

光画像伝送(ITV伝送)システムの開発

Development of Optical Video Transmission Systems (ITV Transmission Systems)

光ファイバによる画像伝送は、メタリック線を使用した従来の画像伝送方式に比較し、(1)無誘導、(2)無漏話、(3)広帯域などの特長をもち、その結果として中継間隔を大きくとれ、更に高解像度の画質が得られるなどの長所がある。このため、都市高速道路の交通流監視用テレビジョンシステム、画像応答システム、テレビジョン放送関係機器などにその適用、実用化が進められている。

これに伴い、光画像伝送装置の実用化にあたり現場実証試験を試みた結果、LEDとAPDを用いた直接IM変調の装置により、無中継伝送距離5km、S/N48dBを達成した。また、長波長半導体レーザとGe APDを用いたPFM(パルス化周波数変調)の装置により、無中継伝送距離20km、S/N51dBを達成し、光画像伝送の優位性を確認した。本稿はそれらの成果について報告するものである。

桃澤宗夫* Muneo Momozawa

南 幸雄** Yukio Minami

太田紘一** Kôichi Oota

石川光雄** Mitsuo Ishikawa

堀井彰久*** Akihisa Horii

1 緒 言

光画像伝送方式は、光ファイバの低損失性、広帯域性、優れた耐サージ誘導雑音特性などのため、従来のペアケーブル、同軸ケーブルを用いた画像伝送方式と比較してS/N(信号対雑音比)周波数帯域が大きくとれ、高品質の画像伝送が可能となる。このため、長距離多中継伝送を必要とする都市高速道路の交通流監視用ITV(工業用テレビジョン)伝送装置として光ファイバ伝送の実用化が、昭和53年10月～54年2月に阪神高速道路公団で検討され、LED(発光ダイオード)とPIN(PINホトダイオード)、APD(アバランシェホトダイオード)を用いた直接IM(Intensity Modulation)変調装置の現場実証試験を行なった^{1),2)}。実証試験を踏まえて55年2月には、阪神高速道路公団大阪松原線に、LED-PINの装置を採用し、現在良

好に稼動中であり好評を得ている。更に、20km程度の長距離無中継画像伝送について検討が拡大され、同装置の開発を行なって、光画像伝送の応用範囲を広げた。

本稿は、従来のメタリック線を使用した伝送装置と光伝送装置の比較検討を行ない、次いで開発した中距離用光画像伝送装置、及び長距離用光画像伝送装置の性能について述べるものである。なお開発した光画像伝送装置は、画像応答システム、テレビジョン放送関係機器などの画像伝送装置としても有効利用が期待される。

2 ITV伝送システム

ITV伝送システムは一般に、道路、トンネルなどの交通状

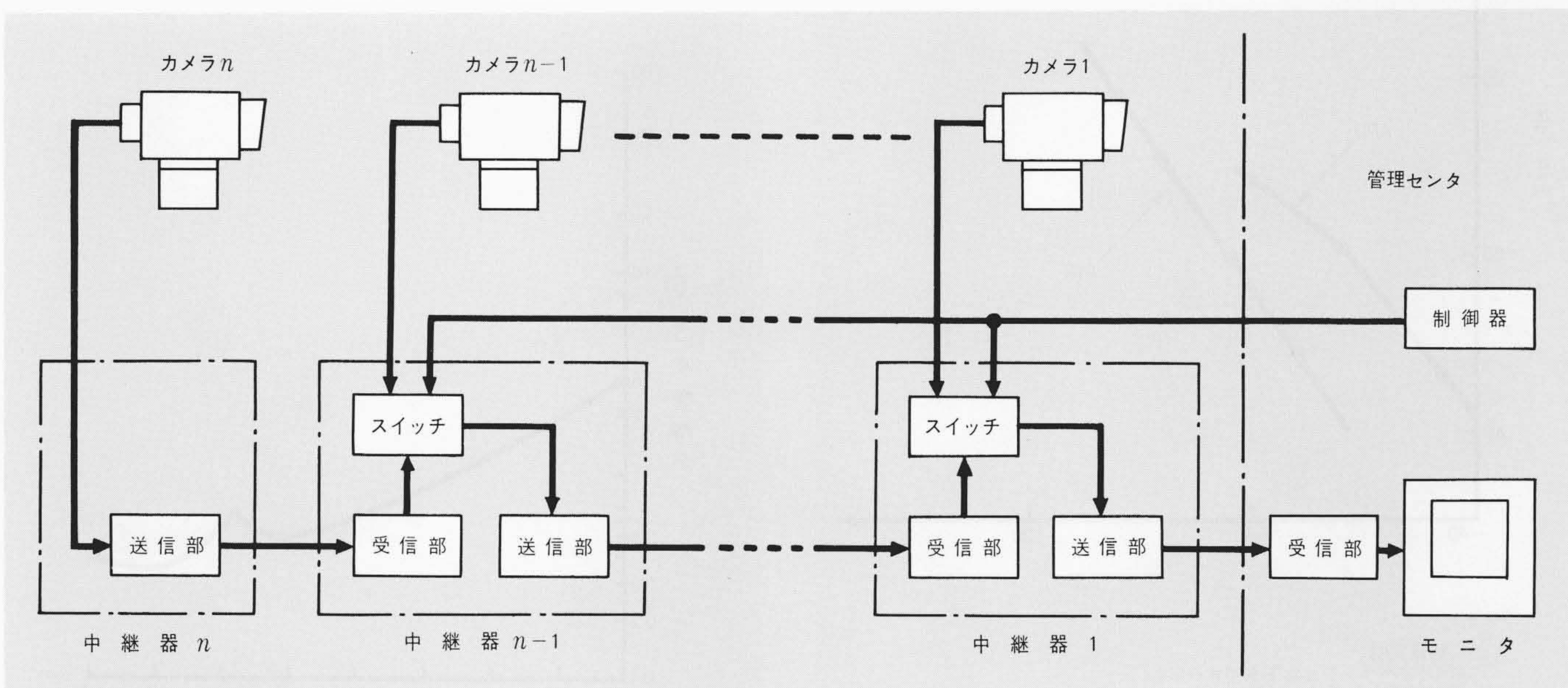


図1 交通流監視ITV伝送システム図 管理センタからの制御信号により、カメラを選択し制御する。

* 阪神高速道路公団 ** 日立製作所戸塚工場 *** 日立通信システム株式会社

況監視，ダムの水位監視，発・変電所の運用，管理，保安上の監視，その他幅広い用途に用いられている。

このうち工場内などの構内伝送用としては，伝送距離1 km程度が多く，ペアケーブル又は同軸ケーブルを用いても無中継伝送が可能である。一方，都市高速道路の交通流監視ITV伝送システムは，図1に示すように交通管制上の要所(約2 km間隔)にカメラを設置し，各場所の交通流の状況，路面の状況などを監視するものである。図に示すとおり各カメラからの画像信号は，多中継により管理センタに伝送される。本システムには従来伝送路として，メタリックペアケーブルが用いられていたが，伝送路の周波数特性補正(等化)のため，中継間隔は1～1.5 kmと制限され，しかも周波数帯域(3 dB帯域)も4 MHz以下であり，伝送路S/Nも約40 dB(無評価値)程度しかとれない。また，外来電波，自動車から発生する雑音など，誘導雑音による影響がみられ，これらによるモニタ画像の劣化が大きい。光ファイバ伝送方式によれば次のような利点が生ずる。

- (1) 光ファイバの帯域が十分広いため，等化の必要がなく，装置が簡単になり，高解像度，高品質の画像が得られる。
- (2) S/Nが48 dBとれる無中継距離は，LEDとPINを使用し約4 km，LEDとAPDを使用し約5 km，長波長LDとGe APDを使用すれば20 kmと非常に大きくできる。
- (3) 伝送路の光ファイバは誘導雑音を受けない，また出さない。

以上の利点により，光によるITV画像伝送は従来のメタリ

ック線伝送に比べS/Nが良く，複雑な等化回路を付加しなくても高解像度の画質が得られる。

3 中距離用光画像伝送装置の開発

図1の交通流監視用ITVシステムの場合，ITVカメラは1～3 kmごとに設置されることが多い。今回この画像伝送システムに光ファイバ通信の適用を図った。

表1に開発した発光素子(LED)，受光素子(PIN，APD)を用いた直接IM変調方式の光送・受信器の諸元を示す。直接IM変調方式とは，ITVカメラから伝送された画像ベースバンド信号で直接にLEDを電流変調し，光信号に変換し，受信はPIN又はAPDによりこの光信号を電気信号に変換後増幅し，元の画像信号を得る方式である。この変調方式の長所は，回路構成が簡単で，経済性に優れていることである。

開発した受信器のS/N特性を図2に示す。PIN，APDを用いた場合，S/Nが48 dB(検知限以上)となる伝送区間損失は，それぞれ14 dB，19 dBである(コア径50 μm，GI光ファイバ使用)。一般に図3に示すように，光ファイバの損失は光波長により変化するが，0.8 μm帯での光ファイバ損失は約3 dB/km

表1 直接IM変調画像伝送装置諸元 光送・受信器1対向の諸元を示す。

No.	項 目	諸 元	
1	発 光 素 子	LED(0.83 μm)	
2	受 光 素 子	PIN	APD
3	送・受信区間損失	14 dB	19 dB
4	中 継 間 隔*	4 km	5 km
5	S/N	48 dB	
6	周 波 数 帯 域	30 Hz～6 MHz	

注：* 損失が3 dB/kmの光ファイバ使用
略語説明 LED(発光ダイオード)

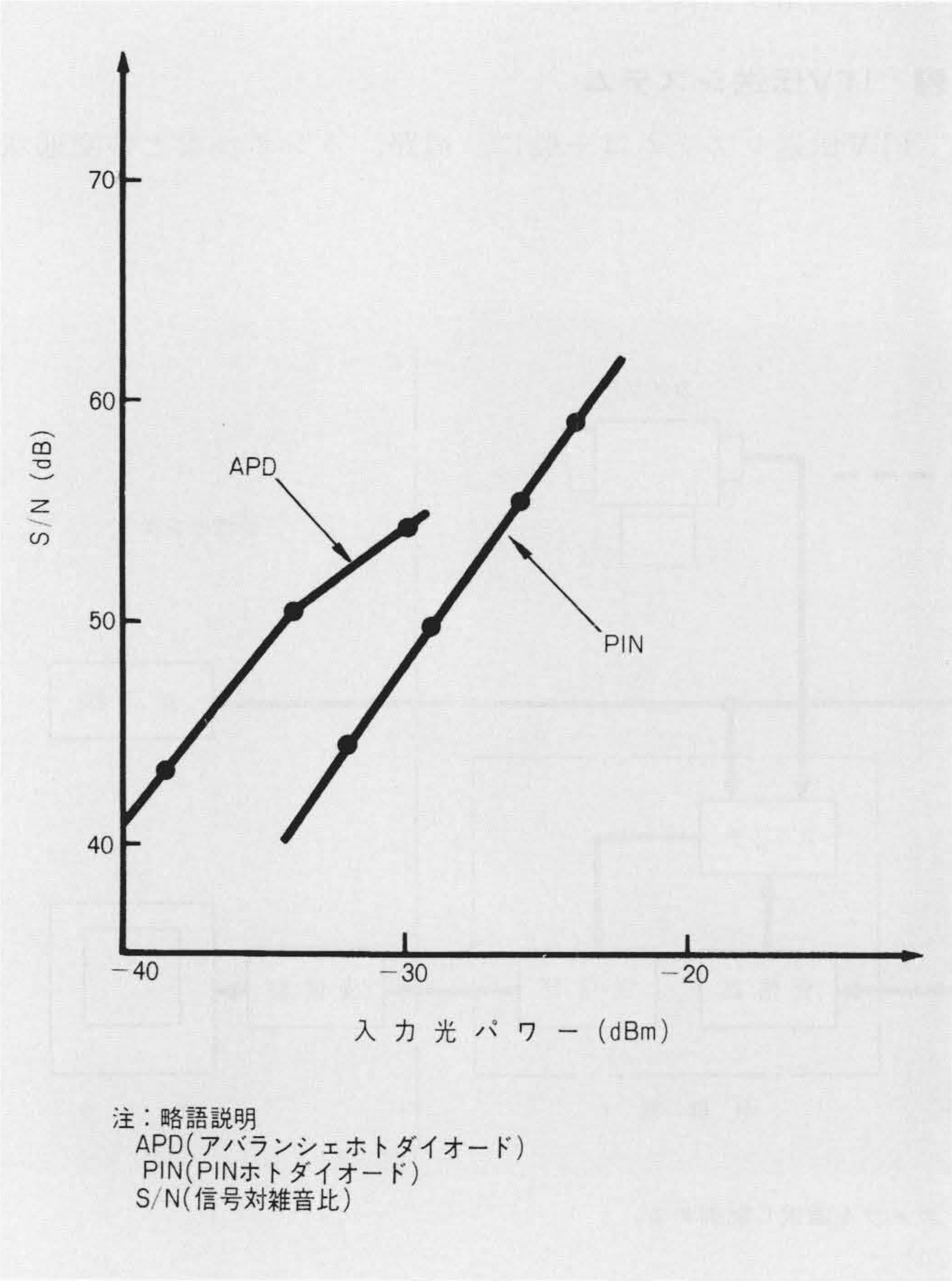


図2 直接IM変調装置受信器のS/N特性 受光素子がPIN，APDの場合のS/N特性を示す。

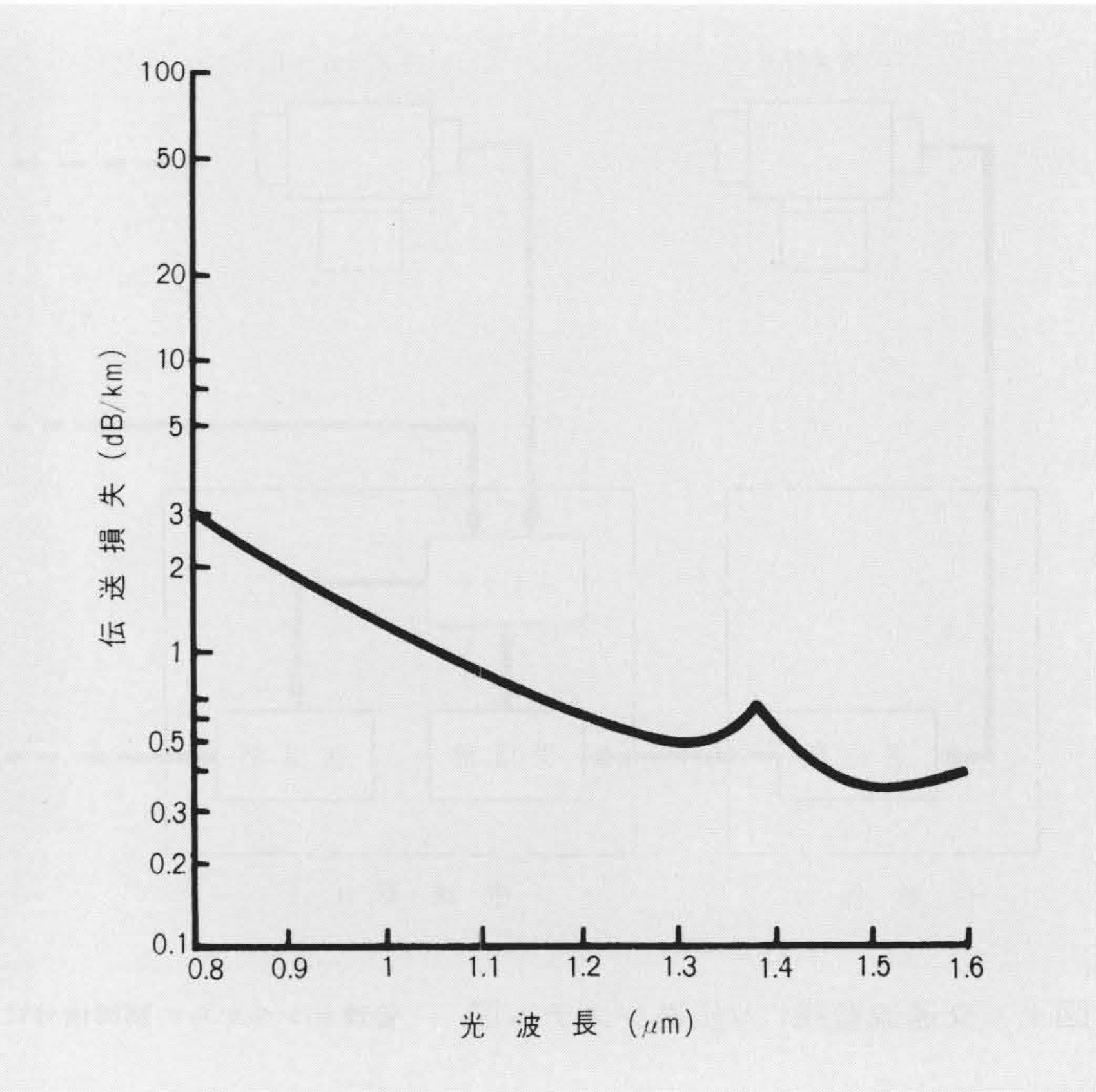


図3 光ファイバ伝送損失の波長依存性(一例) 波長1.3 μmでは，1 dB/km以下の損失となる。

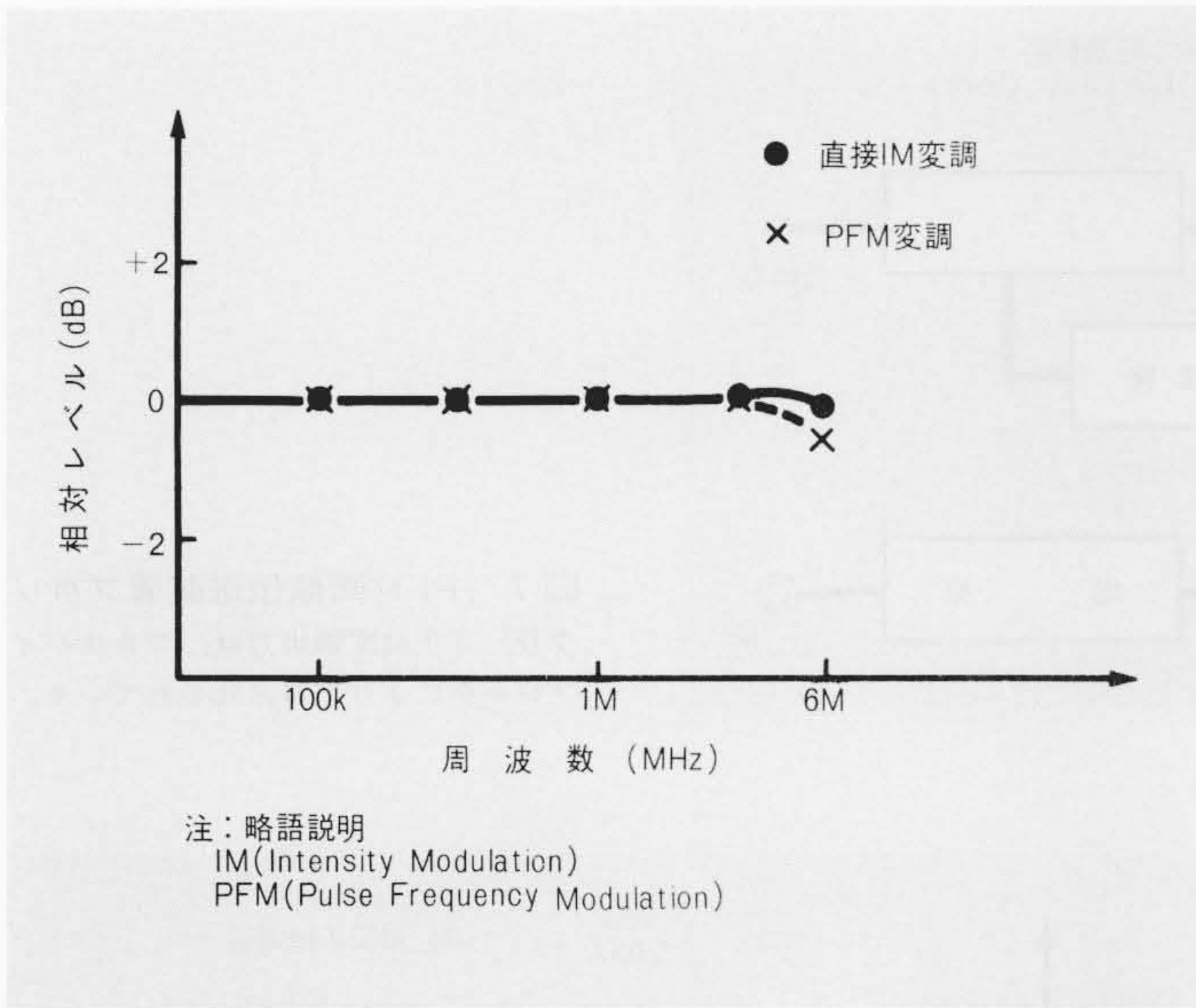


図4 送・受信器周波数特性 直接IM変調、PFM変調共に周波数帯域幅は6MHz以上である。

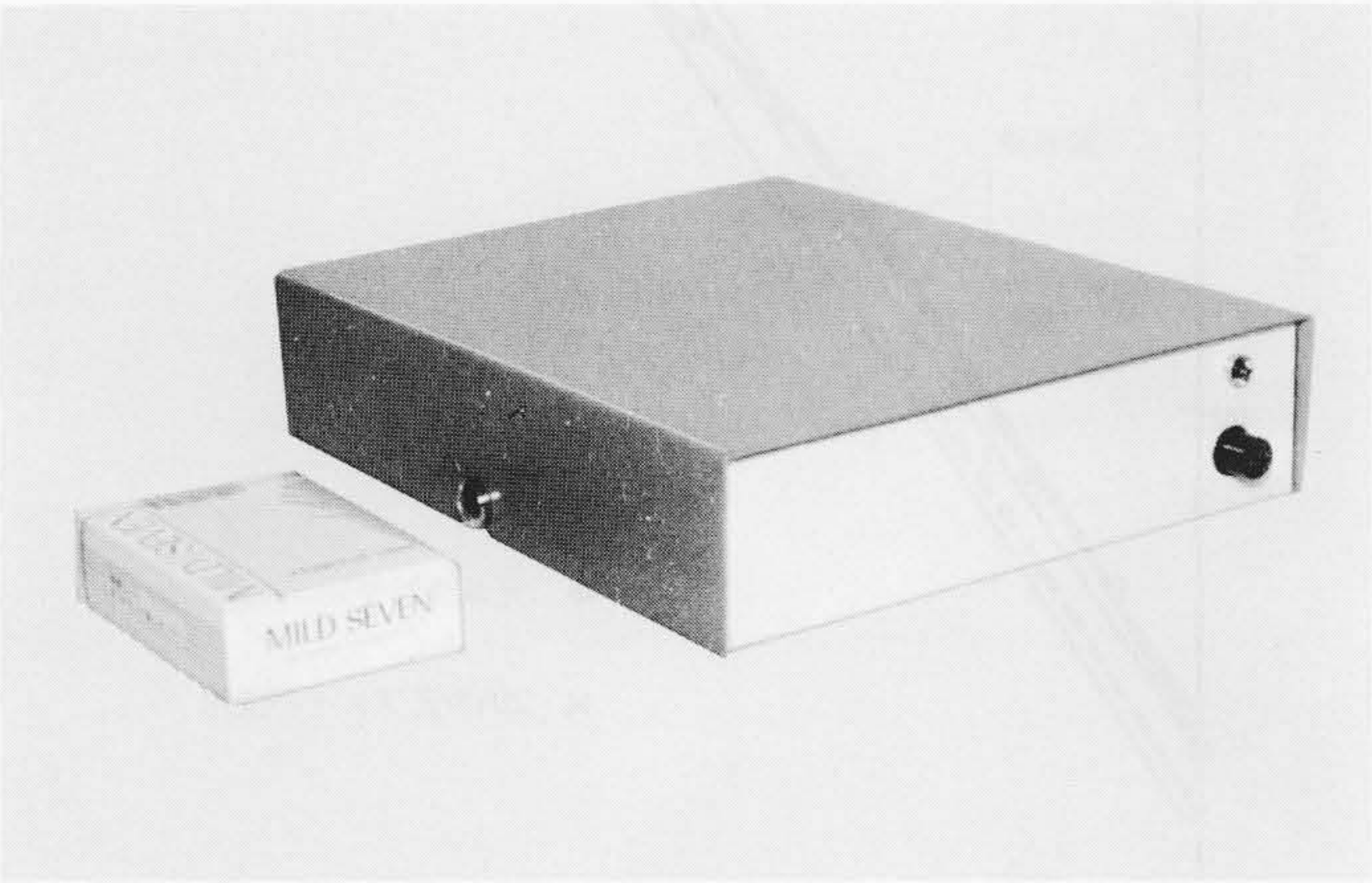


図5 直接IM変調装置(卓上設置タイプ)の外観 AC100V電源で動作する。

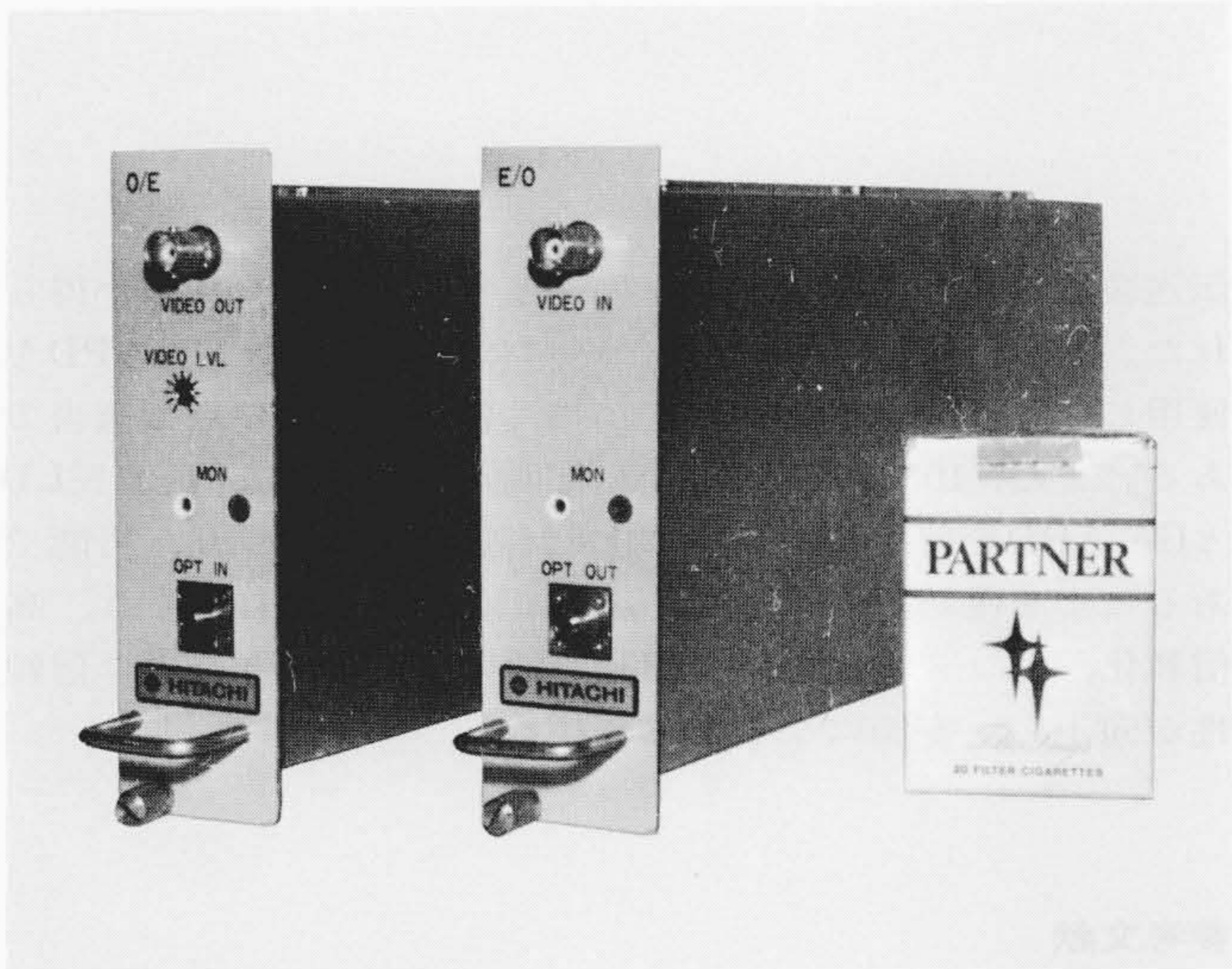


図6 直接IM変調装置(プラグインタイプ)の外観 右が送信器, 左が受信器であり, 阪神高速道路大阪松原線に納入し, 現在稼動中である。+12V電源で動作する。

(阪神高速道路大阪松原線実績)であり、送・受信器の光コネクタの損失が1dB/個以下のため、中継間隔はPIN使用の場合約4km、APD使用の場合約5kmとなる。図4に本送・受信器の周波数特性を示す。周波数帯域幅は、6MHz以上であり、伝送画像信号の水平解像度は500本以上が得られた。また、DG(微分利得)、DP(微分位相)は3%以下、2度以下と小さく、カラーITV伝送にも十分適用が可能である。また、温度変化によるLED出力光パワー変動及び光ファイバの損失変動を吸収するため、AGC(自動利得制御)により受信器出力レベルを安定化している。AGCは画像信号にパイロット信号を重畳する方式とした。受信器への入力光パワーのダイナミックレンジは20dBであり、実用上十分なAGC範囲を達成できた。本装置の電源は、AC100V、DC+12V2種類のものを開発した。前者は卓上設置タイプの筐体(図5参照)とし、後者はプラグインタイプのパネル(図6参照)とした。昭和55年2月、阪神高速道路大阪松原線の交通流監視ITVシステムの一区間にプラグインタイプの装置を実用化し、以来良好に稼動中である。また、同様のシステムを昭和56年5月ごろ同公団大阪西宮線に実用化の予定である。

4 長距離伝送用光画像伝送装置の開発

10～20kmの遠隔地をITVにより監視する場合、図3に示すように1.3μm帯の光波長を使用すれば、光ファイバ損失が1dB/km以下となり、S/Nの点で0.8μm帯伝送よりも有利と考えられ、適用の範囲の拡大が期待される。

表2に、試作検討した長距離伝送用光画像伝送装置〔PFM(Pulse Frequency Modulation)画像伝送装置〕の諸元を示す。発光素子にはInGaAsP/InP半導体レーザ〔長波長LD(Laser Diode)〕を使用した。変調方式はパルス化FM変調方式(PFM)とした。パルス化FM変調は、送信機で画像ベースバンド信号をFM変調し、これを50% Dutyのパルス列に変換してLDを駆動、受信機で受光、増幅後、単にFM復調して元の画像信号を得る方式である。この方式は、パルス駆動によりLD出力光パワーの非直線性を克服するとともに、直接ベースバンドIM変調方式に比べ、FM変調によるS/N改善が大きいこと、更に光ファイバへの入力光パワーを大きくとれることから、長距離伝送に適している。試作装置のブロック図を図7に示す。受信器のFM復調器には直線性の良い復調方式が必要なため、パルスカウント方式を採用した。

表2 PFM画像伝送装置諸元 光送・受信器1対向の諸元を示す。		
No.	項 目	諸 元
1	発 光 素 子	InGaAsP/InP半導体レーザ
2	受 光 素 子	Ge APD
3	光 波 長	1.3μm
4	送・受信区間損失	26dB
5	中 継 間 隔*	約20km
6	S/N	48dB
7	周 波 数 帯 域	10Hz～6MHz
8	キャリア中心周波数	28MHz
9	周 波 数 偏 移	±8MHz

注：*損失が1dB/kmの光ファイバ使用

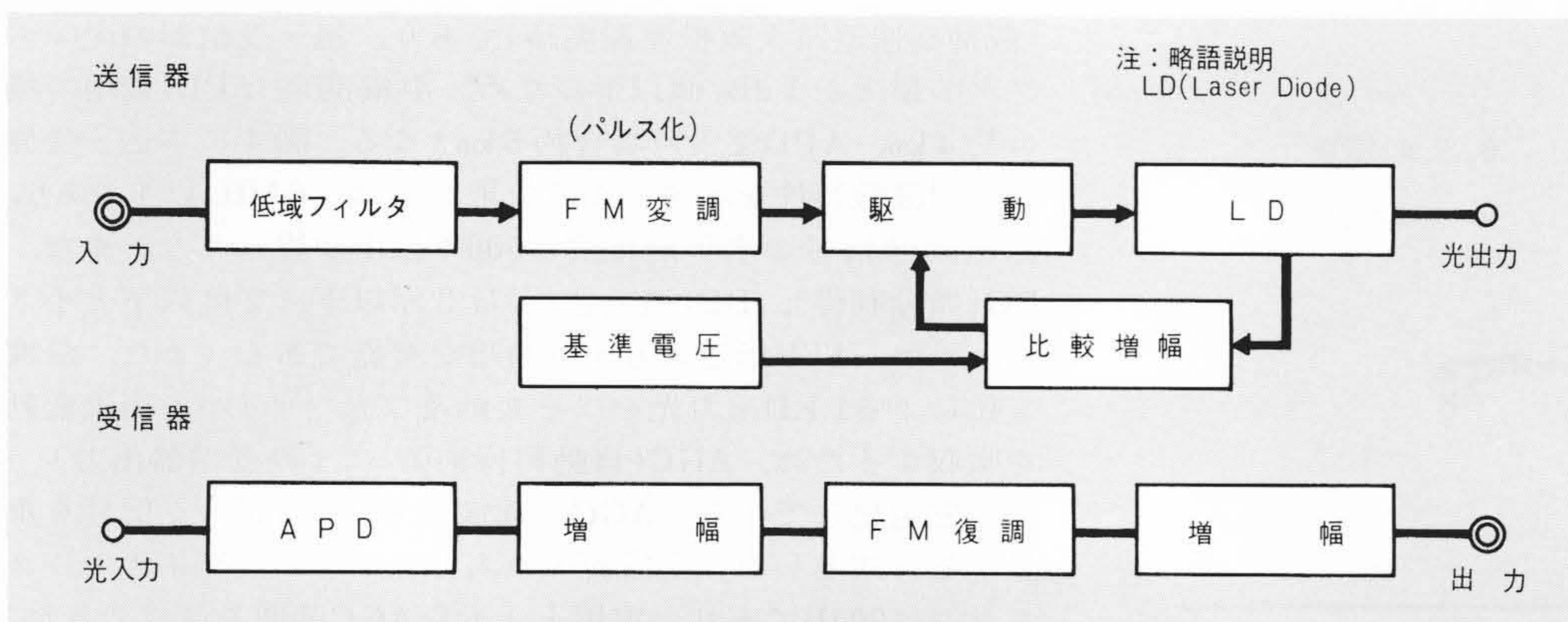


図7 PFM画像伝送装置ブロック図 FM変調出力は、マルチバイブレータによりパルス化されている。

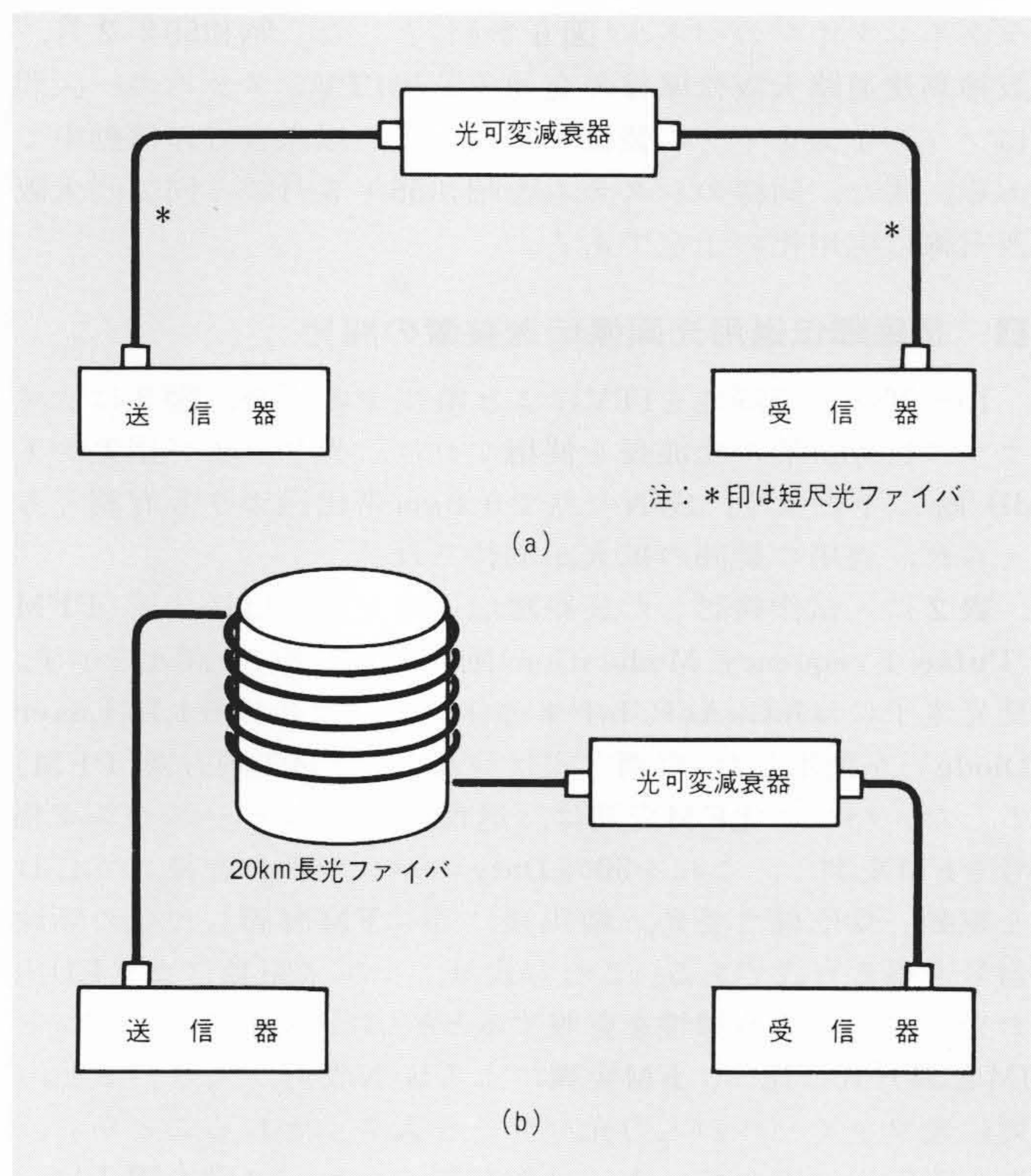


図8 PFM画像伝送実験装置 (a)は短尺光ファイバによる折返し実験図、(b)は20km光ファイバ伝送実験図である。

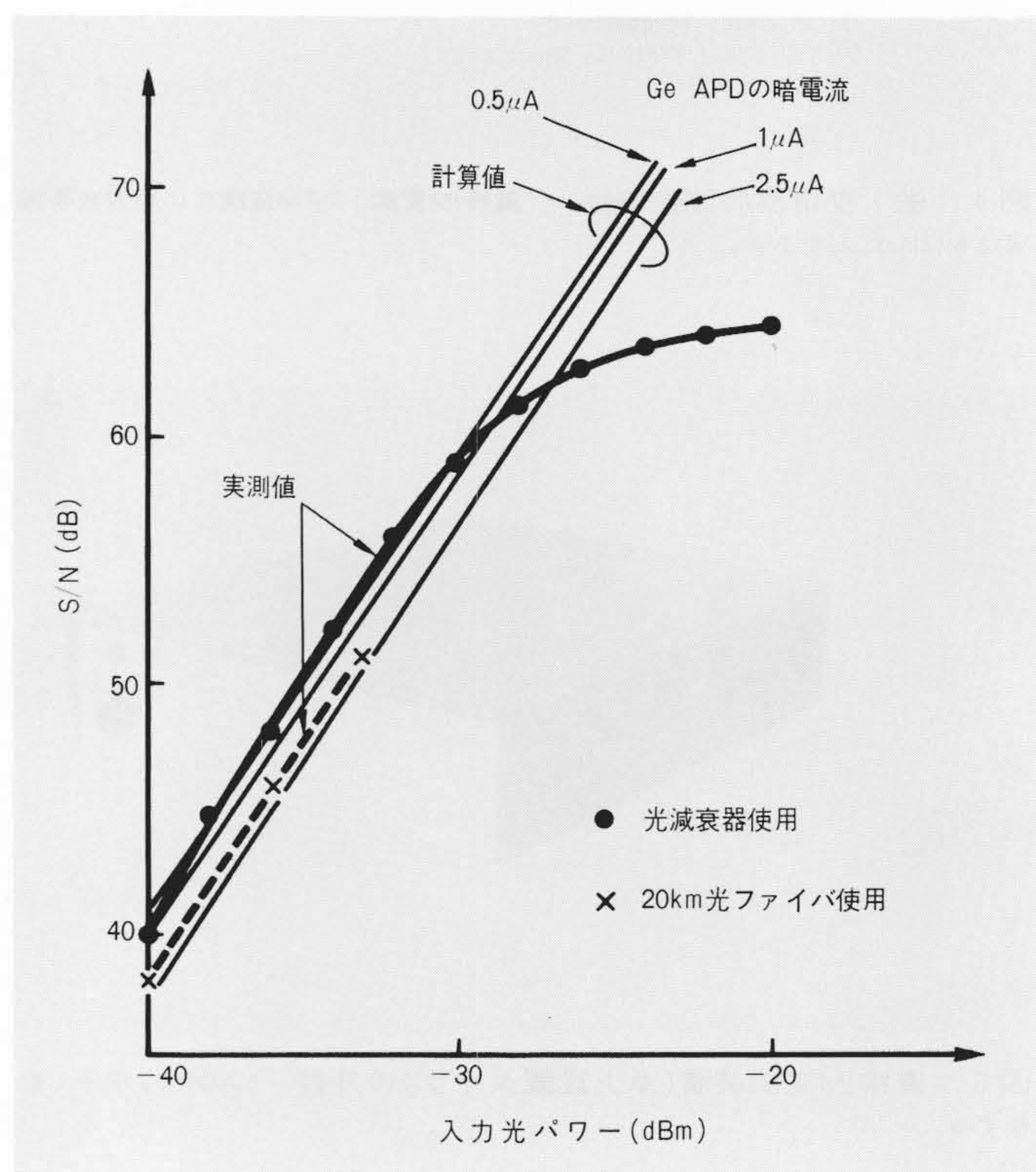


図9 PFM画像伝送装置受信器のS/N特性 光減衰器使用の場合、20km光ファイバ使用の場合の受信器S/N特性を示す。

図8(a)に示すように光可変減衰器を用い、測定した受信器のS/N特性を図9に示す。同図に示すように、S/Nは受光素子のGe APDの暗電流の大きさに依存する。試作装置に用いたGe APDの暗電流は $0.5\mu\text{A}$ であった。

また、室内でドラムに巻いた20km長の長波長帯光ファイバを使用し、試作装置により長距離画像伝送実験を行なった。実験装置図を図8(b)に示す。20km光ファイバを伝送路に使用した場合の受信器の受光S/N特性を図9に、送・受信器の周波数特性を図4に合わせて示す。20km伝送後の画像S/Nは51 dB、周波数帯域は6 MHz以上であり、実用上十分な画質を得ることができた。

5 結 言

光画像伝送システムは、従来のメタリック線を使用したITV

伝送装置に比べてS/N、周波数特性の面で良好な結果が得られた。1～5 kmの中距離画像伝送にはLEDとPIN又はAPDを使用した直接IM変調方式が経済性、保守性などの点で適当である。また、10～20 kmの長距離画像伝送は、 $1.3\mu\text{m}$ 長波長LDとGe APDを使用したパルス化FM変調方式により、可能であることを確認した。また、現在これらの長波長素子は、高信頼化、低コスト化の研究開発が活発であり、今後更に信頼性が向上し、安価になると思われる。

参考文献

- 1) 通信方式調査実験業務報告書、昭54-3阪神高速道路公団(他)
- 2) K. Ohta, M. Ishikawa: "Optical Fiber Cable Telecommunication Systems", Hitachi Review 28, 307 (1979)