

# 光ファイバー(1)

波多腰玄一

## 1 はじめに

第14章～第16章では平板光導波路におけるモード解析とExcelでのニュートン法による計算例を紹介した。光導波路の代表例としてもう一つ光ファイバー<sup>1~4)</sup>がある。平板光導波路では直交座標系で解析を行ったが、光ファイバーの場合には円柱座標系を用いることになる。今回は階段屈折率光ファイバーのモード解析法について述べる。

## 2 光ファイバーのモード

### (1)光ファイバーの構造と座標系

図1に光ファイバーの構造例と円柱座標系を示す。光ファイバーはコアとクラッドからなる階段屈折率構造とし、コアの屈折率を $n_1$ 、クラッドの屈折率を $n_2$ とする。第14章の平板光導波路の場合と同様に、比屈折率差 $\Delta$ を以下で定義する。

$$\Delta \equiv \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \cong \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (1)$$

この $\Delta$ は、光ファイバーの開口数 $NA$ に関連する。 $NA$ は光ファイバーにおける最大次数のモードの出射広がり角に対応し、レーザー光をレンズで集光して光ファイバーに結合させる場合の指標となる。最大次数のモードの出射広がり角は、コア/クラッド界面での全反射臨界角で伝搬する光の空気中での角度でほぼ近似でき、 $NA$ は次式で与えられる。

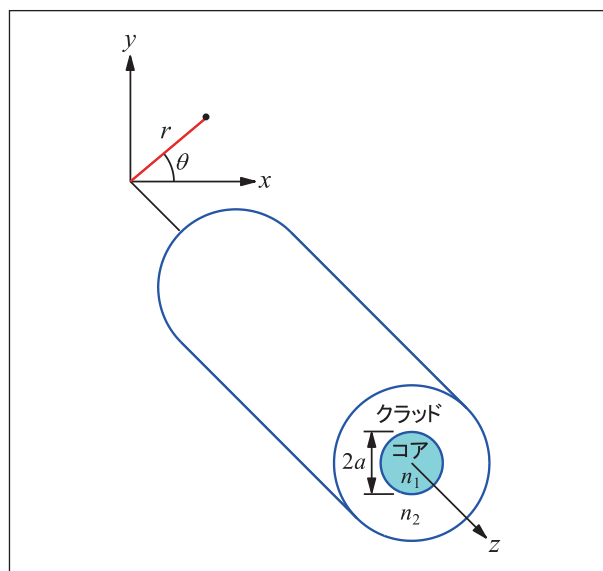


図1 光ファイバーの構造例と座標系

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2)$$

単一モード光ファイバーでは $NA \cong 0.15$ あるいはそれ以下で、比屈折率差 $\Delta$ は0.005程度以下と非常に小さい。多モード光ファイバーでも $NA$ は0.2程度、高 $NA$ 光ファイバーでは $NA \cong 0.35$ 程度のものもあるが、その場合でも $\Delta$ に換算すると約0.03である。

### (2)円柱座標における波動方程式

光ファイバーのモードは図1に示した円柱座標系で解析することができる<sup>1~3)</sup>。マクスウェルの方程式から得られる波動方程式