「繊維の極限 — 性能・機能をさぐる」特集

光 を 運 ぶ

戒 能 俊 邦

光は電磁波のうち、振動数 $10^{12} \sim 10^{16} \text{ s}^{-1}$ 、すなわち波長 λ として $200 \mu\text{m}$ の遠赤外（マイクロ波の先）から $0.01 \mu\text{m}$ の極端紫外（X線の手前）の波を指す。電磁波を用いた信号伝送は、従来はマイクロ波伝送に代表されるように空間を伝搬させているため、繊維材料がかかわる領域ではなかった。しかし、光を信号伝送に用いようとした時、必要不可欠なものは、光源と伝送媒体である光透過性に優れる物質であり、半導体レーザーの開発と低損失な材料の開発が光通信の発展上極めて重要であった。光を運ぶことを主たる機能とする物質を考えると、利用可能な波長は赤外～可視領域である $10 \mu\text{m} \sim 0.4 \mu\text{m}$ の領域と言って良い。光を運ぶ繊維すなわち光ファイバは、1970年に 20 dB/km の損失値を有する石英系光ファイバが開発されて以来、光透過性が急速に改善され、現在では 0.15 dB/km という極限とも言えるべき透明性が達成されている。

光ファイバに代表される透明性に優れる物質において、光透過性を規定する要因は、材料固有の吸収および散乱と、材料中の不純物等による外因的な吸収・散乱がある。外因的要因は物質の高純度化技術などの進歩によって取り除くことが可能である。固有の散乱損失は、物質の密度ゆらぎに起因するレイリー散乱であるが、波長 λ の4乗に反比例するため、長波長側での影響は小さい。固有の吸収損失は、短波長側の紫外吸収（電子遷移吸収）と長波長側の赤外吸収（分子振動吸収）がある。即ち、光を運ぶ物質の最良の透明領域は、レイリー散乱、電子遷移吸収の小さい長波長側と分子振動吸収の小さい短波長側のバランスによって決まる。現在長距離の通信に用いられている石英光ファイバでは、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯で損失値 0.15 dB/km が達成されているが、さらに物質の究極の透明性達成、光ファイバへの適用を目指し、赤外吸収がより長波長にあるフッ化ジルコニウム

を主成分とする多成分ガラスを対象に研究が進められている。計算によれば、波長 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ で 0.01 dB/km 以下が達成可能と推定されており、OH基や遷移金属不純物の除去への努力が続けられている。現在 0.7 dB/km が得られている。

高分子材料を用いた光ファイバ（POF）は、光の透過性については無機ガラス光ファイバに比べはるかに劣っているが、大口径化が容易なため、光源との接続、光ファイバ相互の接続が容易という長所を有している。このため、使いやすさの利点とあわせ、ローカルエリアネットワークなど、短距離の光信号伝送媒体として期待されている。高分子材料の光透過性を規定する要因は、ガラス光ファイバ同様レイリー散乱および、紫外・赤外吸収であるが、有機材料の特徴として赤外分子振動の高調波吸収の影響が極めて大きいことが挙げられる。これは、炭素－水素結合の基準振動が赤外域の短波長側にあり、また水素原子の振動のし易さのため、高次の吸収が減衰することなく可視光域まで現れることによる。このため、通常用いられるポリメチルメタクリレート（PMMA）をコアとする光ファイバでは、可視光域において最も良く光を透過させ、波長 $0.57 \mu\text{m}$ で $55 \sim 60 \text{ dB/km}$ が得られている。レイリー散乱強度については、コア材料の熱処理によって波長 $0.63 \mu\text{m}$ で 11 dB/km までが可能である。しかし、POFの光透過性はほとんど分子振動吸収によって制限されるため、より一層の光透過性の向上を目指し、分子中の水素を重水素に置換した重水素化PMMAをコアとする光ファイバが製作されている。この結果、波長 $0.66 \mu\text{m}$ で 20 dB/km が得られているが、この重水素置換体の光透過性は、 9 dB/km 前後が限界と考えられる。高分子材料の極限透明性は、さらにフッ素の導入を図った材料系で得られ、 $5 \sim 6 \text{ dB/km}$ と推測される。通信用に使われる $1.3 \mu\text{m}$ 帯におけるPOFの光透過性を

Transmission of Optical Signals

筆者紹介 TOSHIKUNI KAINO, NTT Opto-electronics Laboratories, NTT 光エレクトロニクス研究所主幹研究員

筆者は、光エレクトロニクス用高分子材料、有機材料の開発が専門で、特にプラスチック光ファイバーの開発にあたっては指導的立場にある。趣味は登山、スキー、読書。

本稿では、この分野の最先端で活躍中の筆者に、光を運ぶ繊維“光ファイバー”の開発状況について解説いただいた。

図 POFの近赤外域光透過性

P-5F3DSt ; フッ素化重水素化スチレンコア
P (MMA-d8) ; 重水素化 MMA コア

図に示す。最良の材料で1,500 dB/kmの損失値が得られ、高分子材料でも10 m程度の光信号伝送が可能である。POFの一応用として、自動車用光信号伝送媒体への適用の点から、耐熱性向上への努力が図られている。たとえばエステル系熱硬化性樹脂を用いた光ファイバでは、200℃近い高温まで安定した信号伝送が可能と報告されている。

ところで、ファイバを用いた光の伝搬は、光の点滅によるパルスの発生によってなされているため、大容量の光信号を伝送するにあたり分散性が問題となってくる。光の分散については、通常のスラブインデクス型、グレーデッドインデクス型光ファイバでは伝搬される光のモード間の遅延差に基づくパルス幅の広がり（モード分散）が最も大きい要因である。単一モード光ファイバでは、屈折率の波長依存性（材料分散）、および導波路の伝搬定数の波長依存性（構造分散）に基づく分散が問題となる。石英系単一モード光ファイバでは材料分散と構造分散の和は1.3 μm付近で小さくなり、零分散が達成される。また、分散が零となる波長を最低損失波長域である1.5 μm帯へシフトさせるために、光ファイバの屈折率差を

大きくしたり、屈折率分布をW型にするなどの工夫がなされ、様々な構造の光ファイバで零分散が達成されている。この光ファイバを光源の発光スペクトル幅を狭くしたレーザと組合せることによって、長距離にわたる大容量信号伝送が可能である。

高分子材料では、ステップ型光ファイバの研究・開発が主であり、単一モード化についてはPMMA-スチレン系薄膜導波路での検討がなされているのみで光ファイバは実現されていない。広帯域化を意図したグレーデッド光ファイバについては、高分子共重合体を用いた研究がなされている。ゲル化法を用いた共重合法によって得たポリマーロッドを光ファイバ化し、損失値180 dB/kmのグレーデッド型POFが製作されている。帯域特性評価、応用開発は今後の課題である。

最近では、光を波動のまま伝搬させる光波通信への取り組みがなされている。すなわち、周波数、位相がそろったコヒーレントな光を伝達し、位相情報を送ることによって超大容量の高品質な信号を伝えようとするものである。このため、光ファイバのコア部に応力を付与して複屈折性を誘起した偏波保持光ファイバの開発、あるいは単一モード光ファイバを用い偏波状態の変動を受信端で補償する方式の検討などがなされている。特にコヒーレント通信の光源として単一モード発振で高速変調が可能なDFBレーザと組合せ、画像通信など、膨大な情報量の伝達が可能である。さらに、光ファイバの非線形性を利用し、光ソリトンを伝搬させる通信方式によって超長距離、超大容量通信を行う試みがなされている。

この様に光を運ぶ繊維は、情報化社会における神経とも言えるべき役割が期待されており、今後も高品質化がはかられ、適用領域を拡大していくであろう。

(昭和63年6月4日受理)

読者の声

夏季セミナーについての一提言

当学会の夏季セミナーは、毎年異った所で開催されています。この事について一言申し上げたい。特別な事情のない限り、年会と同じように毎年同じ場所で開催するというのはいかがでしょうか？ もちろんその場所は観光地が望ましく、企画・運営の担当者は一年交替で良いと思います。担当者は、プログラムを含む全体の企画に努力していただき、当日の運営その他は例年の手順を基

本とします。たとえば講演会場に必要な器材などは、その会場で調達できるものと会場外から調達すべきものとがわかっており、それも例年の調達法で処理できます。観光ということを考え合わせれば、毎年異った土地で開催するということも一利あるものの、担当する側にとっては企画など重要な問題以外にも大変な労力を要するようであり、それらに費やす時間もバカにならないと思う次第であります。

(M. T.)