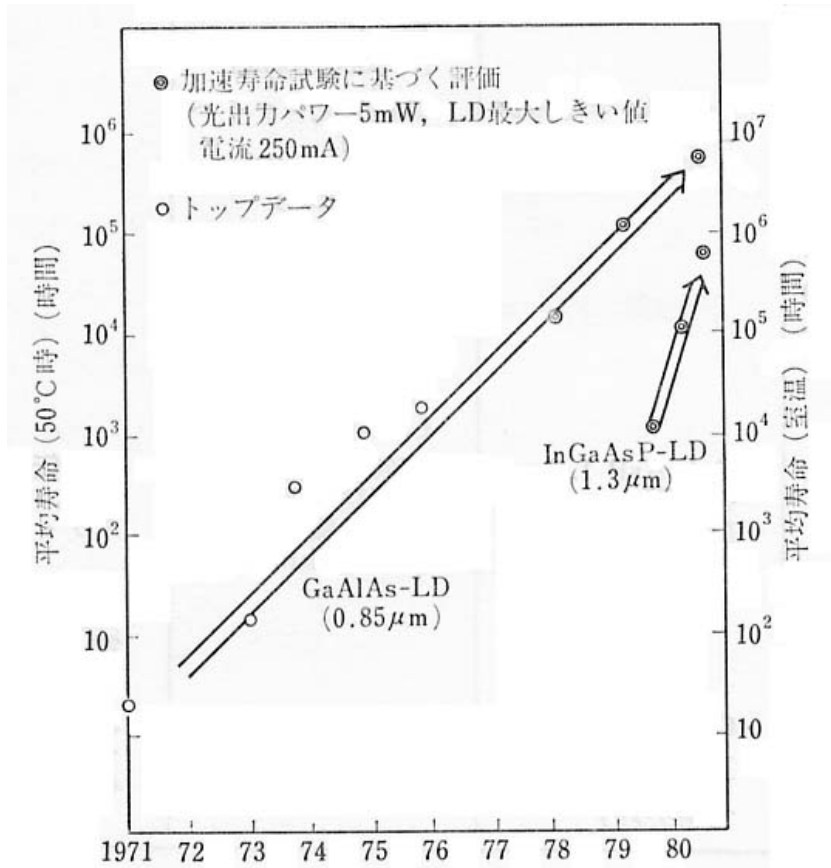
レンズ導波管



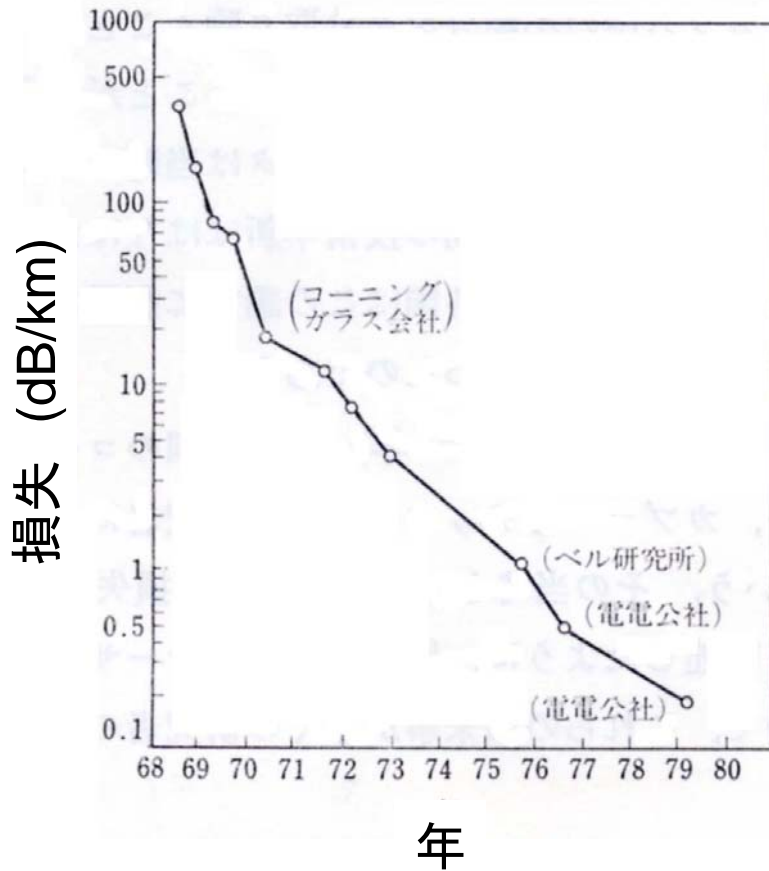
当然、無理筋

光通信の歴史(3)

半導体レーザーの室温動作(1970年)



低損失な光ファイバの実現(1970年)



損失 L	透過率 T
0 dB	1.0
10 dB	0.1
20 dB	0.01
30 dB	0.001

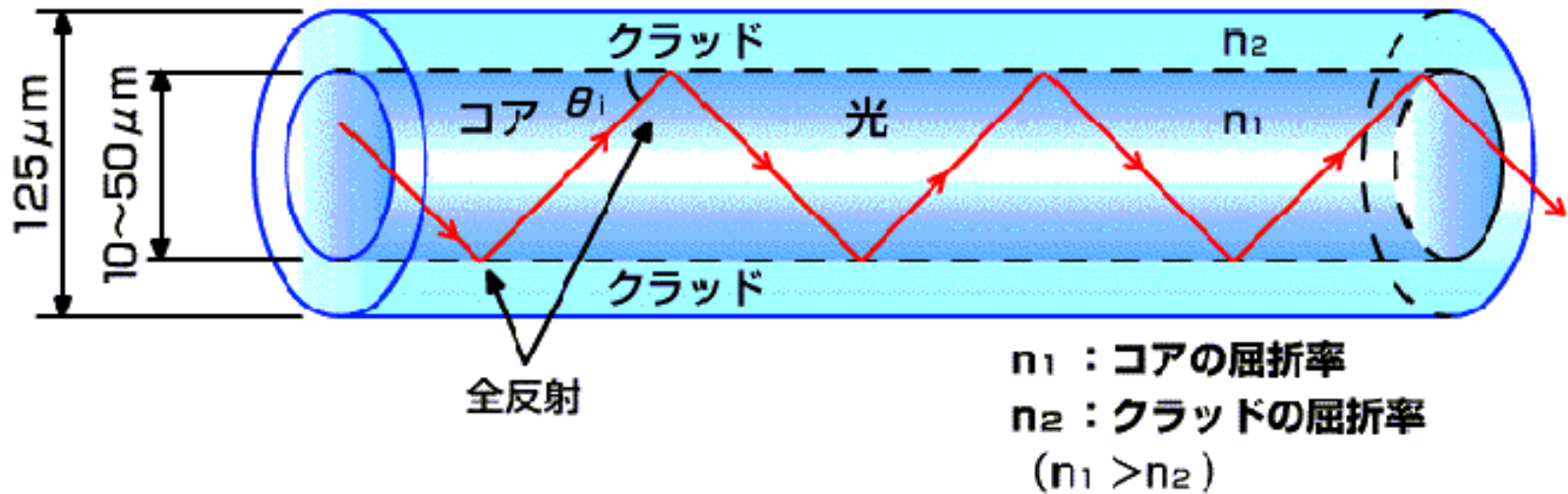
$$\left[T = 10^{-L/10} \right]$$

これから光通信の研究が本格化

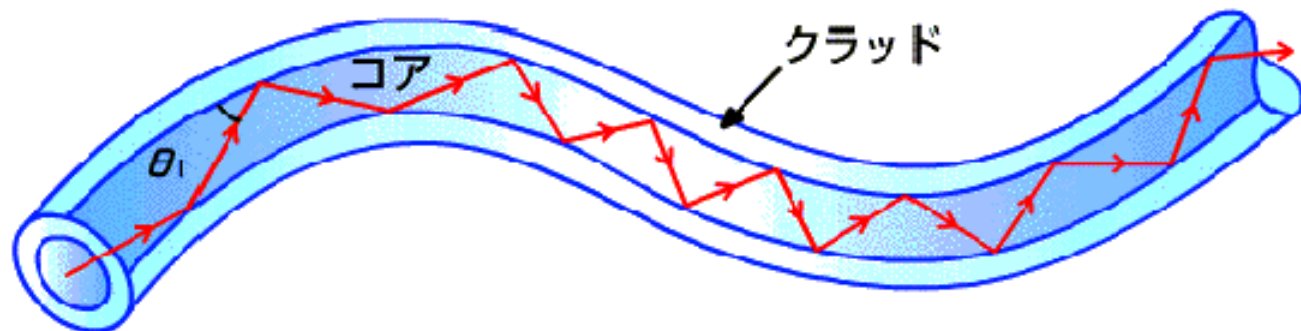
ここで

光ファイバについて

ファイバ内を全反射しながら光が伝搬

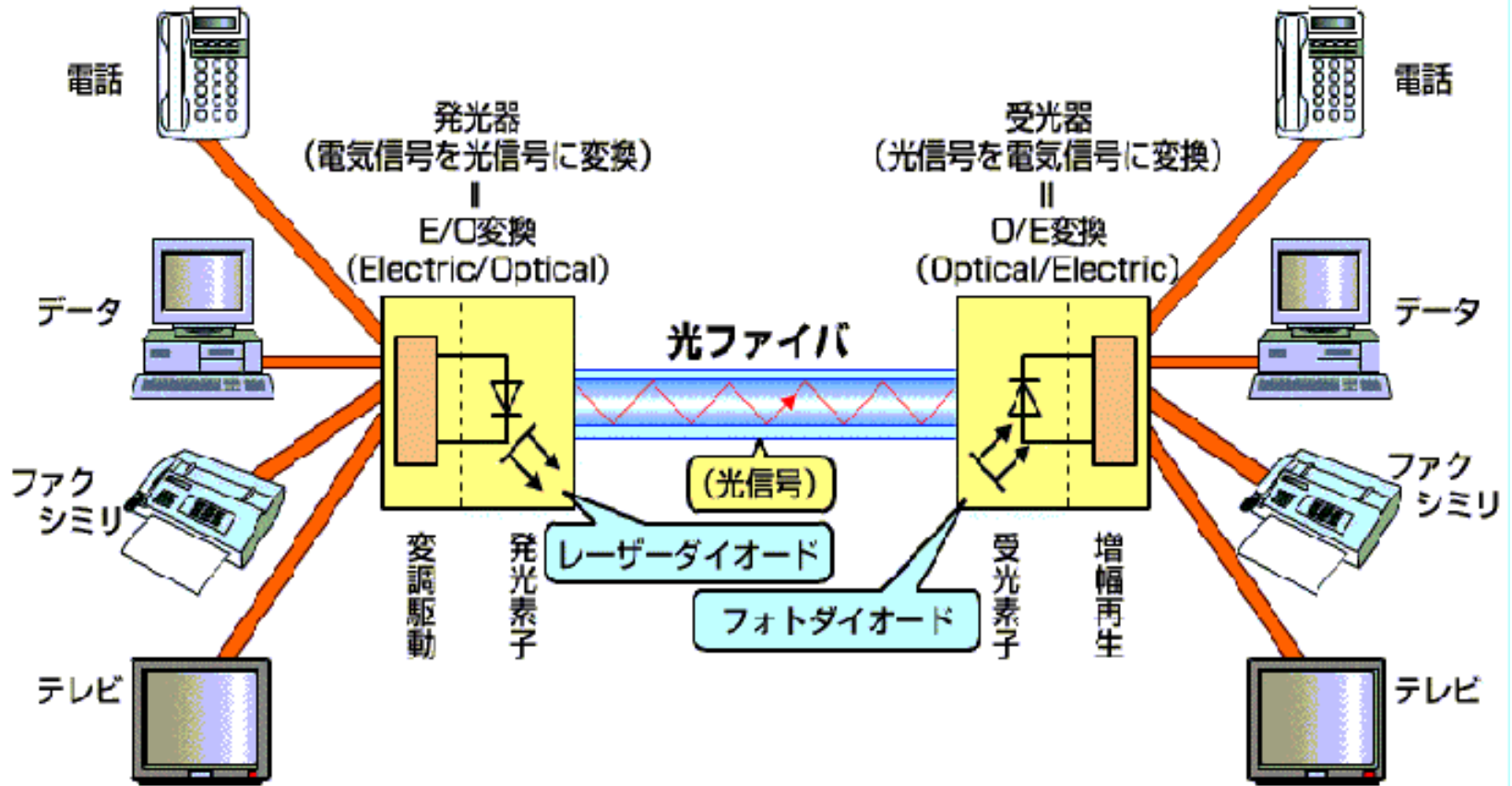


曲がった光ファイバ内を伝搬する光



そして30年後

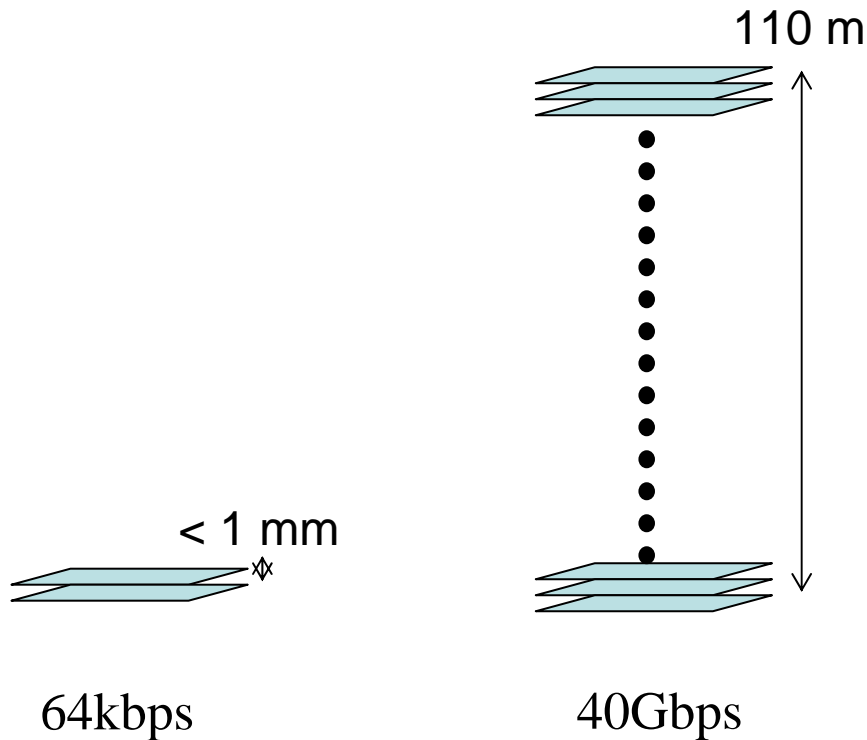
光ファイバ通信システムの基本構成



最新の実用システムの情報伝送量は40Gbps

電話回線1本の伝送量は64kbpsなので、電話回線 $\frac{40 \times 10^9}{64 \times 10^3}$ 分

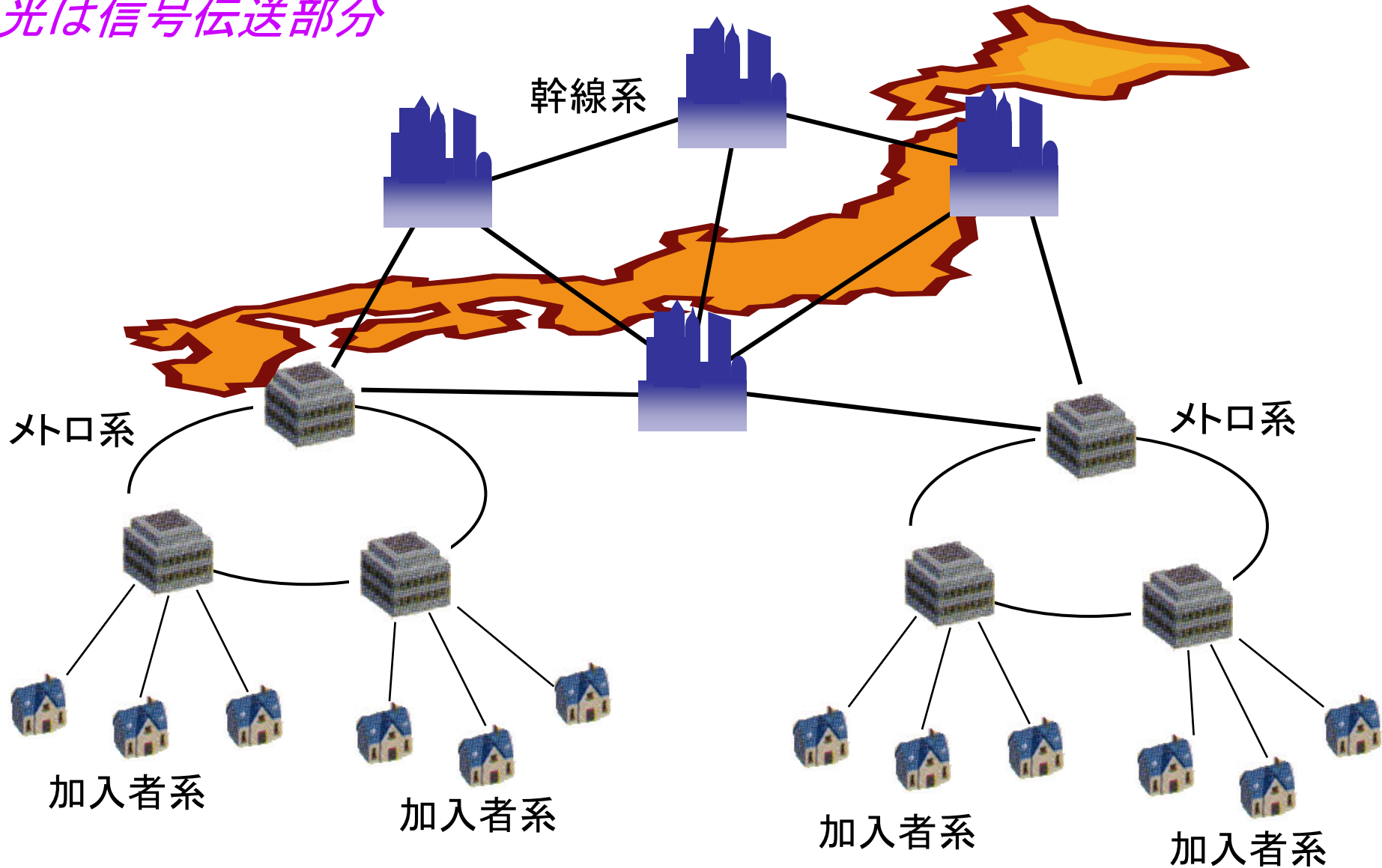
A4の書類を積み上げると、



実際は

通信ネットワークの構成

光は信号伝送部分

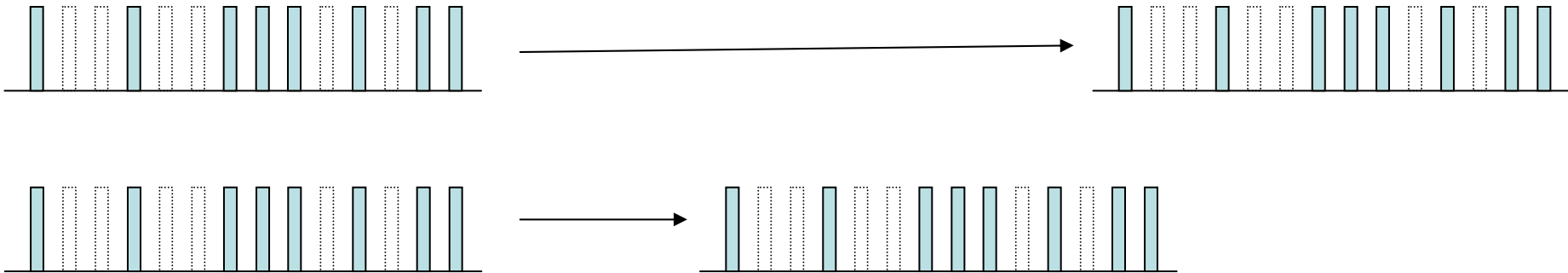


ところで

なぜ光はブロードバンド伝送に向いているの？

よくある答:「光は速いから」(光速は高速?)

がしかし、
スピードが速いからといって情報量が多いわけではない。

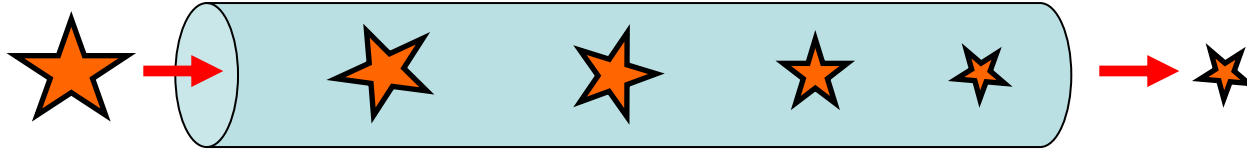


単位時間あたりに送れるビット数は同じ。

そもそも、電磁波の伝搬速度は大体みな同じ。

一番の理由は

光ファイバは伝搬損失が小さい

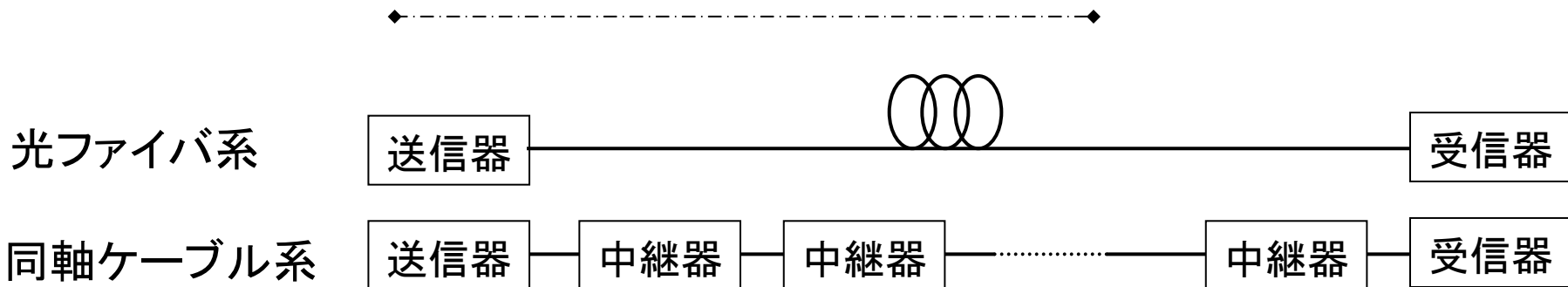


散乱や吸収のために光が減衰

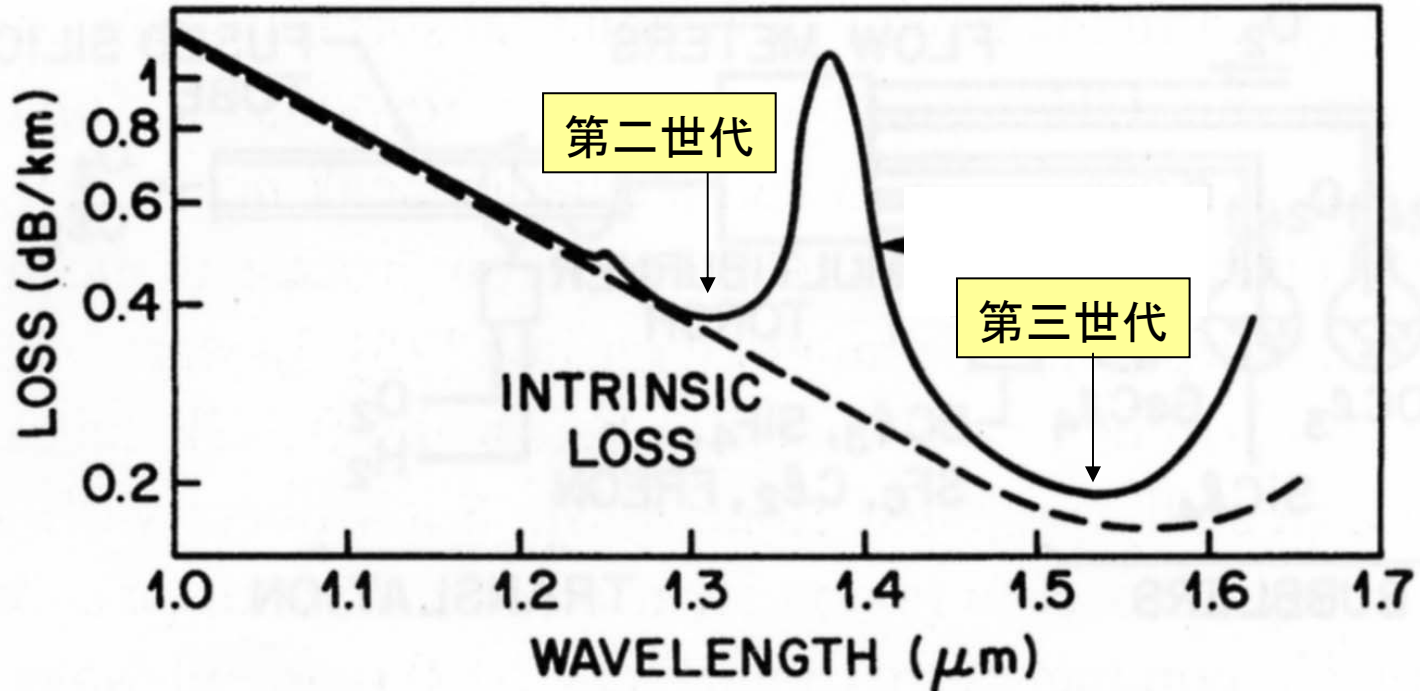
{ 1kmあたり約 0.2dB (透過率 95.5%)
10kmあたり約 2dB (透過率 63%)

一方、同軸ケーブル(銅線)に電気信号を通す場合、
周波数が高いほど伝搬損失が大きくなる。

ex. 10dB/km for 10MHz



光ファイバの損失特性



伝送システムの最大のポイントは伝送媒体

第一世代 (0.8μm帯) : 最初の半導体レーザー

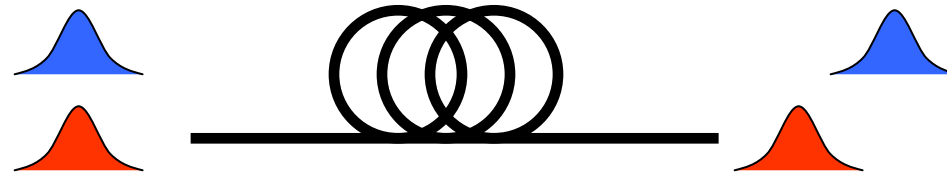
第二世代 (1.3μm帯) : 分散がゼロ (レーザーはマルチモード)

第三世代 (1.5μm帯) : 損失が最低 (分散シフトファイバ、単一モードレーザー)

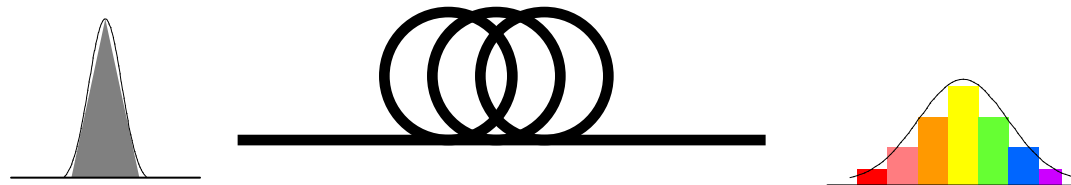
ここで

光ファイバの分散について

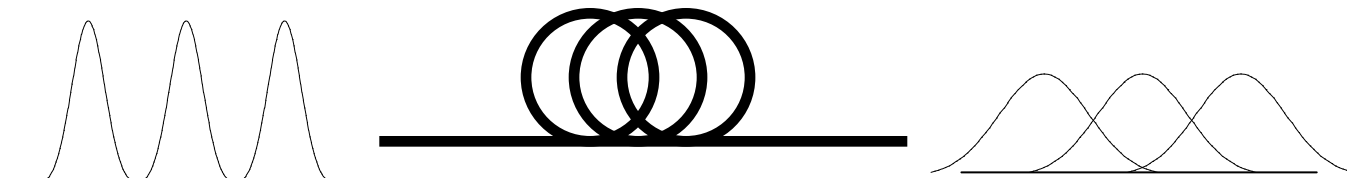
波長によって伝搬速度が異なる



1パルスが複数の周波数成分から成っていると、

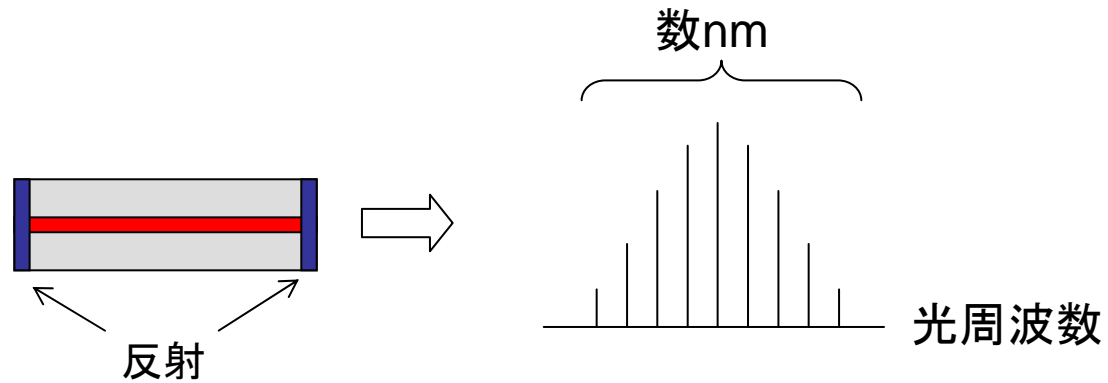


連続パルス列だと、

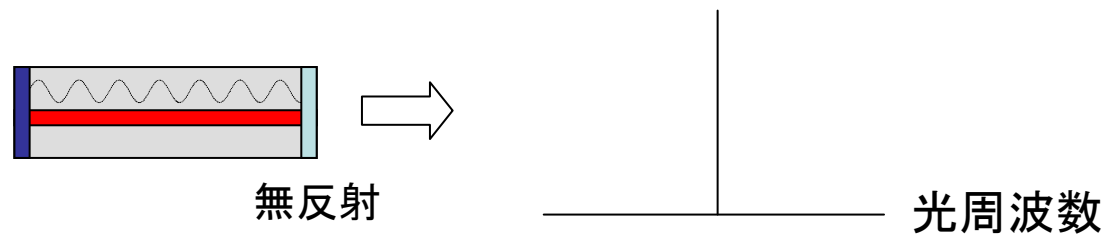


レーザー光の発振周波数について

マルチモード・レーザー

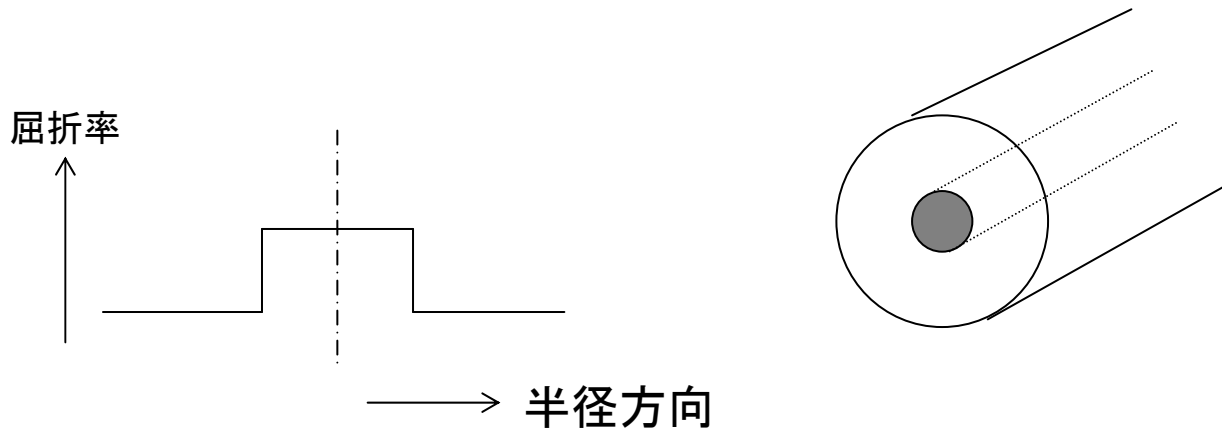


単一モード・レーザー

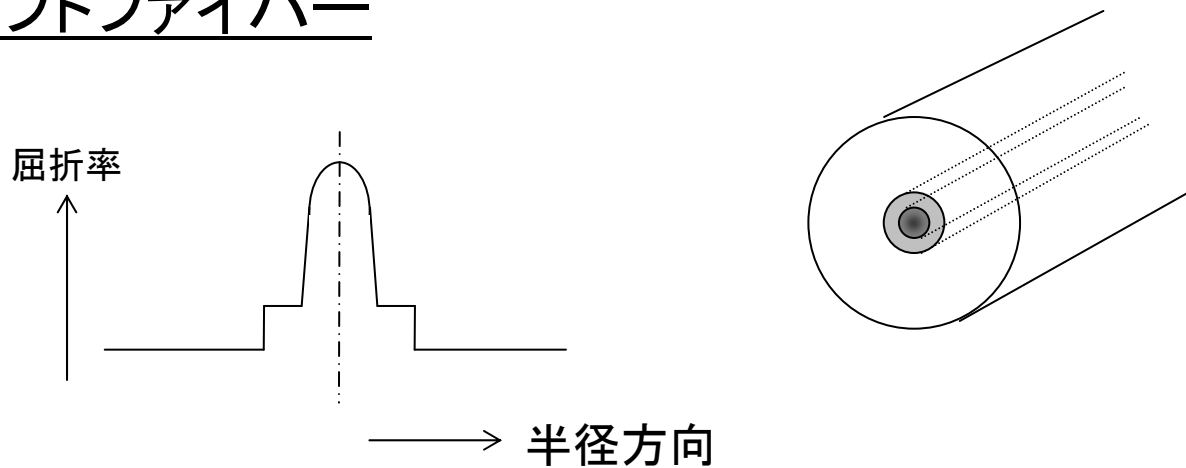


分散シフトファイバーについて

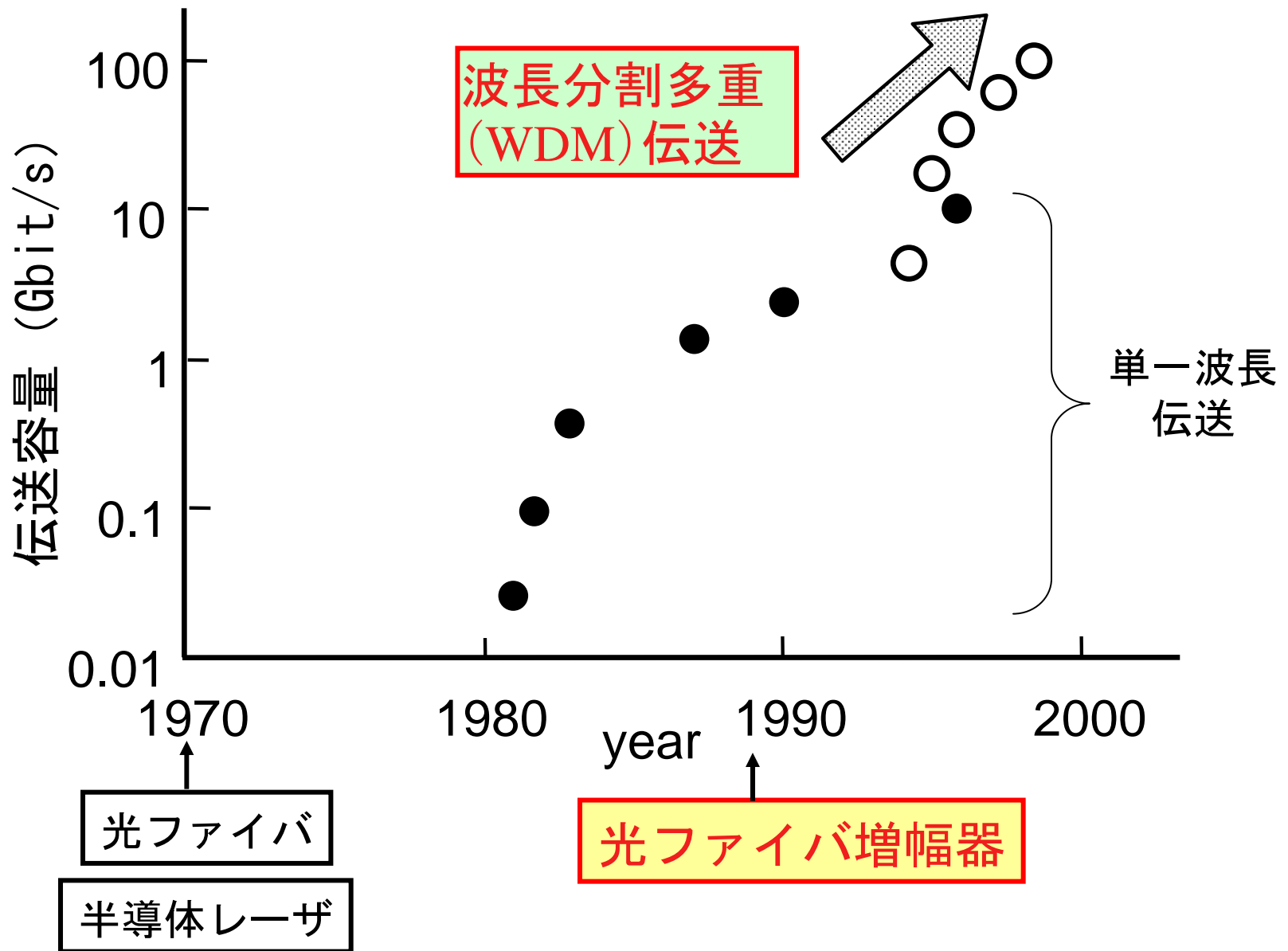
通常ファイバー



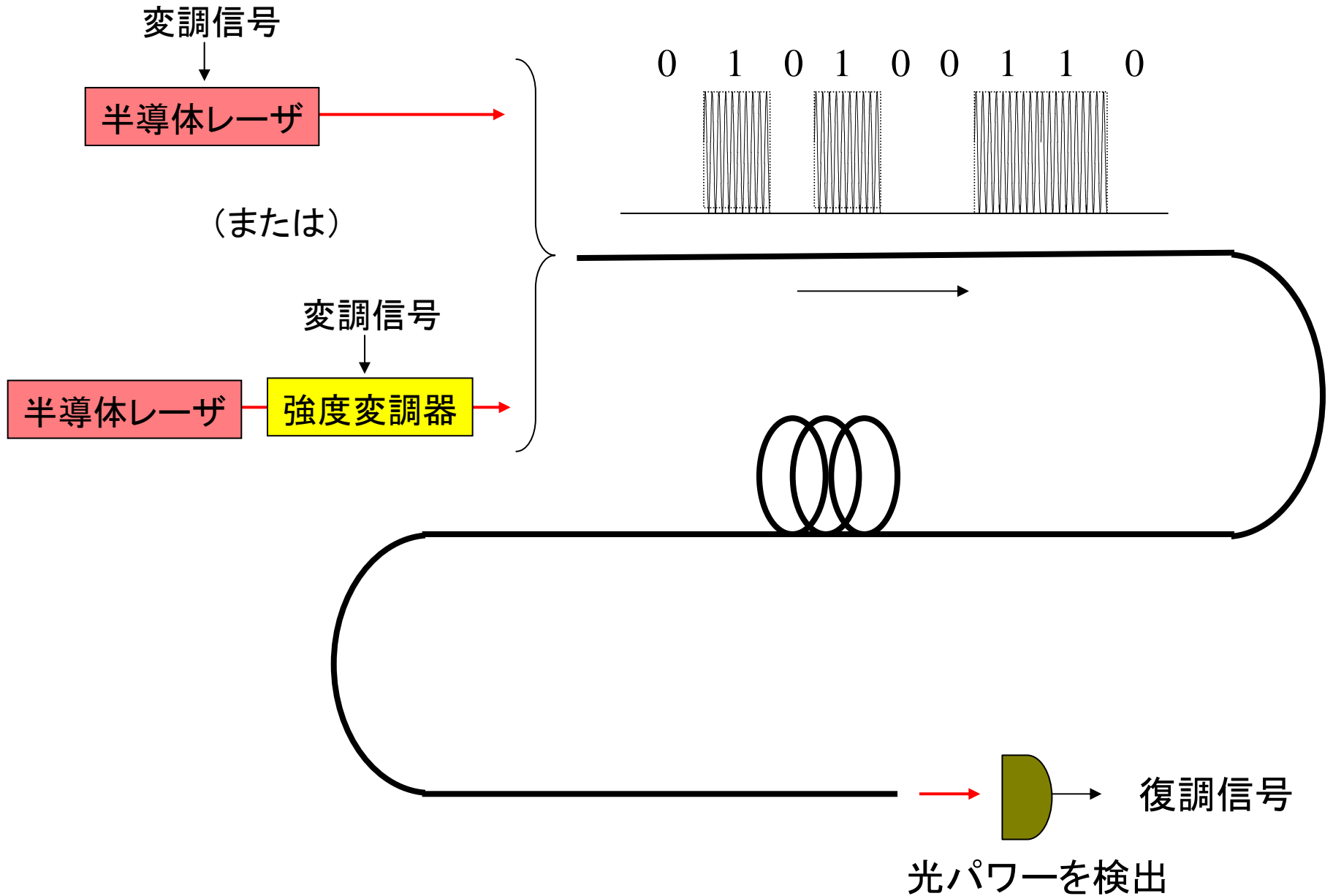
分散シフトファイバー



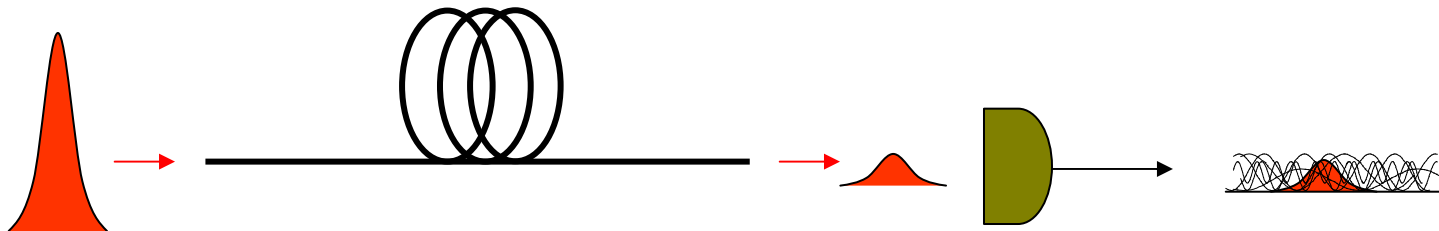
情報伝送量の変遷



基本は強度変調/直接検波



伝送距離はファイバ損失で制限



受信信号が弱いと、
検出器の雑音に埋もれてしまって、
復調不可。

帯域が広い(=伝送量が多い)ほど、雑音量は多い。



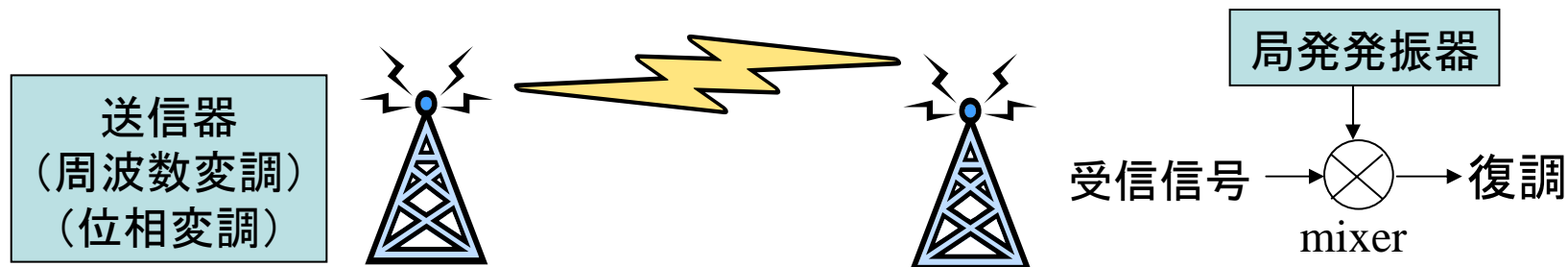
伝送量が多いほど、受信感度は悪い。

〔受信感度: 復調可能な受信パワー〕

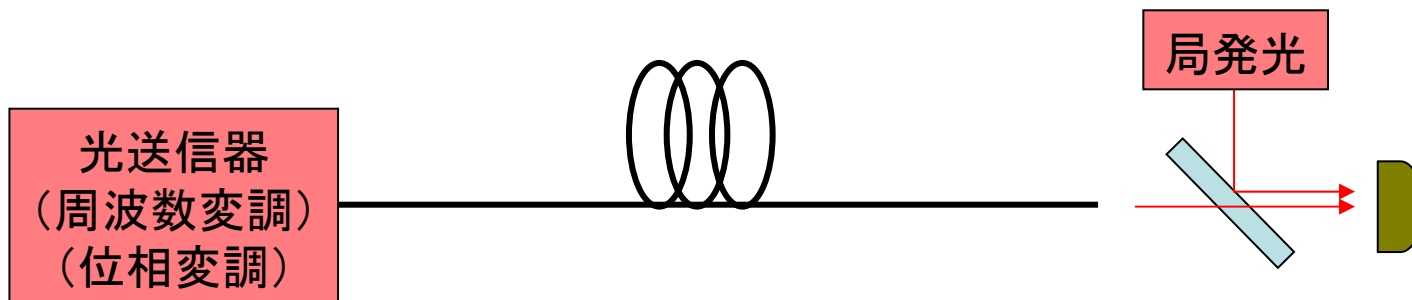
こんな研究もあった

コヒーレント光伝送 (1980年代)

無線通信では



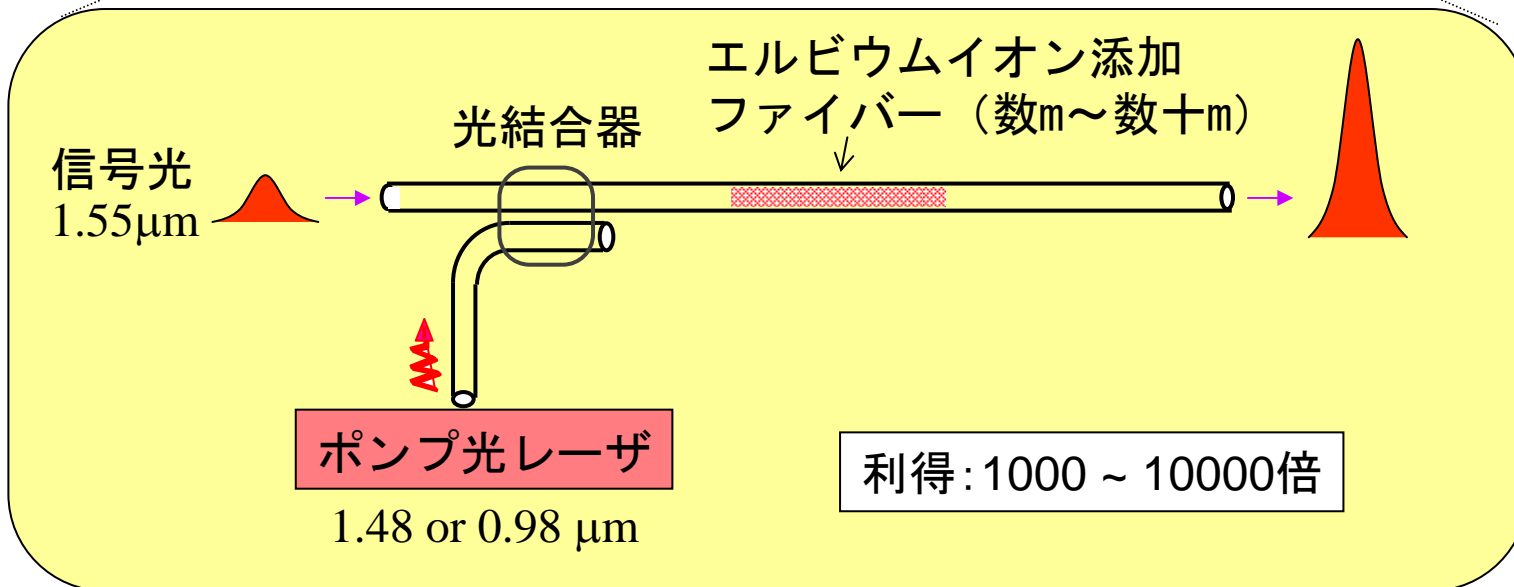
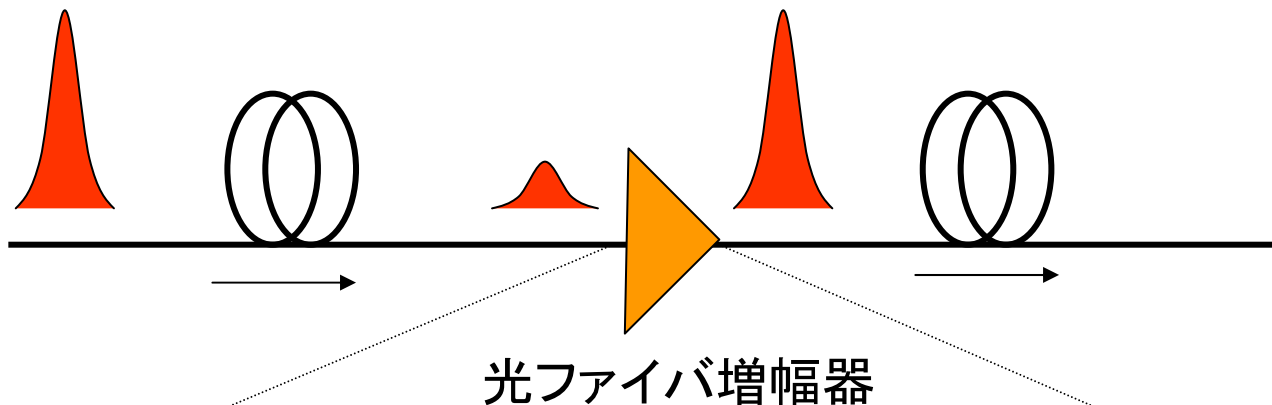
これを光に適用しよう



強度変調/直接検波方式より高感度

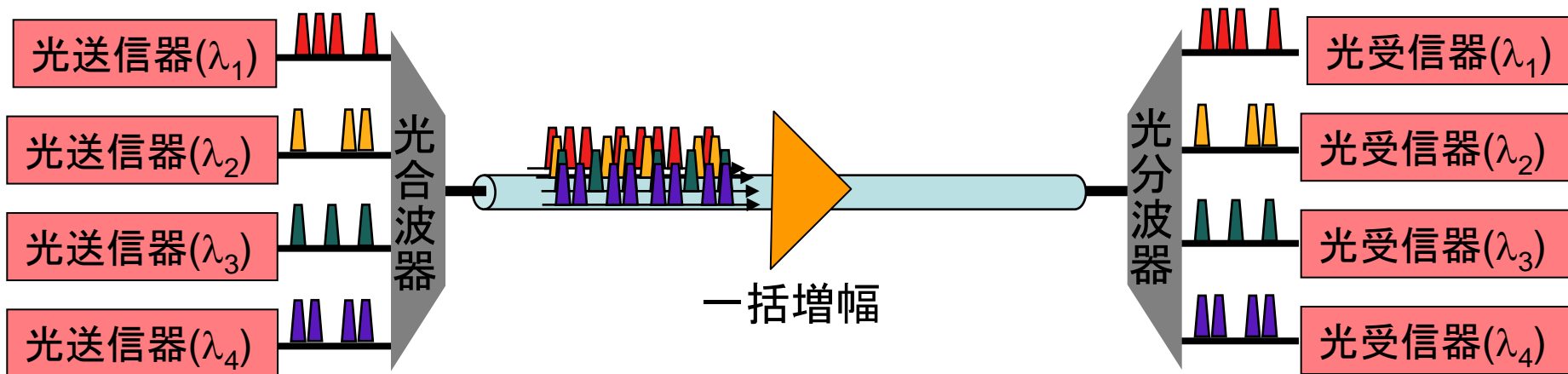
そこへ登場

光ファイバ増幅器 (1989年、最初の伝送実験)



さらに進化

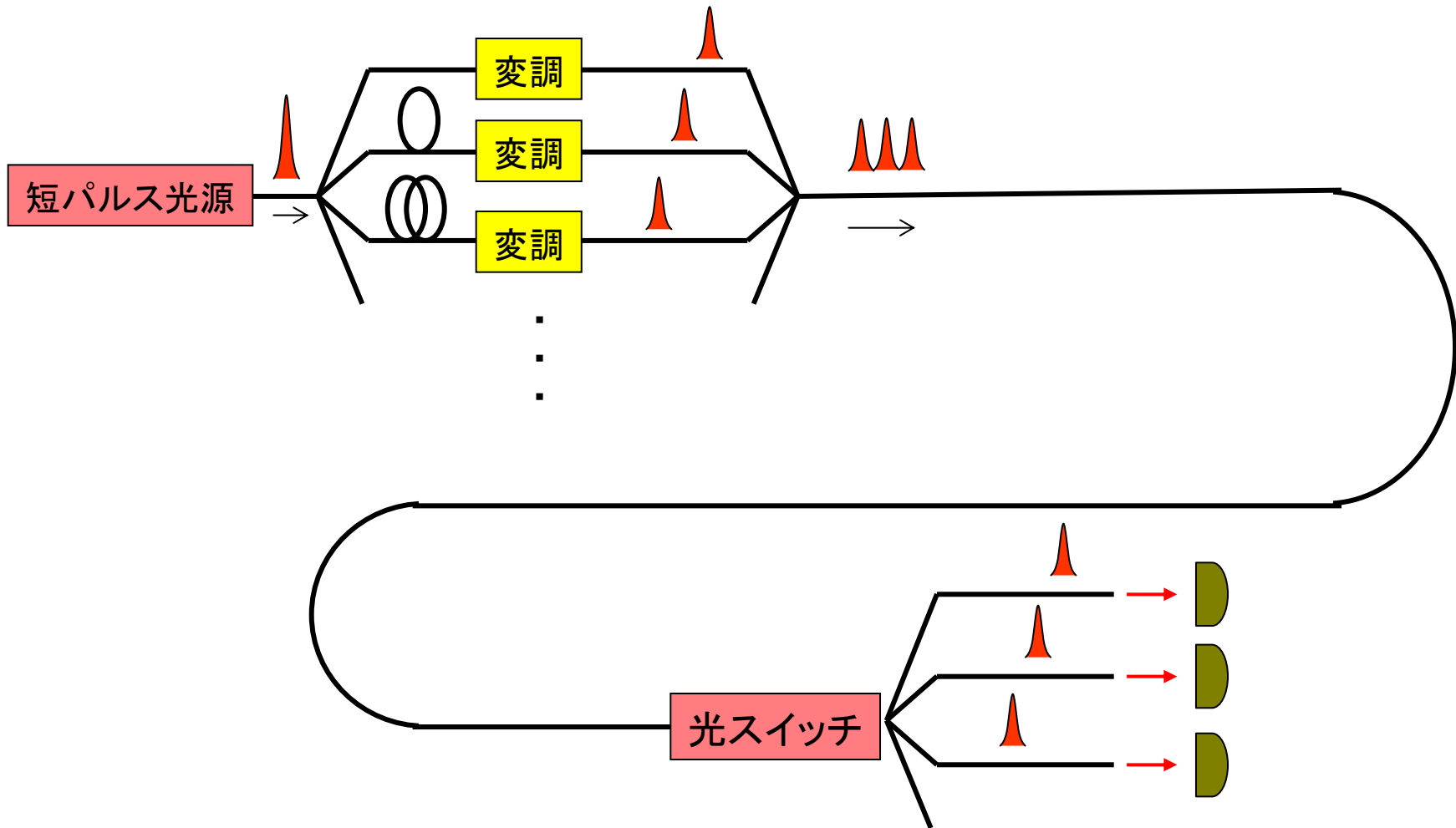
波長多重伝送 (1990年代)



こんな研究もあった

(今でもあります)

光時分割多重伝送



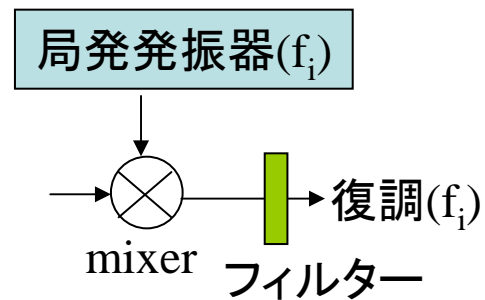
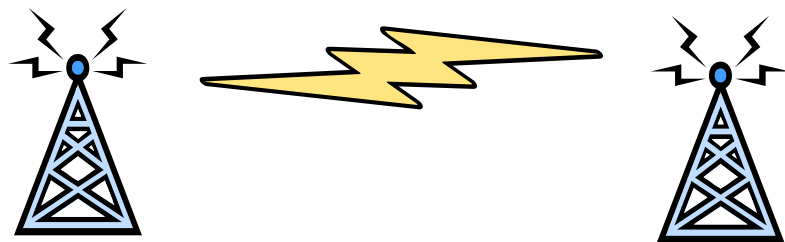
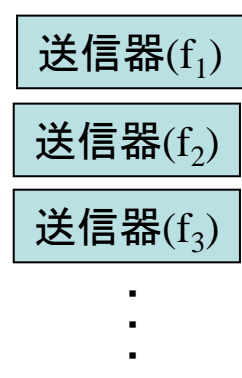
波長多重伝送に押され気味

実は

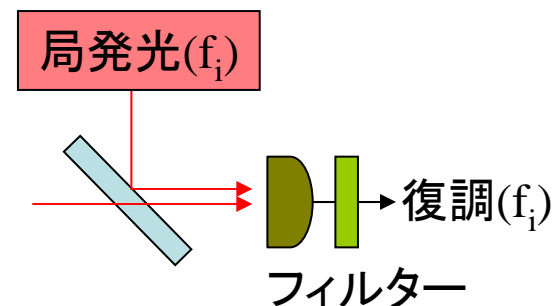
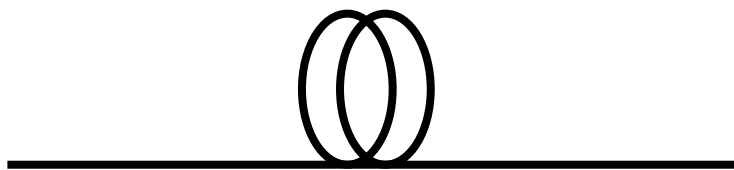
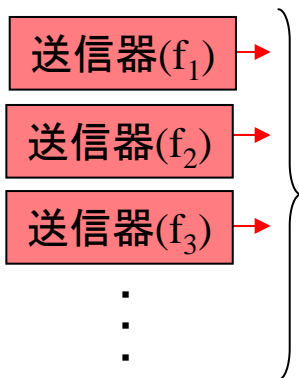
波長多重伝送の始まりはコヒーレント伝送から

(と言い切るとちょっと大げさですけど)

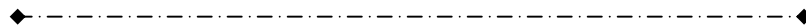
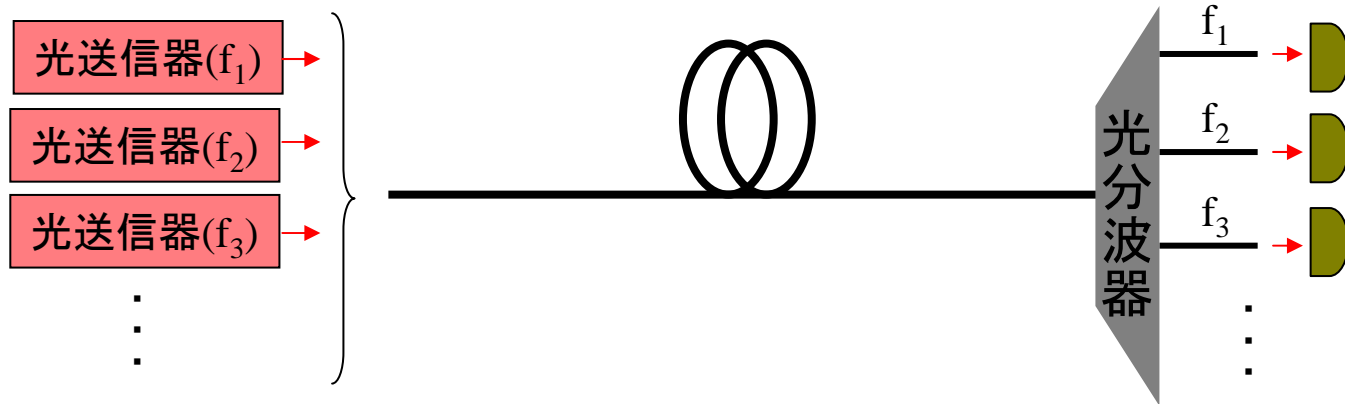
無線通信では、



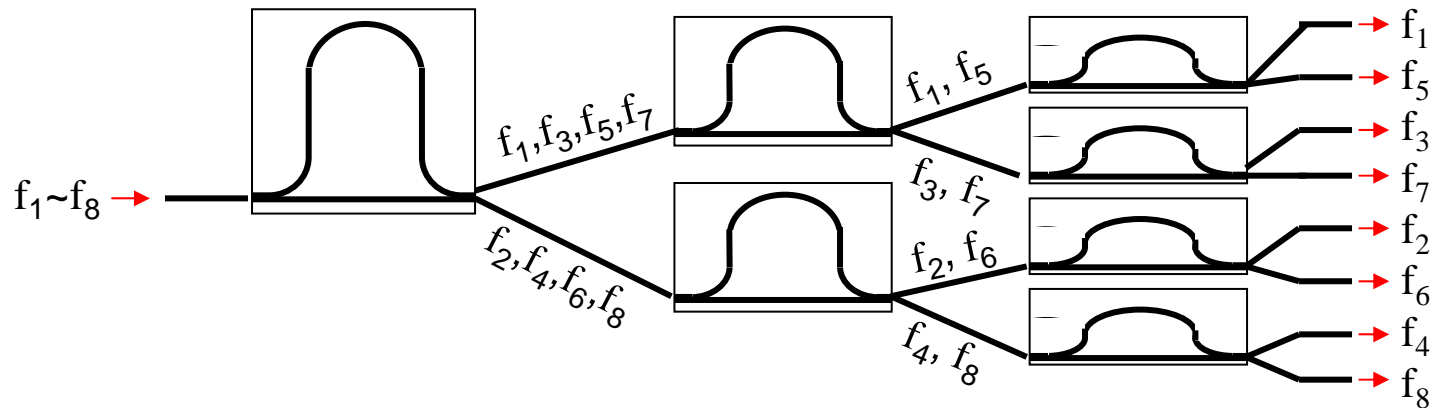
これを光に適用しよう



でもコヒーレント検波は大変なので、

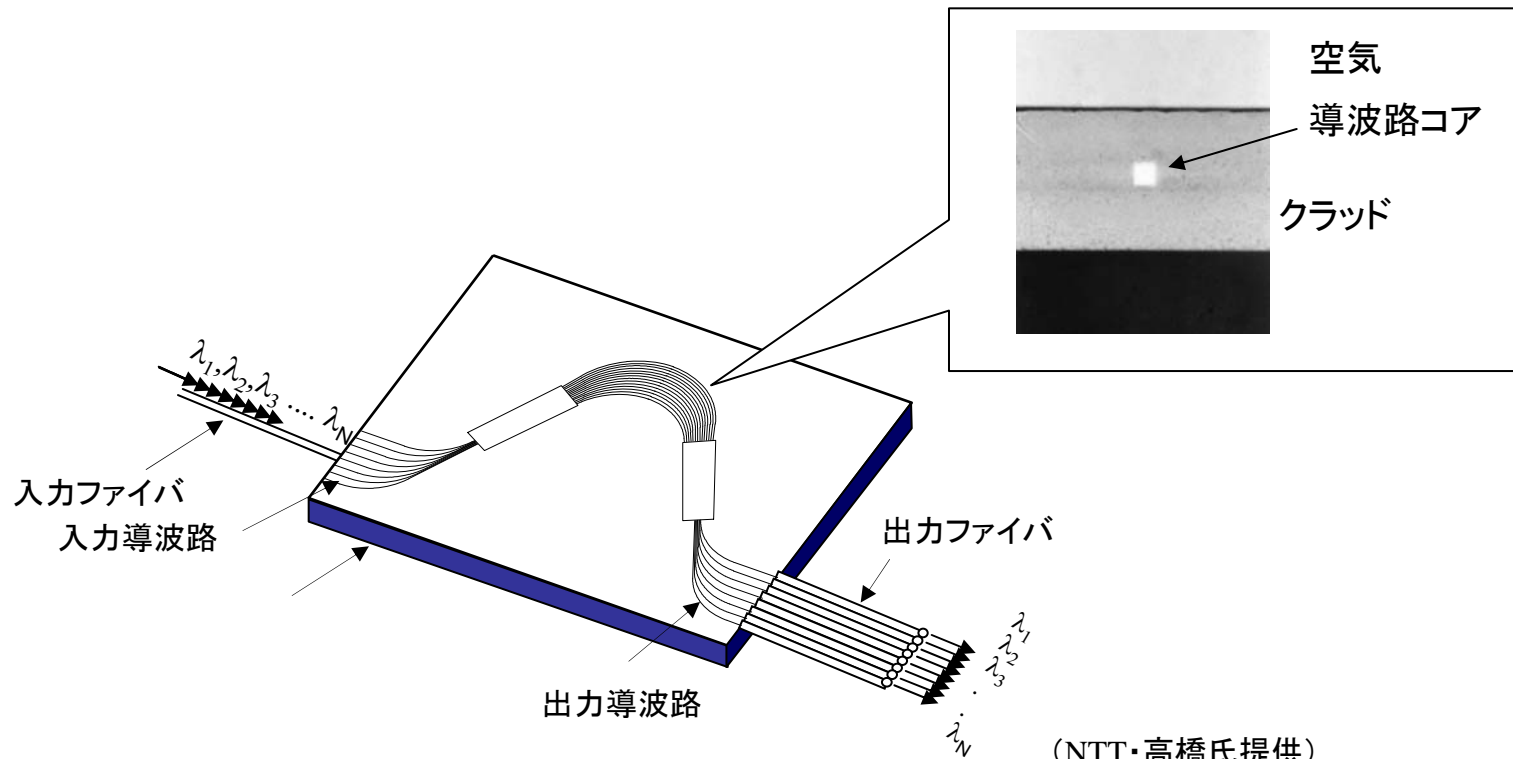


当初(1986年頃)検討されていた光分波器(@NTT)



光導波路分波器

(PLC: Planar Lightwave Circuit)



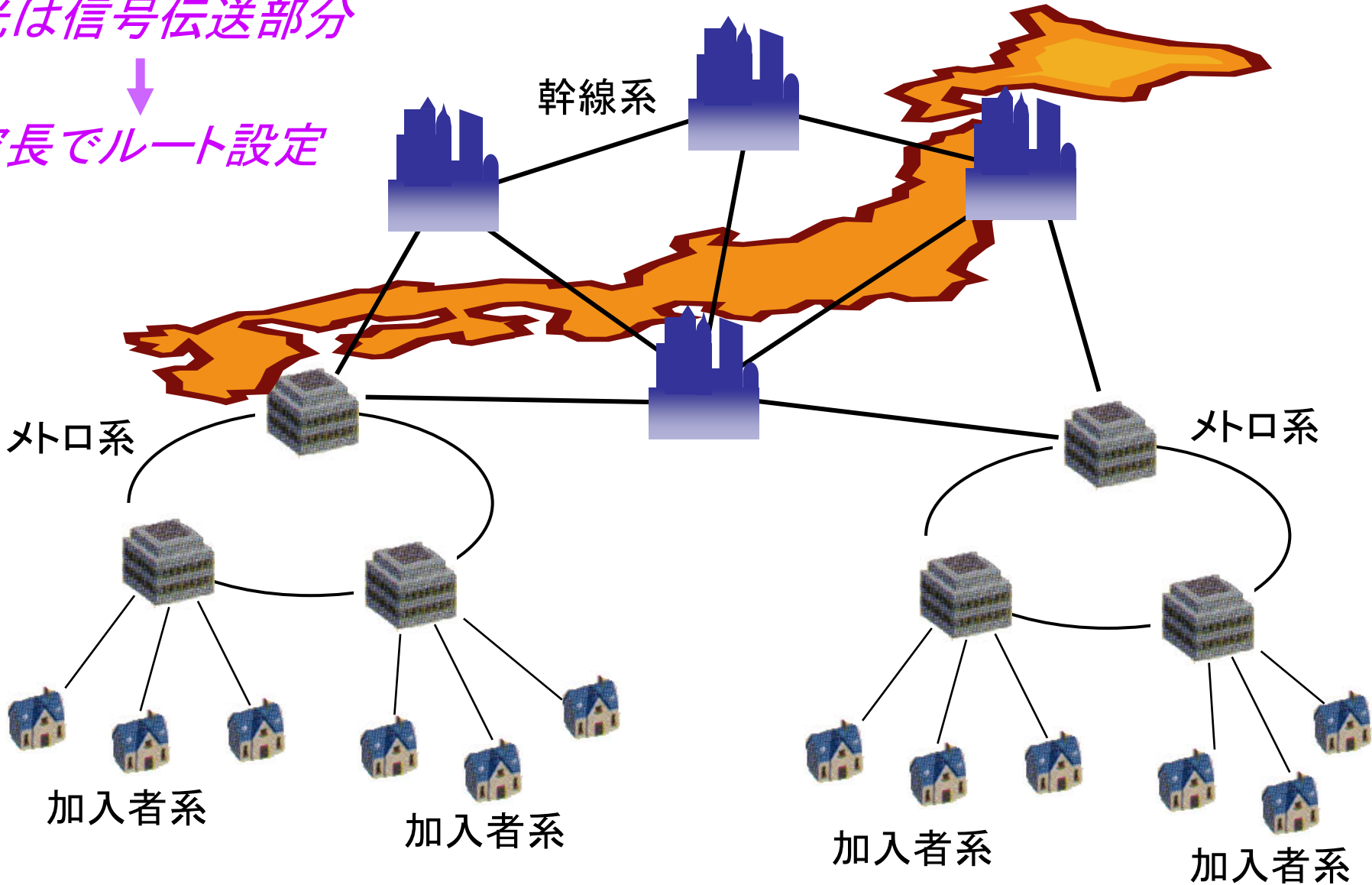
さらなる展開

光ネットワークキング

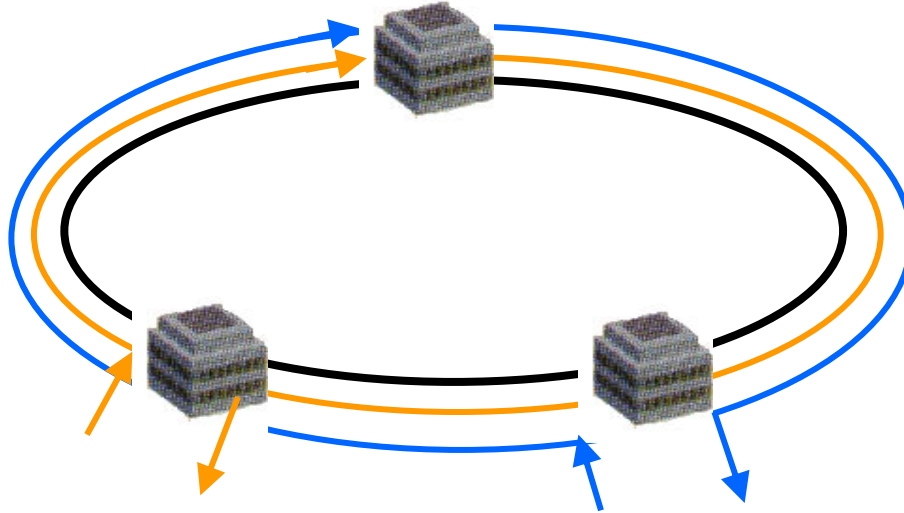
光は信号伝送部分



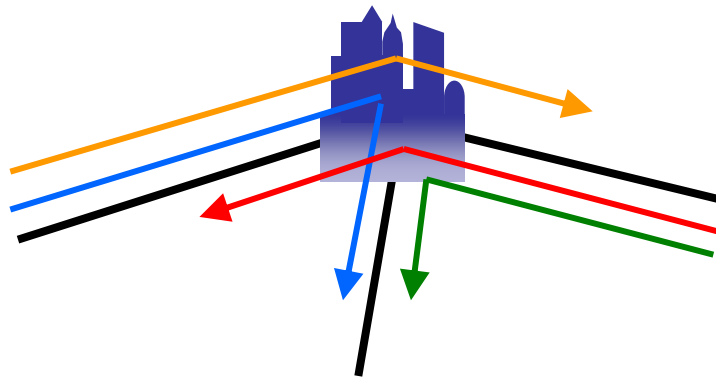
波長でルート設定



光ADM (Add-Drop-Multiplex)

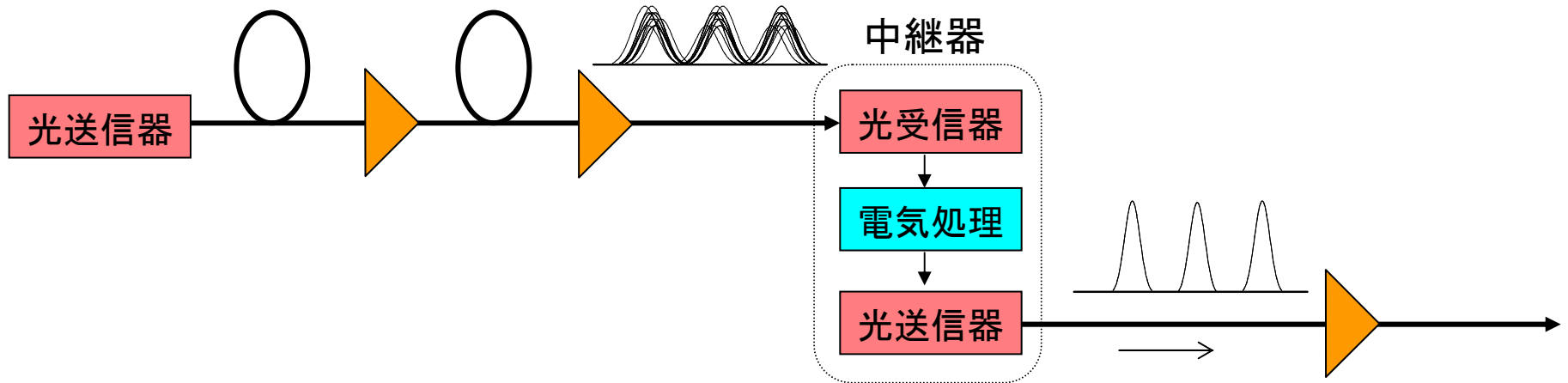


光クロスコネク

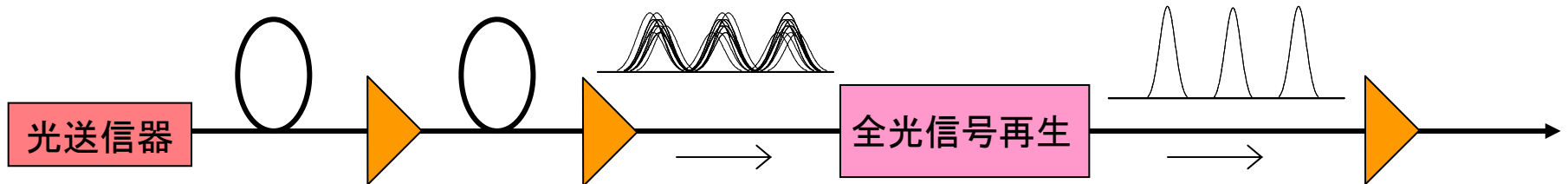


全光伝送

現状



目標



光通信はブロードバンド社会の土台

