

機関番号：13102

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20681017

研究課題名（和文）

高度な技能が求められる目視検査の技能伝承に関する研究

研究課題名（英文）

A Study on skill transfer of highly-skilled visual inspection

研究代表者

志田 敬介 (SHIDA KEISUKE)

長岡技術科学大学 工学部 准教授

研究者番号：40365028

研究成果の概要（和文）：

目視検査の実態調査を行った結果、熟練作業者と非熟練作業者とは検査範囲、注視点移動、検査対象の動かし方の3点が異なることがわかった。その点に関して、モデル実験を通じて、欠点検出率に及ぼす影響について検討した結果、検査範囲に関しては、広い範囲を目視した方が欠点検出率は高く、また、注視点移動は、離散的に移動させた方が欠点検出率は高くなることが示された。また、欠点の相違が欠点検出へ及ぼす影響について、モデル実験を通して検討した。

研究成果の概要（英文）：

When we investigate worker's visual inspection, it can be noticed that the inspection range, the movement of gaze point and the way of worker moves the products, while inspecting were different between an inexperienced worker and an expert worker. The experiments were conducted to investigate how these three points have an influence on a fault detection rate in different conditions. As a result, a wide inspection method and a discrete movement of gaze point leads to a high fault detection rate. The experiments were conducted to inspect the effects of peripheral visual inspection through different design model and detective.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	7,900,000	2,370,000	10,270,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：目視検査、技能伝承

1. 研究開始当初の背景

わが国の製造業では、技術力の高さを品質という観点から保障している点に大きな強みがあり、客先への不良品流失防止のために、徹底的な製品検査が行われている。製品検査には、製品の正常な動作を確認する機能検査と微細なキズ、汚れ（以後、欠点という）を発見する外観検査に大別できる。機能検査は機械化がかなり進んでいる反面、外観検査の機械化は、欠点が多様な状態を呈するため容易

ではない。しかも、昨今のように製品の精密化・微小化が進むと、カメラの分解能を越える欠点の発見が求められ、技術的にも、経済的にも検査の機械化が不可能な場合がある。このような精密素材の検査は、人間の目視で検査することになるが、熟練者と非熟練者とは著しく技能に差があり、目視検査を実施する企業に共通する問題となっている。そこで、本研究では、この目視検査に着目し、①実態調査と実験を通して熟練者と非熟練者

の相違を明確にすることと②多様な欠点を分類し、欠点の特徴と検出の難易度について検討した。

2. 研究の目的

- (1) 目視検査を実施する工場において、作業者の作業方法を実際に調査する。
- (2) 実態調査の結果を踏まえ、熟練作業者と非熟練作業者にみられる作業の特徴についてモデル実験を通じて評価する。
- (3) 多様な状態を示す欠点の特徴を分類し、検出の難しさについて欠点の特徴から評価する。

3. 研究の方法

(1) 実態調査

実態調査では、硝子製造企業、板金加工企業、自動車部品製造企業、精密部品板金加工企業の4工場を目視検査の状況に関する聞き取り調査と実際に熟練作業者と非熟練作業者の検査方法を眼球運動測定装置で測定し、その特徴について検討した。

(2) 検査方法の相違が欠点検出率に及ぼす影響

①検査方法の分類

実態調査において熟練作業者と非熟練作業者の眼球運動を比較した結果を参考に、モデル実験を構築し、両者の検査方法を検討した。

調査の結果、検査対象物を固定し、視線を主に動かす方法で検査する作業者と視線を固定し、検査対象物を主に動かす方法で検査する作業者に大別できた。さらに、検査する際に視線や検査対象物を、連続的に動かす作業者と離散的に動かす作業者とに大別できた。

そこで、ものの見方を視点と検査対象物の動きの観点から次のi)からiv)の4種類に分類し、これらが欠点検出に及ぼす影響について検討した。

- i) 対象離散移動 (対象を離散的に移動する見方)
- ii) 視点離散移動 (視点を離散的に移動する見方)
- iii) 対象連続移動 (対象を連続的に移動する見方)
- iv) 視点連続移動 (視点を連続的に移動する見方)

②課題作業

視点と検査対象物の動きによる影響を確認するため、目視検査に近い状況をディスプレイ上に再現し、良品と不良品の判定を行った。

検査シートを図1に、検査シート内の記号を表1に示す。検査シートに縦18×横18個の記号を配置した。表示する全てが良品記号であるものを良品シートとし、不良品記号のいずれか1つを含むものを不良品シートと

した。不良品記号は良品記号にアンダーバーを加えた記号とフォントサイズを小さくした記号の2種類を用意した。(良品記号は18pt、不良品記号は15pt)

また、検査シートを9つのブロックに分割し、ブロック1から順に1つのブロックのみ表示した。さらに、表示されているブロック内のモデル1つ1つを注視することができない時間に設定することで、周辺視を用いた検査を誘導した。

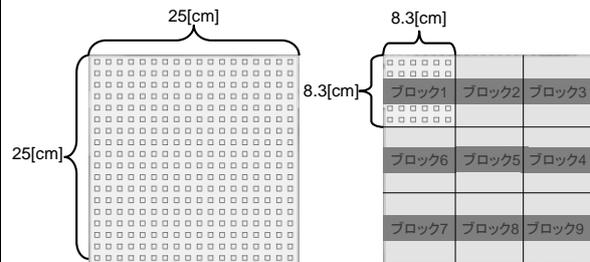


図1 検査シート

表1 検査シートの記号

良品記号	□
不良品記号	□ (アンダーバー有) □ (サイズ小)

③実験手続き

大学生10名を被験者として、眼球運動測定装置(nac社製EMR9)により視野画像と視点の動きを撮影する。

実験では検査方法ごとに120枚の検査を課し、その中に不良品シートは20%の割合で混入した。

また、検査による疲労を考慮し、1人の被験者に対して各検査方法を4日間かけて実験を行った。

(3) 欠点の特徴の相違が欠点検出率に及ぼす影響

①欠点の分類

実際の欠点は多種多様な状態を呈するが、欠点の形、大きさ、色、濃淡で分類できる。大きさ、色、濃淡は、定量的な尺度で評価可能であるが、形は、ブツや打コンと言った点状の欠点から糸ゴミや模様状の不定型の欠点まで多様にある。しかし、欠点のサイズが小さいほど形の影響は小さく、丸状(点状)の欠点に収斂できる。特に、本研究では発見が難しい比較的小さな欠点を対象にしていることから丸に形を限定して検討した。

欠点の大きさ、色、濃淡について以下のように定義した。

i) 大きさ

大きさは、視角(θ [deg])で定義した。眼球からモニタまでの距離を D [m]、欠点の実寸を L [m] とすると式1が成立する。実験では、視角 0.05、0.075、0.1、0.125、0.15、0.2[deg]

の6通りを変動要因とした。具体的には、眼球からモニタまでの距離が50cmの本実験条件下では、視角0.05 degの実寸は直径0.04cmであり、視角0.2 degの実寸は直径0.17cmとなる。

$$\theta = \frac{360}{\pi} \tan^{-1}\left(\frac{L}{2D}\right) \quad [\text{deg}] \quad \text{式1}$$

ii) 濃淡

濃淡は、背景の明度と欠点の明度の差（以後、明度差と呼ぶ）で定義した。明度はHSL表色系の明るさ $L(0 \leq L \leq 255)$ を使い、背景の明度を L_1 、欠点の明度を L_2 、背景と欠点の明度の差を $L[\%]$ とすると式2が成立する。実験では、背景と同系色で明度差5、10、15、20、25、30[%]の6通りを変動要因とした。明度差が小さいほど背景色に近くなる。

$$L = \frac{L_1 - L_2}{255} \times 100 \quad [\%] \quad \text{式2}$$

iii) 色

色は、輝度で定義した。まず、輝度計（コニカミノルタ社製LS-100）を用いて、モニタが持つ赤（RGB値（255、0、0）の輝度（ L_{Vrmax} ）、緑（RGB値（0、255、0）の輝度（ L_{Vgmax} ）、青（RGB値（0、0、255）の輝度（ L_{Vbmax} ）を測定する。本実験で用いたモニタでは、 $L_{Vrmax}=82$ 、1、 $L_{Vgmax}=182$ 、2、 $L_{Vbmax}=17$ 、3を得た。次に、モニタへ表示したい色のRGB値を（R、G、B）とした時、その輝度LVは、式3より求まる。実験では、輝度5[cd/m²]程度から80[cd/m²]程度までの6通りを変動要因とした。

なお、パソコンで指定するRGB値とモニタへ表示されるRGB値の間には、一般にガンマ特性と呼ばれる非線形な入出力関係が存在する。実験で使用したモニタは、その特性を決めるガンマ値（ γ ）を任意に設定することができる。そこで、一般的なモニタと同様にガンマ値を2.2に設定し、ガンマ補正を行った。

$$L_v = L_{Vr \max} \left(\frac{R}{255}\right)^\gamma + L_{Vg \max} \left(\frac{G}{255}\right)^\gamma + L_{Vb \max} \left(\frac{B}{255}\right)^\gamma \quad [\text{cd/m}^2] \quad \text{式3}$$

②課題作業

課題作業として、縦18cm、横11.3cm、白色の背景に2つの直径1cmの黒い円（以後、補助点と呼ぶ）を配置したカード型のモデルを用意した。このカードの大きさは、周辺視野で認知可能な有効視野範囲（水平方向18deg、垂直方向14deg）に収まることを考

慮し、決定した。

実験では、モニタ（ナナオ社製FlexScan SX2462W）から50cmの位置に設置したアゴ台へ被験者の頭部を固定した。まず、被験者は上の補助点を注視し、モデル上部を周辺視で検査する。次に、同様の方法でモデル下部を検査する。被験者が欠点を発見した時点でSpace Keyを押し、欠点の発見をパソコンに記録する。また、Enter Keyを押すと、次の検査モデルが表示される。なお、指示通り2つの補助点のみを注視し、周辺視を用いた検査が実施されているかを確認するため、被験者にはアイカメラ（nac社製EMR-9）を装着し、実験をおこなった。

検査モデルの背景が白色の時は補助点が黒色、背景が黒色の時は、補助点が白色、背景が赤色の時は、補助点が緑色、背景が緑色の時は、補助点が赤色、背景が青色の時は、補助点が黄色の5つの検査モデルを準備した。なお、補助点には背景色の補色を使っている。

以上の検査モデルを用いて、各欠点の相違が検出率に及ぼす影響について検証した。

4. 研究成果

(1) 実態調査の結果

自動車部品製造企業における目視検査の調査結果を示す。その調査の結果、熟練作業者と非熟練作業者の目視検査時の注視点の動きに相違があることが明らかになった。

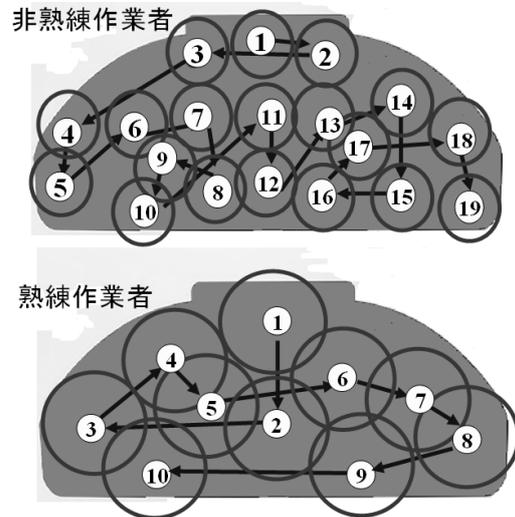


図2. 熟練作業者と非熟練作業者の眼球運動

図2に熟練作業者と非熟練作業者の注視点停留における検査範囲を示す。両者の検査方法の違いとして、注視点の停留回数が異なる。つまり、熟練作業者の注視点間距離は広く、その結果、停留回数も非熟練作業者と比較して少ないことが分かる。しかし、熟練作業の方が非熟練作業よりも欠点の見逃しは少ない。この結果は、熟練作業の方が一度の注視点停留で広い範囲を検査しているこ

とが推測される。つまり、熟練作業者は主に周辺視を用いて検査を行っており、非熟練作業者は主に中心視を用いた検査を行っていると考えられる。

この中心視と周辺視の使い分けに関しては、実務の場において、近年その効果が報告されつつあるが、その実証研究は遅れている状況にある。

(2) 各検査方法の相違が検出率に及ぼす影響

各検査方法の相違が検出率に及ぼす影響についての結果を図3に示す。検出率は対象離散移動が最も高く、次いで視点離散移動、対象連続移動、最も低かったのは視点連続移動という結果となった。

各検査方法の検出率の相違が不良品記号別(バー□、小□)検出率に及ぼす影響についての結果を図4に示す。不良品記号バー(□)の検出率は各検査方法でほとんど差がない結果となった。一方、不良品記号小(□)の検出率は対象離散移動が最も高く、次いで視点離散移動と対象連続移動、最も低かったのは視点連続移動という結果となった。

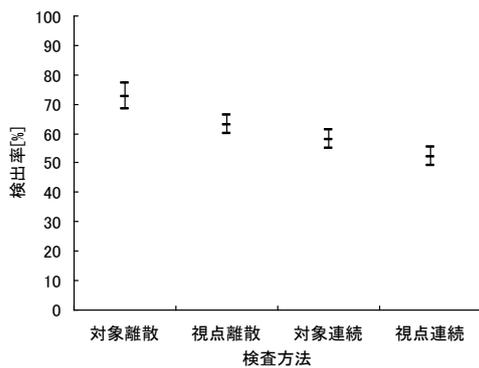


図3 各検査方法の検出率

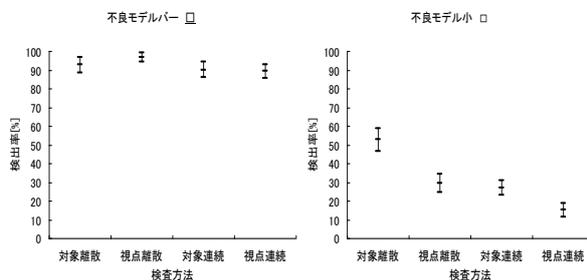


図4 各検査方法の不良品モデル別検出率

実験の結果、検査対象物を離散的に移動する見方で、多くの被験者が注視点を1点に保持することができ、高い検出率で検査を行えることが示された。この見方は周辺視を用いた見方として有効であり、実際の目視作業現

場へ応用できる可能性があることが示唆される。

(3) 欠点の特徴の相違が欠点検出率に及ぼす影響

① 欠点の大きさ

欠点の大きさの相違が欠点の検出に及ぼす影響に関して、背景色ごとに、欠点検出率の被験者平均値を図5に示す。背景白モデル(以後、単に白モデルと呼ぶ。また、他の背景色も同様に呼ぶ)、赤モデル、緑モデルでは視角が小さくなるほど欠点検出率が低下した。一方、黒モデル、青モデルでは視角0.05degから0.2degの範囲では、欠点検出率に変化が見られなかった。また、いずれの検査モデルにおいても視角が0.1deg以上あれば80%以上の欠点検出率が得られ、0.2degでは全ての欠点が検出される結果となった。

② 欠点の明度差

欠点の明度差の相違が欠点の検出に及ぼす影響に関して、背景色ごとに、欠点検出率の被験者平均値を図6に示す。赤モデル、白モデル、緑モデルでは明度差が小さくなるにつれ欠点検出率が大きく低下した。一方、これらの背景色に比べ、黒モデル、青モデルの欠点検出率の低下は小さかった。黒モデルや青モデルの場合は明度差5%の場合でも80%以上の欠点を検出できるが、白モデルや緑モデルは同条件下において、著しく欠点検出率が低下する結果となった。

③ 欠点の色

欠点の色が欠点の検出に及ぼす影響に関して、背景色ごとに、欠点検出率の被験者平均値を図7に示す。いずれの背景色においても、輝度差の減少に伴い、欠点検出率の低下がみられたが、黒モデルの場合は輝度差5cd/m²の場合でも70%以上の欠点を検出することができた。それに対し、その他の背景色では欠点検出率が0%となった。

大きさ、明度差、色の欠点において、背景が無彩色の場合、背景黒モデルより背景白モデルの順に、背景が有彩色の場合、背景青モデル、背景赤モデル、背景緑モデルの順に欠点検出率が低下する結果となった。

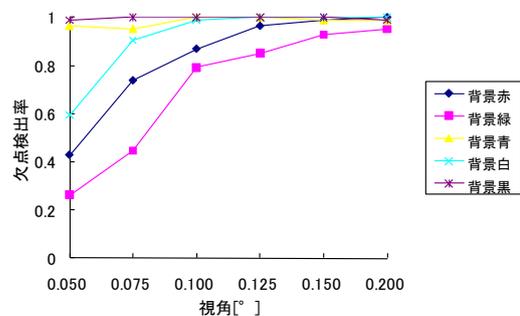


図5 欠点の大きさが及ぼす影響

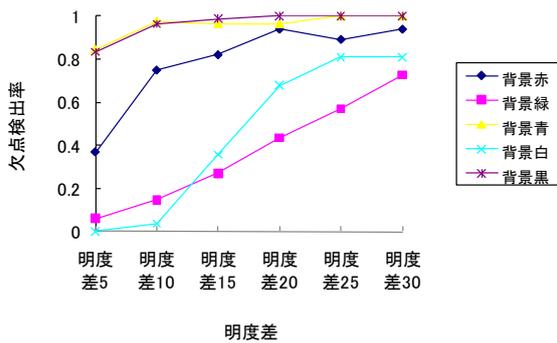


図 6. 欠点の明度差が及ぼす影響

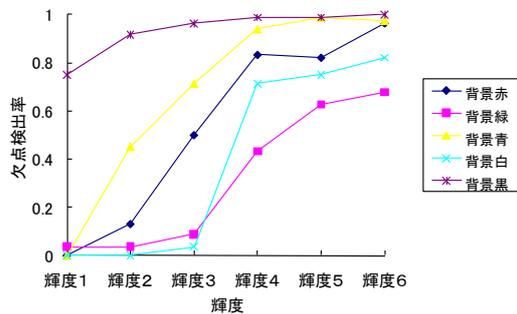


図 7. 欠点の輝度が及ぼす影響

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 9 件)

- 1.前地剛,志田敬介.目視検査における眼球運動の相違が欠点検出率に及ぼす影響に関する研究,第 31 回バイオメカニズム学術講演会,2010.11,静岡大学
- 2.中嶋良介,志田敬介.眼球運動と検査対象物の動きの相違が目視検査における欠点検出率に及ぼす影響,第 31 回バイオメカニズム学術講演会,2010.11,静岡大学
- 3.室山仁美,志田敬介.欠点の特徴と背景色の相違が欠点検出率に及ぼす影響に関する研究—背景色が有彩色の場合—,第 31 回バイオメカニズム学術講演会,2010.11,静岡大学
- 4.三浦郁央,志田敬介.意匠の相違が目視検査の欠点検出率に及ぼす影響に関する研究,第 31 回バイオメカニズム学術講演会,2010.11,静岡大学
- 5.三浦郁央,志田敬介.意匠の相違が目視検査の欠点検出率に及ぼす影響に関する研究—意匠として図形を用いた場合の検討—,日本経営工学会平成 22 年度秋季大会,2011.11,福岡工業大学
- 6.室山仁美,志田敬介.欠点の特徴と背景色の相違が欠点検出率に及ぼす影響に関する研究—背景色が無彩色の場合—,日本経営工学会平成 22 年度秋季大会,2010.11,福岡工

業大学

7.前地剛,志田敬介.目視検査における検査範囲の相違が欠点検出率に及ぼす影響に関する研究,日本経営工学会平成 22 年度秋季大会,2010.11,福岡工業大学

8.中嶋良介,志田敬介.眼球運動と検査対象物の動きの相違が周辺視を用いた目視検査における欠点検出率に及ぼす影響,日本経営工学会平成 22 年度秋季大会,2010.11,福岡工業大学

9.高野宗昌,志田敬介.目視検査時の眼球運動の相違が検査時間と検出率に及ぼす影響についての評価研究,日本経営工学会平成 21 年度秋季大会,2009.11,愛知工業大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

志田 敬介 (SHIDA KEISUKE)

長岡技術科学大学 工学部 准教授

研究者番号: 40365028