

注 意 事 項

- 試験開始時刻 14時20分
- 試験科目別終了時刻

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					線46～線49

- 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	○	●	●	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	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	②			
	③	③	●	③	③	③			
	④	④	④	④	④	④			
	●	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11日10時以降の予定です。
可否の検索は7月30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)

伝送線路として最も基本的な2本の平行導体からなる一様線路においては、抵抗、インダクタンス、静電容量などが線路に沿って一様に存在していると考えられ、このような線路を (ア) 回路として扱うことができる。

線路上の任意の点 x における電圧 $V(x)$ 及び電流 $I(x)$ は、自然対数の底を e 、特性インピーダンスを Z_0 、端末条件により定まる積分定数を A 及び B とすれば、次式で表すことができる。

$$V(x) = A e^{-\gamma x} + B e^{\gamma x}$$

$$I(x) = \frac{1}{Z_0} (A e^{-\gamma x} - B e^{\gamma x})$$

ここで、 γ は (イ) 定数といわれる。 γ は一般に複素数であり、減衰定数を α 、位相定数を β 、虚数記号を j とすると、 $\gamma = \alpha + j\beta$ と表すことができる。

正弦波が線路上を進行していく場合、角速度を ω 、任意の点 x の任意の時間 t における電圧と電流をそれぞれ $v(x, t)$ 及び $i(x, t)$ とすると、

$$v(x, t) = A e^{-\alpha x + j(\omega t - \beta x)} + B e^{\alpha x + j(\omega t + \beta x)}$$

$$i(x, t) = \frac{1}{Z_0} \{ A e^{-\alpha x + j(\omega t - \beta x)} - B e^{\alpha x + j(\omega t + \beta x)} \}$$

となり、位相が x 、 t の関数となっていることを示しており、同一位相の点が進む速度を u とすれば、 $u =$ (ウ) であり、 u は位相速度といわれる。

また、特性インピーダンス Z_0 の線路をインピーダンス Z で終端したとき、終端点における電圧反射係数 Γ は、 $\Gamma =$ (エ) となる。

＜(ア)～(エ)の解答群＞

- | | | | |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| ① 時定数 | ② 伝 搬 | ③ 分 散 | ④ 分布定数 |
| ⑤ 帰 還 | ⑥ 無誘導 | ⑦ 拡 散 | ⑧ 集中定数 |
| ⑨ $\frac{Z + Z_0}{Z - Z_0}$ | ⑩ $\frac{\omega}{\beta}$ | ⑪ $\frac{Z_0}{Z - Z_0}$ | ⑫ $\alpha \beta$ |
| ⑬ $\frac{\beta}{\omega}$ | ⑭ $\frac{2 Z_0}{Z + Z_0}$ | ⑮ $\frac{\alpha}{\omega}$ | ⑯ $\frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$ |

- (2) 次の文章は、光の位相速度及び群速度、光ファイバの添加物の種類、光カプラの構造と特性、光パッシブデバイス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) 光ファイバ中を伝搬する光の位相速度及び群速度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 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。
- ② 光ファイバ中を伝搬する光の群速度を V_g とすると、以下の関係が成り立つ。ただし、 β は伝搬定数、 ω は角速度、 n は屈折率、 c は真空中の光の速度とする。
$$\frac{1}{V_g} = \frac{d\beta}{d\omega}, \quad \beta = \frac{\omega n}{c}$$
- ③ 最も基本的なモードとなる LP_{01} モードは、周波数が低くなると、電磁界が広がりクラッドの影響を受けて位相速度が速くなる。逆に、周波数が高くなると、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速度に収束する。
- ④ 光の平面波が均一な媒質中を伝搬する場合には、一般に、光信号の群速度は光の伝搬速度の2乗に比例し、群速度と位相速度との積は媒質中の光の伝搬速度と等しい。

- (ii) 光ファイバの添加物の種類とその役割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 希土類添加光ファイバのコアには、屈折率分布形成用及び増幅動作のための添加物のほかに、雑音指数向上のためにアルミニウムが添加されているものがある。
- ② 希土類添加光ファイバのコアには、増幅する波長帯に応じて異なる希土類元素が添加され、主な添加物として、 $1.55\mu\text{m}$ 帯用にはエルビウム、 $1.4\mu\text{m}$ 帯用にはトリウム、また、 $1.3\mu\text{m}$ 帯用にはプラセオジウムなどが用いられる。
- ③ 石英系光ファイバでは、コアとクラッドの屈折率差をより大きくするため、一般に、コアやクラッドに添加物を加えることにより屈折率を制御している。
- ④ 石英系光ファイバでは、一般に、コアの屈折率を上げる添加物としてゲルマニウム、リンなどが用いられ、クラッドの屈折率を下げる添加物としてホウ素、フッ素などが用いられる。

- (iii) 光カプラの構造と特性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 光信号を結合又は分岐するための基本デバイスである光カプラは、一般に、バルク型、プレーナ光波回路型及びファイバ型に分類される。プレーナ光波回路型カプラは、レンズ、ミラーなどにより構成され、安定性の点で、バルク型やファイバ型と比較して劣るが、フィルタなどの光デバイスを挿入し、高機能化を図ることが容易である。
- ② プレーナ光波回路型の2入力2出力光カプラは、光信号の結合又は分岐の機能を持つ最も基本的な光デバイスであり、2本の光導波路は数[μm]の間隔にまで近接しており、光導波路中の光信号は相互に作用しながら伝搬する。結合比は、2本の光導波路の結合部の間隔と長さの設計により、調整が可能である。
- ③ ファイバ型光カプラには研磨型と融着延伸型があり、いずれの型も2本のファイバのコアを近接させてコアを伝搬する光波の磁界の共鳴を利用することにより光信号を結合又は分岐している。
- ④ 融着延伸型光カプラは、複数本の光ファイバを並べて融着及び延伸して双円^{すい}錐状のテーパを形成したものである。テーパ部はコア径が細くなっているため、入射した光の閉じ込めが強くなり、他方の光ファイバに光パワーが移行して伝搬モード間に結合が生じ、結合比は入射光のパワーによって変化する。

- (iv) 光アイソレータの特性などについて述べた次のA～Cの文章は、(ク) 。

- A 光アイソレータは、光を一方向にのみ透過させることができる光デバイスであり、半導体レーザ(LD)モジュールにおいて、戻り光による雑音増加を抑えて発振を安定させるために用いられる。
- B 光ファイバ増幅器の内部や外部での反射による発振を抑止しASE雑音の増大を防止するために用いられる光アイソレータは、一般に、光ファイバ増幅器の入出力端に配置される。
- C 光アイソレータの能力は、光の伝搬と逆方向における透過損失と、順方向における挿入損失の差であるアイソレーションによって表され、アイソレーションが小さいほどアイソレータとしての能力は高い。

＜(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、光の性質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)

光の基本的性質には、屈折、回折、干渉、偏光、非線形光学効果などがあり、これらの性質は、幾何光学、波動光学などを用いて説明することができる。

光ファイバ中などにおける光の屈折は、 (ア) によって説明され、屈折率の大きい媒質ほど、光の速度が遅くなる。 (ア) は、媒質中を進む光は最短時間で進めるような経路をとるというフェルマーの原理を言い換えているものである。

光が波動であることを可視的に説明したのが (イ) の干渉実験である。これは一段目に配したスリットを通過した光が回折して放射状に広がり、二段目に配した二つのスリットを通過した光が互いに干渉し合うことにより、三段目に配したスクリーン上に干渉縞^{じま}を映すものであり、光が波の性質を持つことを示している。

干渉縞が鮮明に映し出されるためには、干渉し合う光の (ウ) がそろっている必要があり、このような光の干渉を利用した光フィルタには、マッハツェンダ干渉計型などがある。また、LDの出射光のように (ウ) のそろった光は、 (エ) な光であるといわれる。

<(ア)～(エ)の解答群>

- | | | | |
|----------|--------|-------------|-------|
| ① スネルの法則 | ② 指向性 | ③ マクスウェル | ④ 高純度 |
| ⑤ レンツの法則 | ⑥ ソリトン | ⑦ ホイヘンスの原理 | ⑧ 位 相 |
| ⑨ セルマイヤー | ⑩ 非干渉的 | ⑪ シュレーディンガー | ⑫ 振 幅 |
| ⑬ コヒーレント | ⑭ 角周波数 | ⑮ フレネルの法則 | ⑯ ヤング |

(2) 次の文章は、光ファイバの特性、光ファイバの特徴、発光デバイス、受光デバイス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) シングルモード光ファイバの特性、ファイバヒューズ現象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 SM光ファイバの屈折率分布は、一般に、ステップインデックス型であり、光ファイバの屈折率分布構造を表すパラメータには開口数、モードフィールド径などがある。
- ② SM光ファイバにおけるモードフィールド径は、光強度分布がガウス型で近似できるとき、光強度(光パワー)が最大値の $\log_{10} \frac{1}{e^2}$ (eは自然対数の底)になるところの直径をいう。
- ③ 光ファイバに強い光を入射すると、長い波長の光が短い波長の光より速く伝わる異常分散領域において、屈折率が変化する、光の位相がずれるなどの非線形光学効果といわれる現象が起きる。
- ④ 光ファイバに入射する光のパワーが大きくなると、光ファイバのコア内の温度が上昇することによりプラズマ状態となり、放電現象が生じて、閃光^{せん}が光ファイバの中を光源に向かって進むファイバヒューズが発生するおそれがある。

(ii) 光ファイバ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、 (カ) である。

＜(カ)の解答群＞

- ① 屈折率分布構造は、光ファイバの寸法や分類の定義に用いられ、光学特性や伝送特性を決定する重要なパラメータでもある。NZ-DS光ファイバの屈折率分布構造には、グレーデッドインデックス型が用いられている。
- ② 光ファイバの特徴の一つに、同軸ケーブルと比較して高い周波数が伝送できる広帯域性がある。光ファイバ通信に使用される波長帯域は、一般に、1.55 μm帯のSバンドといわれ、数[THz]の周波数帯域幅を有する。
- ③ 偏波モード分散は、理想的な真円構造を保ったSM光ファイバでは生ずることがない。しかし、実際のSM光ファイバではコア形状に僅かなゆがみが存在することから偏波モード分散が生じ、高速かつ長距離伝送の場合には伝送品質に影響を及ぼすことがある。
- ④ 光ファイバ通信に使用される単心の石英系光ファイバは、一般に、クラッド外径が約0.3 [mm]、被覆を含めても1 [mm]以下と細径であり、石英ガラスの密度は銅の約 $\frac{1}{4}$ である。

- (iii) 発光デバイスの原理、特性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 LEDにおいては、半導体の p n 接合に逆方向電圧を印加することにより、p 型半導体領域に電子が、n 型半導体領域に正孔が注入され、伝導帯にある電子と価電子帯にある正孔が再結合して自然放出光が発生する。
- ② LDは誘導放出を利用しており、ある波長の光を入射すると同じ波長の光が誘導放出されると同時に一部が吸収される。誘導放出が吸収を上回るようにするには、p n 接合に一定以上の逆方向電圧を加えて反転分布状態にする必要がある。
- ③ LDの駆動電流を変化させることによりLDの出力光強度を直接変調することが可能であるが、数〔GHz〕以上の高速変調を行うと、一般に、LDは多モードで発振し、発光スペクトルが広がり、これが伝送距離を制限する要因の一つとなる。
- ④ 半導体結晶では、その構成原子の内部エネルギーは量子化された準位をとり、禁制帯を挟んで低いエネルギー領域の伝導帯と高いエネルギー領域の価電子帯に分布する。

- (iv) 受光デバイスの原理、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 PDにおいては、入射光が禁制帯で吸収されることにより、伝導帯に電子が、価電子帯には正孔が励起される。これら電子と正孔は電界によってドリフトし、光電流として外部回路に取り出すことができる。
- ② APDは、p n 接合に印加する逆バイアス電圧がある値を超えると、僅かなキャリアの移動によって次々にキャリアが生成され、加速度的に電流が増大するアバランシ効果による電流増幅作用を利用している。
- ③ PDの応答特性を高めるためには空乏層を広げることが必要である。空乏層を広げるためには、順バイアス電圧を印加する方法や、p 層と n 層の間に不純物濃度の高い抵抗層を挟む方法がある。
- ④ PDで検出可能な光の波長領域は使用する半導体材料によって決まり、半導体材料としては、一般に、 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 以下の短波長領域ではGeが、 $1.0\text{ }\mu\text{m}$ 以上の長波長領域ではSiが使用される。

- (1) 次の文章は、中継光海底ケーブルシステムの陸揚局内設備の機能と構成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)

陸揚局内において、中継光海底ケーブルシステムの端局設備への電力は、一般に、[(ア)]から直流－48[V]で供給される。また、陸揚局には、商用電源が停電となった場合に備え、非常用発電機やバッテリーなどから構成される非常用電源設備が設置されている。

陸揚局に設置されている装置群である光伝送端局装置において、LTEにはシステムで用いられる波長数に対応した複数のチャネルの[(イ)]が実装されている。LTEでは陸上ネットワークからのクライアント信号をITU-T G.709に規定されている[(ウ)]のフレームフォーマットに変換し、[(エ)]といわれる技術を用いて誤り訂正冗長パリティを付加し、長距離伝送に適した波長や強度の信号に変換する。

LTEから出力された信号は、波長分散補償装置によって波長分散補償が行われた後、波長合分波装置によって合波され、光送信レベルを調整されて光海底ケーブルへ出力される。

受信側では、光海底ケーブルから受信した光多重信号は、波長合分波装置で波長ごとに分離され、さらに波長分散補償装置で光海底ケーブルからの残留分散が補償された後、LTEへ入力される。LTEでは[(ウ)]フレームを終端し、[(エ)]デコーダで誤り訂正を行った信号を陸上ネットワークへ受け渡す。

<(ア)～(エ)の解答群>

- | | | | |
|--------|-------|-----------|-------------|
| ① ARQ | ② UPS | ③ 光HLLB | ④ AC/DC電源設備 |
| ⑤ DCN | ⑥ MLD | ⑦ FEC | ⑧ プロテクション装置 |
| ⑨ TOA | ⑩ OTN | ⑪ SDH | ⑫ システム監視装置 |
| ⑬ OADM | ⑭ CTB | ⑮ インバータ設備 | ⑯ 光トランスポンダ |

- (2) 次の文章は、光海底ケーブルの評価試験、光海底ケーブルの特性、光海底中継器の構成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) 光海底ケーブルの評価試験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 長距離大容量の光海底ケーブルシステムでは、給電電圧が15[kV]になることもあることから、光海底ケーブル敷設前に高電圧下での長期信頼性を検証するため、ケーブルサンプルに90[kV]の電圧を6か月程度印加する試験を行う。
- ② 光海底ケーブルの光損失特性の評価試験では、ケーブルサンプルを用いて－20[℃]～50[℃]程度の範囲で温度サイクル試験を行い、残留劣化のないことなどの温度変化に対する特性変化量を確認する。
- ③ 光海底ケーブルは、敷設や回収時にケーブル敷設船のシーブやドラムエンジンに巻き付けられながら引張力と同時に曲げや側圧を受けることから、ケーブルサンプルを用いてシーブ試験を行い、光海底ケーブルの特性に劣化のないことを確認する。
- ④ 光海底ケーブルが切断されると光海底ケーブル内に海水が浸入し、水走りした部分は再使用できないため、ケーブルサンプルに規定の水圧を長時間(2週間程度)印加する水走り試験を行い、水走り長が、要求される仕様を満足することを確認する。

- (ii) 光海底ケーブルの特性などについて述べた次のA～Cの文章は、 (カ) 。

- A WDM方式を用いた光海底ケーブルシステムに適用される大口径負分散光ファイバ(LMF)は、コア径を拡大することにより偏波モード分散が大きくなるが、曲げ損失を抑制できる特性を有している。
- B 中継用光海底ケーブルには、光ファイバを外力から保護すること、給電装置からの電力を光海底中継器などの能動機器に供給すること、さらに、敷設される海底の環境下において25年以上の長期間にわたり安定した特性を保持することなどが求められている。
- C 複数本の光ファイバを直接、3分割鉄個片の中に水走り防止材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、光ファイバユニットの製造工程が不要となるため、光ファイバに加わる熱応力が軽減されている。

＜(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) 光海底中継器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、(キ) である。

＜(キ)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達成するため、一般に、光カプラなどを介して冗長化されている。
- ② WDM方式に適用される光海底中継器では、一般に、EDFAの利得波長特性と相反する損失波長特性を持つ利得等化フィルタを用いて、光海底中継器の利得帯域の平坦化が図られている。
- ③ 光海底中継器の給電回路は、一般に、ツェナーダイオードによる定電圧源とガスクューブアRESTA(放電管)、コイルなどからなるサージ保護回路で構成されており、双方向給電を可能とする場合は、定電圧源とサージ保護回路の間にダイオードブリッジを設ける。
- ④ 光海底中継器の耐圧^{きょう}筐体の主要材料には、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。

- (iv) 利得等化器の機能と特徴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 光海底中継器を多段接続することで生ずる累積利得偏差と相反する損失特性を持つ利得等化フィルタを備えた等化器は、チルト等化器(TEQ)といわれ、累積利得偏差を抑制するために用いられており、光海底中継器の耐圧筐体と異なる仕様の筐体内に搭載される。
- ② 利得等化器は、耐圧筐体、回路ユニット及びケーブルジョイントボックスで構成されており、光海底ケーブルとの接続にはUQJといわれる接続技術が用いられている。
- ③ 長距離光海底ケーブルシステムにおいて、利得等化器は、複数台の光海底中継器に1台の割合で用いられており、利得等化フィルタには、ファイバグレーティングなどが使用されている。
- ④ 可変型利得等化フィルタを備えた等化器は、シェイプ等化器(SEQ)といわれ、光海底ケーブルの経年劣化や故障修理時のケーブル割入れによる損失増加により光海底中継器に生ずる利得傾斜を抑制するために用いられており、一般に、陸揚局からの給電電流を制御することにより傾斜損失を変更する。

- (1) 次の文章は、海底ケーブルの探線方法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)

海底ケーブルをケーブル船上に引き上げるためにこれを捕捉する作業は、一般に、探線といわれ、探線の一般的な方法は、海底で^{いかり}錨状の探線機を海底ケーブルの敷設方向に対して直角の方向に引きずることにより、海底ケーブルを引っ掛けるというものである。ケーブル敷設状況には、非埋設の場合と埋設の場合があり、それぞれ探線方法及び使用する探線機が異なる。

非埋設の海底ケーブルの探線に用いられる探線機としては、底質が軟泥である場合に有効で、^{ひし}菱形の平板の対角線上に爪が出た形状をしている□(ア)がある。また、90度ずつ方向の異なる猫の手に似た四つのフックで海底面の海底ケーブルを捕捉する仕組みを持つ探線機は、多くの底質で有効であり、一般に、□(イ)ケーブルの探線に用いられる。

一方、埋設された海底ケーブルの探線では、非埋設の海底ケーブルの探線と比較して曳航^{えい}張力が高くなること、後埋設する距離を極力短くするため修理予定点に近い場所をピンポイントで探線することなどに留意する必要がある。

また、海底ケーブルが密集して敷設されている海域においては、水深がROVの潜水性能の範囲内では□(ウ)機能を持つROVによる探線が有効であり、この□(ウ)に必要な交流低周波信号は、陸揚局の給電装置からの直流電流に重畳されて送られる。探線後、ROVの□(エ)を用いて、海底ケーブルの切断作業、揚収ロープの取付け作業などが行われる。

＜(ア)～(エ)の解答群＞

- | | | | |
|------------------|---------------------|--------|-----------|
| ① アンビリカル | ② 磁気探査 | ③ 一重外装 | ④ バイブロコアラ |
| ⑤ 定点保持 | ⑥ OADM | ⑦ 二重外装 | ⑧ マニピュレータ |
| ⑨ ドレジャ | ⑩ 無外装 | ⑪ 潮流検知 | ⑫ ソノプローブ |
| ⑬ フラットフィッシュグラフネル | ⑭ スライディング・プロンググラフネル | | |
| ⑮ ギフォードグラフネル | ⑯ ケーブルグリッパ | | |

- (2) 次の文章は、光海底ケーブルの故障位置探索、陸揚局における保守管理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における光ファイバ破断故障又は開放(オープン)故障時の故障位置探索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 光ファイバ破断故障は、光海底ケーブルの絶縁層や給電導体に損傷がなく、光ファイバだけが損傷し破断している故障であり、無中継システムにおける光ファイバ破断故障の場合、C－OTDRを用いてC－OTDRパスといわれる光経路を測定することにより正確に故障位置を判定できる。
- ② 開放故障は、光海底ケーブル内又は海中設備内の給電導体が切断され、給電が不可能になった故障であり、光ファイバが切断されていないときは、陸揚局から第1中継区間までの故障に限りOTDRにより正確に故障位置を判定できる。
- ③ 中継器と中継器の間の区間での開放故障において、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の場合、故障位置の測定試験として静電容量試験が用いられる。
- ④ 静電容量試験は、開放故障の故障点までの静電容量が大きいほど故障位置判定の精度が良いため、故障点が陸揚局などの測定点から遠い場合に有効な測定方法である。

- (ii) 光海底ケーブルの絶縁(シャント)故障における故障位置探索について述べた次のA～Cの文章は、 (カ) 。

- A 電圧電流特性の測定による故障位置探索において、両端給電の場合は両陸揚局からの給電電圧の平衡点を絶縁故障点に合わせることができ、故障点の接地抵抗値による誤差を排除できることから、片端給電の場合と比較して正確な故障位置探索が可能である。
- B 絶縁故障点が陸揚局からの第1中継器より手前であれば、陸揚局又はビーチマンホールからの電気パルスエコーにより故障位置探索を行うことができるが、OTDRなどの光学的試験では故障位置探索はできない。
- C 電圧電流特性の測定により故障位置探索する場合、光海底中継器の電圧降下特性と、光海底ケーブルの単位長さの電気抵抗値が用いられる。光海底ケーブルの電気抵抗値は、測定誤差を小さくするために、工場での測定データを海水温3〔℃〕の場合に換算した値を用いることが望ましい。

＜(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) 陸揚局における保守管理について述べた次のA～Cの文章は、(キ)。

- A 異常検出レベルに達しない程度の特性劣化及び警報対象となっていない項目の異常を発見するために定期試験を行うが、定期試験項目は、建設時の試験項目と同様に、光伝送端局装置の光出力特性、光海底ケーブルシステムの給電の再立上げによる復旧手段の確認などである。
- B 光海底ケーブルシステムの海中部分に故障が発生しているとみられる場合には、修理船の出動の可否を判断する必要があるため、故障状況及び故障位置の探索試験結果を保守責任者に報告する。また、光海底ケーブルの修理作業においては、安全対策の面から、一般に、陸揚局の給電安全責任者が修理船に乗船している給電安全責任者に対して主導権を持つ。
- C 陸揚局には、光海底ケーブルシステムの設備以外に陸上伝送系の設備、高圧受電設備、空調設備などがあり、これらの設備を含めた設備の保守運用が陸揚局での主要な作業となるため、訓練の充実、予備品と取扱説明書の配備、修理技能者の派遣体制の充実などの設備保守体制の構築が必要である。

＜(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) 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、(ク)である。

＜(ク)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、これにより各光海底中継器の利得劣化は把握できないが、光ファイバ伝送損失やケーブル接続部分の損失劣化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、光海底ケーブル区間の監視情報、及び光伝送端局装置におけ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。

(1) 次の文章は、光増幅海底ケーブルシステムにおける光雑音の累積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)

EDFAを用いた光増幅海底ケーブルシステムでは、1中継区間における光海底ケーブルの光損失と光海底中継器での利得が同一となるように設計されているため、各光海底中継器出力がほぼ一定となる。

1台の光海底中継器で発生する自然放出光雑音パワー P_A は、 h をプランク定数、 ν を光信号の周波数、 Δf を (ア) 、 NF をEDFAの雑音指数、 G をEDFAの利得とすると次式で表される。

$$P_A = NFh \quad \text{ (イ) }$$

P_A は、信号光と同様に光海底ケーブル中では光ファイバの損失によって減少するが、光海底中継器のEDFAで増幅されて損失分が補償される。したがって、 n 台の光海底中継器からなる光増幅海底ケーブルシステムにおける累積された光雑音パワー P_n は、 P_A の (ウ) となる。このとき、光海底中継器の光出力パワーが P_o であるとする、 P_o は信号光パワーと光雑音パワーの和であることから、光増幅海底ケーブルシステムの光SN比は、 (エ) となる。

<(ア)～(エ)の解答群>

- | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------------|
| ① $\nu \Delta f G$ | ② n 倍 | ③ $\frac{P_o}{P_n}$ |
| ④ $(\nu - \Delta f) G$ | ⑤ n^2 倍 | ⑥ $\frac{P_n}{P_o}$ |
| ⑦ $\nu \Delta f (G - 1)$ | ⑧ $\log_{10} n$ 倍 | ⑨ $\frac{P_o - P_n}{P_n}$ |
| ⑩ $(\nu - \Delta f) (G - 1)$ | ⑪ $\log_{10} n^2$ 倍 | ⑫ $\frac{P_n}{P_o - P_n}$ |
| ⑬ ショット雑音のスペクトル幅 | ⑭ 受信器の電気フィルタの通過帯域幅 | |
| ⑮ 励起光源の励起帯域幅 | ⑯ 受信器の光フィルタの通過帯域幅 | |

- (2) 次の文章は、中継光海底ケーブルシステムのパワーバジェット、分散マップ技術の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) 光増幅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 光増幅システムは、システム運用開始からシステム寿命時まで、所定の伝送品質が得られるように、パワーバジェットを用いてシステム設計を行う。運用開始後に光伝送端局装置の置換によるアップグレードを実施する場合があるため、パワーバジェットは海中機材の特性のみを反映して作成される。
- ② パワーバジェットには、伝送路の偏波依存性によって生ずる光ファイバの偏波モード分散などの伝送特性劣化要因が考慮されるが、こうした伝送特性劣化要因は、各要因ごとの劣化量を定量的に評価することは困難なため、一般に、周回系やテストベッドの伝送試験結果を基に、非線形ペナルティなどとともに伝搬に伴う劣化(Propagation Impairments)の項目に含めて設計される。
- ③ WDM方式では、波長ごとに光S/N比や累積波長分散が異なるため、波長ごとに各劣化要因による劣化量が異なる。各波長ごとにパワーバジェットを作成すると複雑になるため、パワーバジェットは使用する全波長の中央の波長に対して作成される。
- ④ 光増幅システムでは、線路監視信号を伝送信号に重畳して海中機材の動作状況を測定する場合がある。この測定期間中に伝送信号の光S/N比が減少する場合があるが、一般に、測定は短時間で終了するため、パワーバジェットに反映する必要はない。

- (ii) WDM方式を用いた長距離光増幅海底ケーブルシステム(WDMシステム)に用いられる分散マップ技術などについて述べた次のA～Cの文章は、 (カ) 。

- A 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。
- B 負の符号の波長分散を持つ大口径光ファイバは分散スロープが大きいいため、WDMシステムでは、分散スロープ低減光ファイバと組み合わせて1中継区間を構成する場合がある。この場合、数中継区間ごとの周期的な分散補償は不要となる。
- C WDMシステムに用いられる分散マネジメント光ファイバは、波長分散が正の符号を持つ光ファイバと負の符号を持つ光ファイバで構成される。この2種類の光ファイバは分散スロープの符号が同じであるため、組み合わせても分散スロープの絶対値をゼロに抑えることはできない。

＜(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) 中継光海底ケーブルシステムにおける伝送容量の大容量化技術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1心当たりの波長多重数を増やすことにより、中継光海底ケーブルシステムの大容量化が可能である。使用されている帯域は、一般に、Lバンドであり、光ファイバ1心当たりの波長多重数は、チャネル間の干渉などによる伝送品質への影響により、最大で60波である。
- ② 光ファイバペア数を増やすことにより、中継光海底ケーブルシステムの大容量化が可能である。光ファイバペア数は、光海底中継器の^{きょう}筐体内への回路実装数の収容制限により、最大で4光ファイバペアである。
- ③ デジタル信号処理技術を用いたデジタルコヒーレント伝送では、コヒーレント受信検波、偏波多重信号の偏波分離、伝送に伴う様々な信号劣化に対する電氣的補償などが行われており、この伝送技術を用いた1波長当たり約100[Gbit/s]の中継光海底ケーブルシステムが導入されている。
- ④ デジタルコヒーレント伝送におけるコヒーレント受信検波では、受信光信号を局部発振光と干渉検波させることにより光信号の振幅情報だけでなく周波数情報も受信でき、それらをデジタル信号領域で処理することにより、偏波モード分散を補償することはできないが、波長分散を補償することができる。

(iv) 図1は、EDFAを用いた光海底ケーブルシステムをモデル化したものであり、図2は、図1に用いられる各EDFAの入力信号レベルに対する利得特性を示したものである。このシステムで、EDFA2において不具合が発生し、EDFA2の利得が正常動作時より12[dB]低下したとき、EDFA3の出力信号レベルは、(ク) [dBm]となる。ただし、その他の条件は以下のとおりとする。

(条 件)

- ① 光伝送端局装置(光送信部)の出力信号レベル : 6 [dBm]
- ② 各光海底ケーブル中継区間長 : 80 [km]
- ③ 光ファイバ損失 : 0.2 [dB/km]
- ④ 光送信部と光海底ケーブル、EDFAと光海底ケーブルとの光ファイバ接続損失などの光損失は考慮しないものとする。また、EDFA2以外のEDFAは正常とする。

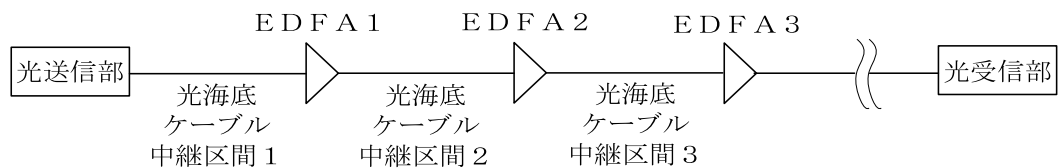


図1

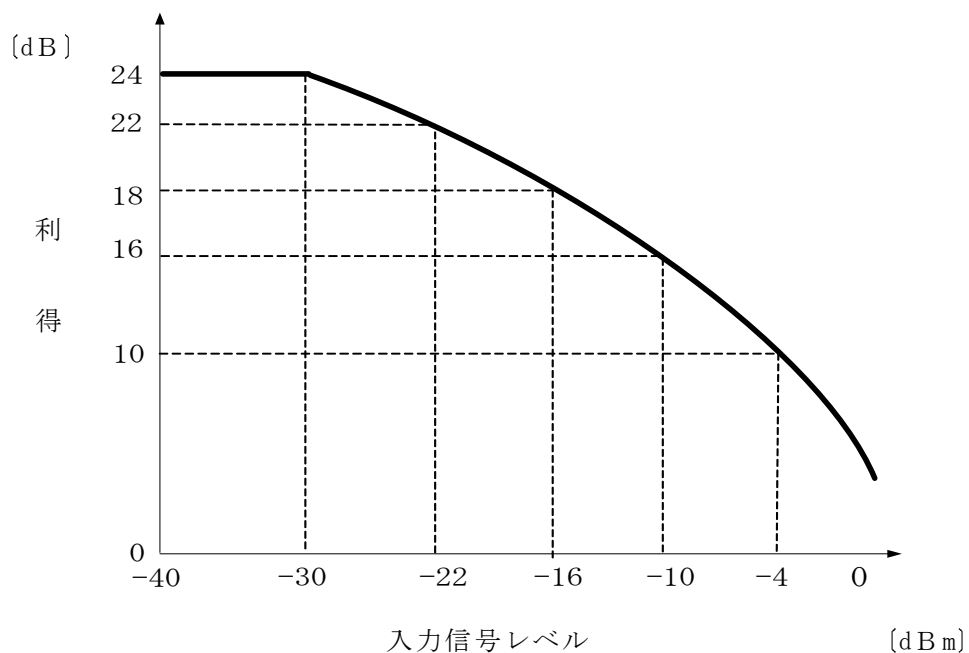


図2

〈(ク)の解答群〉

- ① -6 ② -4 ③ -2 ④ 0

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。