

## 光ファイバ伝送技術(2)\*

島田 禎晉\*\* 三木 哲也\*\* 内田 禎二\*\*\* 関 沢 義\*\*\*\*

### 5. 伝送方式の構成

光ファイバ伝送の適用分野はきわめて広範囲に及ぶが、そこで使われる伝送方式は大きくわけて、

- (1) 公衆通信用デジタル伝送
- (2) カラー TV などの画像伝送を目的とするアナログ伝送
- (3) 比較的近距離のデジタル伝送を目的とするデータバス・データリンク

に分類できる。(1)は従来のペアケーブルや同軸ケーブルを用いる方式から容易に類推できる分野である。

(2)では、当面の用途として ITV や CATV が考えられ、将来の画像伝送網を想定すると加入者線あるいは局間中継線などに用いられることになろう<sup>30)</sup>。(3)はコンピュータの架内、装置間、周辺装置との間をはじめ、センタと端末間あるいはビル内・構内におけるデジタル諸装置間の伝送に用いられるものである。

これらの伝送方式を実現するために、前述した光ファイバケーブルや光素子を各々の特徴に合わせて組み合わせ、種々の構成が検討されている。まずデジタル伝送とアナログ伝送の方式構成について概説し、データバス・データリンクについては具体例もあげ 6. で述べる。

#### 5.1 光ファイバ伝送系の SN 比

光ファイバ伝送系では、光源としてスペクトルの広い雑音状の発振源を用いているため、送信側ですでに SN 比が劣化しているという心配がある。ところが現

在は光信号の検出にフォトダイオードを用いて受光電力の変化だけを見ているので、光源のスペクトルの広さや周波数安定度には関係なく送出電力の安定度だけが問題となる\*\*\*\*。LED や LD の活性層への注入キャリアの遷移にはゆらぎがあり、このゆらぎが原因で出力光の変動が生ずるが、この変動は一般にそれほど大きいものではない。LD の場合には、この変動分の雑音スペクトルは平坦な成分と数 GHz にピークをもつ二つの成分からなる。平坦成分による光出力対光雑音比は 100MHz あたり 30dB 以上 (フォトダイオードで電流に変換後は 60dB 以上) であるという実測例<sup>31)</sup>がある。また数 GHz のピーク成分はレーザーの緩和振動現象と関係が深く、かなり大きな雑音<sup>32)</sup>となりしかもそのすそが 1 GHz 以下まで及んでいる。1 GHz を越える変調を行う場合は光源の SN 比を考慮しなければならなくなる。LD 光を単一モードファイバ<sup>33)</sup>やモード数の少ない多重モードファイバに伝播させる場合には、また別の原因による SN 比劣化があるが専門的になるのでここでは省略する。

したがって数百 MHz 程度までの伝送方式を考える場合は、LED を用いても LD を用いても、光源の SN 比は実用上十分にあるものと考えてよい。この場合伝送系の SN 比は従来の伝送方式と同様に受信側の雑音で決定される。

フォトダイオードによる光の直接検波を行う系では、熱雑音に加えて光電変換におけるショット雑音が問題となる。受光電力を  $P_r$  とすれば受光・増幅後の SN 比は次式で求められる。

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{(I_r M)^2}{4 F k \theta B / R + 2 e I_r M^{2+\alpha} B} \quad (\text{dB}) \quad (7)$$

但し

$$I_r = \frac{\eta e}{h\nu} P_r$$

$\eta$ : フォトダイオードの量子効率

$e$ : 電子の電荷

\* Optical Fiber Transmission Technology by Sadakuni SHIMADA, Tetsuya MIKI (Yokosuka Electrical Communication Laboratory, N. T. T.), Teiji UCHIDA (Nippon Electric Co., Ltd.) and Tadashi SEKIZAWA (FUJITSU Laboratories Ltd.).

\*\* 日本電信電話公社横須賀電気通信研究所基幹伝送研究部

\*\*\* 日本電気(株)レーザ装置開発本部

\*\*\*\* (株)富士通研究所トランスマッション研究部

\*\*\*\*\* 将来、従来の方式と同じようにヘテロダイン検波を行うようになれば、振幅や位相を検出することになるので、スペクトルの広さや周波数安定度が問題となる

- $h\nu$ : 光子エネルギー
- $k$ : ボルツマン定数
- $\theta$ : 絶対温度
- $F$ : 増幅器の雑音指数
- $B$ : 受光系の等価雑音帯域幅
- $R$ : フォトダイオードの等価負荷抵抗
- $M$ : APD の電流増倍率 (PIN-PD の場合は  $M=1$ )
- $x$ : APD の過剰雑音指数

ここで分母の第1項は増幅器で発生する熱雑音を、第2項はフォトダイオードで発生するショット雑音を表している。APD を用いる場合は、SN 比を最大にする最適な電流増倍率が存在し、この値は 30dB 程度の SN 比を必要とするデジタル伝送の場合 30~200 程度、50dB 程度の SN 比を必要とするアナログ伝送の場合 10 前後である。

(7)式は瞬時の SN 比を表わしている式であるから、強度変調によるアナログ信号の伝送では変調度による補正が必要である。またパルス信号の伝送で、特に等化を考える場合にはこのような扱いは不十分である。パルス伝送の場合の厳密な SN 比計算はかなり複雑となるのでここでは省略するが、詳しくは文献 13), 34) を参照されたい。

5.2 デジタル伝送

2 値のデジタル伝送に必要な平均受光電力の理論値は 図-16 のようになる。おおむね 30Mb/s 以下では前置増幅器に FET を用いた方が、それ以上ではバイポーラトランジスタを用いた方が有利となる。これは FET とトランジスタでは発生する雑音の性質が異なるためである。送出電力と光ファイバの損失を与えれば、この図から中継間隔の限界を知ることができる。実際には中継器の各種の劣化や動作余裕を見込むと 5~10dB 程度大きい電力が必要となる。図-16 に示した平均受光電力は、伝送ビットレートに対して光ファイバのベースバンド帯域幅が十分広い場合、すなわち光ファイバケーブルの等化を必要としない場合であ

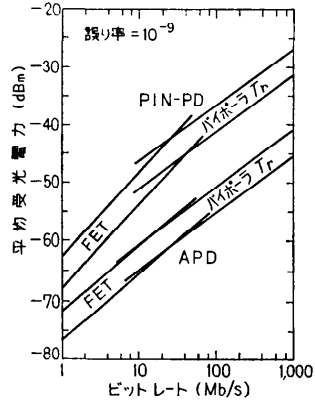


図-16 デジタル伝送における所要受光電力

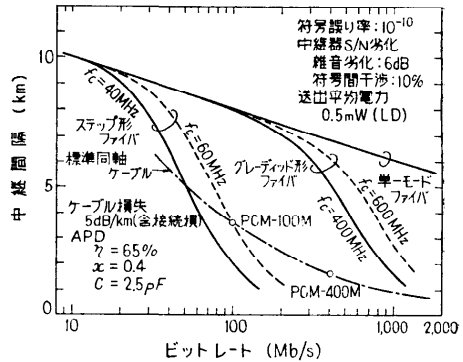


図-17 光ファイバ伝送方式の中継間隔の算出例

る。ベースバンドの伝送損失 (dB) は 3. で述べたようにほぼ周波数の 2 乗に比例して急激に増加するため、ケーブルの等化を必要とする方式では、ビットレートの上昇にしたがい中継間隔は急激に減少する。伝送特性上これが従来の同軸ケーブルとの違いの一つである。光ファイバケーブルの損失を 5 dB/km (接続損失を含む) としたときの中継間隔を 図-17 に示す。

表-7 に公衆通信用として考えられる方式構成例を示す。この表は現状の光ファイバや光部品の実力を目安に作ったものであり、これらの技術の進歩により変

表-7 公衆通信用デジタル伝送の構成

ビットレート	中継スパン目 (km)	光ファイバケーブル		光源		受光素子	適用領域
		種別(注)	損失 (dB/km)	種別	ファイバ入力 (dBm)		
1.5, 6.3 Mb/s	8	SM	5	LED	-5	Si-APD	加入者系
32, 100 Mb/s	8			LD	0~5		0~5
400 Mb/s	6	S	5		5		
1~2 Gb/s	4~6						Ge-APD

注) SM: ステップ形多モード GM: グレーディッド形多重モード S: 単モード

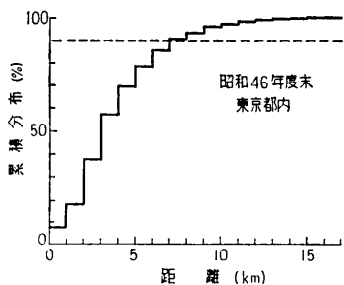


図-18 局間中継線距離分布の例

りうる。大都市の局間中継線は比較的早期に光ファイバ伝送の適用される領域の一つと考えられているが、この場合、屋外中継器を設置しない局舎間無中継方式を採用するためには 8 km 以上の中継間隔を確保すべきことが指摘されている<sup>35)</sup>。図-18 に示すように、8 km 以上の中継間隔がとれば現状でも 90% 以上を局舎間無中継にできるからである。表-7 の 100Mb/s 以下の方式では 8 km の中継間隔がとれるため、現状の技術レベルでも上の条件に合う方式ができることを示している。

3. で述べたように、内付け法で製造した石英ファイバを用いると光ファイバケーブルの損失を 1dB/km 程度にできる可能性も出てきている。このようなケーブルを使うと 100Mb/s で 50km ほどの中継間隔をとれる見込みがあり、長距離市外伝送路においても局舎間無中継伝送が可能になったり、海峡横断などに無中継の海底ケーブル伝送が可能になったりする。

図-19 はごく標準的なデジタル中継器のブロック図である。ベースバンド回路部分は従来の中継器とほとんど同じである。光特有の部分は受光系の AGC(自動利得制御)と光源の出力安定化回路である。AGC は受光電力の変動、フォトダイオードの特性変動、増幅器の利得変動を補償するために用いるが、APD を使う場合は APD のバイアス電圧を変化して電流増倍率を制御する方法がよく用いられる<sup>36)</sup>。光源に LD を用いると光出力電力の温度特性が悪いため出力安定化回路が必要となる。これには、フォトダイオードまた

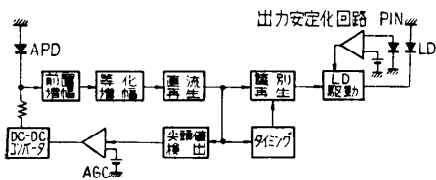


図-19 デジタル中継器のブロック図

は太陽電池により LD の光出力の一部を検出し、それが所定値となるように LD の駆動条件を制御することにより行われる。

このようにブロック図の上では従来の中継器よりも複雑となるが、同軸ケーブル用の中継器と比較すると、給電用の電力分離回路や、サージ防護回路が不要であり小形化が可能である。しかし消費電力は大差ない。100Mb/s 伝送用に試作された光ファイバ伝送用中継器を同軸ケーブル用中継器と比較して 図-20 に示す。

中継器の構成法については種々の変形が検討されているが、ベースバンド帯域幅の狭い光ファイバを使うときに有効な手段の一つは多値伝送である。従来の多値伝送では専ら PAM が使われていたが、光ファイバ伝送では光源として LD を使うと強度変調特性の直線性が悪いので、パルス尖頭値の一定している PWM が適していることが指摘され、実験も行われている<sup>37)</sup>。また、ナイキスト帯域で伝送のできるデュオバイナリ等化の効果の大きいことも示されている<sup>38)</sup>。これら等化形式や多値伝送の効果は 図-21 (次頁参照) のように光ファイバの帯域に依存する。その他、理論的見地から最適等化<sup>39)</sup>や最適受信器の構成<sup>40)</sup>に関する検討も行われている。

光ファイバ伝送に適した符号形式として 2 値 AMI 符号の提案がある<sup>41)</sup>。これは直流分のない符号として従来から広く使われているバイポーラ (AMI) 符号を 2 値化したものである。

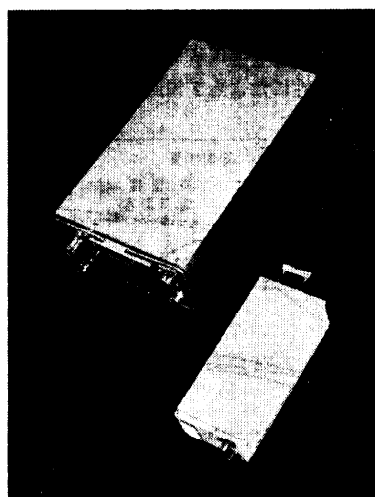


図-20 100Mb/s 光中継器(下)と同軸用 PCM-100M 中継器(上)の比較

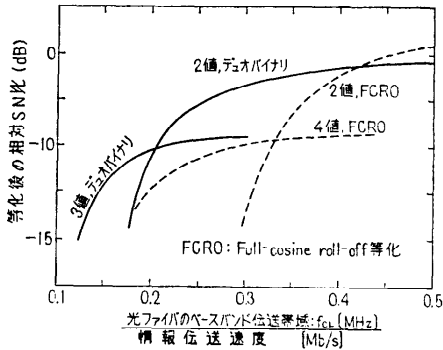


図-21 等化形式、多値数による SN 比の違い

5.3 アナログ伝送

アナログ伝送で最も簡単な方式は直接光源を強度変調する方式である。これだと、受信側または中継器の電気回路は増幅だけでよいが、光源の直線性が問題となる\*。したがって高度の直線性を要求する信号の伝送には適さないが、加入者線や CATV における TV 信号の伝送などでは多少伝送品質を落しても簡単な方式の方が望ましいため、このようなところで強度変調の伝送方式が考えられている。この場合、伝送系に要求される直線性は TV 1 チャンネル伝送の場合、2 次および 3 次歪減衰量でそれぞれ 45dB, 55dB 程度となる。LED は LD よりかなり直線性が良いのでこのような用途に適しているが、それでも素子そのものの直線性は未だ不十分である。LED の非直線歪減衰量の実測値の一例を図-22 に示す。素子自体の特性改善も検討されているが、電気的に歪補償回路の付加、あるいは光を介した負帰還による改善も検討されている。

光源の直線性にたよらずに高品質の伝送を行う手段

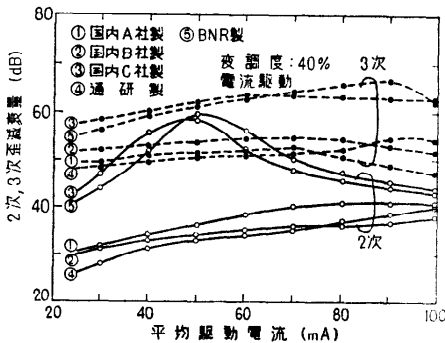
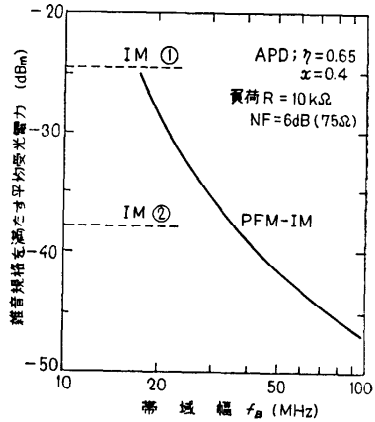


図-22 LED の非直線歪の測定例

\* 受光素子の直線性はかなり良いため、あまり問題とならない



(算出条件)

	Spp/Nrms (dB 雑音評価)	中継数	変調方式は変調補数
IM ①	44.9	20	7.5%
IM ②	42.0	1	7.5%
PFM-IM	40.5	10	$f_B(\text{MHz})/10-3/4$

図-23 TV 信号伝送に必要な受光電力の計算例

として、まず電気領域でパルス変調による予変調を行い、光領域ではパルス伝送を行う方式がある。予変調として振幅精度を必要としない PPM, パルス間隔変調<sup>42)</sup>, PWM, PFM<sup>43)</sup>などが検討されている。このような方式では LD も使うことができ、さらにパルス伝送系の広帯域化によりパルス復調後の SN 比が増加する性質を用いて、中継間隔を長くすることも可能である。

図-23 に TV 伝送を目的とした強度変調方式と PFM を予変調に用いる方式の所要受光電力の比較を示す。

6. データバス・データリンクへの応用

光ファイバ伝送のデータバス・データリンクへの応用は、光ファイバの低損失化の見通しがたったころから米国を中心に最も早くから実用的見地に立った研究が開始された分野である。これは、光ファイバの無誘導・無漏話といった耐雑音性と軽量、細芯などの特長が軍用をはじめとして、きわめて高く評価される場合が多いためと、短距離の用途については光ファイバや光部品の電気的性能はそれほど良くなくともシステムを構成できるためと考えられる。

データバス・データリンクは適用域によってかなり異なった外部条件があるため、光ファイバ伝送による場合も用途別に多くの構成があり得る。表-8 (次頁参照) に適用域とその構成などについて示した<sup>44)</sup>。(1)

表-8 光ファイバを使ったデータベース・データリンクの適用域とその構成

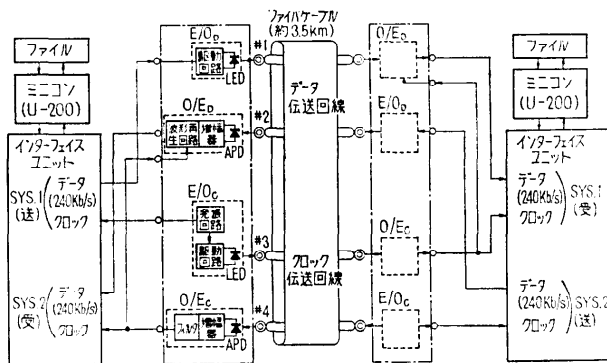
用途	信号種別	伝送速度	伝送距離*	光ファイバ伝送系の構成要素			活用される光ファイバの特長	現状の伝送媒体
				光源	受光素子	光ファイバの特性**		
(1) 架内 (計算機)	高速 CPU の 周辺 同期データ	4 Byte 3 Mb/s 8 Byte 30Mb/s	10m	LED アレイ LED LD	PIN アレイ PIN APD	~1,000dB/km 1~10MHz	細 芯 広 帯 域	10~20芯 ペアフラット ケーブル
(2) ビル内 (航空機、船舶内などを含む)	チャンネル制御 装置↔周辺機器 非同期データ	2 Byte 3 Mb/s	50m (500m)	LED アレイ LED	PIN アレイ PIN	~50dB/km ~10MHz	細 芯 耐 雑 音	14~24芯 細芯同軸ケ ーブル
(3) ビル内 および構内	伝送機器架間 伝送機器↔交換機 同期データ	61kb/s 400Mb/s	300m (600m)	LED LD	PIN APD	~50dB/km ~150MHz	細 芯 広 帯 域 低 損 失	ペアケーブル 同軸コード
(4) 同 上	CPU↔CPU (複合システム) 同期データ	100Mb/s	5 km	LED アレイ LED LD	PIN アレイ PIN APD	(~500m)50dB/km 50MHz (~5 km) 5 dB/km 500MHz	広 帯 域 低 損 失 耐 雑 音	—
(5) 構 内	センタ↔端末 同期データまたは非同期データ	30Mb/s	20km	LED LED アレイ	PIN, APD PIN アレイ	~5 dB/km ~80MHz (中継器も必要)	同 上	ペアケーブル

\* ( ) 内は将来の予想値 \*\* 光損失とベースバンド伝送帯域 (1km の 6dB 帯域幅) を示す

の架内とは、CPU 本体とメモリ装置間などであり距離は短い現在の計算機関係の用途では最も高速化が要求される場所である。光ファイバは高損失でもかまわないので、折れ曲りなどに強いプラスチックファイバが適している。(2)は計算機と磁気ドラム、磁気テープ、プリンタなど周辺装置の間であり、速度はそれほど要求されず、距離もほとんどの場合同一フロア内と考えられるが、輻輳対策や耐雑音性から光ファイバ伝送の適用効果の大きい領域の一つである。(3)は現状は同軸コードを用いて、接地点電位差の影響を逃げるためにバイポーラ伝送を採用しているが、光ファイバ伝送により輻輳対策と2値伝送が行える利点が多い。(4)は将来予想されるシステムであり、(5)は構内あるいは比較的長い距離におけるデータリンクであ

る。

この表に示された一部の領域については、既にわが国でもプロトタイプで実用化試験が行われているものもある。例えば、電力会社においては、電力系統の異常時に発生する誘導からデータ伝送回線を保護するために光ファイバ伝送の導入を考えており、東京電力、関西電力の両社において 1976 年春から現場試験が進められている<sup>45)</sup>。図-24 は関西電力が行っている 240 Kb/s 高速データ伝送 (ファイル転送) 実験システムの構成図である。この応用例は表-8 の(4)に相当する。ミニコンのファイル情報はインタフェース回路経由で光ファイバ伝送系と接続される。この系は、データとクロックの二つの信号を双方向に伝送するもので、LED を使った E/O 変換回路、APD を使った O/E 変換回路および 3.5km の 4 芯の光ファイバケーブルからなる。2 組の E/O、O/E 変換回路は図-25 (次頁参照)に示すように一体化されて、前面の光コネクタによって LED、APD が光ファイバと接続されるようになって



◎: 光コネクタ  
図-24 240 kb/s 光伝送システム構成図

る。

図-26 (次頁参照)には、装置内組込みのできる光ファイバ伝送モジュールを示す<sup>46)</sup>。このモジュールの特性は表-9 (次頁参照)に示す通りで、表-8 におけるすべての用途に適用可能である。

光ファイバの細芯性を利用して、複数の光ファイバを束にして並列伝送する方式も考



図-25 光ファイバデータ伝送機器の一例 (240 kb/s)

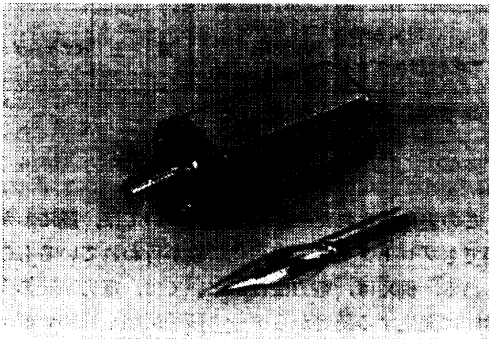


図-26 光ファイバ伝送モジュール

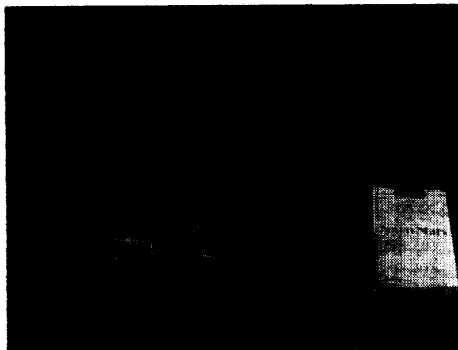


図-27 光ファイバフラットケーブルによる並列伝送パッケージ

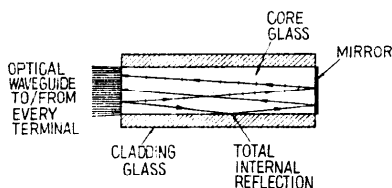


図-28 光分岐・挿入器の一例

表-9 光ファイバ伝送モジュールの諸元

項目	特性
伝送速度	直流~6.3Mb/s
発光素子 光ファイバ入力電力 (ピーク値)	発光ダイオード -12dBm 以上
受光素子 光受信電力(ピーク値) (符号誤り率 $10^{-9}$ のとき)	PIN フォトダイオード 1.5Mb/s のとき -33dBm 6.3Mb/s のとき -28dBm
入出力電氣的 インタフェース	TTL レベル
電源電圧	送信モジュール; +5 V 受信モジュール; $\pm 5$ V
消費電力	0.6W (送受モジュール合計)
絶対遅延時間	$30+5L$ nsec L: ファイバの長さ(m)

られている<sup>47)</sup>。一例として、図-27 に 8 bit のデータと 1 bit の制御信号で構成される並列データ信号を伝送するための E/O、O/E 変換器および光ファイバケーブルを示す。これは表-8 の(1)、(2)、(4)などを目標に開発されたものである<sup>48)</sup>。E/O、O/E 変換器ともにパッケージ内に10回路が実装されており、LED アレイおよび PIN-PD アレイが使われている。光ファイバは、10芯のフラットケーブル(幅 5 mm)にされている。回路あたりのデータ伝送速度は最大 2 Mb/s である。

その他、非同期データを時分割多重伝送した例<sup>49)</sup>や表-8 の(5)の用途のためにループ形多重伝送を目指した例などもあり、今後光ファイバ伝送らしい構成のものも数多く提案されるものと思われる。

光ファイバによるデータバス・データリンクの構成上重要な、光の分岐・挿入用部品の研究も進みつつある。図-28 は、1本の光ファイバからの入力光信号が、壁面からの反射によって多数の光ファイバに結合されるものを示す<sup>50)</sup>。センタから近距離の多数の端末にデータを分配する場合に適し、航空機の制御信号伝送などに使用される。一般の T 分岐などに使われる分岐・挿入器としては、図-29 (次頁参照)のように2個のプリズムとハーフミラーを使ったもの<sup>51)</sup>や、図-30 (次頁参照)のように光ファイバそのもので分布結合や集中結合を利用した回路<sup>52)</sup>、あるいは光 IC で構成したもの<sup>53)</sup>などが研究されている。

## 7. あとがき

光ファイバ伝送の関連技術は、この1~2年で急速な進展を見せ、各国できそってシステムの評価実験や

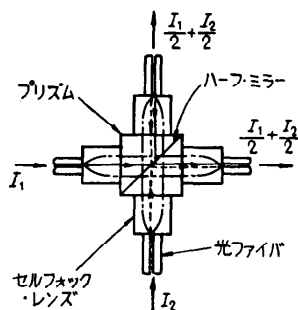


図-29 2個のプリズムから成る光分岐・挿入器

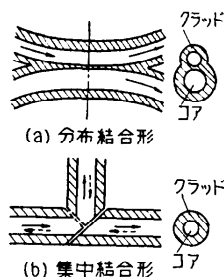


図-30 光ファイバで構成される光分岐・挿入器

現場実験が行われるようになってきた。その中で、ベル研が1976年をはじめにアトランタ地区で144芯のグレーディッド形光ファイバケーブルを管路に布設して行った45Mb/sの伝送実験<sup>19)</sup>は注目をあびている。横須賀通研では1976年10月から所内の洞道に8芯のステップ形光ファイバケーブルを芯線延距離で約60km布設して32Mb/sの伝送実験が行われており<sup>54)</sup>、国内では初めての長距離実験として注目されている。その他、ヨーロッパの主な国々でも8Mb/sや34Mb/sの現場実験を予定しており、このようなシステムが実用化されるのも時間の問題となってきた。公衆通信網への最初の導入領域は、局間中継線や近距離市外伝送が有力視されており<sup>55)</sup>、これらの技術が光ファイバ伝送の先導的役割をはたすこととなる。

一方、長期的には光ファイバ伝送の最大の役割りは将来の画像通信網の主要な担い手となることであり、特に加入者系伝送技術としての期待が高まるものと思われる<sup>30), 55)</sup>。このような画像伝送への応用としては、CATVへの適用がすでに英国と米国で行われており、わが国でも東生駒で光ファイバ伝送のCATVシステム実験が計画されている。

データベース・データリンクへの適用は特に米国が中

心となって研究がさかんであり、将来はかなり多くの分野で使われそうな傾向がうかがえる。したがって光ファイバ伝送を使うことを前提としたインタフェースの標準化や、既存システムとの互換性などの検討も早期に開始する必要がある。

光ファイバ技術の伝送以外への応用は、現在はあまり力が入られていないが、やがて研究の目が向けられるようになると思われる。応用例として、遅延線メモリ、光ファイバ束を用いた表示機器、イメージ伝送などが考えられる。

おわりに、本稿を作成するにあたり御協力いただいた関係各位に深く感謝致します。

## 参考文献

- 30) 三木, 岡野: 光ファイバによる画像伝送の検討, 信学技報, **CS76-120**, (1976-09).
- 31) 峯村, ラング, 小林: 半導体レーザーの多重モード発振と出力強度雑音, 信学技報, **OQE76-76** (1976-12).
- 32) T. L. Paoli and J. E. Ripper: Observation of intrinsic quantum fluctuations in semiconductor lasers, *Phys. Rev. A*, **2**, 6, p. 2551 (Dec. 1970).
- 33) 町田, ほか: 半導体レーザーのスペクトルのゆらぎと直接変調, 信学技報, **OQE75-124** (1976-02).
- 34) S. D. Personick: Receiver design for digital fiber optic communication systems, I and II, *Bell Syst. tech. J.*, **52**, 6, p. 843 (Aug. 1973).
- 35) 大沢, 小山, 三木: 光ファイバ伝送方式の一考察, 信学会通方研資, **CS74-66** (1974-08).
- 36) P. K. Runge: A 50Mb/s repeater for a fiber optic PCM experiment, *IEEE ICC-74*, 17B, (June. 1974).
- 37) 三木, ほか: 光ファイバにおける多値伝送の一検討, 信学会通方研資, **CS74-86** (1974-09).
- 38) 岡野, 三木: 光ファイバによる狭帯域伝送の基礎検討, 昭51年信学会通信部門全大, 429.
- 39) 高原, 山本, 辻井: 光通信に伴う相乗性雑音に対する最適線形フィルタ, 信学技報, **CS76-24** (1976-06).
- 40) 辻井, 高原, 山本: 相乗性および相加性雑音と符号間干渉の存在するデジタル信号に対する最適受信, 信学論, **J59-A**, 9, p. 756 (1976-09).
- 41) 高崎, ほか: 光ファイバによるデジタル伝送の一検討, 信学会通方研資, **CS74-86** (1974-09).
- 42) Y. Ueno, et al.: An optical fibre communication system using pulse-interval modulation, 1st European Conf. on Opt. Fibre Commun., p. 156 (Sept. 1975).
- 43) 長野, ほか: FM方式による光ファイバ中継伝送実験, 昭51年信学会総全大, 1885.

- 44) 栗山, 青山, 三木: 光ファイバを用いたデータバスの一検討, 昭51年信学会通信部門全大, 428.
- 45) 青木, ほか: 電力用光ファイバケーブル通信方式のすべて, OHM, **63**, 10, p. 21 (1976-09).
- 46) 芳林, ほか: 光ファイバによるデジタル・リンクの試作検討, 昭51年信学会通信部門全大, 445.
- 47) H. Schmid: Fiber-optic data transmission: A practical low-cost technology, Electronics, p. 94 (Sept. 2, 1976).
- 48) 高橋, ほか: 多対光ファイバデータリンクの一検討, 信学技報, **CS76-154** (1976-12).
- 49) 矢島, ほか: 光ファイバ伝送路による研究室計算機ネットワーク, 情報処理学会コンピュータ・ネットワーク研究会資料, CN7-1 (1976-09).
- 50) F. L. Thiel: Coupling considerations in optical data buses, Topical Meeting on Optical Fiber Transmission, p. WE-1 (Jan. 1975).
- 51) Y. Ueno and N. Oogi: Data highway using optical fiber cable, 1976 IEEE/OSA CLEOS, p. 78 THE2 (May 1976).
- 52) 橋本, 鈴木: 光伝送回路, 昭51年信学会総合全大, 911.
- 53) 佐々木, ほか: 光ストリップ線路で構成した方向性結合器, 信学技報, **OQE76-48** (1976-08).
- 54) 島田, ほか: 32Mb/s 光伝送システムの設計, 信学技報, **CS76-130** (1976-11).
- 55) 三木, ほか: 光ファイバ伝送方式の検討および方式設計上の問題点, 通研実報, **24**, 9, p. 1973 (1975-09).

(昭和51年10月12日受付)

(昭和51年11月24日再受付)