

# 解説

## 光アクセスシステム

山 下 一 郎

NTT 光ネットワークシステム研究所 〒238-03 横須賀市武 1-2356

(1995年1月9日受理)

### Optical Access Systems

Ichiro YAMASHITA

NTT Optical Network Systems Laboratories,  
1-2356, Take, Yokosuka 238-03

#### 1. VI&P とは

1960年代の後半から電話サービスを主力商品とする通信網の爆発的拡大と高度化が推進され、現在では世界のあらゆる場所から、あたかも隣の家から電話をかけているかの如く、手軽にしかも明瞭に電話をかけることができる。この通信のネットワークは人類が作った世界最大の巨大システムである。しかもこの通信ネットワークは銅線と電子を駆使した電話サービスに照準を合わせたネットワークである。

1980年代に入ると、この銅線と電子を駆使した通信技術に代わる新しい通信技術、すなわち光通信技術が台頭してきた。NTTから1985年に光加入者システムの唱導<sup>1)</sup>が、1988年にはテラビット伝送方式の提唱<sup>2)</sup>が行われ、光ファイバーと光子を駆使した新しい通信ネットワークの研究開発が進められた。

その結果、NTTにおいては1987年にギガビット伝送方式が中継系に導入<sup>3)</sup>され、1990年代後半の完成を目的に加入者システムの開発が進められている。

これを受けて1990年にNTTは21世紀初頭に向けて「世界的な視野に立った技術開発をもとに、最高のサービスと信頼を提供し続け、豊かな生活・文化の創造に貢献する」との理念のもとに「新高度情報通信サービス(VI&P)<sup>4)</sup>」ビジョンを掲げた。計画の概要を図1に示す。

VI&Pサービスとは、高速・広帯域化と知識化の進んだISDN(integrated services digital network)を活用して映像を中心とする「見える(visual)」サービス、ど

こにいても相手を捜し出したり通信したりできる「賢い(intelligent)」サービス、一人ひとりの好みに優しく応える「私の(personal)」サービスの総称である。これはすべての家庭を光ファイバーで結び、通信ノード間を超高速度デジタル通信システムで構成することにより達成できるものである<sup>5)</sup>。

このVI&Pサービスビジョンのみならず、米国においてもスーパーハイウェイ構想<sup>6)</sup>が提唱され、世界各国においてコンピュータ業界と通信業界やCATV業界の狭間でマルチメディアがもてはやされ、情報通信政策の動きが活発である。

#### 2. FTTH とは

前節で述べた光アクセス網のなかのループ網で用いられる光アクセスシステムについて述べる。

光アクセスシステムの構成については種々の方法があり、ユーザーがホームユーザーかビジネスユーザーか、光通信機器の設置形態が屋外か屋内か、さらには共用タイプか専用タイプか等等でその呼称が異なる。

これらを整理して表1<sup>7)</sup>に示す。まず、光ファイバーを複数のユーザーで共用するか一人で専用するかの共用性で分類した。次に、光アクセスシステムの終端点に配備されるONU(optical network unit)の設置場所で分類した。最後に、ユーザーがホームユーザーかビジネスユーザーかのユーザー種別で区分した。また、電話局相互を全国規模で結ぶ中継系では既に莫大な光伝送システムが導入されており、現在は中継系から(または電話局から)ユーザー宅に向かって光伝送システムをいかに

伸延させるか、換言すると、ユーザー宅に向かってメタル線をいかに減短させるかが光アクセスシステムの尺度の一つでもあるので、この順序に並べてみた。

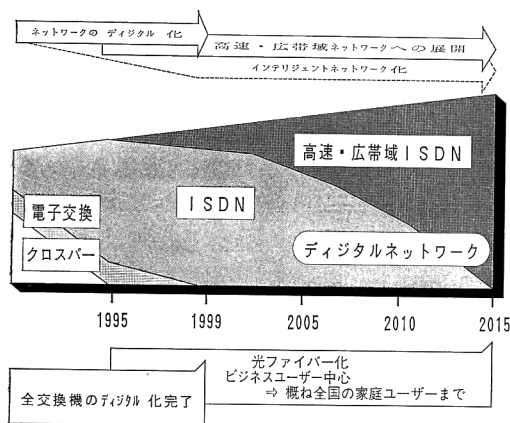


図1 ネットワークのデジタル化、高速・広帯域化の進展<sup>4)</sup>

FTTR は田園都市のような交換局から遠く薄くユーザーが散在するエリアでユーザーへの情報を途途中で光伝送システムで多重集約する方式であり、数十 km であったメタル線の長さは 10 km 未満となる。これにてメタル線の長さは全国都市並みの 10 km 未満に統一される。

FTTC は 10 km 未満のメタル線をさらに減短させるもので、ONU を道路脇や電柱に設置し、ここまでユーザーへの情報を多重集約する方式である。これにてメタル線の長さは 100 m 程度に減短される。しかし光ファイバーは伸延したもののメタル線は残っているので、VI&P サービスを提供するためにはメタル線で短距離高速デジタル伝送をしたり、既存の同軸ケーブルを活用したりすることが必要となる。

FTTF/FTTB は ONU を建物のなかに設置する方式であり、屋外設備としては完全に光化されたこととなる。ただし、建物内の配線として 10 m 程度のメタル線が残る。

表 1 光加入者システムのタイプと呼び方<sup>7)</sup>

ONU 形式		ユーザーの種別		システム構成のイメージ	
使用形態	設置場所	ビジネスユーザー	ホームユーザー	メタリックペア線の長さ	
共用	屋外	FTTR			10km 未満
	路上	FTTC			100m 程度
専用	屋内	FTTF/FTTB			10m 程度
	宅内	FTTO	FTTH		0m

- (凡例)
- 局 局
  - RT 遠隔局
  - 光ファイバー
  - メタル対線
  - ビジネスユーザー
  - マンション等のホームユーザー
  - 一戸建て住宅のホームユーザー
- FTTR: fiber to the rural  
 FTTC: fiber to the curb  
 FTTF: fiber to the floor  
 FTTB: fiber to the basement  
 FTTO: fiber to the office  
 FTTH: fiber to the home

以上の方式はすべて ONU を複数のユーザーで共用するものであるが、FTTO や FTTH は ONU を一人のユーザーが専有する方式であり、かつ、メタル線の長さは 0m である。しかも 21 世紀のサービスである VI&P サービスを伝送することができるので、世界各国とも FTTH を光アクセスシステムの究極の目標としている。これに向かったプロセスとして先述の FTTR, FTTC, FTTF/B, FTTO があると認識されたい。

では、なぜ直ちに FTTH に至らないのか？ それは FTTH システムの需要と供給のバランスである。FTTH システムは光システムを一人のユーザーで専有する形態であるので、そのコストが他のシステムと比較して割高である。正確には他のシステムがより割安であると言ったほうが適切であるが……。そこで、供給の面では世界各国とも FTTH システムの経済化に向けたシステム研究開発<sup>9)</sup>と光部品研究開発<sup>9)</sup>が活発なのである。一方、需要の面ではデジタル処理技術やコンピュータ技術の発展と連動して、放送映像のデジタル化<sup>10)</sup>、通信カラオケ、VOD、地域情報ネットワークサービス<sup>11)</sup>等々のマルチメディアサービスと呼ばれる新しいサービス開拓の研究開発が活発である。その背景には、既設の線材を生かせるという利点は最高であるが、既設のメタル線や同軸ケーブルで VI&P サービスを提供するには雑音との厳しい戦いが残っているからである。平坦だが果てしないイバラの道 (FTTC) を歩むか、山を登り切る必要があるが前途洋々とした道 (FTTH) を歩むかの選択である。しかもここには将来とも電話サービスを主体に考えるか、早急に電話サービスを含めた多種多様なサービス形態に備えるかの経営的な判断も作用する。

### 3. 光アクセスシステムの構成と狙い

ここでは、主に FTTH を対象とした光アクセスシステムの構成について述べる。

システム側面からの光アクセスシステムの経済化においては、いかに「多重」をうまく利用するかにかかっている。一般にアクセス系で特徴的なことは、ユーザーの数が莫大であることと彼らが多種多様な情報容量を求めることである。一方、技術上の経済化とは、システム単品のコストを安くすることのほかに、多重使用して見かけ上割安にすることである。後者がシステム的な研究開発となる。

アクセス系において多重とは、①上り下りの情報を多重する、②複数のユーザーの情報を多重する、③ユーザー宅内の複数のサービスを多重する、の3種類の方法が

ある。これから述べる FTTH を主対象とした光アクセスシステムは、これらの3種類の多重をすべて活用して徹底的に経済化を狙ったものである。

#### 3.1 上り下り多重

現在、使われている電話線は1対のメタル線を使って上り情報と下り情報を伝送している。元来2対必要なこの伝送を、送られる情報の向きをハイブリット回路にて弁別することにより1対で伝送できる仕組みとしている。一人のユーザーが1対か2対かの議論は無意味にみえるかもしれないが、一つの局で数万加入の電話線を収容するアクセス系ではこの効果は絶大である。数万対のメタル線がさらに必要となるか否かの議論となるからである。さらに、2対方式(4線式)の場合、炎天下でペアとなる2対のメタル線を捜すのは大変である。また、局内にて局外ケーブルを収容する MDF 架のコネクタの数(所要床面積)も2倍になるか否かの瀬戸際となる。

光アクセスシステムにおいても、1心か2心かの議論があり、技術的には安易な2心方式が採用されることも多々あるが、大量な数を捌く必要のあるアクセス系においては、広義の意味も含めた経済化の観点から1心方式、すなわち上り下り多重が必須である。これらの関係を図 2<sup>12)</sup>に示す。

#### 3.2 ユーザー多重

アクセス系ではユーザーからの大量の伝送システムを収容することとなる。 $N$ 人のユーザーからの情報を多重処理した場合の伝送回路のコスト  $C_{total}$  が

$$C_{total} = C_0 N^a$$

とすると、1ユーザー当たりのコスト  $C_{user}$  は、

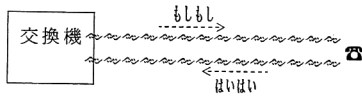
$$C_{user} = C_0 N^a / N = C_0 N^{a-1}$$

となる。ここで、 $a$  が1よりも小さいと多重したほうがより経済的といえることとなる。伝送回路のコストは情報速度の1/2乗に比例するので上記  $a$  は1/2となり、ユーザー多重の効果が認められる。しかも光ファイバーは伝送能力が高いため、ユーザー多重に制限要因はない。

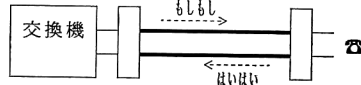
概念的には、1,000個のレーザーダイオード(LD)を局内の装置架に並べるタイプよりも、LDで20人分の情報を変調することは何の負荷にもならないから、1個のLDを20人が共用して使い、50個しかLDを並べないタイプのほうが経済的であるということである。

このユーザー多重をダブルスターと呼ぶ。次に、このLDの共用の方法の違いで、①パッシブダブルスター、②アクティブダブルスターの2種類に分類される。前者は、スターカプラーを用いて光ファイバーをユーザー宅まで伸延させながらLDを共用するタイプで、後者は光

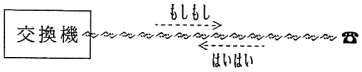
① 2対方式 (4線方式)



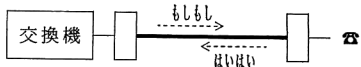
① 2心方式



② 1対方式 (2線方式)



② 1心方式



手段：① DDM方式【現行の電話方式】  
② TCM方式

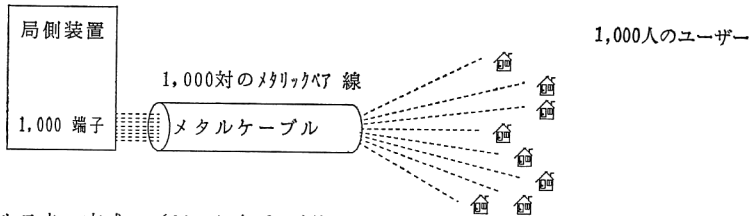
手段：① DDM方式  
② TCM方式  
③ WDM方式

(1) メタル対線方式

(2) 光ファイバー方式

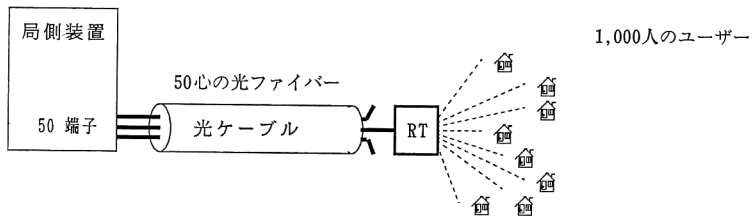
図2 伝送媒体は1対(心)か2対(心)か<sup>12)</sup>

(1) シングルスター方式



(2) ダブルスター方式 (201-サ多重の例)

① アクティブ方式



② パッシブ方式

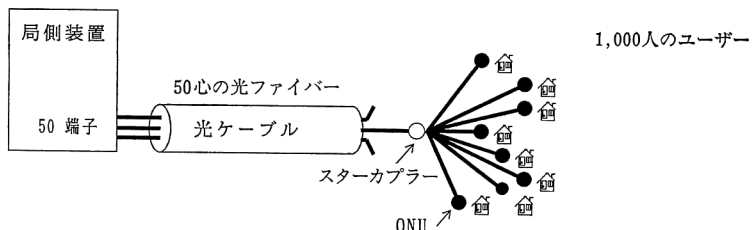


図3 シングルかダブルか、ダブルはアクティブかパッシブか<sup>13)</sup>

リンクとしてLDを共用するタイプである。これらの相違を図3<sup>13)</sup>に示す。

3.3 サービス多重

各ユーザー宅に集配される電話サービス、映像サービス、データサービス等々の情報を一つひとつのアクセス線で伝送するよりは、光ファイバーの伝送能力の高さを活用して1心の光ファイバーで纏めて伝送するほうが経済的である。これには、伝送フォーマットの独立性を重視した光波長多重方式 (WDM) や、全デジタル化に適した時分割多重方式 (TDM) 等がある。

3.4 光アクセスシステムの一例

ここに二つの例を示す。その一つは低速システム<sup>14)</sup>と映像システム<sup>14)</sup>を WDM 多重した例【システムA】である。低速システムは伝送クロックが 30 MHz であり、TDMA による上り下り多重を行い、16分岐にてユーザー平均 768 kb/s (電話換算 12回線分)、最大 1.5 Mb/s (電話換算 24回線) の情報が提供される。さらに、WDM 多重された映像システムにより、約 60チャンネルの映像情報の分配がサービスとして上乘せされる。すなわち、ユーザー側から見ると、1心の光ファイバーにて平均 768 kb/s (最大 1.5 Mb/s) のデジタル情報と 60チャンネルの映像分配情報が送られるので、ユーザーはこの情報量の範囲内であらゆるサービスを楽しむことができる。しかもデジタル情報の量は契約時に 64 kb/s から 1.5 Mb/s まで、ユーザーの要望に合わせて随時にコンピュータで設定される。この構成を図4<sup>15)</sup>に示す。

他の一つは高速システム<sup>16)</sup>の例【システムB】である。伝送クロックは 155 Mb/s であり、16分岐にてユー

ザー平均約 10 Mb/s の情報流量が提供される。しかも伝送モードが ATM なので、平均流量にそれほど捕らわれずにダイナミックな情報疎通が享受できる。この構成を図4に示す。

4. 光アクセスシステムの世界の動向

光アクセスシステムの研究開発は 1980 年代から開始されており、その技術的な変遷を図5<sup>17)</sup>に示す。

当初、光ファイバーは GI ファイバーが主流であったが、1985 年以降になると SM ファイバーに変わり、その広帯域性を積極的に使って B-ISDN を志向するようになった。その一方で、遠距離の電話サービスを経済的に提供する目的で、FTTR、すなわちアクティブダブルスター形式が登場し、大量に導入され始めた。このあたりから光ファイバーの広帯域性を「高速大容量情報チャンネルの伝送」に生かす機軸に加えて「低速情報チャンネルの多重伝送」に生かす機軸が生まれ、1990 年前後からパッシブダブルスター形式が一世を風靡し始め、現在に至っている。その間、映像のデジタル高能率符号化技術やコンピュータ技術の進展も相まって、データ情報から映像情報までをデジタル伝送する方向が出てきた。しかし、映像についてはアナログ伝送も捨てきれず、CATV との親和性や伝送モードの独立性を重視して電気レベルでの FDM 多重信号を纏めて一つの光信号に変調する SCM 形式が依然として重宝がられている。

現在、世界各国で研究開発されている光アクセスシステムのサービスとしては、電話サービスと新サービスの双方を狙っている。新サービスとしては映像分配と

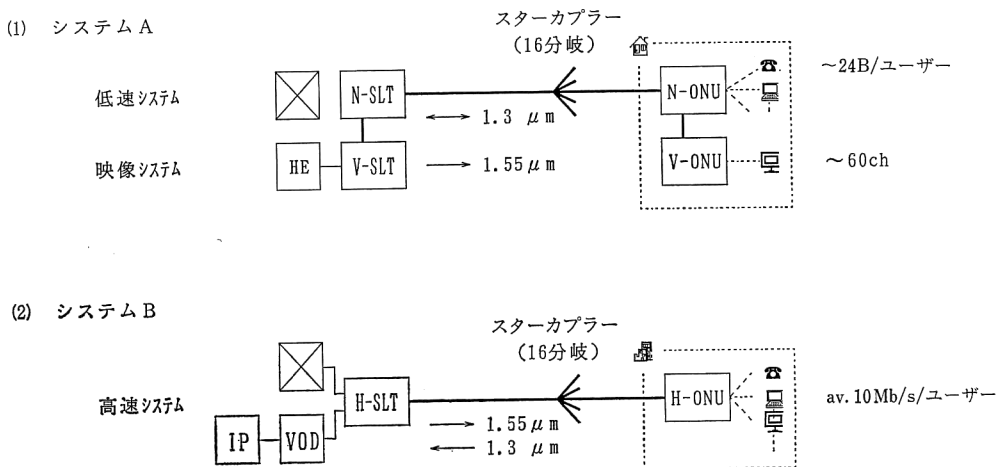


図4 全光化加入者システムの構成<sup>15)</sup>

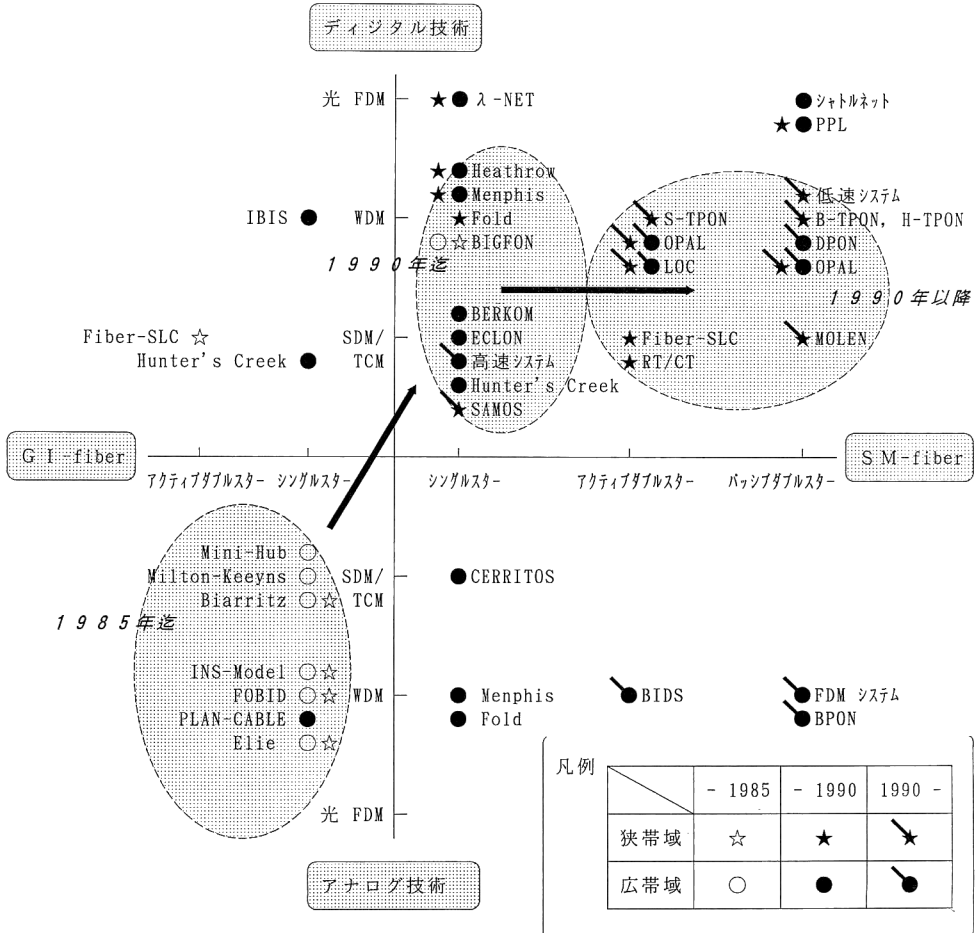


図 5 光アクセスシステム構成の変遷<sup>17)</sup>

VODやPC通信がある。システム構成としては、現在、シングルスター形式は低調であり、ダブルスター形式が好調である。FTTR方式とFTTO方式は必要な箇所に随時導入が図られており、現在はよりいっそうの経済化と新サービスの発掘を目標に、①既存のメタル線と同軸ケーブルを生かしつつ光ファイバーを延伸していくFTTC方式、②マンションやテナントビルを主対象に建物内まで光化するFTTF/FTTB方式、③徹底的な経済化を追求するFTTH方式、がシステム研究開発の主軸である。概括的には、北米では徹底的な高能率映像符号化技術と高速短距離メタル伝送方式を駆使した①の戦略が、ドイツの東独地区では通信環境の整備を旗印とした②の戦略が、英国や西独地区、日本では②と③を併用した戦略が取られている。

FTTHを志向したのものとしては、日本においてはVI&P総合実験<sup>18)</sup>、光パイロットモデル実験<sup>19)</sup>が行われており、さらにVOD実験を加えたマルチメディア利用

実験<sup>20)</sup>が明年予定されている。これらには3.4項で述べた2種類のシステム構成が使われる。

## 5. 光アクセスシステムと光部品

### 5.1 研究開発の状況

3.4項で述べたシステムA(図4(1))では低速システムの使用波長は上り下りとも $1.3\mu\text{m}$ であり、その弁別は時間差(TCM)で行っているため、光部品としては3dBカプラーが必要となる。また、映像システムの使用波長は $1.55\mu\text{m}$ であるため、低速システムには映像システムとの弁別のために波長フィルターが必要となる。

この3dBカプラーと波長フィルターをPLCで構成し、これとLD、PD、さらに低速システムの前段増幅器を一つのパッケージに納めて生産性と品質を保証する研究開発<sup>9)</sup>が行われている。この回路の構成を図6<sup>9)</sup>に、光モジュールの外観を図7<sup>9)</sup>にそれぞれ示す。

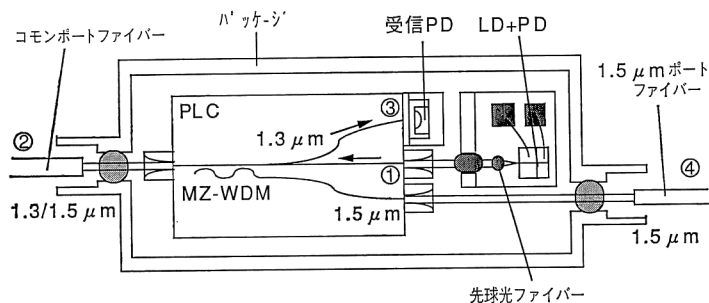


図6 光アクセスシステム用光分岐モジュールの構成<sup>9)</sup>

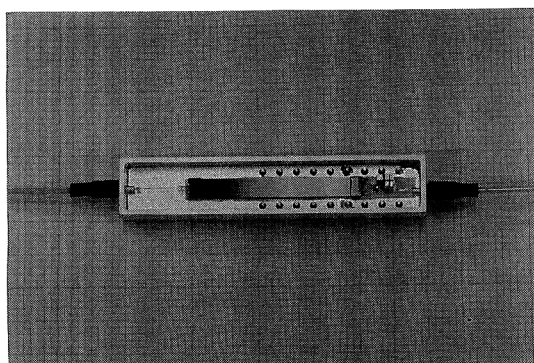


図7 光アクセスシステム用光分岐モジュールの外観<sup>9)</sup>

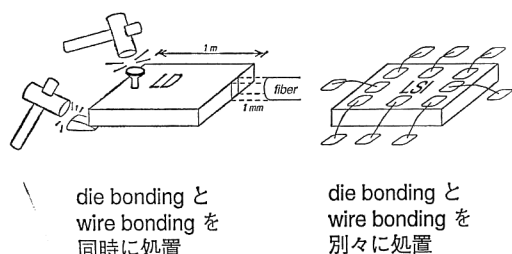


図8 部品チップと外部との接続

また、映像システムでは映像分配装置や広帯域低歪み光変調回路等々の局側装置の徹底的な経済化を達成するために、光ファイバー増幅器を使用し、数万加入まで高品質に映像分配できる構成としている。

また、3.4項で述べたシステムB(図4(2))では、上りに $1.3\mu\text{m}$ 、下りに $1.55\mu\text{m}$ を使用しているので、上りと下りを弁別する波長フィルタが必要となる。このシステムにおいても一部仕様変更することで、前述の光モジュールをそのまま使うことができる。

さらにシステムAとシステムBも16分岐のパッシブダブルスター形式であることから、線路システムに16

分岐のスターカプラーが必要で、これについても、PLCを用いた光部品が用いられよう。

このように、LDやPDの発光受光素子や光コネクタ以外に光アクセスシステムではFTTHに向けた徹底的な経済化を達成するためにカプラー等のパッシブ回路が必要である。この研究開発はシステム側と光部品側の両輪が調和して回ってこそ、初めて成り立つものである。

## 5.2 光部品に対する今後の課題

現段階では光部品のラインナップは揃ったが、未だ光部品相互、もしくは光部品と光ファイバーとの接続に課題を残している。例えば模式的に表現すると、現在の光部品の接続は、1mの机を持ち上げて微動させながら10mmのネジ穴を狙って左右前後とも1mmの精度で机を床に固着させていることと等価である。実際の寸法は、それぞれ、1mmのチップ、 $10\mu\text{m}$ のコア径、 $1\mu\text{m}$ の精度である。LSIのようにdie bondingとwire bondingとを分離する方法が待たれる。この比較を図8に示す。この分離が実現できればコンピュータ制御による大量生産が可能となる。光アクセスシステムの光モジュールは製品をシャーレではなくてバケツで運ぶくらいの環境が求められる。

## 6. 今後の展開

今後、光アクセスシステムにおいてはデジタル処理技術やコンピュータ技術の取込みが、よりいっそう激しくなる。また、コンピュータがより普及し、新しいサービスの開拓が進展するとともに、光アクセスシステムの経済化の進展と相まって電話サービスに対しても十分に応えられることになる。

そこで、欲しい情報を求めてコンピュータ(サーバー)を渡り歩くアーキテクチャは過去のものとなり、いつでも欲しい時にすべての情報が瞬時に集まる、いわゆる「手元感」が求められる。換言すると、光の高速性

の使われ方が,

①『高速広帯域の一つの情報を伝送する』  
から,

②『たぐさんの低速情報を束ねて伝送する』  
を経て,

③『情報を瞬時に伝送する』  
に変遷していくのである。

これを手中に納めるには,

(a) 手元に常駐している情報を加工して見せるサー  
ビスコンセプト

(b) メモリの多用した光アクセス網のシステムコンセ  
プト

(c) 超高速に書き込み読出しするメモリ技術

が必須である。

手動のタイプライターから機械式のラインプリンター  
を経て印刷機のように高速プリントするレーザープリン  
ターに変わったように, 人間の感性は大量の処理を求め  
ているのではなくて瞬時の処理を求めているのである。  
印刷屋さんはいざ知らず, たった1枚の印刷でも早く欲  
しくなるのが人間の本性なのである。

## 文 献

- 1) 島田禎晉: “特集: 光通信技術・その実際的な応用1 総論  
一応用分野, 技術動向”, O plus E, No. 62 (1985) 49-  
61.
- 2) 島田禎晉: “1 Tb/s 光波通信を目指す”, オプトエレクト  
ロニクス, 1 (1988) 86-87.
- 3) M. Amemiya, *et al.*: “Design of 1.55  $\mu$ m Gigabit s/s  
submarine repeatered transmission systems,” ICC,  
Vol. 3 (1989) p. 1531.
- 4) NTT 経営企画本部経営ビジョン事務局: “新高度情報通  
信サービス VI&P の実現”, NTT 技術ジャーナル, 2,

- No. 5 (1990) 6.
- 5) A. Gore: “Infrastructure for the global village,” Sci.  
Am., Sept. (1991) 108.
- 6) T. Miki: “Introduction plan for optical network of  
the B-ISDN,” ECOC '90 (1990).
- 7) 島田禎晉, 山下一郎, 川瀬正明, 太田紀久: 光アクセス  
方式 (オーム社, 1993) p. 21.
- 8) 三木哲也: “光加入者ネットワークとサービス”, NTT 国  
際シンポジウム (1993).
- 9) 照井 博, 関根 聡, 小林盛男, 永沼 充: “低速光加入  
者分岐光モジュール”, NTT R&D, 42, No. 7 (1993)  
904.
- 10) R. Kishimoto, *et al.*: “HDTV communication systems  
in broadband communication networks,” IEEE Com-  
mun. Mag., 29, 8 (1991) 28.
- 11) H. Tsuji, *et al.*: “Regional group communication  
service system on fiber-optic access network,” 6th  
International Workshop on Optical Access Networks  
(1994).
- 12) 島田禎晉, 山下一郎, 川瀬正明, 太田紀久: 光アクセス  
方式 (オーム社, 1993) p. 22.
- 13) 島田禎晉, 山下一郎, 川瀬正明, 太田紀久: 光アクセス  
方式 (オーム社, 1993) p. 24.
- 14) 渡辺隆市, 米田悦吾, 玉木規夫: “パッシブ・ダブルスタ  
ー方式を採用”, 日経ニューメディア別冊「通信・放送融  
合へのシナリオ」(1994) p. 132.
- 15) 島田禎晉, 山下一郎, 川瀬正明, 太田紀久: 光アクセス  
方式 (オーム社, 1993) p. 162.
- 16) Y. Takigawa, *et al.*: “ATM based passive double  
star system offering B-ISDN, N-ISDN and POTS,”  
GLOBECOM '93 (1993) p. 14.
- 17) 島田禎晉, 山下一郎, 川瀬正明, 太田紀久: 光アクセス  
方式 (オーム社, 1993) p. 27.
- 18) I. Kobayashi, *et al.*: “Research and development of  
fiber-optic subscriber network systems,” NTT Rev.,  
5, 6 (1993) p. 8.
- 19) 梶原一郎: “関西パイロットモデル実験”, 日経ニュー  
メディア別冊「通信・放送融合へのシナリオ」(1994) p.  
34.
- 20) 梶原盛吉: “NTTのマルチメディア利用実験”, 日経ニュー  
メディア別冊「通信・放送融合へのシナリオ」(1994)  
p. 26.