

注 意 事 項

- 1 試験開始時刻 14時20分
- 2 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

- 3 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45
	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					20 線46～線49

- 4 受験番号等の記入とマークの仕方

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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	●	I	I	⑧	⑧	⑧	⑧	⑧	⑧
⑨	●	J	J	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨

生 年 月 日									
年 号	5	0	0	3	0	1			
平成	○	●	●	○	●	○			
	①	①	①	①	①	●			
	②	②	②	②	②	②			
昭和	③	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			

- 5 答案作成上の注意

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 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。
- (6) 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。

- 6 合格点及び問題に対する配点

- (1) 各科目の満点は100点で、合格点は60点以上です。
- (2) 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1月29日10時以降の予定です。
可否の検索は2月17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、一様線路の一次定数及び二次定数と減衰量の関係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。

(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を R 、インダクタンスを L 、往復導体間の単位長当たりの漏れコンダクタンスを G 、静電容量を C とすると、 R 、 L 、 G 、 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 、特性インピーダンス Z_0 は、二次定数と総称され、伝搬定数 γ と特性インピーダンス Z_0 は、次式で表すことができる。

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

$$Z_0 = |Z_0| e^{j\phi} = \text{ (ア)}$$

ただし、 j は虚数記号を、 ω は伝送波の角速度を、 ϕ は特性インピーダンスの偏角をそれぞれ表し、 e は自然対数の底とする。

また、二次定数は周波数特性があり、30 [kHz] 以上の高周波の場合、 α 及び β は次式で近似できる。

$$\alpha \doteq \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\beta \doteq \text{ (イ)}$$

ここで、 R は、表皮効果などにより、周波数の (ウ) に比例して大きくなり、 α も同様に大きくなる。さらに、この線路の減衰量が最小となる R 、 L 、 G 、 C の関係は (エ) であり、これは、減衰量最小の条件といわれる。

〈(ア)～(エ)の解答群〉

① 2 乗

② 3 乗

③ 逆 数

④ 平方根

⑤ $\omega \sqrt{LC}$

⑥ $\omega \sqrt{RG}$

⑦ $\omega \sqrt{\frac{C}{L}}$

⑧ $\omega \sqrt{\frac{R}{G}}$

⑨ $RC = GL$

⑩ $RG = LC$

⑪ $R\sqrt{C} = G\sqrt{L}$

⑫ $RG = \omega^2 LC$

⑬ $\sqrt{\frac{R - j\omega L}{G - j\omega C}}$

⑭ $\sqrt{\frac{G - j\omega C}{R - j\omega L}}$

⑮ $\sqrt{\frac{G + j\omega C}{R + j\omega L}}$

⑯ $\sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$

(2) 次の文章は、光の性質、光の伝搬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) 光の性質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 電磁波は、電界と磁界が直交して進行し、それぞれの振動方向は進行方向に垂直な横波である。光は、放送や携帯電話に用いられる電波の波長と比較して、非常に長い波長の電磁波である。
- ② 回折現象のうち、光源と観測点のいずれか、又は光源と観測点の両方が開口に近く、光の波面の曲率が無視できない回折は、フラウンホーファー回折といわれる。
- ③ 光の吸収とは、光の一部が光の伝搬媒体によって吸収され、熱に変換される現象をいい、光ファイバでは石英ガラスの紫外吸収と赤外吸収のほか、添加剤として含まれる金属イオンや水素イオンによる不純物吸収がある。
- ④ 光の波長に近い大きさの微粒子を含む透明な媒質に白色光を入射させると、入射側に近いところでは青い光が散乱し、残った赤い光が伝搬する。この現象はレイリー散乱といわれ、散乱による損失の大きさは波長の2乗に比例する。

(ii) 光ファイバの伝搬特性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 光ファイバ中を伝搬する光の電磁界分布を伝搬モードといい、S I型光ファイバ中を伝搬するH E₁₁モードは、軸方向電磁界成分を有する混成モードの一つであって、高次モードといわれる。
- ② MM光ファイバの特性を表す基本的なパラメータである遮断波長は、マルチモードとなるための最小限の波長をいう。
- ③ S I型光ファイバにおいては、コアとクラッドの境界面を臨界角よりも小さな角度で反射しながら進む光波が存在するが、この光波が光ファイバの伝搬モードになるためには、コアの中心軸に直交する方向の位相変化量が、光波の1往復に伴って $\frac{1}{2\pi}$ の整数倍になる必要がある。
- ④ 光ファイバで伝搬可能なモード数を構造パラメータから求めるには、規格化周波数Vが用いられ、空気中の光の波長を λ 、コアの半径をa、コアの屈折率を n_1 、クラッドの屈折率を n_2 とすると、Vは次式で表すことができる。

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \times \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

- (iii) 光ファイバ内で生ずる偏波モード分散(PMD)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 実際に使用される光ファイバが真円でないこと、また、曲げなどによる応力の影響によって光ファイバに複屈折が生ずることから、直交関係にある二つの偏波モード間に群遅延時間の差が生ずる現象は、PMDといわれる。
- ② 時間領域におけるPMDの測定には、光ファイバ中を伝搬してきた光の群遅延時間差をマイケルソン干渉計などを用いて干渉縞に変換し、その間隔を干渉計の光遅延器によって検出する方法があり、これは干渉法といわれる。
- ③ 周波数領域におけるPMDの測定には、波長可変光源から出力され回転型偏光子などを用いて偏光面角度が調節されて光ファイバを伝搬してきた光を入力とし、偏光解析器を用いて光のPMDを算出する方法があり、これはジョーンズマトリックス(JME)法といわれる。
- ④ PMDは、波長分散と比較して光信号への影響は小さいが、伝送速度が高速になるほど伝送距離を制限する要因の一つとなる。PMDの値の単位はps/km²で表される。

- (iv) 石英系光ファイバにおける光の分散特性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 光ファイバの材料である石英ガラスの屈折率が光の周波数により僅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、一般に、分散といわれる。
- ② 光ファイバの分散には、材料分散、構造分散、モード分散及びPMD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、相互位相変調を引き起こすため、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作された光ファイバは、総称してフォトニック結晶光ファイバといわれる。

- (1) 次の文章は、光ファイバの種類と特徴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。(2点×4＝8点)

MM光ファイバは、SM光ファイバと比較して、伝送帯域は狭いがコア径が大きいこと及び□(ア)可能な光の最大入射角度が大きいことから、光源と光ファイバ及び光ファイバどうしの接続が容易である。

NZDSFは、SM光ファイバの分散特性を制御した光ファイバの一つであり、□(イ)を調整して使用波長帯域近傍にゼロ分散波長をシフトさせ、かつ、使用波長帯域において波長分散をゼロとしない特徴を有している。このため、EDFAを用いたWDMシステムにおいては、NZDSFを使用することが、□(ウ)で生ずる波長チャネル間のクロストークを抑制するために有効とされている。

また、DCFは、光ファイバ伝送路の使用波長帯域において、累積する波長分散を補償する光ファイバであり、SM光ファイバに対して□(エ)の波長分散と分散スロープを有している。

＜(ア)～(エ)の解答群＞

- | | | | |
|---------|---------|-----------|-----------|
| ① 四光波混合 | ② 形状が山型 | ③ 共鳴 | ④ 位相定数 |
| ⑤ 共振 | ⑥ 減衰定数 | ⑦ 自己位相変調 | ⑧ 正負が逆の符号 |
| ⑨ 開口数 | ⑩ 励振 | ⑪ 正負が同じ符号 | ⑫ ポッケルス効果 |
| ⑬ 形状が谷型 | ⑭ 光カー効果 | ⑮ 屈折率分布 | ⑯ 発振 |

- (2) 次の文章は、光ファイバの構造パラメータ、誘電体材料の違いによる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) 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関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。

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

〈(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) 誘電体材料の違いによる各種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、 (カ) である。

〈(カ)の解答群〉

- ① 石英系光ファイバは、純粋な石英にゲルマニウム、ホウ素、フッ素などが添加され、多成分系酸化物光ファイバと比較して低損失で長期的安定性に優れている。
- ② 多成分系酸化物光ファイバは、ソーダ石灰ガラス、ホウケイ酸ガラスなどを主成分としたものが多く、ナトリウム、カルシウムなどの組成比率を変えて増幅率を変化させている。
- ③ フッ化物光ファイバは、フッ化ジルコニウムなどを主成分とした光ファイバであり、石英系光ファイバと比較して赤外吸収が小さく、希土類元素を添加することにより光増幅用光ファイバとして利用されている。
- ④ プラスチック光ファイバは、石英系光ファイバと比較して、伝送特性の面では劣るものの、コア径が大きく光デバイスとの接続が容易である、曲げに強く折れにくいなどの特徴を有する。

- (iii) 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、正しいものは、(キ) である。

＜(キ)の解答群＞

- ① 光ファイバの分散パラメータは、光ファイバの単位長さと光スペクトルの単位波長範囲に対する群遅延の広がりを行い、群速度の分散パラメータが正の場合は異常分散、負の場合は正常分散といわれる。
- ② 比屈折率差を調整することで材料分散を変化させ、石英系ガラスの伝送損失が最小となる $1.55\ \mu\text{m}$ 帯において構造分散がゼロとなる SM 光ファイバは、DSF といわれる。
- ③ コアの両側のクラッド部内に円形の応力付与部を配置し、二つの偏波モードの結合を抑制した光ファイバは偏波保持光ファイバといわれ、光増幅器における偏波分離合成器などの光デバイスに使用される。
- ④ 光通信システムで伝送される信号の品質は、SN比と波形ひずみに影響される。SN比の劣化と波形ひずみの要因は、通信用光ファイバケーブルの分散と損失であり、一般に、SN比は分散により劣化し、波形ひずみは損失により増大する。

- (iv) 光ファイバ通信における信号劣化要因などについて述べた次の A～C の文章は、(ク) 。

- A 線形中継システムでは、信号光と ASE 光との間のビート雑音は中継器数に比例して増大し、また、ASE 光と ASE 光との間のビート雑音は中継器数の 2 乗に比例して増大する。
- B 光伝送路の途中に光コネクタなどの光部品があると、反射によって干渉現象が生ずる。反射光が光源である LD まで戻り、干渉現象によって発振光が不安定になることを防ぐため、ホトリフレクタが用いられる。
- C 光ファイバが温度変化によって伸縮すると光信号に揺らぎが生じ、ビット誤り率を増大させる要因の一つとなる。この揺らぎの周波数が $10\ [\text{Hz}]$ 未満のものはジッタといわれる。

＜(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、光海底ケーブルの構造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。(2点×4＝8点)

光海底ケーブルは、敷設される海底環境を要因とする外傷を防止するために、様々な保護構造が施されており、保護構造で分類すると、無外装ケーブルと外装ケーブルに大別される。

図1は、無外装ケーブルのうち、LWS (Light Weight Screened) ケーブルといわれる光海底ケーブルの断面の一例を示したものである。

図1に示すように、光ファイバを防護する鉄3分割パイプの周囲にはハガネ線が撚られており、その外側にある図中Aで示す金属層は、電気抵抗がケーブル1[km]当たり□(ア)〔Ω〕程度の給電路を形成する。また、図中Bで示すラミネート加工された□(イ)は、ラミネートの溶融によりLW (Light Weight) コア及び図中Cで示す外部シースと密着している。この図中Cで示す外部シースは、□(ウ)を押出成形したものである。

一方、外装ケーブルには、水深、海底地質など光海底ケーブルの使用環境に対応できるよう幾つかの種類がある。水深□(エ)〔m〕程度までは、一般に、一重外装ケーブルが使用されているが、陸地に近い浅海部では、漁労、錨などにより、光海底ケーブルが最も損傷を受けやすいことから、一般に、二重外装ケーブルが使用されている。

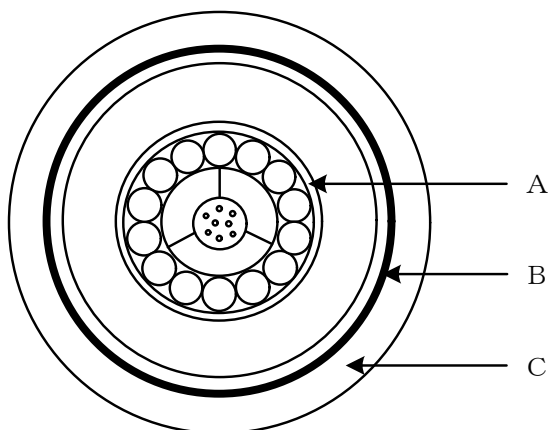


図1

＜(ア)～(エ)の解答群＞

- | | | |
|-----------|-------------|-----------|
| ① 0.1～0.4 | ② 100 | ③ ポリウレタン |
| ④ 0.7～1.0 | ⑤ 300 | ⑥ 熱収縮チューブ |
| ⑦ 1.5～1.8 | ⑧ 1,500 | ⑨ ポリプロピレン |
| ⑩ 2.0～2.3 | ⑪ 3,000 | ⑫ 銅チューブ |
| ⑬ 鉄テープ | ⑭ 低密度ポリエチレン | |
| ⑮ 水走り防止材 | ⑯ 高密度ポリエチレン | |

- (2) 次の文章は、光海底中継器の信頼性、光海底中継器の耐圧筐体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) 光海底中継器の信頼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 光海底中継器のEDF励起用LDは、光海底中継器として所要の信頼性を実現するため、一般に、光カプラなどを介して冗長化されている。
- ② 長期間の設計寿命が要求される光海底中継器において、その構成部品の信頼度を確保するための手法の一つであるスクリーニング試験では、初期故障品の除去が行われる。
- ③ 耐圧筐体内に光増幅回路と給電回路を実装した回路ユニットを収容する光海底中継器においては、回路ユニット内部の温度上昇を抑える放熱対策が施されており、周囲温度が0 [℃]～35 [℃]の範囲で、安定して動作するように設計されている。
- ④ フィードスルーアセンブリといわれる構造では、光ファイバと給電線を一括して耐圧筐体内に気密導入しており、光ファイバには樹脂成形封止とメタルコーンシール、給電線にはハンダによるメタル封止が採用されている。

- (ii) 光海底中継器の耐圧筐体など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 光海底中継器に要求される仕様項目の一つとして、一般に、最大水深6,000 [m]の海底で10年以上安定して動作することが挙げられる。
- ② 光海底中継器の耐圧筐体は、785 [MPa]以上の水圧に耐える機械的特性を有している。また、耐圧筐体内部を真空乾燥後、乾燥窒素ガスで置換して封止する構造により、耐圧筐体内の相対湿度を50 [%]程度に保つ気密性を有している。
- ③ 光海底中継器では、輸送、船積み、敷設及び修理時の引揚げの際の振動や衝撃から回路ユニットを保護するため、一般に、耐圧筐体と回路ユニットの間に金属バネ製クッションが設けられている。この金属バネ製クッションは、回路ユニットの放熱の機能も持っている。
- ④ 光海底中継器の耐圧筐体の材料は、機械的強度、導電性、耐摩耗性などに優れた無酸素銅が用いられている。

- (3) 次の文章は、光海底ケーブルシステムにおける切替機能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) 図2は、給電電流制御型の海底分岐装置(BU)の給電回路回路の一例であり、その初期状態を示している。図中、R1～R4をリレーの駆動コイル、r1～r4を各リレーに対応する接点、a端及びb端をトランク、c端をブランチとすると、BUの給電切替機能などについて述べた次のA～Cの文章は、[(キ)]。

- A BUの給電回路は、駆動コイルと接点を持つ真空リレーを組み合わせで構成されている。真空リレーは単体でラッチ機能を持ち、駆動コイルに電流を流すと接点が切り替わり、電流を切ってもその状態を保持することができる。
- B トランク経路(a－b間)に給電すると、R1とR2が動作してr1とr2が切り替わり、a－b間とc端が切り離されるとともに、c端がR4に接続される。さらに、c－SE間に給電するとR4が動作してr4が切り替わり、c端が自己保持され、通常給電状態が確立する。
- C 通常給電状態において、b端でケーブル故障が発生した場合、初期状態に戻した後、a－c間に給電するとR2とR3が動作してr2とr3が切り替わり、故障中のb端はSEに接続されてa－c間から切り離され、a－c間のトラヒックが確保される。

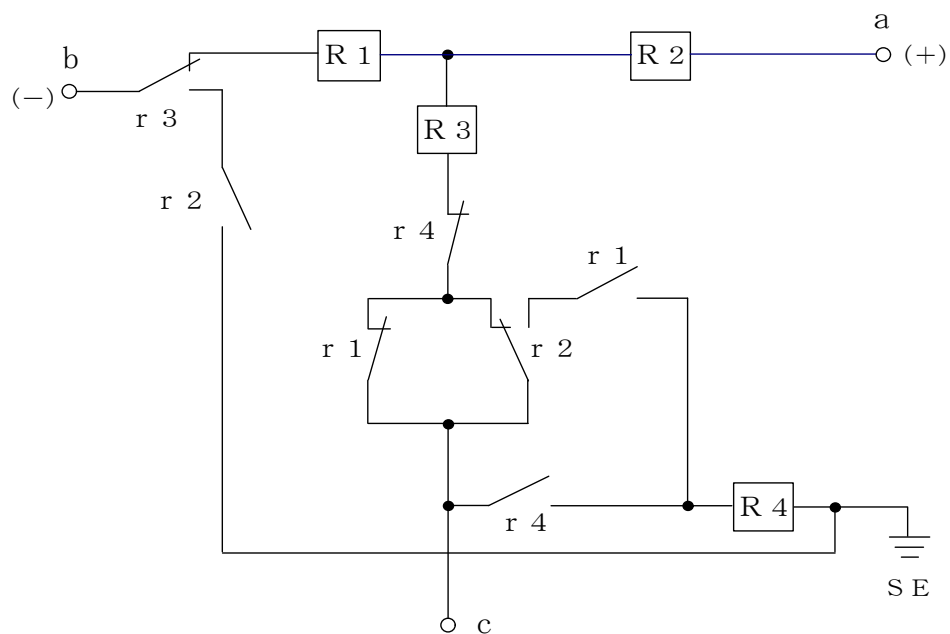


図2

<(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 | |

- (ii) プロテクション装置の迂回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、
(ク) である。

＜(ク)の解答群＞

- ① 長距離光海底ケーブルシステムにおいて、ケーブル切断や中継器故障などの伝送路故障が発生した場合、一般に、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ってトラヒックが救済される。
- ② I T U－T 勧告で規定されている S N C P (Unidirectional 1 + 1 SubNetwork Connection Protection)は、送信ノードがワーキングパスとプロテクションパスの両方に対してデータ伝送し、受信側装置がどちらかのパスを選択する方式である。
- ③ I T U－T 勧告で規定されている M S－D P R i n g (Multiplex Section-Dedicated Protection Ring)のうち、4本の光ファイバを用いた M S－D P R i n g は、右回り／左回りを切り替えるリング切替はできるが、並設されている異なる光ファイバペアに切り替えるスパン切替はできない。
- ④ T O A (Transoceanic Application)は、I T U－T 勧告で規定されている方法であり、複数のノードを有するネットワークにおいて故障が発生した場合、単純な M S－D P R i n g では故障発生箇所に近いノードまで信号伝送した後、迂回経路側へ切り替えて受信ノードまで伝送することになるが、T O A を採用することにより最短距離のプロテクションパスを選択して切り替えることが可能である。

- (1) 次の文章は、中継光海底ケーブルシステムにおけるケーブル故障位置の特定と探線作業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)

中継光海底ケーブルシステムにおいて、埋設されている光海底ケーブルが故障した場合、一般に、陸揚局に設置されている給電装置の□(ア)機能を用いて25 [Hz]程度の交流信号を直流給電電流に重畳し、磁気探査機能を有する□(イ)により当該ケーブル位置を特定する。□(イ)には、最大適用水深が3,000 [m]程度のものがある。

故障箇所が中継器と中継器の間の区間であり、ケーブル故障種別が開放故障の場合において、開放故障箇所のケーブル両端がともに完全に絶縁された状態では、故障位置の測定試験として□(ウ)試験が用いられる。

ケーブル位置の特定と測定試験によって、ケーブル故障位置が特定された後は、海底地質などに応じて適切な形状の探線機を用いて探線作業を行い、ケーブルを船上まで回収する。探線機は単独でも用いられるが、海底の環境により同種のものを複数個つなげたり、他の探線機と組み合わせる場合などがあり、探線機は、海底での跳ね上がりや捻回を防止するため、一般に、チェーンや□(エ)をつないで用いられる。

〈(ア)～(エ)の解答群〉

- | | | | |
|----------------|---------------|----------|--------------|
| ① HDD | ② OTDR | ③ 電圧電流特性 | ④ ギフォードグラフネル |
| ⑤ 利得等化 | ⑥ スイベル | ⑦ アラーム検出 | ⑧ ケーブルグリップ |
| ⑨ ROV | ⑩ 静電容量 | ⑪ C-OTDR | ⑫ アウトオブサービス |
| ⑬ カット・アンド・ホールド | ⑭ エレクトロレーディング | | |
| ⑮ スライディング・プロング | ⑯ アンビリカルケーブル | | |

- (2) 次の文章は、埋設機の機能と特徴、光海底ケーブル陸揚工法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) ^{すき}鋤式埋設機の機能と特徴、埋設方法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 鋤式埋設機は、埋設距離が数百[km]以上になると、鋤の掘削刃の先端部分が摩耗するため、いったん回収して掘削刃を交換する場合がある。その場合、部分的に光海底ケーブルの露出部分が発生するが、一般に、限定的であるため露出部分は後埋設も実施しない。
- ② ロックティースを装備した鋤式埋設機において、ロックティースは、鋤式埋設機の前側に取り付けられており、海底に岩がある場合、岩に貫入して岩を破砕する機能を有している。
- ③ ウォータージェットシステムを装備した鋤式埋設機は、埋設ブレードの前部の岩盤を高圧ウォータージェットで破砕することができ、岩盤などの底質域でも埋設作業を行うことが可能である。
- ④ 鋤式埋設機は、ケーブル船により曳航^{えい}して敷設したケーブルを埋設する場合に用いられ、最大適用水深は200[m]であり、最大埋設深度は1[m]である。

- (ii) 光海底ケーブル陸揚工法及び敷設について述べた次のA～Cの文章は、 (カ) 。

- A ケーブル陸揚作業では、一般に、バルーンブイやフロートを一定間隔でケーブルに取り付け、ケーブルに浮力を与えた状態で陸揚げし、さらに、ケーブル位置を敷設予定ルート上に修正した後、バルーンブイやフロートを切り離し、ケーブルを海底に着底させる。
- B ケーブル陸揚げの方法としては、海岸側の滑車とケーブル船の間に陸揚用ロープを橋渡しした後、ケーブル船側で陸揚用ロープを巻き取ることにより、陸揚用ロープに接続されたケーブルを牽引する方法がある。この方法は、陸揚距離が比較的短い数百[m]の場合に用いられることがある。
- C 光海底分岐装置(BU)を1隻のケーブル船で敷設する場合は、一般に、主ケーブルを敷設し、引き続きBUを敷設した後、分岐ケーブル2本を同時に敷設する方法が用いられる。2隻のケーブル船で敷設する場合は、一般に、分岐ケーブル1本ずつをそれぞれのケーブル船が敷設し、引き続きBUを敷設した後、片方の1隻で主ケーブルを敷設する方法が用いられる。

〈(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

- (3) 次の文章は、光海底ケーブルの接続技術、工事終了後の各種試験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) 光海底ケーブル及び光ファイバの接続技術について述べた次のA～Cの文章は、 (キ)。

- A 光海底ケーブルのメーカーに依存しない共通の接続仕様にに基づく接続技術において、光海底ケーブルと光信号を増幅する機能を有する光海底中継器の接続に用いる接続技術はU C (UniversalCoupling)といわれ、無中継光海底ケーブルシステムでの光海底ケーブル相互の接続に用いる接続技術はU Q J (Universal Quick Joint)といわれる。
- B 長距離光海底ケーブルシステムの場合、同じケーブル接続部内の光ファイバ心線ごとの接続損失に違いがあると、心線ごとの伝送品質に差が生じてしまうため、融着接続器に表示される推定接続損失値が 1.0 ± 0.2 [dB]の範囲外の場合は再接続を行う。
- C 光海底ケーブル接続部の電氣的長期信頼性を維持する方法として、光ファイバ接続部と高張力線引留部を含むケーブル接続部全体を絶縁体であるポリエチレンで射出成形するモールド技術を用いるものがある。

＜(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

- (ii) WDM方式を用いた中継光海底ケーブルシステムの伝送区間の基本特性を確認する試験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 光海底ケーブル敷設工事の最終接続完了後直ちに実施される伝送区間の総合的なシステム試験のうち、エンドーエンド伝送試験は、給電電流の変動などの負荷をシステムに与えても伝送品質に著しい劣化がないことを確認するために実施する。
- ② 陸揚局に設置する光海底中継器監視装置は、光海底中継器の監視制御を遠隔で行うことができ、光海底中継器の光入力パワー、励起用LDの駆動電流及び光海底中継器内部温度をモニタリングして伝送特性を評価する。
- ③ 陸揚局から最初の光海底中継器までのOTDR試験、システム全長に対するC-OTDR試験を信号波長ごとに行うことにより、アップグレードに用いられる帯域を除く初期容量の信号波長と送信光パワー及び波長分散量を調整することができる。
- ④ 累積波長分散が設計範囲内に収まるように最適調整するために、常に最適調整する前にFEC前段におけるBERを確認することにより、各波長における伝送品質のマージンを把握する。

- (1) 次の文章は、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)に用いられる伝送技術、光増幅技術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。(2点×4＝8点)

光海底ケーブルシステムは、WDM伝送技術の導入により伝送容量の拡大が図られており、例えば、チャンネル伝送速度が100[Gbit/s]、伝送波長数が100波、光ファイバペア数が6であるWDMシステムの伝送容量は、 (ア) となる。

WDMシステムの光海底中継器内の光増幅器にはEDFAが用いられており、雑音特性に優れたEDFAの励起波長としては、 (イ) [μm]が使用されている。

また、EDFAは、小信号入力時には入力パワーにかかわらず利得が一定となり、大信号入力時には入力パワーが大きくなるほど利得が小さくなる (ウ) 領域において使用することにより、WDMシステムにおけるそれぞれの光海底中継器の出力パワーが自発的に安定化される性質である自己制御性が確保されている。

WDMシステムの伝送路構成では、一般に、伝送路における分散による波形ひずみの影響を小さくするため、異なる分散値の光ファイバを組み合わせる分散マネジメント技術が用いられているが、最近では分散マネジメント技術を不要とする (エ) 技術を用いたシステムも導入されてきている。

＜(ア)～(エ)の解答群＞

- | | | |
|--------------|---------------|--------------|
| ① 0.98 | ② 600[Gbit/s] | ③ 利得非飽和 |
| ④ 1.31 | ⑤ 30[Tbit/s] | ⑥ マルチコア光ファイバ |
| ⑦ 1.48 | ⑧ 60[Tbit/s] | ⑨ 多値変調 |
| ⑩ 1.55 | ⑪ 120[Tbit/s] | ⑫ 利得飽和 |
| ⑬ 光パラメトリック増幅 | | ⑭ 過渡応答 |
| ⑮ デジタルコヒーレント | | ⑯ なだれ増倍 |

- (2) 次の文章は、中継光海底ケーブルシステムにおける各種特性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) 中継光海底ケーブルシステムの偏波依存性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 伝送路における代表的な偏波依存性には、EDFAに使用される光受動素子の特性から生ずる温度依存損失、EDFAの偏波ホールバーニング及び光ファイバの非線形散乱がある。
- ② 偏波ホールバーニングは、EDFAから発生するASE雑音量が入力光に対し同一の偏波と直交する偏波で異なり、同一の偏波の方が大きくなる現象であり、光S/N比の劣化要因となる。
- ③ 偏波ホールバーニングは、EDFAの応答速度より早い偏波の変動には追従できないため、数[kHz]～数十[kHz]の周波数で偏波状態をランダムに変化させる低速偏波スクランブラにより、偏波ホールバーニングを抑圧することができる。
- ④ 光信号1ビット分の時間の中で偏波状態をランダムに変化させる高速偏波スクランブラは、偏波ホールバーニングによる光S/N比の劣化を低減するとともに、偏波依存損失による光S/N比の時間的変動の伝送特性に及ぼす影響も低減することができる。

- (ii) 中継光海底ケーブルシステムの利得波長依存性など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 中継光海底ケーブルシステムに使用されるEDFAは、単体では波長1.55[μm]付近で約30[nm]の利得帯域を有するが、多段中継すると光増幅システムの利得がEDFAの光カー効果によって各EDFAの利得が最大となる波長付近に集中するため、伝送可能な利得帯域が狭くなる。
- ② 利得帯域が狭くなることに対する対策として、一般的な利得波長依存性を有するEDFAと相反する利得波長依存性を有するEDFAを組み合わせることにより、伝送に必要な利得帯域を得る方法が用いられている。
- ③ EDFAの利得波長依存性は温度特性を有しており、EDFAの動作環境温度が低下すると長波長側の利得が増大する。
- ④ EDFAの利得波長依存性は、中継区間の光ファイバ損失の増減によって変化する。中継区間の光ファイバ損失が増大してEDFAへの入力光レベルが低下すると、長波長側の利得が増大する。

- (3) 次の文章は、光海底ケーブルシステムにおける信頼性設計、波長分散設計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) 光海底ケーブルシステムの設計寿命と信頼度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 光海底中継器に用いられるLDは、一般に、50 [°C]や70 [°C]といった高温環境で多数のサンプルを動作させ、経過時間と累積故障率の関係をプロットして信頼度が評価される。その後、アレニウスの関係式から実際の動作環境での寿命が推定される。
- ② 光海底ケーブルシステムの信頼性が特に必要となる部分には、一般に、冗長構成が採用される。故障率 λ [件/時間]の部品を2個並列に配置する冗長構成においては、一方の部品が故障した場合にもう片方の部品で機能を維持することにより、冗長構成部分の故障率を $\frac{\lambda}{2}$ に低減する効果がある。
- ③ 陸揚局の光伝送端局装置の主要部分には、冗長構成を採用して高信頼化を図る工夫がなされている。また、光伝送端局装置は陸上にあるため、光伝送端局装置の修理時間は、ケーブル敷設船による海中設備の修理時間と比較して短いことから、一般に、光伝送端局装置に割り当てる設計上の故障率はゼロである。
- ④ 光海底ケーブルシステムにおける故障は、長期間にわたって通信が途絶するなど深刻な影響を与え、修理には多大な費用を必要とする。このため、光海底ケーブルシステムの海中設備や陸上設備には高い信頼性が要求され、設計寿命期間中における海中設備及び陸上設備の部品故障によるシステム故障は、いずれも3回以下となるよう設計されている。

- (ii) 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)の波長分散設計において、以下に示す条件で信号波長1.550 [μm]での受信側の累積波長分散値をゼロとするよう設計する場合、分散補償光ファイバ(DCF)ケーブルの1区間当たりの長さは、約 (ク) [km]となる。

(条件)

- Ⓐ WDMシステム長は、9,000 [km]とする。
- Ⓑ 光ファイバは、大口径負分散光ファイバ(LMF)とDCFのみを使用することとする。
- Ⓒ 海底温度での信号波長1.550 [μm]におけるLMF及びDCFの波長分散値は、以下のとおりとする。
LMF : -2.8 [ps/nm/km]
DCF : +20 [ps/nm/km]
- Ⓓ あるDCFケーブル区間の中心から次のDCFケーブル区間の中心までの距離は500 [km]とし、各DCFケーブル区間の長さは同一とする。また、陸揚局から直近のDCFケーブル区間の中心までの距離も500 [km]とする。
- Ⓔ 陸揚局では分散補償を行わないこととする。

<(ク)の解答群>

- ① 55 ② 60 ③ 65 ④ 70 ⑤ 75

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、全て架空のものです。
- (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などを表しています。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。