

# 間欠接着型光ファイバテープを用いた 超細径高密度光ケーブルの開発

## Development of Ultra High Density Optical Fiber Cable with Rollable Optical Fiber Ribbons

田邊賢吾  
Kengo TANABE

金子貴皇  
Takao KANEKO

吉原龍夫  
Tatsuo YOSHIHARA

野呂 互  
Wataru NORO

瀬戸昭博  
Akihiro SETO

清武耕三  
Kozo KIYOTAKE

近年インターネットの普及に伴い、光ファイバ伝送路をより効率的で低コストに構築するため、光ケーブルの細径・軽量化、高密度化の要求が高まっている。このような要求に対しては、柔軟性のあるテープ構造を有した間欠接着型光ファイバテープが適している。今回、従来の光ファイバテープと同等のハンドリング性・融着接続性を持った4心間欠接着型光ファイバテープを収容し、24心、40心、60心、100心、200心の超細径高密度光ケーブルを開発した。本ケーブルの主要な設計内容について述べるとともに、各種特性の評価結果を報告する。

Recent years, as the growth of the Fiber to the Home, high density optical fiber cable with small diameter and lightweight is required to build optical fiber networks efficiently and inexpensively. As the requirements, rollable optical fiber ribbons have great advantages in high density cable because of their flexible structure. We have developed the 4-fiber rollable-ribbons which are useful in handling and fiber splicing workability. In addition, we fabricated and experimentally investigated 24-, 40-, 60-, 100- and 200-fiber ultra high density optical fiber cables with the 4-fiber rollable-ribbons. In this paper, we will describe the main design contents and the various characteristics of both the ribbons and the cables.

### 1. はじめに

近年インターネットの普及に伴い、光ファイバを一般家庭に直接引き込んで高速通信サービスを実現するFTTH (Fiber To The Home) が急速に拡大しており、光ファイバ伝送路をより効率的で低コストに構築することが求められている。FTTHに使用する光ケーブルは、効率的な接続作業を実現するため、複数の光ファイバテープをスロットに収容したものが一般的である。また、敷設時の牽引力や電柱への荷重負担を低減させるための軽量化の要求や、追加敷設の際の空きスペース不足の問題から、細径・高密度化の要求が高まっている。

従来の一括被覆型光ファイバテープをケーブルに収容し高密度化すると、ケーブルを曲げた時に一部の光ファイバテープで大きな光ファイバひずみが生じてしまい、光損失の増加を招くとともに、光ファイバ破断率が增大する等の問題があった。そこで、光ファイバテープを幅方向に曲げ

やすく、筒状に、あるいは折り畳んでケーブル内に収容可能な間欠接着型光ファイバテープが提案され、高密度収容してもひずみが低減されることが示されている<sup>1)~5)</sup>。

今回我々は、従来の光ファイバテープと同等のハンドリング性・融着接続性を持った4心間欠接着型光ファイバテープを収容し、24心、40心、60心、100心、200心の超細径高密度光ケーブルを開発した。本ケーブルの主要な設計内容について述べるとともに、各種特性の評価結果を報告する。

### 2. 間欠接着型光ファイバテープの設計

図1に間欠接着型光ファイバテープの構造を示す。間欠接着型光ファイバテープは隣接する2心の単心光ファイバ心線が長手方向に間欠的に連結されており、単心部と接着部が周期的に配置された構造である。このような構造のテープは、従来の一括被覆型光ファイバテープ心線に比べ、自由に形を変えることができるとともに、テープから単心光ファイバを個別に後分岐しやすい。その上、光ファイバを

接続する際は所定の配列に光ファイバを整理させ、一括接続可能という利点を持っている。

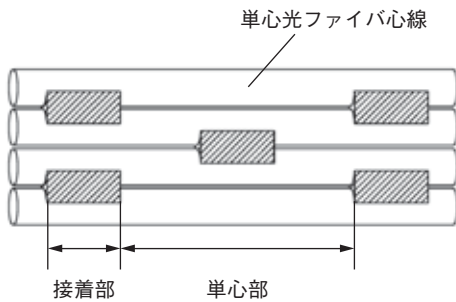


図1 間欠接着型光ファイバテープ構造

## 2.1 テープ強度

間欠接着型光ファイバテープは、ケーブル曲げ時のひずみが小さい単心光ファイバ心線の特性和、接続作業時に作業性が良い一括被覆型光ファイバテープの特性をあわせ持った構造といえる。その反面、一括被覆型光ファイバテープと比較して光ファイバ同士を連結するテープ強度が弱く、光ケーブルに応力を加えた際、ケーブル内で単心光ファイバに分離してしまう懸念がある。これは、中間分岐作業の作業性に大きく影響を与えてしまうため、間欠接着型光ファイバテープを設計する上で考慮する必要がある。

そこで、単心部長さと接着部長さの関係からテープ強度を相対的に検証するため、図2に示すしごきユニットによって検討した。本しごきユニットは光ファイバテープを一定張力で張線したあと、任意回数捻回してからローラーでしごく機構となっており、しごいた後の光ファイバテープ分離状態を確認する装置である。ここに、単心部長さを接着部長さで除した値を単心部比率とし、分離が発生しない最大の捻回数をテープ強度とした。

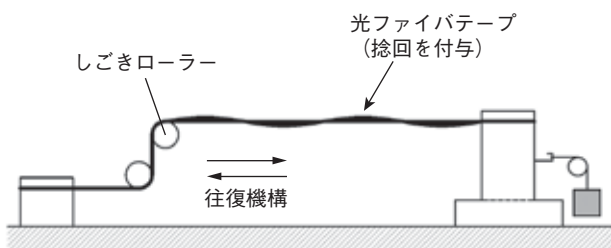


図2 しごきユニット

図3にしごきユニットを用いて単心部比率の異なる間欠接着型光ファイバテープを評価した結果を示す。テープ強度の値は単心部比率が25のときを1とした相対値で示す。図3より、単心部比率が小さいテープ構造ほどテープ強度が高くなる事が分かる。また、単心部比率が12以下の光ファイバテープは、光ケーブルに応力を加えた際もケーブル内で単心光ファイバへ分離しないことを確認した。

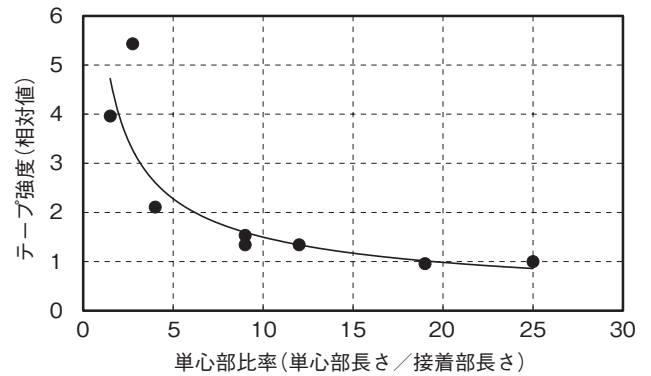


図3 しごき試験結果

## 2.2 ハンドリング性

間欠接着型光ファイバテープは、長手方向に単心部を部分的に持っているため、配列・整列性が従来の一括被覆型光ファイバテープと比較して劣ることが懸念される。そこで、光ファイバテープを融着ホルダにセットし、融着機のV溝へセットするまでの作業時間と光ファイバテープの単心部長さの関係について検証した結果を図4に示す。作業時間の値は従来の光ファイバテープの作業時間を1としたときの相対値で示す。

単心部長さが長くなるほど作業時間は長くなる傾向があり、融着ホルダへの配列・整列性が徐々に失われていくことがわかる。逆に単心部長さが63 mm以下の光ファイバテープは従来の光ファイバテープと同等の作業時間であり、ハンドリング性は良好であった。

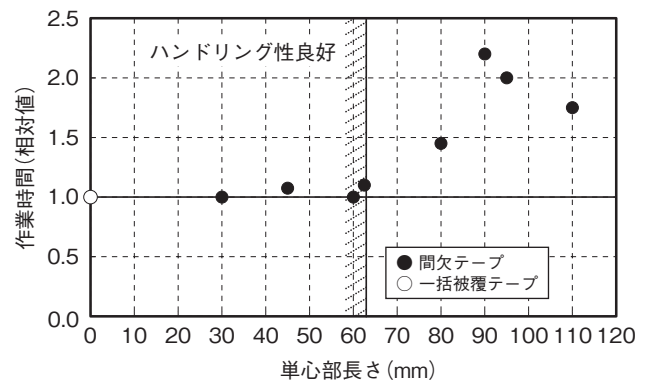


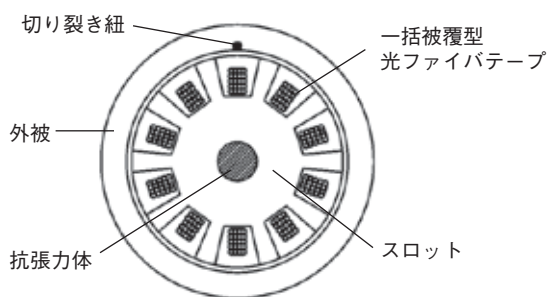
図4 ハンドリング性評価結果

これらのことから、間欠接着型光ファイバテープの単心部比率を12以下、単心部長さを63 mm以下として、光ファイバテープを設計した。なお、光ファイバ心線にはITU-T G.657.A1に準拠したR15 mm曲げ対応心線を適用した。

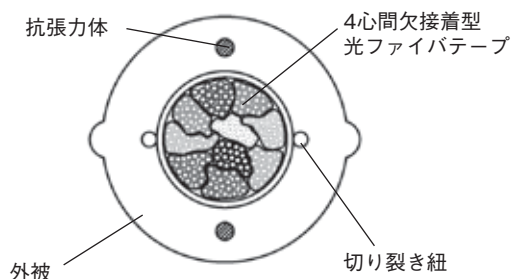
## 3. 超細径高密度光ケーブルの設計

従来の一括被覆型光ファイバテープを収容した光ケーブルは、図5 a)に示すようなスロット構造をとっており、スロットがケーブルの大半の容積を占めていた。今回開発の超細径高密度光ケーブルは、間欠接着型光ファイバテープ

プを收容するため、その特徴からスロット構造は不要となり（スロットレス構造）、図5 b) に示すような高密度收容が可能となる。



a) 従来 200 心スロット型光ケーブル



b) 200 心超細径高密度光ケーブル

図5 光ケーブル断面構造

### 3.1 曲げ特性

従来のスロット型光ケーブルは、スロット溝に光ファイバテープを整列して收容しているため、ケーブル曲げ時にもその整列性が維持され、光ファイバテープへの著しい側圧によるマイクロベンドロスや、光ファイバテープ条長差によるマクロベンドロスは発生しなかった。しかし、スロットレス構造としつつ、光ファイバ充填密度を高くしてケーブル内に收容すると、光ファイバテープ同士の押し付け合いにより、マイクロベンドロスやマクロベンドロスが生じる可能性がある。

そこで、24, 40, 60, 100, 200 心の光ケーブルを異なる光ファイバ充填密度で作製し、各々の光ケーブルを曲げ半径 75 mm で曲げたときの光損失値を測定した。光ファイバ充填率と曲げ光損失特性の結果を図6 に示す。ここで、光ファイバ充填率は、ケーブル外被内側の光ファイバが収納されている部分の断面積と收容されている光ファイバの総断面積の比とした。また、光ファイバ收容心数 24 心における、充填率が最小のときを 1 として規格化した。あわせて、曲げ損失が 0.1 dB より大きい場合、マイクロベンドロスやマクロベンドロスが生じていると判断し、(×) で表示した。

図6 より、どの心数のケーブルでも充填率が高くなるに従い曲げ損失が高くなる。また、收容心数が多くなると、充填率が高くても曲げ損失が生じにくいことがわかる。こ

れは、收容心数の多いケーブルは少心ケーブルと比較してケーブル外被内側の寸法が大きいので、光ファイバが内部で比較的稠密に收容されることが一因と考えられる。

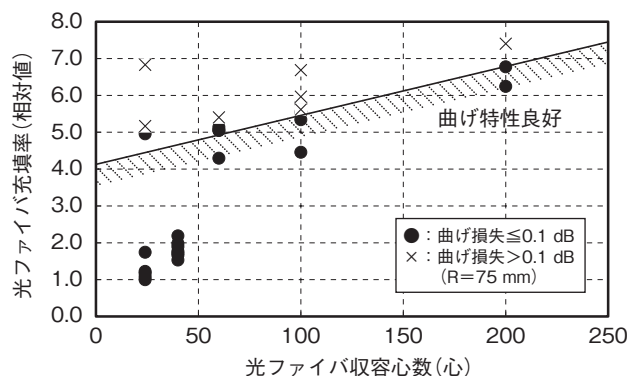


図6 光ファイバ充填率と曲げ特性

### 3.2 側圧特性

従来の光ケーブルは、スロットによって光ファイバが保護されているため、断面方向の外力（側圧）に対して十分な耐性を持っていた。しかし、スロットレス構造とすることにより、ケーブル外被構造だけで外力に対する強度を確保しなければならない。そこで、外被厚さをパラメータとした強度設計が重要となる。

光ケーブル外被厚さと側圧特性について検証した結果を図7 に示す。外被厚さの値は光ファイバ收容心数 24 心で最小のときを 1 とした相対値で示す。ここに、側圧損失が 0.1 dB 以下であれば、実用上問題ない強度を持っていると判断した。

この結果から、光ファイバ收容心数が多いほど、外被厚さを大きく設計しなければならないことが分かる。これは、收容心数の増加とともにケーブル外径が大きくなり、同一の外被厚さではケーブル断面方向の変形量が大きくなることが一因と考えられる。

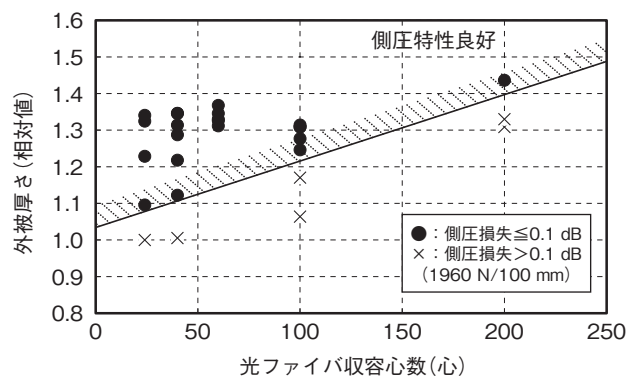


図7 光ケーブル外被厚さと側圧特性

### 3.3 ユニットの設計

従来の光ケーブルは、複数の光ファイバテープ心線をスロットの溝ごとに区分けすることで、光ファイバテープの識別を容易にしていた。今回のスロットレス構造は、20心ごとに光ファイバテープを着色されたバンドル材で束ねてユニットを構成し、識別性を確保した。

バンドル材は幅を持った着色ポリエチレン (PE) テープと着色ポリエチレンテレフタレート (PET) テープ、柔軟性のある着色系の三種類について検討した。表1にユニット識別性と加熱収縮性を検討した結果を示す。加熱収縮性については温度変動時に光ケーブル性能へ影響を及ぼす可能性があるため考慮した。

この結果から、幅を持ったテープ状のバンドル材は識別性が良好であり、さらに着色PETテープは加熱収縮性が良好であった。

表1 バンドル材検討結果

検討材料	識別性	加熱収縮性
着色PETテープ	○	○
着色PEテープ	○	△
着色系	△	○

これらのことから、超細径高密度光ケーブルの光ファイバ充填率と外被厚さは、光ファイバ収容心数ごとに適切な値で設計し、ユニットを構成するバンドル材は着色PETテープを選定した。

## 4. 検証

今回、丸型光ケーブルと自己支持型光ケーブルについて、光ファイバ収容心数が24心、40心、60心、100心、200心の超細径高密度光ケーブルを製作し、各種特性を評価した。

### 4.1 構造寸法

図8、図9に丸型光ケーブルと自己支持型光ケーブルの外形・質量をそれぞれ示す。比率の値は従来の光ケーブルを1としたときの相対値で示す。

丸型光ケーブルと自己支持型光ケーブルどちらも、光ファイバ収容心数が多いほど細径化率・軽量化率が増加していることが分かる。これは、従来の光ケーブルのスロット構造が外周に光ファイバテープを配置する設計のため、光ファイバ収容心数が多いほど必然的に外径が大きくなることに起因する。

今回、200心丸型光ケーブルにおいては、従来の光ケーブルと比較して、4割の細径化、6割の軽量化を実現した。

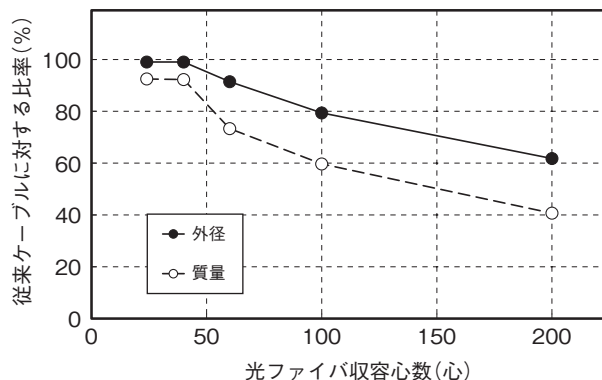


図8 丸型光ケーブルの外径と質量

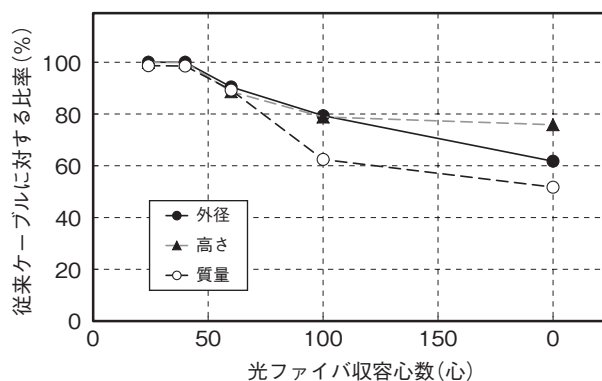


図9 自己支持型光ケーブルの外径と質量

### 4.2 ケーブル特性

表2に開発した超細径高密度光ケーブルの伝送特性、機械特性、温度特性の評価結果を示す。

各評価項目において、良好な特性を持つことを確認し、従来の光ケーブルと同等性能であることを確認した。

表2 ケーブル特性評価結果

項目	試験条件 (測定波長は1.55 μm)	超細径高密度光ケーブル (丸型、自己支持型)				
		24心	40心	60心	100心	200心
伝送損失	OTDR <sup>注)</sup>	0.25 dB/km 以下				
曲げ特性	R=160 mm, ±180°, 10 cyc	0.01 dB/心以下				
側圧特性	1960 N/100 mm	0.01 dB/心以下				
衝撃特性	φ20 mm, 1 kg, 1 m	0.01 dB/心以下				
捻回特性	±90°/m	0.01 dB/心以下				
しごき特性	R=250 mm, 90°	0.01 dB/心以下				
温度特性	-30 ~ 70°C, 3 cyc	最大損失変動 0.1 dB/km 以下				

注) OTDR : Optical Time Domain Reflectometer

### 4.3 作業性

表3に中間分岐性、融着接続性の評価結果を示す。表3の評価結果は従来の光ケーブルを1としたときの相対値で示す。

各評価項目において従来の光ケーブルと同等の特性を持つことを確認した。また、融着接続時の接続損失についても従来の光ケーブルと同等であることを確認した。



表3 作業性評価結果

項目	試験条件	200心 従来 光ケーブル	200心 超細径高密度 光ケーブル
中間分岐性	ケーブル中間部で外被除去を行い、任意の単心光ファイバ心線を取り出すまでの時間	1.00	0.94
融着接続性	光ファイバテープ1組の融着接続時間	1.00	1.02

## 5. ま と め

光ファイバ充填率と外被厚さを光ファイバ収容心数ごとに最適化し、従来の光ファイバテープと同等のハンドリング性・融着接続性を持った4心間欠接着型光ファイバテープを収容する24心、40心、60心、100心、200心の超細径高密度光ケーブルを開発した。開発したケーブルは伝送特性、機械特性、温度特性、作業性において従来の光ケーブルと同等な性能を持つことを確認した。

本ケーブルは、大幅な細径化・軽量化を実現しており、今後の効率的な光ファイバ伝送路の構築に貢献することが期待される。

## 参 考 文 献

- 1) 戸毛, 山田, 保莉: “間欠接着型光ファイバテープを用いた超細径・高密度光ファイバケーブル”, 信学会ソ大会, B-13-38 (2008)
- 2) 保莉, 山田, 戸毛: “20心間欠接着型光ファイバテープを用いた超細径高密度光ファイバケーブル”, 信学技報, OFT2009-87, P23-26
- 3) 山田, 泉田, 倉嶋, 戸毛, 保莉: “間欠接着型光ファイバテープを実装した超細径高密度光ケーブルの設計と特性”, 信学技報, OFT2010-49, P9-14
- 4) 田邊, 金子, 野呂, 今川, 瀬戸, 清武: “間欠接着型光ファイバテープを用いた超細径高密度光ケーブルの開発”, 信学会ソ大会, B-10-19 (2012)
- 5) 田邊, 金子, 吉原, 野呂, 瀬戸, 清武: “間欠接着型光ファイバテープを用いた超細径高密度光ケーブルの開発”, 信学技報, OFT2012-45, P65-69

昭和電線ケーブルシステム(株)  
田邊 賢吾 (たなべ けんご)  
通信システムユニット 技術部 技術課 主査  
通信ケーブルの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
金子 貴皇 (かねこ たかお)  
通信システムユニット 光素線プロジェクト長  
通信ケーブルの研究・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)  
吉原 龍夫 (よしはら たつお)  
通信システムユニット 製造部 製造1課 主査  
通信ケーブルの設計・製造に従事

杭州富通通信技術股份有限公司  
野呂 互 (のろ わたる)  
通信ケーブルの設計・製造に従事  
(2014年6月まで 昭和電線ケーブルシステム(株)  
通信システムユニット 通信製造部 技術課長)

昭和電線ケーブルシステム(株)  
瀬戸 昭博 (せと あきひろ)  
営業本部 開発営業部 主査  
新製品および新事業のための企画業務に従事

富士電線(株)  
清武 耕三 (きよたけ こうぞう)  
生産本部 光ケーブル加工品部 部長  
通信ケーブルの設計・製造に従事  
(2014年6月まで 昭和電線ケーブルシステム(株)  
通信システムユニット 技術開発部長)