

MITSUBISHI

三菱電機技報

Vol.68 No.6

特集 “発展する光通信”

'94 **6**



特集 “発展する光通信”

目 次

特集論文

光通信研究の現状と展望—社会的課題と先端技術的課題— 大越孝敬	1
三菱電機における光通信システムの歩み 伊東克能	2
三菱電機における光通信用部品の歩み 陶山昌雄・三宅良雄	8
三菱電機における光通信用半導体デバイスの歩み 三井 茂・池田健志	12
光増幅中継器回路 北山忠善・松下 究・本島邦明・山下純一郎・仲川栄一・井田幸彦	16
SDH 600Mbps 多重端局終端装置 溝口隆宏・大槻幸子・内山律浩・高橋 章・笈川 浩・見目一男	20
大容量 CT/RT 光加入者線多重伝送装置 手島邦夫・藤田夏男・西尾 猛・片山政利・井手正樹・小浜茂樹	24
ATM 加入者線伝送装置 鈴木孝昌・本島史門之・土田 充・矢野雅嗣・野上正道・上田広之	28
高速デジタル光加入者伝送装置 鹿野朝生・西尾利香・一番ヶ瀬 広・小須田伸一・高橋 章・吉田俊和	32
FV-600M-H 1 形 HDTV 映像伝送装置 中澤宣彦・鳥羽浩史・長野宣行・高群智樹・丹治秋人・菅野典夫	36
1.5/6.3Mbps 専用線用 I インタフェース DSU 原尾 敦・原田 博・佐野利文・吉田利弘・岩元隆治	40
ATM 特性測定装置 羽根稔尚・上田広之・木田等理・土田 充・鈴木孝昌・福田雅裕	44
622Mbps-16ch コヒーレント光伝送装置 水落隆司・清水克宏・下村健吉・石村栄太郎・北山忠善	49
サブキャリア多重光伝送技術とその応用 松下 究・佐藤 晋・北山忠善・手島邦夫・竹内宗昭	53
2.5Gbps 長距離伝送用 DFB レーザとそのモジュール 平野良一・青柳利隆・宮崎泰典・後藤勝彦・南原成二・増田健之	58
CATV 用低ひずみ DFB レーザとそのモジュール 山下光二・武本 彰・八田竜夫・足立明宏	62
光 FDM 用レーザアレーモジュール 金子進一・足立明宏・山下純一郎・石村栄太郎	67
光インタコネクション用半導体レーザアレー 松本啓資・西口晴美・吉田一臣・芝 哲夫・大村悦司	71
ATM システム用 LSI 山中秀昭・大久保啓示・青柳秀典・佐藤浩之・近藤晴房・沢田圭一	76
SDH インタフェース用 LSI 久保和夫・東坂範雄・植田昌弘・岡田克也・武内良祐	81

特許と新案

「半導体発光装置」「ファイバ形光増幅器及びその増幅方法」	89
「光半導体装置」	90

スポットライト

民間製造業向け統合情報制御システム “MELTAS”	86
スーパーコンパクト漏電遮断器 “NV30-CS”	87
移動体通信用簡易光基地局	88
高速パレタイズロボット “RV-T シリーズ” パレタイズ専用ロボットコントローラ “R-252C”	(表 3)

表紙

発展する光通信 —システム及び部品—

上は日本電信電話㈱千代田パイロットプラントにおいて、加入者系光化の先駆けとして利用いただいている SL-A/I 形光加入者線伝送装置の一群である。(写真提供：日本電信電話㈱)

中央は、高速端局機能及び低速終端機能を一架に統合し、自営網等において規模に応じて柔軟な装置構成が可能な 600 Mbps SDH 中継伝送装置である。

左中は 10 点レーザアレーのチップである。均一な特性のレーザの製造を可能にするプロセス技術の進歩は光加入者系等光通信の普及拡大に大きな貢献が期待される。

右下及び右は、それぞれ中継伝送システムのキーパーツである 2.5Gbps DFB レーザダイオードモジュール及び 622 Mbps 光送受信器である。



三菱電機技報に掲載の技術論文では、国際単位 “SI” (SI 第 2 段階 (換算値方式) を基本) を使用しています。ただし、保安上、安全上等の理由で、従来単位を使用している場合があります。

アブストラクト

三菱電機における光通信システムの歩み

伊東克能

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.2～7 (1994)

光通信技術に関する三菱電機技報特集号を10年ぶりに組むに当たり、三菱電機における光通信システムとそれに直結した要素技術についてのこれまでの推移を振り返りながら、最近の成果の位置付けを紹介する。次いで、将来に向けての発展の期待と展望を述べる。

大容量 CT/RT 光加入者線多重伝送装置

手島邦夫・藤田夏男・西尾 猛・片山政利・井手正樹・小浜茂樹

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.24～27 (1994)

日本電信電話(NTT)における交換機のディジタル化を経済的に実現するため、従来の中容量 CT/RT の約4倍の収容能力を持つ装置を開発した。この装置は、①アナログ電話を最大1,920加入、INS ネット64を最大128加入収容する大容量化を実現、②光伝送部は、中距離(40km)と長距離(80km)の2タイプをサポート、③主信号/クロック系は二重化、電源部は $N+1$ 重化により、高信頼性を実現したものである。

三菱電機における光通信用部品の歩み

陶山昌雄・三宅良雄

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.8～11 (1994)

光通信には、光送受信器やレーザダイオードモジュール等の光信号と電気信号の変換や光スイッチ、光増幅器等の光波領域での信号の処理を行う部品が必要不可欠である。当社では、これらの機器・部品を光電子機器として総称し、開発・製品化している。

この論文では、当社におけるこれらの機器・部品の開発状況について簡単に触れ、次に当社の最新の光電子機器製品を、その主要な応用分野ごとに詳述する。

ATM 加入者線伝送装置

鈴木孝昌・本島史門之・土田 充・矢野雅嗣・野上正道・上田広之

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.28～31 (1994)

次世代の通信網である広帯域 ISDN 網での加入者系伝送技術を確立するため、網内において加入者線を終端する ATM(Asynchronous Transfer Mode)加入者線伝送装置 SLT と加入者宅内に置かれる網終端装置 NT を試作した。加入者系では、経済化・低消費電力化が大きな課題であり、このため SLT/NT の主要機能を BiCMOS LSI によって実現した。本稿では、SLT/NT のハードウェア、ソフトウェア及び試験評価について述べる。

三菱電機における光通信用半導体デバイスの歩み

三井 茂・池田健志

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.12～15 (1994)

半導体デバイスの代表として半導体レーザに注目し、当社の半導体レーザの研究・開発の歴史、開発・製品化の現況を概観した。

多重量子井戸やひずみ多重量子井戸を使った最新の幹線系用、加入者系用、CATV 用及びファイバ増幅器励起用などの高性能な半導体レーザを製造技術上の飛躍的改善とともに紹介する。

高速ディジタル光加入者伝送装置

鹿野朝生・西尾利香・一番ヶ瀬 広・小須田伸一・高橋 章・吉田俊和

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.32～35 (1994)

高速ディジタル光加入者伝送装置を、日本電信電話(NTT)の指導の下に試作した。このシステムは、CATV や VRS の映像系サービスに加え、“INS ネット1500”や1.5Mbpsを中心とした高速ディジタル専用線サービスを、光ファイバで効率良く加入者に提供できるアクセスシステムである。装置の開発に当たっては、徹底的な LSI 化、モジュール化を行うことで小型・高密度化を実現している。

光増幅中継器回路

北山忠善・松下 究・本島邦明・山下純一郎・仲川栄一・井田幸彦

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.16～19 (1994)

光ファイバ増幅方式による海底ケーブル伝送システム用光中継器回路を国際電信電話(NTT)と共同で開発した。光中継器回路は、エルビウムドープファイバ(Erbium Doped Fiber: EDF)を用いた光増幅器を使用し、光信号を電気信号に変換することなく直接増幅できる特長を持つ。これにより、中継器回路の部品を大幅に削減し、小型化・低消費電力化・高信頼化が可能である。

本稿では、光増幅方式による中継器回路の概要について紹介する。

FV-600M-H1 形 HDTV 映像伝送装置

中澤宣彦・鳥羽浩史・長野宣行・高群智樹・丹治秋人・菅野典夫

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.36～39 (1994)

BTA スタジオ規格 HDTV 信号の都市内の近距離伝送を目的に、SDH インタフェースに準拠した FV-600M-H1 形 HDTV 映像伝送装置を日本電信電話(NTT)の指導の下に開発した。

本稿では、同装置の概要、主要機能及び性能について述べている。この装置は、NTT が始めるハイビジョン映像伝送専用線サービスに適用されるものであり、ハイビジョン衛星放送の足回り回線及びイベント中継回線等に利用される予定である。

SDH 600Mbps 多重端局終端装置

溝口隆宏・大槻幸子・内山律浩・高橋 章・笈川 浩・見目一男

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.20～23 (1994)

同期ディジタルハイアラキー(Synchronous Digital Hierarchy: SDH)に基づいた通信網の構築を目的に、長距離・大容量の伝送を行う SDH 600Mbps 多重端局終端装置を開発した。この装置は、自営網及び NCC 網への適用を主眼に、既存ディジタルハイアラキー信号と SDH 信号を装置内にユニット単位で選択することにより、混在収容可能である。また、自然空冷化を実現し、遠隔からの監視・制御機能を備え、保守・運用性の向上を図っている。

1.5/6.3Mbps 専用線用 I インタフェース DSU

原尾 敦・原田 博・佐野利文・吉田利弘・岩元隆治

三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.40～43 (1994)

高速ディジタル専用線が開設されて10年が経過し、企業通信網の構築に広く利用されている。さらに、利便性の向上を図る上で、加入者宅内に設置される回線接続装置(DSU)の小型化・経済化は重要な課題の一つである。

この論文では、従来品の1/5に小型化した1.5M/6.3Mbps高速ディジタル専用線サービス用 I インタフェース回線接続装置の構成と小型化技術について紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 24~27 (1994)

A Fiber-Optic Subscriber-Loop Carrier System (156Mbps CT/RT system)

by Kunio Teshima, Natsuo Fujita, Takeru Nishio, Masatoshi Katayama, Masaki Ide & Shigeki Kohama

This equipment was developed to enable cost-effective conversion of the exchanges of Nippon Telegraph and Telephone (NTT) Corporation to digital operation by quadrupling the capacity of existing central terminal/remote terminal (CT/RT) 32Mbps systems. The equipment supports up to 1,920 analog subscriber telephone lines and 128 INS Net 64kbps lines (basic ISDN services). The optical transmitters support medium-haul (40km) and long-haul (80km) transmissions. The main signal and clock system are redundant in composition and the power supply units employ N+1 redundancy to raise reliability.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 2~7 (1994)

Trends in Fiber-Optic Communication Systems at Mitsubishi Electric

by Katsuyoshi Ito

Introducing this special issue, the article recounts the past decade of developments in fiber-optic communication systems and related technologies at the corporation, reports recent achievements and discusses future prospects.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 28~31 (1994)

Subscriber-Line Transmission Equipment for Asynchronous Transfer Mode Networks

by Takamasa Suzuki, Shitoyuki Motojima, Mitsuru Tsuchida, Masatsugu Yano, Masamichi Nogami & Hiroyuki Ueda

In a move to actualize subscriber-line transmission technology for future broad-band ISDN networks, the corporation has trial-manufactured asynchronous transfer-mode subscriber-line terminal (SLT) equipment for use within networks, and network terminal (NT) equipment for installation in the subscriber's premises. To realize an economical, power-efficient subscriber system, the main SLT and NT functions are implemented in BiCMOS LSI devices. The article describes the hardware, software and test results of this equipment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 8~11 (1994)

Trends in Mitsubishi Electric's Fiber-Optic Communication Products

by Masao Suyama & Yoshio Miyake

Fiber-optic communications employ optical transceivers and laser-diode modules, which convert electrical signals to optical signals and vice-versa, and switches and amplifiers that can directly process optical signals. The corporation develops and commercializes these components and equipment for a variety of optoelectronic devices. The article reports on the corporation's state-of-the-art technologies and offers a detailed description of the newest optoelectronic products and their applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 32~35 (1994)

High-Speed Fiber-Optic Digital Subscriber Transmission Equipment

by Asao Kano, Rika Nishio, Hiroshi Ichibangase, Shin'ichi Kosuda, Akira Takahashi & Toshiakazu Yoshida

The corporation has developed high-speed fiber-optic digital subscriber transmission equipment to meet Nippon Telegraph and Telephone (NTT) Corporation specifications. The equipment provides the signal-access capabilities required to efficiently implement video distribution and on-demand video services in addition to INS Net 1500 and/or 1.5Mbps-based digital leased-line services over fiber-optic subscriber networks. Extensive use of LSI devices and modules has enabled the production of compact, high-density equipment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 12~15 (1994)

Trends in Mitsubishi Electric's Semiconductor Devices for Fiber-Optic Communications

by Shigeru Mitsui & Kenji Ikeda

The article surveys the history of semiconductor laser research and development at Mitsubishi Electric, and current research and commercial devices. It introduces high-performance laser diodes using multi-quantum well and strained multi-quantum well active layers for trunk and subscriber line communications, CATV distribution and fiber amplifiers. The article also discusses the remarkable technical progress that has made these developments possible.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 36~39 (1994)

FV-600M-H1 HDTV Image-Transmission Equipment

by Norihiko Nakazawa, Hiroshi Toba, Nobuyuki Nagano, Tomoki Takamure, Akihito Tanji & Norio Kanno

Under the guidance of Nippon Telegraph and Telephone (NTT) Corporation, the corporation has developed FV-600M-H1 high definition TV (HDTV) image-transmission equipment to meet NTT specifications. The equipment complies with synchronous digital hierarchy (SDH) interface standards for short-haul intracity transmissions of studio-standard HDTV signals of the Broadcast Technology Association (BTA). The equipment was developed for NTT's HDTV leased-line transmission service. It will be used for the local lines between key broadcasting stations and earth stations for Hi-Vision satellite broadcasts, as well as for relay lines during the broadcasting of special events.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 16~19 (1994)

A Submersible Optical Amplifier Repeater

by Tadayoshi Kitayama, Kiwami Matsushita, Kuniaki Motoshima, Jun'ichiro Yamashita, Eiichi Nakagawa & Yukihiko Ida

The corporation and Kokusai Denshin Denwa (KDD) Corporation have jointly developed a submersible optical amplifier repeater for transoceanic cables. The repeater uses an erbium-doped fiber amplifier to boost optical signals without optoelectronic conversion. This simple design reduces the size and power consumption of the submersible repeater while enhancing its reliability. The article outlines this new device.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 40~43 (1994)

A DSU Interface for 1.5 and 6.3 Mbps Leased Lines

by Atsushi Harao, Hiroshi Harada, Toshifumi Sano, Toshihiro Yoshida & Ryuji Iwamoto

High-speed digital leased lines have entered broad use in implementing corporate communication networks in the decade since they became available in Japan. The article introduces compact 1.5 and 6.3Mbps digital service unit (DSU) subscriber interfaces that are one-fifth the size of previous equipment. Cost reductions make this equipment more affordable, while the smaller size simplifies installation in subscriber premises.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 20~23 (1994)

SDH 600Mbps Line Termination and Multiplexing Equipment

by Takahiro Mizoguchi, Sachiko Otsuki, Norihiro Uchiyama, Akira Takahashi, Hiroshi Dikawa & Kazuo Kenmoku

The corporation has developed synchronous digital hierarchy (SDH) 600Mbps line termination and multiplexing equipment capable of long-haul, large-capacity transmission for installation in SDH networks. Designed to support services in private and new common carrier (NCC) networks, the equipment flexibly accommodates both existing digital hierarchy signals and SDH signals. A spontaneous air-cooling design and remote monitoring and control functions simplify operation and reduce maintenance.

アブストラクト

ATM 特性測定装置

羽根稔尚・上田広之・木田等理・土田 充・鈴木孝昌・福田雅裕
三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.44～48 (1994)

ATM 特性測定装置(Asynchronous Transfer Mode Performance Tester: APT)は、多様なトラヒック負荷の ATM セル流を発生し、そのセルを受信・解析することにより、B-ISDN に不可欠な ATM 交換／伝送装置等における、セル転送遅延とそのゆらぎ、ペイロードビットエラー、セル損失／混入／順序逆転／重複、及びユーセージパラメータ制御(UPC)機能特性等のトラヒック特性の試験を行う装置である。

光 FDM 用レーザアレーモジュール

金子進一・足立明宏・山下純一郎・石村栄太郎
三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.67～70 (1994)

将来の大容量通信方式として研究が進められている光周波数多重(光 FDM)通信方式では、光源である半導体レーザを集積(レーザアレー)化して同一のパッケージにモジュール化し、送信装置の小型化・省電力化を図ることが望まれている。

本稿では、光 FDM 通信用に開発を行った広波長可変幅・高 FM 変調効率を持つレーザアレーと小型・高結合効率・高温安定性を持つレーザアレーモジュールの構造と特性について紹介する。

622Mbps-16ch コヒーレント光伝送装置

水落隆司・清水克宏・下村健吉・石村栄太郎・北山忠善
三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.49～52 (1994)

光周波数分割多重伝送(光 FDM)システム実現のために必要なレーザダイオード(LD)、光周波数制御技術及び光チャネル選択技術を開発し、ヘテロダイン方式をベースとした622Mbps-16ch コヒーレント光伝送装置を試作した。

622Mbps ハイビジョン信号16ch 分を110km の1.3 μ m ゼロ分散ファイバを通して劣化なく伝送できることを確認した。

光インタコネクション用半導体レーザアレー

松本啓資・西口晴美・吉田一臣・芝 哲夫・大村悦司
三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.71～75 (1994)

コンピュータ等電子機器間のデータ伝送を従来の電気信号から光信号に代えるのに不可欠な、波長1.3 μ m モノリシック半導体レーザアレーを開発した。ひずみ多重量子井戸構造を採用し、しきい値電流を1.5mA まで低減した。また、全有機金属気相成長技術を適用し、1チップ内のしきい値電流ばらつきを0.2mA 以下に、発振遅延時間のばらつきを数十ps にできた。このレーザアレーは、2.5Gbps の高速伝送が可能で、レーザ間の信号干渉は極めて低いレベル(<-20dB)に抑制されている。

サブキャリア多重光伝送技術とその応用

松下 究・佐藤 晋・北山忠善・手島邦夫・竹内宗昭
三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.53～57 (1994)

サブキャリア多重光伝送技術は、周波数多重化された電気信号により、レーザダイオード(LD)を直接アナログ変調し、光ファイバ伝送する技術である。

本稿では、サブキャリア多重光伝送の技術課題、空港向け光 CATV システムへの適用例、及びひずみ補償回路を適用し LD の発生するひずみを約10dB 低減した1.9GHz 帯無線信号伝送用光リンクについて述べる。

ATM システム用 LSI

山中秀昭・大久保啓示・青柳秀典・佐藤浩之・近藤晴房・沢田圭一
三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.76～80 (1994)

広帯域 ISDN の実用化に向け、ATM(Asynchronous Transfer Mode)システムに必要なユーザー網インタフェース用、セル多重／分離用、ヘッダ処理用に各々1品種ずつ、ATM スイッチ用に4品種を開発した。主な特長は、全 LSI において高速 I/O に適した ECL インタフェースを可能とする0.8 μ m BiCMOS プロセスの採用、及び ATM スイッチには、セルの低廃棄率を実現する共通バッファ形でありながら、バッファメモリの動作速度ネックを回避した当社独自方式の採用である。

2.5Gbps 長距離伝送用 DFB レーザとそのモジュール

平野良一・青柳利隆・宮崎泰典・後藤勝彦・南原成二・増田健之
三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.58～61 (1994)

光ファイバ伝送の高速化・長距離化に対応するため、1.55 μ m 帯 DFB (Distributed Feedback: 分布帰還)レーザの活性層に MQW (Multiple Quantum Well: 多重量子井戸)構造を採用した。これにより、2.5Gbps の伝送速度において100km(1.3 μ m 零分散ファイバ使用)伝送後のパワーペナルティが1dB という優れた特性を実現することができた。また、これを用いた光モジュールを開発し、ファイバとの結合効率60%以上、戻り光-35dB 以下の優れた特性を実現した。

SDH インタフェース用 LSI

久保和夫・東坂範雄・植田昌弘・岡田克也・武内良祐
三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.81～85 (1994)

通信装置の最新の国際標準である SDH(Synchronous Digital Hierarchy)インタフェースの52Mbps～10Gbps までの LSI 化を各種プロセスによって実現した。これら SDH インタフェース用 LSI は、高速動作部を小さく構成した回路アーキテクチャと各インタフェースに最適の LSI 機能分割及びプロセスの適用により、小型・低消費電力である。さらに、10Gbps インタフェースの RSOH 処理用 LSI では、BiCMOS プロセスの特長を活用して送信処理と受信処理用 LSI の1品種兼用化を図った。

CATV 用低ひずみ DFB レーザとそのモジュール

山下光二・武本 彰・八田竜夫・足立明宏
三菱電機技報 Vol.68・No.6・p.62～66 (1994)

全 MOCVD 法による1.3 μ m 帯 MQW 型 DFB-LD を作製し、0.1 μ m の電流リークパス幅の実現及び低リーク電流特性を確認した。この LD と非球面レンズ光学系を組み合わせ、ファイバ端出力10mW 以上で77チャネル信号伝送時 CSO -60dBc、CTB -65dBc の低ひずみ特性を実現した。このモジュールは耐環境性に優れ、今後の CATV アプリケーションに有用であることを示した。

Abstracts

<p>Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 67~70 (1994)</p> <p>Laser Array Module for Optical FDMs</p> <p>by Shin'ichi Kaneko, Akihiro Adachi, Jun'ichiro Yamashita & Eitaro Ishimura</p> <p>The corporation has developed a compact, power-efficient laser array module to support optical frequency division multiplexing, the most promising candidate for future large-capacity communications. The article describes the construction and characteristics of this laser array module, which also features efficient high-frequency modulation over a wide wavelength range, high coupling efficiency and temperature stability.</p>	<p>Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 44~48 (1994)</p> <p>Performance Tester for ATM Networks</p> <p>by Toshihisa Hane, Hiroyuki Ueda, Toshimichi Kida, Mitsuru Tsuchida, Takamasa Suzuki & Masahiro Fukuda</p> <p>The article reports on a performance tester for asynchronous transfer-mode (ATM) networks. This equipment generates ATM cell flows corresponding to diverse traffic loads, and receives and analyzes these cells to measure traffic characteristics such as cell delay, cell delay variation, payload bit errors, cell loss, misdelivery, order reversals, duplication and usage parameter control functions.</p>
<p>Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 71~75 (1994)</p> <p>A Semiconductor Laser Array for Fiber-Optic Interconnections</p> <p>by Keisuke Matsumoto, Harumi Nishiguchi, Kazuomi Yoshida, Tetsuo Shiba & Etsuji Omura</p> <p>The corporation has developed a monolithic ten-element array of 1.3μm laser diodes for use in high data-rate optical signal cables between computers and other electronic equipment. The laser diode element employ a strained multi-quantum well active layer to achieve a low 1.5mA threshold current. The array is fabricated entirely by metal-organic chemical vapor deposition processes that hold the threshold current variation among array elements to within 0.2mA. The array is capable of 2.5Gbps modulation rates, and crosstalk between lasers is -20dB.</p>	<p>Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 49~52 (1994)</p> <p>622Mbps 16-Channel Coherent Lightwave Communication Equipment</p> <p>by Takashi Mizuochi, Katsuhiko Shimizu, Kenkichi Shimomura, Eitaro Ishimura & Tadayoshi Kitayama</p> <p>The corporation has developed laser diodes, optical frequency control technology and optical channel selection technology for implementing frequency-division multiplex transmission systems, and has test produced a heterodyne lightwave transmission unit. The authors succeeded in transmitting 16 \times 622Mbps high-definition TV (HDTV) signals over a 110km length of 1.3μm zero-dispersion fiber without degradation.</p>
<p>Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 76~80 (1994)</p> <p>LSI Chip Set for ATM Networks</p> <p>by Hideaki Yamanaka, Keiji Okubo, Hidenori Aoyagi, Hiroyuki Sato, Harufusa Kondoh & Keiichi Sawada</p> <p>The corporation has developed an asynchronous transfer-mode (ATM) chip set to be used in subscriber-line terminal equipment for future broadband ISDN services. The seven VLSI devices provide 622Mbps 8 \times 8 ATM-cell switching, header-translation functions, cell multiplexing/demultiplexing and user-network interfacing. A shared multibuffering ATM switch architecture, which the corporation has newly proposed, successfully reduces both the cell-loss ratio and the required access time for RAM. The chip set is implemented using 0.8μm BiCMOS process technology, which enables high-speed ECL interfacing (156MHz).</p>	<p>Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 53~57 (1994)</p> <p>Subcarrier Multiplexing Fiber-optic Transmission Technology and Its Practical Applications</p> <p>by Kiwami Matsushita, Susumu Satoh, Tadayoshi Kitayama, Kunio Teshima & Muneaki Takeuchi</p> <p>Subcarrier multiplexing fiber-optic transmission technology uses a frequency multiplexed electrical signals called subcarriers to directly modulate the optical carrier of a laser diode(LD) for transmission along an optical fiber. The article discusses technical requirements and describes applications in an airport cable TV (CATV) system and a 1.9GHz-band optical link for microcell radio systems. The latter has a distortion compensated LD control circuit that reduces the third inter-modulation (IM3) ratio by approximately 10dB.</p>
<p>Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 81~85 (1994)</p> <p>LSI Chips for SDH Interfaces</p> <p>by Kazuo Kubo, Norio Higashisaka, Masahiro Ueda, Katsuya Okada & Ryosuke Takeuchi</p> <p>The corporation has developed synchronous digital hierarchy (SDH) interface LSI chips for speeds of 52Mbps to 10Gbps in compliance with recent international standards. Compact size and low power dissipation have been attained by designing layouts that minimize the area of the high-speed portions of the interface circuitry. The functional elements, which are divided among several devices, are grouped to match requirements of suitable wafer processes. The regenerator section overhead (RSOH) processing LSI chips for the 10Gbps interface take advantage of BiCMOS process characteristics to integrate both transmitting and receiving functions on a single chip.</p>	<p>Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 58~61 (1994)</p> <p>A Distributed-Feedback Laser and Module for Long-Haul Transmission at 2.5Gbps</p> <p>by Ryoichi Hirano, Toshitaka Aoyagi, Yasunori Miyazaki, Katsuhiko Goto, Seiji Minamihara & Kenji Masuda</p> <p>The corporation has developed a 1.55μm distributed-feedback laser diode employing an active layer with multi-quantum wells to achieve long-haul, wide-band communications. The device can transmit data at 2.5Gbps over a 100km length of 1.3μm zero-dispersion fiber with a power penalty of only 1dB. The corporation has also developed an optical module based on this device that realizes fiber coupling efficiency of better than 60% and limits light reflection to under -35dB.</p>
	<p>Mitsubishi Denki Giho: Vol. 68, No. 6, pp. 62~66 (1994)</p> <p>A Low-Distortion Distributed-Feedback Laser Diode and Module for CATV</p> <p>by Koji Yamashita, Akira Takemoto, Tatsuo Hatta & Akihiro Adachi</p> <p>The corporation has fabricated a 1.3μm-band distributed-feedback laser diode with multi-quantum well using exclusively metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD) processes. The device was determined to have a 0.1μm current leak path width and low-leak current. When fitted with an aspherical lens optical system and operating at fiber-end outputs over 10mW, the laser diode can transmit 77 channels with low distortion. Composite second order (CSO) is -60dBc and composite triple beat (CTB) -65dBc. The module has excellent environmental durability, making it well suited to cable TV (CATV) applications.</p>

光通信研究の現状と展望 —— 社会的課題と先端技術的課題 ——

光通信システムに限らず、一般的に言って新しい通信システムの研究開発を行うに当たっての“基本的技術課題”は何か。10年ぐらい前、何かのシンポジウムの折に、そのような話をする必要に迫られたことがあった。

そのころ大学に籍を置いていた私は、私なりにいろいろ考えた末、

- (1) いかにして中継器間隔のより長いシステムを実現するか
- (2) いかにして伝送容量のより大きいシステムを実現するか

と、2項目を書いたOHPを作って持参し、お話ししたところ、フロアのどなたかから“それはいかにも大学の研究者らしい発想ではないか。それ以上に重要なのは

(3) いかにしてより安価なシステムを実現するかではないでしょうか”との誠にもっともな御指摘を頂き、自分の視野の狭さに恥じ入ったことがあった。それ以来私は、同種類の講演に当たって“経済性”に言及することを決して忘れないように心掛けています。

1980年代の中頃からであろうか、“点から点へ”の光通信技術は一定の水準に達したから、これからは光通信の“面的展開”，より具体的に言えば加入者レベルへの応用を考えるべきだ、との議論が盛んになってきた。それに伴って上記の項目(3)、つまり経済性への要求は、以前にもまして厳しいものとなってきた。この傾向は今後も一層強まっていくと思う。

その“面的展開”についての議論も、過去10年間、随分いろいろな変遷を経てきた感がある。1980年代のキーワードはFTTH、FTTC、FTTOであった。それらがいわゆるB-ISDN（広帯域ISDN）の唯一の物理的実現手段であるとの認識が一般化した。日本でのFTTHないしFTTC/FTTOへ向けての努力は、1990年の郵政大臣の諮問委員会「光ファイバシティ推進懇談会」の設置以来、営々と続けられている。特に本年は、9月のITU（国際電気通信連合）の京都総会を目標に、京阪奈学研都市で大規模な“次世代通信網”の実験的運用を行うべく、着々と準備が

進められている。

一方アメリカでは、1992年の大統領選挙でクリントン・ゴア組が高度情報網の国家的重要性を唱え、彼らが正副大統領の座を射止めた結果、21世紀へ向けて“情報スーパーハイウェイ”，更にはそれを包含する“全国的情報インフラストラクチャ”（NII）の構築のためのキャンペーンが盛んに行われている。

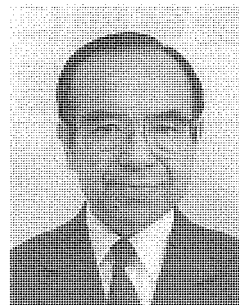
しかし、全国的ネットワークの展開となると、各国ともまだまだ多くの山を越えなければならないだろう。“最も経済的で最も役に立つシステムは何か”を常に追求していかねばならない。既存の通信網とCATV網の有効利用やそれらの連携も、重要な課題となるに違いない。しかしこの面では、最近アメリカで大手の地域電話会社と大手のCATV会社の連携合意が相次いで2件も白紙撤回されるなど、道が決して平坦でないことを示唆する報道もいろいろ現れている。

光通信技術者としては、今後このように変転極まりない社会的要求に対応し適切にこたえていく柔軟さが、常に求められていくことになると思う。

一方研究開発に携わる方々の中には、このようなneeds-orientedな課題より、むしろseeds-orientedな課題に強い関心をお持ちの方も多いと思う。そのような“先端技術的課題”の動向を表す表現として、私は最近“光電子システムから全光システムへ”，“線形デバイスから非線形デバイスへ”の二つを挙げることにしている。このようにキーワードだけを挙げることは誤解を招きやすいとは思いますが、紙面の制約でお許し頂きたい。要は、EDFA（エルビウムドープファイバ増幅器）の登場と光パルス技術の超高速化を契機として、光ファイバ通信研究の世界に、いま大きなパラダイム（枠組み）の変化が起こりつつある、ということである。

そのような変化が10年後、20年後には、上記の“面的展開”の技術にも次第に影響を及ぼしてくるのではないかと私は考えている。

通商産業省工業技術院
産業技術融合領域研究所
所長 大越 孝敬



三菱電機における 光通信システムの歩み

伊東克能*

1. ま え が き

1970年に実用的な伝送損失の光ファイバの実現可能性が最初に実証されて以来四半世紀、光ファイバ通信技術は順調に発展し、その低損失・広帯域・細しん(芯)・軽量・無誘導などの優れた特性を発揮して、今ではあらゆる分野で使用されている。特に、高速、長距離伝送では他に代わるものがない地位を確立した。将来についても、従来の電話線に代わり、今日の放送も含む情報通信の社会基盤として大きな役割を担おうとしており、その推進方法が真剣に議論され始めた。

光ファイバ通信(以下“光通信”)という。技術に関する特集号を10年ぶりに三菱電機技報が組むに当たり⁽¹⁾、最近の成果とともに、三菱電機における光通信技術のこれまでの推移を振り返り、将来に向けての発展の期待と展望をシステム、部品、デバイスに分けて述べる。本稿ではシステムとそれに直結した要素技術について述べる。

2. 光通信技術への取組と成果

当社における光通信技術開発の取組は、半導体レーザの発明の直後にさかのぼり、須崎らが1963年にはGaAsレーザの発振(液体窒素温度でのパルス発振)に成功している⁽²⁾。さらに、1968年には $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}/\text{GaAs}$ ヘテロ構造による発振しきい(閾)値の低減を発見し⁽³⁾、半導体レーザの室温連続発振の決め手となったダブルヘテロ構造の先駆となった。空間伝送による光通信方式の研究時代を経て、1972年ごろから本格的に光通信技術の開発への取組を開始した。工業技術院電子技術総合研究所の御指導の下に、コンピュータリンクへの適用における光ファイバ伝送の有用性のデモンストレーション⁽⁴⁾などの研究開発を経て、1976年には宇宙開発事業団父島電波追跡所のデータ伝送に光ファイバ伝送を適用した⁽⁵⁾のを皮切りに実用化へと進む。

その後、保護リレーなどの電力システム、鉄鋼製造ライン、水処理システムなどの公共システムにおけるコンピュータネットワーク、鉄道・列車内制御システム等多岐にわたる分野に光通信技術を適用してきた。さらに、1982年には日本電信電話公社(当時、現在日本電信電話(株):NTT)電気通信研究所の御指導の下に広帯域光専用システムを試作し⁽⁶⁾、さらに1984年にはデジタル加入者線伝送装置の試作に参加することができた⁽⁷⁾。これらの経験が、公衆通信機器分野はもとよりあらゆる分野における当社技術の基盤となった。

また、1992年に国際電信電話(株)(KDD)が推進中の太平洋横断海底光ケーブルシステム TPC-5の開発に参加することができた⁽⁸⁾ことも新たな一歩である。

図1に当社における光通信要素技術とその主な光通信技術の各種システムへの適用状況を示す。以下、光デバイス・部品は別稿に譲り、光通信システムの要素技術開発と各種分野への光通信技術の適用の推移のあらましについて述べる。

2.1 関連要素技術

(1) 光ファイバ伝送技術

初期の光ファイバ伝送は、マルチモードファイバを用いたものであった。1980年には100Mbpsまでのデジタル伝送用送信、受信モジュールの開発を完了し⁽⁹⁾、鉄鋼プラントの制御用コンピュータネットワークなど、データウェイ、LAN分野の発展に貢献した。

また、半導体レーザを用いたアナログ伝送では、いわゆるモダルノイズによる雑音、非線形ひずみの低減が課題であった。その解決策として、多モードのレーザの使用と高周波の重畳によるレーザの多モード化技術を実用化した⁽¹⁰⁾。半導体レーザが映像伝送に多用されたLEDより出力が大きく光ファイバとの結合効率も高いことに着目し、多端子レーザモジュールと称して、レーザモジュールにスターカプラを従属接続したようなモジュールを開発し、映像分配システムへの適用に成功したことも当時の成果の一つである⁽¹¹⁾。

シングルモードファイバが主流となり、伝送速度がGbpsを超えるとともに、コヒーレント伝送の展開、アナログ伝送の復活が見られた。光送受信器もSDH(Synchronous Digital Hierarchy)の階てい(梯)に従って高速化開発を進め、10Gbps伝送を実現し、2.4Gbpsまで光送受信モジュール開発を完了している。また、600MbpsまでのIC化を完了し、2.4/10GbpsのIC化を進めているところである。

コヒーレント伝送についても、自己ホモダイン検波方式による17GHzマイクロ波伝送から開始し、波長可変レーザの開発を含めて、16チャンネルの622Mbps FDM(Frequency Division Multiplex)伝送装置の試作に成功している⁽¹²⁾。FDM伝送技術は、大容量でフレキシブルなネットワークを目指す光波ネットワークを構築するのに重要な役割を果たすものと期待される。

シングルモードファイバを用いるアナログ伝送技術の進歩により、CATV、デジタル移動体通信においてFDM化されたキャリアを伝送する新たな発展の道が開かれた。当社

分野		1975	1980	1985	1990
要素技術	光ファイバ伝送技術	0.8 μ m 帯伝送技術	1.3 μ m 帯伝送技術 高周波多重法 3 R デジタル光送受信器 32Mbps 100Mbps	多端子LDモジュール IC化デジタル光送受信器 10Mbps 150Mbps 600Mbps	1.5 μ m 伝送技術 SCM 光伝送 衛星間光伝送 2.4Gbps 10Gbps コヒーレント FDM 伝送
	伝送処理技術		スタフ多重	同期多重	SDH 同期多重 ATM 処理
	実装技術		搬送標準架 スリム架	DS 実装架 2.0 μ m CMOS	Hi-PAS CMOS 1.0 μ m 0.8 μ m 0.5 μ m BiCMOS 0.8 μ m 0.5 μ m GaAs LSI
	架構造 LSI				
公衆通信	加入者伝送系		広帯域光専用システム	デジタル加入者線多重伝送装置	光加入者線多重伝送装置 高速デジタル光加入者伝送装置 HDTV 光伝送装置 I-L/F DSU
	中継伝送系		PCM 光端局 1.5M/6.3M/32M/100M/400Mbps		SDH 光伝送装置 150M/600M/2.4Gbps TPC-5 光増幅中継器
専用通信システム	データウェイ		6 Mbps システム試作	MDWS-60 データウェイ (15.36Mbps)	MDWS-600S2 データウェイ (32.064Mbps) MDWS-70 データウェイ (100Mbps)
	LAN		高速リングバス (32.4Mbps) MELNET R-32 LAN (32.064Mbps) 中規模構内光伝送方式 CSMA-LAN (32.064Mbps)	MELNET R-100 LAN (100Mbps) 光CSMA/CD LAN (10Mbps) FDDI-I, II LAN (100Mbps)	光MAP (10Mbps)
	データ伝送	コンピュータリンクデモンストレーション 父島電波追跡所データ伝送	列車制御・監視信号伝送装置		レーダ情報伝送リンク 光伝送式列車無線通信装置
	電力システム	PCM 化高速・高精度波形伝送装置試作	電流差動保護リレー	電力ケーブル故障検出装置	多端子送電線保護システム 高抵抗接地系統用送電線保護装置 サブローカル系小容量光端局
	遠隔監視システム	電線研納めTV電話	阪神高速交通流監視システム	PFM 画像伝送	高精細静止画伝送システム 日照時道路管理システム (デジタル)

図1. 三菱電機における光通信システムの開発状況

の優れた直線性を持つ半導体レーザを用いて、それぞれの分野で開発を進めている⁽¹³⁾。光ファイバが広帯域で細径・軽量であるため、この技術は導波管・同軸ケーブルに替わるマイクロ波伝送路としても期待されている⁽¹⁴⁾。

光通信の広い分野において多大の寄与が期待されているエルビウムドープ光ファイバ増幅器については、その将来性を確信させる NTT の発表と示唆に触発されて、積極的に開発に取り組んできた。光増幅海底中継器もその成果の一つである。また、光 FDM 伝送は、長距離伝送とともに、光増幅器の威力を大に発揮できる分野であると考えている。

光ファイバを使用しない空間伝送技術では、衛星-衛星間を結ぶシステムは小型のアンテナで高い利得が得られ、また、広帯域の伝送が可能であることから研究が進められており、当社でもそのような研究に協力している⁽¹⁵⁾。

(2) 伝送処理技術

光通信において重要な伝送処理技術は多重化技術である。多重化技術は、スタフ非同期多重、SDH 同期多重、ATM (Asynchronous Transfer Mode) セル多重へと発展し

てきている。非同期系では、1.5 ~ 400 Mbps 多重化/多重分離技術を開発した⁽¹⁶⁾。SDH 同期多重については、LSI を含めて 2.4Gbps STM (Synchronous Transport Module)-16 まで開発を完了している。また、10Gbps STM-64 の開発も進めている⁽¹⁷⁾。ATM 多重についても LSI を含めて 156/622 Mbps におけるセル多重化技術を確立した⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。ATM システムでは、UPC (Usage Parameter Control) などサービスに直結した制御が伝送処理の中で行われる。また、SDH システムではオーバーヘッド内の各種チャネルを用いてシステムの運用が行われ、従来の PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) システムに比較してソフトウェアの比重が飛躍的に増大している。前者については鋭意開発を進めているところであり⁽¹⁹⁾、後者については開発を完了している⁽²⁰⁾。

(3) 実装技術

装置製造には部品技術とともに、プリント配線板、きょう(筐)体構造などの実装技術が特に重要である。

光通信システムにおける部品では、発光・受光素子などの

光部品及び IC・LSI などの半導体素子が重要である。最初に述べたように、発光・受光素子については伝統があり、優れた品質の素子を生産している。また、IC・LSI についてもシリコン、GaAs の各種プロセス、構造を動員して高集積化、低消費電力化など装置の要求に対応している。これらの開発状況はこの特集号の関連論文に詳述されている。回路の大規模、高速化に備えて MCM (Multi-Chip Module) 実装を開発している。

筐体構造についても、搬送架、スリム架、DS 実装、最新の Hi-PAS 実装まで、それぞれ技術蓄積を図ってきた。

2.2 公衆通信向け光通信装置

公衆通信向け光通信装置を加入者伝送系と中継伝送系とに分けて述べる。

(1) 加入者伝送系

現在、加入者系における最大の課題は FTTH (Fiber To The Home) の実現である。当社は、早くから加入者系の研究開発に取り組んできた。

当社光通信技術発展の最重要起点は、既に述べた 1982 年の NTT 電気通信研究所 (当時) の広帯域光専用システムの試作⁽⁶⁾への参加にある。さらに、1984 年のデジタル加入者線伝送装置試作への参加によって加速された。同装置は、内容の見直しが行われて、I-SMD-B 型加入者線多重伝送装置⁽⁷⁾として 1988 年に開始された INS ネット 64 サービスのサービス地域早期拡大に使用されている。また、引き続き商用化された SL-A/I 型光加入者線多重伝送装置⁽²¹⁾は、アナログ電話の都市周辺再開発による突発的大需要への対応に使用され、最近商用化された大容量 CT/RT⁽²²⁾は SPC (Stored Program Control) 化へ向けてクロスバー交換機の置換に使用されている。

FTTH とともに将来の通信サービスの広帯域化に向けての展開が急速に進展している。NTT の御指導の下に SDH ベースの広帯域加入者伝送システムである高速デジタル光加入者伝送装置を試作した⁽²³⁾。また、NTT の御指導の下に ATM リンクシステムの開発の一環である ATM 特性測定装置⁽²⁴⁾を試作し、さらに公表された仕様に基づき ATM 加入者線伝送装置を試作開発して ATM 技術の蓄積に努めている⁽¹⁹⁾。

加入者線伝送装置として下記装置を製作している。NTT の御指導の下に開発した FV-600 M-H 1 型 HDTV 映像伝送装置⁽²⁵⁾は、ハイビジョンの映像分配、イベント中継などに使用される予定である。また、I インタフェースの専用線用の 1.5/6.3Mbps DSU (Digital Service Unit) を開発し、電力系 NCC において御使用いただいている。小型で AC/DC 両用である点が特長である⁽²⁶⁾。

(2) 中継伝送系

PCM 光端局の開発を 1980 年ごろから始め、1983 年には 2 次群端局を電力系統保護リレーの信号伝送用に実用化して

いる⁽²⁷⁾。さらに、1987 年には IC 化した 5 次群 400 Mbps までフルラインの光端局、多重変換装置を 13cm スリム架で開発し⁽¹⁶⁾、電力会社等において 4 次群までの装置を多数使用いただいている。CCITT (現 ITU-T) における SDH 勧告化とともにその研究開発に取り組み、SDH 処理回路の LSI 化、STM-4/16 端局の試作を行ってきた。この特集号の“SDH 600 Mbps 多重端局終端装置”⁽²⁰⁾はその成果である。SDH によって監視制御系が飛躍的に充実、高機能化されたことにより、増大したソフトウェアについても十分に対応している。

エルビウムドープファイバ光増幅器の開発は、光通信に新たな可能性をもたらした。光増幅海底ケーブルシステムもその一つである。当社においても KDD の御指導の下に、現在、太平洋横断光海底ケーブル TPC-5 CN システム用光増幅中継器を製作中である⁽⁸⁾。この分野は、衛星等の高信頼度を要求される機器を多数製作納入してきた当社の特長が生かせる分野である。

2.3 専用光通信システム

当社は、光通信を多岐にわたるシステムに適用し、製作納入してきた。公衆通信システム以外の各種光通信システムを一括して専用光通信システムと呼ぶことにする。それは適用の範囲・領域で構内・閉域システムと広域システムとに分けられる。前者は、LAN に代表される構内網や、鉄道列車内のような閉域のシステムである。後者は、電力系統保護リレー、遠隔監視システムのような長距離にわたる情報伝送を伴うシステムである。以下、それぞれの代表的システムについて述べる。

2.3.1 構内・閉域システム

(1) LAN, データウェイ

この分野では、鉄鋼メーカーなどの先進ユーザーが光通信の広帯域性、無誘導性、絶縁性に着目し圧延プラントなどの制御用コンピュータネットワークであるデータウェイに光通信を早々と採用したことが技術開発を加速した。

光ファイバの絶縁性、無誘導性に着目し、社内の大型変圧器の試験ラインで光ファイバ伝送を用いたコンピュータネットワークを構築したのが、光ファイバ伝送データウェイ実用化の最初となった⁽²⁸⁾。次いで、1982 年には新日本製鉄(株)八幡製鉄所熱間圧延プラントの制御用計算機システムとして約 20 のステーションを持つ伝送速度 15.36 Mbps の MDWS-60 データウェイを納入した⁽²⁹⁾。その後も、伝送速度を 32.064 Mbps、125 Mbps と上げながら改良・高機能化が図られている⁽³⁰⁾。また、適用分野も発電プラント制御システム、ビル管理システム、水処理などの公共システム、などに広がっている。

この分野の研究開発として、1979 年から 1986 年 3 月まで展開された通産省大型プロジェクト“光応用計測制御システム”の一環として開発した“無中継双方向光伝送ループ状 T

DMA (Time Division Multiple Access) データウェイ”がある⁽³¹⁾。データウェイが制御用途であるため、レスポンスと転送能力とをトレードオフした独特のプロトコルを持つものに対して、LAN は汎用性を重視し、標準化されたプロトコルの上に構築される。しかし、光通信技術がコンピュータネットワークに適用され始めたころは、LAN も生まれたてで世の中に標準はなく、様々なプロトコルの LAN が開発されていた。当社では1980年に筑波大学に納入した伝送速度32.4Mbpsの高速リングバス⁽³²⁾、1984年に開発されたLAN “MELNET シリーズ”⁽³³⁾がその例である。

その間、LAN の標準化も強力に進められ、IEEE 802 シリーズ、FDDI (Fiber Distributed Data Interface)、MAP (Manufacturing Automation Protocol) などの標準が制定された。当社における標準化された LAN に光ファイバ伝送を適用する開発としては、伝送媒体として同軸ケーブルの代わりに光ファイバを適用した IEEE 802.3 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) LAN の開発が最初である⁽³⁴⁾。1983年にはNTTの御指導の下に伝送速度32.064MbpsのCSMA/CD LAN 中規模構内光伝送方式⁽³⁵⁾を開発し、引き続きこの技術を基にIEEE 802.3に準拠した光CSMA/CD LAN を開発した。また、リング型のFDDI LAN についても同じくNTTの御指導の下に、100MbpsのFDDI-I, IIの開発を行い、一部は自社製品化している⁽³⁶⁾。なお、光CSMA/CD LAN 及びFDDI-I LAN は、東京都庁新庁舎等で多数稼働中である。

(2) 鉄道列車内通信

光通信が適用されている閉域システムの代表的な分野に鉄道列車、航空機、自動車などの輸送機器がある。ここでは、鉄道列車内のデータ伝送、通信の適用例について述べる。

鉄道列車では、駆動系のチョッパ化、機器の監視機能の強化、映像・通信サービスの開始などデータ、情報の伝送を伴う機能・装置の導入が増加している。日本鉄道技術協会が(株)日本船舶振興協会の補助金を得て路面電車の技術革新を目指す3年間のプロジェクトにおいて、1981年には伝送速度2Mbpsでチョッパ同期信号、回生ブレーキトルク等価電圧等を伝送する試作開発を行い、広島電鉄(株)での走行試験を経て、長崎電気鉄道(株)で実用化された⁽³⁷⁾。さらに、ブレーキインバータ・扉開閉装置などの各種車上機器の状態を運転台から集中監視するために、光ファイバを列車車両間に引き通し、各種監視情報を時分割多重で直列伝送する列車情報システムが多数実用化されている⁽³⁸⁾。また、東日本鉄道(株)(JR)次世代新幹線“STAR21”には、公衆/業務電話、運転/旅客指令操作盤情報などの車両間伝送を光ファイバで行う光伝送式列車無線通信装置が搭載されている⁽³⁹⁾。

2.3.2 広域システム

(1) 電力システム

電力システムへの光ファイバ伝送の適用は、光ファイバの絶縁性、無誘導性に着目して早くから研究開発が進められた分野である。当社においても電力会社の指導を受けながら、1975年には送電線保護装置の高速・高精度化に向けてPCM化(Pulse Code Modulation)高速・高精度波形伝送装置に光ファイバ伝送を適用した試作を行っている⁽⁴⁰⁾。送電線保護用電流差動リレーの開発⁽²⁸⁾、その多端子システム⁽⁴¹⁾・高接地抵抗システムへの適用の拡張⁽⁴²⁾、電力ケーブル故障検出装置⁽⁴³⁾の開発が行われ多数のシステムが実用化されている。これらのシステムでは、伝送速度はPCM1次群、又は2次群を使用している。多端子システムではループ状の伝送路を形成しLANに似た伝送方式がとられている。また、広域システムではないが変電所内の母線保護システムでは光スターカプラを用いたトークンリングLANが使用されている⁽⁴¹⁾。

発電所の制御用コンピュータシステムは、1982年には先ず光リンクが使用されており⁽⁴⁵⁾、配電システムにおいても光通信の適用開発が進んでいる⁽⁴⁶⁾。

(2) 遠隔監視システム

遠隔監視システムは映像による道路、ダム等の設備監視が中心である。

映像監視システムでは、1980年に阪神道路公団松原線に納入した交通流監視用ITV伝送システム⁽⁴⁷⁾が最初である。このシステムでは発光ダイオードを用いたベースバンドアナログ変調方式であったが、その後PFMなどの予変調方式、デジタル伝送方式も使用されている。後者の例である北海道開発局日照峠道路管理システムでは100Mbps信号を長距離伝送するため1.3 μ m帯が使用されている⁽⁴⁸⁾。速度違反取締り用の高精細静止画伝送システムでは、支線系は帯域20MHz、アナログ伝送幹線系は伝送速度32Mbpsのデジタル伝送というハイブリッドシステムもある⁽⁴⁹⁾。

3. 将来展望

最初に述べたように光ファイバが電話線に代わることが現実の課題として語られ始め、光加入者系は大きな光通信の市場に成長しようとしている。その実現には、まず既存のメタリックケーブルより光ファイバの方が安価とすることを念頭におくことが肝要である。さらに、光ファイバ加入者系を利用した新サービスの展開に必要な加入者系の広帯域化に備えて、初期の段階から加入者系の拡張性に対する準備が必要である。加入者系の光化が推進されれば、中継系の大容量化も必然的に進むことになる。中継系の大容量化では伝送速度の高速化が必ず(須)であるとともに大容量化しても使いやすいフレキシブルなものであることが要求される。

加入者系のコストダウンには大量生産が最も重要である。製造方法では、回路、光デバイスの集積化と光部品の組立自動化に期待するところが大きい。レーザチップについては全

気相成長法と大面積のウェーハを用いた製造方法が確立されつつあり、一層の高性能化とともに一段とコストパフォーマンスの優れたデバイスが大量に供給される目も立ちつつある。また、回路部分についても微細加工技術の進歩で少数のLSIで構成が可能になってきた。残された部分は、WDM (Wavelength Division Multiplex) 機能を含む光ファイバとレーザとの結合部分のコストダウンである。すなわち、レーザ、光検出器、WDM を集積し、光ファイバとの結合部の組立てを単純化して、小型化、高信頼度化することを期待する。

加入者系の拡張性とは、新サービスの追加への柔軟な対応である。伝送路については、WDM によって新サービスを容易にオーバレイ可能とすることが要求される。波長制御が容易な光源と WDM フィルタがかぎ(鍵)である。伝送方式については加入者系において実用的な ATM 伝送の実現が必須である。

中継系の高速化は 10 Gbps を超えて、電子回路の上限と、光ファイバの伝送帯域の制限を考慮しなければならなくなっている。FDM、光処理技術による時分割多重(ソリトンを含む)のどちらを使用するかは、適用分野と今後の技術開発の進展にかかっている。かつて非同期多重技術が高速化したときに ADM (Add Drop and Multiplex) を経済的に実現できなくて、SDH に道を譲ったような問題が SDH の高速化の前途に待ち受けていないか十分な検討が必要である。高いフレキシビリティが予想される光波ネットワークは、この問題解決の道として期待される。

光部品技術は、上記各技術実現に向けて、高速化、高密度実装化に耐えねばならず、デバイスのアレー化、複合化など先に述べた集積化と歩調を合わせた開発が必要である。

以上、主として公衆通信分野における光ファイバ伝送技術について展望を述べたが、他の分野についても、コストダウン志向の加入者系か、高性能志向の中継系のいずれかに解が見出されると考える。

4. む す び

三菱電機における光通信技術の開発と各種システム・装置への適用の歴史を振り返り、将来に向けての開発の方向について述べた。この歴史は、多数の顧客各位の御指導のたまものであり、ここに深く感謝の意を表するとともに、これからも世の役に立つ技術・製品を生み出していくことに改めて誓いを新たにするものである。なお、多くの貴重な成果について紙面の都合で触れられなかったことを付言して本文を結ぶ。

参 考 文 献

紙数の関係でなるべく三菱電機技報の論文に限定し、顧客各位の論文の引用は省略させていただいたことをお断りする。

(1) 光応用特集, 三菱電機技報, 58, No. 7 (1984)

- (2) 清水潤治, 池川秀彰, 須崎 渉, 十河敏雄: GaAs レーザダイオード, 電気通信学会全国大会, No. 363 (1963)
- (3) Susaki, W., Sogo, T., Oku, T.: Lasing Action in $(\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x)\text{As}$ Diodes, IEEE J. Quantum Electron., QE-4, 422~424 (1968)
- (4) 光通信の実用化研究, 三菱電機技報, 50, No. 1, 8 (1976)
- (5) 光ファイバ伝送装置, 三菱電機技報, 51, No. 1, 8 (1977)
- (6) 関川一彦, 伊東克能, 杉村滋夫, 竹居敏夫, 藤原謙一: 4 波長多重通信システム, 三菱電機技報, 58, No. 7, 489~494 (1984)
- (7) 部谷文伸, 関川一彦, 谷本敏明, 水川繁光: I-SMD-B 形加入者線多重伝送装置, 三菱電機技報, 63, No. 4, 330~332 (1989)
- (8) 北山忠善, 松下 究, 本島邦明, 山下純一郎, 仲川栄一, 井田幸彦: 光増幅中継器回路, 三菱電機技報, 68, No. 6, 508~511 (1994)
- (9) 北山忠善, 手島邦夫, 岡本正弘, 瀬上広一, 伊東克能: デジタル光送受信器 MF-DS シリーズ, 三菱電機技報, 55, No. 3, 180~184 (1981)
- (10) 伊東克能, 関川一彦, 北山忠善, 手島邦夫: 光送受信器とその応用, 三菱電機技報, 58, No. 7, 484~488 (1984)
- (11) 光伝送ビデオ同報システム, 三菱電機技報, 59, No. 1, 68 (1985)
- (12) 水落隆司, 清水克宏, 下村健吉, 石村栄太郎, 北山忠善: 622 Mbps-16ch コヒーレント光伝送装置, 三菱電機技報, 68, No. 6, 541~544 (1994)
- (13) 松下 究, 佐藤 晋, 北山忠善, 手島邦夫, 竹内宗昭: サブキャリア多重光伝送技術とその応用, 三菱電機技報, 68, No. 6, 545~549 (1994)
- (14) 山下純一郎, 仲川栄一, 笠原久美雄, 柿本昇一: マイクロ波伝送用 LD モジュール, 三菱電機技報, 64, No. 9, 742~746 (1990)
- (15) 野原光夫, 宮崎哲弥, 藤瀬雅行, 北山忠善: 光 ISL 用 2.5 Gbit/s Si-APD レシーバの試作評価, 1993 年電子情報通信学会秋季大会, B-890 (1993)
- (16) 手島邦夫, 飛田康夫, 丹治秋人, 谷本敏明, 水川繁光: 6.3~400 Mbps デジタル光通信装置, 三菱電機技報, 63, No. 4, 325~329 (1989)
- (17) 久保和夫, 東坂範雄, 植田昌弘, 岡田克也, 武内良祐: SDH インタフェース用 LSI, 三菱電機技報, 68, No. 6, 573~577 (1994)
- (18) 山中秀昭, 大久保啓示, 青柳秀典, 佐藤浩之, 近藤晴房, 沢田圭一: ATM システム用 LSI, 三菱電機技報, 68,

- No. 6, 568～572 (1994)
- (19) 鈴木孝昌, 本島史門之, 土田 充, 矢野雅嗣, 野上正道, 上田広之: ATM 加入者線伝送装置, 三菱電機技報, **68**, No. 6, 520～523 (1994)
 - (20) 溝口隆宏, 大槻幸子, 内山律浩, 高橋 章, 笈川 浩, 見目一男: SDH 600 Mbps 多重端局終端装置, 三菱電機技報, **68**, No. 6, 512～515 (1994)
 - (21) 飛田康夫, 小須田伸一, 牧野真也, 手島邦夫, 藤田夏男, 溝口隆宏: SL-A/I 形光加入者線多重伝送装置, 三菱電機技報, **64**, No. 5, 419～422 (1990)
 - (22) 手島邦夫, 藤田夏男, 西尾 猛, 片山政利, 井手正樹, 小浜茂樹: 大容量 CT/RT 光加入者線多重伝送装置, 三菱電機技報, **68**, No. 6, 516～519 (1994)
 - (23) 鹿野朝生, 西尾利香, 一番ヶ瀬 広, 小須田伸一, 高橋 章, 吉田俊和: 高速デジタル光加入者伝送装置, 三菱電機技報, **68**, No. 6, 524～527 (1994)
 - (24) 羽根稔尚, 上田広之, 木田等理, 土田 充, 鈴木孝昌, 福田雅裕: ATM 特性測定装置, 三菱電機技報, **68**, No. 6, 536～540 (1994)
 - (25) 中澤宣彦, 鳥羽浩史, 長野宣行, 高群智樹, 丹治秋人, 菅野典夫: FV-600M-H 1 形 HDTV 映像伝送装置, 三菱電機技報, **68**, No. 6, 528～531 (1994)
 - (26) 原尾 敦, 原田 博, 佐野利文, 吉田利弘, 岩元隆治: 1.5/6.3 Mbps 専用線用 I インタフェース DSU, 三菱電機技報, **68**, No. 6, 532～535 (1994)
 - (27) 畑田 稔, 東 信一, 野口好朗: 光応用リレーシステム, 三菱電機技報, **57**, No. 12, 850～853 (1983)
 - (28) 青木俊之, 池田五郎, 渡邊次男, 篠原秀雄, 仁田周一: 大容量変圧器の計測データ処理システム, 三菱電機技報, **55**, No. 2, 167～170 (1981)
 - (29) 松本正弘, 那須昭吾, 池山茂樹, 三野容志郎: 工業用データウェイシステム《MDWS-60》, 三菱電機技報, **57**, No. 4, 279～282 (1983)
 - (30) 池尾 正, 荒本昭夫, 柴原 信: 工業用データウェイシステム《MDWS-70》, 三菱電機技報, **63**, No. 9, 771～774 (1989)
 - (31) 大島一能, 北山忠善, 松井輝仁, 吉良広文, 伊東克能: 高速プロセス情報サブシステム—情報幹線系—, 三菱電機技報, **60**, No. 12, 820～824 (1986)
 - (32) 池田克夫, 海老原義彦, 沢井善彦, 新沢 誠, 瀬戸秀輝: 高速リングバスを利用した計算機ネットワークシステム, 三菱電機技報, **55**, No. 4, 307～310 (1981)
 - (33) 中塚茂雄, 井出口哲夫, 岡村 繁, 矢野哲雄, 新保泰夫: 三菱ローカルエリアネットワーク《MELNET R 32》, 三菱電機技報, **58**, No. 2, 139～143 (1984)
 - (34) 水野忠則, 勝山光太郎, 坂 一幸, 伊東 尚, 北山忠善: 光スターネットワークによる電子メールシステム, 三菱電機技報, **58**, No. 2, 144～147 (1984)
 - (35) 江口真行, 渡辺 晃, 北山忠善, 伊東 尚, 小山勝行: 中規模構内光伝送方式用諸装置—32 Mbps CSMA/CD 光 LAN—, 三菱電機技報, **60**, No. 6, 427～432 (1986)
 - (36) 多々良浩司, 佐藤浩之, 馬場義員, 森木嘉宏, 板垣寛二: 三菱高速光 LAN “MELNET R 100” システム技術, 三菱電機技報, **66**, No. 8, 834～839 (1992)
 - (37) 三橋英一, 宗行満男, 田原 先, 栗野敏昭: 路面電车用高性能な主電動機と制御装置, 三菱電機技報, **55**, No. 4, 261～264 (1981)
 - (38) 久山研一: 鉄道におけるエレクトロニクス応用, 三菱電機技報, **65**, No. 6, 522～525 (1991)
 - (39) 次世代新幹線 “STAR 21” 用光伝送式列車無線通信装置, 三菱電機技報, **67**, No. 1, 110 (1993)
 - (40) PCM 化高速・高精度波形伝送装置, 三菱電機技報, **50**, No. 1, 38 (1976)
 - (41) 吉川元庸, 園原和夫, 東 信一, 松永完三, 光岡正隆: 光ファイバ伝送による多端子送電線保護システム, 三菱電機技報, **62**, No. 10, 891～894 (1988)
 - (42) 細井真知夫, 松永完三, 光岡正隆, 中川欣之, 津久田尚志: 高抵抗接地系統用デジタル送電線保護装置, 三菱電機技報, **63**, No. 8, 634～637 (1989)
 - (43) 木村良一, 荒尾和男, 高橋浩二, 瀧野嘉明, 魚田 豊: 関西電力(株)納め光伝送方式電力ケーブル故障検出装置, 三菱電機技報, **58**, No. 12, 853～857 (1984)
 - (44) 大橋信富美, 鈴木 守, 前田隆文, 吉田敬史, 柳瀬秀史, 安斎俊夫: 光 LAN を用いた変電所全デジタル保護制御システム, 三菱電機技報, **62**, No. 10, 885～890 (1988)
 - (45) 川崎晶司, 宮西洋太郎, 倉光 寛, 実松良次: 四国電力(株)本川発電所納め総合監視システム, 三菱電機技報, **57**, No. 5, 372～377 (1983)
 - (46) 不動弘幸, 深江 登, 中谷真佳, 吉田勝彦, 芦澤友雄, 安達和夫, 小山勝行, 吉原孝夫, 桜井清美: 光・同軸・ベアケーブル通信を駆使した遠隔検針などの伝送路多目的利用システム, 三菱電機技報, **62**, No. 3, 206～209 (1988)
 - (47) 手島邦夫, 文字正樹, 関川一彦, 岡本正弘, 伊東克能: 光ファイバ通信システム, 三菱電機技報, **55**, No. 3, 185～189 (1981)
 - (48) 北海道開発局日勝峠向け道路管理用 100 M デジタル光画像伝送システム, 三菱電機技報, **65**, No. 1, 73 (1991)
 - (49) 藤野正太郎, 加藤博光, 三浦直彦: 高速道路交通モニタシステム, 三菱電機技報, **61**, No. 4, 321～324 (1987)

三菱電機における光通信用部品の歩み

陶山昌雄*
三宅良雄*

1. ま え が き

光通信は、従来のマイクロ波通信より5けたも高い周波数の光波をキャリアとして用いる通信である。このため、光信号と電気信号との変換及び光信号の分岐や多重等の光波領域での信号の処理などの、全く新しい機能を果たす部品が必要である。

当社では、これらの部品・機器を光通信用部品と総称し、その製品化を行ってきた。現在、当社の光通信用部品は、光モデムや光送受信器からレーザダイオード (LD) モジュールやフォトダイオード (PD) モジュール等の光素子モジュール及び光増幅器並びに光スイッチ等の光能動/受動部品までを含み、国内外の通信システムのキーパーツとして日本、アメリカ、欧州など十数か国のユーザーに広く用いられている。

この論文では、当社における光通信用部品の開発状況について簡単に触れた後、当社の最新の製品群を概観する。

2. 当社における光通信用部品の開発状況

当社は、1970年における光ファイバの低損失化の成功と半導体レーザの室温連続発振の成功を契機に、1972年に光通信用部品の研究開発への本格的取組を開始した。

当初、光通信はマルチモード光ファイバを用いた方式が主流であり、当社も1981年までに32Mbpsまでの各種マルチモード光ファイバ伝送用の光送受信器の開発を完了した。またこの間、マルチモード光ファイバ用の発光ダイオード (LED) モジュール、LD モジュール、PD モジュールや光分配器、光合分波器、光スイッチ、光スターカプラなど一連の光素子モジュール及び光受動部品の開発も完了した。これらの部品は、当社のシステム部門でインテグレートされ、宇宙開発事業団父島追跡センター向けのデータ伝送システムを始めとして多くの情報伝送システムに使用されている。

さて、光ファイバの主役がマルチモードからシングルモードへ移ったのに伴い、いち早くシングルモード光ファイバ用 LD モジュール

の製品化を行った (1984年) が、これを契機に社内ユーザーだけでなく広く国内外のユーザーに当社の光通信用部品が使用されるようになった。

その後、光送受信器の分野では、その IC 化に戦略的に取り組み、6.3 Mbps クラス、200 Mbps クラス、600 Mbps クラスの IC 化光送受信器の開発製品化を次々と行った。また、携帯電話用簡易光基地局の製品化等、光通信の新しい応用分野へも積極的に新製品を提案してきた。また、光素子モジュールの分野では、レセプタクル形のシングルモード LD モジュールや RF サブキャリアによるアナログ多重伝送を可能とした CATV 用 DFB-LD モジュールなどをいち早く製品化するなど、この分野でのパイオニアとしての役割を果たしてきたと考えている。

現在、当社では、海底ケーブル網、公衆通信幹線/支線網、加入者網、CATV 網、携帯電話網、LAN/コンピュータリンク網及び計測器用等の幅広い応用分野を視野内におき、光伝送の超長距離化・高速化・多重化・高密度化に対応できる光通信用部品の開発を進めている。

3. 当社の光通信用部品の製品概要

この節では、光通信の応用分野ごとに、当社の主な光通信用部品を紹介する。図1に、光通信の主たる応用分野と其中で用いられている当社の光通信用部品の代表例をまとめる。

3.1 公衆通信の幹線・支線網用部品

公衆通信幹線網及び支線網では、近年、特に国際的に統一された新同期網の建設が、各国において急ピッチで進められている。新同期網では、156Mbps (STM-1)、622Mbps (STM-4)、2.5Gbps (STM-16) の3種類の伝送速度が、国際

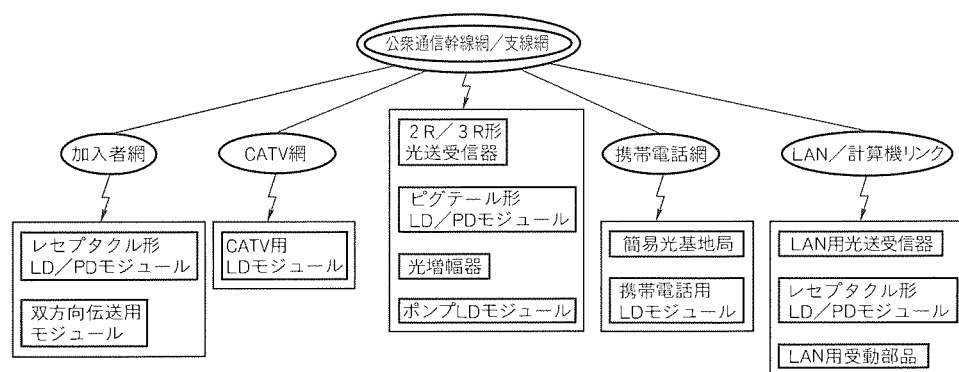


図1. 光通信の応用分野と当社の光通信用部品

標準として制定されている。

当社のこれらの各標準に対応する光送受信器を、表1に示す。また図2に、この光送受信器の外観の一例を示す。図3に、STM-4用光受信器1,000台の最小受信感度の分布を示す。均質な性能がITU-T 勧告に対し、十分余裕を持って達成されている。

表2には、当社の新同期網用のLDモジュールを示す。STM-1及びSTM-4用には、当社の全気相成長によるFSBH形FDを内蔵した非冷却形のFP-LDモジュールを推奨している。また、STM-16用には、アイソレータ、バイアス回路及び冷却素子を内蔵し、100km 無中継伝送が可能なDFB-LDモジュールを推奨している⁽¹⁾。

図4にこれらのLDモジュールの外観を示す。

3.2 公衆通信加入者網用部品

近年、特に統合なったドイツやCATV サービスと通信サ

ービス間での法的規制が解除された米国を中心として、光ファイバ伝送系を、ますます一般家庭の近くまで適用（いわゆるFTTCやFTTHシステム）しようとする動向が顕著になってきた。この応用分野における光通信用部品は、量産性に優れ低価格であること、小型で高密度実装可能なこと等が求められる。

当社では、FTTCやFTTH用光通信用部品として、表3に示す光素子モジュール及び双方向伝送モジュールを製品化している。図5に外観を示す。光素子モジュールでは、特

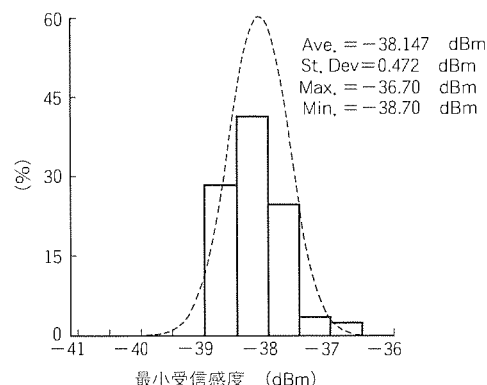


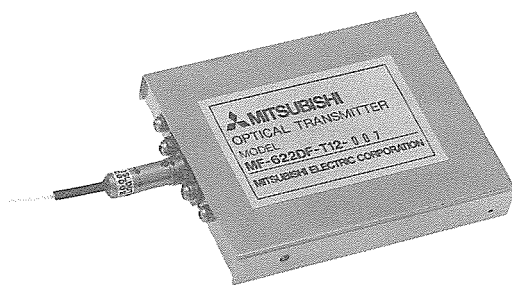
図3．622Mbps光受信器の最小受信感度分布

表2．新同期網用LDモジュール

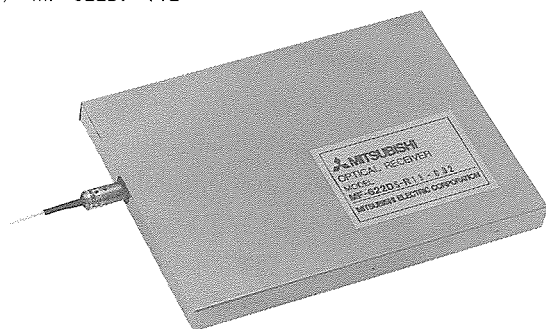
規 格	LDモジュール形名	備 考
STM-1		
I-1, S-1.1	FU-423SLD	FP-LD, 非冷却
L-1.1, L-1.2	FU-411SLD	FP-LD, 非冷却
STM-4		
I-4.1, S-4.1	FU-423SLD	FP-LD, 非冷却
L-4.1	FU-411SLD	FP-LD, 非冷却
L-4.2	FU-61SDF	DFB-LD, 冷却
STM-16	FU-68SDF	MQW・DFB-LD, 冷却 アイソレータ内蔵

表1．新同期網(STM)用光送受信器

規 格	光送受信器形名	用途／主要諸元
STM-1	MF-156DS-TR124-003 MF-156DS-T12-002 MF-156DS-R14-001	局間用(15km)／ 1.3 μ m, FP-LD
	MF-156DS-TR124-002 MF-156DS-T12-003 MF-156DS-R14-001	中距離用(40km)／ 1.3 μ m, FP-LD
	MF-156DS-T12-006 MF-156DS-R13-002	長距離用(60km)／ 1.55 μ m, DFB-LD
STM-4	MF-622DF-T12-008 MF-622DS-R14-002	局間用(15km)／ 1.3 μ m, FP-LD
	MF-622DF-T12-009 MF-622DS-R14-002	中距離用(40km)／ 1.3 μ m, DFB-LD
	MF-622DF-T12-011 MF-622DS-R14-003	長距離用(60km)／ 1.55 μ m, DFB-LD

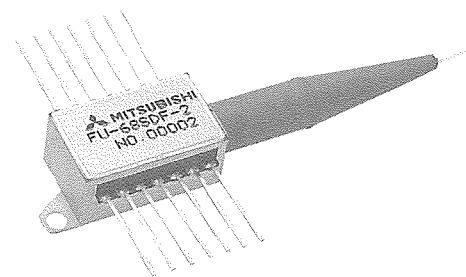


(a) MF-622DF-T12

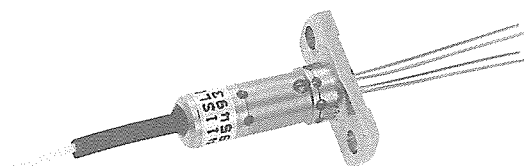


(b) MF-622DS-R13

図2．STM-4用光送信器及び受信器



(a) FU-68SDF



(b) FU-411SLD

図4．STM用LDモジュール

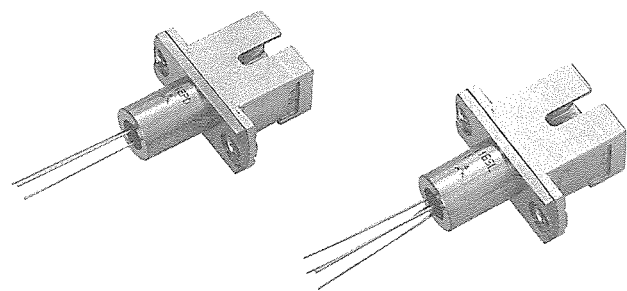
表 3. FTTC/FTTH用光電子機器

(1) LDモジュール/PDモジュール

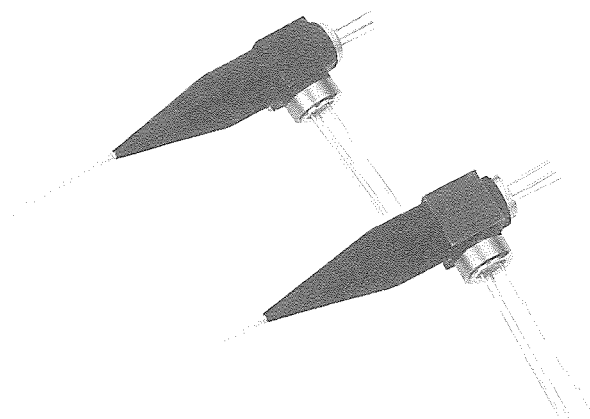
光出力	適合コネクタ	LDモジュール	PDモジュール
> 1mWクラス	FC/FC-PC	FU-16SLD-N 1 FU-17SLD-N 1	FU-15PD-N FU-16PD-N
	SC	FU-116SLD- 1	FU-112PD
0.2mWクラス	FC/FC-PC	FU-16SLD-N 3 FU-17SLD-N 3	FU-15PD-N FU-16PD-N
	SC	FU-116SLD- 3	FU-112PD

(2) 双方向伝送用モジュール

光波長	モジュールタイプ	モジュール形名
同一波長 1.3 μm	合分岐モジュール	FU-52SDU FU-53SDU
波長多重 1.3 μm , 1.55 μm	合分波モジュール	FU-52SDM, FU-82SDM FU-53SDM, FU-83SDM



(a) FU-112PD/FU-116SLD



(b) FU-52SDM/FU-82SDM

図 5. 加入者系用光素子モジュール及び双方向伝送モジュール

にレセプタクル形の光素子モジュールを推奨している。この光素子モジュールは、ピグテールファイバがついていないので、ユーザーにとって電子回路基板や装置のパネルへ容易に実装が可能であるとともに、生産上も全自動化が容易で量産性に富んでいる特長を持っている。また、双方向システム用としては、送受用の LD 及び PD と分岐・分波用の光フィルタをコンパクトに一体化した光合分岐モジュール及び光合分波モジュールを推奨している。

これらの光通信用部品によって、FTTC や FTTH においても、顧客の多様なシステムニーズにこたえることができるものと考えている。

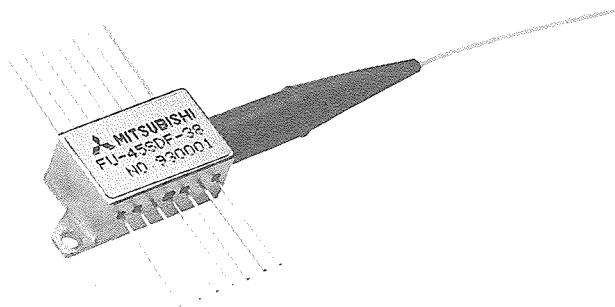


図 6. CATV用DFB-LDモジュール FU-45SDF

表 4. 簡易光基地局の主要性能

項 目		仕 様
ダウンリンク	RFキャリア数	最大12
	パワーアンプ出力	10mW×12キャリア
	C/N (BW=200kHz)	60dB以上
	相互変調ひずみ	-60dBc以下
アップリンク	RFキャリア数	最大12
	信号入力レベル	-90~-35dBm
	C/N (BW=200kHz)	12dB以上
	相互変調ひずみ	-60dBc
光ファイバ		1,300nmシングルモードファイバ
光許容損失		最大10dB
光ファイバ長		0~10km

3.3 CATV網用部品

CATV 網では、最大 80 チャンルのビデオ信号が VHF 帯キャリアによって周波数多重し、伝送されている。低ひずみ低雑音の DFB-LD モジュールの実現により、この信号をそのまま光波にのせ光ファイバで伝送できるようになり、数十 km の無中継伝送が可能となった。それ以来、CATV 幹線網への光ファイバ伝送系の浸透には目覚ましいものがある。

当社はいち早くこの CATV 網用 DFB-LD モジュールの開発製品化を行い、80 チャンルのビデオ信号の 30 km 以上の伝送や 8 分岐までのスター状ネットワークの構築ができるものを始めとし、各種性能の製品を提供している⁽²⁾。図 6 に製品外観を示す。

3.4 携帯電話網用部品

近年、携帯電話網では、電波不感地帯対策やマイクロセル化が課題とされている。この解決には、不感地帯やマイクロセルに簡便な基地局を設置し、従来の基地局との間を光ファイバ伝送系で結び、携帯電話の RF 信号を光ファイバで直接伝送する方式が有力である。

当社では、これを簡易光基地局として製品化するとともに、簡易光基地局用の主要部品である DFB-LD モジュールも製品化している。表 4 に、簡易光基地局の主要性能を示す。この簡易光基地局を用いれば、図 7 に示すように、最大 10km まで離れた電波不感地帯や電波の届かないビル内等へも、携帯電話のサービスが実現できる。

3.5 LAN/計算機リンク用部品

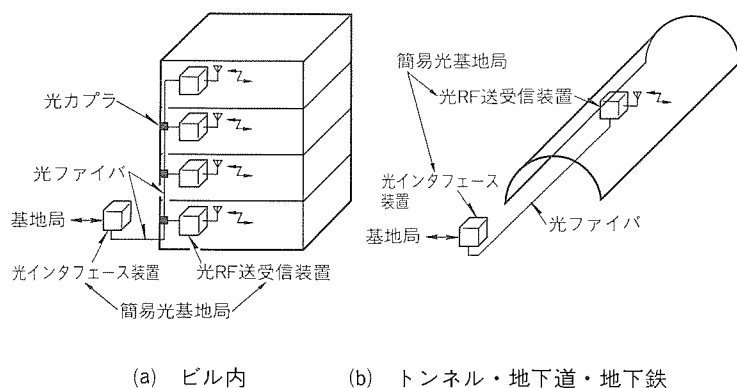


図7. 簡易光基地局の応用形態

LANの分野では、FDDI、光イーサネット、光MAPが、また計算機リンクの分野では、265 Mbps、531 Mbps及び1.06 Gbpsの各種ハイアラキの光ファイバ伝送系が実用化段階に入っている。

当社では、当社製品を用いてFDDI、光イーサネット及び光MAPの3種類のLANを自由に構成することができるよう、各種光送受信器並びに光スイッチ、光スターカプラを製品化している。

また、計算機リンクの分野では、各種ハイアラキに応じた光素子モジュールの製品化を行っている。265 Mbps、531 Mbps ハイアラキ用としては、セルフパルセーション短波長LDを用いたレセプタクル形のLDモジュールを、1.06 Gbps用にはレセプタクル形及びピグテール形長波長LDモジュールを製品化している。

3.6 次世代光通信用部品

光増幅器、光周波数多重用デバイス、モノリシックLDアレーモジュール等の部品技術のブレークスルーにより、近年光通信は、超長距離伝送、コヒーレント伝送、光インタコネクション等の更に新たな展開を見せようとしている。

当社は、これらのブレークスルー技術の開発に積極的に取り組んでいる⁽³⁾。ここでは、光増幅器と光増幅器用ポンプLDモジュールについてその製品概要を述べる。

表5に、当社の光増幅器と光増幅器用ポンプLDモジュールの主要性能を示す。この光増幅器は、ブースタンプとして使用されることを目的としたもので、ダブルポンプ構成によって高い飽和出力を得ているのが特長である。また、光増幅器用ポンプLDモジュールは、当社のMQW-LDと冷却素子を内蔵しており、周辺環境の変動にかかわらず100 mW以上のファイバ出力を信頼性良く常に安定して得ることができる。図8はその外観を示す。

4. む す び

光ファイバ通信が実用化されてから既に20年に近い歳月が経過した。この間、光通信技術は、マルチモード光ファイバ伝送からシングルモード光ファイバ伝送へ、短波長帯伝送

表5. 光増幅器及びポンプLDモジュールの主要性能

(1) 光増幅器FG-602

項 目	性 能
飽和光出力	16dBm (typ.)
雑音指数	7dB (typ.)
利 得	30dB (typ.)
消費電力	16W (max.)

(2) ポンプLDモジュール FU-622SLD

項 目	性 能
波 長	1.48 μ m
光 出 力	100mW min.
動作電流	600mA max.
動作温度	-20~65°C

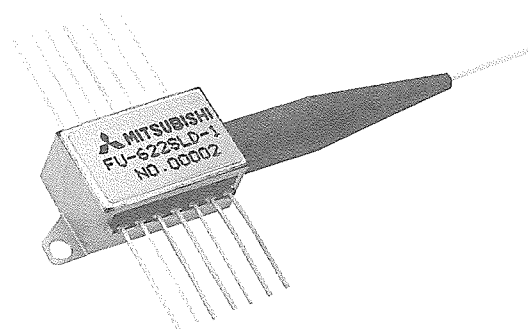


図8. 光増幅器用ポンプLDモジュール FU-622SLD

から長波長帯伝送、Mbps伝送からGbps伝送へ等次々と目まぐるしい発展を遂げた。この動向は、今後も更に強度変調・直接検波からコヒーレント検波へ、波長多重伝送から周波数多重伝送へ、さらには装置間伝送からボード間伝送へなどに加速しそうな勢いである。これらのイノベーションの原動力は、ブレークスルーによって得られた新しい光通信用部品の実用化である。

当社では、この論文で述べたように、光通信の発展と軌を一にして数多くの新しい光通信用部品の製品化してきた。今後も、上述した更に新しい潮流に向け新しい光通信用部品の、世に提供できるよう努めたいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 平野良一、青柳利隆、宮崎泰典、後藤勝彦、南原成二、増田健之：2.5 Gbps長距離伝送用DFBレーザとそのモジュール、三菱電機技報、68、No.6、550～553 (1994)
- (2) 山下光二、武本 彰、八田竜夫、足立明宏：CATV用低ひずみDFBレーザとそのモジュール、三菱電機技報、68、No.6、554～558 (1994)
- (3) 金子進一、足立明宏、山下純一郎、石村栄太郎：光FDM用レーザアレーモジュール、三菱電機技報、68、No.6、559～562 (1994)

三菱電機における 光通信用半導体デバイスの歩み

三井 茂*
池田健志*

1. ま え が き

高度情報化社会のインフラである光ファイバ通信のキーデバイスは、半導体レーザーである。半導体レーザーが初めて発振した⁽¹⁾翌1963年には、当社もそれに成功し⁽²⁾、以後、当社は低しきい(閾)値化、長寿命化及び横モード制御など実用上重要な局面で常に世界の研究と開発をリードしてきた。現在、長波長帯・短波長帯を問わず、研究から量産まで全方位に展開している世界でも数少ないメーカーの一つになっている。

本稿では、光通信用半導体デバイスの代表として、当社半導体レーザー関連技術の歴史と現状及び将来の概要を紹介する。

2. 半導体レーザー開発のれい明期

図1に、当社の半導体レーザー開発における主要イベントを年表にして示す。世界的に見て非常に早い時期から当社が半導体レーザーの研究・開発に関与してきたことが分かる。ここでは、この特集号にちなみ、これまであまり取り上げられることがなかった点を挙げたい。それは、TJS (Transverse Junction Stripe) 型レーザーの発明で、世界初の基本横モードで発振するレーザーの実現である⁽³⁾。

このレーザーの作製は、活性層・クラッド層共にn型に成長し、あとはマスクをしてZnを選択拡散するだけの簡単な工程で済み、この拡散によって出来るp⁺pn接合部のうちp領域を活性領域にするものである。当初は、低閾値化と加工工程の簡略化が目的であったが、結果的に高次の横モードを許容しないレーザー導波路構造の実現となり、横モードを単一の基本モードにすることができた。

このTJSレーザーは、光出力-電流特性の直線性が良く、縦モード(スペクトル)も単一モードで発振する。閾値も当時のレーザーの中では最も低く、ほかの構造を持つレーザーでは120~140mAが普通であったのに対し、TJSレーザーでは70mA以下であった。また、当社が初めて明らかにした酸素を排除した結

晶成長技術の効果もあって、寿命も1万時間以上と他より格段に長かったので、世界各所での本格的な光ファイバ通信の実験にこのTJSレーザーが使われた。当初は、当社も含めアナログ方式で多くの検討が行われた。しかし、当時の光ファイバはマルチモードファイバであったため、レーザーの動作状態をわずかに変えたり、ファイバを揺ると強いノイズ(モーダルノイズ、スペックルノイズと呼ぶ。)が発生し大いに苦労した。我々も赤外顕微鏡を介してファイバ内のスペックルパターンの変化を眺め、嘆息した記憶がある。世界各所におけるこのような経験が基になって、ファイバのシングルモード化が加速されたと考えている。TJSレーザーが出来たころに、1.3μm帯の方が0.8μm帯に比べてファイバの伝送損失が少なく、かつ分散が零になることが明らかになった。このためもあって、TJSレーザーとマルチモードファイバの組合せによる光通信は本格化することなく、InGaAsP系長波長レーザーへその中心が移行した。しかし、世界の光ファイバ通信技術に与えた影響は少なくなかったと思う。

3. 最近の加工技術の発展

従来、半導体レーザーそれ自身が“量子効果”を使ったデバ

1963	・GaAsレーザーの発振(77K, パルス)(国内初)
1967	・AlGaAs短波長レーザー(0.78μm)パルス発振(世界初)
1974	・AlGaAs TJSレーザー(0.86μm)で単一横モード発振を実現(世界初)
1983	・AlGaAsクランク形TJSレーザーでAlGaAs系レーザーの長寿命(10万時間以上)を実証 ・[短波長光デバイスの量産化開始]
1984	・InGaAsP PBCレーザー(1.3, 1.55μm)の開発
1985	・[長波長光デバイスの量産化開始]
1987	・InGaAsP DFB PPIBHレーザー(1.3, 1.55μm)の開発
1989	・[1.3μm DFBレーザー量産化開始] ・InP on GaAsレーザーの試作
1990	・光アナログCATV用DFBレーザーの開発
1992	・光ファイバ増幅器励起用レーザー(1.48μm, 60mW)量産開始 ・CATV(42ch)用低ひずみレーザー(1.3μm, CSO<-65dBc)量産開始 ・2.5Gbps対応幹線用単一波長レーザー(1.55μm, 70km伝送)量産開始
1993	・CATV(78ch)用低ひずみレーザー(1.3μm, 30mW, CSO<-60dBc, MTF>1.5×10h)量産開始
1994	・光加入者系用レーザー(1.3μm, 10mW, 85℃)量産開始 ・光インタコネクト用レーザーアレー量産開始予定

図1. 当社の半導体レーザー開発の歴史

イスとして扱われてきたが、近年、更に量子効果を積極的に取り入れた半導体レーザが実用化されつつある。例えば、量子井戸を活性層に使ったレーザ、故意に結晶ひずみを活性層に導入したレーザで、またこれを量子井戸構造と組み合わせ、そのひずみ応力を層間で逆向きになるように設計した内部ひずみ補償 (Zero-Net-Strain) 多重量子井戸レーザ⁽⁴⁾、又は量子障壁を導入したレーザ⁽⁵⁾である。これらは、活性領域の中に量子力学の教科書に書いてあるような井戸型ポテンシャルを実現して、状態密度を結晶自身のそれとは異なるものにしたり、ひずみを加えて結晶の対称性を故意に崩し、バンド構造を変えることを通じて、レーザ特性を改善しようとしたりするものである。これらを実現するには、10nm以下の薄い層を精度良く作る技術が必要であり、我々は減圧MOCVD法でこれを実現して、数原子層以下という高い精度で薄い結晶層を自在に成長できる技術を開発・実用化している。

現在、InGaAsP系の光通信用半導体レーザのすべてが、エッチングで形成したストライプ状活性領域の両側をInP結晶で埋込み成長されている。この埋込み成長は、狭く深い溝の中への成長なので、従来、LPE法でしか成長できないものと信じられてきた。しかし、LPE法には融液によるエッチング効果があり、これが融液の微妙な温度差・飽和度の違いに強く左右されるので、均一性と制御性に限界がある。我々は、この埋込み成長もMOCVD化することに成功した結果、2インチウェーハ全面にわたって前工程で加工した寸法のとおりストライプ幅を維持して平たんに埋め込むことができるようになった。これによって、ストライプ部以外を流れるリーク電流を大幅に低減でき、特性を向上することが可能になった。この全MOCVD化したレーザ構造が、寿命においてもLPE埋込み品に比べそん(遜)色ないことから、我々はウェーハ工程をすべて2インチ円形ウェーハで処理することにした。これは、円形ウェーハで処理することによって、人間のスキルに依存した部分を減らすとともに、LSI技術の手法や経験を生かしていくことが可能になるからである。また、これによって、シミュレーションに基づいた設計と作製したデバイスとの間で、特性の対応がつくようになり、レーザの設計パラメータの最適化が効率的に行えるようになるはずである。これらは、今後のアレー化や複合化などのデバイスの複雑化へ備えたインフラストラクチャになるものである。

4. デバイス品種の概要

図2に、半導体レーザの特性格別に用途を図示した。順次、以下にそれぞれの分野について、開発と製品化の状況を概観する。

4.1 信号源用

(1) 幹線系対応DFBレーザ

石英系ファイバの伝送損失が一番小さい1.55 μm 帯は、

長距離伝送の中心になっており、情報量の増加に伴い、伝送速度も622Mbpsから2.5Gbps、更には10Gbpsへと高速化しつつある。半導体レーザは、高速信号で直接変調すると、発振波長が微妙に変動する結果、スペクトルが広がって見える。これをチャープイングと呼ぶ。一方、1.55 μm 帯では一般にファイバの屈折率が波長に依存するため、信号源のレーザにチャープイングがあると、長距離伝送に伴って波長による到達時刻が異なる結果、信号の時間的幅が広がる。高速信号の場合には、この広がりのためにビット間の区別が困難になる。したがって、ファイバ損失が小さい特徴を生かしつつ高速の信号を伝送させようとする、信号源の半導体レーザのチャープイングを極力小さく抑える必要がある。当社の622Mbps対応の半導体レーザでは、回折格子のブラッグ波長と活性層の利得最大波長とを故意にずらす“デチューニング”の採用、2.5Gbps対応のレーザには、このデチューニングに加えて活性層へ多重量子井戸を採用して、チャープイング量を抑え込んでいる。詳細は、この特集号の別論文に紹介してある。

更に高速の10Gbpsになると、もはや直接変調ではチャープイングのため、実用的伝送距離を得られない。このような高速信号の場合だけでなく、2.5Gbpsでも更に長距離の伝送を想定する場合には、発振機能と変調機能を分離して設ける必要がある。このような用途に対応するため我々は、一定出力で安定に動作するレーザ発振器と高速信号を入力する変調器とをモノリシックに集積した変調器付き半導体レーザを開発中である。

(2) CATV用低ひずみDFBレーザ

米国を中心に、CATVの伝送損失を減らして中継間隔を延ばすために、従来の同軸ケーブルによる伝送から光ファイ

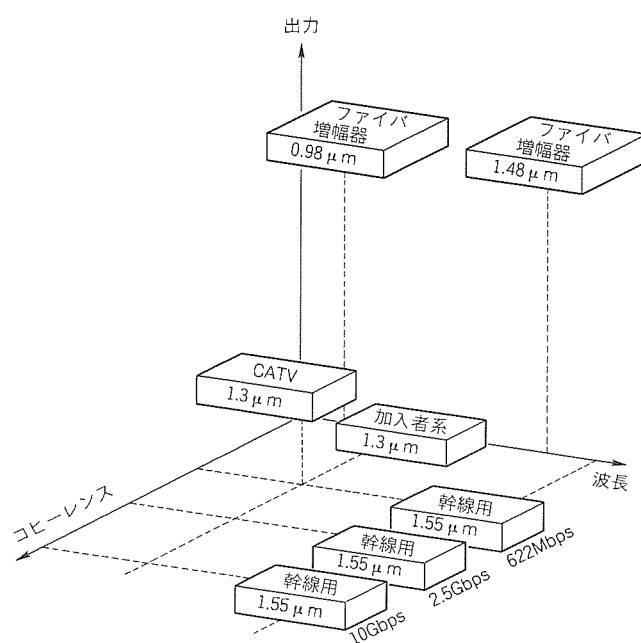


図2. 光通信用半導体レーザの位置付け

パを用いた伝送に切り替えつつある。CATV では、数十チャンネル又はそれ以上多重化されたアナログ信号を伝送する必要があることから、光源である半導体レーザには、高調波の発生を避け、混変調による混信を避ける観点から非常に高い直線性、すなわち“低ひずみ”を要求している。当社は、早期からこの課題に取り組んできており、DFB 型半導体レーザの回折格子と活性層の光学的結合定数の最適化⁽⁶⁾が基本的課題であることを報告している。これは、半導体レーザのキャビティに沿っての利得を一定にするための条件を示すものである。また、非線形効果で発生した高調波や和の周波数成分がレーザの共振周波数に近づくことと強調されることから、この共振周波数の高周波数化が必要である。さらに、実際のデバイスでは活性層は埋め込まれているので、この埋込み層を介した漏えい電流が存在し、この漏えい電流は一般に、活性層を流れる電流とは異なる電圧-電流特性を持つのでひずみの原因になる。したがって、この漏えい電流の低減は、現実のデバイスでは非常に重要である。このレーザの最近の進歩についても、この特集号の別論文に詳述してある。

(3) FDM 用レーザアレー

1.3 μm 帯と 1.55 μm 帯のように波長帯がずれていて、光学的フィルタで信号を分離できる程度の多重化を波長多重(WDM)と呼び、これよりも信号の波長間隔が狭く周波数差で表す程度のものを周波数多重(FDM)と呼ぶ。この FDM には、信号源として周波数(波長)をある範囲で調整できる半導体レーザが必要となる。また、受信側にヘテロダイン検波を用いる場合には、局部発振器としても周波数(波長)可変レーザが必要となる。波長可変レーザの主流は、DFB レーザの電極を二分割(又は三分割)して、両者の電流比を変えて波長を変えるもので、光導波路中のキャリア密度が増すと屈折率が下がることを利用している。この周波数(波長)可変 DFB レーザを使った FDM 多重通信の例をこの特集号の別論文で紹介している。さらに、我々は 10GHz 間隔で 4 波の FDM 伝送することを想定し、同レーザの 4 点アレーを開発した。この FDM 用の 4 点レーザアレーとそのモジュールについても、本号で別途詳述している。

(4) 光加入者系用レーザ

B-ISDN の普及のために、各加入者まで光ファイバを引くことが計画されている。この計画の実現のためには、各加入者ごとに半導体レーザが必要になる。半導体レーザは、一般に温度が上がると閾値が上昇、効率が低下するので、レーザ出力を一定に保つためには、温度制御や APC 回路を設けるのが一般的である。現状の電話機の価格などとの絡みから、各加入者に設置する局には低コスト化が必要で、このためレーザの温度制御の省略はもとより、APC 回路の簡略化をも求められている。さらに、駆動回路の簡略化の上からも、最高温度(85 $^{\circ}\text{C}$)においても十分低い動作電流値でなければならないという要請がある。我々は、多重量子井戸構造を活性

層に導入して低閾値を実現し、このような困難な要求を解決している。

(5) 光インタコネクション用レーザ

計算機内、交換機内などの配線が膨大になりつつある。これらの計算機や交換機の架間、又はボード間の配線用に、電磁的誘導がない、電気的に絶縁できる、軽量である、高速信号を伝送できる等の特長から光ファイバが注目されている。このような光インタコネクト用光源には、一般にテープ状の多心ファイバに対応して低閾値多点アレーが求められる。このように接続を光にするからといって、そのレーザを駆動するための回路を余分に追加することが歓迎されるはずがない。そこで、我々は上記光加入者系用レーザと同様に、APC 回路不要とするとともに、更に低閾値化を図って無閾値に近づける努力をしている。また、アレーにすることによって、相互に干渉を起こしてはならないこと、特性がアレーの各点でそろっていること等も当然必要である。このため、加入者系レーザ同様活性層をひずみ多重量子井戸構造とした上で、短共振器長化するとともに、端面反射率を最適化している。詳細は、この特集号の別論文を参照されたい。

4.2 光ファイバ増幅器励起用

従来の光通信における中継は、減衰した光をいったん電気信号に換え電氣的に増幅・整形した後再度半導体レーザで光信号に変換して送り出すといった“再生中継”方式であったが、最近ではエルビウムを添加したファイバを用いて光の状態のまま増幅する“直接増幅”方式が採用されつつある。図 3 にエルビウムのエネルギー準位を模式的に示す。この図に示すようにエルビウムを励起するために、波長 1.48 μm 又は 0.98 μm の励起光が必要である。この励起光で強く励起されたエルビウムへ 1.53 ~ 1.56 μm の光が入射すると、この入射光に波長と位相がそろった光の誘導放出が起きる。一般に、この誘導放出による出力は励起強度を上げれば強くなり、増幅利得が大きくなったことになる。また、エルビウム添加ファイバも単一モードファイバなので、このファイバのコアへ効率良く光を導入するためには、励起光源は単一基本横モードで発振することが必要である。我々は、既に 1.48 μm 帯高出力レーザの製品化を終えており、国際電信電話(株)ほか建設する第 5 太平洋横断海底ケーブル網(TPC-5CN)への採用が決まっている。このほか、今後ひずみ MQW を採

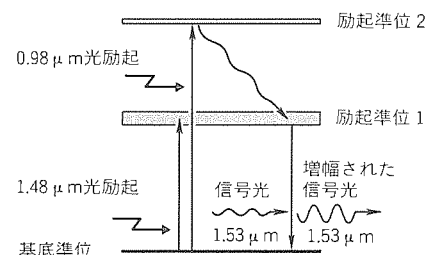


図 3. エルビウムのエネルギー準位

用して一層の高出力化を図ったもの⁽⁷⁾、一層の高効率化が期待される0.98 μm 帯の高出力レーザを開発し、製品群に加えていく予定である⁽⁸⁾。

5. 将来展望

“マルチメディア”が具体化する来るべき“新”情報化社会では、どんなデバイスが必要になるのかは、我々デバイス屋にはなかなか見通しにくい面がある。現在、我々が想定しているのは、公衆光通信の幹線系・中継系では情報量の増大に伴う高速化と多重化、加入者系では双方向モジュールの一層のコストパフォーマンス向上であろう。高速化に対しては、40 Gbps 程度のソリトン伝送、多重化に対してはFDMを想定し、これらに対応してソリトン波形発生器、高速フォトダイオード、FDMに対応して周波数(波長)安定化レーザ、周波数(波長)可変レーザ、これらを組み合わせたヘテロダイン検波器等が必要になるであろう。また、双方向化には、当面マイクロブティックス、又は誘電体光導波路との組合せで対応しなければならないとしても、いずれコスト的問題を克服して半導体によるモノリシック集積化を実現し、実用化できるものと信じたい。このほかに何が必要になるか現時点では予想し難い面があるので、既に実現したウェーハの円形化とこれによる高い加工精度とその均一性をベースに、加工技術を整備してシステム側からの要求に迅速にこたえる所存である。

6. むすび

三菱電機における光通信デバイスの代表として半導体レーザを取り上げ、その歴史から現状及び将来に向けた展望を述べた。ここで述べた半導体レーザは、光通信システムを構成するデバイスの中でも性能・機能を左右する特に重要なキーデバイスである。換言すれば、半導体レーザが、今後の情報化社会をどれほど価値あるものにするかを決めるといっても過言ではなかろう。扱える情報の量や速度はもとより、そのシステムが広く普及してこそ有意義なものとなる。情報スーパーハイウェイ構想、加入者系の光化など光通信が実用化されて以来初めてデバイスの数量的拡大が期待される状況になってきた。したがって、我々メーカーの技術者としては、性能や信頼性の面で世の中の要請に早くこたえることは当然として、数量増にこたえてスケールメリットを出せる製造技術の確立も重要な責務であると考え。

シリコンデバイスでは、数年前から言われている“how to から what へ”という語句が、今やっと光通信デバイスの世界へもこうとしている。光通信デバイス分野でも“waht”

は大切であるが、それは事業としての量の拡大を経験した後、すなわち、弁証法的段階をたどって初めて分かるものであろう。

次回この特集を組む際には、次の段階に進んでいることを期待しつつ、今は“how to”としての加工技術の近代化を推進するのかが時代の要請にこたえることになることになると信じて筆を置く。

参考文献

- (1) Hall, R. N., Fenner, G. E., Kingsley, J. D., Soltys, T. J., Carlson, R. O.: Coherent Light Emission from GaAs Junctions, Phys. Rev. Lett., **9**, 366 ~ 368 (1962)
- (2) 清水潤治, 池川秀彰, 須崎 渉, 十河敏雄: GaAs レーザダイオード, 電気通信学会全国大会, No.363 (1963)
- (3) Namizaki, H., Kan, H., Ishii, M., Ito, A.: Transverse-Junction-Stripe-Geometry Double-Heterostructure Lasers with Very Low Threshold, J. Appl. Phys., **45**, 2785 ~ 2786 (1974)
- (4) 瀧口 透, 後藤勝彦, 三橋 豊, 室谷利夫: Zero Net Strain 構造による歪み量子井戸における転移発生の抑制, 平成5年春季応用物理学会学術講演会, 1a-ZR-2 (1993)
- (5) Arimoto, S., Yasuda, M., Shima, A., Kadoiwa, K., Kamizato, T., Watanabe, H., Omura, E., Aiga, M., Ikeda, K., Mitsui, S.: 150 mW Fundamental-Transverse-Mode Operation of 670 nm Window Laser Diode, IEEE J. Quantum Electron., **QE-29**, No.6, 1874 ~ 1879 (1993)
- (6) Takemoto, A., Watanabe, H., Nakajima, Y., Sakakibara, Y., Kakimoto, S., Yamashita, J., Hatta, T.: Distributed Feedback Laser Diode and Module for CATV Systems, IEEE J. Selected Areas in Commun., **8**, No.7, 1359 ~ 1364 (1990)
- (7) 西村隆司, 松本啓資, 石村栄太郎, 中島康雄, 竹見政義, 木村達也, 一色邦彦, 相賀正夫: 全 MOCVD 成長による 1.48 μm 帯高出力レーザの開発, 平成5年秋季応用物理学会学術講演会, 29-K-9 (1993)
- (8) 島 顕洋, 國次恭宏, 永井 豊, 武本 彰, 境野 剛, 杵築宏隆, 唐木田昇市: AlGaAs 選択成長技術を用いた埋込リッジ型 980 nm 帯高出力レーザ, 平成5年秋季応用物理学会学術講演会, 29p-K-14 (1993)

光増幅中継器回路

北山忠善* 山下純一郎**
松下 究* 仲川栄一***
本島邦明* 井田幸彦***

1. ま え が き

希土類元素であるエルビウム (Er) をシングルモードファイバのコアにドープしたファイバ (Erbium Doped Fiber : EDF) に信号光と励起光を同時に伝搬させると光信号が効率良く増幅できる光ファイバ増幅器の開発やシステム試験が活発に行われている。光ファイバ増幅器は、EDF、信号光と励起光を結合する波長多重 (Wavelength Division Multiplex : WDM) カプラ及び励起 LD からなる簡素な構成でありながら、光信号を電気信号に変換することなく直接増幅できることから、幹線系における中継器回路等に適用した場合、回路の大幅削減、小型化、低消費電力化、高信頼化が可能である。

また、光ファイバ増幅器は、低雑音・高利得・高出力特性を持ち、光ファイバ増幅器の多段接続により、5 Gbps/9,000 km の長距離伝送が可能であることも実証されている⁽¹⁾。

本稿では、国際電信電話 (KDD) と共同開発した光ファイバ増幅方式による海底ケーブル伝送システム用光中継器回路の概要について述べる。初めに、光ファイバ増幅器の基本原理について述べた後、大規模室内伝送試験用簡易光中継器及び第5太平洋横断ケーブルネットワークに適用される光中継器回路について述べる。

2. 光ファイバ増幅器の原理

光ファイバ増幅の基本原理は、Er イオン (Er^{+3}) をコア部にドープしたシングルモードファイバに強い励起光と弱い1.55 μm の信号光を入射すると、信号光と励起光によって励起状態にされた Er イオンとの相互作用により、信号光に光

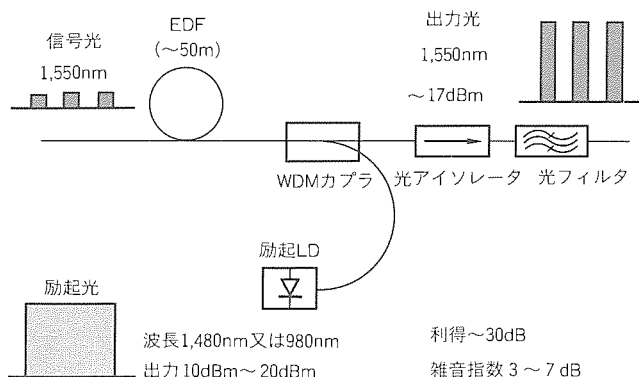


図1. 光ファイバ増幅器の構成

子が与えられファイバ中で増幅されるものである。図1に光ファイバ増幅器の基本構成を示す。

光ファイバ増幅器は、励起用 LD、信号光と励起光を効率良く結合する WDM カプラ、EDF、アイソレータから構成される。アイソレータは反射などによって光増幅器が発振するのを防ぐために用いるが、EDF は偏光無依存特性を持つので偏光無依存形アイソレータが必要である。図1では、励起光と信号光を互いに逆方向に伝搬させている（後方励起）が、同一方向に伝搬させても（前方励起）増幅器が構成できる。

図2に Er イオンのエネルギー準位を示す。光と Er イオンのエネルギーの相互作用には光の発生と吸収の2種類があり、さらにふく（幅）射の有無で区別される。輻射の伴う相互作用は光子を介する相互作用であり、光増幅過程の基本となる。光増幅過程は三つの過程に分けられる。第一の過程では、Er イオンは1.48 μm 帯励起光を吸収して基底準位から励起準位に遷移する。

第二の過程では、励起準位にある Er イオンは、輻射を伴わずに最低励起準位まで遷移する。

第三の過程では、波長1.55 μm 帯の信号光が入力されると最低励起準位にある Er イオンは信号光との輻射の伴う相互作用（光子を発生する）によって基底準位へ遷移する（誘導放出）。誘導放出光は、信号光と波長や位相が等しいため信号光は増幅される。第三の過程では、信号光と相互作用するこ

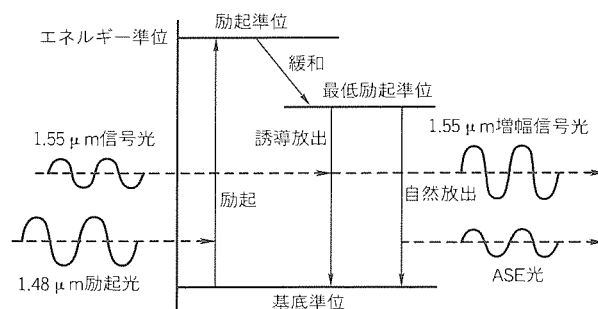


図2. Er イオンのエネルギー準位

表1. 簡易中継器主要性能

No	項 目	諸 元
1	動作波長範囲	1,550～1,556nm
2	利 得	15dB以上（可変）
3	雑音指数	7 dB以下
4	偏光依存性	0.4dB以下

となく輻射を伴って基底準位へ遷移する過程もある(自然放出)。自然放出される光子は、信号光と波長、位相がそろっておらずランダムであり、これが光増幅器の雑音となる。

3. 簡易光中継器

光直接増幅方式を用いた大規模室内長距離大容量伝送実験に供するため開発した簡易光中継器の概要について述べる。表1に簡易光中継器の主要諸元を示す。光中継器は、フロントパネル操作又は外部制御により、利得を調整することが可能である。

図3にブロック図を示す。利得は励起LDモジュール光出力を変化させることによって調整する。出力回路は、OTDR、ループバック等のシステム保守・監視をオンラインで行うために設けられている。電源は-5Vの直流を供給す

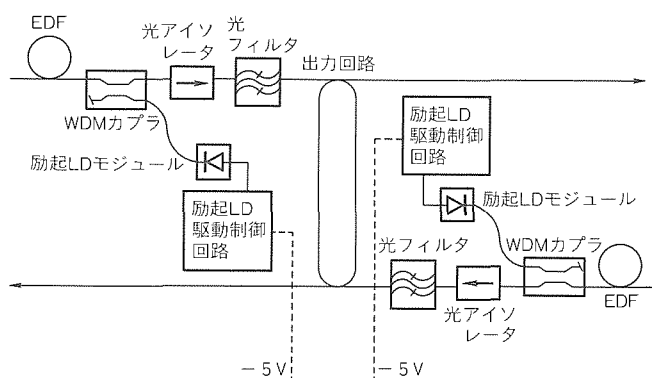


図3. 簡易光中継器のブロック図

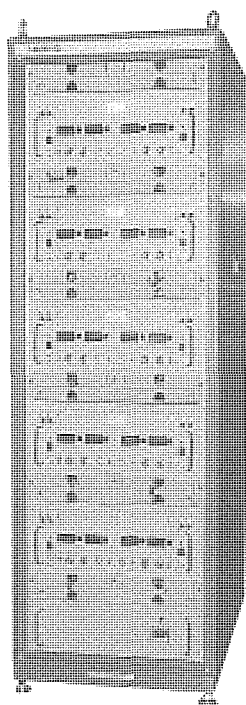


図4. 簡易光中継器
収容架の外観

る。図4に、開発した簡易光中継器の架収納外観を示す。2台の中継器を1ユニットに収容し、1架に5ユニット収容している。

4. OS-A光海底中継器回路

4.1 概要

海底ケーブルシステムに適用するOS-A光海底中継器回路⁽²⁾⁽³⁾の概要について述べる。図5に光中継器回路の1サブシステム当たりのブロック図を示す。光中継器回路は、定電流給電によって動作する。図において、出力回路は海底ケーブルシステムにおけるOTDR、ループバック等の保守・監視を陸上設備からオンラインで行うために設けられている。図6に、2サブシステムを実装した光中継器回路(製造工程途中)の外観を示す。表2に主要性能を示す。光中継器回路は適用するケーブルシステム長によって利得が異なる。この光中継器回路の特長は、以下のとおりである。

(1) 高信頼度設計

海底ケーブルシステムに適用する光中継器回路は、25年間の使用に耐えうる高信頼度設計が要求される。高信頼度設計は、部品の高信頼度化、製造の高信頼度化、フェイルセーフ設計などからなる。

(2) 低雑音

太平洋横断ケーブルのように、全長9,000 kmに及ぶシステムに適用するには低雑音特性が要求される。光中継器回路の低雑音特性は、低雑音特性を示すEDFの採用と接続損失の低減によって実現した。

(3) 小型・低消費電力

光中継器回路は、電子回路のMIC (Monolithic Integrated Circuit) 化を始め回路方式の低消費電流化により、0.92 Aの給電電流によってLD寿命末期まで、つまり25年間にわたり動作させることができる。

4.2 信頼度

(1) 部品の高信頼度化

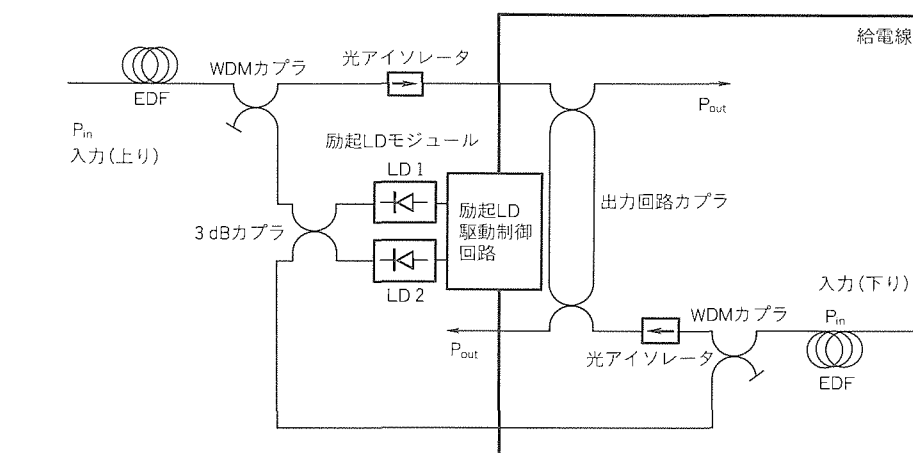


図5. OS-A光海底中継器回路ブロック図(1サブシステム)

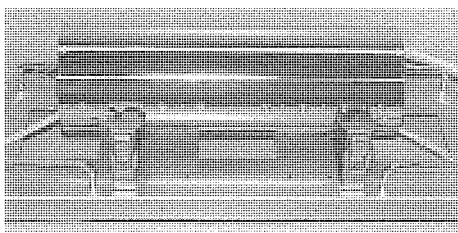


図6. OS-A光海底中継器回路の外観（製造工程途中）

表2. OS-A光海底中継器回路主要性能

No	項目	諸元
1	動作波長範囲	1,558.5nm
2	入力光信号レベル	-20 ~ 0 dBm
3	利得	7 ~ 20dB
4	励起光波長	~1,475nm
5	中継器監視	OTDR, ループバック
6	給電	0.92A ± 2% DC
7	サージ耐力	>16kV
8	耐電圧	>DC 16kV
9	設計寿命	27年
10	設計信頼度	<10Fit/fiber pair
11	動作温度	0 ~ 30℃

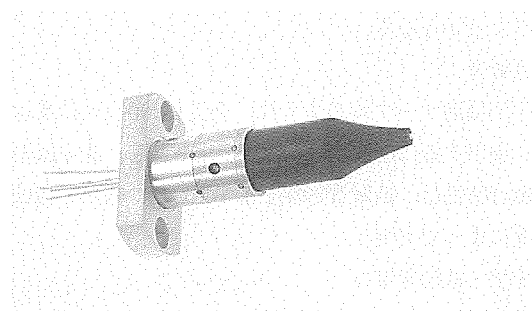


図7. 励起LDモジュールの外観

光中継器回路の部品の高信頼度化は、電子回路のMIC化による部品点数の削減、及び電子部品、光学部品の長期寿命確認試験によって確立される。

励起LDは、光出力60mW動作における長期寿命試験の結果、海底動作温度である10℃における25年間の累積故障率は、0.1%以下であることが確認されている。また、励起LDは図7に示す高信頼度化に適した同軸構造のLDモジュールに実装されている。LDモジュールについても、長期寿命確認試験によって長期信頼度が確認されている。

(2) 製造の高信頼度化

光中継器回路はファイバピグテイル端子を持つ光学部品を融着作業によって組み立てて製造される。融着作業は、ファイバのガラス表面を露出した作業であり、ごみ、ホコリなどの付着によるファイバ強度低下を避けるためクリーンルームにおいて作業を行う。融着点の信頼度は、引っ張り強度試験（プルーフテスト）とよばれるスクリーニング試験によって確保する。

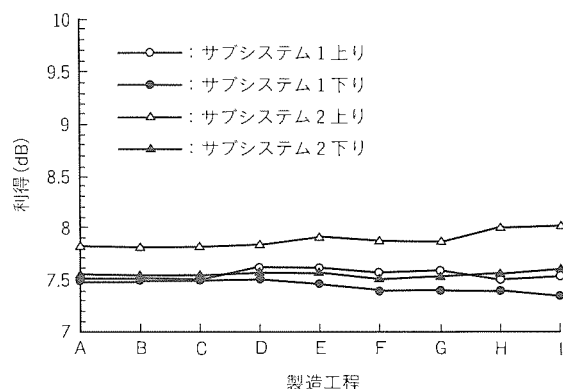


図8. OS-A光海底中継器回路利得製造履歴例

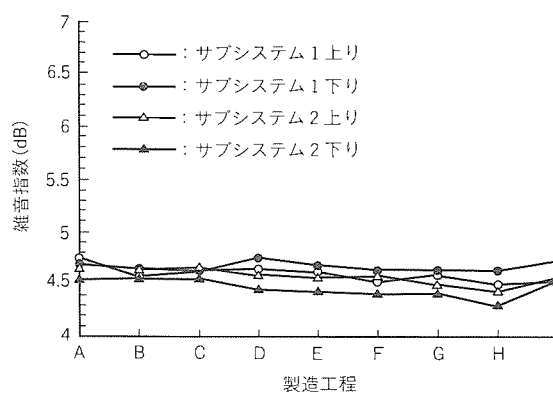


図9. OS-A光海底中継器回路雑音指数製造履歴例

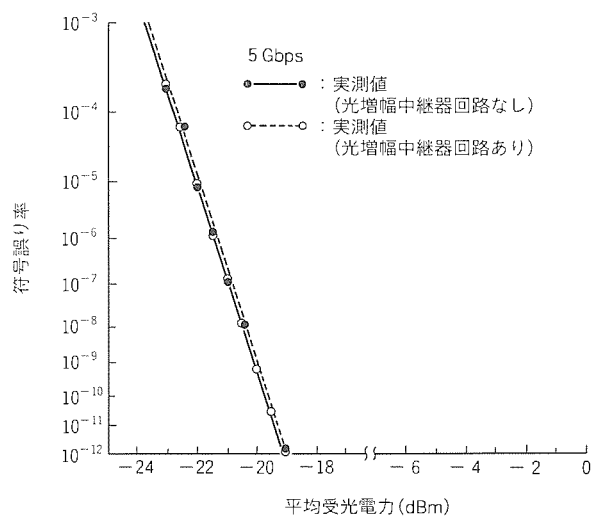


図10. OS-A光海底中継器回路BER特性

(3) フェイルセーフ設計

光中継器回路では、1電子部品の故障が中継器回路動作に即座に影響を与えぬようフェイルセーフ設計がなされている。二つの励起LD出力は、3dBカプラによって合成された後、2分配されそれぞれ上り、下り用EDFを励起する構成となっているため、一つのLDが故障しても中継器性能は変化するが回線が断線することのない設計となっている。また、励起LD駆動制御回路においても信頼度にかかわる電子部品は、冗長化設計及びフェイルセーフ設計がなされている。

4.3 特 性

図8及び図9に、利得及び雑音指数の製造履歴の例を示す。光中継器回路は、製造各工程において安定な利得及びNF (Noise Figure) 特性を示している。製造各工程における特性の安定性を検証するには測定技術の向上及び安定化が重要である。図10には5 Gbps 信号を増幅させたときのBER (Bit Error Rate) 特性データを示す。光増幅時において特性劣化は認められない。

5. む す び

EDFを用いた光中継器回路の概要について述べた。簡易光中継器はKDDにおいて5 Gbps 9,000 km 伝送試験に供された。また、OS-A 光海底中継器回路は、第5太平洋横断ケーブルネットワークに適用される予定である。

終わりに、光海底中継器回路の開発において御指導を賜ったKDDの関係各位に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

(1) Bergano, N. S., Davidson, C. R., Homsey, G. M.,

Kalmus, D. J., Trischitta, P. R., Aspell, J., Gray, D. A., Maybach, R. L.: 9,000 km, 5 Gb/s NRZ Transmission Experiment using 274 Erbium-doped Fiber-amplifiers, Proceedings of the Topical Meeting on Optical Amplifiers and their Applications, Santa Fe, USA, Tech. Digest PD11 (1992)

(2) Wakabayashi, H., Namihira, Y., Akiba, S., Yamamoto, S., Ohkawa, M., Yamamoto, H.: OS-A Optical Amplifier Submarine Cable System, Proceedings of 2nd International Conference on Optical Fiber Submarine Telecommunication Systems, S4.1 (1993)

(3) Goto, K., Akiba, S., Matsushima, Y., Wakabayashi, H.: Design and Evaluation of OS-A Optical Submarine Repeater and High Reliable Components, Proceedings of 2nd International Conference on Optical Fiber Submarine Telecommunication Systems, S4.4 (1993)

SDH 600Mbps多重端局終端装置

溝口隆宏* 高橋 章**
大槻幸子* 笈川 浩**
内山律浩* 見目一男**

1. ま え が き

公衆網及び自営網において、ITU-T 及び TTC で勧告・標準化されたデジタルハイアラキ (Synchronous Digital Hierarchy: SDH)⁽¹⁾に基づく SDH 伝送装置の導入が進んでいる⁽²⁾。SDH は、飛び越し多重と既存ハイアラキの低速信号から映像などの高速信号を混在収容する多重化構造と豊富な網の保守・運用情報伝送能力により、柔軟でシンプルな同期通信網の構築を可能にする。

当社においても、光多重通信装置については400Mbpsまでの開発を完了し⁽³⁾、SDH 伝送装置についてもSDH 処理LSIの開発⁽⁴⁾や600M/2.4Gbps多重中継装置の試作を行い、技術蓄積を図ってきた⁽⁵⁾。今回製品化したSDH 600Mbps多重端局終端装置は、1.5、2、6.3、8Mbpsの既存デジタルハイアラキ信号と52及び156MbpsのSDH信号を、622MbpsのSDH信号に多重化して光ファイバを用いて長距離伝送を行う装置である。この装置は、自営網及びNCC網への適用を主眼に、既存デジタルハイアラキ信号と低速SDH信号をユニット単位で混在収容することが可能であり、LSI化による低消費電力化によって装置の自然空冷化、省スペース化を図っている。さらに、遠隔からの警報収集、試験・制御機能を持ち、保守・運用性に富んだ通信網の構築が可能である。

以下に、この装置の構成と機能、構成技術の要点を述べる。

2. 装 置 構 成

この装置の主要諸元を表1に、機能構成を図1に、装置外観を図2に、端局低速部ユニット外観を図3に示す。この装置は、装置における共通的な警報収集、制御、クロック分配を行う共通部ユニット、622Mbps局間光インタフェースを収容し、SDH信号の多重変換を行う600Mbps高速部ユニット、52又は156Mbpsの局間若しくは局内光インタフェースを収容する端局低速部ユニット、既存デジタルハイアラキ信号を収容し、SDH信号へのマッピング機能を持つ終端低速部ユニットの4種類のユニットから構成される。

装置1架に、共通部及び600Mbps高速部ユニットは1式、端局低速部ユニットは最大2式、終端低速部ユニットは最大4式まで実装可能である。また、端局低速部ユニットと終端低速部ユニットの互換実装が可能であり、柔軟なシステム構成が可能である。

2.1 共通部ユニット

共通部ユニットは、クロック部・警報部・制御部・オーバヘッド処理部・電源部から構成される。

(1) クロック部

クロック部は、クロック受信部とクロック送信部から構成される。クロック受信部は、二重化構成となっており、局内のクロック供給装置から64k + 8kHzのクロックを受信し、装置内に必要なクロックを生成・分配する。クロック送信部

表1. SDH 600Mbps多重端局終端装置主要諸元

主信号 インタ フェース	600Mbps 高速部	622Mbps 光信号	局間40km (1.31 μm) 局間80km (1.55 μm)
	端局低速部	52Mbps 光信号	局内400m (1.31 μm) 局間40km (1.31 μm)
			局間80km (1.55 μm)
		156Mbps 光信号	局内400m (1.31 μm) 局間40km (1.31 μm)
			局間80km (1.55 μm)
	終端低速部	1.5Mbps 電気信号 (バイポーラ)	
		2 Mbps 電気信号 (CMI)	
		6.3Mbps 電気信号 (バイポーラ)	
		8 Mbps 電気信号/光信号 (CMI)	
非主信号 インタ フェース	J1, F2	64kbps, 各2系統/終端低速部	
	データリンク	4 kbps, 1系統/終端低速部	
	E1, E2	音声信号, 各2系統/600Mbps高速部 各4系統/端局低速部	
	DCC1	192kbps (D1~D3) 2系統/600Mbps高速部, 4系統/端局低速部	
	DCC2	576kbps (D4~D12) 2系統/600Mbps高速部, 4系統/端局低速部	
	クロック受信	64k + 8kHz複合バイポーラ信号	
	クロック送信	6.3MHz電気信号又は156MHz光信号	
	警 報	局内警報転送網インタフェース, 地気出力	
	制 御	端局制御装置インタフェース	
冗長構成	600Mbps 高速IF	1 : 1 (N系/E系)	
	端局低速IF	1 + 1 (0系/1系)	
	終端低速IF	1.5, 2 Mbps	N : 1 (N系/E系)
		6.3, 8 Mbps	N : 2 (N系/E系)
	クロック受信	1 + 1 (0系/1系)	
	電 源	共通部	3 + 1
		600Mbps高速部	5 + 1
		端局低速部	5 + 1
		終端低速部	5 + 1
実 装	DS架(最大7ユニット)又はINSキャビネット架(最大5ユニット)		
	冷却方式	自然空冷	

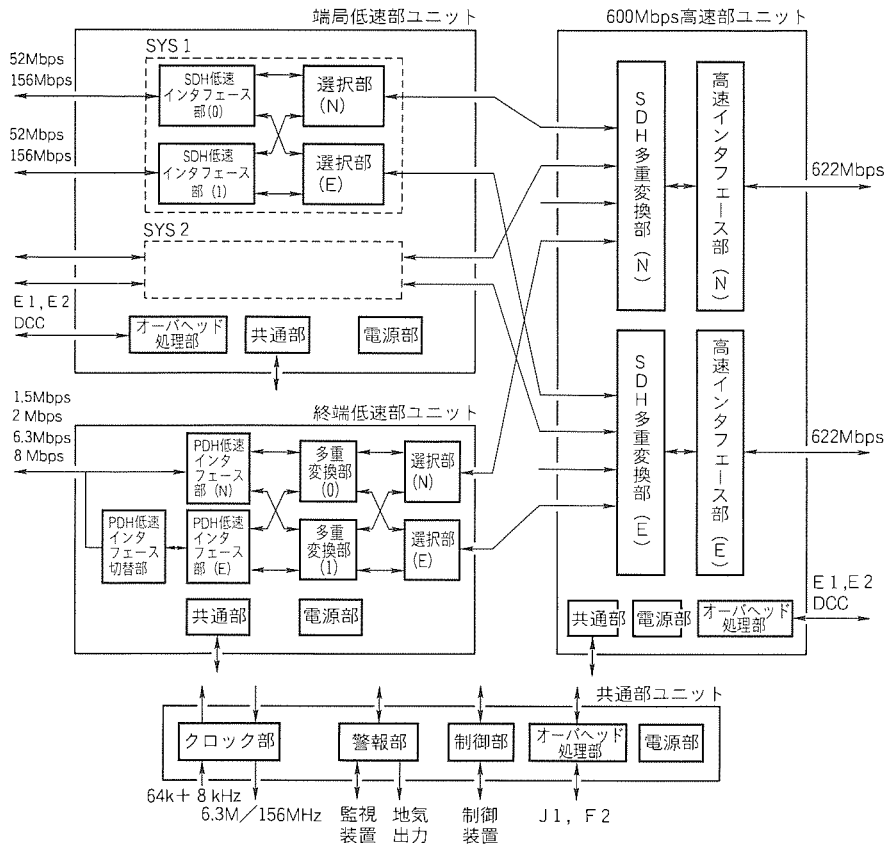


図 1. SDH 600Mbps多重端局終端装置の機能構成

は、600 Mbps 高速部ユニットの 622 Mbps 局間光インタフェースから抽出した伝送路クロックから、6.3 MHz 正弦波電気信号又は 156 MHz 光信号を生成し、クロック供給装置に出力する。

(2) 警報部

装置内で検出した警報を収集・処理し、局内警報転送網への出力及び地気出力を行う。

(3) 制御部

端局制御装置からの指示により、装置の運用設定及び動作制御を行う。

(4) オーバヘッド処理部

終端低速部ユニットとインタフェースして SDH フレームの VC-3 パスオーバーヘッド (J1, F2), 既存 1.5 及び 6.3 Mbps 信号中のデータリンクを用いた通信を行う。

(5) 電源部

共通部ユニット内の各パッケージに電源を供給する。3 + 1 の冗長構成をとる。

2.2 600Mbps高速部ユニット

600 Mbps 高速部ユニットは、高速インタフェース部・SDH 多重変換部・共通部・オーバヘッド処理部・電源部から構成される。

(1) 高速インタフェース部

622 Mbps 局間光インタフェース信号の終端を行う。

(2) SDH 多重変換部

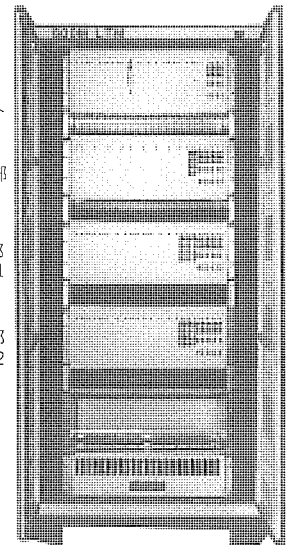


図 2. SDH 600Mbps多重端局終端装置の外観

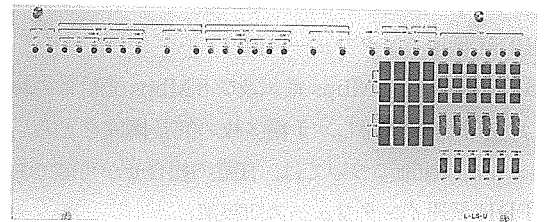


図 3. 端局低速部ユニット

端局低速部ユニット及び終端低速部ユニットから入力した信号を 622 Mbps SDH 信号に多重化、及びその逆変換を行う。

(3) 共通部

共通部ユニットのクロック部・警報部・制御部とのインタフェースを行う。

(4) オーバヘッド処理部

SDH フレームのセクションオーバーヘッドを用い、オーダワイヤ (E1, E2), データコミュニケーションチャネル (D1 ~ D3, D4 ~ D12) を用いた通信を行う。

(5) 電源部

600 Mbps 高速部ユニット内の各パッケージに電源を供給する。5 + 1 の冗長構成をとる。

2.3 端局低速部ユニット

端局低速部ユニットは、SDH 低速インタフェース部・選択部・共通部・オーバヘッド処理部・電源部から構成され、1 ユニット当たり 156 Mbps × 2 ch (64 kbps 換算 4,032 回線) 分の伝送容量を持っている。

(1) SDH 低速インタフェース部

52又は156Mbpsの局間又は局内光インタフェース信号の終端を行う。52Mbpsインタフェースパッケージと156Mbpsインタフェースパッケージは、3枚対1枚の互換実装が可能である。

(2) 選択部

SDH 低速インタフェース部0/1系の選択を行う。

(3) 共通部

共通部ユニットのクロック部・警報部・制御部とのインタフェースを行う。

(4) オーバヘッド処理部

SDH フレームのセクションオーバヘッドを用い、オーダワイヤ (E1, E2), データコミュニケーションチャネル (D1~D3, D4~D12) を用いた通信を行う。

(5) 電源部

端局低速部ユニット内の各パッケージに電源を供給する。5+1の冗長構成をとる。

2.4 終端低速部ユニット

終端低速部ユニットは、PDH 低速インタフェース部・PDH 低速インタフェース切替部・多重変換部・選択部・共通部・電源部から構成され、1ユニット当たり64kbps換算2,016回線分の伝送容量を持っている。

(1) PDH 低速インタフェース部

1.5, 2, 6.3, 8Mbps電気及び8Mbps光信号の終端を行う。現用11枚に対し、予備3枚の冗長構成をとる。インタフェースの種別については、任意の組合せが可能である。

(2) PDH 低速インタフェース切替部

現用インタフェースパッケージ11枚、予備インタフェースパッケージ3枚の構成で、1.5, 2MbpsはN:1, 6.3, 8MbpsはN:2の切替構成をとる。

(3) 多重変換部

既存デジタルハイアラキー信号とSDH信号の相互変換、回線設定、PDH 低速インタフェース部N/E系及び600Mbps高速部ユニットのSDH 多重変換部N/E系の選択を行う。

(4) 選択部

多重変換部0/1系の選択を行う。

(5) 共通部

共通部ユニットのクロック部・警報部・制御部とのインタフェースを行う。

(6) 電源部

終端低速部ユニットに電源を供給する。5+1の冗長構成をとる。

3. 機能

3.1 多重変換機能

端局低速部に入力された52又は156MbpsのSDH信号

を終端し、600Mbps高速部のSDH 多重変換部で622MbpsのSDH信号にバイトインタリーブ多重を行う。また、終端低速部に入力された既存1.5, 2, 6.3, 8Mbps信号は、終端後に多重変換部でSDH信号を構成するVC-11又はVC-2にマッピングされる。さらに、TUポインタを付加してTU-11又はTU-2とし、VC-3にマッピングして、600Mbps高速部のSDH 多重変換部で622MbpsのSDH信号にバイトインタリーブ多重を行う。

3.2 警報機能

この装置で、装置の故障や伝送路の障害を検出して、保守者へ通知する機能、故障部位を特定する機能、検出した警報の履歴を記録する機能及び他の装置へ警報を転送する機能を持っている。

(1) 警報出力インタフェース

警報出力インタフェースとして、局内警報伝送網への出力と地気出力とを備えている。地気出力は、局内警報伝送網の補助出力として、保守上最小限必要な警報情報を出力する。

(2) 警報処理

装置で検出された警報は優先処理を行い、最上位の警報を出力する。伝送路の障害や対向装置の故障による警報の検出に加えて装置の自己監視を行い、検出した警報を処理することによって故障部位を特定して、該当パッケージ前面のランプを点灯して保守者に表示する。自己監視は、信号の空タイムスロットに挿入したパスポスターの監視、パリティチェック、信号入力断、光インタフェース回路の出力断及びLDバイアスモニタ等によって行っている。故障部位の特定は、監視内容により、ユニット内で閉じたものは各ユニットの監視部が、複数のユニットにまたがるものは共通部ユニットの警報部が行う。

(3) 警報履歴

装置で発出した警報を履歴記録し、読出し可能とすることで故障時の原因追及に供する。また、伝送路の誤り情報やスリップ発生なども記録され、品質監視に利用される。

(4) 警報転送

伝送路及びバスの終端を行い、障害発生時に下流及び対向装置に警報の転送を行う。

3.3 試験・制御機能

保守・運用性の向上を図るため、回線設定、回線試験、ソフトストラップの設定・読出し、運用状態履歴の保持・読出しの機能を持っており、端局制御装置によって遠隔からの制御が可能である。

(1) 回線設定

終端低速部ユニットの多重変換部で、600Mbps高速部ユニットから入力した高次群信号から既存低速信号への落ち構成で、HGを単位とした任意の回線の設定を行う。

(2) 回線試験

装置導入時や開通時の回線試験のための試験回路を装置内

に内蔵しており、従来のような個別の測定器による試験が不要である。

(3) ソフトストラップ設定・読出し

伝送路品質を監視する誤り率しきい(閾)値等、従来パッケージ上のスイッチやジャンパで行っていた設定を、端局制御装置によって遠隔から設定・読み出すことが可能である。

(4) 状態設定・読出し

実装状態の読出しや運用情報の設定、読出しが可能である。

(5) メモリバックアップ

ソフトストラップ情報や運用情報のメモリバックアップが可能である。バックアップされる内容は、回線設定情報、切替情報、ソフトストラップ設定情報等である。また、装置の電源断からの復旧時に際しては、バックアップメモリの内容を読み出し、電源断に陥る前の設定状態に自動的に再設定することが可能である。

(6) 切替え

装置内は、主信号系、クロック系、電源系等の各機能部を冗長化して信頼度の向上を図っており、故障時に自動的に待機系に切り替えることが可能である。また、端局制御装置から自動切替えの禁止や強制切替え、手動切替えが可能である。52、156及び622MbpsのSDH信号のインタフェース部は、セクションオーバーヘッドを用いて対向装置と切替制御信号を相互に通信して切替えを行う。

(7) プロテクト

パッケージ交換時に、誤った制御が行われることを防ぐための機能で、装置前面での操作又は端局制御装置からの設定によってプロテクト状態になると、装置内メモリへの書込み禁止及び冗長構成部の切替禁止等の運用状態固定を行う。

4. 構成技術

4.1 LSI

装置の小型化、低消費電力化を図る上で、LSI化は最も有効な手段である。今回、既存デジタルハイアラキ信号とSDH信号の相互変換、多重変換、SDH信号処理などの大規模回路には高集積度のCMOSゲートアレー、直列/並列相互変換のような高速動作が要求される回路には、156Mbps用にBi CMOS、622Mbps用にGaAsプロセスによるゲートアレーを用いることによって低消費電力化を図り、装置の自然空冷化を実現している。

4.2 光インタフェース

この装置では、8Mbps局内、52Mbps局内/局間、156Mbps局内/局間、622Mbps局間の光インタフェースを備えている。光素子は性能と経済性を考慮し、8Mbps用にはLED/PD、52及び156Mbpsの局内用にはFP-LD/PD、

622Mbpsの局間用にはDFB-LD/InGaAs-APDを用いている。さらに、局間光インタフェースでは伝送距離の違いにより、40km用に1.31 μ m、80km用には1.55 μ mの波長を使用している。各光インタフェース回路では、送信側のLD駆動回路、受信側の等化増幅回路、識別再生回路及びタミング再生回路をIC化している。

4.3 監視制御技術

監視制御部では、可能性として1秒間に数千件の警報処理が行われることや、冗長系の切替えで数十ms以内の処理が必要になることなど、高速性とリアルタイム性が要求される。このため、装置内各部に6Mbpsのシリアルデータ線を配し、監視情報・制御情報の高速転送を行っている。なお、ユニット間では装置内の実装を考慮し、CPU通信にHDLC手順に準拠した高速シリアルインタフェースを採用している。

また、CPUには通信制御に適したプロセッサを選定し、CTRON仕様に準拠したインタフェースを持つ高速リアルタイムOSを採用することで、各パッケージのハードウェア・ソフトウェアの共通化を図っている。

5. むすび

既存デジタルハイアラキ信号又は低速SDH信号を收容し、622MbpsのSDH信号に多重化して光ファイバを用いて長距離伝送を行うSDH 600Mbps多重端局終端装置について紹介した。この装置の導入により、既存網とSDH網が並存するネットワークの運用、既存網からSDH網への移行、SDH網の構築に寄与していくものと考えられる。

今後、更に高速・大容量化、高機能化の進む通信網の発展にこたえるべく、開発を推進していく所存である。

参考文献

- (1) ITU-T Rec. G707, G708, G709
- (2) 河西宏之, 白川英俊, 和才博美: 新しい同期インタフェースの適用による伝送路網の構築, NTT技術ジャーナル, 1, No.6, 39~42 (1989)
- (3) 手島邦夫, 飛田康夫, 丹治秋人, 谷本敏明, 部谷文伸, 水川繁光: 6.3~400Mbps デジタル光通信装置, 三菱電機技報, 63, No.4, 325~329 (1989)
- (4) 久保和夫, 東坂範雄, 植田昌弘, 岡田克也, 武内良祐: SDH インタフェース用 LSI, 三菱電機技報, 68, No.6, 573~577 (1994)
- (5) 高橋 章, 久保和夫, 富永茂雄, 見目一男, 飛田康夫, 菅野典夫: SDH 2.4Gbit/s 多重中継装置の試作, 電子情報通信学会春季大会, B-990 (1992)

大容量CT/RT光加入者線多重伝送装置

手島邦夫* 片山政利*
藤田夏男* 井手正樹*
西尾 猛* 小浜茂樹*

1. ま え が き

アナログ電話サービスの提供を目的とした現在の加入者網は、伝送特性の限界等により、今後の高度化・多様化する通信サービスに対応していくのが困難である。また、設備面から見た場合、老朽化による品質上の問題などがあり、その対策として、光ファイバケーブルによる加入者ネットワークの再構築が叫ばれてきた⁽¹⁾⁽²⁾。

このような背景のもとに開発されたSL-A/I形光加入者線多重伝送装置は、既存の電話サービス及びINSネット64サービスを対象とした光ファイバケーブルによる加入者ネットワークを経済的に構築するための一方式であり、大規模な再開発事業に伴う突発的需要への効率的対応、メタリックケーブルの光ケーブルへの置換による地下設備のふくそう（幅員）化対策及び小規模需要エリアの加入者をアナログ交換機からデジタル交換機へ収容替えすることによるサービスの高度化をねらいとしている⁽³⁾⁽⁴⁾。

今回、日本電信電話（株）（NTT）の御指導のもとに開発した大容量CT/RT（Central Terminal/Remote Terminal）光加入者線多重伝送装置（大容量CT/RT）は、平成3年2月から商用に供されている中容量CT/RT光加入者線多重伝送装置（中容量CT/RT）⁽³⁾⁽⁵⁾の約4倍の加入者収容能力を持つものであり、交換機のSPC（Stored Program Control）化を、更に経済的に実現するものである。

中容量CT/RTと同様のオペレーションに加えて、この装置は、伝送距離の長距離化によって収容エリアが拡大され、またアナログ電話とINSネット64の信号の多重分離機能を具備することにより、D70交換機における半固定パスの設定が不要となるためINSネット64サービスの効率的な収容が可能となっている⁽⁶⁾。

本稿では、大容量CT/RTの方式構成及び装置の概略について述べる。

2. 方式構成概要

大容量CT/RTは、図1に示すように、デジタル交換機（既存D70又は改良D70交換機）が配置された局に設置される局装置（SL-A/I形C端局多重伝送装置（大容量CT））、小規模需要局（プレハブ局及びBOX局）等に設置される加入者装置（SL-A/I形C遠隔多重伝送装置（大容量RT MUX））及び大容量CT～大容量RT間を接続する光ファイバ

加入者線伝送路によって構成される⁽⁷⁾。

この装置は、小規模交換機の更改のために、従来小規模需要局のアナログ交換機に収容されていた加入者を、デジタル交換機に収容することを目的としたものである。光ファイバ加入者線伝送路は、収容形態に応じて、伝送速度は156 Mbps又は52 Mbpsがあり、前者は伝送距離として中距離又は長距離を選択することができる。伝送速度52 Mbpsのものは中距離タイプのみである。

大容量CTはデジタル交換機と接続され、大容量RT MUXはSL-144 K形A遠隔終端ユニット（AIUNT：アナログ電話サービス及びINSネット64サービスの両方を提供可能）、又は加入者線インタフェース装置（SLIE：アナログ電話サービスのみ提供可能）と接続される。また、大容量CTは端局監視試験装置（CTTST）と、大容量RT MUXは遠隔監視試験装置（RTTST）と接続され、加入者線試験の遠隔での実施も可能な構成としている⁽⁸⁾。なお、監視・制御については、CTTSTを介して交換機オペレーションシステムとインタフェースを持つ。

表1にこの装置の主要諸元を示す。

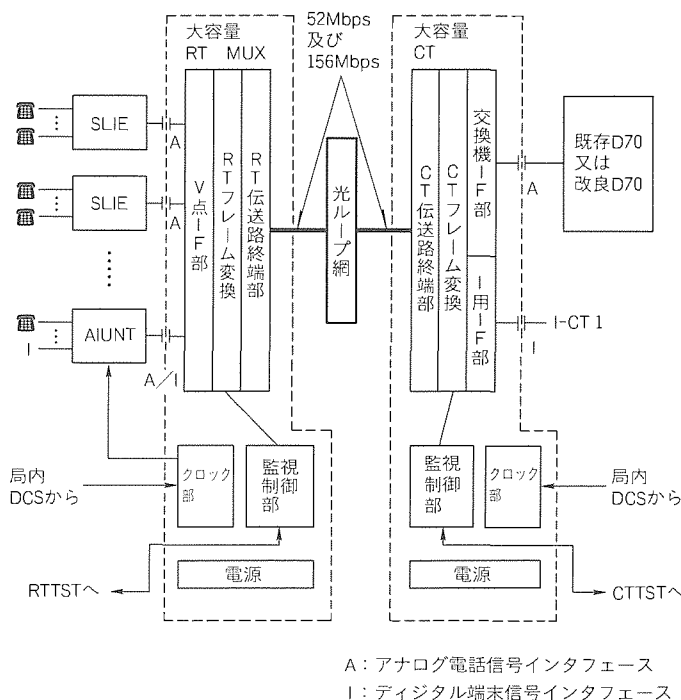


図1. 大容量CT/RT光加入者線多重伝送装置のシステム構成

3. 装置概要

3.1 局装置・遠隔装置

図2及び図3に、SL-A/I形C端局多重伝送装置156Mユニット(A/I-CT-156M-U)、SL-A/I形C遠隔多重伝送装置156Mユニット(A/I-RT-156M-U)の外観を示す。

A/I-CT-156M-Uは、デジタル交換機の集線通話路装置(LCNE)との間に、0系及び1系の2系統の加入者線ハイウェイ信号のインタフェースを持ち、LCNEからの制御信号により、そのいずれかを選択する。加入者ハイウェイ信号は、1系統当たり8本あり、これを国際標準の新同期インタフェース(SDH)のフォーマットに圧縮・多重を行い、156Mbps又は52Mbpsの加入者線多重伝送路信号に速度変換する。これを更に電気-光変換を行って光ファイバ伝送路に送出する。光ファイバ伝送路から受信した信号に対しては、この逆変換を行う。

また、A/I-CT-156M-Uは、CTTSTと監視制御信号・試験制御信号のインタフェースを持つ。CTTSTからの伝送路固定命令、小規模需要局に対する制御信号、加入者線試験を遠隔(デジタル交換局)で行うための試験制御信号を、加入者線多重伝送路信号に多重して光ファイバ伝送路に送出する。さらに、これらの応答と、大容量CTと大容量RTで検出した警報をCTTSTに転送する。

A/I-CT-156M-Uは、INSネット64サービス(I回線)用として、Iインタフェースモジュール(ISM)と接続することができる。このとき、アナログ電話音声信号のパスの一部をI回線用信号の伝送に利用することで、サービスの提供を可能とする。

また、A/I-CT-156M-Uは、デジタルクロック供給装置(DCS等)から受信したクロックで動作する。クロックは二重化で構成しており、異常を検出した際には自動的に切り替わる。

A/I-RT-156M-Uは、加入者線インタフェース部(AIUNT又はSLIE)と0系及び1系の2系統の加入者線ハイ

ウェイ信号のインタフェースを持ち、CTと同様の過程を経て光ファイバ伝送路と接続される。

SL-A/I-RT-156M-Uは、同一ユニット内に実装されたRTTSTと試験制御信号のインタフェースを持ち、加入者線試験の遠隔での(CT側からの)実施を可能としている。

また、A/I-RT-156M-Uも、クロックを二重化しており、デジタルクロック供給装置(DCS等)から受信する方式と、光ファイバ伝送路からクロックを抽出する方式を、スイッチで選択できる。

A/I-CT-156M-U及びA/I-RT-156M-Uは、ほぼすべての部分に対して冗長構成をとっており、災害時の伝送路の断線や回路故障発生時は、瞬時に待機系に切り替え、サービスへの影響を最小限に抑えることができる。また、サービスを中断することなく、故障部分の取り替えが可能である。

3.2 キャビネット

今回開発した装置は、いずれも標準のユニット枠に納められており、A/I-CT-156M-Uは、D70集線装置架(LCF)及びSL-A/I形C端局多重伝送装置局用架(CTUF)に搭載される。図4にCTUFの外観を示す。A/I-RT-156M-Uは、CTUFと同様な構造のSL-A/I形C遠隔多重伝送装置基本架(RT FB)に搭載される。

4. 装置の小型化・経済化

今回の装置開発は、小型化・経済化・保守の簡素化が主な目的であり、方式・諸元の見直しを行った。

中容量CT/RTからの技術的改良点を以下に示す。

表1. 主要諸元

運用領域	●局統合 ●小規模交換機等の更改	
収容回線数	アナログ電話	最大1,920加入
	INSネット64	最大128加入
接続対象交換機	既存D70及び改良D70	
伝送路 インタフェース	156M×二重化 又は 156M×1(0系)+52M×1~3(1系)	
E/O部	156M	中距離タイプ
	52M	長距離タイプ
A/I混載方式	CTでA/I分離	
保守系	中容量CT/RTと同様	

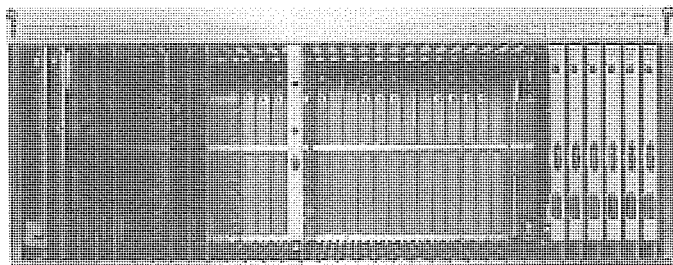


図2. SL-A/I形C端局多重伝送装置 156Mユニット

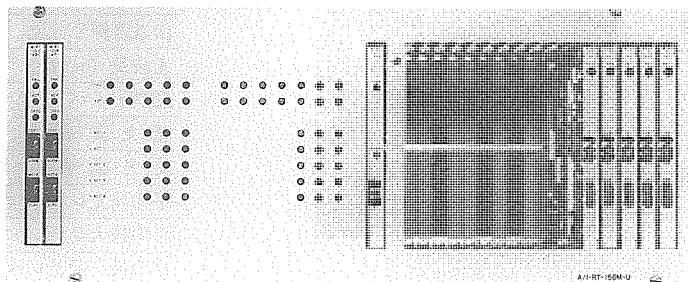


図3. SL-A/I形C遠隔多重伝送装置 156Mユニット

(1) バイト多重による 156 M/52 M 光ファイバ加入者線伝送路インタフェースの実現

SDH (新同期デジタルハイアラキ) の適応と、高速光送受信器の採用により、伝送速度の高速化を行った (従来の 32Mbps から 156Mbps 又は 52Mbps に変更)。

(2) LSI 化による低消費電力化及び高密度実装化

信号処理部・監視制御部等を大規模集積回路 (LSI) を用いて実現することにより、大幅な低消費電力化及び高密度実装化を実現した。これにより、従来と同サイズのきょう (筐) 体の実装し、かつ自然空冷が実現できた。また、高速動作回路を LSI に取り込み、妨害波の放射を抑えている。

(3) 主要部の冗長化

大容量 CT/RT は、CT ~ RT の光ファイバケーブルを含む主信号の障害によるシステムの不稼働率を実用上十分無視できる値とするため、主信号・クロック系は二重化、電源部は $N+1$ 重化の冗長構成を採用した。

(4) 異常監視範囲の細分化

信号誤りを逃さず検出するため、基板間の信号の送受信、基板の入力から出力まで、RAM の入力から出力までを、複数区間で常時監視している。また、異常が発生した場合、二次障害の発生を最小限に抑え、異常発生基板のみ前面のランプを点灯する構成としている。これにより、保守者が異常箇所特定を容易に行えるようになる。

(5) 光ファイバ伝送路の長距離化

この装置の光送受信部は、中距離タイプ (伝送可能距離約

40km) と長距離タイプ (伝送可能距離約 80km) をサポートしており、従来から広い範囲で伝送路光ループの構築が可能となった。

5. 主要回路技術

5.1 光伝送回路

光加入者線多重伝送装置に実装する光伝送回路は、小型・低消費電力が必ず (須) である。また、加入者系における高速・広帯域サービスへの展開を図る上で、シングルモード (SM) 光ファイバの使用が前提である⁽⁹⁾。

今回開発した光送受信モジュール (52M/156M の 2 タイプがある。) の主要諸元を表 2 に示す。表に示すように、適用区間距離に対して、中距離用と長距離用の 2 種類があり、それぞれ必要な区間許容損失に対応した発光レベルと受光レベルが規定されている。中容量 CT/RT と同様、光ファイバは、伝送特性の優れた SM ファイバが用いられ、発光素子は、SM ファイバと結合効率が良いレーザダイオード (LD) が用いられている。また、受光素子は、中距離用としてはゲルマニウムアバランシフोटダイオード (Ge-APD) が、長距離用として、高感度の 3 元のアバランシフोटダイオード (InGaAs-APD) が用いられる。

回路構成は送信モジュールと受信モジュールの二つに分かれ、各々をシールドを兼ねた金属ケースに納めて、コネクタピンによって回路基板と電気的接続をする小型・薄型の構造とした。送信モジュールと受信モジュールは、互換性を考慮して、それぞれ同一寸法とした。

5.2 L S I

この装置の開発では、4 章で述べたように高密度実装が要求され、かつ自然空冷実現のため特に低消費電力化が要求される。また、光伝送回路内の光素子やアナログ回路は温度特性を持つので、周辺に実装される回路の低消費電力化は信頼度上も重要である。このため、大容量 CT/RT では主要回路のほとんどを LSI 化した。

表 2. 光送受信モジュール主要諸元

名 称	156M 光送受信モジュール		52M 光送受信モジュール
伝 送 速 度 (Mbps)	155.52		51.84
適 応 区 間	長距離用	中距離用	中距離用
伝送路符号	スクランブルド 2 値 NRZ		
光波長 (μm)	1.31±0.02		
光ファイバ	SM 形光ファイバ		
発 光 素 子	LD		
受 光 素 子	InGaAs-APD	Ge-APD	Ge-APD
平均発光レベル (dBm)	+1 ~ +7	-3 ~ +3	-3 ~ +3
平均最大受光レベル (dBm)	-29	-17	-17
平均最小受光レベル (dBm)	-44	-35	-35
伝送可能距離 (km) (目安)	80	40	40

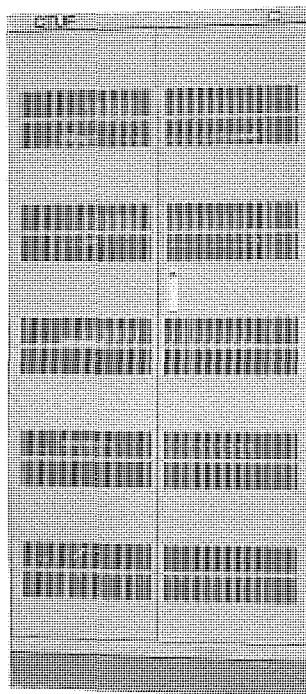


図 4. SL-A/1 形 C
端局多重伝送装置局用架

6. む す び

ここに紹介した大容量 CT/RT は、既に平成 5 年 12 月から商用に供されており、順調に稼働中である。

今後、将来のネットワークの基盤設備となる光加入者ネットワークの構築に向けて、本格的な導入が期待される。

最後に、日ごろから多大なる御指導を賜わる NTT ユーザシステム部の関係各位に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 高江洲文雄：都心部への光加入者方式の導入，NTT 施設，**40**，No.7，30～33（1988）
- (2) 高島征二：光加入者ネットワーク，NTT R & D，**38**，No. 4，441～458（1989）
- (3) 露木 滋，吉原崇之，市川智昭，小泉春吾：経済化光加入者線多重伝送方式の実用化，NTT R & D，**39**，No.12，1713～1720（1990）
- (4) 露木 滋，浅野健志，加登谷 裕：電話用光加入者線多重伝送方式，NTT 技術ジャーナル，**1**，No.6，9～12（1989）
- (5) 飛田康夫，小須田伸一，牧野伸也，手島邦夫，藤田夏男，溝口隆宏：SL-A/I 形光加入者伝送装置，三菱電機技報，**64**，No.5，419～422（1990）
- (6) 村上克己，八木伸吾，伊藤博行：大容量 CT/RT の開発，NTT 技術ジャーナル，**5**，No.9，52～53（1993）
- (7) 島田禎晋，山下一郎，川瀬正明，太田紀久：光アクセス方式，オーム社（1993）
- (8) 深山雅庸，市川智昭，花崎 修，山本昌樹：経済化 RT TST 方式の概要，NTT 技術ジャーナル，**2**，No.9，39～41（1990）
- (9) 土屋敏之，首藤晃一，米田悦吾：SM 型にも適用可能な新しい加入者系光伝送回路，NTT 技術ジャーナル，**1**，No.4，69～72（1989）

ATM加入者線伝送装置

鈴木孝昌* 矢野雅嗣*
本島史門之* 野上正道*
土田 充* 上田広之**

1. ま え が き

次世代の通信網である広帯域 ISDN は、ATM (Asynchronous Transfer Mode) 技術を使用して構築される。ATM は、情報をセルと呼ばれる固定長のパケットに乗せて伝送・交換を行う通信モードであり、高速、大容量の伝送・交換が可能である。NTT を中心に研究開発されている ATM リンクシステム⁽¹⁾は、バーチャルパスを基本概念に持ち、シンプルでフレキシブルな網内伝送ネットワークの構築が可能である。同システムは、加入者線終端装置 SLT (Subscriber Line Terminator) / 網終端装置 NT (Network Terminator)⁽²⁾、分岐挿入型多重化装置 ADM (Add-Drop Multiplexer)、及びクロスコネクト装置 XC (VP Cross-Connect System) 等から構成される。このうち、SLT は局内に設置され加入者線の終端を行い、NT は加入者宅内に置かれユーザー・網インタフェースを提供する装置である。

我々は ATM 伝送技術において、まず ATM 加入者系伝送技術確立するため、ATM リンクシステムとして公表されている SLT/NT 仕様⁽²⁾を基に ATM 加入者線伝送装置の試作を行った。今回試作した ATM 加入者線伝送装置は、ATM リンクシステムの SLT/NT とは同一ではないが、以下では便宜的に SLT/NT と略称させていただくことにする。加入者系では加入者対応ごとに設備が必要であり、装置の経済化、低消費電力化が大きな課題となる。このため、今回の試作では SLT/NT の主要機能を BiCM OS-LSI によって実現し、装置が極力コンパクトになるように開発を進めた。

本稿では、まず試作した SLT/NT の全体構成を述べ、次にハードウェア構成とソフトウェア概要について述べ、最後に試験評価について述べる。

2. 全 体 構 成

SLT は、150 Mbps の加入者線を終端し、セルをスイッチによって VP (Virtual Path) レベルで多重分離してクロスコネクト装置や ATM 交換機に局内インタフェースで接続する装置である。また、パス運用機能としてセル流入規制を行う UPC (Usage Parameter Control) 機能⁽³⁾及び保守運用を行う OAM (Operation and

Maintenance) 機能⁽⁴⁾を持つ。

図 1 に試作した SLT の基本構成を示す。加入者線インタフェースと局内インタフェースは、それぞれ物理レイヤの終端を行い、セル転送部はセルのスイッチングを行う。今回の試作ではセル転送部にパス運用機能を設け、UPC 機能と伝送品質監視 OAM 機能と警報転送 OAM 機能等について実現している。監視制御部は SLT 全体の監視制御を行い、クロック生成部は DCS (Digital Clock Supply) に同期したクロックを装置内に供給する。セル転送部と局内インタフェースは二重化し、装置の信頼性を高めている。制御コンソールは、方路設定、VPI 変換の設定、二重化切替の設定や監視情報の表示等を行う。NT は、加入者宅内でユーザー・網インタフェースを提供し、局内の SLT にセルを転送する機能を持つ。表 1 に SLT の機能概要を示す。

開発した SLT/NT の特長としては、加入者線/局内インタフェースやスイッチに小型光モジュールや大規模 BiC MOS-LSI⁽⁵⁾を多数採用することにより、高実装密度化と低消費電力化を図ったこと、及びスイッチにセル廃棄率特性が非常に良い共通バッファ方式を採用していることが挙げられる。

3. ハードウェア構成

3.1 加入者線/局内インタフェース

加入者線/局内インタフェースは、広帯域 ISDN のレイ

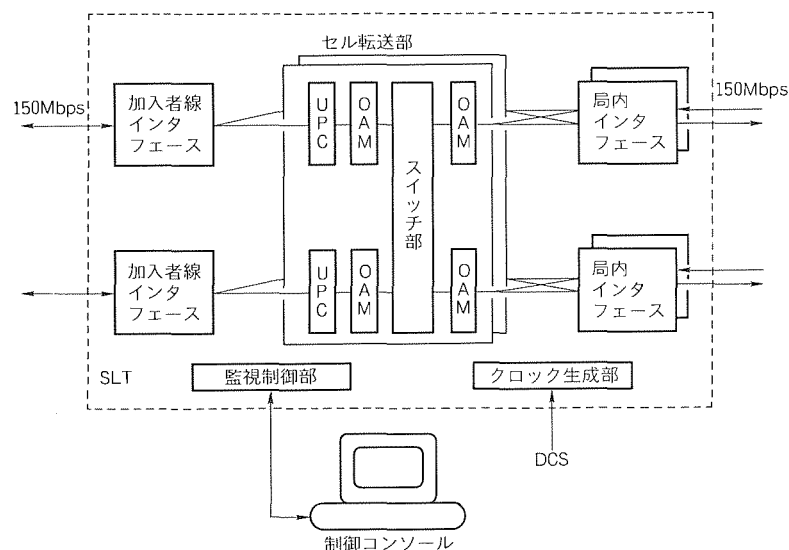


図 1. SLT 基本構成

表 1. SLT主要機能

インタフェース	150Mbps加入者線インタフェース (光波長多重) 150Mbps局内インタフェース
スイッチの構成	600Mbpsベース 8×8, 2面構成
パス運用機能	警報転送, 伝送品質監視, UPC等
二重化構成	局内インタフェースとセル転送部は二重化構成 セル転送部の無瞬断切替えを実施

や構成における物理レイヤ機能を提供する。図 2 に構成を示す。各インタフェースは, STM-1 (Synchronous Transport Module-1) の光インタフェースである。なお, 加入者線インタフェースは, 光ファイバ 1 心で双方向伝送を行う波長多重伝送方式を用いている。

物理媒体サブレイヤ終端部は, 光/電気変換を行う。光モジュールの諸元を表 2 に示す。

伝送コンバージェンスサブレイヤ終端部は, セクションオーバーヘッド終端, ポインタ終端, パスオーバーヘッド終端といった一連の SDH 処理, 及びセル同期やセルの SDH ペイロードへのマッピング等の処理を行う。

伝送コンバージェンスサブレイヤは, Bi CMOS-LSI 1 チップで構成し⁽⁵⁾, 小型光モジュールと合わせ, 加入者線/局内インタフェースのコンパクト化を図った。

3.2 UPCとOAM機能

(1) UPC 機能

ATM では, 複数の端末が非同期にセルを送出してくるため, 同一方路に対して許容速度以上のセルが流入し, スイッチでセルの廃棄が発生する場合が起こりうる。これを回避するためのセル流入規制機能が UPC であり, VP 単位で T セル時間内に許容できるセル数 X を規定し, 違反しているセル流については廃棄し, 網内でのセルのふくそう (輻輳) を回避して, 他の VP を守る役目を果たす。

UPC は, T セル時間のウインドウが 1 セルごとにスライドするスライディングウインドウ規制と, 固定位相で規制する固定ウインドウ規制の二つのタイプを実現している。

(2) OAM 機能

伝送路及び装置に異常が生じた場合, 迅速な保守を行うことが重要である。今回は, OAM の基本機能である伝送品質監視機能と警報転送機能などを実現した。伝送品質監視は装置間でセルのエラーや廃棄が生じていないことを VP ごとに監視し, 警報転送は VP ごとに故障を他装置に通知するものである。伝送品質監視と警報転送は, 共に必要な情報が挿入された OAM セルを発生, 受信することによって上記

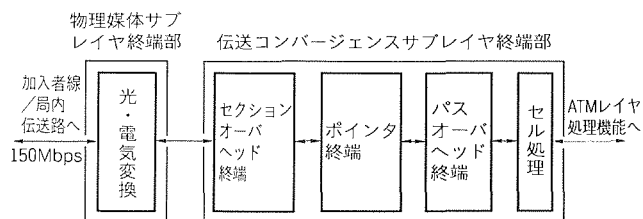


図 2. 加入者線/局内インタフェース構成

表 2. 光インタフェース諸元

インタフェース種別	局内インタフェース (送受分離タイプ)	加入者線インタフェース (波長多重タイプ)
インタフェース速度	155.520Mbps	155.520Mbps
伝送路符号	スクランブルド 2 値 NRZ (None Return to Zero)	スクランブルド 2 値 NRZ (None Return to Zero)
波 長	1.31 μm	上り: 1.31 μm 下り: 1.55 μm
平均送信電力	-17~-11dBm	-12~-7 dBm
平均受光電力	-23~-8 dBm (BER=10 ⁻¹⁰)	-28~-9.5dBm (BER=10 ⁻¹⁰)

表 3. UPCとOAMの機能概要

機 能	内 容
U P C	スライディングウインドウ: T=1~10 ⁵ セル, X=1~10 ⁵ セル 固定ウインドウ: T=1~10 ⁶ セル, X=1~10 ⁶ セル
伝送品質監視 O A M	伝送品質監視セルの送出, ユーザーセルのビットエラーの検出, ユーザーセルとOAMセルの損失, 誤配検出, 伝送品質劣化検出
警 報 転 送 O A M	VP-AISセル, FEUSFセルの発生, VP-AIS状態とVP-FERF状態の検出解除

注 AIS : Alarm Indication Signal FERF : Far End Receive Failure,
FEUSF : Far End User Send Failure

の機能を実現している。

試作 SLT で実現した UPC と OAM の機能概要を表 3 に示す。

3.3 スイッチ部

スイッチ部は, セルヘッダに書かれている VPI (Virtual Path Identifier) 値を参照してセルを所定の方路に転送する。スイッチ部の構成を図 3 に示す。スイッチ部は, セル多重, VPI 変換, スイッチから構成される。スイッチ部は, 上りと下りを別々のブロックで行う 2 面構成としている。

セル多重は, 150 Mbps のセル流を 600 Mbps に時分割多重する。VPI 変換は変換テーブルを参照し, VPI 値を変換するとともに, セルの行き先を指定するタグをセルに付与する。VPI 変換テーブルは 2 面持ち, 瞬時に切り替えられるようにしている。スイッチは, セル廃棄率特性に優れた共通バッファ方式で実現しており, アライナ, バッファ, コントローラの各部から構成される。アライナは, VPI 変換とバッファの間でセルの位相を微調整し, またセルの行き先情報をコントローラに送る。バッファはセルを蓄積し, コントローラの指示で, 所定の方路にセルを出力する。

セル多重と VPI 変換及びスイッチングを行うアライナ,

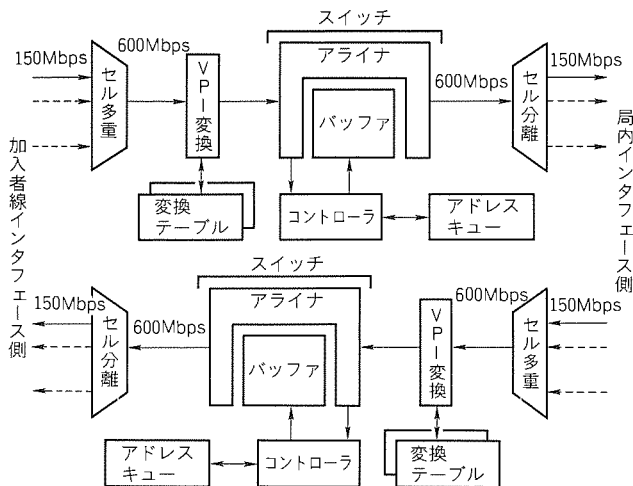


図3. スイッチ部の構成

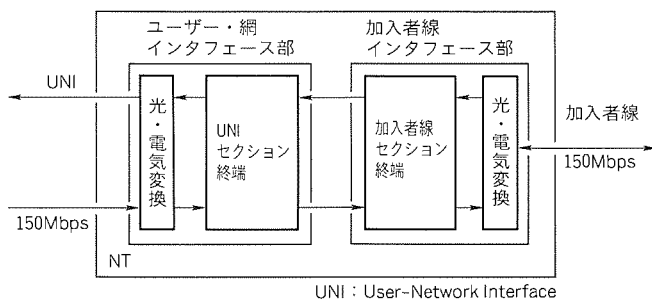


図4. NT基本構成

バッファ、コントローラはすべて最新技術の0.8 μ mのBiC MOS-LSI⁽⁶⁾で構成しており、コンパクトで低消費電力のスイッチ部を実現している。

3.4 NT

NTはユーザー宅内に置かれ、加入者線インタフェースを収容するとともに、ITU-T 勧告I.432に準拠したB-ISDNユーザー・網インタフェースを提供する。各インタフェースは、STM-1による光インタフェースである。

NTは、図4に示すように加入者線インタフェース部及びユーザー・網インタフェース部から構成される。NTの各インタフェース部では、光信号から電気信号への変換及びセクションオーバーヘッド処理等のセクションレベルまでの終端機能を持つ。表4に主要諸元を示す。

4. ソフトウェア概要

4.1 ファームウェア

ファームウェアは、SLTの状態監視及び制御機能を持つ。その構成として、機能の追加及び変更に対応できるように、機能ごとにタスクに分割したマルチタスク構成を採用している。ファームウェアの機能を以下に示す。

(1) 装置管理

パッケージ及び回線状態を周期的に監視し、状態変化検出時にコンソールに通知する。セル転送部及び局内インタフェ

表4. NT主要諸元

項 目	内 容
ユーザー・網 インタフェース	STM-1 フレーム, 155.52Mbps 2心双方向伝送 (光ファイバ)
加入者線 インタフェース	STM-1 フレーム, 155.52Mbps 2波長多重双方向伝送 (光ファイバ)
外形寸法	(W)36×(D)196×(H)122 (mm)
消費電力	15W以下

ースでの障害を検出した場合、又はコンソールからの指示があった場合、セル転送部及び局内インタフェースの二重化切替の制御を行う。

(2) 伝送品質監視

全VPについて伝送品質状態を監視し、状態変化検出時にコンソールへ通知する。コンソールから指定されたVPの伝送品質監視情報を1秒周期でコンソールに通知する。

(3) 警報モニタ

収容回線の全VPについて、VP-AIS状態及びVP-FE RF状態を周期的に監視し、状態変化検出時にコンソールに通知する。

(4) UPCパラメータ設定

コンソールから通知されたUPCパラメータを設定する。

(5) VPI変換テーブルの設定

VPI変換テーブルの未使用面にコンソールから通知された新たなテーブルの内容を設定した後、現在の使用面との切替を行い、VPI変換テーブルの設定を行う。

4.2 コンソールソフトウェア

コンソールは、SLTの動作制御及び監視のためのマンマシンインタフェースを提供する。今回の試作では、特に開発ハードウェアの動作を詳細にモニタできることを主眼として、周期監視データを連続的に画面表示する機能や詳細な発生イベントをリアルタイムに表示する機能を設けた。なお、使用したマシンは当社ME/R7300であり、マンマシンインタフェースにはOSF/MotifによるGUI (Graphical User Interface) を用いた。

(1) 設定データ編集支援

SLTの動作条件を規定するVPI変換テーブル、UPCパラメータの編集を支援し、ファイルに保存する。これらのデータは、SLT起動時又は運用中にファイル名で指定され、SLTに設定される。VPI変換テーブルの設定ではマンマシン上で、上り方向のデータのみを指定すればよく、SLTへの設定時にコンソールによって上り・下り両方向のデータに展開している。

(2) 初期設定・起動制御 (SLT 起動時)

コンソール起動時にオペレータは上記各設定データ及び伝送品質監視データ受信対象VPを指定し、SLT起動コマンドを入力する。これによってコンソールは、SLTに各データを初期設定して起動制御を行う。

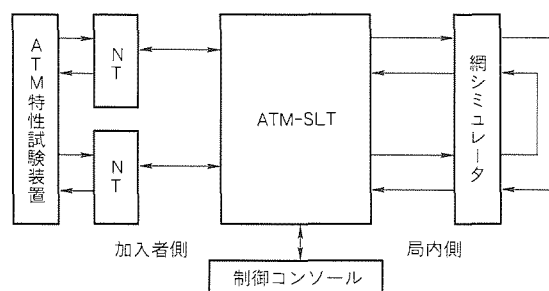


図5. SLT/NT試験系

(3) 動作制御 (SLT 運用中)

SLT 運用中、下記制御操作インタフェースを提供し、オペレータの操作に従って SLT を制御する。

- 各設定データの切替え (ファイル指定) / 部分変更
- 伝送品質監視データ送信指示 (VP 単位)
- セル転送部 / 局内 IF の強制二重化切替え

(4) 状態管理・監視機能 (SLT 運用中)

SLT 各部の正常 / 障害状態に加え、ハードウェア OAM 機能により、監視される伝送品質劣化、警報セル受信、UPC セル廃棄の各状態と二重化部の現用 / 待機を管理し、画面上に表示する。これらの各状態に変動があった場合は、リアルタイムに発生イベントの表示及び状態表示の更新を行う。また、周期的に転送される伝送品質監視データ、UPC 廃棄セル数についてはスクロールアップしながら連続的に表示する監視画面を設けた。

5. 試験評価

図5に示す試験系により、開発した SLT/NT の各種評価試験を行った。主な試験項目は、①導通試験、②スイッチ機能試験、③UPC 試験、④伝送品質監視 OAM 試験、⑤警報転送 OAM 試験の5項目である。試験系において測定器は、ATM特性測定装置⁽⁶⁾を使用した。また、網シミュ

レータはセルの廃棄やエラー、順序逆転などを起こすことができる装置として開発したものであり、伝送品質監視 OAM 試験をサポートするものである。評価結果はすべて良好であり、SLT/NT の各機能を実証できた。

6. むすび

開発した SLT/NT についてハードウェア構成やソフトウェア概要、及び評価試験について述べた。この試作と評価を通じて、加入者線伝送装置の基本技術を確認することができた。今後、高密度実装、低消費電力化を更に進めて、装置としての完成度を高めていく予定である。

参考文献

- (1) 鶴沢郁男, 菊地克昭, 小口喜美夫: ATM リンクシステムの技術開発, NTT R & D, 42, No.3, 331 ~ 342 (1993)
- (2) 戸倉信之, 坪井利憲, 龍野秀雄, 中島 隆, 梶山義夫, 長迫勇樹: ATM 加入者網構成技術, NTT R & D, 42, No.3, 367 ~ 380 (1993)
- (3) 佐藤健一, 佐藤陽一, 山中直明, 林 一博: パーチャルバス収容設計技術, NTT R & D, 42, No.3, 343 ~ 356 (1993)
- (4) 上田裕巳, 金山之治, 松永治彦, 前田洋一: パーチャルバスの OAM 技術, NTT R & D, 42, No.3, 381 ~ 392 (1993)
- (5) 山中秀昭, 大久保啓示, 青柳秀典, 佐藤浩之, 近藤晴房, 沢田圭一: ATM システム用 LSI, 三菱電機技報, 68, No.6, 568 ~ 572 (1994)
- (6) 羽根稔尚, 上田広之, 木田等理, 土田 充, 鈴木孝昌, 福田雅裕: ATM 特性測定装置, 三菱電機技報, 68, No.6, 536 ~ 540 (1994)

高速デジタル光加入者伝送装置

鹿野朝生* 小須田伸一**
西尾利香* 高橋 章**
一番ヶ瀬 広** 吉田俊和**

1. ま え が き

同期デジタルハイアラキー (Synchronous Digital Hierarchy: SDH) は、高速同期網を確立するため1988年にITU-T (旧CCITT) において標準化され、世界的に研究開発が進められ商用に供されている。今回、日本電信電話 (NTT) 伝送システム研究所の御指導のもとに、SDHに準じた広帯域光加入者システムの一形態である高速デジタル光加入者伝送装置の開発を行った。このシステムは、VRS (Video Response System), CATV (Cable TV) 等の映像サービスを効率的に提供するための映像分配機能とともに、1.5 ~ 52 Mbpsの中高速伝送サービス等複数サービスをSDHの155.52 Mbpsのフレームに多重してユーザーに提供できる光加入者システムである。

本稿では、方式構成、装置概要及び開発部品について紹介する。

2. 方式概要^{(1)~(3)}

図1に装置の構成を示す。加入者宅内に設置される網終端装置 (ONU) は、局舎に設置される加入者線終端装置 (SLT) と光加入者線で接続されており、映像系サービス (CATV, VRS サービス), 中速サービス (INS ネット 1500 サービス, 1.5 Mbps / 6.3 Mbps 専用線サービス), 高速サービス (52 Mbps の伝送容量サービス) といった種々のサービスを、波長多重 (WDM) を用いることにより、1本の光ファイバで効率的に提供する。

また、異なった速度・接続形態のサービスの多重化にはSDH多重化を用いて、サービスごとの運用管理を容易にし、サービスの拡張に柔軟に対応している。局舎設置装置であるSLTには、サービス対応のノードと接続する局内インタフェースとしてSTM-1を、CATVセンター及びVRSセンターと接続する局内インタフェースは、多数の映像チャンネルを提供するためSTM-4を用いている。表1にこのシステムの主要諸元を示す。全デジタル化が進んだ場合、これによって将来の動画像符号化技術の進展に対応して、デジタルビデオを用いた映像分配サービス及びオンデマンドビデオ

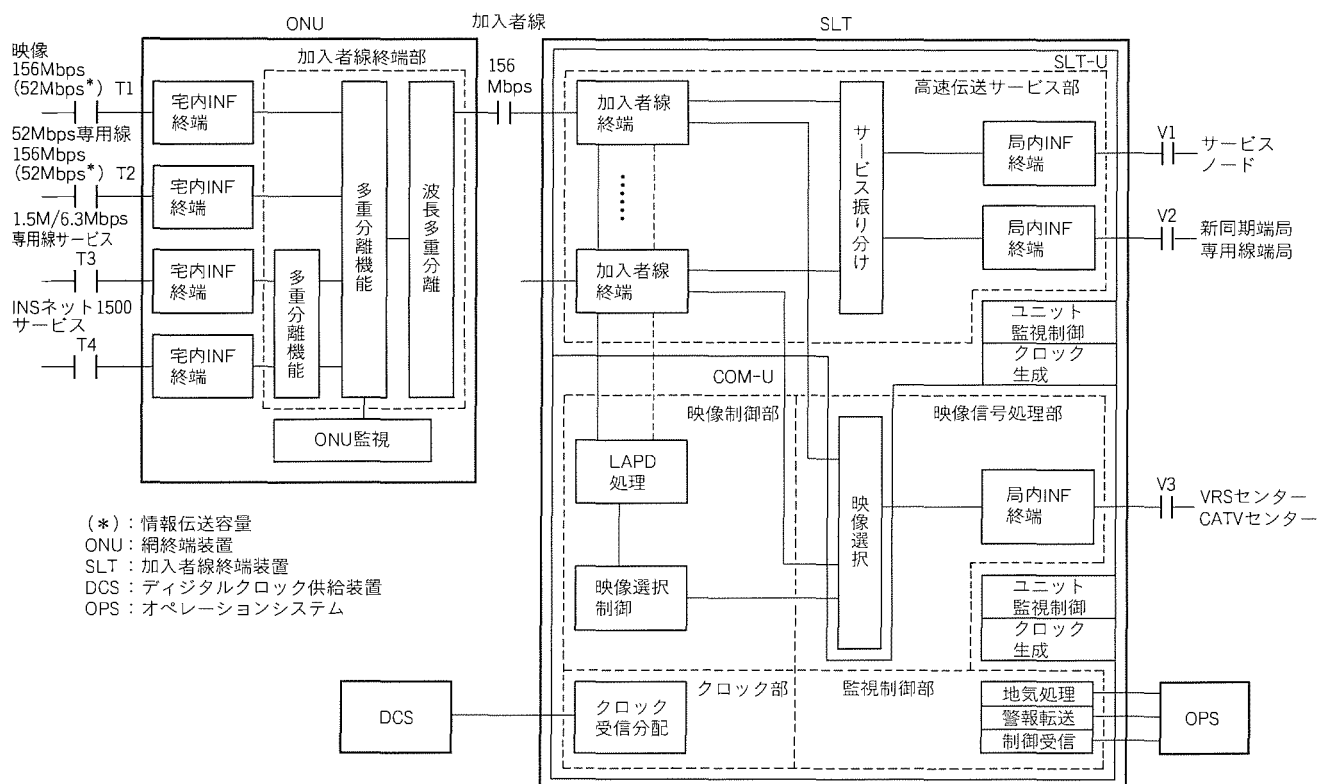


図1. 高速デジタル光加入者伝送装置の構成⁽¹⁾

表1. システムの主要諸元⁽¹⁾

項 目	内 容
サービス	映像及び高速伝送サービス
映像ソース容量	CATV: VC11×336ch/VRS: VC11×336ch
映像提供チャンネル数, 速度	4ch/ONU VC11×n/チャンネル nは1~28
52Mbps専用線提供回線数	最大1回線/ONU
1.5Mbps系提供回線	1.5Mbps専用線
加入者線伝送方式	波長多重光伝送方式
伝送媒体	1.3μmシングルモードファイバ
使用波長	上り波長: 1.3μm, 下り波長1.5μm
伝送速度	156Mbps
基本フレーム構成	STM-1 (VC3×3)
SLT	INSキャビネット架, Hi-PAS実装
収容加入者数	90加入者/架
映像選択SW規模	672×840VC11片方向/ユニット
サービス振り分けSW規模	840×840VC11, 30×30VC3 双方向/ユニット
ONU	タイプA 映像インタフェース 1本 1.5Mbps専用線インタフェース 1本
	タイプB 映像用インタフェース 1本 52Mbps専用線インタフェース 1本 6Mbps専用線, 1.5M専用線 INSネット1500インタフェース 合計7本

サービスの提供が可能となる。

3. 装置概要

3.1 網終端装置 (ONU)

この装置は加入者宅内に設置され、ユーザー網インタフェース (UNI) を加入者に提供する装置であり、宅内 INF 終端部、加入者線終端部、ONU 監視部から構成される。図2に装置外観を示す。

3.1.1 宅内 INF 終端部

この終端部は、図1に示す4種類の UNI を提供する。

(1) 映像インタフェース (T1)

T1は、映像サービスを提供する UNI である。伝送フレームは STM-1 に準拠し、そのうちの一つの VC3 を用い7個の VC2 パスで 6.3Mbps の映像サービスを提供する。また、映像制御信号はこの VC3 パスのオーバヘッドを用いて転送される。映像制御信号のレイヤ2手順は TTC 標準 J-T-Q921 のレイヤ2手順 (LAPD) に、レイヤ3手順は TTC 標準 J-T-Q931 の一部に準拠している。

(2) 52Mbps 専用線インタフェース (T2)

T2は、52Mbps 専用線サービスを提供する UNI である。伝送フレームは STM-1 に準拠し、そのうちの一つの VC3 を用いる。

(3) 1.5Mbps/6.3Mbps 専用線インタフェース (T3)

T3は、1.5Mbps/6.3Mbps 専用線サービスを提供する UNI (TTC 標準 J-T-I431-a/J-T-G703-a) である。加入者線上では一つの VC3 中にマッピングされる。

(4) INS ネット 1500 インタフェース (T4)

T4は、INS ネット 1500 サービスを提供する UNI (TTC

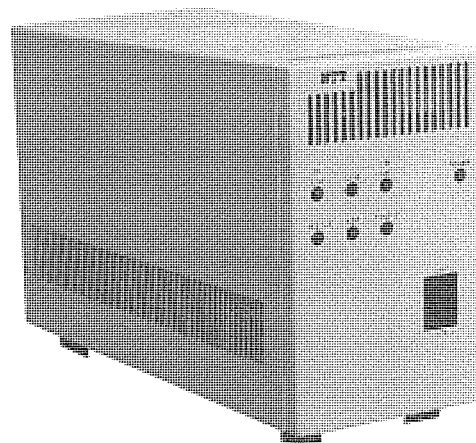


図2. 網終端装置の外観

標準 J-T-I431) である。加入者線上では前記(3)と同じ VC3 の中にマッピングされる。

3.1.2 加入者線終端部

加入者線終端部は、以下の機能を持っている。

(1) 波長多重分離部

この機能は、SLT からの 1.5μm 下り信号の波長分離、受信処理を行い、宅内 INF 終端部へ下り信号として転送する。また、宅内 INF 終端部からの上り信号を 1.3μm 光信号化後、波長多重処理を行い SLT に伝送する。

(2) 多重分離部

この機能は、T1、T2 及び T3/T4 をそれぞれ一つの VC3 に多重した信号を STM-1 に多重する機能及びその逆の機能を持っている。

3.1.3 ONU 監視部

この監視部は、加入者線インタフェース監視情報及び ONU 装置状態監視情報を、簡易レイヤ2手順 (簡易 LAPD: ITU-T 勧告 G.96Z) に従い、STM-1 上り信号のオーバヘッド内のデータコミュニケーションチャンネル (DCC) を用いて SLT へ送出することで、ONU の遠隔保守を実現している。

3.2 加入者線終端装置 (SLT)

この装置は、Hi-PAS 実装技術に基づく INS キャビネット架に搭載される最大3台の加入者線終端ユニット (SLT-U) 及び1台の共通ユニット (COM-U) から構成され、高速伝送サービス処理部、映像信号処理部、クロック部及び監視制御部から構成される。図3に装置外観を示す。以下、各部の概要を示す。

3.2.1 高速伝送サービス処理部

この機能は SLT-U に配備され、局内インタフェース (INF) 終端部、サービス振り分け部及び加入者線終端部から構成される。また、局内 INF 終端部及びサービス振り分け部は冗長構成により、異常時、運用系から予備系への自動切替えが行われる。

(1) 局内インタフェース終端部

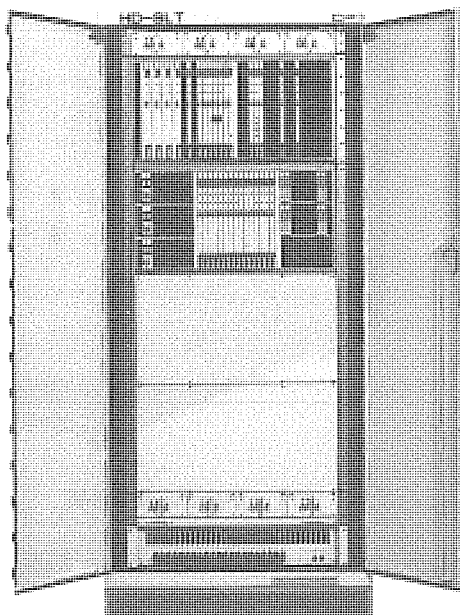


図 3. 加入者線終端装置の外観

この機能は、サービス対応に設置されるノードとの間において STM-1 信号で送受される局内インタフェース信号の終端及びサービス振り分け前処理を行う。サービス振り分け部において、TU11 単位でパス設定を行うために、VC3 の位相をそろえる必要があり、これを TU のポイントを変換することによって実現している。84 個の TU11 ポイント変換は、共通バッファメモリ、時分割処理によって 1 チップで実現した。

(2) サービス振り分け部

この機能は、高速伝送サービス信号の方路設定機能を持ち、52Mbps 専用線信号の方路設定を行う 30×30 の VC3 単位スイッチと、1.5Mbps/6.3Mbps 系信号の方路設定を行う 252×252 の VC11 単位スイッチによって構成される。

(3) 加入者線終端部

この機能は、ONU との間において STM-1 信号で送受される加入者線信号の終端及びポイント変換を行う。また、映像信号、52Mbps 専用線信号及び 1.5Mbps/6.3Mbps 系信号をそれぞれ収容した 3 個の VC3 パスの多重分離を行うとともに、加入者線監視制御に使用する簡易 LAPD 信号の挿入・分離及び映像制御信号の多重分離を行う。また、図 4 に示すように、Hi-PAS 実装用の 100mm 高パッケージに部品を高密度実装してこの機能を構成することで 1 SLT-U 当たり 30 加入者収容をパッチャネル実装で実現している。

3.2.2 映像信号処理部

この機能は SLT-U 及び COM-U に配備され、局内 INF 終端部、映像選択部及び映像制御部から構成される。また、局内 INF 終端部及び映像選択部は冗長構成により、異常時、運用系から予備系への自動切替えが行われる。以下に各機能の概要を示す。

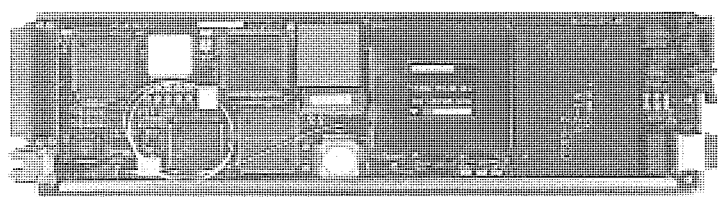


図 4. 加入者線終端パッケージ

(1) 局内 INF 終端部

この機能は、サービス対応に設置される CATV センター及び VRS センターからの STM-4 信号で受信される局内インタフェース信号の終端及びポイント処理を行う。STM-4 信号 1 本には VC11 単位で 336ch の情報がマッピングされている。

(2) 映像選択部

この機能は、映像サービス信号の映像選択機能を持ち、CATV と VRS サービスの STM-4 信号 2 本を VC11 単位で入力し、 672×840 ch の方路設定を行い、出力チャンネルの伝送速度を VC11 単位で任意に設定することができる。

(3) 映像制御部

この機能は、LAPD 処理部及び映像選択制御部から構成され、LAPD 処理部で映像制御信号を終端後、映像選択制御部で加入者への映像チャンネル制御を行い、映像制御信号に基づき CATV と VRS の各々のサービスに準じた制御処理を行う。以下に制御処理の概要を示す。

(a) CATV サービス選択時

加入者宅内からのチャンネル選択信号に基づき、映像選択部に対して選択する映像チャンネルを指示する。

(b) VRS サービス選択時

呼び発生時に SLT に対して VRS チャンネル設定を行うとともに、加入者 - VRS センター間における映像ソース制御信号のコマンド(スタート、ストップ、ポーズ等)/レスポンスをトランスペアレントに転送する。VRS センターでは受信した映像制御信号に基づき映像ソース提供装置の制御を行い、加入者の要求するサービスを提供する。

3.2.3 クロック部

この機能は、SLT-U 及び COM-U 上に配備され、クロック受信分配部及びクロック生成部から構成され、各 SLT-U へのクロック供給分配及びユニット内クロック生成を行う。また、クロック部は冗長構成により、異常時、運用系から予備系への自動切替えが行われる。

3.2.4 監視制御部

この監視部は、COM-U 及び SLT-U 上に配備され、ユニット監視制御部、警報転送部、制御受信部及び地気処理部から構成され、警報監視及び試験制御情報処理を行う。また、各ユニット監視部はユニット内警報監視及び各種ランプ表示を行う。

(1) ユニット監視制御部

ユニット監視制御部は、各ユニットに配備され次の処理を行う。

(a) パッケージの故障評定

高速伝送処理部、映像信号処理部における電源監視、クロック監視、主信号パスパターン監視による故障情報の一括収集を行い、故障箇所を評定する。

(b) 故障発生時の冗長系自律切替制御

(2) 警報転送部

警報転送部は、下記情報を SLT 架内から収集し、OPS へ転送する。

(a) 架及び ONU の故障監視情報

(b) 伝送路の品質状態監視情報

(3) 制御受信部

制御受信部は、下記情報を OPS から受信・実行する。

(a) インタフェース間方路設定 (パス設定)

(b) 故障点切替制御 (パス試験設定)

また、次の情報を収集して OPS へ転送する。

(c) 装置保守運用情報

(d) 装置内状態設定情報

(4) 地気処理部

地気処理部は、架内警報を地気として装置外部に発出する。

4. 部 品

このシステムの実現に当たって、網終端装置の小型化と加入者線終端装置において 90 加入を収容するために、従来開発済みの SDH 終端用 LSI 群⁽⁴⁾に加え、新たに 9 種の LSI を開発した^{(5)~(9)}。表 2 に新規開発の LSI 主要諸元を示す。表における基板間インタフェース LSI は、基板間のインタフェース信号をシリアル化することにより、コネクタピン数削減効果及びバスパターンによる自己監視機能等を持っている。また、高速信号処理部、映像信号処理部内の監視、制御情報の処理を簡易専用プロセッサによるファームウェア化するために監視、制御インタフェース LSI を開発した。また、各パッケージは、オンボード電源による電源の分散化を図っている。

5. む す び

以上、高速デジタル光加入者伝送装置について、その方式構成、装置概要及び部品を中心に述べた。

この装置では、各部機能実現に当たって、新規に多数の大規模 LSI を開発するなど徹底的な LSI 化を行い、また、高密度実装技術によって 1 ユニット当たり 30 加入者収容を実現している。今後は、さらにこの装置の商用化を目指した小型化・経済化・低消費電力化及び高密度実装の技術開発を行っていく予定である。

表 2. 新しく開発した主要 LSI

LSI 名称	主 要 機 能	ゲート規模 プロセス
監視制御 インタフェース	警報転送 監視、制御情報処理、転送	23K CMOS
VC-3 発生/終端	VC-3 POH 発生/終端 AU 3 試験信号生成/受信	28K CMOS
TU ポインタ変換	TU11/TU 2 ポインタ変換 TU11/TU 2 試験信号生成/受信	180K CMOS
クロック生成	19M→156MPLL 機能 パルス生成機能	2 K バイポーラ
基板間 インタフェース	ポインタ終端情報挿入/分離 P/S, S/P 変換機能	35K CMOS
VC11/VC 2 発生	VC11/VC 2 POH 発生 TU11/TU 2 ポインタ発生	10K CMOS
VC11/VC 2 終端	VC11/VC 2 POH 終端 TU11/TU 2 ポインタ終端	20K CMOS
1.5M 単位時間 分割スイッチ	TU11 単位 600M×600M 時分割スイッチ	81K CMOS
6.3M インタフェース	6.3M パス発生/終端 P/S, S/P 変換、速度変換	40K CMOS

最後に、日ごろから多大の御指導を賜わる NTT 伝送システム研究所光加入者システム研究部高速伝達研究グループの関係各位に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 前川英二, 青柳慎一, 菊池克昭: 高速光加入者伝送システムの構成法, NTT R & D, 42, No. 7 (1993)
- (2) 篠原弘道, 辻 久雄, 前川英二: 光加入者システムの構成法, NTT R & D, 41, No. 7 (1992)
- (3) 小林郁太郎, 辻 久雄: 光加入者伝送システムの技術開発, NTT R & D, 42, No. 7 (1993)
- (4) 久保和夫, 東坂範雄, 植田昌弘, 岡田克也, 武内良祐: SDH インタフェース用 LSI, 三菱電機技報, 68, No. 6, 573 ~ 577 (1994)
- (5) 一番ヶ瀬 広, 田中広之, 浅芝慶弘, 延命富人, 鹿野朝生, 部谷文伸: SDH 終端回路における監視制御インタフェース回路の一提案, 信学会秋季大会, B-679 (1993)
- (6) 一番ヶ瀬 広, 田中広之, 小須田伸一, 岩崎充佳, 杉田誠, 部谷文伸: STM-1 インタフェース基板の小型化開発, 信学会春季大会 (1994)
- (7) 小須田伸一, 高良秀治, 一番ヶ瀬 広, 鹿野朝生, 部谷文伸: SDH 装置における基板間インタフェース LSI, 信学会春季大会 (1994)
- (8) 田中広之, 一番ヶ瀬 広, 鹿野朝生, 吉田利弘, 部谷文伸: TU ポインタ変換 LSI, 信学会春季大会 (1994)
- (9) 向井宏明, 吉田俊和, 上村有朋, 武内良祐, 上山智代, 鹿野朝生, 安井直彦: SDH マルチビットレートクロスコネクトスイッチ LSI, 信学会春季大会 (1994)

FV-600M-H1 形HDTV映像伝送装置

中澤宣彦* 高群智樹**
鳥羽浩史** 丹治秋人**
長野宣行** 菅野典夫*

1. ま え が き

次世代通信網である B-ISDN では、次世代の映像メディアである HDTV (High Definition Television) 等を含めた映像伝送サービスの実現が期待されている⁽¹⁾。

HDTV システムについては、平成 3 年度から開始された 1 日 8 時間のハイビジョン衛星放送を始めとして、美術館・博物館における展示品紹介、映画製作など適用分野も大きく拡大している。また、博覧会・イベントでの伝送実験⁽²⁾も開始され、平成 5 年 6 月の皇太子殿下御成婚パレードで代表されるように大規模な中継伝送も実施されている⁽³⁾。

このたび、日本電信電話 (株) (NTT) の御指導の下、新たに NTT 局内に設置する映像局内装置を含めた FV-600M-H1 形 HDTV 映像伝送装置を開発した。以下にその内容について報告する。

2. システムの概要

2.1 システム構成

このシステムは、ITU-R 勧告 709 に準拠した 1125/60/2:1 高精細度テレビジョン (HDTV) 方式の BTA (Broadcasting Technology Association of Japan: 放送技術開発協議会) スタジオ規格 (S-001) 信号の都市内の近距離伝送サービスを提供するものである。

システム構成は、1 チャンネルの HDTV 信号及び 4 チャンネルの音声信号を PCM 符号化し、STM-4 (Synchronous Transport Module Level-4) 形式に多重化し、光ファイバ伝送を行う FV-600M-H1 形送信装置⁽⁴⁾ (以下“送信装置”いう。)、光伝送信号の中継、回線内容監視を行う FV-600M-H1 形映像局内装置 (以下“映像局内装置”いう。)) 及び光ファイバによって伝送された光信号を受信して映像信号及び音声信号に分離し、復号化した 1 チャンネルの HDTV

信号及び 4 チャンネルの音声信号を提供する FV-600M-H1 形受信装置⁽⁴⁾ (以下“受信装置”いう。)) から構成される。図 1 にハイビジョン映像伝送サービスの構成例を示す。また、図 2 に今回開発した FV-600M-H1 形 HDTV 映像伝送装置の外観を示す。表 1 に FV-600M-H1 形 HDTV 映像伝送装置の主要諸元を示す。

2.2 特 長

(1) 高画質・高音質

伝送・中継分配時に品質劣化のないデジタル伝送方式を採用することにより、システム構成にかかわらず高品質な映像、音声を提供できる。

映像品質としては、放送局間又はスタジオ間の素材映像伝送を対象としたスタジオ品質と放送局間の完成プログラム等の映像伝送を対象とした分配品質がある⁽⁵⁾。この装置では、分配品質を満足し、高品質な映像を提供することができる。また、20kHz 帯域の音声 4 チャンネルを 16 ビット量子化しており、DAT (Digital Audio Tape) 及び CD と同等の高音質な音声伝送を実現している。

(2) SDH 準拠

伝送インタフェースは、ITU-T において国際標準として新たに制定された SDH 伝送インタフェース (STM-N, インタフェース速度 = $N \times 155.52 \text{ Mbps}$, $N = 1, 4, 16$) の STM-4 に準拠している。

(3) 高信頼化と遠隔監視制御

送信装置と受信装置は、一つの装置で冗長二重化構成を実現し、高信頼化を図り、監視用回線で NTT 局内の監視制御装置と接続することにより、きめ細かい運用状態情報の提供、系切替機能及び回線試験機能等を実現している。

また、映像局内装置では、回線内容監視機能を備えるとともに、NTT のオペレーションシステムと接続することによって高機能な警報監視制御を実現している。

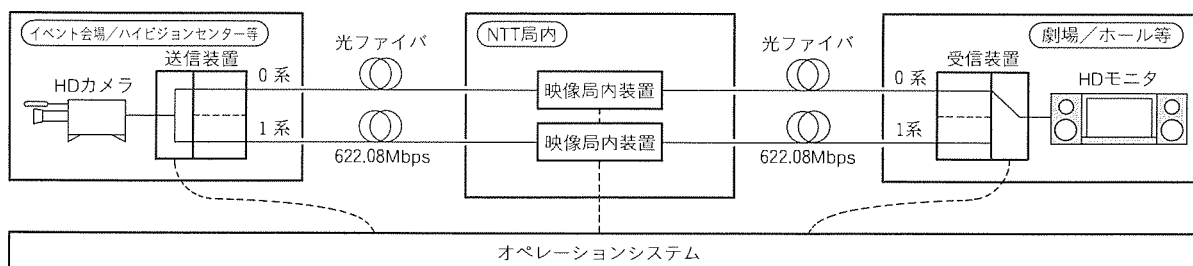


図 1. ハイビジョン映像伝送サービスの構成例

(4) 小型・低消費電力化

IC化光送受信器モジュール、新同期網インタフェース用LSI⁽⁶⁾を適用することにより、装置の小型・低消費電力化、高信頼化を実現した。

3. 装置構成

この装置は、送信装置、受信装置及び映像局内装置から構成される。この装置は、単体据付け及びラック搭載が可能な構造となっている。また、送信装置及び受信装置は、ユーザー宅内に設置されるためVCCI (Voluntary Control Council for Interference by Data processing Equipment and Electronic Office Machines) 1種の仕様を満足している。図3にFV-600M-H1形HDTV映像伝送装置の構成を示す。以下にこの装置の動作概要について述べる。

3.1 送信装置

この装置の基本構成は、分配盤、監視制御盤によって構成される共通機能部と映像A/D変換盤、音声A/D変換盤、

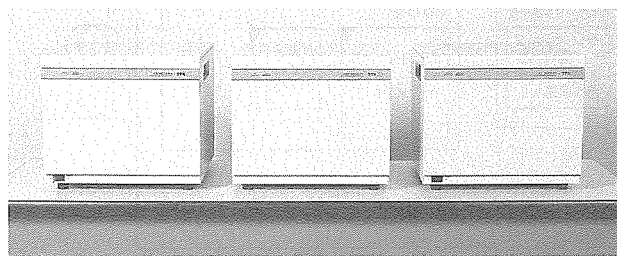


図2. FV-600M-H1形HDTV映像伝送装置の外観

表1. FV-600M-H1形HDTV映像伝送装置の主要諸元

項 目			条 件
伝送系	波 長		1.31±0.02 μm
	インタフェース速度		622.08Mbps
	伝送フレーム		STM- 4 準拠
	伝 送 符 号		スクランブルド2値 NRZ
映像系	入出力信号		BTA規格(S-001)準拠のHDTV信号 ①輝度信号Y, 色差信号P _B , P _R 及び同期信号 ②色信号G, B, R及び同期信号
	映 像 帯 域	Y	24MHz (帯域制限前 30MHz以上)
		P _B , P _R	8 MHz (帯域制限前 15MHz以上)
	符 号 化	標準化周波数	Y : 55.6875MHz P _B , P _R : 18.5625MHz
		量 子 化	8 ビット／画素
	多重化方式		水平ブランキング(HBL)期間を除去し、輝度信号Yと線順次処理した色差信号P _B /P _R のバイト多重
	符号化ビットレート		519.48Mbps
音声系	音 声 帯 域		20kHz
	音声チャンネル数		4 チャンネル
	符 号 化	標準化周波数	48kHz
		量 子 化	16ビット／sample
消費電力 (フル実装)			420W (送信装置) 420W (受信装置) 160W (映像局内装置)
質 量 (フル実装)			35kg (送信装置) 35kg (受信装置) 27kg (映像局内装置)
外形寸法			(W)430×(D)445×(H)355 (mm)

映像多重化盤、ペイロード多重化盤、光送信盤及び2枚の電源盤によって構成される送信機能部の二つの機能部から構成され、計9枚の高密度実装パッケージ(194mm×279mm)で構成される。装置としては、さらに送信機能部を一式組み合わせることにより、冗長二重化構成を実現できる。

分配盤は、1チャンネルの映像入力信号及び4チャンネルの音声入力信号を0系と1系へ2分配する。映像A/D変換盤は、映像入力信号をA/D変換する。映像多重化盤は、色差信号P_B, P_Rを線順次処理し、輝度信号Yとバイト多重して映像符号化フレームを構成する。一方、音声A/D変換盤は、4チャンネルの音声信号をA/D変換し、パリティを付加して音声符号化フレームを構成する。ペイロード多重化盤は、映像サンプリングクロックに同期した映像符号化データ列を、伝送クロックによって生成される伝送フレームへスタック多重を行い、音声符号化フレームとともにSTM-4多重化フレームの所定の位置に多重化する。光送信盤は、セクションオーバーヘッドを付加し、スクランブル処理及びパリティ生成を行い、STM-4多重化フレームを構成する。さらに、622.08Mbpsの電気信号を光信号に変換する。

3.2 映像局内装置

この装置は、光受信盤、セクション終端盤及び光送信盤によって構成される主信号系機能部と地気処理盤、監視インタフェース盤、警報処理盤、パラレルインタフェース処理盤及び通信インタフェース処理盤によって構成される警報系機能部並びに2枚の電源盤(AC100V, DC48Vに対応可能)の計10枚の高密度実装パッケージで構成される。

映像局内装置は、光ファイバ伝送路からの622.08Mbpsの光信号を電気信号に変換し、32並列に多重分離する。フレーム同期確立後、デスクランブル処理し、パリティを照合する。STM-4多重化フレームの映像制御情報を終端し、セクションオーバーヘッドを付加し、スクランブル処理及びパリティ生成を行い、STM-4多重化フレームを構成する。さらに、622.08Mbpsの電気信号を光信号に変換する。

3.3 受信装置

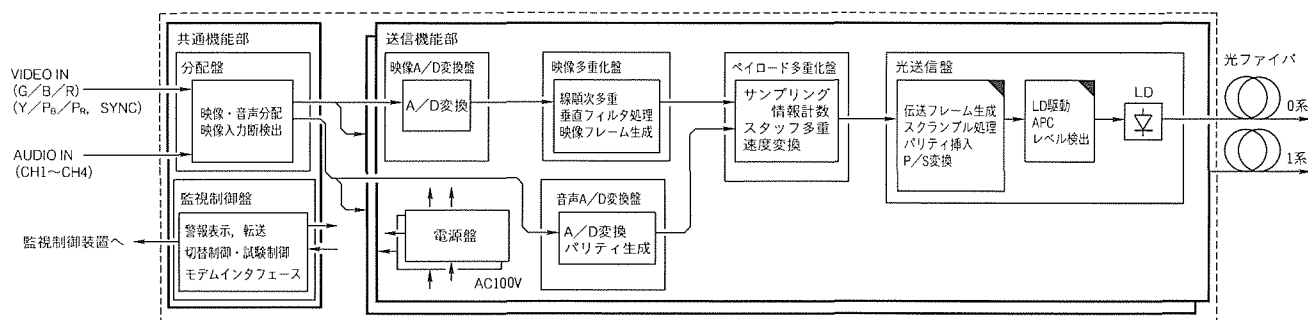
この装置の基本構成は、切替盤、監視制御盤によって構成される共通機能部と映像D/A変換盤、音声D/A変換盤、映像多重分離盤、ペイロード多重分離盤、光受信盤及び2枚の電源盤によって構成される受信機能部の二つの機能部から構成され、計9枚の高密度実装パッケージで構成される。装置としては、さらに受信機能部を一式組み合わせることにより、

冗長二重化構成を実現できる。

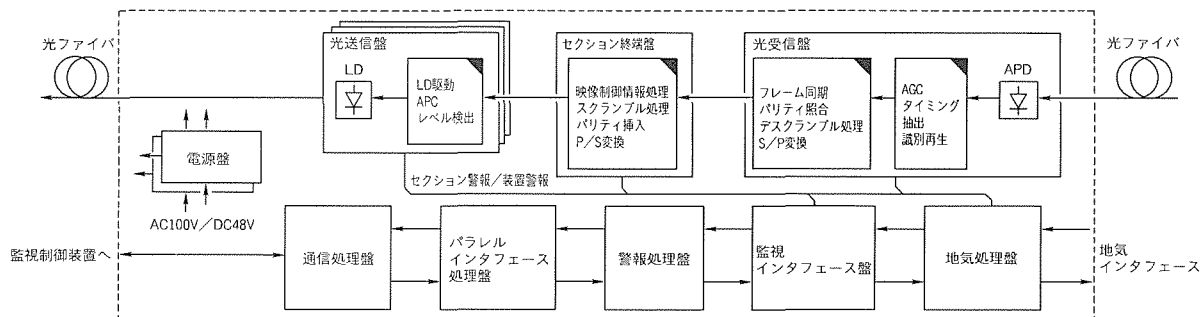
受信装置は、光ファイバ伝送路からの622.08 Mbpsの光信号を電気信号に変換し、32並列に多重分離する。フレーム同期確立後、デスクランブル処理し、パリティを照合する。STM-4多重化フレームから映像符号化データをデスタップ多重分離するとともに、音声符号化データも多重分離する。映像符号化フレームの色差信号 P_B 、 P_R については、送信側で線順次多重しているので内挿フィルタリングによって補間処理をしている。映像D/A変換盤及び音声D/A変換盤では、1チャンネルのHDTV信号及び4チャンネルの音声信号を再生する。切替盤では、伝送路警報及び装置警報に対応して、0系/1系の2系統のうち正常な系を選択し、1チャンネルの映像信号及び4チャンネルの音声信号を出力する。

4. 方式概要

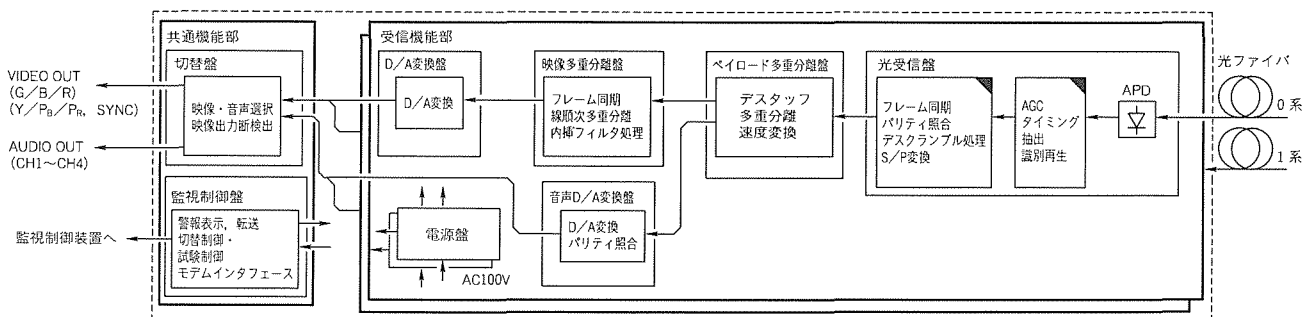
4.1 伝送方式



(a) 送信装置



(b) 映像局内装置



注 機能ブロックはIC、LSIによって実現

(c) 受信装置

図3. FV-600M-H1形HDTV映像伝送装置の構成

図4に622Mbps多重化フレームフォーマットを示す。図に示すように、 $(270列 \times 4バイト) \times 9行$ で1フレームを構成し、 $125 \mu s$ ($1/8kHz$) 周期となっている。伝送フレームは、網の運用・管理情報を伝送するオーバーヘッドと主情報を伝送するペイロードと呼ばれる部分から構成される。このペイロードに映像符号化データ、音声符号化データ及び制御データを多重化している。制御データは、映像伝送種別、符号化情報、警報情報 (AC電源断、映像入力断)、映像サンプリング情報及び映像スタップ情報から構成される。

4.2 符号化方式

映像信号は、Y/G信号に付加されている同期信号又は外部同期信号に同期したクロックで標本化を行う。標本化周波数は、輝度信号 (Y) については、BTA S-001に規定されている標本化周波数の3/4の55.6875MHz、色差信号 (P_B 、 P_R) については、同様に1/4の18.5625MHzを採用している。これにより、1ライン当たりの画素数は整数となり、画

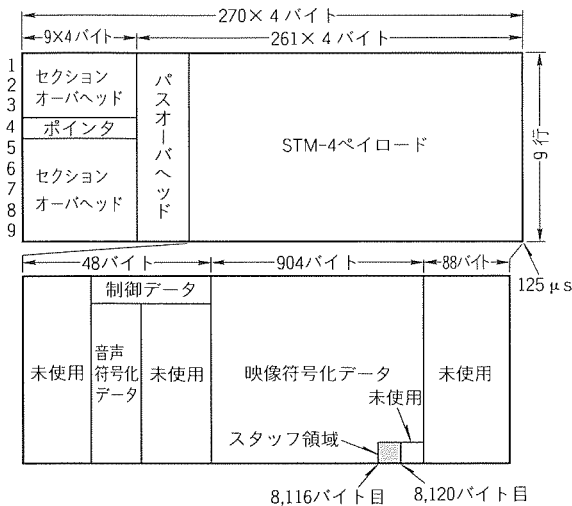


図4. 622Mbps (STM-4) 多重化フレームフォーマット

面上のサンプル点が固定化される。

音声信号は、伝送系クロックに同期したクロックで標本化を行う。標本化は、48kHzの64倍のオーバーサンプリングを行っている。

4.3 映像クロック再生方式

映像信号の水平同期信号周波数を基準とする映像クロックと伝送クロックは、非同期関係にあり、このため受信側で映像信号処理に使用する映像系クロックを安定に再生する必要がある。この装置では、受信側の映像系クロックはデスタフジッタの影響を避けるため、送信側から映像サンプリング情報を符号化伝送し、受信側でこの情報を基に映像サンプリングクロックを再生する方式を採用している。

4.4 スタッフ、デスタフ

映像サンプリングクロックと伝送クロックが非同期であるため、送信装置ではSTM-4ペイロードへ多重化する映像符号化データ量を計数符号化し、スタッフ情報として伝送する。受信装置では、このスタッフ情報を基にデスタフを行い、映像符号化データを分離する。

5. 監視制御

(1) 監視制御

送信装置及び受信装置では、装置の状態監視、オフライン時の回線試験、切替制御及び監視制御装置との通信制御を行うことが可能である。また、映像局内装置は、セクション警報及び装置警報を監視するとともに、NTTのオペレーションシステムと接続できる通信インタフェースを持っている。

(2) 警報

この装置における警報機能は、伝送路警報(回線警報、通知警報)及び装置警報に大別され、ハードウェア全体の故障発生を検知し、可能な限り詳細に故障区間の判定ができる監視を行い、故障発生時の早期復旧を目標としている。

表2. 総合特性

項 目		性 能
伝 送 系	波 長	1.31±0.02 μm
	送 信 電 力	-4 ~ +4 dBm
	最大受光電力	-18dBm以上
	最小受光電力	-32dBm以下
	パワーペナルティ	1 dB以下
	消 光 比	13dB以上
映 像 系	基準レベル: 0.5MHz ±0.5dB (Y: 60Hz~20MHz, P _B /P _R : 60Hz~7 MHz)	
	利得周波数特性 -2.0 ~ +0.5dB (Y: 20~24MHz, P _B /P _R : 7 ~ 8 MHz)	
音 声 系	基準レベル: 1 kHz ±0.5dB (20Hz~18kHz)	
	利得周波数特性 -1.0 ~ +0.5dB (18~20kHz)	

6. 総合特性

この装置の総合特性には、伝送路特性、映像特性及び音声特性があり、分配品質のハイビジョン映像伝送システムに要求される性能を十分満足する良好な結果を得ることができた。表2に総合特性を示す。

7. む す び

本稿では、今回開発したFV-600M-H1形HDTV映像伝送装置の概要及び性能について述べた。この装置は、NTTが平成6年から始めるハイビジョン映像伝送サービス(一般規格サービス)に適用されるものであり、ハイビジョン衛星放送送信局までの足回り回線及びイベント中継回線等に利用される予定である。

最後に、日ごろから多大なる御指導を賜るNTTユーザーシステム部サービス伝達システムプロジェクトグループ映像システムプロジェクトの関係各位に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 杉田裕次:映像時代を支える映像伝送サービスとテレビジョン中継サービス, NTT技術ジャーナル (1992-3)
- (2) 山川俊浩, 高木誠一, 桑田豊史, 酒井 洋:622Mb/s HDTV 光映像伝送装置の試作, 平成2年秋季信学全大, B-582 (1990)
- (3) 鈴木涼太, 原 正則, 末吉忠浩:NTTの映像サービスの紹介, 放送技術, 1028~1035 (1993-11)
- (4) 中澤宣彦, 鳥羽浩史, 丹治秋人, 菅野典夫, 水川繁光:622 Mbps HDTV 光伝送装置, 三菱電機技報, 67, No.7, 709~713 (1993)
- (5) 沢田克敏, 村上仁己:信号形態と伝送, テレビジョン学会誌, 42, No.9, 951~958 (1988)
- (6) 久保和夫, 東坂範雄, 植田昌弘, 岡田克也, 武内良祐:SDH インタフェース LSI, 三菱電機技報, 68, No.6, 573 ~ 577 (1994)

1.5/6.3Mbps専用線用 I インタフェース DSU

原尾 敦* 吉田利弘*
原田 博* 岩元隆治**
佐野利文*

1. ま え が き

1984年に開始された高速デジタル専用線サービス⁽¹⁾は、従来のYインタフェースサービスに加えて、国際標準のIインタフェースサービスが、1990年度から始まり各通信事業者から提供されている。

高速デジタル専用線サービスは、加入者区間を光ファイバケーブル、メタリックケーブル、無線方式を用い、中継区間もデジタル伝送路を用いることにより、加入者-加入者間デジタル方式でサービス提供する。64 kbps から 6 Mbps までの高速・大容量の伝送ができるので、音声やデータばかりでなくファクシミリ、テレビ電話、テレビ会議等多種多様の利用が可能である。

このたび、加入者区間に光ファイバケーブルを用いた光加入者伝送路のユーザー宅内に設置されるIインタフェースのデジタル回線接続装置(以下“I-DSU”という。)を開発した。以下にその内容について報告する。

2. 装置の概要

2.1 システム構成

高速デジタル専用線サービスは、回線速度が64~6,144 kbpsの高速デジタル回線を提供するサービスであり、通信事業者が提供する回線接続装置等を設置し、ユーザー・網インタフェースでの利用ができるものである。

I-DSUのユーザー・網インタフェースは、TTC標準準拠のIインタフェースを提供するもので、I-DSUは光ファイバ加入者線伝送方式の加入者線端局装置に実装される局内回線終端部と対向し、加入者線区間の回線終端を行うものである。

この装置は、加入者線側からの6.312 Mbps 光信号を収容

し、回線終端を行うとともに、端末側の1.544 Mbps 電気信号へのフォーマット変換及びその逆変換を行う1.5 M I-DSUと6.312 Mbps 電気信号へのフォーマット変換及びその逆変換を行う6.3 M I-DSUの2タイプがある。

図1に高速デジタル専用線システムの加入者系構成を示す。また、図2に今回開発したI-DSUの外観、表1に同装置の主要諸元を示す。

2.2 特 長

(1) 小型・低消費電力化

IC 化光送受信器モジュール、I-DSU用に開発した専用LSIを適用することにより、装置の小型化・低消費電力化を実現した。

(2) 卓上型とラック搭載型に対応可能

この装置の設置形態は、卓上据置とラック搭載の2種類を選択でき、ラック搭載の場合は専用の取付金具により、19インチラックに最大6台設置可能である。

(3) AC/DC 共用電源の採用

入力電源の種類は、AC 100 V と DC - 48 V の2種類で装置背面の切替スイッチで入力電源の選択が可能とした。

(4) 容易な光ファイバケーブル余長処理構造

小型化した本体の底に光ファイバケーブルの余長処理金具を設け、光ファイバに無理な曲げ、ねじれが起きないように光ファイバケーブル余長処理構造を実現した。

3. 装置構成

この装置は、加入者インタフェース部、回線終端部、端末インタフェース部から構成される。図3にI-DSUの装置ブロックを示す。以下にこの装置の動作概要について述べる。

3.1 加入者インタフェース部

光伝送路からのCMIの光信号を、光-電気変換部で電気

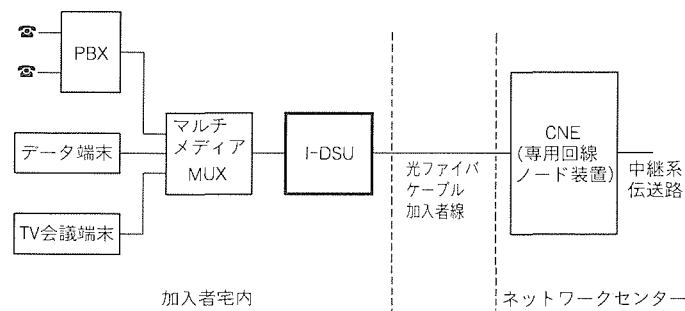


図1. 高速デジタル専用線システムの加入者系構成



図2. I-DSUの装置外観

信号に変換後、CMI デコーダによって復号化し、6.312 M bps の NRZ 信号とクロック信号を回線終端部に送出する。

一方、上り信号は回線終端部からの6.312 Mbps の NRZ

データを CMI コードによって符号化した後、電気-光変換部で CMI の光信号に変換して光伝送路へ送出する。

3.2 回線終端部

表 1. 装置主要諸元

項 目		仕様・性能	
端 末 側	1.5M	物 理 速 度	1.544Mbps
		伝 送 線 路	メタリック平衡ケーブル 2 対
		符 号 形 式	50%パルス幅B8ZS符号
		インピーダンス	100Ω
		コ ネ ク タ	ねじ止め (4 端子) 又はモジュラコネクタ (ISO IS8877準拠)
	6.3M	物 理 速 度	6.312Mbps
		伝 送 線 路	同軸ケーブル
		符 号 形 式	50%パルス幅B8ZS符号
		インピーダンス	75Ω
		コネクタ	高周波同軸C02コネクタ
加 入 者 線 側	物 理 速 度	6.312Mbps	
	伝 送 線 路	SM/GI 光ファイバ	
	符 号 形 式	CMI符号	
	発 光 波 長	1.270～1.335 μm	
	光出力 (平均値)	－13dBm以上 －10dBm以下	
	最大受光レベル	－11.0dBm以上 (符号誤り率 10 ^{－9} 以下)	
	最小受光レベル	－36.8dBm以下 (符号誤り率 10 ^{－9} 以下)	
	光コネクタ	SC形 (JIS C 5973)	
伝導／ふく射ノイズ		VCCI 1 種	
使 用 電 源		AC100V 50／60Hz 又はDC－48V (正極接地)	
消 費 電 力		AC入力時 約15VA以下, DC入力時 約10W以下	
外 形 寸 法 (mm)		(幅)140×, (高さ)50×, (奥行き)210 (ただし, 突起物等を除く)	
質 量		約2.0kg	

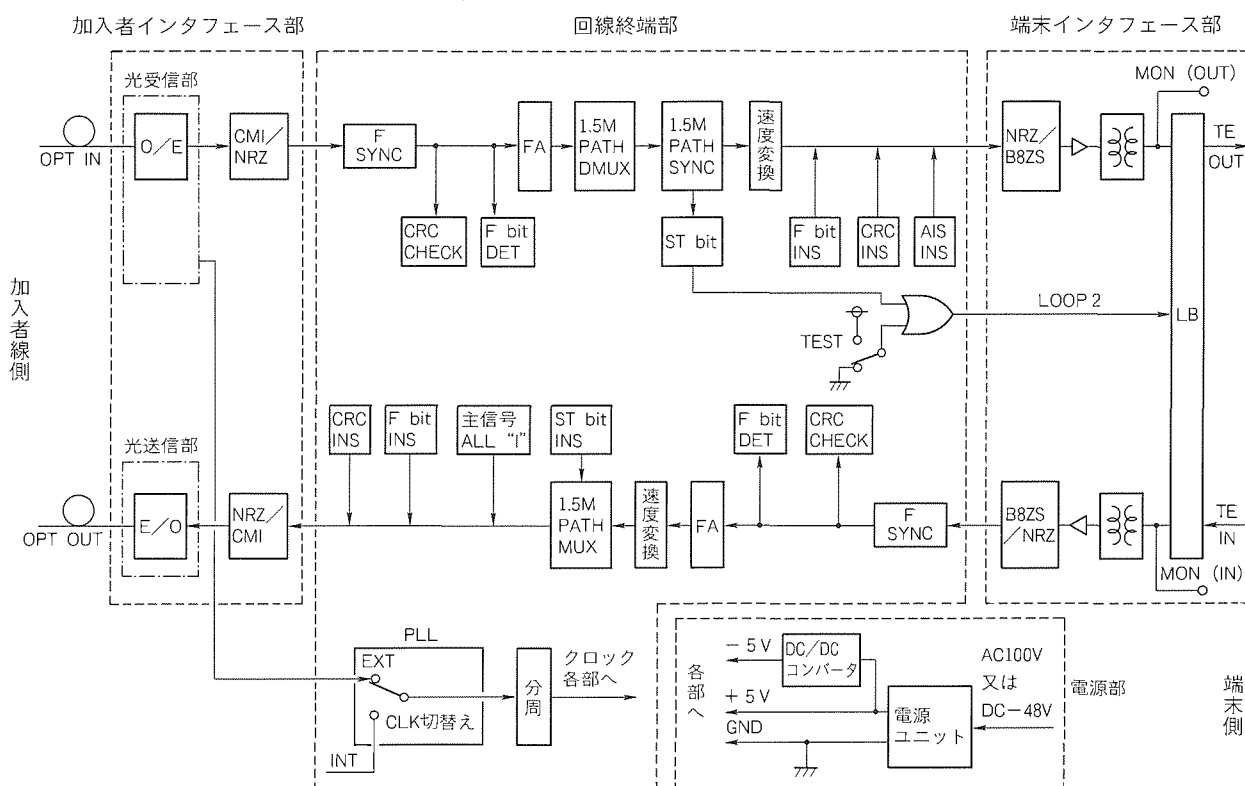


図 3. 装置ブロック図 (1.5M)

加入者インタフェース部からのデータによってフレーム同期パターンを検出してフレーム同期を確立する。さらに、CRC チェックを行った後、データから ST ビットを抽出し、残りのデータを内部クロックに乗せ換える。最後にデータの所定位置に ST ビットを挿入し、フレームパルスとともに端末インタフェース部へ送出する。

一方、上り信号は端末インタフェース部で検出したフレームパルスによってフレーム同期を確立し、次に端末インタフェース部からのデータによって ST ビットを抽出し、残りのデータを内部クロックに乗せ換える。

さらに、データの所定位置に ST ビットを挿入し、フレーム同期パターンを付加し、最後に CRC 演算ビットを付加し、このデータを加入者インタフェース部へ送出する。

3.3 端末インタフェース部

端末装置との間でデータ信号及びステータス信号の送受信を行う部分で、装置背面のねじ止め 4 端子、又は 8 端子コネクタ ISO IS8877 準拠コネクタで端末装置と接続する。回線終端部からの NRZ 信号とクロック信号を受け、それを B8ZS 符号化し、端末側へ送出する。また、端末からの B8ZS 受信信号を受け、NRZ データ信号を回線終端部に送出する。

さらに、装置前面のスイッチ設定による手動折返し機能、また局側からフレームフォーマット中の LP2 ビットを有効にし、遠隔折返し制御機能を備えている。

4. 小型化技術

4.1 構造

図 4 に装置内部の構造を示す。きょう (筐) 体は、幅 140 mm、高さ 50 mm、奥行き 210 mm と小型化し、AC/DC 共通電源ユニット、光送受信モジュール基板、専用 LSI を搭載した回線終端処理基板を効率良く収納した。装置を小型化可能とした大きな要因は、回線終端機能部の LSI 化であるが、構造面についても共通電源部及び各基板間の接続を極力無配線化し、コネクタによる直接配線を行うなどの工夫をした。

また、装置の前面及び背面に実装される警報制御表示ランプ、各種コネクタ及び端子類の実装についても、すべて回線

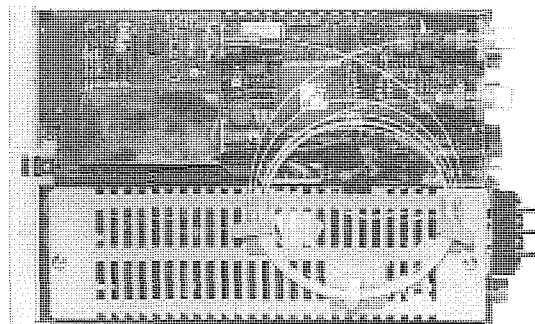


図 4. 装置内部構造

終端処理基板と電源ユニットに直接実装できるように部品配置を考慮した。例えば、主要機能である回線終端処理基板については、装置前面及び背面に出す必要がある部品を基板上に実装することと、小さい基板上 (200 mm × 75 mm) での部品配置を考慮し基板の両面を効果的に利用した。

4.2 光送受信モジュール

IC 化光送受信回路と小型化した光部品の採用により、装置の小型化を実現している。LD モジュールと PD モジュールは、光ファイバに心線を利用したタイプを採用することによって経済化を図っており、伝送路はシングルモード・マルチモード (GI) いずれの光ファイバにも接続できる。光送受信回路の基板寸法は、81 mm × 74 mm である。

4.3 L S I

表 2 は I-DSU のために開発した専用 LSI の主要諸元である。回線終端部のすべての機能をこの LSI で実現している。大規模 LSI による 1 チップ化により、回線終端処理基板における部品数を大幅に削減している。消費電力の小さい CMOS プロセスの LSI により、装置の低消費電力化を図っている。

4.4 装置の据付け

表 2. LSI 主要諸元

ゲート数	41Kゲート
パッケージ	208ピンプラスチックQFP
デザインルール	1 μm CMOS
外形	30.9mm×30.9mm
電源	+5 V ±5 %
消費電力	0.8W
機能	(1) NNIフレーム終端及び発生 (2) 1次群フレーム終端及び発生 (3) 2次群フレーム終端及び発生 (4) 速度変換 (5) 符号変換 (6) 警報処理機能 (7) 監視/制御機能

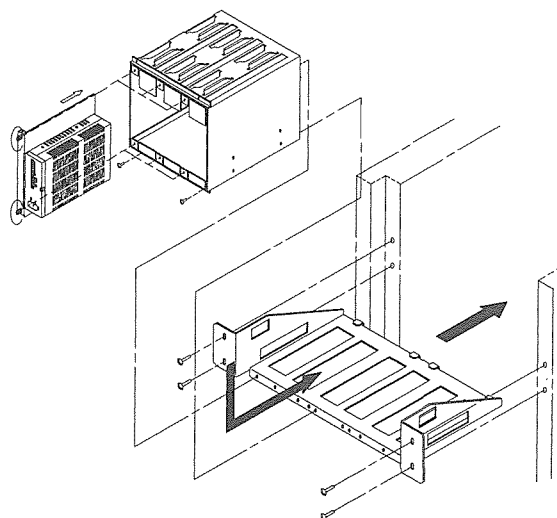


図 5. 取付金具による取付方法 (縦置き)

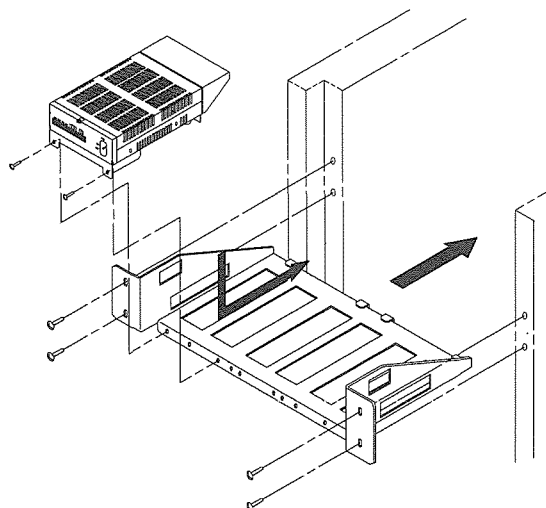


図 6. 取付金具による取付方法（横置き）

DSU はユーザー宅内に設置されるため、設置スペースの効率化のための装置の小型化が望まれるとともに、装置の据付けについても、作業性・保守性を考慮する必要がある。

図 5、図 6 に 19 インチラックへの専用取付金具による取付方法を示す。また、図 7 に光ファイバケーブルの接続方法を示す。

DSU を卓上形として使用する場合は、専用の取付金具は不要であるが、19 インチラックに設置する場合には専用金具を使用することで設置台数、及び縦置き、横置きにも柔軟に対応可能となっている。

光ファイバの接続については、装置底部に着脱可能な光ファイバ処理部を設けることにより、無理な曲げ、ねじれの発生を防止している。また、装置外部において光ファイバ処理部への光ファイバの固定を可能にすることにより、接続作業の簡易化を図り保守性を向上している。

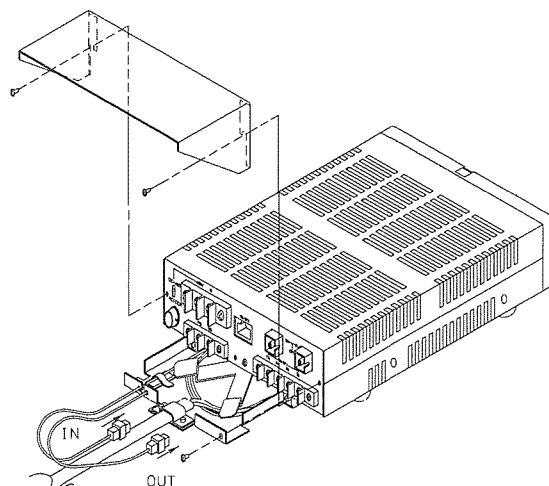


図 7. 光ファイバケーブルの接続方法

5. む す び

本稿では、今回開発した I-DSU の装置概要と小型化技術について述べた。この装置は、I インタフェースの高速デジタル専用線サービスの加入者宅内に設置されるものであり、従来の DSU に比べて大幅に小型化されている。

今後、各種の光加入者線の DSU が必要になると予想されるが、更に小型化・経済化を図るべく技術開発を着実に進めていく所存である。

最後に、日ごろから多大の御指導を賜っている東京通信ネットワーク(株)を始めとする地域系 NCC 各社の関係各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 坂本昌往, 玉木規夫: 新しい高速デジタル専用線システムの装置構成, NTT 技術ジャーナル, 2, No. 7, 13~18 (1990)

ATM特性測定装置

羽根稔尚* 土田 充**
上田広之* 鈴木孝昌**
木田等理* 福田雅裕**

1. ま え が き

ATM (Asynchronous Transfer Mode) 伝送/交換装置の開発段階では、通話路の導通特性やビットエラー率に加え、セル損失やバッファにおける遅延時間等 ATM 特有の品質劣化特性を十分に把握することが重要⁽¹⁾となるため、日本電信電話(株) (NTT) の御指導のもとに ATM 特性測定装置 (ATM Performance Tester : APT) の開発を行った⁽²⁾。この開発は、NTT の ATM リンクシステムプロトタイプ機研究開発の一環⁽³⁾として位置付けられる。

APT は、多様なトラヒック負荷の ATM セル流を発生し、ATM 伝送/交換装置を介してそのセルを受信、解析することにより、セル転送遅延とそのゆらぎ、ペイロードビットエラー、セル受信・損失数 (総数、単位時間当たり)、セル混入/順序逆転/重複、及びユーセージパラメータ制御 (UPC) 機能特性等⁽⁴⁾のトラヒック特性の試験を行う装置である。

この論文では、APT の方式概要、装置構成、ソフトウェア構成について述べる。

2. 方式概要

2.1 セル発生方式

(1) セルフォーマット

ATM では、セルと呼ばれる固定長のブロックで情報の伝達を行う。図 1 に APT で発生するセルのフォーマットを、表 1 にセル中の各領域の設定内容を示す。APT は、異なる 32 個の VP (Virtual Path) 又は VC (Virtual Channel) に対してセル流を同時に発生することができる。

(2) セル発生パターン

APT は、32 個の VP/VC に対してそれぞれ独立に等間隔、ランダム、2 状態のいずれかの発生パターンでセルを出力することができる⁽⁵⁾。2 状態とは、二つの異なる密度のセル流が交互に現れる状態である。また、APT は、セルの発生を T セル時間内に X 個以内とする規制回路を備えている。この機能により、被測定装置のセル受信数規制 (Usage Parameter Control : UPC) 機能の正常性の確認が可能となる。

2.2 トラヒック特性測定方式

トラヒック特性測定の開始/終了は測定指示ビットによって制御され、測定は測定対象とされたセルについて、VP ごと、VC ごと又は CLP ごとに行う。測定項目を以下に示す。

(1) 計数データ測定

測定対象セルの発生数、到着数の計数及び受信シーケンス番号をモニタすることにより、損失、逆転、二重到着セル数の計数を行う。

(2) 時系列データ測定

測定対象セルの発生数、到着数、損失数を単位時間ごとに計数することにより、時系列分布を測定する。

(3) 遅延時間分布測定

測定対象セルの送信タイムスタンプ値と到着時刻からセルの到着遅延時間を測定し、ヒストグラムを作成する。

(4) ビットエラー測定

測定対象セルのペイロード内に収容されている PN パターンの試験信号により、ビット誤り数を計数する。

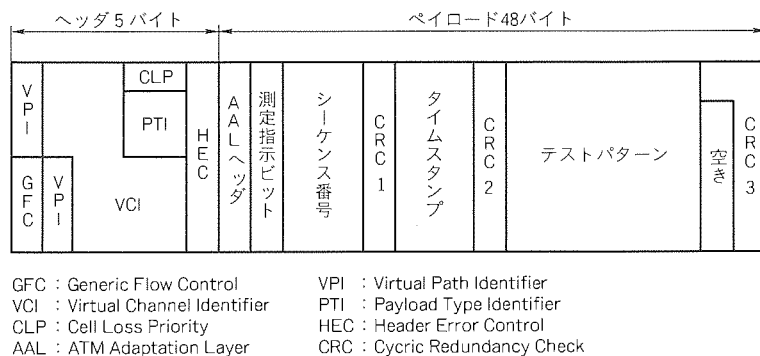


図 1. セルフォーマット

表 1. セル内の各値の設定内容

項目	内容
ヘッダ	GFC 一般的フロー制御、任意の値を設定できる。 VPI 仮想パス識別子、任意の値を設定できる。 VCI 仮想チャネル識別子、任意の値を設定できる。 PTI ペイロードタイプ、任意の値を設定できる。 CLP セル損失優先表示、任意の値を設定できる。 HEC ヘッダエラー制御、ハードで計算して設定。
ペイロード	AALヘッダ AALヘッダ用に任意の値を設定。 測定指示ビット 測定対象セルかどうかを示す。 シーケンス番号 セルを出力することにより +1 する (VP/VC ごと)。 CRC1 シーケンス番号の CRC コードを設定。 タイムスタンプ セル発生時刻をスタンプする。 CRC2 タイムスタンプの CRC コードを設定。 テストパターン 任意の値又は疑似ランダムパターンを挿入。 CRC3 ペイロード全体の CRC コードを設定。

表 2. 方式主要諸元

項 目	内 容	備 考
インタフェース種別	155.52Mbps (STM-1) 622.08Mbps (STM-4) 6.312Mbps (高速デジタル回線光ファイバ加入者線IF) 6.312Mbps (2次群電気公衆線フレーム)	最大32回線まで増設可 最大32回線まで増設可 最大4回線まで増設可 最大4回線まで増設可
発生可能最大VP/VC数	VP種別数最大32又はVC種別数最大32	1回線当たり
セル発生パターン	VP/VCごとに等間隔/ランダム/2状態のパターン選択 外部トリガによるセル発生	発生数規制が可能 1回線当たり最大4 VP/VC
負荷試験項目	総セル受信数 単位時間当たりセル発生/到着数 (時系列) セル損失数 単位時間当たりセル損失数 (時系列) 混入・順序逆転・二重到着セル数 セル遅延時間分布 ペイロードビットエラー発生セル数 ペイロードビットエラー発生率 セル遅延ゆらぎ	1回線当たり最大32VP/VC 1回線当たり最大4 VP/VC 1回線当たり最大32VP/VC 1回線当たり最大4 VP/VC 1回線当たり最大32VP/VC 1回線当たり最大32VP/VC 1回線当たり最大32VP/VC 1回線当たり最大1 VP/VC 1回線当たり最大2 VP/VC
OAM試験項目	警報転送用OAMセル発生・受信 伝送品質監視用OAMセル発生	1回線当たり最大1 VP/VC 1回線当たり最大1 VP/VC
AAL試験項目	AALタイプ1セル受信	1回線当たり最大2 VP/VC

(5) セル遅延ゆらぎ (CDV) 測定

測定対象セルの送信タイムスタンプ値と到着時刻からセル発生/受信間隔分布, 到着遅延時間の時系列分布を測定する。

2.3 OAM/AAL機能試験方式

APT は, 警報転送用 OAM (Operations and Maintenance) セルの発生・受信, 伝送品質監視用 OAM セルの発生及び AAL (ATM Adaptation Layer) タイプ1セルの受信を行う。

(1) 警報転送機能試験

警報転送用 OAM セルは, あらかじめ設定した7種類のセルパターンの中から選択した1種類を1秒間隔で発生させる。また, 特定の VPI 値を持つ警報転送用 OAM セルを受信し, その内容を制御コンソールに表示する。

(2) 伝送品質監視機能試験

伝送品質監視用 OAM セルは, 指定した1種類のユーザーセル流に対して, ユーザーセル1,024個につき1個の割合で自動的に発生させる。伝送品質監視用 OAM セルのペイロードは, セルシーケンス番号, 総ユーザーセル数, パリティビット (BIP-16) 等を収容する。

(3) AAL 機能試験

AAL 機能試験では, あらかじめ指定した VPI (VP Identifier), VCI 値を持った AAL セルを受信し, AAL セルヘッダのビット誤り検査結果に基づいて, 正常セル数, 1ビット誤りセル数, 2ビット以上誤りセル数の計数を行う。また, セルシーケンス番号の連続性から損失セル数を計数する。

3. 装置構成

3.1 主要諸元

APT の主要諸元を表 2 に, 外観を図 2 に, 構成概略を図 3 に示す。APT は, 負荷セル発生部, 特性モニタ部, 測定

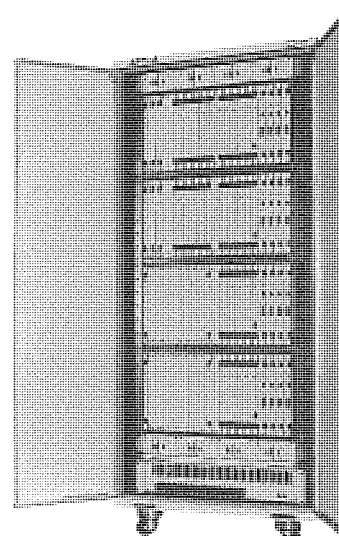


図 2. APTの外観

制御部及び制御コンソールから構成される。APT 用に開発した主要 LSI を表 3 に示す。

3.2 負荷セル発生部

図 4 に負荷セル発生部のブロック図を示す。図において, 発生パターン生成部では32個の VP/VC ごとに等間隔, ランダム, 2状態のいずれかの発生パターンでセルの発生要求を出力する。多重化部ではセルの発生要求を多重化し, 1セル時間では一つのみセルの発生要求を出力する。セル発生数規制制御部は, T セル時間内の出力セル数が X 個以内になるようにセル発生数を制限する。セル発生部は, セル発生数規制部を通過したセルの発生要求を基にセルの組立てを行う。発生数/パターンモニタ部は, セル発生数や発生数の時系列データを計数する。HEC/SDH 処理部は, ITU-T 勧告⁽⁶⁾⁽⁷⁾に従って, セルへの HEC 付与後, 150 Mbps 動作時には STM-1 に, 600 Mbps 動作時には STM-4 にマッピングし,

電気-光変換して被測定装置に出力する。また、外部トリガIF部からの要求に従って、試験セルを発生させることも可能である(150Mbps回線のみ)。

3.3 特性モニタ部

特性モニタ部の構成を図5に示す。各部の機能概要を以下に述べる。

HEC/SDH処理部は、受信SDH(Synchronous Digital Hierarchy)回線の物理レイヤ終端とセル同期を行う。VP/VCI検出部は、VPI、VCI及び測定指示ビットにより、1インタフェース当たり32VP/VCの測定対象セルを検出する。トラヒック特性試験セルモニタ部は、計数データ(測定時間中の全時間帯にわたって測定したデータ)、時系列データ(1区間当たりの計数値を複数区間連続して測定したデータ)、損失・順序逆転セル数(セルに付与されたシーケンス番号によって検出)等の計数を行う。また、遅延時間データは、セルに付与されたタイムスタンプとセルの受信時刻を

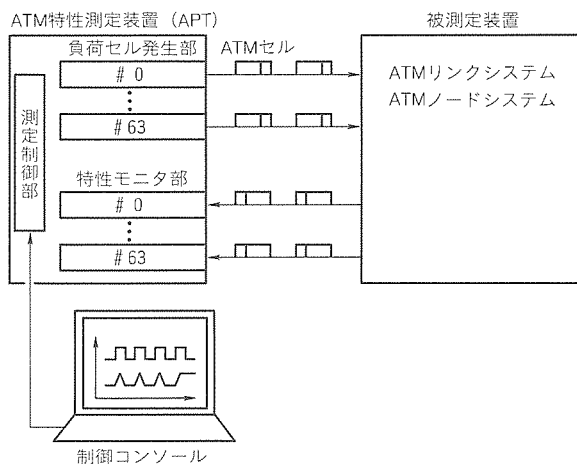


図3. APTの構成概略

表3. APT用に開発した主要LSI

品名	機能	プロセス	規模
高速直並列変換LSI	高速度直列/並列相互変換	BiCMOS	4Kゲート
発生パターン生成LSI	セル発生パターン生成用乱数発生	CMOS	20Kゲート
発生数規制制御LSI	セル発生数規制	CMOS	12Kゲート
シーケンス番号演算処理LSI	セル損失、セル誤配等の検出	CMOS	22Kゲート
遅延測定LSI	セル到着遅延測定	CMOS	5Kゲート

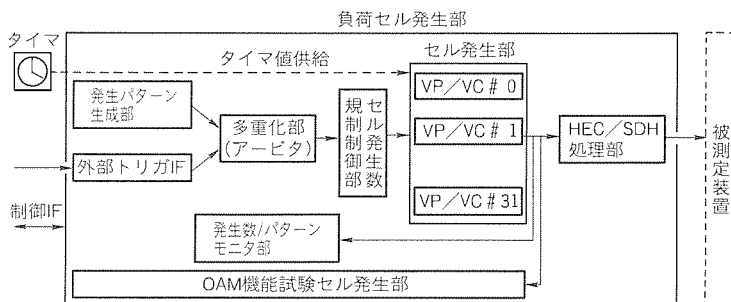


図4. 負荷セル発生部ブロック図

表す特性モニタ部内のタイムスタンプを使って測定される。ペイロードビットエラーセル数の計測はペイロードに付与した巡回符号によって、ビットエラー数の計測はペイロードに収容したPNパターンによってそれぞれ行う。

AAL/OAM機能試験部は、AALタイプ1セルと警報転送用OAMセルの受信を行う。外部トリガIF部は、指定した4VP/VC(150Mbps回線のみ)のセルを外部に出力する。

3.4 制御部

制御部は、制御コンソールと測定制御部から構成される。制御コンソールは1台当たり最大32ユニット(8架)まで制御可能である。各ユニットには、600Mbpsと150Mbps回線対応の負荷セル発生部、特性モニタ部をそれぞれ一式と、測定制御部が一式実装される。以下に各部について説明する。

3.4.1 制御コンソール

制御コンソールは、ワークステーションとソフトウェアから構成され、測定制御部とはGP-IBによって通信し、APT全体を制御する。以下にその機能を示す。

- (1) 負荷セル発生部及び特性モニタ部へのパラメータの設定及び編集
- (2) 測定開始及び終了の時間管理及び制御
- (3) 測定結果データの収集、演算/統計処理、及び表示
- (4) 警報情報の表示

3.4.2 測定制御部

測定制御部は、マイクロコントローラを実装したCPU基板とクロック回路及びタイマ回路から構成され、制御コンソールからのコマンドを受けてユニット内各部の制御を行う。以下にその機能を示す。

- (1) CPU基板

●制御コンソールから転送されたパラメータの、負荷セル発生部及び特性モニタ部への設定と各種制御

- 負荷セル発生部及び特性モニタ部からの測定結果データ読出しと制御コンソールへの転送
- ユニット内各部の警報情報収集及び制御コンソールへの転送

- (2) クロック回路

- DCS、回線抽出クロック及び内蔵発振器によるクロックを用いた、基準クロック信号の生成及び分配
- セル位相パルスに同期した、測定開始/終了制御用トリガパルスの生成と分配

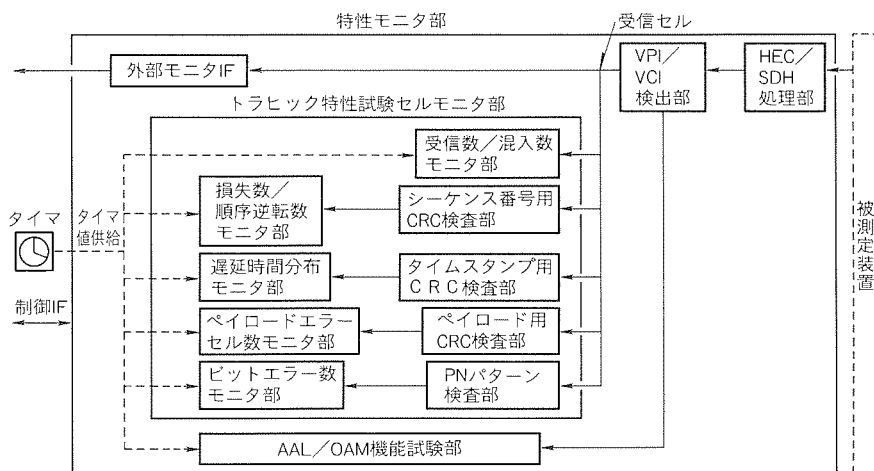


図5. 特性モニタ部ブロック図

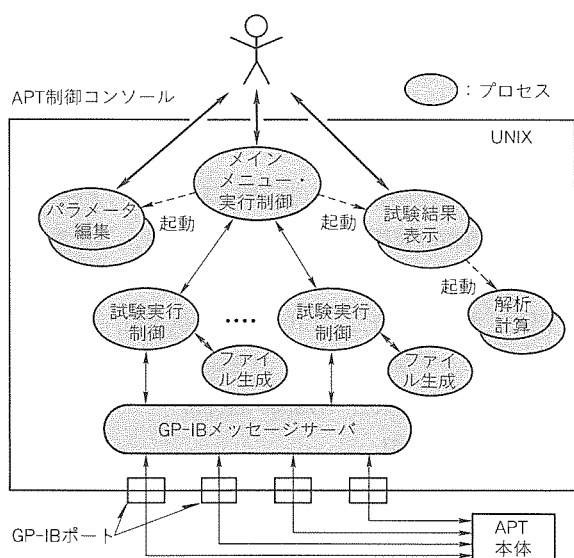


図6. コンソールプロセスの構成概要

(3) タイマ回路

- 遅延時間測定用基準タイムスタンプ情報の生成と分配

4. ソフトウェア構成

4.1 APT制御コンソールの特長

APTによる試験の実行は、①試験パラメータ編集、②試験実施、③試験結果表示の三つのフェーズで行われる。制御コンソールは、これら各フェーズの操作・表示インタフェースを提供し、APTの動作を制御する。APT制御コンソールの特長を以下に示す。

- 操作性の良いGUI (Graphical User Interface) 形式のマンマシンインタフェース
- 多様なパラメータ編集支援機能
- 試験実行の自動制御
- 複数試験の並列実行
- 豊富な統計解析機能、大規模データの計算実行
- 測定データ、解析データのグラフ表示 (拡大機能付き)

- LAN経由のアクセス・複数オペレータの同時操作

制御コンソールは、UNIXワークステーションを用い、専用ソフトウェアを開発することによって実現した。コンソールソフトウェアは、機能・試験種別対応の多種のプロセスから成るマルチプロセス構成である。コンソールソフトウェアのプロセス構成概要を図6に示す。

4.2 試験パラメータ編集機能

APTは、複雑なセル発生機構と多彩な測定機能を持つため、試験内容を規定するパラメータ項目は極めて多岐 (約100項目) にわたる。

この試験パラメータの設定作業を極力軽減するため、APT制御コンソールでは、編集した試験パラメータをファイルに保存し、再利用可能とした。また、編集に際して、パラメータ設定量を極力少なくし、効率良く作業が行えるよう、GUIの採用に加えて、パラメータファイルの階層化によるパラメータ群の一括指定、同一内容反復指定の容易化、入力不要領域の動的マスク処理による入力操作ガイド、相互依存パラメータの画面間連動等を実現した。

4.3 試験実行制御機能

試験を実行するには、試験パラメータ及びその開始時刻を指定して試験の実施登録を行う。APTでは、使用するリソース (負荷セル発生部・特性モニタ部インタフェース) が競合しない限り複数の試験を並列に実行可能である。

試験の実行中は、発生イベントが画面上にリアルタイムに表示され、実行経過が監視できる。また、回線障害や装置故障が検出された場合には、イベント表示に加えて、アラームインジケータの赤変によって視覚的に通知がなされる。

4.4 試験結果表示・統計解析機能

試験結果データは、測定終了時にコンソール上に転送され、ファイルとして保存される。データ内容は、試験終了後、試験結果表示画面によって参照する。結果表示画面では、計数データはGUIによる表形式、時系列データや遅延時間分布データはグラフ形式により、ビジュアルに表示される。一部のグラフ表示画面は、扱うデータサイズが大きい (例：時系列データ最大サイズ： 5×10^5 個) ため、部分拡大表示機能を持つ。図7にセル遅延時間分布データ表示画面の例を示す。

また、APT制御コンソールでは、次に示すような様々な統計解析機能を提供しており、その結果もやはりグラフ形式によってビジュアルに表示する。

- 時系列データ：自己相関関数、相互相関関数、セル数分布、状態継続時間分布、セル数分布指数平滑処理

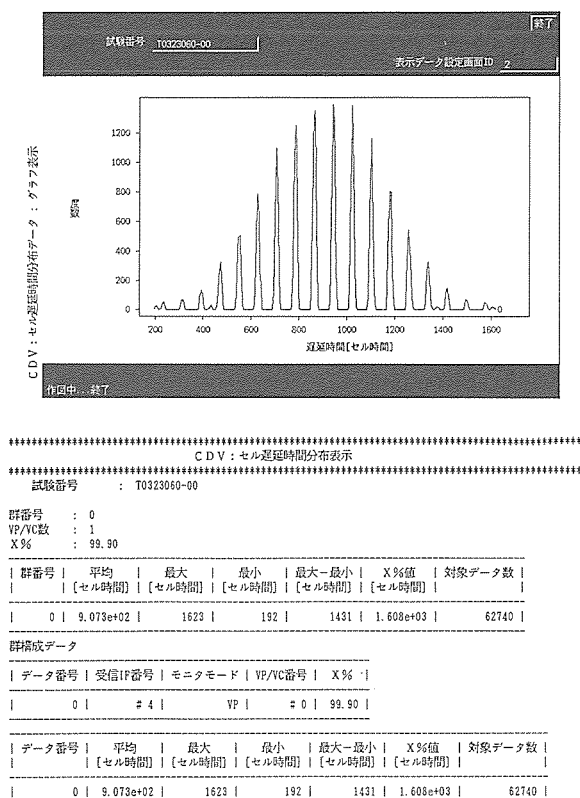


図7. 表示画面の一例

- CDV データ : 発生/受信間隔分布, 遅延時間時系列, 遅延時間分布, フレーム長分布
- 計数・その他: 複数の試験結果データによる各種散布図

5. む す び

以上, ATM 特性測定装置について, その方式概要, 装

置構成, ソフトウェア構成について述べた。この装置は現在, ATM 伝送/交換装置試作機の実験評価に使用され, その結果は, B-ISDN の伝送品質の向上, 高信頼化に反映されるものと期待される。

最後に, 日ごろから多大の御指導を賜わる NTT 伝送システム研究所, NTT 交換システム研究所をはじめとする NTT の関係各位に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 高木康志, 鎌倉正則, 宮保憲治, 小口喜美夫: ATM 装置特性評価法の検討, 電子情報通信学会春季全国大会, B510 (1993)
- (2) 高木康志, 豊島 鑑, 鎌倉正則, 小口喜美夫, 宮保憲治: ATM システムのセル転送特性評価技術, NTT R & D, **43**, No.1, 55~66 (1994)
- (3) 鶴沢郁男, 菊地克昭, 小口喜美夫: ATM リンクシステムの技術開発, NTT R & D, **42**, No.3, 331~342 (1993)
- (4) 佐藤健一, 佐藤陽一, 山中直明, 林 一博: パーチャルパス収容設計技術, NTT R & D, **42**, No.3, 343~356 (1993)
- (5) 沼倉 歩, 佐藤浩之, 上田広之, 小浜茂樹, 鹿間敏弘: ATM セルトラヒックパタン生成 LSI の開発, 電子情報通信学会秋季大会, B550 (1993)
- (6) ITU-TS I.361
- (7) ITU-TS I.432

622Mbps-16ch コヒーレント光伝送装置

水落隆司* 石村栄太郎**
清水克宏* 北山忠善*
下村健吉*

1. ま え が き

光ファイバには、 $1.55\mu\text{m}$ 帯だけでも 100nm の低損失域が存在する。今日の光ファイバ伝送技術では、 $1.3\mu\text{m}$ と $1.55\mu\text{m}$ の 2 波の多重は行われているが、無線通信の分野で一般的となっているような波長 (周波数) を細かく分割した多重法は用いられておらず、本来光ファイバが持つ帯域が生かされていない。一方、将来の超大容量通信システムの構築に当たっては、従来の時分割多重による大容量化では、各デバイスに極めて高速な動作が要求されるばかりでなく、各装置の規模もばく大なものになりかねない。光周波数分割多重 (Optical Frequency Division Multiplexing; 光 FDM) 技術を用いれば、1 本の光ファイバにのせられる容量を飛躍的に増大させつつ、加入者に必要な情報を所望の光チャネルの選択によって得ることができる。必要となるデバイスの動作速度は、加入者にとって必要な程度の比較的低い速度で済む上、超高速の多重分離装置が不要になるため装置の規模もさほど大きくならないと考えられる⁽¹⁾。

図 1 は光 FDM の一つの適用例である情報分配伝送系を示したもので、HDTV (High Definition Television) や大容量データなどの多数の情報を異なる光周波数にのせて多重する FDM 送信装置と、加入者において必要な情報だけを終端する波長チューナブル受信器から構成される。FDM 送信装置には、波長が少しずつ異なる単一波長 LD (Laser Diode) と、チャネル間の干渉を防ぐためにそれら LD の発振周波数を高精度に安定化する技術が必要である。波長チューナブル受信器では、高密度に多重された中から任意の一波を抜き出す技術が必要となる。また、多重数が増えるほど 1 波当たりの電力が減少するため、従来の直接検波受信器より

高感度な検波法を用いなければならない。

これらの課題を勘案して試作した 622 Mbps-16ch FDM コヒーレント光伝送装置について報告する。FDM 光源としては、波長をある範囲で任意に設定しうる 2 電極型の LD を開発し、 10GHz 間隔で 16ch の多重化を行う。掃引型ファブリペロ干渉計 (Scanning Fabry-Perot Interferometer: SFPI) を用いた光 AFC (Automatic Frequency Control) で LD 周波数を高精度に安定化する。受信器はヘテロダイン検波法を用いて構成する。この方式は、局発光 (Local Oscillator: LO) と信号光のビートを受光器で発生させ、中間周波 (IF) フィルタで所望のチャネルを抜き取るためチャネル選択性に優れ、微弱な信号光と高パワーの LO の積で受信信号が得られるため、直接検波受信器より数十倍の高感度化が期待できる。チャネル間の不感周波数帯を少なくした広帯域周波数弁別器により、引込み誤動作のない光チャネル選択を実現する。最後に、試作した装置を用いて行った 16ch の HDTV 信号の光 FDM 伝送実験について報告する。

2. 装置概要

2.1 622Mbps-16ch FDM光送信装置

送信装置は、1 波当たり 622 Mbps で変調された LD を 16 波多重することで総伝送容量 10Gbps を実現した。 $1.55\mu\text{m}$ 帯において等間隔に 16 の波長を配置できる LD と、それら LD の周波数を高精度に制御する光 AFC 技術を開発したのが特長である。回路構成を図 2 に示す。16 個の LD を 16×2 スターコプラで多重し、1 本の伝送光ファイバに出射する。この装置と対になる受信装置の検波方式としてヘテロダイン検波を採用するため、変調方式には従来の強度変調より 6

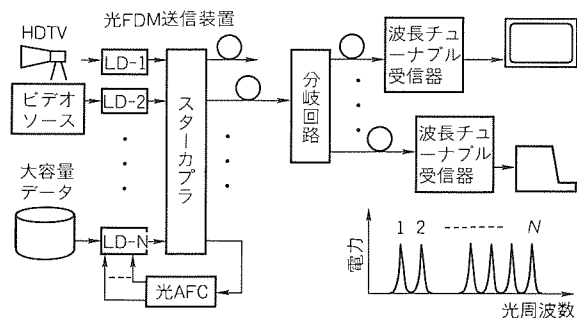


図 1. 光 FDM 適用システム例 (情報分配伝送システム)

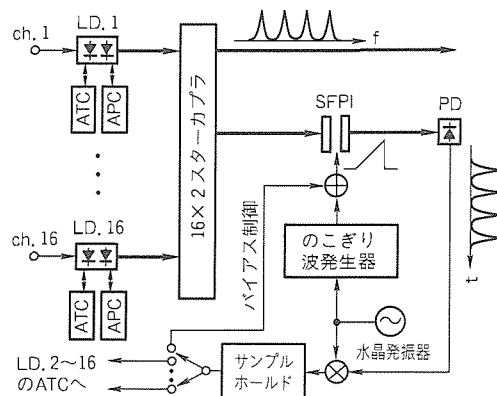


図 2. 622 Mbps-16ch FDM 光送信装置ブロック図

dB以上高感度化が可能な位相連続FSK(Frequency-Shift-Keying)変調が利用できる。したがって、各LDを注入電流の直接変調による位相連続FSK変調すると同時に、出力パワーと温度をそれぞれAPC(Automatic Power Control)、ATC(Automatic Temperature Control)回路によって自動制御した。スターカプラの出射光は、後述の光AFC回路にも導かれ、そこで検出した周波数間隔のずれを各LDに帰還し、それぞれの温度を変えることで波長を等間隔に制御した。装置外観を図3(a)に示す。LD駆動回路基板(16枚)、光AFC基板(2枚)、モニタ基板(1枚)及び電源基板(2枚)を645mm×330mm×405mmのラックに装備した。送信装置の仕様を表1に示す。

2.2 622Mbpsヘテロダイン受信装置

受信装置は、ヘテロダイン検波によって高感度化を図り、LOの波長チューニングにより、16chから任意のチャンネルを選択する構成とした。電流と温度制御の併用によるLOの広帯域波長チューニング法と、LO波長が変動しても送信の1から16chの間にある限り最寄りのチャンネルに引き込める広帯域周波数弁別器を開発したのが特長である。回路構成を図4に示す。偏波変動補償はダイバーシチ方式ベースバンド加算、復調方式は遅延検波を用いた。装置に入射したFDM光を、光ハイブリッド中で直交する2偏波に分け、それぞれをLOと3dBカプラで合波する。合波された光をGaAsブリアンプ内蔵シングルpin-PDでミキシング及び光電変換し、IF帯電気信号とする。所望のチャンネルを帯域通過フィルタで抜き出した後、遅延線とダブルバランスミキサで構成した遅延検波復調回路でベースバンド信号に変換する。この操作は、それぞれの偏波ごとに行い、得られた二つのベースバンド信号を加算回路で足し合わせる。信号光の偏波がどのような状態になっても、少なくともいずれか一方で復調信号が得られる。ベースバンド信号は、5次ベッセルフィルタで波形整形された後、クロック信号を抽出して識別再生する。出力として、ECL電気インタフェース及び光インタフェース(1.3μm光送信器出力)を設けた。LOとして2電極MQWDFB-LDを用いた。赤外線モコンで外部からチャンネル切替信号を与えると、あらかじめセットした電流及び温度に従って、LOが所望のチャンネルの周波数に移動する。後述の広帯域周波数弁別器でIF帯の周波数を検出し、規定の周波

数になるようにIF帯のAFCが働いて所望のチャンネルにロックする。装置外観を図3(b)に示す。回路は、光ハイブリッド基板(1枚)、IF回路基板(1枚)、チューナー基板(1枚)及び電源基板(1枚)を430mm×265mm×410mmのラックに装備した。受信装置の仕様を表2に示す。

3. 主要技術

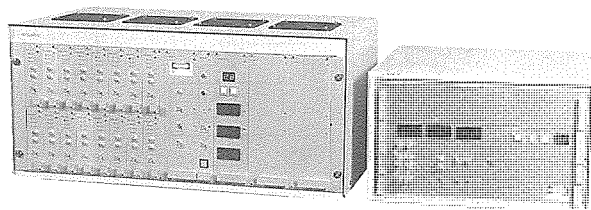
3.1 LD

FDM送信光源には、位相連続FSK変調に適した広帯域で平坦な周波数変調特性と、ヘテロダイン受信を可能とする狭いスペクトル線幅が要求される。この要求を比較的シンプルな構成で満足しうる2電極MQWDFB(Multi-Quantum-Well Distributed-Feedback)-LDを開発した⁽²⁾。これは、通常のDFB型のLDの電極を二つに分割したもので、狭スペクトル線幅と平坦なFM周波数特性が期待できる。装置動作時の16個のLDの平均スペクトル線幅は、1.9MHz、平均のFM感度は310MHz/mAであった。FM応答の3dB帯域幅(光領域)は1.0GHzであり、低域のディップも300kHzまでは見られなかったことから、このLDのFDM光源への適用見通しを得た。図5に、このLDモジュールを実装した駆動回路基板の外観を示す。

受信器のLOには狭線幅性に加え、光FDM全帯域を掃引できる広い波長可変特性が要求される。2電極MQWDFB-LDを光出力が一定の条件で5℃から40℃まで温度を

表1. 622Mbps-16ch FDM光送信装置主要諸元

チャンネル数	16
チャンネル間隔	10GHz
ビットレート/符号	622.08Mbps/NRZ
変調方式/変調度	CPFSK/1.6
光源	2電極MQWDFB-LD
光周波数	192,853GHz(ch.1) ~193,003GHz(ch.16)
線幅	1.2~4.5MHz
1ch当たり光出力	-9~-6dBm
光周波数間隔安定度	±100MHz(5~40℃)
消費電力	113W以下(AC100V)



(a) FDM光伝送装置 (b) ヘテロダイン受信装置

図3. 装置外観

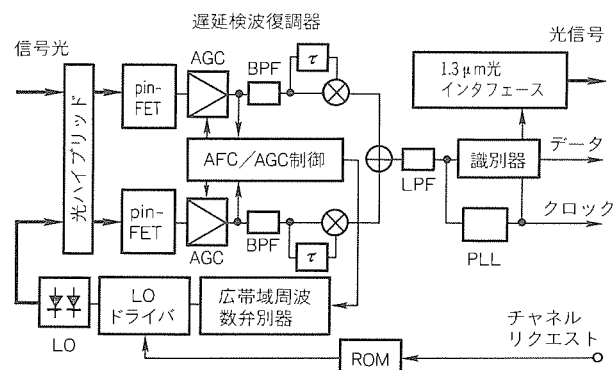


図4. 622Mbpsヘテロダイン受信装置ブロック図

表 2. 622Mbpsヘテロダイン受信装置主要諸元

偏波補償	偏波ダイバーシチ
復調方式	遅延検波 (遅延時間0.5ns)
IF周波数/帯域	2.5GHz/3.2GHz
最小受光感度 ($P_e=10^{-9}$)	-39.3dBm
局発光 (LO)	2電極MQW DFB-LD
LO線幅	1.5~2.7MHz
LO光出力	-0.7dBm (PD入力)
受光器雑音	12pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ (DC~7GHz)
チューニング方式	電流+温度

変えたところ、波長が3.1nm 変化した。一方、温度が一定の条件で、光出力が一定になるように二つの電極から注入する電流の和と比を変えたとき、モードホップなく波長が0.6nm 変化した。したがって、このLD の温度と電流の併用による連続波長可変幅は3.7nm であるといえる。10GHz 間隔で16波多重するこの装置の所要帯域は1.2nm であるため、このLD はLO としても使用可能である。

3.2 光AFC技術

LD の周波数は、電流や温度のわずかな変動で大きく変化するため、光 FDM 伝送装置にとって高精度の光 AFC は不可欠の技術である。数多く報告されている光 AFC の中で、被制御 LD の偏波や変調状態に依存せず、シンプルな回路構成で多チャンネル化が容易、等の特長がある SFPI を用いる方法⁽³⁾を試みた。図1に示したように、ATC 回路によって周波数間隔を10GHz に粗調整した信号光はスターカプラで合波され、SFPI に入力される。SFPI を水晶発振器から分周し、生成したのこぎり波で掃引してPD で受光すると、周波数軸に並んだ各信号光を時間軸上のパルス列に変換できる。得られたパルス列と水晶発振器を同期検波し、位相誤差を検出すれば周波数のずれに応じた誤差信号が得られる。時間軸上でパルスが等間隔になるように誤差信号を各LD のATC に帰還すれば、LD の発振周波数が等間隔に制御される。

図6に光 AFC 回路を用いて安定化した16ch 光 FDM スペクトルとチャンネル間隔の周囲温度変動による変化を測定した結果を示す。光 AFC オフ時にはATC 回路の温度依存性により、5~40℃で±1.1GHz の変動が見られたが、光 AFC オン時にはチャンネル間隔の1/100である±100MHz に抑えられた。チャンネル間干渉を抑えるために、十分な制御精度が得られたといえる。

3.3 光チャンネル選択技術

光チャンネル選択にとってコールドスタート機能は重要である。少なくとも電源投入後LO 波長が迷走することなくいずれかのチャンネルに引き込むためには、IF 帯 AFC 回路中の周波数弁別器の不感周波数帯をなくす必要がある。遅延線、ミキサ、及び低域通過フィルタで構成される周波数弁別器の遅延時間を変化させることで、弁別感度を高くすることも、

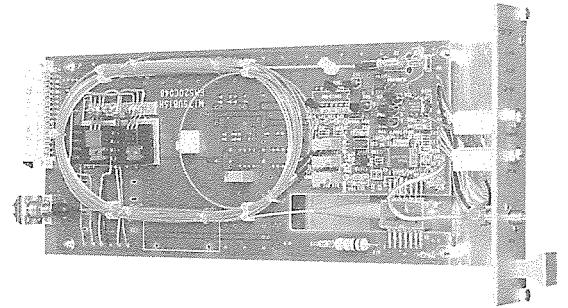


図 5. 2電極MQW DFB-LD駆動回路基板の外観

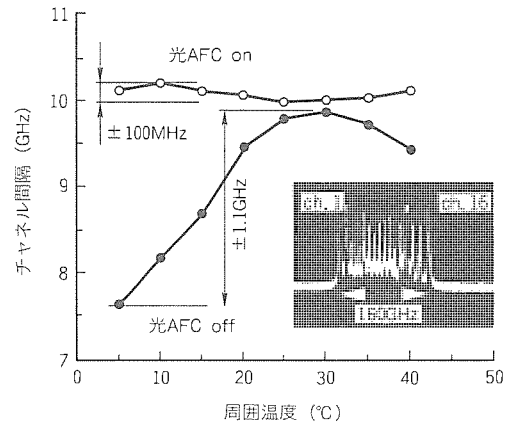


図 6. 光AFCによるチャンネル間隔安定化結果

引込み範囲を広くすることも可能であるが、両者を同時に満足することはできない。そこで我々は、感度は高いが引込み範囲の狭い周波数弁別器と、引込み範囲は広いが感度の低い周波数弁別器を、ある重みをつけて並列接続することで、所望の感度と引込み範囲を満足する広帯域周波数弁別器を開発した。二つの周波数弁別器の遅延時間及び重みは、く(矩)形波をフーリエ級数展開したとき得られる係数から求められる⁽⁴⁾。この装置のパラメータに合わせて遅延時間をそれぞれ0.1nsと0.3ns、重みを3:1として作製した周波数弁別器のIF 中心周波数(2.5GHz)における弁別感度は11mV/MHz、引込み範囲は-2.5GHz から7.5GHz であった。制御精度は5MHz 以内であり、10GHz 間隔に多重したFDM システムに十分な特性が得られた。

4. システム試験

試作した光 FDM 送受信装置を用いて伝送試験を行った。1台のパルスパターンジェネレータから発生したPN 2²³-1パターンを16分配し、遅延を与えた後、全チャンネルを変調した。送信器のトータル出力パワーは+3dBm であり、これを110km の1.3μm ゼロ分散ファイバに入力した。ch. 1の符号誤り率特性を図7に示す。図中のアイパターンは、誤り率10⁻⁹における5次ベッセルフィルタ通過後のものである。受信感度は、計算値によく一致した。16チャンネルの最小受光感度の平均は-37.3dBm であった。また、1.3μm

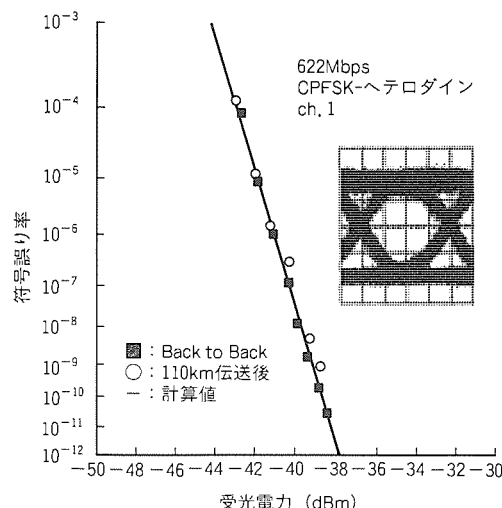


図7. 110km光ファイバ伝送実験結果

ゼロ分散ファイバ110kmで与えた2,000ps/nmの分散によるパワーペナルティーは、観測されなかった。同じ容量の信号を送送するのに、周波数軸上で帯域を分割するFDM方式が分散の大きい伝送路に対して有利であることが実証された。

この装置のシステム適用例として、HDTV信号の伝送実験を行った。2台の映像ソースから得られたアナログHDTV信号を、SDH伝送インタフェースであるSTM-4に準拠した622Mbpsの信号に符号化し⁽⁵⁾、二つの映像信号でそれぞれで奇数番目と偶数番目のチャンネルをすべて変調した。光ファイバ増幅器で送信パワーをチャンネル当たり平均+1.7dBmに増幅し、1.3μmゼロ分散ファイバ110kmに伝送したところ、室温が20℃から40℃に変動しても、8時間以上連続して任意のチャンネルが選択できると劣化のない伝送を確認した。

5. む す び

622Mbps-16chコヒーレント光伝送装置を試作し、HDTV信号16ch分を1.3μmゼロ分散ファイバ110kmに劣化なく伝送できることを確認した。更なる多チャンネル化を実現するデバイス技術、光制御技術の開発が今後の課題である。

参 考 文 献

- (1) Nosu, K., Toba, H., Inoue, K., Oda, K.: 100 Channel Optical FDM Technology and its Applications to Optical FDM Channel-based Networks, J. Lightwave Technol., 11, 5/6, 764 ~ 776 (1993)
- (2) Watanabe, H., Ohishi, T., Saito, H., Kawano, M., Takemoto, A., Nakajima Y., Omura E., Kakimoto, S.: Four-channel Wavelength Tunable DFB Laser Array for Optical FDM Systems, Proc. Optical Fiber Communication '92, FB8 (1992)
- (3) Toba, H., Inoue, K., Nosu, K., Motosugi, G.: A Multi-channel Laser Diode Frequency Stabilizer for Narrowly Spaced Optical Frequency Division Multiplexing Transmission, J. Opt. Commun., 9, 2, 50 ~ 54 (1988)
- (4) Mizuochi, T., Shimizu, K., Kitayama, T.: A Study on Broad Capture Range of AFC in Heterodyne Tuners, Proc. 4th Optoelectronics Conference '92, 16A 2-3 (1992)
- (5) 中澤宣彦, 鳥羽浩史, 丹治秋人, 菅野典夫, 水川繁光: 622Mbps HDTV 光伝送装置, 三菱電機技報, 67, No. 7, 709 ~ 713 (1993)

サブキャリア多重光伝送技術とその応用

松下 究* 手島邦夫**
佐藤 晋* 竹内宗昭***
北山忠善*

1. ま え が き

サブキャリア多重 (Subcarrier Multiplexing : SCM) 光伝送技術は、周波数多重化した電気信号により、レーザダイオード (LD) を直接アナログ変調して光ファイバ伝送し、受信側でその変調光信号をフォトダイオード (PD) で電気信号に再変換する技術である。

シングルモードファイバの普及と、低雑音／低ひずみ DF B-LD⁽¹⁾の開発により、CATV の分野において従来の同軸ケーブルを光ケーブルに置き換えるだけで VHF, UHF 帯で周波数多重化された TV 信号を長距離伝送できる方式として注目されるようになった。また、最近では移動体通信分野における基地局と交換局間の無線信号伝送用として盛んに開発が進められている⁽²⁾。

本稿では、SCM 光伝送の技術課題、空港向け CATV システムへの適用例、及びひずみ補償回路を適用して LD の発生するひずみの低減を図った 1.9 GHz 帯無線信号伝送用光リンク⁽³⁾について述べる。

2. SCM光伝送の所要特性と技術課題

SCM 光伝送方式を用いた代表的なシステムとして、光 CATV 幹線伝送システムとマイクロセル無線伝送システムがある。光 CATV 幹線伝送システム及びマイクロセル無線伝送システムの概念を図 1、図 2 に示す⁽⁴⁾。

光 CATV 幹線伝送システムは、従来の同軸ケーブルを光ファイバに置き換えることにより、多チャンネルの映像音声信号を高品質に長距離伝送するシステムである。光伝送方式の幹線系への適用により、5 km 以上にわたる無中継伝送が可能になるため、従来の同軸中継方式に比べ、システムの拡張を経済的に実現できる。

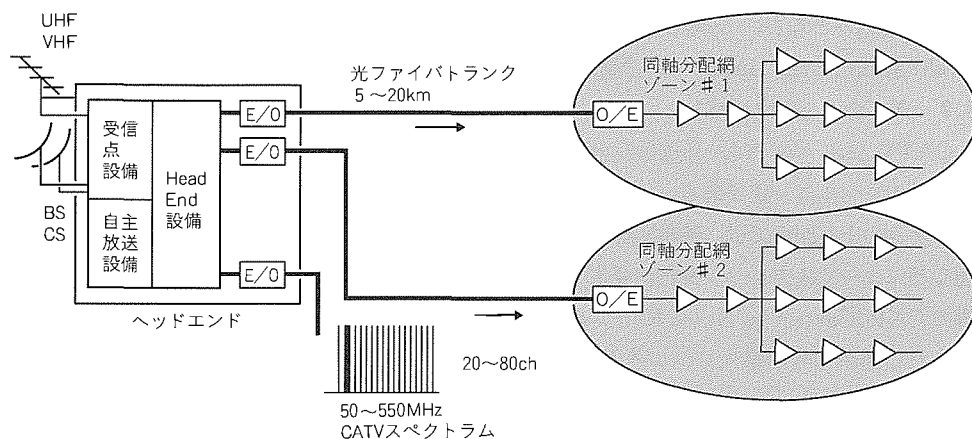


図 1. SCM光伝送方式を用いた光CATVの概念

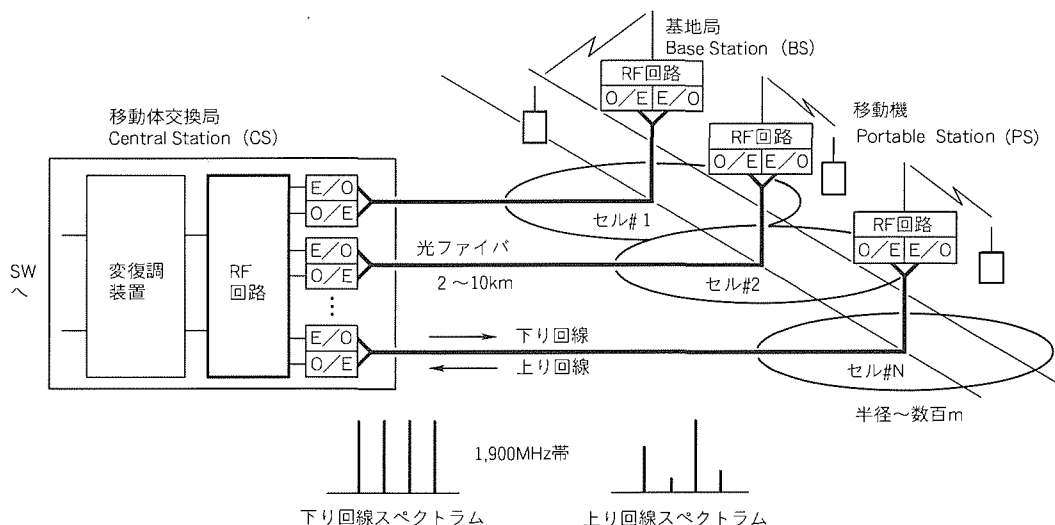


図 2. SCM光伝送方式を用いたマイクロセル無線伝送システムの概念

一方、マイクロセル無線伝送システムは、半径数百 m おきに基地局 (Base Station : BS) と呼ばれるアンテナ、RF 回路及び光送受信器のみで構成された装置を配置し、基地局と移動機 (例えば携帯電話や自動車電話) 間は無線回線で、基地局と移動体交換局 (Central Station : CS) 間は光ファイバによって接続し、無線信号を伝送するシステムである。上記構成により、基地局の小型化・経済化を実現できる。

表 1 に VSB-AM 方式の光 CATV 幹線伝送システムとマイクロセル無線伝送システムの所要特性比較を示す。両者の所要特性及び課題は以下のとおりである。

2.1 ひずみ特性

CATV 信号は、通常 40 ~ 80ch の映像信号が周波数多重される。映像信号のベースバンド信号帯域幅が 4 MHz と広いために、周波数帯域幅は 400 ~ 500 MHz となり、各多重チャンネル間の複合 2 次ひずみ (Composite Second Order : CSO) 及び複合 3 次ひずみ (Composite Triple Beat : CTB) を十分に低減する必要がある。

一方、マイクロセル無線信号は、周波数帯は CATV 信号に比較して高いが比帯域幅は狭い。このため、2 次相互変調ひずみ (2nd Order Intermodulation Ratio : IM2) は伝送信号帯域外となり、3 次相互変調歪 (3rd Order Intermodulation Ratio : IM3) のみ考慮すればよい。

2.2 ダイナミックレンジ

CATV システムでは、光送信器 (E/O) に入力される映像信号のレベルは一定である。一方、マイクロセル無線伝送システムの上り回線では、無線回線のフェージングや遠近問題などによって入力レベル変動が発生する。このため、光回線の CNR (Carrier to Noise Ratio) は、基地局 E/O に入力される無線信号の最大レベル差 (ダイナミックレンジ) だけ変化する。したがって、最大無線入力レベル時の CNR (CNRmax) は (最小無線入力レベル時所要 CNR [CNRmin]) + (ダイナミックレンジ) 以上必要である。

また、基地局 E/O において、最大レベルの信号間の相互変調ひずみが最小レベルの信号に対して干渉を与えないためには、最大 CNR を得る入力レベルにおける IM3 を雑音レ

ベル以下 (IM3 NR [Intermodulation Distortion Level to Noise Ratio] < 0 dB) にする必要がある。ここで、CNRmin を 15 dB、所要ダイナミックレンジを 55 dB とすると、CNRmax を 70 dB 以上、IM3 を -70 dBc 以下とする必要がある。

2.3 反射による伝送品質劣化

光伝送路中にコネクタ等の複数の反射点がある場合には、これらの反射点を反射することなく通過する光と、各反射点間で反射された光との干渉により、LD 変調時の光周波数変動 (チャープピング) が強度変動に変換されてビート雑音が発生し、受信信号の CNR 及びひずみの劣化をもたらす⁽⁵⁾。劣化を抑圧するためには、低反射光部品の使用、及び LD のチャープピングの低減が不可欠である⁽⁴⁾。また、反射による劣化を考慮したシステム設計が必要である。

3. 空港向け光 CATV システム

最近の新空港開設に伴い、映像・音声・データを含めた複合映像伝送システムが業務用に構築されている。特に、新空港では、構内伝送エリアの拡大と通信インフラの光ファイバ化により、各種情報を周波数多重して伝送可能な SCM 光伝送方式が適用されるようになった。

空港向け光 CATV システムの概略仕様、及び構成の一例をそれぞれ表 2、図 3 に示す。空港内の業務用情報としては、センターから端末への監視カメラ映像、手書き映像、商用テレビ放送、気象画像、航空機発着文字・図形画像、運行・業務放送など 45ch、及び端末からセンターへの各業務部門内の監視や業務用映像 10ch がある。これらをそれぞれ 140 ~ 450 MHz 帯及び 10 ~ 100 MHz 帯で SCM 多重し、双方向に伝送する。空港内の主要地区にこれらの映像・音声・データ情報を高品質で伝送するために、幹線部分 (2 ~ 3 km) を光伝送方式とし、同軸伝送路で各端末まで分配する構成としている。

光伝送装置の性能及び外観をそれぞれ表 3、図 4 に示す。多チャンネルの映像信号を周波数多重して伝送する場合、2 次、3 次のひずみ成分によって発生するビート雑音による画質劣

表 1. SCM 光伝送方式の所要特性

項 目	CATV 幹線	マイクロセル無線伝送システム
波 長		1,300nm
光ファイバ		1.3 μm 零分散ファイバ
伝 送 距 離	5 ~ 20km	2 ~ 10km
周 波 数 帯	50 ~ 550MHz	1,900MHz
信 号 帯 域	4 MHz	300kHz
チャンネル数	20 ~ 80ch	1 ~ 8ch
周波数間隔	6 MHz	300kHz
変 調 方 式	VSB-AM	$\pi/4$ DQPSK
C/N	51dB	上り系 : 70dB 以上
ひずみ特性	CSO < -60dB CTB < -65dB	上り系 : IM3 < -70dBc

表 2. 空港向け CATV システムの概略仕様例

項 目	仕 様
伝 送 帯 域	下り : 140 ~ 450MHz 上り : 10 ~ 100MHz
伝 送 容 量	下り : 映像・音声 45ch (NTSC) データ 5ch 上り : 映像・音声 10ch / 幹線
データ伝送	データ画面 : 1.5Mbps / ch FSK ステータスモニタ : 下り 9.6kbps FSK 上り 9.6kbps PSK
端 末 信 号	入力レベル : 70 ~ 85dB μ C/N : 42dB 以上 CSO : -52dB 以下 CTB : -52dB 以下

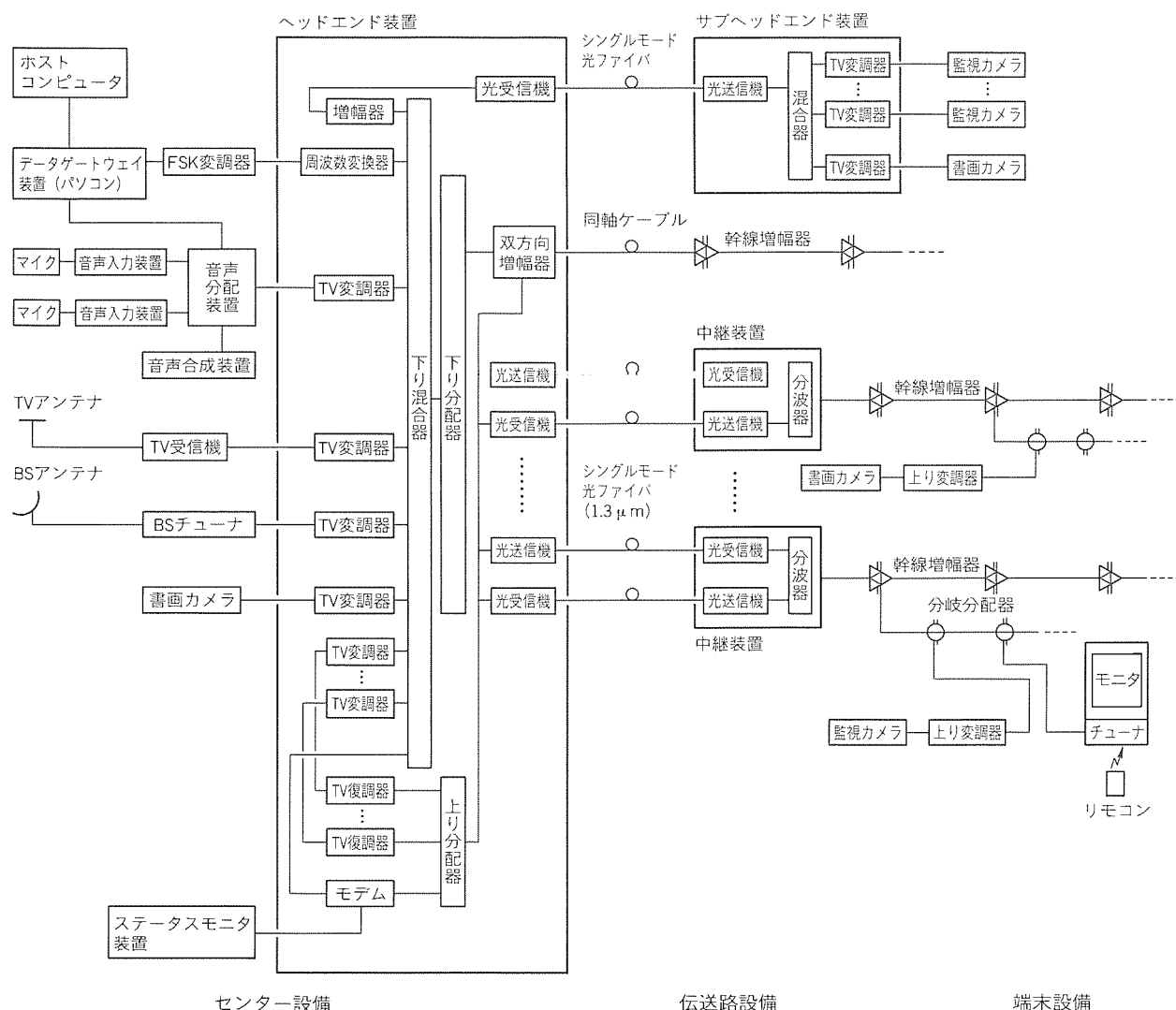


図3. 空港向けCATVシステム構成例

化が問題となる。SCM 伝送に最適化されたDFB-LD⁽⁶⁾を用いて光伝送装置を低ひずみ化するとともに、各キャリアを6MHz一定間隔で多重する準IRC (Incrementally Related Carrier) 方式の採用により、ひずみ劣化を抑圧して最大45chの映像音声信号の伝送を可能とした。なお、光伝送装置の縦続3段+同軸伝送路用幹線増幅器の縦続5段を考慮した性能配分を行っている。このシステムでの総合性能として、表2のシステム仕様を十分満足することが確認されている。

4. 1.9GHz帯無線信号伝送用 光リンク

ひずみ発生回路により、発生させた入力信号の2次相互変調ひずみを利用してLDのIM3を低減するひずみ補償方式を適用した1.9GHz帯無線信号伝送用光リンク⁽³⁾に

表3. CATV用光伝送装置の性能

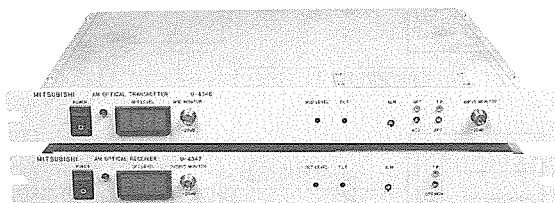
項 目	下り伝送装置		上り伝送装置	
	送 信 機	受 信 機	送 信 機	受 信 機
変 調 方 式	アナログ直接強度変調		アナログ直接強度変調	
伝 送 帯 域	140~452MHz		10~100MHz	
入出力インピーダンス	75Ω		75Ω	
入出力定在波比	1.5以下		1.5以下	
入力信号レベル	80dBμ	—	80dBμ	—
出力信号レベル	—	85dBμ	—	85dBμ
帯域内周波数特性偏差	±1dB以内		±1dB以内	
出力レベル安定度	±1dB以内		±1dB以内	
光出力レベル	+5dBm以上	—	+5dBm以上	—
光出力レベル安定度	±0.5dB	—	±0.5dB	—
光入力レベル	—	0dBm以上	—	0dBm以上
C/N	51dB以上		51dB以上	
CSO	-60dB以下		-60dB以下	
CTB	-65dB以下		-65dB以下	
発 光 素 子	DFB-LD	—	DFB-LD	—
受 光 素 子	—	PD	—	PD
使用光ファイバ	1.3μmシングルモードファイバ			
入出力コネクタ	球面研磨PCコネクタ (反射減衰量40dB以上)			

ついて述べる。

4.1 構成

光リンクの構成を図5に示す。光送信器にはひずみ補償回路を設け、LDの発生するIM3の低減を図った。ひずみ補償方式の概念説明を図6に示す。概略動作は以下のとおりである。

1.9GHz帯無線信号(f_1, f_2)を2分岐し、一方をひずみ発生回路に入力してひずみを発生させる。ここで、IM2($f_2 - f_1$)成分のみを低域フィルタで取り出し、ひずみ補償信



外形寸法：(W)480mm×(H)50mm×(D)380mm

図4. CATV用光伝送装置の外観

(上：光送信装置，下：光受信装置)

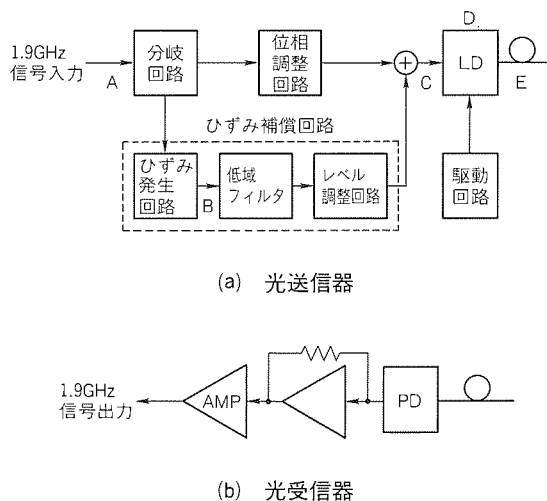


図5. 1.9GHz帯無線信号伝送用光リンクの構成

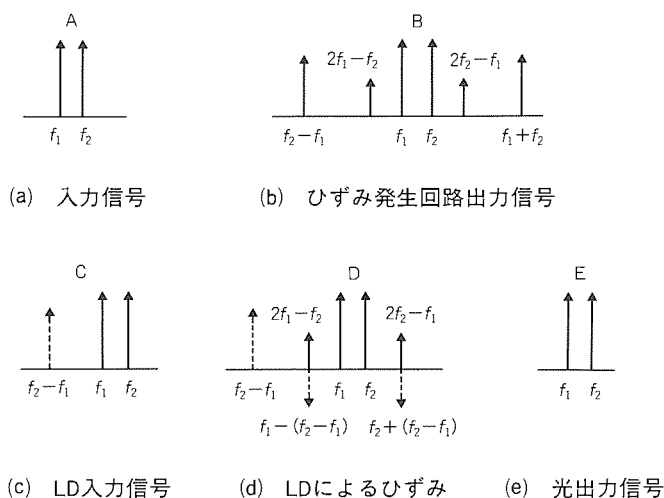


図6. ひずみ補償方式の概念説明

号として位相及び振幅調整を行った後、ひずみ補償回路の遅延分だけ位相調整された入力信号(f_1, f_2)と合成してLDに入力する。LDでは、上記ひずみ補償信号($f_2 - f_1$)と、入力信号(f_1, f_2)とにより、 $2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1$ 成分が発生する。ひずみ補償信号の振幅と位相を、ひずみ補償信号なしのときにLDが発生するIM3($2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1$)と振幅が同じで位相が 180° 異なるように調整することにより、IM3を低減することができる。一方、光受信器は、受光素子にInGaAs pin-PDを用い、プリアンプをGaAs IC化することによって低雑音化している。

4.2 ひずみ補償によるIM3改善効果

ひずみ補償によるIM3改善の測定結果を図7、図8に示す。LDはコスト的に有利なファブリペロー型のLD(FP-LD)を用いた。図7は1.9GHzと1.9006GHzの正弦波信号を入力したときの光変調度に対するIM3の測定結果であり、ひずみ補償回路により、変調度によらず約12dBのIM3改善が得られた。温度範囲 $0 \sim 60^\circ\text{C}$ においても10dB以上の改善が得られた。また、図8は入力信号の周波数差($f_2 - f_1$)に対するIM3の測定結果であり、 $f_2 - f_1 < 50\text{MHz}$ において10dB以上のIM3改善が得られた。

4.3 ダイナミックレンジ特性

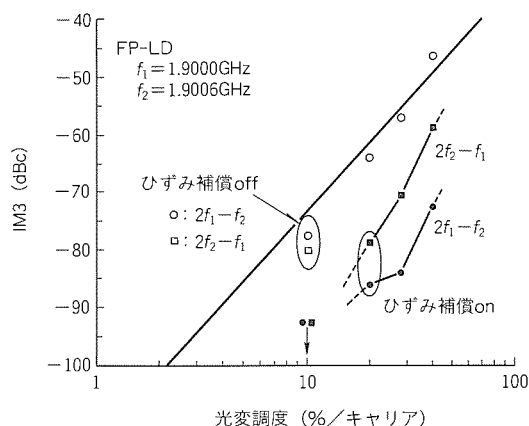


図7. 光変調度対IM3特性測定結果

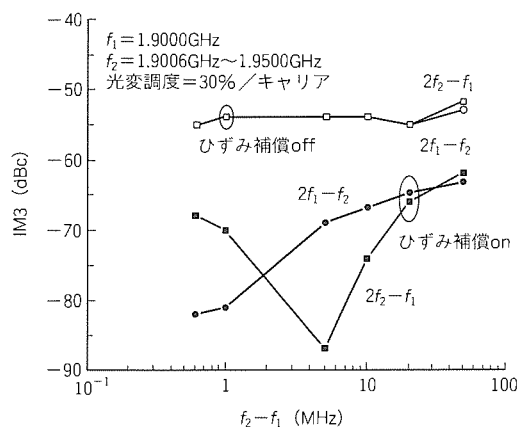


図8. 入力信号周波数差対IM3特性測定結果

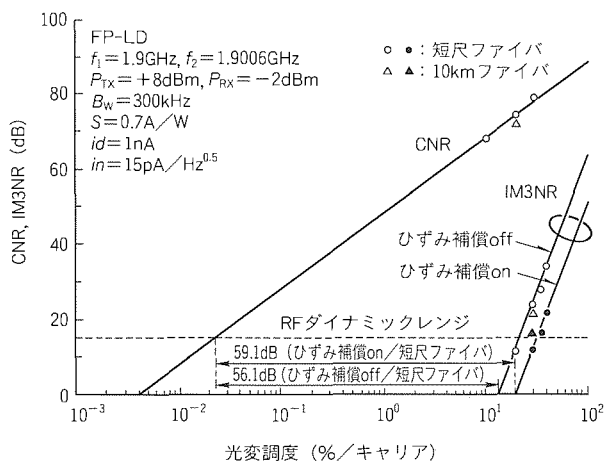


図9. 光変調度対受信CNR及び
3次相互変調ひずみ/雑音比特性

光変調度対受信 CNR 及び 3 次相互変調ひずみ/雑音比 (IM3NR) 特性を図 9 に示す。図から、 $\pi/4$ DQPSK 変調方式における符号誤り率 10^{-2} を満足する最小受信 CNR を 15dB とすると、受光レベル -2dBm における RF ダイナミックレンジは、短尺ファイバ伝送時にひずみ補償なしで 56.1dB、ひずみ補償ありで 59.1dB、10km 伝送時にはひずみ補償なしで 53.7dB、ひずみ補償ありで 55.5dB であった。ひずみ補償の適用により、FP-LD を用いた場合でも 10km 伝送時に所要 RF ダイナミックレンジ 55dB 以上を満足することができた。

5. む す び

SCM 光伝送の技術課題、空港向け光 CATV システムへ

の適用例、及び 1.9GHz 帯無線信号伝送用光リンクについて述べた。CATV システムでは一層の多チャネル化、移動体通信システムでは広ダイナミックレンジ化が要求される。LD の低雑音、低ひずみ特性の高周波化と、ひずみ補償技術の一層の改善が今後の課題である。

参 考 文 献

- (1) Takemoto, A., Watanabe, H., Nakajima, Y., Sakakibara, Y., Kakimoto, S., Yamashita, J., Hattori, T., Miyake, Y.: Distributed Feedback Laser Diode and Module for CATV Systems, IEEE J. Select. Areas Commn., 8, No. 7, 1359 ~ 1364 (1990)
- (2) Morita, K., Ohtsuka, H.: The New Generation of Wireless Communications Based on Fiber-Radio Technologies, IEICE Trans. Commun., E76-B, No. 9, 1061 ~ 1068 (1993)
- (3) 佐藤 晋, 松下 究, 北山忠善: 1.9GHz 帯光リンクにおける歪補償の一検討, 信学春季全大, B-1136 (1994)
- (4) 北山忠善: パーソナル通信への光通信技術の応用, 光通信システムシンポジウム, OCS92-3S (1992)
- (5) 金子進一, 山下純一郎, 笠原久美雄: 光伝送路内の多重反射によって生じる変調歪, 信学秋季全大, B-727 (1991)
- (6) 山下光二, 武本 彰, 八田竜夫, 足立明宏: CATV 用低ひずみ DFB レーザとそのモジュール, 三菱電機技報, 68, No. 6, 554 ~ 558 (1994)

2.5Gbps長距離伝送用DFBレーザとそのモジュール

平野良一* 後藤勝彦*
青柳利隆* 南原成二**
宮崎泰典* 増田健之***

1. ま え が き

光ファイバを用いたディジタル公衆通信網では、情報量の増大に伴って幹線系の高速度 (622 Mbps → 2.5 Gbps) が進められている。2.5Gbpsの光伝送は、国際標準規格のSDH (Synchronous Digital Hierarchy) で採用され、世界の標準になっている。

一般に半導体レーザは、直接高速変調できることが大きな特長であるが、2.5Gbpsのような高速で変調した場合にはレーザ光に波長変動 (波長チャープ) が生じ、長距離伝送するとパルス波形が劣化する。これはファイバ中での光の伝搬速度が波長に依存して変化する (波長分散) からである。この波形劣化によって伝送距離が制限される。従来のバルク活性層を持つ1.55 μ m帯DFB (Distributed Feedback) レーザではこの波長チャープが約1nmと大きかったため、2.5Gbpsの変調速度で伝送可能な距離は1.3 μ m零分散ファイバを使用すると30km程度であった。1.55 μ m零分散ファイバを用いれば、波長チャープの影響は緩和されるが、既設の1.3 μ m零分散ファイバを使用するとき波長チャープが問題となる。

当社では、最適化されたMQW (Multiple Quantum Well: 多重量子井戸) 構造を活性層に適用すると波長チャープが低減されることをいち早く見いだした⁽¹⁾⁽²⁾。今回このMQW構造を適用することで、波長チャープを従来の1/3以下に低減し、1.3 μ m零分散ファイバを用いても2.5Gbpsの変調速度で100km以上の伝送が行える1.55 μ m帯DFBレーザとそれを搭載したモジュールを開発・製品化したので報告する。

2. 要 求 性 能

2.5Gbpsの変調速度で100km以上の伝送を可能にするためには、光源となる半導体レーザに次の性能が要求される。

(1) 高速応答特性

半導体レーザを2.5Gbpsの高速ディジタル光通信で使用する場合には、光パルスの速い立ち上がり・立ち下がり特性が必要である。この立ち上がり・立ち下がりが遅いと符号間干渉を起こし、符号読取りエラーの要因となるからである。伝送系全体では、レーザ以外にもこの応答速度を低下させる箇所が存在する。それらに対するマージンまで考慮すると、2.5Gbpsの伝送系の場合にはレーザ単体に許される立ち上

がり・立ち下がり時間は150ps以下となる。

また、光パルスの立ち上がり部分には振動現象 (緩和振動) が現れ、レーザの変調速度を制限する要因となる。緩和振動周波数は、クロック周波数の約3倍以上が望ましいと言われている。したがって、ここでは緩和振動周波数を8GHz以上にする必要がある。

(2) 低波長チャープ特性

波長チャープが生じると、伝送後にパルス波形が劣化して伝送距離が制限される。従来の1.55 μ m帯DFBレーザは、波長チャープが約1nmと大きく、波長1.55 μ mの光に対して18ps/nm/kmの波長分散がある1.3 μ m零分散ファイバを用いると、2.5Gbpsの変調速度で伝送可能な距離は30km程度であった。波長変動量と伝送可能な距離はほぼ反比例するので、100km以上の伝送を可能にするためには、波長チャープを0.3nm以下に低減する必要がある。

(3) 高サイドモード抑圧比

DFBレーザの波長選択機能が不十分な場合には波長の異なる複数の軸モードで発振し、時間とともに各軸モードに分配される光パワーが変動する。この場合にも、波長分散の影響で伝送時に光パルス波形が劣化する。2.5Gbpsの伝送系では、主たる軸モードと他の軸モードとの時間平均した光強度比 (サイドモード抑圧比) が35dB以上必要であることが経験的に分かっている。

3. デバイス構造

図1に、今回開発した2.5Gbps長距離伝送用DFBレー

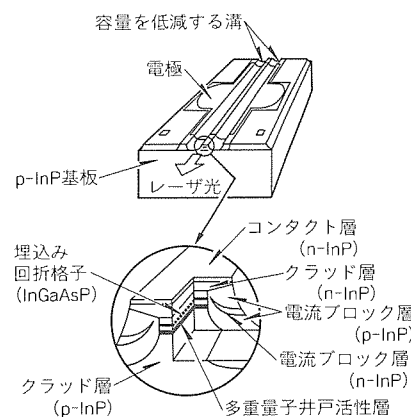


図1. 2.5Gbps長距離伝送用DFBレーザ

ザの構造を示す。このレーザでは、当社で開発した PPIBH (P-substrate Partially Inverted Buried Heterostructure : P 基板を用いた部分反転埋込み) 構造を採用しており、低いしきい値・高出力動作が可能である^{(3)~(5)}。

活性層近傍の電流ブロック層はエッチングによって除去し、寄生容量を低減した構造となっている。レーザチップの寄生容量の多くは、この電流ブロック層の接合部に存在するため、大幅に容量を低減することができた ($15\text{ pF} \rightarrow 7\text{ pF}$)。この寄生容量低減の効果によって、高周波領域における周波数応答特性が改善され光パルスの立ち上がり・立ち下がりが速くなることが期待される。

次に緩和振動周波数を高めるとともに、波長チャープングを低減させるための構造について述べる。緩和振動は、活性層内の電子が光子との相互作用 (誘導放出) により、しきい値を境に増減を繰り返す結果生じるものであり、その変動の速度は注入電子が変調されたときの利得の変化率 (微分利得) に比例する。したがって、緩和振動の周波数を高めるには微分利得を増すことが有効である。また、波長チャープングは、緩和振動による電子密度の変化に応じて活性層の屈折率が変化するために生じる。例えば、電子密度が高くなると屈折率が低下する現象 (プラズマ効果) が起き、波長は短波長側にシフトする。この波長チャープングに対しても微分利得を増すことが有効である。微分利得を増すと、より少ない電子密度の変化で同一の光子密度の変化が生じ、結果として緩和振動時の電子密度の変動を抑える効果が得られるからである。このレーザでは、活性層に MQW 構造を適用することで微分利得を増大させ、緩和振動周波数の向上及び波長チ

ャープングの低減を図った。

この MQW 構造は、厚さ 7 nm の InGaAs 井戸層と厚さ 15 nm の InGaAsP 障壁層を交互に積層し、これを厚さ 20 nm の光閉じ込め層で挟んだ構成となっている。MQW 構造では、量子サイズ効果によって注入電子のエネルギーが局在化し、発振に寄与する電子の割合が高くなるために、バルク活性層のものよりも微分利得を増大させることが可能である。また、同じ井戸幅の MQW 構造であっても井戸数を増やすことによって MQW 全体の微分利得を大きくできる⁽¹⁾⁽²⁾。

図 2 に、井戸層厚を 7 nm 一定としたときの微分利得の井戸数依存性 (計算結果) を示す。井戸数を増やすほど微分利得が向上することが分かる。ただし、井戸数を増やしすぎるとレーザ光の垂直方向の出射角が広がり、ファイバとの結合効率が低下する。そのため、今回開発したレーザでは井戸数 9 を採用している。

また、このレーザでは、単一軸モード発振を得るために DFB 構造を採用しているが、その回折格子は周期が一樣になるように形成されているので、原理的に最小のしきい値利得を持つモードが二つ存在する確率が高く、十分なサイドモード抑圧比を得ることは難しい。そこでこの DFB レーザの前端面に反射率 3% 、後端面に反射率 90% の非対称コーティングを施し、どちらか一方の軸モードのしきい値利得が特に低くなるようにしてサイドモード抑圧比の向上を図った。

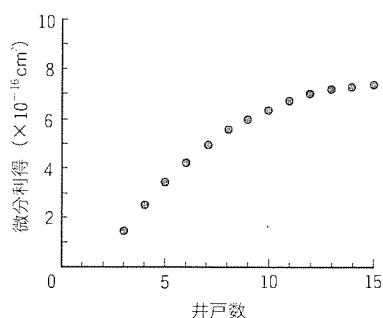


図 2. 微分利得の井戸数依存性 (計算)

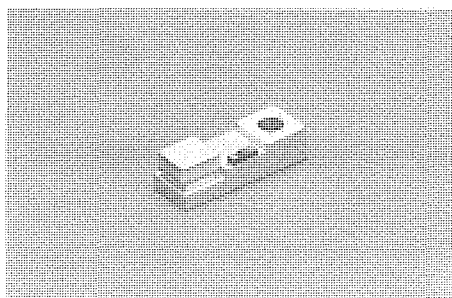
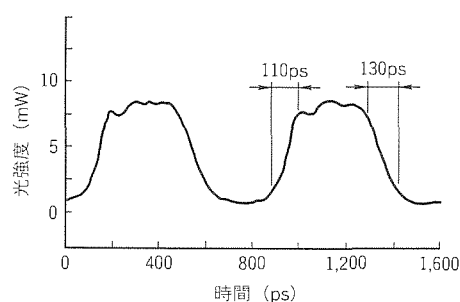
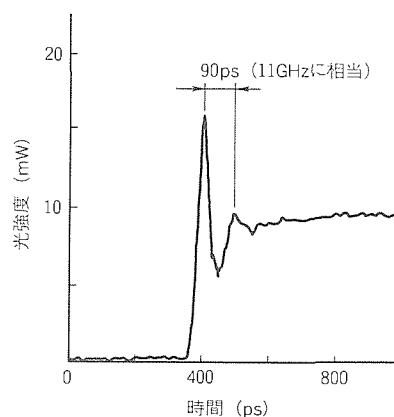


図 3. ML9927 の外観



(a) 光パルス波形



(b) 立ち上がり時の緩和振動

図 4. パルス応答特性

4. 素子特性

今回開発したレーザの外観(型名:ML9927)を図3に示す。パッケージはチップキャリアタイプを使用した。素子特性について以下に示す。

4.1 動特性

図4(a)に2.5GbpsのNRZ信号で変調したときの光パルス波形を示す。全振幅の10~90%間を推移するのに要する時間を立ち上がり・立ち下がり時間と定義すると各々110ps・130psであり、要求性能である150psを満たしている。また、光パルスの立ち上がり時に発生する緩和振動を図4(b)に示す。緩和振動の第一ピークと第二ピークの時間間隔は90psであり、この値から算出した緩和振動周波数は11GHzであった。目標の8GHzを十分満たしている。

次に、2.5GbpsのNRZ信号で変調した場合の波長チャープと発振スペクトルをそれぞれ図5、図6に示す。波長チャープ量(20dB低下)は0.3nmであり、従来のバルク活性層のレーザに比べて1/3以下に低減されていることが確認できた。また、発振スペクトルもピーク波長が1.550 μ mの安定した単一軸モード発振を示した。この場合のサイドモード抑圧比は、45dBが得られており目標の35dBを十分満足している。

4.2 伝送特性

光パルス波形が劣化すると伝送後の符号誤り率が大きくなる。符号誤り率BER(Bit Error Rate)は、通常の伝送では 10^{-11} 以下の値が要求される。図7に今回開発したレーザの

BER特性評価例を示す。変調は2.5Gbps NRZの疑似ランダムパターン、消光比10dBの条件で行った。光ファイバは、1.3 μ m 零分散ファイバ100km(総分散量:1,800ps/nm)を用いた。 10^{-11} のBERが得られる受信感度は-31dBm、100km伝送後のパワーペナルティは1dBであった。このパワーペナルティは、実際のシステムで十分使用可能な値である。

4.3 信頼性

図8に素子温度50 $^{\circ}$ C、光出力10mWでAPC(Automatic Power Control)寿命試験を実施した結果を示す。4,000時間を経過した時点で安定に動作している。メジアン寿命は、29万時間と推定され、幹線系の光源として十分な信頼性が得られた。

5. レーザモジュール

前述のレーザを用いて2.5Gbpsで100km以上の伝送が可能なレーザモジュール(型名:FU-68SDF-2)についても開発・製品化を行った。以下にモジュールの設計・動作について述べる。

5.1 光学系

光学系の設計では、レーザとファイバとの結合効率を上げることと、レーザへの外部からの反射戻り光を減らすことが重要である。このモジュールでは、2個のレンズを用いた光学系を採用し、第一レンズには非球面レンズを適用したので60%以上の結合効率を得ることができた⁽⁶⁾。また、外部か

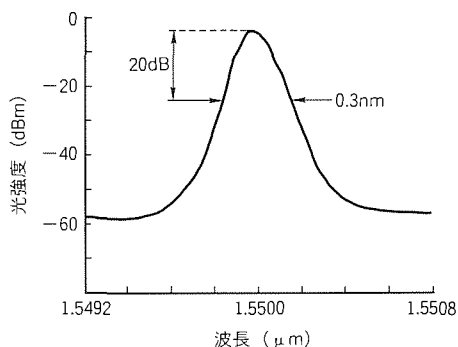


図5. 波長チャープ

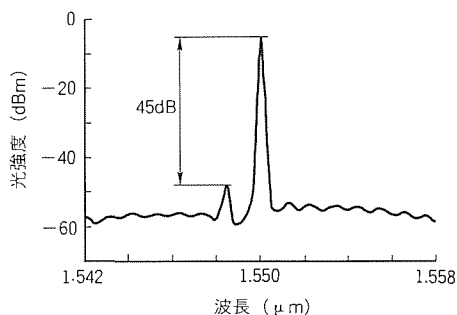


図6. 発振スペクトル

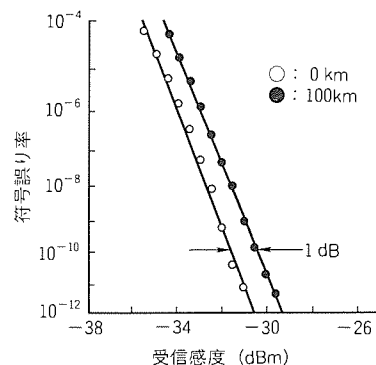


図7. BER特性

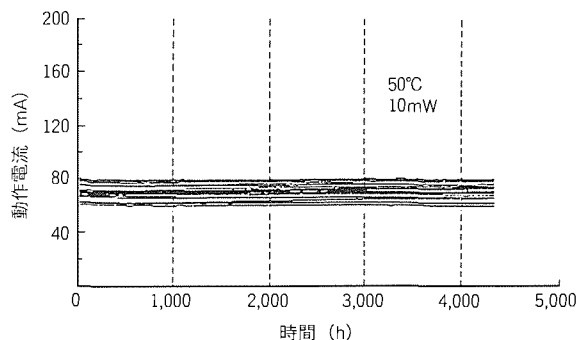


図8. APC寿命試験結果

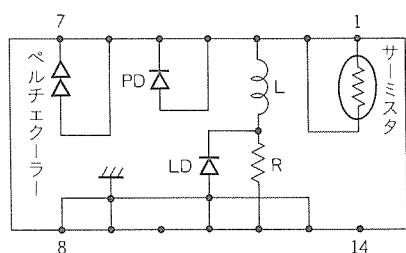


図9. レーザモジュールのピン接続

らの反射戻り光を除去する目的で、2個のレンズの間に35 dB以上のアイソレーションを持つ光アイソレータを内蔵させた。これにより、雑音増加と発振スペクトル変動を防いだ。

5.2 駆動回路

駆動回路の設計では、モジュール化で生じる寄生インピーダンスによる周波数応答特性の劣化を抑えることが重要である。このモジュールは、マイクロ波伝送用レーザーモジュールの設計を基本としている⁽⁷⁾。レーザーモジュールを高速動作させる場合、レーザーが低インピーダンスであることによる電力反射を防ぐためにレーザー近傍で終端するのが一般的である。終端抵抗をレーザーに並列接続すると、レーザーの直流バイアス成分も終端抵抗を流れるため消費電力が増加し、レーザー冷却能力に問題が生じる。そこで、高速信号成分に対する終端抵抗をレーザーに直列に接続し、直流バイアス成分が終端抵抗に流れない構成とした。図9の“R”が高速信号成分の終端用抵抗、“L”がバイアス回路用のコイルである。この回路を用いた場合の周波数応答特性を図10に示す。3 dB低下帯域は4 GHz以上あり、モジュール化による特性劣化はみられない。

6. む す び

当社独自のPPIBH構造にMQW活性層を適用した1.55 μm 帯2.5 Gbps長距離伝送用DFBレーザー(ML9927)について述べた。このレーザーでは、MQW活性層の井戸数を最適化することで、伝送距離の制限要因である波長チャープを0.3 nmに低減した結果(従来の1/3以下)、1.3 μm 零分散ファイバを用いた場合でも100 km伝送後のパワーペナルティは1 dBに抑えられた。

また、このレーザーを搭載したレーザーモジュール(FU-68S DF-2)についても開発を行った。このモジュールでは、非球面レンズを備えた2レンズの光学系を採用することで、ファイバとの結合効率60%以上を実現した。反射戻り光のアイソレーションについても35 dB以上が得られている。さらに、高速信号成分に対する終端回路と直流バイアス回路を分離して内蔵させたので、電力反射を防ぎつつ発熱を抑えることができた。周波数応答特性としては、4 GHz以上(3 dB

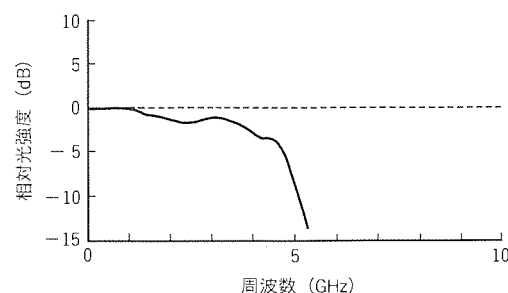


図10. レーザモジュールの周波数応答特性

低下帯域)を実現した。

今後は、量子井戸層の格子定数を基板の格子定数より数%程度大きくした圧縮ひずみMQW活性層を採用することにより、さらに波長チャープを低減し、一層の高速化・長距離化を図る。

参 考 文 献

- (1) 柿本昇一, 吉田直人, 榊原 靖, 水口一男, 須崎 渉: 光通信用1.5 μm 帯MQW-DFBレーザー, 三菱電機技報, **63**, No.11, 961~964 (1989)
- (2) Kawano, M., Aoyagi, T., Watanabe, H., Takiguchi, T., Nakajima, Y., Takemoto, A., Hirano, R.: Low Dispersion Penalty of 1.55 μm MQW Distributed-Feedback Lasers with an Optimized Well Structure, OFC '93, **4**, 113~114 (1993)
- (3) Kakimoto, S., Nakajima, Y., Takemoto, A., Yoshida, N., Sakakibara, Y., Susaki, W.: High Efficient 1.5 μm DFB-PPIBH Laser Diode with Very Narrow Beam, ECOC'88, **3**, 5~8 (1988)
- (4) Takemoto, A., Sakakibara, Y., Nakajima, Y., Fujiwara, M., Kakimoto, S., Namizaki, H., Susaki, W.: 1.3 μm InGaAsP/InP Distributed-Feedback p-Substrate Partially Inverted Buried-heterostructure Laser Diode, Electron. Lett., **23**, No.11, 546~547 (1987)
- (5) Kakimoto, S., Oukura, Y., Takemoto, A., Yoshida, N., Namizaki, H., Susaki, W., Shibayama, K.: Extremely Low Threshold 1.3 μm DFB-PPIBH Laser Diode Applied to 1 Gbit/s Zero-Bias RZ Modulation, ECOC '88, **1**, 337~340 (1988)
- (6) 八田竜夫, 渡辺弘光, 高木晋一, 三宅良雄, 足立明宏, 西村隆司: CATV用高出力DFB-LDモジュール, 電子情報通信学会春季大会, B-1138 (1994)
- (7) 山下純一郎, 仲川栄一, 笠原久美雄, 柿本昇一: マイクロ波伝送用LDモジュール, 三菱電機技報, **64**, No.9, 742~746 (1990)

CATV用低ひずみDFBレーザとそのモジュール

山下光二* 足立明宏+
武本 彰**
八田竜夫***

1. ま え が き

光ファイバ網によるインフラ整備が東欧・北米・日本等世界中で進められようとしている。この光ファイバには、電話、データのみならず多チャンネルの映像(光CATV)が収容されることは必至である。また最近では、米国政府による“情報スーパーハイウェイ構想”を先取りするように大手CATV会社等も大型投資計画を発表しており、来るべきマルチメディア時代に対応した多チャンネルの映像信号を光ファイバ網で伝送する計画もある。このように光CATVは、将来ますます成長する市場である。これら多チャンネルの映像信号伝送用光源としては、アナログ電気信号で直接変調可能なDFB-LD(Distributed Feedback-Laser Diode)が既に多数使われており、今後の光ファイバ網においても、CATV用DFB-LDが不可欠であると思われる。

本稿では、現行の幹線用光CATVに用いられているDFB-LDモジュールについて、その市場動向、要求性能を明確にし、現状の対応技術について概要を述べ、次世代光CATV時代への参考としたい。

2. CATV市場動向

米国で65%程度の家庭に普及している都市型CATVシステムに対する光ファイバの導入は、幹線増幅器の経済的な置き換えとして始まった。図1に、光ファイバ導入による映

像分配システムの変化を示す。長い同軸線路と増幅器をカスケード接続で構成した幹線系では、末端での画像劣化が著しいのに対して、光ファイバを幹線系に用いた場合ヘッドエンドから遠く離れた加入者端でも良好な映像品質が得られること、またメンテナンスの点でより経済的なことから、同軸線路から光ファイバへの置き換えは急速に進んでいる。それと同時に光ファイバリンク自体にも、より高付加価値化が求められるようになった。その一つが、CATVサービスが多様化する傾向にあることに伴う多チャンネル化である。以前は、42チャンネルも伝送できれば十分と考えられていたが、最近では77チャンネルの伝送が主流となりつつある。この多量の信号を1個の半導体レーザで伝送することが求められるようになった。もう一つは、分岐による光ファイバリンクのスリム化である。例えば、図1(b)に示したシステム構成例では、4本の光ファイバが使用されているが、最近ではこの四つの光リンクを4分岐された一つの光源で賄おうとする傾向にあり、それだけ光源に対する要求も厳しくなる。

3. CATV用LD及びモジュールに要求される性能

CATV用として、まず第1に求められるのは低ひずみ化である。表1に、チャンネル数とCSO(Composite Second Order)、CTB(Composite Triple Beat)のビート数の関係を示す。ここで、ビート数とは各チャンネル帯域内に落ちる2次及び3次ひずみのコンビネーショントーンの総数であり、RF多重伝送に特有のパラメータである。一般に、LDの2次ひずみは使用周波数の上昇につれて大きくなるため、CSOについては最高周波数のチャンネルでのビート数を表1に示した。一方、3次ひずみは周波数依存性を無視できるので、CTBについては各チャンネルのビート数の最大値を示した。42チャンネルから77チャンネルに移行することにより、ビート数はCSOで2.6倍、CTBで3.8倍になっており、チャンネル数の増大とともに低ひずみ化が必要であることが分かる。

また、高出力化も光源の高付加価値化には欠かせないアイ

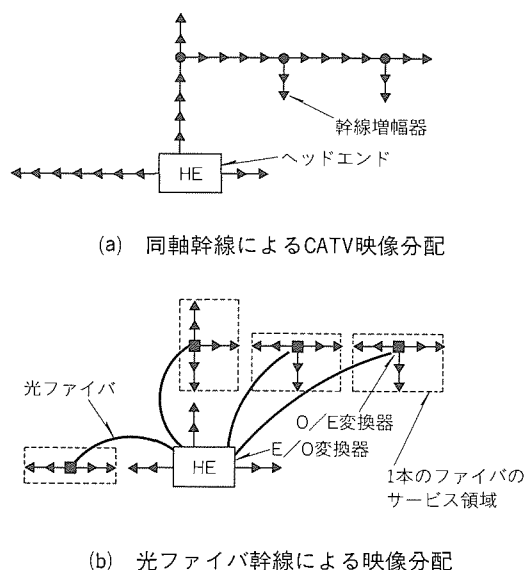


図1. 光ファイバ導入による映像分配システムの変化

表1. チャンネル数とビート数の関係

チャンネル数	ビート数	
	CSO	CTB
42	12	510
60	22	1,131
77	31	1,949

テムである。高出力化は、光多分岐による1ファイバ当たりの送信器のコスト削減につながる。従来は4mWで十分と考えられていたファイバ端光出力も、分岐システムの普及とともに要求値が高まり、今では10mWを超える光源が要求されるようになってきている。

4. 1.3 μm 帯全MOCVD型低ひずみDFB-LD

4.1 素子構造

前章で述べたようにCATVシステでは、高出力で低ひずみ特性を持つ半導体レーザが必要となる。

半導体レーザ自身のひずみ特性を悪化させる要因として、

- (1) レーザ光を発生する活性層の両わき(脇)を流れるリーク電流⁽¹⁾
 - (2) 半導体レーザ特有の緩和振動と呼ばれる共振現象⁽²⁾
 - (3) レーザ共振器軸方向に沿って光の強度変動が大きい場合に生じる空間的ホールバーニングによる非線形特性⁽³⁾
- 等がある。

これらのひずみ発生要因を極力抑制するため、当社では埋込み回折格子構造と呼ぶ単一波長でレーザ発振させる共振器構造と、FS-BH (Facet Selective Growth Buried Hetero-

structure) 型と呼ぶ独自の電流ブロック層を持つ埋込み構造⁽⁴⁾を採用し、レーザの高性能化を実現している。図2に構造を示す。

(1)項のリーク電流は、注入電流を大きくしていくと増大し、光出力-電流曲線が曲がり、わずかであってもひずみを発生する。このリーク電流を低減するには、リークパスと呼ばれる活性層とn型電流ブロック層との距離を0.1 μm 程度に制御する必要がある。このリークパスの幅は、図2のp型InP埋込み層～p型InP電流ブロック層の形成段階の制御性に大きく依存している。一般に、LDの結晶成長法には有機金属気相成長法(Metal Organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD)に代表される気相成長法と、高温の液体金属に結晶材料を溶かした後析出させる液相成長法の二つがある。従来、活性層など非常に薄い層を形成する場合はMOCVD法、電流ブロック層などの複雑な形状の層を形成する場合は液相成長法を用いていた。しかしながら、従来の液相成長法ではCATV用レーザに要求される0.1 μm 程度までのリークパス幅の安定な制御は容易ではなかった。そこでMOCVD法による電流ブロック層の結晶成長のメカニズムを詳細に分析し、狭いリークパス幅をいかに安定に形成

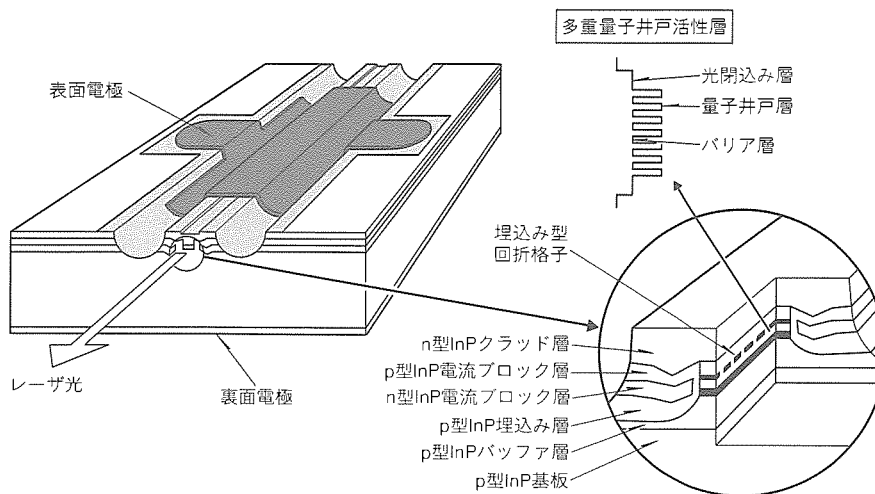


図2. CATV用低ひずみレーザの構造

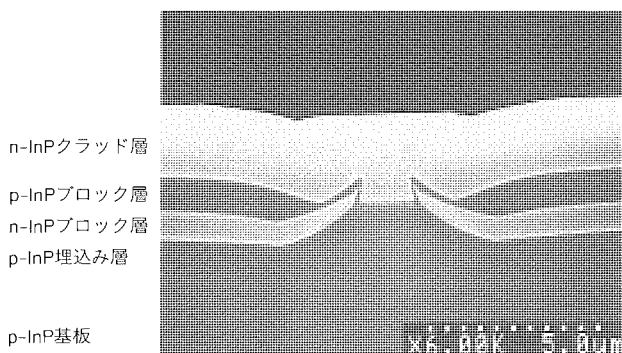


図3. FS-BHレーザの断面SEM写真

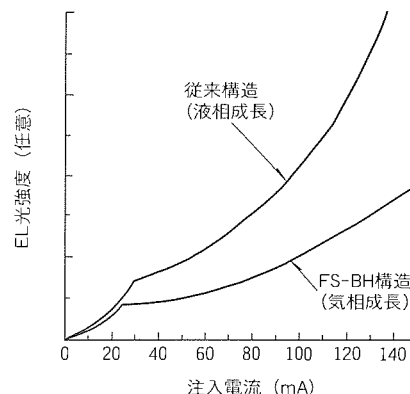


図4. EL光強度 (リーク電流)

できるか検討を行った。この結果、FS-BH 構造 (図 3 の断面写真参照) の採用により、微小なリークパス幅を安定に形成することが可能となった。また、同時に、結晶成長の全行程を MOCVD で行うことも可能となり (全 MOCVD 化)、ウェーハ面内の均一性の向上やウェーハの大面積化にも道が開けた。

ひずみの発生要因となるリーク電流は、通常、直接測定することができないが、リーク電流が流れると、InP の pn 接合で波長約 $0.9\ \mu\text{m}$ の EL (Electroluminescence) 光が発生する。したがって、この EL 光を測定することで相対的なリーク電流を見積もることができる。図 4 に従来の液層成長法で作製した素子と FS-BH 型の素子の EL 光の強度の測定例を示す。この図からリーク電流が半減していることが分かる。

(2) 項の緩和振動を抑制するため、活性層を従来のバルク型と呼ばれる厚さ約 100nm の InGaAsP 層から、厚さ約 $5\sim 10\text{nm}$ の InGaAsP 層を 15 層程度重ねた多重量子井戸 (MQW) 構造に変更している。これにより、電子と正孔の状態密度が変化し、レーザ発振に寄与するキャリアが増加する。その結果、緩和振動周波数が高くなり緩和振動によるひずみの発生を抑制している。

この多重量子井戸構造は、素子の効率を向上させる上でも効果がある。多重量子井戸型の活性層のスロープ効率は、 $0.27\text{mW}/\text{mA}$ であり、従来のバルク型の活性層のスロー

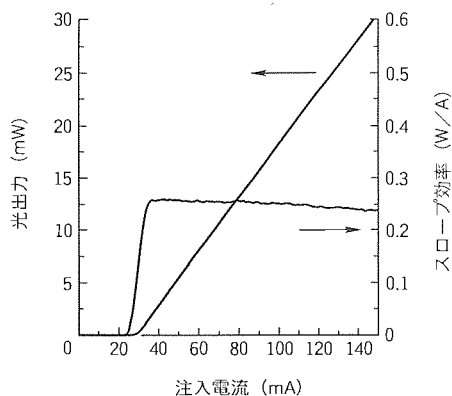


図 5. 光出力及びスロープ効率

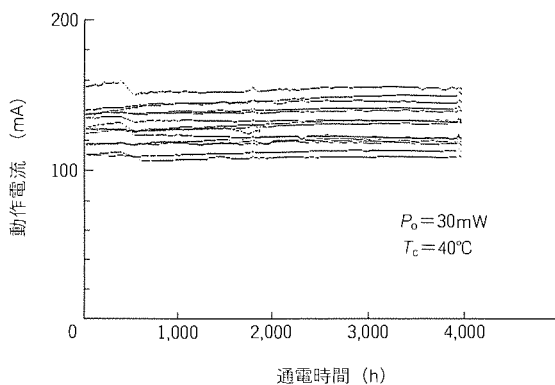


図 6. FS-BH+MQW DFB-LD 通電データ

プ効率 $0.24\text{mW}/\text{mA}$ に対して約 13% の改善が得られている。これは、多重量子井戸の採用によってレーザ発振に必要なキャリア (電子及び正孔) を減らすことができ、キャリアによる光の吸収損失を低減できたためと考えられる。

(3) 項の空間的ホールバーニングの抑制には DFB-LD の共振器内に形成されている回折格子の高さ及び形状の制御が重要である。レーザの共振器内の共振器軸方向の電界強度は、レーザ光が回折格子で反射される度合い (通常、結合定数 κL という。) に大きく左右されるからである。

一般に回折格子は、高さ約 $0.04\ \mu\text{m}$ 、ピッチ約 $0.2\ \mu\text{m}$ と非常に微細であるため、形状制御が難しいが当社では埋込み型回折格子構造を採用し、結合定数 κL が 1 となるように制御している⁽⁴⁾。

4.2 素子特性

以上の方法で作成された素子の光出力及びスロープ効率の例を図 5 に示す。図から分かるように、MOCVD 法によってリーク電流が抑えられていることを反映して高出力領域まで光出力 - 電流特性は直線性を保っている。この結果、後述するように非常に低ひずみの変調特性が得られている。

4.3 信頼性

図 6 にこの LD の動作エージング試験結果を示す。素子ケース温度 $T_c = 40^\circ\text{C}$ 、光出力 $P_o = 30\text{mW}$ 一定で約 4,000 時間動作させた。30 mW の高出力においても安定に動作しており、この条件で初期動作電流の 1.5 倍を素子寿命としたとき、約 10 万時間の推定 MTTF が得られている。実使用に十分な信頼性を持っている。

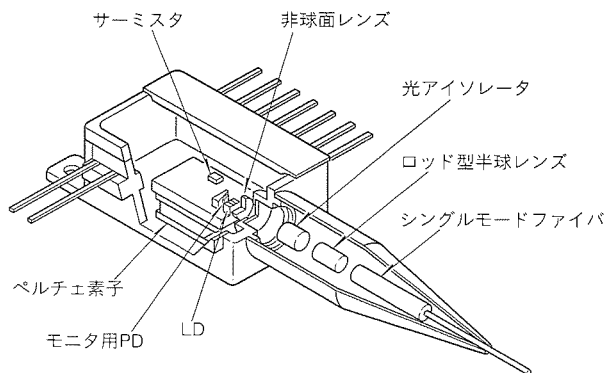


図 7. モジュールの構成

表 2. 光学系の仕様

項 目		仕 様
光 学 系		2 レンズ共焦点光学系
倍 率		5 倍
第 1 レンズ	構 造	非球面レンズ
	焦点距離	0.7mm
第 2 レンズ	構 造	ロッド型半球レンズ
	焦点距離	3.5mm

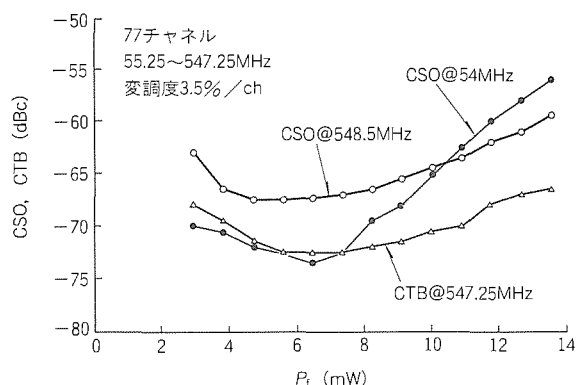


図8. 77チャンネルでのCSO, CTB特性

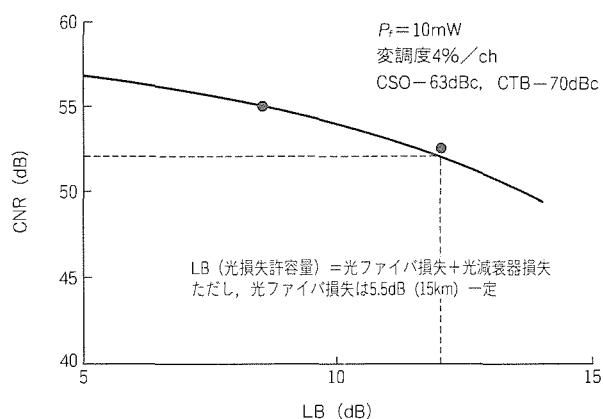


図9. CNR特性

5. 低ひずみDFB-LDモジュール

上記構造のDFB-LDを用いた光モジュールの構造・特性・信頼性について述べる。

図7に光モジュールの構造を示す。伝送路上に存在する光コネクタや長距離光ファイバ自身からの反射戻り光は、ひずみ及び雑音を増大させる要因となるため、30dB以上のアイソレーションを持つ光アイソレータでLDに対する戻り光は遮断されている。また、高出力化のためには、LDとシングルモード光ファイバの間の結合効率を上げる必要があるため、光学系は第1レンズに非球面レンズを使用した共焦点光学系とした⁽⁶⁾。表2に、光学系の仕様を示す。アイソレータも含めた全光学系の光損失は1.8dBに抑えられている。

このような構成のDFB-LDモジュールを評価するために、77チャンネルCATVサブキャリアで直接変調をかけたときのCSO, CTBを測定した。図8にCSO及びCTBのファイバ端光出力依存性測定結果を示す。1チャンネル当たりの変調度は3.5%に固定した。10mWを超える光出力においても、CATV幹線系として要求されるCSO -60dBc, CTB -65dBcの品質が得られている。また、図9に光損失許容量LB (Loss Budget) と搬送波対雑音比CNR (Carrier to Noise Ratio) の関係を示す。図中、実線は計算値、点は実測値である。光分岐システムへの適用を考えた場合、例えば

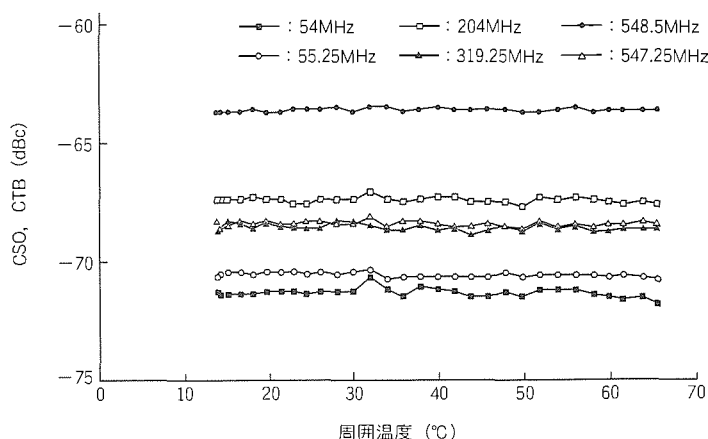


図10. 周囲温度の変化に対するひずみ安定性

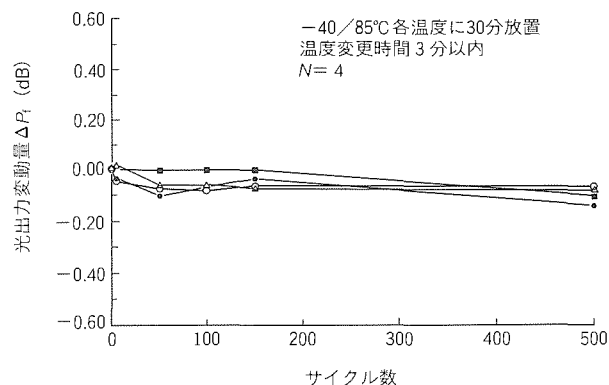


図11. -40/85°C ヒートサイクル試験

8分岐し、かつ各支線が光損失3dBを持つような場合(合計12dB)においてもCNR = 52dBを得ることができる。これは、一つのレーザでヘッドエンドから10km近く離れた4か所のハブまでスタジオ並みの画像品質を届けることができることを意味する。

また、ペルチェ素子は、サーミスタと対でLDの温度を一定に保つ働きを持ち、LDを最適動作点で使用するためには必要不可欠である。-20~65°Cの環境温度範囲においてLDの温度を25°Cに保つことができる。図10に、周囲温度の変化に対するひずみ特性の安定性を示す。ひずみの温度変化は非常に小さく抑えられていることが分かる。なお、モジュールには内部での反射戻り光や多重反射を防ぐ設計が施されており、そのこともひずみ安定性に効果的に寄与している。

このような特性を持つLDモジュールは、YAG溶接技術の適用によって高信頼性を持っており、過酷な環境条件にも耐えることができる。図11に-40/85°Cのヒートサイクル500サイクルの試験結果を示す。ファイバ端光出力の変動は500サイクル経過後においても0.2dB以内であった。この耐環境性能は、LDモジュールが、幹線系のみならず、より広範囲のCATVアプリケーションへの適合の可能性を持つことを意味しており、LDの性能、量産性向上とあいまって、今後、より加入者側への光ファイバ敷設を加速するもの

と期待される。

6. む す び

全 MOCVD プロセス及び MQW 活性層を採用することにより、DFB-LD のリーク電流の低減、効率向上、緩和振動抑制を図り、CATV 用 DFB-LD の更なる低ひずみ化を達成できることを示した。また、この DFB-LD 及び非球面ガラスレンズで構成した共焦点光学系の採用により、10 mW 以上のファイバ端光出力で CSO -60dBc, CTB -65dBc の低ひずみ特性を持つ光モジュールが得られた。これらの光モジュールは、-40~85℃の環境においても優れた耐環境性能を持つことを示した。

CATV 市場は光ファイバ網の整備とともにますます成長していくと予想されるが、これには CATV 用 LD モジュールの更なる多チャンネル化、低ひずみ化、高出力化、高効率化及び低コスト化が必要不可欠である。今後も、これらの要求に対して LD 及び光モジュールの高性能化・量産性向上を進めていく予定である。

参 考 文 献

(1) Lin, M. S., Wang, S. J., Dutta, N. K. : Frequency

Dependence of the Harmonic Distortion in InGaAsP Distributed Feedback Lasers, Technical Digest of OFC '90, 215 (1990)

- (2) Darcie, T. E., Tucker, R. S. : Intermodulation and Harmonic Distortion in InGaAsP Lasers, Electron. Lett., **21**, No.16, 665~666 (1985)
- (3) 榊原 靖, 柿本昇一, 武本 彰 : 光 CATV 用 DFB レーザ, 三菱電機技報, **64**, No.10, 851~855 (1990)
- (4) Ohkura, Y., Kimura, T., Nishimura, T., Mizuguchi, K., Murotani, T. : Low Threshold FS-BH Laser on p-InP Substrate Grown by All-MOCVD, Electron. Lett., **28**, 1844~1845 (1992)
- (5) Takemoto, A., Watanabe, H., Nakajima, Y., Sakakibara, Y., Kakimoto, S., Yamashita, J., Hatta, T., Miyake, Y. : Distributed Feedback Laser Diode and Module for CATV Systems, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, **8**, No.7, 1359~1364 (1990)
- (6) 八田竜夫, 渡辺弘光, 高木晋一, 三宅良夫, 足立明宏, 西村隆司 : CATV 用高出力 DFB-LD モジュール, 電子情報通信学会春季大会, B-1138 (1994)

光FDM用レーザアレーモジュール

金子進一* 石村栄太郎**
足立明宏*
山下純一郎*

1. ま え が き

将来の大容量通信方式として、光周波数多重 (Frequency Division Multiplex : FDM) 通信方式⁽¹⁾の研究が進められている。光 FDM 通信装置では、チャンネルごとに光源である半導体レーザ (LD) が必要となる。個々の LD に温度制御回路や関連周辺回路を付けると装置が複雑で大きなものになる。このため、幾つかの LD を集積 (レーザアレー) 化し、一つのパッケージ内にモジュール化すれば、これらを共通化でき送信装置の小型化が図れる。

本稿では、光 FDM 通信用に開発した 2 電極分布帰還型 (Distributed Feedback : DFB) 波長可変レーザの 4 点アレーと結合効率が高く、わい (歪) 曲の小さい結合光学系で構成した小型レーザアレーモジュールについて述べる。

2. 光FDM通信用光源に要求される特性

今回、開発を行った光 FDM 通信用光源には、光 FDM 通信を行うために要求される特性 (広い波長可変幅・高い FM 変調効率・レーザ温度の高安定性) と、アレー化に伴い要求される特性 (小型・高結合効率) とを備えている必要がある。各々の特性について以下に述べる。

(1) 広い波長可変幅

光 FDM 通信方式では、10 GHz (0.08 nm) 程度の周波数 (波長) 間隔で多数のチャンネルを多重化する。このチャンネル設定を自由に行うためには、広い波長可変幅が必要である。

(2) 高い FM 変調効率

光 FDM 通信方式では、変調したときのスペクトル広がり小さい FM 変調方式が採用されることが多い。FM 変

調方式では、入力電気信号 1 mA 当たりの発振周波数変化 (FM 変調効率) が大きいほど、光出力にほとんど影響を与えずに、大きな周波数変化が得られる。このため、高い FM 変調効率を持っていることが必要である。

(3) 小型・高結合効率

小型・省電力の送信装置を実現するためには、小型・高結合効率のレーザアレーモジュールが必要となる。

(4) レーザ温度の高安定性

周囲温度変化に伴ってレーザの温度が変化すると、レーザの発振波長が変化する。光 FDM 通信方式では、チャンネルに応じて波長があらかじめ割り当てられているため、発振波長が変化するとチャンネル間のクロストークが生じる。これを防ぐためには、レーザ温度の高安定化が必要である。

これらの特性のうち、(1) 及び (2) は波長可変 DFB レーザアレーの特性に大きく依存し、(3) 及び (4) はモジュールの特性である。以下に、波長可変 DFB レーザアレーとそのモジュールについて、各々の構造及び特性について述べる。

3. 波長可変DFBレーザアレー

この章では、波長可変 DFB レーザアレー⁽²⁾の構造及びその特性について述べる。

3.1 構 造

図 1 に開発した波長可変 DFB レーザアレーの構造を、また、図 2 に外観を示す。このレーザアレーは、波長可変 DFB レーザを 4 素子集積化したものである。レーザの間隔は、結合光学系をアレーで共用できるように 125 μm と狭くした。アレー両端のレーザの間隔は 375 μm である。レーザアレーの大きさは、共振器長 600 μm 、アレー方向の幅 625 μm で

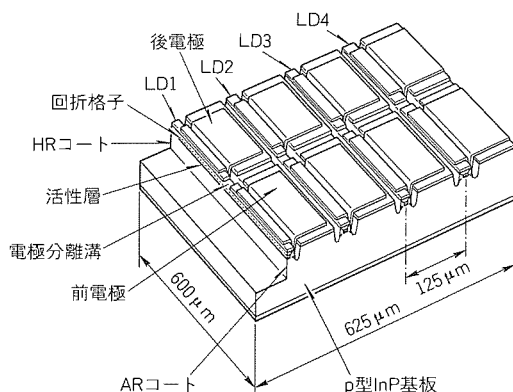


図 1. レーザアレーの構造

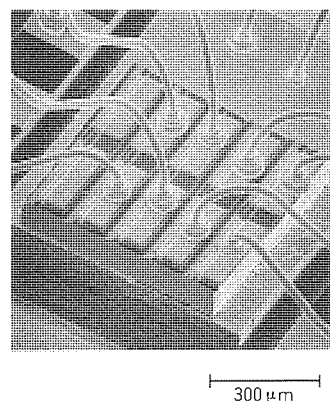


図 2. レーザアレーの外観

ある。

波長可変DFBレーザは、PPIBH (P-substrate Partially Inverted Buried Heterostructure) 型のレーザで、有機金属気相成長 (Metal Organic Chemical Vapor Deposition : MOCVD) 法と液相成長 (Liquid Phase Epitaxy : LPE) 法を用いて結晶成長したものであり、P型導電体のInP基板を用いていることが特徴である。DFBレーザは、活性層に回折格子を持ち、この回折格子の周期によって発振波長が決定される。レーザに電流を流すと、プラズマ効果や熱効果によって、活性層の屈折率が変化する。この結果、等価的な回折格子の周期が変化し、発振波長を変化させることが可能である。しかし、レーザに流す電流を単に変化させるだけでは光出力も変化する。このため、波長可変DFBレーザでは、電極を2分割し、流す電流を一方の電極では増やし、他方の電極では減らすことによって、光出力を一定に保ったまま、波長を変化できるよう構成されている。

3.2 特性

図3にレーザアレーの波長可変特性を示す。注入電流比の小さい (前側電極電流が後側電極電流より小さい) バイアス条件で、モード飛びのない、連続波長可変領域が得られた。4個のレーザとも1nm (120GHz) 以上の連続波長可変幅を持っており、また、波長可変範囲もそろっている。4個のレーザの発振波長を任意の順番で、10GHz間隔に調整することができ、良好な波長可変特性が得られた。この特性は、M

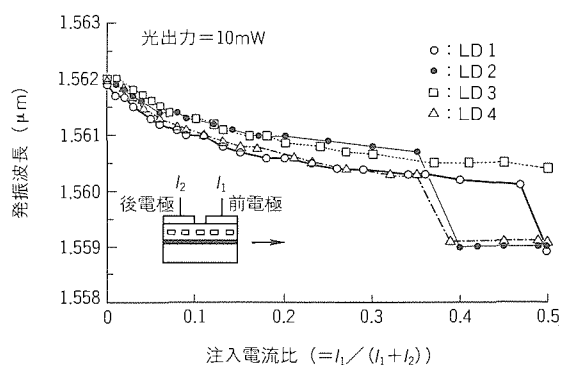


図3. レーザアレーの波長可変特性

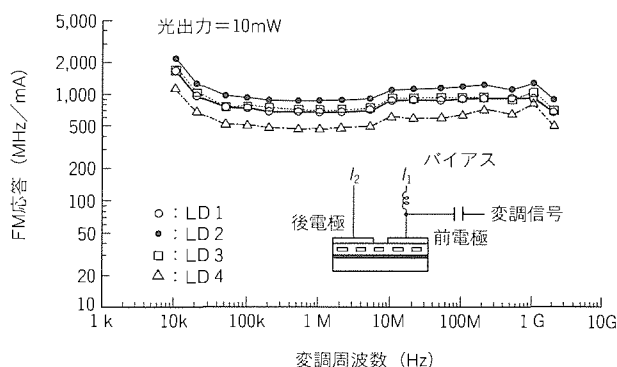


図4. レーザアレーのFM変調特性

OCVD法による結晶成長技術及び回折格子形成技術が優れた均一性を持っていることを示している。

図4にレーザアレーのFM変調特性を示す。4個のレーザとも500MHz/mA程度以上の高いFM変調効率を持っており、また、20kHzから1GHzまではほぼ一定のFM変調効率が得られた。

4. 結合光学系

図5にレーザアレーモジュールの結合光学系を示す。レーザアレーの各レーザの出力は、ファイバアレーのファイバにそれぞれ結合される。ファイバアレーのファイバ間隔は、レーザアレーのレーザ間隔に光学系の倍率4.5を掛けた、562.5μmである。結合光学系は、光軸回りの回転調整が不要で、組立てが容易な、一組の共焦点複合レンズ系をレーザアレーで共用する方式を採用した。

レーザアレーとファイバアレーを高効率で結合するためには、低収差で、低歪曲のレンズが必要となる。通常の球面レンズで、低収差・低歪曲な特性を得ようとする、長焦点のレンズを使用しなければならず、結合光学系が大型化する。

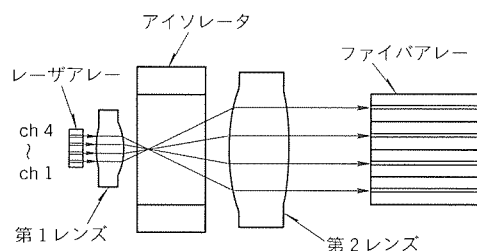


図5. モジュールの結合光学系

表1. レンズの諸元

	第1レンズ	第2レンズ
倍率	4.5	
物像間距離	22mm	
開口数	0.5	0.11
焦点距離	1.8mm	8.1mm

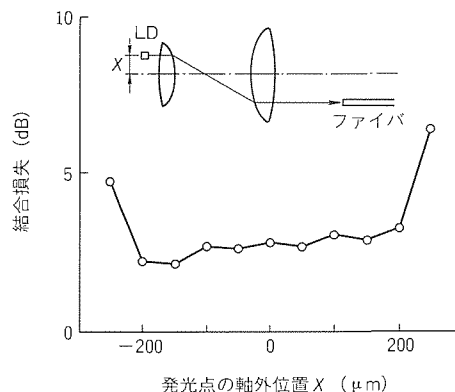


図6. 非球面レンズの軸外結合損失特性

このように通常の球面レンズでは、小型化と高効率化を両立することが困難である。そこで、今回、レーザアレーの発光点に対して低波面収差・低歪曲特性を持つ短焦点非球面レンズ⁽³⁾を新たに開発し、モジュールの小型化と高効率化の両立を図った。表1にこの非球面レンズの諸元を示す。

図6に非球面レンズの軸外結合損失特性を示す。図から約400 μm 幅の結合損失平坦領域が得られていることが分かる。これは、レーザアレーの両端の発光点幅375 μm に対して十分に余裕がある。また、この平坦領域での結合損失は約3 dBと高い結合効率を得られ、軸外においても収差が低く抑えられている。

図7に非球面レンズの歪曲特性を示す。図の縦軸は倍率4.5の理想的な結像位置に対する実際の結像位置のずれ量を示している。図7から歪曲による結像位置ずれ量は1.5 μm 以下であり、低歪曲な特性が得られていることが分かる。この1.5 μm の結像位置ずれによる結合損失増加は約0.5 dBに相当する。

5. レーザアレーモジュール

この章では、レーザアレーモジュールの構造及び特性について述べる。

5.1 構造

図8にレーザアレーモジュールの断面構造を示す。レーザアレーの射出光は、共焦点配置された二つの非球面レンズによってファイバアレーに結合されている。反射戻り光によるレーザの不安定な発振や雑音増加を防ぐために、二つのレン

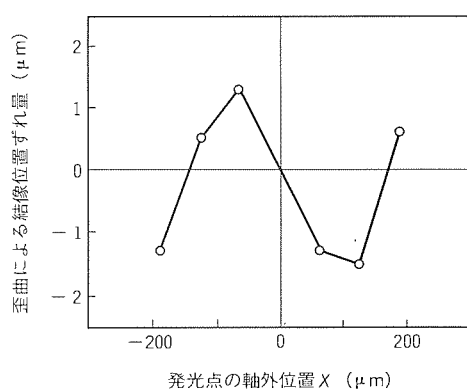


図7. 非球面レンズの歪曲特性

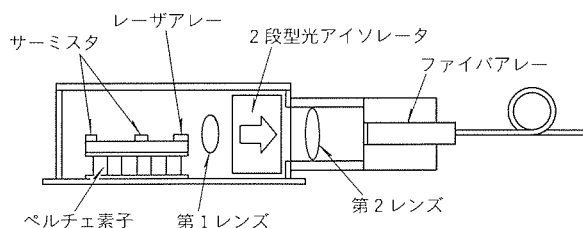


図8. モジュールの断面構造

ズの間には、2段型の光アイソレータ (アイソレーション60 dB以上) を挿入している。レーザアレーがマウントされたベース上には、温度を検出するサーミスタが設置され、その検出温度をもとに熱電素子 (ペルチェ素子) によって加熱/冷却して、レーザアレーの温度制御を行っている。しかし、レーザとサーミスタの間には熱抵抗があり、周囲温度の変化に応じてレーザ温度とサーミスタの検出温度に差が生じるため、通常のコジュールのようにサーミスタの検出温度を一定にする制御を行ってもレーザの発振波長は変化する。このため、このレーザアレーモジュールでは、二つのサーミスタを用いて、ヒートシンク上の2点の温度を検出し、検出された温度差からレーザの温度を外挿して求め (2サーミスタ法⁽⁴⁾)、外挿によって求めたレーザ温度が一定になるように温度制御を行っている。

図9に試作したレーザアレーモジュールの外観を示す。モジュールの外形寸法 (パッケージ部) は、27.5 mm \times 21 mm \times 12.5 mm (7.2 cm³) であり、小型化が図られている。

5.2 特性

表2に試作したレーザアレーモジュールの結合損失を示す。各チャネルの結合損失は3.7~4.6 dBであり、高効率な結合特性が得られた。また、チャネル間の結合損失ばらつきは \pm 0.5 dB以内であり、均一な結合特性が得られている。

図10にモジュールの周囲温度変化に対するレーザの発振波長変化を示す。白丸は2サーミスタ法による温度制御を行った場合の発振波長変化であり、黒丸は一つのサーミスタに

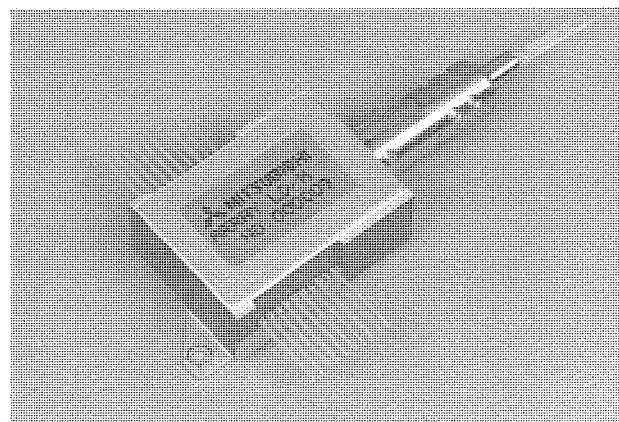


図9. モジュールの外観

表2. モジュールの結合損失

単位: dB				
チャネルNo.	①	②	③	④
光学系の損失	3.1	2.3	3.2	2.7
アイソレータの挿入損失	0.8	0.8	0.8	0.9
組立損失	0.4	0.6	0.7	1.0
モジュールの結合損失	4.2	3.7	4.6	4.6

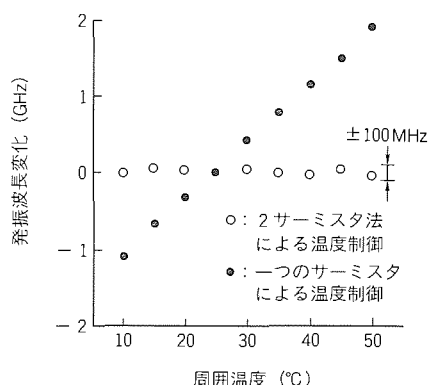


図10. 周囲温度変化に対する発振波長変化

よる温度制御を行った場合の発振波長変化である。一つのサーミスタによる温度制御では、40℃の周囲温度変化に対して5GHzもの発振波長が変化するが、2サーミスタ法による方法では100MHz以内の発振波長変化に抑えられ、レーザ温度の高安定化が図られている。

6. む す び

光 FDM 通信用の光源として、広波長可変幅・高 FM 変調効率を持つ波長可変 DFB レーザアレーを開発するととも

に、このレーザアレーを用いた小型・高結合効率・高温度安定性を持つモジュールを開発した。これらを用いることにより、光 FDM 通信方式の送信装置の小型化・省電力化が図れる。

参 考 文 献

- (1) 鳥羽 弘, 織田一弘, 中西健治, 柴田 宣, 野須 潔, 高戸範夫, 福田光男: 100 チャンネル光 FDM 情報分配伝送系構成法の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, OCS89-64, 15~20 (1989)
- (2) 大石敏之, 渡辺 斉, 河野 実, 武本 彰, 中島康雄, 大村悦司, 相賀正夫: 波長可変 DFB レーザアレー, 1991 年電子情報通信学会秋季大会, C-126 (1991)
- (3) 足立明宏, 金子進一, 山下純一郎: アレイ LD モジュール用共焦点複合非球面レンズ結合系, 電子情報通信学会春季大会, C-273 (1993)
- (4) Adachi, A., Kaneko, S., Yamashita, J.: Low-frequency-drift Laser-diode Module for a Wide Temperature Range using Two Thermistors, OFC '93, WH1, 109~110 (1993)

光インタコネクション用 半導体レーザアレー

松本啓資* 芝 哲夫*
西口晴美* 大村悦司***
吉田一臣**

1. ま え が き

コンピュータを始めとする電子システムでは、現在電気信号による配線方式を用いている。このため、システムを高速化・高集積化した場合、配線での表皮効果による信号の減衰・配線間の相互誘導等の問題が顕著になる。一方、光を信号伝達手段として用いた場合、その高速応答性、低損失性、無誘導性により、これらの問題の解決が可能であると考えられる。また、ホログラム等による空間伝搬を用いた伝送方式や波長多重等の光特有の技術により、信号伝送能力の飛躍的な向上も期待できる。

このような配線における光の優位性を利用して、従来の銅線による電気配線を光配線に置き換える光インタコネクション技術が注目され、開発が活発化している。単に光配線といってもラック間(数m)、ボード間(数十cm)、チップ間(数cm)、チップ内(数mm)と多様な用途が考えられている(図1参照)。チップ間・チップ内配線については、光導波路や空間配線等様々なアイデアが出されているが、その実現にはデバイス技術、集積化技術等において大きな技術革新が必要である。それに対して、ラック間・ボード間接続は、半導体レーザアレー、光ファイバ、ホトダイオードアレーの組合せという既存の技術の延長線上にあることから、現在実用化に向けて本格的な検討が行われている。

光インタコネクションの開発初期では、半導体レーザのしきい値が高かったため、低消費電力の観点から光源としてLEDアレーが用いられ、120 Mbpsの伝送試験が行われた⁽¹⁾。レーザの高性能化・ウェーハ加工技術の進歩により、レーザの低しきい値化・特性の均一化が図られ、モノリシック型半導体レーザアレーが注目され始めた。光インタコネクションに用いられる半導体レーザアレーには、次のような特性を持つことが要求される。すなわち、

- (1) 半導体レーザアレーの消費電力低減のため、レーザ発振に必要なしきい値電流が小さいこと。
- (2) システム簡略化のため、温度制御装置を用いることなくレーザを駆動できること。つまり、レーザの高温特性が優れていること。
- (3) 光信号の並列伝送を行う必要上から、しき

い値電流・個々のレーザ間の発振遅延時間等のばらつきが小さいこと。

- (4) 単体レーザ相互間のクロストークが十分小さいこと。などである。

これらの要求を満たすべく半導体レーザアレー及びファイバレーモジュールの開発が行われ、1~2 Gbpsの伝送実験が報告された⁽²⁾⁽³⁾。レーザアレーとしては、GaAs系、InP系両方が試みられた。しかしながら、信頼性の点からはInP系が望ましいと考えられる。また、高速化の観点からは駆動用トランジスタとしてNPNトランジスタの方が適しているため、p基板を用いた半導体レーザ(pコモン)との組合せが望ましい。

そこで、コンピュータのラック間・ボード間の光配線用として、他社に先駆けてp基板を用いた1.3 μm 帯半導体レーザ10点アレーの開発を行った。当初は、結晶成長に液相成長法(Liquid Phase Epitaxy: LPE)と有機金属気相成長法(Metal-organic Chemical Vapor Deposition: MOCVD)を併用した作製法を用いていたが⁽⁴⁾、素子特性の均一性向上のためすべての結晶成長をMOCVD法によって行う作製法(全MOCVD法)を確立した⁽⁵⁾。この論文では、全MOCVD法を用いて開発したレーザアレーの構造、設計概

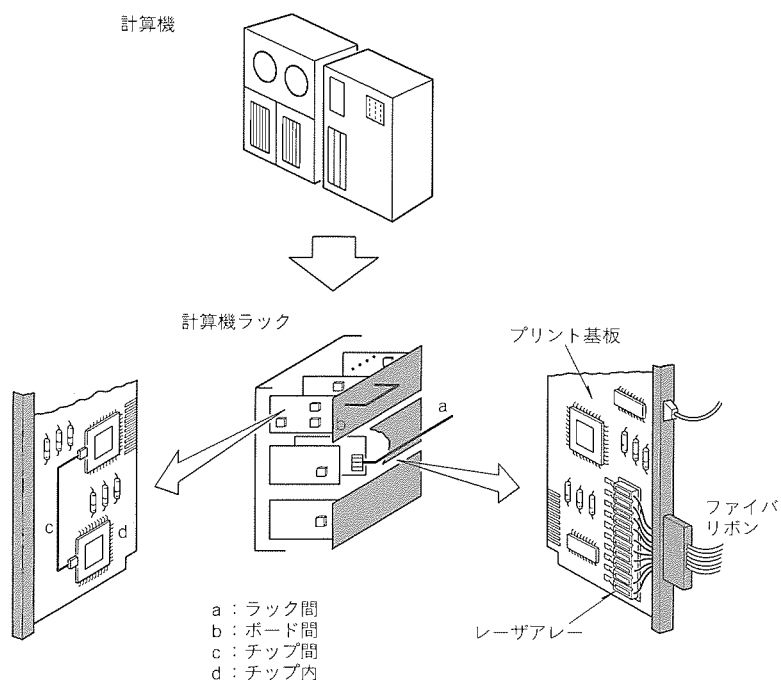


図1. 光インタコネクションの形態を示す概念

念、作製法、素子の静特性・動特性について述べる。

2. デバイス設計

2.1 レーザアレーの構造

図2、図3に1.3 μm 帯半導体レーザ10点アレー (以下“LDアレー”という。)の構造及びSEM写真を示す。活性層の間隔は250 μm 、共振器長は200 μm である。レーザ構造は、p型InP基板上に形成した埋込みヘテロ構造である。従来、埋込み成長にはLPE法を用いてきたが⁽⁶⁾⁽⁷⁾、均一性改善のため、埋込み成長も含めてすべてMOCVD法で行う全MOCVD法を確立し、今回適用した⁽⁵⁾。MOCVD法は、LPE法に比べて膜厚制御性が2けた程度優れており (LPE法: 100nm程度、MOCVD法: 1nm)、レーザ特性の均一性の向上、及びLDアレーの歩留りの向上が期待できる。

2.2 しきい値電流低減

レーザの活性層には、低消費電力化や高温での動作特性の改善に有効なひずみ多重量子井戸構造 (図4)を用いた。ウェル層の格子定数を基板InPより約1%大きくし、ウェル層に圧縮ひずみを加えることにより、状態密度を変化させ、しきい値電流の低減を図っている。ここでは、しきい値電流低減のために行ったひずみ多重量子井戸構造の最適化、特にウェル数の最適化について述べる。図4にひずみ多重量子井戸構造のバンド構造を示す。図5にウェル数を変化させたときのしきい値電流の計算結果を、レーザ両端面の反射率が、①前面30%/裏面30% (反射膜なし)、②前面30%/裏面60%、③前面60%/裏面90%の三つの場合について示してある。レーザ両端面の反射率を上げ、レーザ共振器内の光子密度を上げることで、しきい値電流低減が図れる。ウェル数を下げていくと、ある一定値になるまではしきい値電

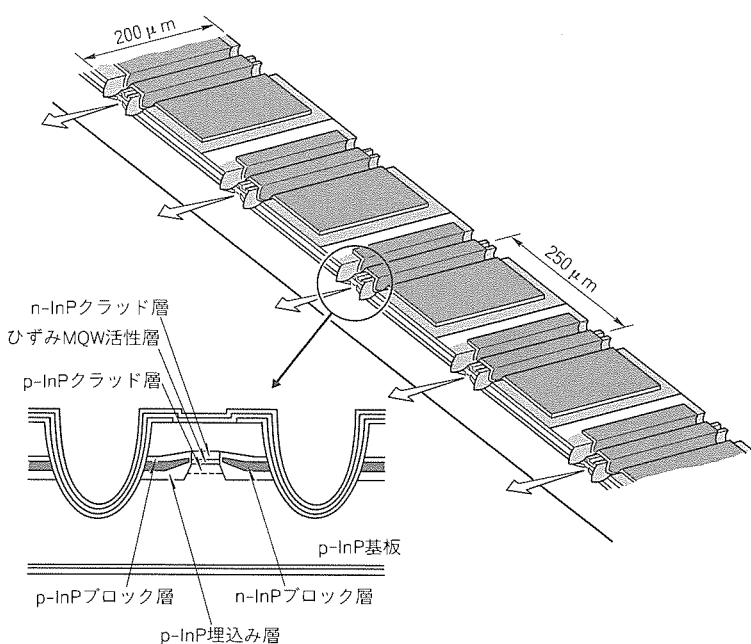


図2. レーザアレーの構造

流を低減する効果がある。しかし、それ以下になると、レーザ発振に必要な利得が得られず、逆にしきい値電流は上昇する。図5にウェル数5で2種類①、③の反射率についての実験結果を示す。計算結果と良く一致した結果が得られた。これらの点を考慮して、レーザ両端面の反射率を、③ 前面60%/裏面90%、ウェル数を5とした。

3. 特性

3.1 静特性

表1にLDアレーを構成する単体LDの特性、図6に光

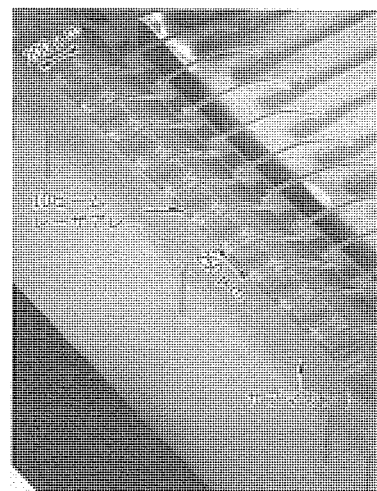


図3. レーザアレーのSEM写真

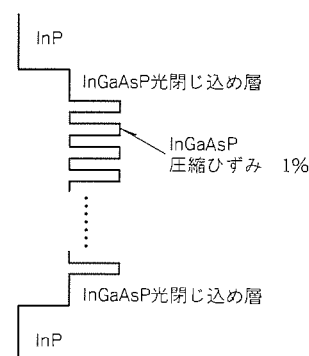


図4. 活性層のバンド構造

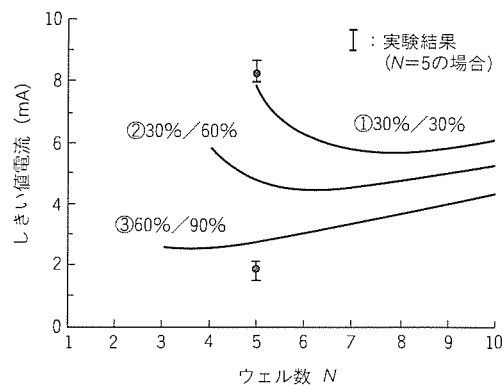


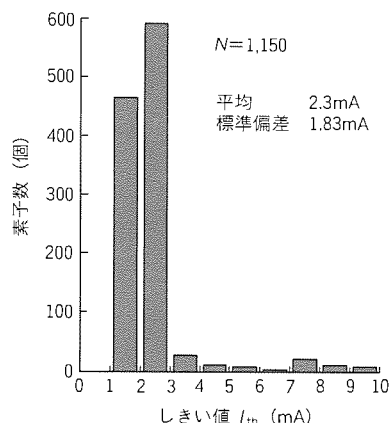
図5. しきい値電流のウェル数依存性

インタコネクションにおいて重要となるしきい値電流 I_{th} 及びスロープ効率 η (25℃) の1ウェーハ中1,150チップの特性分布を示す。しきい値電流 I_{th} は平均2.3mA, 標準偏差1.83mA とばらつきが小さく, 90%以上の半導体レーザチップが1~3mAの範囲に入っている。また, スロープ効率 η は平均0.26 W/A, 標準偏差0.014 W/Aであり, 優れた均一性が実現されている。高温寿命試験結果を図7に示す。85℃, 5mWの条件下で3,500時間を超えて安定に動作している。

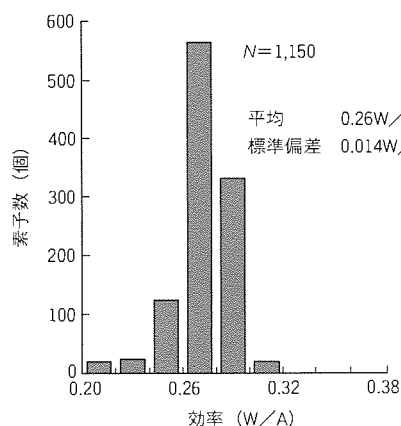
次に, このLD10個を1チップに集積したLDアレーの

表1. LDアレーを構成する単体LDの特性
(典型値)

項目	条件	値	単位
波長	25℃, 5mW	1.31	μm
しきい値電流	25℃	2	mA
	85℃	9	mA
効率	25℃, 5mW	0.26	W/A
	85℃, 5mW	0.20	W/A
動作電流	25℃, 5mW	20	mA
しきい値電流 のばらつき	25℃, 10レーザ間	0.1	mA
	85℃, 10レーザ間	0.4	mA



(a) しきい値



(b) 効率

図6. しきい値, 効率の分布

光出力-電流特性を図8に示す。しきい値電流は, 室温 (25℃) で1.5~1.6mA, 85℃の高温環境下でも8.9~9.3mAと低く, 低消費電力で駆動できることが分かる。LDアレー

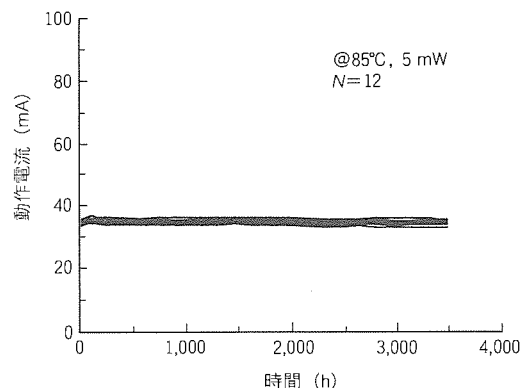


図7. 寿命試験結果

レーザ番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
しきい値電流 (mA) at 25℃	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
しきい値電流 (mA) at 85℃	8.9	9.1	9.0	9.0	9.3	8.9	9.0	9.0	9.1	8.9

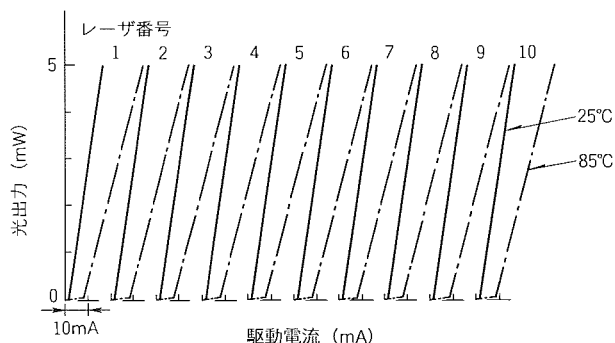


図8. LDアレーの出力-電流特性

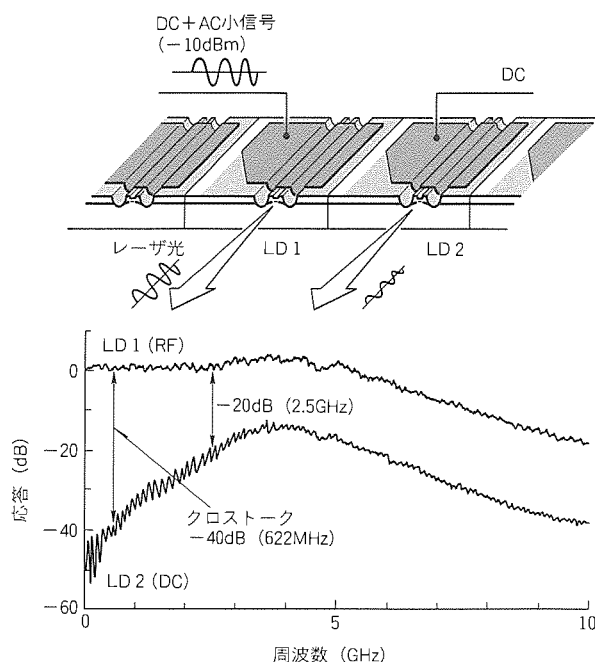


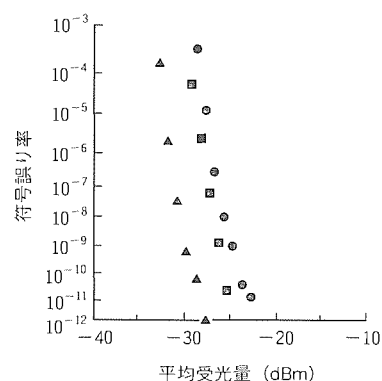
図9. 電氣的クロストーク

チップ内でのしきい値電流のばらつきは、チップ内の各LDに一括してバイアスをかけて駆動する際に各LD間の発振遅れ時間の相違(スキュー)となって現れる。このため、しきい値電流のばらつきが大きい場合は伝送時の符号誤りを引き起こす原因となり、各LDの個別駆動が必要となる。今回開発したLDアレーは、室温及び85℃でのしきい値電流のばらつきがそれぞれ0.1mA及び0.4mAで、発振遅れ時間の相違も約数十psと小さく個別駆動が不要となるため、回路の大幅な簡略化が可能となる。

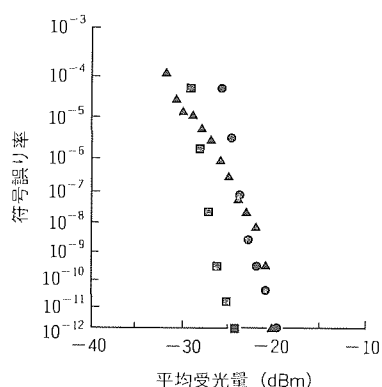
3.2 動特性

図9は、電氣的クロストークの測定結果である。LD1をバイアス光出力5mW、RF変調信号-10dBmで駆動し、隣接のLD2を一定光出力5mWで駆動する。このときのLD2の周波数応答を測定し、LD1の周波数応答との差を電氣的クロストークと定義する⁽⁸⁾。この測定結果から622MHz、2.5GHzの電氣的クロストークは、それぞれ-40dB、-20dBで、2.5GHz以上では-20dBとほぼ一定であった。

図10は(a)622Mbps、(b)2.5Gbpsにおける符号誤り率の測定結果を示す。LDアレー内の1チップをそれぞれ622Mbps、2.5Gbps擬似ランダムパルス23段で駆動し、光出力の符号誤り率を測定した。各々異なったバイアス条件で測



(a) 622Mbps



● : バイアス電流2.5mA (I_{th})
 ■ : バイアス電流1.5mA
 ▲ : バイアス電流0.5mA

(b) 2.5Gbps

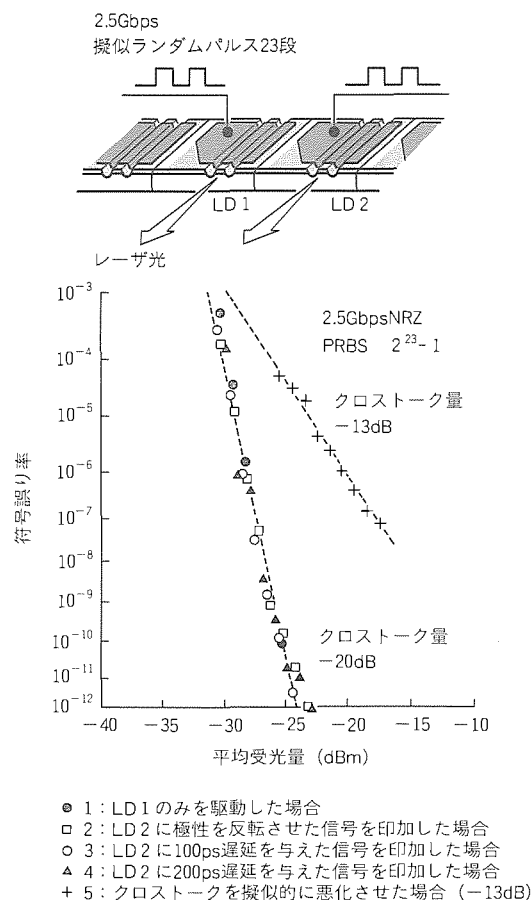
図10. 符号誤り率の測定結果

定しているが、622Mbps、2.5Gbps共に0.5mA ($= 0.2 \times I_{th}$)という低いバイアス電流で、十分小さい符号誤り率 $< 10^{-12}$ が得られている。

次に、電氣的クロストークが符号誤り率に与える影響を測定した結果を図11に示す。図中LD1を2.5Gbps擬似ランダムパルス23段で駆動し、隣接のLD2をLD1と同一の条件で駆動した場合と、極性・遅延時間を変化させたパルスで駆動した場合のLD1の符号誤り率を測定した。図から、LD2の駆動条件によらずLD1の符号誤り率はほとんど一定であり、隣接素子の電氣的クロストーク(2.5GHzで-20dB)の影響は認められなかった。また、2.5GHz動作時の電氣的クロストーク量をチップに給電するワイヤの位置を変えることによって故意に-13dBに悪化させた場合には、図11に示すように符号誤り率 $= 10^{-7}$ で8dBのパワーペナルティ(同一の符号誤り率となる平均受光量の差)が生じ、チップ間の電氣的な分離が重要であることが分かった⁽⁹⁾。

4. むすび

以上、光インタコネクション用の波長1.3μmモノリシック半導体レーザアレーの製造方法・特性について述べた。ひずみ多重量子井戸構造の活性層の採用、全MOCVD法の採用、構造の最適設計などによってしきい値電流を1.5mAまでに低減するとともにアレー1チップ内のしきい値電流のば



● 1: LD1のみを駆動した場合
 □ 2: LD2に極性を反転させた信号を印加した場合
 △ 3: LD2に100ps遅延を与えた信号を印加した場合
 + 4: LD2に200ps遅延を与えた信号を印加した場合
 + 5: クロストークを擬似的に悪化させた場合(-13dB)

図11. 電氣的クロストークが符号誤り率に与える影響

らつきを0.2mA以下、各レーザ間の発振遅延時間のばらつきを数十psに低減することができた。また、アレーとして重要な個々のレーザの間の干渉(クロストーク)は、2.5GHzで-20dBと小さく、2.5 Gbpsの伝送時の符号誤り率が 10^{-12} と小さな値を確保できることを確認した。これらの特性は、光インタコネクションシステムに十分適応できるものである。

参考文献

- (1) 宇治俊男, 林 純司, 福島 淳, 渡辺 功, 長堀 剛, 伊藤正隆: 光並列インターフェース用高速LED/PDアレー, 電子情報通信学会論文誌, **J75-C-1**, 370~377 (1992)
- (2) Jackson, K. C., Flint, E. B., Cina, M. F., Lacey, D., Trewhella, J. M., Bushman, P., Hardar, Ch., Velliger, P.: Flip-chip, Self-Aligned, Optoelectric Transceiver Module, Tech. Digest of ECOC '92, 329~332 (1992)
- (3) Shimizu, F., Furuyama, H., Hamasaki, H., Kuroda, F., Nakamura, M., Tamura, T.: Optical Parallel Interconnection Characteristics of 4-Channel 2-Gbit/s Bit Synchronous Data Transmission Module, Proc. 42nd Electronic Component & Technology Conf., San Diego, 77~82 (1992)
- (4) Nishiguchi, H., Nishimura, T., Ishimura, E., Nakajima, Y., Hirano, R., Aiga, M.: Low-Threshold 10-element Laser Array on the P-type Substrate for High-Speed Optical Interconnects, Tech. Digest ECOC '92, MO B 3.5, 109~112 (1992)
- (5) Ohkura, Y., Kimura, T., Nishimura, T., Mizuguchi, K., Murotani, T.: Low Threshold FS-BH Laser on p-InP Substrate Grown by ALL-MOCVD, Electron. Lett., **28**, 1844~1845 (1992)
- (6) Takemoto, A., Sakakibara, Y., Nakajima, Y., Fujiwara, M., Kakimoto, S., Namizaki, H., Susaki, W.: 1.3 μ m InGaAsP/InP Distributed Feedback p-Substrate Partially Inverted Buried-heterostructure Laser Diode, Electron. Lett., **23**, 546~547 (1987)
- (7) Ohkura, Y., Yoshida, N., Takemoto, A., Kakimoto, S.: Extremely Low-threshold 1.3 μ m Ga InAsP/InP DFB PPIBH Laser, Electron. Lett., **24**, 1508~1509 (1988)
- (8) Heise, C.: Crosstalk Investigation of Laser-diode Pairs, IEEE Photon. Tech. Lett., **2**, 97~99 (1990)
- (9) 松本啓資, 宮崎泰典, 石村栄太郎, 青柳利隆, 西村隆司, 西口晴美, 川崎和重, 竹見政義, 相賀正夫: 光インターコネクト用LDアレーの2.5Gb/s符号誤り率特性, 電子情報通信学会春季大会予稿, C-220 (1994)



ATMシステム用LSI

山中秀昭* 佐藤浩之*
大久保啓示* 近藤晴房**
青柳秀典* 沢田圭一**

1. ま え が き

マルチメディアを統合して扱う広帯域 ISDN の構築・実用化に向け、ATM (非同期転送モード) 通信方式の研究・開発及び国際的な標準化活動が各方面で進められている⁽¹⁾。動画像や高精細画像及び大容量データ等の転送が可能な広帯域 ISDN は、従来の狭帯域 ISDN に比べ、1,000 倍以上の伝送帯域を必要とする。そのため、広帯域 ISDN のインタフェースを収容し、伝送又は交換するシステムには、高速動作が必要とされる。

ATM では、情報はセルという固定長の短いパケットで扱われる。これにより、端末の情報送出速度には独立に、ユーザーと網とのインタフェースが統一できる。また、バーストトラヒックの収容も経済的に行える。網内の ATM システムでは、この固定長のセルのヘッダを読み取り、ハードウェアによって高速に交換を行う。この高速処理により、実時間性が必要なアプリケーションにも適用可能となる。

セルを伝送及び交換する ATM システムでは、156Mbps 以上のインタフェースを収容する回路と、システム全体で 1,000 以上のセルを蓄積できるバッファメモリが必要となる。加えて、低消費電力も実現する必要がある、半導体集積回路技術の寄与するところは大きい。我々は、高速性に優れた ECL の I/O インタフェースを実現できる $0.8\mu\text{mBiCMOS}$ プロセス技術を採用し、ATM システムの基本機能を実現するため、ユーザー・網インタフェース用、セル多重/分離用、ヘッダ処理用にそれぞれ 1 品種ずつ、ATM スイッチ用に 4 品種開発した。

本稿では、まず構築する ATM システムの要求条件と基本構成を示し、次に開発した LSI チップセットについて説明する。

2. システム構成

2.1 システムへの要求条件と対策⁽²⁾

ATM システムにおける要求条件とその対策を以下に示す。

(1) 高速・大容量なスイッチングの提供が必要だが、従来はバッファメモリの動作速度が障害となっていた。これに対して、スイッチには、バッファメモリの速

度がネックとならない当社独自のアーキテクチャを採用する。

(2) 低廃棄率及び低遅延時間を実現すること。そのため、できるだけ多数のバッファメモリを搭載するだけでなく、それらを全出線で共有化することで、使用効率を高める。

(3) 標準化動向から、156Mbps、622Mbps、2.4Gbps のインタフェース速度に対応できること。それに対しては、622Mbps を ATM スイッチの入出力速度とし、待ち行列単位を可変にすることで他のインタフェースも柔軟に収容可能とする。

(4) トラヒックの変動や障害に対してのチャンネル容量の変更も可能なこと。そのため、単位スイッチの拡張をマトリクス状に行うことを可能にする。

(5) 高信頼性のためシステム内無瞬断二重化切替機能を提供すること。今回は、出線単位に切替機能を配備し、独立に動作させ、理想的な遅延時間での切替えを可能とする。

(6) 装置の小型化・低消費電力化の実現。安定した高速インタフェースが実現できる $0.8\mu\text{mBiCMOS}$ 技術を採用する。

2.2 システムアーキテクチャ⁽³⁾

システムの基本構成を図 1 に示す。

(1) 回線終端機能は、システムが収容する回線を終端し、光/電気変換、伝送フレームの生成/回復、セル同期、セル流速度整合を行う。

(2) セル多重/分離機能は、収容する回線速度と ATM スイッチ機能の入出力速度との整合をとるため、必要に応じてセルの多重/分離を行う。

(3) ヘッダ処理機能は、セルの ATM ヘッダを読み取り、

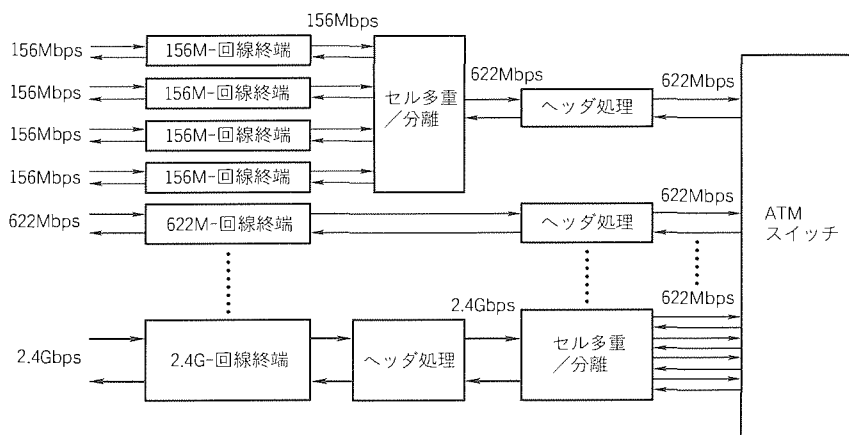


図 1. システムの基本構成

表 1. チップ主要諸元

LSI 項 目	ユーザー・網 インタフェース	セル多重／分離	ヘッダ処理	ATMスイッチ			
				A-LSI	B-LSI	C-LSI	C2-LSI
プ ロ セ ス	0.8 μ mBiCMOS	0.8 μ mBiCMOS	0.8 μ mBiCMOS	0.8 μ mBiCMOS	0.8 μ mBiCMOS	0.8 μ mBiCMOS	0.8 μ mBiCMOS
回 路 規 模	45Kゲート	48Kゲート	27Kゲート	20Kゲート	40KTr. +56Kビット RAM	61Kゲート	63Kゲート +22Kビット RAM
クロック周波数	155.52/ 19.44MHz	77.76/ 19.44MHz	77.76MHz	77.76MHz	77.76MHz	77.76MHz	77.76MHz
消 費 電 力	1.6W	3.0W	3.0W	5.0W	1.8W	5.0W	5.0W
電 源 電 圧	+5.0V, -5.2V	+5.0V, -5.2V	+5.0V, -5.2V	-5.2V	-5.2V	-5.2V	-5.2V
入出力I/O	ECL/CMOS /TTL	ECL/CMOS /TTL	ECL/CMOS /TTL	ECL/CMOS	ECL/CMOS	ECL/CMOS	ECL/CMOS
チップサイズ	13.1mm ×12.2mm	13.1mm ×12.2mm	13.1mm ×12.2mm	8.9mm×8.4mm	10.5mm ×10.4mm	13.1mm ×12.2mm	13.1mm ×12.2mm
パッケージ	319ピンPGA	319ピンPGA	319ピンPGA	236ピンQFP	236ピンQFP	356ピンQFP	356ピンQFP

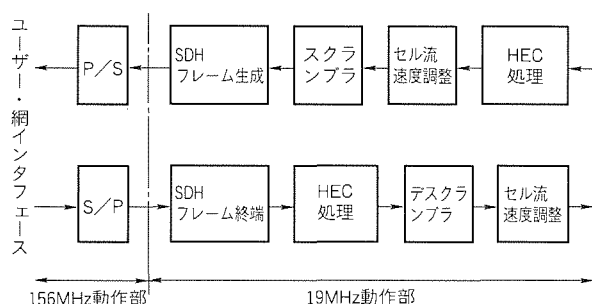


図 2. ユーザー・網インタフェースLSI機能ブロック

変換テーブルに従ってヘッダを付け替える。同時に、システム内でのみ使用され、セルのあて先出線等を示したスイッチヘッダも付加する。

(4) ATMスイッチ機能は、セルをあて先出線別に振り分け、同一あて先セルが到着したときには、バッファメモリを使用し、セルの待ち合わせを行う。

3. LSI構成

表 1 に開発した LSI チップセットの主要諸元を示す。0.8 μ mBiCMOS プロセスを採用し、高速動作回路と動作周波数 78 MHz 以上を実現する ECL インタフェース I/O は BiCMOS で、集積度の必要とされる内部の回路と低速 I/O は CMOS で構成し、低消費電力化を図っている。

3.1 ユーザー・網インタフェースLSI⁽⁴⁾

1 回線当たりユーザー側と、網側に必ず 1 対必要になるユーザー・網インタフェース回路の小型・低消費電力化は、複数ユーザーを収容する ATM システムを小型・低消費電力で実現する上で必要不可欠である。

この LSI は、光送受信モジュールを付加することでユーザー・網インタフェースを実現できる。LSI の機能ブロック図を図 2 に示す。

回路構成は、156 Mbps の伝送速度を持つユーザー・網インタフェース信号をバイト単位に 8 並列展開し、伝送フレー

ムである SDH (同期デジタルハイアラーク) フレームの生成・終端、セル同期及びヘッダ誤りの制御を行うための HEC 処理、セルのスクランブル・デスクランブル、ATM セルを SDH フレームにマッピングするセル流速度調整から成る。以下に主な特長を示す。

(1) 1チップ化の実現

最先端の 0.8 μ mBiCMOS プロセスの適用により、高速直列信号処理部分 (156 MHz 動作部) を高速、高駆動能力の BiCMOS 回路で、主要機能を実現する低速並列信号処理部分 (19 MHz 動作部) を低消費電力の CMOS 回路で実現した。これにより、156 Mbps の高速入出力インタフェースを含む大規模回路 (45K ゲート) を 1 チップで実現した。

(2) 世界標準である ITU-T 勧告 I.432 に準拠

(3) 低消費電力 1.6 W 以下を達成

消費電力が大きい高速直列信号処理部分を小さく構成する回路アーキテクチャを採用し、大幅な低消費電力化を達成した。

この LSI により、世界標準のインタフェースを容易に ATM システムに搭載することが可能となった。

3.2 セル多重／分離LSI⁽⁵⁾

セル多重／分離 LSI (MDX 4-LSI) は、図 3 に示すように同位相で入力される 156 Mbps 4 回線のセルを 622 Mbps 1 回線に多重する機能、逆に 622 Mbps 1 回線を 156 Mbps 4 回線のセルに分離する機能を持っている。

ATM スイッチ内の出線対応の待ち行列が 622 Mbps セル流のみを意識する場合は、その出力が 622 Mbps の統計多重されたセル出力となるため、セル多重／分離機能で多数のバッファメモリが必要となる。しかし、ATM スイッチは、156 Mbps 単位の待ち行列をつくるのが可能なため、この LSI では各回線を時分割に処理する方式により、必要なバッファメモリ量をセル多重側で 1 セル／回線、セル分離側で 2 セル／回線とすることができ、1 チップ化が可能となった。

加えて、セル分離側の 622 Mbps インタフェース部分にセ

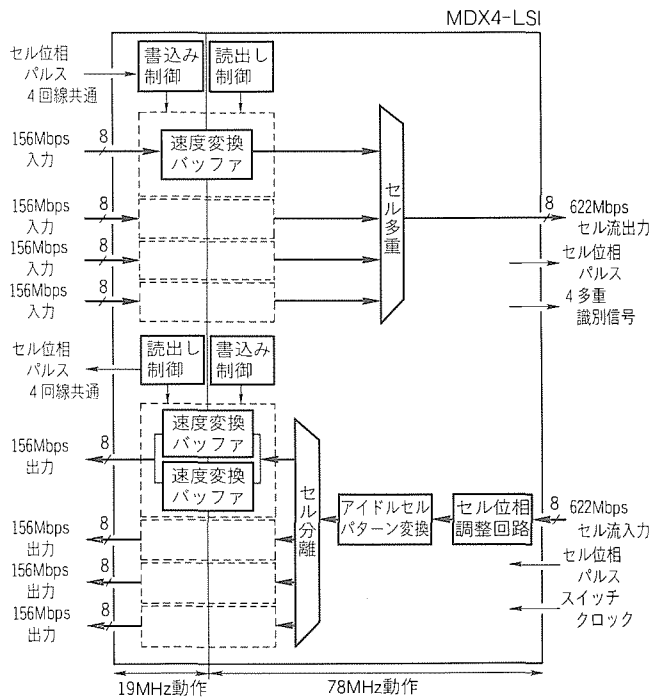


図3. セル多重/分離LSI機能ブロック

ル位相調整回路を内蔵し、クロックの位相調整、マトリクス接続時のATMスイッチからのセル位相調整を行える。

3.3 ヘッド処理LSI⁽⁶⁾

ヘッド処理LSI (VPX4-LSI) の機能ブロック図を図4に示す。以下にVPX4-LSIの主な機能を述べる。

(1) VPI変換機能

セルからヘッドを抽出して、あらかじめ設定された変換テーブルを参照し、新しいVPI値に付け替えるとともに、ATMスイッチで参照されるあて先表示用の2バイトのスイッチヘッドを付与する。UNI (ユーザーネットワークインタフェース) 及びNNI (ネットワークノードインタフェース) のどちらのフォーマットでも変換可能である。このLSIは、622Mbpsセル流を2回線収容するが、156Mbps単位を意識して8回線の156MbpsのVPI変換も可能である。

(2) セル流量監視機能

ATMスイッチに対して送信・受信両方向の回線ごとのセル流量を監視する。監視パラメータは、CPUバスを介して任意設定可能であり、最大監視区間長は 2^{24} セルスロットである。

(3) 障害情報検出機能

クロック断、セル位相外れ、VPI変換テーブルデータのバリディエラー、セル流量異常等の障害を検出し、CPUバスを介して外部に通知する。

3.4 ATMスイッチLSI⁽⁷⁾⁽⁸⁾

3.4.1 分割共通バッファ形ATMスイッチ

ATMスイッチは、ヘッド情報に基づいて、到着したセルをセル単位にあて先出線に振り分け送出する機能を持っている。ATM通信方式では、セルは端末からランダムなタ

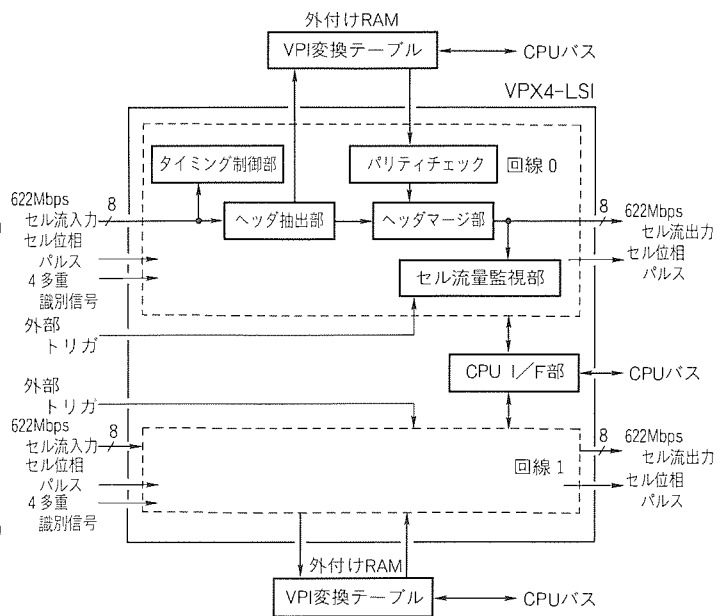


図4. ヘッド処理LSI機能ブロック

イミングで送出されるので、ATMスイッチには、セルの廃棄を防ぐため、セル振り分け機能だけでなくバッファリング機能が必ず(須)となる。一般に、LSI化をするとき、メモリの量及び速度がネックとなる。共通バッファ形スイッチは、入線及び出線間でバッファメモリを共有化するので、バッファメモリの使用効率を高め、少ないメモリ量で低廃棄率を実現し、LSI化に適する。しかし、入力セルを多重化して一つのメモリに書き込む従来の共通バッファ形スイッチでは、スイッチの高速大容量化に伴い、メモリの要求アクセス速度が上昇するため、高速メモリの実現が設計上の大きな課題となっていた。

そこで、我々はLSI化に適した方式として、メモリのアクセス速度を下げるため、セルの多重化を回避し、複数個の共通バッファメモリを並べ、クロスポイントスイッチを介して全入線・出線間と接続する“分割共通バッファ方式”を提案した⁽²⁾。この方式の特長は、共通バッファ方式の利点であるバッファメモリの共有化を保ったまま、同方式の欠点であるバッファメモリのアクセス速度ネックを緩和したことである。図5に基本構成を示す。

3.4.2 多元速度インタフェース混在収容方式

国際標準化動向から、ATMシステムは、156Mbpsだけでなく、622Mbpsや2.4Gbpsインタフェースも収容することが望ましい。今回、LSIの動作速度やビットスライス処理の容易さから、622MbpsをATMスイッチの標準入出力速度とした。156Mbpsインタフェースを収容するときは、4本をまとめて622Mbpsとして収容するが、スイッチ内部では4本を区別して待ち行列をつくり、時分割多重でセルを選択し出力する。2.4Gbpsは、4本の622Mbpsとして収容するが、内部ではまとめて1本の待ち行列として扱うことにより、セルの順序逆転を防ぐ。

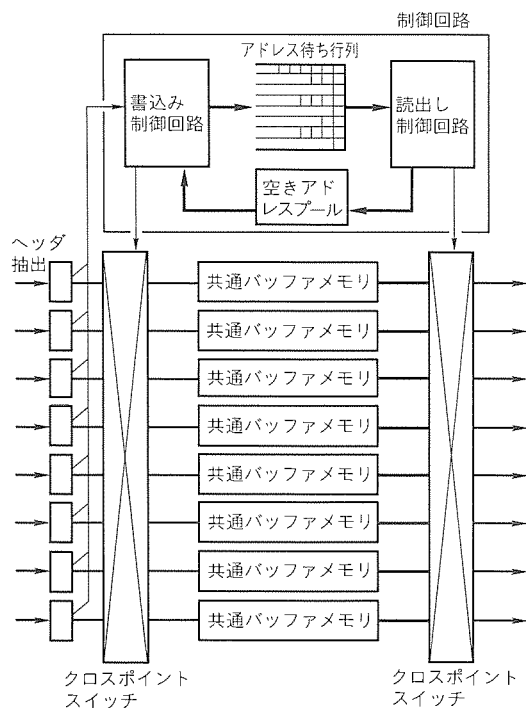


図5. 分割共通バッファ形ATMスイッチ

3.4.3 同報機能

同報とは、一つの入力セルを指定された複数のあて先出線に出力する分配サービスであり、ATMスイッチにはセルのコピー機能が必要になる。共通バッファスイッチでは、同報セルをバッファメモリに1回書き込むだけでも、複数回読み出すことでコピー機能が実現できる⁽⁸⁾。図6に同報機能の動作例を示す。

3.4.4 LSI 開発

前述の分割共通バッファ方式を採用し、622Mbpsの入出力で、8入力×8出力のセル交換を実現するチップセットを開発した。低廃棄率を実現するため、全共通バッファメモリとして1,024セル分を搭載する。セルは、国際標準の53バイトに、あて先指示等のために2バイトのスイッチヘッダを付加した55バイトとして扱う。

以下では、開発した4品種のLSIについて述べる。

(1) アライナ LSI (A-LSI)

A-LSIは、入出力セルの位相調整、入力セルのヘッダ抽出、各種エラー検出を行う。内部回路の設計には、開発期間の短縮のため、ゲートアレーを用いた。

(2) バッファ LSI (B-LSI)

B-LSIは、セルのバッファリングとスイッチ機能を持ち、8チップでビットスライス構成をとる。内部のレジスタの高さからフルカスタムによるレイアウトの最適化を行った。

(3) コントロール LSI (C-LSI)

C-LSIは、B-LSI内部の共通バッファメモリのアドレス循環の管理を行うため、空きアドレスプールと、出線対応に作られたアドレス待ち行列を備える。A-LSIと同様に、ゲ

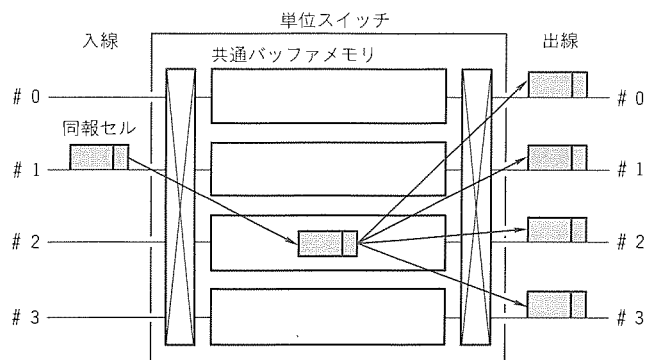


図6. 同報機能の動作例

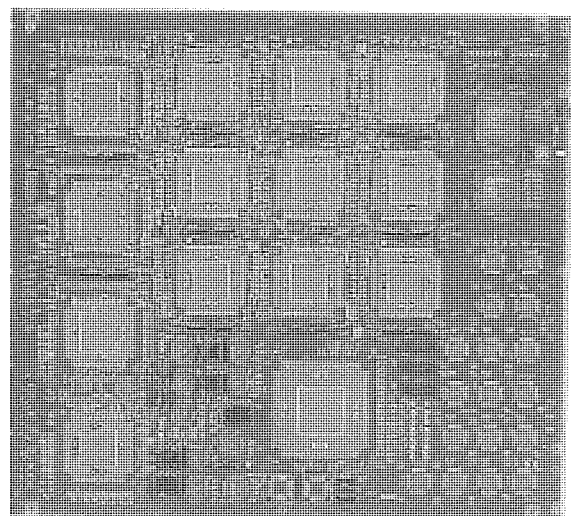


図7. 同報機能付きATMスイッチボード

ートアレーを採用した。

(4) コントロールタイプ2 LSI (C2-LSI)

C2-LSIは、C-LSIと同様にアドレス管理を行うが、同報機能と優先制御機能を備える点で異なる。同報機能実現のため、約22KビットのRAMが必要になり、モジュールジェネレータで生成した。

一方、ランダムロジックはゲートアレーで設計し、両者を組み合わせるエンベデッドセルアレー方式の採用により、設計期間を短縮しながらチップ面積及び消費電力の縮小化を図った。

3.4.5 ATMスイッチボード

単位スイッチは、4個のA-LSI、9個（1個はパリティチェック用）のB-LSI、1個のC-LSI又はC2-LSIにより、1枚のボード上に構成することができる。最大32本の156Mbpsインタフェースを収容するスイッチには、C-LSIが適し、同報及び優先機能を要するスイッチにはC2-LSIを採用する。図7に同報機能付きATMスイッチボードの例を示す。

4. む す び

この論文は、セルを伝送及び交換するATMシステムの

基本機能を実現する LSI チップセット 7 品種について述べた。これらの LSI は、 $0.8\mu\text{mBiCMOS}$ プロセスを採用し、高速動作回路と ECL インタフェース I/O を実現するとともに、集積度の必要とされる内部の回路と低速 I/O は CMOS で構成し、低消費電力化も図った。

ATM スイッチは、LSI 化に適した方式として当社独自の“分割共通バッファ方式”を採用した。今後更に高速・大容量化が要求されても十分こたえられるスイッチアーキテクチャである。このチップセットを用いて ATM 加入者線伝送装置を試作し、所期の性能を確認した⁽⁹⁾。

参 考 文 献

- (1) 鵜沢郁男, 菊地克昭, 小口喜美夫: ATM リンクシステムの技術開発, NTT R & D, **42**, No.3, 331 ~ 342 (1993)
- (2) 山中秀昭, 三浦摂子, 大島一能: 分割共通バッファ方式による ATM スイッチ, 信学技術研究報告, SSE90-35 (1990)
- (3) Yamanaka, H., Saito, H., Yamada, H., Tsuzuki, M., Kohama, S., Ueda, H., Kondoh, H., Matsuda, Y., Oshima, K.: $622\text{Mb/s } 8 \times 8$ Shared Multi-buffer ATM Switch with Hierarchical Queueing and Multicast Functions, GLOBECOM '93, 1488 ~ 1495 (1993)
- (4) 大久保啓示, 小崎成治, 植田昌弘, 川端英雄, 部谷文伸: B-ISDN ユーザ・網インタフェース LSI の開発, 1992 年電子情報通信学会秋季大会, B-393 (1992)
- (5) 青柳秀典, 佐藤浩之, 川和田 光, 武内良祐, 矢野 稔, 埴渕敏明, 大島一能: ATM セル多重用 BiCMOS-LSI の開発, 1993 年電子情報通信学会春季大会, B-499 (1993)
- (6) 佐藤浩之, 青柳秀典, 工藤勝彦, 沢田圭一, 矢野 稔, 鹿間敏弘, 大島一能: $150\text{M}/600\text{Mbps}$ VPI 変換用 BiCMOS-LSI の開発, 1993 年電子情報通信学会春季大会, B-498 (1993)
- (7) Kondoh, H., Notani, H., Hayashi, I., Yamanaka, H., Saito, H., Matsuda, Y., Nakaya, M.: A $622\text{Mbps } 8 \times 8$ ATM Switch Chip Set with Shared Multi-buffer Architecture, ESSCIRC '92, 217 ~ 220 (1992)
- (8) Oshima, K., Yamanaka, H., Saito, H., Yamada, H., Kohama, S., Kondoh, H., Matsuda, Y.: A New ATM Switch Architecture Based on STS-type Shared Buffering and Its LSI Implementation, ISS '92, 1, 359 ~ 363 (1992)
- (9) 鈴木孝昌, 本島史門之, 土田 充, 矢野雅嗣, 野上正道, 上田広之: ATM 加入者線伝送装置, 三菱電機技報, **68**, No.6, 520 ~ 523 (1994)

SDHインタフェース用LSI

久保和夫* 岡田克也⁺
東坂範雄** 武内良祐⁺⁺
植田昌弘***

1. ま え が き

近年、通信の高速・大容量・多様化に対応するため、広帯域 ISDN の研究が各所で活発に行われている。広帯域 ISDN の実現のため、従来、世界に3種類存在したデジタルハイアラキに代わる世界統一の新しい同期デジタルハイアラキ SDH (Synchronous Digital Hierarchy) が ITU-T (旧 CCITT) で 1988 年に勧告化された⁽¹⁾。また、我が国においても、国内に適用する SDH のインタフェースが TTC で標準化された⁽²⁾。

SDH では、既存の電話信号や ISDN はもちろんのこと、映像や高速データなどの広帯域信号も効率良く収容できるよう考慮されている。このような SDH のインタフェースは、数十 Mbps から数 Gbps 以上の広範囲な伝送速度であるため、今まで以上にその LSI 化が重要となる。

一方、半導体技術の進展により、GaAs プロセスなどによる高速 LSI や、CMOS/BiCMOS プロセスなどによる高集積・低消費電力 VLSI の実現が可能となり、その性能も急速に向上している。

本稿では、各種プロセスを適用して開発した 52 Mbps ~ 10 Gbps までの SDH インタフェース用 LSI の概要を紹介する。

2. SDH インタフェース用 LSI 概要

STM-N (Synchronous Transport Module Level-N : $N = 0, 1, 4, 16, 64$) と呼ばれる各 SDH レベルに対応した伝送フレーム構造について、ITU-T では、STM-1 (156 Mbps) ~ STM-16 (2.4 Gbps) まで勧告化されている。

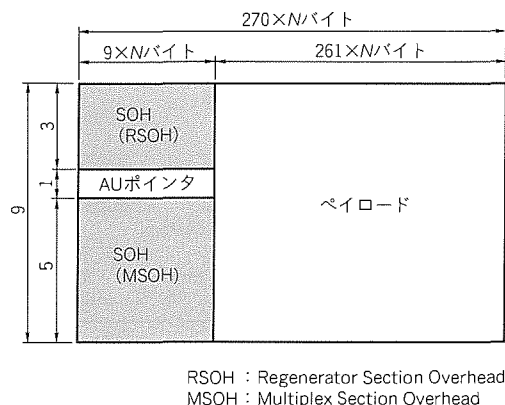


図1. STM-Nフレーム構造

また、TTC ではこれに加え、日本国内の状況を考慮して STM-0 (52 Mbps) も標準化されている。さらに、現在、ITU-T では、次世代高速伝送インタフェースとして STM-64 (10 Gbps) の研究が進められている。

これらインタフェースを小型・低消費電力で実現するため、52 Mbps ~ 2.4 Gbps インタフェース LSI チップセットを開発した。また、次世代高速伝送システムを構築するため、10 Gbps インタフェース用 LSI チップセットの開発を進めている。

2.1 SDH インタフェースのフレーム構造

STM-N フレーム構造を図1に示す。保守・運用・管理のための情報を運ぶ SOH (Section Overhead)、ペイロードに多重化された信号の先頭位置のアドレスを格納する AU (Administrative Unit) ポインタ及び実際の情報を伝送するペイロードから構成されている。本稿で述べる SDH インタフェース用 LSI では、主に SOH の処理を行っている。

2.2 基本機能

SDH インタフェースは、52 Mbps ~ 10 Gbps の広範囲で高速なインタフェースであり、LSI を小型・低消費電力で実現するためには、各インタフェースレベルの処理に適したプロセスの選択及び各プロセスの特長を生かした回路アーキテクチャが重要な課題となる。

LSI 化に当たり採用した SDH インタフェースの基本機能構成を図2に示す。SOH 発生部では、図1に示した STM-N フレームを組み立てるため、 m ($m = 8 \times 2^i, i = 0 \sim 3$) ビット並列信号入力に対して SOH 生成、SOH 挿入、BIP (Bit Interleaved Parity) 計算、スクランブル、バイト多重などを並列で処理し、P/S (並列/直列) 変換部では、SOH 発生部からの m ビット並列信号を送信する $N \times 156$

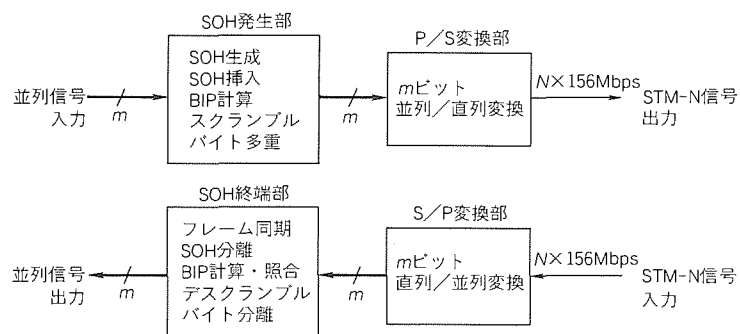


図2. SDHインタフェースの基本機能構成

Mbpsの直列STM-N信号に変換して出力する。S/P変換部では、受信した $N \times 156$ Mbpsの直列STM-N信号を m ビットの並列信号に展開し、SOH終端部では、この m ビット並列信号に対してフレーム同期、SOH分離、BIP計算・照合、デスクランブル、バイト分離などを並列で処理する。

各レベルのSDHインタフェース用LSIでは、この基本機能構成を採用することで、高速動作部の回路規模を小さく構成した並列処理方式により、小型・低消費電力化を図っている。また、これら機能のLSI化では、各処理回路の動作マージンを確保しつつ、より小規模な回路で構成するなどの様々な工夫を行った。さらに、各プロセスの動作周波数・集積度・消費電力を考慮して並列展開数と適用領域を決定しており、動作周波数52MHz以下ではCMOSプロセスを、動作周波数156MHz以下ではBiCMOSプロセスを、156MHzを超える動作周波数ではGaAsプロセスを適用している。

3. 52Mbps～2.4Gbpsインタフェース LSIチップセット

この章では、ITU-T及びTTCによって既に標準化されている52Mbps (STM-0)～2.4Gbps (STM-16)インタフェース用に開発したLSIチップセットについて述べる。

3.1 LSIチップ構成

2章で述べたように、各インタフェースのLSIチップセットを小型・低消費電力で実現するため、各プロセスの特長を生かしたLSI分割としている。

各インタフェース用LSIのチップ構成を以下に説明する。

3.1.1 52Mbpsインタフェース

CMOSプロセスを適用し、図2に示したすべての機能をSTM-0発生/終端LSIの1チップで実現している。P/S変換部及びS/P変換部では、52Mbpsの直列信号と6Mbpsの8並列信号との相互変換を行い、それ以外の部分では、8並列処理とすることにより、低消費電力化を図っている。

3.1.2 156Mbpsインタフェース

BiCMOSプロセスを適用した8ビットP/S・S/P変換LSI、CMOSプロセスを適用したSTM-1 SOH発生LSI及びSTM-1 SOH終端LSIの3チップ構成で実現している。8ビットP/S・S/P変換LSIでは、156Mbpsの直列信号と19Mbpsの8並列信号との相互変換を行い、SOH発生LSI及びSOH終端LSIでは、8並列で各処理を行っている。

3.1.3 622Mbpsインタフェース

GaAsプロセスを適用した32ビットP/S・S/P変換LSI⁽³⁾、CMOSプロセスを適用したSTM-4 SOH発生LSI及びSTM-4 SOH終端LSIの3チップ構成で実現している。32ビットP/S・S/P変換LSIでは、622Mbpsの直列信号と19Mbpsの32並列信号との相互変換を行い、これ

により、SOH発生LSI、SOH終端LSIにCMOSプロセスの適用を可能としており、これらLSIでは32並列で各処理を行っている。

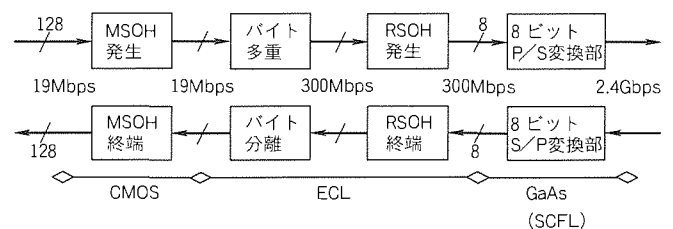
3.1.4 2.4Gbpsインタフェース

GaAsプロセスを適用した16ビットP/S変換LSI及び16ビットS/P変換LSI⁽⁴⁾並びにBiCMOSプロセス⁽⁵⁾を適用したSTM-16 SOH発生LSI及びSTM-16 SOH終端LSIの4チップ構成で実現している。

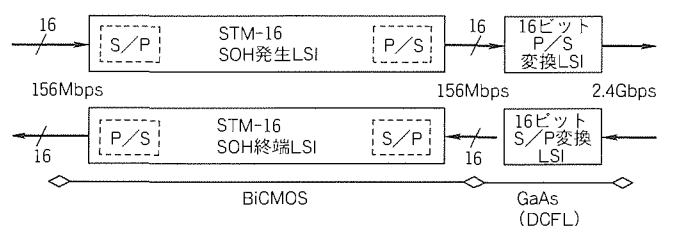
LSIチップ構成を図3に示す。同図(a)には従来のLSI構成例を示している。この構成では、8ビットP/S変換、8ビットS/P変換によって300Mbpsの8並列に展開した信号に対して、SOH発生・終端、バイト多重・分離などを行うため、高速で動作するものの消費電力の大きいECLなどのプロセスの適用部分が大きくなる。また、8ビットP/S変換、8ビットS/P変換には、高速化に有利なため基本回路形式として消費電力の大きいSCFL (Source Coupled FET Logic) が用いられてきた。

図3(b)にはこのLSI構成を示している。この構成では、16ビットP/S変換LSI、16ビットS/P変換LSIにより、2.4Gbpsの直列信号と156Mbpsの16並列信号との相互変換を行うことで、SOH発生LSI、SOH終端LSIにBiCMOSプロセスの適用を可能としている。SOH発生LSI、SOH終端LSIには、LSI内部にP/S・S/P変換機能を設けて、156Mbpsの16並列信号を19Mbpsの128並列信号に展開してSOHなどの処理を行うとともに、S/P・P/S間での並列展開信号の順序を並べ替えることにより、バイト多重分離を行うことで、より一層の小型・低消費電力化を実現している。

また、16ビットP/S変換LSI、16ビットS/P変換LSIの基本回路形式には、SCFLに比べて速度性能は若干劣る



(a) 従来LSI構成例



(b) 本LSI構成

図3. SDH 2.4GbpsインタフェースLSIの構成

表 1. SDH 52Mbps～2.4GbpsインタフェースLSIの仕様

インタフェース種類	LSI名称	プロセス	パッケージ	回路規模 (ゲート)	動作周波数 (MHz)	入出力 レベル	電源電圧 (V)	消費電力 (W)
STM-16 (2,488.32Mbps)	16ビット P/S変換LSI	0.7 μ m GaAs	68pin FP	1.2K	2,488.32, 155.52	ECL	- 2	8.5
	16ビット S/P変換LSI	0.7 μ m GaAs	68pin FP	1.0K	2,488.32, 155.52	ECL	- 2	
	STM-16 SOH発生LSI	0.8 μ m BiCMOS	319pin PGA	54K	155.52, 19.44	ECL CMOS	-5.2, + 5	
	STM-16 SOH終端LSI	0.8 μ m BiCMOS	319pin PGA	63K	155.52, 19.44	ECL CMOS	-5.2, + 5	
STM- 4 (622.08Mbps)	32ビット P/S・S/P変換LSI	0.8 μ m GaAs	164pin FP	3.8K	622.08, 19.44	ECL TTL	- 2, + 5	6.0
	STM- 4 SOH発生LSI	1.3 μ m CMOS	281pin PGA	15K	19.44	CMOS	+ 5	
	STM- 4 SOH終端LSI	1.3 μ m CMOS	281pin PGA	20K	19.44	CMOS	+ 5	
STM- 1 (155.52Mbps)	8ビット P/S・S/P変換LSI	1.0 μ m BiCMOS	84pin PGA	0.8K	155.52, 19.44	ECL CMOS	-5.2, + 5	2.4
	STM- 1 SOH発生LSI	1.0 μ m CMOS	160pin QFP	6K	19.44	CMOS	+ 5	
	STM- 1 SOH終端LSI	1.0 μ m CMOS	160pin QFP	19K	19.44	CMOS	+ 5	
STM- 0 (51.84Mbps)	STM- 0 SOH発生・終端LSI	1.0 μ m CMOS	160pin QFP	12K	51.84, 6.48	CMOS	+ 5	0.2

ものの低消費電力な DCFL (Direct Coupled FET Logic) を適用し、設計・プロセス両面にわたり様々な技術を導入することにより、DCFL の速度面での不利を補いつつ、LSI を低消費電力で実現している。

3.2 仕 様

LSI チップセットの仕様を表 1 に、LSI 外観を図 4 に示す。また、特長を以下に述べる。

3.2.1 52Mbpsインタフェース

- (1) CMOS プロセスによる送受 1 チップ化
- (2) 52Mbps 直列信号の高速入出力インタフェース
- (3) 小型・低コストのプラスチック QFP への実装
- (4) 当社従来比 1/4 である 0.2 W の低消費電力

3.2.2 156Mbpsインタフェース

- (1) BiCMOS プロセスによる 8 ビット P/S・S/P 変換 LSI の 156 MHz 安定動作 (最高動作周波数 200 MHz 以上)
- (2) STM-1 SOH 発生 LSI, STM-1 SOH 終端 LSI を小型・低コストのプラスチック QFP へ実装
- (3) 3 チップ合計 2.4 W の低消費電力

3.2.3 622Mbpsインタフェース

- (1) GaAs LSI 1 石と CMOS LSI 2 石による 3 チップ構成によって実現
- (2) 32 並列処理による STM-4 SOH 処理部への CMOS プロセスの適用
- (3) 3 チップ合計 6.0 W の低消費電力

3.2.4 2.4Gbpsインタフェース

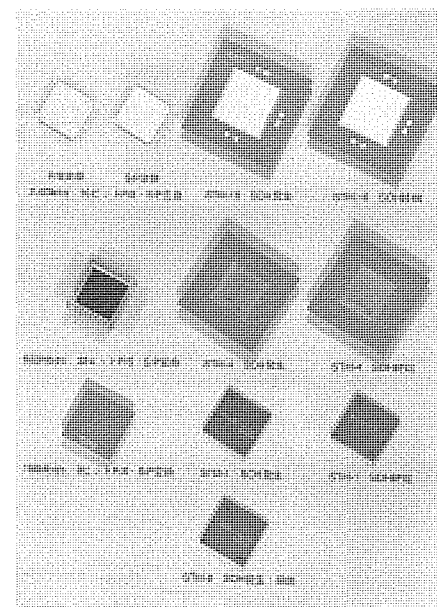


図 4. SDH 52Mbps～2.4Gbpsインタフェース LSIの外観

- (1) GaAs LSI 2 石と BiCMOS LSI 2 石による 4 チップ構成によって実現
- (2) 156Mbps 16 並列の LSI 間信号インタフェースの採用
- (3) 16 ビット P/S 変換 LSI, 16 ビット S/P 変換 LSI の基本回路形式に低消費電力な DCFL を適用
- (4) STM-16 SOH 発生 LSI, STM-16 SOH 終端 LSI では、128 並列による SOH 処理及びバイト多重分離を実現し、156 MHz 動作部を BiCMOS 回路、19 MHz 動作部を CMOS 回路主体で構成することによって低消

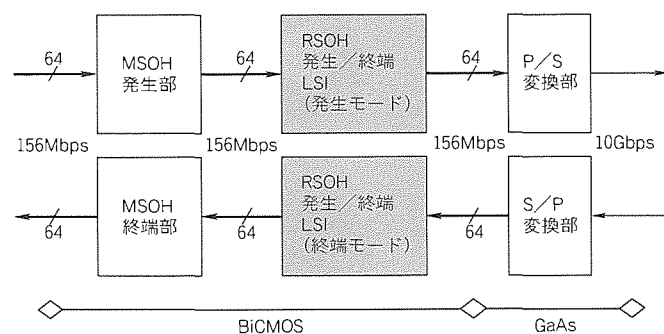
費電力化を実現

- (5) 4チップ合計8.5Wの超低消費電力
- (6) 各LSIをそれぞれ4チップずつ用いることにより、10GbpsインタフェースのMSOH発生・終端部及びP/S・S/P変換部に適用可能(次章参照)

4. 10Gbpsインタフェース用LSI

この章では、次世代高速大容量インタフェースとして、ITU-Tで研究が進められている10Gbps (STM-64) インタフェース用に試作したLSIについて述べる。このインタフェースの構成を図5に示す。図中網掛けで示す部分が今回試作したSTM-64 RSOH発生/終端LSIである。このLSIでは、モード切替えによって発生LSIと終端LSIを1品種で兼用している。また、入出力信号を156Mbps 64並列の信号とすることにより、BiCMOSプロセスの適用を可能とし、高速大容量信号の処理を低消費電力で実現している。

3.2.4項(6)で述べたように、2.4Gbps用のSOH処理LSIでMSOH発生・終端部を構成する。また、P/S・S/P変換部を4ビット×16ビットの2段ツリー構成とし、低速側の16ビットP/S・S/P変換を2.4Gbps用のLSIで構



図：試作LSI

図5. SDH 10Gbpsインタフェースの構成

成する。高速側の4ビットP/S・S/P変換用LSIは別途開発中である。

4.1 発生/終端LSIの1品種兼用化

RSOH処理において、主信号の入出力回路(直並列相互変換回路等)、フレームカウンタ回路、スクランブラ回路及びBIP計算回路は発生/終端処理ともに必要である。RSOH生成・挿入回路は発生処理にのみ必要であり、フレーム同期回路、BIP照合回路及びRSOH分離回路は終端処理にのみ必要である。したがって、各回路間の処理フローをモード切替えによって選択制御することにより、最小限の回路規模の増加で発生/終端処理LSIの1品種兼用化を実現できる。

一方、BiCMOS/CMOS回路の消費電力は、非スイッチング時にはほぼ零となるので、不要回路ブロックの動作/非動作をモード設定で制御することにより、別チップとした場合とほぼ同等の消費電力で1品種兼用化を実現できる。

4.2 LSI構成

LSIの構成を図6に示す。図中、破線で共通部、発生部、終端部を示す。発生/終端選択信号により、処理モードを設定する。発生モードでは、発生部と共通部を動作させ、終端部の動作を禁止する。終端モードでは、終端部と共通部を動作させ、発生部の動作を禁止する。共通部のスクランブラ/デスクランブラ回路及びBIP計算回路の入力信号を各モードに従った処理フローに選択する。各回路動作のクリティカルパスを低減するため、入出力回路としてS/P変換・P/S変換回路を設けて、内部処理速度を78MHzとしている。

4.3 LSI仕様

STM-64 RSOH発生/終端LSIの仕様を表2に示す。プロセスには、0.8μm BiCMOSを適用し、パッケージは、2.4Gbps用のSOH処理LSIと同様に放熱特性の良い319ピンセラミックPGAとした。主信号系的高速信号はECL

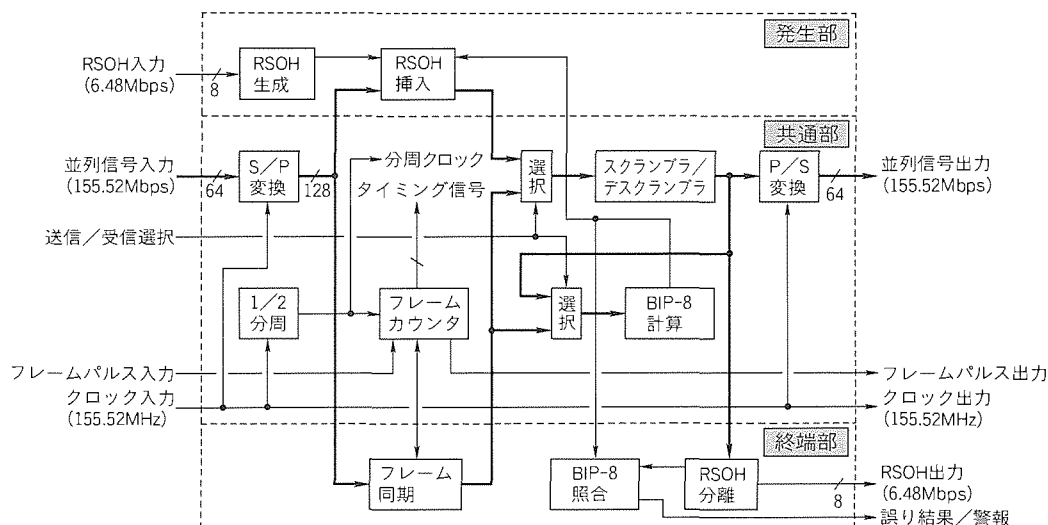


図6. STM-64 RSOH発生/終端LSIの構成

表 2. STM-64 RSOH発生／終端LSIの仕様

インタフェース種類		STM-64 (9.95328Gbps)		
機 能		送信モード		受信モード
		RSOH生成 RSOH挿入 BIP- 8 計算 スクランブル		フレーム同期 RSOH分離 BIP- 8 計算・照合 デスクランブル
プロセス		0.8 μm BiCMOS		
パッケージ		319pin PGA		
回路規模 (ゲート)	部 位	送信部	共通部	受信部
		12K	12K	14K
	合 計	38K		
動作周波数 (MHz)		155.52, 77.76, 19.44		
入出力レベル		ECL CMOS		
電源電圧 (V)		+ 5, -5.2		
消費電力 (W)		5		

レベルとし、監視制御系の低速信号はCMOSレベルとした。回路規模は約38Kゲートであり、発生部、共通部、終端部の比を約12:12:14で実現できた。

5. む す び

通信装置の最新の国際標準であるSDHインタフェースの52Mbps～10GbpsまでのLSI化を各種プロセスによって実現した。

LSI化に当たっては、各インタフェースレベルの処理に

適したプロセスの適用と各プロセスの特長を生かした回路アーキテクチャにより、LSIの小型・低消費電力化を実現した。

既にこれらLSIは、SDHインタフェースを持つ当社の各種通信装置に適用されているものもあり、装置の小型・低消費電力化に寄与している。

今後、更に超高速・大容量化に対応するSDHインタフェースの開発を進めていく予定である。

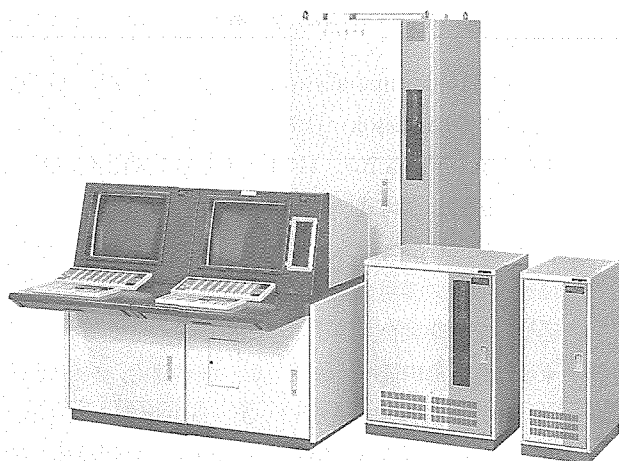
参 考 文 献

- (1) ITU-T Recommendations G.707, G.708, G.709, CCITT Blue Book (1989)
- (2) TTC標準JT-G707, G708, G709: 網間インタフェース, 網間伝送方式, III-1 (1989)
- (3) 松下 究, 佐藤 晋, 一番ヶ瀬 広, 北山忠善: 32:1 高速多重化/多重分離用GaAs LSI, 1991年電子情報通信学会春季大会, B-789 (1991)
- (4) 東坂範雄, 島田征明, 太田 彰, 細木健治, 飛田康夫, 富永茂雄, 久保和夫, 野田 実, 三井康郎: 2.5Gb/s DCFL 16:1 MUX/DEMUX LSI, 信学技報, ED 92-130, 47～53 (1993)
- (5) 植田昌弘, 埴渕敏明, 東谷恵市, 川畑英雄, 飛田康夫: 広帯域ISDN対応BiCMOS LSI, 三菱電機技報, 67, No.3, 274～277 (1993)

スポットライト

システム“MELTAS”

E(電気)・I(計装)・C(計算機)統合化時代の先鞭(鞭)をつけたMELTASは、昭和63年の発売以来、民間製造業の生産システムに対し数百セットを適用してきました。この間のマーケットニーズの変化や技術動向を踏まえ、平成5年にMELTAS新シリーズを完成しました。



MELTAS新シリーズ外観

特 長

(1) 機能・規模にフィットするMELTASシリーズ化

●機能・規模にベストフィットするシリーズ化

OPS650/450, EI650/450

●新設・既設MELTAS間でシステムの連続性、ソフトウェアの上位互換性、操作性の統一性の確保

(2) 高信頼・多機能バス

●最大40Mbpsの高速大容量

●サイクリック/N:N/同報通信機能

●自動縮退・自動復帰機能の標準サポート

●Ethernet上の汎用パソコンやワークステーションから、MELTAS内の論理変数(タグ、ラベル)名でプロセスデータのアクセスが可能

(3) 高度オペレーション

●通常のCRTオペレーションはすべてタッチパネル操作でカバー。これによりキーボードのシンプル化が実現

●イメージスイッチキー機能により、従来の操作器具と同一感覚でプロセスの監視操作が可能

●OPSで市販のパソコンツールが実行可能

●Ethernetインタフェース(I/F)サポートにより、OPS内のプロセスデータを情報系へ容易に提供

(4) パワフルなプロセス制御

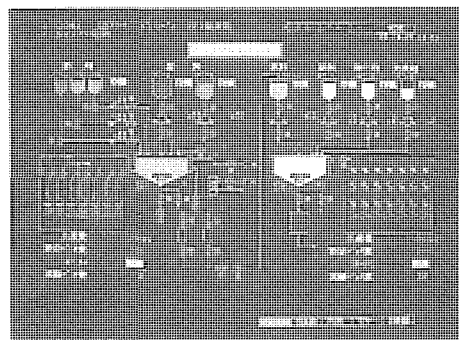
●既設同様、EI650/450のいずれにも必要に応じてCPU・電源・EICシステムバス・IOバス・AIOカード等の冗長化構成が可能

●機能に応じて、任意に実行周期が決定可能

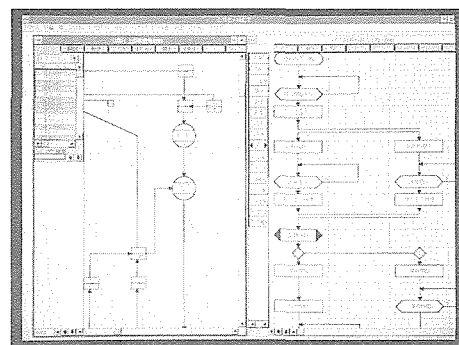
(5) インテリジェントエンジニアリング

●エンジニアリングには、汎用パソコン(AX, DOS/V)を使用しており、ターゲットマシンは不要

●計装仕様書記述言語により、仕様書(ループ図、フローチャート等)作成のみでソフトウェアへの自動展開、仕様書でのオンラインモニタリングが可能



オペレーション画面



計装仕様書記述言語

概略仕様

		概略仕様	
		大規模用	中小規模用
EICシステムバス	性能	最大40Mbps (標準20Mbps)	
	接続台数	最大64ステーション	
	通信機能	サイクリック通信, N:N通信, 同報通信	
	冗長化	自動縮退/自動復帰機能	
OPS		OPS650	OPS450
	形態	ラベコ型	デスクトップ/(ラベコ型)
	メインユニットサイズ	(H)441×(W)221×(D)414 (mm)	—
	サポートCRT台数	2 CRT	1 CRT
	CRTサイズ	21"	14"/20"/21"
	CRT素子	1,472×1,152	736×576
	タッチパネル	—	× (14"/20"/21")
	リモート設置	—	—
	マウス/トラックボール	—	—
	Ethernet I/F	—	—
	オペレーションメインキーボード	(W)360×(D)180 (mm)	—
	オペレーションサブキーボード	(W)140×(D)160 (mm)	—
EI コントロール ステーション		EI650	EI450
	形態	キュービクル	デスクサイド
	サイズ	(W)800×(H)1,900×(D)800 (mm)	EI450S(W)315×(H)800×(D)550 (mm) EI450D(W)1,630×(H)800×(D)550 (mm)
	冗長化	○CPU, 電源 バス, AIO	○CPU, 電源 バス, AIO
	RIO, MELSEC NET I/F RS-232C I/F	—	—
	その他の インテリジェントカード	VSDバス, 32ビット 高速カウンタカード	—
	FOL	32Kステップ	16Kステップ
SCOL		384テーブル	64テーブル
	DDC	ループタグ 320タグ ステータスタグ 640タグ	ループタグ 128タグ ステータスタグ 320タグ

スポットライト

スーパーコンパクト 漏電遮断器 “NV30-CS”

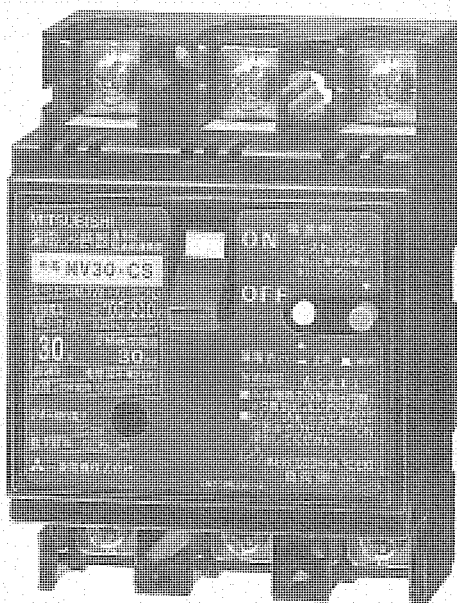
平成3年に高調波・サージ対応機能搭載の専用ICを採用、小型化によるノーヒューズ遮断器との外形寸法同一化など、時代のニーズを取り入れた“New Super 漏電遮断器”シリーズを発売して以来、好評を得ています。

このたび、市場の強いニーズを満足する、ノーヒューズ遮断器と同一外形寸法の30Aフレーム漏電遮断器(経済品シリーズ)を開発しました。

特 長

1. ノーヒューズ遮断器と同一外形化

業界最小サイズのスーパーコンパクト漏電遮断器です。従来品と比べて66%の大幅な小型化を実現し、NF30-CSと同一外形としました。



2. 高調波・サージ対応IC搭載

New Super 漏電遮断器に採用の高調波・サージ対応ICを搭載。大幅な小型化を図りながら高度な保護機能はそのまま継承しています。

●インバータ二次側の地絡電流のひずみをアクティブフィルタ回路で除去することにより、インバータ回路での適正な地絡検出と不要動作の防止ができます。

●サージによる対地漏えい(洩)電流をDPDC (Dual Polarity Digital Counter)サージ判別回路で判別し、不要動作防止性能を向上しています。

3. 充実した内部付属装置

●警報スイッチ(AL)+補助スイッチ(AX)が取付け可能です。

●リード線負荷側引出しも製作できます(標準は横引出し)。

●縦形リード線端子台(SLT)付きも製作できます。

●警報スイッチ(AL)付きの場合、トリップボタンを付属します。

●内部付属装置

警報スイッチ(AL) : 遮断器のトリップ状態を電氣的に表示

補助スイッチ(AX) : 遮断器のON-OFF状態を電氣的に表示

テストリード線(TBL) : テストボタンを押す代わりに遠方からテスト動作

メグ測定スイッチ(MG) : 遮断器をOFFにするだけで負荷側の極間メグが測定できます。

縦形リード線端子台(SLT) : 付属装置との結線端子。遮断器の密着取付けができます。

	30Aフレーム	30~60Aフレーム	100Aフレーム	225Aフレーム	400Aフレーム
N F	NF30-CS	NF30-SS NF50-CS/SS NF60-CS/SS	NF100-CS /SS	NF225-CS /SS	NF400-CS /SS
N V	NV30-CS	NV30-SF NV50-CF/SF NV60-CF/SF	NV100-CF /SF	NV225-CF /SF	NV400-CF /SF

仕 様

種 類		過負荷・短絡保護兼用品	モータ保護・過負荷短絡保護兼用品																												
フレーム A		30	30																												
形 名		NV30-CS	MN30-CS																												
相 線 式		3φ3線, 1φ3線, 1φ2線	3φ3線, 1φ2線																												
極 数 (P)		3	3																												
定格電圧 (AC V)		100-200両用	100-200両用																												
定格電流 (A) (標準周囲温度40℃) MN30-CSの場合 電動機の定格容量 (kW) (100V単相, 200V三相)		5, 10, 15, 20, 30	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">kW</th><th colspan="2">A</th></tr> <tr> <th>100V</th><th>200V</th><th>100V</th><th>200V</th></tr> <tr> <td>—</td><td>7.5</td><td>(6.3)</td><td>0.2</td></tr> <tr> <td>—</td><td>5.5</td><td>4</td><td>0.1</td></tr> <tr> <td>0.75</td><td>3.7</td><td>2.5</td><td>—</td></tr> <tr> <td>0.4</td><td>2.2</td><td>1.4</td><td>—</td></tr> <tr> <td>—</td><td>1.5</td><td>—</td><td>0.2</td></tr> </table>	kW		A		100V	200V	100V	200V	—	7.5	(6.3)	0.2	—	5.5	4	0.1	0.75	3.7	2.5	—	0.4	2.2	1.4	—	—	1.5	—	0.2
kW		A																													
100V	200V	100V	200V																												
—	7.5	(6.3)	0.2																												
—	5.5	4	0.1																												
0.75	3.7	2.5	—																												
0.4	2.2	1.4	—																												
—	1.5	—	0.2																												
定格感度電流 (mA)		15, 30	(15), 30, (100)																												
動作時間 (s以内)		0.1	0.1																												
漏電表示方式		機械式ボタン	機械式ボタン																												
定格遮断電流 (kA(sym))	AC 200V	2.5	2.5																												
	100V	2.5	2.5																												
接 続	表面形 (F)	◎圧着端子用	◎圧着端子用																												

スポットライト 移動体通信用簡易光基地局

移動体通信が普及するにつれて、ビル内やトンネル内等の電波が届かない、いわゆる不感地帯でも通話できないか、という要望が増えてきています。三菱電機㈱は、既存の基地局と不感地帯とを光ファイバで接続し、今まで通話できなかった場所での通話を可能にする移動体通信用簡易光基地局を開発しました。

簡易光基地局は、既存の基地局の無線信号と光信号との接続を行う光インタフェース装置(OIU)、と不感地帯に設置されアンテナとの接続を行う光RF送受信装置(TRU)からなり、移動体通信の無線信号で光信号を直接変調しているためアナログ方式でもデジタル方式でも移動体通信の変調方式によらず伝送することが可能です。

特 長

1. 高性能でコンパクト

低ひずみのアナログ用DFBレーザ及びフォトダイオードを使用しています。また、共通増幅器として、フィードフォワード方式のパワーアンプを使用しているため、低ひずみ・小型・低消費電力を同時に実現しています。

2. 各種方式に対応

アンテナ共用器及びフィルタを選択することにより、GSM、NMT-900、AMPS、TACS等、アナログ方式、デジタル方式にかかわらず各種方式に対応することができます。

3. 長距離伝送が可能

低損失の1,300nmシングルモード光ファイバを使用するため、10km離れた不感地帯まで無線信号を伝送することができます。

4. バッテリバックアップが可能

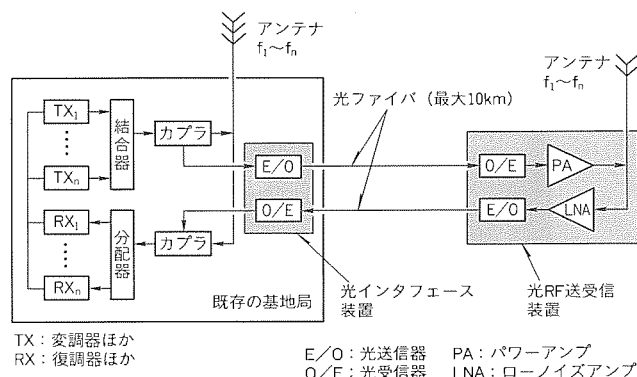
光RF送受信装置(TRU)は停電時のためのバッテリーを装着することができ、約1時間のバッテリーバックアップが可能です。

5. アラームモニタ機能を所有

異常時にはLEDによりアラームを表示します。また、光インタフェース装置(OIU)のRS-232Cインタフェースにより、アラーム信号をモニタすることができます。

簡易光基地局の仕様

項 目	仕 様
ダウンリンク	RFキャリア数
	最大12
	パワーアンプ出力
	10mW×12キャリア
アップリンク	C/N(BW=30kHz)
	60dB以上
	相互変調ひずみ
	-50dBc以下
光ファイバ	RFキャリア数
	最大12
	信号入力レベル
	-90~-35dBm
光許容損失	C/N(BW=30kHz)
	12dB以上
光ファイバ長	相互変調ひずみ
	-60dBc以下
光ファイバ	1,300nmシングルモードファイバ
光許容損失	最大10dB
光ファイバ長	0~10km



システム構成例



簡易光基地局外観



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
総合グループ Tel(03)3218-2137

半導体発光装置 (特許 第1431249号)

この発明は、低しきい値で動作し横モードが安定化され、温度特性が良好である半導体発光装置に関するものである。

周知のように、いわゆる埋込みヘテロ構造のレーザは、低しきい値で動作し横モードも安定化した優れた特性がある。従来のこの種の半導体レーザとしては、図1の断面図に示すようなものがあった。しかし、この半導体レーザにおいては、n-InGaAsP 活性領域(3)を通して流れる電流のほかに、図中矢印で示すようなレーザ発振に参与しない“漏れ電流”が存在する。この漏れ電流は効率の低下や電流レベルの増加をもたらし、光出力が飽和する欠点があった。

この発明は、上記従来の欠点を解消するためになされたもので、図2に示すように、活性領域の両サイドにInPの逆バイアスのpn接合面を設けたことを特徴とする。すなわち、発生する漏れ電流のうちn-InGaAsP層(2)を経て流れる電流

発明者 室谷利夫, 浪崎博文, 須崎 渉
はp-InP層(12)との間のpn結合が逆バイアスであるため無視でき、全体として漏れ電流の低減を図ることができる。

以上のようにこの発明によれば、低しきい値、高効率、基本横モードで発振し、かつ温度特性が良好な半導体発光装置が得られる。

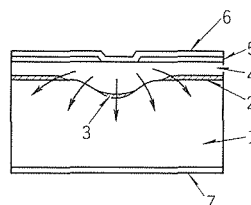


図1

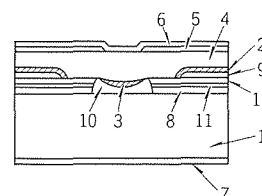


図2

1: n-InP基板 2, 3: n-InGaAsP層 4, 8, 12: p-InP層 5: 絶縁膜
6, 7: 電極 9: n-InP緩衝層 10, 11: n-InP層

ファイバ形光増幅器及びその増幅方法 (米国特許 第5,268,786号)

この発明は、ファイバ形光増幅器及びその増幅方法に関し、例えば希土類ドープ光ファイバを用いた増幅器の自動利得制御に関するものである。

従来のこの種の装置としては、図1に示すようなものがあった。このような構成によると、入力信号光及び励起光源の出力光のレベル変動によって出力信号光のレベルも変動した。

この発明は、上記従来の欠点を解消するためになされたもので、図2に示すように構成される。すなわち、励起光源(3)からの励起出力光が光カプラ(4)を通じて希土類ドープ光ファイバ(1)に入力され入力信号光が増幅される一方、その一部が光カプラ(4)を介して分岐し、出力検出回路(5)に導か

発明者 松下 究, 水落隆司, 北山忠善
れる。さらに、同回路で検出された誤差信号によって出力信号光のレベルが一定になるように励起光源(2)(3)の出力が負帰還制御される。

以上のようにこの発明によれば、増幅出力光の安定度の優れた自動利得制御を可能にしたファイバ形光増幅器を提供することができる。

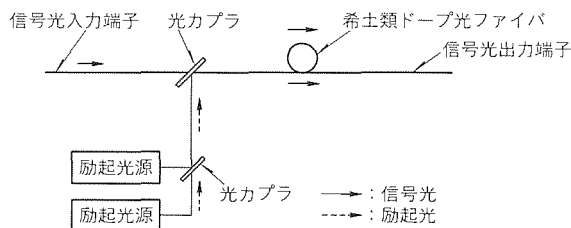


図1

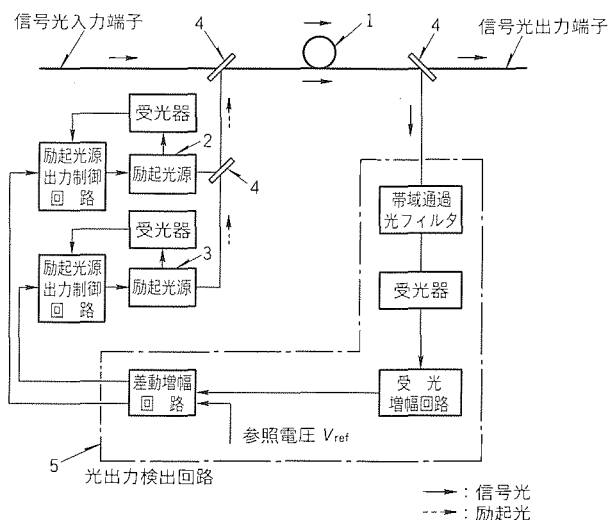


図2



特許と新案 ＊ ＊ ＊

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
総合グループ Tel/(03)3218-2137

光半導体装置 (特公平3-58085号)

この発明は、気密でかつ高精度に位置決めされた球レンズ窓を持つ光半導体装置に関するものである。

球レンズを光入出力用窓として持つ従来のこの種の装置としては、図1に示すようなものがあった。このような構成によると、球レンズ(1)は孔(2)に単にはめ込まれるだけのため球レンズと発光素子(3)との相対位置精度が不十分となり、また封止材の光路への流れ込み等のため光レンズの作用が阻害されるといった欠点があった。

この発明は、上記従来の欠点を解消するためになされたもので、図2に示すように構成される。すなわち、球レンズ(1)の直径より小径の固定用孔(4)と大径の封止用孔(5)を形成し、封止用孔(5)の全内周面と球レンズ(1)の全外周面との間のすき間を気密封止材料だまりとし、ここに十分な気密封止材料(6)を充てんするようにしたものである。

以上のようにこの発明によれば、高精度に位置決めされた

発明者 三宅良雄，山下純一郎，菅沼ルミ子，竹居敏夫
レンズ窓を持ち、気密封止された光半導体装置を極めて容易に得ることができる。

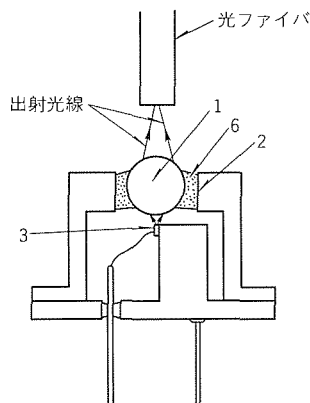


図 1

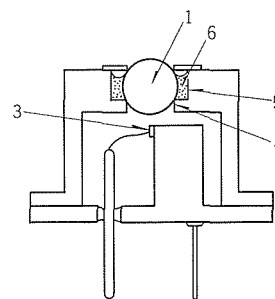


図 2

〈次号予定〉三菱電機技報 Vol. 68 No. 7 特集 “飛躍する宇宙開発”

特集論文

- 宇宙開発特集に寄せて
- 21世紀に向けての宇宙開発
- 地球観測衛星
- リモートセンシング機器
- 衛星搭載大型展開アンテナ
- 通信衛星
- 衛星間通信機器
- 商用衛星搭載機器

●宇宙機

- 宇宙用次世代総合データシステム

普通論文

- 中部電力榑松ヶ枝変電所納め超高压地下変電所用変圧器設備
- 三菱高速データ検索システム
- フラッシュメモリ内蔵16ビットマイクロコンピュータ
- I²Cバスインタフェース対応16ビットマイクロコンピュータ
“M37709M 4 L X X HP”

三菱電機技報編集委員

委員長 田岡恒雄
委員 永田譲蔵 鈴木幹雄
都築鎮 大井房武
尾関竜夫 江頭英隆
水野久隆 東條孝雄
畑谷正雄 才田敏和
中井良雄 鳥取浩
幹事 長崎忠一
6月号特集担当 伊東克能
池田健志

三菱電機技報68巻6号

(無断転載を禁ず)

1994年6月22日 印刷
1994年6月25日 発行

編集兼発行人 長崎忠一
印刷所 千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01)
菱電印刷株式会社
発行所 東京都港区新橋六丁目4番地9号
北海ビル新橋 (〒105)
三菱電機エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」Tel.(03) 3437局2692
発売元 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101)
株式会社 オーム社
Tel.(03) 3233局0641代，振替口座東京6-20018
定価 1部721円(本体700円) 送料別

スポットライト

高速パレタイズロボット“RV-Tシリーズ” パレタイズ専用ロボットコントローラ“R-252C”

ロボットによる入出庫工程における荷積み、荷おろし作業自動化を一挙に加速する高速パレタイズロボット“RV-Tシリーズ”を製品化しました。可搬重量60・100・150kgの3機種に加え、60kg可搬で業界最高速 毎時1,100回の安定した荷積みを可能にしたSタイプの計4機種をそろえました。

また、オプションとしてパレタイズ作業のあらゆるノウハウを内蔵したパレタイズ専用ロボットコントローラ“R-252C”も同時に製品化しました。従来から提供してきました、荷崩れに強いデパレタイズビジョンセンサ、複数形状のワークを1パレットに混載する混載パレタイズシステム、パレタイズシステムのパッケージ製品であるパレタイズモデルシステムに、今回の高速で使いやすい新型パレタイズロボットとコントローラを加えることによって、簡単なパレタイズから複雑なパレタイズ/デパレタイズまであらゆるパレタイズ作業自動化の道が広がりました。

特 長

●業界最高速のパレタイズ作業が実現(RV-Tシリーズ)

どんな状態でも最適な加減速でロボットを制御する可変加減速制御技術と、高加減速でも振動を最小にする制振制御の採用により、高速で滑らかな動きのロボットが実現しました。

●省スペース(RV-Tシリーズ)

アーム長さのバランス設計により、狭くて低い天井の工場への設置も可能なコンパクトデザインのロボットです。

●インテリジェントで簡単操作のコントローラ(R-252C)

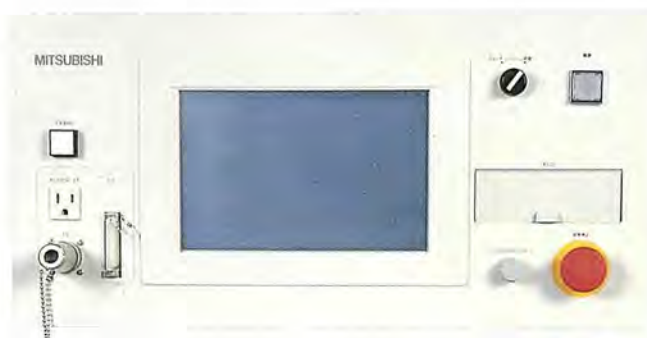
タッチパネル方式採用の簡単操作、ワークやパレットサイズの簡単な入力によるパレタイズプログラムの自動生成AI機能、その他システムの立ち上げから日常操作までのあらゆる機能を盛り込んだぎん(斬)新なコントローラです。



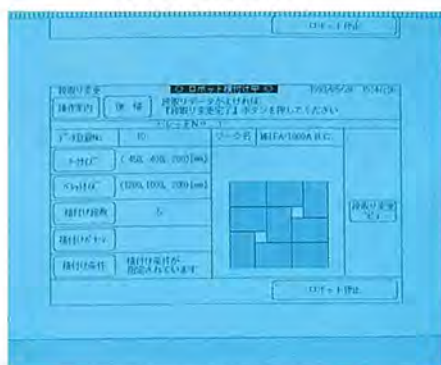
RV-Tシリーズの外観

■ロボット仕様

項 目		仕 様			
形 名		RV-T60-S	RV-T60	RV-T100	RV-T150
動作自由度		4			
駆動方式		オールデジタル・ACサーボ			
動作範囲	J1 (旋回)	320° (±160°)			
	J2 (前後)	138° (-42°～+96°)			
	J3 (上下)	111° (-11°～+100°)			
	J4 (手首)	540° (±270°)			
最大速度	J1 (旋回)	165°/s	135°/s	108°/s	
	J2 (前後)	110°/s	84°/s	67°/s	
	J3 (上下)	110°/s	84°/s	67°/s	
	J4 (手首)	360°/s	225°/s	180°/s	
最大可搬重量		588N (60kgf)		980N (100kgf)	1,470N (150kgf)
位置繰返し精度		±0.5mm			
処理能力 (条件) 袋物、 45°旋回動作	1,100個/時間		1,000個/時間		850個/時間
	本体重量 13,230N (1,350kgf)		12,740N (1,300kgf)	13,230N (1,350kgf)	15,680N (1,600kgf)
コントローラ重量		2,450N (250kgf)			
コントローラ外形		720(W)×540(D)×1,530(H) ただしR-252Cコントローラは720(W)×610(D)×1,530(H) (mm)			
電 源		3 相 AC 200/210/220V			
電源設備		6.0kVA	4.5kVA	6.0kVA	
周囲温度		0～45℃、ただしR-252Cコントローラは0～40℃			
周囲湿度		20～90%RH(結露なきこと)、 ただし、R-252Cコントローラは20～80%RH			
オプション		・本体架台 (500mm高) ・J1 (旋回)動作範囲 360°仕様 ・データ保存、読込み用3.5" フロッピーディスクドライブ(R-252C : オプション) ・外部通信機能 (RS-232C) ・拡張ユーザー開放入出力 (最大入出力56点まで拡張可能) このほかにも多くのオプションがあります。			



R-252Cの操作部



R-252Cの画面