

光波電子工学

神戸高専 AE1 r209211

野瀬田 裕樹

2009年9月13日(日)

1 SI形の開口数と受光角

$$\text{開口数 NA} = \sin \theta_{\max} = n_1 \sin \theta_c = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (1)$$

$$\text{受光角 } 2\theta_{\max} = 2 \sin^{-1}(n_1 \sqrt{2\Delta}) \approx 2n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2)$$

なお, θ_{\max} はコア内での光線の伝播角度が $\theta = \theta_c$ となるとき空気からコアへの入射角 $\theta_i n$ であり, 屈折の法則と $\sin^2 \theta_c = 2\Delta$ より上式が導かれる.

2 SI形の導波条件

・伝播軸方向

$$0 < \theta < \theta_c \approx \sqrt{2\Delta} \quad (3)$$

より,

$$n_2 k_0 < \beta < n_1 k_0 \quad \Rightarrow \quad n_2 < n_{\text{eff}} < n_1 \quad (4)$$

となる. ここで, β は伝播定数の伝播軸方向成分である.

・垂直な方向 (グース・ヘンシェンシフト)

$$\Delta\phi = 4a\kappa - 2\Phi = 4an_1 k_0 \sin \theta - 2\Phi = 2\pi m \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

ここで, Φ はグース・ヘンシェンシフトによる位相遅れである.

3 導波モードの数に関する設問

コアの屈折率 $n_1 = 1.5$, 比屈折率差 $\Delta = 1\%$, 導波路幅 $2a = 90\mu\text{m}$ の SI 形および GI 形光導波路に, 真空における波長 $\lambda_0 = 0.6\mu\text{m}$ の光波が伝播するとき, 導波モードの数をそれぞれ求めよ.

V パラメータは $V = \pi(2a/\lambda_0)n_1\sqrt{2\Delta}$ より, $V \approx 96.6327039$ である. したがって, 導波モードの数は次のようになる.

SI 形光導波路では, モード番号 m が $m < (2/\pi)V \approx 61.51929996$ より,

$$m = 0, 1, 2, \dots, 61 \quad (6)$$

の 62 のモードが導波される.

GI 形光導波路では, モード番号 m が $m < (1/2)V \approx 48.31635195$ より,

$$m = 0, 1, 2, \dots, 48 \quad (7)$$

の 49 のモードが導波される.

4 単一モード条件に関する設問

コアの屈折率 $n_1 = 1.5$, 比屈折率差 $\Delta = 0.3\%$ の SI 形および GI 形光ファイバに真空における波長 $\lambda_0 = 1.3\mu\text{m}$ の光波が伝播するとき , これらの光ファイバが単一モードファイバとなるコア径 $2a$ を求めよ .

SI 形光ファイバでは , $2a < \lambda_0/2n_1\sqrt{2\Delta}$ より

$$2a < 8.5\mu\text{m} \quad (8)$$

となる . また , GI 形光ファイバでは , $2a < 2\lambda_0/\pi n_1\sqrt{2\Delta}$ より ,

$$2a < 14.2\mu\text{m} \quad (9)$$

となる (単一モード条件 : SI は $V < 2.4$, GI は $V < 4$)

5 モード分散

SI 形光導波路では群速度が $v_{gm} = c \cos \theta_m$ より , モードにより異なるため , モード分散が大きい . しかし , GI 形光導波路ではモードによる伝播時間差はきわめて小さく , モード分散が小さい .

6 光ファイバの構造と種類

材料は石英ガラスが主 . 石英に Na_2O などの成分を加えた多成分ガラスや , プラスチックも用いられる . グレーデッドインデックス形には石英ガラスのみ用いられる . 構造とかは省略 .

7 光ファイバ伝送路の損失要因

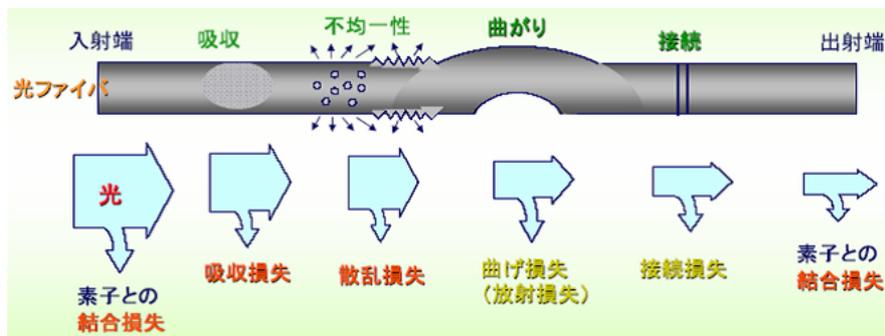


図 1: 光ファイバ伝送路の損失要因

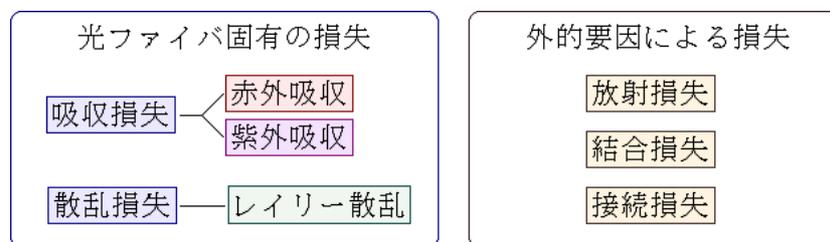


図 2: 伝送損失の分類

光ファイバ固有の損失には吸収損失と散乱損失がある。吸収損失の主要原因は石英の分子振動順位による赤外吸収と電子順位による紫外吸収である。また、散乱損失は波長よりマイクロなコアの屈折率のゆらぎによって起こるレイリー散乱による散乱が主である。

外的要因には放射損失、結合損失、卒族損失がある。放射損失は曲がりにより生じる損失で、光ファイバが曲がるとモード変換が生じ、これが原因で損失が起こる。結合損失は入射時、出射時に起こる。接続損失は光ファイバを接続したときの接続部での損失である。

8 分散と伝送帯域

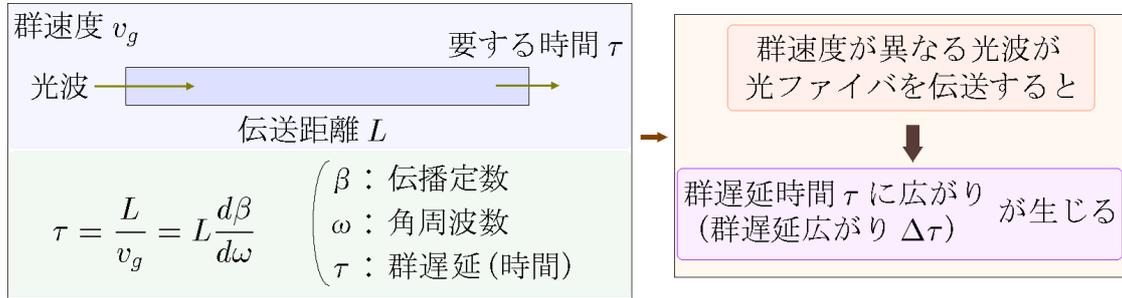


図 3: 光ファイバの伝送帯域

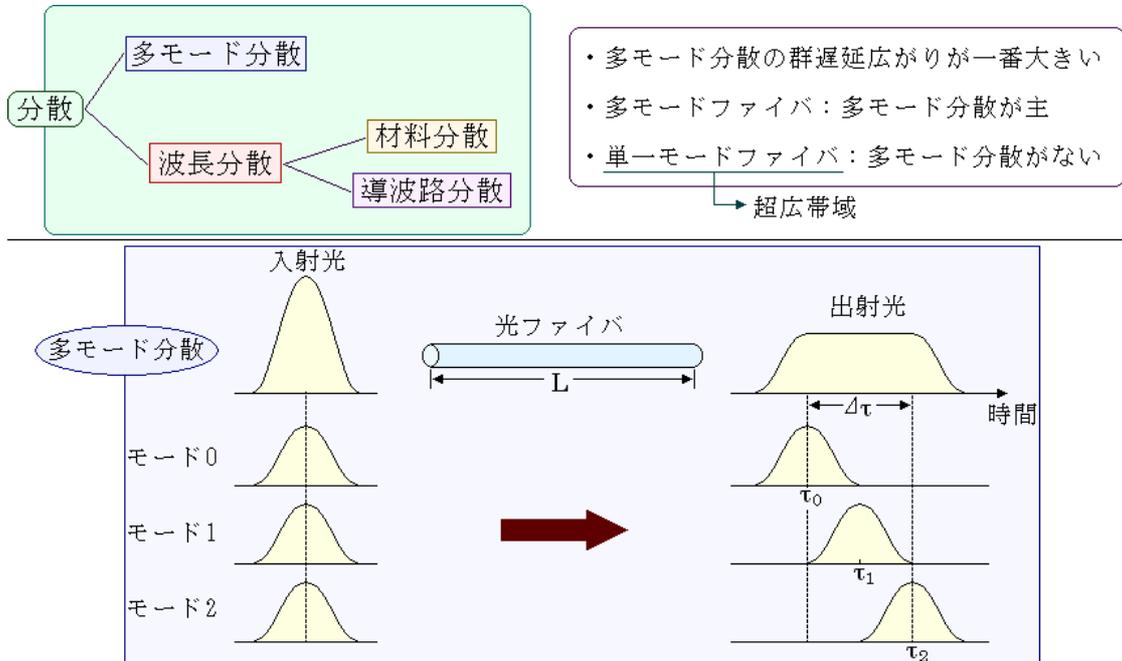


図 4: 分散の種類と多モード分散による光パルスの広がり

光ファイバの周波数帯域幅 B は群遅延広がり $\Delta\tau$ の逆数に比例する値として、

$$B = \frac{A}{\Delta\tau} \quad (10)$$

で表される。群遅延広がりには伝送距離 L に依存し、 L が長くなるとともに大きくなる。このため、一般に光ファイバの伝送帯域は周波数帯域幅と伝送距離の積である BL 積で表される。

9 光ファイバ通信の基本構成と特徴

基本構成は以下に示す通りである。

電気信号 変調/光源 光ファイバ 中継器 光ファイバ 復調/光
検出器 電気信号

- ① 電気信号
- ② 光送信器（変調/光源）
- ③ 光ファイバ
- ④ 中継器
- ⑤ 光ファイバ
- ⑥ 光受信器（復調/光検出器）
- ⑦ 電気信号

光ファイバ通信の特徴は以下に示す通りである。

- ① 広帯域性 → 同軸ケーブルに比べて桁違いに大きい伝送帯域をもつ
- ② 低損失性 → 特に石英ファイバは低損失で、伝送損失 0.16dB/kmの極低損失光ファイバも開発されている
- ③ 軽量・細径・可撓性 → 光ファイバは軽くて細く、自由に曲げることができ、取り扱いやすい
- ④ 無誘導性 → 光で情報を伝送するので、電気的な妨害雑音（電磁雑音）の影響を受けない
- ⑤ 絶縁性 → 電気絶縁性に優れており、高電圧のかかる場所でも使用できる
- ⑥ 耐環境性 → ガラスファイバは、化学的安定性、耐薬品性などの耐環境性に優れている
- ⑦ 資源 → 光ファイバの主材料は石英で地球上に豊富にあり、同軸ケーブルの銅に比べ資源の制約が少ない

図 5: 光ファイバの特徴