

解答の公表は1月28日10時以降の予定です。
合否の検索は2月16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、一様線路における一次、二次定数の周波数特性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)

電氣的定数が一様に分布している一様線路において、往復導体の単位長当たりの抵抗とインダクタンスをそれぞれ R と L、往復導体間の単位長当たりの漏洩^{えい}コンダクタンスと静電容量をそれぞれ G と C とすると、R、L、G 及び C は線路の一次定数といわれる。これら一次定数から導かれる減衰定数 α、位相定数 β、伝搬定数 γ 及び (ア) は、二次定数と総称される。

音声周波程度の低周波の場合、一般に、一次定数間において (イ) の関係が成立するため、角周波数を ω とすると二次定数の α 及び β は、次式で近似できる。

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega C R}{2}} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{G}{\omega C} \right) \right\}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{\omega C R}{2}} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{G}{\omega C} \right) \right\}$$

一方、30 [kHz] 以上の高周波になると、表皮効果、(ウ) などのため、一次定数の R が周波数 f の (エ) に比例して増加する。

また、(ア) は、低周波では周波数 f の (エ) に比例して減少し、高周波になると一定値に漸近する。

<(ア)～(エ)の解答群>

- | | | | |
|---------------|--------------------|--------------------|-----------|
| ① 逆 数 | ② 平方根 | ③ 2 乗 | ④ 3 乗 |
| ⑤ 伝搬速度 v | ⑥ $G \gg \omega C$ | ⑦ $R \ll \omega L$ | ⑧ 近接効果 |
| ⑨ 遮蔽効果 | ⑩ 反射係数 m | ⑪ 電磁結合 | ⑫ ファラデー効果 |
| ⑬ $LG \ll RC$ | ⑭ $LG \gg RC$ | ⑮ 特性インピーダンス Z。 | |
| ⑯ 入力インピーダンス Z | | | |

- (2) 次の文章は、メタリック伝送線路における漏話の軽減方法、伝送量に用いられる単位などについて述べたものである。 内の(オ)、(カ)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×2=6点)

- (i) 漏話の軽減方法などについて述べた次のA～Cの文章は、 (オ) 。

- A ケーブル内の各対の2本の導線を撚ることにより漏話は軽減でき、隣接する対どうしで撚りピッチを同一にすると、撚りピッチを変えた場合と比較して大きな軽減効果が得られる。
- B 信号の伝送方向(設備センタからユーザ方向又はユーザから設備センタ方向)ごとに回線をそれぞれ別々のケーブルに分けて収容する2条ケーブル方式は、遠端漏話と比較して漏話妨害の影響が大きい近端漏話を軽減する効果がある。
- C 長い平衡対ケーブルにおける漏話減衰量は、高周波になるに従い、一般に、オクターブ当たり遠端漏話では6[dB]、近端漏話では4.5[dB]の減少傾向を示す。また、遠端漏話減衰量は線路長が長くなるに従い増大するが、近端漏話減衰量は線路長に依存しない。

<(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) 伝送量などを表す場合に用いられる単位について述べた次の文章のうち、正しいものは、 (カ) である。

<(カ)の解答群>

- ① 伝送線路の送信端の信号電力を P_S [W]、受信端の信号電力を P_R [W]とすれば、伝送線路の減衰量 L [dB]は、次式で求められる。
- $$L = 20 \log_{10} \frac{P_R}{P_S}$$
- ② 電気通信分野においては、一般に、1 [mW]の電力を基準にした絶対電力レベルを表す単位として[dBm]が用いられる。この単位を用いて1 [mW]を表すと1 [dBm]となる。
- ③ 伝送システムにおいて、基準点における絶対電力レベル[dBm]と任意の点における絶対電力レベル[dBm]との差は相対電力レベルといわれ、単位として[dBr]が用いられる。
- ④ [dBm0]は、伝送システムのゼロ相対レベル点における、信号の絶対電力レベルを示す単位である。例えば、-15 [dBm0]の信号の場合、相対電力レベルが-10 [dBr]の点における絶対電力レベルは-5 [dBm]である。

- (3) 次の文章は、石英系光ファイバの分散、非線形光学効果などについて述べたものである。
 内の(キ)、(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×2=6点)

- (i) 石英系光ファイバの分散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 光ファイバの材料であるガラスの屈折率が光の周波数によりわずかながら異なるため、光ファイバ中を伝搬する光パルスの幅が狭まる現象は分散といわれる。
- ② 光ファイバ中での分散には、材料分散、構造分散、モード分散及び偏波モード分散の四つがあり、このうち材料分散と構造分散の和は波長分散といわれる。
- ③ MM光ファイバにおいては、光ファイバ中を伝搬する各モードの伝搬速度が異なるために生ずるモード分散が、符号間干渉を引き起こすため、伝送帯域を制限する主な要因となる。
- ④ SM光ファイバのゼロ分散波長や分散スロープを制御して製造された光ファイバは、総称して分散制御光ファイバといわれる。

- (ii) 光ファイバ中を伝搬する光の位相速度及び群速度について述べた次のA～Cの文章は、
(ク)。

- A 真空中の光の速度を c 、媒質の屈折率を n とすると、媒質中を伝わる光の速度は、 $\frac{c}{n}$ となり、この速度は、光の位相が伝わる速さであり位相速度といわれる。一方、周波数が異なる複数の波の集まりである波束が伝わる速度、すなわちパルスの包絡線が伝わる速度は、群速度といわれる。
- B SI型光ファイバでは、高次モードほど群速度が速くなる。これは、入射端で幅の広いパルスを入力しても、異なるモードに分担されて伝搬される結果、伝搬距離とともにパルスの幅が狭くなることを意味する。
- C 最も基本的なモードとなるLP₀₁モードは、波長が長くなると、電磁界が広がり屈折率の低いクラッドの影響を受けて位相速度が速くなる。逆に、波長が短くなると、電磁界がコアに集中して位相速度は遅くなり、コアの屈折率で決まる値に収束する。

<(ク)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

- (1) 次の文章は、光ファイバの分類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)

光ファイバを導波原理によって分類すると、全反射型及び (ア) 反射型に大別できる。全反射型の光ファイバは、コアとクラッドの屈折率差を利用した全反射によって光をコア内に閉じ込め、 (ア) 反射型の光ファイバは、フォトリソグラフィックバンドギャップを利用して光をコア内に閉じ込めている。

光ファイバの (イ) の材料による分類では、石英系光ファイバ、プラスチック光ファイバなどがある。さらに、石英系光ファイバは、機能によって、光増幅作用を有するEDF、 (ウ) の特性を制御したDCFなどに分類することができる。プラスチック光ファイバは、損失などの面では石英系光ファイバに及ばないが、一般に、耐屈曲性に優れ、大口径の光ファイバを製造しやすいなどの特徴を持つことから、LANなどの短距離通信、宅内配線などに用いられている。

また、光ファイバは、コアの (エ) の違いにより、SI型及びGI型に分類される。

<(ア)～(エ)の解答群>

- | | | | |
|---------|---------|---------|-----------|
| ① フレネル | ② 誘電体 | ③ 波長分散 | ④ 伝搬モード数 |
| ⑤ ドーパント | ⑥ ランバート | ⑦ 周波数 | ⑧ 屈折率分布 |
| ⑨ 結晶体 | ⑩ 非線形性 | ⑪ スペキュラ | ⑫ 導電体 |
| ⑬ 最大受光角 | ⑭ ブラッグ | ⑮ 添加物 | ⑯ 偏波モード分散 |

- (2) 次の文章は、光ファイバの構造パラメータ、損失特性、非線形光学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) 光ファイバの構造パラメータなどについて述べた次のA～Cの文章は、 (オ) 。

A 構造パラメータとは、コア径、クラッド径、コア／クラッド偏心率など光ファイバの構造にかかわるパラメータをいい、SM光ファイバでは、コア径に代わって定義されるモードフィールド径が用いられる。

B モードフィールド径は、SM光ファイバの径方向の光強度がガウス分布で近似できるとき、光強度が最大値に対して $\frac{1}{e^2}$ (eは自然対数の底)になるところの直径をいう。

C 光ファイバの光学的パラメータの一つである比屈折率差 Δ は、コアとクラッドの屈折率の違いの程度を表すパラメータであり、コアの最大屈折率を n_1 、クラッドの屈折率を n_2 とすると、次式で近似される。

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

<(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) 石英系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 光ファイバの損失は、一般に、光ファイバの軸方向に均等に分布しているため、 $[\text{dB}/\text{km}]$ という単位で表される。これは光が1[km]伝搬したときの光パワーの減衰量をデシベルで表したもので、例えば $0.2[\text{dB}/\text{km}]$ の場合、50[km]で10[dB]の損失があり、光パワーが10分の1となる。
- ② 光ファイバにおける吸収損失には、波長 $0.1[\mu\text{m}]$ 付近にピークがある紫外吸収、波長 $10[\mu\text{m}]$ 付近にピークがある赤外吸収などがある。光ファイバ通信で使用される波長域においては、紫外吸収はレイリー散乱損失よりも小さいため問題とならないが、赤外吸収は長波長側での主要な損失要因となる。
- ③ 光ファイバにおけるレイリー散乱損失は、主に短波長側で支配的となる損失であり、光ファイバ製造時に高温状態で固化する際にコアとクラッドの境界面にできる凹凸が原因で発生する。
- ④ 光ファイバのマクロベンディング損失は、光ファイバが許容曲率半径より小さい半径で曲げられたときなどの外的な要因により発生し、コアとクラッドの境界面に入射する光の角度が臨界角より小さくなるため、光が外部に放射されることによって生ずる損失である。ただし、入射角及び臨界角は、コアとクラッドの境界面の法線と光のなす角度とする。

- (iii) 自己位相変調及び四光波混合について述べた次のA～Cの文章は、(キ)。

- A 光ファイバに高強度の短光パルスを入射すると、光カー効果により屈折率の変化を生じ、光パルスの前縁部分は高周波側へ、後縁部分は低周波側へシフトする。このような現象は、自己位相変調といわれる。
- B 光ファイバの波長分散特性において、ゼロ分散波長より短波長側は正常分散領域、長波長側は異常分散領域といわれ、自己位相変調を受けた光パルスの幅は、正常分散領域では狭まり、異常分散領域では広がる。
- C 二つ以上の異なった波長の光を同時に光ファイバに入射したとき、入射光とは異なる新たな波長の光が発生する現象は、四光波混合といわれる。新たに発生した光はプローブ光といわれ、WDM方式では通信光に干渉し、伝送特性を劣化させる要因となる場合がある。

<(キ)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

- (iv) 誘導ラマン散乱(SRS)及び誘導ブリルアン散乱(SBS)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 非線形散乱は、光の強度があるしきい値を超えると、光ファイバ媒質の振動と入射光との相互作用が原因で発生する散乱であり、音響的振動によって生ずる散乱はSRS、光学的振動によって生ずる散乱はSBSといわれる。
- ② SRS及びSBSでは、入射光と同じ周波数の光が散乱されるレイリー散乱とは異なり、入射光とは異なる周波数の光が散乱される。散乱光は、入射光の低周波側と高周波側の両側の周波数域で発生する。
- ③ SRS及びSBSにおいて、入射光より高周波側に発生する散乱光は、ストークス光といわれる。
- ④ ストークス光は、SRSでは入射光と逆方向のみに伝搬するのに対し、SBSでは入射光と同方向と逆方向の両方向に伝搬する。

- (1) 次の文章は、光海底ケーブルの諸特性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)

光海底ケーブルには、ケーブルの敷設や回収のときに受ける動的張力に耐える機械的強度やケーブルが敷設される深海底の環境下において設計寿命とされている□(ア)年以上の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。

こうした要求事項を満たす光海底ケーブルの諸特性を表す指標の一つに□(イ)がある。光海底ケーブルの水中重量を5.0[kN/km]、破断強度を100[kN]とすると、□(イ)は20[km]となる。これは、例えば、光海底ケーブルを、水深8,000[m]までつり下げたとき、自重の2.5倍の重量に耐えることを意味している。

また、伝送特性については、運用中の光海底ケーブルの伝送品質を劣化させる要因として、光増幅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光ファイバにおける非線形光学効果、累積波長分散などが挙げられる。

非線形光学効果による影響を抑えるために使用される光ファイバの一つとして、信号波長帯域では波長分散の値がゼロでないノンゼロ分散シフト光ファイバ(NZDSF)があり、NZDSFは□(ウ)と分散スロープ低減光ファイバ(LSF)に分類される。

NZDSFを用いて光伝送路内における光ファイバの累積波長分散量を制御する場合、光信号パワーの高い光海底中継器の光出力側に□(ウ)を配置し、光信号パワーが光ファイバの損失で低下する光海底中継器の光入力側にLSFを配置する方法が採られる。

NZDSFの特性を示す指標の一つとして、分散スロープがある。分散スロープの単位としては□(エ)が用いられ、LSFの分散スロープの値は、0.06程度である。

<(ア)～(エ)の解答群>

- | | | |
|----------------------|--------------------------|----------|
| ① 10 | ② ps/km | ③ モジュラス |
| ④ 15 | ⑤ ps/nm/km | ⑥ 動水力学定数 |
| ⑦ 25 | ⑧ ps/nm ² /km | ⑨ 水走り長 |
| ⑩ 35 | ⑪ ps/√km | ⑫ NTT S |
| ⑬ 超大口径正分散光ファイバ(SLA) | | |
| ⑭ 大口径負分散光ファイバ(LMF) | | |
| ⑮ カットオフシフト光ファイバ(CSF) | | |
| ⑯ 逆分散光ファイバ(IDF) | | |

- (2) 次の文章は、光海底ケーブルシステムにおける各設備の構造、機能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) 光海底ケーブルの構造、機能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 光海底ケーブルには、使用環境の違いによって、外傷防止のために様々な保護構造が施されている。陸揚局近傍などの浅海域では、特に、漁労、^{いかり}錨などにより損傷を受けやすいため、一般に、鋼線を一重又は二重に巻いて保護した鋼線外装ケーブルが用いられている。
- ② 光海底ケーブルは、一旦敷設されると長期間にわたって安定した伝送特性が維持されなければならない。光ファイバの伝送特性のうち、光伝送損失は経年的に増加するおそれがあり、その主要因としては、光ファイバのマイクロベンドの発生及び水素ガスによるものがある。
- ③ 光海底ケーブルには、光海底ケーブル敷設時などに光ファイバが破断しないように、ケーブルの伸びを極力抑えて内部の光ファイバに加わる張力を小さく抑える必要があるため、金属線などで構成されるテンションメンバが設けられている。
- ④ 複数本の光ファイバを直接、3分割鉄個片の中に低密度ポリエチレンとともにスラックを入れて挿入しているルースタイプの光海底ケーブルは、タイトタイプの光海底ケーブルと異なり、銅チューブの溶接工程を省略しているため、光ファイバに加わる熱応力が軽減されている。

- (ii) 光海底ケーブルのサンプルを用いた評価試験などについて述べた次のA～Cの文章は、(カ) 。

- A 光海底ケーブルは、一般に、光海底ケーブルの輸送や保管中の温度変化などを考慮して、ケーブルサンプルにおける温度変化に対する光学特性の変化量を評価し、残留劣化のないことなどを確認する温度サイクル試験が行われる。
- B 長距離大容量システムに用いられる光海底ケーブルは、高電圧下での長期信頼性を検証するために、電圧と時間の指数関数則であるV-t則に基づいてケーブルサンプルに設計電圧を超える高電圧を印加する試験が行われる。
- C 光海底ケーブルは、敷設や回収時に直線状で引張張力を受けるのみでなく、ケーブル船のシーブやドラムケーブルエンジンにおいて、曲げ、側圧などの動的な外力を同時に受けるため、敷設機構を模した試験装置を用いてケーブルサンプルに短期的な最大許容張力であるNPTSを印加する長尺引張試験が行われる。

<(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) 光海底ケーブル給電装置(PFE)の構造、機能など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 PFEは、陸揚局に設置される装置の一つで、光海底中継器などの海中機器へ電力を連続して供給する機能を有している。給電方式としては、直列接続された海中機器に効率よく電力を供給する必要があるため、一般に、直流定電流方式が採用されている。
- ② PFEの電力制御部では、光海底ケーブルシステムの所要電圧を出力する能力を持つコンバータユニットを複数用いて並列接続する冗長構成により、高信頼性が確保されている。
- ③ PFEの高電圧部ユニットには、高電圧に対する安全性を確保するため、鍵が装備されている。鍵をアンロック状態にすると、給電装置は監視装置から送られるトラヒック情報でトラヒックに影響がないことを確認した場合、自動停止する。
- ④ PFEは、光海底中継器などの海中機器への安定した給電機能のほかに、海中分岐装置の給電回路切換回路の制御機能、光海底ケーブル開放故障時の静電容量測定機能、光海底ケーブル位置探索用の交流低周波信号を重畳する機能などを有している。

- (iv) 光海底中継器の構造、機能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 DWDM方式を用いた中継光海底ケーブルシステムにおいて、EDFAを用いた光海底中継器は、波長多重された信号光を一括増幅するため、利得等化フィルタによりEDFAの利得特性を平坦化^{たんぱん}して利得帯域の広帯域化を図り、100波以上の信号光の中継を可能としている。
- ② 光海底中継器の動作状態を監視する手法として、監視信号用に専用の波長を用いる方式があり、陸揚局から送信された監視信号が光海底中継器内でループバックされ、この監視信号は陸揚局の監視装置で受信されて各光海底中継区間利得の解析や光海底中継器の励起光源^{ききょう}駆動電流値などを検出できる。
- ③ 光海底中継器の耐圧筐体^{きょうたい}の主要材料には、海水中での耐腐食性と機械的強度に優れたチタン合金が用いられている。海水やガスの浸入から耐圧筐体内部に実装する光海底中継器ユニットを完全に保護するため、シリンダとカバー間の金属接合部は電子ビーム溶接により封止されている。
- ④ 光海底中継器の給電回路は、ガスチューブアレスタ、コイルなどを用いたサージ保護回路と定電圧源となるショットキーバリアダイオードから構成されており、ケーブル故障時に想定される給電サージや雷サージの侵入から光海底中継器ユニット内の光増幅回路を保護している。

- (1) 次の文章は、光海底ケーブルシステムの監視などの運用管理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)

大容量の光海底ケーブルシステムでは、故障発生時の影響が大きいため、予防保全や故障発生時の迅速な故障箇所の特定及び復旧に対する要求が高く、日常の監視などの運用管理が重要である。

さらに、波長分割多重された複数の波長の光信号を波長単位で分岐・挿入する技術を用いた□(ア)などの導入により、波長単位で複数の光海底ケーブルシステムや陸上伝送システムを含めた一元監視、接続管理などが要求され、運用管理は陸揚局単位の管理からネットワーク全体の管理に移行してきている。

光海底ケーブルシステムの監視制御機構はITU-T勧告M.3010で標準化されている□(イ)に基づいて設計・運用されており、□(イ)を構成している階層の一つであるネットワーク管理層では複数の光海底ケーブルシステムや陸上伝送システムまでを含めた管理を行えるようになっている。ネットワーク全体の管理の基本となる個々のネットワーク機器の管理は□(ウ)層で行われ、その管理装置は、一般に、MC又はEMSといわれる。

陸揚局間における監視用の通信は、海底区間の光信号伝送方式に用いられるSDH/SONETや□(エ)における伝送フレームのオーバーヘッドに重畳されているデータ通信チャネルを用いて行われる。□(エ)は、ITU-T勧告G.709で標準化されており、波長分割多重伝送に適した光パスの概念や符号誤り訂正技術などを採用している。

<(ア)～(エ)の解答群>

- | | | |
|-----------------------------------|----------|--------------|
| ① OSI参照モデル | ② OADM | ③ デジタルコヒーレント |
| ④ 3層アーキテクチャ | ⑤ サービス管理 | ⑥ 仮想化アーキテクチャ |
| ⑦ ビジネス管理 | ⑧ HMI | ⑨ データリンク |
| ⑩ エレメント管理 | ⑪ FEC | ⑫ TMNアーキテクチャ |
| ⑬ NGN(Next Generation Network) | | |
| ⑭ ATM(Asynchronous Transfer Mode) | | |
| ⑮ OTN(Optical Transport Network) | | |
| ⑯ DCN(Data Communication Network) | | |

- (2) 次の文章は、光海底ケーブルシステムの監視・保守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) 光海底ケーブルシステムの監視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 アクティブSV機能を持つ光海底中継器では、インサービスの状態で陸揚局から送出されたコマンド信号を受信し、光海底中継器の光入出力レベルなどについて陸揚局へ応答信号として返信することができる。
- ② 光海底ケーブル中継区間における光ファイバ伝送損失の変動を監視するためには、C-OTDRを用いてインサービスで連続監視する方法があり、これにより光ファイバの伝送損失のみならず、各光海底中継器の利得劣化、ケーブル接続部分の損失劣化などを把握することができる。
- ③ 光海底ケーブルシステムにおける監視警報は、装置警報と通信警報に大別され、一般に、装置警報は装置内のハードウェア故障を検出した場合に発生し、通信警報は光海底ケーブル区間又はクライアント装置との間での主信号の不通や劣化を検出した場合に発生する。
- ④ 光海底ケーブルシステムでは、光海底中継器などの経年劣化に対するマージンを見込んだ伝送路設計が行われており、運用開始後において、海底ケーブル区間の監視情報、光伝送端局装置におけるFECによる誤り訂正後の符号誤り率、Q値などの監視情報から、設計時のマージンに対する実際の光海底ケーブルシステムの状況を把握できる。

- (ii) 光海底ケーブルの開放(オープン)故障について述べた次のA～Cの文章は、 (カ) 。

- A 陸揚局からの給電において、光海底ケーブル内の給電導体が開放になった状態は開放故障といわれ、強い張力で光海底ケーブルが引きちぎられたときにポリエチレン層がそのケーブル端において給電路を包み込んで覆ってしまうことが原因の一つとして想定される。
- B 光海底ケーブルに開放故障が生じた場合、一般に、開放故障点に高電圧を印加し、絶縁(シャント)故障状態に移行させることにより給電状態による精度の高い故障点位置判定を可能とする方法が採られる。
- C 陸揚局からのケーブル静電容量測定による開放故障点の位置判定は誤差が大きいため、ケーブル船で推定故障位置付近のケーブルを回収した後に、ケーブル船から静電容量測定を行い、開放故障位置を絞り込んでいく方法を採用する場合がある。

<(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) 光海底ケーブルの故障修理時における安全対策など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 ケーブル船による光海底ケーブルの故障修理中は、作業者の安全を確保するため、陸揚局とケーブル船間及び陸揚局間の全ての電気試験の実施はP S M(Power Safety Message)の手順に従って、電話による口頭確認を行いながら1ステップずつ実施する。
- ② ケーブル船による光海底ケーブルの故障修理中は、陸揚局及び船上の作業者の安全を確保するため、指定された陸揚局のP S O(Power Safety Officer)が電気試験に必要な全てのP F E操作に関する権限を持ち、当該陸揚局のP S Oは他の関係陸揚局及びケーブル船に対し、P F E操作の指示を行う。
- ③ 光海底分岐装置を用いている全ての光海底ケーブルシステムは、海底区間での故障修理において、いずれの区間の故障であっても回線断を故障区間のみにとどめることが可能であるため、他の2区間を給電したまま故障修理を行うことができるように設計されている。
- ④ 光海底分岐装置を用いている光海底ケーブルシステムの海底区間での故障修理において、他の2区間を給電したまま修理する場合は、船上作業者の安全を確保するため、光海底分岐装置側のケーブル作業時は船上でP G U(Power Grounding Unit)を使用して作業を行う必要がある。

- (iv) 中継光海底ケーブルシステムにおいて、ケーブル区間に絶縁故障が発生した場合、次に示す条件のとき、絶縁故障点は、陸揚局Aから(ク) [km]の地点であると推定される。

(条 件)

- ① 光海底ケーブルシステム長：4,000 [km]
- ② 給電電流：0.8 [A]
- ③ 光海底中継器間隔(陸揚局と第1中継器の間隔を含む)：50 [km]
- ④ 光海底中継器1台当たりの電圧降下：給電電流0.8 [A]のとき、30 [V]
- ⑤ 光海底ケーブル1 [km]当たりの電気抵抗：1 [Ω]
- ⑥ 絶縁故障発生前の正常な状態での給電電圧
陸揚局A：+2,785 [V]
陸揚局B：-2,785 [V]
- ⑦ 絶縁故障発生後、絶縁故障点の電位をゼロに調整した状態での給電電圧
陸揚局A：+1,210 [V]
陸揚局B：-4,360 [V]
- ⑧ 陸揚局での接地抵抗、地電位差など上記以外の電気抵抗変動要因及び電圧変動要因は考慮しないこととする。

<(ク)の解答群>

- ① 825 ② 850 ③ 875 ④ 900

- (1) 次の文章は、光増幅方式を用いた中継光海底ケーブルシステム(光増幅システム)の設計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)

光増幅システムでは、光ファイバ増幅器で自然放出光が増幅されて生ずる (ア) や波長分散がシステム長全体にわたって累積されるため、伝送特性を中継区間ごとに区切って設計することができず、光信号が始末端される対向する光伝送端局装置の光送信器・受信器間での設計が必要となる。

また、光増幅システムは、再生中継システムと異なり、光伝送端局装置における (イ) により受信特性が一義的に決まる。したがって、所定の伝送特性を満たすための (イ) を確保しつつ、光ファイバの非線形光学効果による伝送特性劣化を抑えられるよう、中継間隔や光海底中継器の入出力レベルなどのシステムパラメータが設計される。

また、 (イ) からベースラインとなる伝送区間のQ値が計算できる。Q値は符号誤り率と1対1に対応するもので、システム設計は、伝送品質を劣化させる要因とその劣化要因によるQ値の低下量を (ウ) の単位でパワーバジェットに反映して行われる。

長距離の光増幅システムは、一般に、周回系やテストベッドを用いた伝送実験で定量的に評価され、特に、伝送路の偏波依存損失やEDFAの偏波ホールバーニングは、信号光の偏波状態に依存し、テストベッドにより伝送特性の (エ) として測定される。

<(ア)～(エ)の解答群>

- | | | | |
|----------|-------|---------|---------------|
| ① 吸収損失 | ② dBm | ③ 時間変動 | ④ 光送信器での光S/N比 |
| ⑤ 周波数変動 | ⑥ 暗電流 | ⑦ 空間変動 | ⑧ 受信光パワー |
| ⑨ 送信光パワー | ⑩ mW | ⑪ ASE雑音 | ⑫ ps/nm/km |
| ⑬ ショット雑音 | ⑭ dB | ⑮ 位相変動 | ⑯ 光受信器での光S/N比 |

- (2) 次の文章は、光海底ケーブルシステムの分散マネジメント、パワーバジェット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) DWDM方式を用いた長距離光海底ケーブルシステム(DWDMシステム)における分散マップ技術を用いたシステム設計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 伝送路における光ファイバの累積波長分散量を制御する分散マップ技術は、累積波長分散による波形劣化の低減とともに、光ファイバの非線形性と波長分散との相互作用で生ずる波形劣化の低減にも有効である。
- ② DWDMシステムの分散マップ技術を用いたシステム設計においては、数百[km]程度のブロックを単位として設計される場合があり、その場合、光ファイバには、信号波長1,550[nm]で -2 [ps/nm/km]程度の波長分散を有するNZDSFなどが用いられる。
- ③ DWDMシステムにおいて、自己位相変調や相互位相変調の影響を抑圧するため、超大口径正分散光ファイバ(SLA)と逆分散光ファイバ(IDF)で1中継区間を構成する場合、光海底中継器の入力側にSLA、光海底中継器の出力側にIDFが配置される。
- ④ DWDMシステムにおいて、非線形光学効果の影響を低減するため、SLAとIDFで1中継区間を構成する場合、SLAとIDFの長さを調整することにより伝送帯域の中心波長での1中継区間の平均波長分散がゼロにならないようにオフセットさせる方法が有効である。

- (ii) 光海底ケーブルシステムに用いられる変調方式について述べた次のA～Cの文章は、(カ) 。

- A NRZ-OOK方式は、一般に、RZ-OOK方式と比較してスペクトル幅が広く、マーク送信時の1ビット当たりの送信光パワーが半分以下で済むため、非線形耐力が大きいという利点を有する。
- B 光海底ケーブルシステムでは、光海底中継器の限られた増幅帯域を効率的に使用し、かつ、陸上システムで実績ある合分波用光部品を活用するため、WDM伝送の波長間隔はITU-T勧告として規定されている75[GHz]、33[GHz]が用いられている。
- C RZ-DPSK方式は、位相情報を利用するため、RZ-OOK方式と比較して、受光感度が高く、光ファイバの非線形光学効果の一つである自己位相変調の影響を受けにくい。したがって、RZ-OOK方式を用いた光海底ケーブルシステムの設計容量を超えるアップグレードを実施する場合、RZ-DPSK方式を適用する方法がある。

<(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) 光増幅方式を用いた中継光海底ケーブルシステム(光増幅システム)のパワーバジェット設計など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 システム運用開始時(BOL: Beginning Of Life)のQ値を設計する際は、経年劣化及び修理マージンを考慮し、さらに、偏波状態変動による劣化や光伝送端局装置などの製造偏差マージンも考慮する。
- ② 誤り訂正符号の性能は符号化利得により表されるが、符号化利得は訂正前の伝送品質に依存する。Q値は伝送品質の評価指標の一つであり、符号誤り率が高いほど高くなり、一般に、訂正前の入力Q値が高いほど、符号化利得は小さくなる。
- ③ 光増幅システムのパワーバジェット設計において、Q値の劣化要因としては、光ファイバの非線形性、波長分散などがある。これらの劣化要因で生ずるQ値の劣化量は、周回系、テストベッド、計算機シミュレーションなどを用いて要因ごとに個別に定量化し、その総和が伝送ペナルティとして求められる。
- ④ システム寿命時(EOL: End Of Life)のQ値は、所要の伝送品質を満足するように確定する必要があるため、一般に、マージンを含めず、EOLで要求される伝送路Q値がそのまま設計値として適用される。

- (iv) DWDM方式を用いた長距離光海底ケーブルシステム(DWDMシステム)の設計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>

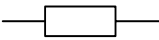
- ① 光海底中継器には、より多くの波長の信号を伝送可能とするために、広帯域にわたって低雑音で高出力の増幅特性を持つ光ファイバ増幅器が用いられる。励起用LDとしては、発振波長が980[nm]のものに代わって雑音指数4[dB]を実現できる発振波長が1,480[nm]のものが採用されている。
- ② 伝送帯域の中心波長をゼロ分散とする大洋横断クラス of 広帯域システムでは、伝送路にNZDSFを用いて分散スロープによる累積波長分散を低減している。この累積波長分散は、全ての波長において同一であるため、ゼロ分散波長から離れた短波長側及び長波長側の光信号に対して、送信側でのプリ分散補償を必要としない。
- ③ 光海底中継器の利得等化フィルタは、EDFの増幅特性だけでなく、光ファイバ区間の損失の波長依存性も考慮して設計される。ファイバグレーティングなどの利得等化用光部品は、設計自由度が高いため、大洋横断クラス of 広帯域なDWDMシステムであっても、1中継区間ごとの利得等化のみを行うことにより、システムとして平坦な増幅特性が実現されている。
- ④ DWDMシステムの運用において、実際の伝送波長数が設計容量を大きく下回る場合、光海底中継器の出力は一定であるため、1波長当たりの出力レベルが高くなり、光ファイバの非線形光学効果による品質劣化が大きくなる。対策としては、信号光と一緒に、信号を運ばないダミーの光を伝送することにより1波長当たりの出力レベルを抑える方法が有効である。

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) 試験問題、図中の抵抗器及びトランジスタの表記は、新図記号を用いています。

新 図 記 号	旧 図 記 号	新 図 記 号	旧 図 記 号
			

- (4) 論理回路の記号は、MIL記号を用いています。

- (5) 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(きやうたい) ・輻輳(ふくそう) ・燃り(より) ・漏洩(ろうえい) など

- (6) 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。

- (7) 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。

- (8) 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。

- (9) 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。

- (10) 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。