

複数の円形コアと中空円形ピットを持つ光ファイバの偏波特性

Polarization Characteristics of an Optical Fiber with Multi-Circular Cores and Hollow Pits

○原島 健吾¹, 古川 慎一²*Kengo Harashima¹, Shinichi Furukawa²

Abstract: In this paper, polarization characteristics of an optical fiber with double circular-pit and a core part composed by five circular cores are studied. The structure is designed to be closely similar to an optical fiber with two hollow circular pits across the core-clad interface (DCF: Double Circular-pit Fiber). We so call proposed fiber *s*-DCF (similarity DCF). *s*-DCF is suitable structures for the fabrication technique of multi-core fiber with hollow pits. We numerically analyzed the modal birefringence as an important polarization characteristic, and compared with that of DCF. It is shown that modal birefringence characteristics of *s*-DCF are in good agreement with those of DCF.

1. まえがき

偏波特性を有する光ファイバ (Polarization Maintaining Fiber, 以下 PMF と呼ぶ) は, 計測用センサや SOA (Semiconductor Optical Amplifier) と組み合わせた波長分割多重システムの伝送媒体^[1]として有用である. PMF には, (1) 応力付与部によって複屈折を誘起させる構造^[2]と (2) 断面の形状を非軸対称にすることによって複屈折を生じさせる構造がある^[3]. 最近では, モード分割多重技術を用いた数モード光ファイバのモード結合によるクロストークを低減するために, 楕円コアを持つ PMF の適用が検討されている^[4]. 偏波特性を積極的に用いる PMF では, モード複屈折率の制御が重要となる^{[2][3]}. 文献[2],[3]では偏波の結合を抑制するために, モード複屈折率を大きくする構造の設計法が検討されている.

本研究では, 複数の円形コアと中空円形ピットを組み合わせることによって, 実用的なモード複屈折率を得られる文献[2]の構造 (DCF: Double Circular-pit Fiber, 図 1 (a)) と相似な構造を持つ PMF (*s*-DCF: similarity DCF, 図 1 (b)) を提案し, 構造パラメータとモード複屈折率の関係を検討した. 円形コアと円形ピットを自由に配置して導波路を構成する筆者らの手法は, 種々の断面形状を相似的に実現することが可能である.

2. 数値解析

解析した *s*-DCF は, DCF のコア部に相当する構造に 5 つの円形コアを配置し, DCF と同様に 2 つの中空円形ピットで構成した (図 2 参照). 5 つの円形コアは, コアとピットに全て接するように配置する. 中心のコア (core1) の半径を a_1 , core1 の上下に 2 つずつ配置した 4 つのコア (core2) の半径を a_2 , 2 つの中空円形ピット (pit) の半径を a_3 とする. a_2 はコアとピットが全て接する $a_2 = (a_1/a_3 + 1)/2$ の関係より決定した. core1 と core2 の屈折率は, $n_1 = n_c(1 + \Delta)$ (Δ : 円形コアとクラッドとの比屈折率差, n_c : クラッドの屈折率) とする. 比屈折率差 Δ は $\Delta = 0.5\%$, クラッドの屈折率

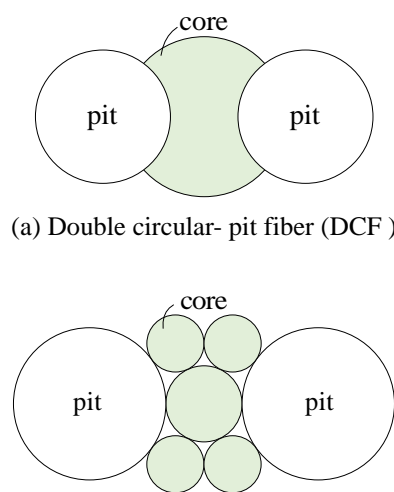
(b) Similarity double circular-pit fiber (*s*-DCF)

Figure 1. Cross section of PMF.

n_c は $n_c = 1.458$ で一定, pit の屈折率 n_p は $n_p = 1$ (中空) とした. モード複屈折率は, 直交する 2 つの偏波の伝搬定数 (x 偏波の伝搬定数: β_x , y 偏波の伝搬定数: β_y) と真空中の波数 k ($\triangleq 2\pi/\lambda$, λ : 波長) を用いて $B \triangleq |\beta_x - \beta_y|/k$ で定義される. B の計算では桁落ちを生じるため, β_x と β_y を精度良く求める必要がある. 本研究では, 複数の円形コアと円形ピットを持つファイバの高精度解析に適した多重極法^{[5][6]}を用いて伝搬定数を求めた. 以下の数値解析では, B の精度が 4 桁以上得られるモード打切り総数^[6]を用いて計算している.

図 3 は, pit の半径 a_3 と core1 の半径 a_1 の比 a_3/a_1 を $a_3/a_1 = 2.0, 3.0, 5.0, 10.0$ と変化させたときの規格化周波数 V ($\triangleq 2\pi a_1 \sqrt{n_1^2 - n_c^2} / \lambda$) に対するモード複屈折率 B を示した図である. 図中の縦棒 (|) は, 高次モードの規格化遮断周波数 V_c ($\triangleq 2\pi a_1 \sqrt{n_1^2 - n_c^2} / \lambda_c$, λ_c : 高次モードの遮断波長) の位置を表す. いずれの a_3/a_1 の場合も B の最大値 ($\triangleq B_{\max}$) が存在することが分か

1: 日大理工・院 (前)・電気 2: 日大理工・教員・電気

る. a_3/a_1 を大きくすると B_{\max} は大きくすることができる.

モード複屈折率 B が B_{\max} となる規格化周波数を V_{\max} とする. a_3/a_1 に対する B_{\max}, V_{\max}, V_c を示した結果が図 4 である. $a_3/a_1 \leq 1.84$ では $V_{\max} \leq V_c$ となるため, $1.84 < a_3/a_1 < 10.0$ の範囲で設計する必要がある. a_3/a_1 を大きくすると, $1.84 < a_3/a_1 < 8.0$ で B_{\max} は増加し, $a_3/a_1 \geq 8.0$ ではほぼ一定となる. B_{\max} の最大値は $a_3/a_1 = 10.0$ のとき $B_{\max} = 4.238 \times 10^{-4}$ となり, DCF の B_{\max} ($= 4.0 \times 10^{-4}$) と同程度の結果が得られている.

図 5 は, コア部の比屈折率差 Δ ($0.4 \leq \Delta \leq 10\%$) に対する B_{\max} を s -DCF(実線)と DCF(破線)について示した図である. B_{\max} は $a_3/a_1 = 10.0$ のときの値を図示した. s -DCF の結果を実線, DCF の結果を破線で表す. 図より s -DCF の Δ と B_{\max} の関係は, 近似的に $B_{\max} \approx 1.12 \times 10^{-3} \cdot \Delta^{1.41}$ で表すことができる. Δ が $0.4 \leq \Delta \leq 10.0\%$ の範囲で, DCF の結果 ($B_{\max} \approx 1.2 \times 10^{-3} \cdot \Delta^{1.48}$) と同程度の B_{\max} にできることが分かった.

3. まとめ

本研究では, 5つの円形コアと2つの中空円形ピットを組み合わせて, DCF と相似な断面形状を持つ s -DCF を提案し, 構造パラメータとモード複屈折率の関係を検討した. 比屈折率差 Δ を 0.5% で一定とした場合, a_3/a_1 に対する s -DCF のモード複屈折率 B_{\max} は $a_3/a_1 = 10.0$ で最大値 ($B_{\max} = 4.238 \times 10^{-4}$) となり, DCF の B_{\max} と同程度の結果が得られた. Δ に対する B_{\max} は, Δ が $0.4 \leq \Delta \leq 10.0\%$ の範囲で DCF の結果とほぼ一致している. 本研究で提案した構造は, 円形コアや中空円形ピットを比較的自由に配置できるマルチコアファイバの製造技術^[7]に適した導波路の一構成手法として有用であると言える.

今後は, 数モードファイバに最適な PMF の構造について検討する予定である.

4. 参考文献

- [1] C.H.Lai, W.C.Tang, M.A.Bitew, R.K.Shiu, Y.C.Manie, and P.C.Peng: "Multi-wavelength laser based on SOA and polarization maintaining fiber for WDM systems", 2017 IEEE International conference on consumer electronics, pp.219-220, 2017.
- [2] 林,井添,愛川,工藤:"高機能偏波保持光ファイバ", 電子情報通信学会, 信学技報 OFT2014-5, pp.25-30, 2014.
- [3] 吉川,日向,細野,鷹野,:"コアとクラッドにまたがる中空の円形ピットを持つ偏波面保存単一モード光ファイバの解析", 信学論(B), vol.J67-B, no.1, pp.70-77, 1984.
- [4] 久保田,嶺,三好,大橋:"モード多重伝送用楕円コア光ファイバの実効屈折率", 電子情報通信学会, 信学技報 OFT2017-2, pp.11-14, 2017.
- [5] Z.Zhu and T.G.Brown: "multipole analysis of hole-assisted optical fibers", Optics communications, vol.206, pp.333-339, June 2002.
- [6] 須田,金井,古川,亀田:"複数のコアを持つ光導波路の伝送特性", 電子情報通信学会, 信学技報 EMT2015-81, pp.223-226, 2015
- [7] 大藪,姚,小倉,関谷,齋藤:"空孔遮蔽型コア拡大マルチコアファイバの開発", 電子情報通信学会, 信学技報 OFT2012-11, pp.41-45, 2012.

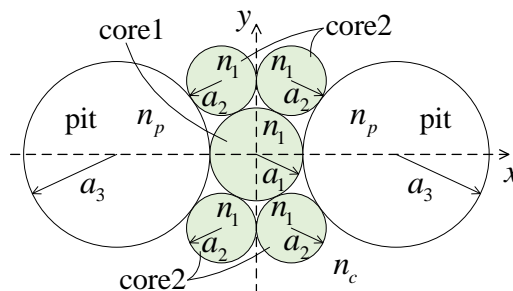


Figure 2. Coordinate system and structure parameters of e -DCF.

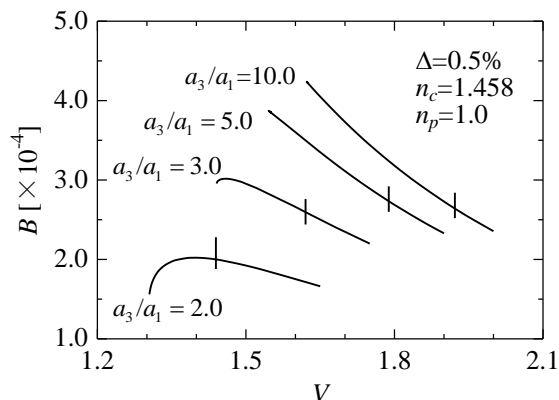


Figure 3. B as a function of V for various a_3/a_1 .

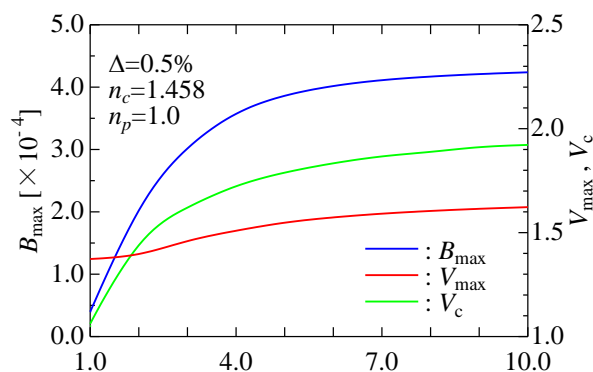


Figure 4. B_{\max}, V_{\max} , and V_c versus a_3/a_1 .

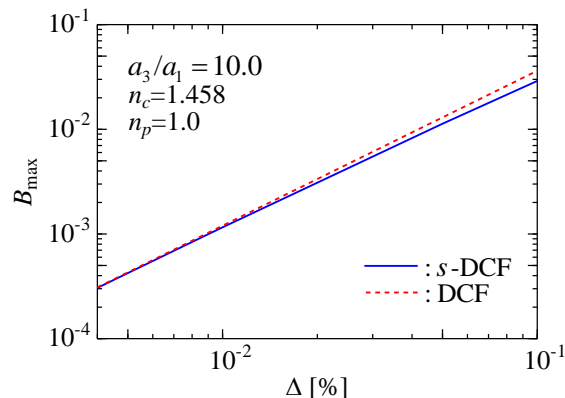


Figure 5. B_{\max} versus Δ .