

所内用細径光ファイバコードの開発

Development of Miniature Optical Fiber Cord for Central Office

中嶋 史紀* 小林 一郎* 石井 伸尚*²
Fuminori Nakajima Ichiro Kobayashi Nobuhisa Ishii

山口 邦明*³ 石丸 仁志*³
Kuniaki Yamaguchi Hitoshi Ishimaru

概要 近年、光通信需要の高まりにより、所内での光配線量も増加しており、将来的な所内でのフロアスペース不足が課題となってきている。これに関し、光配線需要増への対応及び効率的な運用・サービスを可能にする目的で新しい所内光配線システムの開発が行われた。そこで使用される所内配線用光ファイバコードについては、省スペース化への対応のため、現用の外径1.7 mmを1.1 mmまで細径化する必要があった。一方、近年の地球環境問題への意識の高まりから、環境への影響を配慮し光ファイバコード構成部材にはノンハロゲン材料を用いることが望まれていた。そこで今回、新しい所内配線で運用可能なハンドリング性能を有した光ファイバコードの細径化検討を行うと同時に、その構成部材をノンハロゲン材料とし、従来並の難燃特性を有する光ファイバコードの開発を進めた。その結果、良好な特性のノンハロゲン難燃細径光ファイバコードを得ることができた。

1. はじめに

近年、インターネット等による光通信需要の増加に伴い、所内での光配線量も増加してきている。しかしながら、所内での配線スペースには制限があり、現状と同一スペースで将来の光需要増に対応可能な新しい所内配線システム及びその設備の開発が進められてきた¹⁾。多心配線化への対応が最も困難な所内系設備として、所外ケーブルと所内ケーブルを配線・接続するFTM (Fiber Termination Module) 架がある。現用のFTM架では外径1.7 mmの光コードが使用され、その最大収容配線数は2,000心である。一方、将来の光需要増を考慮した新しい所内光配線システムでは現用のFTM架と同一サイズに光コードを4,000心収容する必要がある²⁾。現用の所内光配線システム構成と新しい所内配線システム構成のモデルをそれぞれ図1及び図2に示す。FTM架は新しい所内配線システムではIDM (Integrated Distribution Module) と称される架に置き替わることになる。このIDM架は所内での光配線システムに必要な各種機能のうち、従来のFTM架の機能である光ファイバケーブルの固定・接続、試験心線の選択、試験光の挿入といった機能にくわえて、光信号の分岐を行うスプリッタ架の機能を統合したものとなるが、IDM架のサイズは現用のFTM架と同一である1600 (幅) × 600 (奥行き) × 1800 (高さ) mmとする必要がある。このため、IDM架への光コード4,000心配線を実現

するためには、光コード外径を1.7 mmから1.1 mmへ細径化する必要があった。現用の外径1.7 mmの光コード構造は、中心に外径0.9 mmのナイロン心線、その周囲に抗張力繊維としてのアラミド繊維が配置され、これを軟質PVCで被覆した構造

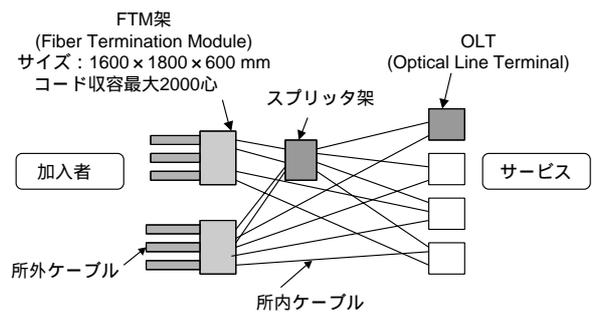


図1 現状の所内配線形態
Model of a usual distribution system in central office

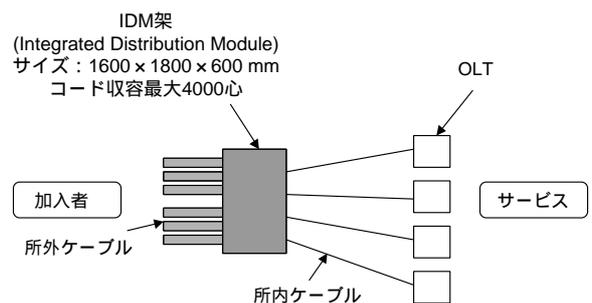


図2 新しい所内配線形態
Model of a new distribution system in central office

* ファイテルフォトニクス研究所 光線路開発部

² ファイテルフォトニクス研究所 研究部

³ 岡野電線株式会社 電線技術部

である。細径化するためには、心線の細径化、抗張力繊維の削減、外被厚の削減が必須（ひっす）となるが、これらの構成要素のサイズを低減すると、光コードに必要な側圧特性、曲げ剛性、引張特性、難燃性といった特性低下が避けられない。このため、これらの特性を所内配線に使用するうえで支障を来さないレベルに抑えて光コードの細径化をする必要があった^{3) 4)}。更に、現用の光コードでは外被材料に軟質PVCを使用しているが、PVCは焼却廃棄等の燃焼時に有害な腐食性ガスを発生し、また埋立てによる廃棄に際しては安定剤等に含まれる重金属物質流出による土壤汚染が懸念される。そこで、環境へ及ぼす影響を低減するため、光コード被覆材料にはノンハロゲン難燃材料使用することも望まれていた。今回、光コードの細径化検討と同時に外被材料にノンハロゲン難燃材料の適用を検討し、一連の特性評価を行った。本稿ではその結果について報告する。

2. 光コード細径化

現状の光コード構造と必要な検討項目を図3に示す。現行の外径1.7 mmを1.1 mmまで細径化するためには、全（すべ）ての構成部材のサイズ、量の削減が必要であり、各々（おのおの）の削減検討を行った。以下に検討結果を示す。

2.1 抗張力繊維量と引張特性

外径を1.1 mmとした光コードで、抗張力繊維量を従来比の1/3としたものについて、引張特性を評価した。評価はIEC60794-1に準拠した方法で行った。結果を表1に示す。従来の外径1.7 mm光コードの特性は88 Nで伸び歪（ひず）み0.5%以下であり、外径1.1 mmの細径光コードでは張力30 Nで0.5%以下となったが、所内での光コードの配線作業に必要な光コードの張力としては十分な特性と思われる。

2.2 心線外径と側圧特性

光コードは心線及び抗張力繊維がルースに外被で被覆された

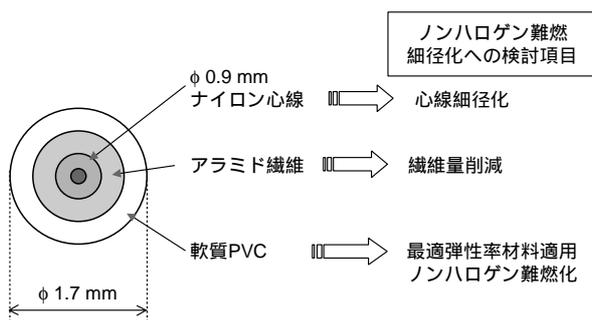


図3 現用光コード構造と検討項目
Structure of usual optical fiber cord and study points

表1 光コード引張特性
Tensile performance of optical fiber cords

	現用品	細径品
コード外径	1.7 mm	1.1 mm
抗張力繊維量比	3	1
印加張力	88 N	30 N
コード伸び	0.5%以下	0.5%以下

構造であり、外力により外被は容易に変形する。したがって、光コードの側圧特性は心線構造及び外径に依存するものとなる。そこで、汎用（はんよう）の外径0.25 mm UV被覆ファイバ素線上に、更にUV樹脂被覆をオーバーコートした種々の外径の心線を作製し側圧特性を評価した。結果を図4に示す。心線外径が0.5 mm 以上であれば良好な側圧特性が得られることが分かる。

2.3 外被の検討

細径化に際し外被の細径、薄肉化が必須であるが、これに対し特に課題となる光コード特性に曲げ剛性がある。同時に環境への配慮からノンハロゲン材料を使用する必要があるため、適切な曲げ剛性を持たせることが可能なノンハロゲン材料の検討を行った。更に、使用する材料種によっては光コードを長時間曲げて置いた場合のくせの残り易（やす）さが異なることが分かり、くせの残りにくい材料選択を行った。

2.3.1 曲げ剛性

光コードを細径化することにより、曲げ剛性が低下すると図5のように光コードがコネクタに対し垂直に引っ張られた際のコネクタブーツ部分での曲率が小さくなり、伝送損失増加を引き起こすことになる⁴⁾。一方、曲げ剛性を大きくしすぎると光コードが曲がり難（にく）くなり、所定範囲内に収納しにくくなる。したがって、光コードを細径化した場合にも適度な曲げ剛性を有していることが必要となる。そこで、MU及びSCコネクタを取り付け90度曲げ試験を行った結果、曲げ剛性の下限値は15 N・mm²程度であることを確認し、更に実際のIDM架内での配線作業を検討した結果から、運用上適切な曲げ剛性の上限は30 N・mm²程度であることが分かりこの範囲の曲げ剛性を有する細径光コードを目標に検討を行った。UV樹脂をオ

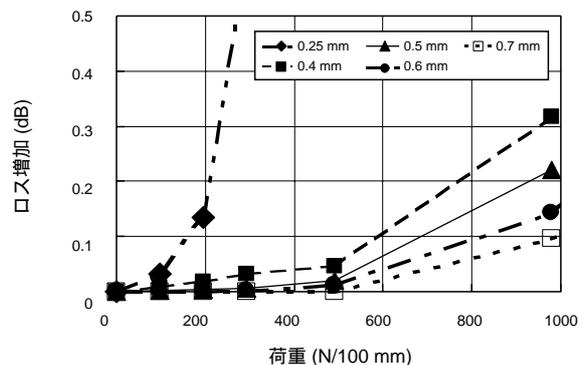


図4 UV心線外径と側圧損失増加の関係
Relationships of a buffered fiber diameter and excess loss

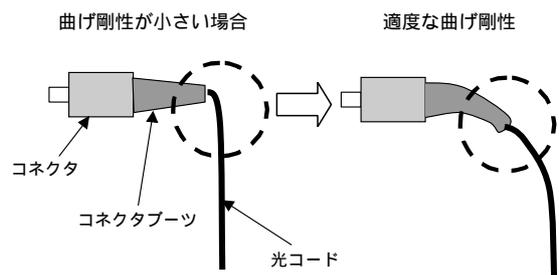


図5 光コード曲げ剛性低下による問題点
Problem for lower flexural rigidity

ーバークートした外径0.5 mmの心線の曲げ剛性は3.4 N・mm²であり、目標とする光コード曲げ剛性に対する心線の曲げ剛性寄与は小さいことが分かる。そこで、外径1.1 mmの光コードとして適応可能な外被肉厚に対し、適切な曲げ剛性が得られる材料の曲げ弾性率を求めると、図6のように500 MPa程度となることが分かる。この程度の弾性率を有するノンハロゲン熱可塑性樹脂としては、ナイロンエラストマー、ポリエステルエラストマーなどが挙げられる。そこでこれらの熱可塑性樹脂をベースとし、ノンハロゲン難燃細径光ファイバコードの試作検討を行った。そして、試作を行った外径1.1 mmの光コードについて曲げ剛性を実測した。曲げ剛性測定方法は2点曲げを使用し、図7に示すように、光コードを曲げ径D = 30 mmに曲げたときの反発力Wを計測し(1)式により求めた⁵⁾。その結果、試作した光コード曲げ剛性は24 N・mm²と良好な曲げ剛性が得られた。

$$EI = 0.3483 WD^2 \quad (1)$$

D: 心線曲げ径

W: 反発力

2.3.2 曲げくせ

所内での光コード運用においては、サービスの切り替え等で光コードの切り替え作業が行われる。この際、前の配線状態のくせが光コードに残っていると、再配線作業がやり難くなったり、所定の収納範囲に収まり難くなったりするため、できるだけくせの残りにくい外被材料を選択する必要がある。前述の曲

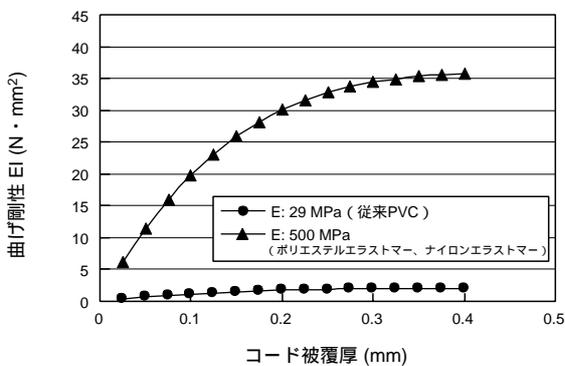


図6 1.1 mmコード被覆曲げ剛性計算結果
Calculation result of sheath flexural rigidity

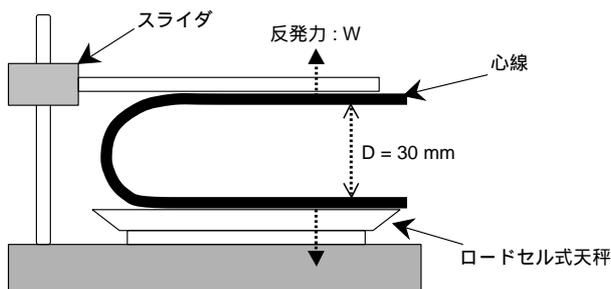


図7 曲げ剛性測定方法
Measurement method of flexural rigidity

げ剛性の検討結果より、被覆樹脂としてポリエステルエラストマー及びナイロンエラストマーを適用することにより良好な曲げ剛性が得られる結果となったが、これらの樹脂をベースとして難燃化を行った外径1.1 mm光コード、及び比較として難燃化を行ったナイロンを使用した外径1.1 mm光コードについて次のような方法で曲げくせの比較検討を行った。評価方法は図8に示すように、外径14 mmのマンドレルに光コードを巻き付け、5分間放置する。マンドレルから光コードを解放し、120分後の曲率半径Rを比較した。曲率半径が大きいものほど曲げくせが残りやすい光コードとなるが、比較の結果、表2に示すようにベース材料にポリエステルエラストマーを使用したものが最も曲げくせの残りにくいものであることを確認した。

3. ノンハロゲン難燃化

光コードを細径化した場合にも、従来の光コードと同等の難燃性を有することが必要であり、かつ廃棄時などの環境へ及ぼす影響低減を考慮し、外被材料はノンハロゲン難燃材料であることが必要である。目標とする難燃性はJIS C 3005の水平燃焼試験において自己消火することである。これに関し、前述の曲げ剛性を有するベース樹脂として選択した、ポリエステルエラストマーについて難燃化の検討を行った。

3.1 難燃剤配合検討

環境への影響を考慮すると、使用可能な難燃剤としては、金属水酸化物、窒素系難燃剤、無機リン系難燃剤、赤リン等が挙げられる。このうち、赤リンについては光コードに要求される種々の外被色への対応が不可能となることから、金属水酸化物、窒素系難燃剤、無機リン系難燃剤といった難燃剤を利用し検討を行った。これらの難燃剤を使用し、ベースのポリエステルエラストマーへ配合検討を行ったところ、図9のNo.4に示すように難燃剤Bで目標の難燃性を満足することができたが、ベース樹脂の機械強度を低下させないためにも難燃剤配合量はできるだけ少なくすることが望ましいことから、難燃剤の併用について検討を進めた。その結果No.5のように全体の難燃剤配合量を少なくしたものでも、目標の難燃性を満足することができを確認した。

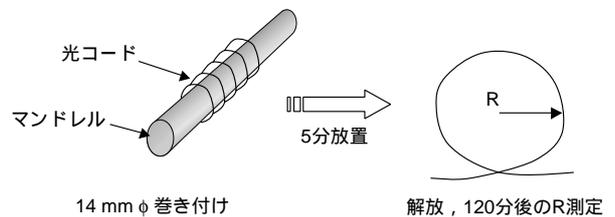


図8 曲げ癖評価方法
Estimate method of a habit level

表2 曲げ癖評価結果
Result of a habit evaluation

材料種	難燃ポリエステルエラストマー	難燃ナイロンエラストマー	難燃ナイロン
曲げ弾性率	550 MPa	500 MPa	1100 MPa
曲率半径 (R)	47 mm	38 mm	33 mm

No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
難燃剤 A	5				
難燃剤 B		4.5			0.8
難燃剤 C			3.3	2.5	1.2

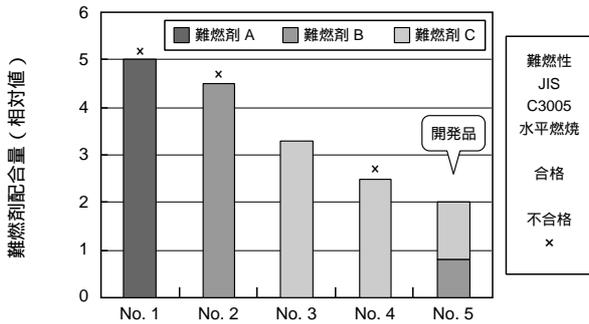


図 9 光コード外被材料への難燃剤配合結果
Result of 1.1 mm φ cord flameability

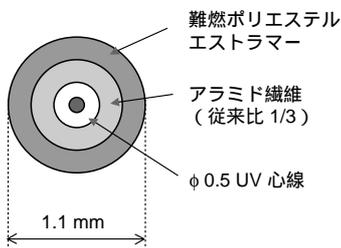


図 10 細径光ファイバコード構造
Cross section of miniature optical fiber cord

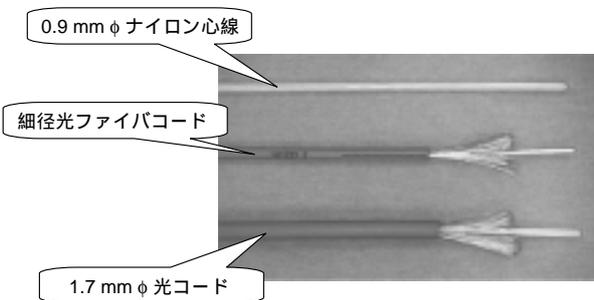


図 11 細径光ファイバコード
Figure of miniature optical fiber cord

4. 細径光ファイバコード特性

開発した外径 1.1 mm の細径光ファイバコード構造を図 10、11 に、諸特性を表 3 に示す。伝送特性、機械特性、ハンドリング性等の一連の特性が良好であることを確認できた。

5. 外被材料の湿熱特性

ポリエステルエラストマーは、その構成成分のハードセグメント中にあるエステル結合部分が加水分解をすることが知られている。そこで、長期使用においても支障のない光コード被覆を得るため、ポリエステルエラストマーの加水分解特性改良を行い、湿熱特性を評価した。評価は 85℃、85% R.H. 中にポリエステルエラストマー被覆を施した 1.1 mm の光コードを放置し、被覆管状片について伸び残率を測定した。結果を図 12 に

表 3 細径 (1.1 mm φ) 光ファイバコード特性
Performance of miniature optical fiber cord

項目と条件	特性値
伝送損失 1.31 μm	0.34 dB/km
1.55 μm	0.20 dB/km
側圧試験 500 N/100 mm	0.00 dB*
曲げ損失 φ 30 mm	0.1 dB/ターン*
温度特性 - 10 ~ + 55	0.03 dB/km*
曲げ剛性 φ 30 mm	24 N・mm ²
引張特性 30 N	0.5%

* 測定波長 1.55 μm

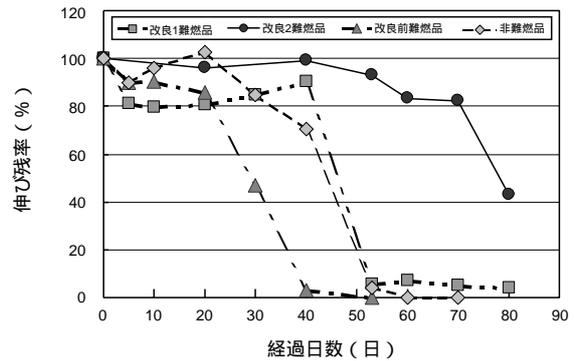


図 12 ポリエステルエラストマー被覆の湿熱特性変化
Change of after aging elongation ratio

示す。この結果、ベース樹脂であるポリエステルエラストマーの加水分解特性の改良を行うことで、難燃化した場合にも改良前の湿熱特性を上回るものとなることを確認した。

6. おわりに

光通信の需要増加に伴い、所内での配線システムの高密度化が進む中、そこで使用される光コードにおいても細径化が必須であった。また、環境への影響を配慮し従来の光コードで使用されていた PVC 被覆をノンハロゲン難燃材料に置き換える検討も同時に行った。その結果、所内配線での運用上支障のないレベルの性能を有する光コードを開発することができた。今後、所内配線以外の光通信設備においても、高密度化の需要が生じるものと考えられ、本細径光ファイバコードの適用範囲が広がるものと期待できる。

参考文献

- 1) 立蔵正男, 宇留野重則, 富田信夫 "ルース形細径光ファイバコードの検討", 2000年信学総合大会, B-10-30
- 2) 宇留野重則, 立蔵正男, 泉田史, 峰恒司, 富田信夫; 2000年信学総合大会, B-10-25
- 3) F.Nakajima, N.Ishii, Y.Watanabe, S.Takagi, Development of Miniature Optical Fiber Cords, 47th IWCS, 4-9
- 4) 中嶋史紀, 石井伸尚, 信学会ソサイエティ大会, 1998, B-10-29
- 5) M.Tachkura, H.Takemoto and N.Tomita, OECC'97, 10E2-1