層状の屈折率分布を持つ光ファイバの伝送特性 — コアの中心に低屈折率部を配置した場合 — Transmission Characteristics for Optical Fibers with Layered Refractive Index Profiles - The case with lower refractive index area at the center of a core –

○南 良樹¹, 古川慎一²
 *Yoshiki Minami¹, Shinichi Furukawa²

Abstract: In this paper, transmission characteristics of optical fibers with a layered refractive index profile with lower refractive index area at the center of a core are investigated. W-type profile and the air hole are adopted as the layered refractive index profile and lower refractive index area, respectively. An optical fiber with these profiles is designed so as to keep the setup value of chromatic dispersion in wide wavelength region, after, effective area (Aeff), mode field diameter (MFD), and bending loss are numerically analyzed.

1. まえがき

光ファイバの設計では、波長分散、実行断面積 (Aeff), モードフィールド径 (MFD),曲げ損失などを、使用する 伝送システムに応じて最適に決定する必要がある^[1].こ れらの諸特性は、光ファイバの屈折率分布とその構造パ ラメータにより制御することができる.代表的な屈折率 分布として、中心部に低屈折率部を配置した構造や、外 部クラッドに近い位置にトレンチを配置した構造が提案 され、検討されている^[2].文献[3]は、エアホールを持つ ステップ型について、詳細な構造設計に基づく諸特性の 結果を報告しているが、エアホールを持つ W型について の詳細は検討されていない.

本研究では、層状屈折率分布の中心部に低屈折率部と してエアホールを持つW型(以下,Wa-typeと呼ぶ)の 屈折率分布(図1参照)を持つファイバについて、波長 1550 nm で波長分散を指定値とし、かつ分散スロープを零 とするように構造パラメータを設計し、Aeff,MFD、曲 げ損失を求めた.波長分散の指定値は、0、5、10 ps/nm/ km の場合について検討した.

2. 数值解析

解析した Wa-type の構造を図2に示す.具体的な屈折 率分布は次式のように表されるものとする.

$$\exists \mathcal{T} : 0 \le \rho \le \rho_{a_1} \triangleq a_1 / w, \quad w \triangleq a_1 + t$$

$$0 \le \rho \le \rho_{a_2} \equiv a_2 / w : n(\rho, \lambda) = 1.0 \tag{1}$$

$$\rho_{a_2} \le \rho \le \rho_{a_1} : n(\rho, \lambda) = n_a(\lambda)[1 + \Delta_a(\lambda)]$$
(2)

トレンチ:
$$\rho_{a_1} \le \rho \le (a_1 + t)/w = 1.0$$

$$n(\rho,\lambda) = n_c(\lambda) [1 + \Delta_t(\lambda)]$$
(3)

外部クラット:
$$\rho > 1$$

 $n(\rho, \lambda) = n_c(\lambda)$ (4)

1:日大理工・院(前)・電気 2:日大理工・教員・電気



Figure 1. Refractive index profile.



0 1

tはトレンチの幅であり、式(1)がコア中心のエアホール ($n_{a}(\lambda)$ =1.0)に相当する.

 $\Delta_a(\lambda)$ はコアと外部クラッドとの比屈折率差、 $\Delta_t(\lambda)$ は トレンチと外部クラッドとの比屈折率差であり、それぞ れ $\Delta_a(\lambda) \triangleq [n_{\max}(\lambda) - n_c(\lambda)] / n_c(\lambda), \Delta_t(\lambda) \triangleq [n_t(\lambda) - n_c(\lambda)] / n_c(\lambda)$ と定義する.

図3は、Wa-type について波長 1550 nm で波長分散を S (1550 nm) = 0, 5, 10 ps / nm / km とし、それぞれについ て分散スロープ ($\triangleq \partial S / \partial \lambda |_{\lambda=1550 nm}$)を零とするように設 計したときの規格化トレンチ幅,コア半径,トレンチ の比屈折率差の関係を示した図である.図3から、 t/a_1 を大きすると、 $a_1 \ge \Delta_i$ を小さく設計する必要があり、 t/a_1 は高次モードの遮断条件によって設計可能範囲が決まることが言える. S(1550 nm) = 0, 5, 10 ps / nm / km での範囲は、それぞれ $1.270 \le t/a_1 \le 1.570, 1.047 \le t/a_1 \le 1.270, 0.835 \le t/a_1 \le 1.000$ である.

図4は、図3で設計した構造パラメータを用いて計算 した実行断面積 Aeff とモードフィールド径 MFD を t/a_1 に対して示した図である.図4から、Aeff と MFD は、い ずれの設計条件の場合も t/a_1 を大きくすると小さくなる ことが分かる.S(1550 nm) = 0, 5, 10 ps/nm/km での Aeff の最大値は、それぞれ Aeff = 85.8, 81.8, 79.0 μm^2 , MFD の最大値は MFD = 6.03, 5.77, 5.55 μm である.

図5は、 λ に対する Aeff を計算した結果である. *S* (1550 nm) = 0, 5, 10 ps/nm/km のC band における Aeff は、それぞれ 83.6 ≤ Aeff ≤ 86.4 μm^2 , 79.5 ≤ Aeff ≤ 81.6 μm^2 , 76.5 ≤ Aeff ≤ 78.1 μm^2 となる.

図6は、 λ =1550 nm のときの曲げ半径 R に対する曲げ 損失を示す.曲げ損失を一定としたときの曲げ半径 は、 Aeff の拡大によるトレードオフによって波長分散の設計 指定値を大きくするほど大きくなる.曲げ損失が10⁻¹ dB/mの場合の曲げ半径 R は、S (1550nm) = 0, 5, 10 ps/nm/kmのとき、それぞれ R =41.1、44.5、49.8 mm と なる.

3. まとめ

本研究では、コアの中心にエアホールを持つ W 型 屈折率分布 (Wa-type)のファイバについて、波長 1550 nm で S (1550 nm) = 0, 5, 10 ps/nm/km の各指定値に 対して $\partial S / \partial \lambda |_{\lambda=1550mm} = 0 ps/nm^2 / km$ を同時に満足す るように構造パラメータを設計し、Aeff、MFD、曲げ 損失を検討した.コアの比屈折率差を $\Delta_a = 0.7\%$ 、エア ホールとコア半径の比を $a_2 / a_1 = 0.3$ としたとき、S (1550 nm)の設計指定値を大きくするほど Aeff と MFD は小さくなり、曲げ半径(曲げ損失一定)は大きくな ることがわかった.

今後は、コア中心の屈折率や層数を変化させることに よって最適な伝送特性が得られるファイバの構造を検討 する予定である.

4. 参考文献

[1] 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] X.Tian and X.Zhang: "Dispersion flattened designs of the large effective area fibers with ring index profiles," Optcs Communication, vol.230, pp.105-113, Jan.2004.
[3] 鈴木,南,金井,古川:「コアの中心にエアホールを持つ光ファ

[3] 鈴木,南,金井,古川:「コアの中心にエアホールを持つ光ファ イバの伝送特性」,電気学会電磁界理論研資,EMT-15-56, pp.287-292,2015.



Figure 3. t/a_1 versus core radius a_1 and relative index difference Δ of trench.





Figure 5. A eff versus λ .



Figure 6. Relationship of bending radius and bending loss at $\lambda = 1550nm$.