

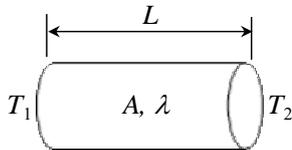
TT レベル1 一般試験のポイント

赤外線サーモグラフィ試験 (TT) の認証資格が開始されて 10 年が経つ。本稿では、TT レベル1 の一般試験問題のうち、特に基礎となる伝熱工学・赤外線工学の内容に焦点をおき、類題をもとに解説する。正しく TT 試験を実施するために大事になってくるので、十分に理解していただきたい。なお、過去の NDT フラッシュ記事でも試験問題のポイントを紹介しているのでそれらも参考にすること。

伝熱工学に関する類題

問1 図のような断面積  $A$ 、長さ  $L$ 、熱伝導率  $\lambda$ 、両端の温度を  $T_1$  と  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ ) の円柱型の物体を考える。このときに物体の長さ方向に流れる熱エネルギー  $Q$  について述べたのはどれか。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 断面積  $A$  に比例する。
- (b) 長さ  $L$  に比例する。
- (c)  $T_1$  と  $T_2$  の差の 2 乗に比例する。
- (d) 熱伝導率  $\lambda$  に反比例する。



正答 (a)

物体内を熱伝導により流れる熱エネルギー  $Q$  は式(1)で表され、熱伝導率・断面積・両端の温度差に比例し、長さに反比例する。したがって、正答は (a) である。

$$Q = \lambda \frac{A}{L} (T_1 - T_2) \quad (1)$$

赤外線カメラを用いた断熱温度場法は、物質の違いによる流れる熱エネルギーの違いに着目した検査法であり、はく離やき裂などの空隙部の検出は、固体に比べて空気の熱伝導率が極めて小さいことを利用している。

また、熱が流れる方向の温度勾配を  $dT/dx$  として、単位面積を単位時間に流れる熱流束  $q$  を表す式(2)のフーリエの熱伝導の法則についても、併せて確認しておいて欲しい。

$$q = \lambda \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

問2 面積が  $A$  で温度が  $T_w$  の伝熱面の表面を流体が流れ、その表面から十分離れたところでの流体の温度を  $T_\infty$  とした場合を考える。このとき、熱伝達率を  $h$  とし、伝熱面から流体に伝わる熱エネルギー  $Q$  を表す式として正しいものを一つ選び記号で答えよ。

- (a)  $Q = \frac{h}{A} (T_w - T_\infty)$
- (b)  $Q = \frac{A}{h} (T_w - T_\infty)$
- (c)  $Q = hA(T_w + T_\infty)$
- (d)  $Q = hA(T_w - T_\infty)$

正答 (d)

対流の熱エネルギー  $Q$  を表す式はニュートンの冷却法則と呼ばれ、 $Q$  は熱伝達率、伝熱面の面積及び遠方との温度差にそれぞれ比例する。したがって、(d) が正しい。なお、対流による伝熱は、流れが層流か乱流か、流れを強制的に流すか、及び密度差により流れが自然に発生するかによって異なり、それぞれ層流、乱流、強制対流及び自然対流による伝熱に分類することができる。熱伝達率  $h$  の単位は  $[W/(m^2 \cdot K)]$  であり、流体の種類・流速及び伝熱面の形状に依存する値であり、熱伝導率のような「材料定数」ではないことも理解しておくこと。

問3 次の文は、赤外線の放射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) 熱を伝える媒体が必要となる。
- (b) 放射による赤外線エネルギーは黒体の場合、物体の温度に比例する。
- (c) 熱移動は電磁波によって行われる。
- (d) エアコンによる室温調整に利用されている。

正答 (c)

放射による熱移動は、空気中・真空中問わず、高温物体から低温物体への電磁波によって行われており、(c) は正答である。伝導や対流のように媒体は必ずしも必要でないため (a) は誤りである。ステファン・ボルツマンの法則から、黒体から放射される赤外線エネルギーは物体の温度の 4 乗に比例する。また、エアコンは対流を利用して室温調整を行っている。したがって、(b)、(d) も誤りである。

赤外線工学に関する類題

問4 次の文は、ウィーンの変位則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) 単位面積あたりに黒体が放射する単色射出能を表す。
- (b) 黒体の温度と単色射出能の最大値を与える波長の関係を表す。
- (c) 黒体の温度と全射出能の関係を表す。
- (d) 物体の放射率を表す。

正答 (b)

ウィーンの変位則は、式(3)に示す通り、黒体の温度と単色射出能の最大値を与える波長の関係を示したものであり、正答は (b) である。

$$\lambda_{max}T = 2898 [\mu\text{m} \cdot \text{K}] \quad (3)$$

図1は各温度における黒体から放射される単色射出能と波長の関係を表したものであり、黒体の単色射出能の最大値を与える波長は、温度が高くなると短波長側に推移していることが分かる。

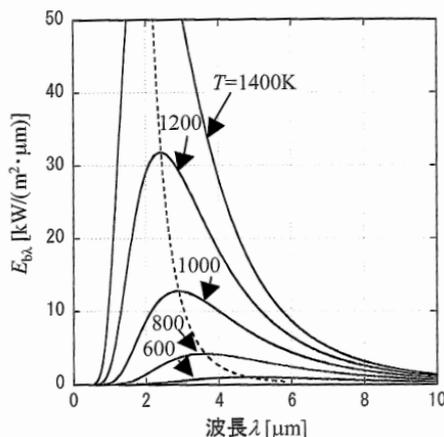


図1 黒体の単色射出能

なお、(a)はプランクの法則、(c)はステファン・ボルツマンの法則をそれぞれ説明したものである。

問5 次の文は、赤外線放射・反射・透過・吸収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) 物体の放射率は波長に依存しない。
- (b) 物体の吸収率と反射率の和は、材料によらず1となる。
- (c) 物体の放射率と吸収率は等しい。
- (d) 一般に金属は絶縁物よりも放射率が高い。

正答 (c)

物体の放射率は、表面状態、角度、温度、波長によって変化し、(a)は誤りである。また、入射した熱エネルギーと、反射・吸収・透過した熱エネルギーの総和は等しくなることから、反射率・吸収率・透過率の和が1となり、(b)は透過率がゼロの物質のみでしか成立しないため誤りである。一般に金属の放射率は低く絶縁物の放射率は高く、(d)も誤りである。キルヒホッフの法則より、物体の放射率と吸収率は等しくなり、正答は (c) である。

問6 次の文は、赤外線計測における大気窓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) 大気中での赤外線の透過が小さくなる波長帯を大気窓と呼ぶ。
- (b) 大気窓の波長は約3~5 μm および約8~14 μm である。
- (c) 大気窓の波長は約5~8 μm である。
- (d) 大気中で赤外線を吸収するのは、主に水蒸気と窒素である。

正答 (b)

赤外線カメラによる温度測定では、赤外線の大気による減衰に注意しなければならない。図2は、気温15℃、湿度60%、透過距離100mとしたときの波長と透過率を示したものである。図中に示すように、赤外線の透過率が大きくなる波長域が大気窓であり、(a)は誤りである。また、大気中では主に水蒸気と炭酸ガスが赤外線を吸収し、(d)も誤りである。大気窓の波長は、図の通りで (b) が正答となり、赤外線カメラの測定波長帯域として利用される。

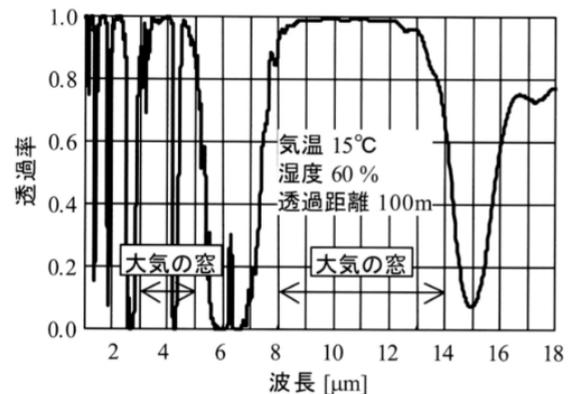


図2 大気窓の透過率

LT レベル 1 一般・専門試験のポイント

JIS Z 2305:2013 非破壊試験技術者の資格及び認証に基づく LT レベル 1 の新規一次試験は主に参考書である『漏れ試験 I』から出題される。漏れ試験は、原理も異なる多数の試験方法があり、用いられる機材も異なるが、本解説では、最近行われた試験問題の中から特に重要と思われる問題の類似問題を例示しながら、解答のポイントを解説する。

一般試験の類題

問 1 次の文は、漏れ試験方法について記述したものである。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 圧力変化漏れ試験法では特殊な気体（サーチガス）を必要としない。
- (b) ハロゲン漏れ試験法では特殊な気体（サーチガス）を必要としない。
- (c) ヘリウム漏れ試験法（吹付法）では特殊な気体（サーチガス）を必要としない。
- (d) 水中発泡漏れ試験では空気以外のガスがサーチガスとして必要となる。

正答 (a)

ハロゲン漏れ試験法、ヘリウム漏れ試験法では特定の気体をサーチガスとして使用する。また、水中発泡漏れ試験ではサーチガスとして空気を用いても良い。圧力変化漏れ試験法では空気を用いる事が一般的であることから、正答は (a) である。

問 2  $5 \times 10^4$  は  $5 \times 10^{-2}$  の何倍か。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 1/1 000 000 倍
- (b) 10 000 倍
- (c) -6 倍
- (d) 1 000 000 倍

正答 (d)

漏れ試験法のヘリウム法では指数表記を使用するため、その理解度を問う問題となる。 $10^4=10\ 000$ 、 $10^{-2}=0.01$  であることが分れば正答は (d) であることが分かるはずだが、一定数の誤答が見られる。慌てることなく、冷静に問題を読んで対処頂きたい。

問 3 次の文はトリチェリの水銀柱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) トリチェリの水銀柱で、水銀の代わりに水を使うと水柱の高さは水銀柱の高さより低くなる。
- (b) トリチェリの水銀柱で水銀面以上のガラス管の空間には、空気がある。
- (c) トリチェリの水銀柱で水銀面以上のガラス管の空間は、真空である。
- (d) 1 気圧のとき水銀柱の高さは、76 mm となる。

正答 (c)

水と水銀では水銀の方が比重が大きいため、トリチェリの水銀柱内で水銀の代わりに水を使うと水柱の高さは水銀柱の高さより高くなる。水銀柱の高さは 760 mm であり、水銀面以上のガラス管の空間は真空であるため正答は (c) である。

問 4 温度が一定の場合、絶対圧 2 MPa で 5 l の気体は、絶対圧 0.1 MPa では何 l になるか。正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 0.25 l
- (b) 2.5 l
- (c) 25 l
- (d) 100 l

正答 (d)

一定の温度の下での気体の体積は圧力に反比例するという、ボイルの法則の理解を問う問題である。つまり、圧力は 2 MPa から 0.1 MPa へ 1/20 になっているため、温度一定の下では体積は 20 倍となる。このため、 $5 \times 20$  で 100 l となり、正答は (d) である。

問 5  $0.03 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  の漏れ量と同じ程度の漏れ量はどれか。もっとも近いものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a)  $0.03 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$
- (b)  $0.3 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$
- (c)  $3 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$
- (d)  $30 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$

正答 (b)

$\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  と  $\text{atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$  の換算式は、次の式で表される。

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s} = 9.86923 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s} \approx 10 \text{ atm} \cdot \text{cm}^3/\text{s}$$

これより、(b) が正答となる。

専門試験の類題

問6 次の文は、発泡漏れ試験の特徴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) 漏れ検出の為に、検査表面を減圧する方法はない。
- (b) 漏れ検出の感度はヘリウム漏れ試験と同等である。
- (c) 表面に開口していない内部きずは検出することができない。
- (d) 漏れ量の測定には漏れ検出器を併用する。

正答 (c)

発泡漏れ試験は試験体を加圧する以外に、減圧する方法もある。漏れ検出の感度はヘリウム漏れ試験の方が高い。また、発泡漏れ試験では漏れ量の測定に漏れ検出器を併用はしない。表面に開口していない内部きずは検出することができないため、正答は(c)となる。

問7 圧力変化漏れ試験の加圧法で差圧法を適用して、以下の測定結果を得た。このときの漏れ量に最も近い値を一つ選び、記号で答えよ。ただし、温度や大気圧の影響は無視できるものとする。

検出工程開始差圧	60 Pa
検出工程終了差圧	180 Pa
等価内容積	1.0 ℓ
検出工程時間	20 sec

- (a) 6.0 Pa・ℓ/s
- (b) 9.0 Pa・ℓ/s
- (c) 36.0 Pa・ℓ/s
- (d) 90.0 Pa・ℓ/s

正答 (a)

検出開始から終了の差圧変化量×等価内容積を、検出工程時間で割ったものが漏れ量となる。このため、 $120 \text{ Pa} \cdot \ell \div 20 \text{ s}$  となり、(a)が正答となる。

問8 次の文は、圧力変化漏れ試験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) 密封品チャンバ法の場合、試験体の大きさに比べ、チャンバ内の容積は可能な限り大きくした方が漏れ検出感度が高くなる。
- (b) チャンバ法の場合、大気圧からのチャンバ内圧力の変化を観察するので、試験体に加える試験圧力にかかわらず圧力計のスケールを選択することが出来る。

- (c) 差圧法の場合、試験体とマスタ容器を同じ試験条件で同時に試験を行い、それぞれの容器に取り付けた圧力計でそれぞれの内圧を測定し、差圧を計算する。
- (d) マスタ容器対比法の場合、試験体とマスタ容器の2種類を使用するので、周囲の温度、大気圧などの影響を受けやすい。

正答 (b)

これは圧力変化法の各試験方法の特徴についての知識を問う問題である。密封品チャンバ法では試験体の大きさに比べチャンバの大きさが大きいと検出感度が低下する。差圧法は試験体とマスタ容器が差圧センサを介して繋がっており、試験体に漏れがあると差圧を検知する。マスタ容器対比法は試験体とマスタ容器が同じ温度・大気圧環境であり、周囲環境の影響を受けにくい。正答は(b)となる。

問9 次のヘリウムガスについての記述のうち、正しいものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 質量数は4で、気体としては最も質量が小さい。
- (b) 人体に有害な活性ガスである。
- (c) 人体に無害な不活性ガスである。
- (d) 試験には体積分率99.9%以上の濃度のヘリウムガスが必要である。

正答 (c)

これはヘリウム法に必須となるヘリウムガスについての基本的な知識を問う問題である。ヘリウムの質量数は4だが、気体として最も質量が小さいのは水素である。試験で使用するヘリウムガスは濃度の濃い方が感度が良くなるが、99.9%の濃度が必須ではない。ヘリウムは人体に無害な不活性ガスなので、正答は(c)となる。