

## 3-3 伝送媒体技術

### Optical Fiber Technology

重松昌行 齊藤晋聖

## Abstract

インターネットやスマートフォンの普及に伴うトラフィックの増大を陰で支えてきたのは、張り巡らされた光ファイバ通信網である。本稿では、光ファイバ増幅技術と波長分割多重伝送技術を起点に、光ファイバ技術のこの25年間の進化を、幹線系とアクセス系に分けて概観する。今や情報通信技術は一般化し、クラウドに集結・蓄積されたデータを用いて、いかなるサービスができるかに焦点が移っており、市場構造も変革を迎えている。光ファイバにも、高速にデータを収集・処理するための、究極の高性能化とコモディティ化が求められている。

キーワード：光ファイバ、光アクセス、データセンター、コンシューマ、マルチコアファイバ

## 1. はじめに

光ファイバ研究開発者の夢は「光ファイバが張り巡らされた新しい情報化社会の実現に貢献すること」であった<sup>(1)</sup>。そして、光ファイバの「高品質化・経済化」に取り組んできた。2016年6月から運用開始の日米間9,000 kmを結ぶ光海底ケーブル「FASTER」では、伝送容量60 Tbit/sを達成した。また、Fiber to the Home (FTTH)の加入者数は、2010年度に2,000万を超え、2017年度には3,000万を超える見通しである。我々の夢はかなえられたと言ってよからう。本稿では、光ファイバ技術における、1990年代初頭からのおおよそ25年間の進化と、これからの展望を記載する。

## 2. ブレークスルー

この25年間の語るにあたり忘れてはならないのは、

1980年代末に出現した「光ファイバ増幅技術」と「波長分割多重伝送技術」である。光ファイバ増幅技術は、光信号を電気信号に変換せずに光の状態のまま増幅する技術であり、1987年に英国サザンプトン大学にて、希土類の一種であるエルビウムを添加した石英ファイバにより、光ファイバが最低損失を示す1.55  $\mu\text{m}$ 帯での光増幅現象が報告されて以来、併行して開発された励起光源用半導体レーザーの実用化とあいまって、1990年代初頭には、一気に実用化レベルに達した。また、エルビウムに加えアルミニウムを共添加することで、広い波長域でフラットな増幅特性が得られたことから、1本の光ファイバに複数波長の信号を高密度に伝送させる波長分割多重伝送への適用により、波長分割多重信号の一括増幅が可能となり、光ファイバの伝送容量は飛躍的に増大した。

## 3. 幹線系の進化

幹線系における光ファイバの目指すところは、長延化のための低損失化と波長分散の克服であった。

### 3.1 波長分散の克服とその呪縛からの解放

当初1.3  $\mu\text{m}$ 帯を使用して始まった幹線系だが、伝送距離の長延化のため、1.55  $\mu\text{m}$ 帯への移行が図られた。

重松昌行 正員：シニア会員 Innovation Core SEI, Inc.  
齊藤晋聖 正員 北海道大学大学院情報科学研究科メディアネットワーク専攻  
E-mail ksaitoh@ist.hokudai.ac.jp  
Masayuki SHIGEMATSU, Senior Member (Innovation Core SEI, Inc., California, 95131 U.S.A.) and Kunimasa SAITOH, Member (Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University, Sapporo-shi, 060-0814 Japan).  
電子情報通信学会誌 Vol.100 No.8 pp.789-794 2017年8月  
©電子情報通信学会 2017

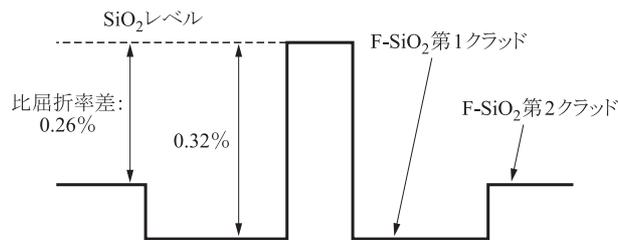
その際問題となったのが波長分散である。波長分散は、ガラスの屈折率の波長依存性に基づき、光信号の波長成分によって光ファイバでの伝搬時間が異なる現象で、そのため伝送後の光パルスが広がり、信号波形がひずんで符号誤りを生じてしまう。これを回避するため、波長分散がゼロとなる波長であるゼロ分散波長を 1.55  $\mu\text{m}$  帯にシフトした「分散シフトファイバ」が開発された。分散シフトファイバは、日本において、1987 年松山・大分間 120 km の光海底ケーブルに初めて導入されたのを皮切りに、広く陸上幹線系にも適用された。しかし、ここで大きな問題に突き当たる。

本ファイバに光ファイバ増幅器を適用し、波長分割多重 (WDM) 信号を伝送させると、非線形現象の一つでありゼロ分散波長付近で顕著に発現する四光波混合により、新たに妨害波長成分が WDM 信号に重畳して、符号誤りを生じてしまうのである。これを解決するため、ゼロ分散波長を 1.55  $\mu\text{m}$  帯から少し短波長にシフトした「ノンゼロ分散シフトファイバ」が開発され、累積した正の波長分散は、大きな負の波長分散を持つ「分散補償ファイバ」で局所的に補償する方式が適用された。ただ、分散補償ファイバは付加的な損失要因であり、できれば使いたくない。ここに救世主が現れる。「デジタルコヒーレント通信技術」の登場である。

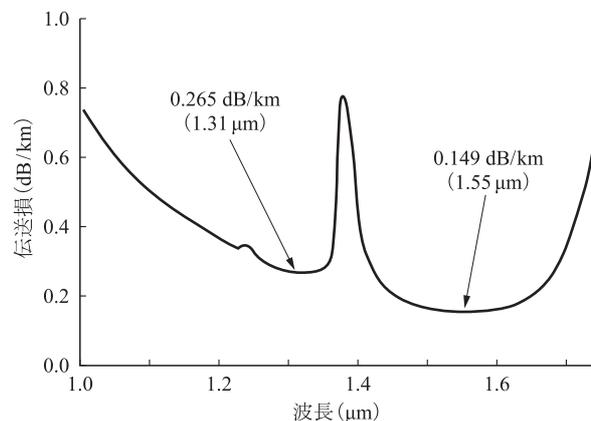
デジタルコヒーレント通信技術は、伝送路途中の波長分散等によって生じた信号波形のひずみを、受信端にてデジタル信号処理により一気に補償するものである。回路規模、ひいては消費電力の制限により限界はあるものの、波長分散の呪縛から解放されたと言える。ただ、波長分散のような線形のひずみには効果があるが、非線形なひずみには余り効果がない。その結果、光ファイバには低損失化や低非線形性がより重視されるようになった。

### 3.2 低損失化への道

従来の光ファイバは、コアに不純物である Ge を添加し屈折率を高めることで導波路を形成している。低損失化のためには、コアを純石英とし、クラッドに F を添加し屈折率を下げることで導波路を形成する。また、非線形性を抑制するため、すなわち光伝送パワー密度を低減するためコア径を拡大する。そうすると、使用波長での単一モード伝送が難しくなるため、図 1 の屈折率分布形状に示すように、内側のクラッドより外側のクラッド



(a) 純石英コアファイバの屈折率分布形状



(b) 純石英コアファイバの損失波長特性

図 1 純石英コアファイバによる超低損失化

の屈折率を高くした「ディプレスト型クラッド」構造とし、高次のモードが伝搬しづらい構造としている。低損失化への道は長くて険しい。2002 年に波長 1,550 nm において 0.150 dB/km が報告されたが、その更新は 10 年以上待った 2013 年の 0.149 dB/km であった。僅か、されど 1/1,000 dB/km である。ただこの報告では、7,000 km に及ぶ量産も行い、その損失平均が 0.154 dB/km と、単なる記録更新にとどまらず、実用化に耐えられるものであることを示した点は、意義が深い<sup>(2)</sup>。

最後に、主な光海底ケーブルの諸元を、表 1 にまとめた。伝送容量の飛躍的な増大が見て取れる。

## 4. アクセス系の進化<sup>(3)</sup>

光ファイバ研究開発者の高品質化・経済化への不断の努力が実を結び、1988 年から広帯域な単一モードファイバがアクセス系にも適用されることが決断された。アクセス系における光ファイバ及びケーブルにおいても、日々技術的革新が続いている。

### 4.1 低曲げ損ファイバ<sup>(4)</sup>

2000 年代中頃の FTTH 導入期から大量開通期に掛けて、光ファイバの屈曲部における損失の増大とそれに伴う取扱性の低下が顕在化してきた。一般に光ファイバの曲げ損は、コアとクラッドの屈折率差を大きくすること

## 用語解説

Thunderbolt, USB (Universal Serial Bus) いずれもコンピュータ等の情報機器に周辺機器を接続するためのシリアルバス規格の一つ。前者は、インテルがアップルと共同開発した高速汎用データ伝送技術。

表1 主な光海底ケーブルの諸元

年	名称	伝送距離	伝送速度/波	信号波長数	光ファイバ	心数	総伝送容量
1996年	TPC-5CN	24,500 km	5 Gbit/s	1波	分散シフトファイバ	4ペア	20 Gbit/s
1999年	SEE-ME-WE	36,000 km	2.5 Gbit/s	8波	ノンゼロ分散シフトファイバ	4ペア	80 Gbit/s
2016年	FASTER	11,629 km	100 Gbit/s	100波	未公表	6ペア	60 Tbit/s

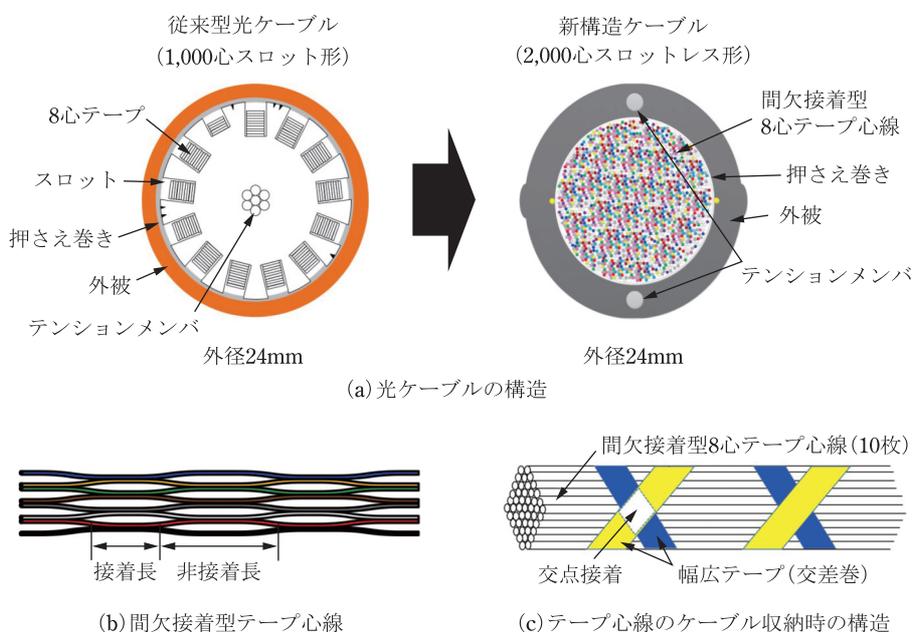


図2 超多心 (2,000心) 細径ケーブルの構造 (文献(3)の図3)

で低減できるが、従来の光ファイバとの互換性を確保するため、精緻な設計が施された。従来の光ファイバでは、曲げ半径 30 mm, 100 回巻での損失増加が 0.1 dB 未満であるが、曲げ半径を 15 mm, 7.5 mm にまで縮小しても同等の曲げ損に抑えることが可能となった。しかし、大量開通期に入ると戸建ユーザ宅内での利用が進み、更なる低曲げ損が求められた。そこで、コアの周りに空隙を設けた空孔アシスト光ファイバが開発され、曲げ半径 5 mm に耐えられるものが実現できた。

#### 4.2 低摩擦光ファイバケーブル<sup>(5)</sup>

一方、集合住宅についても、戸建同様各戸まで光ファイバを提供する必要がある。その方法としては、電話ケーブルが入っている既設配管の空きスペースを利用することが経済的、工期的に望ましいが、従来のインドア光ケーブルは既設ケーブルとの摩擦抵抗が非常に大きく、通線は困難であった。そこで全戸数対応が可能になるよう、細径で低摩擦なインドア光ケーブルの開発が進められた。細径化に伴い懸念されるケーブル外被の摩耗を払拭するため、強度の高いポリオルフィン材に低摩擦系材料を配合し、ケーブル外被表面に適度な凹凸を持たせることで、断面積を従来の 1/2、動摩擦係数を従来の

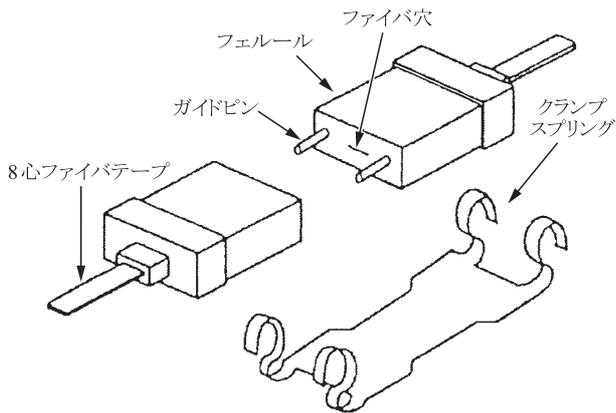
1/5 に低減し、併せて施工時間を約 1/5 に短縮することができている。潤滑剤の塗布と違って低摩擦性には持続性があるため、今後の張替え等の保守時にも、効果を発揮する。

#### 4.3 超多心細径ケーブル<sup>(6)</sup>

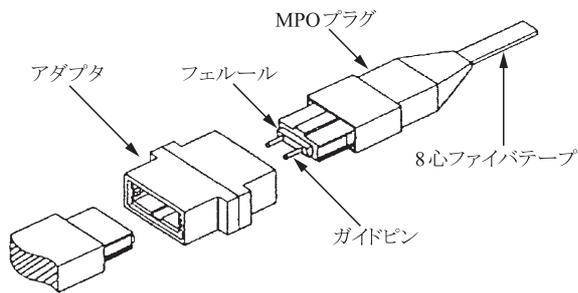
光アクセス系を支える地下の光ファイバケーブルは、管路内に敷設されるのが一般的である。経済化の観点からは、現存の設備を有効利用するのが望まれるが、2010 年を過ぎた FTTH 大量開通期においては、そのひっ迫が懸念された。ここでも、低曲げ損ファイバが活躍する。図2に示すように、テープ心線を配置するスロットを廃する代わりに、外力から保護するため外被厚を調整する一方、テープ心線に低曲げ損ファイバを適用し、これを一定距離ごとに接着した間欠接着構造とすることで、従来の 1,000 心光ケーブルと同等の外径 24 mm で、2,000 心を収容することに成功している。

#### 4.4 多心コネクタ<sup>(7)</sup>

光アクセス系への光ファイバ導入にあたって、その成否を左右したものの一つとして、着脱可能な多心一括コネクタを取り上げておかねばならない。MT (Mechani-



(a) MTコネクタの構造



(b) MPOコネクタの構造

図3 多心一括コネクタの構造

cally Transferable) コネクタは、図3に示すとおり、経済的な精密プラスチック成形によるフェルール同士を2本のピンで位置合わせし、クランプスプリングで締結する方式の多心コネクタであり、最大12心の光ファイバを実装することができ、地下設備など、接続部の高密度収納が要求される場所に適用されている。接続端面にはフレネル反射抑制のための屈折率整合剤をあらかじめ塗布し、クランプスプリングによる締結には専用の工具を必要とする。

一方、架間、装置間接続など、より一層の着脱作業性の向上が必要なところには、簡単にMTフェルール同士を接続できるMPO (Multifiber Push-On) コネクタが開発された(図3)。本コネクタは2本のMPOプラグ、2本のガイドピン及びアダプタより構成され、プラグ内にMTコネクタのフェルールが組み込まれており、アダプタを介してプッシュオン・プルオフの操作で簡単に着脱することができる。更に、フェルールの端面を8度の斜めに研磨し、接続端面から光ファイバを僅かに突き出させることでフィジカルコンタクトを確保し、屈折率整合剤の塗布を不要とした。

## 5. 未来への展望

ここからは、光ファイバ技術の今後の展望について、

記載を試みる。一言で言うと、「究極の高性能化とコモディティ化」であろう。前者は、3. で見てきた限界を克服する空間分割多重と、究極の低非線形、低遅延、低損失を狙った中空コアファイバ、後者はデータセンター、民生品への適用である。

### 5.1 マルチコア/フューモードファイバ

国内の幹線系の光通信システムは、過去20年間に1,000倍の大容量化を実現してきたが、光増幅器の帯域制限、光ファイバへの入力光パワーの制限、周波数利用効率向上の限界等の観点から、従来の単一モードファイバで伝送できる容量は近い将来に限界に突き当たることが指摘されている<sup>(8)</sup>。こうした状況の下で、ペタビット級、更にはエクサビット級の大容量伝送を目指し、時間分割多重や波長分割多重、及びデジタルコヒーレント通信技術に加えて、新たな多重軸である空間分割多重の導入による伝送容量の拡大に関する研究開発が活発に行われている。空間分割多重伝送用光ファイバとしては、伝搬モード数を数個から10数個程度に限定した光ファイバの各伝搬モードに信号を多重するフューモードファイバや、1本の光ファイバに収容された複数のコアに信号を多重するマルチコアファイバなどがあり、伝送媒体という観点からは、いかに限られた空間(光ファイバ断面)に高密度に信号を多重するかが重要となる。これまで、従来の単一モードファイバを基準とすると、15個の空間モードを利用したフューモードファイバにより約40倍<sup>(9)</sup>、6個の空間モードを19個有するマルチコアファイバにより約60倍<sup>(10)</sup>の空間多重密度が実現されている。フューモードファイバにおいては、モード多重数の増加とともにモード間の群遅延時間差が増加する傾向があるため、長距離伝送のためには、伝送路中のモード間群遅延時間差の低減手法に関する進歩が望まれている。また、マルチコアファイバにおいては、コア数の増加とともにクラッド外径を拡大する必要があるため、コア間干渉の低減だけではなく、接続特性や機械的信頼性に関する課題がある。今後は、モード依存特性の低減やコア間/モード間の信号干渉特性の制御などにより、空間多重密度や伝送可能距離の更なる向上が期待される。

### 5.2 中空コアフォトニックバンドギャップファイバ

中空コアフォトニックバンドギャップ<sup>(11)</sup>は、クラッド領域の周期構造による光の面外伝搬に対するフォトニックバンドギャップを利用して光波を欠陥部である中空コア領域に閉込め長手方向へ伝搬させる光ファイバである。コアが空気であることから、その非線形係数は標準的な単一モードファイバに比べて3桁程度小さく、遅延時間も約1/1.45になっており、低非線形特性と低遅延特性を実現できる伝送媒体である。中空コアフォトニックバンドギャップは極低損失伝送路としても期待さ

れているが、報告されている最低損失は現在のところ 1.7 dB/km であり、その帯域幅は約 20 nm である。また、低損失特性と伝送帯域幅にはトレードオフの関係があり、帯域幅を約 200 nm まで拡大した中空コアフォトニックバンドギャップでは、5 dB/km 程度の伝送損が報告されている。この損失の大部分はコア周囲のシリカ表面粗さによる散乱損によるものであるが、興味深いのは、シリカコア光ファイバと異なり、最低損失波長帯域が 2 μm 帯に存在することであり、新しい波長帯での伝送媒体としても期待されている。中空コアフォトニックバンドギャップに存在するコアモードの総数はコア半径の 2 乗に比例して増加するので、コア径の大きな中空コアフォトニックバンドギャップにより、波長分割多重とモード分割多重を併用した大容量伝送実験も報告されている。極低非線形特性、低遅延特性、及び極低損失特性を両立できる中空コアフォトニックバンドギャップファイバは、人類が手にし得る究極の光ファイバとしての可能性を有している。

### 5.3 データセンターへの適用

冒頭に取り上げた日米間光海底ケーブル「Faster」であるが、その共同出資者に Google の名があることは、特筆に値する。大手クラウド事業者は、光海底ケーブルへの出資で確保した光ファイバ回線や、通信事業者から調達したダークファイバ（空き回線）を使って、世界中に配置したデータセンターを接続するプライベートネットワークを構築しており、その規模は大手通信事業者のそれにも匹敵し、急速に拡大していると目される<sup>(12)</sup>。また、Cisco Systems, Inc. が毎年発行する“Global Cloud Index”によれば、データセンターに係わる全トラフィックのうち、実に 8 割近くがデータセンター内のトラフィックであるとされている。データセンター内の光配線については、先に説明した MPO コネクタが既に多用されているが、更なる実装心数の増加や、ほこり等の混入による接続損の増大を軽減するため、レンズ付きの多心一括コネクタも提案されている。また、超多心細径ケーブルなど、光アクセス系向けに開発された製品群も、今後使われていくであろう。米国の標準化団体である Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) の 802.3bs “200GbE & 400GbE Task Force”により、2017 年 12 月には、400 Gbit/s イーサネットが標準化される見込みであり<sup>(13)</sup>、今後データセンターに係わる光配線の需要は拡大する。更に、従来メタル線で配線されてきたサーバ等の機器内配線も、光配線に置き換わっていくと予想されるため、データセンターは、ますます目が離せない市場となっている。

### 5.4 Fiber to the Consumer への道<sup>(14)</sup>

近年、大容量ストレージシステムからのデータ転送や

4K、8K といった高精細度ディスプレイへの映像データの転送で、パソコン、スマートフォン、タブレット端末、テレビとその周辺機器との接続に、1 Gbit/s をはるかに超えるような高速な伝送が求められるようになってきた。このような民生用途では、伝送媒体が光ファイバであっても、メタル線と同様に扱えることが必須であるため、接続ケーブルは電気信号用プラグを有し、プラグ内にて光電変換を行うアクティブ光ケーブルの形態を取る。経済化のため、光源には垂直共振器面発光レーザ (VCSEL)、光ファイバには多モードファイバが一般に使われ、既に 2013 年には Thunderbolt (TBT)<sup>(15)</sup> 光ケーブルの発売が開始されている。TBT は 10 Gbit/s × 2 レーンの双方向伝送が行われるため、TBT 光ケーブルには 4 本の光ファイバが収納されており、ケーブルの外径は 4.2 mm となっている。光ファイバケーブルの民生用途への普及における最大の課題は、その経済化である。これを実現する一つの方法として、光電変換素子とレンズが一体化され、レンズにはリフローに耐える耐熱性透明樹脂が用いられたファイバオプティカルトランシーバが提案されている。今後は、USB<sup>(16)</sup>の最新コネクタ仕様である Type-C 規格が、小形薄肉で、TBT ほか複数のプロトコルをサポートできることから、民生機器のコネクタとして統一して使われるようになると思われる。そこへの光ファイバの適用が期待されている。

## 6. む す び

表 2 に、電気通信分野の国際標準策定機関である国際電気通信連合電気通信標準化部門 (ITU-T) による光ファイバ勧告の一覧を示す<sup>(4)</sup>。これまでに述べてきた光ファイバが盛り込まれており、日本もその標準化に大きく貢献した。現在、光ファイバの全世界の年間需要は 3 億 km に達しており、これは地球と太陽の 1 往復分に相当する。この意味でも、光ファイバ研究開発者の夢は実現されたと言える。今や光ファイバ通信技術を含む情報通信技術は、あって当たり前のものと化し、これを用いてどのようなサービスができるかに焦点が移っている。しかし、第 5 世代の無線通信にしても、全てのものがインターネットにつながる Internet of Things にしても、そのバックボーンを支えているのは光ファイバ通信網である。光ファイバ研究開発者はその気概をもって、これからも究極の高性能化と更なるコモディティ化に取り組んでいく。光ファイバを取り巻く環境が一変しているであろう 25 年後の特集が、今から楽しみである。

本稿の修正作業中に、光ファイバの最低損失が 0.1419 dB/km と大幅に更新された、とのうれしい報に接した。ここに付記しておく<sup>(15)</sup>。

表2 ITU-Tにおける光ファイバ勧告の一覧(文献(4)の表1)

勧告番号	勧告名称
G. 651.1	アクセスネットワーク用GI (Graded Index) 形多モード光ファイバ Characteristics of a 50/125 μm multimode graded index optical fibre cable for the optical access network
G. 652	1.3 μm 帯ゼロ分散単一モード光ファイバ Characteristics of a single-mode optical fibre and cable
G. 653	分散シフト単一モード光ファイバ Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable
G. 654	カットオフシフト単一モード光ファイバ Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable
G. 655	ノンゼロ分散シフト単一モード光ファイバ Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable
G. 656	広域長域ノンゼロ分散単一モード光ファイバ Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport
G. 657	アクセスネットワーク用低曲げ損単一モード光ファイバ Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network

文 献

(1) 鈴木修三, 山内良三, 小倉邦男, “光ファイバの高品質化・経済化への取り組み,” 電気通信, vol. 71, no. 733, pp. 27-35, Jan. 2008.

(2) H. Hirano, T. Haruna, Y. Tamura, T. Kawano, S. Ohnuki, Y. Yamamoto, Y. Koyano, and T. Sasaki, “Record low loss, record high FOM optical fiber with manufacturable process,” OFC/NFOEC 2013, no. PDP5A. 7, 2013.

(3) 宮島義昭, “光ファイバ・ケーブル技術,” 信学誌, vol. 99, no. 7, pp. 659-664, July 2016.

(4) 中島和秀, “FTTHの促進と更なる大容量化を目指す光ファイバ技術,” 信学誌, vol. 97, no. 1, pp. 54-59, Jan. 2014.

(5) 丹羽慎一, 南隼人, 杉本圭一郎, 高見沢和俊, 竹下幸俊, 半田隆夫, “既存集合住宅における新たな光配線技術の開発,” NTT技術ジャーナル, vol. 21, no. 6, pp. 60-63, June 2009.

(6) 中川直樹, 浜口真弥, 遠藤洋平, 柴田征彦, 田中 亮, 新田一樹, 野上雅教, 西村公敬, 岩堂哲也, 榎本圭高, “世界最高密度の超多心高密度光ケーブル(2000心)技術,” NTT技術ジャーナル, vol. 27, no. 6, pp. 48-52, June 2015.

(7) 高谷雅昭, 長沢真二, “多心一括光コネクタ,” OPTRONICS, no. 2, pp. 133-137, 1998.

(8) T. Morioka, Y. Awaji, R. Ryf, R. Winzer, D. Ricgardson, and F. Poletti, “Enhancing optical communications with brand new fibers,” IEEE Commun. Mag., vol. 50, no. 2, pp. S31-S42, Feb. 2012.

(9) P. Sillard, D. Molin, M. Bigot-Astruc, K. de Jongh, and F. Achten, “Low-differential-mode-group-delay 9-LP-mode fiber,” OFC 2015, no. M2C. 2, 2015.

(10) T. Sakamoto, T. Matsui, K. Saitoh, S. Saitoh, K. Takenaga, T. Mizuno, Y. Abe, K. Shibahara, Y. Tobita, S. Matsuo, K. Aikawa, S. Aozasa, K. Nakajima, and Y. Miyamoto, “Low-loss and low-DMD few-mode multi-core fiber with highest core multiplicity factor,” OFC 2016, no. Th5A. 2, 2016.

(11) F. Poletti, N.V. Wheeler, M.N. Petrovich, N. Baddela, E.N. Fokoua,

J.R. Hayes, D.R. Gray, Z. Li, R. Slavik, and D.J. Richardson, “Towards high-capacity fibre-optic communications at the speed of light in vacuum,” Nature Photon., vol. 7, no. 4, pp. 279-284, 2013.

(12) 中田 敦, “さらば, インターネット,” 日経コンピュータ 11月13日号, pp. 80-87, Nov. 2014.

(13) <http://www.ieee802.org/3/bs/public/index.html>

(14) 井崎 学, “民生用途への光ケーブルの展開,” 2017 信学総大, no. BI-8-7, March 2017.

(15) Y. Tamura, H. Sakuma, K. Morita, M. Suzuki, Y. Yamamoto, K. Shimada, Y. Honma, K. Sohma, T. Fujii, and T. Hasegawa, “Lowest-ever 0.1419 dB/km loss optical fiber,” OFC 2017, no. Th5D. 1, 2017.

(平成 29 年 3 月 8 日受付 平成 29 年 4 月 13 日最終受付)



しげあき 重松 昌行 (正員: シニア会員)

昭 58 東大・工・電子卒, 昭 60 同大学院修士課程了。同年, 住友電気工業株式会社入社。以来, 光ファイバ設計・評価技術, 光ファイバ増幅技術, 波長分割多重光伝送システムの開発等に従事。現在, Innovation Core SEI, Inc. 社長。博士(工学)。平 12 年度本会通信ソサイエティ活動功労感謝状受賞。平 28 から本会光ファイバ応用技術研究専門委員会委員長。



さいとう 齊藤 晋聖 (正員)

平 9 北大・工・電子卒。平 11 同大学院修士課程了。平 13 同博士課程了。同年北大大学院・助手, 平 17 同助教授, 平 25 同教授, 現在に至る。光ファイバ通信, 光エレクトロニクスなどに関する研究に従事。博士(工学)。平 10 年度本会論文賞, 平 13 年度本会学術奨励賞, 平 20 文部科学大臣表彰若手科学者賞, 平 27 日本学術振興会賞各受賞。