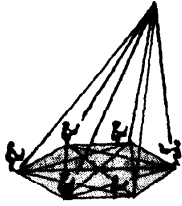


解説

通信網の変革と情報処理

光ファイバ通信†

海野陽一†† 高橋貞夫††



まえがき

1970年のコーニングガラス社による伝搬損失 20 dB/km の石英系ガラスファイバの実現¹⁾、およびベル研等における半導体レーザの室温連続発振の達成²⁾などを契機とし、光ファイバ通信技術は極めて急速に発達し、今や本格的実用化時代を迎えつつある。

この通信方式は、従来の銅線による通信に比べ、①広帯域性、②低伝送損失性、③耐電磁干渉性、そして

光ファイバが細径であることによる④省空間性などの有用な特長があるため、公衆通信における基幹伝送路はもとより、電力・鉄鋼などの各種プラント、鉄道・道路、CATV 等へ急速に導入されつつある。さらに大きな市場を目指して、一般加入者線路、構内あるいは各種 OA 用伝送方式への導入を図るべく、経済性の追求、提供サービスの模索等の果敢な挑戦がなされている。

本文では光ファイバ通信システムの基本構成と、それを構成する要素技術の現状と動向について述べるが、その前に独断と偏見に満ちたものであるが、図-1 に光ファイバ通信技術の発展の経緯と今後の動向を模

† Optical Fibre Communications by Yo-ichi UNNO and Sadao TAKAHASHI (Toshiba Research and Development Center).
†† 東京芝浦電気(株)総合研究所

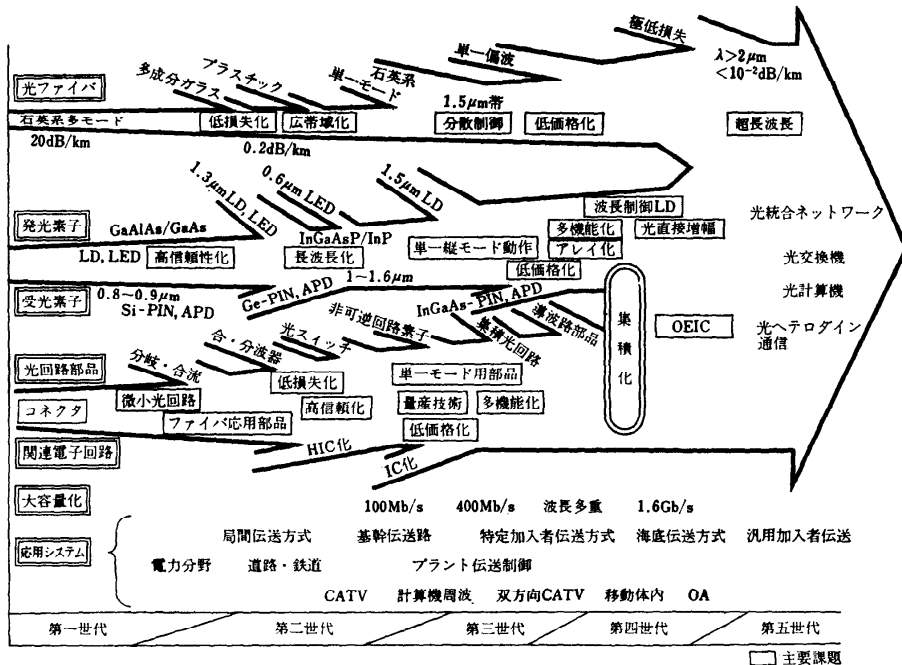


図-1 光ファイバ通信の発展

式的に示した。

光ファイバ通信システムの基本構成

光ファイバ通信では伝送路として銅線の代りに絶縁物である低損失ガラスファイバを使う、したがってその両端に電気/光変換器（発光素子）と、光/電気変換器（受光素子）が付加されて構成されるが、従来の電気通信システムと本質的にはほぼ同じ構成である。余分な変換器が必要であるにもかかわらず、広く用いられ始めたのは、多くの長所がこの代価を補って余りあるためである。

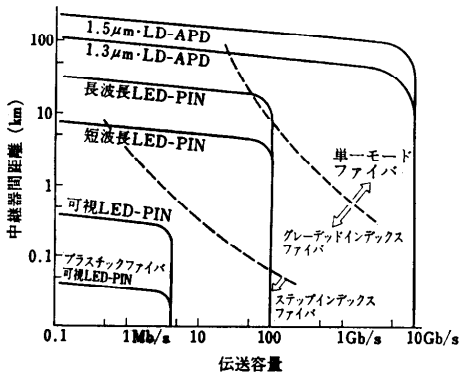


図-2 デジタル伝送の構成要素

変調方式としてはデジタル方式とアナログ方式があるが、光ファイバ通信では伝送路が広帯域であること、発光素子の直線性があまりよくないこと、異種情報を多重化しやすいことなどからデジタル方式が適している。しかし、画像伝送で経済性が要求される領域では構成が簡単なアナログ方式が用いられている。

光ファイバ通信システムを構成するにあたっては光ファイバ、発光素子、受光素子の種類がなん通りもあるので、適用分野に応じてコスト/パフォーマンスの最適な組合せを選択することが必要である。図-2に各要素技術のおおよその守備範囲を示した。

光ファイバ・ケーブル技術

光ファイバは信号伝送特性を決めるとともに、光ファイバ通信システムを構成する光ハードウェアコストで大きなウェイトを占める重要構成要素である。

図-3(a), (b)に光ファイバ心線およびコードの基本構造を示した。現在最も広く用いられている光ファイバではコア径 50 μm 、クラッド径 125 μm で髪の毛よりやや太い程度である。ガラスは表面に僅かな傷があると引張り強度が極端に劣下するため、紡糸された直後にウレタン樹脂等のポリマ類を厚さ 10 μm 程度1次被覆する。さらに外圧に対するクッション用、および取り扱いを容易にするために、シリコンゴム

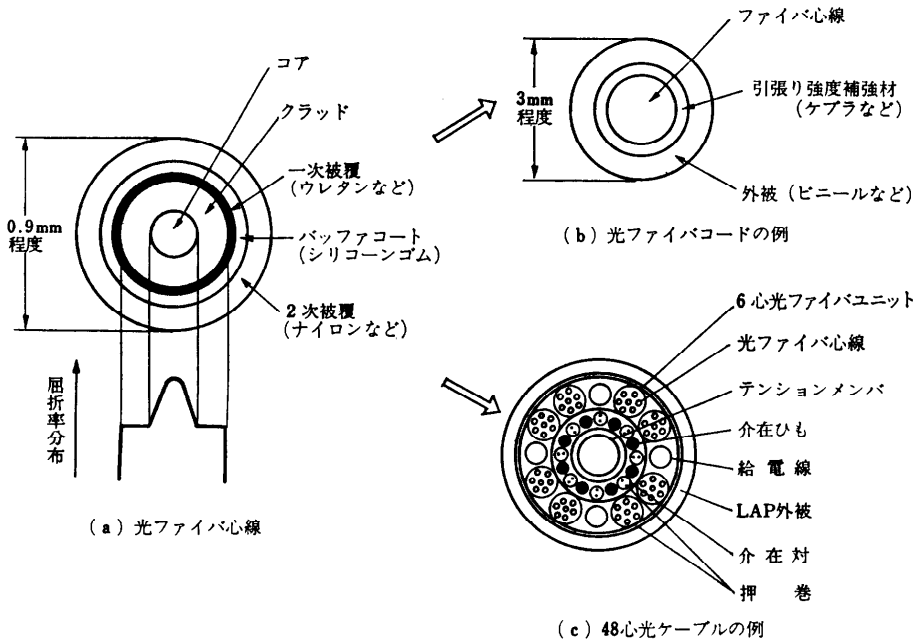


図-3 光ファイバ、光ファイバコード、ケーブルの構造例

表-1 光ファイバの分類

光ファイバ	材 料	<ul style="list-style-type: none"> 石英系 多成分ガラス プラスチック 複合系(ポリマクラッド等)
	屈折率分布形状	<ul style="list-style-type: none"> ステップインデックス (SI) グレーデッドインデックス (GI)
	伝搬モード	<ul style="list-style-type: none"> 多モード (MM) 単一モード (SM) 単一偏波モード (PM)
	製造法	<ul style="list-style-type: none"> 内付 CVD^{*)} 法 VAD^{*)} 法 外付け CVD 法 プラズマ CVD 法 2重ルツボ法 ロッドインチューブ法

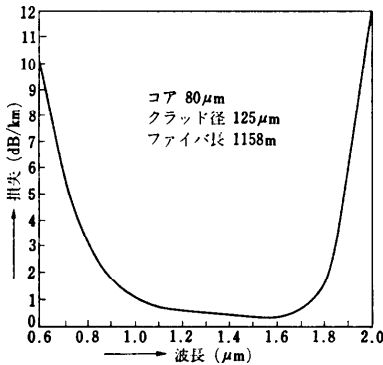


図-4 低損失石英系ファイバの損失特性の例

のバッファ層, およびナイロンを2次被覆している。これを心線と呼んでいる。心線の周りを化学繊維で補強し、ビニールチューブに入れたものは光ファイバコードと呼ばれ、半径10mm程度で曲げられ、引張り強度も100kg以上に達し、実用的によく用いられている。

光ファイバは使用材料、屈折率分布形状、モード数、製造法により表-1に示すような分類にまとめられる。現在使用されているのは伝送損失、強度等の点から石英系が主体となっている。

石英系ガラス多モードファイバでは図-4に示すように理論限界に非常に近い低損失化を達成し⁶⁾、広帯域化技術開発も一段落したといえる。現在の研究の中心は単一モードファイバであり、低損失化を始め、広帯域化のために適用波長域における低分散化、あるいは、偏波分散の低減化などの分散制御技術などで著しい進歩がなされている。例えば、1.3~1.52μmの広い波長域にわたり25GHz・km(光源のスペクトル幅を4nmと仮定)を得ている⁶⁾。

現在一般に単一モードファイバと呼ばれているもの

は軸対称構造なので、偏波面の異なる複数モードが伝搬しえるので厳密な意味での単一モード伝送路ではない。より高度な通信システムを構築するために光導波路回路部品を用いたり、光ヘテロダイン通信を行おうとすると厳密な意味での単一モードファイバ、すなわち単一偏波ファイバが必要となる。コア形状を楕円にしたり、コアに非対称な応力を与えることによって、縮退をといたファイバが開発されている。例えば伝搬長500mで消光比-32dB、伝搬損失1.2μmで1.1dB/km、1.55μmで0.8dB/kmを得ている⁷⁾。

一方、経済的観点に立って、ガラス堆積速度の向上など量産化技術が研究され、均一性、再現性のデータが蓄積されつつある⁸⁾。

プラスチック光ファイバはディスプレイや、灯火モニタ、照明用などのライトガイドへの応用に留まっていたが、伝搬損失が200dB/km程度になり、低価格で取り扱いが容易なのでデータ伝送分野でも見直されている。コアとしてはポリメチルメタアクリレート(PMMA)とポリスチレン(PS)が代表的なものである。低損失波長域が600~700nmにあるので、光源としては660nm(赤色)付近のものが用いられ、伝送距離が40~50mのものが、IC化受信機と組合され、低価格リンクとして市販されている。

理論からは材料を選ぶことにより、2μm以上の波長域において10⁻²dB/km以下の低損失化が可能であることが示されているので、長距離通信を目指した超長波長通信が考えられている。しかし、まだ材料探索とその低損失化プロセスの検討段階にあり、現在までに得られているものは0.1~1dB/m程度である。

光ファイバは局所的に歪ができることによって損失増加(マイクロベンディング損)を生ずる。したがって、光ファイバの持つ低損失性を出来るだけ損うことなく、通信線路として布設するに耐える強度を付加するケーブル化技術、さらには接続・布設技術が実用上重要である。一方、同軸で問題となる線路の均等性、漏話等について注意を払う必要がないので楽である。

ケーブル構造は使用目的に沿った各種構造が考察され実証実験が行われている。図-3(c)にその代表例を示した。

光ファイバケーブルは管路内への引込み、電柱への架空、トンネル内ケーブルラック上への布設の3種の方法によって布設される。それぞれ布設工法に工夫がされ、1km以上の長尺布設が可能となった。

表-2 各波長帯で使われる発・受光素子材料

	特 徴	発 光 素 子 材 料	受 光 素 子 材 料
1.5 μm 帯	石英ファイバの低損失域長距離大容量	$Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}/InP$ ($x=0.3\sim 0.45, y=0.7\sim 1.0$)	Ge $In_{0.11}Ga_{0.47}As/InP$
1.3 μm 帯	石英ファイバの低分散域長距離大容量	$Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}/InP$ ($x=0.2\sim 0.25, y=0.55\sim 0.65$)	Ge $In_{0.11}Ga_{0.47}As/InP$
0.8 μm 帯	半導体素子の実積大, 民生用との共用で低価格中距離中容量	$Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ ($x=0\sim 0.05$)	Si
0.6 μm 帯	プラスチックファイバの低損失域可視領域短距離小容量	$Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ ($x=0.35\sim 0.45$)	Si

表-3 発光素子の代表的特性

デバイスの種類		発 光 波 長 (μm)	全 光 出 力 (mW)	ファイバ結合パワー (mW)	遮断周波数 (Hz)	推定寿命* (h)
発 光 ダイ オード	GaAlAs 系	0.66	~2 (20 mA)	~0.1 (プラスチックファイバ)	1~20 MHz	10 ⁴ 以上
	GaAlAs 系	0.78~0.88	~4 (100 mA)	0.05~0.2 (100 mA)	10~100 MHz	10 ⁷ 以上
	GaInAsP 系	1.0~1.5	~2 (100 mA)	0.01~0.1 (100 mA)	10~100 MHz	10 ⁸ 以上
レ ー ザ	GaAlAs 系	0.78~0.88	~15	2~5	~2 GHz	10 ⁸ 以上
	GaInAsP 系	1.1~1.5	~10	~2	~2 GHz	10 ⁸ 以上

* 高温加速試験による室温動作推定寿命

表-4 受光素子の代表的特性

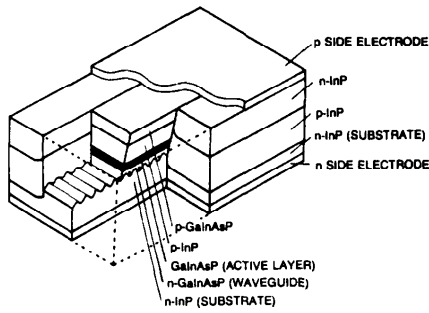
	Si-PIN・PD	Si-APD	Ge-APD	InGaAs/InP PIN-PD	InGaAs/InP APD
波 長 域 (μm)	0.5~1.0	0.5~1.0	0.8~1.5	1.0~1.7	1.0~1.7
量 子 効 率	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
暗 電 流 (A)	~10 ⁻¹¹	~10 ⁻¹¹	~10 ⁻⁹	~10 ⁻⁹	~10 ⁻⁹
容 量	~1	~1	~1	~2	~1
増 倍 雑 音 F(M)		~3(M=100)	~7(M=10)		~3(M=10)
立ち上り時間 (nS)	3	0.5	0.5	1	1

布設に際しては、各種の環境下で、多数のファイバ対を確実に、信頼性よく接続する作業が要求される。2本のファイバ端面を熱溶融して融着接続する方法と、V形溝を切ったベース等を利用してファイバをつき合せてコアの屈折率に近い接着材を注入固定する方法が取られている。接続作業はかなり自動化が進められ極度の熟練を必要としなくなった。また、多数のファイバ対を同時に熱融着できる装置の開発も進められている。

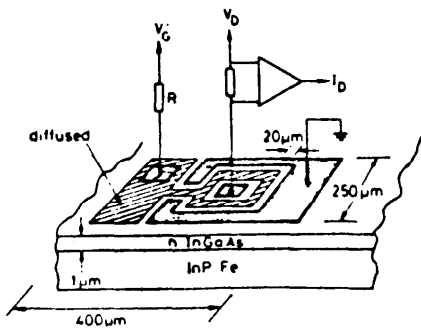
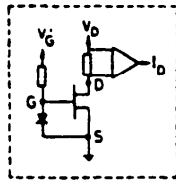
発光・受光素子

光通信に使われる発光素子には、発光ダイオード

(LED) と半導体レーザー(LD)がある。前者は光ファイバとの結合効率を良くするため高輝度化が、後者は安定した横モード発振を行わせるためのモード制御等の構造的工夫がなされている。一方、受光素子には低雑音のPINホトダイオード(PIN-PD)と自己増幅作用のあるアバランシェホトダイオード(APD)がある。表-2に示すように波長帯によって使われる材料が異なる。波長1μmを境として長波長側ではGa_xIn_(1-x)As_yP_(1-y)四元混晶が、短波長側ではGa_(1-x)Al_xAs三元混晶が発光素子材料として使われている。受光素子はSiないしはGeが主として使われている。短波長帯用Siはほぼ理想的特性を示すが、長波



(a) 分布帰還型レーザ



(b) PIN-FET モノリシック集積デバイス

図-5 高性能高機能光デバイス

長帯用の Ge 光検知器は暗電流などの雑音が大きいため、 $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{As}$ 三元混晶を用いた受光素子の開発が進められている。現状レベルでの、発光・受光素子の特性を表-3, 4 にまとめた、各素子とも、ほぼ実用レベルに達しつつある。化合物半導体を基礎とする LD や LED における最大の課題であった信頼性（寿命）も、結晶の高品質化、端面保護膜の採用や融着金属の改良等、さらには適当なスクリーニングを行うことによって、実用レベルの素子を確保できる段階に達した。光検出器としての APD は素子内部に増倍機能をもっているため、微弱光の検出に適し、長距離伝送システムに使用される。

光通信用発光・受光素子の現在の開発課題の1つは、歩留り改善による低価格化である。光通信用デバイス製造に必要な薄膜結晶は、現在大部分が液相成長

法で作られているが、量産性の点からは充分とはいえないので、気相成長法、分子線成長法など新しい技術開発が行われている。

別の開発動向は、単一モード光伝送システム、超波長多重通信システム、さらにはヘテロダイン光伝送等のより高度なシステムに向けての半導体デバイスの高性能・高機能化の流れである。図-5 にその例を示した。(a)は全動作条件下で縦単一モード発振が可能な LD である⁹⁾。これは基板上に形成された周期的凹凸（回折格子）による波長選択性反射をレーザ発振に利用していることによる。スペクトルの拡がりが少ないことから広帯域・長距離通信用光源として期待されている。さらに、発振波長が回折格子の周期によって正確に制御できることから、同一チップ上に波長の異なった LD を集積することが可能となり、次世代の波長多重通信用光源として研究されている¹⁰⁾。(b)は低雑音、広帯域動作を目的として PIN-PD と FET をモノリシック集積したものである¹¹⁾。その他、LD とドライブ回路の集積化する試みも報告されており、光デバイスと電気回路の集積化が今後の重要な研究課題であることを示している。

光回路部品

光ファイバ通信システムを構成するには、発光・受光素子などの半導体デバイスとともに、光の分岐、切換、接続、合波・分波、および変・復調など電気通信領域ですでに実現されている諸機能を光領域においても実現する光回路部品が必要となる。ファイバとファイバ、ファイバと光源や受光素子などの光デバイスとを低損失に、再現性よく接続する光ファイバコネクタは最重要光回路部品である。その技術課題はコア径 10~100 μm の細い光ファイバの光軸同志を高精度で、容易に、再現性よく安定につき合わせることで、当初から多くの研究がなされている。現在ではシステム布設現場で特別な技術や大型の装置を用いることなく組立可能なものができている。表-5 に多モードファイバ用単芯コネクタの代表的性能を示した。この他多芯

表-5 光ファイバコネクタの特性例

	FA 型 ¹²⁾	精密プラスチック型 ¹³⁾
初期接続損失 (50 μm/125 μmGI)	平均 0.33 dB	平均 0.38 dB
温度サイクル変動幅	<0.08 dB (-25~+80°C)	<0.08 dB (-20~+60°C)
着脱再現性 (1,000 回)	<0.08 dB	<0.1 dB

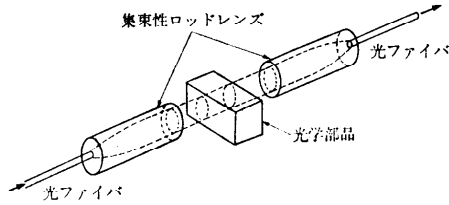


図-6 集束性ロッドレンズによる光回路の基本構成

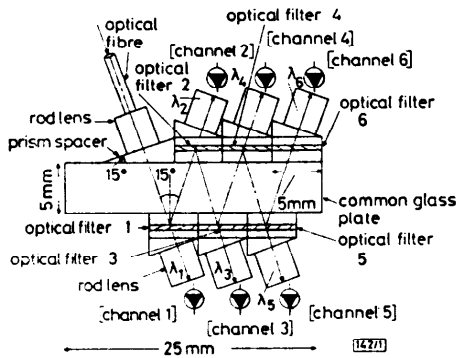


図-7 光合波・分波器

用，単一モードファイバ用が開発市販されている。

光ファイバ通信システムに用いられている他の光回路部品の多くは，微小化したレンズ，鏡，プリズムなどの古典光学系を用いて構成するか，光ファイバを直接，または加工して用いる微小光回路技術により機能・性能を実現している。

微小光回路は，光の入出力端面が平面で，光軸に直交する面内での屈折率分布が2乗分布を持つ集束性ロッドレンズ¹⁴⁾の出現により急速な発展を遂げてきた。集束性ロッドレンズは，レンズの長さにより凸レンズや凹レンズの働きをし，これにより集束あるいは平行光束を形成し，光源と光ファイバとの低損失結合をはじめとし，各種光回路部品を構成する上で重要な役割を果たしている。例えば，図-6に示すように，集束性ロッドレンズ2個を1組とすることにより光ファイバからの出射光を平行光束とし，再び光ファイバに結合する光学系が構成される。この光学系の平行光束部になにを置くかにより光回路部品としての機能が決まる。例えば，遮光板を出し入れすることにより ON-OFF 光スイッチとなる。また，ハーフミラーを光軸に対して傾斜させて置き，その反射光を集束性ロッドレンズを追加してもう一本の光ファイバに結合させると，光信号を2本の光ファイバに分配する光分岐の機能が実現される。最近発展の目ざましい波長多重通信

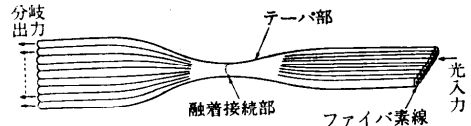


図-8 光ファイバスター状分岐回路

表-6 光回路部品の特性の現状

光回路部品	損 失	備 考
光スイッチ	0.3 dB ¹⁴⁾	4×4, 切換速度 8 msec
スター状分岐	3 dB ¹⁵⁾	7 ポート, 偏差 0.3 dB
	2.6 dB	32 ポート偏差 ±0.7 dB
光合波・分波器	2.5~3.7 dB ¹⁶⁾	4 ch

における波長の異なる光信号の合波，分波は先に述べたハーフミラーを誘電体多層膜等により波長特性を持たせることにより実現される。図-7に合波・分波器の構造の例を示した。

集束性ロッドレンズを用いた光回路部品は，光の入出力ポート数が増加すると，構造，コストなどが問題となる。例えば，光信号を数十の光ファイバに分配するスター状回路を作ることは難しい。それに対して，伝送路と同じ種類のファイバを加熱加工することによって，図-8に示したような構造のスターカプラを容易に実現できる¹⁵⁾。この方法により最大100ポート程度までのスターカプラが作られている。このスターカプラの過剰損失は32ポートで3dB，100ポートで4dB程度が得られており，スター状ネットワーク構成で重要な役割を担っている。

表-6に現在用いられている微小光回路部品の代表的特性を示した^{16), 17)}。機能実現，小型化，光特性の安定化が達成されてはいるが，量産性，コスト，信頼性などの一層の改善の努力が続けられている。

以上述べた微小光回路技術に対し，光を波動として扱った光導波路型回路部品は将来の発展が期待されているものの1つである。そこでは，波長程度の空間に光，電磁界，音場等を集中させることによって，それらとの相互作用を効率よく行わせ，光の変調，偏向，切換などの機能を実現する。さらに，同一基板上に複数の機能回路を配し光回路で接続することにより高い機能を持たせた光回路部品，すなわち，Integrated Optics が考えられている¹⁶⁾。

光回路部品は，微小光回路部品の改良発展とともに，光半導体をも含めたハイブリッド集積化，さらには光導波路型回路技術により，高性能化，多機能化，

表-7 公衆通信用光ファイバ中継伝送系

方式名	F-32M	F-100M	F-400M(注)
パラメータ			
ビットレート (Mb/s)	32	100	400
回線容量	電話 480 ch または TV 1 ch	電話 1,440 ch または TV 3 ch	電話 5,760 ch または TV 12 ch
ファイバ (石英系)	GI	GI 一部 SM	SM
発光素子	短波長の場合 長波長の場合	GaAlAs-LD InGaAsP-LD	
受光素子	短波長の場合 長波長の場合	Si-APD Ge-APD	
最大中継器間距離	短波長の場合 長波長の場合	10 Km 25 Km	25 Km

注) 今後は長波長帯に絞って使用。

低コスト化が進み、光通信システムの高度化を支えていくことであろう。

光ファイバ通信の応用

(a) 公衆通信分野

公衆通信への適用領域は、電話局間を結ぶ中継伝送系と、加入者の端末と電話局とを結ぶ加入者系とに大別される。中継伝送系はすでに経済面でも従来の同軸方式より優れていることが実証され、世界各国で本格的に採用されはじめた。表-7 にわが国で商用化もしくは適用化が予定されている中継伝送系をまとめた。

表中の F-32M, F-100M は中容量光ケーブル伝送方式と呼ばれ、都市内の電話局間の伝送、あるいは近距離市外伝送を狙ったデジタル伝送系であり、すでに全国 12 区間で商用に供されている。F-400 M 方式は大容量光ケーブル方式と呼ばれ、大容量の通信を可能とするため単一モードファイバが用いられている。単一モードファイバのコア径は約 10 μm と細いため、発光素子とファイバの結合、ファイバ相互の接続などの困難があったが、現在では技術的に克服され、今後 2 年間のうちに、札幌から福岡までの日本縦貫ルートが実現される予定である。この他、超大容量伝送方式として伝送速度 1.6 Gbps の伝送系の実現をめざした研究が進められている。中継伝送系の中に海底ケーブル通信方式が含まれる。KDD とアメリカ電話通信会社は新たな太平洋横断ケーブルを光ファイバとすることで意見が一致しているという。欧州と米国を結ぶ大西洋横断ケーブルも新設分を光ファイバとすることになっており、1988 年完成を目ざして、両者間で熾烈な技術開発競争が行われている。

加入者系への光ファイバ通信の導入は、高速データ、動画像、高速ファクシミリなどの広帯域サービスを可能とし、在宅勤務、ホームショッピングなどを実現し社会生活に大きなインパクトを与えることになろう。電電公社では事業所加入者用システムと一般加入者システムの実験を 1980 年から開始し、1982 年からは東京三鷹地区で現場試験を実施している。この試験を通じて問題点の抽出、提供サービスの模索が行われている。

(b) 専用通信分野

光ファイバ通信が導入されつつある分野は電力系統制御、鉄道、高速道路、各種プラント構内、船舶、航空機、自動車等多様である。光ファイバ通信が導入されている理由は、通信回線をとりまく電磁的環境が悪く、外来電磁雑音、機器間の接地電位差が問題とならないというメリットが最も大きい。

代表的な適用例は、国内電力各社における電力系統の監視、保護、制御のための通信で、1978 年から実用に供されている。工場構内の分野では製鉄所におけるプロセス制御用に光ファイバネットワークが導入されている。

(c) 画像伝送分野

有線方式の画像情報システムとして、以前から CATV があったが、これは主として難視聴対策としての共聴システムであった。この CATV の概念を一步進め、加入者が参加できたり、サービスを主体的に選択できる双方向画像情報システムの試みが光ファイバ通信を用いて行われている。なかでも、Hi-OVIS (Highly Interactive Optical Visual Information System) が有名である¹⁹⁾。1978 年奈良県東生駒市に建設され、約 160 戸の加入者と公共施設を総長 40 km におよぶ光ファイバで結ばれている。国外では、フランスのピアリッツ市で、加入者 2000、光ファイバ総延長 10,000 km のシステムが今年運用開始の予定である。

現在の TV よりも 10 倍近く解像度が優れた高品位 TV の伝送も含め、広帯域な伝送路を必要とする画像伝送分野においては光ファイバ通信技術が重要な役割をはたすようになる。

(d) コンピュータ関連分野

コンピュータ関連分野ではソフトウェア、ハードウェア等のリソースの共用の観点からネットワーク化が行われており、伝送路に光ファイバ通信が導入されつつある。最も大規模な例として筑波研究学園都市にある工業技術院傘下の 9 研究所を結ぶ RIPS (Research

Information Processing System) がある¹⁹⁾。共用ネットワーク、専用ネットワーク、ビデオネットワークから成り、光ファイバ芯線総延長は 360 km におよぶ。共用ネットワークは回線インタフェースをもつループ形ネットワークで、ノードを介してデータ端末、デジタルファクシミリ、ミニコンピュータなどの装置をホストコンピュータと TSS 接続できるほか、任意のノード間のデータ通信も可能である。専用ネットワークは、チャンネルインタフェースでホストコンピュータとリモートステーションを高速に直接結合している。

まとめ

以上、光ファイバ通信の部品、システムの現状について展望した。光ファイバ通信は情報化社会の将来の発達の鍵を握るもので、その将来の発展は疑問の余地はない。しかし、現状の技術は電波、電気通信に比べるとまだ未熟である。すなわち、光の周波数を扱い利用するのではなく、単にエネルギーを扱い利用していること。光の中継はすべて電気—光の変換を行い、直接に増幅、変調されていないこと。光の信号の分岐、挿入に損失が多すぎることなどがあげられよう。これらの課題についてはすでに研究が始められており、多量の情報を安く、信頼性良く、伝送する技術が近い将来達成されよう。この技術はこのような多量の情報のみを扱う高度のシステムのみでなく、その信頼性、安全性を活し将来の OA・FA さらに家庭内の情報伝送にまで広く利用される時代のくることが約束されている。このような通信の革命ともいえるファイバ通信はその基礎となる発明こそ米国で成されたが、実際の生産技術では日本が先行した。今後この優位を保ち、この世界の発達のリーダーの地位を荷うためには各製品の標準化を行い、信頼性の高いシステムを安く供給することが重要である。

参考文献

- 1) Kapron, F. P. et al.: Radiation Losses in Glass Optical Waveguides, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 17, No. 10, pp. 423-425 (1970).
- 2) Hayashi, I. et al.: Injection Lasers Which Operate Continuously at Room Temperature, *ibid.*, Vol. 17, No. 3, pp. 109-111 (1970).
- 3) Mac Chesney, J. B. et al.: A New Technique for the Preparation of Low Loss and Graded-Index Optical Fibers, *Proc. IEEE*, Vol. 62, No. 9, pp. 1280-1281 (1974).
- 4) Izawa, T. et al.: Continuous Fabrication of High Silica Fiber Preform, *IOOC '77 Technical digest CI-1* (1977).
- 5) Moriyama, T. et al.: Fabrication of Ultra-Low-OH Content Optical Fibers VAD Method, *Proc. 6th ECOC*, pp. 18-21 (1980).
- 6) Cohen, L. G. and Mammel, W. L.: Tailoring the Shapes of Dispersion Spectra to Control Band Width in Single-Mode Fibers, *Proc. 7th ECOC*, 3-3 (1981).
- 7) Katsuyama, T., Muramatsu, H. and Suganuma, T.: Low-Loss Single Polarization Fibers, *Electronics Letters*, Vol. 17, No. 13, pp. 473-474 (1981).
- 8) Miya, T., Nakahara, M., Yoshioka, N., Watanabe, M., Furui, Y. and Fukuda, O.: Transmission Characteristics of VAD Single-Mode Fibers, *7th ECOC, Post-Dead-Line Papers* 22 (1981).
- 9) Nakamura, M., Aiki, K., Umeda, J. and Yariv, A.: CW Operation of Distributed Feedback GaAs-GaAlAs Diode Lasers at Temperature up to 300 K. *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 27, No. 7, pp. 403-405 (1975).
- 10) Okuda, H., Kinoshita, J. and Uematsu, Y.: Monolithically Integrated GaInAsP/InP Distributed Feedback Lasers, *4th IOOC Technical Digest 288B-1-4* (1983).
- 11) 近藤, 奏, 池田, 天野, 縄田: PIN-FET 型光検波器のモノリシック化, 第 28 回応物講演会, 1P-H-11 (1981-3).
- 12) 橋本他: 中小容量および局内光伝送方式用光回路部品, *通研実報*, Vol. 30, No. 9, pp. 2323-2339 (1981).
- 13) Kurokawa, T. et al.: Precision-moulded Fiber Connector using Electroformed Cavity, *Elect. Lett.*, Vol. 17, No. 18, pp. 667-669 (1981).
- 14) Kita, H. et al.: Light-Focussing Glass Fibers and Rods., *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 54, No. 7, pp. 321-326 (1971).
- 15) Ohshima, S. and Ozeki, T.: Rotation-Splice Tapered Star Fiber Coupler, *Proc. Opt. Comm. Conf., Post-Dead-Line Papers* 19-5 (1976).
- 16) 藤井他: 低損失 4×4 光スイッチ回路網, *信学論文誌*, Vol. J63-C, No. 1, pp. 16-23 (1980).
- 17) Nosu, K. et al.: Multireflection Optical Multi/Demultiplexer Using Interference Filters, *Electron. Lett.*, Vol. 15, No. 14, pp. 414-415 (1979).
- 18) Miller, S. E.: Integrated Optics: An Introduction, *B. S. T. J.*, Vol. 48, No. 7, pp. 2059-2069 (1969).
- 19) 川畑, 厚主: 映像情報システム—Hi-OVIS, *テレビジョン学会誌*, Vol. 32, No. 4, pp. 67-71 (1978).
- 20) 矢田光治: 研究情報システム, 計測と制御, Vol. 20, No. 1, pp. 97-101 (1981).

(昭和 58 年 6 月 14 日受付)