

光伝送モジュール及びサブシステム

Fiberoptic Transmission Modules and Subsystems

光ファイバ伝送が、光ファイバの広帯域、低損失などの特性を利用して各種システムに導入されている。これらのシステムには、単なる電気-光変換、光-電気変換だけでなく各種機能を持つ光伝送モジュール及びサブシステムが重要なキーデバイスである。機能としては、光伝送に適した符号変換・逆変換、クロック成分を抽出するタイミング抽出、抽出クロックによる多段中継、高速伝送を可能にする半導体レーザ駆動機能などが挙げられる。

本稿では、日立製作所のLSI技術を駆使した専用ICなどの開発によって実現した装置間伝送用32Mビット/秒帯3R機能送受一体光伝送モジュール、LAN用100Mビット/秒帯多段中継可能3R機能送受一体光伝送モジュール、及び長距離伝送用400Mビット/秒帯光送信サブシステムについて述べる。

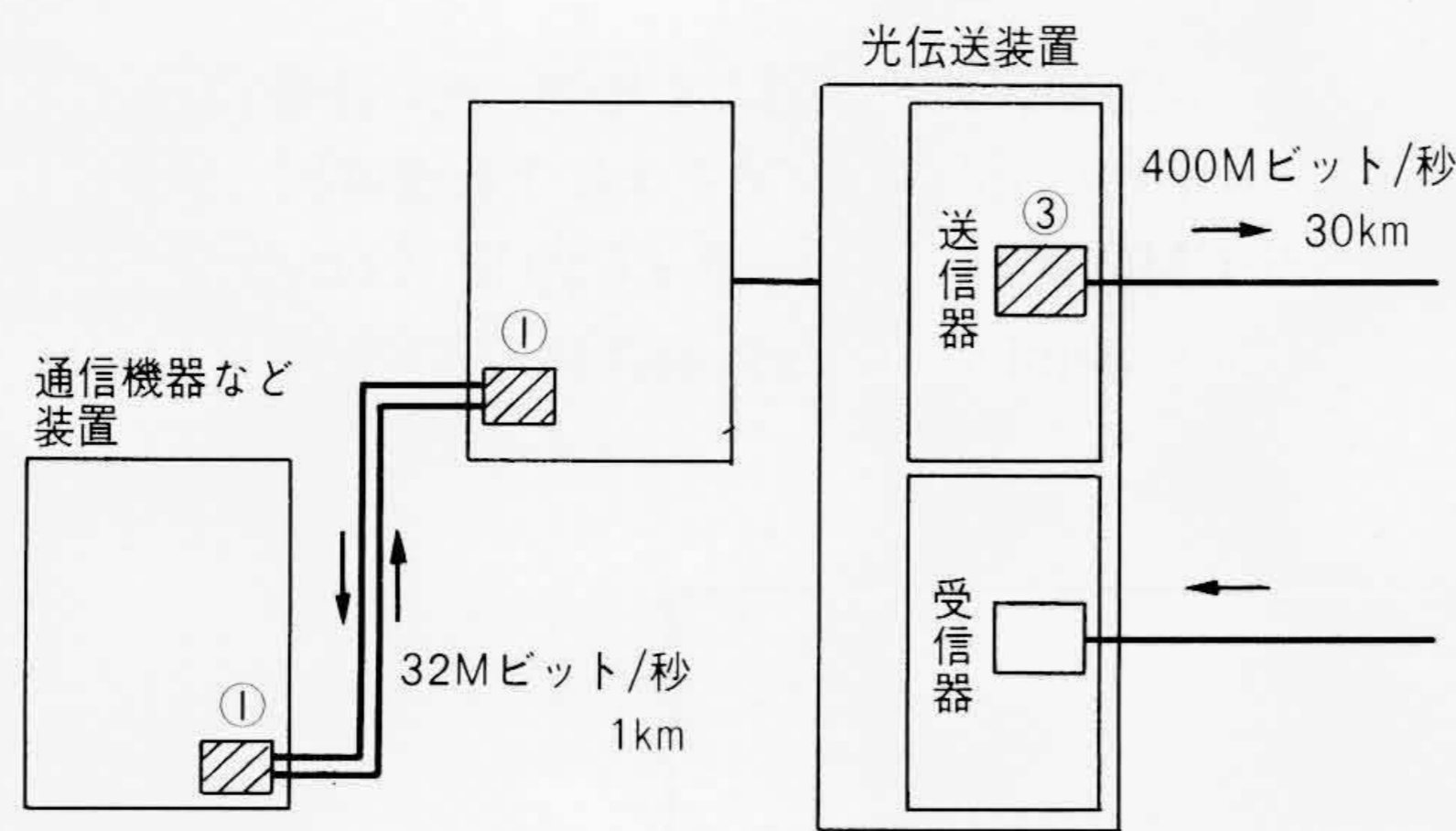
生島一郎* *Ichirō Ikushima*
 石塚幸平* *Kouhei Ishizuka*
 北原知之* *Chiyuki Kitahara*

1 緒言

光ファイバは広帯域、低損失かつ電磁的結合がないことから、必要な情報を高速度で長距離にわたって雷などの雑音の影響を受けない伝送を可能にする。光伝送は、この特徴を生かして長距離幹線通信、装置間配線、コンピュータネットワークなどに用いられる^{1),2)}。

本稿ではこのような光伝送応用に必要な光伝送モジュール、

光伝送サブシステムの新製品として、(1) 32Mビット/秒帯3R機能^{*}送受一体光伝送モジュール、(2) 100Mビット/秒帯3R機能送受一体光伝送モジュール、(3) 400Mビット/秒帯光送信サブシステムについて紹介する。これらは、従来に比べて高速、多段中継伝送、低消費電力などの特長を持っている。



注：略語説明など
 ① 装置間伝送用光伝送モジュール
 ② LAN用光伝送モジュール
 ③ 長距離伝送用光送信サブシステム
 CPU (コンピュータ)
 LAN (Local Area Network)

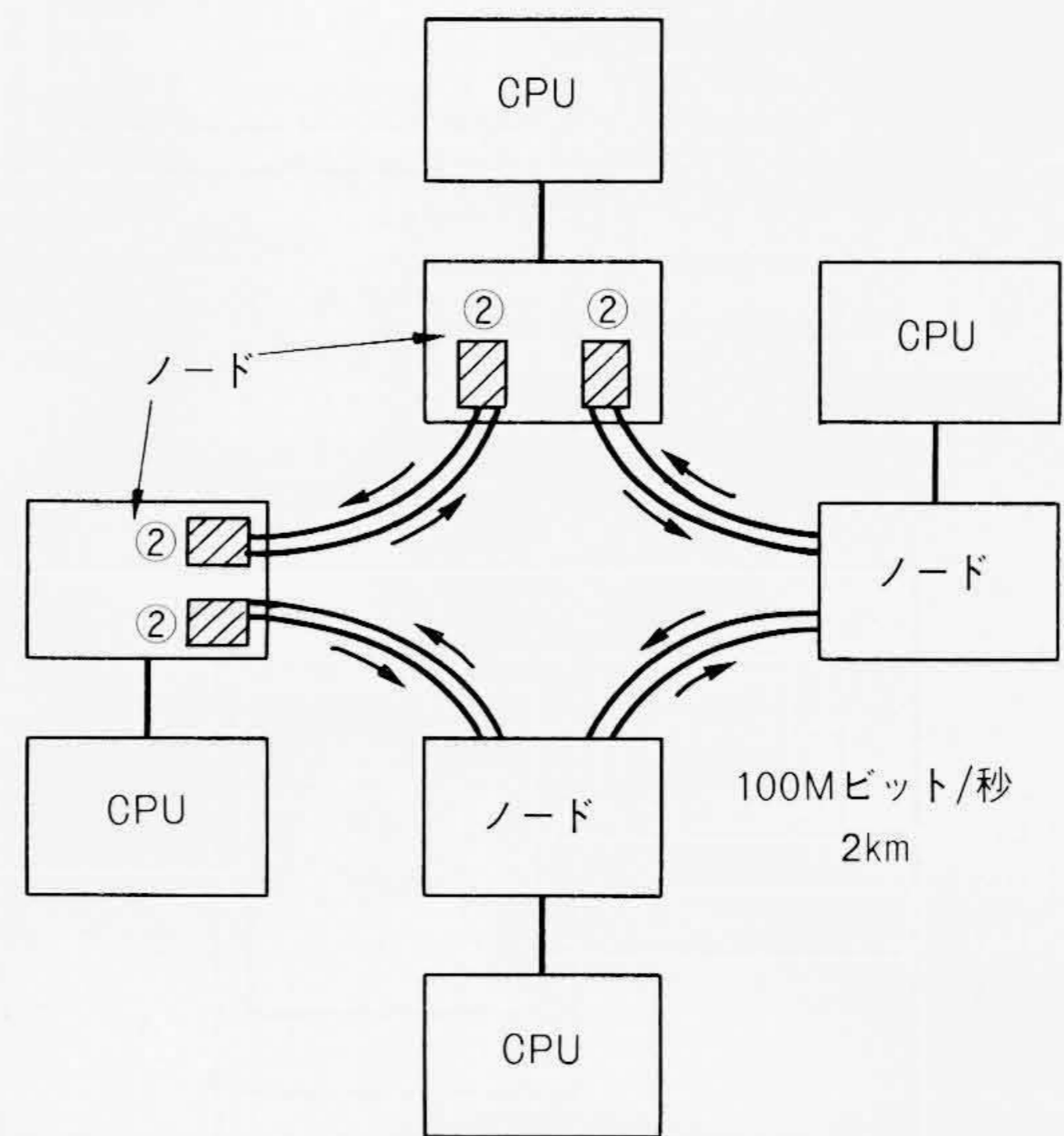


図1 光伝送応用分野と光伝送モジュール及びサブシステム 光伝送モジュールは、装置間伝送用、LAN用、長距離伝送用の三つに大別することができる。本稿では、図中①、②、③のモジュール及びサブシステムについて述べる。

* 3R機能：Reshaping (波形整形) + Regenerating (波形再生) + Retiming (タイミング抽出)

* 日立製作所光技術開発推進本部

2 光伝送応用分野

本稿に関係した伝送系及びLAN(Local Area Network)のモデルを図1に示す。同図に示す①, ②, ③がここで述べる三つの光伝送モジュール及びサブシステムである。①は低消費電力, ②はLANのための多段中継, ③は長距離伝送のための光出力と高速動作を必要とする。

デジタル光伝送装置の基本機能は, 図2のように表される。このブロック図上で①, ②, ③は同図のように位置づけられる。光伝送モジュールの基本受信機能は波形の再生で, これを2R機能(Reshaping, Regenerating)と呼ぶ。これにタイミング抽出機能(Retiming)を含むものを3R機能と呼ぶ。新たに開発した①, ②は3R機能を持っている。従来の製品^{3),4)}との関連を表1に示すとともに, 以下, 開発した製品について述べる。

表1 光伝送モジュール製品 ①, ②, ③を新規開発し, 本論文で紹介した。モジュール及びサブシステムとも多機能化, 高速化が望まれている。

製品分野	モジュール		サブシステム
用途	装置間, LAN		長距離通信
距離	1~10km		~30km
機能	2R	3R	—
伝送速度	2R	3R	—
2Mビット/秒	○	○	—
32Mビット/秒	○	● ^①	—
100Mビット/秒	○	● ^②	—
400Mビット/秒	↓	↓	● ^③
2Gビット/秒	↓	↓	↓

注: 略語説明など
 2R(Reshaping+Regenerating), 3R(2R+Retiming),
 ○(既開発), ●(新開発), ↓(開発中)

3 32Mビット/秒帯3R機能送受一体光伝送モジュール

図2に示すすべての機能を備えたもので, 図3に詳細構成を示す。発光素子には0.8μm帯LED(発光ダイオード), 受光素子にはSi-PIN-PD(シリコン-PIN形フォトダイオード)を用いている。符号変換・逆変換には光伝送に適したCMI(Coded Mark Inversion)符号³⁾を用いている。これにより, 付加機能としてフレーム信号の重畳, 分離が可能となっている。タイミング抽出には, 外付回路素子定数の変更により, 簡単に指定伝送速度に対応できることからPLL(Phase-Locked Loop)を用いている。

電流駆動, 前置増幅と主増幅, 及び符号変換・逆変換には, それぞれバイポーラプロセスによる送信IC, 受信増幅IC⁵⁾及びBi-CMOS[バイポーラ・CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)複合]プロセスによるCODEC(Coder

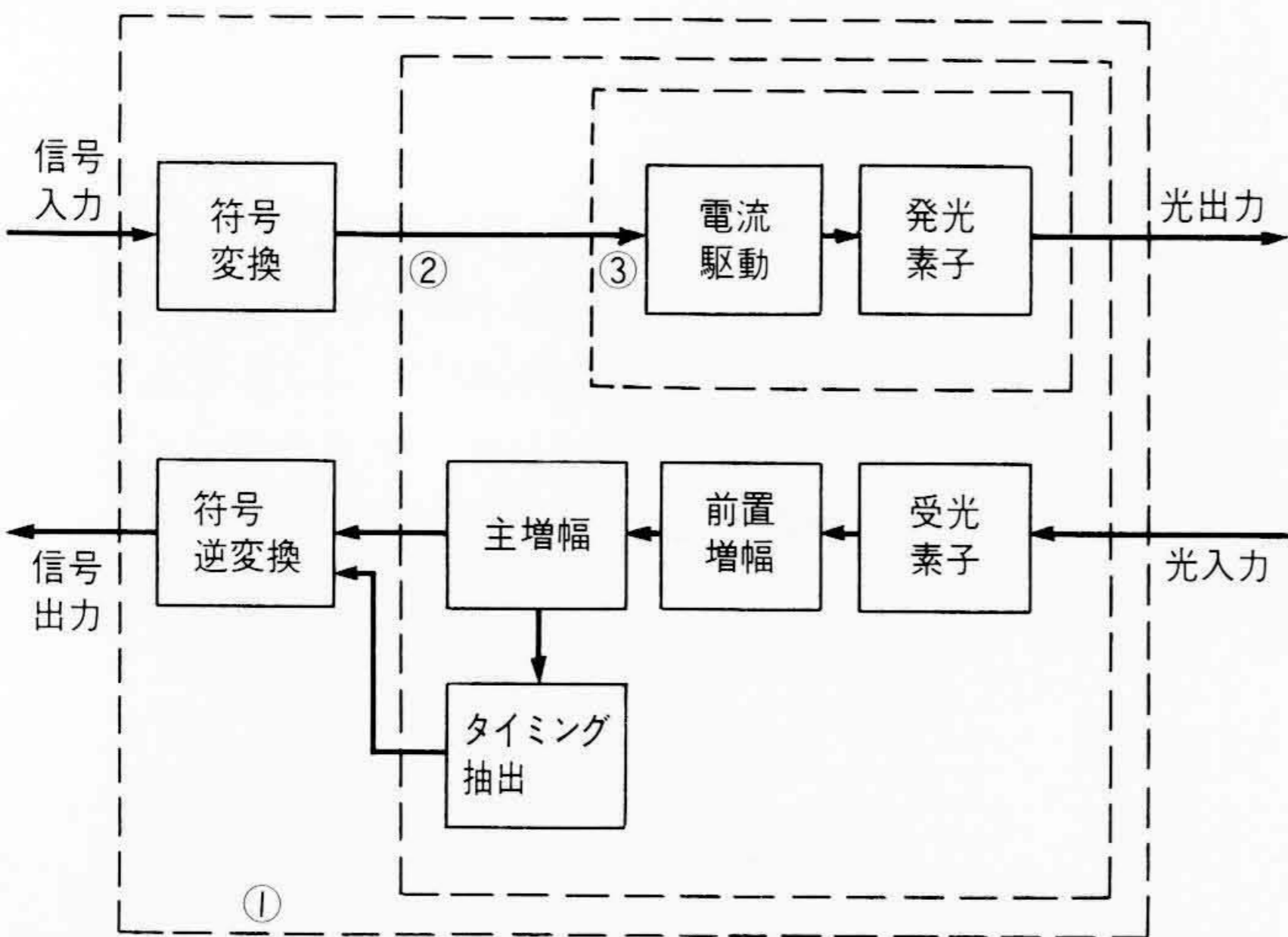
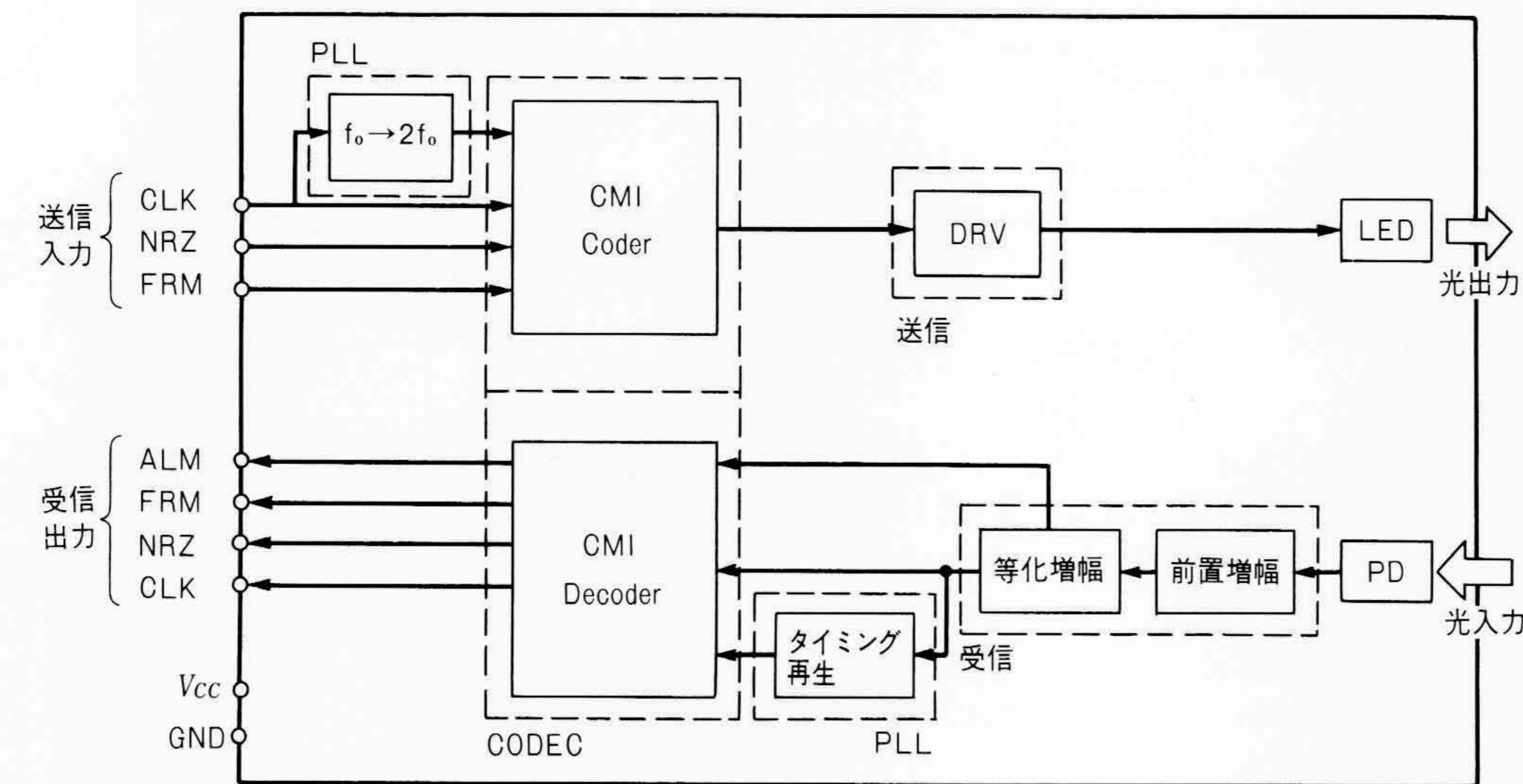
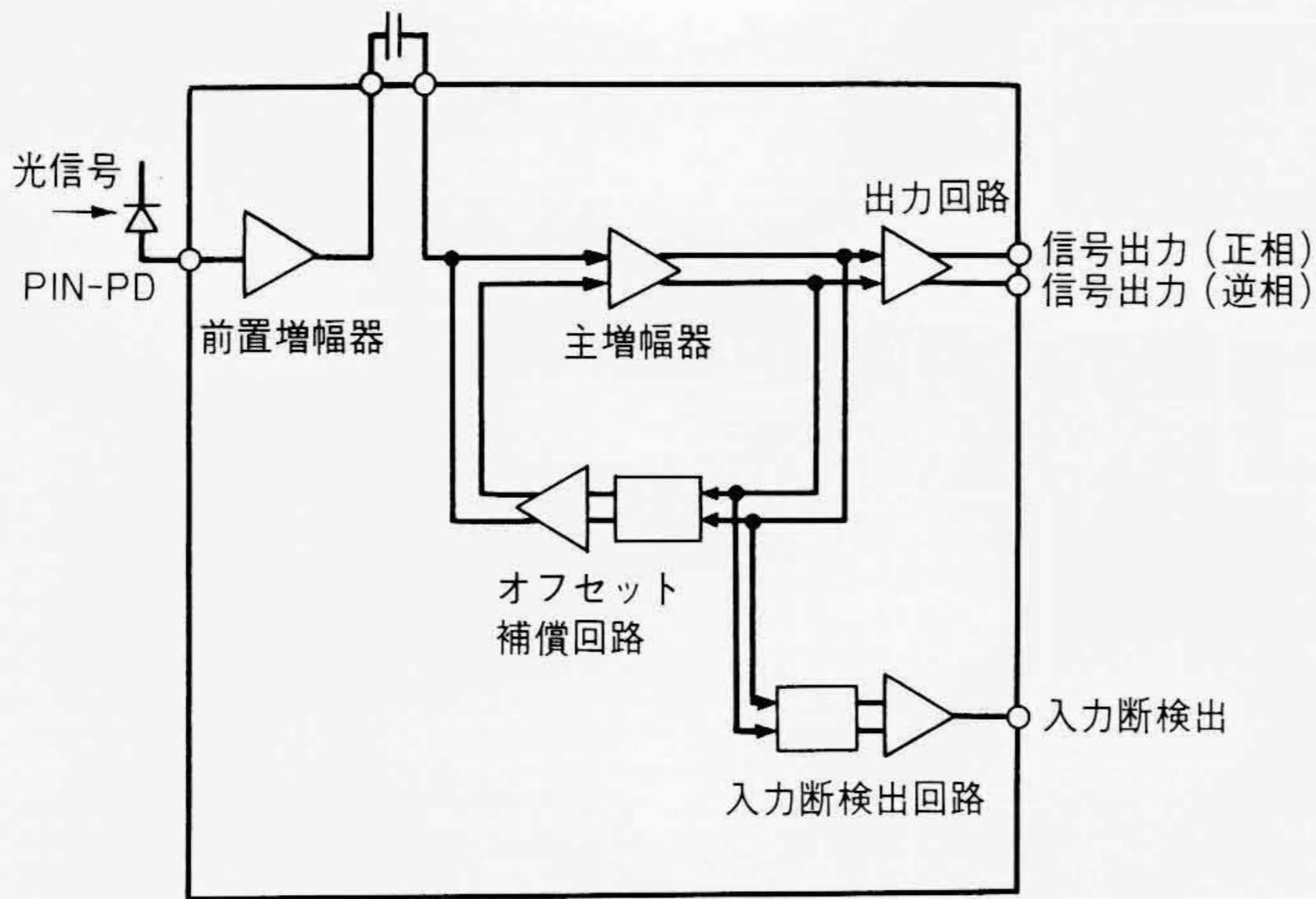


図2 デジタル光伝送装置の基本機能 本稿の32Mビット/秒帯, 100Mビット/秒帯3R機能送受一体光伝送モジュールが①, ②に, 400Mビット/秒帯光送信サブシステムが③に当たる。



注: 略語説明
 CLK (クロック)
 NRZ (データ)
 FRM (フレーム)
 ALM (入力断出力)
 PLL (Phase-Locked Loop)
 CMI Coder (CMI符号変換)
 CMI Decoder (CMI符号逆変換)
 DRV (駆動回路)
 LED (発光ダイオード)
 PD (フォトダイオード)
 Vcc (電源)
 GND (グラウンド)

図3 32Mビット/秒帯3R機能送受一体光伝送モジュールの構成 符号変換・逆変換, タイミング抽出機能を備えた送受一体の光送受信モジュールである。



注：略語説明 PIN-PD(PIN形ホトダイオード)

図4 受信増幅ICの構成 前置増幅器、主増幅器及び入力断検出回路を、1チップ化したICである。

and Decoder) IC⁶⁾を用いて、低消費電力化、小形化を図っている。

図3で前置増幅、等化増幅及び光入力断検出を受け持つのが受信増幅ICである。従来は前置増幅と等化増幅が2チップ構成でできていたが、1チップ構成にすることによって、小形化、部品点数の低減が図れる。図4に受信増幅ICの構成ブロック図を示す。PIN-PDからの電流信号を受け電圧に変換する前置増幅器、等化増幅を行う主増幅器で、高感度化のための入力オフセット補償回路、入力断検出回路、及び出力回路から構成されている。

前置増幅器は、帰還抵抗12.5kΩのトランスインピーダンス形である。帰還抵抗と並列に補償容量を付加することによって、帰還抵抗の寄生容量による特性劣化を防止している。主増幅器には、トランジスタの縦積み個数が少なくて済む利得固定の差動形リミット増幅回路を採用し、回路の簡易化、低電圧電源動作(~5V)を図っている。

本ICは、2μmバイポーラプロセスによりIC化され、8.9mm

表2 3R機能送受一体光伝送モジュールの特性概要 32Mビット/秒帯のDC2358は装置間伝送用、100Mビット/秒帯のDC5401はLAN用に使用できる。

項目	DC2358	DC5401
伝送速度	32.064Mビット/秒	125Mビット/秒
伝送符号	CMI	NRZ [*])
ファイバ	50/125GI	50/125GI
入出力レベル	TTL	ECL
消費電力	< 2W	< 5W
電源電圧	5.0V ± 5%	-6.0V ± 5%
寸法	幅55×奥行80×高さ8.9(mm)	幅81×奥行123×高さ19(mm)
構造	送受一体	送受一体
動作温度	10~60℃	0~50℃
発光素子	AlGaAs-LED	InGaAsP-LED
発光波長	0.85μm	1.3μm
光出力レベル	> -21dBm	同左
受光素子	Si PIN-PD	InGaAsP PIN-PD
受光範囲	-16~-30dBm(BER=10 ⁻¹⁰)	-21~-30dBm(BER=10 ⁻⁹)

注：略語説明

50/125GI(コア径50μm,クラッド径125μmのグレーデッド・インデックス光ファイバ)

NRZ(Non Return to Zero)

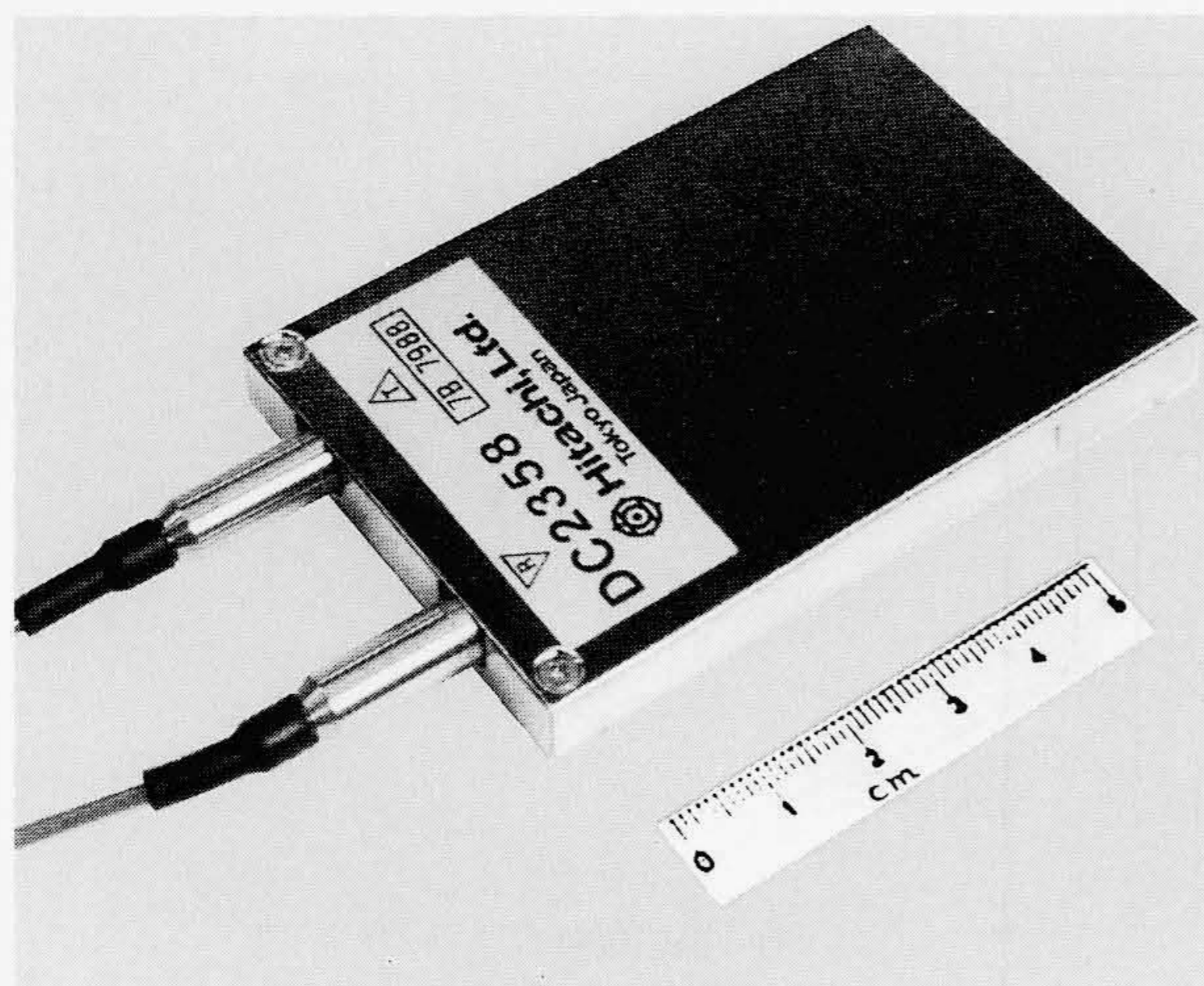
TTL(Transistor Transistor Logic), ECL(Emitter Coupled Logic)

BER(符号誤り率)

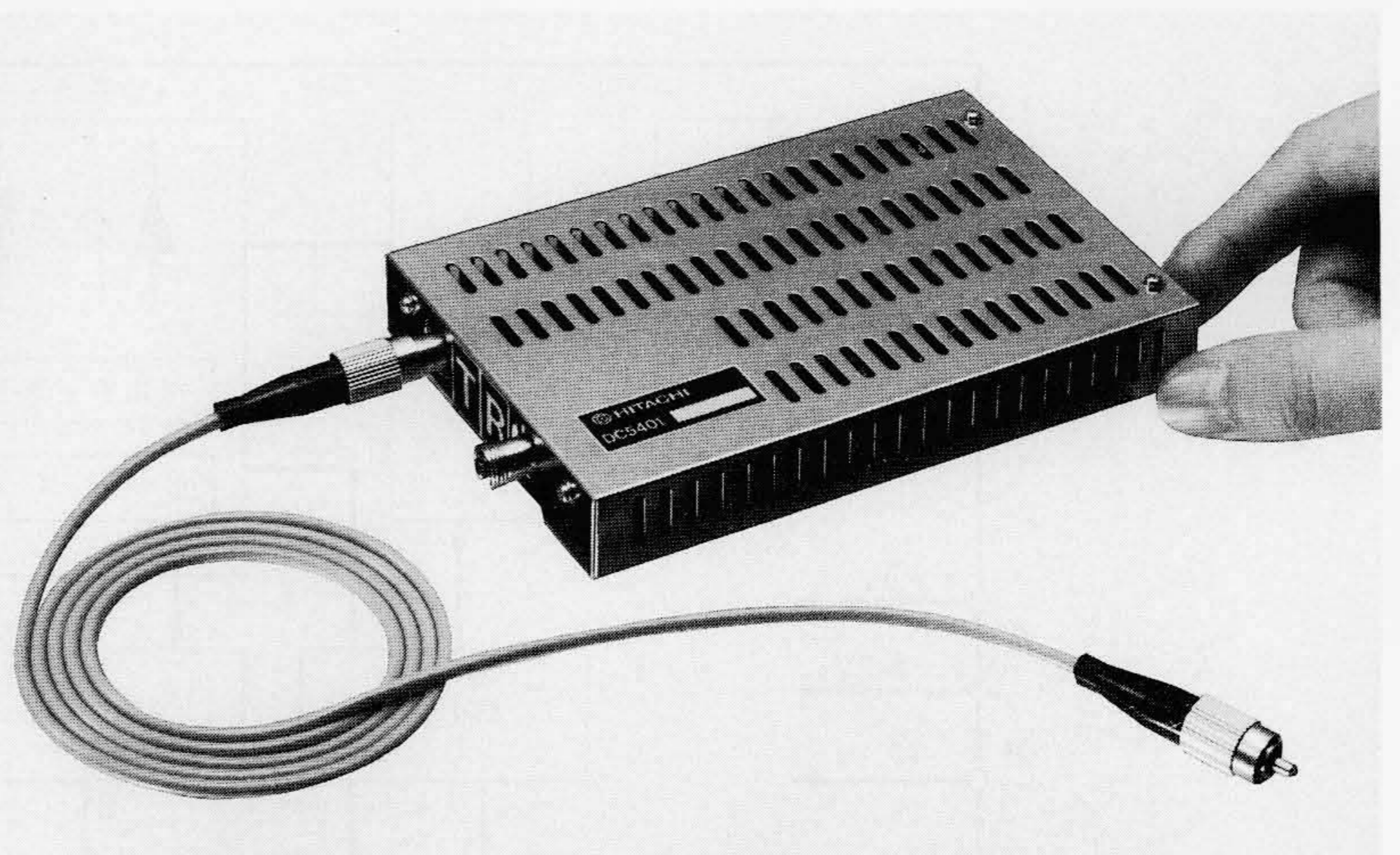
* マーク率50%, ランレングス7以下

角のLCC(Leadless Chip Carrier)パッケージに実装されているので、小形実装可能である⁵⁾。

図5にモジュールの外観を、表2に特性概要を示す。主要回路を専用IC化、LSI化することによって、低消費電力、小形となっている⁷⁾。また、5V単一電源動作、TTL(Transistor Transistor Logic)インタフェースであるため、他回路との接



(a) 32Mビット/秒帯 (DC2358)



(b) 100Mビット/秒帯 (DC5401)

図5 3R機能送受一体光伝送モジュール (a)は32Mビット/秒帯のDC2358の、(b)は100Mビット/秒帯のDC5401の外観を示す。いずれも送受一体形で、プリント基板に直接実装可能である。

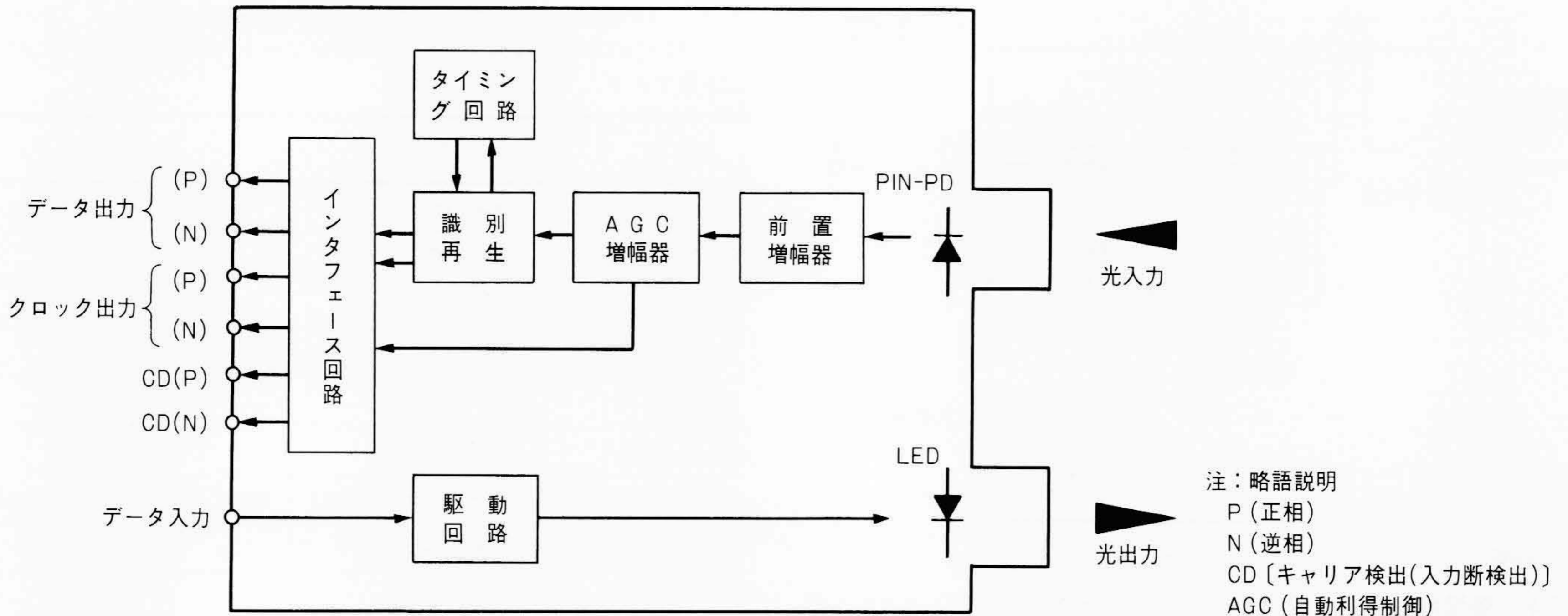


図6 100Mビット/秒帯3R機能光伝送モジュールの構成 1.3 μ m帯発光ダイオード、ホトダイオードを使用し、発光ダイオード駆動回路、前置増幅器、自動利得制御増幅器、識別再生に4品種のカスタムモノリシックICを用いている。

続が容易である。送受レベル差は、9 dB以上であるので、0.8 μ m帯で2 kmまでの装置間伝送が可能である。

4 100Mビット/秒帯3R機能送受一体光伝送モジュール

本モジュールの構成を図6に示す。発光素子には1.3 μ m帯のInGaAsP LED、受光素子にはInGaAsP PIN-PDを用いている。LED駆動回路は、差動増幅器構成の電流スイッチ回路である。前置増幅器はトランスインピーダンス形であり、自動利得制御増幅器は、ピーク値検出による利得制御方式を採用し、オフセット補償回路を内蔵したものである。識別再生には全波整流回路、リミット増幅器が含まれている。タイミング抽出は、この全波整流回路とSAW(Surface Acoustic Wave:弾性表面波)フィルタ、及びリミット増幅器から成っている。SAWフィルタは、高速では小形になること⁸⁾、PLL

回路では高速域で難しいことなどから、タイミング抽出素子としてSAWフィルタを選択した。

本モジュールに用いる送受信回路は、高速バイポーラプロセスを用いて開発した4品種のICを使用している。

モジュールの外観を図5(b)に示し、特性概要を表2に32Mビット/秒帯と合わせて示す。

送受信間の最大伝送距離は、光ファイバの伝送損失、コネクタ損失及びシステムマージンに依存する。1.3 μ m帯の発光素子を用いると、光ファイバの伝送損失が0.8 μ m帯よりも小さいので、長距離伝送が可能である。本モジュールは1.3 μ m帯素子を使用することによって、125Mビット/秒、最大中継間隔2 kmの多中継伝送を可能にしている。

5 400Mビット/秒帯光送信サブシステム

構成を図7に示す。高速かつ長距離伝送のため、発光素子

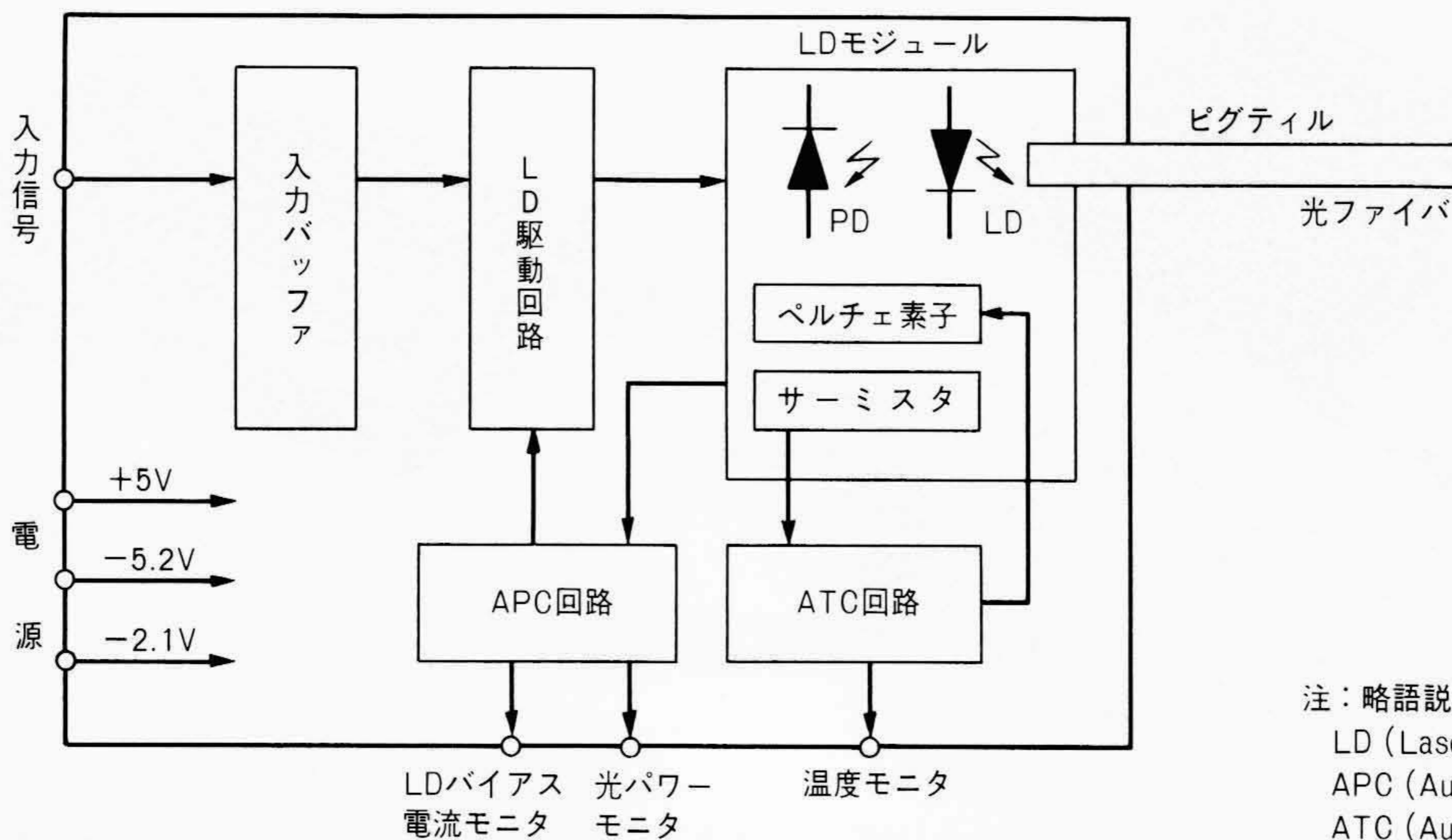


図7 光送信サブシステムの構成 LDモジュールには、LD、モニタ用PD、温度制御用ペルチェ素子及び温度検出用サーミスタが内蔵されている。

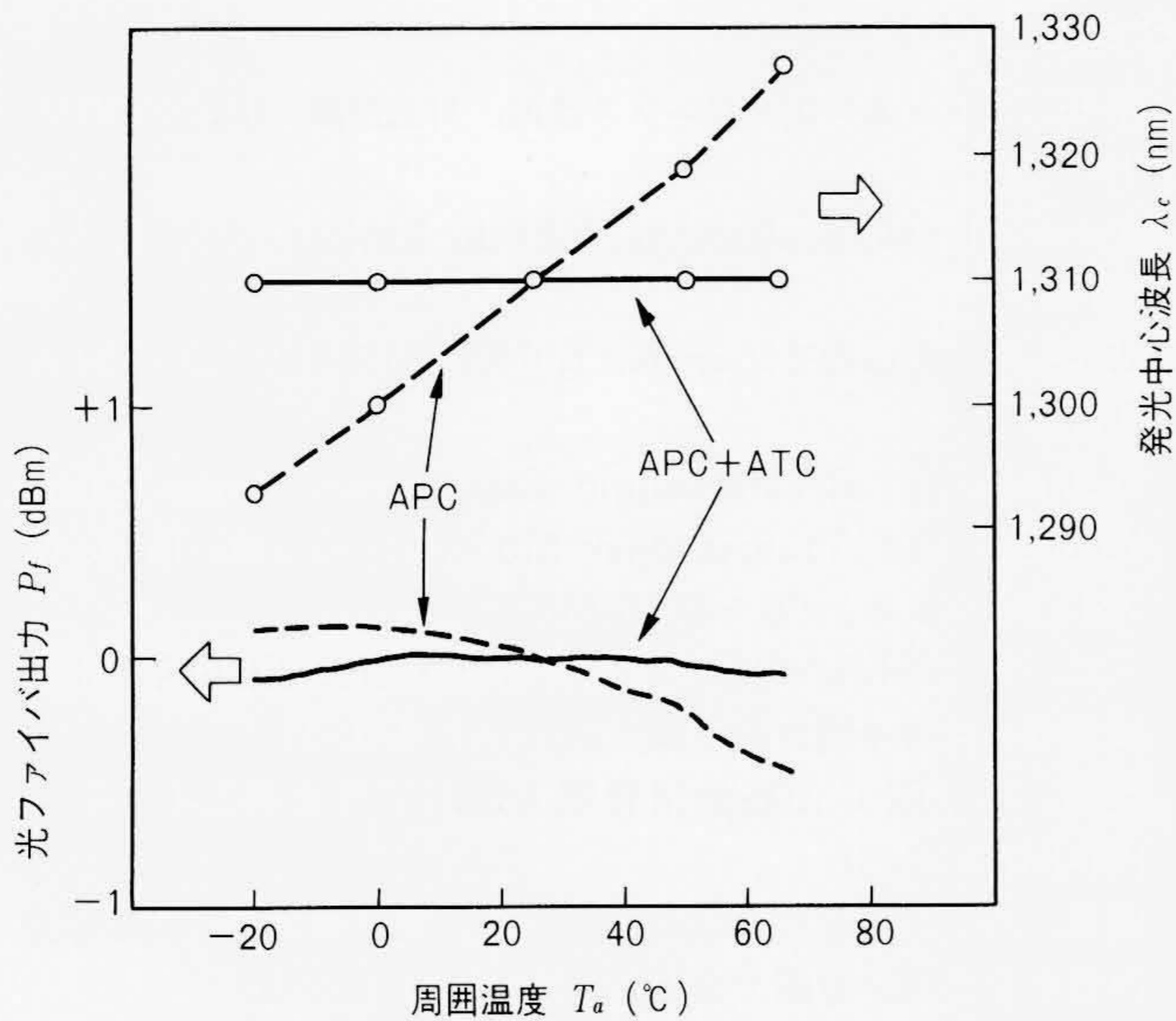
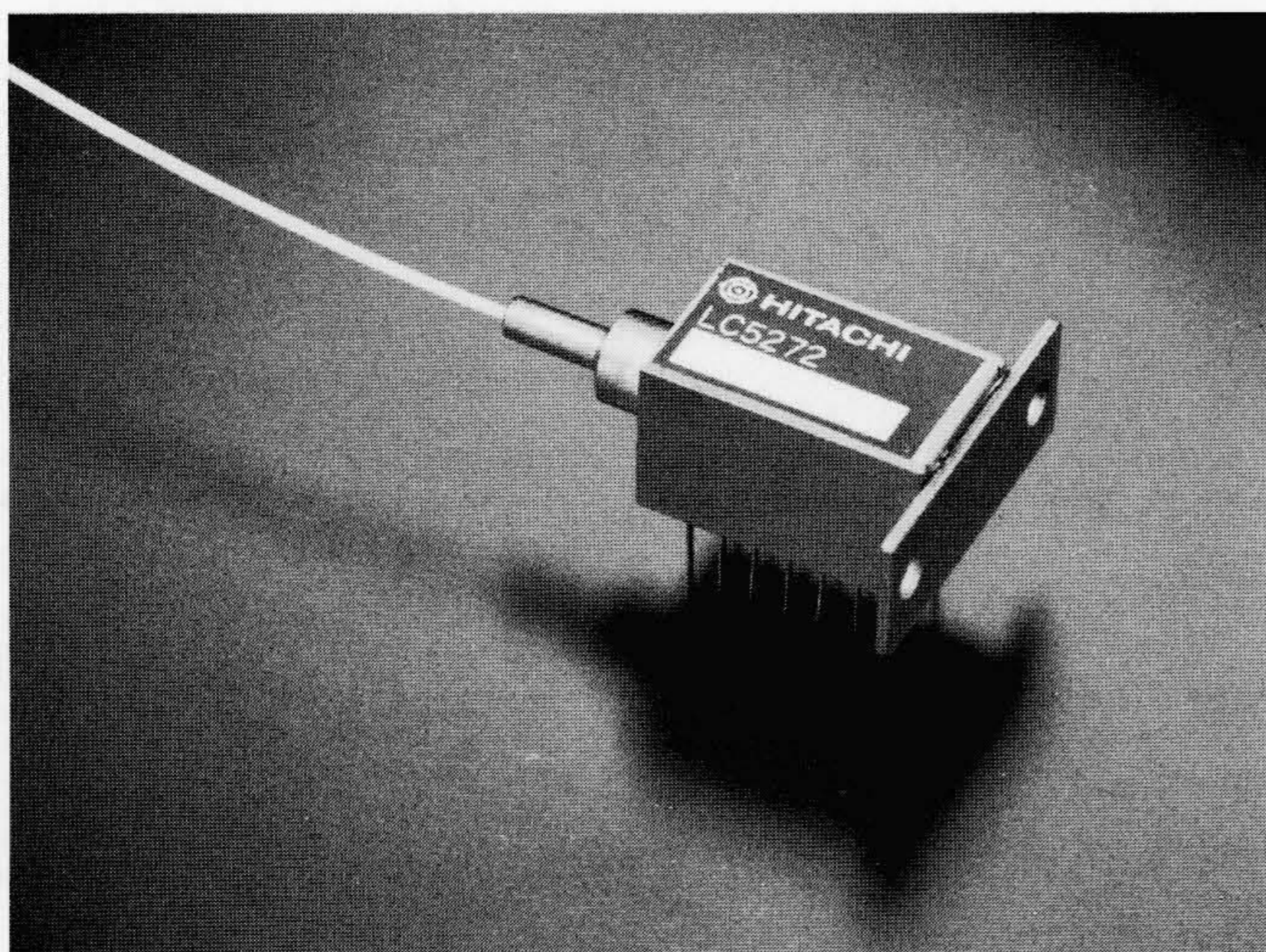
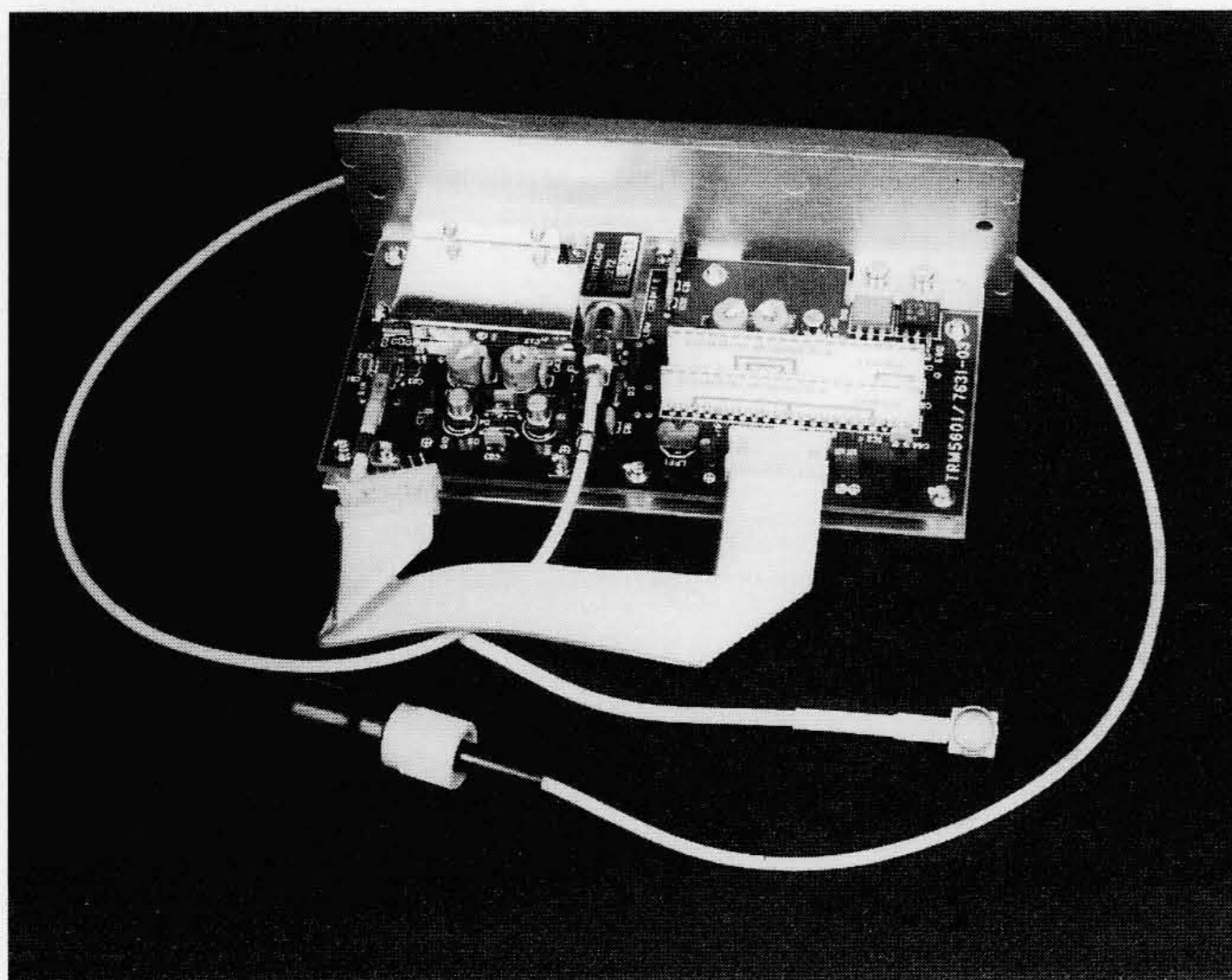


図8 半導体レーザモジュールの特性例 APCとATCをかけることによって、温度が変化しても安定な光出力、一定な発光波長が得られる。



(a) LDモジュール



(b) 400Mビット/秒帯光伝送サブシステム

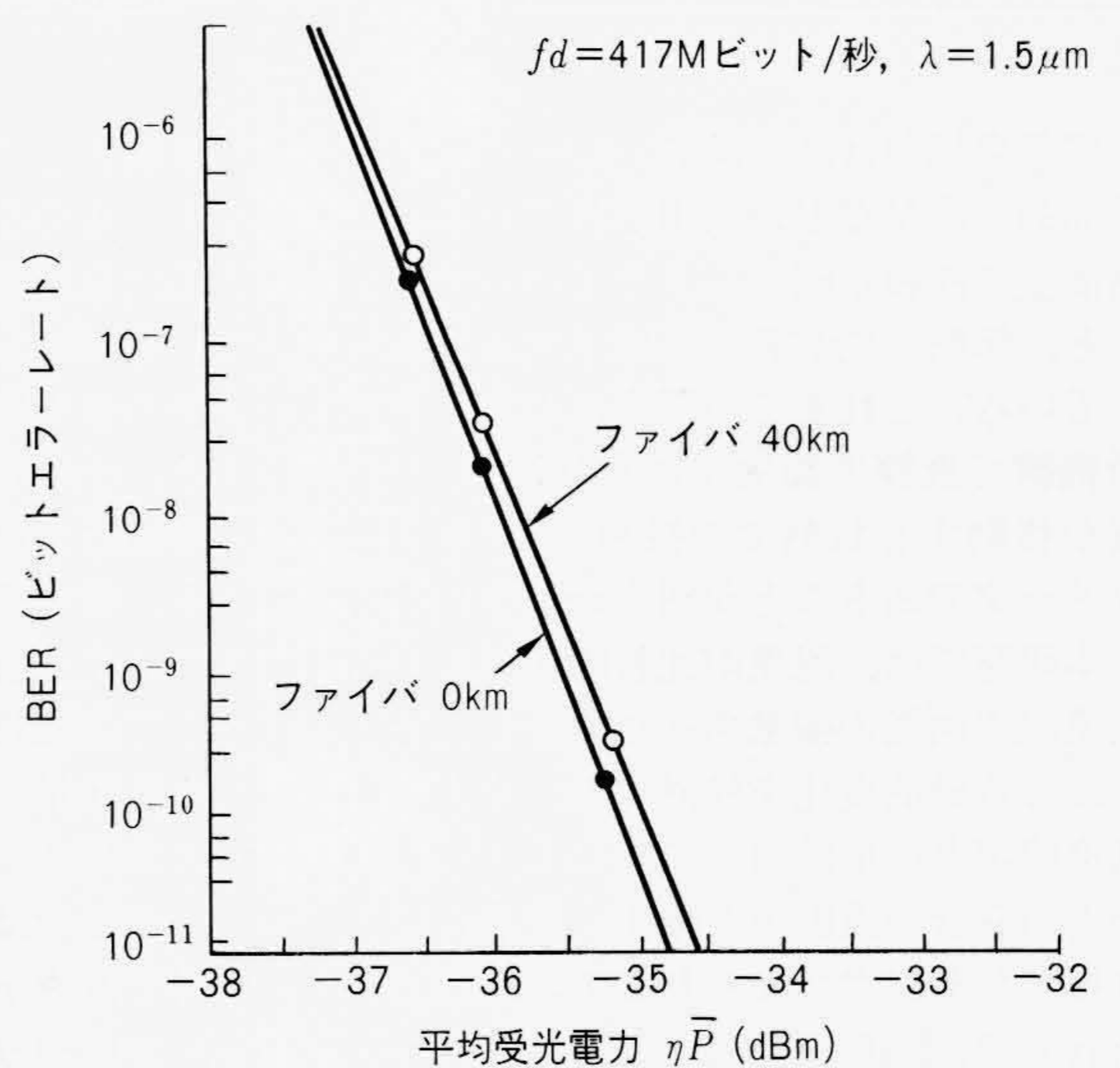
図9 光伝送サブシステム 400Mビット/秒帯光伝送サブシステム (b)は、LDモジュール(a)を使用し、高速・長距離伝送を可能にする。

はLD(半導体レーザ)となる。この安定動作のために、LEDでは用いる必要のなかったATC(温度制御回路)、APC(光出力安定化回路)が必要となる。このため、モニタ用PD、温度制御用ペルチェ素子及び温度検出用サーミスタをDIL(Dual-In-Line)形パッケージに内蔵した幹線通信用LDモジュールを開発した⁴⁾。LDと単一モード光ファイバ⁹⁾との結合には、複合レンズ方式を用いている。また、LDモジュール内の各素子はすべてはんだ実装され高信頼性が確保されている。図8にこのLDモジュールの特性例として、APCとATCにより、温度変化に対して安定な光出力、一定な発光波長が得られることを示す。なお、本LDモジュールは伝送速度1Gビット/秒程度までの動作が可能である。

表3 光伝送サブシステムの特性 1.3μm BH-LD, 1.5μm DFB-LDを用いた2種類の光伝送サブシステムがある。これにより、波長多重伝送システムにも適用可能である。

項目	TRM560I	TRM763I
伝送速度	400, 417, 565Mビット/秒	
レーザタイプ	BH	DFB
光波長	1.3μm	1.5μm
光スペクトル幅	< 4 nm	—
サイドモード抑圧比	—	> 30dB
光出力	-2 ~ -1 dBm	-5 ~ -3 dBm
入力レベル	0.5 ~ 0.8V _{pp}	
電源電圧	5V, -5.2V, -2.1V	
動作温度	10 ~ 65°C	

注：略語説明 BH(Burried Hetero：埋め込みヘテロ構造) DFB(Distributed Feedback：分布帰還構造)



注：略語説明 f_d (伝送速度) λ (発光波長) ファイバ(シングルモード光ファイバ)

図10 光伝送サブシステムを使用した受信感度特性例 光ファイバ40kmを伝送しても、受信感度の劣化は0.2dB程度であり、高速長距離伝送が可能である。

1本の光ファイバを用いて2系統の伝送が可能な波長多重伝送に対応できるように、光送信サブシステムは $1.3\mu\text{m}$ BH-LD¹⁰⁾と $1.5\mu\text{m}$ DFB-LD¹¹⁾の2種のLDモジュールを使い分けている。LDモジュールとともに開発した光送信サブシステムの外観を図9に示す。また、表3に特性表を示す。図10に $1.5\mu\text{m}$ 帯のDFB-LDを用いた光送信サブシステムを使用したシステムでの受信感度特性を示す。40km伝送しても受信感度の劣化は0.2dBであり、417Mビット/秒、40kmの伝送が可能である。

6 結 言

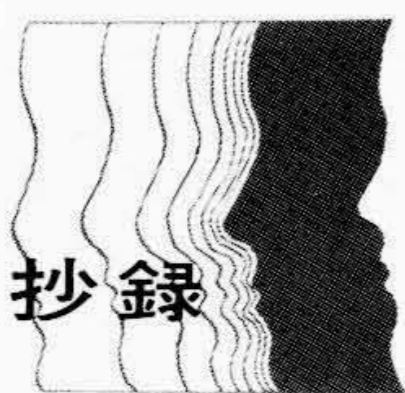
以上、新たに開発した32Mビット/秒帯、100Mビット/秒帯3R機能送受一体光伝送モジュール、及び400Mビット/秒帯光送信サブシステムについて述べた。これらは、それぞれ装置間伝送、LAN、長距離伝送に適した構成、機能及び特性を備えている。従来のもものよりも、より多機能化・高速化されており、各種システムに適用可能である。

光伝送は、情報の大容量化、多様化に伴い、高速・大容量、長距離伝送できる唯一の手段となりつつある。今後、高速・多機能である光伝送モジュール及びサブシステムの開発が要求される。これらのニーズに対応できるように、開発にいろいろ努力する考えである。

参考文献

- 1) 特集・オプトエレクトロニクス技術, 日立評論, 65, 10(昭58-10)
- 2) Optoelectronic Technology, Hitachi Review, Vol.35, No.4(1986)
- 3) 古寺, 外: 光伝送モジュール, 日立評論, 65, 10, 729~734(昭58-10)
- 4) S.Onoda, et al.: Fiberoptic Components: Laser Diode Modules and Transmission Modules, Hitachi Review, Vol.35, No.4, 201~206(1986)
- 5) 入江, 外: 100Mb/s帯光通信用受信増幅器IC, 昭和61年度電子通信学会総合全国大会予稿, No.2941(昭61-3)
- 6) 阿部, 外: Bi-CMOS低消費電力CMI符号変換LSI, 同上, No.443(昭61-3)
- 7) 桐原, 外: 32Mb/s光伝送モジュール, 電子情報通信学会創立70周年記念総合全国大会予稿, No.2401(昭62-3)
- 8) 山田, 外: 弾性表面波デバイスの設計とその応用, 応用物理, 54, 6, 539~551(昭60-6)
- 9) 野田編, 光ファイバ伝送, 電子通信学会(1978)
- 10) M.Hirao, et al.: Long Wavelength InGaAsP/InP Lasers for Optical Fiber Communication Systems, Journal of Opt. Commun., Vol.1, No.1, 10~14(1980)
- 11) S.Tsuji, et al.: $1.5\mu\text{m}$ DFB Laser Diodes and InGaAs/InP Photodetectors, Hitachi Review, Vol.35, No.4, 207~212(1986)

論文抄録



垂直加熱面を流下する小川状液膜流の接触角の解析

日立製作所 平沢茂樹・Hauptmann, E.G.

日本機械学会論文集 53—493 B, 2842~2848 (昭62-9)

液膜蒸発伝熱は熱交換器、ヒートパイプ、電子部品の冷却などに利用されているが、加熱面上で液膜が破断しドライパッチが生じると、伝熱性能が著しく低下する欠点を持っている。これまでの研究により、液膜破断機構で液膜の動的接触角(破断した液膜端が移動する状態での接触角)が重要なパラメータであることが明らかにされている。本研究では、現象が比較的単純な小川状液膜流の両側の接触角を対象とし、その蛇行による動的変化を検討する。なお、小川状液膜流とは加熱面上に生じるドライパッチ内の筋状の液膜流を指す。著者らは先に加熱した垂直ガラス板上にフロンR113の小川状液膜流を形成し、カラーシュリーレン法を用いてその動的接触角を測定し報告した。本論文は、小川状液膜流の接触角や断面形状について理論解析を行い、実験結果と比較検討するとともに、蒸発液膜の動的接触角の機構を明らかにしたものである。

液膜としてフロンのように壁面をぬらしやすいものを対象とするため、ドライパッチ部にも液膜分子が吸着されていると考える。そこで、液膜端近傍の薄膜部での液膜表面の最大傾斜角を見掛けの接触角と定義する。小川状液膜流の水平断面方向を三つの領域に分け、領域ごとに解析モデルを考える。第一の領域は、壁面の表面粗さの大きさよりも液膜の厚さが小さい領域とし、そこでは液膜分子と壁面との分子間引力のため蒸発量が小さい。第二の領域は、液膜が表面粗さよりも厚いが、まだ薄い領域とし、そこでは蒸発量が大きく、表面張力の作用で液膜が水平に流れる。第三の領域では、液膜が厚いため蒸発量が小さく、重力の作用で液膜が垂直に流れる。以上のようなモデルによって基礎方程式を導き、ルンゲクッタ法を用いて数値積分した。

解析の結果、見掛けの接触角は液膜の厚さが数マイクロメートルの位置に存在する

ことが分かった。また、壁面と液膜との温度差が大きくなると、薄膜部での蒸発量が増すため、見掛けの接触角が大きくなることを示した。また、蒸発液膜の動的接触角が薄膜部の局所壁面温度によって定まるとして求めた解析結果は、先に報告した実験結果とよく一致した。すなわち、液膜端が乾いた壁面を前進する部分では、局所壁面温度が高いため接触角が大きく、液膜端が静止あるいは後退する部分では、局所壁面温度が低いため接触角が小さくなることを明らかにした。更に、液膜端近傍の薄膜部での局所蒸発熱流束は、厚膜部での熱流束の 10^3 倍になることを示し、小川状液膜流を用いることによって微小面での蒸発伝熱性能を飛躍的に増加させることが可能なことを示した。