

多成分ガラスファイバ

昭和電線電纜株式会社 八木 賢二

Compound Glass Fiber

Kenji Yagi

Showa Electric Wire & Cable Co., Ltd.

1. はじめに

シリカ・アルカリ金属酸化物・アルカリ土類金属酸化物等を主成分とする酸化物ガラスより作製するファイバを光ファイバの分野では多成分ガラスファイバと称し、熔融シリカに酸化ゲルマニウム・フッ素等を添加した石英系ファイバと区別している。

多成分ガラスは長い歴史を持ち、光ファイバ開発当初はレーリ散乱の低下の可能性から多くの開発研究が行われた。しかし石英系ファイバの画期的な性能達成により伝送路としては現在では特定の分野での使用に限られている。

しかし、石英系ファイバを凌駕する低損失ファイバの可能性を求めて依然として理論的・実験的研究が行われている。

現用多成分ファイバの伝送損失は5~10 dB/km (at 850 nm) である。ここでは、ファイバの特性並びに利用分野、可能性について述べる。

2. ガラス組成および原料

多成分ガラスファイバ用ガラスは古典的光学ガラスに属し、網目形成酸化物としては主に酸化シリコン・酸化ホウ素を用い、網目修飾酸化物としてはアルカリ金属酸化物・アルカリ土類金属酸化物、中間酸化物として酸化ゲルマニウム、酸化アルミニウム、酸化ジルコニウム等から形成されて

いる。

コアガラスの屈折率制御は主に CaO_2 , BaO_2 , ZrO_2 によって行う。また Al_2O_3 , ZnO 等をクラッドガラスに添加することによりガラスの耐水性、強度劣化を改善している。この他にリン酸系ガラスについての検討も行われていたが、実用に供されているファイバは現在のところボロシリケート系のみである。

ガラス製造原料は高純度に精製した炭酸塩、硝酸塩、酸化物等を使用している。

3. 製造方法

ファイバ製造工程はガラス合成工程と二重つぼ(二重ノズル)法によるファイバ線引き工程からなっている。コアおよびクラッド用のガラスをロッドに成型し、これを連続的に二重つぼに供給するか、原料から合成した熔融ガラスを液状でノズルに供給する。熔融ガラスをノズルから同心円状にファイバとして引き出し、引取りキャプスタンの引取り速度を制御することによりファイバ径を制御する²⁾。

4. 特性

4.1 ファイバ諸元

現用ファイバはステップインデックス型ファイバであり、コア径は大口径である程光源との結合

に有利であるが、ファイバ径が太くなれば曲げ等の取扱性が悪くなる。したがって、開口数との兼合いで Table 1 のような構造としている。

4.2 伝送損失

多成分ガラスファイバの伝送損失は主に以下のような要因によって規定されている。

- 吸収 a. 材料固有の吸収 (組成に依存する)
 b. 不純物 (特に、遷移金属, OH 基)
 散乱 a. 材料固有の散乱 (主に、レーリ散乱)
 b. 異物による散乱 (脈理, 非溶解物)
 c. 構造散乱 (コア・クラッド界面の不整)

バルクガラスでのレーリ比および現用ファイバから算出したレーリ散乱係数 $K(a=K\lambda^{-4}, a: 損失, \lambda: 波長)$ を Table 2 に示す。

Fig 1, 2 に伝送損失の波長特性ならびに全損失を要因別に分解して示す。吸収は主に OH 基によるものであるが、不純物イオンによる吸収もみられる。

現用ファイバの伝送損失は NA 0.28 ファイバで 6.0~9.0 dB/km, NA 0.50 ファイバで 9.0~12.0 dB/km である。

4.3 伝送帯域

帯域 (6 dB)-伝送距離特性を Fig. 3 に示す。通常使用される LED 光源では 10~20 MHzkm 程

度の帯域となり、帯域 (f ; MHz) の距離 (L : km) 依存性は次式にしたがう。

$$f=20.0 \cdot L^{-0.9} \quad (\text{CF100})$$

$$f=14.0 \cdot L^{-0.9} \quad (\text{HCF200})$$

ステップインデックス型ファイバであるためモード分散が大きくなり必然的に伝送帯域は狭くなり、コア・クラッドの屈折率差の大きな高開口数ファイバ程狭帯域になる。

4.4 ファイバ強度

Table 2 Rayleigh scattering

Block	$R_{90}/R_{90}(\text{SiO}_2)$
Core glass of CF100	1.7
Core glass of HCF200	2.7
Cladding glass	2.3
Fiber	$K (\text{dB/km}/\mu\text{m}^{-4})$
CF100	1.8
HCF200	3.5

Table 1 Compound glass fiber specification

	CF100		HCF200	
	silicone coated		NSP*	
Core diameter (μm)	100	200	200	
Cladding diameter (μm)	140	250	220	
Coated fiber diameter (mm)	0.4	0.5	0.25	
Jacketed fiber diameter (mm)	0.9	0.9	0.5	
Numerical aperture	0.28	0.50	0.50	
Loss (dB/km)	10		12	
Bandwidth (MHz km)	10		5	

* NSP : Non-Strippable Primary coating fiber³⁾

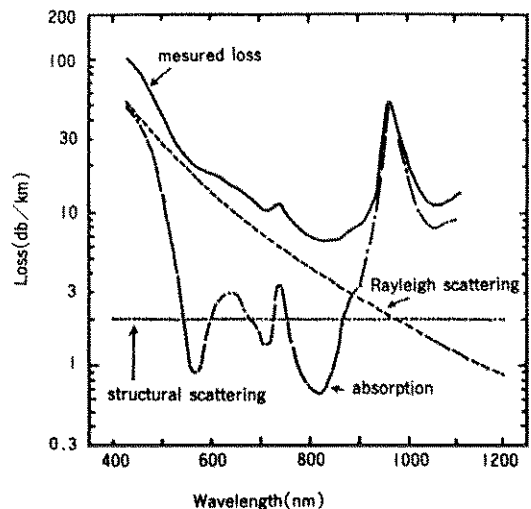


Fig. 1 Measured loss of a compound glass fiber (CF100), resolved into contributions from scattering and absorption.

①引張り破断；樹脂被覆した心線の引張り破断強度を Fig. 4 に示す。

②破断寿命；応力劣化指数 $n=35$ であり、0.5% 伸びプルーフ試験後のファイバについては0.2% 負荷歪みで20年寿命保証が可能である。

③曲げ破断；破断時の曲げ直径を Table 3 に示す。

石英系ファイバに比較すると若干低強度はあるが、実用的には問題のない強度である。

4.5 結合特性

ファイバ間の結合の場合の軸ずれによる損失を

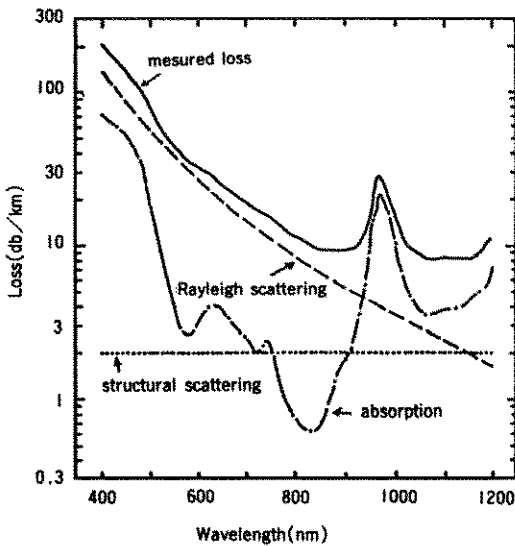


Fig. 2 Measured loss of a compound glass fiber (HCF200), resolved into contributions from scattering and absorptin.

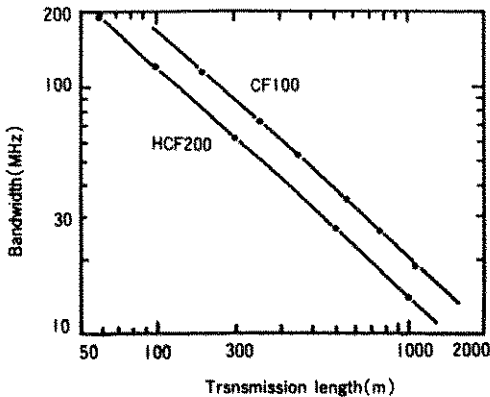


Fig. 3 Dependence of Bandwidth on transmission length (850 nm LED, launching NA=0.28)

Fig. 5 に示す。大口径である程、軸ずれは許容でき、コネクタの簡易化が可能である。

4.6 環境特性

①曲げ特性；LEDの励振により1000 mの出射端での曲げ直径と損失増加の関係を Fig. 6 に示す。

②温度特性；心線の温度変化にともなう損失変動

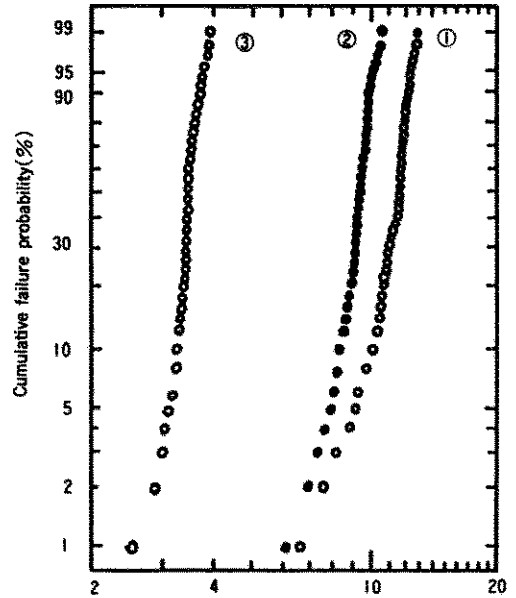


Fig. 4 Typical tensile strength Weibull plot, sample length; 10 m, number of samples; 100, tensile strain rate; 5%/min
① HCF200/250 ② HCF200NSP ③ CF100

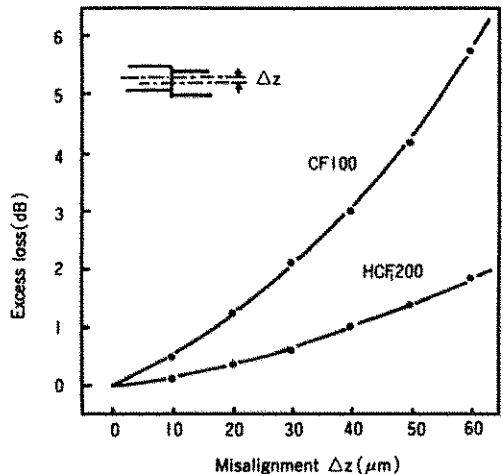


Fig. 5 Connection loss due to misalignment

を Fig. 7 に示す。若干損失変化がみられる。

③湿熱特性；60℃95%環境下に6ヶ月放置した場合にも損失変化は±0.02 dB/km 以下である。

④耐熱性；-5~120℃（120℃加熱時間4hr/サイクル）の温度サイクルを28サイクルを実施したところ、図8に示した温度変化にともなう損失変化は生ずるが、常温での残留損失は存在しない。

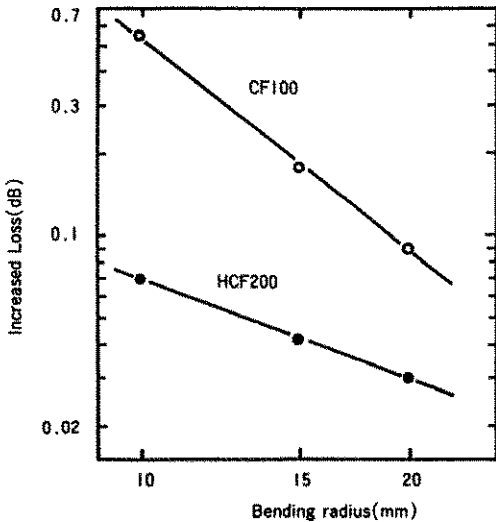


Fig. 6 Typical bending loss characteristics as a function of bending radius at $360^\circ \times 10$ turns (850 nm LED, launching NA = 0.28)

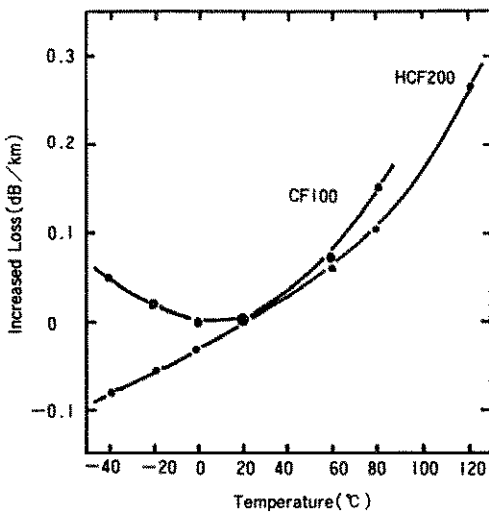


Fig. 7 Typical temperature dependence of transmission loss (850 nm LED, launching NA = 0.28)

⑤耐油性；FA分野で使用する場合、切削油等に侵されることを想定して心線を切削油に浸漬し損失変化を測定した結果、ファイバ自体(1 km)・コネクタ部のいずれにおいても損失変化は±0.01 dB以下である。

5. 利用分野

高開口数・大口径の多成分ガラスファイバは光モジュール、コネクタ等の光部品を含めて経済的なシステム構成が可能であると同時に、耐環境性・取扱性に優れているため、FA分野を中心に利用されている。

6. 関連分野

a. ファイバアンプ；1.55 μm 帯あるいは1.3 μm 光増幅用ホストガラスとして高濃度の Er^{3+} 、 Nd^{3+} をクラスタリングなしに溶解し増幅効率を増すと同時に広帯域化実現の可能性がある⁹⁾。

b. 極低損失ファイバ；石英系ファイバでは1.55 μm における伝送損失は平均0.2 dB/km程度である。

極低損失ファイバ実現の試みはいくつも行われているが、今だ実現はされていない。SiO₂-Al₂O₃-CaO系あるいはSiO₂-AlO₂-Na₂O系等の酸化物ガラスの中にもレーリ散乱係数が石英の数分の一になると推定される組成も存在し、原料の高純度化と脱水により2 μm 近傍で石英ファイバより一桁損失が低下する可能性もある⁵⁾。

7. おわりに

多成分ガラスファイバは高開口数・大口径のステップインデックス型ファイバとしての利点を活かしてFA・OA分野に利用されているが、さらに

Table 3 Bending break diameter (mm)

	ave	max	min
CF100 (silicone)	2.64	3.5	2.4
HCF200 (silicone)	5.17	5.6	5.0
HCF200NSP	4.73	5.1	4.6

新しい可能性も生まれている。

参考文献

- 1) 今川宏, 他: 昭和電線電纜レビュー第29巻第2号 pp 16-22
- 2) 八木賢二, 他: 昭和電線電纜レビュー第38巻第2号 pp 144-153
- 3) 八木賢二, 他: 昭和電線電纜レビュー第41巻第1号 pp 42-50
- 4) 森下, 他: 電通学会全国大会 1991 C-310
- 5) M. E. Lines, et al.: J. Non-Crystalline Solids **107** (1989) pp 251-260

[筆者紹介]



八木 賢二 (やぎ けんじ)
昭和39年 名古屋大学工学部応用
化学科卒業
同 年 昭和電線電纜㈱入社
現 在 同社情報通信事業部情
報通信研究部所属

[連絡先]

〒299 神奈川県相模原市南橋本4-1-1
昭和電線電纜㈱情報通信研究部
光・エレクトロニクス開発室
TEL 0427-74-8208

Abstract

Compound glass fibers have high numerical apertures and large core diameters, therefore they couple easily with LEDs, without requiring high precision connectors. Compound glass fibers allow use of connectors such as crimp connectors, which are simple to assemble. Compound glass fibers require only simple protective layers for manufacture into cables which have stable transmission losses allowing some bending, lateral pressure and temperature change. Construction of transmission systems at low cost is possible by using these fibers as optical transmission lines for medium to short distance data transmission in such fields as office automation and factory automation. Fiber losses are 5~10 dB/km.