

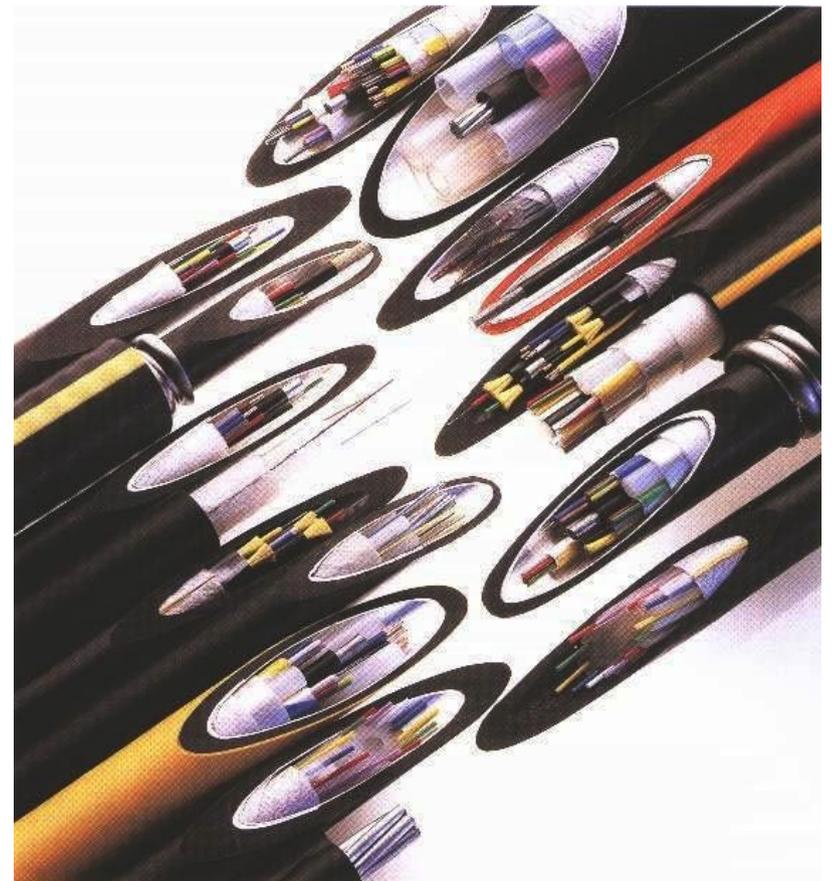
光ファイバー

イギリスのカオ

光ファイバの不純物を十分取り除けば低損失で光を伝送

1970年 米国のコーニング

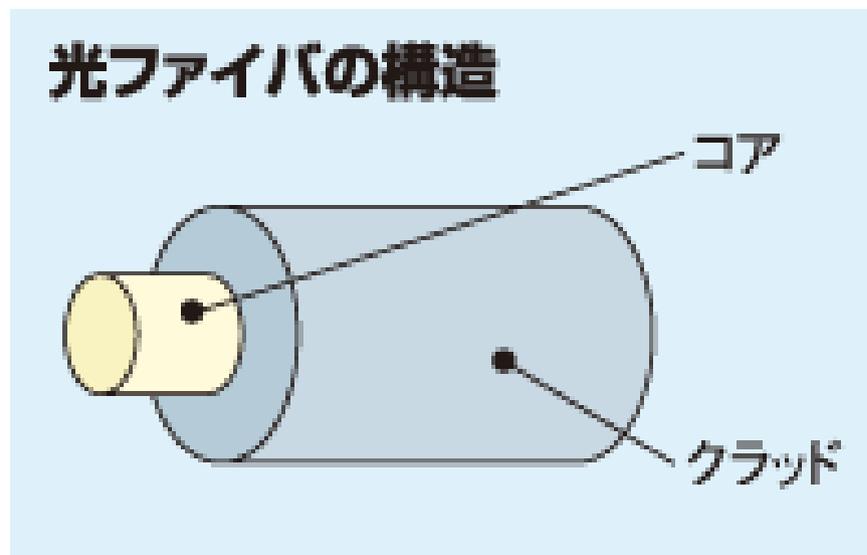
20dB/kmの低損失光ファイバが開発



光ファイバーの構造

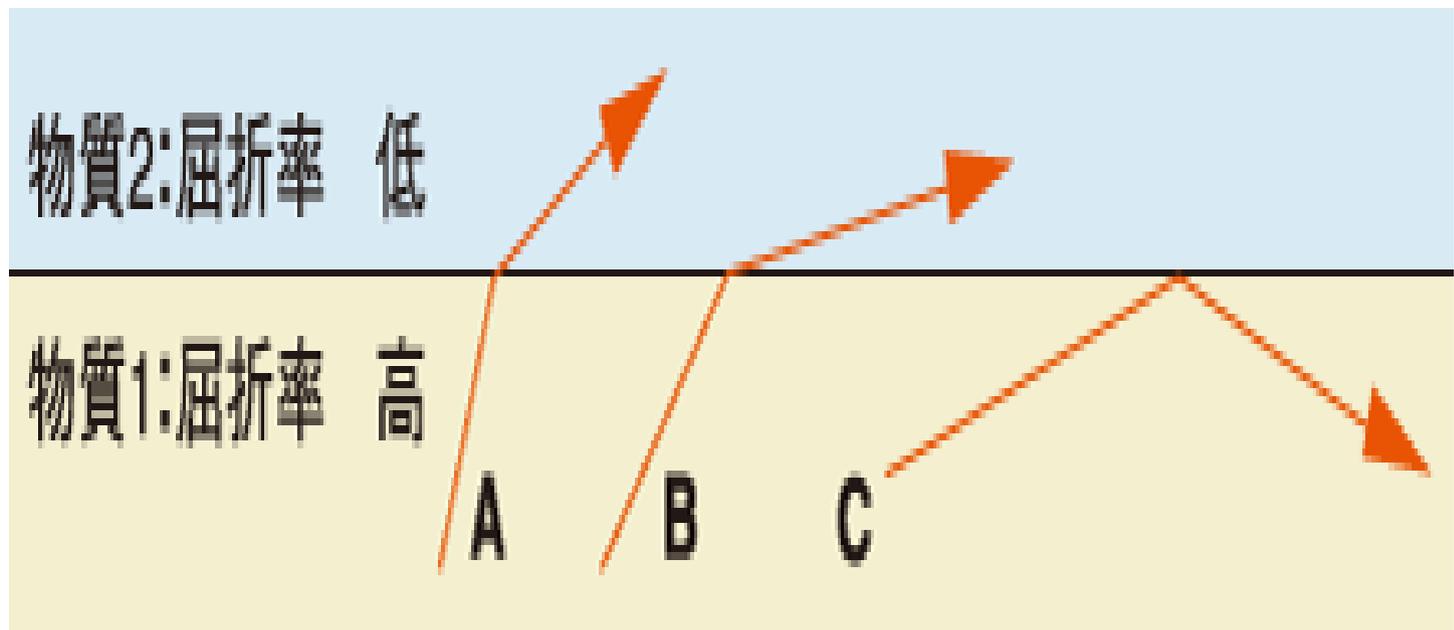
心部のコアと、その周囲を覆うクラッドの二層構造

コアは、クラッドと比較して屈折率が高い



全反射

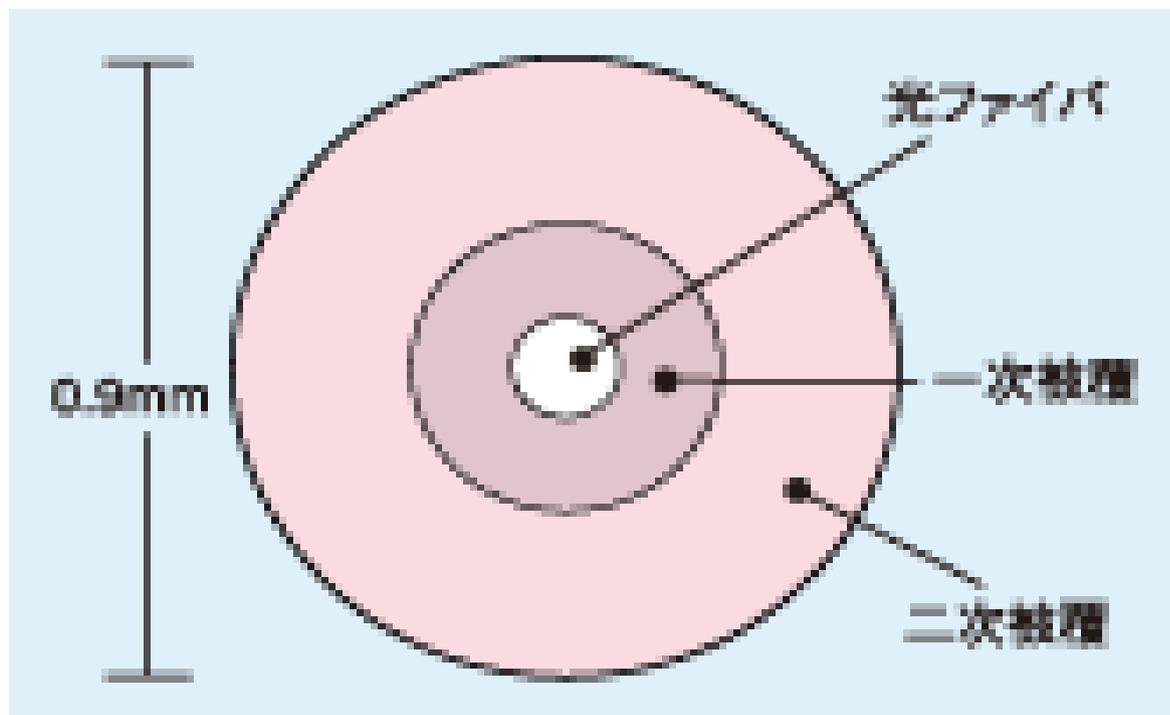
すべての光が反射: 全反射
入射角度: 臨界角



光ファイバ

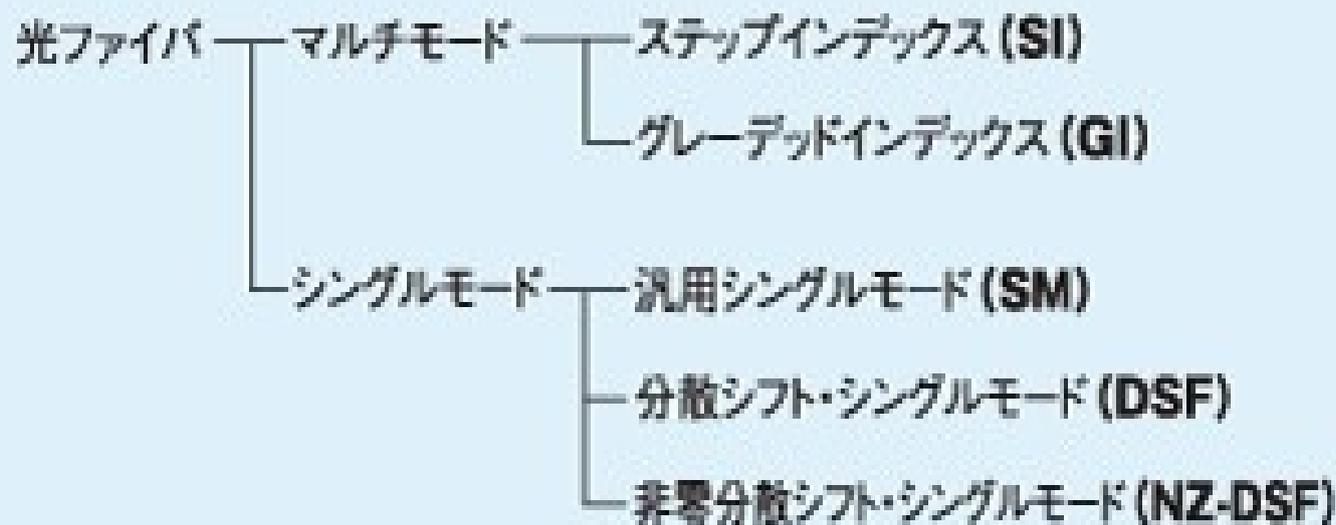
石英ガラス 非常に脆弱 通常125(0.125mm)

(1)0.25mm素線 (2)0.9mm心線 (3)テープ心線



光ファイバーの種類

光ファイバの分類



マルチモード

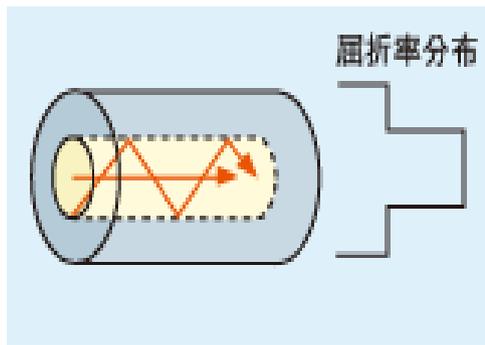
マルチモード

シングルモード

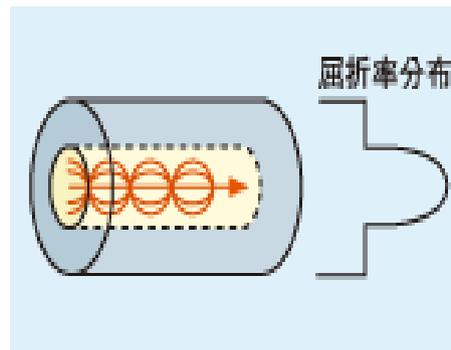
ステップイン
デックス

グレーデッド
インデックス

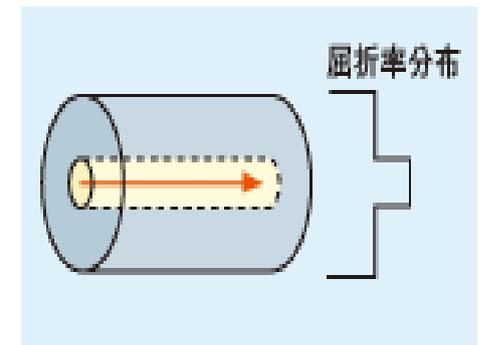
汎用シングル
モード



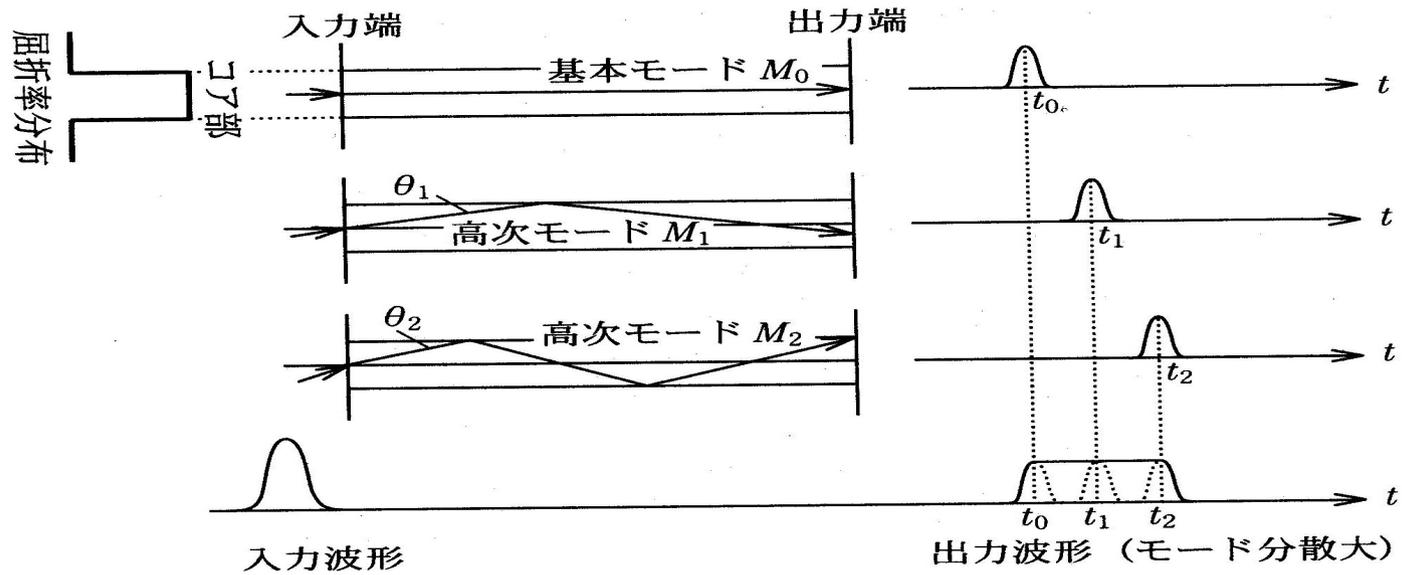
短距離



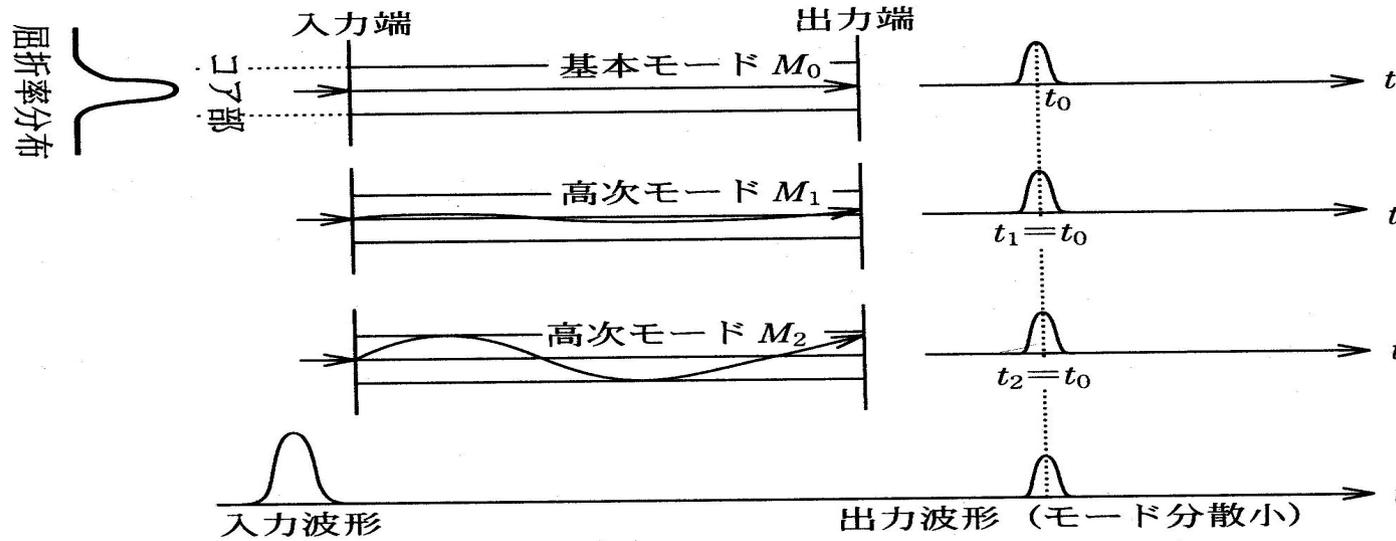
LAN



長距離伝送



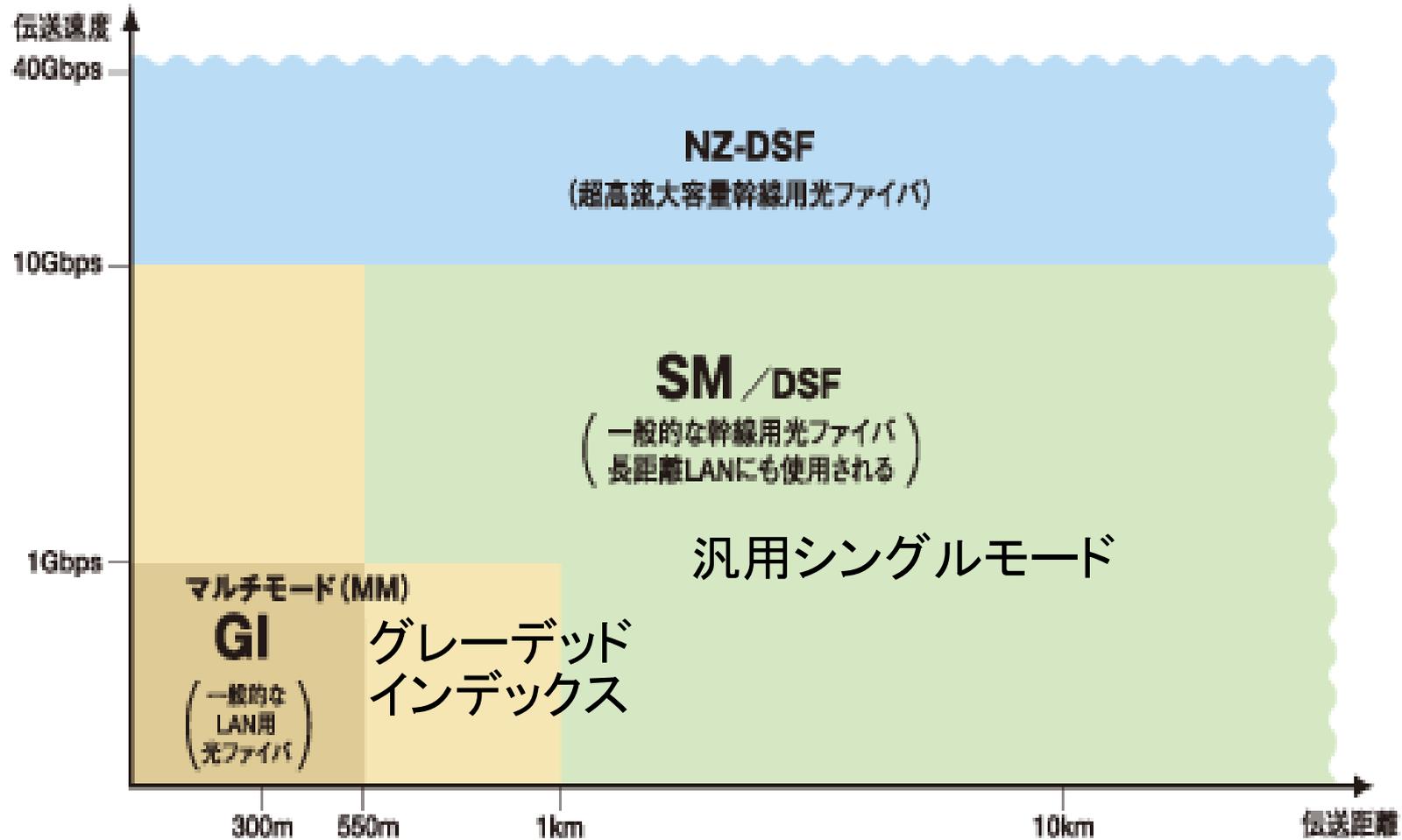
(a) ステップインデックス形によるモードの伝搬



(b) グレーデッドインデックス形によるモードの伝搬

図 5.17 マルチモード光ファイバによるモードの伝搬

光ファイバの種類と伝送速度、伝送距離



プラスチックファイバ

企業の構内LAN
FTTHの引込み線
宅内配線としても利用される。

POFの長所

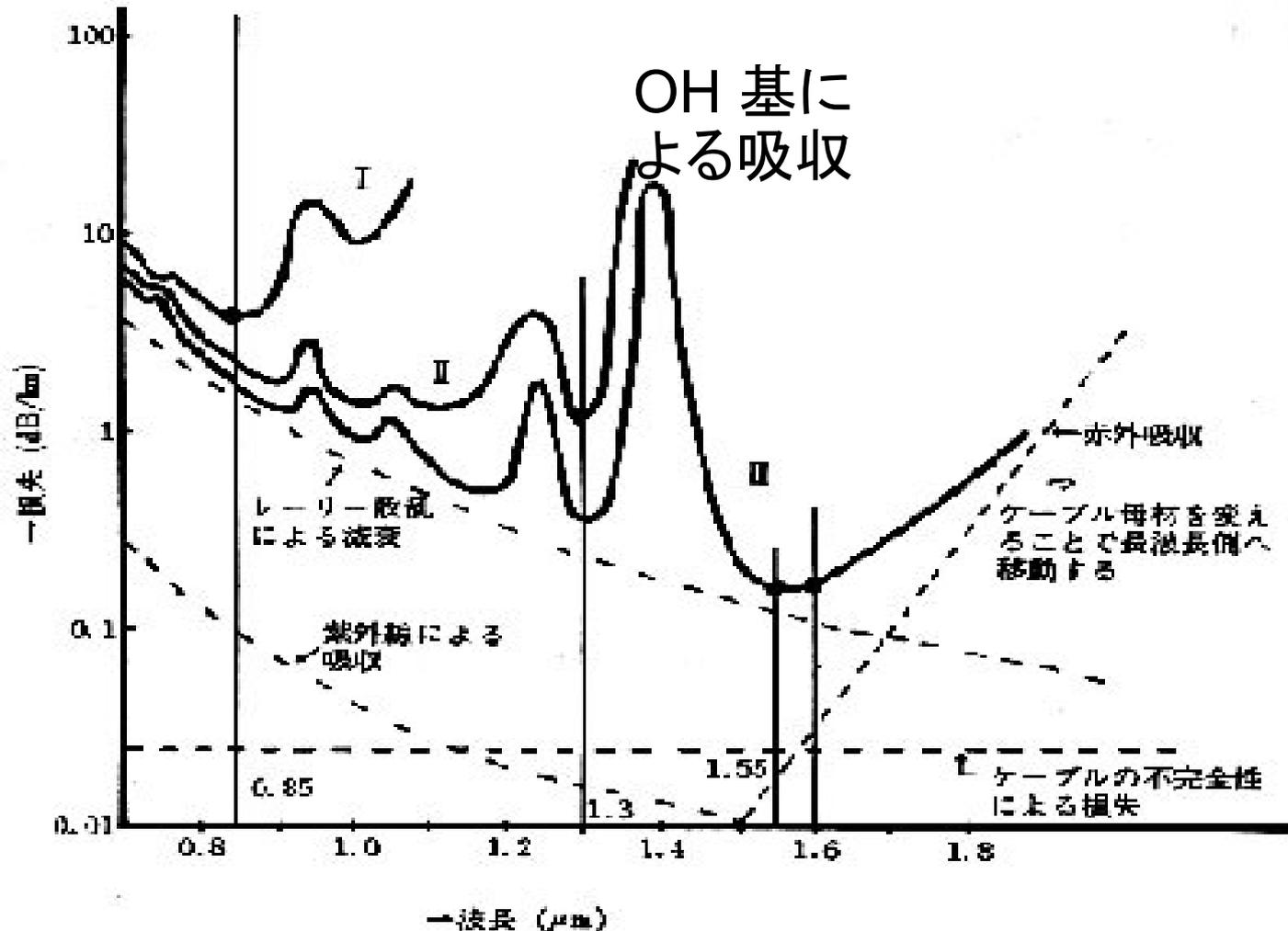
曲げや折れに強くメタルケーブル並み
コア径が太いので融着接続が容易であること、
単価、施行費ともにGOFより低コスト

POFの短所

損失が大きいため長距離の伝送ができないこと
耐熱性が低いため屋外使用に向かない

レーリー散乱

材料の分子振動吸収による損失



1.3um 1.5um

利用される周波数

光ファイバーの損失特性

図1 光ファイバの損失特性と光増幅器の増幅帯域

1.55 μm 帯近辺が損失最小

増幅するために、EDFAやラマン増幅器といった光増幅器が登場



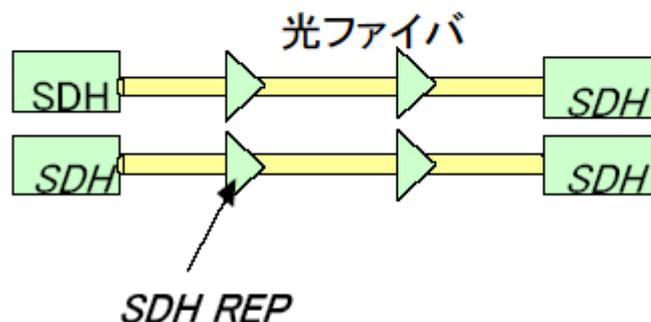
PDFA : praseodymium-doped fiber amplifier

TDFA : thulium-doped fiber amplifie

EDFA : erbium-doped fiber amplifier

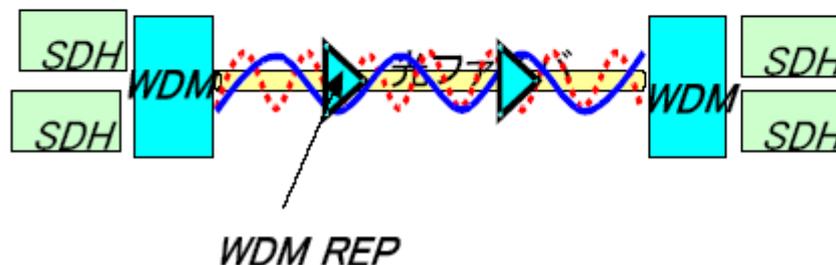
WDMによる転送容量の拡大

従来方式



1本の光ファイバを1つの伝送システムで占有

WDM



1本の光ファイバを波長を変えて使用することにより、
複数の伝送システムで使用可能
⇒ 1本のファイバあたりの伝送容量が飛躍的に増加

WDMの適用によりコストの約9割を占める伝送路コストを
数十分の一にできる

注) 伝送路コスト: 管路・土木、工事、ケーブル、装置



網コスト全体の低減, ビット単価の低減

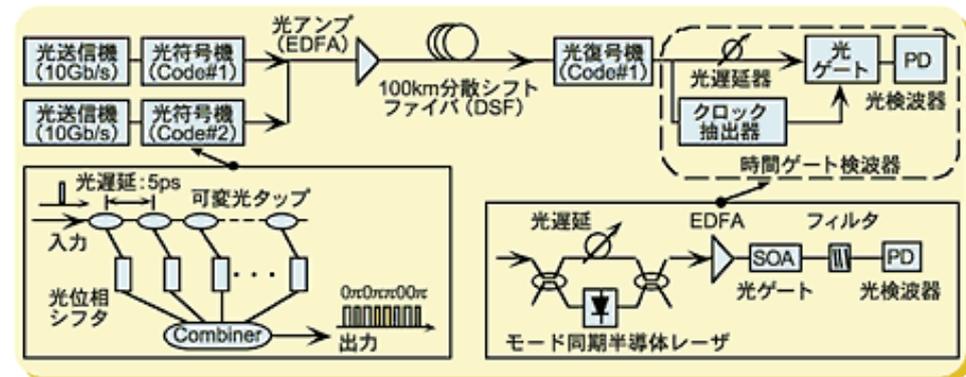
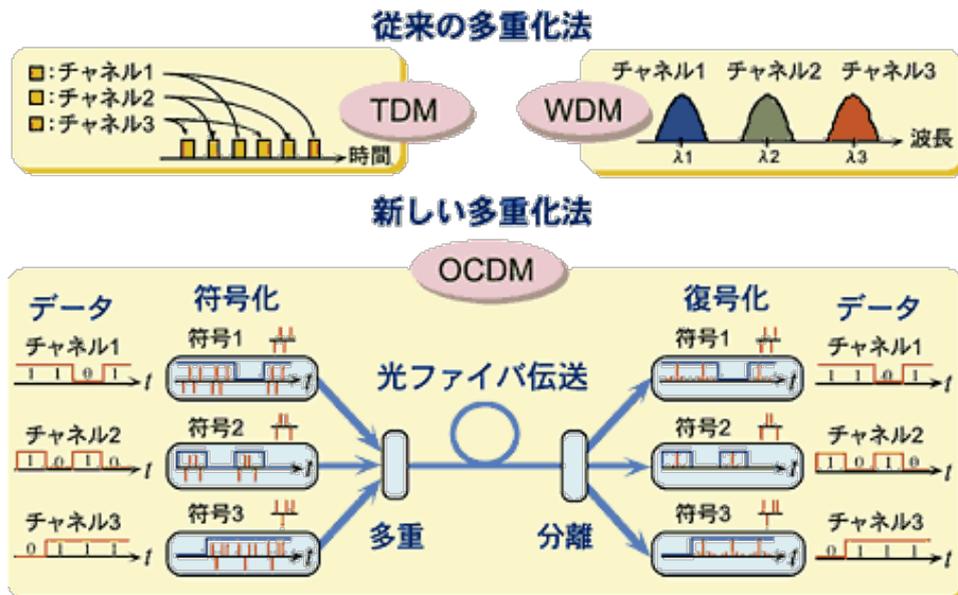
WDM; Wavelength Division Multiplexing

波長分割多重光通信

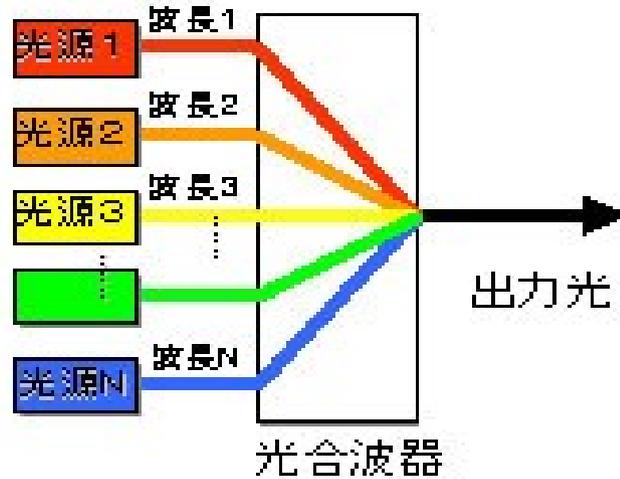
1990年代 周波数や位相を変調する光波通信の研究が開始

複数の波長に情報をのせて多重化する
波長分割多重光通信システムが開発

ケーブルあたりの容量が飛躍的に増加



従来の
WDM光源

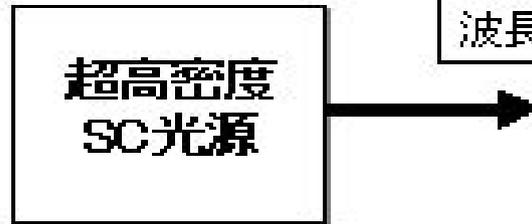


波長間隔	50 GHz以上
絶対波長ゆらぎ	GHz程度
波長間隔ゆらぎ	GHz程度

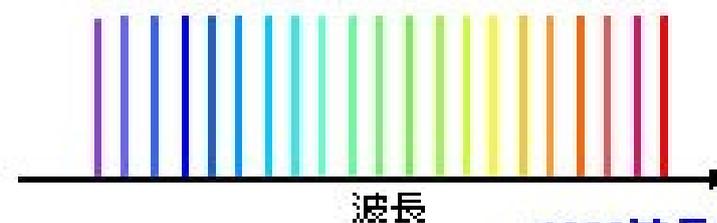


**100-200波長程度が
限界**

今回の
超多波長光源

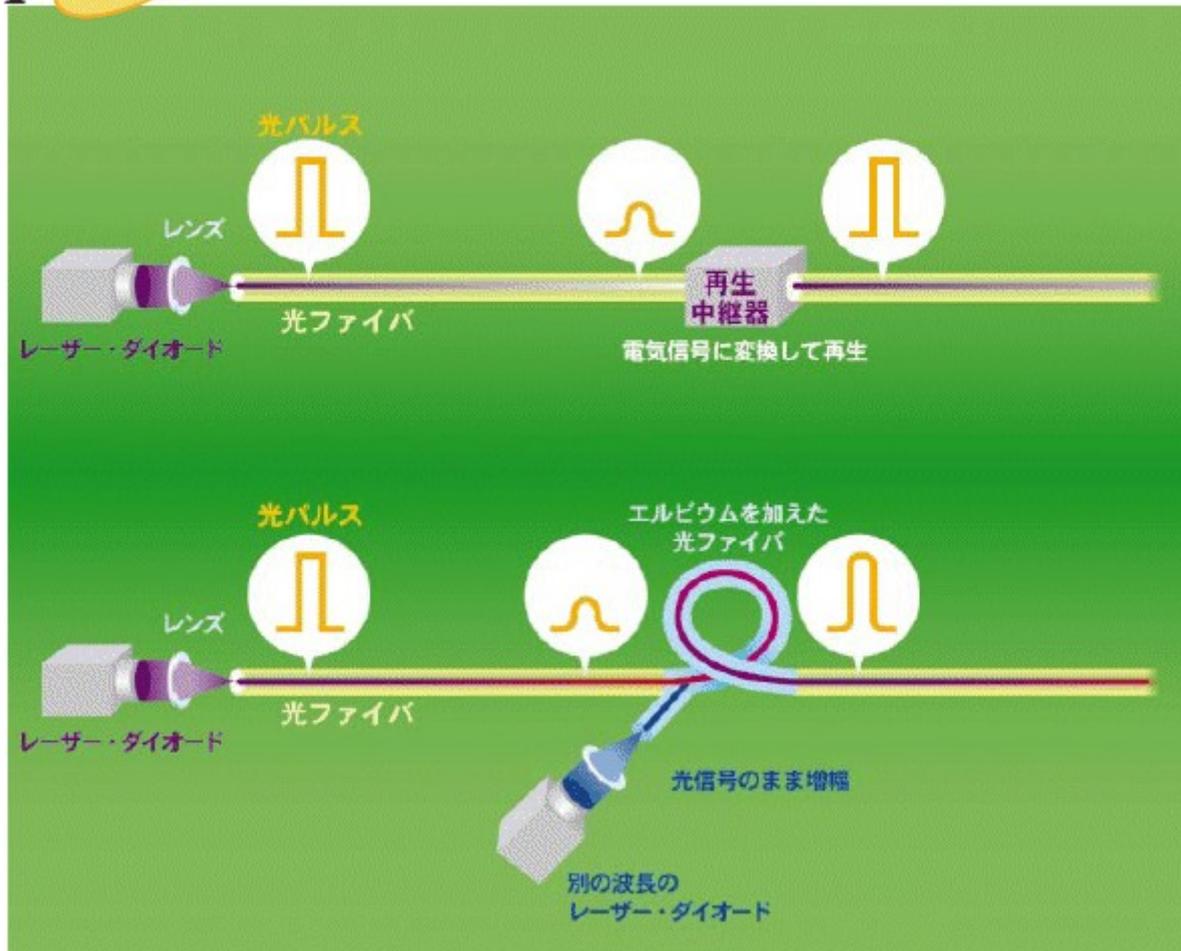


波長間隔	6.25 GHz (8分の1以下)
絶対波長ゆらぎ	10 MHz以下 (100分の1以下)
波長間隔ゆらぎ	1 kHz以下 (100万分の1 以下)

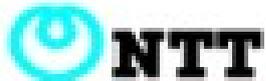


**1000波長以上を
高密度に一括発生**

pict.1 光のパルスは途中で増幅

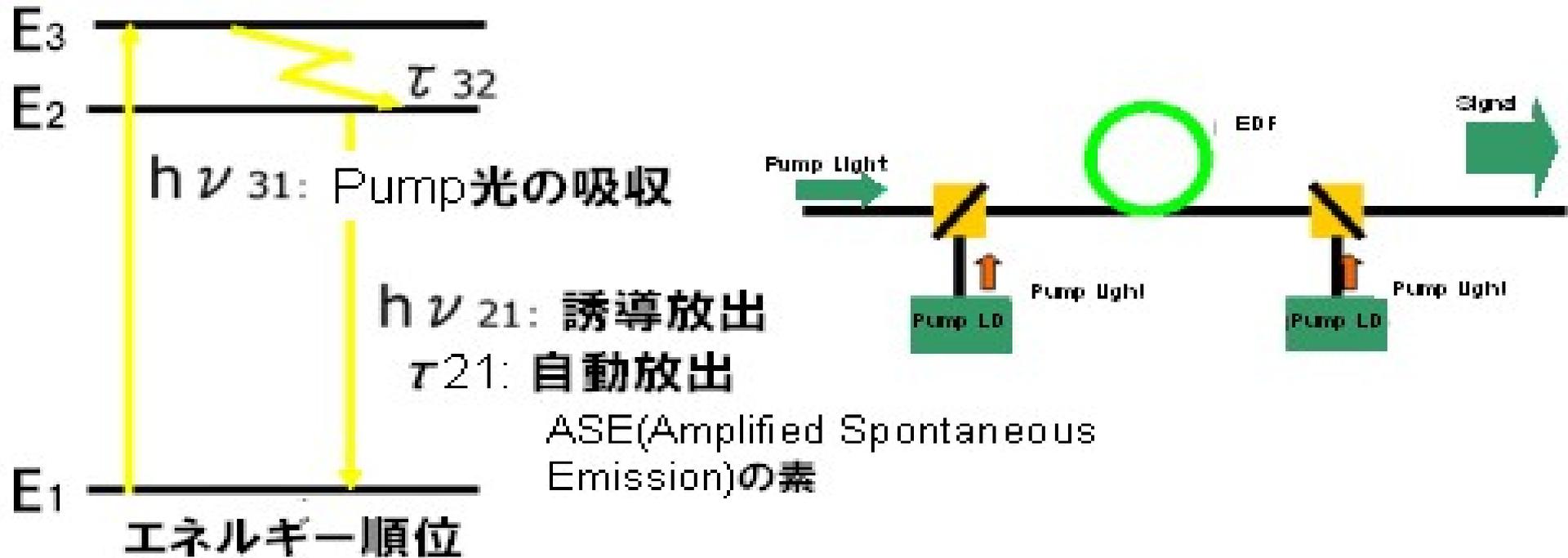


光増幅 (Er 添付ファイバ)



フロンティアで、未来の通信へ

EDFAによる光増幅の原理



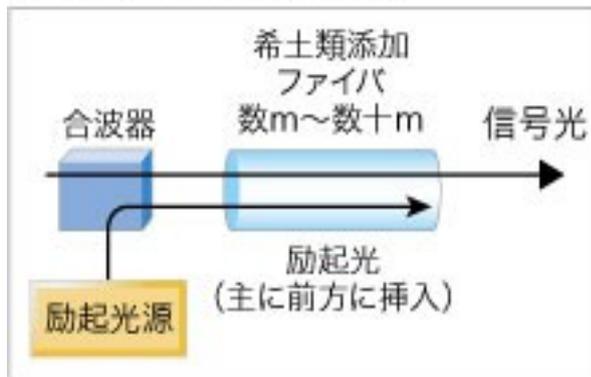
光増幅器

基幹ネットワークにおけるリピータアンプ, ポストアンプおよびプリアンプなどに利用

エルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA) erbium doped fiber amplifier。
希土類元素がエルビウムイオン(Er^{3+})である希土類添加ファイバ増幅器。

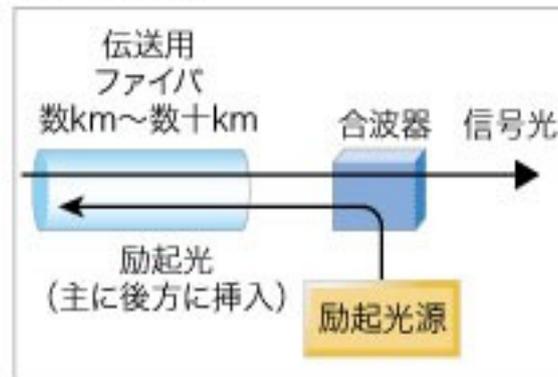
波長 $0.98\mu\text{m}$ (マイクロメートル)または $1.48\mu\text{m}$ の励起光を用い,
波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯または $1.58\mu\text{m}$ 帯の信号光を直接光増幅

希土類添加ファイバ増幅器



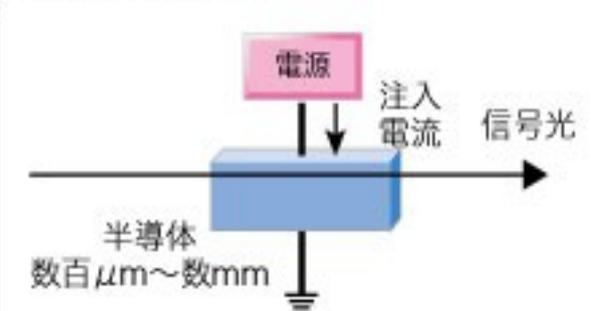
特定の波長域を直接光増幅できる

ラマン増幅器



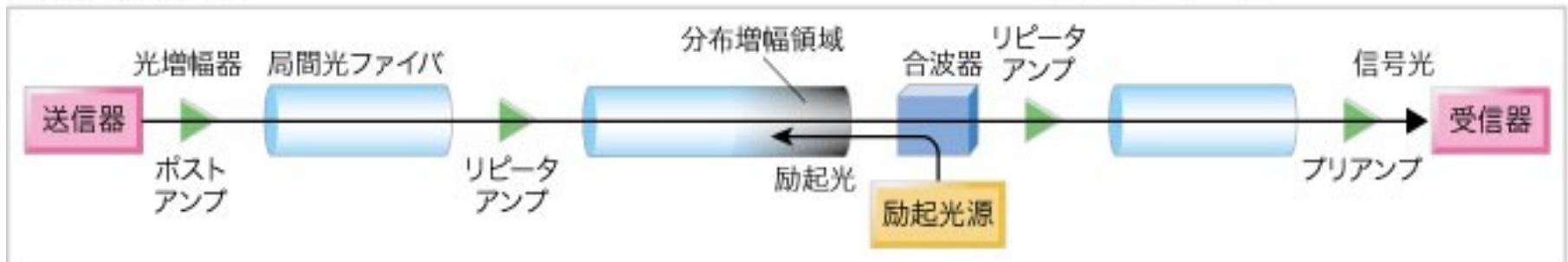
幅広い波長域を増幅できる

半導体光増幅器



幅広い波長域を増幅可能。部品点数が少なく、装置を小型化しやすい

光増幅器の応用例



バックボーン伝送容量(2000年)

100-400 芯/ケーブル・キャリア

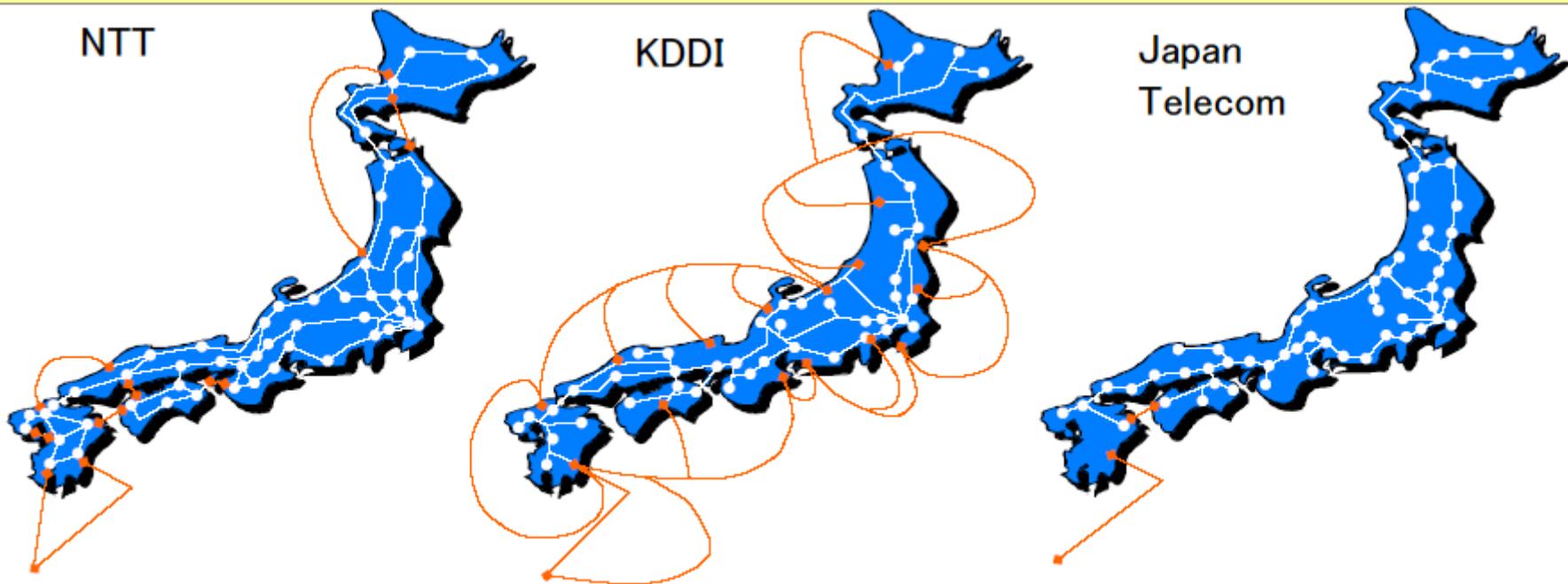
すべての芯線に現状のWDMを適用すると;

50Tbps (2.4Gbps, 32 λ)

すべての芯線に最新のWDM技術を適用すると;

合計 1Pbps (10Gbps, 160 λ)

人口一人あたり10Mbps

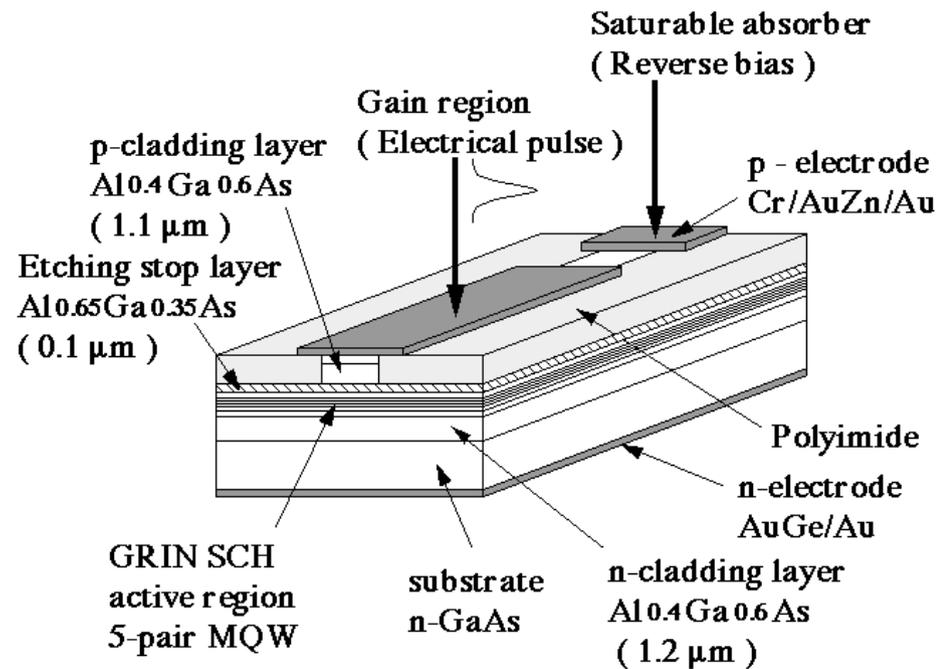


半導体レーザー

1970年 AT&TでGaAs系半導体レーザーで室温連続発光に成功

その後 光ファイバの損失が小さくなる波長1.3um帯や

1.55um帯用のInP系長波長半導体レーザーが開発

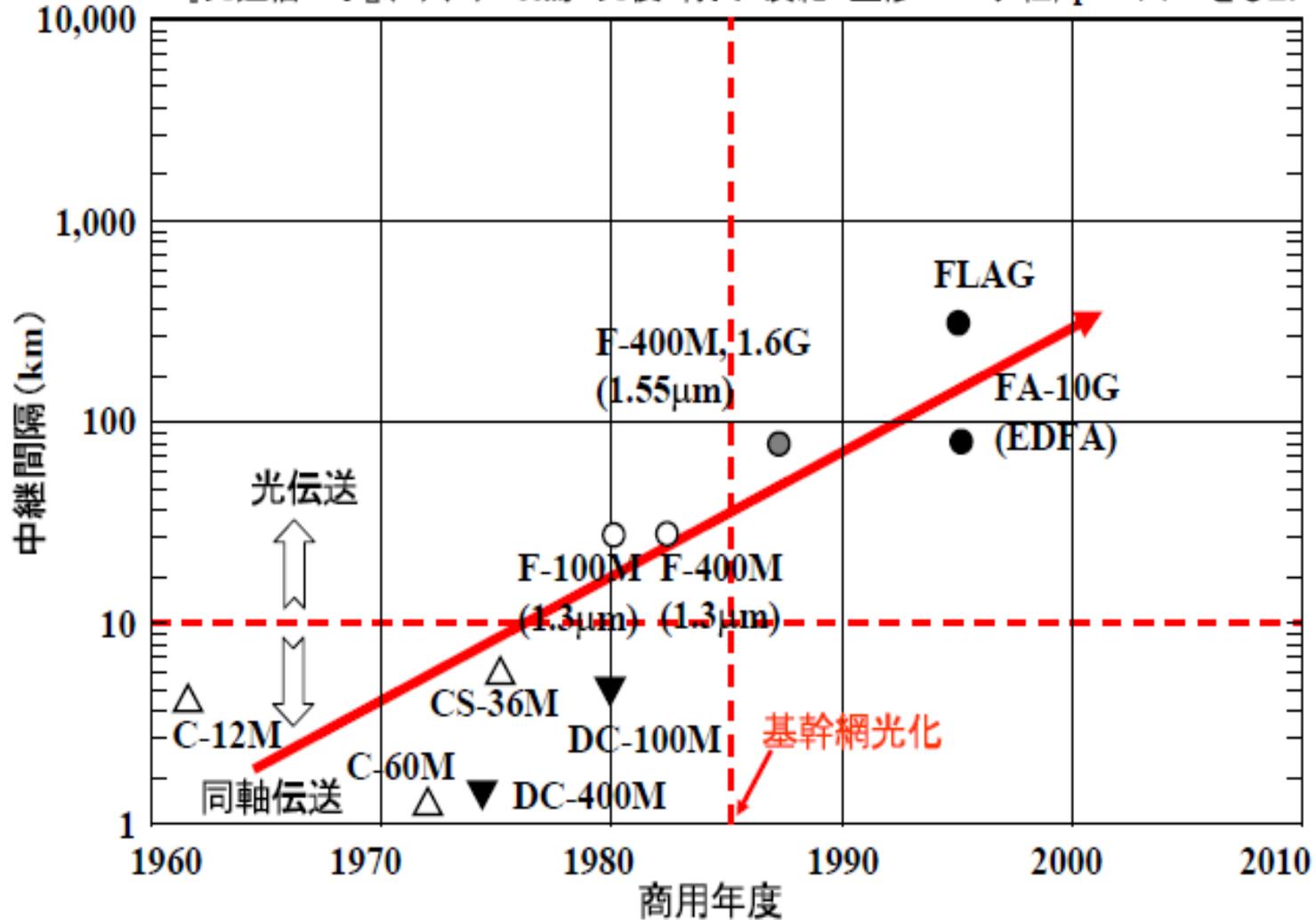


歴史

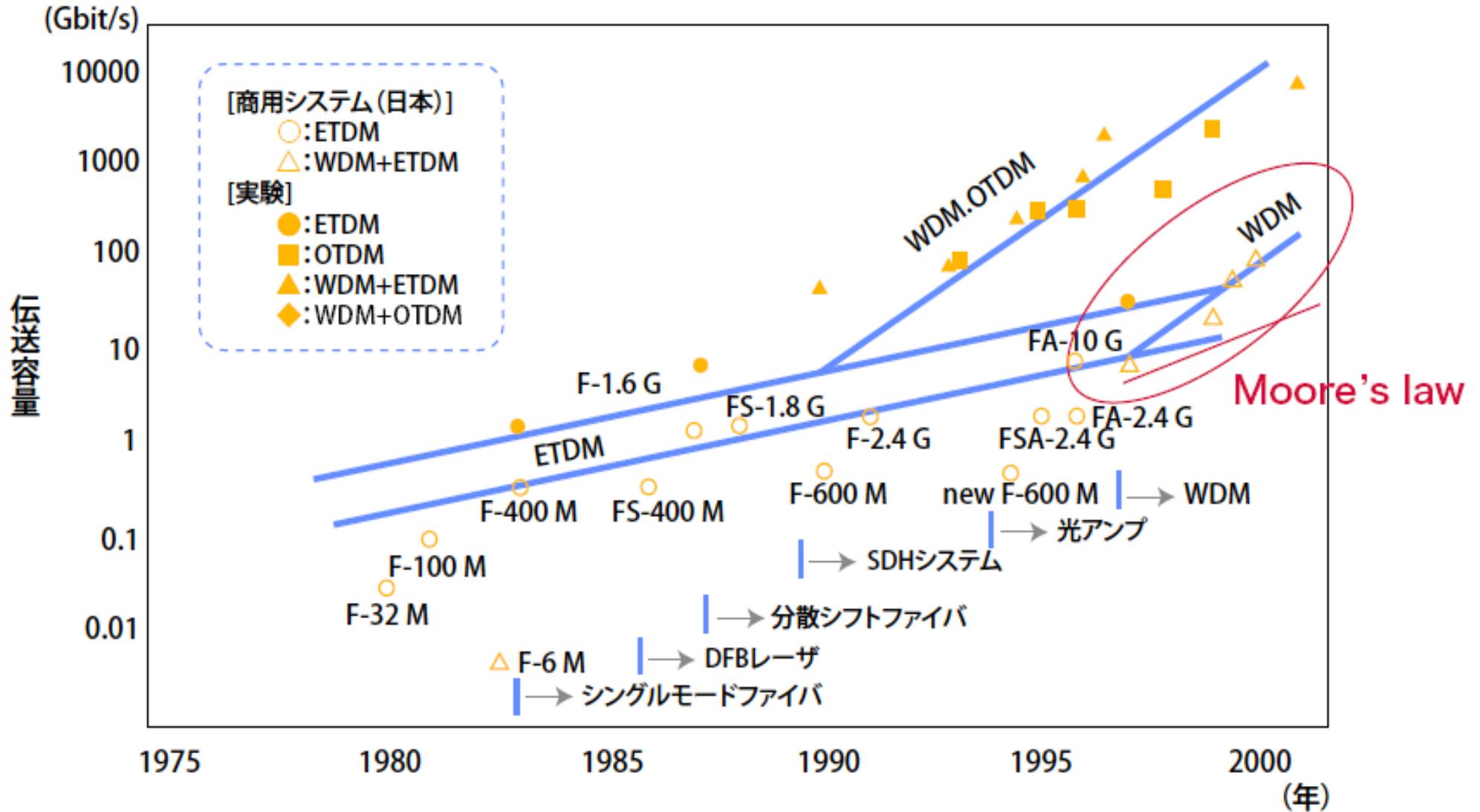
- * 1958年、半導体レーザーの原型を考案(日本)。
- * 1962年、ホモ接合構造による半導体レーザーの低温パルス発振に成功(GE・IBM・MIT)。
- * 1963年、ヘテロ接合によるレーザの低閾値化の提案(ハーバート・クレマー)。
- * 1970年、AlGaAs/GaAsダブルヘテロ接合構造半導体レーザーによる室温連続(CW)発振に成功(Bell研究所:林巖雄、M. B. Panish、ソ連アカデミージョレス・アルフェロフ等によりほぼ同時期に達成)。
- * 1975年、単一縦モード発振に向け分布帰還型(DBR)レーザおよび分布反射型(DBR)レーザの提案。
- * 1977年、VCSELの提案(伊賀健一)、1977年に最初のデバイス。
- * 1982年、量子ドット(量子箱)レーザの提案(荒川、榊等による)。
- * 1994年、ベル研究所でカスケードレーザーが発明される。
- * 1996年、InGaN/GaN青色半導体レーザの室温パルス発振(日亜化学工業:中村修二)。
- * 2000年、ハーバート・クレマー(米)、ジョレス・アルフェロフ(露)両博士にノーベル物理学賞の授与(半導体ヘテロ接合の提案と実証)。

有線伝送方式の長距離化と伝送方式の変遷

『光通信工学』(1)(2) 羽鳥 光俊・青山 友紀 監修 コロナ社, p.2 図1.1をもとに作成



光伝送技術の進歩



WDM; Wavelength Division Multiplexing

O(E)TDM; Optical(Electrial)Time Division Multiplexing

DFBLレーザ; Distributed Feedback Laser

表 4.5 各種光ケーブル伝送方式の主要方式諸元

方式名 諸元	陸上光ケーブル伝送方式																海底光ケーブル伝送方式					
	F-6 M		F-32 M		F-100 M		F-400 M		F-1.6 G		F-150 M		F-600 M		F-2.4 G		F-10 G		FS-400 M	FS-1.8 G		
情報速度	6.312 Mbit/s		32.064 Mbit/s		97.728 Mbit/s		397.200 Mbit/s		1.5888 Gbit/s		155.52 Mbit/s		622.08 Mbit/s		2.48832 Gbit/s		9953.280 Mbit/s		397.200 Mbit/s		1.86624 Gbit/s	
伝送容量 (電話換算)	96 CH/sys		480 CH/sys		1,440 CH/sys		5,760 CH/sys		23,040 CH/sys		2,016 CH/sys		8,064 CH/sys		3,2256 CH/sys		129,024 CH/sys		5,760 CH/sys		24,192 CH/sys	
伝送路符号	CMI				8B1C				10B1C				スクランブルド NRZ				10B1C		スクランブルド NRZ			
伝送速度	12.624 Mbit/s		64.128 Mbit/s		111.689 Mbit/s		445.837 Mbit/s		1.8209 Gbit/s		155.52 Mbit/s		622.08 Mbit/s		2.48832 Gbit/s		9953.280 Mbit/s		445.837 Mbit/s		1.86624 Gbit/s	
光ファイバ	GI型	SM型	GI型	SM型	GI型	S M 型																
波長	1.2 μm/1.31 μm (WDM)		1.31 μm				1.55 μm	1.31 μm	1.55 μm	1.31 μm	1.55 μm	1.31 μm	1.55 μm	1.31 μm	1.55 μm	1.31 μm	1.55 μm	1.55 μm		1.31 μm	1.55 μm	
発光素子	InGaAsP-FP-LD				InGaAsP-DFB-LD	InGaAsP-FP-LD	InGaAsP-DFB-LD				InGaAsP-FP-LD	InGaAsP-DFB-LD				InGaAsP/InP-DFB-LD と外部変調 (ポストアン プ: EDF 光増 幅器)		InGaAsP-FP-LD	InGaAsP-DFB-LD			
線形中継器	-	-	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EDF 光増幅器	-	-		
受光素子	Ge-APD				InGaAs-APD	Ge-APD	InGaAs-APD				Ge-APD	InGaAs-APD				EDF 光プリアンプ+ InGaAs-PD		Ge-APD	InGaAs-APD			
伝送距離	20 km	68 km	20 km	40 km	10 km	40 km	80 km	40 km	80 km	40 km	80 km	40 km	80 km	40 km	80 km	40 km	80 km	80 km(線形中継区間) 320 km(再生中継区間)	42 km	100 km		
所要伝送品質 (符号誤り率)	10 ⁻¹⁰		10 ⁻¹¹														10 ⁻¹⁴		10 ⁻¹¹			
適用水深	—																		8,000 m			