



技術解説

## 光通信システム

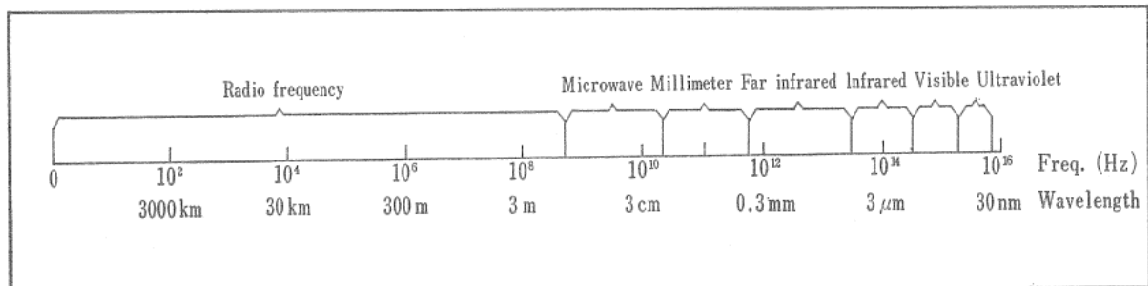
森 永 規 彦\*

光通信に限らず他のいかなる通信システムも、その目的は、情報のある1点から他の別の点に移すことにある。この情報トランスファーは、ほとんどの場合、情報を電磁波にのせることによって達成されてきたと言えるが、この場合電磁波は、情報を運ぶ役割を担うものであって、一般に搬送波と呼ばれる。このように電磁波を搬送波とする通信システムにおいては、図1に示した電磁スペクトル中の利用周波数位置によって、その通信システムに対する名称が付けられる場合もある。例えばマイクロ波通信とかミリ波通信とかがそうである。これと同様に、光通信の場合には、電磁スペクトル中の光領域から情報伝送のための搬送波が選ばれるわけである。しかし、いま話題となっている光通信というのは、単に、普通に存在するインコヒーレントな光を対象としたものではなく、周波数で言えば、 $10^{14} \sim 10^{15}$  Hz の、赤外線から可視光にわたる領域におけるコヒーレントなレーザー光を主対象とする通信システムであり、レーザー通信と呼ばれる場合も少なくない。しかしまた、それではレーザー光ばかりを用いているのかと言うとそういうわけでもなく、普通のインコヒーレント光に近い光を出す発光ダイオードによっても、利用目的によっては質の良い通信が

行なわれており、これも立派な光通信ではあるが、やはり光通信の特徴はレーザー光を使う点にある。

ところで、ここに用いたコヒーレンス (Coherence) という言葉であるが、簡単に言えば、光の干渉性 (相関性) の程度を表現するもので、内容的には時間コヒーレンスと空間コヒーレンスとがある。時間コヒーレンスとは、いわゆる時間的相関性のことであって、光の単色性 (単一周波数性) や波動としての連続性の度合いを示すものである。従って、光の周波数スペクトル幅とは密接な関係があり、その度合いはスペクトル幅の逆数に比例する。これに対して空間コヒーレンスというのは、光の進行方向と直角方向にある面内の異なった2点間における光の空間的相関性を表わすものである。空間コヒーレンスが良いということは集束性の良さに対応し、小さな断面積内に光のエネルギーを集中して伝送できる能力の大なることを示している。このようなコヒーレンスの良い光をコヒーレント光、そうでない光をインコヒーレント光と呼んでいる。

次に、光搬送波を用いて通信を行なう場合の主な利点は、伝送可能な情報量や電力の莫大な増大にある。通信における情報伝送量は、搬送

図1 電磁スペクトル<sup>1)</sup>

\*森永規彦 (Norihiko MORINAGA), 大阪大学, 工学部, 通信工学科, 工学部講師, 工学博士, 通信工学

波の伝送可能な周波数帯域幅と直接関係し、一般に、搬送波周波数を高くすると、理論的に伝送可能な周波数帯域幅も増加し、従ってシステム全般にわたる情報伝送量も増加する。通常、情報伝送におけるハードウェア技術の難易度は、比帯域（伝送帯域幅／搬送波周波数）の大小によってきまると言われる。この比帯域を固定して、マイクロ波通信と光通信とを比べると、光はマイクロ波に比べて $10^4 \sim 10^5$ 倍も高い周波数であるので、与えられた比帯域に対し、光通信はマイクロ波通信よりも $10^4 \sim 10^5$ 倍もの広い帯域をとれることになる。従って光通信は、本質的に広帯域通信に適していることがわかる。これに加えて、搬送波周波数が高いということは、それだけ伝送電力の集中度の増大、即ち、空間的に高い電力密度を達成すべき能力が増大することにもなる。なぜなら、伝送される電磁波のビームの広がり幅は搬送波周波数に逆比例し、空間的電力密度は搬送波周波数の2乗に正比例するからである。即ち、光の波長オーダーの広がりをもつ小断面内に、光のエネルギーを閉じ込めて伝送できる可能性を示すものである。

このような主に2つの理由により、光通信は新しい魅力的な通信方式として登場し、研究開発されてきたわけであるが、ここでもう一つ特筆すべきことは、光通信と言えば光ファイバ通信を指すぐらいに、大抵はその伝送路として、低損失、広帯域の光ファイバを用いる点が大きな特徴である。

レーザー光による光通信という新しい概念が登場してから約20年が経過したが、この間、1966年の低損失光ファイバの可能性の示唆、1970年の低損失光ファイバ（20dB/km）および室温連続発振の半導体レーザー（発振波長：0.85 $\mu\text{m}$ ）の実現という過程を経て、将来の実用化を目指した研究開発競争の幕明けとなった。その2年後の1972年には既に伝送損失が4 dB/kmという低損失光ファイバも現われたが、1975年には伝送損失が1 dB/km（1.05 $\mu\text{m}$ 帯）、1976年には0.5dB/km（1.3 $\mu\text{m}$ 帯）、1979年には0.2dB/km（1.5 $\mu\text{m}$ 帯）といった極低損失の光ファイバが、いずれも1 $\mu\text{m}$ 以上の長波長帯で出現し、

それにマッチするような長波長半導体レーザー、長波長光検波器の開発にも力が注がれている。

（長波長という用語は、それまでの光ファイバ系が0.85 $\mu\text{m}$ を対象としていたことに対応して、便宜上つけられているにすぎない）。この0.2dB/kmという値は、100の光を送ると1km先で96の光が着くというくらいの少ない損失で、現用の同軸ケーブルが、周波数にもよるが、大体10~30dB/kmという程度であることを思えば、いかにも驚嘆の一言につきる。最近では、光ファイバ伝送の第一の特長は、広帯域性よりもむしろその低損失性にあると考えられている。

1979年にはまた、1.56 $\mu\text{m}$ で室温連続発振する長波長半導体レーザーも開発された。このレーザーと0.2dB/kmの光ファイバとをコンビにして使うと、100km無中継で伝送できるので、国際海底ケーブルのような長距離通信にも光通信が理論的に可能となる。また同年、1.3 $\mu\text{m}$ 帯の半導体レーザーと単一モード光ファイバによる、電話約11,000回線分の通信を30km無中継で伝送する実験も成功している。これはデジタル伝送方式により毎秒800メガビットの情報量を $10^{-12}$ 以下の誤り率で伝送したものである。現在、公衆通信における同軸ケーブルによるデジタル伝送方式の場合は、1本の銅線当り毎秒400メガビットで1.5kmごとに中継器を必要とする。従って、その2倍の情報量を、毛髪ほどの光ファイバ（ファイバの外径は、大体、120~150 $\mu\text{m}$ 程度である）1本で、しかも中継器の数を1/20に減らして送ったわけで注目されている。

さて図2は、光通信システムの基本構成を示すものである。図において光源とは、レーザー、発光ダイオードなどの光通信用光源を指し、情報伝送のための搬送波である。この光搬送波に送信すべき情報をのせる操作を行なうのが光変調器であるが、変調方法としては、光源を直接変調するものと、別に変調器を用いる外部変調型のものがあり、ここではそれらを概念的にまとめて光変調器としている。また送信情報は、そのままの形で変調されるとは限らず、変調をかける前に、デジタル化（符号化）とか、多重化とか、マイクロ波など副搬送波に変調を

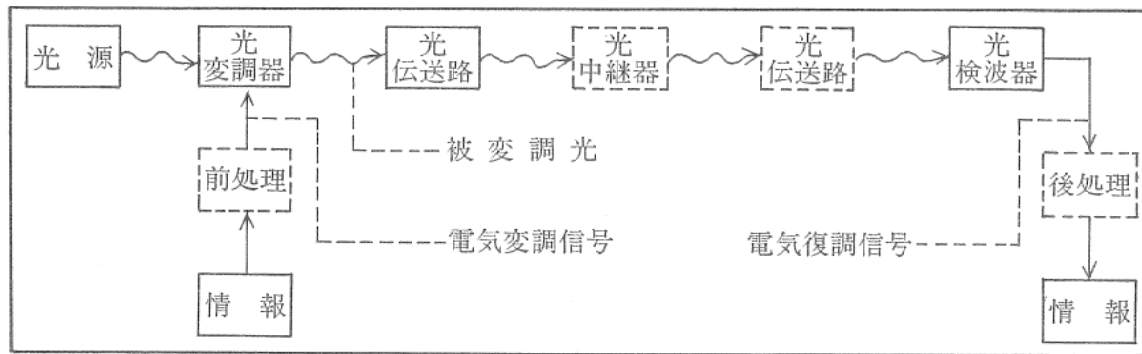


図2 光通信システムの基本構成

かけるとか、適当に信号処理される場合もあり、それが前処理である。こうして電気変調信号で変調された光搬送波が被変調光（光信号）であり、光伝送路中を伝搬してゆく。光伝送路としては、有線伝送路としての光ファイバが第一に有名であるが、無線伝送路としての大気（空間）も重要な伝送路である。もし伝送距離が長く、そのままでは光信号の減衰やひずみがひどく、受信側で十分な通信品質が得られないような場合には光中継器が挿入される。このように伝送されてきた光通信が担っている情報（変調信号）を電気信号の形で取り出す操作を行なうのが光検波器で、その出力には、雑音やひずみなどによる妨害を受けた電気復調信号が現われる。これが直接、復調情報に相当する場合もあるが、一方、もし送信側で前処理が施されている場合には、その逆操作である後処理（例えば、復号化とか、チャネル分岐とか、被変調副搬送波に対する復調など）を行なったのち情報を得る。得られた復調情報に関する通信品質の評価測度としては、アナログ光通信方式に対しては信号対雑音比（SN比）、デジタル光通信方式に対しては誤り率が通常よく用いられる。

以上が光通信のシステム構成の概要であるが、大きな特徴としては、第一に、伝送そのものは光領域の搬送波で行なわれる点を除けば、被変調搬送波を用いる他のいかなる通信システムにも共通して当てはまる通信形態をとっている点であり、第二点としては、光通信といえども、現在のシステムでは、変調前、検波後においては情報を電氣的に処理している点である。

このことは光中継器に対しても言え、光のまま中継処理を行なうのではなく、やはり一度、電気信号に直して処理（等化増幅、識別再生、タイミング再生など）したのち、改めて光に変調をかけるといった操作が行なわれる。要するに、すべてを光レベルで行なうのではなく、光と電気の相互作用、即ち、電—光、光—電変換を主体としている点が特徴である。このような光学技術と電気通信技術の融合した形態をとる理由は、現在の技術ではこうした形態をとることによって、最も高い効率が得られるからであって、もし将来、優れたデバイスが新たに開発され、それによって、いちいち電気信号に変換して処理するよりも、光信号のまま処理した方が効率良くできるようなことにでもなれば、ほとんどすべての操作を光レベルで行なう光通信システムも現われよう。

図3には、光ファイバ通信の将来像を考える上で参考となる、光ファイバ通信の特徴・効用・適用例をまとめたものを示してある。また図4は、社会システムにおける種々の適用分野を示したものである。このように光ファイバは、平衡対ケーブル、同軸ケーブル、導波管など、従来の有線伝送媒体に比べて数々の特長をもっている。これら数々の特長・効用により、従来のいずれの有線伝送媒体にもとって代り得るだけの極めて広範囲な適用領域をもち、将来は、陸、海ともにファイバで張りめぐらされた通信網が形成されることにもなる。

1978年には、電々公社技術陣による、東京の唐が崎局～霞が関局～大手町局～蔵前局間の約20kmでの近距離光ファイバケーブル伝送方式の

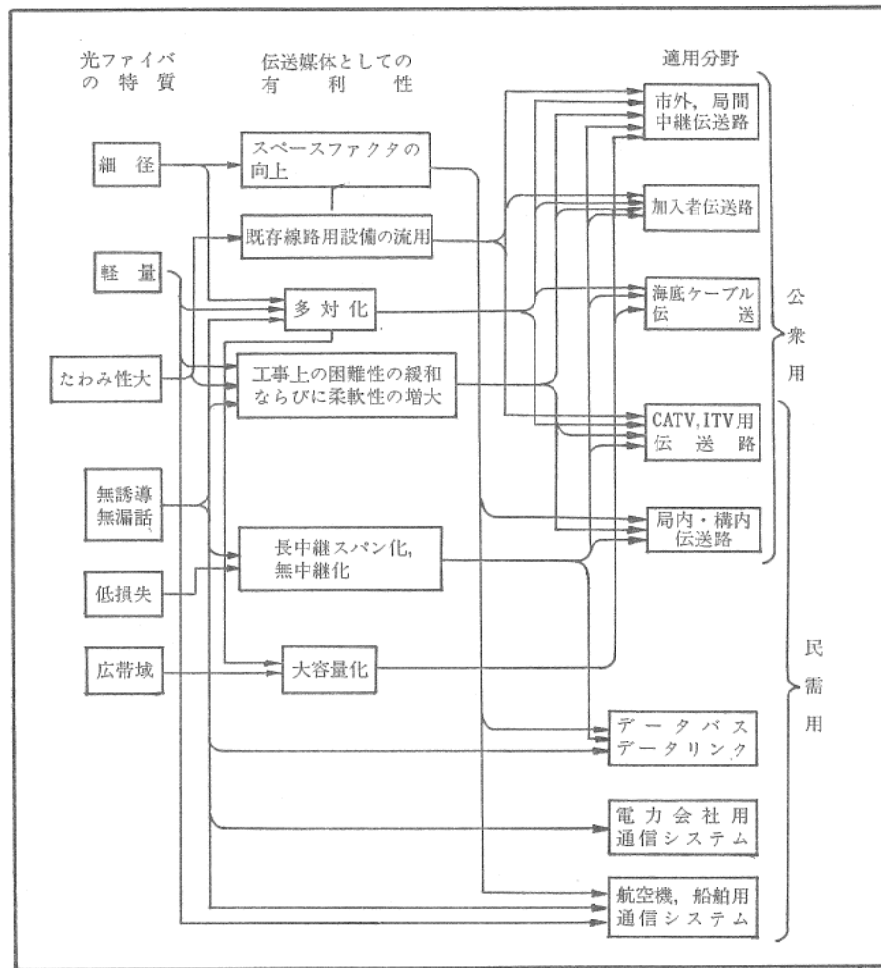


図3 光ファイバ通信の特長・効用・適用例<sup>2)</sup>

伝送試験が終了し、今年度の第2次現場試験に続いて商用試験に入る予定にあり、近い将来における、公衆通信網への光ファイバケーブルシステムの商用化にめどを付けている。また同年、地域社会を対象とした、光ファイバによる生活映像情報システム (Hi-OVIS) も、東生駒において運用試験に入っている (図5)。このほか種々の分野で、実用化を目指した試験が行なわれ、最近では、光ファイバ通信システムの実用化が急速に広まっている。その中でも特に先行しているのが電力会社で、高電圧下でも電磁誘導を受けない光ファイバの特長を最大限に生かそうとするものである。また、最近のデジタル化と合まって、CPU (コンピュータ) - CPU間や、CPU - 端末間などのデータ伝送 (光データリンク) に利用されることが多く、電磁誘導、可燃性ガス等が存在する悪環境下にある工場構内でのデータ伝送システムとしての

実用化も盛んである。その他、高速道路、地下鉄などにおける交通状態の監視システム、大学における視聴覚教育用テレビ伝送システム、テレビ放送中継所における雷害対策用としての光ファイバ伝送路など、光ファイバ通信の特徴をできるだけ生かしたいとする分野での実用化が進んでいる。

1960年代は電話網拡充の時代、1970年代はデータ通信拡充の時代、そして1980年代は光通信の実用化に拍車のかかる時代と言われている。上に掲げた例からもわかるように、当面は、長距離大容量伝送というより、むしろ短距離や構内の分野における民需を中心とした、柔軟性と自由度に富んだ通信システム構成を可能とする伝送技術として実用化が進められ、将来の公衆通信網への導入を待つといった態勢がとられそうだというのが大方の見方である。とにかくレーザは、今世紀最大の発明とも言われているし、

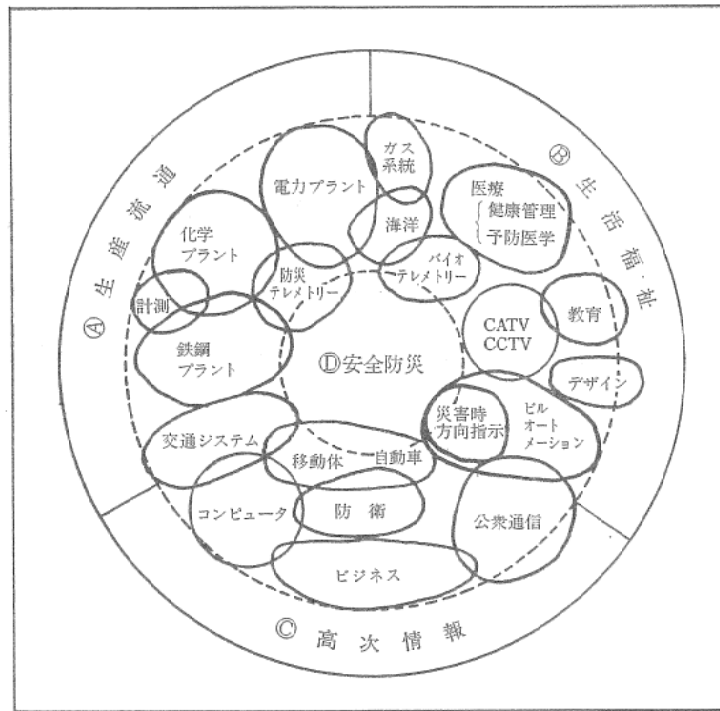


図4 光ファイバ通信の適用領域<sup>3)</sup>

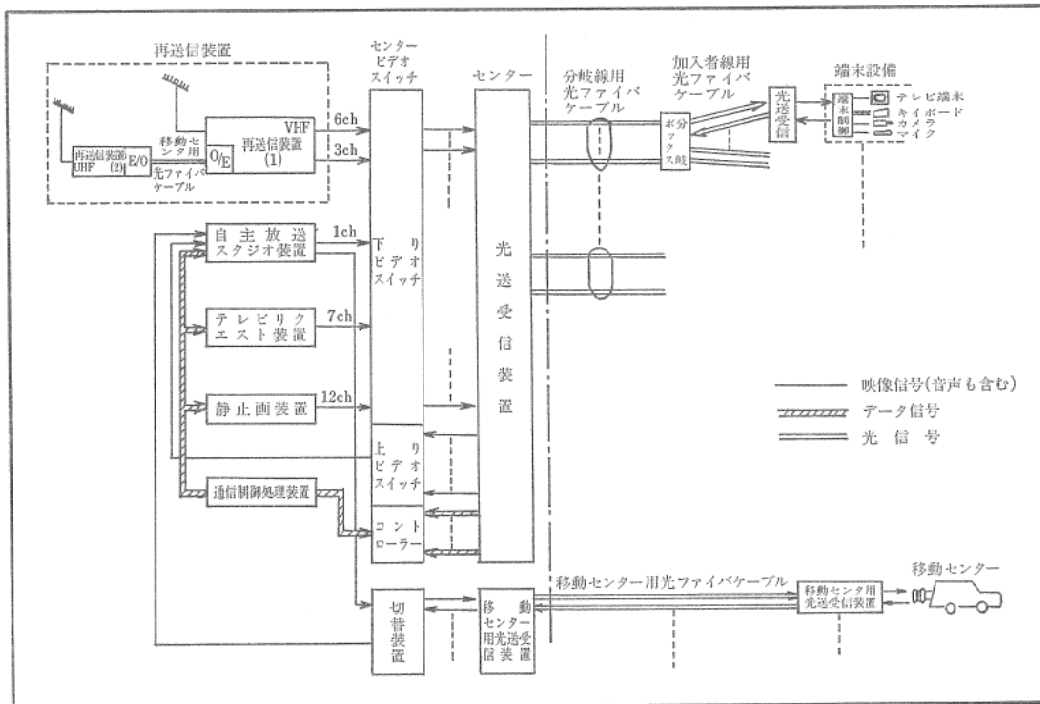


図5 生活映像情報システム (Hi-OVIS)<sup>4)</sup>

光通信はこれまで開拓されてきた電気通信がとった通信形態のとれる, おそらく最後の新通信方式とも考えられ, その将来については, あせることなく大きく育てるべきものとする。

文 献

1) R.M. Gagliardi and S. Karp: Optical

Communications, John Wiley & Sons, 1976.

2) 野田健一編: 光ファイバ伝送, 電子通信学会, 1979.

3) 機械振興協会編: 光コミュニケーションシステム, 日刊工業新聞社, 1977.

4) 川畑正大・原主健一: 光情報システム——Hi-OVIS——, テレビジョン学会誌, 第32巻, 第4号, 1978.