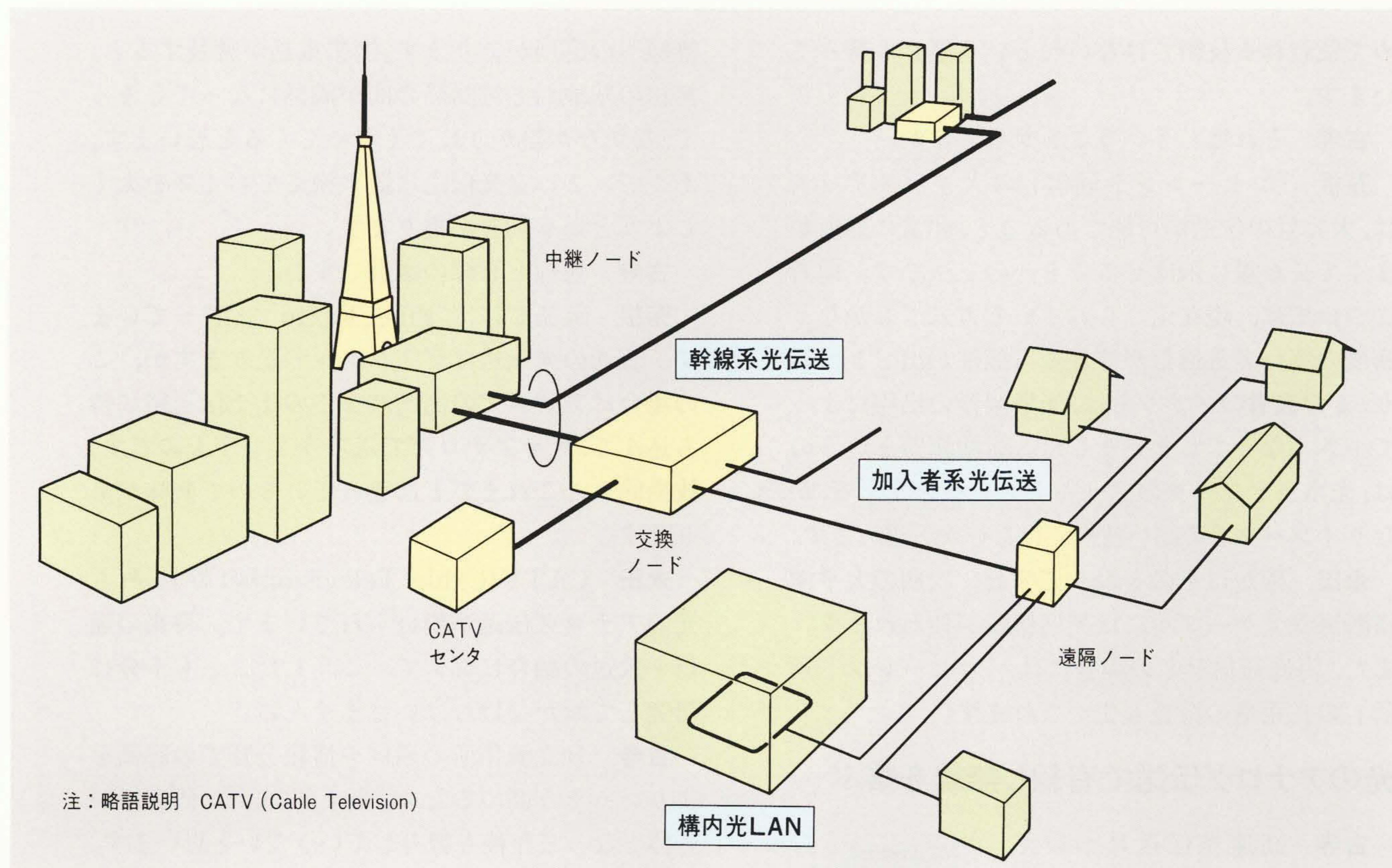


高速光伝送技術・システムの動向

Recent Trends in High-speed Fiber Optic Transmission Technologies and Systems

前田 稔* *Minoru Maeda*

茅根直樹** *Naoki Chinone*



注：略語説明 CATV (Cable Television)

通信・情報ネットワークにおける光伝送技術 幹線系伝送のデジタル化の要請を背景に発展してきた光伝送技術は、幹線系から加入者系、さらには構内系に至る広範囲な高速広帯域通信・情報ネットワークの基幹技術として展開する。

光伝送技術は、高速・大容量、長距離伝送という特長を持ち、公衆通信ネットワークのデジタル化の要請を背景に目覚ましい発展を遂げてきた。幹線伝送系ではすでにGビット/sクラスのシステムが実用化され、次世代の10 Gビット/sシステムの開発や将来のテラビット光伝送に向けての基礎技術開発も着実に進展している。

一方、情報化社会の高度化に伴い、音声、データから動画像に至る多様な情報サービスが社会活動に不可欠となり、公衆通信ネットワークではISDN

(Integrated Services Digital Network)の広帯域化、構内情報ネットワークではLANのマルチメディア化、高速化の検討が進められている。光伝送技術は、その実現を担う基幹技術として、公衆通信ネットワークの幹線系から加入者系、さらには構内の高速情報ネットワークに至る広範囲な高速広帯域ネットワークでの展開が期待される。日立製作所も光伝送技術・製品の開発を積極的に推進し、これらの発展に寄与していく考えである。

* 日立製作所 光技術開発推進本部 工学博士 ** 日立製作所 中央研究所 工学博士

1 はじめに

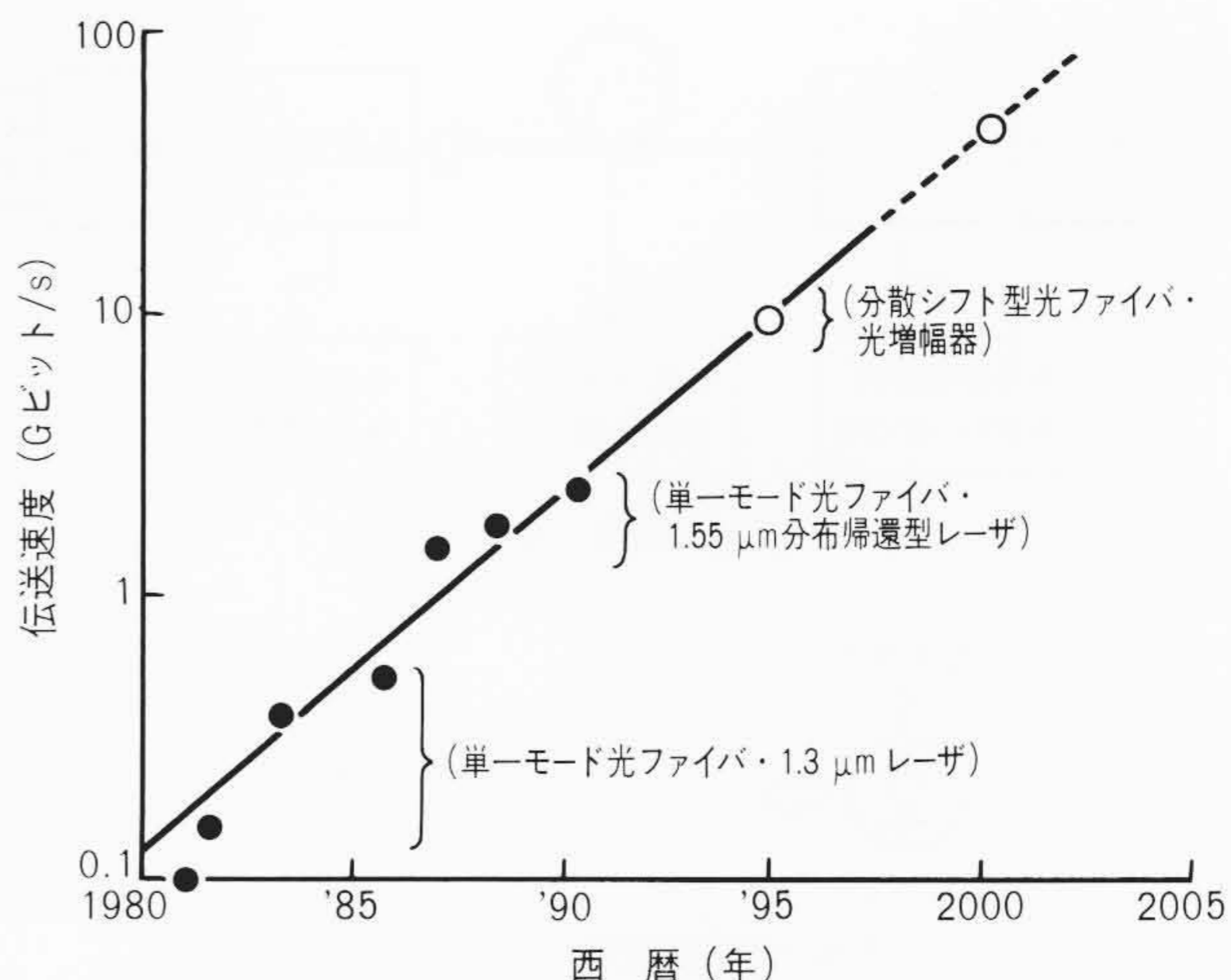
光ファイバを伝送路とする光伝送技術は、高速・大容量、長距離伝送という特長を持ち、公衆通信ネットワークのデジタル化の要請を背景に目覚ましい発展を遂げてきた。まず、1970年代に多モード光ファイバを伝送路とする数十Mビット/sの光伝送技術が開発された。1980年代に入り単一モード光ファイバの開発が進むと、その低損失、広帯域という優れた特長を生かし、数百Mビット/sからGビット/sに及ぶ高速光伝送技術が開発された。

これらの光伝送技術は、主に公衆通信ネットワークでの幹線系のデジタル化、大容量化を実現するための伝送技術として活用されてきた。しかし、情報化社会の高度化に伴い、音声、データから動画像に至る多様な情報サービスが社会活動に不可欠となり、公衆通信ネットワークではISDN(Integrated Services Digital Network)の広帯域化が、構内情報ネットワークではLANのマルチメディア化、高速化が進められている。高速・大容量光伝送技術は、その実現を担う基幹技術として、前ページの図に示すように、公衆通信ネットワークの幹線系から加入者系、さらには構内情報ネットワークに至る広範囲なネットワークでの展開が期待される。

ここでは、高速・大容量化に向けて進む光伝送技術の新技术動向と今後の通信情報ネットワークへのインパクトについて述べる。

2 技術動向

1980年代初頭から本格的に実用化の始まった光伝送技術の進歩は目覚ましく、図1に示すように、この10年で一けた以上の高速化が図られてきた。1980年代初頭の100 Mビット/s光伝送システムは、多モード光ファイバと波長 $0.8\mu\text{m}$ 帯レーザとによって実用化された。しかし、多モード光ファイバではモード分散によって高速光波形の長距離伝送が困難であることと、波長 $1\mu\text{m}$ 以上の長波長帯で光ファイバが低損失であることなどが解明され、単一モード光ファイバと $1.3\mu\text{m}$ 帯レーザによって高速化が図られた。1980年代中ごろには、さらに $1.55\mu\text{m}$ 帯での低損失化が進むとともに、単一モード発振特性の優れた分布帰還型レーザが開発され、1980年代後半にはこれらによる $1\sim 2$ Gビット/sの高速光伝送システムが実用化された。高速化と並行して、伝送方式の国際標準化も進み、1988年にはCCITT(国際電信電話諮問委員会)



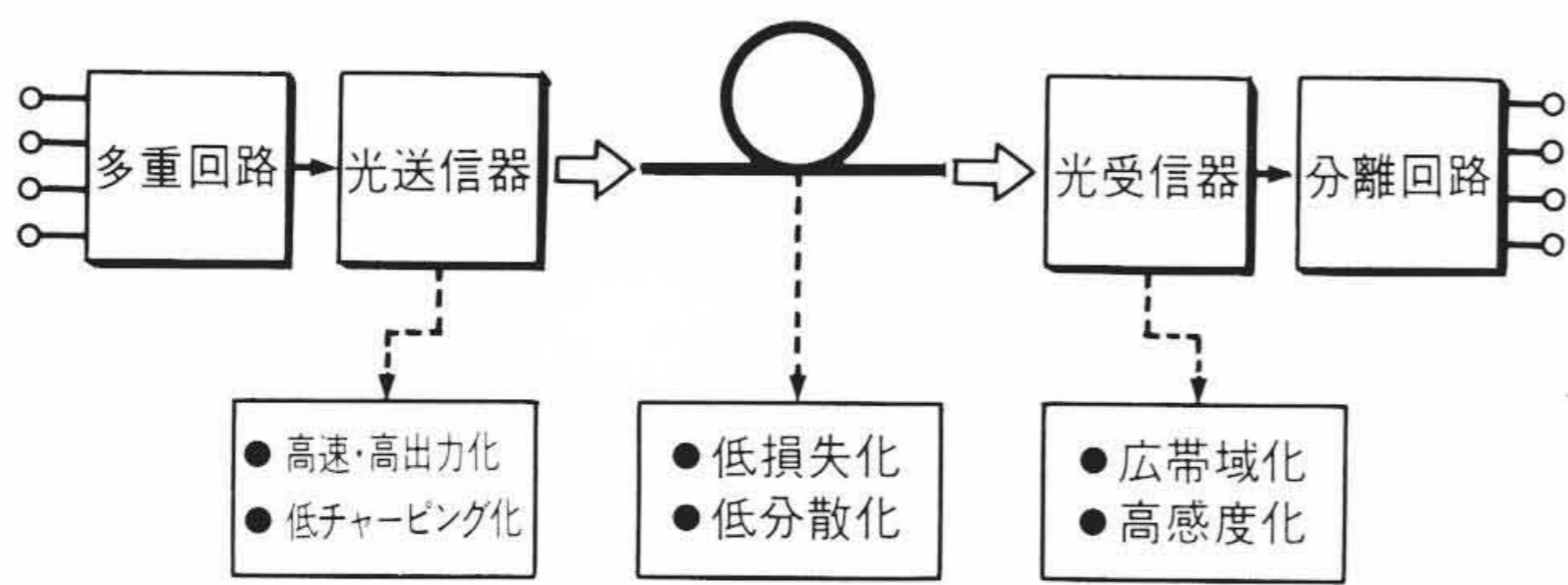
注：記号説明 ●(実用システム), ○(将来システム)

図1 光伝送システムの実用化動向 光伝送システムは、基本デバイスの目覚ましい進歩に支えられ、この10年で一けた以上の高速化が図られた。

から同期デジタルハイアラキ(SDH:Synchronous Digital Hierarchy)が勧告された。国内では1990年に、このSDHに基づく 2.4G ビット/s光伝送システムが導入され、実用システムとしては最高速の光伝送システムとして稼働している。

一方、今後の実用化動向を先の図1からも予測すると、1990年代中ごろには 10G ビット/s、2000年には 40G ビット/s以上の高速・大容量化光伝送システムの実用化が期待され、これに向けての新しい光伝送技術の開発も着実に進展している。光伝送の基本構成(a)と、従来用いられてきた光変調・受信方式(b)および高速化に向けて新たに開発されている方式(c)を比較して図2に示す。従来の方式では、レーザのような発光素子を送信信号によって直接変調して光信号に変換し、光受信器ではAPD(Avalanche Photodiode)のような受光素子で検波し電気信号に復調している。しかし、超高速化を図るには光ファイバ分散特性の克服、受信感度低下の改善などが課題であり、発光素子から出射される光を光変調器で変調する外部変調方式、光ファイバ増幅器で光信号を増幅した後に検波する光増幅受信方式などが新たに開発されている。また、波長 $1.55\mu\text{m}$ 近傍で分散特性をゼロとする分散シフト型光ファイバも開発された。

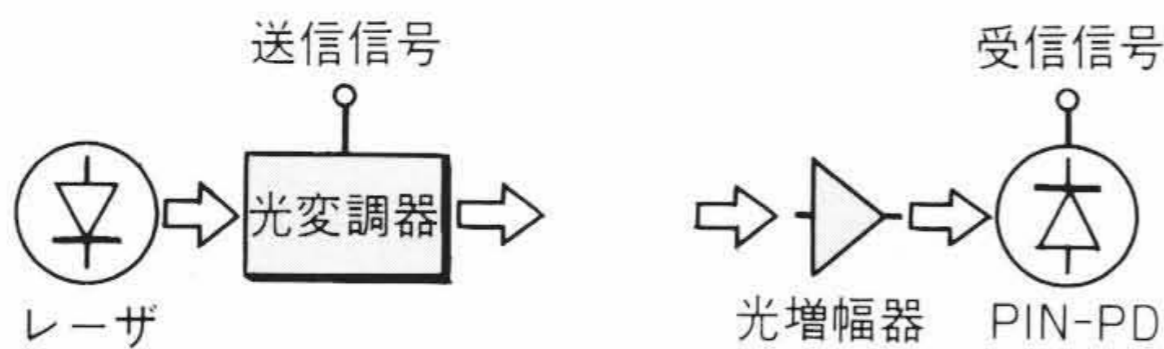
特に、光ファイバ増幅器による光直接増幅技術の進展は目覚ましく、受信感度の向上ばかりでなく、光送信器への適用による光送信出力の増大、光中継器としての活



(a) 基本構成と高速化の課題



(b) レーザ直接変調・APD検波方式



(c) 外部変調・光増幅受信方式

注：略語説明 APD (Avalanche Photodiode)
PIN-PD (PIN Photodiode)

図2 光伝送方式の基本構成とその進展 高速化に向けて外部変調・光増幅受信方式の開発が進められ、10 Gビット/s光伝送実現の可能性が高まった。

用など、システム設計にも大きな自由度を与えるデバイスとして期待が高まっている。光ファイバ増幅器(以下、光増幅器と言う。)は、Er(エルビウム)を添加した特殊な光ファイバを波長0.98 μmまたは1.48 μmのレーザ光で励起すると、そのファイバ内を導波される波長1.55 μm帯の光が進行波増幅されるという原理を利用するもので、励起方法によって用途の異なる光増幅器が構成される。図3は、Er添加光ファイバを双方向から励起した構

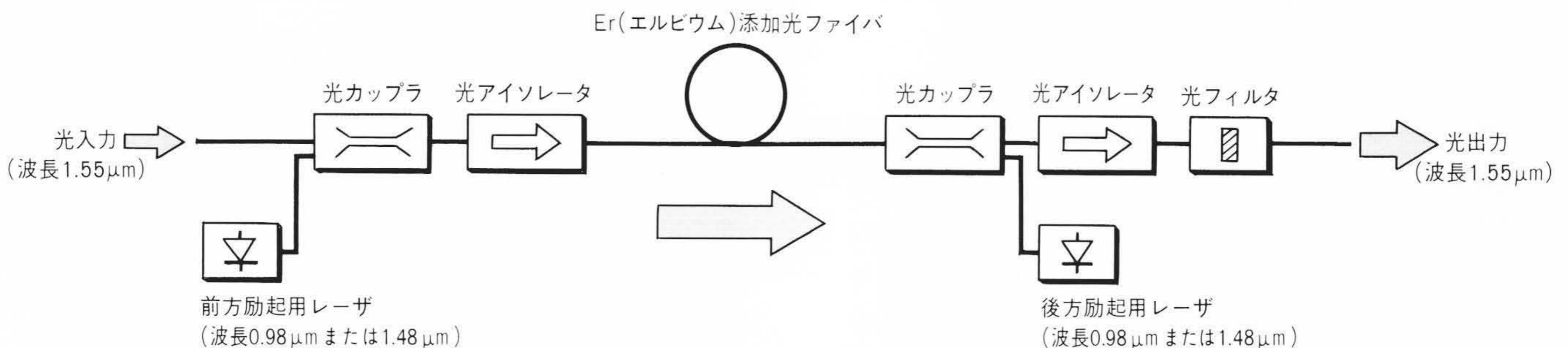
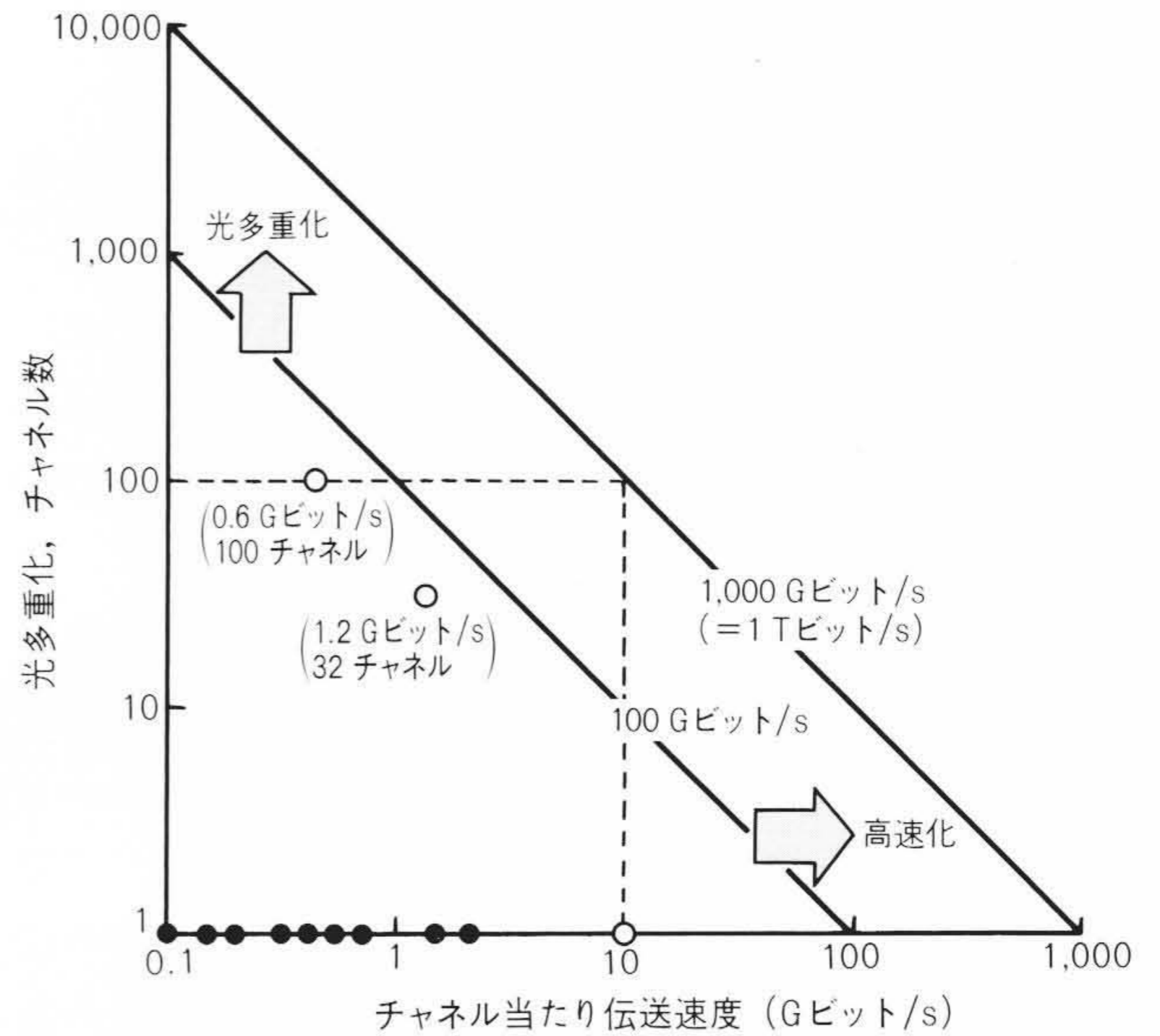


図3 光ファイバ増幅器の構成 Er(エルビウム)添加光ファイバを波長0.98 μmまたは1.48 μmのレーザ光で励起すると、波長1.55 μmの光がその光ファイバ内で進行波増幅される。

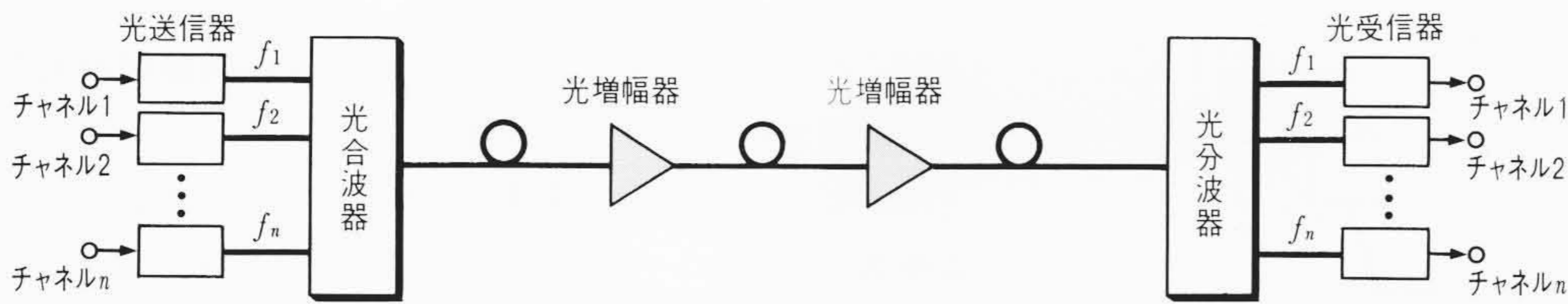


注：記号説明 ●(実用システム), ○(実験システム)

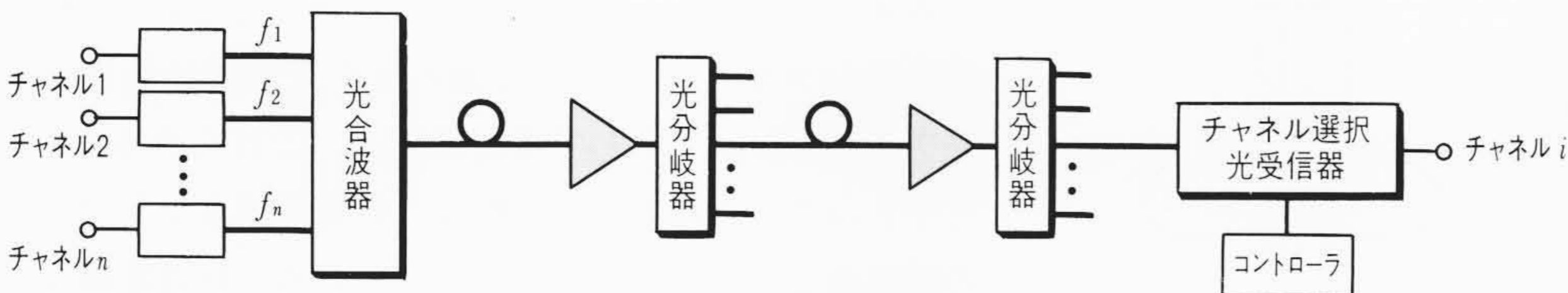
図4 ギガビットからテラビット光伝送システムへのアプローチ チャンネル当たりの伝送速度を高速化すると同時に、光周波数を多重化することによってテラビット光伝送の実現を目指している。

成例を示すもので、光中継器として検討されている。受信器用には前方だけから励起する構成が、送信器用には後方から励起する構成が適しており、どちらも製品が市場に出始めた段階である。

これらの技術開発により、再生中継器を用いることなく10 Gビット/sで300 km以上の伝送が確認され、引き続き開発が進められている。さらに大容量光伝送方式の実現には、基本伝送方式の高速化ばかりでなく、光領域での多重化技術が不可欠である。上記のような新技術に支えられた基本伝送方式の高速化により、10~20 Gビット/sの実現は可能である。しかし、システムの構成要素であ



(a) 幹線系大容量光伝送システム



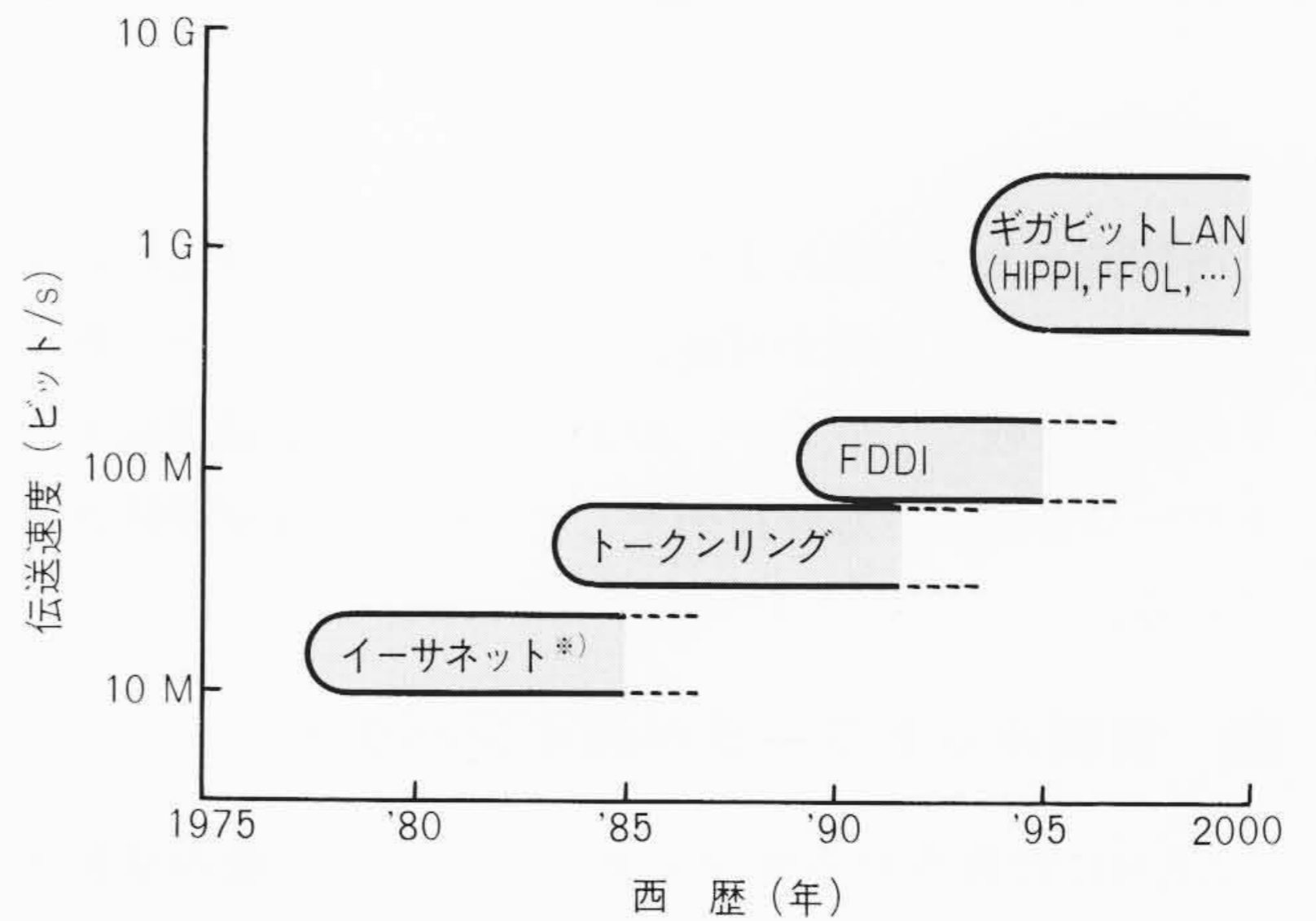
(b) 光加入者系分配型光伝送システム

図5 光増幅および光多重化技術による幹線系、光加入者システムの展開 光増幅および光多重化技術の活用により、幹線系の大容量化、長距離伝送が、加入者系では多チャンネル情報の分配伝送システムの実現が可能になる。

る光デバイスや電子デバイスの性能上の問題から、高速化の限界は数十Gビット/sと見られている。したがって、数十Gビット/sからTビット/sに至る大容量光伝送を実現するには、高速化技術と光多重化技術を併用する必要がある。特に、光周波数の異なる光源からの光をそれぞれ独立の信号で変調した後に合波して、1本の光ファイバで伝送する光周波数多重化伝送方式は、大容量化の有効な方式として注目されている。テラビットに至る大容量光伝送実現のアプローチを図4に示す。例えば、10 Gビット/sを10チャンネル光多重化することによって100 Gビット/sが、100チャンネルを光多重化することによって1 Tビット/sの光伝送システムが実現される。すでに、600 Mビット/s、100チャンネルの光多重伝送や1.2 Gビット/s、32チャンネルの光多重伝送の実験例も報告されており、テラビット実現に向けて着実に歩み始めている。

3 通信ネットワークへのインパクト

公衆通信ネットワークでは、21世紀の情報化社会の実現に向けて、音声、データ、動画像サービスを統合する広帯域ISDNの構築が大きな課題となっている。通信ネットワークが運ぶ情報量は、2005年には現在の20倍、2015年には130倍になるとの予測もある。すなわち、幹線系ではTビット/sクラスの、ビジネス加入者系ではGビット/sクラスの、一般加入者系でも100 Mビット/sクラスの高速・大容量伝送システムがそれぞれ必要になる。米国では、通信業者だけでなくユーザーにも声をかけて、Gビット/sのユーザーインタフェースを実現する全国規模の高速・広帯域通信ネットワークの開発が国家プロジ

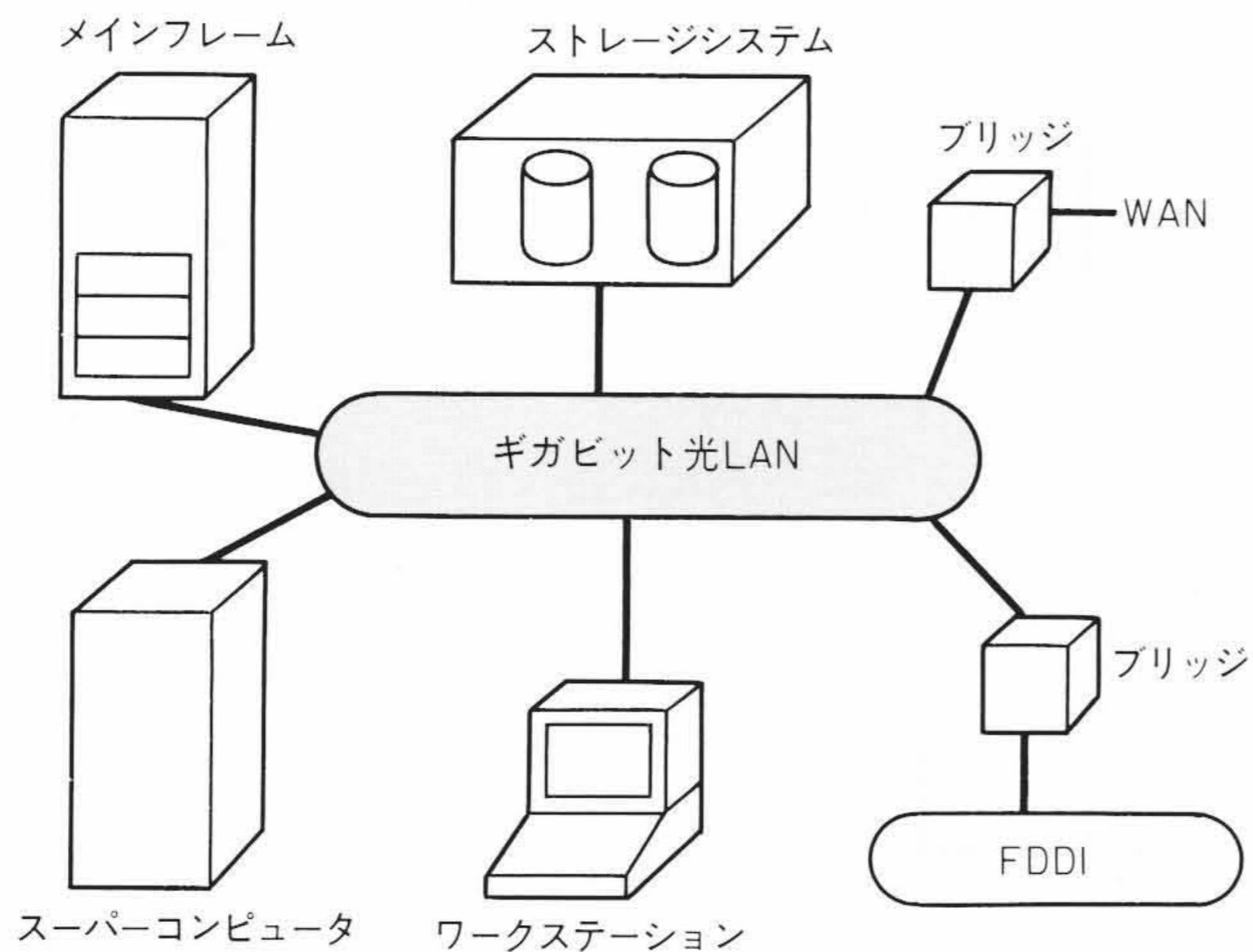


注：略語説明 FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
FFOL (FDDI Follow-on LAN)
HIPPI (High Performance Parallel Interface)
*)イーサネット；富士ゼロックス株式会社の登録商標である。

図6 LANの高速化動向 構内情報ネットワークはこの10年で約一けたの高速化が進展し、1990年代後半にはギガビットLANの出現が予想される。

ェクトの一環で始まっている。

これら高速・広帯域通信ネットワークの実現に向けて、光増幅、光多重化などの光伝送技術の果たす役割は大きい。これらの技術を活用した幹線系、および加入者系伝送システムの構成例を図5に示す。幹線系では大容量化と長距離化が課題であり、光周波数 $f_1 \sim f_n$ の多重化と光増幅中継器が主要技術になる。加入者系では多チャンネル動画像サービスが目玉の一つで、その分配伝送システムの実現が課題である。同図に示すように、光周波数 $f_1 \sim f_n$ に異なる動画像情報を割り付け、これらを合波送信し、



注：略語説明 WAN (Wide Area Network)

図7 ギガビット光LAN ギガビット光LANは、動画像を含むマルチメディア情報処理や大規模分散処理に利用される。

光増幅器と光分岐器により、多数の加入者へ分配伝送することによって実現が可能になる。実用化に向けて数多くの課題は残っているが、将来の高速・広帯域通信ネットワークを支える基幹技術として今後の発展が期待されている。

4 情報ネットワークへのインパクト

LANに代表されるオフィスや工場などの構内情報ネットワークでも、図6に示すように、10 Mビット/sのイーサネット[※]から光ファイバによる100 Mビット/sのFDDI (Fiber Distributed Data Interface)まで、この10年で一けたの高速化が進展した。さらに、1990年代後半の実用化を目指して、次世代FDDIとしてFFOL (FDDI Follow-on LAN)、コンピュータ間の超高速インタフェ

※) イーサネット：富士ゼロックス株式会社の登録商標である。

ースHIPPI (High Performance Parallel Interface) およびこれらを包含するギガビットLANの議論が米国を中心に始まっている。

ギガビットLANは、図7に示すように、メインフレームやストレージシステム、ワークステーション間をGビット/sクラスの速度で接続するとともに、ブリッジを介して高速・広帯域の公衆通信ネットワークと接続してWAN (Wide Area Network)を形成するもので、動画像を含むマルチメディア情報処理や大規模分散処理をアプリケーションとして考えている。これらを支えるGビット/sクラスの光伝送技術は、公衆通信ネットワークの幹線系で基本的には実用化されている。伝送距離などの適用条件や適用環境の違いを考慮した最適化を図り、経済的に提供できる技術に仕上げるのが今後の課題である。

5 おわりに

ここでは、光伝送技術の新技术動向と今後の通信情報ネットワークへのインパクトについて述べた。

光伝送技術は、公衆通信ネットワークのデジタル化の要請を背景に、この10年間に飛躍的発展を遂げた。幹線伝送系ではすでにGビット/sクラスのシステムが実用化され、次世代の10 Gビット/sシステムの開発やTビット/s光伝送に向けての基礎技術開発も着実に進展している。

一方、21世紀の高度情報化社会に向けて、公衆通信ネットワークではISDNの広帯域化が、構内情報ネットワークではLANのマルチメディア化、高速化が要請されている。光伝送技術は、その実現を担う基幹技術として、公衆通信ネットワークの幹線系から加入者系、さらには構内情報ネットワークに至る広範囲な高速・広帯域通信ネットワークでの展開が期待される。日立製作所も光伝送技術・製品の開発を積極的に推進し、これらの発展に寄与していく考えである。

参考文献

- 1) 島田：光伝送方式の研究の流れと今後の展開, NTT国際シンポジウム(1990)
- 2) M. Maeda, et al. : Recent Trends in Fiber Optic Transmission Systems Technologies, Hitachi Review, 40, 161~168(1991)
- 3) 光産業技術振興協会：次世代光情報システムに関する調査報告書(1992-3)
- 4) 青山：超高速光伝送システムの展開と技術課題, 電子情報通信学会技術研究報告, OCS92-26(1992)
- 5) 井出：超高速のギガビット網に米国が果敢に挑戦, 日経コミュニケーション, 47~59(1992-8-17)
- 6) H. T. Kung : Gigabit Local Area Networks : a Systems Perspective, IEEE Communications Magazine, 34, 4, 79~89(1992-4)