

試験種別	試験科目	専門分野
線路主任技術者	専門的能力	通信線路

問1 次の問いに答えよ。

- (1) 次の文章は、線路における伝送特性について述べたものである。□内に最も適した語句を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ語句を示す。

図1に示すように、特性インピーダンス、伝搬定数がそれぞれ $Z_1$ 、 $\gamma_1$ である線路Iと、 $Z_2$ 、 $\gamma_2$ である無限長の線路IIとが接続されているとき、接続点からXの距離の電圧 $V_x$ 及び送端から受端側をみたインピーダンス $Z_i$ は、それぞれ次式で与えられる。

$$V_x = V_2 \left[ \frac{Z_2 + Z_1}{2Z_2} e^{\gamma_1 x} + \frac{Z_2 - Z_1}{2Z_2} e^{-\gamma_1 x} \right] \dots\dots\dots (i)$$

$$Z_i = Z_1 \frac{Z_2 \cosh \gamma_1 L + Z_1 \sinh \gamma_1 L}{Z_2 \sinh \gamma_1 L + Z_1 \cosh \gamma_1 L} = Z_1 \frac{1 + m e^{-2\gamma_1 L}}{1 - m e^{-2\gamma_1 L}} \dots\dots\dots (ii)$$

ただし、 $m$ は接続点における電圧反射係数、 $e$ は自然対数の底とする。

(i)式において、電圧 $V_x$ の第1項は送端から受端側に進む□(ア)波であり、第2項は、第1項の波が二つの線路の接続点で□(イ)し、再びX点まで伝搬してきた□(イ)波を示す。

ここで、電圧反射係数 $m$ を $Z_1$ 、 $Z_2$ で表すと、 $m = \frac{\square(ウ)}{\square(エ)}$ となり、また、接続点に

おける電圧透過係数は、 $m$ を用いて表すと□(オ)となる。

線路Iの終端が開放された場合は、 $Z_2 = \square(カ)$ であるため、 $m = \square(キ)$ 、短絡された場合は、 $Z_2 = \square(ク)$ であり、 $m = \square(ケ)$ となる。

特性の異なる幾つかの線路を継続接続した複合線路においては、接続点で繰り返し□(イ)を生じる。奇数回の□(イ)により、送端に戻る波を□(コ)といい、偶数回の□(イ)により受端に現れる波を□(サ)という。

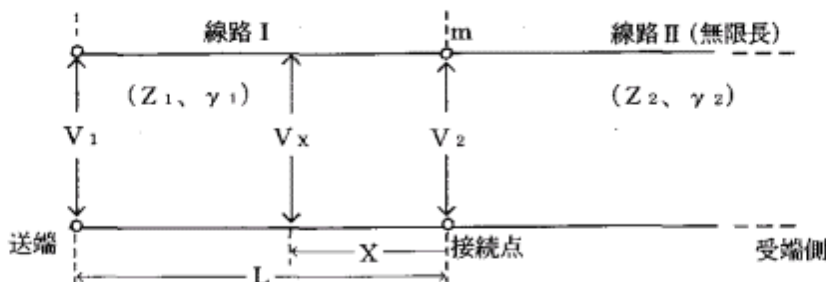


図1

(2) 図2に示すように、特性インピーダンス、伝搬定数がそれぞれ  $Z_1, \gamma_1$  と、 $Z_2, \gamma_2$  及び  $Z_3, \gamma_3$  の線路 I、線路 II 及び無限長の線路 III を縦続に接続した複合線路がある。それぞれの接続点における電圧反射係数を  $m_{12}$  と  $m_{23}$  とするとき、次の問いに答えよ。

- (i) 接続点 A から受端側をみたインピーダンス  $Z_a$  を  $Z_2, m_{23}, \gamma_2$  及び  $L$  を用いて表せ。
- (ii)  $m_{12} = 0$  としたとき、接続点 A において、線路 I 側から受端側をみた電圧反射係数  $m'$  を  $m_{23}, \gamma_2$  及び  $L$  を用いて表せ。
- (iii)  $m_{12} + m_{23} = 0$  としたとき、 $Z_1$  と  $Z_3$  の関係を式で表せ。ただし、 $Z_2 \neq 0$  とする。

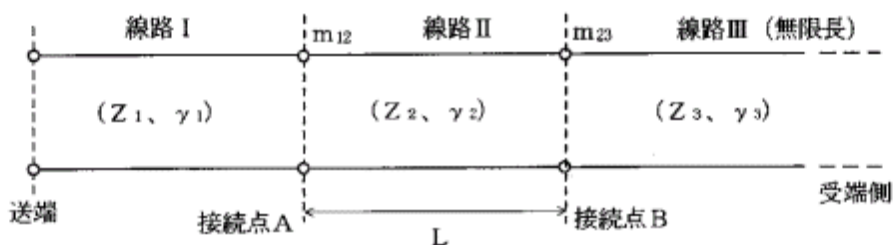


図2

問2 次の問いに答えよ。

- (1) 次の文章は、光ファイバのパラメータについて述べたものである。□内の(ア)～(キ)に最も適した語句を記せ。また、⋯(1)⋯内の(1)～(6)に最も適した数式又は数字を下記の語群から選び、その番号を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ語句を示す。

光ファイバのコアとクラッドの屈折率の違いの尺度を表すパラメータであり、光の伝搬に重要な意味を持つ□(ア)は、空気の屈折率を $n_0$ ( $n_0=1$ とする。)、コアの屈折率を $n_1$ 及びクラッドの屈折率を $n_2$ とすると、⋯(1)⋯で定義される。光ファイバの入射端において、ファイバ軸心に対する最大入射角を $\theta_{\max}$ 、コア内で全反射する点における臨界角補角を $\theta_c$ とすると、各媒質の境界面では□(イ)の法則により、 $\sin \theta_{\max} = \square(2)$ が成立する。 $\sin \theta_{\max}$ は光源との結合効率に影響するパラメータであり、光学用語で□(ウ)と呼ばれる。さらに、光が光ファイバ中を全反射して伝搬する条件では、 $\cos \theta_c = \square(3)$ が成立し、□(ア)を“ $\Delta$ ”で表し $n_1 \neq n_2$ であることを考慮すると、 $\sin \theta_{\max} \approx \square(4)$ となる。

シングルモード光ファイバの重要なパラメータの一つは、コア径の代わりに用いられる□(エ)径であり、光ファイバの径方向の□(オ)分布により定義され、通常、その値は⋯(5)⋯[ $\mu\text{m}$ ]前後である。また、遮断波長も重要なパラメータであり、遮断波長より短い波長ではシングルモード伝搬とはならない。

光ファイバの接続損失に影響を及ぼす代表的な構造パラメータには、コアとクラッドのそれぞれの外周円の中心のずれを表す□(カ)率と、真円からのずれを表す□(キ)率がある。また、シングルモード光ファイバのクラッド径(外径)は、ITU-T勧告により⋯(6)⋯ $\pm 2$  [ $\mu\text{m}$ ]と定められている。

(語群)		
① 1.55	② $\frac{n_1 - n_2}{n_1}$	③ $n_1 - n_2$
④ $\frac{n_1 - n_2}{n_2}$	⑤ $n_2 \sin \theta_c$	⑥ $n_1 \sin(\frac{\pi}{2} - \theta_c)$
⑦ $\frac{\sin \theta_c}{n_1}$	⑧ $n_1 \sin \theta_c$	⑨ $\frac{n_1}{n_2}$
⑩ 9	⑪ $\frac{n_2}{n_1}$	⑫ $\sqrt{2 n_1 \Delta}$
⑬ 50	⑭ $n_1 \sqrt{\Delta}$	⑮ $n_1 \sqrt{2 \Delta}$
⑯ 1.31	⑰ 1.25	⑱ 2.50

- (2) 次の項目を観測することにより、光ファイバの遮断波長を測定できる理由を、それぞれ簡潔に説明せよ。

(i) ニアフィールド分布

(ii) 曲げ損失

- (3) 光ファイバ内のモード変換の発生要因を三つ挙げよ。また、モード変換が発生した場合に、光損失を伴う理由を、簡潔に説明せよ。

問3 次の問いに答えよ。

- (1) 次の文章は、光海底ケーブル方式に使用される光デバイスについて述べたものである。  
 内に最も適した語句を、下記の語群から選び、その番号を記せ。ただし、  
 内の同じ記号は、同じ語句を示す。

通信用に用いられる発光素子には、半導体レーザと  (ア) があるが、高速・長距離光海底ケーブル方式の発光素子としては、半導体レーザが使用されている。半導体レーザの一般的な構造は、 (イ) をP形半導体とN形半導体で挟み込んだ  (ウ) 構造となっている。実用的な半導体レーザには、結晶の両端面を共振器とした  (エ) 形半導体レーザ(FP-LD)のほか、光の増幅部である  (イ) の近くに波状の回折格子によるブラッグ反射を利用した分布反射形(DBR-LD)と、ブラッグ導波路を共振器として利用した  (オ) 形DFB-LDがある。FP-LDは主に、 $1.31\mu\text{m}$ 帯で用いられるが、DFB-LDは波長選択性があるので、変調時でもシングルモードでの発振が容易であり、 $1.55\mu\text{m}$ 帯でも、 (カ) が広がらないため高速・長距離伝送に有利である。

受光素子も発光素子と同様に、光ファイバの光損失及び波長分散特性との関係から、使用波長に最適な受光素子を選択される。代表的な受光素子には、光ダイオード(PD)と  (キ) 光ダイオードがある。 (キ) 光ダイオードは、PN接合のP側に  (ク) 密度のより高いP層を設けて、接合付近の内部電界を高め、 (ケ) 現象により光電流を増幅するように工夫したものであり、PDに比較して通常10~100倍ほど高感度になり、光海底ケーブル方式では、中継間隔を長距離とする点で有利である。

- (語群)
- |            |             |          |
|------------|-------------|----------|
| ① 価電子帯     | ② 光パルス数     | ③ アバランシェ |
| ④ 正孔       | ⑤ 活性層       | ⑥ YAGレーザ |
| ⑦ イントリンシック | ⑧ 電子        | ⑨ ファブリペロ |
| ⑩ エルビウム    | ⑪ 分布帰還      | ⑫ 伝導帯    |
| ⑬ ダブルヘテロ接合 | ⑭ 外部変調      | ⑮ なだれ    |
| ⑯ 励起       | ⑰ LED       | ⑱ 表皮効果   |
| ⑲ 光パルス波形   | ⑳ プレーナストライプ |          |

- (2) 次の文章は、光海底中継器の信頼性について述べたものである。 内に最も適した語句を記せ。ただし、 内の同じ記号は、同じ語句を示す。

光海底中継器は、上り下りの伝送路に対して、それぞれ別個の中継器回路が必要であり、さらに、一条のケーブルで多システムを伝送する場合、中継器回路も光ファイバ心線数に応じた個数が必要となる。このため、アナログ中継器に比較して飛躍的に多くの活性部品を必要とする。さらに、再生中継方式であるため、波形整形、 (ア)、再生といういわゆる  (イ) 機能のほか、電気信号と光信号の変換回路や光部品も必要となる。このため、電気回路は、 (ウ) 集積回路化が行われている。

また、光部品についても高信頼化が図られ、大電流が印加され摩耗性の故障モードを有する

半導体レーザーについては、2重化されており、予備レーザーは、 スタンバイにして監視回路からの切替え信号により、現用、予備の切替えが行われる。レーザーの切替え方法としては、 分離フィルタをプリズム端面にはり合わせた  合成型光結合器を用いる方法や、光スイッチで光パスを切り替える方法等が用いられている。

- (3) 光通信ケーブル方式で用いられる光スイッチは、①機械的光スイッチと②非機械的光スイッチに大別できるが、それぞれの特徴を簡潔に説明せよ。

問4 次の問いに答えよ。

- (1) 次の文章は、光海底ケーブル方式の中継器監視制御装置について述べたものである。 内に最も適した語句を記せ。ただし、 内の同じ記号は、同じ語句を示す。

海底ケーブル方式では、いったんケーブル障害が発生すると、その修理に多大な費用と時間を要するため、障害発生時に迅速かつ、正確に障害の内容と  を把握する必要があり、このために中継器監視制御装置などが用いられる。

光海底ケーブル方式における中継器の監視制御の主な内容は、中継器の内部情報モニタ機能、予備LDの切替え機能及び障害時における障害点判定のための中継器での  機能であり、これらを基本とした監視方式が一般に用いられている。

監視方式には、海底ケーブルが通常の商用サービス情報を伝送している状態でも監視ができる  モニタとサービスを中断して行う  モニタがある。  モニタは、中継器の状態を常に監視でき、中継器の  を予測して回線を切り替えるなど予防保全が可能となるが、回路規模が大きく複雑となる。

中継器の内部情報モニタで監視できる項目としては、  バイアスモニタ、LD背面光モニタ、LDバイアスモニタ、伝送誤りを検出する  モニタ及び中継器内温度モニタなどがある。

LDの切替えは、  の  からの増加の程度によってLDの  を推定して手動又は自動で切替えを行う。

- (2) 光海底ケーブル方式で、(i)給電可能形障害、(ii)給電不可能形障害、(iii)第1中継区間に障害が発生した場合において、それぞれの障害点探索方法を簡潔に説明せよ。

- (3) 次の(i)～(iii)の文章は、光ファイバの測定に関する事項について述べたものである。各文章の下線を施した部分の正誤を記せ。また、誤りと判断したものについては、正しい表現に直せ。

(i) 挿入法での測定誤差要因としては、光源の出力及び波長の時間安定性や励振光ファイバの特性などがあるが、光源の時間安定性に関しては、発光素子の出力をモニタして駆動電流にフィードバックをかけるとともに、ペルチェ素子による温度制御を行う。

(ii) 光パルス試験器で、光ケーブルの損失を測定するには、光ファイバ内を伝搬する光のごく一

部が入射端に戻ってくるフレネル反射現象を利用して、伝搬時間に対する傾斜直線の傾きで観測することができる。

(iii) コヒーレントOTDRは、再生中継器を介した海底ケーブルの試験に用いられる。

問5 次の問いに答えよ。

(1) 次の文章は、深海部敷設工事と浅海部修理工事について述べている。□内に最も適した語句を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ語句を示す。

(i) 深海部敷設工事

水深1,000[m]程度以深では、経済性や敷設・修理の際にケーブル船が保持する海中ケーブル重量などの関係から□(ア)ケーブルを用い、通常は、漁具、船舶の□(イ)などによるケーブル障害がほとんどないため埋設する必要はない。海底が岩場であったり、やむを得ず急斜面など複雑な地形に敷設する場合は、□(ア)ケーブルを金属テープと追加のポリエチレン層により補強したケーブルを使用することがある。深海部敷設工事で重要なことは、確実にケーブルを海底の凹凸や斜面に沿って敷設することである。敷設中のケーブル船の進行速度に対して、ケーブル繰り出し速度が□(ウ)過ぎると、ケーブルが海底で余った状態となり極端な蛇行やループなどができやすくなる。逆に□(エ)過ぎるとケーブルが張り過ぎた状態となり、凹凸に沿わずケーブルが宙吊りとなってしまう。ケーブルが宙吊りの状態になっていると、□(オ)の影響によるケーブルの揺れなどにより、その両端部分が摩耗による障害になりやすい。これら为了避免するため、海底の形状やケーブルルートの変針に合わせ、ケーブル船の速度やケーブル繰り出し速度の制御を行う。これを□(カ)制御という。

(ii) 浅海部修理工法

浅海部では、通常、□(キ)ケーブルが埋設されているため、経済的な修理を行うには、障害点を正確に把握することが重要である。□(ク)障害のように光ファイバに異常がない場合は、陸揚局からケーブルの給電路に□(ケ)を流し、□(コ)のセンサーや曳航式のセンサーにより障害点を特定する。障害点の位置を特定した後、光ファイバ障害や□(ク)障害のようにケーブルが完全に切れていない場合は、なるべく障害点の近傍をケーブル切断用アンカーなどにより切断する。その後、□(サ)用アンカーにより一方のケーブルを引っ掛けて船上に回収し端末処理を行った後、□(シ)を付けて海中に沈めておく。そして、今度は他方のケーブルを同様に□(サ)・回収する。それぞれのアンカーは埋設ケーブル用のものを使用する。障害点のケーブルが回収されたらそれを完全に除去する。回収されたケーブルに□(ス)ケーブルを接続する。その後、□(ス)ケーブルを繰り出しつつ、□(シ)を付けて沈めておいたケーブルを回収する。この時点でケーブル船は両端のケーブルを保持した状態になる。両側のケーブルの正常性を光・電気試験により確認した後、それらを接続する。修理後には、□(コ)などにより当該区間を再度埋設する必

要がある。

一般的にケーブル船は水深  [m]より浅い海域には入れないため、そのような浅い部分での障害修理は喫水の浅い小型船を使用し、によりケーブルの掘り起こし、切断、回収のためのロープ取り付け、修理後の埋設などを行う場合が多い。

(2) 陸揚局～浅海部間のケーブル保護方法としてはトレンチ(溝)を掘ってケーブルを埋めることが一般的であるが、次の(i)と(ii)の保護方法も適用されることが多い。工法の概要及び適用場所について、それぞれ簡潔に説明せよ。

(i) ケーブル管路

(ii) ケーブル保護管

(3) ケーブル船に特有の設備とシステムに関する次の問いに答えよ。

(i) 主にケーブル回収など張力が比較的高い場合に使用されるケーブルエンジンの名称を記せ。

(ii) 主に高速でケーブルを敷設する場合に使用されるケーブルエンジンの名称を記せ。また、通常それはケーブル船の船首側、船尾側のどちらに設置されているか記せ。

(iii) DPS (Dynamic Positioning System)の機能を簡潔に説明せよ。

問6 次の問いに答えよ。

(1) 次の文章は、海底ケーブルルートの海洋調査と工事計画について述べたものである。

内に最も適した語句を記せ。ただし、 内の同じ記号は、同じ語句を示す。

海底ケーブルの敷設工事計画を策定するには、そのルートの海洋調査が必須である。まず、海洋調査を実施する前に、海図などによる机上検討や  などの漁業活動の調査、既存海底ケーブルとの  や  の調査などを基に、暫定的なケーブルルートを選定する。

一般的に、海洋調査では、暫定ケーブルルートの全長にわたり、船舶に搭載した調査機器によりルート近傍の水深の測定を行い、埋設予定区間の  のサンプリング採取や、実際に  によるトライアルなどを実施する。海洋調査により、ルートに沿った  が予想以上に険しい場合や埋設予定区間に岩場などが多数発見された場合は、暫定ルートを変更することになる。水深の測定については、暫定ルートの両側のなるべく広い範囲を測定することが  を正確に把握する上で重要である。広範囲の水深を測定できる調査機器等としては、海底の等深線が得られる  測深器やサイドスキャンソナーによる海底面イメージと水深データが同時に得られる  システムなどがある。

海洋調査を経てケーブルルートが確定すると、水深、海底面の凹凸及び傾斜、ルート変針点

などの情報を基に (ケ) の計算を行い、実際に必要となるケーブル長が得られる。これにより、中継器の台数、中継器及び海中分岐装置の (コ) も確定し、また、水深や海底の状況などにより (サ) も確定し、それらの情報を基に工事計画の基本となる (シ) が作成される。中継器及び海中分岐装置の (コ) については、水深や海底面の (ス) を考慮して調整を行うことがある。それらが確定すると、将来のケーブル修理に必要な (セ) の数量も算定できる。また、これらの作業に並行して、使用する (ソ) の数や能力に応じて敷設スケジュールが策定され、さらに、陸揚げ工法、埋設等のケーブル保護工法、敷設工法及びそれら工事のスケジュールなどの詳細が策定される。

- (2) 二箇所の陸揚局を結ぶケーブル長 2,000 [Km] の光海底ケーブルシステム(再生中継式)について、伝送端局、ケーブル、中継器の使用環境下での特性が下記の条件により与えられている。それらを用いて、次の問いに算出過程を示し答えよ。

(条件)

伝送端局、中継器、ケーブル等の使用環境下での特性

a 伝送端局	: 光出力	- 7.0 [dBm]
	: 最小受光レベル	- 33.0 [dBm]
b 中継器	: 光出力	- 4.0 [dBm]
	: 最小受光レベル	- 36.0 [dBm]
	: T/T接続1箇所当たりの損失	0.20 [dB]
c ケーブル	: 光損失	0.20 [dB/km]
d ジョイントボックス	: 接続1箇所当たりの損失	0.25 [dB]

(注) T/T接続：中継器とケーブルの接続部分をいう。

- (i) 両陸揚局の第1中継区間(陸揚局から最も近い中継器までの区間)において設計寿命までの期間のケーブル障害件数を5件と見込んだ場合の修理余裕[dB]を求めよ。ただし、第1中継区間の最大水深を1,000[m]、1回の修理では場所によらずその2.5倍のケーブルを両端ジョイントボックス接続により割り入れるものとし、また、それぞれの修理のためのケーブル割入れの区間は重ならないものとする。
- (ii) 伝送端局と海底ケーブル端の間の損失(局内光ファイバ損失、コネクタ接続損失、光ファイバ接続損失などの合計)を3.0[dB]として、第1中継区間長を求めよ。ただし、第1中継区間について、修理余裕を含む区間余裕(修理、経年変化に対する余裕及びその他の余裕の合計)を11.8[dB]確保するものとする。
- (iii) 中継間隔(中継器間のケーブル長)を求めよ。ただし、各中継区間について、区間余裕を6.8[dB]確保するものとする。
- (iv) 中継器台数を求めよ。