

製造工程検査部門における非破壊検査・外観検査に関するこれまでの活動と今後の動向 目視検査の課題を組織として解決する

香川大学 名誉教授 石井 明

Resolving Visual Inspection Issues as an Organization

Professor Emeritus, Kagawa University Akira ISHII

キーワード 目視検査, 周辺視, 検査照明, 周囲光, 検査環境

1. はじめに

2010年2月に(公社)精密工学会 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WG 14(感察工学研究会)を設置した。そして、その活動の成果を紹介し、参加者と討論する場として、目視検査に特化したワークショップ、PVI外観検査ワークショップ(PVI: Peripheral Visual Inspection)を2017年に12月に開催し、その後、コロナ禍の時期を除いて毎年、開催してきた¹⁾。

本活動の発端は、熟練検査員(周辺視目視検査法を身に付けている)が、なぜ目にもとまらぬ速さで不良を見逃すことなく、か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)に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²⁾。また、本機関誌の特集号「製造工程で活躍する外観検査技術(製造工程部門主査:塚田敏彦)」(2020年7月)に、解説「究極の外観目視検査技術を目指して」として寄稿した³⁾。

しかしながら、普及については、遅々として進まなかった。一番の要因は、検査員とその管理者双方の目視検査に対する誤った理解・常識であった。①照明をより明るくすれば不良を見逃すことはない。②もっとよく見れば不良を見逃すことはない。これらは検査員とその管理者双方が抱く誤った常識である。前者は発見した不良をより明るく照らせば不良はよりはっきり見えるからである。後者は誰が見ても不良であると分かる不良を見逃したからである。結果として、不良の見逃しは検査員の過失となり強く叱責されることになる。文献3では、①と②は、検査員が不良に気付くことができずに見逃す主要因であることを指摘した。従って、不良の見逃しを防止するには、なぜ、当該の検査員がその不良に気付かなかったかの原因を検査員とその管理者が共有し、検査環境と見方の改善を図ることが必須である。

最近、著者らは簡単な道具立てで検査員とその管理者を現場指導したところ、即刻、目視検査改善に取り組む企業が現れてきた。2025年9月に行ったPVI2025(新潟)¹⁾では、現場指導して半年ほどで、モデルラインでの検証を始めた企業2社から、改善事例紹介の発表があり、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い、目視検査の課題を組織としてどのように解決するかについて解説する。

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、周辺視目視検査法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。用意するものは百均のホワイトボード(30×20cm)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)とカッターきずを付与。図1では3列目に欠けとカッターきず。ただし、カッターきずは細くて見にくいので強調している。

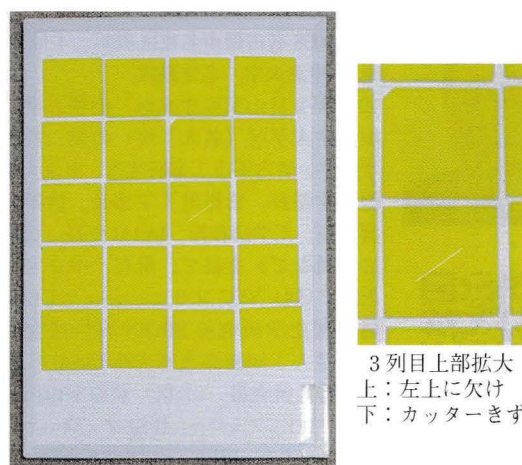


図1 模擬検査ボード

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」の二つの誤った常識を体験によって払拭することである。そこで、外来光を遮断し、天井灯をON、OFFできる作業場に、図2に示すように暗幕検査ブースを用意する(検査指導の様子が他の人からも見えるように暗幕は外している)。検査ブース上部には、横長の検査照明(有機EL照明)が吊り下げられ、点灯している。

2.2.1 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、天井照明の点灯、消灯である。最初に天井照明を点灯した状態で、図1の模擬検査ボードを使って、欠けとカッターきずの検出方法を説明する。欠けは模擬検査ボード全体を見た瞬間に気付くことができる(周辺視の見方)。これは、図1のように正方形片が整

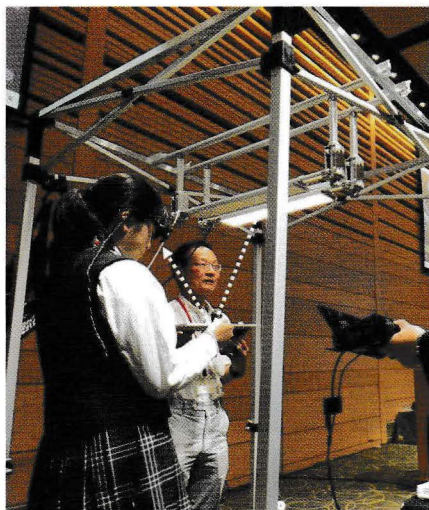


図2 検査ブースでの検査照明の使い方
(PVI2025 (新潟)、講演会場での指導の様子)

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気付くからである（ポップアウト効果）。一方、カッターきずは細くて見にくいので、カッターきずがどこにあるかを左上から順に探すことになる（中心視の見方）。

次に、天井照明を消して検査照明のみの状態で同様の作業を行う。欠けはより気付きやすくなり、カッターきずは見つけやすくなる。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、カッターきずの輪郭（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。

2.2.2 検査照明の使い方Ⅱ

次は、カッターきずに瞬時に気付くための検査照明の使い方である。図2のように照明—模擬検査ボード—目を結ぶ線がV字（図中の白色点線）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（天井照明をつけると500lx程度）で、決して明るくはなかった。また、検査照明は面発光型の拡散光であるので、映り込む光源像を直接見ても通常のLED照明のようなまぶしさは感じない。

カッターきずがちょうど、光源像の中で捉えられる時、カッターきず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、カッターきずは明るい筋として見える（中心視の見方）。これらのカッターきず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、カッターきずがある場所では、光源像がカッターきずの近傍に近づくとき（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すれば（これを精査と呼ぶ）、カッターきずと認識できる。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カッターきずの察知ができる。ぜひとも、周辺視の見方での高速なカッターきずの察知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（きず、打痕、汚れ等）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、表面の局所的な明暗の異変を周辺視の見方で察知する。その後、察知した箇所を中心視で精査することにより良／不良の判別を行う。

3. なぜ周囲光の排除が必要なのか

3.1 きずの顕在化の原理と周辺視の見方

非常に基礎的なことであるが、なぜ、不良に気付くのか、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板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

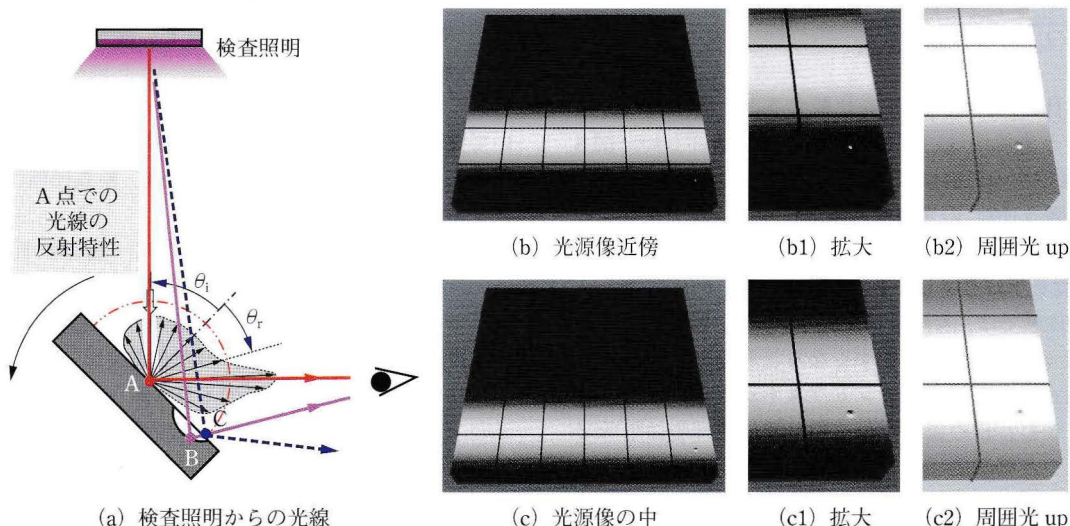


図3 不良（打痕）の顕在化の原理と周囲光の影響

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、右下の正方形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下するが、正方形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) の打痕の内面 B 点近傍に入射した光線の正反射によって形成されたものである。打痕がなければ、正方形板表面の位置 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目には入らず輝度の低い領域となる。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。これがきずの顕在化の原理である。

従って、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（横幅は有効視野の範囲）を瞬時に検査することができる。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で、高速か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る。

3.2 周囲光の影響

前述の検査照明の使い方 I では、天井照明（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) は検査照明のみの場合、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 C 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} は周囲光による輝度である。周囲光がない場合は式 (1)、周囲光がある場合は式 (2) となり、周囲光によって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。

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

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

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まぶしい。図 3 (c2) の光源像の中の打痕は暗の領域が小さくなり、まぶ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分かる。

3.3 手元照度を下げるメリット

前述の検査体験では、天井照明を消灯すれば、模擬検査ボードの欠けとカッターきず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大きくなる説明ができた。しかし、目の周辺視野を担う桿体視細胞は暗所ではしばらくた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、天井照明を消灯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いると（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

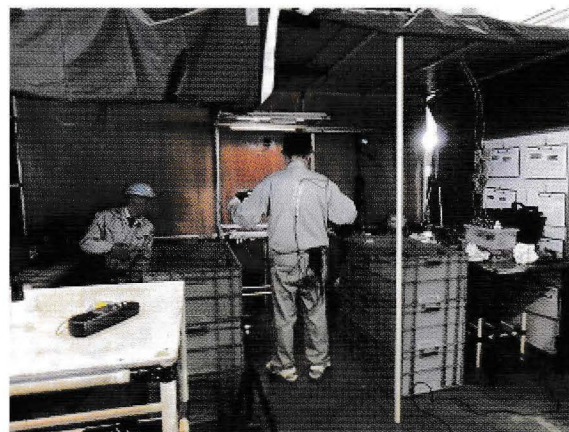


図 4 目視検査改善キャラバンの様子（2019.3）

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、桿体視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。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視目視検査法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、背中側の暗幕は上方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 70 × 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氏（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。その結果、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、直接見てもまぶしくないことが、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。

暗い所で目視検査をすると目が悪くなることはない。逆に明る過ぎる、あるいはまぶし過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 検査照明の三つの役割

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。検査対象は手で把持し、前後に回転できるような工業製品を想定する。この場合、検査照明には次の三つの役割を果たすことが求められる。

- 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
ワークに映り込む光源像の近傍および内部で不良箇所（明暗変化（異変）による顕在化が可能となるため、きず、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 80 × 80mm のパネルを複数枚連結した製品である。本製品は次のように検査照明の三つの役割を 1 台で果たす特質を有している。

1) 製品の検査範囲全体を拡散照明で一樣に照明

有機 EL 照明では、発光面から出射した光は全方向に一樣に拡散する。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樣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く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まぶしくない。そのため、光沢が強い製品でもその表面に映り込む光源像はまぶしくないため、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) 異常を察知した箇所を十分な照度で照明

明暗の異常を察知する周辺視の見方では照度が低い方が周辺視野（桿体視細胞が担う）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、異常を察知した場合には、その異常箇所を精査し、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、四方（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）。

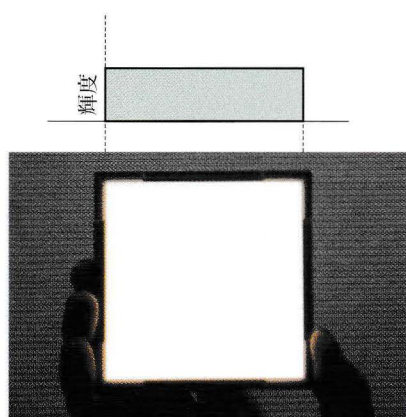
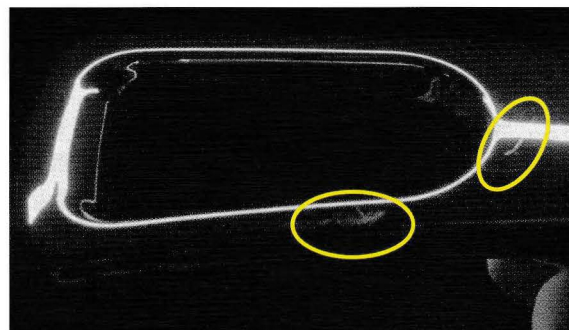


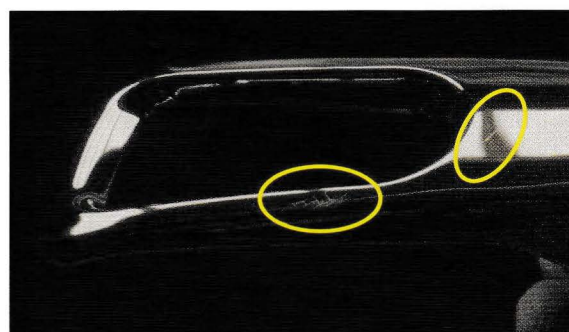
図 5 有機 EL 照明パネル

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金属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 パーライト、図 6 (b) が有機 EL 照明である。LED パーライトは光源の輝度が高いので黄色で囲んだ 2 か所のきずは鮮明に見えるが、光源像は極めてまぶしいので、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まぶしくて検査は困難になる。



(a) LED パーライト



(b) 有機 EL 照明（6 連）

図 6 LED 照明と有機 EL 照明の比較

一方、図 6 (b) の有機 EL 照明では発光面の輝度は低いので 2 か所のきずの鮮明さは低くなるが、光源像はまぶしくはないため、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、図 6 (b) の右側の黄色の楕円内には縦の暗い帯状の領域（パネル間の非発光部）があり、その中央にきずが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 次元形状のきずと平面的な汚れ、あるいは付着したホコリとの区別をすることも可能である。

5. 目視検査の課題を組織として解決する

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。これらは、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しようとしても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二つの対策、①不良を作り出さない対策と、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が、現実には機能していないことにある。

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。

5.1 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、不良を見つけない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。

また、周辺視による明暗の異変の察知の感度は高く、不良とは言えない表面の異常を察知できるため、その異常を前工程にフィードバックすることができれば、不良の発生を抑えることができ、歩留まり向上が期待できる。

5.2 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。しかし、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) 不良の見逃しの要因調査

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⁴⁾。ツールとしては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) 再発防止策

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ってほしい。

- ・照明環境
- ・製品の移動、置き置き、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. おわりに

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必要である。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築き上げていただきたい。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解決してもらいたい。

参考文献

- 1) 金田篤幸, 石井 明: PVI2025 外観検査ワークショップ報告, 画像応用技術専門委員会研究会報告, 40(4), pp.22-27, (2025)
- 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: 究極の外観目視検査技術を目指して, 非破壊検査, 69(7), pp.312-317, (2020)
- 4) 岡田卓三: 4M4(5)E 分析の解説, P&I ロスプリベンションガイド, JAPAN P&I CLUB, 第50号, (2021)



石井 明 香川大学 名誉教授
(761-0396 香川県高松市林町 2217-20)
1980年 電気通信大学大学院電気通信学
研究科修士課程修了
1980年～1998年 電気通信大学
1998年～2021年 香川大学
博士(工学)。マシンビジョン・目視検査・
非破壊検査の研究に携わる
感察工学研究会:
<https://geo-kumotore.com/kansatsu/>

製造工程検査部門における非破壊検査・外観検査に関するこれまでの活動と今後の動向

巻頭言

- 「製造工程検査部門における非破壊検査・外観検査に関するこれまでの活動と今後の動向」特集号刊行にあたって 171
浮田 浩行

解説

- JSNDI は画像 DL 時代の寵児 - NDI005, (SSII,) IPI そして ICI へー 172
興水 大和
- 目視検査の課題を組織として解決する 178
石井 明
- AI 時代だからこそ人に学ぶ画像検査機械開発試論 183
青木 公也
- 製造工程検査技術の農業分野への展開 189
塚田 敏彦
- 非破壊検査・外観検査のための画像データセットプロジェクトについて 193
浮田 浩行

論文

- AE 法を用いた低合金鋼鋳鋼の疲労寿命に対するバナジウム添加量の影響の評価（カオス解析の適用） 198
宅間 正則 原田 尚紀 齋藤 賢一 高橋 可昌 佐藤 知広
袴田 雅樹 森田 洸幸

- 支部だより 205
- お知らせ 207
- 編集後記 210
- 会告 巻末
- NDT フラッシュ

次号のお知らせ「第3回 NDE 4.0 シンポジウム」

- | | | |
|-----|--|---------|
| 巻頭言 | 本特集の刊行にあたって | 中畑 和之 |
| 解説 | Fundamental and application of subsurface ultrasonic imaging | 木村健次郎ほか |
| | HMD を用いた仮想現実による浸透探傷試験訓練システムの構築と活用の試行 | 上山 芳教ほか |
| 論文 | 論文 I | |
| | 論文 II | |
| | 論文 III | |

●複写をご希望の方へ

一般社団法人日本非破壊検査協会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。
本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、一般社団法人学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が公益社団法人日本複製権センター（一般社団法人学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布用の複写については、許諾が必要です）。
権利委託先 一般社団法人学術著作権協会 〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 2F FAX: 03-3475-5619 E-mail: info@jaacc.jp