ディジタル光画像伝送装置

Fiberoptic Digital Video Transmission Systems

光ファイバの広帯域、低損失、無誘導などの特徴を利用した高品質な画像伝送システムの実用化が種々の分野で進められており、システムの長距離、大規模化への対応性を備えたディジタル画像伝送の重要性が増している。特に、ディジタル伝送方式は多中継伝送や多重伝送能力の点で優れており、最近の技術進歩により経済性についても大幅に改善されつつある。本稿では、このようなシステムの高度化を実現する高性能な画像コーデックと光伝送装置を一体化したディジタル光画像伝送装置を開発したので報告する。32Mビット/秒の伝送速度を持ち約90kmまでの伝送ができるVS/VR-032シリーズと、この信号を3チャネル多重化して100Mビット/秒で伝送するVF-100Mシリーズがあり、各種のCCTVシステムの実用化に威力を発揮する。

山田満雄* Mitsuo Yamada 南雲敬雄* Yoshio Nagumo 西川成一* Seiichi Nishikawa

□ 緒 言

光ファイバは広帯域,低損失,無誘導,細心軽量などの特徴を備え,その適用範囲は簡易な情報伝送から高速・広帯域な長距離通信の分野まで幅広い。

近年,通信分野では音声やデータ信号だけでなく広帯域情報である画像信号伝送の重要性が高まっており,光ファイバを用いた伝送方式によりCCTV(Closed Circuit Television)やCATV(Cable Television),テレビジョン放送など種々の画像伝送システムが実用化されている^{1),2)}。

これらの光画像伝送システムは、伝送方式によってアナログ伝送方式とディジタル伝送方式に大別される。

アナログ伝送方式は構成が簡単で、短距離通信用として経済性に優れているが、SN比特性や信号のひずみ特性が中継数に対応して変化するため長距離多中継伝送には不向きである。

ディジタル伝送方式は中継による伝送特性の劣化が少なく、 多中継による長距離伝送が可能である。また、多重による大 容量伝送にも適している。音声やデータ信号との多重や複数 の画像信号の多重も容易であり、拡張性に富む画像伝送システムを構築することができる。しかし、画像伝送のためにはアナログ画像信号をディジタル信号に変換する画像コーデックを必要とする。したがって、短距離通信ではアナログ伝送方式に比べてやや不利であるが、長距離・大容量通信では経済性やシステムの拡張性の点から有利となる。

ここでは、このような特徴を備えたディジタル伝送方式を 用いた光画像伝送方式と開発した装置の特徴、適用例などに ついてその概要を紹介する。

2 ディジタル光画像伝送方式の概要

2.1 構 成

画像伝送方式はその基本的機能である画像信号伝送のほかに,種々の用途に対応し,音声やデータ信号などの多重伝送機能を備えることが必要となる。ディジタル光画像伝送方式の基本構成は、図1に示すようにアナログ画像信号をディジ

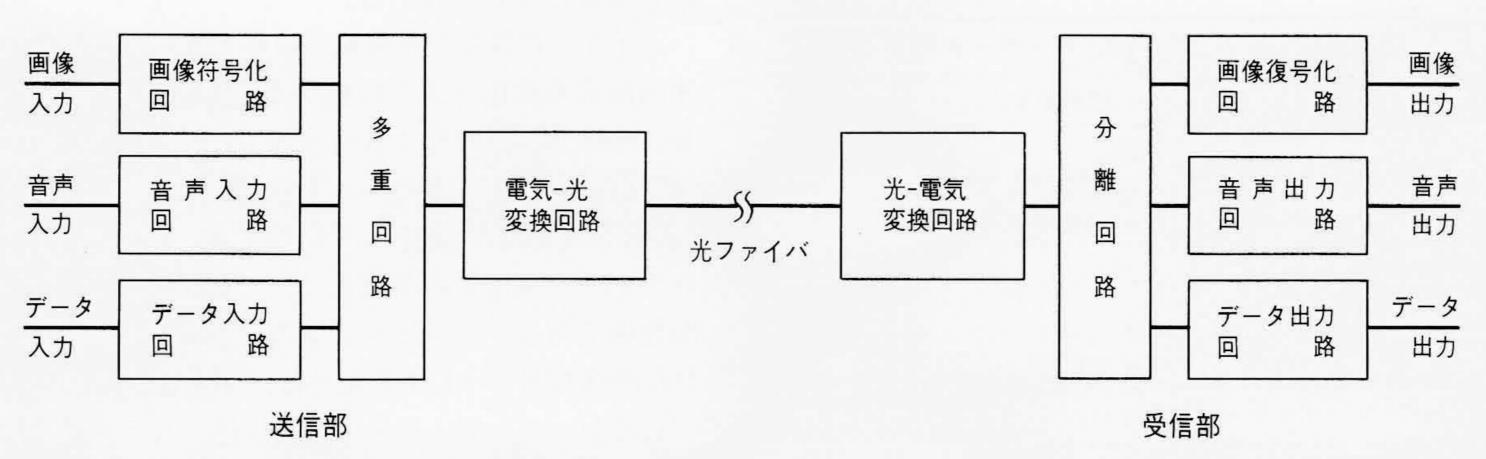


図 | ディジタル光画像伝送方式の基本構成 画像・音声・データを多重化し、光に変換して同時に伝送できる。

^{*} 日立製作所光技術開発推進本部

タル信号に変換する画像コーデックから成る画像符号化復号 化回路部,音声やデータ信号の入出力回路部,これらのディ ジタル信号を多重分離する多重分離回路部,及び光伝送のた めの電気-光変換回路部から成る。

伝送対象となる画像信号にはテレビジョンカメラ信号、VTR などによって録画された信号、テレビジョン放送信号などがある。要求される画像信号の伝送品質は、放送用では観賞に耐える画質、CCTV用ではすばやく認識できる画質、会議用では説明用画質、対話用では表情の読み取れる画質、静止画伝送用では高精細画質など用途に応じて種々異なる。伝送については、伝送速度、伝送距離、伝送システムの広がり、他伝送システムとの整合性などに対応し分類できる。表1に各種ディジタル光画像伝送方式の分類項目を示す。

2.2 画像符号化方式

アナログ画像信号をディジタル信号に変換する画像コーデックでは、伝送路をできるだけ効率よく利用し、システム要求にこたえる伝送画質を得るための符号化、復号化を行う。

画像符号化の方式は,大別して帯域非圧縮方式と圧縮方式 に分けられる。非圧縮方式はナイキスト定理にのっとりディ ジタル化する方式であり,標準の画像信号では100Mビット/ 秒程度の伝送速度となる。

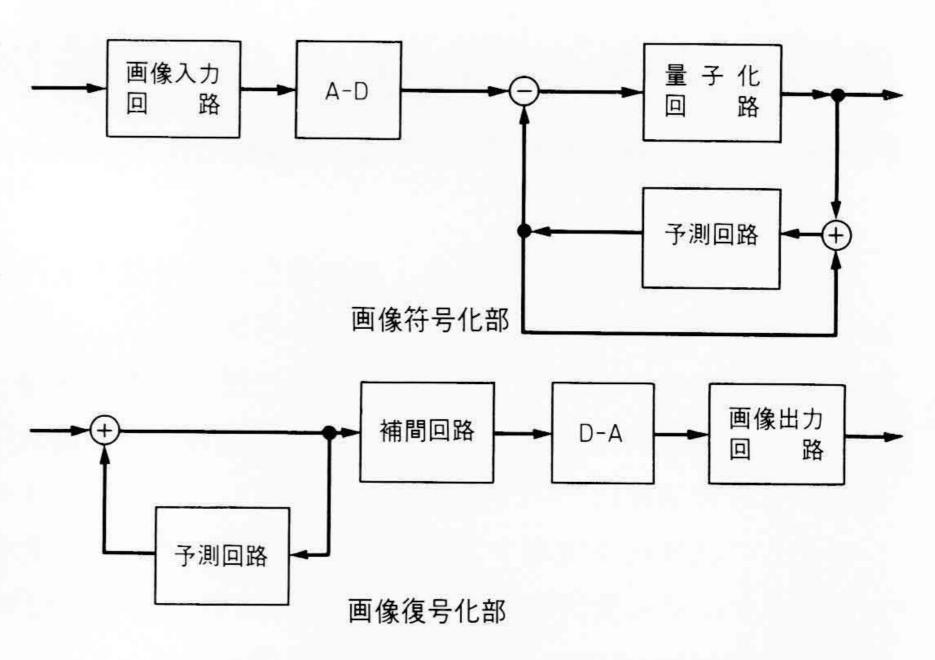
帯域圧縮方式には、画像信号の空間的相関を利用したフレーム内予測符号化方式と、時間的相関を利用したフレーム間予測符号化方式がある³)。フレーム内予測符号化方式の帯域圧縮比は数分の一であるが、自然な動きを伝送することができる。32Mビット/秒クラスの画像コーデックには、主にこの方式が使われている。図2にこの画像コーデックの原理的系統図を示す。

フレーム間予測符号化方式を用いると、帯域圧縮比を更に 上げることができる。しかし、帯域圧縮比を上げれば上げる ほど自然な動きを伝えることが困難となる。また、フレーム 間で信号の処理を行うため画像信号の伝送遅延時間が大きく

表 | ディジタル光画像伝送方式の分類項目 各種伝送方式での開発製品の位置づけが理解しやすいように, グルーピングの項目を表示した。

分類項目 ——	内容
画像信号種別	NTSC, PAL, SECAM, コンポーネント
画像信号源	テレビジョンカメラ, 放送波など
多重信号種別	音声信号, データ信号
伝送画像品質	放送品質, ITV品質, 会議品質, 電話品質
伝 送 方 向	片方向, 双方向
伝送チャネル数	1, 3, 12,
伝 送 速 度	64kビット/秒, 32Mビット/秒, 100Mビット/秒
適用光ファイバ	シングルモードファイバ、マルチモードファイバ
適用光波長	0.8, 1.3, 1.55μm

注:略語説明 NTSC(National Television System Committee)
PAL(Phase Alternation by Line)
SECAM(Séquential couleur a mémoire)
ITV(工業用テレビジョン)



注: 略語説明 A-D(アナログ信号のディジタル信号変換回路) D-A(ディジタル信号のアナログ信号変換回路)

図 2 画像コーデック系統図 アナログ画像信号をディジタル信号 に変換する画像コーデックのブロック図を示す。

なり、音声信号と同時に伝送するような場合には不自然さが目だつ傾向がある。6 Mビット/秒クラスから64kビット/秒クラスまでの低速度の画像コーデックにはこの方式が使われている。

2.3 ディジタル多重化方式

デイジタル信号の多重化方式には,同期式多重化方式と非 同期式多重化方式がある。

同期式多重化方式は、すべての信号のタイミングが同期している。共通のタイミング信号によりディジタル化された画像や音声信号どうしの多重化がこれである。多重化された信号の伝送速度は、一般に各々の信号速度の和に一定値を加えた値に等しくなる。しかし、画像信号のような一定の信号波形が周期的に現れるという冗長性を持つ信号と音声信号を多重化するような場合、多重化された信号の伝送速度を画像信号の伝送速度と等しくすることができる。これは一定の波形となる時間帯の画像信号を、ディジタル化した音声信号に置き替えることができるからである。音声信号のタイミングは、画像信号のタイミングと同期しているため、これも一種の同期式多重化方式と言える。

タイミング信号が非同期の信号どうしを多重化する方式が、 非同期式多重化方式である。多重化された信号の伝送速度は、 各々の信号速度の和よりも大きく、かつ一般にどの信号とも 非同期である。このため、多重化時に適当にパルスを挿入す ることによって同期をとり伝送する。各々独立に符号化され たディジタル信号の多重化は、この方式によって行われるの が普通である。テレビジョンカメラ信号に同期して符号化さ れた画像信号どうしの多重化は、非同期式多重化方式となる。

したがって、ディジタル画像伝送システムで、32Mビット/ 秒クラスの画像コーデックを用い、複数の画像、音声及びデータ信号を多重伝送するには、同期式多重と非同期式多重の 両方式を併用するのが効率的である。表2に、各種画像多重 化方式の概要と特徴を比較して示す。

2.4 光伝送方式

ディジタル光画像伝送装置は、長距離伝送のための光伝送インタフェースを備えている。光伝送インタフェースの特徴は、伝送距離や伝送速度に対し幅広い対応力を持つことのほかに、伝送線路を装置に接続することによって生ずる特性の変化や電磁波の不要ふく(輻)射がほとんどなく、簡単に安定なシステムを構築できる点にある。

光伝送インタフェースは、伝送符号変換部と電気-光変換部から構成される。伝送符号変換部の役割は、伝送系が持つ直流信号成分の長距離伝送に対する制約条件からシステムを解放し、直流成分を含む任意フォーマットの信号を長距離伝送可能とする点にある。伝送符号変換方式にはスクランブル方式とCMI(Coded Mark Inversion)方式がよく用いられる。

伝送距離及び伝送速度を支配するのは、電気-光変換部の特性である。使用する発光素子及び受光素子と伝送符号変換方式の組合せ、用いる光ファイバと光波長帯によって種々の特性を持つ光インタフェースを構成することができる。伝送符号変換方式として、スクランブル方式を用いた光インタフェ

表 2 画像音声多重化方式 画像信号と音声やデータ信号を多重化する方式を,分類表示した表である。

	多重化方式	特 徴		
	時 分 割 多 重	共通クロック信号		
同期	冗長度 水平同期期間 利 用 垂直同期期間	伝送速度は画像符号化速度に等し く,他に比べ最も遅い。		
時分割スタッフィング多重		伝送速度は,同期式時分割方式よ りやや大。		
非同期	予備サンプリング時分 割多重	伝送速度は最も大。		

表3 光伝送インタフェース 発受光素子の種々の組合せで実現できる光伝送インタフェースの伝送速度と、伝送距離の関係を示す。

伝送速度 Mビット/秒	ポルキフ	受光素子	伝送距離 (km)		
	発光素子		0.8µm帯	1.3μm帯	I.5μm帯
32	LED	PD	3	10	5 -
	LED	APD	5	15	=
	LD	PD	8	30*	60*
	LD	APD	10	40*	90*
100	LED	PD		2	-
	LED	APD	:	5	
	LD	PD	4	25*	40*
	LD	APD	5	30*	50*

注: 略語説明など * シングルモードファイバ 伝送符号 スクランブルNRZ

LED(Light Emitting Diode)

LD (Laser Diode)

PD (Photo Diode)

APD(Avalanche Photo Diode)
NRZ(Non-Return to Zero)

ースの伝送距離を表3に示す。

3 ディジタル光画像伝送装置

(1) 32Mビット/秒光画像伝送装置(VS/VR-032)

この装置は、CCTVシステムへの適用を主目的に開発したものであり、画像信号のほかに打合せや制御に使用する音声及びデータ信号を多重伝送する小形な装置となっている。装置の主要諸元を表4に、回路系統図を図3に示す。

画像符号化にはフレーム内2次元予測符号化方式⁴⁾を用い, すばやい動きにも忠実に対応し正しく画像を認識できる伝送 特性を持っている。画像の標本化周波数は伝送周波数に同期 し,かつ画像信号の最大周波数の2倍よりもやや低いサブナ イキスト条件のものを使用し,帯域圧縮の効率化と回路の簡 略化を実現している。

音声信号は簡易放送にも使用できる特性を持っている2チャネルの15kHz音声チャネルを用いて伝送することができる。また、データの伝送は64kビット/秒ディジタル信号換算で4チャネル相当の伝送チャネルを設け、これを可能としている。これらの音声及びデータ信号の伝送チャネルはオプション構成とし、適用システムに応じて組合せ使用を可能としている。

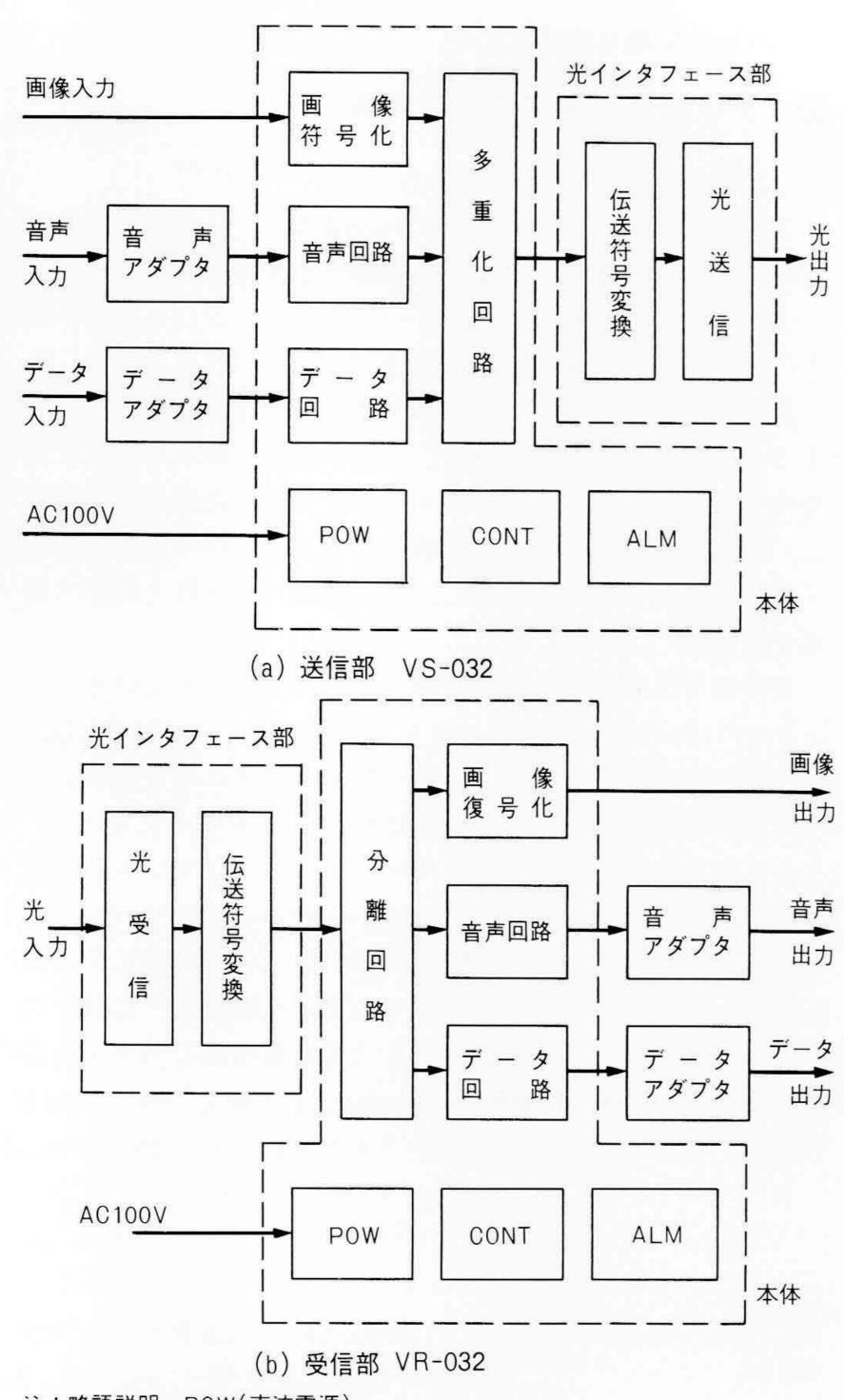
光伝送インタフェースは**表 3** の32Mビット/秒の欄に示す短 距離用から長距離用までのすべてのものを開発し、各種シス テムの要求に対応可能としている。短距離用のものは光波長 $0.8\mu m$ 帯 の LED (Light Emitting Diode)、PD (Photo Diode)、及びマルチモード光ファイバを用いたものであり、

表 4 VS/VR-032の主要諸元 開発した製品の主要諸元,及び特性 を示す。

項目	特性		
	NTSCカラーテレビジョン信号 チャネル		
伝送信号	オーデオ信号 2チャネル		
	データ信号 64kビット/秒×4 チャネル相当		
伝 送 速 度	32.064Mビット/秒±10ppm		
画像符号化方式	フレーム内2次元予測方式		
信号多重化方式	水平同期内時分割多重方式		
画像SN比	52dB(評価値)以上		
画像ひずみ特性	DG: 3%以下, DP: 3°以下		
オーデオ周波数帯域	I5kHz		
オーデオSN比	55dB以上: 0 dBm入力		
オーデオ利得	0 dB		
光伝送符号	スクランブルドNRZ又はCMI		
無中継伝送距離	表 3 参照		
電源電圧	AC100V, 50/60Hz		
動作周囲温湿度	0 ℃~40℃, 20%~90%		
本体標準構造寸法	サブラック,幅480×奥行225×高さ300(mm)		
本体標準構成	画像符号化,復号化及び電源部		

注:略語説明 DG(Differential Gain:微分利得)

DP(Differential Phase: 微分位相) CMI(Coded Mark Inversion)



注:略語説明 POW(直流電源) CONT(制御回路) ALM(監視警報回路)

図 3 VS/VR-032系統図 開発した製品の回路系統図, 音声やデータアダプタ及び光インタフェースはオプションとして構成されている。

3 kmまでの伝送に使用できる。光波長1.55μm帯のLD(Laser Diode), APD(Avalanche Photo Diode), 及びシングルモード光ファイバを用いたものは、90km程度の長距離伝送が可能である。このほかに、伝送符号方式としてCMI方式を用いたものもある。多中継伝送の場合には、この光伝送インタフェースの受信部と送信部を直列に接続し、中間中継器の役割を果たすことができる。

装置はいずれもBTS(Broadcasting Technical Standard) 架に実装可能なサブラック構造を基本としている。回路基板はすべてサブラックにプラグイン実装され、保守点検を容易化している。図4及び図5に装置の外観を示す。

(2) 100Mビット/秒光画像伝送装置(VF-100M)

この装置は、画像の多重伝送を必要とするCCTVシステムへの適用を主目的に開発した装置である。図6にこの装置の回路系統を示す。32Mビット/秒のディジタル画像信号3チャネルを多重化し光伝送する。表5にこの装置の主要諸元を示す。100Mビット/秒の伝送仕様は日本のディジタル第四次群伝送規格に準拠している。また32Mビット/秒系の特性は、先に述べた32Mビット/秒光画像伝送装置の特性とコンパチビリティを持っている。

装置はBTS架実装を基本構造とするが、伝送スリム架に実装したものもある。この標準寸法は幅130×奥行225×高さ2,300(mm)と省スペース形になっている。図7に伝送スリム架に実装した装置の外観を示す。なお、100Mビット/秒系に直接非圧縮方式によって符号化した画像信号を入力することにより、CATVや放送システムに使用できる高品質の画像伝送も可能である。

4 ディジタル光画像伝送装置のシステム応用例

(1) ITV監視システムへの応用

ITV(工業用テレビジョン)監視システムの基本形は,多数のテレビジョンカメラからの動画像信号を遠隔の監視センタへ送り,集中的にモニタする構成のものである。伝送する情報は,動画像信号のほかに打合せや指令のための音声信号と

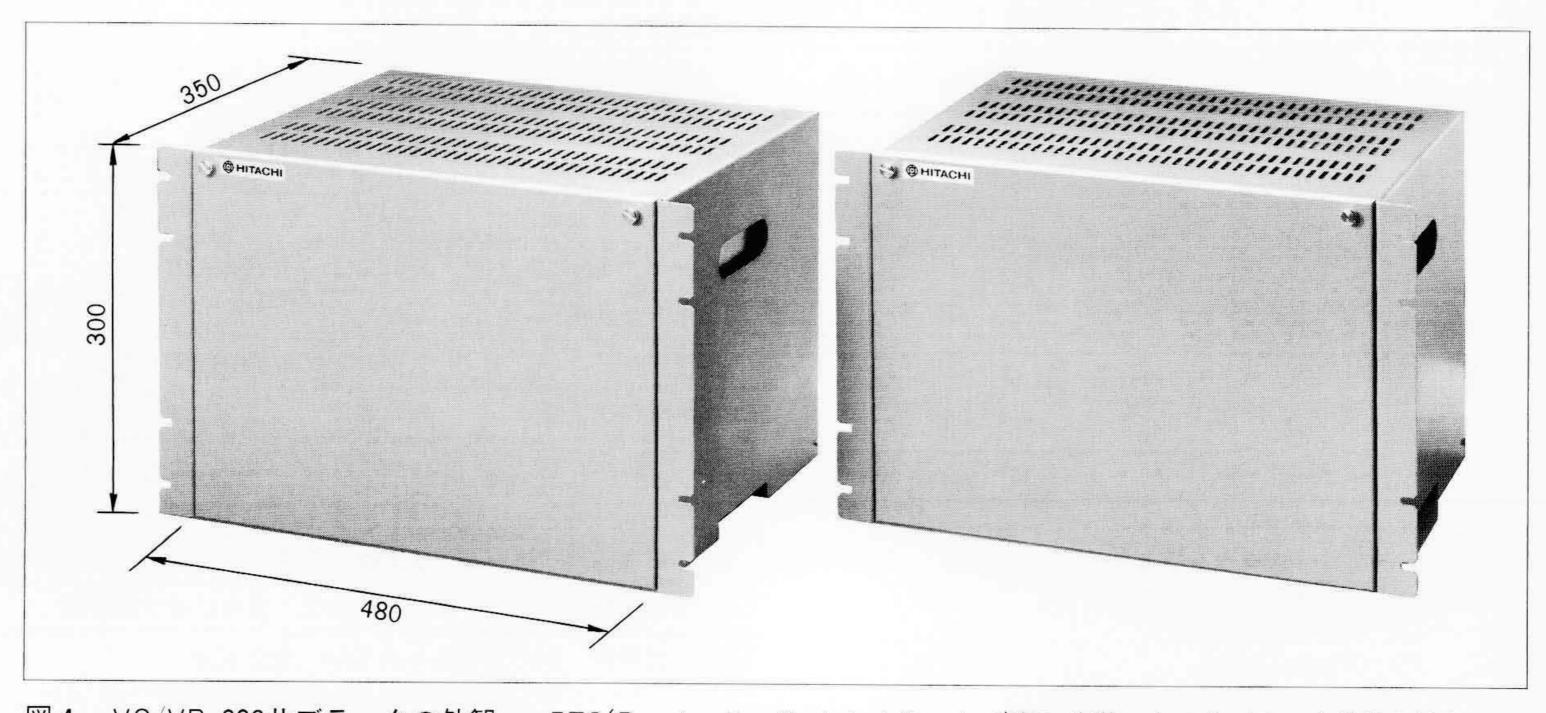


図4 VS/VR-032サブラックの外観 BTS(Broadcasting Technical Standard)架に実装できるサブラック構造を示す。

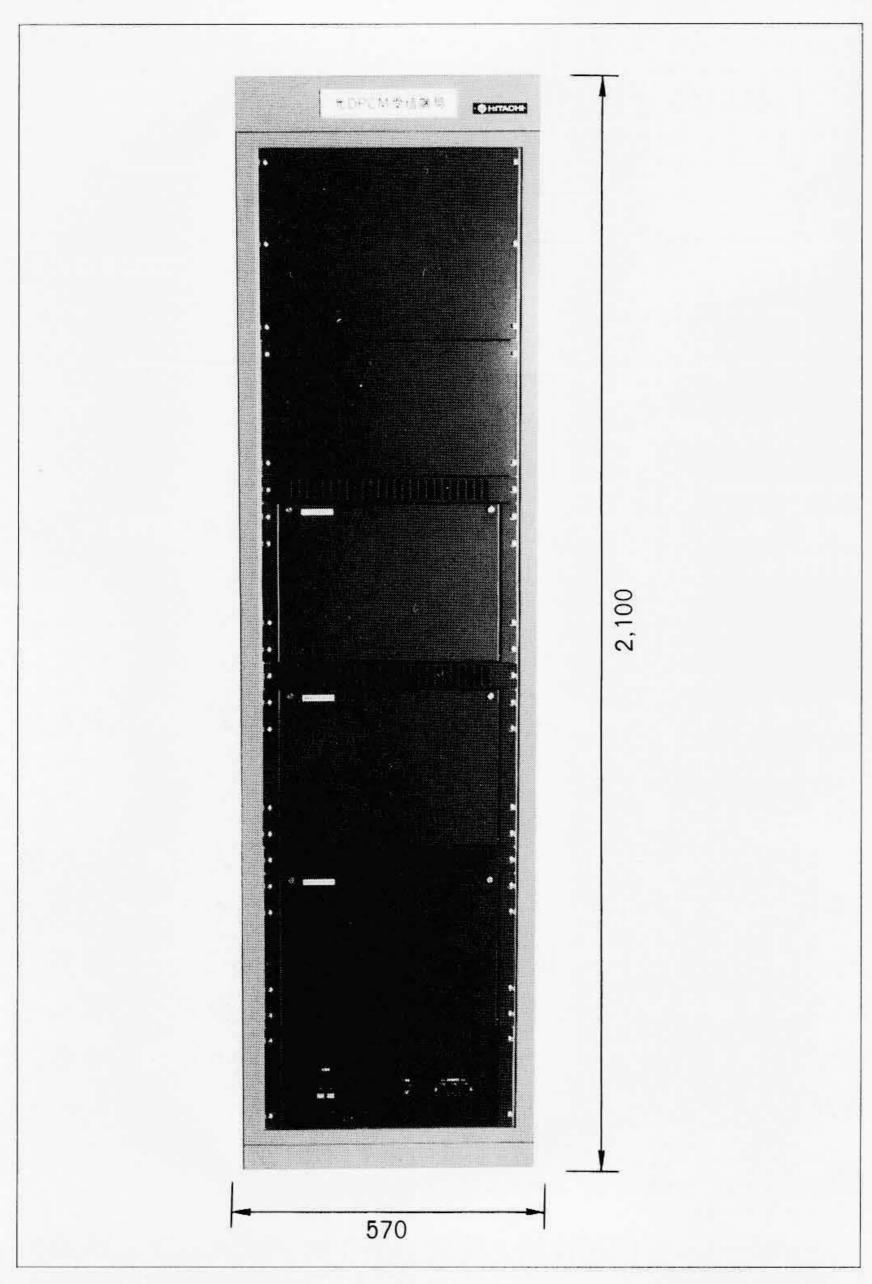


図 5 VS/VR-032 BTS架実装外観 図 4 に示したサブラックが、BTS架に実装されている。

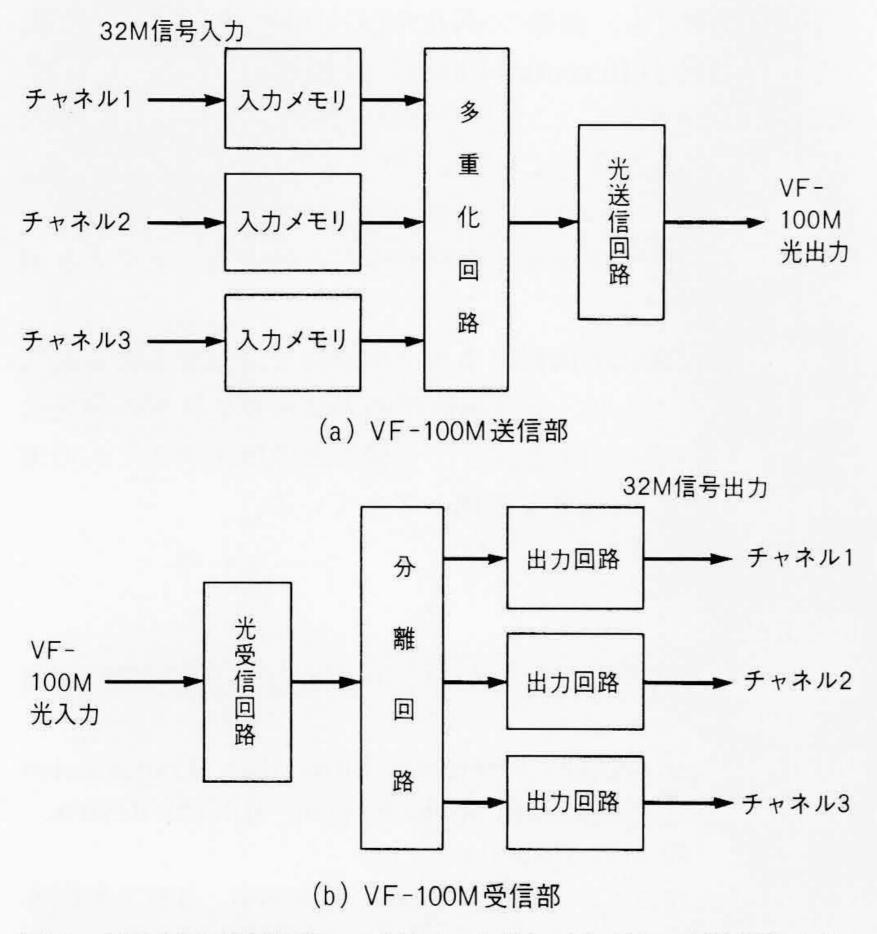


図 6 VF-100M系統図 32Mビット/秒のディジタル画像信号 3 チャネルを、多重化して光伝送するシステムである。

表 5 VF-100M主要諸元 開発した製品の主要諸元,特性を示す。

項目	特性
伝 送 信 号	32.064Mビット/秒×3チャネル
インタフェース	光NRZ, 光CMI又は同軸AMI
多重化方式	非同期時分割スタッフィング多重
多重信号速度	97.728Mビット/秒(ディジタル第四次群速度)
光伝送速度	III.689Mビット/秒
光伝送符号	8B1C符号
伝送誤り監視方式	符号則チェック
無中継伝送距離	30 km(1.3μ m, LD/APD)
電源電圧	AC100V, 50/60Hz
動作周囲温湿度	0 ~40℃, 20~90%
標準構造, 寸法	サブラック,幅I30×奥行225×高さ2,300(mm)
標準構成	送受信別サブラック, 電源付き

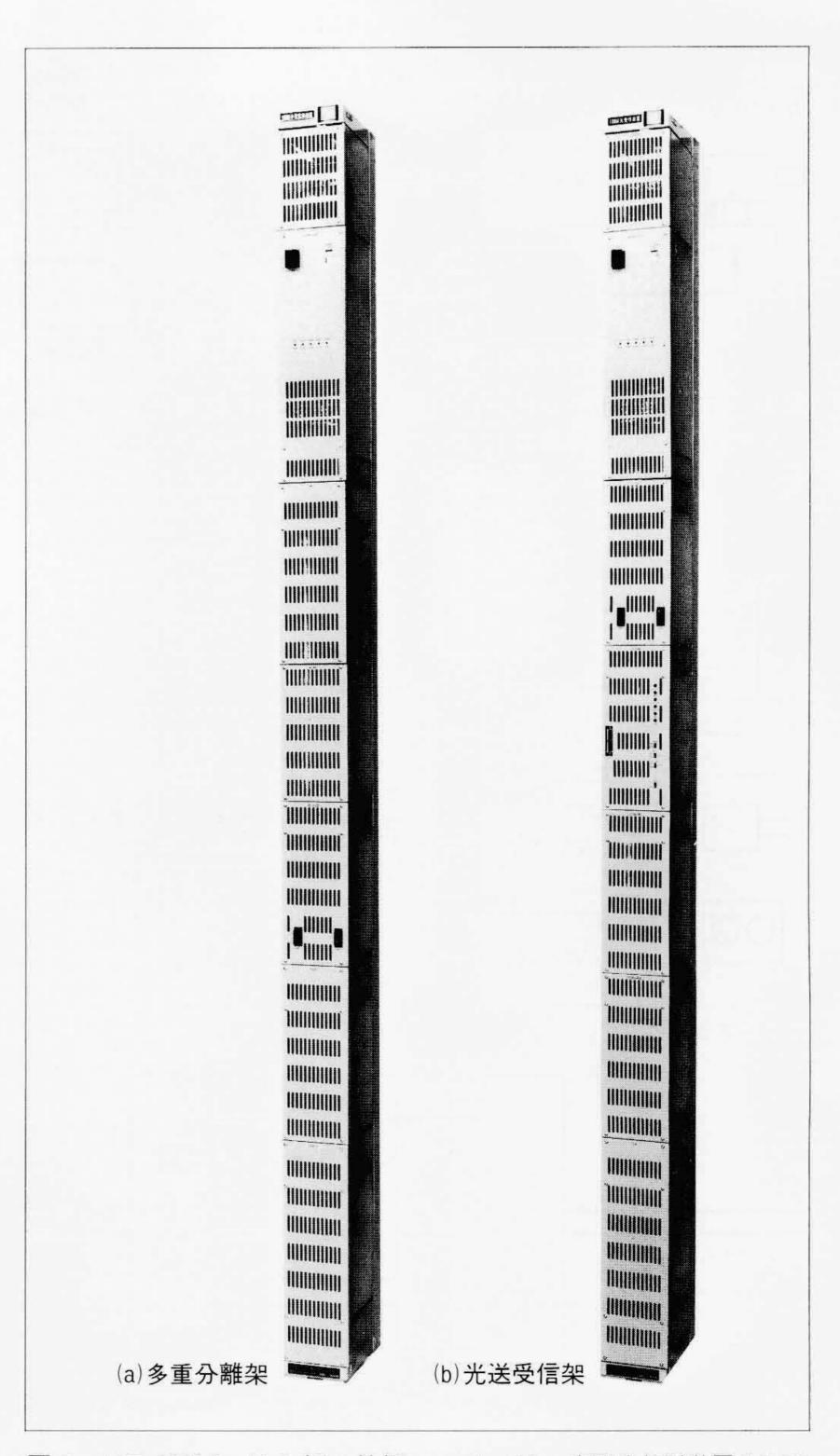


図7 VF-100Mスリム架の外観 ディジタル光画像伝送装置はBTS 架だけでなく、伝送スリム架の省スペース形の実装も用意されている。

テレビジョンカメラの首振りやピント合せなどのためのデータ信号がある。このシステムでは動画像信号の伝送は一般に 片方向である点に特徴がある。図8にシステムの構成例を示す。音声やデータ信号は別回線で双方向に伝送される例が多いが、VS/VR-032を用いることによって画像信号との多重伝送ができるため、システムの構築が容易である。道路交通流監視、発変電所の遠方監視、プラント内・ビル内監視など各種のシステムがある。

(2) CATVシステムへの応用

CATVシステムでの画像伝送は、局側から加入者側への一方向が基本である。小規模なCATVシステムでは、局から直接加入者へ画像信号を分配する分配伝送系だけで構成される。大規模なCATVシステムでは、加入者の分布状況に応じ幹線伝送系と分配伝送系によりネットワークが構成される。ディジタル光画像伝送装置は、経済性の点から幹線伝送系への適

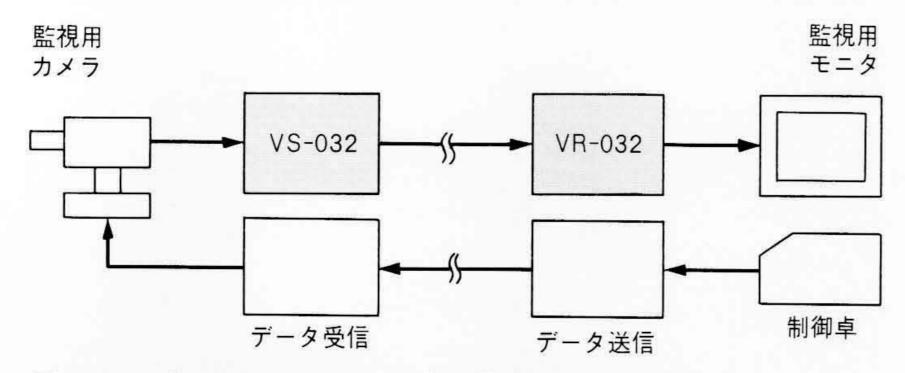


図 8 ITV(工業用テレビジョン)監視システムへの応用例 テレビジョンカメラからの動画像と、カメラの制御信号が伝送される。

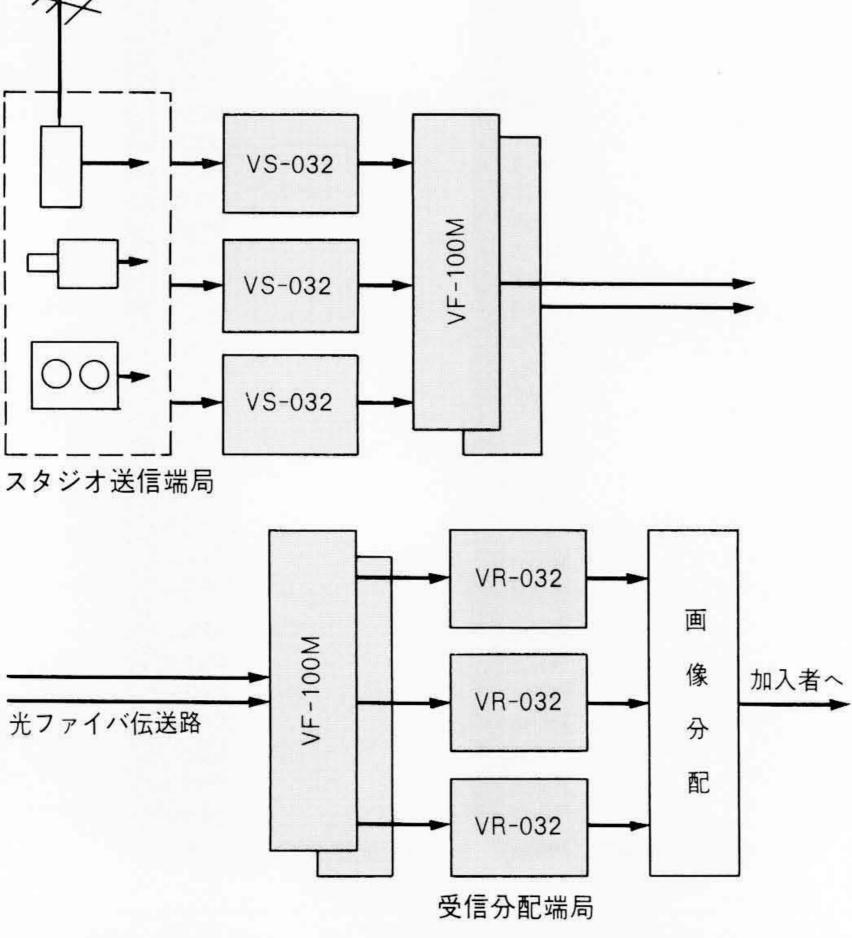


図9 CATVシステムへの応用例 ディジタル光画像伝送装置は、CATVシステム幹線系に適用して多数の画像チャネルの多重伝送が行える。

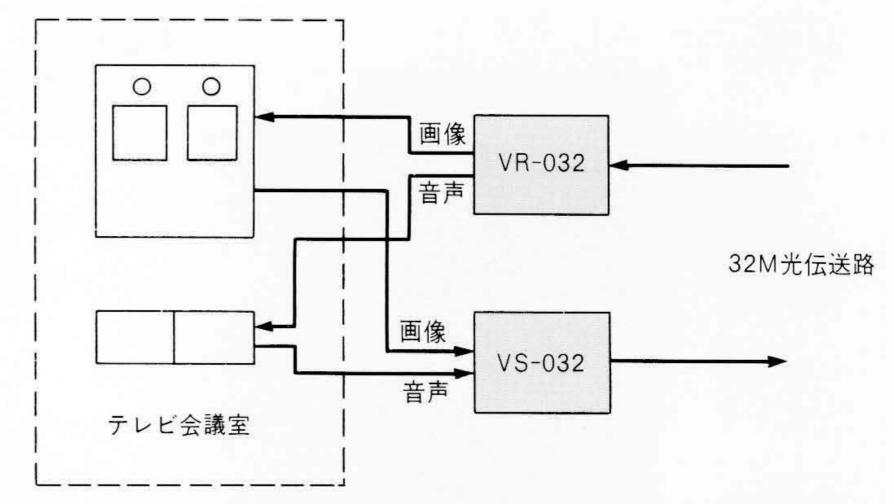


図10 テレビ会議システムへの応用例 画像と音声の双方向伝送が行われる。

用が考えられる。画像信号の多重数が多いほど経済的である。 図9にCATVシステムの一例を示す。

(3) テレビ会議システムへの応用

テレビ会議システムは、前の二つのシステムと異なり画像信号の双方向伝送システムである。音声信号やデータの伝送も同時に行う。VS/VR-032を対向で使用することによってシステムを構築することができる。多地点間の会議システムでは、伝送ネットワークは交換機能を備えることが必要となる。図10にテレビ会議システムの例を示す。

5 結 言

ディジタル光伝送技術と画像符号化技術によって、高品質で安定な画像伝送システムを実現するディジタル光画像伝送装置を開発した。多中継伝送が可能で、多重化が容易であるなどの特徴によって、拡張性に優れた大規模な画像伝送システムの実現に威力を発揮する。数キロメートルから90キロメートルの伝送でも、画像のSN比やDG(Differential Gain:微分利得)、DP(Differential Phase:微分位相)などの諸特性は変わらず一定である。これはアナログ伝送のSN比特性が、伝送距離に対応して変化する性質と大きく異なる特徴点である。したがって、ディジタル光画像伝送装置を用いることによって、距離によらず一定の品質の画像を分配するシステムを構築することができる。

今後は、装置の経済化によって小規模なシステムにも適用 可能とするとともに、より高能率の画像符号化技術の開発に よって伝送効率の向上を図り、多様な画像伝送システムの実 用化を促すことが重要な課題と考えている。

参考文献

- 1) 桃澤,外:光画像伝送システム,日立評論,65,10,677~680 (昭58-10)
- Y. Minami, et al.: Fiberoptic Subscriber Transmission Equipment for the INS Model System, Hitachi Review, 35, 4, 189~192(1986-8)
- 3) 吹抜:画像のディジタル信号処理,昭和56年,日刊工業新聞
- 4) M. Yamada, et al.: Fiberoptic Digital Video Transmission Equipment, Hitachi Review, 35, 4, 197~200 (1986-8)