



半径5mm曲げに対応した光ファイバ PureAccess®-R5の光学特性と FTTx配線への適用

中西哲也*・佐藤文昭*・小西達也
林哲也・佐々木隆・佐藤龍一郎
小川信二・大久保文義・石川弘樹
天野亜夫

Application of Ultra-Low Bending Loss Fiber “PureAccess®-R5” to Optical Wiring in FTTx Access Networks — by Tetsuya Nakanishi, Fumiaki Satou, Tatsuya Konishi, Tetsuya Hayashi, Takashi Sasaki, Ryuichiro Sato, Shinji Ogawa, Fumiyoshi Ohkubo, Hiroki Ishikawa and Tsuguo Amano — In 2002 Sumitomo Electric launched its leading edge low bending loss optical fiber “PureAccess®” that has an allowable bending radius of 15mm. Since then the company has contributed to the construction of FTTx networks through its info-communications technology and products including cables, termination boxes and connectors.

As the FTTx networks expand throughout the world, there is an ever increasing demand for optical fiber that facilitates overall space savings and decreases deployment time and costs. To meet the demand, we have developed a new ultra-low bending loss fiber “PureAccess®-R5,” which shows negligible bending loss even at a bend as small as 5 mm radius. The PureAccess®-R5 is fully compliant with ITU-T G.657.B3 Recommendation, the new standard established in 2009 for bending radius of 5 mm. Furthermore, the PureAccess®-R5 is designed to have almost the same MFD (mode field diameter) as the previous PureAccess®, and therefore, can be connected easily to existing access networks. This paper shows the transmission characteristics of the PureAccess®-R5 including its low bending loss and low loss connectivity to existing fibers.

We also describe the application of this fiber to PureFlex®-slim indoor cable, which has high durability and flexibility. This newly fabricated cable realizes more reliable and flexible indoor wiring. The cable also shows excellent stability in attenuation and transmission characteristics under severe bending tests simulating actual installation and handling. Thus it is confirmed that the PureFlex®-slim cable with PureAccess®-R5 fiber has excellent characteristics for FTTx wiring.

Keywords: single mode fiber, bend insensitive fiber, FTTH, FTTx

1. 緒 言

当社はFTTx^{*1}の本格的普及に先駆け、許容曲げ半径を汎用シングルモードファイバ（SMF）の30mmから15mmに半減したPureAccess®の販売を2002年に開始し、関連するケーブル、収納製品とともに市場に提供してきた⁽¹⁾。近年の世界的なFTTxの普及に伴う大量開通を支えるため、敷設作業効率の改善、成端箱内での光ファイバの収納性、室内や局内での光ファイバケーブルの取り扱い向上への更なる要求が高まっており、当社ではこれらのニーズに応えるため曲げ半径5mmと極めて小さく曲げることのできる光ファイバPureAccess®-R5を新たに開発した。

開発したPureAccess®-R5は、国際標準機関（ITU-T）

において、低曲げ損失シングルモード光ファイバ勧告（G.657）の中に新設された、半径5mmまでの曲がりを許容するカテゴリG.657.B3にも準拠し、且つモードフィールド径（MFD）^{*2}は従来のPureAccess®と一致する設計となっている。このため既設線路との接続特性に優れ、導入が容易であるという特徴を持つ。

本論文では、PureAccess®-R5の光学特性とともに、曲げ特性や接続特性を評価した。また、屋内の露出配線に耐える「丈夫さ」と収納性を改善するための「曲げやすさ」を両立する屋内配線用ケーブルであるPureFlex®-slim⁽²⁾にPureAccess®-R5ファイバを適用することで、外力に強く、且つ曲げ損失の発生による敷設上の制約が極めて小さい

ケーブルが実現可能であることを確認し、また敷設の模擬実験や、伝送実験においても優れた特性を有することを確認したので紹介する。

2. PureAccess®-R5の各種性能

2-1 ITU勧告とPureAccess®-R5の光学特性 ITU-T G.657勧告は表1に示すように複数のサブカテゴリに分かれている。この中で、PureAccess®-R5は最も曲げ損失の小さいG.657.B3に準拠する光ファイバである。

表2にはPureAccess®-R5の仕様特性を示した。比較のためにPureBand®、PureAccess®を併せて示す。PureAccess®-R5はトレンチ型プロファイル⁽³⁾を採用しており、従来困難であった曲げ損失の低減を、標準シングルモードファイバのITU-T勧告(G.652.D)の範囲内のMFDで実現している。これによりアクセス系への敷設実績が多いPureAccess®との接続損失を低く抑える設計とした。

表1 ITU-T G.657勧告の概略

ITU-T	G.657			
	A1	A2	B2	B3
MFD	8.6-9.5μm		6.3-9.5μm	
最小曲げ半径	R = 10mm	R = 7.5mm	R = 7.5mm	R = 5mm
	PureAccess®	—	—	PureAccess®-R5

表2 PureAccess®-R5の光学特性

製品名		PureBand®	PureAccess®	PureAccess®-R5
対応ITU-Tカテゴリ		G.652.D (汎用SMF)	G.657.A1	G.657.B3
曲げ損失	曲げ半径	R = 30mm	R = 15mm	R = 5mm
	損失@1550nm	—	<0.25dB/10ターン	<1.0dB/10ターン
	損失@1625nm	<0.1dB/100ターン	<1.0dB/10ターン	<2.5dB/10ターン
構造	MFD	9.2mm	8.6mm	8.6mm
	コア偏心	<0.8μm	<0.4μm	<0.5μm
	クラッド非円	<1.0%	<1.0%	<1.0%
光学特性	標準損失 1310nm-1625nm	<0.4dB/km	<0.4dB/km	<0.4dB/km
	1383nm 1550nm	<1310nmの 損失値	<1310nmの 損失値	<1310nmの 損失値
	ケーブルカット オフ波長	<0.3dB/km	<0.3dB/km	<0.3dB/km
		<1260nm	<1260nm	<1260nm

2-2 曲げ特性 図1に各種光ファイバを半径5mmのマンドレルに光ファイバを巻き付けたときの損失増加量の波長依存性を示す。一般に曲げ損失は長波長ほど大きく

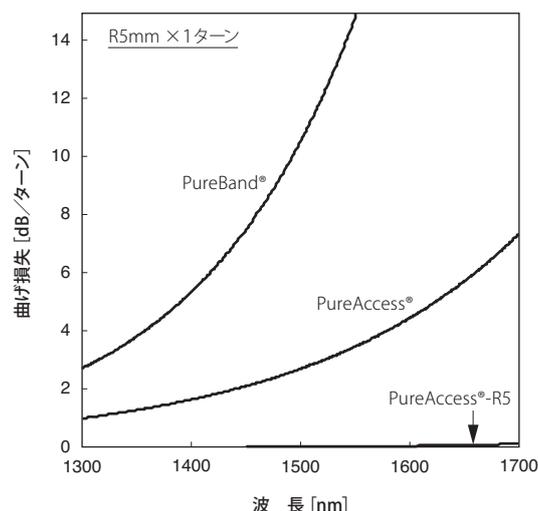


図1 半径5mm曲げにおける各光ファイバの曲げ損失の波長依存性

なるが、PureAccess®-R5では1625nmでも1ターン当たり0.25dB以下と非常に小さい。FTTxで主に用いられる伝送方式であるPON^{*3}システムでは、光ファイバの伝送波長域として1260nmから1625nmにわたる波長領域が定義されているが、PureAccess®-R5であれば全ての帯域において曲げ損失による伝送品質の劣化を抑制できる。

2-3 接続特性 図2にPureAccess®-R5とPureAccess®および汎用SMFとの各50回のくり返し融着接続試験の結果を示す。PureAccess®との接続では、波長1310nm、1550nmとも接続損失の典型値は0.03dBであった。また汎用SMFとの接続においても、その典型値は波長1310nmにおいて0.04dB、波長1550nmにおいて0.06dBと十分に低い接続損失が得られることを確認した。表3にはPureAccess®-R5の各種光ファイバとの融着接続損失、およびコネクタ接続損失の試験結果をまとめた。このようにPureAccess®-R5は、既設の光ファイバと低損失に接続できることを確認した。

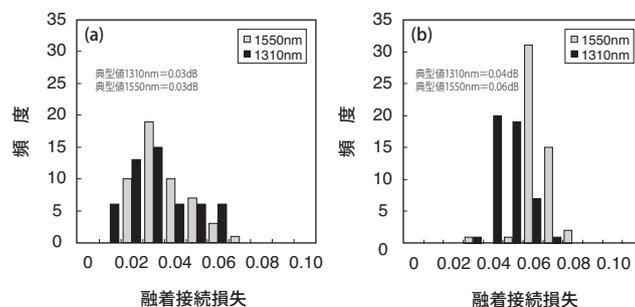


図2 (a)PureAccess®-R5とPureAccess®, (b)PureAccess®-R5と汎用SMFの融着接続損失

表3 PureAccess®-R5の接続損失特性（標準値）

接続形態	対PureAccess®-R5		対PureAccess®		対汎用SM	
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm
融着	< 0.1dB	< 0.1dB	< 0.1dB	< 0.1dB	< 0.2dB	< 0.2dB
SCコネクタ	< 0.1dB	< 0.1dB	< 0.1dB	< 0.1dB	< 0.2dB	< 0.2dB

3. PureAccess®-R5のFTTx配線製品への適用

図3のように、主に通信事業者の指定工事業者による敷設が行われる局から引込み部までの区間では、配線状態が管理されており極端な曲げが加わる可能性が低い。そのため経済性に優れたPureAccess®が好適である。一方、瞬断の危険のある輻輳した配線を取り扱う局内配線や、壁面へのステープル打ち、取り扱いの経験の少ないユーザー自身が露出配線を取り扱う可能性がある屋内配線、集合住宅/ビルの横系配線等、厳しい敷設環境が想定される箇所では曲げ損失が小さく、取り扱い性に優れたPureAccess®-R5が適している。この両者の活用により高い経済性と、敷設効率を両立したFTTxの構築が可能となる。本章では、屋内へのPureAccess®-R5の適用を想定した敷設状態の模擬試験の結果について示す。

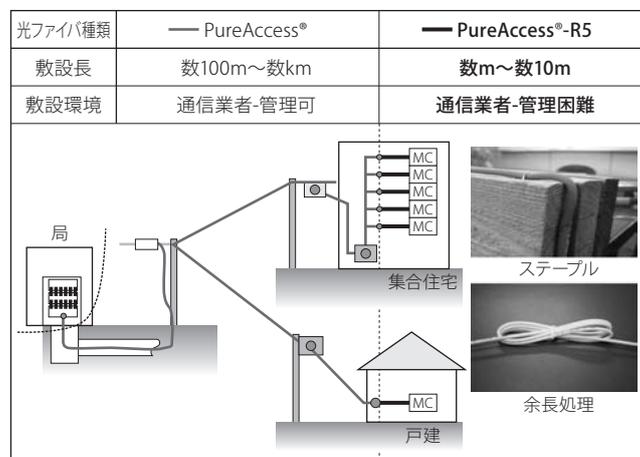


図3 PureAccess®とPureAccess®-R5を使用したFTTxの構成例

3-1 PureAccess®-R5を活用した高強度ケーブル
本検討においては、評価用ケーブルとしてPureFlex®-slimを採用した⁽²⁾。このケーブルは屋内の露出配線に耐える「丈夫さ」と「曲げ易さ」を両立する屋内配線用の高強度ケーブルである。図4にPureFlex®-slimの構造の概要を示す。光ファイバ心線の周囲に抗張力繊維を配し外被にはハロゲンフリーの硬質難燃ポリエチレンを使用している。抗

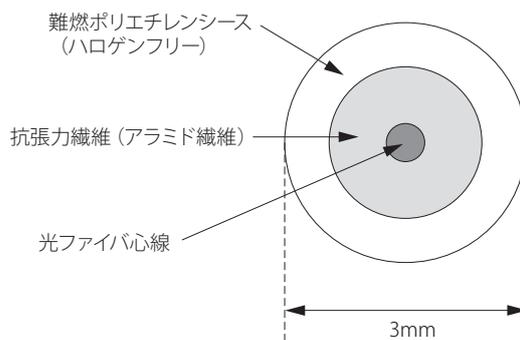


図4 PureFlex®-slimケーブル断面図

張力繊維は耐張力性を強化しており、シース材料は耐外力性・柔軟性・難燃性を有する材料を選定したことで、従来の外径5mmの硬質配線ケーブル（PureFlex®）に対し外径3mmまで細径化している。

3-2 ステープルによる敷設時の損失変動 電気配線と同様に、FTTxの屋内配線ではステープルにより光ケーブルを直接壁に打付ける工法が採用される場合がある⁽⁴⁾。試作したケーブルにおいてステープルによる曲げにより伝送特性が劣化しないことを確認するため、実際にステープル打付けを行い伝送損失の変化を評価した。評価に用いた光ファイバはPureAccess®-R5の他、比較のためにPureAccess®とG.657.A2に準拠する光ファイバの3種類を用いた。今回用いたステープル、およびステープル打付け機で打付けた様子を写真1、写真2にそれぞれ示す。コの字型のステープルはPureFlex®-slimケーブルの外被を押し付けるように打ち込まれ、ケーブルが変形している様子が分かる。今回の試験ではケーブルの外径がおよそ1/2になるようにケーブルが潰されて固定されることを確認した。

図5にステープル打付けによる、受光パワーの変化を示す。PureAccess®では20回のステープル打ちにより受光パワーが3dB以上減衰した。G.657.A2に準拠する光ファイバでは、G.657.A1準拠ファイバに対しては改善するもの

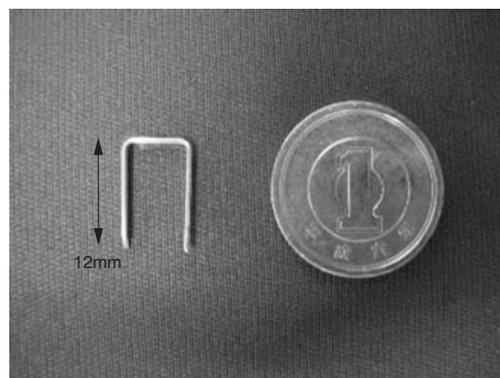


写真1 試験に用いたステープル

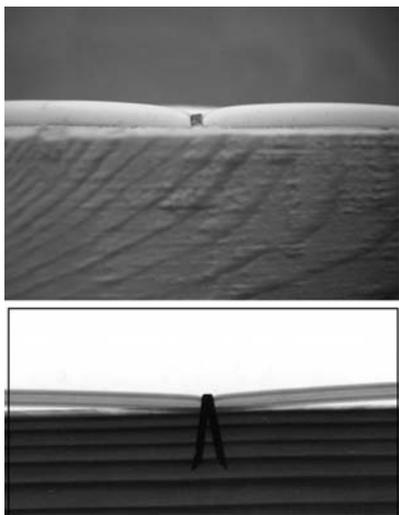


写真2 PureFlex®-slim ケーブルにステーブルを打付けた様子

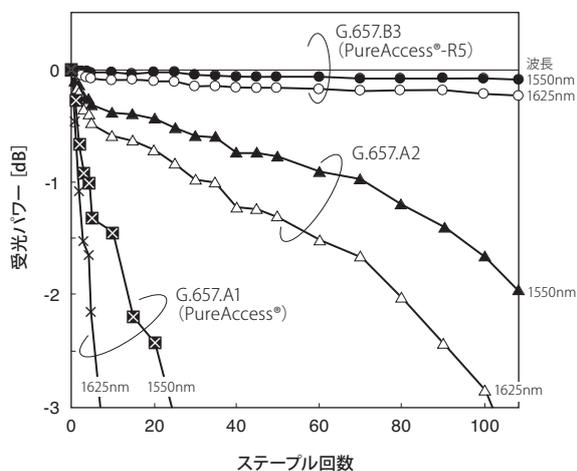


図5 ステーブル打付けによる受光パワーの変化

の、有意な受光パワーの減少が確認できる。また各回のステーブルの打付け深さに依存して、受光パワーの減衰量にばらつきが見られた。これに対し、PureAccess®-R5では100回の打付けでも顕著な受光パワーの変動が見られなかった。ステーブルによる敷設工法は、使用する打付け機、ステーブルの形状により光ファイバに与える曲げ応力が変化し、場合によっては破断の恐れがあるため、その適用には注意を要するが、PureAccess®-R5を適用したPureFlex®-slimケーブルは他の光ファイバを用いた場合に比べ、伝送損失の増加による伝送品質の劣化を有意に抑制することが可能である。

3-3 MPI評価 一般に、曲げ損失の小さい光ファイバは伝送に用いる基底モードだけでなく、高次モードも閉じ込めやすい性質を持つ。このような光ファイバでは高次モードと基底モードの干渉により受光パワーが変動するマ

ルチパス干渉 (MPI)^{(5)*4}が発生する懸念がある。伝送品質への影響を避けるにはMPIは-30dB以下が必要であることが知られており⁽⁵⁾、PureAccess®-R5についても図6に示す測定系を用いてMPIを実測した。今回、更に敷設時において与えられる曲げによる高次モード励振による影響の可能性も検証するため、上記のステーブル打付けによるMPIの変化も測定した。図7に測定結果を示す。このようにMPIは波長1310nm、1550nmにおいて-45dB以下であり、ステーブル打付けのような摂動を加えてもMPIが増加しないことを確認した。

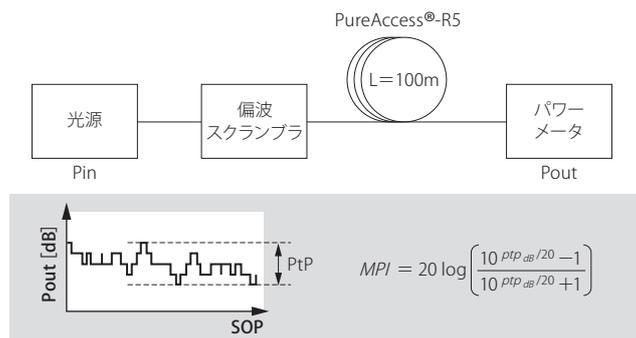


図6 MPI測定系

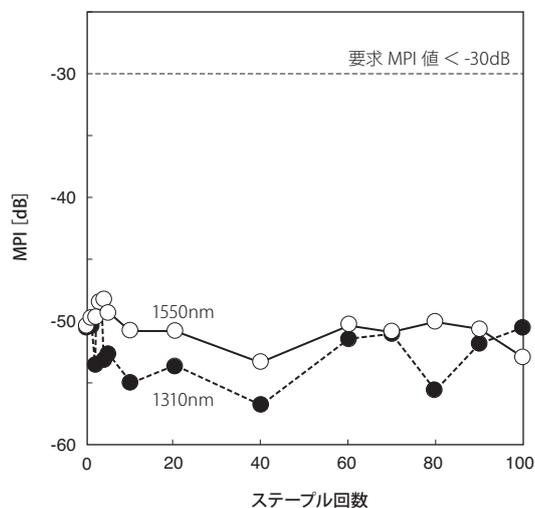


図7 PureAccess®-R5のMPI測定結果

3-4 屋内の露出配線部への対応 屋内では更に「家具や人に踏まれる」、「直角に曲げられる」、「ペット等に噛まれる」など様々な敷設環境・取り扱いが想定される。そこで表4に記載したIEC60794-1-2で規定されている光ケーブルの機械試験項目に加え、図8～図10のような屋内

表4 試作ケーブルに対する機械試験、温度サイクルによる伝送損失の変化

評価項目	試験条件	試験結果		
		G.657.B3 (PureAccess®-R5) PureFlex®-slim	G.657.A1 (PureAccess®) PureFlex®-slim	汎用 SMF コード
屈曲特性	R15mm × ± 180° × 5 サイクル	ロス変動なし	ロス変動なし	ロス変動なし
	R5mm × ± 180° × 5 サイクル	ロス変動なし	< 0.5dB	> 5.0dB
繰り返し曲げ特性	R12.5mm、荷重 19.6N × 1000 サイクル	ロス変動なし	ロス変動なし	< 0.5dB
巻き付け特性	R15mm × 6 ターン × 10 サイクル	ロス変動なし	ロス変動なし	< 0.5dB
	R5mm × 6 ターン × 10 サイクル	ロス変動なし	< 1.0dB	> 10dB
側圧特性	1200N/25mm 平板 (エッジ R5mm)	ロス変動なし	ロス変動なし	< 0.1dB
耐衝撃特性	2.94N、φ25mm × 1m	ロス変動なし	ロス変動なし	ロス変動なし
損失温度特性	-10 ~ +40 °C × 3 サイクル	< 0.05dB/km	< 0.05dB/km	< 0.1dB/km

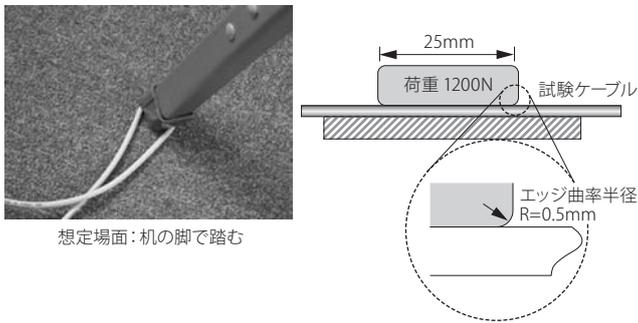


図8 特殊側圧試験の想定場面と試験模式図

表5 試作ケーブルに対する特殊機械試験による伝送損失の変化

評価項目	試験条件	試験結果		
		G.657.B3 (PureAccess®-R5) PureFlex®-slim	G.657.A1 (PureAccess®) PureFlex®-slim	汎用 SMF コード
特殊側圧特性	1200N/25mm 平板 (平板エッジ R0.5mm)	ロス変動なし	< 0.2dB	> 1.0dB
突起衝撃特性	1.96N、 φ25mm × 1m 突起先端 120° R0.5mm	ロス変動なし	ロス変動なし	断線発生
直角曲げ特性	R0.5mm、4.9N	ロス変動なし	< 0.1dB	> 5.0dB

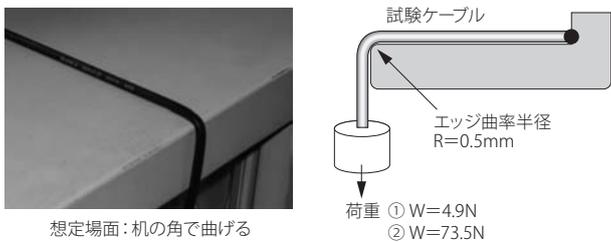


図9 直角曲げ試験の想定場面と試験模式図

で想定される厳しい曲げ環境を考慮した特殊機械試験についても評価を行った。表4に示した各種評価結果より PureAccess®-R5 を用いた PureFlex®-slim ではほとんど損失変動がないことが分かる。さらに表5の特殊機械試験の結果でも同様に PureAccess®-R5 の損失変動が最も小さいことが分かる。

4. 伝送特性評価

4-1 10Gbit/s 伝送試験、及び活線の取扱い性 次世代の FTTx の伝送規格として 10G-PON、10GE-PON といった高速なアクセスシステムの商用化が検討されている。このような高い伝送速度においても局内の使用中回線（活線）の分岐・保守時の伝送品質を保持する必要がある。また、宅内での敷設環境では、生活環境、電気機器等からの様々な振動が配線に与えられる懸念がある。そこで、図11に示すような振動試験器を作成し、100m の PureAccess®-R5 に対し、実用上想定される振動に十分耐えられることを確認するため、振り幅約 10cm、10Hz の振動を与えながら、波長 1310nm、1550nm において 10Gbit/s の伝送試験を

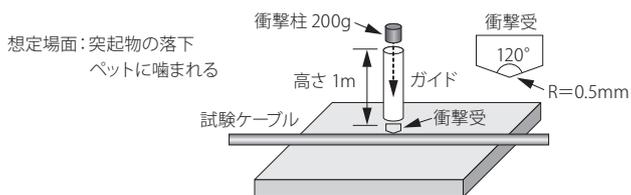


図10 突起衝撃試験の想定場面と試験模式図

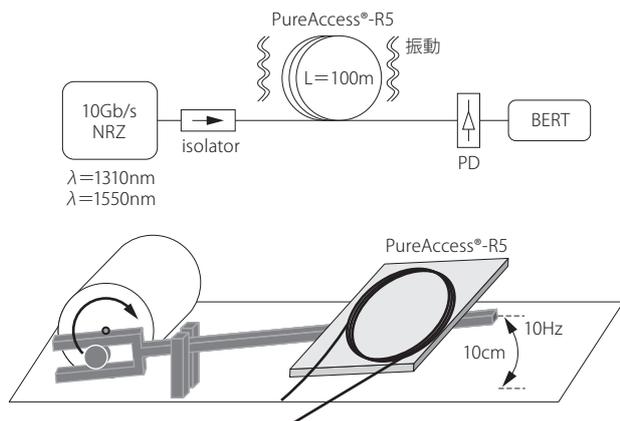


図 11 伝送試験系と振動試験器の模式図

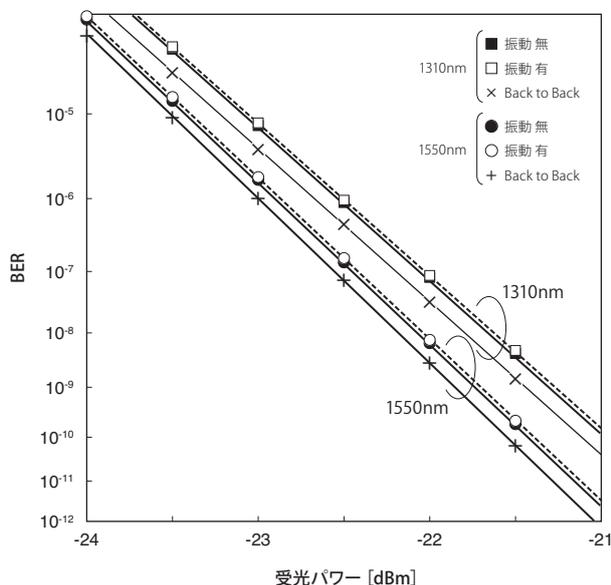


図 12 10Gbit/s 伝送試験の結果

行った。その結果、図 12 に示すように、振動の有無によらず伝送品質の劣化は発生しないことを確認した。

5. 結 言

開発した PureAccess®-R5 は ITU-T G.657.B3 に準拠する曲げ損失特性を有し、既設ファイバと低損失で接続できることを確認した。この光ファイバを高強度ケーブルに適用することにより、ユーザー宅内、集合住宅/ビルといった屋内の過酷な曲げが付与される可能性のある環境での敷設、取扱いにおいて安定した伝送品質が得られることを確認した。更に、PureAccess®-R5 は現在の G-PON、GE-

PON はもとより、次世代の高速アクセスシステムとして検討されている 10G-PON、10GE-PON 等へのアップグレードも可能であり、今後のアクセス用光ファイバの敷設に適した光ファイバであることを確認した。

用語集

※1 FTTx

伝送局から加入者まで光ファイバを配線して広帯域サービスを提供する通信方式。

※2 MFD

光ファイバを伝搬する光の電界分布の広がり（光の通り道）の大きさを表すパラメータ。径方向の光強度分布が最大値に対して $1/e^2$ になる直径で定義される。接続するファイバ同士の MFD の差が小さいほど接続損失を小さくできる。

※3 PON

ひとつの光ファイバを分岐し、複数の加入者宅にサービスを提供する通信方式。

伝送局から加入者宅へのびる光ファイバの途中にスターカプラ（光スプリッタ）と呼ばれる分岐装置を設置して分岐することで、複数の加入者へ通信サービスを提供できる。

※4 MPI

マルチパス干渉（Multi-Path Interference）。光ファイバ中を伝送する複数の伝播モード同士が干渉することにより経時的に受光パワーが変化する現象。シングルモードファイバのようなひとつの伝播モードしかない光ファイバでも、曲げなどの摂動で励振される高次モードと基底モードとが干渉し MPI が発生することで伝送品質が劣化する可能性があるため、実用上十分に低い値であることが求められる。

参 考 文 献

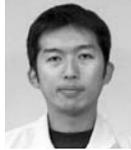
- (1) 寺沢他、「小径曲げ対応型アクセス用シングルモード光ファイバ」、SEI テクニカルレビュー、第 163 号、pp.1-4 (2003)
- (2) K.Suzuki et al., "Development of optical fiber cable and connector for home wiring in FTTH", Proceeding of the 56th IWCS, 133 (2007)
- (3) L.-A. montmorillon et al., "Next generation SMF with reduced bend sensitivity for FTTH networks", Mo.3.3.2, ECOC (2006)
- (4) M. J. Li et al., "Ultra-low bending loss single-mode fiber for FTTH", PDP10, OFC (2008)
- (5) D. Z.Chen et al., "Testing MPI Threshold in bend insensitive fiber using coherent peak-to-peak power method", NTuC5, OFC (2009)

執筆者

中西 哲也* : 光通信研究所 光材料機能応用研究部
光ファイバの研究開発に従事



佐藤 文昭* : 光通信事業部 技術部 主査
光ファイバ、光ファイバケーブルの設計・開発に従事



小西 達也 : 光通信研究所 光材料機能応用研究部

林 哲也 : 光通信研究所 光材料機能応用研究部

佐々木 隆 : 光通信研究所 光材料機能応用研究部 グループ長

佐藤龍一郎 : SEI オプティフロンティア(株) 機器事業部 応用技術部
主事

小川 信二 : 光機器事業部 機器製品部 主席

大久保文義 : 光通信事業部 海外技術部 主席

石川 弘樹 : 光通信事業部 技術部 主席

天野 亜夫 : 光通信事業部 企画部 主幹

* 主執筆者