編集企画

ビジネスコミュニケーション ARCHIVE

アーカイブ

創刊50周年を迎えた「月刊ビジネスコミュニケーション」に掲載された
過去の記事を紹介し、当時の情報通信業界の状況をお伝え致します。

●1977年1月号掲載●

特集　光ファイバ・ケーブルの情報通信への応用 より

光ファイバ・ケーブル伝送技術の展望
電電公社 技術局長／前田 光治

光ファイバ・ケーブル通信とは
電電公社 横須賀電気通信研究所 ミリ波伝送研究室長／島田 禎晉
電電公社 横須賀電気通信研究所 ミリ波伝送研究室長補佐／山縣 淳

公衆通信への応用
電電公社技術局 PCM伝送担当 調査役／大蔵 恭仁夫
電電公社技術局 PCM伝送担当 調査員／千本 倖生

非公衆通信への応用
電子技術総合研究所 電波電子部長／櫻井 健二郎
電子技術総合研究所 電波電子部主任研究官／森川 滝太郎

*掲載号表紙

特集　光ファイバ･ケーブルの情報通信への応用

光ファイバ・ケーブル伝送技術の展望

●前田 光治／電電公社 技術局長

1　光ファイバ・ケーブル開発の経緯

昭和 35 年にレーザが発明されて以来、光を通信に利用しようとする光通信の研究が精力的におこなわれてきた。光通信がレーザ通信とも呼ばれる所以である。

光通信はその媒体の違いにより、自由空間伝播方式と呼ばれる無線方式、トラフなどの閉空間に光を通すビーム・ガイド方式、細いガラス糸の中に光をとじ込めて伝送する光ファイバ・ケーブル伝送方式に分類される。

自由空間伝播方式は大気中に光を伝播させるため、気象条件により光の伝播損失が大きく変動するので、現在までのところ簡易な光線電話やテレビ伝送装置が試作されたにすぎない。しかし、今後ますます拡大する無線の応用を考えると、将来の周波数不足に備えるものとして光の自由空間伝播方式も重要な技術と考えられるので、今後の研究実用化が期待される。

光ファイバ・ケーブル伝送技術は、昭和 45 年にアメリカのコーニンググラス社が損失 20dB/km という当時としてはきわめて低損失の光ファイバの試作に成功して以来、急速に研究が進展したもので、現在では光ファイバ・ケーブルは、銅ケーブルが使用されている分野の大部分に利用の可能性のある新しい通信ケーブルと考えられるに至っている。

自由空間伝播方式は無線周波数の不足を解決するため、短波→マイクロ波→ミリ波の延長の新無線周波数の開拓としての意義が大きいが、光ファイバ・ケーブル伝送方式のばあいは、すでに確立された技術として現存している平衡対ケーブル伝送方式や同軸ケーブル伝送方式を競争相手として、これらに勝る特徴や経済性を実現しなければならないのである。

2　光ファイバ・ケーブル伝送技術の現状

将来、光ファイバ・ケーブルのコストは市内ケ―ブル並みになるとの予想もあるが、現在の試作品の値段はその 100 倍程度である。したがって、現時点での応用は光ファイバ・ケーブルの特徴の 1 つである電磁誘導妨害に強いことを活かした発電所、変電所など強電関連の連絡システム、電算機システムなどの配線、軍用システム、あるいは将来指向型の各種デモンストレーション・システムに限られている。

電電公社では早くから光ファイバ・ケーブル伝送技術の将来に着目し、公衆通信網へ導入することを目的として基礎的な研究を進めてきた。つまり、数多くの特徴を有する光ファイバ・ケーブル伝送技術は公衆通信網に大きな変革を与える可能性を秘めていることから、超 LSI、デジタル総合網と並んで光ファイバ・ケーブル伝送技術を技術開発の 3 本柱として位置づけ、その研究・実用化を急速に進めてきた。

具体的には、昭和 50 年春にはケーブル・メーカ 3 社と光ファイバ・ケーブル開発を目標とした共同研究を開始し、さらに従来は武蔵野電気通信研究所の基礎研究部と茨城電気通信研究所で光ファイバ・ケーブルからシステムにわたる基礎研究をおこなってきたが、49

年からは方式実用化研究所である横須賀電気通信研究所の基幹伝送研究部が参画し、ここを中心とした実用化研究をも強力に進めている。

51 年春には 0.47dB/km の低損失光ファイバの試作に成功するなど、研究成果は着々と表われている。51 年秋には横須賀電気通信研究所内に実際に光ファイバ・ケーブルを布設し、60km の光ファイバを使用して 32Mbit/s のデジタル光ファイバ・ケーブル伝送方式を中心とした、中継装置を含む一連の光ファイバ・ケーブル伝送総合実験を進めている。

一方、技術担当部局でも総合システムとしての長期的な導入方策や経済性などを含めた具体的な検討を始めている。

3　将来展望

今後の実用化スケジュールとしては、技術的可能性および需要動向の 2 面からみて、昭和 55 年頃には、まず 32Mbit/s 程度の短距離デジタル伝送方式を市内中継回線用あるいは短距離市外回線用としてサービスに供し、その後、長距離用の大容量方式や、テレビ伝送等をも対象とした加入者線用方式を逐次開発することとなろう。

以前、光ファイバ・ケーブル伝送は長距離大容量方式のみを実用化目標と考えていた時期もあったが、電電公社の前述のような開発の考え方がアメリカの学会で発表されて以来、最初の実用化に適した公衆通信用光ファイバ・ケーブル伝送方式はデジタル・ハイアラーキの 3 次群である 30 ～ 50Mbit/s の短距離用デジタル伝送方式であるとの世界的コンセンサスが得られつつある。

光ファイバ・ケーブル伝送方式のサブシステムとしては、中継装置の電気回路は同軸ケーブル伝送方式で 400Mbit/s まで確立されているし、光―電気変換素子も問題は少ない。残る問題は、光ファイバ・ケーブルの安定量産技術と電気―光変換素子、特に半導体レーザの長寿命化である。半導体レーザの寿命についても、トップ・データとして 100 万時間という報告もあるし、見透しは明るい。自主技術をベースに実用化研究を進めることで解決されよう。

日本の光ファイバ・ケーブル伝送技術は、アメリカと並んで今や世界一のレベルにあると国際的にも認められている。今後もたゆみない研究を進めてゆき、光ファイバ・ケーブル伝送技術を電気通信サービスの経済化、特に伝送路の高価格がネックとなっている画像通信サービスの普及に寄与するシステムとして育て上げていくことが期待される。

光ファイバ・ケーブル通信とは

●島田 禎晉／電電公社 横須賀電気通信研究所 ミリ波伝送研究室長
●山縣 淳／電電公社 横須賀電気通信研究所 ミリ波伝送研究室長補佐

はじめに

光ファイバを用いる伝送システムあるいは通信システムについては、ここ 2 ～ 3 年ずいぶん話題になり言いつくされた感がしないでもない。このように注目されるのはやはり素質が抜群であり、銅から石英へ、音声から画像へというような大きな質の転換が期待されるからであろう。

1　光ファイバの種類

光ファイバ・ケーブル伝送路は、図1のように電気信号を光の強弱に変換する発光器と光信号を伝えるファイバ・ケーブル、伝えられた光信号を電気信号に変換する受光器から構成される。

光の周波数は 10^5 ～ 10^6GHz と高いがファイバ用光源からの光は周波数と位相的に一定ではない。いわば雑音状の光をキャリアとするため実際にはそれほど超大容量の情報伝達はできない。

ファイバは図2に示すように、コアと呼ばれる屈折率の高いガラスのまわりにクラッドと呼ばれる屈折率の低いガラスをおおい、コア内で全反射を繰り返しつつ光を伝送するもので、図からもわかるように、コア内には一般にいくつかの光線が存在する。このようなファイバを多重モード・ファイバという。しかし、コア径をある数（数 μm）以下にすると基本モードしか伝送されなくなる。このようなファイバを単一モード・ファイバという。ところで図2に示したようなファイバを、断面の屈折率が径方向に階段状に変化しているところから、ステップ型ファイバと呼んでいる。

これにたいして図3に示すように、屈折率が径方向に徐々に変化しているグレーデッド型と呼ばれるファイバがある。ステップ型ファイバでは、各光線の径路長が異なることからモード間に遅延時間差が生じ、ベース・バンド波形がひろがる。これにたいしてグレーデッド型ファイバでは、軸から遠回りをする光線は主に屈折率の小さい部分を通るため速く進み、屈折率が完全な2乗分布に従って変化するばあい、各光線は周期的に集束され、集束点では同時に到達する。したがって、波形のひろがりは少なくなる。

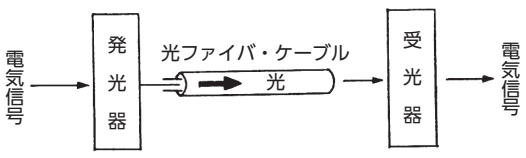

図1　光ファイバ・ケーブル伝送路

2　光ファイバの特性

ひととおり光ファイバの特徴を述べると、まず第一に銅に比べて材料の主成分であるシリカ（SiO_2）の原材料は無尽蔵といってよい。つぎに、光ファイバは直径がおよそ 0.2mm 以下で断面積が微少である。また、シリカの密度は 2.2g/cm^3 で銅の 8.9g/cm^3 の約 1/4 であり、軽く可撓性にも優れている。さらに光ファイバは電気の伝導体ではなく、また信号は光で送られるので電力ケーブルや電気軌道からの外部誘導を受けず接地電位の問題もない。光ファイバ相互間の漏話は少なく、たとえあっても黒色材などで遮蔽は容易にできる。

伝送媒体としての特性についても、低損失でかつ広帯域である。最近の内付け CVD 法と呼ばれる製造法によれば、波長 0.85μm（1μm は 1mm の 1,000 分の 1）で 2dB/km、1.0 ～ 1.6μm の長波長領域で 1dB/km 前後の実験データが得られている。帯域幅は光ファイバの種類によって異なり、ステップ型多重モード・ファイバでは数十 MHz、グレーデッド型多重モード・ファイバでは数百 MHz から 1GHz、単一モード・ファイバでは数十 GHz である。ただし、ここでは帯域幅は 1km のファイバのベース・バンド 6dB 低下幅で定義している。

参考のために、9.5/2.6mm の標準同軸ケーブルの特

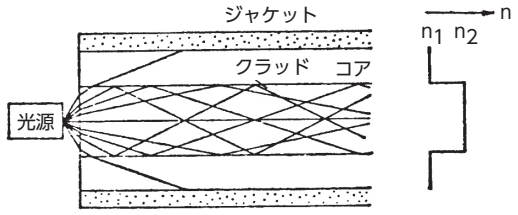

図2　ステップ・インデックス型ファイバ

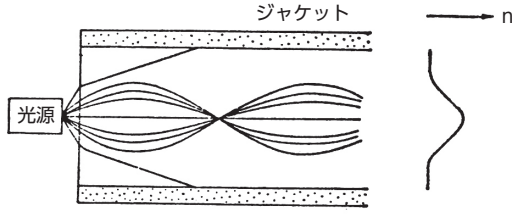

図3　グレーデッド・インデックス型ファイバ

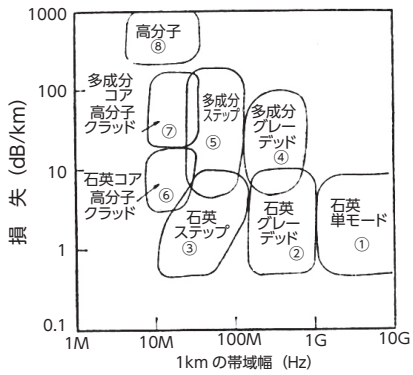

図４　光ファイバの種類と特性

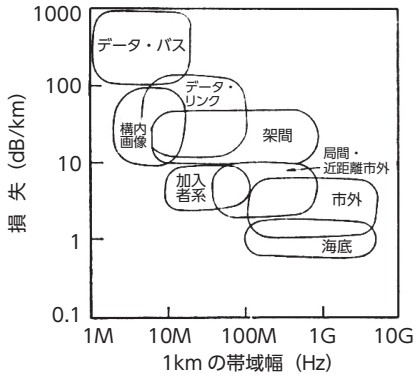

図５　光ファイバ伝送システムの適用領域

性を示すと、周波数 f=100MHz で約 24dB/km である。同軸ケーブルの損失はほぼ$\sqrt{f}$に比例して変化するので 1GHz では 76dB/km にもなる。これにたいし光ファイバのベース・バンド周波数応答はf^2特性である。もう 1 つのミリ波導波管の特性を示すと、布設条件によるが比較的まっすぐなルートで 40 ～ 110GHz において 0.5 ～ 1dB/km という実測値がある。同軸ケーブルの布設ルート並みのところではこの 2 ～ 3 倍の損失となる。

このように光ファイバは数々の長所があり、ペア・ケーブル（2 本の銅線から成る平衡対線路）、同軸ケーブル、ミリ波導波管のいずれにも取って代われるような適性をもった伝送媒体である。

図 4 に、現在の技術状況をもとに価格面も多少考慮に入れて、各種ファイバの損失と帯域幅をマップ化してみた。光ファイバの種類は屈折率分布（ステップ型、グレーデッド型）、モード数（単一モードまたは多重モード）、コア材料（石英系、多成分ガラス、高分子）、クラッド材料（同左）の 4 項目の組合わせの中から、実現性、実用性の高いものを選んだ。

3　光ファイバの適用領域

光伝送システムが適用可能と考えられる領域を、図 4 の座標に合わせて書き込むと図 5 のようになる。両図を重ね合わせると、各領域に適した光ファイバの種類を整理することができる。もちろんこれは 1 つの目安で、技術の進歩や経済性評価により流動的である。あるものは消え、あるものは範囲を広げ、新製作法の出現によりあるものが他のものに取って代わるということがあり得る。

表 1 にシステム構成例を示す。使用ファイバは図 4 の分類にしたがった。発光源の LD、LED はそれぞれ半導体レーザ、発光ダイオードであり、ここでは 0.85μm 帯を主体に考えている。海底ケーブルには 1dB/km の超低損失が必要となるので長波長帯を用いることを考えた。光源としては固体レーザや半導体レーザが候補となるが、いずれも実用的なものは今後の研究課題である。

4　光ファイバ・ケーブル

光ファイバの伝送媒体としての特徴を具体的に説明できる 1 つの例を図 6 に示した。まず伝送容量から述べると、ミリ波導波管では 43 ～ 87GHz を用いて 800Mbit/s□56、18 芯同軸ケーブルでは 400Mbit/s□18 伝送可能である。ただし、簡単化のため片方向容量で話を進めている。標準中継間隔はそれぞれ 15km、1.5km である。いずれも実用化終了のシステムである。

これらにたいし、ベル研究所のアトランタ実験に使用されている光ファイバ・ケーブルでは 44Mbit/s□144 伝送可能である。これはミリ波導波管の伝送容量の 14%、同軸ケーブルの 88% に相当する。もっとも、光ファイバ伝送方式はまだ研究段階であり、そのうえ 144 芯がすべて完全な状態で使用できるというわけでもない。

適用域		ビット・レイトまたは域帯	中継間隔(km)	光ファイバ・ケーブル		光源		受光素子
				種類	損失(dB/km)	種類	出力電力(dBm)	
デジタル伝送	低速	Mbit/s 0.05～8	5～15	③⑤⑥	5～10	LED	−15～−5	PIN / APD
	中速	8～100	5～10	②③④⑤	4～8	LED / LD	−5～5	APD
	高速	100～1,600	5～10	①②	4～6	LD		
	局間無中継	32～1,600	20～30	①②③	≃2	LD	0～10	
	海底		50～60		≃1	固体レーザ	20～30	
データバス・データリンク	架内	0.05～1,000	～0.01	⑤⑦⑧	100～1000	LED / LD	−30～−10	PIN / APD
	局内	0.05～1,600	～0.5	④⑤⑥⑦	20～100	LED / LD	−30～−10	PIN / APD
	構内	0.05～100	～10	③⑤⑥	5～20	LED / LD	−20～0	PIN
アナログ伝送	加入者CATV	MHz 5～100	2～5	③④⑤⑥	5～10	LED	−10～0	PIN / APD
	局間ITV	5～100	5～8	②③④⑤⑥	4～8	LED / LD	−10～5	PIN / APD
	構内	5～30	～2	⑤⑥⑦	10～20	LED	−20～−10	PIN

（注1） 光ファイバの損失はスプライス損失を含む.
（注2） 光源出力電力は光ファイバへ結合した平均電力.

表1 光ファイバ伝送の方式構成例

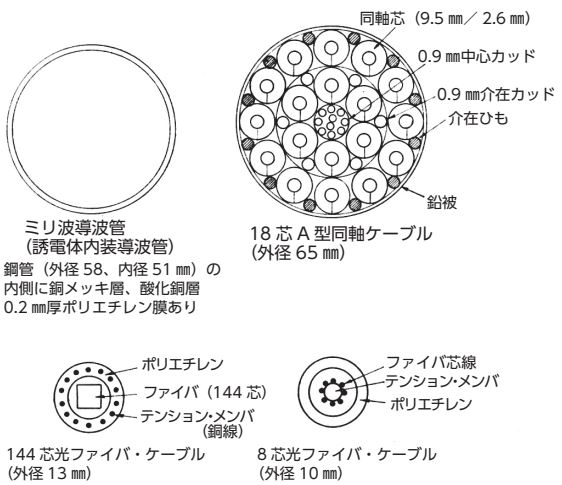

図6 光ファイバ・ケーブルの太さ

しかし、5分の1の外径にすぎない光ケーブルがこれだけの伝送容量をもち得るのは驚くべきことであろう。もっと夢を追うと、グレーデッド型ファイバでは帯域の広いものを選ぶと上記の数倍のビット・レイトで伝送可能である。中継間隔も10mm前後とれる。

この144芯ケーブルは、まずファイバ12芯で幅4mmのテープ状のものを作り、これを12枚重ねたものをケーブル中心部に収めてある。これにたいし、わが国ではケーブル化のフィロソフィが異なっており、1本1本のファイバを100%活かすという考え方で、既存媒体のケーブル化の考えの延長線上にあるといえる。両方法の優劣についてはそれぞれ一長一短があるので今後の検討をまつ必要がある。図6の右端に外径10mmの8芯ケーブルの10例を示してあるが、この技術を拡張することによっても同軸ケーブルの10倍から数十倍の高密度実装が可能と思われる。

ケーブルはミリ波導波管が約6t/km、18芯同軸ケーブルが約11t/kmにたいし、144芯光ケーブルは推定約0.6km、8芯光ケーブルは70kg/kmである。これから考えても光ファイバ・ケーブルはかなり軽量であることがわかる。

研究機関（メーカ）	目的	時期	ケーブル長（芯数）	ビット・レイト〔Mbit/s〕	中継間隔〔km〕	光ファイバ種別（損失）	光源・受光素子	実施地
東京電力（日電—住友 富士通—古河 日立—日立電線）	実証試験	1976初～	約3km（4芯）	6.3		SI, GI（6～10dB/km）	LD-APD	新宿変電所 関内 〃 田端通信所
関西電力（富士通—古河 日立—日立電線）	実証試験	1976初～	1.5～3.5km（4芯）	0.24 6.3 100		SI（5～8 dB/km）	LED-APD LD-APD	大阪北支店—新曾根崎制御所 東意岐部変電所
通研（日電，富士通 古河，住友，藤倉）	総合伝送実験	1976末～	8km（8芯）	8 32	6km 8km	SI（～3 dB/km）	LED-APD LD-APD	横須賀通研
BTL（W.E.）	所内光通信実験	1976初～	0.6km（144芯）	1.5 45	 7km	GI（≃6dB/km）	LED-PIN LD-APD	Atlanta
GTE	現場試験	1976初～	4.5km	1.5		（5dB/km）		アメリカ西海岸
BPO（BICC, STL）	現場試験	1977初～	5km（2芯） 7km（2芯）	8 140	8km 5km	GI（6dB/km）		Martlesham Ipswich
FTZ（Telefnken,SEL, Siemens, FGF-TKD）	現場試験	1977～	18km（6芯）	34		GI		Berlin
Siemens	現場試験	1975～	2km（10芯）	2 34	4km	GI	LED- LD-APD	Munich

表2　デジタル伝送方式の実験状況（計画を含む）

5　今後の問題点

以上長所についてふれたが、当然短所もある。引張強度が小さく、そのばらつきも大きい。取扱いに繊細さが要求される。芯線給電ができない。切断、接続に高度の技術が必要である。分岐、結合が不自由である。伝送特性の厳密な規定が困難である。ケーブルの温度特性を含め、経年変化など未知の問題が残っている。

全般的な課題としても、光ファイバおよび光デバイスの取扱いに経験を要すること、脱定盤化を含めて測定器および測定技術の向上が必要であること、ファイバ、コネクタなどの規格化がほとんどおこなわれていないこと、光デバイスの信頼度が確立されていないことなど問題が多い。また今後研究を進めていくうえで、長波長帯の開拓および光導波回路の研究をどのように進め、どのように利用するかということが将来のシステム形態に大きな影響を与えると思われる。

この2～3年で光ファイバやデバイスの研究はかなり進歩し、表2のようなシステム実験も試行されるようになった。いかに素質は優れてもいても、実用化はそう甘くはないので、こういう時期こそ基礎研究を含め、光伝送技術の実力の蓄えをいかに着実に増やしてゆくかという姿勢が大切であると考えられる。

公衆通信への応用

●大蔵 恭仁夫／電電公社技術局 PCM 伝送担当 調査役
●千本 倖生／電電公社技術局 PCM 伝送担当 調査員

はじめに

光ケーブルは本特集号の「光ファイバ・ケーブル通信とは」の論文でもすでに述べられていうに、銅の平衡対ケーブル、同軸ケーブル等に比べてきわめて優れた諸特性を有している。このため、これらの特徴を活かして、光ケーブル伝送方式は経済上、建設上、保守上、運用上、既存伝送方式よりも格段に有利な方式として実現できる可能性を有している。

一方、光ケーブル伝送方式のコスト、ハードウェアなどにはまだ未確定要素が多く、光ファイバ、デバイス等の組合わせで種々の方式が想定できるが、筆者等は光伝送関連技術とわが国の公衆通信網についての動向を調査･検討し、表 1 に示すような適用例を得ている。この表からわかるように、公衆網への応用は長距離市外基幹伝送系から、加入者系に至るまでのあらゆる分野に可能性を有している。これまではしばしば、既存伝送媒体では実現できない超大容量伝送の可能性を中心に論じられてきたが、経済比較を含む広い検討結果によると、それに止まらず基本的には市内系、加入者系など公衆網の隅々に至るまで適用可能であるとの結果が得られている。以下、おのおのの適用の可能性について述べる。

適用領域		伝送路長	伝送容量	中継間隔	発光器	受光器	ファイバ	変調方式
局内伝送系		300m	6 MHz*	300m	LED	非アバランシェ型	40dB/km(SI)	アナログ
			1.5～100Mbit/s					デジタル
			400Mbit/s		レーザ	アバランシェ型	40dB/km(GI)	
市内伝送系	加入者系	5 km	6 MHz*	5 km	LED	非アバランシェ型	5dB/km(SI)	アナログ
			1.5Mbit/s			非アバランシェ型		デジタル
			6Mbit/s					
	市内中継系	15km	6 MHz*	5～8 km	レーザ	非アバランシェ型	5dB/km(SI)	アナログ
			6Mbit/s		LED	アバランシェ型	5dB/km(GI)	デジタル
			32～100Mbit/s	8 km	レーザ			
市外伝送系	EO—TC	40km	6Mbit/s	8 km	LED	非アバランシェ型	5dB/km(SI)	デジタル
			32～100Mbit/s	8 km	レーザ	アバランシェ型	5dB/km(GI)	
	TC—DC	100km	32Mbit/s～100Kbit/s	8 km	レーザ	アバランシェ型	5dB/km(SI)	デジタル
			400Mbit/s	6 km			5dB/km(GI)	
	DC 以上	500km	100Mbit/s	8 km	レーザ	アバランシェ型	5dB/km(GI)	デジタル
			400Mbit/s	6 km				

SI：ステップ・インデックス型，GI：グレデッド・インデックス型

注） *TV 1ch伝送用

表 1　ケーブル伝送方式の適用例

公衆通信への応用

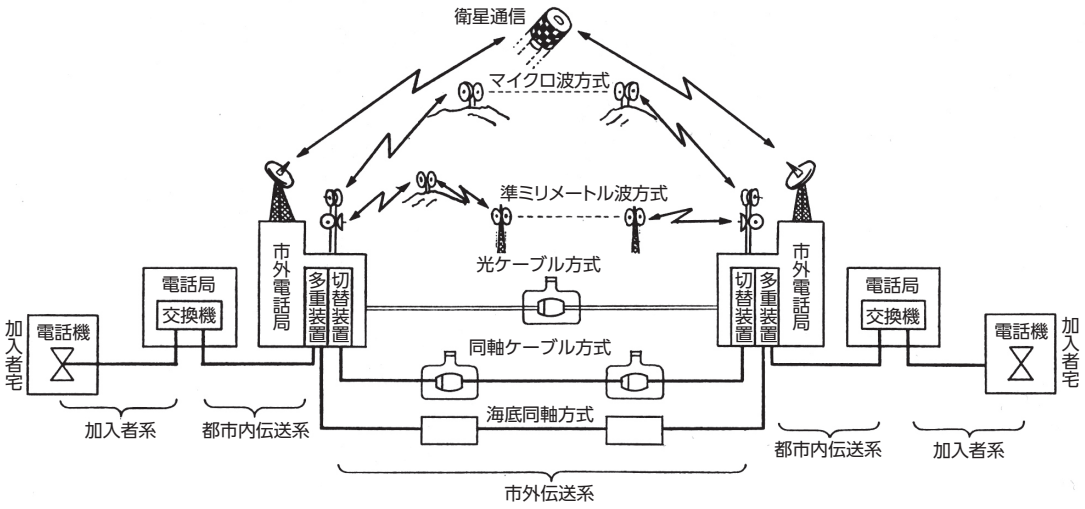

図１　公衆電気通信網の構成

1　市外伝送系への適用

図１に公衆電気通信網の概略図を示した。このうち光ケーブル伝送方式の主な適用範囲と考えられる市外伝送系への適用から考えてみる。これまでの予測によると、市外伝送系の伸びは、ここしばらくは電話需要に基づくものだけで年率 10% を越えるといわれている。特に大都市間長距離市外回線の需要予測に基づいて将来の市外伝送路を推定してみると、ルート分散等により今後 10 年間は同軸ケーブルを使用した 400Mbit/s デジタル伝送方式 PCM—400M 方式等で十分対応可能であるが、今から 10 ～ 15 年後までにはケーブルあたりこれの数倍以上の容量の伝送方式の開発が必要になる。しかも、同軸ケーブルを使用して 400Mbit/s 以上の伝送をおこなう方式の実現はほとんど不可能と考えられる。

このようなことから、光ケーブル伝送方式が既存伝送方式に比較して経済的であることが明白になれば、この方式の導入により得られるメリットはこの点だけでも相当なものになろう。

この他、単にケーブルや方式のコストの面だけでなく、将来問題化することが必至のケーブル布設のコストおよび布設に関連する多くの問題を考慮に入れると、光ケーブル伝送方式の魅力は予想以上に大きくなる。すなわち、近年、ケーブル用管路布設工事、マンホール工事等の地下設備工事は、道路掘削規制、交通煩雑による道路規制、環境保全上からの規制、労働力不足等により年々その困難性を増しており、地下設備工事の工期延期、工費の高騰を招いている。今後とも楽観的な材料はなく、ますます困難の度を深めていくことと思われる。このことは、国民のために電気通信需要の増大に対処しようとする公共企業体の使命の遂行を時には妨げるものになると予想される。

これにたいし光ファイバは、①断面積が微少（保護コーティング込みで直径 1mm 程度）、広帯域伝送が可能（伝送容量はマルチモード・ファイバで数百 Mbit/s、シングルモード・ファイバなら数 Gbit/s 以上）であり、かつ漏話を無視し得る（多対のケーブルを製造できる）ことから、単位断面積あたりの伝送容量が大きいため既設の地下ケーブル管路等の地下設備を有効利用できる。

また、②きわめて低損失な線路（たとえば損失２～5dB/km）を提供し得ることから、中継器間隔を長くでき（たとえば６～ 30km）、したがって中間中継器の数を少なくできるため、マンホール、洞道等の地下設備の空間に制限を与える大きな要因となっている中継器装置類を大きく減らせるというメリットをも有している。

図２に局階位構成の概略を示すが、すでに表１のと

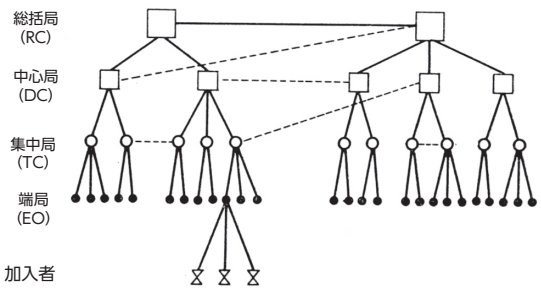

図２　局階位構成

ころでも述べたように市外伝送系の適用領域はその階梯により、EO（端局）—TC（集中局）、TC—DC（中心局）、DC 以上に分けられる。EO—TC には主として発光素子に半導体レーザ（小容量のばあい LED を使用する可能性もある）、受光素子に APD（あるいは PIN）を使用し、損失 5dB/km 以下のファイバによって容量 6 ～ 100Mbit/s のデジタル方式が約 8km の中継間隔で適用される可能性が大きい。また TC—DC 間の中距離伝送にはレーザ、APD による 32 ～ 400Mbit/s の方式、また DC 以上の長距離市外系にはやはり同じ構成の 100 ～ 400Mbit/s あるいはこれ以上の容量のデジタル方式が適用されることになろう。

2　市内伝送系への適用

東京、大阪などの大都市においては光ケーブル伝送方式のメリットが大きく生きてくる。すなわち、これらの都市においては都市内区域で多数の市外回線、市内回線が複雑な網を構成しており、これを形作っている都市内伝送路が極度に輻輳しており、これら中継回線の増設は年々困難の度を増している。このため従来は平衡対ケーブルを使用した 24 チャネルの PCM 伝送方式 PCM—24 方式で対処してきたが、増大する回線需要を今後ともこの方式でまかなおうとすると、まもなく地下設備が満杯になってしまう。また地下設備の容量不足の問題を解決しようと大都市内に新たに洞道のネットワークを建設する計画も推進されているが、かなりの困難が予想されている。

これにたいして光ファイバは、低損失で可撓性に優れていることから、日本のこれら大都市の地下設備のような複雑な構造のところにでもケーブル化して容易に布設することができるため、積極的な地下設備の利活用が図れる。また、市内中継は市外中継に比べて伝送区間長がはるかに短いため、光ケーブル伝送では途中に中間中継器を設置する必要のない、いわゆる局間無中継伝送が可能になるばあいが多い。これが実現できると、昼間交通量の多いマンホールへの巡回保守の問題、マンホール内に中継器を設置することからくるスペース上、給電上、ならびに信頼度上の問題が大きく改善できることになる。

市内伝送系の区間長はせいぜい 15km までであり、発光素子にレーザ、受光素子に APD、損失 5dB/km 程度のファイバを用いた中継区間 5 ～ 8km、容量 6 ～ 100Mbit/s のデジタル伝送方式が主として適用されることになろう。

3　加入者系への適用

加入者系は公衆通信網における毛細血管にあたり、量が莫大なことに加えて構成が複雑なこともあってきわめて取扱いがむずかしい。特に、新しい電気通信サービスの導入を検討するにあたっては、加入者系の伝送をどのように考えるかが最大の鍵になる。たとえば、高速ファクシミリ、テレビ電話等の広帯域の新サービスを考えると、市外伝送系はともかく、加入者系伝送を既存媒体を使った伝送方式で対応することは経済上、施設設計上、非常に困難である。加入者系の距離分布を調べてみると 95% が 5km 以下の距離に入ってしまうので、既存伝送媒体に代えて光ケーブルを利用すれば、広帯域伝送の可能性に加えて、加入者端末と交換局の間を無中継で結ぶことができる。このように光ケーブル・システムにとって加入者系はきわめて潜在性に富む適用領域である。しかし、すでに述べたように加入者系は分岐等特殊な問題を数多く抱えているので、固別配線法よりももっと柔軟な配線法を実現するためにはかなりの検討を要し、ここに光ケーブル伝送方式を本格的に適用するようになるのは大分先のことになろう。

加入者系への適用が考えられるシステムのハードウェア構成は、発光素子にLED、受光素子はPINを使用し、損失5dB/km程度の狭帯域ファイバによって1.5～6.3Mbit/sのデジタル伝送方式、あるいは6MHz帯域のアナログ伝送方式になると考えられる。

4　局内伝送系への適用

市外トラヒックの増大により市外伝送装置が大幅に増設され、また主群切替装置等の導入により市外伝送系の信頼度向上が図られてきたことに伴い、大都市の中継所は加速度的に巨大化、複雑化してきており、この傾向は今後ますます強まるものと予想される。このため、特に伝送装置架と伝送系の切分けをおこなう分配架との間の輻輳は多大なものになっており、現在でさえ建設等の各種作業をおこなうのは容易なことではない。将来、デジタル端局装置類（多重変換装置、符号化装置、端局中継装置）の増加により、3C—2T等の同軸コードの収容スペース、局内伝送用中継器設置のためのスペースの確保は困難な状況になろう。こういったところに断面積が小さい光ケーブルを適用すれば、一挙に問題が解決できる可能性がある。しかし、このためには光電変換素子や光ファイバの大幅な経済化、素子の良好な直線性、高い信頼性を実現するための広範囲な研究が必要とされよう。

局内伝送系適用のためのハードウェアとしては、距離が大体300mまでと短いため、100Mbit/s以下ではステップ・インデックス型ファイバ、LED、PINの組合わせでよく、400Mbit/sくらいになるとグレーデッド・インデックス型ファイバ、レーザ、APDの組合わせが必要となると考えられる。

5　公衆通信網への導入

これまでの各分野への適用の検討で光ケーブル伝送方式が多くの潜在的可能性に富んだ方式であるということが明らかになった。ここでは各種の方式を公衆通信網に導入するにあたって、その順序等に考察を加えてみる。

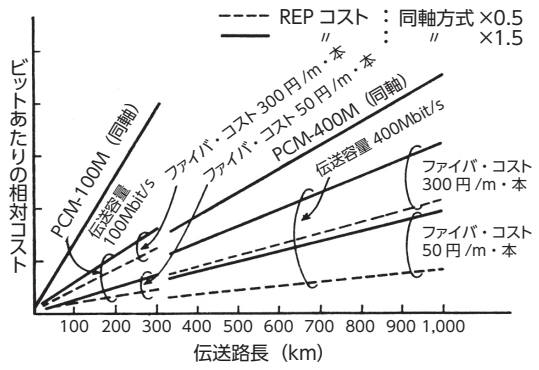

図３　光ケーブル伝送方式の経済性（創設費比較）

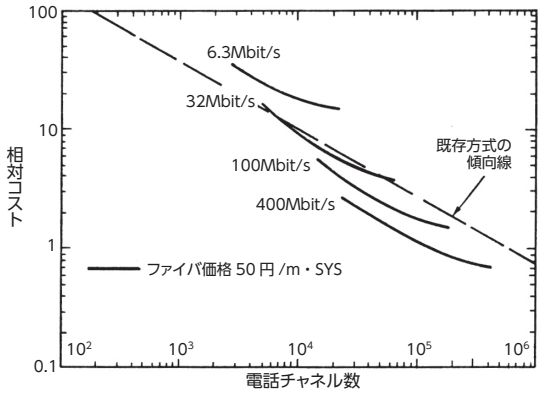

図４　光ケーブル伝送方式相互間の経済性

まず考えるべき第1の点は言うまでもなく経済性である。今後の公衆網の主流はデジタルになると思われるので、電話回線にたいする各種デジタル方式の伝送路経費の比較の例を図3に、また光ケーブル方式相互間の経済性を図4に示す。これによると、既存方式と比較して光ケーブル伝送方式は32Mbit/sの伝送容量以上で初めて有利になることがわかる。ただし、光ケーブル伝送方式については未確定要素が多いが、これらを大胆に仮定し、光ケーブルのコストを50～300円/m・本、中継器のコストを同軸方式の0.5倍、1.5倍等としてある。

次に考えるべき点はハードウェアの実現性である。光ファイバで容量100Mbit/s、中継区間8kmという目標は決して不可能ではないが、ファィバ、半導体レーザの技術の現状から言って若干の不安要素が残るため、安全側をとれば32Mbit/sということになろう。後の「海外技術の動向」の論文でも述べているように、公衆通

信用として最初に開発すべき光ケーブル伝送方式は大体デジタルで 3 次群（容量 32Mbit/s ～ 45Mbit/s）というのが世界的に見て多くの国のコンセンサスである。

この 32Mbit/s 光ケーブル方式は、すでに述べたように、近距離市外系、市内局間中継系に適用を有し、その基本構成は損失 5dB/km 以下のグレーデッド・インデックス型のファイバ、レーザ、APD を用いることになろう。

導入の順序としては、近距離市外、市内局間中継への適用の後、伝送容量を増大して中・長距離の市外伝送系に導入し、またこれと前後して局内伝送系に導入することになろう。これからかなり後になって配線法などの研究が煮つまったところで、加入者系への適用が開始されるのではないかと考えられる。

以上の議論は電話サービスを基本にしておこなったが、原材料およびその使用料の点からの資源問題が少なく、製造法も量産化に向けて種々の新方法が開発されているため、光ファイバ・ケーブルのコストは必然的に低いものであり、したがって伝送路コストはいずれは大きく低減し、画像サービス等の新しいサービスを開始せしめるトリガの役目を光ファイバは果たすことになる可能性がある。

おわりに

以上、光ケーブル伝送方法の公衆網への応用についてのおおまかな考え方について述べた。光ファイバおよびそのデバイスに関する技術はある程度成熟してきた分野もあるが、なお多くが日進月歩で進歩しているので、研究の進展により応用の分野もかなり増えることも予想される。

また、誌面の都合で公衆網への他の応用の可能性については割愛せざるを得なかった。たとえば、きわめて長い中継距離が実現できれば、島国の日本では大きな魅力となる海底中継方式については一切付言することができなかった。

すでに述べたとおり光ケーブル伝送技術はきわめて奥深いものであり、その応用に関する議論は現在ほんの入口に達しただけにすぎず、今後の研究実用化の進展に期すべき点が多い。

最後に、本文をまとめるに際し有益な助言をいただいた技術局副島伝送部門調査役、横須賀電気通信研究所島田研究室長および関係各位に深く感謝申しあげる。

＜参考文献＞

1）光ファイバ通信小特集、信学誌、Vol.59.7（51 年 7 月）
2）小山他“光ファイバ伝送技術の現状とその将来展望”電子通信学会講演会資料（51 年 6 月）
3）大蔵、千本、稲村“中容量光ファイバケーブル伝送方式の構想”、通方研（51 年 3 月）
4）S.Senmoto、K.Okura、“Optical Fiber Cable Transmission Systems Applied to Telecommunication Networks in Japan” Second European Conference on Optical Fiber Communication（51 年 9 月）
5）山口、藤田“電気通信工学Ⅰ、Ⅱ”（49 年 12 月）
6）島田他、“光ケーブル伝送技術の展望”、施設、Vol.28.8（51 年 8 月）

非公衆通信への応用

●櫻井 健二郎／電子技術総合研究所 電波電子部長
●森川 滝太郎／電子技術総合研究所 電波電子部主任研究官

1　これまでの経過

光コミュニケーションに関する研究は世界各国で年々盛んになっているが、わが国はその中でも特にきわだった成果をあげつつある。ひとつは、システムの主要構成要素であるファイバの開発が急ピッチで進み、世界をリードできるまでに至った。また、半導体レーザの開発においてもいち早く実用化への歩を進めてきた。その結果、これらを組み合わせた光コミュニケーション・システムが育ちやすい状況がかもし出されたと言える。そして電子技術総合研究所（ETL)、電電公社等の公的機関をはじめとして、大手の電機メーカ、電力会社等は相呼応して各種システムの開発成果を誇っている。

ファイバと半導体レーザにかかわるこれらの開発成果の多くは、通産省の開発委託あるいは助成をてことして生み出されたものである。またETLは特別研究費で開発したETLOF—1、2を軸に、富士通、住友電工、古河電工、藤倉電線、大日日本電線、沖電気等の各メーカにたいする技術指導を継続的に発展させてきており、とくに三菱電機にたいしてはコンピュータ・リンクとレーザ・レーダの分野への光コミュニケーションの導入に関して技術指導をおこなって、技術発展にとって画期的なインセンティブを創出した。これらの諸経緯をまとめて示したのが図1である。

2　光ファイバ通信システムの適用分野

一般に光コミュニケーション・システムの適用分野としては、公衆通信における電気通信技術のリプレースが考えられるのが当然であろうが、現時点でそれは必ずしも適切な解答とはいえない。それは、電電公社事業による電気通信の長年にわたる高度な技術の結晶が全国的規模のシステムとして現存していること、また公衆通信は超高信頼性が本質的に要求されること、

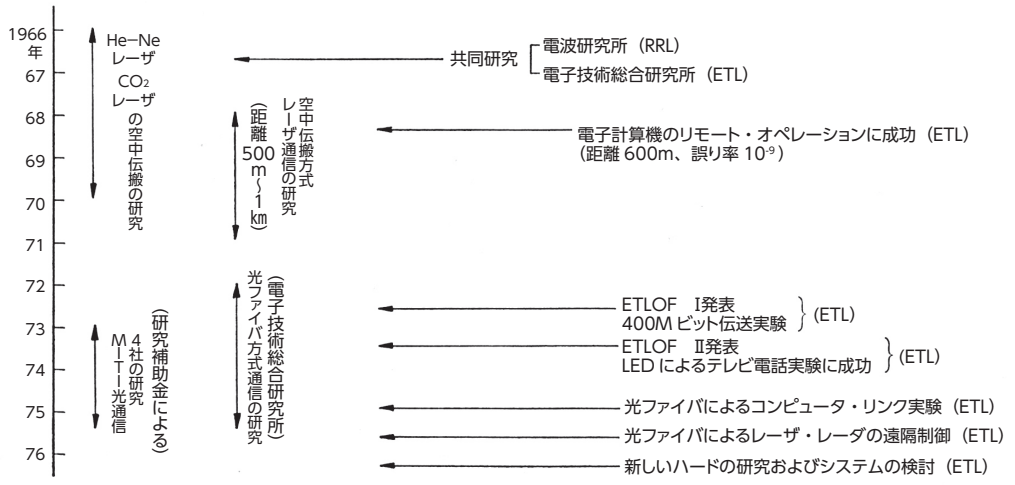

図1　政府機関による光通信技術開発の経緯

	特　　徴	有効な活かし場所の例
材質面	耐火性，耐水性，耐腐蝕性，短絡なし，スパーク発生なし，省資源性	安全防災ネットワーク，医療関係，爆発性雰囲気中，銅資源の枯渇状況下
形状面	軽い，細い，曲げやすい	航空機，人工衛星等の特殊条件下，フレキシブルな配線が要求されるところ
特性面	電磁誘導障害なし，漏話なし 接触不良障害少 広帯域性，低損失性	悪環境条件下，コンピュータ内，高信頼性の要求されるところ，情報化集積都市，過疎化地域

表１　光通信用ファイバ伝送路の特徴

なおかつ現存通信ネットワークにより急速な多情報伝送のニーズが社会として起こってくるという予測、公衆通信としても、経済性で電気通信よりすぐれているかという点など、今後検討すべき課題が山積しているからである。

一方、光コミュニケーションは光ファイバ、半導体レーザを中心に、オプト・エレクトロニクス技術、レーザ技術分野に大きな技術的ブレークスルーを近年果たして、通信技術として非常に魅力的な技術である。そこで通信技術の原点にたちもどって、正しいコミュニケーションの概念（公衆通信のみに限定しない）の下に、実用化の可能な新しい適用分野を段階的に開拓していくことのほうが重要であり、公衆通信という視点からも現実的なアプローチである。

光ファイバ・システムの特徴としては、各部品の個々の材質、形状、特性に基づくものが主要なものであり、とくに従来の銅線を主体とする電気通信システムとの対比によってそれが一層浮き彫りになる。これらの特徴とその有効な活かし場所を一覧表として示したのが表１である。

光ファイバ通信システムのもつ多様な特徴に対応して、それを適用できる利用分野も多様であるが、概念的には大きく次の２つに分類できる。

①主として従来すでに存在するシステムの代替えとして光システムが用いられ、その採用によって機能の増大あるいはコスト・ダウンが期待される分野

②従来のシステムでは種々の制約のために入りにくいところに光システムが用いられ、その採用によって新しい機能の実現が期待される分野

ドメイン	速度距離積〔Mbit/s〕〔km〕	特　　徴	適用分野	具体例の一部
Ⅰ	10　以下	既存技術の集合でできる．機能利用に重点がおかれ，コストは特に問題にならない．短期的に実現可能 1～2年	コントロール・インストルメンテーション インドア・コミュニケーション	ME 工場内 移動体内 ラボオート 機能ビル 高圧チェック装置（感電事故対策）
Ⅱ	10～100	既存技術の実用化研究が必要．機能利用のウェイトも大きいが，コストが問題になってくる．中期的に実現可能 Ⅱ　3～5年 Ⅱ′　6～9年	長距離型 Ⅱ1，Ⅱ′1	電力系統監視制御 鉄道，信号系統制御
			中距離型 Ⅱ2，Ⅱ′2	CATV，生活情報サービス 離島通信，海中通信 道路信号系統制御，新交通システム（無人軌道）
Ⅱ′	100～1,000		短距離型 Ⅱ3，Ⅱ′3	構内監視制御，工場集中制御 ビル間通信，CCTV コンピュータ・リンク
Ⅲ	1,000以上	既存技術の集合だけではできない．システム化の研究要素が多く，コストが最大の問題になる．長期的に実現可能 10～15年	大規模コミュニケーション	公衆通信 防衛回線 衛星間通信

表２　光通信システムのドメイン分けによる特徴と適用分野

いずれにしても、光通信システムの適用範囲は今後しだいに拡大傾向を示すものと予想される。

こうした傾向を全般的に把握するうえでは、利用分野を所要の情報伝送距離と情報伝送速度の積によってドメインに分け、それぞれに共通した考え方を抽出し、同時にその技術的な実現可能性を評価してみることが有効である。このようなドメイン分けによる利用分野の共通点、評価を示したのが表２である。

3　非公衆通信への適用

通信回線をとりまく電磁的環境の厳しいところは、光通信システムを導入することのメリットがかなり明確で、電力、鉄鋼などの強電関連プラントがそれに該当する。それ以外のところでも光システムの特徴の活かし場所は随所にあり、とりわけ安全防災の方面での利用が魅力的であり、実用化しやすい。非公衆通信としては、このほかにCATVを軸とした地域情報システムとか、航空機等の移動体内でのシステム、あるいは防衛回線といったものが典型的な例として考えられる。以下にこれらシステムにおける光通信の役割、メリットについて概略を紹介する。

1）CATVへの応用

現在の社会の一般的傾向として、従来の企業体本位、物質中心の考え方から個人を対象とした生活環境の向上へと指向が変化してきている。その有効な手段としてCATVによる地域生活情報システムがクローズアップされてきている。

地域生活情報システムのサービスとしては、

①利用者の要求に即応して個別に映像情報を提供するサービスとしてTVリクエスト、CAI、データ・リクエスト、FAXリクエスト、テレビ・ショッピング等が考えられており、

②その他、映像情報サービスおよび多様な情報の処理サービスとしてTV/FM放送再送信、TV/FM自主放送、FMリクエスト、各種予約、テレメータリング、防災防犯、キャッシュレス、保健福祉などが考えられている。

上述のような映像情報を含む多種類のサービスをおこなうには広帯域の通信システムが必要で、光通信システムはこの点で有利と考えられる。今後のシステム開発上の課題は、家庭用端末機としてファクシミリ、ビデオ・パッケージとしてビデオ・ディスクなど光を利用した機器の導入が望まれ、通信網の開発と合わせて、これらの分野でのオプト・エレクトロニクス技術の発展が望まれる。

2）地域防災への応用

近年、東京駅・新宿駅といった大きな駅の周辺だけでなく、多くの駅周辺に地下街が誕生しつつある。これらの地下街には数百の店舗が出店し、多数の人々が行き来している。これらの人々に快適さを与えるために、照明、空調、受電、給排水の制御、防犯、防災のための通信回線が必要である。またこれらの地下街は、多くのばあい地上のビル群を結ぶ通路の役目も兼ねており、そこに通行する雑多な人々の多くは、十分な地理的感覚を持たずにその中を移動しているのが現状である。このような状況下で火災等の緊急事態が発生したばあいには、かけがえのない人命が失われるであろうことは想像にかたくない。そこで、非常のばあいの安全を図るために、警報、避難、救援のためのシステムが必要である。

以上の観点から地下街を一連のシステムと考えれば、情報量といい、複雑性といい、従来のシステムの制御可能範囲をはるかに越えている。画像伝送、コンピュータによる最適判断のための入出力を考えると光システムは大きな長所をもっている。

図２に緊急救急システムの例を示す。このシステムは、ITVや各種センサにより検知された緊急事態を光ファイバを通してミニコン等の判断機能を伝達し、人の誘導救助、災害の未然防止、災害を最小限にくいとめる最適指示を判断して、各種装置に伝達するものである。このシステムに光を応用することは光システムの広帯域性、耐火性、耐水性、耐腐食性等の特徴が大きな長所となる。

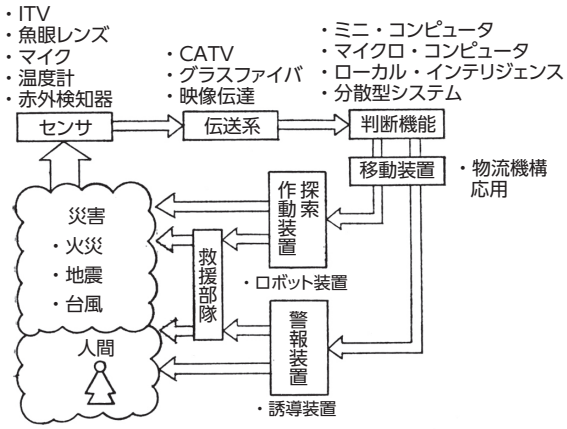

図２　地下街防災システムの構成

3）自動車計装への応用

エレクトロニクスが自動車計装に導入されて、種々の問題の解決に端緒が開けてはいるが、それに伴って配線量が多くなるため、スペースと重量の面で完全装備ができないという事態が生じている。したがって現状のままでは、性能改善にも一定の限界が出始めていると見ることができる。そこで、細くて軽い光ファイバを配線部分に導入することのメリットが考えられる。もちろん、自動車産業に特有の低コスト化優先にマッチする方向での光システム技術の開発が必要であることは言うまでもない。

4）航空機、船舶への応用

航空機内のデータ・トランスファにおいては、入出力端に装着する電子装置の密度が一般に高いため、配線系統の重量とサイズ、電磁誘導障害、漏話の問題が深刻である。また、近年は航空機の機体表面の相当な部分が非金属材料であることから、外来の電磁波にたいする遮蔽効果が低下しているばあいも多い。

これらの問題にたいしては、光ファイバを用いた光コミュニケーション・システムを用いることがきわめて有効な解決策になる。しかも、光ファィバは伝送情報容量が大きいので、単に在来線路を１対１で光ファイバで置換する方法のほかに時間、周波数、あるいは空間に関する情報の多重化を利用する方法が使える点でもメリットが大きい。

航空機における重量コストは、高性能機のばあいを例にとると、そのライフ・サイクルにたいして 1,000 ドル／ポンド以上であるといわれており、これが光ファイバ利用によって大幅に軽減できれば、経済的な面でも大きなインパクトが得られる。船舶内のコミュニケーション・システムも航空機と同様の問題をかかえているが、重量とサイズは航空機のばあいほど重大な問題ではない。

4　これからの展望

光コミュニケーションの適用分野は、生産流通および生活福祉の各方面にわたることが明らかになったが、なかでも通信回線をとりまく電磁的環境の厳しいところと、TV 画像のような大容量情報を多量に伝送する必要のあるところは、光コミュニケーション・システムを導入することのメリットがかなり明確である。しかも、このようなところは一般に設備面でも大規模であるため、投資効果の点からも新しいシステムが入りやすいといわれる。

そこで、今後の課題としては、これらの光システムが単なる情報伝達手段に止まることなく、パワー伝送、計測、情報処理から対象を知的に制御する課題までも含む光システムの総体として機能できるような方向を考えて、幅広いニーズの創造的な発掘を一段と深めることが不可欠である。

このことを光システムに接続できる端末という観点から眺めてみると、光ファイバの諸特徴にそれぞれ対応づけて、コンピュータ端末（大容量性による）、防災端末（耐火性による）、水中端末（耐水性による）、移動体内端末（軽量性による）のみならず、動力端末および加工端末（パワー伝送性による）、計測端末（送光性による）、情報処理端末（光結合性による）といった新しい適用分野も生まれてくる。したがって、これらの観点に基づくハード、ソフト両面からの研究開発の推進も見過ごせない課題である。