

# 広帯域ISDN技術の動向

## Trends of Broadband ISDN Technology

近年, CCITT (国際電信電話諮問委員会)の標準化活動を背景に, 広帯域ISDN (Integrated Services Digital Network)構築の研究に多大の努力が注がれている。

広帯域ISDNではATM (Asynchronous Transfer Mode: 非同期転送モード)と呼ばれる従来のスロットッド リング方式のLANに類似した伝送・交換方式を中心に検討が進められており, 公衆網と私設網の関係はこれまでよりいっそう緊密になると予想される。

日立製作所でも広帯域ISDN用の伝送・交換および端末システム技術の研究に積極的に取り組んでいる。

本稿では, この技術動向を概観するとともに, 可変多重形加入者線伝送, 共通バッファ形交換スイッチ, 光スイッチなど日立製作所での研究内容の一端を紹介し, 今後の私設網システムの発展を考える一助としたい。

桑原 弘\* Hiroshi Kuwahara  
 高瀬晶彦\*\* Akihiko Takase  
 天田栄一\* Eiichi Amada  
 井上宏明\*\*\* Hiroaki Inoue

### 1 緒 言

公衆通信網は, 従来, 電話, 公衆データ通信など64 kビット/秒信号の伝送・交換を基本として構築されてきた。これらはISDN (Integrated Services Digital Network)として統合され, すでに1.5 Mビット/秒までの一次群サービスが提供されている。従来, 高速専用線を用いて構築されてきた私設広域網に対して, ISDNを利用する形態が進展すると予想される。さらに, 情報化社会の高度化に伴い, より高速・広帯域の通信に対する要求も増大すると考えられる。

広帯域網関連の標準化動向を図1にまとめた。広帯域ISDNは, 1984年からCCITT (国際電信電話諮問委員会)で標準化作業が始まった。その契機は1980年代初頭に, 世界各国で実施された広帯域加入者網のフィールドトライアルであった。これらは家庭向け映像分配を主なねらいとし, 標準化の議論も当初はこれを対象としていた。

一方, 広帯域構内網としてのLANの標準化は1985年ごろまでにほぼ完成され, ワークステーションおよびパーソナルコンピュータの高性能化, 低価格化による分散処理指向に伴いLAN設置数は近年急増している。これはLANの広域化, 高速化に対する需要を喚起し, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)でのMAN (Metropolitan Area Network)の標準化へとつながっている。

このようなLAN広域化への需要は, 広帯域ISDN標準化の

性格を一変させた。1985年に提案されたATM (Asynchronous Transfer Mode: 非同期転送モード)を基本とする広帯域ISDN標準化の作業は, MANとオーバラップする面が多く, 公衆網による高速LAN広域化が目標の一つとなってきている。

ATMは高速パケット転送の一形態であるものの, 高速デー

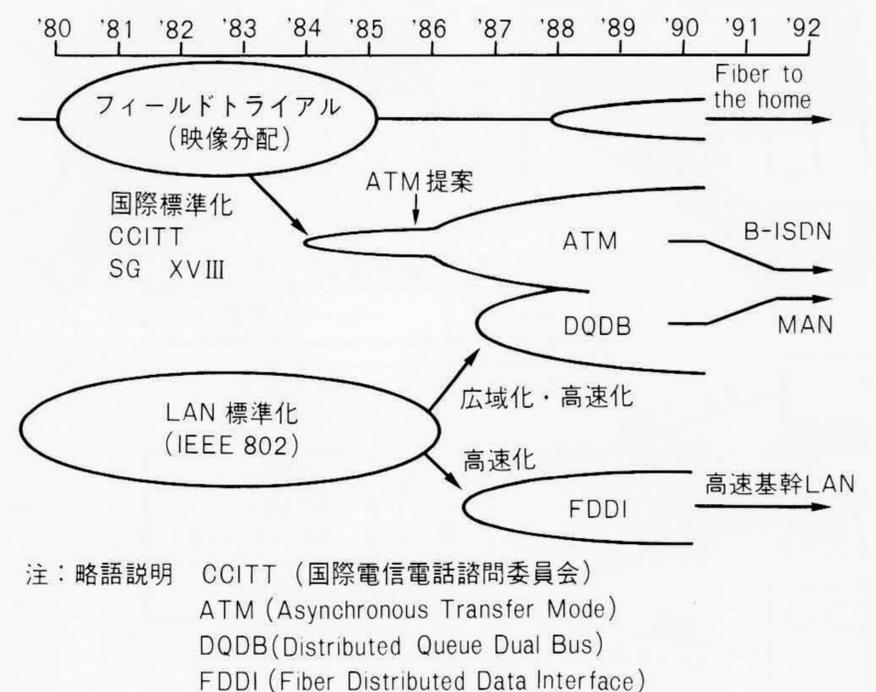


図1 広帯域網の標準化動向 LANの高速化・広域化としてのMANとB-ISDNがオーバラップしつつある。

\* 日立製作所中央研究所 \*\* 日立製作所中央研究所 理学博士 \*\*\* 日立製作所中央研究所 工学博士

タに限らず専用線を含むマルチメディア情報の統合的な伝送・交換をも可能とする。ATMをベースとする広帯域ISDNによってLANだけでなくマルチメディア私設網の広域化は容易かつ効率的に実現されるであろう。

こうした状況を背景に、本稿では日立製作所での広帯域ISDN研究の一端を紹介し、私設網の将来を考える一助としたい。

## 2 広帯域ISDNの概念

### 2.1 目的と用途

電話などの有線通信、テレビジョンなどの放送の双方を含めた通信発展のトレンドを考えると、マルチメディア化と広帯域化という二つの流れが浮かび上がってくる。マルチメディア化は、当初電話が主要な用途であった有線アナログ通信網から、ISDNのように音声・データあるいは圧縮画像といった複数のメディアを統合的に取り扱う形態へと進んできている。また、広帯域化については、放送の分野で見るとラジオからテレビジョンへ、さらに将来は高精細テレビジョンへと常に広帯域化の努力が払われている。データ通信の分野でもアナログ電話網でのモデムの高速化、さらにはISDNのデジタルでの高速化・広帯域化は一つの大きな流れである。

広帯域ISDNの主要な目的の一つは、マルチメディア化と広

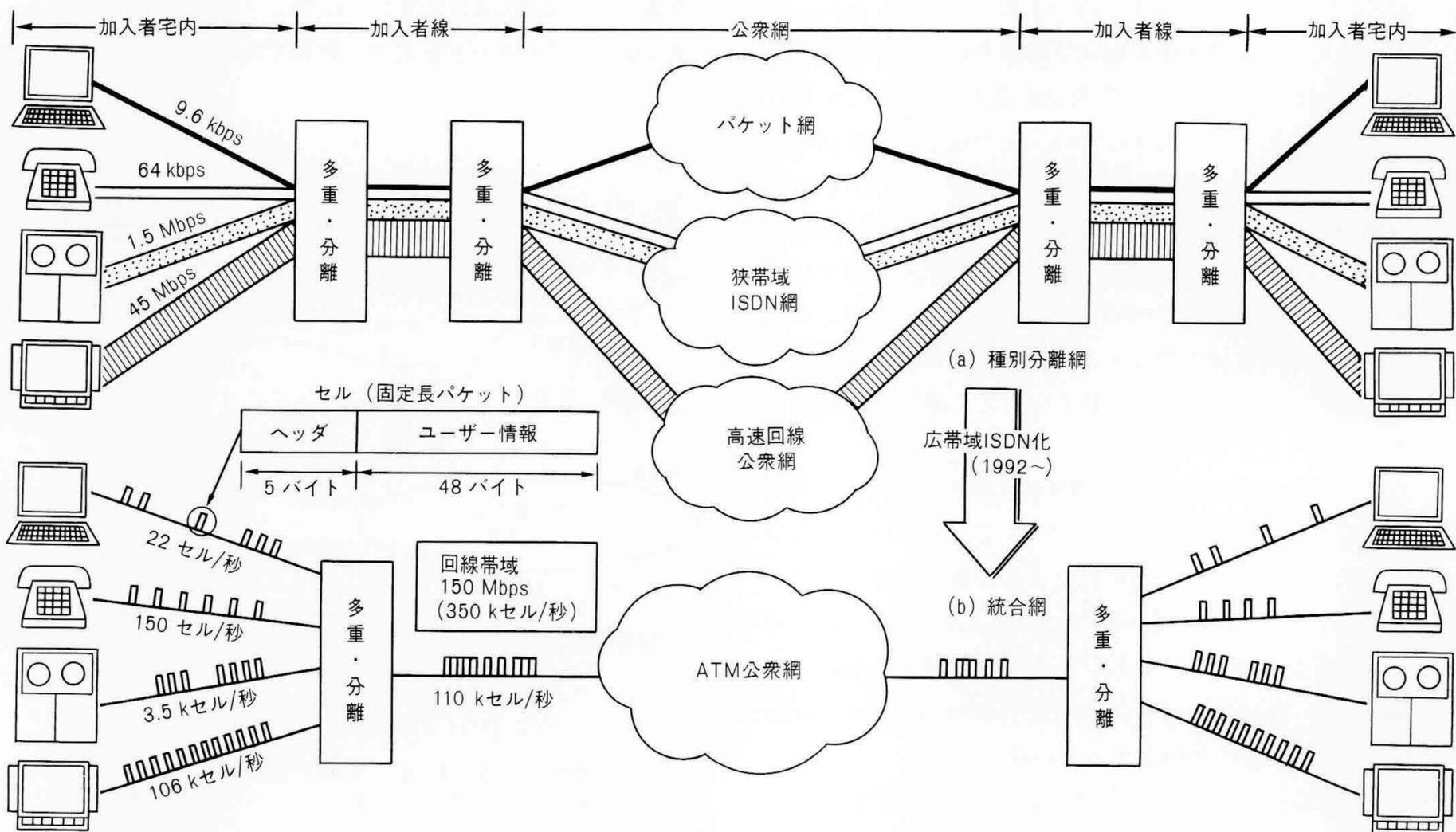
帯域化という二つの流れを統合することにあると考えられる。

### 2.2 網構成技術

広帯域ISDNを支える技術を考えてみる。網の広帯域化に対しては、まず光技術による伝送や交換の高速化が挙げられる。光伝送は基幹中継伝送系ですでに多重化数の増加という形で利用されている。しかし、光加入者線という形で、加入者まで光ファイバが布設されて初めてその広帯域性を端末から利用できることになる。この光伝送技術の動向については3章を参照されたい。また、光交換に関しては研究がまだ緒にすぎたばかりであるが、4章の4.2節で構想の一例を述べる。

広帯域ISDNのもう一つの課題であるマルチメディア化を支える技術は、基本的には取り扱うメディアのいかんにかかわらず統合的に伝送・交換ができる情報転送方式と同時に伝送・交換をコストパフォーマンスよく実現するハードウェアおよびソフトウェア構成法である。

広帯域ISDNの実現方法を図2に概念的に示す。同図の(a)は最終的な統一網である広帯域ISDNへ至る過渡的な一形態として考えられるものである。加入者回線インタフェースとして9.6 kビット/秒、64 kビット/秒、1.5 Mビット/秒、45 Mビット/秒のように数種類の速度のものを用意しておき、メディアが必要とする帯域によって適当な回線を選択する。このような網形態の問題点は、各メディア情報は加入者線までは多



注：略語説明 ISDN (Integrated Services Digital Network)

図2 広帯域 ISDNによるマルチメディア統合化 各種メディア間の情報ビットレート、情報発生のトラヒック的性質の差異にかかわらず、統合的に伝送・交換できる。

重化されてはいるものの、基本的には回線種別に網が分かれているため、網間にまたがる相互接続や複数回線を同時に用いたマルチメディアサービスの実現に制約が多い。

一方、広帯域ISDNの有力な実現形態としてCCITTが1990年勧告を目標に標準化を進めており、これを背景に世界各国の研究機関が開発に力を注いでいるATM方式による網が図2の(b)である<sup>1)</sup>。ATM網では各種メディアの情報を長さが一定の packets (以下、セルと言う。)に分割し、あて先(ヘッダ)をつけて転送する。このようにすべてのメディアをセル形態で統一的に取り扱う方式は1984~1986年ごろにフランス郵政省の通信研究所<sup>2)</sup>や米国のベル研究所のJ. S. Turnerなどによって提唱されたものである。各端末からのメディア情報速度に対応して毎秒のセル発生数を図2で示してあるが、このセル発生は電話やテレビジョンのような実時間メディアでは一定間隔で発生し、データ端末などではバースト的に不均一な間隔で発生することになる。現在の標準化案では加入者線の伝送速度は、150 Mビット/秒または600 Mビット/秒であり、各端末から発生するセル数はこれらの伝送速度に対し合計毎秒350 kセルまたは1,400 kセルを超えない範囲で自由に設定できる。交換網ではヘッダを見ることによって、そのセルの情報種別やあて先を判別し、あて先方路別への多重や交換を行う。ATM方式は従来のX.25パケット交換と類似しているが、高速化を実現するためプロトコル(通信手順)はX.25よりも大幅に簡略化されている。

ATMによる情報転送プロトコル構造をOSI(Open Systems Interconnection)のレイヤ構造と対比して図3に示す。OSIのレイヤ1に相当する部分を3分割して、ATMレイヤで多重・交換の転送処理を行う。ATM網には先に述べたユーザー情報を運ぶセルのほかに、呼制御セルと呼ばれるセルも転送され

る。これは端末と交換機の間で送受される呼設定用の制御情報を転送するために用いられる。ユーザー情報セルの交換処理はユーザー情報を転送する端末間に呼(論理接続)を設定することによってより簡単化され高速性を確保できる。

以上述べたように、全メディア情報を同一のセル形式で伝送交換することによって、サービスの統合性や設備の共用性を確保できる。

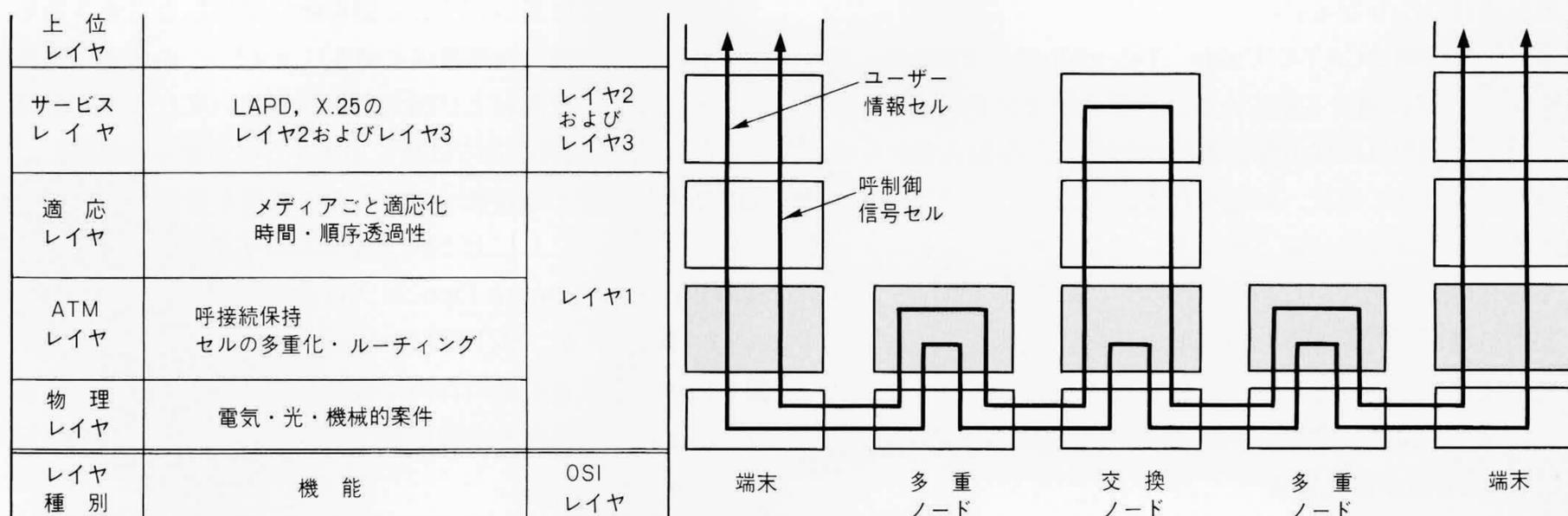
### 3 加入者線伝送技術

#### 3.1 加入者線伝送システム構成

広帯域加入者線伝送には、新たに光ファイバを加入者対応で布設することが必要であり、システムの経済性に対する影響がもっとも大きい。経済的な広帯域ISDNシステム構築のためには、伝送装置そのものの経済化とともに、複数加入者の設備共用化による加入者当たり伝送コストの低減が重要である。特に、導入当初には広帯域交換局の数が少なく、遠方に分散する加入者を効率的に收容するための遠隔多重化技術がシステムの経済性を左右する。

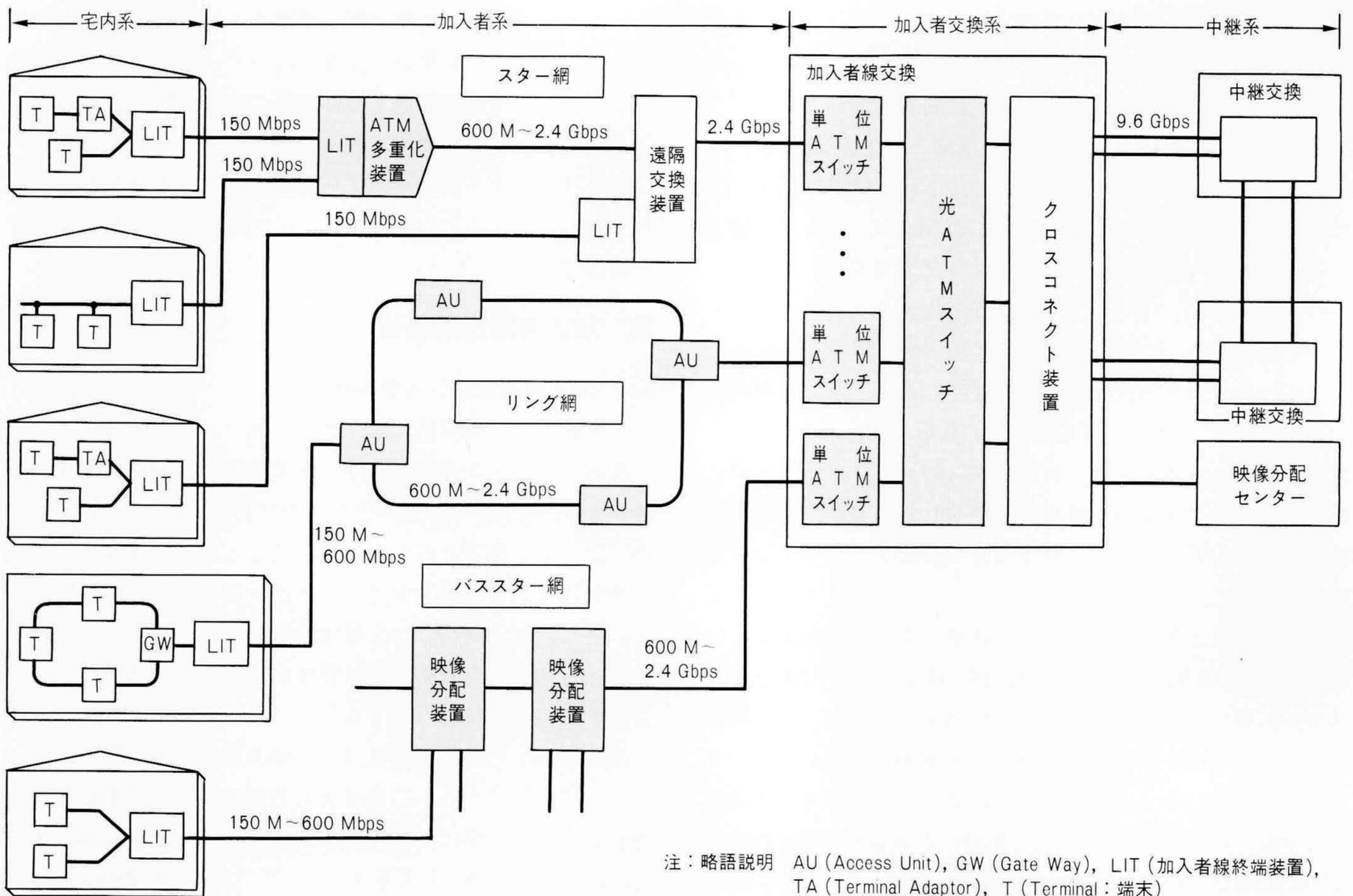
図4に示した各種網構成は、遠隔多重化の適用形態の違いによって分類できる。広帯域加入者網での遠隔多重化では線路長の低減と同時に、各加入者が使用していない伝送容量を他の加入者に融通する多重化によって、コストの低減を図る。これはATM伝送で、いわゆるパケット多重化が可能であることに基づいている。

スター網ではATM多重化装置によって数十加入者程度のユーザー情報を多重化し、遠隔交換装置に收容する。スター網は收容区域内通信トラヒックが少なく、大半の情報が遠隔交換装置まで転送される場合に適する。また、この構成では遠隔多重化装置によって集中的に処理するため、一加入者の障



注：略語説明 LAPD (Link Access Procedure on the D-channel), OSI (Open Systems Interconnection) X.25 (データ通信のOSIレイヤ2およびレイヤ3プロトコルのCCITT標準)

図3 ATMセル転送プロトコル処理構造 ATMセルは、各ノードのATMレイヤでヘッダに含まれるルーティング情報によって多重・分離あるいは交換処理をされる。



注：略語説明 AU (Access Unit), GW (Gate Way), LIT (加入者線終端装置), TA (Terminal Adaptor), T (Terminal: 端末)

図4 広帯域ISDNのネットワーク構成例 広帯域ISDNでは、端末の入出力系から中継系までATMセルを基本形式として情報が転送される。

害が他の加入者に波及しない、二重化などによる高信頼化が容易などの特徴がある。さらに、トポロジーとして既存の電話網との整合性が良いため、既存の電話サービス、狭帯域ISDN、高速専用線などの収容が容易である。このことは、複数通信サービス間の設備共用化による通信システム全体としての経済化につながる。

バススター網はCATV (Cable Television) などの分配(放送)形サービスに適する網である。映像分配センターからの多チャンネル映像信号は映像分配装置に分配され、各加入者からのコマンドによって選択、転送される。

リング網ではスター網と異なり、アクセスユニットによって多重化の分散処理が行われる。リング網では多重化と同時に交換処理も可能であるため、同一リングに収容される加入者間の通信トラヒックが多い場合に適する。このようなリング網はMANと呼ばれる網形態の一種である。

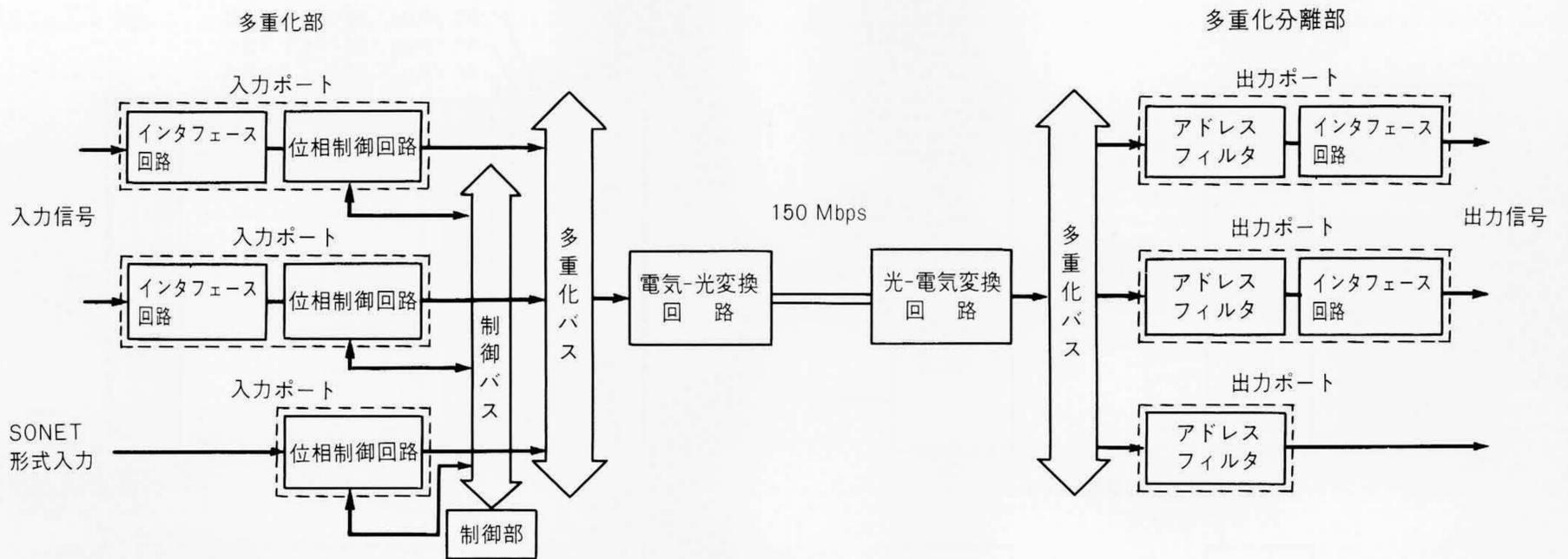
### 3.2 加入者線多重化技術

前節で述べたように、広帯域加入者網の導入では既存通信サービスの収容と広帯域ISDNへの移行の両立に配慮する必要がある。特にビジネスユースに関しては、高速デジタル専用線の収容が鍵(かぎ)となる。現在、6.3 Mビット/秒までの

サービスが提供されており、近い将来45 Mビット/秒、150 Mビット/秒といったより高速なサービスへの需要が高まることが予想される。このような多様な要求にこたえながら、かつ将来のATMを基本とする広帯域ISDNへの拡張性を考慮した多重化技術が必要となる。

上記の考え方に基づいて日立製作所で試作した可変多重形加入者線伝送装置の原理構成を図5に示す<sup>3)</sup>。この多重化装置は、遠隔多重化装置および加入者線終端のいずれにも適用可能である。加入者線終端では複数端末からの情報を多重化し、遠隔多重化装置では複数加入者からの情報を多重化する。多重化伝送フレームには1988年にCCITTで標準化されたSONET (Synchronous Optical Network) 形式の伝送フレーム<sup>4)</sup>を用いている。SONET形式伝送フレームの基本構成を図6に示す。伝送制御のために必要な信号をオーバーヘッド部分に、伝送する情報を情報部分に収容し、同図に示す伝送順序で伝送する。

本試作装置では以下の手段によって、伝送信号種別に対応した伝送フレームの自動生成を実現している。高速の多重化バスに接続された複数の入力ポートは、インタフェース回路と多重化位相制御回路から成る。インタフェース回路は入力



注：略語説明 SONET (Synchronous Optical Network)

図5 可変多重形加入者線伝送装置 多重化部は、多重化バスへの信号送出時間をずらすことによって時分割多重化を行う。分離部は、バスから自ポートあて信号を抽出する。図は片方向だけを示している。

信号を図6の情報部分に、伝送制御信号をオーバーヘッド部分に挿入することによって、SONET形式伝送フレームを生成する。位相制御回路は複数の入力信号がバス上で衝突しないように、多重化バスへの信号送出を制御する。複数入力間の競合制御は、制御バスを通じて収集した入力信号種別情報に基づいて制御部が行う。また、制御部は分離側の出力ポートを指定するために、出力ポート番号を信号に付加する。分離部は分配バスを通じて各出力ポートに分配された信号から自ポートあての信号を取り出すことによって、多重信号の分離を行う。

試作装置では1.5 Mビット/秒から150 Mビット/秒までの6

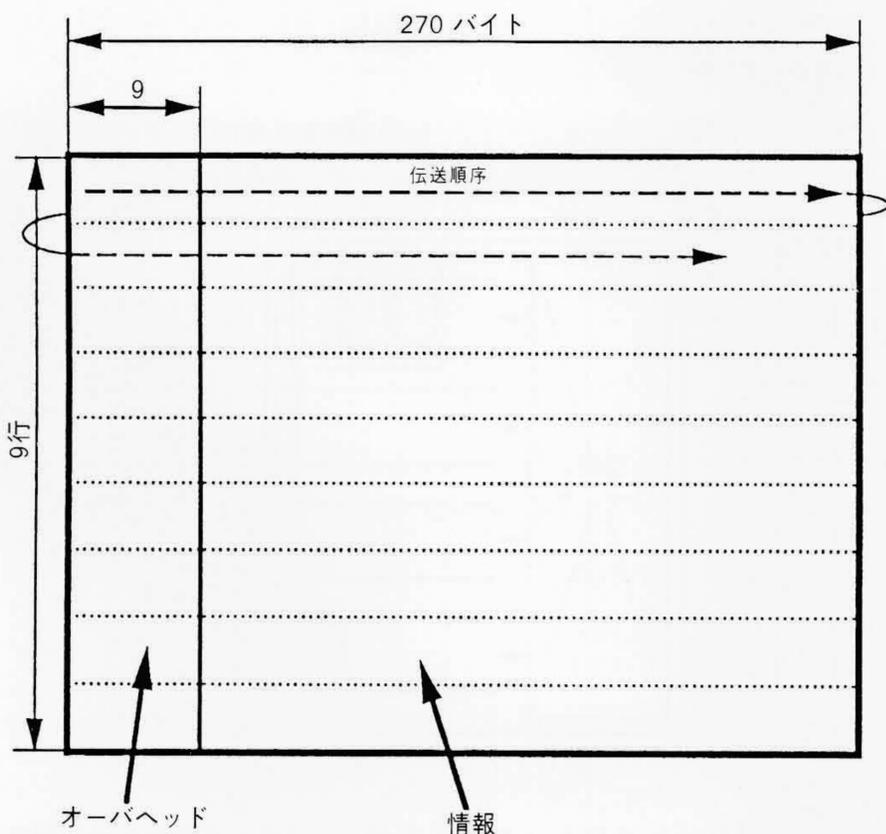


図6 SONET形式伝送フレームの例 図のフォーマットを8 kHz周期で繰り返すことによって、150 Mビット/秒伝送信号とする。

種類の入力信号に対応しており、多重化速度は150 Mビット/秒である。

試作した多重伝送装置を用いて構成した、広帯域伝送実験システム例を図7に示す。同図(a)は複数の50 Mビット/秒専用線を提供する構成、(b)はATM交換機と接続する広帯域ISDNの構成である。このように本多重伝送装置は、用途に応じた柔軟な適用が可能である。

#### 4 ATM交換技術

公衆通信網を構成する交換スイッチの入出力回線収容規模は、1,000回線(1回線当たり150 Mビット/秒または600 Mビット/秒)以上を考える必要がある。このような大規模なスイッチは、16×16または32×32程度の規模を単位スイッチとして、これを3~4段接続する方式がとられる。しかし、さらに大規模なスイッチを構成する場合は、段間接続に多数の高速局内ケーブル伝送が必要なため電気回路実装上の問題を生ずるが、将来の光技術の適用によって回避可能と考えられる。

ここでは、日立製作所で提案したATM交換機のスイッチングネットワーク構成単位としての32×32規模のATMスイッチと、大規模スイッチを構成するための光ATMスイッチ方式について述べる。

##### 4.1 単位ATMスイッチの構成法

ATMスイッチは、入力端子から出力端子へセルをスイッチする空間スイッチ機能と、複数入力端子から同時に同じ出力端子へ向かうセルどうしの衝突による紛失を防ぐため、セルの出力を待ち合わせるセルバッファ機能を基本要素として構成される。セルバッファ構成方式としては、バッファを入力端子側に設ける入力バッファ形と出力端子側に設ける出力バッファ形とがある。しかし、入力バッファ形にはスイッチのスループット特性を劣化させる要因があり、これを補うため

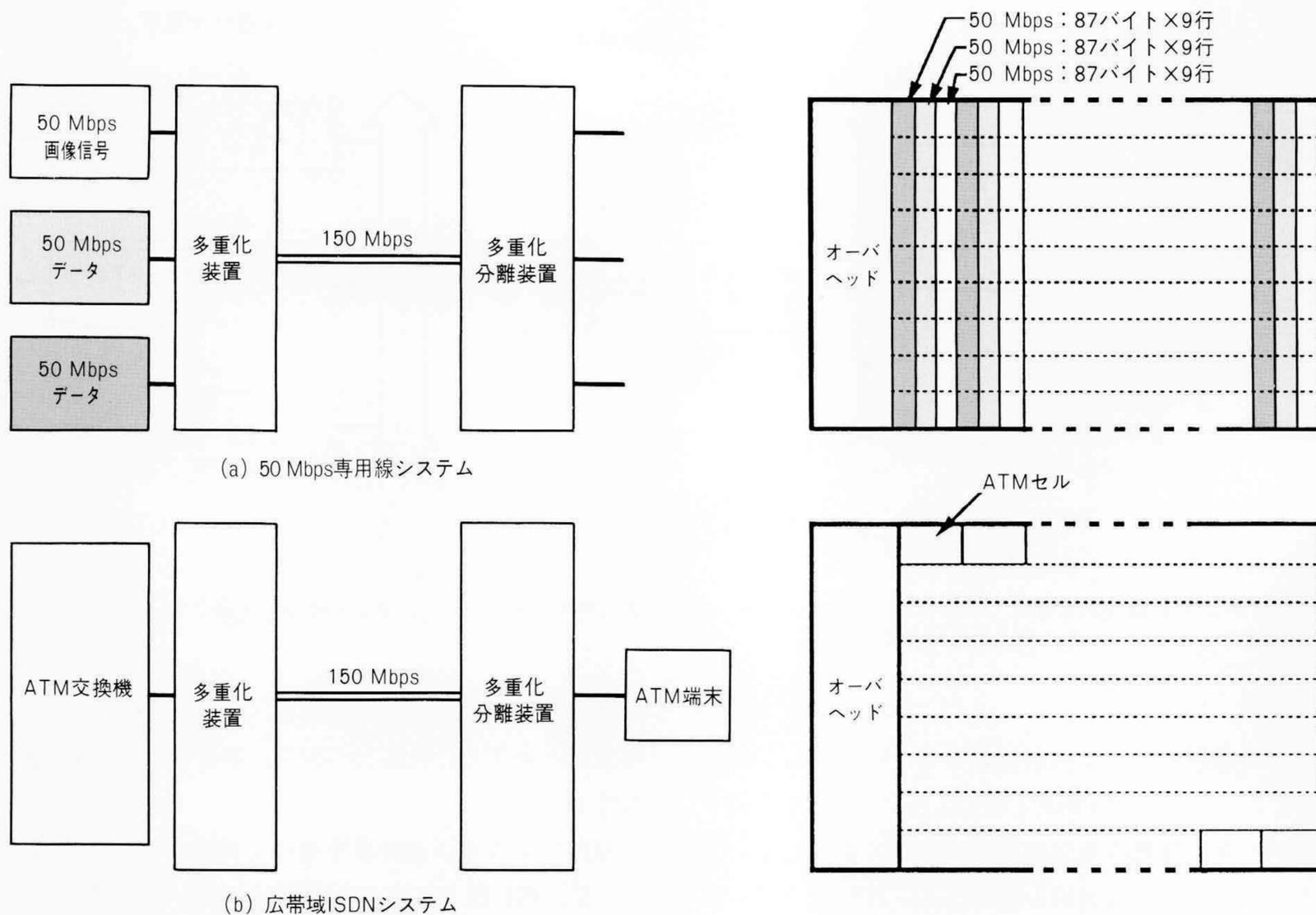


図7 試作装置を用いた広帯域伝送実験システム 入力信号に応じて多重化信号を自動生成するため、多様なシステム構成が可能となっている。右側に伝送フレーム構成を示す。

にはスイッチ構成素子としてより高速なものが要求される。したがって、ハードウェア技術からみた場合、このような劣化要因のない出力バッファ形が好ましい。従来、出力バッファ形スイッチとしては出力端子ごとに個別バッファを置いたものが提案されていた<sup>9)</sup>が、日立製作所は複数の出力端子間で出力バッファを共通に使用することによって、バッファの必要容量の削減を図るアーキテクチャを提案し、試作を行った<sup>9)</sup>。

開発方式の原理を4×4スイッチ構成の場合を例にとって図8に示す。同図の例では、出力端子番号1の端子にセルが集中し、3セル分の出力待ち合わせ行列ができていることを示している。このような出力セルの集中は、通常のトラヒック状態では、どの出力端子に対しても同じ確率で起こるため、バッファを各出力に個別に割り当てる方式では必要なバッファ容量は各出力端子あたり3セル分ずつ、すなわち同図の例では12セル分となる。しかし、入力セル数は入力回線速度と入力端子数で上限が決まるため、ある出力端子にセルが集中した場合は、他の出力端子にはほとんど待ち合わせ行列はできない。したがって、出力端子間でバッファを共通化すれば、必要なバッファ容量はスイッチ全体で4セル程度で十分のはずである。

8×8スイッチを実際に試作し、セルがランダムに到着するトラヒックに対して、バッファ容量削減効果を実測した結果を図9に示す。セルバッファのオーバーフローによるセル紛失率

を、学会などで現在目標値とされている $10^{-9}$ 以下に抑えるのに必要なバッファ容量は、個別バッファ方式と比較して約 $\frac{1}{5}$ に削減されることがわかる。

この共通化バッファ形ATMスイッチ(32×32)の構成を図10に示す。各入力端子からの入力セルは多重化され、1セルず

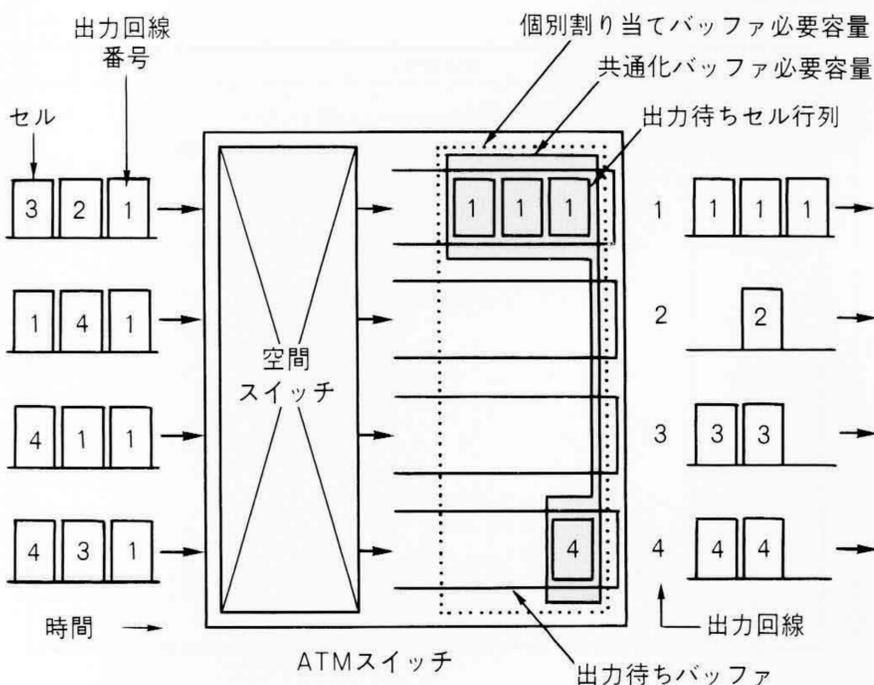


図8 共通化によるバッファ削減原理 スwitchの出力端子間で出力待ちバッファを共通使用することによって、バッファ必要容量が削減できる。

つ共通化セル バッファ メモリの空アドレスに書き込まれる。各出力端子に対応する出力セルの待ち合わせ行列は各セルと同じアドレスに同じ行列につながる次セルのアドレスを書き込み、アドレスチェーンを構成することによって示される。1対のライトとリードのアドレスレジスタは、このアドレスチェーンの末尾と先頭のアドレスを示す。共通化バッファメモリの空アドレスは、空アドレスメモリに蓄積され、新規入力セルに対して空アドレスがそこから取り出されて割り当てられ、出力セルのアドレスがそこへ戻される。以上によりバッファメモリは出力待ち合わせ行列のセル数に応じて割り当てられ、出力端子間で共通使用することができる。

#### 4.2 光技術のATM交換機への適用

広帯域ISDNの実現には狭帯域ISDNに比較して約3桁帯域

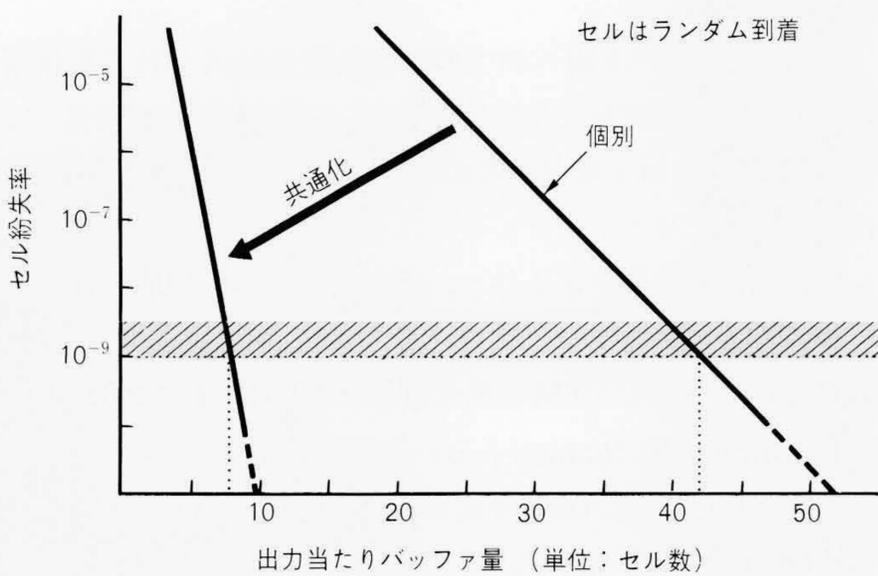


図9 共通化によるバッファ削減効果(実測) 共通化バッファ形ATMスイッチ(8×8規模)を試作・評価した実測値で、バッファ削減効果が確認された。

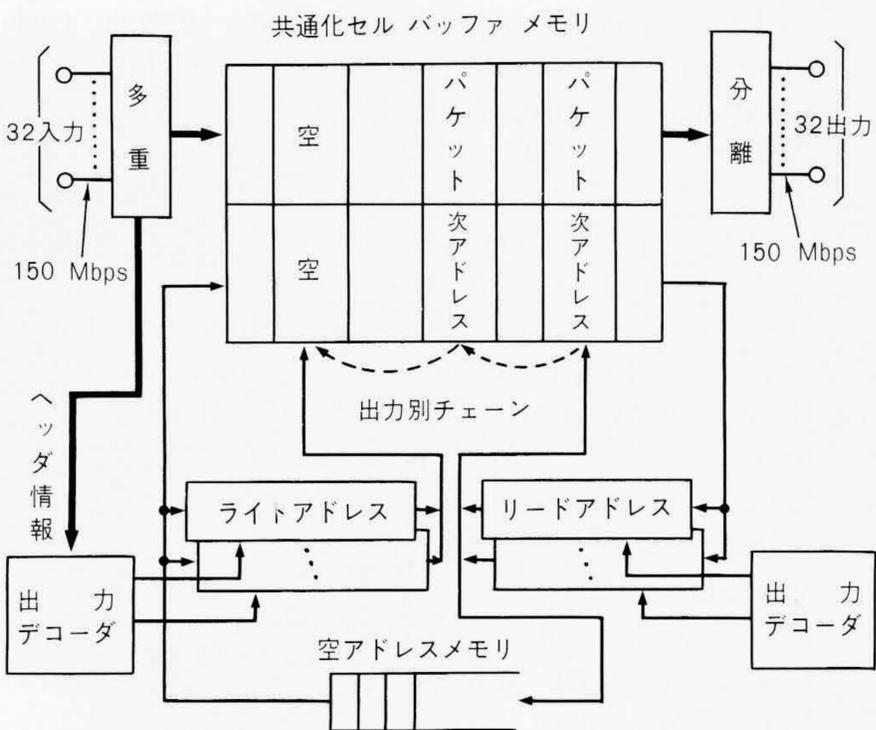


図10 共通化バッファ形メモリスイッチ 出力端子別のアドレスチェーンを待ち合わせ行列とすることによって、共通化バッファの容量の範囲内で必要に応じて待ち合わせ行列長の割り当てを可能とする。

の広い信号の伝送・交換が必要となり、光技術の持つ高速・広帯域性が注目されている。交換に関しては従来から電気、電子的に実現されてきたが、広帯域ISDNの本格的普及期では、1,000端子以上(スループット150 Gビット/秒以上)の大容量の交換機が必要になると予想され<sup>6)</sup>、これを実現する手段として光技術が有力候補の一つと考えられる。また最近、光素子に関する研究、開発も進展し、広帯域伝送に用いられるレーザーダイオード、ホトダイオードをはじめ、光スイッチ、光メモリ、波長変換素子などの光交換の実現に必要な機能素子の開発も進んでいる。このような背景から、光技術の交換系への適用に関する検討が盛んに行われ、特に回線交換に関しては検討例、あるいは試作例も多く、光スイッチを電気接点の代わりに用いて広帯域化する方式<sup>7)</sup>が代表的な例である。一方、広帯域ISDNで用いられるATM交換方式では、セルの一時記憶機能、セルのあて先を解析するための論理処理機能など、回線交換と比較して高度の機能を持つ光素子が必要であり、光技術だけでATM交換機を実現するのは現状では容易でない。そこで、光の広帯域性を生かしながら、光技術で実現が困難な部分は電子的に実現するハイブリッド形の光交換システムが最近提案されている<sup>8),9)</sup>。ここではその一例として、日立製作所が提案した空間分割形光スイッチを利用したATM交換方式について述べる。

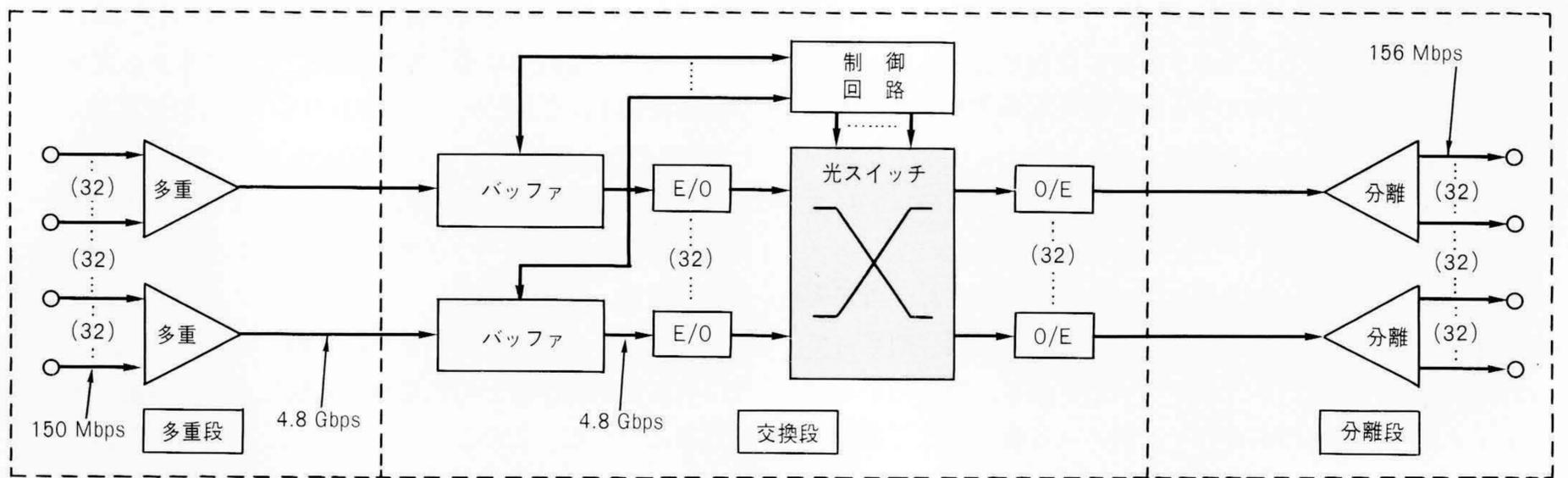
提案する交換機の構成を図11に示す。この交換方式の基本的な考え方は、

- (1) 入力された150 Mビット/秒の信号を複数多重して広帯域の信号とし、これを光スイッチを用いて交換する。光スイッチを高速に切り換えることで、ATMセルの交換機能を実現する。
- (2) セルの一時記憶、衝突制御、光スイッチ制御は電氣的に行う。

の2点である。複雑な論理処理は必要であるが、低速でよい部分は電子的手段で実現し、高速・広帯域が必要な部分に光技術を適用することによって、実現性を高めるとともに大容量化を可能としている点が特徴である。

交換機は、入力された信号を多重する多重段、多重された信号を交換する交換段、および多重された信号を分離して所定の出力回線に出力する分離段で構成している。交換段には32回線分の信号が多重された4.8 Gビット/秒の信号が入力される。入力されたセルのあて先に応じて空間分割形光スイッチの接続を設定すれば、同時に複数のセルを所望のあて先に分配できる。同一のあて先に向かうセルが複数個ある場合には、衝突が発生しないように一つだけが制御回路によって選択され、他のセルはバッファに一時記憶される。32×32の光スイッチを用いれば総スループット150 Gビット/秒が実現できる。このようなハイブリッド交換方式の利点は、以下の二つと考えられる。

- (1) 多重された信号を交換するので、光技術を効率的に適用



注：略語説明 E/O (電気-光変換器), O/E (光-電気変換器)

図11 光ATM交換機の構成 光スイッチは、入力セルごとにヘッダの示すルーティング情報によって切り換わる。多重段・分離段は4.1項で述べたATMスイッチを単純化して適用できる。

できる。特に、光スイッチの高速・広帯域性を活用できる。

(2) 交換段の伝送速度は4.8 Gビット/秒と高速であるので、交換段での遅延特性が多重しない場合に比較して改善でき、また必要なバッファ量も削減できる。

以上、光技術を適用したATM交換方式について述べたが、実用化に当たっての課題は多い。システム的には光部品の実装方式、高速クロックの分配方式が大きな課題である。また、デバイスに関してはシステム実現のキーとなる低損失、高速光スイッチの開発が挙げられる。試作した半導体光スイッチ<sup>9)</sup>の外観を図12に示す。半導体にキャリアを注入した際の屈折率変化を利用したもので、現状4×4の構成で損失23 dB、応答時間3.5 nsが得られている<sup>9)</sup>。しかし、目標とする性能を実現するためには低損失化、大容量化など多くの技術課題を解決する必要がある。

## 5 結 言

広帯域ISDNの実現へ向けての技術開発動向と日立製作所での主要開発状況を紹介した。現状の広帯域ISDNの研究フェーズでは、ATM交換など方式の原理確認実験やシステム実現性のフィジビリティチェックは一段落し、サービスの面からみた網に対する要求条件と、網が具備すべき機能・性能を見極めることが重要な研究課題である。

私設網としてもATM多重化装置、ATM方式のPBX (Private Branch Exchange)あるいは広帯域ISDNによる公衆網を前提とした高速LAN間接続方式などを考えていくとともに、CCITTなどの標準化に当たり、各種要求条件を反映させる活動が必要な状況になってきている。

## 参考文献

- 1) 川原崎, 外: ATM通信技術の動向, 電子情報通信学会誌, 806~813(昭63-8)
- 2) A. Thomas, et al.: Asynchronous Time-Division-Technique: An Experimental Packet Network Integrating Videocommunication, ISS '84(May, 1984), 32C2
- 3) 高瀬, 外: 広帯域ISDNにおける可変多重化方式の一検討, 交換情報ネットワークワークショップ(昭63-3)
- 4) CCITT 1988年版勧告 G. 707, 708, 709
- 5) Y. S. Yeh, et al.: The Knockout Switch: A Simple, Modular Architecture for High-Performance Packet Switching, IEEE JSAC Vol. SAC-5, No.8, Oct. 1987.
- 6) H. Kuwahara, et al.: A Shared Buffer Memory Switch for an ATM Exchange, ICC '89, 1989-6, 4-4
- 7) 鈴木, 外: 偏光無依存8×8マトリクス光スイッチを用いた空間分割形光交換機の試作, 電子情報通信学会交換システム研究会, SSE88-150(昭63-12)
- 8) K. Y. Eng: A Photonic Knockout Switch for High-Speed Packet Networks, IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.6, No.8, 1988.
- 9) H. Inoue, et al.: InP Based 4×4 Optical Switch Module and Its Application to ATM Switching, Technical Digest of Topical Meeting on Photonic Switching, 1989.

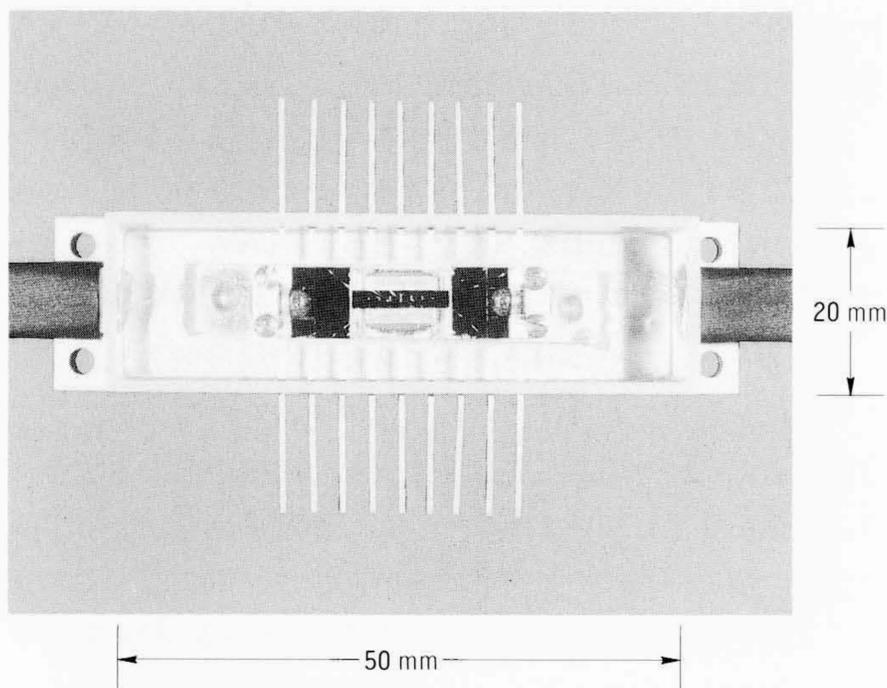


図12 4×4光スイッチモジュール おのおの4入出力端子が非閉そく結合するように、16個の単位光スイッチがアレー状に集積化され、各入出力端には光ファイバが一体モジュール化されている。