

長距離・大容量用光PCM伝送システム

Optical PCM Transmission System for Long Distance and Large Information Capacity Transmission

光ファイバケーブル伝送の実用化開発があらゆる情報通信分野で行なわれており、長距離、大容量伝送を目的とした経済的な光PCM伝送装置の開発は電力会社向け、鉄道通信、更に公衆通信などの適用領域では重要な課題である。この目的で電話1,344回線が伝送できる90Mビット/秒光PCM伝送装置を開発した。また、情報量の増加に伴い、将来の拡張性を考慮し、1.2 μ m, 1.3 μ m, 1.5 μ mの3波長分割多重技術を開発し、1本のファイバで270Mビット/秒相当の情報量を、中継間隔15kmで、最大回線長6,400kmまで伝送できる経済的システムが構築できる。更に、高信頼化システムとするため予備回線切替方式を採用し、90Mビット/秒の伝送回線最大60回線のシステムでの不稼働率を0.02%以下とした。また、各装置回線などの監視にはマイクロコンピュータを具備した、自動監視制御装置の開発を行ない、障害箇所探知などもすべて自動化とし、保守、運用の便利な長距離・大容量光PCM伝送システムを実現した。

太田 紘一* *Kōichi Ōta*
 高崎 喜孝** *Yoshitaka Takasaki*
 山田 満雄*** *Mitsuo Yamada*
 松井 徹**** *Tōru Matsui*

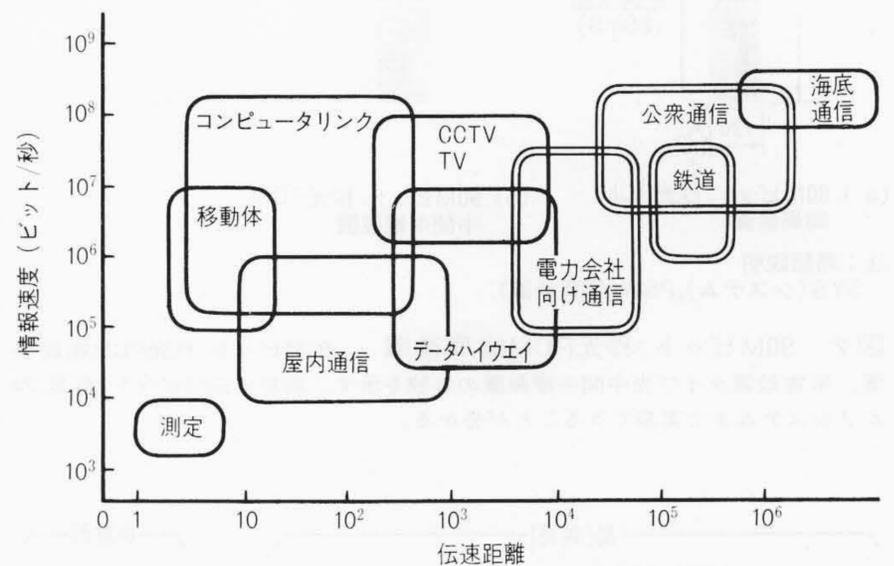
1 緒言

光ファイバケーブル伝送の適用分野は多岐にわたり、自動車内通信などのような短い伝送距離から大陸間を結ぶ非常に長い伝送距離の海底通信などのような広範囲な情報通信分野まで研究、開発、実用化が進められている。情報量と伝送距離の関係を各適用分野について図1に示す。特に二重枠で示した電力会社向け通信、鉄道通信、公衆通信などの分野では主にPCM(Pulse Code Modulation:パルス符号変調)伝送技術が使われている。表1に、各国で使用しているPCMハイアラキー^{*)}を示す。これらのハイアラキーに対応した光PCM伝送システムは各所で開発され、現地実証試験なども実施され、光ファイバケーブル伝送の有益性が実証されてきている^{1)~4)}。更にこれらの実用化には経済的で、高信頼性があり、拡張性があるシステムとすることが望まれる。そこで本論文では、長距離・大容量通信を目的とし、経済的で、システム構築上柔軟性があり、日本ハイアラキーの4次群対応で、また北米系では90Mビット/秒で使用できる光PCM伝送装置を開発した。

本稿は、その特長及び性能、実験結果について述べる。更に、将来の情報量の増加に対し、増設が容易で拡張性のある波長分割多重技術と保守、運用などで経済性の発揮できる自動監視制御方式について言及する。

2 システムと性能

電話、画像、データなどの情報を、同時になるべく遠くまで正確に伝送するには、これらの情報をデジタル化し伝送することによって、光ファイバの広帯域、低損失性を最も生かすことのできる光PCM伝送方式が適している。電話回線で672チャンネルすなわち45Mビット/秒の伝送回線を2回線電気



注: 略語説明 CCTV(Closed Circuit Television)

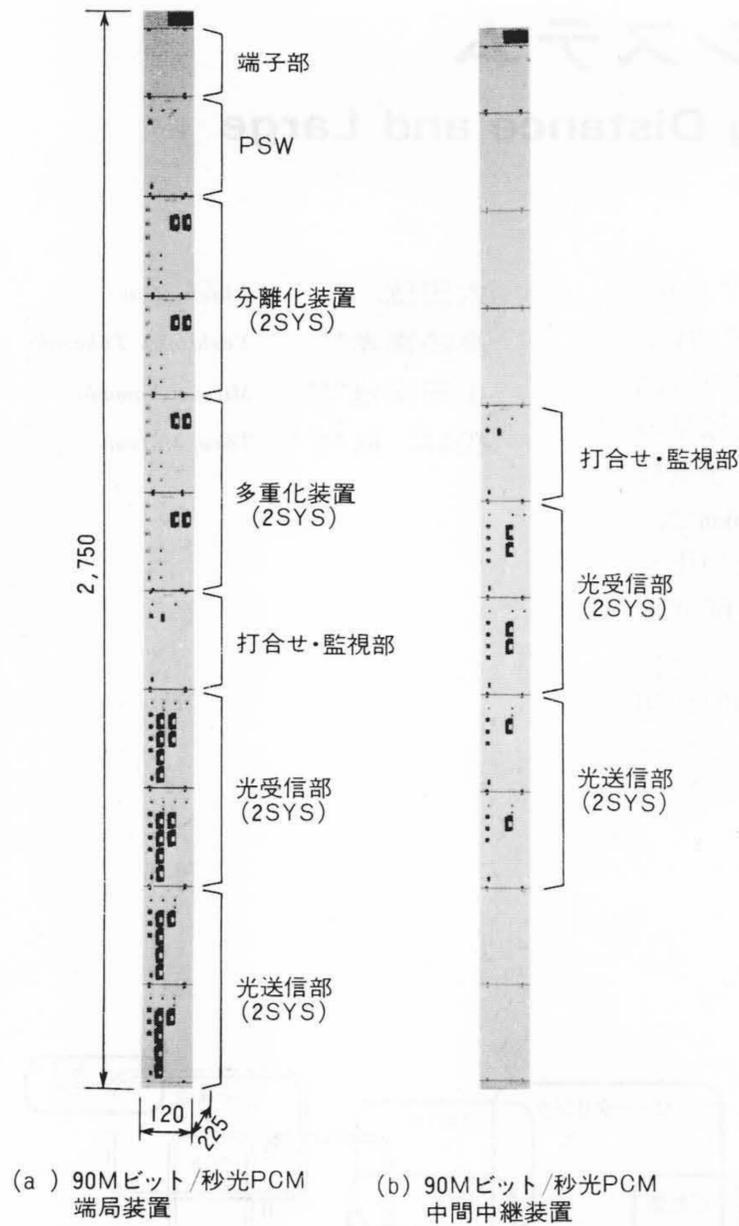
図1 光ファイバケーブル伝送の適用領域 光ファイバケーブル伝送の適用領域が示され、本論文の対象範囲が二重枠で囲まれている。

的に時分割多重化し、1,344チャンネルが伝送できる90Mビット/秒光PCM伝送装置を開発した。本装置の外観を図2に、その特長を以下に述べる。

- (1) 電話回線相当で1,344回線という大量の情報が一度に伝送できる。
- (2) 長波長帯を使用したことで中継間隔が15kmと長い。
- (3) 1中継当たりの符号誤り率が 10^{-11} と小さく、最大回線長6,400kmでも 10^{-8} 以下の誤り率が保て、正確な通信ができるシステムが可能である。
- (4) 予備回線を用いシステムの稼働率^{*)}を0.02%以下の高信

※1) PCMハイアラキー: PCMの多重化構成のことをいい、CCITT(国際電信電話諮問委員会)で標準のハイアラキーを勧告している。大きく分け、ヨーロッパ系、北米系、日本系列で異なり、特に北米系では独自のハイアラキーを構成しているものもある。

※2) 稼働率: システムが障害を発生し、予備回線で動作している際に更に障害などが発生しシステム全体として稼働しなくなる確率をいう。



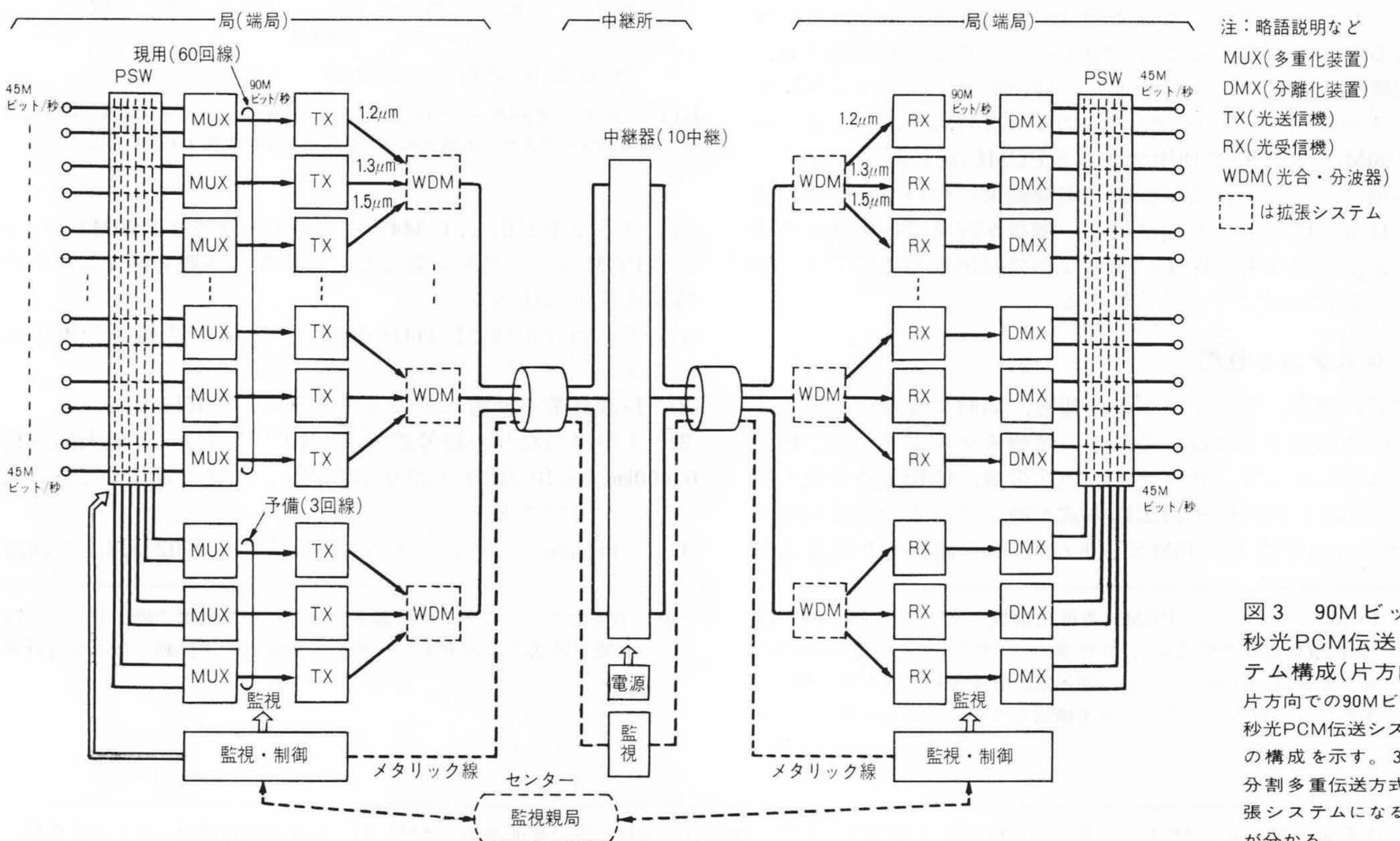
(a) 90Mビット/秒光PCM 端局装置 (b) 90Mビット/秒光PCM 中間中継装置

注：略語説明 SYS(システム),PSW(切替装置)
 図2 90Mビット/秒光PCM端局装置 90Mビット/秒光PCM端局装置、局舎設置タイプ光中間中継装置の外観を示す。端局で90Mビット/秒回線が2システムまで実装できることが分かる。

- 頼伝送システムが最大回線長6,400kmまで構築できる。
- (5) 自動監視システムを採用することによって保守経費の低減化が可能である。
 - (6) 将来、伝送すべき情報量が増加した場合でも、波長分割多重方式を用いているので、電話回線で最大4,032チャンネルまで光ファイバの増設なしに、端局でのパッケージの簡単な増設だけで拡張することが可能である。
 - (7) 自動監視システムは、10台までの中継器で構成する90Mビット/秒伝送路、最大60回線と予備3回線までの監視ができる。
 - (8) 本装置はスリムタイプの架実装で、設置床面積は従来の1/4と小さく、伝送容量の少ない局に適用する場合には効率的な配置ができ、伝送容量の大きい局に適用する場合には増設が容易な柔軟な構成としている。また、スリム架の実装数は最小容量の局でも現用回線1、予備回線1のシステムが1架で構成できるように1架2システム実装としている。図3に本装置を用いたシステム例を示す。

本装置の性能とこれに用いる光デバイス、及びその特性を表2に示す。発光素子には低消費電力を考慮し、発振閾値電流が小さいBH(Buried Hetero:埋込み)形半導体レーザを採用した。発振波長はファイバの伝送損失が小さく、波長分割多重に適する長波長帯の、 $1.2\mu\text{m}$ 、 $1.3\mu\text{m}$ 、 $1.5\mu\text{m}$ を用い、波長分割多重時にはこれら3波長を光合波・分波器を用い1本の光ファイバで伝送する。受光素子には量子効率が65%以上のGe-APD(ゲルマニウム-アバランシェホトダイオード)*3)を使用している。 10^{-11} の誤り率を達成する受光レベルは-38

*3) APD(アバランシェホトダイオード)：逆電界をダイオードの両端に大きくかけ、なだれ現象を利用した内部増幅作用のある受光素子で、外部増幅に比べて低雑音化でき、長距離光伝送に利用できる。



注：略語説明など MUX(多重化装置) DMX(分離化装置) TX(光送信機) RX(光受信機) WDM(光合・分波器) □は拡張システム

図3 90Mビット/秒光PCM伝送システム構成(片方向) 片方向での90Mビット/秒光PCM伝送システムの構成を示す。3波長分割多重伝送方式で拡張システムになることが分かる。

表1 PCM伝送のハイアラキ CCITTで勧告している各国でのPCM伝送の多重化構成, 及び対応する伝送可能な電話回線のチャンネル数が分かる。

系列	多重化階級	0次群	1次群	1.5次群	2次群	3次群	3.5次群	4次群	5次群
		(kビット/秒)	(Mビット/秒)						
日本系列	伝送速度	64	1.5	—	6.3	32	—	100	400
	電話チャンネル数(CH)	1	24	—	96	480	—	1,440	5,760
北米系列	伝送速度	64	1.5	3.2	6.3	45	90	274	—
	電話チャンネル数(CH)	1	24	48	96	672	1,344	4,032	—
ヨーロッパ系列	伝送速度	64	2	—	8	34	—	140	560
	電話チャンネル数(CH)	1	30	—	120	480	—	1,920	7,680

dBm以下であり, 伝送損失が1 dB/km, 伝送帯域が800MHz・kmの光ファイバを用い, 中継距離15kmの伝送路を実現した。光送信器では光送信レベルの安定化を図り, 温度変動範囲0~40°Cに対し光ファイバ入力-6 dBm±0.2dBとなっている。また伝送路符号には0連続を避けるためスクランブルRZ(Return to Zero)を用い, 更に, インサース回線監視を行なうためにパリティビットを挿入した符号を用いた。光受信器は受信符号列からタイミングを抽出し, 波形整形後, 符号の

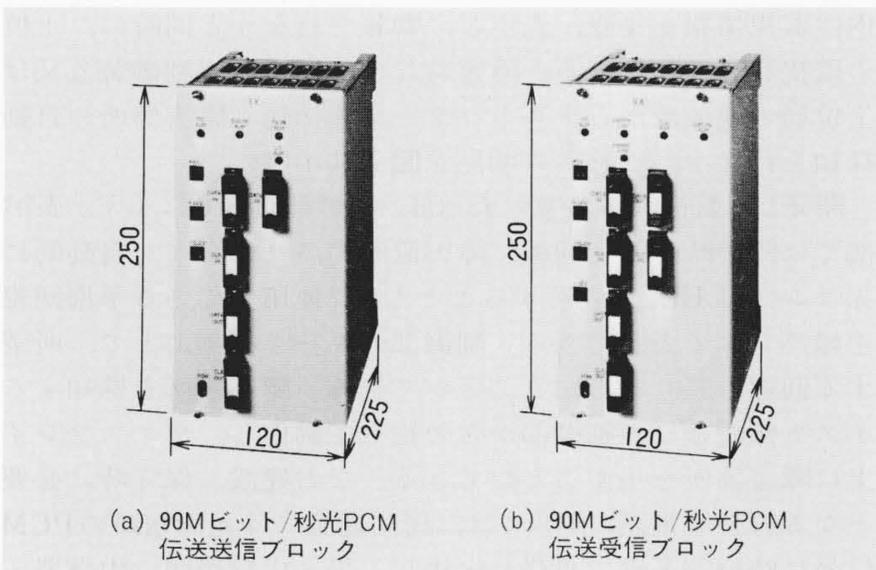


図4 90Mビット/秒光PCM送信・受信ブロック 90Mビット/秒光PCM送信, 受信ブロックの外観が分かる。

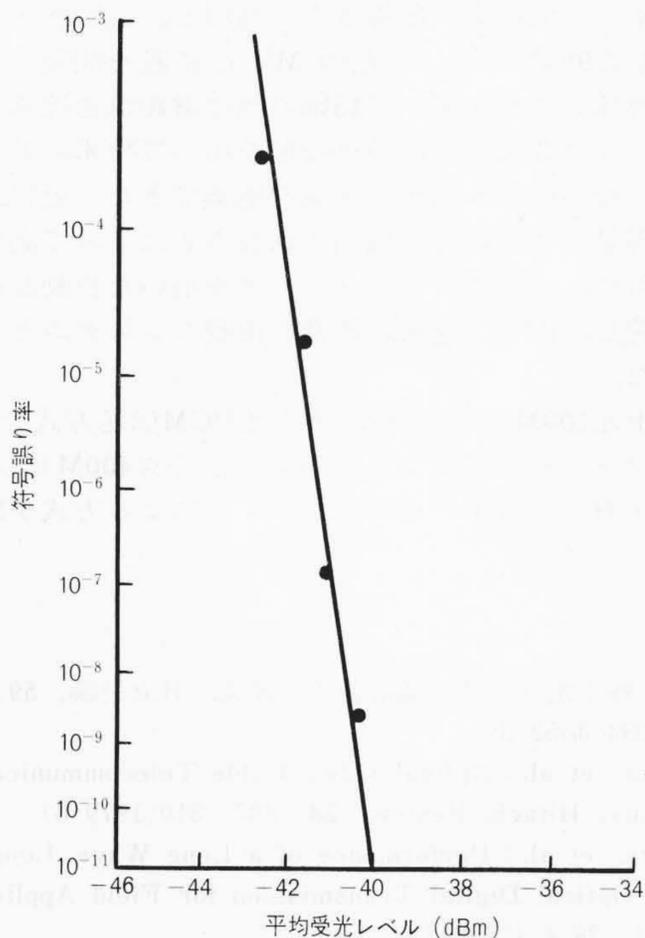


図5 符号誤り率と平均受光レベル 符号誤り率と平均受光レベルの関係の実験結果を示しており, 10⁻¹¹の符号誤り率を受ける受光レベルは, -40 dBmであることが分かる。

再生を行なう。図4(a), (b)に光送信ブロック, 光受信ブロックの外観を示す。この送・受信器は建設, 保守性を考え, 簡単な操作で取付け, 取外しができるようにすべてプラグイン構造とした。図5は誤り率と受信光レベルの関係を示す。10⁻¹¹の誤り率を達成する受信光レベルは-40dBmで, システム性能の-38dBm以下を満足している。

3波長分割多重方式に用いる1.2μm, 1.3μm, 1.5μmの光分波器, 及び光合波器は干渉膜フィルタで構成し, 挿入損失が6 dB以下である。図6に光合波器(分波器も同じ外観)の外観を示す。取扱いやすさを考慮し, 光コネクタ接続タイプとしている。

光中間中継器は, 従来マンホールタイプ, 柱上タイプのものが開発され, 実証試験などが試みられているが^{1), 2)}, 本装置では長波長帯伝送で中継距離が長くできることから, 局舎設置タイプの光中間中継器を開発した。図2(b)に外観を示す。



図6 3波長光合波器 3波長光合波器(1.2μm, 1.3μm, 1.5μm)の外観を示す。

表2 システム及び光デバイスの特性 90Mビット/秒光PCM伝送システムと, それに用いた光デバイスの特性が分かる。

項目		特性	
システム	情報量	45Mビット/秒×2回線(1,344チャンネル)	
	伝送速度	90Mビット/秒	
	伝送路符号形式	スクランブルRZ(デューティ50%)	
	送信光出力レベル	-6 dBm(平均値)	
	最小受信レベル	-38dBm以下(平均値)	
	誤り率	10 ⁻¹¹ /中継以下	
光デバイス	中継距離	15km以上	
	実装形式	スリム架[幅120×奥行225×高さ2,750(mm)]	
	発光素子	種類	InGaAsP/InPレーザ
		構造	BHタイプ
		発振波長	1.2μm, 1.3μm又は1.5μm
	受光素子	種類	Ge-APD
		量子効率	65%以上
		合波・分波数	3波(1.2μm, 1.3μm, 1.5μm)
	光合波器	挿入損(合波又は分波)	6dB以下
		寸法	幅30×長さ40×高さ8 (mm)
光ファイバ	種類	50/125GIタイプ	
	伝送損失	1.0dB以下(スプライシング損失を含む。)	
	伝送帯域	800MHz・km	

注: 略語説明: RZ(Return to Zero) BH(Buried Hetero)

表3 監視制御装置の特性 監視制御装置の性能が分かる。

項目	特性
監視可能現用回線数	60回線以下
1回線当たりの中継器数	10中継以下
予備回線数	3回線以下
切替方式	自動切替(手動も可)
回線監視項目	誤り率
誤り率検出方式	パリティチェック
監視情報伝送方式	メタリック転送及びPCM信号多重化伝送併用
切替誤り率	10 ⁻⁶ 以上
警報表示	LED及びCRT
試験機能	障害点自動探知試験

注：略語説明 PCM(Pulse Code Modulation)
LED(発光ダイオード)
CRT(Cathode Ray Tube)

端局装置と同じスリム架実装としている。90Mビット/秒4回線分が1架に実装できる。本中継器を用いることで最大回線長6,400kmのシステムが構成でき、1中継当たりの誤り率を10⁻¹¹以下としているので、最大回線長でも誤り率が10⁻⁸以下の高品質の光PCM伝送システムが達成できる。

3 回線切替及び監視制御方式

長距離、大容量伝送の場合、回線の信頼性の確保、伝送装置や伝送路の保全、運用に関する問題は非常に重要な課題である。そこで、90Mビット/秒光PCM伝送回線が最大60回線まで、また1回線の間中継器が最大10台まで監視制御可能な装置の開発を行なった。

中継器、中継所の監視情報は光ファイバケーブルに介在するメタリック線を使用し両端局に伝送する。また、両端局では回線の誤り率を常時監視し、誤り率が10⁻⁶以上になると自動的に予備回線に切り替わる。誤り率の監視はPCM信号に多重化したパリティ信号を検出することで行なう。この誤り監視情報はPCM情報に時分割多重し相手局に伝送する。システムの不稼働率^{*)}を0.02%とするために3回線の予備回線を設ける。表3に監視制御方式の性能を示す。監視制御装置はマ

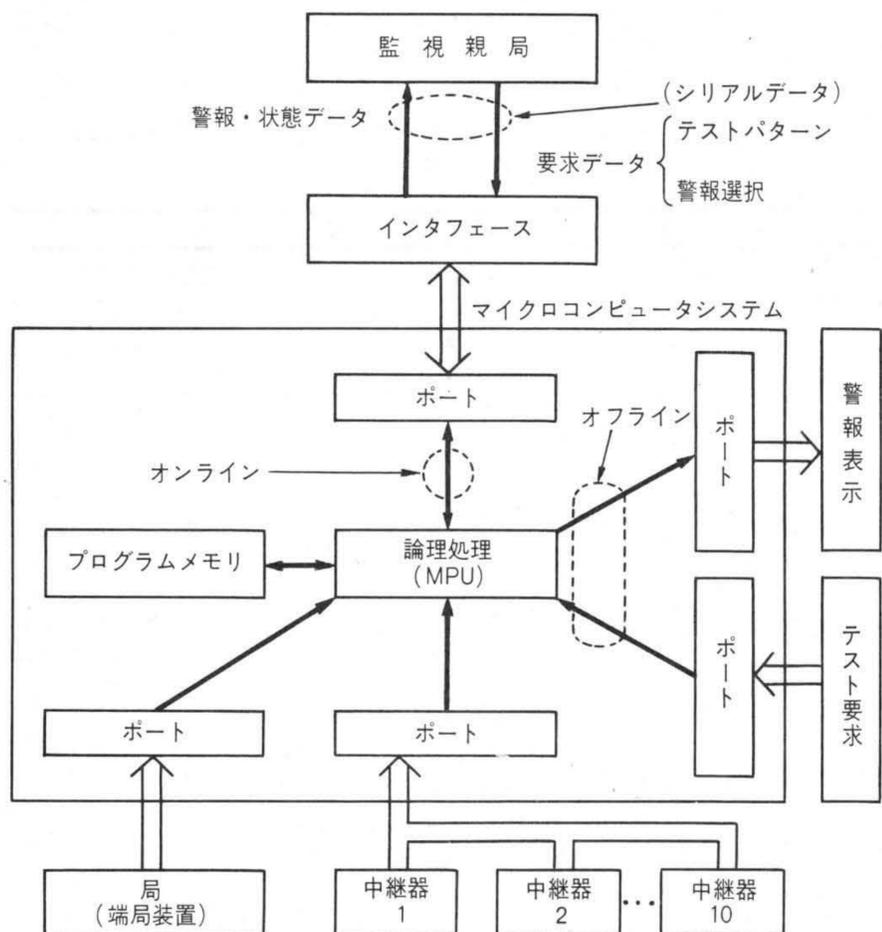


図7 マイクロコンピュータによる監視制御システム マイクロコンピュータを使用した監視制御システムの動作原理が分かる。

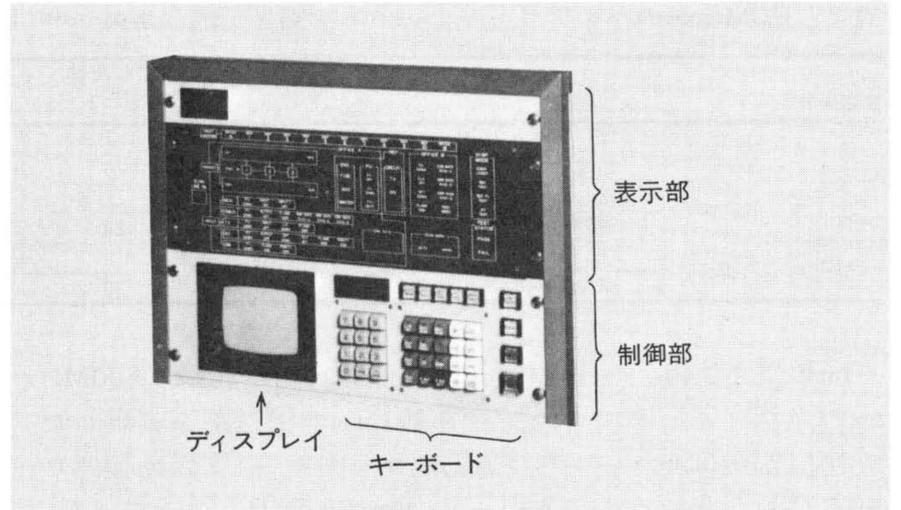


図8 監視制御装置表示及び制御部 監視制御装置の表示部と制御部の表面パネル部の外観が分かる。

イクロコンピュータを備え、各端局装置内監視部及び中継所内の監視情報を集取、表示し、警報を行なうと同時に、上位の監視親局に転送する。障害時には、局の監視制御装置又は上位局の親装置からテストパターンを送り障害箇所の自動探知を行なう。これらの関係を図7に示す。

開発した監視制御装置の表示部、制御部を図8に示す。表示部では障害時、障害回線、障害箇所、誤り率などを自動的に赤ランプ(LED)で表示するとともに、使用している予備回線を緑ランプで表示できる。制御部のキーを押すことで、所望する回線の誤り率を知ることができる。障害箇所を探知するテスト機能はこの制御部からの指令で動作し、ディスプレイ上に障害箇所を示すことができる。なお建設、保守時に必要となる打合せ電話に関しては、局間通話には光伝送路のPCM信号に時分割多重で重畳し伝送し、局～中継器間、中継器～中継器間に関してはメタリック線を利用し行なう。

4 結 言

光ファイバの低損失、広帯域性を利用し、長距離・大容量伝送に適した90Mビット/秒光PCM伝送装置を開発した。長波長帯半導体レーザを用いて15kmの無中継距離を達成することができ、また3波長分割多重技術を用いて将来の拡張が容易で、かつ経済的なシステム構成が構築できた。更に、このような大容量システムを予備回線切替方式によって高信頼化するとともに、マイクロコンピュータを用いた自動監視制御装置を開発し、保守、運用に非常に便利なシステムとすることができた。

なお、上記100Mビット/秒以下の光PCM伝送方式ではマルチモードファイバが用いられているが、今後400Mビット/秒以上の伝送方式では単一モードファイバによる方式が開発される。

参考文献

- 1) 青木, 外: 光ファイバ通信装置の開発, 日立評論, 59, 3, 229~234(昭52-3)
- 2) K. Ohta, et al.: Optical Fiber Cable Telecommunication Systems, Hitachi Review, 28, 307~310(1979-6)
- 3) K. Ohta, et al.: Performance of a Long Wave Length Fiber Optical Digital Transmission for Field Application, ICC'81, 38.4.1(1981)
- 4) K. Ohta, et al.: 32Mb/s Long Wave Length Optical Transmission System, Hitachi Review, 31, 109~114 (1982-3)