

# 光伝送媒体技術における研究開発の動向

のびき あつし  
野引 敦

NTTアクセスサービスシステム研究所 プロジェクトマネージャ

NTTアクセスサービスシステム研究所アクセスメディアプロジェクトではブロードバンドサービスを支える光ファイバ・ケーブル技術の研究開発に取り組んでいます。本稿ではこれまでのFTTH (Fiber To The Home) 時代の爆発的普及期における光伝送媒体技術の取り組みから、膨大な光ファイバ通信設備を効率良く保守・運用していくための革新的技術、さらには将来のネットワークトラフィック増大に向けた最新の研究開発動向について紹介します。



## 光ファイバ・ケーブル技術のこれまでの取り組み

NTT研究所では、40年にわたって光ファイバの研究に取り組み、VAD (Vapor-phase Axial Deposition) 法に始まる光ファイバの製造方法から、通信設備として利用するためのケーブル化技術や接続、さらには光ファイバ試験技術に取り組んできました。商用の光ファイバサービスは1982年の中継ネットワーク、1985年には日本縦貫光ケーブルが完成し、年々、伝送容量の拡大が図られてきました。アクセス系では、2001年から本格的なFTTH (Fiber To The Home) サービス、すなわちBフレッツが開始されました。中継において追求された光ファイバの大容量伝送や高信頼性はもとより、アクセスへの適用には経済性と運用性が重要となることから、NTTアクセスサービスシステム研究所 (AS研) では、サービス実用化のため、光ファイバ・ケーブルおよびその周辺技術の研究開発を推進してきました。近年の研究成果としては、HAF (Hole Assisted Fiber) を用いた超曲げ損失耐性ファ

イバ技術による宅内DIY化や、光ファイバ外被の細径化・低摩擦性による配管への敷設性の向上、また光ファイバテープの構造を間欠的な接着にすることでケーブル内の収容性を向上させ、従来の2倍の収容数を実現する超多心高密度ケーブルなど、さまざまな利用シーンにおいて光ファイバの経済性ととも運用性を実現してきました。

## 光ファイバ・ケーブル技術の取り組みの方向性

インターネットトラフィックは現在も飛躍的な増大を続けています。一方、フレッツサービスの純増数は落ち着きつつあり、FTTHは今や爆発的普及から成熟期へとステージを進めています。また、少子高齢化により設備に携わる人員の減少もあり、今後の光通信設備はより効率的に、機能的に、配備していく必要があります。AS研では、膨大な通信設備の運用を改革する取り組みとして「運用のイノベーション」、設備の機能配備を検討する「設備のリノベーション」によって、光通信設備の保守運用と将来を見据えたネットワーク機能の革新をめざしています。

運用のイノベーションでは既存設備に対して、業務フローを革新的に自動化・効率化して人手のかからない運用へのプロセス改善に取り組んでおり、①設備点検業務の自動化技術、②センシング技術の高度化により、設備に自然故障を生じさせることのない、計画的な保守の実現をめざしています。また設備のリノベーションでは、設備の構築・更改の際に、③ワンストップ保守による現場作業の効率化、④スキルフリー化を実現し、運用業務効率化や設備保守人員の流動化を推進していきます。さらに将来的には拡大し続けるネットワークトラフィックを支えるため、⑤超大容量光伝送媒体技術としてマルチコアファイバ・マルチモードファイバに代表される革新的次世代ネットワークの実現をめざして研究開発を進めています。

## 最新の研究開発動向

### ■設備状態計測技術

膨大な所外設備を効率的に管理することを可能とする「設備状態計測技術」を紹介します。本技術は図1に示すように、現在全数検査を行っている点検

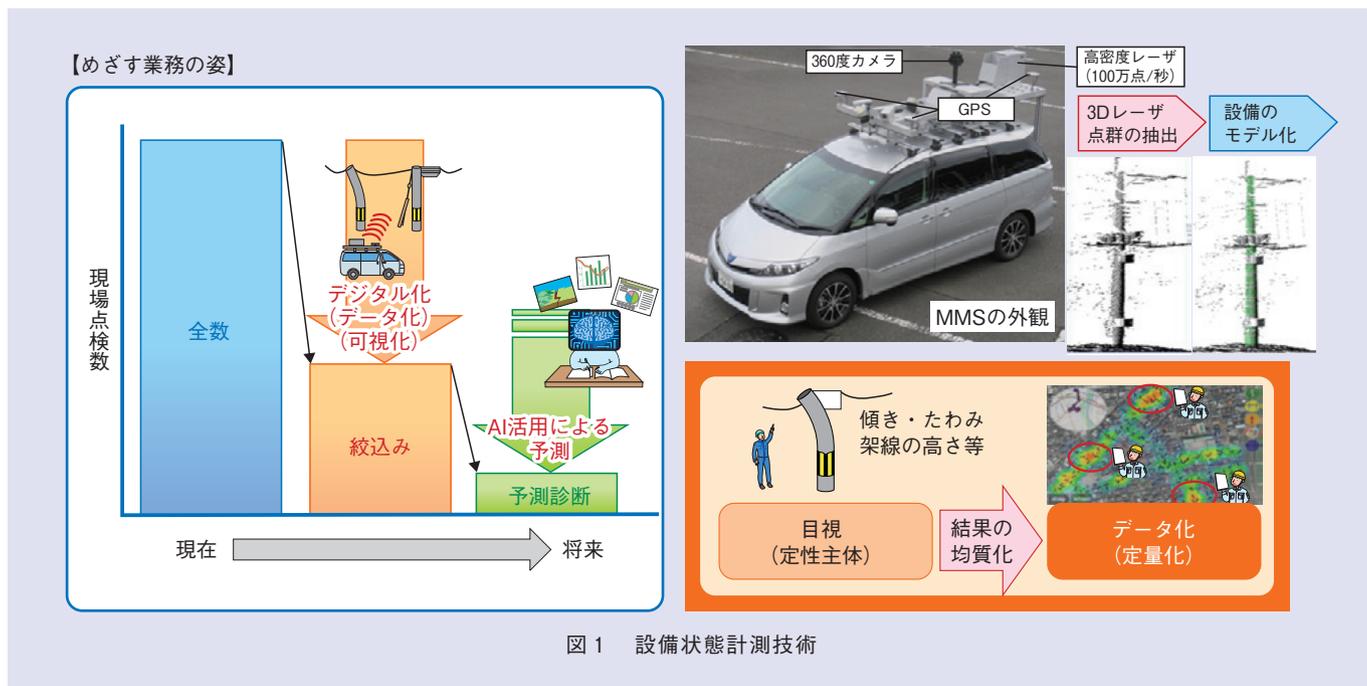


図1 設備状態計測技術

や劣化診断業務を、設備の状態を自動的に定量化し、将来はAI（人工知能）を活用することによって劣化判別の自動化や予測診断による、計画的で稼働を平滑化する保守をめざしています。技術の特徴としては、MMS（Mobile Mapping System）と呼ばれる、自動車にGPSアンテナ・3Dレーザスキャナ・カメラなどを搭載して走行しながら3Dで空間計測を行うシステムを活用します。MMSによって得られる測定区間の3次元の点群データを基に、3次元の設備データベースを構築します。電柱やケーブル、支線などの設備点群データを収集し、電柱の傾きやたわみ、ケーブル地上高を計測し、優先的に点検が必要な設備を自動抽出して絞り込みにより点検稼働を削減します。将来的には経年変化や設備の環境データを活用してAIによる診断を実施し、自動で劣化診断や劣化予測を行うことにより設備故障の自然発生を未然に防いでネットワークの信頼性を向

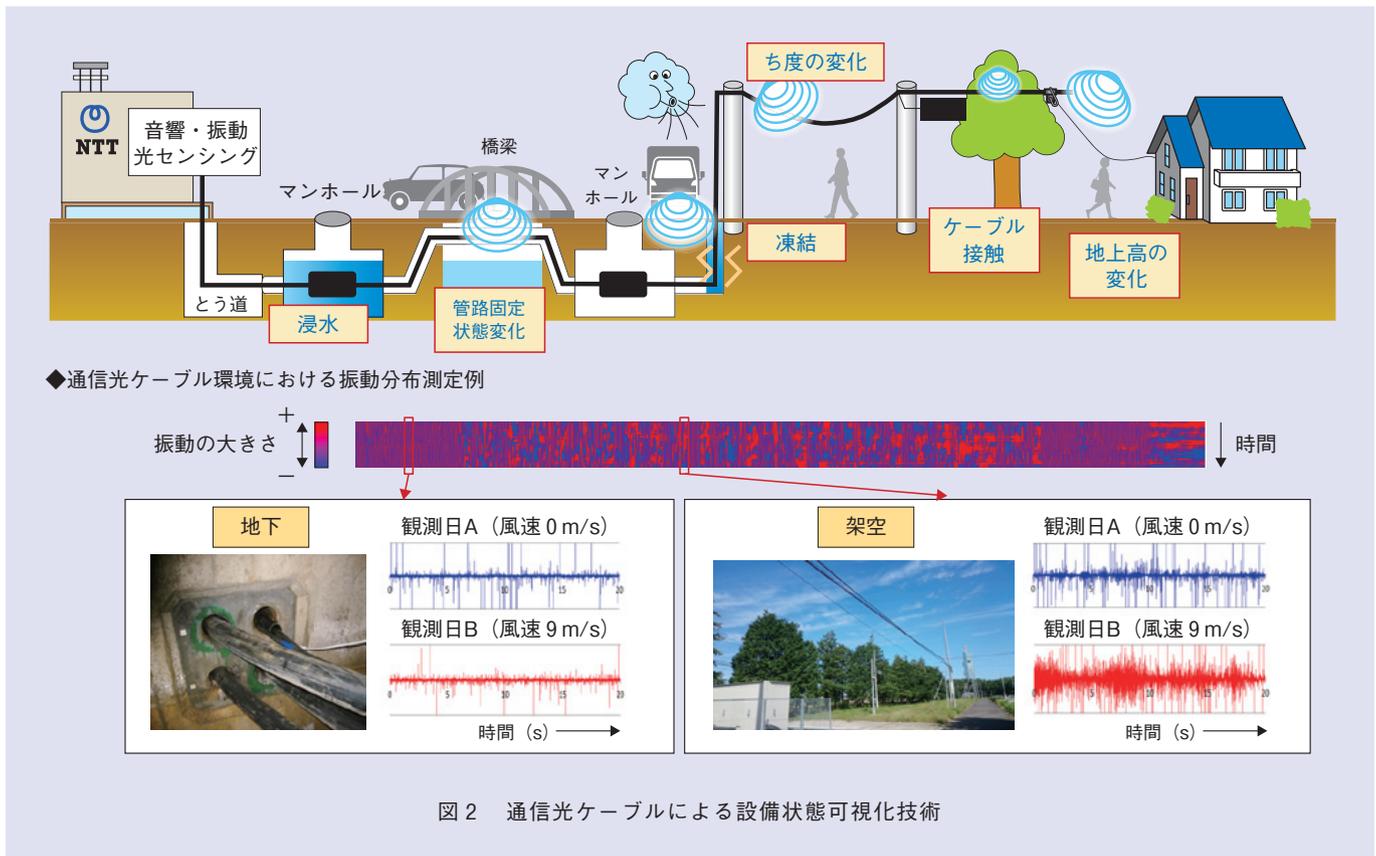
上させるとともに、設備保守稼働の平滑化に大きく寄与できるものと考えています。

### ■通信光ケーブルによる設備状態可視化技術

私たちのプロジェクトでは、点検作業の効率化をめざし、敷設光ファイバそのものをセンサとして、音や振動を検知する音響・振動光センシング技術により、設備の異常を遠隔検出できるようにする構想を持っています（図2）。このような技術を実現できれば、浸水や凍結、ち度（たるみ）、ケーブル接触などの異常の発生や、その発生位置データを詳細に収集しそれを分析することで、通信が途絶するような故障が発生する前に効率的に対処できるようになります。故障を予知して計画的に交換できるようになれば、サービスへの影響を最小化し、また保守保全稼働を平滑化することが可能となります。設備状態推定の実現には、光センシングによる振動測定や、それに基づ

く音響計測等と、設備の劣化状態の相関性を明らかにする必要があり、今後設備劣化メカニズムの解明に取り組んでいきます。ただ、光ファイバには被覆があり、さらにケーブルに格納されるという構造になっているため、このような構造越しに被覆やケーブル外部の様子を調べるのは容易ではなく、正確な状態推定にはほかの計測技術との組み合わせを視野に入れながら検討していきます。

また、光ファイバそのものの劣化計測への取り組みを紹介します。敷設された光ファイバは、凍結や側圧などによって徐々に損失が増えていくことがあります。一方で成熟期を迎えたFTTHサービスにおける敷設済みの膨大な光ファイバは、今後も長期間使用されると見込まれています。光ファイバを効率的に保守運用するには、各光ファイバの劣化状況を正確に測定して、必要に応じて交換できるようにする技術が必要となります。現在、AS



研ではNTT コミュニケーションズと共同で、高感度光ファイバ損失変化測定技術を開発中です。同技術のポイントは、シングルモード光ファイバの損失測定において、シングルモード領域の波長 (1260 nm~) の光パルスではなく、マルチモード領域の波長 (1050 nm 近傍) の光パルスを使うことにあります。これによって損失に敏感な高次モードの後方散乱光が発生し、高感度な損失測定を実現することができます。現在は高感度に損失を測定できるようになった段階ですが、今後この技術を発展させて光ファイバの寿命予測や設備の劣化検出・劣化予測につなげていきます。

■所外MACアドレスキャプチャ技術

開通・保守運用の効率化を実現するMAC (Media Access Control) アド

レスキャプチャ技術を紹介します。開通・保全工事において設備データベースと実設備の情報不一致が発生すると、工事現場では心線の利用状況確認のために非常に多くの調整稼働が発生します。正確な設備データベースをリアルタイムで得るにはONUに付与されている固有の識別アドレス (MACアドレス) の確認により可能となります。これまでMACアドレス確認には光コネクタ接続点を必要とするため、光プラなどで信号光があらかじめ分岐された所内設備でのみ確認が可能でした。私たちのプロジェクトで研究を進めている光側方入出力技術を適用すると、通信中の光ファイバを切断することなく、光ファイバに一時的な曲げを加えて、局所的に漏洩する光通信信号を取り出すことが可能となります (図

3)。このような活線からの正確な情報を活用することで、現場における心線の確実な利用状況確認と安全な施工を実現します。

■フェールセーフ単心光ファイバカッター

光ファイバの接続作業をスキルフリー化する、フェールセーフ単心光ファイバカッターを紹介します (図4)。光ファイバの接続ではわずか10 μm程度の直径の光ファイバコアを高精度に突き合わせるために光ファイバ端面を垂直にカットする必要があります。従来のファイバカッターではカット条件を良好に保つために、定期的なメンテナンスの実施が作業者に求められていました。フェールセーフ単心光ファイバカッターでは、刃を金属刃から砥粒と樹脂による砥粒刃構造に変更

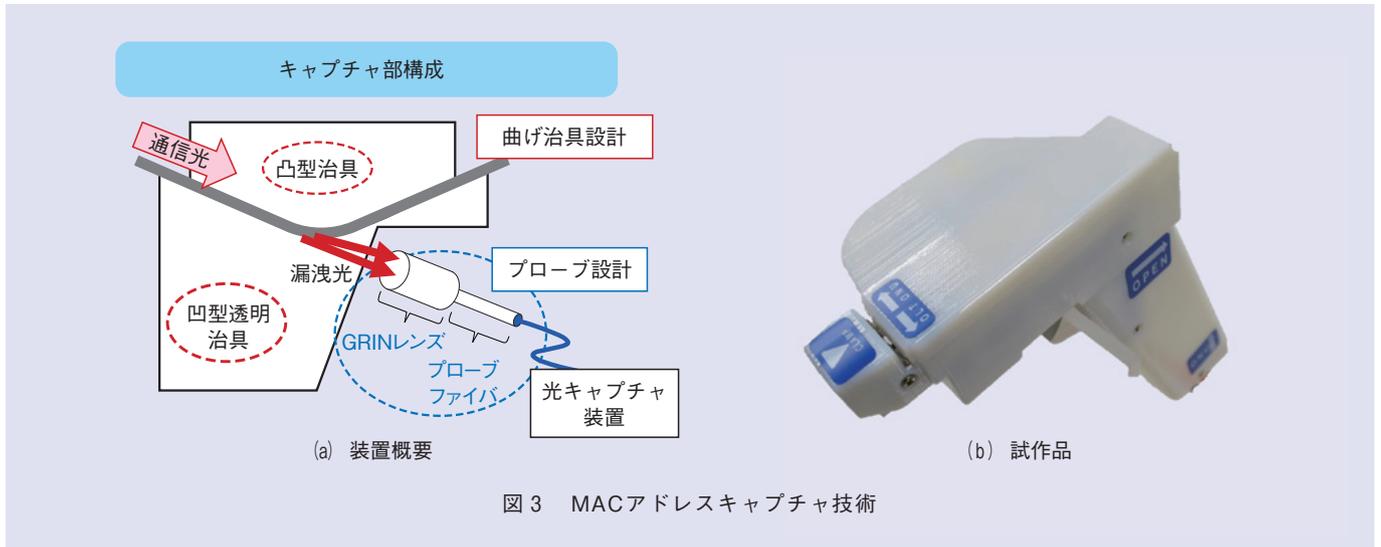
し、切断方法を光ファイバに一定以上の応力がかからない方法とすることで、カッターの状態が劣化して正常に切断が実施できない場合には切断されない仕組みとしました。これによりカッターのメンテナンス不足による

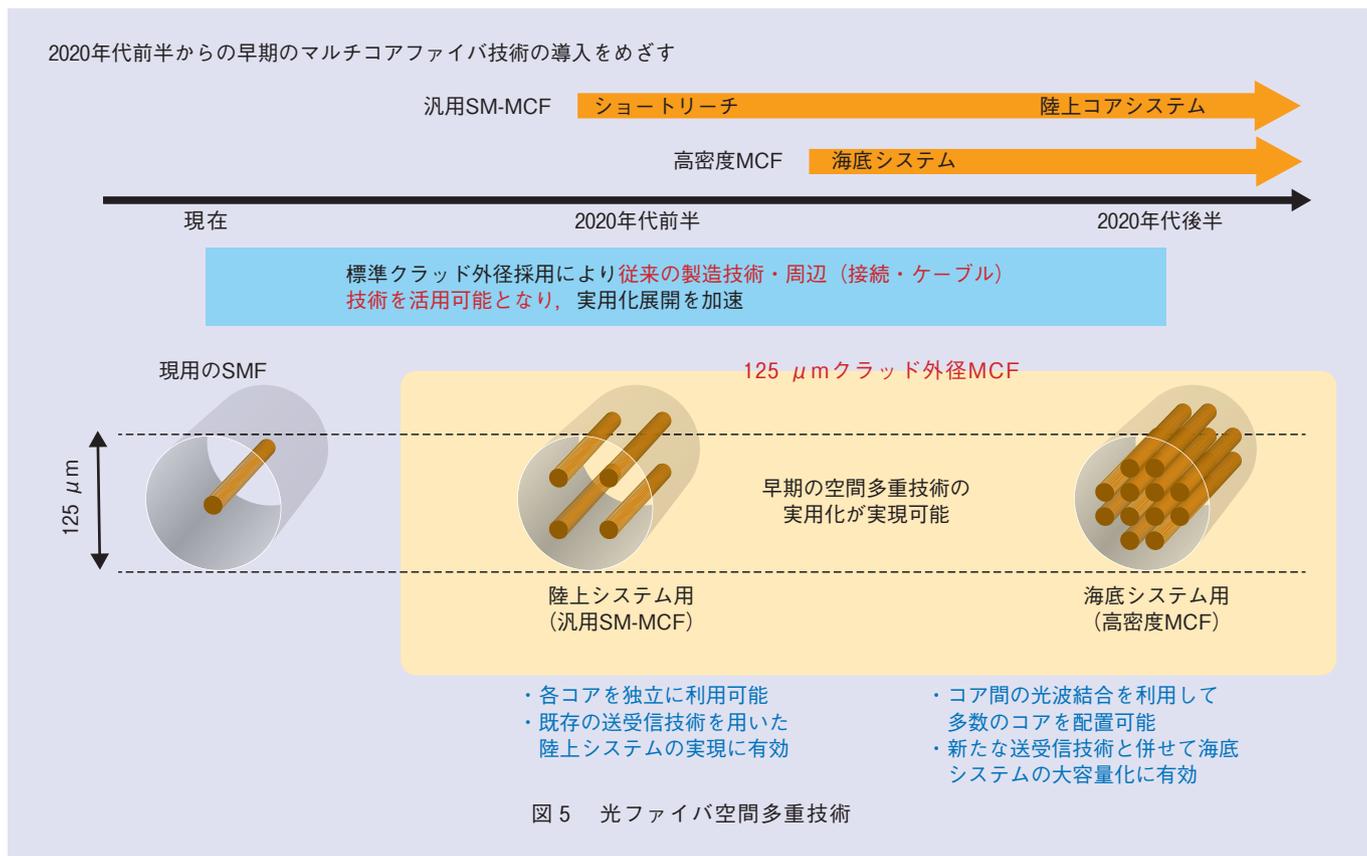
カット不良の発生を防止し、施工の信頼性向上を図ることができます。

■光ファイバ空間多重技術

将来のトラフィックの爆発的な増大に備えた中長期的な取り組みである「超大容量ファイバ技術」について紹

介します。これまで、光ファイバ1本当たりの伝送容量は「時分割多重 (TDM : Time Division Multiplexing)」「波長分割多重 (WDM : Wavelength Division Multiplexing)」「デジタルコヒーレント技術」により、多重度と信





号密度そして多値化により飛躍的な大容量化が進められてきました。しかしながら、波長多重数を上げていくと必然的に光ファイバの単位面積当りの信号パワー密度も上がり、光のパワー密度が上がると、光ファイバ中で光非線形効果の発生、また熱的な破壊現象（ファイバヒューズ）が発生するなど、入力できる光パワーには限界があります。また、非線形効果により信号の多値度と伝送距離にはトレードオフの関係があり伝送距離制限を受けることから、現行技術の延長線では光ファイバ1本当り100 Tbit/sが限界であるといわれています。この限界を打破し、将来の爆発的なトラフィック増に対処するために近年注目されているのが、新たな多重軸としての「空間」に着目した「空間分割多重（SDM: Space

Division Multiplexing)」技術です。空間の軸としては、ファイバ内に複数のコアを持つ「マルチコアファイバ（MCF）」、および複数のモードを伝搬させる「マルチモードファイバ」が注目されており、私たちのプロジェクトにおいては本技術では、世界に先駆けてモード多重伝送実験に成功し、マルチコア構造光ファイバの多重度では19コア×6モードの伝送による世界トップの114チャンネルを実現しています。SDM技術については超高密度の極限をねらった外径250  $\mu\text{m}$ ファイバによる、光ファイバの伝送容量の限界に果敢にチャレンジしていくとともに、従来の製造技術・周辺（接続・ケーブル）技術を活用可能な標準クラッド外径マルチコアファイバの実用化展開（図5）を加速していきます。

### 今後の展開

NTTアクセスサービスシステム研究所は、これからも光ファイバサービスのさらなる発展に向けて、短中期および中長期の視点で、新たなチャレンジを続け、新技術の創出に努めていきます。

#### ◆問い合わせ先

NTTアクセスサービスシステム研究所  
 アクセスメディアプロジェクト  
 TEL 029-868-6155  
 FAX 029-868-6142  
 E-mail nazuki.honda.dz@hco.ntt.co.jp