

発・変電所における光伝送システムの導入

Application of Optical Data-Transmission System to Power Stations and Substations

電力システムの制御の分野でも、デジタル制御機器の導入が図られている。これらデジタル制御機器間の情報伝送を、電磁誘導障害の大きな超高压電気所内で行なう必要がある、このため無誘導・高伝送品質の光伝送システムを開発し、超高压変電所に適用した。この光伝送システムは発光ダイオード、ポリマクラッドファイバ、PINホトダイオードを用いており、短距離・中容量の構内光伝送に最適な構成としている。このシステムの超高压変電所での実証試験の結果、優れた耐雑音性と目標を上回る符号誤り率(10^{-12})を達成した。

この論文は、電気所構内光伝送実証システム及び500kV超高压変電所構内遠方監視制御装置用光伝送システムについて述べたものである。

寺田保広* Yasuhiro Terada

佐野和汪* Yoshihiro Sano

新田 勉* Tsutomu Nitta

1 緒 言

近年、電力需要の増大、規模の拡大に伴い、制御用計算機をはじめとする各種のデジタル制御機器の導入により、電力設備運用の省力化・自動化が進められている。電磁誘導障害の大きな超高压電気所内で、制御機器間の情報伝送を無誘導・高伝送品質で行なうため、光ファイバ通信方式の導入が積極的に図られている¹⁾。本論文では、適用例として構内遠方監視制御装置を取り上げ、短距離・中容量光伝送システムについて述べる。

2 発・変電所における光伝送適用の必要性

発・変電所では電力系統や設備の運転状態の監視・制御、系統保護などに必要なデータを、構内の送電線や母線などから収集している。このデータ伝送では、落雷やサージ雑音、電磁誘導などの妨害があっても、情報伝送が途絶しないよう信頼度の高い伝送設計を行なう必要がある。また、直接接地の超高压変電所では、系統事故時での対地電位上昇は極めて大きく、電気所内の隔たる2点間の電位差も大きくなることより、これによる絶縁破壊の問題もある。更に、ケーブルの布設場所が雨天時に水没することの多いケーブルピット(開渠)であるなど、厳しい耐環境性が要求される。これら要求を実現するための有効な手段として、絶縁性に優れ、誘導障害を受けない光ファイバ通信方式がある。また、非常災害時の危険分散の観点からも従来の通信方式のほかに、光ファイバ通信方式の適用が図られている。

3 光伝送システムの諸特性

表1に発・変電所用光伝送システムの性能諸元を示す。発光素子の選定に当たっては、特に長寿命・高安定性を重視し、低電流密度駆動であるため、極めて大きな動作寿命が期待できるLED(発光ダイオード)を採用した²⁾。また、光ファイバケーブルについてはファイバの接続や素子交換などの作業性及び保守性を考慮し、実作業に必要な引張強度や曲げ半径を十分考慮した構造とした。更に、高品質の伝送を実現するため、伝送路の符号誤り率は、最も高い信頼度を必要とする超高压系主保護継電器のロック率($>10^{-8}$)よりも良い 10^{-9} とした。

表1 発・変電所用光伝送システムの性能諸元 発・変電所構内の伝送路は大部分600m以下であるため、伝送損失10dB/km以下の光ファイバケーブルを採用し、最大無中継伝送距離を1kmとしている。

No.	項 目	特 性	備 考	
1	符 号 方 式	2値AMI符号		
2	光 伝 送 部	発 光 素 子	発光ダイオード	
3		受 光 素 子	PINホトダイオード	
4		伝 送 速 度	最大2Mビット/s	
5		受 信 電 力 範 囲	-40~-20dBm	符号誤り率 $<10^{-9}$
6	光 伝 送 部	伝 送 損 失	10dB/km以下	
7		伝 送 距 離	最大1km	
8		心 数	8心又は4心	
9		ファイバコア径	150 μ m	
10		開 口 数	0.4	シリコン樹脂クラッド
11		引 張 強 度	100kg以上	
12		最 小 曲 げ 半 径	10cm	
13		温 度	-20~+75 $^{\circ}$ C	
14	材 質	ポリマクラッドファイバ	多モード形	

4 電気所構内光伝送実証システム

発・変電所などの構内光伝送システムは、他分野の光伝送システムに比べ格段に厳しい耐雑音性、耐環境性と高信頼性を同時に要求される。これらの課題を克服するために施した対策の有効性を評価するため、超高压変電所に設置して長期間の実証試験を行なったシステムの構成、及び試験データについて次に述べる³⁾。

4.1 システム構成とその留意点

この実証システムは図1に示すように、屋外に設置する信号変換盤と制御室内のデジタル制御盤、及びこれらを結ぶ光ファイバケーブルと電源ケーブルから成る。前述の諸課題を克服するための主な留意点は下記のとおりである。

(1) 屋外の電力設備の近傍に設置されるため、筐体を二重シールド構造とし、更に電気-光変換及び光-電気変換部につい

* 日立製作所大みか工場

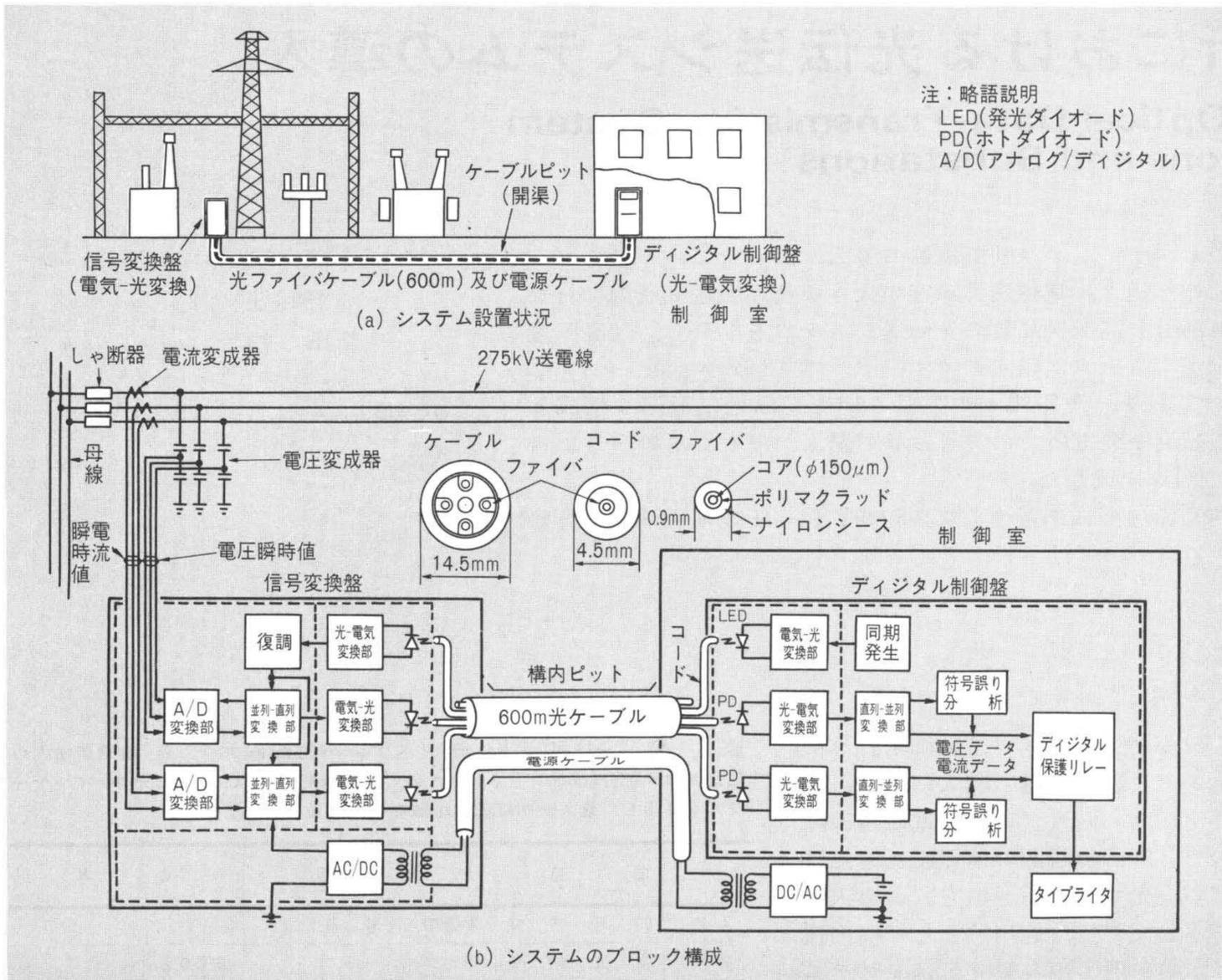


図1 システム構成
信号変換盤では、サンプリング同期信号に従って、電圧・電流データを光信号に変換してデジタル制御盤へ伝送する。

ても二重シールドとした。

(2) 受信データを同一盤内のデジタル保護リレーへ与えるため、盤内ブロックごとにしゃへい板によるシールドを行なった。

(3) ケーブルピット(開渠)へ布設するため、ケーブル外被は100%の耐湿性をもたせた。

(4) 布設作業時の破断強度確保のため光ファイバケーブル中心部にガラスロープによるテンションメンバを採用した。

4.2 伝送フォーマットと誤り制御方式

マイクロコンピュータを用いたデジタル保護リレーと組み合わせて実証試験を行なったこのシステムでは、系統保護用情報(電圧データ及び電流データ)と、光伝送路の回線品質を定量的に常時監視するための情報を伝送している。伝送フォーマット及び伝送速度は、上記目的の伝送に必要な情報の量、質、頻度に関連するため、これらを総合的に勘案して図2(a)のように決めた。採用したデータ誤り制御方式は、同図(b)に示すとおりである。

4.3 実証試験

4.3.1 試験場所及び試験期間

(1) 試験対象系統

東京電力株式会社新栃木変電所、275kV沼原2号線

(2) 試験期間

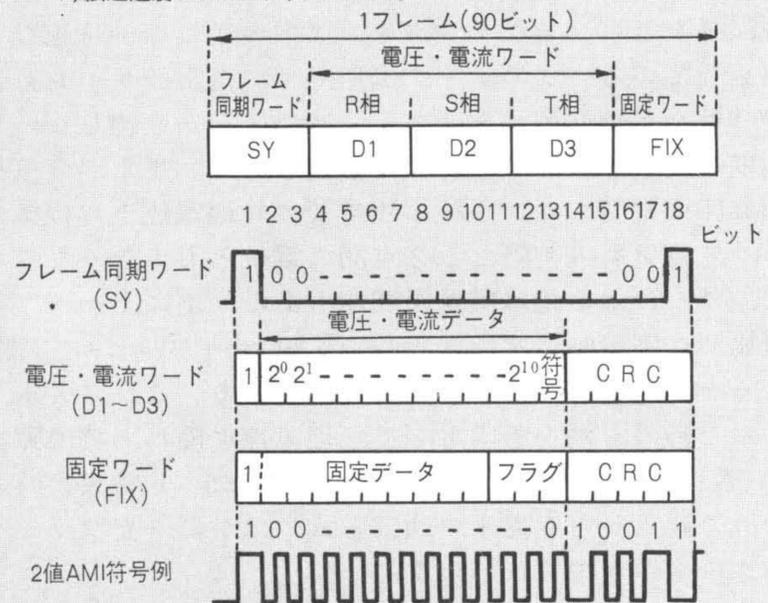
昭和52年11月～昭和53年12月

4.3.2 試験結果

(1) 構内機器開閉サージの影響

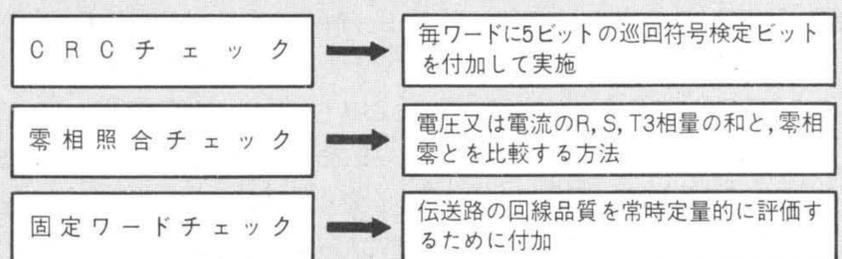
約1年間にわたる試験期間中に、系統運用操作、作業などにより変電所構内で行なわれた機器操作回数は、当該対象回線で33回、その他の回線で136回であったが、これらの操作による符号誤り、及び装置異常は全く発生しなかった。図3に開閉試験時に信号変換盤から1mの所で測定した誘導雑音電

毎サンプリング周期($\frac{1}{600\text{Hz}}=1.66\text{ms}$)に90ビットの情報を伝送する必要があるから、伝送速度は54kビット/sである。



注：略語説明 CRC(巡回符号検定ビット)

(a) 伝送符号フォーマット



(b) 誤り制御方式

図2 伝送符号フォーマットと誤り制御方式 54kビット/sで光伝送する電圧データと電流データは、信頼度向上のため別送する。符号形式はマーク率変化やレベル変動に強い2値AMI符号(Alternate Mark Inversion)を採用した。回線品質の常時監視のため、固定ワードを挿入した。

界強度を示す。同図から平常時の値(実線)は最大でも65dB程度であるが、開閉時には130dB($f=0.2\text{MHz}$)にも達する強烈なものであることが分かる。

(2) 光信号送受信部の送信光電力と受信光電力

図4に、実証試験期間の各時点で実測した送受両端の光電力の実測結果を、現地気温との関連で示す。送信光電力は気温とともに約2dB変動したが、1年後の出力の減衰は認められなかった。外気温の変動範囲は-8~37°Cであったが、受信光電力は1年間を通してほぼ一定であった。これは、発光素子出力とファイバ伝送損失の温度特性が逆特性となるものを選択した効果である。

(3) 符号誤り率

1年1箇月におたる試験期間を通した符号誤りの常時観測の結果、目標誤り率 10^{-9} を大幅に上回る符号誤り率 10^{-12} という結果が得られた^{4),5)}。

以上述べたように、実証試験システムは極めて安定な動作を続け、耐雑音性、耐環境性を確保するための諸施策が実効あることが確認され、十分実用性をもつことが裏付けられた。

5 構内遠方監視制御装置への適用例

超高圧変電所の監視制御システムでは、変電所内に散在する機器を集中制御するため、構内遠方監視制御装置の導入が図られている。導入に当たっては、超高圧設備からの誘導障害の除去が課題であり、光ファイバ通信を採用することによりこの問題を解決した。以下に、前述の実証システムでの試験結果をベースに、関西電力株式会社紀の川変電所(以下、紀の川変電所と略す。)、及び昭和55年5月運転開始の九州電力株式会社中央変電所(以下、中央変電所と略す。)の実施例につき説明する。

5.1 システム構成

紀の川変電所では、別館に設置した77kV変電設備を本館から制御するための構内遠方監視制御装置を昭和55年2月に設置した。本システムでは、本館~別館間の伝送路は500kVヤードと275kVヤードの間を通すことにより、誘導障害や雑音が懸念された。一方、中央変電所では立地条件より、変電所は500kVヤードと220kVヤードとに谷川を隔てて二分されている。

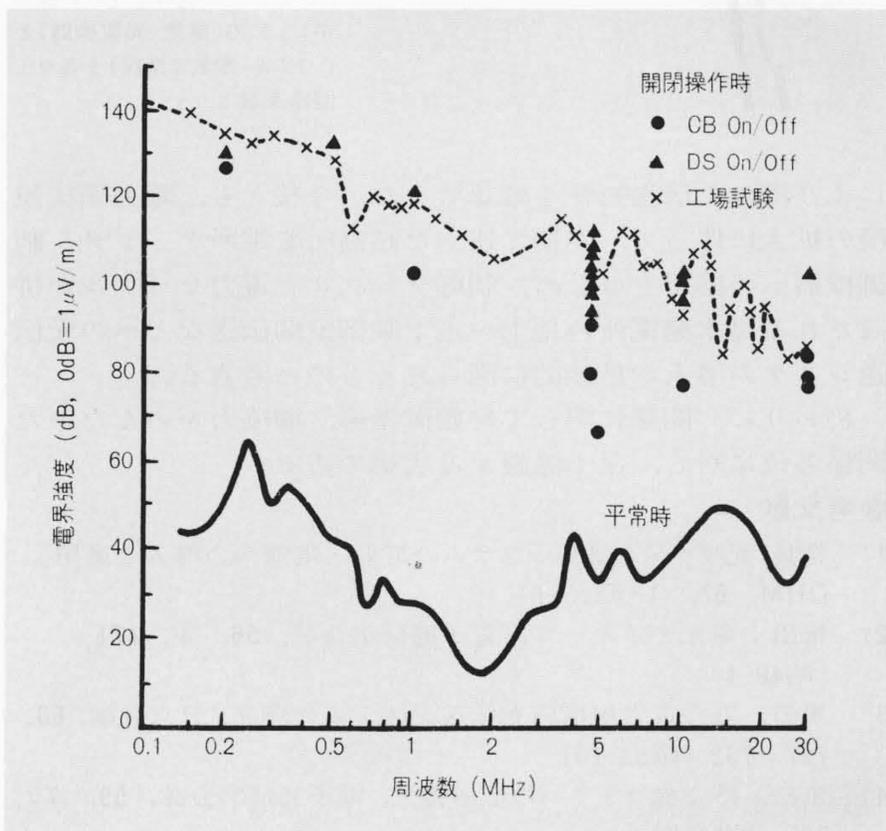


図3 電磁誘導雑音の実測例 電界強度は、平常時は最大でも65dBであるが、開閉操作時には130dB(周波数 $f=0.2\text{MHz}$)にも達した。

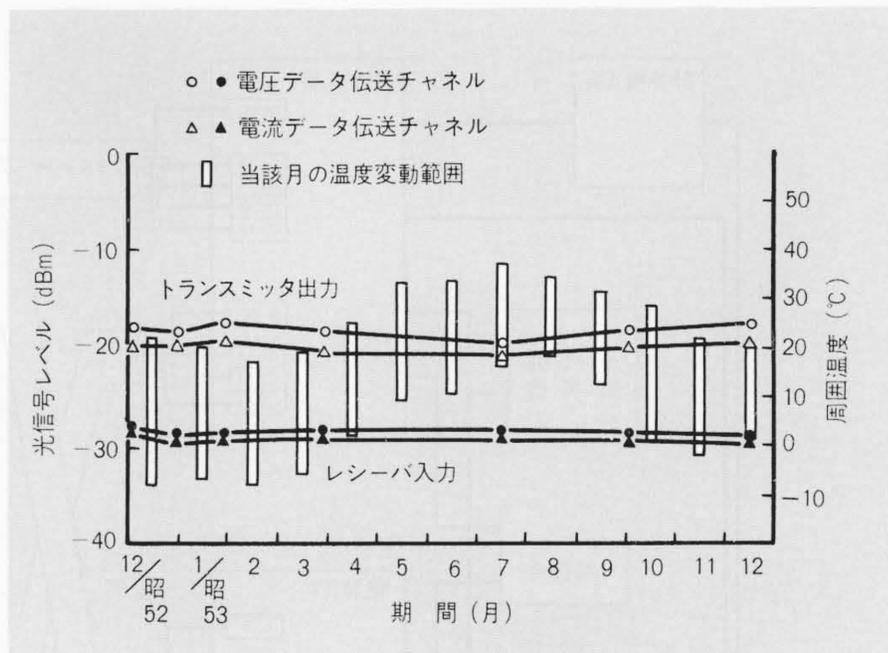
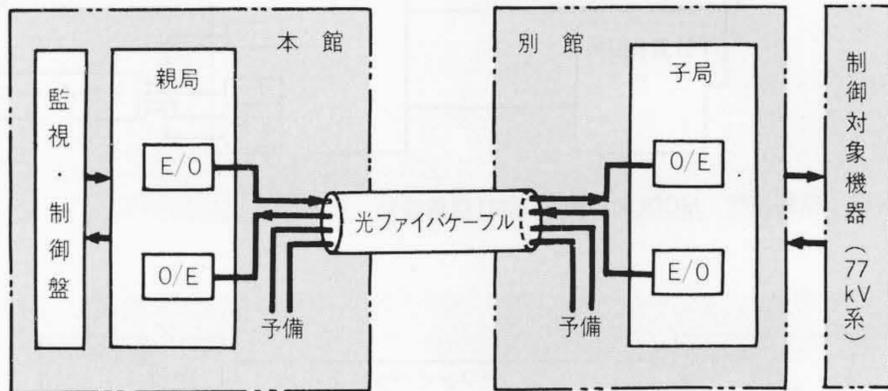


図4 実証試験期間における光信号レベルの変動 送信光電力は気温とともに約2dB変動したが、1年後の光の減衰は認められなかった。受信光電力は-8~37°Cの外気変動のあった1年間を通じほぼ一定であった。



注：略語説明
O/E(光-電気変換器), E/O(電気-光変換器)

図5 紀の川変電所構内遠方監視制御システム構成図 伝送路長は300mであり、光通信の送信レベルは-20dBmに設定している。

このため、送電線事故時に発生する両ヤード間の対地電位差誘導障害が問題となった。図5、6にこれら構内遠方監視制御装置のシステム構成を示す。後者のシステムは伝送路を二重化し、一方に光ファイバケーブルを、他方にメタリックケーブルを用い、方式の異なる伝送路を2ルート用意することにより不測の事態に対応できるようにして、システム全体の稼働率向上を図っている。

特長としては、E/O(電気-光変換器)とO/E(光-電気変換器)を1枚のプリント板で構成し、従来方式である音声周波数変復調器と同程度の小形化を実現している。また、保守性の向上として、受光レベル測定などによる光ファイバコード損傷に対して、容易に代替ケーブルと交換できるように、光ケーブル本体と光変換素子間に低結合損失の中継用リセプタクルを設け、光ファイバコード交換を可能にした。

5.2 伝送方式

5.2.1 伝送フォーマット及び誤りチェック方式

伝送品質については、前述の実証システムのデータからビット誤り率 10^{-9} 以下が確保できるため、従来から用いている電気協同研究会推奨の伝送フォーマットを採用し、反転連送照合チェック、及びパリティチェックを併用することにより、見逃し誤り率は 10^{-17} 以下が期待できる。

5.2.2 伝送レベルダイヤグラム

図7に中央変電所での光伝送のレベルダイヤグラムを示す。送信レベルについては-17dBm, -20dBm, -23dBmの3段階の切換を可能とし、伝送路距離に応じて送信レベルを最適

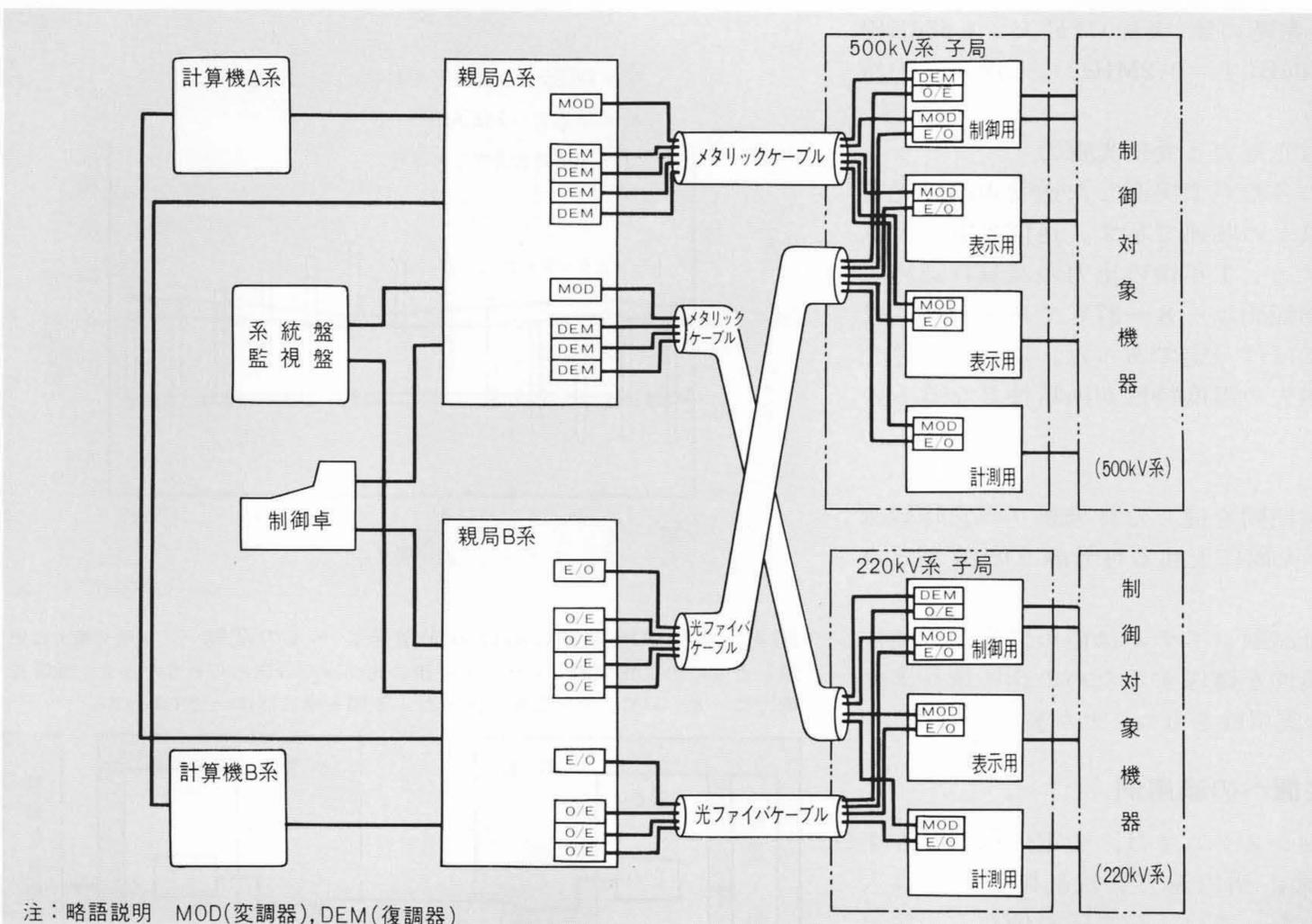


図6 中央変電所構内遠方監視制御システム構成図 親局は完全二重化しており、親局A系にメタリックケーブルを、親局B系に光ファイバケーブルを用いている。伝送路長は500kV系子局～親局間600m、220kV系子局～親局間は50mである。

注：略語説明 MOD(変調器), DEM(復調器)

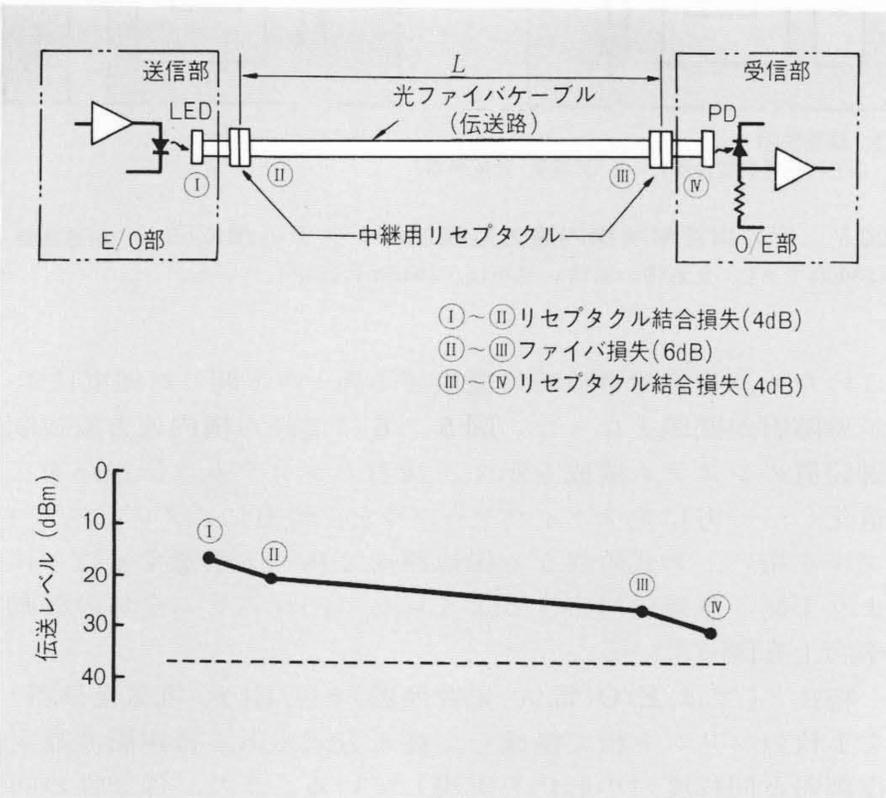


図7 中央変電所における光伝送のレベルダイヤグラム 中継用リセプタクルを設け光ファイバコード交換を可能としている。各々の損失値は温度等の周囲条件が変化したときの最大値を示している。

化できるようにしてある。伝送路長600mの場合には、送信レベルを-17dBmとすると、受信レベルは-31dBmとなり、温度変化・経年変化を考慮しても、ビット誤り率 10^{-9} を確保するために必要な受信レベル-37dBmに比べて十分余裕のある値としている。図8に光通信の送受信部を示す。

6 結 言

発・変電所でのデジタル制御機器は、その設置環境条件から格段に厳しい耐雑音性、耐環境性及び高信頼性を同時に要求される。日立製作所はこれらの厳しい要求を満足する光伝送システムを開発し、長期にわたる実証システムでの検証

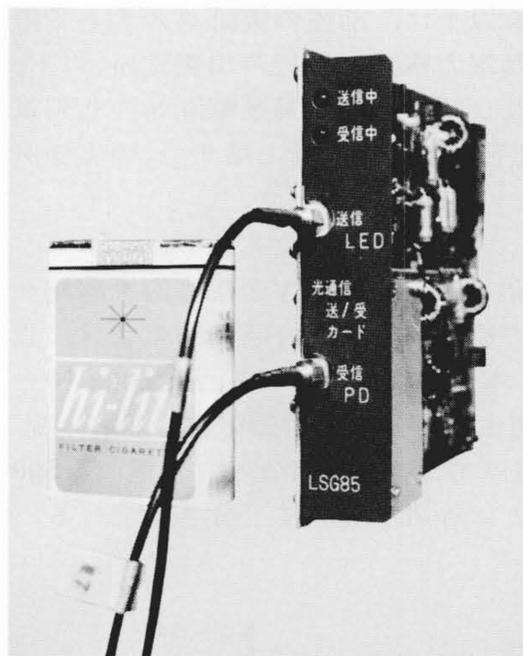


図8 光通信の送受信部外観 1枚のプリント板の中に、E/O(電気-光変換器)とO/E(光-電気変換器)を各々1回路実装している。

により優れた伝送特性を確認できた。今後とも、電力系統規模の拡大に伴って、本稿で述べた超高压変電所デジタル制御機器への応用をはじめ、制御ケーブルと電力ケーブルが併設される揚水発電所の地上～地下制御室間伝送などへの光伝送システム導入が積極的に図られるものとする。

終わりに、開発に関して終始御指導、御協力をいただいた関係各位に対し、深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 特集「光ファイバ通信システムの電力・電鉄への導入と適用」、OHM, 67, 1 (昭55-1)
- 2) 梅田：発光ダイオード, 電子通信学会誌, 56, 4, 471 (昭48-4)
- 3) 黒岩, 外：電力用構内光伝送システムの開発, 日立評論, 60, 727~732 (昭53-10)
- 4) 末松, 外：光ファイバの伝送特性, 電子通信学会誌, 59, 7, 705 (昭51-7)
- 5) 中村, 外：光による情報伝送, 電気学会雑誌, 97, 11, VI-1章 (昭52-11)