

ホールアシストファイバの伝搬特性 Propagation Characteristics of Hole-Assisted Fibers

○渡邊敬¹, 古川慎一², 亀田和則³

*Kei Watanabe¹, Shinichi Furukawa², Kazunori Kameda³

Abstract : Hole-assisted fiber (HAF) has been proposed as an optical fiber for subscriber systems, and its propagation characteristics and application have been also studied. This is because HAF can be suppressed the increase in loss due to bending compared to normal SMF (Single Mode Fiber). When transmitting high-speed pulses by SMF, it is known that pulse distortion is caused by chromatic dispersion and polarization mode dispersion. When HAF is used in a single mode, if the pit size or location changes asymmetrically, the fundamental mode (HE_{11} mode) is separated into two orthogonal polarizations (x-polarization and y-polarization), which becomes a factor that causes polarization mode dispersion. In this study, we numerically analyze the birefringence $\Delta\beta$ ($\triangleq \beta_x - \beta_y$, β_x : propagation constant of x-polarization, β_y : propagation constant of y-polarization) that influence to the polarization mode dispersion when structures (pit size and location) of HAF is changed slightly.

加入者系に導入する光ファイバとして、通常の SMF (Single Mode Fiber) に比べて曲げに起因する損失増加を抑制することができる HAF (Hole-Assisted Fiber) が提案され、伝搬特性やその用途について検討がなされている^{[1] - [3]}。HAF は、一般的にコアの周囲に中空ピットを配置した構造 (図 1 参照、1つのコアの周囲に6つのピットを配置した例) を持っている。

SMF で高速パルスを送信する場合、波長分散や偏波モード分散によってパルス歪を生じることが知られている。HAF を単一モードで使用する場合、ピットの大きさや配置が非対称に変化すると、基本モード (HE_{11} モード) の縮退している2つの直交偏波 (HE_{11}^x モードと HE_{11}^y モード) が分離して複屈折を生じ、偏波モード分散の一要因となる。

本研究では、HAF の構造 (ピットの配置や大きさ) が僅かに変化したときに生じる複屈折 $\Delta\beta$ ^[4] ($\triangleq \beta_x - \beta_y$, β_x : HE_{11}^x モードの伝搬定数, β_y : HE_{11}^y モードの伝搬定数) を数値的に解析する。解析法は、ファイバの断面に複数の円形領域を持つ構造の計算に適している多重極法^{[1] [5]}を用いている。

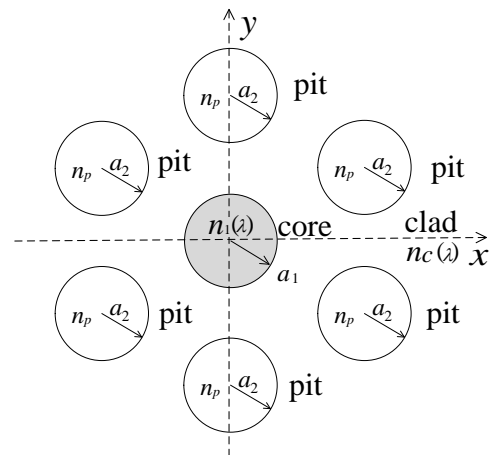


Figure 1. The cross section of typical hole-assisted fiber with 1 core and 6 pits.

コアの屈折率 $n_1(\lambda)$ とクラッドの屈折率 $n_c(\lambda)$ は波長の依存性を考慮し、以下の式で表されるものとする^[6]。

$$\text{コア} : n_1(\lambda) = [n_c(\lambda) - n_s(\lambda)](d_1^G/d^G) + n_s(\lambda) \quad (1)$$

$$\text{クラッド} : n_c(\lambda) = n_s(\lambda) \quad (2)$$

ここで、 $n_s(\lambda)$ は SiO_2 の屈折率、 $n_c(\lambda)$ は GeO_2 の基準値を $d^G=5.8\text{mol}\%$ としたときの屈折率、 d_1^G は GeO_2 を添加する濃度である^[7]。数値解析では、構造の僅かな変化による高精度な複屈折の計算が必要となるため、多重極法の誤差制御を注意深く行っている。

参考文献

- [1] Z. Zhu, T.G. Brown : "Multipole analysis of hole-assisted optical fibers", Optics Communications, Vol.206, pp.333-339, June 2002.
- [2] K. Saitoh, S.K. Varshney, M. Koshiba : "Dispersion, birefringence, and amplification characteristics of newly designed dispersion compensating hole-assisted fibers", Optics Express, Vol.15, No.26, pp.17724-17735, December 2007.
- [3] S. Aozasa, Y. Enomoto, H. Ohashi, and Y. Azuma : "Single-Mode Hole-Assisted Fiber Cord for Highly Reliable Optical Fiber Distribution Facilities in Central Office", IEICE Transaction on communication, Vol.E95-B, No.3, pp.876-881, (2012).
- [4] D.A. Nolan, X. Chen, M.J. Li : "Fibers With Low Polarization-Mode Dispersion", Journal of Lightwave Technology, Vol.22, No.22, pp.1066-1077, (2004).
- [5] 須田・金井・古川・亀田 : "複数のコアを持つ光導波路の伝搬特性", 信学技報, EMT2015-81, pp.223-226, (2015).
- [6] H. Etzkorn and E. Heinlein : "Low-dispersion single-mode silica fiber with undoped core and three F-doped claddings", Electron. Lett., vol.20, No.10, pp.423-424, (1984).
- [7] M.J. Adams : "An introduction to optical waveguide", John Wiley & Sons, New York, (1981).