

目視検査で不良品の見逃しを発生させない3つのキーワード ～察知・精査・照明～

感察工学研究会 石井 明

周辺視目視検査法(以下、本検査法と略記)は、不良品の見逃しがきわめて少なく、高速かつ低疲労、その上、健康を取り戻すことも可能な目視検査法である。筆者らは2010年2月に感察工学研究会¹⁾を精密工学会 画像応用技術専門委員会に設置し、本検査法がなぜ良いかの科学的解明とその普及活動を行ってきた^{2)~5)}。その活動成果は、目視検査に特化したワークショップ、外観検査ワークショップPVI2017、PVI2018、PVI2019で紹介してきた¹⁾(PVI2020はコロナ禍で延期中)。しかしながら、本検査法を目視検査の現場に普及させるには2つの大きな壁があった。

1つは常識の壁。表1は目視検査の現場でよく見かける検査員に対する指導の一例である。どの指導も問題ないと思われる。しかしながら、すべて間違いである。これらの指導を行っている現場では不良品の見逃しで困っていると思われる。なぜか。それは、特に①「よく見ることが重要」と②「明るいほど検出しやすい」の2つの指導は、現場の検査員も管理者も常識と思い込んでいるからである。常識の壁を打ち破るのは容易ではない。もう1つは納品先企業の壁である。本検査法では、不良の検出方法を大きく変更することから、納品先企業からは検査方法の変更手続きを求められる。

表1 目視検査員に対する指導

| | 指導内容 | 人の機能・影響など |
|---|---------------------|----------------|
| ① | よく見ることが重要 | 中心視 |
| ② | 明るいほど検出しやすい | |
| ③ | 検査結果をフィードバックして注意を促す | 精神的負荷による見逃しの誘因 |
| ④ | 検査業務を1人で完結 | 作業リズムの阻害 |
| ⑤ | 不良見本による訓練 | 不良探しの誘因 |

同時に、検査方法の変更によって不良の見逃しが発生しないことを数値で実証することを要求される場合もある。不良の見逃しがたびたび発生している現場で管理者は頭を抱えている状況で、少しでも改善したいと思っているところに追い打ちをかけるような要求である。この要求に対しては本検査法を適用するモデルラインをつくって実績を積み重ねるしかなく、企業トップの強い理解がなければ進めることができない壁であった。

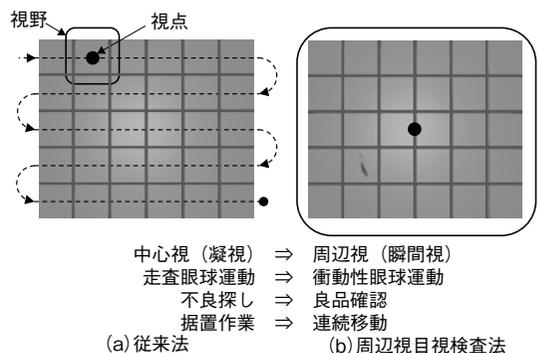
そこで、本稿では、どのようにして最初の壁を打ち破り、本検査法を普及させるかについて最近の成果を紹介する。キーワードは3つ。「察知」「精査」「照明」である。これらを正しく理解し、目視検査の現場に反映させ、不良品の見逃しを撲滅してもらいたい。

常識を変える I 一察知と精査

1. 中心視で不良を探す見方の致命的欠点

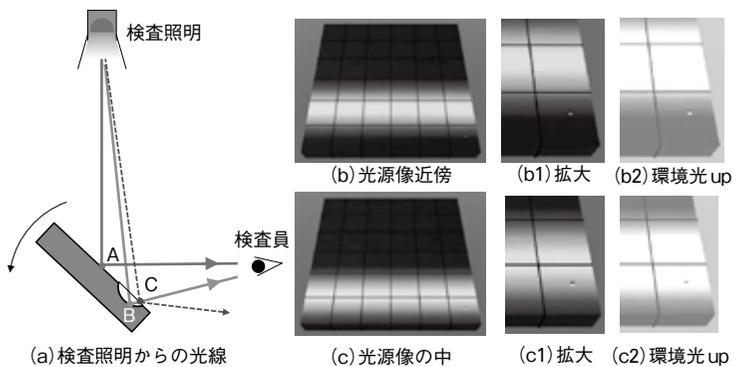
次のような業務の場面を考える。あなたは工場

図1 従来法と周辺視目視検査法との比較



の品質管理室の机でパソコンを使って、不良品と判断された製品の不良箇所を撮影し、不良の種類ごとにその撮影画像の分類作業を行っている。突然、自分の左側に違和感を覚え、振り向いたところ、室長があなたのパソコン画面を見ていた。室長に尋ねたところ、数分前から同じ姿勢で見ていたとのことであった。このように、すぐそばに人が来ていたがすぐに気づ

図2 不良(打痕)の顕在化の原理と環境光の影響



けないのは珍しいことではない。人は画面に釘付けになって見ていると(見ている先に焦点を合わせて見る見方を「中心視」と呼ぶ)、自分の周囲の変化を感じ取ることが難しくなる。このような見方を目視検査に当てはめる。表1の①「よく見ることが重要」と指導された場合には、中心視で不良を探す見方になる。しかし、中心視でははっきりと見える領域は意外と狭く、明視距離25cmでは1cm四方程度(視角1°)である。そのため、図1の検査体(縦5個×横6個の立方体が紙面上方の点光源で照明されている)の不良を探す見方では、図1(a)のように眼(視点)を左上から右、左に動かしながら右下まで、検査領域を網羅することになる。しかしながら、この中心視による不良探しには3つの致命的な欠点がある。1つ目は、実際の検査体には図1(a)のように視点を動かす時の目印となるような水平線と垂直線があるわけではない。そのため、視点が水平線から大きく外れて、視野に入らない領域(検査していない領域)が生じても気づくことができず、結果として不良を見逃す恐れがある。2つ目は、視点を図1(a)の破線のように線(見えない線も)を辿るように動かす見方(これを「走査眼球運動」と呼ぶ)は疲労がたまりやすい(30分～1時間くらいで疲労がたまり、検出力が低下し始めるといわれている)。これでは、安定した検査品質を保つことはできない。3つ目は、脳機能の観点から見ると、不良を探す見方では不良の見逃しを防ぐのは難しい。これについての詳細な説明は文献3の6～7ページを参照してもらいたい。

2. 周辺視で異変を察知し、中心視で精査

それでは不良はどのようにして見つけたらよい

のか。答えは、不良を中心視で探すのではなく、「周辺視」で異変を察知し、察知した領域を中心視で精査し、良・不良を判断する見方に変更する。ここで、周辺視とは図1(b)のように視野を広げて視野全体を見る見方であり、中心視のように1カ所に焦点を合わせることなく、視野全体を感じる見方である。図1(a)が正常品であれば、図1(b)の全体を見た瞬間に4行2列の領域に異変を察知し(あるいは違和感を覚え)、中心視でその領域を精査することにより、不良レベルの傷があることを認識する。この「察知→精査」の見方では、不良を探さず、異変を察知した領域のみをよく見ることになるため、周辺視で異変を察知できれば、本質的に不良の見逃しは生じない。

一方、凹状の打痕を検出する場合には、図2(a)のように棒状(紙面に垂直)の検査照明を検査体の上方に配置し、検査体を前後に回転することによって、打痕を顕在化させることができる(凸状でも原理は同じ)。検査体を前方に回転させると、光源像は図2(b)、(c)のように移動し、図2(b)とその拡大(b1)では、右下端の暗い領域に打痕が明るい点領域として顕在化する。また、図2(c)、(c1)の光源像の明るい領域では、打痕は暗い点領域として顕在化する。したがって、周辺視によって異変を察知するには、検査面体を止めることなく前後に回転させ、光源像の近傍領域と光源像の領域に生じる正常品には感じ得ない異変(暗い領域に明るい点と明るい領域に暗い点の出現)を瞬時に察知できるよう訓練することが必要である。しかしながら、検査体を前後に回転したり、向きを変えたりするハンドリングの動きを止めることなく、異変

表2 視作業における明るさと照明に関する規格、法令

| 規格 法令 | 内容 | |
|--|--|--|
| 日本産業規格 JIS Z 9110 : 2011 照明基準総則 | 5 照明要件表 5.4 工場 | 極めて細かい視作業 1500lx 細かい視作業 750lx 普通の視作業 500lx ※値は基準面における維持照度の推奨値 |
| 労働安全衛生 規則第604条 | 労働者を常時就業させる場所の照度 | 精密な作業 300lx以上 普通の作業 150lx以上 粗な作業 70lx以上 |
| 同上規則 第605条第1項 | 採光及び照明については、明暗の対照が著しくなく、かつ、まぶしさを生じさせない方法によらなければならない。 | |

(打痕)を察知できるようになるには時間は要するが、習熟すれば眼にも止まらぬ速さで察知ができるようになるので、しっかり取り組んでもらいたい。周辺視で異変を高速に察知できる仕組みについても、文献3の8～9ページを参照してもらいたい。

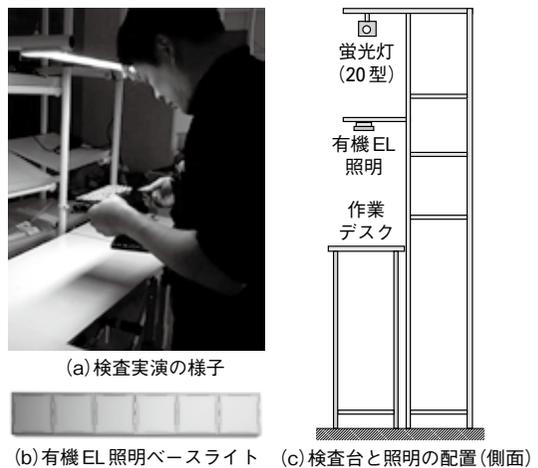
常識を変えるⅡ—検査照明

1. 検査に必要な照度

表2に視作業における明るさと照明に関する規格と法令の抜粋を示す。JISでは、視作業の細かさに応じて500(普通)～1,500lx(きわめて細かい)の維持照度の推奨値が規定されている。法令である労働安全衛生規則では、精密な作業では300lx以上とJIS規格よりは低い照度が規定されている。また、まぶしい光が眼に入らない条件で視作業を行うことが要求されている点には注意が必要である。

それでは、目視検査に必要な照度はどの程度あればよいのだろうか。この問いに答える前に、図2をもう一度見てもらいたい。図2(b2)、(c2)は図2(b1)、(c1)を検査照明の輝度は変えずに、周囲の環境光の輝度を高くした場合である。環境光の輝度を高くすれば打痕領域とその近傍の明暗のコントラストは下がり、打痕は見づらくなる。逆に、環境光による輝度を下げればコントラストは増加し、打痕は見やすくなるであろう。したがって、検査照明以外の環境光を極力排除できれば、検査照明の輝度も下げることができる。このメリットは、周辺視野の桿体視細胞の明暗感度が高まるため、小さな傷を高感度で察知できることである。

図3 検査の実演と照明の配置



一方、察知した不良箇所は中心視で精査するため、ある程度の照度は必要であるが、高すぎる照度は引き続き行う周辺視での異変の察知に悪影響を及ぼすので、注意が必要である。

2. 光沢度の高い製品での照明革命

めっき製品、プレス製品、実装基板など、光沢度の高い製品の検査では、製品に写り込む高い輝度の光源像の影響を強く受ける。結果として、不良品の見逃しが止まらないだけでなく、検査員に眼精疲労、肩こり、腰痛、胃腸障害などを引き起こす。そこで、筆者らはPVI2018外観検査ワークショップの検査実演と指導のセッションにおいて、5社の目視検査員による各自社製品の検査の実演を行った。図3にその様子を示す。その際、照明環境を①天井照明+蛍光灯、②蛍光灯のみ、③有機EL照明のみの順番で変えた。結果は、多くの検査員が①より②のほうが見やすいと声を漏らし、②より③のほうがさらに見やすいと驚きの声を上げた。①は各企業の検査環境に近いと思われる。検査に不要な環境光(天井照明)を消すだけで見やすさが増す。さらに、蛍光灯よりも有機EL照明が高い評価を受けた。これらの照明に対する評価結果から次の3つのことがわかった。

(1) 環境光の排除

目視検査の現場では、誰もが「天井照明+検査照明」は当然と思っている。しかし、環境光の影響を小さくするだけで、不良の察知と精査が非常にしやすくなる。天井照明を切る。それだけで、

現場の照明環境の良し悪しがわかる。ぜひとも試してもらいたい。

(2)中心視で不良を探す見方の検査員の是正

中心視で不良を探す見方の検査員は、検査照明の輝度を下げた途端、「暗くて不良が見えない」と答えた。周辺視で異変の察知ができていた熟練検査員は、一瞬「暗い」と答えたが、すぐに戸惑った様子で「輝度を下げたほうが見やすい」と答えた。前者の検査員はぜひとも周辺視での異変の察知を身につけてもらいたい。また、後者の熟練検査員には、検査照明の輝度を下げることによって眼の疲労は少なくなること、周辺視野の明暗のコントラスト感度は高まるため、小さいものを見逃すことはないことを伝え、輝度を下げることによる検査員の不安を払しょくしてもらいたい。

(3)有機EL照明が蛍光灯より見やすい

使用した有機EL照明はカネカ製で、大きさが80mm四方の正方形のパネルユニットを6枚1列に並べたものである。面発光であるため面内の輝度の均一性は高いが、40cm直下の机上照度は最大で400lx程度と高くなく、上方に設置された20Wの蛍光灯による机上照度と変わらず、決して明るいわけではない。しかし、蛍光灯よりも見やすい。非常に興味深い結果であった。その後の調査で、有機EL照明には次の3つの利点があることがわかってきた。

①検査距離の遠近の使い分けが容易

照明を手が届く前方斜め上方に設置することにより、次の2つの見方の使い分けが容易にできる。周辺視による察知には、検査体を照明から遠めの距離(たとえば $L_p=40\text{cm}$)とし、中心視による精査には近めの距離(たとえば $L_c=20\text{cm}$)にすれば、精査の照度は察知の照度の4倍と十分高い照度となる。

②光源輝度は十分に幅広い均一輝度の拡散光

鏡面反射が主となる光沢度の高い製品では光源像が写り込むが、LED照明の光源像で見られる強い眩しさはない。手元から光源までの距離が近く、発光面積が大きいため、光源像は大きく、光源像の中でも傷・打痕などの不良を察知したり、精査したりすることができる。

③低ブルーライト、低照度検査による疲労症状などの低減

通常のLED照明よりも460nm前後のブルーライトの領域の発光強度が抑えられていること、照度が低くても見やすく、眩しさが少ないため、眼精疲労の抑制、夜間時使用による概日リズム変調の抑制、光過敏症の抑制が期待できるなど、LED照明にはない良い特性をいくつも持っており、現在はそれらの効果の実証を進めている。

☆

ちょうど3年前にカネカ製の有機EL照明に出合った。「決して明るくはない」が第一印象。しかし、部屋の天井照明を消して、メタルめっきの樹脂部品に生じている小さな凸状のめっき不良(ブツ)を眺めると非常によく見える。手元照度は100lxもあれば十分である。筆者は周辺視目視検査法の解明と普及の旗振り役を務めていたが、「鏡面反射製品の照度は100lxもあれば十分」という体験は非常に衝撃的であった。それから現在まで、有機EL照明がなぜ良いかの科学的解明とともに、有機EL照明を使った目視検査改善の指導を行っている。また、長時間の勉強、パソコン作業時のデスクライト(局所照明)として使用すると、LED照明と照度が同じでも眼が疲れず、集中力が増すという興味深い結果が出始めている。まさに有機EL照明は、視作業の革命児かもしれない。常に常識を疑い、目視検査現場の改善を目指してもらいたい。

参考文献

- 1) 感察工学研究会：https://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~ishii/kansatsu/
- 2) 石井明、佐々木章雄、中村俊、森由美：周辺視目視検査法の理解と導入のためのヒント、中国地域創造研究センター、(2017)
- 3) 石井明：いまだからこそ目視検査を見直す、精密工学会誌、84(12)、pp.963-966、(2018)
- 4) 石井明：究極の外観検査技術を目指して、非破壊検査、69(7)、pp.312-317、(2020)
- 5) 石井明：照度を下げて検査現場を明るくする、月刊 食品工場長、日本食糧新聞社、pp.22-25、(2021.4)

筆者：いしい あきら
 主査、香川大学名誉教授
 所在地：〒779-5451
 徳島県三好市山城町西宇1011-1
 E-mail：ishii.akira@kagawa-u.ac.jp
 URL：https://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~ishii