

GB101

第二級陸上無線技術士「無線工学B」試験問題

25問 2時間30分

A - 1 次の記述は、自由空間においてアンテナから放射される電波について述べたものである。このうち誤っているものを下の番号から選べ。

- 1 等方性アンテナからは球面波が放射される。
- 2 電波の進行方向に直交する平面内で、位相も振幅も一様な電界と磁界を持つ電波を平面波という。
- 3 アンテナから放射された電波は、アンテナから十分離れた距離においては平面波とみなすことができる。
- 4 ホーンアンテナから放射された電波は、その開口面の近傍ではほぼ球面波で近似することができる。
- 5 平面波と球面波は、いずれも縦波であり、光波と同じ速さで進む。

A - 2 自由空間において到来電波を受信したとき、受信有能電力が  $0.12 [\mu W]$ 、アンテナの実効面積が  $0.314 [m^2]$  であった。このときの到来電波の電界強度の値として、最も近いものを下の番号から選べ。

- 1 6 [mV/m]
- 2 9 [mV/m]
- 3 12 [mV/m]
- 4 18 [mV/m]
- 5 24 [mV/m]

A - 3 次の記述は、アンテナの利得について述べたものである。このうち誤っているものを下の番号から選べ。

- 1 相対利得は、一般に、基準アンテナとして半波長ダイポールアンテナを用いて表される。
- 2 指向性利得は、特定方向への電力束密度と全方向への平均の電力束密度との比で表される。
- 3 等方性アンテナの指向性利得（真数）は、1 である。
- 4 アンテナの利得  $G$ （真数）は、そのアンテナの指向性利得を  $G_d$ （真数）、基準アンテナの指向性利得を  $G_0$ （真数）及び放射効率を  $\eta$  とすれば、 $G = \eta G_0 / G_d$  で表される。
- 5 アンテナの動作利得は、アンテナが給電回路と整合しているときの利得と不整合のときの反射損を用いて表わされる。

A - 4 周波数 20 [MHz] で用いる半波長ダイポールアンテナの実効面積の値として、最も近いものを下の番号から選べ。

- 1 15 [ $m^2$ ]
- 2 29 [ $m^2$ ]
- 3 35 [ $m^2$ ]
- 4 40 [ $m^2$ ]
- 5 60 [ $m^2$ ]

A - 5 次の記述は、アンテナの放射パターンについて述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

- (1) 電力パターンは、□Aの指向性を図示したものをいい、これは□Bの指向性係数の 2 乗を図示したものである。
- (2) E 面放射パターンは、電波が□Cで放射される場合、電界ベクトルを含む面における指向性を図示したものである。

- | A         | B    | C    |
|-----------|------|------|
| 1 放射電界強度  | 電界強度 | 直線偏波 |
| 2 放射電界強度  | 電力   | だ円偏波 |
| 3 放射電界強度  | 電界強度 | だ円偏波 |
| 4 放射電力束密度 | 電力   | だ円偏波 |
| 5 放射電力束密度 | 電界強度 | 直線偏波 |

A - 6 給電線上において、負荷への入射波の実効値が 180〔V〕、反射波の実効値が 80〔V〕であるときの電圧定在波比の値として、正しいものを下の番号から選べ。

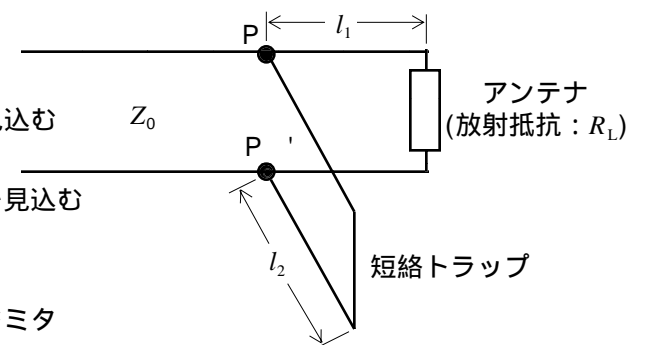
- 1 2.0          2 2.6          3 3.0          4 3.6          5 4.0

A - 7 次の記述は、分布定数回路で表される伝送線路の減衰定数について述べたものである。このうち誤っているものを下の番号から選べ。

- 1 分布定数回路の伝搬定数の実数部をいう。
- 2 高周波では、減衰定数における抵抗損は、周波数に反比例する。
- 3 高周波では、減衰定数における誘電損は、周波数に比例する。
- 4 高周波では、減衰定数は線路の特性インピーダンスによって変化する。
- 5 減衰定数が無視できるとき、その線路は無損失線路として取り扱うことができる。

A - 8 次の記述は、図のように特性インピーダンスが  $Z_0$ 〔 $\Omega$ 〕の平行二線式給電線と放射抵抗  $R_L$ 〔 $\Omega$ 〕のアンテナを接続した回路の短絡トラップ（スタブ）による整合について述べたものである。このうち誤っているものを下の番号から選べ。ただし、アンテナ接続点から距離  $l_1$ 〔m〕の点 P、P' に、特性インピーダンス  $Z_0$ 〔 $\Omega$ 〕、長さ  $l_2$ 〔m〕の短絡トラップが接続され整合しているものとする。また、短絡トラップが接続されていないときの点 P、P' からアンテナ側を見込むサセプタンスを  $B$ 〔S〕とする。

- 1 短絡トラップを接続していないとき、定在波電圧が最大又は最小となる点からアンテナ側を見込むインピーダンスは純抵抗である。
- 2 短絡トラップを接続していないとき、点 P、P' からアンテナ側を見込むアドミタンスは、 $(1/Z_0) + jB$ 〔S〕である。
- 3 短絡トラップの長さを変えたとき、点 P、P' から短絡トラップ側を見込むインピーダンスは、常に誘導性である。
- 4 短絡トラップのアドミタンスは、 $-jB$ 〔S〕である。
- 5 短絡トラップを接続したとき、点 P、P' からアンテナ側を見込むアドミタンスは、 $1/Z_0$ 〔S〕である。



A - 9 次の記述は、断面内壁の長辺の寸法が  $a$ 〔m〕、短辺の寸法が  $b$ 〔m〕の方形導波管を  $TE_{10}$ モードの電波で励振した場合について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、励振する電波の波長を  $\lambda$ 〔m〕、自由空間中の電波の速度を  $c$ 〔m/s〕とする。

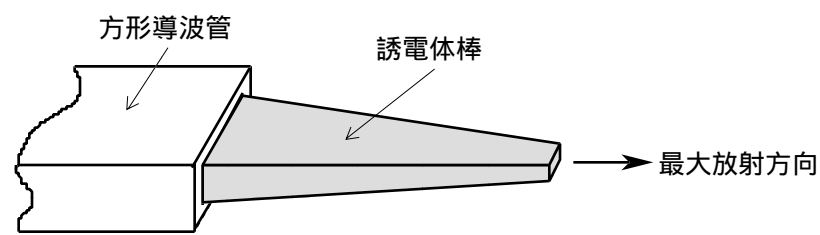
- (1) 遮断波長は、□ A □〔m〕である。
- (2) 管内波長は、□ B □〔m〕である。
- (3) 群速度は、□ C □〔m/s〕である。

	A	B	C
1	$2b$	$\lambda / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}$	$c \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}$
2	$2b$	$\lambda / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2b}\right)^2}$	$c \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2b}\right)^2}$
3	$2a$	$\lambda / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2b}\right)^2}$	$c \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}$
4	$2a$	$\lambda / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2b}\right)^2}$	$c \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2b}\right)^2}$
5	$2a$	$\lambda / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}$	$c \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}$

A - 10 次の記述は、図に示す誘電体棒アンテナについて述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

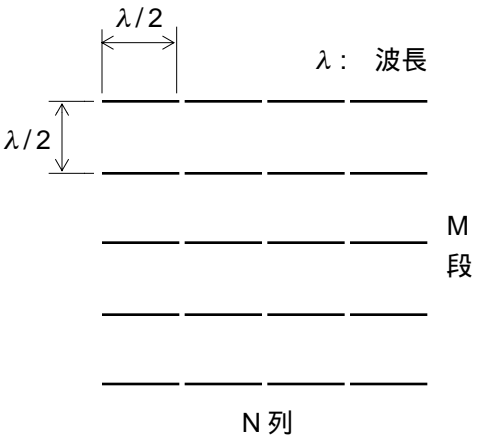
- (1) 比誘電率が  $\epsilon_r$  の誘電体中の電波の速度が自由空間中の電波の速度の □ A □ 倍になることを利用したマイクロ波のアンテナである。
- (2) 方形導波管の先端に適切な長さの誘電体棒を取り付けると、その中を進んだ電波の位相と、誘電体の外を進んだ電波の位相を伝搬方向に □ B □ な面上で等しくすることができる。
- (3) 指向性は □ C □ で、導波管だけの場合よりビームが鋭くなり、利得も大きくなる。

	A	B	C
1	$\frac{1}{\epsilon_r}$	平行	単一指向性
2	$\frac{1}{\epsilon_r}$	直角	双方向性
3	$\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$	直角	双方向性
4	$\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$	直角	単一指向性
5	$\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$	平行	双方向性



A - 11 次の記述は、図に示す半波長ダイポールアンテナを半波長の間隔で M 段 N 列に配列したビームアンテナについて述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

- (1) 各アンテナ素子を同じ大きさ、同じ位相の電流で励振すると、指向性の向きは配列の面に垂直な方向に集中する。
- (2) 放射の最大となる方向が前後に二つできるので、このビームアンテナから □ A □ 波長離れた後方（紙面の裏側）の位置に、全く同じ構造のアンテナを反射器として設置し、位相が □ B □ [rad] 進んだ電流を流すと、後方への電波が反射され、前方（紙面の表側）の放射に加え合わされる。結果として、前方のみに鋭い単一指向性を持たせることができる。
- (3) 反射器に給電する代わりに、反射器の給電点にリアクタンスを負荷して、□ C □ を調整することによっても、前方の放射を強めることができる。

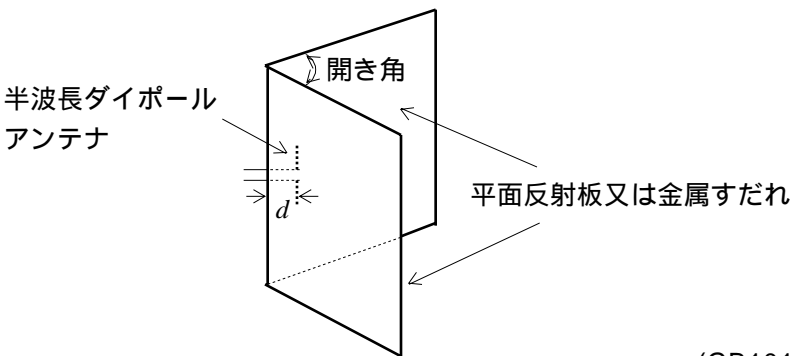


	A	B	C
1	1/4	/2	誘導電流
2	1/4	/4	素子の間隔
3	1/4	/2	素子の間隔
4	1/2	/4	素子の間隔
5	1/2	/2	誘導電流

A - 12 次の記述は、図に示すコーナレフレクタアンテナについて述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、波長を  $\lambda$  [m] とし、平面反射板又は金属すだれは、電波を理想的に反射する大きさとする。

- (1) 半波長ダイポールアンテナに平面反射板又は金属すだれを組み合わせた構造であり、金属すだれは半波長ダイポールアンテナの放射素子に平行に導体棒を並べたもので、導体棒の間隔は平面反射板と等価な反射特性を得るために約 □ A □ 以下にする必要がある。
- (2) 開き角は、60 度又は 90 度の場合が多く、半波長ダイポールアンテナとその影像の合計数は、60 度では □ B 90 度では 4 個であり、これらの複数のアンテナの効果により、半波長ダイポールアンテナ単体の場合よりも鋭い指向性と大きな利得が得られる。
- (3) アンテナパターンは、距離  $d$  [m] によって大きく変わる。開き角が 90 度のとき、 $d = \lambda$  では指向性が二つに割れて正面方向では零になり、 $d = 1.5$  では主ビームは鋭くなるがサイドローブを生ずる。一般に、□ C □ となるように  $d$  を  $\lambda/4 \sim 3\lambda/4$  の範囲で調整する。

	A	B	C
1	$\lambda/4$	6 個	単一指向性
2	$\lambda/4$	8 個	全方向性
3	$\lambda/10$	8 個	単一指向性
4	$\lambda/10$	8 個	全方向性
5	$\lambda/10$	6 個	単一指向性



A - 13 次の記述は、オフセットパラボラアンテナについて述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、同じ記号の□内には、同じ字句が入るものとする。

- (1) 曲面が□A□の反射鏡の一部と、□A□の焦点に置かれた一次放射器とから構成されている。  
(2) 開口面の正面に一次放射器や給電線路など電波の通路をさえぎるものが無いため、□B□が良く、放射特性が良好である。  
(3) 衛星用の受信アンテナとして用いる場合、同じ仰角で用いる開口径の等しい円形パラボラアンテナに比べて、地上通信回線の電波による干渉や大地からの熱雑音の影響を□C□。

	A	B	C
1	回転放物面	開口効率	受けやすい
2	回転放物面	面精度	受けやすい
3	回転放物面	開口効率	受けにくい
4	回転双曲面	面精度	受けにくい
5	回転双曲面	開口効率	受けやすい

A - 14 送受信点間の距離が 50 [km] のとき、周波数 150 [MHz] の電波の自由空間基本伝送損 (真数) の値として、最も近いものを下の番号から選べ。

- 1  $3.1 \times 10^4$     2  $9.9 \times 10^5$     3  $2.5 \times 10^6$     4  $3.1 \times 10^8$     5  $9.9 \times 10^{10}$

A - 15 方形導波管内の電磁波の群速度が  $2.5 \times 10^8$  [m/s] であるとき、電磁波の位相速度の値として、最も近いものを下の番号から選べ。ただし、導波管の内部は空気とする。

- 1  $8 \times 10^7$  [m/s]    2  $1.2 \times 10^8$  [m/s]    3  $2.1 \times 10^8$  [m/s]    4  $3.6 \times 10^8$  [m/s]    5  $4.5 \times 10^8$  [m/s]

A - 16 次の記述は、大気屈折率について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

- (1) 大気屈折率は、1 に非常に近い値であり、気圧、気温及び□A□の変動によりわずかに変化する。このわずかな変化がマイクロ波の伝搬に大きな影響を与える。  
(2) 標準大気屈折率は、高さ約 1 キロメートル以下では高さとともに直線的に□B□するので、地表面に平行に放射された電波は、徐々に下方に曲げられて進む。  
(3) 修正した大気屈折率の□C□を表す M 曲線が、電波の伝搬状況を把握するために用いられる。

	A	B	C
1	湿度	増加	水平分布
2	湿度	減少	高度分布
3	湿度	増加	高度分布
4	風向	増加	高度分布
5	風向	減少	水平分布

A - 17 次の記述は、地上波伝搬について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。

- (1) 地表波は、周波数が□A□ほど、また、大地の導電率が□B□ほど遠くまで伝搬する。  
(2) 山岳回折による利得は、電波通路上に二つ以上の山がある場合は、山が一つの場合より□C□なる。

	A	B	C
1	低い	大きい	小さく
2	低い	小さい	大きく
3	高い	小さい	小さく
4	高い	小さい	大きく
5	高い	大きい	小さく

A - 18 次の記述は、自由空間において十分離れた距離に置いた二つのアンテナを用いてアンテナの利得を求める方法について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、波長を  $\lambda$  [m] とする。

- (1) 利得がそれぞれ  $G_1$  (真数)、 $G_2$  (真数) の二つのアンテナを、距離  $d$  [m] だけ離して偏波面をそろえて対向させ、その一方のアンテナへ電力  $P_t$  [W] を加えて電波を送信し、他方のアンテナで受信したときのアンテナの受信電力が  $P_r$  [W] であると、次式が成り立つ。

$$P_r = G_1 G_2 P_t \times \text{□ A □}$$

- (2) 一方のアンテナの利得が既知のとき、例えば、 $G_1$  が既知であれば、 $G_2$  は、次式によって求められる。

$$G_2 = \frac{P_r}{P_t G_1} \times \text{□ B □}$$

- (3) 両方のアンテナの利得が等しいときには、それらを  $P_t$  と  $P_r$  の測定値から、次式によって求めることができる。

$$G_1 = G_2 = \frac{4\pi d}{\lambda} \times \text{□ C □}$$

	A	B	C
1	$\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$	$\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$	$\sqrt{\frac{P_r}{P_t}}$
2	$\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$	$\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$	$\sqrt{\frac{P_t}{P_r}}$
3	$\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$	$\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$	$\sqrt{\frac{P_t}{P_r}}$
4	$\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$	$\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$	$\sqrt{\frac{P_t}{P_r}}$
5	$\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$	$\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$	$\sqrt{\frac{P_r}{P_t}}$

A - 19 次の記述は、自由空間においてパラボラアンテナの指向性や利得をフレネル領域で測定するときの送受信アンテナ間の距離について述べたものである。□内に入れるべき字句の正しい組合せを下の番号から選べ。ただし、波長を  $\lambda$  [m] とする。

- (1) 一般に、パラボラアンテナは波長に比べて開口面の直径が □ A □ ので、測定するときは開口面の各部からの通路差による誤差が許容値以内で、かつ、受信点における測定波の電界強度が適切な値になるように距離を選ぶ。
- (2) 開口面の各部からの通路差による誤差を 2 パーセント以下に抑えるために必要な最小距離は、送信アンテナ及び受信アンテナの開口面の直径を、それぞれ  $D_1$  [m] 及び  $D_2$  [m] とすれば、□ B □ [m] で求められる。

	A	B
1 小さい		$\frac{2(D_1 + D_2)^2}{\lambda}$
2 小さい		$\frac{2(D_1^2 + D_2^2)}{\lambda}$
3 大きい		$\frac{4(D_1 + D_2)^2}{\lambda}$
4 大きい		$\frac{2(D_1 + D_2)^2}{\lambda}$
5 大きい		$\frac{2(D_1^2 + D_2^2)}{\lambda}$

A - 20 雑音温度が 157 [K] のアンテナに給電回路を接続したとき、190 [K] の雑音温度が測定された。この給電回路の損失 (真数) の値として、正しいものを下の番号から選べ。ただし、周囲温度を 27 [ ] とする。

- 1 1.1
- 2 1.2
- 3 1.3
- 4 1.4
- 5 1.5

B - 1 次の記述は、自由空間における半波長ダイポールアンテナの絶対利得を求める過程について述べたものである。□内に入るべき字句を下の番号から選べ。ただし、同じ記号の□内には、同じ字句が入るものとする。

(1) 等方性アンテナから電力  $P_s$  [W] を送信したとき、遠方の距離  $d$  [m] 離れた点 P における電界強度は、次式で表される。

$$E_s = \boxed{\text{ア}} \quad [\text{V/m}] \quad \dots\dots$$

(2) 半波長ダイポールアンテナに振幅が  $I_0$  [A] の正弦波状の給電電流を加えたとき、最大放射方向の遠方の距離  $d$  [m] 離れた点 P における電界強度は、次式で表される。

$$E_h = \frac{60 I_0}{d} \quad [\text{V/m}] \quad \dots\dots$$

半波長ダイポールアンテナの放射抵抗は、約 □イ□ [Ω] であるので、このアンテナに  $I_0$  を加えたときに放射される電力  $P_h$  は、次式で表される。

$$P_h = \boxed{\text{イ}} \times I_0^2 \quad [\text{W}] \quad \dots\dots$$

式より求めた  $I_0$  を式へ代入すると、 $E_h$  は、次式となる。

$$E_h = \boxed{\text{ウ}} \quad [\text{V/m}] \quad \dots\dots$$

(3) 半波長ダイポールアンテナが無損失であれば、このアンテナの絶対利得  $G_0$  (真数) は、点 P における  $E_s = \boxed{\text{エ}}$  となるときの  $P_s$  と  $P_h$  の比であり、式及びから、次式で表される。

$$G_0 = \frac{P_s}{P_h} = \boxed{\text{オ}}$$

1	$\frac{\sqrt{30 P_s}}{d}$	2	60	3	$\frac{60 \sqrt{P_h}}{d \sqrt{73}}$	4	$E_h$	5	2.15
6	$\frac{7 \sqrt{P_s}}{d}$	7	73	8	$\frac{\sqrt{60 P_h}}{d}$	9	$\sqrt{E_h}$	10	1.64

B - 2 次の記述は、平行二線式給電線と小電力用同軸給電線について述べたものである。□内に入れるべき字句を下の番号から選べ。ただし、同じ記号の□内には、同じ字句が入るものとする。

(1) 平行二線式給電線は、平衡形の給電線であり、零電位は2本の導線の□ア□にある。特性インピーダンスは、導線の太さが細いほど、また、導線の間隔が□イ□ほど大きい。裸導線の場合、線路波長は□ウ□の波長とほぼ同じである。

(2) 小電力用同軸給電線は、不平衡形の給電線であり、通常、零電位は□エ□導体にある。特性インピーダンスは、内部導体の外径に対する外部導体の内径の比が大きいほど□オ□、一般に、線路波長は□ウ□の波長より短い。

1	一方の導線上	2	狭い	3	自由空間中	内部	4	5	小さく
6	二等分面上	7	広い	8	方形導波管内	9	外部	10	大きく

B - 3 次の記述は、各種アンテナについて述べたものである。このうち正しいものを1、誤っているものを2として解答せよ。

ア 逆L形アンテナやT形アンテナの頂部負荷は、大地との間の静電容量を高め、実効高をあまり減少させないで、アンテナの実際の高さを低くする効果がある。

イ カセグレンアンテナは、副反射鏡の二つの焦点の一方と主反射鏡の焦点を一致させ、他方の焦点と一次放射器の励振点とを一致させてある。

ウ J形アンテナは、同軸ケーブルの中心導線の先端にまっすぐに1/2波長の導線を接続するとともに、これに平行に同軸ケーブルの外部導体に1/4波長の導線を接続してJの字形に作られたアンテナである。

エ ホイップアンテナの指向性は、水平面、垂直面とも全方向性である。

オ ブラウンアンテナは、同軸ケーブルの中心導線の先端にまっすぐに1/4波長の導線を接続するとともに、同軸ケーブルの外部導体に2~4本の1/4波長の導線からなる地線を接続したアンテナである。

B - 4 次の記述は、フェージングの軽減法について述べたものである。□内に入れるべき字句を下の番号から選べ。

- (1) 空間ダイバーシティは、□ア□ 置した複数のアンテナの受信信号を合成するか、あるいは最も受信出力が大きくなるアンテナに切り替えて受信する方式である。
- (2) 周波数ダイバーシティは、異なった周波数ではフェージングの状態が□イ□ ことを利用して、同一内容の信号を周波数の異なる複数の搬送周波数で送信し、受信側ではこれらを別々に受信して復調後に合成するか、あるいは最も受信出力が大きくなる周波数に切り替えて受信する方式である。
- (3) 偏波ダイバーシティは、偏波面が互いに□ウ□ 度異なる二つの受信アンテナの受信信号を合成するか、あるいは受信出力が大きくなる方の偏波のアンテナに切り替えて受信する方式である。
- (4) □エ□ ダイバーシティは、複数の鋭い指向性を持つアンテナの主ビームが別々の方向を向くように設置された複数のアンテナの受信信号を合成するか、あるいは最も受信出力が大きくなるアンテナに切り替えて受信する方式である。
- (5) 受信機の AVC 回路あるいは AGC 回路は、□を軽減するために有効である。

- |              |       |      |      |             |
|--------------|-------|------|------|-------------|
| 1 間隔を適切に離して  | 2 異なる | 3 45 | 4 角度 | 5 選択フェージング  |
| 6 できるだけ接近させて | 7 同じ  | 8 90 | 9 位相 | 10 同期フェージング |

B - 5 次の記述は、アンテナに供給される電力を求める過程について述べたものである。□内に入れるべき数式を下の番号から選べ。

入力インピーダンスが  $R_a$  [ ] のアンテナに、特性インピーダンスが  $R_0$  [ ] の給電線を用いて給電したとき、給電線上に生ずる定在波の電圧波腹及び電圧波節の実効値がそれぞれ  $V_{\max}$  [V] 及び  $V_{\min}$  [V] であった。ただし、 $R_a$  及び  $R_0$  は純抵抗で、 $R_a < R_0$  であり、給電線は無損失で波長に比べて十分長いものとする。

- (1) 給電線の電圧反射係数  $\Gamma$  の絶対値  $|\Gamma|$  は、 $R_a$  と  $R_0$  を用いて、次式で表される。

$$|\Gamma| = \square \text{ア} \dots\dots\dots$$

- (2) 電圧定在波比  $S$  は、 $|\Gamma|$  を用いて、次式で表される。

$$S = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \dots\dots\dots$$

式 を式 に代入すれば、 $S$  は、次式で表される。

$$S = \square \text{イ} \dots\dots\dots$$

- (3)  $S$  は、 $V_{\max}$  と  $V_{\min}$  を用いて、次式で表される。

$$S = \square \text{ウ} \dots\dots\dots$$

- (4) アンテナ端の電圧  $V_1$  は、給電線上の進行波電圧  $V_f$  [V] 及び反射波電圧  $V_r$  [V] を用いて、次式で表される。

$$V_1 = \square \text{エ} \text{ [V]} \dots\dots\dots$$

また、 $R_a < R_0$  のときには、 $V_1$  は、次式で表される。

$$V_1 = V_{\min} \text{ [V]} \dots\dots\dots$$

アンテナに供給される電力  $P$  は、式 、 及び より、次式で表される。

$$P = V_1^2 / R_a = \square \text{オ} \text{ [W]}$$

- |                                 |                     |                               |                     |                                    |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 1 $\frac{R_0 - R_a}{R_0 + R_a}$ | 2 $\frac{R_a}{R_0}$ | 3 $\frac{V_{\max}}{V_{\min}}$ | 4 $\frac{V_f}{V_r}$ | 5 $\frac{V_{\max} V_{\min}}{R_a}$  |
| 6 $\frac{R_0 + R_a}{R_0 - R_a}$ | 7 $\frac{R_0}{R_a}$ | 8 $V_{\max} - V_{\min}$       | 9 $V_f - V_r$       | 10 $\frac{V_{\max} V_{\min}}{R_0}$ |