

中間後分岐型光ファイバテープ心線および光ケーブルの開発

New Optical Fiber Ribbons and Cables for Mid-Span Branching

大山 竜也*
Tatsuya Oyama

金井 憲*
Ken Kanai

兼田 仁志*
Hitoshi Kaneda

中島 勝*
Masaru Nakajima

小澤 俊明*
Toshiaki Ozawa

林 津好寿*
Yoshihisa Rintsu

渡辺 有一*2
Yuichi Watanabe

概要 FTTHの普及に伴い、各家庭への光ファイバ引き込み工事が増加している。しかしながら、従来の架空ケーブルの中間後分岐作業には心線使用効率の向上が課題となっていた。そこで我々は、中間後分岐作業における心線使用効率の向上を目的に、中間部において容易に所定心数への分離が可能な2心、8心の光ファイバテープ心線の開発を行った。本報告では、開発した中間後分岐型光ファイバテープ心線とそれを用いた光ファイバケーブルの諸特性、および中間後分岐を可能とする専用工具も同時に開発したのでこれについても併せて報告する。

1. はじめに

FTTH (fiber to the home) の普及に伴い、各家庭への光ファイバ引き込み件数が増加している。各家庭まで光ファイバを敷設するには、少心系ケーブルを用いた密な光ファイバ網の構築が必要であり、配線系の光ファイバケーブルの中間において後分岐・接続作業が必然と増加している。しかしながら、従来の光ファイバケーブルでは、中間後分岐作業において心線使用効率の向上が課題となっていた。架空での中間後分岐は従来、テープ心線を一括切断後に必要な心線を取り出す方法が標準であった。しかし、その場合残りの心線は使用できなくなり、心線使用効率を低下させる要因となっていた。

そこで、以前に我々は中間部において容易に単心に分離が可能な中間後分岐型4心テープ、およびそれを使用した中間後分岐型光ファイバケーブルの開発を行い、報告済である¹⁾。

ただし、従来は単心分離した心線を、ドロップケーブルに接続する方法が主流であったが、最近では分離の仕方も多様化してきている。例えば、多心数の架空ケーブルから、少心数の架空ケーブルへ中間後分岐を行うようなケースがある²⁾。このようなケースに対応するためには、多心テープ心線から単心への中間後分岐だけでなく、多心テープ心線から少心テープ心線への中間後分岐を可能とするようなテープ心線、およびそれを使用した架空ケーブルの開発が必要である。

上記ニーズを満足すべく我々は、多心テープ心線から複数の少心テープ心線への中間後分岐を実現する中間後分岐型8心

テープ心線を開発した。また、少心テープ心線から単心への引き落としを考慮して、中間後分岐型2心テープ心線を開発した。それぞれのテープ心線を用いたスロット型ケーブルを評価し良好な特性を得たので報告する。また、容易かつ安全に中間後分岐を可能とする分離工具も同時に開発したので、その内容について併せて報告する。

2. 中間後分岐型テープ心線の設計

この章では、開発した中間後分岐型テープ心線と専用分離工具について述べる。

2.1 中間後分岐型テープ心線の構想

架空ケーブルに用いられるテープ心線は、2・4・8心のテープ心線が多く使用されている。そこで、各心線に対して中間後分岐テープ心線を検討した。中間後分岐を含む配線例を図1に、開発対象とするテープ心線について表1に示す。

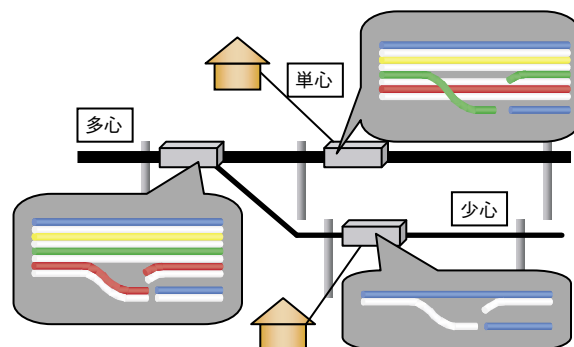


図1 中間後分岐配線例
Cabling diagram for mid-span branching.

* 情報通信カンパニー 技術開発部

*2 東京電力株式会社 電子通信部

表1 中間後分岐型テープ心線の構想
Design concept of separable optical fiber ribbon.

開発対象	中間分離	備考
2心テープ心線	単心に分離	—
4心テープ心線	単心に分離	開発済
8心テープ心線	2心に分離	テープ心線に分離後 単心にも分離可能
	4心に分離	

2心・4心テープ心線は主に少心数の架空ケーブルに実装される。中間後分岐先としては各家庭への単心ドロップケーブル引き落としが主流である。そのため、中間後分岐型2心・4心テープ心線は単心の中間後分岐が必要となる。

一方、8心テープ心線は多心数の架空ケーブルに実装されるため、図1のように単心引き落とし以外に少心数の架空ケーブルへの中間後分岐を行うケースもある。よって、心線使用効率と作業効率を向上させるための中間後分岐型8心テープ心線は、少心数ケーブルとテープ心線単位の接続ができる必要がある。そこで、中間後分岐型8心テープ心線は中間にて少心数ケーブルに多く用いられている2心、もしくは4心テープ心線に分離が可能で、さらに単心にも分離が可能であることが望ましい。

2.2 中間後分岐用分離工具

中間後分岐作業時に容易かつ安全に作業が行えるように、専用工具が必要である。中間後分岐用の専用工具は架空での作業が基本となることから、片手でも作業が可能となるような小型軽量設計が必要である。また、安全にテープ心線を分離させるためには、ファイバにダメージを与える危険性のある部材は使用できない。さらに、容易にテープ心線を分離するためには短時間で分離できることが望ましい。そこで、我々は中間後分岐型テープ心線を分離する部材として、サンドペーパーを選定し、開発した専用工具に取り付けた。

また、サンドペーパーでテープ心線をこする際に余計な力が加わり過ぎないように、工具にはある一定の間隔でテープ心線をこすことが可能となる位置調整機能を設けた。

さらに、サンドペーパーでテープ心線をこすった後に安全に単心に分離が可能となるように、専用工具にプラスチック製のメッシュ部を設けた。中間後分岐型テープ心線をサンドペーパーでこすることにより、テープ表面に分離のきっかけを入れ、さらにその部分をメッシュでこすることにより、ファイバを安全かつ簡単に分離することが可能となる。そのため、ファイバの断線やロス増の影響を排除し、作業時間の短縮化が可能である。開発した専用工具の外観を図2に示す。

2.3 中間後分岐型4心テープ心線¹⁾

専用工具で単心分離を可能とするために、テープ心線の材料、および構造を検討した。4心テープ心線の構造を図3に示す。一般的に、着色層-テープ材間の密着力が小さいほど、はく離しやすく単心分離性が向上する。また、テープ厚さが薄いほど、心線の取り出しやすさが向上する。そこで、1層構造の4心テープ心線にてテープ厚さの水準をふり、専用工具で単心分離が可能となる最適解を得た。

2.4 中間後分岐型2心テープの設計

2.3で得た中間後分岐型4心テープ心線の設計思想を踏襲して、中間後分岐2心テープ心線を検討した。4心テープ心線と

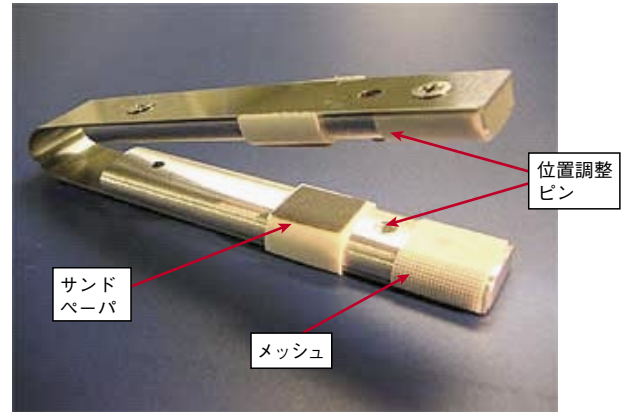


図2 中間後分岐用分離工具
Tools for mid-span separation.

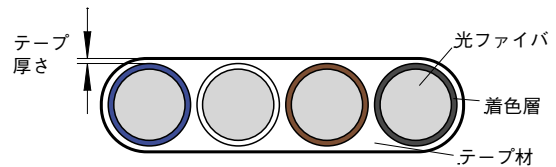


図3 4心テープ心線の構造
Structure of 4-count-fiber ribbon.

同様の材料を用いてテープ厚さを変えた時の単心分離性を評価した。2.2の分離工具を用い、まずサンドペーパーでテープ心線を一度こすった後、メッシュにて数回こすことでテープ心線の中間分離を行った。結果を表2に示す。評価結果は単心に分離するまでに使用した工具の回数で評価した。テープ厚さによって明確に単心分離性の差が現れており、良好な単心分離性を得るためにはテープ厚さを0.6(相対値)以下にする必要があることが分かった。

表2 分離成功率
Success rate for ribbon separation.

テープ厚さ (相対値)	専用工具使用
	サンドペーパー + メッシュ
0.1	分離可能
0.3	分離可能
0.6	分離可能
1.0	分離不可能

2.5 中間後分岐型8心テープ心線の設計

従来は架空での中間後分岐先は単心のドロップケーブルが主流であり、中間単心分離が求められていた。しかし、最近では複数心のドロップケーブルや、少心の架空ケーブルへの中間後分岐も求められており、8心テープ心線を2心や4心テープ心線に分岐後、他のケーブルのテープ心線へ接続する要求も出てきた。そこで、そのような少数心へテープ分離可能な中間後分岐用テープ心線の開発が必要である。

テープ分離可能なテープ心線は2.3および2.4で述べた1層型のテープ心線を組み合わせることで実現する。1層型のテープ心線複数枚を整列した状態で一括被覆を施し、2層型の多心テープ心線を検討した。今回検討した2層型のテープ心線は2心、もしくは4心テープ心線にテープ分離が可能な8心テープ

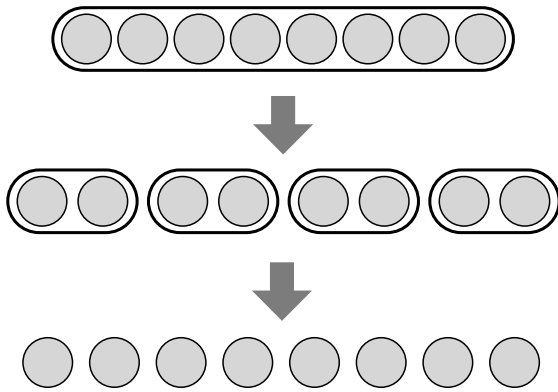


図4 中間後分岐型8心テープ心線の構造
Structure of separable 8-count-fiber ribbon.

心線である。図4に1例として2心テープに分離可能な2層型中間後分岐8心テープ心線を示す。

2層型テープ心線から1層型テープ心線への分離に必要な設計ポイントは2層目材料の特性と2層目のテープ厚さであると考えた。そこで、ヤング率の異なる材料3種類、2層目のテープ厚さ2水準の計6水準でサンプルを試作し、専用工具でのテープ分離特性を評価した。表3に試作品に用いたヤング率の異なる3種類の材料を示す。分離評価の方法としてはサンドペーパーでこすってからメッシュでこする方法と、メッシュのみでこする方法と2種類の分離方法で行った。分離評価は単心に分離せずに、テープに分離するまでに使用した工具の回数で評価した。結果を表4に示す。

通常、テープ厚さは薄い方がテープ分離性に優れているが、サンドペーパーを用いた分離方法ではテープ厚さが薄くなると単心まで分離する結果となった。メッシュのみでの分離方法では材料B、Cが良好な分離性を示したが、製造性を考慮すると適度なヤング率を有する材料Bが最も適した材料であると言える。

また、2層型の中間後分岐型テープ心線からテープ分離した1層型テープ心線は、2.3もしくは2.4で述べた単心分離可能なテープ心線と同様の設計である。そのため、テープ分離後に専用工具のサンドペーパーとメッシュを用いることで単心への分離

表3 2層目材料
Second-layer material.

材料種	ヤング率(相対値)	製造性
材料A	1.0	○
材料B	0.4	○
材料C	0.3	△

表4 分離特性
Separation characteristics of fiber ribbon.

テープ材料	サンドペーパー+メッシュ		メッシュのみ	
	相対被覆厚 0.2	相対被覆厚 1.0	相対被覆厚 0.2	相対被覆厚 1.0
材料A	× *1	× *2	× *2	× *2
材料B	× *1	○	◎	○
材料C	× *1	○	◎	○

*1: テープ状に分離する前に単心に分離してしまう

*2: テープ状にも単心にも分離不可能

も可能としている。よって、中間後分岐型の2層型テープ心線は架空での中間後分岐にて工法を使い分けることで、テープ接続も単心接続も可能である。

3. 中間後分岐型テープ心線の特性

開発した2心・8心中間後分岐型テープ心線は、従来用いられているテープ心線と同等の特性が求められる。そこで、我々は開発したテープ心線の主要特性を評価した。また、中間後分岐作業に対する評価として、中間後分岐作業時の伝送損失変動、および中間後分岐作業後の光ファイバ信頼性を評価した。

3.1 中間後分岐型テープ心線の主要特性

3.1.1 2心型テープ心線の特性

架空にてテープ中間部を単心分離して、単心接続する設計として2.4に基づき2心中間後分岐型テープ心線を開発した。開発したテープ心線の初期特性、側圧特性、温度特性、長期信頼性を評価した。結果を表5に示す。今回開発した中間後分岐型2心テープ心線は従来のテープ心線と同等の特性を有していることを確認した。

表5 中間後分岐型2心テープ心線の評価結果
Characteristics of separable 2-count-fiber ribbon.

項目	条件	評価結果	
伝送損失	$\lambda = 1550 \text{ nm}$	≤ 0.21	dB/km
側圧特性	500 N/100 mm	≤ 0.02	dB
温度湿度特性	85℃ 85%, 30 d	≤ 0.05	dB/km
温度特性	-40 ~ +70℃, 10 cycle	≤ 0.05	dB/km
融着特性	MFD: $8.6 \pm 0.4 \text{ }\mu\text{m}$	≤ 0.10	dB

3.1.2 8心型テープ心線の特性

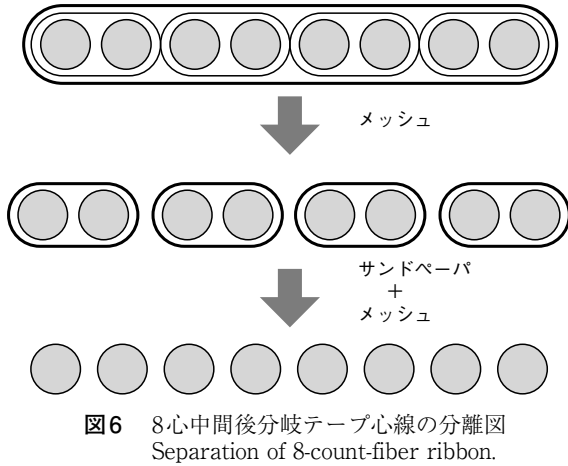
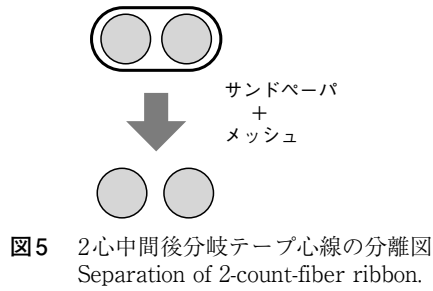
2.5の設計に基づき、架空にてテープ心線の中間部を2心、もしくは4心テープ心線に分離が可能で、かつ単心にも分離可能な8心中間後分岐型テープ心線を試作した。3.1.1と同様の評価を行った評価結果を表6に示す。従来のテープ心線および中間後分岐後の2心・4心テープ心線との融着特性も良い結果を示している。その他の得られた結果は従来のテープ心線と同等の特性を満足していることを確認した。

表6 中間後分岐型8心テープ心線の評価結果
Characteristics of separable 8-count-fiber ribbon.

項目	条件	評価結果	
伝送損失	$\lambda = 1550 \text{ nm}$	≤ 0.21	dB/km
側圧特性	500 N/100 mm	≤ 0.02	dB
温度湿度特性	85℃ 85%, 30 d	≤ 0.05	dB/km
温度特性	-40 ~ +70℃, 10 cycle	≤ 0.05	dB/km
融着特性	MFD: $8.6 \pm 0.4 \text{ }\mu\text{m}$	≤ 0.10	dB

3.2 中間後分岐時の損失変動

開発した中間後分岐型テープ心線の中間後分岐作業を行った際に生じる損失変動を評価した。評価方法を以下に示す。2心型テープ心線は図5のように、テープ中間部を専用工具のサンドペーパー部で1回こすった後、図5のように専用工具のメッシュ部にて同じ箇所をこすることで、単心への分離を行った。2層



型のテープ心線は図6のように、テープ中間部を専用工具のメッシュ部でこすり、一層型テープに分離させ、その後、1層型テープ中間部をサンドペーパー、メッシュの順にこすり単心への分離を行った。各々の作業中に発生した損失変動値を表7に示す。測定は波長1550 nm、測定間隔は10 msで行った。結果から損失変動は小さく、問題の無いことを確認した。

表7 中間後分岐時の損失変動評価結果
Loss increase during separation.

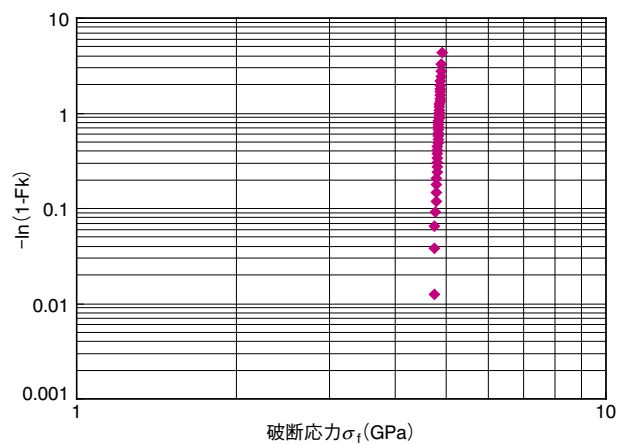
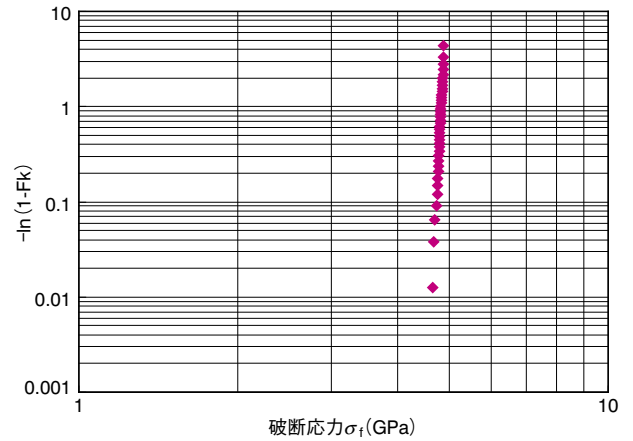
分離	工法	2心テープ心線	8心テープ心線
テープ分離	メッシュ	—	≤ 0.3 dB
単心分離	サンドペーパー	≤ 0.1 dB	≤ 0.1 dB
	メッシュ	≤ 1.0 dB	≤ 1.0 dB

3.3 中間後分岐後の信頼性評価

中間後分岐作業後にファイバの損傷の有無を検証した。下記に示す2種類の条件でファイバの引張破断強度を測定することで、中間後分岐作業によるファイバの強度劣化を評価した。1つ目はテープ化する前のファイバ、そして2つ目は専用工具のサンドペーパー部・メッシュ部を使用して中間単心分離させたファイバを評価サンプルとした。各々の引張破断強度試験結果を図7、図8に示す。テープ化前のファイバも、専用工具を用いて中間後分岐したファイバも同様のワイブル分布を示したことから、専用工具を用いた中間後分岐においてファイバの強度劣化が無いことを確認した。

4. 中間後分岐型ケーブル特性

開発した中間後分岐型テープ心線を使用した架空布設用中間後分岐型ケーブルを開発した。2心テープおよび8心テープを使用したそれぞれのケーブルの主要特性を評価した。



4.1 2心テープ使用中間後分岐ケーブル

開発した2心テープ使用中間後分岐型ケーブルを図9に示す。中心にテンションメンバ(TM)を有するSZスロットの各溝に中間後分岐型2心テープ心線を実装した。心線系列は24心型と48心型を開発した。

開発した上記ケーブルの主要特性を評価した。結果を表8に示す。24心型、48心型ともに伝送損失・機械特性・温度特性において良好な結果を示した。得られた特性は従来のテープ心線を使用したSZケーブルと同等の特性であることを確認した。

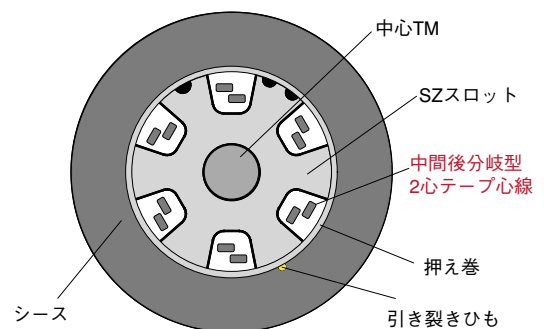


表8 2心テープ心線型SZケーブルの主要特性
Characteristics of SZ cable using 2-count-fiber ribbon.

項目	条件	測定波長 (nm)	評価結果		
			24心	48心	単位
伝送損失	—	1310	≤ 0.34	≤ 0.34	dB/km
		1550	≤ 0.21	≤ 0.20	dB/km
温度特性	-30 ~ +70℃ 3 cycle	1550	≤ 0.01	≤ 0.01	dB/km
引張特性	0.2%伸び張力		≤ 0.01	≤ 0.01	dB
しごき特性	1.47 kN, 90° R = 300 mm		≤ 0.01	≤ 0.01	dB
曲げ特性	R=10D, 10 cycle		≤ 0.01	≤ 0.01	dB
側圧特性	1960 N/100 mm		≤ 0.01	≤ 0.01	dB
耐衝撃特性	500 g, 1 m 落下		≤ 0.01	≤ 0.01	dB
捻回特性	245 N, ± 180°		≤ 0.01	≤ 0.01	dB

4.2 8心テープ使用中間後分岐ケーブル

開発した中間後分岐型8心テープを使用した640心型中間後分岐ケーブルの構造を図10に示す。SZスロットの各溝には中間後分岐型8心テープを10枚積層している。また、スロットピッチとスロット反転角の設計は、ファイバひずみと心線取り出し長の双方を満足するように最適化を行った。

開発した上記のケーブルの主要特性を評価した。結果を表9に示す。伝送損失、機械特性、温度特性ともに良好な結果を示した。得られた特性は従来のテープ心線を使用したSZケーブルと同等の特性であることを確認した。

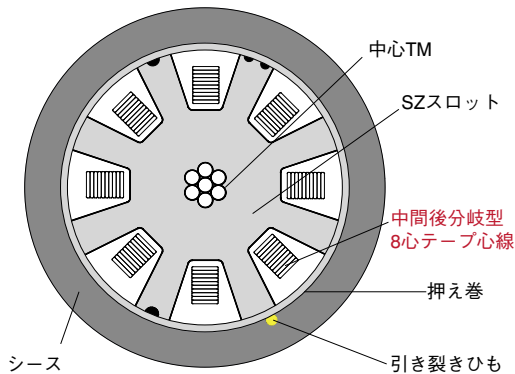


図10 8心テープ心線型640心SZケーブル構造図
Structure of 640-fiber SZ cable using 8-count-fiber ribbon.

表9 8心テープ心線型640心SZケーブルの主要特性
Characteristics of 640-fiber SZ cable using 8-count-fiber ribbon.

項目	条件	測定波長 (nm)	評価結果	
伝送損失	—	1310	≤ 0.36	dB/km
		1550	≤ 0.25	dB/km
温度特性	-30 ~ +70℃, 3 cycle	1550	≤ 0.06	dB/km
引張特性	0.2%伸び張力		≤ 0.01	dB
しごき特性	1.47 kN, 90° R = 300 mm		≤ 0.01	dB
曲げ特性	R=10D, 10 cycle		≤ 0.01	dB
側圧特性	1960 N/100 mm		≤ 0.01	dB
耐衝撃特性	500 g, 1 m 落下		≤ 0.01	dB
捻回特性	245 N, ± 180°		≤ 0.01	dB

5. おわりに

容易かつ安全に中間後分岐を可能とする中間分離工具を開発した。また、その工具を用いて単心に分離が可能な中間後分岐型2心テープ心線、およびテープ心線・単心線両方に分離が可能となる中間後分岐型8心テープ心線を開発した。試作したテープ心線は従来のテープ心線と同等の特性を満足し、中間後分岐時の損失増加およびファイバの強度劣化にも問題が無いことを確認した。また、これらの光ファイバテープ心線を使用した中間後分岐型ケーブルは従来の架空ケーブルと同等の特性を満足した。

したがって、開発した中間後分岐型ケーブルは中間後分岐における心線使用効率を向上でき、FTTH網構築に有用な光ファイバケーブルとして期待される。

参考文献

- 1) H. Kaneda, M. Nakajima, T. Ozawa, F. Nakajima, and Y. Rintsu, "Development of Optical Separable Ribbon Cable," IWCS 53rd, (Nov. 2004).
- 2) 林英雄：東京電力のFTTHサービス「TEPCOひかり」の事業概要，全国均衡あるブロードバンド基盤の整備に関する研究会第6回，総務省情報通信調査研究会，(2005)．