

UT レベル 2 一般試験のポイント

UT レベル 2 の一般試験問題は、過去に機関誌 Vol.53 No.10(2004), Vol.54 No.11(2005), Vol.57 No.5(2008), Vol.60 No.3(2011) 及び Vol.62 No.5(2013)で紹介した経緯がある。今回解説の問題と共に、過去の記事も参考にさせていただきたい。

問 1 次の文は、標準試験片 STB-G V5 について述べたものである。文中の (1), (2) に適する数値を解答群からそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

STB-G V5 試験片の全長は (1) mm であり、標準穴の直径は (2) mm である。

[解答群]

- (1) (a) 50 (b) 70 (c) 80 (d) 100  
 (2) (a) 1.4 (b) 2.0 (c) 4.0 (d) 5.6

正答 (1) (b) (2) (b)

UT レベル 2 技術者は、主要な標準試験片の寸法は記憶しておくことが必要である。垂直探傷に用いられる STB-G V2~V8 の標準きずが φ2mm の標準試験片の各寸法は、表 1 に示すとおりである。これらの試験片に限らず、標準試験片の主要寸法は記憶しておいてほしい。

表 1 STB-G 形標準試験片の主要寸法 単位：mm

名称	幅	全長	基準穴までの距離	基準穴の直径
STB-G V2	60×60	40	20	2.0
STB-G V3	60×60	50	30	2.0
STB-G V5	60×60	70	50	2.0
STB-G V8	60×60	100	80	2.0

問 2 次の文は、超音波ビームの屈折について述べたものである。(3), (4) に適する数値を解答群からそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。ただし、鋼中の縦波音速を 5900m/s, 横波音速を 3230m/s, 水中の音速を 1480m/s とし、小数点以下第 2 位を四捨五入せよ。

水浸法で鋼材を探傷するとき、鋼材への入射角を 12.0 度にする、鋼中縦波の屈折角は (3) 度、鋼中横波の屈折角は (4) 度となる。

[解答群]

- (3) (a) 3.0 (b) 25.5 (c) 41.9 (d) 56.0  
 (4) (a) 5.5 (b) 10.4 (c) 27.0 (d) 31.8

正答 (3) (d) (4) (c)

これは超音波斜角探傷における基本的な問題である。斜角探傷で超音波が媒質 1 から媒質 2 に入射する際、この屈折角は図 1 及び(1)式に示すスネルの法則に基づいて屈折する。計算要領も含め理解しておいていただきたい。

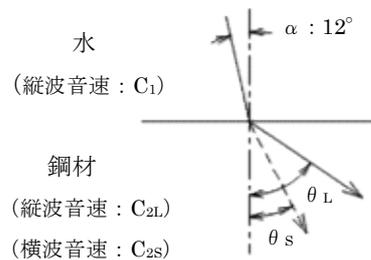


図 1 超音波の屈折

$$\frac{\sin \alpha}{C_1} = \frac{\sin \theta_L}{C_{2L}} = \frac{\sin \theta_S}{C_{2S}} \quad (1)$$

$$\frac{\sin 12^\circ}{1480} = \frac{\sin \theta_L}{5900} = \frac{\sin \theta_S}{3230} \quad (2)$$

$$\theta_L = \sin^{-1} \left( \frac{5900}{1480} \times \sin 12^\circ \right) = 56.0^\circ \quad (3)$$

(2)式の計算式を変形させて  $\theta_L$  を求めると(3)式のようになり、計算すると  $56.0^\circ$  となる。同様に  $\theta_S$  を求める。

問 3 次の文は、斜角探触子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) SH 波専用の接触媒質を用いれば、一般の斜角探触子を SH 波斜角探触子として使用できる。  
 (b) 可変角探触子は、設定する角度により縦波斜角探触子、横波斜角探触子、あるいは表面波探触子として使用できる。  
 (c) クリーピング波の振動様式は、縦波と同じである。したがって、クリーピング波探触子は横波を発生しない。  
 (d) 縦波斜角探触子は、アルミニウム溶接部の探傷によく使用される。

正答 (b)

溶接部の探傷に用いられる斜角探触子は、振動子で縦波を発生させ、試験体に入射する際、横波にモード変換をして鋼材中に横波を伝搬させる。この場合、振動子からの振動が試験体に近い側から順次試験体に入射していくため、横波は進行方向に対し縦方向（波の進行方向と板厚方向を含む断面内で、進行方向に垂直な方向）に振動しながら伝搬する波となる。これをSV波と称している。これに対し、SH波斜角探触子は横波を直接発生させる振動子（横すべり振動子）を用いて、水平方向に振動する横波（SH波）を斜め方向に伝搬させるものである。SH波は専用の接触媒質を使用しないと音響伝達が困難である。接触媒質にSH波専用のものを使用しても、SV波探触子をSH波斜角探触子として使用できない。

可変角探触子は、振動子を回転させて入射角度を変えられる。したがって、振動子を水平にすれば垂直探触子として使用でき、徐々に入射角を大きくすれば、縦波斜角探触子や横波斜角探触子、表面波探触子として使用することができる。クリーピング波探触子は、振動子から縦波を送信し、縦波臨界面の入射角で縦波を試験体に入射させてクリーピング波を発生させている。横波臨界面は縦波臨界面より大きいので、試験体には横波も入射される。クリーピング波の振動様式は縦波と同じである。

縦波斜角探触子は、オーステナイト系（γ系）ステンレス鋼溶接部の斜角探傷に用いられる。γ系ステンレス鋼の溶接部は、溶融から凝固の間で再結晶が起こらないので初期に発生した結晶が粗大化するため横波の波長の短い超音波は減衰し、SN比が低下して探傷が困難である。このため同じ周波数でも波長が長くなる縦波斜角探触子を用いて探傷を行う。アルミニウムの融点は660℃と低く、熱伝導率も高く冷却が速いため結晶粒はさほど大きくなる。アルミニウム溶接部の探傷には横波斜角探触子が用いられる。

問4 次の文は、横波垂直探触子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) 減衰の大きい材料の探傷に使用する。
- (b) 圧延鋼材の音響異方性の測定に使用する。
- (c) 接触媒質はマシン油を使用する。
- (d) モード変換により、横波を発生させている。

正答 (b)

横波垂直探触子は、振動子が横波を発生させる探触子である。通常の垂直探傷は縦波垂直探触子を用いて行わ

れる。熱加工制御圧延(TMCP)を行った鋼板で、最終仕上げ温度がA<sub>1</sub>変態点(723℃)より低い温度で圧延された鋼板については再結晶が十分行われないため、結晶粒が圧延方向に延伸され異方性を示すものがある。このような鋼板の板厚方向の横波音速は、その振動方向(偏波方向)が圧延方向と直角方向では異なり、圧延方向で音速が速くなる。このため、圧延方向の斜角探傷において屈折角が大きくなる現象が見られる。このような材料では、横波垂直探触子を用い、標準試験片と試験体の底面エコーのビーム路程(伝搬時間)を計測し、音響異方性の程度を測定する。

問5 次の文は、超音波厚さ計による厚さ測定について述べたものである。表2の(5)、(6)に適する数値を解答群からそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

鋼の厚さ測定用として調整してある音速調整機能を持たない超音波厚さ計で、あらかじめ零点調整を行った後、材質が18-8ステンレス鋼及びアルミニウムの厚さ測定を行ったところ、それぞれ表2に示す表示値が得られた。これらの厚さを求めよ。なお、鋼中の縦波音速は5900m/sとし、測定物の縦波音速は表2のとおりとする。

表2 試験材の音速値及び厚さ測定値

材質	縦波音速 (m/s)	表示 (mm)	厚さ (mm)
18-8 ステンレス鋼	5790	19.0	(5)
アルミニウム	6260	20.2	(6)

[解答群]

- (5) (a) 17.6 (b) 18.6 (c) 19.4 (d) 20.6
- (6) (a) 18.6 (b) 19.0 (c) 20.8 (d) 21.4

正答 (5) (b) (6) (d)

UTレベル2の技術者は、厚さ測定技術についても習得しておかなければならない。この問題は鋼の音速で調整された厚さ計で、音速の異なる材料を測定した場合どのように表示されるかという問題である。鋼と比べ、同じ厚さの材料の場合、音速が速い材料は、短時間でエコーが現れるため薄めに、遅い材料は厚めに表示される。その程度は、音速の変化の割合となるため表示値に音速比を乗じることで厚さは求まる。即ち、18-8ステンレス鋼では、 $19.0 \times (5790/5900) = 18.6 \text{ mm}$  アルミニウムでは、 $20.2 \times (6260/5900) = 21.4 \text{ mm}$  となる。

### MT レベル3 二次試験のポイント

NDT フラッシュでは JIS Z 2305:2001 による資格試験について、Vol.61 No.7, No.11(2012), Vol.62 No.2(2013), Vol.63 No.2(2014)に、MT レベル3 の C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>C<sub>3</sub>試験のポイントを解説した。今月号では MT レベル3 の C<sub>3</sub>試験で出題される手順書作成にあたり、関連する C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>問題及び手順書の各項目のポイント・注意等を解説する。

#### 1. C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>類似問題のポイント

問1 次は、磁粉探傷試験の磁化方法を選定する際に考慮すべき項目を挙げたものである。誤っているものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 試験体の磁気特性
- (b) 試験体の形状
- (c) 予測されるきずの性状（種類、方向、位置、形状）
- (d) 検出媒体の特性

正答 (d)

磁化する際は、使用できる装置の特性、試験体の磁気特性、形状、寸法、表面状態、予測されるきずの性状（種類、方向、位置、形状）等によって、磁粉の適用時期並びに必要な磁界の強さ及び方向を決定し、磁化方法等を選定する。また、試験体の磁気特性や予測されるきずの性状、装置の特性により磁粉の適用時期を残留法にする場合や、磁界の強さを標準試験片により確認する場合は標準試験片確認方式を選定する。工程確認方式、標準試験片確認方式のどちらの確認方式でも、検出媒体の特性は磁化方法の選定には関係しない。

問2 次は、探傷に必要な磁界の強さを決定する際に考慮すべき項目を挙げたものである。誤っているものを一つ選び、記号で答えよ。

- (a) 試験体の表面粗さ
- (b) 試験体の磁気特性
- (c) 適用する磁化方法
- (d) 予測されるきずの性状（種類、方向、位置、形状）

正答 (c)

探傷に必要な磁界の強さを決定する際には、問1に解説したように (b)、(d) は考慮すべき項目である。また、表面粗さが粗い場合にはバックグラウンドへの磁粉の付着を減らすため、磁界の強さを少し弱くする必要がある。

ある。したがって、(a) も正しい。しかし、試験体に与えるべき磁界の強さの決定に、適用する磁化方法は関係しない。正答は (c) である。

問3 次は、使用する装置と磁化方法及び適用時期との組み合わせ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) コンデンサ放電式 - コイル法・電流貫通法 - 連続法・残留法
- (b) 電磁石式 - 極間法・磁束貫通法 - 連続法・残留法
- (c) サイリスタ制御ワンパルス通電式 - コイル法・軸通電法 - 連続法・残留法
- (d) 降圧変圧器式 - 軸通電法・電流貫通法・コイル法 - 連続法・残留法

正答 (d)

磁化装置にはいろいろな電源の方式があり、適用できる磁化方法や磁粉の適用時期は異なる。サイリスタ制御ワンパルス通電式やコンデンサ放電式は通電できる時間が短時間であるため、残留法にのみ使用できる。電磁石式は極間法が主であり交流の使用がほとんどであるため、基本的に適用時期は連続法である。降圧変圧器式は各種の磁化電流や磁化方法に対応でき、定置式装置に一般に多く使用されている方式で、連続法・残留法のいずれにも適用できる。ふだん、各種の装置を使用していない人も、それぞれの装置の特性を理解しておいて欲しい。

問4 次の文は、湿式検出媒体の性能点検に関連した内容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) 湿式検出媒体を循環使用する場合は、磁粉が磁化されて分散性が悪くなり、沈降速度が遅くなるおそれがある。
- (b) 湿式検出媒体の濃度とは、試験面に実際に散布される検査液中に分散している磁粉の量をいい、一般には沈殿計により測定される。湿式検出媒体の管理は、検出性に影響するこの磁粉濃度のみを管理すればよい。
- (c) 標準試験片確認方式では、湿式検出媒体の性能確認として探傷前後に、B形対比試験片にA形標準試験片を貼付し探傷して磁粉模様を観察し、その適否を調べる方法がある。
- (d) 工程確認方式に従って探傷した場合、使用期間中

試験として B 形対比試験片を使用して、湿式検出媒体の性能を確認する。

**正答 (c)**

湿式検出媒体（検査液）の管理について、循環使用する場合は、磁粉が磁化されて分散性が悪くなり、沈降速度が早くなるおそれがある。一般に、磁粉の分散濃度は沈殿計(及び濃度－沈殿量の検量線)により測定される。湿式検出媒体の管理項目には、磁粉分散濃度だけでなく、きず検出性、ぬれ性、発泡性、蛍光性などがある。B 形対比試験片は、標準試験片確認方式においては湿式検出媒体の性能確認に使用できるが、工程確認方式では使用できない。正答は (c) である。

**2. C<sub>3</sub>試験の解答のポイント**

C<sub>3</sub>試験は、試験対象物の用途、材質、寸法及び試験の時期等を考慮し、参照規格に基づき適切な手順書を作成する問題である。参照規格の要求に従った、手順書に記載すべき事項及び内容が問われ、試験時には参照規格として受験者に JIS Z 2320-1:2007 が貸与される。これまでこの紙面で何回か記載しているが、事前に規格を読んでいると思われない人も多く見かける。その場で試験問題を読んで内容を理解し、更に規格を読んでこれを適用した試験方法・手順を検討し手順書の内容にまで反映することは、限られた時間ではかなり困難であるので、事前に規格をよく読んで必要な項目についての記載部分及びその内容を理解しておくことが大切である。

手順書は仕様書に示された内容に基づき、必要な項目と内容を探傷作業に合わせ順序だてて記載する必要がある。レベル 3 技術者を目指す者として、試験方法及び試験条件の選定、その内容の記載にあたって次に挙げる点を十分考慮しているかどうか問われる。

- ・対象とするきずを検出するのに適切な検査性能であること
- ・磁化の確認が適切であること
- ・試験体の損傷等に対する配慮  
(直接、試験体に通電する磁化方法の場合)
- ・作業者の安全に対する配慮  
(試験体の重量、安定性、探傷姿勢等)
- ・検査効率
- ・検査コスト

手順書のフォーマットとして、参考書に記載例がある

ので参考にしてほしい。

- ・『磁粉探傷試験Ⅲ』6章 手順書の作成
- ・『磁粉探傷試験Ⅱ』8章 仕様書、手順書及び指示書次に、手順書に必要な項目及び考慮すべき事項を整理し、いくつかの項目についてその注意点を解説する。

**2.1 「試験装置・器材」**

この項では、次のことに留意して記載する。

- ・試験に使用する装置・器材が管理されているものであるということ
- ・仕様：各々について要求される性能他に記載すべき項目
- ・検出媒体に関する情報
- ・探傷に使用する補助具、又は器具
- ・検出媒体の性能確認に用いる対比試験片
- ・磁化の確認に必要であれば磁気計測器
- ・安全及び試験条件確保のため探傷時に必要と思われる治具等

<記載が必要な項目の例>

- ①試験装置・器材等の管理
- ②磁化装置 {仕様；最大磁化電流や電流の種類（波高値・実効値等の表示方法を含む）}
- ③プロッド電極、ケーブル、コイル、電流貫通棒・磁束貫通棒、継鉄棒等補助具
- ④紫外線照射灯（仕様、装置としての必要条件）
- ⑤検出媒体（磁粉の種類、濃度及び分散媒）
- ⑥磁粉散布器具
- ⑦対比試験片（必要に応じ標準試験片）
- ⑧必要な場合、架台、暗幕等

試験体が大きい場合など、試験面を分割した場合でも常に最適な試験条件が得られるように設定する。このとき試験者の安全性も考慮する。また、屋外や大きな工場内などでは可搬・開閉式の暗幕等も有効であろう。

**2.2 「試験方法」**

磁化方法が指定されない場合、試験体の特性と検出すべききずに合わせて適切な磁化方法の選定が必要である。次の点を考慮し、一つ又は二つの適切な磁化方法を選定する。

- ・対象とする試験体又は試験範囲の大きさ、形状、試験部位、数量、用途

- ・対象とするきずの種類と大きさ
- ・試験の時期
- ・使用可能な探傷装置

＜記載が必要な項目の例＞

- ①検査性能の確認方式
- ②前処理方法
- ③磁化方法
- ④磁化電流（種類，磁化電流値，表示方法等）
- ⑤必要な場合；探傷有効範囲

ただし，磁化電流値や探傷有効範囲（試験範囲）については，JIS Z 2320-1:2007 に記載された内容を適用した具体的な数値を記載する（なお，産業界では手順書には具体的な数値を記載しない場合もある）。

- ⑥必要な場合；プロッド間隔
- ⑦探傷ピッチ
- ⑧プロッド（又は磁極）の配置，必要な場合磁化する際の位置
- ⑨磁粉の適用時期（連続法，残留法の別）
- ⑩検出媒体の性能試験方法
- ⑪検出媒体の適用方法（具体的な適用手段と方法）
- ⑫観察方法（環境，方法，時期等）
- ⑬その他必要な指示事項
  - (a)試験体の架台への設置等，試験面の傾斜等による影響を考慮した，検出媒体の適用に関する考慮事項及び安全に関わる事項
  - (b)プロッド法に関する特記事項などの各磁化方法における注意事項（スパークの対策・発生した場合のスパーク跡の処理方法等）

なお，磁化方法が指定された場合には，その方法を使用した最適な条件の設定を考える必要がある。

各磁化方法における留意点を以下に示す。

(1)プロッド法

プロッド法は鋳鋼品などの大形部品等で，電極間に局部的に電流を流し磁化する場合に使用するのに対し，試験体の全断面に電流を流したい場合には必然的に電流値も大きくなるので，電極の接触面積の大きい軸通電法（直接通電方法）を使用する。どちらの場合も磁化電流値は附属書Aに記載された式を用いて算出するとよい。また，前述したように，プロッド法ではスパークによる損傷はきずと見なされるとなっているので，発生しないように

接触部に網銅線等を使用するなどして対策を講じるとともに，発生してしまった場合にはベビーグラインダ等で研削し除去する必要がある。なお，プロッド法，軸通電法ともに，大きなリング状の試験体に直接通電して磁化する場合は，図1のように電流は短い電路（本来，磁化したい部分）と長い電路（本来，磁化する必要がない部分）に分流することを考慮に入れて磁化電流  $I$  を設定する必要がある（電路の長さに大きな差があるときなど，分流を無視できる場合もある）。

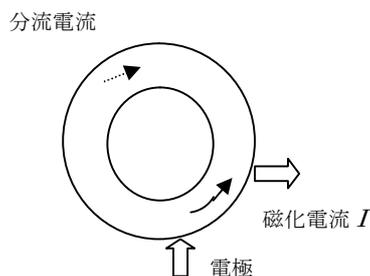


図 1

(2)電流貫通法

磁化対象部分の直径が著しく異なる場合には，その違いを考慮して電流値を設定する(附属書 A 参照)。

(3)磁束貫通法

磁束貫通法が適用できるのは，図2のように試験体を磁化した際に誘起される誘導電流が流れる断面積（軸に平行な方向の断面積）が小さい場合である。極間式磁化器を使用する場合，図3のように長いパイプ，肉厚のリング等の軸に平行な方向の断面積が大きなものでは，特に中央部は有効に磁化できない。その場合には，適用が可能ならコイル法又は極間法・プロッド法等により磁化する必要がある。

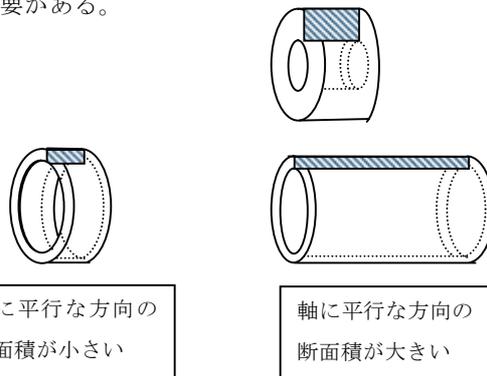


図 2

○磁束貫通法適用は適切

図 3

×磁束貫通法適用は不適切

(4)コイル法

JIS Z 2320-1:2007 には，ある条件での一例しか近似式

が記載されていないため、その条件に合わない場合には電流値が算出できない。この場合は、条件に適切な、他の説明可能な公知の経験式・理論式を利用することも考慮する必要がある。

#### (5)隣接電流法

直線状の導体に通電する方法は、反磁界の影響が大きいため、実用されている特別な例がある場合を除き、適切に磁化することが困難な場合が多い。

なお、磁化方法を選定した際に、探傷有効範囲の設定が必要な磁化方法、例えば極間法・プロッド法においては、工程確認方式における「試験範囲」（「探傷有効範囲」と同義で用いられている）に留意する必要がある。

### 2.3 「磁化の確認」

工程確認方式においても、標準試験片確認方式においても、磁化の確認は非常に重要である。JIS Z 2320-1:2007 の 8.3.2 は、「次の一つ又は二つ以上の方法で表面の磁束密度が必要な値となっていることを確認する」となっている。

ここで、「表面の磁束密度」の必要な値が、表面空間で 1T と思っている人が意外に多いが、1T は試験体表面内部での値である。磁化の確認として使用できる「表面の磁束密度」とは、与えた磁界の強さによる、試験体表面（外部空間）における磁束密度である。

確認方法として、JIS Z 2320-1:2007 には次のように記載されている。

- a) 最も検出性能がよくない位置に微細な自然きず又は人工きずを持つ試験体を試験する。
- b) 表面にできるだけ接近して、試験体表面に平行な磁界の強さを測定する。
- c) 通電法の場合は、試験体表面に平行な磁界を計算する。
- d) 確立された原理に基づいた他の方法を使用する。

例えば、a) に示された「確認に適切なきずを持つ試験体」がない場合に、b) の最も適切な方法としてホール素子を使用したテスラメータによる確認がある。

正しい値を得るためには、次の点に考慮する。

- ・センサーの位置  
(試験面までの距離・試験面上の位置)
- ・方向 (磁界の方向)  
必要に応じて、同一箇所を高さを変えて測定して表面

の磁束密度 (一般に単位は「mT」で測定される) を得て、その値と空間の透磁率から表面の磁界の強さを得る。

低炭素鋼の場合、 $B = \mu_0 H$  の式から、試験体表面の磁界の強さ  $H$  を計算し、2000A/m 以上であることを確認する。一般の溶接部は低炭素鋼で極間法による磁化では、 $\mu_s \approx 400$  程度と考えられるので、試験体表面内部の磁束密度は表面の磁界の強さ  $H = 2000\text{A/m}$  であれば、 $B = \mu_0 \mu_s H$  から  $B \approx 1.0\text{T}$  となる (注: 比透磁率  $\mu_s$  は  $\mu_r$  とも書かれる)。

測定は、センサプローブを試験体表面にできるだけ接近させて、表面に鉛直にプローブの感磁面を配置し、必要な場合はプローブを回転させて最大値を読み取る。このようにテスラメータでは試験体表面 (空間) の磁束密度が測定できる。

確認には次の点を考慮して、確認すべき表面の磁束密度の大きさを算出し、測定値と比較確認する必要がある。

- ・探傷に必要な磁界の強さ
- ・磁化電流値

(電流の種類、整流方式、波高値等の表示方法)

なお、プロッド法においては、磁化ケーブルの影響等により表面の磁束密度の値を正確に得ることが難しいことに注意が必要である。

c) では通電法以外にも、各磁化方法について電流値を与える近似式が示されており、確認にはこれらを使用することが可能である。

また、この規格に記載されていない適切な理論式・経験式に基づいて確認することも手段の一つと考えられる。

d) には注記があり、シムタイプ試験片は試験体表面に平行な磁界の強さを評価するには十分でないと記載されている。(現在、A 形標準試験片が磁化の確認に使用可能か再評価が行われている。)

手順書を作成する際には、標準試験片確認方式と工程確認方式の両方式が混在しないように注意するとともに、この実施する試験の検査性能の確認方式の宣言が必要である。

本解説を参考に、予め溶接部や機械部品等を想定して、各種の磁化方法を用いた手順書を書く練習をしておくことも有効である。磁界の強さの測定や手順書作成の機会や経験のない人は、当協会が開催する MT2 及び MT3 の講習会に参加して学習することを勧める。

以上、本解説が MT レベル 3 学習の参考になれば幸いです。