

偏波保持 (PANDA) ファイバ



技術的お問い合わせ先

株式会社フジクラ

光ファイバ事業部

<http://www.fujikura.co.jp>

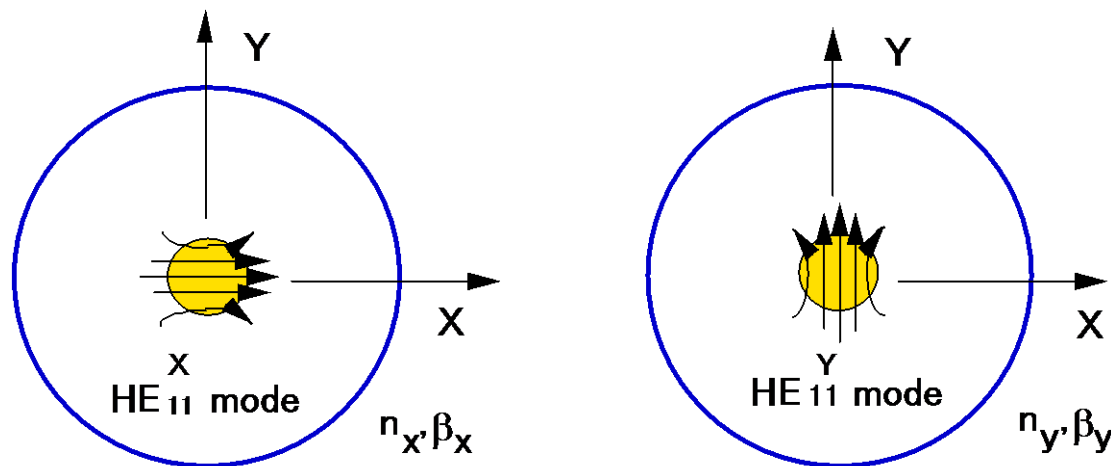
E-mail: optodevice@jp.fujikura.com

目次

■ PANDAファイバの基礎	p. 2
■ 製品紹介	
■ 概説	p.15
■ 通信波長域PANDAファイバ	
■ 標準タイプ	p.17
■ 曲げ半径15mm対応	p.20
■ 曲げ半径7.5 mm対応	p.23
■ 熱拡散コア適用	p.26
■ 可視波長域PANDAファイバ	
■ 標準タイプ	p.27
■ 純粋石英コアタイプ	p.30
■ RGB広帯域タイプ	p.32
■ $\phi 80 \mu\text{m}$ クラッドファイバ	p.34
■ 曲げ半径5 mm対応	p.39
■ 耐熱タイプ	p.41
■ まとめ	p.43

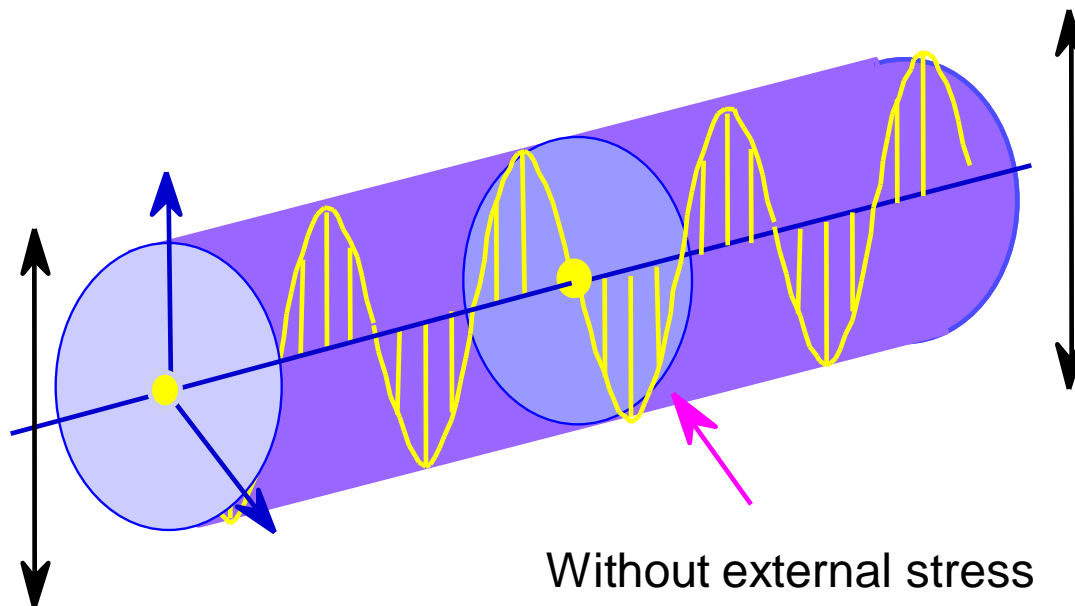
理想的なSMファイバの偏波モード

- SMファイバは直交する2つの偏波モードを持ち、理想的な伝播定数は $n_x=n_y$, $b_x=b_y$ で表されます。
- 円周方向の非対称性、例えばコア非円やファイバ外部からの側圧により複屈折率(屈折率差)の縮退がなくなり2モードの判別ができるようになります。



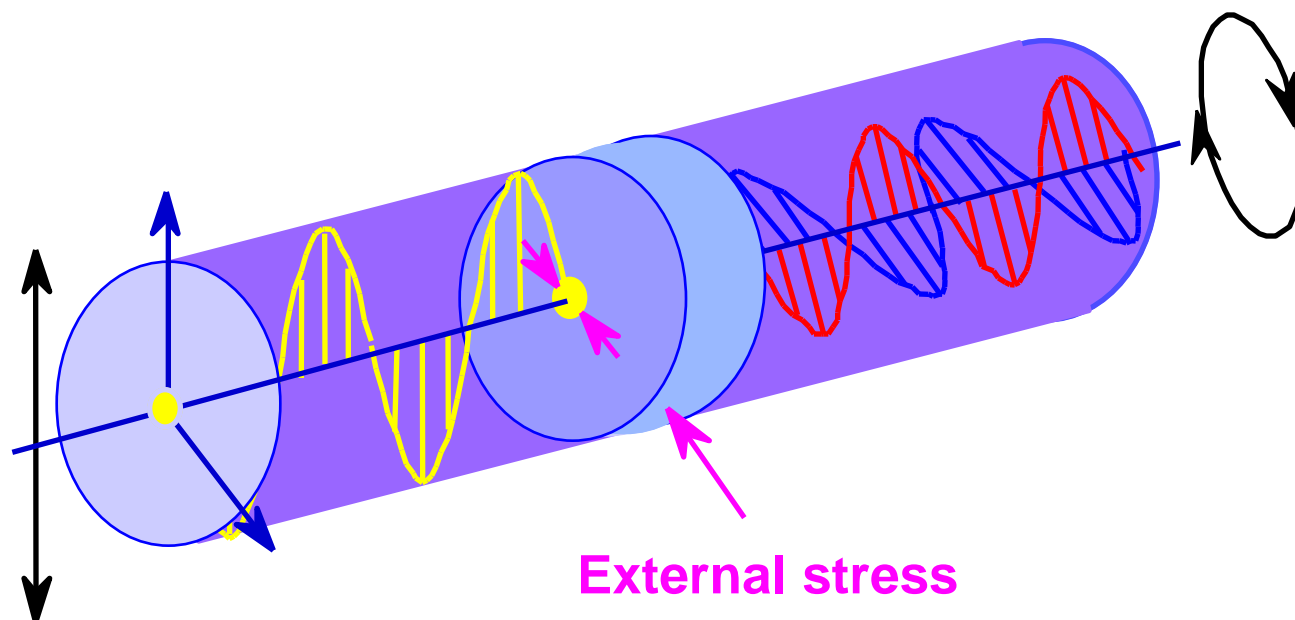
理想的なSMファイバの偏波伝送

- 理想的なSMファイバは入射光偏波の状態を保持します。
- しかし側圧が加わったりコアがわずかに非円していると...



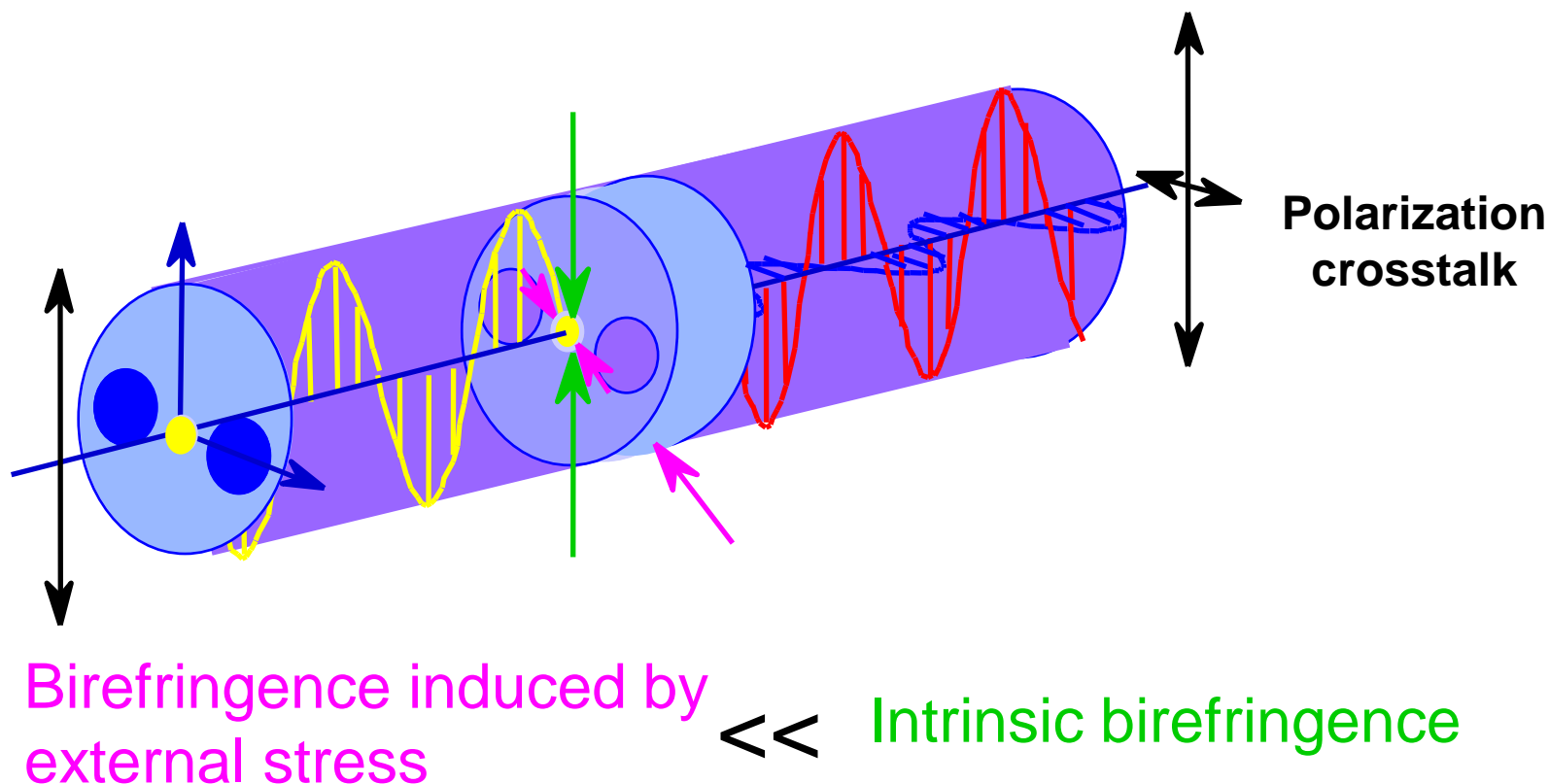
実際のSMファイバ偏波伝送

- 側圧による位相変化が偏波を変動させます。
- 出力端の偏光状態は不安定になります。



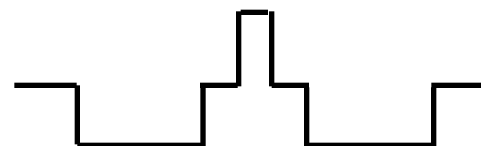
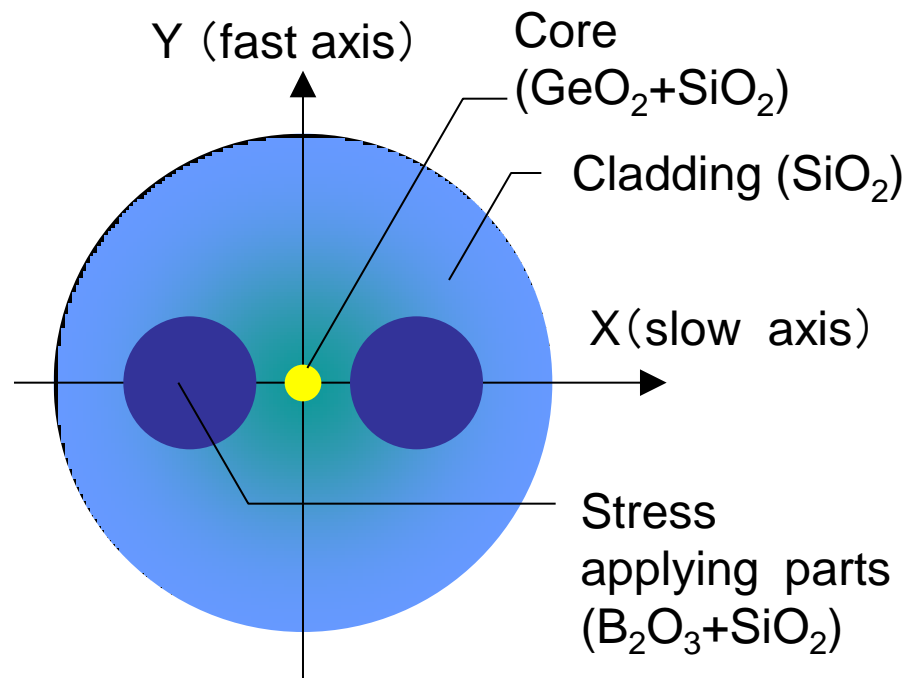
PANDAファイバの偏波保持方法

- 大きな複屈折率をファイバ内に与えることで外部応力による屈折率変化があっても偏波は保持できます。



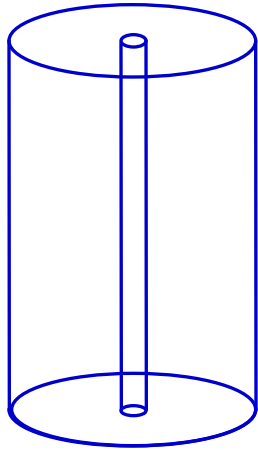
PANDAファイバの構造

- ボロンを添加した応力付与部はクラッドより熱膨張係数が高くなります。
- 光ファイバの紡糸の冷却工程でこの応力付与部はクラッドより大きく収縮します。
- コアには左右の応力付与部方向に引張応力がかかり、大きな複屈折率となります。

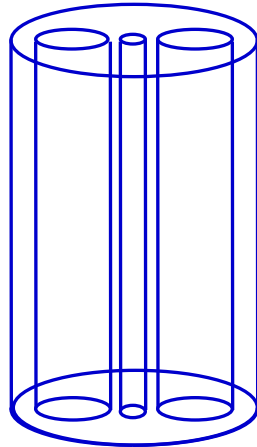


Refractive index profile
along x-axis

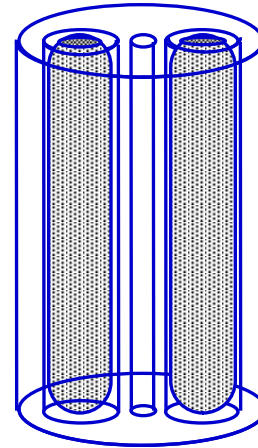
製造工程



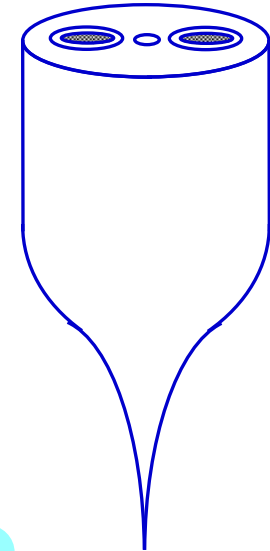
VAD 母材の
製作



孔開け、研磨
洗淨



組み立て



紡糸

応力付与母材の作製

プルーフ

納入

完成検査

出荷リールに
巻き込み

中間検査

検査項目

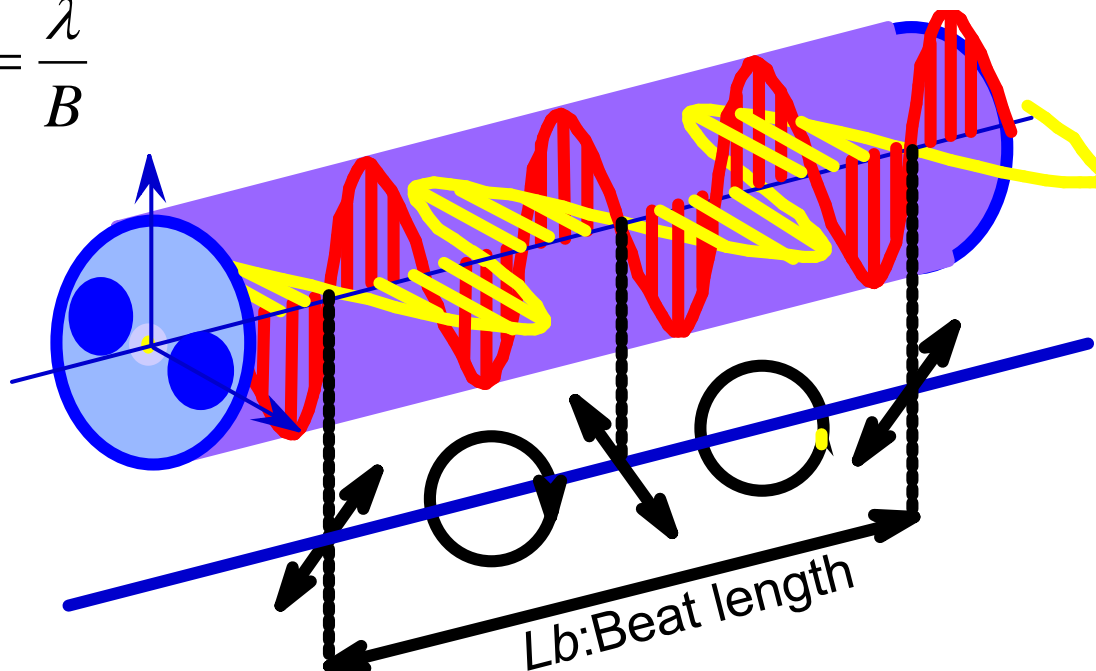
	測定	測定方法	参照規格
クラッド径	O / I / F	Gray scale	ITU-T G.650
偏心率	I / F	Gray scale	ITU-T G.650
被覆外径	O / I	Microscope	---
モードフィールド径	I	Far-field pattern / Variable aperture	ITU-T G.650
遮断波長	I	Bend reference	ITU-T G.650
伝送損失	I	OTDR / Spectral loss (cutback)	ITU-T G.650
ビート長	I	JME / Wavelength scan	ITU-T G.650
偏波クロストーク	F	パワー比法	JIS C6840

O: 工程内測定、I: 中間検査、F: 最終検査

ビート長(結合長)

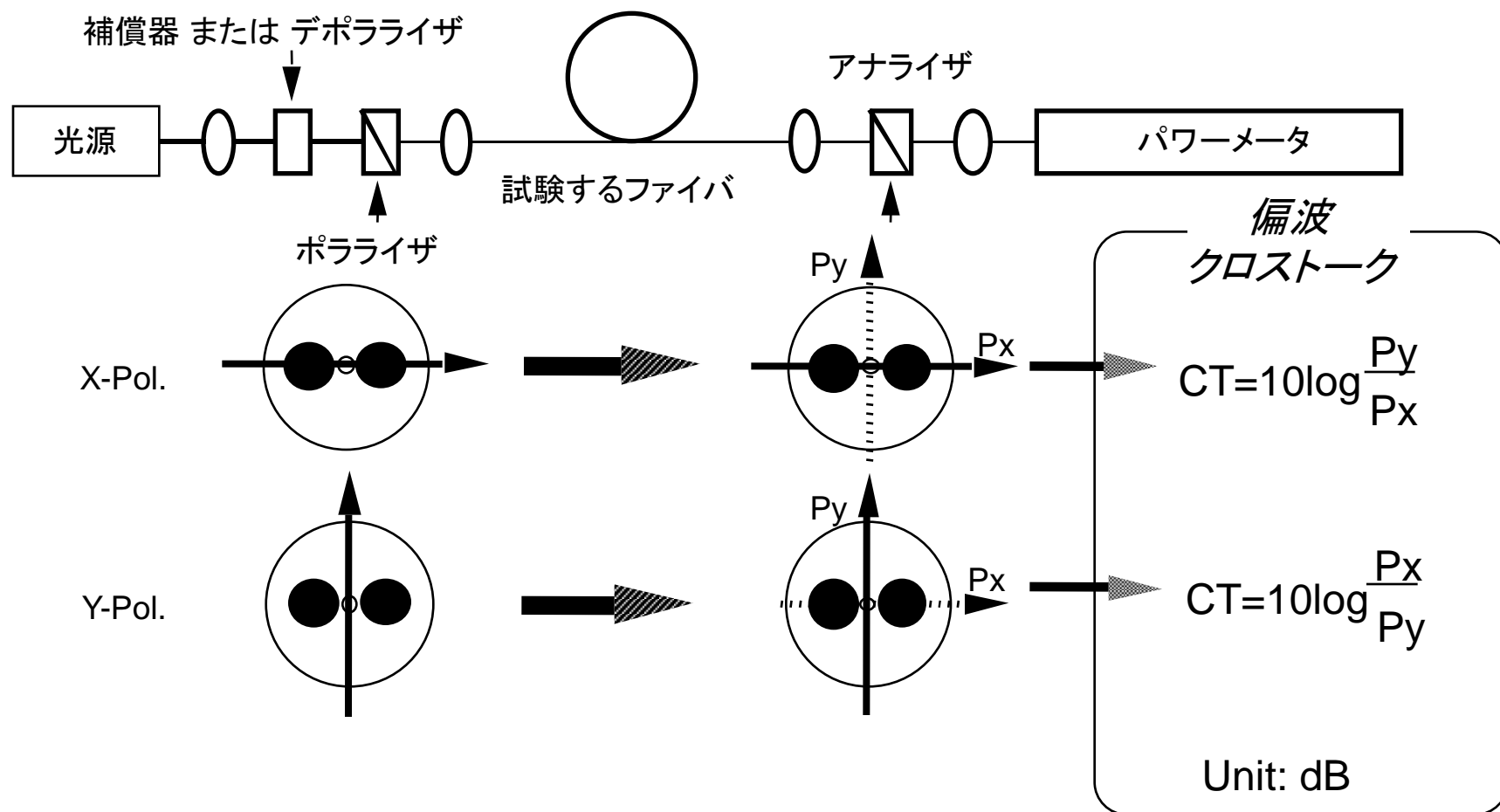
- ビート長 Lb はコアを伝播するX, Y偏波の位相差が 2π (1サイクル)となる長さです。PANDAファイバでは複屈折の確認としてビート長を測定します。
- ビート長(Lb)と複屈折(B),使用波長(λ)には次式の関係があります。

$$Lb = \frac{\lambda}{B}$$



偏波クロストーク測定方法

入力に直線偏光を入れて、出力の定在波比を測定します。



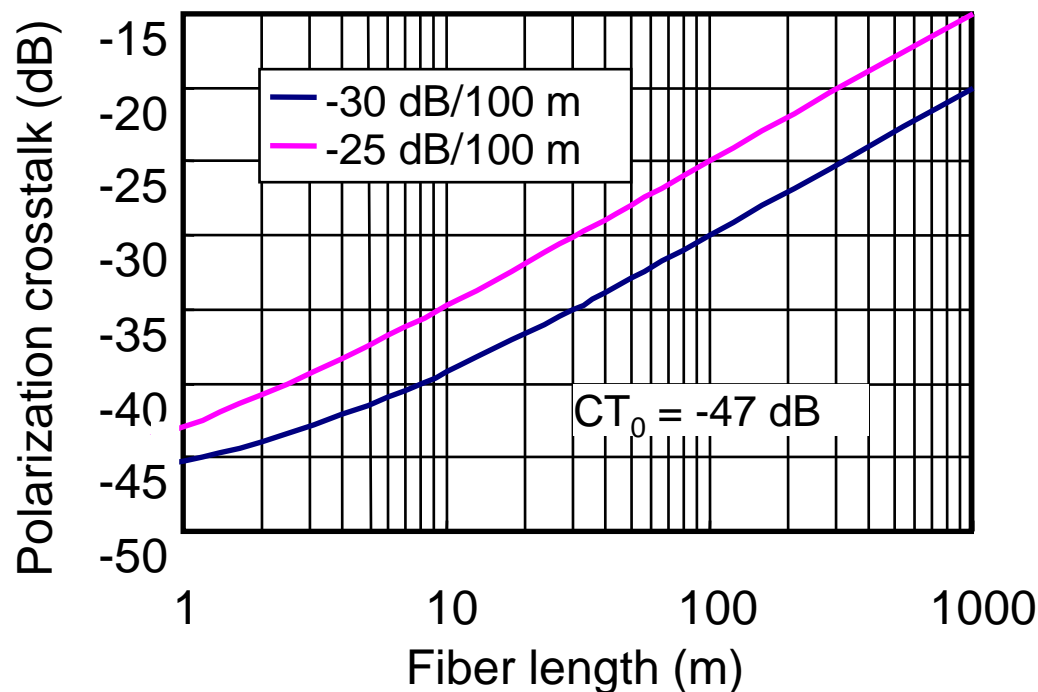
クロストークの距離依存性

- 偏波クロストークはファイバ長に比例して変化します。
- 結合定数はhパラメータで表すことができます。

$$h = \frac{\tan^{-1}(\eta)}{L} \approx \frac{\eta}{L}$$

$$\eta = \frac{P_y}{P_x} = 10^{CT/10}$$

L: Fiber Length



フジクラのPANDAファイバ信頼性評価

	試験項目	規格	条件	結果
1	外観	---	常温、湿熱、浸水、温水浸漬	合格
2	被覆除去力	IEC,GR-20	温度(45,23,0°C)、湿熱、浸水、温水浸漬	合格
3	伝送損失	---	エージング(-40,85°C)、 ヒートサイクル湿熱、温水浸漬	合格
4	偏波クロストーク	---	エージング(-40,85°C)、 ヒートサイクル湿熱、温水浸漬	合格
5	ファイバ強度	IEC,GR-20	常温、エージング(-40,85°C)、 ヒートサイクル、湿熱	合格
6	疲労係数	IEC,GR-20	常温、湿熱	合格
7	難燃性	UL1581 VW-1	垂直燃焼試験 (ハイトレル被覆PANDAのみ)	合格

満永氏の近似による光ファイバ強度保証法

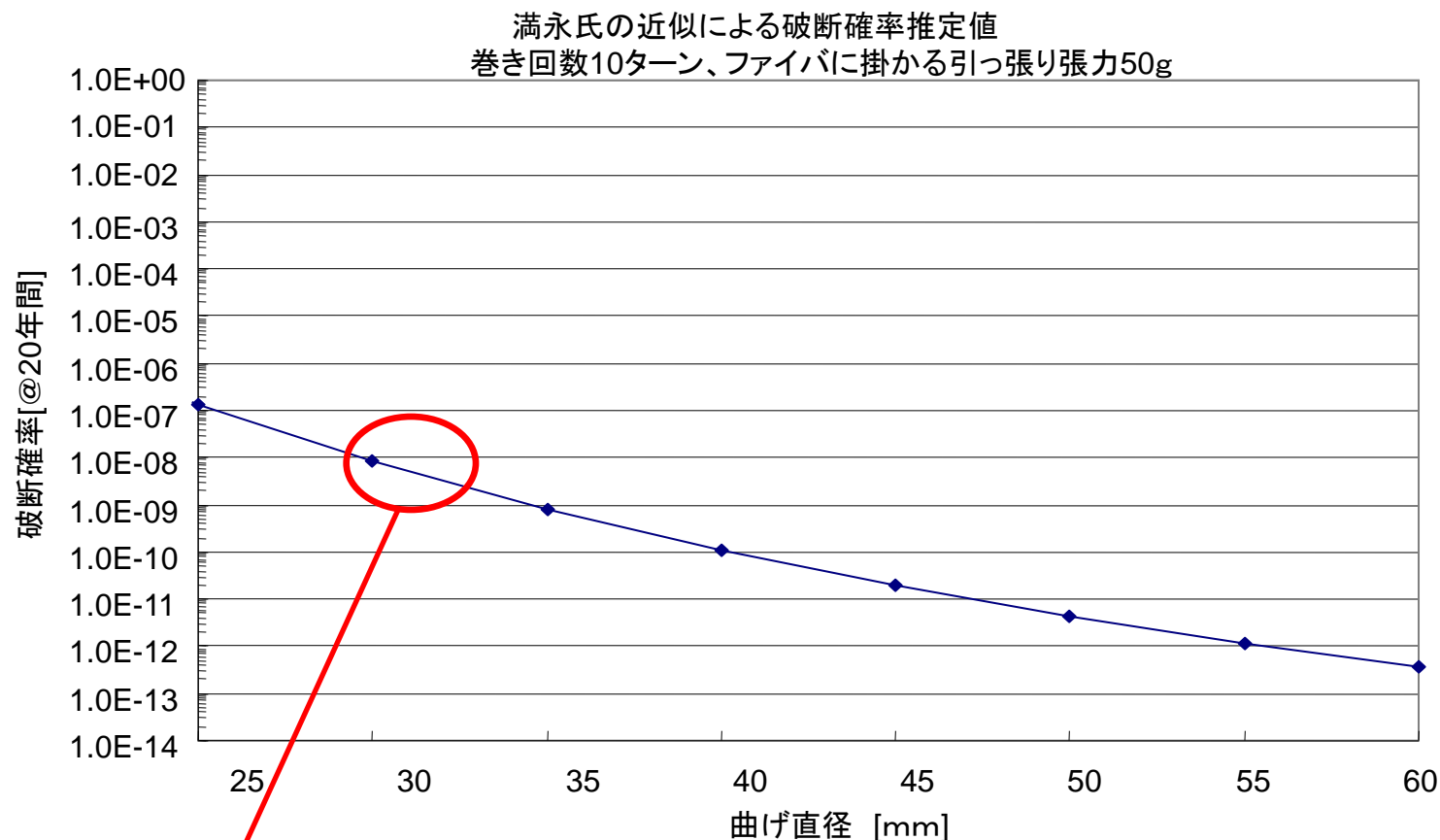
光ファイバの強度保証(破断確率推定)は満永氏の近似式が、広く用いられております。

- ・ガラス表面のグリフィスフロー(微小欠陥)が、ファイバにかかる応力により成長し破断に至るモデル。 → 応力なし=破断なし
- ・ファイバの破断は下記の条件で決まる
 - 低強度部の頻度 : 低強度部の初期分布
 - 傷の成長速度 : 温度・水分などの環境条件
 - 応力 : 引っ張り応力、捻り応力、定常曲げ応力、微小曲げによる応力
- ・満永氏の近似式では、ファイバにかかる応力は引っ張り応力と定常曲げのみ対象。ファイバの捻り応力、微小曲げは考慮外となります。

※電子通信学会論文誌 ‘83/7 Vol.J66-B No.7 P489 ~

“スクリーニング試験による光ファイバ強度保証法” 満永豊氏 他

2%プルーフ後のPANDA ファイバ破断確率



半径15mmの破断確率は 20年後で、約1.0E-08となります。

PANDAファイバの型番

(2)製品タイプ:

SM : Single Mode fiber
 SRSM : Small Radius Single Mode fiber
 (Bending radius 15 mm)
 BISM : Bend Insensitive Single Mode fiber
 (Bending radius 7.5 mm)
 DS : Dispersion Shift single mode fiber
 SC : Pure Silica core single mode fiber
 HA : High NA single mode fiber

(5) 被覆構造:

U : UV / UV 被覆
 Y : ポリイミド被覆
 H : UV / UV / ポリエステルエラストマー被覆

RC SM 15 - PS- U 17 D (-H)
 (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8)

(1)クラッド直径:

Blank : 125 μm
RC : 80 μm

(3)使用波長:

15 : 1550 nm
 14 : 1400-1500 nm
 13 : 1300 nm
 98 : 980 nm
 85 : 850 nm
 63 : 630 nm
 53 : 530 nm
 48 : 480 nm
 40 : 400 nm

(6)被覆直径:

17 : 165μm
 25 : 250μm
 40 : 400μm
 50 : 500μm
 90 : 900μm

(4)偏波保持能力:

PS : Standard,
 PX : Extra,
 PR : Reduced polarization

(8)プルーフレベル:

Blank : 1%
-H : 2%

(7) UV被覆樹脂タイプ:

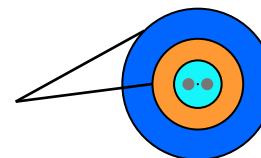
E : UV / UV resin type E
D : UV / UV resin type D
 C : UV / UV resin type C

ファイバ被覆構造

UV樹脂被覆素線(外径 ϕ 250 μm , ϕ 400 μm)

- 紫外線(UV)硬化型樹脂により被覆

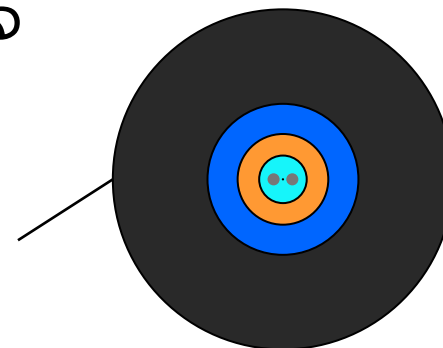
UV被覆(2層)
(紫外線(UV)硬化型樹脂)



難燃ハイトレル被覆心線(外径 ϕ 500 μm , ϕ 900 μm)

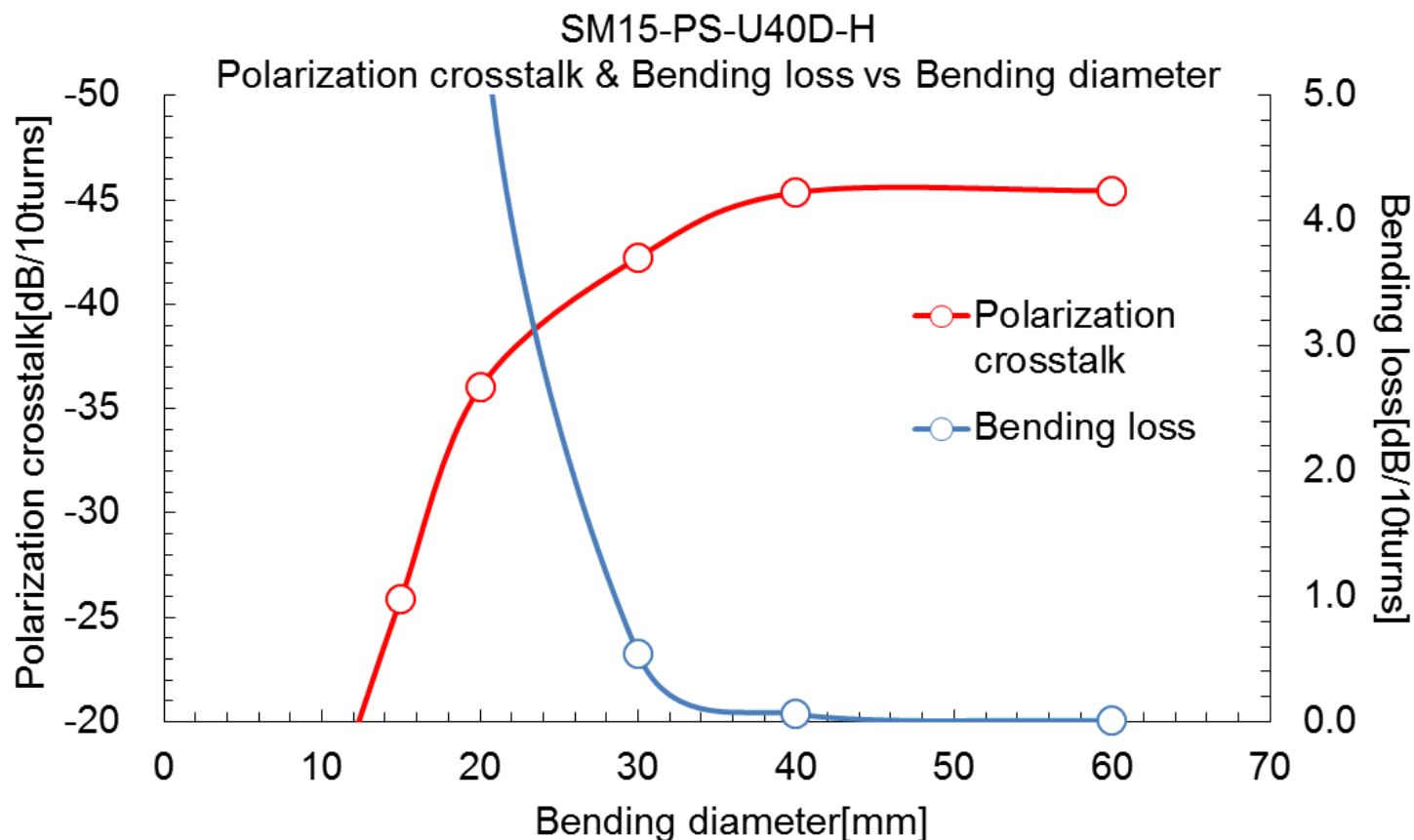
- UL94-V-0準拠の難燃ポリエステルエラストマーにより被覆
- UL1581-VW1相当の難燃特性を有する

難燃ハイトレル被覆
(難燃ポリエステルエラストマー)



標準タイプPANDAファイバの短尺曲げ特性

- 曲げ直径40 mm以上 (2%プルーフ試験品) のPANDAファイバでは著しい特性劣化は発生しません。
- 1%プルーフ試験品の場合は強度保証の観点から許容曲げ直径60 mm 以上となります。



標準タイプPANDAファイバ(素線)

	使用波長	MFD	伝送損失	ビート長	偏波クロストーク	遮断波長	被覆	被覆外径
	μm	μm	Max. dB/km	mm	Max. dB/100m	μm	-	μm
SM85-PS-U40D	0.85	5.5	3.0	1.0	-30	0.65	UV/UV	400±15
SM85-PS-U25D		±0.5		~ 2.0		~ 0.80		245±15
SM98-PS-U40D	0.98	6.6	2.5	1.5		0.87		400±15
SM98-PS-U25D		±0.5		~ 2.7		~ 0.95		245±15
SM13-PS-U40D	1.3	9.0	1.0	2.5		1.13		400±15
SM13-PS-U25D		±0.5		~ 4.0		~ 1.27		245±15
HA13-PS-U25D	1.3	5.5 ±1.0	2.0	2.5以下		1.00 ~1.29		245±15
SM14-PS-U40D	1.40 ~ 1.49	9.8	1.0	2.8		1.26		400±15
SM14-PS-U25D		±0.5		~ 4.7		~ 1.38		245±15
SM15-PS-U40D	1.55	10.5	0.5	3.0		1.30		400±15
SM15-PS-U25D		±0.5		~ 5.0	~ 1.44	245±15		

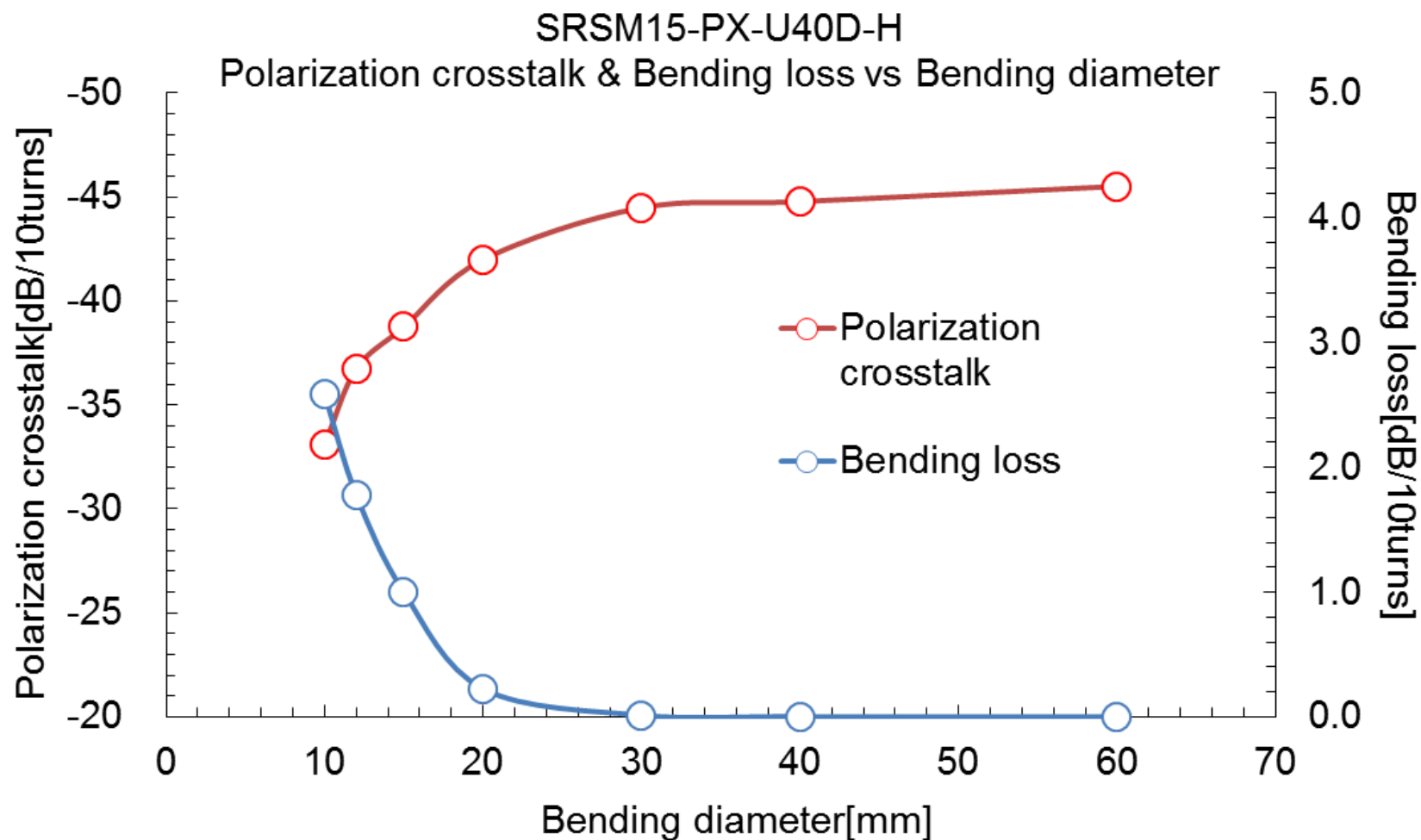
標準タイプPANDAファイバ(難燃心線)

	使用波長	MFD	伝送損失	ビート長	偏波クロストーク	遮断波長	被覆	被覆外径
	μm	μm	Max. dB/km	mm	Max. dB/100m	μm		μm
SM85-PS-H90D	0.85	5.5 ±0.5	3.0	1.0 ~ 2.0	-30	0.65 ~ 0.80	UV/UV/ポリエステルエラストマー(黒)	900 ± 100
SM98-PS-H90D	0.98	6.6 ±0.5	2.5	1.5 ~ 2.7		0.87 ~ 0.95		
SM13-PS-H90D	1.3	9.0 ±0.5	1.0	2.5 ~ 4.0		1.13 ~ 1.27	UV/UV/ポリエステルエラストマー(黒)	
SM14-PS-H90D	1.40 ~1.49	9.8 ±0.5	1.0	2.8 ~ 4.7		1.26 ~ 1.38		
SM15-PS-H90D	1.55	10.5 ±0.5	0.5	3.0 ~ 5.0		1.30 ~ 1.44		

曲げ半径15 mm PANDAファイバ

- フジクラは1550 nm帯通信用シングルモードファイバのFutureGuide[®]シリーズにおいて曲げ半径15 mmが可能なFutureGuide[®]-SR15をリリースし、標準通信用ファイバとして広く用いられています。
- PANDAファイバに関しても、同じコア-クラッド構造に応力付与部を挿入した使用波長1550 nmのSRSM15シリーズをリリースし、最小曲げ半径15 mmを実現するとともにFutureGuide[®]-SR15との融着接続を容易にしました。

SRSM15 PANDAファイバの曲げ特性



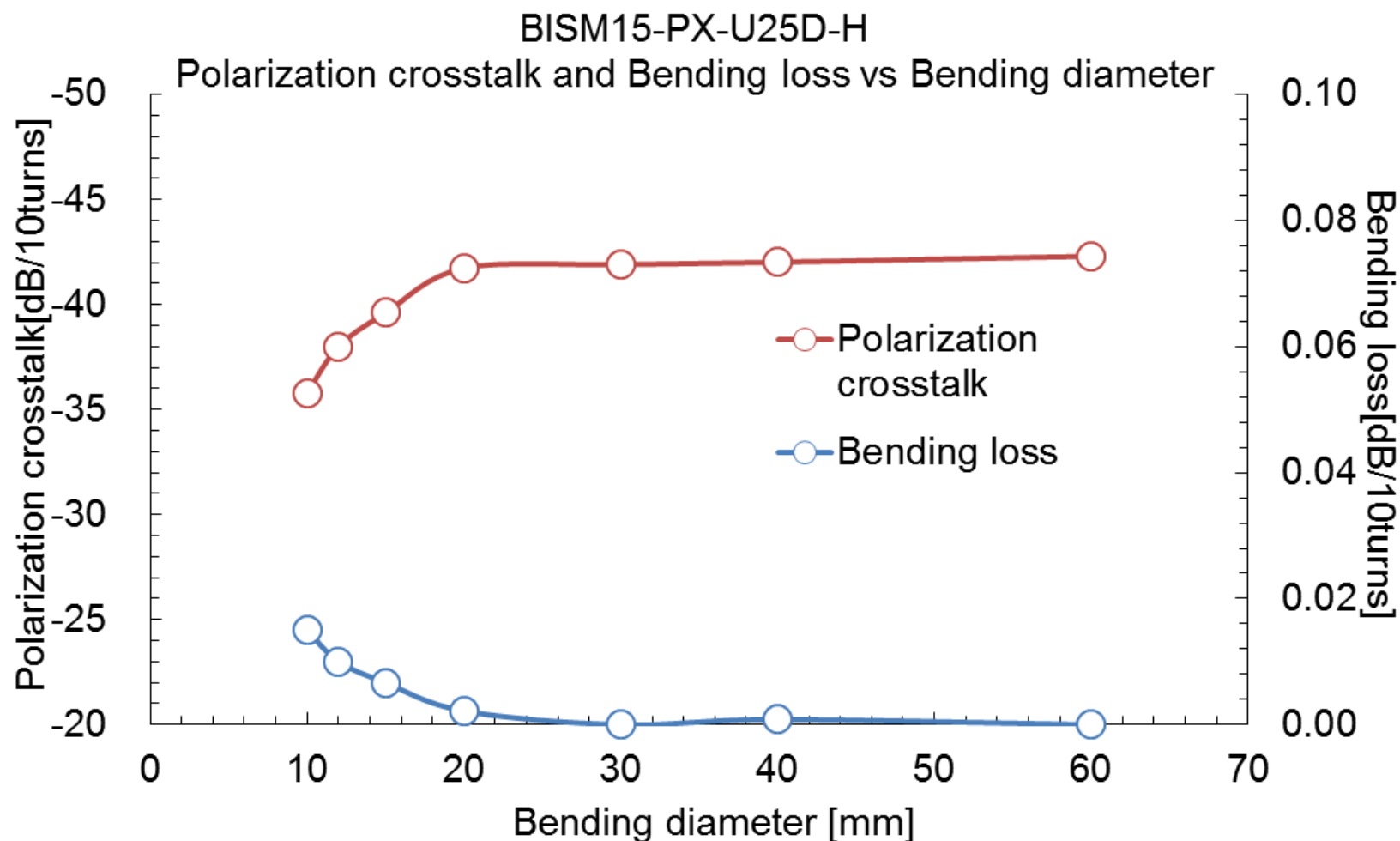
SRSM15 PANDAファイバの仕様

項目	単位	仕様
モードフィールド径 at 1550 nm	μm	9.5 +/- 0.4
伝送損失 at 1550 nm	dB/km	≤ 0.50
曲げ損失 ($\phi = 30 \text{ mm}$, 10ターン at 1550 nm)	dB	≤ 0.50
ファイバカットオフ波長	nm	≤ 1440
ビート長 at 1550 nm	mm	2.0 ~ 5.0
偏波クロストーク at 1550 nm	dB/100m	≤ -30
曲げ偏波クロストーク at 1550 nm	dB	≤ -30 @ $\phi 30 \text{ mm} \times 10$ ターン
被覆 SRSM15-PX-U25D-H SRSM15-PX-U40D-H SRSM15-PX-H50D-H SRSM15-PX-H90D-H	-	$\phi 245 \mu\text{m}$ UV樹脂被覆素線 $\phi 400 \mu\text{m}$ UV樹脂被覆素線 $\phi 500 \mu\text{m}$ 難燃ポリエステルエラストマー被覆心線 $\phi 900 \mu\text{m}$ 難燃ポリエステルエラストマー被覆心線
プルーフレベル	%	≥ 2

曲げ半径7.5 mm PANDAファイバ

- 許容曲げ半径15 mmより更なる小曲げでの使用を希望されるお客様の声にお応えした、最小許容曲げ半径7.5 mmのPANDAファイバです。

BISM15-PX-U25D-H曲げ特性



BISM15-PX-U25D, H50D-H仕様

品名 : BISM15-PX-U25D-H, BISM15-PX-H50D-H

項目	単位	仕様
モードフィールド径 at 1550 nm	μm	9.0 +/- 0.4
伝送損失 at 1550 nm	dB/km	≤3.0
曲げ損失 (φ = 15 mm, 10ターン at 1550 nm)	dB	≤0.2
ファイバカットオフ波長	nm	≤1440
ビート長 at 1550 nm	mm	3.0以下
偏波クロストーク at 1550 nm	dB/100m	≤-30
曲げ偏波クロストーク at 1550 nm	dB	≤-30 @ φ 15 mm × 10ターン
被覆 BISM15-PX-U25D-H BISM15-PX-H50D-H	-	φ 245 μm UV樹脂被覆素線 φ 500 μm難燃ホリエステルエラストマー被覆心線
プルーフレベル	%	≥ 2

熱拡散コア適用PANDAファイバ

- シリコンフォトニクスデバイスと標準PANDAファイバを低損失に結合するため、熱拡散コア (Thermally-diffused Expanded Core: TEC) 技術を適用したPANDAファイバです。

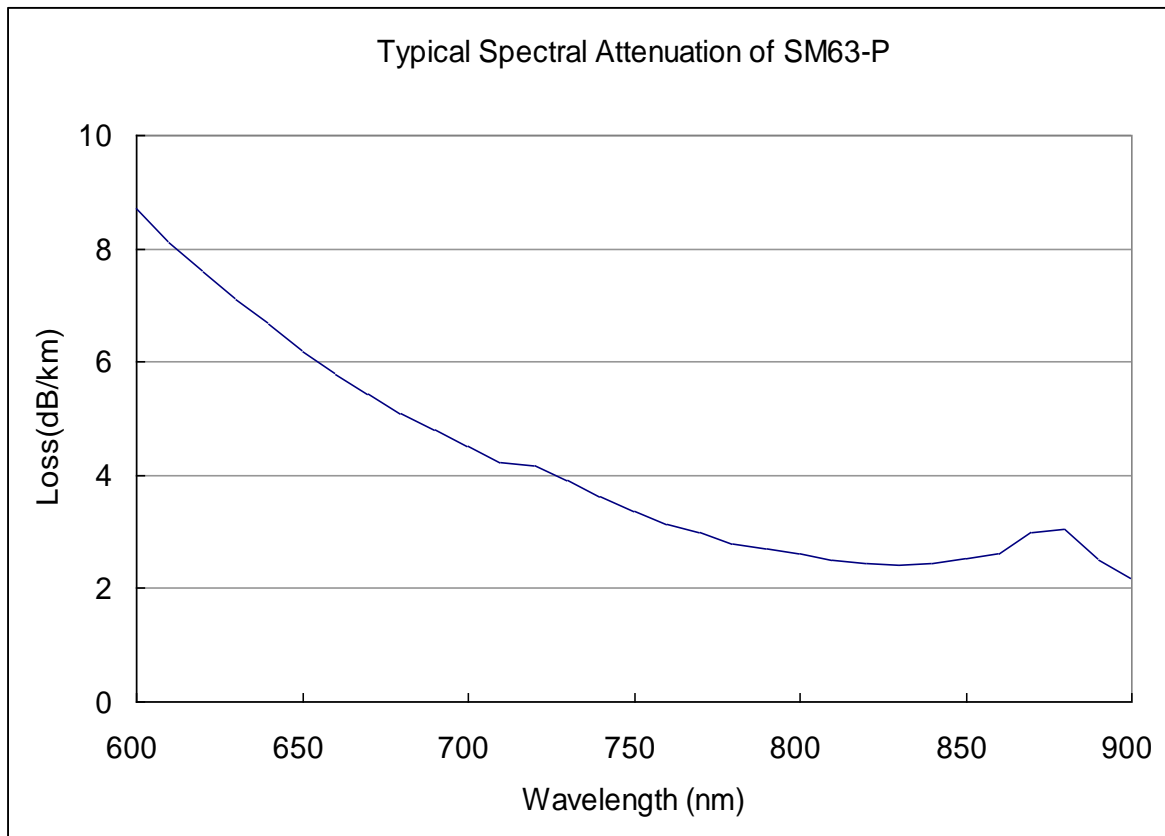
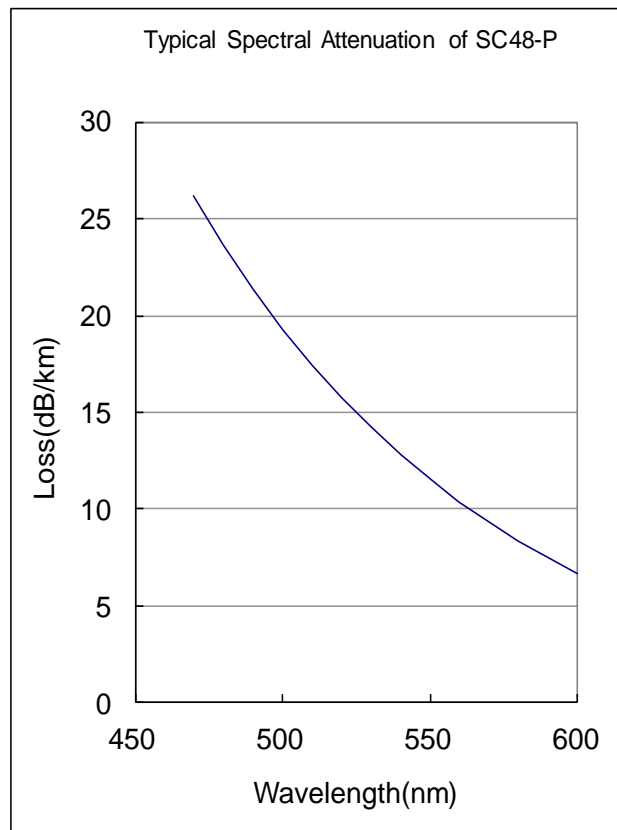
品名 : HA15-PS-U25D(TEC)

項目		単位	仕様
モードフィールド径	at 1550 nm	μm	4.0 +/- 0.3
伝送損失	at 1550 nm	dB/km	≤ 30
ファイバカットオフ波長		nm	≤ 1480
ビート長	at 1550 nm	mm	4.0以下
偏波クロストーク	at 1550 nm	dB/2m	≤ -35
被覆外径 (UV / UV)		μm	245

可視波長域PANDAファイバ

- 各種偏光光源からの偏波伝送用途に適しています。
- 可視光領域の伝送が可能です。
- 各種分光用光源の波長に対応したPANDAファイバをお選びいただけます。

0.48 μm , 0.63 μm PANDAファイバの損失特性

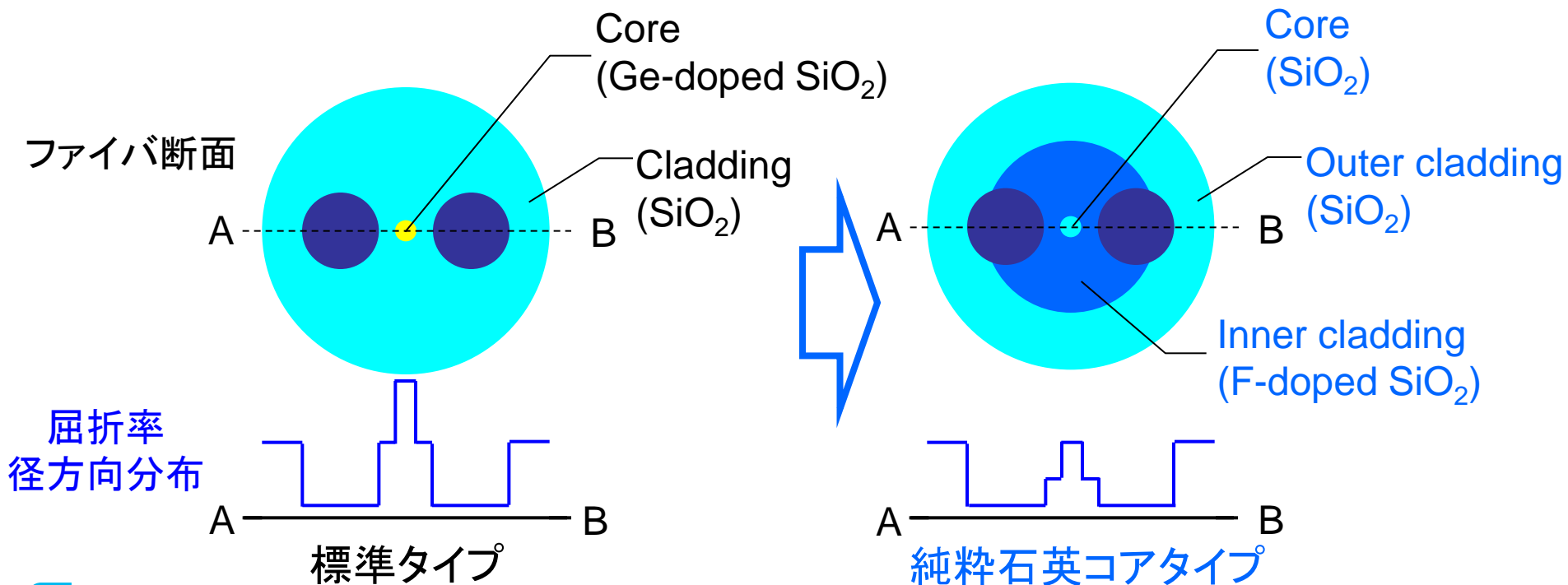


可視波長域用PANDAファイバ仕様

	使用波長	MFD	伝送損失	ビート長	偏波クロストーク	遮断波長	被覆	被覆外径
	μm	μm	Max. dB/km	Max. mm	Max. dB/100m	μm		μm
SM63-PS-H90D	0.63	4.5 ±0.5	12	2.0	-30	0.52 ~ 0.62	UV/UV/ポリエステル エラストマー(黒)	900±100
SM63-PS-U40D							UV/UV	400±15
SM63-PS-U25D							UV/UV	245±15
SM53-PS-H90D	0.53	4.2 ±0.5 (λ = 630 nm)	20 (λ = 530 nm)			0.45 ~ 0.53	UV/UV/ポリエステル エラストマー(黒)	900±100
SM53-PS-U40D							UV/UV	400±15

純粋石英コアタイプPANDAファイバ

- 標準的なGe添加石英コアファイバは、高エネルギーの可視光の伝送により、損傷やカラーセンタを生じる場合があります。
- 純粋石英コアタイプ PANDAファイバは欠陥や不純物が少ないため、高エネルギーの可視光の伝送に適しています。



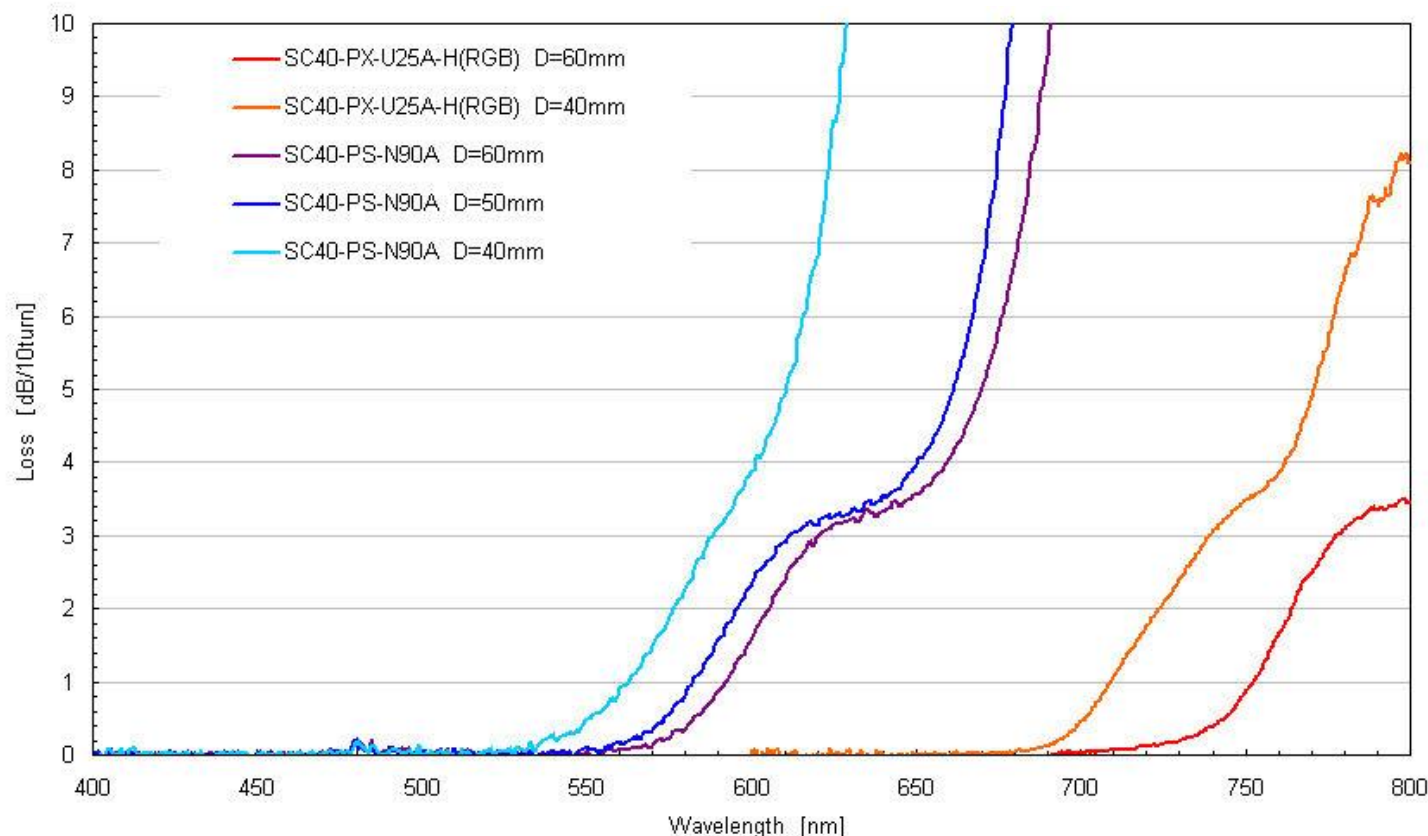
純粋石英コアタイプPANDAファイバ

	使用波長	MFD	伝送損失	ビート長	偏波クロストーク	遮断波長	被覆	被覆外径	
	μm	μm	Max. dB/km	Max. mm	Max. dB/100m	μm	-	μm	
SC48-PS-H90D	0.48	4.0 ±0.5	30	2.0	-30	0.40 ~ 0.47	UV/UV/ポリエステルエラストマー(黒)	900 ±100	
SC48-PS-U40D							UV/UV	400 ±15	
SC48-PS-U25D								245 ±15	
SC40-PS-H90D	0.41	3.5 ±0.5	50	1.7		-30	0.33 ~ 0.40	UV/UV/ポリエステルエラストマー(黒)	900 ±100
SC40-PS-U40D								UV/UV	400 ±15
SC40-PS-U25D									245 ±15

RGB PANDAファイバ SC40-PX-U25D-H(RGB)

- RGB帯(可視波長域)のうち、500 nmより長波長側における曲げ損失を低減しました。

SC40とRGB PANDAファイバの曲げ損失波長特性



RGB PANDAファイバの仕様

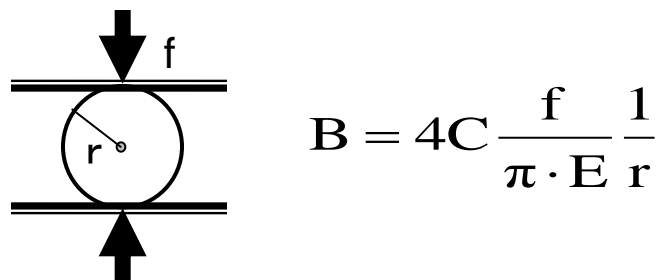
	使用波長	MFD	伝送損失	ビート長	曲げ偏波クロストーク	遮断波長	被覆	被覆外径
	μm	μm	Max. dB/km	mm	Max.	Max. μm	-	μm
SC40-PX-H90D-H (RGB)	0.405 ~ 0.64	3.8 ± 1.0 at 630 nm 2.3 ± 0.6 at 405 nm	50	Max. 2.0 @ 405 nm	-30dB /10ターン 曲げ直径 φ60 mm	0.40	UV/UV/ポリ エステルエラスト マー(黒)	900 ± 100
SC40-PX-U40D-H (RGB)							UV/UV	400 ± 15
SC40-PX-U25D-H (RGB)								245 ± 15

φ 80 μmクラッド細径PANDAファイバ

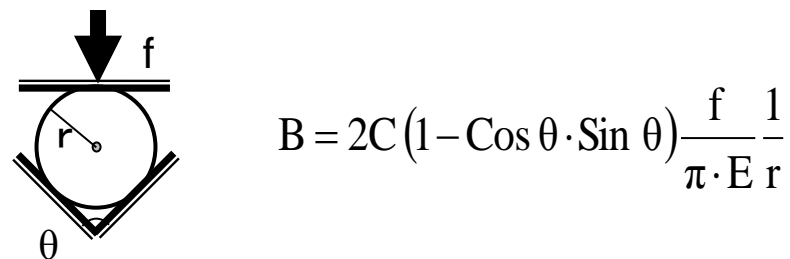
- クラッド厚が薄いため外部環境の変化に敏感に反応するファイバセンサとしての応用に優れています。
- 細径のため小曲げ時のガラス応力発生が抑えられ、標準タイプより小曲げ半径での使用にも耐えられます。
- 細径のため長尺を巻く用途でも省スペースです。

φ 80 μmクラッド PANDAファイバ 特徴(1)

1. 側圧により生じるモード複屈折が大きい

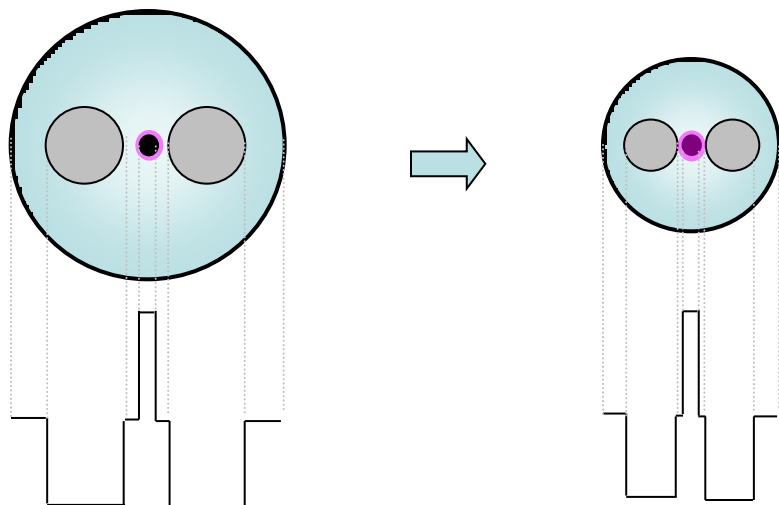


C:光弾性定数,E:ヤング率



応力付与部を再設計しました

2. ロスの増加、MFD非円



- ・B₂O₃、OH基の吸収の増加
- ・MFD非円増大

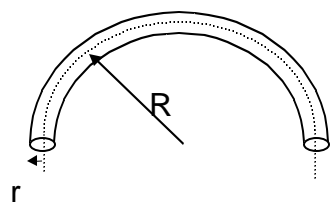


MFDを小さくしました

※使用波長1550 nmの型番の場合、
φ 10.5μm(125μmクラッドPANDA)
⇒ φ 9.5μm(80μmクラッドPANDA)

φ 80 μmクラッド PANDAファイバ 特徴(2)

3. 許容曲げ半径を小さくする



$$B = \frac{1}{2} C \frac{r^2}{R^2}$$

- ・曲げ特性が良いファイバ
曲げロス
曲げクロストーク劣化が小さい



光路の拡がりを小さくしました

4. 融着接続ロス

通信部品用ファイバ

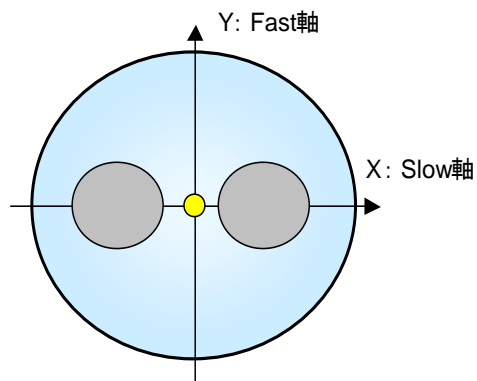
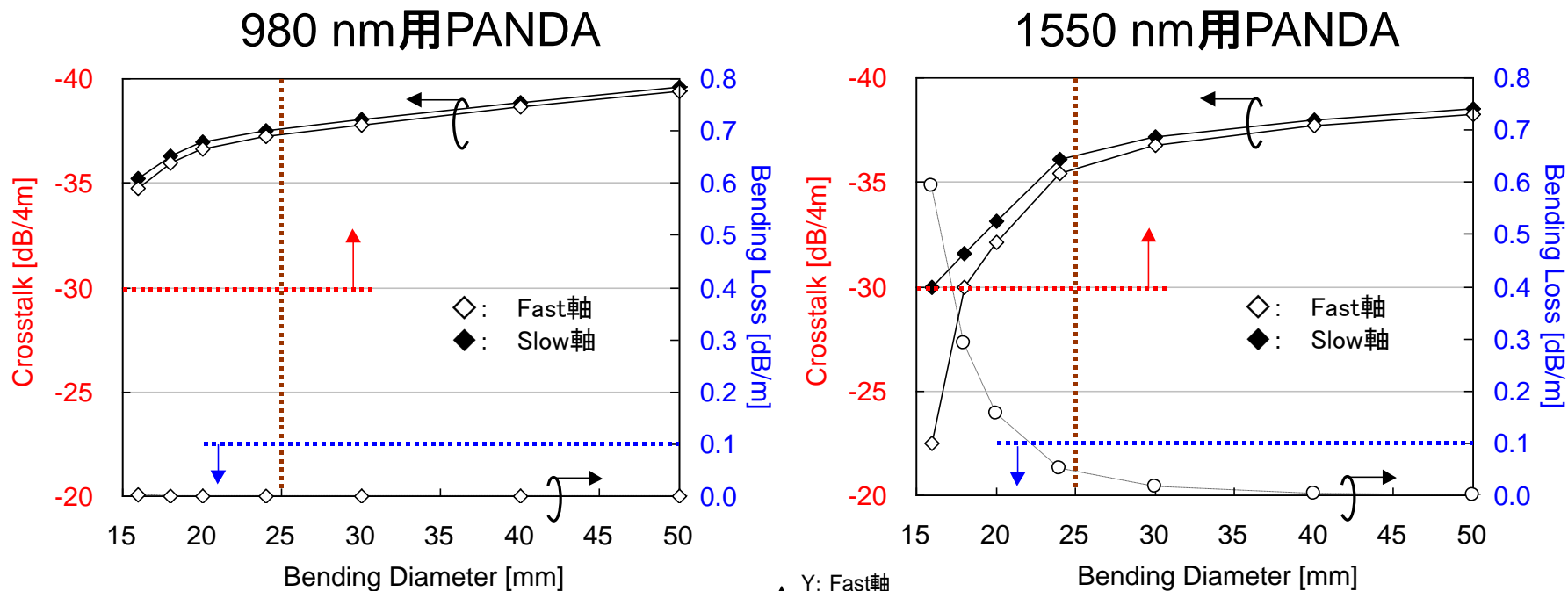
⇒ 他ファイバとの融着接続がある

目標: 融着ロス 0.1dB程度



他ファイバとのMFD差を小さくしました

$\phi 80 \mu\text{m}$ クラッドPANDAファイバ短尺曲げ特性



φ 80 μmクラッド PANDAファイバの仕様

	使用波長	MFD	伝送損失	ビート長	偏波クロストーク	遮断波長	被覆	被覆外径
	μm	μm	Max. dB/km	mm	Max. dB/100m	μm	-	μm
RCHA85-PS-U17C	0.85	3.5 ±0.5	3.5	2.0以下	-30	0.65 ~0.80	UV/UV	165±15
RCSM98-PS-U17C	0.98	6.0 ±0.5	2.5	1.4 ~ 2.6	-25	0.87 ~ 0.95		
RCSM13-PS-U17C	1.3	8.2 ±0.5	2.0	2.0 ~ 3.5		1.10 ~ 1.29		
RCSM14-PS-U17C	1.40 ~1.49	9.0 ±0.5	2.0	2.3 ~ 4.2		1.20 ~ 1.38		
RCSM15-PS-U17C	1.55	9.5 ±0.5	2.0	2.5 ~ 4.5		1.29 ~ 1.45		
RCHA15-PS-U17C	1.55	6.0 ±1.0	3.0	~ 3.7	-30	1.29 ~ 1.5		

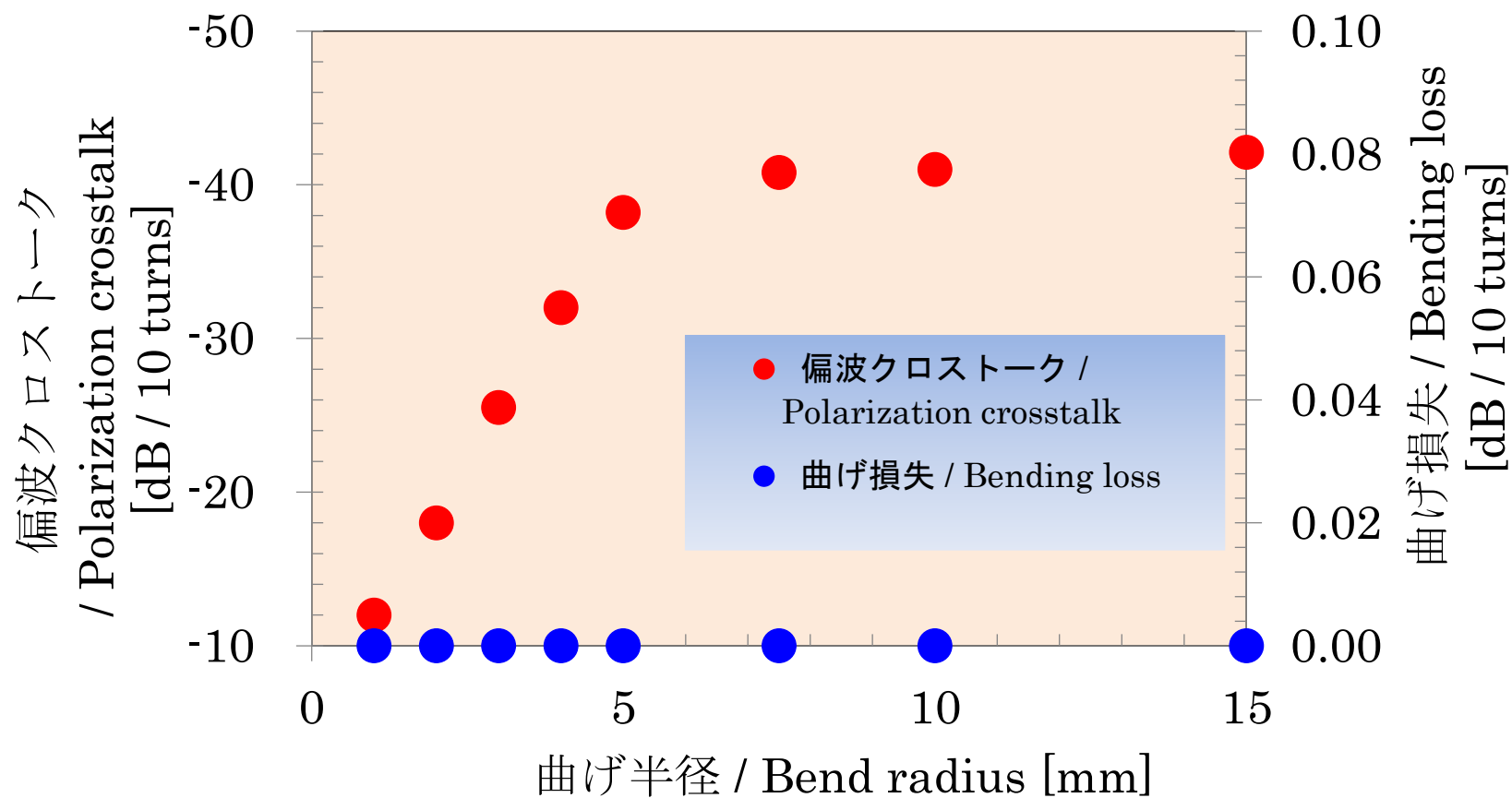
許容曲げ半径5 mm PANDAファイバ

小型機器内配線用として、半径R5mmの曲げにおいても使用可能な「細径着色PANDAファイバ」です。

品名：RC13-15-PX-U17EBL-M4

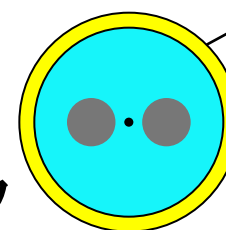
項目	単位	波長	仕様
モードフィールド径	μm	1550 nm	4.0 +/- 0.3
		1310 nm	3.4 +/- 0.4
伝送損失	dB/km	1550 nm	≤ 30
		1310 nm	≤ 30
ファイバカットオフ波長	nm	-	≤ 1280
ビート長	mm	1550 nm	2.5 ~ 4.5
偏波クロストーク	dB/100m	1550 nm	≤ -25
被覆外径 (UV / UV)	μm	-	165 +/- 15
被覆色	-	-	青

RC13-15-PX-U17EBL-M4曲げ特性

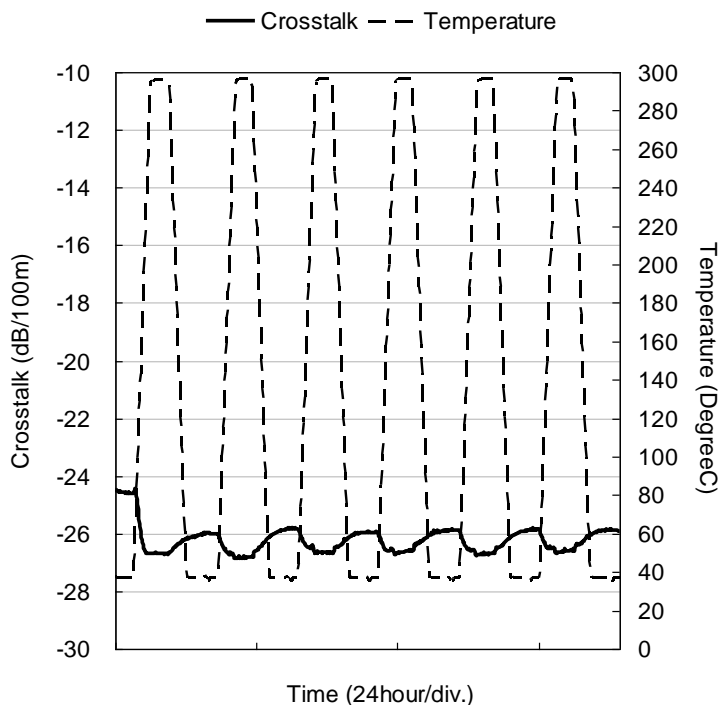


耐熱性 PANDAファイバ

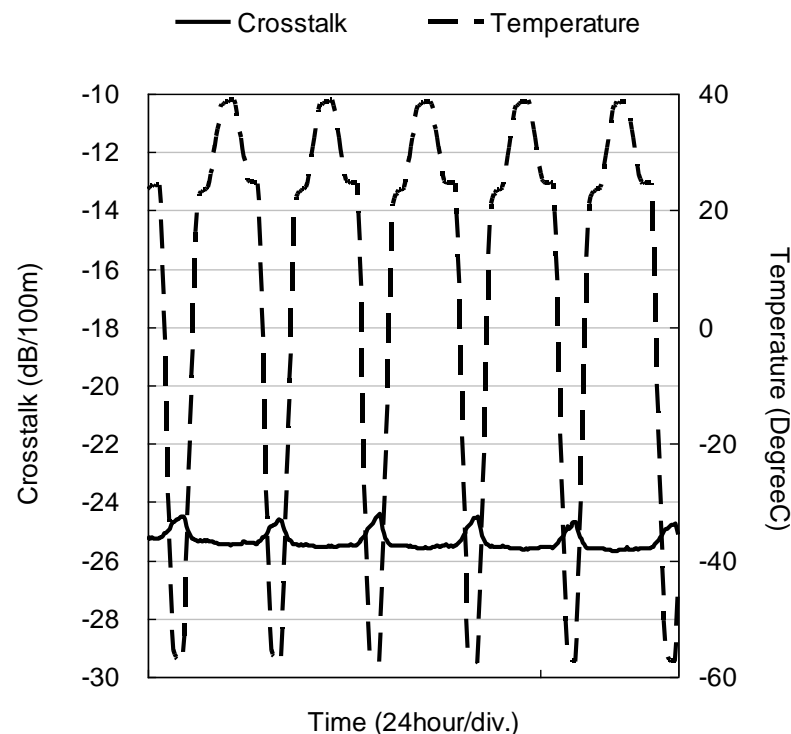
- 耐熱性の高いポリイミド樹脂を被覆に使用
- ファイバセンサに適した肉薄な被覆
- 60°Cから+300°Cで良好な偏波クロストーク



ポリイミド樹脂



SRSM15-PS-Y15偏波クロストーク温度変動
温度範囲(+40°C~+300°C)



SRSM15-PS-Y15偏波クロストーク温度変動
温度範囲(-60°C~+40°C)

耐熱性PANDAファイバの仕様

	使用波長	MFD	伝送損失	ビート長	偏波クロストーク	遮断波長	被覆	被覆外径
	μm	μm	Max. dB/km	mm	Max.	μm	-	μm
SM98-PS-Y15	0.98	6.6 ±0.5	2.5	1.5 ~ 2.7	-25 dB/5m	0.87 ~ 0.95	ポリイミド	145 ±10
SRSM15-PS-Y15	1.55	9.4 ±1.0	2.0	Max. 4.0		≦ 1.44		

まとめ

- ・ フジクラのPANDAファイバは以下の特長を有しています。
 - 優れた設計、製造技術を用いて低い伝送損失とクロストークを実現しています。
 - 工程管理と測定による確認で優れた寸法の均一性を実現しております。（融着接続、コネクタ取付け、光部品製作に最適です。）
 - 海底ケーブル伝送システムなど実システムでも高信頼性は実証されています。
 - 新製品の開発も並行して進めており以下をリリースしました。
 - ・熱拡散コア(TEC)適用PANDAファイバ
 - ・R5mm曲げ対応PANDAファイバ

フジクラはお客様のファイバソリューションを共に実現して参ります。