

産業用小形高性能光送・受信モジュールの開発

Small-Sized, High-Performance Fiber Optic Transmit, Receive Modules for Industrial Applications

産業用情報伝送システムでは、電磁誘導障害や可燃性ガスなどが存在する悪環境下でも、安定に動作する高信頼性が要求されており、この要求にこたえるものとして、光伝送システムの開発が活発に行なわれている。

ここに述べる光送・受信モジュールは、この種のシステム用に開発したものであり、高速・高出力発光ダイオード、低電圧・広帯域ホトダイオードを内蔵する光コネクタ一体化パッケージ、高速・低雑音モノリシックICなどの開発により、小形、5V単一電源、動作温度-20~70℃を実現している。伝送速度は30Mビット/sで、損失4dB/kmの集束形光ファイバを用いて5kmの無中継伝送が可能であり、多様な産業用システムのニーズに幅広く対応できるものとなっている。

生島一郎*
前田 稔**
溝河貞生***
内藤清吾****

Ichirô Ikushima
Minoru Maeda
Sadao Mizokawa
Seiqo Naitô

1 緒 言

各種産業分野では、電磁誘導雑音や高温、多湿、可燃性ガスなどが存在する環境下でも安定に動作する信頼性の高い高速データ伝送システムの開発が強く要求されている。光ファイバは、低損失、広帯域といった優れた伝送特性のほか、無誘導、細径軽量といった従来の電気通信線では得られない特長をもっており、上記の要求を解決できることから光ファイバ伝送技術を各種産業用データ伝送システムに適用する動きが活発である¹⁾。

このような光ファイバ伝送システムを構成するのに不可欠な光送・受信機には、多岐にわたる適用分野に幅広く応じられるように高信頼、小形で取り扱いやすく、高速・高感度な特性をもつことが強く要求される。

このような要求にこたえるため、GaAlAs LED〔Light Emitting Diode：発光ダイオード(発光波長0.83μm)〕とSi

PINホトダイオード(接合構造がp形-i形-n形であるホトダイオード以下、PINと略す。)とを用い、これら発・受光素子の光コネクタ一体化小形気密パッケージ、高速送信及び高感度受信のモノリシックIC、並びに高信頼実装技術の開発により、小形かつ高性能な光送・受信モジュールを実現した²⁾。本稿では、これらモジュールの構成と特長、及び特性について述べる。

2 開発目標と開発技術

産業用を目的とした従来のLED送信、PIN受信モジュールでは、伝送速度は高々数メガビット/s、伝送距離は2~3kmであり、伝送速度が最高30Mビット/s程度、伝送距離が3~5kmにも及ぶ各種産業用情報伝送システムを実現できなかった。このような高速・長距離伝送システムにも適用でき、幅広い

表1 モジュールの開発特性と開発技術 モジュールは、各種ニーズにこたえられるように、小形で高信頼かつ高速、長距離伝送が可能である。これには、種々の開発技術を確立した。

	項 目	特 性		単 位	開 発 技 術
送 信 モジュール	伝 送 速 度	0 ～30		Mビット/s	高速・大電流IC設計技術
	光 出 力	－13			
	発 光 素 子	GaAlAs-LED		――	高速・高出力LED設計技術
受 信 モジュール	形 式	タイプA	タイプB	――	低雑音・広帯域アナログ・ディジタル混在IC設計技術
	伝 送 速 度	0 ～10	0.1～30		
	最 小 受 光 電 力*	－30	－33	Mビット/s	
	送受間許容損失	17	20	dB	
	無中継伝送距離	4.2	5.0	km	
	受 光 素 子	Si-PIN		――	
両モジュール 共 通	電 源 電 圧	5 ±0.25		V	単一電源・広温度範囲動作IC設計技術
	入 出 力 レ ベ ル	TTL		――	
	動 作 温 度	－20～70		℃	小形・精密気密パッケージ技術 小形・精密加工組立技術
	寸 法	高さ 8 ×幅24×奥行44		mm ³	
光 ファイバ	コ ア 径	85		μm	低損失・広帯域ファイバ設計技術
	N A	集束形 0.2		――	
	伝 送 損 失	4		dB/km	
	伝 送 帯 域**	90		MHz・km ^{0.8}	

注：略語説明など LED(Light Emitting Diode), PIN(PIN Photodiode), TTL(Transistor-Transistor Logic), NA(Numerical Aperture)
* ピーク値換算 ** LED測定値

* 日立製作所中央研究所 ** 日立製作所中央研究所 工学博士 *** 日立製作所大みか工場 **** 日立電線株式会社電線研究所

ニーズにこたえ得るものとして、最高伝送速度30Mビット/sで5kmの無中継伝送が可能な5V単一電源で動作するモジュールの開発を目標とした。また、温度範囲 $-20\sim 70^{\circ}\text{C}$ での長期信頼性を確保し、取扱いやすさの点からできるだけ小形化することを目指した。光受信モジュールでは、各種伝送符号に応じられるように、直流伝送形のタイプA(0~10Mビット/s)と高速伝送形のタイプB(0.1~30Mビット/s)の2種を開発した。表1に主要な開発特性と開発技術をまとめて示す。

単一電源化、小形化、高速・高出力化及び高速・高感度化が重要課題である。小形化には送・受信回路の高速・低雑音IC設計技術、LED、PINの小形精密実装技術が、高感度化には低雑音・広帯域アナログディジタル混在IC設計技術が、また、高信頼化には小形・精密気密パッケージ技術が重要開発技術である。

3 モジュールの構成と特長

3.1 モジュール構成

開発したモジュールの外観を図1に、またモジュールの構成を図2~4に示す。新しく開発した高速・大電流送信IC、低雑音・広帯域受信ICにより電気回路の小形化、高信頼化及び無調整組立化を図っている。また、高速・高出力LED³⁾、低電圧・広帯域PINの小形パッケージ⁴⁾により、伝送用光ファイバに光コネクタで直接接続できる小形で取扱い容易なものとしている。更に、ICは専用パッケージ内に、LED、PINは小形パッケージ内にそれぞれ気密封止されており、モジュールの高信頼、広温度範囲動作及び長期安定動作を確保している。

3.2 送信IC

送信ICは図2のブロック図に示す単一電源動作のモノリシックICである。高速動作を実現するため、TTL(Transistor-Transistor Logic)レベルからECL(Emitter Coupled Logic)レベルのレベル変換回路と差動増幅回路とを組み合わせた回路方式を採用した。これにより、トランジスタを不飽和状態で動作させて、最大LED駆動電流200mA、立上り、立下り時間2ns以下の高速動作特性を得た。LEDの温度上

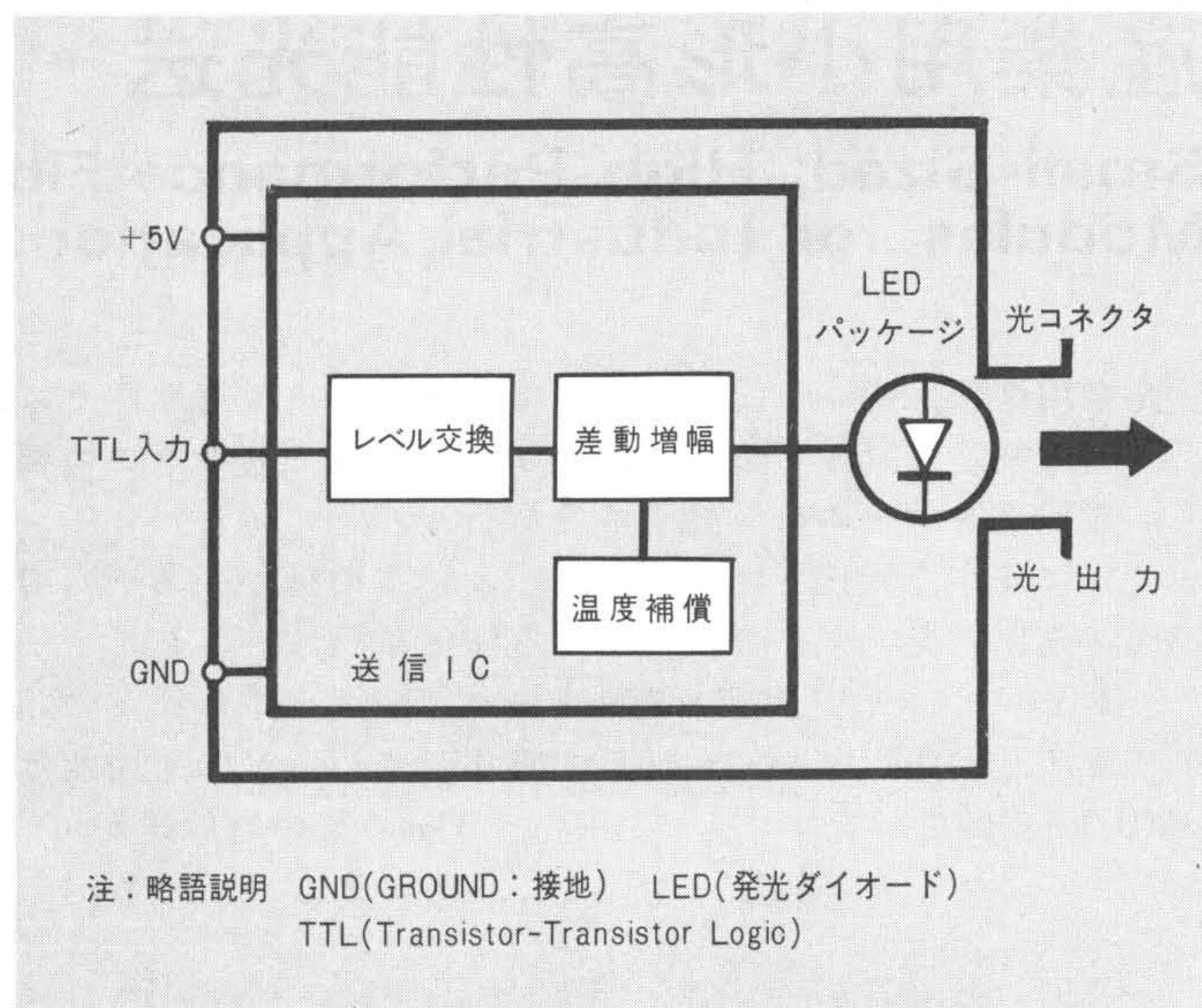


図2 光送信モジュールの構成 送信IC、LED小形パッケージ及び光コネクタ付ケースから構成されている。

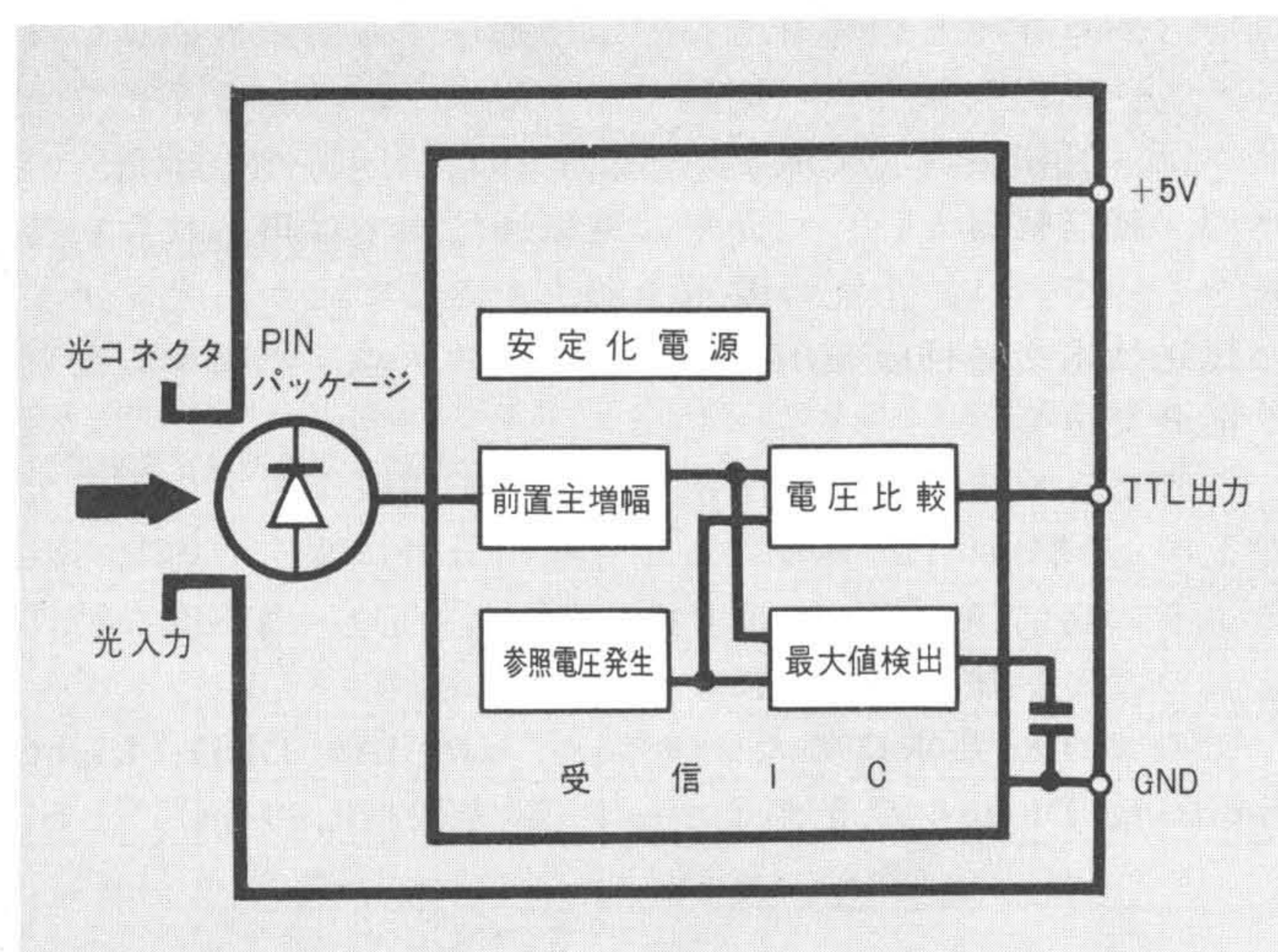


図3 タイプA光受信モジュールの構成 受信ICは直流結合構成であり、参照電圧発生回路により"1"又は"0"連続の識別が可能である。

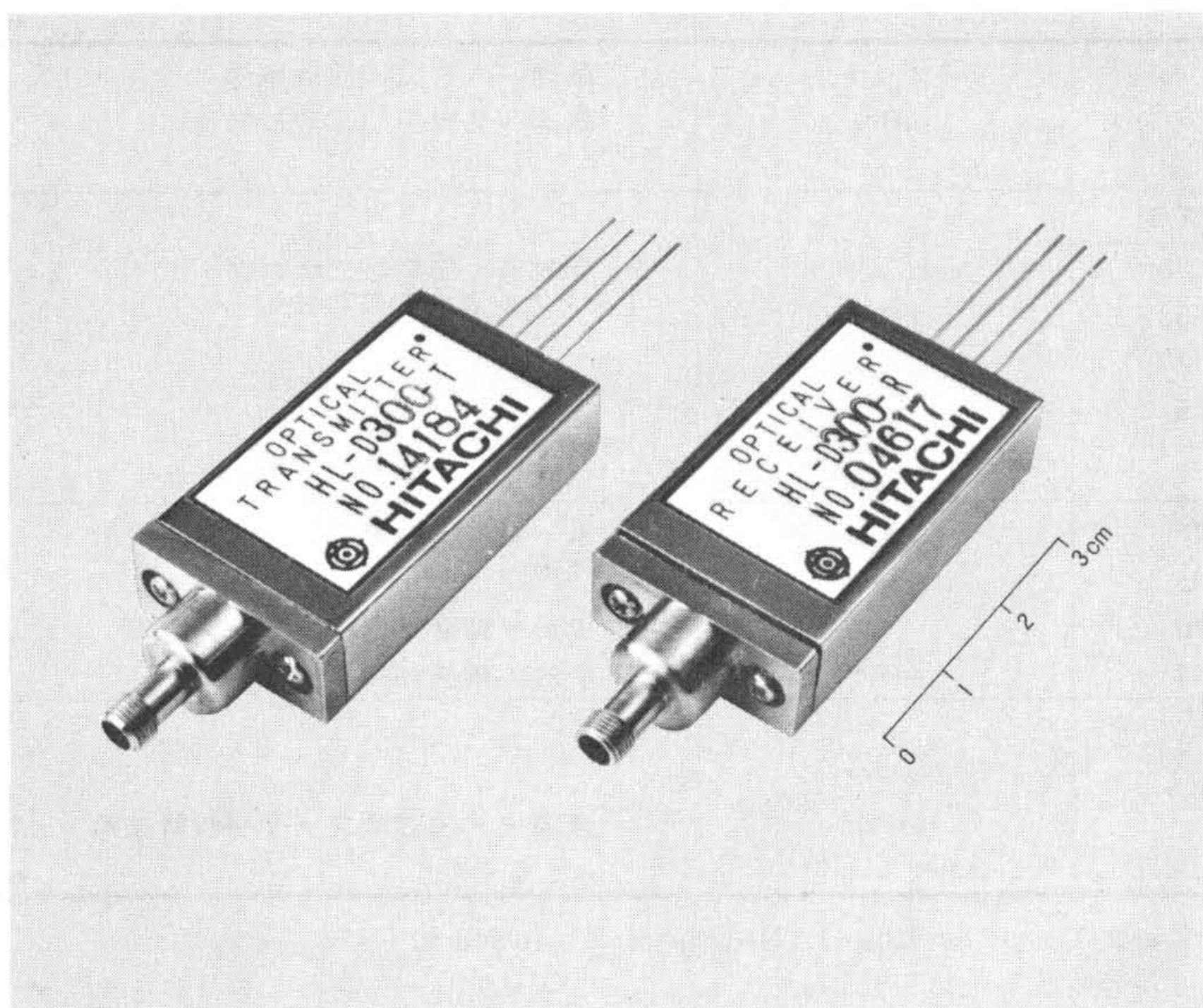


図1 光送・受信モジュール 5V単一電源動作、光コネクタ付の小形・高性能なモジュールである。

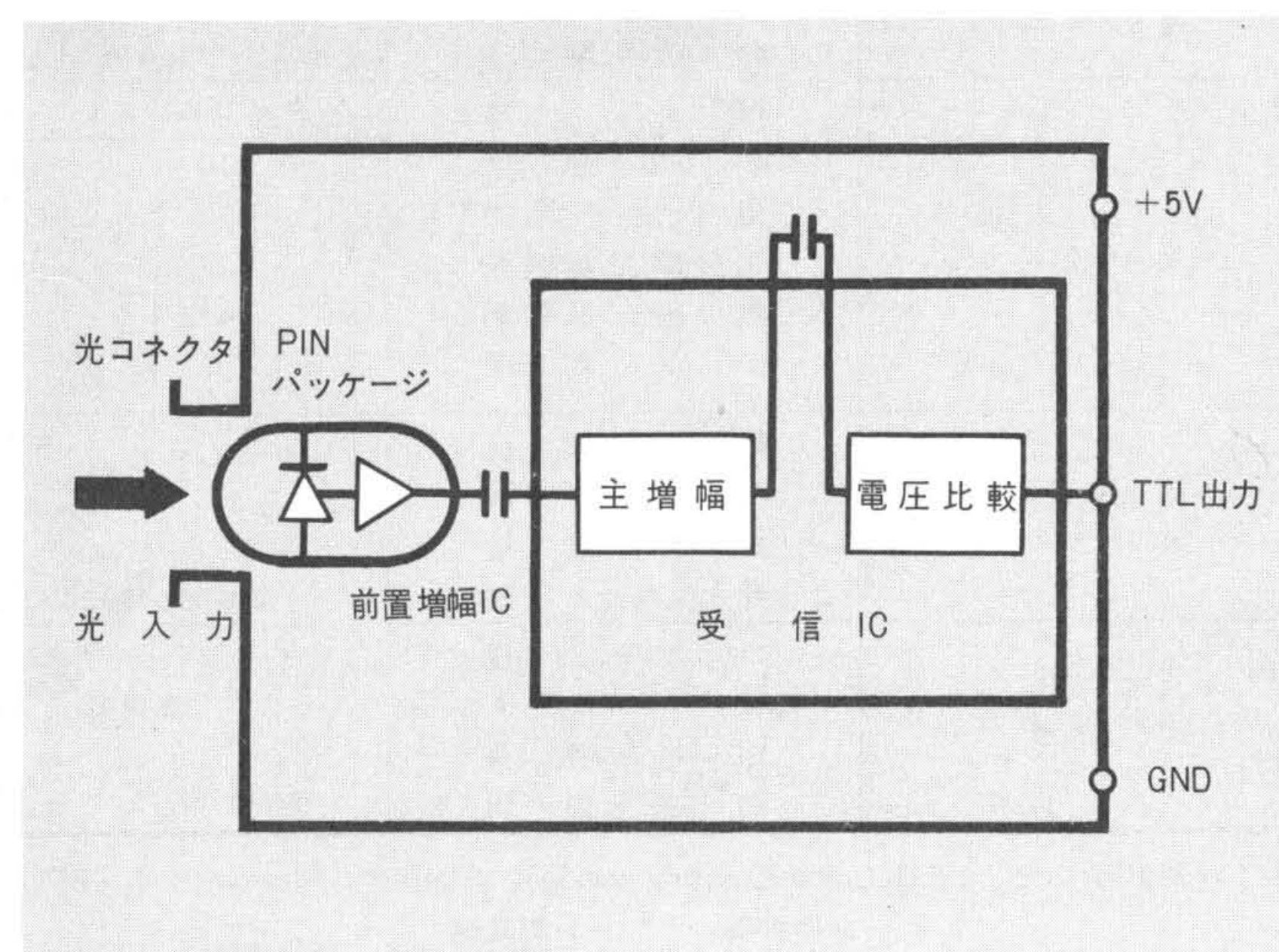


図4 タイプB光受信モジュールの構成 受信ICは交流結合構成であり、高速・長距離伝送が可能である。

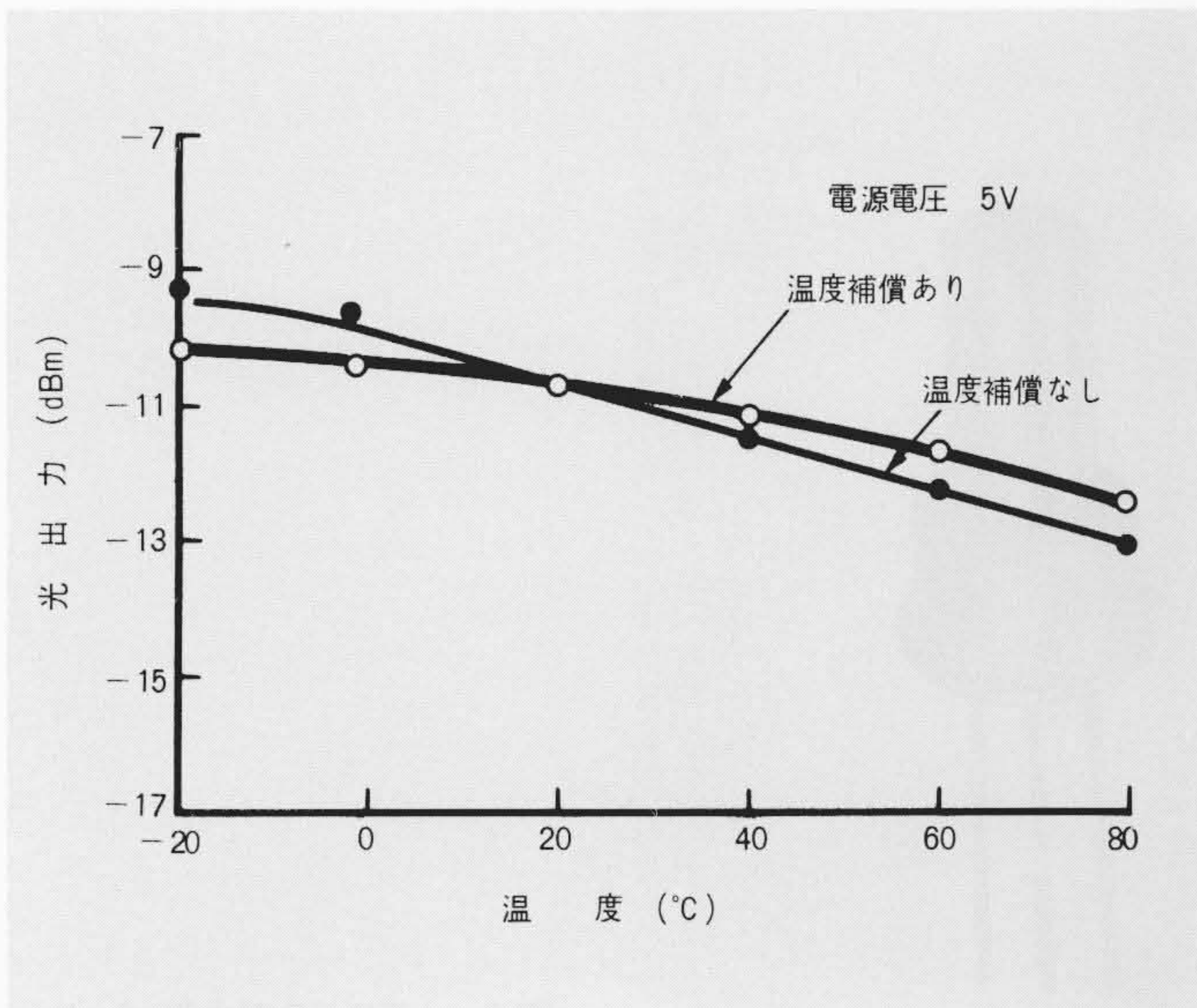


図5 光送信モジュールの光出力 送信IC内の温度補償回路により、光出力変動を低減している。

昇とともに低下する光出力の変化は、図5に示すように、温度補償回路を付加することにより、 $-20\sim 70^{\circ}\text{C}$ の温度変化に対して、補償回路がない場合の光出力変化4 dBを2.5dB以下に低減している。

3.3 受信IC

受信ICでは、高速・長距離伝送を実現するため、まず前置増幅回路の低雑音・広帯域化について計算機シミュレーションにより検討を行なった。検討した前置増幅回路は、図6に示すトランスインピーダンス形であり、計算の結果、低雑音化にはトランジスタのベース抵抗を下げることで、広帯域化には浮遊容量などの寄生インピーダンスを小さくすることが重要であることが明らかとなった。このため、IC化ではこ

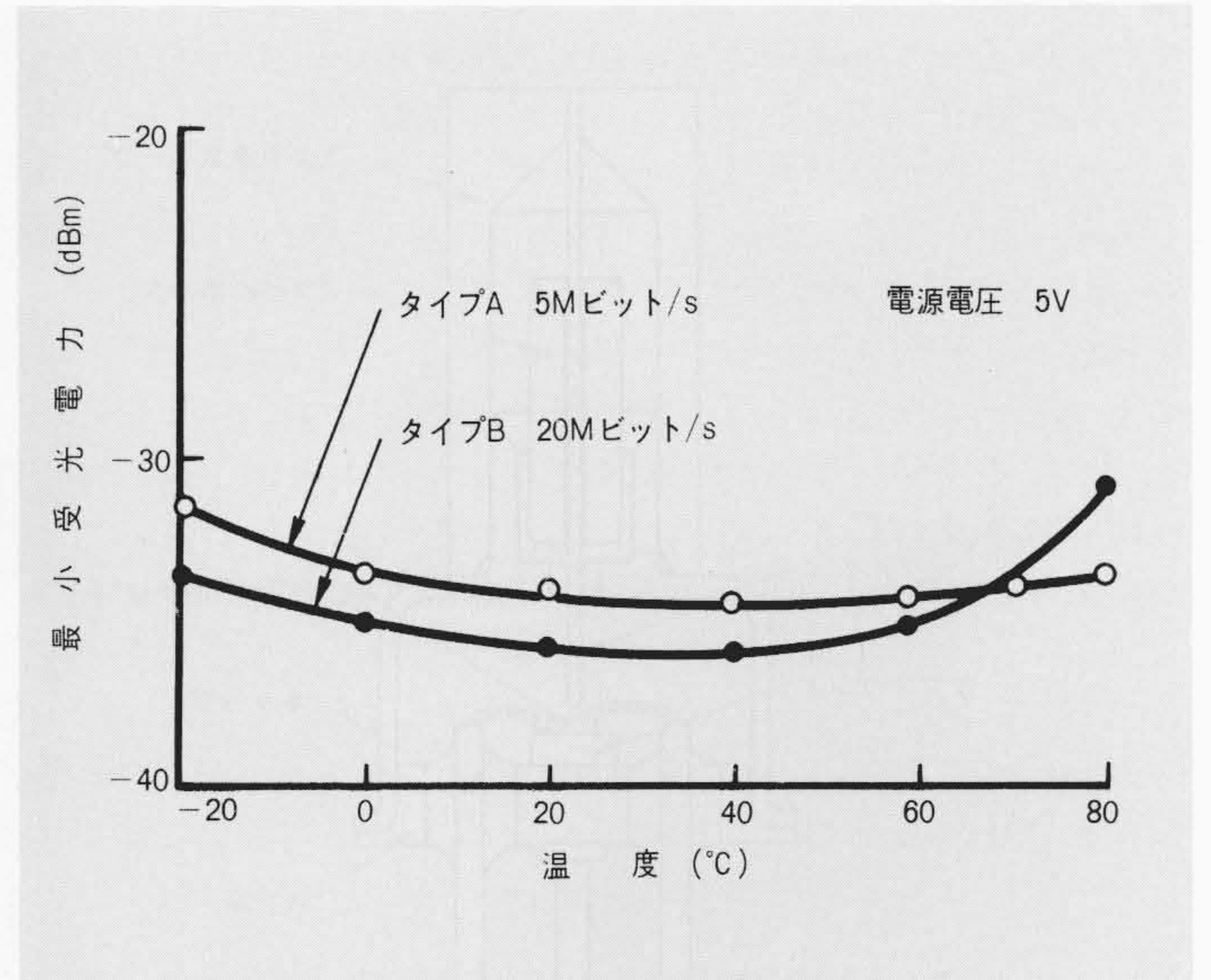


図7 光受信モジュールの最小受光電力 直流伝送形のタイプA、高速伝送形のタイプBとも広い温度範囲で安定な高感度特性を示している。

れら特性の優れた超高速トランジスタICプロセスを採用した。その結果、図6に示すような低雑音・広帯域特性を得ることができた。帰還抵抗 R_F を $30\text{k}\Omega$ の高抵抗にしてもトランスインピーダンス特性は 30MHz まで平坦であり、このときの出力雑音電圧は $33\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下である。この雑音電圧を 100MHz 帯域で積分した全雑音電圧から、符号誤り率 10^{-9} を与える最小受光電力は -36.5dBm と求められる。

直流伝送可能なタイプAの受信回路では、種々の要因による微小な電源変動があっても、直流("0"又は"1"連続)を確実に識別することが重要である。これには、図3のブロック図に示すように、モノリシックIC内に参照電圧発生回路、安定化電源回路を内蔵することにより対処している。この受

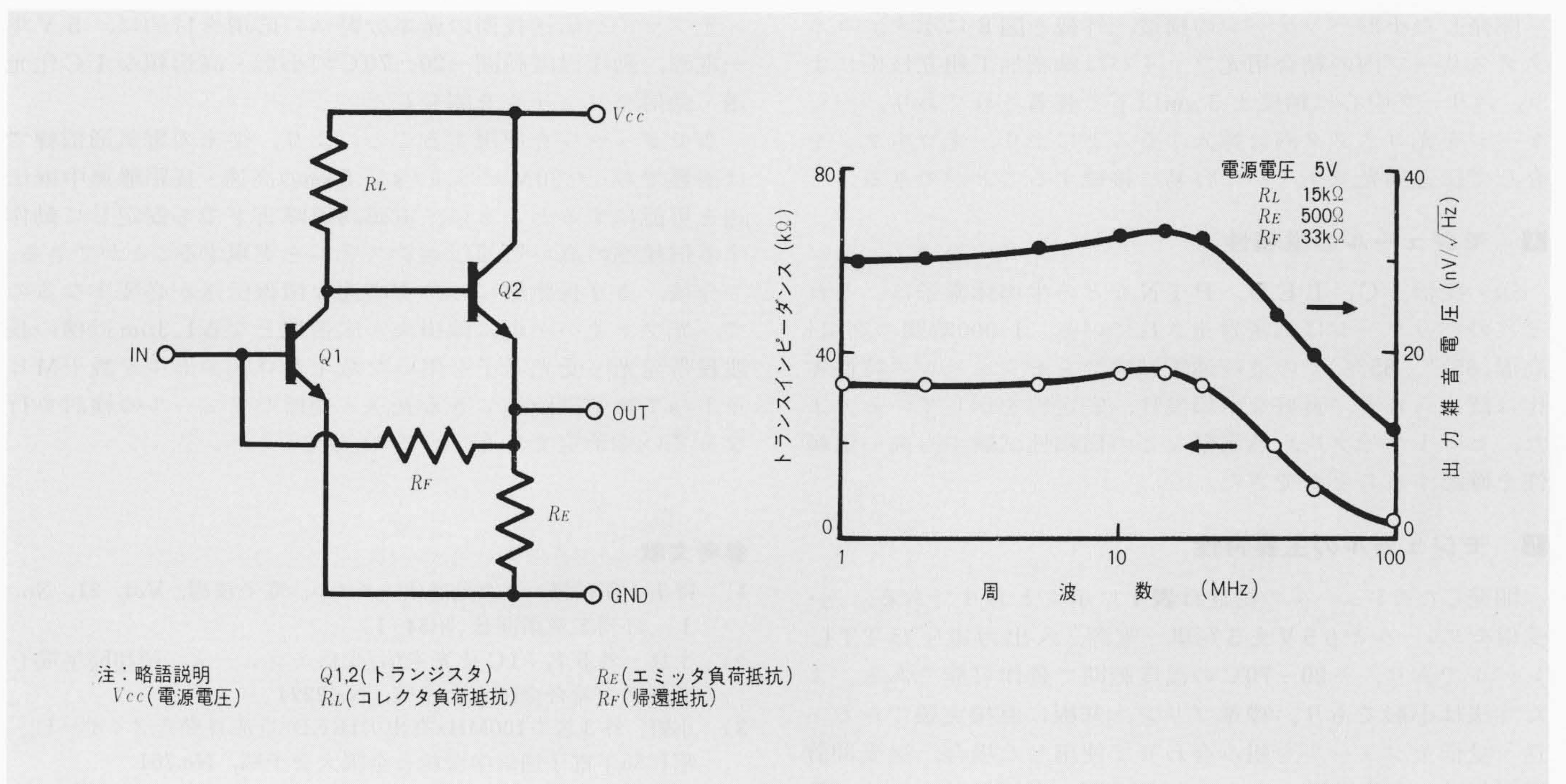


図6 前置増幅ICの特性 開発した前置増幅ICは、帯域幅 30MHz 、雑音出力 $33\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 以下の広帯域・低雑音特性をもっている。

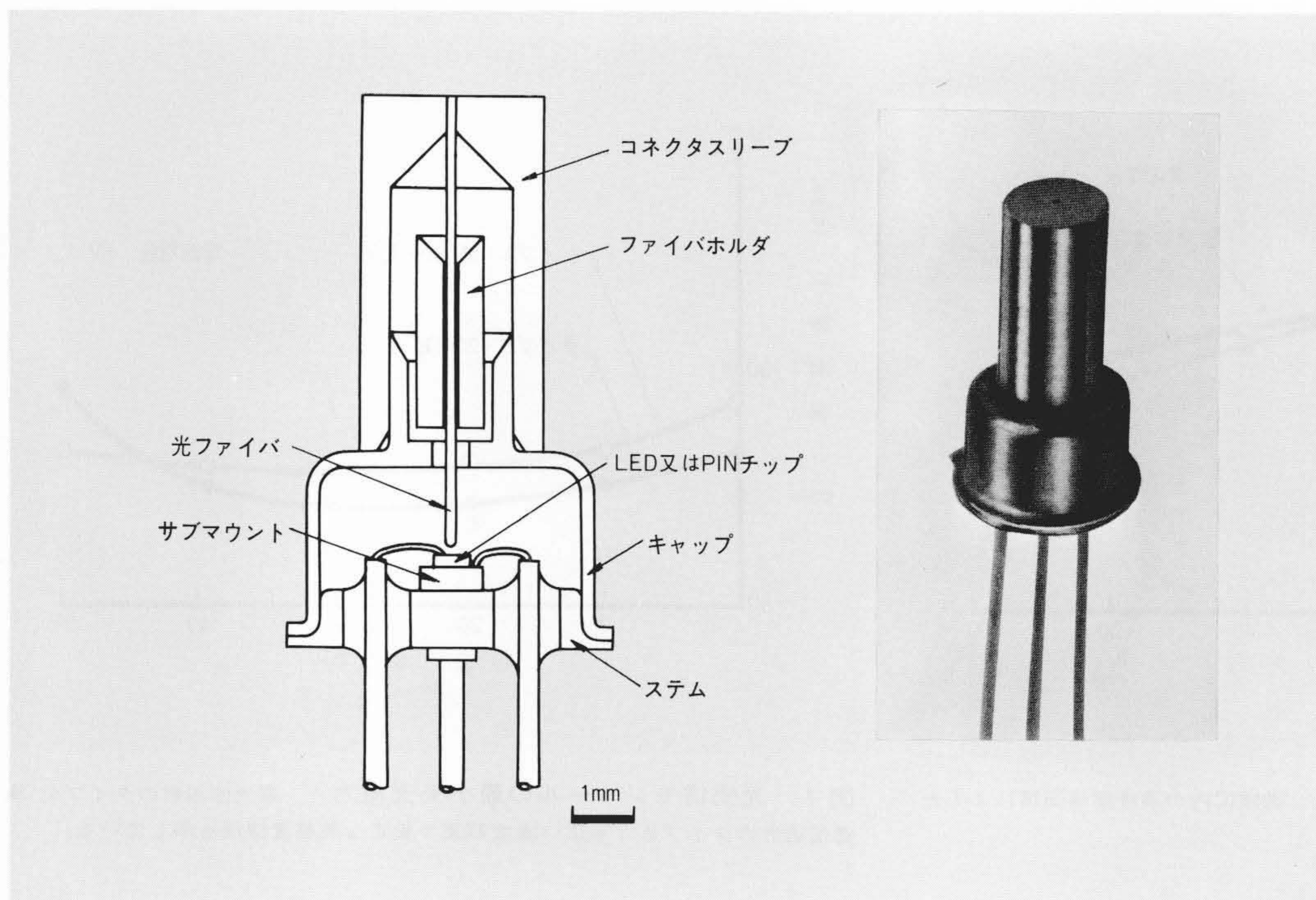


図8 LED, PIN小形パッケージ 結合用光ファイバを中心に装着したコネクタスリーブをもち、光コネクタに直接挿入できる小形パッケージである。

信ICにより、 $-20\sim 70^{\circ}\text{C}$ の広温度範囲で、“0”連続の識別が可能、最小受光電力 -30dBm 以下の高感度特性を実現した。

高速伝送可能なタイプB受信ICの構成は図4に示すとおりで、直流を通す必要がないため段間をコンデンサで結合する交流結合の回路構成を採用している。前述の前置増幅ICと組み合わせて、 $-20\sim 70^{\circ}\text{C}$ の広い温度範囲で -33dBm 以下の特性をもつタイプB受信モジュールが実現できた。図7はタイプA、タイプB両受信モジュールの最小受光電力の温度特性を示すものであるが、広い温度範囲で安定に動作することが分かる。

3.4 LED, PIN小形パッケージ

開発した小形パッケージの構造、外観を図8に示す。コネクタスリーブ内の結合用光ファイバは精密加工組立技術により、スリーブ中心に精度 $\pm 3\mu\text{m}$ 以下で装着されており、パッケージを光コネクタ内に挿入することにより、光コネクタを介して伝送用光ファイバに容易に接続することができる。

4 モジュールの信頼性

送・受信IC, LED, PINなどの半導体素子は、それぞれのパッケージに気密封止されている。1,000時間の高温・高湿(85°C , 85%)での連続通電試験でもモジュールの特性劣化は認められず、良好な耐環境性、安定性を示している。また、ヒートサイクル、熱衝撃などの信頼性試験でも高い信頼性を確認することができた。

5 モジュールの主要特性

開発したモジュールの特性は表1に示すとおりである。送・受信モジュールとも $5\text{V}\pm 5\%$ 単一電源、入出力電圧はTTLレベルであり、 $-20\sim 70^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で動作可能である。また寸法は小形であり、標準プリント基板に直接実装できる。送・受信モジュールを組み合わせ使用した場合、送受間許容損失は、直流伝送のタイプAで17dB、高速伝送のタイプBで20dBであり、標準的な 4dB/km の伝送損失をもつ光ファイ

バを用いて、それぞれ4.2km及び5kmの無中継伝送が可能である。

6 モジュールの応用範囲

直流伝送可能なタイプAモジュールは、10Mビット/sまでの任意速度の符号伝送が可能であり、低速のコンピュータインタフェースなどに適用できる。タイプBモジュールは、伝送速度が0.1~30Mビット/sのマーク率50%のデジタル符号伝送が可能であり、高速コンピュータインタフェース、データウェイなどに幅広く応用することができる。

7 結 言

光ファイバ伝送技術の産業分野への応用を目的に、5V単一電源、動作温度範囲 $-20\sim 70^{\circ}\text{C}$ の小形・高信頼なIC化光送・受信モジュールを開発した。

本モジュールを使用することにより、従来の電気通信線では困難であった30Mビット/s、5kmの高速・長距離無中継伝送を可能にするとともに、電磁誘導障害下でも安定して動作する信頼性の高い情報伝送システムを実現することができる。

今後、より長距離にわたる高速な情報伝送が必要となるので、光ファイバが更に低損失・広帯域となる $1.3\mu\text{m}$ 近傍の長波長帯発光・受光素子を用いた数十キロメートルを数十Mビット/sで無中継伝送できる光送・受信モジュールの検討を行なっていく予定である。

参考文献

- 1) 特集：新段階にきた光通信システム、電子技術、Vol. 21, No. 1, 日刊工業新聞社(昭54-1)
- 2) 生島, 外5名：IC化光送信/受信モジュール、昭和55年電子通信学会総合全国大会予稿, No.2224
- 3) 小野, 外3名：100MHz高出力IRED(近赤外発光ダイオード)、昭和55年電子通信学会総合全国大会予稿, No.761
- 4) 田中, 外3名：プリアンプ内蔵光コネクタ組込形受光素子、昭和55年電子通信学会光・電波部門全国大会予稿, No.284