

大容量光社会を作る仕事の数々

2005年へ 光る道

第7回

「嬉しい誤算」から生まれた
限りなく透明に近いガラス

優れた光ファイバーをつくるため、世界中の研究者がさまざま製造方法の開発を競った時代があった。その厳しいレースに勝ち残り、現在世界の主流となっている製法が、日本で開発された「VAD法」である。性能のよい光ファイバーを、大量につくるというテーマに取り組んで成功を収めた開発の当事者に、光ファイバーの透明性の秘密を聞く。

取材・文 喜多充成

光ファイバーの多孔質母材を製造している様子。火炎のなかでSiO₂（二酸化ケイ素 = 石英）が合成され、雪のように降り積もっていく。

2005



限りなく透明に近いガラス その脅威の透明度

左の写真の謎の物体、実は光ファイバーの製造工程の途中の中間製品で、名称を「多孔質母材」という。白く見えるのは石英ガラスの細かいカケラが降り積もった構造となっているため、雪が白いのと同じ光の散乱によるものだ。

名前に「多孔質」とあるとおり、内部は密ではなくスカスカの空間だらけの構造になっているのもまた雪と同じ。これを熱して空気を追い出すと、径が縮んで透明なガラスの棒ができあがる。雪を溶かして水にし、それを凍らせるような処理をするわけである。

光ファイバーに求められる第一の性能は、限りなく透明に近いことである。上記の方法で作られる光ファイバーでは、我々が日常使っている「透明」という言葉が及びもつかないほどのレベルの、しかもさまざまな尺度に照らしての「透明さ」が実現されている。

たとえば、住宅などに使われている窓ガラス。これを重ねて厚さ50cmにしてみると、透過する光の強さは約1000分の1になる。昼か夜か



NTT光エレクトロニクス研究企画部長の須藤昭一さん。研究開発による表彰も数多い。

は分かって、薄曇りなのか晴れなのか判断がつかないほど外光はにじみ弱められてしまう。レンズやプリズムに使われる光学ガラスはそれよりはるかに透明で、窓ガラス50cm分に相当するのが約15mの厚さに重ねたときだ。

だが、その光学ガラスでも光通信には使いモノにならない。光の強度を1000分の1で増幅するとしても、15mおき、つまり電柱よりもっと短い間隔で中継増幅器を挟まなければいけなくなるからだ。これではインフラとして高くつぎすぎる。

現在の石英ガラス製光ファイバーは、窓ガラス50cmの透明度に相当する厚みが実に150km。もちろんファイバーとして使われるのは「長さ」の尺度でだが、板ガラスに成形された際の「厚み」で考えるといかにケタ違いなのか分かる。窓ガラス50cmと光ファイバー150kmが同じ。それほど光ファイバー用のガラスは透明なのだ。

縮写真の巨大白墨状の中間製品を経て、限りなく透明な光ファイバー母材をつくるこの製法は1970年代後半から80年代前半にかけ、NTT（当時・電電公社、以下同）の茨城通信で開発されたものだ。NTT光エレクトロニクス研究所の須藤昭一さんはこの「VAD法」開発の当事者であり、おそらく光ファイバーを志してNTTに入社した最初の世代の研究者である。「入社面接で光ファイバーをやりたいと話したら、総裁が『光ファイバーって何だ?』と回りに聞いていたくらいでした」（須藤さん）

光ファイバーの製造開発では、須藤さんの入



多孔質母材を熱し、スートを融着させて空気を追い出すと、透明な母材ができあがる。これを髪の毛ほどの細さに引き伸ばして、光ファイバーがつけられる。

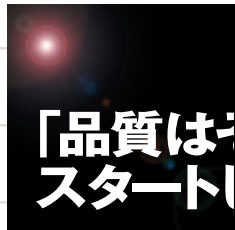
社した1974年に画期的な発明が発表されていた。米ベル研究所による「MCVD法」である。その発明を生むきっかけとなった「CVD法」から、須藤さんに解説してもらおう。

「それまで無理だと思われてきた石英のガラスファイバーで、従来品を3ケタも4ケタも上回る光ファイバーの製法が、1970年にコーニング社で開発された。スートプロセスによる「CVD法」という方法で、これでどうやら使いモノになる光ファイバーが作れそうだという空気が生まれてきた」（須藤さん）

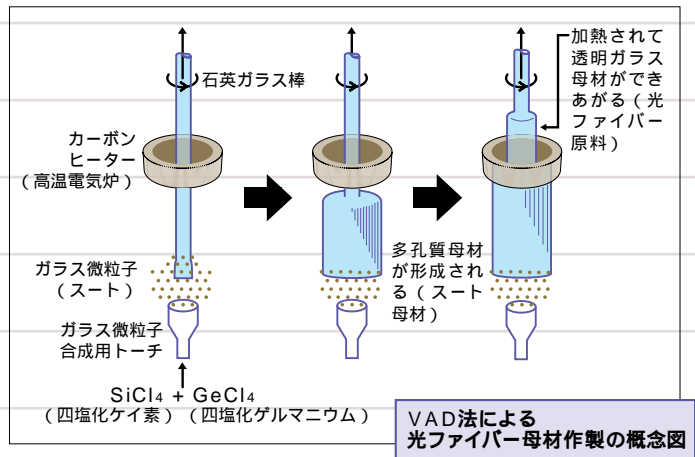
スートとは煤（すす）のことで、石英ガラスの原料を気体の状態でトーチから送り出し、火炎の中でガラスの粒子を合成する方法だ。原料が溶解炉や坩堝などの壁に接触することがないため不純物の混入が少なく、合成されるガラスの純度も高めることができる。そのスートプロセスで、高純度の光ファイバー母材を作る方法がコーニング社のCVD法だ。それを受け継いだのがベル研究所のMCVD法だった。Mはモデルファイブ(改良)の頭文字である。

「MCVD法には世界中の研究者が驚きました。実にエレガントな方法なんですよ」（須藤さん）

そのすばらしさは、石英管の内側にガラスを降り積もらせていくという着眼点に集約されている。管の中という閉じた空間の中での反応のため、外部からの不純物の混入をきわめて少なくできるからだ。降り積もった白色のスートを透明なガラスにするための熱処理をどうするか、内部の屈折率の違う部分（コアとクラッド）をどう作り込むかという難問にも鮮やかに回答していたのである。



「品質はそこそこでいい」と スタートした研究開発



「MCVD法の発表により、研究所の中でも議論が起きました。彼らの方法を追試し、さらに改良していくというアプローチをとるのか、それともまったく違う方法を模索するか。結局、我々が選んだテーマは『品質はそこそこでもいいから、量産性でMCVD法を上回る製法の開発』でした(須藤さん)

それは「苦い選択」だったに違いない。透明であることを求められる光ファイバーで、透明さで勝負することを、ある意味では投げつけたわけなのだから。

「ただ、今後光通信が世の中の主流になり、大量の光ファイバーが必要になるとすれば、光ファイバーも安く大量に供給されなければならない

い。MCVD法は確かにすばらしい方法でしたが、管の大きさに制限され一度に作れる母材が小さい。つまり生産性が低い。我々はその点で勝負しようと考えたのです」(須藤さん)

そして試みられたのがVAD法、すなわち「気相軸付け法」である。先端にスートを吹き付けられ成長する心材を回転させながら徐々に引き上げる方法だ。天井を高くしさえすれば、大きな母材を一度につくることができる。

研究開発は地道な作業である。設備を設計・製作し、運転条件を変えながら母材をつくる。できた母材は別のセクションに回してファイバーの形に成形され、その特性を測ってどれほどの透明度が実現したかがようやく分かる。これを数限りなく繰り返し、条件を煮詰めていく。

とはいえ、そのサイクルに乗せるまでが大変だ。火炎で軸にスートを吹き付ける条件設定がまず難航し、ガラスを成長させているのが吹き飛ばしているの分からない(須藤さん)ような苦労を重ねた。うまく巨大白墨に育ったとしても、そこから透明な石英ガラスに加工する工程で、明らかな失敗作も多数生まれた。目視で明らかに分かる材料の欠陥 気泡である。

白墨を透明なガラス棒にするためには、環状のヒーターの間を通して熱処理しスートどうし融着させる。だが、隙間の空間に残っている気体がどうしても抜けないのである。もともとこういった熱処理のプロセスでは、反応性の低い不活性ガスを満たした空間の中で行なうのが定石。そこでこの不活性ガスを最もポピュラーなアルゴンガスからヘリウムガスに変えてみたら、

ウソのように気泡が消えたのである。

「あとで解析して理論化できたことなのですが、ヘリウム(He=原子番号2)はアルゴン(Ar=原子番号18)より原子の直径が小さいため、石英ガラス(SiO₂)の結合の隙間に入り込んでいってしまいやすいんです。しかも気泡がある直径より小さくなると、表面張力で内部の圧力が高まり、浸みこむように気泡が消える。原子やガス分子の大きさによって、その『ある直径』は変わってくるのですが、ArとHeではその挙動が1000倍も違うということが分かった」(須藤さん)

ひとヤマ越えたが、また次の障害に直面する。「石英ガラスの中に残ってしまう水酸基が、通信に使われる波長のレーザー光を吸収してしまう。ちょうどその波長の光と、水酸基の構造が共振してしまい、これが光エネルギーの損失につながっていた。一方で、反応のための火炎は何で得ているかという水素と酸素。つまり水酸基をどんどん供給しているわけです。それでいて水酸基を取り除かなければならないというのは、食事しながら歯も磨けと言っているようなものなんです」(須藤さん)

食事もしなければいけない。歯も磨きたい。そういうときは、食事してから歯を磨くものだが、水酸基問題の解決策もまさにそれだった。

「塩化チオニルという気体を白墨ができた後に加え、この物質に含まれている塩素が石英ガラス中に残っている水酸基を置換することにしたんです。OH⁻よりCl⁻のほうが、Siにくっつきやすいという性質を利用したわけで、これで水酸基を極限まで取り除くことができました」



1980年当時のVAD法光ファイバー母材製作装置。

2005

炎の中で生まれる透明なガラスが大容量通信を担い、光化社会を支える。

VAD法なしでは得られなかったネットワーク社会

白墨がスカスカの構造だったことが幸いし、塩化チオニルは多孔質母材のすみずみまで行き渡り、透明化の熱処理の際に水酸基を追い出すことができた。後からパッチをあてたような、決してエレガントな方法ではないが、母材中の水酸基の濃度はPPB（10億分の1）のオーダーまで落とすことができた。この時点で、VAD法で得られる光ファイバーの特性はMCVD法を大きく上回るようになった。

ご存知のとおり光ファイバーは、中心部の「コア」とそれをとりまく「クラッド」の2層構造となっている。両者の屈折率が違うため「コア」に導き入れられた光は「クラッド」との境界面で反射を繰り返して、外部に漏れ出さずに遠くまで送り届けられる。VAD法の白墨の内部には、「コア」になる部分と「クラッド」になる部分がすでにつくり込まれている。

大容量の長距離通信を目的とするなら、コアの部分はなるべく細くしたい。細い筒を通して声を送るとはっきり聞き取れるが、トンネルの向こう側にいる人に話しかけようとする、どんなに大きな声で喋っても反響が大きくなりすぎて何をしゃべっているのか聞き取れなくなるのと似た原理だ。早口でしゃべりたいなら細い管をつかうべき。光も通り道も細ければ細いほど、信号がにじまずに伝わるのである。

もう一度扉の写真を見てもらいたい。

スートを吹き付けるトーチの配置や数や形状、吹き出す角度や対象物までの距離、単位時間当たりに送り込まれる水素と酸素の量や原料の配合比率も、とにかく何もかもが試行錯誤を重ねて得られた、ノウハウの塊なのである。

こうして須藤さんらの研究チームは1984年までに開発を終えた。「性能はそこそこでいい」とスタートしたが、「最終的に量産性は抜群、しかも性能も極上品を作れる光ファイバー母材の製造法を手に入れることができた。嬉しい誤算でした」(須藤さん)という大成功を収めたのである。

「今となっては信じられない話ですが、1960年代の半ば頃までガラスの光ファイバーを長距離の通信に使えると考えた人は少なかった。私自身、溝を掘って筒を埋め、その中で光通信の実験をしたこともあったくらいです(笑)」(須藤さん)

もし光ファイバーが開発されなかったら、ガス管や水道管のように「光通信管」が縦横に走る都市ができあがっていたかもしれない。その管は、ガスや水のような流体を流す管ほど自由に曲げることができないだろうから、エンジニアや建築家はその配置にさぞかし頭を悩ませたに違いない。あるいは、あまりにそれが面倒すぎるため、我々は光通信という通信手段そのものを選択していなかったかもしれない。そこまでは至らなかったとしても、質のよい光ファイバーが大量生産されなければ、これほど多くのコンピュータが相互につながり、多くの情報がやりとりされるような現代社会の形はたぶん実現していなかったのではないかと。

その後の解析から、VAD法は石英ガラスという素材を極限まで透明にする製法であることが確認され、しかも石英ガラスは高性能の光伝送媒体としてほとんど唯一の素材であることも分

かった。1本の母材から2000km分ものファイバーがつけられる生産性の高さも大きなメリットもある。

今後もとうぶんはVAD法でつくられる石英ガラス性の光ファイバーは、長距離・大容量の光通信のデバイスとして決定版といえるのだ。

optical fiber



[インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

株式会社インプレスR&D

All-in-One INTERNET magazine 編集部

im-info@impress.co.jp