

理論解析も物造りと同じように 創造的でなければならない

偏波保持光ファイバ（PANDAファイバ）の考案、さらにはAWGの開発など、光ファイバ通信の大容量化に貢献した岡本勝就NTT R&Dフェロー・岡本研究所所長に、光デバイス研究に取り組まれた経緯から今後の抱負までお話をうかがった。

新しく優れたものを創るという熱意と、
欠点を利点にする考え方が重要

岡本フェローは光デバイスがご専門で、いろいろユニークなデバイスを開発されています。これまでのご経験から、研究者にとって、一番必要な資質は何だと思いますか。

岡本 一番というのは難しいと思いますが私自身の経験から考えますと、“新しく優れたものを創ろう・他の研究者とは違ったことをや

ろうという熱意”だと思います。研究者だからといって特別違う資質が求められるわけではなく、経営者でもジャーナリストでも同じではないかと思います。それと私は“欠点は必ず利点になる”と考えています。3Mのポストイットは非常に有名な例ですが、ある目的から見れば欠点となるような特性が別の観点からみれば大きな利点となることが多々あります。

例えば、光ファイバの伝送損失の

主要因としてレーリ散乱があり、入力パワーを制限する要因としてラマン散乱やブリルアン散乱等の非線形光学効果があります。これらはすべて伝送路としての光ファイバにとっては望ましくない要因です。レーリ散乱は光の波長より小さい密度揺らぎによって生じるものであり、石英ガラスにおいてはその密度揺らぎによってもたらされる屈折率揺らぎにより光が散乱される現象です。レーリ散乱による損失は1.55 μmでの光ファイバの損失のほぼ7割を占めており最大の損失要因です。このように、レーリ散乱は光ファイバにとっては非常に厄介なものですが、1976年に後方レーリ散乱光（光源側に戻る散乱光）を用いた光ファイバの障害点検出法が考案されました。これは、光ファイバに破断や損失変化があればその点からの後方レーリ散乱光が変化するという事を利用してする方法です。この方法は光ファイバ通信における光ファイバの保守、診断を行ううえで必須の方法になっています。

ある課題に直面した時に、我々は欠点の克服のみにあまりにも傾注し過ぎてしまいがちです。“欠点（災い）を転じて利点（福）となす”と



NTT R&Dフェロー
岡本研究所

所長

岡本
勝就
氏

1977年電電公社電気通信研究所入社。分散フラット単一モード光ファイバ（DFF）を世界に先駆けて理論提案。また、偏波保持光ファイバの最適構造設計、研究実用化を行い、さらに各種ファイバ型光素子を開発。1982年より1年間、英国サザンプトン大学で客員研究員。1998年電子通信学会業績賞受賞、1998年電気通信普及財団賞を受賞。現在、NTT R&Dフェロー、2003年4月より有限会社岡本研究所を設立し、光ファイバ及びPLCデバイスの解析・設計に従事。

いう考え方は研究者にとっても重要な教えだと思えます。

画期的な偏波保持・低損失を実現した PANDA ファイバ

岡本フェローは、PANDA（パンダ）ファイバという特殊な光ファイバを考案されていますが、これはどのような光ファイバですか。名前の由来なども教えてください。

岡本 PANDAファイバを開発した1980年当時、NTTの基礎研、及び東大の大越 孝敬先生（故人、私の指導教授）がコヒーレント（ヘテロダイン）光通信という方式を提案しました。コヒーレント光通信では、受信側で信号光と局発光を干渉させます。そのとき偏波が同じでないと光は干渉しませんから、偏波保持のファイバが必要になるのです。通常の単一モードファイバでは、ファイバ断面内で直交した2つの偏波モードが存在します。光ファイバの構造が真に軸対称であれば、これら2つのモードは同じ伝搬定数を持ち、強度分布も同じであるので偏波以外では区別が付きません。しかし、現実にはコアの楕円化や外径に対する偏心などによって非軸対称性が誘起され、2つの直交偏波モードの伝搬定数や伝搬速度が異なってきます。このようなファイバでは、ファイバの長手方向の側圧や温度等の変動によってモード間に結合が生じ、伝搬光の偏波状態がランダムに変動したり、偏波モード分散によってパルス広がりが生じることとなります。

偏波保持ファイバ（複屈折ファイ



写真1 誕生当時のPANDAファイバ (1981年)

バあるいは定偏波ファイバとも呼ばれる)の考え方は、2つの偏波モード間の伝搬定数差を十分大きくして、外乱があってもモード結合が起きないようにする、というものです。そのために、コアを楕円にしたりコアの両側に屈折率の低い部分を設けたり、いろいろの試みを行いました。それと並行して有限要素法によるファイバの応力解析を行い、光弾性効果による複屈折性の研究も進めました。その結果、複屈折を大きくするには応力の方が重要であることが分かり、一緒に研究していた保坂 敏人さん（旧茨城電気通信研究所）や佐々木 豊さん（現茨城大学教授）と非軸対称応力を増大させる構造や作製法の研究を行いました。

写真1はロッドインチューブ法（ファイバ母材に穴を開け、熱膨張係数の大きいガラスを挿入して線引きする方法）で作製した最初のPANDAファイバの断面写真です。コアの両側にあるのが熱膨張係数の大きいガラス（応力付与部）であり、コアより屈折率が低いために暗く見えます。この写真を見たとき皆がパ

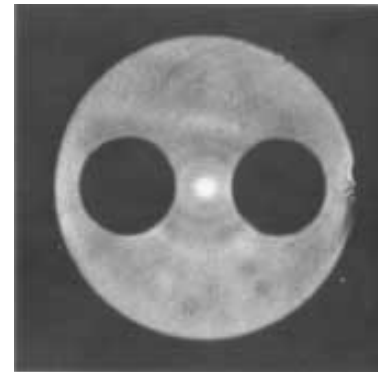


写真2 現在のPANDAファイバ

ンダにそっくりだと言い、仲間うちでは即座にPANDAファイバと呼ばれることになりました。しかし、一応しかるべき名前をつける必要があるだろうということで、佐々木さんとPolarization - maintaining and Absorption - reducing fiber（偏波保持・低損失ファイバ）という変な英語名を捻り出し、略してPANDAファイバと名付けた次第です。現在では、正式な英語名を知っている人は殆どいないと思います。

偏波保持性能を向上させるためには、応力付与部の対称性が非常に重要であることが解析の結果明らかとなり、作製法の改良を続けました。写真2は特性が向上した現在の構造のPANDAファイバです。PANDAの目の大きさや位置も最適化されており、1.55 μmで損失0.22dB/km、1km当たりのクロストーク -34dBという良好な値が得られています。

英国留学で学んだいろんな角度から物事を眺めてみることの大切さ

イギリスのサザンプトン大学にー

年間留学されていると伺いました。アメリカではなくイギリスの大学を選ばれた理由は何でしょうか。NTTの研究所、あるいは日本の大学と比べてどのような違いを感じましたか。

岡本 当時、光ファイバの研究で有名なサザンプトン大学で客員研究者として研究をしました。サザンプトン大学も偏波保持ファイバの研究をやっておりました。彼らはポータファイバといって蝶ネクタイのような形をした応力付与部を持ったファイバで、ロッドインチューブではなく、CVD (Chemical Vapor Deposition) で作りました。そこでも私は有限要素法で応力解析をしましたが、当時サザンプトン大学は偏波保持ファイバより複屈折性が大きいものを使ってポラライザを造る研究をしていました。このとき、私は彼らは発想が自由だなと感じました。我々は通信用途しか頭になかったので、とにかく損失が小さくなくてはいけないと考えていました。応力付与部に用いるボロンは $1.55\ \mu\text{m}$ 帯では吸収損失が大きいので、コアあまり近づけられないと考え、コアから $20\sim 30\ \mu\text{m}$ 程度離しました。応力を大きくするには近づけた方がいいのですが、通信用で使うためにコア半径の5倍以上離すのが当時の常識でした。サザンプトンの人たちは、通信だけでなくほかのアプリケーションも考えるので、応力付与部をコアの直近まで持ってきます。そうするとものすごく複屈折率が大きくなって、曲げ損失が両方の偏波で大きく違ってきます。片側の偏波は曲げ

損失が大きくなって伝わらないということで、ポラライザができるのです。

我々は一つのことを考え過ぎというか、ある問題があるとそこに集中してしまいます。PANDAファイバの例でいいますと、通信に使うためにはロスが $0.2\sim 0.3\text{dB/km}$ 程度でないといけないということを、初めから頭にインプットしていますから、ほかのことを全部排除してしまいます。応力付与部をコアまで近づけようという発想がそもそも生まれにくいのです。研究課題の解決に頭が熱くなり過ぎているときに、少し距離をおいて横から、裏から物事を眺めてみる必要があるのではないかと思います。

他社の追従を許さない NTTのAWG

また、AWG (Arrayed-Waveguide Grating) の開発も岡本さんが中心となって進めたとお聞きしました。このデバイスは現在では北米などの機関ネットワークに必須のものです。AWGとはどのようなデバイスですか。開発にあたって一番苦労されたことは何ですか。

岡本 私が中心となったというのは言い過ぎで、フォトニクス研究所やNTTエレクトロニクス (NEL) の多くの方々の勢力を結集した結果、現在のように世界中で使われるデバイスになったと思います。AWGの写真と、光の波長を分離する原理を図1に示します。波長多重された光 1、2、... N (典型的な波長間隔は $0.8\ \text{nm}$ (1マイクロ

の 1250 分の一)、Nは32チャンネル程度)は左側のスラブ導波路で横方向に広がり、 $100\sim 200$ 本程度のアレイ導波路 (Arrayed Waveguide) に入ります。ちなみに、AWGはArrayed Waveguide Gratingの略であり、光導波路アレイの特性を巧みに利用したグレーティングという意味です。図2、3はアレイ導波路内での光の伝搬の様子を二つの異なる波長の光に対して模式的に示したものです。それぞれの線の間隔は波長を屈折率で割ったものであり、図3の方が図2より小さくなります。波長 c の光に対しては、各アレイ導波路の長さが c/n の整数倍になるように設計されていますので、右側のスラブとの境界において c の光の面 (等位相面と呼びます) はスラブの境界と平行になります。光は等位相面と直角の方向に進む性質がありますから、波長 c の光はスラブ中心の出力導波路に結合することになります。これに対して、波長の光の間隔は c の間隔に比べて少し短いので、外側に行くほどずれが大きくなります。これは運動会の行列行進を考えると分かるように、もし内側の人と外側の人皆同じ歩幅で行進したら外側の人皆どんどん遅れてしまうのと同じ現象です。この結果、波長の光の等位相面は c の光の等位相面より少し傾いたものとなり、 c の光より少し右上側の出力導波路に結合することになります。これがAWGの動作原理であり、N個の光すべてが同時に異なる出力導波路に分離して結合します。波長

の光が本来の出力導波路以外の導波路に漏れて結合してしまうとこれは雑音（クロストークと呼ばれる）となりますから、アレイ導波路のガラスの屈折率は非常に高精度に制御されなければなりません。石英ガラスの屈折率は、 $n = 1.45$ ですが通信用として良好なクロストークを得るためには、 1.45 ± 0.000001 程度の精度でなければなりません。このような高精度な値は、NTT研究所の開発した優れた作製技術のお陰であり他社の追随を許さない理由がここにあります。

光デバイスの出口の一つとしてNELのような会社がありますが、それは、光デバイス開発者にとってどのような意味があるとお考えですか。

岡本 光デバイスの研究開発者にとってNELのような会社があることは、研究者を甘やかさないと言う意味で非常に重要だと思います。研究者は往々にして核心になる部分の研究には興味を持ちまた熱意を示します。しかし、デバイス売れるものにするためには特性が高いことはもちろんですが、信頼性や歩留まりの高い技術にする必要があります。NELのような会社があることは、そこまで含めた総合的な技術が求められるわけですから、いい加減な技術開発では許されないことになります。また、特許やノウハウ等の知的財産は製造会社にとって非常に重要ですから、研究者が知的財産の取得を抜きに行うということも当然のこととして理解する必要があります。

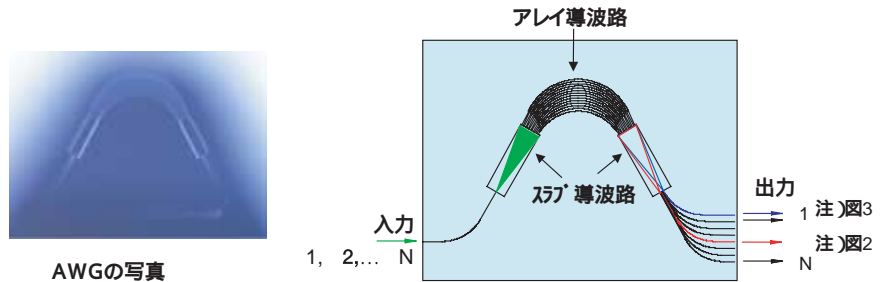


図1 AWGの写真とAWGによる分波の原理

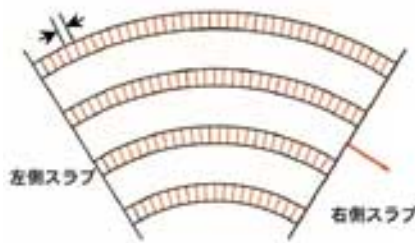


図2 中心の出力導波路に結合する光(波長 c)の伝搬の様子

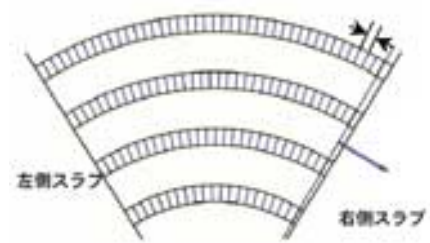


図3 右上の出力導波路に結合する光(波長 c)の伝搬の様子

Synthesis by Analysis 理論解析も創造的であるべし

岡本フェローの研究の中で、最も印象深い出来事、喜びを感じた出来事を教えてください。

岡本 私は、大学の頃から主に光ファイバや光デバイスの解析法の研究を行ってきました。そして、変分法や有限要素法等を勉強して任意の屈折率分布をもつ光ファイバの伝搬特性の解析ができるようになりました。指導教授の大越先生に“Synthesis by Analysis”という言葉が教えられたのは、そのようなときです。“解析法が確立できたらそれを用いて何か新しい光ファイバ構造を提案してみなさい”と言われてきました。理論解析も物造りと同じよう

に創造的でなければならないということも教えられました。往々にして理論解析は、実験結果の解析で満足してしまうことが多いのですが、それでは不十分だと思います。

“Synthesis by Analysis”という言葉は、私のこれまでの研究生活の非常に大きな指針になっています。分散フラットファイバの提案と実験的確認、 $N \times N$ スターコプラや各種のAWG関連デバイスの開発はこの精神に元づいて行ったものです。色々な光デバイスを数値シミュレーションに元づいて設計し、実際にほぼ期待した通りの特性が得られたときの喜びは非常に大きなものがあります。

本日は有り難うございました。