

国際標準同期伝送方式(SDH)用 光インタフェースモジュール

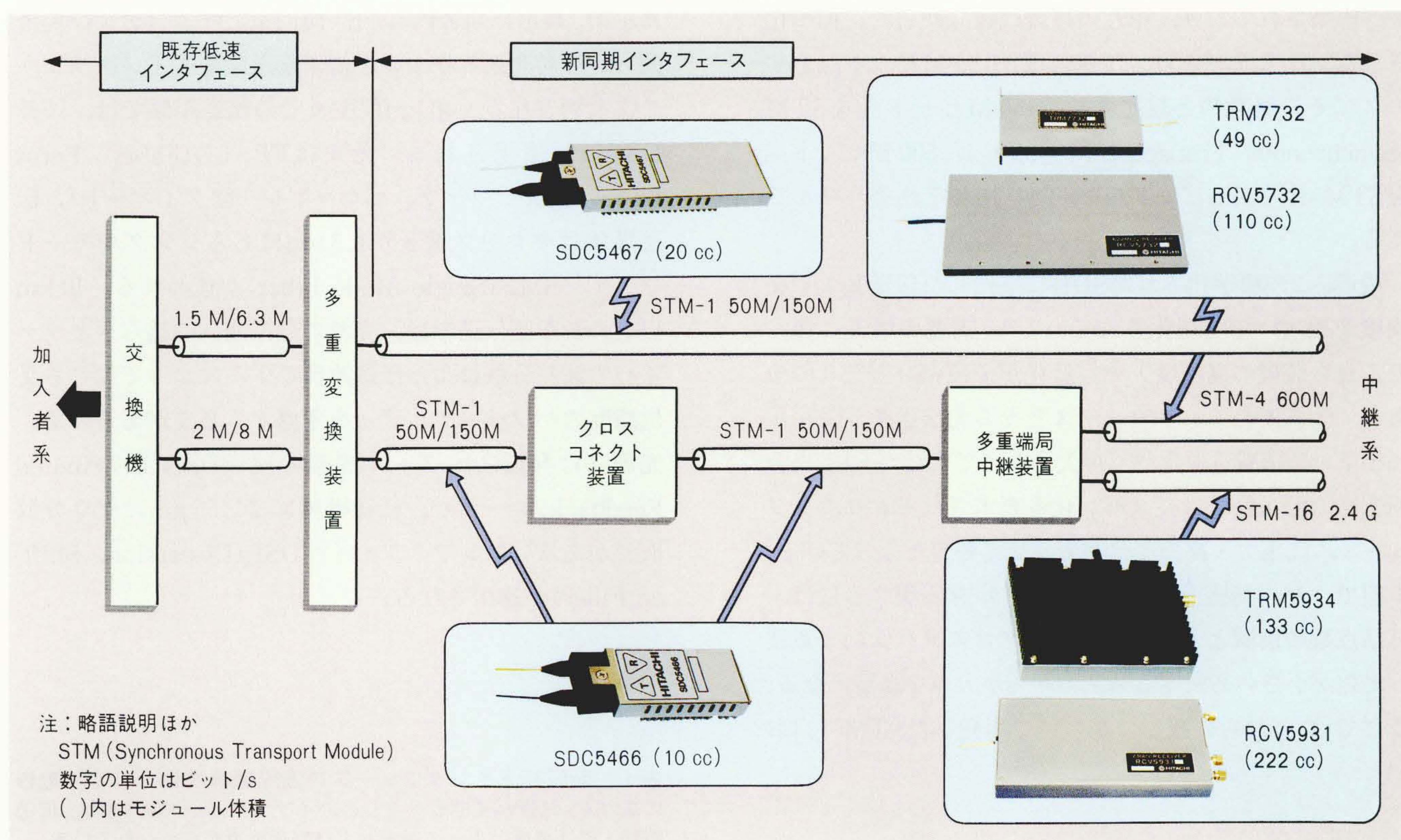
Optical Interface Module for Synchronous Digital Hierarchy

山下喜市* Kiichi Yamashita

原田和英** Kazuhide Harada

中田雅也** Masaya Nakata

山田靖浩** Yasuhiro Yamada



新同期伝送システムの基本構成例と光インタフェースモジュール製品群 モジュール製品群は新ハイアラークSTM-1(150 Mビット/s), STM-4(600 Mビット/s), およびSTM-16(2.4 Gビット/s)に適用できる。

CCITT(国際電信電話諮問委員会)で標準化された新同期伝送ハイアラークSDH(Synchronous Digital Hierarchy)に準拠したSTM-1(150 Mビット/s), STM-4(600 Mビット/s)およびSTM-16(2.4 Gビット/s)システムに適用可能な光インタフェースモジュールを製品化した。送受信回路の高集積IC化による部品点数の削減と搭載部品の高密度実装などによって小型化を図った。

STM-1, 4用送受信回路のIC化にはSi-バイポーラ

プロセスを, STM-16用送受信回路のIC化にはGaAsMESFETプロセスを適用した。開発した各種モジュールのうちSTM-1用については, 局内伝送用および局間伝送用とも送受一体型であり, 既存モジュールに比べて最小の体積10 cc(当社比 $\frac{1}{4}$)および20 cc(同 $\frac{1}{5}$)を達成した。これらモジュールは, SDHに準拠した伝送装置や交換機などに幅広く適用することができる。

* 日立製作所 光技術開発推進本部 工学博士 ** 日立製作所 光技術開発推進本部

1 はじめに

公衆通信網では、広帯域ISDN (Integrated Services Digital Network) の構築に向けて1988年にCCITT (国際電信電話諮問委員会) 勧告により、新しい同期伝送ハイアラキSDH (Synchronous Digital Hierarchy) が国際標準化された¹⁾。それまでのわが国や北米、欧州では、図1に示すようなそれぞれ独自のハイアラキで通信網が構築されており、相互の接続は難しかった。標準化されたハイアラキは、伝送速度が150 Mビット/sをベースにその整数倍と規定され、150 Mビット/sをSTM (Synchronous Transport Module)-1、600 Mビット/sをSTM-4、2.4 Gビット/sをSTM-16とそれぞれ呼んでいる。

最近、この標準化されたSDHに準拠した伝送装置や交換機が相次いで実用化されている²⁾。需要の増大に伴ってこれら装置の高密度・大容量化が必須(す)となりつつあり、装置間のインタフェースとなる光伝送モジュールの小型・低消費電力化が不可欠となってきた。一方、局舎間を結ぶ伝送路では長スパン化も要求されており、モジュールの高出力・高感度化があわせて必要となっている。小型で、かつ高感度光伝送モジュールを実現するには、部品点数の削減とともに信号間のクロストークによる波形劣化が小さい高密度実装法の開発が大きな課題となる。ここでは、これらの観点に基づいて開発したSTM-1, 4お

よび16対応システムに適用可能な光インタフェースモジュールの性能と特長について述べる。

2 SDH光インタフェースの国際標準規格

CCITT勧告では、SDH光インタフェース規格を伝送速度や距離に対して適用波長、伝送媒体、光源、伝送特性、光デバイス特性など細部にわたって規定している。光インタフェース規格の主な項目をまとめたものを表1に示す。規格は局舎内(以下、局内系と呼ぶ。)および局舎間(以下、局間系と呼ぶ。)を結ぶ伝送路の光インタフェースに大別される。40 km程度までの伝送距離では、波長1.3 μmが適用される。光源はFP-LD (Fabry Perot Laser Diode: ファブリペロー型レーザダイオード)、伝送媒体はゼロ分散波長が1.3 μmにあるシングルモードファイバSMF (Single Mode Fiber) が使われる。40 km以上の長距離伝送では、光源の発振波長の揺らぎとファイバの波長分散による伝送波形ひずみによって生じる受信感度のパワーペナルティを考慮する必要があるので、光源には発振スペクトル線幅の狭いDFB (Distributed Feedback) レーザが、伝送媒体には1.55 μmにゼロ分散波長がある分散シフトファイバDSF (Dispersion Shifted Fiber) が適用される。

表1 新同期光インタフェースの国際標準規格 CCITT勧告に基づく、伝送ハイアラキごとのインタフェース標準規格、伝送距離・伝送速度によって送信および受信電力が定められている。

適用分野		局内伝送	局間伝送				
			短距離		長距離		
適用波長(nm)		1,310	1,310	1,550	1,310	1,550	
伝送媒体		SMF	SMF	SMF	SMF	SMF	DSF
伝送距離(km)		≦ 2	～15		40	～60	
送信電力(dBm)	STM-1 (150Mビット/s)	送信	-8～-15		0～-5		
		受信	-8～-23		-10～-34		
	STM-4 (600Mビット/s)	送信	-8～-15		+2～-3		
		受信	-8～-23		-8～-28		
	STM-16 (2.4Gビット/s)	送信	0～-5			+1～-4	0～-5
		受信	0～-18		-10～-26	-9～-26	-10～-26

(受信電力はビットエラーレートPe = 10⁻¹¹で規定)

注: 略語説明 SMF (Single Mode Fiber)
DSF (Dispersion Shifted Fiber)

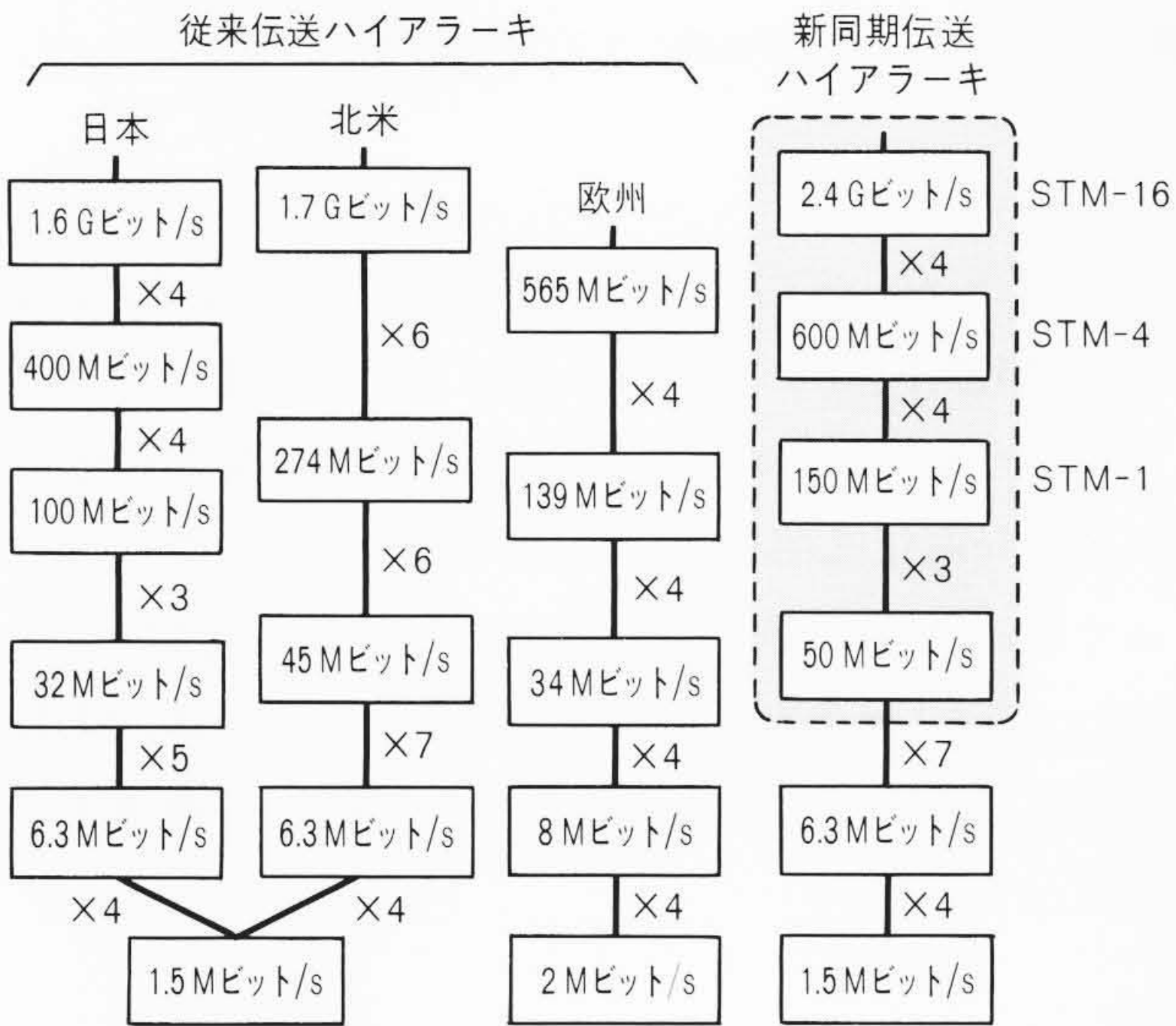
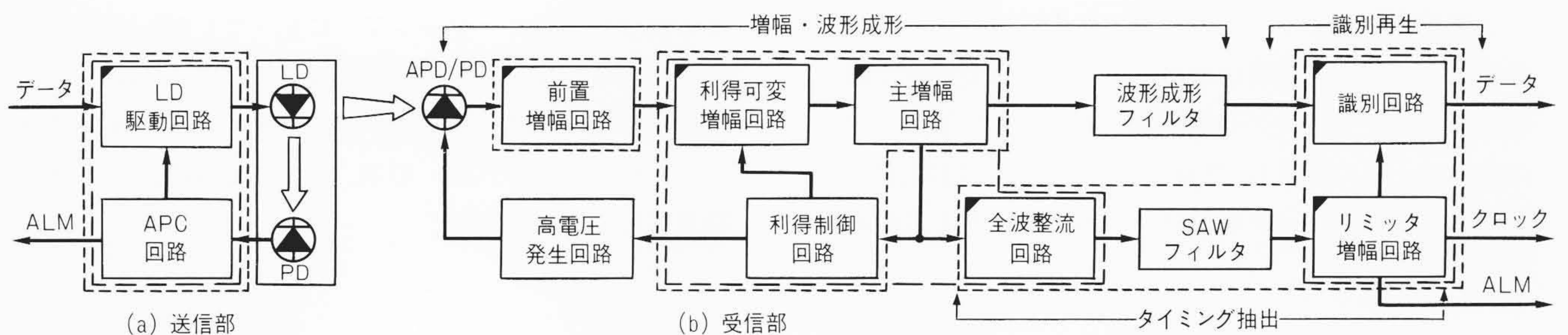


図1 新同期伝送ハイアラキ 従来、日本、北米、欧州で異なっていた伝送ハイアラキが、150 Mビット/s × Nの伝送速度に統一されている。

3 光インタフェースモジュール構成と高密度実装技術

3.1 モジュール構成

STM-1, 4, 16用モジュールとも、機能としては受信信号の増幅・波形整形、識別再生およびタイミング抽出の3機能と光出力断、光入力断検出機能ALM(Alarm)を持っている。モジュールの基本構成を図2に示す。送信部は、半導体レーザとLD駆動回路、光出力を一定に維持するためのAPC(Automatic Power Control)回路で構成している。受信部は、APD(Avalanche Photodiode: 局間伝送用)またはPD(Photodiode: 局内伝送用)、受信信号を増幅・波形成形する増幅回路、利得制御回路、フィルタ、および波形成形された信号の“1”, “0”レベルを識別し、デジタル信号に変換する識別再生回路、受信信号から非線形処理によってクロック成分を抽出・振幅制限する全波整流、リミット増幅回路、フィルタから成る。ここで、波形成形に低域通過フィルタを、クロック成分抽出にSAW(Surface Acoustic Wave)フィルタを用いている。



注：略語説明ほか

SAW (Surface Acoustic Wave), APC (Automatic Power Control), APD/PD (Avalanche Photodiode/PD), LD (Laser Diode), ALM (Alarm)

□ (150Mビット/s Si-IC), □ (600Mビット/s Si-IC), □ (2.4Gビット/s GaAs-IC)

図2 光インタフェースモジュールの基本構成およびICチップ分割 主要回路は150 Mビット/s, 600 Mビット/s用がSi-バイポーラ2.4 Gビット/s用がGaAsMESFETデバイスでIC化されている。高電圧発生回路はAPDの場合だけ使用している。

表2 光インタフェースモジュール用送受信ICの種類 150 Mビット/s, 600 Mビット/sではSi-バイポーラを, 2.4 Gビット/sではGaAsデバイスを用いた。

伝送速度 (ビット/s)	プロセス (L_E/L_g)	送 受 信 IC						
		L D 駆動	前置増幅	利得可変増幅	主 増 幅	全波整流	識別再生	リミット増幅
150 M	Si-バイポーラ ($2\mu\text{m}$)	○	ハイブリッド		○			○
600 M	Si-バイポーラ ($1\mu\text{m}$)	○	○	○			○	
2.4 G	GaAsMESFET ($0.8\mu\text{m}$)	○	○	○	○	○	○	○

注：略語説明ほか L_E (エミッタ幅), L_g (ゲート長), ○印(IC 1チップに対応)

3.2 高密度実装技術

モジュールの小型化を実現するには、IC化による部品点数削減と搭載部品の高密度実装が必須である。以下、これらについて述べるが、後者については著しい小型化の成果が上がったSTM-1用光インタフェースモジュールを例にあげて紹介する³⁾。

(a) IC化技術

送受信ICの実現性は、伝送速度とデバイス性能によって難易度が異なる。したがって、ICプロセスの選択とチップ分割が重要となる。STM-1, 4, 16に対応するICチップ分割と適用プロセスを図2と表2に示す。プロセスとしては、STM-1, 4の場合、信号系と制御系の回路を同一チップに収納できるSi-バイポーラプロセスを適用した。エミッタ幅はそれぞれ $2\mu\text{m}$ および $1\mu\text{m}$ である。STM-16の場合、高速動作が期待できる $0.8\mu\text{m}$ GaAsMESFET (Metal Semiconductor Field Effect Transistor)プロセスを適用した。STM-1, 4の場合、制御回路を信号系回路と同一チップ上に収納できるので、3チップ構成とした。なお、STM-1の場合、前置増幅回路をハイブリッドIC化した。初段には高感

度化に有効なGaAsFETを採用し、長距離伝送にも対応可能とした。STM-16の場合は、GaAsMESFETがSi-バイポーラトランジスタに比べ製造偏差がやや大きく制御系にオフセットを生じるため、信号系回路と同一チップ上に収納することは難しい。これにチップの許容消費電力をあわせて考慮し、送信1チップ、受信6チップとした。制御回路は個別部品で構成した。

(b) 高密度実装法

小型化を実現するため、同一の多層セラミック基板上に送信部と受信部を搭載し、表面実装および基板両面実装技術の導入によって搭載部品の高密度化を図った。この実装法では、送信信号と受信信号のレベル差が30 dB以上存在するので、LD駆動回路からPD-前置増幅回路から成るフロントエンドへのクロストークによる符号間干渉低減が最大の技術課題であった。符号間干渉を低減する上で留意した主な項目をまとめたものを図3に示す。クロストークは電源・接地線、信号配線の交差・並走による基板パターン間、空間を介する電磁輻(ふく)射などによって生じる。したがって、電源・接地線の信号レベルに応じた分離とインピーダンス低減、および交差・並走を避けた最短配線を実現するため、層間バイアホールを活用できる6層セラミック基板を導入した。この基板の導入によって、大信号が走る配線を中間層に埋め込み、接地層で挟んで輻射雑音を抑止できた。LD駆動回路とフロントエンドは基板の上下に配置し、フロントエンド部はLD駆動回路からのクロストークを避けるため、上下とも電磁遮

表3 STM-1用150 Mビット/s局内用モジュールの技術推移
SDC5466はバージョンV1の $\frac{1}{10}$ に小型化されている。

バージョン		V1 (1989年)	V2 (1991年)	V3(SDC5466) (1992年)
項目	構造	送受分離型	送受一体型	送受一体・ 50 M, 150 M同型
	体積	片面実装	送受基板分離	送受基板一体・ 両面実装
送受信IC	所要数	110 cc	40 cc	10 cc
	PKG	4	3	3
集積度(@IC)*		40ピンLCC, 20ピンLCC	40ピンQFP, 20ピンLCC	20ピンLCC
総部品点数*		1	1.24	1.72
SAWフィルタ		1	0.65	0.41
消費電力		0.6 cc	0.6 cc	0.2 cc
		2.6 W	2.0 W	1.3 W

注：略語説明ほか LCC (Lead-lees Chip Carrier)
QFP (Quadrature Flat Package)
PKG (Package)
* (相対値)

へいを施した。
以上の施策によって製品化したSTM-1用モジュールV3の位置づけと特長を表3に示す。同一基板で送受一体型構造がこの製品の特長であり、局内用で体積10 cc、局間用で20 ccを達成できた。現在、これらは市販されているモジュールではいずれも最小クラスである。IC化による集積化率はバージョンV1に比べて1.6倍、消費電力は $\frac{1}{2}$ である。なお、同じ技術を適用してSDHにのっとった局内および局間用50 Mビット/s用インタフェースモジュールをそれぞれ同一形状、寸法で製品化したことも特長としてあげられる。

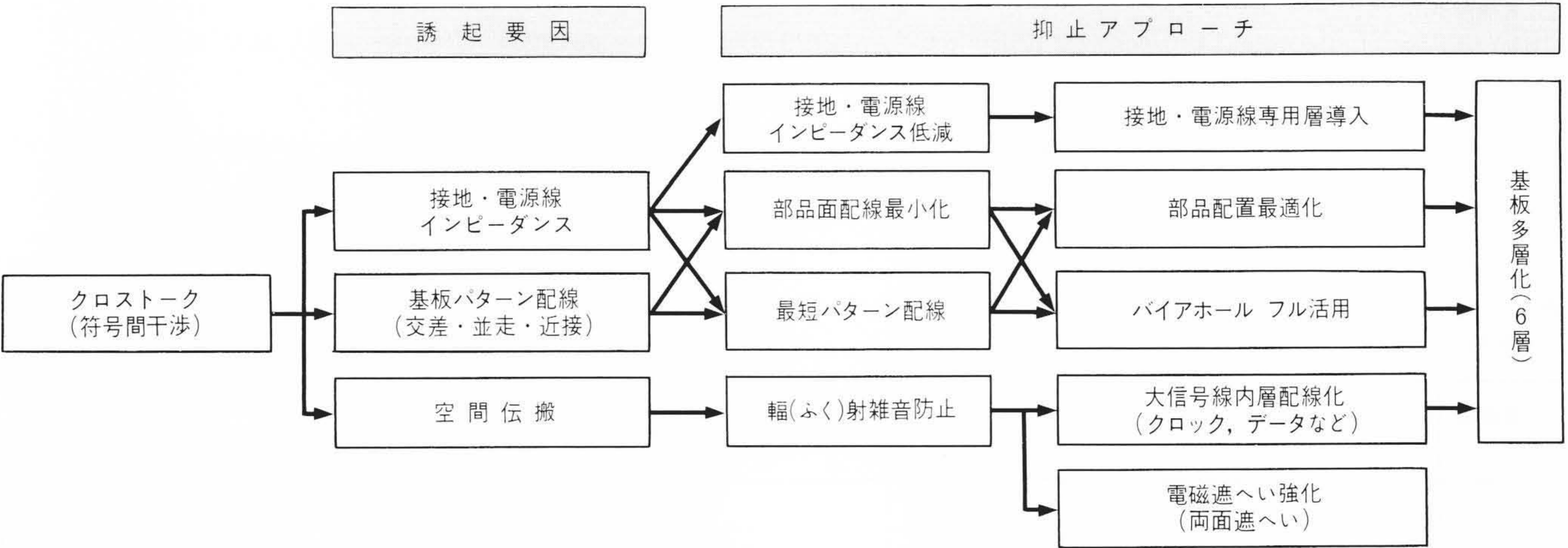


図3 STM-1モジュールの小型化におけるクロストークの誘起要因と抑止アプローチ
クロストークの誘起は接地・電源線、信号線を介する配線パターンによる場合、スプリアス信号が空間伝搬によって入力端に回り込む場合がある。多層基板の導入と電磁遮へいの強化により、クロストークの低減を図っている。

表4 新同期光インタフェース対応モジュールの主要諸元 各モジュールとも国際標準規格を満たす性能が得られている。特に、STM-1用モジュールは送受信器が一体化され、体積10 ccと小型である。

項 目		単 位	STM-1		STM-4				STM-16	
伝 送 速 度		Mビット/s	155.52		622.08				2,488.32	
伝 送 距 離		km	0.4	40	2	15	40	80	40	80
適 用 波 長		nm	1,310		1,310			1,550	1,310	1,550
構 造		—	送受一体		送受別体				送受別体	
体積(送・受)		cc	10	20	18・24	18・110	49・110		133・222	
送信モジュール	光 出 力	dBm	-10~-13	-4~-1	-12~-10		-1.0~+1.0		0~-3	+1~-2
	光 源	—	FP-LD		FP-LD		DFB-LD	DFB-LD	DFB-LD	MQW DFB-LD
	型 名	—	SDC5466	SDC5467	TRM5714	TRM5715	TRM 5712・5732	TRM7732	TRM5934	TRM7934
受信モジュール	最大受信電力	dBm	-4.5	-6.5	-4.9	-6.3	-12.4	-12.4	-8.2	-8.0
	最小受信電力	dBm	-32.5	-40.5	-28.1	-37.6	-39.0	-39.0	-32.0	-31.0
	受 光 器	—	InGaAs-PD	Ge-APD	InGaAs-PD	InGaAs-APD	InGaAs-APD		InGaAs-APD	
	型 名	—	SDC5466	SDC5467	RCV5703	RCV5702	RCV5732		RCV5931	
消費電力(送・受)		W	1.3	1.5	1.2・1.1	1.2・2.7	3.3・2.7		3.3・4.6	

注：略語説明 FP-LD (Fabry-Perot Laser Diode)
DFB-LD (Distributed Feedback Laser Diode)
MQW (Multi Quantum Well)

4 光インタフェースモジュールの主要諸元と適用例

4.1 モジュール主要諸元

開発したモジュールの製品ラインアップと主要諸元を表4に示す。

4.1.1 構造と体積

モジュールの構造を決定するには、伝送速度、消費電力、送受信器間のクロストークなどを考慮する必要がある。600 Mビット/s以上では、高速・広帯域な送受信ICが必要となるため消費電力が大きくなる。また、高速化に伴って送受信器間のクロストークも増える。このため、送受信器の一体化が難しく、別体型とした。これに対し、150 Mビット/sでは消費電力、クロストークとも軽減できるので送受信器を一体型とし、小型化を図った。40 km以上の長距離用モジュールの体積比は、STM-1を1とすると、STM-4, 16はそれぞれ8, 18で、4倍の高速化に対し、その増加割合はほぼ比例している。

4.1.2 光源・受光器

光源や受光器として用いる光素子は、伝送速度や距離によって異なる。ファイバの材料分散によるパワーペナルティ(波形ひずみによる受信感度の劣化量)が生じやすい600 Mビット/s, 40 km以上の用途には、発振スペクト

ル線幅の狭いDFB-LDを用いた。また、ペルチェ素子を用いてLDの温度制御を行い、発振波長の安定化を図った。受光器には、高感度化が可能なAPDを適用した。一方、150 Mビット/s伝送では、40 km伝送時でもファイバの材料分散の影響を受け難いので温度制御の不要なFP-LDを用いた。短距離の場合、必要なスパン損失は20 dB以下であり、受光器には取り扱いの容易なPDを採用した。

4.1.3 主要特性

STM-16用送信モジュールの光出力波形と光スペクトルを代表例として図4に示す。光出力波形は4次ベッセルフィルタ通過後のもので、CCITT規定のアイマスクを満たしている。光スペクトル線幅は0.6 nm(ピーク出力の-27 dBで定義)であった。符号誤り率特性を図5に示す。STM-16用モジュールのパワーペナルティは、1.3 μm, 40 km伝送時に0.2 dBであり、1.55 μm, 70 km伝送時に1.4 dBであった。また、STM-1, 4用モジュールの40 km伝送時でのパワーペナルティは、0.1 dB以下であった。光送信電力の温度変動は0~65℃の範囲で、いずれのモジュールも0.3 dB以下であった。なお、各モジュールの光送受信電力を先の表4に示したが、これらの特性は表1のCCITT規格を十分満たしている。

4.2 適用例

光インタフェースモジュールのシステム適用例を33ペ

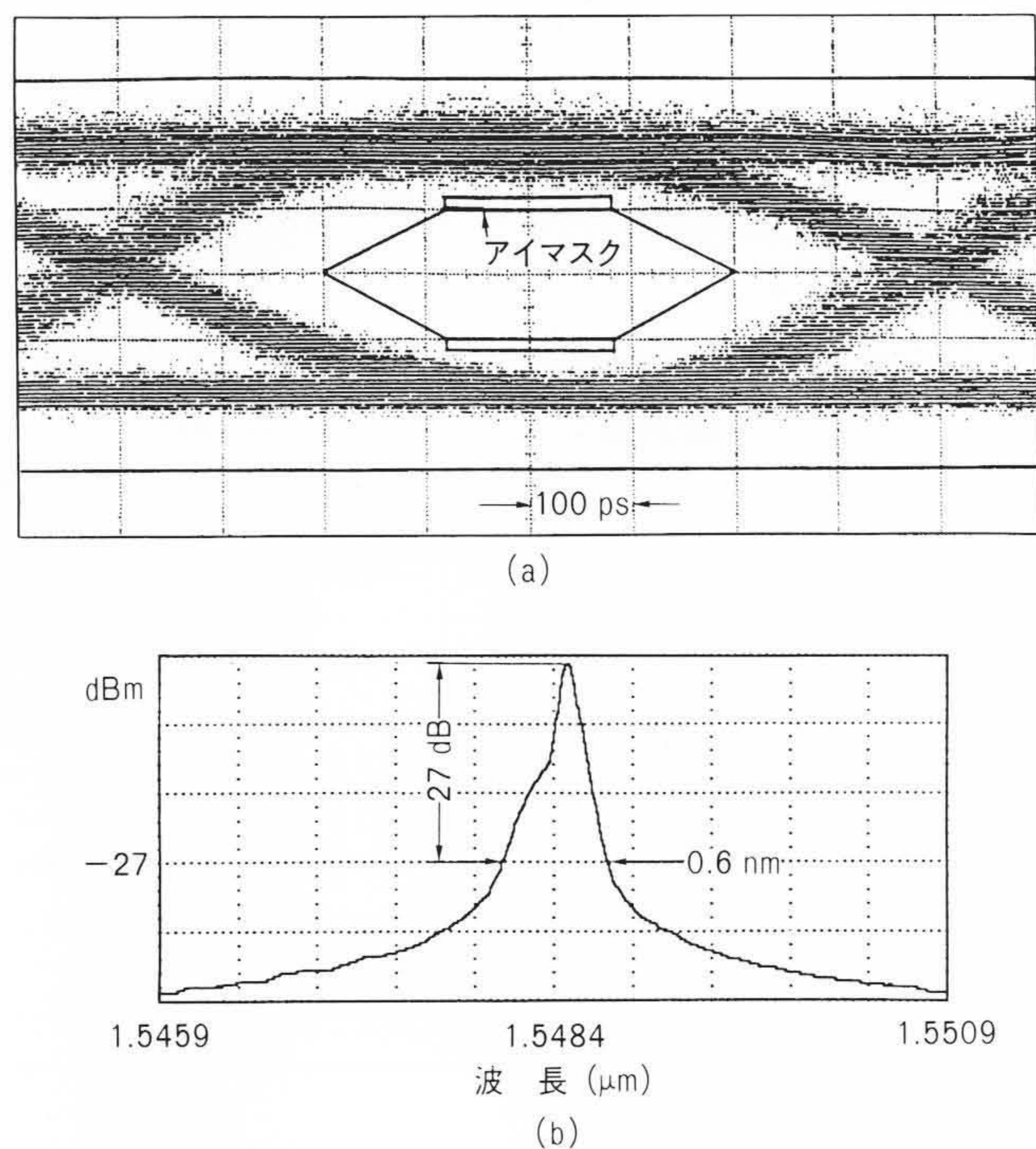
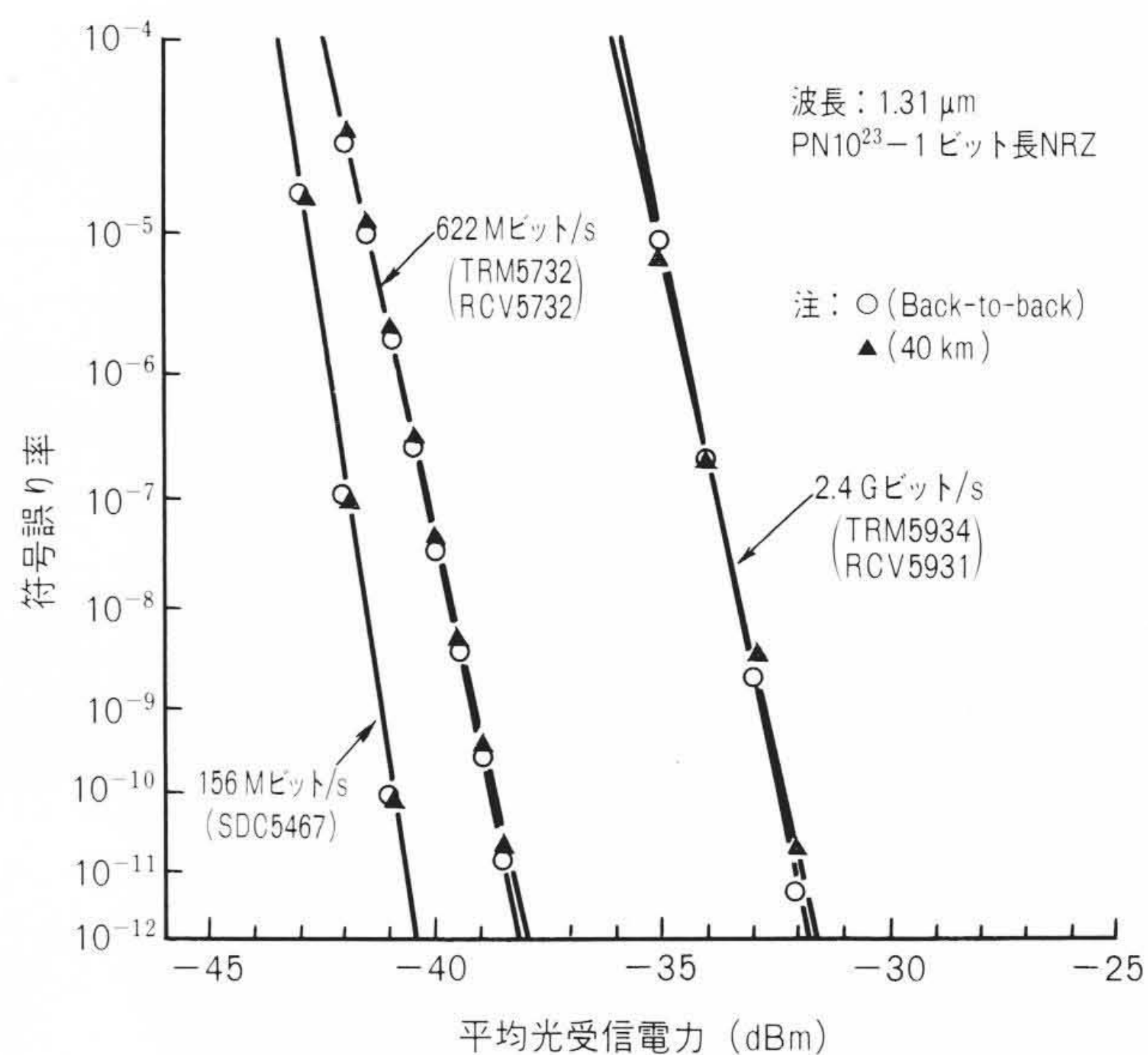


図4 STM-16用送信モジュールTRM7934の光出力特性
光出力アイパターンを(a)に、光スペクトルを(b)に示す。符号は $2^{23}-1$ ビット長擬似ランダムNRZ(Non-Return to Zero)である。

ーの図に示す。このシステムは情報化社会の進展に伴う通信網の高速化、多様化に柔軟かつ効率的に対応するために、世界に先駆けて導入されたSDH対応のシステムである²⁾。各伝送ノードには、既存の低速信号を50 Mビット/s、150 Mビット/sのSDH信号に束ねる多重化装置、多重化された信号を回線設定単位ごとに編集を行うクロスコネクト装置、および複数の50 Mビット/s信号を直接600 Mビット/sまたは2.4 Gビット/sの伝送路信号に多重化する中継伝送端局装置がそれぞれ置かれる。モジュールは必要とされるインタフェースに応じて適用されるが、局内系から中継伝送系までのすべてのインタフェースをカバーしている。

参考文献

- 1) CCITT BLUE BOOK: Recommendation G.707, G708, G709, (1989)
- 2) 横, 外: ネットワークのシンプル化と運用向上に寄与する伝送装置, NTT技術ジャーナル, Vol.1, No.6,



注: 略語説明 PN (擬似ランダム), NRZ (Non-Return to Zero)

図5 光インタフェースモジュールの符号誤り率特性 40 km伝送時のパワーペナルティは0.2 dB以下である。

5 おわりに

CCITTで標準化された新同期伝送ハイアラキーSDHに準拠したSTM-1, 4および16システムに適用可能な光インタフェースモジュールを製品化した。送受信回路の高集積IC化による部品点数の削減と搭載部品の高密度実装などによって小型化を図った。STM-1とSTM-4用送受信回路のIC化には、それぞれエミッタ幅 $2\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ のSi-バイポーラプロセスを、STM-16用送受信回路のIC化には $0.8\mu\text{m}$ GaAsMESFETプロセスを適用した。開発した各種モジュールのうち、150 Mビット/s用については、局内伝送用、局間伝送用とも送受一体型であり、既存モジュールに比べて最小クラスの体積10 cc(当社比 $\frac{1}{4}$)および20 cc(同 $\frac{1}{5}$)を達成した。

p.43~47(1989)

- 3) 中田, 外: 50, 150 Mb/s局内/局間用小型光伝送モジュール, 電子情報通信学会, 技術報告資料OCS92-9(1992-05)