

© 1983 ISIJ



光ファイバー技術開発の現状と鉄鋼への応用

吉 谷 豊*

Present Status of Optical Fiber Technology and Their Application for Steel Industry

Yutaka YOSHITANI

まえがき

これまで、私達は光は直進するという原理を利用して来た。しかし、光路を自由に曲げることができれば、たいへん便利な応用が考えられる。プラスチックのような透明な線の中を、光が反射を繰り返しながら通過して行く現象を最初に見つけ出した人は、TYNDALL (1870年頃) だといわれている。しかしこの利用はかなり遅れ、1950年頃から、胃カメラで代表される、画像を送るファイバースコープが最初であった。

光は電磁波であることは広く知られていた。光が電波のように通信に利用できないかという夢は、通信分野の人々にあつた。光通信は古くから狼火で知られるように、一応通信手段として利用されて来たが、気象条件に影響されるので、汎用性がなかつた。同時に一般の光はさまざまな波長の光の集まりで、音でいえば雑音に近い波で電波のように波長の定まつた、位相のそろつた光は得られなかつた。1960年にレーザーが発明され、人類は初めて位相のそろつた電波のような光を手にすることができた。周波数の大きな電磁波程より多くの情報をのせることができるため、電波の千倍以上の周波数の位相のそろつた光が得られることは、大量情報伝達の可能性なのである。このレーザーと光の伝送路としての光ファイバーの組み合わせにより、光通信技術の可能性が開かれ、1970年頃から活発な技術開発が進められるようになった。

このように、光ファイバーの応用には、ファイバースコープのように画像を送る、ファイバーを束ねたバンドルファイバーと、光通信のごとく、信号を送る光ファイバーがある。最近では高出力レーザーの開発が進み、レーザーメスのごとくエネルギーの伝送路としての光ファイバーの応用も生まれて来た。既に光通信・レーザーについての解説は非常に多いが¹⁾²⁾、光技術は鉄鋼技術にも大きな影響を与えるものと思われるので、鉄鋼への応用に関連する問題について述べることにする。

1. 光ファイバー技術の歴史

光は古くから狼火や燈台に信号として利用されて来たが、通路をさえぎる物があると通過できぬため、利用は限定されていた。外的条件に左右されぬ光の導路があれば便利であろうと気のついた人は多かつたであろう。ガラスのような透明な線の中を光は、図1に示すごとく反射を繰り返しながら伝播していく現象は多少観察力のある人であれば、発見していたであろう。ただし実用に供し得るためには、光の減衰を少なくするにしなければならぬ。光は媒質自身の吸収で減衰すると同時に、ファイバーから洩れることもある。1910年に HONDROS と DEBYE は、導波路に沿う光波伝播の解析を行い、ガラスの誘電体損失をあまり小さくできないので、誘電体損失だけでも 500 db/km (100m で光の強さが 10 万分の 1 に低下することを示す。) になり、光通信の実用に程遠いことが示された³⁾。しかし短い距離では、減衰は大でも利用することはできる。先に述べたごとく、1950年代に医療用のファイバースコープに利用されるようになった。この場合は一本のファイバーで像を直接送るのではなく、多数のファイバーを束にして画像を明暗の点の分布として伝送するものである。したがって、画像の解像力を上げるためには、できるだけ細いファイバーを多数束ねる必要がある。光ファイバーの研究は光通信よりこのようなバンドルファイバー (光学繊維束) による画像伝送の研究が始まりで、1926年に BAIRD 1927年に HANSELL が、バンドルファイバーの特許を出している。しかし実用化は、American Optical Co. の O'BRIEN 氏のファイバースコープの特許により 1950



図1 光ファイバー内の光の伝播

昭和 57 年 10 月 29 日受付 (Received Oct. 29, 1982)

* 長岡技術科学大学 工博 (The Technological University of Nagaoka, 1603-1 Nagamine Kamitomioka-cho Nagaoka 949-54)

表 1 光ファイバー技術に関する研究開発年表

年 次	記 事
1870	TYNDALL による全反射伝播の発見
1910	HONDROS, DEBYE による光路伝播損失の解析
1926, 27	BAIRD, HANSELL によるバンドルファイバーの特許
1951	O'BRIEN によるファイバースコープの発明 (医療用)
1960	ルビーレーザー発振 (ヒューズ)
1961	ヘリウムネオンレーザー発振 (ベル研)
1964	東北大, 西沢教授, グレーデットインデックス型光ファイバー特許
1965	CO ₂ レーザー発振 (ベル研)
1966	電々公社光通信研究開始 (空間伝送方式)
1966	英国 STL, KAO, HOCKHAM による低損失ファイバーの可能性の指摘 (1 000 db/km)
1968	グレーデットインデックス型ファイバー開発 (セルフォック, 日本板硝子, 200 db/km)
1970	GaAl, As 半導体レーザー連続発振 (USA, USSR, 日電) コーニング社による低損失光ファイバーの開発 (20 db/km)
1975	低損失光ファイバー製造法 Chemical Vapour Deposition 法発明 (ベル研)
1976	極低損失光ファイバー開発 (電々公社, 藤倉電線 0.5 db/km) 実用伝送試験開始 (電々公社, 東電, 関電)
1977	光ファイバー連続製造法発明 (VAD 法, 電々公社)
1978	第一次現場光通信試験, 32 Mb/s, 100 Mb/s (電々公社)
1979	住金和歌山製鉄所で生産管理システムに光通信が採用される

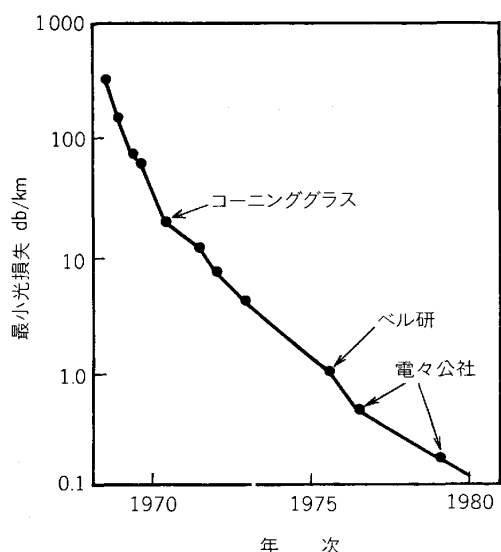


図 2 光ファイバー低損失化の経過

年代から本格的利用が始まった。バンドルファイバーは、Image guide と同時に光のエネルギーを伝達する Light guide としても利用できるために、広い応用分野がある⁴⁾。しかしながら市場が小さく応用が多岐にわたっているために、光通信のように注目されておらず、進歩も遅いのは残念である。

通信の分野では、より多くの情報を送りたいという目的から、周波数の高い搬送波の方がより多量の情報が送れるので、マイクロ波、ミリ波と、より高い周波数の電波が用いられるようになって来た。1960年代はミリ波による多重通信が世界的に関心が持たれていた。ミリ波で電送するためには、極めて精密な導波管を必要とし、製鉄側にも、導波管用の超精度鋼管の開発が依頼され、試作が行われていたことを知っておられる人も少なくなつたことと思う。実際問題として、直線性を要求する導波管を地上または地下に設置することは、経済的にも大変なことであつた。ミリ波多重通信研究開発に我が国だけでも当時 500 億円の投資と 500 名近い研究者が従事していた。

先に述べたごとく、光はミリ波より数千倍も周波数が高く、より多くの情報が送れることはわかつていたものの光路の減衰が大きく、実用にならないと思われていた。表 1 に示すごとく、1964 年の比較的早期に東北大学の西沢らによつて、比較的低損失の光ファイバーのアイデアが提案されたが、あまり注目を集めなかつた。図 1 に示すようにファイバーの中を、全反射しながら光が伝播するので、損失をなくすには、ファイバー表面をめつきして、反射をよくしてやればよいのではないかと考えられるが、実際にはそう単純ではなかつた。ファイバーの表面状況やゴミなどにより、めつきしても損失は向上せず、後で述べるが光路の中心部コアの周囲にそれよりわずかに屈折率の低いガラス (クラッド) で覆うようにした方が損失が少なくできることがわかつた。1966 年、英国の STL の KAO, HOCKHAM らが、ガラス中の損失要因を詳細に調べ、減衰の少ない光ファイバーの可能性が指摘された。1970 年にはコーニング社から、20 db/km (1 km あたり、光の強度が 1/100 に減衰することを示す) の低損失ファイバーが発表された。60 年前に, DEBYE らが予測した損失の 500 db/km よりはるかに下廻るものができることが示されたのである⁵⁾。

一方 1960 年に始まるレーザーの開発から、我が国でも光通信の研究が 1966 年から電々公社で取り上げられるようになったが、これは霞ヶ関ビル 30 階と大手町電話局間を空間伝播で行うもので、気象条件に左右されることが判明しただけで中断された。西沢らの集束型ファイバーの理論研究をへて、1969年に、日本電気、内田、日本板硝子、北野らによる集束型ファイバー SELFOC (Self. focusing fiber optics) の試作が成された。このように、我が国では米国とほとんど同時にスタートを切りながら、ミリ波の多重通信の陰にあつて、光ファイバー通信への切り換えが大変遅くなつてしまつた。その面で光通信の研究開発の歴史は、今後の日本の技術開発の在り方を示すたいへん良い反省材料になるものと思われる。

コーニング社の低損失ファイバーの出現により、光通

信の研究開発は急速に活発になり、図2に示すごとく、減衰損失は著しく低下し、1979年には、電々公社より、石英ファイバーの理論的限界値に近い0.2 db/kmの低損失光ファイバーを作ること成功している（これは空気より透明度が高い）。このように我が国ではLSIと共に、光ファイバー産業では世界の最先端をはしるようになってきている。鉄鋼業においても、1978年10月には、圧延工場に光ファイバーによるコンピューター間の光データ通信ラインが稼動し始め、実用の面でもトップを切っている。

2. 光ファイバー技術の特徴

光ファイバーは、細く軽量で曲げやすいので、光を自由に照射したり、受光したりすることが可能になったことが一つの大きな特徴である。また光は通状の電波に比し著しく周波数が高く、波長がμ近辺のミリ波より著しく短いことである。したがって電気のように往復の導線は必要なく片道だけで情報エネルギーを送ることができ。同時に回路素子の小型化の可能性をもっている。

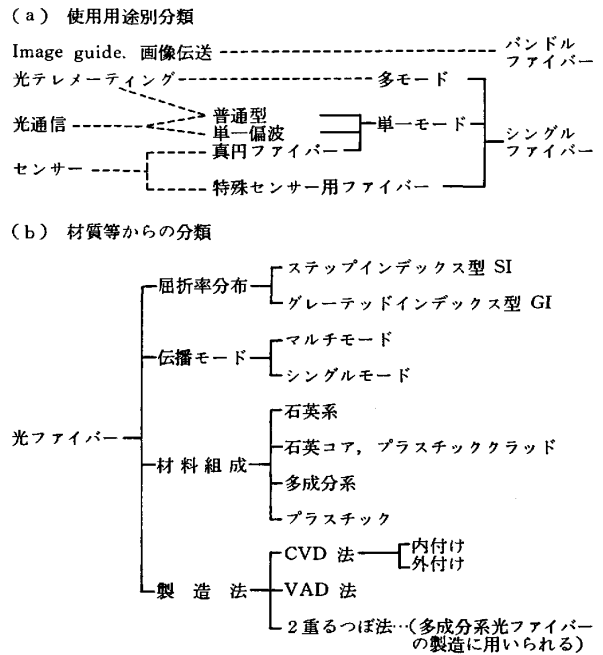
物質と電磁波の相互作用には、量子エネルギー $h\nu$ 、熱エネルギー KT 、物質内の電荷のもつポテンシャルエネルギー eV の3つのエネルギー形態が主役を演ずる。ミリ波以下の電磁波の持つフォトンのエネルギーは $h\nu < KT$ で、熱エネルギーに比し小さく、電磁波の粒子性は熱雑音にうもれてしまっている（常温で、量子エネルギーと熱エネルギーが均等するのは、波長にして50μの附近である）。これに対し、近赤外、可視光では $h\nu > KT$ となり、量子エネルギーが大で、物質を構成する分子・原子のもつエネルギー準位と同等になり、直接光波と物質の相互作用が可能になることである。電荷をもたぬ光が、直接フォトダイオードで検出されるのもこのためであり、また、この相互作用を積極的に利用したものがレーザーである。

これまで、電力や電気信号等の情報は銅線ケーブルによつて伝送されていたが、信号の場合は、電磁誘導を受けやすく、電力の場合は絶縁が劣化すると漏電等の危険をとらなう。特に工場においては、情報回線と電力回線が錯走し、電磁誘導防止にはたいへん苦勞している。光を用いることにより、

- (1) 電磁誘導障害がない
- (2) 光ファイバーは絶縁物であるので、高電圧、大地接地電位の差異は問題がない。
- (3) ショート、スパーク等の問題はなく本質的に安全である。
- (4) 光ファイバーは軽量で曲げやすく(1)(2)(3)に関連してケーブルの多心化が容易である。
- (5) 広帯域（高速）で信号伝送ができる。

当面、エネルギーの伝送は限定されるが、計測、制御の信号伝送、コンピューター間の情報伝送には、雑音の

表2 光ファイバーの分類



多い工業においては、光通信技術は非常に有効である。

これら光ファイバーの特徴を生かして行くためには、それに対応した光源や受光素子が必要になってくる。幸いなことにファイバーの技術と平行してレーザー技術が急速に発展しており、また、フォトダイオード等の受光素子も、オプトエレクトロニクスの進歩によりさまざまな素子が市場に出されており、光システムとして完結し得る状況になっている。

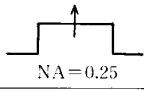
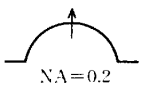
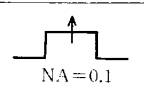
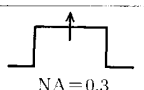
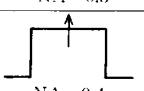
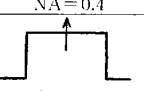
3. 光ファイバーの種類

光ファイバーは、目的に応じさまざまなものが作られている。表2に示すごとく画像伝送用のバンドルファイバーとシングルファイバーに大別されるが、さまざまな組み合わせがある。短距離の応用では、減衰の大きなプラスチックでも利用できるもので、材質的にはプラスチック系と、ガラス、石英ガラス系に大別される。またシングルファイバーの場合、単一の波長帯を通すシングルモードと、多モードの光を送送する多モード光ファイバー、ファイバー自体をセンサーとして利用する特種ファイバーに分類される。

バンドルファイバーは、5~20μのファイバーを多数束ねたものと10~30本のファイバーを角型断面に成形したマルチファイバーを束ねたものがある。現状製作上の制限から、外径数mm、長さは数mと限定されている(図3)。

シングルファイバーの構造は、図4に示すごとくコアとクラッドから構成されており、コアとクラッドの屈折率の分布により、ステップインデックス型(図4-1、

表 3 光ファイバーの種類とその特徴

分 類	屈折率分布	コア径 / クラッド径(μ)	損失 db/km / 帯域 MHz km	特 徴
石英系 マルチモード ファイバー	S1  NA=0.25	80/125	3.5/30 $\lambda=0.85\mu$	中, 短距離 低損失
"	G1  NA=0.2	50/125	3.0/200 $\lambda=0.85\mu$	中, 長距離 低損失, 広帯域
石英 シングルモード ファイバー	 NA=0.1	10/125	0.5/5000 $\lambda=0.85\mu$	超長距離, 低損失 広帯域
多成分 ファイバー	S1  NA=0.3	100/140	8.0/10 $\lambda=0.85\mu$	短 距 離 高 NA
ポリマクラッド ファイバー	S1  NA=0.4	200/350	10.0/20 $\lambda=0.85\mu$	短 距 離 高 NA
プラスチック 光ファイバー	S1  NA=0.4	250/500	150~ $\lambda=0.6\mu$	極 短 距 離 高 NA

NA: 開口数

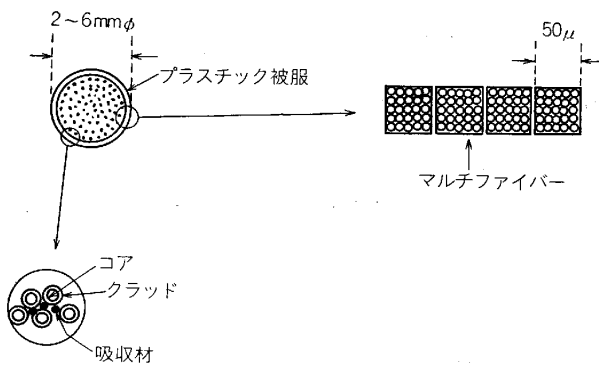


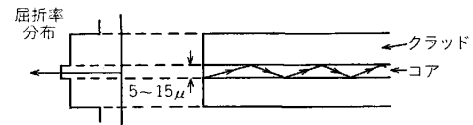
図 3 バンドルファイバーの断面構造

2(a) と, グレーデッドインデックス型(図 4-2(b))に分けられる。

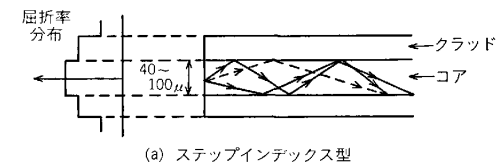
シングルモード光ファイバーは, 図 4 (1)に示すごとく通る光のモードは, 唯一つであり, このようなファイバーは高速大容量伝送方式に使われる。コアの径が数 μ と非常に細いので, 接続時の取り扱いが非常に難しくなる。マルチモード光ファイバーには, ステップインデックス型とグレーデッドインデックス型の 2 つがあり, コア径は 40~100 μ とかなり太くなる。これらシングルファイバーのそれぞれの特徴は表 3 に示した。

現在, 光ファイバーは発展途上にあるためメーカー間の競争もはげしく, 規格化されていないため, 使用者側にとってはややもすると使いにくい状態にある。生産者側とすれば, 高級なものでも量産化により, 価格が下げられ多目的に利用できるのではないかという考え方もあ

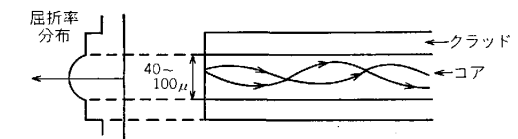
1 シングルモード光ファイバー (ステップインデックス型)



2 マルチモード光ファイバー



(a) ステップインデックス型



(b) グレーデッドインデックス型

図 4 代表的な光ファイバー構造

り, またファイバー単体としては, 使いにくい面もあるので, コネクター等の端末をつけた形で市販したい考え方もあり, 製品等はしばらく混乱がつづくものと思われる。

4. 光ファイバーの製造方法

過去 10 年間に光ファイバーは急速な進歩をとげた裏には, 吸収の少ない高純度のガラスを, 形状その他精密に作る技術の開発によつてもたらされている。この生産方式は, たいへん興味ある方式が用いられているので, 鉄

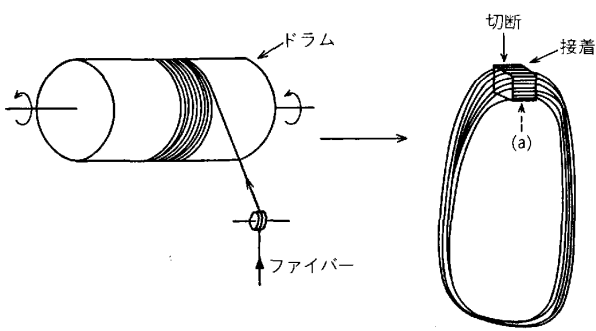


図5 バンドルファイバーの製法

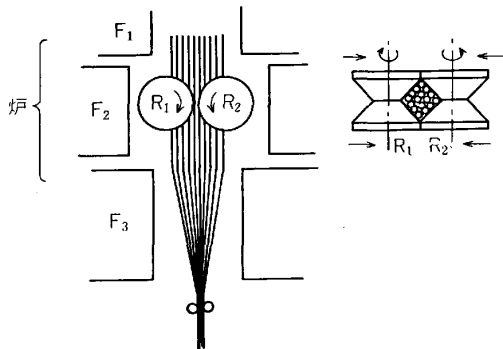


図6 マルチファイバーの製法

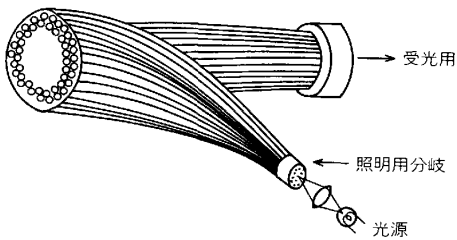


図7 光源投光用ガイドとイメージガイドを合体したバンドルファイバー

鋼技術者にとつても参考になると思われる。

4.1 バンドルファイバー

フレキシブルなバンドルファイバーの最も簡単な製造法は、ドラムに素線ファイバーを巻きつけ、図5のごとく一定の巻数になつたら(a)部に接着材をつけ、素線ファイバーを固着させ、ドラムから外す。次に、固着した部分で切断して端面を研磨処理する。したがつて、バンドルファイバーの長さはドラム径によつて決まってくる。

一方、 100μ ぐらいのかなり太い素線を、 $5 \times 5 = 25$ 本ぐらい束ね、一度加熱してローラーで 50μ ぐらいに引きマルチファイバーを作り、このマルチファイバーを束ねてバンドルファイバーとする方式がとられている。

また、照明用のガイドと、イメージガイドを一体化した図7の形のものも作られている。バンドルファイバーは、使用目的に応じ、形は円、角、板等いろいろな形に作ることができるが、あまり長いものは作られていない(現在、特別な目的のためには 100m のものも作られている)。特殊なものとして、光学的透明な液体を用い中

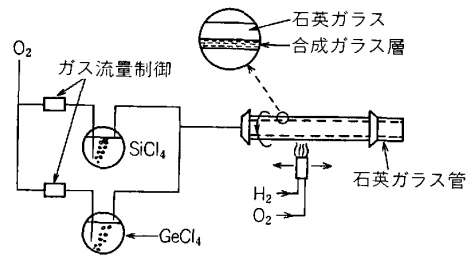


図8(a) CVD法(ベル研)内付け法

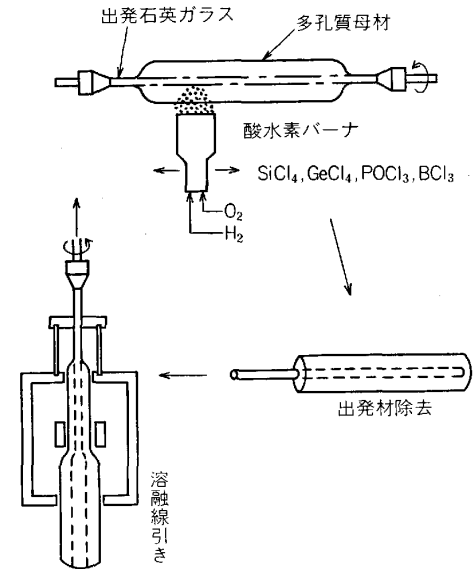


図8(b) CVD法(コーニング社)外付け法

空管を束ね、この中にテトラクロロエチレンや四塩化炭素などを充て込んで、作ったものもある。この方式で、ファイバー内径 75μ 程度で、 6m 以上の液体バンドルファイバーが作られている⁴⁾。

4.2 通信用光ファイバー

光ファイバーは、ガラスの調合と、線引きの工程から生産される。この場合、光吸収の原因となる鉄などの不純物や、光の散乱の原因となる気泡をふくまない高品質のガラスを作らねばならない。同時に適正な屈折率分布になるよう、組成制御を行わねばならない。線引きにさいしては、寸法精度のよいこと、表面欠陥の生じないような、注意と、適切な高分子による表面保護のための被覆もしなければならない。

石英系光ファイバーの製造は、母材を合成する工程と線引き工程からなり、母材の製造法が、開発の中心であった。代表的には、1974年に、ベル研が適応した化学気相堆積法 (Chemical Vapor Deposition, CVD法) と、これに対抗して、電々公社で開発した気相軸付け法 (Vapor phase Axial Deposition, VAD法) の2つがある。これら詳細については別紙を参照されたいが、CVD法は、図8に示す。(a)の石英ガラス管中に、シランガス SiCl_4 を流し、管内壁に SiO_2 を析出させる内付け法と、(b)のコーニング社の開発した石英棒の外

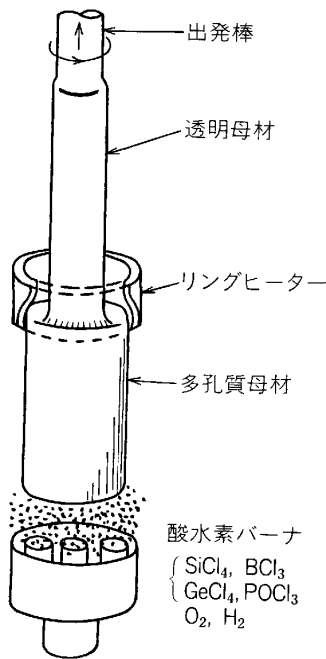


図 9 VAD 法

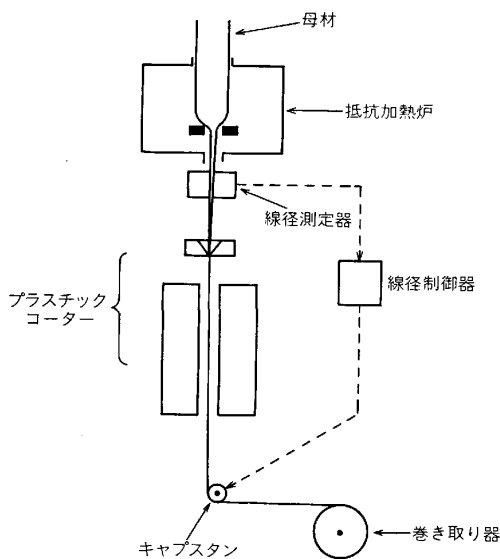


図 10 光ファイバー線引き装置構成

側に SiO₂ を折出させる外付け法とがある。この方式は、流量制御により、組成制御ができることと閉管内で行われるため、不純物の混入が少ない。

これに対し、VAD 法は、垂直に合成を行うため長手方向に連続的に生産ができるのが特徴である。

このようにして作られた母材は、例えば図 10 に示すごとく線引き工程により引かれ、プラスチックで被覆されて光ファイバーが作られる。線引速度は 10m/min と比較的遅いが、5~100μ という細い石英線を寸法精度高く生産するためには、それなりの難しさがあるものと思われる。

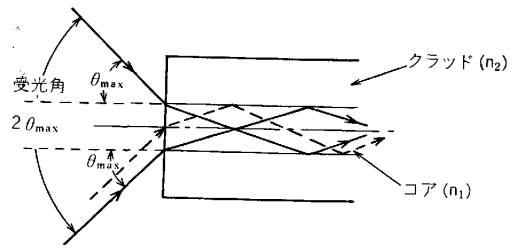


図 11 受光角

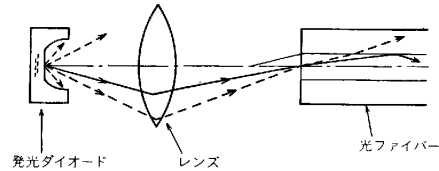


図 12 光源とファイバーの結合原理図

5. 光コンポーネント (光源, 受光素子, コネクタ)

光ファイバーを利用して行くためには、光源、受光素子を始めとし、関連のコンポーネントが必要である。光をファイバーに効率的に入射させるためには、光をファイバーの入射角内に絞つてやる必要がある。各ファイバーに応じ受光角は定まつており、これを示すのに顕微鏡などの対物レンズの性能を示す開口数 NA を用いている (Number of Aperture)。図 11 に示すごとくファイバーには全反射するための最大受光角 θ_{max} がある。開口数 NA は、屈折率 n の物質中から、レンズの軸上の点から出る光のうち最大の開きを持つ光軸のなす角 θ とすると、

$$NA = n \sin \theta$$

で定義されている。これは光ファイバーの光の入射、出口からの放射の状況と同等である。したがって、平行光を入射させる場合は、レンズで収束する必要がある。したがって、発光ダイオードからの光をファイバーに導入するには基本的には、図 12 のごとく、結合レンズを用いる。結合の方式はいろいろな方式が考えられる。

光源は、一般光源を始めレーザー、発光ダイオード、半導体レーザーが利用できるが、今後の光源としては小型な発光ダイオード、半導体レーザーが中心になる。受光素子についても現在では、さまざまな種類が開発されており、感度の高いアパランシ、フォトダイオード、トランジスタ作用で、光電流を増幅するフォトトランジスタが市販されている。使用目的、光源、ファイバーに応じた波長帯の受光素子を選ぶ必要のあることは言うまでもない。

光の分岐、合流、スイッチ等について、さまざまなコンポーネントが案出されている。図 13 に、コネクタ等の原理図及び光学形式による分岐、合流の例を示した。これらも目的に応じ異なってくるので、ここでは原

名称	基本構成	特徴(損失)	
光分岐器		20 db以上	
光分波器		30 db以上	
光スイッチ		60 db以上	
光減衰器			
光コネクタ		0.5 db以上	
ミキシング形		(8分岐) 挿入損失 3.3dB 分配比 ±1dB ばらつき	分岐数を大きくできる 部品点数が少なく 低コスト
		分配比 ±0.5dB ばらつき	フラクシヨロスがなく低損失 組立時間がかかる
		(10分岐) 挿入損失 3dB 分配比 ±0.5dB ばらつき	分岐数を大きくできる 量産性がある
ビーム分割形		(8分岐) 挿入損失 2.3dB 分配比 ±0.5dB ばらつき	フラクシヨロスがなく低損失 分配比ばらつきが小さい

図13 各種光コンポーネントの原理図

理的な面を指摘するのに止めることにする。

6. 鉄鋼への応用

6.1 光通信としての利用

光ファイバー技術の製鉄技術への利用の分野はたいへん広いが、分野別に言えば光通信の利用がやはり一番大きいものと思われる。既に実用試験は1976年に研究所内で画像データ伝送に利用され2箇月の比較試験で通状のモデムによる電送の誤発生率 10^{-8} に比し、光通信は零 (10^{-18} 以下) の高い信頼性が示された。モデムによる誤信号は主として電磁雑音にもとづくもので、その面で誘導障害のない光通信の有利性は示された。実際の工場への適用は1979年、和歌山製鉄所での採用が最初ではあるが、世界的にも実用化はたいへん早かつたと言える。現在では各製鉄所で生産情報システムに光通信を採

表4 ホットストリップミル，計算制御システムの進歩

設置年次	昭和43年	昭和47年	昭和57年
工場コンピュータ台数	K工場 1	O工場 6	Y工場 9
データ量	30 KB	230 KB	1.2 MB
プログラム量	190 KB	350 KB	3.6 MB

用している例は10数箇所に及んでいる。

よりきめの細かい管理、工程制御のために、情報処理量は急速に増大している。一例として、ホットストリップミルのコンピュータシステムの場合、表4に示すごとく昭和43年稼働のホットストリップミルでは、1台の計算機を使用していたが、昭和57年稼働の新しいミルでは、管理範囲を著しく拡張され9台の計算機を用いている。入力データ量は、40倍に増大している。プログラムも進歩したとは言え18倍に増大している。このよ

うに、過去に比すると取り扱う情報量は、急激に増大しており、これがまた我が国の製鉄所の効率を高めている一つの要因でもある。

我が国では、同軸ケーブルを採用した多量データ伝送システムとしてデータハイウェイが開発され、昭和46年に、日本鋼管福山製鉄所に6250 bit/sのラインが高炉周辺のプロセスコンピュータの結合に採用された。それ以来工場内の情報電送に広く、このデータハイウェイが利用されて来た。しかしながら製鉄所内には、重電機設備が多く、電力消費も大きいために、コンピュータの設置の際には電磁誘導障害を除去するのにたいへん苦勞して来た。同時に接地もたいへん難かしかつた。光通信はこれらの問題を、解決できるだけでなく、初期のデータハイウェイより数万倍の大量情報伝送が可能になったのである。

日本の製鉄所に最初に適用された光通信システムは、住友金属和歌山製鉄所熱延及び冷延工場の生産管理システムで、6箇所のデータターミナルを光ファイバーで結合したもので、全長約9kmに及んでいる⁶⁾。この伝送速度は32.3 Mb/sである。昭和55年より新日鉄、君津製鉄所に導入された光通信システムは、製鋼関連の情報を総合化するために、コンピュータステーションと、第一、第二製鋼工場を光ファイバーによりリンクしたものである。これは全長約4kmに及ぶ、10 Mb/sの容量の光データウェイにより、43台のCRTを含む175台の端末を操作するもので、これにより、コンピュータ操作要員、保守要員を少なくすると共に、信頼性の向上をはかっている⁷⁾。

このように製鉄各社では積極的に新技術の採用を行っているが、メーカ、ユーザ共保守技術は未熟であり、完全な実用化には時間がかかると思われる。特に、従来技術と異なり光技術は接続にしても簡単でなく、メーカ依存度が高く、かつケーブルを始め汎用化されていないことである。しかし、従来の電送に比し信頼性の高いことから、今後、OAを始め広く活用されて行くことになるであろう。

6.2 計測制御への応用

製鉄プロセスは、高炉を始めとして、炉内の状況を直接観察することが困難な対象が多く、これまで炉頂や羽口よりITVを用いて観測する試みがなされて来た。これらの問題は、長時間の使用に耐える観測窓を作るかにあつた。炉内観測の問題はその面では以前と変わっていない。したがって、バンドルファイバーの利用は、羽口内に挿入してレースウェーを観察したり、RH脱ガス槽内に挿入し、耐火物の損耗状況を検査する等の非定常的な使用がなされている。むしろ直接炉内に挿入するのではなくITV等のエレクトロニクスを環境の良い場所に設置し、炉とITVの間をイメージガイドでつなぐ方式が利用されている。圧延工場では鋼片の位置や移動の検

出に多数の熱鋼片検出器や金属検出器が用いられている。これらの設置条件は冷却水や輻射熱を受けるなどはなはだ悪環境にあり、信頼性を保つには点検保守を十分にしなければならない。最近このような場所では光ファイバーを用いて、センサーは、条件の良い所に取りつける方策がとられている。

このように、発光源または、観察したい面または画像に直接光学系を取りつけにくく、対象例えば走行する板の表面、モーター内部のブラッシ面の状況を遠方から観測したいものは多々ある。この場合、光ファイバーで伝送することができる。例えば図14のごとく投光と受光をファイバーで行うことができる。大型直流モーターのブラッシの損傷状況などは、このような方式で監視できる⁸⁾。

分析に用いられる発光分光器は通常、発光部と光学部は一体化しているが、ファイバーを用いることにより発光部と分光器を分離することができる。これにより、発光部を小型化でき、遠隔分析が可能になる。このように光テレメータングにより、さまざまな形のオンライン計測の可能性が生まれている。

一般に計測制御では、微弱な電気信号を扱うことが多く、特に工業計測制御においては、電磁誘導障害を受けやすい。大型電動機などの場合、サイリスタ制御の制御回線に誘導がのつたりすると、たいへん危険なことがある。このような系には、光ファイバーは有効であり、新しいものにはかなり利用されている。また、図15に示すごとく、検出端と計器を、光ファイバーでつなぎ、電源エネルギーもファイバーで供給する。計測器も試作されている。この図に示すごとく、温度センサーの電源は半導体レーザー光で送られた光を光電池で受けこの発生電圧でまかなっている。

7. む す び

光ファイバー技術は以上述べたごとく、実用段階にあり、適用分野も非常に広い。鉄鋼技術進歩に与える影響も大きいと考えられる。紙面の都合上、極めておおまかな解説しかできなかつたが、最近さまざまな解説書が出されているので、関心のある方は、これらを参照していただければ幸いである。

文 献

- 1) 副島俊夫: 光通信のはなし (昭和57年) [日刊工業社]
- 2) 光コミュニケーションシステム (機械振興協会編) (昭和52年) [日刊工業社]
- 3) D. HONDROS and P. DEBYE: Ann. Phys., 32, 8, 465 (1910)
- 4) 坂田俊文: 電気学会誌, 97 (1977) 7, p. 972
- 5) 大越孝敬: 電気学会誌, 97 (1977) 7, p. 939
- 6) T. KIRIYAMA: Intercom (1980), p. 108
- 7) 藤井 哲: オプトエレクトロニクスフォーラム (1981) [能率協会]
- 8) 仲村敬二郎: 富士電機特報, 55 (1982) 6, p. 18