

# 光アクセスケーブル類の開発

## Development of Optical Fiber Cables for Access Network

服部 昌憲\*

Masanori Hattori

細井 文樹\*

Fumiki Hosoi

安富 徹也\*

Tetsuya Yasutomi

今田 栄治\*

Eiji Konda

小林 一郎\*<sup>2</sup>

Ichiro Kobayashi

高岡 隆治\*<sup>3</sup>

Ryuji Takaoka

岩倉 大輔\*<sup>4</sup>

Daisuke Iwakura

概要 FTTH (Fiber To The Home) の実現を促進するための光アクセスケーブル類の開発を行った。今回は(1)多条布設など布設作業性を向上させる光ケーブル及びその端末の開発,(2)ファイバリボン以降1工程で製造可能な低コストケーブルの開発,(3)環境を考慮した難燃ノンハロゲン光ケーブルの開発などを行った。これらは3年前に開発した光アクセスケーブル類に対して、更なるコストダウン、高機能化を実現したものである。その結果、より早期のFTTH実現を可能にしたといえる。

### 1. はじめに

光アクセスケーブル類は、3年前から開発を進めてきており、インターネットなどの急速な発達にともない増大するデータトラフィックに対応する光アクセス網の構築に大きく寄与している。

1999年末において日本におけるインターネット利用者は2,706万人(対前年比59.7%増)と推計される。また、2005年末には7670万人に達すると予測されている<sup>1)</sup>。

今後も急速な発達を続けるデータ通信は、現在のウェブコンテンツへのアクセスや電子メールの送受信にとどまらず、放送デジタル化による通信と放送の融合や、音楽、ゲーム、放送などマスメディアコンテンツ流通、2005年頃(ごろ)にはSOHO、地域、家庭コンテンツ流通へと発達し、爆発的な情報流通がおこると考えられている。このように発達する光アクセス網をより経済的に急速に拡大していくために、これまで開発した光アクセスケーブル類の高性能化、高機能化、コストダウンを図る必要がある。

今回は多心ケーブルの布設性向上の検討、少心ケーブル領域の新構造検討、環境を考慮したユーザー系ケーブルの開発について報告する。

### 2. 布設特性向上を考慮したケーブルの開発

通信トラフィックの急増により、光アクセス網をより経済的に構築することが重要になってきている。低コスト化はケーブル価格の低下だけでなく、長尺布設や多条布設工法など布設、

接続性とを合わせたトータルコストの低減として考えなければならない。布設面での低コスト化は作業時間の短縮、部材の削減によるところが大きく、それは光ケーブルの布設張力を低減させることによって可能となる。布設張力を低減させる手法としては、ケーブル外被の摩擦係数の低減、ケーブルの軽量化及び可とう性の向上が考えられる。今回はこれらの検討結果を報告する。

#### 2.1 ケーブル外被の摩擦係数低減の検討

摩擦係数 $\mu$ の低減の手法は、構成材料をより低摩擦係数を有するものに変更する、潤滑剤を使用し低減するといったことが考えられる。

##### 2.1.1 外被材料の検討

多条布設用ケーブルに最適なケーブル外被材料の種類を検討した。ケーブル外被に求められる特性のなかで、低摩擦効果(対管路材)、摩耗性、剛性、価格について各種ポリエチレン材料を比較した結果を表1に示す。

上記の結果から、摩耗性に優れかつ低摩擦効果のある直鎖状低密度PE(以下L-LDPE)を選択した。

表1 外被材料の特性比較  
Comparison of various properties for outer jacket materials

外被材料	低摩擦効果 (対管路材)	摩耗性	剛性	価格
低密度 PE				現行
直鎖状 低密度 PE				現行と 同等
中密度 PE				高い
高密度 PE			×	高い

\* オプトコム事業部 技術部 開発 Gr

<sup>2</sup> オプトコム事業部 技術部 第1Gr

<sup>3</sup> 光線路開発部 光伝送 Gr

<sup>4</sup> オプトコム事業部 技術部 第2Gr

2.1.2 潤滑剤の適用

ケーブル及び管路材に潤滑剤を用いて摩擦係数を低下させる場合、潤滑剤の適用方法、種類、効果、長期信頼性を検討して最適なものを選択する必要がある。適用方法は外被及び管路に対し、製造時の練り込みと布設時の表面塗布を行い比較した結果から低減効果、作業性、信頼性を考慮して外被に対する練り込み方法を採用した。練り込む潤滑剤としては以下の理由により脂肪酸アミドを選択した。

- (1) 食品分野で使用されており、安全性が確保される
- (2) 入手が容易、使用量が微量であり経済的
- (3) 混練濃度の調整で摩擦係数が調整可能

2.1.3 外被材料の長期信頼性

新規材料の信頼性としては基本物性及び加熱劣化、紫外線劣化、耐油薬品試験等外被材の要求特性を満足する結果が得られた。潤滑剤については表面にブリードしたものをアルコールでふき取った場合でも、約2週間程度の時間経過で再ブリードし、布設に必要な摩擦係数に戻ることを確認し、ブリードした潤滑剤はJIS Z 2911 (1922) 方法でカビが発生しないことも確認した。また、内部にブリードした潤滑剤の影響はケーブルコアの引き抜き力が現行品と同等レベルでありコア部への影響はない。

2.1.4 布設性の検証

上記検討結果を検証するため、640心タイプケーブルを試作し布設実験を行った。そのときの結果を図1に示す。

図1の結果より、L-LDPEに脂肪酸アミドを混練した外被材料を被覆したケーブルは、従来のLDPEを用いたケーブルと比較して布設張力が約30%低減する結果となり、新しい外被材料組成は効果的であることが実証された。

2.2 ケーブルの軽量化構造の検討

布設張力低減のもう一つの手法として、ケーブル自重の低減がある。そのためにはスロットロッドを細径化し目付量を減らす、スロットロッドを発泡させ軽量化する、テンションメンバ(以下T.M.)を細径又はノンメタ化することで実現可能である。それぞれの場合の検討結果を以下に示す。

2.2.1 スロットロッドの細径化

スロットロッドにおいて断面積を小さくした場合、スロット材料、押さえ巻き、シース材の目付量を削減することができ細径化とともにコストダウンも図ることができる。スロットロッド

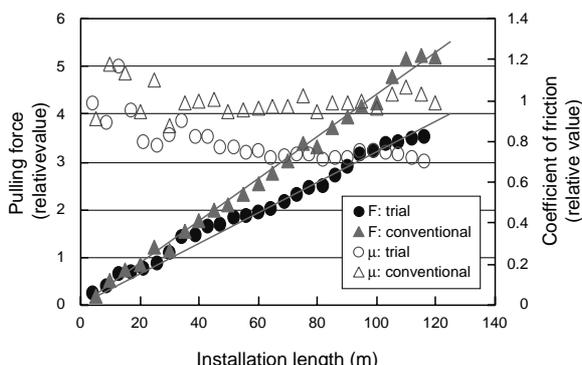


図1 布設長と布設張力(相対値)  
Relationship between installation length and pulling tension at installation (relative value)

の細径化にはファイバリボンを落とし込む溝寸法、T.M.と溝底の肉厚、リブ厚さの見直しが考えられる。このなかで溝寸法と溝底の肉厚削減は光学特性に大きく影響することが予想されるため、リブ厚さを削減する検討を行った。従来のスロットロッドは押出加工によって作成されるため、製造上の制約からリブ厚は最小1.3 mm程度である。これを削減するために、切削によるスロットの製造を行った。切削の場合、約半分まで削減できるが、リブ厚の低減により各種機械特性の低下が予想される。そこで各機械試験を行い、その中でリブ厚を変化させたときの側圧特性を図2に示す。リブ厚に対する依存性は見られるものの、同等の特性を得ることができ、要求値に対して十分なマージンを持っていることを確認した。

2.2.2 テンションメンバの細径化

スクリーニングレベルがこれまでの0.5%から1.0%に向上したことにより、布設時の要求条件として加わる伸びが0.2%から0.3%まで許容される。要求条件の緩和によりブルーイング鋼撚線であったT.M.は当社比60%の細径化が可能となり、またアラミド繊維FRPに変更が可能となった。それぞれのT.M.を使用しケーブルにおいてスロットロッドの伸び歪(ひずみ)は3980 N印加時においても0.3%以下となり、信頼性に関して十分な特性を得たことを確認した。

2.2.3 スロットロッドの内層発泡化

発泡ポリエチレンはPECケーブルやCCPケーブルの絶縁として使用され長期的に実績のある構造である。この技術をスロットロッドの軽量化手法として用い、内層部分を発泡率40%とした発泡スロットケーブルを検討した。図3に断面図を示す。

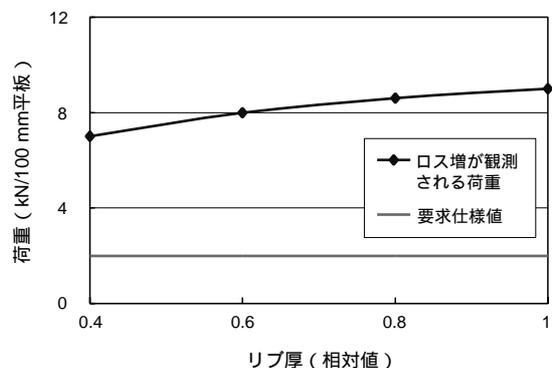


図2 リブ厚と側圧特性  
Relationship between rib thickness and crush properties

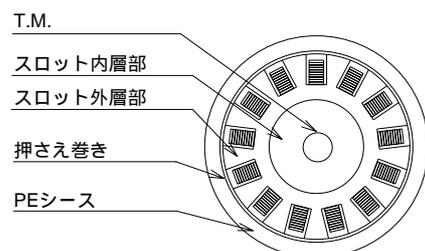


図3 内層発泡スロットケーブル試作品断面図  
Cross sectional view of cable using slot rod with foamed inner layer

表2 内層発泡スロット評価結果 ( $\lambda=1.55 \mu\text{m}$ )  
Optical and mechanical properties of cable using slot rod with foamed inner layer

試験項目	試験結果
平均伝送損失	0.20 dB/km
温度特性 ( - 30 ~ 70 )	変動0.05 dB/km以下
引張 ( 3920 N )	損失変動 < 0.01 dB 残留なし
曲げ ( R = 240 mm )	
捻回 ( $\pm 90^\circ / 1 \text{ m}$ )	
側圧 ( 1960 N/100 mm )	
衝撃 ( 1 kg · 1 m )	
しごき ( R = 600 mm )	

表3 1000心ケーブルにおける軽量化の内訳 (kg/m)  
Details of weight reduction at 1000 fiber cable

従来構造	0.76	
軽量化構造	0.49	
低減重量	0.27	0.10 (スロット細径化)
		0.15 (TM細径化)
		0.02 (発泡化)

温特, 各種機械特性は表2に示すように十分な特性を持つことが確認された。

2.2.4 軽量化のまとめ

これまでに行ったスロットロッドの軽量化の手法を施した1000心PEタイプケーブルを従来品と比較した結果を表3に示す。内訳からスロット細径化, T.M.細径化が大きく寄与していることがわかった。

2.3 布設性向上化ケーブルのまとめ

外被材料の低摩擦化及びケーブルの軽量化を検討し, 布設張力低減化に大きく寄与することを確認した。また, ケーブル特性も従来品と遜色 (そんしょく) なく十分な特性を有していることを確認した。

3. 架空スロットレスケーブルの開発

アクセス網の光化を経済的に進めていくために小型, 軽量かつ施工性に優れた光ファイバケーブルが求められている。

従来の代表的な光ファイバケーブルとしてはシングルチューブケーブル, ルーズチューブケーブルが挙げられるが, これらの光ファイバケーブルは, ジェリーを使うことによる取り扱い性の悪化などの難点があった。

一方, 日本では, 架空配線系において, SZスロットを用いたケーブルが開発され, 実用化されている。24心までは3溝, 100心までは5溝のSZスロットが使用されているが, FTTHの促進には40心以下の領域におけるケーブル小型化の要求が高まってきている。そこで今回, この少心領域について小型, 軽量かつ取扱い性に優れた新しいタイプの光ファイバケーブルの開発を行った。

3.1 架空配線ケーブルに対する要求特性

3.1.1 光ファイバテープを用いたケーブル構造

幹線ケーブルや他の配線ケーブルと接続を容易に短時間でを行うために, 架空配線ケーブルは光ファイバテープを用いた構造

であることが要求される。

3.1.2 架空環境での長期信頼性

架空配線ケーブルは, 電柱間に布設される。架空環境下では, 温度変化, 風圧などから支持線に伸び歪が加わる。支持線が伸びた際にファイバを劣化させない構造である必要がある。

3.1.3 中間後分岐性

架空配線ケーブルは, 布設後に任意の位置で各家庭へドロップする必要がある。このため, 任意の場所で中間後分岐が容易に行える必要がある。

3.1.4 経済性

アクセス網の光化を促進させるためには, アクセス網を経済的に構築する必要がある。架空配線ケーブルに対しても細径化によるコストの低減が要求される。

3.2 ケーブル設計

上述の架空配線ケーブルに対する要求特性を満足する, 新構造ケーブルを以下のように設計した。

3.2.1 ケーブル余長付自己支持型構造

架空環境下での布設張力及び, 温度変化, 風圧などに起因して支持線に伸びが生じてもファイバに歪がかからないように, 支持線に対しケーブル部が長い, ケーブル余長付自己支持型構造を採用した。ケーブル部には補強のため2本の抗張力体を配置した。

3.2.2 心数最適設計による細径化構造

光ファイバテープ積層体と2本の抗張力体からなるケーブル構造を設計した。ケーブル断面内で積層体が回転できない構造 (タイプ1) と回転できる構造 (タイプ2) を検討した。光ファイバテープ内のファイバ数を  $n$ , ケーブル内の光ファイバテープ数を  $N$  とすると, 積層体の占める断面積  $S_1$  (タイプ1),  $S_2$  (タイプ2) は以下のように計算される。

$$S_1 = W \times H \tag{1}$$

$$S_2 = \pi (W_2 + H_2) / 4 \tag{2}$$

ここで  $W$  と  $H$  は以下のとおりである。

$$W = 0.25 \times n + 0.1 \tag{3}$$

$$H = 0.3 \times N \tag{4}$$

40心までの計算結果を図4に示す。全心数領域でタイプ1が積層体占有面積を小さくすることができ, ケーブルを小型化できることがわかる。タイプ2では, 28心までは4心テープタイプ

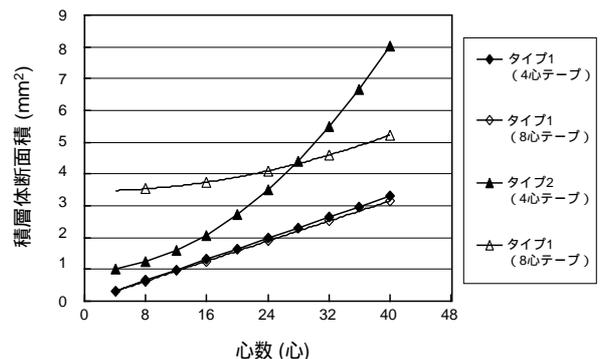


図4 積層体断面積  
Cross sectional area of ribbon stack

プが、32心以上では8心テープタイプがよりケーブルを小型化できることがわかる。

3.2.3 ケーブル曲げの際のファイバ歪と損失増加

タイプ1において、ケーブルが曲げられたときの積層体外層テープ中のファイバ歪 $\epsilon$ はケーブル曲げ半径を $R$ とすると以下の式で表される。

$$\epsilon = (0.3 \times (N - 2) / 2 + 0.15) / R \quad (5)$$

ケーブル曲げ半径 $R = 150$  mmの場合、テープ積層枚数を増加させた場合のファイバ歪 $\epsilon$ を図5に示す。積層枚数を増加させると積層体外層テープ中のファイバ歪が増大する。その結果、積層体が歪を緩和するためにケーブル内で回転しようとする力が増大し、緩衝層が積層体を拘束できずにファイバに曲がりが生じる。4心ファイバテープを使用した試作ケーブルを温度範囲 - 30 ~ 70 で曲げ半径 $R = 150$  mmで保持し、伝送損失を測定した結果を図5に合わせて示す。積層枚数5枚以上でファイバ曲がりによる伝送損失増加が見られた。

以上のことより、タイプ1は最も細径化が可能である構造であり、16心以下で実現可能であることがわかった。一方20心以上ではタイプ2がより適切であることがわかった。

3.3 ケーブル構造

上述の設計より、以下の2種類のケーブルを試作製造した。どちらのタイプのケーブルともファイバテープと抗張力体がシース工程でPE被覆が施され、一工程で製造可能な構造となっている。

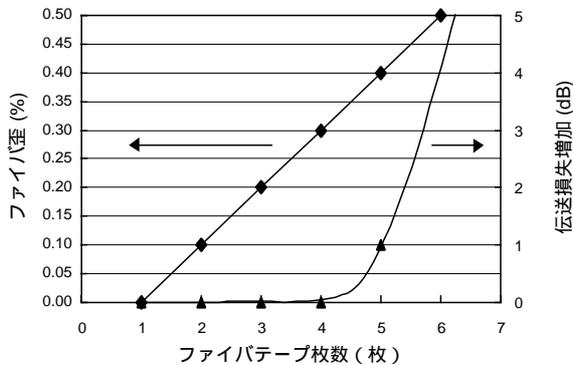


図5 テープ積層枚数とファイバ歪  
Fiber strain (Type 1)

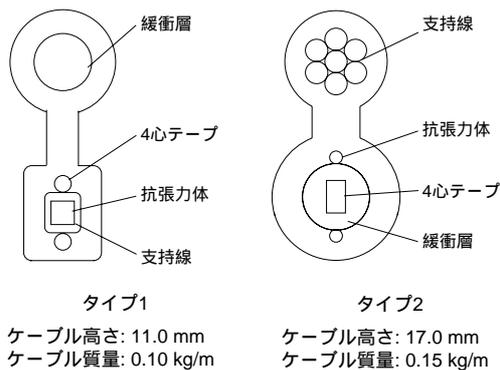


図6 タイプ1, 2断面図  
Type 1 and Type 2 cable design

3.3.1 タイプ1ケーブル

今回開発したタイプ1ケーブルの断面構造を図6に示す。4心ファイバテープ積層体は、緩衝層と2本の抗張力体とともに一括シースされている。このケーブル部は、余長付きで支持線と間欠的に首部で接続されている。

3.3.2 タイプ2ケーブル

今回開発したタイプ2ケーブルの断面構造を図6に示す。4心ファイバテープ積層体は、緩衝層と2本の抗張力体とともに一括シースされている。このケーブル部は、余長付きで支持線と間欠的に首部で接続されている。

3.4 ケーブル特性

試作した2種類のタイプのケーブルについて特性を評価した結果を表4にまとめる。各種試験において一般的な光ケーブルに要求される特性をすべて満足する結果が得られた。

3.5 まとめ

架空配線ケーブルにおいて、小型軽量の、新しいタイプの光ファイバケーブルを開発した。新ケーブルの特徴は、

- ・簡易構造のため、一工程で製造可能
- ・小型、軽量であり、経済的にアクセス網の構築が可能
- ・ジェリーを使わないドライ構造であり、中間後分岐等の作業性に優れている
- ・試作ケーブルは各種機械特性において良好な結果であり、実用可能であることが確認された。

4. ノンハロゲンユーザー系ケーブルの開発

ビル構内や一般住宅といったユーザーにより近いところで使用されるケーブルとしては光ファイバを家屋へ引き落とすためのドロップケーブル、宅内配線に用いられるインドアケーブル、光機器との接続に使用されるターミネーションケーブル等がある(図7参照)。これらのケーブルの外被にはPVCが使用されていたが、PVCはハロゲンを含んでいるため燃焼時に有毒ガスが発生し、環境悪化の要因になる。そこでノンハロゲン材料

表4 評価結果 (温度 / 機械特性は $\lambda=1.55 \mu\text{m}$ )  
Optical and mechanical properties of cable (@1.55  $\mu\text{m}$ )

試験項目	試験条件	結果
伝送特性	伝送損失 (dB/km)	1.31 $\mu\text{m}$ 最大/平均: 0.33 / 0.32 1.55 $\mu\text{m}$ 最大/平均: 0.22 / 0.20
	温度特性 (dB/km)	- 30 ~ 70: < 0.05
機械特性	引張り	支持線伸び0.2%時のファイバ伸び, 損失変動: < 0.001% / < 0.01 dB
	曲げ	R=160 mm x 10サイクル: < 0.01 dB
	側圧	1960 N / 100 mm x 1分: < 0.02 dB
	しごき	1960 N, R=250 mm金車, 4サイクル: < 0.01 dB
	捻回	98 N $\pm$ 360 %m x 10サイクル: < 0.01 dB
	衝撃	1 kg x 1 m: < 0.01 dB
心線引抜力	ケーブル長10 m	> 58.8 N
	ケーブル長30 m	> 98 N
中間後分岐	心線取出し時損失変動	< 0.01 dB
ファイバ歪	製造後の残留歪 (BOTDR)	< 0.01%

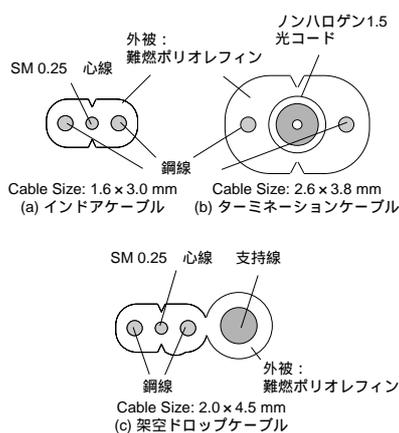


図7 ノンハロゲンユーザー系ケーブル構造  
Structure of halogen-free flame-retardant cable

を用いたドロップケーブル及びインドアケーブル類の開発を行った。

4.1 ノンハロゲンユーザー系ケーブルに要求される要求事項  
ユーザー近傍で使用されるノンハロゲンケーブルに要求される共通の条件として

- (1) 難燃性を有すること
- (2) ハロゲンフリーであること

という項目がある。これ以外の要求条件についてはケーブルの使用される環境によって異なる。

4.1.1 屋外仕様ケーブルに対する要求条件（ドロップケーブル）

- (1) 紫外線に対する耐候性
- (2) - 30 までの耐寒性
- (3) 耐薬品性

4.1.2 屋内仕様ケーブルに対する要求条件（インドアケーブル，ターミネーションケーブル）

- (1) 室内の調和のため、クリーム等淡色系の色が出せること

4.2 ケーブル設計

4.2.1 架空ドロップケーブルの設計

- (1) ケーブル外被材料の検討

ドロップケーブルの設計にあたっては屋外で使用されることを考慮し、長期信頼性を重視した外被材料開発を行った。外被材料にはポリオレフィンを用い、難燃剤は難燃性の高いものを用いた。難燃性の高い難燃剤を使用することで難燃剤の配合比を低く抑え、ポリオレフィンの特性を劣化させないようにした。これにより、十分な機械的強度と耐環境性を有する外被材料を開発できた。

4.2.2 インドア及びターミネーションケーブルの設計

- (1) ケーブル外被材料の検討

屋内で使用されるインドアケーブル及びターミネーションケーブルにおいては室内での調和を重視し、クリームなどの淡色系の色となるような外被材料の開発を行った。外被材料にはポリオレフィンを用い、難燃剤は外被の色に合わせて淡色のものを使用した。

- (2) インドアケーブルの側圧特性改善

屋内用ノンハロゲン材料に使用した難燃剤は屋外用に比べ難燃性が低く、配合量を多くする必要があった。これによりポリオレ

フィンの持つ材料特性が変化し、特に従来PVCに比べヤング率が小さくなった。これがケーブルの側圧特性を劣化させた。

- (a) 側圧によってインドアケーブルが損失増加する要因

側圧によってインドアケーブルが損失増加するしくみを示したのが図8である。

図8に示すように、インドアケーブルが机の脚や人間の足に踏まれた場合、机の脚や人間の足のエッジ部分でケーブル外被に微小な曲がり加わり、心線自体に曲がりが入る。この曲がりによって伝送損失の増加が生じる。今回用いたノンハロゲン材料は従来PVCよりヤング率が低く、そのため外被の曲げ剛性が従来PVCよりも小さい。結果として側圧による人間や机の足による曲がりも入りやすくなり、側圧による損失増加がPVCよりも大きくなってしまふ。

- (b) 側圧特性の改善

こうした問題に対し、ケーブルの断面形状の検討を行い側圧特性の改善を試みた。側圧によるケーブル外被の微小曲がりを抑えるため、図9に示すようにケーブル断面をより矩形（くけい）に近づけていくようにした。このことにより、ケーブルの曲げ剛性をより大きくすることができる。

- (c) ケーブル断面形状の設計

断面形状をより矩形に近づけていくすなわち図9の直線部分 $\alpha$ の長さを大きくすることでケーブル外被の曲げ剛性を大きくすることが可能となる。直線部分 $\alpha$ の大きさに対する側圧ロス

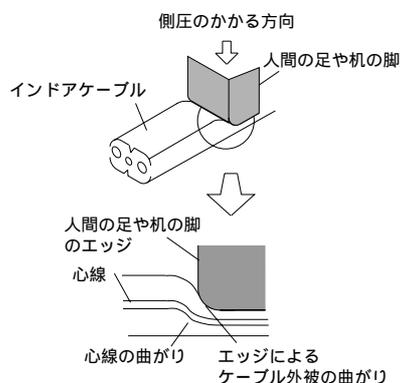


図8 インドアケーブルの側圧ロス増のしくみ  
Mechanism of transmission loss increase in the indoor cable under lateral pressure

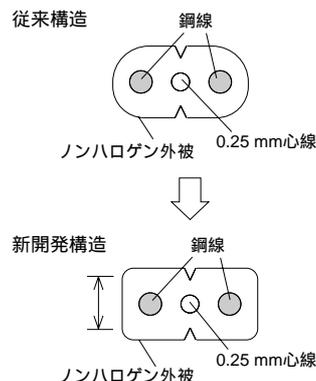


図9 側圧特性を改良したインドアケーブルの断面  
Cross-sectional view of the conventional and developed indoor cables

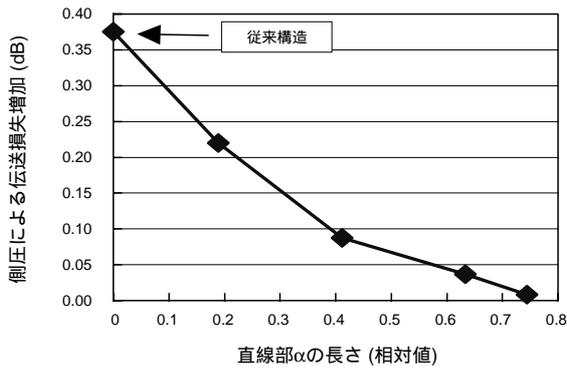


図 10 断面形状を矩形に近づけることによる側圧特性の改善効果  
Improvement of lateral pressure performance by use of a cable cross-sectional shape closer to a rectangle

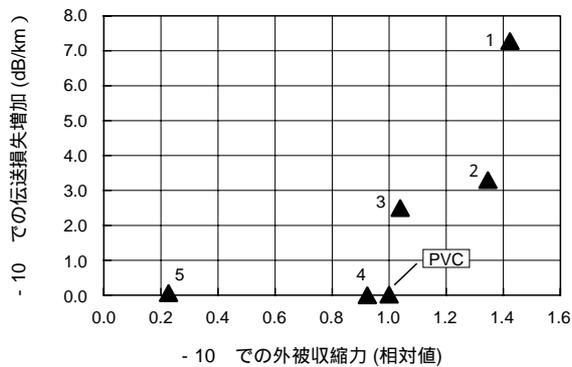


図 11 コード外被の低温での収縮力と低温での伝送損失増加の関係  
Relationship between shrinking force of cord jacket material and increased transmission loss

表 5 ケーブル機械特性評価結果 (@1.55 μm)  
Mechanical test for halogen-free flame-retardant cables (@1.55 μm)

項目	条件	ケーブル結果	光コード結果
伝送損失	1.55 μm	0.22 dB/km	0.22 dB/km
	1.31 μm	0.33 dB/km	0.33 dB/km
温度特性	屋内 - 10 ~ 40 屋外 - 30 ~ 70	0.1 dB/km	0.1 dB/km
曲げ	R=30 mm	0.02 dB	0.02 dB
側圧	ケーブル : 1200 N/25 mm コード 4.9 N/mm	0.02 dB	0.02 dB
捻回	± 180 °	0.02 dB	—
衝撃	300 g × 1 m	0.02 dB	—
難燃性	JIS C 3005	自然消炎 する (60° 傾斜)	自然消炎 する (水平)

増の結果を図 10 に示す。

側圧による伝送損失増加を十分に抑制することができるの値でケーブル断面を設計した。

(3) ターミネーション用光コードの検討

ターミネーションケーブルに用いられる光コードでは低温時のコード外被収縮力が大きいと、低温時に心線にうねりが入って伝送損失増加を起こす。実際に 1 ~ 5 の 5 種類の材料でターミネーションケーブル用コードを試作し、低温時の伝送損失変化を測定した。結果を図 11 に示す。図 11 に示すように低温時の収縮力が従来 PVC のものを超えている材料 1 ~ 3 は低温時の伝送損失の増加が著しくなっていることが分かる。一般的には材料の収縮率は材料のヤング率に比例するため、収縮率をより小さくするには材料のヤング率を小さくすることが望ましい。しかしヤング率を余りにも小さくしてしまうと側圧特性の悪化を招く。実際、材料 5 では 4.9 N/mm で 0.1 dB 以上のロス増が生じた。そこで低温時の伝送損失の増加とコードの側圧特性を両方うまくバランスしている材料 4 をコードの外被材料とした。

4.3 ケーブル特性

ケーブルの機械特性結果を表 5 に示す。各ケーブルとも良好な機械特性が得られた。また難燃性も JIS C 3005 に定める燃焼試験を満足し、従来 PVC と同等の高い難燃レベルを達成できた。

5. おわりに

今回は、光アクセスケーブル類の開発結果として、それぞれ多心ケーブル、少心ケーブル、ユーザー系ケーブルについて検討結果を報告した。

多心ケーブルは細径化、軽量化、低摩擦化することで布設特性を向上させることが可能であることを確認した。少心ケーブルではスロットもジェリーも使わないスロットレス構造という新しい構造で特性を十分満足する検討結果が得られた。これらは布設性に優れ経済的に光アクセス網の構築を可能にするものである。また、ノンハロゲンユーザー系ケーブルは特性も従来品と遜色なく、更にノンハロゲン化によりこれからの重要な開発コンセプトである環境に調和した製品という点に対応したものが開発できた。

これらの結果は光アクセス網に求められる商品の実用化につながり、よって光アクセス網の早期の整備、拡大に貢献するものであると考える。

参考文献

- 1) 通信白書平成 12 年度版 郵政省