

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 |    |    | 20 |    | 線45~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 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ○       | ● | B | B | 1 | 1 | ● | 1 | 1 | 1 |
| 2       | ● | C | 2 | 2 | 2 | ● | 2 | 2 | 2 |
| 3       | ○ | D | 3 | 3 | 3 | ○ | 3 | 3 | 3 |
| 4       | ○ | E | 4 | ● | 4 | 4 | 4 | 4 | ● |
| 5       | ○ | ● | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 6       | ○ | G | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 7       | ○ | H | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 8       | ○ | 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 | 月 | 日 | 日 |
| 平成      | ○ | ● | ● | ○ | ● | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 昭和      | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 1       | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2       | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3       | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 4       | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 5       | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 6       | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 7       | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 8       | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 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。  
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。  
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。  
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<br>(控え) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

(今後の問い合わせなどに必要になります。)

| 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)～(工)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□(工)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)～(工)の解答群>

|      |     |       |        |
|------|-----|-------|--------|
| S N比 | 準漏話 | 減衰    | インパルス性 |
| ビート  | 反響  | 鳴音    | 群伝搬時間  |
| 熱    | 誘導  | A S E | 相互変調   |
| 量子化  | 非直線 | 磁気    | フリッカ   |

- (2) 次の文章は、メタリック伝送線路の電氣的諸特性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)

- ( ) 導体系の高周波領域における電氣的諸特性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>

ごく近くに平行に並んでいる2本の導体に電流が流れたとき、それぞれの電流の向きが、同一方向であると電流は導体内部で他方の導体から離れている側を流れようとし、反対方向であると他方の導体に近い側を流れようとして2本の導体内部の電流密度に偏りが生ずる。この現象は高周波において顕著となり、一般に、近接効果といわれる。

漏れコンダクタンスは、心線間の絶縁物を通して流れる電流の割合を示し、漏れコンダクタンスが小さいほど漏えいする電流が小さいことを意味する。平衡対ケーブルでは、一般に、周波数が高くなると漏れコンダクタンスは大きくなる。

線路の特性インピーダンスは、一般に、近似式で求められ、30 [kHz]以上の高周波における特性インピーダンスは、線路の静電容量の平方根に比例し、自己インダクタンスの平方根に反比例する。

導体系では、周波数が増加すると抵抗及び内部インダクタンスに変化が生ずる。これは、導体内部において、周波数の増加に伴い電流分布が変化した結果であり、一般に、電氣的特性として周波数が高くなると抵抗は増加し、内部インダクタンスは緩やかに減少する。

- ( ) 漏話現象、漏話減衰量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>

二つの回線間の電氣的な結合には静電結合と電磁結合があるが、メタリック伝送の音声回線においては、静電結合の漏話に対する影響は小さく、電磁結合が支配的である。

漏話を発生させる側の回線は誘導回線、漏話を受ける側の回線は被誘導回線といわれる。また、被誘導回線において、誘導回線の送端側に生ずる漏話は遠端漏話、誘導回線の受端側に生ずる漏話は近端漏話といわれる。

漏話減衰量  $L$  [dB] は、誘導回線の送端電力  $P$  [mW] と被誘導回線の漏話電力  $P_L$  [mW] の比であり、次式で表される。

$$L = 10 \log_{10} \frac{P_L}{P}$$

静電結合による漏話量は、線路の特性インピーダンスに比例する。したがって、装荷ケーブルは、一般に、無装荷ケーブルと比較して、特性インピーダンスが大きいため、漏話減衰量が小さくなる。

(3) 次の文章は、光ファイバの構造パラメータ、光ファイバと受・発光デバイスとの結合損失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)

( ) 光ファイバの構造パラメータについて述べた次のA～Cの文章は、  (キ)。

- A 光ファイバの構造を決定するパラメータは、マルチモード光ファイバの場合は、モードフィールド直径、モードフィールド偏心量、外径、開口数及び屈折率分布であり、シングルモード光ファイバの場合は、コア径、外径及びカットオフ波長である。
- B モードフィールド偏心量は、モードフィールド中心とクラッド中心との距離をいい、モードフィールドの中心とコアの中心は実質的には同じ場所になるので、モードフィールド偏心量は、一般に、コア中心とクラッド中心との距離として測定される。
- C カットオフ波長とは、高次のモードを遮断する波長であり、例えば1.3〔μm〕で使用するシングルモード光ファイバにおいてはカットオフ波長は1.3〔μm〕よりも短くなければならない。カットオフ波長より長い波長領域ではシングルモードとなることが保証されるが、逆に短い波長領域ではマルチモードとなってしまう。

<(キ)の解答群>

- |              |                |         |
|--------------|----------------|---------|
| Aのみ正しい       | Bのみ正しい         | Cのみ正しい  |
| A、Bが正しい      | A、Cが正しい        | B、Cが正しい |
| A、B、Cいずれも正しい | A、B、Cいずれも正しくない |         |

( ) 光ファイバと受・発光デバイス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、  (ク) である。

<(ク)の解答群>

光ファイバ内を伝搬してきた光は、光ファイバ端面から空間に放射される際に光ファイバの開口数に対応して広がって放射される。したがって、受光素子を光ファイバと効率よく結合させるため、受光素子を光ファイバ端面に近づける、受光面積の大きな受光素子を使用するなどの方法が採られる。

LDの反射面と光ファイバの入射端との間で共振状態となり、LDの電流 - 光出力特性にうねりが出たり雑音が発生することを抑えるため、一般に、光ファイバの入射端には無反射処理が施される。

LDと光ファイバの結合方法には、分布屈折率レンズで集光する方法、光ファイバ端面を球状に加工して集光する方法、非球面レンズで集光する方法などがある。

結合損失〔dB〕は、LDの出力光パワーを $P_o$ 〔mW〕、光ファイバへ入射した光パワーを $P_i$ 〔mW〕とすると、次式で表される。

$$= -10 \log_{10} \frac{P_o}{P_i}$$

- (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中では、光の速度が遅くなることによって起こる現象であり、□(ア)は、媒質中を進む光の経路は、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)の干渉実験であり、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しまを映すもので、光が波の性質を持つことを示している。光合分波器や光フィルタには、このような光の干渉を利用したマッハツェンダ干渉型などがある。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る。LDの光のように□(ウ)のよくそろった光は、□(エ)な光であるといわれる。

<(ア)～(エ)の解答群>

|        |        |          |     |
|--------|--------|----------|-----|
| 指向性    | スネルの法則 | マックスウェル  | 高純度 |
| レンツの法則 | ソリトン   | ホイヘンスの原理 | 位相  |
| セルマイヤー | 非干渉的   | シュレジンガー  | 振幅  |
| コヒーレント | 角周波数   | フレネルの法則  | ヤング |

- (2) 次の文章は、光ファイバ通信における変調方式、光ファイバ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)

- ( ) 光の強度変調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>

IM-DD方式は、強度変調方式と直接検波方式を組み合わせたものであり、復調側において、光の位相揺らぎに影響されない、光の強度に比例した出力を得ることができる。

LDの直接変調は、バイアス電流に変調信号を重畳することにより、変調信号の振幅変化を光の強度変化に変換するものである。バイアス電流を増加させると変調速度を速くできるため、一般に、バイアス電流はLDの発振しきい値より大きく設定されている。

LDの直接変調は、変調速度が速くなると十分な消光比を確保することが難しくなり、また、高速変調では発振周波数が変化するチャープングによって波長が広がるため、長距離伝送には適さなくなる。このため、一般に、長距離・高速伝送システムにおける変調には、光源と変調回路とを分離した外部変調方式が用いられている。

外部変調器の一種であるLN変調器は、結晶に電界を加えると屈折率が電界強度に比例して変化するポッケルス効果を利用したもので、LDから出力された光をLN結晶を通過させて、光の振幅、位相などを変化させるものである。

- ( ) 石英系光ファイバにおける非線形光学効果について述べた次のA～Cの文章は、  (カ) 。

- A 石英系光ファイバは、本質的には非線形性が小さい媒質であるが、入射した光を細径のコアに閉じ込めるため単位面積当たりのパワー密度が高くなること、低損失であるため光と媒質との相互作用長が長くなることなどによって、各種の非線形光学効果が起きやすくなる。
- B 高強度の短光パルスが光ファイバに入射されると、光の電界により光ファイバの屈折率が変化し、光パルスの位相が急激に変化する結果、パルスの前縁部では周波数が高くなり、後縁部では周波数が低下する。この現象は、自己位相変調といわれる。
- C 四光波混合は、位相整合条件を満たさない場合に大きくなり、ゼロ分散波長近傍で生じやすい。四光波混合は光ファイバを用いた波長変換手法の一つとして用いられる一方で、WDM方式においては伝送品質劣化の要因となる。

<(カ)の解答群>

- |              |                |         |
|--------------|----------------|---------|
| Aのみ正しい       | Bのみ正しい         | Cのみ正しい  |
| A、Bが正しい      | A、Cが正しい        | B、Cが正しい |
| A、B、Cいずれも正しい | A、B、Cいずれも正しくない |         |

- ( ) 石英系光ファイバの分散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>

入射光パルスが光ファイバ中を幾つかの異なったモードで伝搬することによって生ずる分散は、モード分散といわれる。モード分散を小さくするためにコアの屈折率分布を放物線状としたものがG I型光ファイバであるが、モード分散を完全になくすることはできない。

材料分散は光ファイバの材料である石英ガラスの性質に依存するため、大きく変化させることはできないが、構造分散は、比屈折率差や屈折率分布を調節することで変化させることができる。D S Fは、 $1.55 \mu\text{m}$ 帯での波長分散がゼロとなるように調節したS M光ファイバである。

光ファイバのコア形状のわずかなゆがみによって複屈折が生じ、光ファイバ中を伝搬する二つの偏波モード間に伝搬時間差が生ずる現象は、偏波モード分散といわれる。偏波モード分散は、波長分散と比較して光信号への影響は小さいが、高速になるほど、また、長距離になるほど伝送距離を制限する要因の一つとなる。

光ファイバの波長分散は、材料分散と構造分散の和であるが、S M光ファイバでは構造分散が伝送帯域を制限する主な要因となる。波長分散は、一般に、 $1.3 [\mu\text{m}]$ 付近でゼロとなり、光ファイバの伝送損失が最も小さくなる $1.55 \mu\text{m}$ 帯では約 $1.7 [\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ である。

- ( ) 光ファイバ通信における信号劣化の要因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>

伝送路の途中に光増幅器がある場合、信号の入力がない場合でも光増幅器から発生する誘導放出光が増幅器自体によって増幅されて雑音となる。この雑音はA S E雑音といわれ、S N比を劣化させる原因となる。

伝送路の途中に光コネクタや光部品などがあると、それらの接続点で光が反射することによって光信号が劣化したり、反射光がL Dまで戻ってしまうとレーザ発振が不安定になったりする場合がある。

光ファイバに、スペクトル幅の狭い強い光を入射すると、入射光より約 $11 [\text{GHz}]$ 低い周波数付近に新たな光が発生する現象は誘導ラマン散乱といわれる。この散乱光は入射した光とは逆の方向に向かって発生するため、光増幅器には、一般に、光アイソレータが挿入されている。

信号の時間軸方向の揺らぎにおいて、 $10 [\text{Hz}]$ 以上の速さの揺らぎはジッタ、 $10 [\text{Hz}]$ 未満の速さの揺らぎはワンダといわれ、一般に、ジッタは伝送路中の光ファイバ長の温度変化による伸縮などによって、ワンダは送受信回路中の電子回路内部の発振周波数の変動などによって発生する。

- (1) 次の文章は、WDM方式を用いた光海底ケーブルシステムの伝送路終端装置(LTE)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)

WDM方式を用いた光海底ケーブルシステムの陸揚局には、光海底ケーブルと陸上ネットワークとを接続するための光伝送端局装置が設置されており、光伝送端局装置は、一般に、LTE、分散補償装置、波長合分波装置などから構成されている。

LTEには、光海底ケーブルシステムに用いられる複数の波長にそれぞれ対応したチャンネルの□(ア)が実装されている。送信側では陸上ネットワークからの光信号を終端するとともに、光海底ケーブル伝送用の光信号へ変換する。受信側では、光海底ケーブルから受信した光信号を終端するとともに、陸上ネットワークへ光信号を送出する。

LTEの主な機能としては、

- 陸上ネットワーク用の伝送装置又は□(イ)から入力される光信号を受信する機能
  - ITU-T G.709に規定される□(ウ)に光信号をマッピングする機能
  - (エ)用の冗長パリティを付与する機能
  - 光海底ケーブル伝送に適した変調方式、波長及び強度に変換し、分散補償装置又は波長合分波装置へ出力する機能
  - (カ)を施し、伝送品質をモニタする機能
  - 陸上ネットワーク用の伝送装置又は□(キ)に光信号を出力する機能
- などがある。

| 〈(ア)～(エ)の解答群〉 |          |           |
|---------------|----------|-----------|
| 海中機材監視装置      | A T Mセル  | 誤り訂正      |
| 給電装置          | システム監視装置 | シェイプ等化器   |
| 光トランスポンダ      | Qインタフェース | ラッピング     |
| プロテクション装置     | 光H L L B | O T Nフレーム |
| タイムスロット       | 予備切替     | 時刻同期      |
| 低偏波依存性光アイソレータ |          |           |



(2) 次の文章は、WDM方式を用いた光海底ケーブルシステムを構成する各種装置の機能、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)

( ) 給電装置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>

給電装置は、一般に、電力制御部、電力監視部、負荷切替部及び試験用負荷部から構成されており、このうち、試験用負荷部には給電装置を単体で動作させることにより保守点検するための疑似抵抗負荷回路が備えられている。

給電装置は、傾斜抵抗といわれる領域で運用することにより、両端給電時に両陸揚局間で均等に負荷電圧を分担する機能を有している。地電位差の変化などの外乱の影響により片方の陸揚局で給電装置の出力が変動しても、もう一方の陸揚局の給電装置は出力電流を一定に保ちつつ、それに対応した電圧に変化させることができる。

給電装置の電力制御部では、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ことにより、冗長化を図っている。

光海底ケーブルの給電路と給電装置とを接続する方法としては、光海底ケーブルをそのまま局舎まで引き込んで、局舎内において光ファイバと給電路を分けた後給電路を給電装置に接続する方法と、ビーチマンホールなどにおいて光ファイバと給電路を分けた上で、陸上給電ケーブルを局舎内に引き込んで給電装置に接続する方法がある。

( ) 波長合分波装置の機能、特徴などについて述べた次のA～Cの文章は、□(カ)。

- A 波長合分波装置では、光伝送端局装置における入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。
- B 波長合分波装置の機能の一つとして、信号光の波長数が少ない場合において、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ために、ダミー光を供給し、合波する機能がある。
- C 波長合分波装置では、異なる波長の信号光を合分波するデバイスとして、ITU-T勧告で規定される波長グリッドだけに対応したAWG(Arrayed Wave Guide)、光カップラ、光フィルタなどが用いられており、ITU-T勧告に準拠しない波長グリッドに対応するデバイスを用いた光海底ケーブルシステムは運用されていない。

<(カ)の解答群>

- |              |                |         |
|--------------|----------------|---------|
| Aのみ正しい       | Bのみ正しい         | Cのみ正しい  |
| A、Bが正しい      | A、Cが正しい        | B、Cが正しい |
| A、B、Cいずれも正しい | A、B、Cいずれも正しくない |         |

- ( ) 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〉

光海底ケーブルシステムでは、光海底ケーブルが長くなるほど波長分散が累積され大きくなるため、一般に、正と負の波長分散値を持つ光ファイバケーブルを組み合わせることにより、累積波長分散を抑える方法が採られている。

分散補償装置にはF B G (Fiber Bragg Grating)を用いた分散補償器が実装されたものがあり、この分散補償器は、分散補償光ファイバと比較して、波長依存性が小さく、波形劣化が生じにくい、許容光入力強度が小さいなどの特徴がある。

累積波長分散が小さいときには、一般に、受信側のみの分散補償装置により分散補償が行われ、累積波長分散が増加するに従い、送信側の分散補償装置による前置分散補償を組み合わせることで分散補償が行われる場合がある。

累積波長分散が  $-1,000$  [ps/nm] の伝送チャネルを  $+20$  [ps/nm/km] の波長分散特性を持つS M F を用いて累積波長分散を0とする場合、 $50$  [km] のS M F が必要となり、一般に、そのS M F による光損失を補償するための光増幅器も必要となる。

- ( ) プロテクション装置におけるプロテクション方法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〉

複数の陸揚局を環状に接続してリングネットワークを構成する光海底ケーブルシステムにおいては、右回りのワーキングパスが切断された場合、一般に、伝送遅延による伝送品質の低下を避ける必要があるため、左回りのプロテクションパスに切り替えるプロテクション方法は採られていない。

I T U - T 勧告で規定されているプロテクション方法の一つであるM S - D P R i n g (Multiplex Section-Dedicated Protection Ring)は、双方向のワーキングパスに対して同経路の光ファイバを用いるものである。

I T U - T 勧告で規定されているプロトコルであるT O A (Transoceanic application)では、別経路の光ファイバを利用するプロテクション方法を用いたとき、S D H のオーバーヘッドバイトを用いてワーキングパスに異常があることを検知できるが、最短距離のプロテクションパスを選択することはできない。

光海底ケーブルシステムにおける装置故障に対するプロテクション方法として、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、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、予備系の装置を選択する方法は、一般に、 $1 + 1$  プロテクションといわれる。

- (1) 次の文章は、敷設中の海底ケーブルに作用する力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)

海底ケーブルの敷設において、海底面が平坦で潮流がなく、船速が一定で、かつ、ケーブル繰出速度が船速より速い敷設作業の場合は、ケーブル各部は一定速度で沈下するので、水中におけるケーブルは一直線になり、海底のケーブル着底点での張力はほぼ  (ア) となる。

図1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  $C$ 、ケーブル船の船速を  $V$  (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である  (イ) と流体抵抗である  $\frac{C d (V \sin \theta)^2}{2}$  がつり合っていることから次式が得られる。

$$\text{(イ)} = \frac{C d (V \sin \theta)^2}{2}$$

さらに、 $\theta$  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  $w$ 、 $C$ 、 $d$  から決まる  (ウ) 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  $V$  にほぼ反比例することが分かる。

一方、船速が計画速度より増加した場合又はケーブル繰出速度が船速より減じられた場合は、海底のケーブル着底点はより後方に遠のくこととなり、水中におけるケーブルは  (エ) 曲線を描くようになる。

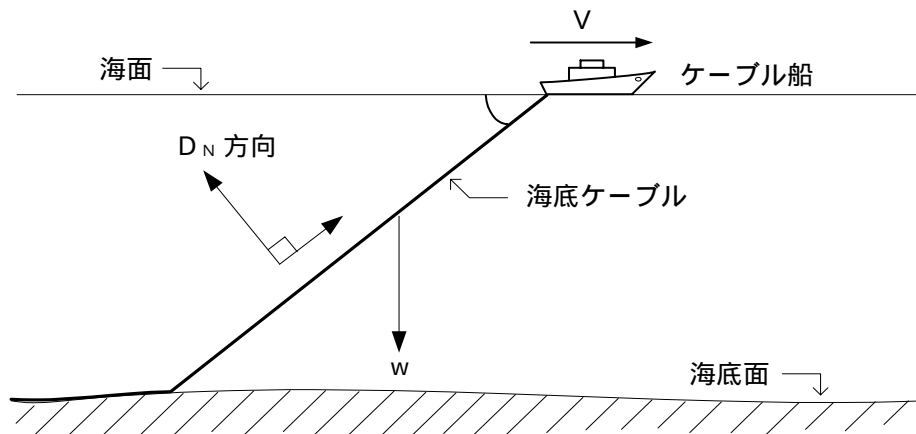


図1

| <(ア)~(エ)の解答群>   |                |               |          |
|-----------------|----------------|---------------|----------|
| $w \sin \theta$ | ファラデー          | カテナリ          | アボガドロ    |
| $w \cos \theta$ | 弾性             | 螺旋            | サイクロイド   |
| $w \tan \theta$ | ゼロ             | バナナ           | 船速に比例した値 |
| $w \cot \theta$ | 動水力学           | 水深長分のケーブル水中重量 |          |
|                 | ケーブル繰出速度に比例した値 |               |          |

(2) 次の文章は、海底ケーブルを敷設するケーブル船の設備、敷設技術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)

( ) ケーブル船設備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〉

リニアケーブルエンジンは、ケーブル回収などの高張力を伴う工事に適しているため、一般に、ケーブル修理工事に使用され、ドラムケーブルエンジンは、5ノット程度の高速敷設に適しているため、一般に、ケーブル建設工事に用いられている。

DPS (Dynamic Positioning System)は、船橋からの船の方向や船速などの指示、又は計画された敷設ルートや船速などの情報と、GPSやDGPSからの位置情報を比較することにより自動的にスラストなどを制御し、ケーブル船を指示又は計画に従い航行させるシステムである。また、DPSにより定点保持も可能となっている。

ROV (Remotely Operated Vehicle)には、センサによるケーブルの故障位置探査、マニピュレータによるケーブル切断及び回収作業のサポート、ウォータジェットによるケーブル後埋設などの機能を有しているものがある。

鋤<sup>すき</sup>式埋設機は、ケーブルを敷設と同時に埋設できるため、ケーブルを敷設後にケーブルを埋設するROVと比較して効率的であるが、ケーブル船により曳<sup>えい</sup>航してケーブルを敷設及び埋設する方法であるため、ケーブル修理工事などの後埋設には適していない。

( ) 海底ケーブル敷設工事など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ケーブルに一定間隔で取り付け、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 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〉

- |              |                |         |
|--------------|----------------|---------|
| Aのみ正しい       | Bのみ正しい         | Cのみ正しい  |
| A、Bが正しい      | A、Cが正しい        | B、Cが正しい |
| A、B、Cいずれも正しい | A、B、Cいずれも正しくない |         |

( ) 海底ケーブルの故障修理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>

ケーブルの故障修理を短期間で終了するためには、故障点にできる限り近い箇所でケーブルを引上げる必要があることから、一般に、水深6,000[m]程度までは、ROVによる目視やエレクトロディングといわれる低周波重畳信号による検知により故障点を確認後、修理作業が開始される。

ケーブルの故障修理を短期間で終了するためには、作業手順をできる限り簡略化するためには、作業手順をできる限り簡略化することから、一般に、水深やケーブル故障の状況に関係なく、ケーブルカuttingドライブ(切断作業)を省略してホールディングドライブ(探線及び回収作業)が実施される。

ケーブル船上でのケーブル接続に用いられるユニバーサル・ジョインティング(UJ)技術は、同一ケーブルどうしの接続に加え、製造メーカーや種別の異なるケーブルを共通の接続仕様に基つき相互に接続するための技術であり、異なる組合せの接続に共通に適用できる装置、工具などが用いられている。

ケーブル船が進入できない水深20[m]以浅でケーブル故障が発生した場合は、一般に、再度、ケーブル陸揚工事を行い、水深20[m]以深でケーブル船によりケーブル接続を実施して復旧する。

( ) 図2は斜面への海底ケーブル敷設時の概念図を示す。以下の条件の場合、下り傾斜(C-D)の海底面にケーブル敷設するときのケーブル船が移動する区間A-Bにおけるケーブルスラックは、約(ク) [%]である。ただし、 $\sin 30^\circ = 0.50$ 、 $\cos 30^\circ = 0.87$ 、 $\tan 30^\circ = 0.58$ とする。

(条件)

区間A-Bの距離L : 10[km]

ケーブルの入水角 :  $30^\circ$

海底斜面の伏角 :  $30^\circ$

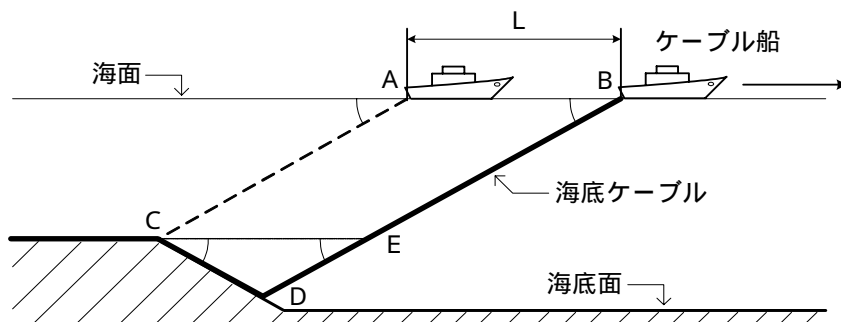


図2

<(ク)の解答群>

5                      10                      15                      20

(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、 $\nu$ を光信号の周波数、 $f$ 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 $P_0$ であるとすると、 $P_0$ 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〉 |                   |                         |
|---------------|-------------------|-------------------------|
| $fG$          | $n$ 倍             | $\frac{P_0}{P_n}$       |
| $(-f)G$       | $n^2$ 倍           | $\frac{P_n}{P_0}$       |
| $f(G-1)$      | $\log_{10} n$ 倍   | $\frac{P_0 - P_n}{P_n}$ |
| $(-f)(G-1)$   | $\log_{10} n^2$ 倍 | $\frac{P_n}{P_0 - P_n}$ |
| 励起光源の励起帯域幅    | 受信器の光フィルタの通過帯域幅   |                         |
| ショット雑音のスペクトル幅 | 受信器の電気フィルタの通過帯域幅  |                         |

(2) 次の文章は、光増幅海底ケーブルシステム(光増幅システム)における海底伝送路の構成、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)

( ) E D F Aを用いた長距離光増幅システムの海底伝送路の構成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>

長距離光増幅システムでは、一般に、伝送用光ファイバとしてノンゼロ分散シフト光ファイバ(NZDSF)又は分散マネジメント光ファイバ(DMF)が用いられており、いずれも各中継区間で負分散を残留させ、幾つかの中継区間をまとめたブロックごとに正分散光ファイバを配置することにより、累積波長分散をゼロに戻す周期的分散補償が行われている。

1中継区間を超大口径正分散光ファイバ(SLA)と逆分散光ファイバ(IDF)で構成するDMFは、DMFケーブルの製造性とケーブル修理時の作業性を考慮し、SLAの長さ(IDF)の長さとの比率を1:1としている。

1中継区間を大口径負分散光ファイバ(LMF)と分散スロープ低減負分散光ファイバ(LSF)で構成するNZDSFでは、非線形光学効果の影響を抑制するために、一般に、光信号パワーの高い光海底中継器の出力側に接続される前半部にLMFが配置され、光信号パワーが光ファイバの損失で低下する後半部にLSFが配置される。

海底伝送路の構成においては、光海底中継器利得の波長依存性を考慮した利得等化設計を行う必要がある。太平洋横断などの長距離光増幅システムでは、一般に、光海底中継器1台ごとに利得の平坦化を行い、さらに、利得等化器を周期的に配置することにより、累積した利得偏差を補償している。

( ) 光増幅システムのパワーバジェット設計について述べた次のA~Cの文章は、  (カ) 。

A 光増幅システムは、一般に、25年間安定して稼動することが要求され、25年後の設計寿命終了時点においても、光SN比で3[dB]のマージンを有するように設計が行われている。

B 光増幅システムにおいて、伝送区間のQ値を $Q_S$ 、伝送路のQ値を $Q_L$ 、光伝送端局装置のQ値を $Q_E$ とすると、一般に、次に示す関係式が成り立つ。ただし、 $Q_S$ 、 $Q_L$ 及び $Q_E$ は、いずれも真数とする。

$$Q_S^2 = Q_L^2 + Q_E^2$$

C 光増幅システムは、伝送用光ファイバ及び光増幅器の偏光依存性などのため、伝送特性が時間的に変動する。パワーバジェット設計では、一般に、周回伝送試験などにより長時間収集されたQ値を正規分布で近似し、その標準偏差の5倍を時間変動特性に割り当てている。

<(カ)の解答群>

- |              |                |         |
|--------------|----------------|---------|
| Aのみ正しい       | Bのみ正しい         | Cのみ正しい  |
| A、Bが正しい      | A、Cが正しい        | B、Cが正しい |
| A、B、Cいずれも正しい | A、B、Cいずれも正しくない |         |

- ( ) 光海底ケーブルシステムの光伝送端局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>

光増幅器を用いる長距離光海底ケーブルシステムでは、一般に、RZ - OOK方式と比較して非線形耐力のあるNRZ - OOK方式を用いることにより、波形ひずみの緩和が図られるとともに受光感度の改善が図られている。

DPSK (Differential Phase Shift Keying)方式では、局部発振光を信号光と同時に送信する必要がなく、局部発振光を受信側で信号光と合波すればよいため、強度変調方式と比較して、信号光と局部発振光の偏光面及び位相の整合が容易である。

光伝送端局装置の受信器では、光信号を電気信号に変換するため、一般に、フォトディテクタが用いられる。フォトディテクタでは光搬送波の位相を検出できないため、DPSK方式の受信器では、遅延干渉系を用いて位相変調信号を強度変調信号に変換して受信する。

RZ - DPSK方式は、RZ - OOK方式と比較して約3 [dB]低い光SN比において同等のQ値を得ることができる。これは、中継間隔一定の場合、伝送距離を約2倍に延長することが可能であり、伝送距離一定の場合、中継間隔を約2倍に延長し、中継器台数を $\frac{1}{2}$ にすることが可能となることを示している。

- ( ) 光増幅システムにおける誤り訂正(FEC)技術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>

誤り訂正(FEC)において、符号化器によって情報ビットに付加される冗長ビットはFECパリティビットといわれる。また、情報ビットとFECパリティビットを合わせたものは符号語といわれ、符号語のビット数に対する情報ビット数の比は符号化率といわれる。

誤り訂正符号の符号化利得は、訂正前のQ値に依存する。訂正前のQ値が低いほど、符号化利得が大きくなる。したがって、パワーバジェットでは、Qリミットが8.8 [dB]の場合の符号化利得が8.5 [dB]ならば、訂正後のQ値は、一般に、< 17.3 [dB]と表現される。

冗長ビットの付加により、訂正前のQ値が11.2 [dB]の信号をQ値が17.3 [dB]の信号に改善する場合、誤り訂正符号の符号化利得は6.1 [dB]であるが、冗長ビットの付加によるビットレート上昇のため、必要とされる光SN比が上昇する。したがって、ネット符号化利得は6.1 [dB]より大きい値となる。

誤り訂正符号は、光SN比の低下による伝送特性の劣化などによる影響を軽減するために開発されたものであり、伝送特性が入力レベルで決まる無中継システムでは用いられない。

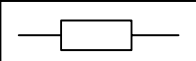

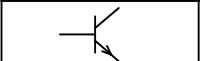



## 試験問題についての特記事項

(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、旧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(きょうたい) ・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ありません。

(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ありません。