複数の円形コアを用いた矩形導波路の結合特性 Coupling Characteristics of Pseudo Rectangular Waveguides Combined Circular Cores

○金井 稜¹, 原島 健吾¹, 古川 慎一² *Ryo Kanai¹, Kengo Harashima¹, Shinichi Furukawa²

Abstract: In this paper, coupling characteristics of two pseudo rectangular waveguides (RC-type) is investigated. One rectangular waveguide is consisted of four circular cores located at a square form. Coupling characteristics of RC-type are compared with those of two circular cores (CC-type) which have same cross-section area as RC-type. As a computation method, we take the multipole method which is suitable for an analysis of waveguides with multi circular regions such as circular cores.

1. まえがき

複数の円形コアを配置した光導波路は、マルチコア 光ファイバやファイバ型素子などがあり、多くの研究 が行われてきた^{[1] - [5]}.いずれの構造も、複数の円 形コアまたはピットを任意に配置することによって、 種々の伝搬特性を実現している.一方で、矩形断面を 持つ光導波路は、導波形光デバイス等に大変有用であ る^[6].筆者らは、円形コアを矩形状に配置した疑似的 な矩形導波路を提案し、伝搬特性について検討した結 果を報告した^[7].

本研究では、複数の円形コアで構成する2本の矩形 導波路を組み合わせたファイバ型素子(図1(a)参照) を提案し、その結合特性について解析した.得られた 結合特性は、同じ断面積を持つ円形コアで構成された ファイバ型素子(図1(b)参照)の結合特性と比較検討 した.

2. 数值解析

1つの矩形導波路は4つの円形コアを正方に配置し て構成する(図1(a)).以下では,2つの矩形導波路 を組み合わせた結合素子を RC-type, 2つの円形コア を組み合わせた結合素子を CC-type と呼ぶ. RC-type を構成する円形コアの半径をaとする. CC-type は RC-type とコアの断面積を同じにするため、円形コア の半径を 2aとした. 2つの導波路の中心間距離はd とする. 全ての円形コアの屈折率は $n_1 = n_c(1+\Delta)$ (Δ : 円形コアとクラッドとの比屈折率差, n:クラッドの 屈折率)で表されるものとする.比屈折率差はΔ=0.5%, クラッドの屈折率はn.=1.458 で一定とした.構造が非 軸対称であるため、直交する x 偏波の伝搬定数を β_x , y 偏波の伝搬定数を β_y とする.結合長は, x 偏波の伝 搬定数が2つ($\beta_x^{(1)} \ge \beta_x^{(2)}, \beta_x^{(1)} \ge \beta_x^{(2)}$)とy偏波の伝 搬定数が2つ ($\beta_y^{(1)} \geq \beta_y^{(2)}$, $\beta_y^{(1)} > \beta_y^{(2)}$) 伝搬する範囲 (基本モード領域)を対象とする.このときのx偏波



(a) Pseudo rectangular (RC-type)



(b) Circular (CC-type)

Figure 1. Cross section, coordinate system, and structure parameters of fiber type coupler.

とy偏波の結合長は、次式より計算 することができる.

$$l_x = \pi / (\beta_x^{(1)} - \beta_x^{(2)})$$
(1)

$$l_{y} = \pi / (\beta_{y}^{(1)} - \beta_{y}^{(2)})$$
(2)

 $l_x \ge l_y$ の計算では桁落ちを生じることから、伝搬定数 を精度良く求める必要がある.本研究では、複数の円 形コアを持つ導波路の高精度解析に適している多重極 法^{[3][7][8]}を用いて伝搬定数を求めた.

図 2 は、RC-type について、多重極法の打切りモー ド数 $N^{[7]}$ に対する $l_x \ge l_y$ の収束を示した図である. N > 4を用いて計算することにより、 $l_x \ge l_y$ を4桁以 上の精度で求めることができる.以下の数値解析では、 $l_x \ge l_y$ の精度が4桁以上の精度で得られる Nを用い で計算している.

図3は、 $\beta_x^{(i)} \geq \beta_y^{(i)}$ (*i*=1,2)の規格化伝搬定数を

1:日大理工・院(前)・電気 2:日大理工・教員・電気

$$b_{x}^{(i)} \triangleq \left[\left(\beta_{x}^{(i)} / k \right)^{2} - n_{c}^{2} \right] / \left(n_{1}^{2} - n_{c}^{2} \right)$$
(3)

$$b_{y}^{(i)} \triangleq \left[\left(\beta_{y}^{(i)} / k \right)^{2} - n_{c}^{2} \right] / \left(n_{1}^{2} - n_{c}^{2} \right)$$

$$\tag{4}$$

とそれぞれ定義したとき,規格化周波数V $\triangleq 2ka\sqrt{n_1^2 - n_c^2}$ に対する $b_x^{(i)} \ge b_y^{(i)}$ を示した図である.こ こで,kは真空中の波数を表す.2つの導波路の規格 化中心間隔 ($\triangleq d/a > 4$)は $d/a = 6.0 \ge 1$ た.d/a = 6.0のとき, RC-type の $l_x \ge l_y$ は $1.4 \le V \le 2.2$ ($\beta_x^{(1)}, \beta_x^{(2)}, \beta_y^{(1)}, \beta_y^{(2)}$ のみが存在する基本モード領域)の範囲で求めれば良いことが分かる.

3. まとめ

本研究では、複数の円形コアで構成した RC-type の 結合特性と2本の円形コアで構成した CC-type の結合 特性を、コアの断面積を同じにして比較検討した.そ の結果、基本モード領域において規格化周波数を大き くすると僅かに差を生じることが分かった.今後は、 RC-type の様々なファイバ形素子への応用を検討する 予定である.

4. 参考文献

- [1]Y.Sasaki, K.Takenaga, N. Guan, S.Matsuo, K.Saitoh, and M.Koshiba : "Large-effective-area insoupled few-mode multicore fiber", Optics Express, vol.20, Issue26, pp.B77-B84,2012.
- [2]村井,斉藤,小柴,"テーパー屈折率分布結合型マルチコアフ ァイバの大コア径ファイバへの応用",電子情報通信学会総合 大会,B-13-42,pp.545,2012.
- [3]Z.Zhu and T,G.Brown,: "multipole analysis of hole-assisted optical fibers", optics communication, vol.206, pp.333-339, 2002.
- [4]R.Hereth and G.Schiffner: "Broad-Band Optical Directional Couplers and Polarization Splitters", IEEE J.Lightwave Technology, vol.7,no.6, pp.925-930,June 1989.
- [5]亀田,細野:"コアの外部に中空円形ピットを持つ偏波スプリッタの特性",信学論(C-I), vol.J78-C-I, no.6, pp.273-281, 1995.
- [6]西原,榛名,栖原:"光集積回路",オーム社,1985.
- [7]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(2015-10).
- [8]W.Wijngaard,:"Guided normal modes of two parallel circular dielectric rods", J.Opt.Soc.Am., vol.63, no.8, pp.944-950, Aug.1973.



Figure 2. Convergence of l_x and l_y of RC-type.



Figure 3. Propagation characteristics of RC-type.



Figure 4. l_x versus V of RC-type and CC-type.



Figure 5. l_v versus V of RC-type and CC-type.