

東京電力株式会社及び関西電力株式会社向け

光ファイバ通信装置の開発

Development of Optical Fiber Communication Systems for the Tokyo and Kansai Electric Power Co., Inc.

電力会社の通信は、電話中心の伝送から電力系統の制御および運用総合自動化などのための信号伝送を目的としたものに移行しつつあり、信頼性の高い経済的な大容量デジタル伝送方式の開発が強く要請されている。このため、広帯域で耐サージ・誘導雑音特性に優れていると目されている光ファイバ通信方式の導入が期待されており、東京電力株式会社及び関西電力株式会社は、日立製作所と日立電線株式会社のグループと各々保護リレー情報伝送用及びテレコン情報伝送用光通信方式の共同研究を行なっている。本稿はこの共同研究で開発した実証試験装置の概要について述べたものである。

青木文雄*	Aoki Fumio
安藤洪哉**	Andô Kousai
西田三徳***	Nishida Mitsunori
深津啓典***	Fukatsu Keisuke
石川光雄****	Ishikawa Mitsuo
田中満雄*****	Tanaka Mitsuo
鳥谷満雄****	Toya Mitsuo

1 緒 言

光ファイバ通信は、伝送線路にガラスを主成分とした光ファイバを用いるため、低損失、広帯域、細心軽量、可とう性に富むなどの利点のほかに耐サージ・誘導雑音特性に優れているという特長があり、電力用通信として非常に魅力的な特性を備えている。一方、研究開発の現状は、これに使用する光ファイバを始めとする部品開発に一応の見通しを得、システムについては室内での機能確認実験を終え、主要な特長が確認された段階にある。これらを背景とし、筆者らは東京電力株式会社、関西電力株式会社との共同研究において現場実証試験システムの開発及び実施を推進することになった¹⁾。昭和50年度に実証試験システムの試作を終え、昭和51年4月に現地搬入を行ない実証試験を開始した。本稿は、この現場実証試験システムの試作概要とその試験結果について述べたものである。

2 光ファイバ通信実証試験システム

2.1 東京電力システム

本システムは、将来超高圧（例えば、275kVなど）の地中電力線と併設し、これを保護する通信線への適用を想定したものである。従来の電線方式では、送電系統からの誘導雑音や系統障害時に発生する異常雑音の混入対策に困難が予想されるため、これを耐雑音性の優れた光ファイバに置き換えるものである。このため、光ファイバケーブルは²⁾雑音混入の原因となる金属を一切使用しないノンメトリック構造とした。また、中間中継器は人孔内に設置し、給電は近くの商用電源より行ない、停電に備え浮動充電された蓄電池を内蔵する方式を用いることとした。これは従来の電気通信にはない新しい試みである。

伝送容量はPulse Code Modulation（以下、PCMと略す）6.312Mb/sとし、回線品質は一中継区間当たりの符号誤り率を 10^{-9} 以下とした。今回開発したシステムは図1に示すように、光端局、中間中継器及び4心光ファイバケーブルで構成されている。光ファイバケーブル長は合計3.0kmであり、光ファイバの亘長は12kmとなっている。また、光伝送系はシ

表1 東京電力システムのシステム諸元 実証試験システムの諸元を示す。

No.	項 目	諸 元
1	伝送内容	6.312Mb/s (42Kb/s又は54Kb/sデータ24量)
2	変調方式	PCM-1M (パルスコードー光強度変調)
3	伝送符号形式	2値AMI (2値交番符号)
4	符号誤り率	10^{-9} 以下 (1中継当たり)
5	光中継器	再生中継方式 電源：商用電源個別給電、蓄電池フローティング
6	中継器監視方式 打合せ電話方式	2値AMI重畳伝送

ステム総合の信頼度を上げるため二重化構成としている。両回線は常に伝送状態とし、受信側で符号誤り特性を常時監視することにより、現用回線品質の劣化時には受信側で瞬時に予備回線へ切り換える方式を採用している。実証試験システムの標準構成は、図1に示すように片方向一中継二重化構成であり、表1にシステムの方式諸元を示す。

本システムの現場実証試験は、光端局を東京電力株式会社田端通信所構内に設置し、田端洞道及び管路約1.5kmのルートに光ファイバケーブルを折返し布設し、途中の田端洞道内に図2に示すような中間中継器を設置し行なっている。

2.2 関西電力システム

本システムは無人変電所などの遠方監視制御をより効果的に行なうため、従来、遠方監視制御（以下、テレコンと略す）情報だけで行なっていた業務に工業用カラーテレビジョン（以下、カラーITVと略す）によるモニタ機能を付加したものである。これにより、従来伝送できなかった無人変電所構内の景観、機器の変色や発煙などの視覚情報が加わり、遠方監視制御システム機能の著しい向上が期待できるものである。すなわち、図3に示すように開発したシステムは被制御所である無人変電所構内に、カラーITVカメラ及びテレコンの子局

* 東京電力株式会社技術開発研究所 ** 東京電力株式会社系統運用部 *** 関西電力株式会社総合技術研究所 **** 日立製作所戸塚工場
***** 日立製作所中央研究所

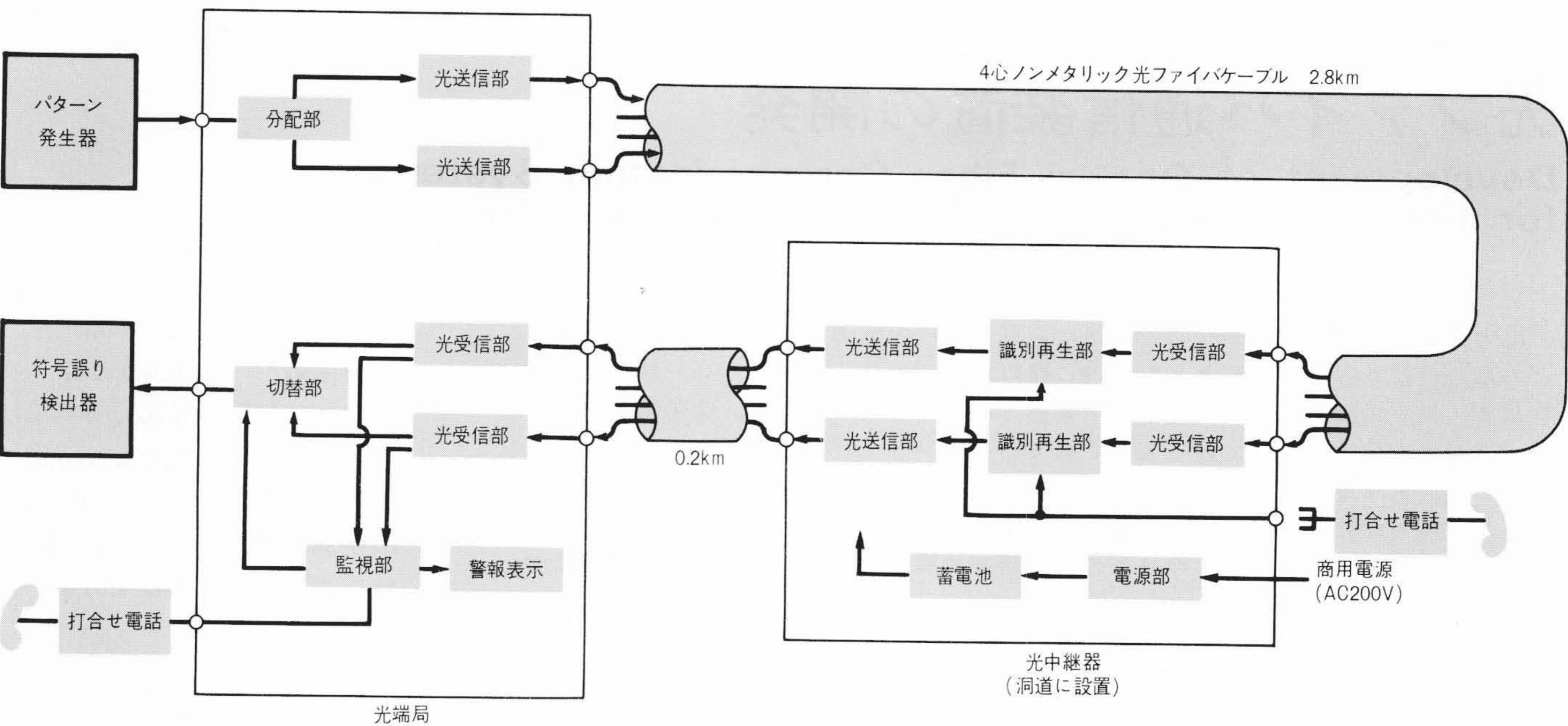


図1 東京電力システム実証試験基本構成図 4心ファイバを使い、接続を変えファイバ長を変えた試験ができる。

を設置し、制御所側に、カラーITV受像機、カメラ制御装置及びテレコン親局を設けたものである。各種情報は、テレコン信号とカラー画像信号との相互干渉などを避けるため、すべてデジタル化し、これらを多重化して伝送する。本システムの光ファイバケーブルは、ファイバ4心と柱上設置された中間中継器への給電と、中間中継器の監視及び打合せ用の金属線をケーブル内に実装した複合ケーブルである²⁾。

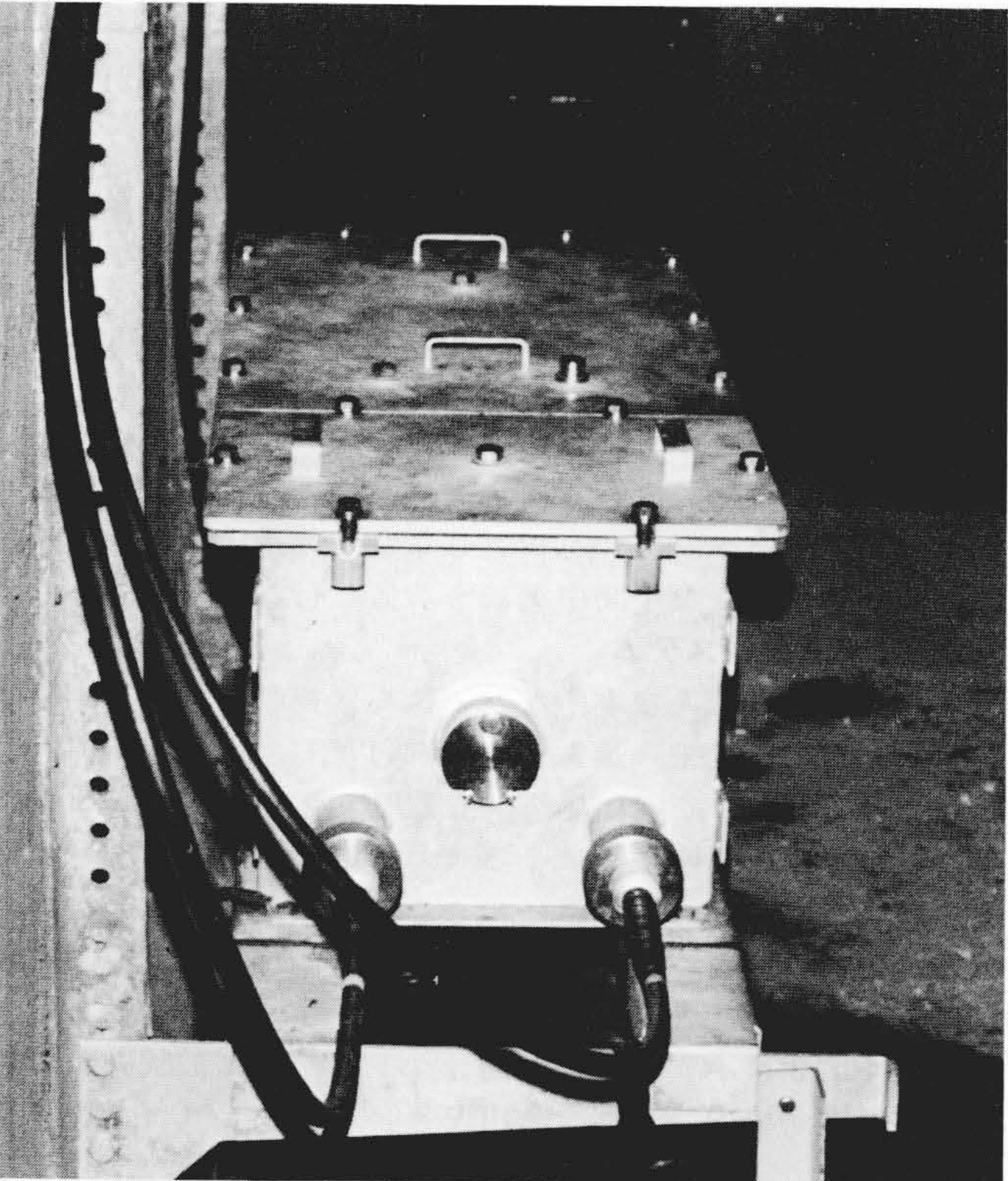


図2 東京電力システム、光中継器設置状況 光中継器は気密構造となっている。

カラーITV信号は約10MHzサンプリング、8ビット符号化によりPCM信号に変換している。このため、伝送容量は、カラーITV信号の伝送を必要とする無人変電所から制御所側への上り回線は約100Mb/s、下り回線は約6Mb/sとした。信号の多重化は、1.544Mb/sを基本とした同期式多重で行ない装置の簡易化を図っている。

光伝送系は東京電力システムと同様二重化構成とし、信頼度の向上を図っている。

以上により開発した実証試験システムの構成図を図3に、また装置の外観を図4に示す。

本システムの現場実証試験は関西電力株式会社意岐部制御所と東意岐部変電所間約750mに光ファイバケーブルを折返

表2 関西電力システムのシステム諸元 実証試験システムの諸元を示す。

No.	項目	諸元
1	(a) 上り回線 (97.272Mb/s)	カラー映像信号 テレコン信号 (48Kb/s) 打合せ電話など
	(b) 下り回線 (6.176Mb/s)	テレコン信号 (48Kb/s) ITV操作信号 (ズーム, フォーカス, チルト, パンなど16項目) 打合せ電話など
2	変調方式	PCM-1M (パルスコードー光強度変調)
3	伝送符号形式	2値AMI (2値交番符号)
4	符号誤り率	10 ⁻⁹ 以下 (1中継当たり)
5	信号多重化方式	1.544Mb/sを基本とする同期多重方式
6	光中継器	再生中継方式
		電源は遠方交流給電 (メタリック線使用)
		監視はトーン常時監視方式 (メタリック線使用) 打合せ電話 (メタリック線使用)

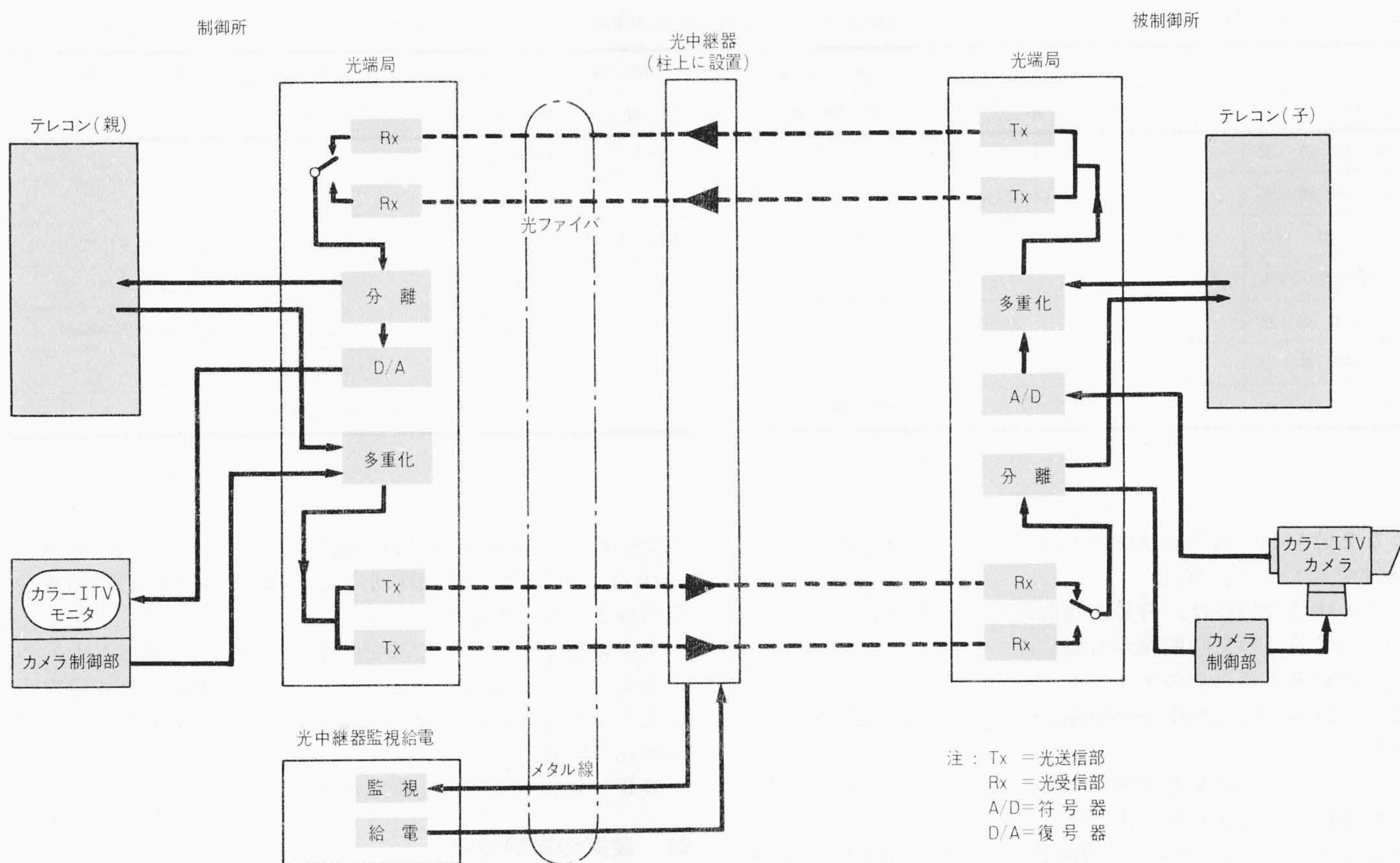


図3 関西電力システム実証試験構成図 多重化部、光送受信部は、同一架に実装されている。

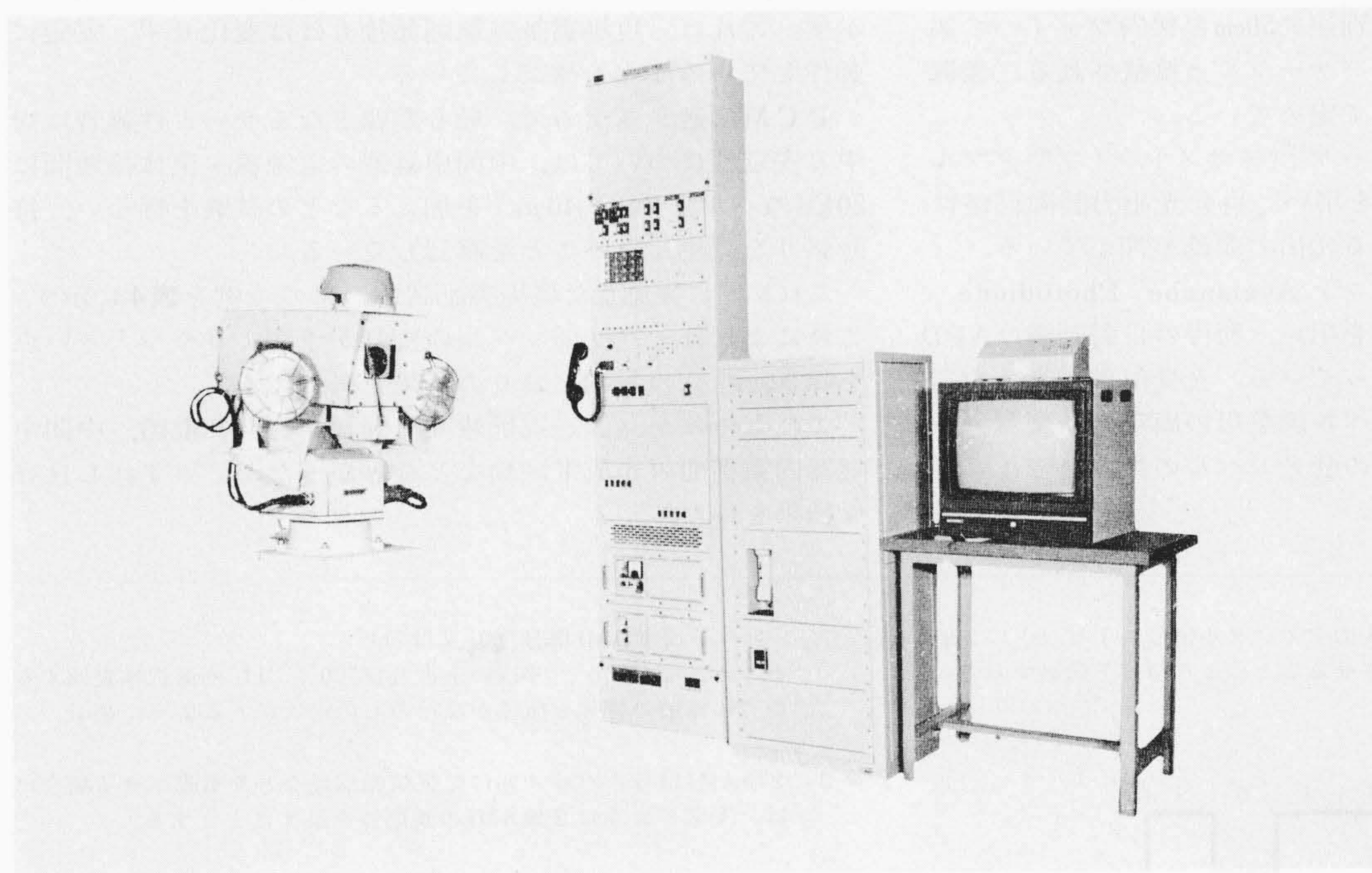


図4 関西電力システム装置外観 左からITVカメラ、光端局、カメラ制御装置及びITVモニターを示す。

し架空布設し、これに光伝送装置とテレコン装置を接続した総合システムとして行なっている。カラーITVカメラは意岐部変電所に設置している。表2に本システムの主要諸元を示す。

3 光伝送装置

以上の両システムは、適用領域及びシステム機能が異なるものであるが、光伝送系はできるだけ共通思想のもとに開発

を進めた。特に、光伝送方式はデータ伝送に合わせデジタル方式とした。しかし、電気通信と異なり光通信では信号を多値化することが難しいため、従来電気通信で用いられているAlternate Mark Inversion (以下、AMIと略す) 符号を用いることが困難となり、従来のPCM伝送では可能であった符号誤りの常時監視が不能となるなどの問題が生ずる。このため、今回の実証試験ではこの問題を解決し得る^{*1)}に示すよ

表 3 光伝送装置の諸元 関西電力システム下り回線用6Mb/s光伝送装置諸元は、東京電力システムのものとはほぼ同じである。

項目	システム 機器	東京電力システム			関西電力システム			備 考
		送信部	受信部	中継器	送信部	受信部	中継器	
情報速度		6.312Mb/s			97.272Mb/s			—
伝送速度		12.624Mb/s			194.544Mb/s			—
光出力		0dBm	—	0dBm	0dBm	—	0dBm	架上端子にて
最低受光レベル		—	−47dBm	—	—	−35dBm	—	10" 架上端子にて
A G C 範囲		—	26dB	—	—	19dB	—	APD バイアス制御
消費電力		—	—	3W	—	—	4.5W	—
寸 法		—	—	185×100×50mm	—	—	185×100×50mm	—

うな 2 値AMI 符号³⁾を試験的に採用し、これの実用性につき検討することとした。

この符号の特長は、符号が規則性を持っていることにより、

- (1) 符号誤りの常時監視が可能
 - (2) 波形再生のためのタイミング抽出が容易
 - (3) 中継器の監視や打合せ電話信号などの重畳伝送が容易^{*2)}
- 参照
- (4) デューティ比が常に50%であるため、マーク率変化やレベル変動などに関し安定性が優れている。

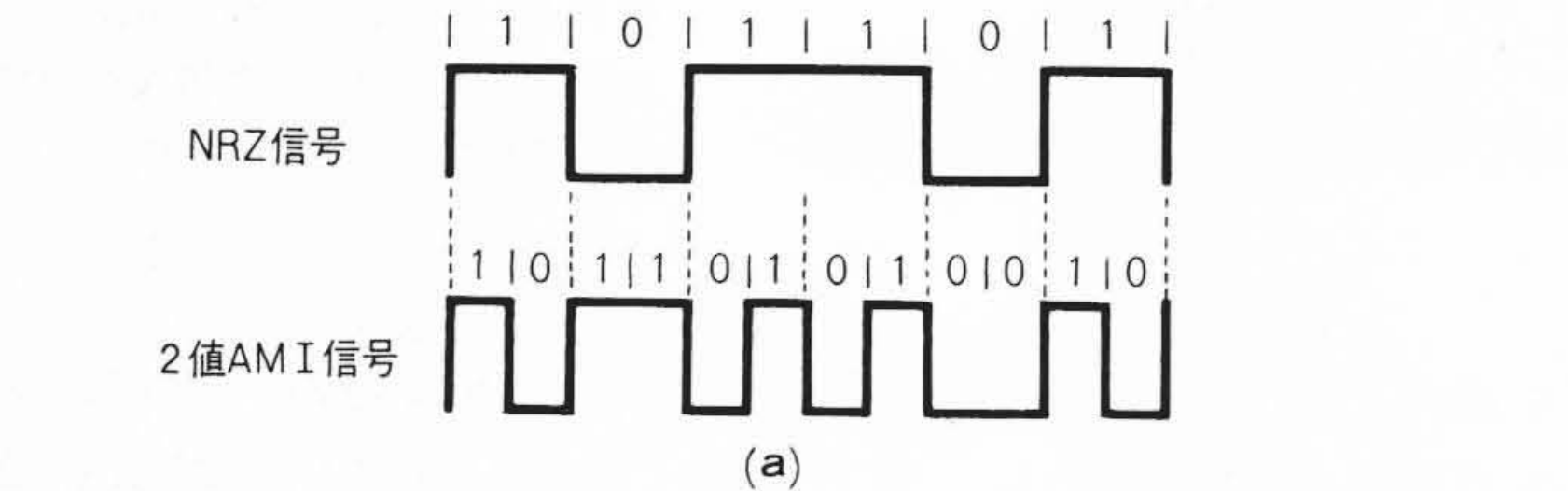
などである。ただ、クロック周波数が直接符号化されたPCM 信号に比べ2 倍となるため、広帯域な伝送線路を必要とする点にやや問題がある。

光伝送装置は光送受信部及び中継器より成り、プラグインで架に実装される。光信号は別途約50cmの架内ファイバで架上端子に導かれ外線光ファイバケーブルと接続される。装置規格はすべてこの架上端子点で定めている。

光送信部は光源に半導体レーザ⁴⁾(メサストライプ型ダブルヘテロ接合GaAlAs レーザ)を用い、自動光出力制御回路により、温度及び電源変動による光出力変動を抑えている。

光受信部は受光素子にシリコン Avalanche Photodiode (APD)⁵⁾(n⁺pπp⁺型APD)を用い、利得の自動制御はAPD のバイアス電圧を制御し行なっている。光受信部の光入力端子とAPDの間には受信光レベル調整用の固定光減衰器を挿入し、中継間隔を変えた場合の受光レベルの大幅な変化に対処できるよう考慮されている。

※1) 2 値AMI は、(a)図のように入力デジタル信号の1 ビットに2 値AMI パルス2 ビットを対応させることにより信号を伝送する方式である。



Non Return to Zero (以下、NRZ と略す) 信号と2 値AMI 信号を(a)図のように、
NRZ 信号“1”の場合
2 値AMI 信号“10”又は“01”
NRZ 信号“0”の場合

光受信部の帯域特性は線路の伝送特性がクロック周波数点で3dB 低下する最小位相推移形とし、識別回路入力段で自乗余弦特性となるよう定めている。

光中継器はこれらの光送受信部を一体化して構成したものである。ただし、東京電力システムの間中継器には中継器の監視及び打合せ電話信号を重畳するための変調回路^{6), 7)}が挿入されている。

表 3 に光伝送装置の主要諸元を示す。

4 装置の試験結果

4.1 東京電力システム

現地搬入に先だち行なった工場試験における光端局及び中間中継器の平均受光電力対符号誤り率特性の代表例を図5 に示す。これは、現場実証試験開始後もほぼ変化せず、安定に動作していることを確認している。

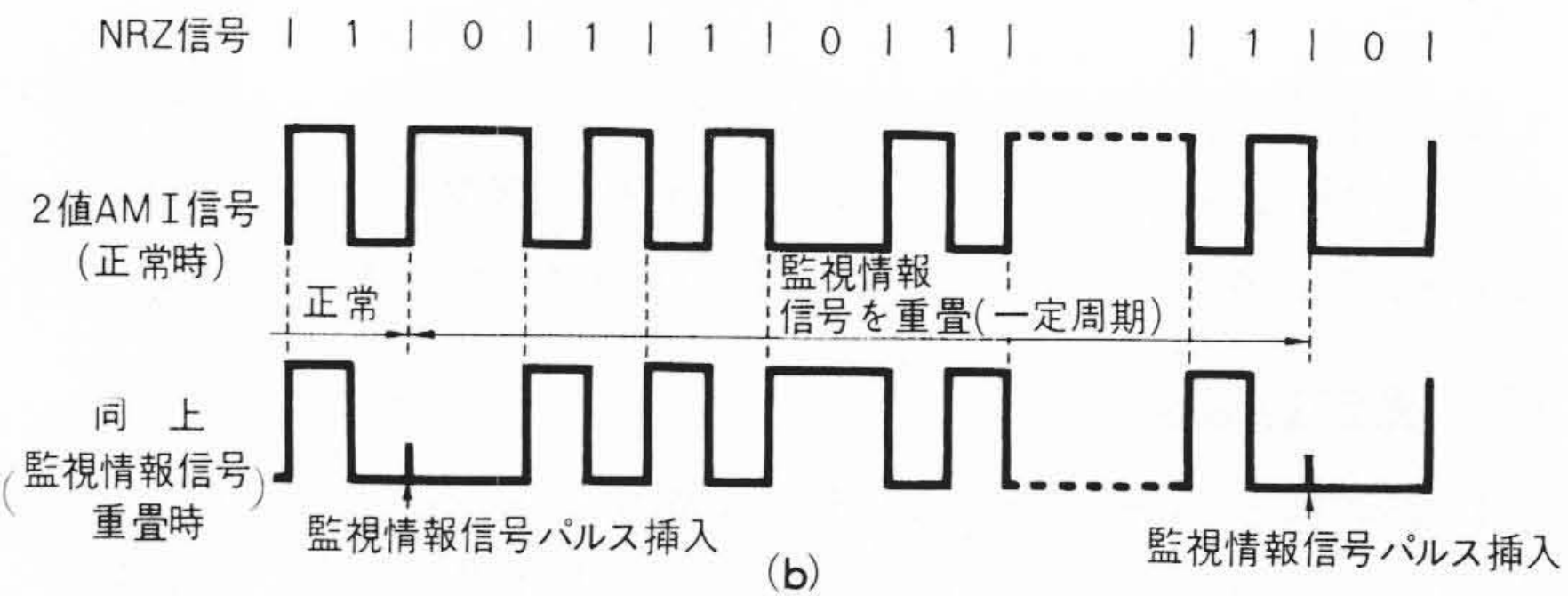
PCM 伝送システムで、最も問題となるサージ性雑音に対する安定性については、中間中継器の電源線・筐体接地間に20kV のパルス(幅約40μs)を加えるなどの試験を行ない、符号誤りを発生しないことを確認している。

これまでに実施した現場実証試験結果の一例を表4 に示す。これによれば、光受信レベルの変動が予想よりやや大きい点を除き、当初の予測どおりの結果を得ている。

これらのほか、伝送遅延時間、漏話、打合せ電話、中間中継器内蓄電池の充放電試験などを行なったが、いずれも良好な結果を得た。

2 値AMI 信号“00”又は“11”
とする。なお“10”、“01”の選択及び“00”、“11”の選択は変換する符号の直前の符号と極性が反対のものが次にくるように選ぶ。

※2) 2 値AMI 信号のパルス列に監視情報信号などを重畳させる場合には、(b)図のように2 値AMI の規則性を乱すこととする。



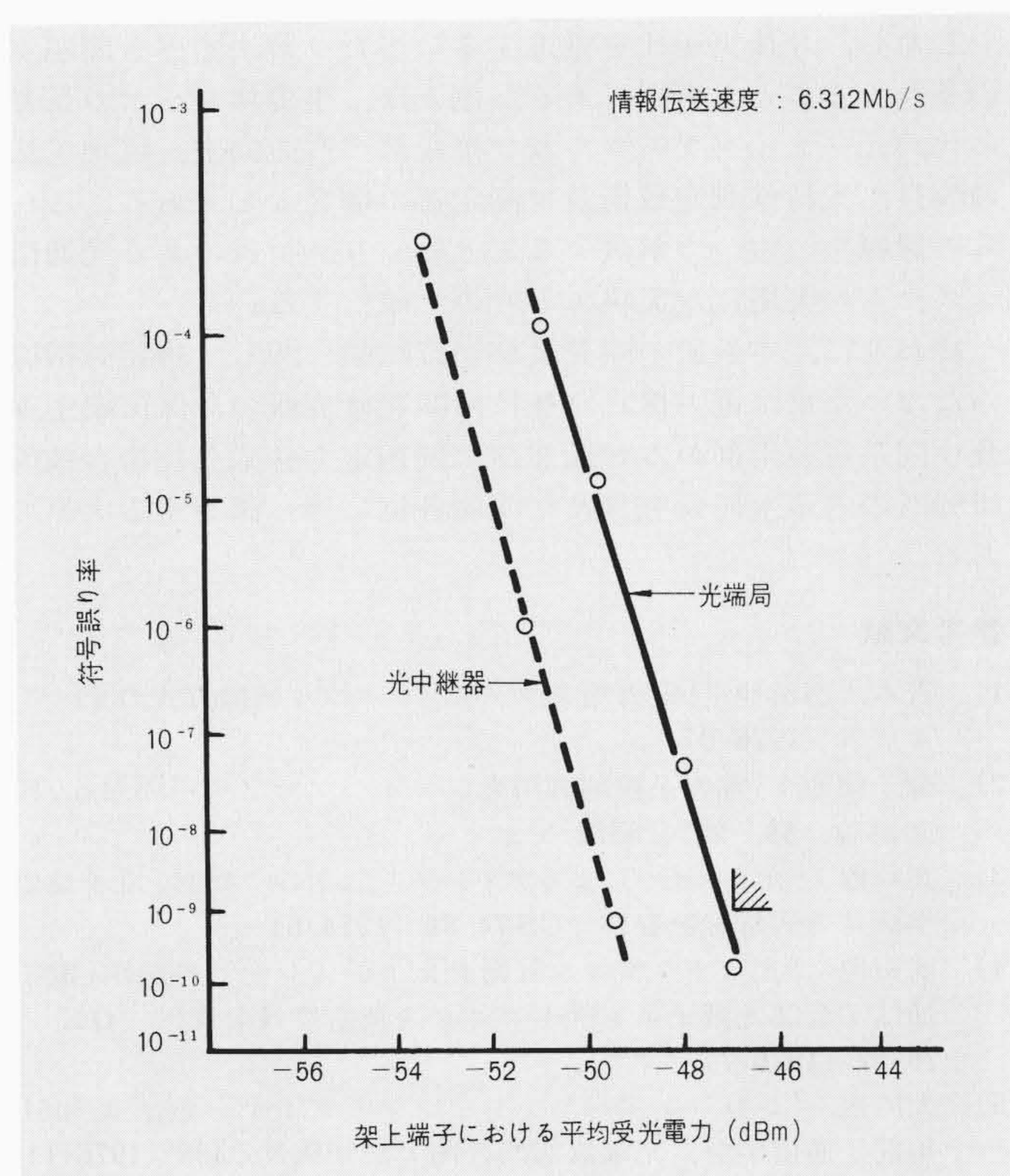


図5 東京電力システム、符号誤り率特性 受光電力を変えた場合の符号誤り率特性を測定したものである。

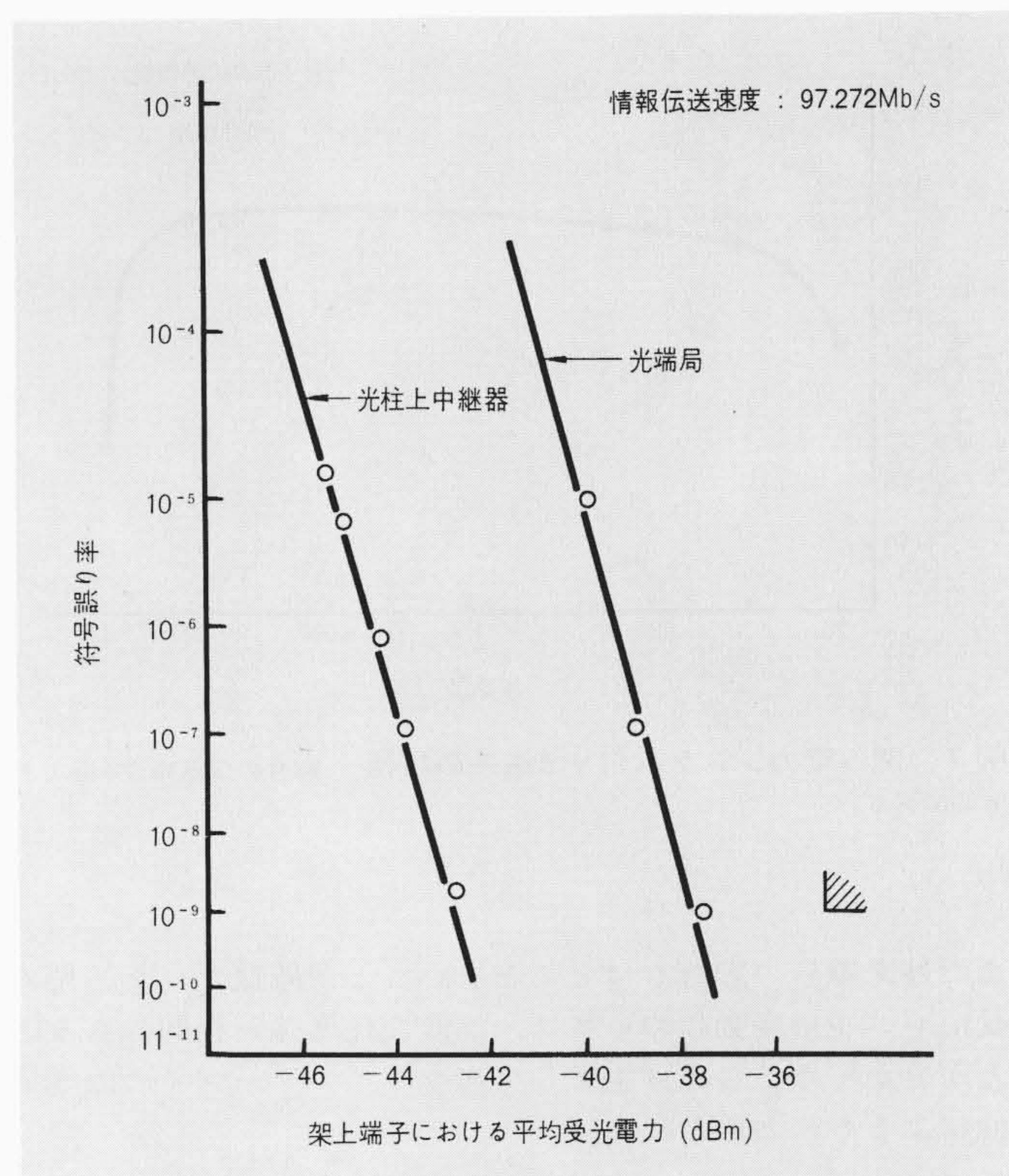


図6 関西電力システム、符号誤り率特性 受光電力を変えた場合の符号誤り率特性を測定したものである。

4.2 関西電力システム

図6に上り回線用100Mb/sの光端局及び中間中継器の符号誤り率特性を示す。光端局と中間中継器間の感度差約5dBは実証試験において、レベルを可変とするため光端局のAPD直前に挿入した光減衰器の最小挿入損失によるものである。

カラーITV信号の総合伝送特性の測定結果を図7に示す。これは、符号、復号器、多重化部及び光伝送系のすべてを含んだものであり、良好な画質を安定に伝送するのに十分な特性である。

本システムは、図6に示すような総合システムとして実証試験を行なっている。工事は二期に分け、第一期工事は光端

局装置及びITV装置の設置と光ケーブルの布設を昭和51年5月に完成し、実証試験を実施した。第二期工事は柱上中間中継器、監視給電装置及びテレコン装置の設置であり、昭和51年11月に工事を完了し、12月より全システムでの試験を行なっている。

第一期工事分の実証試験では、符号誤り率は上り回線側を48Kb/sの端子を用いて測定した結果、長期間安定度として 1×10^{-10} 程度の値を得、規格値 1×10^{-9} を満たしていることを確認した。

ITV信号の品質については、毎日行なっている画質モニタの結果、伝送による劣化は認められず良好な画質が得られ、

表4 東京電力システム試験結果 符号誤り率が規格の 1×10^{-9} を十分満足していることを示す。

項 目	片送り1中継2系列構成	同 左	片送り2中継1系列構成
シ ス テ ム 構 成		同 左	
光受信入力マージン	0dB	2dB	6dB
測 定 時 間	689hr	642hr	153hr
6.3Mb/s 符号誤り率	1.6×10^{-10} *	2.3×10^{-12}	2.9×10^{-11}
光送信レベル変動幅	± 0.2 dB	± 0.2 dB	± 0.1 dB
光受信レベル変動幅	± 1 dB	± 1 dB	± 1 dB

注：1. *はシステム1の値を示す。

2. 光受信入力マージンは、最小受信入力レベルに対するマージンを示す。

3. Tx=光送信部 Rx=光受信部 REP=光中継器

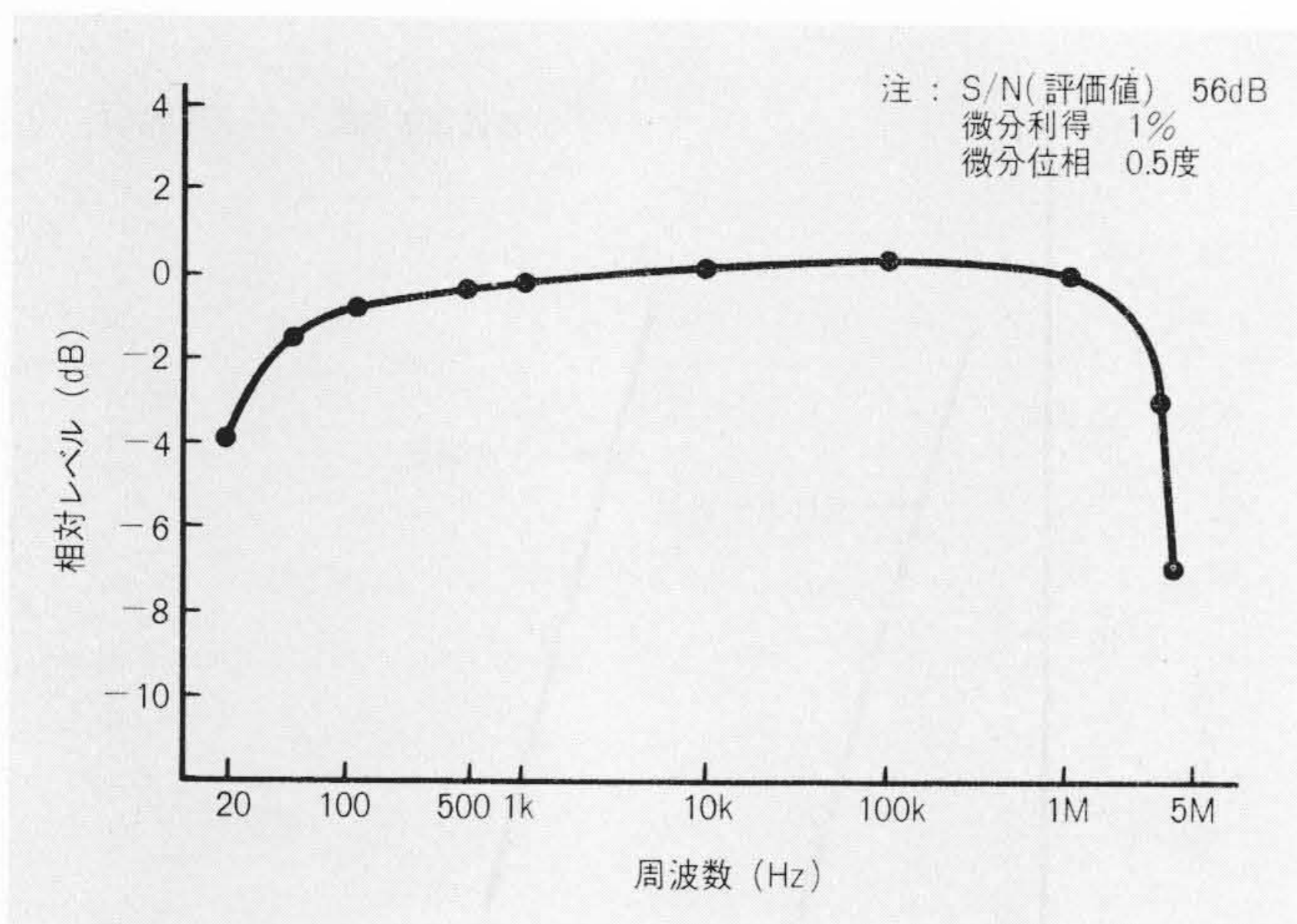


図7 関西電力システムITV伝送系の特性 総合の伝送特性を示したものである。

また外来雑音の影響もほとんどないことが確認された。光の受信レベルの変動については、温度変化と強い相関のあることが分かった。これは主として光ファイバケーブルの温度特性によるものと思われる。

5 結 言

現場実証試験を開始以来、両システム共に、回線断は一度も発生しておらず安定に動作している。これは主としてシステムを二重化構成としたことによるものであるが、実用化に対し大きく前進したことは確かである。

しかし、今後実用化を推進するに当たり解決すべき問題点の多々あることも事実である。例えば、半導体レーザの長寿命化、光ファイバケーブル及び接続部の性能向上、現地工法の改良、光特性測定技術及び測定器の開発などである。これらの課題を一つ一つ解決することにより、特長のある光通信システムの実用化が実現するものと確信する。

終わりに、本装置の開発及び実証試験に関して終始御指導いただいた東京電力株式会社技術開発研究所の久保田副主査及び同系統運用部の本村氏並びに関西電力株式会社総合技術研究所の内藤主任研究員及び関係各位に対し深謝する次第である。

参考文献

- 1) 青木、西田他：「電力用光ファイバケーブル通信方式のすべて」オーム（1976-9）
- 2) 御子柴他：「電力系統制御用光ファイバケーブルの開発」、日立評論、59、223（昭52-3）
- 3) 高崎他：「光ファイバによるデジタル伝送の一検討」電子通信学会誌方式研究会資料 CS74-86（1974-6）
- 4) 前田他：「光コネクタつき気密封止半導体レーザの試作」電子通信学会誌光量子エレクトロニクス技術委員会資料 QE 76-37（1976-7）
- 5) 大内他：「シリコンアバランシェフォトダイオード」、昭和51年電子通信学会、光電波部門全国大会予稿No. 436（1976-11）
- 6) 本村、東、太田他：「光ファイバ通信システムにおける一監視方式について」、電子通信学会光電波部門全国大会予稿No. 292（1976-11）
- 7) 本村、東、芦田他：「光ファイバ通信システムにおける打合せ電話機の開発」、電子通信学会光電波部門全国大会予稿No. 294（1976-11）



改良された電子線感応有機高分子組成物

森下 侖・平井崇子・他1名

特許 第796461号（特公昭50-9183号）

電子線感応有機高分子組成物は、光感光樹脂に代わる材料として注目され、例えば、レジスト材として実用化されつつある。この種の組成物として、分子内にエポキシ基を含有する有機高分子組成物は、電子線に対し特に高い感度を示すが、電子線未照射部分も不溶化する、いわゆる「かぶり」が発生する欠点があった。

本発明は、分子内に多数のエポキシ基を含有する有機高分子材料に、有機物に対し若干の溶解度をもつ強電解質物質を含有させ、上記有機高分子材料の電子線に対する感度を劣化させることなく、「かぶり」を防止するものである。

本発明に適用される有機高分子物質は、分子内に少なくとも3個以上のエポキシ基（ $\text{>C}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{<}$ ）を含み、分子量が500～10,000,000、より好ましくは10万～200万

が有効である。例えば、エポキシ化シス-1,4-ポリブタジエン、エポキシ化シス-1,4-ポリイソブレン、エポキシ化シス-1,4-ポリクロロブレン、エポキシ化-1,2-ポリブタジエン、あるいは次のようなエポキシ基をもつビニル化合物をビニル基で単独重合させたもの、例えば、



ただし、RはH、CH₃又はCl；



更にこれらのビニル化合物と他の重合性物質との共重合体、又は共縮合体、エポキシフェノール樹脂のように重合体中のOH基をエポキシ化合物と反応させたものなどで

ある。

「かぶり」の防止剤としては、例えば、アルカリ金属のヨウ化物・臭化物・塩化物などのハロゲン化物、若しくはこれら金属の水酸化物、又は炭酸塩、アルカリ土類金属のハロゲン化物、又は水酸化物、ヨウ化トリメチルベンジルアンモニウム、水酸化トリメチルベンジルアンモニウム、塩化トリメチルラウリルアンモニウムのような第4アルキルアンモニウム塩などの強電解質を挙げることができる。

「かぶり」防止剤を添加する方法は、上記有機高分子物質を有機溶媒に溶解する前に、上記溶媒に溶解してもよいし、高分子物質と同時に、また高分子物質が溶解している溶液に溶解してもよい。なお、添加量は一般に多いほど効果は顕著であるが、塗膜上に「かぶり」防止剤が析出しない程度にする必要がある。