

# 光伝送工学

## 第2回レポート

濱崎 直紀  
(学籍番号 : 28G19096)

令和元年 11 月 27 日

## 2.1

コアとクラッドの屈性率比が1%であるガラス平面導波路を考える．波長  $1.5\mu\text{m}$  の光に対してシングルモード導波路となるコア厚の条件を求めよ．ガラスの屈折率は1.5とする．天下りの知識（e.g., 規格化周波数）に依る解答は不可．あるいは，本章に書かれていない条件式を使う場合は，その条件式の根拠を述べること．

### 解答

コアの  $x$  方向への空間的振動の伝搬定数  $k_x$  とすると

$$\sqrt{\frac{(n_1^2 - n_2^2)k_0^2}{k_x^2} - 1} = \tan\left(k_x\left(\frac{d}{2}\right) + \frac{\pi}{2}\right)$$

$k_x\left(\frac{d}{2}\right) + \frac{\pi}{2} = \pi$  のとき， $\sqrt{\frac{(n_1^2 - n_2^2)k_0^2}{k_x^2} - 1} = 0$  なので

$$\begin{aligned}k_x\left(\frac{d}{2}\right) &= \frac{\pi}{2} \\k_x &= \frac{\pi}{d}\end{aligned}$$

これを代入して

$$\begin{aligned}\sqrt{\frac{(n_1^2 - n_2^2)k_0^2}{\left(\frac{\pi}{d}\right)^2} - 1} &= 0 \\(n_1^2 - n_2^2)k_0^2 &= \left(\frac{\pi}{d}\right)^2 \\d^2 &= \frac{\pi^2}{(n_1^2 - n_2^2)k_0^2}\end{aligned}$$

$d > 0$  なので

$$d = \sqrt{\frac{\pi^2}{(n_1^2 - n_2^2)k_0^2}}$$

$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$  より，上式に代入して

$$d < \frac{\lambda}{2} \sqrt{\frac{1}{n_1^2 - n_2^2}}$$

となる

これに  $n_1 = 1.5$ ， $n_2 = \frac{1.5}{1.01}$ ， $\lambda = 1.5$  を代入して

$$d < 3.56[\mu\text{m}]$$

## 2.2

光ファイバなどの光導波路では、わずかながら光がクラッド領域に漏れ出している。前問のシングルモード平面導波路において、漏れ出し光の強度が、コアとクラッドの境界面での強度の  $1/e$  となる境界面から距離を求めよ。ただし簡単のため、 $k_z \equiv n_1 k_0$  とする ( $n_1$ : コア屈折率,  $k_0$ : 真空中伝搬定数,  $k_z$ : 伝搬方向の伝搬定数)。

### 解答

境界面が  $x = \frac{d}{2}$  となるように  $x$  座標を設定する

境界面における光電場  $E(x)$  は

$$E\left(\frac{d}{2}\right) = A \exp\left(-\frac{d}{2} \sqrt{k_z^2 - n_2^2 k_0^2}\right)$$

このときの光強度は

$$E^2\left(\frac{d}{2}\right) = A^2 \exp\left(-d \sqrt{k_z^2 - n_2^2 k_0^2}\right)$$

境界面での強度の  $1/e$  となる距離を  $l$  とおくと

$$\begin{aligned} E^2\left(\frac{d}{2} + l\right) &= \frac{1}{e} E^2\left(\frac{d}{2}\right) \\ e E^2\left(\frac{d}{2} + l\right) &= E^2\left(\frac{d}{2}\right) \\ \exp(1 - (d + 2l) \sqrt{k_z^2 - n_2^2 k_0^2}) &= \exp(-d \sqrt{k_z^2 - n_2^2 k_0^2}) \\ 1 - (d + 2l) \sqrt{k_z^2 - n_2^2 k_0^2} &= -d \sqrt{k_z^2 - n_2^2 k_0^2} \end{aligned}$$

$k_z^2 - n_2^2 k_0^2 \neq 0$  より

$$\begin{aligned} l &= \frac{1}{2 \sqrt{k_z^2 - n_2^2 k_0^2}} \\ &\equiv \frac{1}{2 \sqrt{n_1^2 k_0^2 - n_2^2 k_0^2}} \\ &= \frac{1}{2 n_1 k_0 \sqrt{1 - \frac{1}{1.01}}} \\ &= \frac{\sqrt{101}}{20 n_1 k_0} \end{aligned}$$

## 2.3

光ファイバの伝播損失は、波長  $1.55 \mu\text{m}$  において、約  $0.2 \text{ dB/km}$  である。伝播光パワーがファイバ入力時の  $2\%$  となる距離はいくらか。導出過程も記すこと。

## 解答

求める距離を  $l$  とおくと，損失は  $0.2l$  より

$$\begin{aligned} -0.2l &= 10 \log 10 \left( \frac{2}{100} \right) \\ &= 10 (\log 102 - 2) \\ 0.2l &= 20 - 10 \log 102 \\ l &= 100 - 50 \log 102 \\ &= 85 [\text{km}] \end{aligned}$$

## 2.4

本章で述べた現象により，夕焼けは赤く見える．このことについて説明せよ．

## 解答

日中では，波長の短い青い光は細かいチリにぶつかりやすいため，光が散乱する．このように，青い光が上空で散乱するため青く見える．一方，太陽が西に沈んでいくと，太陽光はより長い距離の空気層を通過することとなる．そのため，波長が長い赤い光も細かいチリにぶつかり散乱し始める．しかし，青い光は波長が短いため届かなくなり，結果的に夕焼けは赤く見える．

## 2.5

本章で述べた現象により，雨上がりの空に虹が見える．このことについて説明せよ．

## 解答

雨上がりでは，大気中に水滴が多く存在する．その水滴がプリズムの役割をし，太陽光がその水滴の中を通過する際に屈折することで，太陽光が分解されて複色色の帯に見える．これが虹が見える仕組みである．