



中島和秀

特別研究員 NTTアクセスサービスシステム研究所



蓄積された経験と外部からの刺激の「接点を意識」する

現在、日本のデータ通信は、2.5 Tbit/sを超え、2020年代の後半には10 Pbit/sを上回るデータ通信需要が生じると予想されています。また、この予測を受け、既存の光ファイバの伝送容量限界が顕在化するのはとの懸念が広がっています。間近に迫る懸念の打破に挑むNTTアクセスサービスシステム研究所の中島和秀特別研究員に、最新の研究成果と研究者としての姿勢を伺いました。



世界最高密度の光ファイバを実用に耐え得る信頼性で実現

●現在手掛けていらっしゃる研究についてお聞かせください。

1本の光ファイバでより多くの情報を伝送することを目的に、光ファイバの中にコア、つまり光の通り道をつくる研究を行っています。光ファイバはコアとその外周（クラッド）における光の屈折率の差によって発生する光の反射を利用してコアの中に光を閉じ込めることで、光強度の減衰が極めて少ない伝送を可能としています。光はコアとクラッドの境界面に対して角度をもって進行しており（角度0度の直進光を含む）、単一の光のみが許容されるシングルモードファイバと複数許容されるマルチモードファイバがあります。光ファイバを曲げることで光の進行する角度が相対的に変化し、光が反射せず透過してコアから漏れ、光強度が弱まります（損失）。また、ほとんどの光ファイバでは石英ガラスが用いられており、ガラスであるがゆえに折れてしまうこともあります。

昨今、Fiber To The Home (FTTH) が普及していますが、将来的にお客さまの家の中の光ファイバ配線を専門の技術者ではないお客さま自身が行うことも十分想定され、その場合には光ファイバの「曲げ」の限界が顕著になります。一方、2020年代後半には10 Pbit/sを上回るデータ通信需要の伸びが予測され、既存の光ファイバ関連設備では伝送容量の限界も想定されます。そこで、私のチームでは、①誰でも簡単に扱える「曲げ」に強い光ファイバ（曲

げフリー光コード）の開発・実用化、②既存の設備（土木等）へのインパクトを与えずに伝送容量を増やす光ファイバ（空間多重伝送用光ファイバ）の開発を行っています。

光ファイバのクラッドに複数の空孔を配置し（空孔構造）、空気と石英ガラスの屈折率の差の大きさを利用することで、ファイバを曲げても光がコアから透過せずに閉じ込めることが可能になります。曲げフリー光コードは、この光ファイバ周囲にファイバを保護するコード被覆部と防塵機能付きコネクタを接続したコードとして、曲げ、折り返し、結びに耐えられる構造としたものです（図1）。この技術はITU-Tにおいて国際標準となりました。

通信の伝送容量を増やすためには、光ファイバの本数を増やすことが必要ですが、光ケーブルに収納できる光ファイバの数には上限があります。また、光ケーブルを収納するスペースがない場合は地下や屋内の光配線設備から構築し直さなければなりません。これに対して、光ファイバの伝送容量そのものを増やすことで、設備へのインパクトを抑えることが可能となります。光ファイバをマルチモードとすることや、1本の光ファイバ内に複数のシングルモードのコアを配置（空間多重）し、マルチコアファイバとすることで伝送容量を増やすことは可能ですが、いずれか一方では50以上のチャンネル（光の通り道）を実現することは困難であり、予想される伝送容量の限界を打破するには十分ではありません。そこで、1本の光ファイバの中に複数のマルチモードコアを配置し、伝送容量限界を打破しようという研究開発が世界的に推進されています。

ところが、コアの数を増やすことにより、コアどうしの距離が近いとコア間で光の干渉が発生し、コアを囲むク

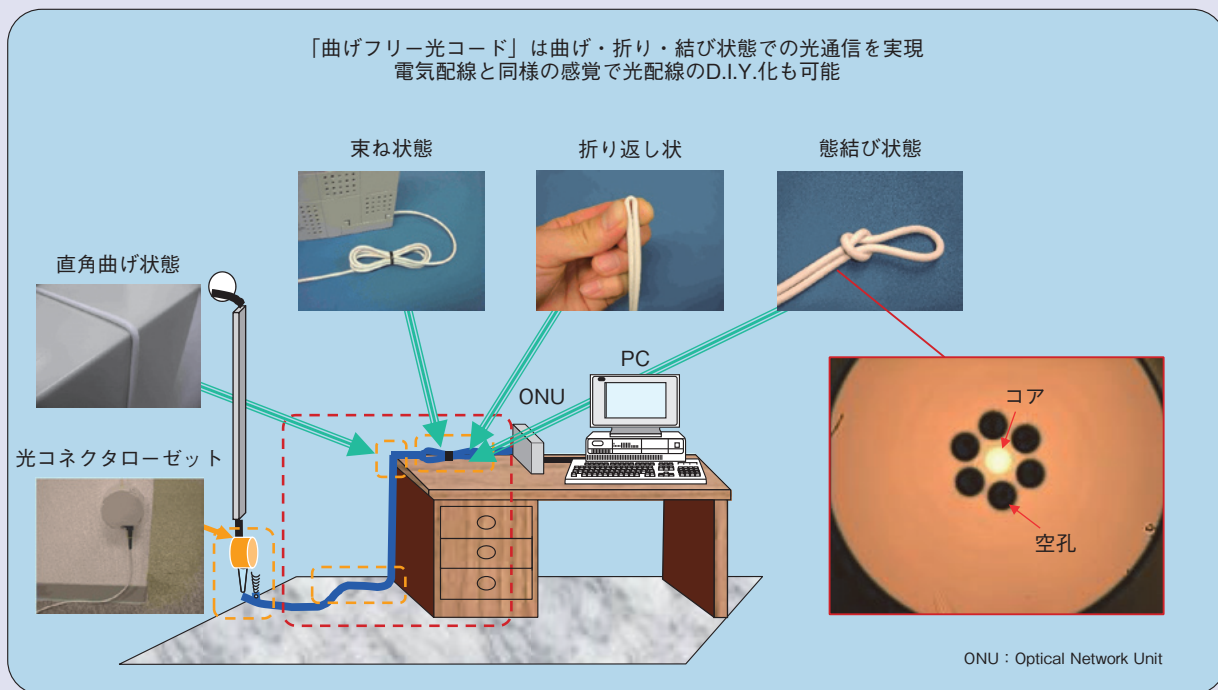


図1 曲げフリー光コード

ラッドの厚さが薄すぎると損失が大きくなります。さらに、光ファイバの直径が大きくなると折れやすく、実用に供することができなくなります。こうした中、私たちは株式会社フジクラ、北海道大学（情報通信フォトンクス研究室）とともに研究開発を進め、世界最高密度の光ファイバを実現しました。

これまで、直径が250 μm以下であれば、20年以上にわたり使える光ファイバが実現できることは把握していましたので、将来の伝送容量への対応を考慮して、直径250 μm以下で100チャンネル以上の伝送を可能とすることを目標として開発を進めました。マルチモードの場合、コア内の光の反射角により伝搬距離に差が出ることで、受信側への光の到達時間にモード間で差が出ます。この差により受信側の信号処理が複雑になるため、これを少なくする必要があります。これについて、コアの屈折率を調整して最適化することで、この時間差を最小化しました。また、コア間隔を含むコアの配置の調整により、250 μm以下の直径で光の干渉や損失の抑制を図ることができました。その結果、6モード対応のコアを蜂の巣状に19個配列することで、世界最大の114チャンネル(=6モード×19コア)

を多重化することができました(図2)。従来の光ファイバの60倍以上に相当する世界最高の密度です。

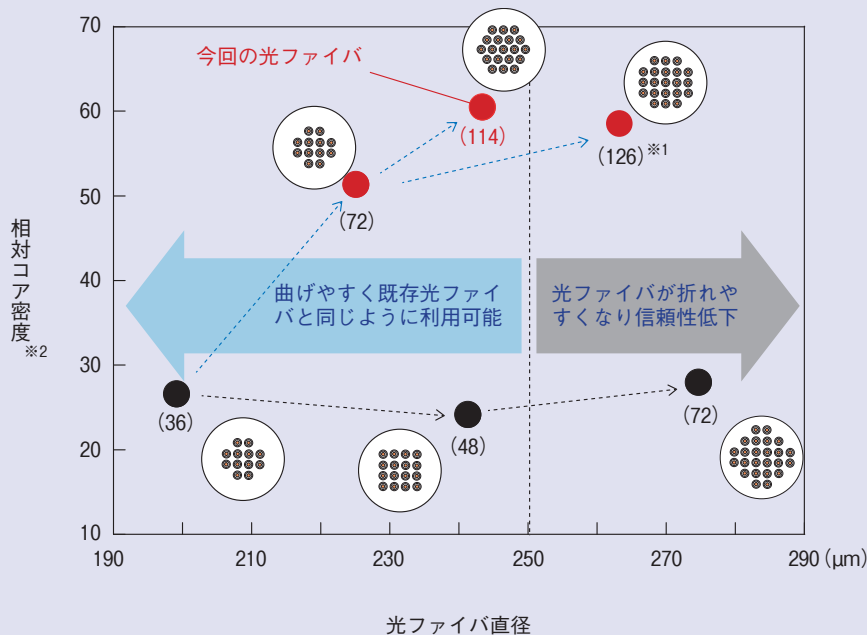


発言撤回大いに結構。自分が本当にしたいことは何かを問い続ける

●世界をリードする研究成果を得るまでに、どのような研究活動をされてきたのですか。

1994年の入社以来、私は光ファイバそのものの研究を手掛けています。学生時代もデュアルコアファイバの特性計算を行っており、それも手伝って、光通信を世に広めていきたい、との思いで研究に携わってきました。当時は、WDM (Wavelength Division Multiplexing) という、複数の波長の光を多重化して伝送容量を増やしていく技術が注目されており、これに適した光ファイバの開発がもっぱらの研究テーマでした。

2000年からは空孔構造を持った光ファイバの研究を手掛けてきました。従来から光ファイバは曲げに弱いといわれており、これを克服して誰でも簡単に扱えるようにして



作製した光ファイバの断面
6モード×19コア=114チャンネル

※1 括弧内の数字は光の通り道の数
(モード数×コア数) を表します
※2 光ファイバ断面内における光が伝搬
可能な領域の面積比 (既存の光ファイバ
を1とした場合の相対値)

図2 世界最高密度のマルチコア光ファイバ

ほしいとの他部署からの要望がきっかけです。2005年にはクラッドに空孔を開けて光を閉じ込める効果を応用した、新構造光ファイバの実用化を世界に先駆けて成し遂げることができました。間違っても椅子で踏みつけても折れることなく、伝送性能にも影響がないほどの強い光ファイバを誕生させることができたのです。2010年以降は、既存の光ファイバの伝送容量向上を図るために、マルチコアタイプの光ファイバの開発をテーマとして研究しています。

●世界最高の技術に至るまでに苦労なされたことを教えてください。

光ファイバは、屈折率の異なる材質を利用して光信号を閉じ込めています。広く一般に用いられている光ファイバは石英ガラスに異なる物質を添加することで、コアとクラッドの間の屈折率の差をつくり出しています。当然ですが、石英ガラスと空気も屈折率が異なり、この性質を利用して光ファイバ内に空孔をつくり、石英ガラスに物質を添加することなくコアをつくることができます。これが空孔構造の光ファイバです。この光ファイバは空孔を均一に配置していかなければならず、これを実現するには非常に高度な技術が必要となり、それはいまだに完成しておらず、実用化の域にも達していません。

さて、曲げに強い光ファイバの要望があった際に、チーム内で今後の研究テーマとしてこの要望へ対応していくのか、それとも完璧な空孔構造のファイバ実現を優先させるのかという議論がなされました。議論の中で、空孔構造の場合光ファイバを曲げても光が透過して漏れない、という特性が見つかり、それならば通常のコアを有する光ファイバに空孔を設けることで、曲げに強い光ファイバができるのではないか、というアイデアが出てテーマが設定されました。

研究を進めていく中で、外部の他の機関から似たような発表がありそうだという情報が飛び込んできました。ある程度研究は進んでいたものの、先を越されないためには、2週間で発表できる段階までもっていき必要がありました。この間、研究の加速はもちろんのこと、発表論文の準備、権利取得の手続き等、チーム一丸となって対応してきました。競争相手というよりも時間との闘いでした。

●世界最高技術を繰り広げる中で、どのような研究者だったのでしょうか。

研究の面白いところは、何事も自由に考えることができ、それにより世の中になくものを考え、創り出していくことだと思います。まさに、想像して創造する世界です。とは



言いながらも、ここに至るまでは私は非常に単純な研究者だったと思います。関心のあることを深く掘り下げるだけで、自分の世界に浸っていました。例えば、均一でなければいけない光ファイバをわざと不均一にして、当時の上司から「役に立つ研究をしてくれ」と言われてもどこ吹く風でした。しかし、「曲げられる光ファイバが欲しい」という要望を聞いたときに、「光ファイバだけがあっても仕方がない」と気付いたのです。言い換えれば、優れた研究成果があってもそれを実際に活用できなければ意味がないのだと実感しました。

そして、もう1つ。通信分野で使用する光ファイバの標準化を手掛けたことも私の研究人生に大きな影響を与えてくれました。2000年あたりから光ファイバの国際標準規格を策定する国際会議（ITU-T）に参加しているのですが、標準規格をつくるというのは性能がトップであることが第一義ではなく、汎用的であり、リーズナブルに利用できることが必須要件となります。まさに、先端技術でトップデータが優先される研究をするのとは反対の視点、方向ともいえます（写真）。

この2つの経験から、先端技術を研究するにあたり、どのように世の中に受け入れられる技術を生み出していくか、つまり、自分の手掛けた先端技術と世の中の接点を見つけようという意識が芽生えました。

●研究活動で得た視点をどんどん変化させていったんですね。前進するためにどのようなことを心掛けていらっしゃいますか。

右往左往しながら進んでいます。現在の大容量伝送の研究においても事あるごとに、本来の目的を振り返るようにしています。私たちが手掛けている研究は、10年、20年先を見据えた息の長いもので手ごたえをつかむ機会は少ないかもしれません。だからこそ、今、持っている成果をどのように切り出し、世の中に役に立つものを生み出していくという行為も、自らの研究の価値を自覚する機会につながっています。そのためにも、他者や外部からの刺激は大切で、これに関して2つの例をお話します。

1つは、家で実際に使える光ファイバを誕生させたときのエピソードです。これは私にとって大いに励みになったのですが、その研究意義が何だったのかを自覚していなかったことを突きつけられる出来事がありました。入社3年目の社員向けの研修に講師として赴いたとき、受講者の1人から「中島さんは光ファイバの研究を何のためにいらっしゃるのでか」と質問を受け、答えに詰まってしまいました。振り返ってみると、私は大学時代から光ファ



（左から）中島 和秀（Q5ラポータ、NTT）、Francesco Montalti（WP議長、Italia）、白木 和之（Q8ラポータ、NTT）、戸毛 邦広（Q16ラポータ、NTT）、荒木 則幸（SG15副議長、NTT）

写真 2016年9月のITU-T SG15会合にて

イバの研究をしていましたが、元々、光通信や光ファイバに興味があったとはいえ、強く望んでこの分野に身を置いたというよりも、自らの進路の岐路のたびにこの分野に触れる機会があった、という偶然が重なった結果であると思っています。そして、光ファイバというキーワードに興味や夢を持つことができた結果、今にたどり着いたと思います。しばし思いを巡らせて、こうして続けてきた研究の成果が世の中で利用され、NTTはじめ、社会のお役に立てたことを自覚でき、それが自信につながっていたのだと気付きました。

もう1つは、私が参加しているITU-Tの国際標準化会議で、8か月に一度スイスのジュネーブで開催されています。参加各国、団体からの提案を、それぞれの利害対立もある中で、慣れない英語で喧嘩諍論しながら、国際標準規格としてまとめていきます。せっかくの海外なのですが、楽しみといえば夜の食事のみです。こうして議論に集中していると、気付かないうちに、議論をまとめあげるのではなく、議論そのものに意識が向いてしまうこともあります。そこで、2週間の会期中の週末には山に登るなどしてリフレッシュします。こうした外部からの刺激によって、頭の中の整理が付き、議論が国際標準規格という成果としてまとまっていきます。

何事もゴールを明確にすることは大切ですが、未来のこ

とは誰にも分かりません。研究であるがゆえに、最初は何が正解なのかも分かりません。したがって、私たちのグループも、実験データや世の中の動向といった現実と照らし合わせて、常に方向性を議論しながら、必要に応じてテーマさえも修正して前進しています。だからこそ、研究者としては、いつでも悩んでいて良いし、一度言ったことを撤回しても良いのだと思っています。どうしても、言ってしまった手前、後へ引けないということもありますし、その気持ちも理解できます。しかし、それにとらわれていては前進できません。

そのうえで、人の意見をきちんと聞く姿勢を持つことは大切だと考えます。自分が手掛けている研究を世の中に出していくには柔軟性が必要です。さまざまな物事と研究成果の接点を見出していくことが実用化において大切なことの1つです。自分の仕事にこだわりを持つのは良いのですが、頑なに変化を拒むのは接点を見逃すことにつながるのではないかと思います。



本当に成し遂げたいことは何かを常に意識する

●今後の抱負、展望をお聞かせください。

私は理論家ではありません。愚直に粘り強く研究に取り組み、納得するまで実験データを取りながら考え続けてきました。今後もそれを続けていくことで、スキル、能力を高めていきたいと思っています。入社したときからご指導いただいていた上司がNTTを辞められるときに、「私に感謝するのは100年早い、後進のために道をつくりなさい」と、残してくださった言葉を胸に抱いています。いつになるか分かりませんが、自分がNTTを去るときには何らかの道をつくっておきたいです。

もちろん、NTTであろうが、どこかに行こうが、光ファイバに骨を埋めるつもりです。光ファイバの新しい使い方を考えていきたいです。そして、夢を語る研究者でありたいです。自分自身で考えることを放棄せずに歩んでいきたいと思っています。

今後の大きな目標は将来の大容量伝送に利用可能な技術を生み出すことです。現在、使用している光ファイバの限界は100 Tbit/sといわれています。伝送路に使う光ファイバは一度使用してしまうと20年、30年は継続して使用します。その入れ替えのタイミングに合わせて、100倍の伝送容量の実現をめざします。これまでの成果として

で従来の60倍の密度は達成しましたので、ある程度の手ごたえはあります。これを実用化するためにまだまだ多くの検討課題がありますが、さらなる高みをめざして努力します。実用化には製造技術がカギを握りますので、メーカと議論を重ね、お互いの強みを活用しながら取り組んでいきます。そして、芽の出始めたマルチコア技術をなるべく早く世の中へ出していくことが重要と考えています。

●現役の研究者として成果を出すために大切なこと、若い研究者の皆様にも一言お願いします。

若い研究者はモチベーションも能力も高いです。ただ、誤解を恐れずにいえば、私たちのころと比べて大人しい印象で、とがった人が見受けられません。私たちの世代では上司の意向に従わない者もいましたが、同期入社の数がないことも影響しているのか、今はそういう存在は見受けられません。反抗を促しているわけではありませんが、意見を述べないその理由を知りたくて「あなたが本当にしたいこと、考えていることは何か」をよく問うています。すると、何回も聞いていると突拍子もない返答が返ってくる場合があります。相手との関係性が把握できれば、臆せず本音が出てくるのかもしれませんが。

昨今は昔に比べて時間の進み方が早く感じられます。その分自由な時間が与えられなくなってきていると思います。その中で、自分を見失わないために、夢を持ってください。そして、研究を深く掘り下げていき、状況に応じて視点を変える、この使い分けの意識を持ってください。

さらに、自分の研究に関係ないと思われることであっても、とにかくやってみてください。それをやることで、視野が広がり、いろいろな意味で自身の引き出しを増やすことができます。そして、研究成果を現実のものとしていくための接点ができます。昨年、私は小さな学会の役員を引き受けました。ネットワークのオペレータとベンダの橋渡しを目的としています。アドバイザーのような役割を務めています。日頃出席している学会では得がたい経験をしており、研究が世の中の役に立つための接点形成にもつながってくると思っています。

こうした中で、若い研究者が悩んだり、迷ったりしたときに、同じ道を通ってきたからこそ、彼らに本来の目的は何だったのかを思い起こさせ、最終的なゴールがぶれないように照準を合わせたいと、視点を引き上げるサポートが担えればと思っています。繰り返しになりますが、研究という仕事が私は好きです。世の中のないものを考えて、生み出すことに楽しさを感じます。ぜひ、研究を好きになっていただき、ともに楽しんでいきましょう。