

目視検査の課題を共有する

～検査照明の使い方と周辺視の見方の実演指導を兼ねて～

石井 明

香川大学名誉教授

ishii.akira@kagawa-u.ac.jp

不良はなぜ目視検査工程をすり抜けることがあるのか？ この問いに、人が検査を行うからと答える方が多いと思う。しかし、不良の見逃しは当人には意識できなかったことであり、単なる注意・叱責では問題解決にはならない。不良を見逃す主要因は二つ、照明と見方。これらの正しい使い方は単純である。しかし、自分で体験して正しい使い方と納得できない限り目視検査改善を図ることはできない。目視検査は最後の砦。検査員に対する負荷が低減するよう生産技術の方も品質管理の方も一緒になって目視検査の課題を共有してもらいたい。

<キーワード> 周辺視目視検査, 検査照明, 画像検査

1. はじめに

2010年2月に画像応用技術専門委員会内に周辺視目視検査法の解明と普及をミッションとするワーキンググループWG14(感察工学研究会)を設置した。そして、その活動の成果を発表並びに参加者と共有する場として、**目視検査に特化したワークショップ**、PVI2017 外観検査ワークショップを開催した(PVI:Peripheral Visual Inspection)。開催日はViEW2017の前日(2017年12月6日)、場所はパシフィコ横浜アネックスホールF201であった。その後、毎年(コロナ禍を除いて)開催してきた。PVI2018(大阪)、PVI2019(横浜)、2023年は周辺視目視検査法誕生25周年シンポジウムPVI25th(海老名)、PVI2024(広島)、PVI2025(新潟)。

発端は、熟練検査員(周辺視目視検査法を身につけている)がなぜ目にもとまらぬ速さで不良を見逃すことなく且つ疲れ切ることなく終日にわたって安定した品質の検査を行うことができるのか、その仕組みを解明し、周辺視目視検査法を普及させることであった。仕組みについては、二人の神経科学者(中村俊博士、小柴満美子博士)のよって脳科学的理解が進み、冊子「周辺視目視検査法の理解と導入のためのヒント」として(公財)ちゅうごく産業創造センター(現在:中国地域創造研究センター)より発行した(2017年12月)。一方、普及については、遅々として進まなかった。しかし、最近ようやく、簡単な道具立てで現場指導することによって目視検査改善に即刻、取り組む企業が増えてきた。9月に行ったPVI2025(新潟)では、現場指導して半年程度で、モデルラインでの検証を始めた2社から、改善事例紹介の発表を頂くことができ感無量であった。このような取り組みの

輪がさらに広がることを願う。

一方、検査員の負荷低減のためには、自動検査が可能な検査項目は前工程で行うなど、製造側と検査管理側が協力して改善を図ることが必須である。これが、ビジョン技術者の集まりであるViEWにおいて目視検査の課題を共有する理由である。

2. 検査体験(パターンと明暗の異変察知)

2.1. 模擬検査ボード作成のすすめ

最初に、周辺視目視検査を体験するための道具立てとして、図1の模擬検査ボードの作成方法を紹介する。材料は百均のホワイトボード(30cm×20cm)とマグネットシート(A4)。

- ①マグネットシートをカッターで4cm角の正方形片4×5個作成(形状/寸法/個数は自由)。
- ②不良は欠け(角を切除)、カッターキズを付与。図1では3列目に欠けとカッターキズ。ただし、カッターキズは細くて見にくいので強調している。

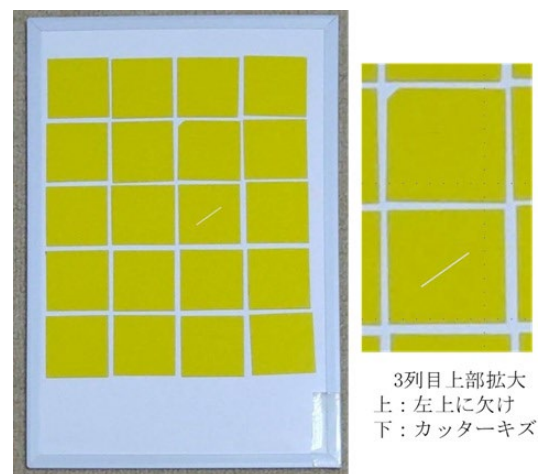


図1 模擬検査ボード

2.2. 検査照明の使い方と周辺視の見方の指導

目視検査の指導でもっとも注意することは、『目視検査』に対する先入観（常識）である。「照明は明るいほど良い」、「不良の見逃しはよく見ないから」の2つの誤った常識を体験によって払拭することが必須である。そのために本講演会場には暗幕を外した検査ブース（図2：PVI2025で使用）を用意する。検査ブース上部には、横長の面発光型の検査照明（有機EL照明）が吊り下げられ、点灯している。

（1）検査照明の使い方Ⅰ

照明条件は、検査照明を点灯した状態での室内灯（天井灯）の点灯、消灯である。

最初に室内灯を点灯した状態で欠けとカッターキズの有無検査である。欠けは探すことなく模擬検査ボード全体を見た（周辺視の見方）瞬間に気付くことができる。これは、図1のように正方形片が整列している状態では、欠けのある正方形片の輪郭形状（輪郭パターン）は他のものと異なるので瞬時に違和感として気付くからである（ポップアウト効果）。しかしながら、カッターキズは細くて見にくいので模擬検査ボードの各正方形片を順にカッターキズがあるかを探す（中心視の見方）ことになる。

次に、室内灯を消して検査照明のみの状態で同様の検査を行う。欠けはより気付き易くなり、カッターキズは見つけ易くなる。前者は照度が下がったため周辺視の明暗の感度が上昇、後者は特定方向（頭上前方）からの照明となり、カッターキズの輪郭（エッジ）での明暗のコントラストが上昇したからである。検査照明以外の照明を切るもしくは遮ることの重要性をこの体験により学ぶことができる。



(a) V字(照明-検査面-眼)観察 (b) 縦向き観察(室内灯 off)

図2 検査ブースでの検査照明の使い方

（2）検査照明の使い方Ⅱ

次は、カッターキズに瞬時に気付くための検査照明の使い方である。図2(a)のように照明-模擬検査ボード-眼を結ぶ線がV字となるように模擬検査ボードを保持する。その際、マグネットシートは光沢があるので、照明の発光面がほぼ中央に映り込む（これを光源像と呼ぶ）位置になるよう模擬検査ボードの傾きを調整する。その時の傾きを基準として、模擬検査ボードを手前に傾ければ、光源像は上方に、前方に傾ければ下方に移動する。このときの模擬検査ボード上での照度は200lx程度（室内灯を点けると500lx程度）で、決して明るくはない。また、照明は面発光の拡散光であるので、写り込む光源像を直接見ても通常のLED照明のような眩しさは感じない。

カッターキズが丁度、光源像の中で捉えられる時には、カッターキズは暗い筋として見える（中心視の見方）。一方、光源像近傍の暗いところでは、カッターキズは明るい筋として見える（中心視の見方）。これらのカッターキズの見え方を確認したのち、模擬検査ボード全体を見ながら（周辺視の見方）、模擬検査ボードを手前に傾け（光源像は上方に移動し、模擬検査ボードから外れるまで）、次に、前方に傾ける。この動作を最初は1往復1～2秒程度で繰り返す。そうすると、カッターキズがある場所では、光源像が近傍に近づくととき（あるいは光源像から離れるとき）表面が一瞬チラリと光る異変に気付く（これを察知と呼ぶ）。気付いた場所を中心視で確認（これを精査と呼ぶ）すれば、カッターキズであることを認識できる。本模擬検査ボードでは、慣れてくると1往復0.5秒程度の速度で確実に察知ができ、1往復で十分である。是非とも、周辺視の見方での高速なカッターキズの察知を体験してもらいたい。

次に、図2(b)のように、検査照明が縦向きになる位置で、同様に模擬検査ボードを手前、前方に傾けてもらいたい。この場合には光源像が模擬検査ボードの上方から下方まで帯状に映り込むので、光源像近傍での察知が難しくなることを確かめてもらいたい。検査照明はただ照らせばよいのではなく図2(a)のように正しい位置で使うことも重要であることを体験してもらいたい。

このように光沢のある製品の目視検査では不良を中心視による探す見方ではなく、ハンドリングによる光源像の移動を利用して、表面の局所的な異変（キズ、打痕、汚れ等）を周辺視の見方で察知し、察知した個所を中心視で精査することにより

良/不良の判別を行うことができる。

3. なぜ周囲光の排除が必要なのか

3.1. キズ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、なぜ、不良に気づくのか改めて説明したい。不良の一例として、図3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枚の仮想製品を用意する。仮想製品の右下の板には不良として凹み（打痕）を挿入した。図3(a)のように仮想製品の上方に、紙面の垂直方向に長い矩形形状の検査照明（輝度が一定の拡散照明）を設置する。検査照明を点灯すると、打痕から離れた点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3(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3(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3(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3(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。これがキズの顕在化の原理である。したがって、このキズ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。有効視野を使う周辺視の見方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明る（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

前述の検査照明の使い方Ⅰでは、室内灯（周囲光）を切って検査照明のみとすれば、不良は見やすくなることを体験で学んだ。そのことを数式で解説する。図3(b1)は検査照明のみ場合、図3(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。

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

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

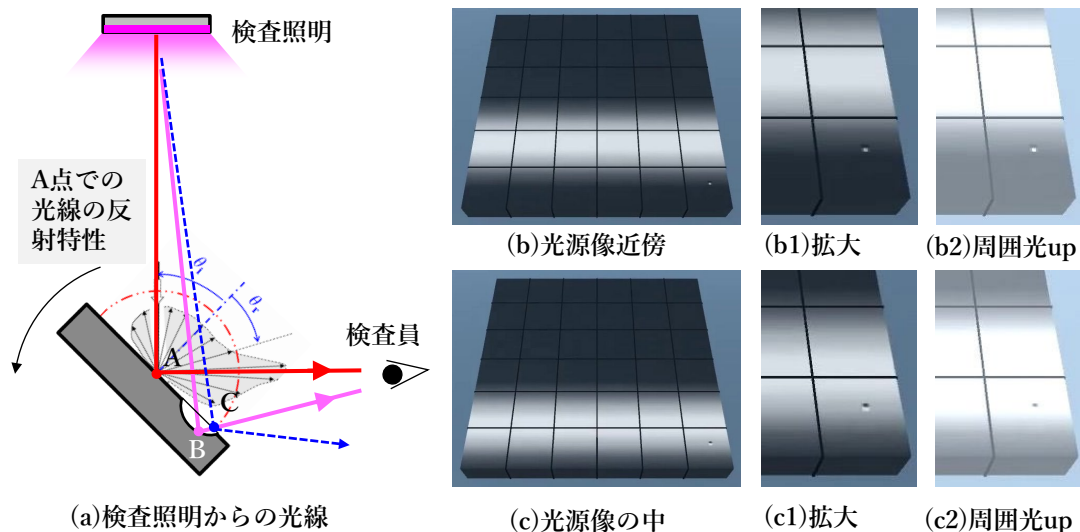


図3 不良（打痕）の顕在化の原理と周囲光の影響

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3 (b2)と図3 (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3 (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3 (b2)の光源像近傍よりも見づらくなることがわかる。

3.3. 手元照度を下げるメリット

前述の検査体験では、室内灯(天井照明)を切れば、模擬検査ボードの欠けとカッターキズが見やすくなることを述べ、コントラストの定義式からも打痕のコントラストが上がる説明ができた。しかし、眼の周辺視野を担う桿体視細胞は暗所ではしばらく経つと暗順応により光に対する感度が非常に高くなる。そのため、室内灯を消して検査照明のみとして手元照度を下げた状態でしばらく居ると(10分以上)、暗⇒明の変化に鋭敏となる。PVI2025の検査体験(図2)では、手元照度は約200lx(検査照明のみ)としたが、さらに手元照度を下げた場合には、桿体細胞の光に対する感度がさらに高くなることが期待される。室内灯を消して検査照明のみにすると暗く感じるが、少し経つとその明るさに慣れる(暗順応)。その状態で周辺視の見方で、模擬検査ボードを手前・前方にパッパと傾ければ、カッターキズのところは、ほんの一瞬チラリと光る、暗⇒明の異変に瞬時に気付くことができる。したがって、さらに手元照度を下げれば(例えば、200lx⇒100lx)、暗⇒明の変化はさらに強い刺激として気付くことが期待される。

図4は感察工学研究会の活動の一つとして目視検査改善キャラバンと名付けた企業現場での周辺



図4 目視検査改善キャラバンの様子(2019.3)

視目視検査の普及活動を行っていた時の様子である。工場内に4m四方の簡易暗室(背中側は検査員自身が後方からの周囲光を遮るので、暗幕は上部のみでも十分な遮光効果がある)を設置し、アルミの薄板のプレス部品(約70cm×20cm)の目視検査の指導を行った。このときの手元照度は最初200lxで行っていたが、指導者の佐々木章雄(周辺視目視検査法の開発者)は、製品の傾け方のリズムが良くない(速くない)ので、手元照度を200lx⇒100lxで行うよう指示した。そのようにしたら、その検査員が突然大きな声で、「バーン!!と不良が飛び込んで来る!!なんじゃこりゃ!!」と叫んだ。今でもその時の様子は語り草になっている。照明は検査体験と同じ有機EL照明であった。面発光で均一輝度、直接見ても眩しくないことが、高感度の暗順応の状態を維持もしくは瞬時回復させるのではと思われる事例であった。

暗いところで目視検査をすると眼が悪くなることはない。逆に明るすぎるあるいは眩しすぎる環境での目視検査は眼精疲労を引き起こし、健康を大きく損ねる恐れがあるので注意してもらいたい。

4. 検査照明の役割と有機EL照明の特質

4.1. 検査照明の3つの役割

ここでは改めて目視検査に求められる検査照明の役割について整理する。対象は手で把持し、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拡散照明で一様に照明

検査範囲を見た瞬間に異変を察知(周辺視、瞬間視)できるようにするための照明で、欠損・付着・曲がり・表示等の形状・パターンの異常を察知しやすくする。

2) ワークを前後に傾けての不良の顕在化

光源像の近傍及び内部で不良箇所の明暗変化(異変)による顕在化が可能となるためキズ、割れ、打痕、凹凸、汚れ、変色を察知しやすくする。

3) 異変を察知した箇所を十分な照度で照明

精査して、OK/NGの判断を行いやすくする。

4.2. 有機EL照明の特質

有機EL照明は図5に示すように発光面の大きさが80mm×80mmのパネルを検査対象に合わせて複数枚横に並べて使用するが、上述の検査照明としての3つの役割を1台で果たすことが可能な照

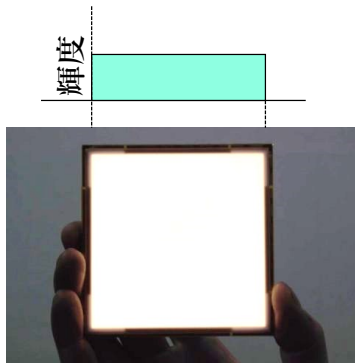


図5 有機EL照明パネル

明である。検査照明としての3つの役割の観点から有機EL照明の特質を説明する。

1) 製品の検査範囲全体を拡散照明で一様に照明

有機EL照明パネルでは、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表面の凹凸や手によって生じる影は強くなり検査面全体を把握しやすい。

2) ワークを前後に傾けての不良の顕在化

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。そのため、光沢が強い製品でもその表面に写り込む光源像は眩しくないため、光源像の近傍での不良の顕在化による察知が可能となる。

3) 異変を察知した箇所を十分な照度で照明

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（杆体視細胞が担う）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、その異変箇所を精査しOK/NGの判断が必要である。精査は鮮明に見える中心視野（錐体視細胞が担う）で行うのである程度の照度が必要である。有機EL照明は拡散照明のため照明直下の手元照度は高くはできない（40cm直下で300～400lx）。しかし、検査照明として使用する場合には、頭の高さ程度に設置し、図2の検査ブース等を使用して、4方（前方・上方・左右）を囲って周囲光を遮断すれば、検査には十分な照度となる。また、不良箇所をより明るく照らしたければ、把持している製品を照明に近づければ、十分な照度が得られる（照明距離を半分にすれば照度は4倍）。

4.3. 一般のLED照明と有機EL照明の比較

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6に示す。図6(a)がLEDバーライト、図6(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カ所のキズは鮮明に見えるが、光源像は極めて眩しいので、不良の位置が分かっている精査の場合にはよいが、不良の位置が分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になる。

一方、有機EL照明では発光面の輝度は低いので2カ所のキズの鮮明さは低くなるが、光源像は眩しくはないため、製品を傾けて検査する場合には、光源像を気にすることなく検査が可能である。また、右上の光源像内の縦の帯状の領域（パネル間の非発光部）では、キズは白い筋として確認ができる。そのため、この帯状の領域を利用して3次元形状のキズと平面的な汚れあるいは付着したホコリとの区別することも可能である。

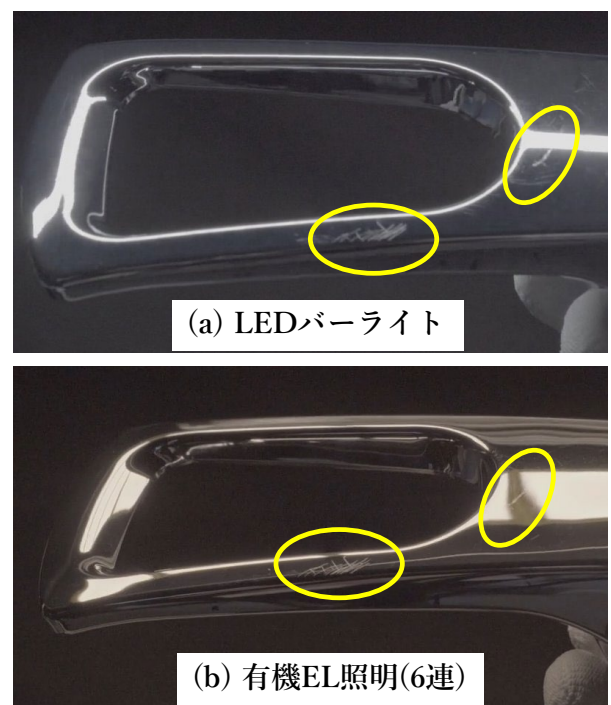


図6 LED照明と有機EL照明の比較

5. 目視検査の課題を共有する

前章までは不良を見逃す主要因は照明と見方の二つとして、その改善方法を示した。しかし、検査照明を含めて検査環境を変える。見方も含めて検査方法を変える。いずれも検査工程の改善になり、モデルラインを作って検証し、検査作業書等の書き換え、関係機関への承認手続きを行う等、課題は山のようにある。すべての課題を、目視検査工

程を担当する品質管理部門等で解決すべきとしたら実現不可能であろう。

そこで、視点を変えて、なぜ、不良が目視検査工程に流れるかを理解し、製造工程全体の課題として捉えることが重要である。不良が目視検査工程に流れてくる根本原因は上流工程である製造過程で必須な次の2つの対策が確実に機能していないことにある。

①不良を作り出さない対策

②たとえ不良が発生しても不良を画像検査等で検知して不良を次工程に流さない対策

そこで、目視検査工程に対する考え方・捉え方を大きく変えることを勧めたい。

(1) 目視検査工程での不良の発見は、前工程の見直しのチャンス

- ・目視検査工程で不良が見つければラッキーと考え、上流工程の改善を進める。
- ・同時に、不良を見つけた検査員を褒める。なぜ、不良を見つけたことができたかを明らかにし、目視検査の作業マニュアル作り・改善に利用する。

(2) 目視検査工程での不良の見逃しは、目視検査工程の見直しのチャンス

不良の見逃しは当人には意識できなかったことである。見逃した直後の注意であれば反省のきっかけとなるが時を経ての単なる注意・叱責は管理者の自己満足であり、問題解決にはならない。すべき対策は次の二つである。

①不良の見逃しを事故（人的被害のない労災）として扱い、その原因を組織エラーとして捉え、安全工学における4Mの事故要因分析を行う。

ツールとしてはアイカメラによる検査員のアイトラッキング映像と作業動作映像の分析が効果的である。

②解決手段としては、組織としての再発防止策を講じる。

具体的には、目視検査工程で行う検査項目を見直し、画像検査で対応可能な検査項目は前工程の画像検査に委ねる。また、誰が行っても楽に、速く、確実に検査ができるように、次のような検査環境の改善を行う。

- ・照明環境
- ・製品の移動、取り置き、回転等の検査支援機器の整備
- ・目視検査用作業マニュアル等の整備
- ・目視検査教育の見直し

6. 終わりに

目視検査は製品外観の品質保証の最後の砦。製品は生き物。姿・形を変えて不良は発生する。製造工程で画像検査機、AI検査機を導入して、不良を完璧に除去できたとしても、その効果は一時的であることを理解し、次の一手の準備を行うことが理想である。一方、目視検査工程の作業をつぶさに分析すると、目視検査以外の付帯作業（製品の搬入/搬出、不良の種別判別/分別/記録、整列/箱詰め、バリ取り/汚れ落とし/修正、・・・）の時間が8割以上を占める作業場所も珍しくはない。付帯作業の多くは自動化が容易である。検査員が不良見逃しゼロで、速く、疲れずに、そして、感謝されて一日の業務が終えることができる体制を願いたい。目視検査の現場を多く見てきて感じることは目視検査員の表情が明るい企業は職場全体が元気である。生産技術の方も品質管理の方も一緒になって目視検査の課題を共有してもらいたい。

謝辞 16年にわたるWG14（感察工学研究会）の活動を支援した画像応用技術専門委員会に感謝するとともに、コロナ禍による3年間の活動中断にも拘らず周辺視目視検査法の普及活動を支援した感察工学研究会の委員の方々に感謝する。前半の8年間は周辺視目視検査法の解明。後半の8年間はその普及活動。普及活動もようやく軌道に乗り始めた時期に、普及活動の成果をViEWで紹介する機会を与えたViEW2025実行委員会の皆様に感謝する。

参考文献

本文で紹介/参照した資料は、「周辺視目視検査法をより深く理解するための関連資料」として、次のURLに掲載した。

URL: <https://geo-kumotore.com/kansatsu/pvi-references/>

石井明：石井明 香川大学名誉教授
電気通信大学大学院機械工学専攻修了(1980)
電気通信大学(1980～1998)、香川大学(1980～2021)
専門はマシンビジョン・目視検査・非破壊検査・材料強度
画像応用技術専門委員会委員(1987年～)
画像応用技術専門委員会 WG14 感察工学研究会主査(2010～)

URL: <https://geo-kumotore.com/kansatsu/>