

2007. 6.28

光ファイバ通信システムについて

沼津高専 電気電子工学科

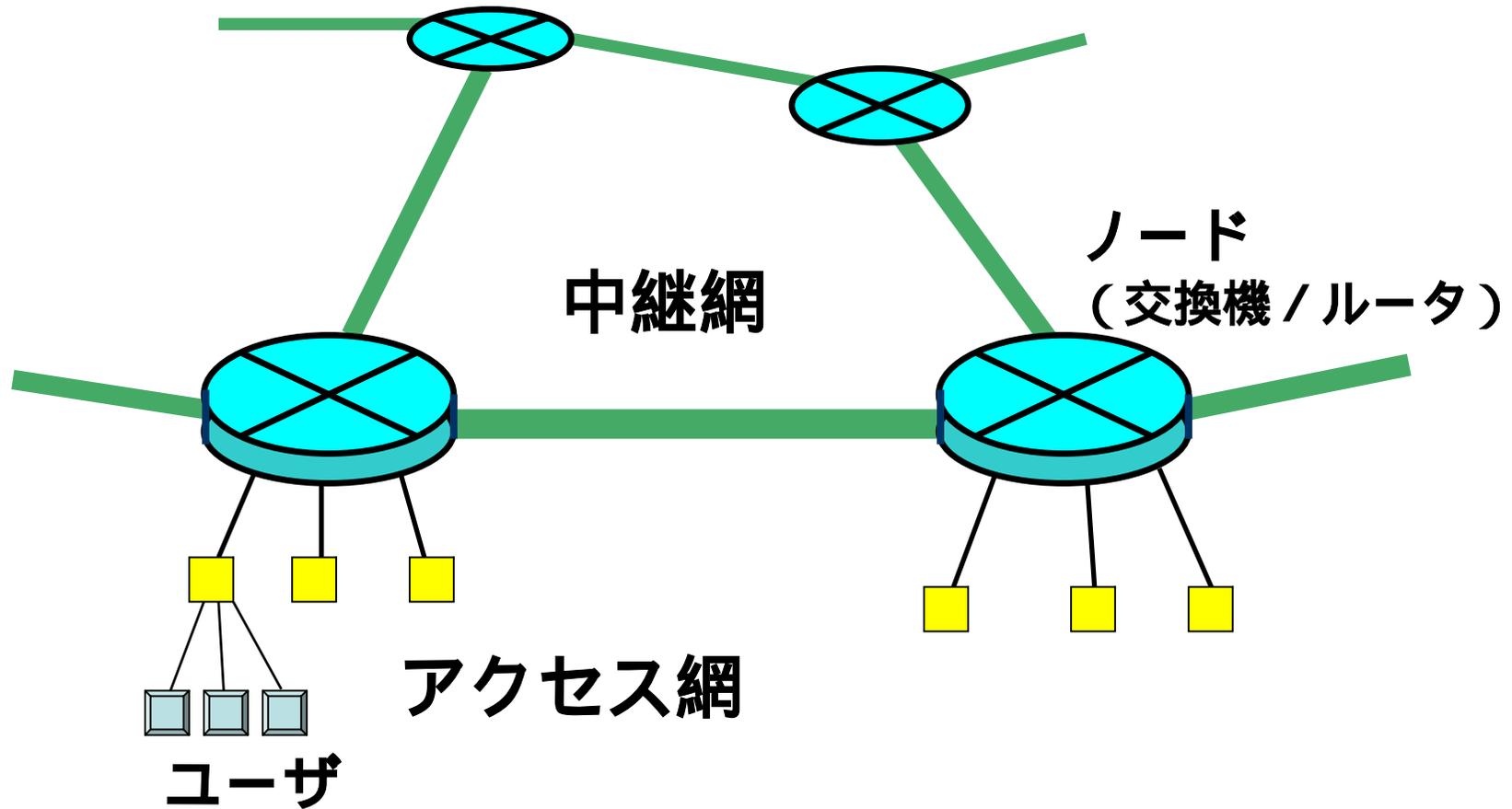
佐藤 憲史

sato.kenji@numazu-ct.ac.jp

内容

- 光ファイバ通信の概要
- 光通信を進歩させた2大技術
 - (1) 光増幅器
 - (2) WDM

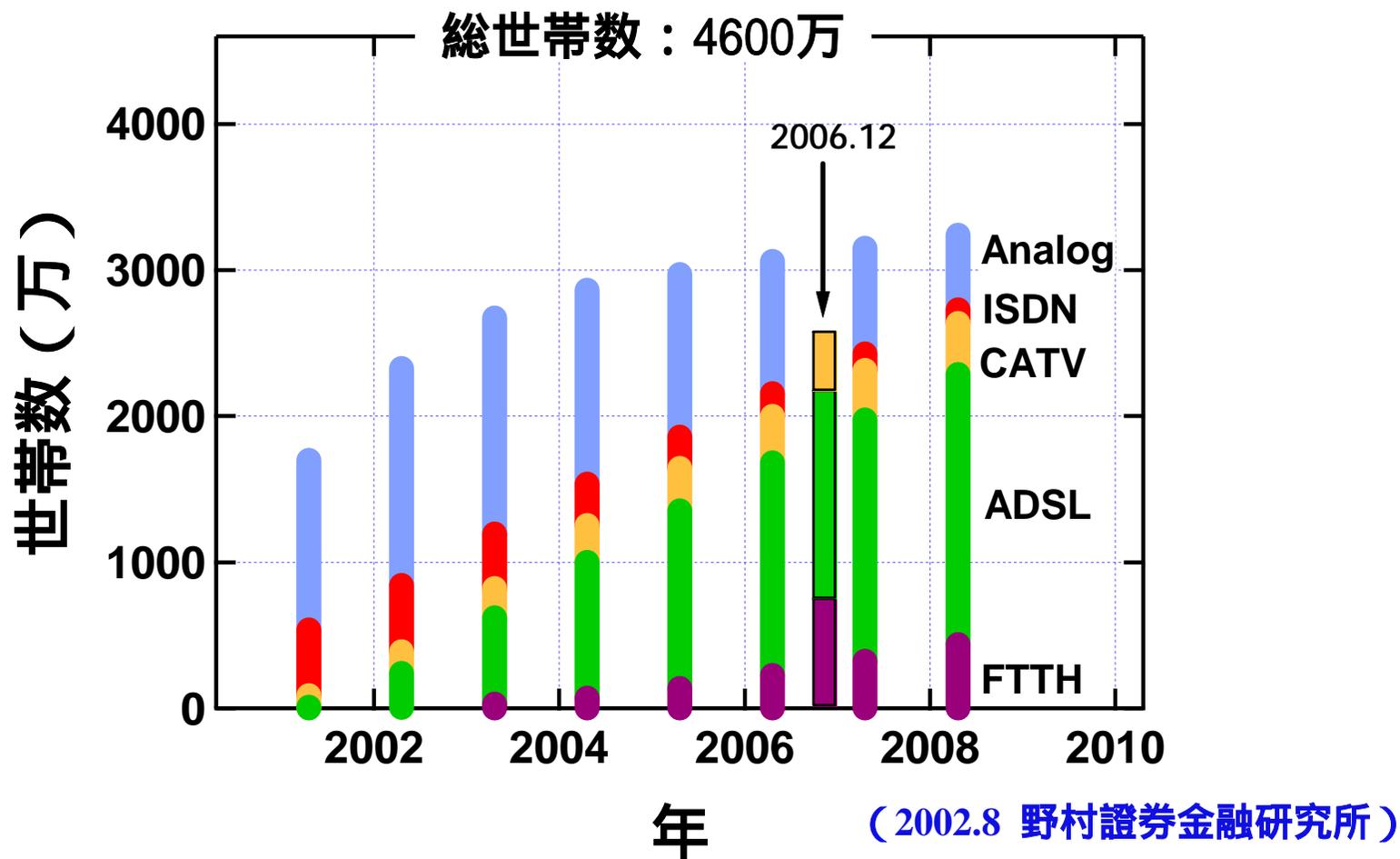
通信ネットワーク



通信の進歩

- 中継網：長距離，大容量
ほとんど光ファイバ通信
- アクセス網：高速，低コスト
Mobile, FTTH
ユビキタス

インターネット世帯数予測

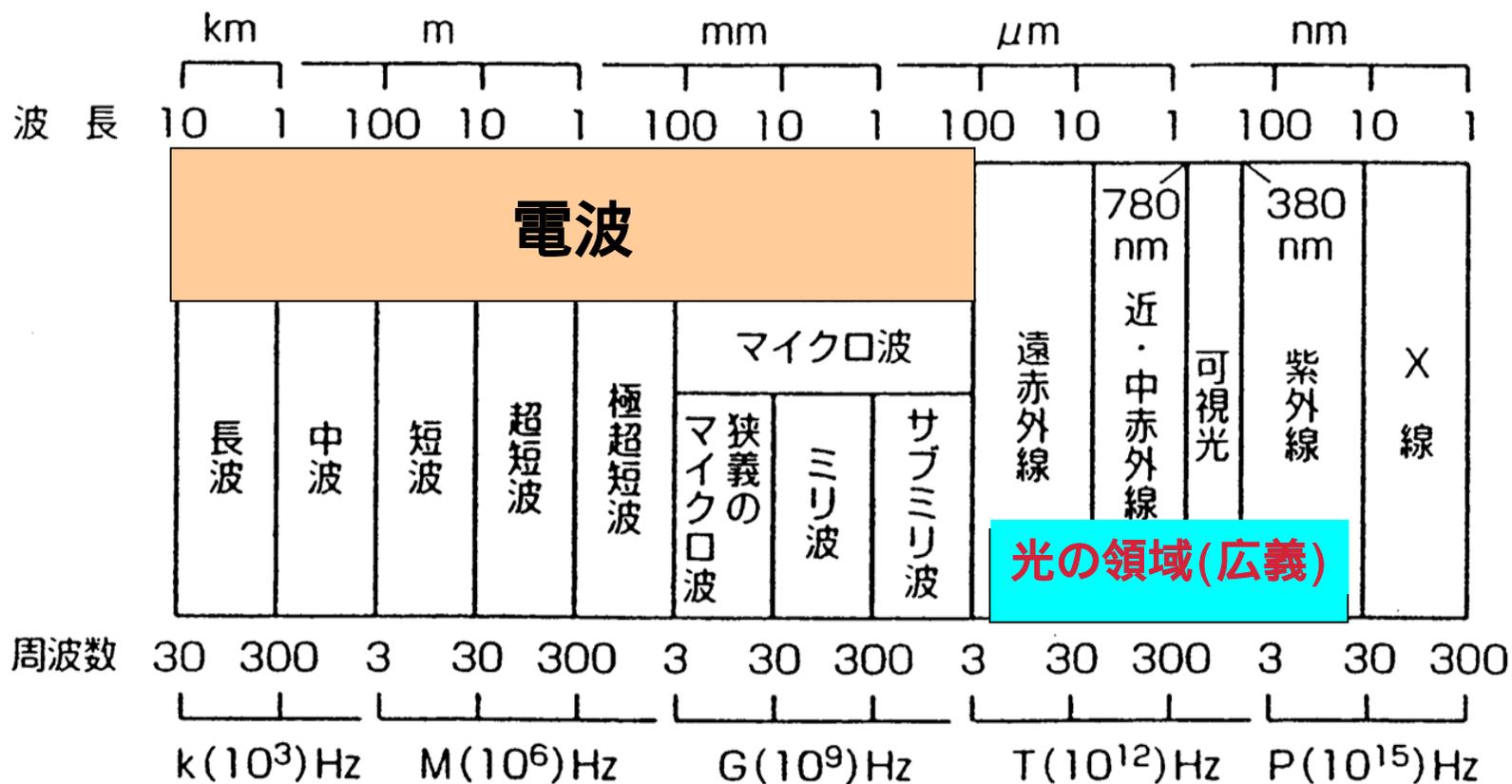


どれが1番速いか？

- 光ファイバ
- ペア線(電話線)
- 同軸ケーブル
- 無線

すべて電磁波

電磁波の波長, 周波数と名称



問題は伝送速度

- **ビットレート: bit/s, bps**

- **Bフレッツ (FTTH): 100 Mbps**

- **ADSL: 50 Mbps**

- **INSネット64: 64 kbps**

(FTTH: Fiber To The Home)

(ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line)

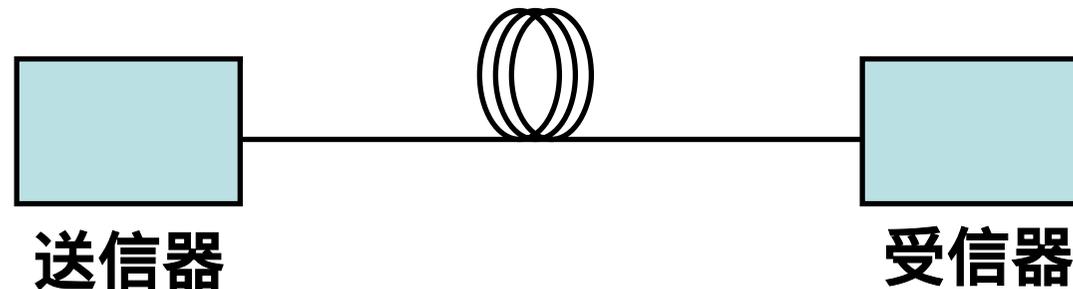
ビットレートの制限要因は？

- 高速化

信号処理と信号伝送

- 光通信では？

光ファイバの特性：広帯域，分散



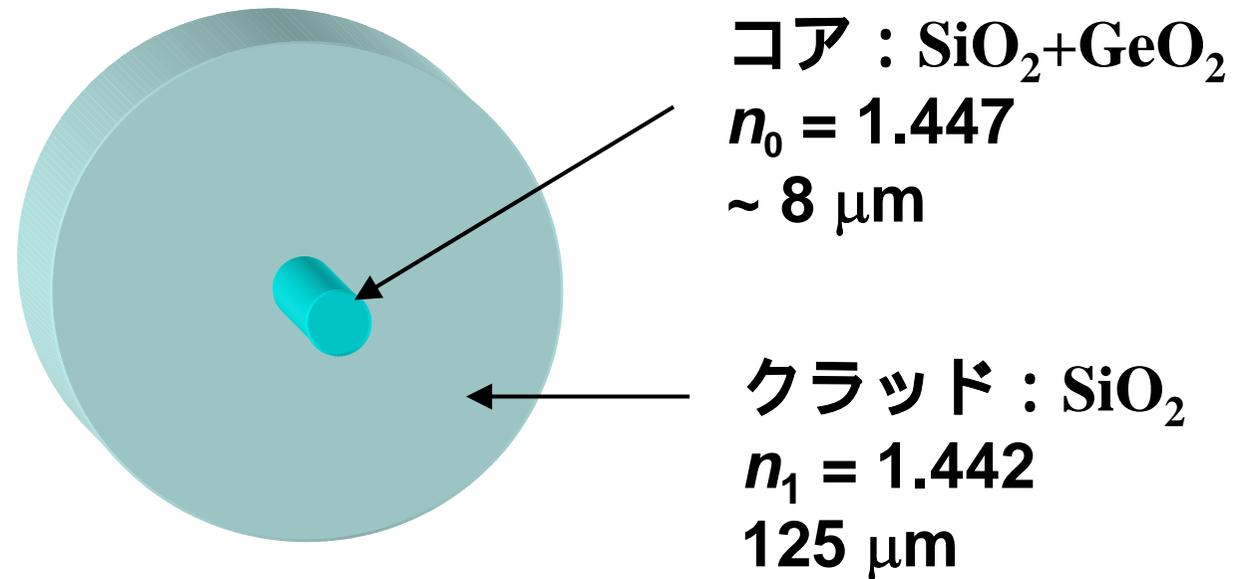
光ファイバ

見たことは？ 地球上に 6 億km

- 波長帯: 0.8, 1.3, 1.55 μm , ---
- シングルモード, マルチモード
- 伝播ロス: 0.2 dB/km, ---
- 波長分散: 17 ps/nm/km, ---

石英ファイバの構造

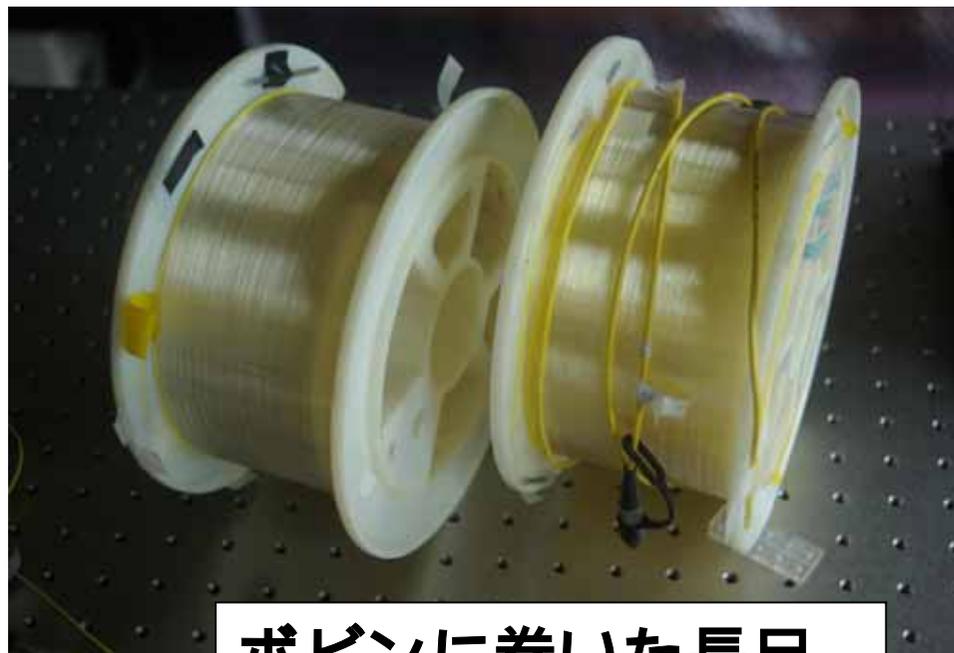
SMF: Single Mode Fiber



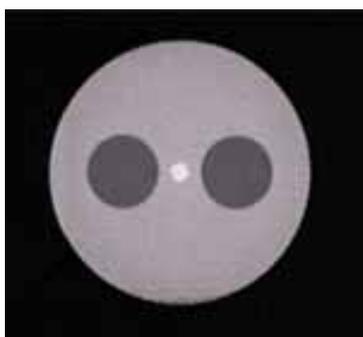
実験用光ファイバ



パッチケーブル



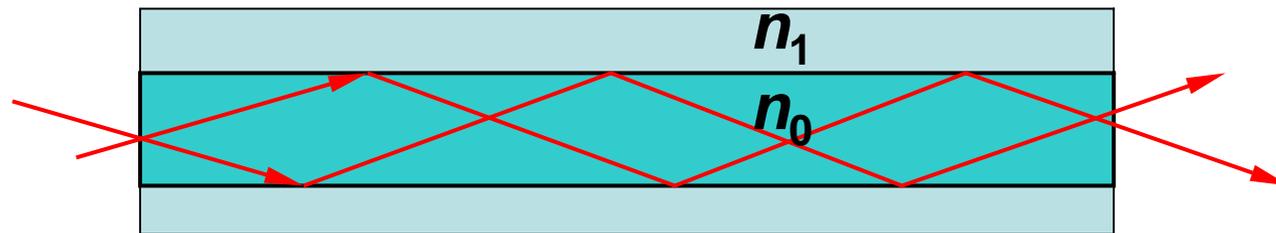
ボビンに巻いた長尺
ファイバ



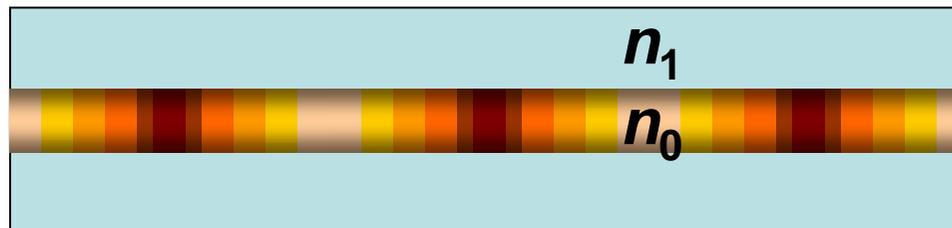
PANDA Fiber

ファイバ中の光伝搬

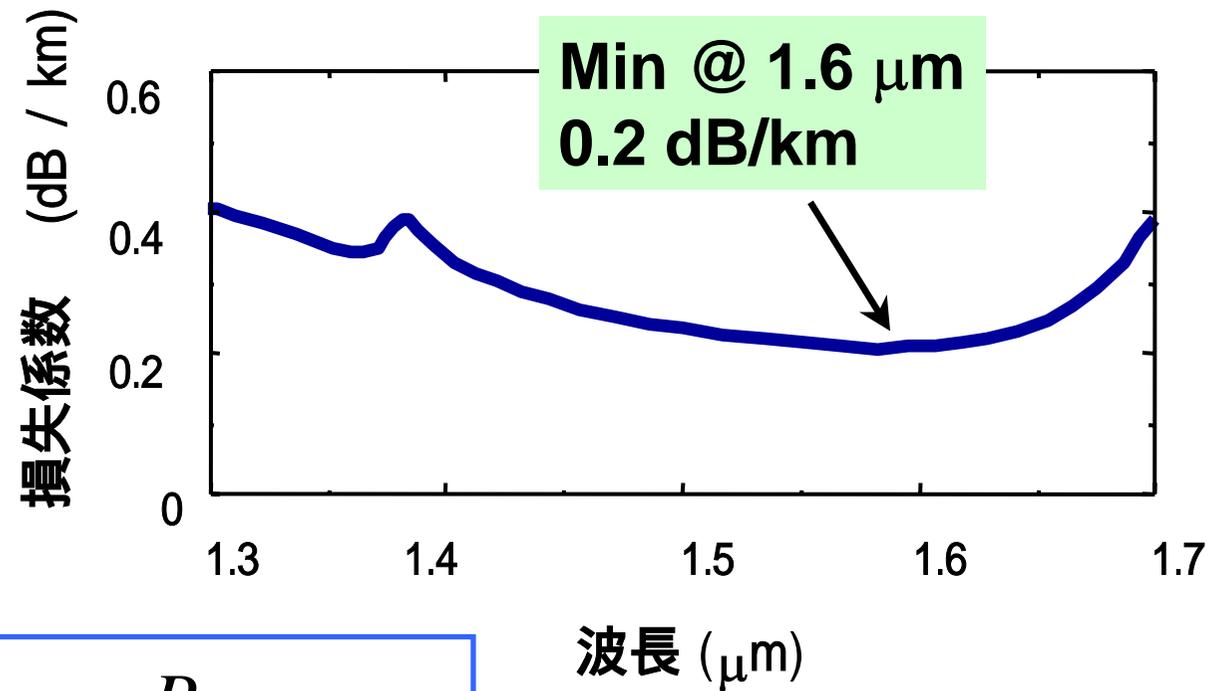
コアが大きい場合：全反射(光線近似)



コアが小さい場合：モード(波動)

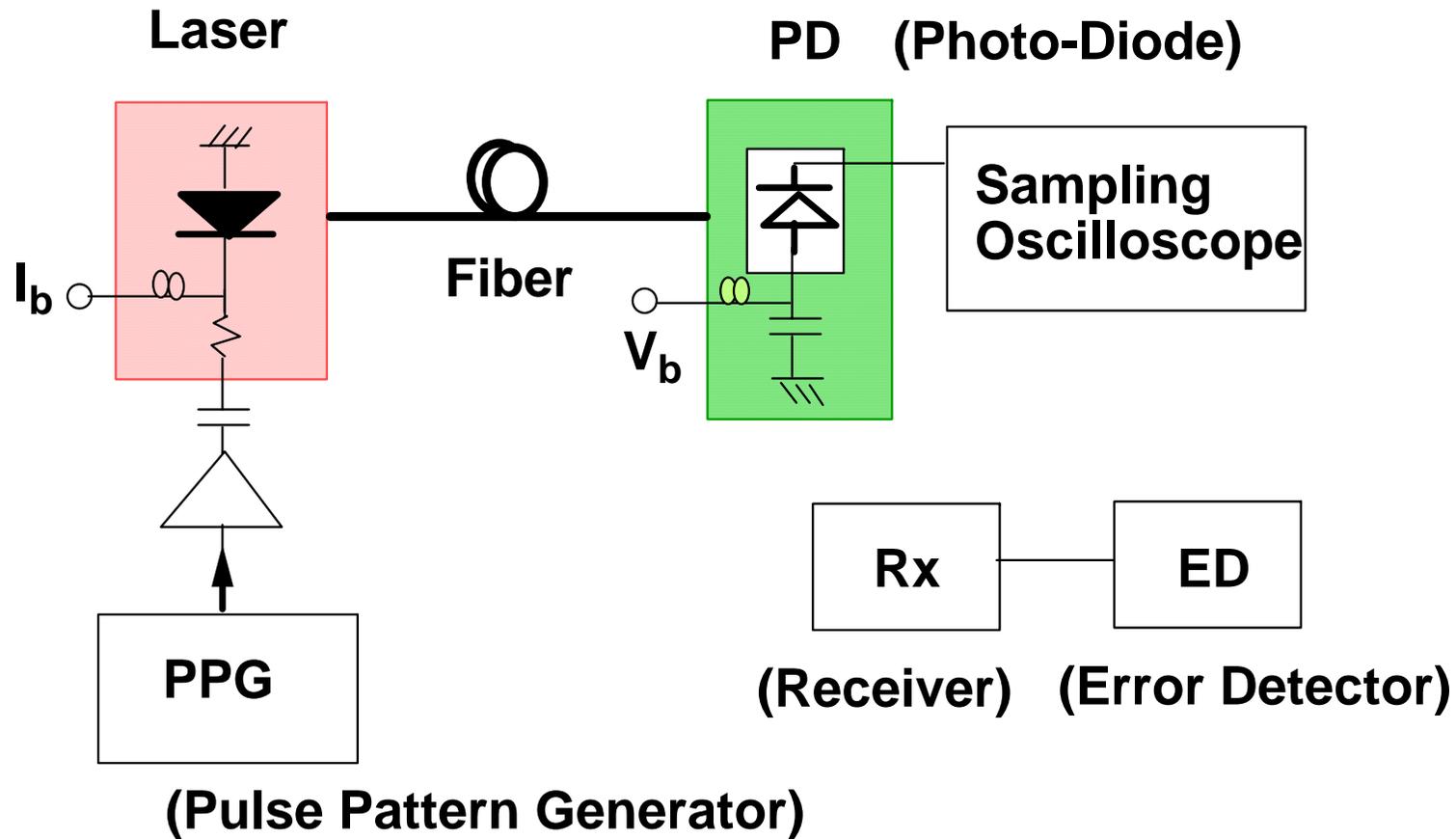


石英ファイバのロス

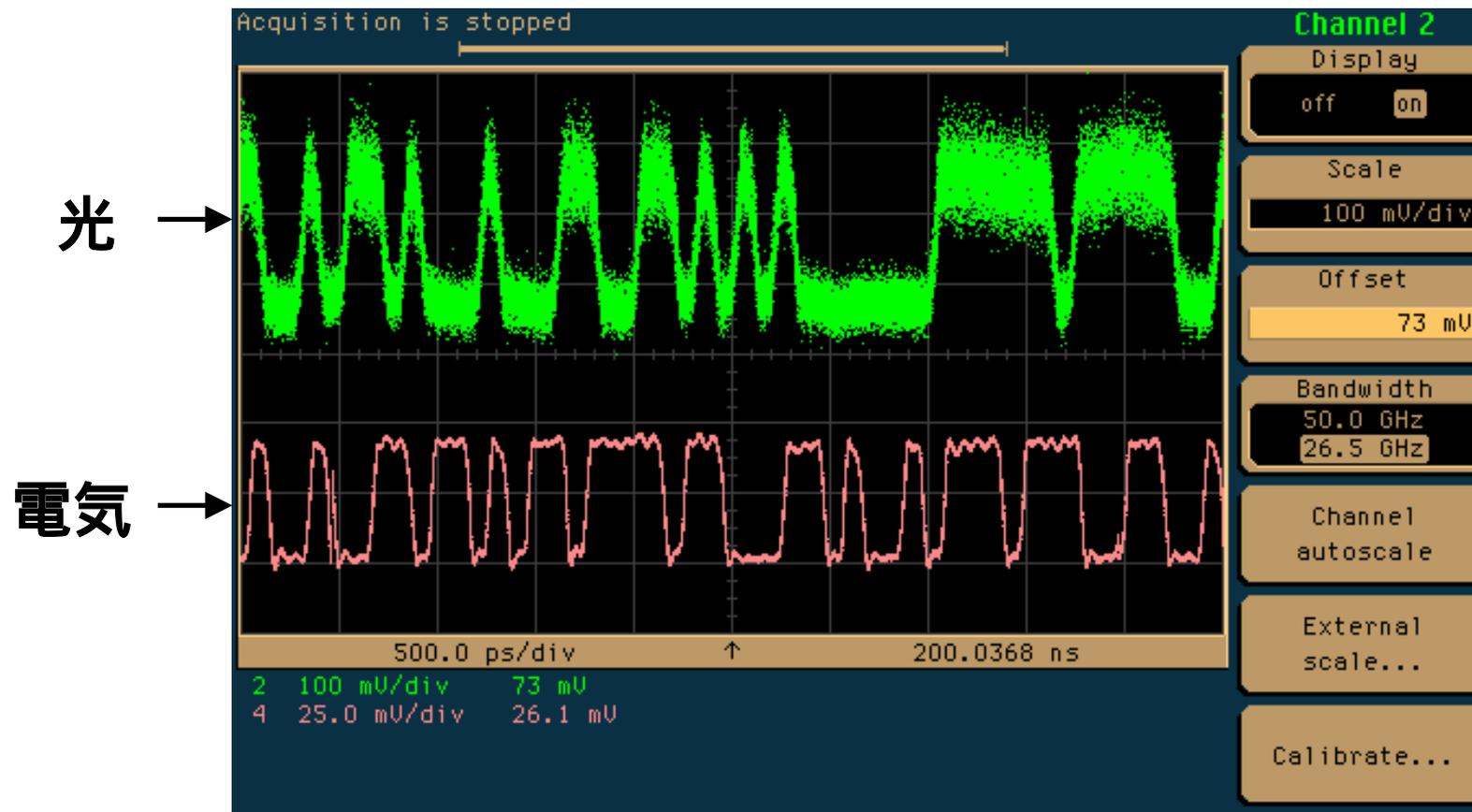


$$10 \cdot \log_{10} \frac{P_{in}}{P_{out}} \text{ [dB]}$$

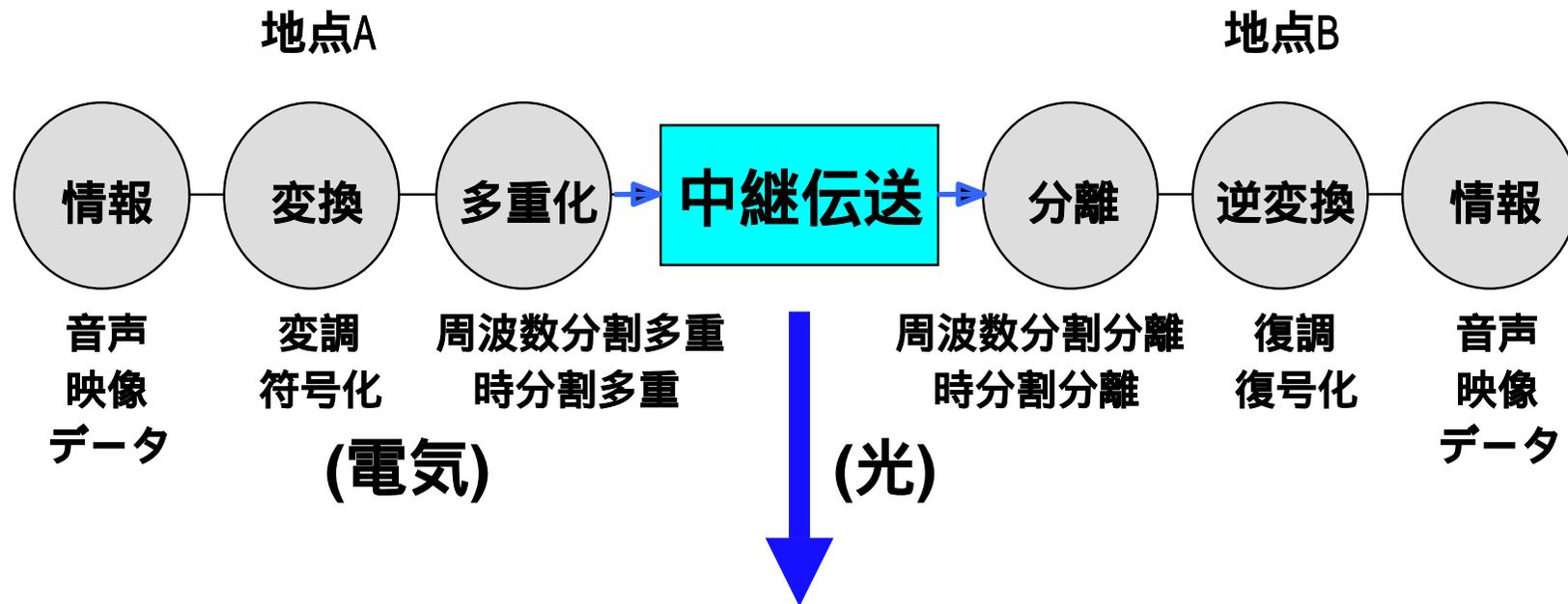
光送受信機の評価



10 Gbps ビットパターン



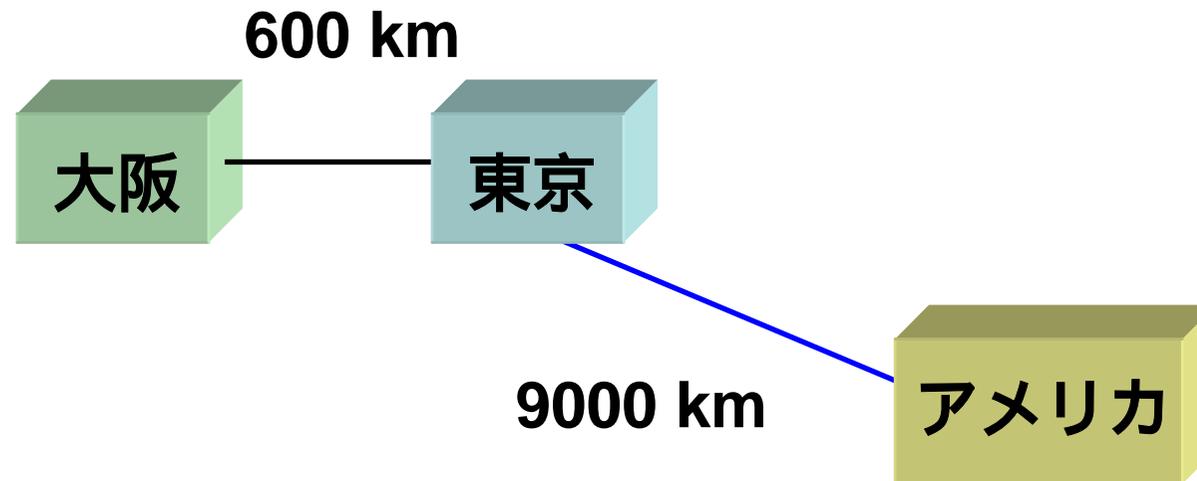
通信の基本構成



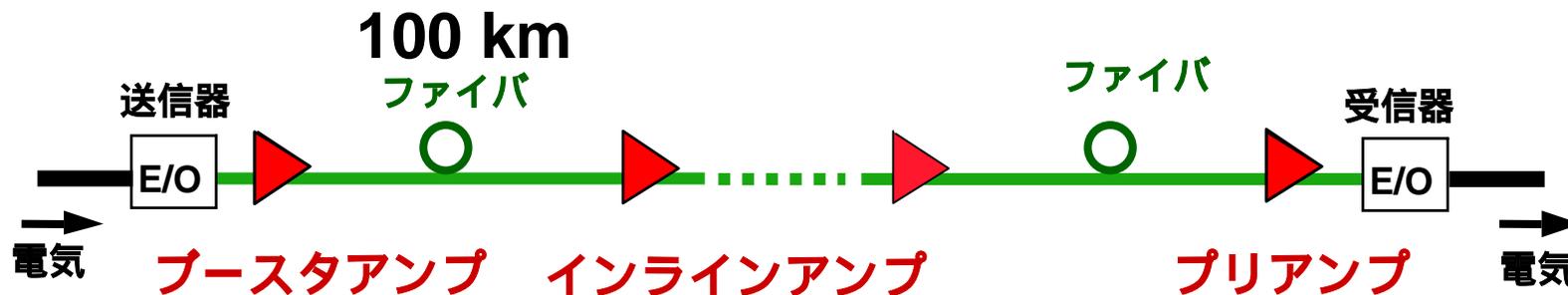
大容量化と中継距離の拡大

長距離化の障壁

- ファイバのロス
- ファイバの分散



光増幅器を用いた長距離光通信



- ・インラインアンプによるロス補償

ファイバロス 0.2 dB/kmの時，必要な利得は？

20 dB

光増幅器の利点

- 光信号を直接増幅(電気変換なし)
- ビットレートに依存しない
- 広帯域増幅:
多チャンネル一括増幅
- 光プリアンプによる受信感度向上

光増幅器の分類

半導体レーザー増幅器 (SLA)

光ファイバ増幅器

— **ファイバラマン増幅器 (FRA)**

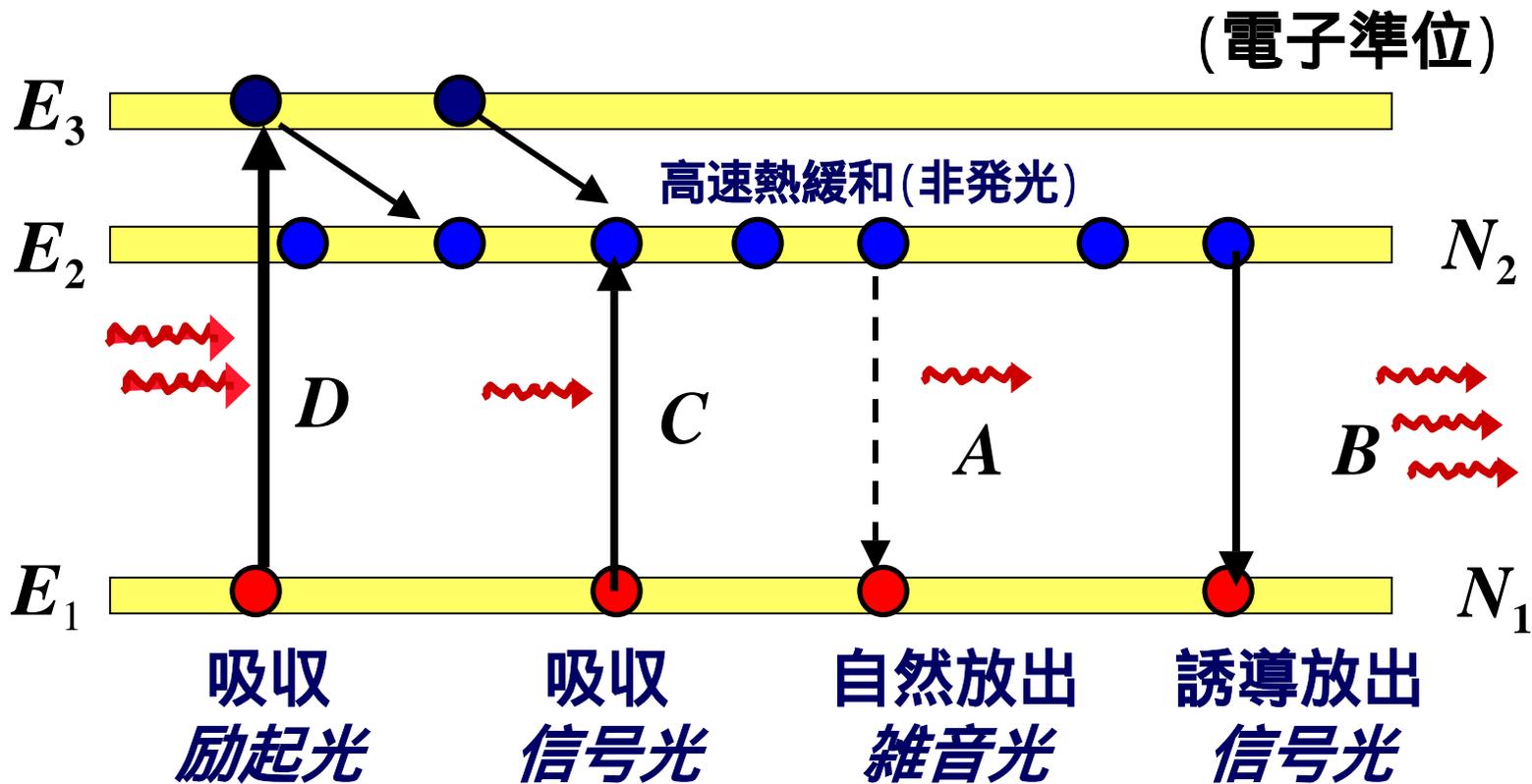
分布増幅型 (増幅媒質=敷設シリカファイバ)

— **希土類添加ファイバ増幅器**

エルビウム (Er): EDFA ~ 1.55 μm

サザンプトン大, 他 (英, 1984)

3 準位モデル



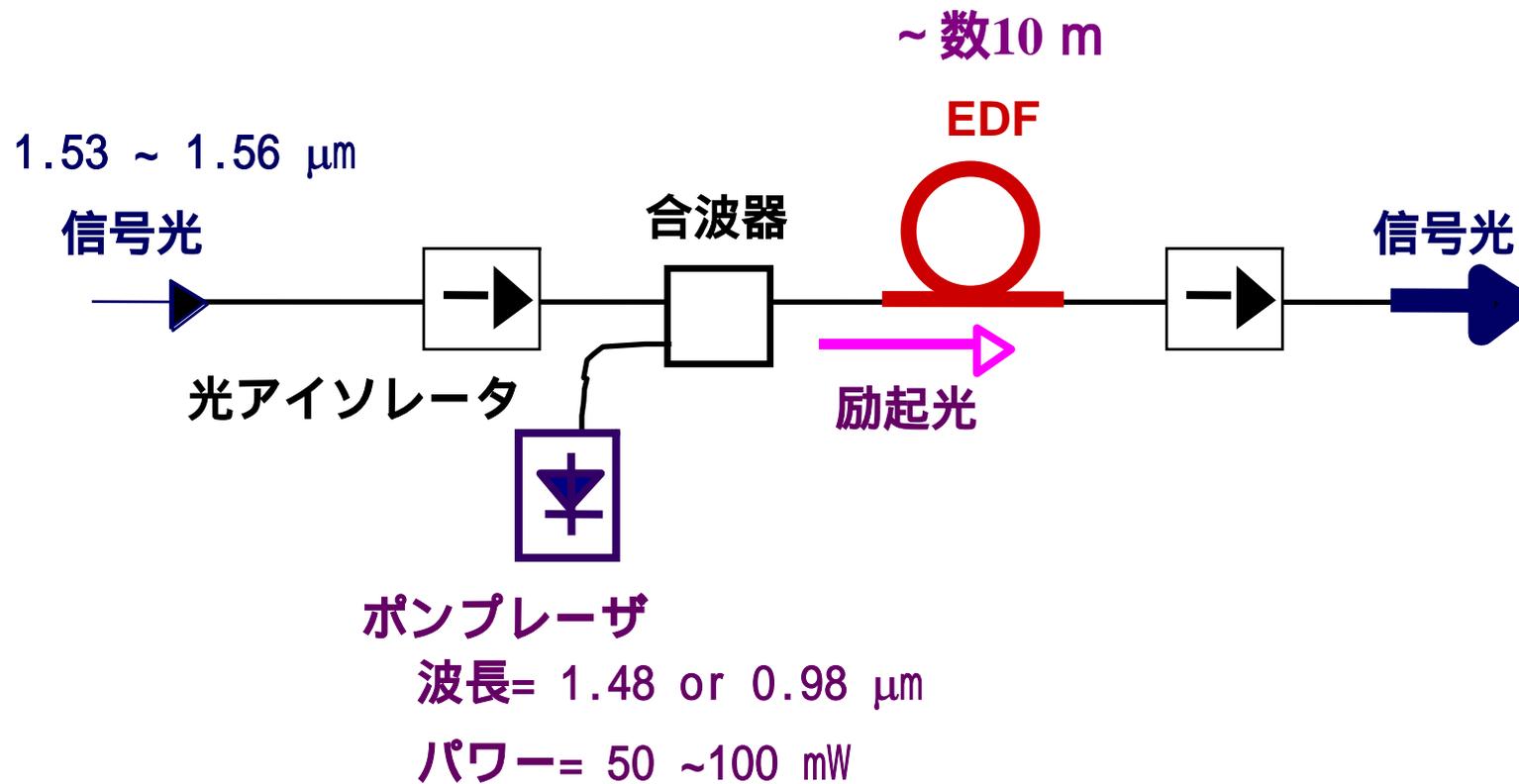
反転分布: $N_2 > N_1$

ゲイン: $B - C$

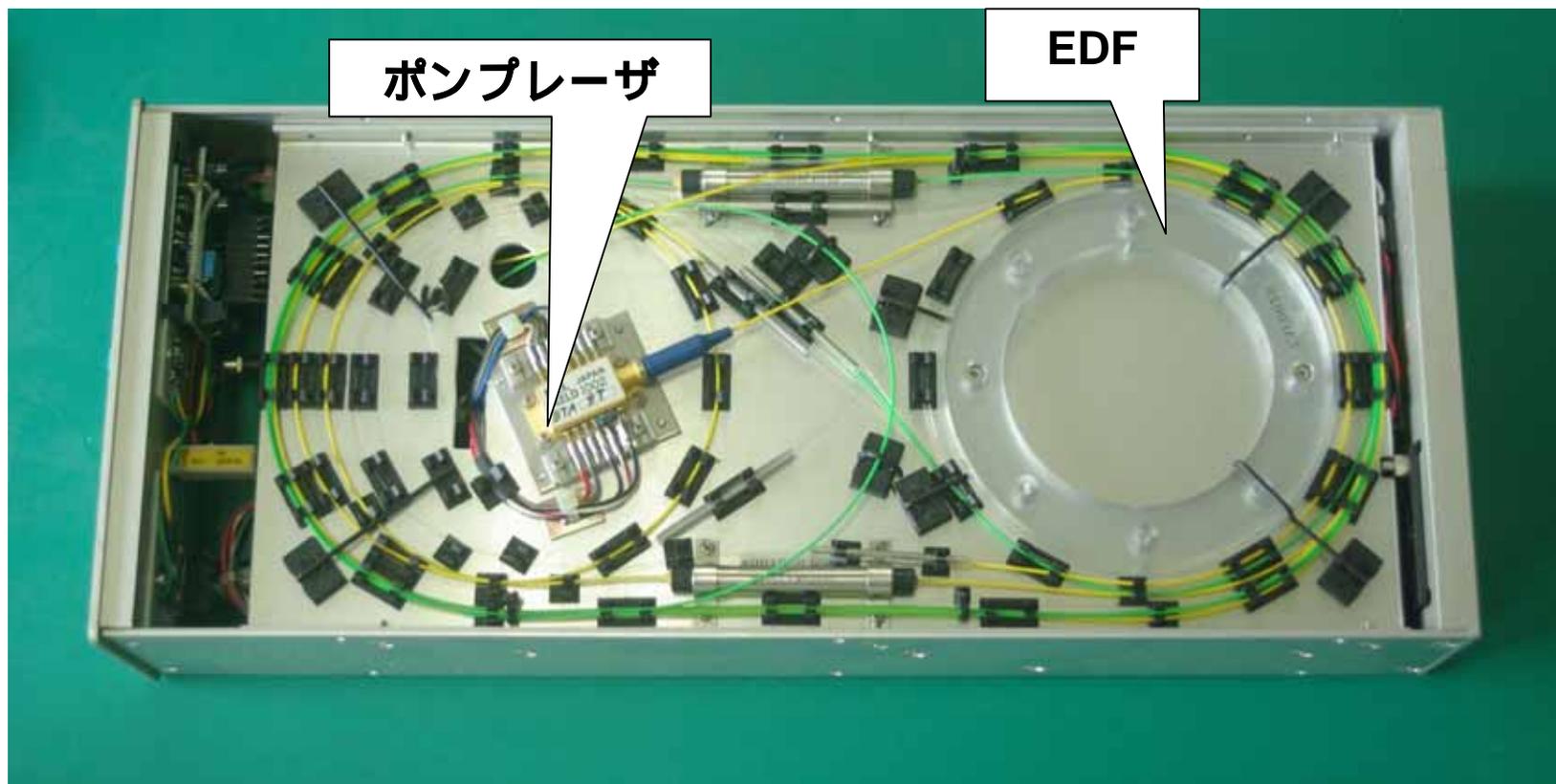
$$h\nu = E_2 - E_1$$

光ファイバ増幅器の構成

EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier

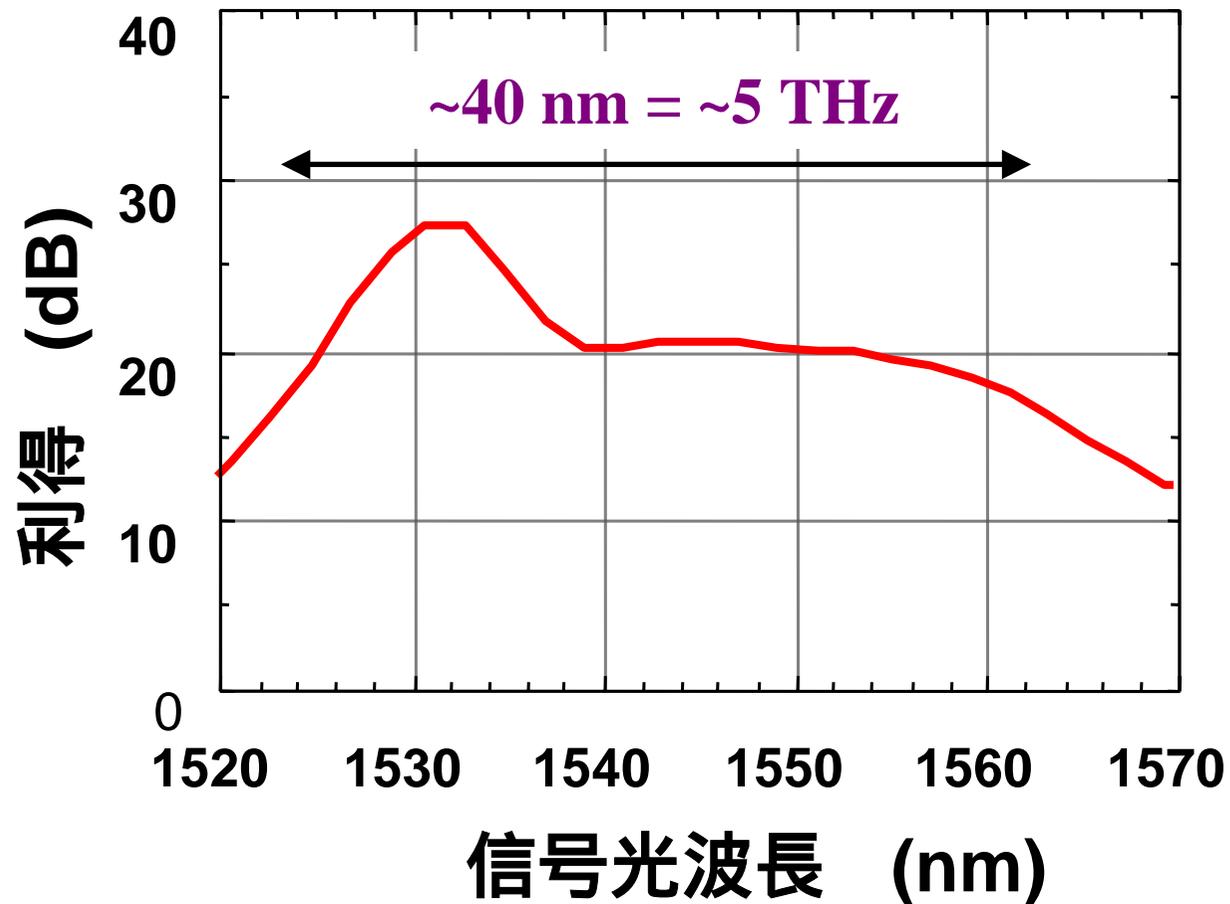


EDFA装置



利得の波長依存性

Gain @1.55 μm = 20 dB



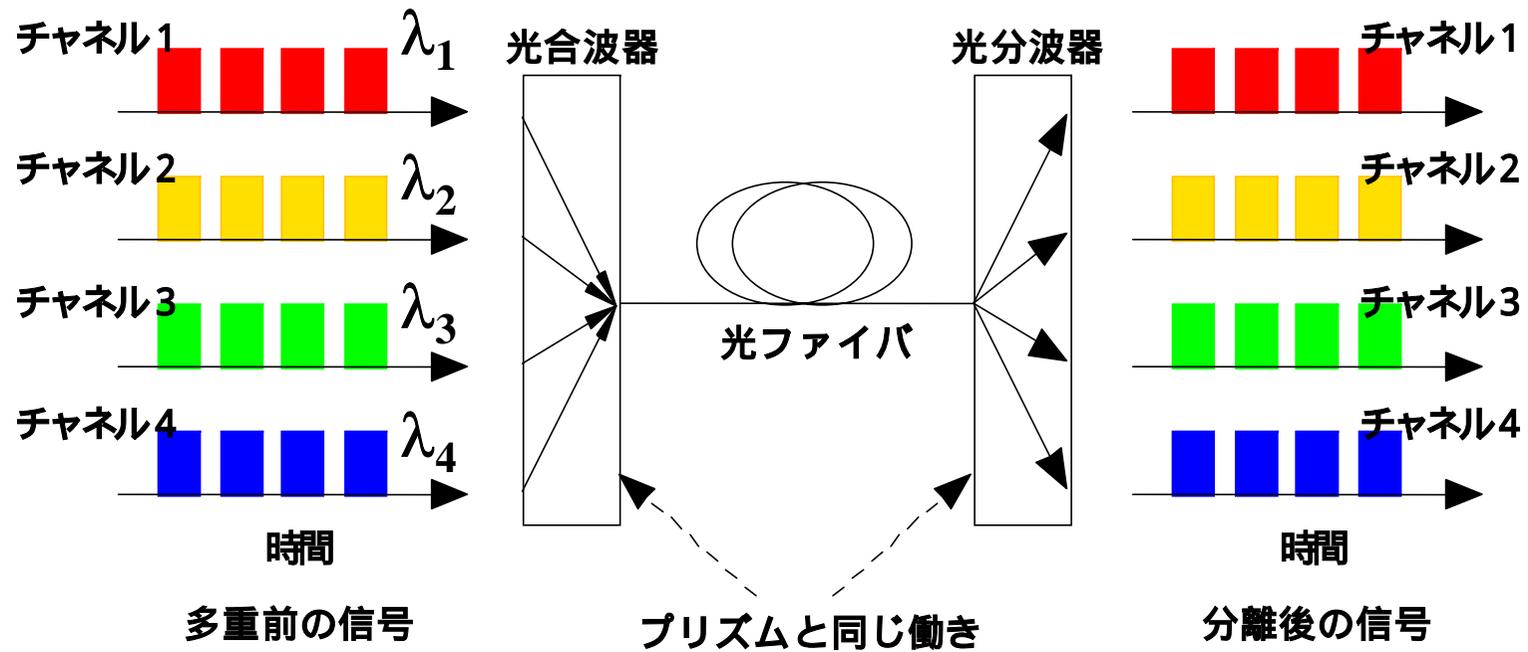
EDFAは万能か？

- EDFAを用いれば距離の限界はない？
太平洋横断はできている
- ノイズの発生
SNRの劣化 (Signal to Noise Ratio)
- 非線形効果

高速・大容量化の課題

- TDMの限界: 40 Gbps - 100 Gbps
(Time Division Multiplexing)
- 波長分割多重方式: WDM
(Wavelength Division Multiplexing)
2.5 Gbps x 4 λ : 1995-(米)
時間軸から周波数軸へ

WDMの原理



波長と周波数

周波数: $\nu = \frac{c}{\lambda}$

$$\nu_2 - \nu_1 = \frac{c}{\lambda_2} - \frac{c}{\lambda_1} = \frac{c}{\lambda_1 \lambda_2} (\lambda_1 - \lambda_2)$$

or

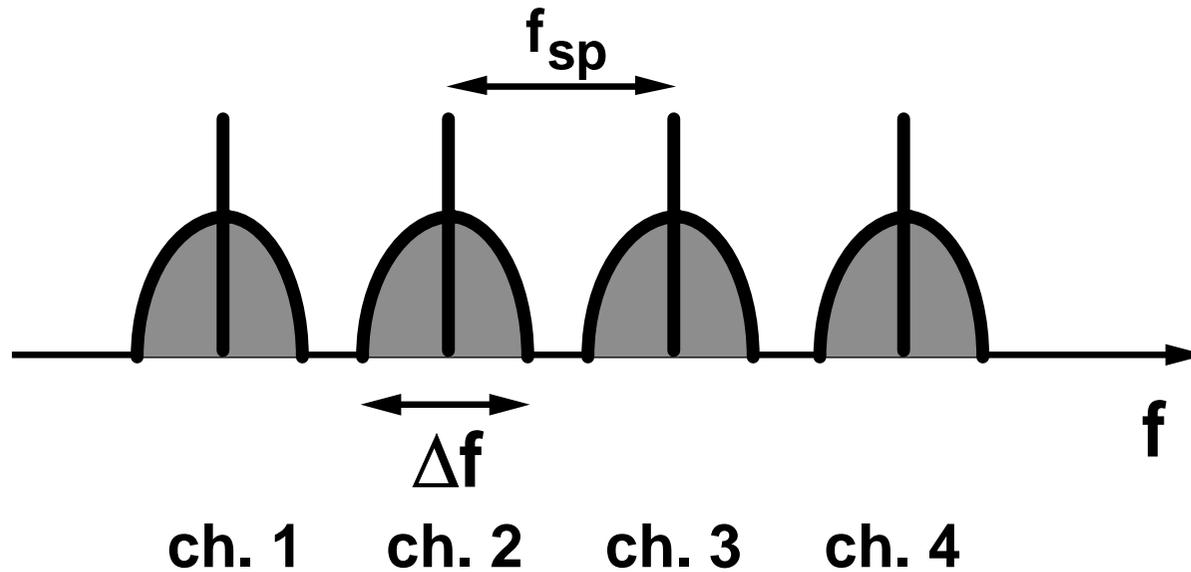
$$\Delta \nu = -\frac{c}{\lambda^2} \Delta \lambda$$

1.55 μm 近傍では **1.0 nm ~ 125 GHz**
0.8 nm ~ 100 GHz
80 nm ~ 10 THz

周波数間隔

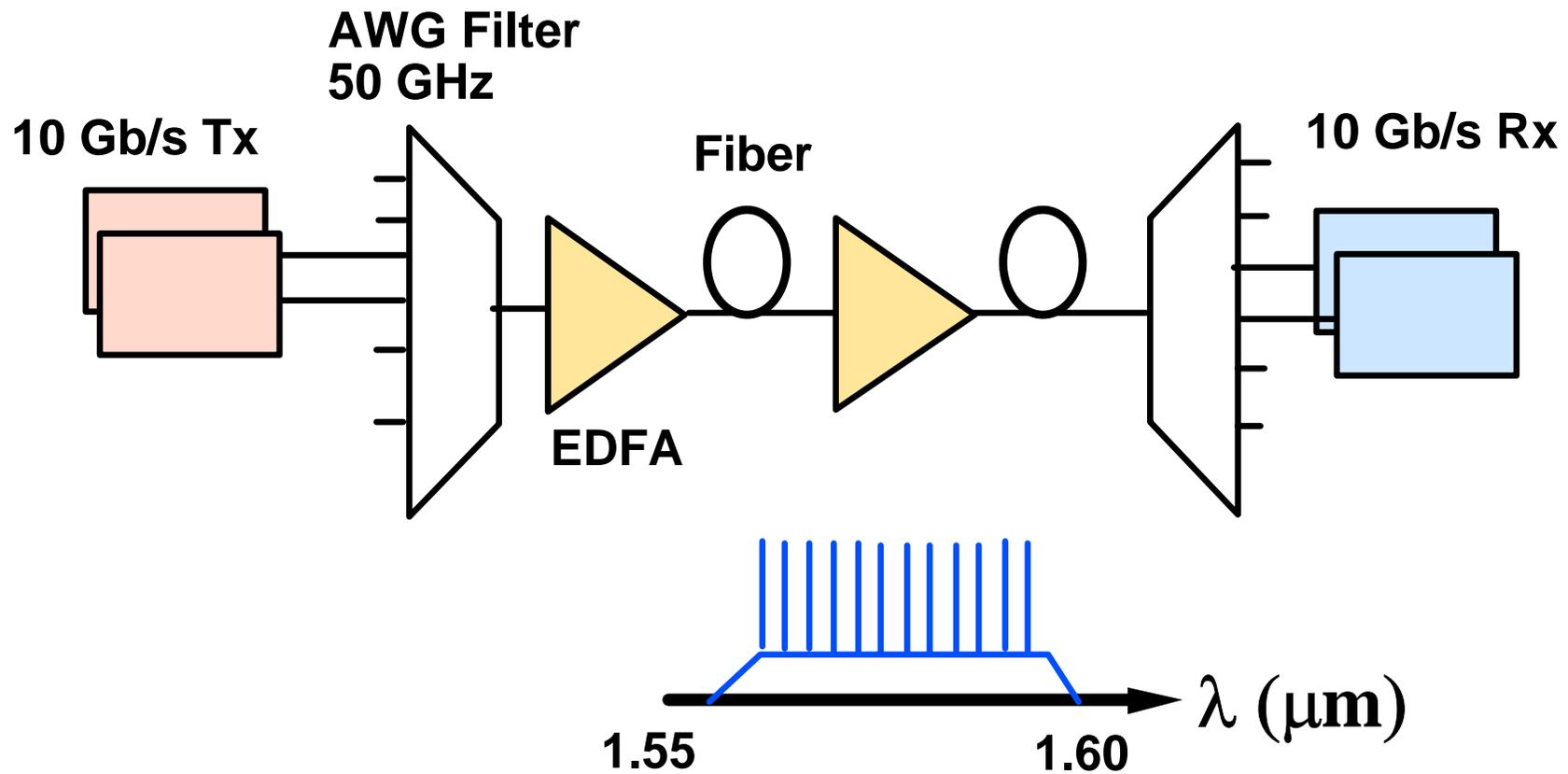
$B/\Delta f \leq 1$ bit/s / Hz : *Nyquist Limit*
B: Bit Rate

$$f_{sp} \geq B$$

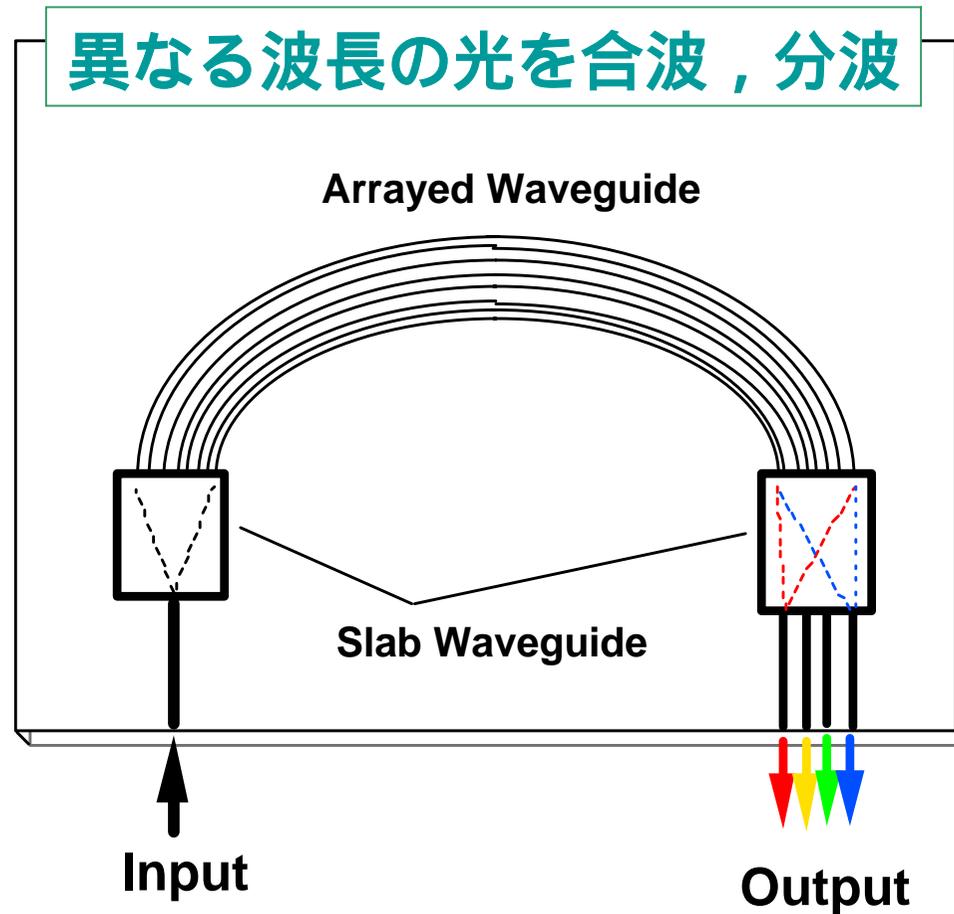


EDFAを用いた長距離WDM

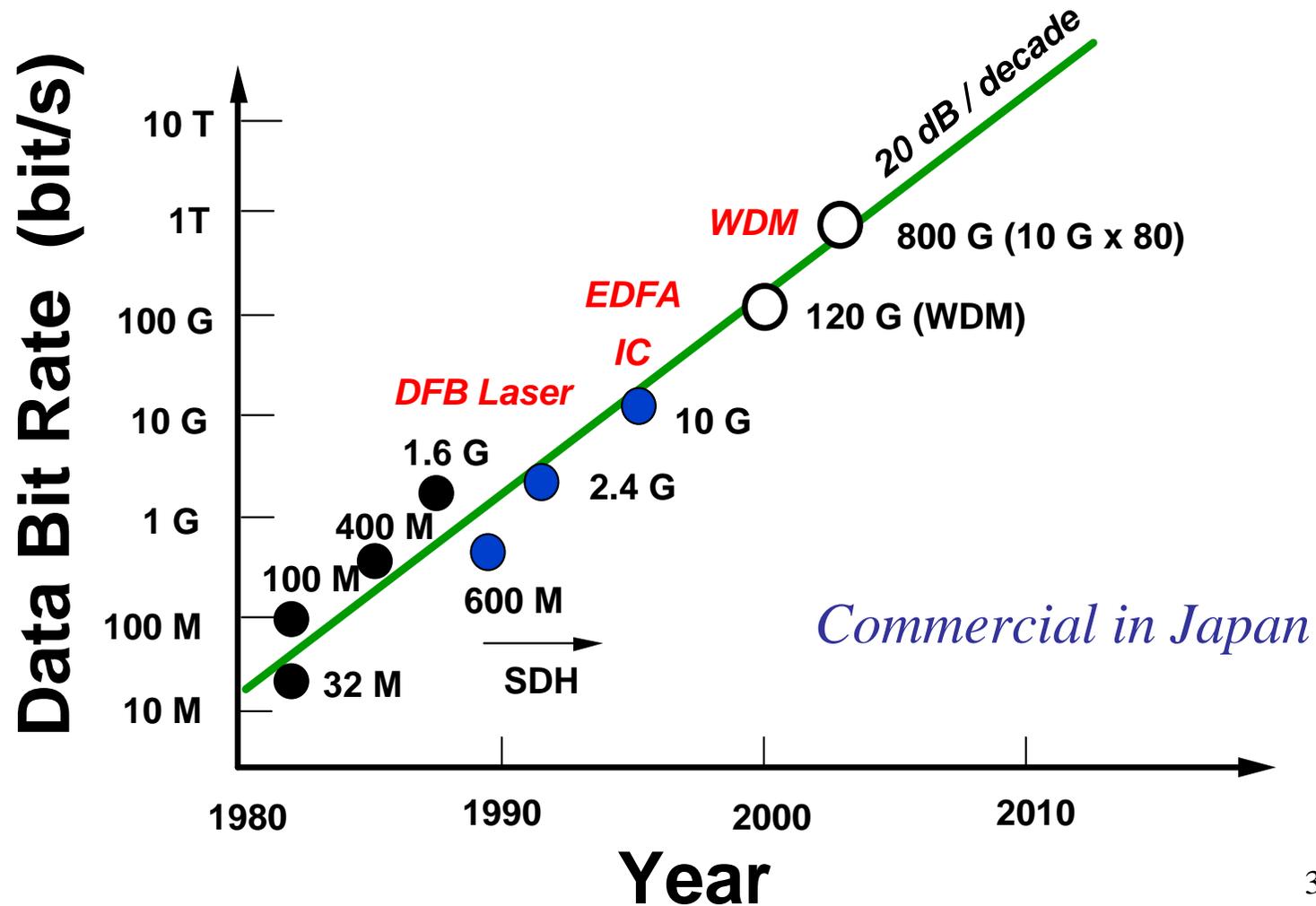
10 Gbps x 80 channel



Arrayed Waveguide Grating



基幹網の伝送速度



WDMの課題

- WDMで伝送容量はどこまで増やせる？
111 Gbps x 140 ch = 14 Tbps (2006, NTT)
- チャンネル間のクロストーク
非線形効果
- 光源の波長精度や光フィルタの精度

まとめ

光ファイバ通信を進歩させた2大技術

- EDFAによる長距離化
- WDMによる大容量化

アクセス網の光化(FTTH)が進行中

参考文献

光通信全般

- 末松安晴，伊賀健一，「光ファイバ通信入門」，オーム社．
- 小林郁太郎編著，「光通信工学」，コロナ社．

ファイバ非線形

- G. P. Agrawal, “Nonlinear Fiber Optics,” Academic Press.

光増幅器

- 中川清司他，「光増幅器とその応用」，オーム社．

光子統計，非線形

- 広田修監修，「スクイズド光」，森北出版．

ファイバのモード，導波路解析

- 岡本勝就，「光導波路の基礎」，コロナ社．