



データセンタ向け超多心光ファイバケーブル

Ultra-High-Fiber-Count Optical Cable for Data Center Applications

佐藤 文昭*
Fumiaki Sato

土屋 健太
Kenta Tsuchiya

長尾 美昭
Yoshiaki Nagao

平間 隆郎
Takao Hirama

岡 涼英
Ryoei Oka

高橋 健
Ken Takahashi

本稿では、間欠12心光ファイバテープ心線（以下、間欠12心テープ心線）を実装したデータセンタ向け超多心スロット型光ファイバケーブルの設計および施工上のメリットについて報告する。間欠12心テープは柔軟性と一括接続性を両立するため、ファイバ2心毎に長手方向間欠的にスリットが入った構造を採用しており、スリット部と非スリット部の比率およびピッチを最適化することにより、両特性を満たすテープ心線を開発した。ケーブル構造は曲げ方向性がなく、布設作業性に優れたスロット型構造を採用し、今回新たに中心のテンションメンバに無誘導性の繊維強化プラスチック（以下、FRP）を適用し、雷害対策不要のノンメタリック型のケーブル構造を実現した。間欠テープ技術とスロット構造を組み合わせることで、従来ケーブルと比較して、同一外径で2倍の心数、最大3456心の光ファイバを収納することに成功した。

This paper describes a newly designed ultra-high-fiber-count (UHFC) optical fiber cable for data center applications. The UHFC cable employs Freeform Ribbon*¹, in which fibers meet and split out in turns in a longitudinal and transverse direction, thus allowing high fiber density and mass fusion splicing. Having a non-preferential bend axis, the cable can easily be installed in space-constrained areas. We combined the Freeform Ribbon technology with a new cable design to significantly increase fiber density compared to conventional underground cables while retaining their advantageous features such as easy handling, identification, and mass fusion splicing.

キーワード：超多心、間欠12心テープ、ノンメタリック、スロット、ケーブル布設性

1. 緒言

近年クラウドコンピューティング等の進展により、大規模データセンター（以下、DC）の建設が進んでいるが、伝送容量の増大に備えるべく、DC間を結ぶ光ファイバケーブルの多心、高密度化の要求が高まっている。

このような状況下、DC間を繋ぐケーブルは主に屋外ダクト内に配線されるため、**図1**に示したように限られたダクトスペースに光ファイバを高密度に詰め込む技術が重要である。そこで、柔軟性と一括接続性を両立する間欠12心テ

ープを用いることで、光ファイバケーブルの高密度化、多心化を行うと共に、今回は中心にテンションメンバ*²を有するスロット型構造を採用することで、曲げ方向性なく、可撓性に優れた光ケーブルを開発した。

今回は海外で使用されている1.5インチ管と2.0インチ管への収納心数を増やすため、**表1**に示したような1728心および3456心光ファイバケーブルの開発を行った。

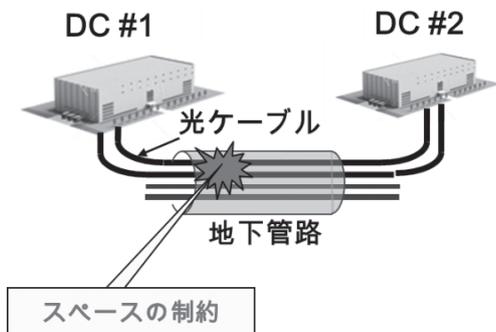


図1 DC棟間配線の模式図

表1 超多心光ケーブルの開発構造

	従来光ケーブル	開発構造
1.5インチ管	864心	1728心
2.0インチ管	1728心	3456心

2. 間欠テープ設計と特徴

2-1 間欠テープ設計

今回使用した間欠テープは海外で主流の12心テープであり、模式図を図2に示す。

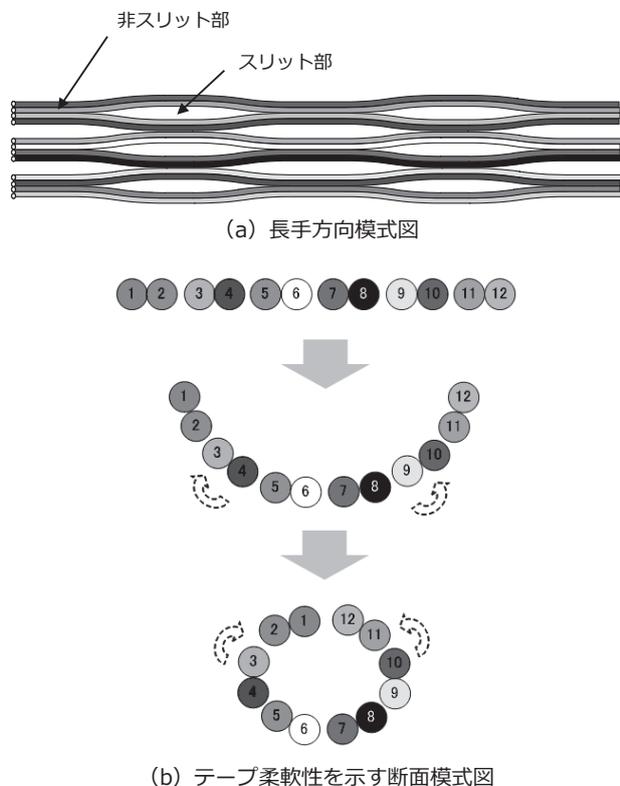


図2 間欠12心テープの模式図

間欠テープはスリット長、非スリット長の比率および長さを変化させることで柔軟性および一括接続時のテープ整列性をコントロールすることができる^{(1)~(7)}。今回は一括融着接続の作業性とケーブル特性を考慮したテープ柔軟性を考慮し、スリット長と非スリット長の比率を最適化した構造を適用した。

2-2 間欠テープの接続特性

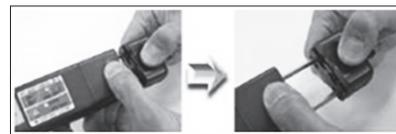
図3に間欠テープの一括融着接続の手順を示す。

今回は1心単位間欠テープと比べて融着ホルダセット時の整列性改善を狙って図2に示す2心単位間欠テープを採用したが、従来の非間欠テープ心線と同等の一括接続作業性が確認できた。次に図4に間欠12心テープ同士および従来(非間欠)12心テープ同士の一括融着ロス(推定法)の分布を示す。

図4に示したように一括融着ロスは従来テープとほぼ同等であることがわかった。

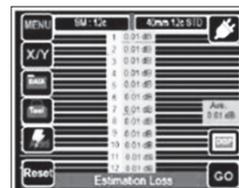


(1) テープを融着機のファイバホルダにセット



(2) 過熱式ジャケットリムーバでテープの被覆を除去

(3) ファイバカッターでファイバ端面をカット



(4) 融着機にセットし、一括融着接続

図3 間欠12心テープ一括融着接続手順

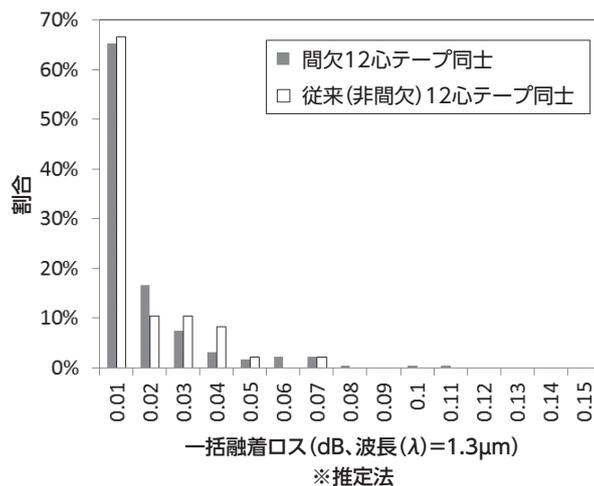


図4 12心一括融着ロスの分布

3. 光ファイバケーブル構造、特性

3-1 ケーブル構造

ケーブル構造については中心のテンションメンバとして繊維強化プラスチック (FRP) を配置し、曲げ方向性なく、可撓性に優れたスロット型構造を採用した。従来のテンションメンバに鋼線を用いる構造に比べて、今回のノンメタリック型構造にすることでケーブル重量も従来比10~15%低減が見込まれる。構造の一例として、図5に3456心型の断面模式図を示す。

尚、光ファイバには曲げ強化型シングルモードファイバ (ITU-T G.657A1, G.652D規格) を採用している。曲げ強

化型ファイバの適用と間欠テープの効果により心線収納密度を従来比で飛躍的に向上させ、従来ケーブルからの大幅な細径化、軽量化を実現している。

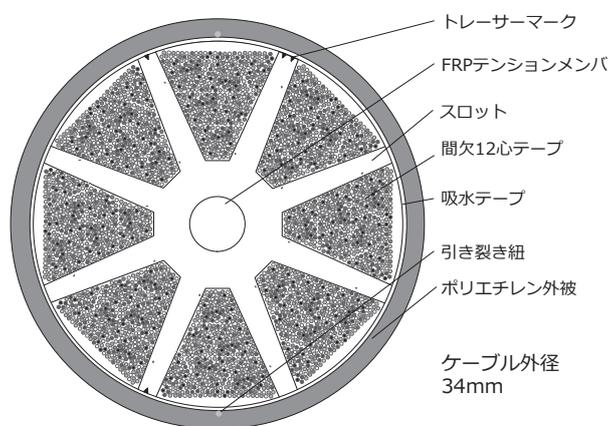


図5 3456心光ケーブル断面模式図

多心ケーブルになると各リボン間の識別性を確保する必要があり、今回は間欠テープに図6のようなバー状の印字を施した。従来の数字での印字ではなく、バー本数で識別を行うことで、間欠化による視認性悪化がなく、容易に識別できることを確認した。

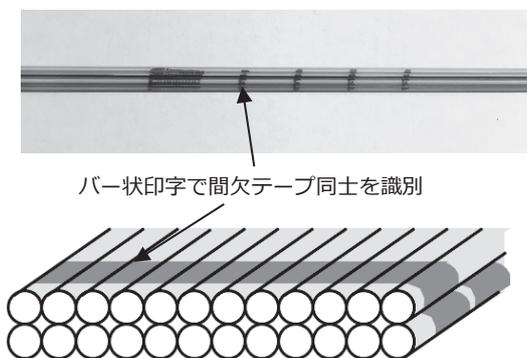


図6 間欠12心テープマーキング模式図

3456心型は各溝に間欠12心テープが36枚収納され、36パターン of マーキングにより溝内の識別が可能であり、溝毎の識別はスロットリブ頂点に記載されたトレーサーマークにより可能である。

3-2 光ファイバケーブル心数の比較

今回開発した光ファイバケーブルに関して、従来のテープ

型ルースチューブケーブル^{*3}と外径、心数を比較したデータを図7に示す。図7に示したように1728心型と3456心型は同一外径で比較すると従来比2倍の心数を収納できることがわかる。

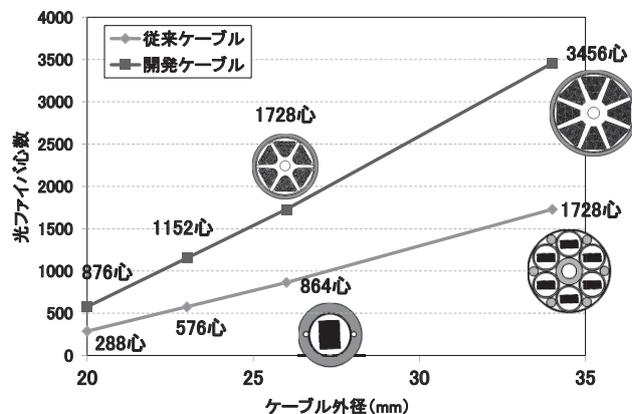


図7 従来ケーブルと開発ケーブルの心数比較

3-3 伝送特性、機械特性評価

今回開発した1728心、3456心ノンメタリック型ケーブルについて特性評価を行った。図8に3456心ケーブル試作でのドラム巻における-40~+70℃でのヒートサイクル試験結果を示す。図8に示したようにヒートサイクル中の損失温度変動は安定していることを確認した。表2に機械試験も含めた評価結果一覧を示す。機械試験についても良好な特性を有していることを確認した。

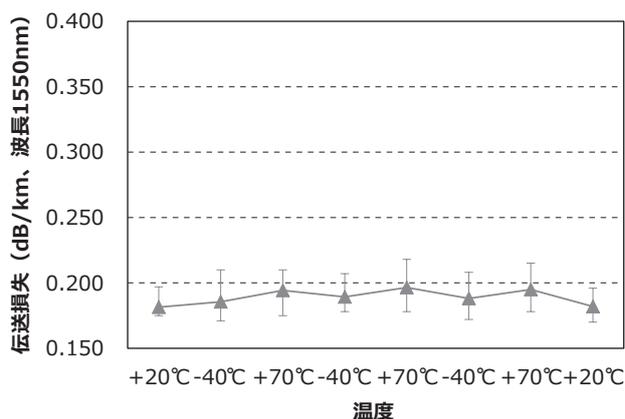


図8 3456心光ケーブルの伝送損失温度変動

表2 1728心、3456心ケーブル特性評価結果

項目	試験方法	評価結果
伝送損失	IEC60793-1-40 λ = 1550nm	<0.3dB/km (1550nm)
損失温度変動	EIA/TIA-455-3 -40~+70℃×3サイクル、 λ = 1550nm	損失変動 <0.10dB/km
側圧特性	EIA/TIA-455-41 2200N/100mm λ = 1550nm	損失変動 <0.1dB ケーブル外観に異常なし
耐衝撃特性	EIA/TIA-455-25 4.4N、2回落下 λ = 1550nm	
繰り返し曲げ特性	EIA/TIA-455-104 曲げ半径10D、25サイクル (Dはケーブル外径) λ = 1550nm	
捻回特性	EIA/TIA-455-85 ±180°/2m λ = 1550nm	
引張特性	EIA/TIA-455-33 布設時2670N、 布設後800N	2670N印加時ファイバ 歪み<0.2%、 800N印加時ファイバ 歪み<0.1%以下

4. ケーブル施工性の検証

一般的にケーブル心数が増えてくると、ケーブル外径および剛性が上がり、ケーブル可撓性の観点等で管路への布設やハンドホール等への余長収納が困難になってくる。そのため、以下の超多心光ファイバケーブルにおいて、曲げ方向性のないスロット型ケーブルと両側にテンションメンバを有するスロットレス構造との施工性の比較、検証を行った。最後に海外で主流の布設方法であるケーブル圧送方式での実験も行った。

4-1 ケーブル曲げ剛性の調査

ケーブルの8の字取りや余長収納を行う際に曲げ剛性が大きくなると、布設、収納スペースが必要となるため、曲げ剛性の調査は必要である。一般的に曲げ剛性は下記の式(1)で示される。

$$EI = E \cdot \pi \cdot d^4 / 64 \quad \dots\dots\dots (1)$$

- EI : 曲げ剛性
- E : ヤング率
- d : 剛体の直径

今回はスロット型ケーブルを複合体と見なして曲げ剛性の机上計算を行い、実測値との相関性を調査した。

曲げ剛性の試験系を図9、曲げ剛性の机上計算値と実測値との関係を図10に示す。

図10に示したように理論値と実測値は相関があることを確認し、設計段階で曲げ剛性の予測が可能であることがわかった。表3に今回開発した1728心ケーブルと同等外径の従来型864心セントラルチューブケーブルの曲げ剛性比較データを示す。表3に示したように今回開発したスロット

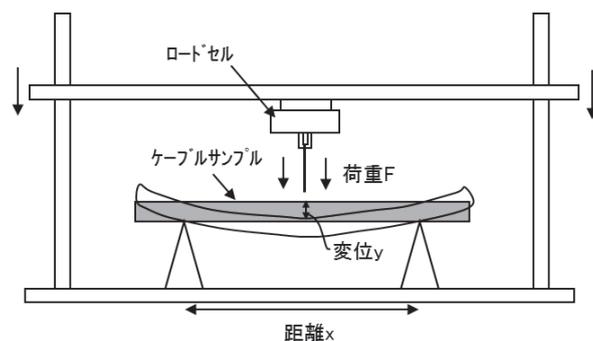


図9 光ケーブル曲げ剛性評価の模式図

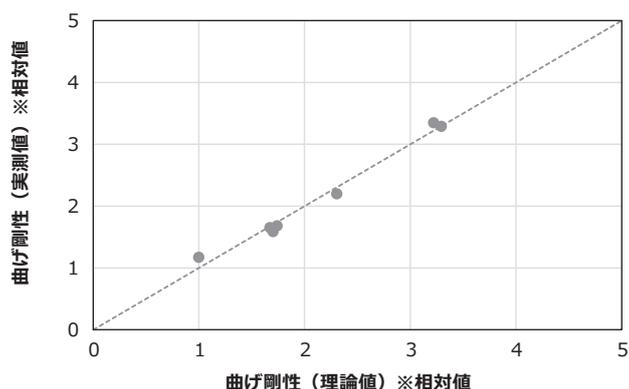
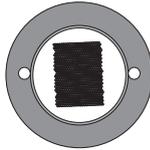
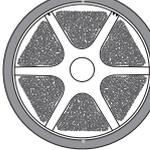


図10 曲げ剛性理論値と実測値の相関

表3 光ファイバケーブル曲げ剛性比較結果

従来ケーブル	開発ケーブル
864心 (外径25mm)	1728心 (外径26mm)
	
曲げ剛性 11.4N・m ²	曲げ剛性 5.7N・m ²

※従来ケーブルはTM対角方向(曲げ可能な方向)の曲げ剛性値

型光ケーブルは従来のセントラルチューブ型と比較して曲げ剛性が約半分であり、ハンドホール等のスペースが限られたエリアで光ケーブルを収納する際にメリットがあると思われる。

4-2 ケーブル余長収納性評価

次にハンドホール等への余長収納を考慮し、曲げ方向性の影響を調査するため、下記の図11に示したスロット型ケーブル、スロットレスケーブル2サンプルを用いて、図12のような実験系で収納性比較実験を行った。図12に示したようにケーブル端末の片側を既にダクト内布設され

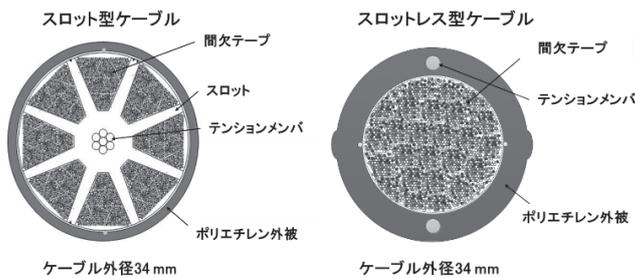


図11 余長収納性評価のケーブルサンプル

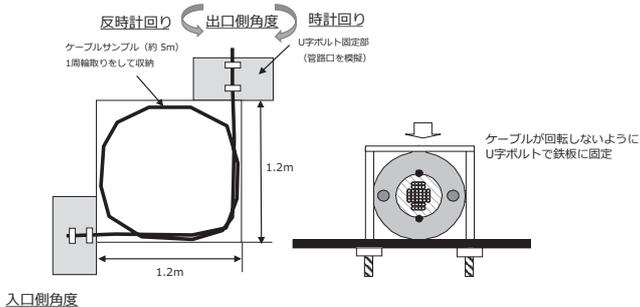


図12 ケーブル収納性評価実験系

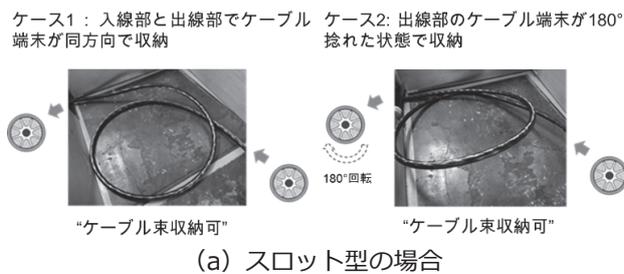
た想定で、固定させる方法を用い、1.2m四方のスペース内でケーブル束が綺麗に収納できるか確認を行った。

図13にスロット型およびスロットレス型の収納性評価結果を示す。

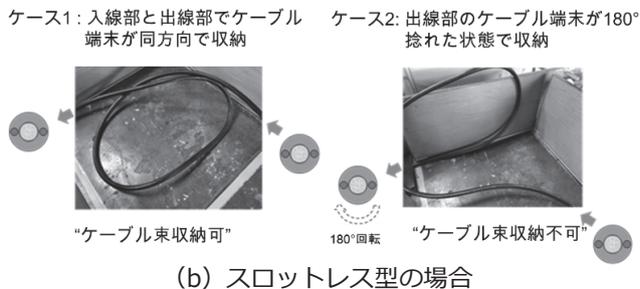
図13の右図には片側のケーブル端末が180°回転した状態で収納した場合を示しており、スロット型ケーブルは束に大きな捻れが見られないのに対し、スロットレス型は顕著に捻れて、束が浮き上がる状態が見られた。この結果から外径34mm相当の太いケーブルではスロットレス型は両側テンションメンバによる曲げ方向性の影響で上手く収納できない可能性があるのに対し、今回開発したスロット型は収納性に問題がないことを確認した。

4-3 ケーブル圧送試験

布設性検証の最後に欧州、北米等でダクト布設用に使用されているケーブルジェットによる圧送方式で表3右図記載の1728心スロット型ケーブルを用いて布設実験を行った。圧送機器メーカー Plumettaz S.A. 社の協力を得て、図14の



(a) スロット型の場合



(b) スロットレス型の場合

図13 ケーブル収納性評価結果

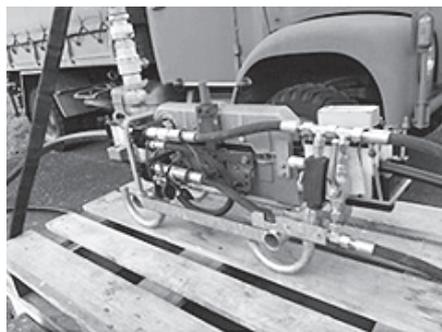


図14 スーパージェット写真とケーブル圧送試験模式図

ようなスーパージェットと呼ばれる圧送機器で実験した。

上記のスーパージェットを用い、厳しい管路状態を模擬し、曲がり部を6箇所含む、ダクト内径35mmの実験系にて、約200m圧送できることを確認。さらにシミュレーション結果では一般的なダクト経路で約1100m圧送可能であり、同等外径で曲げ方向性の有るスロットレスケーブルの約1.3倍の距離を圧送可能である。今後、主に海外で圧送布設との組み合わせで当該ケーブルの布設が増えていくと予想される。

5. 結 言

今回我々は、データセンタ向けとして、間欠12心テープを用いた超多心光ファイバケーブルを開発した。間欠12心テープは融着作業性を低下させずに高密度実装可能なテープ構造を選定した。今回は中心にノンメタリック型テンションメンバを有するスロット型構造を採用した。従来ケーブルと同等外径で2倍の心数を有する1728心ケーブル、3456心ケーブルの開発に成功した。さらにケーブル布設性の検証を行い、曲げ方向性のないスロット型構造の施工面でのメリットを確認した。本ケーブルの適用により、空間伝送密度の向上および限られた布設スペースの有効活用等に寄与するものと期待される。

用語集

※1 Freeform Ribbon

柔軟なりボン（間欠テープ）を示す名称。商標登録申請中。

※2 テンションメンバ

布設時に光ファイバに加わる張力を緩和する働きをする物。抗張力体。

※2 ルースチューブケーブル

細径の樹脂チューブの中に光ファイバを挿入し、それらを撚り合わせた構造のケーブル

参 考 文 献

- (1) Y. Yamada et al, "Ultra-High-Density Optical Fiber Cable with Rollable Optical Fiber Ribbons," The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (2008), p.292
- (2) Y. Yamada et al, "High-Fiber-Count and Ultra-High-Density Optical Fiber Cable with Rollable Optical Fiber Ribbons," The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (2009), p.503
- (3) Y. Yamada et al, "Development of Novel Optical Fiber Ribbon Assembled into Extremely High-Density Optical Fiber Cable," International Cable and Connectivity Symposium (2012) , p.25
- (4) F. Sato et al, "Design of Ultra-high density Optical Fiber Cable with Rollable 4-fiber Ribbons for Aerial Deployment," International Cable and Connectivity Symposium (2012), p.433
- (5) F. Sato et al, "Design of Ultra-High-Density 2000-Optical Fiber Cable with Pliable 8-fiber Ribbons for Underground Deployment," International Cable and Connectivity Symposium (2015), p.659
- (6) 山本 他, 「間欠4テープを用いた超高密度架空光ケーブルの開発」、2012年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会、B-12-21
- (7) F. Sato et al, "Characteristics of Ultra-High-Fiber-Count and High-Density Optical Cables with Pliable Ribbons," International Cable and Connectivity Symposium (2017), p.304

執 筆 者

佐藤 文昭* : 光通信事業部 グループ長



土屋 健太 : 光通信事業部



長尾 美昭 : 光通信事業部 グループ長



平間 隆郎 : 光通信事業部 主査



岡 涼英 : 光通信事業部 工場長



高橋 健 : 光通信事業部 グループ長



*主執筆者