

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			20	線45~線48	

- 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	0	0	0	0	0	0
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	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	8
⑨	○	●	9	9	9	9	9	9	9

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

- 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25日10時以降の予定です。 可否の検索は2月13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、メタリックケーブルを用いたアナログ伝送系における雑音及びひずみの種類と特徴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)

メタリックケーブルを用いたアナログ伝送系における雑音は、一般に、伝送系内部で発生する雑音と外部から侵入する雑音に分けられ、さらに、伝送系内部で発生する雑音は、信号を伝送していない場合でも存在する基本雑音と信号伝送に伴って発生する□(ア)雑音とに分けることができる。基本雑音は、通話の有無と無関係であることから、信号レベルの低いところで問題となり、一般に、大きな妨害になるものは増幅器で発生する雑音であり、その主な成分の一つは、周波数に対して一様に分布している□(イ)雑音である。

一方、伝送系の入力側に加えられた信号波形と出力側に現れる信号波形が異なる現象は、ひずみといわれる。このうち、位相ひずみは、伝送系の位相量が周波数に対して比例関係にないため、すなわち□(ウ)が周波数により異なるために生ずるひずみであり、伝送品質に影響を及ぼす。

また、□(エ)ひずみは、伝送系の入力と出力が比例関係にないために生ずるひずみである。伝送路中の増幅器などの□(エ)ひずみによる高調波及び混変調波の発生は、雑音の原因となる。

〈(ア)～(エ)の解答群〉

- |       |       |       |          |
|-------|-------|-------|----------|
| ① SN比 | ② 準漏話 | ③ 減衰  | ④ インパルス性 |
| ⑤ ビート | ⑥ 反響  | ⑦ 鳴音  | ⑧ 群伝搬時間  |
| ⑨ 熱   | ⑩ 誘導  | ⑪ 低周波 | ⑫ 対数     |
| ⑬ 量子化 | ⑭ 非直線 | ⑮ 磁気  | ⑯ フリッカ   |

(2) 次の文章は、光通信などに应用されている光の性質、光ファイバにおける損失、劣化要因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) 光通信などに应用されている光の性質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 光の波動としての性質に干渉がある。同一光源からの光を二つの光路に分け、再び合成したとき、二つの光の位相がそろっているときはインコヒーレントな光といわれ互いに干渉しあい、二つの光の位相がそろっていないときはコヒーレントな光といわれ互いに干渉しない。光通信には、位相のそろったインコヒーレントな光が適している。
- ② 直線偏光が物体中を透過するとき、その偏光面が回転する現象は旋光といわれ、直線偏光の進行方向に対し平行な磁界をかけることによって旋光性が現れる現象はポッケルス効果といわれる。光カプラは、この現象を利用した光デバイスである。
- ③ 光は互いに直交する電界と磁界によって構成される電磁波の一種であり、光の進行方向と垂直に振動する横波である。電界の振動方向が一定した光は直線偏光、進行とともに電界が回転する光は楕円偏光又は円偏光といわれる。
- ④ 屈折率の高い媒質Aから入射した光が屈折率の低い媒質Bとの境界面に沿って進むときの入射光と二つの媒質の境界面の法線とのなす角度はブリュースター角といわれ、入射角がこの角度より大きくなると光は媒質Bに入ることができず全反射する。

(ii) 光ファイバにおける損失について述べた次のA～Cの文章は、 (カ) 。

- A 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。
- B 光ファイバを放射線下で使用すると、石英ガラスの構造欠陥が放射線によって生じた電子や正孔を捕捉し、光を吸収することで光損失が増加する。放射線による光損失は、一般に、放射線量が増加すると大きくなり、減少すると小さくなる。
- C 光ファイバの損失発生の原因の一つとして、水素分子による光の吸収がある。これは、水素分子が光ファイバ中に存在することで生じ、水素分子を取り除くと損失は減少する。水素分子による損失発生の防止策としては、光ファイバ周辺からの水素の発生を抑える、光ファイバ内部への水素分子の拡散を防止するための障壁を設けるなどの方法がある。

<(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) 光ファイバにおける伝搬特性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  $\lambda$ 、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。

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

- ② 基本モードにおける光強度分布は、コアの中心で最大値となり、中心から離れるに従って小さくなり、ガウス型で近似することができる。
- 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で全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  $2\pi$  の整数倍になる必要がある。
- ④ S M 光ファイバにおけるモードフィールド径とは、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  $\frac{1}{e}$  ( $e$  は自然対数の底) になるところの直径をいう。

- (iv) 石英系光ファイバにおける分散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 M M 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 S M 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。ただし、□内の同じ記号は、同じ解答を示す。(2点×4=8点)

光通信システムで広く用いられている石英系光ファイバには、低損失、広帯域、無誘導、無漏話などといった特徴がある。

石英系光ファイバの損失は、 $1.55\mu\text{m}$ 帯で最小となり、この波長帯域は、一般に、□(ア)といわれる。例えば、 $0.2\text{ [dB/km]}$ の損失値の光ファイバは、信号光を $100\text{ [km]}$ 伝送した後での光パワーが□(イ)に減衰するが、この損失値は、同軸ケーブル、無線伝送路などと比較すると非常に小さい値である。さらに、□(ア)の周波数帯域幅は約 $4.4\text{ [THz]}$ に相当しており、石英系光ファイバは広い周波数範囲にわたって低損失である。

平衡対ケーブルなどの金属伝送媒体では、□(ウ)により周波数の平方根に比例して損失が増加するため、高周波になると伝搬距離が急激に短くなる。これに対し、光ファイバでは、分散により伝送周波数帯域が決まることから、使用する波長帯や光ファイバの種類を選ぶことによって、長距離にわたり広い伝送周波数帯域を確保することが可能である。また、光ファイバは、ガラスやプラスチックなどの□(エ)を伝送媒体として用いていることから、電磁誘導が発生しないため、電力線と同一のケーブルに収容したり、工場内や鉄道沿線などの電磁環境の厳しい場所で使用することも可能である。

〈(ア)～(エ)の解答群〉

- |                      |                   |                   |                  |
|----------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| ① $\frac{1}{500}$    | ② $\frac{1}{200}$ | ③ $\frac{1}{100}$ | ④ $\frac{1}{20}$ |
| ⑤ Cバンド               | ⑥ 遮蔽効果            | ⑦ 希土類             | ⑧ Uバンド           |
| ⑨ 誘電体                | ⑩ Lバンド            | ⑪ 静電誘導            | ⑫ 表皮効果           |
| ⑬ 漏洩電流 <sup>えい</sup> | ⑭ 導電体             | ⑮ Sバンド            | ⑯ 結晶体            |

- (2) 次の文章は、光ファイバ、発光及び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) SM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、  (オ) である。

〈(オ)の解答群〉

- ① SM光ファイバは、光ファイバ中を伝搬可能な導波モードを一つだけに制限することによって、波長分散による光信号波形の劣化を防止した光ファイバである。
- ② 屈折率分布構造は、光ファイバの寸法や分類を定義するとき用いられるだけでなく、光学特性や伝送特性を決定する重要なパラメータであり、SM光ファイバの屈折率分布構造は、一般に、グレーデッドインデックス型である。
- ③ 偏波モード分散は、理想的な真円構造を保ったSM光ファイバであれば生ずることはないが、実際のSM光ファイバのコア形状には僅かなゆがみが存在することから、高速かつ長距離伝送の場合には問題となる場合がある。
- ④ SM光ファイバの波長分散値の単位には、一般に、 $[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ が用いられる。通常のSM光ファイバの波長分散値は、 $1.31 [\mu\text{m}]$ 付近で約 $1.7 [\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ であり、伝送損失が最も小さくなる $1.55 [\mu\text{m}]$ 付近ではゼロである。

- (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 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 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用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。

- (iii) 光ファイバ通信に用いられる発光デバイス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は、LDと比較して、変調可能帯域が広く発光スペクトル幅が狭いが、駆動回路が簡単で製造コストが安いこと、プラスチック光ファイバ、MM光ファイバを使用した低速度の近距離通信などに用いられている。
- ② LEDの発光中心波長は、半導体の共振器構造を変えることによって変化させることができる。また、発光中心波長は、電流値と温度によっても変化し、一般に、電流値を上げると長波長側にシフトし、温度を上げると短波長側にシフトする。
- ③ LDの出力光強度を数[GHz]以上で直接変調する場合には、一般に、ファブリペロー型LDは多モードで発振するようになり伝送距離が制限されることから、高速変調時でも単一モードで発振する分布帰還型LDや分布反射型LDが用いられる。
- ④ LDは、LEDと比較して、発光面積が小さく放射角も小さいため、光ファイバとの結合効率が悪く、また、電気から光への変換効率も低い。

- (iv) 光ファイバ通信に用いられる受光デバイスについて述べた次のA～Cの文章は、(ク) 。

- A PIN-PDの量子効率及び応答速度は、P層とN層の間に挟まれたI層の厚さによって変化し、一般に、I層を厚くすると量子効率は向上するが応答速度は低下する。このため、I層の厚さは、量子効率、応答速度、必要となる逆バイアス電圧などを考慮して決定される。
- B APDは、PIN-PDと比較して、受信感度は高いが、構造が複雑で高い逆バイアス電圧を必要とし、信号出力を増倍する過程で生ずる雑音が問題になる場合がある。
- C 受光素子は能動素子であるため、通常の使用条件下では、周波数特性、量子効率などの経時劣化を考慮する必要があるため、発光素子と比較して、信頼性が低い。

〈(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。(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□(ア)とされている25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モジュラスがある。光海底ケーブルの□(イ)を5.0 [kN/km]、破断強度を100 [kN]とすると、モジュラスは20 [km]となる。これは、例えば、光海底ケーブルを、ケーブル船から水深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、光海底ケーブルの機械特性を示す項目の一つにNTTS (Nominal Transient Tensile Strength)がある。NTTSは、システムの性能、寿命及び信頼性を著しく引き下げることなくケーブル回収工事に際して約□(ウ)にわたってケーブルに印加することができる最大張力をいい、ケーブル外径が20 [mm]のLW (Light Weight)ケーブルのNTTSは、80 [kN]程度である。

光海底ケーブルは、製造過程や敷設作業、さらに海底での長期運用中に加わる様々なストレスに耐え、所定の特性を維持することが求められる。このため、ITU-T G.976において、光海底ケーブルの評価試験が規定されている。例えば、高水圧下で光海底ケーブルが切断され、光海底ケーブル内に海水が浸入すると、浸入した海水とケーブル材料との化学反応により□(エ)が発生し伝送特性の劣化が生ずる。そのため、光海底ケーブルの水走り長を抑制する要求を満たすため、LWケーブルでは空隙部に水走り防止材が充填され、その止水性能を検証するために水走り試験が行われる。

〈(ア)～(エ)の解答群〉

- |        |        |        |          |
|--------|--------|--------|----------|
| ① 1時間  | ② 側圧荷重 | ③ 設計寿命 | ④ 法定耐用年数 |
| ⑤ 24時間 | ⑥ 空中重量 | ⑦ 紫外線  | ⑧ 水素     |
| ⑨ 48時間 | ⑩ 窒素   | ⑪ 平均寿命 | ⑫ 修理保証期間 |
| ⑬ 2週間  | ⑭ 水中重量 | ⑮ 曲げ応力 | ⑯ 希土類イオン |

(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ファイバ及び光ファイバケーブルの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) ITU-T勧告で規定されている光ファイバ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 1.31  $\mu\text{m}$ シングルモード光ファイバは、信号波長1.31 [ $\mu\text{m}$ ]の光伝送において最適に設計された光ファイバであり、ゼロ分散波長が1.31 [ $\mu\text{m}$ ]近傍にあり、1.31  $\mu\text{m}$ 帯以上の領域でシングルモード伝送となる。
- ② カットオフシフト光ファイバ(CSF)は、石英系光ファイバで最も低損失となる1.55  $\mu\text{m}$ 帯を伝送波長とする光ファイバであり、屈折率分布は1.31  $\mu\text{m}$ シングルモード光ファイバとほぼ同じであるが、コア径を僅かに大きくすることでカットオフ波長を1.5 [ $\mu\text{m}$ ]付近までシフトしている。
- ③ 分散シフト光ファイバ(DSF)は、波長1.55 [ $\mu\text{m}$ ]における波長分散がゼロになるよう設計した光ファイバであり、屈折率分布の構造には階段型やセグメント型がある。DSFのコアは、フッ素を添加して形成されている。
- ④ ノンゼロ分散シフト光ファイバ(NZDSF)は、ゼロ分散波長を伝送波長域である1.55 [ $\mu\text{m}$ ]近傍から僅かにずらした光ファイバであり、光を直接増幅する中継方式を採用した伝送システムで問題となる非線形光学効果を抑制することができる。

(ii) 100心までの多心光ファイバを実装できる無中継用光海底ケーブル(HFケーブル)の構造、特徴などについて述べた次のA～Cの文章は、  (カ) 。

- A HFケーブルは近距離の島々の通信網整備を目的に作られているため、最大適用水深は3,000 [m]であり、給電線を持たないことでケーブル外径を小さくできることから、HFケーブルには、SAやDAの外装ケーブルはあるが、LWの無外装ケーブルはない。
- B HFケーブルに収納される光ファイバは、融着接続の作業性の向上を図るため、4心テープ心線化され、溝付きのプラスチックロッド(スロット)に積層して収納される。また、スロット内の吸水ヤーン及びスロット上に巻かれた吸水テープなどが水走り防止の役割を担っている。
- C HFケーブルは、スロットの外周にケーブルの抗張力体となるハガネ線が撚られ、その上を銅チューブが絞り込まれて構成部材が一体化している。銅チューブは気密防護されており、さらに、銅チューブはポリチレンで覆われ、絶縁化されている。

<(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) DWDM伝送システムに用いられる光ファイバの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、(キ) である。

＜(キ)の解答群＞

- ① 分散マネージメント光ファイバ(DMF)は、超大口径正分散光ファイバ(SLA)と逆分散光ファイバ(IDF)に分けられ、光信号パワーが低下する光海底中継器の入力側にSLAを、光海底中継器の出力側にIDFをそれぞれ配置することで非線形光学効果の影響を抑制することができる。
- ② SLAは、NZDSFの一つである大口徑負分散光ファイバ(LMF)と比較して、実効断面積(Aeff: Effective Area)が大きいいため、光ファイバの非線形性による伝送特性の劣化を抑制できる。
- ③ SLAは、コア周辺のクラッドの屈折率が、その外周部よりも低くなったディプレスト型の屈折率分布構造を持ち、波長1.55[μm]における波長分散及び波長分散スロープの値は正の値を有している。
- ④ IDFは、SLAの分散スロープ特性によって生ずる各信号波長間で異なる累積波長分散を一括して補償するために負の分散スロープを有する光ファイバであり、三重クラッド型の屈折率分布構造を持つ。

- (iv) 陸揚局に配置されている設備の構成、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 陸揚局には、海底ケーブルへの給電のためのシーアースが設置される。シーアースの接地抵抗値は10[Ω]以下とされているため多数のアース棒を埋設する必要があるが、近隣に誘導障害を発生させないように、アース棒は陸揚局敷地内に設置することが義務付けられている。
- ② 陸揚局に設置される各種装置は、海底ケーブルに高電圧給電を行う給電装置を含めて、一般に、直流-48[V]で電力供給される。また、無停電交流電源を必要とする監視装置などにはUPS電源から電力供給される。
- ③ 陸揚局には非常用自家発電機が設置されており、商用電源の停電時には、停電発生から非常用自家発電機が起動して給電開始するまで30分程度要するため、蓄電池による給電を1時間程度継続し、蓄電池の一定量放電後に非常用自家発電機による給電に切り替える方式が広く採用されている。
- ④ 陸揚局内に設置される光伝送端局装置、給電装置、システム監視装置などの装置間を接続する電力線、信号線及び光ファイバケーブルは、フリーアクセス床に配線され、熱がこもりやすい天井トラフ経由の配線は行われない。

- (1) 次の文章は、海底ケーブルの敷設工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。(2点×4=8点)

ケーブルを敷設する際には、敷設ルートの子形の傾斜などに応じてケーブル船の速度(船速)やケーブルの繰出速度を制御しながら敷設が行われる。その際の重要なパラメータとしてケーブルスラック(スラック)があり、A地点とB地点の間(A-B間)のスラックは次式で表される。

$$\text{スラック} = \square \text{ (ア)}$$

スラックの値の正負は、敷設方向に向かって海底の傾斜が □ (イ) になる。

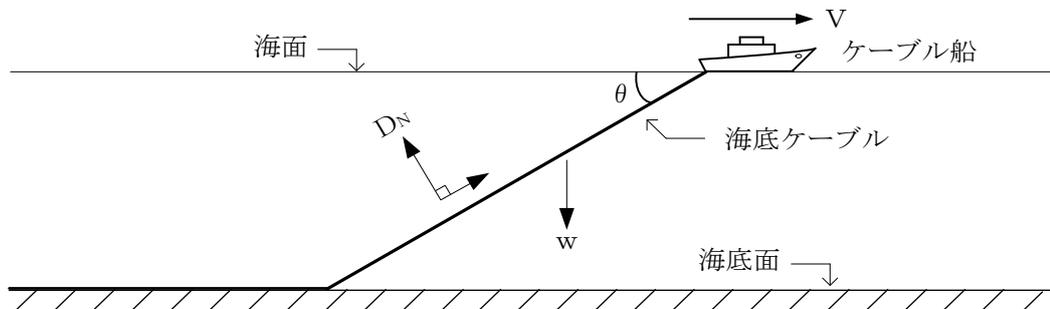
海底面が水平、船速が一定、かつ、ケーブル繰出速度が船速と比較して速い敷設作業の場合はケーブル各部が一定速度で沈下するため、潮流がない状態では水中におけるケーブルは一直線となり、海底のケーブル着地点での張力はほぼゼロとなる。

この条件での敷設中のケーブルの挙動は、以下のように敷設中のケーブルに作用する力を用いて表すことができる。

図に示すケーブル敷設の概念図において、単位長さ当たりのケーブル水中重量を  $w$  [N/m]、ケーブルの入水角を  $\theta$  [rad]、法線方向( $D_N$ )の抗力係数を  $C$ 、船速を  $V$  [m/s]、ケーブルの直径を  $d$  [m]、海水の密度を  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] とするとき、単位長さ当たりのケーブルの  $D_N$  方向に作用する力に注目すると、ケーブルの水中重量の成分と流体抵抗がつり合っていることから次式が成立する。

$$w \cos \theta = \frac{1}{2} \rho C d \square \text{ (ウ)}$$

ここで、 $\theta$  が小さい場合、 $\cos \theta$  を1、 $\sin \theta$  を  $\theta$  と近似でき、式より、船速  $V$  と入水角  $\theta$  の積  $V \theta$  は  $w$ 、 $\rho$ 、 $C$  及び  $d$  から決まる動水力学定数といわれる定数と等しくなり、 $\theta$  が小さい範囲において、 $\theta$  は船速  $V$  にほぼ □ (エ) ことが分かる。



<(ア)～(エ)の解答群>

- |   |                       |                   |         |
|---|-----------------------|-------------------|---------|
| ① $V \tan \theta$   | ② 一致する                | ③ $V \sin \theta$ | ④ 反比例する |
| ⑤ 上りではプラス、下りではマイナス  | ⑥ 上り及び下りともプラス         |                   |         |
| ⑦ 上りではマイナス、下りではプラス  | ⑧ 比例する                |                   |         |
| ⑨ $\frac{A-B \text{ 間の実敷設ケーブル長}}{A-B \text{ 間のルート長}}$     | ⑩ 無関係となる              |                   |         |
| ⑪ $\frac{A-B \text{ 間の実敷設ケーブル長}}{A-B \text{ 間のルート長}} - 1$ | ⑫ $(V \tan \theta)^2$ |                   |         |
| ⑬ $\frac{A-B \text{ 間のルート長}}{A-B \text{ 間の実敷設ケーブル長}}$     | ⑭ $(V \sin \theta)^2$ |                   |         |
| ⑮ $\frac{A-B \text{ 間のルート長}}{A-B \text{ 間の実敷設ケーブル長}} - 1$ | ⑯ 上り及び下りともマイナス        |                   |         |

(2) 次の文章は、光増幅海底ケーブルシステムの敷設工事における試験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の敷設工事前の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 光海底ケーブルと光海底中継器は、一般に、光海底ケーブル製造工場において敷設単位ごとに接続され、一連長になったシステムの試験が行われる。この一連の作業は、一般に、SAT (System Assembly and Testing) などといわれる。
- ② 光海底ケーブルに光海底中継器を接続した後に行う試験項目は、一般に、給電電流電圧特性、光海底中継器監視機能、各波長における光SN特性、ASE雑音特性などである。
- ③ 光海底ケーブルと光海底中継器の接続部における光ファイバ接続損失は、光海底中継器監視機能などの試験結果を基に推定することができ、一連長のシステムの伝送特性が目標を満足していても、推定接続損失が目標を満足しない場合は、一般に、接続をやり直す。
- ④ 敷設単位ごとに一連長になったシステムは、試験により正常性が確認された後にケーブル船に積み込まれる。ケーブル船へのシステム積み込みは、一般に、システムを給電状態にしてC-O TDRなどにより常時監視しながら行われ、異常が発見された場合、直ちに積み込み作業は中断される。

(ii) 光増幅海底ケーブルシステムの敷設工事中における試験について述べた次のA～Cの文章は、□(カ)。

- A 敷設工事中において、光海底中継器の監視機能試験及びC-O TDR測定を行う場合、一般に、ケーブル船上で当該光海底ケーブルの光ファイバを光ファイバペアごとに折り返し接続することにより、それらの試験は陸揚局から実施する。
- B 水深6,000[m]以上の深海部に光海底中継器を敷設する際は、水圧が急激に増加するため、一般に、ケーブル船から連続して絶縁試験を行いながら敷設し、異常が生じた場合は直ちに当該光海底中継器を回収する。
- C 敷設工事中におけるケーブル船からの試験は、スペースの制限によりケーブル船に多くの測定器を積み込むことが困難なため、一般に、電流電圧測定及び絶縁試験に限定される。

<(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) 光海底ケーブル敷設中のスラック制御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。ただし、海底は平坦な水平面で潮流はないものとする。

<(キ)の解答群>

- ① 敷設途中に船速変更などがあっても、スラック制御が必要となるのは、一般に、敷設開始時と終了時のみである。
- ② ケーブル敷設は、一般に、ケーブル保持状態から始まる。ケーブル船は徐々に船速を上げ、同時にケーブル繰出速度も上げていく。その際、ケーブル保持状態で入水角が90度であったケーブルは徐々に水中で傾斜していくため、海底に着底したケーブル長は繰り出したケーブル長と比較して短くなる。
- ③ 種別の異なるケーブルはジョイントボックスなどにより接続され、敷設の際は一連長で敷設されるが、一定の船速で、かつ、一定のケーブル繰出速度であれば、敷設中にケーブル種別が変わってもケーブル入水角は一定であるため、一般に、スラック制御は不要である。
- ④ 敷設の終了時には、ケーブル船の船速を徐々に下げていくのに伴い、ケーブル入水角は敷設中の角度から徐々に大きくなり90度に近づいていく。この場合、ケーブル船が減速を始めてから停止するまでの間においてはマイナスの値のスラックで敷設する必要がある。

- (iv) 光増幅海底ケーブルシステムの敷設工事における最終接続などについて述べた次のA～Cの文章は、(ク)。

- A 最終接続では、一般に、ケーブル接続時間に加え、関連陸揚局間の正常性確認試験が行われるため、ケーブル船は、最長で2～3時間にわたり、2本のケーブルを保持し続ける必要がある。
- B 最終接続中は、一般に、光ファイバ接続後とモールド終了後に関係陸揚局で接続点の正常性を確認する電気試験が行われる。その試験は関係陸揚局間で当該システムに給電して実施されるが、一般に、ケーブル船の給電責任者が関係陸揚局に給電の指示を行う。
- C 長時間のケーブル保持では、海上の波浪などによりケーブルは若干上下に動いているため、着底点付近のケーブルが損傷するおそれがある。これを防ぐために、浅海部と深海部が混在する敷設ルートにおける最終接続は、一般に、浅海部の外装ケーブル区間において実施される。

<(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、中継光海底ケーブルシステムにおける設計方法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)

EDFAを用いた中継光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内のEDFA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はほぼ一定となる。

EDFAの動作領域としては、EDFAの入力パワーが高くなるほど利得が小さくなる [ (ア) ] の領域が利用される。この [ (ア) ] 特性により、中継光海底ケーブルシステムの自己制御性が得られる。

また、EDFAは、光信号を増幅するときに自然放出光雑音を発生する。EDFAの特性を示すパラメータの一つである [ (イ) ] は、小さいほど低雑音であることを示しており、完全な反転分布が実現された理想的なEDFAの [ (イ) ] は、約3[dB]であることが知られている。

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、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、光海底中継器内の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中継光海底ケーブルシステムにおいて累積される光雑音パワー $P_n$ 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、中継光海底ケーブルシステムの光SN比は、 [ (エ) ] となる。

EDFAを用いた中継光海底ケーブルシステムの設計では、所定の伝送特性を満たすための光SN比を確保しつつ、各種要因による伝送特性劣化を抑えられるよう、中継間隔などの設計パラメータが決定される。

〈(ア)～(エ)の解答群〉

① 線形	② 消光比	③ $n$ 倍	④ $\frac{P_o}{P_n}$
⑤ 雑音指数	⑥ 利得非飽和	⑦ $n^2$ 倍	⑧ $\frac{P_n}{P_o}$
⑨ Q値	⑩ 利得飽和	⑪ $\log_{10} n$ 倍	⑫ $\frac{P_o - P_n}{P_n}$
⑬ 偏波依存	⑭ 励起効率	⑮ $\log_{10} n^2$ 倍	⑯ $\frac{P_n}{P_o - P_n}$

(2) 次の文章は、光海底ケーブルシステムにおける利得等化方法、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) 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)における利得等化方法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 EDFAの利得等化としては、利得等化用光部品の損失の波長依存性を利用してEDFAの利得の波長依存性を打ち消す方法が用いられ、所要の利得平坦度を得ている。
- ② 複数のEDFAを用いたWDMシステムでは、EDFAの自己フィルタリング効果により利得偏差が累積されるため、使用可能な利得帯域が数[nm]以下となる場合がある。自己フィルタリング効果により狭窄化した使用可能な利得帯域を拡大するために利得等化技術が用いられている。
- ③ 利得等化方法には、各光海底中継器のEDFAの後段に利得等化器を挿入する個別等化と、複数中継区間ごとに利得等化器を挿入するブロック等化がある。
- ④ 利得等化器としては、一般に、EDFAの利得の波長依存性による利得偏差を補正するチルト等化器と、光海底ケーブルの経年劣化などによる損失増加により生ずる利得傾斜を補正するシェイプ等化器が用いられている。

(ii) 無中継光海底ケーブルシステム(無中継システム)の構成などについて述べた次のA～Cの文章は、□(カ)。

- A 無中継システムには光海底中継器が存在しないため、給電装置を必要としないが、伝送距離は、光送信機の光出力パワー、光受信機の受信感度及び光ファイバ損失による制限を受ける。伝送距離を延伸するためには、受信側近傍に遠隔励起光増幅器を設ける方法がある。
- B 光送信機では、できる限り大きな信号光パワーを発生し、それを伝送路である光ファイバに効率的に入力することが必要となる。光送信機の光出力パワーの増大には高出力の光ファイバ増幅器が使用され、光出力パワーが大きいほど非線形光学効果の影響を抑制できるため、伝送距離を延伸することが可能となる。
- C 無中継システムにおいて、光受信機の受信感度を改善する方法としては、FECによる誤り訂正やコヒーレント光通信技術などがある。

<(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) 遠隔励起光増幅器を用いた無中継光海底ケーブルシステムにおける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 パワーバジェット設計においては、計算機シミュレーションなどにより設計パラメータの劣化量を算定しており、設計寿命終了時点における受信感度のマージンはゼロとして設計する。
- ② パワーバジェット設計においては、光送信機の光出力パワー、光受信機の実感度、光ファイバの損失及び遠隔励起光増幅器の利得に加えて、光信号の波形ひずみ、故障修理におけるケーブル割入れ、機器の経年劣化などの品質低下要因を考慮する必要がある。
- ③ 信号波長数が16波程度の無中継光海底ケーブルシステムは、中継光海底ケーブルシステムと比較して伝送距離が短いため、累積した波長分散は伝送路に配置したEDFの短い区間において補償する方法が用いられる。
- ④ 遠隔励起光増幅器は、伝送用光ファイバを通して励起光が供給されるため、励起光の波長としては雑音特性に優れた $0.98\ \mu\text{m}$ 帯が用いられている。

- (iv) 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に用いられるOOK方式は、搬送波である光の有無によりデータを伝送する方式であり、 $10\ \text{Tbit/s}$ の伝送速度でデータを伝送することが可能である。
- ② NRZ-OOK方式は、RZ-OOK方式と比較して非線形光学効果に対する耐力が大きく、信号波形をNRZ化することにより長距離伝送中に発生する波形ひずみの緩和が図られるとともに受信感度の改善が図られている。
- ③ 光海底ケーブルシステムに用いられる差動位相変調(DPSK: Differential Phase Shift Keying)方式は、受信機に遅延干渉計を使用することにより位相情報を強度情報に変換することが可能であり、局部発振光は不要であるが、偏波依存性が大きく、偏波依存性に対する対策が必要である。
- ④ RZ-DPSK方式は、RZ-OOK方式と比較して受信感度が3(dB)程度改善されるため、伝送距離が一定の場合、光海底中継器間隔の拡大が可能であり、光海底中継器台数を削減できる場合がある。

## 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) 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) ・管体(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ありません。
- (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ありません。