

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28
		水底線路	8	8	8	8	8	線29~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

- 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									
01CF941234									
<input checked="" type="radio"/> 0	A	A	0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="radio"/> 1	B	B	1	1	<input checked="" type="radio"/> 2	2	2	2	2
<input checked="" type="radio"/> 2	C	2	2	2	<input checked="" type="radio"/> 3	3	3	3	3
<input checked="" type="radio"/> 3	D	3	3	3	3	<input checked="" type="radio"/> 4	4	4	4
<input checked="" type="radio"/> 4	E	4	<input checked="" type="radio"/> 5	5	5	5	5	5	5
<input checked="" type="radio"/> 5	G	6	6	6	6	6	6	6	6
<input checked="" type="radio"/> 6	H	7	7	7	7	7	7	7	7
<input checked="" type="radio"/> 7		8	8	8	8	8	8	8	8
<input checked="" type="radio"/> 8		9	9	9	9	9	9	9	9
<input checked="" type="radio"/> 9									

生 年 月 日									
年号	5	0	0	3	0	1			
平成	<input checked="" type="radio"/> 0	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1
昭和	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 1
大正	<input checked="" type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 2
	<input checked="" type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 3
	<input checked="" type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 4
	<input checked="" type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 5	<input checked="" type="radio"/> 5
	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 6
	<input checked="" type="radio"/> 7	<input checked="" type="radio"/> 7	<input checked="" type="radio"/> 7	<input checked="" type="radio"/> 7	<input checked="" type="radio"/> 7	<input checked="" type="radio"/> 7	<input checked="" type="radio"/> 7	<input checked="" type="radio"/> 7	<input checked="" type="radio"/> 7
	<input checked="" type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 8
	<input checked="" type="radio"/> 9	<input checked="" type="radio"/> 9	<input checked="" type="radio"/> 9	<input checked="" type="radio"/> 9	<input checked="" type="radio"/> 9	<input checked="" type="radio"/> 9	<input checked="" type="radio"/> 9	<input checked="" type="radio"/> 9	<input checked="" type="radio"/> 9

5 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。

6 合格点及び問題に対する配点

- 各科目の満点は1000点で、合格点は600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。)

試 験 種 別	試 験 科 目	専 門 分 野
線路主任技術者	専門的能力	通信線路

問1 次の問いに答えよ。

(小計20点)

- (1) 次の文章は、平衡対ケーブルの一次定数と二次定数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)

平衡対ケーブルは、長手方向に均一で一様な線路であり、その電気特性は [(ア)] 定数回路として扱うことができる。この線路の往復導体の単位長さ当たりの抵抗をR、インダクタンスをLとし、また、往復導体間の単位長さ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、これらのR、L、G、Cは、線路の一次定数といわれる。

一次定数から誘導される [(イ)] 定数 及び特性インピーダンス Z_0 は、次式で表される。

$$= \sqrt{(R + j \omega L)(G + j \omega C)} = \dots + j$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j \omega L}{G + j \omega C}} = |Z_0| e^{j \theta}$$

ただし、jは虚数記号を、 ω は伝送波の角周波数を、 θ 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。

この [(イ)] 定数 の式において、実数部は [(ウ)] 定数、虚数部は [(エ)] 定数といわれ、これらの R、L、G、C、 Z_0 は線路の二次定数と総称される。

<(ア)~(エ)の解答群>

伝 達	位 相	集 中	遅 延
相 加	増 幅	減 衰	振 動
伝 搬	反 射	等 価	伝 送
分 散	結 合	分 布	比 例

(2) 次の文章は、メタリック伝送路の電気的特性について述べたものである。 内の(オ)、(カ)に適したものを、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)

() メタリック伝送路における漏話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〉

漏話を生じ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、被誘導回線において、誘導回線の送端側に生ずる漏話は近端漏話、誘導回線の受端側に生ずる漏話は遠端漏話といわれる。

静電結合による漏話は被誘導回線のインピーダンスに比例し、電磁結合による漏話は誘導回線のインピーダンスに反比例する。

平衡対ケーブルの場合、一般に、誘導回線と被誘導回線のインピーダンスは等しいので、特性インピーダンスが高くなる低周波では静電結合による漏話が支配的であるが、特性インピーダンスが低くなる高周波では電磁結合による漏話も考慮する必要がある。

漏話減衰量は、誘導回線の送端電力と、被誘導回線の漏話電力(漏話量)の比の対数で表され、漏話電力が大きいほど漏話減衰量は大きく、漏話電力が小さいほど漏話減衰量は小さい。

() メタリック伝送路などにおける雑音及びひずみについて述べた次のA～Cの文章は、 (カ) 。

A 増幅器などにおいて、導体中の自由電子の熱的じょう乱運動により発生する雑音はインパルス性雑音といわれる。インパルス性雑音を避けることは原理的に不可能であり、全周波数に対して一様に分布していることから白色雑音ともいわれる。

B 伝送系の減衰量が周波数に対して一定でないために生ずるひずみは、減衰ひずみといわれる。音声回線において、特定の周波数で減衰量が特に少ないと、その周波数において鳴音が発生しやすくなる。

C 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は、非直線ひずみといわれ、波形ひずみの原因となる。

〈(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	

(3) 次の文章は、光ファイバの分散特性、希土類添加光ファイバの特徴などについて述べたものである。 内の(キ)、(ク)に適したものを、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)

() 石英系光ファイバの分散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。

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。

マルチモード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等しいため、隣接するパルス間隔をあまり小さくできない。

マルチモード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、総称して分散制御光ファイバといわれる。

() 希土類添加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、 (ク) である。

<(ク)の解答群>

光ファイバに異種又は同種の希土類イオンが高濃度に添加されている場合、希土類イオン間でエネルギー移動が起こることがあり、光ファイバの屈折率が変動する原因となる。

EDFのクラッド径及び素線径は、伝送用光ファイバと同じであるが、コア径は増幅性能を向上させるため、一般に、伝送用光ファイバより小さくなっている。

EDFのコアには、屈折率プロファイル形成用ゲルマニウムと増幅動作のための E_r イオンのほかに波長平坦化のためのアルミニウムが添加されているものがある。

EDFの利得係数は、 E_r の添加濃度を高めることで大きくできるが、高濃度になると濃度消光により励起効率が低下するため、高濃度化には限界がある。 E_r とともにイッテルビウム(Y_b)を共添加した $E_r:Y_b$ 光ファイバは、濃度消光に起因する E_r 添加濃度の限度を向上させることができる。

- (1) 次の文章は、光ファイバの非線形特性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)

光ファイバの材料に用いられる石英(SiO_2)は非線形性が小さい物質であり、光のパワー密度が小さい状況では、物質の□(ア)は、光の電界強度に比例する。しかし、シングルモード光ファイバは、直径10(μm)程度のコア内を光が伝搬するため、1[W]の光が光ファイバに入射された場合のパワー密度は約□(イ)となる。このようにパワー密度が高くなることに加え、光ファイバは損失が小さいために、光と媒質の相互作用長が長くなり、様々な非線形現象が起こり、高次の□(ア)が無視できなくなってくる。

光ファイバの非線形光学効果は、光ファイバが対称的な分子構造であることから、主に3次の感受率によって引き起こされる。3次の感受率は、第3高調波発生、四光波混合、非線形屈折率変化、非線形□(ウ)などの現象を引き起こす。この中で非線形□(ウ)は、光ファイバの中に入射される光の強度が、あるしきい値を超えると SiO_2 分子が振動し、フォノンが伝搬することにより生ずる現象である。2原子からなる分子の振動は、それぞれの原子が同じ方向に振動する□(エ)振動と、逆方向に振動する光学的振動に分けられる。

<(ア)～(エ)の解答群>

1 [kW/cm^2]	電磁的	誘電率	共振
1 [MW/cm^2]	分極	屈折率	散乱
1 [GW/cm^2]	音響的	干渉	機械的
1 [TW/cm^2]	帯電量	回折	量子力学的

(2) 次の文章は、非線形光学効果、光ファイバ伝送システムで用いられる光デバイスなどについて述べたものである。□内(オ)～(ク)に適したものを、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)

() 光ファイバ中の非線形光学効果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＞

高強度の狭い幅の光パルスが光ファイバに入射されると、光の電界で光ファイバ物質中の電子の軌道が変化することにより屈折率が電界の強度の2乗に比例して変化する現象は、一般に、光カー効果といわれる。

光ファイバに三つの異なる波長の光を入射した際に、入射したどの波長とも一致しない新たな波長の光が発生する現象は、一般に、四光波混合といわれる。

媒質の格子振動により入射光の一部が非弾性的に散乱され、入射光と異なる新たな波長の光が発生する現象は、一般に、ラマン効果といわれ、新たな波長の光が媒質の光学的格子振動と励起光との相互作用によって生ずる散乱はラマン散乱といわれる。

誘導ブリルアン散乱では主に前方散乱が強く発生するが、誘導ブリルアン散乱は誘導ラマン散乱と比較して散乱が発生する帯域幅が狭いため、強い前方散乱を発生させるには、スペクトル幅が非常に狭い入射光を用いる必要がある。

() 光スイッチについて述べた次のA～Cの文章は、□(カ)。

- A 光スイッチは、光伝送路において機械的又は電子的方法により、光路の切替えや光のオン/オフを制御する光デバイスであり、1入力1出力の光スイッチや多入力多出力の光マトリクススイッチなどがある。
- B 機械式光スイッチは、プリズム、ミラーなどの光学部品又は光ファイバを駆動して光路を切り替えるものである。機械式光マトリクススイッチには、MEMSといわれる技術を活用して製作されたものがある。
- C 電子式光スイッチには、電気光学効果、磁気光学効果、音響光学効果などを利用したものがある。

＜(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	

- () 発光素子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、 である。

<(キ)の解答群>

LDとLEDは、一般に、ダブルヘテロ接合構造を用いる点で共通しているが、結晶の両端に反射鏡面を形成して共振回路を形成するLDに対し、LEDは共振回路がなく、接合面に垂直に光を取り出す構造である。

LDの共振波長は用いられる半導体材料によって決まるが、波長可変LDでは、温度制御、電流注入制御などにより増倍率を変化させる、機械的に結合効率を変化させるなどの方法を用いることにより、共振波長を制御することができる。

LEDは、LDと比較して変調可能帯域が狭く、スペクトル幅が広いが、製造コスト、寿命などの面で優れており、主に短距離系の光通信システムで用いられている。

面発光型レーザー(VCSEL)は、基板面に対して垂直方向に共振し、レーザービームを垂直方向に出射する。VCSELから出射されるレーザービームはほぼ円形で出射角が狭いため、光ファイバと高効率で結合することができる。

- () 受光素子の特性などについて述べた次の文章のうち、正しいものは、 である。

<(ク)の解答群>

PIN-PDは、p領域とn領域の外側をi層といわれる真性半導体層で覆った構造とすることにより、単純なpn接合の半導体受光素子と比較して、応答速度などの改善が図られている。

APDはアバランシ効果を利用して信号出力を増倍する機能があり、この増倍率は光ファイバとの結合効率を制御することにより変化させることが可能で、PIN-PDより良好な信号対雑音比が得られる。

受光素子で生ずるショット雑音は、電子が時間的又は空間的に不規則に励起されるために生ずる光電流の揺らぎによる雑音であり、同じ受光レベルであれば、印加する逆電圧を大きくしてもショット雑音は一定である。

受光素子は、一般に、微弱な光を検出するために低雑音性が求められる。低雑音性を実現するには、PDにおいては外部からの入射光がなくても流れる暗電流を小さくする、APDにおいてはなだれ増倍に伴い発生する過剰雑音を小さくする方法がある。

- (1) 次の文章は、光送信器における光出力強度制御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)

LDは、一般に、高い信頼性を有しているが、経年劣化による光出力強度の低下は避けられない。これを補償するため、光送信器では光出力強度制御(APC : Automatic Power Control)機構を有している。APCは、LDの端面近傍に□(ア)を配置してLDの光出力をモニタし、そのモニタ値の変動をLDの駆動電流にフィードバックさせることにより光出力強度を一定に保つものである。

また、DWDM方式などにおいては、LDの出力光の波長を高精度に安定させる必要があるが、一般に、LDを構成する半導体材料固有の□(イ)やバンドギャップが温度依存性を有するため、その出力光の波長は温度変化によって変動する。温度変化に対する波長変動を補償するのが温度制御(ATC : Automatic Temperature Control)機構であり、ATCは、LD近傍に抵抗値の温度依存性が大きいサーミスタを配置し、その抵抗値の変動を□(ウ)効果を用いて加熱又は冷却する□(ウ)素子の駆動電流・電圧にフィードバックさせることにより温度を一定に保つものである。

出力光の波長を更に安定に保つためには、波長制御(AFC : Automatic Frequency Control)機構が必要となる。AFCは、一般に、LDからの出力光を□(エ)で形成されたエタロンフィルタで透過光出力に変換してモニタし、そのモニタ値の変動を□(ウ)素子にフィードバックさせることにより波長安定性を保つものである。

<(ア)~(エ)の解答群>

LED	受光素子	非球面レンズ	ジョセフソン
絶縁抵抗	屈折率	非線形光学	インピーダンス
ゼーベック	MR素子	ペルチェ	グレーティング
伝搬モード	回折格子	光電管	誘電体多層膜

(2) 次の文章は、光ファイバ、光通信デバイスなどについて述べたものである。 内の (オ)~(ク)に適したものを、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)

() 分散制御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>

石英系SM光ファイバは、一般に、低分散領域が1.31[μm]近傍に、低損失領域が1.55[μm]近傍にある。1.55[μm]近傍で零分散を実現するには、比屈折率差と構造分散パラメータを大きくすることにより、構造分散を大きくし、材料分散と相殺させる方法がある。

分散フラット光ファイバは、材料分散と符号の反転した構造分散を形成することにより実現でき、一般に、材料分散は波長に対して急な勾配を持っているため、構造分散パラメータが波長に対して平坦な特性を持った構造となるものが用いられる。

1.31[μm]近傍で零分散となる光ファイバを用いて1.55μm帯の伝送を行うと、損失よりも分散が中継間隔を制限する主要因となる。中継間隔を延長するためには、1.55μm帯で符号が逆の分散特性を持つ光ファイバを接続して分散を相殺する方法がある。

WDM方式に分散シフト光ファイバを用いると、四光波混合の影響が問題になることがある。解決策としては、信号光の周波数間隔を不均等に配置する方法、伝送帯域における分散を零にしないで四光波混合の発生しにくい範囲で分散を小さくしたノンゼロ分散シフト光ファイバを用いる方法などがある。

() 光増幅器の種類、特徴などについて述べた次のA~Cの文章は、 (カ) 。

A 光ファイバ増幅器は、活性媒質を含む導波路として光ファイバを用いるため、半導体光増幅器と比較して、接続損失が小さく、高出力、高利得であり、増幅帯域幅が広い。

B 光ファイバ増幅器には、希土類添加光ファイバ増幅器のほかに、誘導ラマン散乱、誘導ブリルアン散乱などの非線形光学効果を利用したものがある。ファイバラマン増幅器は、一般に、数[km]以上の光ファイバと数[W]の励起パワーを必要とされる。

C 半導体光増幅器には、共振形と進行波形がある。進行波形光増幅器は、共振形光増幅器における利得の強い周波数依存性をなくすため、LDの両端面に反射防止膜を施すことにより、入射光は活性層内で多重反射することなく1回通過する間に増幅される。

<(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	

- () E D F Aの特徴、動作原理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〉

E D F Aの増幅波長帯域は、主に、Eバンドであるが、E D Fの長さを変えることで、Sバンドでも使用可能である。E D Fの長さは、Eバンド用で数(m)から10(m)程度、Sバンド用では数十(m)から100(m)程度である。

E D Fのクラッドには、伝送用光ファイバと異なり、屈折率プロファイル形成用、増幅作用などのため希土類イオンが添加されている。

E D F Aは、半導体光増幅器と異なり、相互変調ひずみがないこと、ビットレート依存性がないことなどから、複数の波長の信号を一括して増幅することが可能であり、D W D M方式などで用いられている。

石英を主成分とするE D Fを用いたE D F Aの増幅利得は、一般に、波長依存性を持っているが、エルビウムとともにネオジムを添加するとシュタルク分裂が大きくなり、平坦な増幅利得を実現できる。

- () 光ファイバ増幅器の雑音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〉

受光素子において光を検出する際に発生する雑音には、信号光のショット雑音、自然放出光のショット雑音、信号光と自然放出光間のビート雑音及び自然放出光相互間のビート雑音の四つの雑音成分があるが、光フィルタを挿入することにより、これら四つの雑音成分はいずれも除去することが可能である。

光増幅器の雑音特性を表す指標として雑音指数(N F : Noise Figure)が用いられ $N F = \frac{S N R_{out}}{S N R_{in}}$ で定義される。ただし、 $S N R_{in}$ 及び $S N R_{out}$ は、それぞれ光増幅器の入力端及び出力端における信号対雑音比とする。

光増幅器の利得が1より十分大きい場合には、信号光と自然放出光間のビート雑音及び自然放出光相互間のビート雑音が、N Fの支配的要因となる。

E D F Aには前方励起型システム、後方励起型システム及び双方向励起型システムがある。一般に、出力特性に優れる前方励起型システムには0.98(μm)が、雑音特性に優れる後方励起型システムには1.48(μm)の励起用L Dが用いられる。

(1) 次の文章は、光パルス試験器(OTDR)の機能、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)

OTDRの測定原理は、パルス発生器で発生した電気パルスをLDにて光パルスに変換後、光カプラを通して被測定光ファイバに入射すると、被測定光ファイバ中を伝搬した光の一部がフレネル反射やレイリー散乱によって入射端に戻ってくることを利用しており、この戻ってきた光信号を光カプラを介してAPDで電気信号に変換することにより光ファイバの特性などを測定するものである。一般に、入射端に戻ってくる光信号は微弱なため、計測に際しては繰り返し測定して得られた値を□(ア)する処理を行う。

被測定光ファイバの距離は、実際に光ファイバ中を伝搬する光信号の速度と、光信号が入射端まで戻ってくるまでの経過時間から求められ、光ファイバ中を伝搬する光の速度は光ファイバの□(イ)により定まる。

OTDRでは、光ファイバの伝送損失、光コネクタ接続点及び融着接続点の接続損失、光コネクタ部の□(ウ)などが測定できる。伝送損失は測定データから直線近似法の最小2乗法で、接続損失はフレネル反射点前後の伝送損失の差分から求めることができる。

OTDRの測定におけるデッドゾーンには、反射測定(フレネル反射)デッドゾーン及び損失測定(後方散乱光)デッドゾーンの2種類がある。反射測定デッドゾーンとはフレネル反射のピークレベルから□(エ) [dB]での幅をいい、損失測定デッドゾーンとは光コネクタ接続箇所からフレネル反射の影響による応答波形で、真値から±0.5 [dB]以下のレベルの箇所までの接続損失などが測定できない幅をいう。

〈(ア)~(エ)の解答群〉

偏心率	群屈折率	取捨選択	1.0
フーリエ変換	伝送帯域幅	品質劣化	1.5
吸収損失	反射減衰量	平均化	2.0
質量	ラプラス変換	開口数	2.5

(2) 次の文章は、光ファイバの特性、測定法などについて述べたものである。 内の(オ)~(ク)に適したものを、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)

() ファイバブラッググレーティング(FBG)の構造、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、 (オ) である。

〈(オ)の解答群〉

FBGとは、光ファイバのコアの屈折率に周期的な屈折率変化が形成されているファイバ型デバイスである。屈折率変化はグレーティングとして働き、グレーティングの周期が作るブラッグ反射条件を満たす波長の光のみを反射することができる。

FBGは、ゲルマニウムが添加された光ファイバのコアに赤外線レーザー光を照射し、光誘起屈折率変化を起こすことにより製作することができる。代表的な製作方法として、位相マスク法及び2光束干渉法がある。

FBGの透過率特性は、透過域での損失が極めて小さい、偏波依存性が少ないなどの特徴がある。一方、石英ガラスの屈折率の温度依存性による反射波長の変動を補償するため、一般に、温度調節素子とともに実装して定温に保つ、熱膨張係数差を利用した温度補償を行うなどの対策が必要である。

屈折率周期が数百(μm)の長周期グレーティング(LPG)では、コアを伝搬してきた光の一部がクラッドモードと結合することにより減衰するため、LPGはクラッドモードとの結合条件を満たす波長領域のみに損失を与えるフィルタとして機能する。

() 光ファイバの損失特性などについて述べた次のA~Cの文章は、 (カ) 。

A 物質中の分子密度の揺らぎは、物質の固化温度に比例して増大することから、低融点の材料を用いて光ファイバを製造することにより分子密度の揺らぎを少なくすることができる。

分子密度の揺らぎによる散乱は波長の2乗に比例し、この散乱はレイリー散乱といわれる。

B 石英系光ファイバの損失は、波長が短くなると吸収損失が主な要因となり、波長が長くなると赤外の SiO_2 の分子振動によるレイリー散乱が主な要因となる。

C 伝送システムで使用される光ファイバに曲がりが生ずると、コアとクラッドの境界に入射する光の角度が臨界角より小さくなるため全反射されず、一部の光が外へ放射される場合がある。この放射された漏れ光が損失となり、一般に、曲げ損失といわれる。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をいう。

〈(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	

- () 光ファイバの損失測定法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〉

OTDRによる測定において光ファイバ長 L は、送信した光パルス信号が戻ってくるまでの時間を、光ファイバ中の光速をとすると、 $L = 2$ で算出することができる。

カットバック法は、被測定光ファイバからの出射光パワーをパワーメータで測定後、光源側の接続はそのままの状態では被測定光ファイバを光源側からカットバック長で切断し、切断位置での光パワーを測定するもので、被測定光ファイバの単位長当たりの伝送損失は、測定した光パワーの差分を被測定光ファイバ長で除することにより求めることができる。

挿入損失法は、基本的にカットバック法と同じ試験装置で測定が可能であり、光ファイバを切断することなく測定できるため、カットバック法と比較して高精度な測定ができる。

OTDRによる接続損失の測定において、光ファイバごとの透過係数のばらつきを補償するため、光ファイバの近端側から光パルスを入射して測定したデータと、遠端側から入射して測定したデータの平均をとる手法が用いられる。

- () 光ファイバの波長分散の測定法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〉

波長分散の測定法は、周波数領域で行うものと時間領域で行うものとに大別できる。一般に、前者は直接的ではあるが波形劣化による精度の問題があるのに対し、後者はS/N比の点で高精度な測定が可能である。

パルス法は、時間領域において波長ごとの群遅延時間を直接測定する方法で、一般に、1 [km]を超える長さの光ファイバの測定に適しているとされており、1 [km]より短い光ファイバの測定にも適用できるが、正確さ及び繰り返し性が低下する可能性がある。

干渉法は、可干渉光源を用い、参照光路と被測定光ファイバを含む測定光路からなるファブリペロー干渉系を構成し、出力の干渉パターンから波長ごとの群遅延時間を測定する方法である。

位相法は、波長の異なる複数の光源を用いて被測定光ファイバを通過する際の各波長における光信号の到達時間の差から波長分散値を求める方法であり、周波数 f で正弦波状に変調された光が、長さ L の被測定光ファイバを伝搬することによる位相変化量と単位長当たりの群遅延時間の関係は、
$$= \frac{1}{2} f L$$
で表される。

- (1) 次の文章は、アクセス系光ネットワーク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)

アクセス系光ネットワークのシステム形態は、伝送媒体の組合せ、光ネットワークのトポロジなどで分類することができる。

伝送媒体の組合せによる分類では、光ファイバだけで構築する形態、既存伝送媒体と光ファイバを組み合わせで構築する形態などがある。既存伝送媒体と光ファイバを組み合わせで構築する形態は、設備センタとエンドユーザの間にメディアコンバータを設置し、設備センタとメディアコンバータ間は光ファイバを、メディアコンバータとエンドユーザ間は平衡対ケーブル、同軸ケーブルなど既設の伝送媒体を使用するもので、FTTC、□(ア)などがある。

また、光ネットワークのトポロジによる分類では、設備センタとエンドユーザを1対1で結ぶSS方式、光分岐装置などを設置することにより設備センタからの光信号をN分岐してエンドユーザと結ぶPDS方式及び□(イ)を設置することによりユーザ信号を集約するとともに光信号を電気信号に変換・分離する装置を用いて複数のエンドユーザと結ぶ□(ウ)方式がある。□(ウ)方式は、□(イ)や光/電気変換装置が必要であるため、PDS方式と比較して、一般に、保守性や信頼性に難点があるほか、装置への電力供給も必要となる。

光ネットワークを効率的に構築するための配線法の基本形態としては、き線点間を環状に結ぶループ無逓減配線法、基本的にはスター配線で心線の逓減を行わないスター無逓減配線法及び需要発生場所とケーブル接続などの経済性を勘案して心線の逓減を行うスター逓減配線法の三つの形態があり、適用に当たっては需要動向、□(エ)、土木設備の有無、保守性、信頼性、経済性などを総合的に勘案して決定される。

〈(ア)~(エ)の解答群〉

FTTH	ATM	ADS	監視装置
端末種別	HFC	光配線盤	光スイッチ
DSU	通信速度	FWA	伝送方式
FTTD	需要密度	ADSL	多重化装置

(2) 次の文章は、アクセス系光ネットワークの構築などについて述べたものである。□内の(オ)~(ク)に適したものを、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)

() アクセス系光ネットワークの線路設備設計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〉

光ファイバケーブルの最小許容曲げ半径は、光ファイバ、テンションメンバ、ケーブルシースの材質や構造などによって異なるため、基本は、メーカー推奨値によるが、メーカー推奨値が不明な場合は、布設中はケーブル外径の20倍以上、布設後は10倍以上とするANSI/TIA/EIA規格を適用する方法がある。

光線路設備は、既存のルート構成を考慮してルート案を選定し、施工時の道路占用の可否、経済性、適用技術、安全性、保守性などを総合的に検討して設計する。

架空区間では、施工作业や維持管理時における安全性確保、他施設への障害防止などのため、必要とされる地上高、他の架空配線及び建造物との離隔距離を確保する。

光伝送システムの最大許容伝送損失は、基本的に、発光素子の出力レベルと受光素子の受光レベルの差に結合損失やシステムマージンなどを加えて算出され、光ファイバケーブルの長さや接続損失などから算出される伝送損失より小さくならない。

() アクセス系光ネットワークの線路設備設計における、光ファイバケーブルのピース長算出などについて述べた次のA~Cの文章は、□(カ)。

- A ケーブルピース長は、実際のケーブル布設長に接続必要長、引通し必要長、成端必要長、スラック必要長、後分岐必要長などを足し合わせて算出する。
- B ケーブルピース長を算出するための張力予測計算は、地中区間の場合は張力増加率が直線部、屈曲部、曲線部などにより異なるため布設区間ごとに行うが、架空区間では直線部の張力増加率は無視できるため直線部を除く区間だけ行えばよい。
- C 接続点位置、接続点数及び接続法は、光線路全体の損失だけでなく、その布設工法、保守性なども考慮して決定される。

〈(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 | |

- () 図に示すように、地下管路区間においてX点からY点へ、以下に示す条件で光ファイバケーブルを布設する場合、Y点での張力は、 [N]である。

(条件)

曲線部直前(X点)の張力：1,000 [N]

摩擦係数 μ : 0.5

張力増加率 K : 2.2

ケーブル質量 W : 0.45 [kg / m]

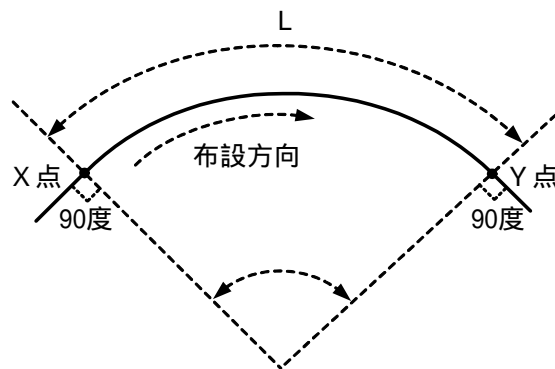
布設距離 L : 100 [m]

交角 : $\frac{\pi}{2}$ [rad]

重力加速度 g : 10 [m / s²]

曲線区間の張力増加分を考慮しない場合の張力： $g \mu L W$ [N]

光ファイバケーブルの布設ルートは平面とし、高低差は無いものとする。



<(キ)の解答群>

4 9 5

1, 2 2 5

1, 4 9 5

2, 6 9 5

4, 9 5 0

- () アクセス系光ファイバケーブルの布設工法について述べた次の文章のうち、誤っているものは、 である。

<(ク)の解答群>

布設工法の一つである中間^{けん}牽引法は、牽引車と牽引機を同時に使用して、ケーブルの間では牽引機によりケーブルのテンションメンバを把持し牽引する方法である。

ケーブル牽引時は、常にケーブルの許容張力以下で、ケーブルに急激な張力変化を与えないように滑らかに速度を調整しながら牽引する。

架空光ケーブルの布設時は、一般に、ケーブル繰出し点、ケーブル牽引点及び内角が90度以上150度以下の曲柱には、小型屈曲部用金車を用いる。

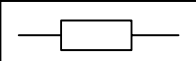
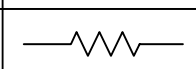
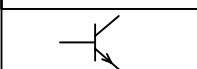
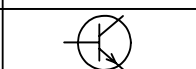
長スパンの光ケーブル布設などにおいて、布設ルートの途中でケーブルを引き出す必要がある場合は、曲げ半径などに注意して、ケーブルのキンクを防止するため8の字状にケーブルを整理する。

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、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) ・撚り(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。