

R T レベル 1 一般・専門試験のポイント

最近出題された一般試験と専門試験の問題のうち、正答率の低かった問題と類似した例題により各試験のポイントを解説する。問 1 から問 4 は一般試験の問題と、問 5 は専門試験の問題と類似した例題である。

なお、過去の試験問題に基づいた同様のポイントを解説した NDT フラッシュが日本非破壊検査協会のホームページで公開されている。

問 1 次の文は、放射線に関する単位について述べたものである。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 線量当量の単位は、エレクトロンボルト (eV) で表わす。
- (b) 線量当量の単位は、クーロン毎キログラム (C/kg) で表わす。
- (c) 線量当量の単位は、グレイ (Gy) で表わす。
- (d) 線量当量の単位は、シーベルト (Sv) で表わす。

正答 (d)

放射線に関する主な単位を表に示す。
したがって、正答は (d) である。

表 放射線に関する主な単位

用語	単位	説明
放射能	ベクレル (Bq)	放射性物質が 1 秒間あたりに壊変する原子の個数
照射線量	クーロン毎キログラム (C/kg)	1 C/kg は、1 kg の空気中に放射線を照射したとき、電離作用で 1 C の電荷を生じる線量
吸収線量	グレイ (Gy)	1 Gy は、物質 1 kg あたり 1 J のエネルギーを吸収したときの吸収量
線量当量	シーベルト (Sv)	生体に与える影響 (生物学的効果比率) を考慮した吸収線量
エネルギー	エレクトロンボルト (eV)	電荷 (e) をもつ粒子を 1 V の電圧で加速したとき、粒子の得る運動エネルギー

問 2 次の文は、電磁波とスペクトルについて述べたものである。[A] から [D] に入れる適切な語句を解答群からそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

管電圧によって加速された熱電子により、ターゲットの原子が励起されることによって発生する電磁波を [A]

といい、そのスペクトルは [B] である。また、原子核壊変によって発生する電磁波を [C] といい、そのスペクトルは [D] である。

[解答群]

- [A] (a) 特性 X 線 (b) γ 線
(c) 連続スペクトル (d) 線スペクトル
- [B] (a) 特性 X 線 (b) γ 線
(c) 連続スペクトル (d) 線スペクトル
- [C] (a) 特性 X 線 (b) γ 線
(c) 連続スペクトル (d) 線スペクトル
- [D] (a) 特性 X 線 (b) γ 線
(c) 連続スペクトル (d) 線スペクトル

正答 [A] (a), [B] (d), [C] (b), [D] (d)

ターゲット原子の軌道電子のエネルギーは内側で低く外側で高い。通常は、原子番号に等しい数の電子が内側の軌道から順々に決められた数だけ詰まっている。この状態の中で原子のエネルギーが一番低い状態を基底状態という。基底状態の原子の軌道電子が外からエネルギーを得ると高いエネルギーの軌道にジャンプする。この現象を原子が励起するという。励起した電子は直ちに基底状態になる。このとき、軌道間のエネルギーの差が電磁波として放出される。放出される電磁波は、線スペクトルで、ターゲット原子固有の値を持ち、特性 X 線と呼ばれる。

なお、管電圧によって加速された熱電子がターゲットに衝突し、そのエネルギーを全て失う。大部分は熱となるが、その一部は、上述の特性 X 線または制動 X 線による電磁波として外部に放出される。制動 X 線は、熱電子の減速が一樣ではなく、連続スペクトルを持つ。

また、原子核壊変によって原子核から発生する電磁波を γ 線といい、そのスペクトルは線スペクトルである。⁶⁰Co の原子核壊変では、1.17 MeV と 1.33 MeV の線スペクトルを持つ γ 線が放出される。

したがって、[A] の正答は (a), [B] の正答は (d), [C] の正答は (b), [D] の正答は (d) である。

問 3 次の文は、X 線の発生について述べたものである。

[E] 及び [F] に入れる適切な語句を解答群からそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

X 線は、X 線管の陰極から放出された [E] が高電圧で加速され、[F] の表面に衝突する際に発生する。

[解答群]

- [E] (a) 陽極 (b) 陰極
 (c) フィラメント (d) 熱電子
 [F] (a) 陽極 (b) 陰極
 (c) フィラメント (d) 熱電子

正答 [E] (d), [F] (a)

X線管のタングステンフィラメント(陰極)を加熱し、フィラメント(陰極)から放出された熱電子は、高電圧により加速され、タングステターゲット(陽極)に衝突する。その際に、熱電子の運動エネルギーの一部がX線として発生する。このときの、タングステターゲット(陽極)に到達した熱電子流を管電流、両極に加えられた高電圧を管電圧という。発生するX線の線量は、管電流に比例し、管電圧が高まるにつれて増大する。また、発生するX線の透過力は、管電圧が高くなるほど大きい。したがって、[E]の正答は(d)、[F]の正答は(a)である。

問4 次の文は、X線と物質の相互作用について述べたものである。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 光電効果とは、X線光子が原子の軌道電子に一部のエネルギーを与えて、自らは一部のエネルギーを失い方向を変える現象である。
 (b) トムソン散乱により、X線が非弾性散乱される。
 (c) コンプトン散乱とは、X線光子が原子の軌道電子と衝突してこれを原子の外に飛び出させ、自らは運動の向きを変える現象であり、散乱するX線の波長は入射X線の波長より長くなる。
 (d) 電子対生成とは、X線光子が原子核の影響を受け一対の陰電子と陽電子になる現象であり、エネルギーが500 KeVのX線でも起こる。

正答 (c)

X線は、物質との相互作用によって進行方向は変化し、エネルギーを失う。X線と物質の主な相互作用としては、光電効果、トムソン散乱、コンプトン散乱及び電子対生成がある。

X線光子が原子の軌道電子に衝突し、軌道電子を原子の外に放出させる。その結果、X線光子エネルギーをすべて失いX線は消滅する。この現象を光電効果という。

X線が自由状態の核外の電子に吸収され、その電子を共鳴振動させ、再び電子がX線を放出する現象をトムソ

ン散乱という。このとき、X線のエネルギーに変化がなく、その進行方向が変わる弾性散乱となる。

X線光子が自由電子と衝突すると、自由電子にエネルギーを与えて物質の外に飛び出させ、X線光子はエネルギーの一部を失い、その進行方向が変わり非弾性散乱される。この現象をコンプトン散乱という。コンプトン散乱されたX線のエネルギーは、コンプトン散乱する前のエネルギーより低くなることは、波長が長くなるとも表すことができる。

1.02 MeV以上のエネルギーを有するX線光子は、原子核の近くを通過する際に消滅し、代わりに1対の陰陽電子が生成する。この現象を電子対生成という。陰電子と陽電子は等しい静止質量を持ち、それぞれの電荷は $-e$ と $+e$ である。X線光子のエネルギーの一部が陰陽電子の静止質量の和に相当するエネルギー(1.02 MeV)に変わり、残りのエネルギーは陰陽電子の運動エネルギーに変わる。

したがって、正答は(c)である。

問5 次の文中の[G]及び[H]に入れる適切な語句を解答群からそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

鋼溶接継手の透過写真を撮影したところ、[G]できずの像以外の部分において写真濃度は、1.35以上3.43以下であった。JIS Z 3104:1995「鋼溶接継手の放射線透過試験方法」のB級の像質における透過写真の必要条件の濃度範囲を満足して[H]。

[解答群]

- [G] (a) 試験部 (b) 溶接部
 (c) 透過度計 (d) 階調計
 [H] (a) いる (b) いない
 (c) いるともいないとも言えない
 (d) いるかどうか分からない

正答 [G] (a), [H] (b)

JIS Z 3104:1995の透過写真の濃度は、試験部のきずの像以外の部分の写真濃度について測定し、濃度範囲について、A級では1.3以上4.0以下を、B級では1.8以上4.0以下を満足しなければならない。試験部は、試験対象となる溶接金属及び熱影響部を含んだ部分である。

したがって、[G]の正答は(a)、[H]の正答は(b)である。

ET レベル 2 一般・専門試験問題のポイント

JIS Z 2305 : 2013 非破壊試験一技術者の資格及び認証に基づく ET レベル 2 の新規一次試験は主にテキストである『渦電流探傷試験Ⅱ』から出題される。試験の結果を見ると受験者の理解不足や誤解によると思われる正答率の低い問題が見受けられる。本稿では、最近行われた試験のうち正答率の低かった問題に類似した例題により解答のポイントを解説する。

問 1 次の式は、円形コイルに電流を流したときの磁界の強さについて示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。ただし、コイルの半径は r (m)、巻き数は 1 巻きとし、 I (A) の電流を流したときの、円形コイルの中心における磁界の強さ H (A/m) とする。

- (a) $H = \frac{I^2}{2\pi r}$ (b) $H = \frac{I}{\pi r^2}$
- (c) $H = \frac{I}{2\pi r}$ (d) $H = \frac{I}{2r}$

正答 (d)

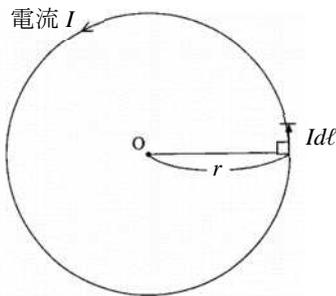


図 1 半径 r の円形電流中心の磁界

図 1 に示すとおり、半径 r の円形コイルに電流 I を流したときにコイルの中心 O に発生する磁界は、次式で示される。このとき、半径 r の長さは一定で、素片電流 $Id\theta$ と半径 r のなす角は円周上の任意の位置において常に $\pi/2$ であるから、 $\sin \theta$ は円周上どこでも 1 であり、これをビオ・サバールの法則という。

$$H = \frac{I}{4\pi r^2} \cdot 2\pi r = \frac{I}{2r}$$

したがって、正答は (d) となる。

問 2 次の文は、正規化インピーダンスについて述べたものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 正規化とは試験コイルの抵抗成分とリアクタンス成分の双方を、導体がない場合のリアクタンス

ωL_0 で割り算することにより行われる。

- (b) 正規化されたインピーダンス平面図では、縦軸は正規化抵抗、横軸は正規化リアクタンスで表わされる。
- (c) 正規化を行うことにより導体の導電率、充填率及び周波数によるインピーダンス変化の検討が困難になる。
- (d) インピーダンスを正規化すると、コイルのインピーダンスの絶対的な値が分かる。

正答 (a)

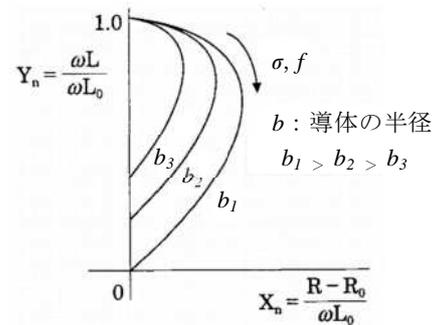


図 2 正規化インピーダンスの例

図 2 は非磁性材料を挿入した貫通コイルの正規化インピーダンスの例を示したものである。正規化することにより、試験体の変化や、結合度の変化による感度の変化などを、異なる周波数の間において比較することができる。図の横軸(実数部)は正規化抵抗を、縦軸(虚数部)は正規化リアクタンスを表しており、(b) は不正解である。また、正規化を行うことにより導体の導電率 σ や、導体の径違いによる充填率 η 及び周波数 f によるインピーダンス変化の検討ができ、(c) は不正解である。正規化を行うことによりコイルのインピーダンス変化は分かるが、絶対的な値は分からず、(d) は不正解である。したがって、正答は (a) となる。

問 3 次の値は、フィルタの遮断周波数を決めるときの、入力信号に対する出力信号の減衰値を示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 1 dB (b) 2 dB (c) 3 dB (d) 4 dB

正答 (c)

フィルタの特性を示すパラメータとして、遮断周波数と減衰特性がある。このうち、遮断周波数 f_c は通過帯域に対し出力信号が $1/\sqrt{2}$ (約 0.707 倍)、すなわち 3 dB 減

衰する周波数である。JIS Z 2316-2:2014「渦電流試験 第2部：渦電流試験器の特性及び検証」では3 dB 帯域幅と定義されている。したがって、正答は(c)となる。

問4 丸棒鋼においてきずによるインピーダンス変化が最大となる周波数を選定するときの指標として f/f_c がある。次の値は、丸棒鋼の渦電流探傷試験に最適な f/f_c の範囲を示したものである。正しいものを一つ選び記号で答えよ。ただし、 f ：試験周波数、 f_c ：特性周波数とする。

- (a) 5 ~ 15 (b) 15 ~ 50
- (c) 50 ~ 75 (d) 75 ~ 150

正答 (c)

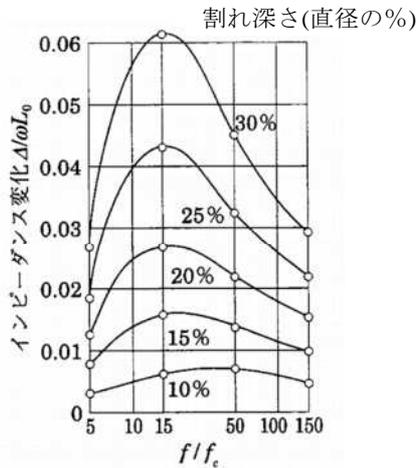


図3 割れによるインピーダンス変化と試験周波数

図3は丸棒鋼に加工した割れ(溝)による検出コイルのインピーダンス変化の絶対値を ωL_0 で基準化して f/f_c で示したものである。比較的深い割れに対して $f/f_c=15$ 、浅いきずに対しては $f/f_c=50$ 近くできずによるインピーダンス変化は最大となる。「きずによるインピーダンス変化が最大となる周波数」の観点から試験周波数を選定すると、 $f/f_c=15\sim 50$ となる。したがって、正答は(c)となる。

問5 次の材質のうち、貫通プローブを適用する渦電流探傷試験において、磁気飽和が必要なものはどれか。正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) オーステナイト系ステンレス鋼
- (b) 鋼管(1000℃)
- (c) インコネル

(d) 銅ニッケルの合金(ニッケル30%以上)

正答 (d)

(a)のオーステナイト系ステンレス鋼や(c)のインコネルは比透磁率 $\mu_r=1$ であり非磁性金属とし扱ってよい。また、(b)を正答と考える者が多いが、1000℃の鋼管はキュリー温度(磁気変態点)以上であり、磁気的性質は非磁性となる。これらの試験体に対し渦電流探傷試験を行う場合は、磁気飽和を用いる必要はない。

(d)の銅ニッケル合金は白銅とも言われ、耐食性、特に耐海水性に優れた金属で、比較的高温の使用にも適しており熱交換器の伝熱管に使用されている。ただし、ニッケルの含有量が多いと磁性を帯びてくるために、渦電流探傷試験を行う場合は磁気飽和をする必要がある。したがって、正答は(d)となる。

問6 上置プローブを用いた渦電流探傷試験において、部材の表面に生じる疲労割れを検査する場合の試験周波数の選定について、次の中から正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a) 試験周波数は試験体の材質に関係なく決める。
- (b) 検査面上での走査ノイズを小さくすることを考慮して決める。
- (c) 使用するプローブのコイル形状および寸法により決める。
- (d) チタン合金に対しては1 MHz~6 MHzの範囲の中から決める。

正答 (d)

試験周波数の選定にあたって考慮すべき事項は、渦電流の表皮深さときず、その他の因子によるインピーダンス特性である。検査面上の走査ノイズを低減させるにはプローブ治具が必要となり、(b)は不正解である。探傷器とのインピーダンスの整合性によりコイルの形状や寸法が決まり、(c)は不正解である。試験体の材質(導電率、透磁率)により渦電流の表皮深さは異なり、(a)は不正解である。チタン合金やオーステナイト鋼など導電率の低いものは、一般に1 MHz~6 MHzの周波数が用いられる。したがって、正答は(d)となる。

レベル2の一次試験には、同一問題が繰り返し出題されており、受験者は本稿に限らず過去のNDTフラッシュを必ず精読しておく必要がある。