SWR®を実装した空気圧送用WTC

エネルギー・情報通信カンパニー　光ケーブルシステム事業部　清　水　正　砂[1]・向　井　興　泉[1]・多　木　　剛[1]
鯰　江　　彰[2]・大　里　　健[3]

Air-blown Fiber Optic Cable with SWR and WTC Technologies

S. Shimizu,　O. Mukai,　G. Taki,　A. Namazue,　and　K. Osato

Spider Web Ribbon（SWR）と呼ばれる革新的な光ファイバリボンを実装したWrapping Tube Cable（WTC）技術を適用した高密度実装ケーブルが開発され，既に実用化されている．

SWR/WTCのさらなる拡大を目指し，これまで適用されていなかったケーブル品種として，空気圧送布設に対応したケーブルの開発に取り組んだ．

SWR/WTC技術に，新たな外被設計を融合させ，空気圧送性能をはじめとした要求性能を満足するSWRを実装した空気圧送用WTCを開発した．

High density optical fiber cables applying Wrapping Tube Cable (WTC) technologies with innovative optical fiber ribbon which is called Spider Web Ribbon (SWR) have been developed and already put to practical use. In order to penetrate new markets by using SWR/WTC technologies, new cable was developed. The cable is widely applied for the air-blown installation.

Developed cable satisfied requirement for IEC standard of microduct cables by applying the conventional SWR/WTC technologies with new jacketing design for air-blown cable.

1. ま　え　が　き

スマートフォンの普及やクラウドサービスの活用により，世界各国でデータ通信量が増大している．このような状況から，光ファイバ通信網は既設の限られた管路等のスペースを用いて，光ファイバをより高密度に，かつ多くの光ケーブルを効率的に布設することが求められている．近年，間欠接着型テープ心線“Spider Web Ribbon”（SWR）の開発により，光ケーブルの大幅な細径・軽量化が実現されている[1)]．

SWR/WTCは地下ダクト，架空，データセンタ向け等で広く適用されているが，これまで適用されていないケーブル品種として，空気圧送用光ケーブルがあげられる．

SWR/WTC技術を用いて，これまでにない新たな構造の空気圧送用光ケーブルの開発を行ったので報告する．

2. 空気圧送用光ケーブル

空気圧送工法とは光ケーブルの布設方法の 1 つであり，マイクロダクトと呼ばれる内径約 16 mm以下の小型のダクトに，コンプレッサで圧縮された乾燥空気をダクト内に送り込みながら，ケーブルを押し込む工法である．特に欧州の都市部を中心に広く導入されている[2)]．この布設方法により，短時間に効率的にケーブルを布設することが可能となる．

空気圧送用光ケーブルには，1000 m以上の長距離布設に対応するため，細径かつ軽量であること，適度なケーブル剛性と可とう性をあわせもつこと，マイクロダクトとの摩擦が小さいこと等が要求されており，これまでの空気圧送用光ケーブルは中心にテンションメンバを配置した細径ルースチューブ構造が主流となっている．

3. ケーブル設計

細径・軽量化，優れた空気圧送性能，容易な接続作業性有するケーブルの実現を開発のコンセプトとし，ケーブルの設計を行った．

3. 1　200 μmファイバを用いたSWR

開発したケーブルには 200 μmファイバを用いたSWRを実装している．このSWRは各光ファイバ心線間を長手方向に間欠的に接着した構造となっている．この構造により，SWRはケーブル内で容易に形状を変えることができるため，伝送損失の増加や光ファイバ心線が大きな歪を受けることなく，ケーブル内に高密度に実装することが

1　光ケーブル開発部
2　光ケーブル開発部グループ長
3　光ケーブル開発部部長

可能である．SWRの構造と特徴の概念図を図 1 に示す．

SWRはリボンと単心線の特徴を有している．そのため，既存の融着接続機・方法を用いたリボンの一括融着接続が可能であり，かつ任意の光ファイバ心線を単心に分離することも可能である．海外の一般的なリボンの心数単位は 12 心であることから，開発したケーブルに適用するSWRの心数は 12 心とした．既設ケーブルに収納されている 250 μmファイバを用いた 12 心リボンとの融着接続の互換性を考慮し，200 μmファイバを用いたSWRの心線間の間隔は，図 2 に示すように 250 μmファイバを用いたSWRの心線間の間隔と同じ設計とした．これにより，250 μmファイバを用いたSWRや汎用の一体型の光ファイバリボンと一括融着することが可能である．200 μmファイバを用いた 12 心SWRと 250 μmファイバを用いた 12 心SWRを一括融着接続している様子を図 3 に示す．

SWRには図 4 のようにリボン番号に対応したストライプリングマークを施している．これにより，複数枚の 12 心SWRを実装している光ケーブルにおいても，容易に識別することが可能である．また，単心光ファイバ心線上にマーキングを施しているため，単心に分離した後の光ファイバ心線においても，リボン番号の識別が可能である[4]．

3. 2　ケーブルコアの設計

開発したケーブルのコア設計は，従来のSWR/WTCと同様，吸水テープを円筒状にラッピングし，その内側にSWRを実装した構造である．ストライプリングマークだけでは識別が困難な心数の設計ではSZバンチングユニットによる識別を採用している．

SZバンチングは，2 本のバンチング糸を光ファイバユニット上にSZ撚りし，2 本の糸の交点で互いに接着されている構造である．SZバンチングは 2 本のバンチング糸を引っ張ることで，バンチング糸を容易に取り外すことが可能であることから，光ファイバユニットに対し一方

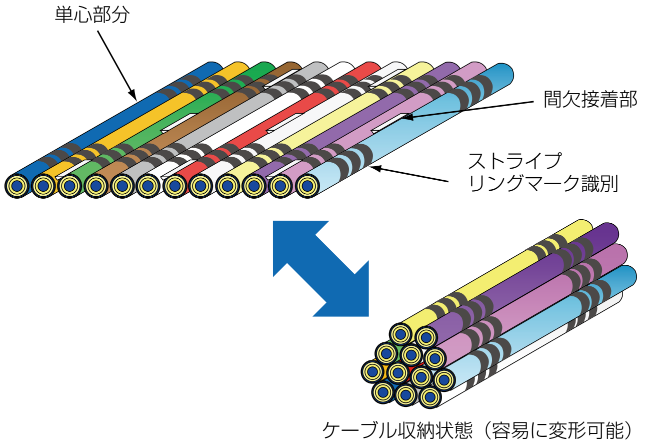


図1　SWRの構造と特徴
Fig. 1. Structure and Feature of SWR.

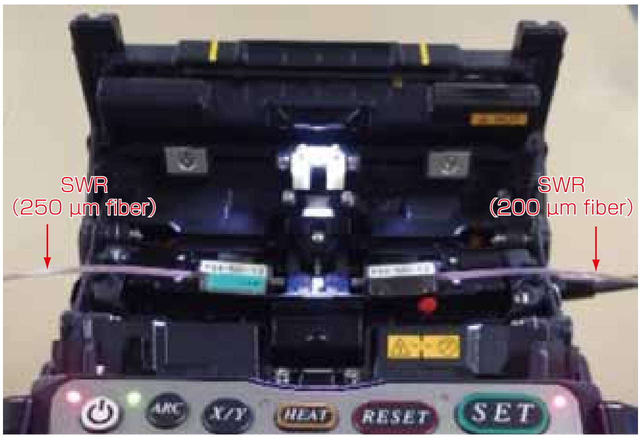


図3　250μm SWRと200μm SWRの融着接続
Fig. 3. Fusion Splicing of Spider Web Ribbon (200 μm Fibers and 250 μm Fibers).

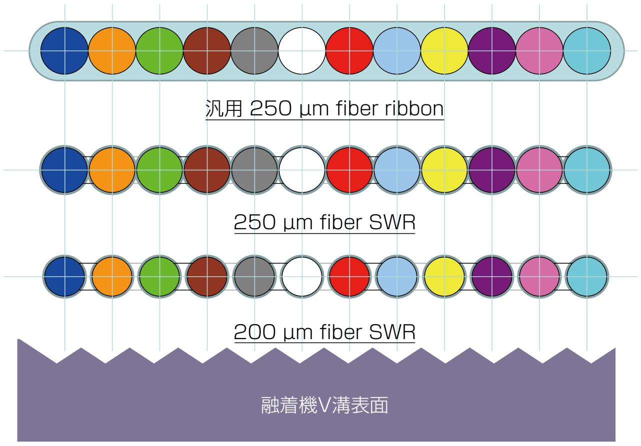


図2　200 μm SWRと250 μm SWRのファイバ間隔の比較
Fig. 2. Comparison of the Interval between Fibers for SWRwith200μm and SWR with250μm.

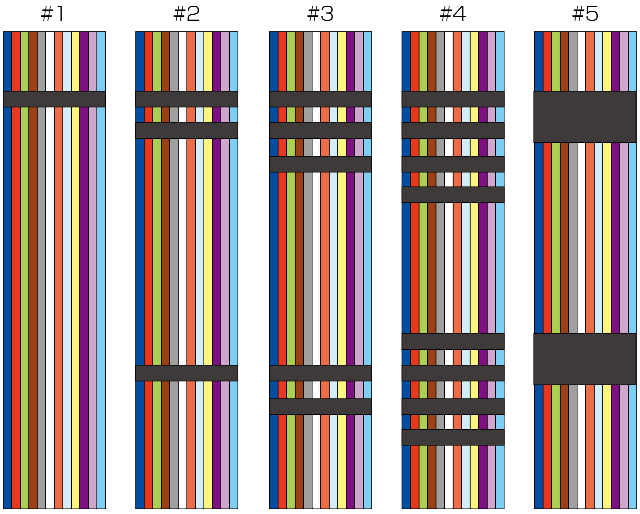


図4　ストライプリングマーク識別
Fig. 4. Schematic of Stripe Ring Marking.

向に糸を巻いているバンチングと比較し，口出し作業性に優れている．さらに，SZバンチング糸を取り外すまでは，ユニット形状を保つため，ある特定の心線を選択し，取り出すことが容易である[5]．

WTCは走水防止のための材料として，吸水テープを用いている．ルースチューブケーブルで一般的に使用されているジェリーコンパウンドを使用しないフルドライ構造であるため，接続作業時にジェリーコンパウンドを拭き取る作業が必要なく，接続作業性に優れた構造である．

3．3　ケーブル外被の設計

空気圧送用WTCの外被の設計では，ケーブルの細径化を実現するため，細径のテンションメンバを外被材の中に分散配置した．テンションメンバの配置，本数に加え，外被表面の形状について検討を行った．

テンションメンバの配置は，周方向に均等な曲げ特性を持たせるため，同一円周上に等間隔で外被材の中に埋め込む設計とした．また，マイクロダクト内に空気圧送用ケーブルを押し込むには，適度なケーブルの剛性が必要であるため，この点を考慮し，テンションメンバ本数を決定した．

ケーブルの外被表面の形状は，マイクロダクト内壁とケーブル外被の摩擦係数を極力小さくするために，凹凸を設ける設計とした[6]．

外被の最終的な設計を決定するため，表 1 に示すように，テンションメンバの本数を 2 水準，さらに外被形状を丸型（凹凸無し）と凹凸有りの 2 水準，合計 4 水準のケーブルを試作した．

4 種類のケーブルは表 2 に示す条件にて押し込み通線を行い，通線距離とケーブルを押し込む時に必要な力を測定した．結果を図 5 に示す．

この結果より，最も通線距離が長く，押し込み力も低いケーブルDの構造を採用した．

以上の設計を実現した空気圧送用WTCのケーブル構造および断面図を図 6，7 に示す．

表1　評価ケーブルの外被設計一覧
Table 1. Jacketing Designs for Evaluated Cables.

項目	ケーブルA	ケーブルB	ケーブルC	ケーブルD
テンションメンバの本数	X	2 X	X	2 X
ケーブル外被の形状	丸型		凹凸	

表2　模擬布設実験の条件
Table 2. Test Condition of Cable installation Trial.

項目	試験条件
マイクロダクト外径/内径	16 / 12 mm
押し込み試験線路	ダクト全長 130 m, 曲り部分R 300 mm, 1 / 2 周 曲り箇所 4 ヶ所

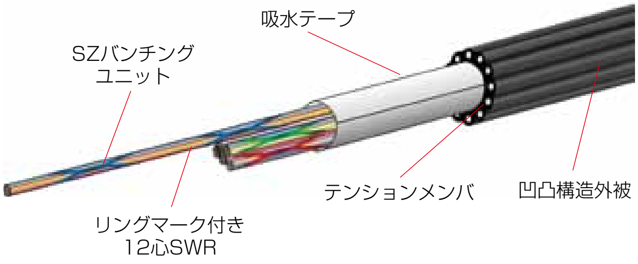


図6　空気圧送用WTCのケーブル構造
Fig. 6. Cable Construction for Air-blown WTC.

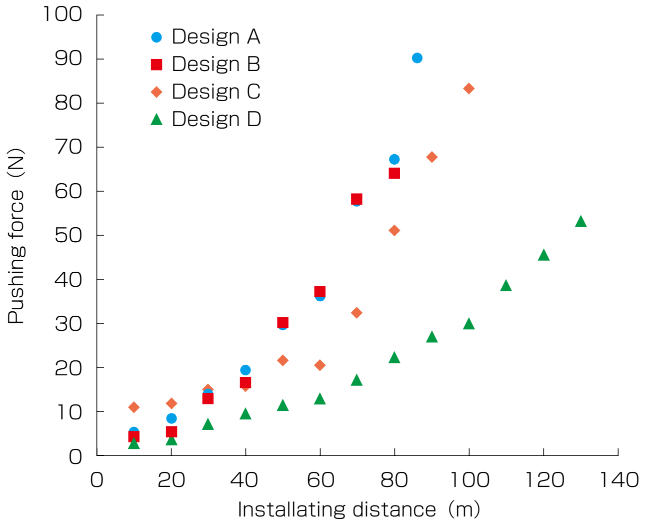


図5　模擬布設実験結果
Fig. 5. Pushing Performance.

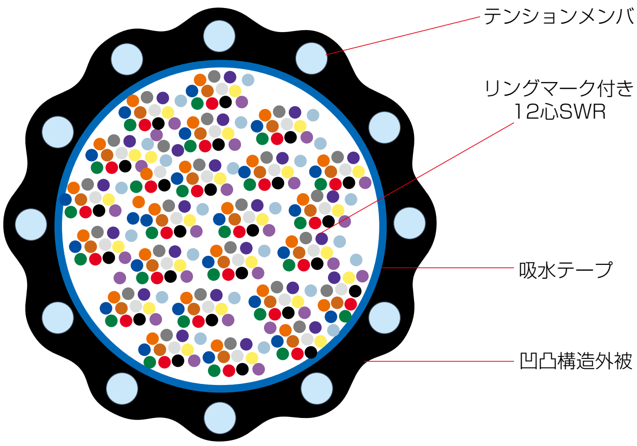


図7　空気圧送用WTCの断面図
Fig. 7. Cable Cross Section for Air-blown WTC.

4. 空気圧送用WTCの特性

4. 1 機械特性・環境特性

空気圧送用WTCの機械特性および環境特性の評価結果を表 3, 4 に示す．試験規格はIEC 60794-5-10[7] に従った．各評価項目において，要求性能を満足し，良好な特性を有していることを確認した．

4. 2 空気圧送性能

開発した空気圧送用WTCについて，外部機関の空気圧送の試験ラインにて，評価を行った．表 5, 図 8 は試験線路図を示し，圧送試験の結果を表 6, 図 9 に示す．72, 288, 432 心の各ケーブルにおいて，全長 2000 mの試験線路を完走し，十分な空気圧送性能を有していることを確認した．

表3 空気圧送用WTCの機械試験結果
Table 3. Mechanical Test Result.

項目	試験条件	試験結果
引張強度	IEC 60794-1-21 , Method E 1 印加荷重: 1×W (W: 1 kmあたりのケーブル質量))	≦ 0.05 dB/fiber ファイバ残留歪: ≦ 0.05 %
側圧	IEC 60794-1-21 , Method E 3 A 印加荷重（plate/plate） : 500 N / 100 mm 印加時間: 1 min	≦ 0.05 dB/fiber 外被への損傷なし
衝撃	IEC 60794-1-21 , Method E 4 打撃面表面の曲率: 300 mm 衝撃力: 1 J (= 0.1 kg×1 m)	≦ 0.05 dB/fiber 外被への損傷なし
繰り返し曲げ	IEC 60794-1-21 , Method E 6 曲げ直径:ケーブル外径の 40 倍 サイクル数: 25	外被への損傷なし
捻回	IEC 60794-1-21 , Method E 7 サンプル長: 2 m 捻回角:+/−180 °	≦ 0.05 dB/fiber 外被への損傷なし
キンク	IEC 60794-1-21 , Method E 10 直径:ケーブル外径の 40 倍	外被への損傷なし
曲げ (巻き付け)	IEC 60794-1-21 , Method E 11 A 巻き付け直径:ケーブル外径の 40 倍 巻き付けターン数: 4 サイクル数: 3	≦ 0.05 dB/fiber 外被への損傷なし

表4 空気圧送用WTCの環境試験結果
Table 4. Environmental Test Result.

項目	試験条件	試験結果
温度サイクル試験	IEC 60794-1-22 , Method F 1 温度範囲:−40 ～ + 70 ℃ サイクル数: 2	≦ 0.15 dB/km
防水試験	IEC 60794-1-22 , Method F 5 B	≦ 3 m

表5 空気圧送用WTCの圧送試験条件
Table 5. Air-blowing Test condition.

項目	試験条件
ルート	1 周 125 mの 8 の字ルート（図 8 参照） 全長 2000 m

5. 他の空気圧送用光ケーブルとの比較

設計した空気圧送用WTCと他の構造の空気圧送用光ケーブルの比較を行った．

比較したケーブルは内径 12 mmのマイクロダクトに布設されるケーブル外径（約 9 mm ～ 10.5 mm）の品種とした．

表 7 に示すとおり，開発した空気圧送用WTCは，他のケーブル構造と比較し，1 本の管路（マイクロダクト）に多くの心数の布設が可能であることがわかる．また，リボンケーブルであることから，単心のケーブルに比べ，接続作業の大幅な削減が可能となる．

開発したケーブルの心数系列と外径および重量を表 8 に示す．

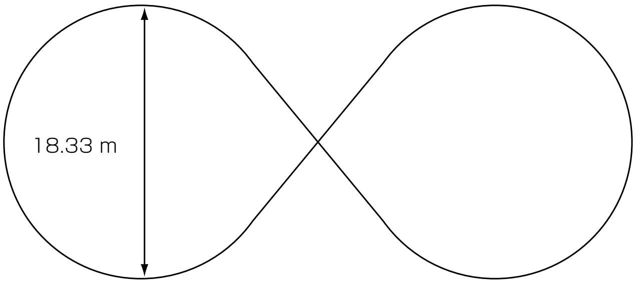


図8 圧送試験線路
Fig. 8. Test Track.

表6 空気圧送用WTCの圧送試験結果
Table 6. Test Result for Blowing Performance.

心数	72 心	288 心	432 心
マイクロダクト (外径/内径)	14 / 10 mm	16 / 12 mm	18 / 14 mm
圧送距離	2000 m以上	2000 m以上	2000 m以上

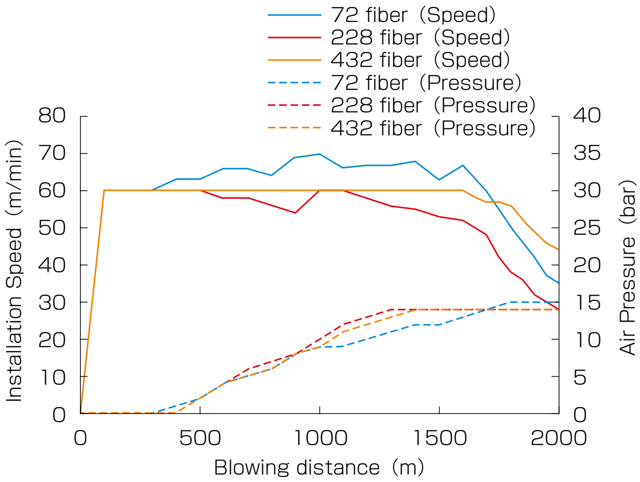


図9 圧送試験結果
Fig. 9. Blowing Performance.

表7　ケーブル構造の比較
Table 7. Comparison between Air-blown WTC and other designs.

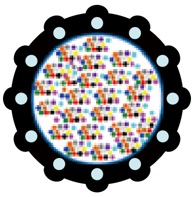
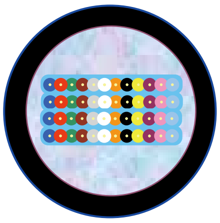
ケーブル構造	空気圧送用WTC	単心 ルースチューブ型	汎用リボン センターチューブ型
断面			
心数	432	288	144
ファイバ直径	200 μm	200 μm	250 μm
ケーブル外径	9.3 mm	9.7 mm	10.5 mm
ケーブル重量	56 kg/km	84 kg/km	70 kg/km
12 心一括接続	可能	そのままでは不可能	可能
ジェリーの除去	不要	必要	不要

表8　空気圧送用WTCの外径，重量
Table 8. Cable Diameter and Weight.

心数	72 心	288 心	432 心
ケーブル標準外径	6.1 mm	8.0 mm	9.3 mm
ケーブル重量	24 kg/km	41 kg/km	56 kg/km

6. む　す　び

200 μmファイバを用いたSWRを適用し，WTC技術をベースに，新たな外被設計を採用した空気圧送用光ケーブルを開発した.

ケーブルがフルドライ構造のため，ジェリーコンパウンドの拭き取り作業が不要であり，かつ 200 μmファイバSWRの心線間の間隔が 250 μmファイバSWRと同一設計のため，既存のリボン融着接続機で作業が可能であることから，布設後の接続作業時間短縮に大きく貢献できる.

開発したケーブルは，良好な空気圧送性能を有し，IEC 60794-5-10 に準拠した項目を全て満足することを確認した.

参　考　文　献

1) M. Isaji, et al, :“Ultra-high density wrapping tube optical fiber cable with 12-fiber spider web ribbon” Proc. 62nd IWCS., pp.605-609, 2013
2) M. Garcia, et al, : “The evolution of microcables: a 192F family story” Proc. 67th IWCS., Session No. 16-1, 2018
3) Recommendation ITU-T G.657 Ed. 4.0, : “Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable”, 2016
4) D. Takeda, et. al. : “Development of wrapping tube cable with spider web ribbon” 63rd IWCS, pp.757-762, 2014
5) M. Ohno, et al., : “Development of ultra-high density and fiber-count WTC with SWR” Proc. 66th IWCS, pp.312-316, 2017
6) S. Shimizu, et. al. :“Air-blown fiber optic cable with SWR and WTC technologies”67th IWCS, Session No. 16-6, 2018
7) IEC 60794-5-10 Ed.1.0, “Optical fibre cables–Part 5-10: Family specification–Outdoor microduct optical fibre cables, microducts and protected microducts for installation by blowing”, 2014