

## 注 意 事 項

- 試験開始時刻 14時20分
- 試験種別終了時刻

| 試験科目                | 科目数 | 終了時刻   |
|---------------------|-----|--------|
| 「電気通信システム」のみ        | 1科目 | 15時40分 |
| 「専門的能力」のみ           | 1科目 | 16時00分 |
| 「専門的能力」及び「電気通信システム」 | 2科目 | 17時20分 |

- 試験種別と試験科目別の問題(解答)数及び試験問題ページ

| 試験種別    | 試験科目     | 申請した専門分野     | 問題(解答)数   |    |    |    |    | 試験問題ページ |
|---------|----------|--------------|-----------|----|----|----|----|---------|
|         |          |              | 問1        | 問2 | 問3 | 問4 | 問5 |         |
| 線路主任技術者 | 専門的能力    | 通信線路         | 8         | 8  | 8  | 8  | 8  | 線1～線15  |
|         |          | 通信土木         | 8         | 8  | 8  | 8  | 8  | 線16～線29 |
|         |          | 水底線路         | 8         | 8  | 8  | 8  | 8  | 線30～線44 |
|         | 電気通信システム | 専門分野にかかわらず共通 | 問1から問20まで |    |    |    |    | 線45～線48 |

- 受験番号等の記入とマークの仕方

- マークシート(解答用紙)にあなたの受験番号、生年月日及び氏名をそれぞれ該当枠に記入してください。
- 受験番号及び生年月日に該当する箇所を、それぞれマークしてください。
- 生年月日の欄は、年号をマークし、生年月日に1桁の数字がある場合、十の位の桁の「0」もマークしてください。

〔記入例〕 受験番号 01CF941234

生年月日 昭和50年3月1日

| 受 験 番 号 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0       | 1 | C | F | 9 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ●       | ○ | A | A | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ①       | ● | B | B | ① | ① | ● | ① | ① | ① |
| ②       | ● | C | C | ② | ② | ② | ● | ② | ② |
| ③       |   | D | D | ③ | ③ | ③ | ③ | ● | ③ |
| ④       |   | E | E | ④ | ● | ④ | ④ | ④ | ● |
| ⑤       | ● | F | F | ⑤ | ⑤ | ⑤ | ⑤ | ⑤ | ⑤ |
| ⑥       |   | G | G | ⑥ | ⑥ | ⑥ | ⑥ | ⑥ | ⑥ |
| ⑦       |   | H | H | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ |
| ⑧       |   |   |   | ⑧ |   | ⑧ | ⑧ | ⑧ | ⑧ |
| ⑨       | ● |   |   | ⑨ | ⑨ | ⑨ | ⑨ | ⑨ | ⑨ |

| 生 年 月 日 |   |   |   |   |   |   |  |  |  |
|---------|---|---|---|---|---|---|--|--|--|
| 年 号     | 5 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 |  |  |  |
| 平成      | ○ | ● | ● | ○ | ● | ○ |  |  |  |
| 昭和      | ① | ① | ① | ① | ① | ● |  |  |  |
|         | ② | ② |   | ② | ② | ② |  |  |  |
|         | ③ | ③ | ● | ③ | ③ |   |  |  |  |
|         | ④ | ④ | ④ | ④ | ④ | ④ |  |  |  |
|         | ⑤ | ⑤ | ⑤ | ⑤ | ⑤ | ⑤ |  |  |  |
|         | ⑥ | ⑥ | ⑥ | ⑥ | ⑥ | ⑥ |  |  |  |
|         | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ | ⑦ |  |  |  |
|         | ⑧ | ⑧ | ⑧ | ⑧ | ⑧ | ⑧ |  |  |  |
|         | ⑨ | ⑨ | ⑨ | ⑨ | ⑨ | ⑨ |  |  |  |

- 答案作成上の注意

- マークシート(解答用紙)は1枚で、2科目の解答ができます。  
「専門的能力」は薄紫色(左欄)、「電気通信システム」は青色(右欄)です。
- 解答は試験科目の解答欄の正解として選んだ番号マーク枠を、黒の鉛筆(HB又はB)で濃く塗りつぶしてください。  
① ボールペン、万年筆などでマークした場合は、採点されませんので、使用しないでください。  
② 一つの問いに対する解答は一つだけです。二つ以上マークした場合、その問いについては採点されません。  
③ マークを訂正する場合は、プラスチック消しゴムで完全に消してください。
- 免除科目がある場合は、その科目欄は記入しないでください。
- 受験種別欄は、あなたが受験申請した線路主任技術者(『線 路』と略記)を○で囲んでください。
- 専門的能力欄は、『通信線路・通信土木・水底線路』のうち、あなたが受験申請した専門的能力を○で囲んでください。
- 試験問題についての特記事項は、裏表紙に表記してあります。

- 合格点及び問題に対する配点

- 各科目の満点は100点で、合格点は60点以上です。
- 各問題の配点は、設問文の末尾に記載してあります。

マークシート(解答用紙)は、絶対に折り曲げたり、汚したりしないでください。

次ページ以降は試験問題です。試験開始の合図があるまで、開かないでください。

|         |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 受 験 番 号 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (控 え)   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

(今後の問い合わせなどに必要になります。)

解答の公表は7月12日10時以降の予定です。  
可否の検索は7月31日14時以降の予定です。

| 試験種別    | 試験科目  | 専門分野 |
|---------|-------|------|
| 線路主任技術者 | 専門的能力 | 水底線路 |

問1 次の問いに答えよ。

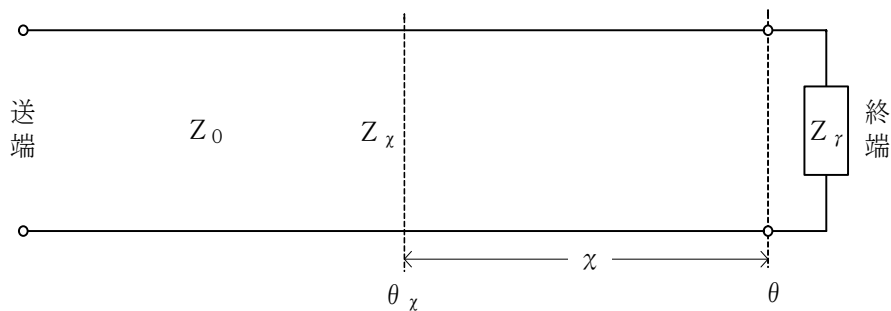
(小計20点)

- (1) 次の文章は、一様線路及び複合線路の概要について述べたものである。□内の(ア)～(エ)に最も適したものを、下記の解答群から選び、その番号を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ解答を示す。(2点×4＝8点)

通信線路の材質、寸法などが長さ方向に対して一様な往復2導体が均質な空間にあり、かつ、導体間隔が線路長及び伝搬される正弦波の波長と比較して十分小さい線路は、一様線路といわれる。図に示すように、特性インピーダンス $Z_0$ の一様線路をインピーダンス $Z_r$ で終端した場合、 $Z_r$ における□(ア)を $\theta$ とすると、 $\theta$ は□(イ)で表され、任意の点における電圧、電流及びインピーダンスを簡単な計算により求めることが可能となる。

例えば、伝搬定数を $r$ とすると、終端したインピーダンス $Z_r$ から距離 $x$ の点のインピーダンス $Z_x$ を求めるとき、終端から距離 $x$ の点の□(ア)を $\theta_x$ とすると、 $\theta_x$ は□(ウ)で表されるため、 $Z_x = Z_0 \tanh(\square(ウ))$ となる。特別な場合として終端短絡の場合、終端の□(ア)は□(エ)となる。

特性インピーダンス及び伝搬定数の異なる幾つかの線路を縦続接続することによって構成される線路は複合線路といわれ、複合線路は、一様線路と比較して、より現実的である一方で、解析が複雑である。しかし、この複合線路も一様線路の考え方を基礎にして□(ア)を導入することにより解析を容易にすることができる。



<(ア)～(エ)の解答群>

- |                           |                           |                                |                                |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ① 0                       | ② 1                       | ③ $2\pi$                       | ④ 無限大                          |
| ⑤ $\tanh \frac{Z_r}{Z_0}$ | ⑥ $\tanh \frac{Z_0}{Z_r}$ | ⑦ $\tanh^{-1} \frac{Z_r}{Z_0}$ | ⑧ $\tanh^{-1} \frac{Z_0}{Z_r}$ |
| ⑨ $r x + \theta$          | ⑩ $r x - \theta$          | ⑪ $\frac{x}{r} + \theta$       | ⑫ $\frac{x}{r} - \theta$       |
| ⑬ 偏角                      | ⑭ 角周波数                    | ⑮ 位置角                          | ⑯ 位相角                          |

- (2) 次の文章は、光ファイバ通信システムの特徴、光源と光ファイバとの結合方法などについて述べたものである。   内の(オ)～(ク)に最も適したものを、下記のそれぞれの解答群から選び、その番号を記せ。 (3点×4＝12点)

- (i) 光ファイバ通信システムの特徴などについて述べた次の文章のうち、正しいものは、(オ) である。

＜(オ)の解答群＞

- ① 光ファイバ通信システムの伝送距離は中継伝送方式とすることにより延伸することが可能である。中継伝送方式には、中継器で光－電気－光変換を行う線形中継伝送方式と、光領域で増幅して伝送する再生中継伝送方式がある。
- ② 光ファイバ通信システムにおいて、伝送距離を制限する要因には、光ファイバ損失、S/N比、伝送速度、送信機出力などがある。無中継光ファイバ通信システムでは、光ファイバ損失と送信機の光出力が一定であるとき、伝送速度を上げようとしたり受信信号のS/N比を大きくしようとしたりすると、一般に、伝送距離は制限される。
- ③ 線形中継伝送方式には、光増幅器で生ずる自然放出光雑音の累積による信号光波形のひずみ、光ファイバの分散によって生ずるS/N比の劣化など、再生中継伝送方式と異なり、伝送路で生じた雑音やひずみが累積するという欠点がある。
- ④ 再生中継伝送方式では、一般に、識別再生回路によるリシェーピング、タイミング抽出回路によるリタイミング及び等化増幅回路によるリジェネレーティングの3R機能を有する中継器を用いて長距離伝送を実現している。

- (ii) レーザ光源と光ファイバとの結合方法などについて述べた次のA～Cの文章は、(カ) 。

- A 光源は、レンズなどの光学部品から反射された光が注入されると、レーザの発振が不安定になることから、光源モジュールには、一般に、反射光の帰還を阻止するための光アイソレータが組み込まれている。
- B 光源からの光は、レイリー散乱により広がって放射されることから、光ファイバと効率良く結合させるために、光源に光ファイバの先端を単に近づける直接結合方式をベースにして、レンズを用いるレンズ結合方式、光ファイバの先端をレンズ状にした先端レンズ方式などが用いられる。
- C 光源と光ファイバとの結合部は、光源、レンズ、光ファイバなどの光学部品が振動、温度・湿度の変化などによる影響を受けないようにするため、一般に、モジュール化されている。光源モジュールには、伝送用光ファイバと接続するためのピグテール光ファイバが取り付けられたものがある。

＜(カ)の解答群＞

- ① Aのみ正しい      ② Bのみ正しい      ③ Cのみ正しい
- ④ A、Bが正しい    ⑤ A、Cが正しい    ⑥ B、Cが正しい
- ⑦ A、B、Cいずれも正しい    ⑧ A、B、Cいずれも正しくない

- (iii) 光ファイバと発光素子又は受光素子との結合損失などについて述べた次の文章のうち、誤っているものは、 (キ) である。

＜(キ)の解答群＞

- ① 光ファイバと受光素子との結合において、SM光ファイバとMM光ファイバとを比較すると、開口数が大きく光ビームの広がり大きいMM光ファイバの方が結合損失は大きい。
- ② 発光素子と光ファイバとの結合損失が発生する原因の一つとして、発光素子の出射光ビームの形状が、一般に、楕円形であるのに対し、光ファイバのモード形状が円形であることがある。
- ③ 発光素子と光ファイバとの結合において、SM光ファイバとMM光ファイバとを比較すると、コア径が小さいSM光ファイバの方が結合損失は小さい。
- ④ 発光素子と光ファイバとをレンズを用いて結合する場合、LEDとLDとでは、光ビームの広がる角度が異なるため、一般に、LEDは、LDと比較して、結合損失が大きい。

- (iv) 希土類添加光ファイバの特徴などについて述べた次の文章のうち、誤っているものは、 (ク) である。

＜(ク)の解答群＞

- ① 光ファイバに異種又は同種の希土類イオンが高濃度に添加されている場合、希土類イオン間でエネルギー移動が起こることがあり、光ファイバの屈折率が変動する要因となる。
- ② EDFの利得係数はエルビウムの添加濃度を高めることで大きくできるが、高濃度になると濃度消光により励起効率は低下する。
- ③ EDFと伝送用光ファイバのクラッド径及び素線径は同じであるが、増幅性能を向上させるため、EDFのコア径は、一般に、伝送路用光ファイバのコア径と比較して小さくなっている。
- ④ EDFのコアには、増幅動作のためのエルビウムと屈折率プロファイル形成用のゲルマニウムのほか、波長特性平坦化のためのアルミニウムが添加されているものがある。

- (1) 次の文章は、光ファイバの構造パラメータについて述べたものである。□内の(ア)～(エ)に最も適したものを、下記の解答群から選び、その番号を記せ。(2点×4＝8点)

光ファイバ中の光の伝搬に大きく影響する □(ア) 特性にかかわる構造パラメータには、開口数、カットオフ波長などがある。開口数は、S I型及びG I型光ファイバのコアとクラッドの比屈折率差などによって決まる値であり、比屈折率差は、コア内の最大屈折率を  $n_1$ 、クラッドの屈折率を  $n_2$  とすると、一般に、 □(イ) で表される。比屈折率差が大きいほど、コアとクラッドの境界面で全反射を起こす境目となる □(ウ) (コアとクラッドの境界面の法線と光とのなす角度を指す。)は小さくなり、コア内に光を閉じ込めやすくなる。また、開口数は、光ファイバと光源の結合効率に影響を及ぼすパラメータであり、開口数が大きいほど結合効率が向上する。

光ファイバの寸法にかかわる構造パラメータには、コア径、クラッド径、コア／クラッド偏心率などがある。これらは、光ファイバの伝送帯域、機械的強度、光ファイバの接続損失などに影響を及ぼすパラメータである。

なお、コア径はMM光ファイバで用いられるパラメータであり、SM光ファイバでは、一般に、コアとクラッドの境界部分を明確に識別することが困難であるため、光エネルギーの分布から読み取った □(エ) が用いられる。

＜(ア)～(エ)の解答群＞

- |                           |                           |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ① 光学的                     | ② 臨界角                     | ③ コア非円率                   | ④ モードフィールド径               |
| ⑤ 音響的                     | ⑥ 量子的                     | ⑦ 6 dB 帯域幅                | ⑧ ブリュースター角                |
| ⑨ 熱 的                     | ⑩ 反射角                     | ⑪ 屈折角                     | ⑫ コア径偏差                   |
| ⑬ $\frac{n_1 - n_2}{n_1}$ | ⑭ $\frac{n_1 + n_2}{n_1}$ | ⑮ $\frac{n_1 - n_2}{n_2}$ | ⑯ $\frac{n_1 + n_2}{n_2}$ |

- (2) 次の文章は、分散制御光ファイバ、光ファイバの損失特性などについて述べたものである。  
□内の(オ)～(ク)に最も適したものを、下記のそれぞれの解答群から選び、その番号を  
記せ。(3点×4=12点)

(i) 分散制御光ファイバについて述べた次のA～Cの文章は、□(オ)。

- A ノンゼロ分散シフト光ファイバは、使用波長である $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 近傍にゼロ分散波長をシフトさせつつ、使用波長帯域内では波長分散値をゼロとしない光ファイバである。
- B 分散マネジメント光ファイバは、光ファイバの長手方向にゼロ分散波長が $1.31\text{ }\mu\text{m}$ の区間と $1.55\text{ }\mu\text{m}$ の区間を設けることにより、局所的な波長分散は非ゼロとしながらも伝送路全体で累積波長分散を低減した光ファイバである。
- C 分散フラット光ファイバは、光ファイバの単位長さ当たりの損失を調整することにより材料分散と構造分散を相殺して分散スロープをフラットに近づけ、広い波長帯域において波長分散値を小さくした光ファイバである。

＜(オ)の解答群＞

- ① Aのみ正しい      ② Bのみ正しい      ③ Cのみ正しい  
④ A、Bが正しい      ⑤ A、Cが正しい      ⑥ B、Cが正しい  
⑦ A、B、Cいずれも正しい      ⑧ A、B、Cいずれも正しくない

- (ii) 光ファイバ通信で使用される光ファイバの損失特性などについて述べた次の文章のうち、誤っているものは、□(カ)である。

＜(カ)の解答群＞

- ① 紫外吸収損失及び赤外吸収損失は、光のエネルギーが光ファイバの物質中の電子や原子の運動に変換されることによって発生する。これらの損失は、一般に、光ファイバ通信で用いられる波長 $1.31\text{ }\mu\text{m}$ や $1.55\text{ }\mu\text{m}$ の光の損失特性に対しては、影響が小さい。
- ② 光ファイバ固有の損失は、光ファイバの長手方向に均等に分布しており、その単位には $\text{dB/km}$ が用いられる。これは、光が $1\text{ km}$ 進んだときの光の減衰量をデシベルで表したものであり損失係数といわれる。例えば、 $0.2\text{ dB/km}$ の損失を持つ光ファイバは $50\text{ km}$ で $10\text{ dB}$ の損失があり、光パワーは $\frac{1}{10}$ に減衰する。
- ③ 材料固有の散乱損失であるレイリー散乱損失は、光ファイバ製造時に高温状態から固化する際に生ずる微小なクラックが原因で発生し、短波長側の損失特性において支配的である。ブリルアン散乱なども散乱損失に含まれるが、レイリー散乱と比較して微弱であるため、光ファイバの損失特性に対しては、影響が小さい。
- ④ 外的要因による散乱損失には、コアとクラッドの境界の揺らぎ、光ファイバ長手方向の軸の揺らぎなど構造不整による損失がある。この損失は、伝搬する光が散乱されることによって生ずる放射損失である。

- (iii) 四光波混合又は自己位相変調について述べた次の文章のうち、正しいものは、(キ) である。

＜(キ)の解答群＞

- ① 四光波混合は、二つ以上、一般には三つの異なった波長の光が同時に光ファイバ中に入射した際に、それらのどの波長とも一致しない新たな波長の光が発生する現象であり、入射した光の波長がゼロ分散波長から離れているほど発生しやすくなる。
- ② WDM方式では、四光波混合が伝送品質の劣化要因となるため、その対策として、波長間隔を不等間隔に配置する方法、N Z - D S Fなどを用いてゼロ分散でない波長域を利用する方法などが採られている。
- ③ 自己位相変調は、光ファイバ中を伝搬する光が、その光自身の強度に起因する屈折率変化により、位相変調を受ける現象であり、光強度に依存して光ファイバの屈折率が変化する現象は、ファラデー効果といわれる。
- ④ 異常分散領域にある波長の光パルスが光ファイバ中を伝搬するとき、自己位相変調によるパルスが広がる効果と波長分散によるパルスが狭まる効果とが相殺され、光パルスが元の波形を維持したまま光ファイバ中を長距離にわたり伝搬する現象は、光ソリトンといわれる。

- (iv) 誘導ラマン散乱又は誘導ブリルアン散乱について述べた次の文章のうち、誤っているものは、(ク) である。

＜(ク)の解答群＞

- ① 誘導ラマン散乱は、光ファイバに強いポンプ光が入射されると、ポンプ光とは異なる波長のストークス光といわれる光が成長し、ポンプ光のエネルギーの大部分がストークス光になる現象であり、信号光がストークス光と同じ帯域内にあると、この信号光は増幅される。
- ② 誘導ラマン散乱は、ポンプ光と光学フォノンとの相互作用により発生する散乱であり、前方散乱光と後方散乱光が同じ程度に発生する。
- ③ 誘導ブリルアン散乱は、ポンプ光と音響フォノンとの相互作用により発生する散乱であり、後方散乱光のみが強く発生する。
- ④ 誘導ブリルアン散乱による光増幅効果は、一般に、誘導ラマン散乱による光増幅効果と比較して低いが、増幅可能な帯域幅が広いことから、広帯域な光ファイバ通信システムに広く用いられている。

- (1) 次の文章は、光海底ケーブルの評価試験項目について述べたものである。□内の(ア)～(エ)に最も適したものを、下記の解答群から選び、その番号を記せ。(2点×4＝8点)

光海底ケーブルには、敷設や回収時などに受ける動的張力に耐える機械的強度や、深海底の環境下において長期間にわたって安定した特性を維持することが要求される。こうした要求を満たすことを確認するために、基本的な評価試験項目がITU-T勧告G.976として規定されている。

このITU-T勧告において、伝送特性については、光海底ケーブルの輸送や保管を考慮して、□(ア)の範囲内での温度変化に対する光海底ケーブルの光学特性変化を評価する温度サイクル試験が規定されている。

また、電気特性については、長距離大容量の中継光海底ケーブルシステムで要求される給電電圧が15[kV]程度になることから、高電圧かつ深海底の環境下における長期信頼性を検証するために電圧と□(イ)の指数関数則に基づいた加速評価試験が規定されている。

機械特性については、□(ウ)までの張力を加えても伝送損失に異常がないことを確認する長尺引張試験が規定されており、さらに、光海底ケーブルの敷設や回収時には、一般に、□(エ)のシーブやドラムケーブルエンジンに巻きつけられながら張力を受けるため、引張り・曲げ・側圧の動的な複合力を受ける環境下で各種特性に劣化のないことを確認するシーブ試験などが規定されている。

＜(ア)～(エ)の解答群＞

- |                |        |          |          |
|----------------|--------|----------|----------|
| ① -20[℃]～50[℃] | ② 破断張力 | ③ NPTS   | ④ 湿度     |
| ⑤ -10[℃]～40[℃] | ⑥ 水圧   | ⑦ 直径3[m] | ⑧ 半径3[m] |
| ⑨ -5[℃]～55[℃]  | ⑩ NTTS | ⑪ 絶縁耐力   | ⑫ NOTS   |
| ⑬ 0[℃]～40[℃]   | ⑭ 時間   | ⑮ 直径5[m] | ⑯ 半径5[m] |

- (2) 次の文章は、光海底ケーブルシステムに用いられている光伝送端局装置(S L T E : Submarine Line Terminating Equipment)の構成、それを構成する各装置の機能、特徴などについて述べたものである。  内の(オ)～(ク)に最も適したものを、下記のそれぞれの解答群から選び、その番号を記せ。(3点×4=12点)

- (i) WDM方式を用いた中継光海底ケーブルシステムに用いられるS L T Eの構成などについて述べた次の文章のうち、誤っているものは、  (オ) である。

＜(オ)の解答群＞

- ① S L T Eは光海底ケーブルと陸上ネットワークを接続するために陸揚局に設置される装置群であり、送信側では陸上ネットワークからの信号が伝送路終端装置(L T E : Line Terminating Equipment)を経て、プロテクション装置(N P E : Network Protection Equipment)に入力される。また、この入力信号は、S D H / S O N E T信号に統一されている。
- ② L T Eでは、陸上ネットワークからの信号をO T N (Optical Transport Network)に規定されたフレームフォーマットに変換し、誤り訂正符号を付加して、さらに、光海底ケーブルシステムに適した変調信号、波長などに変換する。
- ③ 送信側において、L T Eから出力された信号は、波長分散の影響がある場合、一部の波長分散をあらかじめ補償した後に合波し、適切な光強度に調整して光海底ケーブルへ出力される。受信側では、受信した波長多重信号を分波し、残留分散を補償して、さらに、誤り訂正処理などを経て陸上ネットワークへ送出される。
- ④ 監視装置には、光海底ケーブルや光海底中継器などを監視する海中機材監視装置、S L T Eを構成する各種装置や信号品質を監視するシステム監視装置などがある。

- (ii) WDM方式を用いた中継光海底ケーブルシステムに用いられているL T Eの機能、特徴などについて述べた次のA～Cの文章は、  (カ) 。

- A 光海底中継器の限られた増幅帯域を有効活用し、かつ、陸上システムにおいて実績のあるトランシーバを活用するため、WDM伝送における周波数間隔は、I T U - T勧告で規定されている100 [GHz]及び50 [GHz]に限定されている。
- B L T Eは、光海底ケーブル区間で用いられる波長数に対応した複数の光トランスポンダ又はマックスポンダを実装している。また、陸上ネットワークとのインタフェースとして用いられるクライアントトランシーバとしてはS F P / X F Pなどの着脱可能なモジュールが用いられている。
- C 誤り訂正後における所望の符号誤り率(B E R)を確保するために必要なQ値は、Qリミットといわれ、光海底ケーブルシステムが誤り訂正前にどれだけの性能を確保しなければならないかの指標となる。

＜(カ)の解答群＞

- ① Aのみ正しい      ② Bのみ正しい      ③ Cのみ正しい
- ④ A、Bが正しい      ⑤ A、Cが正しい      ⑥ B、Cが正しい
- ⑦ A、B、Cいずれも正しい      ⑧ A、B、Cいずれも正しくない

- (iii) 波長合分波装置及び分散補償装置の機能、特徴などについて述べた次の文章のうち、誤っているものは、 (キ) である。

＜(キ)の解答群＞

- ① 波長合分波装置では、光伝送端局装置における出力光パワーを適切に維持するために、一般に、波長合分波装置を構成する合分波器などの挿入損失を補償することができる光増幅器が用いられている。
- ② 波長合分波装置では、信号光の波長数が設計最大波長数に満たないとき、1波長当たりの出力光パワーが大きくなることにより生ずる非線形光学効果を抑制する対策として、一般に、ダミー光を供給し、合波する方法が用いられる。
- ③ 波長合分波装置は、L T Eからの複数の信号を合波する機能、適正な強度で波長多重信号を光海底ケーブルへ出力する機能、光海底ケーブルからの信号を増幅して分波する機能、海中区間故障時に他の光ファイバに切り替える機能などを有している。
- ④ 空間光学を用いた分散補償器や光ファイバグレーティングを用いた分散補償器は、分散補償光ファイバと比較して、許容光入力強度が大きい、単位損失当たりの分散補償量を示す性能指数(F O M : Figure of Merit)が高いなどの特徴を有している。

- (iv) 光海底ケーブルシステムに用いられる給電装置(P F E : Power Feeding Equipment)の機能、特徴などについて述べた次の文章のうち、正しいものは、 (ク) である。

＜(ク)の解答群＞

- ① 光海底ケーブルシステムでは、並列接続された光海底中継器に効率よく電力を供給するために、陸揚局に設置したP F Eから一定の電圧を供給する方式が採用されている。
- ② 2地点間を結ぶシステムや、光海底分岐装置(B U)を介して多地点を結ぶシステムのトランク区間では、一般に、両端給電が採用される。この方式では、片方の陸揚局のP F Eの故障時や保守時においても、対向する陸揚局のP F Eで全負荷を担うことによりシステムへの給電を継続することができる。
- ③ B Uまでの片端給電を行う場合や両端給電が適用できない長距離システムの場合は、一般に、P F Eを冗長構成とする。この場合、電力制御架、電力監視架及び試験用負荷を二重構成とする。
- ④ 光海底ケーブルとP F Eとの接続構成においては、海岸から陸揚局までが遠い場合であっても、接続箇所を少なくするため、途中で光海底ケーブルを終端するビーチマンホールなどは設置しないで、光海底ケーブルを陸揚局に直接引き込み、陸揚局内で給電路と光ファイバを分岐し、給電路をそのままP F Eに接続する方法がとられる。

(1) 次の文章は、光海底ケーブルの修理作業における安全手順などについて述べたものである。

□内の(ア)～(エ)に最も適したものを、下記の解答群から選び、その番号を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ解答を示す。(2点×4＝8点)

光海底ケーブルの修理作業では、電気的・光学的試験のために陸揚局又はケーブル船上から海中設備へ給電が行われる。この際、ケーブル船上の作業者の陸揚局からの給電による感電などの防止、対向する相手側での事故の防止などのために適切な給電管理が必要となる。

給電時の作業者の勘違い、作業誤りなどを防ぐために、給電管理において、P S Oの任命と□(ア)の交換の手順が確立されている。

修理作業開始前には、修理作業に従事する陸揚局及びケーブル船上において、それぞれ1名のP S Oが指名される。

修理作業中では、一般に、□(イ)をP C Oとし、P C Oが給電に関する全ての管理を行い、試験のためのケーブル船側・陸揚局側のケーブル端の接地(ショート)及びオープンを含む給電操作の指示を行う。

□(ア)は、P C Oからの命令をケーブル船と対向する陸揚局に伝え、かつ、その回答をするために使われる文書であり、これらのやり取りは原則として電子メールやF A Xなどの書面で行われる。

また、□(ア)での命令は、できる限り単純に記載され、受理した命令内容の誤解を避けるため、必要な作業命令は、作業段階ごとに一つずつ確実に行われる。

分岐区間でのケーブル故障の場合、光海底分岐装置(B U)内の□(ウ)により分岐故障区間を電気的に切り離して、故障区間以外のトラヒックを疎通させるために給電を継続しながら修理が行われるが、船上作業者の安全を確保するためにP G Uが必要とされる。P G Uは、船上でのケーブル部分を船体アースに接続するものであり、ケーブル導体への接続器具、□(エ)、ケーブル船へのアースラインなどから構成される。

＜(ア)～(エ)の解答群＞

- |                |                |          |             |
|----------------|----------------|----------|-------------|
| ① 張力表示器        | ② P S M        | ③ M O P  | ④ 陸揚局のP S O |
| ⑤ O A D M      | ⑥ R P L        | ⑦ 電磁フィルタ | ⑧ リレースイッチ   |
| ⑨ ケーブル船運行者     | ⑩ P O W        | ⑪ 絶縁抵抗計  | ⑫ 予備ケーブル    |
| ⑬ ケーブル船上の接続技術者 | ⑭ 電流・電圧アラーム装置  |          |             |
| ⑮ ガスチューブアレスタ   | ⑯ ケーブル船上のP S O |          |             |

- (2) 次の文章は、光海底ケーブルの故障修理手順と各作業内容について述べたものである。    
内の(オ)～(ク)に最も適したものを、下記のそれぞれの解答群から選び、その番号を記せ。

(3点×4＝12点)

- (i) 光海底ケーブルの故障位置判定などについて述べた次の文章のうち、誤っているものは、(オ) である。

＜(オ)の解答群＞

- ① ROVの適用水深は、一般に、最大2,500[m]程度であり、ROVによる故障位置判定はこれより浅いエリアに適用される。また、ケーブル船が入り込めない浅海部では、ダイバーによる潜水作業で交流信号を探索できる簡易な装置を用いてケーブル判定と故障位置確認を行う方法がある。
- ② ROVが適用できない深い部分での故障については、一般に、陸揚局などからの光海底中継器監視測定、C－OTDR測定、電圧電流測定などにより故障位置の特定が行われる。
- ③ ROV又はダイバーによりケーブル故障位置を特定するため、陸揚側から光海底ケーブルの内部導体に、周波数20[Hz]～25[Hz]、電流80[mA]～120[mA]程度の交流信号を流し、その交流信号を探索する方法がある。
- ④ ケーブル故障位置の特定に使用する交流信号を送出できるのは、陸揚局に設置されている装置群の一つである、交流信号を送出する機能を持つ給電装置(PFE)のみである。

- (ii) ケーブル故障修理時におけるケーブル回収作業について述べた次のA～Cの文章は、(カ) 。

- A ケーブル故障点の水深が深く、シャント故障などでケーブルが切断されていない場合は、ケーブルをそのまま引き上げようとする、その余長が短く、ケーブルを船上まで持ち上げることができないため、引き上げる前にケーブル切断グラブネルを用いてケーブルを切断する作業が行われる。この作業は、CD(Cutting Drive)といわれる。
- B 切断されたケーブルを保持グラブネルで探線する作業は、HD(Holding Drive)といわれ、一般に、ケーブル切断部又は故障想定点から水深の2.5～3倍の距離を離れた位置において、保持グラブネル又は探線アンカーを用いてケーブルを捕線し、船上に引き上げる。
- C 船上に回収されたケーブルは、ケーブル回収作業で損傷した部分と水走りした区間を切断して取り除き、続いてOTDR試験、絶縁抵抗試験などを行い、損傷部分などを除去した後のケーブルの正常性を確認し、ブイ設置やケーブル接続などの作業へ移行する。

＜(カ)の解答群＞

- ① Aのみ正しい                      ② Bのみ正しい                      ③ Cのみ正しい
- ④ A、Bが正しい                      ⑤ A、Cが正しい                      ⑥ B、Cが正しい
- ⑦ A、B、Cいずれも正しい                      ⑧ A、B、Cいずれも正しくない

- (iii) 船上でのケーブル接続作業について述べた次の文章のうち、正しいものは、(キ) である。

＜(キ)の解答群＞

- ① ケーブル第1接続では、一般に、ケーブル船で保持しているケーブルと予備ケーブルとの接続を行う。接続時間は、ケーブルタイプによって異なるが2～4時間程度の時間を要し、その間ケーブル船はアンカーにより定点保持する。
- ② 船上でのケーブル接続においては、光ファイバ接続後とモールド終了後に正常性確認のため、ケーブル船と関係陸揚局との間で電気試験を行い、接続した箇所の光損失に異常が見つかった場合は、船上接続をやり直す。
- ③ ケーブル第1接続で接続試験結果が良好と判定された場合、切断された未回収のケーブルに紐付けしてあるブイ<sup>ひも</sup>へ向かってケーブルスラックをゼロとしてケーブル敷設を行い、ブイと未回収のケーブルを回収する。
- ④ 最終接続位置が決まりケーブル保持区間の正常性を確認した後、最終接続試験が開始される。最終接続試験は、給電統制権をケーブル船から陸揚局へ移行した後、双方の陸揚局間において実施される。

- (iv) 故障修理に必要な光海底ケーブルなどの海中設備の保管方法について述べた次の文章のうち、正しいものは、(ク) である。

＜(ク)の解答群＞

- ① 光海底ケーブルシステムを修理する際に用いる予備の光海底ケーブル、光海底中継器、BU及びUJ部品は、修理作業を迅速に行うために、常時、ケーブル船に保管されている。
- ② 予備ケーブルはケーブルタンクに保管され、一般に、ケーブル保管温度が規格内の場合、保管の際の温度調節は必要ないが、光海底ケーブル外被のポリエチレンは、紫外線によって劣化するため、保管する光海底ケーブルは、直射日光を遮断し、照明もナトリウムランプなどの紫外線を発しないものが必要である。
- ③ 予備光海底中継器及びBUは、光海底ケーブル修理工事で直ちに使用できるようカップリングにより数十[m]のスタブケーブルといわれる光海底ケーブルと接続した状態で保管され、そのケーブル端はケーブル内部の気密を保つために、シリコン樹脂で封止することが義務付けられている。
- ④ 光海底中継器、BUなどの海中機材を保管する際の温度範囲は、一般に、0 [℃]～40 [℃]とされているが、この温度範囲を超えることがない環境であれば、温度変化のある屋外を保管場所とすることができる。

- (1) 次の文章は、光海底ケーブルシステムの信頼性設計について述べたものである。□内の(ア)～(エ)に最も適したものを、下記の解答群から選び、その番号を記せ。ただし、□内の同じ記号は、同じ解答を示す。(2点×4＝8点)

光海底ケーブルシステムの回線信頼度を表す指標としては、機器の故障などによる年間の回線断時間(Outage Time)又は稼働率(Availability)が用いられ、これらの要求値に応じて最適な冗長構成の設計が行われる。

光海底ケーブルシステムの冗長構成のうち、□(ア)を用いた冗長構成は、トランスポンダ、波長多重部、光海底中継器サブシステムユニットなどのいずれかが故障した場合にサービス回線を□(ア)に切り替える方式である。

光伝送端局装置の一部として用いられるプロテクション装置は、故障発生時に現用系から予備系へ切り替える機能を有しており、トランスポンダ故障などの装置故障時において予備装置に切り替える装置プロテクション、また、伝送路故障時において別の経路(パス)に切り替えるネットワークプロテクションにより、サービスを回復する。

装置プロテクションでは、トランスポンダの冗長構成が稼働率の確保に有効である。送信側と受信側をともに現用系の装置と予備系の装置で構成して常に両方の装置で送受信し、現用系の装置に故障が発生した場合に予備系の装置を選択する方法は、一般に、□(イ)といわれる。故障率が $k$ のトランスポンダは、□(イ)により、故障率が□(ウ)に改善されるが、装置数が2倍となる。このため、複数のトランスポンダに1台の予備のトランスポンダを設ける冗長構成が採られる場合がある。

また、三つ以上の陸揚局にSDH伝送装置を設置したSDHリングプロテクションネットワークでは、□(エ)機能を実装したNPE(Network Protection Equipment)により、ネットワーク内の最短距離での迂回経路を選択する方式が実用化されている。

＜(ア)～(エ)の解答群＞

- |                   |              |         |                 |
|-------------------|--------------|---------|-----------------|
| ① AGC             | ② 多数決冗長      | ③ APS   | ④ 予備OADM        |
| ⑤ $(1-k)^2$       | ⑥ アース切替      | ⑦ 予備受光器 | ⑧ 1+1プロテクション    |
| ⑨ $\frac{1-k}{2}$ | ⑩ 予備波長       | ⑪ $k^2$ | ⑫ $\frac{k}{2}$ |
| ⑬ エレクトロレーディング     | ⑭ コールドスタンバイ  |         |                 |
| ⑮ 予備光ファイバペア       | ⑯ N:1プロテクション |         |                 |

- (2) 次の文章は、EDFAを用いた中継光海底ケーブルシステム(光増幅システム)の伝送設計などについて述べたものである。   内の(オ)～(ク)に最も適したものを、下記のそれぞれの解答群から選び、その番号を記せ。(3点×4=12点)

- (i) 光増幅システムにおける伝送路の偏波依存性などについて述べた次の文章のうち、誤っているものは、 (オ) である。

＜(オ)の解答群＞

- ① 伝送路における代表的な偏波依存性には、EDFAに使用される受動光学部品の特性から生ずる偏波依存損失、EDFAの偏波ホールバーニング及び光ファイバの偏波モード分散がある。
- ② EDFAで生ずる自然放出光雑音は無偏光であるため、雑音光のパワーは、偏波依存損失を有する受動光学部品を通過しても変化しない。
- ③ 信号光の偏波状態は伝送路の光ファイバの状態により時間的にランダムに変動することから、伝送路に偏波依存損失が生ずると、光S/N比は時間的にランダムに変動することとなる。
- ④ 光送信端局に装備される偏波スクランブラは、光信号の偏波状態を時間的にランダムに変化させることにより偏波ホールバーニングを抑圧し、光S/N比の時間的変動を抑制できるが、偏波依存損失に起因する光S/N比の時間的変動は抑制できない。

- (ii) 光増幅システムにおける非線形光学効果などについて述べた次のA～Cの文章は、 (カ) 。

- A 光増幅システムでは、光ファイバ中を伝搬する光のエネルギー密度が高くなると、光ファイバの材料である石英の誘導散乱現象、非線形屈折率変化などの非線形光学効果が大きくなり、信号波形劣化の要因となる。
- B 光増幅システムでは、光ファイバの非線形光学効果による伝送特性の劣化を考慮して光海底中継器の出力を決定する。この出力が光ファイバ中を伝搬して次段の光海底中継器に入力され、この入力が光海底中継器の最小受光感度以上となるように中継間隔を設計すればよい。
- C WDM方式を用いた光増幅システムにおいて、励起光強度が一定に保持されるように制御されている光海底中継器では、信号波長数が減少するに従って全波長合計の光海底中継器の出力光パワーは小さくなる。

＜(カ)の解答群＞

- ① Aのみ正しい      ② Bのみ正しい      ③ Cのみ正しい
- ④ A、Bが正しい    ⑤ A、Cが正しい    ⑥ B、Cが正しい
- ⑦ A、B、Cいずれも正しい    ⑧ A、B、Cいずれも正しくない

- (iii) WDM方式を用いた中継光海底ケーブルシステム(WDMシステム)の光海底中継器などの特性について述べた次の文章のうち、正しいものは、(キ) である。

＜(キ)の解答群＞

- ① WDMシステムに用いられるEDFAは、300波長のWDM伝送を可能とするために、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯において約300[nm]の利得帯域幅を持つが、その帯域内の利得は平坦<sup>たん</sup>ではなく、EDFAを用いて100中継以上中継するWDMシステムでは、EDFAの自己フィルタリング効果により伝送可能な帯域幅は30[nm]程度になる。
- ② EDFAの自己フィルタリング効果は、中継数が増えるごとに個々のEDFAの利得が高い波長付近にシステムの利得ピークが生ずる現象であるため、それぞれ異なる利得特性を持つEDFAを用いることにより、システムの利得ピークを生じさせない方法がとられている。
- ③ EDFAの利得特性は、環境温度や光入力レベルによって変化し、適用温度範囲内において低温になると長波長側の利得が増加し、光入力レベルが低下すると長波長側の利得が低下する。
- ④ 利得等化器は、個々のEDFA及びブロックごとの利得帯域の平坦化に用いられるが、利得等化器1台の挿入により利得帯域全体の利得レベルが12[dB]以上低下するため、利得等化器は、20中継以上のブロックごとに挿入することとされている。

- (iv) 光増幅システムにおける光雑音の累積などについて述べた次の文章のうち、正しいものは、(ク) である。

＜(ク)の解答群＞

- ① 光増幅器は、一般に、光信号を増幅すると同時に自然放出光雑音を発生し、光SN比を劣化させる。EDFAの場合、1台のEDFAが発生する自然放出光雑音パワーは、EDFAの自然放出光係数の2乗に比例し、EDFAの利得に反比例する。
- ② 自然放出光の伝送用光ファイバによる減衰は、信号光の伝送用光ファイバによる減衰と異なり、後段のEDFA利得によって減衰前のレベルまでには回復しない。このため、累積自然放出光雑音パワーは、EDFAの台数の平方根に比例する。
- ③ 光増幅システムにおいて、信号光は1波長であっても、累積自然放出光雑音と一緒に伝送されるため、信号光の波長がゼロ分散波長の近傍にある場合、四光波混合が発生し、信号光スペクトルが広がる要因となる。
- ④ 光ファイバの非線形光学効果を軽減するために使用する分散シフト光ファイバは、一般に、信号光の波長分散値が $1.5\mu\text{m}$ 帯で正の値となるように、ゼロ分散波長が信号光の波長より短波長に設定されている。

## 試験問題についての特記事項

- (1) 試験問題に記載されている製品名は、それぞれ各社の商標又は登録商標です。  
なお、試験問題では、® 及び TM を明記していません。
- (2) 問題文及び図中などで使用しているデータは、すべて架空のものです。
- (3) 論理回路の記号は、MIL記号を用いています。
- (4) 試験問題では、常用漢字を使用することを基本としていますが、次の例に示す専門的用語などについては、常用漢字以外も用いています。  
[例] ・迂回(うかい) ・筐体(きょうたい) ・輻輳(ふくそう) ・撚り(より) ・漏洩(ろうえい) など
- (5) バイト[Byte]は、デジタル通信において情報の大きさを表すために使われる単位であり、一般に、2進数の8桁、8ビット[bit]です。
- (6) 情報通信の分野では、8ビットを表すためにバイトではなくオクテットが使われますが、試験問題では、一般に、使われる頻度が高いバイトも用いています。
- (7) 試験問題のうち、正誤を問う設問において、句読点の有無など日本語表記上若しくは日本語文法上の誤りだけで誤り文とするような出題はしていません。
- (8) 法令に表記されている「メガオーム」は、「メガオーム」と同じ単位です。
- (9) 法規科目の試験問題において、個別の設問文中の「」表記は、出題対象条文の条文見出しを表しています。  
また、出題文の構成上、必ずしも該当条文どおりには表記しないで該当条文中の( )表記箇所の省略や部分省略などを行っている部分がありますが、( )表記の省略の有無などで正誤を問うような出題はしていません。