

## 阪神高速道路における光ファイバ通信システム

(前)保全施設部 電気通信課 岸 田 立 夫  
同 部 同 課 矢 内 卓 雄

(前)大阪第2建設部 西淀川工事事務所 桃 澤 宗 夫

### まえがき

光ファイバ通信は、ガラスファイバ・ケーブルを伝送線路とし、発光ダイオードなどの光により情報を伝送する新しい通信方式である。

1970年、米国のコーニング社からそれまでより非常に透明な損失20dB/Kmの光ファイバが発表され、またBell研では半導体レーザの室温連続発振に成功した。以来10年、光ファイバの低損失化と光半導体を含む関連技術の進展によって、光通信の実用化は広範な分野で急速に進められつつある。

金属導体を用いる従来の通信ケーブルによる伝送路と比較すると、光ファイバ通信方式には次の様な特長がある。

- ① 低損失広帯域で、長距離無中継大容量伝送が可能。
- ② 無誘導、無漏話で高品質な通信が可能。
- ③ 軽量細径で占積が少なく、取扱いも比較的容易。
- ④ 原料の石英は資源が豊富で、化学的腐蝕に強い。

これらの特長を生かせば既存の有線電気通信の分野のほとんどをカバーし、品質と容量でははるかに従来方式をしのぐことになる。

阪神高速道路公団においても、これらの情勢に鑑み、昭和50年頃から光ファイバ通信技術関連の資料収集と検討を開始した。そして昭和53年度には、本格的実用化のための調査とテレビ画像伝送実験(通信方式調査実験業務)を実施し、その成果を受けて翌54年度には、大阪松原線で交

通流監視テレビ装置の画像伝送系にはじめて光ファイバ通信を採用し、好成績を収めた。さらに同年並行して行われた阪神高速道路通信方式調査検討委員会では、大阪西宮線の画像伝送方式と大阪・神戸両管理センター間の通信方式と光ファイバ通信の適用が検討された。

昭和55年度には、この委員会の検討を確かめるため、神戸西宮線の光ファイバ・ケーブルを用いて長波長光通信技術による長距離伝送実験を実施した。現在この成果を受けて大阪西宮線で通信装置を建設中である。また今後の新しい路線に光通信方式の全面的導入を検討するため、55年度も通信方式調査検討委員会が行われている。

本稿は、これら光ファイバ通信方式導入の経緯にたつて、阪神高速道路に実用化した3システムについて報告するものである。

### 1. 大阪松原線交通流監視テレビシステム

阪神高速道路公団としては、昭和55年3月に供用した大阪松原線においてはじめて光通信システムを採用した。このシステムは先に述べた53年度調査・実験による成果にもとずいて実施した短波長帯の光通信システムである。

#### 1-1 システムの概要

本システムは、図-1に示すように延長約14kmの大阪松原線高速道路上にカメラを5台設置し、カメラ端局間を光ファイバ・ケーブルで接続した。

さらに図-2に示すように全カメラ2系統選択方式を採用しているため、中継箱内の映像切

換部で回線1または回線2のどちらにでも切換えられ、モニター1および2はどちらもすべてのカメラの映像を監視することができる。

本システムの特長としては、次の点があげられる。

- ① 回線1に障害が生じて回線2によって全カメラの監視が可能であるためシステムダウンとならない。
- ② 伝送路はカラー画像の伝送も考慮しており、カラー化も可能である。
- ③ 支線系も光ファイバによる伝送を行っているため放送波などによる伝送路への誘導妨害は全く受けない。
- ④ カメラはメタリック・ワイヤ伝送方式によって雲台制御(上、下、左、右)およびレンズ制御(望、広、遠、近)などの制御が可能となっている。
- ⑤ 光送受信システムは構成の簡単な直接IM方式を採用しており、使用しているLED、APD、PIN-PDとも高い信頼性を有している。
- ⑥ 電気レベルにおいてインタ・フェースを統一することにより、各区間の接続切替が容易に行えるよう配慮した。

- ⑦ 中継端子における光コネクタを統一することにより、点検時の作業が容易に行えるようにした。

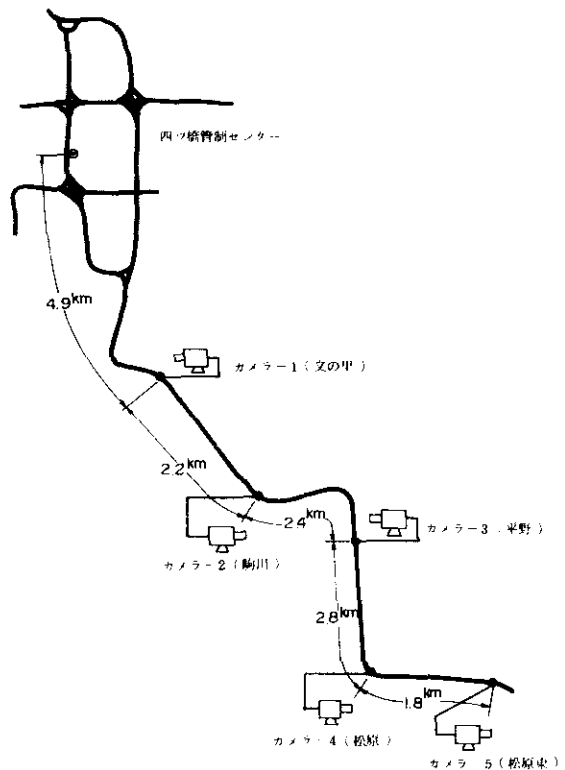


図-1 大阪松原線交通監視テレビシステム系統図

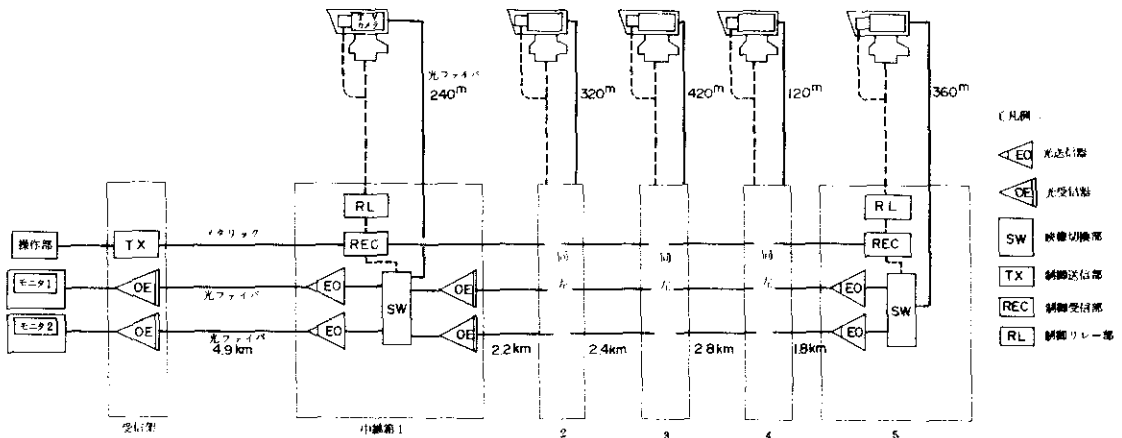


図-2 大阪松原線交通監視テレビシステム構成図

## 1-2 システム諸元

### (1) S/N配分

システム総合の S/Nは40dB を確保するも

のとして、光伝送路に43dB、TVカメラ43dBを割りふった。

光伝送路のS/N43dBをさらに各区間毎の距離に応じて図-3のように配分した。

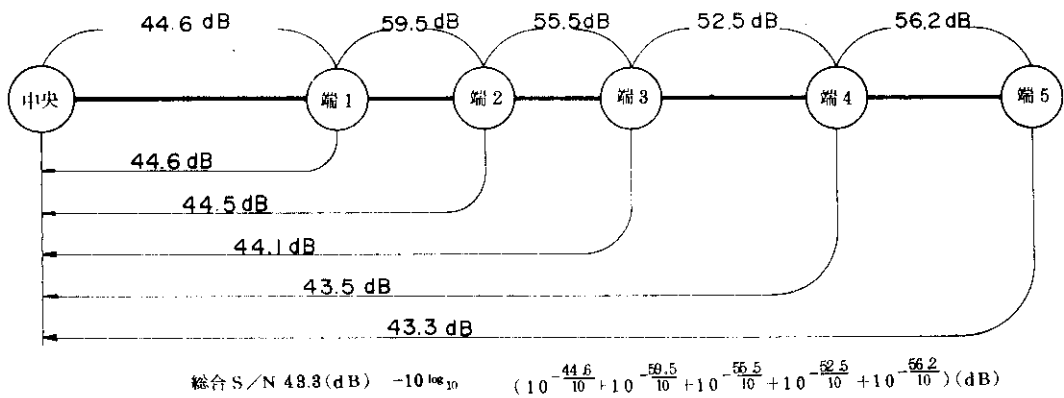


図-3 大阪原線伝送路S/N配分

(2) システムの目標性能

システムの目標性能としては将来のカラー伝送も考慮し、ITV 4M(C)規格を参考とし、表-1に示すものとした。

表-1 大阪原線伝送路目標性能

項目	目標値	備 考
入出力信号レベル	映像 0.7 Vpp 同期 0.3 Vpp	極性は正極性
インピーダンス	75Ω 不平衡 不整合減衰量は 20dB以上	
ランダム雑音	48 dB	Spp/Nrms 帯域4 MHzで無評価値
ハム雑音	51 dB以上	Spp/Npp
振幅周波数特性	±1.6 dB ±4 dB	15KHz~4 MHz 4 MHz 以上~6 MHz
フレームスロープ	15%以下	最初の1msを除く
ラインスロープ	15%以下	前後の1μsを除く
DG	30%以下	
DP	15°以下	

(3) システムの試験結果

本システムは昭和55年3月に完成した。現地試験時に得たデータは表-2のとおりであり、目標性能を十分満足することが確認できた。

1-3 光ファイバ・ケーブル

本システムに使用している光ファイバ・ケーブルは、各端局間(幹線系)のケーブルとしてはコア径50μm、クラッド径125μmのグレーディッド・インデックス・ファイバーと電力

表-2 大阪原線現地試験結果

項目	総合特性	備 考
ケーブル長	幹線: 14,533m 2心 支線: 1,687m 2心	各々52間
幹線ケーブル損失	A系 42.7dB 平均2.9dB/km	スプライス損失除く 平均2.6dB/km
	B系 42.1dB 平均2.9dB/km	スプライス損失除く 平均2.6dB/km
支線ケーブル損失	9.8dB 平均3.0dB/km	2心の平均
スプライス損失	平均0.15dB/1箇所	30箇所の平均
コネクタ損失	平均0.9dB/個	100個平均
S/N	A系 46.8dB(無評価)	幹線5区間と 支線1区間の合計
	B系 45.6dB(無評価)	"
周波数特性	A系 +0.3dB -1.1dB	"
	B系 +0.8dB -1.0dB	"
偏 差	A系 3%(APL=50%)	"
	B系 4%( " )	"
DP	A系 1.5°( " )	"
	B系 1.0°( " )	"

(注) 各測定値は0.85mmの波長による。

用600VVVR-38mm-2心ケーブルとを一緒に収容した複合ケーブルを用いた。またカメラと端局間の支線系には、制御用CVV2mm<sup>2</sup>20心ケーブルと、コア径50μm、クラッド径125μmのステップ・インデックス・ファイバを一緒に収容した複合ケーブルを用いた。これらの構造例を図-4に示す。

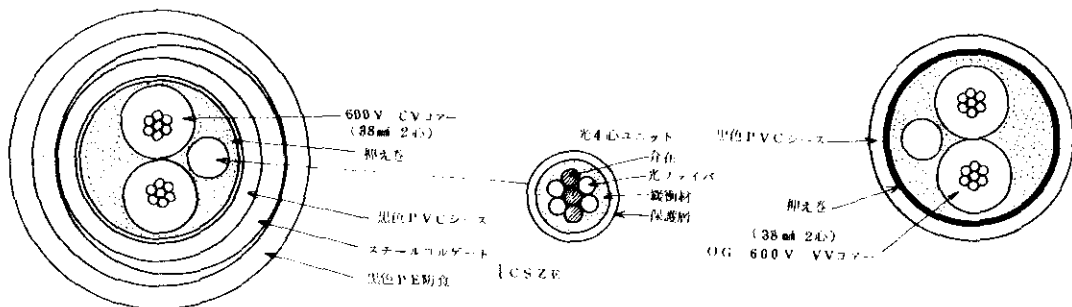


図-4 ケーブル構造例

各端局間に用いたグレーディッド・インデックス・ファイバの仕様を表-3に示す。なお、実際の製造に際してはファイバの伝送損失は先のS/Nを満足させるため、3dB/km以下を目標にした。

表-3 大阪松原線ファイバ仕様

光 フ ァ イ バ	伝送損失	3.5dBm/km以下 ( $\lambda=0.85\pm 0.02\mu\text{m}$ )
	伝送帯域	250MHz・km以上
	心線の引張り強さ	平均5kg以上
	心線の耐屈曲性	光ファイバが折れないこと。

#### 1-4 中継端局

中継端局は各変電塔に設置するため、防水構造の屋外用筐体を使用した。中継端局には、光送信機2台、光受信機(支線系用を含む)3台が実装されており、実装構成図は図-5に示すとおりである。また装置の外観を写真-1に示す。

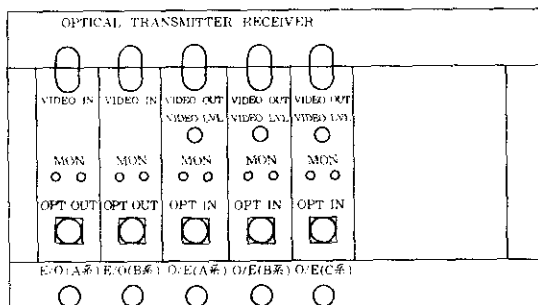


図-5 中継端局実装構成図

#### 1-5 センター端局

センター端局は、基本的には中継端局と同じであるが、光受信機が2台実装されるのみであ

る。ただし、同一架内にカメラコントロール用の制御親局も実装している。装置の外観を写真-2に示す。

## 2. 大阪西宮線交通流監視テレビシステム

本年6月開通予定の大阪西宮線においては、さきの実験結果をふまえ長距離区間の伝送に長波長帯(1.3 $\mu\text{m}$ )の光通信が導入されることになった。



《写真-1》 外観写真



《写真-2》 外観写真

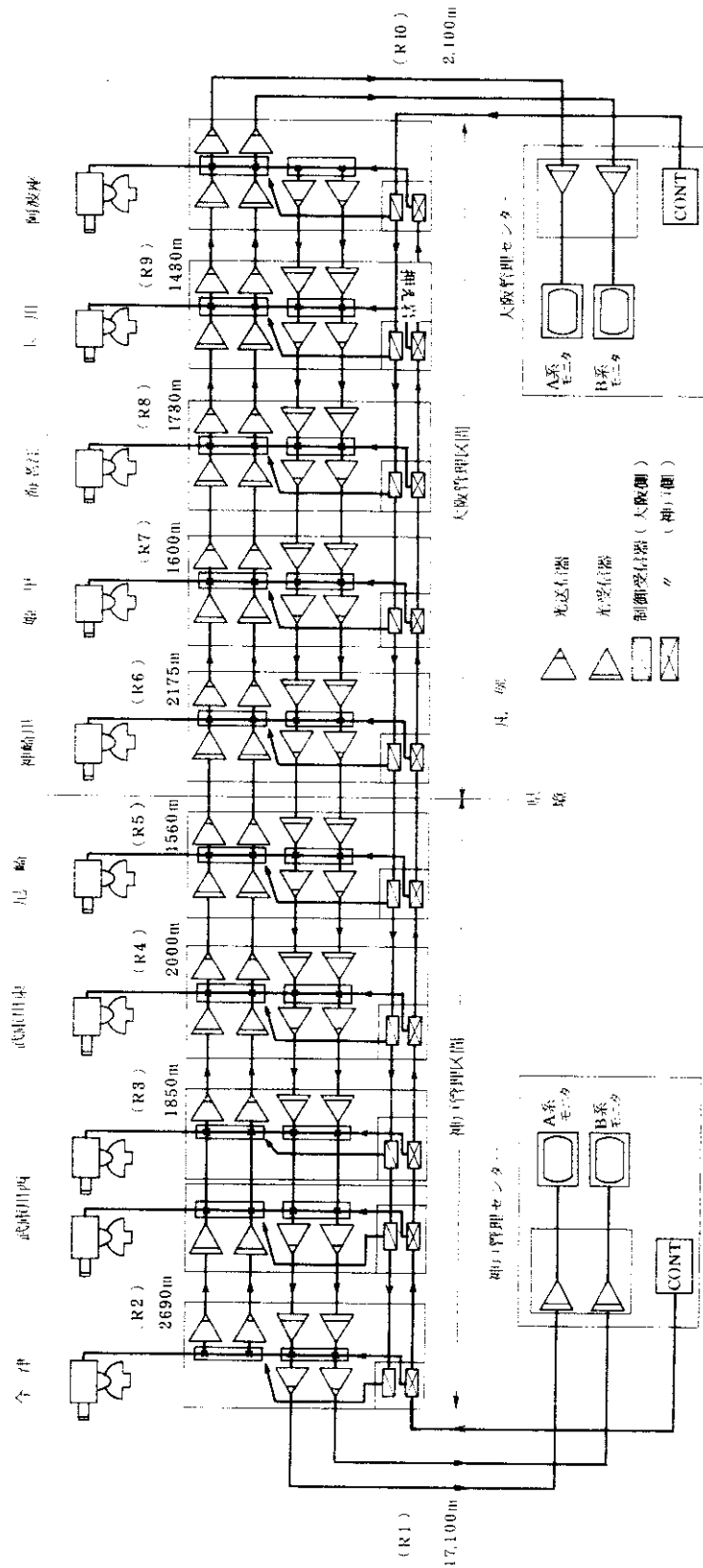


図 6 大阪西宮線交通流監視テレビシステム  
構成

## 2-1 システムの概要

本システムの特長としては次のものがある。

- ① 長距離伝送区間がある。
- ② 府県境において管理区域が異なる。

システムの構成を図-6に示す。カメラ選択は大阪松原線と同様全カメラ2系統選択方式とし、大阪および神戸管理センターで監視が行えるよう伝送路を構成した。神戸管理センター〜今津間の約17km区間では、実験の結果をふまえて長波長帯レーザ・ダイオードを使用したPFM方式を採用し、品質の確保をはかること

にしたが、他の区間では松原線と同様、短波長直接IM方式とした。

支線系については、実験の結果600m以下であれば同軸ケーブルの使用が適当であるとの結論が得られたため、今回は松原線の場合とは異なり同軸ケーブルの適用を考えた。

## 2-2 システム諸元

### (1) S/N配合

図-6の構成により各区間S/Nおよび総合S/Nの目標は図-7に示すとおりとし、特にR1区間については、PFM方式を採用し48dB

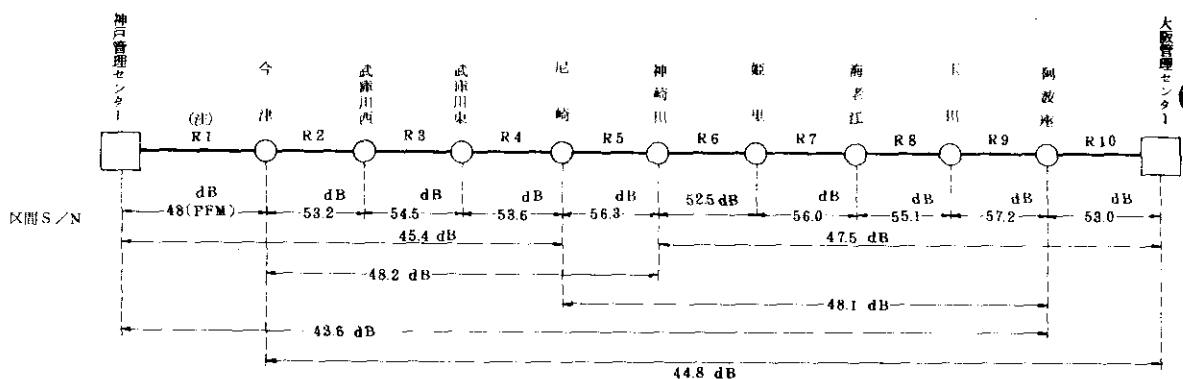


図-7 大阪西宮線S/N配分

の配分とした。この結果神戸管理センター、大阪管理センター双方とも総合S/Nは42dB以上を確保できることになった。その他の性能は松原線と同様、ITV・4M規格を参考にする事とした。

## 2-3 光伝送路諸元

R1区間は、既に布設した光ファイバ・ケーブルを用い、1.3μmの長波長帯を使用する。

表-4 伝送路損失配分

項目	R1区間	R2~R10区間
光ファイバケーブル損失	22dB (スプライスを含む)	3dB/km以下
スプライス損失	-	0.3dB/1ヶ所
コネクタ損失	2dB	2dB
マージン	2dB	1dB
使用波長	既設区間 波長 1.3μm	新設区間 波長 0.85μm

他の区間については、光ファイバ・ケーブルを新設し、短波長帯を使用する。この光伝送路の損失配分を表-4に示す。

## 2-4 光ファイバ・ケーブル

図-6中、今回新設するR2~R9区間の光ファイバ・ケーブルは、以下のものを使用することとした。

- ① コア/クラッド径 50μm / 125μm
- ② プロファイル グレーディッドインデックス型
- ③ 使用波長 0.85μm帯

本光ファイバ・ケーブルの特性を表-5に示す。

ケーブル構造は、光ファイバ4心と、電力心600V、VVRまたはCV2心の複合形態をとっている。さらに外被構造は、ビニール・シースのみのもので、スチール・コルゲート付ポリ

エチレン防食の2種の構造とした。構造の例は  
図-4と同様である。

表-5 大阪西宮線テレビシステム  
ファイバケーブル仕様

項目	特性値	
電力線	V V R	0.497Ω/km以下(20℃)
	C V	0.491Ω/km以下(20℃)
線	耐電圧	AC 2,500Vに1分間耐えること
	絶縁抵抗	V V R 30MΩ-km以上(20℃) C V 1,500MΩ-km以上(20℃)
光ファイバ	伝送損失	平均 8.0dB/km以下 最大 3.5dB/km以下 (λ = 0.85±0.02μm)
	伝送帯域	250MHz・km以上
	心線の引張り強さ	平均 5kg以上
	心線の耐屈曲性	光ファイバが折れないこと
ケーブル	最小曲げ半径	延線時：ケーブル外径の20倍 固定時：ケーブル外径の10倍
	許容張力	500kg
	スチールコルゲート耐屈曲性	ひび割れなど異常を生じないこと

表-6 テレビ制御方式諸元

項目	諸元	備考		
映像	回線数	1路線当り 2系統		
	伝送距離	最大 20km		
	カメラ標準間隔	2km		
制御方式	制御項目回線数	最大 16回線 " 4	大阪管理センタ収容数 神戸管理センタ収容数	
	カメラ選択	最大 10台		
	カメラ制御	雲台：上、下、 左、右 ズーム：望、広 フォーカス：遠、近 ワイパ：ON、OFF 電源：ON、OFF		
	優先順位	大阪、神戸各センタ管轄内カメラに対して優先制御できるものとする。		
	伝送方式	キャラクタ方式		時分割によるサイクリック伝送方式
	制御所要時間	55mg 以内		
	伝送速度	1200bps± ±0.005%以内		
	変調方式	F S変調		1700Hz±400Hz

### 2-5 制御方式

本システムの制御方式は、次のような条件を満足するよう仕様を定めた。

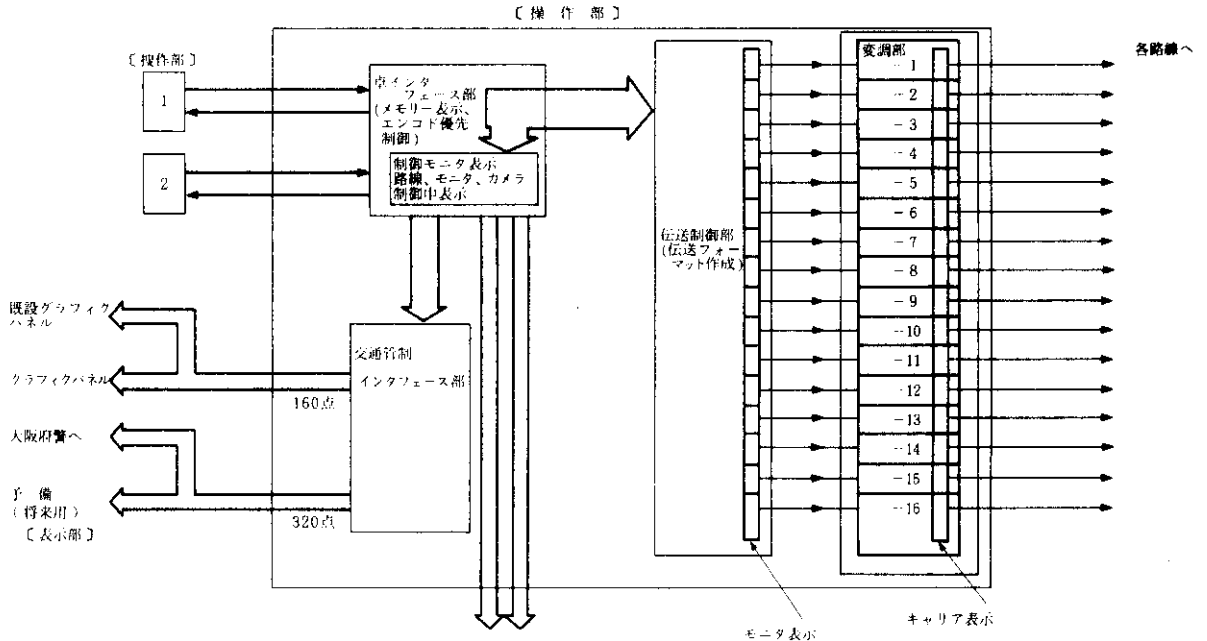


図-8 中央制御装置構成

- ① 伝送制御時間が短い。
- ② 将来の光通信方式によるデータ伝送にも適合できる。
- ③ 異社メーカー間の接続が可能である。
- ④ 管理区分の異なる路線についても制御できる。

以上の条件から本制御方式の諸元を表-6のとおりとした。

次に、管理センターに設置する中央装置は操作部、制御部、表示部より構成されるが、この中央装置の基本構成は図-8に示すとおりである。

本中央装置は大阪西宮線の制御のみではなく、既設路線および将来増設路線のITV監視制御も行えるよう考慮されている。

### 3. 大阪—神戸管理センター間伝送システム

大阪西宮線の開通に伴い大阪—神戸両センター間の各種情報の伝送が増加することが予想され、センター間を直結した伝送路が必要となってきた。両センター間の距離は約35kmあり、従来の伝送方式では多数の中間中継器が必要となる。このため、無中継で伝送できる可能性を持った長波長帯光通信方式について、実証実験を行い、その結果にもとずいて導入されたのが6.3Mbps・PCM 35km無中継伝送システムである。

#### 3-1 システムの概要

図-9に本システムの構成を示す。

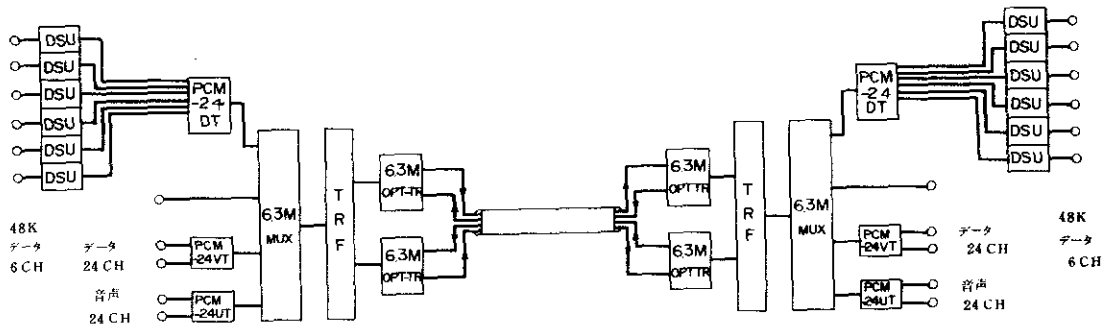


図-9 大阪神戸管理センター間伝送システム構成

本システムの特長は以下の通りである。

- ① 発光素子に長波長帯レーザーダイオードを使用し35km無中継伝送を行っている。
- ② PCMの音声チャンネルに新技術のシングルチャンネルコデック方式を使用し装置の小形化をはかった。
- ③ 光伝送路は現用(N系)、待機(E系)の2系統として片側伝送路が障害となってもシステム障害とならないようホットスタンバイ方式の切替を行った。
- ④ 48Kbpsデータをアナログ変調することなくPCM 6.3Mbpsに変換するPCM 24データ-端局(PCM・24DT)の採用により、データを効率よく高品質で伝送できるシステムを実現した。

#### 3-2 システムの諸元

本システムの主要な諸元を以下に記す。

##### (1) 伝送容量

伝送容量は大阪—神戸間で将来必要となる最大容量まで考慮し次のとおりとした。

- ① 音声 24 Ch
- ② 低速データ (音声相当) 24 Ch
- ③ 高速データ (48Kbps) 6 Ch

##### (2) 光レベルダイヤ

本システムは、伝送路が35kmと長距離であるため、光ファイバ・ケーブルの定期点検、布設後の調整などのため途中に切分け点を必要とする。このため、西宮営業所および府県境に光コネクタによる切分け点を2ヶ所設置する



ことにした。このため光レベルダイヤ表-7のとおり考えた。

表-7 光レベルダイヤ

光送信レベル	-6 dBm	マーク率 $1/2$ デューティ $1/2$ 平均値
光受信レベル	-48 dBm	符号誤り率 $10^{-9}$ 以下
コネクタ損失	4 dB	送受合計 途中2カ所 コネクタを含む
システムマージン	3 dB	
許容ファイバ損失	35 dB	スプラインダング込

### (3) 機器諸元

本システムの主要な機器の諸元は表-8のとおりである。

本諸元は、PCM伝送として今後の阪神高速道路における標準化を考慮して設定した。

表-8 大阪神戸センタ間伝送機器諸元

項目	内容	備考
伝送速度	6.312Mbps	
符号形式	Rzバイポーラ符号	
使用光波長	1.30 $\mu$ m	
使用発光素子	レーザダイオード(LD)	
受光素子	Ge-APD	
光変調方式	PCM-IM方式	
電源	AC100 $\pm$ 10% 単相60Hz $\pm$ 2Hz	
環境条件	温度 -10 $^{\circ}$ C $\sim$ 50 $^{\circ}$ C 湿度 30% $\sim$ 90%	
装置大きさ	2000 $\times$ 520 $\times$ 225mm 2000 $\times$ 260 $\times$ 225mm	PCM6.3 M 光送受信装置 PCM-24 装置

### 3-3 現用待機切替方式

さきに述べたとおり、本システムは回線障害に対して現用と待機を切替えて、システムダウンにならないようにしている。このための切替方式としては、図-10のとおり受信側において現用(N)、待機(E)の符号誤り率を常時監視し、現用側の符号誤り率が劣化した場合、直ちにTRFにて待機側に切替える構成をとっている。

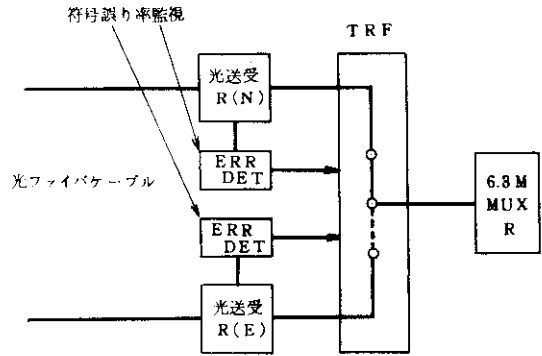


図-10 切替方式

### 3-4 光ファイバ・ケーブル

本システムに使用する光ファイバ・ケーブルは長波長帯での使用を考慮して仕様を定めた。また構造については高速道路下の布設も検討し検討を行った。なお将来の伝送容量の増加および予備等を考慮し光ファイバの心数は、8心とした。以下に本光ファイバ・ケーブルの構造を示す。

ケーブルは常用心4、予備心4合計8心のファイバを収容し、保守連絡用自在対(PEF0.9-8 Pr)との複合構造とした。ケーブル断面図の一例を図-11に示す。

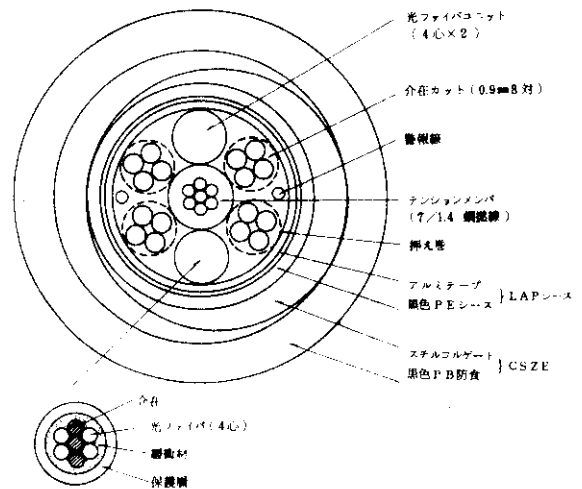


図-11

外被構造は高速道路下の使用を考慮しコルゲート・シース付を標準と考えた。本ケーブルの特性を表-9に示す。

### 3-5 装置の実装

本システムの実装図は図-12に示すとおりで

光ファイバ	伝送損失	平均1.0dB/km以下 ( $\lambda=1.30 \pm 0.02 \mu\text{m}$ )
	伝送帯域	600MHz・km以上 (目標800MHz・km)
	心線の引張強度	平均5kg以上
	心線の耐屈曲性	光ファイバが折れないこと

表-9(イ) センタ間ファイバケーブル仕様

項	目	特 性 値
介在 心線	導 体 抵 抗	29.0 $\Omega$ /km以下
	絶 縁 抵 抗	10,000 M $\Omega$ -km以上
	耐 電 圧	DC500Vまたは AC350V 1分間
	静 電 容 量	40 nF/km以下(1kHz)
光 ファイバ	伝 送 損 失	平均 1.0 dB/km以下 ( $\lambda=1.30 \pm 0.02 \mu\text{m}$ )
	伝 送 帯 域	600MHz・km以上 (目標800MHz・km)
	心線の引張強度	平均5kg以上
	心線の耐屈曲性	光ファイバが折れないこと
警 報 線	導 体 抵 抗	29.0 $\Omega$ /km以下
	絶 縁 抵 抗	1,000 M $\Omega$ -km以上
ケ ー ブ ル	最 小 曲 げ 半 径	延線時; ケーブル外径の20倍 固定時; ケーブル外径の10倍
	許 容 張 力	550 kg
	スチールコルゲート耐屈曲性	ひび割れなど異常を生じないこと

あり、PCM24装置には新技術を使用したシングル・チャンネル・コデックのLSIを使用し、従来の装置の約1/2の大きさとなっている。またPCM6.3M光送受信装置では、現用系待機系ユニットを同一架内に収容し、遅延時

#### あとがき

以上「阪神高速道路における光ファイバ通信システム」の現状について述べた。ここに報告した3つのシステムは、通信方式調査実験業務(昭和53年度)、通信方式調査検討業務(昭和54年度委員会)、長距離伝送実験業務(昭和55年度)の成果に負うところが大きい。これらの業務はいず

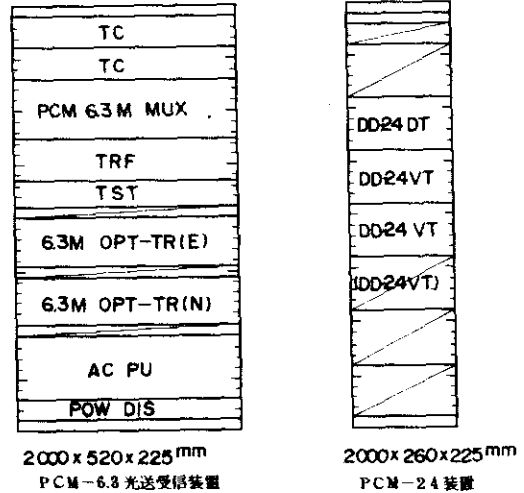


図-12 実装図

表-9(ロ) センタ間ファイバケーブル特性

心線 色	区間	西宮橋→HP-1 9,263km	HP-1→西宮 7,721km	西宮→京橋 17,200km	合 計 34,184km	平均損失 dB/km	備 考
1	青	7.87/6.92	6.38/6.06	14.89/14.77	28.64/27.75	0.84/0.81	光取 内/端 内/端
2	黄	8.27/7.76	6.04/6.55	14.63/13.72	29.04/29.12	0.85/0.85	"
3	赤	7.77/7.90	5.80/6.43	14.92/14.20	28.49/28.53	0.83/0.83	"
4	白	8.51/8.14	5.98/6.21	14.55/13.84	28.99/28.22	0.85/0.83	"
5	青	7.89/7.84	6.84/5.94	14.21/13.91	27.94/27.69	0.82/0.81	"
6	黄	8.21/7.75	6.18/5.99	14.12/13.63	28.56/27.37	0.84/0.80	"
7	赤	7.79/7.70	5.00/6.14	13.80/12.88	27.39/26.72	0.80/0.78	"
8	白	7.80/7.90	6.12/6.20	14.45/13.67	27.87/27.77	0.82/0.81	"
複製ヶ所数		10(2)	7(2)	16(2)	33(6)		

間等の影響がないように配慮した。さらに各端局装置からの障害用監視項目は外部への転送ができるようにしてあり、必要に応じて別途集中監視ができるよう考慮した。

れも阪神高速道路管理技術センターに委託して実施したものである。その実施にあたっては、日本電信電話公社ならびに光ファイバ・ケーブル・メーカー、光通信機メーカーの指導協力を得た。

今後はここに報告したような光通信システムが順次導入されていくものと考えられ、すでに波長

多重方式による画像伝送システムや、路線対応網への光通信の導入などが検討されつつあり、55年度通信方式委員会の検討成果に期待するところは

大きい。同時に、本格導入と運用に伴う施工方法や保守運用方法などは、今後経験がつかれるなかで詳細に検討すべき課題でもある。

## 参考文献

石尾、米田他「近距離光ケーブル伝送方式の設計と構成」

徳田、石田他「近距離伝送用光伝送路の構成と特性」

阪神道路公団、管理技術センター  
「通信方式調査実験業務報告書」 昭和54年

阪神道路公団、管理技術センター  
「通信方式調査検討業務報告書」 昭和55年

阪神道路公団、管理技術センター  
「長距離伝送実験業務報告書」 昭和55年