二重クラッド型シリカコア光ファイバの特性解析 Characteristic Analysis of Silica Core Optical Fibers with Doubly Clad

○南 良樹¹, 山下貴久¹, 古川慎一²
 *Yoshiki Minami¹, Takahisa Yamashita¹, Shinichi Furukawa²

Abstract: Silica core optical fiber (PSCF-130) with low loss and low nonlinearity has been realized by Sumitomo Electric Industries, Ltd.. Refractive index profile of PSCF-130 is consisted of doubly clad with a dip at center in the core. In this study, chromatic dispersion and effective area obtained by experiment of PSCF-130 are compared with those computed from ideal refractive index distribution and non-ideal refractive index distribution with round shoulder which may arise at production process.

1. まえがき

長距離大容量通信システムに用いる光ファイバは,波 長分散,実行断面積(Aeff),モードフィールド径(MFD), 曲げ損失などの諸特性に配慮した構造設計をする必要が ある^{[1]-[3]}.文献[1]-[3]では,低損失・低非線形のシリ カコアファイバ(PSCF-130)が提案され,C band と L band で波長分散と Aeff の値に配慮した最適構造を実験的に検 討している.屈折率分布には,中央部に窪みを持つ二重 クラッド型(図1参照)が採用されている.シリカコア ファイバでは,製造時に屈折率分布へ肩垂れを生じるこ とが知られている^[4]が,文献[1]-[3]の中で屈折率分布の 測定結果は明らかにされていない.

本研究では、シリカコアファイバ (PSCF-130) につい て、理想的な屈折率分布 (図1(a) 参照) と製造時の肩垂 れを考慮した屈折率分布 (図1(b) 参照) の波長分散と Aeff を検討した.

2. 数值解析

解析したシリカコアファイバの構造を図2に示す.具体的な屈折率分布は肩垂れを考慮して,次式のように表されるものとする.

コア:

$$0 \le \rho \le \rho_1 \triangleq (a - 2d_1) / c : n(\rho, \lambda) = n_2(\lambda) [1 + \Delta_1(\lambda)]$$
(1)
$$\rho_1 \le \rho \le \rho_2 \triangleq a / c :$$

$$n(\rho,\lambda) = [n_1(\lambda) - n_2(\lambda)] \cos\left[\pi(\rho - \rho_1)/(\rho_2 - \rho_1)\right]/2$$
$$+ [n_1(\lambda) + n_2(\lambda)]/2$$
(2)

$$\rho_2 \le \rho \le \rho_3 \triangleq b/c: \ n(\rho, \lambda) = n_2(\lambda)$$

$$\vdash \lor \lor \lor \lor :$$
(3)

$$\rho_{3} \leq \rho \leq \rho_{4} \triangleq (b+2d_{2})/c:$$

$$n(\rho,\lambda) = [n_{2}(\lambda) - n_{3}(\lambda)] \cos \left[\pi \left(\rho - \rho_{3}\right)/(\rho_{4} - \rho_{3})\right]/2$$

$$+ [n_{2}(\lambda) + n_{3}(\lambda)]/2 \qquad (4)$$

1:日大理工・院(前)・電気 2:日大理工・教員・電気







 $\rho_4 \le \rho \le \rho_5 \triangleq (1 - 2d_3) / c : n(\rho, \lambda) = n_2(\lambda) [1 + \Delta_3(\lambda)] \quad (5)$ $\rho_5 \le \rho \le 1:$

$$n(\rho,\lambda) = [n_3(\lambda) - n_4(\lambda)] \cos\left[\pi \left(\rho - \rho_5\right) / (1 - \rho_5)\right] / 2$$
$$+ [n_3(\lambda) + n_4(\lambda)] / 2 \tag{6}$$

外部クラッド:

 $\rho > 1: n(\rho, \lambda) = n_2(\lambda)[1 + \Delta_4(\lambda)]$ (7) $\Delta_i(\lambda) は \Delta_i(\lambda) \triangleq [n_i(\lambda) - n_2(\lambda)]/n_2(\lambda)$ (*i*=1,3,4) で定義 される比屈折率差を表す.以下の結果には,波長 1550nmの時の比屈折率差 $\Delta_i \triangleq \Delta_i$ (1550)の値を示した. 肩垂れの幅 d_i は $d_i \triangleq a/e_i$ (*i*=1,2,3) と定義し, e_i を 変化させることによって決定する. $e_i = \infty$ の場合,屈



折率分は理想的な形(図1(a))となる.以下の結果に示した波長分散*S*は文献[5],実効断面積 Aeff は文献[6]の数値解析手法を用いてそれぞれ求めた.

図 3 は、文献[3]で提案された PSCF-130 の構造パラメ ータ ($a = 2.4 \mu m$, $b = 6.0 \mu m$, $c = 21.0 \mu m$, $\Delta_1 = -0.1\%$, $\Delta_3 = -0.34\%$, $\Delta_4 = -0.24\%$) について, 波長えに対す る実行断面積 Aeff と波長分散 *S* を示した図である. 文献 [3]の実験値(Aeff: ●, *S*: 〇) と理想的な屈折率分 布 ($e_i = \infty$) から計算した値(Aeff: −, *S*: −−−) を それぞれ図示した. 1530 ≤ λ ≤ 1610nm (C+L band) の 範囲において, 実験値と計算値は, Aeff で約 8.7 μm^2 , *S* で約 0.35 *ps* / *nm* / *km* の差を生じることが分かる.

図3と同じ構造パラメータで製造時に生じる肩垂れを 仮定した場合について検討した結果が図4(λ に対する Aeff)と図5(λ に対するS)である. 肩垂れとして採 用した構造パラメータ(e_i , i=1,2,3)を表1に示した. 図4と図5より、①から④の形に屈折率分布を変化させ たとき、③で仮定した肩垂れの構造が文献[3]の実験値と 良く一致することが分かる.

3. まとめ

本研究では、シリカコアファイバ(PSCF-130)^[3] の波長分散 S と実効断面積 Aeff について、理想的な 屈折率分布と製造時の肩垂れを考慮した屈折率分布 の特性を C+L band の波長範囲で検討した.その結果、 肩垂れを考慮することにより、S と Aeff の計算結果 は文献[3]の実験値と良く一致することが分かった.

4. 参考文献

- M.Hirano, Y.Yamamoto, V.A.J.M. Sleiffer, and T.Sasaki : "Analytical OSNR Formulation Validated with 100G-WDM Experiments and Optical Subsea Fiber Proposal," OFC/NFOEC 2013, OTu2B.6, 2013.
- [2] Y. Chigusa, Y. Yamamoto, T. Yokokawa, T. Sasaki, T. Taru, M. Hirano, M. Kakui, M. Onishi, and E. Sasaoka : "Low-Loss Pure-Silica-Core Fibers and Their Possible Impact on Transmission Systems," J. Lightwave Technol, vol.23, No.11, pp.3541-3550, 2005.



Table 1. Structure parameters of round shoulder



Figure 5. λ versus *S*.

- [3] Y.Yamamoto, Y.Kawaguchi and M.Hirano : "Low-Loss and Low-Nonlinearity Pure-Silica-Core Fiber for C- and L-band Broadband Transmission," Journal of Lightwave Technology, vol.34, No.2, pp.321-326, 2016.
- [4] W.Lieber, M.Loch, H.Etzkorn, W.E.Heinlein, K.F.Klein, H.U.Bonewitz, and A.Muhlich : "Three-step index strictly single mode, only F-doped silica fibers for broad-band lowdispersion", Journal of Lightwave Technology, vol.LT-4, No.7, pp.715-719, 1986.
- [5] 古川,日向,細野:"1.3µm と 1.55µm の波長で全分散を零にする 単一モード光ファイバの設計法",信学論 B, vol.J68-B, No.8, pp.896-903, 1985.
- [6] 古川,鈴木:"任意屈折率分布を持つ光ファイバの分散特性解析", 電気学会電磁界理論研資, EMT-13-65, pp.33-38(2013).