

光伝送モジュール

Optical Transmitter and Receiver Modules

光ファイバを伝送路に用いる伝送が、計測制御システムや計算機ネットワークなどの分野で積極的に導入されている。これには、電気-光変換、光-電気変換に増幅、再生、変復調などの信号処理回路を加えた光伝送モジュールが不可欠である。モジュールには、小形、高信頼、低価格及び多機能であることが要求される。ここでは、光伝送に適したCMI符号変換回路、タイミング抽出回路としてディジタルPLLを使用したCMOS技術により1チップLSI化した、3R機能光伝送モジュールの技術を中心に述べる。開発したモジュールは、2Mビット/秒までの情報と同時にクロック情報をも伝送できるので、網同期を必要とするネットワークほか広い応用分野に適用できる。

古寺 博* Hiroshi Kodera
生島一郎** Ichirô Ikushima
宮本隆志** Takashi Miyamoto
前田 稔*** Minoru Maeda

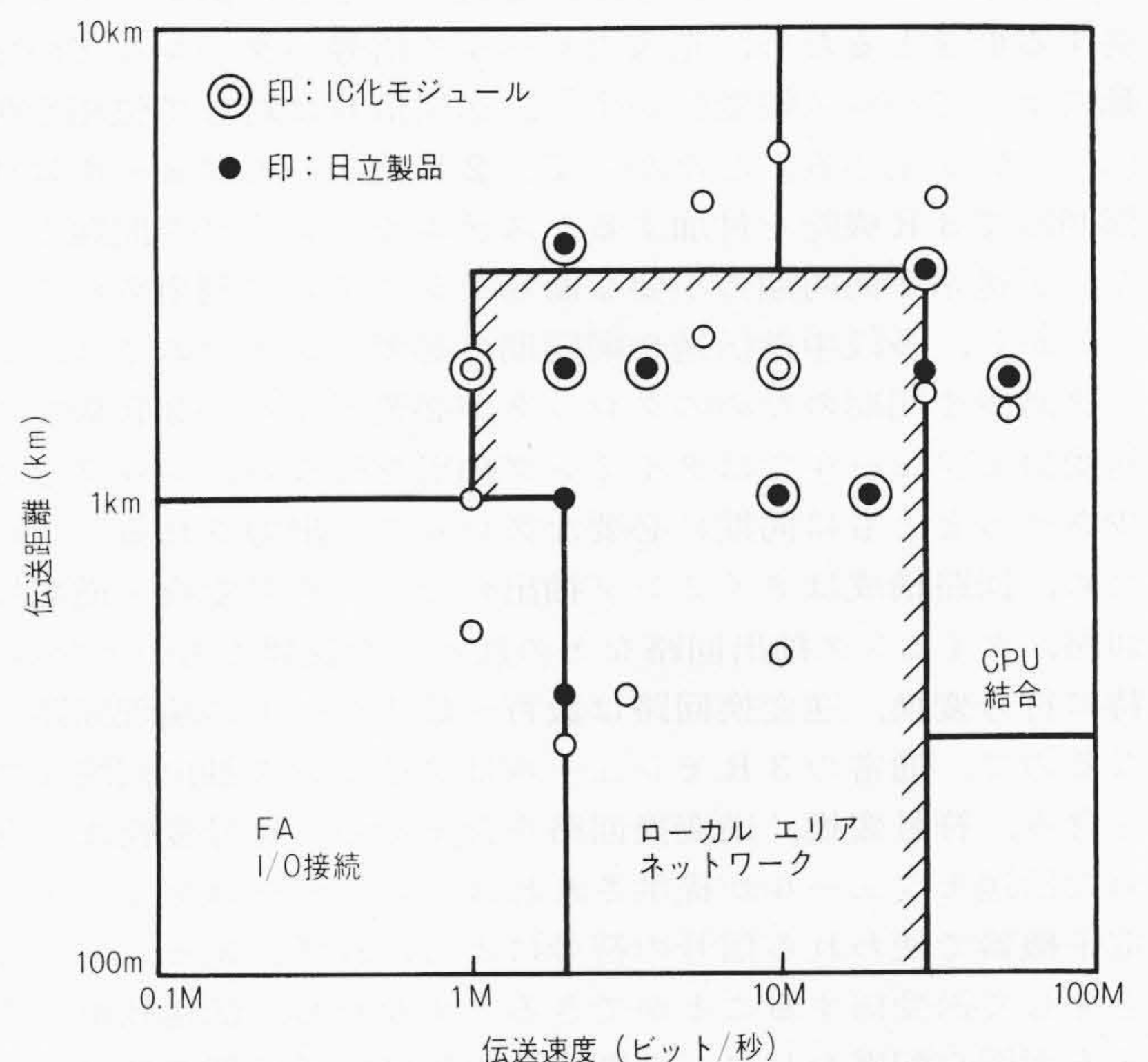
1 緒 言

計測制御システム、計算機ネットワークなどの分野では、システムの高速度化、拡大化に対処するため、装置間の情報伝送に従来の銅線を用いたメタリック線路に代わって光ファイバを用いる伝送が積極的に導入されている。これは光ファイバが広帯域、低損失及び電磁的無誘導であり、必要な情報を高速度で長距離にわたり雷などの影響を受けずに伝送することが可能なためである。装置間を光ファイバで結ぶには電気-光変換、光-電気変換が必要となるが、これらの変換には発光素子と受光素子を用いるだけでなく駆動回路や増幅再生回路が不可欠である。また装置への実装という観点から、小形、高信頼、低価格であることが要請される。そこでLED (Light Emitting Diode: 発光ダイオード) と送信回路を一体化した送信モジュール、ホットダイオードと受信回路を一体化した受信モジュールの開発が進められ、伝送線路である光ファイバにコネクタで容易に接続でき、プリント基板へ直接実装可能な各種のディジタル信号用光伝送モジュールが実用化されている^{1)~3)}。

図1は、これまで国内外で発表されている光伝送モジュールを、伝送速度と伝送距離を指標として図示したものである。これらは適用するシステムに対応して、FA^{*1)}応用やI/O(入出力インタフェース装置)接続を主体とした低速モジュール(1~2Mビット/秒)、ローカル、エリアネットワーク用の中速モジュール(~32Mビット/秒)、計算機本体結合用の高速モジュール(~100Mビット/秒)に大別される。また機能面で見ると、送信回路、受信増幅回路から成り波形整形(Reshaping)と識別再生(Regenerating)を行なう2Rモジュールから、タイミング抽出回路(Retiming)を含む3Rモジュールまで多岐にわたっている。

以下では、光伝送に適した符号変換回路及びタイミング抽出回路をCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)により1チップLSI化した、小形、低消費電力3R光伝送モジュールの技術を中心に述べる。

※1) FA(Factory Automation)は製造工場の自動化を指向し、自動制御情報の伝達が必要となる。



注: 略語説明
I/O(入出力インタフェース装置), CPU(計算機中央処理装置)
FA(ファクトリーオートメーション)

図1 光伝送モジュールの性能 各種性能の光伝送モジュールが開発されているが、ローカル エリア ネットワークなどの分野に小形のIC化モジュールが集中している。

2 光伝送モジュールの機能

光伝送モジュールは前節にも述べたように、その機能によって2R(Reshaping+Regenerating, 波形整形と識別再生)機能のものと、3R(前述の2R+Retiming, タイミング抽出付)機能をもつものとに大別される。光伝送モジュールの基本構成を図2に示す。データ(2R)と書かれた破線の内側までが2R機能、その外側すべてを含むものが3R機能に当たる。

一般に広く利用されている光伝送モジュールは、構成が簡単な2Rのものが主である。すなわち、光送信モジュールは入力電気信号に応じて光出力をオン、オフするもので、光受

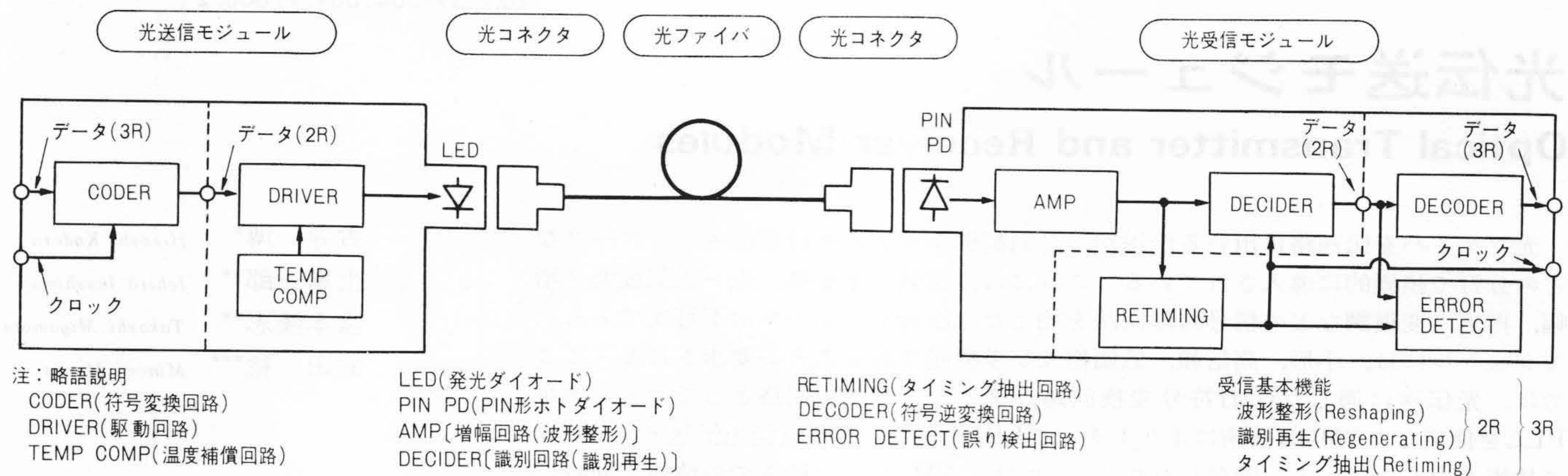


図2 光送受信モジュールの構成 2R機能では、波形整形、識別再生機能をもつが、符号変換を加えた3R機能ではタイミング抽出が付加され、多段中継が可能となる。

信モジュールは光入力信号に応じた電気信号を出力する。2Rの受信モジュールは、信号振幅を適当なしきい値レベルで識別する形をとるため、光入力レベルや信号パターンなどの変動によってパルス幅変動が生じ、送信信号に対して位相変動(ジッタ)が生じる。したがって、2R機能のモジュールは外部回路で3R機能を付加するシステムや、ジッタを問題としない伝送系や網同期の不要な簡易なシステムで利用される。

しかし、多段中継伝送や網同期の必要なシステムでは、ジッタ減少や同期のためのクロックが必要となる。3R機能の送受信モジュールではタイミング抽出を行ない、ジッタを減少させるとともに同期に必要なクロックも出力される。このため、回路構成はタイミング抽出のための符号変換・逆変換回路、タイミング抽出回路などの加わった複雑なものとなる。特に符号変換、逆変換回路は数百～数千ゲートの論理回路となるので、通常の3Rモジュールはタイミング抽出回路までを含み、符号変換、逆変換回路を含まない。符号変換まで含めた伝送モジュールが提供されれば、ユーザーはデジタル電子機器で使われる信号の符号にとらわれず、光モジュールを介して送受信することができる。すなわち、伝送技術に関する面倒な配慮なしに、制御を含む各種電子機器の光ファイバによる結合が可能となる。ただし、伝送速度はタイミング抽出回路の定数によって特定の値に固定される。

上記のような特徴をもった3R機能光伝送モジュールを、小形で使いやすくまとめるには発光素子、受光素子の前後につく送・受信回路のIC化が必要である。符号変換・逆変換回路を含めるとICの規模はLSI並みとなる。IC化技術の選択とIC化に適した回路の開発が技術的課題である。

3 R機能光伝送モジュール用IC

小形の3R光伝送モジュールを実現するには、送信回路、受信回路をそれぞれIC1チップにまとめることが望ましい。IC技術はバイポーラIC、MOS IC技術に大別されるが、表1にECL(エミッタ結合論理)形バイポーラIC技術とCMOS形MOS IC技術を比較した。IC1チップ当たりの消費電力は、安定動作のためにある一定値(おおむね1W)以下でなければならない。論理ゲート当たりの消費電力はICの低消費電力化に効くだけでなく、集積規模を支配する。表1に見られるように、CMOS IC技術は低消費電力、大規模集積化に有利である。この利点を生かし、3R機能をもつ小形光送受信モジュール用のCMOS LSIを開発した。伝送速度はCMOS IC技術の利得帯域幅を考慮し、FAやI/O接続に用いられる2Mビ

表1 IC化技術と代表性能 バイポーラICは高速動作可能であるが、消費電力が大である。CMOS ICは低速動作であるが、低消費電力のため大規模集積化が可能である。

IC技術	利得帯域幅	最小寸法	遅延時間/ゲート	消費電力/ゲート	特徴
バイポーラIC	>1,000MHz	2.5 μ m	～1ns/ゲート	～5mW/ゲート	高速動作
CMOS IC	<100MHz	3 μ m	～10ns/ゲート	～50 μ W/ゲート	低消費電力、大規模集積

ット/秒に選んだ。

送信モジュール用ICは図2に示したように、符号変換回路、LED駆動回路及びLED光出力の温度補償回路をワンチップICにしたものである。各回路の機能をピックアップして特徴を示すと次のようになる。

(1) 符号変換回路

入力信号が0連続、1連続に対しても受信側でタイミング抽出が可能のように、光伝送に適した幾つかの符号形式が提案されている。伝送符号に要求される条件としては、

- タイミング情報が十分得られること。
- 符号列の直流成分が変動しないこと。
- 入力信号に依存した特殊性が生じないこと、すなわちBSI(Bit Sequence Independence)が保持できること。
- 符号誤りが生じたとき、容易に誤り検出ができ、誤りの波及効果が小さいこと。
- 変換によるクロック周波数が高くなり過ぎないこと。
- 回路規模が小さいこと。

などが挙げられる。これらの条件に適する符号例を図3に示す。本光伝送モジュールの符号変換回路には、タイミング情報が豊富で、回路が比較的簡単かつ符号誤りの波及効果の少ないCMI(Coded Mark Inversion)符号を採用することにした。

(2) LED駆動回路、温度補償回路

LED周りの回路はアナログ回路で構成され、高速(20ns)、定電流(100mA)のスイッチングを行なうと同時に、温度補償をかけLED光出力の安定化を図っている。図4に回路の概略を示す。温度補償はLEDの光出力が駆動電流一定であると温度上昇に伴い低下するので、温度上昇とともに駆動電流を増加させて光出力の低下を抑制するものである。

実際のIC回路での温度補償はCMOSのトランスコンダクタンス g_m の温度変化を利用して電流源 I に温度特性をもたせる。高速スイッチングはスイッチ回路を電流制御増幅器とLED駆動トランジスタの間に入れることによって、各素子の浮遊容

符号	入力信号列例								直流成分変動	BSI	クロック周波数
	1	0	1	1	0	0	1	0			
NRZ									大	なし	f_0
CMI									小	あり	$2f_0$
DMI									小	あり	$2f_0$

注：略語説明

NRZ(Non Return to Zero)

CMI(Coded Mark Inversion)

DMI(Differential Mode Inversion)

BSI(Bit Sequence Independence(入力信号列が変わっても符号のもつ特性が変わらないこと。))

f_0 (NRZ信号のクロック周波数)

図3 光伝送に適した符号変換例 NRZ入力信号を変換して、直流成分変動のない、BSIの保持できる符号に変換することが光伝送に重要であり、CMI符号がこれに当たる。

量の影響を低減することで実現した。

次に受信モジュール用ICは、先の図2に示したように増幅回路、識別回路、タイミング抽出回路、符号逆変換回路、誤り検出回路から構成される。IC開発に当たり新たに取り入れた点はCMOSによりAGC(Automatic Gain Control：利得自動制御)増幅回路を構成したこと、タイミング抽出回路にデジタルPLL(Phase-Locked Loop)回路を採用したことである。

(3) AGC増幅回路

AGC増幅回路は図5に示すように差動増幅回路を2段とし、最大利得約40dB、AGC幅約36dBを稼いでいる。元来、CMOSはデジタル回路でその特徴を発揮するが、本回路のようにアナログ動作の部分では、デジタル回路では問題にならなかったプロセスばらつきが大きく影響する。本ICでは増幅回路を差動形式としてプロセスばらつきを吸収するとともに、各トランジスタのゲート長を最適化することでプロセスばらつきによる特性不良を抑制した。

(4) タイミング抽出回路

タイミング抽出回路に採用したデジタルPLL回路は、アナログPLL回路に比べてCMOS ICに適し、小形になる特徴をもつ。図6に回路ブロック図を示す。まず、ソースクロックとして $16 \times f_D$ (f_D ：伝送速度周波数)を入力して、シフトレジスタにより $\frac{1}{16}$ 、 $\frac{1}{16}$ 、 $\frac{1}{16}$ の分周比をもった周波数信号を作る。分周比の選定は位相比較器によりゲートをコントロールして行なう。すなわち、位相が遅れているときは $\frac{1}{16}$ 分周とし、進んでいるときは $\frac{1}{16}$ 分周とする。また、タイミング情報のない区間では $\frac{1}{16}$ 分周した周波数の信号をクロックとして出力する。ソースクロックの作成はICに内蔵している発振回路を使用することによって水晶発振子(16MHz以下)を外付けするだけで可能である。

受信ICには以上のほかにCMI符号から元データを再生する符号逆変換回路、受信データの誤りをチェックする符号誤り検出回路及び受信レベルをモニタするレベルモニタ回路を内蔵し、1チップにまとめている。図7に開発した送信及び受信ICのチップ写真を示す。

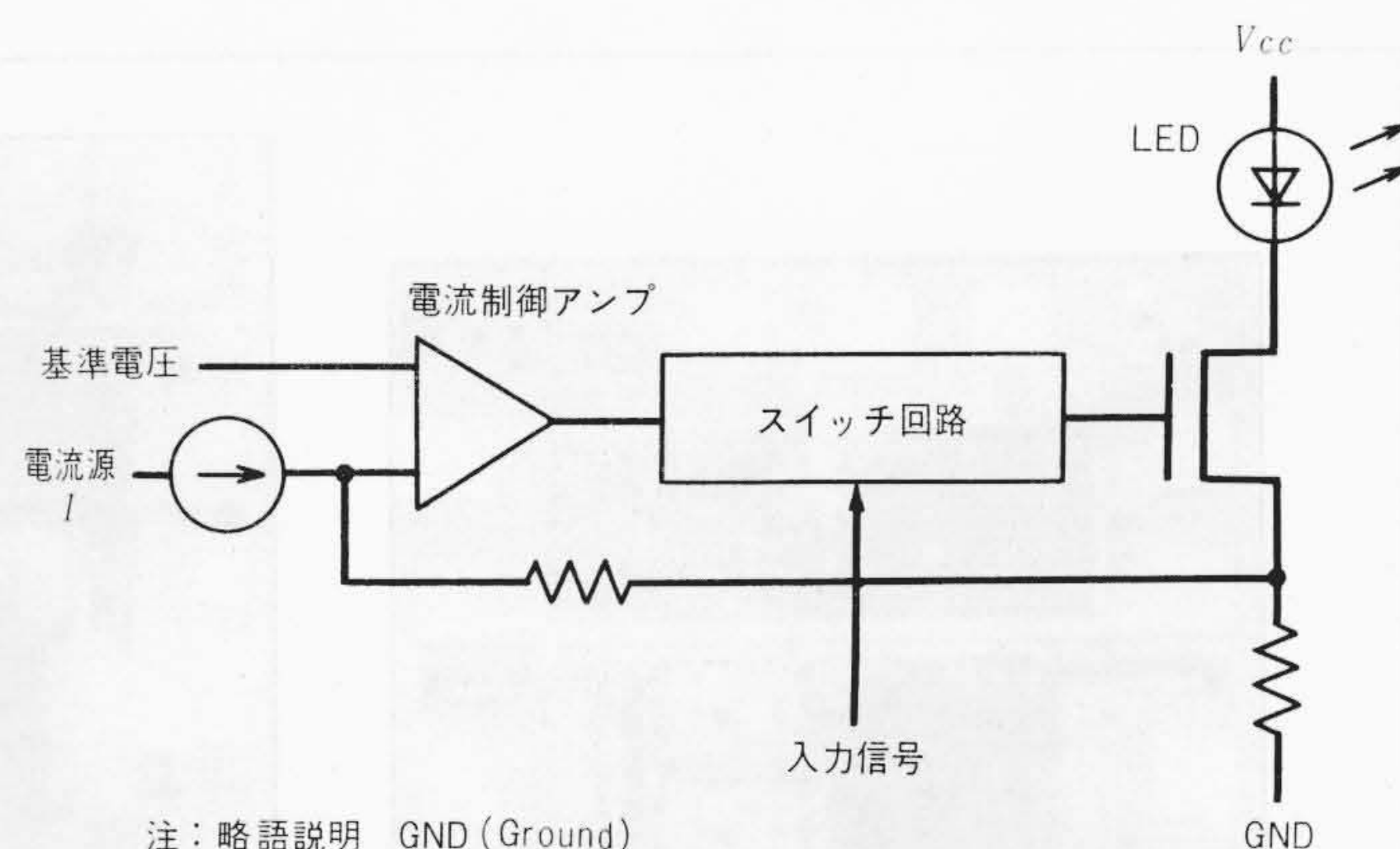
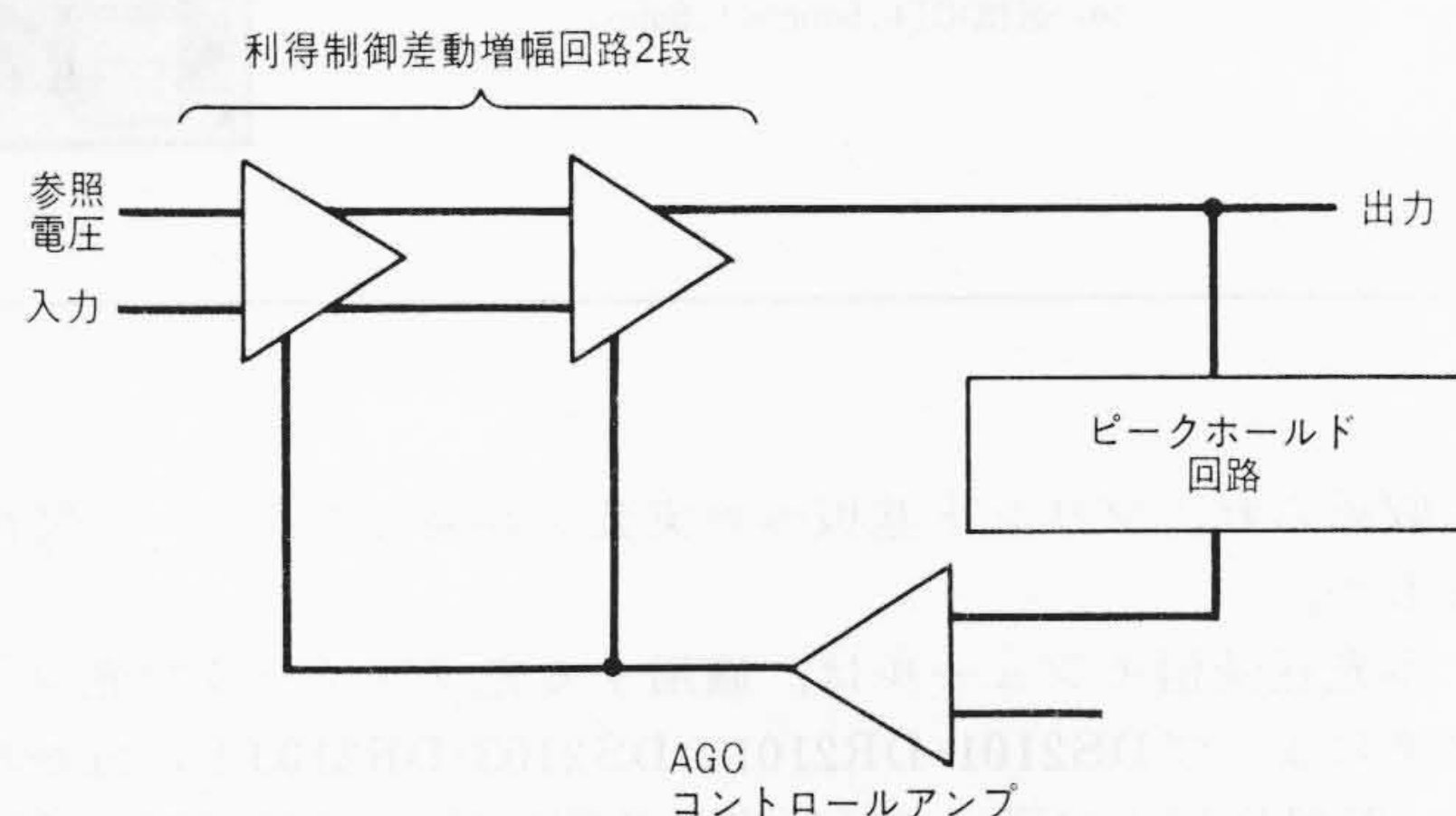
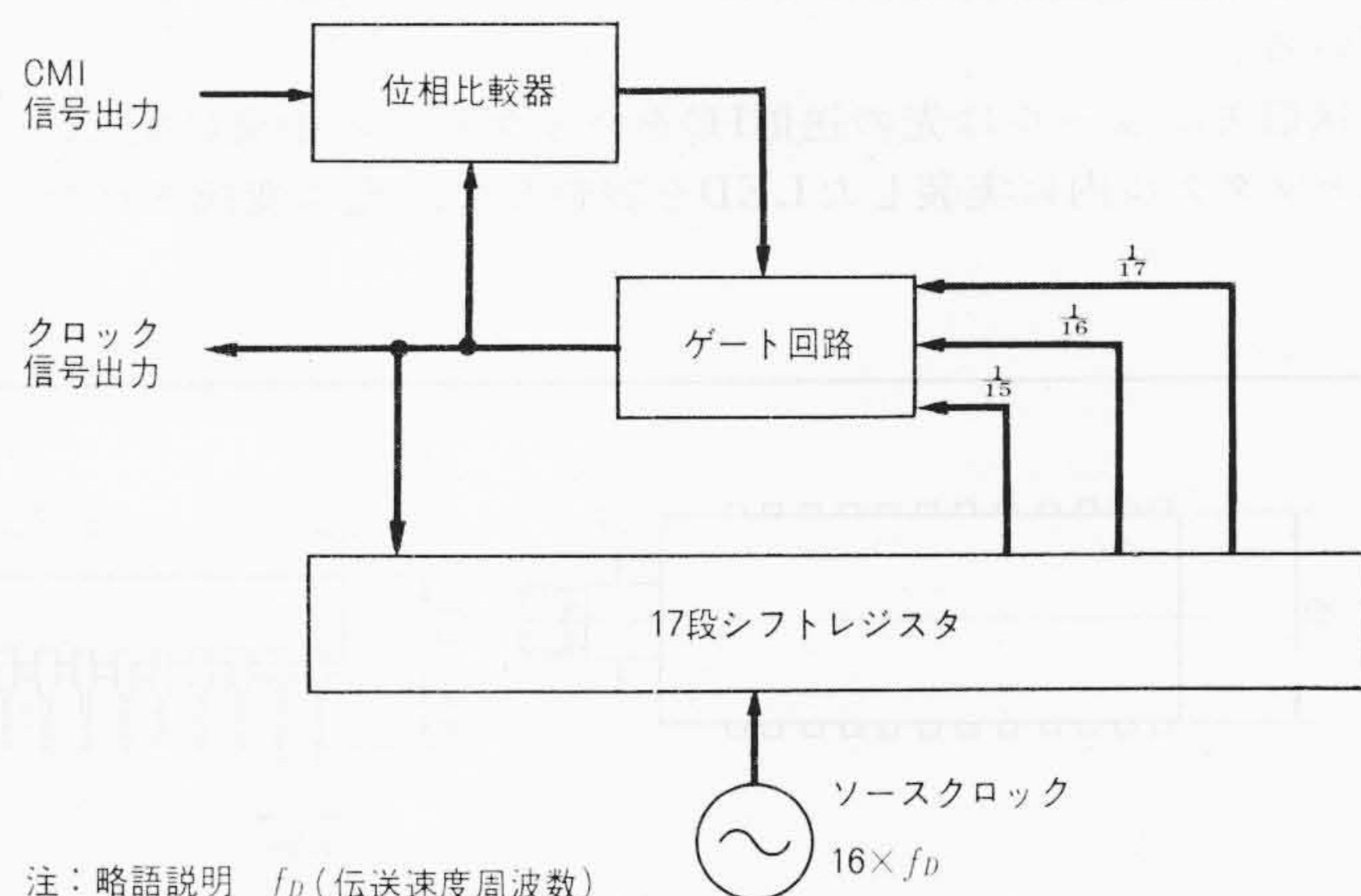


図4 LED駆動回路 入力信号によりスイッチ回路をオン・オフさせ、高速動作を得ている。また、電流源Iに温度特性をもたせてLEDの光出力の温度補償をしている。



注：略語説明 AGC(Automatic Gain Control)

図5 AGC増幅回路 差動増幅回路を採用し、プロセスばらつきによる特性ばらつきを抑制している。



注：略語説明 f_D (伝送速度周波数)

図6 デジタルPLL回路 CMI信号入力とクロック信号出力の位相差を検出して、ソースクロックから分周($\frac{1}{16}$ 、 $\frac{1}{16}$ 又は $\frac{1}{16}$ 分周)した周波数をクロック信号として出力する。

4 2Mビット/秒3R機能光伝送モジュール

前述の送信・受信ICにLEDとして波長 $0.8\mu\text{m}$ 帯の高出力赤外発光ダイオード(形式HLP40R)、受光素子としてSiPIN形ホトダイオードを組み合わせて2Mビット/秒3R機能光伝送モジュールにまとめ上げた。送信部、受信部はそれぞれ図8に示すような24ピンのDIL(デュアルインライン)形パッケージ

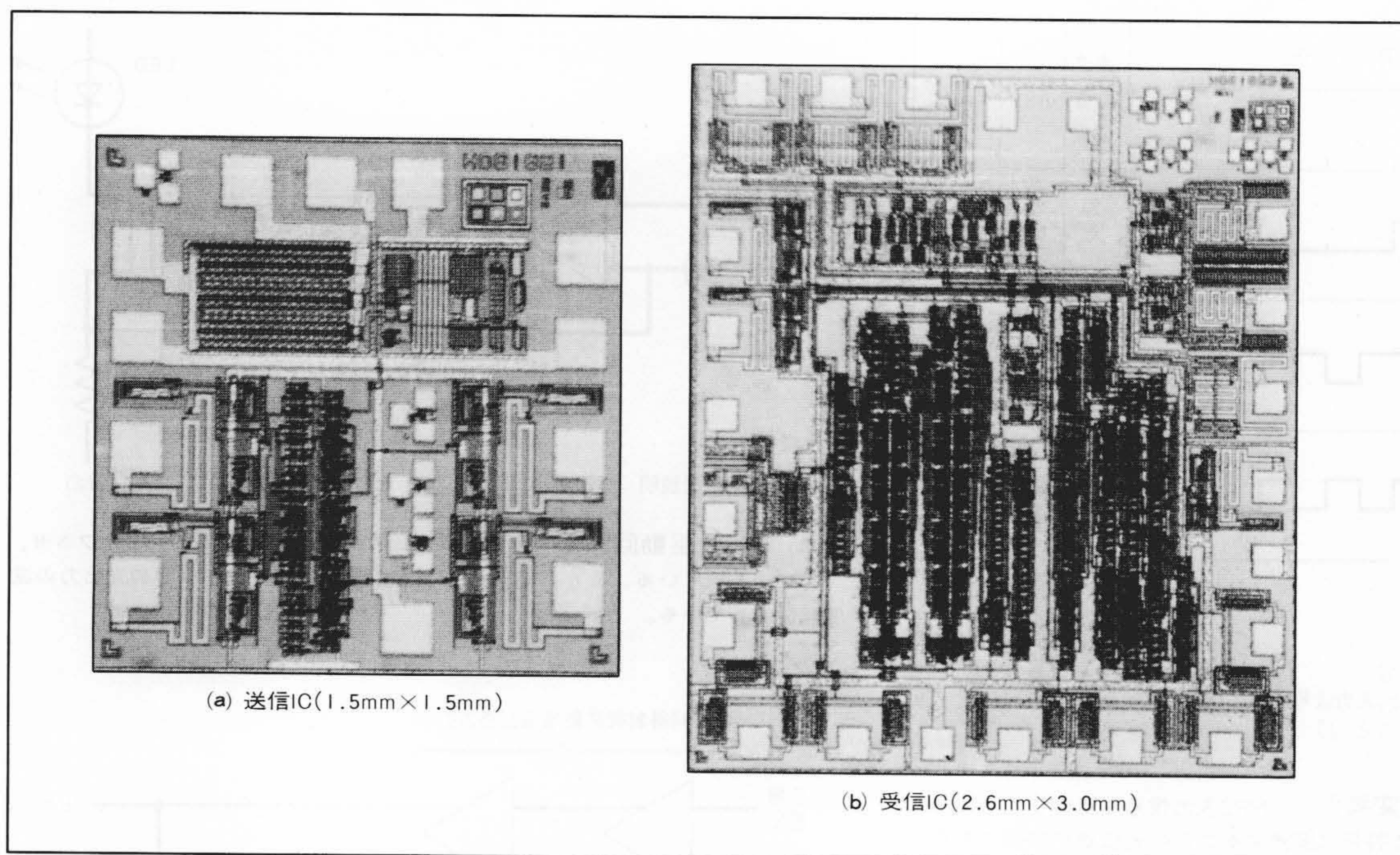


図7 送信・受信ICの外観 3 μ CMOS IC技術により送受信とも3R機能回路をワンチップに集積化したもので、小形、低消費電力である。

に収められ、プリント基板への実装が容易であるという特徴をもつ。

本光送受信モジュールは、適用する光ファイバ及び光コネクタによってDS2101・DR2101とDS2103・DR2103とに分かれる。2101形は大口径、高NA(光学的開口数)〔 $\phi 200/250\mu\text{m}^{*2}$ 〕、0.5NA〕のステップインデックス形多成分ガラスファイバを対象とした伝送モジュールで、光コネクタは日立標準形の $\phi 3$ プラグを用いる。2103形はグレーデッドインデックス形石英ファイバ($\phi 50/125\mu\text{m}$, 0.2NA)を対象とし、光コネクタは日本電信電話公社規格FC形コンパチブルの $\phi 2.5$ プラグを用いる。

送信モジュールは先の送信ICをパッケージの中央に配し、レセプタクル内に実装したLEDを駆動して、光に変換された

信号を送信する。受信モジュールはレセプタクル内にPINホトダイオードと前置増幅部を実装して耐雑音性を高め、高感度化を図っている。

本光伝送モジュールは発光・受光素子及び送信・受信ICをそれぞれ気密封止したものを用いると同時に、LEDの放熱をよくし、接合温度を低く抑える構造をとっている。送信・受信ICの低消費電力とあいまって、高温・多湿の悪環境下でも十分使用に耐える信頼性をもっている。

表2に2Mビット/秒3R機能光伝送モジュールDS2101・DR2101, DS2103・DR2103の特性概略を示した。送信モジュールと受信モジュールの最大距離(伝送距離)は、コネクタ損失、光ファイバ伝送損失、システム余裕度に依存する。標準的な条件のもとでの伝送距離は3kmである。本光伝送モジュ

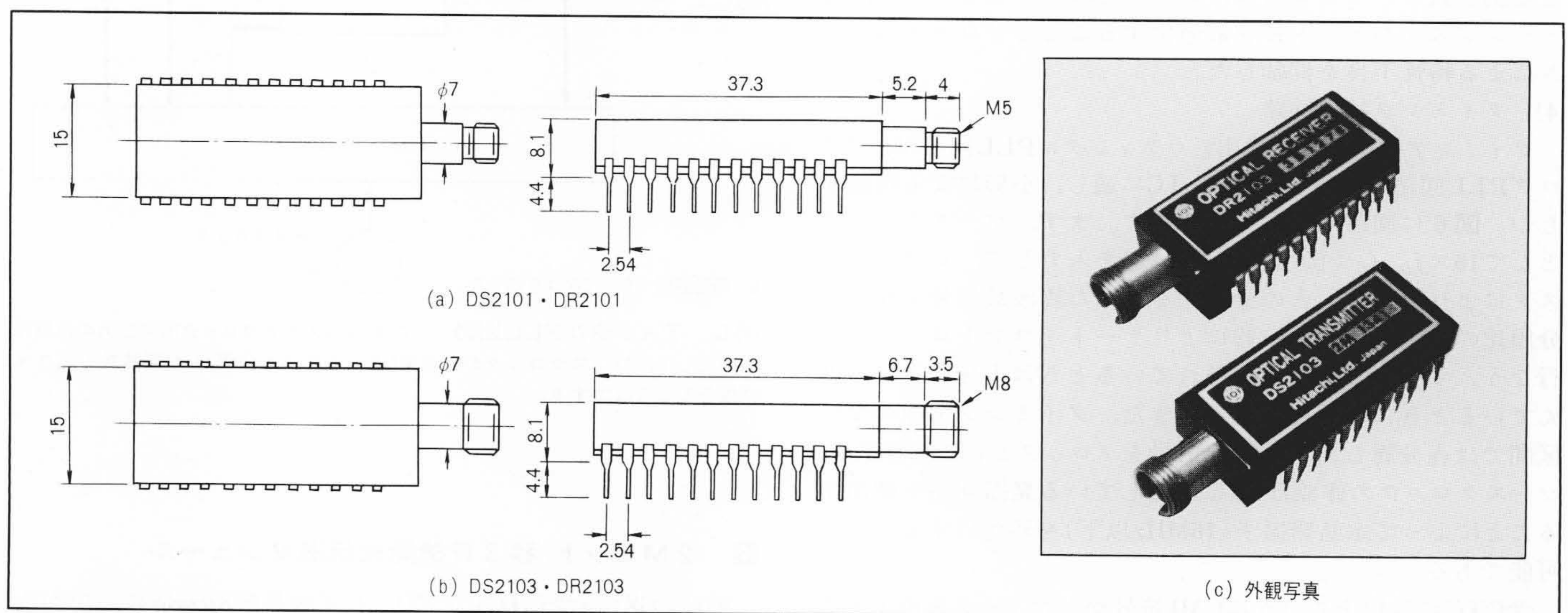


図8 3R機能低速光送受信モジュール 送受信モジュールとも24ピンDILパッケージ形であり、プリント基板への実装が容易である。

※2) $x\mu\text{m}/y\mu\text{m}$ の表示：ファイバのコア径 x とクラッド径 y により光ファイバの種類を規定する。

表2 3R低速光送受信モジュールの特性 広範囲な動作温度, 5V単一電源, 小形・軽量など, 使いやすさを損なうことなく2Mビット/秒, 3R機能を実現している。

項 目	DS2101・DR2101	DS2103・DR2103
伝送速度	DC～2Mbps	DC～2Mbps
伝送距離	0～1km	0～3km
送受レベル差	20dB typ.	10dB typ.
光出力	－10dBm	－29dBm
光入力	－30dBm	－39dBm
適用ファイバ	200/250μmSI	50/125μmGI
波 長	0.88μm	0.88μm
誤り率	10 ^{−9}	10 ^{−9}
電源電圧	5V±5%	5V±5%
動作温度	−20～70℃	−20～70℃
重 量	15gw	17gw
コネクタ	日立標準φ3	FC形φ2.5

- ールの主な特徴を要約して以下に述べる。
- (1) 3R機能のため任意符号の信号が扱える。
 - (2) CMOS IC利用により低消費電力
 - (3) 小 形

5 2Mビット/秒3R機能光伝送モジュールの応用

2Mビット/秒3R光伝送モジュールを応用した光伝送系の構成例として、図9にコンピュータと入出力端末機器を結ぶ再生中継伝送系を、また図10に、工場内の工業計測、制御の集中管理制御を行なうための光ファイバループ伝送系のブロック図を示す。

6 中速・高速光伝送モジュールへの展開

光伝送モジュールは先の図1に示したように、各種の伝送速度のものが要求される。2Mビット/秒以上の伝送速度をもつ光伝送モジュールは高速化に有利なバイポーラIC技術によって構成する。2R機能の送受信回路をそれぞれ集積化して10Mビット/秒, 32Mビット/秒のモジュールが作られている。

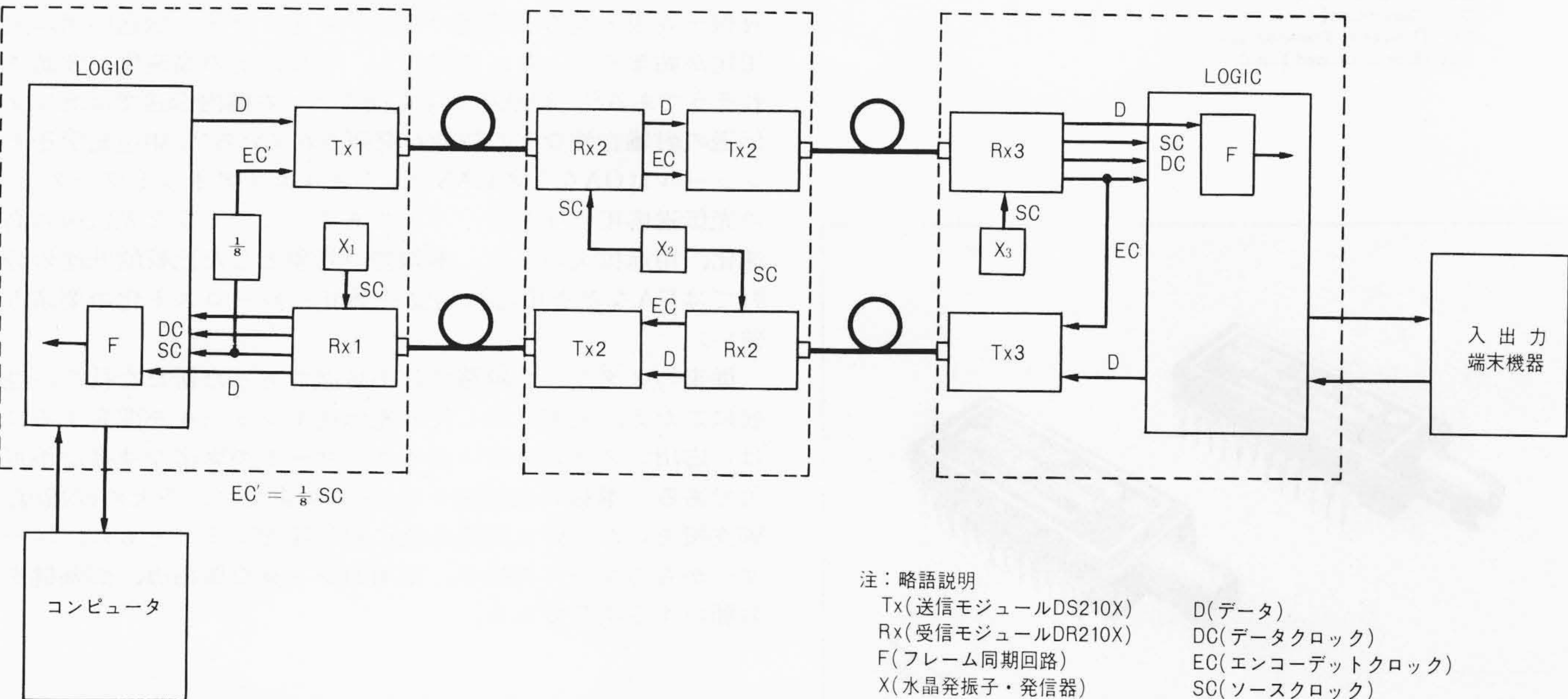


図9 再生中継系の構成例 3Rでの再生中継ではパルス幅ひずみの累積がなく、多段中継による長距離伝送が可能である。

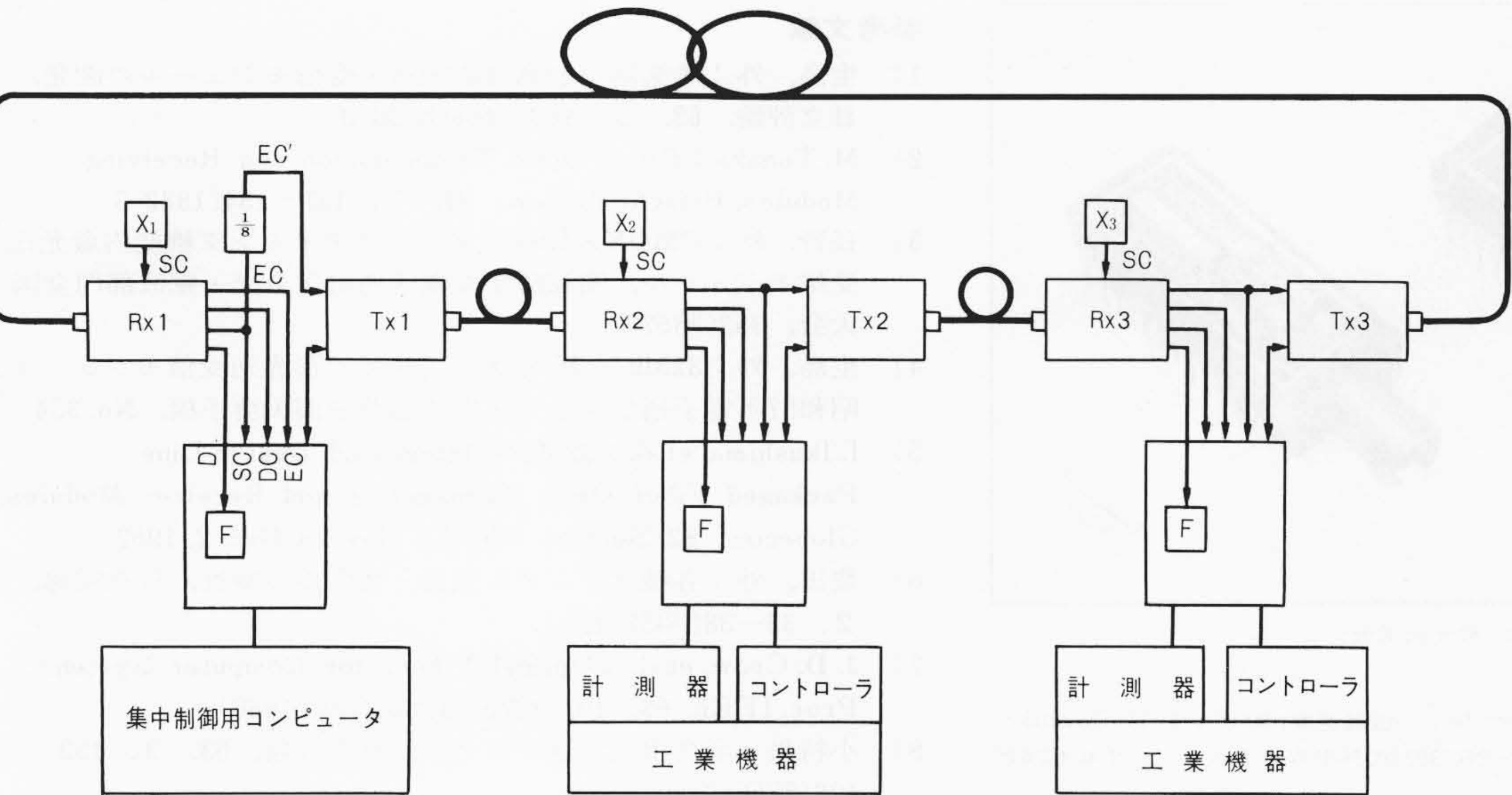


図10 光ループの構成例 データと同時にクロック情報も伝送できるので、網同期を必要とするネットワークが容易に構成できる。

表 3 中速光送受信モジュール特性 発光素子にLED, 受光素子にPIN PDを用いたモジュールであり, 24ピンDIL形実装の小形, CMI 32Mビット/秒伝送可能であるなどの特長がある。

項 目	DS2203・DR2203	DS2302・DR2302	単 位	条 件
伝送速度	0.1~10	0.1~32	Mビット/秒	CMI符号
送信光出力	-20	-15	dBm	50/125 NA0.2GI
発光波長	830	830	nm	-
発光素子	GaAlAs LED	GaAlAs LED	-	-
受信光入力	-26	-30	dBm	ピーク値, BER=10 ⁻⁹
受光素子	Si-PIN PD	Si-PIN PD	-	-
適合光コネクタ	FCタイプ	FCタイプ	-	-
電源電圧	5±0.15	5±0.25	V	-
"	—	-5.2±0.26	V	-
入出力インタフェース	TTL	ECL	-	-
動作温度	0~60	-20~70	℃	-
寸 法	幅15×奥行38×高さ8	幅15×奥行38×高さ8	mm	24ピンDIL形

注：略語説明 NA (Numerical Aperture)
GI (Graded Index)
BER (Bit Error Rate)
DIL (Dual-In-Line)
TTL (Transistor Transistor Logic)
ECL (Emitter Coupled Logic)

る^{4),5)}。いずれもCMI符号の伝送が可能である。また, 24ピンDIL形パッケージ構造であるため, プリント基板への実装が容易であるなどの特長をもつ。更に, 32Mビット/秒モジュールではECLインタフェースをもち, 高速伝送が可能である。これらの光伝送モジュールの特性をまとめて表3に示す。32Mビット/秒モジュールはNRZ信号では64Mビット/秒の伝送が可能である。これらの光伝送モジュールの外形写真を図11に示す。

これらの光伝送モジュールは, 単体では2R機能であるが, 外部に専用の符号変換, 逆変換回路を付加することによって, 3R機能に拡張できる。また, 日立電線株式会社でも各種光伝送モジュールを開発しており⁶⁾, 用途に応じて選択・利用することができる。

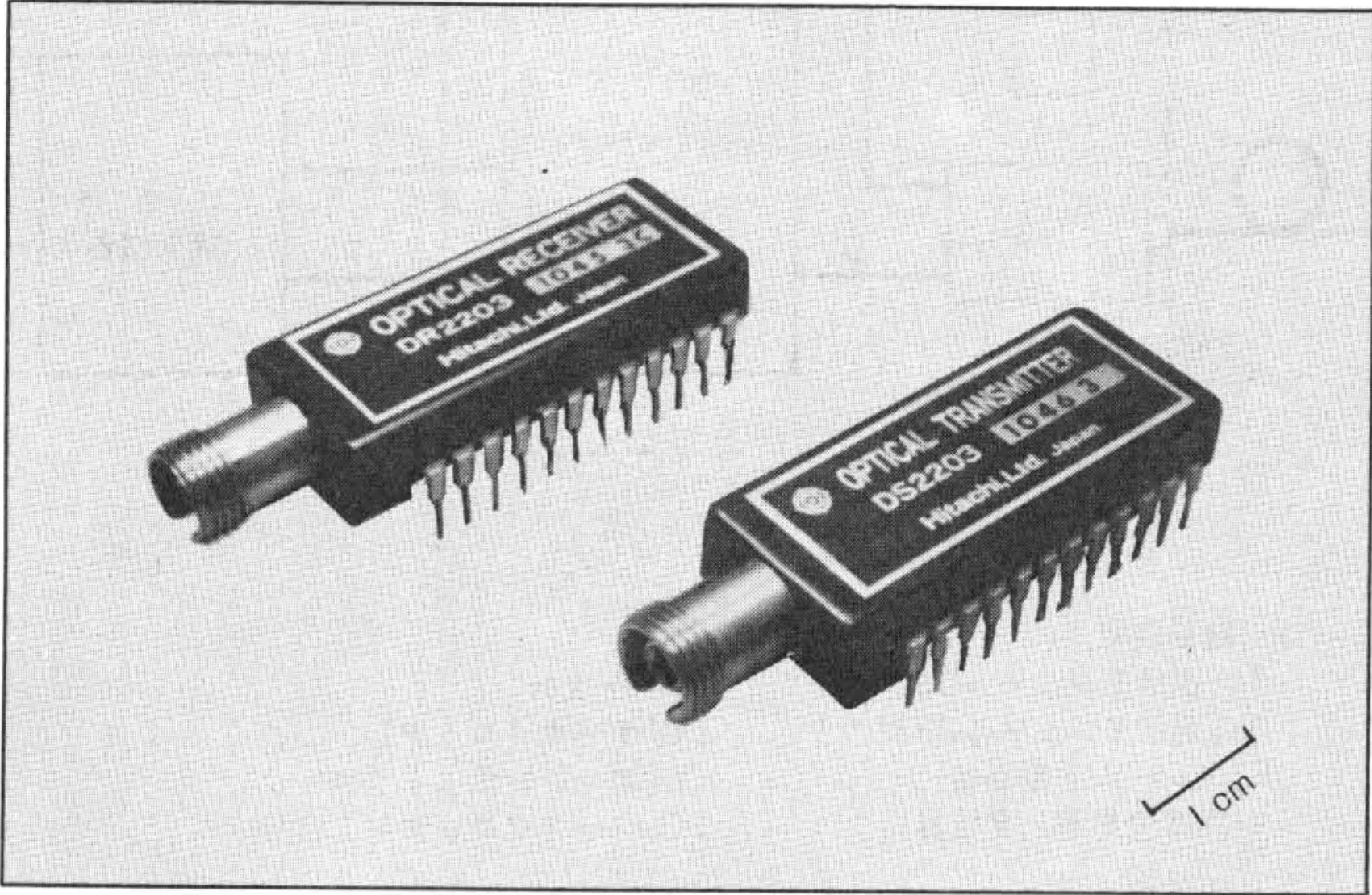
7 結 言

以上, 光伝送中継機能をもつLSI化2Mビット/秒, 3R機能光伝送モジュールを中心に設計思想, 性能を述べ, 10~32Mビット/秒の中速IC化2R光伝送モジュールなどへの展開について触れた。数年前, 試験的に行なわれていた光伝送技術の実用化も, その後順調な展開をみせている。計算機間, 計算機~周辺・端末装置間の接続への光ファイバ伝送応用は実用化が始まろうとし, 100Mビット/秒以上の高速化が要請されそうである⁷⁾。製鉄所や発電所などでの構内伝送では既に光伝送の耐雑音性などの特徴が発揮されている⁸⁾。中速光伝送モジュールはOAなどのLAN((ローカルエリアネットワーク)への光伝送応用のキーデバイスである。このような光伝送の高速化, 用途拡大の一方, 本報告の対象とした比較的低速の分野ではFAなどを中心に送受一体化, ローコスト化の要請も強い。

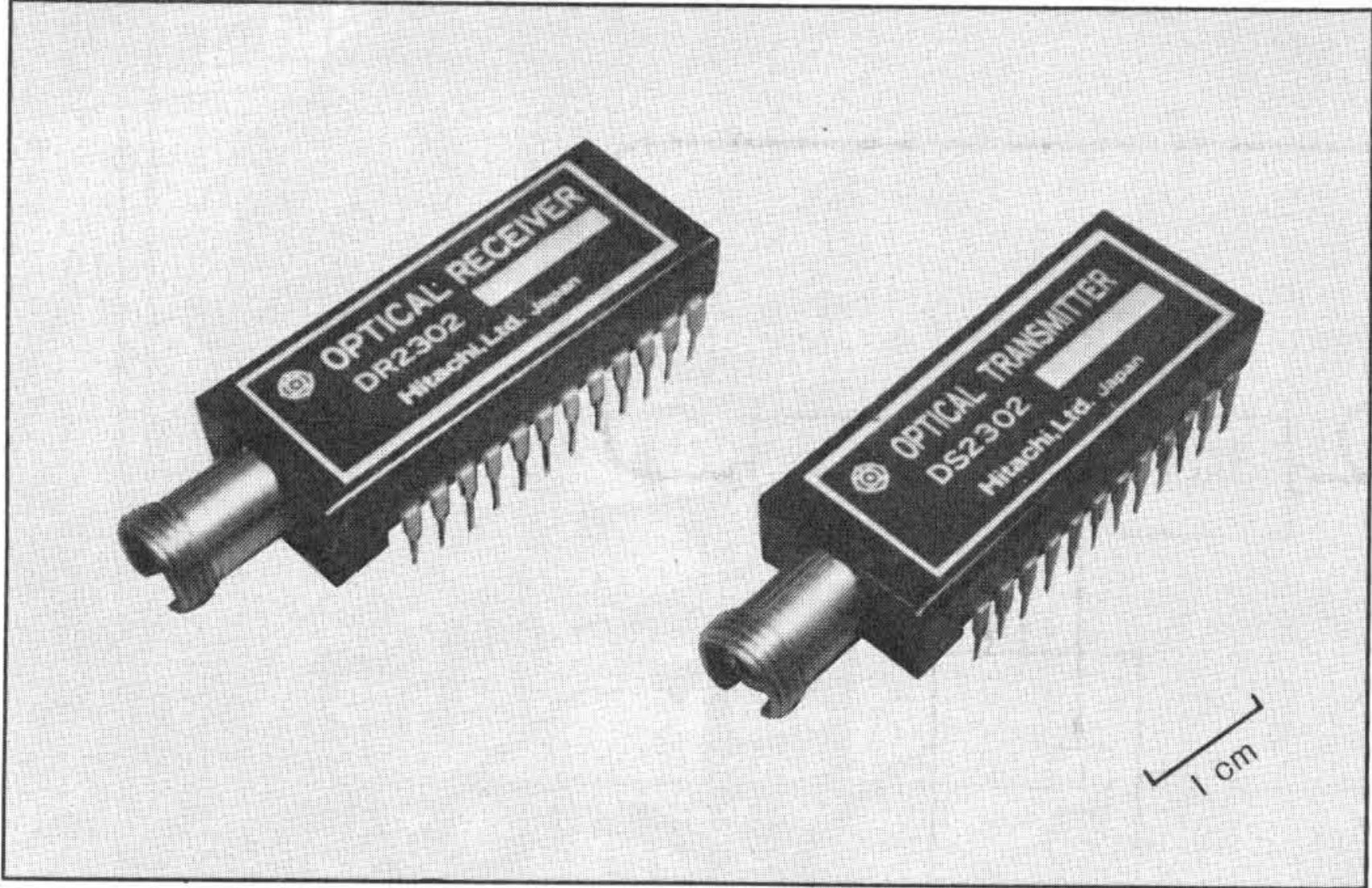
従来のメタリック線路では不可能であった新たな技術の進展にこたえ, 実用に供し得る光伝送モジュールを開発するには, 応用システムの側にあるユーザーとの緊密な連携が不可欠である。本報の光伝送モジュールの開発に, 多大の御指導, 御支援をいただいた関係各位に対し深謝するとともに, ユーザーからのニーズの提示, 応用面から見た御指導, 御鞭撻をお願いする次第である。

参考文献

1) 生島, 外: 産業用小形高性能光送・受信モジュールの開発, 日立評論, 63, 3, 163~166(昭56-3)
2) M. Tanaka: Fiber Optic Transmission and Receiving Modules, Hitachi Review, 31, 3, 131~134(1982-3)
3) 長野, 外: CMOS・LSIを用いたリタイミング機能内蔵光送受信モジュール, 昭和57年度電子通信学会光・電波部門全国大会, 353(昭57)
4) 生島, 外: 32Mb/s IC化デュアルイン形光送受信モジュール, 昭和57年電子通信学会光・電波部門全国大会予稿, No. 354
5) I. Ikushima, et al.: 32Mb/s Integrated Dual-In-Line Packaged Fiber Optic Transmitter and Receiver Modules, Globecom '82, Section B5-5, Nov. 29-Dec. 2, 1982
6) 豊田, 外: 各種デジタル光送・受信器の特性, 日立電線, 2, 33~38(昭57-12)
7) J. D. Crow, et al.: Optical Fibers for Computer Systems, Proc. IEEE 68, 10, 1275~1280(Oct., 1980)
8) 小特集・産業用光伝送システム, 日立評論, 63, 3, 153~190(昭56-3)



(a) 10Mビット/秒光伝送モジュール



(b) 32Mビット/秒光伝送モジュール

図11 中速光送受信モジュール 伝送速度10Mビット/秒(DS2203・DR2203), 32Mビット/秒(DS2302・DR2302)の外形写真を示す。いずれも24ピンDILパッケージに実装されている。