

## 明るくすれば不良は見逃さないと 信じてはいませんか

～照明環境の見直しから始まる眼が疲れず、不良品を流出させない目視検査～

香川大学 名誉教授 石井 明

### 1 はじめに

周辺視目視検査法（以下、本検査法と略記）。不良品の見逃しが極めて少なく、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。著者らは2010年2月に感察工学会<sup>1)</sup>を(公社)精密工学会 画像応用技術専門委員会に設置し、本検査法がなぜよいかの科学的解明とその普及活動を行ってきた<sup>2~7)</sup>。その活動成果は、目視検査に特化した外観検査ワークショップPVI (Peripheral Visual Inspection) を2017年に創設し、PVI2017、PVI2018、PVI2019として紹介してきた<sup>1)</sup>。コロナ禍が落ち着いた昨年10月には周辺視目視検査法誕生25周年シンポジウム<sup>7)</sup>を開催し、これまでの25年間の取り組みを振り返るとともに、今後の25年の自動検査と目視検査の展開を討論した。本年は9月にPVI2024として、広島での開催を予定している。

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依然として2つの大きな壁、目視検査に対する間違った常識の壁と作業方法改定にともなう取引先の承認の壁が立ちはだかる。前者の壁は、目視検査員を指導・管理する人はもちろん目視検査員自身も間違っていることに気づけない常識（固定観念）によって作り出される壁である。後者の壁は、不良の見逃しが無いことを実績で示すことが要求される場合の壁である。

そこで、本記事では、どのようにして最初の壁を打破し、次の壁を乗り越えたらよいかにつ

いて解説する。

### 2 間違った指導に気づく超簡単な実験

次の3つは目視検査の現場でよく見かける目視検査員に対する指導である。

- (a) 明るいほど不良は見やすいので検査面の照度を高くする。
- (b) よく見れば不良は見逃さないと注意する。
- (c) 見逃した不良の種類を伝え、不良を見逃さないよう注意する。

どれも適切な指導のように思われるが、すべて間違った指導である。とくに、(a)は注意が必要である。ほとんどの人が『明るいほど不良は見やすいので、検査面の照度を高くする』ことに疑問を抱かない。『明るいほど不良は見やすい』は間違いではないが、それは見つかった不良に対してである。不良がどこにあるかわからない場合、この指導では不良の見逃しを防ぐことはできない。(b)は、よく見ようと意識することにより視野は非常に狭くなり（これを中心視と呼ぶ）、検出すべき色々な不良のパターンと一致する不良を探す見方となる。不良がどこにあるかわからない場合、この指導では(a)と同様、不良の見逃しを防ぐことはできない。(c)は見逃した不良のパターンを強く意識させる指導であり、他のパターンの不良があっても気づけずに見逃す恐れがある（詳細は文献2の7頁）。

それでは、不良がどこにあるかわからない場合にはどうしたらよいのか。そのヒントは、次

の検査の実演にあった。

著者らは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。図表—1にその様子を示す。その際、照明環境を次の順番で変えた。①天井照明+蛍光灯、②蛍光灯のみ、③有機EL照明のみ。結果は、多くの検査員が①より②の方が見やすいと声をもらし、②より③の方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。検査に不要な周囲光（天井照明）を排除すれば、当然のことながら検査面の照度は低くなる。しかし、検査員は「不良は見やすい」と答えた。上述の「(a) 明るいほど不良は見やすい」と答えた。上述の「(a) 明るいほど不良は見やすいので、検査面の照度を高くする」とは真逆の回答「周囲光を排除して検査面の照度を下げれば、不良は見やすくなる」が返ってきた。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2つのことがわかった。

- 1) 検査照明には正しい使い方がある。
- 2) 目視検査に適した検査照明がある。

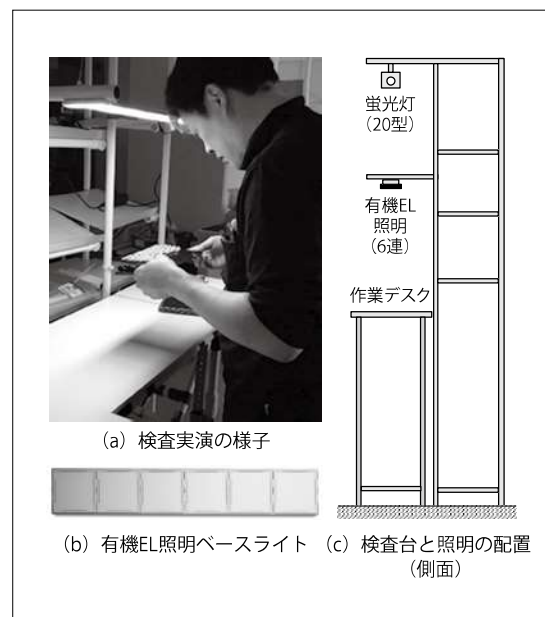
### 3 なぜ周囲光の排除が不良を見やすくするのか

#### 3.1 きずの顕在化の原理と周辺視の見方

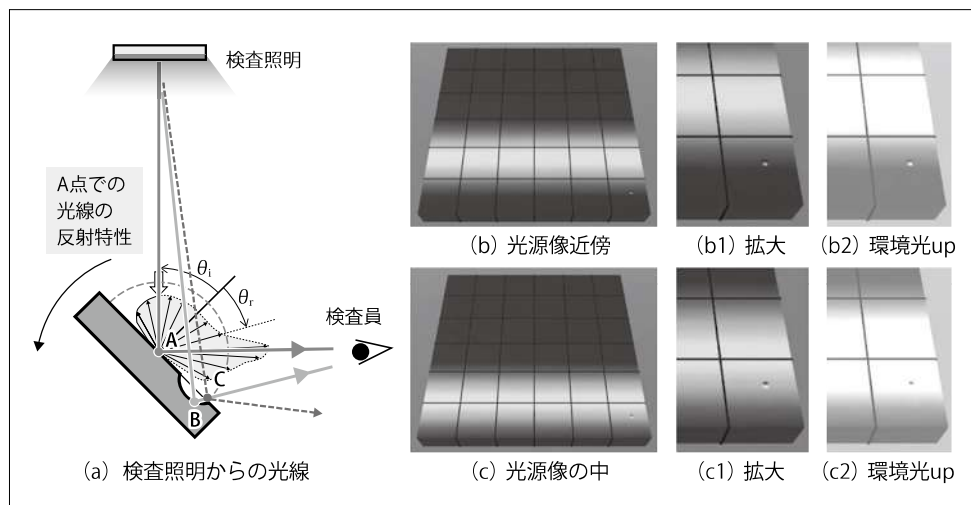
非常に基本的なことであるが、検査員も検査

員を指導する人も最初に次のことを確認してもらいたい。なぜ、不良に気づくのか。不良の一例として、図表—2のように光沢のある正方形の板が6×6枚が敷き詰められた1枚の製品の右下の板の中央に生じた凹状のきず（打痕）の検出（顕在化）を考える。紙面に垂直方向に長い検査照明（輝度が一定の拡散照明）が検査員の前方上方にあれば、照明からの拡散光が製品の上面全体に入射する。図表—2(a)の打痕

図表—1 検査の実演と照明の配置



図表—2 不良(打痕)の顕在化の原理と環境光の影響



から離れた点 A に入射する光線は、入射角と等しい反射角の正反射と、表面の微細な凹凸による乱反射、さらに非金属であれば拡散反射が合わさった反射特性（図中の破線で囲われた領域）を示す。そのため製品の表面は図表—2 (b) のように中心部の輝度が高い光源像（光源の映り込み）が観察されるとともに、照明からの拡散光による乱反射によって光源像以外の領域でもわずかに薄明るい様子を観察することができる。このとき、右下の板付近を拡大したのが、図表—2 (b1) である。光源像から少し下に離れると輝度は低くなり、板の中央部の打痕は輝度の高い領域として観察される。これは、図表—2 (a) の打痕の壁面 B 点近傍に入射した光線の主に正反射によって形成されたものである。打痕がなければ、B 点方向の板表面の位置 C 点では、青の破線に示すように光線の正反射は斜め下に向かうため眼には入らず輝度の低い領域となり、結果として打痕を際立たせることになる。一方、打痕が図表—2 (c1) のように光源像の中にある場合は、打痕は輝度の低い領域として観察される。これがきずの顕在化の原理である。したがって、このきずの顕在化の原理に従う不良であれば、製品を横長の検査照明に対して垂直な方向に前後に 1 回傾けるだけで、製品の上端から下端までの検査（横幅は有効視野の範囲）を瞬時に済ませることが可能である。有効視野全体を見る見方（周辺視の見方と呼ぶ）をマスターすることができれば、製品を傾けて光源像を移動させ（光線の入射角を連続的に変えることを意味する）、正常品では暗い所が一瞬光る（あるいは、明るい所が一瞬暗くなる）ため、その異変に瞬時に気づくことが可能である。熟練検査員はハンドリングによって検査照明からの拡散光を巧みに操ることによって、高速且つ不良を見逃さない検査を行うことができているとも言えよう。

### 3.2 周囲光の影響

前節では天井照明（周囲光）の影響を検査員の実演より学んだ。検査照明には正しい使い

方がある。周囲光を排除して検査面の照度を下げれば、不良は見やすくなる。本節では周囲光の影響を数式で説明する。図表—2 (b1) は検査照明のみ場合、図表—2 (b2) は周囲光を加えたときの場合である。打痕のコントラストを Michelson コントラストで評価する。 $L_{max}$  は打痕の明るい領域の輝度、 $L_{min}$  は打痕周囲の輝度、 $L_{ambient}$  は周囲光の輝度である。周囲光がない場合は式 (1)、周囲光がある場合は式 (2) となる。

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} \quad (1)$$

$$C_{+ambient} = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min} + 2L_{ambient}} \quad (2)$$

式 (2) より周囲光があれば、打痕のコントラストが小さくなることは一目瞭然である。

また、図表—2 (b2) と図表—2 (c2) を比較すると、周囲光の影響が大きくなると光源像はいずれも明る過ぎて眩しい。図表—2 (c2) の光源像の中の打痕は暗の領域が小さくなり眩しさと合わさって図表—2 (b2) の光源像近傍よりも見づらくなることがわかる。

## 4 検査照明の特質を活かす

### 4.1 検査照明の 3 つの役割

前節では検査照明の正しい使い方として、検査照明以外の照明を排除することの効果、すなわち、検査照明が有する特質が現れる正しい使い方を示した。そこで、本節では目視検査に求められる検査照明の役割について考える。対象は図表—2 のように手で把持し、前後に回転できるような工業製品を想定する。この場合、検査照明には次の 3 つの役割を達成することが求められる。

- 1) 製品の検査範囲全体を一様に照らす。
- 2) 製品を前後に傾け、照明からの光線の入射角を連続的に変え、微小な形状不良を明暗の異変領域として顕在化させる。
- 3) 異変を察知した個所を十分な照度で照らす。

1) で検出できる不良は、欠損・付着・曲がり・表示の異常等である。熟練した検査員であれば、製品を把持した瞬間に有効視野内の異変（外観パターンの変化）を捉える（察知する）ことができる。この察知の見方を瞬間視と呼ぶ。

2) で検出できる不良は、前節の 3-1 で示した「きずの顕在化の原理」が適用できるきず・割れ・打痕等である。この製品を傾けているときに異変を察知する見方が周辺視である。

3) は察知した個所を中心視でよく見て OK/NG の判断を行うためであり、これを精査と呼ぶ。

#### 4.2 有機 EL 照明の特質

第 2 節の照明環境の実演において、蛍光灯よりも有機 EL 照明の方が見やすいとの回答を紹介したが、実は、有機 EL 照明はこの 3 つの役割を 1 台で果たすことが容易であることを紹介したい。

有機 EL 照明は図表—3 に示すように 1 枚のパネルの発光面の大きさが 80mm × 80mm、厚さ（駆動回路内蔵）が 5mm のものを複数枚横に並べて使用する。有機 EL 照明の特質は次の 3 つである。

##### ① 広範囲を一様に照らす

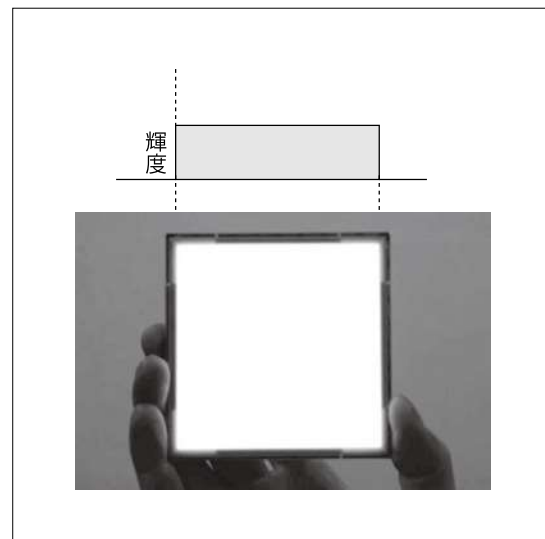
発光面から出射した光は全方向に一様に拡散する。そのため照明を検査員の頭の高さ程度に設置しても作業台上を広範囲に一様に照らすことができる。

また、発光面が広いので製品や手によって生じる影は強くなく検査面全体を把握しやすい。

##### ② 発光面は眩しくない

発光面の輝度はほぼ一定で、高くはないので発光面を直接見ても眩しくない。これは、前述の 2) の役割を果たすことができる。図表—2 に示したように光源像の映り込みを前提としているので、光沢が強い製品でも光源像は眩しくないことは一番の特質である。また、発光面の輝度がほぼ一定で、その外側では輝度は瞬時にゼロとなるので、光源像近傍に現れる微小な形状不良による明暗の異変は捉えやすくなる。さらに、光源像の中でも明暗の異変の察知(図

図表—3 有機 EL 照明パネル



表—2 (c1)) が可能となる。

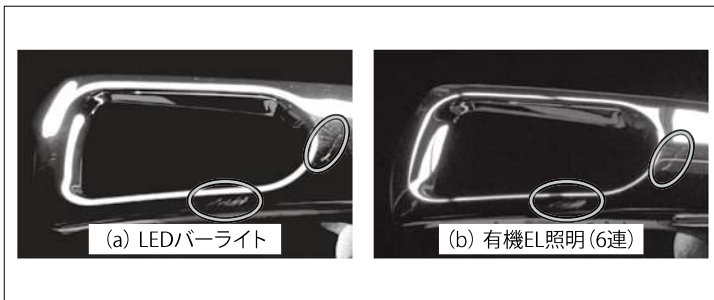
##### ③ 検査面の照度を瞬時に高くできる

明暗の異変を察知する周辺視の見方では照度が低い方が周辺視野（杆体視細胞）の明暗の感度が高まるため低めに設定するのが望ましい。しかし、異変を察知した場合には、その異変個所を精査し OK/NG の判断が必要である。精査するにはある程度の照度が必要である。有機 EL 照明はもともと照度は高くないので頭の高さ位の位置に設置することが多い。照明と製品との距離は 50 ~ 60cm 前後と思われる。精査の時にその距離を半分にすれば照度は 4 倍になる（照度  $\propto 1/\text{距離}^2$ ）。製品を手で把持しているならば手を上に動かすだけで精査に必要な照度が得られる。

表面が鏡面反射するメタルメッキしたプラスチック製品への適用例を図表—4 に示す。図表—4 (a) が LED バーライト、図表—4 (b) が有機 EL 照明である。LED バーライトは光源の輝度が高いので黄色で囲んだ 2 カ所のキズは明瞭に見えるが、光源像は極めて眩しいので、不良の位置がわかっている精査の場合にはよいが、不良の位置がわからない場合は光源像内および近傍は眩しくて検査は困難である。一方、有機 EL 照明では発光面の輝度は低いので 2 カ



図表—4 検査照明



図表—5 周辺視目視検査法の取り組みの様子



所のキズの明瞭さは低くなるが、光源像は直接見ても眩しくはないため光源像を気にすることなく検査が可能である。また、光源像内でも不良の確認ができるので、きずと汚れあるいはホコリとの区別も可能である。

#### 4.3 目視検査に適した検査環境の現場導入

図表—5 はアルミの薄板のプレス加工した製品の検査の様子である。K 社のホームページ内の「K 社のものづくり」で紹介されている周辺視目視検査法で検査している製品である<sup>8)</sup>。第 2 節の PVI2018 (2018 年 11 月 21 日) で検査の実演に協力した企業の 1 社である。図表—5 (a) は PVI2018 開催直後に周辺視目視検査法導入の取り組みを開始した時の様子である。照明は LED のバーライトが前方のパネル上部に設置され、手元照度は 2000lx 以上であった。PVI2018 の講演で、手元照度は 1000lx 程度に引き下げることが聞いて現場展開を行った。その結果、検査員から「暗過ぎてよく見えない」とのクレームがあり、お手上げ状態

になった。そこで、K 社より感察工学研究会に指導依頼があり、翌年 3 月に感察工学研究会の有志で 2 泊 3 日の目視検査改善キャラバン (2014 年より毎年 1 社程度実施した周辺視目視検査法の普及活動) を実施した。その時の様子が図表—5 (b) である。図表—5 (a) と同じ工場内で天井高さが 5 ~ 6m 程あり、天窓、左側の先には外光を取り入れるための窓が並び、天井には水銀灯が全般照明として取り付けられた明るい工場であった。そこに、配管、合板、暗幕の簡易の暗室 (横 3.8m × 奥行 2m × 高さ 2.1m) をつくってもらい、奥の作業台の前方上方に有機 EL 照明 (横 6 枚) を取り付け検査指導を行った。背面 (手前) の暗幕はあまり降ろさなくても

検査員が遮光の役割を果たすため周囲光はほとんどカットされた。対象はアルミの板材であるので光沢が強いので、最初は手元照度を 200lx で実験を開始した。検査員はよく見えるようになったと答えたが、製品を傾ける動作がスムーズではなかった。そこで、指導者が照度を 100lx に下げ、周辺視の見方 (異変を察知する見方) で製品を前後に傾ける (振る) ように指示した。その時、検査員が大きな声で叫んだ「バーン! と不良が飛んでくる!」。指導者も参加者も初めての経験であった。不要な周囲光を排除して照度を下げると共に光源像を見ても眩しくない有機 EL 照明を使用した驚きの効果であった。その後、完全暗室での実験では 50lx まで下げることができたが、それ以下に下げると、製品の出し入れ、検査記録が難しくなることがわかった。その後、当該検査員は周辺視目視検査法を完全にマスターし、K 社のホームページで紹介されるまでになった。目視検査改善キャラバンを企画した側としては本当にうれしい出来事であった。

## 5 おわりに

6年前にカネカ製の有機EL照明に出会った。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、メタルメッキされたプラスチック部品に生じた微小な凸状のメッキ不良（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。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もあれば十分の体験は、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照明を使っての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目が疲れず、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（固定観

念）にとらわれず科学に裏付けられた目視検査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://geo-kumotore.com/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)
- 6) 石井明：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～, 工場管理, 日刊工業新聞, pp.114-117, (2021.10)
- 7) 石井明：周辺視目視検査法誕生25周年シンポジウム報告, 画像応用技術専門委員会研究会報告, 38(4), pp.29-33, (2023.11)
- 8) キーレックスのものづくり、品質保証 <https://www.keylex.jp/recruit/monozukuri.html> 2024/2/10 現在

## ■ カネカ有機EL照明について

株式会社カネカでは有機EL照明の特徴を活かし、製造業の目視検査工程に対する提案を行っています。

輝度の面内均一性が高い拡散光の有機EL(OLED)照明は、眩しさを感じにくく対象物に反射して目に入る光による検査員の目の疲労を低減させることが大いに期待できます。



有機EL(OLED)照明の特徴

	有機EL照明	一般的なLED照明
低ブルーライト (スペクトル比較)		
影がでにくい		
低反射		
高演色		



紹介動画公開中！

目視検査革命～外観検査用カネカ有機EL(OLED)照明～

● 事例や製品に関する詳しい情報についてはこちら ↓

株式会社カネカ

OLED事業開発プロジェクト HP <https://www.kanekaoled.jp/utilize/case07.html>