光伝送とその問題点

日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所 大川 原 忠 義

最近、光ファイバーに関する製作技術が進み、きわめて低損失のファイバーが試作されている。このような状況を考へて、光ファイバーの研究の現状を中心に光伝送の問題点について紹介した。

1. ま え が き

光波はきわめて波長の短い電磁波であつて、光伝送では波長 $1\mu\text{m}$ から $0.5\mu\text{m}$ の領域が対象とされている。これは周波数換算で 30 万 GHz から 60 万 GHz に相当する。また、光波の伝送媒体としては低損失の光ガラスファイバーの開発が行なわれている。光伝送は、この超高周波を搬送波とする大容量伝送の可能性と、低損失伝送媒体を用いることにより中継間隔を大きくし、従来の伝送方式と対比しうのような特徴をもつものである。

光波による伝送を実現させるためには、光波を自由に制御する技術が必要で、これはマイクロ波技術における発振器、変調器、立体回路などに相当する光部品・光回路技術が確立されなければならない。マイクロ波での共振器や回路素子は大きさが波長オーダーであるが、光回路では波長が $1\mu\text{m}$ であるから、光子の大きさは波長の数十、数百倍もの大きさになり、しかも光学結晶そのものの性質を利用するなど、従来の回路的な考え方とは大分異質な面があり、それだけに技術的にはむづかしい。

現在では、光部品や装置および関連するエレクトロニクス技術が充分に開発されているとはいへないが、光伝送のシステム設計を行なうための基本となる技術的基盤は確立されつつあり、かなり急速な進展が望めるものと期待している。

さて伝送方式は、システムの構成、伝送路などからみて、次の3つにわけられる。

- (1) 光空間伝送方式
- (2) 光ケーブル伝送方式
- (3) 光レンズガイド伝送方式

空間伝搬による光伝送は、伝送路を設定することは無

線通信と同様で容易であるが、霧や雨などによる光の伝搬損失が大きく、通信回線の信頼度に問題がある。

光ケーブル伝送方式は、最近、低損失光ファイバーが開発されるにつれて、最も有望視されている伝送方式である。ただし、その伝送損失は 10 dB/km 程度であると考へられており、中継区間は数 km で、中継器はマンホールに設置せざるを得ないであろう。したがつて、小型高安定なレーザーが必要であるが、現在適当な光源がなく、半導体レーザーまたは発光ダイオードの研究の進展に大きな期待がかけられている。

光レンズガイド伝送方式は、地下に埋めたパイプに光ビーム集束用のレンズを周期的に配置した伝送路を用いるもので、超広帯域、超大容量の伝送容量をもっている。ただし、伝送路はかなり高価になると考へられ、数千万通話路もの多重化通信を行なう必要がある。このような超大容量システムを構成するためには光信号の多重化技術の開発が必要で、その実現には今後なお相当の時日を要するであろう。ここでは各伝送方式の概要を紹介し、2、3の問題点について述べるものである。

2. 光空間伝送方式

光ビームを大気中に伝搬させて通信することができれば、特殊な伝送路を必要としない点で有利である。この場合、光ビームは 10 cm ϕ 程度にひろげて発射されるのが普通で、距離 2 ~ 3 km ならば受光ビーム径は 20 cm ϕ 程度となり、受信電力をほとんど 100% とすることも可能であり、他のシステムからの干渉も容易に避けることができる。しかし、第1の問題は、大気は特定の波長の光を通さないということである。これは水蒸気や炭酸ガスなどの光の吸収によるもので、光の透過率の良い部分は大気の窓と呼ばれている。だが幸いにも、われわれはいろいろな波長のレーザーを持っており、この問題は避けることができる。また第2の問題は天候である。光波

"Some Considerations for Optical Communications" by Chugi Okawara (Musashino Electrical Communication Laboratory, Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation, Tokyo)

図1 空間伝搬損失の累積確率

図2 空間伝搬による光伝送回線の信頼度

は波長と同程度の微粒子が空中に浮遊している場合に強く散乱するので、霧や雨による減衰が大きく、特に濃霧の場合には数 100 dB/km にも達することがある。したがって、空間伝搬による光伝送はその回線信頼度が問題になる。

図1は He-Ne レーザー光を用いた1年間の光波減衰量の測定値¹⁾と、減衰量の大きい部分は、東京気象庁の視程のデータを、

光波減衰量=13/視程 (dB/km)

で換算して示したものである²⁾。図ではこの両者は偶然にも連続しているようになっているが、減衰量の大きな領域の光波減衰量の測定値はあまりなく、常に視程と光波減衰量の対応がつけられるとはいいい難いが、オーダー的には合っているとしてよいであろう。図1から、空間伝搬の減衰マージンを与えて、回線信頼度を求めると図2のようになる。図から 99.9% 以上の回線信頼度を得ることはかなりむずかしく、伝搬距離も1 km 以下にす

る必要があることがわかる。したがって、このような短距離中継では、光中継器を小型化、経済化することが必要となり、適用領域は短距離簡易型の通信となるであろう。このような目的には、半導体レーザーが適合しているが、現在半導体レーザーは CW 発振で寿命が数百時間とかなり短い。一方、発光ダイオードを用いた簡易型通信の実験も行なわれている³⁾。ただし発光ダイオードの光は、インコヒーレント光のため集束性が悪く、受信鏡の口径を定めた場合、距離とともに増大する開口損失が大きく、現状では減衰マージンを 20 dB 以上とるためには中継区間を 0.5 km 程度にせざるを得ないであろう。

3. 光ケーブル伝送方式

3.1 光ファイバー

中心部の屈折率を周辺部よりもやや高くした円形誘電体導波管を用いて光信号の伝送をしようという試みは、かなり以前から考えられていた⁴⁾。しかし、当時のガラス材料の損失は数 1,000 dB/km 相当にもなり、その損失が実用の域に達するとは考えられなかった。その後、西沢らは光軸の断面方向に屈折率が2乗分布するようなファイバーが、光の集束性をもつことを示した⁵⁾。その後、昭和 44 年にいって内田らがガラス媒質中のイオンを交換するという方法により、このようなファイバーの試作に成功し、損失 80 dB/km (波長 0.63 μ m) のものが得られた。このファイバーが集束型光ファイバーと呼ばれているものである⁶⁾。一方 Kapron らは、その翌年クラッド型の単一モードファイバーで 20 dB/km の損失のものの試作に成功したと報告し⁷⁾、光ガラスファイバーは低損失の光伝送路用として盛んに研究されるようになった。

クラッド型光ファイバーは図3に示すように、コア部

図3 クラッド型光ファイバー

の屈折率 n_1 をクラディング部の屈折率 n_2 よりも高くした円形の誘電体導波管で、光波は全反射によってコア部に閉じこめられて伝搬する。全反射角 θ_c は、

$$\cos \theta_c = n_2/n_1 \quad (1)$$

与えられ、コアとクラディング部の境界に θ_c より大きな角で入射する光は、屈折してクラディング部に放射される。このファイバー内を電磁波として伝搬する光波の伝搬モードは、ハイブリッドモードの HE_{nm} や EH_{nm} 、または TE_{0m} 、 TH_{0m} モードなどがあり、コア径 ($2a$) を小さくすると、基底モード HE_{11} のみを伝搬するようにできる。この条件は n_1 、 n_2 の屈折率差が充分小さいとすると、

$$v = 2\pi(a/\lambda)(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2)$$

ただし、 λ = 光波の自由空間波長

与えられ、 $v < 2.4$ のときが HE_{11} モードのみとなりこのような光ファイバーを単一モード光ファイバーという。これに対して $v > 2.4$ のときは多くの伝搬モードが存在し、このようなファイバーを多モード光ファイバーといっている。(2)式の v は伝搬の特性方程式の遮断条件から与えられる数値であって、遮断正規化周波数とも呼ばれている⁷⁾。

3.2 単一モード光ファイバー

単一モード光ファイバーは、石英系の材料を用いたもので約 18 dB/km (波長 0.63 μm) のものが実現されており⁸⁾、将来 10 dB/km 程度のものは得られるであろう。光信号の帯域幅は 20~30 GHz 程度と考えられており、伝送損失の周波数特性はほとんど平坦である。伝送特性は材料の分散と導波路構造による分散、コアの楕円変形により縮退がとけて、光波の偏光方向が直交するモード間の群速度の差などによる遅延ひずみによってきまる。コアの楕円変形による遅延ひずみ $\Delta\tau$ は、コアの変形率 1%、屈折率差 0.5% とすると $\Delta\tau \approx 10 \text{ ps/km}$ 以下と推定されるが⁹⁾、これはコアの変形方向を軸方向に対してランダムに分布させるなどの方法を講じれば、きわめて小さくすることができるであろう¹⁰⁾。

この楕円変形ひずみを無視し、入射光をガウス型と仮定して光強度が e^{-1} になる時間幅を τ としたとき、送信パルス幅 τ_{in} がガラス材料分散と構造分散のためにパルス幅が広がり、出力パルス幅 τ_{out} が求まる。図 4 はこの計算例を示したものである。図から、距離に応じて τ_{out} が最小になる条件が存在することがわかり、これを点線で示している。また単一モード光ファイバーは区間 10 km でも 10 Gbit/s を伝送できるような広帯域特性をもっていることがわかるであろう¹¹⁾。

単一モード光ファイバーの HE_{11} モードは TEM_{00} ガウスモードに近似した電磁界分布をしているので¹²⁾、レ

図 4 クラッド型単一モード光ファイバーのガウスパルス伝送特性

τ_{in} , τ_{out} はそれぞれ入射・出力光パルス幅, ガラス材料: BK-7, $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$, $v = 2.0$

ーザー光による励振効率も高く、屈折率差 1%、 $v = 2.3$ の場合、励振効率 80% としたときの入射角度の許容値は 3° 以内で、位置ずれの許容値はコア径の $1/4$ 以内になる。ただしコア径は通常数 μm であるから、接続などは実験室的には比較的容易でも、実際的にはかなりの技術力の向上が必要になるであろう。

3.3 多モード光ファイバー

多モード光ファイバーは、クラッド型と前述の集束型の 2 種類がある。クラッド型多モード光ファイバーではモード間の群遅延時間差が伝送特性を決定する大きな要因となる。 v が充分大きい場合、遮断周波数近傍のモードを除いた高次モードと基底モードとの群遅延時間差は、

$$\Delta\tau \approx (1 - (2/v))(n_1 - n_2)L/c \quad (3)$$

与えられる。ただし、 L は長さ、 c は自由空間での光速である。したがってコア径を 20 μm 、屈折率差を 1%、波長 1 μm とすると、 $L = 1 \text{ km}$ で $\Delta\tau \approx 30 \text{ ns}$ となり、2 km で 20 Mbit/sec 程度しか伝送できないことになる¹³⁾。

伝送速度を改善しようとして、数 10 cm 以下の曲率半径の曲りをつけて、高次モードの放射損失を増加させ伝送モードの集中化をはかれば、伝送速度は数倍改善されるが、放射損失が改善率とは逆に急激に増加してしまう結果になる¹³⁾。また (3) 式から、屈折率差を小さくすれば $\Delta\tau$ は小さくできるが、光ファイバーを布設する場合などの曲りによる損失が著しく増大する結果となり¹³⁾、クラッド型多モード光ファイバーは低速伝送にし適用できない。このことは最近開発されている液体をコアに充填したファイバーについても同様である。

クラッド型ファイバーに対して、図 5 に示すように、

図 5 集束型光ファイバー

ファイバー中心の屈折率を n_0 とし、半径方向に屈折率が 2 乗分布をしている光ファイバーがある。これはレンズの間隔を無限小にしたような特性をもつから、レンズ状ファイバーまたは集束型光ファイバーと呼ばれている。このファイバーは多モード伝送路である。

レーザー光ビームをファイバーと整合条件で入射させると、光ビームの太さは一定で変化をうけないが、図 5 に示すように、入射ビームが傾いたり、中心軸からずれるか、またはファイバーが曲げられると、光ビームはうねりはじめる。集束型ファイバーは、モード間の遅延時間差は小さいが、曲りによる放射損失はクラッド型と比較すると大きくなる。曲りによる放射損失をクラッド型と同等にするためには屈折率差を 2～3 倍程大きくしなければならない¹³⁾。また、屈折率差を増加すると遅延ひずみは増加する。屈折率分布に 4 次項を付加した分布形にして遅延時間差を小さくする効果は期待できるが、集束型ファイバーの光線の伝搬には図 6 に示すように、ファイバーの軸を含む平面内に光ビームがうねる meridional ray と螺旋状に進む skew ray が共存し、各モード間の群遅延時間差を一致させることはできない。し

図 6 集束型ファイバー中の光路

たがって、高速度信号を数 km 伝送しようとする場合には、ファイバーの損失を小さくすることは別に、屈折率分布をいかに制御して遅延ひずみを小さくして、曲りの放射損失を抑えるかということ、ファイバーの製造法も考慮して検討しなければならないであろう¹¹⁾。

3.4 光中継

光ガラスファイバーの伝送損失は 10 dB/km 程度と推定されるので、他の有線伝送方式とくらべて中継間隔は特に有利にならない。光ケーブルの利点は、

- (i) 伝送容量にはほぼ無関係に損失は一定
- (ii) 線径が細く (100 μm 程度) 屈折率の温度変化が小さい
- (iii) 漏話は小さい

などであり、光中継器を小型、高能率、経済的にすることにより、ケーブル心線数の増大によって大容量伝送を行なう方向にゆくものと思われる。他方式とくらべた場合、光ケーブル伝送が有利になるためには、単一モード光ケーブル伝送では 1 Gbit/s 程度、多モード光ケーブル伝送では 100 Mbit/s 程度の伝送容量が必要であろう¹⁴⁾。

図 7 は光伝送の基本構成を示したものである。単一モードファイバーを用いる場合には、レーザーには半導体レーザーまたは YAG レーザーの出力を光 IC で分岐

図 7 光伝送の基本構成

図 8 光ハイブリッド中継システム

して数システム共用にするような方法が考えられる。半導体レーザーの場合には、直接パルス変調も行なえるが、外部変調器としてはタンタル酸リチウム結晶を用いて 1.6 GHz まで変調が可能で、半波長電圧が 17 V 以下と広帯域低電圧化に成功している¹⁵⁾。光検波器は YAG レーザー光の場合には Ge アバランシェ光ダイオード (APD) で 3 GHz 以上の広帯域特性のものが実現している¹⁶⁾。可視から近赤外光に対するものとしては Si-APD で約 3 GHz の応答特性をもつものが市販されている。

光変調方式としては副搬送波位相変調方式の提案がある。これは図 8 に示すように、4 相位相差変調 (SC-4P-PSK) 信号で光信号を強度変調して伝送するもので、その特徴は次のようになる。

- (i) baud rate の 2 倍の伝送容量がとれる。
- (ii) 光変調駆動増幅器として帯域増幅器は大出力にできる。
- (iii) 光変調器の消光比の劣化の影響、光信号ひずみの影響が比較的小さい。
- (iv) 伝送特性の良い単一モードファイバーと組合せて無再生中継の可能性がある。

位相差変調方式では、再生中継器はかなり複雑になるが、図 8 の無再生中継器は光信号を検波し、増幅して直接光変調を行なうことにより光中継するものである。したがって、機能的にも簡単であり、中継器の低価格化がみこまれ、再生中継器の間に数個の無再生中継器を挿入する、いわゆるハイブリッド光中継方式は、中継系の経済化が期待できるであろう¹⁰⁾。

実験的には光中継方式のひとつとして、副搬送波 1.2 GHz, 400 M baud で信号を無再生中継器 1 個の中を周回させる実験により、数個の無再生中継が可能であることの確認が得られている¹⁷⁾。

半導体レーザーを用いる直接変調方式としては 200 M bit/s 程度のパルス変調の検討が行なわれている¹⁸⁾。半導体レーザーの場合には、その高速変調、モード制御、長寿命化などに関する研究の進展が必要である。

多モード光ファイバーを用いる光中継については、検討が開始された段階であるが、多モードファイバーの遅延ひずみ特性のため、100 Mbit/s, 数 km の中継伝送となり、多心ケーブルによる短距離市内伝送に用いられることになる。光源には半導体レーザーまたは LED (発光ダイオード) の使用が検討されている。LED の場合には光ファイバーの結合を考えると高輝度化、高速変調のものが必要であり、このためガイド構造、高輝度 LED の検討が行なわれている¹⁹⁾。

図 9 光レンズガイド

4. 光レンズガイド伝送方式

光レンズガイド（ビーム導波管）は、図 9 に示すように長焦点レンズを一定間隔に配列した光伝送路であって、伝送損失はほぼレンズの個数できまる。レンズ間隔を 100 m とすると伝送損失は 0.5 dB/km 以下と、きわめて低損失となり、したがって中継間隔も 50 km ないし 100 km と長距離になる。レンズの焦点距離は、レンズ間隔の 1/2 に選ばれるのが普通で、日本における光学技術は進んでおり、焦点距離 52 m の精度の良いレンズの試作にも成功している。また、光レンズガイドは光ファイバーのような可撓性はないが、図 9 に示すように、楔形のレンズを用いて曲率半径 500 m ないし 1000 m 程度のゆるい曲り線路はつくることのできるし、また伝送損失の増加を許容すれば、レンズの間隔を短くして、曲率半径数十 m 程度の曲りにすることも可能である。

光レンズガイドの伝送帯域は、多重化された光ビームが伝送路の曲り部分によって波長分散を生じ、ビームが分離する大きさから決められる。これは通常の曲率半径の曲りと個数を仮定すると、中継間隔 100 km に対して少なくとも 1000 GHz 以上になる²⁰⁾。したがって光レンズガイド伝送方式は、(i) 長距離、低損失、(ii) 超大容量の伝送方式であるといえるであろう。

光ビームガイドは地下に埋設され、布設経費はかなり高くなると考えられ、レンズの位置の保持、制御機能の導入や地震などの振動などの対策にもかなりの設備を必要とするであろう。したがって長距離超大容量伝送を行なうことによって通話路当りの価格の低下をはからなければならない。それには、(i) 時分割多重、(ii) 周波数分割多重、(iii) 偏光多重、(iv) 空間分割多重などにより数千万電話通話路相当の伝送を行わなければならないものと考えている。

これらの多重化技術が自由に駆使できるようになるには、なおかなりの時日を要すると思われる。しかし、そ

図 10 光多重化構成

の基礎となる技術として、YAG レーザーにより 1.3 Gbit/s の超高速光パルスの発生に成功しており²¹⁾、2.6 Gbit/s の時分割多重の実験から²²⁾数 Gbit/s の多重化の見通しを得ている。また YAG レーザーの利得帯域幅は 150 GHz 以上あり、1 システムの発振帯域間隔を 30GHz 間隔で発振させる可能性の検討と²³⁾、複屈折性を有する光学結晶を用いて、周波数分岐・多重の光分波器の基本検討も行なっており²⁴⁾、現在の YAG レーザーを基調として多重化通信は技術的に可能であることが確かめられている。

図 10 は想定される光多重化通信の構成例を示したものである。ロックドレーザーで発生した光パルス（基本クロック）はビーム分割器で所要の時分割多重化通信路数に分割され（図では 4 通信路を示している）、時間的に遅延を与えて各チャンネルの光源とし、PCM 端局からのパルス信号により光変調を行なって、光スイッチで時分割多重化する。

図 10 では光変調後、1 組の光チャンネルの一方の偏光を変えて光スイッチで同じ偏光の光パルス列とする光多重化の方法を例示している²⁵⁾。この時分割多重化の数は基本クロックと光パルスのパルス幅によって決められるが、YAG レーザーの光パルス幅は 100 ps 以下であり、10 Gbit/s 程度までの多重化は可能である。

光多重化の構成例をあげると次のようになる。

変調方式……………PCM・光強度変調

基本クロック……………1.6 GHz

時分割多重化……………8（3 段）

周波数分割多重化…16

偏光分割多重化……………× 2

空間分割多重化……………× 4

全伝送容量……………1,638 Gbit/s（両方向）

このようなシステムは早急には実現できないが、各部品装置の安定性、信頼性の向上、装置の小型化などの研究の進展により、超大容量の光伝送が行なわれるようになることであろう。

5. む す び

光の中継伝送について概要を述べた。現在は低損失光ファイバーの出現によって、光ケーブル伝送方式の研究に重点がおかれていていると考え、光ガラスファイバーを中心としてその問題点について考察した。研究の状況は光部品、装置を中心としていまなお流動的な要素が多く、いうなれば日進月歩の段階である。しかしながら、基礎となる技術の方向はほぼ固まりつつあり、高感度、高安定、高信頼性の方向に向かって急速に進歩するものと期待される。

終りに、いろいろと御教示いただいた当研究所の研究開発本部 平野調査役、基礎研究部第 3 研究室の諸氏に感謝する。

（昭和 48 年 6 月 26 日受付）

〔参 考 文 献〕

- 1) 伊藤 武ほか：光波およびミリ波伝搬特性の測定，研実報，**21**，12（1972）2268
- 2) 森田和夫ほか：大気中伝搬における光波の減衰特性，研実報，**18**，5（1969）1180
- 3) 平野順三ほか，TV 電話用発光ダイオード光通信装置，信学会画像工学研究会資料，IT-72-10（1972）
- 4) R. Kompfner: Optics at Bell Laboratories—Optical Communications, Applied Optics, **11**，11（1972）2412

- 5) J. Nishizawa, et al: Propagation loss in a distributed beam waveguide, Proc. IEEE, **53**, 12 (1965) 2148
- 6) T. Uchida, et al: A light focussing fiber guide, IEEE. J. QE-5, June (1969)
- 7) E. Snitzer: Cylindrical Dielectric Waveguide Modes, J. Opt. Soc. Am., **51**, 5 (1961) 491-498
- 8) R.D. Maurer: Glass Fibers for Optical Communications, Proc. IEEE, **61**, 4 (1973) 459
- 9) W.O. Schlosser: Delay distortion in weakly guiding optical fibers due to elliptic deformation of the boundary, BSTJ, **51**, 2 (1972) 487-492
- 10) J. Hirano, et al: Hybrid Relay Systems for Optical Communications, IEEE, ICC Conference Record, (1972) 12-14-17
- 11) 平野順三: 光ファイバー, 応用物理, **42**, 1 (1973) 2-8
- 12) E. Smitzer, et al: Observed dielectric waveguide modes in the visible spectrum, J. Opt. Soc. Am., **51**, 5(1961) 499-505
- 13) 池田正宏ほか: 多モード光線路の曲りによる影響, 信学会量子エレクトロニクス研究会資料, QE-72-70 (1972.12)
- 14) 平野順三: 光通信方式とその問題点, 昭和 46 年電気四学会連大予, 127
- 15) 上原信吾ほか: 集束形光変調器, 信学会量子エレクトロニクス研究会資料, QE-72-68 (1972.12)
- 16) 柴田俊隆ほか: ゲルマニウム・プレーナフォトダイオードの試作と特性, 研実報, **20**, 4 (1971) 965-981
- 17) 伊藤 武ほか: 光ハイブリッド中継について, 信学会量子エレクトロニクス研究会資料, QE-72-71 (1972.12)
- 18) 小関 健ほか: 光ファイバ DH-GaAlAs レーザーを用いた 200 Mb/s PCM 画像伝送, 昭 48 年信学全大, 965
- 19) 秦 進, 池上徹彦: 導波路形高輝度発光ダイオード, 私信
- 20) 吉清治夫ほか: 光ビーム導波管の伝送帯域, 研実報, **20**, 9(1971) 2029-2041
- 21) K. Otsuka, et al: Higher Order Mode-locking and Separation of Mode-locked States in a Nd³⁺: YAG Laser, Review of the ECL, **20**, 7~8, July-Aug. (1972)
- 22) 伊藤 武: 時分割用光スイッチの特性, 研実報, **21**, 4 (1972) 737
- 23) 野口 宏: 固体レーザー発振周波数制御, 昭 45 年信学全大, 642
- 24) T. Kimura, et al: Birefringent Branching Filters for Wideband Optical FDM Communications, Applied Optics, **12**, 2 (1973) 373-379
- 25) T.S. Kinsel, et al: Terminals for a high speed optical pulse modulation communication system; II, Optical Multiplexing and Demultiplexing, Proc. IEEE, **56**, 2 (1968) 146
- 26) 平野順三: 光通信方式, 信学誌, **56**, 4 (1973) 566

— 今 月 の 表 紙 —

全自動放送用カセット VTR ACR-25

ACR-25 は、短いビデオ番組を組めるように設計された放送用高品質高精度のカセット式録画／再生装置です。本装置はこれまでの放送機器にない広い適用範囲と高い信頼性を有しています。

たとえば、コマースポット、スポットコマースポットのマスターファイル、その他、断片的な映像の処理をします。また、各カセットにこま切れのロールを収録しておき、内蔵されたプログラマーでプログラムを組むことにより連続した信号が再生できるので、番組制作用としてもその威力を発揮します。

〈特 徴〉

① ACR-25 は、24 個のカセットを収容し、1 カセット 15 inch/sec で 6 分、または 7.5 inch/sec で 12 分の録画・

再生が可能です。

② 2つのトランスポートにより、各カセットは連続またはランダムに選択され、装填されてスタートすることができます。

③ エレクトロニクス系のボードおよびビデオヘッドは、全て AVR-1 と互換性があります。

東芝アンベックス株式会社