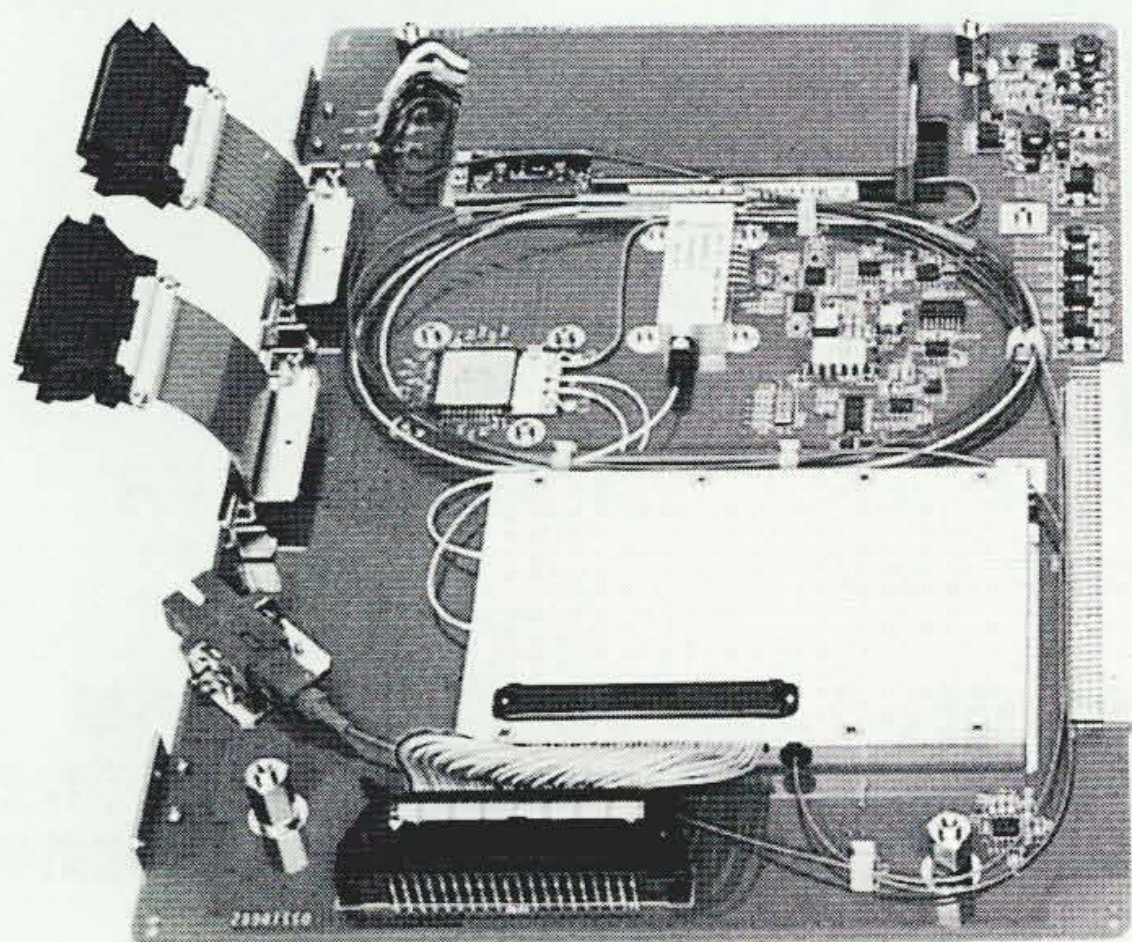


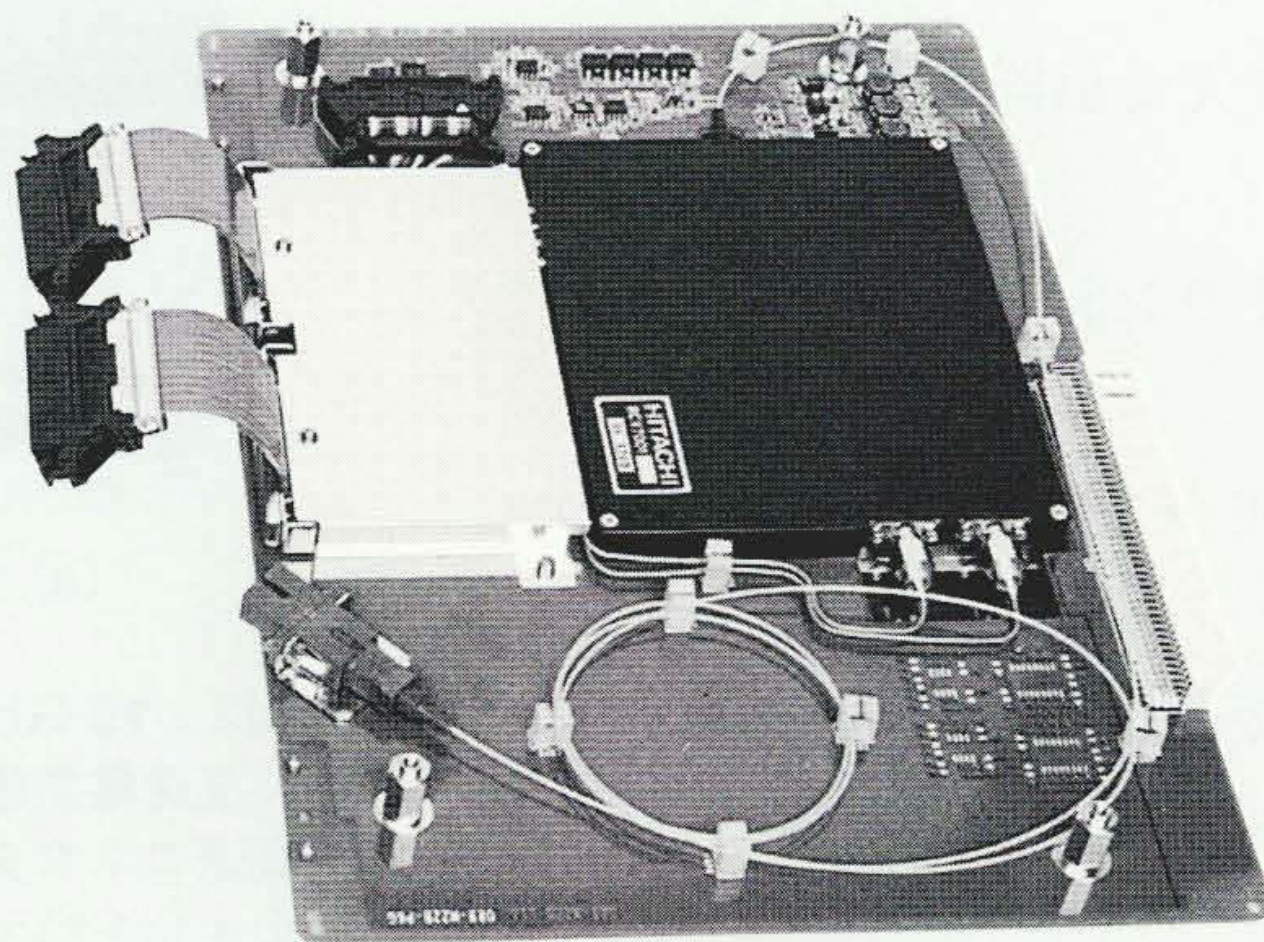
光ネットワークを支える10 Gビット/s光伝送モジュール

10-Gbit/s Optical Transmission Modules for Optical Networks

松田弘成 Hironari Matsuda 原田和英 Kazuhide Harada
武鎗良治 Ryôji Takeyari 芹澤秀幸 Hideyuki Serizawa



(a) 10 Gビット/s OSモジュール



(b) 10 Gビット/s ORモジュール

注：略語説明
OS (Optical Sender)
OR (Optical Receiver)

DWDM (高密度波長多重)
システム対応のOS/ORモ
ジュール

電気信号の入出力を取り扱
いやすい622 Mビット/s以下
にし、基板上に16:1多重IC、
1:16分離ICを搭載したカー
ドタイプのモジュールである。

日立製作所は、光ネットワークシステムを支える10 Gビット/s光伝送モジュールを開発した。これは、E/O (Electrical/Optical) とO/E (Optical/Electrical) 変換モジュールをベースとして標準化が進められてきたITU-T (国際電気通信連合 電気通信標準化部門) の国際標準の一つ“V-64.2”適用コードに対応したものである。

ユーザーが10 Gビット/sという高周波信号を直接取り扱う必要がないように、622 Mビット/s以下の比較的低い周波数の信号を取り扱うことのできる光モジュールとして、OS/OR (Optical Sender/Optical Receiver) モジュールも開発した。OS/ORモジュールは、光トランスミッタ・レシーバと多重・分離回路をそれぞれ基板上に搭載したタイプのものである。

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing: 高密度波長多重) システムに対応するために、この10 Gビット/s OSモジュールに波長安定化用の波長ロックなどを追加搭載することにより、ITU-T標準に準拠した波長仕様の、32波多重が可能な波長安定度を実現した。これにより、全伝送容量が320 Gビット/sに相当するシステムの構築が可能となった。

1 はじめに

近年、マルチメディアサービスの需要が急増し、長距離・大容量伝送を担う光ネットワークの構築が国内外で活発化している。現在商用化している最高伝送速度の10 Gビット/sの容量を超える光ファイバ通信として、DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing: 高密度波長多重) システムが脚光を浴びている。

DWDMシステムでは、1本の光ファイバで異なった波長の光信号を多重して伝送することから、隣接する光波長の信号どうしが干渉しないように、波長変動を抑制できる光伝送モジュールが必須となる。

また、多様化する光通信の需要に対応して、ITU-T (国際電気通信連合 電気通信標準化部門) でさまざまな標準化が進められており、構築する光ネットワークのシステム仕様に合わせて、光ファイバや伝送距離などによって分類される適用コードに対応する光伝送モジュールの開発が求められている。

日立製作所は、多様化した需要にこたえるため、主に以下の3種類の10 Gビット/s光伝送モジュールを開発してきた。

(1) 通常の10 Gビット/sの電気—光変換光トランスミッタと10 Gビット/sの光—電気変換光レシーバをペアにしたもの

(2) 10 Gビット/s電気インタフェースを、取り扱いやすい622 Mビット/s×16チャンネルの信号速度にしたもの

これは、通常の光トランスミッタと622 Mビット/sの16チャンネル並列信号を10 Gビット/sに多重する回路を搭載したカードタイプ光送信器と、通常の光レシーバと10 Gビット/sの直列信号を16チャンネル並列信号に分離する回路を搭載したカードタイプ光受信器をペアにしたものである。

(3) 送受信器を一体にした、トランシーバ型のカードタイプ光モジュール

ここでは、開発した光伝送モジュールのうち、(1)の通常の光トランスミッタ・レシーバのペアと、(2)のDWDM対応で、カードタイプの光送受信器の2例について述べる。

2 10 Gビット/s光伝送モジュール

10 Gビット/s 光トランスミッタ・レシーバの機能ブロックダイアグラムを図1に示す。光トランスミッタ・レシーバは、放熱フィンを変更することにより、カードタイプのモジュールにも使用できるようにした。

光トランスミッタは、(1) EM(External Modulator: 外部変調器)集積化DFB(Distributed Feedback)レーザダイオード モジュール、(2) 10 Gビット/s EM駆動IC、(3) APC(Automatic Power Control)回路、(4) ATC(Automatic Temperature Control)回路、(5) モニタ回路、および(6) アラーム回路から成っている。

光レシーバは、(1) pinホトダイオードと前置増幅器一体化モジュール、(2) AGC(Automatic Gain Control) IC、(3) クロック・データ再生IC、(4) VCO(Voltage-Controlled Oscillator)、(5) モニタ回路、および(6) ア

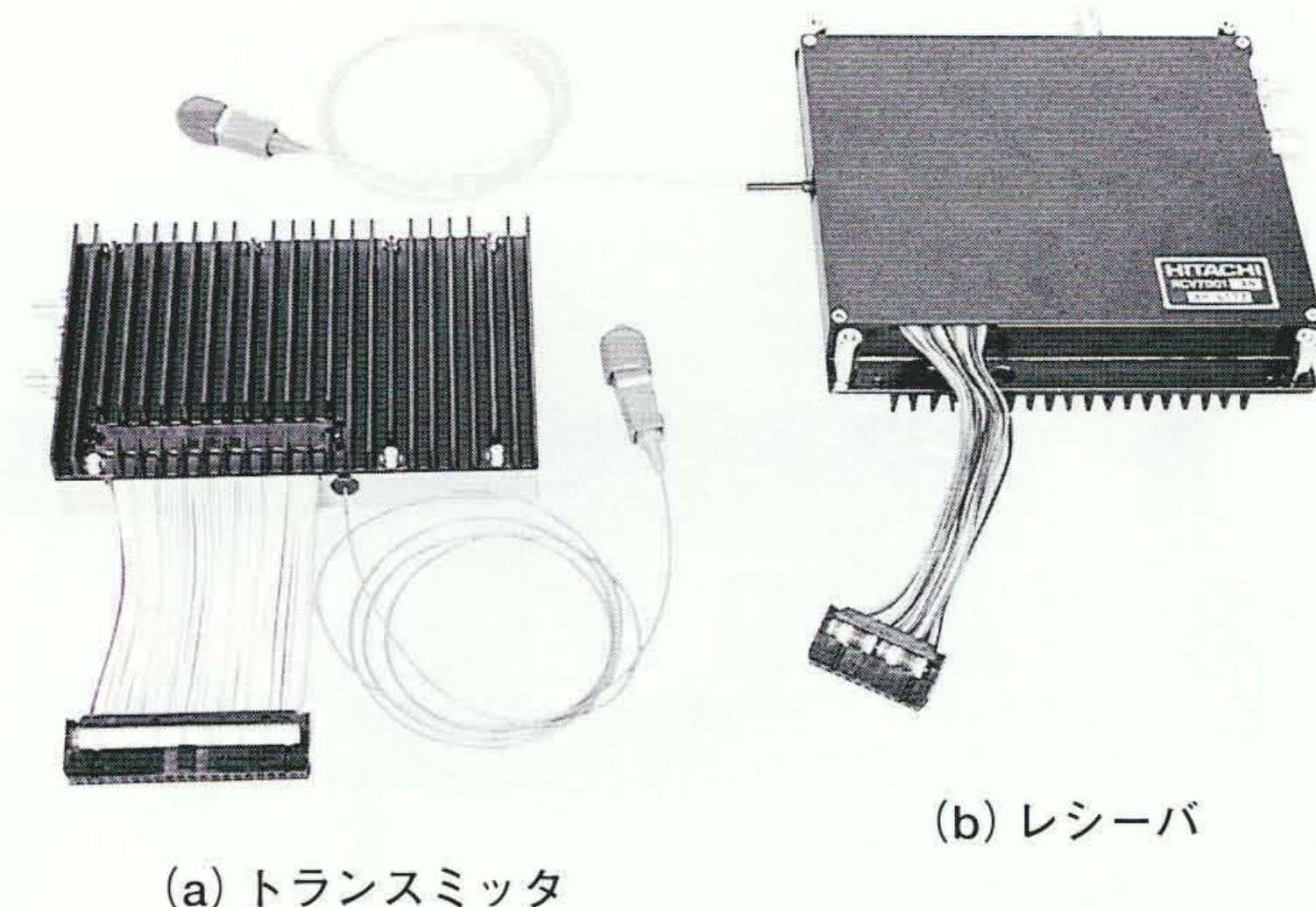


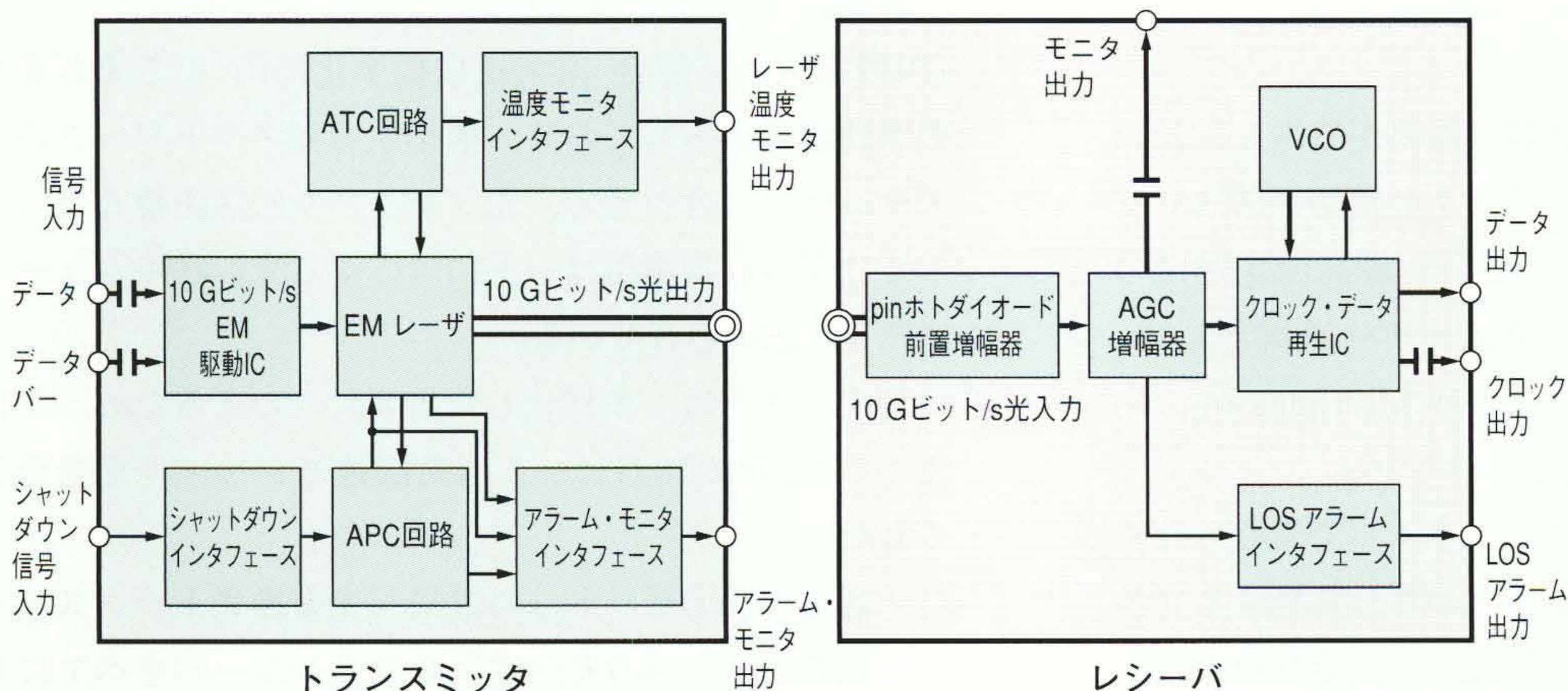
図2 10 Gビット/s光トランスミッタ・レシーバの外観

高速電気信号と電源・制御信号・アラーム・モニタをそれぞれ高速コネクタとリボンケーブルに分け、実装に伴う高速電気特性の劣化を抑えている。

ラーム回路から成っている。光トランスミッタ・レシーバの外観を図2に示す。

ITU-T適用コードの中で、S-64.2適用コードに対応する光トランスミッタ・レシーバの主要特性を表1に示す。S-64.2に対応するシステムは、G.652の通常分散ファイバを伝送媒体とし、最大分散量800 ps/nm、伝送距離40 kmをEDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier)なし、分散補償ファイバなしで伝送するシステムである。S-64.2対応の光モジュールの特性は、EM集積化DFBレーザモジュールの特性改善によって達成することが可能になった。さらに、この光トランスミッタは小型化することができ、システム設計上の利点となっている¹⁾。

S-64.2対応の光モジュール以外の1.5 μm帯光トランスミッタ・レシーバも、同様のサイズで開発した。S-64.2対応仕



注1: 略語説明

LOS (Loss of Signal)

注2: (光信号)

— (高速電気信号)

— (制御信号・アラーム・モニタ)

図1 10 Gビット/sトランスミッタ・レシーバの機能ブロックダイアグラム

光トランスミッタではEM集積化DFBレーザダイオードモジュール、光レシーバではpinホトダイオードと前置増幅器一体化モジュール、クロック・データ再生ICなどを搭載し、小型化を図っている。

表1 S-64.2対応の光トランスミッタ・レシーバの主要特性
図2、3からもわかるように小型・低消費電力化を実現しつつ、ITU-T適用コードの仕様を満足している。

パラメータ		記号	最小	標準	最大	単位	条件
送信	平均光出力	Po	-1.0	—	2.0	dBm	ポイントS
	ピーク波長	λp	1,530	—	1,560	nm	
	消光比	ER	8.2	—	—	dB	
	サイドモード抑圧比	Sr	30	33	—	dB	
	伝送ペナルティ	Pd	—	—	2.0	dB	+800 ps/nm, *
	消費電力	Pc	—	4.0	10.0	W	
	容積	—	75×117×23			mm ³	コネクタ含まず。
受信	動作波長範囲	λo	1,480	—	1,580	nm	
	最小受信電力	Pr-min	—	—	-14	dBm	*
	最大受信電力	Pr-max	0.0	—	—	dBm	*
	ジッタジェネレーション	—	—	—	0.1	U _{lpp}	
	消費電力	Pc	—	5.0	10.0	W	
	容積	—	125×125×24			mm ³	コネクタ含まず。

注2：略語説明
NRZ(Non-Return to Zero)
PRBS(Pseudo-Random, Binary Sequence)
BER(Bit Error Rate)

注1：*9.95328 Gビット/s NRZデータレート，マーク率50%，PRBS=2³¹-1，BER=10⁻¹²

様の光トランスミッタ・レシーバのファイバ伝送特性を図3に示す。ファイバ伝送の光パワーペナルティは、ITU-Tの勧告値の2 dB未満を問題なく実現していることがわかる。

3 DWDMシステム用光モジュール

10 Gビット/sのOS/OR(Optical Sender/Optical Receiver)モジュールペアの機能ブロックダイアグラムを図4に示す。OS/ORモジュールペアは、通常の光トランスミッタ・レシーバモジュールペアを多重・分離回路などといっしょに基板上に搭載した、カードタイプのモジュールである。

OSは、(1) 10 Gビット/s光トランスミッタ、(2) 16：1 MUX(Multiplexing)IC、(3) PLL(Phase-Locked Loop)モジュール、(4) 同軸タイプのリボンケーブルなどから成っている。さらに、DWDM 光ネットワークシステム用には、隣接の光波長と干渉しないように、波長ロックモジュールと光カップラ、および制御回路が必要となるため、これらを同一基板上に搭載した。ORは、10 Gビット/s光レシーバ、1：16DMUX(Demultiplexing)IC、同軸タイプのリボンケーブルなどから成っている。このOS/ORモジュールは、電気信号の入出力が10 Gビット/sではなく622 Mビット/s以下の周波数の信号なので、取り扱いが比較的容易なモジュールである。開発したDWDM対応のOSモジュールでは、ITU-T標準に準拠した、100 GHz波長間隔を満足する特性の±0.08 nm(±10 GHz)の波長安定性を実現することができた。このことは、このOS/ORモジュールは、少なくとも32波波長分割多重でき、320 Gビット/s伝送のDWDMシステムに使用できることを示す²⁾。

DWDMシステム対応のOS/ORモジュールペアの伝送特性を図5に示す。図3とは異って、OSモジュールとORモジュールとは、通常分散ファイバを介して160 km離れて位置し、EDFAとDC(Dispersion Compensator：分散補償器)とを使用したシステム構成で特性測定を行っている。この特性測定条件は、ITU-Tの適用コードでは、V-64.2のシステム構成に相当する。OS/OR間の通常分散ファイバは、全分散値が+2436 ps/nmに相当することになる³⁾。図5から、このOS/ORペアを用いたシステム構成で、最小受信感度と伝送ペナルティの主要特性が、ITU-TのV-64.2適用コードの要求条件を実現していることが

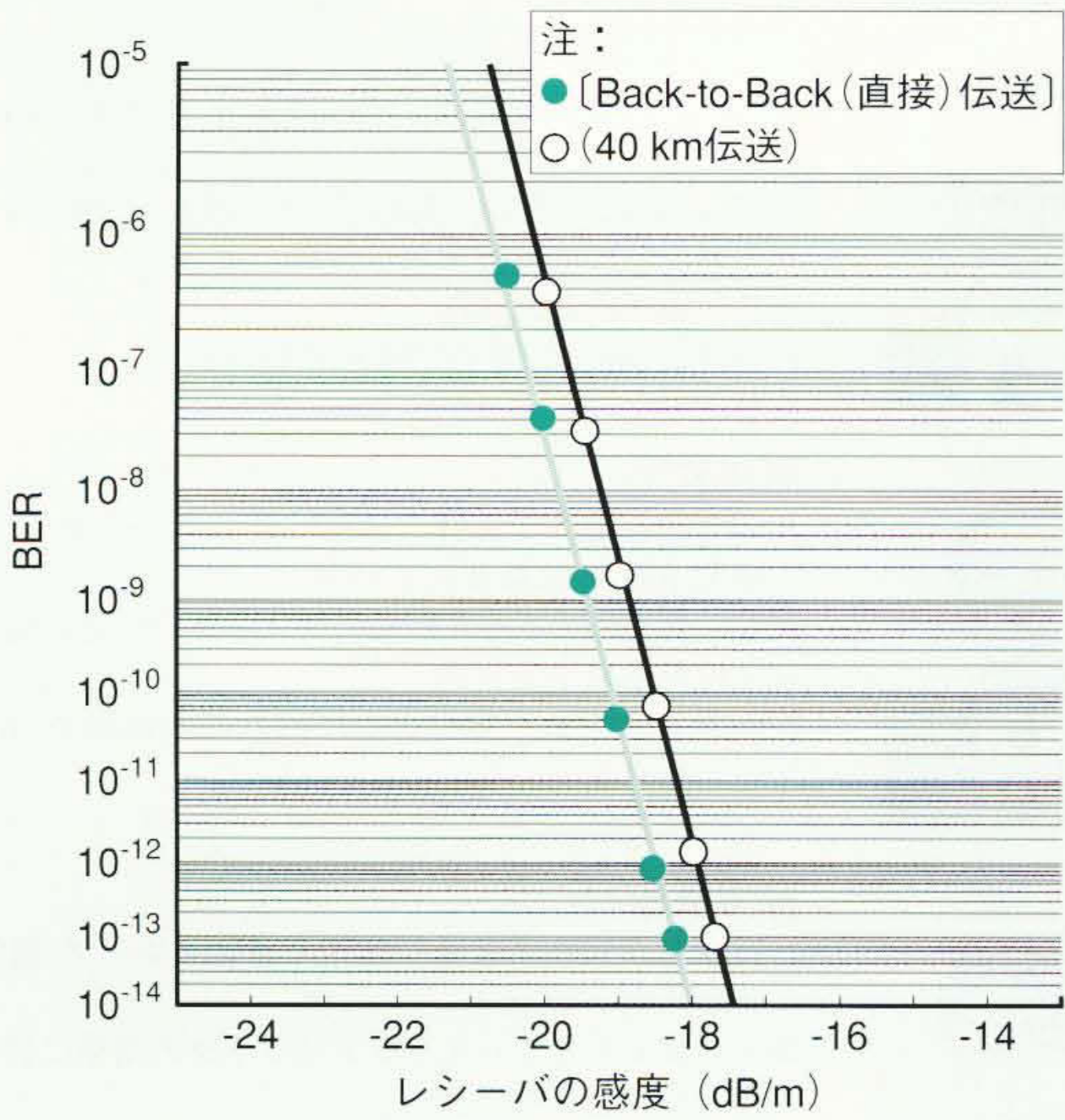


図3 S-64.2対応の光トランスミッタ・レシーバのファイバ伝送特性
通常ファイバ40 km伝送後でファイバ分散による劣化が仕様範囲内に抑えられていることがわかる。

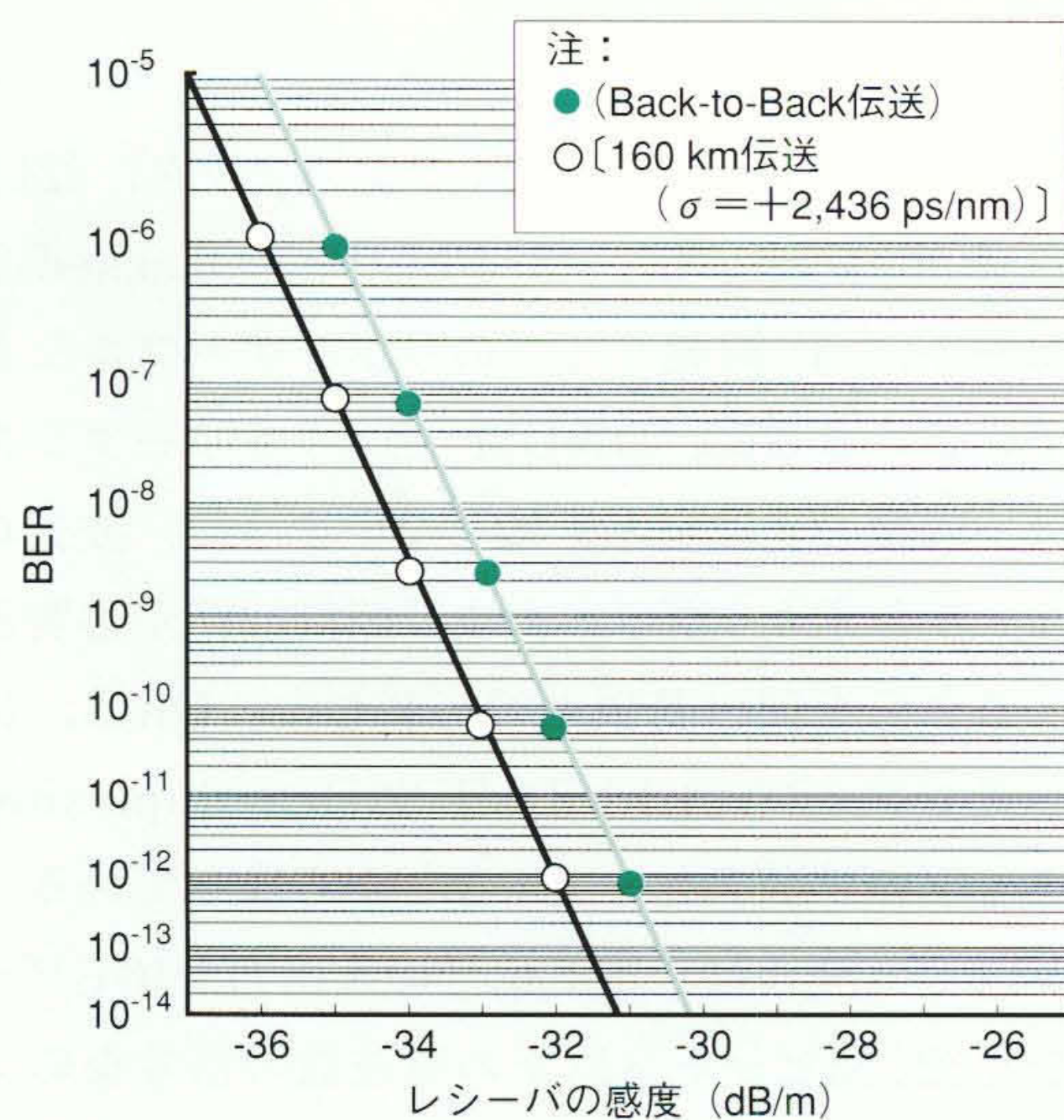
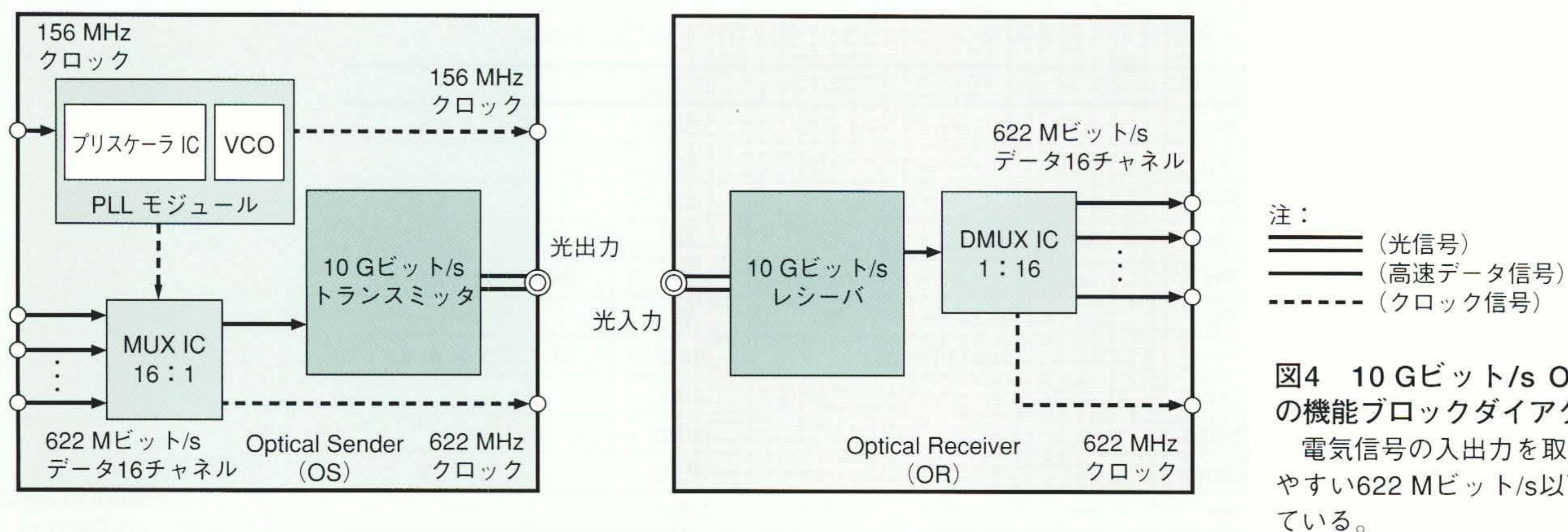


図5 V-64.2適用コード対応OS/ORのファイバ伝送特性
 通常ファイバ160 km伝送後で、ファイバ分散による劣化が仕様範囲内に抑えられていることがわかる。

わかる。

4 おわりに

ここでは、日立製作所が開発した、光ネットワークシステムを支える10 Gビット/s光伝送モジュールのうち、基本となる光トランスミッタ・レシーバモジュール、ITU-T勧告に従う種々の適用コードに対応したOS/ORモジュール、およびDWDMシステム対応のOS/ORモジュールについて述べた。

今後は、さらなる伝送容量向上を目指して、10 Gビット/sでの波長多重数の増強あるいは40 Gビット/s光伝送モジュールの開発を行っていく。

参考文献

- 1) H. Serizawa, et al.: Compact 10 Gbit/s Transmitter Module Using a Modulator Integrated DFB-LD and a Monolithic Driver IC, IEEE/LEOS CLEO/Pacific Rim '97, THD-1, p.45(1997)
- 2) 尾島, 外: 高密度波長多重による光ネットワークシステム, 日立評論, 81, 9, 587~590(平11-9)
- 3) H. Nakano, et al.: IEEE Photonics Technology Letter, Vol.7, pp.626-628(1995)

執筆者紹介



松田弘成

1982年日立製作所入社、情報・通信グループ 通信システム事業本部 光部品センタ 所属
 現在、10 Gビット/s光伝送モジュールの開発に従事
 電子情報通信学会会員
 E-mail: hironari_matsuda @ cm. tcd. hitachi. co. jp



武鎗良治

1986年日立製作所入社、中央研究所 オプトエレクトロニクス研究部 所属
 現在、10 Gビット/s、40 Gビット/s光伝送装置のサブシステムおよびICの研究開発に従事
 電子情報通信学会会員
 E-mail: takeyari @ crl. hitachi. co. jp



原田和英

1984年日立製作所入社、情報・通信グループ 通信システム事業本部 光部品センタ 所属
 現在、10 Gビット/s光伝送モジュールの開発に従事
 電子情報通信学会会員
 E-mail: kazuhide_harada @ cm. tcd. hitachi. co. jp



芹澤秀幸

1992年日立製作所入社、情報・通信グループ 通信システム事業本部 光部品センタ 所属
 現在、10 Gビット/s光トランスミッタの開発に従事
 電子情報通信学会会員
 E-mail: hideyuki_serizawa @ cm. tcd. hitachi. co. jp