

光伝送技術の動向

Recent Trends of Fiber Optic Transmission Systems Technologies

音声、データおよび映像サービスを統合する広帯域ISDN(Integrated Services Digital Network)への展開に向け、幹線中継系だけでなく一般家庭を対象とした加入者系でも、高速・広帯域光伝送システムの導入が待望されている。このような状況を踏まえ、光伝送システムの経済的導入促進を図るため、CCITT(国際電信電話諮問委員会)で国際標準化を推進するための討議が精力的に行われており、その標準化に基づいたシステム導入がすでに開始されている。また、技術的には、映像サービスを支える超高速・超広帯域光伝送技術の実現に向けて、これまで実用化されてきた強度変調・直接検波方式の超高速化ばかりでなく、光の電磁波としての性質を利用するコヒーレント・ヘテロダイン検波方式の研究開発が活発に行われている。

芳根寛樹* *Hiroki Yoshine*前田 稔** *Minoru Maeda*

1 緒 言

音声、データサービスを中心とする狭帯域ISDN(Integrated Services Digital Network)から映像サービスを統合する広帯域ISDNへの展開に向け、幹線中継系だけでなく一般家庭を対象とした加入者系でも、高速・広帯域伝送システムの導入が待望されている。特に、光ファイバを伝送媒体とする光伝送技術は、高速・広帯域、長距離伝送特性を特徴としており、その実現を担う基幹技術として期待が大きい。

このような状況を踏まえ、光伝送システムの経済的導入促進を図るため、CCITT(国際電信電話諮問委員会)で伝送速度などを各国間で一致させ、標準化を推進するための討議が精力的に行われており、その標準化に基づいた伝送システムがすでに導入され始めている。また、技術的には、映像サービスを支える超高速・超広帯域光伝送技術の実現に向けて、これまで実用化されてきた強度変調・直接検波方式光伝送技術の超高速化ばかりでなく、光の電磁波としての性質を利用するコヒーレント・ヘテロダイン検波方式光伝送技術の研究開発が活発に行われている。

本稿では、広帯域ISDNに向けての国際標準化の動向、超高速・超広帯域光伝送技術の研究開発動向および光伝送の将来展望について述べる。

2 国際標準化動向

国内では日本電信電話株式会社(以下、NTTと言う。)が、F-100M方式、F-400M方式、F-1.6G方式など、独自の方式

により、すでに伝送速度1.6 Gビット/秒までの高速光伝送システムを実用化している。米国でもAT & T社がFTシリーズと呼ぶ方式によって伝送速度1.7 Gビット/秒までの光伝送システムを、また欧州では独自系列の光伝送システムをそれぞれ実用化している。これらシステムでは、伝送速度はもちろん、符号形式、インタフェースなども、各国、各通信機関ごとに異なっており、システムの国際的流用は不可能であった。

しかし、音声、データおよび映像サービスの統合を目指した広帯域ISDNの導入には、光伝送システムの高速・広帯域化ばかりでなく、その経済化が不可欠である。このため、システムを国際的に標準化し各国間の流用を可能とすることにより、光伝送システムを経済化し、広帯域ISDNの導入促進を図ろうとする声が高まり、CCITTで米国のBellcore(ベル通信研究所)から提案されたSONET(Synchronous Optical Network)を基にして、まず中継伝送システムの標準化が行われた。本システムは、同期多重化により、ネットワークの単純化と運用性の向上を図るもので、その意味でもシステムの経済化に資すると言える。

現在までのところ、CCITTで伝送速度、伝送フレームなどの大筋が決まった段階であり、細部の討議は進行中である。従来の代表的な伝送ハイアラキーと、SONETに基づく新伝送ハイアラキーを比較して図1に示す。同期多重化システムであることから、新伝送ハイアラキーでは、従来の伝送ハイアラキーと異なり、伝送速度が順次正確に4倍になっている点

* 日立製作所 光技術開発推進本部 ** 日立製作所 中央研究所 工学博士

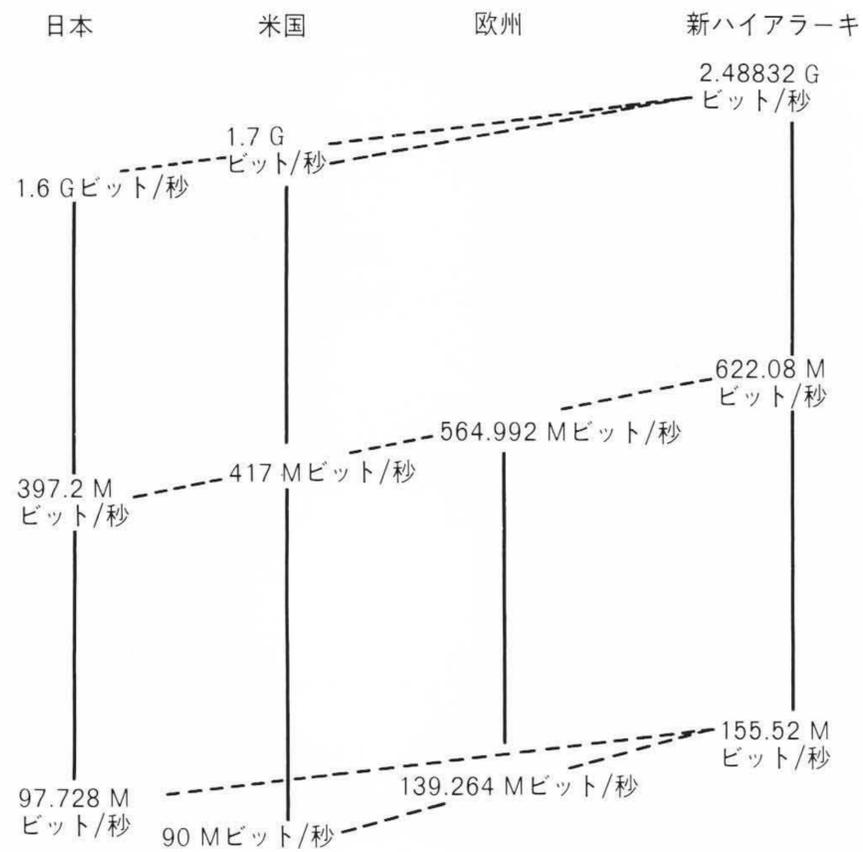


図1 新旧伝送ハイアラーキ 伝送速度が新ハイアラーキに基づく世界共通の標準伝送速度に統一される。

に特徴がある(以下、新伝送ハイアラーキの伝送速度を150 Mビット/秒、600 Mビット/秒、2.4 Gビット/秒と略称する)。1989年、NTTでは世界に先駆けて150 Mビット/秒、600 Mビット/秒、の国際標準化光伝送システムを開発しており、2.4 Gビット/秒システムについても近々開発するものと予想され

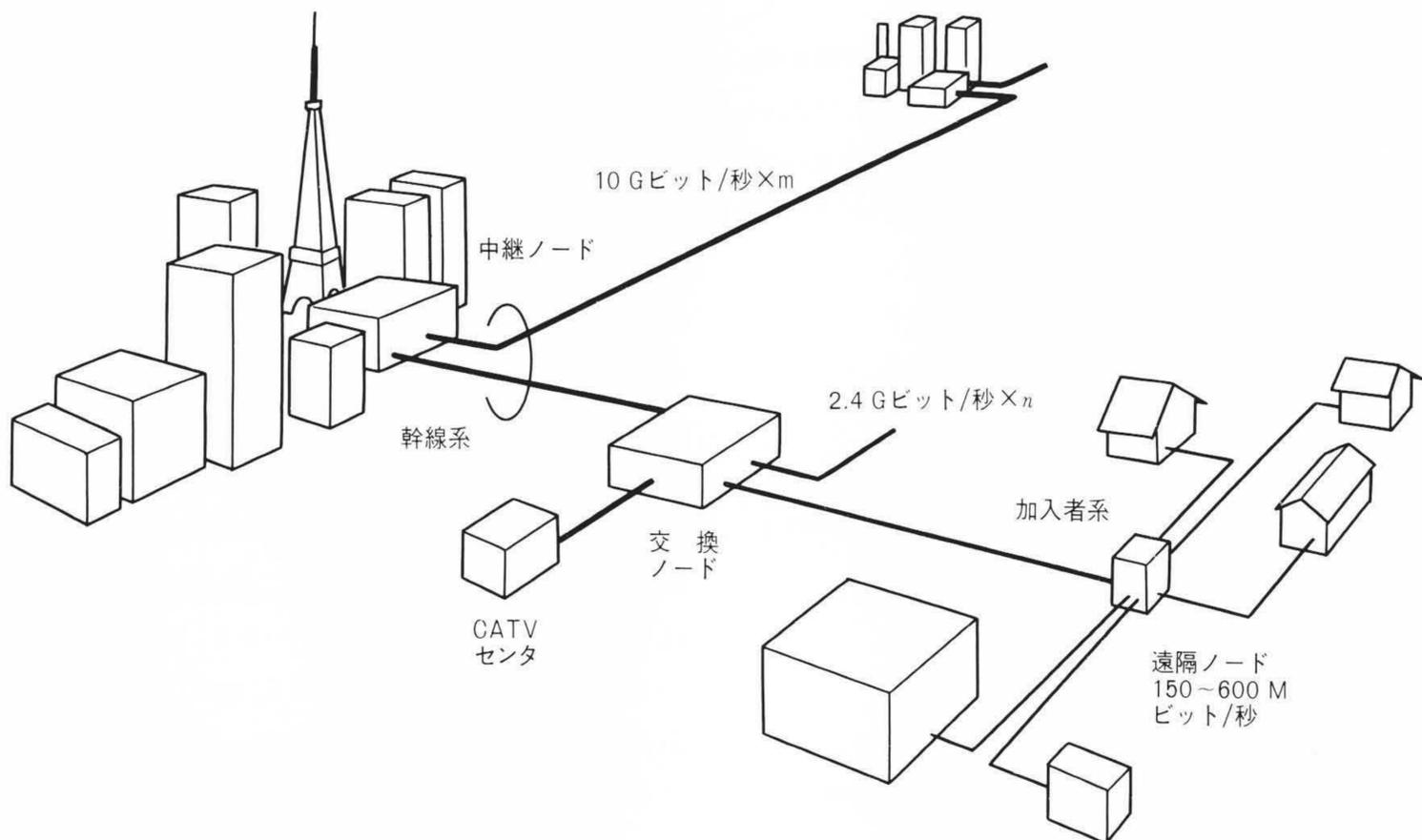
る。また、米国、欧州でも新伝送ハイアラーキ対応システムの開発が活発に進められており、世界的にこの国際標準化光伝送システムの導入が進展するものと予想される。

3 広帯域ISDNに向けての光伝送技術

3.1 開発動向

広帯域ISDNのネットワーク構成、サービス内容などに関する議論が、上記標準化の討議と並行して国際学会をにぎわしている。映像を中心とする広帯域サービスという点で大略の方向はみえているものの、具体的イメージが固まるには至っていない。しかし、その中で光伝送技術が基幹技術としての役割を果たすことは言を待たない。図2は広帯域ISDNのイメージ例であるが、一般加入者宅まで光ファイバを布設し、150 Mビット/秒あるいは600 Mビット/秒の光伝送により、電話、ファクシミリばかりでなく、高精細テレビジョンなどのサービス提供を目指している。このような広帯域サービスを支えるためには、交換ノードから加入者系の遠隔ノードまでの伝送でも2.4 Gビット/秒以上の、さらに幹線中継系ではそれ以上の超高速・超広帯域光伝送技術が必要となる。

光伝送システムの実用化動向を図3に示す。1980年代での光伝送技術の進歩は目覚ましく、通信のデジタル化、大容量化の要請と相まって、8年で約10倍の高速化が図られた。1990年前期には、上記の国際標準化新伝送ハイアラーキに基づく光伝送システムの導入が進展し、さらに技術動向からみて、1990年代中ごろには広帯域ISDNでの幹線中継系対応の超



注：略語説明 CATV (Cable Television)

図2 広帯域ISDN(Integrated Services Digital Network)のイメージ 各家庭まで広帯域光ファイバ網を導入し、音声データおよび映像サービスを提供することをねらいとしている。

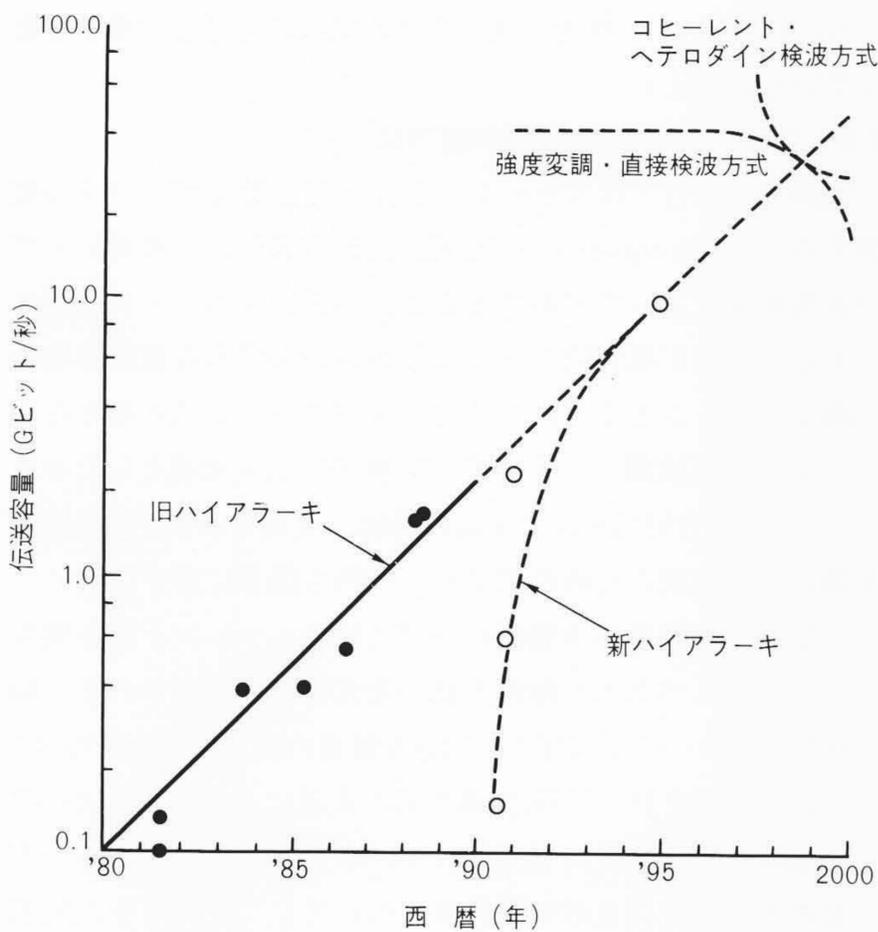


図3 光伝送システムの実用化動向 '90年以降新ハイアラーキに基づく国際標準光伝送システムの導入が進展する。

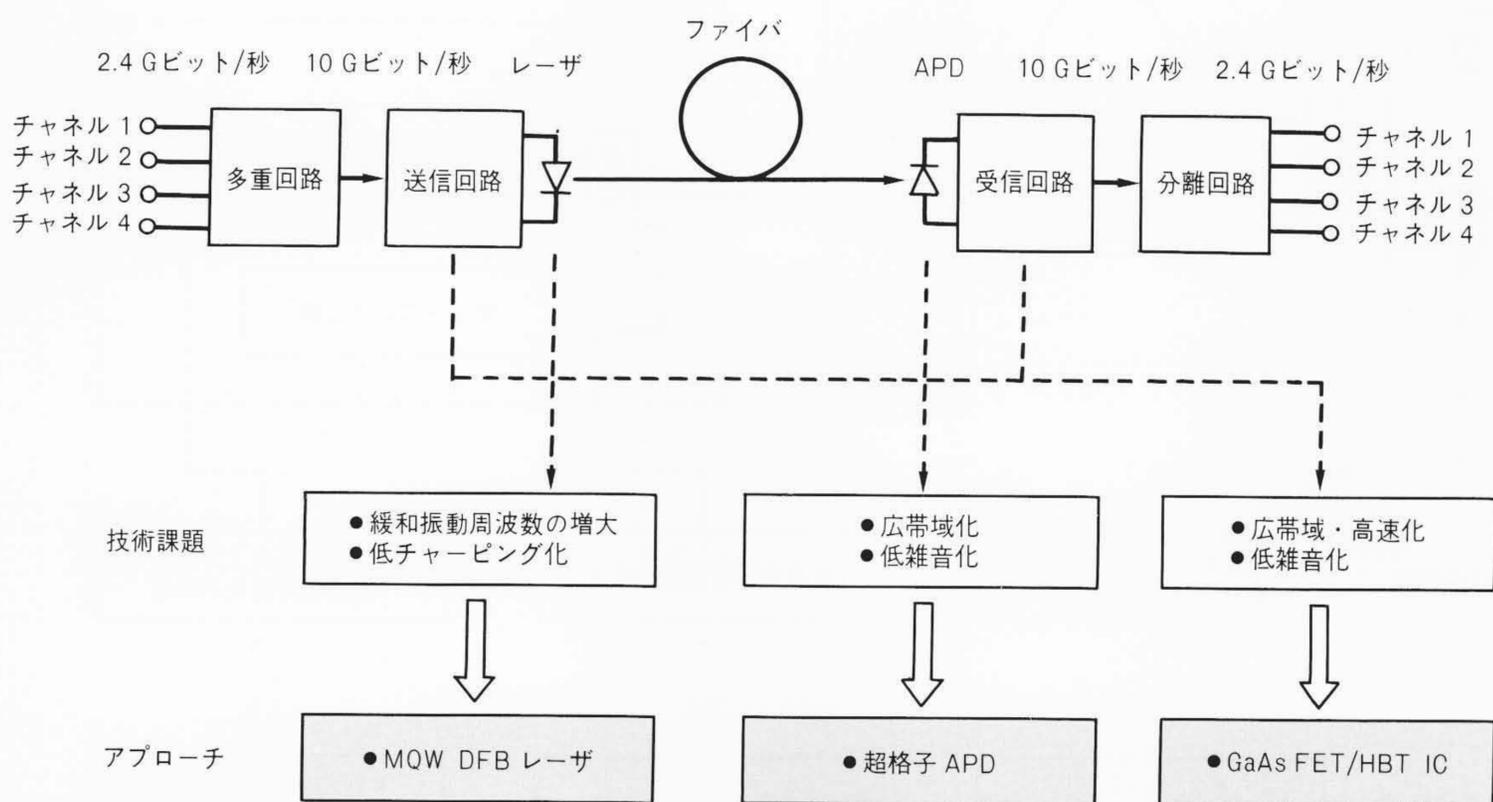
高速光伝送技術として10 Gビット/秒クラスのシステムが実用化可能になるものと予想される。また、1990年代後期には数十Gビット/秒から100 Gビット/秒クラスの光伝送システムの実現も予想されている。光伝送方式からみると、現在実用化されている光伝送方式は、半導体レーザなど発光素子の発光

強度を変調し、APD(Avalanche Photodiode)など受光素子で直接検波する(強度変調・直接検波)方式である。これまで発・受光素子の高速化および送・受信回路用ICの広帯域化によってシステムの高速度を達成しており、さらに本方式によって10 Gビット/秒クラスの光伝送システムの実現は可能とみられている。しかし、1990年代後期の数十Gビット/秒から100 Gビット/秒クラスの光伝送システムに向けては、強度変調・直接検波方式には限界があるとみられ、これに代わる方式として、コヒーレント光を搬送波とし、その周波数や位相を変調し、ヘテロダイン検波して復調する(コヒーレント・ヘテロダイン検波)方式の研究開発が精力的に行われている。本方式は、光搬送波を精密に制御することを前提としており、周波数の異なる光搬送波の多重(FDM: Frequency Division Multiplexing)伝送に適し、これによって大容量光伝送の実現をねらうものである。

3.2 超高速光伝送方式

強度変調・直接検波による超高速光伝送方式としては、国際標準の新伝送ハイアラーキに基づく2.4 Gビット/秒システムが製品化段階にあり、装置のIC化を目指した開発が進められている。研究開発の中心課題は、次期システムに向けての10 Gビット/秒光伝送技術であり、発・受光素子およびICの高速・広帯域化が進められている。10 Gビット/秒光伝送システムの構成、実現するうえでの技術課題および解決のためのアプローチ例を図4に示す。

発光素子の半導体レーザでは、高速変調を可能とするため、緩和振動周波数の増大を図る必要がある。さらに、光ファイ



注：略語説明 APD (Avalanche Photodiode), MQW DFB (Multi-Quantum Well Distributed Feedback) FET/HBT IC (Field-Bipolar Transistor/Hetero-Bipolar Transistor)

図4 10 Gビット/秒光伝送システムの構成と技術課題 代表的構成例とその主要素子および技術課題を示す。

バの分散特性の影響を避けるため、変調時のスペクトル広がり(チャープ)を低減することが重要である。解決のためのアプローチとして、DFB(Distributed Feedback)レーザの活性層に多重量子井戸(MQW: Multi-Quantum Well)構造を導入する方法が検討されている。この方法により、変調帯域幅としてはすでに14 GHz以上の特性が実現され、10 Gビット/秒での変調特性も確認されている²⁾。しかし、低チャープ化はまだ不十分であり、外部変調器の採用もあわせて検討されている。

受光素子のAPDについても広帯域化が課題である。増倍層に超格子構造を導入する方法が検討されているが、まだ増倍特性が確認されたばかりの段階であり、広帯域化の見通しは必ずしも明らかでない。このため、光増幅器を前置増幅器として用い、広帯域化の容易なフォトダイオードと組み合わせる方式が検討され、実験室レベルではあるが、10 Gビット/秒で100 km以上の長距離伝送が確認されている³⁾。今後両者の性能向上を図り、システム実用化の観点から見極めていくことが重要である。

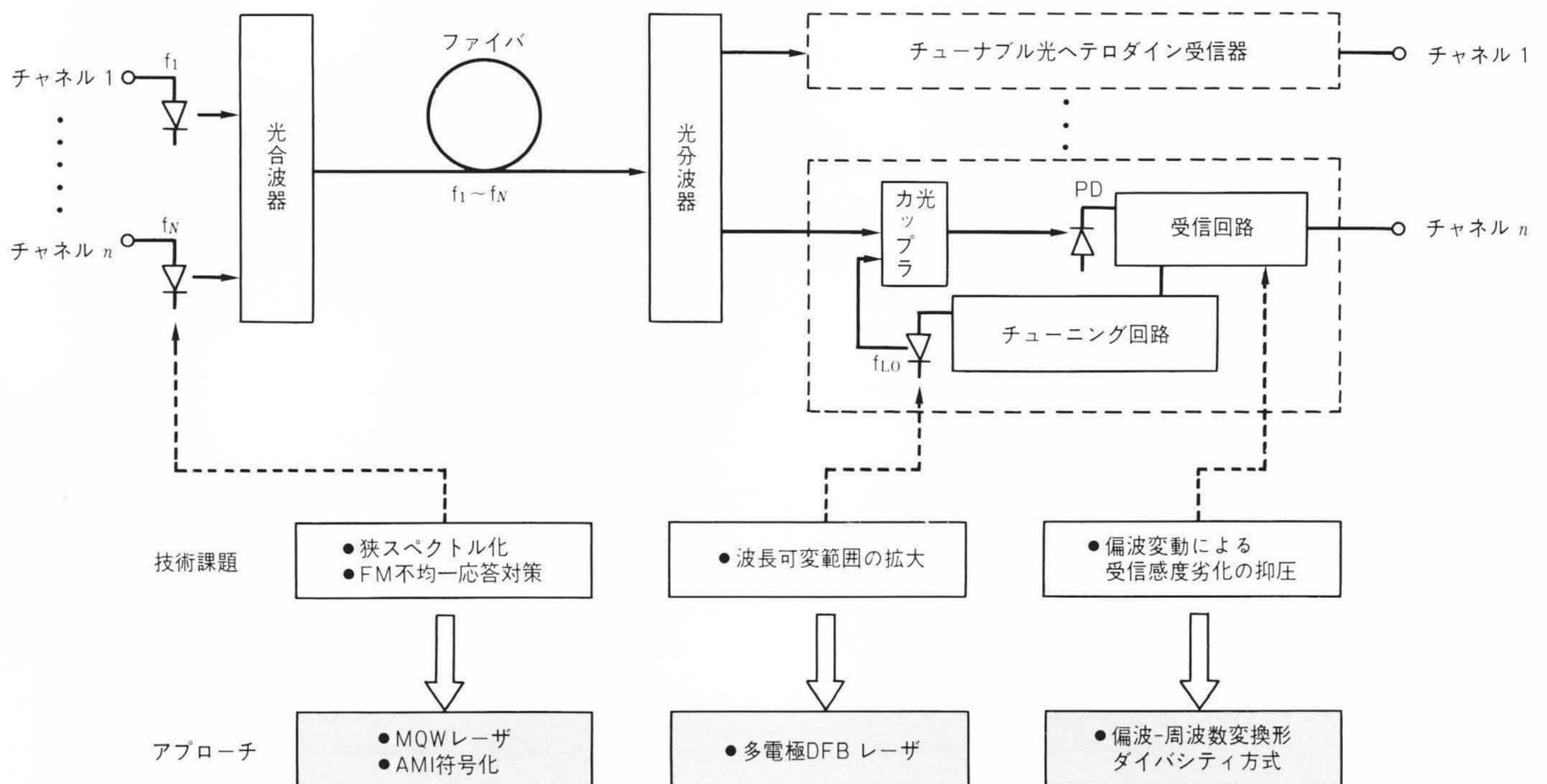
発・受光素子と組み合わせて光送・受信器を構成する送・受信回路用ICもシステム実用化を図るうえでのかぎである。特にGaAs基板をベースとしたFET(Field Effect Transistor) ICおよびHBT(Hetero-Bipolar Transistor) ICの研究が活発に行われており、すでに帯域幅10 GHz程度の増幅器も実現されている⁴⁾。これらの素子開発状況および伝送実験結果を考えると、システム実用化に向けての課題は残っているも

の、10 Gビット/秒光伝送システム実現の見通しは明るくなっていると言える。

3.3 コヒーレント光FDM伝送方式

変調方式としてはコヒーレント光の周波数をデジタル変調するFSK(Frequency Shift Keying)方式が、半導体レーザの直接変調によって可能であること、発光スペクトル線幅に対する要求値が現実的であるにもかかわらず光周波数多重数を高くできることなどにより、実現性の高い方式と考えられている。FSK変調・ヘテロダイン検波方式を前提としたコヒーレント光FDM伝送システムの構成、実現するうえでの技術課題および解決のためのアプローチ例を図5に示す。

送信および局発用半導体レーザにはコヒーレント光を実現するためにスペクトル線幅の狭い発光特性が要求される。超高速半導体レーザと同様に、MQW構造の導入による狭スペクトル化が検討され、FSK変調方式の実現に十分な発光スペクトル線幅1 MHz以下が達成されている⁵⁾。また、半導体レーザ固有の不均一な周波数変調特性についても、変調符号のAMI(Alternate Mark Inversion)化によって対策が可能なが確認されている⁶⁾。受信側の局発用半導体レーザには、送信用半導体レーザと同程度の発光スペクトル線幅が要求されるほか、すべての送信用半導体レーザの光周波数にチューニングする波長可変特性が要求される。現在、電極を二分割あるいは三分割構造とした半導体レーザにより波長可変機能は確認されている。しかし、狭い発光スペクトル線幅と、数十多重以上の光FDM伝送システムを実現するのに十分な波長可変特



注: 略語説明 AMI (Alternate Mark Inversion)

図5 コヒーレント光FDM伝送システムの構成と技術課題 代表的構成と主要素子および技術課題を示す。

性を同時に実現するには至っておらず、今後の重要な課題となっている。

これら半導体レーザのほか、周波数の異なる光搬送波を多重化する光合波器、分離する光分波器、受信光と局発光を結合する光カップラなども本システムを構成するうえで欠くことのできない光素子である。現在、光ファイバを加工した光合分波器や光カップラが利用されている⁷⁾が、実用化の観点から集積化(光IC)技術の開発が重要になるであろう。

方式面では、光ファイバ内の偏波変動に起因する受信感度劣化対策、光周波数チューニング・安定化など、コヒーレント・ヘテロダイン検波方式に固有の課題がある。これらについてもそれぞれ有望な方式が提案され、機能も確認されつつある⁸⁾。また、システム実験としては16多重伝送実験が行われ、コヒーレント光FDM伝送方式の有望性が実証されている⁹⁾。本方式は、大容量光伝送方式としてばかりでなく、加入者系での分配形伝送方式としての応用などもあり、将来の通信ネットワークにとって魅力あるものである。したがって、今後、光素子および方式に関する研究開発のほか、通信ネットワークでの適用領域の検討も進むものと予想される。

4 光ネットワークへの展開

広帯域ISDNの導入に伴い、光ファイバネットワークが幹線中継系から加入者系へ、さらには局舎内での通信装置間の配線系へまで普及拡大するものと予想される。この光ファイバ

ネットワークを伝送媒体とする高度の光伝送技術も、通信ネットワークの機能からみると、単に伝送機能を担うにすぎない。すなわち、通信ノードで光信号は電気信号に変換された後に交換、クロスコネクタなどの処理がなされる。しかし、超高速光伝送や光FDM伝送の導入を想定すると、伝送機能ばかりでなく、通信ノードでの交換機能などをも光によって実現し、通信ネットワークとしてのフレキシビリティ向上を図ることが必要になるであろう。光伝送技術の進歩を支えてきた光素子・光IC技術は、新しい光機能素子を生み出す素地を形作っており、光SD(Space Division)スイッチの機能確認を行い、光FD(Frequency Division)あるいは光TD(Time Division)スイッチの実現性を議論する段階まできている。これらは、光ファイバネットワークを単なる光伝送ネットワークから前記の要請にこたえる高機能の光ネットワークへの道を切り開くものと言える(図6参照)。

光ネットワークのノード構成例を図7に示す。光FDMによって通信ノードに伝送された光搬送波を分波し、その通信ノードで受信すべき周波数の光搬送波だけを光SDスイッチによって取り出している。また送信光搬送波を他の周波数で送り出し、必要に応じて光FDスイッチによって周波数変換した後、合波して再び光FDMによって他の通信ノードに伝送する機能を持っている。これは一例であるが、光交換、光クロスコネクタなどの構成も可能であり、光伝送から光ネットワークへの展開が期待される。

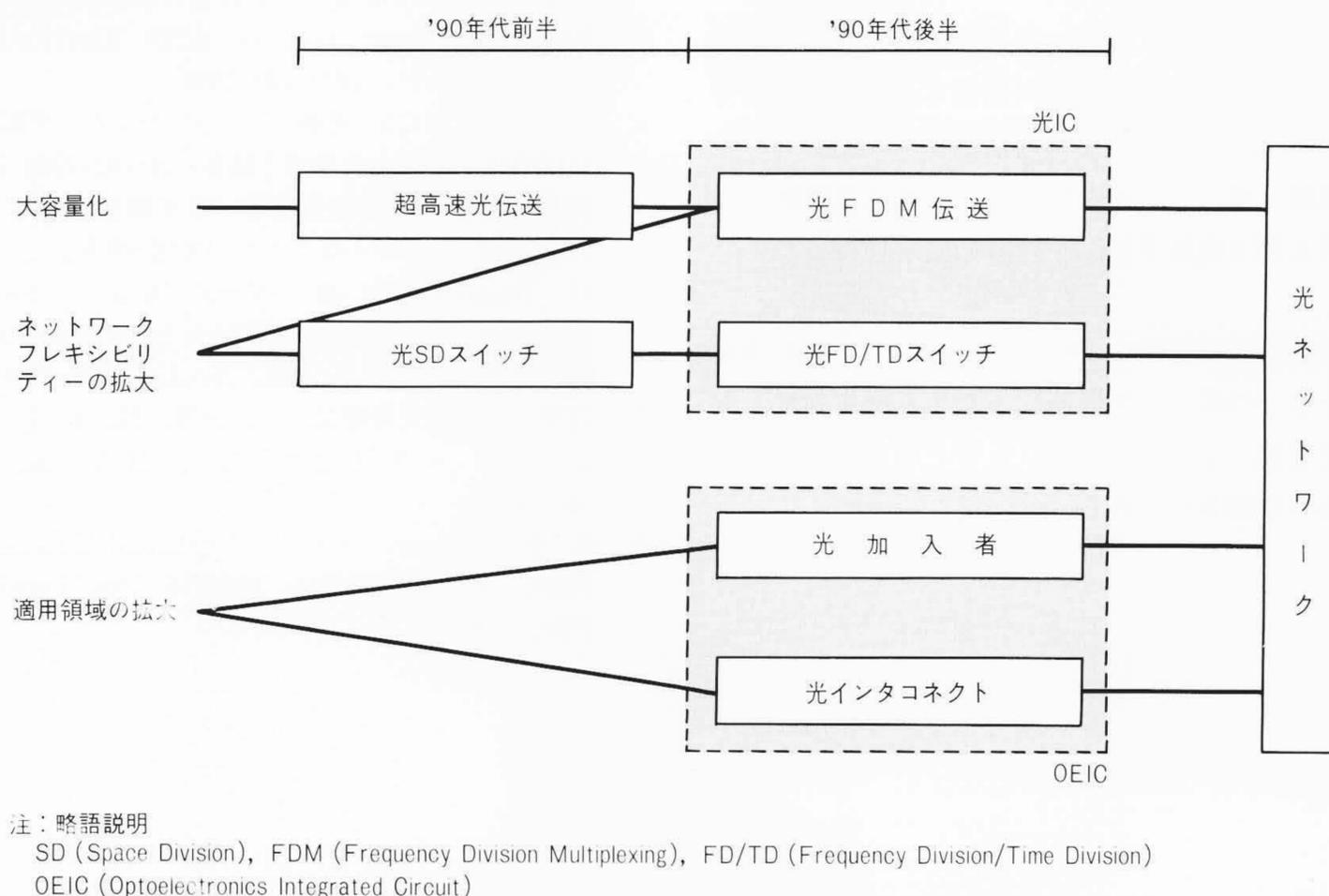


図6 光伝送から光ネットワークへの展開 新機能光素子の出現および通信ネットワークの要請から、伝送・交換統合の光ネットワークへの展開が期待される。

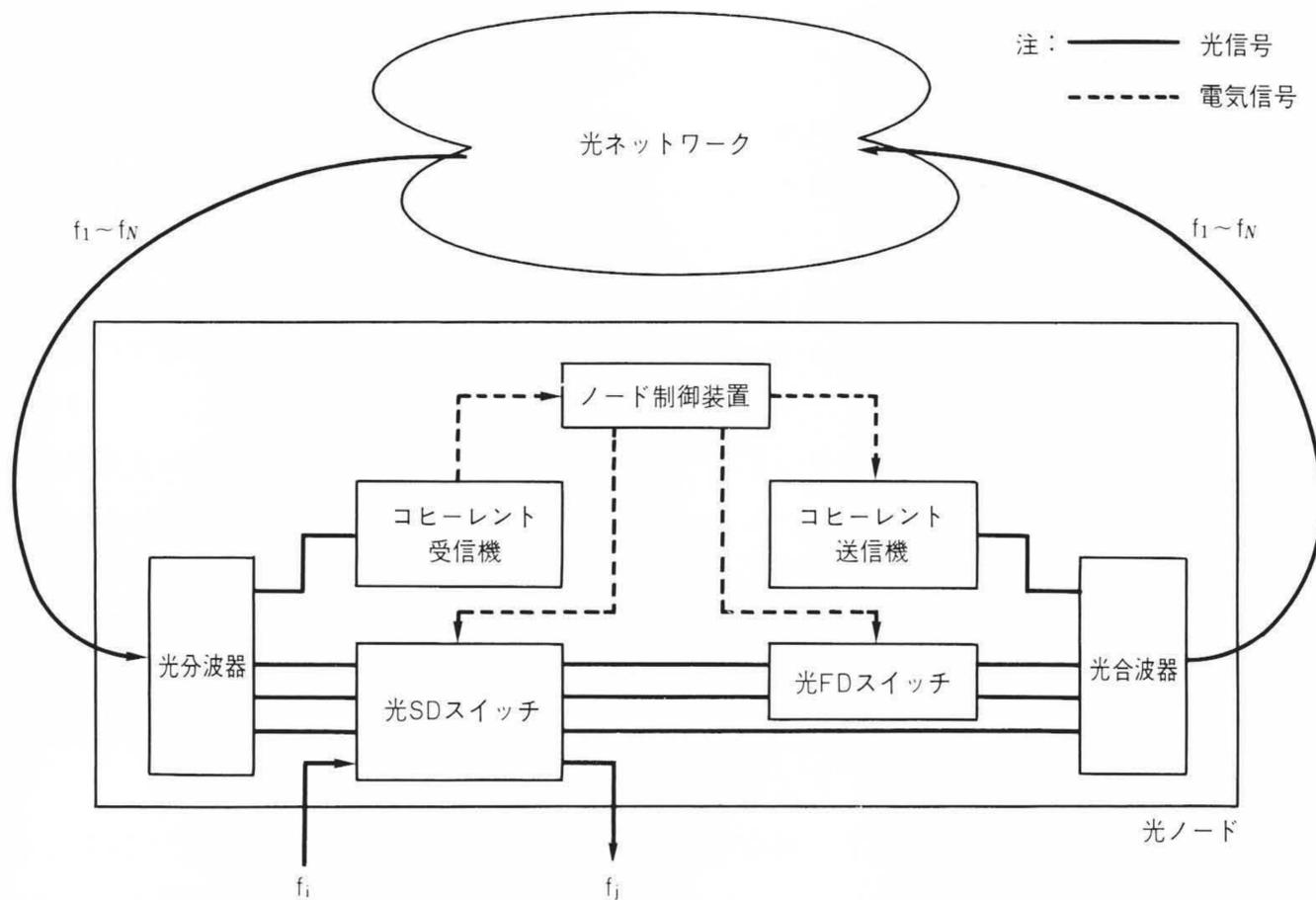


図7 光ネットワークのノード構成例 光FDM伝送技術と光スイッチ技術を組み合わせた光ネットワークの構成例を示す。

5 結 言

広帯域ISDNの実現に向けて、光伝送方式の国際標準化が進む一方、超高速・超広帯域化の技術進歩も目覚ましい。次世代の10 Gビット/秒光伝送方式の光素子やICの開発も進み、100 km以上の室内伝送実験が行われるなど、その実用化への見通しも明るくなっている。また、超大容量伝送や加入者系分配伝送に適したコヒーレント光FDM伝送方式の研究も活発に行われている。光ICや方式、また通信ネットワークとしての適用領域に課題は残っているものの、16多重伝送実験などによってその将来性は実証され、今後の発展が期待されている。

また、光伝送技術の開発の中で培われた光素子・光IC技術は、光スイッチなどの新しい光機能素子を生み出す素地となり、光伝送、光交換、光クロスコネクタなどを含む光ネットワークへの道を切り開きつつある。

参考文献

- 1) 槇, 外: ネットワークのシンプル化と運用向上に寄与する伝送装置, NTT技術ジャーナル, Vol.1, No.6, 43~47(1989-9)
- 2) 茅根, 外: 次世代光伝送用部品, 日立評論, 72, 4, 383~388(平2-4)
- 3) S. Fujita, et al.: 10 Gbit/s, 100 km Optical Fiber Transmission Experiment Using High Speed MQW DFB-LD and Back-illuminated GaInAs APD, Electronics Letters, Vol.25, No.11, 702~703(1989)
- 4) 山川, 外: 10 Gb/s光通信用HBTプリアンプIC, 電子情報通信学会秋季全国大会講演予稿集, B-442(1989-9)
- 5) 岡井: 光源の特性向上技術, 電子情報通信学会技術研究報告, 光量子エレクトロニクス, OQE-89-95, 33~34(1989-11)
- 6) H. Tsushima, et al.: Novel Optical FSK Modulation Schemes with Alternate Mark Inversion(AMI) Coding, IEICE Trans., Vol. E71, No.11, 1086~1088(1988-11)
- 7) 井本, 外: 光受動部品, 日立評論, 72, 4, 363~370(平2-4)
- 8) 山下, 外: 次世代光伝送方式, 日立評論, 72, 4, 377~382(平2-4)
- 9) R. E. Wagner, et al.: 16-Channel Coherent Broadcast Network at 155 Mb/s, OFC'89 Post-Deadline Paper, PD12(1989-2)