

ハードポリマクラッド石英光ファイバ (HPCF)

東レ株式会社愛知工場光ファイバ生産部 種市正四郎

Hard Polymer Cladding Silica Optical Fiber (HPCF)

Shoshiro Taneichi

*Optical Fiber Production Department,
Aichi Plant Toray Industries, Inc.*

1. はじめに

近年、光ファイバ通信は公衆通信以外の一般産業分野においても急速な発展をとげ、LAN (Local Area Network)、FA (Factory Automation)、OA (Office Automation) を初め、画像伝送やオーディオ機器等の分野にも利用が広がりつつある。

これら FA などの光伝送システムは伝送距離が概ね 1 km 以内と小規模であることから「光ショートリンク」と言われ、その経済的システム構築のため、光伝送路としての光ファイバは勿論のこと、光受発光素子や光コネクタなどの最適化が重要となる。このため光ファイバとしては透光性能に優れ、かつ大口径で高開口数を有し光源やファイバとの結合特性に優れたポリマクラッド石英光ファイバ (PCF) が有用されている。

更に、最近では従来の FA/OA 用途に止まらず、電力会社の総合配電自動化システム等の各分野に PCF の採用が拡大されるに伴い、各ユーザによる現地コネクタ加工等が増大し、いわゆる現場施工性が光伝送路である光ファイバにとっての重要な特性となっている。

つまり長距離幹線系に使用される全石英光ファイバと比較した場合、光ショートリンクシステムの構築に占めるコネクタ接続点数・コストは相対的に無視できないものとなる。従って PCF を使

用したシステムを設計する場合、コネクタ接続の簡便性、確実性、経済性が重要な特性となり、この特性を具備することが PCF に要求されている。

かかる観点より、近年、組み立てに接着剤を必要としない「圧着方式コネクタ」が考案・実用化され、光ファイバとしてはこの「圧着方式コネクタ」に適合し得るように、クラッド材として従来のシリコン系樹脂に変わり、高硬度の弗素樹脂を配したハードポリマクラッド石英光ファイバ (HPCF) が上市され、注目を浴びている。

以下この HPCF の特性について、特に高硬度弗素樹脂をクラッド材としたことに伴う長期信頼性の向上について米国 EBOC (Ensign-Bickford Optics Company) のハードポリマクラッド石英光ファイバ“HCS” (米国における商標、日本では当社が販売) を例に概説する。

2. ファイバ構造と一般特性

“HCS”ファイバの心線構造は Fig. 1 に示すとおり、極めて単純な構成となっている。つまり純粋石英よりなるコア径は用途により 1000 μm 程度の大口径も可能であるが、通信用途としては JIS 化される方向にある 200 μm が一般的である。

クラッド材としては、従来のシリコン系樹脂よ

り硬度の高い弗素樹脂を用い、これにより従来の接着材を用いることなく、圧着にて光接続することを可能にしている。径としては通信用途の場合230 μ と薄層にてコア占積率が增大している。更にこのクラッド材には後述するように、コア石英との密着性を増大させるための助剤が添加されていることが大きな特徴となっている。

また、被覆材には耐食性、耐熱性に優れた TEFZEL (ETFE) 樹脂が採用されている。

“HCS”ファイバの波長損失特性は Fig. 2 に示すとおり幅広い損失窓があり、各種発光光源において、およそ 100 m から 3 km までの伝送能力を持ち「光ショートリンク」用光伝送路として十分な透光性能を有している。

またその他の一般特性についても Table 1 に代表されるように従来の PCF に比べて優れた特性を有し、現場施工性の向上と共に益々「光ショートリンク」用光伝送路としての期待が高まっている。

3. “HCS”ファイバの長期信頼性

前章でも概説したとおり“HCS”ファイバはコアとの密着性を向上させるため特殊なクラッド材

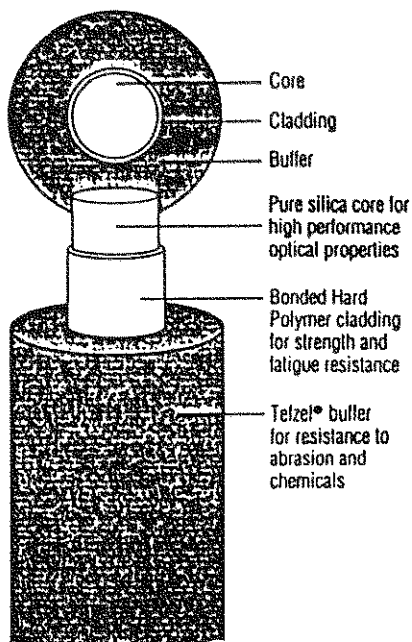


Fig. 1 Structure of “HCS” Fiber

を配している。このため“HCS”ファイバは機械強度に優れているばかりでなく、高温・高湿の悪環境下でも、静疲労による強度劣化はほとんど認められないと言う特徴を有している¹⁾。

この優れた特性は、クラッド材となるハード・ポリマによるコア石英ガラス表面へのパッシベーション効果と考えられている。

高温・高湿の悪環境下で、光ファイバの長期信頼性を得るために、種々の方法が開発されている一手段として、アモルファス炭素や TiC などの無機材料をハーメチック・コートした光ファイバがある²⁾。

マサチューセッツ大学では米軍の委託により、3種類のハーメチック・コート光ファイバおよび“HCS”ファイバの、各種条件下での引張強度の比較テストを実施し、ファイバの長期信頼性評価を行なっている。乾燥不活性ガス中での初期強度や、85℃温水中へ浸漬エージングした時に、浸漬時間の長さにより強度が低下する度合いなどから、応力・水分・温度の複合条件下での寿命を予測をしている³⁾。

同報告によれば、“HCS”ファイバの初期強度は、格段に優れている。光ファイバ強度と均質性を示すワイブル・プロット (引張り応力対ファイバ破断確率) では、“HCS”ファイバは、他の光ファイバに比べ、高強度でかつ均質 (m 値が大: ワイブル・プロットの勾配が立っておりサンプル間でのバラツキが小さい) であることが、Fig. 3 より分かる。

同報告はまた、長期信頼性を評価するために、

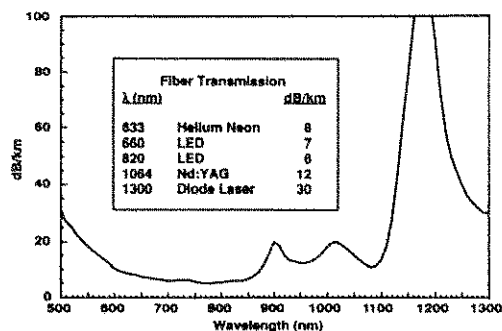


Fig. 2 Spectral Attenuation of “HCS” Fiber (HCU-FB200-L)

Table 1 Characteristics of "HCS" Fiber (HCU-FB200-L)

CHARACTER		UNIT	RESULTS	REMARK
STRUC-TURE	CORE DIA	μm	200 ± 5	
	non-CIRCULARITY	%	≤ 6	
	CLADDING DIA	μm	$230 + 0 / -10$	
	CONCENTRICITY	μm	≤ 7	
	BUFFER DIA	μm	500 ± 50	
OPTICAL	N A (calcd)		0.37	
	N A (2m)		0.40	FFP5% INTENSITY
	N A (1km)		0.32	FFP5% INTENSITY
	ATTENUATION LOSS	dB/km	≤ 6	$\lambda = 850\text{nm}$ L = 1km
	ATTENUATION LOSS	dB/km	≤ 8	$\lambda = 850\text{nmLED}$ L = 1km
	ATTENUATION LOSS	dB/km	≤ 15	$\lambda = 660\text{nmLED}$ L = 1km
	BAND WIDTH (-3dB)	MHz·km	16	$\lambda = 820\text{nmLD}$ L = 1km
	HEAT DURABILITY (125°C)	dB/km	≤ 1.5	t = 1000hr L = 1km
	HEAT DURABILITY (-40°C)	dB/km	≤ 2.0	t = 8hr L = 1km
	TEMP/HUMIDITY DURABILITY	dB/km	≤ 1.5	t = 1000hr L = 1km 60°C*90%
	BENDING (10mm ϕ)	dB	≤ 0.2	L = 3m
	COMPRESSION (105kg/50mm)	dB	≤ 0.4	L = 3m
	TWISTING ($\pm 90^\circ$)	dB	≤ 0.1	L = 2m cycle ; 500000
	IMPACT (0.5kg 20mm height)	dB	≤ 0.1	L = 2m
	MECHA-NICAL	STRENGTH	kg/mm ²	550
MINIMUM BENDING		mm ϕ	≤ 3	

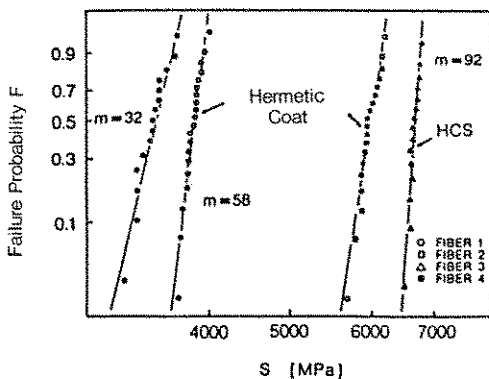


Fig. 3 Weibull Strength of "HCS" Fiber under Inert Gas

サンプルをテスト条件環境下で、長時間エージングすることの必要性を、指摘・実験しており、具体的には温水中での長時間エージングにより、ワイブル・プロットの強度レベル、勾配が顕著に変わった結果を示している。この中で Fig. 4(a) のように“HCS”ファイバでは強度レベルがやや低下するものの、一時的であり勾配も変化しない。

一方、あるハーメチック・コート光ファイバは、Fig. 4(b)のように、時間経過と共に、強度レベル、勾配が変化しており、水分による腐食が進んで行き、強度が低下する様子がよく現れている。

結論として、“HCS”ファイバはポリマ・コートであるにもかかわらず、Table 2 に示すように、熱水中においても、ハーメチック・コート光ファイ

バと同等以上の許容応力と寿命が期待できる、としている。

一般に光ファイバは、擦過傷とマイクロペン
ド・ロス防止のため、ポリマ・コートを行って

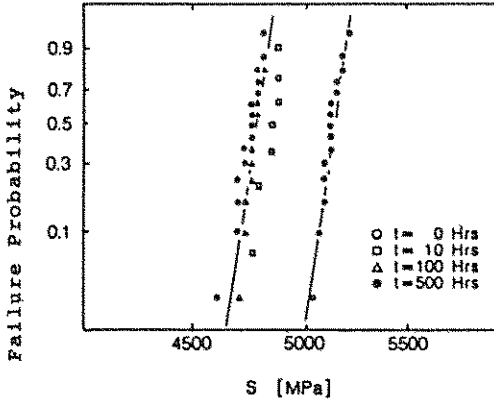


Fig. 4(a) Weibull Strength of "HCS" Fiber treated under 85°C Water

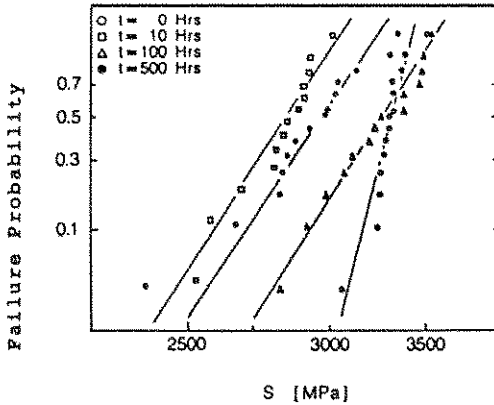


Fig. 4(b) Weibull Strength of Hermetic Coated Fiber treated under 85°C Water

Table 2 Reliable Stress of Fibers

Type \ Temp	25°C	60°C	85°C
Harmetic 1	2350	2190	2100
Harmetic 2	1880	1620	280
"HCS"	2720	2430	2150
Harmetic 3	1670	1590	1240

*Reliable Stress; First impressed stress which is decreased to 1/1000 after 1000hrs. (MPa)

る。ポリマには耐透湿性があるため、短時間の破断強度テストで得た疲労係数 (N_{dynamic} 値) で長期信頼性を判断すると、ミスリードすることになる¹⁾。

エージング・テストで得た N 値が、エージング前の初期 N 値の 1/10 に低下した例があり、 N 値の変化時間は 20~30 時間であったことが報告されている¹⁾。

すなわち、ポリマ・コートを通し、水分がガラス表面に到達し、水によるガラス腐食作用が始まり、微細傷が成長して強度が低下したことを意味している。

このため、EBOC では、引張り強度テストと併せ、温水中におけるエージング破断テストを行なっている。光ファイバに種々のレベルの応力を加え、ファイバ破断に至る時間を測定し、印加応力と破断時間の勾配より、 N 値を求める方法であり、静疲労テストそのものである。23°C および 100°C 水中における "HCS" ファイバの、静疲労テスト結果を Fig. 5 に示す¹⁾。

熱水中においても N 値は変わっておらず、水分によるガラス腐食と微細傷の成長は生じていないものと見られ、"HCS" ファイバの長期信頼性を実証している。

このように "HCS" ファイバは、ハーメチック・コートに代る高信頼性光ファイバであると同時に

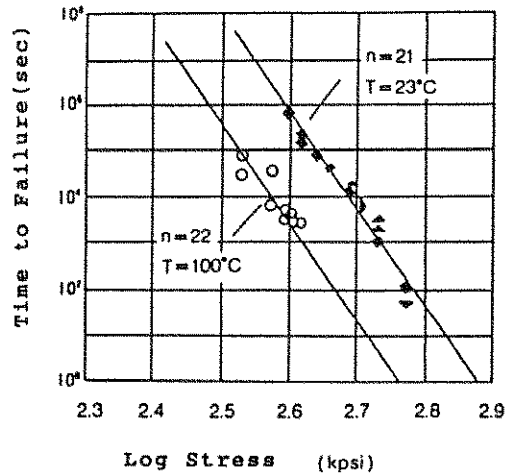


Fig. 5 Static Fatigue to Failure of "HCS" Fiber under Water

に、コート材が有機物であるため、ヤング率が石英より小さく、柔軟であり、曲げ特性が良い。無機材料のコーティングに比べ、製造プロセスはシンプルで生産性も高いため、価格の点でも、有利である²⁾。この優れた特性を生かし、米国では“HCS”ファイバが航空宇宙の分野や劣悪な環境下で使用されている。

4. ガラス表面の不活性化

“HCS”ファイバは加熱・延伸されたばかりの、清浄な石英ガラス表面に、クラッド材をインライン・コーティングして、製造される。このクラッド材は水分吸収率が低く、水蒸気透過率が小さい。かつ、ガラス表面を不活性化し、水分による腐食を防止している。

水分存在下におけるガラス表面の応力腐食は、Fig. 6のように考えられている³⁾。

光ファイバに応力がかかった場合、ガラス表面に存在する微細な傷の先端には、応力が集中し、その部分の分子エネルギーレベルはより高くなり、活性化して他の分子と結合しやすくなる。

ここに水分が存在すると、OH基が活性化したシリカ分子と結合し-Si-OHを形成する。Fig. 6(b)のモデル図に示すように、シリカ分子鎖(-Si-O-Si-)は切断され、分子レベルで傷が成長する。すなわち、応力が集中した部分では、この腐食作用が次々と進み、静疲労破断に至る。

“HCS”ファイバの場合、クラッド材ポリマは石英コアに粘着しているのではなく、分子的に結合している。ポリマ成分は、微細傷のような分子エ

Fig. 6(a) Passivation Effect of “HCS” Fiber

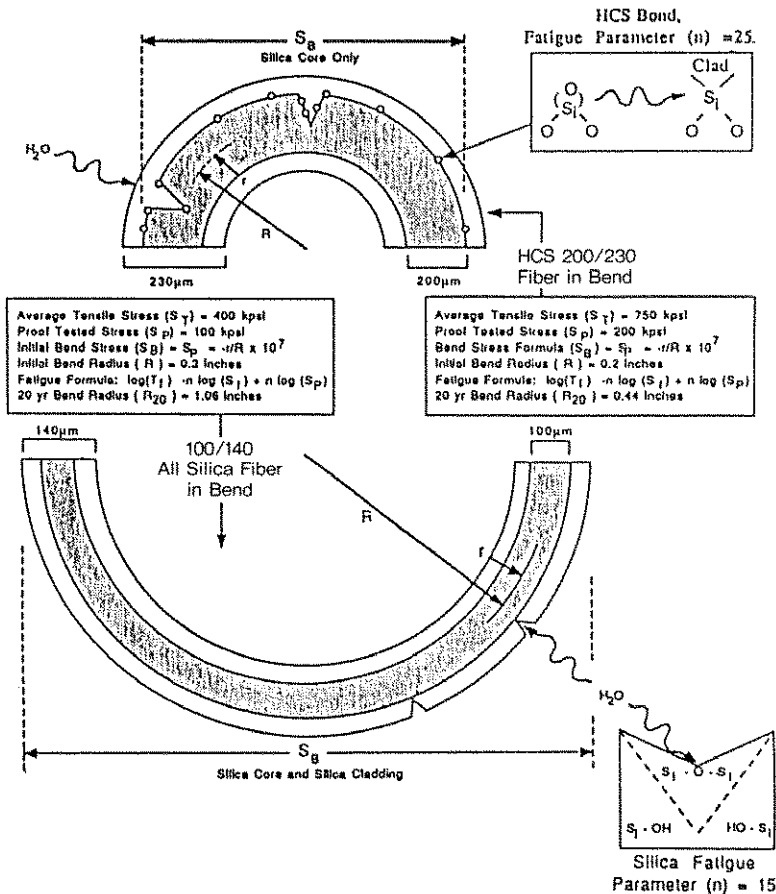


Fig. 6(b) Static Fatigue of All Silica Fiber

エネルギーの高い部分に、優先的に作用し結合する (Fig. 6(a)). したがって、本来なら水分子と最も結合しやすい高エネルギー部分が、ポリマでブロックされ、ラジカルでなくなる。すなわち、表層が不活性化されたことになり、水分子と遭遇しても分子結合を生じない。

これが、“HCS”ファイバの石英コア表面の不活性化 (パッシベーション) であり、高レベルの初期強度と優れた静疲労特性をもたらしている主要因と考えられる。

5. 結び

“HCS”ファイバは高い強度レベルと、優れた静疲労特性を示す。熱水中でも静疲労係数は低下しない。特別なコア材を用いている訳ではなく、製造プロセスで生じる微細傷も、既存のガラス系光ファイバと同レベルと考えられる。にもかかわらず、“HCS”が優れた特性を示すのは、クラッド材による、石英表面の不活性化により、水分による腐食を防止することによるものと推測される。

全石英ファイバの表面に、“HCS”ファイバのクラッド材をコーティングしたものは、“HCS”ファイバの場合とほぼ同じ効果が認められており、クラッド材が石英表面に、耐静疲労特性を付与していることが確認されている。

参考文献

- 1) B. J. Skutnik et al “Passivated Optical Fibers for Adverse Enviroments” OPTO 88
- 2) M. H. Hodge “Passivation as an alternative to hermetic coating” LIGHTWAVE Jan, '88
- 3) J. E. Ritter et al “Predicted Static Fatigue Behavior of Specially Coated Optical Glass Fiber” J. Am. Ceram. Soc., Vol. 71, 11 (1988)
- 4) J. P. Clarkin et al “Enhanced Strength and Fatigue Resistance of Silica Fibers with Hard Polymeric Coating” J. Non-Cryst. Solids 102 (1988)
- 5) EBOC 資料

〔筆者紹介〕



種市 正四郎 (たねいち しょうしろう)
昭和54年 東京工業大学大学院総合理工学研究科修士課程修了
同年 東レ株式会社入社
研究開発本部繊維研究所にて光ファイバの開発に従事し、現在に至る。

〔連絡先〕

〒421 名古屋市西区堀越 1-1-1
東レ株式会社愛知工場光ファイバ生産部技術課
TEL 052-521-3131

Abstract

Recently, Polymer Cladding Silica Optical Fiber (PCF) is used in optical short-link field, according to it's economical price.

Especially, Hard Polymer Cladding Silica Optical Fiber (HPCF) that consists of hard typed cladding and silica core is expected to accomodate to optical short-link more widely, owing that this typed fiber has prioritical character that is able to connect fibers without adhesion.

In this paper, general characteristics of HPCF is firstly reviewed and then discussed passivation effect of cladding to core glass, more concretly.