

# 光ファイバケーブルによるプロセス監視用データ伝送システム

## Optical Data Transmission System for Process Monitoring

光伝送は無誘導，無漏話，広帯域という特長をもっているため，各種プラント施設や製鉄所など，電気的環境条件が悪く，かつ情報が密集している工場施設の構内での情報伝送にも適していると考えられる。

今回，日立電線株式会社は，日立製作所と協力して光ファイバケーブルを用いて，1,000点程度のデータを約2 kmまで多重化伝送可能なプロセス監視用データ伝送システムを開発した。光伝送系には，ポリマクラッドファイバ，発光ダイオード，PINホトダイオードを用いている。このシステムを実稼動中の製鉄所の製造設備に適用し，1年間の実証試験の結果，誘導や漏話の問題もなく符号誤り率 $3 \times 10^{-13}$ という良好な値が得られ，実用性を確認することができた。

浅井孝弘\* Asai Takahiro  
近藤 勲\* Kondô Isao  
外谷茂雄\* Toya Shigeo  
桜井孝員\*\* Sakurai Takakazu

### 1 緒 言

光ファイバは伝送媒体が非導電性であることから，耐誘導雑音特性に優れ，更に大容量のデータ伝送も可能であり，いわゆる構内などでのデータ伝送手段としても脚光を浴びてきている。

最近，ビル，工場構内では各種のコンピュータやデジタル制御装置が盛んに使用されている。これらの制御装置での情報を伝送する伝送路には，特に次のような条件が必要である。

- (1) 誘導雑音の影響を受けないこと。
- (2) 伝送容量が大きいこと。

(1)の条件は伝送路近傍に電力設備や製造設備が設置されている場合が多く，誘導雑音を受けやすいため，(2)は比較的狭い範囲に情報量が密集しているためそれぞれ必要となるものである。

このたび，日本鋼管株式会社京浜製鉄所(扇島地区)で約1年間オンラインでの実証試験を行ない，実用性を確認した。

この論文は，上記システムの概要及び実証試験の結果について述べたものである。

### 2 システム概要

#### 2.1 光システムの適用

表1にシステム例を示す。第1例のコンピュータ間伝送は，従来の同軸ケーブルを光ファイバケーブルに置き替えただけで，光ファイバケーブルのコストが高い時点では，特殊な環境条件の場合を除いてメリットを見いだすことが難しい。第2例のモデム回線の多重化伝送は，多重度が上がるほどコストメリットが得られるであろう。これらに対し，第3例，第4例は構内に存在する多量のデータを伝送するもので，現段階では光ファイバケーブルの特色を最もよく生かした適用例と考えられる。

#### 2.2 開発したシステムの概要

以上の検討結果と光技術の現状を考慮に入れ，今回開発したシステムの概要を表2に示す。すなわち，数百～一千点程度のデジタルデータを多重化して1.5M bpsの直列データに変換し，これを電気～光変換して光ファイバに導き光伝送す

表1 構内光伝送システム例 多重度を上げるほどコストメリットが得られる。適用例のうち，3例，4例は光ケーブルの特色を最もよく生かした適用例である。

| 適用例                            | 構 成                     | 備 考                                                                                                                                |
|--------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. コンピュータ間                     | 金属ケーブル<br><br>光ケーブル<br> | 注：略字説明<br>CPU=中央処理装置<br>CCU=通信制御装置<br>M/D=モデム<br>INT= インタフェース<br>T/R=光送受信器<br>MPX=多重化装置<br>T=データ端末<br>RY=リレー<br>BR=光分岐器<br>SW=光切替器 |
| 2. モデム回線                       | 金属ケーブル<br><br>光ケーブル<br> |                                                                                                                                    |
| 3. コンピュータと製造装置間<br>(又は製造装置相互間) | 金属ケーブル<br><br>光ケーブル<br> |                                                                                                                                    |
| 4. データハイウェイ                    | 光ケーブル<br>               |                                                                                                                                    |

\* 日立電線株式会社研究所    \*\* 日立製作所大みか工場

表2 システム概要 1.5M bpsで2 kmまで光伝送できる。伝送情報点数は最大1,024点で、32点単位で増減が可能である。

| 項               | 目         | 仕 様, 性 能              |
|-----------------|-----------|-----------------------|
| 光伝送系            | 発 光 素 子   | 発光ダイオード               |
|                 | 受 光 素 子   | PINホトダイオード            |
|                 | 伝 送 速 度   | 1.5M bps              |
|                 | 伝 送 距 離   | 2 km                  |
|                 | 符 号 誤 り 率 | $1 \times 10^{-9}$ 以下 |
|                 | 光 ファ イ バ  | ポリマクラッド形              |
| 装 多<br>置 重<br>化 | 伝送情報点数    | 最大1,024点              |
|                 | 誤 り 制 御   | パリティチェック, 同期保護        |

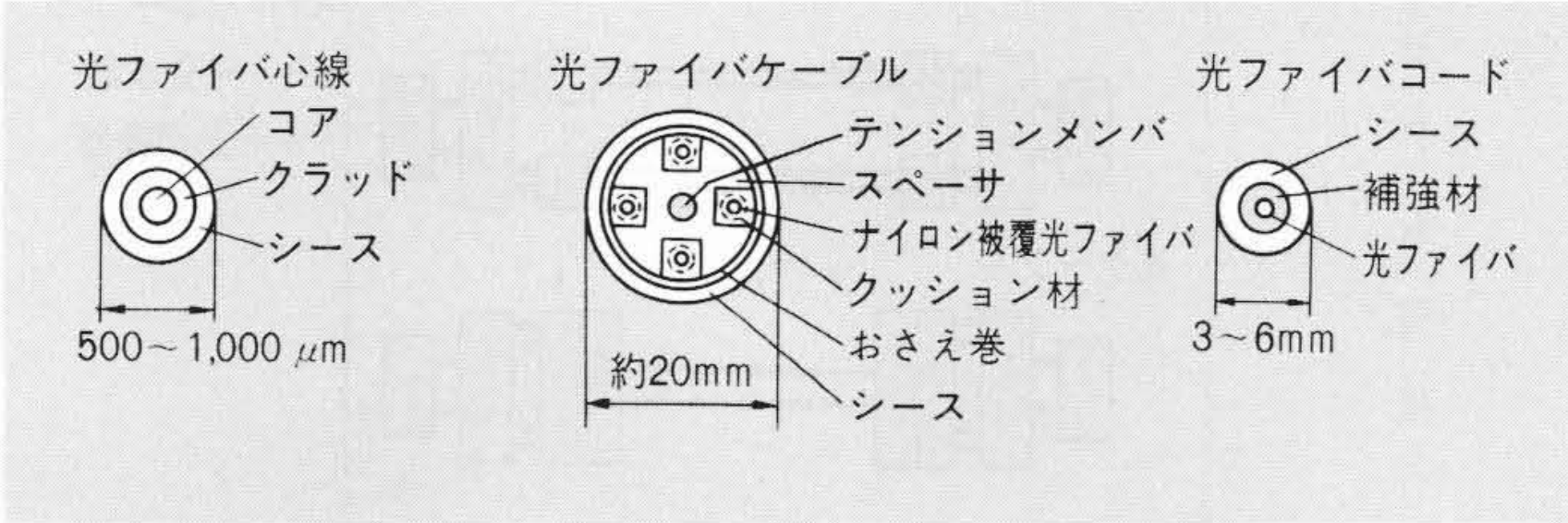
表3 光ファイバ心線構造並びに光ファイバ、光ファイバケーブル及び光ファイバコードの仕様 光ファイバケーブルは、スぺーサにより光ファイバを外力から保護している。光ファイバコードは高抗張力繊維を光ファイバに沿わせ引張り強度を得ている。

(a) 光ファイバ心線構造

| 項 目  | 材 質     | 外 径 (μm)  |
|------|---------|-----------|
| コ ア  | 石 英     | 150       |
| クラッド | シリコーン樹脂 | 300~350   |
| 被 覆  | ナイロン    | 500~1,000 |

(b) 光ファイバ心線、光ファイバケーブル及び光ファイバコードの特性

| 項 目                                  |           | 仕 様     |              |
|--------------------------------------|-----------|---------|--------------|
| 光<br>フ<br>ィ<br>バ<br>心<br>線           | 電氣的・光学的特性 | 損 失     | 10dB/km以下    |
|                                      |           | 帯 域     | 20MHz以上(1km) |
|                                      |           | 開口数(NA) | 0.4          |
| 光<br>フ<br>ィ<br>バ<br>ケ<br>ー<br>ブ<br>ル | 電氣的・光学的特性 | ファイバと同じ |              |
|                                      | 機 械 特 性   | 最大許容張力  | 150kg        |
|                                      |           | 最少曲げ半径  | 10×(ケーブル外径)  |
| 光<br>フ<br>ィ<br>バ<br>コ<br>ー<br>ド      | 電氣的・光学的特性 | ファイバと同じ |              |
|                                      | 機 械 特 性   | 最大許容張力  | 50kg         |
|                                      |           | 最少曲げ半径  | 10×(ケーブル外径)  |



る方式をとる。この場合の主なシステムコンポーネントとしては光ファイバケーブル及び電気～光変換器、光～電気変換器、データ多重化装置が挙げられ、このほかに光コネクタ、光ファイバコードなども含まれる。

3 ハードウェア概要

3.1 ポリマクラッドファイバケーブル及びコード

ポリマクラッドファイバは、直径150μm程度の溶融石英ガラス細線に、ポリマ(例えばシリコーン樹脂など)を塗布焼付したものである。このタイプの光ファイバは、オール石英ガラスファイバに比較して伝送周波数帯域が狭く、また伝送損失も比較的大きい<sup>1), 2)</sup>。その反面コア径が太いので、(1)発光ダイオード(LED)との結合が密にでき、光ファイバへの光入射パワーを大きくできる。(2)光コネクタの製作や接続が容易である。などの特長がある。表3に、ポリマクラッド光ファイバケーブル心線の構造並びに光ファイバ、光ファイバケーブ

ル及び光ファイバコードの仕様を示す。

光ファイバケーブルは、屈曲の多い構内管路引込みやその他の過酷な布設条件にも耐えるスぺーサ形の構造とした。スぺーサはプラスチック製で中心にテンションメンバをもち、周囲にファイバを収容する溝を設けたものである。これにより、同じ外径の金属ケーブルと同等あるいはそれ以上の機械強度を与えている。

光ファイバコードは、高抗張力特性をもつ繊維をテンションメンバとして光ファイバに縦沿えし、この上にシースを被覆したもので、引張りに強く、かつ可とう性を良くしている。これは光ファイバケーブルと光端局装置の間の接続に用いるもので、いわゆる成端ケーブルに相当する。

3.2 発光素子、受光素子

発光素子には近赤外発光ダイオードを、受光素子にはPINホトダイオードを用いた。これらを選んだ理由は、(1)伝送データ速度に対して十分に速い速度で応答すること。(2)経済性があること。(3)信頼性が高いこと。(4)取扱いが容易なことなどを重視したためである。

3.3 光コネクタ<sup>3)</sup>

システムの調整、保守のため、光ファイバケーブルと光端局装置の間は、着脱可能な光コネクタで接続する必要がある。ここで開発した光コネクタの構造は、図1に示すとおり光ファイバの端面同士をプラグとスリーブにより突き合わせ、かつ双方の中心軸が一致するようにしたもので、プラグとスリーブの嵌合精度は数ミクロン以内に抑えている。これの挿入損失は、-10~+60℃の温度範囲で1 dB以下と低損失である。

3.4 光送受信器

図2に光送受信器の回路構成及び動作波形を示す。送信部の動作は、入力電気信号を光信号に変換するものである。変調方式は、入力パルス信号の“1”、“0”に対応して発光、非発光とする強度変調方式を採っており、発光時の光ファイバへの出力パワーは150μW(-8.2dBm)以上に行っている。伝送符号形式は、受信部でのクロック抽出を容易にするためにRZ(Return to Zero)としている。

受信部は、光ファイバケーブルを伝わってきた光信号をPINホトダイオードで電気信号に変換し、3R(Reshaping, Retiming, Regenerating)受信器を通してTTL(Transistor Transistor Logic)レベルの出力パルスを再生する。すなわち、PINホトダイオードの出力は、アンプで交流増幅後クランプで直流分が再生される。クランプ出力はS/N比を改善するために、低域フィルタで雑音成分を落としたのち、比較器の一方の入力端子に加えられる。比較器のもう一方の端子には、常にパルス信号の波高値の1/2のレベルのATC(Automatic Threshold-level Control)電圧が供給されているので、受光レベル

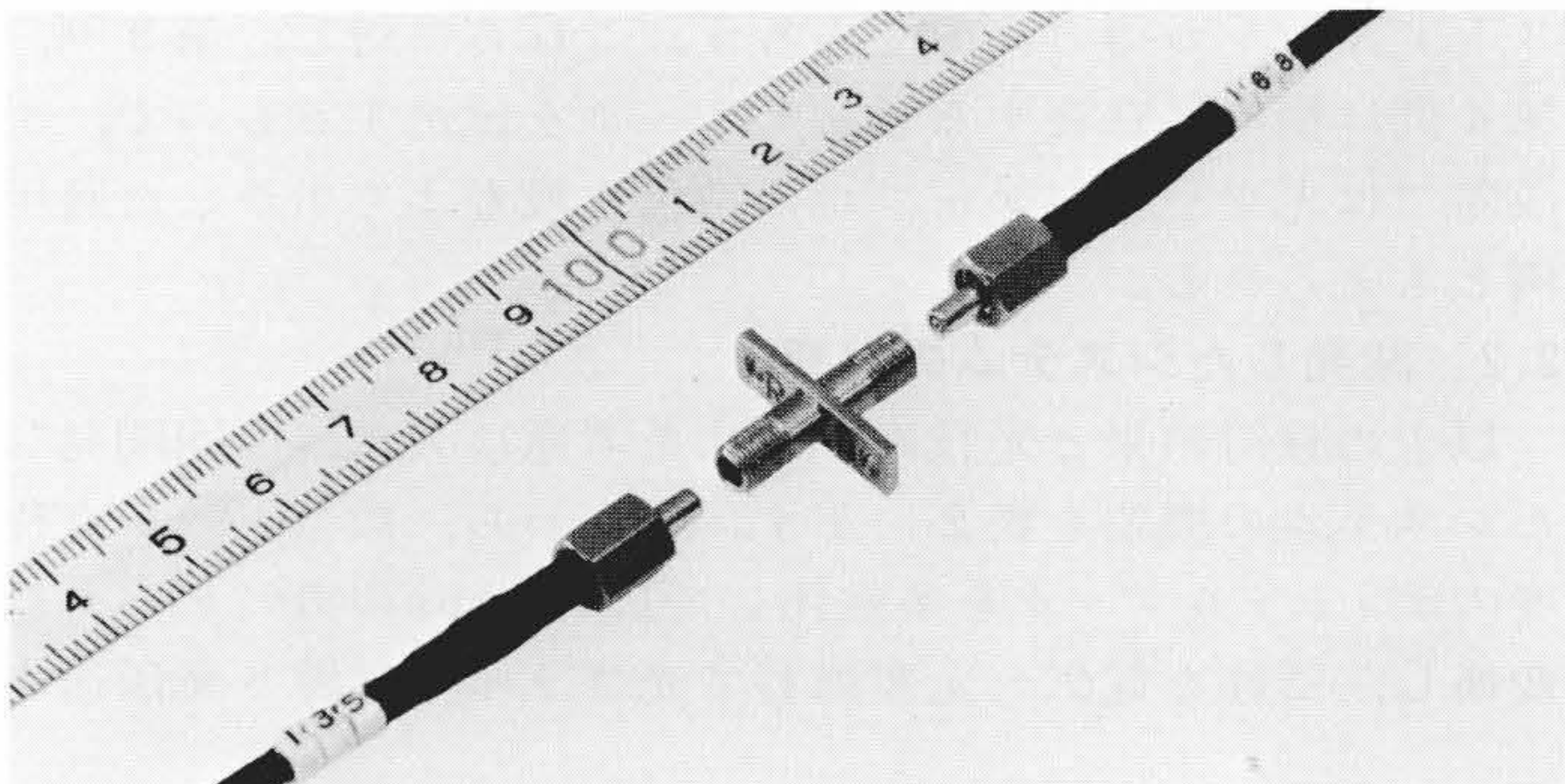


図1 光コネクタの構造 プラグとスリーブにより、光ファイバ端面を精密に突き合わせる。

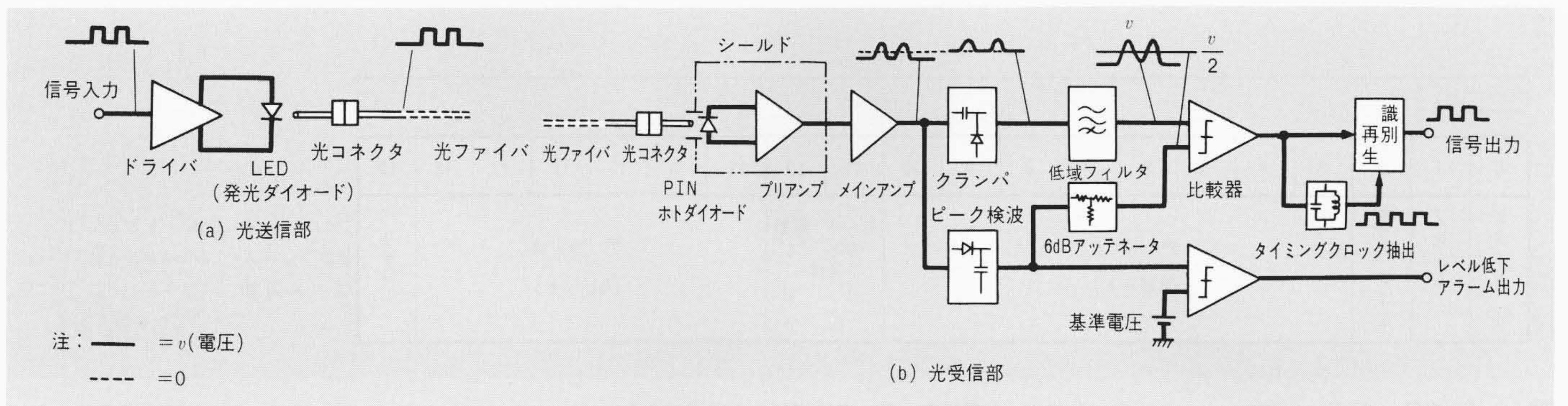


図2 光送受信器回路構成 受信部は3R(Reshaping, Retiming, Regenerating)機能をもっている。

の変動に対して安定なパルス幅の信号出力が得られる。この出力を共振回路に導いてオール“1”のクロックパルスを抽出し、更にデータ識別再生を行なっている。

図3に受光パワーレベル及びS/N比(信号対雑音比)と符号誤り率の関係を示す。同図から符号誤り率 $1 \times 10^{-9}$ 以下とするための受光レベルは、 $0.1 \mu\text{W}$ ( $-40\text{dBm}$ )以上必要なことが

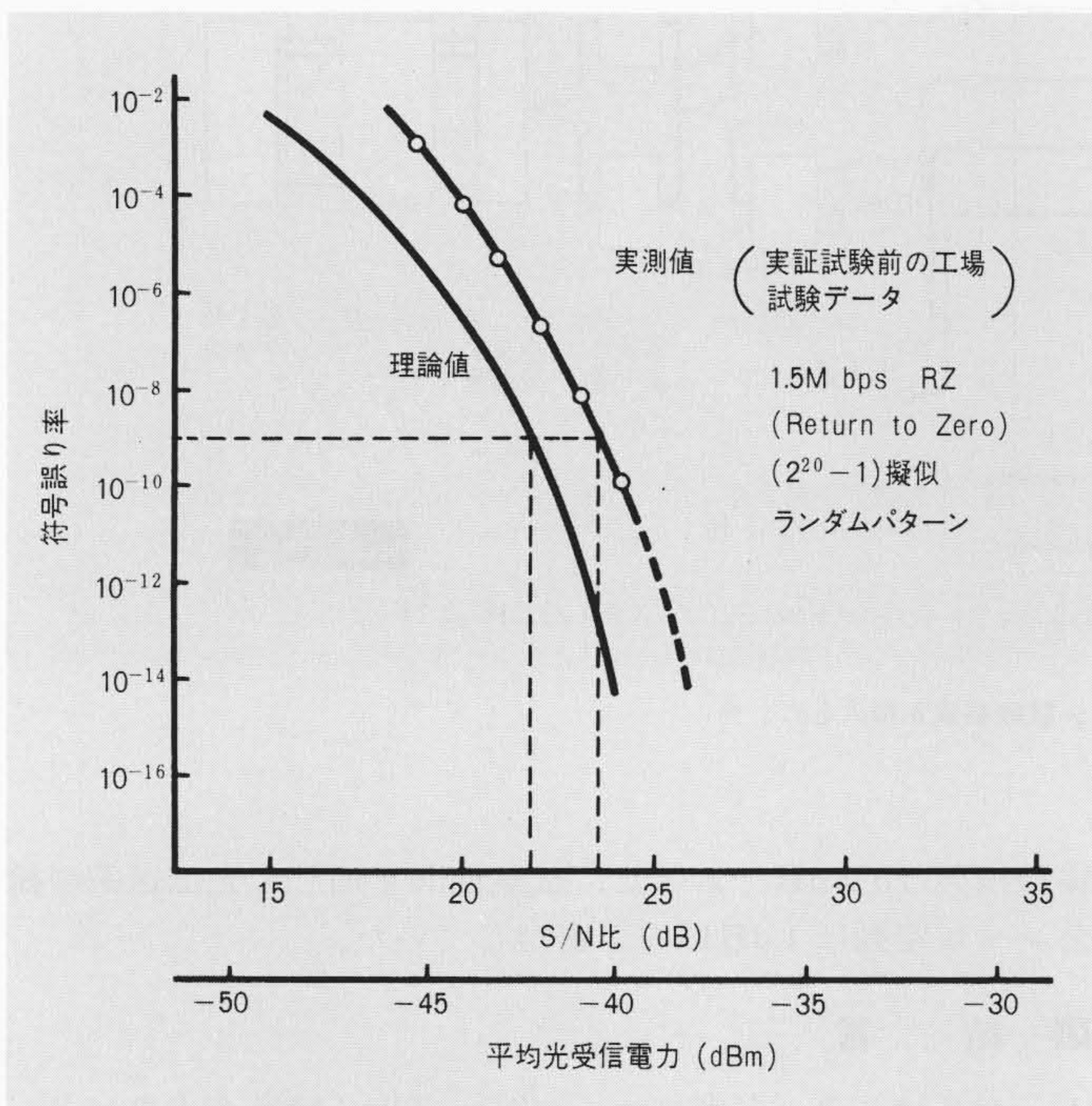


図3 光受信電力, S/N比と符号誤り率の関係 符号誤り率 $10^{-9}$ を実現するには、 $-40\text{dBm}$ 以上の光電力が必要である。

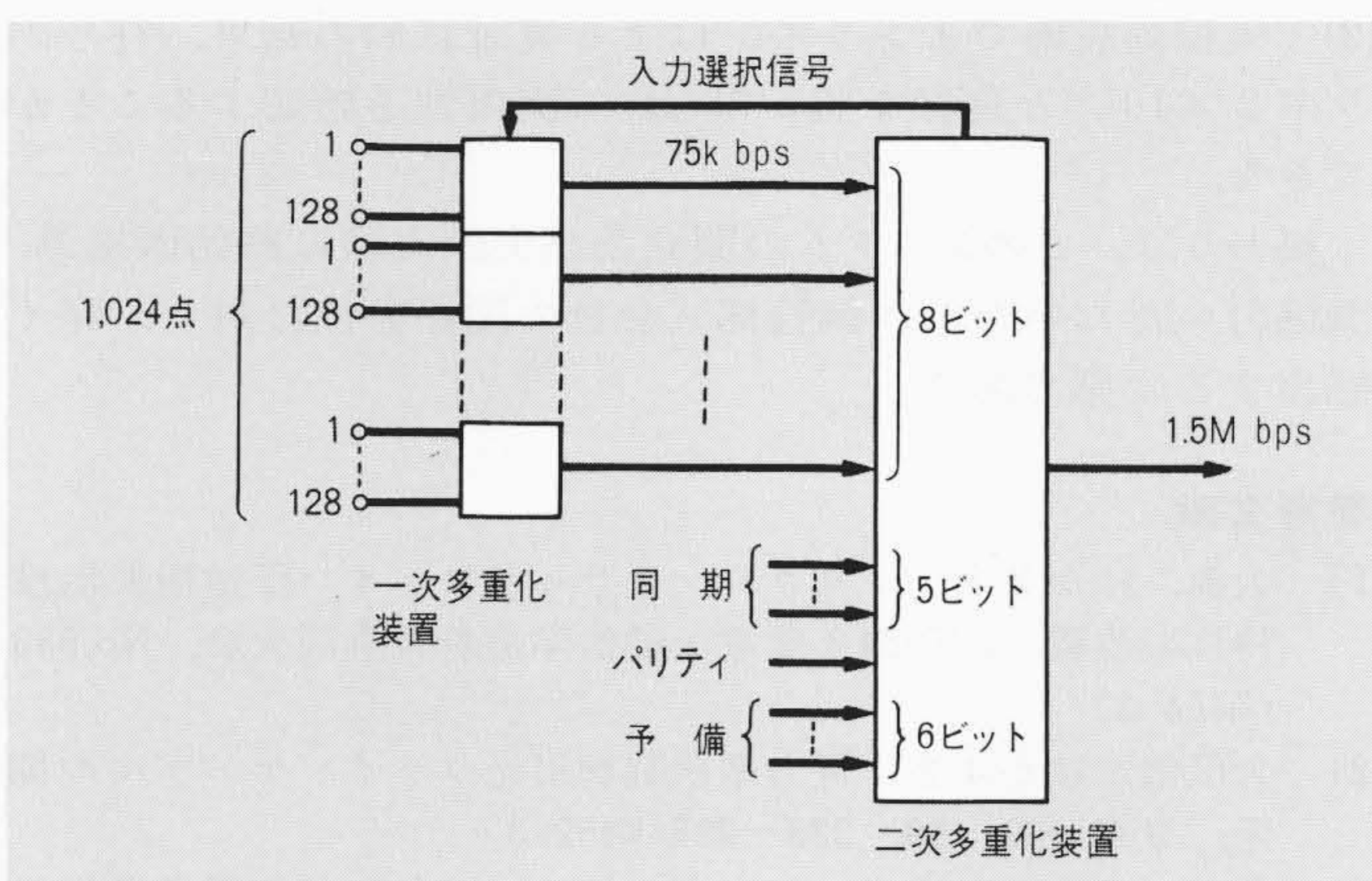


図4 多重化装置の原理 一次多重と二次多重の2段構成としている。

分かる。上記の送受光レベルから、光伝送路(光ファイバケーブル、コネクタ、接続部)に許される伝送損失は、 $31.8\text{dB}$ となり、損失が $10\text{dB/km}$ の光ファイバケーブルを使用するものとすれば、 $2\text{km}$ まで十分伝送が可能である。これは、いわゆる構内用としては十分なものであると考えられる。

### 3.5 データ多重化装置

図4に多重化の原理を示した。多重化は、一次、二次の2段にわたって行なわれる。一次多重化部は、低速のいわゆる1ビットデータ(リレー接点など)128点を単位にして直列信号に多重化し、二次多重化部は、一次多重化部の出力(8ビット)を更に多重化して高速伝送する。

二次多重化部の伝送フォーマットは、図5に示すように1ワード20ビット構成となっている。ここで、第0ビット、第11ビット及び第12ビットは同期ビットで、第0ビットは常時“1”，第11ビット、12ビットは1ワードごとに“1”“0”，“0”“1”と変化する。このワード構成の特長は、受信側でワード同期ビットの識別が容易であること、及び“0”データが連続して送られても11ビット目で“1”になるので受信側でのクロック抽出が容易なことである。

## 4 実証試験

### 4.1 試験システム構成

図6に試験システムの構成を示す。実証試験方法は既設のプロセス監視用表示ランプ情報伝送回線(400回線)を切り離し、この間に試験装置を挿入して、光ファイバケーブルによる多重化伝送を行なうこととした。

光ファイバケーブルのファイバ心数は4心で、このうちの2心を現用回線とし、残り2心を予備回線とした。このほか金属回線を2カッド収容し、送信側での受信側装置の動作監視及び電話連絡に用いた。光ファイバケーブル長は約400mで、実証試験の性格から、中間点には故意に接続部を設けた。送信側の二次多重化装置から受信側二次多重化装置までを二重系とし、故障時には自動的に正常な系統に切り替わるようにした。電源としては、30分以上動作が可能な蓄電池を内蔵した。図7に試験に用いた光端局装置の外観を示す。

ケーブルの布設場所は、全線にわたり屋内のケーブルラックとした。

### 4.2 試験結果

約1年間にわたった試験の結果は、符号誤り率 $3 \times 10^{-13}$ 、同期はずれなし、パリティエラー5回で実用上十分な値であることが分かった。パリティエラーは、装置の電源線から流入した雑音によるものと思われる。光伝送系のレベル及び損失は、光送信レベル $156 \mu\text{W}$ ( $-8.1\text{dBm}$ )、光受信器入力レベル $13.5 \mu\text{W}$ ( $-18.7\text{dBm}$ )で、光ケーブル接続部12箇所の平均

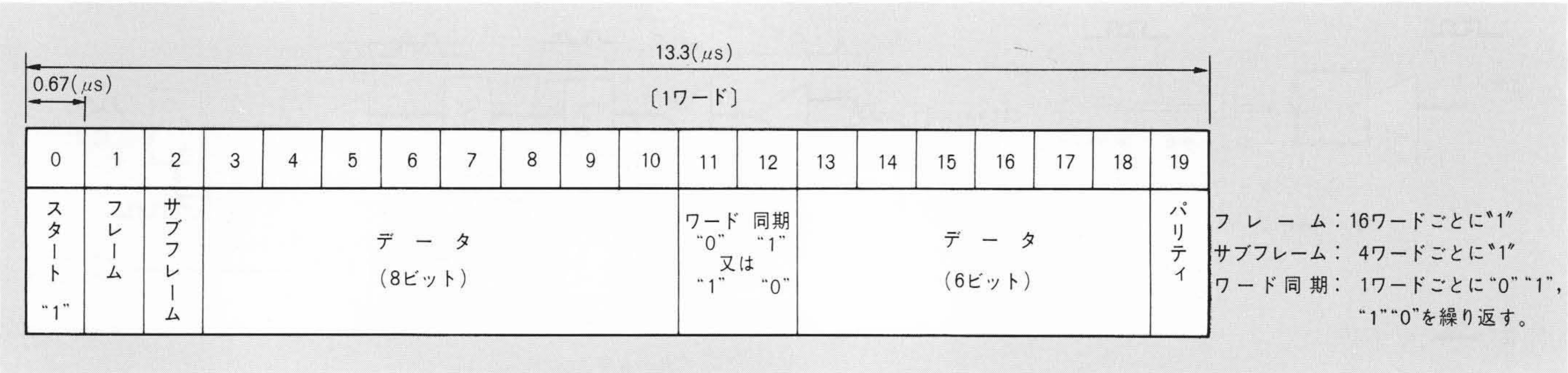


図5 伝送ワードフォーマット 1ワード20ビット構成で、データは14ビット伝送できる。

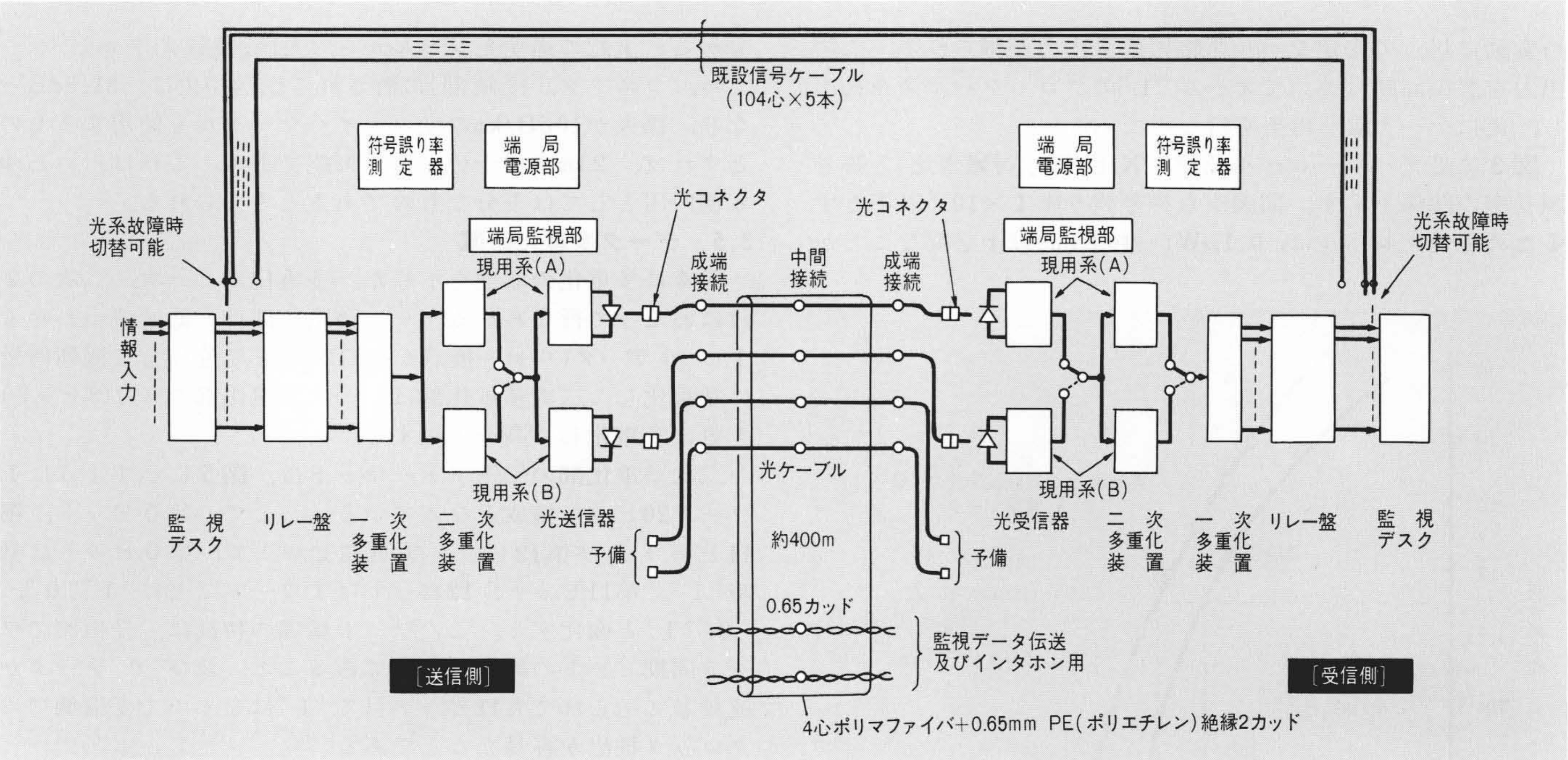


図6 実証実験システム回線構成 監視デスク間の既設ケーブルを切り離し、試験装置を挿入した。光伝送系及び二次多重化部は二重系としている。

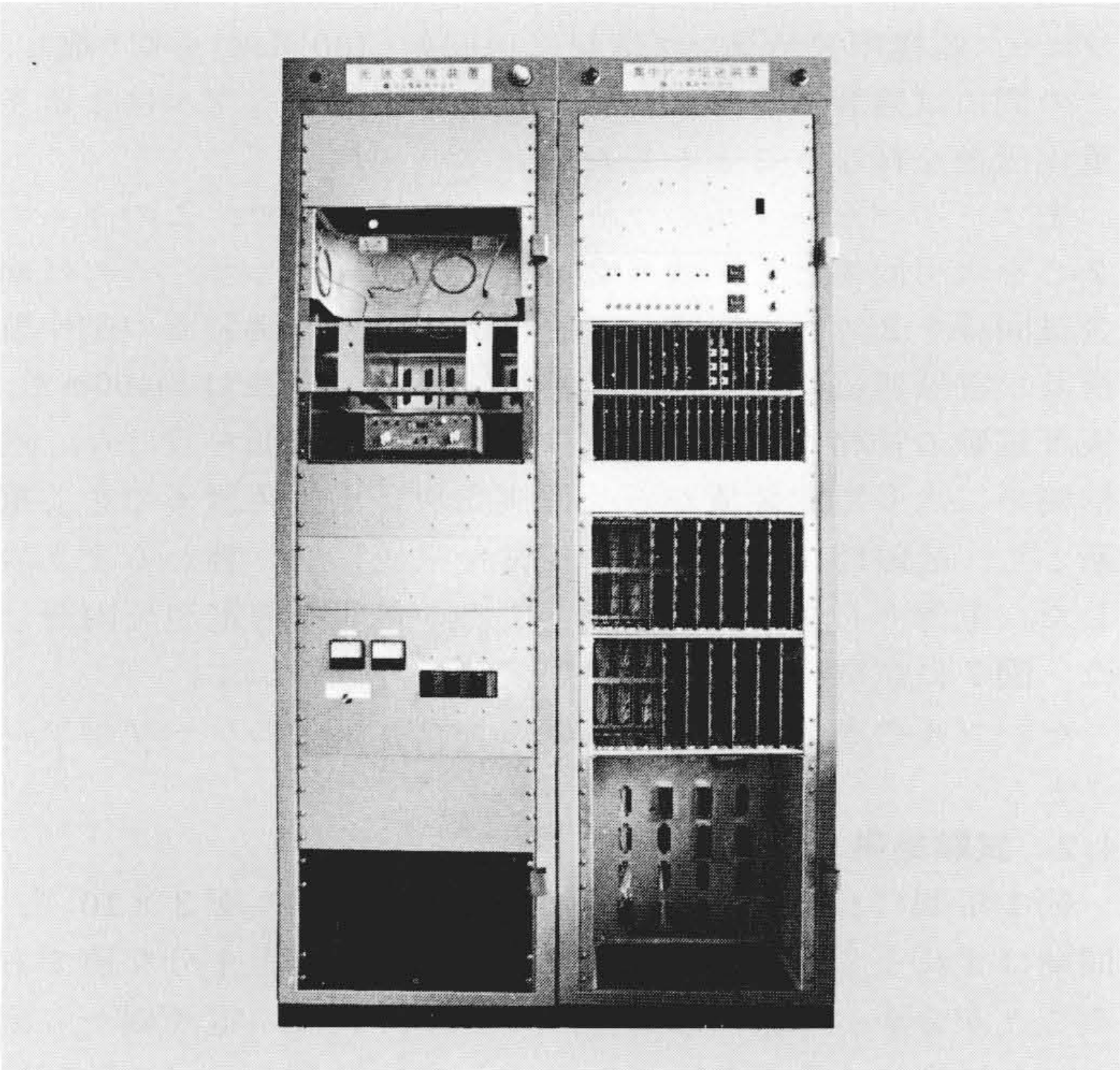


図7 実証試験光端局装置の外観 送信側、受信側ともに2架から成り、一方が光伝送又は受信部と電源で、他方が多重化装置である。架の寸法は、高さ2,100×幅600×奥行500(mm)である。

接続損失は0.4dBであった。試験期間を通して光伝送系の総合レベル変動は1dB以内と安定していた。

5 結 言

- (1) ポリマクラッド光ファイバケーブル、発光ダイオード、PIN ホトダイオードを用いた光伝送系とデータ多重化装置により、ビル、工場構内など比較的短距離のプロセス監視用データ伝送装置を開発した。
- (2) 実稼動設備でオンラインによる実証試験の結果、符号誤り率  $3 \times 10^{-13}$  と良好な値が得られ、実用性を確認することができた。

終わりに、このシステムの開発及び実証実験に終始御指導、御協力いただいた日本鋼管株式会社の関係各位に対し、深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 大森、ほか3名：シリコンクラッドファイバ伝送損失温度特性の改善、昭和54年度電子通信学会総合全国大会、No.983 (昭54-3)
- 2) 久保田、ほか4名：電力系統制御用光ファイバケーブルの開発、日立評論、59、223～228(昭52-3)
- 3) 島田、ほか2名：光コネクタの特性、昭和54年度電子通信学会総合全国大会、No.951(昭54-4)