

被覆径160 μm 光ファイバを用いた1728心ケーブル

光ケーブルシステム事業部 佐藤 大典¹・辻本 悠介¹・山下 典明¹・村田 暁²・大里 健³
光ファイバ事業部 山城 健司⁴・松尾 昌一郎⁵

160 μm Coating Optical Fiber for 1728 Fiber Cable

H. Sato, Y. Tsujimoto, N. Yamashita, A. Murata, K. Osato, K. Yamashiro, and S. Matsuo

ブロードバンドサービスやデータセンタ市場の爆発的な成長に伴い、光ファイバケーブルの細径高密度化が求められており、その達成のためには、光ファイバの被覆径の細径化は有望なソリューションである。今回、80 μm のクラッド径を有する被覆径160 μm の光ファイバ（細径クラッド光ファイバ）を用いて1728心ケーブルを製作した。このケーブルは200 μm 被覆径ファイバを使用した場合と比べて26%の細径化と42%の軽量化を可能とする。広い温度範囲で良好な損失温度特性を示し、光ファイバケーブルに求められる特性を満たしていることを確認した。

Along with the explosive growth in broadband services and data center market, cables with high fiber density and reduced diameter will be more demanded. A small coating fiber is an attractive solution for realizing a high density and reduced diameter cable. In this study, we fabricated a 1728 fiber cable using 160 μm coating fiber with 80 μm cladding. This cable realizes 26% reduction in cable diameter and 42% lighter in weight compared with that with 200 μm coating fibers and shows good attenuation characteristics over wide range of temperature and satisfies general requirement for optical fiber cables.

1. ま え が き

近年、ブロードバンドサービスやデータセンタ市場の爆発的な成長により、新規または既存のネットワークに、経済的かつ効率的に細径高密度ケーブルを導入することが求められている。光ファイバケーブルの敷設工事に要する期間とコストを最小限に抑えるために、ケーブル外径と質量を小さくすることは有用である。細径・軽量化の要求にこたえるために、当社は光ファイバを間欠的に接着したリボン（Spider Web RibbonTM：SWRTM）と、複数のSWRを吸水テープで覆い、抗張力体を埋め込んで被覆したケーブル（Wrapping Tube CableTM：WTCTM）を上市している。さらに、標準的なクラッド径である125 μm を維持したまま、被覆径200 μm の光ファイバを設計し、被覆径250 μm の光ファイバよりも細径高密度なケーブルの開発に成功している。今回、さらなるケーブル細径化のために光ファイバのクラッド径細径化を試みた。

本稿では、クラッド径が80 μm 、被覆径が160 μm の光ファイバ（細径クラッド光ファイバ）による超高密度ケー

ブルを実現する可能性を示している。細径クラッド光ファイバは、光デバイスには使用されているが、通信系光ファイバケーブルへは適用されていない。この細径クラッド光ファイバを採用することにより更なる光ケーブルの細径化を達成し、超高密度のケーブルを実現したのでその内容について報告する。

2. 光ファイバ設計

2.1 マイクロバンド特性の観点からの設計指針

図1に光ファイバの断面図と、本稿で使用するパラメータの定義を示す。

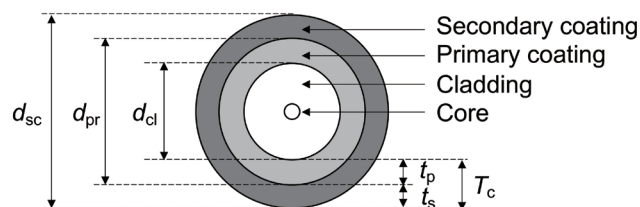


図1 光ファイバの断面図と構造パラメータの定義

Fig. 1. Cross sectional view of an optical fiber and definition of structural parameters.

細径高密度ケーブルにおいて、光ファイバには側面方向の力や張力が加わる。このような力は、光ファイバに微小

1 光ケーブル開発部
2 光ケーブル開発部 主席研究員、博士（学術）
3 光ケーブル開発部 部長
4 光ファイバ開発部 製品開発G 主席研究員
5 光ファイバ開発部 部長、博士（工学）

な曲げ（マイクロベンド）を発生させ、伝送損失の増加を引き起こす。ケーブル内の光ファイバ実装密度が高くなるとマイクロベンドは避けられないため、光ファイバのマイクロベンド感受性を下げることが重要である。マイクロベンド感受性 α_{mic} は次の式で表される¹⁾。

$$\alpha_{mic} \propto K_{coat} = \frac{\left(E_p \frac{d_{cl}}{t_p}\right)^2}{H_f^2 H_0^{0.25\mu-0.125} \left(E_p + \frac{t_s^3}{R_s^3} E_s\right)^{1.125-0.25\mu}}$$

ここで、 K_{coat} は光ファイバ被覆設計によるマイクロベンド感受性、 H_f 、 H_0 はそれぞれガラス部分、2層目被覆の剛性、 E_p 、 E_s はそれぞれ、1層目被覆、2層目被覆のヤング率、 t_p 、 t_s はそれぞれ1層目被覆、2層目被覆の被覆厚、 R_s は2層目被覆半径、 d_{cl} はガラス直径、そして、 μ はガラス表面の変形に関連するパラメータである。なお本稿では、 $\mu=3$ を用いた¹⁾。

この式から、マイクロベンド感受性を低減するには光ファイバコアのプロファイルを変更する以外にもいくつかの方法があることがわかる。細径クラッド光ファイバを実現するために、1層目被覆のヤング率を下げる、もしくは2層目被覆のヤング率を上げることがマイクロベンド感度を低減する効果的な方法の一つである。

2.2 マイクロベンド損失の測定

図2に細径クラッド光ファイバのマイクロベンド損失の測定結果を示す。マイクロベンド損失の測定は、IEC TR62221 method Bに準じた²⁾。ファイバA、B、Cはいずれも被覆径160 μm の光ファイバである。ファイバAは既存の被覆径200 μm ファイバで用いられている1層目/2層目の被覆材料、ファイバBは新開発の1層目被覆材料と従来の2層目被覆材料、ファイバCは新開発の1層目/2層目の被覆材料を使用した。なお、ここで新開発の1層目被覆材料のヤング率は、従来のそれよりも低く、2層目被覆材料のヤング率は従来のそれよりも高い。図2に示すように、新開発の1層目被覆材料を用いることで、マイクロベンド損失は従来の被覆材料を用いた場合の1/3以下に大きく低下し、新開発の2層目被覆材料を用いることでさらに低下した。

2.3 光ファイバ被覆の設計

光ファイバに接触するデバイスが十分に清潔に保たれていない場合、微小な異物が被覆を貫いてガラスを損傷し光ファイバの破断が起りやすくなることが知られている³⁾。そこで細径クラッド光ファイバの耐外傷性についても検証

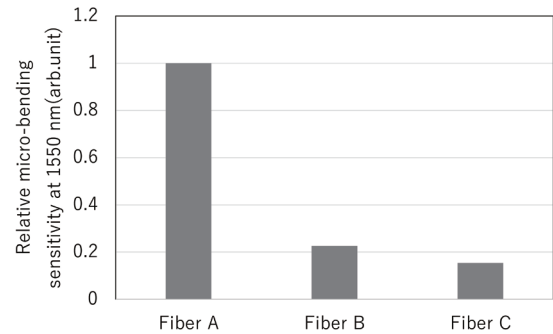


図2 マイクロベンド損失の測定結果

Fig. 2. Measured micro-bending loss.

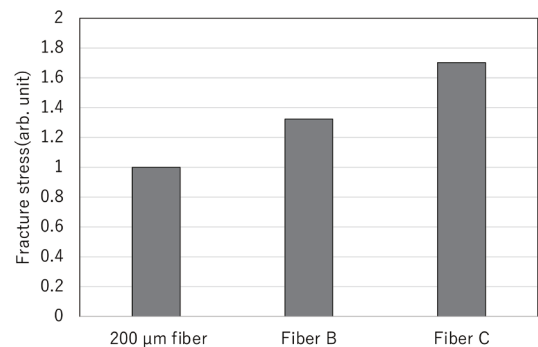


図3 サンドペーパー引張試験による破断応力測定結果

Fig. 3. Fracture stress of the sandpaper tensile test.

した。評価方法として、サンドペーパーの研磨面に光ファイバを押し付けて、その際の破断応力を測定した(サンドペーパー引張試験)。その結果を図3に示す。ここでファイバB、Cは図2で示した光ファイバと同じものであり、ファイバBは新開発の1層目被覆材料、ファイバCは1層目/2層目の被覆材料ともに新開発のものである。従来の被覆径200 μm 光ファイバの破断応力を1としてリファレンスとし、ファイバB、Cはリファレンスとの相対値を示している。ファイバB、Cは被覆径200 μm 光ファイバと比較しても同等以上の耐外傷性を有していることがわかる。これは被覆径200 μm 光ファイバの被覆厚は約37.5 μm であるのに対し、細径クラッド光ファイバでは40 μm であることから、被覆厚に起因していると考えられる。また、ファイバCはファイバBと比較してヤング率の高い2層目被覆材料を使用しているため、より優れた耐外傷性を示した。

最後に、光ファイバの信頼性試験として、IEC 60793-2-50に記載のある水浸漬時の損失変動量をファイバB、Cにおいて確認した。その結果を図4に示す。新開発の1層目被覆材料と従来の2層目被覆材料を使用したファイバBは、新開発の1層目/2層目被覆材料を使用したファイバCと比較して良好な特性を示した。そこで、ファイバBの被覆材料を細径クラッド光ファイバに採用した。

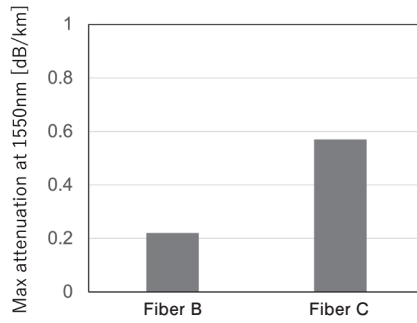


図4 水浸漬試験結果

Fig. 4. Water immersion test.

2.4 細径クラッド光ファイバの特性

図5に細径クラッド光ファイバの側面写真を示す。比較のため、従来のクラッド径125 μmを有する被覆径200 μmおよび250 μm光ファイバの側面写真も示す。また、開発した細径クラッド光ファイバの代表的な特性値を表1に示す。ここで示すファイバD、Eは、被覆は前述のファイバBの被覆材料を採用し、光ファイバの光学特性は、クラッド径を除いて、それぞれITU-T G.657.A1およびA2に準拠している⁴⁾。ファイバDおよびEの屈折率プロファイルは、ITU-T G.657.A1およびA2に準拠する現行のクラッド径125

μm光ファイバとほぼ同じであり、光ファイバの光学特性は同等であった。また、光ファイバの破断応力⁵⁾も、クラッド径125 μm光ファイバとほぼ同等であり、クラッド径が80 μmに細くなっても断面積に対して破断強度が低下していないことがわかる。

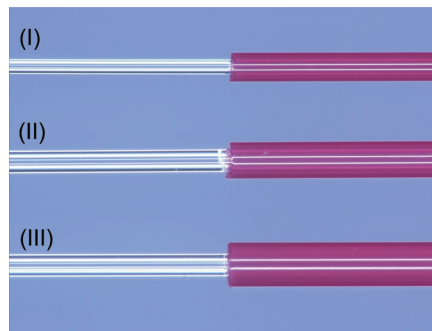


図5 製作した光ファイバの側面図 (I)クラッド径80 μmの被覆径160 μm光ファイバ (II) クラッド径125 μmの被覆径200 μmファイバ (III) クラッド径125 μmの被覆径250 μmファイバ

Fig. 5. Side view of fabricated fibers. (I) 160 μm fiber with 80 μm cladding. (II) 200 μm fiber with 125 μm cladding. (III) 250 μm fiber with 125 μm cladding.

表1 作製した光ファイバの特性

Table 1. Characteristics of fabricated fibers.

Item	Fiber D	Fiber E
Optical characteristics	G.657.A1	G.657.A2
Cladding diameter	80 μm	80 μm
Coating diameter	160 μm	160 μm
Attenuation at 1550 nm	0.197 dB/km	0.209 dB/km
Cable Cutoff Wavelength	1,181 nm	1,204 nm
MFD at 1310 nm	8.4 μm	8.6 μm
Macro-bending loss		
1,625 nm, R =10 mm	0.11 dB/turn	0.05 dB/turn
1,625 nm, R=7.5 mm	2.3 dB/turn	0.11 dB/turn
Fiber strength	5.0 GPa	5.0 GPa

3. SWRを用いたWTCの設計

3.1 SWR設計と開発したSWRの特性

当社は光ファイバ12本をリボン状に配置し、長さ方向と幅方向に断続的に接着した間欠固定テープ心線（SWR）を報告している⁶⁾。図6にSWRの概略図を示す。SWRは柔軟な構造であるため束ねやすく、より高密度にケーブル内に充填することが可能となる。そこで開発した細径クラッド光ファイバに関しても同様の設計とした。

細径クラッド光ファイバを用いて作製したSWRは、従来の被覆径200 μm光ファイバのそれと比べて、厚さ、幅ともに20 %以上減少させることができた。この結果、従来の被覆径200 μm光ファイバのSWRと比較して体積が40 %以上減少し、ケーブルへの高密度実装が可能となった。

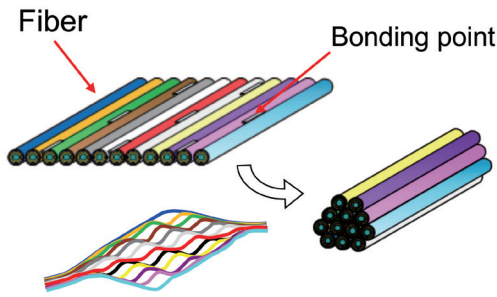


図6 SWRの概略図

Fig. 6. Schematics of SWR.

図7に、従来の被覆径200 μmファイバを用いたSWRと細径クラッド光ファイバを用いたSWRの一括融着接続損失を示した。それぞれ同種の光ファイバを一括融着接続した場合の接続損失を測定した。細径クラッド光ファイバの融着接続性能は、従来の被覆径200 μm光ファイバに劣らず、細径クラッド光ファイバ同士の融着接続が十分に可能であることが確認された。

3.2 SWRを用いたWTCの設計

細径クラッド光ファイバを用いたSWRで構成される1728心ケーブルを開発した。このケーブルは前述のファイバDとファイバEの2種類の光ファイバで構成されており、光ファイバを高密度で実装可能なWTC構造となっている⁷⁾。細径クラッド光ファイバを用いて作成した1728心ケーブルの寸法を表2に示す。比較として被覆径250 μm, 200 μm光ファイバを実装した1728心ケーブルの寸法を示す。細径クラッド光ファイバを実装した1728心ケーブルでは、従来の被覆径200 μm光ファイバを実装したそれと比較して、26 %の細径化、42 %の軽量化を達成した。

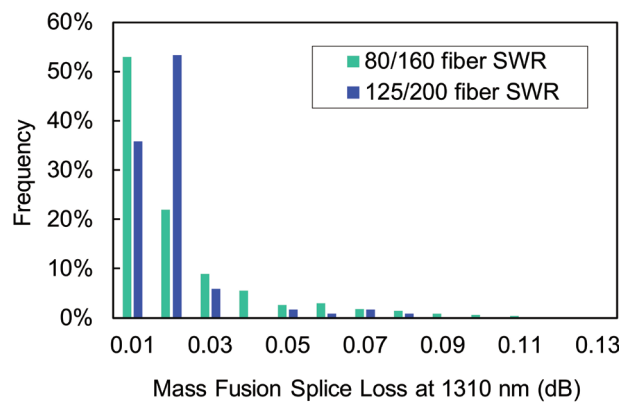


図7 細径クラッド光ファイバと被覆径200 μm光ファイバの一括融着接続損失

Fig. 7. Measured mass fusion splice loss of SWR comprising 200 μm fibers and 160 μm fibers.

表2 1728心WTCの寸法

Table 2. Dimension of fabricated 1728 fiber WTC.

		250 μm fiber	200 μm fiber	160 μm fiber
Outer diameter	(mm)	23.0	22.0	17.0
Weight	(kg/km)	360	300	210
Core density per a cable cross section	(cores/mm ²)	4.16	4.55	7.61

4. 細径クラッド光ファイバを実装した1728心WTCのケーブル特性

4.1 温度サイクル時の伝送特性

温度サイクル試験での損失温度特性の結果を図8に示す。-50℃～+70℃の広い温度範囲で、細径クラッド光ファイバはファイバD、Eいずれも、1550 nmにおける最大損失変動量は0.05 dB/km以下であり、良好な特性を有していることを確認した。

4.2 機械特性

1728心のケーブルの機械試験結果を表3に示す。なお、試験方法はTelcordia GR-20に準拠し、機械試験の測定波長は1550 nmとした。いずれの試験においても良好な特性を有することを確認した。

4.3 ケーブル作業性

前述のように細径クラッド光ファイバは、従来の被覆径200 μmや250 μmの光ファイバと比べてケーブルの細径化が可能となる。これにより、データセンタビル間の配線における管路の利用効率が向上するだけでなく、ドラムへのケーブル巻量を向上させることが可能となる。同じドラム

への巻量を比較した場合、細径クラッド光ファイバを用いた1728心ケーブルは、従来の被覆径200 μm光ファイバを実装したケーブルよりも60 %多く巻くことが可能である。さらに、ケーブルの細径化に伴い、ハンドリング性能が大幅に向上した。細径クラッド光ファイバ1728心ケーブルの曲げ径は、被覆径200 μm光ファイバを実装したそれと比べて20 %小さくなった。これにより、図9に示すようにケーブル敷設管路中のハンドホールへの収容も容易になる。



図9 細径クラッド光ファイバを用いた1728心WTCのハンドホール収容の様子

Fig. 9. View of installation in a handhole.

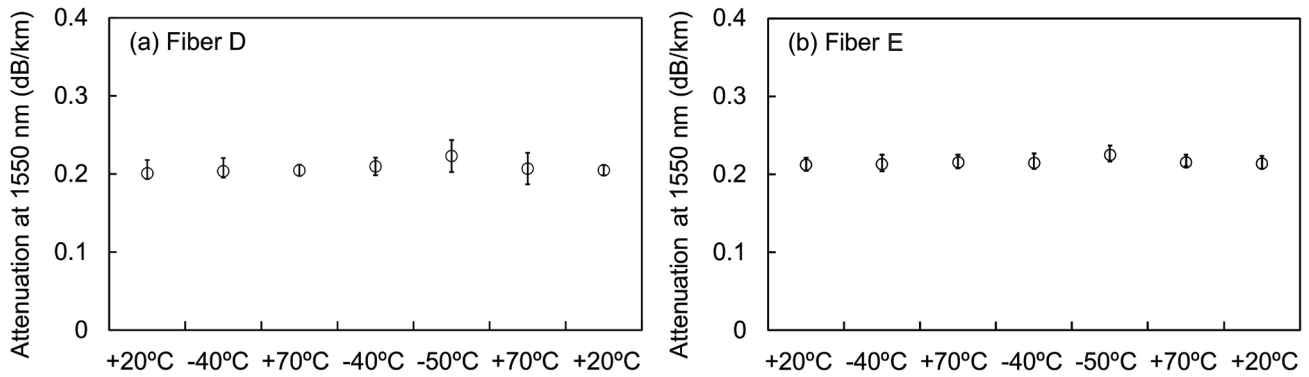


図8 1728心WTCの損失温度特性

Fig. 8. Attenuation characteristics of fabricated 1728 fiber WTC using fabricated 160 μm fibers.

表3 1728心WTCの機械試験結果

Table 3. Mechanical test results.

Item	Condition	Result
Cable Cyclic Flexing	Bending radius : 10D , Cycle : 25	< 0.1 dB
Impact	Striking surface : 12.5 mm , energy : 4.4 N m	< 0.1 dB
Tensile Strength	Load : 2700 N - 1h (Short Term)	< 0.2 %
	Load : 810 N (Long Term)	< 0.2 % < 0.1 dB
Compressive strength	110 N/cm 10 min. after 220 N/cm 1 min.	< 0.1 dB
		No Damage
Cable Twist	± 180 deg. / 2m, Cycle : 10	< 0.1 dB
		No Damage
Water Penetration	Height of water : 1 m, 24 hr, 3 m, Tap water	< 3 m

5. むすび

細径クラッド光ファイバを実装した超高密度ケーブルを開発した。細径クラッド光ファイバを用いた1728心ケーブルは、200 μm ファイバを実装したケーブルと比較して26%の細径化と、42%の軽量化を達成し、ケーブルの特性も良好であった。今回開発した細径クラッド光ファイバを用いたこれまでにない超高密度ケーブルは、今後さらなる発展が見込まれる光ファイバネットワークの経済的・効率的な構築に大きく貢献することが期待される。

参考文献

- 1) J. Baldauf, et al.: "Relationship of Mechanical Characteristics of Dual Coated Single Mode Optical Fibers and Microbending Loss", IEICE Trans. Commun., Vol.E-76-B, No.4, pp. 352-357, Apr. 1993
- 2) Optical fibres – Measurement methods – Microbending sensitivity, IEC TR62221, 2012
- 3) G. Scott Glaesemann, "Optical Fiber Mechanical Reliability – Review on Research at Corning's Optical Fiber Strength Laboratory White Paper" WP8002, pp.45-47, July 2017
- 4) Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fiber and cable, ITU-T Recommendation G.657, 2016
- 5) Optical fibres – Part 1-31: Measurement methods and test procedures – Tensile strength – IEC 60793-1-31, 2019
- 6) M. Yamanaka, et al. : "Ultra-High Density Optical Fiber Cable with "Spider Web Ribbon" , Proceedings of the 61th IWCS, 2-4, 2012
- 7) Y. Sajima, et al. : "Key Technology of Spider Web Ribbon (SWR) and the SZ Bunching Unit", Proceedings of the 68th IWCS, 11-3, 2019